

# 重点安全研究成果調査票

(平成 17 ~ 19 年度)

(第 6 回安全研究審議会)

平成 21 年 3 月

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

## 重点安全研究課題

分類番号	研究課題
I. 規制システム分野	
1-1-1	確率論的安全評価 (PSA)手法の高度化・開発整備
1-2-1	事故・故障分析、情報収集
II. 軽水炉分野	
2-1-1	軽水炉燃料の高燃焼度化に対応した安全評価
2-1-2	出力増強等の軽水炉利用の高度化に関する安全評価技術
2-2-1	材料劣化・高経年化対策技術に関する研究
III. 核燃料サイクル施設分野	
3-1-1	核燃料サイクル施設の臨界安全性に関する研究
3-1-2	核燃料サイクル施設の事故時放射性物質の放出・移行特性
3-1-3	核燃料サイクル施設の安全性評価に関する研究－基盤・開発研究の成果の活用－
IV. 放射性廃棄物・廃止措置分野	
4-1-1	高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究 (1)
4-2-1	低レベル放射性廃棄物の処分に関する研究
4-1-2	高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究 (2)－開発研究の成果の活用－
4-3-1	廃止措置に係る被ばく評価に関する研究 (1)
4-3-2	廃止措置に係る被ばく評価に関する研究 (2)－開発研究の成果の活用－
V. 新型炉分野	
5-1-1	高速増殖炉の安全評価技術に関する研究－開発研究の成果の活用－
VI. 放射線影響分野	
6-1-1	放射線リスク・影響評価技術に関する研究
VII. 原子力防災分野	
7-1-1	原子力防災等に対する技術的支援

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)）

### 【研究分野／項目】

I. 規制システム分野／リスク情報の活用

【分類番号】 1-1-1

### 【研究課題名(Title)】

確率論的安全評価手法の高度化・開発整備

Development and Enhancement of Probabilistic Safety Assessment Methodology

### 【研究代表者】

[所属] 安全研究センター リスク評価・防災研究グループ

[氏名] 本間 俊充 (ほんま としみつ)

[連絡先] Tel : 81-6862 E-mail : homma.toshimitsu@jaea.go.jp

[所属] 再処理技術開発センター 技術開発部 技術開発課

[氏名] 石田 倫彦 (いしだ みちひこ)

[連絡先] Tel : 82-71140 E-mail : ishida.michihiko@jaea.go.jp

### 【研究目的】

リスク情報を活用した新たな安全規制の枠組みの構築に資するため、発電用軽水炉に対する PSA 技術の高度化や核燃料サイクル施設に対する PSA 手法の開発整備を行う。また、原子力安全委員会による安全目標の策定、及び立地評価や安全評価指針等の体系化に資するため、原子力施設毎の性能目標等の検討を行う。

### 【研究内容】

イ. 確率論的安全評価手法の高度化

原子炉施設の PSA 手法の高度化では、不確実性評価手法等の整備を行うとともに、核燃料サイクル施設の PSA 手法整備として、事故影響評価に必要な基礎的なデータを収集・分析しデータベースとして整備する【一部 JNES 受託】。

ロ. リスク情報活用に係わる技術的課題の検討

改良・整備した PSA 手法を用いて原子炉施設、核燃料サイクル施設等の原子力施設毎の性能目標等に関する技術的な検討を行う。

ハ. 東海再処理施設保守・保全データ等に基づく機器故障率データベースの作成手法の検討

東海再処理施設における保全データを収集・整備するとともに、再処理施設固有の機器故障率データベース整備に資する解析支援システムを構築し、東海再処理施設の保全データに基づく機器故障率を算出する。

### 【達成目標】

原子力施設の PSA 手法を改良・整備し、リスク情報活用に参考となる技術的情報をまとめる。

### 【成果の活用方策】

改良・整備した PSA 実施手順は、原子力学会等で実施される標準的な PSA 実施手順の検討の参考に資する。また、性能目標等に関する成果は、原子力安全委員会の検討に提供する。

### 【使用主要施設】

東海再処理施設

### 【研究の進め方】

中期計画及び原子力安全委員会が定める「原子力の重点安全研究計画」に沿って研究を進める。具体的には、核燃料サイクル施設の PSA 手法整備及びその適用等、原子力安全委員会や規制行政庁からのニーズに対応して、原子力安全基盤機構(JNES)等からの受託研究を積極的に進める。また、

学会等での PSA に関する民間規格整備に参加し成果の活用を進める。また、東海再処理施設の保全情報を活用し再処理施設 PSA に利用可能な機器故障率データベースを整備するため、発電炉の機器故障率算出手順を調査し、東海再処理施設の保全情報を用いた機器故障率算出手順を検討する。さらに、保全部署との連携を強化し、東海再処理施設の保全情報の特徴を把握するとともに、機器故障率算出のための解析支援システムの機能整備を行う。

#### 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名 (実施機関)]

[受託研究名 (委託元)]

##### 平成 17 年度

- シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究 (ガス状ヨウ素基礎試験) ((独)原子力安全基盤機構)
- MOX 燃料加工施設安全技術調査等 (確率論的安全評価等調査) (原子力安全・保安院)
- MOX 燃料加工施設 PSA 手順のウラン加工施設 ISA への反映に関する調査 ((独)原子力安全基盤機構)
- 核燃料加工施設での事故評価に関する調査 ((独)原子力安全基盤機構)
- 再処理施設の信頼性データに係る情報の整理 ((独)原子力安全基盤機構)

##### 平成 18 年度

- シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究 (ガス状ヨウ素基礎試験) ((独)原子力安全基盤機構)
- 核燃料加工施設での事故評価に関する調査 ((独)原子力安全基盤機構)
- 再処理施設の信頼性データに係る情報の整理 ((独)原子力安全基盤機構)

##### 平成 19 年度

- シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究 (ガス状ヨウ素基礎試験) ((独)原子力安全基盤機構)
- 核燃料サイクル施設におけるリスク情報活用策の検討 ((独)原子力安全基盤機構)
- 再処理施設の信頼性データに係る情報の整理 ((独)原子力安全基盤機構)

[委託研究名 (委託機関)]

##### 平成 17 年度

- 核燃料施設の確率論的安全評価に関する調査(II) (日本原子力学会)

##### 平成 18 年度

- 核燃料施設の事故影響評価手法に関する調査(I) (日本原子力学会)

##### 平成 19 年度

- 核燃料施設の事故影響評価手法に関する調査(II) (日本原子力学会)

#### 【研究実施内容及び成果 (平成 17～19 年度)】

イ. 確率論的安全評価手法の高度化

(i) 原子炉施設の PSA 手法の高度化

不確実さ評価手法の整備として、シビアアクシデント解析コードを用いたソースタームの不確実さ評価手順を構築し(図 1)、代表的なモデルプラントの 1 つである BWR-5/Mark-II への適用を実施し、代表的な事故シナリオに対する放射性物質の環境への放出開始時刻及び環境への放出量の不確実さの幅や不確実さに寄与するパラメータ等を明らかにした。本手順及びその評価例は、日本原子力学会の標準委員会において検討されたレベル 2PSA 標準、「原子力発電所の確率論的安全評価に関する実施基準(レベル 2PSA 編)」に反映された。また、リスク評価に用いるモデルの入力変数の不確実さに着目したモンテカルロ手法に基づく Borogonovo の重要度指標の新しい計算方法を提案した(図 2)。Borogonovo 重要度指標は、評価モデルの出力変数の確率密度分布が入力変数の不確実さに応じていかに変化するかを取り扱うモーメントに依存しないグローバルな感度解析手法として注目されている。新計算手法では、従来、出力変数の確率密度分布に着目してその変化を面積積分で定量化していたものを、対応する累積確率分布の距離の差で算出することにより計算効率及び精度を高めた。提案した新計算手法の有効性を一般的な信頼性解析モデルに適用し確認した。

レベル 2PSA 手法の高度化では、現実的なソースターム評価、アクシデントマネジメント策や防



災対策上の判断の検討に必要な技術的知見の整備を目的として、シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究を実施している。ガス状ヨウ素基礎試験の試験条件（温度、圧力、照射線量等）及びヨウ素化学コードを用いた実機評価の解析条件を得ることを目的に、シビアアクシデントコード THALES2 及び MELCOR コードを用いてシビアアクシデント晩期の代表的な事故終息シナリオ(BWR/Mark-I: 5 事故シーケンス、4 ループ大型ドライ型 PWR: 4 事故シーケンス)の解析を行い格納容器内の熱水力条件及び放射性物質の分布を評価した。さらに、その結果を基に、遮蔽計算コードを用いた格納容器内線量分布の評価を実施することにより、シビアアクシデント晩期の実機事故条件を把握した(表 1)。また、地震時における複数の設備の同時損傷確率を正しく評価するため、機器損傷の相関性を適切に表現できるようにモンテカルロ法を用いてフォールトツリーを定量化する DQFM 手法を用いた地震時システム信頼解析コード SECOM2-DQFM の整備を行い公開した。日本原子力学会の地震 PSA 標準では、機器損傷の相関性を考慮する手法の一つとして DQFM 法を推奨しており、本コードの公開により DQFM 法の普及と地震 PSA への適用の促進に貢献できる。

#### (ii) 核燃料サイクル施設の PSA 手法整備

MOX 燃料加工施設に対する内的事象 PSA 手法の整備(図 3)では、環境影響評価のための基礎的情報の整備として、爆発、火災事象での圧力、温度挙動及び煤煙発生量を評価するための解析コードの性能評価、排気系内でのエアロゾル沈着量の簡易評価用データの整備、MOX 粉末のエアロゾル粒径を考慮した線量換算係数の整備を行った。また、改良した PSA 手法を用いてモデルプラントを対象に PSA を実施し、施設全体のリスクプロファイルを明らかにすると共に、リスク上重要な設備・機器を同定するための手順を提案し、手法全体の有用性を示し手法整備を終了した。手法整備のまとめとして、PSA 実施ステップにおける分析内容の解説と具体的な解析事例を組み合わせた手順書を作成した。

事故影響評価に必要な基礎的データの整備では、再処理施設で想定される代表的な事故事象のうち水素爆発については、溶液中の水素発生量の G 値、水素空気混合気体の爆発下限値、水素濃度と爆発圧力に関する実験を調査した。その結果、実機の条件を考慮したデータの整備が必要なことが分かった。また、廃液貯槽の冷却機能喪失による沸騰事象については、沸騰時の気液同伴現象を考慮した実験式と径が一定の気泡の破裂によって生じる飛沫の粒径分布を測定した実験結果を基に、仮想的な貯槽でのエアロゾルの移行割合の試解析を実施した(図 3)。その結果これまでの安全評価で参照されているエアロゾル化割合の推奨値は過度に保守的であることが分かった。

#### ロ. リスク情報活用に係わる技術的課題の検討

原子力安全委員会が原子力利用活動に対して求めるリスクの抑制水準として示した定量的安全目標案に対応する軽水炉の性能目標について、レベル 3PSA コード OSCAAR を用いて検討を行い、格納容器機能喪失頻度の目標値案を提示した(図 4)。また、安全目標案において検討課題とされた防護対策の効果や安全目標が対象とする個人の考え方等、技術的課題についても検討を行い、性能目標値導出過程においては、控えめな防護対策条件を推奨し、対象とする個人の範囲とその条件を示した(図 5)。

核燃料サイクル施設におけるリスク情報活用策の検討では、整備した MOX 燃料加工施設の PSA 実施手順に従い、公開情報を基に詳細化したモデルプラントを対象に PSA を実施した。その結果、モデルプラントの主要な事故シナリオのリスクからなるリスクプロファイル(図 6)を得るとともに、水蒸気による焼結炉内の異常加圧及び焼結炉での水素爆発の事故シナリオが全リスクの主要な部分を占めることが明らかとなった。

#### ハ. 東海再処理施設保守・保全データ等に基づく機器故障率データベースの作成手法の検討

東海再処理施設の機器について保全履歴データを継続収集し、東海再処理施設設備保全管理支援システム (TORMASS) への登録を実施した。TORMASS は、東海再処理施設の設備・機器の保全作業に関する保全履歴等を記録・管理するための支援システムであり、登録されている機器・設備の故障原因、処置対策等について検索することが可能である。東海再処理施設では、保全計画作成及び修正等に利用されている。

平成 20 年 3 月末における累計保全履歴登録件数は以下の通りである。

- 機械設備 167,639 件
- 計装設備 75,386 件

●電気設備 17,372 件

TORMASSに登録した保全履歴データと東海再処理施設の運転データを併せて評価することにより、再処理施設のPSAに不可欠な機器故障率を算出することが可能であることから、原子力安全研究協会「PSA用故障率データに関する調査」（平成9年3月）記載の算出方法を参考に、東海再処理施設の保全データから点推定値、90%信頼区間の上限値・下限値、エラーファクタ等を算出するための手順書を整備するとともに、一部の機器について故障率の算出を行った。

故障率算出作業と並行して、TORMASSデータに基づく機器故障率算出作業を効率的に実施するための「信頼性データ解析支援システム」の開発を行った。これまでに同システムの基本的な機能を整備した。システムの概要を図8に示す。

信頼性の高い機器については、東海再処理施設の運転データだけでは運転時間やデマンド回数が十分に確保できない可能性があることから、平成19年度は「信頼性データ解析支援システム」にベイズ統計手法を用いた故障率算出機能を組み込むための予備的検討を行った。

現在、日本原子力学会発電炉専門分会の分科会において、発電炉を対象としたPSA用パラメータに関する調査・検討が行われていることから、同分科会に常時参加者として参加し、ベイズ手法を用いた機器故障率データの更新手法に関する情報収集を行った。同調査を通して、ベイズ手法を用いて機器故障率の更新を行うための基本的な知見を得ることができた。得られた知見を基に、東海再処理施設の運転実績を用い、米国サバンナリバー再処理施設のPSAに利用された機器故障率の更新を行った例を図9に示す。今後はベイズ法を用いた機器故障率更新機能を「信頼性データ解析支援システム」に組み込む予定である。

### 【特記事項】

軽水炉の性能目標値導出における技術的課題検討の成果を原子力安全委員会安全目標専門部会性能目標検討分科会における検討に提供した。

原子炉施設のPSA手法の高度化において整備したソースタームの不確実さ評価手順及びその評価例は、日本原子力学会標準委員会において作成された「原子力発電所の確率論的安全評価に関する実施基準(レベル2PSA編)」に反映された。

### 【研究成果の発表状況】

#### 雑誌掲載論文：

- 1) T. Homma, K. Tomita and S. Hato, “Uncertainty and Sensitivity Studies with the Probabilistic Accident Consequence Assessment code OSCAAR,” Nuclear Engineering and Technology, 37(3), 245 (2005).
- 2) K.M. Thiessen, T. Homma, et al., “Model Testing using Data on <sup>131</sup>I Released from Hanford,” Journal of Environmental Radioactivity, 84, 211 (2005).
- 3) K.M. Thiessen, T. Homma, et al., “Model testing using data on <sup>137</sup>Cs from Chernobyl fallout in the Iput River catchment area of Russia,” Journal of Environmental Radioactivity, 84, 225 (2005).
- 4) Hidaka, T. Kudo, J. Ishikawa, and T. Fuketa, “Radionuclide Release from Mixed-Oxide Fuel under High Temperature at Elevated Pressure and Influence on Source Terms,” J. Nucl. Sci. Technol., 42(5), (2005).
- 5) Y. Watanabe, K. Muramatsu and T. Oikawa, “Seismic Capacity Evaluation of a Group of Vertical U-tube Heat Exchanger with Support Frames for Seismic PSA,” Nuclear Engineering and Design, 235(23), 2495 (2005).
- 6) 玉置等史, 吉田一雄, 渡邊憲夫, 村松建, “MOX燃料加工施設に対する確率論的安全評価手法の開発”, 日本原子力学会和文論文誌, 5(2), 125-135 (2006).
- 7) 石川淳, 村松建, 渡辺憲夫, “軽水炉シビアアクシデント時ソースタームの不確実さ評価”, 日本原子力学会和文論文誌, 5(4), 305-315 (2006).
- 8) 本間俊充, “軽水炉の確率論的安全評価 (PSA) 入門 - 第7回公衆のリスクを評価するレベル3PSA”, 日本原子力学会誌, 48(10), 773-779 (2006).
- 9) 波戸真治, 本間俊充, “内部被曝線量評価システムの開発”, REST-NEWS 41, 33-41 (2006).
- 10) Muramatsu K, Liu Q, Uchiyama T. Effect of Correlations of Component Failures and Cross-Connections of EDGs on Seismically Induced Core Damages of a Multi-Unit Site. Journal of Power and Energy Systems, 2(1): 122-132 (2008)
- 11) 玉置等史, 内藤俣孝, 鈴木忠和, 三橋雄志, “解説「リスク情報を活用した臨界安全評価に関

技術報告書:

- 12) 波戸真治, 本間俊充, “原子炉事故時放射線影響解析で用いるための内部被曝線量係数”, JAERI-Data/Code 2005-006, (2005).
- 13) 石川淳, 村松健, 坂本亨, “THALES-2 コードによる BWR Mark-II を対象としたレベル 3PSA のための系統的なソースターム解析”, JAERI-Research 2005-021, (2005).
- 14) 真弓正美, 森山清史, 村松健, “ROAAM 法の適用による BWR の  $\alpha$  モード格納容器破損確率に評価に関する研究”, JAEA-Research 2006-022, (2006).
- 15) 吉田一雄, 阿部仁, 山根祐一, 田代信介, 村松健, “核燃料施設の確率論的安全評価に関する調査(I)”, JAEA-Research 2006-085 (2007).
- 16) 吉田一雄, 阿部仁, 山根祐一, 田代信介, 村松健, “核燃料施設の確率論的安全評価に関する調査(II)”, JAEA-Research 2007-002 (2007).
- 17) 吉田一雄, 阿部仁, 山根祐一, 田代信介, 村松健, “核燃料施設の事故影響評価手法に関する調査(I)”, JAEA-Research 2007-047 (2007).
- 18) 吉田一雄, 村松健, “核燃料施設における地震リスク低減方策の検討へのリスク評価の活用方法に関する検討”, JAEA-Research 2007-064 (2007).
- 19) 劉峭, 村松健, 内山智曜, “地震時システム信頼性解析コード SECOM2-DQFM のユーザーマニュアル”, JAEA-Data/Code 2008-004 (2008).
- 20) Liu, Q., K. Muramatsu, and T. Uchiyama, “User’s Manual of SECOM2-DQFM: A Computer Code for Seismic System Reliability Analysis,” JAEA-Data/Code 2008-005 (2008).

国際会議:

- 21) H. Tamaki, K. Yoshida, N. Watanabe, K. Muramatsu, “Hazard Analysis Approach with Functional FMEA in PSA Procedure for MOX Fuel Fabrication Facility,” Proc. of International Topical Meeting on Probabilistic Safety Analysis, PSA’05, San Francisco, USA, Sept.16-20, 2005, 478 (2005).
- 22) H. Tamaki, Y. Hamaguchi, K. Yoshida, K. Muramatsu, “Present Status of PSA Methodology Development for MOX Fuel Fabrication Facilities,” Proc. of The 7th International Conference GLOBAL 2005, Nuclear Energy Systems for Future Generation and Global Sustainability, Tsukuba, Japan, Oct. 9-13, 2005, Paper No. 269 (2005).
- 23) Muramatsu, K., Q. Liu and K. Onizawa, “Potential Uses of Seismic PSA for Risk Management of NPP-a Review of Recent Studies at JAEA,” Proc. of Specialist Meeting on the Seismic Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Facilities, Nov., 6-8, 2006, Jeju Island.
- 24) Liu Q., K. Muramatsu and T. Uchiyama, “Analysis of Seismically Induced Core Damage at Two BWRs in the Same Site,” Proc. of the 9th Workshop on Korea-Japan PSA, Nov., 9-10, 2006, Jeju Island.
- 25) Homma, T. and T. Matsubara, “Calculations using a Level 3PSA code in support of deriving performance goals,” Proc. of the 9th Workshop on Korea-Japan PSA, Nov., 9-10, 2006, Jeju Island.
- 26) Ishikawa, J., M. Muramatsu and N. Watanabe, “Uncertainty Analyses of basis Terms for BWR-5/Mark-II with THALES2 code,” Proc. of the 9th Workshop on Korea-Japan PSA, Nov., 9-10, 2006, Jeju Island.
- 27) Muramatsu, K., Q. Liu, T. Uchiyama. Effect of Correlations of Component Failures and Cross-Connections of EDGs on Seismically Induced Core Damages of a Multi-Unit Site. Proceedings of the 15th International Conference on Nuclear Engineering (CD-ROM), Session 6-4: Probabilistic Risk Assessment (2). Nagoya, Japan, April 22-26, 2007.
- 28) Liu, Q., T. Homma. A Robust Importance Measure for Sensitivity Analysis. Abstracts of the 5th International Conference on Sensitivity Analysis of Model Output (SAMO 2007), Budapest, Hungary, June 18-22, 2007.
- 29) Liu, Q., T. Homma. The Indication of the Moment Independent Measure  $\delta$  and Its New Computational Method. Abstracts of the 5th International Conference on Sensitivity Analysis of Model Output (SAMO 2007), Budapest, Hungary, June 18-22, 2007.

- 30) Seino, T., K. Yamate and H. Tamaki, "Application of Risk Information for Safety Maintenance in Fuel Material Handling Process", Proc. of IAEA Topical Meeting on Advanced Safety Assessment Methods for Nuclear Reactors, Daejeon, Korea, Oct. 30- Nov. 2, 2007.

口頭発表：

- 31) 玉置等史, "MOX 燃料加工施設の確率論的安全評価に関する研究," 日本原子力産業会議原子動力研究会原子力安全グループ定例研究会, 東京 (2005).
- 32) 松原武史, 本間俊充, "OSCAAR コードによるチェルノブイリ事故起因の I-131 甲状腺負荷量の推定," 日本保健物理学会第 39 回研究発表会, 青森県六ヶ所村 (2005).
- 33) 本間俊充, "環境影響の不確かさ・感度解析," 日本原子力学会 2005 年秋の大会, 八戸 (2005).
- 34) 濱口義兼, "MOX 燃料加工施設の確率論的安全評価実施手順の開発 (IV) - 管理計算機システムの信頼性評価手法の検討 -, " 日本原子力学会 2006 年春の年会, 大洗 (2006).
- 35) 玉置等史, 吉田一雄, 山手一記, 清野赳, "ウラン加工施設の統合安全解析 (ISA) 実施手順の検討 (5) - 事故シーケンスの発生頻度区分設定のための基礎情報の充実 -, " 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 札幌 (2006).
- 36) 高原省五, 村松健, 吉田一雄, 内山智曜, "地震時システム信頼性解析コード SECOM-2 の核燃料施設への適用可能性の検討", 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 札幌 (2006).
- 37) 本間俊充, 梶本光廣, 内藤真, "確率論的安全評価実施基準 (レベル 3 PSA 編)", 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 札幌 (2006).
- 38) 清野赳, 玉置等史, "臨界解析におけるリスク情報の適用 - 基本的考察 -, " 日本原子力学会 2007 年春の年会, 名古屋 (2007).
- 39) 石川淳, 黒澤直弘, 森山清史, 丸山結, 中村秀夫, 渡部厚, "シビアアクシデント晩期の格納容器内ソースターム評価 - 2. ヨウ素化学挙動に関わる格納容器内環境の評価 -, " 日本原子力学会 2007 年春の年会, 名古屋 (2007).
- 40) 清野赳, 玉置等史, "核燃料施設保守管理におけるリスク情報適用についての基本的考察", 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 北九州 (2007).
- 41) 石川淳, 黒澤直弘, 森山清史, 丸山結, 中村秀夫, 渡部厚, "シビアアクシデント晩期の格納容器内ソースターム評価 - 6. ヨウ素化学挙動に関わる格納容器内環境の評価 (その 2) -, " 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 北九州 (2007).
- 42) 玉置等史, "MOX 燃料加工施設の確率論的安全評価 (PSA) 手法", 核燃料サイクル施設におけるリスク情報活用に関するワークショップ, 東京 (2008).
- 43) 吉田一雄, "再処理施設の放出量評価手法 - 日本原子力学会における事故影響評価手法の調査 -, " 核燃料サイクル施設におけるリスク情報活用に関するワークショップ, 東京 (2008).
- 44) 本間俊充, "再処理施設の環境影響評価手法", 核燃料サイクル施設におけるリスク情報活用に関するワークショップ, 東京 (2008).

受託事業報告書：

- 45) 経済産業省特会, 平成 17 年度 MOX 燃料加工施設安全技術調査等 (確率論的安全評価等調査) 調査報告書, 平成 18 年 3 月, 日本原子力研究開発機構.
- 46) (独)原子力安全基盤機構受託報告書, MOX 燃料加工施設 PSA 手順のウラン加工施設 ISA への反映に関する調査, 平成 18 年 2 月, 日本原子力研究開発機構 安全研究センター.
- 47) (独)原子力安全基盤機構受託報告書, 核燃料加工施設での事故評価に関する調査, 平成 18 年 3 月, 日本原子力研究開発機構 安全研究センター.
- 48) (独)原子力安全基盤機構受託報告書, 平成 18 年度核燃料加工施設での事故評価に関する調査, 平成 18 年 12 月, 日本原子力研究開発機構 安全研究センター.
- 49) (独)原子力安全基盤機構受託報告書, 「平成 19 年度 再処理施設の信頼性データに係る情報の整理」, 平成 20 年 2 月, 日本原子力研究開発機構.
- 50) (独)原子力安全基盤機構受託報告書, 「平成 19 年度 核燃料サイクル施設におけるリスク情報活用策の検討」, 平成 20 年 2 月, 日本原子力研究開発機構 安全研究センター.
- 51) (独)原子力安全基盤機構受託報告書, 「平成 17 年度 シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究 (ガス状ヨウ素基礎試験)」, 平成 18 年 3 月, 日本原子力研究開発機構 安全研究センター.

- 52) (独)原子力安全基盤機構受託報告書,「平成 18 年度 シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究(ガス状ヨウ素基礎試験)」,平成 19 年 3 月,日本原子力研究開発機構 安全研究センター.
- 53) (独)原子力安全基盤機構受託報告書,「平成 19 年度 シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究(ガス状ヨウ素基礎試験)」,平成 20 年 3 月,日本原子力研究開発機構 安全研究センター.

#### 委員会報告:

- 54) 村松健,“レベル 2PSA における事故シナリオとソースタームの知見について”,原子力安全委員会安全目標専門部会第 5 回性能目標検討分科会,平成 17 年 5 月 25 日.
- 55) 村松健,“性能目標の指標について—LERF の利点・問題点・代替案—”,原子力安全委員会安全目標専門部会第 6 回性能目標検討分科会,平成 17 年 6 月 24 日.
- 56) 本間俊充,“性能目標指標値と技術的課題の検討”,原子力安全委員会安全目標専門部会第 7 回性能目標検討分科会,平成 17 年 8 月 26 日.
- 57) 村松健,“PSA 結果の国際比較について”,原子力安全委員会安全目標専門部会第 8 回性能目標検討分科会,平成 17 年 10 月 25 日.

#### 【用語解説】

##### 確率論的安全評価 [Probabilistic Safety Assessment]

確率論的安全評価とは、発生する可能性のあるさまざまな事象に対して、その発生の確率を考慮して安全性を評価することである。原子炉の場合、原子力施設等で発生し得るあらゆる事故を対象として、その発生頻度と発生時の影響を定量評価し、その積である「リスク(危険度)」がどれ程小さいかで安全性の度合いを表現する。PSAは、施設・設備の劣化を考慮に入れた安全評価として、海外では、広範に利用されている。(原子力百科事典・ATOMICA より抜粋)

##### 安全目標

安全委員会の中間とりまとめでは、安全規制活動の下で事業者が達成すべき事故による危険性(リスク)の抑制水準を示す定性的目標と具体的水準を示す定量的目標が示された。定量的目標案は、

- 原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによる、施設の敷地境界付近の公衆の個人の平均急性死亡リスクは、年あたり百万分の 1 程度を超えないように抑制されるべきである。
- また、原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによって生じ得るがんによる、施設からある範囲の距離にある公衆の個人の平均死亡リスクは、年あたり百万分の 1 程度を超えないように抑制されるべきである。

##### FMEA (Failure Mode Effect Analysis)手法

ハザード分析のための手法の一つで、個々の部品の故障がシステムに及ぼす影響を調べることで潜在的な異常事象を見つけ出す。

##### 五因子法(Five Factor Formula Analysis)

環境中への放射性物質の放出量を簡易的に求める手法で、放射性物質移行過程を段階区分し、各段階の通過割合を試験データ等を基にある程度保守性を持った係数の積で評価する方法。

##### ベイズ法による機器故障率データ更新

機器故障率を推定する際に、既存の機器に関する運転データが不十分な場合や、類似機器のデータが利用可能な場合などは、頻度論的統計処理からは妥当な故障率を得ることは難しい。このような場合、ベイズ法が有用と考えられる。

ベイズ法は、以下に示すベイズの定理に基づき、観察事象をもって母数の分布を推定する手法である。

$$P(\theta|A) = \frac{P(A|\theta)P(\theta)}{\int_{\theta} P(A|\theta)P(\theta)d\theta}$$

$P(A|\theta)$ は母数がある値 $\theta$ をとるという条件のもとで、Aという事象が得られる条件付確率として与える、ベイズ推定は推定対象の母数 $\theta$ が確率密度関数に従うばらつきを持つものとして扱い、事前分

布  $P(\theta)$  を得られた事象  $A$  の情報を取り入れた事後分布  $P(\theta|A)$  に更新することで推定を行う。類似機器に共通するデータベースから予測される分布を初期の事前分布としてベイズ推定を開始し、以後は検査の都度更新していくことにより、母数の推定精度を高めていくことができる。この場合、事前分布が適切であれば、少ないデータから母数推定を比較的精度よく行うことができる。

(参考資料：酒井、他、「実機検査データによる疲労寿命のベイズ推定」, *J. Soc. Mat. Sci. Japan*, Vol.54, No.3, pp308-313 (2005))

表1 軽水炉シビアアクシデント晩期における実機事故条件

	BWR4/Mark-I	4 ループ大型ドライ PWR*
格納容器圧力[MPa]	0.2~0.3	0.3~0.4
液相温度[°C]	60~90	100~140
液相中の CsI 濃度[mol/dm <sup>3</sup> ]	$1.75 \times 10^{-5} \sim 2.42 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-5}$
液相中の吸収線量[kGy/hr]	5~15	10~25**

\* 全炉心損傷及び RPV 破損の起こった ADC, S2HF,TMLC の結果

\*\* 炉心デブリが存在すると 10~60[kGy/hr]

最終的な事故復旧策として、BWR プラントでは RHR 復旧後の D/W スプレイの作動、PWR プラントでは格納容器内自然対流冷却を想定している。格納容器の圧力及び温度については、事故復旧策の違いにより除熱効果が高い D/W スプレイを作動させる BWR の方が PWR より若干低くなる。液相中の CsI 濃度及び吸収線量については、BWR プラントの方が高くなる。これは、BWR では格納容器内の圧力抑制プールには大量の水が存在しているので、液相中の放射性物質濃度が PWR に比べ低くなるためである。

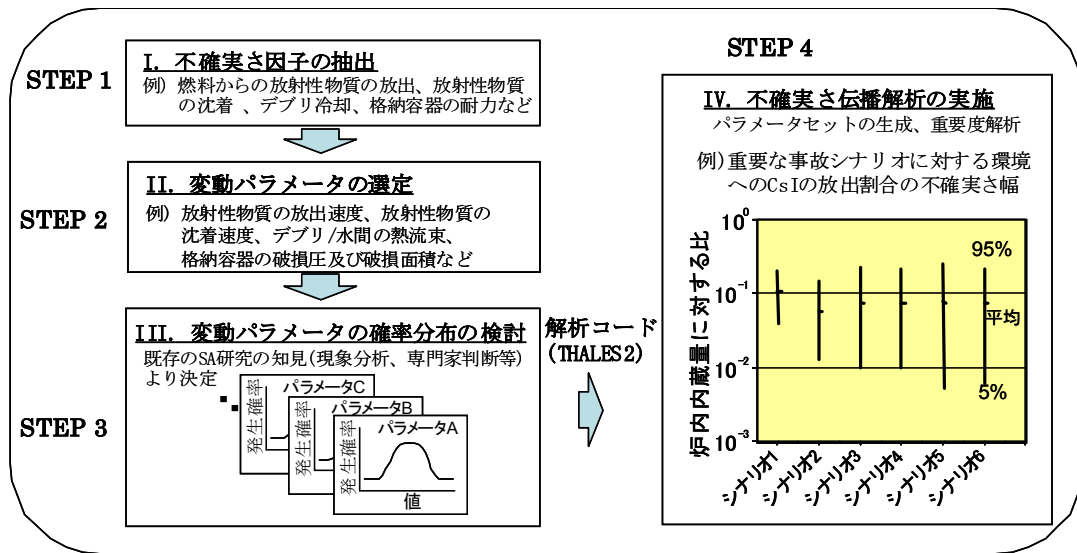
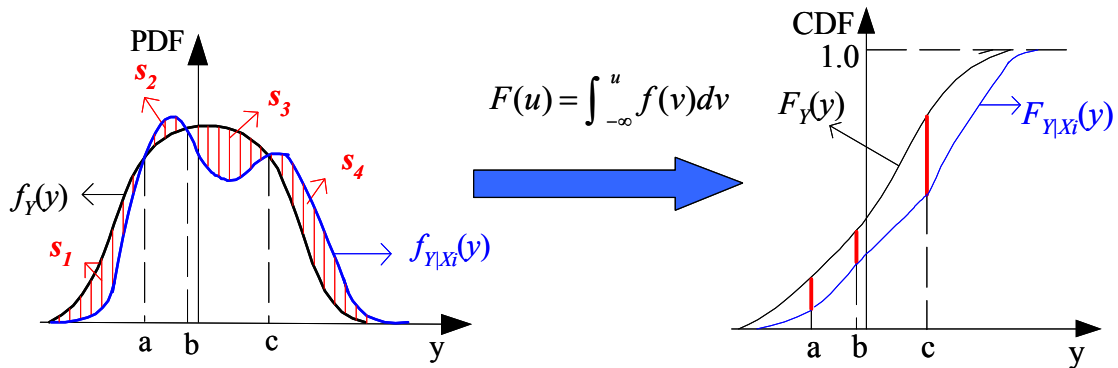


図1 軽水炉プラントに対するソースタームの不確かさ評価手順及び評価例

構築したソースタームの不確かさ評価手順は、4つのステップからなる。ステップIではソースターム評価結果に重要な影響を及ぼす可能性のある不確かさ因子を系統的に抽出し、II.各因子のバラツキを表現できる代表的なパラメータ(変動パラメータ)を選定する。そして、III.現象分析や専門家判断など既存の知見から変動パラメータの確率分布を検討し、IV.モンテカルロ法による不確かさ伝播解析を実施することにより、パラメータの不確かさがソースタームに伝播する不確かさを評価する。本手順をBWR5/Mark-IIプラントへ適用することにより、発生頻度の観点から支配的な格納容器が過圧破損に至る事故シナリオにおいて、環境へのヨウ化セシウム(CsI)の放出の平均値は、初期炉内内蔵量に対し10%程度であり、1~2桁程度の不確かさ幅を持つことが明らかとなった。



(Borgonovo 重要度指標の基本的な考え方)

(提案した新計算手法の基本的な考え方)

図2 Borgonovo 重要度指標及び提案した新計算手法の基本的な考え方

Borgonovo 重要度指標では、全ての入力変数  $\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$  の値が変動する際に得られる出力変数  $Y$  の確率密度分布  $f_Y(y)$  と、変数  $X_i$  だけのある値  $x_i^*$  に固定する際に得られる  $Y$  の条件付き確率密度分布  $f_{Y|X_i}(y)$  間の面積の和  $s(X_i)$  を評価する。新計算手法では、これを対応する累積確率関数  $F_Y(y)$  と  $F_{Y|X_i}(y)$  間の垂直方向の距離で計算できることを示した。



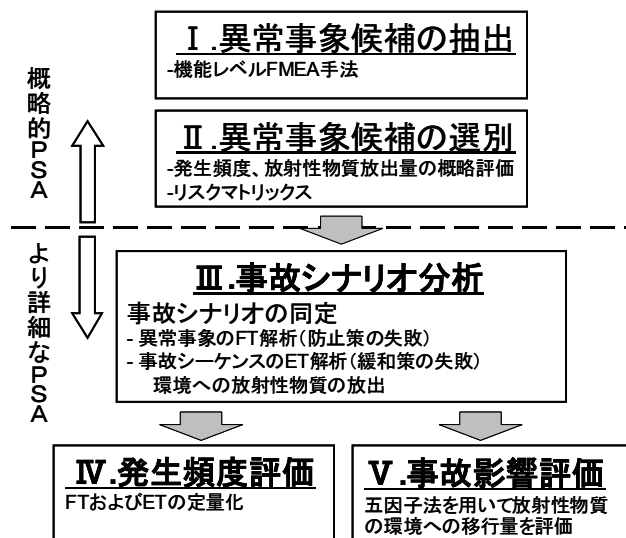


図3 MOX加工施設のPSA実施手順

PSA実施手順は、概略的PSAと詳細なPSAの2段階に分けて実施する。第1段階では、詳細な設備情報を必要としない機能レベルFMEA手法により潜在的な異常事象候補を抽出し、概略的リスク評価からリスク上重要と考えられる異常事象を選別する。第2段階では選別した異常事象を対象にシナリオ分析、発生頻度評価、事故影響評価を実施する。2段階構成とすることで抜け落ちなく、効率的に施設全体のリスクを把握できるようになっている。

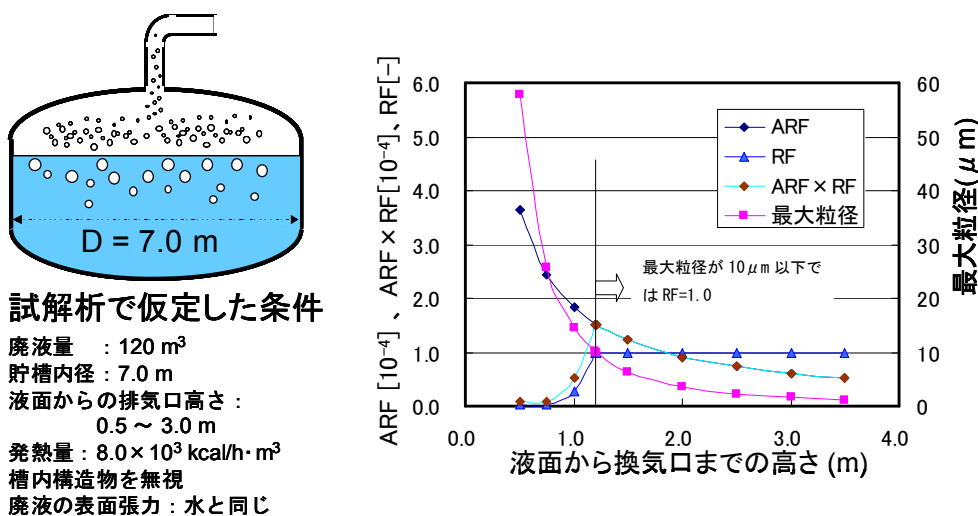


図4 仮想的な廃液貯槽と廃液のエアロゾル移行割合の解析結果

エアロゾルの移行割合は、エアロゾル化する割合 (ARF) と肺に吸入され得る微粒子 (粒径が 10 μm 以下) の割合の積で求める。ARF は飛沫同伴実験式 (Kataoka-Ishii の式) で求め、RF は飛沫粒径分布の実測より求めた。従来の安全評価での推奨値 (2.0 × 10<sup>-3</sup>) が過度に保守的であることが分かる。

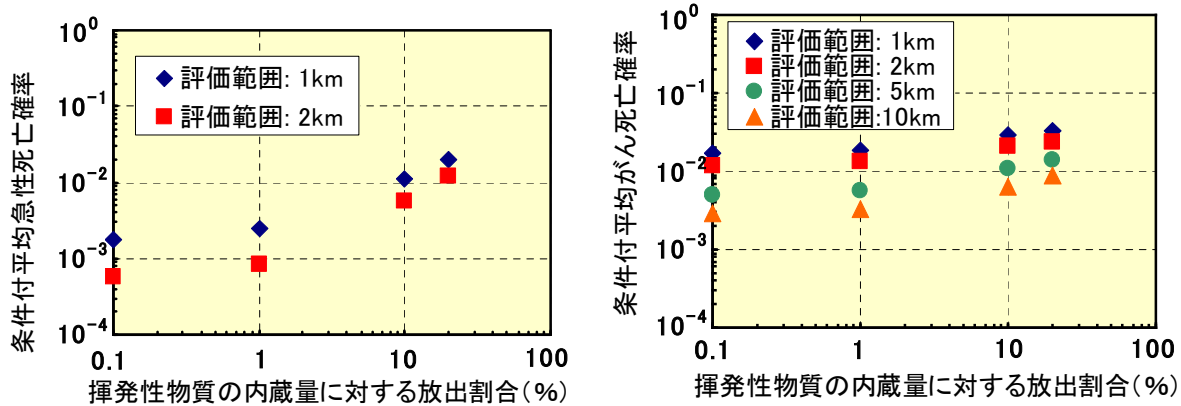


図5 揮発性物質の放出割合に対する条件付平均死亡確率

放射性ヨウ素、セシウム等の揮発性物質の放出割合が20%の大規模放出を仮定した場合、条件付急性死亡確率は敷地境界から1kmの範囲で約 $2 \times 10^{-2}$ 、条件付がん死亡確率は敷地境界から2kmの範囲で約 $3 \times 10^{-2}$ 、5kmの範囲で約 $1 \times 10^{-2}$ となった。この結果にさらに余裕を見込み、条件付死亡確率の上限を $10^{-1}$ として、安全目標案の $10^{-6}$ に対応した格納容器機能喪失頻度の目標値案として年当たり $10^{-5}$ を提示した。

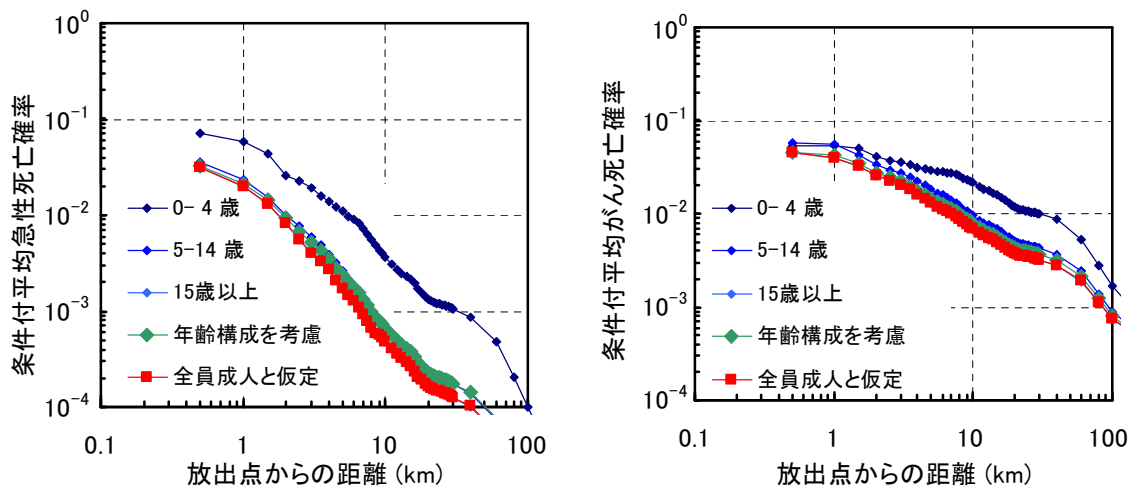
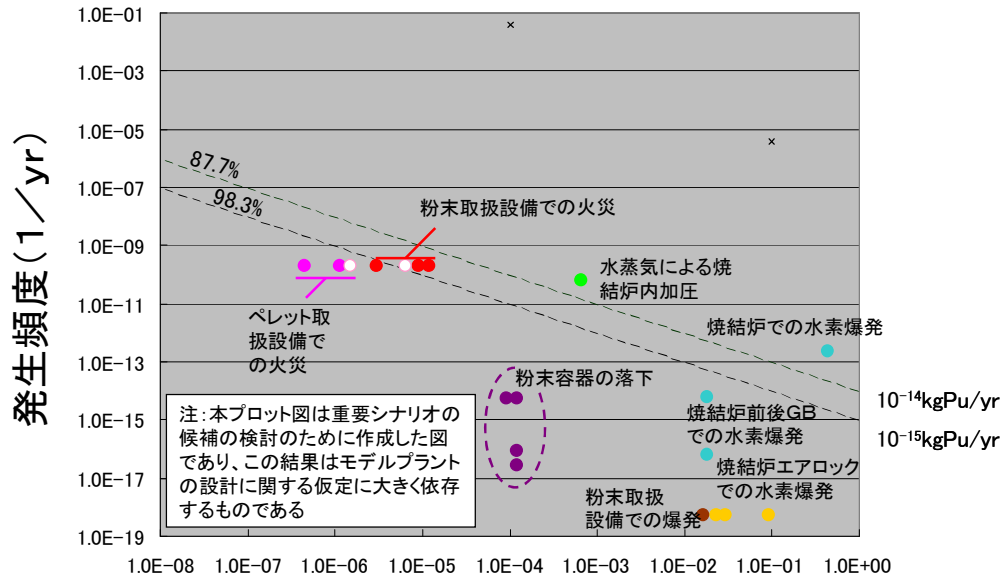


図6 代謝特性等を考慮した場合の条件付平均死亡確率

安全目標が対象とする個人の定義の検討として、年齢による代謝特性等の違いが線量評価に及ぼす影響及び施設周辺公衆の年齢構成を考慮した結果、安全目標への適合性評価あるいは性能目標の導出に当たっては、成人を対象として線量評価を実施しても大きな相違が出ないことを確認した。



## 環境への漏洩量 (kgPu)

図7 モデルプラントのリスクプロファイル

図は、整備した MOX 燃料加工施設の PSA 実施手順に従い、モデルプラントを対象に PSA を実施して得られたリスクプロファイルである。このリスクプロファイルには、各事故シナリオについてリスクの観点で主要な事故シーケンスの発生頻度と放射性物質漏洩量の組合せをプロットして示している。図より、水蒸気による焼結炉内の異常加圧及び焼結炉での水素爆発の事故シナリオが全リスクの主要な部分を占めることが明らかとなった。

メインメニュー

信頼性データ解析支援プロトタイプシステム

**データ一括登録** ユニットデータの一括登録を行います。

**運転データ関連** 運転時間に関する各種データの登録・更新・削除を行います。

**スクリーニング** ユニットデータの検索、選択、運転データ入力、故障率計算、印刷などを行います。

**過去の演算結果** データベースに保存されている演算結果を表示します。

**ベイジアン推定** ベイジアン推定による故障率の補正を行います。

**終了** システムを終了します。

【起動画面】



スクリーニング

スクリーニング(検索)条件を指定してください

条件検索 データベース内のすべてのデータをスクリーニングします

部分検索 条件指定によりデータベース内の一部のデータをスクリーニングします

検索条件

他条件との接続

期間 1995年 年から 2004年 年まで

検索 1995年 01月 01日 から 2003年 11月 10日 まで

機器名称(選択) 1次系多相水循環ポンプ 指定しない

実地区分 指定しない

管理区分 現場コード/原因コード/故障コードのいずれかを条件指定する場合は、まず管理区分を選択してください

原因コード 指定しない

故障コード 指定しない

保全形態コード 指定しない

保全作業コード 指定しない

機器名称 ※ AND OR

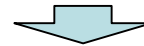
保全名称 ※ AND OR

車送り事項 ※ AND OR

スクリーニング スクリーニングを実行します

戻る メインメニューに戻ります

【検索条件入力】



運転データ入力

運転データを入力してください

スクリーニング対象期間 1995年 05月 20日 から 2004年 04月 07日 まで 156576 Hour

運転期間の時間換算結果 チェック機能 コピー

部分 1995年 11月 22日 から 2003年 11月 10日 まで 148920 Hour

演算対象名 2006/01/31 17:12:28

運転期間 1976年 01月 01日 から 2010年 12月 01日 まで 314932 Hour

任意入力

信頼性データ演算 信頼性データ演算を実行します

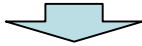
終了

検索結果一覧表示画面に戻ります

運転データ呼出 運転データを表示します

運転データ保存 運転データを保存します

【運転時間の設定】



演算結果

演算日時 2006/01/31 17:12:28

演算対象名 2006/01/31 17:18:54

スクリーニング対象期間

条件	期間	換算時間(h)
全件	1995/05/20 ~ 2004/04/07	156576
部分	1995/11/22 ~ 2003/11/10	148920

運転時間

入力方法 運転期間入力(保続設定)

期間 1995/11/22 ~ 2003/11/10

換算時間(h) 744600.0

保証数 50

換算時間(h) 744600.0

全時間(h) 744600.0

故障時間合計(h) 25762.0

平均故障時間(MTTF(h)) 15627.131

稼働率(ベイジアン) 0.965415091

故障率

平均値の算出方法 故障回数÷0

平均値 6.399e-05

95%確率値 7.899e-05

中央値 6.324e-05

5%確率値 4.760e-05

エラーファクター 1.288e+00

保存 出力 終了

演算結果をデータベースに保存します

演算結果をExcelファイルに出力します

運転データ入力画面に戻ります

【故障率算出】



スクリーニング結果一覧

スクリーニング結果一覧画面

番号	機器名称	巻日	先日	実地区分	原因コード
272P8181	1次系多相水循環ポンプ	2003/03/24	2003/03/25	修理	部品交換
272P8181	1次系多相水循環ポンプ	1997/06/12	1997/06/30	修理	部品交換
272P8181	1次系多相水循環ポンプ	1997/08/24	1997/08/27	修理	部品交換
272P8181	1次系多相水循環ポンプ	1997/08/28	1997/08/29	修理	部品交換
272P8182	1次系多相水循環ポンプ	1984/07/12	1984/07/21	修理	部品交換
272P8182	1次系多相水循環ポンプ	1981/04/03	1981/04/20	修理	部品交換
272P8182	1次系多相水循環ポンプ	1980/08/30	1980/08/30	修理	部品交換
272P8281	1次系多相水循環ポンプ	2001/02/01	2001/02/02	修理	部品交換
272P8281	1次系多相水循環ポンプ	1991/03/05	1991/03/17	修理	部品交換
272P8281	1次系多相水循環ポンプ	1980/08/30	1980/08/30	修理	部品交換
272P8282	1次系多相水循環ポンプ	1991/08/05	1991/11/27	修理	部品交換
272P8282	1次系多相水循環ポンプ	1980/08/30	1980/08/30	修理	部品交換
272P8282	1次系多相水循環ポンプ	1988/12/01	1988/12/01	修理	部品交換
272P8282	1次系多相水循環ポンプ	1986/11/22	1986/11/22	修理	部品交換
272P8381	1次系多相水循環ポンプ	2003/02/05	2003/02/06	修理	部品交換
272P8381	1次系多相水循環ポンプ	1988/11/02	1988/04/22	修理	部品交換
272P8381	1次系多相水循環ポンプ	1988/08/03	1988/08/26	修理	部品交換
272P8381	1次系多相水循環ポンプ	1991/05/24	1991/11/18	修理	部品交換
272P8381	1次系多相水循環ポンプ	1980/08/30	1980/08/30	修理	部品交換
272P8382	1次系多相水循環ポンプ	1988/11/02	1988/11/05	修理	部品交換
272P8382	1次系多相水循環ポンプ	1987/03/07	1987/10/21	修理	部品交換
272P8382	1次系多相水循環ポンプ	1987/08/12	1987/08/24	修理	部品交換
272P8382	1次系多相水循環ポンプ	1987/10/07	1987/10/08	修理	部品交換
272P8382	1次系多相水循環ポンプ	1986/06/26	1986/07/01	修理	部品交換
272P8382	1次系多相水循環ポンプ	1980/08/30	1980/08/30	修理	部品交換
272P8401	1次系多相水循環ポンプ	2000/02/22	2000/03/23	修理	部品交換

選択削除 スクリーニング結果からデータを削除します

削除復活 直前の削除前の状態に戻ります

再検索 再検索を実行します

スクリーニング画面に戻る

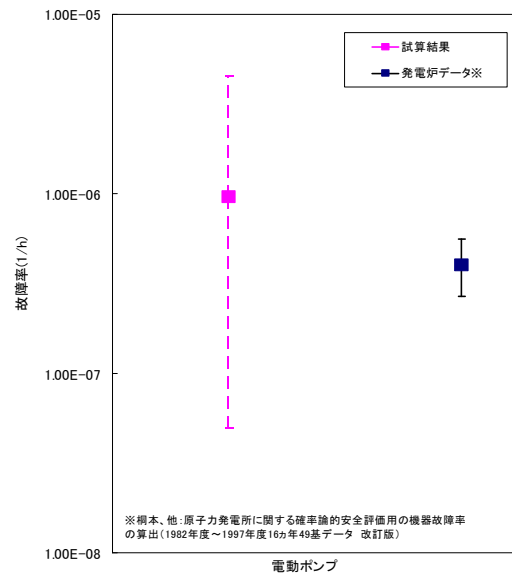
運転データ入力 運転データ入力画面を表示します

詳細表示 詳細データを表示します

印刷 一覧表示内容を印刷します

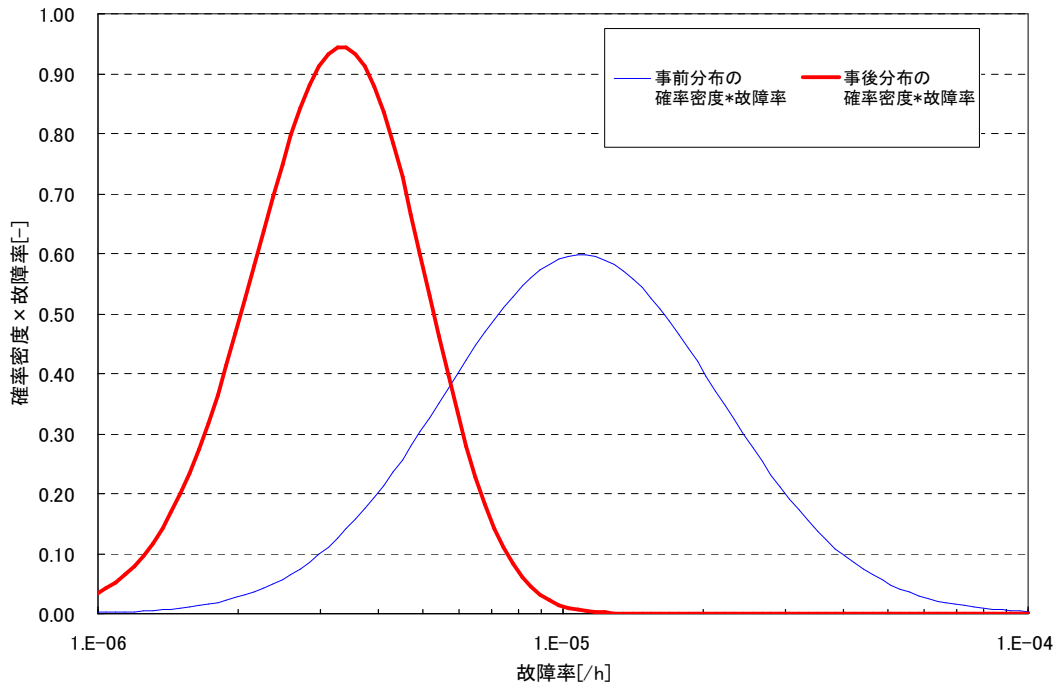
終了 メインメニューに戻ります

【検索結果からの故障の抽出】



【故障率算出結果比較例】

図 8 信頼性データ解析支援システムの概要



出典	機種	故障モード	故障件数	延べ 運転時間 [hr]	故障率			不確かさ 幅 (EF)
					下限値 [1/hr]	点推定値 [1/hr]	上限値 [1/hr]	
計算例	電動ポンプ	継続運転失敗	1	1.04E+06	4.9E-08	9.6E-07	4.5E-06	9.6
事前 分布	PUMPS- ELECTRIC DRIVE※	-	-	-	2.9E-06	1.4E-05	2.7E-05	3.1
事後分布		-				3.5E-06	-	2.0

※A. H. Dexter and W. C. Perkins: "Component failure-rate data with potential applicability to a nuclear-fuel-reprocessing plant", DP-1633, July 1982.

別添 2

図 9 ベイズ手法を用いた機器故障率の更新例

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)

### 【研究分野／項目】

I. 規制システム分野／事故・故障要因等の解析評価技術

【分類番号】 1-2-1

### 【研究課題名(Title)】

事故・故障分析、情報収集  
Analysis of Operating Experience Data

### 【研究代表者】

〔所属〕 安全研究センター  
〔氏名〕 渡辺 憲夫 (わたなべ のりお)  
〔連絡先〕 Tel : 81-5253 E-mail : watanabe.norio@jaea.go.jp

### 【研究目的】

国内外において発生した原子力事故・故障の分析及び海外の規制等に係る情報の収集、分析を行い、教訓や知見を導出する。

### 【研究内容】

- イ. 当該年に報告された OECD/NEA-IAEA の IRS(incident reporting system)情報の内容分析  
各年に IRS に報告された事例情報についてその内容を分析し、その成果を、規制機関や電力会社など関係各機関に配布する (IRS 情報は原則非公開であるため、非公開文書にまとめて関係機関だけに配布することとする)。
- ロ. 当該年に報告された国際原子力事象尺度 (INES) 情報の内容分析とインターネットでの和訳公開  
各年に報告される INES 情報について内容を分析し、その和訳情報をインターネットを介して一般公開する。
- ハ. 原子力施設における事故故障事例の分析調査  
OECD/NEA を介して JNES が入手した非公開の事例情報に関する内容分析を行う共に、米国原子力規制委員会の発行する規制関連文書を収集し、その内容を分析して報告書にまとめる【JNES 受託】。  
この他、特に安全上重要な事象が発生した場合には、それに関する情報収集と分析を優先して行う。

### 【達成目標】

国外の原子力施設で発生した事故・故障に関する情報を収集し、その内容を技術的に分析することにより、安全規制上重要な情報・教訓・知見をまとめる。

### 【成果の活用方策】

事故・故障に関する情報の収集、分析については継続的に実施し、安全規制に適時に対応する。また、分析の結果については、随時関係者に提供する。

### 【使用主要施設】

### 【研究の進め方】

中期計画及び原子力安全委員会が定める「原子力の重点安全研究計画」に沿って、OECD/NEA-IAEA の IRS(incident reporting system)情報及び国際原子力事象尺度 (INES) 情報を中心に原子力施設における事故・故障事例に関する情報を収集・整理し、各事例に関する内容を分析する。

## 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名（実施機関）]

[受託研究名（委託元）]

原子力施設における事故故障事例の分析調査（JNES）

[委託研究名（委託機関）]

## 【研究実施内容及び成果（平成 17～19 年度）】

2005 年から 2007 年の 3 年間に事象報告システム（IRS）に報告された事例 227 件（非公開）（2005 年：63 件、2006 年：82 件、2007 年 82 件）についてその内容分析を実施し、その結果に関する報告書（非公開：IRS 情報が非公開情報であるため）を作成し、原子力安全委員会、原子力安全・保安院、並びに、電力各社に提供した。この中で、特に注目すべき事例として、24 件の事象を取り上げ、それぞれについて、事象の内容、原因、対策等を原情報に沿って詳細にまとめた。

また、2005 年から 2007 年に国際原子力事象尺度（INES）に報告された事例 95 件（2005 年：25 件、2006 年：50 件、2007 年：20 件）について、各事例の内容を分析しその和訳を文科省や安全委員会をはじめ関係各署に送付すると共にインターネット上に公開した。これらの中には、レベル 4 と評価された事例が 1 件（ベルギーの滅菌照射施設での従業員被ばく）、レベル 3 事例が 2 件（英国再処理工場での配管破損とスペインにおける放射線撮影技師の過大被ばく）ある。また、全体的には、放射線撮影技師の被ばくや線源の発見・紛失・盗難といった事例が多く見られる。

さらに、米国原子力規制委員会が発行する規制書簡を収集、分析するとともに、JNES が OECD/NEA を介して入手する事例情報（非公開）に関する内容の分析を行った【JNES 受託】。

この他、米国の加圧水型原子力発電所(PWR)における一次冷却水応力腐食割れ(PWSCC)事例並びに米国の軽水型原子力発電所における安全弁・逃がし安全弁の設定点変動事例に関して、設置者事象報告書(LER)を収集し、内容を分析するとともに、発生箇所や対策などの観点から全体的な傾向を調べ、論文及び公開報告書にまとめた。PWSCC 事例の分析では、図 1 に示すように、損傷機器に着目すると、PWSCC に起因した損傷は特定の機器に生ずる傾向が見られ、特に制御棒駆動機構(CRDM)ノズルや加圧器ヒータスリーブといった高温環境にさらされる機器の損傷事例が多い。一方、ホットレグやその計装ノズルの他、原子炉容器下部ヘッド取付計装(BMI)ノズルのような比較的温度の低いに機器おける損傷も認められている。また、損傷した機器のうち、例えば、CRDM ノズルや熱電対ノズルについては、運転中の温度の高い Babcock & Wilcox (B&W)社製プラントに、また、ヒータスリーブやホットレグ計装ノズルでは Combustion Engineering 社製プラントに多く発生するなど特定の製造元に偏って発生する傾向が見られる。さらに、CRDM ノズルでは B&W 社製のノズル母材に、Westinghouse 社製の溶接材にき裂が集中する傾向が確認できた。以上のことから、不適切な製造過程や材料によって PWSCC の発生が助長されている可能性がある。また、安全弁・逃がし安全弁の設定点変動事例の分析結果から、BWR の逃がし安全弁(SRV)、PWR の加圧器安全弁(PSV)及び主蒸気安全弁(MSSV)について、次のような傾向が認められた：SRV については、パイロット弁のディスクとシートとの間における腐食性固着が原因となって設定点が高い側に変動する傾向が強いと言え、腐食性固着による設定点変動の程度は比較的大きく 10%を超える場合もあることから、過圧防止機能に対して重要な問題と考えられる。一方、設定点が高い側に変動したケースでは、シート漏洩や内部部品の実アライメントなどハードウェア上の問題を原因とする場合の変動範囲は3～5%程度であり、高い側への変動に比べるとその程度は小さい。PSVについては、原因が特定されていないものが多いが、そのほとんどは設定点変動幅が±1～±3%となっている。これに対し、件数は少ないが、バネに問題が生じた場合には設定点が高い側に変動する傾向がある。MSSV については、ディスクとシートとの間における酸化固着あるいは熱膨張による固着が原因となって設定点が高い側に変動する傾向が強いと言える。また、こうした固着が起これると設定点変動の程度が比較的大きく 10%を超える場合もあることから、過圧防止機能に対して重要な問題と考えられる。これらの固着現象に対処するためにディスク材や表面仕上げの変更を行うなどの対策が講じられてきていることから、今後こうした原因による設定点の変動は改善されるものと考えられる。一方、設定点が高い側に変動したケースでは、原因が特定されているケースがさほど多くないため原因に基づく明確な傾向は把握できない。しかし、設定点の低い側への変動は、近年減少傾向にあり、また、その変動幅も比較的小さいという特徴がある。

## 【特記事項】

IRS 及び INES 情報の分析結果については、安全委員会の依頼を受け報告した（四半期ごとに報告：今後も継続する予定）。

## 【研究成果の発表状況】

（掲載論文）

- 1) 高原省五，渡辺憲夫：米国の加圧水型原子力発電所における Alloy 600 製圧力バウンダリ構成機器の一次冷却水応力腐食割れ事例の傾向分析，日本原子力学会和文論文誌 Vol.5, No.4, pp.282-291, (2006).
- 2) 渡辺憲夫：米国の軽水型原子力発電所における安全弁・逃がし安全弁の設定点変動事例の傾向分析，日本原子力学会和文論文誌 Vol.7, No.1, pp.74-84, (2008).
- 3) 渡辺憲夫：原子力発電所の火災事例，日本火災学会誌 Vol.58, No.2, (2008).
- 4) 渡辺憲夫：9.3 原子力事故事例，原子力ハンドブック，オーム社(2008).

（技術報告書）

- 5) 渡辺憲夫，高原省五、米国の加圧水型原子力発電所における Alloy 600 製圧力バウンダリ構成機器の一次冷却水応力腐食割れ事例の分析，JAEA-Review 2006-027, (2006).
- 6) 渡辺憲夫：原子力施設等における事故・故障の分析－東京大学大学院工学系研究科原子力専攻（専門職大学院）講義用テキスト，JAEA-Review 2006-040, (2007).
- 7) 渡辺憲夫：米国の原子力発電所における安全弁／逃がし安全弁の設定点変動事例の分析，JAEA-Review 2007-043, (2007).
- 8) 原子力発電所の事故・故障事例集（その 15）－OECD/NEA-IAEA の事象報告システムに報告委された事例（2005 年報告版）－，日本原子力研究開発機構 安全研究センター，(2006).（非公開報告書）
- 9) 原子力発電所の事故・故障事例集（その 16）－OECD/NEA-IAEA の事象報告システムに報告委された事例（2006 年報告版）－，日本原子力研究開発機構 安全研究センター，(2007).（非公開報告書）
- 10) 原子力発電所の事故・故障事例集（その 17）－OECD/NEA-IAEA の事象報告システムに報告委された事例（2007 年報告版）－，日本原子力研究開発機構 安全研究センター，(2008).（非公開報告書）

（受託事業報告書）

- 11) (独)原子力安全基盤機構受託報告書，原子力施設における事故故障事例の分析調査，平成 18 年 2 月，日本原子力研究開発機構 安全研究センター。
- 12) (独)原子力安全基盤機構受託報告書，原子力施設における事故故障事例の分析調査，平成 19 年 2 月，日本原子力研究開発機構 安全研究センター。
- 13) (独)原子力安全基盤機構受託報告書，原子力施設における事故故障事例の分析調査，平成 20 年 2 月，日本原子力研究開発機構 安全研究センター。

## 【用語解説】



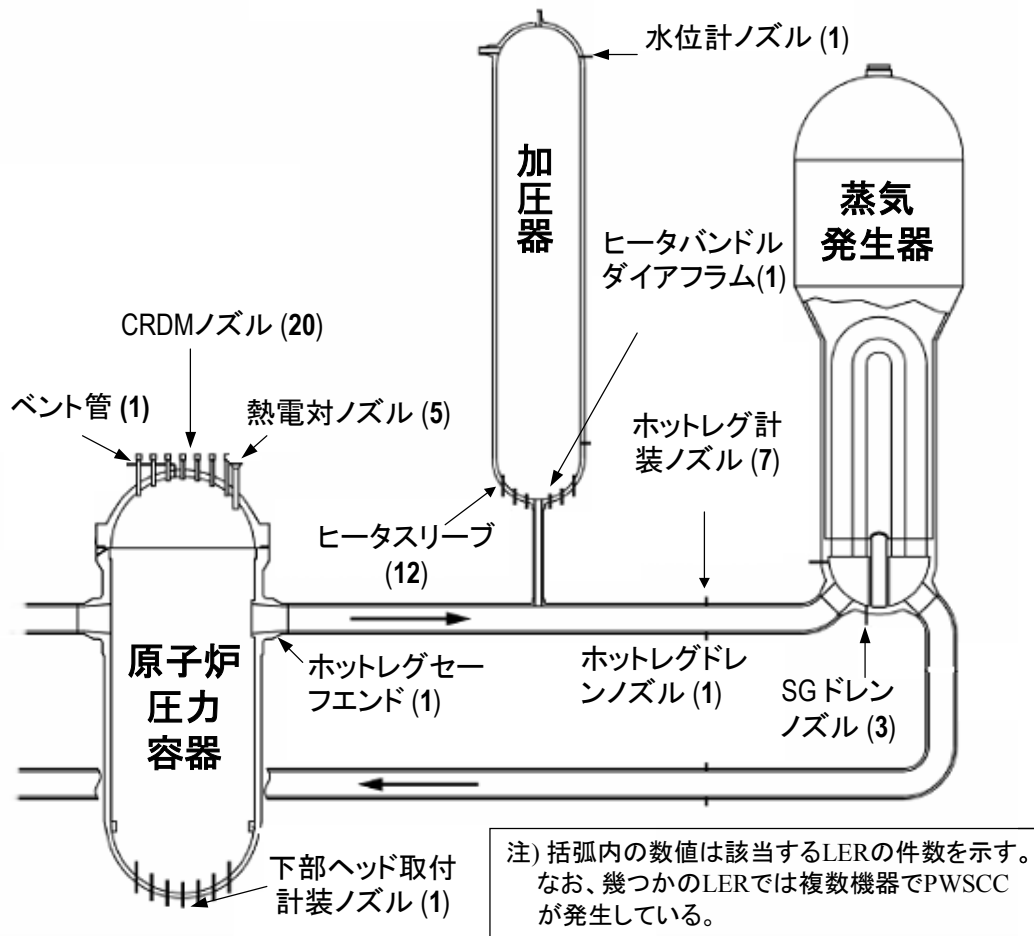


図1 PWSCCが発生した原子炉冷却系圧力バウンダリ機器と該当するLER件数

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度))

### 【研究分野／項目】

Ⅱ. 軽水炉分野／安全評価技術

【分類番号】 2-1-1

### 【研究課題名(Title)】

軽水炉燃料の高燃焼度化に対応した安全評価  
Safety evaluation for high burnup LWR fuel

### 【研究代表者】

〔所属〕 安全研究センター 燃料安全評価研究グループ  
〔氏名〕 更田 豊志（ふけた とよし）  
〔連絡先〕 Tel：81-5277 E-mail：fuketa.toyoshi@jaea.go.jp

〔所属〕 原子力基礎工学研究部門 核設計技術開発グループ  
〔氏名〕 岡嶋 成晃（おかじま しげあき）  
〔連絡先〕 Tel：81-5325 E-mail：okajima.shigeaki@jaea.go.jp

### 【研究目的】

軽水炉燃料の高燃焼度化とプルサーマル利用の本格化に向け、事故時燃料挙動に関するデータベースの拡充と解析手法の高精度化を行い、安全審査のための基準等の高度化に貢献する。

### 【研究内容】

- イ. 高燃焼度燃料特有の現象を解明するための試験及び燃料挙動評価手法の開発
- ロ. 燃料挙動解析コードの開発・検証
- ハ. 事故模擬試験の実施を通じた次段階の高燃焼度化に係る安全審査の判断根拠となる基礎データの取得 【保安院受託】
- ニ. 高燃焼度燃料組織(リム組織)形成のシミュレーション 【文科省受託】
- ホ. 軽水炉 MOX 炉心ドップラー反応度の測定 【JNES 受託】

### 【達成目標】

高燃焼度燃料及び MOX 燃料に関し、反応度事故及び冷却材喪失事故時挙動解明を目指した知見の取得、燃料挙動解析コードの開発、被覆管健全性評価手法の開発などを行う。また、高燃焼度ウラン燃料及び MOX 燃料の安全審査に必要なデータを取得する。

リム組織形成過程解明のために加速器照射実験での基礎データを取得し、計算科学的手法により、リム形成のモデル化を行う。

### 【成果の活用方策】

燃料のさらなる高燃焼度化や MOX 燃料の本格利用が今後 10 年程度の間に見込まれる。本研究の成果は、高燃焼度燃料や MOX 燃料に対する安全審査のための基準等の高度化や、次段階の高燃焼度化等に係る安全審査の判断根拠とすることができる。

### 【使用主要施設】

- ・原子力科学研究所 原子炉安全性研究炉（NSRR）
- ・原子力科学研究所 JRR-3
- ・原子力科学研究所 燃料試験施設
- ・原子力科学研究所 廃棄物安全試験施設（WASTEF）
- ・原子力科学研究所 燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）
- ・原子力科学研究所 タンデム加速器
- ・原子力科学研究所 高速炉臨界実験装置（FCA）
- ・ノルウェー・エネルギー技術研究所 ハルデン炉

## 【研究の進め方】

高燃焼度化やプルサーマル本格導入に対する安全審査や基準の整備にタイムリーに応えるために、産業界の動向を把握しつつ、中期計画及び原子力安全委員会が定める「原子力の重点安全研究計画」に沿って研究を進める。原子炉安全性研究炉 NSRR（研究炉加速器管理部）や燃料試験施設（ホット試験施設管理部）、臨界実験装置 FCA（安全試験施設管理部）等との連携を一層強化する。また、効率的な研究推進やデータベース拡充のため、米国やフランスとの国際協力を進め、経済協力開発機構（OECD）ハルデン原子炉計画や OECD カブリ水ループ計画に参加する。

## 【関連する共同研究、受託研究等】

### 〔共同研究名（実施機関）〕

- 高燃焼度 PWR・A 型燃料の事故時の挙動に関する研究（三菱重工業）
- 高燃焼度 PWR・B 型燃料の事故時の挙動に関する研究（原子燃料工業）

### 〔受託研究名（委託元）〕

- 「平成 17 年度高度化軽水炉燃料安全技術調査」（原子力安全・保安院）
- 「平成 18 年度燃料等安全高度化対策事業」（原子力安全・保安院）
- 「平成 19 年度燃料等安全高度化対策事業」（原子力安全・保安院）
- 「照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング」（文部科学省）
- 「平成 18 年度軽水炉 MOX 炉心ドップラー反応度測定試験計画策定等」（JNES）
- 「平成 19 年度軽水炉 MOX 炉心ドップラー反応度測定試験等」（JNES）

### 〔委託研究名（委託機関）〕

- 発電現場を見据えた加速器照射シミュレーション研究（電中研）
  - 核分裂照射下での高次相互作用による組織化原理の研究（東京大学）
  - 電子顕微鏡観察と照射実験による原子燃料細粒化プロセスに関する研究（九州大学）
- など 5 件の委託研究を実施

反応度事故時燃料挙動については NSRR 実験を、冷却材喪失事故時燃料挙動については高温酸化した被覆管の急冷破断実験を実施し、高燃焼度化やプルサーマル本格導入に対する安全審査や基準の高度化において重要な反応度事故時の燃料破損しきい値、冷却材喪失事故時の燃料破断しきい値などに関するデータを取得した。

### (1) 反応度事故（RIA）時燃料挙動研究

高燃焼度燃料を対象とした NSRR 実験及び燃料試験施設における実験前後の燃料分析を計画通り進めた。その結果、酸化ウラン燃料に関しては、従来のデータの範囲(61MWd/kg)を大幅に超える 77 MWd/kg まで破損限界及び破損時挙動についてデータを取得した<sup>1</sup>。試験対象燃料が比較的厳しい温度条件で照射されたことを考慮すれば、取得したデータの燃焼度範囲は、原子力安全委員会原子炉安全基準専門部会報告「発電用軽水型原子炉施設の反応度投入事象における燃焼の進んだ燃料の取扱いについて」において定義されている破損しきい値の範囲 (<75MWd/kg) を十分に超える燃焼度領域をカバーするものである。また、商用炉照射 MOX 燃料を対象とした初めての水冷却条件下での実験を行い、被覆管変形や FP ガス放出に関するデータ及び破損しきい値に関する知見を取得した。さらに、高温高圧水冷却条件下で世界初の炉内実験データを酸化ウラン及び MOX 燃料について取得した。これらの結果により、同原子炉安全基準専門部会報告に定められている破損しきい値の安全余裕を確認し、同基準の高燃焼度酸化ウラン及び MOX 燃料への適用性を示した。(図 1)

### (2) 冷却材喪失事故（LOCA）時燃料挙動研究

高燃焼度 PWR 及び BWR 燃料被覆管を対象とし LOCA 条件を模擬した急冷破断実験などを燃料試験施設において計画通り実施した。その結果、耐食性改善のために導入されている新型合金被覆管の高温酸化速度や急冷時破断限界に関するデータを初めて取得した<sup>1</sup>。また、調べた燃焼度範囲 (<76GWd/t) において、合金組成の変更を含み高燃焼度化が急冷時の破断限界に著しい影響を与えないことを明らかにし (図 2)、現行規準の高燃焼度燃料への適用性を示した。さらに、高燃焼度化が被覆管の膨れ及び破裂挙動、酸化速度に及ぼす影響を評価した。

<sup>1</sup>原子力安全・保安院からの受託事業「平成 18 年度燃料等安全高度化対策事業」

### (3) 事故時燃料解析コードの開発

燃料挙動解析手法の高度化のため、高燃焼度燃料挙動解析コード FEMAXI をベースとした事故時燃料挙動解析コード RANNS の開発を進めた。ペレット/被覆管機械的相互作用により生じる被覆管内の応力歪み分布や燃料ペレット内の熱応力分布などを計算し、被覆管破損が生じる条件や核分裂 (FP) ガス放出条件などについて NSRR 実験の結果を評価した。(図 3)

### (4) 高燃焼度燃料組織(リム組織)形成のシミュレーション<sup>2</sup>

燃料ペレットに生じる高燃焼度組織形成モデルの検証に必要なデータを取得するために、加速器を用いたセリア及び酸化ウラン試料への高エネルギーイオン照射実験、X線回折による照射済燃料ペレットの結晶格子歪みの評価、第一原理手法を利用した酸化ウランの原子間ポテンシャルの検討、加速分子動力学による酸素の複合クラスター挙動の検討、高フルエンスの繰り返し照射での欠陥クラスターの挙動を探索する分子動力学計算システムの開発、転位動力学によるメゾスコピックモデルの開発を進めた。加速器を用いた照射実験において、リム組織の特徴のひとつである結晶の細粒化を再現した。また、亜粒界形成シミュレーション手法を開発した。

### (5) 軽水炉 MOX 炉心ドップラー反応度の測定

軽水炉 MOX 炉心及び U 炉心の中性子スペクトルを模擬する FCA 炉心体系を選定し試験計画を策定した。基礎データ取得のため U 炉心試験体系を構築し、臨界特性データを取得し解析予測精度を評価した。今後の試験で使用予定の Pu サンプルに対しては、過去 30 年間使用されていないため、その健全性を調査する。その調査を実施するための準備として、サンプルを FCA から検査実施施設まで輸送する容器を選定するとともに、サンプルを輸送容器内に密封固定するための密封収納缶の設計及び輸送容器の設計変更に係る安全解析等を行い、輸送容器の設計変更承認申請を行った。また、同サンプル再被覆作業に備え、再被覆用部材を設計・試作し溶接確認試験を実施した。

## 【特記事項】

### 【研究成果の発表状況】

雑誌掲載論文：

- 1) A. Hidaka, T. Kudo, J. Ishikawa, et al., "Radionuclide Release from Mixed-Oxide Fuel under High Temperature at Elevated Pressure and Influence on Source Terms," J. Nucl. Sci. Technol., 42[5], 451 (2005).
- 2) T. Fuketa, T. Sugiyama, F. Nagase, "Behavior of 60 to 78 MWd/kgU PWR Fuels under Reactivity-Initiated Accident Conditions," J. Nucl. Sci. Technol., 43[9], 1080 (2006).
- 3) F. Nagase, T. Fuketa, "Fracture Behavior of Irradiated Zircaloy-4 Cladding under Simulated LOCA Conditions," J. Nucl. Sci. Technol., 43[9], 1114 (2006).
- 4) M. Suzuki, H. Saitou, T. Fuketa, "RANNS Code Analysis on the Local Mechanical Conditions of Cladding of Cladding of High Burnup Fuel Rods under PCMI in RIA Simulated Experiments in NSRR," J. Nucl. Sci. Technol., 43[9], 1097 (2006).
- 5) Y. Udagawa, F. Nagase, T. Fuketa, "Effect of Cooling History on Cladding Ductility under LOCA Conditions," J. Nucl. Sci. Technol., 43[8], 844 (2006).
- 6) M. Suzuki, T. Fuketa, "Analysis of Pellet-Clad Mechanical Interaction Process of High-burnup PWR Fuel Rods by RANNS Code in Reactivity-Initiated Accident Conditions," Nucl. Technol., 155[9], 282 (2006).
- 7) 杉山, "原子炉の安全を確保せよ -NSRR における原子炉安全性研究-", 伝熱 45, No. 192, 71(2006).
- 8) M. Suzuki, H. Saitou, T. Fuketa, "Analysis on split failure of cladding of high burnup BWR rods in reactivity-initiated accident conditions by RANNS code," Nucl. Eng. Design 236, 128 (2006).
- 9) V. Besson, T. Sugiyama, T. Fuketa, "Clad-to-Coolant Heat Transfer in NSRR Experiments," J. Nucl. Sci. Technol., 44[5], 723 (2007).
- 10) K. Tomiyasu, T. Sugiyama, T. Fuketa, "Influence of Cladding-Peripheral Hydride on Mechanical Fuel Failure under Reactivity-Initiated Accident Conditions," J. Nucl. Sci. Technol., 44[5], 733 (2007).

<sup>2</sup> 文部科学省からの受託事業「照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング」

- 11) Y. Udagawa, M. Suzuki, T. Fuketa, "Analysis of MOX Fuel Behavior in Halden Reactor by FEMAXI-6 Code," J. Nucl. Sci. Technol., 44[8], 1070 (2007).
- 12) T. Kudo, M. Kida, T. Nakamura, et al., "Release of Cesium and Poorly Volatile Elements from UO<sub>2</sub> and MOX Fuels under Severe Accident Condition," J. Nucl. Sci. Technol., 44[11], 1421 (2007).
- 13) T. Kudo, M. Kida, T. Nakamura, et al., "Effects of Fuel Oxidation and Dissolution on Volatile Fission Product Release under Severe Accident Conditions," J. Nucl. Sci. Technol., 44[11], 1428 (2007).
- 14) M. Amaya, J. Nakamura, T. Fuketa, "Measurements on Crystal Lattice Strain and Crystallite Size in Irradiated UO<sub>2</sub> pellet by X-ray Diffractometry" J. Nucl. Sci. Technol., 45[3], 244 (2008).
- 15) M. Amaya, T. Sugiyama, F. Nagase, et al., "Fission Gas Release in BWR Fuel with a Burnup of 56 GWd/t during Simulated Reactivity Initiated Accident (RIA) Condition," J. Nucl. Sci. Technol., 45[5], 423 (2008).

#### 技術報告書：

- 16) 富安, 杉山, 中村(武), 更田, "反応度事故条件下における PCMI 破損の駆動力および破損限界に及ぼす被覆管水素脆化の影響," JAERI-Research 2005-022, (2005).
- 17) T. Fuketa, "Summary of Fuel Safety Research Meeting," JAEA-Review 2006-004, (2006).
- 18) V. Besson, T. Sugiyama, T. Fuketa, "Study on Transient Temperature Measurement at Fuel Clad Surface in NSRR Experiments," JAEA-Research 2007-03, (2007).

#### 国際会議：

- 19) T. Fuketa, F. Nagase, T. Sugiyama, "RIA- and LOCA-simulating Experiments on High Burnup LWR Fuels," Proc. of IAEA Technical Meeting on Fuel Behaviour Modeling under Normal, Transient and Accident Conditions, and High Burnup, Kendal, U.K., September, 2005, (2005).
- 20) T. Kudo, A. Hidaka, T. Fuketa., "VEGA: An Experimental Study of Radionuclides Release from Fuel under Severe Accident Conditions," Proc. of 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting, Kyoto, Japan, October 2-6, 2005, p.883 (2005).
- 21) T. Fuketa, T. Sugiyama, H. Sasajima, et al., "NSRR RIA-simulating Experiments on High Burnup LWR Fuels," Proc. of 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting, Kyoto, Japan, October 2-6, 2005, p.633 (2005).
- 22) F. Nagase, T. Fuketa, "Embrittlement and Fracture Behavior of Pre-hydrated Cladding under LOCA Conditions," 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting, Kyoto, Japan, October 2-6, 2005, p.668 (2005).
- 23) M. Suzuki, H. Saitou, T. Fuketa, "RANNS Code Analysis on the Local Mechanical Conditions of Cladding of High Burnup Fuel Rods under PCMI in RIA-Simulated Experiments in NSRR," 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting, Kyoto, Japan, October 2-6, 2005, p.579 (2005).
- 24) T. Sugiyama, F. Nagase, T. Fuketa, "Modification of Ring Tensile Test for LWR Fuel Cladding," 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting, Kyoto, Japan, October 2-6, 2005, p.912 (2005).
- 25) T. Nakamura, T. Fuketa, F. Nagase, et al., "Behavior of High Burnup fuels under RIA and LOCA Conditions," Proc. of 2005 Enlarged Halden Programme Group Meeting, Lillehammer, Norway, October, 2005, (2005).
- 26) M. Kida, T. Kudo, T. Nakamura, et al., "Radionuclide Release from UO<sub>2</sub> and MOX Fuel under Severe Accident Conditions," Proc. of the 2005 Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management, Tokyo, Japan, March 14-16, 2006, CD-ROM (2006).
- 27) T. Kudo, T. Nakamura, M. Kida, et al., "Enhancement of Cesium Release from Fuel due to Fuel Oxidation and Dissolution under Severe Accident Conditions," Proc. of the 2005 Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management, Tokyo, Japan, March 14-16, 2006, CD-ROM (2006).
- 28) T. Fuketa, T. Sugiyama, M. Umeda, et al., "Behavior of High Burnup PWR fuels during Simulated Reactivity-Initiated Accident Condition," Proc. TOPFUEL 2006, Salamanca, Spain, October, 2006, CD-ROM (2006).
- 29) Y. Udagawa, M. Suzuki, T. Sugiyama, et al., "Development of Two Dimensional Mechanical

- Model to Analyze Pellet/Cladding Interaction during a Reactivity-Initiated Accident,” Proc. 2007 Enlarged Halden Programme Group Meeting, Storefjell, Norway, March, 2007, CD-ROM (2007).
- 30) T. Suzuki, M. Umeda, “Development of High Temperature Capsule for RIA-simulating Experiment with High Burnup Fuel,” Proc. Research Reactor Fuel Management (RRFM)/ International Group Operating Research Reactors (IGORR), Lyon, France, March 11-15, 2007, (2007).
  - 31) Y. Muramatsu, Y. Udagawa, “Instrumentation Techniques in NSRR Experiments,” Proc. IAEA Technical Meeting on Fuel Rod instrumentation and In-Pile Measurement Techniques, Halden, Norway, 3-5 September, 2007, (2007).
  - 32) T. Fuketa, T. Sugiyama, F. Nagase, et al., “JAEA Studies on High Burnup Fuel Behaviors during Reactivity-Initiated Accident and Loss-of-Coolant Accident,” Proc. 2007 International LWR Fuel Performance Meeting, San Francisco, California, September 30 – October 3, 2007, Paper 1052 (2007).
  - 33) M. Petit, V. Georgenthum, T. Sugiyama, et al., “A Comparative Analysis of CABRI CIP0-1 and NSRR VA-2 Reactivity Initiated Accident tests,” Eurosafe 2007, Berlin, Germany, November 5-6, 2007 (2007).
  - 34) T. Sugiyama, M. Umeda, T. Fuketa, H. et al., “Failure of high burnup fuels under reactivity-initiated accident conditions,” Proc. International Conference on the Physics of Reactors (PHYSOR 2008), Interlaken, Switzerland, September 14-19, 2008.
  - 35) F. Nagase, T. Chuto, T. Fuketa, “Behavior of 66 to 77 MWd/kg fuel cladding under LOCA conditions,” Proc. PHYSOR 2008, Interlaken, Switzerland, September 14-19, 2008.
  - 36) T. Sugiyama, Y. Udagawa, M. Umeda et al., “PWR Fuel Behavior in RIA-simulating Experiment at High Temperature,” Proc. 2008 Water Reactor Fuel Performance Meeting (WRFPM), Seoul, Korea, October 19~23, 2008.
  - 37) V. Georgenthum, T. Sugiyama, Y. Udagawa, “Fracture Mechanics Approach for Failure Mode Analysis in CABRI and NSRR RIA Tests,” Proc. WRFPM 2008, Seoul, Korea, October 19~23, 2008.
  - 38) Y. Udagawa, T. Sugiyama, M. Suzuki, et al., “Cladding Stress Biaxiality in Reactivity Initiated Accident Conditions,” Proc. WRFPM 2008, Seoul, Korea, October 19~23, 2008.
  - 39) F. Nagase, T. Chuto, T. Fuketa, “Fracture resistance of high burnup PWR fuel cladding under simulated LOCA conditions,” Proc. WRFPM 2008, Seoul, Korea, October 19~23, 2008.
  - 40) T. Chuto, F. Nagase, T. Fuketa, “High temperature oxidation of Nb-containing Zr alloy cladding in LOCA conditions,” Proc. WRFPM 2008, Seoul, Korea, October 19~23, 2008.
  - 41) F. Toyoshi, F. Nagase, T. Sugiyama, “Progress in Fuel Safety Research at JAEA,” Proc. 16<sup>th</sup> Pacific Basin Nuclear Conference, Aomori, Japan, October, 2008.

口頭発表：

- 42) 天谷, 杉山, 栃尾, 他, “反応度投入事象下での高温ガス炉燃料の挙動 (1) 予備検討”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, 2005 年 9 月, (2005).
- 43) 富安, 杉山, 笹島, 他, “改良被覆管を備えた高燃焼度 PWR 燃料の反応度事故模擬実験 (第 3 報)”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, 2005 年 9 月, (2005).
- 44) 杉山, 笹島, 池畑, 他, “燃焼度 78 GWd/tU の PWR 燃料を用いた反応度事故模擬実験”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, 2005 年 9 月, (2005).
- 45) 永瀬, “模擬 LOCA 条件下におけるジルカロイ-4 被覆管の耐熱衝撃性に及ぼす水素添加の影響”, 日本原子力学会 核燃料部会 第 20 回核燃料・夏期セミナー 山形県飽海群遊佐町, (2005).
- 46) 更田, “原研における燃料安全研究の取り組み”, 日本原子力学会 核燃料部会 第 20 回核燃料・夏期セミナー 山形県飽海群遊佐町, (2005).
- 47) T. Fuketa, “Fuel Safety Research at JAEA,” Fuel Safety Research Meeting, Kyoto, Japan, October 7, 2005 (2005).
- 48) T. Sugiyama, “High Burnup Fuel Behavior under RIA Conditions,” Fuel Safety Research Meeting, Kyoto, Japan, October 7, 2005 (2005).
- 49) F. Nagase, “Recent Results on High Burnup Fuel Behavior under LOCA Conditions,” Fuel Safety Research Meeting, Kyoto, Japan, October 7, 2005 (2005).
- 50) M. Suzuki, “Development of RANNS code for analysis of high burnup fuel behavior in accident conditions,” Fuel Safety Research Meeting, Kyoto, Japan, October 7, 2005 (2005).

- 51) J. Nakamura, "High burnup MOX fuel irradiation test," Fuel Safety Research Meeting, Kyoto, Japan, October 7, 2005 (2005).
- 52) M. Suzuki, "Development of RANNS code for analysis of high burnup fuel behavior in accident conditions," Fuel Safety Research Meeting, Kyoto, Japan, October 7, 2005 (2005).
- 53) 笹島, 中村, 中頭, 他, "反応度事故時の高燃焼度 PWR 燃料からの PF ガス放出", 日本原子力学会 2006 年春の年会, 2006 年 3 月, (2006).
- 54) 杉山, 永瀬, 更田, 他, "改良リング引張試験結果に基づく被覆管機械特性の評価", 日本原子力学会 2006 年春の年会, 2006 年 3 月, (2006).
- 55) 島田, 中頭, 永瀬, 他, "き裂の発生及び進展に及ぼす析出水素化物の影響", 日本原子力学会 2006 年春の年会, 2006 年 3 月, (2006).
- 56) 中村(仁), 中村(武), 細山田, 他, "BWR 出力振動時の燃料挙動", 日本原子力学会 2006 年春の年会, 2006 年 3 月, (2006).
- 57) T. Fuekta, "Fuel Safety Research at JAEA," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, April 20-21, 2006, (2006).
- 58) T. Nakamura, "Irradiation Test Plan for Extended Use of LWR Fuels," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, April 20-21, 2006, (2006).
- 59) F. Nagase, "Results from Recent LOCA Tests at JAEA," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, April 20-21, 2006, (2006).
- 60) T. Sugiyama, "Results from Recent RIA Tests with High Burnup Fuels," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, April 20-21, 2006, (2006).
- 61) M. Suzuki, "Development of RANNS Code: A Trial for Failure Prediction," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, April 20-21, 2006, (2006).
- 62) Y. Udagawa, "Analysis of High Burnup BWR Fuel Experiments with RANNS Code," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, April 20-21, 2006, (2006).
- 63) A. Ohta, "Development of Irradiated Cladding Stress-Strain Model for LWR Fuel Analysis Code," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, April 20-21, 2006, (2006).
- 64) E. Hamanishi, "True-stress vs. true-strain analysis with results from ring tensile test," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, April 20-21, 2006, (2006).
- 65) F. Nagase, "Results from LOCA studies at JAEA," OECD/NEA/CSNI/SEGFSM Ad-hoc Meeting on Status of LOCA Tests for Burn-up Dependent LOCA Criteria, Paris, France, June, 2006, (2006).
- 66) 更田, "MOX 燃料の安全研究", 日本原子力学会 核燃料部会 第 21 回核燃料・夏期セミナー, 阿蘇, (2006).
- 67) 杉山, 富安, 笹島, 他, "反応事故条件下における高燃焼度 PWR 燃料の挙動 (1) 出力過渡時の被覆管変形及び FP ガス放出", 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 2006 年 9 月, (2006).
- 68) 宇田川, 鈴木, 杉山, 他, "反応事故条件下における高燃焼度 PWR 燃料の挙動 (2) RANNS コードによる被覆管変形挙動解析", 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 2006 年 9 月, (2006).
- 69) 梅田, 杉山, 富安, 他, "反応事故条件下における高燃焼度 PWR 燃料の挙動 (3) PCMI 破損しきい値", 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 2006 年 9 月, (2006).
- 70) 富安, 杉山, 更田, 他, "反応度事故時における高燃焼度 PWR 燃料の挙動 (4) 被覆管における亀裂の進展過程", 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 2006 年 9 月, (2006).
- 71) 中村, 天谷, 本田, 他, "新クロスオーバー研究「照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング」(その 6) 実燃料の照射後歪の観察", 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 2006 年 9 月, (2006).
- 72) 永瀬, 更田, "LOCA 条件下における燃料棒-グリッド間相互作用", 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 2006 年 9 月, (2006).
- 73) M. Suzuki, "Safety Research on High Burnup LWR Fuel in JAEA," AESJ-KNS Joint Seminar on Nuclear Materials and Fuel, Gyeong-Ju, Korea, November, 2006, (2006).
- 74) T. Sugiyama, "RIA study at JAEA," CABRI Seminar, Aix-en-Provence, France, January, 2007, (2007).
- 75) 鈴木, 更田, "パルス照射された高燃焼度燃料ペレットに発生する熱応力の解析", 日本原子力学会 2007 年春の学会, 2007 年 3 月, (2007).
- 76) T. Fuekta, "Fuel Safety Research at JAEA," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
- 77) T. Sugiyama, "PCMI failure of high burnup fuels under RIA conditions," Fuel Safety

- Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
- 78) M. Umeda, "MOX fuel behavior during RIA," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 79) M. Suzuki, "Analysis of thermal stress in high burnup fuel pellet during NSRR experiment," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 80) Y. Udagawa, "Stress intensity factor at the tip of cladding incipient crack under RIA conditions," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 81) H. Sasajima, "Fission Gas Release from High Burnup PWR and BWR Fuels under RIA Conditions," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 82) T. Sugiyama, "NSRR high temperature test," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 83) F. Nagase, "Behavior of high burnup fuel cladding under simulated LOCA conditions," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 84) M. Suzuki, "Present stage of development of high burnup fuel analysis code FEMAXI-6," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 85) J. Nakamura, "Strain of crystal lattice in irradiated fuel," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 86) T. Kudo, "Results from VEGA program on radionuclide release from fuel under severe accident condition," Fuel Safety Research Meeting, Tokai, Japan, May 16-17, 2007, (2007).
  - 87) T. Kudo, "Radionuclide Release from Fuel under Severe Accident Conditions," KNS and AESJ Joint Summer School 2007 for Students and Young Researchers, Seoul, Korea, Aug. 27-30, (2007).
  - 88) 更田, 杉山, 永瀬, "反応度事故時における高燃焼度燃料の挙動 ; (1)日本原子力研究開発機構における研究", 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 2007 年 9 月, (2007).
  - 89) 杉山, 梅田, 笹島, 他, "反応度事故時における高燃焼度燃料の挙動 ; (2)被覆管における水素化物析出状態が PCMI 破損に及ぼす影響", 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 2007 年 9 月, (2007).
  - 90) 梅田, 杉山, 笹島, 他, "反応度事故時における高燃焼度燃料の挙動 ; (3)NSRR における軽水炉照射 MOX 燃料実験", 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 2007 年 9 月, (2007).
  - 91) 宇田川, 鈴木, 杉山, 他, "反応度事故時における高燃焼度燃料の挙動 ; (4)被覆管初き裂先端の応力拡大係数", 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 2007 年 9 月, (2007).
  - 92) 中村, 天谷, 宇田川, 他, "高燃焼度 BWR-MOX 及び UO<sub>2</sub> 燃料の照射挙動評価", 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 2007 年 9 月, (2007).
  - 93) 永瀬, 中頭, 更田, "改良合金を備えた高燃焼度 PWR 燃料被覆管の LOCA 時挙動", 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 2007 年 9 月, (2007).
  - 94) M. Umeda, T. Sugiyama, T. Fuketa, et al., "Behavior of Coated Fuel Particle of High Temperature Gas-cooled Reactor under Reactivity Initiated Accident Condition," Workshop on Advanced Reactors With Innovative Fuels (ARWIF), Fukui, Japan, Feb. 20-22, 2008, (2008).
  - 95) 本田, 小野澤, 更田, 他, "反射電子像の画像解析による照射済被覆管の水素濃度測定", 日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008 年 3 月, (2008).
  - 96) 鈴木, 更田, 齋藤, "FEMAXI-6 コードにおける FP ガスバブル成長計算への速度論モデル適用の試み", 日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008 年 3 月, (2008).
  - 97) 中頭, 永瀬, 更田, "M5 被覆管の高温酸化におよぼす水素の影響", 日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008 年 3 月, (2008).
  - 98) M. Umeda, S. Ueta, T. Sugiyama, "Behavior of HTGR Particle Fuel under Reactivity Initiated Accident Condition", ANS Nuclear Fuels and Structural Materials for the Next Generation Nuclear Reactor (NFSM), Anaheim, California, USA, Jun. 8-12, 2008, (2008).
  - 99) 更田, 永瀬, 杉山, 他, "反応度事故及び冷却材喪失事故条件下における高燃焼度燃料の挙動(1) 研究計画の概要" 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月, (2008).
  - 100) 杉山, 笹島, 永瀬, 他, "同 (2)RIA 時の PCMI 破損," 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月, (2008).
  - 101) 宇田川, 杉山, 更田, 他, "同 (3)RIA 時燃料挙動に対する冷却材温度の影響," 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月, (2008).
  - 102) 梅田, 杉山, 永瀬, 他, "同 (4)RIA 時の MOX 挙動," 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月, (2008).



- 103) 鈴木、杉山、永瀬、他、”同 (5)RANNS コードによる RIA 時燃料破損条件の解析,” 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月, (2008).
- 104) 永瀬、中頭、畠山、他、”同 (6)LOCA 時の燃料棒破断条件,” 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月, (2008).
- 105) 中頭、永瀬、小野、他、”同 (7)LOCA 時の被覆管酸化挙動,” 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月, (2008).
- 106) 井勝、中頭、永瀬、他、”水素化物偏在被覆管の拡管試験,” 日本原子力学会 2008 年秋の大会, 2008 年 9 月, (2008).

#### 受託事業報告書：

- 107) 原子力安全・保安院受託事業「平成 17 年度 高度化軽水炉燃料安全技術調査」報告書、原子力機構、平成 18 年 3 月.
- 108) 原子力安全・保安院受託事業「平成 18 年度 燃料等安全高度化対策事業」報告書、原子力機構、平成 19 年 3 月.
- 109) 原子力安全・保安院受託事業「平成 19 年度 燃料等安全高度化対策事業」報告書、原子力機構、平成 20 年 3 月.
- 110) 文部科学省受託事業「平成 17 年度 照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング」報告書、原子力機構、平成 18 年 3 月
- 111) 文部科学省受託事業「平成 18 年度 照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング」報告書、原子力機構、平成 19 年 3 月
- 112) 文部科学省受託事業「平成 19 年度 照射・高線量領域の材料挙動制御のための新しいエンジニアリング」報告書、原子力機構、平成 20 年 3 月.
- 113) JNES 受託事業「平成 18 年度軽水炉 MOX 炉心ドップラー反応度測定試験計画策定等に関する報告書」、原子力機構、平成 19 年 2 月.

#### 【用語解説】

##### 燃料ペレット/被覆管機械的相互作用 (PCMI)

燃料ペレットの膨張により、被覆管を内側から押し上げる機械的な作用を PCMI と呼ぶ。反応度事故条件では、燃焼の進行に伴う水素吸収などによって被覆管の延性が著しく低下している場合には、極めて早い段階で被覆管に長い縦割れなどを生じる PCMI 破損に至る。

##### Zr-Nb 二元系被覆管

具体的には AREVA 社製 M5 被覆管のことであり、耐食性が高く我が国においても近い将来の実用化が予想される。また、国内においても高燃焼度化を達成するために Zr-Nb 二元系合金を用いた改良被覆管の開発が進められている。

図表

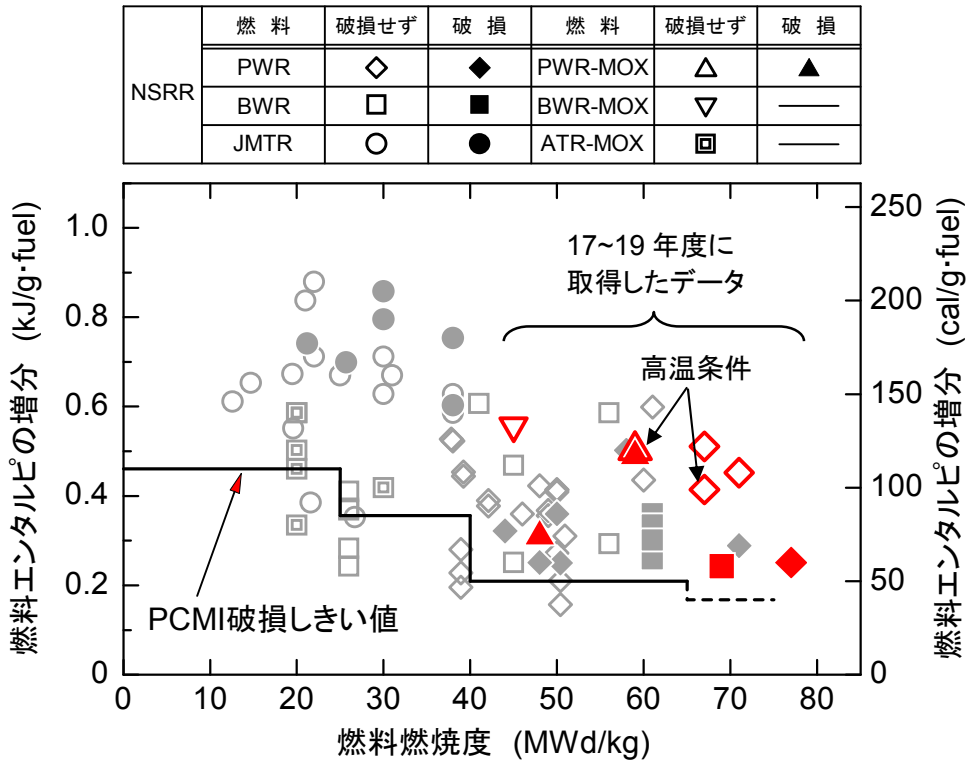


図1 反応度事故(RIA)時の燃料破損しきい値に関するデータ拡充

高燃焼度  $UO_2$  及び MOX 燃料を対象とした NSRR 実験を 9 回実施し、高燃焼度域における燃料挙動及び PCMI(ペレット/被覆管機械的相互作用)破損しきい値に関するデータを拡充した。また、このうち 2 回の実験は高温冷却水条件で実施しており、高温時の被覆管変形及び FP ガス放出に関するデータを取得した。これらの結果により、現行の安全評価基準が高燃焼度 MOX 燃料及びより燃焼の高い酸化ウラン燃料に対しても適切な安全余裕を有することを確認した。

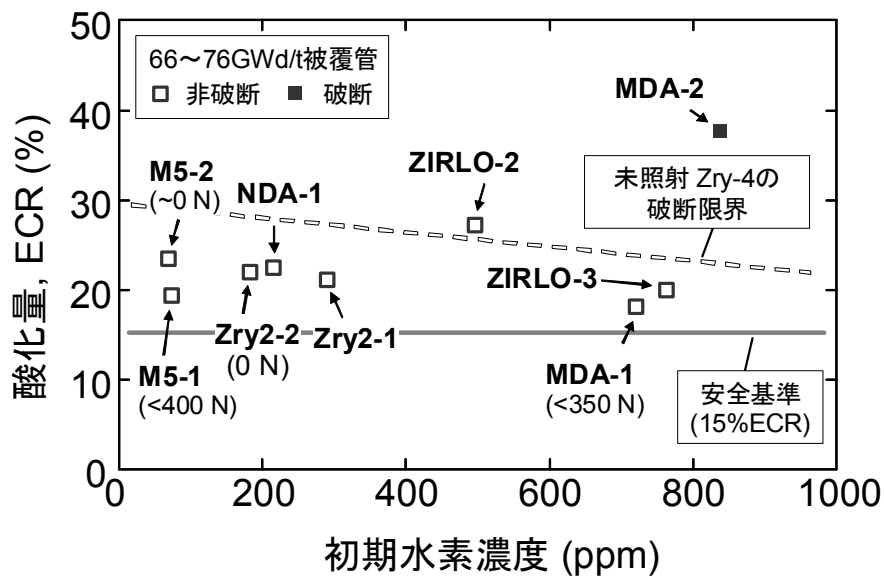


図2 冷却材喪失事故(LOCA)時の被覆管破断しきい値に関するデータ拡充

高い燃焼度まで照射しLOCA時の被覆管脆化に大きな影響を及ぼす水素吸収量が多くなった燃料被覆管に対する高温酸化・急冷破断試験の結果。基準値を超える17～28%まで酸化を与え急冷させた場合にも高燃焼度燃料被覆管が破断することはなかった。高燃焼度化によっても破断限界が著しく低下することはなく、また現在の安全基準が高燃焼度燃料に対しても適用できることを示している。

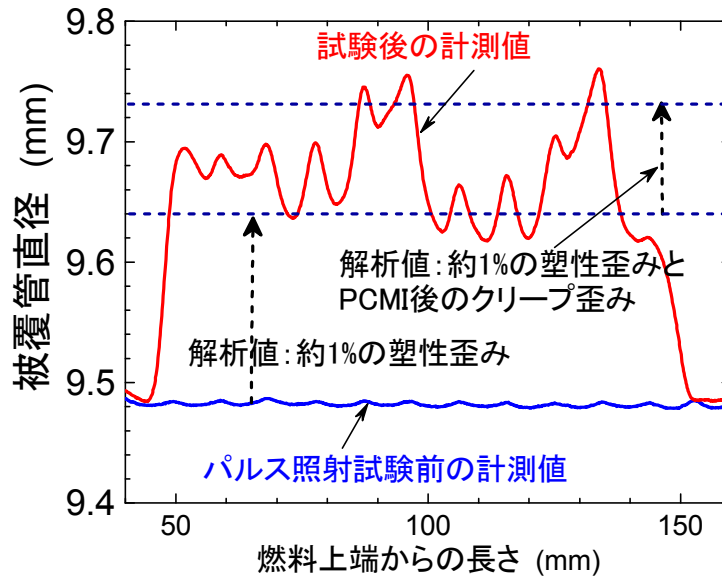


図3 RANNSコードを用いた高燃焼度PWR燃料の反応度事故模擬実験解析の例

パルス照射によりペレットは急速発熱して体積が膨張し、被覆管を押し広げ、PCMIが生じる。このPCMIにより被覆管は変形し、塑性歪みとクリープ歪みが生じる。図は、被覆管の変形量の実測値が解析値（破線）によってよく表現されることを示している。

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)）

### 【研究分野／項目】

Ⅱ．軽水炉分野／安全評価技術

【分類番号】 2-1-2

### 【研究課題名(Title)】

出力増強等の軽水炉利用の高度化に関する安全評価技術

Research on Safety Evaluation Methods Necessary for Advanced Utilization of Light Water Reactors

### 【研究代表者】

〔所属〕 安全研究センター 熱水力安全評価研究グループ

〔氏名〕 中村 秀夫（なかむら ひでお）

〔連絡先〕 Tel : 81-5263 E-mail : nakamura.hideo@jaea.go.jp

### 【研究目的】

合理的な規制に資するため、安全余裕のより高精度な定量評価が可能な最適評価手法を開発する。特に、3次元二相流や流動と構造の相互作用、ならびに核熱の連成を含む炉心熱伝達など、複合的な熱水力現象のモデル化を図り、必要なデータを取得する。シビアアクシデントに関しては、リスク上重要な現象のソースターム評価の不確かさを低減を図る。

### 【研究内容】

イ．熱水力最適評価手法の開発

最適評価手法の開発に必要なデータを取得するため、多次元流体挙動や非定常現象、核熱の連成、流動と構造の相互作用、照射下の熱伝達などに着目して、大型非定常試験装置（LSTF）実験【OECD 共同研究】や核熱水力結合実験装置（THYNC）実験、放射線誘起表面活性効果に関する JMTR 実験【経済産業省公募】などを行う。さらに、得られた詳細データに基づき、安全評価に用いられる最適評価手法の検証・開発を行なうと共に、数値流体力学 CFD コードなどで使用される詳細解析手法を取り込んだ多次元熱水力解析手法を開発・整備する。

ロ．燃料健全性評価に関わる熱水力評価手法の開発

高燃焼度燃料の反応度事故（RIA）時の健全性評価に関わる過渡的なボイド挙動に関する炉外試験を実施し、評価手法の整備に必要なデータを得る【保安院受託】。さらに、学協会基準の規制への導入支援のため、過渡沸騰遷移後（Post-BT）の被覆管温度挙動の高精度な解析手法を開発すると共に、同手法の不確かさ評価に必要なデータを得る。【保安院受託】

ハ．ソースターム評価手法の開発

シビアアクシデント晩期の格納容器内ガス状ヨウ素再放出などに関わる照射下実験を行い、ソースターム評価手法の整備に必要なデータを得る。【JNES 受託】

### 【達成目標】

- 多次元熱水力解析手法のプロトタイプを開発する。
- 事故時の多次元、非定常、核熱の連成、流動と構造の相互作用に関する詳細な熱水力実験データを得る。
- 照射下の沸騰熱伝達促進に関する実験データを得る。
- Post-BT 熱伝達の高精度な予測に必要な液滴挙動やリウエット等に関する詳細なデータを得ると共に評価手法を整備する。
- RIA 時の過渡的なボイド挙動に関する炉外実験データを得る。
- シビアアクシデント時における格納容器内ガス状ヨウ素放出などに関する照射下実験データを得ると共に解析手法を整備する。

### 【成果の活用方策】

- 事故時熱水力挙動に関する詳細データと高精度の最適評価手法は、軽水炉利用の高度化に伴う ECCS 性能評価指針などの安全基準の見直しや、RIA に係わるより合理的な安全評価に有用な技術基盤として利用できる。
- 異常過渡時の燃料健全性評価に係わる Post-BT 基準（日本原子力学会、2003 年）の規制への導入や導入後の規制判断などを支援する技術基盤として活用する。
- 高精度の最適評価手法は、万一の軽水炉事故時に、現象解明のための有力な解析ツールとなる。
- AM 策として未整備のシビアアクシデント事後対策・防災対策解除の判断基準などの意思決定に必要な技術的基盤として活用する。

### 【使用主要施設】

- |              |                           |
|--------------|---------------------------|
| ● 原子力科学研究所   | ROSA 計画大型非定常実験装置 (LSTF)   |
| ● 原子力科学研究所   | 核熱結合模擬試験装置 (THYNC)        |
| ● 原子力科学研究所   | 過渡ボイド試験装置 (二相流ループ実験棟)     |
| ● 原子力科学研究所   | Post-BT 高圧単管試験装置 (機械化工特研) |
| ● 原子力科学研究所   | ガンマセル 220 (研究 4 棟)        |
| ● 大洗研究開発センター | 材料試験炉 (JMTR) ホットラボ        |

### 【研究の進め方】

炉の長寿命化や出力向上、燃料の高燃焼度化や MOX 利用など、軽水炉利用の高度化に対する安全審査や基準の整備にこたえ、かつ原子炉事故などへの的確な対応に備えるため、産業界及び国際的な研究・開発、ならびに規制の動向を把握する。研究項目は、熱水力安全研究とシビアアクシデント研究に大別し、前者は特に、熱水力最適評価手法の開発と燃料健全性評価に関わる熱水力評価手法の開発の 2 テーマに分類する。研究に際しては、関連する外部機関 (OECD/NEA、原子力安全基盤機構 (JNES) など) 及び原子力機構の原子力基礎工学研究部門、ならびに原子力科学研究所や大洗研究開発センターの施設管理部門と協力する。実験設備としては、世界最大の PWR 熱水力模擬実験装置である ROSA 計画大型非定常試験装置 LSTF や核熱結合実験装置 THYNC 等の既設装置、さらに材料試験炉 JMTR やガンマ線照射実験装置等の原子力機構内の設備を活用する。OECD/NEA ROSA プロジェクト、ならびに BWR における RIA 時の過渡ボイド挙動や Post-BT 挙動に関する研究では、研究目標に応じて試験設備を整備しつつ研究を進める。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

#### [共同研究名 (実施機関)]

- OECD/NEA ROSA プロジェクト (原子力機構)

#### [受託研究名 (委託元)]

- 軽水炉高精度熱水力安全評価技術調査 (経済産業省原子力安全・保安院)
- 燃料等安全高度化対策事業 高精度熱水力安全評価技術調査 (経済産業省原子力安全・保安院)
- シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究 (ガス状ヨウ素基礎試験) (原子力安全基盤機構)
- 放射線誘起表面活性効果による高性能原子炉に関する技術開発・試験炉での沸騰熱伝達改善確認試験 (経済産業省資源エネルギー庁公募)
- 原子力発電プラントの地震耐力予測シミュレーション (科学技術振興機構 CREST タイプ公募)

#### [委託研究名 (委託機関)]

無し

### 【研究実施内容及び成果 (平成 17~19 年度)】

#### イ. 熱水力最適評価手法の開発

17 年度に国際協力による OECD/原子力機関 (NEA) ROSA プロジェクト (14 カ国 17 機関参加) を原子力機構の主催で開始した。19 年度までに ROSA/LSTF を用いて 9 実験を実施し (図 1)、解析コード及びモデルの開発・検証に有用なデータを得た。17 年度及び 18 年度には、压力容器頂部

及び底部の貫通ノズルの破断を想定し、炉心損傷防止のためのアクシデントマネジメント(AM)策である蒸気発生器の減圧操作に着目した小破断冷却材喪失事故(LOCA)模擬実験、非常用炉心冷却系(ECCS)注入水の水平配管及び圧力容器ダウンカム内での成層・混合実験、小破断 LOCA においてスクラム失敗を模擬した高出力自然循環実験を実施し、水平配管内の水位の有無やループ循環流量が配管や圧力容器内部の冷却材温度分布に大きく影響を与えることを見出した(図 2)。19 年度は、ECCS 水注入による成層・混合に関する LOCA 実験を実施し、配管及びダウンカムにおける冷却材温度分布の過渡変化を明らかにするとともに、水平配管内凝縮水撃模擬実験を行い、凝縮水撃による衝撃波の強さと圧力及び蒸気流速との関係等を把握した。また、主給水喪失スクラム失敗を模擬した高出力自然循環を伴う異常過渡実験を行い、SG 伝熱管における気液対向流制限(CCFL)を伴う顕著な水位振動と一次系ループ流量の振動を伴う低下、DNB 発生の可能性等を明らかにした。加えて、蓄圧タンクからの非凝縮性ガス流入の有無を想定した SG 二次側減圧模擬実験を行い、ガス流入が引き起こす減圧阻害、ガス流入の影響によるループ間の非対称な自然循環挙動等を明らかにした。この実験では、独自に開発したガス計測装置を SG 出口プレナム部に設置し、減圧阻害の解明に有益なデータを取得した。併せて、三次元二相流解析を含む高精度な熱水力評価手法について、OECD/NEA による現状、ならびに今後の開発の方向性をまとめた報告書の作成を支援した。[J1, J2, R1~R7, C1~C3, O1~O10, T1~T17]

BWR 炉心のボイド反応度に対応する核動特性を実時間で演算・模擬(核熱結合模擬)できる THYNC 装置を用いて、 $\text{UO}_2$  炉心と MOX 炉心の核熱特性の相違が核熱水力安定性に及ぼす影響を調べる模擬実験を行い、チャンネル安定性(17 年度及び 18 年度)及び領域安定性(19 年度)に係わる減幅比や安定限界出力データを取得するとともに、得られた結果を三次元核熱水力結合コード TRAC/SKETCH に使用する TRAC-BF1 コードにより解析し、燃料特性の相違による流動及び出力の減幅比の相違を定性的に予測できることを明らかにした(図 3)。**[O11]** また、今後予定している TRAC/SKETCH コードを用いた地震時の核熱水力安定性評価に備え、TRAC-BF1 コードに地震加速度を考慮する手法を導入するための調査を進めた。

炉出力向上など現行炉の高度利用に際する安全余裕の現実的評価に関連して、放射線誘起表面活性(RISA)効果が炉心の冷却特性に与える影響を確認するため、JMTR を用いた照射下沸騰熱伝達改善確認実験を行った。平成 17 年度に実施した低圧条件下の実験結果において、限界熱流束(ドライアウト熱流束)が向上することを確認した(図 4)。18 年度には、RISA 効果が認められた伝熱面上の酸化皮膜に対する照射後試験・分析を行い、未照射試料との比較による定性的な考察から、熱伝達測定に対する面粗さの影響が小さいことを確認すると共に、濡れ性向上などの照射による特徴的な現象を確認した。**[J3, C4, C5, O12, O13, T18, T19]**

#### ロ. 燃料健全性評価に関わる熱水力評価手法の開発

RIA 時の過渡ボイド試験では、低温時 RIA を模擬した低圧試験及び高温待機時 RIA を模擬した高圧試験を行い、原子力機構で開発した高速応答計測手法を用いた急速発熱する燃料棒周りに生じる蒸気泡(ボイド)挙動の計測、ならびに模擬燃料棒表面温度や沸騰熱伝達に関するデータ計測を広範な条件下で実施した。低圧試験では単一模擬燃料棒体系及び 2x2 バンドル体系の試験体を使用した。18 年度までに実施した試験から、バンドル体系においては実機条件に近い低水温条件下でボイド率の増大開始が単一模擬燃料棒体系よりも遅れる傾向があるが、過渡ボイド挙動の各パラメータへの依存性が両試験体で定性的に一致することを明らかにした。19 年度には、種々の燃料集合体形状に対応するために、冷却水流路条件(加熱等価直径)の影響を把握する試験を実施した。その結果、加熱等価直径が過渡ボイド挙動に及ぼす影響は小さく、流入水サブクール度が支配因子の一つとなることを見出した(図 5)。高圧試験は 18 年度から本格的に実施し、実機相当圧力条件下(7MPa)における過渡ボイド挙動データを、初めて取得した。高圧試験の結果から、圧力の上昇とともにボイド率の増加速度が低下すること、低圧試験と同様に冷却水のサブクール度が重要なパラメータであることを明らかにした。過渡ボイド試験から得られた成果は、TRAC-BF1 を初めとした最適評価解析コードの検証に活用するとともに、クロスチェック解析コードの整備に資するべく JNES に提供した。**[J4, J5, C6, C7, O14~17, T20~T22]**

Post-BT 熱伝達挙動試験では、異常過渡時の炉心熱伝達挙動に係わるデータを取得するため、BWR 炉心を模擬した体系及び条件で基礎実験を行なっている。平成 17 年度には、燃料集合体を単一の円管で模擬した高圧単管装置を製作し、18 年度には同装置を用いた定常試験及び 19 年度に過渡試験を行った。図 6 に過渡試験の代表的な結果を示す。得られたデータは、詳細な熱水力解析が可能なサブチャンネルコードの予測性能評価に活用した。また、定常試験結果に基づいて、液滴衝

突冷却を考慮した熱伝達率の相関式を作成し、広範囲な壁面過熱度に対する予測の妥当性を確認した。これらの基礎実験と並行して、19年度には実機燃料棒を模擬したヒーターロッドによる2×2バンドル装置を製作した。今後、Post-BT熱伝達に対するスペーサ効果等、バンドル体系特有の現象を含む詳細なデータを取得する予定である。[O18, T21~T23]

#### ハ. ソースターム評価手法の開発

既設<sup>60</sup>Coガンマ(γ)線照射装置の線源更新等、試験装置の整備を行い、γ線照射下でのCsI水溶液からのガス状ヨウ素放出に係わる試験を実施した。17年度に予備試験を行い、18年度に酸性(pH~5)条件でのガス状ヨウ素放出と有機物の影響に関するデータを得た。19年度にはpH(5.5~9)、無機及び有機不純物の影響に関するデータを得た(図7)。実験条件及び実機ヨウ素化学挙動解析の参考とするため、BWR及びPWRにおけるシビアアクシデント晩期の格納容器内熱水力、FP分布及び線量分布について、THALES2及びMELCORコードによる事故進展解析とQADコードによる線量解析による検討を行った。カナダAECLで開発されたLIRICモデル等を参考として、格納容器内の放射線場における水溶液中のヨウ素化学挙動に関する機構論的モデルを構築し、化学反応モデルに関する検討を行った。[O19~O23, T24~T26]

#### 【特記事項】

照射下の沸騰熱伝達改善に関する研究で、放射線誘起表面活性(RISA)効果に関するJMTR実験などで得られた成果により、第39回(平成18年度)日本原子力学会賞技術賞「放射線誘起表面活性による原子炉内伝熱特性の向上」を受賞した。

#### 【研究成果の発表状況】

##### 雑誌掲載論文

- J1) M. Suzuki, T. Takeda, H. Asaka and H. Nakamura, "Effects of Secondary Depressurization on Core Cooling in PWR Vessel Bottom Small LOCA Experiments with HPI Failure and Gas in flow," Journal of Nuclear Science and Technology, 43, 55-64 (2006)
- J2) 鈴木光弘、新たなPWR事故時保有水量評価手法の開発－1次循環ループ水位計の組込み効果－、日本機械学会誌、109、40(2006)
- J3) Y. Sibamoto, T. Yonomoto, H. Nakamura and Y. Kukita, "In-pile experiment in JMTR on the radiation induced surface activation (RISA) effect on flow-boiling heat transfer," J. Nucl. Sci. Technol., 44[2], 183-193 (2007)
- J4) Y. Maruyama, et al., "Single Rod Experiments on Transient Void Behavior during Low-Pressure Reactivity-Initiated Accidents in Light Water Reactor," Nucl. Eng. Des., Vol. 236, pp. 1693-1700 (2006)
- J5) A. Satou, et al., "Study on Transient Void Behavior during Reactivity Initiated Accidents under Low Pressure Condition - Development and Application of Measurement Technique for Void Fraction in Bundle Geometry -", Journal of Power and Energy Systems, Vol.1, No.2, pp.154-165 (2007)
- J6) T. Watanabe and M. Kondo, "Numerical Simulation of In-Line and Cross-Flow Oscillations of a Cylinder," JSME International Journal B, 49(2006)296-301
- J7) T. Watanabe, "Numerical simulation of dispersed flows and evaluation of interfacial area and volume fraction," Computers and Fluids, 35(2006)1169-1176
- J8) Y. Maruyama et al., "A Study on Concrete Degradation during Molten Core/Concrete Interactions", Nucl. Eng. Des., Vol. 236, pp. 2237-2244 (2006)
- J9) K. Moriyama, H. Nakamura, Y. Maruyama, "Analytical tool development for coarse break-up of a molten jet in a deep water pool", Nuclear Engineering and Design, vol.236, pp.2010-2025, (2006)
- J10) K. Moriyama, S. Takagi, K. Muramatsu, H. Nakamura, Y. Maruyama, Evaluation of containment failure probability by ex-vessel steam explosion in Japanese LWR plants, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.43, no.7, pp.774-784, (2006)
- J11) Y. Sibamoto, Y. Kukita and H. Nakamura, "Small-scale experiment on subcooled water jet injection into molten alloy by using fluid temperature-phase coupled measurement and visualization," J. Nucl. Sci. Technol. 44[8], 1059-1069, (2007)

## 技術報告書

- R1) M. Suzuki, T. Takeda, H. Asaka and H. Nakamura, “Experimental Study on Secondary Depressurization Action for PWR Vessel Bottom Small Break LOCA with HPI Failure and Gas Inflow (ROSA-V/LSTF test SB-PV-03) ,” JAERI-Research 2005-014 (2005)
- R2) M. Suzuki, T. Takeda, H. Asaka and H. Nakamura, “An Experimental Study on Effective Depressurization Actions for PWR Vessel Bottom Small Break LOCA with HPI Failure and Gas Inflow (ROSA-V Test SB-PV-04) ,” JAEA-Research 2006-018 (2006)
- R3) T. Takeda, M. Suzuki, H. Asaka, H. Nakamura, “Quick-look Data Report of OECD/NEA ROSA Project Test 6-1 (1.9% Pressure Vessel Upper-head Small Break LOCA Experiment),” JAERI-Research 2006-9001 (2006)
- R4) T. Takeda, M. Suzuki, H. Asaka, H. Nakamura, “Quick-look Data Report of OECD/NEA ROSA Project Test 6-2 (0.1% Pressure Vessel Bottom Small Break LOCA Experiment),” JAERI-Research 2006-9002 (2006)
- R5) M. Suzuki, T. Takeda, H. Asaka and H. Nakamura, “A Study on Effective System Depressurization during a PWR Vessel Bottom Break LOCA with HPI Failure and Gas Inflow Prevention (ROSA-V/LSTF Test SB-PV-05),” JAERI-Research 2006-072 (2006)
- R6) M. Suzuki, T. Takeda, H. Asaka and H. Nakamura, “A Study on Timing of Rapid Depressurization Action during PWR Vessel Bottom Break LOCA with HPI Failure and AIS-Gas Inflow (ROSA-V/LSTF Test SB-PV-06) ,” JAEA-Research 2007-037 (2007)
- R7) M. Suzuki, H. Nakamura, “OECD/NEA ROSA Project Supplemental Report for Test 6-1 (SB-PV-09 in JAEA) –Performance of Core Exit Temperatures for Accident Management Action in LSTF 1.9% Top Break LOCA Test,” JAERI-Research 2007-9001 (2008)
- R8) 柴本泰照: “高温融体中への水ジェットの貫入と直接接触沸騰に関する研究,” 日本原子力研究所, JAERI-Research 2005-016 (2005)
- R9) K. Moriyama, Y. Maruyama, T. Usami, H. Nakamura, "Coarse break-up of a stream of oxide and steel melt in a water pool", Japan Atomic Energy Research Institute, JAERI-Research 2005-017, (2005)
- R10) 宇佐美力, 森山清史, 錦沢友俊, 中村秀夫, 混相相互作用の X 線による高速度可視化手法に関する検討, JAERI-Tech 2005-028, 日本原子力研究所, (2005)
- R11) 森山清史, 高木誠司, 村松健, 中村秀夫, 丸山結, "軽水炉シビアアクシデント時の炉外水蒸気爆発による格納容器破損確率の評価", 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2007-072, (2007)

## 国際会議

- C1) T. Takeda, H. Asaka, M. Suzuki and H. Nakamura, “Thermal-hydraulic Responses during PWR Pressure Vessel Upper Head Small Break LOCA Based on LSTF Experiment and Analysis,” Proc. of ICONE13, 50647, Beijing, China (2005)
- C2) T. Takeda, H. Asaka, M. Suzuki and H. Nakamura, “RELAP5 ANALYSIS OF ROSA/LSTF VESSEL UPPER HEAD BREAK LOCA EXPERIMENT,” Proc. of NURETH12, 223, Pittsburg, USA (2007)
- C3) T. Watanabe, “SIMULATION OF TEMPERATURE STRATIFICATION DURING ECCS WATER INJECTION USING FLUENT: PREPARATORY ANALYSIS FOR OECD/NEA ROSA PROJECT, 224, Pittsburg, USA (2007)
- C4) Y. Sibamoto, T. Yonomoto, H. Nakamura and T. Nishikizawa, “Planning Outline of CHF Experiment for Small-Diameter Tube in reactor Multiple Irradiation Environment to be Performed in JMTR,” Proc. of International Symposium on Mechanism and Application of Radiation Induced Surface Activation 2005, Tokyo (2005)
- C5) Y. Sibamoto, T. Yonomoto and H. Nakamura, “Radiation induced surface activation (RISA) effect on flow-boiling heat transfer - in-pile experiment in JMTR -,” Proc. of NTHAS-5, Jeju, Korea, NTHAS5-B009 (2006)
- C6) Y. Maruyama, H. Asaka, A. Sato and H. Nakamura, “Experimental Study on Transient Void Behavior in Subcooled Water during Reactivity Accidents under Low Pressure Conditions,” Proc. 13th International Conference on Nuclear Engineering (ICON-13), China (2005)
- C7) A. Satou, Y. Maruyama, H. Asaka and H. Nakamura, “Study on Transient Void Behavior



during Reactivity Initiated Accidents under Low Pressure Condition - Development and Application of Measurement Technique for Void Fraction in Bundle Geometry -“, Proc. of ICONE14, 89672 (2006)

- C8) K. Moriyama, S. Takagi, K. Muramatsu, H. Nakamura, Y. Maruyama, "Evaluation of ex-vessel steam explosion induced containment failure probability for Japanese BWR", Proc. 2005 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP2005), Seoul, Korea, (CD-ROM: Paper no.5632), (2005)
- C9) Sibamoto Y., Kukita Y, and Nakamura H.: "Simultaneous measurement of fluid temperature and phase during water jet injection into high temperature melt," Proc. Int. Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-11), Avignon, France, Oct. 2-6 (2005), Paper No.181
- C10) K. Moriyama, H. Nakamura, "A strategy for the application of steam explosion codes to reactor analysis", Proc. Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management, Tokyo, Japan, (CD-ROM), (2006)

#### 口頭発表

- O1) 渡辺正, 中村秀夫, “コールドレグ内温度成層化現象の実験及び解析”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, 八戸 (2005)
- O2) 鈴木光弘, 竹田武司, 浅香英明, 中村秀夫, “PWR アクシデントマネジメントと原子炉計装の役割に関する ROSA-V 実験研究”, 日本機化学会 2005 年度年次大会, 調布 (2005)
- O3) 竹本昌史, 大和田明彦, 大崎秀機, 中村秀夫, “高圧蒸気中の酸素濃度測定装置の開発”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, 大洗 (2006)
- O4) 竹田武司, 鈴木光弘, 浅香英明, 中村秀夫, “ROSA/LSTF を用いた PWR 原子炉圧力容器頂部破断 LOCA 実験及び解析”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, 大洗 (2006)
- O5) 鈴木光弘, 竹田武司, 浅香英明, 中村秀夫, “ROSA/LSTF を用いた PWR 頂部破断 LOCA 模擬実験における炉心過熱時の 3 次元蒸気流れと炉心出口温度への影響”, 2007 年秋の大会, 北九州 (2007)
- O6) 中村秀夫, 渡辺正, 鈴木光弘, 浅香英明, 竹田武司, 近藤昌也, 丸山結, 大津巖, “OECD/NEA ROSA プロジェクト(1)プロジェクトの現状”, 2008 年春の年会, 大阪 (2008)
- O7) 近藤昌也, 中村秀夫, “OECD/NEA ROSA プロジェクト(2)系圧力をパラメータとした凝縮水撃実験”, 2008 年春の年会, 大阪 (2008)
- O8) 浅香英明, 竹田武司, 中村秀夫, “OECD/NEA ROSA プロジェクト(3)高出力自然循環実験及び RELAP5 実験後解析”, 2008 年春の年会, 大阪 (2008)
- O9) 丸山結, 大津巖, 鈴木光弘, 中村秀夫, “OECD/NEA ROSA プロジェクト(4)過熱蒸気自然循環実験の実験前解析及び熱パルス式流速計の検証”, 2008 年春の年会, 大阪 (2008)
- O10) 竹田武司, 鈴木光弘, 浅香英明, 中村秀夫, “OECD/NEA ROSA プロジェクト(5)PWR 圧力容器底部破断 LOCA 実験及び実験後解析”, 2008 年春の年会, 大阪 (2008)
- O11) 浅香英明, 井口正, 中村秀夫, “THYNC チャンネル安定性実験と解析-燃料特性が安定性に及ぼす影響”, 日本原子力学会, 2007 年春の年会, 名古屋大, C21
- O12) 柴本泰照, 与能本泰介, 中村秀夫, 「放射線誘起表面活性効果による材料試験炉での沸騰熱伝達改善確認試験」, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 北海道大, N15
- O13) 柴本泰照, 相沢静男, 根本義之, 中村秀夫: 「放射線誘起表面活性効果による高性能原子炉に関する技術開発;(5) 試験炉での沸騰熱伝達改善確認試験」, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, 北九州国際会議場, K13, (2007)
- O14) 佐藤聡, 丸山結, 浅香英明, 中村秀夫, “反応度事故時の過渡ボイド挙動模擬試験, ハンドル体系のボイド率計測手法の開発及び適用”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, 八戸 (2005)
- O15) 佐藤聡, 丸山結, 浅香英明, 中村秀夫, 「バンドル体系を用いた低温時反応度事故模擬試験における過渡ボイド挙動」, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 北海道大, N01
- O16) 丸山結, 佐藤聡, 浅香英明, 中村秀夫, "反応度事故時の過渡ボイド挙動に関する研究-高圧予備試験の結果", 日本原子力学会 2007 年春の年会, 名古屋大, K25
- O17) 佐藤聡, 丸山結, 浅香英明, 中村秀夫, 「低温時反応度事故模擬試験における過渡ボイド挙動; 単一模擬燃料棒体系とバンドル体系の比較」, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, K56
- O18) 柴本泰照, 丸山結, 大宮聡人: 「液滴衝突冷却を考慮したポスト BT 熱伝達率相関式の提案」, 日本原子力学会 2008 年春の年会, 大阪大学, M16, (2008)

- O19) 石川淳、森山清史、丸山結、中村秀夫、黒澤直弘、渡部厚、シビアアクシデント晩期の格納容器内ソースターム評価－2.ヨウ素化学挙動に関わる格納容器内環境の評価－、日本原子力学会 2007 年春の年会、C24
- O20) 森山清史、吉野丈人、丸山結、中村秀夫、渡部厚、シビアアクシデント晩期の格納容器内ソースターム評価－3.格納容器内のヨウ素化学挙動解析－、日本原子力学会 2007 年春の年会、C25
- O21) 石川淳、森山清史、丸山結、中村秀夫、渡部厚、シビアアクシデント晩期の格納容器内ソースターム評価－6.ヨウ素化学挙動にかかわる格納容器内環境の評価(その 2)、日本原子力学会 2007 年秋の大会、H10
- O22) 森山清史、田代信介、丸山結、中村秀夫、渡部厚、シビアアクシデント晩期の格納容器内ソースターム評価－7.放射線場でのヨウ素化学挙動試験結果、日本原子力学会 2007 年秋の大会、H11
- O23) 森山清史、田代信介、平山文夫、丸山結、中村秀夫、渡部厚、シビアアクシデント晩期の格納容器内ソースターム評価－9.放射線場でのヨウ素化学挙動試験結果(その 2)、日本原子力学会 2008 年秋の大会、N39
- O24) 柴本泰照:「高温融体中への水ジェットの貫入と直接接触沸騰に関する研究」,日本原子力学会 熱流動部会・計算科学技術部会共催 Dr.フォーラム, 八戸地域地場産業振興センター, (2005)
- O25) 森山清史, 丸山結, 宇佐見力, 中村秀夫, "軽水炉シビアアクシデント時の融体ジェット分裂に関する実験", 日本原子力学会 2006 年春の年会要旨集, (CD-ROM: M36), (2006)

#### 受託事業報告書

- T1) Quick-look Data Report of ROSA/LSTF Test 6-1 (1.9% Pressure Vessel Upper-head Small Break LOCA Experiment SB-PV-09 in JAEA), February, 2006
- T2) Quick-look Data Report of ROSA/LSTF Test 6-2 (0.1% Pressure Vessel Bottom Small Break LOCA Experiment SB-PV-10 in JAEA), March, 2006
- T3) Recommendations on guidelines for the use of computational fluid dynamics (CFD) in nuclear reactor safety applications, NEA/SEN/SIN/AMA(2005)2, April, 2005
- T4) Assessment of computational fluid dynamics (CFD) codes for nuclear reactor safety problems, NEA/SEN/SIN/AMA(2005)3, May, 2005
- T5) Final Data Report of ROSA/LSTF Test 6-1 (1.9% Pressure Vessel Upper-head Small Break LOCA Experiment SB-PV-09 in JAEA), December, 2006
- T6) Final Data Report of ROSA/LSTF Test 6-2 (0.1% Pressure Vessel Bottom Small Break LOCA Experiment SB-PV-10 in JAEA), January, 2007
- T7) Quick-look Data Report of OECD/NEA ROSA Project Test 1-1 (ECCS water injection under natural circulation condition: ST-NC-34 in JAEA), January, 2007
- T8) Quick-look Data Report of ROSA/LSTF Test 3-1 (High Power Natural Circulation SB-CL-38 in JAEA), March, 2007
- T9) Best Practice Guidelines for the Use of CFD in Nuclear Reactor Safety Applications, NEA/CSNI/R(2007)5, April (2007)
- T10) OECD/NEA ROSA Project Final Data Report of Test 6-2 – 0.1% Pressure Vessel Bottom Break LOCA Experiment, SB-PV-10 in JAEA, May 2007
- T11) Extension of CFD codes to two-phase flow safety problems, NEA/SEN/SIN/AMA(2006)2, July, 2006
- T12) Quick-look Data Report of OECD/NEA ROSA Project Test 1-2 (1% hot-leg break LOCA experiment with HPI: SB-HL-17 in JAEA), September, 2007
- T13) Final Data Report of ROSA/LSTF Test 5-1 (Primary Cooling through Steam Generator Secondary-side Depressurization Experiment SB-CL-39 in JAEA), November, 2007
- T14) Assessment of CFD for nuclear reactor safety problems, NEA/CSNI/R(2007)13, January (2008)
- T15) Final Data Report of ROSA/LSTF Test 3-1 (High Power Natural Circulation SB-CL-38 in JAEA), January, 2008
- T16) Final Data Report of ROSA/LSTF Test 1-1 (ECCS water injection under natural circulation condition: ST-NC-34 in JAEA), January, 2008
- T17) Quick-look Data Report of OECD/NEA ROSA Project Test 2 (Condensation-induced Water Hammer Tests: ST-WH-05, 06, 07, 08, 09, 10 and 11 in JAEA), March 2008
- T18) 平成 17 年度放射線誘起表面活性効果 (RISA) による高性能原子炉に関する技術開発—試験炉での沸騰熱伝達改善確認試験 (III) —成果報告書、(独)日本原子力研究開発機構

- T19) 平成 18 年度放射線誘起表面活性効果 (RISA) による高性能原子炉に関する技術開発-試験炉での沸騰熱伝達改善確認試験 (IV) 成果報告書、平成 19 年 3 月
- T20) 平成 17 年度高度化軽水炉燃料安全技術調査に関する報告書、平成 18 年 3 月、(独)日本原子力研究開発機構
- T21) 平成 18 年度燃料等安全高度化対策事業に関する報告書、平成 19 年 3 月、(独)日本原子力研究開発機構
- T22) 平成 19 年度燃料等安全高度化対策事業 (高精度熱水力安全評価技術調査) に関する報告書、平成 20 年 3 月、(独)日本原子力研究開発機構
- T23) 平成 17 年度軽水炉高精度熱水力安全評価技術調査に関する報告書、平成 18 年 3 月、(独)日本原子力研究開発機構
- T24) 平成 17 年度シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究 (ガス状ヨウ素基礎試験) 報告書、平成 18 年 3 月、(独)日本原子力研究開発機構
- T25) 平成 18 年度シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究(ガス状ヨウ素基礎試験) 報告書、平成 19 年 2 月、(独)日本原子力研究開発機構
- T26) 平成 19 年度シビアアクシデント晩期の格納容器閉じ込め機能の維持に関する研究(ガス状ヨウ素基礎試験) 報告書、平成 20 年 3 月、(独)日本原子力研究開発機構

### 【用語解説】

#### OECD/NEA プロジェクト

経済協力開発機構/原子力機関 (OECD/NEA) の原子力施設安全性委員会 (CSNI) が、国際協力による安全研究の効率的遂行を目指して運営する国際共同プロジェクト。9 件の共同実験プロジェクト、4 件のデータベース共同開発等がある。LSTF 実験を主とする OECD/NEA ROSA プロジェクトは原子力機構が主催する日本初の共同実験プロジェクトで、17 年度に開始し 14 ヶ国 17 機関が参加する。

#### 核熱水力安定性

熱水力要因と核的要因の組み合わせによる BWR 炉心の安定性であって、炉心全体が同位相の振動現象である炉心安定性と炉心内の領域間で位相がずれる振動現象である領域安定性の 2 つに分類される。BWR 炉心では再循環ポンプの停止などの異常過渡時に発生する可能性があり、炉出力が高い場合には、流動振動に伴って炉心の一部が過熱する場合がある。

#### 反応度事故 (RIA) 時の過渡ボイド

BWR で制御棒引き抜きによる RIA が生じた場合、炉心出力は制御棒の周辺かつ炉心の上で急速に上昇する。その結果、燃料棒表面には冷却水の急加熱によって蒸気泡 (ボイド) が発生し、ごく短時間 (数秒) のうちにボイドの成長、離脱、凝縮による消滅などの複雑な蒸気水二相流挙動が生じる。ボイド発生に伴う負の反応度によって RIA 時の燃料エンタルピーの上昇が抑制される。

#### 沸騰遷移後 (Post-BT) の炉心熱伝達

運転時の異常な過渡変化時等における炉心流量の一時的な低下や炉心出力の増加により、短時間の沸騰遷移 (BT : Boiling Transition、炉心の冷却形態が液膜に覆われた核沸騰から液膜が消失した状態に遷移) が発生する可能性がある。このとき、スクラムなどによる出力低下や炉心流量の回復によって燃料被覆管が短時間でリウエット (再び液膜で覆われて冷却が改善) すると、沸騰遷移状態の持続が短期間なら、燃料健全性が保たれる可能性を示唆するデータが得られてきている。このため平成 15 年には、これらの成果を基にした「BWR における過渡的な沸騰遷移後の燃料健全性評価基準:2003」いわゆる「Post-BT 基準」が民間基準として日本原子力学会により策定された。

#### 放射線誘起表面活性 (RISA)

金属酸化膜に一定以上の吸収線量を超えるガンマ線を照射したときに表面に現れる電気化学的な反応で、光触媒に類似した現象。ガンマ線照射により金属酸化被膜中に励起された正孔と電子が、それぞれ酸化被膜表面と酸化被膜金属界面に拡散してアノード反応とカソード反応が生じる。濡れ性の向上 (超親水性) により、限界熱流束 (CHF) が向上するほか、腐食低減、放射線計測等の利用が期待される。

#### 限界熱流束

沸騰熱伝達において、沸騰モードが急変して伝熱特性が劣化する沸騰危機が生じる熱流束で、核沸騰から膜沸騰に向けての沸騰遷移によるものと環状液膜などの破断（ドライアウト）によるものの2種類が有る。

#### シビアアクシデント

設計基準事象を大幅に超え、安全設計の評価上想定された手段で炉心の冷却や反応度制御ができない状態であり、その結果炉心の重大な損傷に至る事象。

#### ソースターム

炉心損傷事故の際に、炉心から核分裂生成物等の放射性物質が放出される。冷却系及び格納容器の健全性が失われていると、この放射性物質が環境へ放出される。炉心から放出される放射性物質の種類、化学形、放出量等を総称してソースタームという。

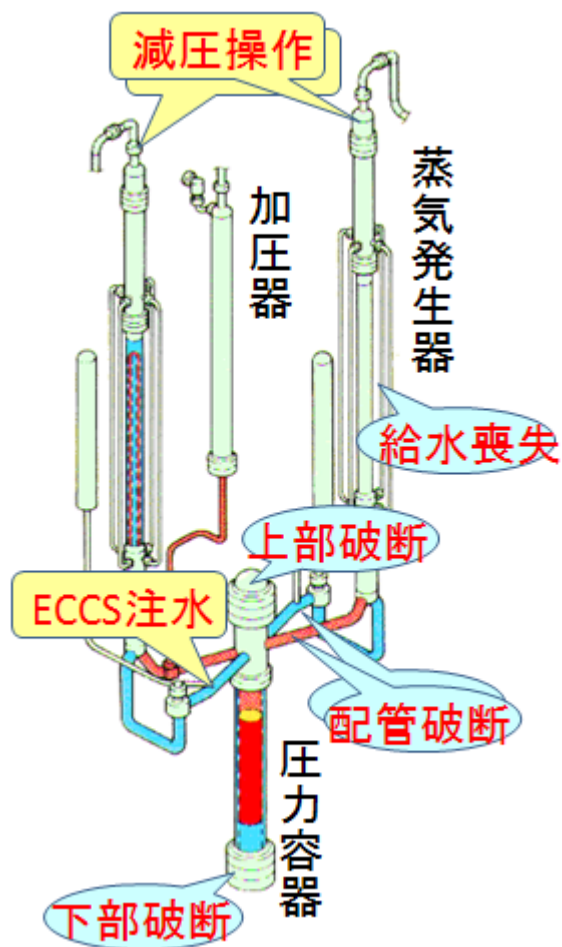


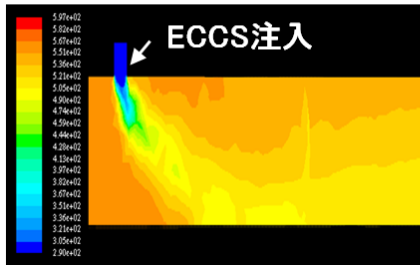
図1 OECD/NEA ROSA プロジェクトでの17-19年度実験

OECD/NEA ROSA プロジェクトでは大型非定常試験装置 (LSTF) を用いて、压力容器上部及び下部、配管での破断を想定した小破断冷却材喪失事故(LOCA)模擬実験、並びに蒸気発生器給水喪失事象模擬実験を行い、事故時安全に係る熱水力データを得るとともに、蒸気発生器の2次側減圧によるアクシデントマネジメント策の有効性に関する実験データを得て、参加各国に配布した。

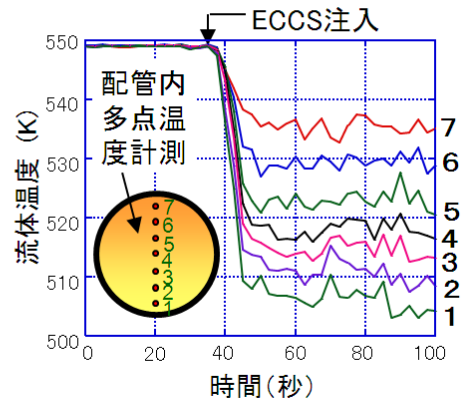
# OECD/NEA ROSAプロジェクト

LSTF実験により最適評価手法開発のための詳細データを取得

例) 非常用炉心冷却系(ECCS)  
注入時の配管内温度成層現象



数値流体力学コードによる  
温度分布の解析結果



LSTFによる予備実験結果

図2 OECD/NEA ROSA プロジェクトで実施した LSTF 温度成層化実験と解析の例

水平配管に注入される ECCS 水が高温の一次冷却水と充分に混合せず、配管から原子炉容器に至る流路で温度成層化現象が観察された。OECD/NEA ROSA プロジェクトでは本実験を含め、合計 9 回の LSTF 実験を実施し、高精度な熱水力評価手法の開発に有用なデータを取得した。

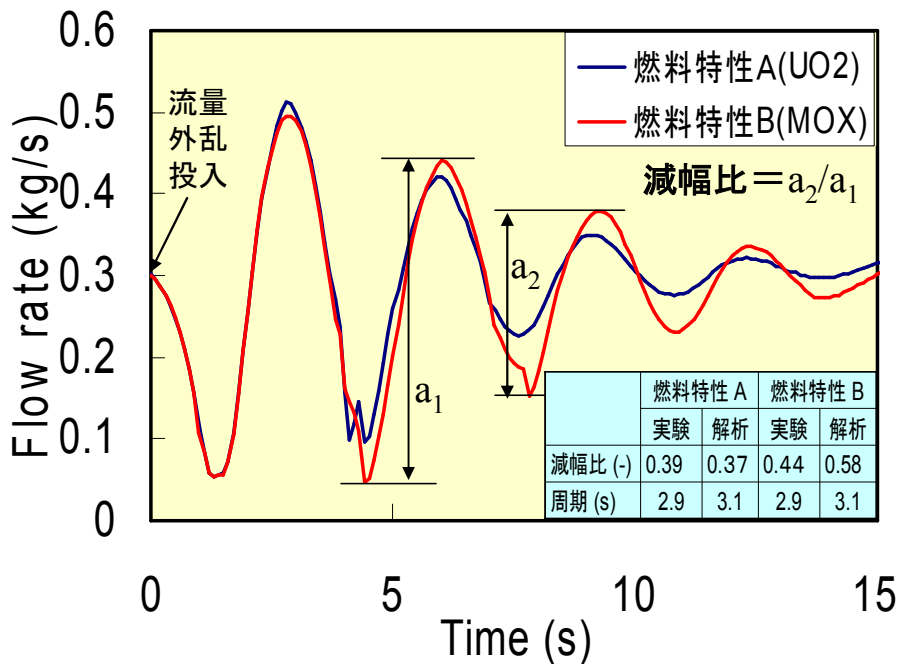


図3 外乱投入時の流量減衰特性 (TRAC-BF1 解析結果)

UO<sub>2</sub> 燃料と MOX 燃料の核熱特性の相違 (熱伝導時定数、ボイドフィードバック係数及び遅発中性子発生割合) を模擬した THYNC 実験の解析結果である。減幅比は、MOX 燃料を模擬した場合の方が UO<sub>2</sub> 燃料の場合より大きくなり、実験結果と定性的に一致した。

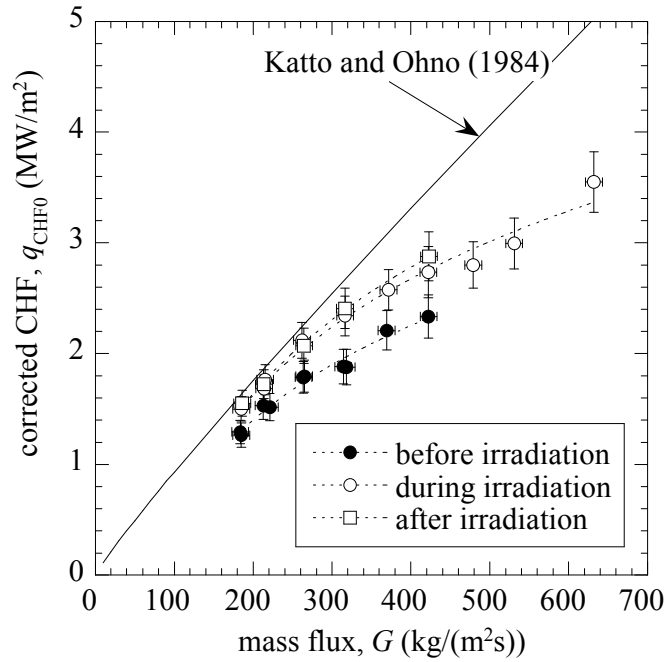


図4 照射前後での限界熱流束の変化

JMTR での炉内照射前後において、同じ装置・境界条件のもと、限界熱流束 (CHF) までの沸騰曲線データ (壁面過熱度と熱流束) を測定した。本図はこのうち、各流量に対する CHF をプロットしたものである。その結果、原子炉での照射により CHF が平均約 17% 増加することを確認できた。変化割合は、照射中及び照射後の両条件でほぼ同一であった。これは、RISA 効果の熱伝達特性への影響と考えられ、照射による伝熱面表面濡れ性の向上が液膜を安定化させてドライアウトを生じにくくし、CHF の向上に至ったと推測できる。

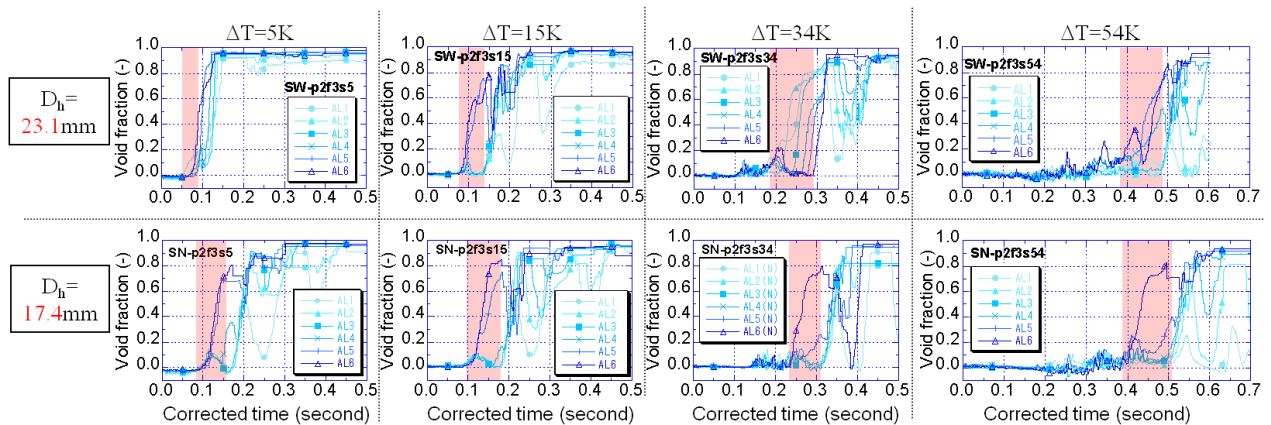


図5 低圧試験の単一模擬燃料棒体系における加熱等価直径及び流入水サブクール度のボイド挙動への影響

単一模擬燃料棒体系の加熱領域を6段 (最下段 AL1~最上段 AL6) に分割してボイド率計測を行った結果を示す。加熱等価直径 ( $D_h$ ) 及び流入水サブクール度 ( $\Delta T$ ) をパラメータとした。加熱等価直径の異なる二種類の試験体におけるボイド率の時間履歴を直接比較するため、熱平衡クオリティに基づき算出した補正時刻を適用した。ハッチング部は、試験部のボイド率が急激に上昇する時刻域を示す。全てのサブクール度の条件で、ボイド率急昇時刻が加熱等価直径に依らずほぼ一致した。これにより、加熱等価直径は過渡ボイド挙動に大きな影響を与えないことが明らかとなった。

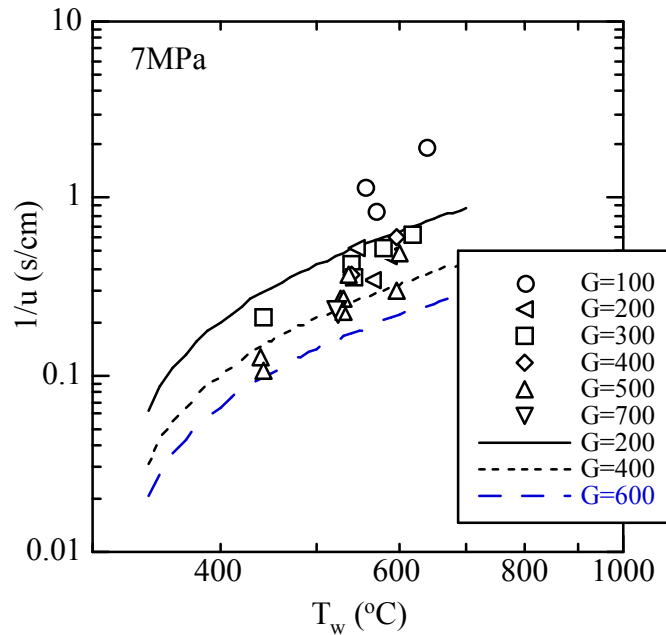


図6 過渡試験で得られた液膜伝播速度の計測結果（無次元数によるまとめ）

高圧単管試験装置では、直接通電により加熱した試験部配管壁の温度計測に基づいて、リウエット時に壁面上を進展する液膜の伝播速度を計測することができる。本図は、実機の熱水力条件を模擬した体系で熱出力を減衰させた過渡条件における液膜伝播速度の計測結果（逆数で表示）を初期伝熱面温度に対してプロットしたものである。図内の線は原子力学会が制定した Post-BT 基準に採用されている工藤・原の実験相関式を示している。同実験相関式は別途行われた 4×4 バンドル試験などに基づいて開発されたが、体系の異なる本実験結果をも概ね良く予測することがわかった。但し、流量が大きいかつ壁面温度が高温のときにやや非保守的に過大評価する傾向があることも判明した。今後これらの結果をもとに同実験相関式の改良を行う予定である。

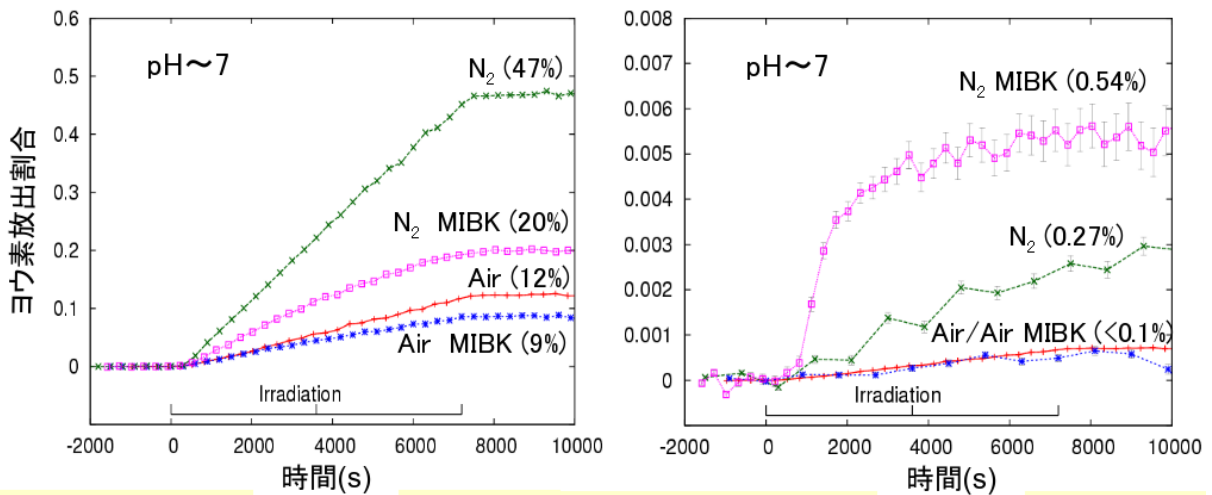


図7 CsI 水溶液にガンマ線照射したときのガス状ヨウ素放出挙動

水溶液中の放射線化学的効果により、不揮発性の I<sup>-</sup>イオンが揮発性の I<sub>2</sub> や有機ヨウ素に変化し気相に放出される挙動に関する実験結果である。左図は空気雰囲気と窒素雰囲気、有機物である MIBK(メチルイソブチルケトン)の添加の影響を比較して示す。窒素雰囲気では空気雰囲気の数倍の放出が生じ、MIBK を添加すると総放出量は減少した。右図は有機ヨウ素としての放出割合を示す。窒素雰囲気の場合、MIBK 添加により有機ヨウ素の有意な増加が認められた。これらのデータを解析モデル改良の参考とする。



## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)）

【研究分野／項目】

Ⅱ. 軽水炉分野／材料劣化・高経年化対策技術

【分類番号】 2-2-1

【研究課題名(Title)】

材料劣化・高経年化対策技術に関する研究

Research on Material Degradation and Aging Evaluation Method of Reactor Components

【研究代表者】

〔所属〕 安全研究センター 機器・構造信頼性評価研究グループ

〔氏名〕 鬼沢 邦雄 (おにざわ くにお)

〔連絡先〕 Tel : 81-6039 / E-mail : onizawa.kunio@jaea.go.jp

〔所属〕 原子力基礎工学研究部門 腐食損傷機構研究グループ

〔氏名〕 塚田 隆 (つかだ たかし)

〔連絡先〕 Tel : 81-5381 / E-mail : tsukada.takashi@jaes.go.jp

〔所属〕 安全研究センター 高経年化対策基盤研究調整グループ

〔氏名〕 渡士 克己 (わたし かつみ)

〔連絡先〕 Tel : 81-6473 / E-mail : watashi.katsumi@jaea.go.jp

〔所属〕 システム計算科学センター 高度計算機技術開発室

〔氏名〕 西田 明美 (にしだ あけみ)

〔連絡先〕 Tel : 80-2518 / E-mail : nishida.akemi@jaea.go.jp

〔所属〕 安全研究センター 高度化軽水炉燃材料研究グループ

〔氏名〕 中村 武彦 (なかむら たけひこ)

〔連絡先〕 Tel : 81-5044 / E-mail : nakamura.takehiko@jaea.go.jp

【研究目的】

経年機器の構造信頼性評価のため確率論的破壊力学解析手法を整備し、放射線による材料劣化挙動についての照射試験を通して機構論的な経年変化の予測手法及び検出手法の整備や照射誘起応力腐食割れ(IASCC)に関する照射後試験データの取得を行い、高経年化機器の健全性確認に資する。また、これらの研究に必要な照射試験設備を JMTR に整備するとともに、3次元仮想振動台等を整備する。

【研究内容】

イ. 確率論的破壊力学解析手法に関する研究

地震時荷重に対する配管信頼性評価や原子炉容器上蓋貫通部等の複雑形状部におけるき裂進展等に対する確率論的破壊力学解析手法等の整備を行う。

過渡事象時における原子炉(圧力)容器の健全性や配管溶接部の応力腐食割れ等に対する確率論的破壊力学解析手法の整備を行う。【保安院受託を含む】

ロ. 経年変化の予測手法及び検出手法に関する研究

放射線による材料劣化挙動について、原子炉圧力容器鋼の中性子照射脆化の機構論的評価を行うため、照射材について機械的性質等のデータを取得し、予測及び検出手法の精度向上を図る。【一部 JNES 受託を含む】

原子炉圧力容器鋼の粒界脆化に対する破壊靱性評価法を整備するため、中性子照射による不純物偏析及び破壊靱性の変化に関するデータを取得する。また、溶接熱影響部監視試験片に必要性に関する知見を得る。【保安院受託を含む】

電線ケーブルの $\gamma$ 線照射による絶縁劣化について、絶縁材内部の劣化分布を検証すると共に、絶縁劣化評価手法の信頼性・適用性を検証する。【保安院受託を含む】

ハ. 照射誘起応力腐食割れに関する研究

軽水炉の長期利用に備えて、JMTR で照射したステンレス鋼の応力腐食割れ(SCC)感受性試験及びき裂進展試験を行い、炉内構造物の健全性評価の一層の精度向上に必要な照射誘起応力腐食割れ(IASCC)に関する照射後試験データを拡充する。【一般受託、保安院受託及び JNES 受託を含む】

## ニ. 3次元仮想振動台の開発・適用研究

計算科学的手法を用いた3次元仮想振動台を、従来の耐震解析で用いられている質点系モデル(従来法)による解析と本手法および実データとの比較を可能とするように整備し、従来法の保守性の評価や地震PSAにおける機器の損傷確率(フラジリティ)評価に利用できるようにする。

### 【達成目標】

材料劣化現象の解明と評価手法の開発として、放射線場における材料劣化の機構論的な評価手法の高度化、圧力バウンダリ配管等の高経年化を考慮した地震時信頼性評価手法の高精度化、確率論的破壊力学(PFM)解析に基づく構造信頼性評価手法の確立、及び監視試験片による原子炉圧力容器の破壊靱性評価手法の高精度化を目標とする。このために必要な照射試験施設のJMTRでの整備を開始する。

また、上記成果を基にした高経年化に対する安全規制手法(定期安全レビュー、リスク評価等)の提案を行う。

IASCCに関する研究では、炉内構造物の健全性評価に必要なIASCC照射後試験データベースの構築及びIASCC健全性評価ガイドラインの策定に寄与する。

### 【成果の活用方策】

PFM解析手法については、リスク情報を活用した安全規制への活用に向けて成果を提示する。PFM解析に基づく確率論的構造健全性評価法について、平成18年度以降日本電気協会「破壊靱性確認試験方法」、「原子炉構造材の監視試験方法」の改訂の妥当性確認に活用する。

また、平成18年度以降日本機械学会「維持規格欠陥評価法」の妥当性確認後、安全評価への活用を図る。IASCCについては、取得データを平成20年度にJNESが作成するIASCC健全性評価ガイドラインに反映する。

ケーブル絶縁劣化についてはJNES「高経年化技術評価マニュアル、電気計装設備の絶縁低下」に反映する。

3次元仮想振動台については、従来の地震応答解析手法の保守性の評価や地震PSAにおける機器の損傷確率(フラジリティ)評価に利用できる技術基盤として活用する。

### 【使用主要施設】

大洗研究開発センター 材料試験炉(JMTR) 及びそのホットラボ  
原子力科学研究所 廃棄物安全試験施設(WASTEF)、JRR-3、タンデム加速器  
高崎量子応用研究所 イオン照射研究施設(TIARA)、コバルト60照射施設

### 【研究の進め方】

大学及び民間との共同研究、委託研究を行い、効率的かつ効果的な研究の推進に努めている。

また、原子力安全・保安院、(独)原子力安全基盤機構等からの受託調査研究による外部資金の調達を通して、研究成果の安全規制への活用を視野に入れた研究を展開している。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名(実施機関)]

(平成17年度)

「協力研究:軽水炉圧力容器鋼における照射欠陥生成過程と照射誘起偏析に関する研究(Ⅱ)」(大阪府立大学)

「協力研究:中性子照射による原子炉構造材料の経年劣化と磁気特性に関する研究(Ⅲ)」(岩手大学)  
(平成18年度)

「軽水炉圧力容器鋼における照射欠陥生成過程と照射誘起偏析に関する研究」(大阪府立大学)

「溶接残留応力場におけるき裂進展評価法の高精度化に関する研究」(大阪大学)

「中性子照射による原子炉構造材料の経年劣化と磁気特性に関する研究」(岩手大学)

「高経年BWRプラントのIASCCに関する研究(その3)」(産業創造研究所)

「基礎・建屋の耐震シミュレーションに関する研究」((株)竹中工務店 技術研究所)

(平成19年度)

「軽水炉圧力容器鋼における照射欠陥生成過程と照射誘起偏析に関する研究」(大阪府立大学)

「溶接残留応力場におけるき裂進展評価法の高精度化に関する研究」(大阪大学)  
「基礎・建屋の耐震シミュレーションに関する研究」((株)竹中工務店 技術研究所)

[受託研究名 (委託元)]

(平成 17 年度)

「平成 17 年度確率論的構造健全性評価技術調査」(原子力安全・保安院)

「平成 17 年度高照射量領域の照射脆化予測(粒界脆化基礎試験と確率論評価手法の調査)」(原子力安全基盤機構)

「平成 17 年度高経年 BWR プラントの維持基準策定のための IASCC データ整備に関する研究」(産業創造研究所)

(平成 18 年度)

「平成 18 年度確率論的構造健全性評価調査」(原子力安全・保安院)

「高経年化対応技術高度化調査研究」(原子力安全基盤機構)

「平成 18 年度高経年 BWR プラントの維持基準策定のための IASCC データ整備に関する研究」(産業創造研究所)

「平成 18 年度高経年化対策強化基盤整備事業(高経年化対策強化基盤のための安全研究の総合的推進)」(原子力安全・保安院)

「平成 18 年度高度化軽水炉燃材料詳細健全性調査」(原子力安全・保安院)

(平成 19 年度)

「平成 19 年度確率論的構造健全性評価調査」(原子力安全・保安院)

「平成 19 年度高照射量領域の照射脆化予測(粒界脆化基礎試験と確率論評価手法の調査)」(原子力安全基盤機構)

「平成 19 年度高経年化対策強化基盤整備事業(健全性に関する評価手法等)」(原子力安全・保安院)

「照射済ステンレス鋼のき裂進展挙動特性に関する調査研究」(原子力安全基盤機構)

「平成 19 年度高度化軽水炉燃材料詳細健全性調査」(原子力安全・保安院)

[委託研究名 (委託機関)]

(平成 17 年度)

「高経年原子炉材料の放射線影響評価に関する調査(Ⅲ)」(東北大学)

(平成 18 年度)

「原子炉圧力容器鋼のナノスケール組織分析」(東北大学)

「原子炉圧力容器鋼溶接熱影響部の照射脆化に関わるマイクロ組織分析」(東北大学)

「原子炉圧力容器鋼溶接熱影響部の照射脆化機構調査」(東京大学)

「イオン照射法による照射脆化予測基盤データ取得と効率的評価手法の調査研究」(東京大学)

「ケーブル劣化メカニズム調査研究」(東京大学)

「ケーブル劣化の監視・診断特性試験研究」(早稲田大学)

(平成 19 年度)

「原子炉圧力容器鋼のナノスケール組織分析」(東北大学)

「原子炉圧力容器鋼溶接熱影響部の照射脆化に関わるマイクロ組織分析」(東北大学)

「原子炉圧力容器鋼溶接熱影響部の照射脆化機構調査」(東京大学)

「イオン照射法による照射脆化予測基盤データ取得と効率的評価手法の調査研究」(東京大学)

「ケーブル劣化メカニズム調査研究」(東京大学)

「ケーブル劣化の監視・診断特性試験研究」(早稲田大学)

「バルクおよび表面における水の放射線分解のシミュレーション解析」(東京大学)

「照射硬化、照射誘起偏析に関する照射速度効果の実験的評価およびモデリング」(東京大学)

「SCC 挙動への変動応力影響評価法の検討」(茨城大学)

「H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 注入雰囲気中の電気化学的評価」(芝浦工業大学)

「BWR 実機水化学環境の解析評価」(㈱東芝)

「照射硬化、照射誘起偏析に関する照射速度効果の調査解析」(㈱東芝)

「材料表面へのガンマ線照射効果試験に関する検討」(日立 GE ニュークリア・エナジー(株))

「SCC 発生進展と照射による材料特性変化と相関評価」(日立 GE ニュークリア・エナジー(株))

## 【研究実施内容及び成果（平成 17～19 年度）】

### イ. 確率論的破壊力学解析手法に関する研究

地震時配管信頼性評価コードとして、地震ハザード解析、地震応答解析、及び応力腐食割れや流動加速腐食に対する配管信頼性解析の各プログラムを統合し、経年配管の構造信頼性評価手法として取りまとめるとともに、各プログラムを公開した。

平成 17 年度までに整備した配管用 PFM 解析コードを基に、原子炉压力容器貫通ノズル溶接部付近におけるき裂の発生・進展に対応した確率論的破壊力学解析コードを整備した。

また、19 年度には、耐震設計審査指針の改訂及び中越沖地震を受けて、地震時における経年配管の構造信頼性に関する研究として、配管溶接部等の残留応力場に及ぼす過大な地震荷重の影響に関する解析に着手し、今後の PFM 解析手法整備に有用な成果を得た。

原子炉压力容器肉盛溶接部に関して、非破壊検査モデル、残留応力評価試験および有限要素解析モデルの整備、肉盛溶接部近傍にき裂がある場合の破壊力学解析手法の検討を行った。図 1 に肉盛溶接部を考慮した非破壊検査モデルに関する解析結果の例を示す。加圧熱衝撃時の原子炉容器の破壊確率に関して、最大き裂検出確率の影響が大きいことを確認した。

配管溶接部に関しては、溶接残留応力試験及び有限要素解析を実施して PFM 解析に用いる 250A 配管の残留応力データベースを拡充した。図 2 に 250A 管の溶接継手部における溶接残留応力分布の例を示す。また、溶接残留応力のばらつきや供用期間中検査における超音波探傷試験精度をモデル化し、応力腐食割れに対する PFM 解析基本コードを完成させた。

加圧熱衝撃等の過渡事象時における原子炉容器の破損確率に関して、18 年度は確率論的破壊力学解析コード PASCAL2 を用いて、破壊靱性評価式及び過渡事象の影響を調べた。また、代表的な過渡事象に関して、PASCAL2 による国内プラント相当の解析結果と、米国パイロットプラント研究の結果とを比較し、破損確率に及ぼす各過渡事象の影響度の相違を明らかにした。平成 19 年度は、米国 NRC により提案された PTS 規則の代替手法および米国 Beaver-Valley 発電所の原子炉容器に対するき裂分布について知見をまとめた。また、PASCAL2 を用いて国内外の過渡事象等について決定論と確率論による破壊力学評価の相関を検討し、両者に相関があることを示した。

### ロ. 経年変化の予測手法及び検出手法に関する研究

昨年度までに材料試験炉(JMTR)で照射を行った原子炉压力容器鋼について、照射誘起析出物の微視組織、組成、及び磁氣的と機械的性質との相関についてのデータを JMTR ホットラボ等で取得するとともに、イオン照射研究施設 (TIARA) 及びタンデム加速器で電子線照射あるいはイオン照射を行ったモデル合金について電気抵抗率変化及び機械的性質に関するデータを取得し、照射脆化の検出及び機構に関する知見を得た。また、原子炉压力容器鋼の磁氣的性質に関する JMTR での照射中その場測定手法を開発するとともに、磁氣的性質と機械的性質の変化の相関に関するデータを取得した。

試験研究炉において中性子照射された原子炉压力容器鋼 (リンの含有量が 0.008 ~0.018 wt.%) について、オージェ電子分光分析装置による粒界分析を行った。その結果、粒界脆化の原因となるリンの粒界濃度は、中性子照射量とともに増加することを明らかにした。また、粒界脆化した鋼材の破壊靱性評価に関して、非照射材により破壊靱性マスターカーブ法の適用法を明らかにするとともに、JMTR ホットラボで照射材のシャルピー衝撃試験及び破壊靱性試験を行い、シャルピー遷移温度と破壊靱性参照温度はほぼ一対一の対応を示すことを明らかにした。

原子炉压力容器鋼の破壊靱性評価に関して、IAEA 国際ラウンドロビン試験として、新たに動的破壊靱性試験データを取得するとともに、試験片形状・寸法効果、負荷速度及び非均質材の破壊靱性データをとりまとめて IAEA に報告した。

原子炉压力容器鋼における溶接熱影響部 (HAZ) の中性子照射脆化に関する研究として、不純物含有率を変えた鋼材の母材、溶接継手及び HAZ 再現熱処理材を用いて、機械的性質 (シャルピー衝撃・破壊靱性) とマイクロ組織についてのデータを取得した。また、溶接を模擬した有限要素法による伝熱解析結果から、HAZ における金属組織マップを作成する手法を開発した。

ケーブル絶縁劣化研究として、既存情報の収集分析及び検出手法としての広帯域インピーダンス分光法の検討を推進した。

### ハ. 照射誘起応力腐食割れに関する研究

平成 18 年度には、各種照射後材料試験片を装荷し 5 年間に亘って行った照射キャプセル 10 体の中性子照射試験を、JMTR 第 165 サイクルまでの運転により全て終了した。試験片の最大積算中性

子照射量は、 $8.5 \times 10^{25} \text{ m}^{-2}$ であった。

照射済みの試験片を用いて、JMTR ホットラボで BWR 条件を模擬した高温水中における SCC き裂進展試験を、高溶存酸素濃度(DO)および低 DO 水質中で実施し、SCC き裂進展速度データを取得・解析した。また、き裂進展データの解析に用いるため、高温水中低ひずみ速度試験、引張試験、硬さ試験等を実施した。

得られた上記のデータは、(独)原子力安全基盤機構が作成する IASCC 健全性評価ガイドライン策定のための基礎データとして用いられた。

JMTR 第 165 サイクルでは、実用炉内の環境を模擬した JMTR 炉内での照射下応力腐食割れ試験を終了し、得られた照射下き裂進展データを上記で取得した照射後試験データと比較し、中性子照射と高温高圧水の同時作用効果について検討した。図 3 にこれまでに取得した SUS316L 材のき裂進展速度と応力拡大係数の関係を示す。

平成 19 年度には、炉内構造物、配管の SCC に対する放射線分解水質及び照射速度の影響に関する研究を開始し、過酸化水素注入条件及びガンマ線照射下でのステンレス鋼の高温水中腐食挙動に関する知見などを取得した。

材料試験炉における材料照射試験計画の概念検討として、18 年度は試験項目と条件などに関する検討を行い、試験に必要な装置の概念設計を実施した。19 年度は、軽水炉の長期利用に備えて照射環境下でのステンレス鋼の応力腐食割れ (SCC) の発生・進展、応力発生源、応力発生源及び原子炉圧力容器鋼の破壊靱性の変化を評価するため、JMTR を用いた照射試験装置の詳細設計を実施して、その設置場所などの整備を開始した。また、ハフニウム板型制御棒に SCC による損傷が発生した原因の 1 つと考えられるハフニウムの照射成長などの特性を調べるための基礎試験を開始した。試験課題や条件の設定などに当たっては産業界と緊密に情報を交換した他、SCC 試験技術開発や試験条件設定に関しては原子力基礎工学部門と、JMTR での装置の設計・整備準備に関しては照射試験炉センターと連携して実施した。

## ニ. 3 次元仮想振動台の開発・適用研究

3 次元仮想振動台は、部品モデルを集積して大規模プラントモデルを構成し、高速ネットワークを活用した計算機結合で実用的な計算速度を確保する。平成 19 年度までに実プラントデータによる大規模データ取り扱い技術を実証した。

## 【特記事項】

### 【研究成果の発表状況】

#### 雑誌掲載論文

- 1) 杉野英治, 伊藤裕人, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, “地震動の不確かさを考慮した経年配管の構造信頼性評価手法の開発,” 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 4, No. 4, pp. 233-241 (2005).
- 2) Y.Nagai, T.Toyama, Y.Nishiyama, M.Suzuki, Z.Tang and M.Hasegawa, “Kinetics of irradiation-induced Cu precipitation in nuclear reactor pressure vessel steels,” Applied Physics Letters 87, 261920 (2005).
- 3) 杉野英治, 小森義久, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, “原子力機器の構造信頼性評価のための地震動評価コードの開発,” 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 5, No. 2, p.118-124 (2006).
- 4) S. Takahashi, H. Kikuchi, and K. Ara, N. Ebine, Y. Kamada, S. Kobayashi and M. Suzuki, “In situ magnetic measurements under neutron radiation in Fe metal and low carbon steel,” Journal of Applied Physics 100, 023902 (2006).
- 5) Shou Nakagawa, F. Hori, Y. Chimi, N. Ishikawa, M. Kitagawa, R. Oshima, T. Tobita, R. Taniguchi, M. Suzuki and A. Iwase, “Local modification of hardness in FeCu alloys by using swift heavy ion irradiation,” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 257, p.397-401 (2007).
- 6) 西田明美, 松原仁, 田栄, 羽間収, 鈴木喜雄, 新谷文将, 中島憲宏, 谷正之, 近藤誠, “原子力プラントのための 3 次元仮想振動台の構築”, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.6, No.3, p.376-382 (2007).
- 7) Yutaka Nishiyama, Kunio Onizawa, and Masahide Suzuki, “Phosphorus Segregation and Intergranular Embrittlement in, Thermally Aged and Neutron Irradiated Reactor,

Pressure Vessel Steels,” Journal of ASTM International, Vol. 4, No. 8, Paper ID JAI100690, 2007.

- 8) M. Yamaguchi, Y. Nishiyama, and H. Kaburagi, “Decohesion of Iron Grain Boundaries by Sulfur and Phosphorus Segregation: First-Principles Calculations”, Physical Review B B76, 035418 (2007).
- 9) 小坂部和也、鬼沢邦雄、柴田勝之、鈴木雅秀、原子炉压力容器用確率論的破壊力学解析コード PASCAL ver.2 の開発、日本原子力学会和文論文誌、Vol. 6、No. 2、pp. 161-171 (2007).
- 10) 小坂部和也、鬼沢邦雄、柴田勝之、鈴木雅秀、現行の原子炉压力容器の健全性評価手法に対する PASCAL ver.2 を用いた確率論的検討、日本原子力学会和文論文誌、Vol. 6、No. 2、pp. 172-182 (2007).

#### 技術報告書

- 11) 伊藤裕人、鬼沢邦雄、柴田勝之、“確率論的破壊力学解析コード PASCAL-SC 及び PASCAL-EQ の使用手引き,” JAERI-Data/Code 2005-007, (2005) .
- 12) 杉野英治、鬼沢邦雄、鈴木雅秀、“断層モデルによる地震動予測手法を用いた地震ハザード評価コード SHEAT-FM の使用手引き,” JAERI-Data/Code 2005-008, (2005) .
- 13) 伊藤裕人、加藤大輔、鬼沢邦雄、柴田勝之、“減肉配管構造信頼性解析コード PASCAL-EC の使用手引き,” JAEA-Data/Code 2006-001,(2006).
- 14) 堤英明、杉野英治、鬼沢邦雄、森和成、山田博幸、柴田勝之、蛭沢勝三、“機器免震有効性評価コード EBISA の使用手引き;応答解析コードの機能,” JAEA-Data/Code 2006-004, (2006) .
- 15) 杉野英治、鬼沢邦雄、“大洗鉛直アレー観測地震動の位相特性の分析,” JAEA-Data/Code 2006-005, (2006) .
- 16) 小坂部和也、加藤大輔、鬼沢邦雄、柴田勝之、“原子炉压力容器用確率論的破壊力学解析コード PASCAL2 の使用手引き及び解析手法”, JAEA-Data/Code 2006-020 (2006).

#### 国際会議

- 17) K.Onizawa, K.Shibata and M.Suzuki, “Development of Stress Intensity Factor Coefficients Database for a Surface Crack of an RPV Considering the Stress Discontinuity between Cladding and Base Metal,” PVP2005-71371, Proceedings of 2005 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, Denver, Colorado USA, The American Society of Mechanical Engineers (2005).
- 18) K.Onizawa, “Failure Probability Analyses of Nuclear Reactor Components Using Probabilistic Fracture Mechanics, Proceedings of 2nd International Workshop on Risk-based Engineering,” December 12-13, Nagoya, Japan (2005).
- 19) K. Shibata, K. Onizawa, K. Tanaka and M. Suzuki, “Developments of Probabilistic Fracture Mechanics Analysis Codes for Reactor Pressure Vessel and Piping,” Proceedings of The 6th Asian International Symposium on the Structural Integrity of Nuclear Components (2006).
- 20) Y. Nishiyama, K. Onizawa and M. Suzuki, “Phosphorus Segregation and Intergranular Embrittlement in Thermally Aged and Neutron Irradiated Reactor Pressure Vessel Steels,” Proceedings of ASTM Symposium on Effects of Radiation on Materials (2006).
- 21) K. Onizawa, K. Shibata, K. Osakabe, and K. Tanaka, “Improvements to PFM analysis code PASCAL and some case studies on RPV integrity during pressurized thermal shock,” Proceedings of 2006 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference (2006).
- 22) K. Shibata, K. Onizawa, K. Tanaka and M. Suzuki, “Stress Intensity Factor Estimation for Embedded and Surface Cracks in an RPV Subjected to Yielding of Cladding,” Proceedings of 2006 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference (2006).
- 23) K. Onizawa, K. Osakabe, K. Shibata and M. Suzuki, “Structural Integrity Analysis of Reactor Pressure Vessel Using Probabilistic Fracture Mechanics Analysis Code,” Proceedings of OECD/NEA CSNI Workshop on "Structural reliability evaluation and mechanical probabilistic approaches of NPP components," Lyon, September 2006.
- 24) Y. Nishiyama, T. Tobita and K. Onizawa, “Evaluation of Intergranular Fracture of Phosphorus-doped Reactor Pressure Vessel Steels by Master Curve Method,” Proceedings of ASTM 5th Symposium on Small Specimen Test Techniques (2007).
- 25) M. Tani, N. Nakajima, A. Nishida, Y. Suzuki, H. Matsubara, F. Araya, N. Kushida, O. Hazama , M. Kondoh, and K.Kawasaki,” A Methodology of Structural Analysis for Nuclear

- Power Plant Size of Assembly”, Proceedings of Joint International Topical Meeting on Mathematics & Computation and Supercomputing in Nuclear Applications (M&C + SNA 2007) (2007).
- 26) K. Onizawa and K. Osakabe, “Effect of Stress Intensity Factor Estimation Scheme on the Failure Probability of RPV during Pressurized Thermal Shock,” Proceedings of 2007 ASME PVP Conference, PVP2007-26549 (2007).
  - 27) M. Udagawa, J. Katsuyama and K. Onizawa, “Effects of Residual Stress by Weld Overlay Cladding and PWHT on the Structural Integrity of RPV during PTS,” Proceedings of 2007 ASME PVP Conference, PVP2007-26556 (2007).
  - 28) J. Katsuyama, W. Asano, K. Onizawa, M. Mochizuki and M. Toyoda, “Crack Growth Analyses of SCC under Various Residual Stress Distributions near the Piping Butt-Welding,” Proceedings of 2007 ASME PVP Conference, PVP2007-26574 (2007).
  - 29) M. Mochizuki, R. Higuchi, J. Katsuyama and M. Toyoda, “Evaluation of Strength Characteristics Considering Microscopic Heterogeneity of Structural Steels and Weld Zone by Using FEM-MD Coupling Method,” Proceedings of 2007 ASME PVP Conference, PVP2007-26573 (2007).
  - 30) T. Planman, K. Onizawa, W. Server and S. Rosinski, "IAEA Coordinated Research Project on Master Curve Approach to Monitor Fracture Toughness of RPV Steels: Applicability for Highly Embrittled Materials," Proceedings of 2007 ASME PVP Conference, PVP2007-26097 (2007).
  - 31) Tohru Tobita, “Surveillance Test Program and Assessment of Structural Integrity of Reactor Pressure Vessels,” 3rd Korea-Japan Joint Summer School, 2007年8月 韓国.
  - 32) Y. Nishiyama and M. Suzuki, “Study on Non-hardening Irradiation Embrittlement of LWR Pressure Vessel Steels”, Proceedings of the International Symposium on Research for Aging Management of Light Water Reactors, Oct, 22-23, 2007, Fukui City, JAPAN.
  - 33) M. Hasegawa, Y. Nagai, T. Toyama, Y. Nishiyama, M. Suzuki, A. Alamazouzi, E. van Walle, and R. Gerard, “Evolution of Irradiation-Induced Cu Precipitation and Defects in Surveillance Test Specimens of Pressure Vessel Steels of Nuclear Power Reactors: Positron Annihilation and 3 Dimensional Atom Probe Study”, Proceedings of the International Symposium on Research for Aging Management of Light Water Reactors, Oct, 22-23, 2007, Fukui City, JAPAN.

#### 口頭発表

- 34) 飛田徹, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, 蕪木英雄, 板倉充洋, 岩瀬彰宏, “Fe-Cu を用いた電子線照射効果と反応速度論によるモデル計算,” 日本原子力学会北関東支部若手研究者発表会 (2005).
- 35) 飛田徹, 知見康弘, 石川法人, 西山裕孝, 鈴木雅秀, 岩瀬彰宏, “銀系モデル合金における電子線照射効果と反応速度論によるモデル計算,” 第14回 TIARA 研究発表会 (2005).
- 36) Y.Nishiyama, K.Onizawa, and M.Suzuki, “Phosphorus Segregation and Intergranular Embrittlement in Thermally Aged and Neutron Irradiated Reactor Pressure Vessel Steels,” 12th Meeting of International Group on Radiation Damage Mechanisms of Reactor Pressure Vessel Steels (2005).
- 37) 西山裕孝, “原子炉圧力容器鋼の中性子照射脆化,” 第1回日韓原子力学会学生・若手研究者サマースクール, (2005).
- 38) 柴田勝之, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, “き裂進展にともなう残留応力の再配分と破壊力学パラメータの解析,” 日本機械学会 材料力学カンファレンス (2005).
- 39) 田中和久, 鬼沢邦雄, 柴田勝之, 鈴木雅秀, “肉盛溶接部を考慮した原子炉圧力容器内表面き裂に対する破壊力学解析,” 日本原子力学会 2005年秋の大会 (2005).
- 40) 鬼沢邦雄, 柴田勝之, 鈴木雅秀, “軽水炉における高温水エロージョン腐食－3－エロージョン・コロージョンによる減肉の評価－,” 日本原子力学会 2005年秋の大会 (八戸工業大学), (2005).
- 41) 柴田勝之, 鬼沢邦雄, 田中和久, 鈴木雅秀, “クラッド降伏条件下における原子炉容器き裂の応力拡大係数推定法 (1. 推定法の提案と既存 FEM 解との比較),” 日本原子力学会 2006年春の年会 大洗 (2006).
- 42) 田中和久, 柴田勝之, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, “クラッド降伏条件下における原子炉容器き裂の応力拡大係数推定法 (2. 提案推定法による表面き裂の K 値解と FEM 解との比較),” 日本原子力学会 2006年春の年会 大洗 (2006).

- 43) 飛田徹, 知見康弘, 鈴木雅秀, 西山裕孝, 石川法人, 岩瀬彰宏, “軽水炉压力容器鋼モデル合金における照射欠陥生成過程と照射誘起偏析の研究”, 第 1 回高崎量子応用研究シンポジウム (2006).
- 44) 小坂部和也, 鬼沢邦雄, 柴田勝之, “非破壊検査を考慮した原子炉容器の確率論的構造健全性評価手法の開発”, 日本保全学会第 3 回学術講演会, 仙台 (2006).
- 45) 柴田勝之, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, 李銀生, “き裂進展時の弾塑性応答による残留応力緩和効果を考慮した SCC の進展予測,” 日本機械学会材料力学カンファレンス M&M2006, 浜松, (2006).
- 46) 柴田勝之, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, 李銀生, “温度上昇による残留応力の緩和と応力拡大係数への影響に関する解析,” 日本機械学会材料力学カンファレンス M&M2006, 浜松, (2006).
- 47) 小坂部和也, 鬼沢邦雄, 柴田勝之, 鈴木雅秀, “確率論的破壊力学に基づく压力容器健全性解析コード PASCAL Ver.2 の開発”, 日本原子力学会 2006 年秋の年会 (2006).
- 48) 飛田徹, 知見康弘, 石川法人, 鈴木雅秀, 鬼沢邦雄, 岩瀬彰宏, “Fe-Cu 合金における電子線照射効果と反応速度論によるモデル計算 (第 2 報: 高温照射及び熱時効の影響)”, 日本原子力学会 2006 年秋の年会 (2006).
- 49) 中川将, 岩瀬彰宏, 堀史説, 北川通治, 大嶋隆一郎, 石川法人, 知見康弘, 飛田徹, 鈴木雅秀, “高速重イオン照射した FeCu 合金における照射促進析出”, 日本原子力学会 2006 年秋の年会 (2006).
- 50) 森裕章, 勝山仁哉, 望月正人, 西本和俊, 豊田政男, 低炭素ステンレス鋼溶接部における粒界すべり挙動に及ぼす加工硬化の影響, 日本金属学会 2006 年秋の大会 2006 年 9 月新潟.
- 51) 宇田川誠, 勝山仁哉, 鬼沢邦雄, “原子炉压力容器の構造健全性に関する肉盛溶接部の残留応力解析”, 溶接構造シンポジウム 2006, 溶接学会溶接構造研究委員会 (2006).
- 52) 鈴木雅秀, “Research on Aging of Nuclear Power Plants Performed at JAEA,” Proceedings of Nuclear Safety Research Forum 2007.
- 53) 小坂部和也, 鬼沢邦雄, “原子力压力容器の確率論的破壊力学解析に関する応力拡大係数評価手法の検討” 日本原子力学会 2007 年春の年会 (2007).
- 54) 高倉賢一, 加治芳行他, “中性子照射された低炭素ステンレス鋼の BWR 模擬水質環境中におけるき裂進展挙動” 日本原子力学会 2007 年春の年会 (2007).
- 55) 鈴木, 日本原子力研究開発機構における高経年化対応研究の取り組み, 安全研究フォーラム 2007, 原子力安全委員会 (2007).
- 56) 伊藤裕人, 鬼沢邦雄, 確率論的破壊力学解析における超音波探傷試験精度のモデル化, 日本保全学会 第 4 回 学術講演会 2007 年 7 月 福井 (2007).
- 57) 町屋修太郎, 鈴木裕士, 齋藤 徹, 勝山仁哉, 森井幸生, 集合組織材の多結晶モデルによる弾性定数予測, 第 42 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, 2007 年 7 月 京都 (2007).
- 58) 宇田川誠, 勝山仁哉, 鬼沢邦雄, 原子炉压力容器に肉盛溶接部の残留応力に及ぼす溶接方法及び溶接後熱処理の影響, 溶接学会平成 19 年度秋季全国大会, 2007 年 9 月 長野 (2007).
- 59) 勝山仁哉, 飛田徹, 鬼沢邦雄, 圧力バウンダリ配管突合せ溶接部の残留応力に及ぼす溶接条件の影響, 溶接学会平成 19 年度秋季全国大会, 2007 年 9 月 長野 (2007).
- 60) 義家敏正, 西山裕孝, 原子炉压力容器鋼における粒界脆化と照射硬化に及ぼすリンの影響, 東北大学金属材料研究所主催平成 19 年度大洗研究会, 2007 年 9 月 大洗 (2007).
- 61) 松原仁, 西田明美, 鈴木喜雄, 羽間収, 中島憲宏, 近藤誠, 組立構造解析による 3 次元仮想振動台の構築, 日本原子力学会 2007 年秋の大会 北九州 (2007).
- 62) 伊藤裕人, 鬼沢邦雄, 確率論的破壊力学解析による構造機器健全性評価手法に関する研究—再循環系配管の破損確率に及ぼす供用期間中検査頻度の影響—, 日本原子力学会 2007 年秋の大会 北九州 (2007).
- 63) 鬼沢邦雄, 原子炉容器の破損確率に及ぼす破壊靱性評価式及び過渡事象の影響, 日本機械学会 M&M2007 材料力学カンファレンス講演論文集, 2007 年 10 月 東京 (2007).
- 64) 鬼沢邦雄, 高経年化を考慮した地震時信頼性評価手法の高精度化の研究, 安全研究フォーラム 2008 資料集, 2008 年 2 月, 東京 (2008).
- 65) 大木義路, 原子力発電所と有機高分子電気絶縁材料, 電気学会全国大会, 平成 20 年 3 月, 福岡 (2008).
- 66) 勝山仁哉, 鬼沢邦雄, 配管溶接部の溶接残留応力に対する塑性変形の影響, 日本原子力学会 2008 年春の年会, 大阪 (2008).



- 67) 飛田徹、勝山仁哉、伊藤裕人、鬼沢邦雄、原子炉配管の確率論的構造健全性評価－1－溶接条件と溶接残留応力のばらつき－、日本保全学会第5回学術講演会、2008年7月、水戸(2008).
- 68) 勝山仁哉、飛田徹、伊藤裕人、鬼沢邦雄、原子炉配管の確率論的構造健全性評価－2－残留応力解析による溶接条件のばらつきの影響評価－、日本保全学会第5回学術講演会、2008年7月、水戸(2008).
- 69) 伊藤裕人、勝山仁哉、飛田徹、鬼沢邦雄、原子炉配管の確率論的構造健全性評価－3－溶接残留応力に関する確率論的破壊力学解析－、日本保全学会第5回学術講演会、2008年7月、水戸(2008).
- 70) 西川弘之、鬼沢邦雄、肉盛溶接部に着目した原子力压力容器の確率論的破壊力学解析手法の改良、日本原子力学会2008年秋の大会 高知(2008).
- 71) 勝山仁哉、飛田徹、西山裕孝、鬼沢邦雄、原子炉压力容器鋼溶接熱影響部の監視試験片省略に関する検討(第一報) HAZ組織の特徴付けに関する試験及び解析、日本原子力学会2008年秋の大会 高知(2008).
- 72) 飛田徹、勝山仁哉、西山裕孝、鬼沢邦雄、原子炉压力容器鋼溶接熱影響部の監視試験片省略に関する検討(第二報) 破壊靱性と金属組織の相関、日本原子力学会2008年秋の大会 高知(2008).
- 73) 鬼沢邦雄、松澤寛、原子炉容器の破損確率に及ぼすき裂分布及び過渡事象の影響、日本機械学会M&M2008材料力学カンファレンス講演論文集、2008年9月 草津(2008).

#### 受託調査報告書

- 74) 原子力安全基盤機構受託事業「平成17年度高照射量領域の照射脆化予測(粒界脆化基礎試験と確率論評価手法の調査)」報告書、原子力機構、平成18年2月
- 75) 原子力安全・保安院受託事業「平成17年度確率論的構造健全性評価技術調査」報告書、原子力機構、平成18年3月
- 76) 産業創造研究所受託事業「平成17年度高経年BWRプラントの維持基準策定のためのIASCCデータ整備に関する研究」報告書、原子力機構、平成18年3月
- 77) 原子力安全基盤機構受託事業「高経年化対応技術高度化調査研究」報告書、原子力機構、平成19年2月
- 78) 原子力安全・保安院受託事業「平成18年度確率論的構造健全性評価調査」報告書、原子力機構、平成19年3月
- 79) 産業創造研究所受託事業「平成18年度高経年BWRプラントの維持基準策定のためのIASCCデータ整備に関する研究」報告書、原子力機構、平成19年3月
- 80) 原子力安全・保安院受託事業「高経年化対策強化基盤整備事業(高経年化対策強化基盤のための安全研究の総合的推進)」報告書、原子力機構、平成19年3月
- 81) 原子力安全・保安院受託事業「平成18年度高度化軽水炉燃材料詳細健全性調査」報告書、原子力機構、平成19年3月
- 82) 原子力安全基盤機構受託事業「平成19年度高照射量領域の照射脆化予測(粒界脆化基礎試験と確率論評価手法の調査)」報告書、原子力機構、平成20年2月
- 83) 原子力安全・保安院受託事業「平成19年度確率論的構造健全性評価調査」報告書、原子力機構、平成20年3月
- 84) 原子力安全・保安院受託事業「高経年化対策強化基盤整備事業(健全性に関する評価手法等)」報告書、原子力機構、平成20年3月
- 85) 原子力安全・保安院受託事業「平成19年度高度化軽水炉燃材料詳細健全性調査」報告書、原子力機構、平成20年3月
- 86) 原子力安全基盤機構受託事業「照射済ステンレス鋼のき裂進展挙動特性に関する調査研究」報告書、原子力機構、平成20年3月

#### 【用語解説】

##### 中性子照射脆化

中性子などの照射で、材料の破壊に対する裕度が低下する現象。原子炉压力容器では、監視試験片により破壊靱性の低下を評価するとともに構造健全性を確認し、安全な運転を確保している。

##### 破壊靱性マスターカーブ法

フェライト鋼のように低温で脆性破壊を示し、高温で延性破壊を示す鋼材に対して、その延性脆性遷移温度域で破壊靱性試験を行い、破壊発生時の J 積分値に基づいて破壊靱性値の平均とばらつきを評価する。得られる破壊靱性値は鋼種によらず、マスターカーブと呼ばれる一定の温度依存性を示すことから、評価結果を基に破壊靱性値の参照温度を求めることにより、破壊靱性の延性脆性遷移挙動を評価できる。

#### 確率論的破壊力学(PFM)

破壊力学は、材料中にき裂の存在あるいは発生を想定し、機器・構造物の破壊に対する裕度を評価する工学的手法。確率論的破壊力学は、き裂形状など破壊現象に影響する種々のパラメータに、確率的な分布を与えて評価する手法。統計的なばらつきや不確実性がより合理的に評価できるものとして期待されている。

#### 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)

オーステナイト系ステンレス鋼などの炉内構造物が、ある程度以上の中性子照射を受けると、照射による材料変化（照射硬化、照射誘起偏析など）のために、高温水中において応力腐食割れ(SCC)感受性を有するようになる現象。

#### 応力腐食割れ(SCC)

材料が、引張り応力の作用した状態で腐食環境下に曝されることで、き裂の発生や進展が生じるようになる現象。オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部近傍では、溶接時の熱影響により、応力腐食割れを起こす条件を満たし易くなることがある。

図表

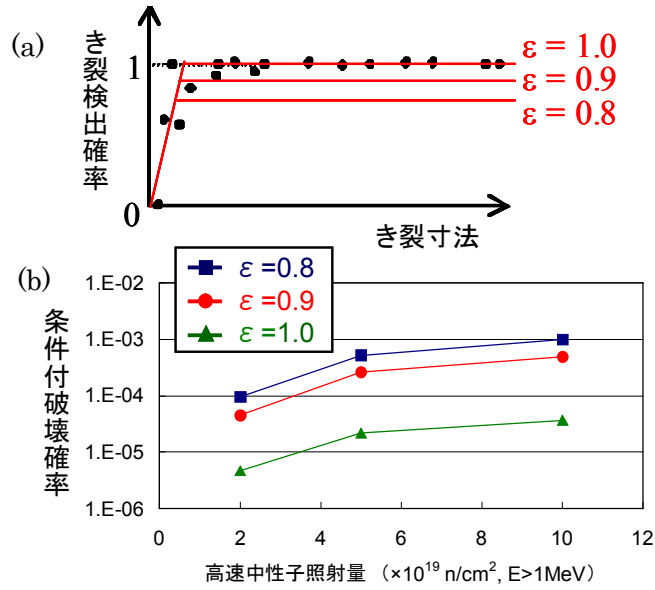


図1 肉盛溶接部を考慮した非破壊検査モデル(a)と、最大検出確率  $\epsilon$  を変えた場合の破壊確率の計算例(b)

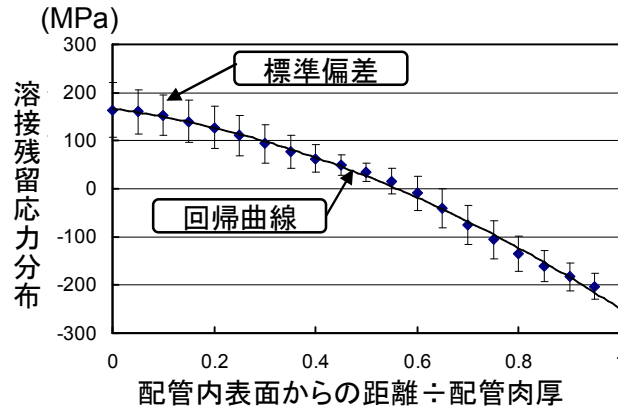


図2 250A 管溶接継手部における溶接残留応力分布の例

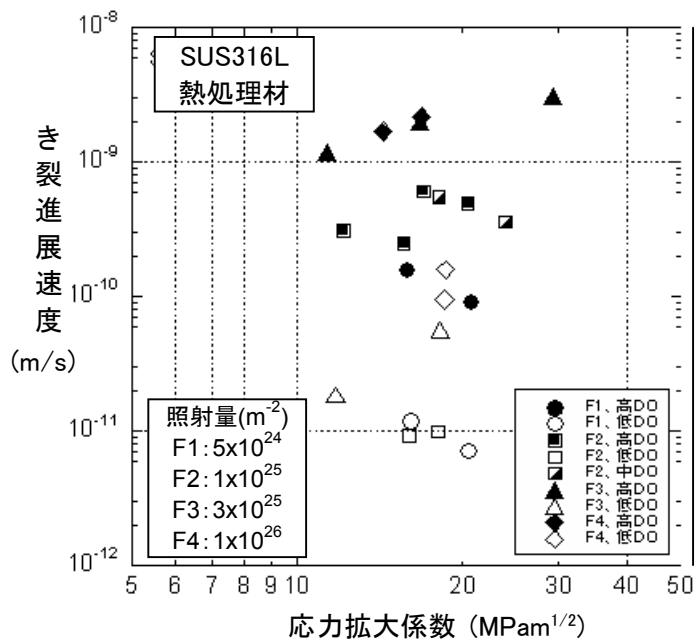


図3 照射済試料による BWR 条件を模擬した高温水中下の SCC き裂進展試験結果

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)）

### 【研究分野／項目】

Ⅲ. 核燃料サイクル施設分野／安全評価

【分類番号】 3-1-1

### 【研究課題名(Title)】

核燃料サイクル施設の臨界安全性に関する研究  
 Research on Criticality Safety for Nuclear Fuel Cycle Facilities

### 【研究代表者】

〔所属〕 安全研究センター 核燃料サイクル施設安全評価研究グループ  
 〔氏名〕 内山 軍蔵（うちやま ぐんぞう）  
 〔連絡先〕 Tel : 029-282-6742 E-mail : uchiyama.gunzo@jaea.go.jp

### 【研究目的】

再処理施設及び MOX 燃料加工施設の臨界事故等に関する実験データを蓄積するとともに、高精度の臨界安全評価手法を整備する。また、軽水炉における高燃焼度燃料や MOX 燃料の利用、並びに使用済燃料の輸送及び中間貯蔵施設の安全基準整備に資するため、燃焼度クレジット、臨界管理手法及び臨界安全データベースを整備する。

### 【研究内容】

- イ. 臨界安全評価手法の整備に資するため、溶液燃料体系における高精度の臨界ベンチマークデータ、臨界超過時の過渡特性データを系統的に取得する。また MOX 燃料体系の臨界特性データ、臨界事故評価手法の整備を行い、臨界データベースの整備を行う。【一部、文科省、保安院受託】
- ロ. 燃焼度クレジットを考慮する際の臨界安全評価手法を整備するため、燃焼による核種組成変化の評価とこれを考慮した臨界解析を統合した解析コードを整備し、燃焼燃料の臨界管理手法の整備を行う。

### 【達成目標】

実験的及び解析的評価により、再処理施設及び MOX 燃料加工施設で取扱われる燃料に対する臨界安全評価手法、データベースを整備するとともに、燃焼度クレジットを考慮した臨界管理手法の整備を行う。

### 【成果の活用方策】

MOX 燃料加工施設の設工認、保安規定、保安検査、施設定期検査に適用する技術基準に、また、六ヶ所再処理施設の後続規制に係る安全確保方策の検討時に活用できる。さらに、随時行われている事業者からの申請に対して最新の知見として活用できる。

### 【使用主要施設】

- ・原子力科学研究所 燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）

### 【研究の進め方】

MOX 燃料加工施設の許認可手続き、六ヶ所再処理施設の後続規制等にタイムリーに応えるために、産業界の動向を把握しつつ、中期計画及び原子力安全委員会が定める「原子力の重点安全研究計画」に沿って研究を進める。燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）に設置されている臨界実験装置による実験、OECD/NEA の国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクトへの参加、フランス IRSN との研究協力を通じて実験データを取得しつつ、これを活用して各種のデータベース、解析・評価手法の整備を行う。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

〔共同研究名（実施機関）〕  
 BWR 燃料に対する燃焼解析手法の開発（東北大学、原子力機構）

[受託研究名 (委託元)]

「再処理施設臨界安全技術開発等①再処理施設臨界安全技術開発」(文部科学省)

「MOX 燃料加工施設安全技術調査等 (臨界事故安全評価等調査)」(原子力安全・保安院)

[委託研究名 (委託機関)]

なし

## 【研究実施内容及び成果 (平成 17～19 年度)】

### イ. 臨界安全データの取得・整備

#### (1) 溶液燃料体系における高精度の臨界ベンチマークデータの取得

定常臨界実験装置 STACY (図 1) を用いて、濃縮度 5%の二酸化ウラン燃料棒と濃縮度 6%の硝酸ウラニル溶液により再処理施設の溶解工程を模擬した体系を構成し、溶液に添加した Sm、Cs、Rh、Eu の反応度価値データを取得し (図 2)、燃焼度クレジットを考慮した安全基準整備に必要なコードシステムの開発に向けた検証を行った<sup>3</sup>。また、可溶性毒物ガドリニウム (Gd) を溶液に添加した臨界ベンチマークデータも取得した。

#### (2) 溶液燃料体系の臨界超過時の過渡特性データの取得

過渡臨界実験装置 TRACY を用い、水反射体付き炉心で徐々に溶液を増加すること (ランプ給液) による臨界事故を模擬した実験データを取得し、反射体が付かない炉心の実験データと比較した (図 3)。

#### (3) MOX 燃料体系の臨界特性データの整備

MOX 燃料加工施設の均一化混合設備において MOX 粉末、ウラン粉末、及び添加剤の混合において臨界安全上最も厳しい燃料分布を求める計算コード OPT-TWO を開発し、中心部に MOX 粉末、周辺部にウラン粉末、添加剤が中心部に非均質に存在する分布が最も保守的な分布になるとの結果を得た (図 4)。また、MOX 燃料加工施設の臨界事故評価に必要な物性データを整備した。

#### (4) MOX 燃料体系の臨界事故評価手法の整備

MOX 燃料加工施設の均一化混合設備で想定される MOX 粉末、ウラン粉末、及び添加剤として投入されるステアリン酸亜鉛の 3 種類の粒子の混合に対する臨界事象解析コードを開発し、臨界事象を仮想した評価に適用できることを確認し、その適用範囲は添加剤が熔融する反応度 0.1\$ から急激に熱分解する反応度 3\$ までであることを示した (図 5) <sup>4</sup>。

### ロ. 燃焼度クレジットを考慮した臨界管理手法の整備

#### (1) 燃焼による核種組成変化の評価

ベツナウ 1 号機 (スイス) の MOX 燃料照射後試験データを用いて、燃焼解析コード SWAT2 が MOX 燃料についてもウラン燃料と同等の精度で核種生成量を評価できることを確認し、燃焼度クレジットを考慮した安全基準整備に必要なコードシステムの開発に向けた検証を行った (図 6)。

#### (2) 燃焼・臨界統合解析コードの整備

燃焼解析コード SWAT 及び ORIGEN2 の出力結果をもとに、任意の臨界計算コードの入力データを作成するシステムの開発をおこなった。これにより、SWAT や ORIGEN2 を使用して燃焼燃料の組成変化を評価し、その結果を臨界安全評価に簡便かつ効率的に取り入れることが可能となった (図 7)。さらに、統合化燃焼計算コードシステム SWAT2 を拡張し、MCNP を使った燃焼計算を可能とした SWAT3 を開発し、その精度評価を進めた。

## 【特記事項】

## 【研究成果の発表状況】

雑誌掲載論文：

- 1) K. Suyama, H. Mochizuki\*, "Effect of neutron induced reactions of neodymium-147 and 148

<sup>3</sup> 文部科学省からの受託事業「再処理施設臨界安全技術開発等①再処理施設臨界安全技術開発」

<sup>4</sup> 原子力安全・保安院からの受託事業「MOX 燃料加工施設安全技術調査等 (臨界事故安全評価等調査)」

- on burnup evaluation," Journal of Nuclear Science and Technology, 42[7], 661-669 (2005).
- 2) M. Sakai\*, T. Yamamoto, M. Murazaki\*, Y. Miyoshi, "Development of a Criticality Evaluation Method Considering the Particulate Behavior of Nuclear Fuel," Nuclear Technology, 149[2], 141-149 (2005).
  - 3) T. Yamamoto, Y. Miyoshi, T. Takeda\*, "Extension of effective cross section calculation method for neutron transport calculations in particle-dispersed media," Journal of Nuclear Science and Technology, 43[1], 77-87(2006).
  - 4) K. Suyama, H. Mochizuki\*, "Corrections to the  $^{148}\text{Nd}$  method of evaluation of burnup for the PIE samples from Mihama-3 and Genkai-1 reactors," Annals of Nuclear Energy, 33[4], 335-342 (2006).
  - 5) H. Okuno, H. Yoshiyama, Y. Miyoshi, "Calculation of criticality condition data for single-unit homogeneous uranium materials in six chemical forms," Journal of Nuclear Science and Technology, 43 [11], 1406-1413 (2006).
  - 6) H. Okuno, "Development of a statistical method for evaluation of estimated criticality lower-limit multiplication factor depending on uranium enrichment and H/Uranium-235 atomic ratio," Journal of Nuclear Science and Technology, 95 [2], 137-146 (2007).
  - 7) K. Suyama, M. Murazaki, Y. Okuda\*, "Decreasing in Neutron Multiplication Factor in Spent Fuel Storage Facilities by Changing Fuel Assembly Position in Axial Direction," Annals of Nuclear Energy, 34[5], 417-423 (2007).

#### 技術報告書：

- 8) K. Suyama, "PIE Analysis for Minor Actinide," 2004 核データ研究会、東海村、2004 年 11 月 11-12 日 (November 2004)、Proceedings of the 2004 Symposium on Nuclear Data, November 11-12, 2004, JAERI, Toaki, Japan, JAERI-Conf 2005-003 (2005).
- 9) 研究炉使用済燃料輸送容器構造検討グループ (奥野浩、村山洋二、鬼沢邦雄、天谷政樹、山田賢仁、楠剛、八木理公、国府田信之、菊池博之、玉井和夫)、「研究炉使用済燃料輸送容器の改造必要性について—JRC-80Y-20T 落下衝撃解析結果の検討—」、JAERI-Review 2005-023(2005).
- 10) 高橋聡\*、奥野浩、三好慶典、「MOX 粉末体系の臨界性に対する粒子粒径の影響」、JAERI-Tech 2005-056 (2005).
- 11) 日本原子力学会「核燃料施設事故影響評価手法調査」特別専門委員会 (分担執筆)、「核燃料施設の確率論的安全評価に関する調査 (II)」調査報告書(2006).
- 12) 奥野浩、高田友幸、吉山弘、三好慶典、「評価済み溶解槽模擬臨界実験体系に基づく臨界計算コードのベンチマーク解析」、JAEA-Data/Code 2005-001 (2005).
- 13) 山根祐一、酒井幹夫、阿部仁、山本俊弘、奥野浩、三好慶典、「MOX 粉末体系の過渡臨界事象評価のための物性値データ—MOX 及びステアリン酸亜鉛粉末の物性値—」、JAEA-Data/Code 2006-021(2006).
- 14) 佐藤庄平、酒井友宏\*、奥野浩、「OPT-TWO : 2 次元 MOX 燃料最適濃度分布計算コード」、JAEA-Data/Code 2007-017 (2007).

#### 国際会議：

- 15) K. Tonoike, T. Yamamoto, Y. Miyoshi, "Critical Experiments on Interaction Systems Using STACY and Their Analytical Evaluation," NUCEF2005 (February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 16) K. Suyama, H. Okuno, Y. Miyoshi, "Needs for Development of Criticality Safety Evaluation System," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 17) S. Watanabe, T. Yamamoto, H. Hirose, K. Izawa, Y. Miyoshi, "Critical Experiments and Their Benchmark Evaluations on STACY Heterogeneous Core," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 18) Y. Yamane, T. Yamamoto, Y. Miyoshi, "International Comparison of Criticality Accident Evaluation Methods - Evaluation Plan of Super-critical Benchmark Based on TRACY Experiment -," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.

- 19) Y. Okuda, M. Murazaki, Y. Miyoshi, "Ambient Dose Assessment around TRACY Using Deterministic Methods," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 20) H. Okuno, K. Suyama, H. Yoshiyama, K. Tonoike, Y. Miyoshi, "Preparation of Data for Criticality Safety Evaluation of Nuclear Fuel Cycle Facilities," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 21) T. Yamamoto, Y. Yamane, Y. Miyoshi, "Development of Criticality Accident Analysis Methods for MOX Fuel Fabrication Facility," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 22) T. Takada, H. Okuno, Y. Miyoshi, K. Tamura, "Development of a Database System for Hypothetical Criticality Accident Evaluation of MOX Fabrication Plant," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 23) Y. Nomura, K. Kitao, K. Karasawa, K. Yamada, S. Takahashi, K. Watanabe, H. Okuno, Y. Miyoshi, "Safety Demonstration Analyses at JAERI for Severe Accident during Overland Transport of Fresh Nuclear Fuel," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 24) S. Takahashi, H. Okuno, K. Yamada, K. Watanabe, Nomura Yasushi, Y. Miyoshi, "Safety Demonstration Analyses on Criticality for Severe Accident during Overland Transport of Fresh Nuclear Fuel ," NUCEF2005(February 2005), Proc. of International Symposium NUCEF2005, 9-10, February 2005, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan.
- 25) H. Okuno, K. Suyama, S. Takahashi, S. Watanabe, K. Tonoike, Y. Miyoshi, " Nuclear criticality safety aspects of 'specified'-uranium fuel cycle facilities," American Nuclear Society Winter Meeting, Albuquerque, New Mexico, USA, November 12-16, 2006, ANS Transactions, 95, 283-284 (2006).
- 26) B. Roque, R. Gregg, R. Kilger, F. Laugier, P. Marimbeau, A. Ranta-aho, C. Riffard, K. Suyama, M. Yudkevich, K. Hesketh, E. Sartori,"International comparison of a depletion calculation benchmark devoted to fuel cycle issues Results from the Phase 1 dedicated to UOx fuels ,"PHYSOR-2006 - Advances in Nuclear Analysis and Simulation, Vancouver, BC, Canada. ,(September 2006),Proc. of Int. Conf. of PHYSOR-2006.
- 27) T. Yoshikawa, T. Iwasaki, K. Wada, K. Suyama, "Effect of high burn-up and MOX fuel on reprocessing, vitrification and disposal of PWR and BWR spent fuels based on accurate burnup-calculation," PHYSOR-2006 - Advances in Nuclear Analysis and Simulation, Vancouver, BC, Canada. ,(September 2006), Proc. of Int. Conf. of PHYSOR-2006.
- 28) K. Suyama, H. Okuno, G. Uchiyama,"Current Status of Spent Fuel Isotopic Composition Database SFCOMPO and Related Technical Development in JAEA,"Workshop on the Need for Post Irradiation Experiments to Validate Fuel Depletion Calculation Methodologies,(May 2006),Proceedings of Workshop on the Need for Post Irradiation Experiments to Validate Fuel Depletion Calculation Methodologies,OECD/NEA.
- 29) K. Suyama, H. Okuno, G. Uchiyama, T. Yamamoto\*,"Current Status and Potential Needs of Burnup Credit in Japan,"Workshop on the Need for Post Irradiation Experiments to Validate Fuel Depletion Calculation Methodologies,(May 2006),Proceedings of Workshop on the Need for Post Irradiation Experiments to Validate Fuel Depletion Calculation Methodologies,OECD/NEA.
- 30) Y. Rugama\*, K. Suyama, M. Brady-raap\*,"Activities of OECD/NEA Expert Group on Assay Data of Spent Nuclear Fuel ,"2007 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP 2007),(May 2007),Proceedings of 2007 International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, May 13-18, 2007, Nice Acropolis, France.
- 31) Y. Yamane, S. Takahashi, Y. Yamamoto, Y. Miyoshi, "Criticality Accident Evaluation for MOX Powder System," ICNC2007 – The 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety, St. Petersburg, Russia. ,(May 2007), Proc. of Int. Conf. on Nuclear Criticality Safety, ICNC2007.
- 32) H. Sugino, K. Suyama, H. Okuno,"Analysis of Post Irradiation Examination Data of Samples from Obrigheim PWR with Re-evaluation of Burnup Values by Neodymium-148 Method Using Latest Nuclear Data Library," The 8th International Conference on Nuclear

- Criticality Safety (ICNC2007),(May 2007), Proc. of the 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety, ICNC2007.
- 33) H. Okuno, K. Suyama, Y. Okuda, H. Yoshiyama, Y. Miyoshi, "Preliminary Criticality Safety Evaluation of Long-term Storage of Spent Nuclear Fuels," ICNC2007 – The 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety, St. Petersburg, Russia, (May 2007), Proc. of Int. Conf. on Nuclear Criticality Safety, ICNC2007.
  - 34) K. Tonoike, Y. Miyoshi, S. Watanabe\*, T. Yamamoto, "Benchmark Critical Experiments and FP Worth Evaluation for a Heterogeneous System of Uranium Fuel Rods and Pseudo FP Doped Uranium Solution," The 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety (ICNC2007),(May 2007), Proc. of the 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety, ICNC2007.
  - 35) Y. Miyoshi, T. Yamamoto, S. Watanabe, K. Tonoike, "Critical Experiments of Heterogeneous Core for Simulating Dissolving Process in Reprocessing Plant," The 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety (ICNC2007),(May 2007), Proc. of the 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety, ICNC2007.
  - 36) M. Eaton\*, J. Gomes\*, C. Pain\*, A. Goddard\*, M. Piggott\*, A. Ziver\*, Y. Yamane, Y. Miyoshi, "Numerical Modelling of a Postulated Criticality Accident of a MOX Powder System Using the FETCH Code,"The 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety (ICNC2007),(May 2007), Proc. of the 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety, ICNC2007.

口頭発表：

- 37) 奥野浩、三好慶典、「二酸化珪素とウランあるいはプルトニウム均質混合体系の未臨界判定図」、日本原子力学会 2005 年秋の大会口頭発表(2006).
- 38) 高橋聡、奥野浩、三好慶典、「MOX 粉末体系の臨界性に対する粒子粒径の影響 (2)」、日本原子力学会 2005 年秋の大会口頭発表(2006).
- 39) 山本俊弘、三好慶典、竹田敏一、「粒子分散系での均質化断面積計算法の多層粒子への拡張」、日本原子力学会 2005 年秋の大会口頭発表(2006).
- 40) 奥野浩、「ウラン濃縮度及び H/<sup>235</sup>U に依存した推定臨界下限値評価のための統計的評価方法の開発」、日本原子力学会 2006 年春の年会口頭発表(2006).
- 41) 渡辺庄一、外池幸太郎、吉山弘、山本俊弘、井澤一彦、三好慶典、「STACY による溶液状ウラン燃料の臨界特性に関する試験及び実験 (34) —非均質体系(1.5cm ピッチ炉心)での FP 模擬元素の反応度効果—」、日本原子力学会 2006 年春の年会口頭発表(2006).
- 42) 蛇川季嗣、三好慶典他、「濃縮度 5wt%超燃料導入による軽水炉燃料の大幅高燃焼度化のための臨界安全に関する技術開発 (1) —フィージビリティ・スタディー—」、日本原子力学会 2006 年春の年会口頭発表(2006).
- 43) 平岩 宏司、三橋 偉司、三好慶典他、他、「濃縮度 5wt%超燃料導入による軽水炉燃料の大幅高燃焼度化のための臨界安全に関する技術開発 (2) —実用化のための技術開発—」、日本原子力学会 2006 年春の年会口頭発表(2006).
- 44) 奥野 浩、佐藤庄平、川崎弘光、「二酸化珪素または水を減速材とした臨界及び未臨界アクチニド濃度の計算」、日本原子力学会 2006 年秋の大会口頭発表(2006).
- 45) 佐藤庄平、奥野 浩、「自由表面形状を持つ溶液燃料体系のモンテカルロ法臨界解析」、日本原子力学会 2006 年秋の大会口頭発表(2006).
- 46) 山根祐一、高橋聡、山本俊弘、三好慶典、「MOX 粉体系の臨界事故評価のための事故シナリオと動特性解析」、日本原子力学会 2006 秋の大会、日本原子力学会 2006 秋の大会口頭発表(2006)
- 47) 奥野 浩、佐藤庄平、内山軍藏、酒井友宏、「MOX, UO<sub>2</sub> 及び添加剤濃度分布の不均一性を考慮した臨界計算、(1) 背景、定式化及び計算モデル」、日本原子力学会 2007 年春の年会口頭発表(2007).
- 48) 佐藤庄平、奥野 浩、内山軍藏、酒井友宏、「MOX, UO<sub>2</sub> 及び添加剤濃度分布の不均一性を考慮した臨界計算、(2) 計算コード、計算結果及び検討」、日本原子力学会 2007 年春の年会口頭発表(2007).
- 49) 吉川崇倫、岩崎智彦、遠藤秀樹、須山賢也、志子田恵治、山田紘平、浜畑美規、大枝伸、「公開コードによる BWR 燃料設計システムの構築(3)」、原子力学会 2007 年春の年会口頭発表(2007).



- 50) 山根祐一、内山軍蔵、「TRACY を用いた過渡臨界事象に対する初期温度効果測定の前備試験」、日本原子力学会 2007 春の年会口頭発表 (2007).
- 51) 山根祐一、「低反応度添加率の臨界事故時の最大出力に対する近似式」、日本原子力学会 2007 秋の大会口頭発表 (2007)
- 52) 奥野 浩、佐藤庄平、「臨界計算誤差評価の高度化の研究－ウラン燃料体系及び MOX 燃料体系への適用性－」、日本原子力学会 2008 年春の年会口頭発表(2008).
- 53) 佐藤庄平、奥野 浩、「スロッシングによる溶液燃料体系の中性子増倍率の変動」、日本原子力学会 2008 年春の年会口頭発表(2008).

#### 受託事業報告書：

- 54) 文部科学省特会、平成 17 年度再処理施設臨界安全技術開発等①再処理施設臨界安全技術開発成果報告書、平成 17 年 9 月、日本原子力研究所
- 55) 経済産業省特会、平成 17 年度 MOX 燃料加工施設安全技術調査等（臨界事故安全評価等調査）調査報告書、平成 18 年 3 月、日本原子力研究開発機構

#### 【用語解説】

##### 反応度値

原子炉(炉心)などの臨界体系に何等かの物質を挿入したとき、その体系に生じた反応度の変化量を数値で表現したもの。単位として、ドルとその 1/100 のセントがある。

##### SWAT、SWAT2、SWAT3 コード

核種生成・消滅計算コード ORIGEN2 と中性子輸送計算コードを組み合わせて燃焼計算を行う。約 1000 種類の核種の生成量等を解析することができる。なお、SWAT コードでは中性子輸送計算コードとして 1 次元輸送計算に基づく SRAC のみが使用可能であったが、SWAT2 コード及び SWAT3 では、連続エネルギーモンテカルロ計算コード MVP 及び MCNP を順次追加で使用可能とした。

##### ステアリン酸亜鉛

MOX 燃料粉末の調整に用いられる添加剤。H、C のような軽元素を含むため中性子の減速材となり得る。124℃程度で融解し、400℃程度で熱分解する。

##### OPT-TWO コード

MOX, UO<sub>2</sub>, ステアリン酸亜鉛の混合系の臨界安全上最も厳しい分布を計算する。2次元体系を扱うことができる。

図表

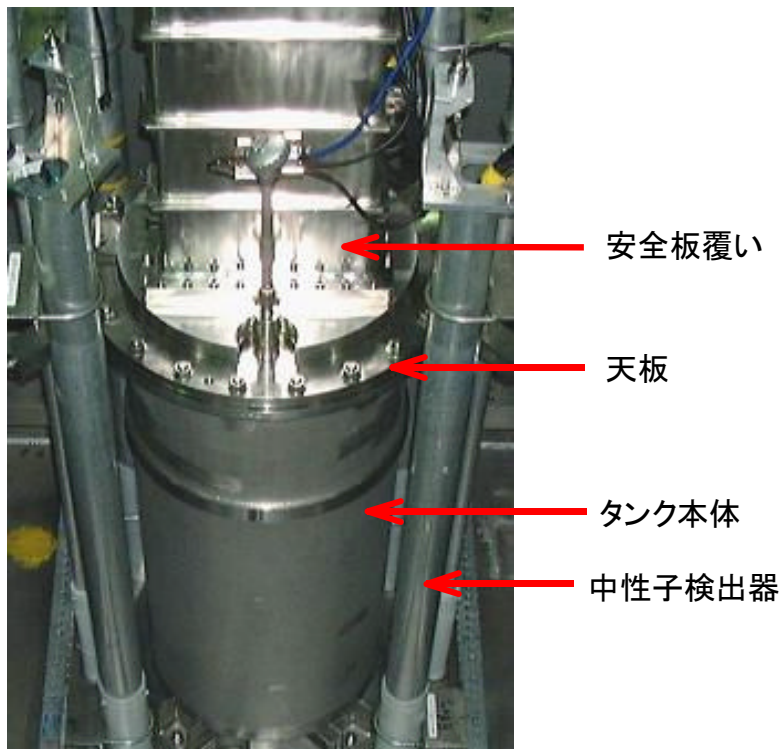
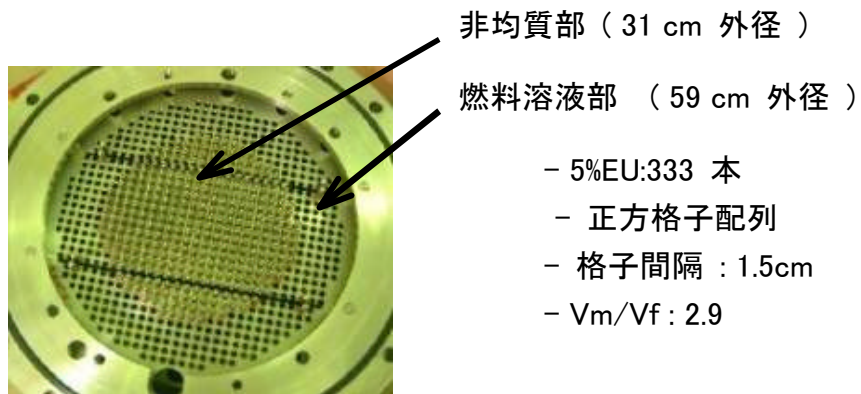


図 1 定常臨界実験装置 (STACY)

本装置は NUCEF の定常臨界実験装置 (STACY) で、非均質体系炉心での臨界実験に用いる。直径約 60 cm の円筒形状の炉心タンク内に、ウラン酸化物燃料棒 333 本をピッチ 1.5 cm の正方格子で予め配列しておく。配列の外周はほぼ「円」になるようになっており、炉心タンク内に硝酸ウラニル水溶液を給液することにより、燃料棒と溶液燃料が存在する「非均質部分」と、その周りの溶液燃料のみからなる「均質部分」が構成され、双方があいまって全体で臨界となる。この硝酸ウラニル水溶液に、FP 元素あるいはガドリニウム元素を添加し、臨界量の測定を行った。

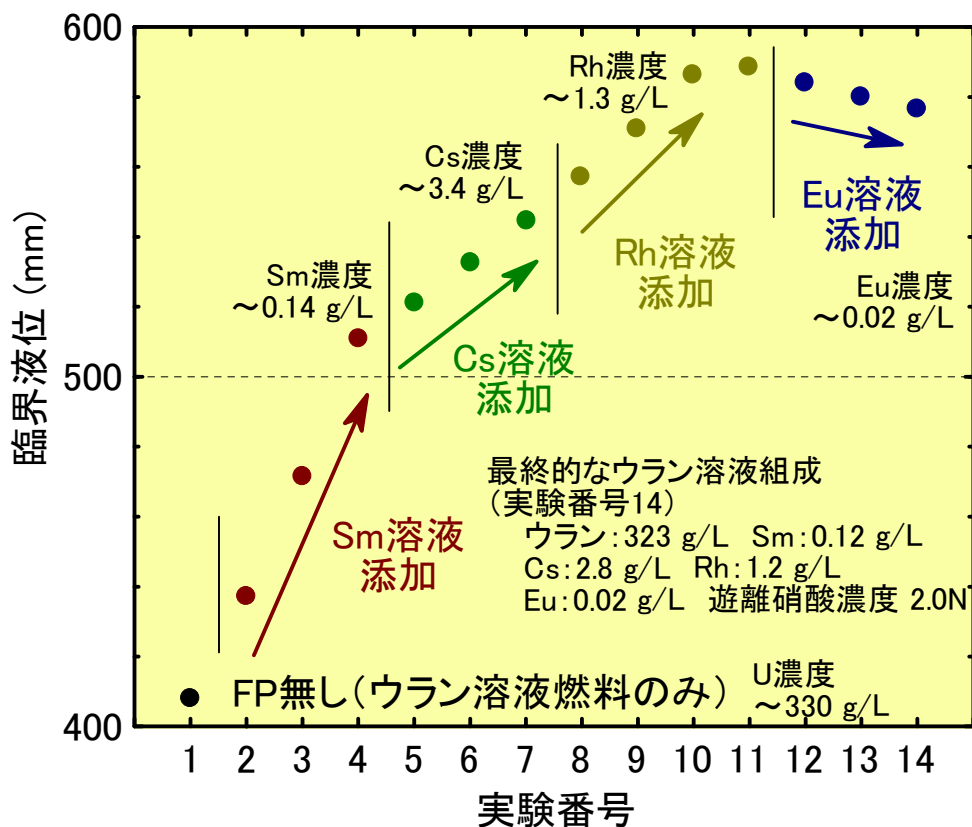


図2 FP元素を添加したSTACY臨界実験

FPが臨界に与える負の効果について、原子力科学研究所の定常臨界実験装置STACYを用いて精密な測定を行った。燃焼度クレジットを導入するメリットが大きい再処理施設の溶解工程を模擬して、ウラン燃料棒( $^{235}\text{U}$  5wt%)を配列した炉心タンクに底のノズルからウラン溶液燃料( $^{235}\text{U}$  6wt%)を供給し、臨界となる溶液量を測定した。ウラン溶液燃料にウラン1 tあたり30 GWdayの積算出力を得た場合の蓄積濃度に相当するサマリウム(Sm)、セシウム(Cs)、ロジウム(Rh)の各天然元素を順次追加した。その結果、中性子の吸収量が増え、臨界液位が増えた。同様にユーロピウム(Eu)も追加したが、溶液燃料全体の体積が増えてSmなどの濃度が下がった効果がEuの濃度増加の効果よりも大きく、臨界液位は減った。

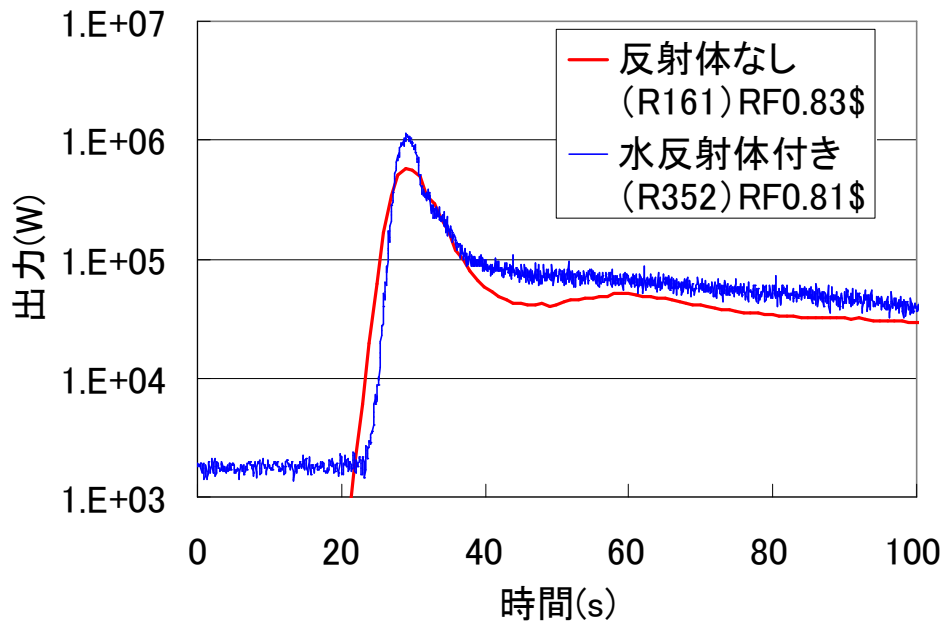


図 3 水反射体付き及び反射体なし炉心における臨界超過時の出力時間変化の比較

原子力科学研究所の過渡臨界実験装置 TRACY 炉心タンクに底のノズルからウラン溶液を徐々に供給して、臨界超過状態にして、出力の時間変化を測定した。50cm 厚の水反射体を炉心タンク外側に付けた状態で実験を行った。過去にほぼ等しい臨界超過状態での実験を反射体がない状態で実施した。両者の実験結果を比較したところ、水反射体付きの方が、出力の第 1 ピークの値がやや大きいという結果を得た。温度が高くなることによる反応度への負のフィードバック効果が、反射体がない炉心に比べて水反射体付き炉心の方が数%小さいためと考えられる。

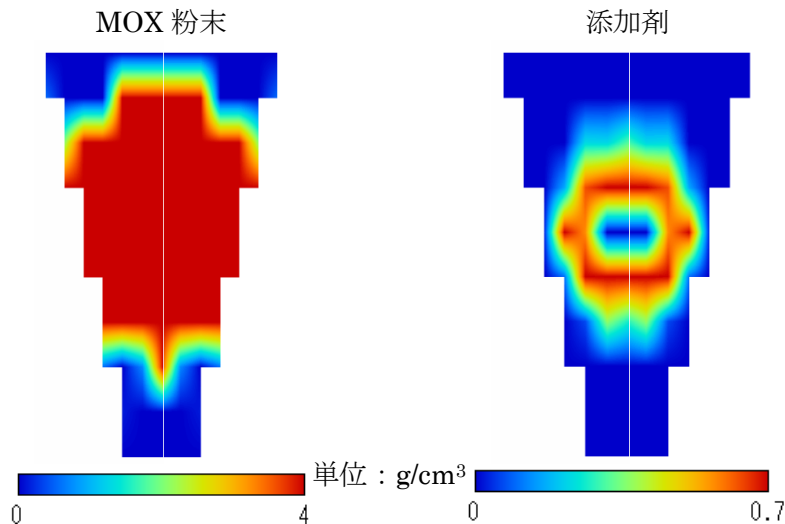


図4 粉末混合装置モデルにおける臨界安全評価上で最も厳しい燃料濃度分布の解析例

MOX 燃料加工施設において、MOX 取扱量の最も大きな粉末混合装置のモデルを対象に、臨界特性データを整備した。2次元 MOX 燃料最適濃度分布計算コード OPT-TWO を用いて、臨界安全評価上で最も厳しい燃料濃度分布を計算した。PuO<sub>2</sub> 富化度 18wt%、添加剤濃度 0.1g/cm<sup>3</sup> の計算結果の例を示す。左側は MOX 濃度の分布で、中心部で MOX、周辺部で二酸化ウランの濃度が高くなっている。右側は添加剤の分布で、中心部 MOX 粉末領域の中に入り込んだ球殻状の分布になっている。

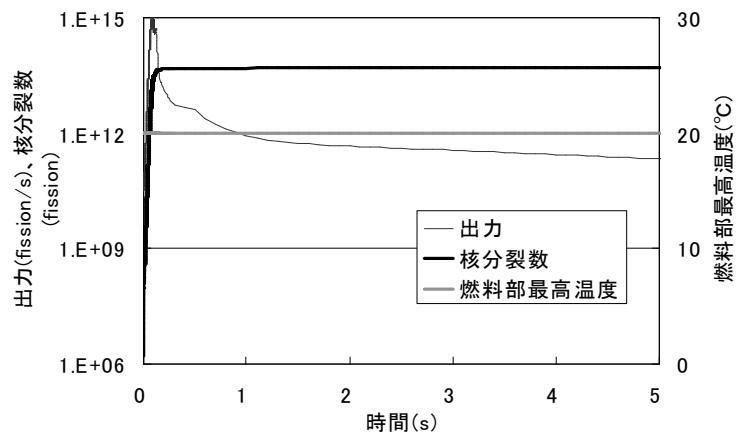


図5 粉末混合装置モデルの臨界事象の解析例

MOX 燃料加工施設の粉末混合装置モデルを対象に、臨界事象が起きたとした場合の出力の変化を調べた。反応度添加後 0.1 秒程度で一度  $1 \times 10^{15}$  fission/s 程度まで出力が上昇し、その後は単調に下降している。500 秒まで計算を実施したが、燃料部の最高温度は 20 °C のままであり、出力の下降は温度のフィードバックのためではないことがわかる。混合攪拌初期の 0.2 秒間の間、全反応度が正となるが、その時間が短いため出力が大きくなる前に体系が未臨界となり、出力が下降したと考えられる。

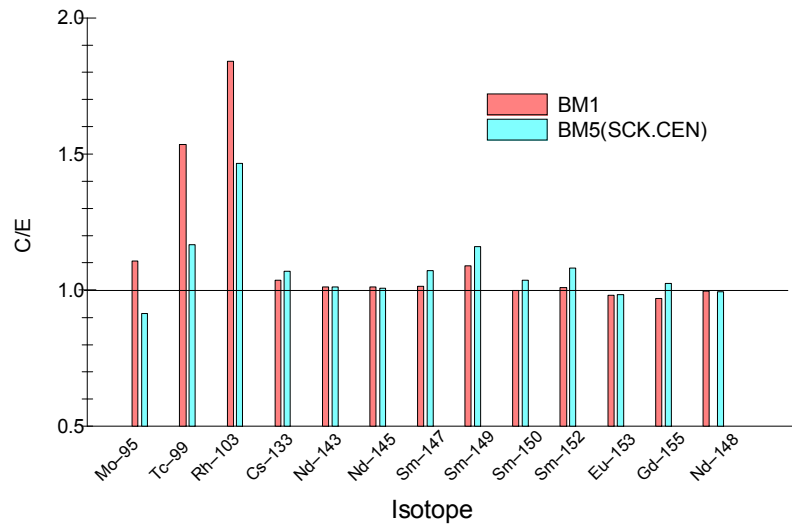


図6 FP核種生成量評価結果

照射済 PWR-MOX 燃料 (44 GWd/t 及び 55GWd/t) の同位体組成データを、連続エネルギーモンテカルロコード MVP を使用した統合化燃焼計算コードシステム SWAT2 によって解析した結果を示す。C/E は (計算値/実験値) を表す。これによって、MOX 燃料に対しても、従来の UO<sub>2</sub> 燃料を対象とした解析で得られていた同様の解析精度、すなわち主要 U、Pu 同位体に対して 5% の精度で同位体組成が得られる事を確認できた。FP については、不溶性残渣として残る金属類について C/E の値が大きくなっているのを除くと、5-10% の精度で推定可能であることがわかった。

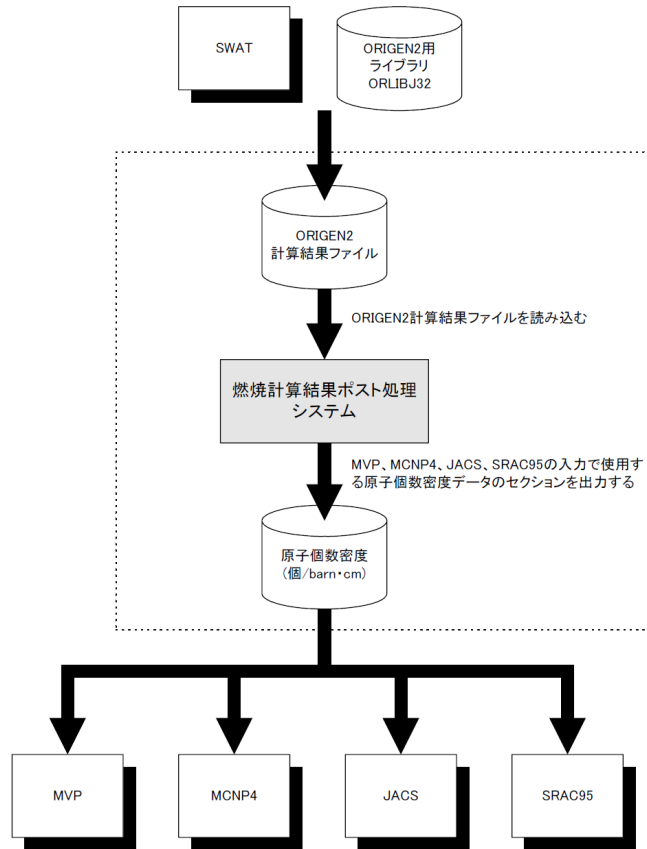


図 7 燃焼計算結果ポスト処理システムの概要

SWAT または ORIGEN2 によって書き出されたファイル进行处理し、MVP を始めとする各種臨界計算コードの入力で必要とされる原子個数密度データを作成する燃焼計算ポスト処理システム（燃焼計算結果ポスト処理システム）を作成した。本システムを利用すると、インターネットを通じた会話型の実行による 1 回ごとの臨界計算のほか、コマンドラインを通じて多数回の臨界計算を自動的に行うことも可能となっている。

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度))

### 【研究分野／項目】

Ⅲ. 核燃料サイクル施設分野／安全評価

【分類番号】 3-1-2

### 【研究課題名(Title)】

核燃料サイクル施設の事故時放射性物質の放出・移行特性  
 Release and Migration Characteristics of Radioactive Materials under Accident Conditions in Nuclear Fuel Cycle Facilities

### 【研究代表者】

[所属] 安全研究センター 核燃料サイクル施設安全評価研究グループ  
 [氏名] 内山 軍蔵 (うちやま ぐんぞう)  
 [連絡先] Tel : 029-282-6742 E-mail : uchiyama.gunzo@jaea.go.jp

### 【研究目的】

核燃料サイクル施設の火災・爆発・臨界事故が万一発生した時の放射性物質の放出・移行特性等に関する基礎データを取得し、安全審査等に対する科学的知見を提供する。

### 【研究内容】

イ. 核燃料サイクル施設における火災・爆発・臨界事故の放射性物質放出・移行特性及び施設の閉じ込め性能の定量的評価に係る基礎データの収集及び評価モデルの検討を行う。  
 ロ. MOX 燃料加工施設に対する安全審査及び後段規制に資することを目的として、同施設内で想定される火災事故時の施設が有する閉じ込め安全性能を定量的に評価するための基礎データを実験的に取得・整備する。【JNES 受託】

### 【達成目標】

実験的及び解析的評価により、異常反応を含む火災・爆発危険性の評価に必要なデータベースを取得・整備するとともに、施設が有する閉じ込め機能に関する安全評価手法の開発を行う。

### 【成果の活用方策】

MOX 燃料加工施設の設工認、保安規定、保安検査（経年劣化の評価を含む）、施設定期検査に適用する技術基準に、また、六ヶ所再処理施設の後続規制に係る安全確保方策の検討時に活用できる。さらに、随時行われている事業者からの申請に対して最新の知見として活用できる。また、取得・整備した基礎データ及び評価手法は、現在導入が検討されているリスク情報を活用した原子力安全規制に活用できる。

### 【使用主要施設】

- ・原子力科学研究所 第4 研究棟
- ・原子力科学研究所 機械化工特研

### 【研究の進め方】

MOX 燃料加工施設の設工認、保安規定、保安検査（経年劣化の評価を含む）、施設定期検査に適用する技術基準、また、六ヶ所再処理施設の後続規制に係る安全確保方策の検討に反映させることを念頭に置き、中期計画及び原子力安全委員会が定める「原子力の重点安全研究計画」に沿って研究を進める。MOX 燃料加工施設における火災時の閉じ込め評価に係る試験研究は、(独)原子力安全基盤機構(JNES)からの受託研究として実施する。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

- [共同研究名（実施機関）]  
 なし。  
 [受託研究名（委託元）]  
 ・ MOX 燃料加工施設火災時ソースターム試験（JNES）



[委託研究名 (委託機関)]

なし。

## 【研究実施内容及び成果 (平成 17～19 年度)】

核燃料サイクル施設の事故時の放射性物質の放出・移行特性に関する研究として、MOX 燃料加工施設を含む核燃料サイクル施設で想定される可燃性廃棄物の燃焼に伴う、エネルギー放出特性、模擬放射性物質と煤煙の放出特性に係るデータを取得した。また、溶液燃料臨界事故時の硝酸水溶液からの放射性ヨウ素の放出特性を定量的に把握するため、放射線照射下でのヨウ素の放出率及び積算放出量の経時変化に関する試験を行い、水溶液中の硝酸濃度及び共存有機物濃度をパラメータとしたヨウ素放出データを取得した。

### (1) 核燃料サイクル施設の火災事故時の放射性物質の放出・移行特性に関する研究

原子力機構が所有する「火災時ソースターム実験装置」(図 1) を用いて、可燃性物質の燃焼に伴うエネルギー放出特性、模擬放射性物質と煤煙の放出特性に係るデータを取得した。

再処理施設に関しては、抽出有機溶媒 (30%TBP/ドデカン) の燃焼特性データを取得し、燃焼に伴う煤煙の放出特性データを取得した。煤煙の質量中央径は、HEPA フィルタの捕集効率が最も低い粒子径 ( $0.15 \mu\text{m}$ ) に近い  $0.2 \mu\text{m}$  程度であった。煤煙化率 (抽出溶媒の質量減少量に対する煤煙の発生質量の割合) は最大で約 3%となった。

JNES からの受託事業「MOX 燃料加工施設火災時ソースターム試験」として、MOX の閉じ込め機能を担うグローブボックスに着目し、グローブボックスの構成材 (パネル、パッキン、グローブ等) の燃焼に伴うエネルギー放出特性あるいは模擬放射性物質と煤煙の放出特性データの取得を行った。試験では、これら構成材のうち、可燃性物質でありかつ大きな存在割合を占めるアクリル (グローブボックスのパネル材として使用) に着目し、空気雰囲気条件及び酸素濃度をコントロールした雰囲気条件のもとで、これら燃焼データを取得した (図 2)。

また、示差熱・熱重量同時測定装置等の熱分析装置 (以下、DTG という。) を用いることで、これら構成材の昇温に伴う熱分解特性データ (熱分解開始温度、熱分解ピーク温度、熱分解吸発熱量、熱分解反応速度定数等) を取得した。これらのデータを用いることで、グローブボックスの内外で火災が発生した場合のグローブボックスパネル材の熱分解による静的閉じ込め性の低下の経時変化をシミュレーションするための評価モデルを検討した。その結果、耐熱性の観点において、アクリルに対して優位性を有するものと考えられてきたポリカーボネートは、空気雰囲気下でかつ火災規模が大きい場合には、アクリルよりも早い時間で熱分解を生じ、質量が失われる可能性があることが示された (図 3)。

MOX 燃料加工施設では比放射能が高い MOX を使用するため、比較的長い期間連続的に使用される設備に関しては、設備が有する閉じ込め性能に対する放射線劣化の影響を定量的に見積もることが重要となる。そこで、原子力機構が所有する Co-60 ガンマ線照射装置を用いてパネル材 (アクリル及びポリカーボネート) にガンマ線を照射 (照射線量条件:  $\sim 880 \text{ kGy}$ ) するとともに、放射線劣化を受けたこれらパネル材の熱分解特性を DTG を用いることで観察することで、これらの熱分解特性に対する放射線劣化の影響を調べた。ポリカーボネートについては試験を行った全照射線量条件において、また、アクリルについては比較的線量条件 ( $\sim 3 \text{ kGy}$ ) において、熱分解特性に対する放射線劣化の影響は観察されなかった。一方で、アクリルの場合は、 $25 \text{ kGy} \sim 880 \text{ kGy}$  の比較的高線量条件では、熱分解開始温度の低温側へのシフトや熱分解ピークの分裂等の影響が観察された (図 4)。照射線量が  $3 \text{ kGy}$  であっても、実施設においてパネル材が長期間更新させずに使用され続けた場合に想定されるパネル材が受ける積算の照射線量と比べて十分大きい値であると考えられる。このことから、実施設においてこれらパネル材が長期間更新なしに使用されたとしても、その間の放射線劣化による熱分解特性に対する有意な影響はないと考えられる。

### (2) 硝酸溶液からのヨウ素の放出挙動評価に関する研究

溶液燃料臨界事故時の放射性ヨウ素の放出特性を定量的に把握するためには、臨界事故時の核出力条件によるヨウ素種生成・放出のみならず、溶液中のヨウ素種が揮発性ヨウ素種に変化する因子も検討する必要がある。溶液中のヨウ素種が揮発性ヨウ素種に変化するための重要な因子と考えられる硝酸水溶液ならびに放射線照射の影響を実験的に検討するため、放射線照射下での硝酸水溶液

からのヨウ素の放出率及び積算放出量の経時変化に関する試験を行い、水溶液中の硝酸濃度及び共存有機物濃度をパラメータとしたヨウ素放出データを取得した(図 5)。

## 【特記事項】

### 【研究成果の発表状況】

#### 技術報告書：

- 1) H.Abe, S.Tashiro and Y.Morita, "Study on Safety Evaluation for Nuclear Fuel Cycle Facility under Fire Accident Conditions", JAERI-Conf 2005-007 (2005.8).
- 2) S.Tashiro, H.Abe and Y.Morita, "Study on Safety Evaluation for Nuclear Fuel Cycle Facility under Fire Accident Conditions", JAERI-Conf 2005-007 (2005.8).
- 3) 阿部 仁, 渡邊浩二, 田代信介, 内山軍藏, "火災事故時のグローブボックスの閉じ込め性能評価に関する研究", JAEA-Research 2006-054 (2006.9).
- 4) (編)吉田一雄, 阿部 仁, 山根祐一, 田代信介, 村松 健, "核燃料施設の確率論的安全評価に関する調査(I)", JAEA-Research 2006-085 (2007.2).
- 5) (編)吉田一雄, 阿部 仁, 山根祐一, 田代信介, 村松 健, "核燃料施設の確率論的安全評価に関する調査(II)", JAEA-Research 2007-002 (2007.3).
- 6) 阿部 仁, 田代信介, 三好慶典, "ステアリン酸亜鉛の熱分解特性評価モデルの検討", 日本原子力学会和文論文誌, p10-21(2007.3).
- 7) (編)吉田一雄, 阿部 仁, 山根祐一, 田代信介, 村松 健, "核燃料施設の事故影響評価手法に関する調査 (I)", JAEA-Research 2007-047(2007.6).
- 8) 阿部 仁, 渡邊浩二, 田代信介, 内山軍藏, "火災事故時のグローブボックスの閉じ込め性能評価に関する研究(II)", JAEA-Research 2007-075 (2007.9).
- 9) H.Abe, K.Watanabe, S.Tashiro and G.Uchiyama, "Investigation of Effect of Radiation Deterioration on Confinement Capability of Glove-box", JAEA-Review 2007-060(2008.3).

#### 口頭発表：

- 10) 阿部 仁, 渡邊浩二, 田代信介, 土野 進, 梅津博幸, "火災時・地震時のグローブボックス閉じ込め性の試験研究(2) —火災時ソースターム評価のための要素試験—", 日本原子力学会春の年会, 2006年3月(2006).
- 11) 渡邊浩二, 阿部 仁, 田代信介, 内山軍藏, 土野 進, 梅津博幸, "火災・地震時のグローブボックス閉じ込め性の試験研究(6) —火災時ソースターム評価のための要素試験—", 原子力学会2006年秋の年会 口頭発表 (2006.9).
- 12) 阿部 仁, 渡邊浩二, 田代信介, 内山軍藏, 土野 進, 梅津博幸, "火災・地震時のグローブボックス閉じ込め性の試験研究(8)", 原子力学会2007年春の年会 口頭発表 (2007.9).

#### 受託事業報告書：

- 13) 独立行政法人原子力安全基盤機構受託事業報告書, "平成17年度 MOX 燃料加工施設火災時ソースターム試験調査報告書", 原子力機構(2006.3).
- 14) 独立行政法人原子力安全基盤機構受託事業報告書, "平成18年度 MOX 燃料加工施設火災時ソースターム試験調査報告書", 原子力機構(2007.3).
- 15) 独立行政法人原子力安全基盤機構受託事業報告書, "平成19年度 MOX 燃料加工施設火災時ソースターム試験調査報告書", 原子力機構(2008.3).

## 【用語解説】

### 質量中央径

煤煙等の粒子の粒子径分布において、ある粒子径より大きな粒子の質量が、全粒子の質量の50%を占めるときの粒子径である。

### 示差熱・熱重量同時測定装置

「物質及び基準物質の温度を調節されたプログラムに従って変化させながら、その物質と基準物質の間の温度差を温度の関数として測定する技法」である示差熱分析(DTA)と「物質の温度を調

節されたプログラムに従って変化させながら、その物質の質量を温度の関数として測定する技法」である熱重量測定（TG）を同時に行える熱分析装置である。本試験で使用した装置は、室温から1,500℃までの広い温度範囲での吸発熱と質量減少を同時測定することが可能であるため、比較的高温で熱分解する高分子化合物等の熱分解特性についても測定することが可能である。

#### アクリル

メタクリル酸メチルを主成分とするポリマーで、優れた透明性、耐候性、表面光沢などを生かして、電気、光学用部品等に広く用いられている。メタクリル樹脂は透明な熱可塑性ポリマーであって、100℃以上に加熱することによって軟化し、200℃以上に過熱すると分解してメタクリル酸メチルモノマーを生成する。グローブボックスのパネル材として使用されている。

#### ポリカーボネート

炭酸エステル結合を有する重合体の総称であるが、市販されているポリカーボネートのほとんどは二価ヒドロキシ化合物として 2,2-ビス(4-ヒドロキシフェニル)プロパンを用いたポリマーである。自己消炎性を有すると報告されており、アクリルと同様に、グローブボックスのパネル材として使用されている。

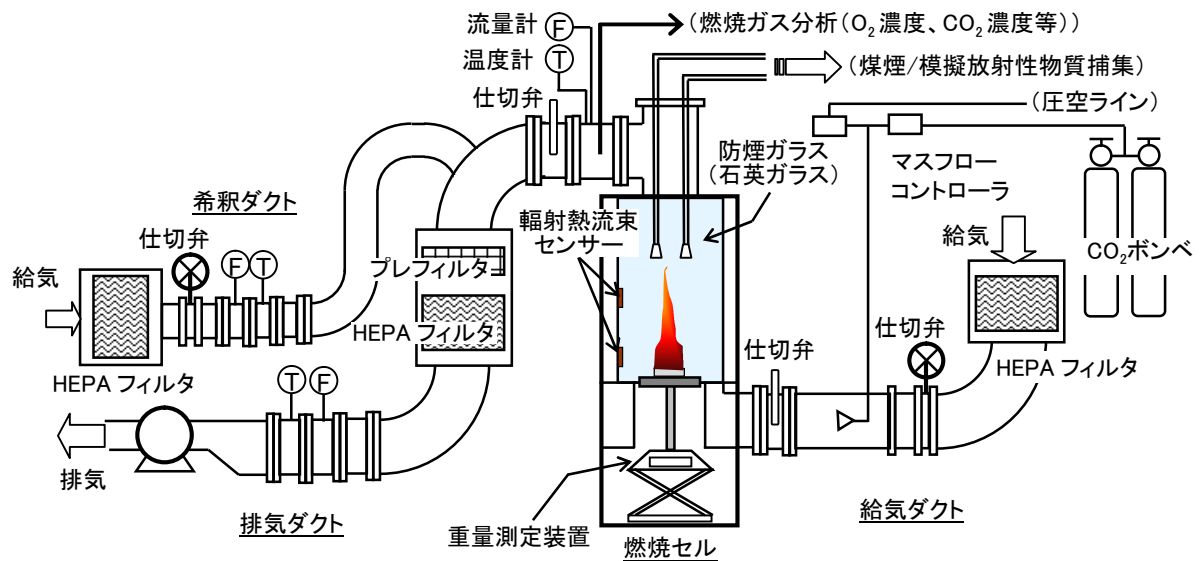


図1 火災時ソースターム実験装置の概要

可燃性物質の燃焼に伴う、エネルギー放出あるいは模擬放射性物質と煤煙の放出特性に係る基礎的なソースタームデータを取得するための実験装置である。主として、給気ダクト、燃焼セル、希釈ダクト、フィルタユニット及び排気ダクトから構成される。燃焼セルには内部観察用の防煙ガラスが設置されており、その防煙ガラスの内部で燃焼物質を実際に燃焼させ、それに伴う火炎からの輻射熱量や燃焼物質の質量減少、燃焼物質からの煤煙及び燃焼物質に共存する模擬放射性物質の放出量、HEPAフィルタの目詰まりによる差圧上昇データを同時に計測することができる。マスフローコントローラを介して空気とCO<sub>2</sub>とを任意の割合で混合し燃焼セル内に給気することが可能であるため、燃焼に対する雰囲気中の酸素濃度をコントロールすることが可能である。本装置を用いて得られた実験結果を用いて、可燃性物質燃焼時のエネルギーや質量放出速度等の熱流動に対するソースタームデータ、煤煙や模擬放射性物質の放出率等の物質の放出に係るソースタームデータ、あるいは、煤煙の負荷によるHEPAフィルタの差圧上昇評価データ等の評価を行うとともに、火災時の放射性物質の放出挙動を評価するモデルの検討を行っている。

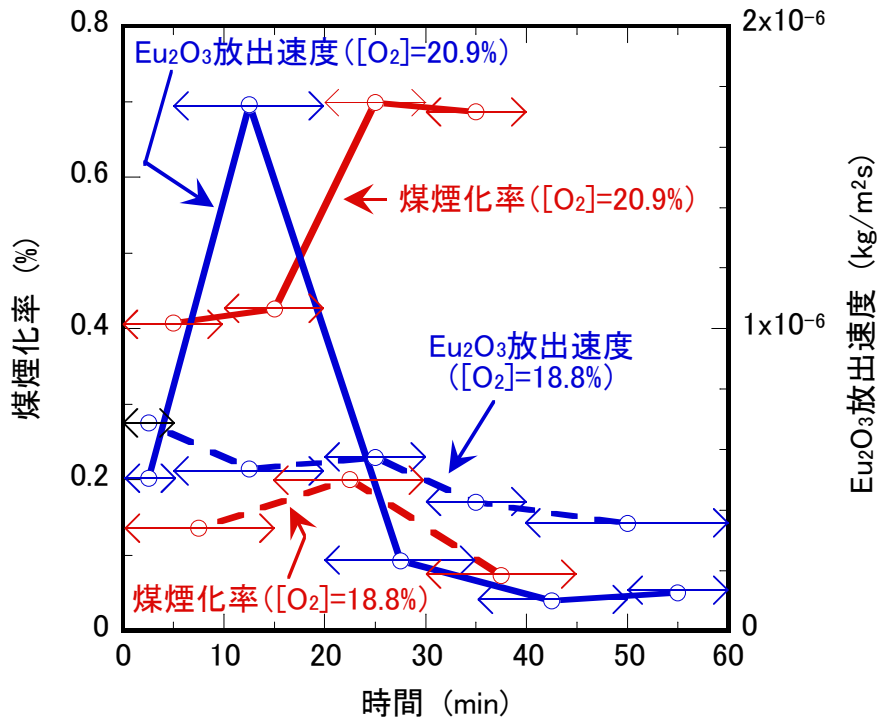


図2 アクリルの燃焼に伴う煤煙化率及びEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (模擬放射性物質) の放出速度評価結果  
 (煤煙化率 = 煤煙放出量/燃焼物質の質量減少量×100)

グローブボックスの構成材として、大きな存在割合を占めるパネル材に使用されるアクリルに着目して、燃焼に伴うエネルギー放出特性及び模擬放射性物質と煤煙の放出特性を観察した。実験は図1に示した「火災時ソースターム実験装置」を使用して実施した。アクリルとしては、直径100 mm、高さ15 mmのペレット状の形態のものを用いた。図中の煤煙化率を評価した実験では、このアクリルペレットの上表面をガスバーナーで着火し、燃焼に伴って放出された煤煙を一定時間メンブレンフィルタに捕集し、その捕集重量を測定することで煤煙放出量を求めた。また、同じ時間で計測されたアクリルペレットの質量減少量でこの煤煙放出量を除することで煤煙化率を評価した。また、本試験ではMOXの模擬物質として安定な酸化物であるEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いることで、燃焼に伴う模擬放射性物質の放出特性に係るデータを取得している。図中のEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>放出速度を評価した実験では、煤煙化率の評価に使用したのと同じ形態のアクリルペレットの上表面にEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を約1 g添加した状態でアクリルペレットを燃焼させ、燃焼にともなって放出されるEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を煤煙と同様に一定時間メンブレンフィルタに捕集した。捕集されたEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を硝酸溶液に溶解させ、溶液中のEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>存在量を原子吸光装置を用いて定量するとともに放出速度として評価した。図中の各データ点に付加した矢印は各データ点に対応する煤煙及びEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の捕集時間を意味している。アクリルの燃焼は着火直後よりある程度時間が経過した時間帯で定常となる。煤煙の放出率はこの燃焼が定常となる時間帯でピークを生じることがわかる。一方でEu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は、アクリルペレット上表面に存在しているため、着火直後に最大となり、煤煙とは異なる挙動を示すことがわかる。これらのデータを熱流動・放射性物質移行解析コードの入力項として活用していく予定である。

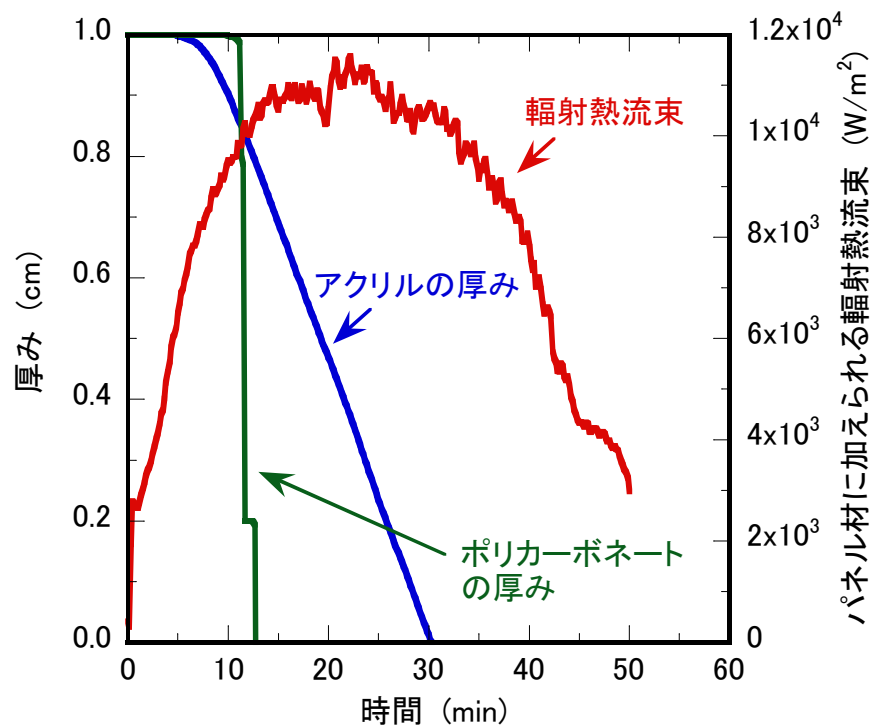


図3 近傍での火災に伴うパネル材（アクリル及びポリカーボネート）の厚みの減少評価結果  
初期厚み：1 cm（実施設でのグローブボックスの形状から設定）

本研究で取得したアクリル及びポリカーボネートに関する吸発熱特性データを用いることで、火災時のこれら物質の熱分解反応の進展の評価を試みた。これらパネル材に対して加えられる輻射熱流束として図1に示した「火災時ソースターム実験装置」を用いた燃焼試験で得られた実験値を元に設定し、これらの温度上昇による熱分解の進行及びその結果としての厚みの減少の経時変化を評価した。その結果、熱分解開始温度が極めて高い点及び自己消炎性を有する点等から、耐熱性の観点において、アクリルに対して優位性を有するものと考えられてきたポリカーボネートは、空気雰囲気下でかつ火災規模が大きい場合等、条件によっては、アクリルよりも早い時間で熱分解を生じ、質量が失われる可能性があることが示された。

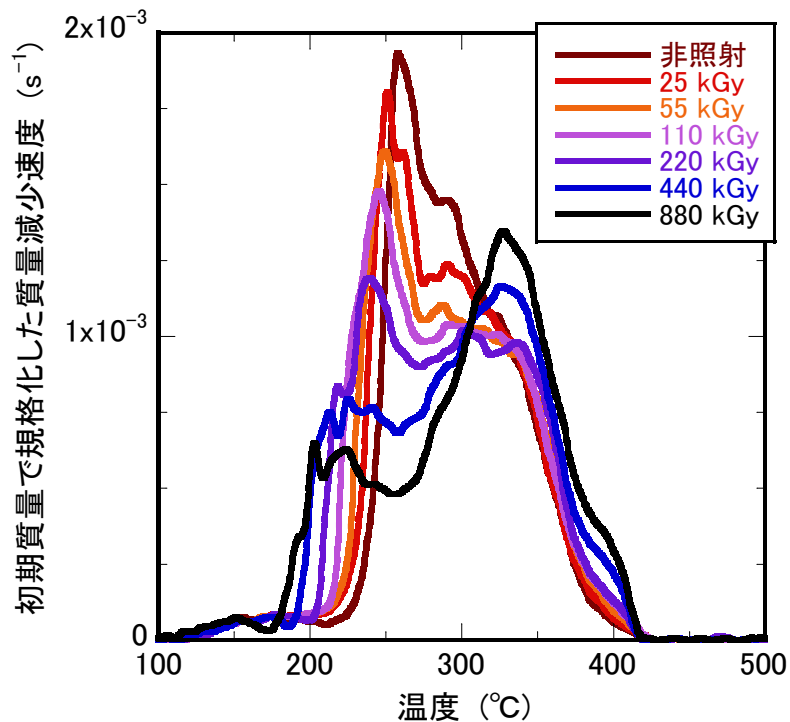


図4 アクリルの熱分解特性に対する放射線劣化の影響 (DTG 測定結果空気雰囲気)

MOX 燃料加工施設では比放射能が高い MOX を使用するため、比較的長い期間連続的に使用される設備に関しては、設備が有する閉じ込め性能に対する放射線劣化の影響を定量的に見積もることが重要となる。そこで、原子力機構が所有する Co-60 ガンマ線照射装置を用いてパネル材（アクリル及びポリカーボネート）にガンマ線を照射（照射線量条件：～880 kGy）するとともに、放射線劣化を受けたこれらパネル材の熱分解特性を DTG を用いることで観察することで、これらの熱分解特性に対する放射線劣化の影響を調べた。ポリカーボネートについては本実験の全照射条件範囲で影響が確認されなかった。一方、アクリルでは比較的低線量条件（～3 kGy）においては、ポリカーボネートと同様に影響は見られなかったが、高線量条件（25 kGy～880 kGy）では、本図に示すように、酸素雰囲気下での DTG 測定結果では、非照射条件での一つのピークが2つのピークに分かれ、照射線量が高くなるに従って、低温側のピークはピーク高を減じながら低温側に、また、高温側のピークはピーク高を増しながら高温側にシフトしていくことが確認された。また、窒素雰囲気下での測定では、低温側のピークが照射線量が高くなるに従っていくつかの微小ピークを生じるようになり、ピーク高を減じながら低温側へシフトするとともに高温側のピークはより高温側にシフトする影響がみられた。アクリルのような長鎖高分子が高エネルギー放射線を受ける際には、①分子を互いに結合すること（三次元的網目構造化）及び②主鎖を切断することの2つの相反する効果が生じることが考えられる。本図に示した高線量条件のもとでは、この2つの相反する効果がより強く現れたため、本図に示した影響が発現したものと推察される。

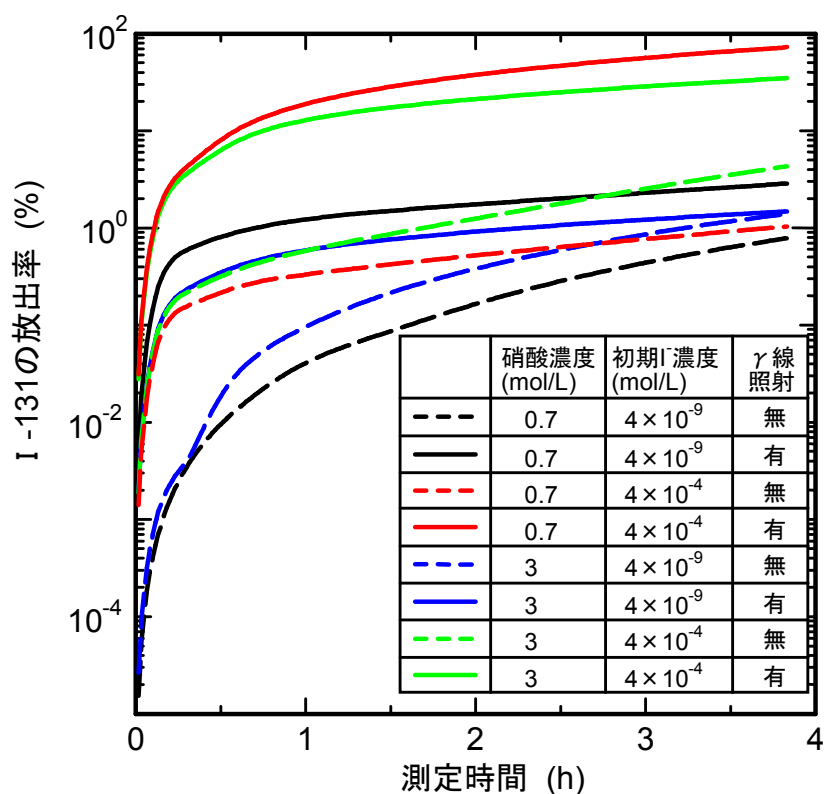


図5 硝酸水溶液からのI-131の放出率  
(溶液中の初期のヨウ素の化学形はI<sup>-</sup>、図中の硝酸濃度は初期値)

溶液中の初期硝酸濃度、初期I<sup>-</sup>濃度が同じ場合では、ヨウ素の放出率はガンマ線照射有の場合の方がガンマ線照射無の場合よりも高く、ガンマ線照射により溶液中の揮発性ヨウ素種生成が促進されることが確認された。初期硝酸濃度が同じ場合では、ガンマ線照射の有無のいずれの場合でも初期I<sup>-</sup>濃度が高い条件でヨウ素の放出率は高くなることがわかった。初期I<sup>-</sup>濃度が同じ条件では、ガンマ線照射無の場合には硝酸濃度が高い方がヨウ素の放出率が高くなるのに対し、ガンマ線照射有の場合には硝酸濃度が低い方がヨウ素の放出率が高くなることがわかった。



## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)）

### 【研究分野／項目】

Ⅲ. 核燃料サイクル施設分野／安全評価

【分類番号】 3-1-3

### 【研究課題名(Title)】

核燃料サイクル施設の安全性評価に関する研究－基盤・開発研究の成果の活用－

Study on Safety Assessment of Nuclear Fuel Cycle Facilities – Application of Basic and Developmental Research

### 【研究代表者】

[所属] 原子力基礎工学研究部門 燃料・材料工学ユニット 防食材料技術開発グループ

[氏名] 山本 正弘

[連絡先] Tel : 81-6372 E-mail : yamamoto.masahiro75@jaea.go.jp

### 【研究目的】

核燃料サイクル施設の定期的な評価の適切性確認に必要な知見の整備、並びに新たな安全規制方策の検討に資するため、施設の高経年化に関する安全評価手法の高度化とデータ整備を行う。

### 【研究内容】

イ. 再処理施設の高経年化対策技術評価に係わる研究

- ・再処理施設の経年劣化事象に関する技術情報の調査及び整備

東海再処理施設の運転実績を踏まえ、腐食等の経年劣化に関する対策技術評価に資するため、関連する最新の技術情報を国内外の文献や化学プラントメーカー等の情報の調査により収集・整備する。【JNES 受託】

- ・高経年化対策技術評価に関するデータ整備

再処理施設の経年劣化事象に関する対策技術評価に資するため、評価対象機器及び部位を選定し、液相部及び気相部の腐食に関する加速試験を実施し、経年劣化発生メカニズムや劣化加速試験方法に関する知見を得るとともに、経年劣化データを取得する。【JNES 受託】

### 【達成目標】

イ. 再処理施設の高経年化対策技術評価に係わる研究では、再処理施設の高経年化対策技術評価に資する最新の技術情報を調査・整備するとともに、腐食による経年劣化発生メカニズムや加速試験方法に関する知見を得るとともに、経年劣化データを取得する。

### 【成果の活用方策】

イ. 再処理施設の経年劣化に関する最新の技術情報を整備することにより、事業者が実施した高経年化対策技術評価の適切性確認に活用できる。

### 【使用主要施設】

イ. 再処理施設の高経年化対策技術評価に係わる研究

- ・日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 材料試験室
- ・同 燃料サイクル安全工学研究施設(NUCEF)
- ・日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 実規模開発試験室
- ・同 第 2 応用試験棟

### 【研究の進め方】

イ. 再処理施設の高経年化対策技術評価に係わる研究では、平成 18 年度から（独）原子力安全基盤機構からの受託研究として開始し、安全研究センター及び核燃料サイクル工学研究所 サイクル工学試験部 試験運転第 2 課と協力して実施する。また、今後、原子力機構の安全研究委員会の下に専門部会を設置し、研究成果の評価を受ける。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

[受託研究名 (委託元)]

イ. 再処理施設保守管理技術等調査 平成 18 年度 再処理施設の経年変化に関する研究  
(委託元: JNES)

### 【研究実施内容及び成果 (平成 17~19 年度)】

イ. 再処理施設の高経年化対策技術評価に係わる研究

#### (1) 調査研究

##### ①経年劣化事象等の調査

平成 18 年度は、再処理機器の耐食安全性に関する国の既存研究成果を調査し、高経年化評価の観点から整理を実施した。再処理施設特有の経年劣化環境にある塔槽類及び炉類等の主要なプロセス機器を対象に、再処理施設だけではなく、類似する環境にある硝酸化学プラント等について、腐食、摩耗、疲労等による経年劣化発生メカニズムや劣化進展傾向、発生部位等に関する国内外の最新の文献等調査を実施し、監視すべき部位の抽出などを行った。

平成 19 年度は、引き続き最新の文献情報等を収集し、平成 18 年度に実施した調査研究結果を充実させるとともに、新たに検討すべき未検討課題について必要に応じて調査を実施した。

##### ②解析方法の調査

平成 18 年度は、再処理機器の構造強度について、解析方法に関する最新知見の調査を実施した。また、調査結果をもとに選定した解析コードを用いて機器の構造強度解析を行い、事業者が実施した解析手法や解析結果との比較検討を行い、解析評価方法の特性を明らかにした。本項目については平成 18 年度にて終了した。

#### (2) 試験研究

##### ①試験計画策定

平成 18 年度は、再処理施設の中でも安全上重要な機器として、上記の調査研究の結果に基づきステンレス鋼製の濃縮ウラン溶解槽 (以下「溶解槽」) 及びチタン合金製のプルトニウム溶液蒸発缶 (以下「Pu 蒸発缶」) を検討対象機器として選定し、硝酸環境下の液相部 (溶解槽の沸騰伝熱部) 及び気相部 (Pu 蒸発缶の凝縮流動部) の腐食を対象とし、プルトニウムなどの再処理施設特有の化学種が存在する環境下での腐食挙動に関する知見を取得するため、液相部及び気相部の腐食環境の調査、加速試験方法及び試験条件の検討、試験計画の策定を行った。

##### ②試験装置整備

平成 18 年度に試験計画策定に基づき、沸騰伝熱面腐食試験装置及び凝縮流動硝酸腐食試験装置を整備するとともに、経年変化データの取得試験を開始した。

##### ③評価データ取得試験

平成 18 年度に選定した溶解槽及び Pu 蒸発缶について、実機の運転中の溶液組成変化を調査し、標準的な溶液組成や溶液組成変化の範囲内で最も厳しい条件及び腐食メカニズムを明らかにした。組成変化範囲外の温度、硝酸濃度、溶液組成条件に関する検討を行い、加速試験条件の検討を行なった。併せて、標準的な実機溶液組成相当条件下での評価データを取得した (図 1 参照)。また、平成 18 年度に実施した調査研究結果等を踏まえ未着手の熱サイクル疲労及び潜在的な経年劣化事象等に関する試験条件や方法について検討を行った。

ロ. 核燃料施設免震構造に関する入力地震動及び信頼性評価手法の高度化

平成 18 年度は、活断層評価に関わる既往の研究成果を調査し、次年度以降実施予定である 3 次元地震動伝播解析を実施していくために、対象とすべき活断層の選定及び各種断層パラメーターについて整理した。特に長周期地震動を考える上で影響が大きい長大断層については、既往の強震動予測手法を用いると断層面積に対して、アスペリティ面積が大きくなり、現実的ではないとの指摘もあるため、文献等を参考に妥当な断層パラメーターの設定方法を検討した。

### 【特記事項】

イ. 機構内において、安全研究センター、原子力基礎工学研究部門 (燃料・材料工学ユニット 防食材料技術開発グループ) 及び核燃料サイクル工学研究所 (サイクル工学試験部 試験運転第 2 課) が連携・協力体制を整備して本受託研究を実施した。平成 20 年度からは、1 グループ (原子力基礎工学研究部門 燃料・材料工学ユニット 湿式分離プロセス化学研究グループ) を加

えた体制の元に推進する。

- ロ. 平成 18 年度以降は、耐震指針改訂にともなう、MOX 加工施設補正申請及び既存再処理施設の耐震再評価への取組を最優先課題とし、建設部をあげて対応する必要がある。このため、安全研究を実施する人員確保が困難な状況である。また、平成 19 年度以降については、安全研究予算が打ち切られたことから、取り下げざるを得ない状況である。

### 【研究成果の発表状況】

イ. 再処理施設の高経年化対策技術評価に係わる研究

#### 〔雑誌掲載論文〕

- 1) 上野文義ほか：Corrosion phenomenon of stainless steel in boiling nitric acid solution using large scale mock-up of reduced pressurized evaporator, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.45, No.10 (2008) [印刷中]
- 2) 上野文義ほか：核燃料再処理用機器の予防保全に向けたステンレス鋼の沸騰硝酸中での腐食の統計的検討、保全学、(2009) [掲載予定]

#### 〔国際会議〕

- (1) 2007 Asian-Pacific Symposium on Corrosion in Nuclear Systems at the Materials and Corrosion 2007 (2007 年 5 月 9 日～11 日、早稲田大学にて) (2 件)
  - 1) 加藤千明ほか：Stress Corrosion Cracking of Zirconium in Simulated Solution of Nuclear Reprocessing Process
  - 2) 山本正弘ほか：Intergranular Corrosion Mechanism of Ultra Low Carbon Type 304 Stainless Steel in a Simulated Solution of Nuclear Fuel Reprocessing Process
- (2) GLOBAL2007 ; Advanced Nuclear Fuel Cycles and Systems (平成 19 年 9 月 9～13 日、米国 アイダホ州 ボイジー市、Centre on the Grove) にて (2 件)
  - 1) 上野文義ほか：Intergranular corrosion mechanism of ultra-low carbon Type 304 stainless steel in a nuclear reprocessing plant
  - 2) 加藤千明ほか：Stress corrosion cracking of zirconium used in the reprocessing plant

#### 〔口頭発表〕

- (1) 日本原子力学会 2007 年春の年会 (2007 年 3 月 27 日～29 日、名古屋大学) にて (4 件)
  - 3) 上野文義ほか：再処理用材料の腐食による劣化とその機構 (第 1 報) ステンレス鋼製機器における腐食進展傾向
  - 4) 市川史郎ほか：再処理用材料の腐食による劣化とその機構 (第 2 報) ステンレス鋼製機器の腐食形態の解析
  - 5) 加藤千明ほか：再処理用材料の腐食による劣化とその機構 (第 3 報) ジルコニウム製機器の環境助長割れに関する検討
  - 6) 沼田正美ほか：再処理用材料の腐食による劣化とその機構 (第 4 報) ホット環境におけるジルコニウム製機器の環境助長割れ確認試験
- (2) 腐食防食協会 第 54 回材料と環境討論会 (秋期大会) (2007 年 10 月 31 日～11 月 2 日、広島市 RCC 文化センター) にて (2 件)
  - 1) 山本正弘ほか：沸騰硝酸環境での SUS304ULC 鋼の腐食進行過程の統計的解析
  - 2) 廣瀬史昌ほか：硝酸化学プラントにおける高経年化事象情報の調査
- (3) 日本原子力学会 2008 年春の年会 (2008 年 3 月 26 日～28 日、大阪大学) にて (1 件)
  - 1) 上野文義ほか：再処理模擬溶液中におけるステンレス鋼の侵食深さの詳細解析
- (4) 日本保全学会第 5 回学術講演会 (2008 年 7 月 10 日～12 日、水戸市民会館) にて (1 件)
  - 1) 上野文義ほか：核燃料再処理機器の予防保全に向けたステンレス鋼の沸騰硝酸中での腐食の統計的検討
- (5) 腐食防食協会 第 55 回材料と環境討論会 (秋期大会) (2008 年 9 月 17 日～9 月 19 日、長崎大学) にて (1 件)
  - 1) 山本正弘ほか：沸騰硝酸溶液中での SUS304ULC 鋼の過不働態域での腐食挙動

#### 〔受託事業報告書〕

- 1) 経済産業省原子力安全・保安院受託事業報告書「耐食材料機器保守管理技術等調査に関する成果最終報告書 平成 18 年 3 月 独立行政法人 日本原子力研究開発機構」

- 2) JNES 受託研究事業報告書「再処理施設保守管理技術等調査 平成 18 年度 再処理施設の経年変化に関する研究 受託研究成果報告書 平成 19 年 2 月 独立行政法人 日本原子力研究開発機構」
- 3) JNES 受託研究事業報告書「再処理施設保守管理技術等調査 平成 19 年度 再処理施設の経年変化に関する研究 受託研究成果報告書 平成 20 年 3 月 独立行政法人 日本原子力研究開発機構」

ロ. 核燃料施設免震構造に関する入力地震動及び信頼性評価手法の高度化  
特になし

【用語解説】

図表

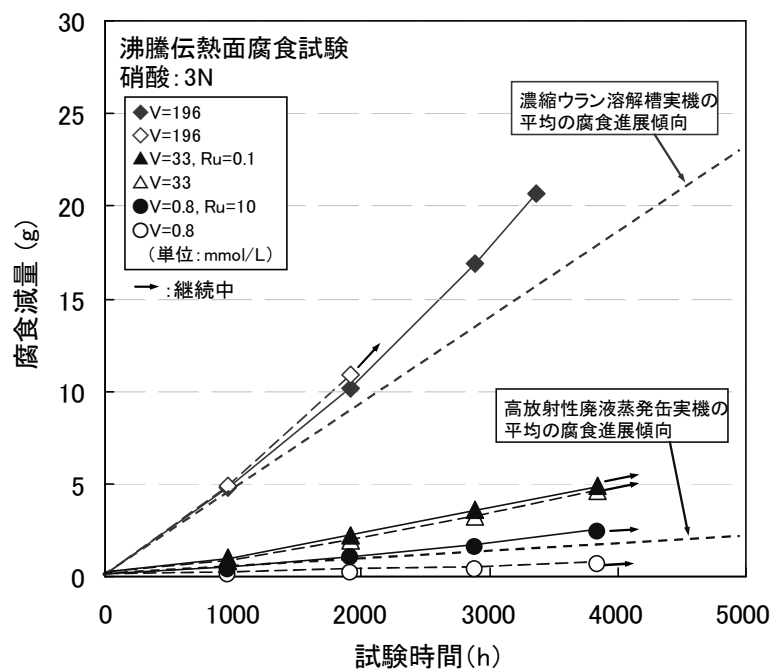


図1 腐食減肉量の経時変化(ステンレス鋼の例)

左図に示す沸騰伝熱面腐食試験装置を用いて、各種の再処理溶液において、腐食速度、減肉量など腐食進展傾向の長期間評価データを取得中である。(10,000 時間超まで継続予定)

## 重点安全研究成果調査票（中間報告（平成 17～19 年度））

### 【研究分野／項目】

IV. 放射性廃棄物・廃止措置分野／高レベル放射性廃棄物の処分

【分類番号】 4-1-1

### 【研究課題名(Title)】

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究（1）  
Research on Geological Disposal of High-level Radioactive Waste (1)

### 【研究代表者】

〔所属〕 安全研究センター 廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ  
〔氏名〕 中山 真一（なかやま しんいち）  
〔連絡先〕 Tel：81-6001 E-mail：nakayama.shinichi@jaea.go.jp

### 【研究目的】

人工バリア材の長期変質など変動要因を考慮できる確率論的長期安全評価手法を開発・整備する。

### 【研究内容】

イ. 長期安全評価手法に関する研究

地層処分の地下水移行シナリオのための確率論的長期評価手法および人間侵入シナリオの評価モデルの開発・整備を行う。また、ベントナイト系緩衝材の変質、金属容器の腐食・初期欠陥、隆起侵食・海水準変動等の長期変動の影響評価手法を開発・整備する。決定論及び確率論的安全解析を行い、個々の変動要因による不確かさの影響を定量的に明らかにする。

また、これらの解析に必要なデータの整備として、人工バリア、天然バリア及び生物圏パラメータの時間的・空間的変動に関するデータベース、人間侵入シナリオ評価のための基礎データとしてのボーリング行為に関するデータの収集・分析、ならびに人工バリア材の変質や核種移行に関する現象理解とデータ取得を行う。

さらに、安全確保のための基本的事項調査として、我が国の地質環境・地殻変動に関する調査、処分工学技術（バリア材性能、建設・閉鎖技術等）の現状に関する調査、及び安全確保のための基本的事項（線量基準、長期評価の考え方等）に関する国際動向の調査を行い、長期評価において考慮すべき事象及び評価の考え方の検討を行う。【保安院受託（H17～H18）、JNES 受託（H19）】

ロ. 広域かつ長期的な地下水流動に関する研究

安全評価のための地下水流動の予測のために、数 10～100km 程度の広域かつ長期的な地下水流動が考慮可能な基本モデルを構築するとともに、広域水文に関する調査データ並びに知見を基にモデルの検証を行う。さらに、地質及び気候関連事象の変化、人間活動等の外的要因による地下水流動系への影響を評価できるようモデルの拡張を行う。【保安院受託（H17～H18）、JNES 受託（H19）】

### 【達成目標】

高レベル放射性廃棄物処分安全評価手法の開発・整備として、

- 基礎データの拡充およびデータベースの整備
- 広域かつ長期的な地下水流動評価手法の開発
- 人工バリア等の構成要素の長期的挙動に関するデータ整備および評価モデルの開発。

### 【成果の活用方策】

- 精密調査地区選定のための環境要件および安全審査基本指針の策定に対し、最新の技術や成果を技術基盤として整備する。
- 最終処分施設建設地選定の要件・基準の策定のための科学的基盤情報を整備する。

### 【使用主要施設】

東海研究開発センター 原子力科学研究所 燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）  
東海研究開発センター 原子力科学研究所 環境シミュレーション試験棟（STEM）  
東海研究開発センター 原子力科学研究所 廃棄物安全試験施設（WASTEF）

### 【研究の進め方】

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する事業および規制の進展、および国際的な安全規制等の動向を把握し、適宜、研究計画に反映させる。学識経験者及び民間企業等の関係機関の専門家を加えた専門部会を機構内の安全研究委員会下に設置し、年2回の予定で研究計画および研究成果を審議し、審議結果を経て検討および取りまとめを実施する。処分の安全評価に資する基礎的研究について、「連携重点研究」において大学及び民間企業と連携する。また、原子力機構地層処分研究開発部門、(独)産業技術総合研究所、(独)原子力安全基盤機構等との連携を密に研究を実施する。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名 (実施機関)]

- 連携重点研究：放射性廃棄物処分研究のためのネットワーク (東京大学)

[受託研究名 (委託元)]

- 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査 (保安院受託(H17~H18)、JNES 受託(H19))
- 地層処分に係る水文地質学的変化による影響に関する調査 (保安院受託(H17~H18)、JNES 受託(H19))

[委託研究名 (委託機関)]

なし

### 【研究実施内容及び成果 (平成 17~19 年度)】

長期安全評価手法に関する研究では、地層処分の安全評価における様々な変動要因による不確かさの影響を定量的に明らかにするために、人工バリア材の変質や核種移行に関する現象理解とデータ取得を行う長期的影響評価用データ取得、解析に必要な各評価パラメータのデータ変動特性の検討を行うデータベース整備、各種の長期変動による不確かさの影響の定量化を目的としたコード開発および安全解析を行った。

広域かつ長期的な地下水流動の研究においては、広域地下水流動解析モデルの整備およびその検証方法に係る検討を行うと共に、現地調査によるモデル対象地区での検証用データの取得を実施した。

イ. 長期安全評価手法に関する研究

#### (1) 長期的影響評価用データ取得

セメント系材料の変質に関して、鉱物の溶解生成、間隙構造の変化及び物質移行特性の変化を伴うセメント系材料の変質現象を模擬するためのモデルおよびコードを整備した。海水環境下におけるセメント系材料の変質試験を実施し、試験結果をモデル計算結果と比較することにより、鉱物の溶解生成についてのモデルの妥当性を提示した。また、処分場を模擬した環境でのセメント硬化体の間隙構造および物質移行特性の変化を実測し、計算結果と比較することにより、間隙変遷モデルによる予測との不適合箇所を抽出した。

ベントナイト系緩衝材変質について、実験的に決定した定量式を物質移行-変質連成解析コードに導入して、処分場環境における緩衝材内の透水係数等の時間的・空間的分布を評価した (図1)。また、ベントナイトの Ca 型化が透水係数に与える影響を調べる試験を実施し、透水係数データを取得した。

移行評価データとして、溶解度の不確かさが安全解析結果に影響を及ぼす Se、Nb について、データが整備されていない鉄共存系での Se の溶解度および Ca 共存系での Nb の溶解度を取得するとともに、溶解度の温度依存性の評価を行った。変質ベントナイトを対象とした I、Cs 等の拡散係数および、砂混合ベントナイト内における Th 等の拡散係数を取得し、拡散係数評価モデル構築を行った (図2)。天然バリア材について、硝酸塩及び塩水濃度の変化に対応する Cs、Se (HSe)、I、Pu の分配係数データを取得した。また、地下水組成の変化に対応できる知見が得られていない Sn の分配係数について、pH をパラメータとして分配係数を取得し、処分環境での分配係数の変動幅を評価するために必要なデータを蓄積した。

オーバーパック腐食による地下水組成への影響について、長期的な影響評価に必要な炭素鋼の腐

食反応速度式および腐食に関わる平衡定数等を整備した。これらの成果を、炭素鋼腐食に伴う Eh 等間隙水組成の長期的な変遷の解析手法（1次版）として整備した。

## (2) データベース整備

地下水移行シナリオの安全解析に用いられる人工バリア、天然バリア、生物圏に関連したパラメータに関する既往データの収集・整備を進めるとともに、大学の有識者で構成されるデータベース検討会を設置して、拡散係数、分配係数、及びガラス溶解速度について、不確かさをもたらす影響因子および各評価パラメータのデータ変動特性の検討を行い、その結果、主要な影響因子に着目したデータ分析によって核種移行データの不確かさの低減が可能なことを確認した。さらに、こうした一連の評価パラメータに対する検討結果や、既往の研究事例・知見なども踏まえて、典型的な処分環境を対象に、現状のデータ及び知見から解析用のパラメータ（選定値、分布幅）の推定を試みた。さらに、天然バリア中の地下水流動および核種移行モデルの検証のために、国内および諸外国の地下研究施設での物質移行試験および水理に関する原位置試験についてデータ収集・整備を進めた。

また、人間侵入に関するデータベース整備では、処分システムへの人間侵入の可能性（処分場に到達するボーリング行為が実施される可能性）を検討する際の基礎情報を提供するため、我が国で実施されたボーリング掘削に関するデータを収集・整備し、目的、地域、深度条件に対応したボーリング発生頻度を算定するとともに、ボーリング掘削に起因した線量評価のためのパラメータ値を推定した。

## (3) コード開発及び安全解析

地層処分の長期的な安全性の評価用コードとして、地下水移行シナリオに対するパラメータ不確かさとモデル不確かさに起因した影響評価のための確率論的安全評価コード GSRW-PSA の整備を進めた。また、緩衝材及びセメントの変質・劣化現象の評価モデル/コード、炭素鋼オーバーパックの腐食寿命の評価モデル/コード、確率論的溶解度解析コードの整備を行うとともに、隆起・侵食・海面変化に対応した地下水流動解析コードおよび亀裂性媒体中の地下水流動・核種移行解析コードの整備を行った。さらに、処分場跡地におけるボーリング掘削に伴い発生するシナリオの評価コードの整備を行った。

安全解析では、HLW 処分サイトの空間的および時間的な広がりによって起因した不確かさの検討のため、仮想的な処分サイトを想定した地下水流動解析や炭素鋼オーバーパックの腐食寿命の解析結果等と長期的評価に関するデータベースの情報を基に、決定論的及び確率論的手法による不確かさ解析を行った。地下水移行シナリオにおける主に各人工バリア材の性能が低下して所期の機能を喪失した場合をシナリオ不確かさとして抽出し、各シナリオにおけるモデルおよびパラメータの不確かさが核種の移行フラックスや被ばく線量に与える影響の解析結果から安全評価上の重要なモデルやパラメータを抽出した。（図3、図4）。また、隆起・侵食・海水準変動の天然バリア中の核種移行への影響を検討にあたり、地下水流動解析を実施した。

### ロ. 広域かつ長期的な地下水流動に関する研究

#### (1) 広域地下水流動解析モデルの検証方法に係る検討

国内外文献を対象として、地下水流動を把握するための調査技術・手法の適用性についての広範な調査を行い、そのデータベース化を進めるとともに、広域地下水流動解析モデルの検証方法を整理した。調査技術・手法と調査項目との関係について、地質環境（内陸・亀裂性岩、内陸・多孔質岩、沿岸・亀裂性岩、沿岸・多孔質岩）ごとに調査実績マトリックス表および有効性評価マトリックス表の形で取りまとめ、調査技術の適用実態の傾向を把握した。特に、地下水流動評価のために取得されたデータに対するクロスチェック方法とその課題について整理し、地下水流動に大きな影響を与える水理パラメータである間隙率、透水係数の2項目について、調査手法（試験方法）の違いに起因する不確かさについて検討を行った。間隙率については、3種類の方法によって算出した値を室内試験結果と比較・検討を行い、いずれの方法も比較的良い一致を見ることがわかった。透水係数については、Kozeny-Carman の式を用いて間隙率、平均粒径から透水係数を換算し、その結果を原位置試験結果と比較したところ、計算値が原位置試験結果と比較的良い一致を見るのは、亀裂のないマトリックス部分であることがわかった。

#### (2) モデル地区詳細調査

堆積岩地域である養老川流域での調査においては、地表水・井戸水を広域的に採水し、水質・水

温、酸素・水素同位体比分析、<sup>14</sup>C年代測定を実施し、同地域における地下水の賦存状況を明らかにするとともに、河川流量等の観測データから広域的な水収支を検討し、広域的地下水流動の概念モデルを作成した(図5参照)。当地域の地下水涵養システムの特徴は、上流域の砂泥互層地域が主要な涵養源となっていること、また、自噴井の多い地域の下流側には比較的透水係数の小さな層が存在することである。これらが、当地域の流動状況に大きく影響していることがわかった。さらに、養老川支流3河川流域の流況調査(地形、地質調査を含む)、流量観測、水質分析、同位体分析等から、堆積岩地域の地下水流動特性のイメージを概略把握した。その結果、流量観測データ、地形・地質構造のデータに基づけば、養老川支流3河川流域の地下水流動は地質構造に規制され、高標高部(源流域)で涵養された地下水は地層の走向方向(地質構造と平行)に沿って流動し、低標高部で流出しやすい傾向にあること、酸素・水素同位体データに基づけば、3河川とも涵養域は各河川源流域である大福山に求められるが、芋原川では中・下流域においても一部涵養している可能性があること等が示唆された。

結晶質岩地域でのモデル地区(北上山地:遠野地区、阿武隈山地:都路、矢祭地区)調査においては、地質専門家による経験的手法であるリニアメント解析を、画像解析と線素追跡アルゴリズムを用いた手法で自動的に行い、より確実度の高いリニアメント解析を実施できる手法を検討した。解析結果は、既存資料との比較、放射能探査による亀裂分布調査での検証をとおして、有効な手法であると判断できた。さらに、結晶質岩分布地域を例に、モデル地区における地表踏査において、地表地質調査、土壌・マサ厚調査、谷頭調査、湧水調査、河川水・沢水採取調査、室内試料分析、総合解析の7項目の調査を実施した。また、物理探査の一手法であるCSAMT法により、地質構造モデルの構築に必要な深度約1kmまでの亀裂分布についての情報を概略得ることができた。

以上の調査により、広域地下水流動のモデル化手法および解析モデルを検証するため、そのモデル地区において検証用データを蓄積した。

### (3) 地下水流動系に影響を及ぼす外的要因に関する調査

文献調査によって、モデル対象地区内およびその近傍を対象とした気候変動(海水準変動を含む)、地殻変動(隆起・沈降・侵食、火山・火成活動、及び地震・断層活動等)のデータを収集・整理するとともに、気候変動、地殻変動による広域地下水流動及び地表水流動の影響に関する知見を収集し整理した。その内、古気候変化に関する調査においては、東北地方の2地点から花粉分析データを収集し、そのデータをモダンアナログ法により解析するとともに、既往研究事例を参照して、古気候変化の特徴について検討した。その結果、山形県白鷹湖沼群荒沼の花粉分析データからは、約9万年前から現在までの古気候が復元でき、その平均気温は最終氷期のMIS4(7~6万年前)およびMIS2(3~1万年前)で2°C~4°Cと現在より5~7°C低いこと、一方、MIS1の完新世ヒブシサーマル期(7,000~5,000年前)では13°C前後と現在より4°C程度暖かいことが示唆された。この白鷹湖沼群のモダンアナログ法による解析結果は、深海底コアから得られた海水温変化と良い対応を示した(図6参照)。また、隆起・侵食現象のモデル化では、房総半島における小櫃川と養老川を解析対象河川として、既存データの収集・分析、現在および氷期の河床縦断形の作成を行った上で、河床縦断形シミュレーションにより、原面→氷期→現在に至る地形変化を推定した。さらに、現在の河床縦断形の調査結果および氷期河床縦断形の既存資料からの検討結果から、既存情報の縦断形には各段丘面が形成されてから現在までの地殻変動量が含まれているため、その影響を考慮して縦断形を補正した。また、河床縦断形(凹型度)の変化に基づき年降水量を推定した結果、氷期の降水量は間氷期降水量の72%(約30%減)と試算された。

### (4) 広域地下水流動解析モデル整備

広域を対象とした地下水流動解析コードに関する国内外の研究事例を調査し、解析に関わる最新知見を整理しつつ、広域地下水流動解析コードシステムの整備を行った。また、モデル構築手法に関する検討として、諸外国における地下水流動解析手法のスタンダードの現状とモデル構築に係わるデータを整備し、モデリング時に留意すべき事項等を整理した。

広域地下水流動解析では、堆積岩事例的地域での解析として養老川流域を対象とした広域地下水流動解析、結晶質岩事例的地域での解析として北上山地中央部を対象とした広域地下水流動解析を実施した。その結果、養老川流域を対象とした地下水流動解析結果は、全水頭分布の結果から、大局的には標高の高い房総丘陵部から養老川下流方向(北北西方向)への大まかな流動を示すことがわかった(図7参照)。また、深部の流動については、南東部の清澄山から東西方向(地層の走向方向)に沿った流動が生じていることがわかった。結晶岩地域を対象とした広域地下水流動解析では、



地質区分に加え、風化層、接触変成岩の分布、断裂の設定等を加えた解析を行った。その結果、標高の高い早池峰山、薬師岳周辺で全水頭が高くなっており、薬師岳周辺で涵養された地下水は、標高の低い遠野市街地付近で湧出する流動を示すことがわかった。解析結果は、「(2) モデル地区詳細調査」で実施した、水質調査や地表踏査、既存文献で得られた本対象地域の広域地下水流動イメージと整合性のあるものであり、解析手法の妥当性が示された。

#### 【特記事項】

特になし

#### 【研究成果の発表状況】

##### 雑誌掲載論文：

- 1) T. Yamaguchi, Y. Sakamoto, M. Akai, M. Takazawa, Y. Iida, T. Tanaka, S. Nakayama, Experimental and modeling study on long-term alteration of compacted bentonite with alkaline groundwater, *Physics and Chemistry of the Earth*, 32, pp.298-310 (2007).
- 2) T. Yamaguchi, S. Nakayama, T. T. Vandergraaf, D. Drew, P. Vilks, "Radionuclide and colloid migration experiments in quarried block of granite under in-situ conditions at a depth of 240 m", *Journal of Power and Energy Systems* 2, 186-197 (2008).
- 3) 大江、長崎、木村、武田、関岡、加藤、分配係数統計データの不確実性低減に関する検討 (I) : データのばらつき要因と取捨選択、*日本原子力学会和文論文誌*、Vol. 7、No. 3、pp. 194-209 (2008)
- 4) 大江、長崎、木村、武田、関岡、加藤、赤堀、分配係数統計データの不確かさ低減に関する検討 (II) : イオン交換モデルを用いた分配係数データの分析、*日本原子力学会和文論文誌*、Vol. 7、No. 3、pp. 210-220 (2008).

##### 技術報告書：

- 5) 処分安全研究室(山口)：多様な地下水条件下における放射性核種の溶解度、NUCEF REVIEW 第 10 号 (2005).
- 6) 廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ(山口)：地下処分場周辺岩盤への放射性核種の収着、NUCEF REVIEW 第 11 号 (2006).
- 7) 廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ(田中)：処分場の地下水の組成に及ぼす炭素鋼オーバーパックの腐食影響の研究、NUCEF REVIEW 第 12 号 (2007).
- 8) 武田、木村、“地層処分における Se 及び Np の溶解度の不確かさに関する検討—モンテカルロ法による地球化学計算コードを用いた溶解度の不確かさ解析—”、*JAEA-Research* 2006-069 (2006).
- 9) 酒井、宗像、木村、“堆積岩地域における広域地下水流動に関する研究：養老川流域の例”、*JAEA-Research* 2006-084 (2006).
- 10) 山川、宗像、木村、兵頭、“地理情報システムによる広域地下水流動範囲の設定方法に関する検討”、*JAEA-Research* 2007-039 (2007).
- 11) 山川、武田、木村、兵頭、“非火山地域における地温の特徴”、*JAEA-Research* 2007-040 (2007).
- 12) 酒井、宗像、木村、“堆積岩地域における広域地下水流動に関する研究 (その 2) : 養老川流域の例”、*JAEA-Research* 2007-083 (2007).
- 13) 大塚、瀧、山口、飯田、山田、稲田、田中、“処分場の緩衝材間隙水の酸化還元電位へのオーバーパック腐食の影響— 重要パラメータの取得及び Eh の予備解析 —”、*JAEA-Research* 2008-043 (2008).

##### 国際会議：

- 14) T. Yamaguchi, Y. Iida, T. Tanaka, S. Nakayama, “Experimental study on uncertainties associated with parameters in long-term radionuclide migration analysis for geological disposal, *ibid.*
- 15) H. Kimura, S. Takeda, M. Munakata, “Probabilistic evaluation of uncertainties of long-term impacts through the computer code GSRW-PSA, presented at Int. Conf. Safety of Radioactive Waste Disposal, Tokyo, October 3-7 (2005).
- 16) T. Sawaguchi, T. Kozaki, S. Sato, “Effects of isotopic dilution on the diffusivity of Na<sup>+</sup> in

- Na-montmorillonite determined by through-diffusion method,” presented at Int. workshop on waste management in Sapporo, August 29-30, 2005, Sapporo (2005).
- 17) Y. Iida, H. Taki, T. Yamaguchi, T. Tanaka, K. Negishi, S. Nakayama, “Data acquisition on migration of radionuclides under deep geological environments”, Proc. Int. Symp. NUCEF 2005, JAERI-Conf 2005-043 (2005).
  - 18) M. Takazawa, K. Negishi, Y. Sakamoto, M. Akai, T. Yamaguchi, Y. Iida, T. Tanaka, S. Nakayama, “Experimental and modeling study to predict long-term alteration of bentonite buffer materials with alkaline groundwater”, *ibid.*
  - 19) T. Tanaka, Y. Sakamoto, T. Yamaguchi, M. Takazawa, N. Akai, Y. Iida, S. Nakayama, “Long-term alteration of bentonite - in safety evaluation of deep geological disposal”, *ibid.*
  - 20) K. Ebashi, T. Yamaguchi, T. Tanaka, K. Araki, M. Saitou, “Sampling and treatment of rock cores and groundwater under reducing environments of deep underground”, *ibid.*
  - 21) T. Yamaguchi, N. Minase, Y. Iida, T. Tanaka, S. Nakayama, “Evaluation of uncertainty associated with parameters for long-term safety assessment of geological disposal”, *ibid.*
  - 22) S. Nakayama, T. Tanaka, T. Yamaguchi, “Accomplishment of 10-year Research at NUCEF and Future Development - Waste Disposal Safety Research”, *ibid.*
  - 23) Y. Sakamoto, M. Akai, M. Takazawa, K. Negishi, T. Yamaguchi, Y. Iida, T. Tanaka, S. Nakayama, “Dissolution of montmorillonite in compacted sand-bentonite mixtures by alkaline solutions”, presented at the 13th Int. Clay Conf., ICC2005, August 21-27, 2005, Tokyo (2005).
  - 24) K. Negishi, M. Takazawa, T. Yamaguchi, Y. Iida, Y. Sakamoto, T. Tanaka, S. Nakayama, “Experimental and modeling study on effect of cement degradation on alteration of bentonite buffer materials”, *ibid.*
  - 25) T. Sawaguchi, S. Takeda, T. Kozaki, Y. Sekioka, H. Kato and H. Kimura, “Assessment of Data Uncertainty on the Diffusion Coefficients for Nuclides in Engineered and Natural Barriers”, International Information Exchange Meeting on Diffusion Phenomenon in Bentonite and Rock, Horonobe, Japan, 2006.
  - 26) Y. Iida, T. Yamaguchi, F. Yamada, T. Maeda, Y. Sakamoto, T. Mizuno, T. Tanaka, S. Nakayama, Modeling of pore-water chemistry as a common base for understanding dissolution of montmorillonite and mass transport in compacted bentonite., 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, July, 2006, Kobe (2006).
  - 27) F. Yamada, T. Yamaguchi, T. Maeda, T. Mizuno, Y. Sakamoto, K. Negishi, T. Tanaka, Y. Iida, Development of a coupled mass-transport / chemical reaction code for simulating variation in hydraulic conductivity of bentonite buffer in radioactive waste disposal., *ibid.*
  - 28) Y. Iida, T. Yamaguchi, T. Tanaka, A. Kitamura, S. Nakayama, Determination of the solubility limiting solid of selenium in the presence of iron under anoxic conditions., Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal (MOFAP 07) January 16-19, 200, La Baule, France (2007).
  - 29) Y. Iida, T. Yamaguchi, T. Tanaka, S. Nakayama, “Experimental and modeling study on potential variations in diffusivity of radionuclides in bentonite buffer materials under Na-rich alkaline groundwater conditions,” 11th International Conference on Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration 2007), August, 2007, Munchen, Germany (2007).
  - 30) T. Yamaguchi, F. Yamada, K. Negishi, S. Hoshino, M. Mukai, T. Tanaka, S. Nakayama, “Insights into long-term alteration of bentonite-cement system based on coupled mass-transport/chemical reaction analysis,” 3rd International Meeting - Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (Lille 2007) September, 2007, Lille, France (2007).

口頭発表：

- 31) 花谷、長澤、宗像、木村、塩崎、今井、“緩慢な地下水流速に関する一考察”、日本地下水学会 2005 年秋季講演会、青森 (2005)。
- 32) 飯田、川村、山口、田中、中山、“ベントナイト内元素吸着・拡散試験”、日本原子力学会 2005 年秋の大会、八戸 (2005)。
- 33) 根岸、神野、前田、山口、飯田、田中、中山、“地下水成分によるセメント系材料の変質挙動に関する検討”、同上。
- 34) 四辻、武田、木村、“ガラス固化体のパラメータ時間変動に起因した不確かさ解析”、同上。

- 35) 長澤、木村、武田、“我が国の地殻変動の基本的性質—通常の動きと一時的な動き—”、日本地震学会 2005 年秋季大会、札幌 (2005)。
- 36) 武田、佐々木、長澤、木村、“余裕深度処分におけるボーリングシナリオの影響解析”、日本原子力学会バックエンド部会夏期セミナーポスター発表、平成 17 年 7 月 28, 29 日、山形 (2005)。
- 37) 木村、飯田、瀧、藤原、上田、山口、坂本、根岸、神野、水野、前田、田中、中山、“放射性廃棄物処分の長期的評価のための実験的研究 2005 年の現状”、同上。
- 38) 飯田、向井、藤原、前田、上田、湯川、稲田、“天然バリアによる核種隔離性能への影響因子の検討”、同上。
- 39) 山口、中山、木崎、“圧縮ベントナイト内における Cs<sup>+</sup>及び Np(IV)炭酸錯体の拡散に対するアンモニアの影響”、日本原子力学会 2006 年春の年会、大洗(2006)。
- 40) 長澤、武田、木村、塩崎、“温泉開発におけるボーリングの頻度特性”、同上。
- 41) 田中、山口、飯田、木村、瀧、藤原、上田、向井、山田、水野、星野、角脇、坂本、根岸、前田、中山、放射性廃棄物処分の長期的評価のための実験的研究 2006 年の現状、日本原子力学会 第 22 回バックエンド部会夏期セミナー、2006 年 7 月、北九州 (2006)。
- 42) 関岡、武田、木村、山口徹、大江、長崎、佐々木、小崎、稲垣、“放射性廃棄物処分の長期的評価のためのデータベース整備”、同上。
- 43) 山口、核種移行評価上の重要パラメータ設定における間隙水物理化学特性の理解の必要性、連携重点研究「放射性廃棄物処分研究ネットワーク」ワークショップ及び情報交換会、2006 年 8 月 2~4 日、(東海村)
- 44) 山口、木村、飯田、田中、中山、上田、荒木、地下の還元的な状態を維持した条件での岩石への分配係数測定 (1) -地下の還元的な状態の検討、日本原子力学会 2006 年秋の大会、2006 年 9 月、札幌。
- 45) 木村、山口、飯田、田中、中山、上田、荒木、地下の還元的な状態を維持した条件での岩石への分配係数測定 (2) -収着試験条件の検討、同上。
- 46) 武田、関岡、四辻、木村、稲垣、“ガラス固化体の長期的溶解に関する不確かさの影響解析”、同上。
- 47) 長澤、武田、佐々木、木村、“人間侵入に関するデータベース”、同上。
- 48) 渡邊、武田、木村、“全面腐食進展による炭素鋼オーバーパックスの寿命解析”、第 53 回材料と環境討論会。(2006)
- 49) 長澤、木村、武田、“我が国の水平速度分布と地質構造の関係—活断層と火山帯での運動の類似性—”、日本地震学会 2006 年秋季大会。
- 50) 四辻、武田、木村、“分子軌道法を用いた粘土鉱物エッジ表面の構造に関する研究”、第 20 回分子シミュレーション討論会 (2006)。
- 51) 武田、“ガラス固化体の長期的溶解の不確かさが核種移行評価に与える影響”、連携重点研究「放射性廃棄物処分研究ネットワーク」ワークショップ及び情報交換会、JAEA-Conf 2007-003 (2007)。
- 52) 大江、長崎、木村、武田、関岡、加藤、赤堀、“核種収着分配係数データベースの変動要因に関する分析—核種収着モデルによる原因解明—”、日本原子力学会 2007 年春の年会、名古屋。
- 53) 星野、山口、向井、山田、根岸、田中、中山、「炭酸イオンを含む溶液に曝されたセメント硬化体の変質と物質拡散性の変遷」、同上。
- 54) 大塚、山口、飯田、瀧、田中、中山、「処分環境下で炭素鋼の腐食によって生成し得る水酸化炭酸鉄の溶解度積」、同上。
- 55) 木村、山口、飯田、大塚、瀧、向井、山田、星野、角脇、田中、中山、“放射性廃棄物処分の長期的評価のための実験的研究 2007 年の現状” バックエンド部会夏期セミナー、2007 年 7 月、人形峠。
- 56) 星野、山田、根岸、向井雅之、飯田、山口、田中、中山、放射性廃棄物処分の長期的評価のための実験的研究 2007 年の現状 ~セメント系材料の変質評価モデルの構築に関する取り組み~、同上。
- 57) 山田、大塚、山口、飯田、田中、中山、“ベントナイト間隙水の酸化還元電位に対するオーバーパックス腐食の影響(1) 地球化学シミュレーションによる酸化還元電位評価” 日本原子力学会 2007 年秋の大会、2007 年 9 月、北九州。
- 58) 大塚、瀧、山口、飯田、山田、田中、中山、加藤、建石、“ベントナイト間隙水の酸化還元電位に対するオーバーパックス腐食の影響(2) ガス蓄積型腐食試験による腐食速度およびカソード

反応の評価” 同上。

- 59) 長澤、武田、木村、佐々木、人間侵入のデータベースに基づく安全評価, 同上, I36.
- 60) 木村、武田、佐々木、関岡、HLW 地層処分の地下水移行シナリオの不確かさ評価 ; (1)標準シナリオ解析, 同上, I38.
- 61) 武田、佐々木、関岡、木村、HLW 地層処分の地下水移行シナリオの不確かさ評価 ; (2)モデル・パラメータ不確かさ解析, 同上, I39.
- 62) 佐々木、武田、木村、関岡、HLW 地層処分の地下水移行シナリオの不確かさ評価 ; (3)緩衝材変質シナリオ解析, 同上, I40.
- 63) 渡邊、武田、関岡、木村、HLW 地層処分の地下水移行シナリオの不確かさ評価 ; (4)OP 早期破損シナリオ解析, 同上, I41.
- 64) 渡邊、武田、木村、炭素鋼の全面腐食-不動態遷移 pH 予測モデルの構築、第 54 回 材料と環境討論会講演集 2007.
- 65) 角脇、山口、向井、飯田、田中、中山、“圧縮成型されたモンモリロナイトの溶解速度の OH<sup>-</sup>活量依存性”、日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008 年 3 月, 大阪大学.
- 66) 木村、山口、飯田、田中、中山、“セレン化水素イオンの砂質泥岩への収着分配係数に対する NaNO<sub>3</sub> および NaCl の影響”、同上.

#### 受託事業報告書 :

- 67) 原子力安全・保安院受託事業「平成 17 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査 (1/2) [確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査]」報告書、原子力機構、平成 18 年 3 月.
- 68) 原子力安全・保安院受託事業平成 17 年度地層処分に係る水文地質学的変化による影響に関する調査報告書、原子力機構、平成 18 年 3 月.
- 69) 原子力安全・保安院受託事業平成 18 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書 (1/2) [確率論的アプローチによる長期的評価手法の調査]」報告書、原子力機構、平成 19 年 3 月.
- 70) 原子力安全・保安院受託事業平成 18 年度地層処分に係る水文地質学的変化による影響に関する調査報告書、原子力機構、平成 19 年 3 月.
- 71) (独) 原子力安全基盤機構受託事業平成 19 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書、原子力機構、平成 20 年 3 月.
- 72) (独) 原子力安全基盤機構受託事業平成 19 年度地層処分に係る水文地質学的変化による影響に関する調査報告書、原子力機構、平成 20 年 3 月.

#### 委員会報告 :

- 73) 廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ、長期安全評価における不確かさの研究、原子力安全委員会「安全研究年次計画 (平成 13 年度～平成 17 年度) の総合評価ヒアリング, 2006 年 12 月 21 日, (東京) .
- 74) 廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ、安全評価におけるシナリオ、モデルの不確かさに関する研究、原子力安全委員会「安全研究年次計画 (平成 13 年度～平成 17 年度) の総合評価ヒアリング, 2006 年 12 月 21 日, (東京) .

図表

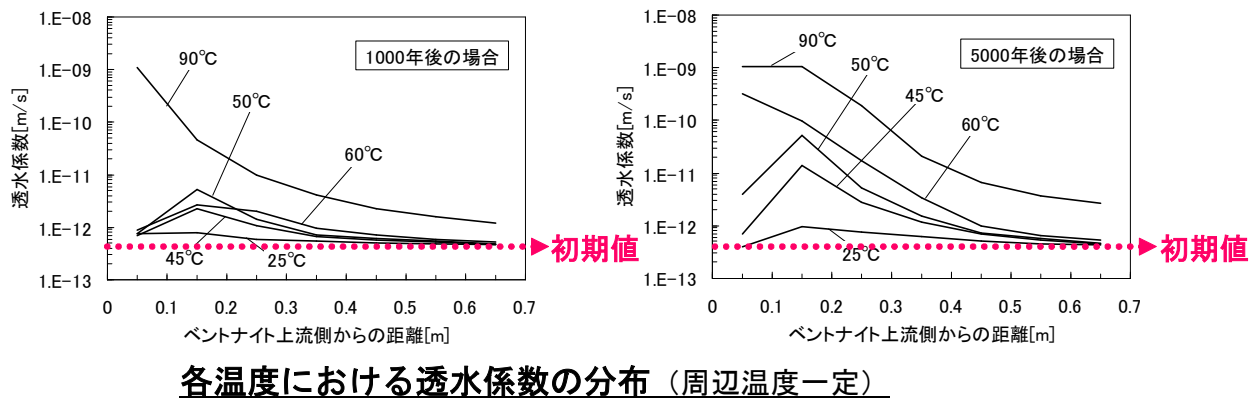


図1 ベントナイト緩衝材の長期性能評価手法の検討例

緩衝材に期待するバリア機能である止水性能の長期的変動を予測するために、緩衝材構成鉱物の溶解や間隙水中溶存成分の拡散挙動に関する実験データを得るとともに、緩衝材の変質現象を物質移動と地球化学反応との連成で解析する計算コードMC-BENTを整備した。

実験に基づき決定した緩衝材構成鉱物の溶解や間隙水中溶存成分の拡散挙動に関する評価式をMC-BENTへ導入して、処分場環境における緩衝材内の透水係数等の時間的・空間的分布を計算し、確率論的安全評価手法整備のためのデータとしてまとめた。図は、緩衝材周辺温度を一定として計算した、1000年後及び5000年後における緩衝材領域の透水係数の分布状況を示す。本計算から、処分後1,000年程度では、ガラス固化体の発熱に起因する高温が90°Cにも達するとすれば緩衝材の透水性に与える影響が顕著であること、1000年以降に想定される緩衝材周辺温度50~60°Cでは5000年経過後も $10^{-11}$  m/s以下の低透水領域が十分に残存することがわかった。

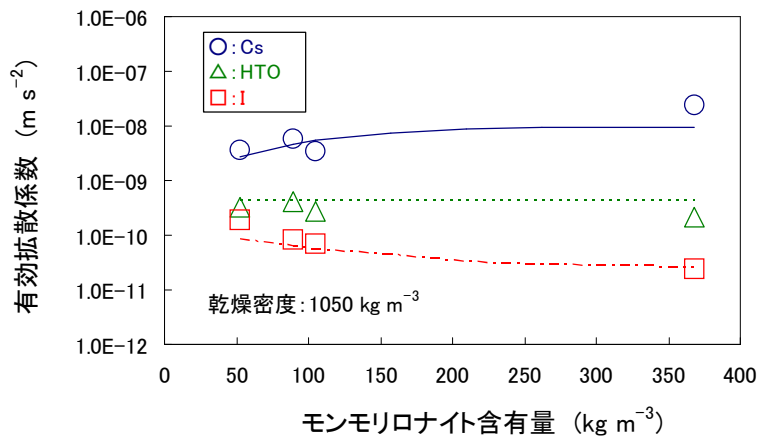
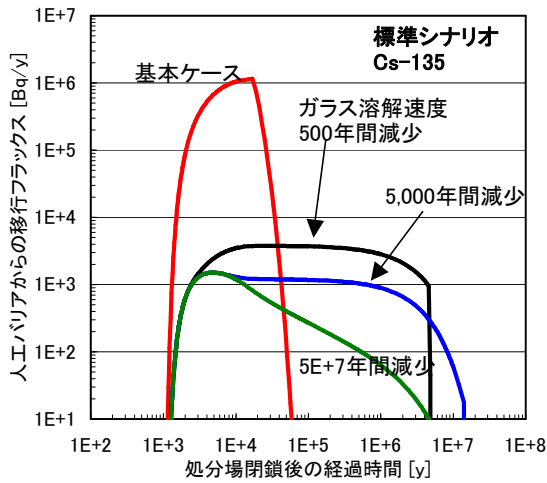
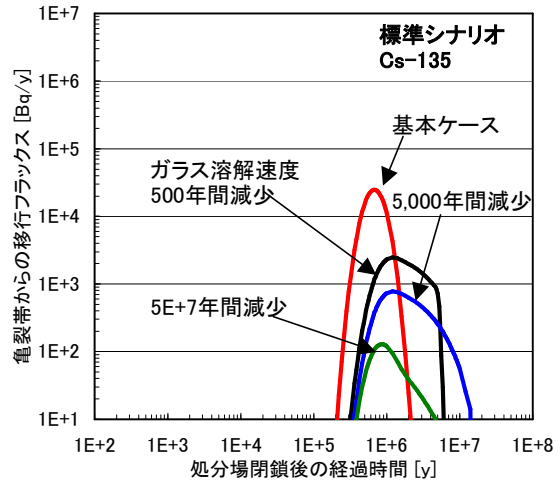


図2 変質ベントナイト拡散試験での実験結果とモデル計算結果の比較

変質ベントナイト拡散試験により得られた有効拡散係数値と、開発した理論モデルによる計算値を比較した。モデルにより算出したCs、HTOおよびIの拡散係数は実験値と良い一致を示した。処分場環境におけるベントナイトの変質および地下水組成の変動による拡散係数の変動幅を評価可能とした。



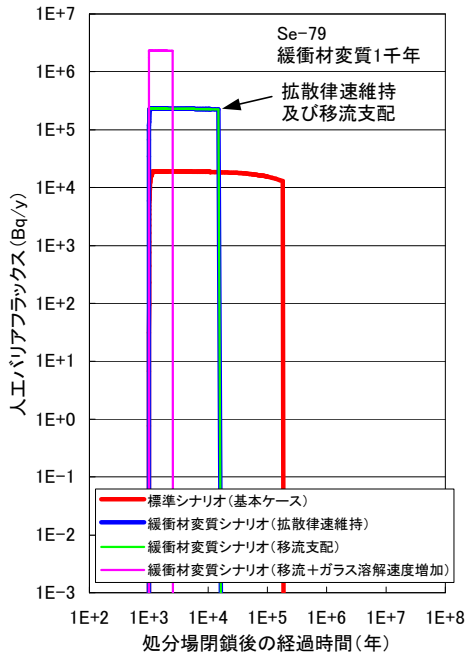
(a) 人工バリアからの Cs-135 のフラックス



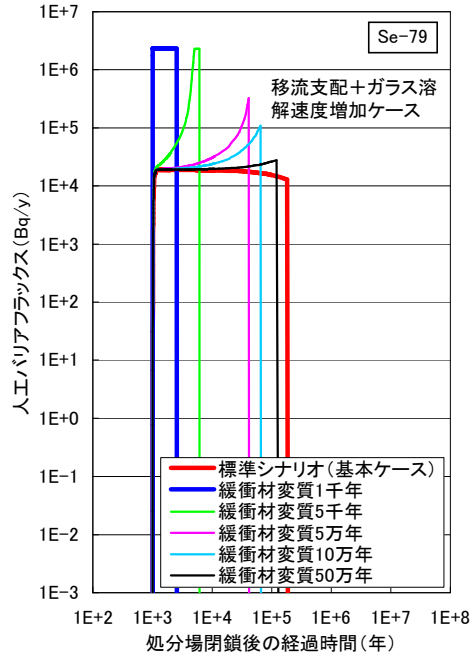
(b) 母岩からの Cs-135 のフラックス

図3 ガラス長期溶解モデルの不確かさに関する決定論的解析結果例 (Cs-135)

ガラスの溶解が一定の速度で続くと仮定した従来の「長期一定の溶解速度モデル(基本ケース)」と、ガラス表面変質層の形成に伴う拡散過程にガラス溶解が律速されるとする最近の知見に基づいた時間の平方根則に従う「溶解速度の時間依存性モデル」の2種類を想定し、長期ガラス溶解モデルの相違の影響を定量的に把握することを目的に解析を行った。最新の知見に基づいた長期溶解速度の時間依存性式を導入することにより得られた人工バリア及び天然バリアからの Cs-135 の移行フラックスは、従来の長期ガラス溶解速度一定とする評価に比べて数桁低く、ガラス溶解速度モデルの不確かさの影響は大きいことが示唆された。



(a) バリア機能低下の程度に対する解析



(b) バリア機能低下の時間変化に対する解析

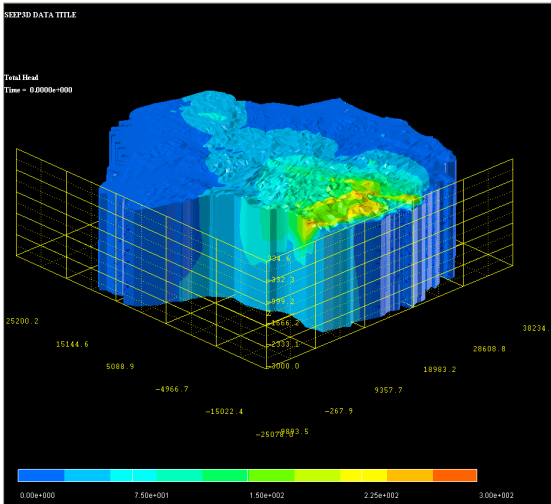
図4 緩衝材変質シナリオの決定論的解析結果例

緩衝材変質の進行によるバリア機能低下の程度に対する影響解析(図4(a))から、人工バリアからの移行フラックスは、変質による緩衝材中の実効拡散係数と実流速の増大及び変質によるガラス固化体の化学親和力による溶解過程の再現(ガラス溶解速度の増加)の影響を受けて1桁~2桁程度まで増加する可能性がある。また、緩衝材変質によるバリア機能低下の時間変化に対する影響解析から、緩衝材変質によるバリア機能低下の時間変化が5千年程度までは、緩衝材変質の Se-79 に対する最大フラックスの寄与にほとんど違いはなく、バリア機能低下の時間変化が5万年、10万年に延びると最大フラックスが徐々に低下し、50万年では標準シナリオのケースとほぼ同等になることが示された。

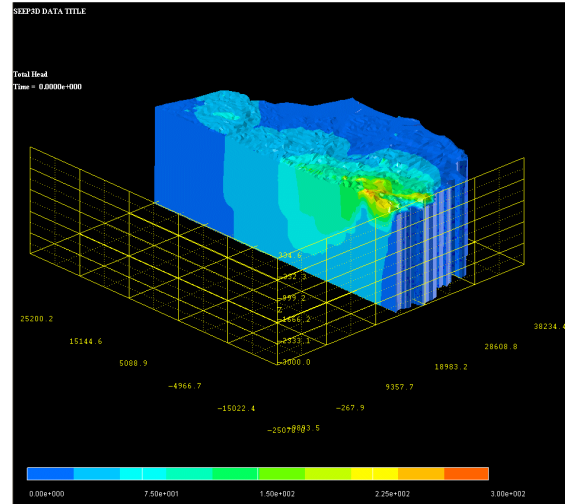




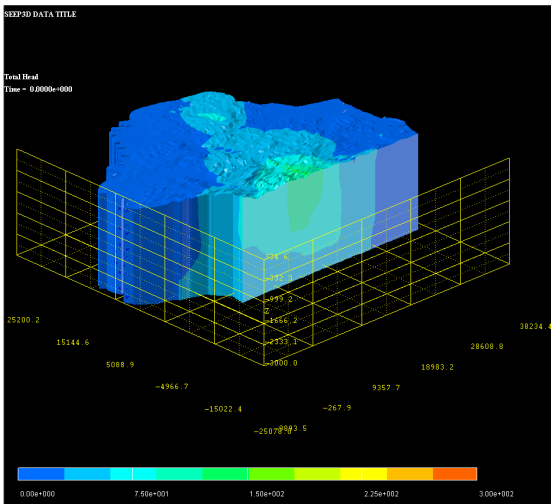
(a) 南西方向からの鳥瞰図



(b) 養老温泉付近を通る南北方向断面図



(c) 養老温泉付近を通る東西断面図



(d) 標高 0 m での水平断面図

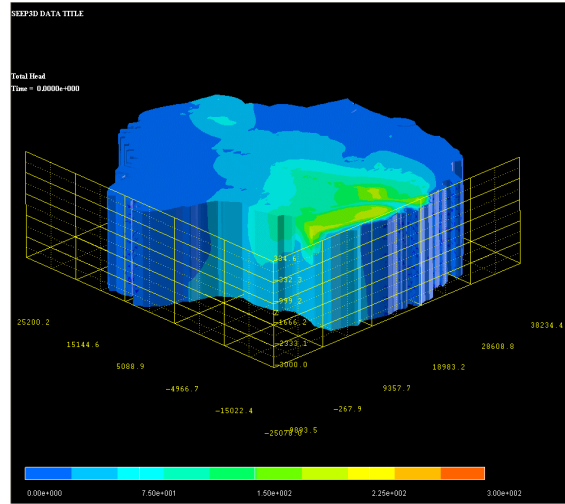


図7 養老川流域を対象とした広域地下水流動解析結果

全水頭分布の結果より、標高の高い房総丘陵部から養老川下流方向（北北西方向）への大まかな流動状況を示した。また、南東部の清澄山から東西方向（地層の走向方向）に沿った動水勾配の変化が見られる。この動水勾配の変化は南北方向の変化に比べて緩やかに変化しているものの、地層の走向方向への流動が生じていることがわかる。



## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度))

### 【研究分野／項目】

IV. 放射性廃棄物・廃止措置分野／高レベル放射性廃棄物の処分

【分類番号】 4-1-2

### 【研究課題名(Title)】

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する研究(2)－開発研究の成果の活用  
 Research on the geological disposal of high-level radioactive waste (2)

### 【研究代表者】

〔所属〕 地層処分研究開発部門 研究開発統括ユニット 研究計画グループ  
 〔氏名〕 清水 和彦（しみず かずひこ）  
 〔連絡先〕 Tel : 82-67201 E-mail : shimizu.kazuhiko@jaea.go.jp

### 【研究目的】

我が国における地層処分の技術基盤を継続的に強化し、関連する科学的知見の拡充や地層処分の技術的信頼性・安全性の向上を図ることにより、精密調査地区選定のための環境要件や安全審査基本指針の検討に資する。

### 【研究内容】

- イ. 人工バリア等の信頼性向上に関する研究
- ロ. 安全評価手法の高度化に関する研究
- ハ. 地質環境特性調査・評価手法に関する研究
- ニ. 地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

### 【達成目標】

「日本原子力研究開発機構に期待する安全研究」(原子力安全委員会安全研究専門部会; H17.6月)に示される以下の事項について、「安全評価手法の開発」を達成するとともに、「安全規制に係る基本的考え方の構築」に資する。

#### ○安全規制に係る基本的考え方の構築

- 安全審査基本指針の必要事項の検討（処分施設の安全設計要件、安全評価に係る安全指標とその基準値、安全評価シナリオ等の検討）
- リスク論的考え方を安全評価に導入する可能性の検討、安全確保の論拠（セーフティケース）の仕組みの検討

#### ○安全評価手法の開発

- 重要事項（地質環境、人工バリアなど）の抽出と安全評価手法の開発
- 地質環境の調査評価手法の開発、地質環境の長期的履歴評価手法及び天然現象の地質環境に及ぼす影響評価手法の開発、地質環境の長期将来予測評価手法の開発
- 人工バリア等の構成要素の長期的挙動や複合挙動に関するデータ整備及び評価モデルの開発

### 【成果の活用方策】

- ・精密調査地区選定のための環境要件および安全審査基本指針の策定に対し、必要な最新の技術や成果を技術基盤として整備する。
- ・さらに、最終処分施設建設地選定の要件・基準の策定において、基準を設ける際の科学的根拠を整備する。

### 【使用主要施設】

- ・核燃料サイクル工学研究所 地層処分基盤研究施設（ENTRY）
- ・核燃料サイクル工学研究所 地層処分放射化学研究施設（QUALITY）
- ・東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所
- ・幌延深地層研究センター 幌延深地層研究所

## 【研究の進め方】

我が国における地層処分技術に関する研究開発の中核的役割を担い、処分実施主体である原子力発電環境整備機構による処分事業と、国による安全規制の両面を支える技術を知識基盤として整備していく。このため、「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の二つの領域を設け、2つの深地層の研究施設（瑞浪・幌延）等を活用するとともに、他の研究開発機関と連携して研究開発を進め、その成果を地層処分の安全確保の考え方や評価に係る様々な論拠を支える「知識ベース」として体系化する。

「地層処分研究開発」としては、【達成目標】に示した「人工バリア等の構成要素の長期的挙動や複合挙動に関するデータ整備及び評価モデルの開発」および「重要事項の抽出と安全評価手法の開発」に向けて、「イ. 人工バリア等の信頼性向上に関する研究」および「ロ. 安全評価手法の高度化に関する研究」として、地層処分基盤研究施設や地層処分放射化学研究施設での室内試験等によるデータの拡充、モデルの高度化ならびに深地層の研究施設等で得られる地質環境データを活用した手法の適用性確認などを進める。また、得られた研究開発成果を国内外の知見とあわせて体系的に管理し、伝達・継承していくための知識マネジメントシステムの開発を進め、【達成目標】の「安全確保の論拠（セーフティケース）の仕組みの検討」に資する。

一方、「深地層の科学的研究」としては、【達成目標】の「地質環境の調査評価手法の開発、地質環境の長期的履歴評価手法及び天然現象の地質環境に及ぼす影響評価手法の開発、地質環境の長期将来予測評価手法の開発」に向けて、瑞浪（結晶質岩）と幌延（堆積岩）の2つの深地層の研究施設を活用した「ハ. 地質環境特性調査・評価手法に関する研究」および火山活動や断層活動などの天然現象を対象とした全国規模での「ニ. 地質環境の長期的な安定性評価に関する研究」を進める。

なお、我が国の基盤研究開発（地層処分研究開発及び深地層の科学的研究を含む）を効果的・効率的に進めるために発足した地層処分基盤研究開発調整会議における中核的な機関として、原子力発電環境整備機構および規制関連機関の動向やニーズを踏まえながら、資源エネルギー庁調査等事業を実施する関係機関との間で、研究開発戦略の具体化、連携・協力、成果の体系化などに向けた検討調整を進めている。平成18年度には、「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」を策定し、資源エネルギー庁と機構の共催により、「地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化－国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開－」と題した報告会を開催して（3月5日）、全体計画を公表した。また、全体計画に基づき国内関係機関との研究協力を進めるとともに、米国、フランス、スウェーデン、スイス、韓国との二国間協定に基づく、地下研究施設などを活用した共同研究や、OECD/NEA（経済協力開発機構・原子力機関）のデータベースプロジェクトへの参加などを通じた国際協力を進めている。

## 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名（実施機関）]

○国際共同研究（10件）

- 高レベル放射性廃棄物処分場の広域的安全評価モデルの統合化に関する共同研究：カリフォルニア大学バークレイ校(UCB)
- 水理・物質移動：サイト特性調査及び予測技術に関する研究：米国ローレンスバークレイ国立研究所(LBNL)
- 熱・水・応力・化学連成モデルの開発・確認に関する国際共同研究「DECOVALEX-THMC」：スウェーデン原子力発電検査機関(SKI)
- スウェーデン・エスポ島地下研究施設(HRL)における共同研究：スウェーデン放射性廃棄物管理会社(SKB)
- 水理物質移行に関する国際共同研究「TRUE CONTINUATION PROJECT」：スウェーデン放射性廃棄物管理会社(SKB)
- 熱化学及び吸着に関する基礎データの整備：米国パシフィックノースウェスト国立研究所(PNNL)
- OECD/NEA TDB 開発フェーズ III：経済協力開発機構／原子力機関(OECD/NEA)
- モンテリ・プロジェクト Phase12 Porewater Chemistry 試験：スイス連邦地形測量庁(Swisstopo)
- グリムゼル試験場での原位置試験に関する共同研究並びに高レベル放射性廃棄物と TRU 廃棄物の処分研究開発プロジェクトに関する協力：スイス放射性廃棄物管理共同組合(Nagra)
- 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発分野における「日本原子力研究開発機構と韓国原子

力研究所との取り決め」に基づく共同研究：韓国原子力研究所（KAERI）

○国内共同研究（19件）

- 高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する性能評価及びモニタリング技術高度化研究：原子力環境整備促進・資金管理センター
- 高レベル放射性廃棄物処分施設への低アルカリ性セメントの適用性に関する研究：電力中央研究所
- オーバーパック溶接部の耐食性に関する研究：原子力環境整備促進・資金管理センター
- 塩濃縮シミュレーションに関する研究：産業創造研究所（H18年度に終了）
- 地層処分における微生物影響評価に関する共同研究：産業創造研究所（H18年度に終了）
- 岩石・コロイド・水相間における核種分配挙動解明に関する研究：電力中央研究所
- 地層処分における酸化還元フロントに及ぼす放射線の影響に関する研究：産業創造研究所（H18年度に終了）
- 低アルカリ性セメント硬化体の間隙構造とイオンの移動に関する研究：金沢大学
- 幌延深地層研究計画における地下水水質・水理モデルの信頼性向上に関する研究：産業創造研究所（H18年度に終了）
- 幌延深地層研究計画における地質・地下水環境特性評価に関する研究：電力中央研究所
- 地質環境調査技術の適用性検討に関する研究：原子力環境整備促進・資金管理センター
- 地盤統計学的手法を用いた地質環境モデル構築技術に関する研究（その2）：清水建設
- 岩芯を用いた岩盤応力評価手法の高度化に関する研究：産業技術総合研究所
- 傾斜計を用いたモニタリング技術の開発：東北大学
- アクロス技術を用いた東海地域の能動監視：静岡大学
- 瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価に関する共同研究：電力中央研究所
- 天然環境中における微量元素の挙動に関わる研究：武蔵工業大学
- 瑞浪超深地層研究所における地下深部岩盤の歪変化のメカニズムに関する研究：名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター
- 幌延深地層研究計画における安全評価手法の適用性に関する研究：産業技術総合研究所、原子力安全基盤機構

○先行基礎工学研究（公募）による共同研究（14件）

- X線CTによる亀裂性岩盤内の移流・分散現象の分析：熊本大学
- 深部地下水組成推定のための花崗岩起源流体化学組成に関する研究：筑波大学
- アクチニド元素の溶解度に関する熱力学データの整備と検証：京都大学
- 溶存メタンセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究：山口大学
- 塩素安定同位体を用いた推理地質構造モデル評価技術の開発：東京大学、熊本大学、大成建設
- ボーリングコアを用いた堆積軟岩のAE特性の分析および原位置測定手法に関する研究：京都大学
- 堆積岩の微視的性状把握と水-岩石反応実験による地球化学特性の解明：筑波大学、慶應義塾大学、函館高専、東京学芸大学、三菱マテリアル資源開発
- 断層帯及び亀裂を考慮した堆積岩地盤の水理学的構造の決定と地下水移動解析：京都大学
- 東濃地域を対象とした亀裂分布のマルチスケールモデリング技術の開発：熊本大学
- (U-Th)/He年代測定システムの構築と地質試料への適用に関する研究：京都大学
- セルオートマトン法による亀裂マイクロ構造を考慮した流体物質移動解析：京都大学
- 遺伝子プローブを用いた微生物群集構造の解析とその定量的評価：静岡大学
- 3次元流向・流速計による原位置地下水流動測定法に関する研究：岡山大学他
- 花崗岩に発達するヒールドマイクロクラックの準三次元解析に基づく古応力場解析（野島花崗岩の例）：早稲田大学

[委託研究名（委託機関）]

○委託研究（24件）

- 前進的モデルを用いた不均質堆積岩評価手法の研究：地球科学総合研究所
- 緩衝材及び岩盤の力学連成挙動解析手法の検討：竹中工務店
- 核種移行に関する基礎データ構築手法の検討及び個別モデルの高度化に関する研究：三菱マテ

## リアル

- ニアフィールド岩盤の長期安定性評価手法：東京大学
- 熱力学データベース管理システムの開発：クインテッサジャパン
- 核種移行に関する基礎データ構築手法の検討および個別モデルの高度化に関する研究：三菱マテリアル
- 緩衝材中の核種移行挙動に及ぼす処分環境因子に関する基礎的研究（III）：北海道大学
- ベントナイト緩衝材の諸性能に及ぼすスメクタイト層間イオン種の影響に関する基礎的研究：北海道大学
- スメクタイトのアルカリ変質挙動の速度論的研究：北海道大学
- 遺伝的アルゴリズムおよびニューラルネットワークを用いた間隙水圧の相互関係に関する検討：鹿島建設
- 地質環境の長期的変遷を考慮した水理モデル構築に関する研究：間組
- 高精度傾斜計による立坑掘削に伴う岩盤変形挙動の予測解析：大成建設
- 地下水の水圧モニタリングデータを用いた岩盤物性の評価：ダイヤコンサルタント
- 幌延深地層研究計画における地下水流動解析の実施および地球化学モデルの構築・検討：大成建設
- 堆積軟岩の長期挙動に関する調査試験研究：大成建設
- 圧縮ベントナイト中の溶存ガス及び溶存物質の移行経路の評価に関する研究：北海道大学
- 幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントの適用性に関する研究：大林組
- 幌延深地層研究計画における不確実性を考慮した安全評価手法の検討：クインテッサジャパン
- 安全評価の観点からみた人工バリアオプションの成立性検討：クインテッサジャパン
- 3次元応力場同定手法の高度化に関する研究：資源・素材学会
- 結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための現象論的研究：東京大学
- 結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための理論的研究：名古屋大学
- 瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する検討：大成建設、清水建設、大林組、鹿島建設
- 深部地質環境の調査・解析技術の体系化に関する研究：資源・素材学会

### 【受託研究名（委託元）】

#### ○受託研究（1件）

- 地下水流動解析コードの適用性に関する検討：（原子力安全基盤機構）

### 【研究実施内容及び成果（平成17～19年度）】

#### イ．人工バリア等の信頼性向上に関する研究

- 地層処分基盤研究施設での工学試験等を実施して、人工バリア等の長期挙動に関するモデルの高度化、基礎データの拡充、データベースの開発を進め、緩衝材の基本特性データベースを新たに Web サイト上に公開するとともに（図1）、オーバーパックに関する10年間の長期腐食試験データおよび人工バリア材料に係るナチュラルアナログ・データを取りまとめて公開した。また、オーバーパック溶接部の耐食性や銅製オーバーパックの長期性能にとって重要な環境条件などを整理し報告書として公表した。
- 結晶質岩を対象としたカナダ原子力公社（AECL）との共同研究の成果に基づき、処分場の閉鎖材料に関する基本データや性能評価手法を取りまとめ、報告書として公表した。
- 国内外で提案されている様々な処分場概念の特徴を比較検討することにより、人工バリアの施工性等に関する共通的な課題を抽出・整理した。
- 低アルカリ性セメントについては、pH低下挙動に関する室内試験の継続や、吹付けコンクリートの施工性および力学特性の検討に基づき、配合選定例等を提示するとともに、今後、実施予定の現場施工試験に反映するため報告書として整理した。
- 深地層の研究施設で得られた地下水の水質等に関するデータを用いて、坑道掘削による影響を考慮した水-化学連成挙動の解析を行い、結果を報告書として公表した

#### ロ．安全評価手法の高度化に関する研究

- 地層処分放射化学研究施設での放射性核種を用いた試験等を実施して、核種の溶解・移行等に関するモデルの高度化、基礎データの拡充、データベースの開発を進め、安全評価に必要な「拡散データベース」を Web サイト上で公開した（図2）。
- 安全評価の専門家によるシナリオ構築を支援するための計算機支援ツール「FepMatrix（フェ

ップマトリクス)」を開発し、外部利用（無償提供）を開始した。

- 処分場の設計や安全評価にとって重要となる各種データの標準的な取得方法を確立するための検討を進め、深地層中における核種の分配係数を計測するための標準的な手法を日本原子力学会標準委員会に提示した。本手法は標準委員会にて審議のうえ可決され、公衆審査が行われた後、「収着分配係数の測定方法－深地層処分のバリア材を対象とした測定方法の基本手順：2006」として制定された。
- 深地層の研究施設等で得られる実際の地質環境データを活用して、安全評価において重要となるシナリオを客観的な根拠に基づいて導出するための手法を構築し報告書として公表した。
- 深地層の研究施設等で得られる地質環境データを活用して、安全評価上重要となるシナリオの抽出方法及び不確実性を考慮した性能評価手法の検討を進め、現実の地質環境が有する空間的な不均質性や時間的な変化を考慮した適用例を取りまとめ報告書として公表した。
- 長期にわたる処分事業や安全規制を支えていくため、研究開発の成果を体系化し知識基盤として適切に管理・継承していくことを目的として、安全確保の論拠（セーフティケース）を視軸とした知識マネジメントシステムの詳細設計を行った。

#### ハ. 地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- 地層処分事業に必要な地質環境の調査・評価技術や深地層における工学技術の基盤を整備するため、我が国における地質の分布と特性を踏まえ、岐阜県瑞浪市（結晶質岩）と北海道幌延町（堆積岩）の2つの深地層の研究施設計画を進めた。坑道掘削時の調査研究により得られた実際の地質環境データに基づき、地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価を進めるとともに、平成19年度には、処分事業や安全規制の段階的な進展に資するため、地上からの調査研究段階の成果報告会「地層処分の技術と信頼を支える研究開発：概要調査への技術基盤の確立」を開催して、概要調査の技術基盤となるべき地上からの地質環境調査技術やモデル化手法等に関する研究開発成果を発表した。
- 瑞浪超深地層研究所（岐阜県瑞浪市）については、ボーリング調査などの地上からの調査研究の総合的な結果に基づいて作成した地質環境モデル（地質構造、岩盤力学、水理、地球化学）や地下施設の建設による周辺の地質環境への影響予測などの成果を取りまとめ、「超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階報告書」として公表した。
- 坑道掘削時の調査研究としては、2本の立坑を連絡する深度200m水平坑道の掘削を完了するとともに、主立坑を深度231mまで掘削した。その間、坑道壁面の連続的な地質観察等を実施して、花崗岩上部の風化帯及び断層・割れ目の分布や性状を把握した。また、坑道壁面の深度約25mごとに設置した湧水観測装置及び地上や深度100m水平坑道のボーリング孔内に設置した地下水観測装置を用いて、掘削の進展に伴う湧水量の経時変化や地下水の水圧及び水質の変化を継続的に観測することにより、坑道の掘削による地下水への影響を評価した。さらに、深度200mの水平坑道に、新たにボーリング孔内地下水観測装置を設置し、定常的な観測を開始した。これらの各調査で得られた情報に基づき、地上からの調査研究で構築した地質環境モデル（地質構造、岩盤力学、水理、地球化学）を確認しつつ、地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性評価を進めた。これまでのところ、地上からの調査に基づく断層の分布状況や地下水の水質等に関する予測結果は概ね妥当であるとの評価結果が得られている（図3）。
- 幌延深地層研究所（北海道幌延町）については、地上からの調査研究で得られた各種データを総合的に解析して地質環境モデルを更新するとともに、地下施設の建設による周辺の地質環境への影響を予測した（図4）。あわせて、安全評価や地下施設の設計・施工の観点から地質環境の調査・評価技術を整理し、これらの成果を、「幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階研究成果報告書」として公表した。また、上記の地質環境モデルおよび地下施設の建設による周辺の地質環境への影響予測の妥当性について評価を開始した。

坑道掘削時の調査研究としては、換気立坑を深度161mまで、東立坑を深度110mまで掘削した。その間、坑道壁面の連続的な地質観察等を実施して、堆積岩層及び断層・割れ目の分布や性状を把握した。また、掘削の進展に応じて、坑道壁面の深度約35mごとに湧水観測装置を設置して湧水量の経時変化を観測するとともに、地上からのボーリング孔内に設置した地下水観測装置を用いて地下水の水圧及び水質の変化を定常的に観測することにより、坑道の掘削による地下水への影響を評価した。これらの各調査で得られた情報に基づき、地上からの調査研究で構築した地質環境モデルを確認しつつ、地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性を検討した。これまでのところ、地上からの調査に基づく堆積岩層の性状等に関する予測結果は概ね妥当であることが確認されている。

- 坑道掘削に係る工学技術や影響評価手法の適用性を検討するため、瑞浪超深地層研究所においては、湧水観測や岩盤の変位・応力観測を継続することにより、坑道設計や覆工技術等の妥当性を確認するとともに、深度 200m の水平坑道を掘削しながら湧水抑制対策(グラウト)を実施して、その有効性を確認した。それらの結果に基づき、深度 200m 以深の坑道掘削時に実施すべき湧水対策や調査研究計画の最適化を図った。また、深度 200m 以深における坑道設計や覆工技術等の妥当性評価に必要な情報を取得するため、深度 200m の水平坑道から立坑位置の近傍にボーリング孔を掘削して、立坑掘削に伴う周辺岩盤の変位を計測するための機器を設置した。

幌延深地層研究所においては、換気立坑と東立坑の掘削を進めながら、岩盤の変位や応力を観測する計測システムを設置し、得られる情報に基づき、坑道壁面での地質観察や湧水観測の結果ともあわせて、坑道設計や覆工技術等の妥当性を確認した。その結果を踏まえて、以深の掘削工事や対策工事の最適化を進めた。また、坑道掘削時の安全対策や湧水対策を確実なものとするため、先行ボーリング調査を実施して、地下深部の岩盤や湧水の状況を事前に評価した。その結果、深度 250m 程度よりも深い場所に高透水帯の存在が確認されたことを受けて、平成 20 年度以降に掘削すべき坑道のレイアウトや調査研究計画の最適化を図った。

## 二. 地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 地質・地形に残された記録に基づいて、活断層帯の発達過程や過去 10 万年程度の気候変動を解明するための調査技術や、地下深部のマグマ・高温流体等の存在を検出するための地球物理学的手法と地球化学的な手法を組み合わせた手法の開発を進めた。また、将来の地形・地質の変化を予測するためのシミュレーション技術の適用性評価を進めた。
- 幌延地域を事例として、地質環境特性の調査や地殻変動に関する連続観測などの結果を踏まえ、過去数百万年間に於ける古地理の変遷を推定した。
- 陸域地下構造フロンティア研究の第 2 フェーズ(平成 13 年度～平成 17 年度)成果報告書の取りまとめ、公表した。

## 【特記事項】

なし

## 【研究成果の発表状況】

別紙(巻末)のとおり

## 【用語解説】

### 地層処分基盤研究開発調整会議

放射性廃棄物の地層処分に関する事業および安全規制の双方を支える基盤研究開発を効果的・効率的に進めるため、経済産業省・資源エネルギー庁と日本原子力研究開発機構などの関係研究機関により平成 17 年 7 月に設置された。これは原子力政策大綱(原子力委員会:平成 17 年 10 月)の「国及び研究開発機関等は全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に進められるよう連携・協力するべき」との方針に沿った具体的取り組み。

### 低アルカリ性セメント

地下施設を建設する際に通常のセメントを用いたコンクリートを使用した場合、セメントから地下水への浸出液が高 pH となり周辺の岩盤や緩衝材を変質させる可能性がある。原子力機構では、通常のセメント(普通ポルトランドセメント)にポゾラン材料であるシリカフェームとフライアッシュを混入し、ポゾラン反応(可溶性シリカと水酸化カルシウムが反応し、難溶性のけい酸カルシウム水和物を生成する現象)により高 pH の主な原因である水酸化カルシウムの消費をはかったセメントの開発・実用化を進めている。

### 知識ベース

知識ベースとは、地層処分に関わる国内外の様々な情報、研究開発を通じて明らかとなった事実、経験などにもとづく知見やノウハウなどの知識を、ユーザーが活用しやすい形態に整えて蓄積・保管している場所と、蓄積・補完した知識そのもののことを言う。



図表

The screenshot shows the JAEA website interface for the '緩衝材基本特性データベース' (Buffer Material Basic Property Database). It includes a navigation menu, a main content area with a notice, and two inset windows. The top inset window displays a table of search results with columns for 'ペナクティ指数', '圧入速度', '圧入時間', '圧入圧', '圧入位置', and '圧入深'. The bottom inset window shows a graph titled '透水特性 -> 透水試験' (Permeability Characteristics -> Permeability Test) with a y-axis for '透水係数 [cm/s]' and an x-axis for '時間 [days]'. Red arrows point from the main page to these two inset windows.

**緩衝材の基本特性データ**

透水特性	透水試験	力学特性	一軸圧縮試験
膨潤特性	飽和膨潤応力試験 不飽和膨潤応力試験 飽和膨潤ひずみ試験 不飽和膨潤ひずみ試験		圧裂試験 一次元圧密試験 非圧密非排水三軸試験 圧密非排水三軸試験 圧密非排水三軸クリープ試験 動的三軸試験
締固め特性	動的締固め試験 静的締固め試験		弾性波速度測定
熱特性	熱物性測定 (熱伝導率・熱拡散率)		
乾燥収縮特性	乾燥収縮試験		

Web公開した「緩衝材基本特性データベース」

**データ検索機能**

**グラフ作成機能**

**Data Search - Main**

: Selection   
  : Value   
  : Text

**Data Object :**

- acidic crystalline rock
- arenaceous rock
- basic crystalline rock
- ben tonite buffer
- tuff and argillaceous rock

**Solid :**

- altered bentonite
- Altered granodiorite
- Andesite
- Basalt
- ben tonite/sand(1:9) mixture
- ben tonite/sand(2:8) mixture

**Element :**

- 2H
- 3H
- Am
- Ba
- Be
- C

**Dry density [g/cm<sup>3</sup>] :**  ~

**Porosity [%] :**  ~

**Solution type :**

- 0.005 M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>
- 0.01 M NaCl
- 0.01 M NaNO<sub>3</sub> (aq)
- 0.1 M KCl
- 0.1 M NaCl
- 0.1 M NaNO<sub>3</sub> (aq)

**Ionic strength :**  ~

**Literature :**

**Author :**

**Title, etc. :**

**Publication year :**  ~

**Temperature [degree C] :**

**Info :**

**Redox condition :**

- (aerobic) without carbon steel
- (reducing) with carbon steel
- 500 ~ -400
- aerobic
- anaerobic
- anaerobic (Ar gas atmosphere)

**Info :**

Small Info, Dry density, porosity Info, Ion charge, Solution type, Species, Experimental Method, Others, Quality Information

De, D0, Da, Kd, Formation Factor, Geometric Factor, Rock capacity factor, Contact time, Tracer

図2 拡散データベースのデータ検索条件設定のインターフェース (主要検索項目)

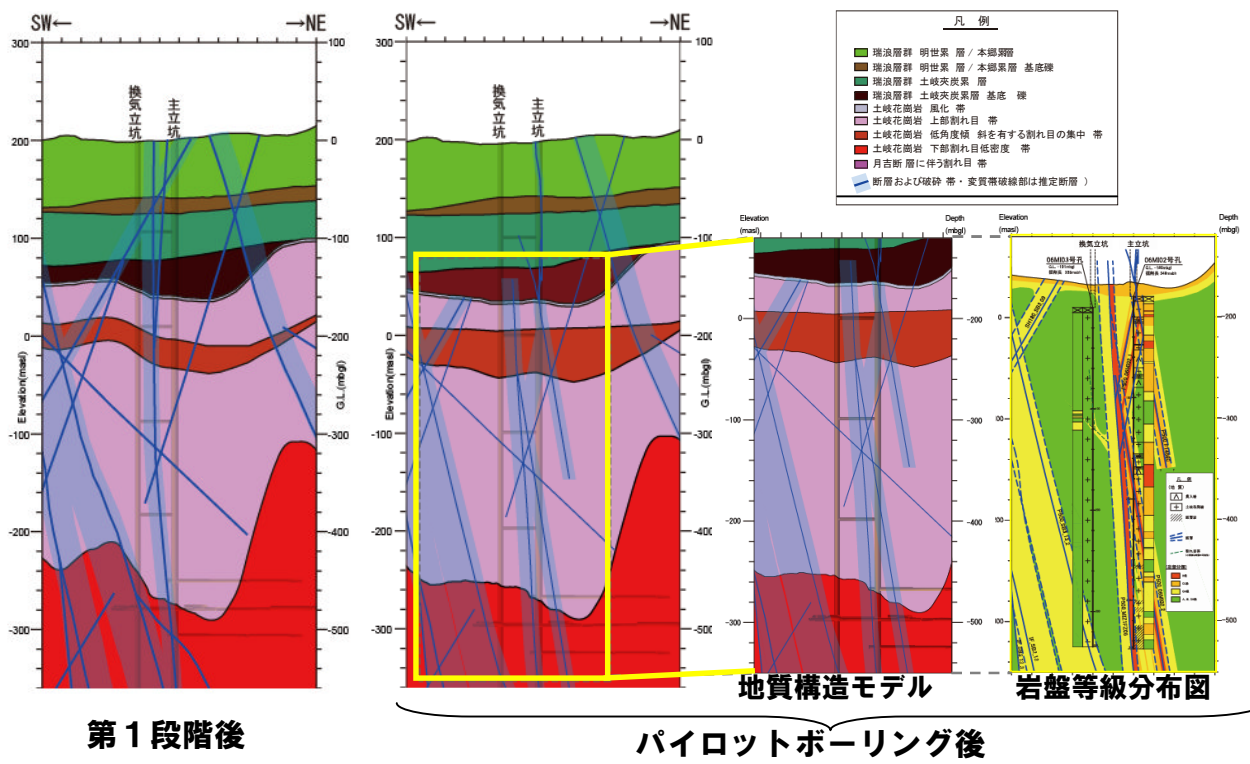


図3 第1段階後と坑道掘削時の調査研究時の地質モデルの比較



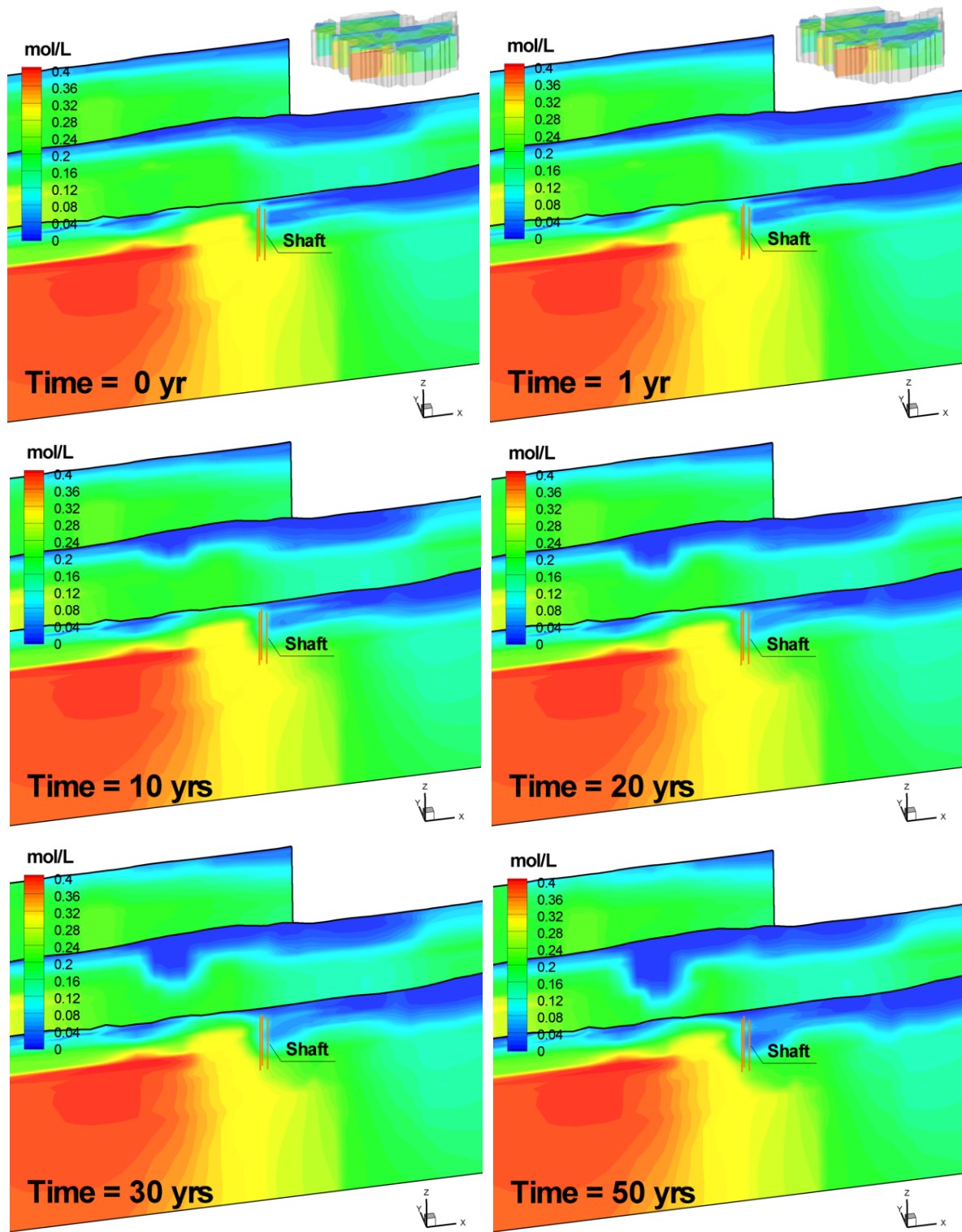


図4 地下施設建設に伴う地下水中の塩化物イオン濃度変化の予測解析結果の一例(幌延)

## 【研究成果の発表状況】

## 雑誌掲載論文：

## 全項共通

- 1) 梅木, “リスク学用語小辞典”, 日本リスク研究会編, 丸善株式会社, p.338, (2008).
- 2) 河田, “地層処分研究開発の最近の進捗状況”, 原子力システムニュース, 18[4], pp.18-25, (2008).
- 3) 河田, “軽水炉から高速炉への移行期にそなえて”, 日本原子力学会誌, 49[6], pp.22-27, (2007).
- 4) T. Kawata, “The impact of fuel cycle options on the space requirements for a HLW repository”, Nuclear Engineering and Technology, 39[6], pp.683-690, (2007).
- 5) 河田, “地層処分技術に関する知識の伝承～社会共通の知的財産作りに向けて～”, 月刊エネルギー, 40[6], pp.15-20, (2007).
- 6) T. Kawata, H. Umeki, I. G. McKinley, “Knowledge Management: the Emperor’s New Clothes?”, Proceedings of International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM), Las Vegas, Nevada, pp.669-676, (2006).
- 7) Y. Miyamoto, H. Umeki, H. Ohsawa, et al., “Key R&D Activities Supporting Disposal of Radioactive Waste: Responding to the Challenges of the 21st Century”, Nuclear Engineering and Technology, 38[6], pp.505-534, (2006).
- 8) 梅木, “21世紀の地層処分研究開発: 技術的知識基盤の構築”, 日本原子力学会誌, Vol.48, No3, pp.14-19, (2006).
- 9) 梅木, “地層処分の技術的知識基盤の構築に向けた取り組み”, 月刊エネルギー, 2005年12月号, pp.72-77, (2005).

## イ. 人工バリア等の信頼性向上に関する研究

- 1) 藤田, 杉田, 升本, 他, “結晶質岩における粘土プラグの閉鎖性能にかかわる原位置試験及び解析評価”, 原子力バックエンド研究, 14[1], pp.13-30, (2007).
- 2) 谷口, 鈴木, 中西, 他, “低炭素濃度下におけるチタンオーバーパックの長期水素吸収挙動と水素脆化の検討”, 材料と環境, 56[12], pp.576-584, (2007).
- 3) 鈴木, 谷口, “低酸素濃度下におけるチタンの腐食速度と水素吸収挙動” 材料と環境, 55, pp.485-494, (2006).
- 4) T. Fujita, Y. Sugita, Y. Takahashi, “HYDRAULIC CALCULATION OF CLAY-BASED BACKFILL AND PLUG FOR THE INTERSECTIONS OF TUNNELS IN THE GEOLOGICAL REPOSITORY FOR HLW”, Australian Geomechanics, 41[4], pp.89-95 (2006).
- 5) Y. Sugita, T. Fujita, Y. Takahashi, et al., “The Japanese approach to developing clay-based repository concepts –An example of design studies for the assessment of sealing strategies”, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 32[1-7], pp.32-41 (2006).
- 6) N. Taniguchi, M. Kawasaki, “Influence of sulfide concentration on the corrosion behavior of pure copper in synthetic sea water”, Journal of Nuclear Materials, (in press).
- 7) T. Ishidera, K. Ueno, S. Kurosawa, “Montmorillonite alteration in compacted bentonite in contact with carbon steel for ten years”, Journal of Nuclear Science and Technology, (submitted).
- 8) H. Mitsui, R. Takahashi, A. Otsuki, et al., “Stress corrosion cracking susceptibility for low carbon steel welds in carbonate-bicarbonate solution”, Corrosion Science, (submitted).
- 9) T. Okubo, H. Kikuchi, M. Yamaguchi, “Evaluation of pore structure in compacted saturated bentonite using NMR relaxometry”, Applied Clay Science, (submitted).
- 10) T. Okubo, “Tortuosity based on anisotropic diffusion process in structured plate-like obstacles by Monte Carlo simulation”, Transport in Porous Media, (submitted).
- 11) 松本, 棚井, “X線CTスキャナによる亀裂内侵入ベントナイトの密度測定に関する適用性”, 原子力バックエンド研究, (投稿中).

## ロ. 安全評価手法の高度化に関する研究

- 1) T. Ishidera, S. Miyamoto, H. Sato, “Effect of Sodium Nitrate on the Diffusion of Cl<sup>-</sup> and I<sup>-</sup> in Compacted Bentonite”, Journal of Nuclear Science and Technology, 45[7], pp.610-616, (2008).

- 2) T. Ishidera, X. Xia, K. Idemitsu, "Corrosion Products from Carbon Steel Formed in Compacted Bentonite under Reducing Conditions", *Journal of Nuclear Science and Technology*, 45[8], pp. 763-772, (2008).
- 3) 笹本, "第3回放射線廃棄物管理における天然及び人工バリア材としての粘土の役割に関する国際会議", *日本原子力学会誌*, 50[1], p.51, (2008) .
- 4) 大澤, 梅木, 牧野, 他, "地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの設計概念", *火力原子力発電*, no.621, pp.26-33, (2008).
- 5) A. Sato, A. Sawada, "Analysis of tracer migration process in the crack by means of X-ray CT", 11th Congress of International Society for Rock Mechanics - Ribeiro e Sousa, Olalla and Grossmann (eds), Vol. 1, pp. 15-18 (2007).
- 6) 梅木博之, "放射性廃棄物処分のセーフティケース", *金属*, 77[10], pp.1135-1140, (2007).
- 7) T. Kawata, H. Osawa, H. Umeki, et al., "Knowledge Management the Japanese High-Level Radioactive Waste Disposal Programme", IAEA-CN-153/1/O/01, (2007).
- 8) T. Ohi, H. Takase, M. Inagaki, et al., "Application of a Comprehensive Sensitivity Analysis Method on the Safety Assessment of TRU Waste Disposal in JAPAN", *Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXX, MRS Proceedings Volume 985*, (2007).
- 9) 澤田, 竹内, 三枝, 他, "亀裂性岩盤におけるボーリング調査に基づく水理学的有効間隙率の設定について", 第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.273-278, (2007).
- 10) 黒澤, 長崎, 田中, "DLVO 理論に基づく地下水中でのモンモリロナイトゲルからの粒子の分散性に関する評価", *日本原子力学会和文論文誌*, 6[2], pp.205-213, (2007).
- 11) A. Sato, D. Fukahori, K. Sugawara, et al., "Visualization of 2D diffusion Phenomena in Rock by Means of X-ray CT", *Advances in X-ray Tomography for Geomaterials*, Desrués, J., Viggiani, G and Besuelle, P. ed., pp.315-321, (2006).
- 12) J. Xiao, H. Sato, A. Sawada, et al., "Visualization and quantitative evaluation of aperture distribution, fluid flow and tracer transport in a variable aperture fracture", *ISRM International Symposium 2006 4th Asian Rock Mechanics Symposium, Rock Mechanics in Underground Construction*, Leung, C. F. and Zhou, Y. X. ed, (2006).
- 13) M. Kawamura, T. Ohi, H. Makino, et al., "Study on Evaluation Method for Potential Impact of "Natural Phenomena" on a HLW Disposal System", 2006 East Asia Forum on Radioactive Waste Management Conference, *Proceedings*, pp.350-367, (2006).
- 14) 黒澤, 水上, 佐藤, 他, "コロイドプローブ原子間力顕微鏡による NaCl 水溶液中のモンモリロナイト粒子の相互作用力の測定", *日本原子力学会和文論文誌*, 5[3], pp.251-256, (2006).
- 15) X. Xia, K. Iijima, G. Kamei, et al., "Comparative study of cesium sorption on crushed and intact sedimentary rock", *Radiochim. Acta*, 94[9-11], pp.683-687 (2006).
- 16) A. Sawada, H. Saegusa, Y. Ijiri, "Uncertainty in Groundwater Flow Simulations Caused by Multiple Modeling Approaches, at Mizunami Underground Research Laboratory", Japan, in "Dynamics of Fluids and Transport in Fractured Rock" ed. Faybishenko, B. and Gale, J., AGU Geophysical monograph 162, (2005).
- 17) Lim, D., "Numerical Study of Nuclide Migration in a Heterogeneous Flow Field of a High-Level Radioactive Waste Repository with Multiple Canisters", *Nuclear Technology* 156, pp.222-245, (2006).
- 18) K. Fujiwara, H. Yamana, T. Fujii, et al., "Solubility of uranium (IV) hydrous oxide in high pH solution under reducing conditions", *Radiochim. Acta*, 93, 347, (2005).
- 19) H. Sato, "Effects of the orientation of smectite particles and ionic strength on diffusion and activation enthalpies of I<sup>-</sup> and Cs<sup>+</sup> ions in compacted smectite", *Appl. Clay Sci.*, 29, pp.267-281, (2005).
- 20) H. Sato, "Measurements on the thermodynamic properties of porewater in sandstone by vapor pressure method", *J. Nucl. Sci. Technol.*, 42(4), pp.368-377, (2005).
- 21) 吉田, 吉川, 佐藤, "炭酸塩固相に対する微量元素の共沈反応についての固溶体モデルによる評価", *日本放射化学会誌*, 6 (別冊), 124, (2005).
- 22) 磯貝, 神徳, 笹本, "圧縮ベントナイト中の間隙水測定手法の検討", *原子力バックエンド研究*, Vol.11, No.1, pp.29-36, (2005).
- 23) 江橋, 小尾, 大井, "人工バリアのパラメータに関する感度解析", *原子力バックエンド研究*, (投稿中) .
- 24) T. Ebashi, Y. Hwang, Y. Lee et al., "Application of a Comprehensive Sensitivity Analysis Method to a Korean geological disposal concept", *Journal of Nuclear Science and*

- Technology, (投稿中) .
- 25) N. Fujii, K. Kawamura, S. Suzuki et al., “Study of the migration behavior of K, Cs and Sr in smectite hydrates using molecular dynamics” , Applied Clay Science, (submitted).
  - 26) K. Fujiwara, Y. Kohara, “Hydrolysis constants of tetravalent neptunium by using solvent extraction method” , Radiochimica Acta, (submitted).
  - 27) A. Hara, K. Kai, K. Maekawa, “Rock properties of diatomaceous mudstone at Horonobe, northern Hokkaido, Japan” , 地質学雑誌, (投稿中) .
  - 28) K. Iijima, Y. Shoji, T. Tomura, “Sorption Behavior of Americium onto Bentonite Colloid” , Radiochimica Acta, (submitted).
  - 29) D. Lim, M. Uchida, K. Hatanaka, et al., “Modeling of Radionuclide Migration through Fractured Rock in a HLW repository with Multiple Canisters” , Proceedings of 31st International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management (MRS 2007), (submitted).
  - 30) K. Miyahara, T. Kato, “Illustration of HLW repository performance; Using alternative yardsticks to assess modeled radionuclide fluxes” , Proceedings of 31st International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management (MRS 2007), (submitted).
  - 31) Y. Yoshida, H. Yoshikawa, T. Nakanishi, “Partition coefficients of Ra and Ba in calcite” , Chemical Geology, (submitted).
  - 32) Y. Tochigi, et al., “Modeling studies on microbial effects on groundwater chemistry”, Mat. Res. Soc. Proc. (in press).
  - 33) H. Sasamoto, et al., “A preliminary Interpretation of Groundwater Chemistry in the Horonobe Area”, 12th Int. Symp. Water Rock Interaction (WRI-12), (submitted).
  - 34) 藤井, 市川, “圧縮ベントナイト中の表面拡散現象に関する均質化解析”, 土木学会応用力学論文集, (投稿中).
  - 35) 甲斐, 前川, “続成鉱物の分布に基づく新第三系珪藻質泥岩中の地下水流動の推定－北海道幌延地域について－”, 日本地熱学会誌, (投稿中).
- ハ. 地質環境特性調査・評価手法に関する研究
- 1) H. Yoshida, K. Yamamoto, Y. Amano, et al., “The development of Fe-nodules surrounding biological material mediated by microorganisms”, Environmental Geology, 55[6], pp. 1363-1374, (2008).
  - 2) H. Yashuhara, N. Kinoshita, H. Kurikami, et al., “Evolution of permeability in siliceous rocks by dissolution and precipitation under hydrothermal conditions”, Proceedings of 3rd International Conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geo-systems; Fundamentals, Modeling, Experiments and Applications (GeoProc 2008), (2008).
  - 3) 尾留川, 松井, 操上, 他, “幌延深地層研究計画における地下研究施設建設時の課題と対応策(<小特集>大型プロジェクトの地盤工学的な問題と対処法)”, 土と基礎, 56, pp.32-35, (2008).
  - 4) 石井, 安江, 大平, 他, “北海道北部, 大曲断層近傍の背斜成長の開始時期”, 地質学雑誌, 114[6], pp.286-299, (2008).
  - 5) J. Guimerà, E. Ruiz, M. Luna, et al., “Numerical assessment of the origin of deep salinity in a low permeability fractured medium”, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2007), (2007).
  - 6) H. Saegusa, H. Onoe, S. Takeuchi, et al., “Hydrogeological characterization on surface-based investigation phase in the Mizunami Underground Research Laboratory Project, in Japan”, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2007), (2007).
  - 7) S. Takeuchi, R. Takeuchi, W. Salden, et al., “Hydrogeological conceptual model determined from baseline and construction phase groundwater pressure and surface tiltmeter data at the Mizunami Underground Research Laboratory, Japan”, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2007), (2007).
  - 8) H. Saegusa, H. Osawa, H. Onoe, et al., “Stepwise Hydrogeological characterization utilizing a geosynthodology -A case study from the Mizunami Underground Research Laboratory project”, Proceedings of third AMIGO Programme Workshop on Approaches and Challenges for the Use of Geological Information in the Safety Case, (2007).

- 9) H. Saegusa, K. Yasue, H. Onoe, et al., "Numerical Assessment of the Influence of Topographic and Climatic Perturbations on Groundwater Flow Conditions", Proceeding of an IGSC "Geosphere Stability" Proceeding of Workshop on Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline rock, (2007).
- 10) 安原, 木下, 操上, 他, "温度・応力に依存する化学溶解・沈殿現象を考慮した珪藻質岩石の透水性経時評価", 土木学会論文集 C, 63[4], (2007).
- 11) 羽柴, "岩石の時間依存性挙動と周圧の影響に関する最近の研究", Journal of MMIJ, 123[1], pp.10-16, (2007).
- 12) 岩月, 天野, 井岡, 他, "大規模地下施設の建設に伴う周辺地下水環境の変化", 日本原子力学会和文論文誌, 6[1], pp.73-84, (2007).
- 13) M. Amo, N. Suzuki, T. Shinoda, et al., "Diagenesis and distribution of steranes in Late Miocene to Pliocene marine siliceous rocks from Horonobe (Hokkaido, Japan)", Organic Geochemistry, 38, pp.1132-1145 (2007).
- 14) K. Hama, T. Kunimaru, R. Metcalfe, et al., "The hydrogeochemistry of argillaceous rock formations at the Horonobe URL site, Japan.", Physics and Chemistry of the Earth, 32, pp.170-180, (2007).
- 15) 石井, 濱, 國丸, 他, "海成堆積物の地下浅部における天水の浸透に伴う地下水の pH 変化", 地質学雑誌, 113, pp.41-52, (2007).
- 16) 佐藤, "ベントナイト及び岩石中に於ける拡散現象に関する情報交換会—地層処分の安全評価を目指して—", 日本原子力学会誌 (会議報告), 49[1], pp.51-52, (2007).
- 17) 天野, 岩月, 井岡, 他, "微生物が地下の酸化還元環境形成に及ぼす影響", 原子力バックエンド研究, 14[1], pp.61-67, (2007).
- 18) 三浦, 小西, 入矢, 他, "ボゾランを高含有した吹付けコンクリート", セメント・コンクリート, no. 728, pp.63-67, (2007).
- 19) 郷家, 多田, 瀬野, 他, "瑞浪超深地層研究所の研究坑道における掘削損傷領域を考慮した掘削影響解析", 第16回トンネル工学論文集, pp.35-45, (2006).
- 20) 井岡, 古江, 岩月, "深層ボーリング孔を用いた岩盤中の地下水の採取方法 地下水の酸化還元状態の把握のために", 日本水文科学会誌, 36[4], pp.181-190, (2006).
- 21) 井岡, 岩月, 加藤, 他, "電極表面連続研磨器具付き白金電極を用いる水溶液酸化還元電位の安定測定", 分析化学, 55[10], pp.793-797, (2006).
- 22) 中間, "賛助会員のページ 独立行政法人日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門", 岩の力学ニュース, 79, pp.12-13, (2006).
- 23) 櫻井, 清水, 芥川, 他, "国内超大深度立坑工事の地山崩壊形態から見た崩壊発生機構に関する考察", 土木学会論文集 F, 62[4], pp.662-673, (2006).
- 24) 進士, 西垣, 竹内, "揚水試験結果の解析手法の変遷と最近の技術", 土と基礎, 54[5], pp.6-9, (2006).
- 25) Sohail, A. R., K. Watanabe, S. Takeuchi, "Stream flow forecasting by artificial neural network (ANN) model trained by real coded genetic algorithm (GA) A Case study when role of groundwater flow component in surface runoff is small", 日本地下水学会誌, 48[4], pp.233-262, (2006).
- 26) 柳澤, 武田, 茂田, 他, "地質環境特性を対象とした不確実性解析の方法論 -東濃地域を対象とした適用性検討-", 日本地下水学会誌, 48[3], pp.149-167, (2006).
- 27) Y. Suyama, M. Toida, K. Masumoto, et al., "Investigation of the EDZ using high-resolution GPR with modulating frequency", Proceedings of 12th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics (Near Surface 2006) (CD-ROM), p.5, (2006).
- 28) 石井, 福島, "新第三紀珪質岩における断層の解析事例", 応用地質, Vol.47, pp.280-291, (2006).
- 29) 石井, 安江, 他, "北海道北部, 幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性", 地質学雑誌, 112, pp.301-314, (2006).
- 30) 安江, 秋葉, 大平, 他, "北海道北部, サロベツ背斜付近に分布する声間層上部の鮮新統上部珪藻化石帯とフィッシュン・トラック年代", 地質学雑誌, 112, pp.284-293, (2006).
- 31) 森岡, 松井, "幌延深地層研究計画における地下施設建設の概要", 土木学会岩盤力学委員会ニューズレター, No.11, <http://www.rocknet.japan.org/topics/News.html>, (2006).
- 32) 尾留川, 小島, 白戸, 他, "石炭灰 (フライアッシュ) の高強度吹付けコンクリートへの適用

- 性”, コンクリート工学年次大会 2006, コンクリート工学年次論文集第 28 巻, pp.1637-1642, (2006).
- 33) 尾留川, 森岡, 山上, 他, “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の概要と支保設計”, 電力土木技術協会誌, 324, pp.82-86, (2006).
  - 34) 瀬谷, 畑中, 福島, “幌延深地層研究計画の概要と現状について”, 佐藤工業技術研究所報, No.31, pp.49-56, (2006).
  - 35) 瀬谷, 森岡, 福島, “幌延深地層研究センター地下施設の建設について”, 佐藤工業技術研究所報, No.31, pp.57-62, (2006).
  - 36) C. Doughty, S. Takeuchi, K. Amano, et al., “Application of multi-rate flowing fluid electric conductivity logging method to well DH-2, Tono Site, Japan”, *Water Resour. Res.*, 41 [10], W10401, (2005).
  - 37) 古江, 岩月, 濱, “深層ボーリング孔を用いた地下水の地球化学調査の課題”, *応用地質*, 46[4], pp.232-236, (2005).
  - 38) T. Iwatsuki, R. Furue, H. Mie, et al., “Hydrochemical baseline condition of groundwater at the Mizunami underground research laboratory (MIU)”, *Applied Geochemistry*, 20, pp.2283-2302, (2005).
  - 39) T. Miyoshi, T. Iwatsuki, T. Naganuma, “Phylogenetic Characterization of 16S rRNA Gene Clones from 0.2 micron-filtrates of Deep Groundwater”, *Applied and Environmental Microbiology*, 71[2], pp.1084, (2005).
  - 40) 柳澤, 武田, 大澤, 他,, “空間的に不均一な地質環境特性の評価方法に関する基礎的検討”, *日本地下水学会誌*, 47, (2005)
  - 41) 安江, 石井, “北海道北部, 幌延町における大曲一豊富断層の正確な位置の特定”, *活断層研究*, 25, pp.39-46, (2005).
  - 42) K. Matsuki, S. Nakama, T. Sato, “Estimation of regional stress by FEM for a heterogeneous rock mass with a large fault”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (in press).
  - 43) K. Matsuki, K. Nakatani, T. Arai, et al., “A quadratic element method for evaluating groundwater flow by the inversion of surface tilt with application to the Tono Area, Japan”, *Journal of Hydrology*, (in press).
  - 44) Y. Ijiri, H. Saegusa, A. Sawada, et al., “Evaluation of uncertainties originating from the conceptual models applied to analyze regional groundwater flow in the Tono area of Japan”, *Journal of Contaminant Hydrology*, (submitted).
  - 45) 尾上, 三枝, 大山, 他, “孔間水理試験による水圧応答に基づく地下深部の水理地質構造の解析的推定”, *地下水学会誌*, (印刷中).
  - 46) 大津, 堀田, 三枝, 他, “不連続性岩盤における突発湧き水リスク評価手法の事後評価への適用”, *土木学会論文集*, (印刷中).
  - 47) 操上, 竹内, 藪内, 他, “幌延深地層研究計画の地上からの調査研究段階における地下水流動に関する調査研究”, *土木学会論文集*, (印刷中).
  - 48) 尾上, 笹尾, 三枝, 他, “過去から現在までの長期的な地形変化が地下水流動性に与える影響の解析的評価の試み”, *日本原子力学会和文論文誌*, (投稿中).
  - 49) 延藤, 西垣, 見掛, 他, “注入圧力によるグラウトの目詰まり現象抑制効果”, *土木学会論文集*, (投稿中).

## ニ. 地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) K. Yamada, T. Tagami, “Postcollisional exhumation history of the Tanzawa Tonalite Complex, inferred from (U-Th)/He thermochronology and fission track analysis”, *Journal of Geophysical Research*, 113, B03402, doi:10.1029/2007JB005368, (2008).
- 2) 三箇, 安江, “河床縦断形のシミュレーション”, *地形*, 29[1], pp.27-49, (2008).
- 3) 花室, 梅田, 高島, 他, “紀伊半島南部, 本宮および十津川地域の温泉周辺の熱水活動史”, *岩石鉱物科学*, 37[2], pp.27-38, (2008).
- 4) 新里, 舟木, 安江, “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降の古地理と地質構造発達史”, *地質学雑誌*, 113[Supplement], pp.119-135, (2007).
- 5) 廣内, 安江, 内田, 他, “完新世における阿寺断層帯湯ヶ峰断層の活動”, *活断層研究*, no.27, pp. 201-209, (2007).
- 6) 今井, 塩崎, 山下, 他, “気候・海水準変動が地下水流動に与える影響に関する解析的検討—北海

- 道 幌延地域を例として”，ハザマ研究年報，39，pp.1-7，(2007).
- 7) 楢原，今泉，宮内，他，“横手盆地東縁断層帯・千屋断層の構造発達史—逆断層システムの進化過程からみた変動地形形成—”，地学雑誌，115(6)，pp.691-714，(2007).
  - 8) K. Umeda, Y. Sakagawa, A. Ninomiya, et al., “Relationship between helium isotopes and heat flux from hot springs in a non-volcanic region, Kii Peninsula, Southwest Japan”, *Geophysical Research Letters*, 34, pp.L05310\_1-L05310\_5, (2007).
  - 9) 棚瀬，及川，二ノ宮，他，“K-Ar年代測定に基づく両白山地の鮮新；更新世火山活動の時空分布”，火山，52，pp.39-61，(2007).
  - 10) 今泉，楢原，大槻，他，“秋田県・千屋断層の陸羽地震断層露頭”，活断層研究，26，pp.71-77，(2006).
  - 11) 守田，関口，佐々木，他，“東海地方の中間温帯における中期更新世以降の植生変遷—内陸小盆地堆積物の花粉分析から—”，季刊地理学，58，pp.123-139，(2006).
  - 12) T. Oikawa, K. Umeda, S. Kanazawa et al., “Unusual cooling of Middle Miocene Ichifusayama Granodiorite in Kyushu, Japan”, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 101, pp.23-28, (2006).
  - 13) 坂川，梅田，浅森，“熱移流を考慮した日本列島の熱流束分布”，日本地熱学会誌，28，pp.211-221，(2006).
  - 14) K. Umeda, K. Asamori, T. Negi, et al., “Magnetotelluric imaging of crustal magma storage beneath the Mesozoic crystalline mountains in a nonvolcanic region, northeast Japan”, *Geochem. Geophys. Geosyst*, 7, Q08005, doi:10.1029/2006GC001247, (2006).
  - 15) K. Umeda, S. Kanazawa, C. Kakuta, et al., “Variations in the  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios of hot springs on Shikoku Island, southwest Japan”, *Geochem. Geophys. Geosyst*, 7, Q04009, doi:10.1029/2005GC001210, (2006).
  - 16) K. Umeda, Y. Ogawa, K. Asamori, et al., “Aqueous fluids derived from a subducting slab: observed high  $^3\text{He}$  emanation and conductive anomaly in a non-volcanic region, Kii Peninsula southwest Japan”, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 149, pp.47-61, (2006).
  - 17) K. Umeda, “Deep structure of the Miocene igneous complex in the Kii peninsula, Southwest Japan, inferred from wide-band magnetotelluric soundings”, *Advances in Geosciences-Vol.1: Solid Earth (SE)*, pp.207-213, (2006).
  - 18) 新里，重野，清水，高，“北海道における地震に関するアイヌの口碑伝説と歴史記録”，歴史地震，21，pp.121-136，(2006).
  - 19) 笹尾，岩月，天野，“東濃ウラン鉱床でのナチュラルアナログ研究から見た古水理地質研究の役割”，資源地質，56，pp.125-132，(2006).
  - 20) 笹尾，岩野，檀原，“瀬戸内中新統東部，瑞浪層群土岐夾炭累層の凝灰質砂岩のフィッシュン・トラック年代”，地質学雑誌，112，pp.459-468，(2006).
  - 21) T. Nohara, H. Tanaka, K. Watanabe, et al., “In situ hydraulic tests in the active fault survey tunnel, Kamioka Mine, excavated through the active Mozumi-Sukenobu Fault zone and their hydrogeological significance”, *Island Arc*, 15, pp.537-545, (2006).
  - 22) E. Sasao, K. Ota, T. Iwatsuki, et al., “An overview of a natural analogue study of the Tono Uranium Deposit, central Japan”, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 6, pp.5-12, (2006).
  - 23) R. Metcalfe, H. Takase, E. Sasao, et al., “A system model for the origin and evolution of the Tono uranium deposit, Japan”, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 6, pp.13-31, (2006).
  - 24) R. Arthur, T. Iwatsuki, E. Sasao, et al., “Geochemical constraints on the origin and stability of the Tono uranium deposit, Japan”, *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 6, pp.33-48, (2006).
  - 25) 梅田，大澤，野原，他，“サイクル機構における「地質環境の長期安定性に関する研究」の概要—日本列島のネオテクトニクスと地質環境の長期安定性—”，原子力バックエンド研究，11，pp.97-112，(2005).
  - 26) 藤原，柳田，三箇，他，“地層処分からみた日本列島の隆起・侵食に関する研究”，原子力バックエンド研究，11，pp.113-124，(2005).
  - 27) 藤原，柳田，三箇，他，“地層処分から見た侵食作用の重要性—海成段丘を対象とした侵食速度の推定を例に—”，原子力バックエンド研究，11，pp.139-146，(2005).
  - 28) 浅森，梅田，“地下深部のマグマ・高温流体等の調査技術について”，原子力バックエンド研

- 究, 11, pp.147-156, (2005).
- 29) 坂川, 梅田, 浅森, “熱移流を考慮した日本列島の熱流束分布と雲仙火山を対象とした熱・水連成シミュレーション”, 原子力バックエンド研究, 11, pp.157-166, (2005).
  - 30) 笹尾, 天野, 太田, “東濃ウラン鉱床におけるナチュラルアナログ研究—ウラン鉱床での隆起・沈降の変遷と隆起速度の見積もり—”, 原子力バックエンド研究, 11, pp.167-179, (2005).
  - 31) 木下, 野原, 中田, 他, “比較的規模の大きな地下活断層の特徴とその調査手法の検討”, 活断層研究, 25, pp.27-37, (2005).
  - 32) 上原, 小川, 角田, 他, “紀伊半島南部地域の重力異常と深部比抵抗構造から推定される地熱構造”, 地震第2輯, 57, pp.245-255, (2005).
  - 33) 山口, 須貝, 藤原, 他, “ボーリングコアの粒度組成と堆積速度からみた木曾川デルタの微地形と堆積過程”, 第四紀研究, 44, pp.37-44, (2005).
  - 34) K. Umeda, “An integrated approach for detecting latent tectonic activity beneath the crystalline mountains in a non-volcanic region: an example from the Lide Mountains, north-east Japan”, Proceeding of an IGSC "Geosphere Stability" Workshop on Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline rock, (submitted).
  - 35) T. Niizato, K. Ysue, H. Kurikami, “Impacts of natural events and processes on groundwater flow conditions: A Case study in the Horonobe area, Hokkaido, northern Japan”, Proceeding of an IGSC "Geosphere Stability" Workshop on Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline rock, (submitted).
  - 36) T. Nohara, “Hydraulic and Hydrochemical Response to Seismic Events”, Proceeding of an IGSC "Geosphere Stability" Workshop on Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline rock, (submitted).
  - 37) 根木, 浅森, 松尾, 他, “MT 法データの信頼性評価に関する一考察”, 物理探査, (投稿中).

#### 研究開発報告書類：

##### 全項共通

- 1) 梅田, 大井, 大澤, 他, “地層処分技術に関する知識基盤の構築;平成18年度報告”, JAEA-Review 2007-050, (2007).
- 2) 梅田, 大澤, 内藤, 他, “地層処分技術に関する知識管理システムの基本的概念”, JAEA-Research 2006-078, (2006).
- 3) 核燃料サイクル開発機構, “高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築—平成17年取りまとめ—分冊1 深地層の科学的研究”, JNC TN1400 2005-014, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 4) 核燃料サイクル開発機構, “高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築—平成17年取りまとめ—分冊2 工学技術の開発”, JNC TN1400 2005-015, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 5) 核燃料サイクル開発機構, “高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築—平成17年取りまとめ—分冊3 安全評価手法の開発”, JNC TN1400 2005-016, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 6) 核燃料サイクル開発機構, “高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築—平成17年取りまとめ—地層処分技術の知識化と管理”, JNC TN1400 2005-020, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 7) 核燃料サイクル開発機構, “平成16年度地層処分技術に関する研究開発報告会—わが国の地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化—要旨・スライド・ポスター”, JNC TN1400 2004-015, 核燃料サイクル開発機構, (2005).

##### イ. 人工バリア等の信頼性向上に関する研究

- 1) 平本, 小林, 中間, 他, “地層処分施設における多連設坑道の設計手法に関する検討”, JAEA-Research 2008-001, (2008).
- 2) 平本, 小林, 大久保, “岩石の強度回復特性・一般化応力緩和挙動に関する研究(委託研究)”, JAEA-Research 2008-002, (2008).



- 3) 鈴木, 藤崎, 藤田, “坑道周辺における不飽和領域の生起に伴う地球化学反応を考慮した水理-物質移行連成解析—高レベル放射性廃棄物の地層処分における熱-水-応力-化学連成挙動モデル/解析コードの適用—”, JAEA-Research 2008-003, (2008).
- 4) 齋藤, 棚井, 菊池, 他, “断層ずれに伴う人工バリアの力学的挙動評価 (II)”, JAEA-Research 2008-010, (2008).
- 5) 谷口, 川崎, 内藤, “緩衝材中における炭素鋼の腐食挙動の実験的検討—1—10年間の浸漬試験結果に基づく腐食進展挙動の検討—”, JAEA-Research 2008-011, (2008).
- 6) 川崎, 谷口, 内藤, “炭酸塩水溶液中における純銅のアノード分極挙動”, JAEA-Research 2008-012, (2008).
- 7) 平本, 小林, 青柳, 他, “ニアフィールド岩盤の長期力学挙動予測評価手法の信頼性向上に関する検討 (II) —緩衝材の膨潤圧とオーバーパックスの腐食膨張圧がニアフィールド岩盤の長期安定性に与える影響に関する研究—”, JAEA-Research 2008-013, (2008).
- 8) 藤崎, 鈴木, 藤田, “熱-水-応力連成試験設備(COUPLE)を用いた室内試験結果に基づく熱-水連成モデルの信頼性確認”, JAEA-Research 2008-020, (2008).
- 9) 林, 吉川, “大型鉄遺物の X 線 CT 測定法の比較”, JAEA-Research 2008-024, (2008).
- 10) 陶山, 上野, 笹本, “炭素鋼と 10 年間接していた圧縮ベントナイトの変質挙動調査”, JAEA-Data/Code 2008-007, (2008).
- 11) 平本, 小林, 青柳, 他, “ニアフィールド岩盤の長期力学挙動予測評価手法の信頼性向上に関する検討”, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research, 2007-003, (2007).
- 12) 西村, 棚井, 高治, 他, “ニアフィールドの長期力学連成解析手法の構築”, JAEA-Research, 2007-004, (2007).
- 13) 藤田, 油井, 鈴木, 他, “塩濃縮シミュレーションに関する研究 (共同研究)”, JAEA-Research, 2007-017, (2007).
- 14) 藤田, 須山, 戸井田, “結晶質岩における閉鎖要素に期待すべき性能要件”, JAEA-Research, 2007-021, (2007).
- 15) 谷口, 川崎, 内藤, “低酸素濃度環境における純銅の腐食挙動に及ぼす硫化物の影響と銅オーバーパックス寿命の超長期化の可能性”, JAEA-Research, 2007-022, (2007).
- 16) 杉田, 高橋, 浦上, 他, “処分システムに求められる閉鎖性能の考え方—処分場パネル規模の水理に関する試解析—”, JAEA Research, 2007-023, (2007).
- 17) 棚井, 山本, 関, “TRU 処分システム中のガス移行に関する感度解析評価”, JAEA-Research 2007-057, (2007).
- 18) 上野, 柴田, “スメクタイトと 2:1 型粘土鉱物の標準生成自由エネルギーの推定手法による誤差について”, JAEA-Research 2007-069, (2007).
- 19) 立川, 川久保, 清水, 他, “オーバーパックスの長期耐食性に関する調査 平成 18 年度 (委託研究)”, JAEA-Research 2007-086, (2007).
- 20) K. Tanai, K. Matsumoto, “A Study on extrusion behavior of buffer material into fractures using X-ray CT method”, JAEA-Research 2007-094, (2007).
- 21) 小林, 山田, 中山, 他, “低アルカリ性セメントを用いたコンクリートに関する原位置試験計画案”, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Review, 2007-007, (2007).
- 22) 山田, 平本, 小林, 他, “処分場建設の際に持ち込まれる材料の長期性能評価の観点からの留意点”, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Review 2007-008, (2007).
- 23) 棚井, 神徳, 菊池, 他, “緩衝材の性能保障項目に関わる評価ツールの現状”, JAEA-Research, 2006-035, (2006).
- 24) 谷口, 甲川, 前田, “幌延地下水環境における炭素鋼の腐食挙動の予察的検討”, JAEA-Research, 2006-051, (2006).
- 25) 立川, 川久保, 清水, 他, “オーバーパックスの長期耐食性に関する調査 (委託研究)”, JAEA-Research, 2006-058, (2006).
- 26) 三井, 高橋, 谷口, 他, “オーバーパックス溶接部の耐食性評価に関する研究—III (共同研究)”, JAEA-Research, 2006-080, (2006).
- 27) 小田, 鈴木, 川上, 他, “熱—水—応力—化学連成試験設備 (COUPLE) における熱—水—応力—化学連成試験 (II)”, JNC TN8400 2004-024, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 28) 菊池, 棚井, “幌延地下水を用いた緩衝材・埋め戻し材の基本特性試験”, JNC TN8430 2004-005, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 29) 石原, 千々松, 雨宮, 他, “熱—水—応力—化学連成挙動に関する研究 (IV)”, JNC TJ8400

- 2004-015, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 30) 戸井田, 笹倉, 渥美, 他, “シーリング性能挙動に関する評価研究”, JNC TJ8400 2004-023, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 31) 千々松, 福留, 浦野, 他, “人工バリア性能確認に関する基盤情報取得方法の調査研究 (II)”, 核燃料サイクル開発機構, JNC TJ8400 2004-027, (2005).
- ロ. 安全評価手法の高度化に関する研究
- 1) 北村, 戸村, 佐藤, 他, “海水系地下水におけるベントナイト及び堆積岩に対するセシウムの収着挙動, JAEA-Research 2008-004, (2008).
  - 2) 大井, 加藤, 河内, 他, “信頼性のレベルを提示可能な体系的な検討結果のとりまとめ方法の整備”, JAEA-Research 2008-014, (2008)
  - 3) 吉田, 吉川, “核種移行評価モデルにおける Ra の共沈現象の検討”, JAEA-Research 2008-015, (2008).
  - 4) 久野, 笹本, “地下水中のコロイドの特性評価に及ぼす水質擾乱影響の予察的検討”, JAEA-Research 2008-016, (2008).
  - 5) M. Ochs, S. Kunze, Y. Saito, et al., “Application of the sorption database to Kd-setting for Horonobe rocks”, JAEA-Research 2008-017, (2008).
  - 6) 川村, 大井, 新里, 他, “高レベル放射性廃棄物地層処分における天然現象影響評価に関する研究”, JAEA-Research 2008-018, (2008).
  - 7) 江橋, 小尾, 大井, “人工バリアと天然バリアのパラメータに関する感度解析—高レベル放射性廃棄物の地層処分性能評価への包括的感度解析手法の適用—”, JAEA-Research 2008-019, (2008).
  - 8) 加藤, 鈴木, “地層処分生物圏評価における感度解析による重要パラメータの抽出に関する検討”, JAEA-Research 2008-021, (2008).
  - 9) 稲垣, 蛭名, “処分環境や設計オプションに対応した性能評価手法の構築 (1)”, JAEA-Research 2008-022, (2008).
  - 10) 大井, 稲垣, 川村, “シナリオの重要度をわかりやすく提示可能なシナリオ解析手法の整備”, JAEA-Research 2008-023, (2008).
  - 11) 栃木, 吉川, 青木, 他, “地層処分における微生物影響評価に関する研究 (2) (共同研究)”, JAEA-Research 2008-025, (2008).
  - 12) 下茂, 熊本, 唐崎, 他, “亀裂を有する堆積岩の水理・物質移行評価のためのデータ取得・解析 (委託研究)”, JAEA-Research 2008-029, (2008).
  - 13) 高須, 前川, 澤田, “多孔質媒体均質層及び二層不均質層を対象にした塩淡境界面の挙動”, JAEA-Research 2008-030, (2008).
  - 14) Y. Saito, M. Ochs, S. Kunze, et al., “Evaluating and categorizing the reliability of distribution coefficient values in the sorption database (2)”, JAEA-Technology 2008-018, (2008).
  - 15) 蛭名, 大井, “人工バリア・天然バリア中の核種移行解析コード「TIGER」を不確実性解析に用いるための特性把握”, JAEA-Data/Code 2008-002, (2008).
  - 16) 河内, 大井, 川村, 他, “品質管理及びプロジェクト管理機能を考慮した JGIS の機能高度化”, JAEA-Data/Code 2008-006, (2008).
  - 17) 林, 笹本, 吉川, “ガラスの溶解に関するデータベースの改良”, JAEA-Data/Code 2008-008, (2008).
  - 18) 佐藤, 肖, 澤田, “光学的手法を用いた亀裂開口幅測定及び亀裂内濃度分布測定手法の開発”, JAEA-Research, 2007-006, (2007).
  - 19) 土井, Xia, 柴田, 他, “幌延堆積岩への Cs 収着挙動に対するイオン交換反応に基づくモデルの適用性検討”, JAEA-Research, 2007-007, (2007).
  - 20) 栃木, 吉川, 青木, 他, “地層処分における微生物影響評価に関する研究(1) (JAEA-産創研共同研究)”, JAEA-Research, 2007-010, (2007).
  - 21) 原, 星, 加藤, 他, “前進的モデルを用いた不均質性堆積岩評価手法の研究 III”, JAEA-Research, 2007-015, (2007).
  - 22) 下茂, 熊本, 前川, “亀裂を有する軟岩の水理・物質移行特性データの取得・解析”, JAEA-Research, 2007-016, (2007).
  - 23) 陶山, 柴田, 上野, 他, “鉄型化ベントナイト水熱試験(II)—低酸素雰囲気, 150°C における鉄

- 型化ベントナイトの変化の同定—”, JAEA-Research, 2007-018, (2007).
- 24) 栃木, 甲川, 向井, 他, “花崗岩質岩石のマトリクスにおける拡散深さに関する研究”, JAEA-Research, 2007-024, (2007).
  - 25) 稲垣, 加藤, 吉田, 他, “表層での水理・物質移行を考慮した生物圏における核種流入域の設定に関する検討”, JAEA-Research, 2007-029, JAEA, (2007).
  - 26) J.A. Berry, 油井, 北村, “Sorption studies of radioelements on geological materials”, JAEA-Research 2007-074, (2007).
  - 27) M. Ochs, Y. Saito, A. Kitamura, et al., “Evaluating and categorizing the reliability of distribution coefficient values in the sorption database”, JAEA-Technology, 2007-011, (2007).
  - 28) 牧野, 川村, 若杉, 他, “高レベル放射性廃棄物地層処分安全評価のシナリオ解析のための計算機支援ツールの開発”, JAEA-Data/Code, 2007-005, JAEA, (2007).
  - 29) 吉田, 北村, “OECD/NEA で選定された熱力学データの利用環境の整備 (その 3) —Ni, Se, Zr および有機物配位子の熱力学データベースファイルの作成—”, JAEA-Data/Code, 2007-009, (2007).
  - 30) 栃木, 柴田, 佐藤, 他, “主要岩石及び緩衝材中の核種の拡散係数データベースシステム (2007 年公開版/仕様)”, JAEA-Data/Code, 2007-010, (2007).
  - 31) 齋藤, M. Ochs, 陶山, 他, “収着データベースの更新; 信頼性評価に伴う収録データの訂正と公開文献データの追加”, JAEA-Data/Code 2007-014, (2007).
  - 32) 前川, 澤田, 太田, 他, “地質環境調査・物質移行評価に関する研究の基本的な方針”, JAEA-Review, 2007-011, (2007).
  - 33) 佐々木, “地層処分研究に対する外部のご意見と研究の方向性”, JAEA-Review, 2007-016, (2007).
  - 34) 佐々木, 虎田, “第 1 回地層処分研究開発検討委員会 (会議報告)”, JAEA-Conf, 2007-004, JAEA, (2007).
  - 35) 原, “堆積岩の水理・物質移行特性に関するデータ取得 II —幌延泥岩の孔径分布・化学組成・空気浸透率—”, JAEA-Research 2006-020, (2006).
  - 36) 棚井, 神徳, 菊池, 他, “緩衝材の性能保証項目に関わる評価ツールの現状”, JAEA-Research 2006-035, (2006).
  - 37) 陶山, 柴田, 笹本, “鉄型化ベントナイト水熱試験—低酸素雰囲気での高温条件下における鉄型化ベントナイトの変化の同定—”, JAEA-Research, 2006-064, (2006).
  - 38) 高須, 前川, “多孔質媒体中水理・物質移行現象可視化装置 (小型 MACRO)の開発及び予察試験結果”, JAEA-Technology, 2006-061, (2006).
  - 39) 栃木, 笹本, 柴田, 他, “主要岩石中の核種の拡散係数データベースシステム (2006 年版/仕様・CD-ROM)”, JAEA-Data/Code 2006-008, (2006).
  - 40) 鈴木, 加藤, 牧野, 他, “TRU 廃棄物処分に特有な放射性核種を考慮した生物圏データセットの整備と線量への換算係数の算出”, JAEA-Data/Code 2006-011, (2006). 24) 鈴木, 加藤, 牧野, 他, “TRU 廃棄物処分に特有な放射性核種を考慮した生物圏データセットの整備と線量への換算係数の算出”, JAEA-Data/Code 2006-011, (2006).
  - 41) 仲島, 牧野, “決定木分析を用いた核種移行解析結果の感度分析の検討(II)”, JAEA-Data/Code, 2006-013, JAEA, (2006).
  - 42) 磯貝, 笹本, 柴田, “圧縮ベントナイト中の間隙水組成の測定—間隙水 pH の空間変化に関する追加試験の結果—”, JAEA-Data/Code, 2006-017, (2006).
  - 43) 宮原, 吉川, 大井, 他, “高レベル放射性廃棄物地層処分の性能評価に関する研究計画書”, JAEA-Review 2006-015, (2006).
  - 44) 宮原, 加藤, “地層処分の安全規制に関する動向”, JAEA-Review, 2006-030, JAEA, (2006).
  - 45) 川村, 大井, 牧野, 他, “高レベル放射性廃棄物地層処分に係わる天然現象影響評価に関する研究計画書”, JAEA-Review, 2006-039, JAEA, (2007).
  - 46) 佐藤, “Na 型スメクタイトの精製及び拡散試験用定方位試料の作製”, JAEA-Research 2005-004, (2005).
  - 47) 仲島, 牧野, “決定木分析を用いた核種移行解析結果の感度分析の検討 (II)”, JAEA-Data/Code 2006-013, (2006).
  - 48) 川村, 牧野, 梅田, 他, “高レベル放射性廃棄物処分における天然現象影響評価技術の高度化”,

サイクル機構技報, No.28, 53-64, (2005).

- 49) 牧野, 澤田, 前川, 他, “地質環境の調査から物質移行解析にいたる一連の調査・解析技術—2つの深地層の研究施設計画の地上からの調査研究段階(第1段階)における地質環境情報に基づく検討”, JNC TN1400 2005-021, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 50) 加藤, 鈴木, 牧野, 他, “生物圏評価データの重要度に関する検討(研究報告)”, JNC TN1400 2005-024, NUMO-TR-05-01, (2005).
- 51) 黒澤, “高レベル放射性廃棄物地層処分システムにおける核種移行評価に及ぼすコロイド影響に関する研究—第2次取りまとめ以降の検討—”, JNC TN8400 2005-007, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 52) R. C. Arthur, H. Sasamoto, C. Oda, et al., “Development of Thermodynamic Databases for Hyperalkaline, Argillaceous Systems”, JNC TN8400 2005-010, (2005).
- 53) 佐治, 伊藤, 柴田, 他, “河川水と接触したベントナイト鉱床の化学特性変化”, JNC TN8400 2005-017, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 54) 石寺, 佐藤, “凝灰岩中の CO<sub>2</sub>-, Cl-, I-の拡散挙動に及ぼす NaNO<sub>3</sub> の影響”, JNC TN8400 2005-018, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 55) 吉川, 本田, 郡司, “宇和奈辺陵墓参考地陪塚大和六号墳出土鉄ていの腐食調査”, JNC TN8400 2005-031, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 56) 齋藤, M. Ochs, 神徳, 他, “JNC 収着データベースを用いた分配係数の信頼度評価手法の開発”, JNC TN8410 2005-11, 核燃料サイクル開発機構, (2005).

#### ハ. 地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- 1) 市川, 瀬野, 中間, 他, “結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための理論的研究(委託研究)”, JAEA-Research 2008-005, (2008).
- 2) 森岡, 山崎, 松井, 他, “幌延深地層研究計画における地下施設の支保設計(実施設計)”, JAEA-Research 2008-009, (2008).
- 3) 渋谷, 鈴木, 黒田, “瑞浪超深地層研究所研究坑道予備解析—平成16年度—(委託研究)”, JAEA-Research 2008-027, (2008).
- 4) 柴野, 尾留川, 安江, 他, “換気立坑掘削深度50mまでの湧水量解析”, JAEA-Research 2008-033, (2008).
- 5) 戸井田, 須山, 瀬尾, 他, “東濃地域における地質環境の不確実性評価—平成18年度—(委託研究)”, JAEA-Research 2008-035, (2008).
- 6) 本多, 桜井, 鈴木, 他, “地盤統計学的手法を用いた地質環境モデル構築手法に関する研究(共同研究)”, JAEA-Research 2008-038, (2008).
- 7) 黒崎, 山地, 勝沼, 他, “超大深度立坑の接続部における崩落機構に関する調査(委託研究)”, JAEA-Research 2008-048, (2008).
- 8) 西尾, 弥富, 尾方, “「平成18年度東濃地科学センター地層科学研究情報・意見交換会」資料集”, JAEA-Review 2008-010, (2008).
- 9) 西尾, 弥富, 尾方, “「平成19年度東濃地科学センター地層科学研究情報・意見交換会」資料集”, JAEA-Review 2008-026, (2008).
- 10) 尾上, 三枝, 大山, 他, “繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの水理地質構造のモデル化・地下水流動解析(ステップ4)”, JAEA-Research, 2007-034, (2007).
- 11) 尾上, 三枝, 大山, “ローカルスケールの地下水流動解析—サイトスケールにおけるステップ4の地下水流動解析の境界条件の設定—”, JAEA-Research, 2007-035, (2007).
- 12) H. Matsui, T. Niizato, Y. Yamaguchi, (eds.), “Horonobe Underground Research Laboratory Project Investigation Program for the 2006 Fiscal Year”, JAEA-Research, 2007-041, (2007).
- 13) 三枝, 瀬野, 大山, 他, “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第1段階)研究成果報告書”, JAEA-Research, 2007-043, (2007).
- 14) 太田, 阿部, 山口, 他, “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」”, JAEA-Research, 2007-044, (2007)..
- 15) 松井, 中山, 真田, 他 “幌延深地層研究計画 平成19年度調査研究計画”, JAEA-Research 2007-048 (2007).
- 16) 森岡, 山口, 舟木, 他, “幌延深地層研究計画における立坑掘削時の計測計画及び情報化施工プログラム”, JAEA-Research 2007-050, (2007).
- 17) 藪内, 操上, 瀬尾, 他, “幌延深地層研究計画におけるボーリング孔を用いた地下水の水圧の

- 長期モニタリング”, JAEA-Research, 2006-056, (2006).
- 18) 小島, 大西, 渡辺, 他, “深部地質環境の調査解析技術の体系化に関する研究—平成 17 年度— (委託研究)”, JAEA-Research 2007-060, (2007).
  - 19) 戸村, 操上, 柴野, 他, “幌延深地層研究における表層水理調査の現状”, JAEA-Research 2007-063, (2007).
  - 20) 戸井田, 須山, 森, 他, “東濃地域における地質環境の不均一性評価—平成 16 年度— (委託研究)”, JAEA-Research 2007-065, (2007).
  - 21) 高瀬, 稲垣, 野口, 他, “幌延深地層研究計画における不確実性を考慮した安全評価手法の検討 (委託研究)”, JAEA-Research 2007-066, (2007).
  - 22) 戸井田, 須山, 森, 他, “東濃地域における地質環境の不均一性評価—平成 17 年度— (委託研究)”, JAEA-Research 2007-071, (2007).
  - 23) 青木, 水戸, 南, 他, “ボーリングコアを用いた堆積軟岩の AE 特性の分析及び原位置測定手法に関する研究 (共同研究)”, JAEA-Research 2007-077, (2007).
  - 24) 瀬野, 中間, 佐藤, 他, “MBC モデルによる瑞浪超深地層研究所研究坑道の掘削影響予測解析”. JAEA-Research 2007-080, (2008).
  - 25) 瀬野, 中間, 佐藤, 他, “クラックテンソル・仮想割れ目モデルによる瑞浪超深地層研究所研究坑道の掘削影響予測解析”, JAEA-Research 2007-081, (2008).
  - 26) 大久保, 瀬野, 中間, 他, “結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための現象論的研究 (委託研究)”, JAEA-Research 2007-088, (2008).
  - 27) 松田, 納田, 入矢, 他, “幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントの適用性に関する研究 (委託研究)”, JAEA-Research 2007-089, (2008).
  - 28) 松井, 中山, 真田, “幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究成果報告”, JAEA-Research 2007-092, (2008).
  - 29) F. Lanaro, H. Matsui, “BEM-DDM modelling of rock damage and its implications on rock laboratory strength and in-situ stresses”, JAEA-Research 2007-093, (2008).
  - 30) 國丸, 柴野, 操上, 他, “幌延深地層研究計画における地下水, 河川水及び降水の水質分析”, JAEA-Data/Code 2007-015, (2007).
  - 31) 平賀, 石井, “幌延深地層研究計画(第 1 段階)において採取されたボーリングコアの鉱物組成・全岩化学組成及び地表ガスの化学組成”, JAEA-Data/Code 2007-022, (2008).
  - 32) 熊谷, 舟木, 山崎, 他, “幌延深地層研究計画平成 18 年度地下施設計測データ集”, JAEA-Data/Code 2007-025, (2008).
  - 33) 西尾, 水野, 大山, 他, “超深地層研究所計画 年度計画書 (2006 年度)”, JAEA-Review 2007-037, (2007).
  - 34) 西尾, 水野, 大山, 他, “超深地層研究所計画 年度計画書 (2007 年度)”, JAEA-Review 2007-038, (2007).
  - 35) 濱, 國丸, 操上, 他, “幌延深地層研究計画における地下水水質・水理モデルの信頼性向上に関する研究—2005 年度成果報告— (共同研究)”, JAEA-Research, 2006-070, (2006).
  - 36) 松井, 新里, 山口, 編, “幌延深地層研究計画平成 17 年度調査研究成果報告”, JAEA-Research, 2006-073, (2006).
  - 37) 松井, 新里, 山口, 編, “幌延深地層研究計画 平成 18 年度調査研究計画”, JAEA-Research, 2006-074, (2006).
  - 38) 瀬尾, 操上, 藪内, 他, “浅層ボーリング孔を利用した地下水位観測”, JAEA-Research, 2006-079, (2006).
  - 39) 丹生屋, 松井, “HDB-3~8 孔における岩盤力学的調査結果及び研究所設置地区の岩盤力学的概念モデル検討”, JAEA-Research, 2006-086, (2006).
  - 40) 松井, 佐々木, “堆積岩を対象とした地上からの深層ボーリング孔掘削事例”, JAEA-Technology, 2006-052, (2006).
  - 41) 松井, “幌延深地層研究計画 地上からの調査研究段階における深層ボーリング調査計画とその実績”, JAEA-Technology, 2006-054, (2006).
  - 42) 津久井, 西木, 東中, 他, “幌延深地層研究計画における高密度反射法地震探査, マルチオフセット VSP 探査, 重力探査”, JAEA-Data/Code, 2006-026, (2006).
  - 43) 日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター, “幌延深地層研究計画 平成 17 年度調査研究成果報告”, 日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター, (2006).
  - 44) 中山, “幌延深地層研究計画の現状”, サイクル機構技報, No.28, 1-8, (2005).

- 45) 中間, 山田, 青木, 他, “超深地層研究所計画 (第 1 段階) における岩盤力学調査研究”, サイクル機構技報, No.26, pp.77-86, (2005).
- 46) K. Ota, S. Takeuchi, K. Ikeda, et al., “An Overview of the MIZ-1 Borehole Investigations during Phase III: MIZ-1 Progress Report 03-02”, JNC TN7400 2005-001, Japan Nuclear Cycle Development Institute, (2005).
- 47) 中間, 竹内, 天野, 他, “超深地層研究所計画 年度報告書 (平成 15 年度)”, JNC TN7400 2005-002, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 48) 尾上, 三枝, “ローカールスケールの地下水流動解析—サイトスケールにおけるステップ 2 の地下水流動解析の境界条件の設定—”, JNC TN7400 2005-003, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 49) 大山, 三枝, 尾上, “ローカールスケールにおける地下水流動解析—ローカールスケールでの地下水流動特性評価およびサイトスケールにおけるステップ 0 の地下水流動解析の境界条件の設定—”, JNC TN7400 2005-004, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 50) 大山, 三枝, 尾上, “ローカールスケールにおける地下水流動解析—サイトスケールにおけるステップ 1 の地下水流動解析の境界条件の設定—”, JNC TN7400 2005-005, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 51) 尾上, 三枝, 遠藤, “繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの水理地質構造のモデル化・地下水流動解析(ステップ 2)”, JNC TN7400 2005-006, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 52) 石垣, 松岡, 上原, “花崗岩を対象とした断層調査技術の開発—高密度電気探査, マルチオフセット VSP 探査の適用性評価—”, JNC TN7400 2005-009, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 53) S. Takeuchi, K. Ota, “Working Programme for MIZ-1 Borehole Investigations: Revision of Work Procedures after Phase IV”, JNC TN7400 2005-010, Japan Nuclear Cycle Development Institute, (2005).
- 54) 太田, 佐藤, 竹内, 他, “東濃地域における地上からの地質環境の調査・評価技術”, JNC TN7400 2005-023, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 55) K. Ota, S. Takeuchi, K. Ikeda, et al., “Overview of MIZ-1 Borehole Investigations”, JNC TN7400 2005-024, Japan Nuclear Cycle Development Institute, (2005).
- 56) 鶴田, 鐙, 彌榮, 他, “広域地下水流動研究におけるボーリング調査 (DH-15 号孔)”, JNC TN7400 2005-025, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 57) 核燃料サイクル開発機構, “超深地層研究所計画 年度計画書 (2005 年度)”, JNC TN7410 2005-001, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 58) 池田, 鶴田, 松岡, 他, “広域地下水流動研究におけるボーリング調査 (DH-14 号孔) 結果速報”, JNC TN7430 2005-001, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 59) 池田, 鶴田, 松岡, 他, “広域地下水流動研究におけるボーリング調査 (DH-15 号孔) 結果速報”, JNC TN7430 2005-002, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 60) 藤田, “広域地下水流動研究における間隙水圧観測—(2004 年 7 月～9 月) 調査速報—”, JNC TN7450 2005-001, 核燃料サイクル開発機構 (2005).
- 61) 藤田, “超深地層研究所計画における間隙水圧長期観測 2003 年 4 月～2004 年 3 月”, JNC TN7450 2005-002, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 62) 藤田, “超深地層研究所計画における間隙水圧観測—(2004 年 10 月～12 月) 調査速報—”, JNC TN7450 2005-003, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 63) 荒井, “超深地層研究所計画における表層水理観測年報—2001～2003 年度 (データ集)—”, JNC TN7450 2005-004, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 64) 荒井, “広域地下水流動研究における表層水理観測年報—2001～2003 年度 (データ集)—”, JNC TN7450 2005-005, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 65) 藤田, “広域地下水流動研究における間隙水圧および地下水位の長期観測結果 2003 年 4 月～2004 年 3 月”, JNC TN7450 2005-006, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 66) 藤田, “広域地下水流動研究における間隙水圧観測—(2004 年 10 月～12 月) 調査速報—”, JNC TN7450 2005-007, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 67) 藤田, “超深地層研究所計画における間隙水圧観測—(2005 年 1 月～3 月) 調査速報—”, JNC TN7450 2005-008, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 68) 藤田, “超深地層研究所計画における間隙水圧長期観測 2004 年 4 月～2005 年 3 月”, JNC TN7450 2005-009, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 69) 竹内, 天野, 藤田, “広域地下水流動研究における単孔式水理試験データ”, JNC TN7450

- 2005-010, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 70) 竹内, 藤田, “超深地層研究所計画における単孔式水理試験データ”, JNC TN7450 2005-011, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 71) 戸高, 阿島, 中西, 他, “超深地層研究所周辺の地下水水質変化に関する多変量解析”, JNC TJ7400 2005-001, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 72) 杉田, “地下水の地球化学データに関する品質分類手法の構築”, JNC TJ7400 2005-002, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 73) 市川, “結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための理論的研究”, JNC TJ7400 2005-003, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 74) 大久保, “結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価のための現象論的研究”, JNC TJ7400 2005-004, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 75) 加藤, “MIZ-1 号孔の岩芯を用いた初期応力評価試験”, JNC TJ7400 2004-018, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 76) 杉田, 中島, 中村, “MIZ-1 号孔の岩芯を用いた室内物理・力学物性試験”, JNC TJ7450 2004-002, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 77) 核燃料サイクル開発機構, “幌延深地層研究計画 平成 16 年度調査研究成果報告”, JNC TN5400 2005-001, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 78) 操上, 竹内, 瀬尾, “幌延深地層研究計画における地下水流動解析”, JNC TN5400 2005-003, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 79) 瀬尾, 竹内, 操上, 他, “幌延深地層研究計画における水収支法による地下水涵養量の推定—2003 年 8 月～2004 年 7 月—”, JNC TN5400 2005-005, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 80) 石井, 安江, “幌延町における鮮新世～前期更新世のテフラ層序と FT 年代”, JNC TN5400 2005-006, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 81) 核燃料サイクル開発機構, “幌延深地層研究計画報告会報告書”, JNC TN5400 2005-007, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 82) 石井, 安江, “幌延深地層研究計画における断層の解析と地質構造モデルの構築”, JNC TN5400 2005-008, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 83) 石井, 安江, “幌延深地層研究計画における電磁探査を用いた断層帯調査—大曲断層の三次元分布と水理特性—”, JNC TN5400 2005-009, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 84) 高橋, “幌延深地層権研究計画における地表踏査およびボーリング調査の各種測定・分析データ集”, JNC TN5400 2005-010, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 85) 高橋, 新里, 安江, 他, “北海道北部幌延町における地球化学的特徴を用いた侵食量の推定”, JNC TN5400 2005-011, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 86) 丹生屋, 松井, “研究所設置地区選定のための HDB-1,2 孔における岩盤力学的調査”, JNC TN5400 2005-012, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 87) K. Yasue, “Data book of the fossil diatoms after the Neogene in the Horonobe town”, JNC TN5450 2005-001, Japan Nuclear Cycle Development Institute, (2005).
- 88) P. Birkhäuser, C. Lacave, H. Ohara, et al., “Computation of amplification functions in the Wakkanai Formation, Horonobe area,” JNC TY5410 2005-001, Japan Nuclear Cycle Development Institute, (2005).
- 89) 下茂, 山本, 熊本, 他, “幌延深地層研究計画における地質環境モデル化研究”, JNC TJ5400 2004-004, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 90) 藤井, 柴田, 深町, “河川水, 地下水および雨水の水質分析”, JNC TJ5410 2004-013, 核燃料サイクル開発機構, (2005).
- 91) 池田, 関根, 堀内, “地下水位・土壌水分観測システムの設置”, JNC TJ5410 2004-014, 核燃料サイクル開発機構, (2005).

## ニ. 地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) 野原, 梅田, 笹尾, 他, “地質環境の長期安定性に関する研究, 年度報告書 (平成 17 年度)”, JAEA-Research 2007-087, (2008).
- 2) 中司, 野原, 梅田, 他, “地質環境の長期安定性に関する研究, 年度計画書 (平成 19 年度)”, JAEA-Review 2007-045, (2008).
- 3) 中司, 野原, 梅田, 他, “地質環境の長期安定性に関する研究, 年度計画書 (平成 18 年度)”, JAEA-Review 2007-047, (2008).

- 4) 金沢, 富山, 及川, 他, “地質温度計による熱履歴の調査手法について”, サイクル機構技報, No.26, 1-18, (2005).

大学紀要:

ニ. 地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) 柳田, 藤原, 久保田, 他, “日本列島の地すべり地形—分布図からの考察—”, 駒沢地理, 41, pp.61-77, 2 sheets, (2005).

国際会議:

全項共通

- 1) T. Kawata, H. Umeki, H. Osawa, et al., “Knowledge Management in the Japanese High-Level Waste Disposal Programme”, Knowledge Management in Nuclear Facilities, (2007).
- 2) H. Umeki, N. Naito, M. Makino, et al., “Establishing Priorities for HLW R&D in the 21st Century”, Proceedings of 15th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-15) (CD-ROM), p.8, (2007).
- 3) H. Umeki, “A Challenge for computing in the 21st century; Radwaste knowledge management”, Proceedings of Joint International Topical Meeting on Mathematics & Computations and Supercomputing in Nuclear Applications (M&C+SNA 2007) (CD-ROM), Monterey, California, p.11, (2007).
- 4) H. Umeki, H. Osawa, M. Naito, et al., “Knowledge Management –The Cornerstone of A 21st Safety Case”, Proc. International Symposium on Safety Case for the Deep Disposal of Radioactive Waste: Where do We Stand?, Paris, January 23-25, (2007).
- 5) H. Umeki, “A Challenge for Computing in the 21st Century: Radwaste Knowledge Management”, Joint International Topical Meeting on Mathematics & Computation and Supercomputing in Nuclear Applications (M&C + SNA 2007), Monterey, California, (2007).
- 6) S. Masuda, H. Kawamura, I. G. McKinley, et al., “Optimising repository design for the CARE concept”, Proceedings of the 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM), April 30-May 4, 2006, Las Vegas, NV, pp.507-504, (2006).
- 7) T. Kawata, H. Umeki, I.G. Mc Kinley, “Knowledge Management :the Emperor's New Clothes? ”, Proceedings of the 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM), April 30-May 4, 2006, Las Vegas, NV, pp.1236-1243, (2006).
- 8) S. Masuda, H. Kawamura, I.G. McKinley, et al., “Alternative Repository Design Concepts for HLW Disposal -Challenges and Initiatives-”, IBC RadWaste Conference, June 14, 2006, London, (2006).
- 9) H. Osawa, “Issues and Challenges on Knowledge Management in Japan Atomic Energy Agency (JAEA)”, IAEA Consultancy Meeting on Technical Document on Knowledge Management in Radioactive Waste Facilities, (2006).

イ. 人工バリア等の信頼性向上に関する研究

- 1) T. Fujita, “Current status on geological disposal program in Japan”, International Exchange Seminar between Saitama University and Thammasat University on Environmentally Sustainable Infrastructure Development in Asia, (2007).
- 2) Y. Kobayashi, T. Yamada, H. Matsui, et al., “Application of Low-alkaline Cement Development to JAEA URL”, R&D on Low-pH Cement for a Geological Repository 3rd Workshop, (2007).
- 3) T. Ohkubo, H. Kikuchi, M. Yamaguchi, “Evaluation of pore structure in compacted saturated bentonite using NMR relaxometry”, 3rd International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
- 4) K. Tanai, K. Matsumoto, “A Study on extrusion behavior of buffer material into Fractures using X-ray CT method”, 3rd International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
- 5) Y. Yokoyama, H. Mitsui, R. Takahashi, et al., “Corrosion Behavior of the Weld Zone of Carbon Steel Overpack for HLW Disposal: Corrosion Behavior under the Aerobic Condition



- at the Early Stage of the Post-Closure Repository Phase”, CORROSION/2007 Research in Progress Symposium, (2007).
- 6) K. Ishiguro, H. Ueda, K. Wakasugi, et al., “EBS Modelling for the Development of Repository Concepts Tailored to Siting Environments”, OECD/NEA EBS Workshop 3: The Role of Modelling, August, 2006, La Coruna, Spain, (2006). (To be published)
  - 7) D.G. Bennett, A. J. Hooper, S. Voinis, et al., “The Role of the Engineered Barrier System in Safety Cases for Geological Radioactive Waste Repositories: A Nuclear Energy Agency (NEA) Initiative in Co-operation with the European Commission (EC) Process Issues and Modelling”, Proceedings of the 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM), April 30-May 4, 2006, Las Vegas, NV, pp.669-676, (2006).
  - 8) T.Fujita, K. Fujisaki, H. Suzuki, et al., “Development on Computer System of the Coupled Thermo -Hydro -Mechanical and Chemical Process in the Near-field of the High-level Radioactive Waste Repository”, GeoProc 2006, (2006).
  - 9) K. Fujisaki, H. Suzuki, T. Fujita, et al., “Experimental studies on the coupled THMC processes by COUPLE equipment”, GeoProc 2006, (2006).
  - 10) T. S. Nguyen, L. Börgesson, M. Chijimatsu, et al., ”Influence of coupled Thm phenomena on the SAFETY of a spent fuel repository: a near-field study”, GeoProc 2006, (2006).
  - 11) A. Kobayashi, K. Yamamoto, S. Aoyama, et al., “Changes in intact rock damage parameters due to chemical effects and their influence on failure phenomena”, GeoProc 2006, (2006).
  - 12) U. Uehara, A. Kobayashi, M. Chijimatsu, et al., “Development of stress conditions around a tunnel excavated in argillaceous rock related to change of saturation conditions”, GeoProc 2006, (2006).
  - 13) M. Chijimatsu, Börgesson, L., T. Fujita, et al., “Model calibration of small and large-scale laboratory THM experiments of the MX-80 bentonite”, GeoProc 2006, (2006).
  - 14) J. B. Martino, D. A. Dixon, B. Vignal, et al., “The Tunnel Sealing Experiment: The Construction and Performance Full Scale Clay and Concrete Bulkheads at Elevated Pressure and Temperature”, TopSeal 2006, (2006).
  - 15) S. Kawakami, T. Fujita, K. Masumoto, et al., “Studies on Sealing Performance of Clay Plug by the Tunnel Sealing Experiment”, MRS 2005, Belgium, September 12-16, (2005).
  - 16) J.B. Martino, D.A. Dixon, E.T. Kozak, et al., “The Tunnel Sealing Experiment: A REVIEW”, Canadian Nuclear Society, Waste Management, Decommissioning and Environmental Restoration for Canada’s Nuclear Activities: Current Practices and Future Needs, Ottawa, Ontario, Canada, May 8-11, (2005).
- ロ. 安全評価手法の高度化に関する研究
- 1) K. Fujiwara, Y. Kohara, “Hydrolysis constants of tetravalent neptunium by using solvent extraction method” , Migration 2007, PA3-20, (2007).
  - 2) K. Iijima, Y. Shoji, T. Tomura, “Sorptions Behavior of Americium onto Bentonite Colloid” , Migration 2007, PA6-3, (2007).
  - 3) T. Ishidera, K. Ueno, S. Kurosawa, et al., “Investigation of Smectite Alteration and Form of Iron Corrosion Products in Compacted Bentonite Being in Contact with Carbon Steel for Ten Years” , 3rd International Meeting for Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
  - 4) K. Karasaki, K. Maekawa, “Numerical simulation of saltwater intrusion experiment”, American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, H14C-04, (2007).
  - 5) K. Karasaki, K. Maekawa, T. Takasu, “Laboratory Experiments for Seawater Intrusion into Freshwater Aquifer with Heterogeneity”, American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, H23G-1702, (2007).
  - 6) M. Kawamura, K. Umeda, T. Ohi, et al., “Study on Potential Changes in Geological and Disposal Environment Caused by 'Natural Phenomena' on a HLW Disposal System” , American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, H41E-0830, (2007).
  - 7) A. Sawada, H. Sato, K. Tetsu, et al., “TI: Characterization of fracture aperture for groundwater flow and transport” , American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, H23G-1705, (2007).
  - 8) Makino, H., Osawa, H., Nakano, K., Naito, M., Umeki, H., Takase, H. and McKinley I. G. Concept and Design of the JAEA KMS for Geological Disposal of HLW Advanced Nuclear

- Fuel Cycles and Systems (GLOBAL2007), (2007).
- 9) H. Umeki, "Use of Natural Analogues to support Safety Case development 10th Natural Analogue Working Group Workshop, (2007).
  - 10) H. Umeki, "The concept of geological disposal: an Asian perspective", 名古屋大学 UTILISATION OF NATURAL ANALOGUES IN WASTE DISPOSAL セミナー, (2007).
  - 11) I.G. McKinley, H. Takase, H. Okubo, et al., "Knowledge management as a challenge for 21st century radioactive waste disposal", International Symposium on Radiation Safety Management 2007, (2007).
  - 12) T. Ebashi, et al., "Application of comprehensive sensitivity analysis method to HLW disposal concept in South Korea", Abstracts of Proceedings of the Korean Radioactive Waste Society Autumn 2007, pp.200-201, (2007).
  - 13) K. Miyahara, et al., "Illustration of barrier performance using a relevant yardstick to compare radionuclide fluxes from the HLW repository in a generic PA model", 31st International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management (MRS 2007), (2007).
  - 14) H. Umeki, "Holistic Assessment to Put Mobile Radionuclides in Perspective", Proc. Int. Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, MOFAP 2007, Jan. 16-19, La Baule, France, (2007).
  - 15) T. Ohi, H. Takase, M Inagaki, et al., "Application of a Comprehensive Sensitivity Analysis Method on the Safety Assessment of TRU Waste Disposal in JAPAN", MRS Fall Meeting, November 27 - December 1, 2006, in Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXX, MRS Proceedings Volume 985, (2007).
  - 16) Y. Tochigi, et al., "Modeling studies on microbial effects on groundwater chemistry", MRS2006 Fall Meeting, (Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXX) NN11-15, 2006, Mat. Res. Soc. Proc. (in press).
  - 17) T. Kato, Y. Suzuki, "Extended biosphere dataset for safety assessment of radioactive waste geological disposal", International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology (ISRED), Rokasyo, October 18-20, (2006).
  - 18) M. Kawamura, T. Ohi, H. Makino, et al., "Study on Evaluation Method for Potential Impact of "Natural Phenomena" on a HLW Disposal System", in Proceedings of 2006 East Asia Forum on Radioactive Waste Management Conference, Taiwan, November 27-28, pp.350-367 (2006).
  - 19) A. Sawada, A. Takebe, K. Sakamoto, "A numerical study on the correlation between fracture transmissivity", hydraulic aperture and transport aperture, AGU 2006 Fall Meeting, H13D-1425, (2006).
  - 20) K. Maekawa, K. Karasaki, T. Takasu, "Laboratory Experiment of Saltwater Intrusion into Freshwater Aquifer", AGU 2006 Fall Meeting, H33D-1531, (2006).
  - 21) K. Karasaki, K. Ito, K. Maekawa, "Simulation of salt water intrusion", TOUGH Symposium 2006, (2006).
  - 22) Y. Yoshida, et al., "Co-precipitation reaction for Ba and Ra into calcite", ASR Symp. 2006, PA08, (2006).
  - 23) K. Tanai, M. Yui, "A study on gas migration behaviour in buffer material using X-ray CT method", Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXIX, Materials Research Society Symposium Proceeding Volume 932, pp.127-134, (2006).
  - 24) A. Sato, D. Fukahori, A. Sawada, et al., "Evaluation of Crack Opening in the Rock Sample by X-ray CT", Proc. GEO Congress 2006, Geotechnical Engineering in the Information technology Age, Atlanta, U.S.A, February, (2006).
  - 25) M. Shibata, T. Suyama, "Experimental study on stability of iron (II) exchanged montmorillonite", 13th International Clay Conference (ICC), Tokyo, Japan, August 21-27, Abstracts, 116, (2005).
  - 26) H. Kikuchi, K. Tanai, M. Yui, "Database development of fundamental properties for the buffer material in Japan", GLOBAL 2005, Paper No.238 (2005).
  - 27) A. Hara, T. Tsuji, M. Nishimura, et al., "Application of log interpretation methods to evaluate heterogeneity in diatomaceous mudstone at Horonobe area", Proc. of International Symposium NUCEF2005, Tokai, Japan, April, (2005).
  - 28) S. Uehara, Y. Ohnishi, S. Nishiyama, et al., "Investigation of Hydraulic and Transport Characteristics of a Rock Fracture Using Lattice Gas Automata", Proc. the 11th

- International Conference of IACMAG 2005, Torino, Italy, June, (2005).
- 29) K. Fujiwara, Y. Kohara, T. Mori, "Solubility Product of Tetravalent Neptunium Hydrous Oxide and its Ionic Strength Dependence", Migration 2005, PA1-7, (2005).
  - 30) H. Sasamoto, M. Yui, R. C. Arthur, "Estimation of In-situ Groundwater Chemistry using Geochemical Modeling: A Test Case for Saline Type Groundwater in Argillaceous Rock", Abstracts for International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, March 14-18, 2005, pp.259-230, (2005).

ハ. 地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- 1) H. Yashuhara, N. Kinoshita, H. Kurikami, et al., "Evolution of permeability in siliceous rocks by dissolution and precipitation under hydrothermal conditions", 3rd International Conference on Coupled T-H-M-C Processes in Geo-systems; Fundamentals, Modeling, Experiments and Applications (GeoProc 2008), (2008).
- 2) Y. Kashiwai, "Development of borehole multiple deformation sensor system", 19th International Conference on Optical Fibre Sensors (OFS-19), (2008).
- 3) K. Aoki, Y. Sugita, M. Chijimatsu, et al., "Impacts of the thermo-hydro-mechanical experiments on the microbial activity in compacted bentonite at Kamaishi Mine, northeast Japan", Specialist Workshop on Long-Term Performance of Smectitic Clays Embedding Canisters with Highly Radioactive Waste, (2007).
- 4) S. Tanaka, T. Higashihara, N. Noda, et al., "Diffusion of H<sub>2</sub>O and electro-osmosis in water-saturated compacted Na-montmorillonite using H<sub>2</sub><sup>18</sup>O as a tracer", 3rd International Meeting for Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
- 5) H. Sato, "Thermodynamic model on swelling of bentonite buffer and backfill materials", 3rd International Meeting for Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
- 6) H. Sato, "Thermodynamic understanding on swelling pressure of bentonite buffer", ICONE15, (2007).
- 7) H. Kurikami, R. Takeuchi, S. Yabuuchi, "Scale effect and heterogeneity of hydraulic conductivity of sedimentary rocks at Horonobe URL site", 3rd International Meeting for Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
- 8) T. Kunimaru, H. Yamamoto, "Investigation and modeling of 3D distribution of water chemistries in Horonobe, Hokkaido, Japan", 3rd International Meeting for Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
- 9) H. Saegusa, H. Ohsawa, H. Onoe, et al., "Stepwise Hydrogeological characterization utilizing a geosynthodology -A case study from the Mizunami Underground Research Laboratory project", Third AMIGO Programme Workshop on Approaches and Challenges for the Use of Geological Information in the Safety Case, (2007).
- 10) H. Saegusa, K. Yasue, H. Onoe, et al., "Numerical Assessment of the Influence of Topographic and Climatic Perturbations on Groundwater Flow Conditions", An IGSC "Geosphere Stability" Workshop on Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline rock, (2007).
- 11) J. Guimerà, E. Ruiz, M. Luna, et al., "Numerical assessment of the origin of deep salinity in a low permeability fractured medium", The 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2007), (2007).
- 12) H. Saegusa, H. Onoe, S. Takeuchi, et al., "Hydrogeological characterization on surface-based investigation phase in the Mizunami Underground Research Laboratory Project, in Japan", The 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2007), (2007).
- 13) S. Takeuchi, R. Takeuchi, W. Salden, et al., "Hydrogeological conceptual model determined from baseline and construction phase groundwater pressure and surface tiltmeter data at the Mizunami Underground Research Laboratory, Japan", The 11<sup>th</sup> International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (ICEM2007), (2007).
- 14) T. Matsuoka, "Seismic Imaging for 3-D RVSA Data Using Image Point Transform", The 11th International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics (RAEG 2007), (2007).

- 15) K. Matsuki, K. Nakatani, T. Arai, et al., "Evaluation of groundwater flow during excavation of shafts by inversion of tilt data", ISRM 11th International Congress on Rock Mechanics, (2007).
- 16) Y. Mito, C.S. Chang, K. Aoki, et al., "Evaluation of fracturing process of soft rocks at great depth by AE measurement and DEM simulation", ISRM 11th International Congress on Rock Mechanics, (2007).
- 17) Y. Mito, C.S. Chang, K. Aoki, et al., "Evaluation of fracturing process of soft rocks at great depth by AE measurement and DEM simulation", ISRM 11th International Congress on Rock Mechanics, (2007).
- 18) K. Tsusaka, C. Tanimoto, Y. Mitarai, et al., "A Study on development of loosening zone and allowable limit of deformation in tunnelling", ISRM 11th International Congress on Rock Mechanics, (2007).
- 19) H. Onoe, H. Saegusa, T. Motoshima, et al., "A study of Risk", EIT-JSCE Joint Seminar on Rock Engineering, (2007).
- 20) S. Uehara, T. Shimamoto, H. Kurikami, et al., "Estimation of porosity and permeability as a function of depth in Neogene and Quaternary sedimentary basin at Horonobe, Hokkaido, Japan, based on laboratory tests, EIT-JSCE Joint Seminar on Rock Engineering, (2007).
- 21) M. Kuji, T. Sato, S. Mikake, et al., "Countermeasures Planned for Reducing Water Inflow into Deep Shafts at the Mizunami Underground Research Laboratory", Proceedings of 15th International Conference on Nuclear Engineering, (2007).
- 22) H. Matsui, H. Kurikami, T. Kunimaru, et al., "Horonobe URL project: Present status and future plan", Rock Mechanics: Proceedings of the 1st Canada-US Rock Mechanics Symposium, pp.1193-1201, (2007).
- 23) H. Sato, "Thermodynamic Data of Water on Smectite Surface and Those Application to Swelling Pressure of Compacted Bentonite", International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, Final Programme and Abstracts, (2007).
- 24) H. Sato, "Activation Energies of Diffusion for I and Cs in Interlayer of Smectite", International Workshop on Mobile Fission and Activation Products in Nuclear Waste Disposal, Final Programme and Abstracts, (2007).
- 25) Lee. C., T. Matsuoka, K. Ishigaki, et al., "Seismic imaging for 3-D VSP data using image point transform", Proceedings of 10th International Symposium on Recent Advances in Exploration Geophysics (RAEG 2006), pp.143-146, (2006).
- 26) T. Naganuma, T. Iwatsuki, S. Shimizu, et al., "Molecular microbiological approaches to understand biogeochemical processes in deep aquifers", International Symposium on GRAPHIC (Groundwater Resources Assessment under the Pressures of Humanity and Climate Change), (2006).
- 27) H. Saegusa, M. J. White, P. Robinson, et al., "Development of a system for integrated geological modelling and groundwater flow simulation", Proceedings of 11th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM) (CD-ROM), pp.330-337, (2006).
- 28) W. Salden, R. Takeuchi, S. Takeuchi, et al., "A Pumping test at the shaft scale Groundwater recovery and pump-down at the Mizunami Underground Research Laboratory, Japan", American Geophysical Union Fall Meeting, H41B-0383, (2006).
- 29) M. Amo, N. Suzuki, T. Shinoda, et al., "Pristene, phytene, and sterenes in immature Horonobe diatomaceous sediments as potential indicators of paleo-temperature and depositional environment", 17th International Sedimentological Congress, (2006).
- 30) M. Kawamura, T. Ohi, H. Makino, et al., "Study on evaluation method for potential impacts of "natural phenomena" on a HLW disposal system", Proceedings of 2006 East Asia Forum on Radwaste Management Conference (2006 EAFORM Conference), pp.350-367, (2006).
- 31) H. Kurikami, T. Kunimaru, S. Yabuuchi, et al., "Hydrogeological model in Horonobe Underground Research Laboratory Project", GeoProc 2006, pp.584-589, (2006).
- 32) H. Sato, "Activation Energies of Diffusion for I and Cs in Compacted Smectite", International Information Exchange Meeting on Diffusion Phenomena in Bentonite and Rock -Aiming at the Safety Assessment of the Geological Disposal, (2006).
- 33) H. Yamamoto, T. Kunimaru, H. Kurikami, et al., "Long-term simulation of ambient

- groundwater chemistry at Horonobe URL, Japan -Application of coupled hydrogeochemical model-", *GeoProc 2006*, pp.382-387, (2006).
- 34) C. H. Lee, T. Matsuoka, K. Ishigaki, et al., "Seismic Imaging for 3-D VSP Data Using Image Point Transform", *Proceedings of the 10th International Symposium On RAEG 2006*, pp.143-146, (2006).
  - 35) Guimerà, E. Ruiz, M. Luna, D. Arcos, et al., "Coupled geochemical/ hydrogeological modelling to assess the origin of salinity at the Tono area (Japan) ", *Proceedings of GLOBAL 2005*, Tsukuba, Japan, October 9-13, 563, (2005).
  - 36) S. Nakama, T. Sato, "Status of Study on In-Situ Stress in Mizunami Underground Research Laboratory Project", *Proceedings of the 40th U.S. Rock Mechanics Symposium, Alaska Rocks 2005*, CD-ROM 05-887, (2005).
  - 37) H. Saegusa, K. Ota, S. Takeuchi, et al., "Current status of R&D activities on Mizunami Underground Research Laboratory in Japan", *2005 Asia Oceania Geosciences Society*, pp.1420, (2005).
  - 38) T. Sato, S. Mikake, S. Nakama, et al., "Japanese underground research laboratory project and prediction of rock mass behavior around deep shafts and galleries using continuous and discontinuous models", *Proceedings of the ICADD-7, the Seventh International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation*, Honolulu, Hawaii, December 10-12, pp.245-256, (2005).
  - 39) T. Sato, M. Imazu, S. Mikake, et al., "Status of Japanese Underground Research Laboratory -Design and Construction of 1,000m-Deep Shafts and Research Tunnels-", *Proceedings of the 31st ITA-AITES World Tunnel Congress*, 7-12 May 2005, pp.335-341, (2005).
  - 40) K. Shiraishi, M. Tanaka, T. Matsuoka, et al., "Daylight seismic imaging from a buried point source", *SEG 75th Annual Meeting*, pp.1265, (2005).
  - 41) S. Takeuchi, Y. Kashiwai, Y. Hirata, et al., "Feasibility study for a multi-level pore water pressure monitoring system using FBG sensors", *4th. Workshop on Fibres and Optical Passive Components*, *Proceedings of WFOPC2005*, (2005).
  - 42) K. Hatanaka, "Progress of the surface-based investigation phase and plan for the next investigation phase in Horonobe URL project", *Report of International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005)*, Sapporo, Japan, 29-30 August 2005, 1-6, (2005).
  - 43) H. Funaki, H. Matsui, K. Hama, et al., "Horonobe Underground Research Laboratory Project -The present understanding of geological environment-", *Report of International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005)*, Sapporo, Japan, 29-30 August 2005, 125-127, (2005).
  - 44) E. Ishii, K. Yasue, "Study of paleohydrogeology in the Horonobe Underground Research Laboratory project", *Report of International Workshop on Waste Management in Sapporo (Sapporo Workshop 2005)*, Sapporo, Japan, 29-30 August 2005, 129-131, (2005).
  - 45) M. Honda, H. Sakurai, K. Iwasa, et al., "Geostatistical modeling of hydrogeological environment using resistivity distribution measured by various method", *IAMG 2005 Proceedings of IAMG '05: GIS and Spatial Analysis*, Toronto, Canada, 21-26 August 2005, Vol.1, 393-398, (2005).
  - 46) E. Ishii, K. Yasue, R. Tsukui, et al., "Structure of the Omagari Fault in northern Hokkaido, Japan", *AOGS Abstracts*, Singapore, 20-24 June 2005, 58-SE-A0916, (2005).
  - 47) H. Yamamoto, T. Kunimaru, M. Shimo, et al., "Reactive chemical transport simulations for evaluation of ambient chemical conditions at Horonobe URL Site, Hokkaido, Japan", *Proceedings The 2nd Japan-Korea Joint Workshop on Radioactive Waste Disposal 2005*, Tokyo, Japan, 6-7 October 2005, 159-172, (2005).

## ニ. 地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) K. Umeda, "Magnetotelluric imaging of the Miocene Kumano-Omine volcano-plutonic complex in the Kii Peninsula, southwest Japan" , *American Geophysical Union 2007 Fall Meeting*, V33C-1526, (2007).
- 2) K. Yamada, T. Hanamuro, T. Tagami, et al., "Results from the (U-Th)/He dating systems in Japan Atomic Energy Agency" , *American Geophysical Union 2007 Fall Meeting*, V23B-1426, (2007).

- 3) K. Umeda, "An integrated approach for detecting latent mamatic activity beneath the crystalline mountains, in a non-volcanic region: an example from the Lide Mountains, norytheast Japan", An IGSC "Geosphere Stability" Workshop on Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline rock, (2007).
- 4) T. Niizato, K. Ysue, H. Kurikami, "Impacts of natural events and processes on groundwater flow conditions: A Case study in the Horonobe area, Hokkaido, northern Japan", An IGSC "Geosphere Stability" Workshop on Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline rock, (2007).
- 5) T. Nohara, "Hydraulic and Hydrochemical Response to Seismic Events", An IGSC "Geosphere Stability" Workshop on Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Crystalline rock, (2007).
- 6) K. Ota, "Tono Natural Analogue Project (TAP)", Utilisation of natural and archaeological analogues in waste disposal, ITC School, (2007).
- 7) K. Umeda, "Multiple lines of evidence for crustal magma storage beneath Mesozoic crystalline mountains in a non-volcanic region: magnetotelluric imaging and variations in the  $3\text{He}/4\text{He}$  ratios of hot spring gases in the Iide Mountains, Northeast Japan", AGU 2006 Fall Meeting, San Francisco, USA, December 11-15, (2006).
- 8) E. Sasao, "Mineral assemblage and geochemistry of sandstones of the Miocene Mizunami Group, central Japan - a key to reconstructing the Miocene volcanic activities -", 17th International Sedimentological Congress, (2006).
- 9) K. Umeda, "Deep structure of the Miocene igneous complex in the Kii peninsula, Southwest Japan, inferred from wide-band magnetotelluric soundings", Asia Oceania Geosciences Society's 2nd Annual Meeting, 58-SE-A1036, 2005年6月, シンガポール, (2005).

口頭発表：

全項共通

- 1) 日置, "国際協力のありかたと国際原子力機関の活動", 大阪大学大学院工学研究科原子力教育支援プログラム, (2007).
- 2) 日置, "高レベル放射性廃棄物", 大阪大学大学院工学研究科原子力教育支援プログラム, (2007).
- 3) H. Umeki, "Key R&D activities for management of radioactive waste: Responding to the challenges of the 21<sup>st</sup> century", Colloquium, Nuclear Engineering Department, University of California Berkeley (2007).
- 4) 油井, "地層処分基盤研究開発の現状と課題", 第16回東北大学素材工学研究懇談会 平成19年度ベースメタル研究ステーション資源変換・再生研究センター合同シンポジウム, (2007).
- 5) 虎田, "地層処分は理解されているか? 研究者みずから理解に向けた行動を", 第23回バックエンド夏期セミナー, (2007).
- 6) 梅木, 大澤, 内藤, 他, "地層処分技術に関する知識管理システムの開発(II); (1)知識管理システムの基本設計", 日本原子力学会 2007年春の年会, I32, (2007).
- 7) 大澤, 中野, 梅田, 他, "地層処分技術に関する知識管理システムの開発(II); (2)地質環境分野における知識管理のケーススタディ", 日本原子力学会 2007年春の年会, I33, (2007).
- 8) 内藤, 小林, 油井, 他, "地層処分技術に関する知識管理システムの開発(II); (3)工学技術分野における知識管理のケーススタディ", 日本原子力学会 2007年春の年会, I34, (2007).
- 9) 牧野, 油井, 梅木, 他, "地層処分技術に関する知識管理システムの開発(II); (4)性能評価分野における知識管理のケーススタディ", 日本原子力学会 2007年春の年会, I35, (2007).
- 10) 梅木, 大澤, "HLW 地層処分技術に関する研究開発 H17 取りまとめ", 原子力安全委員会 特定放射性廃棄物処分安全調査会, 2006年3月17日, (2006).
- 11) 梅木, "地層処分, 数万年以上の安全性-春の夜の夢?", 東大システム量子工学専攻 イブニングセミナー, 東京, 2006年4月12日, (2006).
- 12) 内藤, "高レベル放射性廃棄物地層処分の安全評価", 高エネルギー加速器研究機構第7回環境放射能研究会, (2006).
- 13) 中野, 梅木, 大澤, 他, "地層処分技術に関する知識管理システムの開発", 日本原子力学会 2006年秋の大会, (2006).

- 14) 大澤, 梅木, “21 世紀の地層処分研究開発: 技術的知識基盤の構築”, 日本原子力学会中部支部主催第 13 回先端技術と原子力シンポジウム, (2006).
- 15) 大澤, 梅木, 内藤, 他, “高レベル放射性廃棄物地層処分に関する知識基盤構築に向けた取り組み—地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの基本概念—”, 研究・技術計画学会第 21 回年次学術大会, (2006).
- 16) 牧野, 若杉, 大久保, 他, “地層処分安全評価におけるシナリオ解析フレームの構築”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, (2005).

#### イ. 人工バリア等の信頼性向上に関する研究

- 1) 藤田, “原位置における実規模プラグのシーリング性能に関する研究 (III); 試験より得られた閉鎖要素に関わる教訓について”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I37, (2007).
- 2) 平本, 小林, 水谷, 他, “地層処分施設における多連設坑道の設計手法に関する検討”, 第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム, (2008).
- 3) 藤崎, 他, “熱-水-応力-化学連成解析モデルの開発(1)-室内連成試験による熱-水連成モデルの確証-”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, (2007).
- 4) 鈴木, 他, “熱-水-応力-化学連成解析モデルの開発 (2) -連成解析モデルによるニアフィールド事例解析-”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, (2007).
- 5) 藤田, 他, “結晶質岩における原位置試験結果に基づく閉鎖要素に期待すべき性能要件”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, (2007).
- 6) 重野, 他, “コンクリート支保の劣化を考慮したニアフィールドの長期力学的挙動の検討 (その 1) コンクリート支保劣化の力学モデル”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, (2007).
- 7) 西村, 他, “コンクリート支保の劣化を考慮したニアフィールドの長期力学的挙動の検討 (その 2) 処分孔置置き方式における解析的検討”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, (2007).
- 8) 陶山, 上野, 笹本, “低酸素雰囲気での高温条件下における Fe 型スメクタイトの変化の同定”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, I27, (2007).
- 9) 小林, 山田, 中山, 他, “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討; (1) トンネル支保工への適用性検討”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, J16, (2007).
- 10) 中山, 小林, 入矢, 他, “低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討; (2) 幌延 URL における原位置試験への適用性検討”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, J17, (2007).
- 11) 大窪, 菊池, 山口, “NMR 緩和法による飽和圧密ベントナイト中の空隙構造の解析”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, J32, (2007).
- 12) 棚井, 菊池, “塩水条件下におけるセメント影響を考慮した圧縮ベントナイトの透水特性”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, J34, (2007).
- 13) 松本, 棚井, “緩衝材の侵入試験に関する今後の計画”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, J35, (2007).
- 14) 棚井, “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書の概要「処分技術の信頼性向上; 設計手法の適用性確認」”, 第 23 回バックエンド夏期セミナー, (2007).
- 15) 藤田, 谷口, 松井, 他, “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書の概要「処分技術の信頼性向上—設計手法の適用性確認—」”, 第 23 回バックエンド夏期セミナー, (2007).
- 16) 横山, 高橋, 朝野他, “炭素鋼オーバーパック溶接部の酸化性雰囲気における腐食挙動評価”, 腐食防食協会第 54 回材料と環境討論会, (2007).
- 17) 棚井, 藤田, “幌延深地層研究計画-(4)工学技術の適用性評価-”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, (2007).
- 18) 菊池, 棚井, “緩衝材基本特性データベースの開発”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, (2006).
- 19) 入矢, 中山, 小西, 他, “フライアッシュ高含有シリカフェームコンクリートの施工性”, コンクリート工学年次大会 2006, Vol.28, No.1, pp.173-178, (2006).
- 20) 高治, 重政, 棚井, 他, “緩衝材および岩盤の力学連成挙動解析”, 日本原子力学会, (2006).
- 21) 谷口, 鈴木, 油井, 他, “低酸素濃度環境におけるチタンオーバーパックの水素脆化挙動”, 第

- 53 回材料と環境討論会, D-303, pp.473-476, (2006).
- 22) 三井, 高橋, 大槻, 他, “炭素鋼オーバーパック溶接部の応力腐食割れ感受性に関する検討”, 第 53 回材料と環境討論会, B-105, pp.127-130, (2006).
  - 23) 藤田, 川上, 杉田, 他, “地層処分システムにおける閉鎖要素の相互影響を考慮した坑道交差部における水理解析”, 土木学会第 61 回年次学術講演会, (2006).
  - 24) 杉田, 高橋, 藤田, 他, “地層処分システムにおける閉鎖要素の相互影響を考慮したパネル規模での水理解析”, 土木学会第 61 回年次学術講演会, (2006).
  - 25) 鈴木, 藤崎, 藤田, 他, “高レベル放射性廃棄物地層処分におけるニアフィールド熱-水-応力-化学連成解析モデルを用いた連成試験 (COUPLE) の解析評価”, 土木学会第 61 回年次学術講演会, (2006).
  - 26) 青柳, 藤田, 大久保, 他, “多連設坑道の設計の考え方に関する検討”, 土木学会第 61 回年次学術講演会, (2006).
  - 27) 谷口, 川上, 建石, 他, “マグネタイト共存下における炭素鋼の腐食に伴う水素発生挙動”, 第 52 回材料と環境討論会, p.227-230, (2005).
  - 28) 三井, 大槻, 朝野, 他, “電気化学的手法による炭素鋼オーバーパック溶接部の腐食挙動評価”, 第 52 回材料と環境討論会, p.249-252, (2005).
  - 29) 川崎, 谷口, 川上, “硫化物を含む人工海水中における純銅の腐食挙動評価”, 第 52 回材料と環境討論会, p.261-264, (2005).
  - 30) 升本, 笹倉, 藤田, “カナダ URL におけるベントナイトプラグの閉鎖性能評価試験”, 土木学会第 60 回年次学術講演会, (2005).

ロ. 安全評価手法の高度化に関する研究

- 1) 久野, 笹本, “岩石亀裂中でのベントナイトコロイドの移行挙動”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, H52, (2008).
- 2) 館, 齋藤, 栃木, 他, “収着・拡散データベースシステムの開発とその適用法”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I13, (2008).
- 3) 石寺, T.T.T. Phuong, 黒澤, 他, “鉱物組成の異なるベントナイト間での拡散挙動の比較”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I14, (2008).
- 4) 飯島, 黒澤, 飛田, 他, “圧縮ベントナイト中のフミン酸の拡散挙動 II ; 拡散挙動に及ぼす乾燥密度及び溶液のイオン強度の影響”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I15, (2008).
- 5) 藤原, 戸村, 飛田, 他, “ベントナイト中における Ra 移行挙動に及ぼす Ca・Ba 鉱物との共沈の影響”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I19, (2008).
- 6) 吉田, 吉川, “元素分配比を考慮した Ra 溶解度評価”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I20, (2008).
- 7) 稲垣, 大井, 川村, 他, “総合的なシナリオ解析手法に関する検討; (1) 具体的な地質環境と設計オプションを考慮したシナリオ解析手法の検討”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I49, (2008).
- 8) 川村, 大井, 河内, 他, “総合的なシナリオ解析手法に関する検討; (2) 地下水シナリオに対する重要な天然現象影響の抽出に関する検討”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I50, (2008).
- 9) 河内, 大井, 川村, 他, “総合的なシナリオ解析手法に関する検討; (3) 総合的なシナリオ解析にかかわる情報管理システムの詳細設計”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I51, (2008).
- 10) 宮原, 稲垣, 蛭名, “What if 解析による地層処分システムの安全機能に及ぼす断層活動の影響評価”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I52, (2008).
- 11) 大澤, 梅木, 日置, 他, “地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの開発 (III); (1) マネジメント機能のインテリジェント化に関する設計研究”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, (2008).
- 12) 牧野, 梅木, 日置, 他, “地層処分技術に関する知識マネジメントシステムの開発 (III); (2) 知識ベースの設計研究”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, (2008).
- 13) 佐藤, 澤田, “単一亀裂を対象とした光学的手法によるトレーサー移行計測データに基づく物質移行評価”, 第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集(CD-ROM), p.263-268 (2008) .
- 14) 牧野, 川村, 若杉, 他, “高レベル放射性廃棄物地層処分の安全評価シナリオ解析支援ツール「FepMatrix」の開発”, 第 23 回バックエンド夏期セミナー, (2007).



- 15) 宮原, 加藤, “ナチュラルフラックスとの比較によるバリア性能の例示”, 第 23 回バックエンド夏期セミナー, (2007).
- 16) 藤田, 谷口, 松井, 他, “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書の概要「安全評価手法の高度化－安全評価手法の適用性確認－」”, 第 23 回バックエンド夏期セミナー, (2007).
- 17) 北村, 柴田, 山口, 他, “活量係数モデルの差異による地層処分環境における放射性核種の溶解度計算結果の比較”, 第 23 回バックエンド夏期セミナー, (2007).
- 18) 川村, 大井, 梅田他, “放射性廃棄物地層処分に係わる天然現象影響評価研究－地質環境の長期安定性研究から影響評価にいたるまでの一連の研究開発”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, G121-005, (2007).
- 19) 川村, 大井, 梅田他, “放射性廃棄物地層処分に係わる天然現象影響評価研究－地質環境条件変化の検討－”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, G121-P012, (2007).
- 20) 江橋, 北村, 川村, 他, “放射性廃棄物地層処分に係わる天然現象影響評価研究－核種移行パラメータの設定検討－”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, G121-P013, (2007).
- 21) 石寺, 黒澤, “幌延堆積岩中の核種の拡散係数の取得”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, I15, (2007).
- 22) 吉川, 三浦, 佐藤, “バイオフィーム特性データ取得”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, I21, (2007).
- 23) 藤原, 小田倉, 黒羽, 他, “実高レベル放射性廃棄物ガラスを用いた浸出試験”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, I32, (2007).
- 24) 大井, 稲垣, 牧野, “詳細分析に基づく明瞭で平易なシナリオの表現手法と重要シナリオの抽出手法に関する検討”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, I37, (2007).
- 25) 加藤, 大井, 鈴木, “地層処分生物圏評価におけるコンパートメント間の物質移行パラメータの影響特性に関する検討”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, I46, (2007).
- 26) 宮原, “地層処分の安全評価に関する取り組みの現状と課題”, 2007 年度バックエンド週末基礎講座, (2007).
- 27) 加藤, 鈴木, 大井, “地層処分生物圏評価における元素依存パラメータの影響特性”, 日本保健物理学会第 41 回研究発表会, (2007).
- 28) 川村, 新里, 安江, 他, “高レベル放射性廃棄物処分における隆起・侵食に起因する変動シナリオのための情報整理の考え方”, 日本地質学会第 114 年学術大会, P-194, (2007).
- 29) 川村, 島田, 丹羽, 他, “高レベル放射性廃棄物処分における地震・断層活動に起因する変動シナリオのための情報整理の考え方”, 日本地震学会 2007 年秋季大会, P3-083, (2007).
- 30) 佐藤, 澤田, “光学的手法を用いた亀裂内トレーサー濃度分布の定量的計測”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, (2007).
- 31) 澤田, 坂本, “物質移行に寄与する亀裂開口幅に関する検討”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, (2007).
- 32) 梅木, “放射性廃棄物地層処分のセーフティーケース (安全を社会に伝えるにはどうすればよいか)”, 第 1 6 回東北大学素材工学研究懇談会 平成 1 9 年度ベースメタル研究ステーション資源変換・再生研究センター合同シンポジウム, (2007).
- 33) 前川, 澤田, 稲垣, 他, “幌延深地層研究計画 ; (5) 安全評価手法の適用性評価”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, I05, (2007).
- 34) 石寺, 上野, 黒澤, 他, “低酸素条件下で圧縮ベントナイト中へ移行した腐食生成物の存在状態”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, I17, (2007).
- 35) 江橋, 大井, 小尾, “包括的感度解析手法に基づく HLW の地層処分における重要な研究課題の同定に資する検討”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, I30, (2007).
- 36) 飯島, 吉川, 黒澤, “圧縮ベントナイト中のフミン酸の拡散挙動”, 日本原子力学会 2007 年春の年会, I42, (2007).
- 37) 米村, 佐藤, 菅原, 他, “X 線 CT によるトレーサー移行プロセス分析方法の開発”, 資源・素材学会春季大会講演集 2007 年(I)資源編, p.121-122, (2007).
- 38) 川村, 牧野, 大井, 他, “放射性廃棄物に係る天然現象影響評価に関する影響解析パラメータの設定方法の検討”, 日本地球惑星科学連合会, G 150-012, (2006).
- 39) 川村, 牧野, 梅田, 他, “「火山活動」を例とした放射性廃棄物処分に係る影響解析パラメータの設定”, 日本地球惑星科学連合会, G 150-P019, (2006).

- 40) 川村, 大井, 新里, 他, “高レベル放射性廃棄物における隆起・侵食に起因するシナリオの検討”, 日本地質学会, P-192, 講演要旨集 p263, (2006).
- 41) 加藤, 鈴木, 大井, 他, “地表環境での時間的変遷による影響を考慮した地層処分生物圏評価”, 原子力学会北関東支部若手研究者発表会, (2006).
- 42) 加藤, 鈴木, 大井, 他, “TRU 廃棄物処分に特有な放射性核種を考慮した地層処分生物圏評価”, 日本保健物理学会, 第 40 会研究発表会講演要旨集, p87, (2006).
- 43) 甲斐, 前川, “続成鉱物の分布に基づく新珪質泥岩中の地下水流動の推定”, 日本地熱学会平成 18 年学術講演会, B01, (2006).
- 44) 原, “シリカ鉱物の相変化に伴う珪藻質泥岩の物性変化と物質移行特性”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 45) 熊本, 下茂, 佐藤, 他, “X 線 CT による亀裂を有する堆積岩中の移流および拡散現象の可視化”, 第 41 回地盤工学研究発表会, (2006).
- 46) 武部, 澤田, 坂本, “亀裂の接触面積率と JRC が透水特性に与える影響検討”, 土木学会第 61 回年次学術講演会, CS05-013, (2006).
- 47) 佐藤, 深堀, 菅原, “X 線 CT 法による岩石亀裂内の可視化と分析”, 資源・素材学会秋季大会講演集 2006 年, A1-1, pp.1-4, (2006).
- 48) 佐藤, 深堀, 菅原, 他, “X 線 CT 法による亀裂開口幅の評価”, 平成 18 年資源・素材学会春季大会, (2006).
- 49) 土井, 他, “堆積岩に対する Cs 収着挙動のモデル化”, 2006 日本放射化学学会年会, 3P19, (2006).
- 50) 栃木, 吉川, 油井, “微生物影響評価コードによる地下水組成の評価”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, B26, (2006).
- 51) 吉田, 吉川, 佐藤, “炭酸塩固相に対する微量元素の共沈反応についての固溶体モデルによる評価(2)”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, B29, (2006).
- 52) 黒澤, 油井, 上田, “モンモリロナイト粒子の分散性と核種移行への影響”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, B32, (2006).
- 53) 藤井, 河村, “MD 計算によるスメクタイト中の Cs, Sr の移行特性の評価”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, B49, (2006).
- 54) 飯島, 庄司, 戸村, “ベントナイトコロイドに対する Am の収着挙動(II)”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, B31, (2006).
- 55) 吉川, 林, “考古学的金属製品を用いた土壌中金属腐食のナチュラルアナログ研究 (II)”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, B37, (2006).
- 56) 藤原, “溶媒抽出法による Np(IV)加水分解定数の測定 II”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, G28, (2006).
- 57) 飯島, 庄司, 戸村, “ベントナイトコロイドに対する Am の収着挙動”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, B42, (2006).
- 58) 石寺, 夏, 出光, 他, “圧縮ベントナイト中における鉄腐食生成物の存在形態”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, B45, (2006).
- 59) 藤原, 小原, “溶媒抽出法による Np (IV) 加水分解定数の測定”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, D08, (2006).
- 60) 加藤, 大井, “地層処分生物圏評価研究の今後の研究開発項目とそれに対して要求される観点の抽出”, 日本原子力学会バックエンド部会第 22 回バックエンド夏期セミナー, 要旨集 p ポスター13-1, 7/27-28, (2006).
- 61) 前川, 唐崎, 伊藤, “地層中の塩淡境界評価に関する一考察”, 日本原子力学会バックエンド部会第 22 回バックエンド夏期セミナー, (2006).
- 62) 林, 他, “ガラスの溶解に関するデータベース整備の現状”, 日本原子力学会第 22 回バックエンド夏期セミナー, (2006).
- 63) 吉川, 本田, “埋蔵鉄器の腐食調査に関する放射廃棄物処分研究”, 日本放射化学討論会 (日本放射化学学会誌別冊, vol.6), 3B02, (2005).
- 64) 松本, 西村, 菊池, 他, “処分場設計手法の適用性に関する検討 (1) - 処分場全体設計フローの構築 -”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, p.574, (2005).
- 65) 白武, 平井, 高治, 他, “ナチュラルアナログから推定した緩衝材の長期力学評価パラメータ”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, (2005).
- 66) 柴田, 牧野, 内田, 他, “地層処分技術に関する研究開発支援のための技術情報統合システムの

- 開発”，日本原子力学会 2005 年秋の大会，（2005）。
- 67) 菊池，棚井，松本，“処分場設計手法の適用性に関する検討（2）－幌延の地質環境を例とした場合の緩衝材の試設計－”，日本原子力学会 2005 年秋の大会，p.575，（2005）。
  - 68) 原，内田，川田，他，“新第三紀堆積岩を対象とした堆積構造シミュレーションモデルの開発（その 2）－不均質性の要因とシミュレーションモデルの概要－”，日本原子力学会 2005 年秋の大会，（2005）。
  - 69) 石寺，佐藤，“花崗岩中の Cs+, I-の拡散挙動に及ぼす塩濃度の影響”，日本原子力学会 2005 年秋の大会，L50，（2005）。
  - 70) 甲川，向井，神徳，他，“花崗岩質岩石におけるマトリクス拡散”，日本原子力学会 2005 年秋の大会，L51，（2005）。
  - 71) 西村，“高レベル放射性廃棄物地層処分における緩衝材の長期健全性に関する研究”，日本原子力学会バックエンド部会第 21 回バックエンド夏期セミナー，（2005）。
  - 72) 川村，牧野，梅田，他，“天然現象影響評価シナリオ構築手法の高度化”，地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会，G018-007，（2005）。
  - 73) 川村，牧野，梅田，他，“天然現象影響評価に関する検討－①シナリオ構築手順の概要－”，地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会，G018P-020，（2005）。
  - 74) 川村，梅田，大澤，他，“天然現象影響評価に関する検討－②火山・火成活動への適用例－”，地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会，G018P-019，（2005）。
  - 75) 川村，梅田，牧野，“高レベル放射性廃棄物処分に關わる「地震・断層活動」シナリオの構築”，日本地震学会 2005 年秋季大会，（2005）。
  - 76) 熊本，下茂，内田，他，“堆積軟岩の空隙径分布と透水性の關係”，土木学会第 60 回年次学術講演会，（2005）。
  - 77) 熊本，下茂，内田，他，“人工亀裂を有する堆積軟岩ブロックを用いた室内トレーサー試験”，第 40 回地盤工学研究発表会，（2005）。
  - 78) 武部，澤田，内田，他，“LGA 法を用いた流体解析による亀裂開口幅分布の影響検討”，土木学会第 60 回年次学術講演会，（2005）。
  - 79) 吉野，野本，松井，他，“不均質場における地下水流動の不確実性評価手法の開発（その 2）－モンテカルロ法との比較検討－”，土木学会第 60 回年次学術講演会，（2005）。
  - 80) 吉野，野本，松井，他，“不均質場における地下水流動の不確実性評価手法の開発（その 3）－3次元展開－”，土木学会第 60 回年次学術講演会，（2005）。

#### ハ．地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- 1) 小池，劉，天野，他，“瑞浪超深地層研究所 100m 予備ステージにおける初期応力測定”，平成 20 年度(2008 年)資源・素材学会春季大会，E-1，（2008）。
- 2) 小川，木ノ川，青木，他，“ひずみの局所化に注目したボーリング孔形状のシミュレーション”，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム，（2008）。
- 3) 木ノ川，小川，青木，他，“堆積軟岩地山のひずみ軟化挙動を考慮した立坑の掘削時安定性評価”，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム，（2008）。
- 4) 津坂，谷本，中根，他，“TBM 施工における掘削ずりりと二次破碎の評価”，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム，（2008）。
- 5) 大山，竹内，三枝，他，“地表傾斜データを用いた水理地質構造の推定手法の有効性について”，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム，（2008）。
- 6) 平野，瀬野，中間，他，“土岐花崗岩を対象とした応力ひずみ構成式の時間依存性パラメータの室内試験による決定”，第 37 回岩盤力学に関するシンポジウム，（2008）。
- 7) 佐藤，“緩衝材及び埋め戻し材の膨潤圧に及ぼす塩濃度の影響に関する熱力学的アプローチ”，日本原子力学会 2008 年春の年会，I01，（2008）。
- 8) 濱，内田，仙波，他，“超深地層研究所計画 研究坑道の掘削を伴う研究段階（第 2 段階）の現状；（1）研究坑道掘削の現状と主な研究成果”，日本原子力学会 2008 年春の年会，I21，（2008）。
- 9) 天野，松岡，鶴田，“超深地層研究所計画 研究坑道の掘削を伴う研究段階（第 2 段階）の現状；（2）断層分布の把握を目的とした効果的な調査アプローチの検討”，日本原子力学会 2008 年春の年会，I22，（2008）。
- 10) 弥富，尾方，杉原，他，“放射線グラフト捕集材を用いた瑞浪超深地層研究所の湧水中ふっ素・ほう素除去特性”，日本原子力学会 2008 年春の年会，I24，（2008）。

- 11) 太田, 茂田, 岩月, “幌延深地層研究計画; (1) 第2段階における調査研究の現状”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I25, (2008).
- 12) 戸村, 前川, 操上, 他, “幌延深地層研究計画; (2) 表層水理調査の現状”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I26, (2008).
- 13) 前川, 柴野, 操上, “幌延深地層研究計画; (3) 立坑掘削に伴う湧水量予測解析”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I27, (2008).
- 14) 國丸, 平田, 松波, “幌延深地層研究計画; (4) 立坑掘削に伴う水理学的影響調査研究の概要”, 日本原子力学会 2008 年春の年会, I28, (2008).
- 15) 岩月, 吉田, 加藤, 他, “金属有機錯体形成に関わる有機物特性の圧力依存性について”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, B101-P002, (2007).
- 16) 吉田, 岩月, 濱, “地下水中の微量元素のコロイド相への分配状態の研究”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, B101-P002, (2007).
- 17) 水野, 濱, “炭酸塩鉱物の酸素・炭素同位体比を指標とした地下水水質の長期的変遷に関する研究”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, B101-P003, (2007).
- 18) C. Dia, F. Takagi, S. Kojima, et al., “Fracture analysis determined from integrated analysis of core-description and BTV images: Example from Cretaceous Toki Granite”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, G121-006, (2007).
- 19) 兵動, 國丸, 山本, 他, “メタンセンサーによる幌延試錐孔内の溶存メタン濃度測定”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, H126-011, (2007).
- 20) 上原, 嶋本, 操上, 他, “北海道幌延地域における新第三紀および第四紀堆積岩のガス浸透率および間隙率の応力履歴依存性に関する実験的研究”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, J253-009, (2007).
- 21) 長谷川, 松岡, 結城, “花崗岩分布域における空中物理探査(Dighem V)の適用性について(その1)―空中電磁法探査―”, 理探査学会第116回(平成19年度春季)学術講演会, (2007).
- 22) 長谷川, 松岡, 結城, “花崗岩分布域における空中物理探査(Dighem V)の適用性について(その2)―空中磁気探査および空中放射能探査―”, 理探査学会第116回(平成19年度春季)学術講演会, (2007).
- 23) 山田, 石垣, 山口, 他, “長時間測定の微動を用いた地震波干渉法”, 物理探査学会第117回(平成19年度秋季)学術講演会, (2007).
- 24) 佐藤, “月布産スメクタイト層間中の交換性陽イオンの定量”, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, I34, (2007).
- 25) 平川, 小野, 尾上, 他, “東濃地域を例とした地形の長期変動が塩分濃度の高い地下水挙動に与える影響の解析的推定”, 日本地下水学会 2007 年秋季講演会, (2007).
- 26) 今井, 塩崎, 山下, 他, “地形・地質構造の変形を考慮した地下水流動解析の試み”, 日本地下水学会 2007 年秋季講演会, (2007).
- 27) 中畷, 瀬尾, 戸井田, 他, “堆積岩を対象とした間隙水圧長期観測データの解析的検討(その1)―地震時応答およびトレンド分析に関する検討―”, 日本地下水学会 2007 年秋季講演会, (2007).
- 28) 瀬尾, 戸井田, 渡辺, 他, “堆積岩を対象とした間隙水圧長期観測データの解析的検討(その2)―遺伝的アルゴリズムおよびニューラルネットワークを用いた検討―”, 日本地下水学会 2007 年秋季講演会, (2007).
- 29) 石井, 舟木, 真田, “北海道北部幌延地域の珪質泥岩中に認められる透水係数の深度依存性の要因”, 日本地質学会第114年学術大会, P-18, (2007).
- 30) 舟木, 尾留川, 名合, 他, “大規模な地下施設を建設する際の水理地質調査―北海道北部, 幌延地域における例―”, 日本地質学会第114年学術大会, P-211, (2007).
- 31) 真田, 松井, 山本, 他, “珪質岩盤中の坑道掘削に伴う水―応力連成挙動に関する数値解析的検討”, 平成19年度資源・素材学会北海道支部総会及び春季講演会, A-5, (2007).
- 32) 真田, 山口, 藤井, 他, “幌延地域に分布する新第三紀珪質岩の等方圧縮試験”, 平成19年度(2007年)資源・素材学会秋季大会, A2-2, (2007).
- 33) F. Lanalo, S. Nakama, T. Sato, “Estimation of in-situ stress field based on core sample damage”, 平成19年度(2007年)資源・素材学会秋季大会, A2-6, (2007).
- 34) 及川, 相馬, 山口, 他, “DRAによる応力計測に及ぼす岩芯採取からの経過時間の影響”, 平成19年度(2007年)資源・素材学会秋季大会, A3-3, (2007).

- 35) 中間, 瀬野, 佐藤, “瑞浪超深地層研究所 100m 予備ステージにおける初期応力測定”, 平成 19 年度(2007 年)資源・素材学会秋季大会, PY-37, (2007).
- 36) 佐藤, 中間, “広域応力場を解析的に同定する手法の検討”, 第 42 回地盤工学研究発表会, (2007).
- 37) 松井, 丹生屋, 名合, 他 “深層ボーリング孔における新第三紀堆積岩を対象とした初期応力測定事例”, 第 42 回地盤工学研究発表会, (2007).
- 38) 延藤, 見掛, 佐藤, 他, “懸濁型グラウト材料による目詰まり特性の検討: 高圧目詰まり試験”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, CS5-055, (2007).
- 39) 佐藤, 竹内, 見掛, 他, “瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題 (その 1)”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, CS5-065, (2007).
- 40) 佐藤, 竹内, 見掛, 他, “瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題 (その 2) –パイロットボーリング調査結果の概要–”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, CS5-066, (2007).
- 41) 大山, 三枝, 尾上, 他, “瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題 (その 3) –パイロットボーリング調査に基づく湧水量予測解析–”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, CS5-067, (2007).
- 42) 原, 久慈, 南出, 他, “瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題 (その 4) –瑞浪超深地層研究所における湧水抑制対策としてのプレグラウチング施工–”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, CS5-068, (2007).
- 43) 久慈, 原, 南出, 他, “瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題 (その 5) –ポストグラウチング試験施工の注入回数による注入量評価–”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, CS5-069, (2007).
- 44) 秋好, 見掛, 佐藤, 他, “瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題 (その 6) –立坑掘削の施工実績–”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, CS5-070, (2007).
- 45) 市原, 尾留川, 山上, 他, “大深度立坑坑口部のマスコンクリート構造物の温度ひび割れ対策 (その 2: 解析結果と対策効果の確認)”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 5-591, (2007).
- 46) 小島, 山上, 尾留川, 他, “大深度立坑掘削に伴い発生するズリのモニタリング手法”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 6-243, (2007).
- 47) 上原, 嶋本, 操上, 他, “室内試験結果を用いた新第三紀および第四紀堆積岩の浸透率および間隙率の深度分布の推定 –北海道幌延地域を例として”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 3-294, (2007).
- 48) 名合, 井尻, 國丸, 他, “高精度傾斜計による立坑掘削に伴う岩盤挙動のモニタリング”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 3-432, (2007).
- 49) 小川, 青木, 木ノ村, 他, “ひずみ軟化挙動を考慮した堆積軟岩中の立坑逐次掘削解析”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 3-433, (2007).
- 50) 尾留川, 山上, 操上, 他, “大深度立坑周囲に構築した止水壁による地盤の透水性の低減及び立坑湧水量の予測解析結果”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 3-380, (2007).
- 51) 尾留川, 山上, 市原, 他, “大深度立坑坑口部のマスコンクリート構造物の温度ひび割れ対策 (その 1: 検討方法と解析方法の概要)”, 土木学会平成 19 年度全国大会第 62 回年次学術講演会, 5-590, (2007).
- 52) 堀田, 大津, 本島, 他, “不連続性岩盤における突発湧水リスク評価手法の事後評価への適用に関する研究”, 平成 19 年度土木学会関西支部年次学術講演会, (2007).
- 53) 國友, 長谷川, 熊澤, “6 年目を迎える弾性波アクロス連続送信”, 日本地震学会 2007 年秋季大会, P1-012, (2007).
- 54) 程塚, 松岡, 石垣, “立坑掘削工事に伴う振動を利用した地質構造探”, 平成 19 年度日本応用地質学会 研究発表会, (2007).
- 55) 鶴田, 中俣, “花崗岩の未固結期に形成・記録された構造と割れ目や断層の分布・特性について –特に貫入岩の特性について–”, 平成 19 年度日本応用地質学会 研究発表会, (2007).
- 56) 中俣, 鶴田, 天野, 他, “遮水性構造として機能する断層の内部構造と変形・変質作用 –瑞浪超深地層研究所に分布する土岐花崗岩での研究事例–”, 平成 19 年度日本応用地質学会 研究発表会, (2007).

- 57) 中俣, 鶴田, 天野, 他, “遮水性構造として機能する断層の内部構造と変形・変質作用—瑞浪超深地層研究所に分布する土岐花崗岩での研究事例—”,平成 19 年度日本応用地質学会 研究発表会, (2007).
- 58) 早野, 鶴田, 天野, “3D レーザースキャナーを用いた坑壁地質観察の効率化—瑞浪超深地層研究所における適用事例—”,平成 19 年度日本応用地質学会 研究発表会, (2007).
- 59) 菊池, 天野, 鶴田, 他, “岩盤物性評価における多変量データ解析の導入”,平成 19 年度日本応用地質学会 研究発表会, (2007).
- 60) 瀬野, 森, 郷家, 他, “掘削損傷領域を考慮した研究坑道周辺岩盤挙動の三次元予測解析”, 第 17 回トンネル工学研究発表会, (2007).
- 61) 水野, “炭酸塩鉱物でわかる地下水の長期的変遷”, 岐阜大学大学院工学研究科集中講義講義, (2007).
- 62) 杉原, “地下空洞周りの岩盤は、どうなってるのか?”, 岐阜大学大学院工学研究科集中講義講義, (2007).
- 63) 杉原, “高レベル放射性廃棄物の地層処分と日本原子力研究開発機構における研究”, 岐阜大学大学院工学研究科集中講義講義, (2007).
- 64) 鈴木, 佐藤, 久慈, “立坑掘削の施工計画のための湧水量予測解析”, CTC ワークショップ 2007, (2007).
- 65) 佐藤, “スメクタイトの層間中の I 及び Cs の拡散の活性化エネルギー”, 第 9 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会, (2007).
- 66) 内田, 畑中, “深地層の研究施設計画—第 1 段階成果の概要—”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 67) 内田, 仙波, 濱, 他, “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)研究成果報告書(その 1)—第 1 段階における調査研究の全体概要—”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 68) 天野, 鶴田, 松岡, 他, “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)研究成果報告書(その 2)—地質・地質構造に関する調査研究—”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 69) 三枝, 尾上, 竹内, 他, “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)研究成果報告書(その 3)—岩盤水理に関する調査研究—”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 70) 水野, 濱, 吉田, 他, “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)研究成果報告書(その 4)—地下水の地球化学に関する調査研究—”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 71) 瀬野, 平野, 中間, “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)研究成果報告書(その 5)—岩盤力学に関する調査研究—”, 第 23 回「バンクエンド」夏期セミナー, (2007).
- 72) 瀬野, 三枝, 鶴田, “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)研究成果報告書(その 6)—地質環境の調査・評価技術の整備—”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 73) 久慈, 見掛, 黒田, 他, “超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)研究成果報告書(その 7)—深地層の工学技術に関する研究—”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 74) 真田, 花川, 太田, 他, “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書の概要「堆積岩を対象とした深地層における工学技術の基礎の開発、地下施設建設に伴う周辺地質環境への影響調査」”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 75) 井尻, 名合, 木ノ村, 他, “高精度傾斜計による岩盤挙動のモニタリング手法の開発”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 76) 國丸, 太田, 阿部, 他, “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書の概要「堆積岩を対象とした地上からの体系的な調査・評価技術」①”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 77) 國丸, 太田, 阿部, 他, “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第 1 段階)研究成果報告書の概要「堆積岩を対象とした地上からの体系的な調査・評価技術」②”, 第 23 回バンクエンド夏期セミナー, (2007).
- 78) 太田, 濱, 棚井, 他, “幌延深地層研究計画 (1) 第 1 段階における調査研究成果の取りまとめ

- の概要”，日本原子力学会 2007 年春の年会，I01，(2007).
- 79) 國丸，福島，武田，“幌延深地層研究計画 (2) 研究所設置場所を決定するまでのあゆみ”，日本原子力学会 2007 年春の年会，I02，(2007).
  - 80) 濱，國丸，操上，他，“幌延深地層研究計画 (3) 地上からの地質環境調査結果と今後の課題”，日本原子力学会 2007 年春の年会，I03，(2007).
  - 81) 岩月，太田，濱，他，“幌延深地層研究計画 (6) 第 2 段階における調査研究の現状と今後の計画”，日本原子力学会 2007 年春の年会，I06，(2007).
  - 82) 仙波，内田，濱，他，“瑞浪超深地層研究所における立坑掘削を利用した水理地質構造モデルの検討 1 瑞浪超深地層研究所における第 2 段階の研究の現状”，日本原子力学会 2007 年春の年会，I07，(2007).
  - 83) 竹内，戸谷，三枝，他，“瑞浪超深地層研究所計画における立坑掘削を利用した水理地質構造モデルの検討 2 水圧応答を利用した立坑周辺の水理地質構造の検討”，日本原子力学会 2007 年春の年会，I08，(2007).
  - 84) 松岡，石垣，杉本，“瑞浪超深地層研究所における立坑掘削を利用した水理地質構造モデルの検討 3 電気探査法を用いた水理地質構造の検討”，日本原子力学会 2007 年春の年会，I09，(2007).
  - 85) 田中，野田，佐藤，他，“圧縮 Na 型モンモリロナイトにおける H<sub>2</sub>O の拡散と電気浸透”，日本原子力学会 2007 年春の年会，I41，p.421，(2007).
  - 86) 羽柴，松井，瀬野，他，“2 種類の堆積岩の多段階クリープ試験による長期クリープ挙動の予測”，第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム，(2007).
  - 87) 青木，水戸，黒川，他，“AE 計測と DEM 解析に基づく大深度堆積軟岩の破壊過程に関する研究”，第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム，東京，(2007).
  - 88) 山本，下茂，國丸，他，“幌延深地層研究計画における立坑掘削時の地下水からの脱ガスの予察解析”，第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム，(2007).
  - 89) 安原，操上，木下，他，“圧力溶解現象を考慮した珪藻質岩石の透水性評価”，第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム，第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.283-286，(2007).
  - 90) 松木，成川，中間，他，“大規模な断層を含む不均一岩体の広域応力場評価”，平成 19 年度(2007 年)資源・素材学会春季大会，(2007).
  - 91) 羽柴，佐藤，瀬野，“立坑周辺岩盤の時間依存性挙動に及ぼす軸方向初期地圧の影響”，平成 19 年度(2007 年)資源・素材学会春季大会，(2007).
  - 92) 成川，松木，竹内，他，“傾斜データを用いた不均一な地下水流動の評価”，平成 19 年度(2007 年)資源・素材学会春季大会，(2007).
  - 93) 中間，佐藤，金子，他，“三次元応力場同定手法の高度化に関する研究の概要”，平成 19 年度(2007 年)資源・素材学会春季大会，(2007).
  - 94) 井尻，三枝，澤田，“広域地下水流動評価における概念モデルに起因した不確実性について”，地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム，(2007).
  - 95) 尾上，三枝，笹尾，他，“地質環境の長期挙動を考慮した水理地質構造のモデル化・解析”，地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム，(2007).
  - 96) 大山，尾上，三枝，他，“地下水流動場を効率的にモデル化・解析するシステムの概要と東濃地域における適用事例”，地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム，(2007).
  - 97) 熊本，下茂，操上，“幌延深地層研究計画における地下研究施設掘削に伴う地下水流動予測解析 ～地上からの調査結果に基づく水理地質構造のモデル化と解析～”，日本地下水学会，地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム，地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集，pp.43-50，(2007).
  - 98) 操上，安江，新里，他，“気候・海水準変動が地下水流動に与える影響に関する解析的検討 —幌延地域を例として—”，日本地下水学会 地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム，地下水流動解析とモデル化に関するシンポジウム発表論文集，pp.59-66，(2007).
  - 99) 真田，“幌延深地層研究計画の現状及び原位置と室内試験に基づいた第三紀珪質岩盤の力学モデル構築”，第 9 回放射性廃棄物地層処分にに関する情報交換会 (Sapporo Conference 2007)，(2007).
  - 100) 井岡，“深部地下水における酸化還元反応及び地球化学反応”，広島大学陸域環境研究会，(2007).



- 101) 中間, “高レベル放射性廃棄物の地層処分における初期応力研究について”, 地殻応力の絶対量計測に関する研究集会, (2007).
- 102) 江原, 五月女, 松本, 他, “光ファイバ振動センサによる堆積軟岩の AE 計測”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム, (2006).
- 103) 穂刈, 石井, 松井, “孔径検層を用いた地下施設の安定性評価の可能性について”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム, (2006).
- 104) 木山, 松井, J. C. Roegiers, 他, “間隙弾性論に基づく幌延の珪質岩を用いた室内試験”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム, (2006).
- 105) 森岡, 尾留川, 村川, 他, “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の支保設計”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム, (2006).
- 106) 丹生屋, 松井, “原位置と室内試験に基づいた第三紀珪質岩盤の力学モデル構築”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム, (2006).
- 107) 山本, 下茂, 藤原, 他, “幌延深地層研究所設置地区周辺の地下水水質形成シミュレーション”, 第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム, 2006 年 1 月, 東京, (2006).
- 108) 江口, 天野, “空間的制約条件下における深層ボーリング調査計画の最適化”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.175-178, (2006).
- 109) 鏡, 天野, “多変量解析を利用した断層分布区間の判定”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.263-266, (2006).
- 110) 松岡, 仙波, 石垣, 他, “流体流動電位法を用いた瑞浪超深地層研究所周辺の地下水流動モニタリング”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.331-334, (2006).
- 111) 菊地, 天野, “堆積岩の層序区分・対比における多変量データ解析の導入”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.521-524, (2006).
- 112) 天野, “孔壁画像の画像処理による岩相区分効率の改善”, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, pp.525-526, (2006).
- 113) 早野, 天野, 竹内, “立坑掘削中の湧水量観測に基づく瑞浪層群中の透水性/遮水性構造の分布の推定及びそれらの地質学的性状について; 瑞浪超深地層研究所における立坑掘削を例として”, 日本応用地質学会中部支部平成 18 年度研究発表会, (2006).
- 114) 松岡, 長谷川, “土岐花崗岩の磁化率の不均一性について”, 日本応用地質学会中部支部平成 18 年度研究発表会, (2006).
- 115) 船津, 足立, 清水, 他, “硬岩地山における高抜け発生に関する数値解析による検討”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, (2006).
- 116) 板倉, Z. Xu, 佐藤, 他, “仮想現実システムを利用した地下構造物設計・施工支援システムの開発”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, (2006).
- 117) 見掛, 佐藤, 延藤, 他, “硬岩を対象としたグラウト注入方法に関する考察—瑞浪超深地層研究所におけるグラウト研究 (その 1) —”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, pp.227-228, (2006).
- 118) 見掛, 佐藤, 延藤, 他, “グラウトの高圧注入試験による目詰まり特性の把握—瑞浪超深地層研究所におけるグラウト研究 (その 2) —”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, pp.229-230, (2006).
- 119) 本島, 井尻, 尾上, 他, “突発湧水に対するリスク評価・管理手法の構築 2 観測水位を指標とした立坑掘削時における突発湧水リスクの管理手法について”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, (2006).
- 120) 尾上, 三枝, 渡邊, 他, “突発湧水に対するリスク評価・管理手法の構築 1 立坑掘削時における突発湧水リスクに対する断層の水理学的調査について”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, (2006).
- 121) 竹内, “水理試験データの時間微分を用いた水理地質構造の推定”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, (2006).
- 122) 山地, 山田, 佐藤, 他, “ショートステップ工法の地山安定化機構に関する数値解析的考察”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, (2006).
- 123) 山田, 山地, 佐藤, 他, “超大深度立坑接続部掘削時挙動に関する考察”, 土木学会平成 18 年度全国大会第 61 回年次学術講演会, (2006).
- 124) 兵動, 大賀, 國丸, 他, “溶存メタンセンサーによる地層内メタン濃度測定 その 1 測定値に及ぼすガス種, 水流の影響”, 平成 18 年度土木学会全国大会, 第 61 回年次学術講演会, (2006).



- 125) 兵動, 大賀, 國丸, 他, “溶存メタンセンサーによる地層内メタン濃度測定 その 2 幌延における孔内測定試験”, 平成 18 年度土木学会全国大会, 第 61 回年次学術講演会, (2006).
- 126) 延藤, 福田, 佐藤, 他, “ショートステップ立坑の変形挙動に関する計測と解析”, 第 16 回トンネル工学報告集, pp.1-8, (2006).
- 127) 久慈, 佐藤, 原, 他, “大深度立坑における湧水抑制対策としてのポストグラウト試験施工”, 第 16 回トンネル工学報告集, pp.469-476, (2006).
- 128) 羽柴, 中間, 佐藤, “立坑掘削後約 10 年間の周辺岩盤の変形特性”, 第 16 回トンネル工学研究発表会, (2006).
- 129) 羽柴, 中間, 山田, 他, “土岐花崗岩の力学的性質の分布特性”, 平成 18 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(資源・素材 2006), (2006).
- 130) 山口, 藤井, 福田, 他, “DSCA 法を用いた幌延珪藻質泥岩の初期応力測定”, 平成 18 年度資源・素材関係学協会合同秋季大会(資源・素材 2006), 福岡市, pp.55-56, (2006).
- 131) 井岡, 岩月, 天野, “表層地下水の流入に対する地下深部における地下水化学の応答”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, (2006).
- 132) 三枝, 下茂, 文村, 他, “地下研究坑道掘削に伴う地下水流動状態の変化を予測するための地下水流動解析とそれに基づく調査研究計画の策定”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, (2006).
- 133) 竹内, 荒井, W. Salden, “モニタリングデータによる水理地質構造の推定”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, (2006).
- 134) 井岡, 岩月, 加藤, 他, “水溶液の酸化還元電位測定手法の検討”, 2006 年度日本地球化学会年会, (2006).
- 135) 井岡, 岩月, 水野, 他, “白金電極を用いた地下水の酸化還元電位測定手法の問題点; 白金電極表面の存在物質”, 2006 年度日本水文科学会学術大会, (2006).
- 136) 岩月, “深部地下水の地球化学に関する研究の現状と課題”, 資源地質学会 2006 年年会学術講演会, (2006).
- 137) 岩月, 天野, 彌榮, “地下施設建設に伴う周辺地球化学環境の変化”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 138) 三輪, 高木, 西嶋, 他, “土岐花崗岩中に見られるマイクロクラックの三次元方位分布と古応力場及び生成環境の復元”, 日本地質学会構造地質部会 2006 年度例会, (2006).
- 139) 水野, 岩月, “炭酸塩鉱物を用いた深部地下環境の長期安定性に関する解析例”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 140) 水野, R. Metcalfe, 彌榮, 他, “地球化学調査における地下水の品質評価手法”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 141) 三枝, 稲葉, 守屋, 他, “地形及び気候変動が地下水流動特性に与える影響について”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 142) 竹内, 藤田, 荒井, 他, “モニタリングデータを用いた水理地質構造の推定”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 143) 竹内, “孔間水理試験による水理地質構造の推定”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 144) 舟木, 石井, “幌延地域に分布する堆積岩中の水みちとなり得る地質構造”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 145) 石井, “水-岩石反応の地質学的証拠からみた海成堆積物地下浅部における淡水浸透領域の長期的変遷”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, (2006).
- 146) 水野, 岩月, “同位体比を指標とした陸域地下深部における炭素循環の考察”, 2006 年度日本地球化学会年会, (2006).
- 147) 水野, R. Metcalfe, 岩月, 他, “地下水から得られた地球化学データの品質評価手法の提案”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, (2006).
- 148) 瀬尾, 戸井田, 小林, 他, “難透水性岩石を対象とした閉鎖型フローポンプ式室内透水試験法の適用性”, 日本地下水学会, 2006 年秋季講演会, (2006).
- 149) 徳永, 木村, 井尻, 他, “幌延地域における塩素安定同位体比を用いた塩水淡水挙動評価”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会, (2006).
- 150) 竹内, 竹内, 三枝, “大規模揚水試験による水理地質構造の推定”, 日本地下水学会 2006 年秋季講演会講演要旨, pp.264-269, (2006).
- 151) 永田, 本多, 岩月, 他, “東濃ウラン鉱床周辺の瑞浪層群に産する堆積岩中のウラン, トリウ

- ム及びランタノイドの分布と挙動”，第 31 回フィッション・トラック研究会，(2006).
- 152) 坪井，本多，岩月，他，“東濃土岐花崗岩におけるウラン，トリウム等微量元素の分布と挙動”，第 31 回フィッション・トラック研究会，(2006).
  - 153) 尾上，三枝，大山，“長期間の孔間揚水試験データに基づく水理地質構造のモデルキャリブレーション”，日本地下水学会 2006 年秋季講演会，(2006).
  - 154) 大山，三枝，尾上，“複雑な水理地質環境における地下水流動場を効率的にモデル化・解析するためのシステム開発”，日本原子力学会 2006 年秋の大会，(2006).
  - 155) 佐藤，“スメクタイト表面の水の熱力学特性の膨潤圧への適用”，日本原子力学会 2006 年秋の大会，B43, p.43, (2006).
  - 156) 吉田，岩月，上野，“還元環境における地下水中の金属有機錯体形成”，日本原子力学会 2006 年秋の大会，(2006).
  - 157) 天野，松岡，“瑞浪超深地層研究所における地質・地質構造に関する調査研究”，日本原子力学会 2006 年春の年会，B01, pp.1, (2006).
  - 158) 三枝，竹内，尾上，他，“瑞浪超深地層研究所における地下水流動特性に関する調査研究”，日本原子力学会 2006 年春の年会，B02, pp.2, (2006).
  - 159) 岩月，彌榮，水野，他，“瑞浪超深地層研究所における地球化学調査研究”，日本原子力学会 2006 年春の年会，B03, pp.3, (2006).
  - 160) 中間，瀬野，山田，他，“瑞浪超深地層研究所における岩盤力学調査研究”，日本原子力学会 2006 年春の年会，B04, pp.4, (2006).
  - 161) 佐藤，見掛，久慈，他，“瑞浪超深地層研究所における工学技術の基礎の開発”，日本原子力学会 2006 年春の年会，B05, pp.6, (2006).
  - 162) 濱，國丸，夏，他，“地下水中の有機物に関する研究の現状”，日本原子力学会 2006 年春の年会，(2006).
  - 163) 中俣，天野，松岡，“瑞浪超深地層研究所の研究坑道に遭遇する地質分布の地表からの予測と実際”，日本原子力学会第 38 回中部支部発表会要旨集，p.6, (2006).
  - 164) 吉田，岩月，“原位置における金属元素の移動挙動確認 地下水採水方法の検討”，日本原子力学会第 38 回中部支部発表会要旨集，p.8, (2006).
  - 165) 石垣，松岡，天野，“立坑掘削工事に伴う振動を利用した物理探査”，日本原子力学会第 38 回中部支部発表会要旨集，p.10, (2006).
  - 166) 杉原，“高レベル放射性廃棄物の地層処分と日本原子力研究開発機構における研究開発 岩盤力学を中心に”，岩盤工学研究会講演会，(2006).
  - 167) 竹内，進士，廣田，“現場透水試験結果の解析における時間微分項算定手法の比較”，第 41 回地盤工学研究発表会，(2006).
  - 168) 兵動，大賀，國丸，他，“地層内容存メタン測定のためのセンサー開発とその諸特性について”，第 41 回地盤工学研究発表会，(2006).
  - 169) 本多，鈴木，桜井，他，“調査段階の進展に伴う水理地質モデルの信頼度に関する考察—地球統計手法を用いた透水係数分布の推定—”，第 41 回地盤工学研究発表会，pp.51-52, (2006).
  - 170) 天石，高畑，川又，他，“深部地下水中の微生物解析結果”，日本微生物生態学会第 22 回大会，(2006).
  - 171) 舟木，安江，國丸，他，“周氷河作用を被った地域における表層部の水理地質構造—北海道北部，幌延地域における例—”，日本地質学会第 113 年年会（高知大会），(2006).
  - 172) 本多，桜井，岩佐，他，“地球統計手法による各種比抵抗探査データの統合と水理地質・水質分布モデルの構築”，資源素材学会春季大会，pp.49-52, (2006).
  - 173) 國丸，細谷，“採水深度における間隙水圧と水質の同時モニタリングを可能としたモニタリングシステムとその適用性”，日本地下水学会 2006 年秋季講演会，(2006).
  - 174) 操上，國丸，舟木，“幌延深地層研究計画第 1 段階における水理地質環境モデル構築”，日本原子力学会第 22 回バックエンド夏期セミナー，pp.ポスター1-1, (2006).
  - 175) 松井，青柳，宮野前，“新第三紀珪質岩の風化特性に関する実験的検討”，第 41 回地盤工学研究発表会，pp.495-496, (2006).
  - 176) 丹生屋，松井，“塩水環境下に分布する新第三紀珪質岩の強度変形特性”，第 41 回地盤工学研究発表会，pp.497-498, (2006).
  - 177) 大原，津久井，國友，他，“幌延深地層研究計画—遠隔監視システム（アクロス）の概要と進捗について—”，日本地球惑星科学連合 2006 年大会，O106, P009, (2006).

- 178) 小川, 青木, 城, 他, “地山の時間依存性挙動を考慮した坑道掘削時の安定性解析”, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム, 第 36 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.39-44, (2007).
- 179) 尾留川, 森岡, 西山, “幌延深地層研究計画における地下研究坑道の耐震性能照査”, 第 41 回地盤工学研究発表会, 第 41 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1739-1740, (2006).
- 180) 坂井, 畠山, 布施, 他, “幌延深地層研究計画におけるガス湧出量の予測 (第 2 報)”, 資源・素材関係学協会合同秋季大会 資源・素材 2006, 福岡市, 企画発表・一般発表(A)(B)講演資料, p.101, (2006).
- 181) 佐藤, “圧縮ベントナイト間隙水の熱力学特性の膨潤圧への適用”, 連携重点研究ワークショップー緩衝材物性と微生物活動を指標とした処分環境の理解ー, (2006).
- 182) 佐藤, “スメクタイト中のイオンの拡散の活性化エネルギー”, 粘土ワークショップ, (2007).
- 183) 佐藤, “スメクタイトの層間中の I 及び Cs の拡散の活性化エネルギー”, 第 9 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2007), (2007).
- 184) 吉村, 坂下, 大久保, 他, “地層処分における電磁法解析技術の開発 (その 6)ー北海道幌延町における AMT 法 3 次元調査ー”, 物理探査学会第 115 回 (平成 18 年度秋季) 学術講演会, 物理探査学会第 115 回学術講演会論文集, pp.209-212, (2006).
- 185) 水野, 岩月, “方解石中の金属元素濃度に基づく地下深部の酸化還元状態の推察”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, B001-P007, (2005).
- 186) 天野, 松岡, 石垣, 他, “瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究ー繰り返しアプローチに基づく地質・地質構造の調査・研究事例ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-011, (2005).
- 187) マーチン・アンドリュウ, 天野, 三枝, 他, “瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究ー不連続構造の分布に関する不確実性の解析・評価手法の構築ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-021, (2005).
- 188) 久慈, 見掛, 玉井, 他, “瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究ー施設概要と建設の現状ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P001, (2005).
- 189) 藤田, 竹内, “瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究ー深層ボーリング孔を用いた岩盤の水理特性評価技術の開発ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P002, (2005).
- 190) 山田, 佐藤, 中間, 他, “瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究ー水圧破砕法による初期応力測定結果と地質構造ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P003, (2005).
- 191) 石垣, 松岡, 天野, “瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究ー花崗岩地域での物理探査手法の適用事例ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P004, (2005).
- 192) 持田, 鶴田, “瑞浪超深地層研究所における研究坑道での地質調査結果速報 (新第三系瑞浪層群の地質層序)”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P005, (2005).
- 193) 中野, 太田, 竹内, 他, “瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究ー調査研究の進め方ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P010, (2005).
- 194) 大山, 尾上, 三枝, 他, “瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究ー繰り返しアプローチに基づく地下水流動特性評価の事例ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P012, (2005).
- 195) 岩月, 彌榮, 古江, 他, “瑞浪超深地層研究所 (MIU) を中心とした東濃地域における深地層の科学的研究ー地球化学的初期条件の評価ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P013, (2005).
- 196) 戸高, 中西, X. Tianfu, 他, “瑞浪超深地層研究所における立坑掘削による地下水の脱ガスの予測”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, H020-012, (2005).
- 197) 井岡, 岩月, 古江, “堆積岩中における酸化還元境界の形成機構”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, H081-P001, (2005).
- 198) 舟木, 石井, 松井, 他, “北海道幌延町に分布する珪質岩の続成作用と岩盤物性に関する研究”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
- 199) 舟木, 石井, 安江, 他, “データ追跡性を考慮した地質構造モデルの構築および各種地質環境調査技術の適用性確認”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).

- 200) 濱, 國丸, 加藤, 他, “幌延深地層研究計画－新第三紀堆積岩中の地下水の地球化学特性について(1)－”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
- 201) 石井, 安江, 古澤, 他, “北海道北部, 幌延地域における鮮新世～更新世のテフラ層序と FT 年代”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
- 202) 石井, 安江, 田中, 他, “北海道北部, 幌延地域における電磁探査を用いた断層帯調査”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
- 203) 國丸, 濱, 山本, 他, “幌延深地層研究計画－新第三紀堆積岩中の地下水の地球化学特性について(2)－”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
- 204) 操上, 今井, 塩崎, 他, “幌延の堆積岩中の地下水流動解析に関する解析的検討”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
- 205) 高橋, 新里, 安江, 他, “北海道幌延町新第三紀珪質岩の地球化学的特徴から見た侵食量および隆起時期”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
- 206) 安江, 秋葉, 石井, “珪藻化石種を用いた堆積物の後背地解析の試み: 北海道北部, 幌延地域を例として”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
- 207) 大原, 津久井, 國友, 他, “幌延深地層研究計画－遠隔監視システム(アクロス)の概要－”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月, 千葉, (2005).
- 208) 三枝, 守屋, 稲葉, 他, “将来の地形および気候変動を考慮した地下水流動のモデル化・解析”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, pp.2-7, (2005).
- 209) 天野, 竹内, “物理検層および流体検層を用いた透水性構造として機能する断層の抽出”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, pp.8-9, (2005).
- 210) 竹内, 藤田, 安藤, “亀裂性岩盤を対象とした長期揚水試験”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, pp.10-15, (2005).
- 211) 尾上, 三枝, “超深地層研究所計画における地下水流動のモデル化・解析の現状”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, pp.16-21, (2005).
- 212) 彌榮, 岩月, “意思決定支援理論 (Evidence Support Logic) を用いた地下水の地球化学データの品質評価について”, 日本地下水学会 2005 年度秋季講演会, pp.22-25, (2005).
- 213) 井岡, 岩月, 天野, “地下深部環境における酸化還元緩衝能の評価 (その 2)”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, pp.30-33, (2005).
- 214) 國丸, 平田, 小川, “原位置地下水の物理化学パラメータモニタリング装置および封圧採水の結果について”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, (2005).
- 215) 瀬尾, 藪内, 竹内, 他, “幌延深地層研究計画における水収支法を用いた地下水涵養量の試算”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, (2005).
- 216) 操上, 竹内, 瀬尾, 他, “幌延堆積岩中の割れ目帯を考慮した地下水流動解析”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, (2005).
- 217) W. Salden, S. Takeuchi, Y. Fujita, “Use of data from a long-term multi-level groundwater monitoring network to identify the influence of faults”, 日本地下水学会 2005 年春季講演会, pp.90-95, (2005).
- 218) 森田, 三枝, 竹内, 他, “断層に着目した岐阜県東濃地域の広域地下水流動解析”, 日本地下水学会 2005 年春季講演会, pp.78-83, (2005).
- 219) 稲葉, 登坂, 三枝, 他, “水収支特性評価のための地表水・地下水流動を考慮した水循環モデルの構築”, 日本地下水学会 2005 年春季講演会, pp.84-89, (2005).
- 220) 濱, 國丸, 嶋田, “堆積岩中の地下水の地球化学特性調査手法について－幌延の新第三紀堆積岩を例として－”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, 2005 年 10 月, 青森, (2005).
- 221) 長谷川, 中田, 東原, 他, “幌延サイトでの水質調査結果による地下水年代の推定”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, (2005).
- 222) 羽柴, 中間, 佐藤, “堆積岩地山に掘削された立坑周辺の長期岩盤挙動評価”, 資源・素材 2005 (室蘭) 企画発表・一般発表(A)(B)講演資料, pp.77-78, (2005).
- 223) 佐藤, 玉井, 見掛, 他, “瑞浪超深地層研究所: 一般部本格掘削に着手”, 平成 17 年度資源・素材学会秋季大会, P-6, (2005).
- 224) 黒田, 佐藤, 玉井, 他, “瑞浪超深地層研究所: 設計・施工・維持管理の工学技術開発”, 平成 17 年度資源・素材学会秋季大会, P-7, (2005).
- 225) 相馬, 及川, 山口, 他, “AE/DRA 法による初期応力計測と採取からの経過時間の及ぼす影響－AE 法－”, 資源・素材学会春季大会講演集 2005 年 (I) 資源編, pp.151-152, (2005).

- 226) 及川, 相馬, 山口, 他, “AE/DRA 法による初期応力計測と採取からの経過時間の及ぼす影響—DRA 法—”, 資源・素材学会春季大会講演集 2005 年 (I) 資源編, pp.153-154, (2005).
- 227) 久慈, 佐藤, 見掛, 他, “立坑掘削時の岩盤分類法の評価”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.185-186, (2005).
- 228) 尾上, 三枝, 澤田, “断層の水理特性に着目した地下水流動解析—東濃地域を例として—”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1291-1292, (2005).
- 229) 中間, 佐藤, 加藤, “大深度ボーリング孔における応力解放法による初期応力測定”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.973-974, (2005).
- 230) 本島, 井尻, 大津, 他, “突発湧水に対するリスク評価手法の構築—瑞浪超深地層研究所立坑を例として—”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1265-1266, (2005).
- 231) 下野, 本島, 井尻, 他, “割れ目系岩盤における地下施設建設リスク評価手法の開発”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1829-1830, (2005).
- 232) 今津, 佐藤, 見掛, 他, “瑞浪超深地層研究所立坑における湧水量計測とそのフィードバック方法”, 第 40 回地盤工学研究発表会, pp.1839-1840, (2005).
- 233) 松井, 山本, 杉山, 他, “新第三紀堆積岩を対象とした大深度における初期応力測定”, 第 40 回地盤工学研究発表会, (2005).
- 234) 操上, 竹内, 瀬尾, 他, “堆積岩中の塩水系地下水のモデルの構築”, 第 40 回地盤工学研究発表会, (2005).
- 235) 丹生屋, 松井, 山本, 他, “孔内載荷試験による深部堆積岩の変形特性評価”, 第 40 回地盤工学研究発表会, (2005).
- 236) 鶴田, 天野, 持田, 他, “3D レーザースキャナを用いた地質・地質構造の把握と施工情報への活用”, 日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会, pp.263-266, (2005).
- 237) 久慈, 佐藤, 見掛, 他, “瑞浪超深地層研究所建設の現状と立坑掘削に置ける岩盤分類法について”, 日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会, P27, (2005).
- 238) 弥富, 古江, 岩月, “長期観測システムを用いた立坑掘削に伴う地下水水質・水圧の変化について”, 日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会, pp.435-438, (2005).
- 239) 兵動, 大賀, 國丸, 他, “溶存メタンセンサーによる原位置メタン量測定法に関する研究—センサー基本性能確認のための室内試験—”, 日本応用地質学会平成 17 年度研究発表会, (2005).
- 240) 丸山, 小島, 大谷, “ボーリングコアを利用した土岐花崗岩の割れ目の方位・特徴の解析”, 日本応用地質学会中部支部平成 16 年度支部研究発表会, pp.5-10, (2005).
- 241) 水野, 岩月, “方解石中の希土類元素を用いた地下水の化学的環境の推察”, 日本地球化学会年会, pp.343, (2005).
- 242) 水野, 岩月, “深部地質環境の長期安定性に関する解析例”, 第 15 回環境地質学シンポジウム論文集, pp.51-54, (2005).
- 243) 本島, 井尻, 大津, 他, “地質環境調査の進展に伴う情報量と立坑掘削時の突発湧水リスクの関係について—瑞浪超深地層研究所立坑を例として—”, 土木学会 第 60 回年次学術講演会, 6-315, pp.629-630, (2005).
- 244) 下茂, 文村, 三枝, 他, “水圧観測値を用いた地下水流動モデルのキャリブレーションに関する検討”, 土木学会第 60 回年次学術講演会, 3-327, pp.653-654, (2005).
- 245) 下野, 本島, 井尻, 他, “花崗岩地域における地下施設建設時のリスクマネジメント手法の開発”, 土木学会第 60 回年次学術講演会, (2005).
- 246) 操上, 竹内, 瀬尾, “幌延地域の新第三紀～第四紀堆積岩の水理特性”, 土木学会第 60 回年次学術講演会, 2005 年 9 月, 東京, (2005).
- 247) 丹生屋, 松井, 山本, 他, “新第三紀珪質岩の変形特性に関する原位置及び室内試験結果の比較”, 土木学会第 60 回年次学術講演会, (2005).
- 248) 瀬尾, 竹内, 操上, “幌延深地層研究計画における地下水涵養量推定のための調査の現状”, 土木学会第 60 回年次学術講演会, (2005).
- 249) 山本, 松井, 田子, 他, “珪質岩に対する AE 法による初期地圧測定の適用性に関する検討”, 土木学会第 60 回年次学術講演会, 2005 年 9 月, 東京, (2005).
- 250) 白石, 田中, 松岡, 他, “受動的な地震波観測による地下のイメージング (1)”, 物理探査学会第 113 回学術講演会, pp.18-21, (2005).
- 251) 李, 松岡, 石垣, “IP 変換による 3 次元 VSP イメージングの基礎的検討”, 物理探査学会第 112 回学術講演会論文集, pp.44, (2005).

- 252) 長谷川, 松岡, “磁気異常の「静穏域」における空中磁気探査の適用例”, 物理探査学会第 112 回学術講演会, pp.256, (2005).
- 253) 佐藤, 見掛, 延藤, 他, “瑞浪超深地層研究所における立坑掘削時の計測工について, 一下部工(堆積岩部)における計測結果”, 日本原子力学会第 21 回バックエンド部会夏期セミナー, (2005).
- 254) 國丸, 中山, “H17 取りまとめ分冊 1: 堆積岩を対象とした調査研究および工学技術の基礎の開発”, 日本原子力学会第 21 回バックエンド部会夏期セミナー, (2005).
- 255) 竹内, 佐藤, 岩月, 他, “瑞浪超深地層研究所における第 2, 3 段階調査計画の概要”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, B05, pp.5, (2006).
- 256) 横溝, 西嶋, 高木, 他, “方解石中の希土類元素を用いた地下水の化学的環境の推察”, 日本地質学会第 112 年学術大会, pp.256, (2005).
- 257) 石井, 安江, 舟木, 他, “北海道北部, 幌延地域の第三紀珪質岩中の断層記載—断層の地質学的特徴と形成史—”, 日本地質学会第 112 年学術大会, (2005).
- 258) 中田, 田中, 石井, 他, “幌延地域に分布する球状シリカに充填された珪質頁岩”, 日本地質学会第 112 年学術大会, (2005).
- 259) 國丸, 山本, “地下水の地球化学的解析およびモデル化に関する研究—幌延深地層研究計画を例として—”, 日本地球化学会年会, (2005).
- 260) 丹生屋, 水戸, 青木, 他, “新第三紀珪質岩における原位置 AE 計測に関する基礎的検討”, 第 15 回トンネル工学研究発表会, (2005).
- 261) 瀬尾, 久保田, 小林, “北海道北部における積雪期の蒸発散量の観測”, 2005 年度日本雪氷学会全国大会, (2005).
- 262) 瀬尾, 久保田, 小林, “北海道北部における積雪重量計を用いた積雪相当水量の観測”, 2005 年度日本雪氷学会全国大会, (2005).
- 263) 高橋, 新里, 石井, 他, “北海道北部幌延地域の地球化学的特徴による侵食量の推定”, 第 23 回有機地球化学シンポジウム, (2005).

## ニ. 地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) 大上, 田力, 安江, 他, “複数のオールコアボーリングにもとづく濃尾平野沖積層の庄内川に沿うプログラデーション”, 日本地理学会 2008 年春季学術大会, (2008).
- 2) 丹羽, 田力, 安江, 他, “ボーリングコア解析に基づく後期更新世以降の濃尾平野西部の地形形成”, 日本地理学会 2008 年春季学術大会, (2008).
- 3) 北沢, 重野, 小板橋, 他, “小規模デルタの形成過程における暴浪および洪水流の役割” 日本堆積学会 2008 年例会, O9, (2008).
- 4) 野原, 三輪, 島田, “東濃地域月吉断層の地下構造—花崗岩中の逆断層の特徴は何か—”, 北淡活断層シンポジウム 2008, (2008).
- 5) 山田, 花室, 田上, 他, “日本原子力研究開発機構東濃地科学研究ユニットにおける(U-Th)/He 年代測定システムの現状報告”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, G123-P008, (2007).
- 6) ニノ宮, 根木, 梅田, 他, “深部比抵抗構造から推定される東北日本、朝日山地下のマグマ活動と周辺地域のテクトニクス”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, V157-P020, (2007).
- 7) 花室, 梅田, 富山, “紀伊半島南部地域における熱ルミネッセンス法による変質年代の測定”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, K130-003, (2007).
- 8) 梅田, 浅森, ニノ宮, 他, “非火山性温泉の熱源について—地球物理, 地球化学データからの制約—”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, G121-004, (2007).
- 9) 丹羽, 高田, 木下, “横ずれ断層活動に伴う歪—応力変化とそれに伴う地表の変形の特徴—徳島県の中央構造線活断層系における例—”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, T155-P004, (2007).
- 10) 田力, 高田, 野原, “火砕流堆積物の下刻速度と火砕流の堆積が気候変動に規制された段丘形成へ及ぼす影響”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, Q139-P015, (2007).
- 11) 野原, 丹羽, 安江, 他, “地下深部で活断層の破砕帯を同定する調査手法の検討”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, S141-P023, (2007).
- 12) 島田, 丹羽, 野原, “活断層の水素ガス放出の破砕帯構造依存性: 跡津川断層西部の例”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, G121-002, (2007).
- 13) 齋藤, 浅森, 梅田, “雲仙火山下の熱水活動シミュレーション”, 日本地球惑星科学連合 2007 年

- 大会, G121-P010, (2007).
- 14) 新里, 安江, 重野, 他, “北海道北部, 幌延地域における地形変化について”, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, G121-P011, (2007).
  - 15) 田力, 高田, 古澤, 他, “利根川支流, 鏑川流域の河成段丘の形成時期”, 日本地理学会 2007 年秋季学術大会, (2007).
  - 16) 鈴木, 西澤, 大脇, 他, “JAEA-AMS-TONO の状況”, 第 20 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, (2007).
  - 17) 齋藤, 鈴木, 西澤, “測定条件が pMC 及び  $\delta^{13}C$  測定値に与える影響の検討”, 第 20 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, (2007).
  - 18) 石丸, 齋藤, 鈴木, “JAEA ペレトロン年代測定装置の現状と研究活用の例”, 第 1 回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会, (2007).
  - 19) 島田, 丹羽, 黒澤, 他, “断層露頭での水素ガス測定法の基礎的検討と測定例”, 日本地質学会第 114 年学術大会, O-131, (2007).
  - 20) 梅田, “火山・地熱活動の将来予測: 非火山地域の例”, 日本地質学会第 114 年学術大会, S-103, (2007).
  - 21) 丹羽, 水落, 棚瀬, “岐阜県東部, 阿寺断層の周辺に発達する NE-SW 系断層の特徴”, 日本地質学会第 114 年学術大会, P-121, (2007).
  - 22) 安江, 三箇, 野上, 他, “地質分布を考慮した河床縦断形のシミュレーション”, 日本地質学会第 114 年学術大会, P-207, (2007).
  - 23) 新里, “北海道北部, 幌延地域を事例とした地質環境の長期的変遷: 将来予測における考え方”, 日本地質学会第 114 年学術大会, S-107, (2007).
  - 24) 新里, 安江, “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降のテクトニクス: 沈降史解析による検討”, 日本地質学会構造地質部会 討論会「日本海沿岸褶曲・断層帯の形成・成長と地震活動」, P-10, (2007).
  - 25) 安江, 新里, “北海道北部, 幌延地域における後期鮮新世以降の堆積物の年代と古地理復元”, 日本地質学会構造地質部会 討論会「日本海沿岸褶曲・断層帯の形成・成長と地震活動」, P-14, (2007).
  - 26) 根木, 梅田, 松尾, 他, “MT 法データのロバスト・スムージング手法の開発とスタッキングへの応用”, 物理探査学会第 117 回(平成 19 年度秋季)学術講演会, (2007).
  - 27) 根木, 梅田, 浅森, “MT 法スペクトル・データの効果的なスタッキング方法”, 物理探査学会第 116 回(平成 19 年度春季)学術講演会, (2007).
  - 28) 河口, 三枝, 丹羽, 他, “岐阜県東濃地域における地殻変動および気候変動を考慮した広域地下水流動解析”, 日本地下水学会 2007 年秋季講演会, (2007).
  - 29) 花室, 二ノ宮, 梅田, 紀伊半島南部地域における地殻・マントル構造と温泉ガスの希ガス同位体比”, 日本地質学会構造地質部会 2006 年度例会, (2007).
  - 30) 鎌滝, 藤原, “浅海生物を指標とした津波堆積物の認定”, 日本古生物学会第 156 回例会, (2007).
  - 31) 野原, 安江, 中田, “顕著な地表地震断層を伴わない活断層をどのようにみつけるか?”, 北淡活断層シンポジウム 2007, p.79-82, (2007).
  - 32) 及川, 梅田, 松崎, “四国西部, 柏島地域の花崗岩類の冷却史—中新世における西南日本外帯の局所の上昇—”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G147-P005, (2006).
  - 33) 瀬尾, 新里, 操上, 他, “浮流土砂流量に基づく侵食量の予測手法の検討 —北海道北部幌延町における調査事例—”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P001, (2006).
  - 34) 高橋, 新里, 安江, 他, “北海道北部幌延町新第三紀珪質岩の地球化学的特徴からみた侵食量および隆起時期 (2)”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P002, (2006).
  - 35) 丹羽, 島田, 野原, 他, “断層がステップする部分における断層破碎帯の分布と産状—岐阜県飛騨市の跡津川断層西部の例—”, 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, G150-P003, (2006).
  - 36) 梅田, 浅森, 根木, 他, “東北日本, 飯豊山地下の深部比抵抗構造: 非火山地帯におけるマグマの存在”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P004, (2006).
  - 37) 新里, 重野, 清水, “北海道周辺地域における歴史地震について—アイヌの口碑伝説と歴史記録に基づく検討—”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, G150-P006, (2006).
  - 38) 金沢, 浅森, 梅田, 他, “日本列島における火山・温泉ガスのヘリウム同位体比”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, H121-P002, (2006).
  - 39) 島田, 丹羽, 野原, 他, “活断層露頭で得られた水素ガス濃度の未固結断層岩方位に対応する



- 変化”, 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, S107-002, (2006).
- 40) 野原, 中田, 島田, 他, “比較的規模の大きな地震はどのような場所で生じてきたかー被害地震, 地質・地殻構造などからの総合的な解析の試みー”, 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, S115-P001, (2006).
  - 41) 浅森, 梅田, 根木, 他, “飯豊山地下の地震波速度及び比抵抗構造”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, S118-007, (2006).
  - 42) 丹羽, 野原, 水落, 他, “岐阜県中津川市川上の阿寺断層露頭における断層破砕帯の構造”, 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, T146-P006, (2006).
  - 43) 安江, 新里, 千葉, “地中レーダ探査による極浅部の地質構造調査ー北海道北部, 大曲ー豊富断層の例ー”, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, O106-P007, (2006).
  - 44) 丹羽, 水落, “棚瀬地下数 100m~1km における断層破砕帯の発達過程ー岐阜県東部の阿寺断層における例ー”, 日本地質学会第 113 年学術大会, O-125, (2006).
  - 45) 山田, “東濃地科学センターにおける (U-Th)/He 年代測定システムの現状”, 第 31 回フィッシュン・トラック研究会, (2006).
  - 46) 笹尾, 檀原, “瀬戸内区東部に分布する中新統瑞浪・岩村・可児層群のフィッシュン・トラック年代”, 第 31 回フィッシュン・トラック研究会, (2006).
  - 47) 笹尾, 水野, “東濃ウラン鉱床及びその周辺の地球化学”, 第 31 回フィッシュン・トラック研究会, (2006).
  - 48) 森谷, 新里, 北村, 他, “マルチプレット・クラスタリング解析による北海道北部幌延地域の微小地震解析”, 物理探査学会第 115 回 (平成 18 年度秋季) 学術講演会, 物理探査学会第 115 回学術講演会論文集 (2006), pp.46-49, (2006).
  - 49) 高橋, 新里, 安江, 他, “北海道北部幌延地域に分布する珪質岩の地球化学的特徴による侵食量の推定”, 第 24 回有機地球化学シンポジウム (2006 年松本シンポジウム), (2006).
  - 50) 安江, 新里, 千葉, “地中レーダ探査による沖積・段丘面下の地質構造調査”, 日本地質学会第 113 年年会, (2006).
  - 51) 笹尾, 岩月, 天野, “東濃ウラン鉱床でのナチュラルアナログ研究からみた古水理地質研究の役割”, 資源地質学会第 56 回年会講演会, (2006).
  - 52) 笹尾, 小室, “堆積学的に見た東濃ウラン鉱床の鉱床生成機構”, 資源地質学会第 56 回年会講演会, (2006).
  - 53) 野原, 中田, 鷺谷, 他, “地下の活断層の特徴の検討ー被害地震, 地質構造および地殻変動から推定される特徴ー”, 北淡活断層シンポジウム 2006 淡路島と世界の地震・活断層, 53-56, 2006 年 1 月, 兵庫, (2006).
  - 54) 藤原, 柳沢, 島本, 他, “仙台市南西部の名取川河床に分布する中新一鮮新統の堆積サイクルと相対的海水準変動”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G015-006, (2005).
  - 55) 浅森, 梅田, “地下深部のマグマ・高温流体等の地球物理学的調査技術”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-005, (2005).
  - 56) Martin, A. J., K. Umeda, “Modeling volcanic hazard assessments through Bayesian inference”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-006, (2005).
  - 57) 藤原, 平川, 入月, 他, “房総半島南西部館山平野から発見された関東地震津波堆積物とその堆積構造”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, J027-P023, (2005).
  - 58) 金沢, 高島, 富山, 他, “熱ルミネッセンス法による変質年代の測定ー紀伊半島南部の鉱床および変質帯ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, J030-005, (2005).
  - 59) 新里, 安江, 高橋, “幌延地域における地質環境の長期安定性研究ー地殻変動の特徴ー”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
  - 60) 安江, 新里, 石井, 他, “北海道北部, 幌延地域における鮮新世後半以降の地殻変動場の移動”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, (2005).
  - 61) 福井, 三宅, 及川, “岐阜県高原川, 神通川流域の本郷泥流の供給源ー構成岩石からの推定ー”, 日本地質学会第 112 年学術大会, 155, (2005).
  - 62) 島田, 田中, 斎藤, 他, “跡津川断層掘削コアに認められた断層破砕帯と断層ガス分布”, 日本地質学会第 112 年学術大会, 258, (2005).
  - 63) 笹尾, 山下, 檀原, “瀬戸内中新統, 瑞浪層群の鉱物組成”, 日本地質学会第 112 年学術大会, (2005).
  - 64) 新里, 安江, “幌延地域における水平方向の地殻歪速度の推定”, 日本地質学会第 112 年学術



- 大会, (2005).
- 65) 安江, 石井, 古澤, “北海道北部, サロベツ背斜周辺における海成段丘の形成時期”, 日本地質学会第 112 年学術大会, (2005).
  - 66) 根木, 松尾, 横井, 他, “MT 法データの信頼性評価に関する一考察”, 物理探査学会第 112 回学術講演会, 112, 223-226, (2005).
  - 67) 及川, “活発化する長野盆地西縁断層帯ー長野市富士ノ塔山山頂付近の巨礫を指標としてー”, 日本第四紀学会, 35, 24-25, (2005).
  - 68) 梅田, “サイクル機構における「火山活動に関する研究」”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, バックエンド部会総合講演「火山活動の長期予測に関わる最新の研究」における招待講演, (2005).
  - 69) 天野, 笹尾, 岩月, “地下深部環境における酸化還元緩衝能の評価(その 1)ー地下微生物の酸化還元活性とそのメカニズムについてー”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, pp.26-29, (2005).
  - 70) 笹尾, 小室, “わが国の地質環境における放射性核種の移行に関するナチュラルアナログ研究”, 資源地質学会第 55 回年会講演会, (2005).
  - 71) 笹尾, 小室, 中田, “東濃ウラン鉱床におけるウラン鉱石の酸化”, 資源地質学会第 55 回年会講演会, (2005).
  - 72) 笹尾, 中田, 小室, “東濃ウラン鉱床周囲の瑞浪層群の重鉱物組成とウランの供給源”, 資源地質学会第 55 回年会講演会, (2005).
  - 73) 安江, 新里, 津久井, “北海道北部における GPS 観測と基線長解析”, 日本地震学会 2005 年秋季大会, (2005).

Web 公開 :

- 1) 緩衝材基本特性データベース : <http://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/>
- 2) 緩衝材基本特性データベース (英語版) : [http://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/index\\_e.jsp](http://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/index_e.jsp)
- 3) 核種拡散データベース : <http://migrationdb.jaea.go.jp/>
- 4) 日本の坑井温度プロファイルデータベース :  
<http://www.jaea.go.jp/04/tono/siryu/welltempdb.html>
- 5) 温泉地化学データベース : <http://www.jaea.go.jp/04/tono/siryu/dbghs/dbghs.html>

## 重点安全研究成果調査票（中間報告（平成 17～19 年度））

### 【研究分野／項目】

IV. 放射性廃棄物・廃止措置分野／高 $\beta$   $\gamma$  廃棄物、TRU 廃棄物、ウラン廃棄物等の処理・処分

【分類番号】 4-2-1

### 【研究課題名(Title)】

低レベル放射性廃棄物の処分に関する研究  
Research on Disposal of Low-level Radioactive Waste

### 【研究代表者】

【所属】 安全研究センター 廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ  
【氏名】 中山 真一（なかやま しんいち）  
【連絡先】 Tel : 81-6001 E-mail : nakayama.shinichi@jaea.go.jp  
【所属】 地層処分研究開発部門 TRU 廃棄物処分研究グループ  
【氏名】 亀井 玄人（かめい げんと）  
【連絡先】 Tel : 82-67700 E-mail : kamei.gento@jaea.go.jp

### 【研究目的】

TRU 廃棄物およびウラン廃棄物の処分については、廃棄物の特性及び処分方法に応じた安全規制の基本的考え方の策定に役立てるため、評価シナリオの設定、固化体・人工バリア・天然バリアの機能評価等を含めた安全評価手法を開発・整備する。また、処分方法ごとの濃度上限値設定に必要な解析を行う。高 $\beta\gamma$  廃棄物（炉内構造物等廃棄物）については、余裕深度処分に関する規制基準の検討のために安全評価手法を開発・整備する。

### 【研究内容】

- イ. 高 $\beta\gamma$  廃棄物（炉内構造物等廃棄物）の処分に関する研究  
余裕深度処分に関して、安全評価シナリオ、安全評価モデル等を検討し、安全評価解析を行う。
- ロ. TRU 廃棄物の処分に関する研究  
クリアランス及び浅地中処分・余裕深度処分のための埋設濃度上限値を試算する。また、長期バリア性能評価および安全評価手法を開発する。また、高レベル放射性廃棄物ガラス固化体との併置処分の安全性に関する評価手法の整備を行う。【保安院受託(H17～H18)、JNES 受託(H19)】  
地層処分の安全性に関連する研究として、充填材や緩衝材など人工バリアの長期挙動に関わるデータ及び核種移行データの取得、整備を進めるとともに、評価モデルの改良を進め、信頼性の高い線量評価を行う。【保安院受託(H17～H18)、JNES 受託(H19)の一部】  
さらに、返還低レベル廃棄物固化体に関しては特性評価研究を行う。【保安院受託(H18)の一部を含む】
- ハ. ウラン廃棄物の処分に関する研究  
クリアランス及び浅地中処分・余裕深度処分のための埋設濃度上限値を試算する。また、長期バリア性能評価および安全評価手法を開発する。【保安院受託(H17～H18)、JNES 受託(H19)】

### 【達成目標】

- 廃棄物処分の安全評価手法の開発では、
- 高 $\beta\gamma$  廃棄物（炉内構造物等廃棄物）処分の安全評価解析
  - TRU 廃棄物処分、ウラン廃棄物処分の安全評価手法の整備
- 天然バリア、人工バリアの性能評価研究では、
- TRU 廃棄物、ウラン廃棄物の処分施設におけるバリア機能の性能評価

### 【成果の活用方策】

- 高 $\beta\gamma$  廃棄物（炉内構造物等廃棄物）の処分施設の安全審査指針の策定にあたり研究成果を活用する。
- TRU 廃棄物処分やウラン廃棄物処分の基本的考え方、濃度上限値、安全審査指針の検討に活

用する。その際には、関連する炉内構造物等廃棄物に関する研究成果も活用する。

### 【使用主要施設】

東海研究開発センター 原子力科学研究所 燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF)  
東海研究開発センター 原子力科学研究所 環境シミュレーション試験棟 (STEM)  
東海研究開発センター 原子力科学研究所 廃棄物安全試験施設 (WASTEF)  
東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所 地層処分基盤研究施設 (ENTRY)

### 【研究の進め方】

TRU 廃棄物及びウラン廃棄物に関するクリアランス及び処分方法ごとの濃度上限値設定に必要な評価手法の整備に関する研究を、原子力安全・保安院からの特受託事業において実施する。学識経験者及び民間企業等の関係機関の専門家を加えた専門部会を機構内に設置し、年2回の予定で研究計画、研究成果を審議し、審議結果を経て検討および取りまとめを実施する。余裕深度処分及び返還低レベル廃棄物固化体については、一部特受託事業として行う。

処分の安全評価に資する基礎的研究について、「連携重点研究制度」において大学及び民間企業と産学官連携の共同研究を、また金沢大学と共同研究を行う。さらに北海道大学に研究を委託する。

機構内ではバックエンド推進部門と情報交換を行う。また、地層処分に関しては、(独)産業技術総合研究所及び(独)原子力安全基盤機構との研究協力協定に基づいた連携を強化するとともに、研究開発の全体基本計画の策定について(財)電力中央研究所、(財)原子力環境整備推進・資金管理センター等と協力を図る。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名 (実施機関)]

- 連携重点研究：放射性廃棄物処分研究のためのネットワーク (東京大学)
- 低アルカリ性セメント硬化体の間隙構造とイオンの移動に関する研究 (金沢大学)

[受託研究名 (委託元)]

- 放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査 (保安院受託(H17~H18)、JNES 受託(H19))

[委託研究名 (委託機関)]

スメクタイトのアルカリ変質挙動の速度論的研究 (II) (北海道大学)

### 【研究実施内容及び成果 (平成 17~19 年度)】

イ. 高  $B_Y$  廃棄物 (炉内構造物等廃棄物) の処分に関する研究

余裕深度処分において、隆起・浸食の繰り返しにより、長期的に放射性廃棄物が地表付近まで近接し、被ばくをもたらすシナリオ (隆起・浸食シナリオ) が考えられる。余裕深度処分の対象である炉内構造物等廃棄物の核種インベントリを基に、隆起・浸食シナリオの処分深度および隆起浸食速度に対する感度解析を実施し、地下水移行シナリオとの線量の比較・検討も含め、隆起・浸食事象による影響を概略的に取りまとめた。また、処分場跡地におけるボーリングが処分施設に到達することを想定したシナリオ (ボーリングシナリオ) に対する被ばく線量解析を行い、余裕深度処分におけるボーリングシナリオの線量影響を定量的に示した。

ロ. TRU 廃棄物の処分に関する研究

減容性及び均質性が高く、放射性核種の閉じ込め性能に優れた TRU 廃棄物固化の有力な処理法として熔融固化がある。セメントが共存する実際の処分システムで想定される熔融固化体 (スラグ) の溶解挙動を解明し、熔融固化体埋設処分の安全評価の信頼性を高めるための基礎的情報を得た (図 1)。また、返還低レベル廃棄物 (ガラス固化体) 処分の安全評価におけるソースターム評価に必要なデータ取得手法を整備するための調査等を実施した。米国および英国で開発されている低レベルガラス固化体の組成を調査した結果、高レベルガラス固化体と同様  $SiO_2$  が主成分であるものの、高レベルガラス固化体に比べ Na、Al の含有率が高く、 $SiO_2$  と類似した溶解挙動を示す高レベルガラス固化体とは異なる挙動を示すことが予想された。

米国で標準化された方法を踏襲し、3種類の低レベルガラス固化体模擬試料 (LRM, SBW, LAWABP1) の粉体を  $90^{\circ}C$  の脱イオン水に溶解させる試験を行った (図 2)。規格化質量損失 (NL,  $g/m^2$ ) は3種類のガラス間で違いが見られた。Si の飽和濃度にも違いが見られ、これは Si 濃度が  $SiO_2$

の飽和濃度のみによって制限されているわけではないことを示唆しており、予想を裏付ける結果である。【一部保安院受託】

TRU 廃棄物のトレンチ処分、ピット処分および余裕深度処分に対する濃度上限値の検討では、半減期、線量換算係数、農畜産物への移行係数などを最新の知見に基づいた値を採用することとし、各処分方法に対する基準線量相当濃度を算出した。また、各処分で想定される廃棄物中の平均放射能濃度 (D) と基準線量相当濃度 (C) により計算される相対重要度 (D/C) の検討を行い、重要核種を抽出した (表 1)。

TRU 廃棄物及びウラン廃棄物を対象としたクリアランスレベル評価コードシステム PASCLR ver.2 を開発し、コードマニュアルとして公開した。さらに、TRU 廃棄物に関しては、原子力安全委員会の「再評価報告書」におけるクリアランスレベル算出の考え方を基本としてクリアランスレベルを算出し、IAEA RS-G-1.7 等の国際的な検討との整合性を図りつつ、クリアランスレベルの値を提唱した。TRU 廃棄物の地層処分に対する安全評価手法の整備として、ガラス固化体では見られない TRU 廃棄物処分特有の現象としてのセメント系材料の多用に着目し、セメントに起因する高アルカリ性地下水の処分システム領域への広がりに関する影響を評価するためのモデル/コード開発を進めるとともに、TRU 廃棄物処分施設から溶出する高アルカリ性地下水の広がりに対する岩盤の鉱物組成の違いの影響を感度解析により把握した。【保安院受託】

TRU 廃棄物の地層処分については、処分の信頼性向上及び合理化を含めた詳細評価に向けて、合理的に研究が進められるように(財)電力中央研究所等関係機関と協力して全体基本計画を作成した。また、TRU 廃棄物処分技術検討書の英語版を作成し、ウェブ公開を行なった。全体基本計画に基づき、セメント系材料とベントナイトの相互作用に関わるデータとして、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いてセメント材料による高アルカリ性条件におけるスメクタイトの溶解速度データの取得を実施した。またセメント水和物と海水との反応による pH 上昇機構の解明を行なった。硝酸イオンの化学的変遷に関しては、脱窒菌による硝酸イオンの還元反応速度データを取得した。核種移行データの取得・整備として、廃棄体に含まれる硝酸イオンのアンモニアへの変遷を考慮して核種の溶解度に及ぼす影響を調査した。アンモニアとの錯体形成が強いと想定される鉛についてアルカリ溶液 (pH12) において溶解度試験を実施し、鉛のアンミン錯体が溶解度に大きく影響しないことが確認された。また、普通ポルトランドセメント硬化体や低アルカリ性セメント (フライアッシュ高含有シリカフェームセメント) 硬化体中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数の取得を実施し、セメント硬化体中での物質の移動に関わる知見の拡充を図った。

さらに、個別事象の影響度を調べるために第 2 次 TRU レポートの代替ケースの詳細条件の整理・設定を行なうとともに、包括的感度解析ツールのマニュアル整備を行った。

#### ハ. ウラン廃棄物の処分に関する研究

ウラン廃棄物についても同様に、最新の知見に基づいた値を採用し、浅地中トレンチ処分、コンクリートピット処分および余裕深度処分の各処分方式に対する濃度上限値を算出した。また、国際的なクリアランスレベルとの整合性の観点から、IAEA RS-G-1.7 に示された規制免除濃度 1Bq/g をクリアランスレベルと想定した場合の被ばく線量を決定論的手法及び確率論的手法による解析によって評価した。その結果、U-234、U-235 及び U-238 による被ばく線量が  $10 \mu \text{Sv/y}$  オーダーとなることを示した (図 3)。【保安院受託】

#### 【特記事項】

特になし

#### 【研究成果の発表状況】

##### 雑誌掲載論文：

- 1) 前田、馬場、堀田、水野、小澤、“セメント共存下でのスラグの溶解挙動”、日本原子力学会論文誌、4(4)、242-247 (2005)。
- 2) 前田、馬場、水野、寺門、喜多川、沼田、“セメント平衡水中におけるスラグの溶解挙動”、廃棄物学会論文誌 17、271-280 (2006)。
- 3) 上田、坂本、“合成吸着樹脂を用いた地下水有機物の採取と分析”、原子力バックエンド研究、vol.12(1&2)、p.31-39、2006。

- 4) 中山、長崎、“処分研究ネットワークへのいざない”、日本原子力学会誌、vol.48(3), p.202-203, 2006.
- 5) 中山、大江、長崎、藤原、“ベントナイトの間隙水物理化学と処分における微生物学を議論—連携重点研究「放射性廃棄物処分研究のためのネットワーク」第1回情報交換会より” 日本原子力学会誌、49, p.60, 2007.
- 6) 前田、水野、馬場、寺門、喜田川、沼田、“セメント平衡水中におけるスラグの溶解挙動”、廃棄物学会論文誌、vol.17, p.271-280, 2006.
- 7) 向井、田中、湯川、前田、Suryantoro、“放射性核種の地層中移行におけるコロイド影響評価手法に関する研究—コロイド単体の多孔質媒体中移行モデルの実験による検証—”、原子力バックエンド研究、vol.12(1&2), p.41-51, 2006.
- 8) T. Yamaguchi, S. Nakayama, S. Nagao, M. Kizaki, “Diffusive transport on neptunium and plutonium through compacted sand-bentonite mixtures under anaerobic conditions”, *Radiochimica Acta* 95, 115-125, 2007.
- 9) 本田、加藤、建石、今北、増田、加藤、西村、“アルカリ性条件における炭素鋼の腐食に伴う硝酸イオンの化学変遷挙動” 材料と環境 vol.55(10)p.458-465, (2006).
- 10) G.Kamei, S.Mitsui, K.Futakuchi, S.Hashimoto, S. and Y.Sakuramoto, ”Kinetics of long-term illitization of montmorillonite—a natural analogue of thermal alteration of bentonite in the radioactive waste disposal system.” *Jour. Physics and Chemistry of Solids*. 66, pp.612-614.(2005).
- 11) 黒田、亀井、電気事業連合会、日本原子力研究開発機構 “長半減期低発熱放射性廃棄物地層処分技術検討の現状と今後の取り組み” 原子力バックエンド研究 Vo.13, No.1 p.31-35.(2006).
- 12) Savage, D., Walker, C., Arthur, R.C., Rochellem, C., Takase, H. and Oda, C., ”Alteration of bentonite by hyperalkaline fluids: the role of secondary minerals”, *Physics & Chemistry of the Earth*, 32, 287-297, (2005).
- 13) 三原、松村、長坂、鳥居、“EPMAによるセメント硬化体のCl<sup>-</sup>の拡散係数と間隙構造の評価”、第29回コンクリート工学年次論文集(2007,印刷中)。
- 14) 藤田、根岸、大澤、本田、“硝酸塩がセメント水和物の溶脱挙動へ及ぼす影響”、セメント・コンクリート論文集、No.61、pp.262-269(2007)。

技術報告書：

- 15) 小澤、前田、水野、馬場、中山、堀田、“原子力施設の焼却灰の熔融固化に関する検討”、*JAEA-Technology* 2006-001 2006.
- 16) 田中、向井、中山、“腐植物質共存下における放射性核種の吸着移行挙動—地中移行現象のシミュレーション解析—”、連携重点研究ワークショップ「地下環境における放射性核種の移行に及ぼす溶存有機物の影響評価」、北大大学院地球環境科学研究所報告書、2007.
- 17) 武田、菅野、佐々木、水無瀬、木村、“ウラン及びTRU核種を含む放射性廃棄物に対するクリアランスレベル評価コードシステム PASCLR 第2版の開発”、*JAEA-Data/Code* 2006-003 (2006).
- 18) 渡邊、武田、木村、ウラン及びTRU廃棄物のクリアランスレベル評価のための外部被ばく線量換算係数、日本原子力研究開発機構 *JAEA-Data/Code* 2008-001、2008.
- 19) 佐々木、渡邊、武田、澤口、落合、木村、埋設処分における濃度上限値評価のための外部被ばく線量換算係数、日本原子力研究開発機構 *JAEA-Data/Code* 2008-003、2008.
- 20) 武田、「放射性物質として扱う必要のない物」の放射能レベルは？—クリアランスレベル評価コードシステムの開発—、日本原子力研究開発機構 未来を拓く原子力、2007.
- 21) 武田、渡邊、澤口、佐々木、落合、木村、TRU核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物のトレンチ処分に対する濃度上限値の評価、日本原子力研究開発機構 *JAEA-Research* 2008-044、2008.
- 22) 澤口、武田、佐々木、落合、渡邊、木村、TRU核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物のピット処分に対する濃度上限値の評価、日本原子力研究開発機構 *JAEA-Research* 2008-046、2008.
- 23) 武田、佐々木、澤口、落合、木村、TRU核種を含む放射性廃棄物及びウラン廃棄物の余裕深度処分に対する濃度上限値の評価、日本原子力研究開発機構 *JAEA-Research* 2008-045、2008.
- 24) JAEA and FEPC: “Second Progress Report on Research and Development for TRU Waste Disposal in Japan—Repository Design, Safety Assessment and Means of Implementation

- in the Generic Phase”, JAEA-Review 2007-010, FEPC TRU-TR2-2007-01(2007) ([http://www.jaea.go.jp/04/be/docu/tru\\_eng/tru-2e\\_index.htm](http://www.jaea.go.jp/04/be/docu/tru_eng/tru-2e_index.htm))
- 25) 亀井ほか：“TRU 廃棄物の処理・処分技術に関する研究開発 平成 18 年度報告”、JAEA-Research 2007-067 (2007)。
  - 26) 電気事業連合会、核燃料サイクル開発機構：TRU 廃棄物処分技術検討書-第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-、JNC TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR2-2005-02 (2005)。
  - 27) JAEA and FEPC: “Second Progress Report on Research and Development for TRU Waste Disposal in Japan –Repository Design, Safety Assessment and Means of Implementation in the Generic Phase- ”, JAEA-Review 2007-010, FEPC TRU-TR2-2007-01(2007) ([http://www.jaea.go.jp/04/be/docu/tru\\_eng/tru-2e\\_index.htm](http://www.jaea.go.jp/04/be/docu/tru_eng/tru-2e_index.htm))。
  - 28) 亀井, R.Alexander, J.A.T.Smellie:マカーリンナチュラルアナログプロジェクトの概要 –フェーズ I~III までの主な成果–JNC TN8400 2005-005 (2005)。
  - 29) 三原, “TRU 廃棄物処分システムの安全評価における核種移行データセット JAEA Review 2009-011 (2006)。
  - 30) 小田, 佐々木, Savage,D., Aurthur, R.C., 本田, 緩衝材の鉱物学的長期変遷シナリオ, JNC TN8400 2005-020(2005)。
  - 31) 佐々木, 本田, 小田, 緩衝材の鉱物学的変遷に対する二次鉱物の種類, 反応速度の影響評価, JNC TN8400 2005-024(2005)。
  - 32) Arthur, R.C., Sasamoto, H., Oda, C., Honda, A., Shibata, M., Yoshida, Y. and Yui, Mikazu. : Development of thermodynamic database for hyperalkaline, argillaceous systems, JNC TN8400 2005-010 (2005)。
  - 33) 加藤, 中西, 稲垣, 本田, 塚本, TRU 廃棄物処分システムに与える微生物影響について, JNC TN8400 2005-022, (2005)。
  - 34) 本田, 加藤, 建石, 今北, 増田, 加藤, 西村, 炭素鋼の腐食に伴う硝酸イオンの化学的変遷のモデル化, JNC TN8400 2005-023.(2005)。
  - 35) 市毛, 本田, アルカリ性水溶液中で変質させたベントナイトの膨潤試験, JNC TN8430 2005-003 (2005)。
  - 36) 伊藤, 三原, ベントナイト系材料の飽和透水係数の変遷評価式, JNC TN8400 2005-02 (2005)
  - 37) 増田, 加藤, 本田, 硝酸イオンの金属腐食反応及び微生物反応による化学的変遷挙動の評価, JNC TN8400 2005-022 (2005)。
  - 38) 宮本, 佐藤, 三原, ニッケルの溶解度に及ぼす塩化アンモニウム濃度の影響, JNC TN8400 2005-028(2005)。
  - 39) 柴田, 三原, 佐々木, 本田, アスファルト固化体に含有される TBP 等の核種の溶解度および溶存化学種への影響検討, JNC TN8400 2005-025 (2005)。
  - 40) 戸井田, 笹倉, 横関, 小林, 渡邊, 芦澤, 人工バリア材料の力学的物性取得試験, JNC TJ8400 2004-036 (2005)
  - 41) 本田, 須黒, 佐々木, 放射性ヨウ素の銅マトリックス固化体からの放出挙動評価, JNC TN8400 2004-029 (2005)。

#### 国際会議：

- 42) T. Tanaka, M. Mukai, S. Nakayama, “Sorption and migration of neptunium in porous sedimentary materials,” Proc. Int. Conf. GLOBAL2005 Nuclear Energy System for Future Generation and Global Sustainability (Tsukuba, Japan, October 9-13, 2005, CD ROM) (2005)。
- 43) T. Mizuno, T. Maeda, T. Banba, “Study on the barrier performance of molten solidified waste”, Proc. Int. Symp. NUCEF 2005, JAERI-Conf 2005-043 (2005)。
- 44) M. Mukai, M. Ueda, D. Inada, K. Yukawa, T. Maeda, Y. Iida, “Influences of groundwater chemistry on radionuclide migration in natural barrier - humic substances, highly alkaline conditions and colloids -”, Proc. Int. Symp. NUCEF 2005, JAERI-Conf 2005-043 (2005)。
- 45) T. Tanaka, M. Mukai, T. Banba, “Field tests on Ce transfer in natural loess environment”, Proc. of the International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, p.275-278 (2007)。
- 46) M. Mihara, R. Sasaki, G. Kamei “Development of radionuclides migration datasets of safety assessment for TRU waste disposal in Japan, Migration ’07.(2007)。
- 47) A.J.Martin, S.Kuroda, K.Morimoto, G.Kamei and M.Shiotsuki,” Key issues identified from

- project TRU-2 on the generic co-location concept of transuranic (TRU) waste and high-level radioactive waste (HLW) repositories in Japan, Proc. 11th International Conference on Environmental Remedation and Radioactive Waste Management ICEM2007.(2007).
- 48) X.Xia, G. Kamei, K.Iijima, M.Shibata, T. Ohnuki, N.Kozai, "Selenium sorption in a sedimentary rock/saline groundwater system and spectroscopic evidence." Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.932, pp.933-941(2006).
  - 49) A.J. Martin, G.Kamei,G., M.Shiotsuki, S.Kuroda,S. "Demonstrating feasible disposable concepts for TRU wastes in Japan –An overview of Project TRU-2" – Proc. Waste Management Symposium '07.No.7144, February 25-March 1, Tucson, AZ.(2006).
  - 50) M.Shiotsuki,S.Kuroda,T.Ohi,A.Honda,M.Mihara,F.Ono,T.Kozawa,M.Tsukamoto,H.Asano, R.Masuda, K.Morimoto,Y.Gunji" Progress in Japan's TRU waste disposal technologies in the generic research and development phase", International Conference on the safety of Radioactive Waste Disposal IAEA-CN-135/59 (2005).
  - 51) C.Oda, R.Sasaki, D.Savage, R.C.Arthur and A.Honda,"Alteration scenario for bentonite under hyperalkaline conditions with regard to mineral paragenetic uncertainty", Bridging Clays, 43rd Annual Meeting of the CMS-4eme Colloque du GFA (2006).
  - 52) C.Oda, R.Sasaki, H.Takase, D.Savage and A.Honda, "An analysis of the interaction between bentonite and hyperalkaline fluids with regard to mineral paragenetic uncertainty", International Workshop on Waste Management in Sapporo (2005).

口頭発表：

- 53) 前田、水野、小澤、馬場、堀田、“溶液中でのスラグの飽和度に関する検討”、日本原子力学会 2005 年秋の大会、八戸 (2005) .
- 54) 水野、小澤、前田、中山、馬場、堀田、“放射化金属に含まれる C-14 に関する処分安全評価のための研究”、日本原子力学会バックエンド部会夏期セミナーポスター発表、平成 17 年 7 月 28, 29 日、山形 (2005) .
- 55) 山下・田中・足立、“ガラスビーズ充填カラムを通過するフミン酸のコロイド的移行特性：フミン酸分子量、共存イオン種、イオン強度および pH の影響”、農業土木学会、平成 18 年 8 月.
- 56) 山下・田中・足立、“ガラスビーズ充填カラムを通過するフミン酸の流出特性に対する溶液化学的条件の影響”、農業土木学会、平成 18 年 8 月.
- 57) 木村、武田、佐々木、落合、“TRU 廃棄物のクリアランスレベルの検討”、日本原子力学会 2006 年秋の大会.
- 58) 原子力機構 安全研究センター 廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ、“R I ・研究所等廃棄物の安全解析”、原子力安全委員会「安全研究年次計画 (平成 13 年度～平成 17 年度) の総合評価ヒアリング, 2006 年 12 月 21 日, (東京) .
- 59) 原子力機構 安全研究センター、“TRU 廃棄物埋設処分の濃度上限値試算”、原子力安全委員会廃棄物廃止措置専門部会 (第 10 回) 配布資料、平成 18 年 8 月.
- 60) 原子力機構 安全研究センター、“TRU 廃棄物処分における濃度上限値試算について”、原子力安全委員会廃棄物廃止措置専門部会 (第 11 回) 配布資料、平成 18 年 9 月.
- 61) 原子力機構 安全研究センター、“ウラン取扱施設を対象としたクリアランスの線量影響について”、原子力安全委員会廃棄物廃止措置専門部会 (第 14 回) 配布資料、平成 19 年 2 月.
- 62) 三原、松村、鳥居、長坂：“フライアッシュ高含有シリカフェームセメント硬化体の塩化物イオンの見掛けの拡散係数の評価”、第 61 回セメント技術大会講演要旨、pp.252-253、平成 19 年 6 月.
- 63) 亀井：TRU 廃棄物処分技術検討所 (第 2 次 TRU レポート) の概要と TRU 廃棄物の高レベル放射性廃棄物との併置処分について 第 8 回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会 (Sapporo Conference 2006) (2006)
- 64) 日本原子力研究開発機構、経済産業省資源エネルギー庁、原子力環境整備促進・資金管理センター、電気事業連合会 (発表者;亀井) “TRU 廃棄物地層処分の研究開発戦略” 地層処分計画を支える技術基盤の継続的な強化 ～国の地層処分基盤研究開発の成果と今後の展開～全電通ホール 平成 19 年 3 月 5 日 経済産業省資源エネルギー庁、日本原子力研究開発機構(2007)

受託事業報告書：

- 65) 原子力安全・保安院受託事業「平成 17 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書

- (2/2) [ウラン・TRU 廃棄物の基準整備に係る調査] 報告書、原子力機構、平成 18 年 3 月。
- 66) 原子力安全・保安院受託事業「平成 18 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査報告書 (2/2) [TRU・ウラン廃棄物処分対策調査]」報告書、日本原子力研究開発機構、平成 19 年 3 月。
- 67) 原子力安全基盤機構受託事業「平成 19 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査 研究報告書 付録 (3/3) [TRU・ウラン廃棄物処分対策調査]」、日本原子力研究開発機構、平成 20 年 3 月。

#### 【用語解説】

##### TRU 廃棄物

再処理施設および MOX 燃料加工施設から発生する燃料棒の部品、廃液、フィルターなど超ウラン核種を有意に含む工程廃棄物。放射能濃度により浅地中処分から地層処分に亘る。

##### ウラン廃棄物

ウラン濃縮・燃料加工施設から発生するウラン同位体で汚染された廃棄物。消耗品、スラッジ、廃器材などで、ウラン濃度は幅広く長寿命廃棄物。

##### 余裕深度処分

一般的な地下利用に余裕を持った深度、例えば 50～100 メートル程度の地中に埋設する処分であり、たとえば原子力発電所から発生する放射性廃棄物のうち、炉内構造物など比較的放射能レベルの高いものはこの方法で処分される。

##### クリアランス制度

原子力施設の解体などで発生する資材等のうち、人の健康への影響が無視できるほど放射能レベルが極めて低いものは、産業廃棄物として再利用または処分することができるようにするための制度。



図表

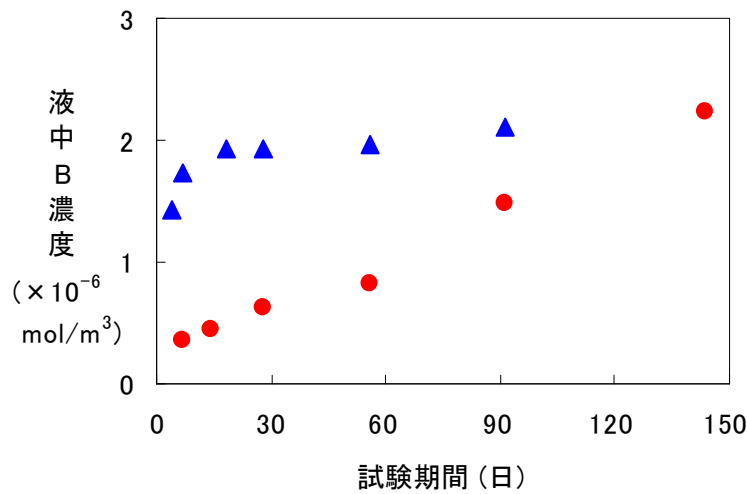


図1 セメントが共存する系と共存しない系でのスラグ溶解量の時間変化の比較

溶融固化体埋設処分の安全評価の信頼性を高めるために行った研究である。スラグの溶解挙動を示す B (ボロン) の液中濃度の時間変化を比較した。B は易溶性元素であり、またセメントや析出物に取り込まれることがないため、スラグの溶解量を示す指標元素として利用できる。セメントが共存しない系のスラグ溶解量は、試験初期ではセメントが共存する系でのスラグ溶解量と比較すると 5 倍以上大きな値であったが、試験が進み 30 日以降では一定の値 ( $2 \times 10^{-6} \text{ mol/m}^3$ ) になった。一方、セメントが共存する系のスラグ溶解量は、試験初期では小さかったものの、試験期間を通して一定の速度で溶解し続け、試験終了時にはセメントが共存しない系でのスラグ溶解量以上になることがわかった。

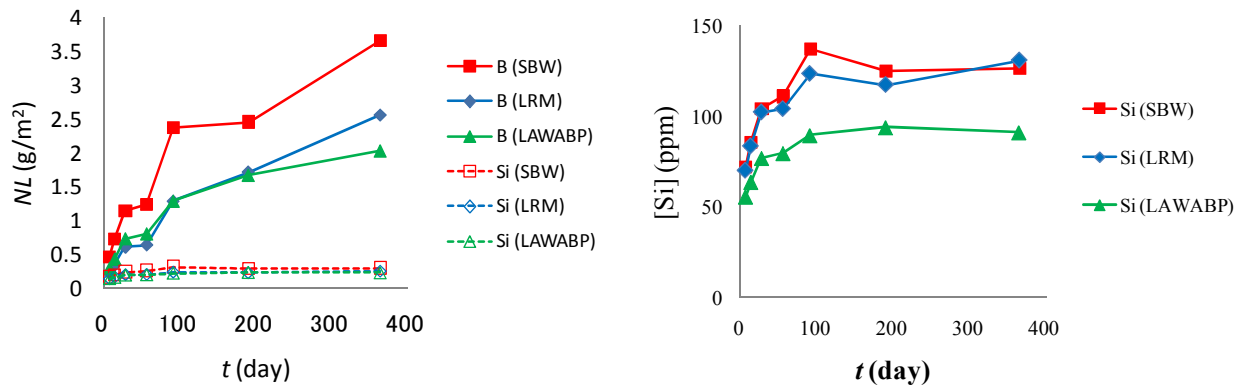


図2 3種類の低レベルガラス固化体模擬試料の規格化質量損失(左図)および浸出液中 Si 濃度(右図)

3種類の低レベルガラス固化体模擬試料 (LRM, SBW, LAWABP1) の粉体を 90℃の脱イオン水に溶解させる試験を行った。規格化質量損失(NL, g/m<sup>2</sup>)は3種類のガラス間で違いが見られた。Si の飽和濃度にも違いが見られ、これは Si 濃度が SiO<sub>2</sub> の飽和濃度のみによって制限されているわけではないことを示唆している。

表1 各埋設処分方式における相対重要度 (D/C) により抽出された重要核種

濃度上限値を導出するためには、安全評価上重要となる放射性核種を選定する必要がある。われわれは、従前の原子炉廃棄物と同じく、各処分方式で想定される廃棄物中の平均放射能濃度 (D) と基準線量相当濃度 (C: 以下の検討では 10 $\mu$ Sv/y) により計算される相対重要度 (D/C) に基づいて重要核種を抽出した。

	各埋設処分方式における対象廃棄物のD/C								
	トレンチ処分			ピット処分			余裕深度処分		
	①原子炉 廃棄物	②サイクル 廃棄物	①+②	①原子炉 廃棄物	②サイクル 廃棄物	①+②	①原子炉 廃棄物	②サイクル 廃棄物	①+②
1桁目	<u>Sr-90</u>	<u>Sr-90</u>	<u>Sr-90</u>	<u>C-14</u>	<u>Pu-241</u> Tc-99 Sr-90 Am-241 Pu-240	<u>Pu-241</u> Tc-99 Sr-90	<u>Cl-36</u>	<u>U-238</u> Pu-238	<u>Cl-36</u> U-238 Pu-238
2桁目	Cs-137	Cs-137	Cs-137	Pu-241 Pu-240 Sr-90 Tc-99 Pu-239	Cs-137 Pu-239 Pu-238 Nb-94 Ni-63 C-14 I-129	C-14 Pu-240 Am-241 Pu-239 Cs-137 Pu-238 Ni-63 Nb-94	C-14	U-241 I-129 Np-237 U-234 Am-241 C-14 U-235 Pu-239 Tc-99 Zr-93	Pu-241 I-129 Np-237 U-234 Am-241 C-14 U-235 Tc-99 Pu-239 Zr-93
3桁目	Eu-152 H-3 C-14 Co-60			Pu-238 Cs-137 Ni-63 Am-241 Ca-41 Co-60	Co-60 Cl-36 Np-237 Am-242m <b>U-238</b> Am-243 U-234 Sn-126 Cm-244 Mo-93	I-129 Co-60 Cl-36 <b>U-238</b> <b>Np-237</b> Am-242m Am-243 Ca-41 <b>U-234</b>	Tc-99	Sn-126 C-14 Pu-240 Am-242m	Sn-126 Am-242m

(注)下線の核種は、D/Cの値が最大であった核種を表す。また、太字・斜体の核種は、降雨浸透による核種流出の影響を想定した場合に、上位3桁の範囲から除外される核種を表す。

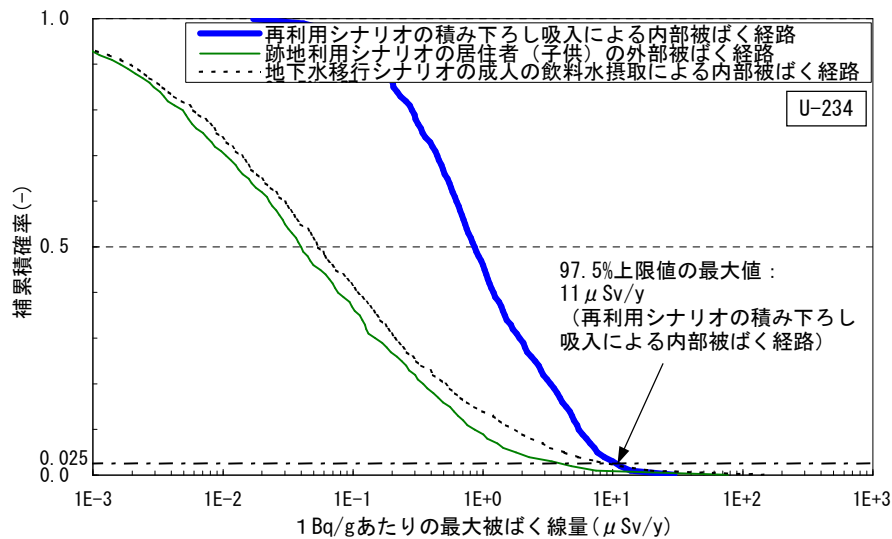


図3 U-234の1Bq/gに対する最大被ばく線量の確率論的解析結果

ウラン廃棄物のクリアランスに伴う被ばく線量評価において、評価パラメータの不確かさが線量に与える影響を定量的に検討するため、重要被ばく経路を対象としてモンテカルロ法による確率論的解析を実施した結果である。図は規制免除濃度 1Bq/g (IAEA RS-G-1.7) で U-234 がクリアランスされた場合の評価結果であり、95%信頼区間の最大 (97.5%上限値) の線量が 11 $\mu$ Sv/y であった。すなわち、パラメータ不確かさを考慮しても最大線量は 10 $\mu$ Sv/y オーダーである。U-235 及び U-238 についても同様の結果を示しており、ウラン廃棄物中の大部分を占める核種であるウラン同位体に対しては、パラメータ不確かさの影響を考慮した場合の最大線量が、10 $\mu$ Sv/y オーダーとなることが分かった。

## 重点安全研究成果調査票（中間報告（平成 17～19 年度））

### 【研究分野／項目】

IV. 放射性廃棄物・廃止措置分野／廃止措置技術

【分類番号】 4-3-1

### 【研究課題名(Title)】

廃止措置に係る被ばく評価に関する研究

Research on Safety Assessment on Decommissioning of Nuclear Facilities

### 【研究代表者】

【所属】 安全研究センター 廃棄物・廃止措置安全評価研究グループ

【氏名】 中山 真一（なかやま しんいち）

【連絡先】 Tel : 81-6001 E-mail : nakayama.shinichi@jaea.go.jp

### 【研究目的】

原子力施設の廃止措置の安全を確保するため安全評価が必要である。そのため、周辺公衆及び従事者の被ばく評価手法の整備を行う。また、クリアランス対象物検認及びサイト解放を含む廃止措置終了確認についての評価対象核種、組成比、濃度測定方法等の検認手法を検討する。

### 【研究内容】

イ. 原子炉施設の廃止措置の安全評価等に関する調査・研究

国内外原子炉施設の廃止措置情報の収集・分析、安全評価に適用されている計算モデル等の検討により、廃止措置技術基準の更なる充実を図るとともに、新たな廃止措置規制制度を踏まえた安全規制のあり方をまとめる。

廃止措置計画認可のための審査においてその評価内容及び結果が妥当であることを確認するためのツールとして、解体作業の平常時及び事故時の周辺公衆及び放射線業務従事者の被ばく線量を評価する計算コード及び評価用データを整備する。

原子炉施設の解体により発生するクリアランスレベル以下の金属及びコンクリートを確実に区分するための検認手法及び手順を検討する。さらに、サイト解放を含む廃止措置終了に係わる基準のあり方とその合理的な検認手法を調査・検討する。【保安院受託(H17～H18)、JNES 受託(H19)】

ロ. 核燃料サイクル施設の廃止措置の安全確保に関する調査

海外の核燃料サイクル施設の廃止措置先行事例、規制・基準、除染・解体技術状況等の廃止措置に係わる動向調査を行う。各サイクル施設の廃止措置の特徴を把握するため、代表的プラントを対象に施設特性、汚染状況、廃棄物等に関する調査を行う。

放射性物質の漏出・拡散を防止する観点から廃止措置を安全に実施するための課題を検討し、安全確保に係わる有効な情報をまとめる。また、廃止措置時の公衆の被ばくに係る安全評価手法をまとめる。【保安院受託(H17～H18)、JNES 受託(H19)】

### 【達成目標】

廃止措置に関する安全評価手法の開発として、

- 施設の解体に係る放射線業務従事者及び周辺公衆の安全評価手法の開発
- クリアランス対象物に対する検認手法の検討、測定・評価（検認）技術の開発
- サイト解放を含む廃止措置終了に係わる安全評価手法及び検認手法の検討、及び測定・評価（検認）技術の開発

核燃料サイクル施設の廃止措置に関する安全確保の基準検討として

- 国外の実施例及び各サイクル施設の特徴調査の結果に基づく安全確保策のまとめ

### 【成果の活用方策】

- 日本原電東海発電所 1 号炉の本格解体、廃止措置申請がされた「ふげん」及び今後申請が見込まれる日本原電敦賀発電所 1 号炉に対する廃止措置計画の審査に活用。また、核燃料サイクル施設に係る廃止措置計画の審査に活用。

- ・クリアランスに関しては、今後申請が見込まれる廃止措置等から発生するクリアランス対象物について、その申請の審査及び国による検認作業に活用。
- ・サイト解放に関しては、将来申請が見込まれる原子力施設の廃止措置終了の確認について、その申請の審査及び国による検認作業に活用。

### 【使用主要施設】

東海研究開発センター 原子力科学研究所 解体分別保管棟  
 東海研究開発センター 原子力科学研究所 燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF)  
 東海研究開発センター 原子力科学研究所 環境シミュレーション試験棟 (STEM)

### 【研究の進め方】

国内外の廃止措置プロジェクトや廃棄物処理・処分の動向を把握しつつ、原子力安全委員会及び規制行政庁の進める施策に対応しながら研究を進める。原子力機構のふげん発電所、人形峠環境技術センターウラン濃縮施設等で進めている施設解体のための開発研究の成果を活用し安全評価に係わるデータの充実を図る。また、学識経験者等を加えた専門部会を設け、詳細計画、実施方法及び成果等について審議・討議を行い、その結果を踏まえ検討および取りまとめを実施する。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名 (実施機関)]

なし

[受託研究名 (委託元)]

- ・発電用原子炉廃止措置基準化調査 (原子力安全・保安院)
- ・核燃料サイクル施設の廃止措置にかかる調査 (原子力安全・保安院)
- ・廃止措置基準化調査 ((独)原子力安全基盤機構)

[委託研究名 (委託機関)]

なし

### 【研究実施内容及び成果 (平成 17～19 年度)】

イ. 原子炉施設の廃止措置の安全評価等に関する調査・研究

#### (1) 廃止措置の安全評価に関する調査

原子力機構で開発した原子炉解体時における周辺公衆の被ばく線量を評価する計算コード (DecDose) を用いて、公衆被ばく線量に係る評価パラメータの感度解析計算を実施し、気体状核種の移行割合等の重要パラメータの抽出とその影響の程度を評価した。また、建屋内の多様な機器の解体作業に関わる作業時間を評価するモデルおよび空間線量率から外部被ばく線量を算出するモデルを組み合わせて作業者の外部被ばく線量を評価する計算モデルを構築するとともに、作業位置ごとの空気中放射能濃度に基づき作業者の内部被ばく線量を評価する計算モデルを構築し、これらを DecDose に統合した。その結果、DecDose は公衆および作業者双方の内部・外部被ばく線量を評価できるコードとして完成した (図 1)。

原子炉解体時の被ばく線量評価に必要な気体状核種の移行割合等の重要パラメータに関しては、実機を対象とした切断試験を実施し、信頼性の高いデータの蓄積を進めた。原子力機構に保管管理中の JPDR 解体廃棄物から放射化配管及び汚染配管を対象として気中切断試験を実施し、切断時に飛散する放射性粉じんの移行挙動、フィルタ捕集に係るデータを取得した。熱的及び機械的切断工法を用い、作業環境へ移行する放射性粉じんの粒径分布、放射エネルギー及びその時間変化等を測定し、これらの測定結果から評価した放射性粉じんの気中移行データは、コールド試験に基づく既存のデータと合理的に説明できる範囲で合致することを確認した (図 2)。

#### (2) 検認手法の整備に関する調査

原子炉解体廃棄物のクリアランス検認に関しては、広大なコンクリート表面を対象とした合理的な測定法として、可搬型 Ge 検出器による建屋一括測定法の適用性について検討した。建屋コンクリートを対象とした測定試験及び検出特性評価計算を実施し、一括測定法のための具体的検認手順を提示した。また、クリアランス省令を踏まえて、放射性核種の選択方法、評価単位の設定方法、設定した評価単位の中での放射能濃度の偏りの評価方法等について技術的課題について調査・検討

を実施し、放射能濃度確認規則に係る原子力安全・保安院内規の策定に貢献した。

サイト解放（施設解体後の敷地解放）に関しては、主として米国及びドイツの規制動向、代表的施設の解放状況及び具体的な手法に関する調査を行い、廃止措置終了確認に係る履歴調査、事前調査、測定・評価の方法、その結果から設定される測定対象範囲等について整理した。特に、国内の主な原子力発電所近辺での土壤中放射能の環境測定データの収集・調査により、施設運転等に伴う放射性物質の環境への影響、サイト解放時の検認測定範囲の考え方及び検認のための検出器と測定条件等を整理した。また、原子力機構原科研内において Ge 半導体検出器等の可搬型放射線検出器を用いた土壤放射能測定試験を行い、サイト解放時の検認測定手法に係る知見を蓄積した（図3）。

さらに、サイト解放線量目安レベルに相当する核種濃度を算出する計算コードとして、RESRADなどの汎用コードの調査をふまえ、わが国におけるクリアランスレベル検討について実績のあるPASCLRをベースにしたサイト解放基準濃度算出コードの整備に着手した。

#### ロ．核燃料サイクル施設の廃止措置の安全確保に関する調査

原子力機構の再処理特別研究棟及び仏原子力庁 CEA の再処理施設における除染・解体技術及び廃止措置状況の情報ならびに原子力機構の再処理工場及びウラン濃縮施設から廃止措置時の安全確保に係る基礎情報を収集・整理して、核燃料サイクル施設の廃止措置における課題のうち、安全確保対策、被ばく線量評価手法のあり方及び廃止措置計画の審査に適用する基本的考え方を提示した。

また、国内核燃料サイクル施設の特長、汚染状況、予想される解体作業の特徴等を考慮して、原子炉施設に対する安全規制（指針「原子炉施設の解体に係る基本的考え方」）との共通点、相違点を整理した。これらを通し、核燃料サイクル施設、主にウラン濃縮施設の廃止措置に係る廃止措置計画に記載すべき情報を整理するとともに、必要な安全要件をまとめた。

さらに、以上の調査結果（施設の特長、汚染状況、予想される解体作業等）を踏まえ、核燃料サイクル施設の廃止措置に固有の放射性物質の移行モデル、周辺公衆被ばく線量評価手法等について検討した。また、原子炉施設の被ばく評価で用いた評価ツール（DecDose）の核燃料サイクル施設への適用性を検討し、適用する場合の課題を抽出した。

#### 【特記事項】

特になし

#### 【研究成果の発表状況】

##### 雑誌掲載論文：

- 1) 水越、助川、“核燃料サイクル施設の廃止措置における安全上重要課題の検討”、デコミッションング技報第 34 号（2006 年 9 月）

##### 技術報告書：

- 2) 大島、島田、助川、白石、柳原、“原子炉解体に係る廃止措置費用評価手法の検討”、JAERI-Tech 2005-046 (2005).
- 3) 水越、大島、島田、“原子力発電所の廃止措置に関する施設特性と廃止措置費用に及ぼす影響評価”、JAERI-Tech 2005-011 (2005).
- 4) 助川、島田他、“原子炉廃止措置のための残存放射能インベントリ評価コードシステム”、JAEA-Data/Code 2008-009 (2008).

##### 国際会議：

- 5) T. Shimada, S. Ohshima, T. Ishigami, S. Yanagihara, “Development of Public Dose Assessment Code for Decommissioning of Nuclear Reactors (DecDose)”, presented at the 11th Int. Conf. Environ. Remediation and Radioact. Waste Manage., September 4-8, 2005, Glasgow, Scotland (2005).

##### 口頭発表：

- 6) 水越、助川、石神、柳原、“核燃料サイクル施設の廃止措置における安全重要課題の検討 (I)”、原子力学会 2005 年秋の年会、八戸。
- 7) 島田、大島、石神、“廃止措置における周辺公衆被ばく線量評価プログラムの開発(IV)”、原子力学会 2006 年春の大会、大洗。
- 8) 島田、“廃止措置における被ばく線量評価プログラムの開発”、京都大学原子炉実験所主催「放

射性廃棄物管理専門研究会」、平成 19 年 11 月、熊取

- 9) 水越、「核燃料サイクル施設の廃止措置の安全課題に関する検討」、原子力学会バックエンド部会、平成 19 年 7 月、人形峠。

受託事業報告書：

- 10) 原子力安全・保安院受託事業「平成 17 年度発電用原子炉廃止措置基準化調査」報告書、原子力機構、平成 18 年 3 月。
- 11) 原子力安全・保安院受託事業「平成 18 年度発電用原子炉廃止措置基準化調査」報告書、原子力機構、平成 19 年 3 月。
- 12) 原子力安全・保安院受託事業「平成 17 年度核燃料サイクル施設の廃止措置にかかる調査」報告書、原子力機構、平成 18 年 3 月。
- 13) 原子力安全・保安院受託事業「平成 18 年度核燃料サイクル施設の廃止措置にかかる調査」報告書、原子力機構、平成 19 年 3 月。
- 14) 原子力安全基盤機構受託事業「平成 19 年度廃止措置基準化調査」報告書、原子力機構、平成 20 年 3 月。

【用語解説】

クリアランスレベル検認

クリアランスレベル（放射性物質として扱う必要がない物を区分するレベルをいう）を用いて、放射性物質として扱う必要がない物であることを原子力事業者が判断し、その判断に加えて国が適切な関与を行うことをいう。

新しい廃止措置制度

2005 年の改正炉規法では、それまで届出制であった廃止措置が認可制となり、原子炉設置者はあらかじめ廃止措置計画を定め、大臣の認可を受けることとなった。

サイト解放

原子力施設の廃止措置の終了に当たり、その土地と建屋あるいはその他の構造物を規制上の管理から解放することをいう。

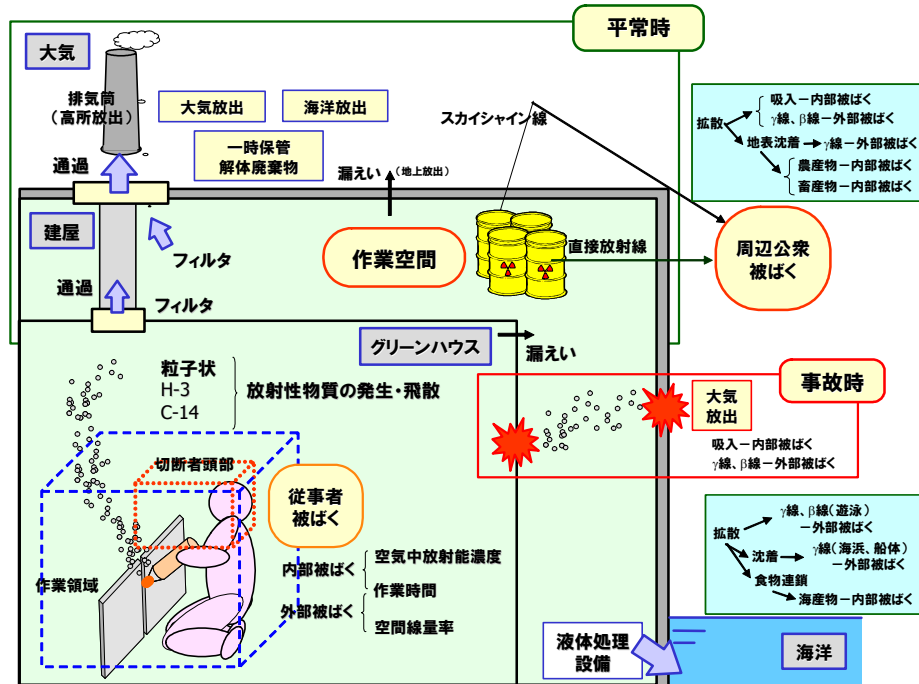


図 1 廃止措置における周辺公衆及び放射線業務従事者被ばく評価コードの概要

廃止措置の平常時及び事故時の被ばく線量を評価する計算コード(DecDose)について、作業時間評価機能及び空気中放射能濃度評価機能を追加して評価システムとして完成させた。これにより、廃止措置計画に沿って適用工法や作業内容を反映して、周辺公衆及び放射線業務従事者の外部・内部被ばく線量を評価することが可能となった。

廃止措置に係わる被ばくの評価に当たっては、平常時、事故時を問わず、また、対象も周辺公衆、放射線業務従事者を問わず、解体作業工程及び作業内容を反映し、様々な被ばく経路を総合的に取り扱う必要がある。そのため、DecDose コードでは、放射性物質が環境へ飛散することになる解体作業の特徴から、解体対象物と解体工法に応じた放射性物質の作業空間への飛散モデル、その放射性物質の建屋フィルタ等を通り抜けての周辺環境への放出モデル、液体廃棄物処理系での移行・除染・放出モデル等を考慮している。また、従事者の外部被ばくは線量当量率と作業時間の積が基本となるが、それらが職種によって異なること及び各機器からの放射線の相互影響を考慮できるモデルを考慮した。作業時間については、原子炉解体管理コード (COSMARD) で提案された作業人工数評価の考え方を採用するとともに、DecDose ですでに計算済みの切断線長さ等を利用することにより、収納容器や切断工法の種類に応じた現実的な時間を求めることとした。内部被ばくに係わる空気中放射能濃度については、切断中に大きな濃度分布が生じることから、マルチコンパートメントモデルを用い、グリーンハウス内の循環、対流効果といった空気流動を勘案してグリーンハウス内の領域別空気中放射能濃度変化を評価した。

これらのモデルを取り入れた被ばく線量評価コードを用いて JPDR 解体作業に対する試計算を実施した結果、概ね評価結果と実績の傾向は一致した。以上により、原子力施設の廃止措置時に周辺公衆及び放射線業務従事者の被ばく線量を評価するプログラムは完成し、廃止措置計画に記述される安全性評価の精査等に有効に活用されるものと考えられる。



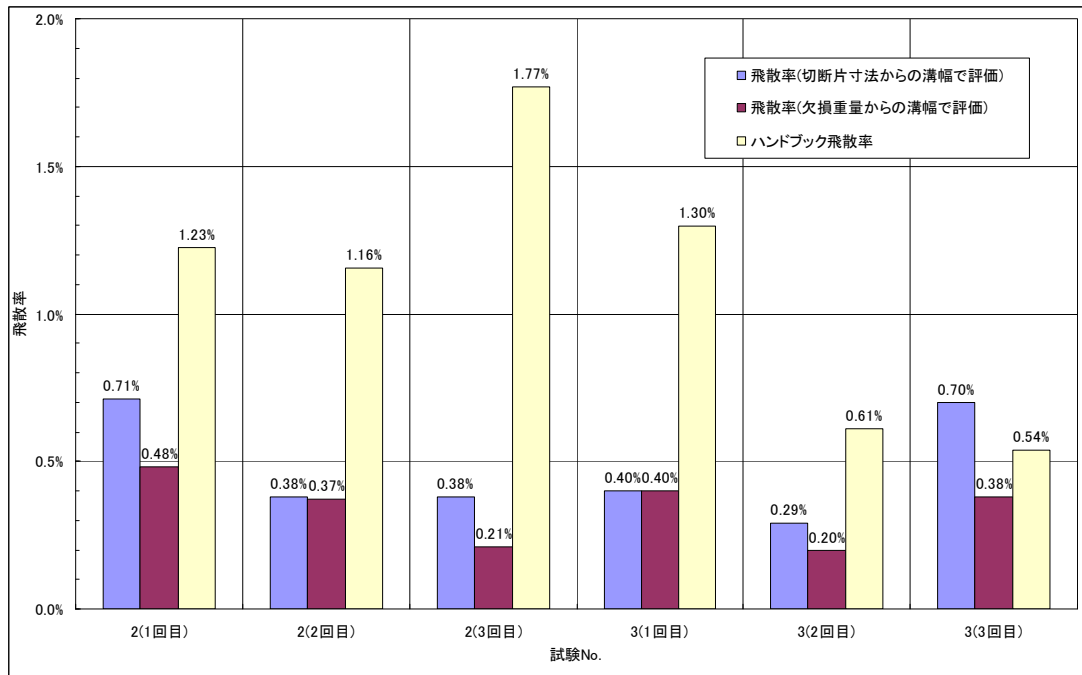
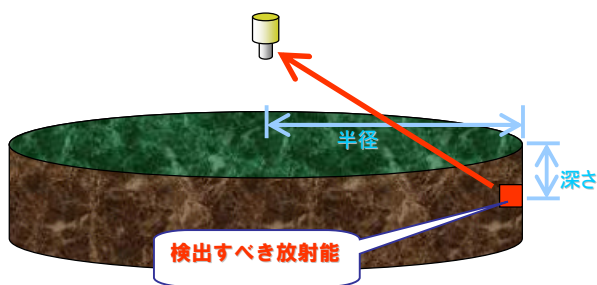


図2 熱的切断作業時の飛散率の取得結果とハンドブックとの比較

JPDR の解体廃棄物を対象とした熱的切断試験で取得した飛散率の結果をハンドブック<sup>(※)</sup>のデータと比較した。ハンドブック中の熱的切断の粉じん重量基準の飛散率は、Co-60 の放射能基準で取得した本試験の結果と比較して 1/2～1/4 程度小さい設定であり、ハンドブックデータの保守性を確認できた。

(※) 電力中央研究所「廃止措置工事環境影響評価ハンドブック第3次版」(平成19年3月)



米国のスクリーニング DCGL 及びドイツの地面クリアランスレベルの Co-60 検出に必要な測定時間 (秒)

		測定半径[m]			
		5	10	20	30
米国スクリーニング DCGL(0.14Bq/g)	面線源 10×10cm <sup>2</sup>	45	48	54	45
	体積線源 10×10×1cm <sup>3</sup>	72	123	262	1034
ドイツ地面解放 (0.03Bq/g)	面線源 10×10cm <sup>2</sup>	796	839	958	801
	体積線源 10×10×1cm <sup>3</sup>	1274	2175	4613	18230

図3 可搬型 Ge 検出器によるサイト測定における測定時間の検討

サイト解放時の検認測定として原位置測定を適用する場合の放射能測定範囲と検出可能時間について検討した。設定した範囲内で最も遠い位置(測定範囲内からのガンマ線が測定位置で最も減衰する位置)に線源(検出すべき放射能下限値)があると仮定し、可搬型 Ge 半導体検出器からの線源位置までの距離、土壌中深度をパラメータとして、検出に必要な測定時間を EGS5 で計算した。右表の値は、Co-60 線源が地表面に存在する場合の計算結果である。米国のスクリーニング DCGL を検出可能な測定時間は、半径 30m を対象とした場合で 45 秒から 1000 秒程度であった。最も厳しい体積線源を仮定したドイツの地面に対するクリアランスレベルを検出可能な時間は 2 時間程度であると試算された。



## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)）

### 【研究分野／項目】

IV. 放射性廃棄物・廃止措置分野/廃止措置技術

【分類番号】 4-3-2

### 【研究課題名(Title)】

廃止措置に係る被ばく評価に関する研究(2)－開発研究の成果の活用－  
(Research on Safety Assessment on Decommissioning of Nuclear Facilities(2))

### 【研究代表者】

[所属] 敦賀本部 新型転換炉ふげん発電所 環境技術開発課  
[氏名] 森下 喜嗣 (もりした よしつぐ)  
[連絡先] tel : 84-2700 E-mail : morishita.yoshitsugu @jaea.go.jp

[所属] 敦賀本部 新型転換炉ふげん発電所 環境技術開発課  
[氏名] 北村 高一(きたむら こういち)  
[連絡先] tel : 84-2730 E-mail : kitamura.koichi @jaea.go.jp

[所属] 人形峠環境技術センター 環境保全技術開発部遠心機処理技術課  
[氏名] 松原 達郎(まつばら たつお)  
[連絡先] tel : 85-5300 E-mail : matsubara.tatsuo @jaea.go.jp

### 【研究目的】

原子力施設の廃止措置に係る安全評価手法を確立するため、「ふげん」、ウラン濃縮関連施設、再処理施設等の廃止措置及びその準備作業において安全評価に必要な各種データを取得するとともに、原子力施設の廃止措置に係るクリアランスレベル検認評価手法を整備する。

### 【研究内容】

- イ) 原子炉の廃止措置に関する放射能インベントリの評価  
原子炉構造材内の詳細な放射化量分布を解析評価し、合理的な放射能レベル区分の設定や炉心線量率分布の評価方法を開発・整備する。
- ロ) 廃止措置時の安全評価に必要な基礎データ（放射性物質の移行率等）の取得・整理  
原子炉構造材（Zr 材）の切断粉塵の雰囲気への移行試験を行い、安全評価に必要な粉塵移行データを取得する。
- ハ) 汚染コンクリートに対するクリアランスレベル検認手法に関する研究  
汚染核種毎のコンクリートへの浸透メカニズムを明らかにして局在汚染の有無を評価し、大量のコンクリートの放射能を少数の代表サンプル測定で評価する手法を確立する。
- ニ) ウラン濃縮施設における金属廃棄物除染後の放射性物質濃度検認技術の研究  
除染後の遠心分離機の金属部材を対象に、想定されるクリアランスレベルでの放射性物質濃度の検認技術を開発する。
- ホ) 敷地等開放の安全評価に係る浅地中を対象とした放射線学的、水理学的研究  
浅地中に関する長期安全評価手法を確立するため、周辺地質環境及び廃棄物等の物理的・化学的特性に係るデータを蓄積し、長期にわたる安全評価モデルの構築を図る。

### 【達成目標】

- ・ 施設の放射能特性評価手法の開発
  - 原子炉施設の放射能インベントリ評価手法の確立
  - ウラン濃縮施設における金属廃棄物除染後の熔融による検認手法の確認
- ・ 廃止措置に関する安全評価手法の開発
  - 施設の解体に係る放射線作業従事者及び周辺公衆の安全評価手法の整備（施設解体時の放射性物質飛散率等の評価）
  - 施設を活用した安全評価手法及び安全評価プログラムの実証と改良

- ・ 廃止措置終了後の敷地等開放に関する安全評価手法、測定、評価（検認）技術の開発
  - 核燃料サイクル施設の敷地開放基準の指標となる環境中放射性物質分布データの取得
  - 敷地解放後の長期安全性評価手法の確立
- ・ 原子炉施設、核燃料サイクル施設を含む原子力施設に関するクリアランスレベル測定、評価（検認）技術の開発
  - 原子炉施設構造材（コンクリート等）のクリアランス検認システムの確立
  - ウラン濃縮施設における金属廃棄物クリアランス検認システムの確立

### 【成果の活用方策】

- ・ 廃止措置に関連する一連の安全性評価手法（施設の放射能特性評価→安全性評価→敷地開放の安全性評価）を整備し、廃止措置に反映するとともに、学会標準等、他の関連施設へのデータ提供を行う。
- ・ クリアランス検認の関係法令に対応するシステムを確立する。

### 【使用主要施設】

- ・ 新型転換炉ふげん発電所
- ・ 人形峠環境技術センター、ウラン濃縮施設

### 【研究の進め方】

廃止措置計画認可申請及びクリアランス検認認可申請に沿って、関係法体系の動向を把握しながら計画的に研究を進める。また、効率的な研究推進やデータベース拡充のため、国内産業界の関連情報を参考にするとともに、OECD/NEA の廃止措置計画協力プログラムの中で実施されている技術諮問グループ（TAG）会議等の国際会議を通して、諸外国の廃止措置技術の情報収集を図る。

### 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名（実施機関）]

なし

[受託研究名（委託元）]

なし

[委託研究名（委託機関）]

なし

### 【研究実施内容及び成果（平成 17～19 年度）】

イ) 原子炉の廃止措置に関する放射能インベントリの評価

原子炉施設に存在する放射能インベントリの評価を合理的に行うため、「ふげん」の炉心構造の特徴を考慮した上で、炉心構造材領域とその外側の領域である遮へい体領域に区分し、炉心構造材領域については、格子計算コード（WIMS-ATR）と炉心管理コード（POLESTER）の組み合わせにより炉心構造材領域の中性子束分布を、遮へい体領域については、領域に依存した群定数と 2 次元輸送計算コード（DOT）により遮へい体領域の中性子束分布を求め、領域毎に評価した中性子束分布ならびに原子炉の実効運転日数や構造材の元素組成に基づき、燃焼計算コード（ORIGEN）により放射化放射能量を評価することができる解析コード体系を整備した（図 1）。また、3 次元によるモデル化が可能なモンテカルロコードで中性子束を評価する手法の適用性についても検討し、適用可能である見通しを得た。

また、原子炉冷却系統施設等の二次汚染量評価を合理的に行うため、(財)原子力環境整備センターの「原子力発電所の運転及び解体に伴い発生する廃棄物の物量、性状に関する資料集」の手法を参考に、計算による放射化解析を実施して汚染の元となる生成核種（構造材の元素組成から評価）を求め、その核種の溶出・付着のマスバランス評価から原子炉冷却系統及び重水系統に付着した推定汚染密度及び核種組成比を設定し、代表核種となる Co-60 の内表面汚染密度と表面線量当量率の相関関係から二次汚染量を求める手法を整備した（図 2）。

ロ) 廃止措置時の安全評価に必要な基礎データ（放射性物質の移行率等）の取得・整理

安全評価データの整備においては、放射性物質放出率等の安全評価に必要な基本データを取得するため、原子炉の主要部材である圧力管構造材（Zr 材）の水中切断時の粉塵の雰囲気への移行挙動を確認することができる試験装置を製作し、模擬試験により、試験装置が気中及び水中への粉塵移行量の測定等の所要の各性能を有していることを確認した。また、この試験装置を用いて、実

機と同じ圧力管材を水中で熱的切断工法によって切断した場合の気中への粉塵移行データを取得すると共に、気中への移行量がステンレス鋼を対象とした軽水炉のための先行試験で得られた評価モデルにより予測できることを明らかにした（図3）。

#### ハ) 汚染コンクリートに対するクリアランスレベル検認手法に関する研究

クリアランス検認システムに係る検討においては、建屋コンクリートへの浸透汚染に係る文献調査・履歴調査及びサンプリング分析等の現場調査を実施した結果、浸透汚染が限定的であり、適切な除染の方法によりクリアランスレベル以下とすることができる見通しを得た（図4）。

#### ニ) ウラン濃縮施設における金属廃棄物除染後の放射性物質濃度検認技術の研究

平成18年度は、ウラン濃縮施設における実機部品の効率的な $\alpha$ 放射能の表面密度測定方法の検討として、放射線管理で使用されているシンチレーション式測定法と比べ測定時間が大幅に短縮できる可能性がある電離イオン式測定法について、検出下限値や希硫酸により湿式化学除染した遠心分離機円筒部品（代表的な材質として鉄材及びアルミ材）を供試体とし、放射能強度と測定値との線形特性を評価する基礎試験を実施した。電離イオン測定法は、 $\alpha$ 放射能が空気を電離する作用を利用したもので、対象物から放出された $\alpha$ 粒子により電離した空気の微弱なイオンを空気流によりイオン検出器に導き、そのイオン電流を測定し、標準線源から求めた換算定数により $\alpha$ 放射能に換算するものであり、今回は、測定室が1m角の試験装置を用いた。放射能濃度検出下限は、約18Bqで測定対象の重量を1kgとした場合、0.018Bq/gという値が得られた。放射能濃度強度の線形特性は、供試体の高分解能質量分析計を用いた破壊分析結果から算定した放射能と電離イオン測定器の測定値の比較検討を行い、5Bqから40Bqの範囲において相関係数0.99を示したことから、良好な線形特性を有していることが解った。なお、電離イオン計測法は、新しい計測技術であることから、測定データの蓄積を行い、精度・信頼性の確認を十分に行う必要がある。また、クリアランス検認に必要となるバックグラウンド把握のためのコールド遠心機及び一般鋼材、アルミ材のウラン濃度を高分解能質量分析計により分析した結果、遠心機材及び一般材ともにアルミ材のウラン濃度が鉄材に比べて2桁から3桁高いことが解った。

平成19年度は、ウラン濃縮施設における実機部品の効率的な $\alpha$ 放射能の表面密度測定方法の検討として、放射線管理で使用されているシンチレーション式測定法と比べ測定時間が大幅に短縮できる可能性がある電離イオン式測定法について、検出下限値や希硫酸により湿式化学除染した遠心分離機円筒部品（代表的な材質として鉄材及びアルミ材）を供試体とし、放射能強度と測定値との線形特性を評価する基礎試験を実施した。電離イオン測定法は、 $\alpha$ 放射能が空気を電離する作用を利用したもので、対象物から放出された $\alpha$ 粒子により電離した空気の微弱なイオンを空気流によりイオン検出器に導き、そのイオン電流を測定し、標準線源から求めた換算定数により $\alpha$ 放射能に換算するものであり、今回は、測定室が1m角の試験装置を用いた。放射能濃度検出下限は、約18Bqで測定対象の重量を1kgとした場合、0.018Bq/gという値が得られた。放射能濃度強度の線形特性は、供試体の高分解能質量分析計を用いた破壊分析結果から算定した放射能と電離イオン測定器の測定値の比較検討を行い、5Bqから40Bqの範囲において相関係数0.99を示したことから、良好な線形特性を有していることが解った。なお、電離イオン計測法は、新しい計測技術であることから、測定データの蓄積を行い、精度・信頼性の確認を十分に行う必要がある。また、クリアランス検認に必要となるバックグラウンド把握のためのコールド遠心機及び一般鋼材、アルミ材のウラン濃度を高分解能質量分析計により分析した結果、遠心機材及び一般材ともにアルミ材のウラン濃度が鉄材に比べて2桁から3桁高いことが解った。

#### ホ) 敷地等開放の安全評価に係る浅地中を対象とした放射線学的、水理学的研究

原子力施設の敷地等開放の安全評価に係る技術開発として、敷地開放の安全評価手法に関するデータの整備を進めた。

平成18年度は、浅地中の放射線学的、水理学的解析に用いる、実際の廃棄物並びに周辺地質環境で得られた物理的・化学的データとして、ウラン廃棄物と共通する天然放射性核種を含む捨石、鈹さい等に関する核種依存パラメータ（放射能濃度、線量、溶出率、分配係数、移行係数）および核種非依存パラメータ（有効間隙率、透水係数など）の統計学的分布および代表値を整理した（表1）。

平成19年度は、ナチュラルアナログスタディとして、IAEAのRS-G-1.7で設定されているクリアランスレベルの放射能濃度をもった土壌等が、廃止措置を行なう場所の地中に存在した場合として、露天採掘場跡地周辺の地下水中のU-238濃度の分布状況を整理した。また、この実環境におけるU-238濃度分布と、前年度までに整備した水理データを用いた1次元の移流分散式によるU-238濃度分布の比較を行った。露天採掘場跡地内では、捨石の埋戻し・覆土終了後、15年程度でU-238濃度が低下し、濃度低下が収束すると想定される（図5、6）。このことは、露天掘削当時、地下水

中の U-238 濃度が掘削等による地形の変化に伴う地下水流れの変動(水位低下)によって、還元環境から酸化環境へと変化し、U-238 が溶出しやすい条件となったことが想定され、その後の地下環境の安定にあわせて地下水への溶出量が減少してきたものと推察される。今後、敷地開放を考える際、地下設備(建屋基礎等)の解体に伴う地下水中の放射性核種の挙動を予測するための一つの指標となると考えられる。また、露天採掘場跡地から地下水が流下する主要な方向である東側斜面側における U-238 濃度分布について、実測値と 1 次元の移流分散計算値を比較すると、分配係数(室内試験値)を 1/100~1/1000 として計算した時の値との間に実測値がくることが分かった(図 7)。露天採掘場跡地周辺の U-238 濃度分布の計算においては、地下水中の物質移行に関するパラメータである分配係数、実流速および間隙率などにより大きく変動するため、今後これらの見直しを行い、整合性を高めたパラメータの整備を行い、安全評価に資するデータとしたい。

## 【特記事項】

## 【研究成果の発表状況】

### 口頭発表：

- 1) 北村、丹治他，原子力学会 2006 年春の大会「ふげん放射化量計算へのモンテカルロコードの適用性研究」
- 2) 林、丹治他，原子力学会 2006 年春の大会「『ふげん』放射能インベントリ評価(12)－『ふげん』用 ORIGEN-2 放射化量評価システムの開発－」
- 3) 北村、丹治他，原子力学会 2006 年秋の大会「ふげん放射化量計算へのモンテカルロコードの適用性研究(その 2)」
- 4) 北村、林他，原子力学会 2007 年秋の大会「コンクリート中炭素-14 の除去技術の開発」
- 5) 林、北村他，原子力学会 2008 年秋の大会「原子炉圧力管の水中熱的切断時の粉じん挙動試験」
- 6) 北村、林他，原子力学会 2008 年秋の大会「『ふげん』におけるクリアランス検認評価手法確立のための検討」
- 7) K. Kitamura et al., ICONE-16, Development of decontamination method for the concrete contaminated with C-14 nuclide in Fugen
- 8) 北村、林他，応用物理学会誌「『ふげん』廃止措置のための残存放射エネルギーの評価」
- 9) 佐野他，原子力学会 2008 年春の大会「電離イオン式測定器による  $\alpha$  線計測技術開発 - (1) 校正法と線源効率に関する考察 -」
- 10) 美田他，原子力学会 2008 年春の大会「電離イオン式測定器による  $\alpha$  線計測技術開発 - (2) 除染済み機材の計測試験 -」

## 【用語解説】

図表

表 1 人形峠周辺で取得された核種依存パラメータ

U-238		廃棄物 (捨石、鉱さい)	帯水層 (土壌、岩石)
放射能濃度	Bq/g	$1.2 \times 10^{-2} \sim 1.8 \times 10^0$ ( $9.9 \times 10^{-1}$ )	$6.0 \times 10^{-3} \sim 4.1 \times 10^0$ ( $6.4 \times 10^{-2}$ )
溶出率	%	$2.7 \times 10^{-6} \sim 7.0 \times 10^1$ ( $6.7 \times 10^{-3}$ )	$5.8 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-5}$ ( $8.4 \times 10^{-6}$ )
分配係数	$m^3/kg$	$9.0 \times 10^{-3} \sim 3.2 \times 10^0$ ( $4.8 \times 10^{-1}$ )	$8.1 \times 10^{-2} \sim 3.2 \times 10^0$ ( $2.6 \times 10^{-1}$ )
Th-232		廃棄物 (捨石、鉱さい)	帯水層 (土壌、岩石)
放射能濃度	Bq/g	$9.7 \times 10^{-3} \sim 4.4 \times 10^{-1}$ ( $5.1 \times 10^{-2}$ )	N.D. $\sim 9.7 \times 10^{-2}$ ( $5.0 \times 10^{-2}$ )
溶出率	%	$1.4 \times 10^{-7} \sim 3.4 \times 10^{-2}$ ( $3.1 \times 10^{-5}$ )	$1.5 \times 10^{-6} \sim 1.3 \times 10^{-5}$ ( $3.4 \times 10^{-6}$ )
分配係数	$m^3/kg$	$3.6 \times 10^{-2} \sim 1.6 \times 10^2$ ( $1.1 \times 10^0$ )	$1.7 \times 10^{-1} \sim 5.3 \times 10^1$ ( $1.4 \times 10^0$ )
Ra-226		廃棄物 (捨石、鉱さい)	帯水層 (土壌、岩石)
放射能濃度	Bq/g	N.D. $\sim 4.3 \times 10^1$ ( $7.4 \times 10^0$ )	$1.9 \times 10^{-2} \sim 3.5 \times 10^0$ ( $9.8 \times 10^{-2}$ )
溶出率	%	N.D. $\sim 6.8 \times 10^0$ ( $9.8 \times 10^{-1}$ )	-
分配係数	$m^3/kg$	$2.3 \times 10^{-1} \sim 2.9 \times 10^0$ ( $9.8 \times 10^{-1}$ )	$3.6 \times 10^{-1} \sim 5.0 \times 10^0$ ( $1.6 \times 10^0$ )

( )内は幾何平均値を示す

ウランの分配係数は、政令濃度上限値評価における帯水層の分配係数 ( $1.0 \times 10^{-1} m^3/kg$ ) と比べ、ほぼ同じオーダーの範囲となっている。

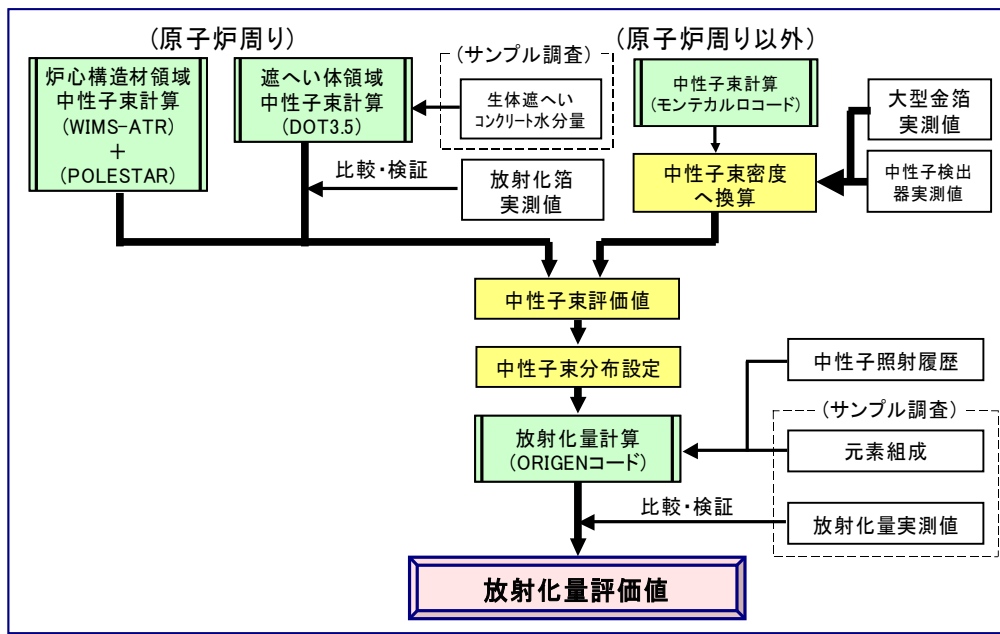


図 1 放射能インベントリ評価のための放射化量評価手法

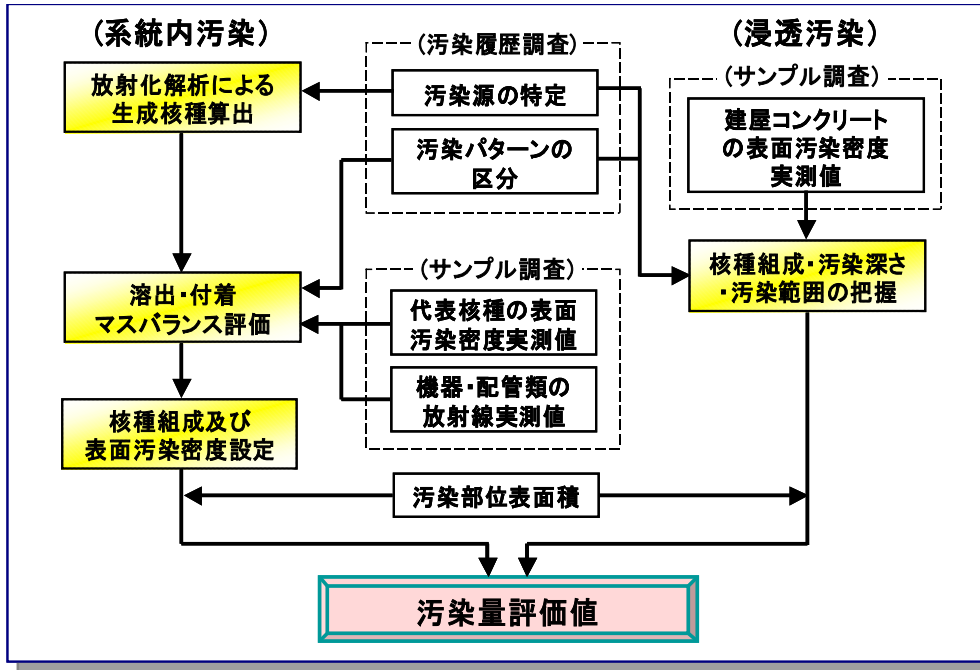


図2 放射能インベントリ評価のための汚染量評価手法

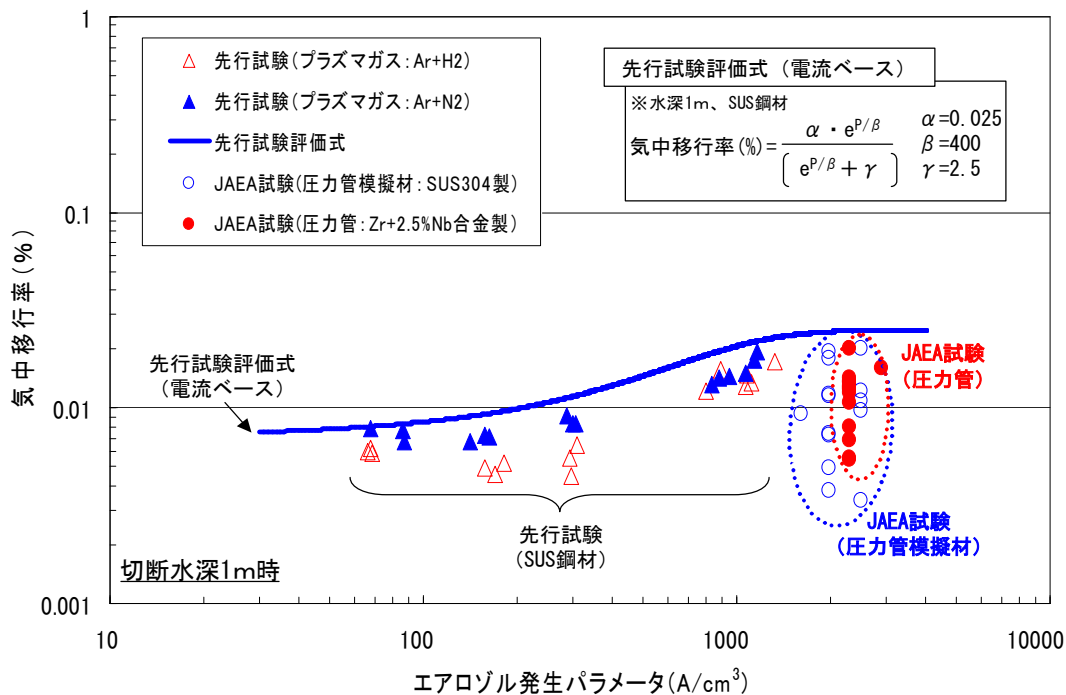


図3 炉心構造材の水中熱的切断時の気中への粉じん移行率

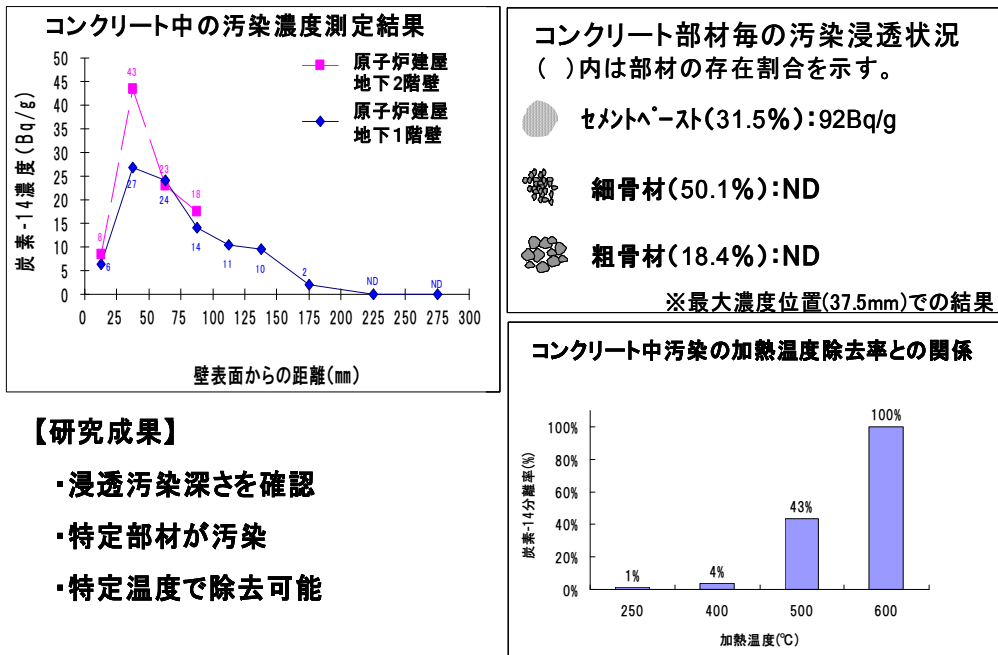


図4 コンクリート浸透汚染量調査および除去方法検討

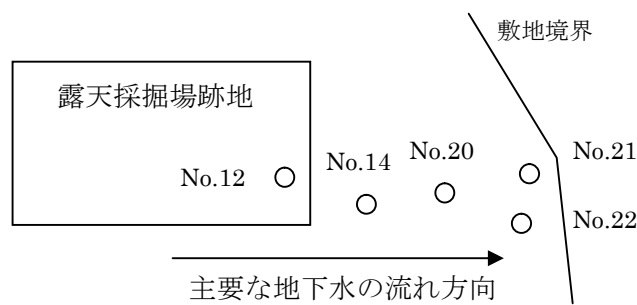


図5 露天採掘場跡地周辺のモニタリング孔配置概略

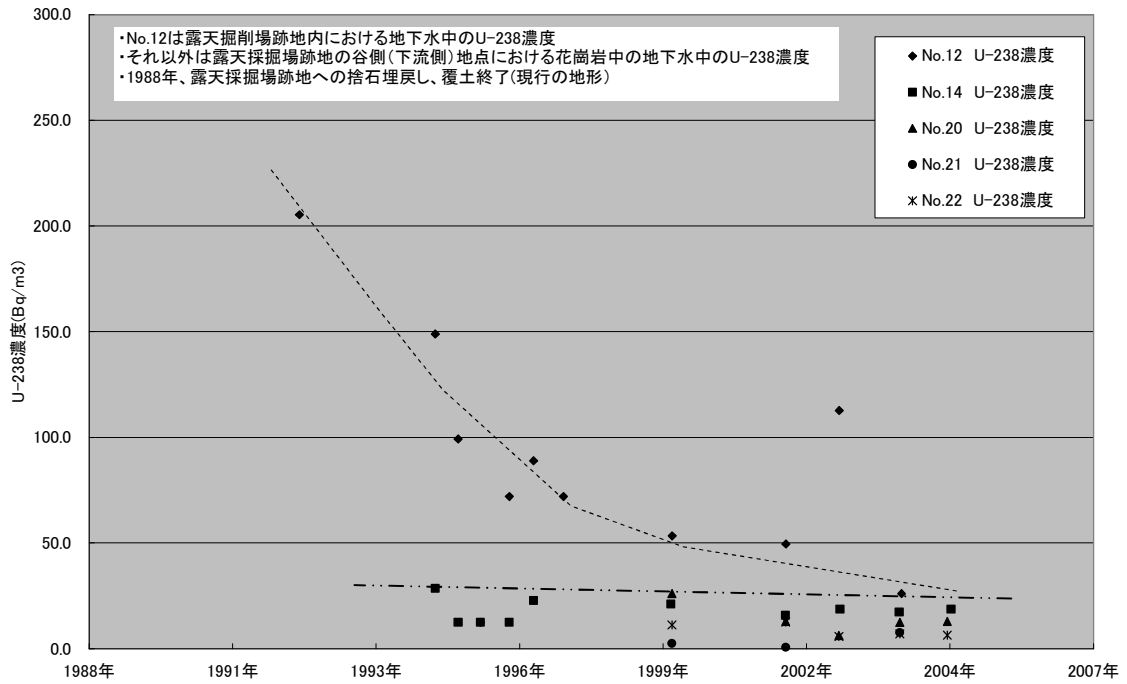


図6 露天採掘場跡地周辺の地下水中のU-238濃度の経時変化

- ・露天採掘場跡地内（No12 孔）では、露天採掘および覆土時の掘削等による地形の変化に伴う地下水流れの変動(水位低下)により、覆土終了後から 15 年程度で U-238 濃度が低下し、低下が収束するように見受けられる。
- ・露天採掘場跡地から地下水流れの下流側では、地下水中の U-238 濃度の大きな変動は認められない。
- ・このことは、露天掘削当時、地下水中の U-238 濃度が掘削等による地形の変化に伴う地下水流れの変動(水位低下)によって、還元環境から酸化環境へと変化し、U-238 が溶出しやすい条件となったことが想定され、その後の地下環境の安定にあわせて地下水への溶出量が減少してきたものと推察される。



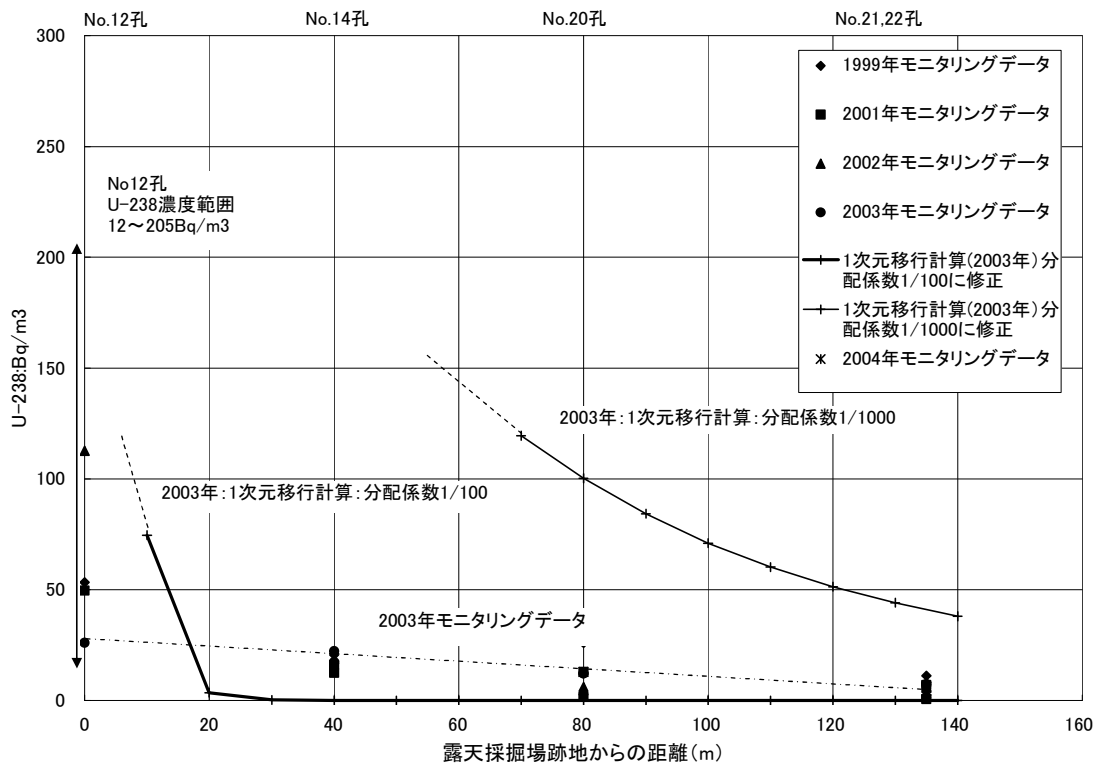


図7 露天採掘場跡地下流側の地下水中のU-238濃度の経時変化

- 1次元の移流分散計算において、分配係数（原位置からのサンプリング試料による室内試験値）を1/100~1/1000として算出したとき、それらの計算値の間に実測値がくることが分かった。実測値と計算値の濃度分布については、露天採掘場跡地から遠ざかってもその上下関係が入れ替わることなく同様に下降する傾向がみられた。
- 露天採掘場跡地周辺のU-238濃度分布の計算値については、地下水流れや物質移行に関するパラメータである分配係数、実流速や間隙率などにより大きく変動するため、今後これらの見直しを行い、整合性を高めたパラメータの整備を行い、安全評価に資するデータとする。

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)）

### 【研究分野／項目】

V. 新型炉分野／高速増殖炉の安全評価技術

【分類番号】 5-1-1

### 【研究課題名(Title)】

高速増殖炉の安全評価技術に関する研究－開発研究の成果の活用－  
Study on FBR safety evaluation technology - Utilization of development products -

### 【研究代表者】

[所属] 次世代原子力システム研究開発部門 計測技術グループ

[氏名] 荒 邦章

[連絡先] Tel : 83-6860 E-mail : ara.kuniaki@jaea.go.jp

[所属] 次世代原子力システム研究開発部門 FBR シミュレーショングループ

[氏名] 大島 宏之

[連絡先] Tel : 83-6740 E-mail : ohshima.hiroyuki@jaea.go.jp

[所属] 次世代原子力システム研究開発部門 炉心安全グループ

[氏名] 佐藤 一憲

[連絡先] Tel : 83-6760 E-mail : sato.ikken@jaea.go.jp

[所属] 次世代原子力システム研究開発部門 FBR 設計グループ

[氏名] 小竹 庄司

[連絡先] Tel : 83-6410 E-mail : kotake.shoji@jaea.go.jp

[所属] 次世代原子力システム研究開発部門 プラント技術評価グループ

[氏名] 宮川 明

[連絡先] Tel : 87-6828 E-mail : miyakawa.akira@jaea.go.jp

[所属] 大洗研究開発センター 高速実験炉部 高速炉技術課

[氏名] 青山 卓史

[連絡先] Tel : 83-5410 E-mail : aoyama.takafumi@jaea.go.jp

### 【研究目的】

高速増殖炉の安全評価技術に関する研究を実施し、高速増殖炉の安全規制の基本的考え方や安全基準類の基本的事項を検討する際に必要な判断資料の整備に資する。

### 【研究内容】

イ. ナトリウムの化学反応に関する安全評価技術の整備

ナトリウム漏えいに関しては、微少漏えいの早期検出性能、コンクリートとの反応が競合する場合のナトリウム燃焼挙動、及びナトリウム燃焼反応機構と熱的影響を調べる試験や知見整理を実施し、ナトリウム燃焼解析手法を整備・高度化する。

ナトリウム-水反応に関しては、反応ジェットの伝熱流動現象の解明、急速加熱時の管内伝熱特性の把握、ウェステージ特性の把握を行い、機構論的な解析評価手法の開発・整備を進める。また、新型水リーク検出特性を評価する。

ロ. ATWS 時の炉心損傷防止及び影響緩和特性の実証

「常陽」を用いたスクラム失敗事象 (ATWS : Anticipated Transient Without Scram) 模擬試験 (過出力型及び除熱低下型の過渡条件下での反応度フィードバック特性試験) を通じて、高速増殖炉におけるフィードバック反応度特性を評価し、ATWS 事象時の炉心損傷防止性能に対する評価手法の整備を図る。また、炉心損傷に至る場合の初期条件を明確化し、影響評価に反映する。さらに、実用炉で ATWS 事象時の炉心損傷防止策として期待される自己作動型炉停止機構 (SASS : Self

Actuated Shutdown System) の受動的な安全特性 (例: 磁気特性) に及ぼす炉内での高温・照射環境の影響を把握する。

なお、「常陽」を用いた試験については、「常陽」の運転工程により、計画を変更する可能性がある。

#### ハ. 炉心損傷時の事象推移評価技術の整備

炉心溶融事故時の溶融炉心物質の炉心周辺への流出、再配置、冷却挙動を実験的に把握するとともに、これらのデータに基づき起因過程解析コード SAS4A 及び遷移過程解析コード SIMMER-III (2次元)、SIMMER-IV (3次元) の改良・検証、適用性拡大を図る。また、ナトリウム環境中における溶融炉心物質・コンクリート相互作用とそれに伴う可燃性ガス及び FP の放出挙動に関する要素試験を実施し、格納系応答解析コード CONTAIN/LMR 等の改良・整備を実施する。これらの解析手法を「もんじゅ」及び実用炉の安全評価に適用し、高速増殖炉の炉心損傷事故時の標準的評価手法として整備する。

#### ニ. PSA 技術の高度化

高速増殖原型炉「もんじゅ」及び高速実験炉「常陽」を対象として機器の信頼性データを継続して収集・整備し、新規故障データの蓄積に応じて信頼性データの分析・評価を行う。

リスク情報を活用した高速増殖炉の合理的な安全規制・安全管理活動に資するために高速増殖炉の PSA を行い、手法をとりまとめる。

### 【達成目標】

#### イ. ナトリウムの化学反応に関する安全評価技術の整備

ナトリウム漏えいに関しては、ナトリウム燃焼環境条件と事故状況の幅広い想定に対応できるよう、実験的知見を得た上で評価ツールを整備する。ナトリウム微少漏えいの早期検出では、高い信頼性を以って早期検知判断するために必要な実験的知見を整備する。

ナトリウム-水反応に関しては、高温ラプチャ及びウェステージに関する安全評価コード体系を整備・統合化する。併せて、各コードを検証するための試験データを拡充する。また、多成分多相流のナトリウム-水反応解析コード(SERAPHIM)について、試験データによりモデルの妥当性を検証する。

#### ロ. ATWS 時の炉心損傷防止及び影響緩和特性の実証

MK-III 炉心において ATWS 模擬試験を実施するとともに、試験結果を解析システム(“Mimir-N2”、“Super-COPD”、“SAS4A”、“SSC-L”)やこれらを用いた評価手法に反映する。また、SASS の主要構成材料の高温ナトリウム・照射環境下での磁気特性等に係る照射データを取得し、これまで得られた知見と合わせ、その有効性を確認する。

#### ハ. 炉心損傷時の事象推移評価技術の整備

実験データ取得及び検証された解析コードの整備・適用により、実用炉の炉心損傷事故評価に適用できる標準的評価手法を確立するとともに、事故の影響を適切に緩和するための設計条件を明らかにする。また、「もんじゅ」等の安全評価への適用を通じて得られた知見を安全評価に関する基準類の整備に反映する。

#### ニ. PSA 技術の高度化

高速実験炉「常陽」及び高速増殖原型炉「もんじゅ」の機器について平成 21 年度までの運転・故障データを継続・収集し、機器信頼性データ母集団の拡充を図る。また、PSA 手法の適用により得られるリスク情報を、高速増殖炉の安全規制の合理性を高める参考情報としてまとめる。

### 【成果の活用方策】

#### イ. ナトリウムの化学反応に関する安全評価技術の整備

- 高速増殖炉の安全確保の考え方や指針、安全基準類の基本的事項を定める際に必要な判断資料及び評価ツールとして活用できる。

#### ロ. ATWS 時の炉心損傷防止及び影響緩和特性の実証

- 高速増殖炉におけるフィードバック反応度評価精度の向上を実用炉の安全評価に活用できる。

- 試験等から得られる知見に基づく安全解析手法及びシビアアクシデント評価手法は、ATWS 事象の現実的な評価を可能とし、そのリスクを精度よく把握できる。
- 炉停止に係る受動的な安全方策として期待されている SASS について、実炉使用条件での受動的な安全特性データが得られ、有効性が確認できる。

#### ハ. 炉心損傷時の事象推移評価技術の整備

- 新たな試験研究によって裏付けられた精度の高い解析評価手法を「もんじゅ」や実炉に適用して得られる知見は、原子力安全委員会及び規制行政庁に求められる将来の高速増殖炉の安全確保の考え方や安全基準類の整備に活用できる。

#### ニ. PSA 技術の高度化

- 高速増殖炉の PSA 手順の標準化の技術基盤として整備する。

#### 【使用主要施設】

- 大洗研究開発センター 高速実験炉「常陽」
- 大洗研究開発センター 伝熱管破損模擬試験装置(TRUST-2)
- 大洗研究開発センター ナトリウム-水反応試験装置(SWAT-1R)
- 大洗研究開発センター 蒸気発生器水リーク試験装置(SWAT-3R)
- 大洗研究開発センター MELT-II 試験施設 (高速炉安全性第 2 試験室)
- カザフスタン共和国国立原子力センター (カザフ NNC) IGR 及び炉外試験施設
- 高速増殖炉研究開発センター 高速増殖原型炉「もんじゅ」

#### 【研究の進め方】

##### イ. ナトリウムの化学反応に関する安全評価技術の整備

ナトリウム化学反応については、将来の高速増殖炉の安全設計・評価に対する基本的な考え方を整備し安全規制への活用を図るために、国内外の類似研究の動向を把握しつつ研究を進める。また、解析評価手法の整備にあたっては、大学等との共同研究や実施済み試験のデータを十分に活用することにも留意する。

##### ロ. ATWS 時の炉心損傷防止及び影響緩和特性の実証

JAEA 大洗の高速実験炉「常陽」を用いた ATWS 模擬試験を実施し、過渡条件下での反応度フィードバック特性を評価し、ATWS 事象時の炉心損傷防止性能に対する評価ツールの改良・整備を進める。また、SASS の主要構成材料の高温ナトリウム・照射環境下での磁気特性等に係る照射試験・照射後試験を実施し、その実用性確認に向けた照射データを取得する。

##### ハ. 炉心損傷時の事象推移評価技術の整備

カザフ NNC の炉内・炉外試験施設及び JAEA 大洗の試験施設を活用した試験計画を遂行する。カザフ NNC との共同研究については、先行計画 EAGLE プロジェクト（主に熔融燃料の流出挙動に着目）に基づく試験を完了し、次期計画 EAGLE-2 プロジェクト（主に熔融燃料の流出・再配置と冷却条件の解明に着目）を開始・遂行する。これらの試験研究の成果に加え、日欧共同研究、大学との共同研究を活用して解析コードの改良・整備を行う。

#### ニ. PSA 技術の高度化

高速実験炉「常陽」及び高速増殖原型炉「もんじゅ」のナトリウム冷却系の機器を中心に運転・故障データの収集を行い、機器信頼性データ母集団を拡充する。また、高速増殖炉の PSA を行い、リスク情報を高速増殖炉の合理的な安全規制・安全管理活動に反映する手法の整備を進める。

#### 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名 (実施機関)]

- Na-水反応現象に対する有限体積法解析コードの開発および基礎化学反応実験の解析的評価 (大阪大学)
- 圧縮性混相流解析コードを用いた不足膨張噴流現象の数値解析 (茨城大学)
- 水中空気フリージェットの可視化計測 (東京大学)
- ナトリウムと水が混合するときの流動と熱伝達に関する基礎研究 (北海道大学)

- ウェステージに関する基礎研究（北海道大学）
- 理論的解析手法によるナトリウム-水反応機構の研究（首都大学東京）
- 燃料デブリベッドの運動挙動に関する基礎的研究（九州大学）

[受託研究名（委託元）]

- 炉心損傷評価技術（レベル2 PSA）の開発（文部科学省）

[委託研究名（委託機関）]

## 【研究実施内容及び成果（平成 17～19 年度）】

イ. ナトリウムの化学反応に関する安全評価技術の整備

### (1) ナトリウム漏えい

ナトリウム微少漏えいの早期検出に関して、環境条件による検出外乱影響評価のための予備試験・評価を行い、感度や検出時間と環境条件との相関を評価するための試験条件、検出感度影響因子等の検討を行った。

ナトリウム燃焼とナトリウム・コンクリート反応が競合する現象に関して、水素ガスバブリングによりナトリウム燃焼面付近の水素消費を定量化する試験を行い、酸素濃度と水素再結合割合（供給した水素がナトリウムプール燃焼領域を通過する際に消費される割合）の関係を明らかにした<sup>[\*]</sup>（図 1、図 2）。

ナトリウム燃焼反応機構と熱的影響に関しては、ナトリウム液滴燃焼試験、低温ナトリウムのスプレー燃焼試験、小規模漏えい時のナトリウムプール広がり燃焼挙動試験、エアロゾル浮遊空間における輻射減衰測定試験、燃焼火炎の放射率の解析評価法に関する知見を整理し、成果をまとめた。また、二次冷却系に超臨界炭酸ガスを導入したナトリウム冷却高速炉の安全性研究の一環として、液体ナトリウムと二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の反応挙動を調べた実験について研究成果をまとめた。

[\*] 本研究は、旧電源開発促進対策特別会計法及び特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、原子力機構が実施した平成 18 年度及び平成 19 年度「炉心損傷評価技術（レベル 2 PSA）の開発」の成果を含む。

### (2) ナトリウム-水反応

反応ジェットの流れ現象解明のため、SWAT-3R による大型炉 SG 中リーク条件での注水試験を行い、安定した高温域と間欠的な高温域の形成及び安定域が 2 次破損の影響で乱れる様子等を確認した（図 3）。管外の伝熱特性については、SWAT-3R で評価された熱流束や実効熱伝達率の最大値は SWAT-1R 等の従来知見より幾らか増減するが、基本的な伝熱特性は従来知見と大きく異なることを確認するとともに、反応ジェットから伝熱管への熱移行を評価する解析コードの作成、SWAT-1R 試験での検証解析により、外表面付近の温度履歴が正しく予測できることを確認した。一方、急速加熱時の水平管内伝熱特性を把握するため、TRUST-2 により実用炉 SG を模擬した急速加熱時の水側熱伝達率測定試験を実施した。試験では、管内圧力 17.8 MPa、バルク初期温度 200、300°C、質量流量 0.075 kg/s のサブクール水を流し、管外表面に均一に反応ジェット相当の熱流束 0.8～3.0 MW/m<sup>2</sup> をステップ印加した。図 4 に沸騰熱伝達率の周方向分布を示す。沸騰熱伝達率は断面上部で約 5000 W/m<sup>2</sup>K に低下し、断面下部で約 1.5×10<sup>5</sup> W/m<sup>2</sup>K となる。従来的高温ラプチャ評価で適用された飽和膜沸騰域の Bromley 式と比較すると、断面上部では入口サブクーリングの影響により測定値が約 4 倍大きく、断面下部ではサブクール核沸騰域の Chen 式と良好に一致することを確認した。

ウェステージ挙動の評価では、これまでのウェステージ率データを統一的に整理するためのパラメータを導出した。ここでは管壁近傍の流動条件が重要となるため、自由噴流の発達領域を仮定し、臨界流量  $G_c$ 、初期噴流速度  $w_2$  で噴出した流体が Ricou-Spalding エントレイン相関式に基づく Na 液滴を取り込んで、それが管壁に衝突することでエロージョンを引き起こすといったノズル噴出から液滴衝突に至るまでの一連のモデルを検討した。そして、直径  $D$  のノズルからの距離を  $x$ 、係数を  $W_2$  としてウェステージ率  $WR$  の関係式  $WR=W_2(G_c w_2/A_c)(x/D)^2$  を得た。関係式右辺の  $(G_c w_2/A_c)(x/D)^2$  は、発達領域内衝突位置のモーメントフラックスに相当するパラメータである。Miller らは 30 以上の  $x/D$  で自由噴流断面の分布が相似、すなわち発達領域となることを見出した

ことから、過去に計測されたデータのうち  $x/D$  が 30 以上のデータにパラメータを適用できると仮定して整理した。2.25Cr-1Mo 鋼の結果を図 5 に示す。小リークデータの上限に着目するとパラメータと共にウェステージ率は増加し、特に 10,000 以上で良くまとまる。それ以下のデータに見られるばらつきは、流速の低下による噴流の乱れ等に起因して生じると考える。ノズル近くの中リークデータ(～数百 g/s)は小リークの上限とほぼ一致するが、ノズルから離れた中リークデータは下方にばらついており、これは管束構造によるジェット減衰の影響によると考える。以上により、新たに導出したパラメータ用いれば統一的にウェステージ率を整理できる可能性があることを確認した。

ナトリウム-水反応および圧縮性混相流現象を評価する機構論的数値解析コード SERAPHIM の開発に関しては、SWAT-1R 試験を対象とした解析により温度場の再現性を検証した。図 6 に示すような模擬伝熱管群を内部に有する円筒容器を解析体系とした。容器には最初液体ナトリウムが満たされており、最下部伝熱管の中央に設けられたノズルより鉛直上方向に水蒸気が噴出する。図 7 に、試験および解析で得られた垂直断面の温度分布をそれぞれ示す。試験結果では、高温の領域が注水ノズルより左上方へ広がっているが、解析結果にも同様の温度分布が現れている。体系内最高温度についても試験と解析の間で良い一致が得られた。以上の検証より、ナトリウム-水反応発生時に形成される温度場を SERAPHIM コードによって概ね正しく再現できることを確認した。さらに、温度場形成メカニズムおよび反応ジェットの特性解明、また、モデルパラメータの最適化を目的として、解析方法やモデルパラメータを変更した影響調査解析を実施した。この解析では、図 8 に示すフリージェット体系を用いた。影響調査の一つとして、反応生成物である水酸化ナトリウム (NaOH) の蒸発を考慮する解析と考慮しない解析をそれぞれ実施した。図 9 は、それぞれのケースにおける体系内気相最高温度の時間変化を示している。NaOH の蒸発を考慮するケースでは、考慮しないケースに比べて蒸発潜熱の影響により体系内気相最高温度が 200°C 前後低く実験値に近い結果となり、流動や化学反応の他に NaOH の蒸発が温度場の形成に強く関与することが解析により示された。図 10 は、モデルパラメータである気液間熱伝達率および気液界面積濃度を変更した 3 ケースの解析結果(噴出開始後 10ms、反応ジェット内部の温度分布)を示している。これらから、モデルパラメータの変更が温度場に及ぼす影響についての知見が得られ、ナトリウム-水反応現象に対してモデルパラメータの最適化によってより現実的な評価が可能となる見通しが得られた。以上の一連の解析を通して、ナトリウム-水反応時の熱流動特性を SERAPHIM コードによって概ね評価できることを確認した。

## ロ. ATWS 時の炉心損傷防止及び影響緩和特性の実証

### (1)ATWS 模擬試験

MK-III 炉心第 3～6 サイクルにおいて、等温温度係数測定、出力係数測定を実施し、フィードバック反応度に係る測定データを蓄積した。

また、ATWS 模擬試験における試験条件を安全上許容される範囲に制限し、かつ固有安全性の実証に有効な計画を策定するには、プラント挙動を精度よく予測できることが重要であるため、当該試験の実施に向けた第 1 ステップとして、UTOP 事象を部分的に模擬し、原子炉熱出力 100MWt 及び 120MWt での定常運転状態から、制御棒を連続的に引き抜くことで 10～15MWt の出力上昇に相当する正のステップ状反応度を投入する“UTOP 予備試験”を MK-III 炉心第 4 サイクルにおいて実施し、Mimir-N2 の検証を実施した。UTOP 予備試験結果の一例として、初期出力 120MWt での定常運転状態からの制御棒引き抜きによる原子炉出力及び熱出力の変化を、当該条件における Mimir-N2 の計算結果と比較して、図 11 に示す。ここで、原子炉出力は中性子検出器からの出力信号による測定値であり、原子炉熱出力は原子炉出入口冷却材温度及び 1 次冷却材流量の測定値から求まる熱量の値である。計算値と測定値は概ね一致しており、Mimir-N2 の炉心・冷却系解析モデルが妥当であることを確認した。

さらに、ATWS 模擬試験の実施に向けた第 2 ステップとして、ATWS 模擬試験計画(案)を作成した。ここでは、原子炉熱出力、原子炉入口冷却材温度、冷却材流量を基本パラメータとし、これらのパラメータを変動させることで、フィードバック反応度成分(ドブラー反応度、燃料膨張反応度、被覆管膨張反応度、冷却材膨張反応度、炉心支持板膨張反応度、制御棒・炉心相対変位反応度、炉心湾曲反応度、炉心流量変化反応度)を分離して測定することを目的とし、検討を実施した。その結果、1 つのパラメータを調整し、それぞれの測定データを比較・評価することで、フィードバック反応度成分を、これまでより、詳細に分離できる見通しを得ることができた。よって、ATWS 模擬試験計画(案)は、1 つのパラメータを変更する試験を中心として実施することとした。なお、2 つのパラメータの調整を実施する試験は検証用データとして代表的な条件で実施することを基本

方針とした。今後、さらに検討を進め、当該計画を具体化していく予定である。

## (2)SASS 主要構成材料照射試験

MK-Ⅲ炉心第3～6'サイクル（平成18年4月から平成19年5月まで（EFPD：約198日））において、SASS 主要構成材料照射試験を実施した。図12に照射試験装置の概要を示す。本試験装置には、コイルを巻いたリング状の温度感知合金等を装填しており、照射中に磁気特性等をオンラインで測定できるようになっている。

照射試験終了後に、「常陽」の運転工程が変更になったため、一部当初計画を見直している。照射試験終了後に行う照射試験装置の脱荷は、平成19年度に実施し、照射後試験施設に移送した。

## ハ. 炉心損傷時の事象推移評価技術の整備

### (1) 熔融炉心物質挙動の実験的把握

炉心熔融事故(CDA)時に熔融炉心物質の一部が早期に炉心周辺へと流出することを示すことで、厳しい再臨界に至る可能性を排除すること（再臨界問題の排除）ができると考えられる。このため、流出挙動の実験的解明と流出を容易にする設計オプションの有効性確認を目的とした試験研究を進めた。EAGLEプロジェクト（カザフNNCとの共同研究として実施）において、実機模擬性の高い実証型炉内試験4試験をIGR（Impulse Graphite Reactor）を用いて実施するとともに、電気加熱で燃料模擬物質を熔融させる炉外試験4回をNNCで実施した。また、模擬物質を用いた可視型基礎試験（JAEA大洗で実施）を実施した。

これらの試験では、当機構におけるFaCTプロジェクト（FBRサイクル実用化研究開発）の標準設計に採用している「燃料集合体内燃料排出ダクト方式（上方へ流出）」（short-FAIDUS）に準じた試験体系を用い、このような設計に対応した実証的データ取得を図るとともに、多様な設計に適用できる流出挙動の基本メカニズム解明を進めた。その結果、燃料排出ダクトを有する集合体設計概念の場合に、①流出開始のタイミングが早いこと（高温燃料からの高い熱流束により、流出経路のバウンダリを構成するスティール壁が早期に破れる）、及び②実機で想定される圧力条件では速やかな流出が期待できるとの見通しを得た。以下、取得された実験的裏付けを記述する。

#### ①流出開始のタイミングが早いこと

EAGLEプロジェクトでは4回のIGR炉内試験（核発熱条件の下で $UO_2$ とSS（ステンレス・スティール）の2成分熔融プールを形成）と自己発熱の無いアルミナ（ $Al_2O_3$ ）融体を燃料模擬物質として用いた炉外試験を実施した。これらの試験結果に基づき、壁構造への伝熱開始から壁破損までに要した時間と熔融プールから壁への熱流束、及び壁からナトリウムへの熱流束との関係を概略評価した結果を図13に示す。炉内試験において観察された $8MW/m^2$ を超える大きな熱流束の主な発生要因としては、酸化物燃料プール中に金属成分としてSSが混在したことによる、(i)プール内熱伝導の促進、(ii)プール粘性の低下、(iii)浮力駆動の対流の活発化、(iv)壁近傍での局所的に偏在するSS成分による伝熱促進、(v)SSの蒸発/凝縮熱伝達の発生、が考え得る。既存の伝熱相関式に基づき試算した結果、 $8MW/m^2$ を超えるような高い熱流束は、(i)～(iii)の効果のみでは説明し難く、少なくとも(iv)（あるいは(v)）までを考慮する必要があること、及びこのような高い熱流束の存在する条件下では壁面に熱抵抗となる燃料クラストが形成されないことが分かった。

以上の分析により、熔融プールから壁への伝熱はプール内のSSの存在による伝熱促進効果に左右され、実機条件では高い伝熱性によって早期の壁破損に至る見通しが示された。

#### ②速やかな流出が期待できること

SS製ダクト壁破損後の燃料流出は、駆動力、流出経路中での固化や、流出先での圧力発生に依存する。EAGLE炉内外試験及び可視化基礎試験の結果は、これらの各要素に関わる情報を補完し、実機条件での速やかな燃料流出の見通しを示した。

#### [可視化基礎試験の結果]

流出経路内での固化の可能性については、経路内ナトリウムの応答が重要となる。液相ナトリウムが流出経路内を満たしている状況では、流出しつつある燃料は何れ固化して閉塞を形成すると考えられる。このため、流出の早い段階で流出経路内の液相ナトリウムが排除されボイド化することが速やかな流出の必要条件となる。可視化基礎試験においては、熔融燃料模擬物質として熔融低融点合金を用い、冷却材模擬物質として温水を用いた可視化試験を実施し、経路内ボイド化挙動に関する現象解明を図った。この模擬物質による現象解明と酸化物-ナトリウム系への外挿評価により、実機条件では初期にナトリウム中に放出された少量の熔融燃料が短時間にボイド形成と拡大を生じさせるとの見通しを得た。

### [EAGLE 炉外試験の結果]

EAGLE 炉外試験においては、アルミナを燃料模擬物質として用い、流出先にナトリウムが豊富に存在する条件にて4回の試験を実施し、うち3回の試験（IDO-2~4 試験）にてアルミナ融体の流出挙動を観察した（前記したように内部ダクト領域にナトリウムを満たしたIDO-1 試験においては、ドライアウト条件に至るまでダクト破損が生じず、その結果厚いクラストが形成されてアルミナ融体の流出が観察されなかった）。この結果、前述の早期の流路内ボイド化を酸化物-ナトリウム体系で確認するとともに、流出先での FCI(Fuel Coolant Thermal Interaction)圧力が速やかな流出を妨げないこと、流出先で十分な量のナトリウムと混合することで融体は効果的に微粒化し、冷却されやすいデブリを形成することが確認された。

### [EAGLE 炉内試験の結果]

約 8kg の溶融燃料の流出挙動を調べた炉内総合試験（ID1 及び ID2 試験）における試験体の概要を図 1 4 に示す。これらの試験においては、駆動圧力が比較的小さな条件設定（炉心模擬部と流出先模擬部の圧力差が 0.05~0.12MPa）としたが、大部分の燃料が流出経路を模擬したダクト構造を通じて流出し、下方のトラップ領域に堆積した。このうち、実機条件での燃料エンタルピーの模擬性の高い 1 回目を実施した ID1 試験では、ダクト破損後 1~2 秒の間にトラップ内の顕著な温度上昇が記録され、この間に主要な燃料流出が生じたことが分かった（図 1 5）。これらの試験では下方流出型の試験体系を用いており、圧力差に加えて重力も流出駆動力となるが、実機条件では燃料溶融時に開放される FP ガス圧により 1MPa 程度の駆動圧が予想されることから、上方流出型の体系においても速やかな流出が期待できるとの見通しを得た。さらに、2 回目の炉内総合試験（ID2 試験）では、試験燃料へのエネルギー投入速度を ID1 試験よりも小さく設定し、結果的に駆動圧が主要な燃料流出前に殆どゼロとなる条件を得た（上図の約 32 秒時点で○印と△印の圧力データが等しくなっていることに対応）。この結果、ナトリウムが溶融プール側に侵入し、その結果として形成されるナトリウム蒸気圧が燃料流出を駆動する現象が観察された（図 1 6）。この結果から、FP ガスによる駆動圧が低下した条件では、ナトリウム蒸気圧が流出の駆動力となり得ることが示された。

### (2) 安全解析コードの改良・検証、適用性拡大

炉心損傷時の初期過程（起因過程）を評価する解析コード SAS4A については、国際共同開発におけるコードマネージャーとして、コード改良に対応したマニュアル類の整備を行い、最新バージョンとして維持・管理した。また、定常照射挙動モデル（燃料再組織化モデル）の改良を行い、過渡条件下における燃料ピン破損限界の精度向上を図った。炉心崩壊過程（炉心損傷の後続過程）の解析コード SIMMER-III については、欧州研究機関との共同研究により実機評価上の主要現象に関わるモデル改良・検証を進めた。特に、実機評価における事象推移に大きく影響する溶融燃料の固化・閉塞形成挙動に関するモデル改良と実験的検証を行い、評価信頼性を向上した。図 1 7 に、この改良モデルを用いた融体の侵入固化試験における侵入長と SIMMER-III によって予測された侵入長を比較したグラフを示す。改良後の SIMMER-III は既存の全ての試験結果を±50%の精度で予測することが可能となった。

FaCT プロジェクトの標準設計におけるナトリウム冷却 MOX 燃料炉における炉心損傷事故を対象として、SAS4A、SIMMER-III コードの開発成果を反映した評価を実施してその適用性を確認するとともに、当該プラント概念の炉心安全特性を明らかにした。炉心からの溶融燃料流出を促進する各再臨界問題排除概念について、炉心損傷事故の事象推移評価を SIMMER-III を用いて行い、図 1 8 に示す燃料集合体内に燃料流出用ダクトを設置する short-FAIDUS 概念によって厳しい再臨界を回避できる見通しを得た。図 1 9 に short-FAIDUS を採用した炉心における遷移過程の SIMMER-III による解析結果を示す。short-FAIDUS を採用した炉心では、燃料破損開始から数秒で内部ダクトを通して燃料が流出することで反応度と出力が低下し、厳しい再臨界の回避が可能であることが示された。以上の研究によって、実用化時代の高速炉が有すべき安全特性の一つである再臨界問題の排除を short-FAIDUS によって実現できる見通しを得た。また、これらの予測解析の基本的妥当性を上記(1)の実験からの知見により確認し、同設計が再臨界問題排除に有効であることを示した。

### (3) 格納容器内事象に関する試験と解析コード改良

溶融炉心物質がナトリウム・コンクリート反応へ与える熱的影響を解明することを主目的として、ナトリウム・デブリ・コンクリート相互作用小規模試験装置の詳細設計及び製作を実施した<sup>[4]</sup>。

炉心物質による原子炉容器溶融貫通事象に対するナトリウムの存在の影響を考慮するためには、



CONTAIN/LMR コード内のデブリ・コンクリート相互作用関連解析モデル CORCON 及び VANESA（ともに軽水炉評価用に開発されたモデル）を改良する必要がある。炉心損傷の影響が炉容器外へ拡大する場合に想定される典型的物質配置は、コンクリート層の上にデブリ層、ナトリウムプール層が覆う構成となるため、最上部に位置するナトリウムプール近傍に着目して、ナトリウムプール中における化学反応、プールとデブリ層の熱伝達、プール中に放出された FP・エアロゾル挙動に関するプログラム整備・改良を実施した<sup>[\*]</sup>。

[\*] 本研究は、特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、原子力機構が実施した平成 19 年度「炉心損傷評価技術（レベル 2 PSA）の開発」の成果である。

## ニ. PSA 技術の高度化

「常陽」及び「もんじゅ」を対象として機器の信頼性データを継続して収集・整備した。また、高速増殖炉の炉心損傷頻度に高い感度を有するナトリウム漏洩事象を PSA の中で現実的に考慮する手法として、ナトリウム漏洩発生頻度を規模に依存して定量化する手法を整備した。この手法では、国内外の過去のナトリウム漏洩事例についての統計データに基づき、漏洩規模に依存した漏洩発生頻度の定量化を行うが、平成 19 年度にはフランスのフェニックス炉でのナトリウム漏洩事例を追加調査し、漏洩事例データの母集団を拡充した。さらに、フェニックス炉における過去のナトリウム漏洩事例について漏洩継続時間を調査し、そのばらつきを統計的に求め、これを考慮に入れることにより、漏洩継続時間の不明な他の漏洩事例についての漏洩継続時間の確率分布をより現実的に推定することが可能となった。

「もんじゅ」を対象としたアクシデントマネジメント策の抽出及び有効性評価に資するために、定格出力運転時における内の事象に対する PSA を実施した。その過程で、「もんじゅ」プラントのナトリウム漏洩等の機器故障データの見直しを進めるとともに、PSA の結果を提示し、「もんじゅ」側は、この結果に基づきアクシデントマネジメント策の検討を行い、アクシデントマネジメント対策を具体化した。アクシデントマネジメント整備前後における事象シーケンスのカテゴリの炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度への寄与割合を図 20 及び図 21 に示す。炉心損傷頻度については原子炉容器液位確保機能喪失の寄与が大きいこと並びにアクシデントマネジメントの整備によって原子炉容器液位確保機能喪失の頻度及び炉心損傷頻度の合計がともに低減することが明らかになった。図 21 における放出低減機能の劣化と格納機能喪失を合わせたものとして定義した格納容器機能喪失の頻度については、炉心損傷頻度よりも 2 桁以上低く抑制されていること並びにアクシデントマネジメントの整備により頻度の低減が認められることが明らかとなった。本 PSA の実施により、炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度を定量的に明らかにするとともに我が国における高速増殖炉のアクシデントマネジメント整備への適用性が示された。

## 【特記事項】

### 【研究成果の発表状況】

#### 雑誌掲載論文

- 1) A. Yamaguchi, Y. Tajima, “A Numerical Study of Radiation Heat Transfer in Sodium Pool Combustion and Response Surface Modeling of Luminous Flame Emissivity”, Nuclear Engineering and Design, 236, 1179-1191, (2006)
- 2) 西村、二神、大野、宮原、“小規模ナトリウム漏えい時の燃焼挙動”、日本原子力学会和文論文誌、Vol.6, No.2, 149-160, (2007)
- 3) M. Epstein, H. K. Fauske and N. Yoshioka, “Establishment of Analytical Model for Peak Temperature Within a Sodium-Water Reaction Jet(II): Mean Droplet Size in a Submerged Gas Jet”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.43, No.1, pp.43-54, (2006)
- 4) T. Takata, A. Yamaguchi, K. Fukuzawa and K. Matsubara, “Numerical Methodology of Sodium-Water Reaction with Multiphase Flow Analysis”, Journal of Nuclear Science and Engineering, 150, 221-236, (2005)

- 5) M. Takamatsu, et al., "Demonstration of Control Rod Holding Stability of the Self Actuated Shutdown System in Joyo for Enhancement of Fast Reactor Inherent Safety", Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.44, (2007).
- 6) K. Morita, W. Maschek, M. Flad, H. Yamano and Y. Tobita, "Thermophysical Properties of Lead-Bismuth Eutectic Alloy in Reactor Safety Analyses," Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 43, No. 5, pp. 526-536 (2006).
- 7) P. Liu, S. Yasunaka, T. Matsumoto, K. Morita, K. Fukuda and Y. Tobita, "Simulation of the Dynamic Behavior of the Solid Particle Bed in a Liquid Pool: Sensitivity of the Particle Jamming and Particle Viscosity Models," Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 43, No. 2, pp. 140-149 (2006).
- 8) 佐藤, "CABRI 試験からの高速炉安全研究に係わる主要な知見", 日本原子力学会誌、Vol.48, No.10, (2006)
- 9) Kenji Kamiyama, David J. Brear, Yoshiharu Tobita and Satoru Kondo, "Establishment of Freezing Model for Reactor Safety Analysis," Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 43, No. 10, pp. 1206-1217
- 10) K. Konishi, et al., "The result of a wall failure in-pile experiment under the EAGLE project," Nuclear Engineering and Design, 237, 2165-2174, (2007).

#### 技術報告書

- 11) 堂田, 石川, 大野, 他, "ナトリウム液滴落下燃焼実験 (FD-3)", JNC TN9400 2005-048, (2005)
- 12) 原子力機構、「文部科学省 原子力システム研究開発事業 炉心損傷評価技術 (レベル2 PSA) の開発」成果報告書、(2007).
- 13) 二神敏、大野修司、西村正弘、「小規模ナトリウム漏えい時におけるプール燃焼挙動」、サイクル機構技報、No.27、(2005)
- 14) 川田, 松木, 宮原, "広温度・広酸素濃度範囲 Na 燃焼試験 (IV) - 低温 Na スプレー燃焼試験-", JNC TN9400 2005-043, (2005)
- 15) 大野, "ナトリウムエアロゾル浮遊空間における輻射熱の透過率測定試験", JNC TN9400 2005-040, (2005)
- 16) 東京工業大学, "超臨界 CO<sub>2</sub> ガスタービン発電高速炉の技術開発", 文部科学省 平成 17 年度革新的原子力システム研究開発公募研究報告書, 平成 18 年 3 月 31 日.
- 17) 二神敏、「ナトリウム-水反応ジェット熱流動特性-温度分布特性に及ぼすカバーガス圧力の影響-」、JNC TN9400 2005-042、(2005)
- 18) 小野功、栗原成計、「SWAC-13 による中規模水リーク率での準定常圧力解析-SWAT-3 Run-13 による検証解析-」、JNC TN9400 2005-047、(2005)
- 19) 豊岡, "EAGLE プロジェクト中規模炉内試験の予測解析 -SIMMER-IV コードを用いた 3 次元解析- (研究報告)", JNC TN9400 2005-036, (2005).
- 20) 栗坂健一, "「もんじゅ」レベル 1 PSA のためのナトリウム漏洩事象における漏洩規模の確率分布の推定", 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN9400 2005-017、2005 年 4 月.

#### 国際会議

- 21) A. Yamaguchi, "A Study on Sodium Pool Combustion Phenomena under Natural Convection Airflow," The 11th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics (NURETH-11), Paper:476, Avignon, France (2005)
- 22) H. Ishikawa, S. Miyahara, Y. Yoshizawa, "Experimental Study of Sodium - Carbon Dioxide Reaction," Proceedings of ICAPP '05, Paper:5688, Seoul, Korea (2005)
- 23) H. Seino, H. Jitsu, A. Kurihara, I. Ono and H. Hamada, "DEVELOPMENT OF BLOW DOWN AND SODIUM-WATER REACTION JET ANALYSIS CODES - VALIDATION BY SODIUM-WATER REACTION TESTS (SWAT-1R) -", ICONE13-50170, 13th International Conference on Nuclear Engineering, Beijing, China, May 16-20, (2005)
- 24) K. Suda, A. Watanabe and H. Ohshima, "Numerical Simulation of Sodium-Water Reaction Phenomena under Small Leakage in a Steam Generator", 14th International Conference on Nuclear Engineering, Miami, Florida, USA, July 17-20, (2006)
- 25) K. Soga, H. Niikura, K. Sugiyama, T. Narabayashi, H. Ohshima, K. Suda, "Entrainment of Water around a Single Rod Immersed in Water Pool with Gas Jet Impingement", 14th International Conference on Nuclear Engineering, Miami, Florida, USA, July 17-20,

- (2006).
- 26) A. Yamaguchi, T. Takata, H. Ohshima, K. Suda, "Sodium-Water Reaction and Thermal Hydraulics at Gas-Liquid Interface: Numerical Interpretation of Experimental Observations", 14th International Conference on Nuclear Engineering, Miami, Florida, USA, July 17-20, (2006).
  - 27) K. Soga, T. Tamura, K. Sugiyama, T. Narabayashi, H. Ohshima, and K. Suda, "Two Phase Flow Behavior around A Single Rod Immersed in Water Pool with Gas Jet Impingement", KNS-AESJ Joint Summer School, for Nuclear Thermal Hydraulics and Safety, Pusan, Korea, Nov. 24-25.2006.
  - 28) T. Tamura, K. Soga, K. Sugiyama, T. Narabayashi, H. Ohshima and K. Suda, "Entrainment of Water around a Single Rod Immersed in Water Pool with Gas Jet Impingement (II)", Proc. of 15th International Conference on Nuclear Engineering, Nagoya, Japan, April 22-26, (2007).
  - 29) T. Tsuruoka, T. Tamura, K. Sugiyama, T. Narabayashi and H. Ohshima, "Mixing Behavior of Argon Gas Jet with Liquid Sodium around A Single Rod –A Basic Study on Sodium-Water Reaction–", The 16th International Conference on Nuclear Engineering, Orland, Florida, USA, May, 11-15. 2007
  - 30) T. Takata, A. Yamaguchi, A. Uchibori and H. Ohshima, "Numerical Investigation of Sodium-Water Reaction Phenomenon in a Tube Bundle Configuration," Proc. of International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP 2007), Nice, France, May 13-18, (2007).
  - 31) A. Yamaguchi, T. Takata, H. Ohshima and A. Kurihara, "Thermal influence on steam generator heat transfer tube during sodium-water reaction accident of sodium-cooled fast reactor," Proc. of 12th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics (NURETH-12), Pittsburgh, USA (2007)
  - 32) A. Uchibori, H. Ohshima, T. Takata and A. Yamaguchi, "Development of SERAPHIM Code for Compressible Multi-Phase Flows with Sodium-Water Reaction," Proc. of International Workshop on Thermal-Hydraulics of Innovative Reactor and Transmutation Systems (THIRS), Karlsruhe, Germany, April 14-16, (2008).
  - 33) T. Sekine, T. Aoyama and S. Suzuki, "Joyo irradiation and demonstration of innovative FBR and fuel cycles," Technical meeting on research reactor support needed for innovative nuclear power reactors and fuel cycles, Vienna, Austria (2006).
  - 34) T. Aoyama, et al., "Joyo, The Irradiation and Demonstration Test Facility of FBR Development", 15th PBNB, Sydney, (2006)
  - 35) M. Takamatsu, T. Kuroha, T. Aoyama, "Studies of passive safety tests by using the experimental fast reactor Joyo - Verification of Joyo plant dynamics analysis code Mimir-N2 –" ICAPP2007, Nice, France (2007).
  - 36) A. Vurim, V. Gaidaichuk, et al., "Experience of WF test preparation and its preliminary results," Nuclear energy in Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Republic of Kazakhstan, May 30, 2005, (2005).
  - 37) Yu. Vassiliev, O. Pivovarov, V. Zuyev, et al., "Experimental research at the out of-pile stand for fast reactor safety substantiation," Nuclear energy in Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Republic of Kazakhstan, May 30, 2005, (2005).
  - 38) K. Konishi, J. Toyooka, K. Kamiyama, I. Sato, S. Kubo, S. Kotake, et al., "The Result of Medium Scale In-Pile Experiment Conducted under the EAGLE-Project," Proc. Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management for Nuclear Power Plants, Tokyo, Japan (March 14-16, 2006).
  - 39) H. Yamano, S. Fujita, Y. Tobita, I. Sato and H. Niwa, "Development of a Three-Dimensional CDA Analysis Code: SIMMER-IV, and Its First Application to Reactor Case," Proc. Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management for Nuclear Power Plants, Tokyo, Japan (March 14-16, 2006).
  - 40) Y. Tobita, H. Yamano and I. Sato, "Analytical Study on Elimination of Severe Recriticalities in Large Scale LMFBRs with Enhancement of Fuel Discharge," Proc. Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management for Nuclear Power Plants, Tokyo, Japan (March 14-16, 2006).
  - 41) K. Morita, T. Matsumoto, K. Fukuda, Y. Tobita, H. Yamano and I. Sato, "Reactor Safety Analysis Code SIMMER-III for Transient Bubble Behavior with Condensation," Proc.

- Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management for Nuclear Power Plants, Tokyo, Japan (March 14-16, 2006).
- 42) K. Konishi, S. Kubo, I. Sato, K. Koyama, J. Toyooka, K. Kamiyama, S. Kotake, A. Vurim, V. Gaidaichuk, A. Pakhnits and Y. Vassiliev, "THE EAGLE-PROJECT TO ELIMINATE RECRITICALITY ISSUES OF FAST REACTORS - PROGRESS AND RESULTS OF IN-PILE TESTS -," Fifth Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (NTHAS5), Jeju, Korea, Nov. 26-29 (2006).
  - 43) D. Wilhelm, G. Biaut and Y. Tobita, "SIMMER Model of a Low-Enriched Uranium Non-Power Reactor," Proc. Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management for Nuclear Power Plants, Tokyo, Japan (March 14-16, 2006).
  - 44) Koji, Morita, Tatsuya Matumoto, Kenji Fukuda, Yoshiharu Tobita, Hidemasa Yamano, Ikken Sato, "Experimental Verification of Fast Reactor Safety Analysis Code SIMMER-III for Transient Bubble Behavior with Condensation," Proc. Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management for Nuclear Power Plants, Tokyo, Japan (March 14-16, 2006).
  - 45) K. Morita, T. Matsumoto, K. Fukuda, Y. Tobita, I. Sato and H. Yamano, "Condensation of a Large Scale Bubble in Subcooled Liquid: Experimental Verification of the SIMMER-III Code," Proc. of the Fifth Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (NTHAS5), Jeju, Korea, November, (2006).
  - 46) Y. Tobita, and H. Yamano, "An Analysis of CDA Event Sequences in Lead-Bismuth cooled Fast Reactor," Proc. of the Fifth Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (NTHAS5), Jeju, Korea, November, (2006).
  - 47) S. Koshizuka, et. al, "Multi-physics and Multi-scale Simulation for Core Disruptive Accidents in Fast Breeder Reactors," Proc. of the Fifth Korea-Japan Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (NTHAS5), Jeju, Korea, November, (2006).
  - 48) M. Sotsu and K. Kurisaka, "ATWS frequency evaluation of FBR Monju", Proc. of ICONE14, Miami, USA, July, ICONE14, (2006).
  - 49) K. Kurisaka, "Probabilistic safety assessment of Japanese sodium-cooled fast reactor in conceptual design stage", Proc. of 15PBNC, Sydney, Australia, CD-ROM, (2006).

#### 口頭発表

- 50) 大高、永井、荒、"レーザーを用いた Na 微少漏えい検知特性"、日本原子力学会 2008 年春の年会、J23 (2006).
- 51) 清野、大野、石川、西村、佐藤、宮原、"高速炉の炉心損傷評価技術 (レベル 2PSA) の開発(3) 格納容器内事象に関する評価手法の開発"、日本原子力学会 2007 年秋の大会、H48 (2007).
- 52) 佐藤、武隈、"乾燥空気流中における静止ナトリウム液滴の着火挙動"、第 43 回燃焼シンポジウム講演論文集、P213, 2005 年 12 月, (2005)
- 53) 大野、高田、山口、"高速炉におけるナトリウム燃焼事象評価 -評価手法と解析例-"、第 15 回 CCSE ワークショップ、(2007).
- 54) 田辺、宮原、三宅、"超臨界 CO<sub>2</sub> サイクルの発電プラントへの応用と開発の現状一次世代高速炉向けの模擬試験-"、日本機械学会 2005 年度年次大会、2005 年 9 月, (2005)
- 55) 石川、宮原、吉澤、"超臨界 CO<sub>2</sub> ガスタービン発電高速炉の開発 ; (6) ナトリウム-炭酸ガス反応挙動実験 (第 2 報)"、日本原子力学会 2006 年秋の大会、O12、(2006).
- 56) 石川、宮原、吉澤、"ナトリウム/二酸化炭素反応挙動実験"、第 44 回燃焼シンポジウム、E124、(2006).
- 57) 二神、"実用高速炉蒸気発生器水漏えい事故の影響評価に関する研究 -ナトリウム-水反応ジェットの温度分布特性-"、日本原子力学会 北関東支部若手研究者発表会、H18.4.21、東海・テクノ交流館リコッティ(2006).
- 58) 高田、山口、須田、大島、"高速炉蒸気発生器におけるナトリウム-水反応シミュレーション"、日本機械学会 2006 年度年次大会、(2006).
- 59) 田村、曾我、杉山、大島、"単一円筒に衝突するガスジェットと周囲液体との混合挙動"、日本原子力学会 2006 年秋の大会、(2006).
- 60) 浜田、三宅、宮原、"高温化を目指した蒸気発生器の水漏えいに関する研究 (速報)"、日本原子力学会 2006 年秋の大会、(2006).
- 61) 田村、曾我、杉山、奈良林、大島、須田、"単一円筒に衝突するガスジェットと周囲液体との混

- 合挙動”，日本原子力学会北海道支部第 24 回研究発表会，(2006).
- 62) 高田，小原，山口，大島，“ナトリウム-水蒸気の対向流拡散反応場の数値シミュレーション”，日本原子力学会 2007 年春の年会，(2007).
  - 63) 田村，曾我，杉山，奈良林，大島，須田，“単一円筒に衝突するガスジェットと周囲ナトリウムとの混合挙動”，日本原子力学会 2007 年春の年会，(2007).
  - 64) 松本，高田，山口，内堀，大島，“ナトリウム-水反応時における周辺伝熱管への熱移行特性評価”，日本原子力学会 2007 年春の年会，(2007).
  - 65) 浜田，大島，“ナトリウム-水反応ジェットによるウェステージ特性”，日本原子力学会 2008 年秋の大会，E52，2008 年 9 月.
  - 66) 内堀，大島，高田，山口，“高速炉におけるナトリウム-水反応現象の数値解析”，日本機械学会第 12 回動力・エネルギー技術シンポジウム，(2007).
  - 67) 内堀，大島，高田，山口，“高速炉におけるナトリウム-水反応現象の数値解析(SERAPHIM コードの検証とパラメータ感度解析)”，日本機械学会 2007 年度年次大会，(2007).
  - 68) 内堀，大島，渡部，高田，山口，“高速炉蒸気発生器内ナトリウム-水反応現象に対する数値解析手法の開発-SERAPHIM コードの検証とパラメータ影響解析-”，日本原子力学会 2007 年秋の大会，(2007).
  - 69) 小原，山口，高田，大島，“減圧によるナトリウム-水蒸気対向流拡散反応の可視化に関する数値解析研究”，日本原子力学会 2007 年秋の大会，(2007).
  - 70) 鶴岡，曾我，杉山，奈良林，大島，“単一円筒に衝突するガスジェットと周囲ナトリウムの混合挙動Ⅱ”，日本混相流学会 2007 年会講演会，札幌，2007.6.22-24
  - 71) 鶴岡，田村，杉山，奈良林，大島，“単一円筒に衝突するガスジェットと周囲ナトリウムの混合挙動(Ⅲ)”，日本原子力学会 2007 年秋の大会，北九州，2007.9.27-29
  - 72) 鶴岡，田村，杉山，奈良林，大島，“ガスジェットが衝突する単一円筒周りのナトリウム-水反応を伴う熱伝達特性”，日本原子力学会 2008 春の大会，大阪，2008.3.26-28
  - 73) 栗原，大島，門出，“高速炉蒸気発生器におけるナトリウム-水反応を模擬した水側熱伝達率測定試験”，日本原子力学会 2008 春の大会，(2008)
  - 74) 松本，高田，山口，栗原，大島，“ナトリウム-水反応実験における伝熱管外表面での熱伝達率の数値解析による推量”，日本原子力学会 2008 春の大会，(2008)
  - 75) 鶴岡，田村，杉山，奈良林，大島，“ガスジェットが衝突する単一円筒周りのナトリウム-水反応を伴う熱伝達特性”，日本原子力学会 2008 春の大会，(2008)
  - 76) 川原，高松，青山，黒羽，“「常陽」における過渡時プラント特性試験“，2007 年春の年会，(2007).
  - 77) 高松，関根，青山，“Development of new concept safety system for FBR -Development of SASS for enhancement of FBR safety feature-“，国際原子力安全セミナー「原子炉プラント安全コース」，2007 年 2 月，(2007).
  - 78) 青山，伊藤，“高速実験炉「常陽」を用いた研究開発“，日本原子力学会九州支部第 136 回講演会，2007 年 7 月，(2007)
  - 79) 青山，“30-year History and Prospect for Future of Joyo，平成 19 年度 核種移動を考慮した放射能インベントリ評価システム開発委員会，2007 年 10 月，(2007)
  - 80) 板垣，青山，“Current Status of Joyo, Information Exchanging Meeting between CEFR, Monju, Joyo and INTIC, 2008 年 3 月，(2008)
  - 81) 山野，飛田，佐藤，丹羽，“3 次元安全解析コード SIMMER-IV による炉心損傷事象推移評価の向上”，日本原子力学会 2005 年秋の大会，(2005).
  - 82) 小山，猿山，久保，小竹，小西，佐藤，“高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(11)-モンテカルロ法コードによる核計算の応用(2)-“，日本原子力学会 2005 年秋の大会，(2005).
  - 83) 小西，豊岡，神山，佐藤，久保，小竹，小山他，“高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(12)-炉内大規模ドライ試験の結果-“，日本原子力学会 2006 年春の年会，(2006).
  - 84) 神山，小西，佐藤，久保，小竹，島川，小山他，“高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(13)-炉外ナトリウム試験の結果-“，日本原子力学会 2006 年春の年会，(2006).
  - 85) 豊岡，小西，神山，佐藤，久保，小竹，小山他，“高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(14)-炉内中規模試験の結果と解釈-“，日本原子力学会 2006 年春の年会，(2006).
  - 86) 飛田，細野，近藤，“燃料流出促進機構を備えた大型炉における CDA 事象推移評価”，日本原子力学会 2006 年春の年会，(2006).

- 87) 小西, 豊岡, 神山, 佐藤, 久保, 小竹, 小山他 “高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(15)-第 1 回炉内総合試験の結果-”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, (2006).
- 88) 磯崎, 今堀, 神山, 佐藤, “高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(16) -冷却材流路のボイド拡大挙動に対する流出経路長さの影響-”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, (2006).
- 89) 神山, 磯崎, 今堀, 佐藤, “高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(17) -燃料流出経路のボイド化現象の考察-”, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, (2006).
- 90) 栗坂健一, ”PSA で想定されるナトリウム漏洩事象の規模に関する確率分布の推定”, 日本原子力学会 2005 年秋の大会, H19, 2005 年 9 月.
- 91) 小西, 豊岡, 神山, 佐藤, 久保, 小竹, 小山他, “高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(18)-第 2 回炉内総合試験の結果-“, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, (2007).
- 92) 小山, 猿山, 久保, 小竹, 小西, 豊岡, 神山他, “高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(19)-中性子検出器信号による燃料移動状況の同定-“, 日本原子力学会 2007 年秋の大会, (2007).
- 93) 豊岡, 小西, 神山, 佐藤, 久保, 小竹, 小山他, “高速炉の炉心安全向上のための EAGLE プロジェクト(20)-ID1 試験における燃料プールの伝熱性評価-“, 日本原子力学会 2008 年春の年会, (2008).

## 【用語解説】 再臨界問題

高速増殖炉の炉心は健全状態において最大反応度体系にないことから、炉心崩壊事故を想定した場合に、熔融燃料等の運動に依存して正の反応度が投入され、厳しい再臨界による機械的エネルギーの発生が一次系バウンダリーの健全性に影響を与える可能性について評価する必要がある（再臨界問題）。機構では、将来の高速増殖炉の安全上の目標として、このような厳しい再臨界の可能性が排除できることを示す研究を進めている。このような再臨界問題の排除は、流出挙動に係わる物理メカニズム解明と燃料流出を容易にする設計オプションの採用の両面から達成するアプローチをとっており、FaCT プロジェクトの中では燃料集合体内に上方に開放部を持つ燃料排出ダクトを導入する方式を標準設計として採用している。なお、集合体内ダクト方式には下方に開放部を持つ設計オプションも考えられているが、ダクト位置を集合体の中央にする必要があり、燃料ピン支持方式が複雑になるなど標準設計よりも開発要素が大きい。

## カザフ NNC

カザフスタン共和国の国立原子力研究センター（NNC: National Nuclear Center）は、政府直轄の国立研究所であり、旧ソ連時代の核実験場のあったセミパラチンスクに設置されている。これまでに、原子力や宇宙開発に係わる軍用及び民生用の主に実験に係わる研究を行ってきた。これらの研究を通じて、試験炉を用いた実験研究や高温材料及び試験技術を蓄積している。なお、カザフスタン共和国の独立後は、非核宣言を行い、IAEA や核不拡散条約にも加盟して、原子力については平和利用に限定した研究、開発、利用を行うとともに、所有する試験施設と技術をもとに海外との共同研究を行っている。

## IGR

Impulse Graphite Reactor（黒鉛減速型パルス型試験炉）の略。カザフスタン共和国国立原子力研究センターが保有する研究用の原子炉。短時間に大きな出力パルスを与えて、試験燃料を熔融させることのできる黒鉛減速のパルス型試験炉であり、試験燃料は原子炉の中央にある実験孔に設置される。これまでも軽水炉燃料及び高速炉燃料の破損限界や燃料挙動を観測するための研究に広く活用されてきている。IGR を用いた国際協力の実績として、フランスとの共同研究による軽水炉燃料の安全性試験がある。国内外に存在する炉内安全性実験用の試験炉の中で、今回の試験研究プロジェクトに必要な能力（8kg 程度の試験燃料を短時間に熔融できるような高い加熱能力）を有する唯一の試験炉である。

図表

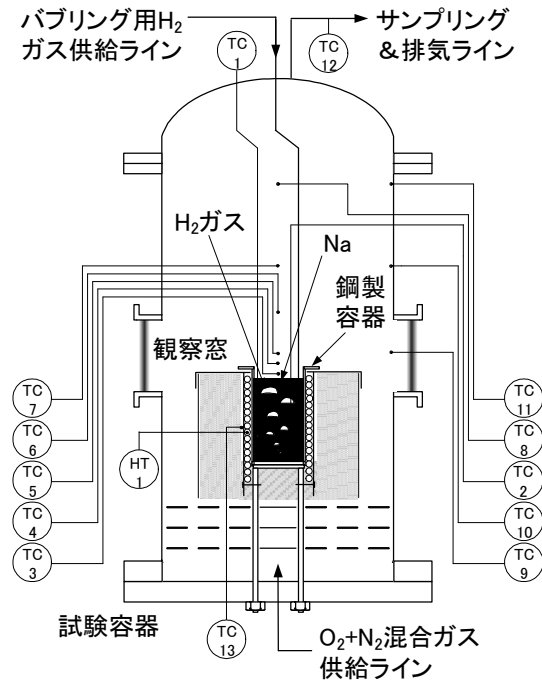


図1 ナトリウム中水素ガスバブリング試験装置（主要部）の概念図

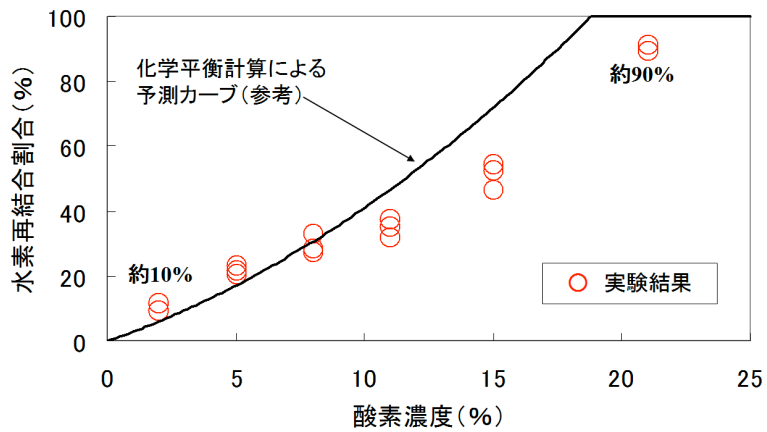


図2 ナトリウム中の水素ガスバブリング試験における酸素濃度と水素再結合割合の関係

[図の説明]

ナトリウム中に水素ガスをバブリングさせた時のナトリウム燃焼面付近における水素消費を定量化するための試験（図1）を実施した。その結果、雰囲気中の酸素濃度が高くなるにつれて水素再結合割合は増大するという定性的に妥当な結果（図2）を得ることができた。

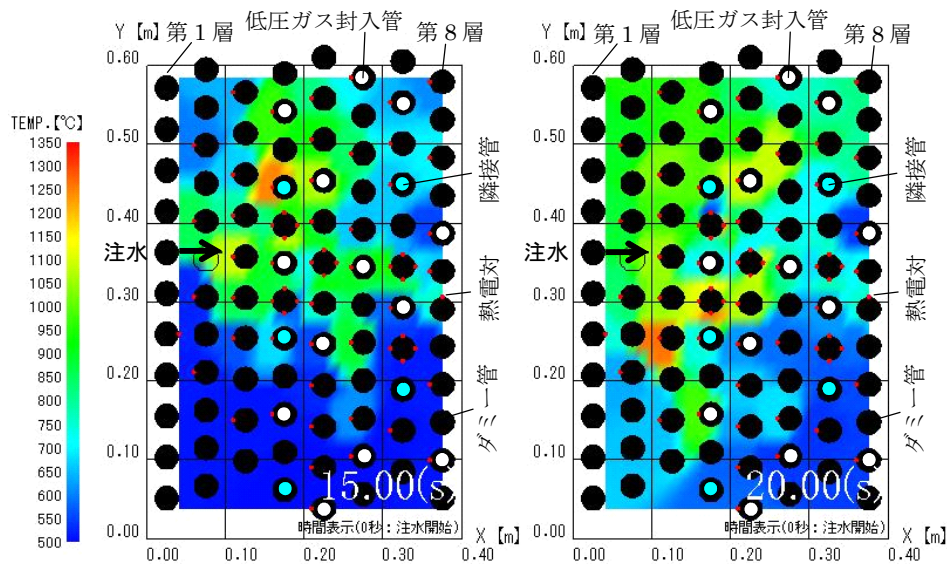


図3 SWAT-3R 実験時の温度分布の一例 (時間 15 秒と 20 秒)

[図の説明]

大型炉 SG の高温・高圧条件で中リークを模擬したナトリウム-水反応試験を実施し、反応ジェットの温度分布および破損伝播に関するデータを取得した。注水後は、注水孔から 3~4 層伸びる安定した高温域を形成し、上方に 2 層程度離れて間欠的な高温域が出現するが、2 次破損後は安定した高温域の形成が阻害されて乱れる様子が確認できた。

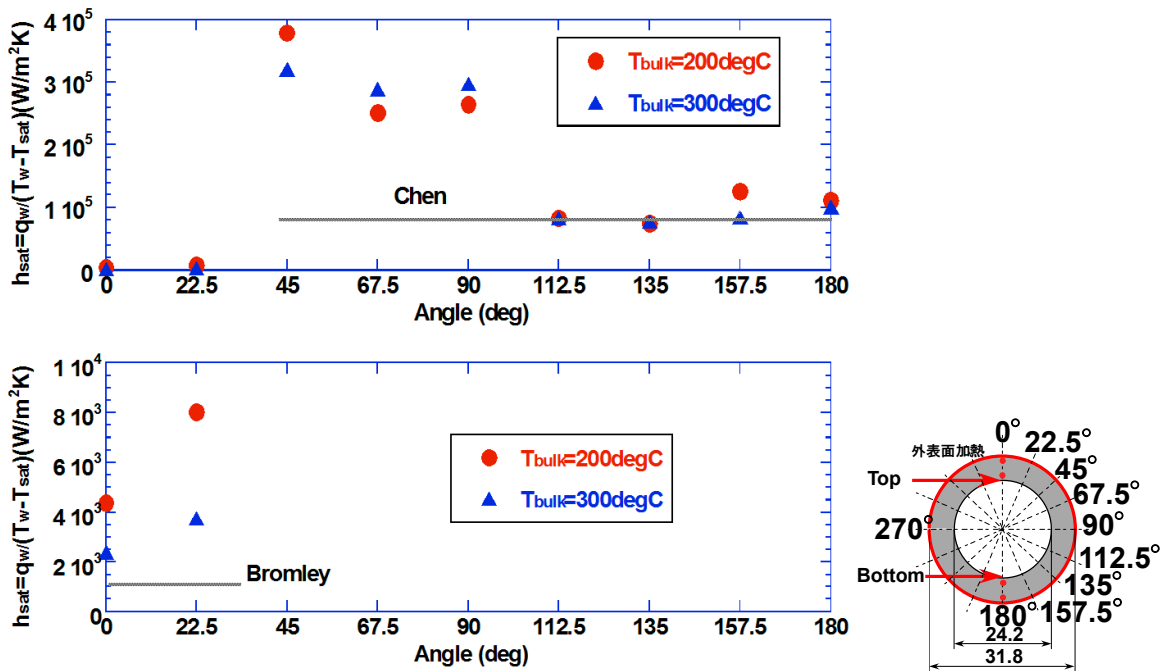


図4 急速加熱時の沸騰熱伝達率分布

[図の説明]

急速加熱時の水平管内伝熱特性を把握するため、外表面に均一に熱流束を印加した試験を行った結果、沸騰熱伝達率は断面上部では約  $5000 \text{ W/m}^2\text{K}$  に低下し、断面下部では約  $1.5 \times 10^5 \text{ W/m}^2\text{K}$  となる。従来の高温ラプチャ評価で適用されている飽和膜沸騰域の Bromley 式と比較すると、断面上部では入口サブクーリングの影響により測定値が約 4 倍大きく、断面下部ではサブクール核沸騰域の Chen 式と良好に一致することを確認した。



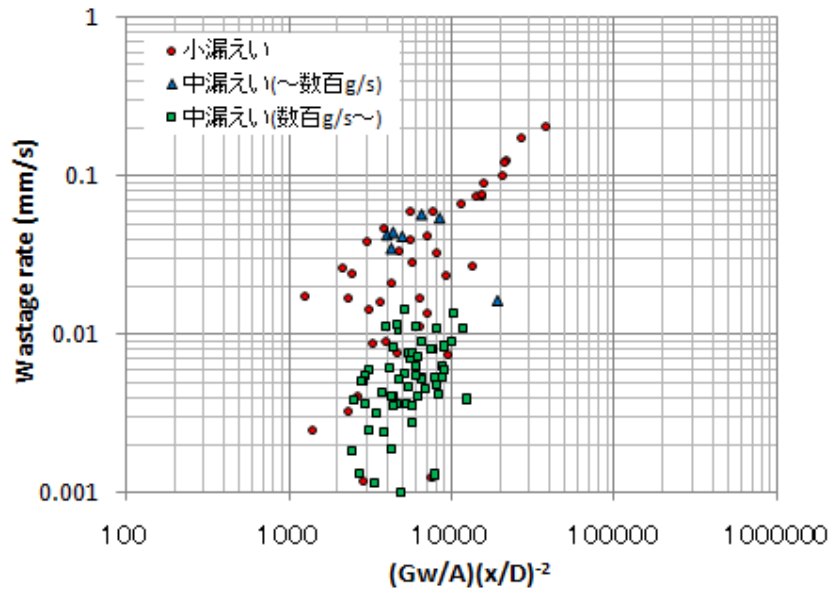


図5 2.25Cr-1Mo 鋼のウェステージデータへの新パラメータの適用例

[図の説明]

2.25Cr-1Mo 鋼の小リークでは新パラメータの増加と共にウェステージ率は増加し、10,000 以上で良くまとまる。ノズル近くの中リークデータ(~数百 g/s)は小リークの上限とほぼ一致するが、ノズルから離れた中リークデータは下方にばらついており、これは管束構造によるジェット流減衰の影響によると考える。

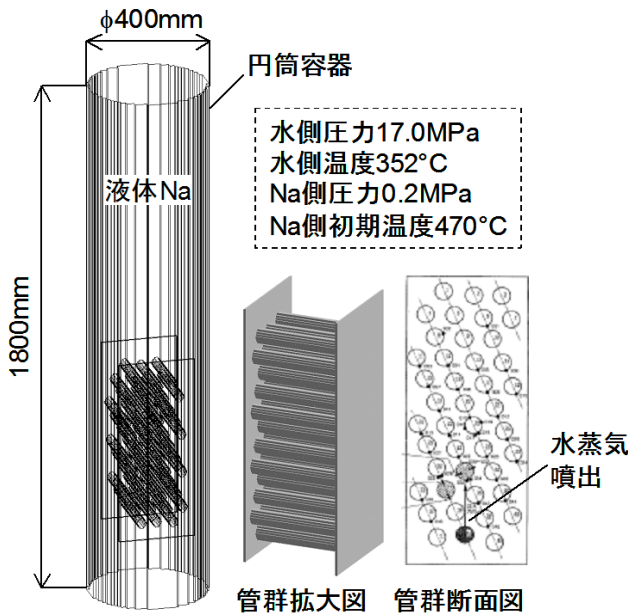


図6 SERAPHIM コード検証解析に用いた解析体系

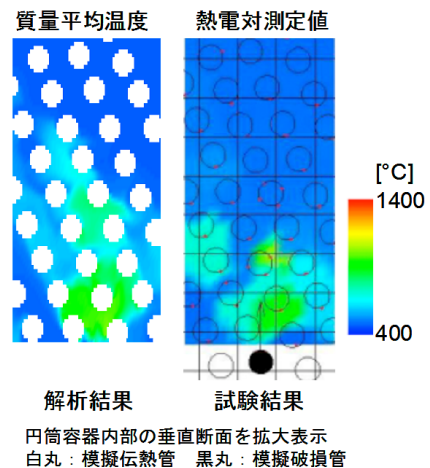


図7 垂直断面温度分布の比較

[図の説明]

SERAPHIM コードにより SWAT-1R 試験体系 (図6) を対象として解析を実施した。その結果、高温領域が注水ノズルより左上方へ広がる傾向が解析で再現され、また、最高温度についても試験と解析の間で良い一致が得られた (図7)。これにより、ナトリウム-水反応発生時に形成される温度場を SERAPHIM コードによって概ね正しく再現できることを確認した。

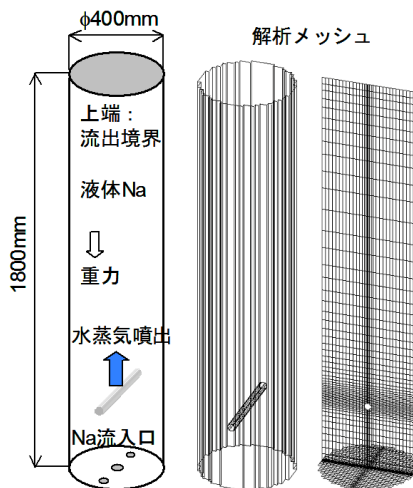


図8 フリージェット体系

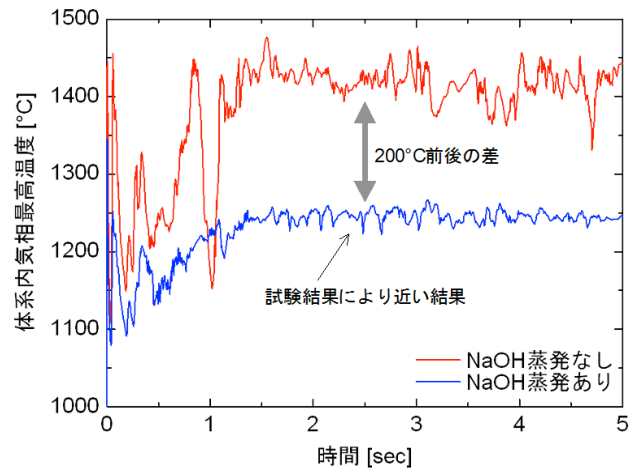
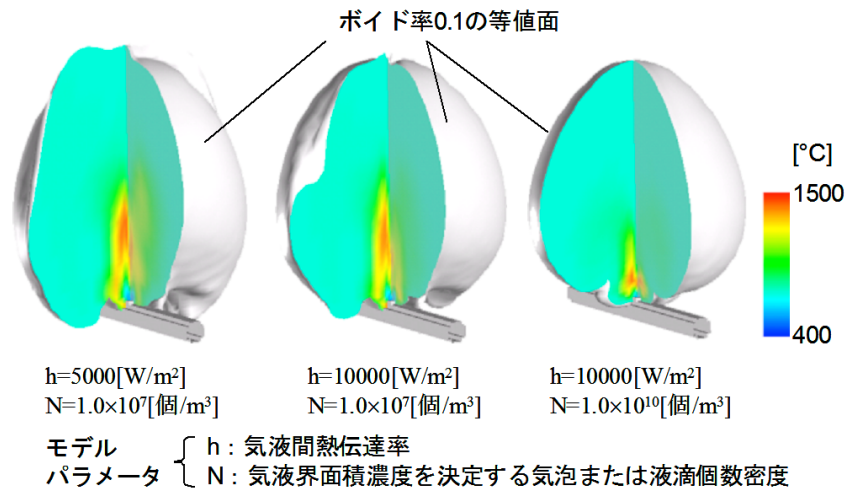


図9 気相最高温度に対するNaOH蒸発の影響



噴出開始後10ms瞬時の反応ジェット内部温度分布

図10 モデルパラメータの影響

[図の説明]

フリージェット体系（図8）を用い、解析方法やモデルパラメータを変更した影響調査解析を実施した。反応生成物である水酸化ナトリウム（NaOH）の蒸発を考慮する場合と考慮しない場合それぞれの解析を実施したところ、蒸発を考慮するケースでは、考慮しないケースに比べて、蒸発潜熱の影響により体系内気相最高温度が200°C前後低くなる結果となり（図9）、流動や化学反応の他にNaOHの蒸発が温度場の形成に強く関与する要因であることが解析により示された。また、モデルパラメータである気液間熱伝達率および気液界面積濃度を変更した3ケースの解析を実施した結果、モデルパラメータの変更が温度場に及ぼす影響について知見が得られた（図10）。これにより、ナトリウム-水反応現象に対してモデルパラメータを最適化できる見通しが得られた。

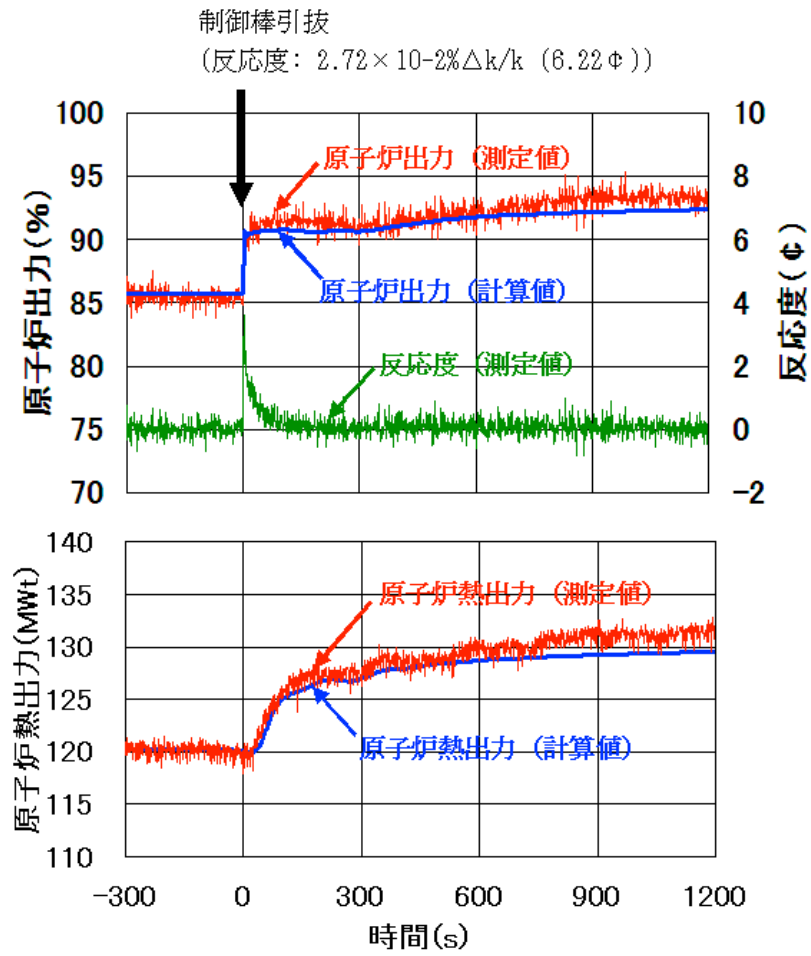


図 1 1 UTOP 予備試験結果の一例 (原子炉熱出力 120MWt の定常運転状態から制御棒を引抜)

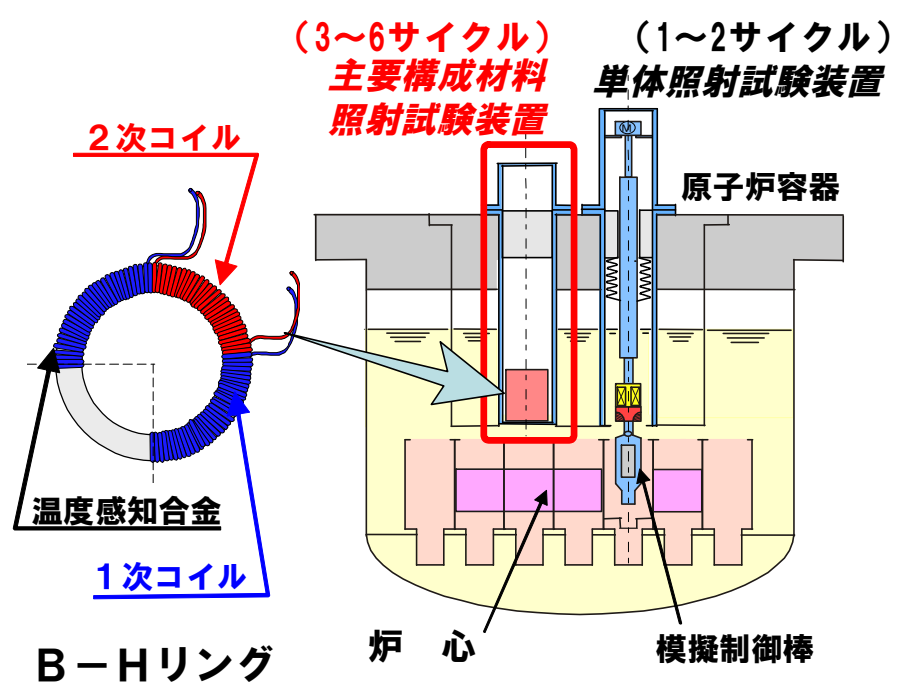


図 1 2 SASS 主要構成材料照射試験装置の概要

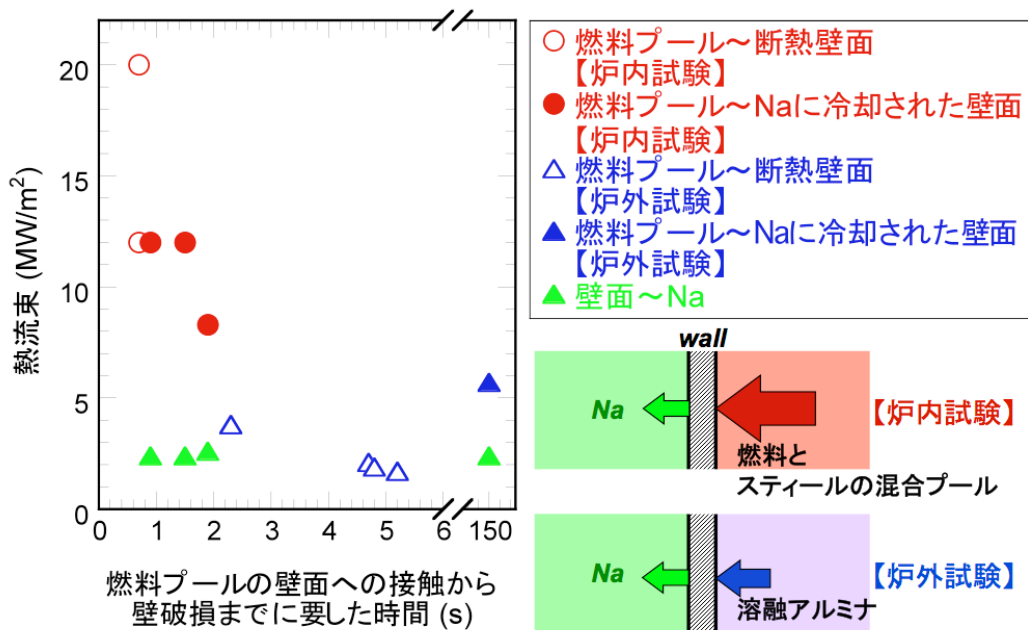


図 1 3 壁破損に係わる熱流束の予備的評価結果

〔図の説明〕

壁からナトリウムへの熱流束は炉内・炉外試験に共通で高々3MW/m<sup>2</sup>であるのに対し、炉内試験における溶融プールから壁への熱流束は全て8MW/m<sup>2</sup>を超える大きなものと評価された。これに対し、ダクト内にナトリウムが存在する条件で実施された炉外試験（IDO-1 試験）では、アルミナ単成分の溶融プールから壁への熱流束が5～6MW/m<sup>2</sup>に止まり、ナトリウム沸騰が生じて壁破損が遅延する結果となった。

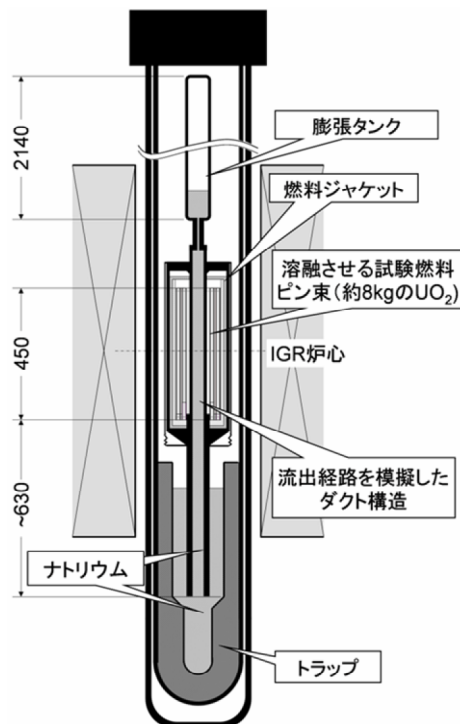


図 1 4 炉内総合試験の概要

〔図の説明〕

EAGLE プロジェクトの2回の炉内総合試験（ID1 試験、ID2 試験）は、同等の試験体を用いるとともに、試験燃料の加熱速度の異なる条件で実施した。損傷炉心部を模擬する燃料ジャケットの中で約8kgのUO<sub>2</sub>燃料を溶融させ、流出経路を模擬したダクト構造の壁が溶融燃料の接触により破損し溶融燃料の流出が開始する挙動、及びダクト構造を通じて溶融燃料が流出し下部のトラップ内に堆積する挙動等を把握した。

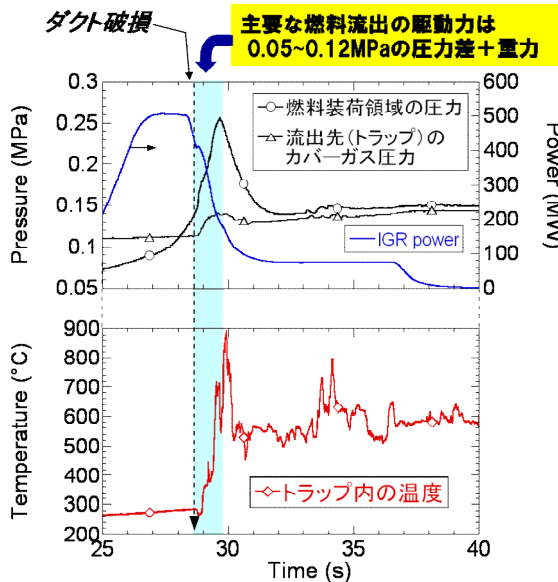


図 1 5 ID1 試験で観察された燃料流出挙動  
[図の説明]

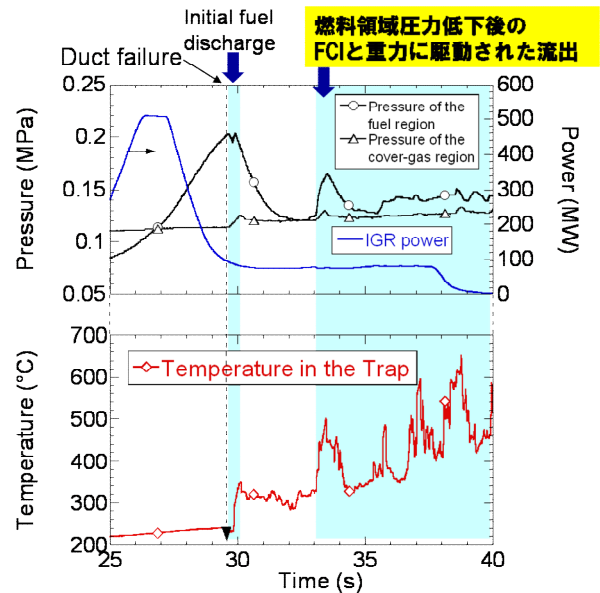


図 1 6 ID2 試験で観察された燃料流出挙動

これらの試験においては、駆動圧力が比較的小さな条件設定（炉心模擬部と流出先模擬部の圧力差が 0.05~0.12MPa）としたが、大部分の燃料が流出経路を模擬したダクト構造を通じて流出し、下方のトラップ領域に堆積した。ID1 試験では、ダクト破損後 1~2 秒の間にトラップ内の顕著な温度上昇が記録され、この間に主要な燃料流出が生じたことが分かった。これらの試験では下方流出型の試験体系を用いており、圧力差に加えて重力も流出駆動力となるが、実機条件では燃料溶融時に開放される FP ガス圧により 1MPa 程度の駆動圧が予想されることから、上方流出型の体系においても速やかな流出が期待できるとの見通しを得た。ID2 試験では、試験燃料へのエネルギー投入速度を ID1 試験よりも小さく設定し、結果的に駆動圧が主要な燃料流出前に殆どゼロとなる条件を得た（図 1 6 の約 32 秒時点で○印と△印の圧力データが等しくなっていることに対応）。この結果、ナトリウムが溶融プール側に侵入し、その結果として形成されるナトリウム蒸気圧が燃料流出を駆動する現象が観察された。

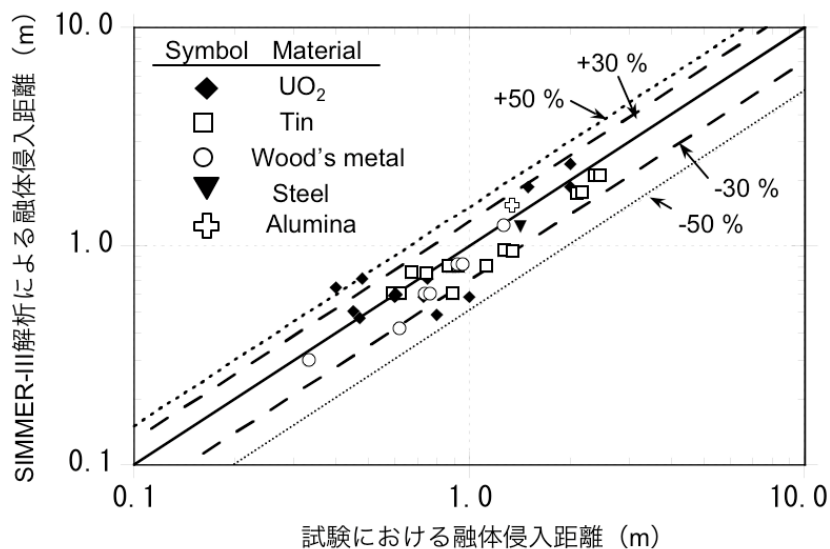


図 1 7 実験における融体侵入距離と SIMMER-III による予測結果の比較  
(SIMMER-III コードの閉塞形成挙動モデル改良)

[図の説明]

溶融燃料の固化・閉塞形成挙動に関するモデル改良を行った結果、改良後の SIMMER-III は既存の全ての試験結果を±50%の精度で予測することが可能となった。この成果により、高速炉の安全解析において燃料の流出挙動に関して考慮すべき不確定性幅とその評価条件が明らかとなり、安全評価の信頼性を大きく向上することができた。

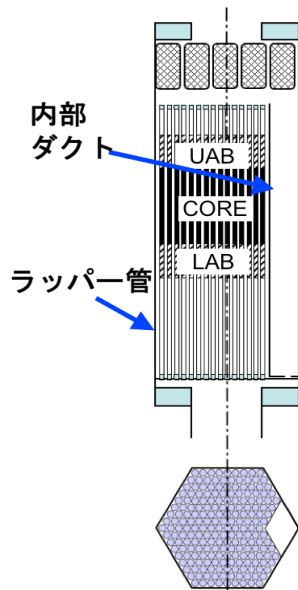


図18 short-FAIDUS 集合体概念図  
[図の説明]

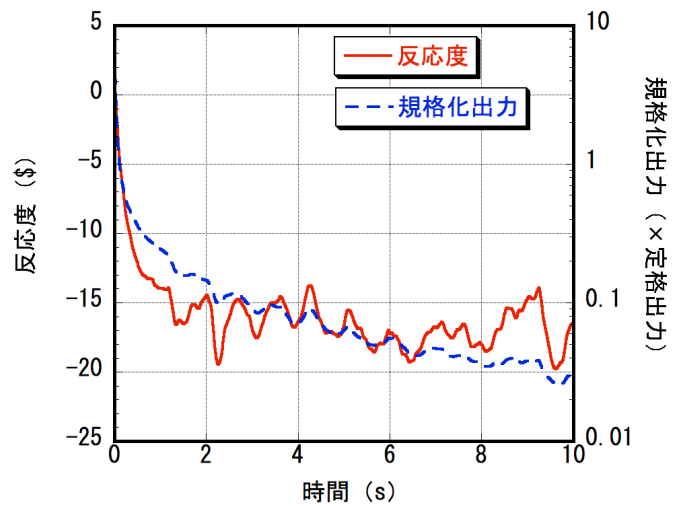
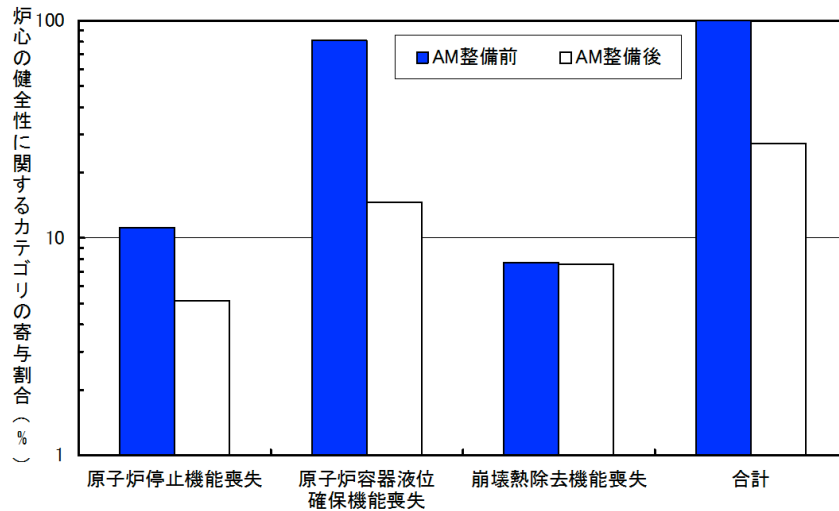


図19 SIMMER-III コードによる遷移過程解析結果

short-FAIDUS を採用した炉心では、燃料破損開始から数秒で炉心燃料が内部ダクトを通して流出することで、厳しい再臨界の回避が可能であることが示された。流出の主な駆動力は FP ガスと内部ダクトの下部に残留するナトリウムと融体が接触することによって発生するナトリウム蒸気圧である。



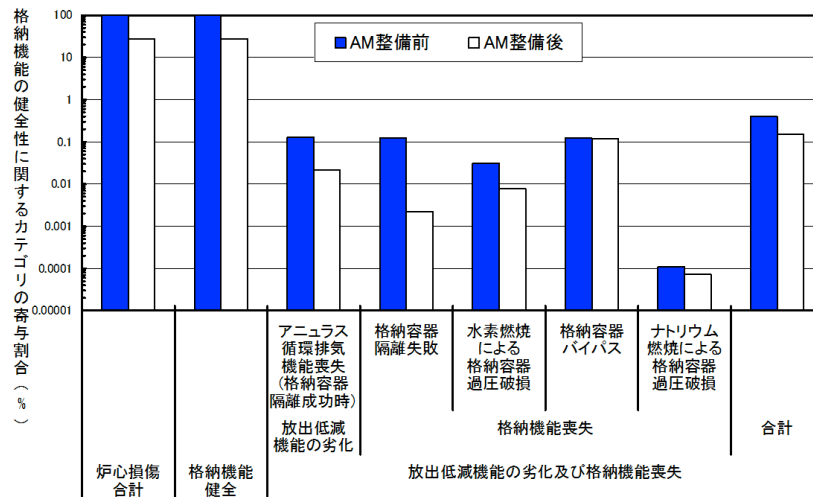


(注) AM 整備前の合計 (炉心損傷頻度) を 100% に規格化した

図 20 アクシデントマネジメント整備前後における炉心の健全性に関するカテゴリの炉心損傷頻度への寄与割合

[図の説明]

「もんじゅ」を対象としたアクシデントマネジメント (AM) 策の抽出及び有効性評価の一環として定格出力運転時における内的事象に対する PSA を実施した。その結果、炉心損傷頻度については原子炉容器液位確保機能喪失の寄与が大きいこと並びに AM の整備によって原子炉容器液位確保機能喪失の頻度及び炉心損傷頻度の合計がともに低減することが明らかになった。



(注) AM 整備前の炉心損傷合計を 100% に規格化した

図 21 アクシデントマネジメント整備前後における格納容器健全性に関するカテゴリの炉心損傷頻度への寄与割合

[図の説明]

「もんじゅ」を対象としたアクシデントマネジメント (AM) 策の抽出及び有効性評価の一環として定格出力運転時における内的事象に対する PSA を実施した。その結果、放出低減機能の劣化と格納機能喪失を合わせたものとして定義した格納容器機能喪失の頻度については、炉心損傷頻度よりも 2 桁以上低く抑制されていること並びに AM の整備により頻度の低減が認められることが明らかとなった。

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度))

### 【研究分野／項目】

VI. 放射線影響分野／放射線リスク・影響評価技術

【分類番号】 6-1-1

### 【研究課題名(Title)】

放射線リスク・影響評価技術に関する研究  
Study on Radiation Risk and Dose Assessment

### 【研究代表者】

[所属] 原子力基礎工学研究部門 環境・放射線工学ユニット  
[氏名] 茅野 政道 (ちの まさみち)  
[連絡先] Tel : 81-5863 E-mail : chino.masamichi@jaea.go.jp

[所属] 原子力基礎工学研究部門 環境動態研究グループ  
[氏名] 外川 織彦 (とがわ おりひこ)  
[連絡先] Tel : 81-6156 E-mail : togawa.orihiko@jaea.go.jp

[所属] 人形峠環境技術センター 安全管理課  
[氏名] 石森 有 (いしもり ゆう)  
[連絡先] TEL:0868-44-2211 (代表) 内線 85-2702 E-mail:ishimori.yuu@jaea.go.jp

[所属] 原子力基礎工学研究部門 放射線防護研究グループ  
[氏名] 遠藤 章 (えんどう あきら)  
[連絡先] Tel : 81-3754 E-mail : endo.akira3@jaea.go.jp

[所属] 原子力基礎工学研究部門 放射線影響解析研究グループ  
[氏名] 斎藤 公明 (さいとう きみあき)  
[連絡先] Tel : 81-6168 E-mail : saito.kimiaki@jaea.go.jp

### 【研究目的】

最新の知見を取り入れた放射線被ばく線量評価手法、放射性物質の環境中における挙動の評価手法、放射線被ばくによるリスク評価手法等を開発し、原子力安全委員会が利用可能な基盤技術を確立する。

### 【研究内容】

- イ. 放射性物質の動態解明
- ロ. 複雑な地形における放射性核種の拡散影響評価に関する研究
- ハ. 放射線被ばく線量の測定・評価に関する研究
- ニ. DNA 損傷・修復過程シミュレーション研究

### 【達成目標】

- イ. 環境負荷物質の包括的動態予測モデル・システムを構築する。また、日本海物質循環予測モデルを開発する。
- ロ. ラドン及びその壊変生成物濃度データの蓄積と数値計算による人形峠周辺環境におけるラドン拡散評価の実施により、複雑な地形を生活環境とする地域での放射性物質の挙動予測手法の高度化について検討する。
- ハ. 放射線被ばく線量の測定・評価に関する研究に関しては臨界事故時に伴う人体の線量分布を詳細に解析できる計算システムを完成させるとともに、中性子に対する人体影響を適切に評価する手法を開発する。ICRP の最新モデルに基づく線量評価手法を開発する。
- ニ. DNA 損傷・修復過程を分子レベルでシミュレーションできるモデルを構築し、生物影響上重要な損傷が生じ易い条件を明らかにする。また、幹細胞の損傷分布の解析により、臓器線量に代わる新しい放射線影響指標に関する基礎的知見を蓄積する。



## 【成果の活用方策】

### イ. 放射性物質の動態解明

原子力安全研究を支える基盤研究として、原子力緊急時初期の防災対策から中・後期の監視に必要な情報の提供、国境を超える環境汚染事故に対する国際協力、日本海特有の原子力環境問題への対応、などに貢献することができる。

### ロ. 天然放射性物質（NORM）又は国内のラドン濃度規制の是非及び評価手法の検討、ラドン測定技術の標準化、放射性核種の挙動、拡散影響評価手法高度化に貢献できる。特に、国内ではNORMの規制について、ラドンは他の核種とは別に検討することとなっており、また、WHOが屋内ラドンのリスクとその対策について国際プロジェクトを2005年に開始している。今後、本研究で得られた知見や技術は充分活用できる。

### ハ. ICRP 新勧告の国内法令への取り入れに際し必要となる防護基準の策定等に利用する。

### ニ. この5年間には、放射線の種類による生物影響の違い、すなわち線質効果に関する系統的基礎データを得るとともに、幹細胞に基づく新しい放射線影響指標に関する提案を行い、防護の線量に関する基礎データを提供する。

## 【使用主要施設】

### イ. 原子力科学研究所：大型計算機

むつ事業所：加速器質量分析装置（AMS）

### ロ. 人形峠環境技術センター ラドン標準校正チェンバ

### ハ. 原子力科学研究所 燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）

原子力科学研究所 放射線標準施設棟（FRS）

### ニ. 原子力科学研究所 大型計算機

関西光科学研究所 大型計算機

## 【研究の進め方】

### イ. 中期計画及び原子力安全委員会が定める「原子力の重点安全研究計画」に従い、計算シミュレーションと放射性・安定同位体利用を融合した手法を用いて、大気・陸域・海洋の複合環境における環境負荷物質の動態解明と予測に関する研究を進める。研究の実施においては、国内外の他の研究機関と積極的に協力・連携する。

### ロ. 天然放射性物質（NORM）、国内のラドン濃度規制の是非及び評価手法の検討、ラドン測定技術の標準化の動向を注視しつつ、中期計画及び原子力安全委員会が定める「原子力の重点安全研究計画」に沿って研究を進める。

### ハ. 六ヶ所村の核燃料サイクル施設の稼働、国際放射線防護委員会の基本勧告の採択の動向を把握しながら、中期計画及び原子力安全委員会が定める「原子力の重点安全研究計画」に沿って研究を進める。中性子照射に関する動物実験データは放射線医学総合研究所との共同研究を通して取得する。

### ニ. DNA 損傷・修復過程シミュレーション研究は、クロスオーバー研究の枠組みの中で外部の研究機関及び大学と連携しながら進める。

## 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名（実施機関）]

### イ. WSPEEDI の運用プロトタイプの開発と性能評価（(財)原子力安全技術センター）

放射性炭素をトレーサーとして利用した土壌呼吸中のCO<sub>2</sub>起源の解明（(独)森林総合研究所）

海洋モデルの妥当性検証に関する研究（Ⅲ）（(財)日本海洋科学振興財団）

海洋における放射性物質等の生態系循環に関する研究（(独)中央水産研究所）

日本海における海水の収支と循環に関する研究（九州大学）

### ロ. なし

### ハ. 中性子線量評価の高度化に関する研究（放射線医学総合研究所）

### ニ. DNA 二本鎖切断の非相同組換え修復機構の解明（国立感染症研究所）

[受託研究名（委託元）]

### イ. 陸面過程モデルに関する研究（4）（三菱重工業(株)）

下北海域における海洋放射能予測コードの整備（Ⅲ）（財）日本海洋科学振興財団

下北海域における海洋放射能予測コードの高度化（Ⅰ）、（Ⅱ）（財）日本海洋科学振興財団

ロ. なし

ハ. なし

ニ. シミュレーション計算に基づく DNA 損傷・修復過程の定量的モデル化（放医研）

〔委託研究名（委託機関）〕

イ. 日本海新潟沖調査航海に係る調査船業務（新潟県水産海洋研究所）

ロ. なし

ハ. なし

ニ. なし

## 【研究実施内容及び成果（平成 17~19 年度）】

イ. 放射性物質の動態解明

東海地区を対象とした大気・陸域・海洋の水循環結合モデルの妥当性確認を完了した（図 1）。また、大気・陸域・海洋での環境負荷物質移行個別モデルの検証と改良を実施するとともに（図 2）、水循環結合モデルに大気及び陸域の物質移行モデルを結合した。試作した海洋中物質吸脱着モデルを英国アイリッシュ海での海水中  $^{137}\text{Cs}$  解析を通じて検証・改良するとともに、下北海域へ適用して  $^3\text{H}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の移行挙動を解析し、流向パターンや核種吸着性の影響を評価した（図 3）。加速器質量分析装置を用いて、森林土壌や河川中の  $^{14}\text{C}$ 、及び海洋中の  $^{14}\text{C}$  と  $^{129}\text{I}$  を分析し、森林土壌から放出される二酸化炭素の起源別割合、日本近海での形態別炭素の滞留時間などの物質移行基礎データ及びモデル検証データを取得した（図 4）。

ロ. 複雑な地形における放射性核種の拡散影響評価に関する研究

複雑な地形上での放射性核種の挙動予測手法の高度化を目的に、環境データの蓄積、解析及び拡散評価コードの性能評価結果のとりまとめを進めた。まず、蓄積している環境データの信頼性を担保するため、機構のラドン測定に係る標準化・トレーサビリティについて検討した。海外の国家標準機関と同程度の技術能力があること、その技術が 1984 年以来維持されていることを確認した（図 5）。次に、施設寄与について具体的に検証することを目的として、措置工事が開始された鉱山跡地周辺で環境データの蓄積を進め、工事開始前の平成 14 年度から平成 16 年度までのデータについて解析した。当該施設に起因するラドン子孫核種は測定誤差の範囲内であることが予測された（図 6）。さらに、開発した拡散評価コードにより、当該施設周辺での予察的な影響評価を実施し、施設影響が測定誤差の範囲内であるとの、環境測定結果と一貫性のある結果を得た（図 7）。

ハ. 放射線被ばく線量の測定・評価に関する研究においては、高精細 CT 画像を基に開発したマウスの精密ボクセルファントムと粒子・重イオン輸送コード PHITS を用い、中性子照射におけるマウス体内でのエネルギー付与過程、9 種類の臓器に対する吸収線量を解析した。臨界事故時線量計算システムの開発では、様々な姿勢の人体モデル、線源等を記述した線量計算コードの入力ファイル作成、計算結果の解析及び表示を容易に行えるプログラムを開発した。平成 18 年度に計算した日本人成人男性の立位姿勢ファントムに対する吸収割合を用いて、放射性核種の内部被ばくによる臓器線量を評価し、臥位姿勢ファントムの値との比較から、姿勢が臓器線量に及ぼす影響を詳細に解析した（図 8）。ICRP の新消化管モデルに基づく計算方法を開発し、従来モデルとの比較により、体内に摂取された核種の排泄率等に及ぼす影響を明らかにした。

ニ. 任意の原子番号をもつ荷電粒子に対する飛跡構造計算コード TRACION を開発し、物理過程、化学過程、DNA 損傷過程の各レベルで実験結果との検証を行い、良い結果を得た。開発したコードを用いて DNA 損傷シミュレーションを行い、一定の条件の複雑損傷の収率は、細胞死と同様に LET に関して最大値を持つことを明らかにした（図 9）。8-オキシグアニンと AP サイトの 2 つの損傷を持つクラスター損傷 DNA と修復酵素 MutM との相互作用を調べた結果、損傷が隣に存在する場合には、DNA 立体構造の大きな変化により修復阻害が起ることを示唆する、O'Neill が行った実験結果と符合する結果が得られた。臓器の細胞レベルの構造をボクセルモデル化し、その体系内での飛跡構造をシミュレーションできるコードを、EGS4 と TRACEL を結合して構築した。

### 【特記事項】

イ. 第 38 回日本原子力学会賞奨励賞受賞「加速器質量分析法によるヨウ素 129 の高感度測定」(鈴木崇史、2006 年 3 月 24 日)

プレス発表「日本海の人工放射性核種分布マップを作成ー日本海における放射性核種移行の特徴を解明ー」(2006 年 2 月 27 日)

第 39 回日本原子力学会賞貢献賞「日本海の人工放射性核種分布マップの作成」(日本原子力研究開発機構日本海海洋調査チーム、2007 年 3 月 27 日)

ロ. なし

ハ. 平成 19 年度日本保健物理学会論文賞「Development of rapid dose assessment program from activated sodium in human body for criticality accident」(高橋史朗、遠藤章、山口恭弘、小田啓二、2007 年 6 月 14 日)。

線量計算用核種データベースが米国核医学会出版物として一般に公開され、本件についてプレス発表を行った(2008 年 1 月)。

ニ. なし

### 【研究成果の発表状況】

雑誌掲載論文：

イ

- 1) T. Matsunaga, N. Yanase, Y. Hanzawa, K. Tsuduki and H. Naganawa; Isotope hydrograph separation for modeling of runoff mechanisms of atmospherically derived chemical and radioactive pollutants, *J. Water Environ. Technol.*, Vol.3, No.2, p.243-252 (2005)
- 2) T. Kobayashi, M. Chino and O. Togawa; Numerical simulations of short-term migration processes of dissolved  $^{137}\text{Cs}$  due to a hypothetical accident of a nuclear submarine in the Japan Sea, *J. Nucl. Sci. Technol.*, Vol.43, No.5, p.569-575 (2006)
- 3) H. Kawamura, T. Kobayashi, N. Hirose, T. Ito and O. Togawa; Oil spill simulation in the Japan Sea, C.A. Brebbia (ed.); *Environmental Problems in Coastal Regions VI Including Oil and Chemical Spill Studies*, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol.88, p.273-278, WIT Press, Southampton (2006)
- 4) 古野朗子, 茅野政道, 山澤弘美; 緊急時対応のための長距離大気拡散計算による放出源推定手法の開発, *日本原子力学会和文論文誌*, Vol.5, No.3, p.229-240 (2006)
- 5) S. Otosaka, H. Amano, T. Ito, H. Kawamura, T. Kobayashi, T. Suzuki, O. Togawa, E.L. Chaykovskaya, T.S. Lishavskaya, V.P. Novichkov, E.V. Karasev, A.V. Tkalin and Y.N. Volkov; Anthropogenic radionuclides in sediment in the Japan Sea: distribution and transport processes of particulate radionuclides, *J. Environ. Radioac.*, Vol.91, p.128-145 (2006)
- 6) T. Suzuki, T. Kitamura, S. Kabuto, O. Togawa and H. Amano; High sensitivity measurement of Iodine-129/Iodine-127 ratio by accelerator mass spectrometry, *J. Nucl. Sci. Technol.*, Vol.43, No.11, p.1431-1435 (2006)
- 7) H. Kawamura, J.H. Yoon and T. Ito; Formation rate of water masses in the Japan Sea, *J. Oceanogr.*, Vol.63, p.243-253 (2007)
- 8) M. Atarashi-Andoh, C. Schnabel, G. Cook, A.B. MacKenzie, A. Dougans, R.M. Ellam, S. Freeman, C. Maden, V. Olive, H.-A. Synal and S. Xu;  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  ratios in surface waters of the English Lake District, *Appl. Geochem.*, Vol.22, p.628-636 (2007)
- 9) C. Schnabel, V. Olive, M. Atarashi-Andoh, A. Dougans, R.M. Ellam, S. Freeman, C. Maden, M. Stocker, H.-A. Synal, L. Wacker and S. Xu;  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  ratios in Scottish coastal surface sea water: geographical and temporal responses to changing emissions, *Appl. Geochem.*, Vol.22, p.619-627 (2007)
- 10) T. Kobayashi, S. Otosaka, O. Togawa and K. Hayashi; Development of a non-conservative radionuclides dispersion model in the ocean and its application to surface cesium-137 dispersion in the Irish Sea, *J. Nucl. Sci. Technol.*, Vol.44, No.2, p.238-247 (2007)
- 11) N. Hirose, H. Kawamura, H.J. Lee and J.H. Yoon; Sequential forecasting of the surface and subsurface conditions in the Japan Sea, *J. Oceanogr.*, Vol.63, p.467-481 (2007)
- 12) D. Iskandar, H. Yamazawa, K. Yamasoto, M. Ohta, J. Koarashi, J. Moriizumi, Bunawas and T. Iida; Diurnal and seasonal variations of  $^{222}\text{Rn}$  concentration profile in soil, *Jpn. J. Health Phys.*, Vol.42, No.1, p.98-104 (2007)
- 13) T. Suzuki, S. Banba, T. Kitamura, S. Kabuto, K. Isogai and H. Amano; Determination of

- $^{129}\text{I}$  in environmental samples by AMS and NAA using an anion exchange resin disk, Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. B 259, p.370-373 (2007)
- 14) T. Ito, S. Ootosaka and H. Kawamura; Estimation of total amounts of anthropogenic radionuclides in the Japan Sea, J. Nucl. Sci. Technol., Vol.44, No.6, p.912-922 (2007)
  - 15) O. Togawa, T. Ito and S. Ootosaka; Transport processes of radionuclides in the Japan Sea obtained by JAEA's expeditions, Jpn. J. Health Phys., Vol.42, No.3, p.234-246 (2007)
  - 16) T. Aramaki, T. Senjyu, O. Togawa, S. Ootosaka, T. Suzuki, T. Kitamura, H. Amano and Y.N. Volkov; Circulation in the northern Japan Sea studied chiefly with radiocarbon, Radiocarbon, Vol.49, Nr.2, p.915-924 (2007)
  - 17) M. Nishizawa, H. Nagai, M. Chino, J. Moriizumi, K. Yoshioka, T. Ohkura, H. Yamazawa, T. Iida, H. Mukai, Y. Tohjima, N. Oda and F. Shimano; Development of three-dimensional numerical model for  $^{222}\text{Rn}$  and its decay products coupled with a mesoscale meteorological model, I. Model description and validation, J. Nucl. Sci. Technol., Vol.44, No.11, p.1458-1466 (2007)
  - 18) H. Takata, K. Kuma, Y. Isoda, S. Ootosaka, T. Senjyu and M. Minakawa; Iron in the Japan Sea and its implications for the physical processes in deep water, Geophys. Res. Lett., L02606, doi:10.1029/2007GL031794 (2008)

ロ.

- 1) S. Sakamoto, Y. Ishimori, Y. Maruo, Development of a radon standard source, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A, 545, 516-523, (2005)
- 2) S. Tokonami, Y. Ishimori, T. Ishikawa, K. Yamasaki, Y. Yamada, Intercomparison Exercise of Measurement Techniques for Radon, Radon Decay Products and their Particle Size Distributions at NIRS. Jpn. Health Phys., 40(2), 183-190, (2005)
- 3) 石森有, ラドン測定におけるガス封入型電離箱法の諸特性について, Radioisotopes, 54, 599-608, (2005)
- 4) Y. Ishimori, Time-integrated monitoring of radon progeny around a closed uranium mine in Japan, J. Environ. Radioact., 93, 51-61, (2007)
- 5) M. Ota, T. Iida, H. Yamazawa, S. Nagara, Y. Ishimori, K. Sato and T. Tokizawa, Suppression of radon exhalation from soil by covering with clay-mixed soil, J. Nucl. Sci. Technol., 44(5), 791-800(2007)
- 6) Y. Ishimori, Traceability on radon measurements at the JAEA Ningyo-toge. Jpn. J. Health Phys., 42(3), 247-254 (2007).

ハ.

- 1) F. Takahashi, A. Endo and Y. Yamaguchi. "Examination for neutron dose assessment method from induced sodium-24 in human body in criticality accidents". J. Nucl. Sci. Technol., 42, 378 (2005).
- 2) S. Tsuda, A. Endo and Y. Yamaguchi. "Development of three kinds of tissue substitutes for a physical phantom in neutron dosimetry". J. Nucl. Sci. Technol., 42, 877 (2005).
- 3) F. Takahashi, A. Endo, Y. Yamaguchi and K. Oda. "Development of rapid dose assessment program from activated sodium in human body for criticality accident". 保健物理, 41(3), 180-187 (2006).
- 4) K. Sato, H. Noguchi, Y. Emoto, S. Koga and K. Saito. "Development of a voxel phantom of Japanese adult male in upright posture". Radiat. Prot. Dosim., 127, 205-208 (2007).
- 5) K. Sato, H. Noguchi, A. Endo, Y. Emoto, S. Koga and K. Saito. "Japanese adult male voxel phantom constructed on the basis of CT images". Radiat. Prot. Dosim., 123, 337-344 (2007).
- 6) F. Takahashi and A. Endo. "Numerical system utilizing a Monte Carlo calculation method for precise dose assessment in radiation accidents". Radiat. Prot. Dosim. 126, 595-599 (2007).

ニ.

- 1) KOTULIC BUNTA, J., LAAKSONEN, A., PINAK, M. and NEMOTO, T., "DNA strand break: structural and electrostatic properties studied by molecular dynamics simulation," Computational Biology and Chemistry, 30, 112-119 (2005).
- 2) FUJIMOTO, H., PINAK, M., NEMOTO, T., O'NEILL, P., KUME, E., MAEKAWA, H. and SAITO, K., "Molecular dynamics simulation of clustered DNA damage sites containing 8-oxoguanine and abasic site," J. Comput. Chem., 26, 788-798 (2005).
- 3) SCHYMAN, P., DANIELSSON, J., PINAK, M. AND LAAKSONEN, A., "Theoretical study

- of human DNA repair protein hOGG1 activity,” *J.Phys.Chem.A* 109(8), 1713-1719 (2005).
- 4) 木名瀬栄, 渡辺立子, 斎藤公明, “幹細胞を考慮した胃簡易モデルにおける光子および電子エネルギー付与解析,” *保健物理* 40 360-364 (2005).
  - 5) 大内則幸, “腫瘍の形態変化を考慮した発がん数理モデルの一考察,” *保健物理*,40(20), 166-169,(2005).
  - 6) Higuchi, M., Pinak, M., and Saito, K., Effects of Abasic Site and 8oxoG Lesions on DNA Molecule *Jpn. J. Health Phys.*, 42 (2), 166-173 (2007)
  - 7) Kinase, S. and Saito, K : Evaluation of Self-dose S Values for Positron Emitters in Voxel Phantoms, *Radiat. Prot. Dosim.*, Doi:10.1093/rpd/ncm344 (2007).
  - 8) Kinase, S. and Saito, K.: Evaluation of Organ Doses in a Voxel Mouse, *KEK Proceedings 2007-5*, 70-76 (2007).
  - 9) Yamauchi, E., Watanabe, R., Oikawa, M., Fujimoto, H., Yamada, A., Saito, K. , Murakami, M., Hashido, K., Tsuchida, K., Takada, N., Fugo, H., Tu, Z. and Maekawa, H., Application of real time PCR for the quantitative detection of radiation-induced genomic DNA strand breaks. *Journal of insect Biotechnology and Sericology* (in press)
  - 10) Akamatsu, K., Fujii, K. and Yokoya, A., Characterization of lesions induced in linear-formed plasmid DNA by valence ionization and Auger decay at carbon, nitrogen and oxygen, *International Journal of Radiation Biology* (to be published)
  - 11) Nikjoo, H., Emfietzoglou, D., Watanabe, R. and Uehara, S., Can Monte Carlo Track Structure Codes Reveal Reaction Mechanism in DNA Damage and Improve Therapy? *Radiation Physics and Chemistry* (to be published)

#### 技術報告 :

イ.

- 1) P.P. Povinec, A. Aarkrog, K.O. Buesseler, R. Delfanti, K. Hirose, G.H. Hong, T. Ito, H.D. Livingston, H. Nies, V.E. Noshkin, S. Shima and O. Togawa; Average  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  concentrations in surface waters of the Atlantic Ocean - WOMARS collaboration, *Proceedings of the International Conference on Isotopes in Environmental Studies – Aquatic Forum 2004, Conference & Symposium Papers 26/P*, p.38-42, IAEA-CN-118/148, Monte-Carlo, Monaco, October 25-29 (2004)
- 2) T. Suzuki, T. Kitamura, S. Kabuto, O. Togawa and H. Amano; AMS measurement of  $^{129}\text{I}$  and its application as an oceanographic tracer, *Proceedings of the International Conference on Isotopes in Environmental Studies – Aquatic Forum 2004, Conference & Symposium Papers 26/P*, p.529-530, IAEA-CN-118/84P, Monte- Carlo, Monaco, October 25-29 (2004)
- 3) 北村敏勝, 甲昭二, 鈴木崇史, 木下尚喜, 天野光, 伴場滋, 磯貝啓介, 北田慶信, 渡辺幸也 ; 原研むつ・タンデトロン加速器の現状, 第 18 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集, p.31-35 (2006)
- 4) H. Amano, S. Kabuto, N. Kinoshita, T. Suzuki and T. Kitamura; Status and future plan of JAEA Mutsu Tandetron AMS facilities, *Proceedings of the First East Asian Symposium on Accelerator Mass Spectrometry (EAAMS-1), UTTAC-74, 2006 /ISSN 1880-4748*, p.77-81, Tsukuba, Japan, January 26-27 (2006)
- 5) 田中孝幸, 乙坂重嘉, 天野光, 外川織彦 ; 溶存態有機炭素中放射性炭素測定システムの開発, 第 8 回 AMS シンポジウム報告集 (JAMS-8), UTTAC-J-16, 2006/ISSN 1880-4756, p.98-101 (2006)
- 6) 桑原潤, 鈴木崇史, 天野光 ; 海藻中のヨウ素同位体比測定のための前処理法の検討, 第 8 回 AMS シンポジウム報告集 (JAMS-8), UTTAC-J-16, 2006/ISSN 1880-4756, p.111-113 (2006)
- 7) 永井晴康, 茅野政道, 寺田宏明, 原山卓也, 小林卓也, 都築克紀, 金庚玉, 古野朗子 ; 数値環境システム SPEEDI-MP, *JAEA-Research 2006-057* (2006)
- 8) 乙坂重嘉, 伊藤集通, 外川織彦 ; 日本海における人工放射性核種の移行挙動に関する調査研究 (IV), 第 48 回環境放射能調査研究成果論文抄録集, p.57-58, 文部科学省 (2006)
- 9) 永井晴康, 小林卓也, 都築克紀, 金庚玉 ; 大気・海洋・陸域モデル結合のためのモデルカップラー, *JAEA-Data/Code 2007-002* (2007)
- 10) 外川織彦 ; 日本海における放射性核種移行の解明, *Isotope News*, 2007 年 1 月号, No.633, p.19-22 (2007)
- 11) 天野光, 甲昭二, 木下尚喜, 鈴木崇史, 田中孝幸, 乙坂重嘉, 桑原潤, 北田慶信, 渡辺幸也,

北村敏勝；原子力機構むつ・タンデトロン加速器の現状，第19回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会報告集，p.1-4 (2007)

- 12) H. Nagai and H. Terada; Atmospheric models in the numerical simulation system (SPEEDI-MP) for environmental studies, Proceedings of the International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, p.126-133, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 13) K. Tsuduki and T. Matsunaga; Importance of hydrological parameters in contaminant transport modeling in a terrestrial environment, Proceedings of the International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, p.65-72, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 14) T. Matsunaga, K. Tsuduki, N. Yanase, Y. Hanzawa, H. Naganawa, T. Inoue, T. Yamada and A. Miyata; Stream discharge of metals and rare earth elements in rainfall events in a forested catchment, Proceedings of the International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, p.243-246, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 15) T. Kobayashi, S. Otsuka, O. Togawa and K. Hayashi; Long-term simulation of  $^{137}\text{Cs}$  in the Irish Sea by using ocean environment assessment system, Proceedings of the International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, p.51-57, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 16) T. Tsuneyama, T. Ito and S. Otsuka; Balance of anthropogenic radionuclides in the Japan Sea, Proceedings of the International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, p.236-239, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 17) T. In, T. Nakayama, Y. Matsuura, S. Shima, Y. Ishikawa, T. Awaji, T. Kobayashi, H. Kawamura, O. Togawa and T. Toyoda; The oceanic forecasting system near the Shimokita Peninsula, Japan, Proceedings of the International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, p.58-64, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 18) T. Ito, S. Otsuka, T. Suzuki, T. Tanaka, T. Tsuneyama and O. Togawa; Establishment of a database for Japan Sea parameters on marine environment and radioactivity (JASPER) - Volume 1: Anthropogenic radionuclides, JAEA-Data/ Code 2007-008 (2007)
- 19) T. Ito, H. Kawamura, M. Ohnishi, Y. Isoda, T. Nakayama and S. Shima; Variation of volume transport of the Tsugaru Warm Current in the period from 2000 to 2002, Proceedings of the 14th PAMS/JECSS Workshop, p.222-223, Higashi-Hiroshima, Japan, May 23-25 (2007)
- 20) 小林卓也；海洋中における放射性核種移行モデル—アイリッシュ海への適用—，第1回放射線防護研究センターシンポジウム報文集，NIRS-M-198，p.105-111 (2007)
- 21) 田中孝幸，乙坂重嘉，天野光，外川織彦；溶存態有機物中放射性炭素測定の実用への応用，第9回AMSシンポジウム報文集，p.70-73 (2007)
- 22) T. Hara, R. Ohba, K. Okabayashi, J. Yoneda, H. Nagai and T. Hayashi; Simulation of long time averaged concentration under actual meteorological conditions, Proceedings of the International Workshop on Physical Modeling of Flow and Dispersion Phenomena (PHYSMOD 2007), p.167-174, Orleans, France, August 29-31 (2007)
- 23) T. Ito, H. Kawamura, T. Nakayama, S. Shima, M. Ohnishi and Y. Isoda; Variation of volume transport of the Tsugaru Warm Current in the period from 2000 to 2002, Proceedings of the International Workshop on Monitoring and Forecasting of the Rapid Changes in Ocean- Atmosphere Environment in the East Asia, p.13-14, Kasuga, Japan, November 29-30 (2007)
- 24) 阿部諭，中山浩成，田村哲郎；逆転層を有する対流境界層中の濃度変動に関する LES 解析，第21回数値流体力学シンポジウム講演論文集 (CD-ROM)，C5-3 (2007)

ロ. なし

ハ.

- 1) D. Satoh, F. Takahashi, A. Endo, Y. Ohmachi and N. Miyahara. "Simulation analysis of radiation fields inside phantoms for neutron irradiation". Proceedings of the Fourth JAEA-US EPA Workshop on Radiation Risk Assessment, JAEA-Conf 2007-002, 59-65 (2006).
- 2) F. Takahashi. "Program for rapid dose assessment in criticality accident, RADAPAS". JAEA-Data/Code 2006-019 (2006).
- 3) F. Takahashi and K. Oda. "Discussion on concepts for radiological dosimetric quantities in

the Japan Health Physic Society”. Proceedings of the Fourth JAEA-US EPA Workshop on Radiation Risk Assessment, JAEA-Conf 2007-002, 171-176 (2007).

- 4) A. Endo and M. Boyd (Eds.). “Proceedings of the Fourth JAEA-US EPA Workshop on Radiation Risk Assessment”. JAEA-Conf 2007-002 (2007).
- 5) A. Endo and K.F. Eckerman. “Development of nuclear decay data for radiation dosimetry calculation”. Proceedings of the Fourth JAEA-US EPA Workshop on Radiation Risk Assessment, JAEA-Conf 2007-002, 76-85 (2007).
- 6) T. Sato, A. Endo and K. Niita. “Application of the PHITS code in high-energy particle dosimetry”. Proceedings of the Fourth JAEA-US EPA Workshop on Radiation Risk Assessment, JAEA-Conf 2007-002, 86-93 (2007).
- 7) K. Sato, A. Endo and K. Saito. “Development of Japanese voxel models and their application to organ dose calculation”. Proceedings of the Fourth JAEA-US EPA Workshop on Radiation Risk Assessment, JAEA-Conf 2007-002, 94-101 (2007).
- 8) A. Endo and K.F. Eckerman. Nuclear Decay Data for Dosimetry Calculation: Data for Radionuclides with Half-lives Less than 10 Minutes. JAEA-Data/Code 2007-021 (2007).
- 9) K.F. Eckerman and A. Endo, A. MIRDO: Radionuclide Data and Decay Schemes, 2nd Edition, The Society of Nuclear Medicine, Reston, VA, USA (2008).

ニ. なし

国際会議：

イ.

- 1) T. Aramaki, T. Senjyu, O. Togawa, S. Ootosaka, T. Suzuki, T. Kitamura, H. Amano and Y.N. Volkov; Circulation in the northern Japan Sea studied chiefly with radiocarbon, The 19th International Radiocarbon Conference, Oxford, U.K., April 3-7 (2006)
- 2) H. Kawamura, T. Kobayashi, N. Hirose, T. Ito and O. Togawa; Oil spill simulation in the Japan Sea, The 6th International Conference on Environmental Problems in Coastal Regions Including Oil and Chemical Spill Studies (Coastal Environment VI), Rhodes, Greece, June 5-7 (2006)
- 3) T. In, T. Nakayama, Y. Matsuura, S. Shima, Y. Ishikawa, T. Awaji, T. Kobayashi, H. Kawamura, O. Togawa and T. Toyoda; The oceanic forecasting system near the Shimokita Peninsula, Japan, The Western Pacific Geophysical Meeting, Beijing, China, July 24-27 (2006)
- 4) N. Hirose, H. Kawamura and M. Yamamoto; Sequential state estimation using remote-sensing measurements in the Japan/East Sea, The Western Pacific Geophysical Meeting, Beijing, China, July 24-27 (2006)
- 5) N. Hirose, S.M. Varamov, T. Watanabe, H. Kawamura and M. Yamamoto; A forecasting system of RIAM for the Japan/East Sea, CAS-TWAS-WMO Forum GODAE Symposium on Ocean Data Assimilation and Prediction in Asia-Oceania, Beijing, China, October 16-18 (2006)
- 6) H. Nagai and H. Terada; Atmospheric models in the numerical simulation system (SPEEDI-MP) for environmental studies, International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 7) K. Tsuduki and T. Matsunaga; Importance of hydrological parameters in contaminant transport modeling in a terrestrial environment, International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 8) T. Matsunaga, K. Tsuduki, N. Yanase, Y. Hanzawa, H. Naganawa, T. Inoue, T. Yamada and A. Miyata; Stream discharge of metals and rare earth elements in rainfall events in a forested catchment, International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 9) T. Kobayashi, S. Ootosaka, O. Togawa and K. Hayashi; Long-term simulation of  $^{137}\text{Cs}$  in the Irish Sea by using ocean environment assessment system, International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 10) T. Tsuneyama, T. Ito and S. Ootosaka; Balance of anthropogenic radionuclides in the Japan Sea, International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 11) T. In, T. Nakayama, Y. Matsuura, S. Shima, Y. Ishikawa, T. Awaji, T. Kobayashi, H. Kawamura, O. Togawa and T. Toyoda; The oceanic forecasting system near the Shimokita

- Peninsula, Japan, International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, Rokkasho, Japan, October 18-20 (2006)
- 12) T. Suzuki, A. Katayama and H. Amano; JAEA-AMS iodine-129 project, The 9th Symposium of Japanese AMS Society, Tokyo, Japan, October 20-21 (2006)
  - 13) T. Tsuneyama, T. Ito and S. Otsuka; The balance of anthropogenic radionuclides in the Japan Sea, SHOTS Workshop (2006), Tsukuba, Japan, November 14-16 (2006)
  - 14) T. Suzuki, S. Kabuto, H. Amano and O. Togawa; Origin and transport mechanism of iodine-129 to the Japan Sea, The AGU 2007 Joint Assembly, Acapulco, Mexico, May 22-25 (2007)
  - 15) T. Ito, H. Kawamura, M. Ohnishi, Y. Isoda, T. Nakayama and S. Shima; Variation of volume transport of the Tsugaru Warm Current in the period from 2000 to 2002, The 14th PAMS/JECSS Workshop, Higashi-Hiroshima, Japan, May 23-25 (2007)
  - 16) T. Hara, R. Ohba, K. Okabayashi, J. Yoneda, H. Nagai and T. Hayashi; Simulation of long time averaged concentration under actual meteorological conditions, The International Workshop on Physical Modeling of Flow and Dispersion Phenomena (PHYSMOD 2007), Orleans, France, August 29-31 (2007)
  - 17) M. Atarashi-Andoh, J. Koarashi, S. Ishizuka, T. Saito and K. Hirai; The use of carbon isotopes to identify the origin of soil-respired CO<sub>2</sub> in beech forest, The 3rd International Symposium on Isotope Science and Engineering from Basics and Applications (ISE2007), Nagoya, Japan, September 17-20 (2007)
  - 18) T. In, T. Nakayama, Y. Matsuura, S. Shima, Y. Ishikawa, T. Awaji, T. Kobayashi, H. Kawamura and O. Togawa; Nowcasting/Forecasting system of the ocean circulation off Rokkasho village, The 2007 GODAE Coastal Workshop, Liverpool, United Kingdom, October 10-11 (2007)
  - 19) T. Suzuki, S. Kabuto, N. Kinoshita and H. Amano; Current status and application studies of JAEA Mutsu AMS facility, The 2nd East Asia AMS Conference, Seoul, Korea, October 22-23 (2007)
  - 20) J. Koarashi, M. Atarashi-Andoh, S. Ishizuka, T. Saito, K. Hirai and S. Miura; Radiocarbon-based estimation of soil carbon turnover in a cool-temperate beech forest, International Symposium on Application of a Closed Experimental System to Modeling of <sup>14</sup>C Transfer in the Environment, Rokkasho, Japan, November 15-16 (2007)
  - 21) T. Ito, H. Kawamura, T. Nakayama, S. Shima, M. Ohnishi and Y. Isoda; Variation of volume transport of the Tsugaru Warm Current in the period from 2000 to 2002, International Workshop on Monitoring and Forecasting of the Rapid Changes in Ocean-Atmosphere Environment in the East Asia, Kasuga, Japan, November 29-30 (2007)
  - 22) H. Nakayama, T. Tamura and S. Abe; LES on plume dispersion in the convective boundary layer capped by a temperature inversion, The Seventh International Symposium on Advanced Fluid Information and Fourth International Symposium on Transdisciplinary Fluid Integration (AFI/TFI-2007), Sendai, Japan, December 14-15 (2007)
  - 23) S. Otsuka, T. Tanaka, O. Togawa, H. Amano, M. Minakawa, B.K. Khim and S. Noriki; Time-scale of POC cycle in the Japan Sea, The 2008 Ocean Sciences Meeting, Orlando, USA, March 2-7 (2008)
- .
- 1) Y. Kobayashi, S. Tokonami, T. Ishikawa, Y. Ishimori, Intercomparison exercises of radon measurement in the radon reference chamber of PTB, Proc. of the Second Asian and Oceanic Congress for Radiation Protection, Beijing, China 9-13 October 2006 (2006)
- △.
- 1) D. Satoh, F. Takahashi, A. Endo, Y. Ohmachi and N. Miyahara. "PHITS simulation on internal radiation fields at neutron irradiation". The Japan-Taiwan Symposium on Simulation, Tsukuba, December 12-15 (2006).
  - 2) F. Takahashi and A. Endo. "A numerical system utilizing a Monte Carlo calculation method for precise dose assessment in radiation accidents". Tenth Symposium on Neutron Dosimetry (NEUDOS10), Uppsala, Sweden, June 12-16 (2006).
  - 3) K. Sato, H. Noguchi, A. Endo, Y. Emoto, S. Koga and K. Saito., "Development of a voxel phantom of Japanese adult male in upright posture". 6th Workshop on Internal Dosimetry of Radionuclides. Occupational, public and Medical exposure. Montpellier, France, October, 2-5 (2006).



二.

- 1) Akamatsu, K., Fujii, K. and Yokoya, A., Auger and photo-electron effects on strand breaks and base lesions in plasmid DNA irradiated with ultrasoft X-rays, 6th Int'l Symposium on Physical, Molecular, Cellular and Medical Aspects of Auger Processes, July, 2007, Boston, USA.
- 2) Akamatsu, K., Wada, S. and Kobayashi, Y., A novel methodology for characterizing strand-break termini and damaged bases in plasmid DNA exposed to ionizing radiations, 13th Int'l Congress of Radiation Research, July, 2007, San Francisco, USA.
- 3) Akamatsu, K., Fujii, K., Yokoya, A., Wada, S. and Kobayashi, Y., DNA damage spectra for 4He ion beam and ultrasoft X-rays compared with that for Co-60 gamma rays, ASR2007, International Symposium on "Charged particle and photon interaction with matter", November, 2007, Tokai, Japan.
- 4) Kinase, S., Takahashi, M. and Saito, K.: Evaluation of Self-Absorbed Doses for the Kidneys of a Voxel Mouse, ISORD-4, Seoul, July 18-20 (2007).
- 5) Watanabe, R., Sato, O., Kubota, A. and Saito, K., Simulation of induction process of DNA damage in aqueous solution by heavy ions, ASR2007, International Symposium on "Charged particle and photon interaction with matter", November, 2007, Tokai, Japan.
- 6) Nijjoo, H., Emfietzoglou, D., Watanabe, R. and Uehara, S., Can Monte Carlo Track Structure Codes Reveal Reaction Mechanism in DNA Damage and Improve Radiation Therapy? , ASR2007, International Symposium on "Charged particle and photon interaction with matter", November, 2007, Tokai, Japan.
- 7) Nijjoo, H. and Watanabe, R., DNA damage spectrum and complexity, Gordon Research Conference, DNA damage, mutation and cancer, March, 2008, Ventura, Canada.

口頭発表：

イ.

- 1) 西沢匡人, 永井晴康, 茅野政道, 佐々木広朋, 加藤謙太郎; 大気化学物質の輸送モデルの自然放射性核種への適用, 日本気象学会 2006 年度春季大会, つくば (2006 年 5 月)
- 2) 天野光, 甲昭二, 木下尚喜, 鈴木崇史, 田中孝幸, 乙坂重嘉, 桑原潤, 北田慶信, 渡辺幸也, 北村敏勝; 原子力機構むつ・タンデトロン加速器の現状, 第 19 回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, みどり市 (2006 年 7 月)
- 3) 松永武, 柳瀬信之, 眞田幸尚, 長尾聖也, 上野隆, 佐藤努, 磯部博志, 天野光, Y. Tkachenko; チェルノブイル事故地域に学ぶプルトニウム同位体の環境中挙動—移動・分配・影響—, 日本放射線影響学会第 49 回札幌大会, 札幌 (2006 年 9 月)
- 4) 乙坂重嘉, 天野光, 田中孝幸, 外川織彦, 乗木新一郎, 蒲正人, 皆川昌幸; 日本海における粒子状有機物の輸送・循環過程, 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋 (2006 年 9 月)
- 5) 田中孝幸, 乙坂重嘉, 天野光, 外川織彦; 溶存態有機物中炭素同位体比測定法の開発, 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋 (2006 年 9 月)
- 6) 広瀬直毅, 川村英之; 日本海予報モデルに対する非定常カルマンフィルターの導入, 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋 (2006 年 9 月)
- 7) 高田兵衛, 久万健志, 磯田豊, 西岡純, 乙坂重嘉, 千木良充, 高木省吾, 亀井佳彦, 坂岡桂一郎; 日本海大和海盆および日本海盆における鉄の挙動, 2006 年度日本海洋学会秋季大会, 名古屋 (2006 年 9 月)
- 8) 西沢匡人, 永井晴康, 茅野政道; 福島県沿岸域における空間線量率上昇時の自然放射性核種の数値シミュレーション, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 札幌 (2006 年 9 月)
- 9) 小嵐淳, 山澤弘実; 森林炭素 14 循環と環境問題への展開, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 札幌 (2006 年 9 月)
- 10) 高橋知之, 小嵐淳; 炭素 14 環境中移行モデル化の現状と EMRAS での展開, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 札幌 (2006 年 9 月)
- 11) 山崎哲夫, 林津雄厚, 芹澤茂, 梅山信明, 森内茂, 榎本順一, 須田直英, 喜多俊清, 茅野政道, 永井晴康, 山澤弘実; SPEEDI の予測精度向上—気象データ同化に係る観測地点の代表性評価—, 日本原子力学会 2006 年秋の大会, 札幌 (2006 年 9 月)
- 12) 田中孝幸, 乙坂重嘉, 天野光, 外川織彦; 溶存態有機物中放射性炭素測定 of 海水への応用, 第 9 回 AMS シンポジウム, 東京 (2006 年 10 月)
- 13) 桑原潤, 鈴木崇史; 海藻中のヨウ素同位体比測定のための前処理方法の検討, 第 9 回 AMS シ

- ンポジウム，東京（2006年10月）
- 14) 乙坂重嘉，伊藤集通，外川織彦；日本海における人工放射性核種の移行挙動に関する調査研究（IV），第48回環境放射能調査研究成果発表会，東京（2006年12月）
  - 15) 小林卓也；海洋中における放射性核種移行モデル—アイリッシュ海への適用—，第1回放射線防護研究センターシンポジウム，千葉（2006年12月）
  - 16) 伊藤集通，川村英之，中山智治，島茂樹，磯田豊，大西光代；フェリー搭載 ADCP 計測に基づく津軽海峡の通過流量の見積もり—2000～2002年の結果；日本海沿岸における海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会，福岡（2006年12月）
  - 17) 乗木新一郎，乙坂重嘉，前田亘宏；セジメントトラップ実験で観測される粒子の水平移動，北海道大学低温科学研究所環オホーツク観測研究センターシンポジウム，札幌（2007年2月）
  - 18) 桑原潤，鈴木崇史，天野光；AMSによるI-129測定のための海藻試料の簡便な前処理法の開発，第8回「環境放射能」研究会，つくば（2007年3月）
  - 19) 伊藤集通，常山鉄平，乙坂重嘉；日本海における人工放射性核種存在量の時間変化，2007年度日本海洋学会春季大会，東京（2007年3月）
  - 20) 田中孝幸，乙坂重嘉，天野光，外川織彦，千手智晴，磯田豊，久万健志；日本海における溶存態有機物中放射性炭素の鉛直分布，2007年度日本海洋学会春季大会，東京（2007年3月）
  - 21) 荒巻能史，外川織彦，乙坂重嘉，鈴木崇史，千手智晴，皆川昌幸；日本海における放射性炭素の分布と深層循環，2007年度日本海洋学会春季大会，東京（2007年3月）
  - 22) 小嵐淳，安藤麻里子，三浦覚，齋藤武史，石塚成宏；放射性炭素を利用した安比ブナ林土壌における年間の従属栄養生物呼吸量の推定，日本原子力学会2007年春の年会，名古屋（2007年3月）
  - 23) 芹澤茂，林津雄厚，山崎哲夫，梅山信昭，森内茂，茅野政道，永井晴康，山澤弘実；SPEEDIの局地気象予測についての評価，日本原子力学会2007年春の年会，名古屋（2007年3月）
  - 24) 小林卓也，乙坂重嘉，林圭佐，外川織彦；海洋環境評価システムの検証（II） 1. 粒子状物質輸送モデルを用いたアイリッシュ海におけるCs-137の長期拡散シミュレーション，名古屋（2007年3月）
  - 25) 乙坂重嘉，小林卓也，外川織彦；海洋環境評価システムの検証（II） 2. 現場観測によるパラメタリゼーション，日本原子力学会2007年春の年会，名古屋（2007年3月）
  - 26) 鈴木崇史，天野光，外川織彦，皆川昌幸；日本海におけるヨウ素129の鉛直分布，日本原子力学会2007年春の年会，名古屋（2007年3月）
  - 27) 荒巻能史，外川織彦，乙坂重嘉，鈴木崇史，天野光，田中孝幸，千手智晴，皆川昌幸；日本海における放射性炭素の分布と深層循環，第20回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会，東海村（2007年7月）
  - 28) 小嵐淳，安藤麻里子，石塚成宏，齋藤武志，平井敬三，三浦覚；放射性炭素が示す土壌の炭素貯留機能と温暖化に対する潜在的応答，原子力機構—東京大学連携重点研究・課題5「放射性廃棄物処分研究のためのネットワーク」ワークショップ，東海村（2007年9月）
  - 29) 伊藤集通，川村英之，中山智治，島茂樹，大西光代，磯田豊；津軽海峡の流量変動：2000-2002年のADCP観測による見積り，2007年度日本海洋学会秋季大会，沖縄（2007年9月）
  - 30) 川村英之，伊藤集通，広瀬直毅，尹宗煥，滝川哲太郎；対馬暖流沿岸分枝の同化モデリング，2007年度日本海洋学会秋季大会，沖縄（2007年9月）
  - 31) 乙坂重嘉，田中孝幸，天野光，外川織彦，乗木新一郎，皆川昌幸；粒子状有機物の「みかけの年齢」の変動要因，2007年度日本海洋学会秋季大会，沖縄（2007年9月）
  - 32) 印貞治，中山智治，松浦康孝，島茂樹，石川洋一，淡路敏之，小林卓也，川村英之，外川織彦；六ヶ所村沖合海況予測システムを用いた津軽暖水の季節変動の再現，2007年度日本海洋学会秋季大会，沖縄（2007年9月）
  - 33) 永井晴康，茅野政道，寺田宏明，小林卓也，都築克紀；環境負荷物質の包括的動態予測システムSPEEDI-MPの開発：(1)システム構成とモデル結合計算，日本原子力学会2007年秋の大会，北九州（2007年9月）
  - 34) 寺田宏明，茅野政道；環境負荷物質の包括的動態予測システムSPEEDI-MPの開発：(2)大気中拡散モデルの開発と検証，日本原子力学会2007年秋の大会，北九州（2007年9月）
  - 35) 都築克紀，松永武，永井晴康；環境負荷物質の包括的動態予測システムSPEEDI-MPの開発：(3)陸域における物質移行モデルの開発，北九州（2007年9月）
  - 36) 小林卓也，林圭佐；環境負荷物質の包括的動態予測システムSPEEDI-MPの開発：(4)東海沖

- 海域における流動場計算，日本原子力学会 2007 年秋の大会，北九州（2007 年 9 月）
- 37) 都築克紀，松永武，井上隆信，山田俊郎；水素同位体比を利用した分布型水流出モデルの検証と硝酸態窒素の河川流出機構の解析，河川整備基金助成事業成果発表会，東京（2007 年 10 月）
  - 38) 乙坂重嘉，田中孝幸，外川織彦，天野光，荒巻能史；日本海における水塊構造と海水循環の解明，第 1 回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会，むつ（2007 年 11 月）
  - 39) 田中孝幸，乙坂重嘉，天野光，外川織彦；溶存態有機物中放射性炭素測定システムの開発と海水中溶存有機炭素の循環に関する研究，第 1 回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会，むつ（2007 年 11 月）
  - 40) 乙坂重嘉，田中孝幸，外川織彦，天野光；日本海および青森周辺海域における粒子状有機物の循環過程，第 1 回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会，むつ（2007 年 11 月）
  - 41) 乙坂重嘉，天野光，甲昭二，木下尚喜，田中孝幸；むつ AMS における C-14 データ処理と質評価について，第 1 回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会，むつ（2007 年 11 月）
  - 42) 鈴木崇史，甲昭二，木下尚喜，天野光，外川織彦；JAEA Mutsu AMS による  $^{129}\text{I}$  測定及びヨウ素循環研究への応用，第 1 回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会，むつ（2007 年 11 月）
  - 43) 安藤麻里子，小嵐淳，石塚成宏，齋藤武志，平井敬三；C-14 をトレーサーとして利用した森林中炭素挙動研究，第 1 回 JAEA タンデトロン AMS 利用報告会，むつ（2007 年 11 月）
  - 44) 田中孝幸；海水中有機物の年齢—加速器質量分析法の応用，第 3 回むつ海洋・環境科学シンポジウム，むつ（2007 年 11 月）
  - 45) 阿部諭，中山浩成，田村哲郎；逆転層を有する対流境界層中の濃度変動に関する LES 解析，第 21 回数値流体力学シンポジウム，東京（2007 年 12 月）
  - 46) 鈴木崇史，皆川昌幸，天野光，外川織彦；太平洋及び日本海におけるヨウ素 129 の鉛直分布，第 10 回 AMS シンポジウム，東京（2008 年 3 月）
  - 47) 天野光，甲昭二，木下尚喜，鈴木崇史，乙坂重嘉，田中孝幸；JAEA-AMS- MUTSU の現状，第 10 回 AMS シンポジウム，東京（2008 年 3 月）
  - 48) 小林卓也，林圭佐，外川織彦；海洋環境評価システムの検証（Ⅲ）鉛直座標系の変更に伴う計算精度の向上，日本原子力学会 2008 年春の年会，吹田（2008 年 3 月）

ロ.

- 1) 石森有，ラドンリスク専門研究会，屋内ラドンのリスク評価(1)，日本保健物理学会第 40 回研究発表会要旨集，(2006)
- 2) 石森有，井上実，複雑地形における拡散評価コードの開発(2)，日本保健物理学会第 40 回研究発表会要旨集，(2006)
- 3) 小林羊佐，床次眞司，石川徹夫，石森有，PTB におけるラドン測定器の国際比較実験，日本保健物理学会第 40 回研究発表会要旨集，(2006)
- 4) 石森有，ラドン研究の現状と展望，日本保健物理学会第 41 回研究発表会要旨集，(2007)
- 5) 石森有，土壌試料からのラドン散逸，日本保健物理学会第 41 回研究発表会要旨集，(2007)
- 6) 石川徹夫，床次眞司，小林羊佐，谷田部慶憲，宮原信幸，石森有，電離箱によるラドン測定に関する国際比較校正，日本保健物理学会第 41 回研究発表会要旨集，(2007)

ハ.

- 1) 佐藤大樹，高橋史明，遠藤章，山口恭弘，大町康，宮原信幸；ボクセルファントムを用いたマウスの体内放射線場の特性解析，日本放射線影響学会第 49 回札幌大会，札幌，9 月(2006).
- 2) 高橋史明．“放射線防護に用いる線量概念の専門研究会における議論”，日本保健物理学会第 40 回研究発表会，広島，6 月 8-9 日 (2006).
- 3) 高橋史明．“現在の放射線防護における線量の体系”，保健物理学会シンポジウム：放射線防護に用いる線量を考える，東京，3 月 7 日(2007).
- 4) 佐藤薫，遠藤章，齋藤公明．“立位姿勢ボクセルファントムを用いた光子吸収割合評価”，日本原子力学会 2007 年春の年会，名古屋，3 月 (2007).
- 5) 高橋史明．“放射線防護における線量評価”，日本保健物理学会第 41 研究発表会，東京 (2007 年 6 月).
- 6) 佐藤薫，遠藤章，齋藤公明．“日本人ボクセルファントムを用いた外部被ばくに対する臓器線量の評価”，日本保健物理学会第 41 研究発表会，東京 (2007 年 6 月).
- 7) 高橋史明，重森祐志，重森祐志．“放射線事故時の詳細線量解析システムの開発 (2)”，日本原子力学会 2008 年春の年会，大阪 (2008 年 3 月).
- 8) 真辺健太郎，横山須美，佐藤薫，遠藤章．“ICRP 新消化管モデルが経口摂取量評価に与える影

響”，日本原子力学会 2008 年春の年会，大阪（2008 年 3 月）。

- 9) 横山須美，真辺健太郎，佐藤薫，遠藤章. “ICRP 新消化管モデルが消化管壁  $\beta$  線線量に与える影響”，日本原子力学会 2008 年春の年会，大阪（2008 年 3 月）。

二.

- 1) 赤松 憲，放射線の線質の違いによる DNA 損傷スペクトルの類似点・相違点—新規 DNA 損傷分析方法による結果から—，日本放射線影響学会第 50 回大会，2007 年 11 月，千葉
- 2) 大内則幸，腫瘍形成における組織形態の数理モデル，日本放射線影響学会第 50 回大会，2007 年 11 月，千葉
- 3) Kinase, S. and Saito, K.:Evaluation of Organ Doses in a Voxel Mouse, 第 14 回 E G S 研究会，つくば，8 月 7-8 日(2007).
- 4) 木名瀬栄，松橋信平，斎藤公明: ボクセルマウスの吸収割合評価，日本原子力学会 秋の大会，北九州，9 月 27-29 日(2007).
- 5) 木名瀬栄: マウスファントムの内部被ばく線量評価，第 2 回放射線防護研究センターシンポジウム 放射線の環境影響を考える，千葉，12 月 17-18 日(2007).
- 6) 渡辺立子，佐藤理，久保田あさ子，船曳淳，斎藤公明，重粒子線誘発 DNA 損傷スペクトルの飛跡構造シミュレーションによる推定，日本放射線影響学会第 50 回大会，2007 年 11 月，千葉

**【用語解説】（H19 成果の関連で追加すべきものがあれば追加）**

- イ. 加速器質量分析装置（AMS）：本装置は、イオン源、イオン入射部、タンデム型加速器部及び質量分析部から構成されている。この装置は、イオン源で試料を原子の負イオンの状態に変換し、それを高エネルギーに加速してエネルギー分析及び質量分析を行い、重イオン検出器などで目的とする原子イオンを計測し、同位体比を測定するものである。この装置は、少量の試料で極微量の同位体元素の検出及び同位体比（ $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  等）を短時間で高精度に測定できる。
  - ロ. 平衡等価ラドン濃度  
空気中のラドンの短半減期の壊変生成物（Po-218、Pb-214、Bi-214、Po-214）について、Pb-210 になるまでに放出する全ての  $\alpha$  線のエネルギーの和により加重した放射能濃度。
  - ハ. ボクセルファントム  
ボクセル（voxel: volume pixel）と呼ばれる微小直方体要素を用いて臓器・組織の構造を詳細に表現したモデル。従来用いられてきた円柱や回転楕円体などの組み合わせにより臓器形状を表現した数式ファントムに比べて、人体等の CT や MRI 画像データを用いてモデル化するため、現実の臓器に非常に近い構造のモデルを作成することができる。これまで人体に対するボクセルモデルが開発されてきたが、本研究ではマウスのモデルを開発した。
- 二. クラスタ損傷  
DNA 上の狭い領域に複数の損傷が集中して生じる損傷のことを意味し、修復が難しく生物影響上重要な損傷であるといわれているが、その実体については未だ完全には明らかになっていない。

図表  
イ.

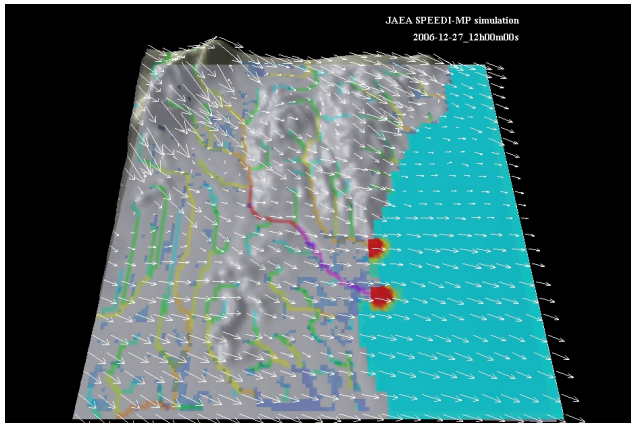


図1 東海地区を対象とした大気・陸域・海洋の水循環結合モデル計算

本結合計算では、大気モデル MM5、陸面モデル SOLVEG、陸水モデル RIVERS、海洋モデル POM、波浪モデル WW3 という 5 つのモデルを結合した。この結合モデルを用いて、2006 年 12 月 26 日～27 日の豪雨の際に、降雨が河川に集まり海洋まで流出する水の動きを再現した。図は 27 日 21 時における計算結果である。

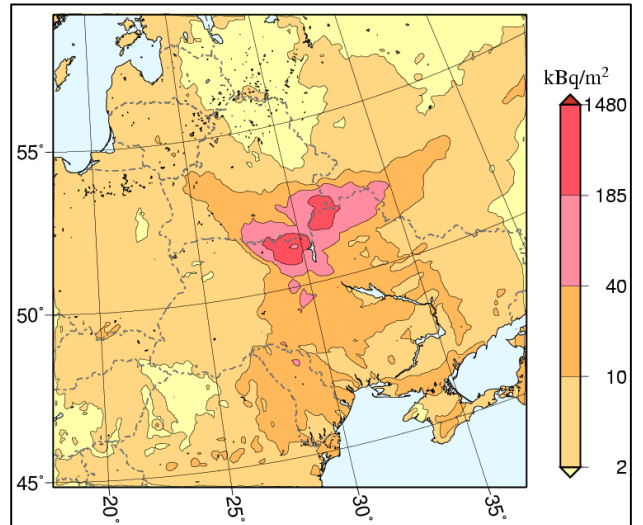


図2 チェルノブイリ事故時における  $^{137}\text{Cs}$  の地表沈着量分布のモデル計算

大気拡散モデル MM5/GEARN を使用した 2 領域同時計算による放出開始から 2 週間後までの積算沈着量の計算結果を示す。Atlas 観測値と比較すると、チェルノブイリ周辺における「蝶形」の詳細な分布を再現することに成功した。

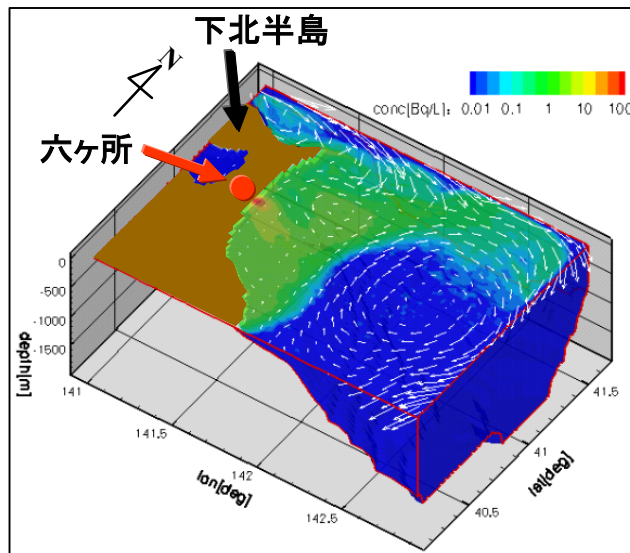


図3 下北海域への  $^3\text{H}$  仮想放出による表層海水における  $^3\text{H}$  濃度分布のモデル計算

海水循環モデルと海洋中物質吸脱着モデルによる 2006 年 10 月～11 月における  $^3\text{H}$  濃度分布の計算結果を示す。下北海域における夏季～秋季の特徴である渦モードを再現し、その海流とともに  $^3\text{H}$  が拡散する様子が伺える。

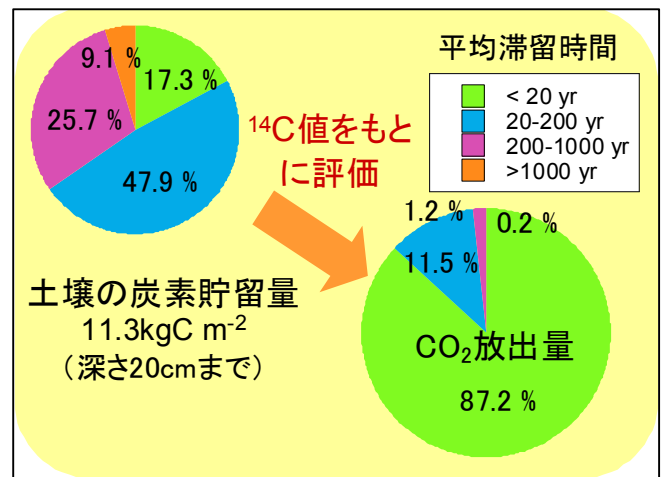


図4 岩手県安比ブナ林における現在の炭素貯留量と  $\text{CO}_2$  放出量

化学的に分画した森林土壌中の C-14 濃度を加速器質量分析装置で測定することにより、土壌有機物の平均滞留時間を推定した。これに基づいて、微生物分解による土壌からの  $\text{CO}_2$  放出速度・量を評価した。さらに、温暖化の進行により、20-200 年の比較的長い滞留時間を持つ有機物からの炭素放出が加速されることを明らかにした。

ロ.

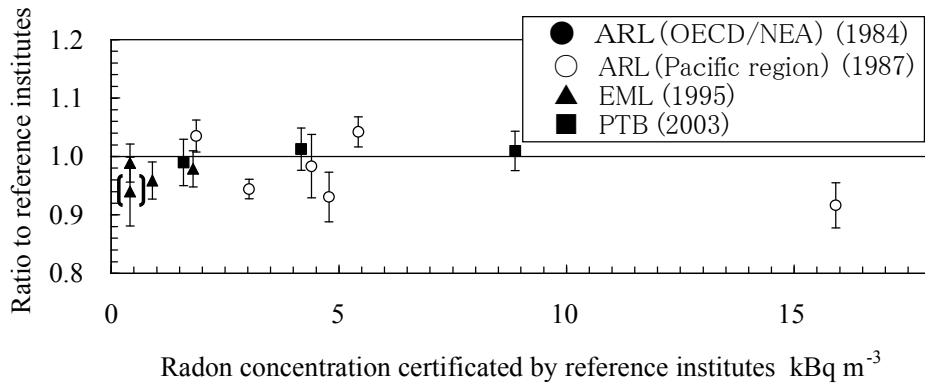


図5 過去の国際比較実験の要約

ARL (オーストラリア：現 ARPANSA)、EML (米国) は 1980 年代の OECD/NEA 国際プログラムの標準機関、PTB (ドイツ) は現在のヨーロッパの標準機関のひとつ。測定結果の比は全体として  $0.98 \pm 0.04$  で、国際的な標準機関と一貫して良く一致している。

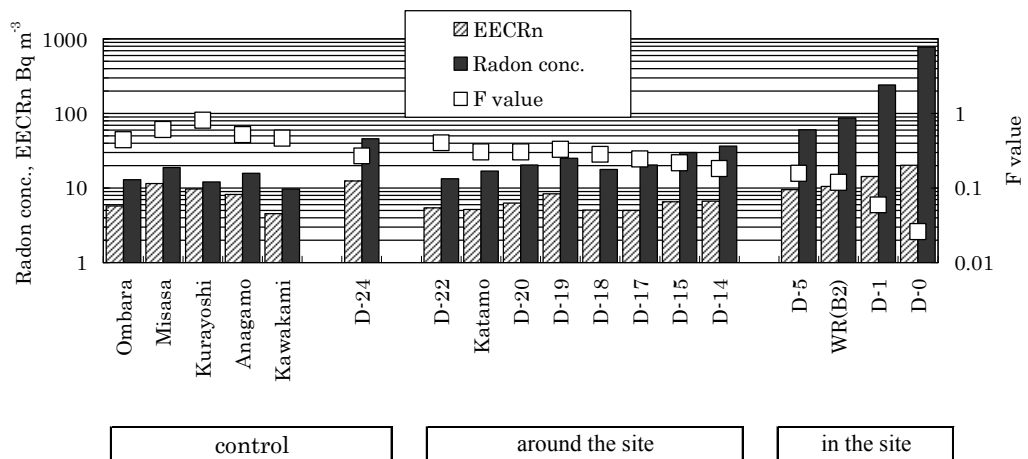


図6 鉱山跡地周辺の測定結果

場内ではやや高いラドン濃度、平衡等価ラドン濃度 (EECRn) が観測されるが、周辺地区では周辺の対照地区と同程度である。特に線量に直接関連する平衡等価ラドン濃度は敷地境界の外側では同レベルであり、施設影響は測定誤差の範囲内であると考えられる。

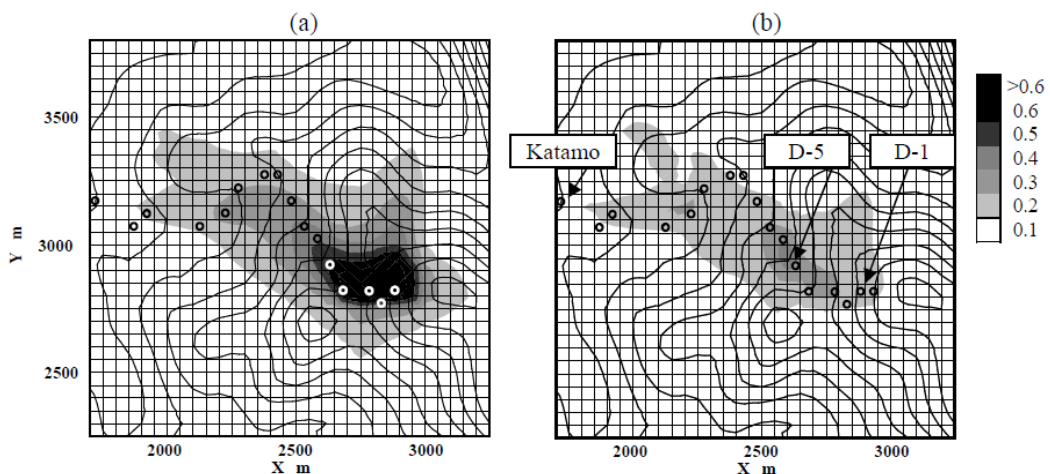


図7 拡散評価コードによる予察的な評価によるたい積場寄与の割合

(a)ラドン、(b)平衡等価ラドン。放出量は実際の 10 倍程度を与え、そのような過大な評価でも、周辺居住地区では施設影響は観測値の 10%以内と評価された。この結果は図2の結果と一貫性がある。



八.

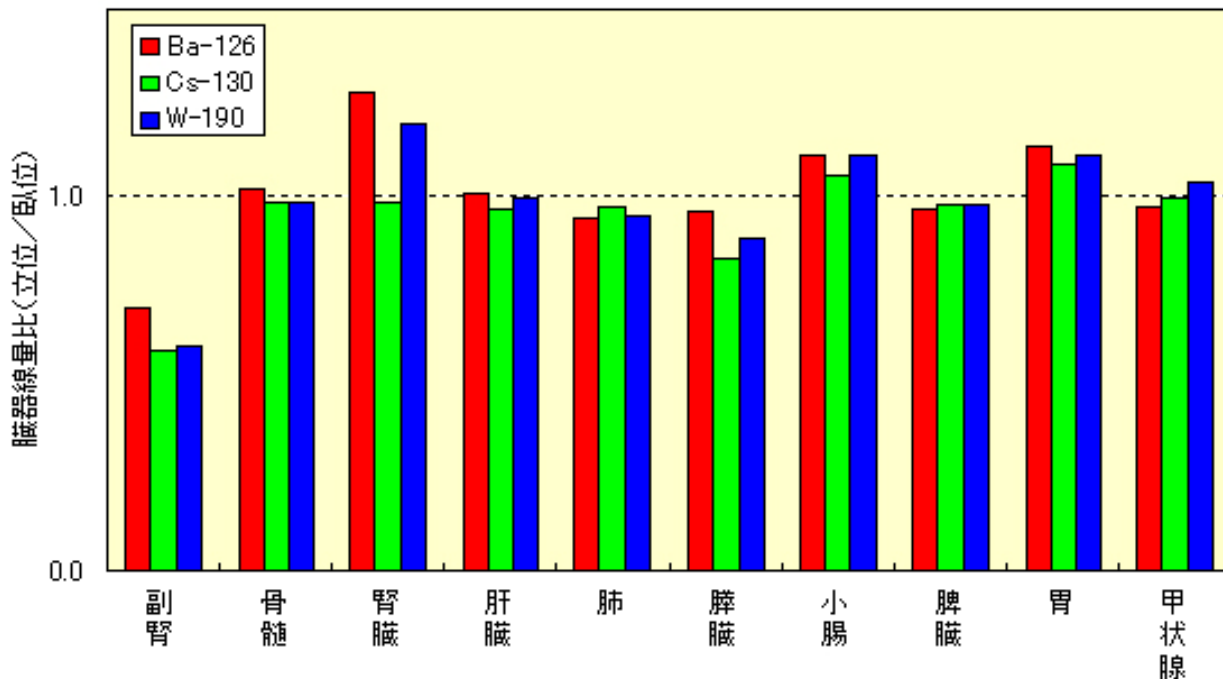


図8 Ba-126、Cs130、W-190の内部被ばくによる立位姿勢と臥位姿勢における臓器の吸収線量の比  
副腎、腎臓は姿勢により位置が変わるため、立位と臥位では臓器吸収線量に大きな違いが生じる。しかし、それ以外の臓器では、姿勢による線量の変化は20%以内であることを明らかにした。

二.

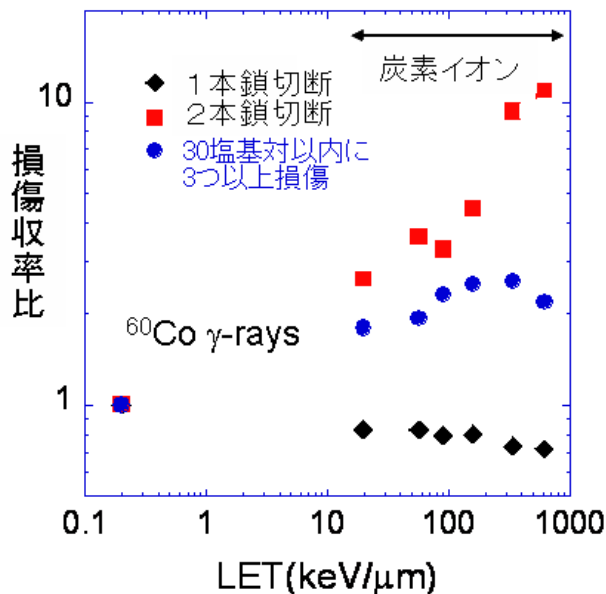


図9 シミュレーションによるCo-60γ線での損傷収率で規格化した炭素イオンの損傷収率比  
炭素イオンの場合、DNAの2本鎖切断は線エネルギー付与とともに増大し、一本鎖切断は減少する。30塩基対以内に3つ以上の損傷のケースでは、実験結果と似たピークを示した。

## 重点安全研究成果調査票（中間評価(平成 17～19 年度)）

### 【研究分野／項目】

VII. 原子力防災分野／原子力防災技術

【分類番号】 7-1-1

### 【研究課題名(Title)】

原子力防災に関する技術的支援研究

Technical Development of Nuclear Emergency Preparedness and Response

### 【研究代表者】

[所属] 安全研究センター リスク評価・防災研究グループ

[氏名] 本間 俊充 (ほんま としみつ)

[連絡先] Tel : 029-282-6862 E-mail : homma.toshimitsu@jaea.go.jp

[所属] 原子力緊急時支援・研修センター 調査研究グループ

[氏名] 福本 雅弘 (ふくもと まさひろ)

[連絡先] Tel : 029-265-5111 (内線 230) E-mail : fukumoto.masahiro@jaea.go.jp

### 【研究目的】

原子力防災対策の実効性の更なる向上を図るため、国や地方公共団体による防災計画策定に資する技術的指標等の整備を行うとともに、緊急時意思決定プロセスにおける専門家支援のための支援手法等の整備を行う。

### 【研究内容】

イ. 防災計画策定の支援に関する研究（安全研究センター）

国や地方公共団体による防災計画策定に役立てるため、PSA や環境影響評価の手法を活用して、緊急時における判断や各種防護対策の指標、範囲、実施時期等の技術的課題の検討を行う。【一部原安委受託】

ロ. 緊急時意思決定支援手法の整備に関する研究（安全研究センター）

オフサイトセンター等での緊急時の意思決定プロセスにおける専門家支援のため、緊急時意思決定支援手法等の検討を行う。【一部 JNES 受託】

ハ. 住民の避難計画と情報伝達技術に関する研究（原子力緊急時支援・研修センター）

地方公共団体等による緊急時の住民の迅速避難計画の策定に役立てるため、地域避難のモデルやガイド等の検討を行う。また、緊急時意思決定のための情報分析技術の高度化のため、情報の収集、分析、共有、発信の迅速対応技術の検討を行う。【一部保安院受託】

### 【達成目標】

- 原子力施設等の緊急時における情報分析の高度化に関する検討（避難・退避の効率化に関する検討を含む）
- 事故時の事象進展評価及び環境影響評価技術の高度化
- 事故時の災害復旧に係る長期的対策の予備的検討
- 技術的指標の整備、支援技術情報の検討
- 緊急時意思決定支援手法等の整備

### 【成果の活用方策】

防災に関する指針の改訂等により原子力防災機能の強化を図るとともに、平常時から関係機関の間で活用できる支援システムやマニュアル等のツールを整備し、対応技術の高度化を図る。

### 【使用主要施設】

なし



## 【研究の進め方】

原子力安全委員会からの受託調査研究を通して、国際機関等における検討成果を活用すると共に、機構内の安全研究センター及び原子力緊急時支援・研修センターが連携し、また外部の(独)原子力安全基盤機構等と密接に連携して、訓練等の防災実務に成果を役立て研究にフィードバックする。

## 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名 (実施機関)]

なし

[受託研究名 (委託元)]

### 平成 17 年度

- 米国等における防災体制の調査・分析 (内閣府原子力安全委員会)
- 避難等実施時期及び実施範囲の判断の手引き作成 (事故時環境影響評価のための基礎情報の調査) (原子力安全基盤機構)

### 平成 18 年度

- 緊急事態対応判断基準等に関する調査 (内閣府原子力安全委員会)
- 避難等実施時期及び実施範囲の判断の手引き作成 (事故時環境影響評価のための基礎情報の調査) (原子力安全基盤機構)
- 統合型情報コラボレーションシステムの開発 (原子力発電施設等緊急時対策技術の一部) (経済産業省原子力安全・保安院)

### 平成 19 年度

- 中間貯蔵施設の原子力防災に関する調査及び緊急事態の判断基準に係る調査 (内閣府原子力安全委員会)

[委託研究名 (委託機関)]

なし

## 【研究実施内容及び成果 (平成 17～19 年度)】

### イ. 防災計画策定の支援に関する研究

原子力防災に関する最近の国際動向を踏まえ、今後の防災指針の見直しに向けた検討に資するため、国際原子力機関 (IAEA) 及び諸外国における原子力緊急事態に対する準備と対応に関する最新の動向を調査し、原子力安全委員会が示す「原子力施設等の防災対策について (以下、防災指針)」の技術的・専門的事項に関する課題の検討を行った。特に、防災指針の技術的・専門的事項に関する課題としては、緊急事態に対する準備と対応の基本要件、緊急時計画区域 (EPZ)、防護措置のための指標、防護措置実施の考え方、専門家支援体制のあり方について検討した。その結果、防災指針がこれまで以上に実効性の高いものになるためには、事故の初期段階から解除段階までを事前に見据えた準備と対応の基本的考え方を示すことが重要であり、それには、緊急事態に対する計画段階では、施設に対する脅威の評価、緊急事態区分に対する緊急時活動レベル (EAL)、予防的措置範囲 (PAZ) 及び緊急防護措置計画範囲 (UPZ)、また、対応段階では、防護措置実施の基本的考え方や運用上の介入レベル (OIL) を整備することが必要であることを指摘した (図 1)。

リスク情報を活用した防護措置戦略の検討のため、わが国の軽水炉に対するレベル 2PSA 結果を整理し、考慮すべき事故シナリオにおけるヨウ素放出量と放出開始までの時間 (予防服用のための準備時間) 及びその発生頻度等、その特徴を明らかにした (図 2)。安定ヨウ素剤予防服用による甲状腺被ばく低減効果モデルを確率論的事故影響評価 (レベル 3PSA) コード OSCAAR に組み込むとともに、主要な事故シナリオに対して屋内退避、避難、安定ヨウ素剤予防服用等、各短期防護対策の実施範囲及び時期について評価を行い、対策実施上の課題を抽出した (図 3)。さらに、整備した安定ヨウ素剤予防服用による甲状腺被ばく低減効果モデルを用いて、屋内退避、避難、安定ヨウ素剤予防服用の短期防護対策の複合的实施による効果 (実施範囲及び時期) について代表的な事故シナリオに対する評価を行った。その結果、ヨウ素の早期大規模放出の事故シナリオでは、確定的影響を避けるため予防的避難が不可欠であり、補完的措置として安定ヨウ素剤の服用を迅速に行うことで、大きな被ばく低減効果が得られることが明らかとなった。また、小規模な放出シナリオでは、避難を要する区域はほとんど生じず、サイト近傍では屋内退避と安定ヨウ素剤の服用で被ばく低減が十分可能であることが分かった (図 4)。

一方、災害復旧期の長期防護対策を実施する上での計画策定及び判断基準について国際機関及び諸外国における最新の動向を調査し、防災指針見直しのための検討課題として長期防護対策の計画策定に必要な原則と判断基準や指標等の基本的考え方を整理するとともに、チェルノブイリ事故等の事例を調査し、長期防護対策の導入と解除に関して考慮すべき要因を抽出した。また、レベル3PSAコードを用いて、長期防護対策の一つである移転措置の最適化に関する費用便益分析を実施した。この結果、移転の解除レベルをおおよそ 5mSv/年以下に設定した移転策は正当化されそうにないことが分かった (図 5)。

#### ロ. 緊急時意思決定支援手法の整備に関する研究

緊急時の意思決定における専門家支援のための技術マニュアルの整備に必要な基礎情報として、1) 避難の判断のための環境条件及び主要な防護指標、2) 線量評価のためのデータベース (放出時に予想される放射性核種の基本データ、外部・内部被ばくに関する線量係数)、3) 事故状態評価及び環境線量評価の基本的考え方、4) 簡易環境影響評価手法による対策実施範囲決定の手順、を検討するとともに、国際放射線防護委員会 (ICRP) の最新の評価法に基づいて開発した計算コードを用いて、技術マニュアルに必要な線量係数に関するデータベースを整備した。

これらの検討結果をもとに、緊急時の意思決定における専門家支援のための技術マニュアル(1 次案)の作成を行った。本マニュアルはデータハンドブック形式とし、①日本の原子力発電所の主要なデータ、②事故進展・ソースターム評価に関するデータ、③防災対策に関するデータ、④大気拡散及び線量評価に関するデータをまとめた。事故進展・ソースターム評価に関するデータについては、米国の IAEA 技術マニュアル(RTM-96)及び IAEA の防護対策決定のための評価手順(TECDOC-955)等を基に、主要な事故シナリオのソースターム評価に必要なパラメータを整備し、パラメータ値の技術的根拠についても整理した。また、大気拡散及び線量評価に関するデータについては、大気安定度の簡便決定法、大気拡散による濃度分布図及び線量評価のための線量係数データを整備した。

#### ハ. 住民の避難計画と情報伝達技術に関する研究

緊急時の住民の避難計画の迅速策定のため、即時避難の考え方、避難時間評価等について調査・検討し、避難計画策定のためのモデルの検討を総括した (図 6)。また、緊急時の意思決定のため、情報の収集、分析、共有、発信に迅速に対応する、情報共有と広報文案作成の機能を有する支援システム (統合型情報コラボレーションシステム) を開発し、可視化表示を実施した (図 7)。

### 【特記事項】

なし

### 【研究成果の発表状況】

#### 雑誌掲載論文：

- 1) K.M. Thiessen, T. Homma, et al., "Model Testing using Data on <sup>131</sup>I Released from Hanford," *Journal of Environmental Radioactivity*, 84, 211 (2005).
- 2) K.M. Thiessen, T. Homma, et al., "Model testing using data on <sup>137</sup>Cs from Chernobyl fallout in the Iput River catchment area of Russia," *Journal of Environmental Radioactivity*, 84, 225 (2005).
- 3) 梅本通孝, 熊谷良雄, 石神務, 村松健, "兵庫県南部地震後の神戸市東灘区 LP ガス漏洩事故による住民避難", *地域安全学会論文集* 7, 341 (2005).
- 4) 木村仁宣, 本間俊充, "原子力あるいは放射線緊急事態における各国の短期防護措置の現状", *日本保健物理学会誌*, 41(2), 76-87 (2006).
- 5) 本間俊充, "放射性核種の環境移行モデルについて", (独)放射線医学総合研究所 第1回放射線防護研究センターシンポジウム報文集 (2006).
- 6) 本間俊充, 1.3 公衆のリスクと防災, 原子力ハンドブック, オーム社 (2008).
- 7) 本間俊充, 9.1 緊急事態に対する準備と対応, 原子力ハンドブック, オーム社 (2008).

#### 技術報告書：

- 8) 佐藤宗平, 梅本通孝, 本間俊充, "原子力災害時の一次集合に要する移動距離分布の推定", *JAERI-Data/Code* 2005-009, (2005).
- 9) 山本一也, "原子力緊急時の住民避難計画の策定に関する調査", *JAEA-Review* 2007-035 (2007).

- 10) 渡辺文隆, 山本一也, 佐治木健二郎, 安貞憲, 五十嵐幸, “防災業務情報共有システム ECHO の開発”, JAEA-Technology 2008-025 (2008).
- 11) 山本一也, “原子力緊急時の住民避難計画の策定に関する調査(Ⅱ)—フランスの即時対応と避難、及び避難時間評価に関する各種モデルの実例調査—”, JAEA-Review 2008-027 (2008).

#### 国際会議:

- 12) Homma, T., T. Matsubara and K. Tomita, “Testing of an accident consequence assessment model using field data,” Proc. of International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, 196-203, Oct. 18-20, 2006, Rokkasyo, Japan.
- 13) Kimura, M., T. Matsubara, J. Ishikawa and T. Homma, “An application of accident consequence assessment models to off-site emergency planning,” Proc. of International Symposium on Environmental Modeling and Radioecology, 348-351, Oct. 18-20, 2006, Rokkasyo, Japan.
- 14) Takahara, S., M. Kimura, T. Matsubara and T. Homma, “Study on the intervention and return criteria for relocation using PSA method,” The Fourth International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology (ISORD-4), Abstracts p.248, July 18-20, 2007, Seoul, Korea.
- 15) Matsubara, T., T. Homma and K. Tomita, “Validation of an accident consequence assessment code using field data,” International Conference on Environmental Radioactivity: From Measurements and Assessments to Regulation, April 23-27, 2007, Vienna, Austria.

#### 口頭発表:

- 16) 佐藤宗平, 本間俊充, 梅本通孝, “原子力災害時の一時集合に要する移動距離分布の推定,” 日本保健物理学会第 39 回研究発表会, 青森県六ヶ所村 (2005).
- 17) 松原武史, 本間俊充, “OSCAAR コードによるチェルノブイリ事故起因の I-131 甲状腺負荷量の推定,” 日本保健物理学会第 39 回研究発表会, 青森県六ヶ所村 (2005).
- 18) 本間俊充, 木村仁宣, 松原武史, 石川淳, “PSA 手法による安定ヨウ素剤配布措置の検討”, 日本保健物理学会第 40 回研究発表会, 広島 (2006).
- 19) 松原武史, 本間俊充, “OSCAAR コードによるチェルノブイリ事故起因の I-131 甲状腺負荷量に及ぼす防護対策効果の検討”, 日本保健物理学会第 40 回研究発表会, 広島 (2006).
- 20) 本間俊充, “緊急事態の準備と対応の基本的考え方の最近の動向”, 日本保健物理学会第 41 回研究発表会, 東京 (2007).
- 21) 木村仁宣, 高原省五, 本間俊充, 松原武史, “原子力緊急事態における防護措置実施の検討”, 日本保健物理学会第 41 回研究発表会, 東京 (2007).

#### 受託事業報告書:

- 22) 内閣府受託報告書, 米国等における防災体制の調査・分析, 平成 18 年 3 月, 日本原子力研究開発機構.
- 23) (独) 原子力安全基盤機構受託報告書, 平成 17 年度避難等実施時期及び実施範囲の判断の手引き作成 (事故時環境影響評価のための基礎情報の調査), 平成 18 年 3 月, 日本原子力研究開発機構安全研究センター.
- 24) 内閣府受託報告書, 緊急事態対応判断基準等に関する調査, 平成 19 年 3 月, 日本原子力研究開発機構 安全研究センター.
- 25) (独) 原子力安全基盤機構受託報告書, 平成 18 年度避難等実施時期及び実施範囲の判断の手引き作成 (事故時環境影響評価のための基礎情報の調査), 平成 19 年 3 月, 日本原子力研究開発機構安全研究センター.
- 26) 経済産業省原子力安全・保安院受託報告書, 平成 18 年度原子力発電施設等緊急時対策技術に関する報告書, 平成 19 年 3 月, 日本原子力研究開発機構. (非公開)
- 27) 内閣府受託報告書, 中間貯蔵施設の原子力防災に関する調査及び緊急事態の判断基準に係る調査, 平成 20 年 3 月, 日本原子力研究開発機構 安全研究センター.

#### 委員会報告:

- 28) 本間俊充, “原子力災害への対応に関する動向等の調査”, 原子力安全委員会第 11 回原子力施

設等防災専門部会，平成 17 年 7 月 22 日。

- 29) 本間俊充，“「米国等における防災体制の調査・分析」について”，原子力安全委員会第 11 回原子力施設等防災専門部会，平成 18 年 3 月 13 日。
- 30) 本間俊充，“防災指針の技術的・専門的事項について”，原子力安全委員会原子力施設等防災専門部会第 1 回防災指針検討ワーキンググループ，平成 18 年 3 月 29 日。
- 31) 本間俊充，“「緊急事態対応判断基準等に関する調査」について”，原子力安全委員会第 15 回原子力施設等防災専門部会，平成 19 年 4 月 24 日。

#### **【用語解説】**

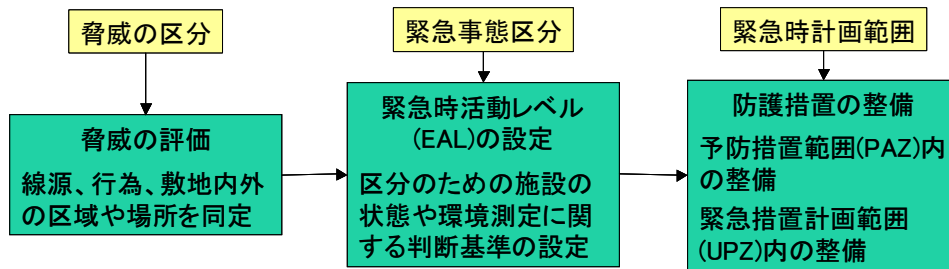
##### **GS-R-2**

IAEA が 2002 年に刊行した「原子力又は放射線の緊急事態に対する準備と対応」と題する安全要件。本文書では、緊急事態の準備と対応のための 8 つの基本的目標が示され、その目標を達成するための一般要件、機能要件、支援基盤要件、全 159 項が示されている。特徴的なことは、以下の 2 つの緊急時計画範囲（EPZ）を提示していることである。

PAZ (Precautionary Action Zone) : 重篤な確定的影響のリスクを低減させる緊急防護措置を、放出開始前又は直後に実施するための整備を行っておく範囲。

UPZ (Urgent Protective action planning Zone) : 線量を回避するため、環境モニタリングやプラント状況等に基づいて、防護措置を迅速に実施するための整備を行っておく範囲。

●計画段階



●対応段階

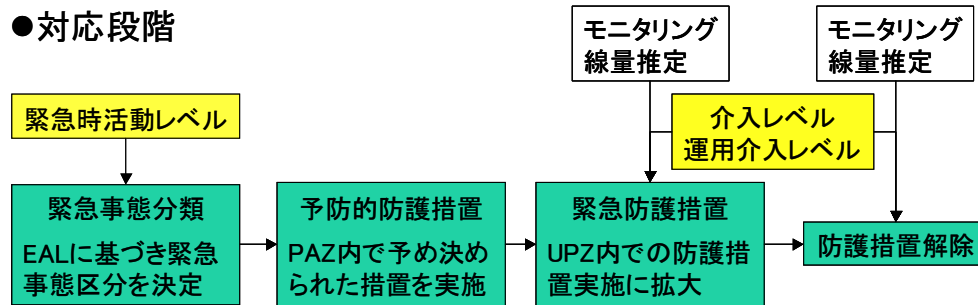


図1 IAEAの緊急事態準備と対応の基本的考え方

IAEAの安全要件では、脅威の評価に応じた整備の他、計画段階での予防措置範囲（PAZ）及び緊急防護措置計画策定範囲（UPZ）の導入を求め、対応段階では、プラント状態の緊急時活動レベル（EAL）に基づく緊急事態区分に従った予防的防護措置の実施とその後のモニタリング結果等と運用介入レベル（OIL）に基づく防護措置の拡大という基本的考え方が示された。

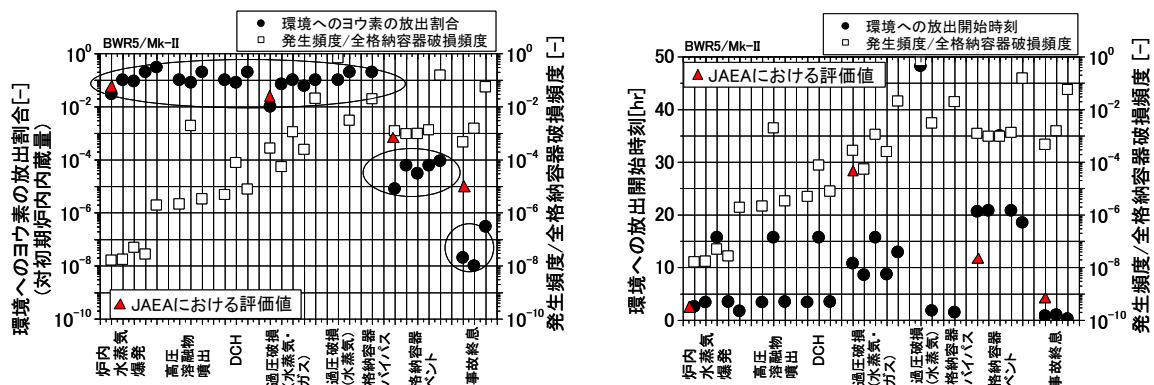


図2 様々な事故シナリオにおけるヨウ素放出量と放出開始時刻の関係

レベル3PSA手法を用いた安定ヨウ素剤予防服用の実効性評価のための予備的調査として、これまで実施されたレベル2PSA結果（JAEA及び旧NUPEC\*）をまとめ、考慮すべき事故シナリオにおけるヨウ素放出量と放出開始までの時間（予防服用のための準備時間）及びその発生頻度を整理し、特徴を明らかにした。

\*INS/M03-22, 平成15年度レベル2PSA評価等に関する報告書=BWRプラント=, 平成15年9月, (財)原子力発電技術機構 原子力安全解析所。

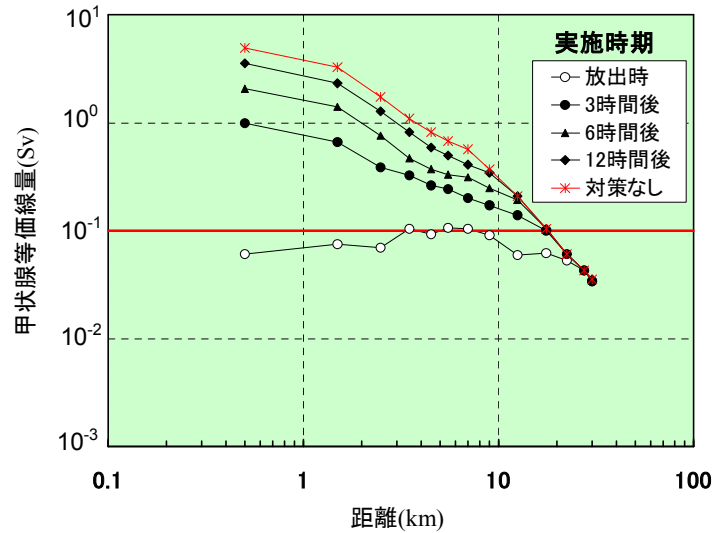
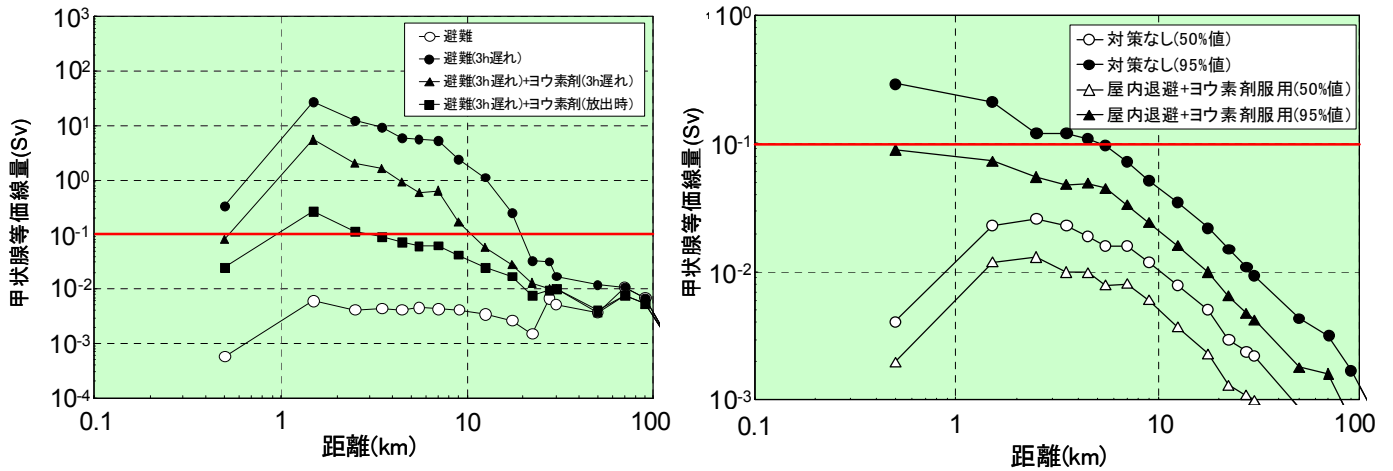


図3 安定ヨウ素剤の服用時期の違いによる甲状腺被ばく低減効果

安定ヨウ素剤による甲状腺被ばく低減効果モデルを用いて、サイトからの距離毎に安定ヨウ素剤の服用時期に対する甲状腺被ばく低減効果を評価した。安定ヨウ素剤服用の介入レベル（100mSv）と比較すると、放出時に安定ヨウ素剤を服用した場合、サイト近傍においても十分な線量低減効果が得られる一方、放出後には安定ヨウ素剤の服用が遅れる程、その効果は低減する。放出が開始されるまでに安定ヨウ素剤予防服用を実施できる計画策定の検討が必要であることが示唆される。



(a) 大規模放出シナリオ

(b) 管理放出シナリオ

図4 事故シナリオによる防護措置戦略

放射性物質が大量に放出され、また、事故発生から環境に放出されるまでの時間が短い（3時間）大規模放出シナリオ（ヨウ素の放出割合：約8%）の場合、確定的影響を避けるため予防的避難が不可欠である。この際、補完的措置として安定ヨウ素剤の服用を迅速に行うことで、大きな被ばく低減効果が得られる。一方、小規模な放出である管理放出シナリオ（ヨウ素の放出割合：約0.1%）では、避難を要する区域はほとんど生じない。サイト近傍では、屋内退避と安定ヨウ素剤の服用で被ばく低減が十分可能である。

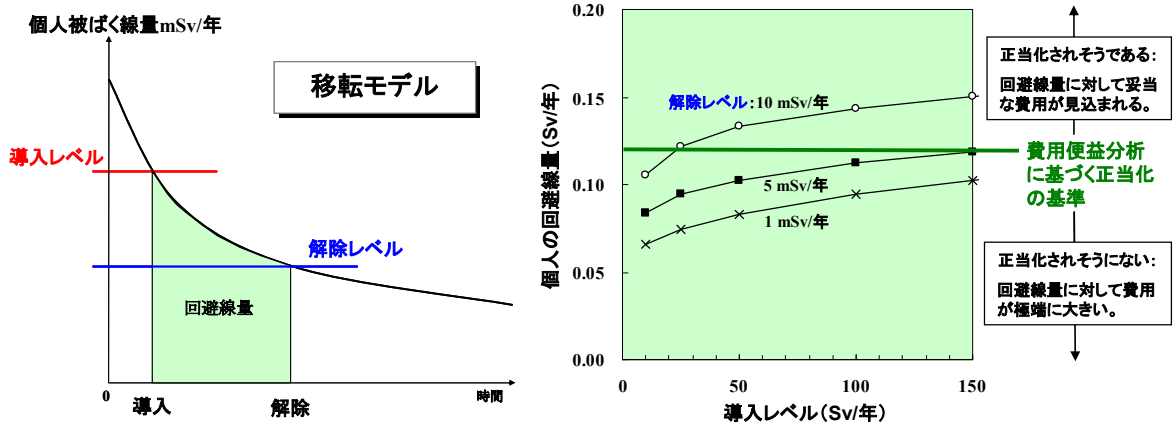


図5 費用便益分析による移転措置の検討

移転による便益は回避線量に比例し、移転費用は移転期間と移転人数に比例するとした費用便益分析を用い、ICRP や IAEA による移転措置が正当とされる判断めやすの回避線量 (約 120mSv/年) を考慮すると、過去の事例 (チェルノブイリ事故) で用いられた移転解除レベル (5mSv/年) 以下では移転措置は正当化されない可能性が大きいことが明らかとなった。

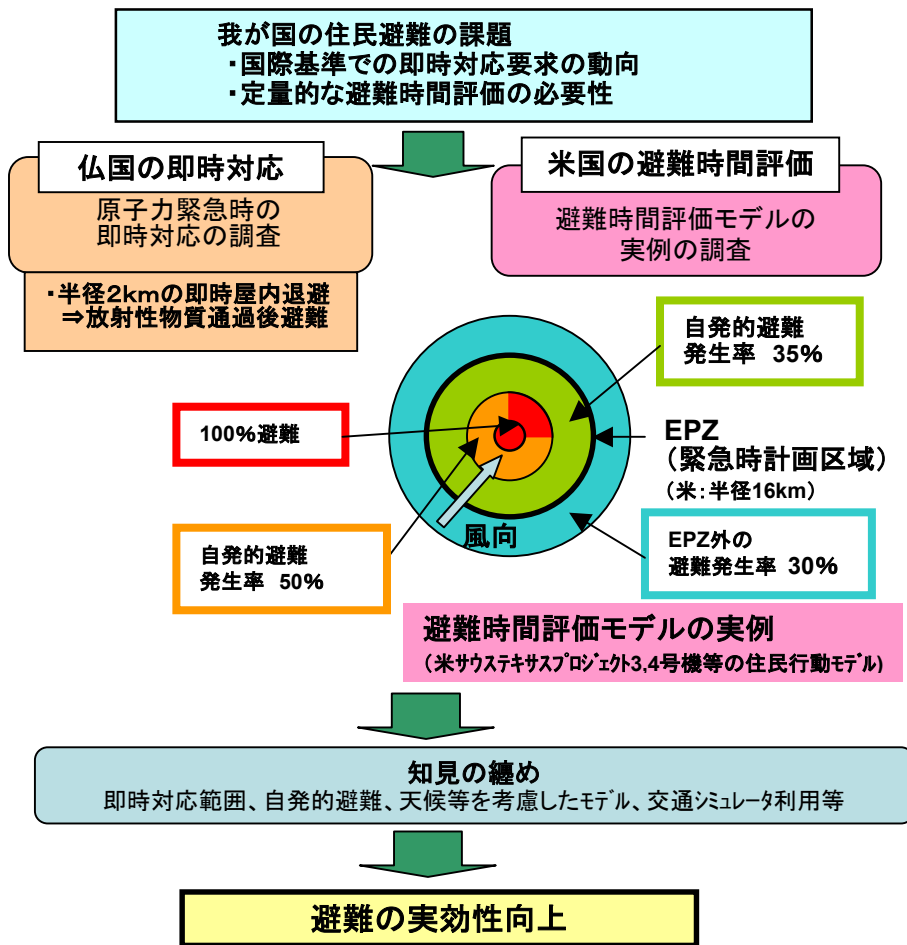
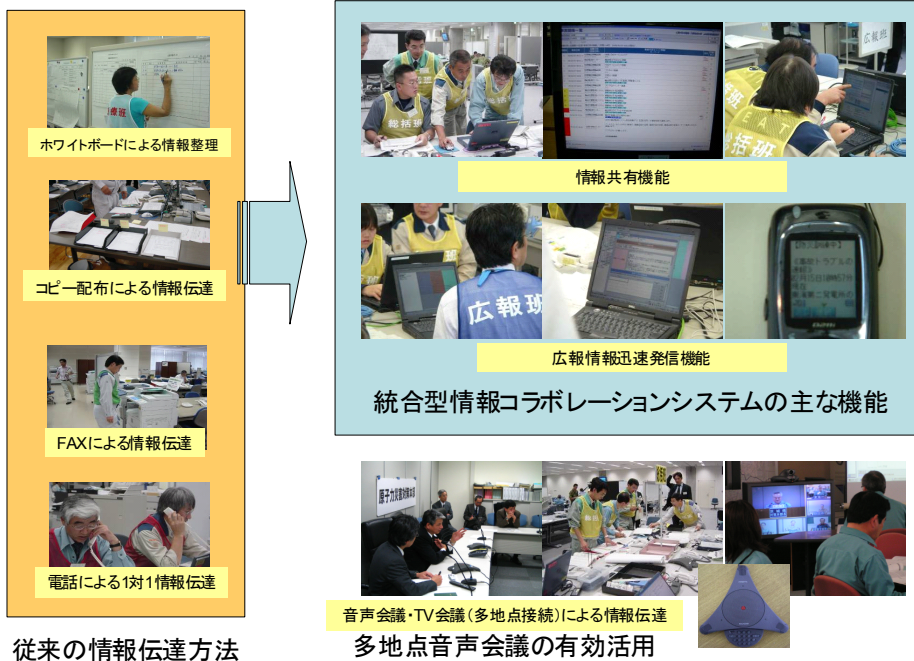


図6 原子力災害時避難計画策定のためのモデルの検討



統合型情報コラボレーションシステム  
緊急時対応の概念

図7 統合型情報コラボレーションシステム