

重点安全研究成果調査票  
(平成 17 年度)

平成 19 年 1 月

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

表1 原子力研究開発機構における重点安全研究課題一覧

番号*	分野	分類番号	研究課題	頁
	．規制システム分野			
1		1-1-1	確率論的安全評価 (PSA)手法の高度化・開発整備	
2		1-2-1	事故・故障分析、情報収集	
	．軽水炉分野			
3		2-1-1	軽水炉燃料の高燃焼度化に対応した安全評価	
4		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	
5		2-2-1	材料劣化・高経年化対策技術に関する研究	
	．核燃料サイクル施設分野			
6		3-1-1	核燃料サイクル施設の臨界安全性に関する研究	
7		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	
8		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 -	
	．放射性廃棄物・廃止措置分野			
9		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 )	
10		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 -	
11		4-2-1	低レベル放射性廃棄物の処分に関する研究	
12		4-3-1	廃止措置に係る被ばく評価に関する研究 ( 1 )	
13		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 -	
	．新型炉分野			
14		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 -	
	．放射線影響分野			
15		6-1-1	放射線リスク・影響評価技術に関する研究	
	．原子力防災分野			
16		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（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

・ 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 : 82-71142 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、不確かさ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 ) ]

- ・ 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 )

[ 委託研究名 ( 委託機関 ) ]

- ・ 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 )

## 【研究実施内容及び成果 ( 平成 17 年度 )】

イ．確率論的安全評価手法の高度化

MOX 燃料加工施設に対する内的事象 PSA 手法の整備 ( 図 1 ) において、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 手法を用いて詳細化した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 ( 図 2 ) 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。さらに、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。

ロ．リスク情報活用に係わる技術的課題の検討

国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提示した ( 図 3 ) 。また、安全目標案において課題であった原子力防災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 4 ) 。

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 18 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 156,709 件

- ・ 計装設備 73,118 件
- ・ 電気設備 12,368 件

また、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統合することにより、確率論的安全評価に必要な機器故障率データを算出するための信頼性データ解析支援システムの開発を実施した。本年度は、保全データから点推定値、5%信頼値、95%信頼値、エラーファクタ等を算出するための機能を整備した（図 5）。

機器故障率の算出方法については、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）に拠った。

### 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	7	5	12
18 年度			

### 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

成果の活用

[チェック欄]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他（具体的な内容を記述）

[説明欄]

現在、原子力安全委員会等でリスク情報を活用した安全規制の導入が検討されているが、本成果は、再処理施設のリスク情報活用に資する内容である。

### 【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. 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 131I Released from Hanford," Journal of Environmental Radioactivity, 84, 211 (2005).
  - 3) K.M. Thiessen, T. Homma, et al., "Model testing using data on 137Cs 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).

技術報告書：

- 6) 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).
- 7) 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).
- 8) 真弓正美, 森山清史, 村松健, "ROAM 法の適用による BWR の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).

国際会議：

- 9) 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).
- 10) 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).

口頭発表：

- 11) 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).
- 12) 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).
- 13) 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).
- 14) 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( ) - 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).

受託事業報告書：

- 15) 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.
- 16) (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.
- 17) (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.

委員会報告：

- 18) 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.

- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 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)

### 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によって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。

### 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。

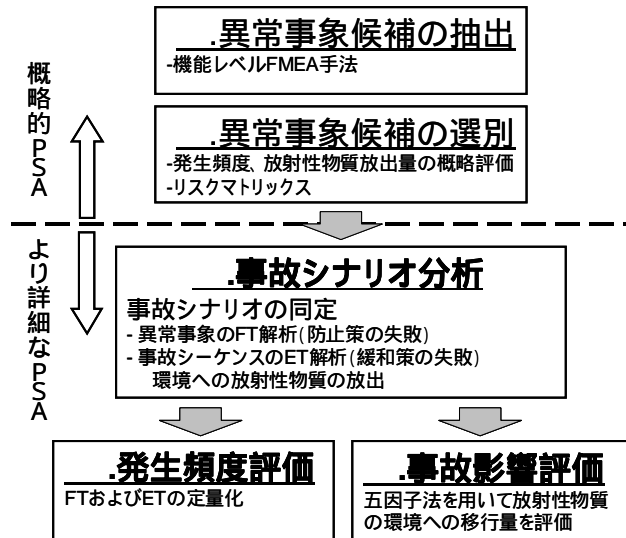


図1 MOX加工施設のPSA実施手順

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。

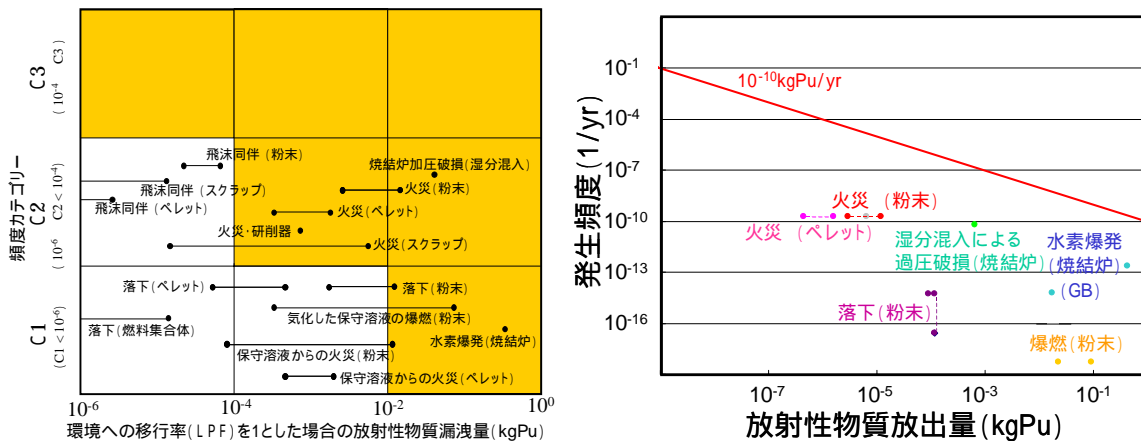


図2 リスクマトリックス結果(左図)とリスクプロファイル結果(右図)

概略的PSAでは、施設全体から抽出した潜在的な異常事象候補の発生頻度と放射性物質の放出量を評価し、リスクマトリックスを作成する。詳細なPSAでは、選別した異常事象(左図色付け部分)を対象として異常事象の発生原因をフォルトツリーで、事象進展をイベントツリーで展開し、事象の発生頻度と環境への放射性物質の放出量を評価する。



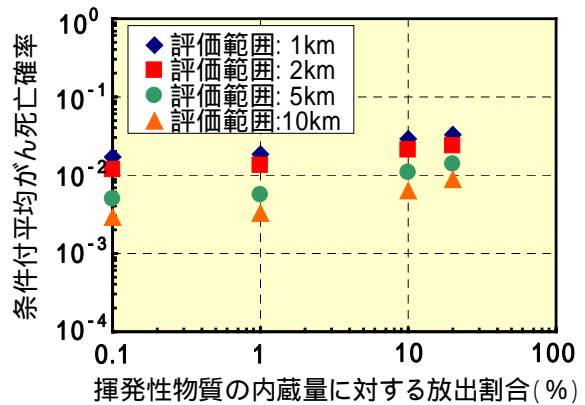
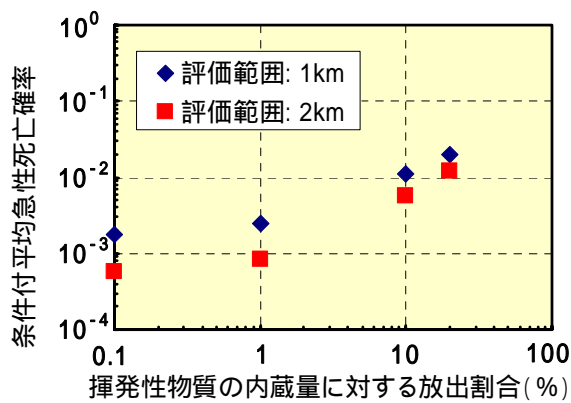


図3 揮発性物質の放出割合に対する条件付平均死亡確率

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、安全目標 $10^{-6}$ 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。

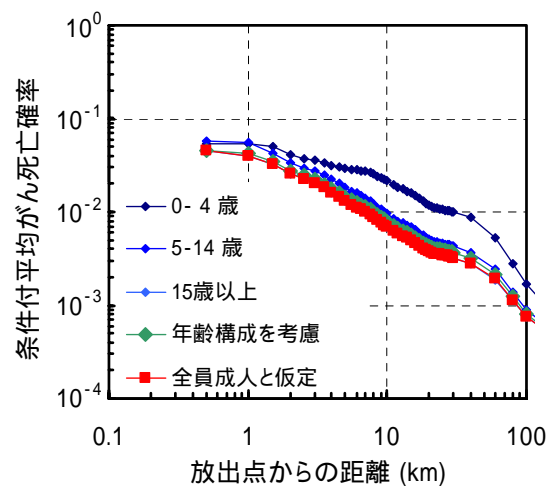
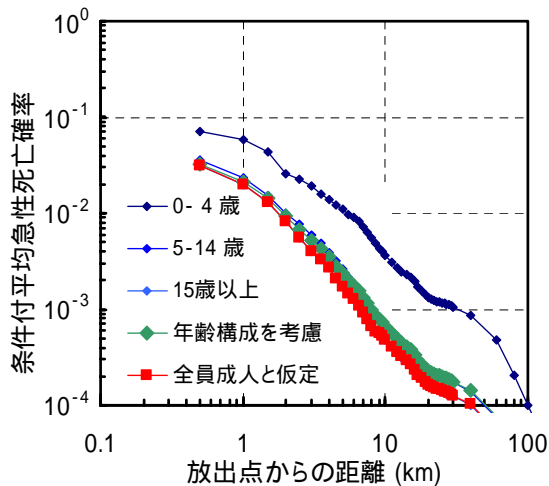


図4 代謝特性等を考慮した場合の条件付平均死亡確率

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。



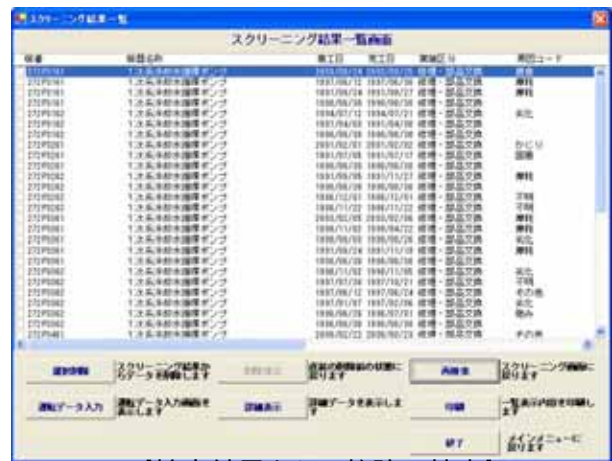
【起動画面】



【検索条件入力】



【運転時間の設定】



【検索結果からの故障の抽出】



【故障率算出】

図5 信頼性データ解析支援システムの概要

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

・ 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 リスク評価・防災研究グループ  
[ 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

[ 委託研究名 ( 委託機関 ) ]

**【研究実施内容及び成果 ( 平成 17 年度 )】**

2005 年に事象報告システム ( IRS ) に報告された事例約 60 件 ( 非公開 ) についてその内容分析を実施し、現在、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。また、2005 年に国際原子力事象尺度 ( INES ) に報告された事例 25 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。表 1 に示すように、25 件の INES 情報のうち 11 件は放射線源に関わる事例であり、8 件は作業員の被ばくを伴い、また、3 件は線源の紛失 ( 盗難、発見 ) 事例である。

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】。

**【人員】**

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	0.7	0	0.7
18 年度	0.7	0	0.7

**【自己評価】**

研究の進捗状況

[ チェック欄 ]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[ 説明欄 ]

今後の達成見通し

[ チェック欄 ]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[ 説明欄 ]

成果の活用

[ チェック欄 ]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他 ( 具体的な内容を記述 )

[ 説明欄 ]

【特記事項】

【研究成果の発表状況】

- 1) (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。
- 2) 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。（非公開報告書）

【用語解説】

図表

表 1 2005 年に IAEA に報告された INES 情報

事象タイトル	事象発生日	国	施設タイプ	INES レベル
放射性物質輸送時における規則不適合	2004 年 6 月 22 日	スイス	研究施設	2(最終評価)
ポンプ建家への海水侵入による Kalpakkam-2 号機の安全停止	2004 年 12 月 26 日	インド	PHWR	0(最終評価)
MOX 燃料製造工場 MELOX における作業員の負傷と汚染	2004 年 7 月 26 日	フランス	燃料製造工場	2(最終評価)
放射線撮影技師の過大被ばくの可能性	2005 年 3 月 11 日	米国	放射線源	2(暫定評価)
Orsay (91)の Frederic Joliot 病院における作業員の過大被ばく	2005 年 3 月 10 日	フランス	病院	2(暫定評価)
放射線撮影技師の過大被ばくの可能性	2005 年 3 月 14 日	米国	放射線源	2(暫定評価)
放射線撮影技師の過大被ばく	2004 年 12 月 20 日	米国	放射線源	2(最終評価)
放射線撮影技師の過大被ばく	2005 年 1 月 17 日	米国	放射線源	2(最終評価)
放射線撮影技師の過大被ばくの可能性	2005 年 5 月 2 日	米国	放射線源	2(暫定評価)
内部被ばく	2004 年 12 月 1 日	米国	放射線源	2(暫定評価)
THORP 再処理工場における配管破損	2005 年 4 月 20 日	英国	再処理施設	3(最終評価)
浸水事象に対するプラント設計で配管破損による影響を緩和できない可能性	2005 年 3 月 15 日	米国	PWR	2(暫定評価)
必須サービス水系(ESW)検査ハッチ用配管の周方向破断	2004 年 8 月 25 日	スペイン	PWR	2(最終評価)
放射線撮影装置の紛失	2005 年 5 月 29 日	米国	放射線源	2(最終評価)
スクラップ場における 3 個の非遮へい Cs-137 線源の発見	2005 年 4 月 1 日	オランダ	放射線源	2(最終評価)
トーラスの小亀裂による格納容器の機能喪失の可能性	2005 年 6 月 30 日	米国	BWR	2(暫定評価)
不適切な保護リレーと関連する設定点	2005 年 7 月 4 日	ベルギー	PWR	2(最終評価)
保守時における作業員の過大被ばく	2005 年 9 月 1 日	アルゼンチン	PHWR	2(暫定評価)

\*1

イリジウム 192 放射線源を収納した 線源ピグテールの盗難	2005年8月14日	インド	産業用放射 線撮影装置	2(最終評価)
保守時における作業員の過大被ばく *1	2005年9月1日	アルゼンチ ン	PHWR	2(暫定評価)
放射線撮影技師の過大被ばく	2005年10月17日	米国	放射線源	2(暫定評価)
放射線撮影技師の過大被ばく	2005年11月18日	米国	放射線源	2(暫定評価)
イリジウム 192 密封線源の盗難	2005年11月25日	イタリア	放射線源	2(最終評価)
900 MW 原子炉の安全ポンプにおけ る異常	2005年12月9日	フランス	PWR	2(最終評価)
Torness 発電所に対する緊急時計画 支援の発動	2005年12月22日	英国	AGR	1(暫定評価)

\*1:同一事例に関する INES 情報

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

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 ] 森 貴正 (もり たかまさ)  
[ 連絡先 ] Tel : 81-5360 E-mail : mori.takamasa@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 タンデム加速器
- ・原子力科学研究所 高速炉臨海実験装置 (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 BWR 燃料の事故時燃料挙動に関する研究（東京電力）
- ・高燃焼度 PWR 燃料の冷却材喪失事故時の挙動に関する研究（関西電力）
- ・高燃焼度照射済 PWR 燃料の反応度事故時の挙動に関する研究（三菱重工業）

など 16 件の共同研究を実施

### [受託研究名（委託元）]

- ・「高度化軽水炉燃料安全技術調査」（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 17 年度軽水炉 MOX 炉心ドップラ反応度測定調査」（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 6 件の委託研究を実施

## 【研究実施内容及び成果（平成 17 年度）】

反応度事故時燃料挙動について NSRR 実験、冷却材喪失事故時燃料挙動について高温酸化した被覆管の急冷破断実験を計画通り実施し、従来にない高い燃焼度範囲における基準類の策定や近い将来に国内での実用化が予想される燃料の安全審査に際して重要な判断材料を与える、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

Zr-Nb 二元系被覆燃料を対象とする水冷却条件下で世界初の実験を含む 4 回の NSRR 実験を計画通り実施し、燃料試験施設において試験後の燃料分析を進めた<sup>1</sup>。これにより、燃焼度 61 MWd/kg までであった燃料破損しきい値に関するデータの範囲を 79 MWd/kg まで拡大し、次段階の高燃焼度化に向けた安全審査のためのデータを蓄積した。

約 79 MWd/kg の PWR 燃料を用いた実験では、燃料エンタルピが約 55cal/g に達した時点で燃料が破損した。これにより、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」に定められている 65～75 MWd/kg の範囲における破損しきい値の安全余裕を確認した。（[図 1, 2](#)）

### (2) 冷却材喪失事故（LOCA）時燃料挙動研究

冷却材喪失事故時燃料挙動について計画通りの模擬実験を燃料試験施設において実施し、安全評価上最も重要な急冷時破断限界に関するデータの範囲をこれまでの燃焼度 44 MWd/kg から 78 MWd/kg に拡大した<sup>1</sup>。当該燃焼度範囲において、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た。（[図 3](#)）

<sup>1</sup> 原子力安全・保安院からの受託事業「高度化軽水炉燃料安全技術調査」



### (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 をベースに事故時燃料挙動解析コード RANNS の開発に着手した。反応度事故条件下における燃料ペレット/被覆管機械的相互作用に関する 2次元モデルを開発し、実験解析を通じて、被覆管塑性変形量の軸方向分布を高い精度で予測できることを確認した。(図 4)

### (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>

第一原理計算により UO<sub>2</sub> 結晶格子に発生する点欠陥の形成エネルギーと Xe 等の 2 体原子間ポテンシャルを得た。照射下材料挙動評価コードの開発においては、コードの核となる 3次元モンテカルロ法プログラムの開発、稀ガス気泡挙動モデルや細粒化モデルの提案を行った。UO<sub>2</sub> 燃料の照射後試験研究により細粒化の前後の燃料の結晶粒内歪み変化に関するデータを取得した。

### (5) 軽水炉 MOX 炉心ドップラ反応度の測定

FCA を用いた軽水炉 MOX 炉心ドップラ反応度測定に関する調査を実施し、測定精度等の観点から、信頼性の高い測定データ取得が可能である見通しを得た。

## 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	13	11	24
18 年度	14	11	25

## 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

- 計画以上に進捗した。
- 計画どおり進捗した。
- 計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

- 目標どおりの成果が得られる見込み。
- 目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

成果の活用

[チェック欄]

- 現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 学協会基準等への活用が期待できる。
- その他(具体的な内容を記述)

[説明欄]

反応度事故時及び冷却材喪失事故時の燃料挙動模擬実験から得られたデータは、より高い燃焼度範囲の燃料健全性に関する安全審査指針の策定に利用される。また、Zr-Nb 二元

<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」

系被覆燃料を対象とした RIA 実験の結果は、近い将来に国内での実用化が予想される同燃料の安全審査に際し、重要な判断材料を与える。

事故時燃料挙動解析コードの整備は、実験的研究により得られていた推論をより定量的に検証するツールを与えるのみならず、さらに開発、検証を進めて信頼性を高めることにより、安全規制における定量性、説明性の向上に大きく資することが出来る。

## 【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) 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).

### 技術報告書：

- 3) 宇田川, 永瀬, 更田, "冷却材喪失事故時の被覆管延性低下に及ぼす冷却時温度履歴の影響", JAERI-Research 2005-020, (2005).
- 4) 富安, 杉山, 中村, 他, "反応度事故条件下における PCMI 破損の駆動力及び破損限界に及ぼす被覆管水素脆化の影響", JAERI-Research 2005-022, (2005).
- 5) M. Suzuki, "Light Water Reactor Fuel Analysis Code FEMAXI-6 (Ver. 1) - detailed Structure and User' Manual -," JAEA-Data/Code 2005-003, (2005).
- 6) T. Fuketa, "Summary of Fuel Safety Research Meeting", JAEA-Review 2006-004, (2006).
- 7) 燃料安全評価研究グループ, "Summary of Fuel Safety Research Meeting 2005, March 2-3, 2005, Tokyo," JAEA-Review 2006-0004, (2006)

### 国際会議：

- 8) T. Yamaji, Y. Ishiwatari, J. Lui, (M. Suzuki), *et al.*, "Rationalization of the Fuel Integrity Criteria for the High Temperature Supercritical-Pressure Light Water Reactor," *Proc. of ICAPP05*, Seoul, Korea, May, ICAPP '05, (2005).
- 9) M. Suzuki, H. Saito, 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," *Proc. of 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting*, Kyoto, Japan, October 2-6, 2005, 579 (2005).
- 10) 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, 883 (2005).
- 11) 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, 633 (2005).
- 12) T. Sugiyama, F. Nagase, T. Fuketa, "Modification of ring Tensile Test for LWR Fuel Cladding," *Proc. of 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting*, Kyoto, Japan, October 2-6, 2005, 912 (2005).
- 13) F. Nagase, T. Fuketa, "Embrittlement and Fracture Behavior of Pre-hydrated Cladding under LOCA Conditions," *Proc. of 2005 Water Reactor Fuel Performance Meeting*, Kyoto, Japan, October 2-6, 2005, 668 (2005).
- 14) T. Fuketa, T. Sugiyama, F. Nagase, "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).
- 15) T. Nakamura, T. Fuketa, F. Nagase, *et al.*, "Behavior of High Burnup Fuels under RIA and LOCA Conditions," *Proc. of the 2005 Enlarged Halden Programme Group Meeting*, Lillehammer, Norway, October, 2005, CD-ROM (2005).
  - 16) 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 Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management*, Tokyo, Japan, March 14-16, 2006, CD-ROM (2006).
  - 17) M. Kida, T. Kudo, T. Nakamura, *et al.*, "Radionuclide Release from UO<sub>2</sub> and MOX Fuel under Severe Accident Conditions," *Proc. of Technical Meeting on Severe Accident and Accident Management*, Tokyo, Japan, March 14-16, 2006, CD-ROM (2006).
  - 18) M. Amaya, "Study on HTGR Fuel Behavior during Reactivity Insertion Event," *Workshop on Irradiation and PIE*, Cadarache, France, January, 2006, (2006).
  - 19) T. Fuekta, "Fuel Safety Research at JAEA," *Fuel Safety Research Meeting*, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 20) T. Sugiyama, "High Burnup Fuel Behavior under RIA Conditions," *Fuel Safety Research Meeting*, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 21) M. Suzuki, "Development of RANNS Code for Analysis of High Burnup Fuel Behavior in Accident Conditions," *Fuel Safety Research Meeting*, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 22) F. Nagase, "Recent Results on High Burnup Fuel Behavior under RIA Conditions," *Fuel Safety Research Meeting*, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 23) J. Nakamura, "High Burnup MOX/UO<sub>2</sub> Fuel Irradiation Test in HBWR," *Fuel Safety Research Meeting*, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 24) B. Vincent, T. Sugiyama, T. Fuketa, "Clad to Coolant Heat Transfer in NSRR Experiments," *Fuel Safety Research Meeting*, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 25) M. Itakura, H. Kaburaki, T. Suzudo, S. Suzuki, "Mesoscopic simulations on the evolution of a system of dislocations in the presence of a grain boundary" 2<sup>nd</sup> Workshop of NXO Project, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 26) T. Suzudo, H. Kaburaki, M. Itakura "Cellular automaton model of fission gas behavior in nuclear fuel" 2<sup>nd</sup> Workshop of NXO Project, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 27) M. Iwasawa, T. Ohnuma, Y. Chen, Y. Kaneta "First principles study of uranium dioxide with defects and xenon atom I. Electronic structure properties of ground state" 2<sup>nd</sup> Workshop of NXO Project, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 28) Y. Chen, M. Iwasawa, Y. Kaneta, M. Kinoshita "First principles study of uranium dioxide with defects and xenon atom II. Lattice stability analysis" 2<sup>nd</sup> Workshop of NXO Project, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 29) I. Singer-Loginova, R. Kobayashi, Y. Nishiura, Y. Chen, M. Amaya, M. Kinoshita "Application of the Phase-Field-Crystal model for simulating irradiation induced restructuring of UO<sub>2</sub> fuel pellets" 2<sup>nd</sup> Workshop of NXO Project, Kyoto, Japan, October 5-6, 2005, (2005).
  - 30) T. Suzudo, H. Kaburaki, M. Itakura "Meso-Scale Approaches to the Simulation of the Microstructure Formation Observed at High-Burnup UO<sub>2</sub> fuel" Innovative Nanoscale Approach to Dynamic Studies of Materials, Okinawa, Japan, January 9-14, (2006).

口頭発表 :

- 25) F. Nagase, "Effect of Pre-hydriding on Thermal Shock Resistance of Zircaloy-4 Cladding under Simulated Loss-of-Coolant Accident Conditions," 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, (2005).
- 26) 更田, "原研における燃料安全研究の取り組み", 同上.
- 27) 木下, 天谷, "計算科学と炉外実験を組み合わせた燃料材料研究 - 原子炉照射の前に炉外でできること - ", 同上.
- 28) 富安, "水素偏在被覆管を用いた反応度事故時の燃料破損に関する研究", 平成17年度日本原子力学会北関東支部若手研究者発表会, 東海, (2005).

- 29) 宇田川, “LOCA 時被覆管延性低下に及ぼす冷却条件の影響”, 同上.
- 30) 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).
- 31) 天谷, 杉山, 栃尾, 他, “反応度投入事象下での高温ガス炉燃料挙動の研究 (1) 予備検討”, 同上.
- 32) 杉山, 笹島, 池畑, 他, “燃焼度 78GWd/tU の PWR 燃料を用いた反応度事故模擬実験”, 同上.
- 33) 山路, 岡, 劉, (鈴木), 他, “スーパー軽水炉 (高温超臨界圧軽水冷却炉) (5) 異常な過渡変化時の判断基準の合理化”, 同上.
- 34) 安永他, “電子および重イオン照射により CeO<sub>2</sub> に形成された面欠陥の構造” 日本金属学会 2005 年秋期大会
- 35) 園田他, “イオン照射した CeO<sub>2</sub> の微細組織に及ぼす照射温度・エネルギー依存性” 日本金属学会 2005 年秋期大会
- 36) 阿部他, “酸化セリウム中の欠陥クラスタの照射下可動性” 日本金属学会 2005 年秋期大会
- 34) 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).
- 35) 永瀬, 濱西, 杉山, 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”, 同上.
- 36) 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”, 同上.
- 37) 中村(仁), 中村(武), 細山田, 他, “BWR 出力振動時の燃料挙動”, 同上
- 38) 木下, “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」の概要”, 同上.
- 39) 鈴木他, “バブル形成・成長の 3 次元モンテカルロシミュレーション”, 同上.
- 40) 阿部他, “イオン照射した酸化セリウムの表面形態変化”, 同上.

#### 受託事業報告書:

- 38) 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 .
- 39) 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 .
- 40) JNES 受託事業「平成 17 年度軽水炉 MOX 炉心ドップラ反応度測定調査」報告書、原子力機構、平成 18 年 2 月 .

### 【用語解説】

#### 燃焼度範囲

我が国における軽水炉燃料の燃焼度(集合体平均)の上限は、以下の通りとなっている。

UO <sub>2</sub> 燃料	: 55 GWd/t
MOX 燃料	: 45 GWd/t (炉心の 1/3 までの装荷) 40 GWd/t (ABWR における全炉心装荷)

#### 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広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。

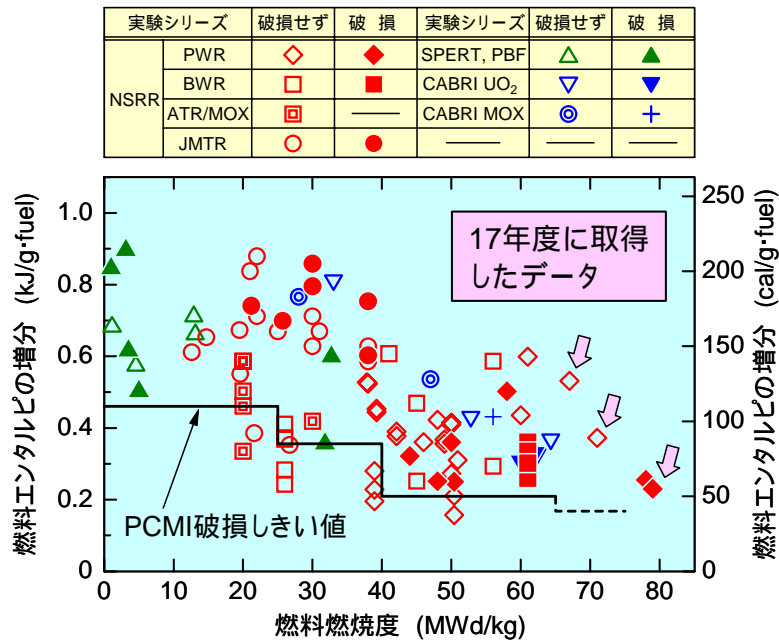


図 1 反応度事故 (RIA) 時燃料破損しきい値に関する高燃焼度域のデータ

高燃焼度 UO<sub>2</sub> 燃料を対象とした NSRR 実験を 4 回実施し、RIA 時の燃料破損しきい値に関する高燃焼度域のデータを拡充した。燃焼度 79GWd/t の改良被覆 PWR 燃料を用いた実験では、燃料エンタルピが約 55cal/g に達した時点で燃料が PCMI(ペレット/被覆管機械的相互作用)により破損した。この結果により、現行の安全評価基準において燃焼度 65~75GWd/t に対して定められている PCMI 破損しきい値の安全余裕を確認した。



図 2 NSRR 実験で破損した燃料棒 (ZIRLO 被覆 PWR-UO<sub>2</sub> 燃料, 燃焼度 : 79 GWd/t)

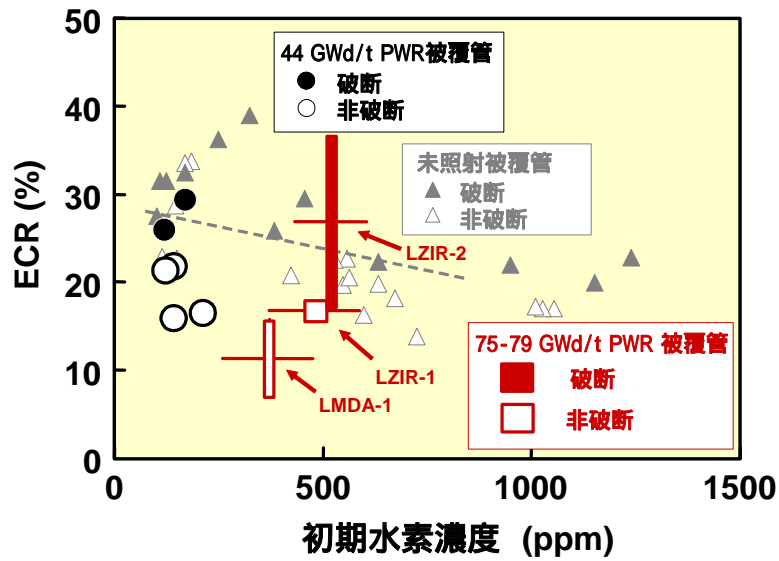


図3 高燃

焼度燃料被覆

管の急冷時破断限界に関するデータ

高耐食性改良合金を用いた高燃焼度燃料被覆管を対象とした冷却材喪失事故模擬実験を実施し、急冷時破断限界に関するデータの範囲を燃焼度 44 MWd/kg から 78 MWd/kg (水素濃度約 500ppm) に拡大した。酸化量は今後の分析により確定されるが、水素吸収の影響を除き、高燃焼度化による急冷時破断限界の顕著な低下は認められない。

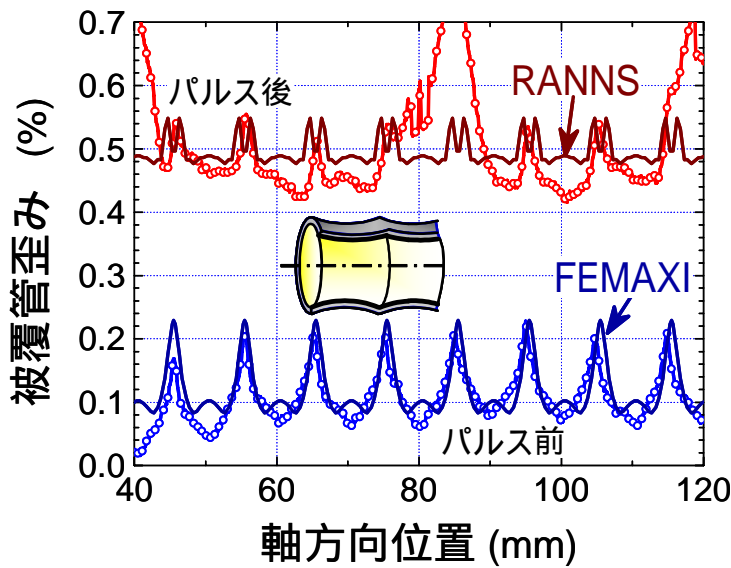


図4  
用いた高燃

RANNS コードを  
焼度 PWR 燃料の

反応度事故模擬実験解析の例

試験後の周方向歪み量の軸方向分布についての解析値が実験値と良く一致しており(図の上側) 開発した燃料ペレット/被覆管機械的相互作用に関する 2次元モデルにより、被覆管塑性変形量を高い精度で予測できることが分かる。

## 重点安全研究成果調査票(平成 17 年度)

【研究分野 / 項目】

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、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取得【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取得。【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取得。【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取得する。
- ・ 照射下の沸騰熱伝達促進に関する実験データを取得する。
- ・ 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取得す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取得する。
- ・ 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取得す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 RIA 指針や ECCS 性能評価指針などの安全基準の見直し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判断のための安全審査基準として日本原子力学会が策定した Post-BT 基準の導入審査あるいは導入後の見直しなどに活用する。
- ・ 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   | 配管減肉試験装置 (格納容器試験棟)        |
| ・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)              |

## 【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応え、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・開発の動向を把握しつつ、関連する外部機関 (OECD/NEA、原子力安全基盤機構 (JNES) 等) 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して研究を進める。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。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。BWR における反応度事故 (RIA) 時の過渡ボイド挙動や Post-BT 挙動に関する研究では、新たに試験設備を整備する。

## 【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)]

- ・ 高度化軽水炉燃料安全技術調査 (経済産業省原子力安全・保安院)
- ・ 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)
- ・ 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 (III) (経済産業省資源エネルギー庁公募)

### [委託研究名 (委託機関)]

無し

## 【研究実施内容及び成果 (平成 17 年度)】

### イ. 熱水力最適評価手法の開発

13 カ国 17 機関の国際協力による OECD/原子力機関 (NEA) ROSA プロジェクト (図 1) を原子力機構の主催で開始し、ROSA/LSTF を用いて原子炉容器頂部及び底部の貫通ノズルの破断を想定した2回の小破断冷却材喪失事故 (LOCA) 模擬実験を実施した (図 2)。同時に、炉心損傷防止のためのアクシデントマネジメント (AM) 策である減圧操作に着目することにより、AM 策の有効性に関する有用なデータを得るとともに、破断位置による複雑な3次元的熱流動現象や蓄圧注入系からのガス流入が引き起こす減圧阻害現象等を明らかに



した。また、主要なデータ及び実験結果を含む実験速報を作成し、プロジェクト参加各国へ配布した。

BWR 模擬炉心のボイド率を実時間で検出し、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)する THYNC 装置を用いて、UO<sub>2</sub> 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た。本実験では、UO<sub>2</sub> 炉心よりも大きなボイド反応度フィードバック係数を持つ MOX 炉心の方が不安定になるが、その差は小さい(図 3)。得られたデータは、核熱水力結合コード TRAC/SKETCH の予測精度の改善のために使われている。

安全余裕の定量化に関連し、JMTR で照射下沸騰熱伝達改善確認実験を行い、低圧条件ではあるが放射線誘起表面活性(RISA)効果によって限界熱流束(ドライアウト熱流束)が向上することを確認した(図 4)。

既存の減肉予測式が採用する流動の影響を流路形状で代表する手法が、旋回流などが生じると破綻することを実験的に確認した(図 5)。また、既存3次元コードを用いてベンチマーク問題を実施し、配管減肉と関係するとされる流動場の乱れについての各種乱流モデルの性能を調査した。さらに、実機条件で減肉現象を評価可能な試験装置の一部を製作した。

#### 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、実機 RIA 解析に基づいた条件で、バンドル体系の低圧試験を実施し、3次元ボイド率分布など、低温時 RIA 条件下における過渡ボイド挙動モデルの評価と改良に必要なデータを取得した(図 6)。また、高圧試験装置を製作し、高温待機時 RIA 条件下でボイド率の分布を計測できる見通しを得た。

Post-BT に関する試験では、Post-BT 時燃料健全性評価に用いる炉心熱伝達モデルの妥当性評価に必要なデータを取得するための単管試験体を設計・製作し(図 7)、既設高圧熱流動ループに設置した。併せて、熱伝達挙動に影響を及ぼす液滴流量の計測手法を校正するための水 - 空気系試験装置を製作し、性能試験を実施した。

#### ハ. ソースターム評価手法の開発

格納容器内のヨウ素の化学的挙動は、シビアアクシデント晩期におけるソースターム評価における重要な不確かさ要因である。これに関する放射線照射下実験(図 8)を 18 年度に開始するため、既設の小型ガンマ線照射装置の線源更新作業を進めるとともに、<sup>131</sup>I をトレーサとして使用するガス状ヨウ素分析装置の導入、予備実験によるガス状ヨウ素量の検出能力確認等を行った。実験条件の参考とするため、シビアアクシデントコード THALES や線量評価コード QAD を用いて BWR 格納容器内の線量率などを評価し、さらに、ヨウ素化学解析コードの開発に着手した。

#### 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	17	13	30
18 年度			

#### 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

## 成果の活用

### [チェック欄]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他(具体的な内容を記述)

### [説明欄]

熱水力安全研究の各実験より得られる科学的知見と高精度な最適評価手法は、軽水炉の高度利用のための基準類の整備や行政判断に役立てることができる。

OECD/NEA ROSA プロジェクトは、高精度な熱水力安全評価手法の整備に役立つとともに、熱水力安全研究における世界的研究拠点としての国際的貢献に役立つ。

JNES で整備されている RIA 解析コードなどにおけるモデルの改良やコードの性能評価に活用できる技術基盤が得られる。

Post-BT 試験から得られる知見は、原子力学会が策定し、今後定期的な改訂が見込まれる「BWR における過渡的な沸騰遷移後の燃料健全性評価基準」を国の規制体系に組み込む際の技術評価や安全審査時の行政判断等に活用できる。

シビアアクシデント時の格納容器内ガス状ヨウ素挙動に関する研究は、緊急時の的確な意思決定や実効的な防災計画の立案に必要なソースターム情報、並びに新たなアクシデントマネジメント策の策定に役立つ。

### 【特記事項】

国際研究協力として原子力機構が主催する OECD/NEA ROSA プロジェクトを平成 17 年度に開始し、13ヶ国 17 機関の参加を得て、機構内外で有機的な連携・協力を行った。

### 【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)

#### 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- /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- Test SB-PV-04)," JAEA-Research 2006-018 (2006)

#### 国際会議

- C1) 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)
- C2) 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)

#### 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 - 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”, 同上
- O5) 佐藤聡, 丸山結, 浅香英明, 中村秀夫, “反応度事故時の過渡ポイド挙動模擬試験, ハンドル体系のポ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)

#### 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) 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
- T6) 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
- T7) 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
- T8) 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

#### [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。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ある。

**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。

**反応度事故 (RIA) 時の過渡ポイド** BWR で RIA が生じた場合、炉心出力はその上部で急速に上昇する。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 (ポイド) が発生し、ごく短時間 (数秒) のうちにポイドの成長、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。ポ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ェット (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)** 放射線照射により金属酸化物の表面に光触媒に類似の反応が生じて活性化する現象のことで、濡れ性の向上 (超親水性) の効果や、腐食低減、放射線計測等の利用が期待される。酸化物表面の濡れ性向上により、沸騰熱伝達率及び限界熱流束が向上する可能性がある。同現象は、東京海洋大学、東京大学および京都大学の連携大学共同体により、世界で初めて確認された。

**ソースターム** 原子炉事故時に環境へ放出される核分裂生成物 (FP) 等の放射性物質の核種、化学形、放出量及び放出時期等を総称してソースタームと呼ぶ。ヨウ素は炉内インベントリ、揮発性による移行のし易さ、健康影響のため、ソースターム評価において重要視されている。

## 対象とする事故時熱水力挙動の例 (温度成層と蒸気の凝縮振動)

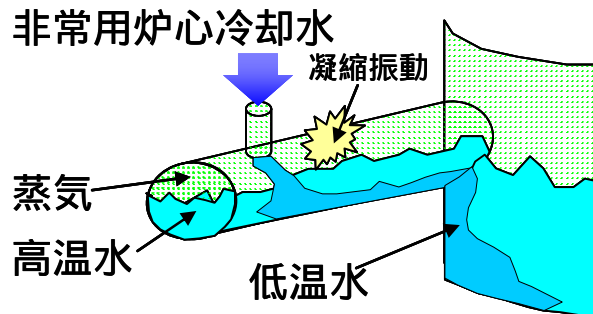


図 1 OECD/NEA ROSA プロジェクトで対象とする事故時熱水力挙動の例

非常用炉心冷却系(ECCS)の低温水が高温の一次冷却水と十分に混合せずに高照射を受ける原子炉容器の側面壁に到達する可能性が有る。さらに、一次系の減圧などによって冷却水量が低下して低温の ECC 水が蒸気相に露出すると、ウォーターハンマなどの非定常な凝縮振動を生じる可能性が有る。OECD/NEA ROSA プロジェクトでは、LOCA 時に現れるこの様な多次元的あるいは非定常な複雑流動を LSTF 実験で詳細に計測し、高精度な熱水力評価手法の開発に必要なデータを取得する。

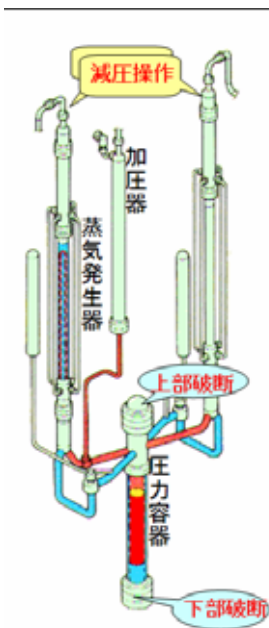


図 2 OECD/NEA ROSA プロジェクトでの17年度実験

OECD/NEA ROSA プロジェクトでは計画大型非常試験装置(LSTF)を用いて、压力容器の上部および下部での破断を想定した小破断冷却材喪失事故(LOCA)模擬実験を行い、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。

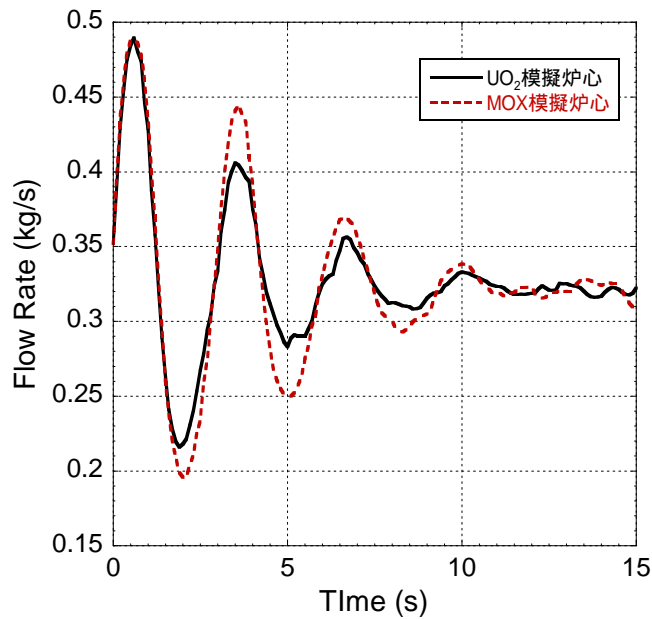


図3 THYNC 核熱水力安定性試験結果（圧力 7MPa, 入口サブクール度 20K）

時刻0秒で流量外乱を投入した場合の  $\text{UO}_2$  模擬炉心と  $\text{MOX}$  模擬炉心の流量変化を比較する。炉心流量は振動が減衰し、安定な状態に落ち着いている。安定度の指標となる減幅比（周期前後の振幅の比）は  $\text{UO}_2$  模擬炉心が 0.38 で  $\text{MOX}$  模擬炉心の 0.48 より小さく、 $\text{UO}_2$  模擬炉心の方が安定と言えるが、その差は小さい。

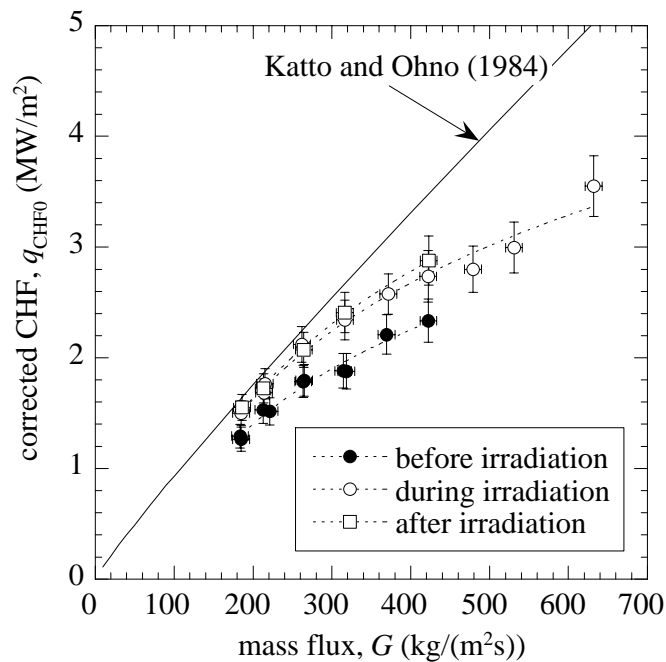


図4 照射前後での限界熱流束の変化

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% 増加した。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から液膜の安定化によりドライアウトが生じにくくなり、CHF の向上に至ったと推測できる。

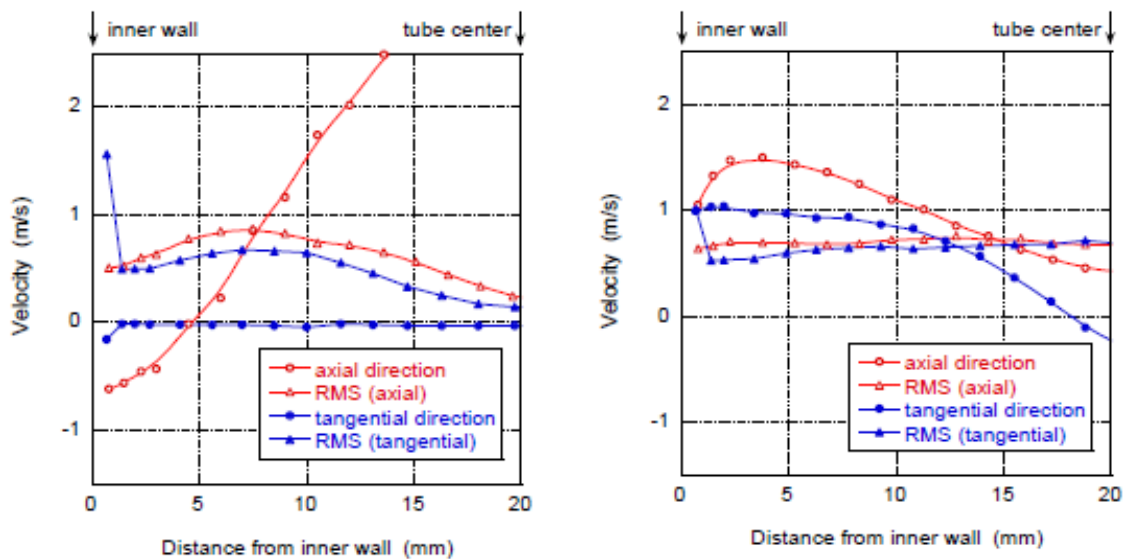


図5 オリフィスより1D 下流での流路方向流速分布(赤)

一般にオリフィス後流では流路中央の流速が大きく、壁面近傍では局部的に逆流域が生じるが(左図)、旋回流をオリフィスの上流側条件として与えると壁面近傍の流速が大きく、中央で小さい流速分布(右図)となり、流路形状によって流動を代表する手法が、旋回流などが生じた場合に破綻することを見いだした。

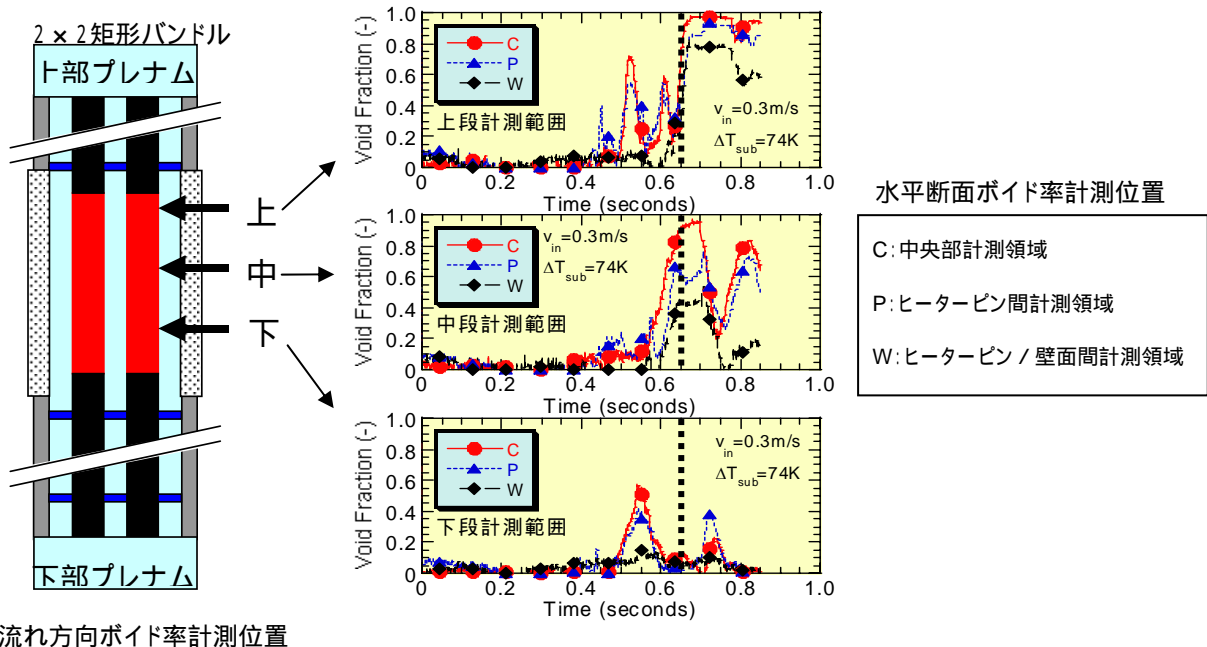


図6 ボイド率の流れ方向及び水平断面内空間分布の計測例

RIA 次の過渡ボイド挙動を模擬する実験を行い、原子力機構で開発した電気抵抗式ボイド率計測手法により、チャンネル内で瞬時に変動するボイド率分布の3次元時系列計測に成功した。

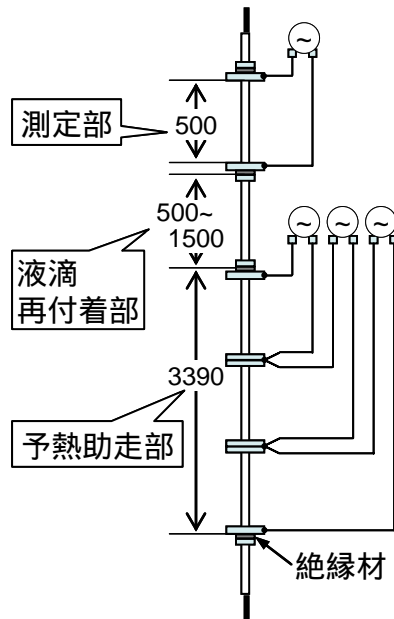


図7 沸騰遷移後(Post-BT)の炉心熱伝達に係わる高圧単管試験体

事故時や異常な過渡変化時における Post-BT 炉心熱伝達に係わるデータを、実機と同等の高圧条件で取得するための試験体である。試験体は 3 つの独立した直接通電加熱部から成る予熱助走部、液滴再付着部及び測定部により構成される。予熱助走部において流入熱水を加熱沸騰させ、その時に発生する液滴を液滴再付着部や測定部で捕捉して Post-BT 時の熱伝達に関する計測を行う。また、予熱助走部及び測定部の出力を調節することにより、Post-BT 領域の変化やリウエットに関するデータを得る。18 年度中に装置を完成させ Post-BT 試験を開始する計画である。

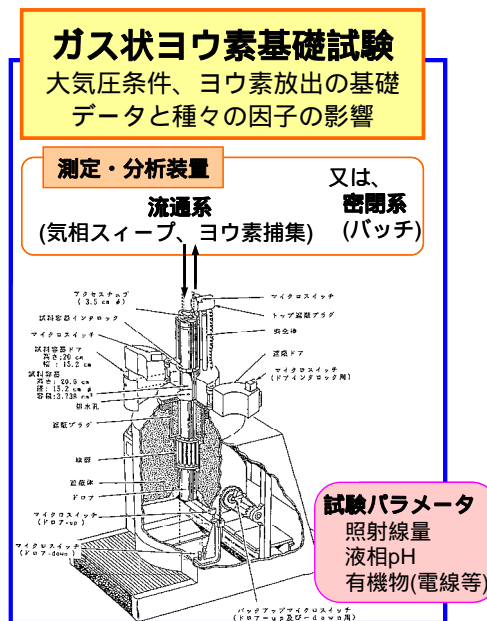


図8 ガス状ヨウ素基礎試験

シビアアクシデント時に格納容器内に生じる放射線場を模擬した大気圧下での実験を行い、水中に溶存するヨウ素が放射線照射に誘起される水質(pH)の変化や、電線などの有機物の分解等の影響を通じて気相に再放出される種々の過程を調べる。実験では、小型照射実験装置の中央に設置した試験容器に試料溶液を入れ、照射部まで上下させる。17年度から18年度にかけて<sup>60</sup>Co線源を更新し、18年度に照射下実験を開始する計画である。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

・ 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

### 【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等を整備するとともに、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。

### 【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】

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】

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。【保安院受託】

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】

### 【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。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評価法」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18年度以降JNESが作成するIASCC評価ガイドの作成に反映する。

#### 【使用主要施設】

大洗研究開発センター 材料試験炉 (JMTR)  
原子力科学研究所 廃棄物安全試験施設 (WASTE F)  
高崎量子応用研究所 イオン照射研究施設 (TIARA)

#### 【研究の進め方】

安全研究センターと原子力基礎工学研究部門、及び上記使用施設との連携を強化して進めるとともに、経済産業省原子力安全・保安院、(独)原子力安全基盤機構などからの受託調査により資金を獲得して実施する。

#### 【関連する共同研究、受託研究等】

[共同研究名(実施機関)]

「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)

[受託研究名(委託元)]

「確率論的構造健全性評価技術調査」(原子力安全・保安院)

「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)

[委託研究名(委託機関)]

#### 【研究実施内容及び成果(平成17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、各プログラムの公開手続きを終了した。(図1)

原子炉圧力容器及び配管溶接部の標準PFM解析手法の検討を実施し、原子炉圧力容器については、加圧熱衝撃時における標準的PFM解析手法を整備した。(図2) また、配管溶接部に関しては、溶接残留応力のばらつきを考慮した応力腐食割れに対するPFM基本解析コードの整備、及び超音波探傷試験による欠陥検出精度に関するデータの分析を進めた。

ロ. 経年変化の予測手法及び検出手法に関する研究

TIARAにおいて実施した電子線照射試験では、軽水炉圧力容器鋼のモデル合金について電気抵抗率変化の測定による照射損傷機構の知見を取得した。また、原子炉圧力容器鋼材2種類及び純鉄について、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。

JMTRで中性子を照射した原子炉圧力容器鋼材について、WASTE Fでオージェ分析装置により粒界破面分析を行い、非照射及び熱時効材との比較により、中性子照射によるリンの粒界偏析挙動を明らかにした。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。(図3、4)

## 八．照射誘起応力腐食割れに関する研究

JMTR において照射後試験用試験片の中性子照射を実施するとともに、2 レベルの照射量までの照射を終了した試験片を用いて、き裂進展速度試験及び破壊靱性試験を実施した。き裂進展速度試験では、SUS304、SUS304L 及び SUS316L について高溶存酸素及び低溶存酸素の条件下で、応力拡大係数 15～20MPa m で試験を行なった。得られたデータは、JNES が作成する IASCC 評価ガイドの基礎データとされた。

### 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	6+3	5	11+3
18 年度			

### 【自己評価】

研究の進捗状況

[ チェック欄 ]

- 計画以上に進捗した。
- 計画どおり進捗した。
- 計画どおり進捗しなかった。

[ 説明欄 ]

今後の達成見通し

[ チェック欄 ]

- 目標どおりの成果が得られる見込み。
- 目標どおりの成果が得られない見込み。

[ 説明欄 ]

成果の活用

[ チェック欄 ]

- 現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 学協会基準等への活用が期待できる。
- その他（具体的な内容を記述）

[ 説明欄 ]

確率論的破壊力学解析手法に関しては、リスク情報に基づく検査計画や高経年化技術評価に関わる安全規制の技術基盤として活用が期待される。

粒界脆化に対する破壊靱性評価手法として適用性を検討した破壊靱性マスターカーブ法に関しては、日本電気協会の原子力技術規定や日本機械学会の維持規格等の今後の改定時の技術的根拠として活用が期待される。

中性子照射脆化に関する機構論に基づく予測評価や検出手法に関しては、40 年を超える長期運転に対する高経年化技術評価に対する審査において重要な判断材料及び高経年化対策に資することができる。

IASCC に関する研究は、JNES が実施中の「照射誘起応力腐食割れ（IASCC）評価技術調査研究」の一環として実施しており、その成果は同調査研究における IASCC 評価ガイドの作成に反映される。

### 【特記事項】

IASCC に関する研究は、JNES の IASCC 評価技術調査研究のうちの BWR 試験研究に協力して実施しており、機構内では原子力基礎工学研究部門および材料試験炉部との連携により実施した。

## 【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, pp. 118-124 (2006).

### 技術報告書

- 1) 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).
- 2) 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).
- 3) 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, 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).
- 4) 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).
- 5) 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).
- 6) 杉野英治, 鬼沢邦雄, “大洗鉛直アレ観測地震動の位相特性の分析,” JAEA-Data/Code 2006-005, (2006).

### 国際会議

- 1) 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 PVP2005, ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, Denver, Colorado USA, The American Society of Mechanical Engineers (2005).
- 2) Y.Nishiyama, K.Onizawa, and M.Suzuki, “Phosphorus Segregation and Intergranular Embrittlement in Thermally Aged and Neutron Irradiated Reactor Pressure Vessel Steels,” ASTM 23rd Symposium on Effects of Radiation on Materials (2006).

### 口頭発表

- 1) 杉野英治, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, “地盤物性のばらつきを考慮した構造機器の地震応答に関する研究,” 日本原子力学会 2005 年春の年会 (2005).
- 2) 飛田徹, 鬼沢邦雄, 板倉充洋, 蕪木英雄, 鈴木雅秀, 岩瀬彰宏, “Fe-Cu 合金における電子線照射効果の反応速度論によるモデル計算,” 日本原子力学会 2005 年春の年会 (2005).
- 3) 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).
- 4) 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).
- 5) 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).
- 6) 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).
- 7) 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).
- 8) 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）。

- 9) 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）。
- 10) 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).
- 11) 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（原子力機構大洗研究開発センター），（2006）。
- 12) 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（原子力機構大洗研究開発センター），（2006）。

#### 受託調査報告書

- 1) 原子力安全基盤機構受託事業「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
- 2) 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
- 3) 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

#### 【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。原子炉圧力容器では、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。

##### 地震ハザード

ある地点での大きな地震が発生する確率がどれほどあるかを数値で表したもの。地震危険度ともいう。通常、地殻の構造、活断層、過去の地震発生記録などから評価される。

##### 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材が、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もある。

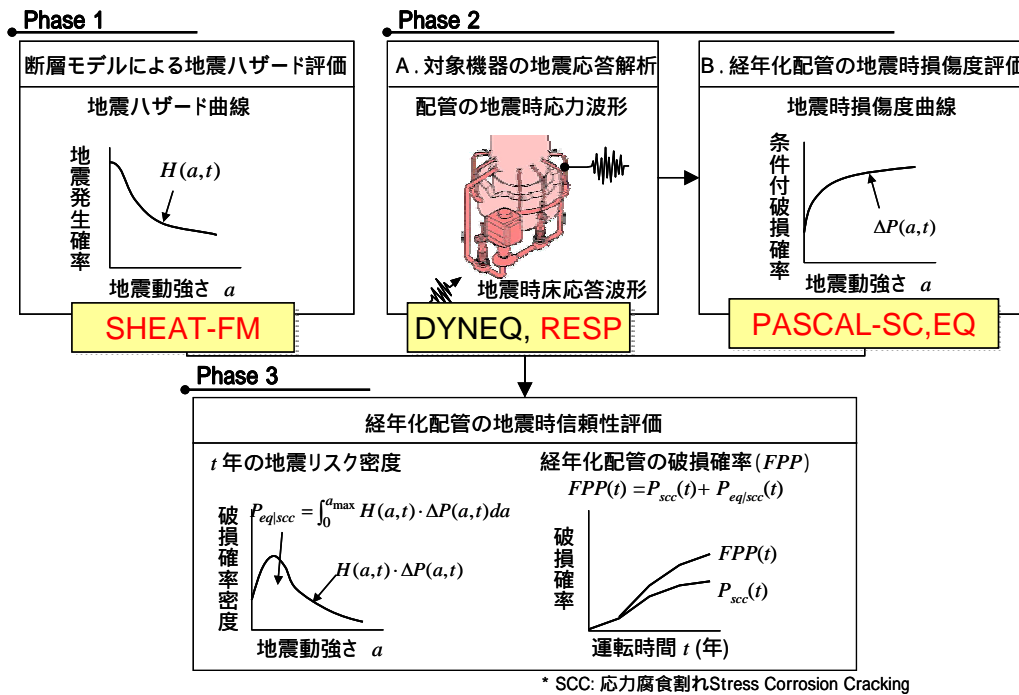


図1 地震荷重に対する経年化配管の構造信頼性評価手法

地震動の強さとその発生頻度の関係（地震ハザード）と、経年劣化を考慮した確率論的破壊力学解析に基づく破損確率から、長期間使用した配管等の経年機器に対する構造健全性を評価する手法を確立した。本手法の基本となるプログラムとして、断層モデルに基づく地震ハザード解析コード SHEAT-FM、地震応答解析コード RESP、及び応力腐食割れ・減肉をそれぞれ対象とした配管信頼性解析コード PASCAL-SC・PASCAL-EC を開発し、公開した。

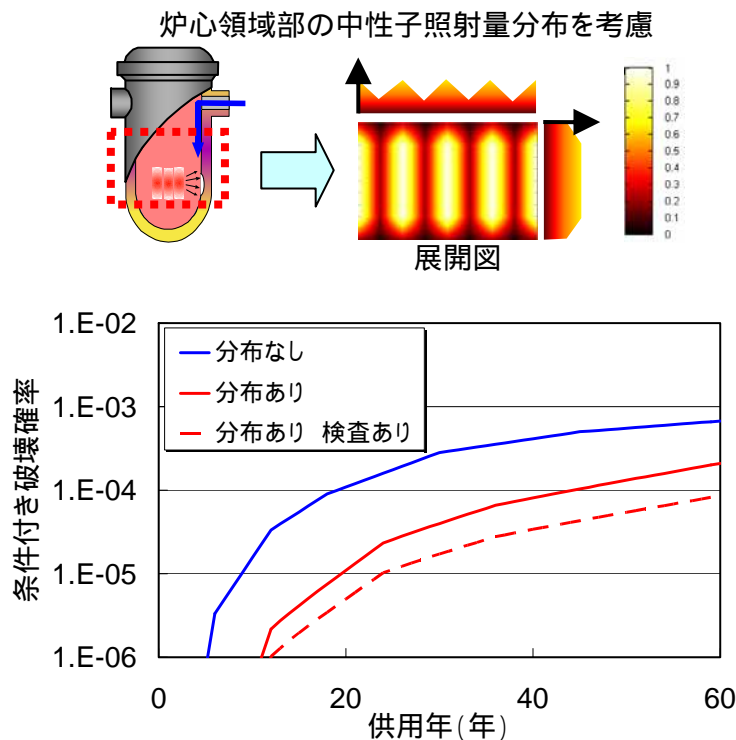


図2 原子炉圧力容器の加圧熱衝撃(PTS)時に対する確率論的破壊力学 PFM 解析コード PASCAL の整備  
各種解析機能の精度向上、GUI の整備及び標準的解析手法の導入等の整備を行った PASCAL を公開した。PASCAL コードを用いた解析例として、PTS 時の破損確率に及ぼす炉心領域の中性子照射量分布の影響を示す。従来の最大照射量を用いた保守的な解析と比較して、大幅に破損確率が低下していることが分かる。

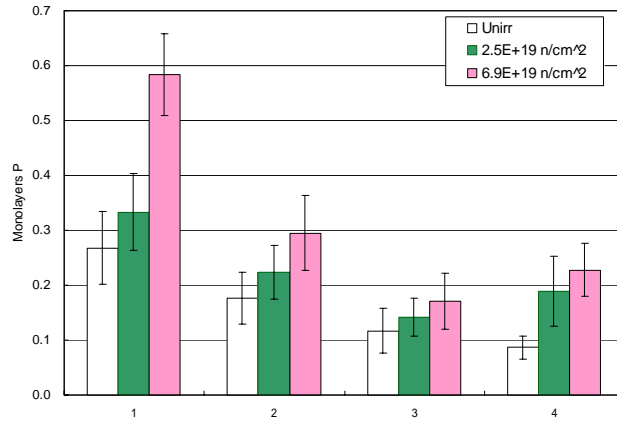


図3 中性子照射による不純物元素(リン)の粒界偏析挙動

初期のリン偏析量の異なる各種原子炉圧力容器鋼材に対して、中性子照射量の増加に伴う粒界偏析挙動を明らかにした。

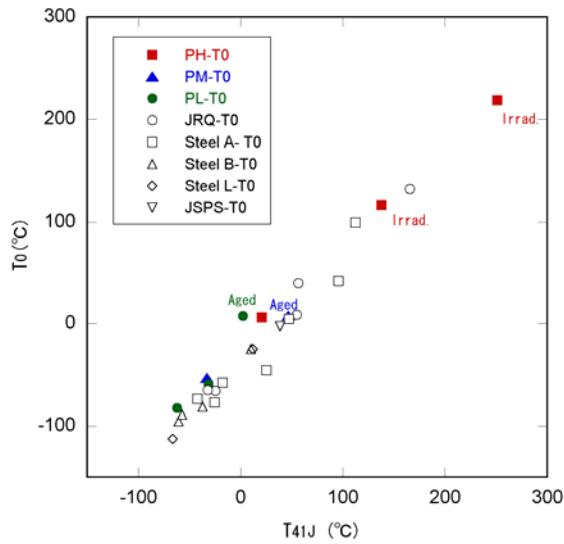


図4 原子炉圧力容器鋼のシャルピー遷移温度と破壊靱性参照温度との関係

粒界脆化材に対して破壊靱性マスターカーブ法が適用できることを明らかにするとともに、粒界脆化材を含む様々な原子炉圧力容器鋼材に対して、破壊靱性マスターカーブ法により評価した参照温度 ( $T_0$ ) が、シャルピー衝撃試験による延性脆性遷移温度 ( $T_{41J}$ ) と良い相関があることを確認した。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

・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）]

なし

[受託研究名（委託元）]

- ・「再処理施設臨界安全技術開発等 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年度）】

模擬 FP 核種を含むウラン溶液燃料と棒状燃料による非均質体系において臨界ベンチマークデータを取得するとともに、照射後試験データに対する MOX 燃焼燃料の核種生成量を評価した。また、MOX 粉体燃料の臨界事故評価手法の整備を行った。

(1) 模擬 FP 核種を用いた非均質体系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%の硝酸ウラン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、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2）<sup>3</sup>

(2) 照射後試験データに対する MOX 燃焼燃料の核種生成量の評価

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3）

(3) MOX 粉体燃料の臨界事故評価手法の整備

燃料粉体の流動特性の解析を行うと共に、MOX 粉末混合器で想定される 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溶融する反応度 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4）<sup>4</sup>

## 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17年度	8	10	18

## 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

- 計画以上に進捗した。
- 計画どおり進捗した。
- 計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

<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 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）」



今後の達成見通し

[ チェック欄 ]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[ 説明欄 ]

成果の活用

[ チェック欄 ]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他（具体的な内容を記述）

[ 説明欄 ]

臨界安全性に関する成果については、再処理施設、MOX 燃料加工施設、中間貯蔵施設等の核燃料サイクル施設において取扱われる核燃料物質に関する最新の実験データ及び評価手法が、安全審査及び後続規制に活用できる。

## 【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 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).

技術報告書：

- 5) 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).
- 6) 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」<sub>1</sub>、*JAERI-Review 2005-023*(2005).
- 7) 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).
- 8) 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」<sub>1</sub>、*JAEA-Data/Code 2005-001* (2005).

国際会議：

- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
  - 12) 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.
  - 13) 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.
  - 14) 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.
  - 15) 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.
  - 16) 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.
  - 17) 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.
  - 18) 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.

#### 口頭発表：

- 19) 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).
- 20) 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).
- 21) 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).
- 22) 奥野浩、「ウラン濃縮度及び  $H^{235}U$  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).
- 23) 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).
- 24) 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 -」, 日本原子力学会 2006 年春の年会口頭発表(2006).
- 25) 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).

#### 受託事業報告書：

- 29) 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 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
- 30) 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。

### SWAT2 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で燃焼計算を行う。約 1000 種類の核種の生成量等を解析することができる。

### 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。

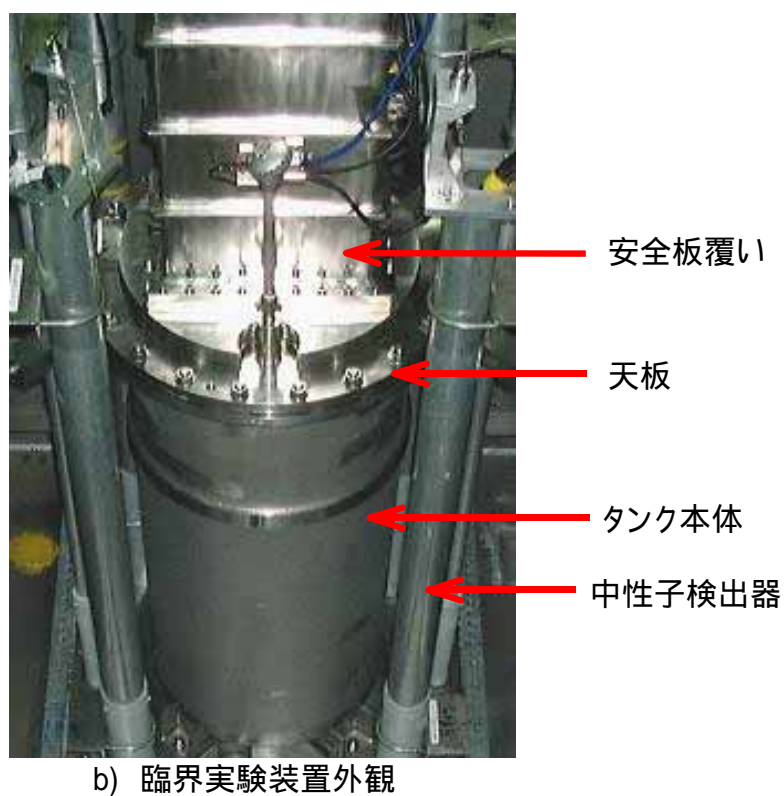
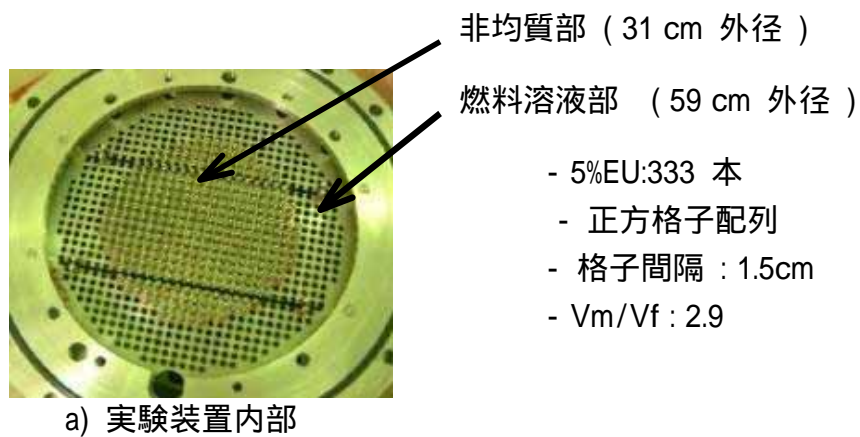


図1 定常臨界実験装置(STACY)

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 元素を添加し、臨界量の測定を行った。

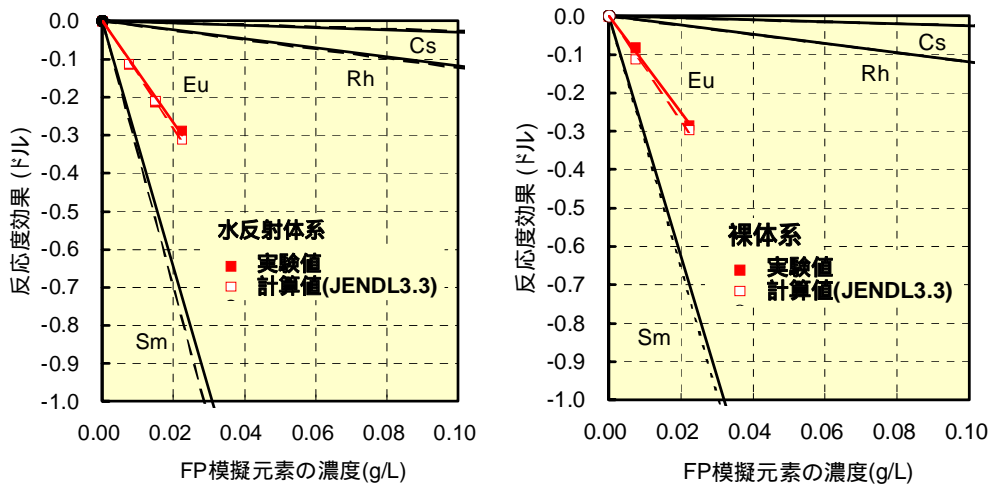


図2 STACY臨界実験結果と解析結果の比較

STACY 臨界実験装置を用い、硝酸ウラニル水溶液に FP 元素を添加し、臨界量の測定を行った結果である。左図は水反射体系、右図は水反射体無しの裸体系の結果である。両体系とも、各元素の添加量が増えると中性子吸収量が増え、反応度は低下する。最新の核データライブラリー JENDL3.3 を用いて FP 元素の反応度効果を解析した結果、実験結果と 5%以内で一致した。

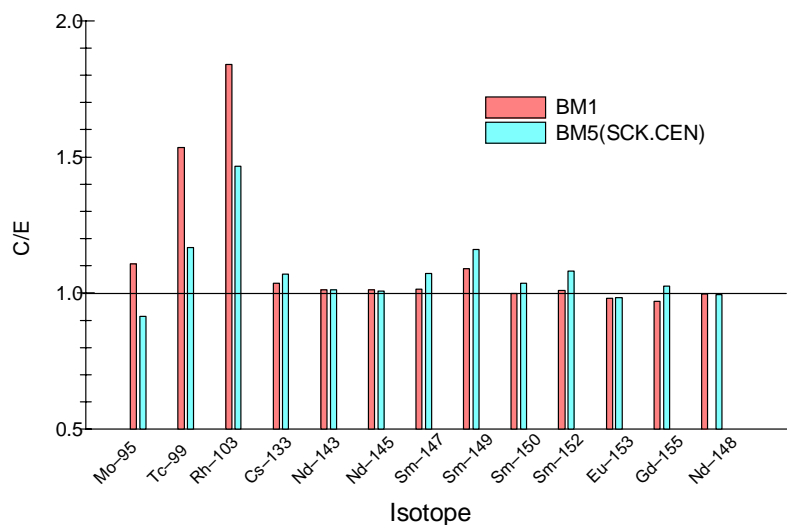


図3 FP 核種生成量評価結果

C/E は (計算値/実験値) を表す。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である。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、不溶性残渣に残る金属類について C/E の値が大きくなっているが、5-10%の精度で推定の可能であることがわかった。

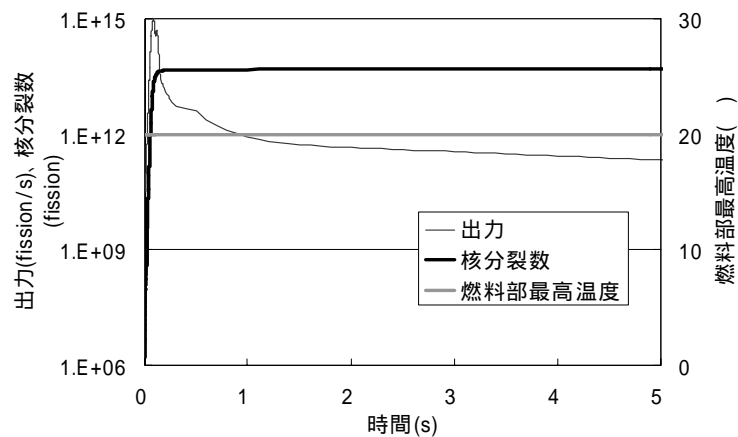


図4 粉末混合機の臨界事象の解析例

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、その後は単調に下降。500 秒まで計算を実施したが、燃料部の最高温度は 20 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。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

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 年度 )】**

核燃料サイクル施設における火災時の閉じ込め機能に関する安全評価技術の高度化に関する研究を計画通りに実施し、再処理施設で使用される抽出有機溶媒に伴う煤煙放出特性データ及び MOX 燃料加工施設における閉じ込め機能を担うグローブボックスの構成部材の熱分解特性データを取得した。

(1) 再処理施設の火災時閉じ込め評価データの取得

再処理施設に関しては、抽出有機溶媒 ( 30%TBP/ドデカン ) の燃焼特性データの取得を開始し、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。これらの知見を熱流動解析コードの入力項として整理し、閉じ込め機能の経時変化の評価に結び付けていく計画である。(図 1)

(2) MOX 燃料加工施設の火災時閉じ込め評価データの取得

MOX 燃料加工施設に関しては、使用される可燃性物質の燃焼特性評価に必要な試験装置の整備を終了するとともに、同施設における閉じ込め機能を担うグローブボックス ( GB ) のパネル構成材料 ( ポリカーボネート、アクリル ) の熱分解特性データ ( 吸発熱速度、熱分解反応速度データ等 ) を取得し、グローブボックス火災時の放射性物質閉じ込め機能の経時変化の解析評価モデルの開発、及びグローブボックスの保守管理技術基準の整備に必要な基礎的な熱分解反応のデータを蓄積した。(図 2)

**【人員】**

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	4		4

**【自己評価】**

研究の進捗状況

[ チェック欄 ]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[ 説明欄 ]

今後の達成見通し

[ チェック欄 ]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[ 説明欄 ]

成果の活用

[ チェック欄 ]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。



その他（具体的な内容を記述）

[ 説明欄 ]

核燃料サイクル施設における火災時の放射性物質閉じ込め評価に際しては、特に HEPA フィルタによる放射性物質の捕集・閉じ込め機能が重要な役割を担っている。火災に伴って発生する煤煙の粒子径分布や煤煙化率に関する定量的な知見は、HEPA フィルタの目詰まりによる差圧上昇及び破損までに至る現象の定量的評価に対して必要不可欠である。

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、実際に核燃料サイクル施設に対する規制を担う JNES からの受託研究として実施しており、本試験研究から得られた技術的知見は、国が実施する MOX 加工施設の安全審査、後続規制に係る安全確保方策（技術基準策定等）の検討等に対して、JNES を通じて直接寄与するものである。

**【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).

口頭発表：

- 3) 阿部、渡邊、田代、土野、梅津、“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).

受託事業報告書：

- 4) 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、平成 18 年 3 月

**【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。

吸発熱速度

グローブボックスを構成する樹脂製物質等は、自身の温度上昇に伴って融解等の相転移や熱分解を生じる。ここでは、これらに伴う吸発熱速度 (mW) を、試料物質（ここではグローブボックス構成部材）とアルミナ等の基準物質の温度を一定のプログラムに従って変化させながら、両者の温度差を起電力の差として測定する方法（示差熱分析）を用いて求めている

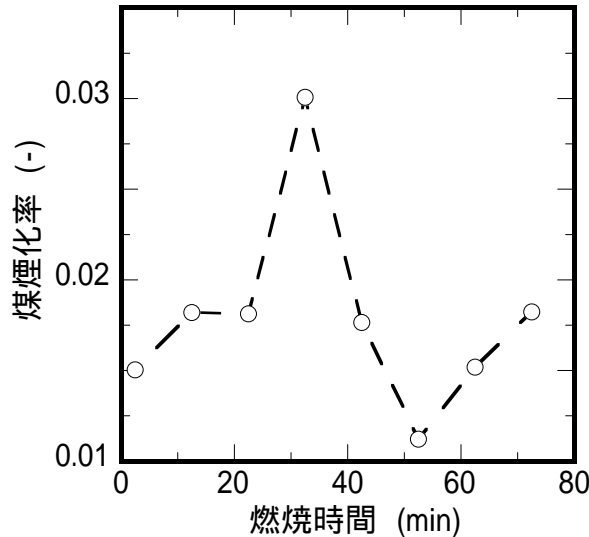


図1 煤煙化率評価結果 (30%TBP/ドデカン)  
 初期体積：160 cm<sup>3</sup>、燃烧面積：33 cm<sup>2</sup>

再処理施設で使用される抽出有機溶媒の燃烧特性データの取得を開始した。抽出有機溶媒の質量減少量に対する煤煙の発生質量の割合として定義した煤煙化率は燃烧時間に対して上に凸形を示し、最大で約3%程度となった。様々な燃烧条件の下で燃烧に伴うエネルギー及び物質(煤煙、放射性物質)の放出特性データ及びHEAPフィルタの目詰まり特性データを取得し、事故時閉じ込め解析コードの入力項として整理していく計画である。

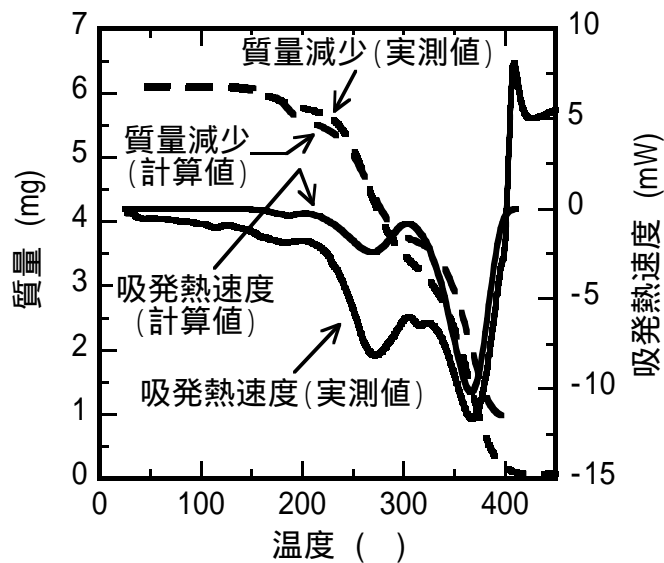


図2 グローブボックス構成部材の熱分解特性データと熱分解挙動のシミュレーション例  
 (ポリカーボネートの例)

グローブボックスを構成する部材(アクリル、ポリカーボネート、クロロプレンゴム等)について示差熱分析装置を用いて、温度上昇に伴う吸発熱(熱分解)反応開始温度、吸発熱量、質量減少量を測定するとともに、反応速度データ(活性化エネルギー及び頻度因子)を導出した。これらを連立させ、各部材の温度上昇に伴う吸発熱反応の進展のシミュレーションを試みた。その結果、評価結果は温度上昇に伴う吸発熱及び質量減少に係る実測値をよく模擬することができた。反応速度データを活用した熱分解反応の進展評価モデルと火災等の熱源からの熱の移動を考慮した体系内の温度変化の解析と組み合わせることで、火災時の事象の進展を総合的に評価しうるモデルの構築を図っていく。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

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 防食材料技術開発グループ

[ 氏名 ] 山本正弘 ( やまもと まさひろ )

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

[ 所属 ] 本部 建設部

[ 氏名 ] 瓜生 満 ( うりゅう みつる )

[ 連絡先 ] TEL : 81-3491、E-mail : uriyu.mitsuru@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、施設の高経年化及び耐震安全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

- ・ 再処理施設新材料耐食安全性評価システム開発及び高信頼性再処理技術の研究

再処理施設の中で厳しい腐食環境にある機器（酸回収蒸発缶等）の長期腐食進展傾向の試験データを取得し、結果を評価して、寿命予測システムを整備する。また耐食性に優れた代替候補材料と腐食モニタリング技術に関するデータを整備する。【H13～H17：保安院受託】

- ・ 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。【H18～：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】

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

- ・ 免震構造に関する入力地震動策定手法の高度化

耐震指針改訂に伴う新しい地震動評価手法や、強震動に関する最新の知見を踏まえ、震源断層モデルと当該地盤の不整形性の両者を考慮した 3 次元地盤モデルによる地震動伝播解析を行い、免震構造に関する入力地震動策定手法の高度化を図る。

- ・ 免震構造に関する信頼性評価手法の高度化

実際の免震構造建家の地震観測データ等を活用し、これまでに検討した免震構造に関する信頼性評価手法の妥当性を確認するとともに、さらなる高度化検討を行う。

### 【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、再処理施設の中で厳しい腐食環境にある機器（酸回収蒸発缶等）の長期腐食進展傾向の試験データを取得し、結果を評価し

て、寿命予測システムを整備する。また耐食性に優れた代替候補材料と腐食モニタリング技術に関するデータを整備する。平成 18 年度からは、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。

- . 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研究では、今後の核燃料施設免震構造建家に対する安全規制に参照できるように、耐震指針改訂に伴う新しい地震動評価手法等を踏まえ、免震構造に関する入力地震動策定手法を高度化するとともに、免震構造に関する信頼性評価手法を高度化する。

#### 【成果の活用方策】

- イ . 再処理施設特有の硝酸腐食に関するいくつかの現象とその機構を明らかにし、腐食寿命を評価すべき重要な部位の特定や寿命推定法に関する方策を提示する。また将来の再処理設備に使用される代替候補材料の耐食安全性や腐食モニタリング手法に関する基盤データを整備する。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する。
- . 核燃料施設免震構造の耐震安全性評価技術を向上させることにより、新たな安全規制方策の検討に資する。

#### 【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 廃棄物安全試験施設(WASTEF)
  - ・ H18 から追加：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
- . 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
  - ・ 日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 再処理技術開発センター 再処理施設ユーティリティ施設（免震構造）

#### 【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 17 年度までは経済産業省原子力安全・保安院からの受託研究として実施し、安全研究委員会の下に「再処理機器保守管理技術等調査専門部会」を設置して研究成果の評価を受ける。平成 18 年度から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予定である。また、今後、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予定である。
- . 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では、最新の知見を踏まえた高度化を行うために、各分野の学協会の動向を把握しつつ、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。

#### 【関連する共同研究、受託研究等】

なし

#### 【研究実施内容及び成果（平成 17 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では、ステンレス鋼製酸回収蒸発缶とジルコニウム製溶解槽を対象に小型モックアップ試験を数万時間以上実施して寿命評価に必要な長時間データを取得した。腐食進展機構を検討するための試験を併せて実施し、コールド及びホット環境における腐食を支配する各種因子に関する詳細な検討を実施し、ステンレス鋼やジルコニウムの寿命評価用の基礎データを得た。これらの成果を、寿命評価のための数値解析システム整備に反映した。さらに、耐食性や機械的強度特性に優れた代替候補材料の硝酸環境中腐食や強度等に関する調査及び基盤データ取得を行うと同時に、腐食モニタリング技術に関する調査及び基盤データ取得を行った。【H13～17：保安院受託】

平成 18 年度からの再処理施設の経年変化に関する技術情報の整備に向けて、高経年化対策技術評価に関する規制行政庁のニーズ及び JNES の動向等を把握し、研究計画を検討した。【H18～：JNES 受託】

- . 平成 18 年度から開始するため研究成果はなし。平成 18 年度からの研究開始に向けて、各分野の学協会の動向を把握し、研究計画の検討を実施した。

#### 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	5	4	9
18 年度	11.5	7	18.5

#### 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

イ . 平成 17 年度は当初計画どおりに進捗し所期の成果を得た。

今後の達成見通し

[チェック欄]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

イ . 平成 18 年度以降の計画を策定し、順調に実施しているので、計画どおりの成果が得られる見通しである。

成果の活用

[チェック欄]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他（具体的な内容を記述）

[説明欄]

イ . 再処理施設特有の硝酸腐食に関するいくつかの現象とその機構を明らかにし、腐食寿命を評価すべき重要な部位の特定や寿命推定法に関する方策を提示した。また将来の再処理設備に使用される代替候補材料の耐食安全性や腐食モニタリング手法に関する基盤データを整備した。

#### 【特記事項】

- 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 年度より原子力安全基盤機構からの受託研究として実施する予定である。
- . 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は、平成 19 年度以降、予算が打ち切られたため、取り下げざるを得ない状況である。

#### 【研究成果の発表状況】

- ・ 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）にて口頭発表予定（4 件）  
上野文義、市川史郎、本岡隆文、加藤千明、山本正弘、木内清：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  
市川史郎、上野文義、本岡隆文、加藤千明、山本正弘、木内清：同（第 2 報）ステンレス鋼製機器の腐食形態の解析  
加藤千明、本岡隆文、山本正弘、木内清：同（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  
沼田正美、遠藤慎也、喜多川勇、木崎實、加藤千明、本岡隆文、山本正弘、木内清：「同（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
- ・ Global 2007 国際会議（2007 年 9 月 9 日～13 日、米国アイダホ州ボイジー）にて口頭発表予定（2 件）  
F. Ueno, C. Kato, T. Motooka, S. Ichikawa and M. Yamamoto: Intergranular corrosion mechanism of ultra-low carbon Type 304 stainless steel in a nuclear reprocessing plant  
C. Kato, T. Motooka, M. Numata, S. Endo, M. Yamamoto: Stress corrosion cracking of zirconium used in the reprocessing plant.

#### 【用語解説】

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 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】

安全審査基本指針の策定に資するために、安全指標、制度的管理、評価期間等に関する基本的考え方を提示する。安全評価に関しては、水文地質学的変動、隆起浸食、人工バリア材の長期変質、放射性核種挙動の変動等を扱う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

地層処分の長期的な地下水移行シナリオ評価のための確率論的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】

#### ロ．広域地下水流動に関する研究

数 10～100km 程度の広域の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、モデル実証のための対象地区を選定して実規模での広域水文に関する調査並びに知見を基に検証を行う。加えて、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影響を評価できるモデルに拡張し、水文地質学的変化を伴う広域地下水流動のメカニズムを解明する。【保安院受託】

### 【達成目標】

安全規制に係る基本的考え方の構築では、

- ・ 安全審査基本指針の必要事項として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とそれらの考え方を構築。
- ・ リスク論的考え方を安全評価に導入する可能性を検討。

安全評価手法の開発では、

- ・ 高レベル放射性廃棄物処分の安全評価手法等の整備のために必要な知見やデータを整備
- ・ 水文地質学的変化を伴う広域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や複合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、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】

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 原子力科学研究所 第4研究棟

### 【研究の進め方】

放射性廃棄物処分に関する国際的な安全規制の動向の変化及び国内における高レベル放射性廃棄物の処分方策の変化が考えられ、これらに関する最新動向を把握し、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所内に設置し、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。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、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一層強化する。

### 【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(原子力安全・保安院)
- ・ 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(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長期的影響評価用データの取得、解析に必要な各評価パラメータの変動特性を検討するためのデータベース整備、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う。

広域地下水流動の研究では、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を取得する。

#### 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

人工バリア材材料の変質に関しては、セメント系材料の変質に伴う間隙構造の変化及び物質移行特性の変化を観測するとともにこれらの知見を連成解析可能なコード(1次版)を整備した。また、緩衝材変質について実験的に決定した定量式を導入して、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)。移行評価データ取得に関しては、Fe共存系でのSeの溶解度取得及び溶解度の温度依存性の評価、並びに変質ベントナイトを対象としたI、Cs等の拡散係数を取得した。また、オーバ-パック腐食による地下水組成への影響を検討するために、長期的な影響評価に必要な炭素鋼の腐食速度の測定に着手した。さらに、硝酸塩及び塩水濃度の変化を考慮した天然バリアに対するCsの分配係数データを取得すると



ともに、拡散係数データの取得に着手した。

## (2) データベース整備

人工バリア及び天然バリアにおける核種移行に関するパラメータの新規データの収集を進めるとともに、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、不確かさをもたらず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することによって核種移行データの不確かさの低減化が可能であることが示された(図2)。また、人間侵入に関するデータベース整備では、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した。

## (3) コード開発及び安全解析

コード開発では、地下水移行シナリオの確率論的安全評価コード、確率論的溶解度解析コード、炭素鋼オーバーパックの寿命評価コード、隆起・浸食・海水準変動の影響評価コード、及びボーリングシナリオ評価コードの開発を進めた。

Se と Np の溶解度に対する確率論的解析を行い、溶存種及び固相の平衡定数(25 )の不確かさが各溶解度に与える影響を定量化した。また、今年度整備したデータベースを基に、ガラス長期溶解に関する評価パラメータ(ガラス溶解速度、ガラス表面積)の時間変動を想定した決定論的感度解析及び確率論的手法によるパラメータ不確かさ解析から、ガラス溶解パラメータの時間変動に関する詳細な不確かさの検討は安全評価上重要であることが示された(図3)。

## ロ．広域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

モデル検証に既往の地下水流動の調査技術・手法が適用可能かどうかを検討するために国内文献を対象に調べ、調査条件、調査項目、結果、評価などについてデータベース化を進めた。調査技術・手法と調査項目との関係については地質環境(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地域特性について取りまとめ、調査事例の傾向を把握することができた。調査技術の有効性については、一般的に行われる調査で他に代替方法がないような調査技術の場合、調査実績数に比べその調査が有効であったとする数が少ない傾向にある。また、経済的に安価で補助的な調査技術・手法は有効性の評価が低くなっている。

### (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。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し、当地域の流動状況に大きく影響していることである。

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て自動的に行い、より確実度の高い手法にすることを検討した。この手法は、解析結果が既存資料のデータや放射能探査による亀裂分布測定結果と一致することから、有効であると判断できた。

### (3) 広域地下水流動解析モデル整備

広域地下水流動解析モデルに使われる地質構造モデルのプロトタイプ版及び長期的水収支モデルを検討し、関連するデータを整備した。さらに、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、当機構所有の広域地下水流動解析コードの整備を行った。

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開発の現状

とモデル構築に係わるデータを調査し、モデリング時に留意すべき事項等を整理した。

さらに、予備的な広域地下水流動解析を実施し、来年度の解析のための事前情報を整備した。GISによる広域流動範囲の評価結果とこの解析結果を比較した結果、モデル地区における広域地下水流動の影響範囲と地下水流動状況を概括的に把握することができた。これら成果は来年度予定している現地調査および本解析に利用する。

#### 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17年度	7	16	23
18年度	7	16	23

#### 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

成果の活用

[チェック欄]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他（具体的な内容を記述）

[説明欄]

処分の長期的安全評価手法の整備において、広域地下水流動評価や人工バリア（ベントナイト緩衝材）性能評価から得られる知見を組み込み、安全評価の信頼性を向上させることで、評価期間や不確実性の取扱いなどの安全基準に関する検討に資する。また、広域地下水流動に関する知見は、精密調査地区選定の環境要件の検討に資する。

#### 【特記事項】

特になし

#### 【研究成果の発表状況】

雑誌掲載論文：

- 1) 稲垣、三ツ井、牧野、石黒、亀井、河村、前田、上野、馬場、油井、“高レベルガラス固化体の性能評価に関する研究 - 現状と信頼性向上にむけて - ”、*原子力バックエンド研究*, **10**, 69-83 (2005).

#### 国際会議：

- 2) S. Nakayama, Y. Morita, K. Nishihara, H. Oigawa, “Geologic disposal of radioactive waste in applying partitioning-transmutation technology to nuclear fuel cycle”, *Proc. Int. Conf. GLOBAL2005 Nuclear Energy System for Future Generation and Global Sustainability* (Tsukuba, Japan, October 9-13, 2005, CD ROM) (2005).
- 3) 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.*”
- 4) H. Oigawa, K. Minato, T. Kimura, Y. Arai, S. Nakayama, K. Nishihara, “Present status and future perspective of research and development on partitioning and transmutation technology at JAERI”, *ibid.*
- 5) 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).
- 6) 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).
- 7) 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).
- 8) 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.*
- 9) 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.*
- 10) 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.*
- 11) 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.*
- 12) S. Nakayama, T. Tanaka, T. Yamaguchi, “Accomplishment of 10-year Research at NUCEF and Future Development - Waste Disposal Safety Research”, *ibid.*
- 13) 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 13<sup>th</sup> Int. Clay Conf., ICC2005*, August 21-27, 2005, Tokyo, (2005).
- 14) 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.*

#### 口頭発表：

- 15) 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)。
- 16) 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。
- 17) 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。
- 18) 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”、日本原子力学会 2006 年春の年会、大洗 (2006)。
- 19) 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)。
- 20) 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)。
- 21) 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)。

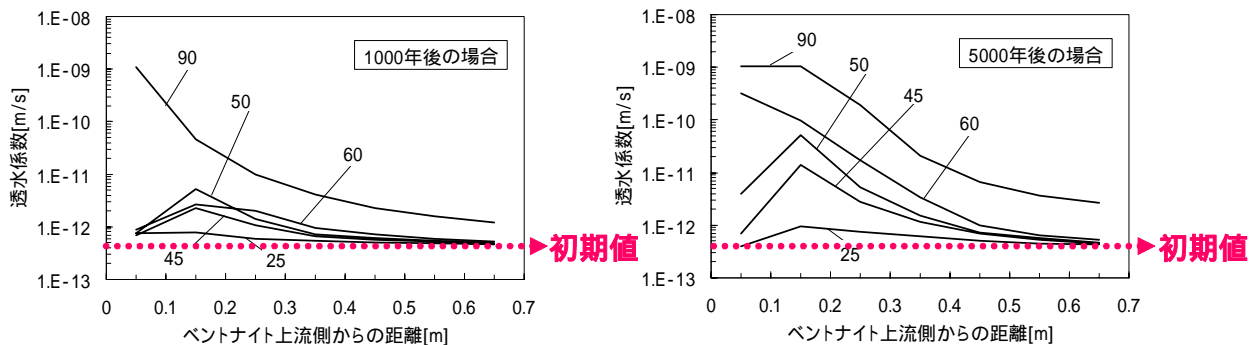
- 22) 木村、飯田、瀧、藤原、上田、山口、坂本、根岸、神野、水野、前田、田中、中山、“放射性廃棄物処分の長期的評価のための実験的研究 2005 年の現状”、同上。
- 23) 飯田、向井、藤原、前田、上田、湯川、稲田、“天然バリアによる核種隔離性能への影響因子の検討”、同上。

**受託事業報告書：**

- 24) 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。
- 25) 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。

**【用語解説】**

**図表**

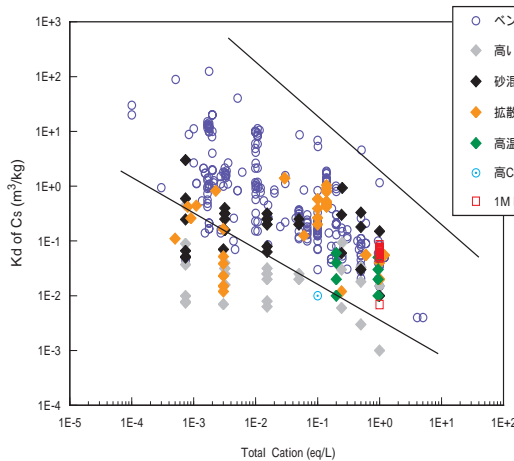


**各温度における透水係数の分布（周辺温度一定）**

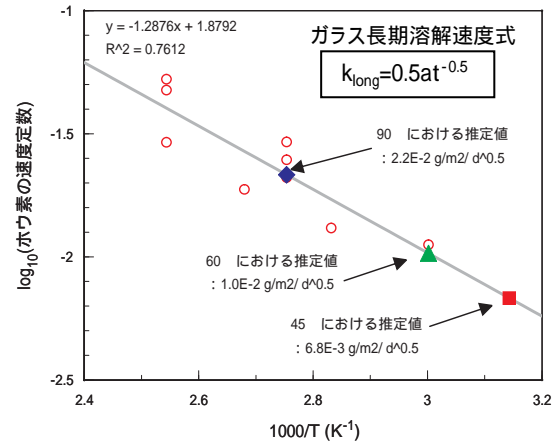
図1 ベントナイト緩衝材の長期性能評価手法の検討例

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 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 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。



(a) Cs 分配係数のカチオン濃度依存性

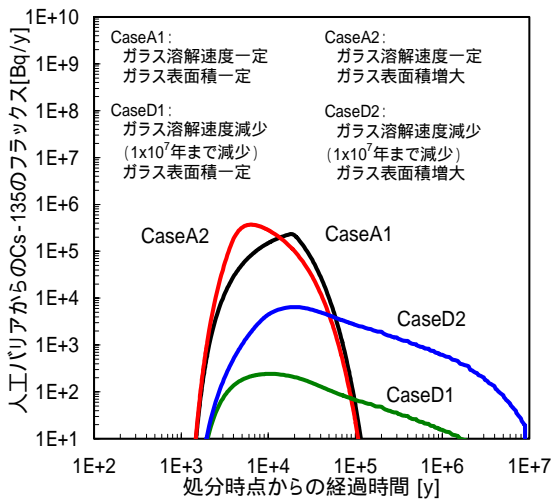


(b) 長期的なガラス溶解速度式の推定

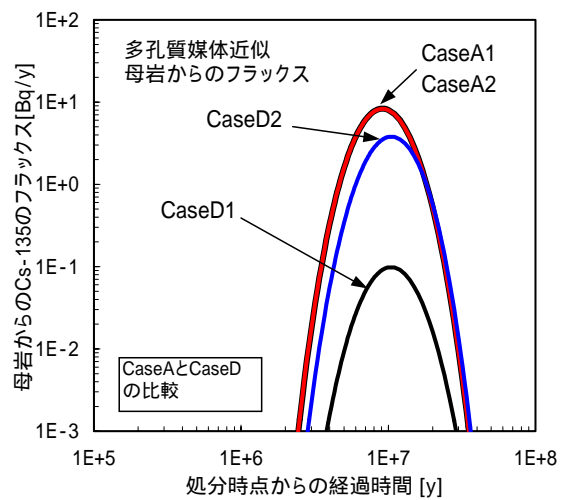
図 2 核種移行パラメータのデータ不確かさの検討例

核種移行パラメータのデータ不確かさの影響を定量的に明らかにするために、ベントナイト系緩衝材に対する Cs の分配係数 (Kd) を例にデータ変動特性の検討を行った。その結果、pH による影響はほとんどなかったが、図 2(a)に示すように、溶存 Na 濃度 (カチオン濃度)、砂混合比、初期 Cs 濃度が、Cs の Kd に対し大きな変動をもたらす因子であることを確認した。

ガラス溶解速度は、長期溶解速度が拡散過程に律速されるという最近の既往の研究成果を踏まえて、時間の平方根則に基づく速度式を用いた評価方法を採用し、収集したガラス浸出量のデータ分析から長期溶解速度式を整備した。



(a) 人工バリアからの C-135 のフラックス



(b) 母岩からの Cs-135 のフラックス

図 3 ガラス長期溶解に関する評価パラメータの感度解析結果

最近の長期ガラス溶解速度に関する実験的研究の知見に基づき、ガラス長期溶解速度式をモデル化し、長期溶解に関する評価パラメータ (ガラス溶解速度、ガラス表面積) の時間変動を想定した決定論的感度解析及び確率論的手法によるパラメータ不確かさ解析を行い、これらのパラメータの時間変動が核種移行に与える影響を解析的に検討した。図 3 は決定論的解析結果である。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を一定とする評価に比べて、数桁低い。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 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）等を活用し、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。

なお、平成17年7月に我が国の基盤研究開発を効果的・効率的に進めるために設置された「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や規制関連機関の動向を踏まえながら、他の研究開発機関である原子力環境整備促進・資金管理センター、電力中央研究所、産業創造研究所、産業技術総合研究所、放射線医学総合研究所との間で役割分担や連携・協力、成果の体系化などに向けた検討調整を進めている。

また、国内関係機関との研究協力に加えて、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き、地下研究施設などを活用した共同研究を進めている。また、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に参加するなど、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）】

以下の9件の国際共同研究を実施。

- ・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：カル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」への参画：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SKB/CRIEPI/JNCの3機関の共同研究：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」への参画：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：韓国原子力研究所（KAERI） 協力協定のもと、共同で研究を実施

以下の11件の国内共同研究を実施。

- ・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）
- ・高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する性能評価技術高度化研究：（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）
- ・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）
- ・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）
- ・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：（清水建設）
- ・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）
- ・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）
- ・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）

「参考」（先行基礎工学研究による共同研究：10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)
- ・ 塩素安定同位体比を用いた水理地質構造モデル評価技術の開発：(東京大学他)
- ・ 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)
- ・ セルオートマトン法による亀裂ミ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)】

以下の15件の委託研究を実施。

- ・ 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)
- ・ ニアフィールド岩盤の長期安定性評価手法に関する研究( )：(東京大学)
- ・ 前進的モデルを用いた不均質性堆積岩評価手法の研究 ( )：(地球科学総合研究所)
- ・ 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)
- ・ 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( )：(北海道大学)
- ・ 3次元応力場同定手法の高度化に関する研究(その2)：(資源・素材学会)
- ・ 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)：(資源・素材学会)
- ・ 瑞浪超深地層研究所における工学技術に関する検討(平成17年度)：(鹿島建設、大林組、清水建設、大成建設)
- ・ 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(平成17年度)：(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(平成17年度)：(名古屋大学)
- ・ 堆積軟岩の長期挙動に関する調査試験研究(その4)：(大成建設)
- ・ 地質環境の長期変遷を考慮した水理モデル構築に関する研究：(間組)
- ・ 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)
- ・ 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水理地質構造モデル・地球化学計算モデルの構築について：(大成建設)

### 【受託研究名(委託元)】

以下の1件の受託研究を実施。

- ・ 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 サイト上に公開した。(図1)
- ・ また、処分場の設計や安全評価に関する技術の実際の地質環境への適用性を確認するために必要な掘削段階の地質環境データを活用した評価課題やその実施方法を決定した。

### 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た。  
また、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た。その1つとして、核種の分配係数を計測する標準的な手法を日本原子力学会標準委員会に提示し可決された。

- ・ 処分システムの構築手法と、安全評価シナリオの網羅性や個別現象モデルから全体システムまでの階層性を考慮した安全評価手法の体系的な整備に向けた開発計画書を取りまとめた。(図2)
- ・ 地層処分の安全確保の考え方や安全評価に係る様々な論拠を、研究開発の成果や国内外の最新の知見に基づいて体系化し知識基盤として適切に管理・継承するための知識ベースを開発するために、知識管理のための計算機支援システムの設計概念や知識ベースの概要を示した概念検討書を取りまとめた。

## 八．地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- ・ 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、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していくため、地上からの調査研究段階の成果取りまとめを進めるとともに、坑道掘削時の調査研究を行った。
- ・ 瑞浪市の東濃地科学センターについては、ボーリング調査などの地上からの調査研究の結果を総合的に解析して地質環境モデルを作成するとともに(図3)、地下水流動や岩盤性状の変化など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、「結晶質岩における地上からの調査研究段階報告書」(仮称)として取りまとめる予定である。また、2本の立坑の掘削を花崗岩上部まで進め(換気立坑:深度191m、主立坑:173m)、立坑壁面の連続的な地質観察や工事発破を利用した物理探査により、花崗岩を覆う堆積岩から、堆積岩と花崗岩の境界部分を経て花崗岩上部の風化帯に至るまでの地質及び断層や割れ目の分布・性状を把握し、地上からの調査による予測の妥当性を確認した。さらに、坑道の掘削による地下水への影響を評価するため、立坑壁面の深度約25mごとに湧水観測装置を設置して、掘削の進展に伴う湧水量の経時変化を観測するとともに、地上及び深度100mの水平坑道から掘削した地下水観測用のボーリング孔にモニタリング装置を設置して、地下水の水圧及び水質の観測を開始した。
- ・ 幌延深地層研究センターについては、ボーリング調査や地表物理探査などの地上からの調査を完了し、その結果を総合的に解釈して、地上からの調査研究段階における地質環境モデルを作成するとともに(図4-a)、地下施設の建設に伴う周辺の地質環境(地下水の流動・水質や岩盤性状など)の変化を予測した(図4-b)。また、塩水系地下水が分布しガスや石油を胚胎する堆積岩(軟岩)における、ボーリング孔を用いた各種の調査技術や長期モニタリング装置の適用性を確認した。これらの結果を踏まえ、「幌延深地層研究計画・地上からの調査研究段階の成果報告書」(仮称)の取りまとめを開始した。一方、坑道掘削時の調査研究に関しては、平成17年11月に掘削工事に着手したことに合わせて、壁面観察や周辺のボーリング孔での地下水の水圧観測を開始した。
- ・ 東濃地科学センターにおいては、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、岩盤の変位や応力を観測する計測システムを深度約50mごとに設置し、坑道設計や覆工技術の妥当性を確認した。また、実際の岩盤や湧水の状況を考慮して施工対策の有効性を評価し、平成18年度からの止水対策計画を策定した。

## 二．地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- ・ 地質環境の長期安定性に関する研究については、これまでに開発してきた地下深部のマグマ等を検出するための調査技術(図5-a)や将来の地形変化を予測するためのシミュレーション技術(図5-b)の適用試験を実施し、その成果を地質学や火山学などに関する国内外の学会に発表した。また、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、過去数百万年間にお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については、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を行った。

### 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度			63.8
18 年度			

### 【自己評価】

研究の進捗状況

[ チェック欄 ]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[ 説明欄 ]

今後の達成見通し

[ チェック欄 ]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[ 説明欄 ]

成果の活用

[ チェック欄 ]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他（具体的な内容を記述）

[ 説明欄 ]

高レベル放射性廃棄物の処分施設建設地の選定にあたっては、3段階（概要調査地区選定、精密調査地区選定、最終処分施設建設地選定）に分けた選定を行うことが法律に定められている。概要調査地区選定のための環境要件は既に定められていることから、今後は、精密調査地区選定のための環境要件、さらに精密調査地区選定開始時期までに処分施設の設計要件、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基本的考え方をまとめた安全審査基本指針を取りまとめる予定となっているため、これらの成果は安全規制に係る基本的考え方の構築および安全評価手法の開発に資する。

### 【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

経済産業省・資源エネルギー庁と旧核燃料サイクル開発機構などの関係研究機関（6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、コンクリートの間隙水が高 pH となり周辺の岩盤や緩衝材に影響（性能劣化）を及ぼす可能性がある。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）にポゾラン物質であるシリカヒュ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、不溶性で硬化するシリカ質化合物を生成する現象）により高 pH の主な原因である水酸化カルシウムの低減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】

**データ検索機能**

**グラフ作成機能**

**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
締固め特性	動的締固め試験 静的締固め試験		圧密非排水三軸クリープ試験 動的三軸試験
熱特性	熱物性測定(熱伝導率・熱拡散率)		弾性波速度測定
乾燥収縮特性	乾燥収縮試験		液状化試験

図1 Web公開した「緩衝材基本特性データベース」

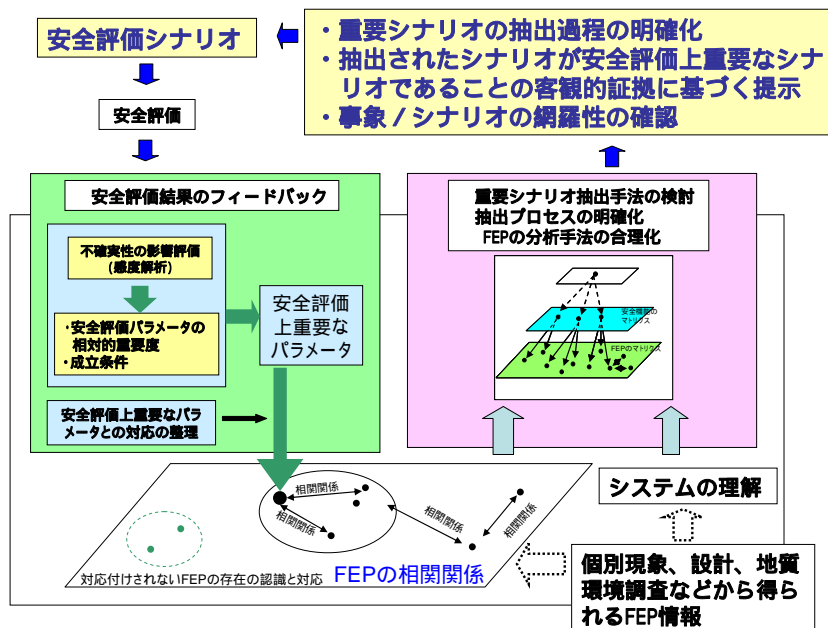


図2 シナリオ解析技術の高度化の概念

- サイトスケールにおける調査研究 -

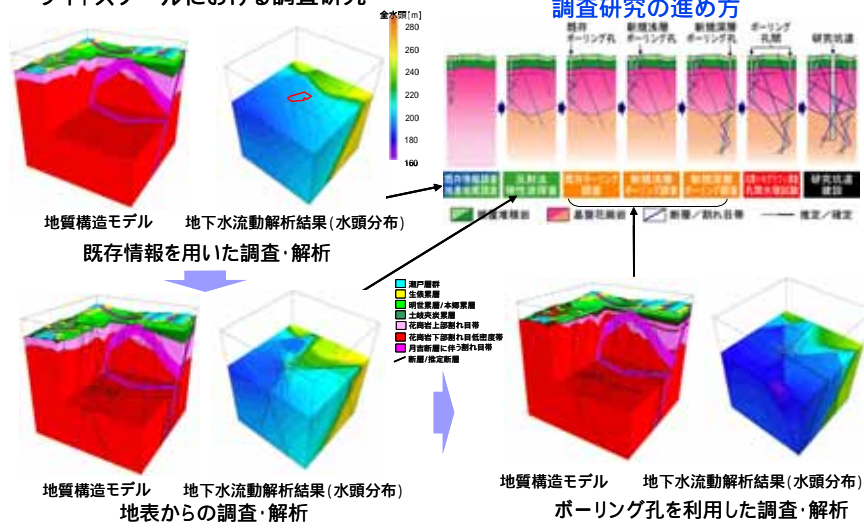
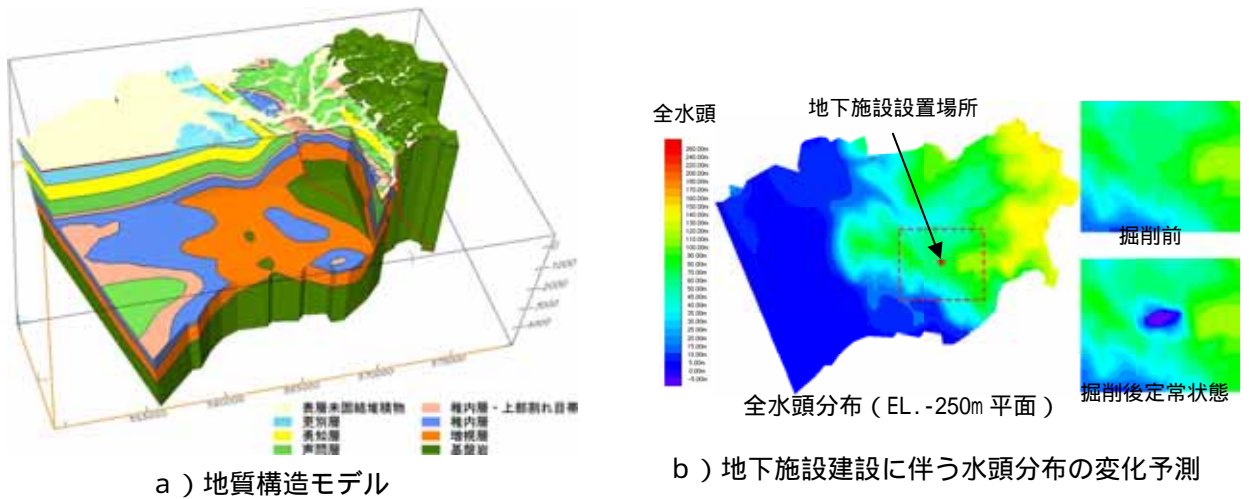


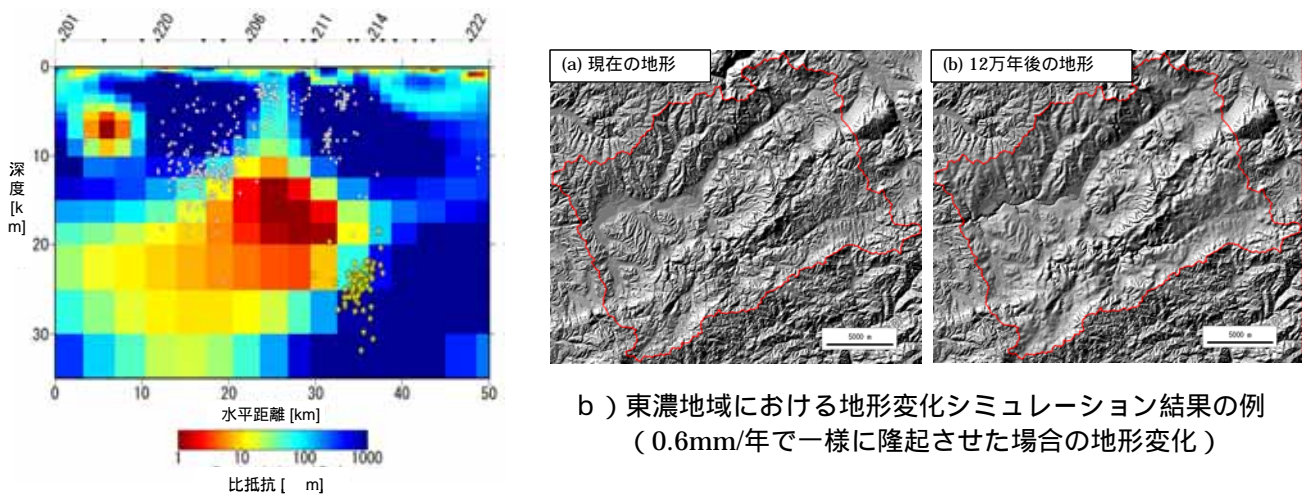
図3 瑞浪の深地層の研究施設設計画において構築された地質構造モデルの例



a) 地質構造モデル

b) 地下施設建設に伴う水頭分布の変化予測

図4 幌延深地層研究計画におけるモデルの構築および予測解析の例



a) 鳴子火山 (宮城県) 下の地磁気・地電流法 (MT法)による比抵抗構造調査の解析結果の例 ( : 地殻内地震, : 低周波地震)

b) 東濃地域における地形変化シミュレーション結果の例 (0.6mm/年で一律に隆起させた場合の地形変化)

図5 地質環境の長期安定性に関する調査研究成果の例

## 【研究成果の発表状況】

### 雑誌掲載論文：

#### 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

- 1) 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).
- 2) Lim, D., "Numerical Study of Nuclide Migration in a Heterogeneous Flow Field of a High-Level Radioactive Waste Repository with Multiple Canisters", Nuclear Technology, (in press).
- 3) K. Fujiwara, H. Yamana, T. Fujii, et al., "Solubility of uranium (IV) hydroxide in high pH solution under reducing conditions", Radiochim. Acta, 93, 347, (2005).
- 4) 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, 267, (2005).
- 5) H. Sato, "Measurements on the thermodynamic properties of porewater in sandstone by vapor pressure method", J. Nucl. Sci. Technol., 42(4), 368, (2005).
- 6) 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).
- 7) 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).
- 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).

#### ハ．地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- 1) 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).
- 2) 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).
- 3) 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).
- 4) 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).
- 5) 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)
- 6) 安江, 石井, "北海道北部, 幌延町における大曲 - 豊富断層の正確な位置の特定", 活断層研究, 25, 39-46, (2005).

#### ニ．地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) 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, 147-156, (2005).
- 2) 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, 113-124, (2005).
- 3) 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, 139-146, (2005).
- 4) 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, 157-166, (2005).

- 5) 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, 97-112, (2005) .
- 6) 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) .
- 7) 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, 27-37, (2005) .
- 8) 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, 245-255, (2005) .
- 9) K. Umeda, Y. Ogawa, K. Asamori, et al., “ Aqueous fluids derived from a subducting slab: observed high <sup>3</sup>He emanation and conductive anomaly in a non-volcanic region, Kii Peninsula southwest Japan ”, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 149, pp.47-61, (2006).
- 10) 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, 37-44, (2005) .
- 11) 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).
- 12) 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).
- 13) 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, pp.6, 5-12, (2006).

#### **技術報告書：**

##### **全項共通**

- 1) 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) .
- 2) 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) .
- 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 2 工学技術の開発 ”, JNC TN1400 2005-015, 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 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) .
- 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 - 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) .

##### **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**

- 1) 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) .
- 2) 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) .
- 3) 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 ( ) ”, 核燃料サイクル開発機構, JNC TJ8400 2004-027, (2005) .
- 4) 石原, 千々松, 雨宮, 他, “ 熱 - 水 - 応力 - 化学連成挙動に関する研究 ( ) ”, JNC TJ8400 2004-015, 核燃料サイクル開発機構, (2005) .
- 5) 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 ( ) ”, JNC TN8400 2004-024, 核燃料サイクル開発機構, (2005) .
- 6) 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) .
  - 7) 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) .
  - 8) 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 ( ) ”, JAEA-Data/Code 2006-013, (2006) .
  - 9) 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) .
  - 10) 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) .
  - 11) 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) .
  - 12) 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) .
  - 13) 川村, 牧野, 梅田, 他, “ 高レベル放射性廃棄物処分に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) .
  - 14) 原, “ 堆積岩の水理・物質移行特性に関するデータ取得 - 幌延泥岩の孔径分布・化学組成・空気浸透率 - ”, JAERI-Research 2006-020, (2006) .
  - 15) 石寺, 佐藤, “ 凝灰岩中の  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$  の拡散挙動に及ぼす  $\text{NaNO}_3$  の影響 ”, JNC TN8400 2005-018, 核燃料サイクル開発機構, (2005) .
  - 16) 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) .
  - 17) 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) .
  - 18) 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) .
  - 19) R. C. Arthur, H. Sasamoto, C. Oda, et al., “ Development of Thermodynamic Databases for Hyperalkaline, Argillaceous Systems ”, JNC TN8400 2005-010, (2005).
  - 20) 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) .
  - 21) 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) .
  - 22) 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基本的概念 ”, JAEA-Research 2006-078, (2006) .

#### 八．地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- 1) 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) .
- 2) 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) .
- 3) 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) .
- 4) 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) .
- 5) 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) .
- 6) 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) .
- 7) 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) .



- 8) 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) .
- 9) 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) .
- 10) 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) .
- 11) 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) .
- 12) 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) .
- 13) 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) .
- 14) 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) .
- 15) 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) .
- 16) 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) .
- 17) 大山, 三枝, 尾上, “ローカルスケールにおける地下水流動解析 - ローカ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) .
- 18) 大山, 三枝, 尾上, “ローカ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) .
- 19) 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) .
- 20) 尾上, 三枝, “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) .
- 21) 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) .
- 22) 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) .
- 23) K. Ota, S. Takeuchi, K. Ikeda, et al., “Overview of MIZ-1 Borehole Investigations”, JNC TN7400 2005-024, Japan Nuclear Cycle Development Institute, (2005).
- 24) 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).
- 25) 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) .
- 26) 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) .
- 27) 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) .
- 28) 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) .
- 29) 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).
- 30) 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 TN7400 2005-001, 核燃料サイクル開発機構, (2006) .
- 31) 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) .
- 32) 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) .
- 33) 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) .
  - 34) 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).
  - 35) 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) .
  - 36) 池田, 関根, 堀内, “地下水水位・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) .
  - 37) 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) .
  - 38) 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) .
  - 39) 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) .
  - 40) 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) .
  - 41) 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) .
  - 42) 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) .
  - 43) 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) .
  - 44) 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) .
  - 45) 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) .
  - 46) 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) .
  - 47) 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) .
  - 48) 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).
  - 49) 畑中, “堆積岩に関する地質環境評価手法に関する研究”, 放射性廃棄物安全研究年次計画 (平成 13 年度～平成 17 年度) 研究成果報告集, 原子力安全委員会, 2-2-3, 81-96, (2006) .
  - 50) 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) .

## 二．地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) 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:

#### 二．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, 61-77, 2 sheets, (2005) .

### 国際会議:

#### 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

- 1) 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).
- 2) 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).
- 3) 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).
  - 4) H. Kikuchi, K. Tanai, M. Yui, "Database development of fundamental properties for the buffer material in Japan", GLOBAL 2005, Paper NO.238 (2005).
  - 5) 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).
  - 6) 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).
  - 7) 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).
  - 8) 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).
  - 9) K. Fujiwara, Y. Kohara, T. Mori, "Solubility Product of Tetravalent Neptunium Hydrous Oxide and its Ionic Strength Dependence", Migration 2005, PA1-7, (2005).
  - 10) 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).
  - 11) S. Masuda, H. Kawamura, I. G. Mc Kinley, 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).
  - 12) 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).
  - 13) 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).
  - 14) S. Masuda, H. Kawamura, I.G. Mc Kinley, et al., "Alternative Repository Design Concepts for HLW Disposal -Challenges and Initiatives-", IBC RadWaste Conference, June 14, 2006, London, (2006).
  - 15) 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)
  - 16) 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).

#### 八．地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- 1) 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).
- 2) 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).
- 3) 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).
  - 4) 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).
  - 5) 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).
  - 6) 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).
  - 7) K. Shiraishi, M. Tanaka, T. Matsuoka, et al., "Daylight seismic imaging from a buried point source", SEG 75th Annual Meeting, pp.1265, (2005).
  - 8) 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).
  - 9) 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).
  - 10) 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).
  - 11) 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).
  - 12) 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).
  - 13) 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).
  - 14) 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).

## 二．地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) 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：

#### 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

- 1) 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).
- 2) 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).
- 3) 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) .
- 4) 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, 平成 17 年 9 月 7 日~9 日, (2005) .
  - 5) 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(日本放射化学会誌別冊, vol.6), 3B02, (2005) .
  - 6) 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) .
  - 7) 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) .
  - 8) 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”, 日本原子力学会第 21 回バックエンド部会夏期セミナー, 山形, (2005) .
  - 9) 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, 八戸, (2005) .
  - 10) 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, 八戸, (2005) .
  - 11) 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, 千葉, (2005) .
  - 12) 川村, 牧野, 梅田, 他, “天然現象影響評価に関する検討 - 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-205, 千葉, (2005) .
  - 13) 川村, 梅田, 大澤, 他, “天然現象影響評価に関する検討 - 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, 千葉, (2005) .
  - 14) 川村, 梅田, 牧野, “高レベル放射性廃棄物処分に関わる「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, 札幌, (2005) .
  - 15) 熊本, 下茂, 内田, 他, “堆積軟岩の空隙径分布と透水性の関係”, 土木学会第 60 回年次学術講演会, 新宿, (2005) .
  - 16) 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, 函館, (2005) .
  - 17) 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, 八戸, (2005) .
  - 18) 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, 新宿, (2005) .
  - 19) 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, 新宿, (2005) .
  - 20) 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, 新宿, (2005) .
  - 21) 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, 習志野, (2006) .
  - 22) 石寺, 佐藤, “花崗岩中の Cs<sup>+</sup>, I<sup>-</sup>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) .
  - 23) 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) .
  - 24) 藤原, 小原, “溶媒抽出法による Np( )加水分解定数の測定”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, D08, (2006) .
  - 25) 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) .
  - 26) 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) .
  - 27) 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, 八戸, (2005) .
  - 28) 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) .
  - 29) 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)。
- 30) 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，つくば市，2006年3月7日～9日，(2006)。
- 31) 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，札幌，(2006)。
- 32) 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，名古屋，2006年8月29日，(2006)。
- 33) 大澤，梅木，内藤，他，“高レベル放射性廃棄物地層処分に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，仙台，2006年10月21日，(2006)。

#### 八．地質環境特性調査・評価手法に関する研究

- 1) 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)。
- 2) 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 - 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 - ”，地球惑星科学関連学会2005年合同大会，G018-011，(2005)。
- 3) 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)。
- 4) 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 - 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 - ”，地球惑星科学関連学会2005年合同大会，G018-P002，(2005)。
- 5) 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)。
- 6) 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)。
- 7) 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)。
- 8) 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)。
- 9) 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)。
- 10) 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)。
- 11) 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 - 花崗岩地域での物理探査手法の適用事例 - ”，地球惑星科学関連学会2005年合同大会，G018-P004，(2005)。
- 12) 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 - 地球化学的初期条件の評価 - ”，地球惑星科学関連学会2005年合同大会，G018-P013，(2005)。
- 13) 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)。
- 14) 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)。
- 15) 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 - 施設概要と建設の現状 - ”，地球惑星科学関連学会2005年合同大会，G018-P001，(2005)。
- 16) 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)。
- 17) 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)。
- 18) 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)。
- 19) 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 - 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 - ” , 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-021, ( 2005 ) .
- 20) 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 ) .
- 21) 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 ) .
- 22) 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 ) .
- 23) 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 ) .
- 24) 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 会環境地質学シンポジウム論文集, pp.51-54, ( 2005 ) .
- 25) 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 ) .
- 26) 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 ) .
- 27) 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 ) .
- 28) 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 ) .
- 29) 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 ) .
- 30) 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 ) .
- 31) 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 - 調査研究の進め方 - ” , 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P010, ( 2005 ) .
- 32) 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 - 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 - ” , 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P012, ( 2005 ) .
- 33) 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 ( ) 資源編, pp.153-154, ( 2005 ) .
- 34) 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 ) .
- 35) 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 ) .
- 36) 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 ) .
- 37) 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 ) .
- 38) 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 ) .
- 39) 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 ) .
- 40) 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, - 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 ) .
- 41) 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 ) .
- 42) 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 ) .
- 43) 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 ) .

- 44) 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) .
- 45) 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) .
- 46) 白石, 田中, 松岡, 他, “ 受動的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) .
- 47) 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( )資源編, pp.151-152, (2005) .
- 48) 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) .
- 49) 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) .
- 50) 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) .
- 51) 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) .
- 52) 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 - 水圧破砕法による初期応力測定結果と地質構造 - ”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, G018-P003, (2005) .
- 53) 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) .
- 54) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 55) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 56) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 57) 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) .
- 58) 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 年 10 月, 青森, (2005) .
- 59) 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 年 10 月, 名古屋, (2005) .
- 60) 石井, 安江, 舟木, 他, “ 北海道北部, 幌延地域の新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 年 9 月, 京都, (2005) .
- 61) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 62) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 63) 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 年 10 月, 青森, (2005) .
- 64) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 65) 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 年 7 月, 山形, (2005) .
- 66) 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 年 9 月, 沖縄, (2005) .
- 67) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 68) 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) .
- 69) 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年7月, 函館, (2005)。
- 70) 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年10月, 青森, (2005)。
  - 71) 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年7月, 函館, (2005)。
  - 72) 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年9月, 京都, (2005)。
  - 73) 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年9月, 東京, (2005)。
  - 74) 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年7月, 函館, (2005)。
  - 75) 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年12月, 東京, (2005)。
  - 76) 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)。
  - 77) 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年9月, 旭川, (2005)。
  - 78) 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年9月, 旭川, (2005)。
  - 79) 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年9月, 東京, (2005)。
  - 80) 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年10月, 青森, (2005)。
  - 81) 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年5月, 高知, (2005)。
  - 82) 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年5月, 千葉, (2005)。
  - 83) 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)。
  - 84) 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年5月, 千葉, (2005)。
  - 85) 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年1月, 東京, (2006)。
  - 86) 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年3月, 茨城, (2006)。
  - 87) 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年1月, 東京, (2006)。
  - 88) 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年1月, 東京, (2006)。
  - 89) 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年1月, 東京, (2006)。
  - 90) 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年1月, 東京, (2006)。
  - 91) 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)。

## 二．地質環境の長期的な安定性評価に関する研究

- 1) 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年5月, 千葉, (2005)。
- 2) 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 - 構成岩石からの推定 -”, 日本地質学会第112年学術大会, 155, 京都, (2005)。
- 3) 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年5月, 千葉, (2005)。

- 4) 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 - 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 5) 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 - 紀伊半島南部の鉱床および変質帯 - ”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, J030-005, 2005 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 6) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 7) 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 年 5 月, 東京, (2005) .
- 8) 及川, “ 活発化する長野盆地西縁断層帯 - 長野市富士ノ塔山山頂付近の巨礫を指標として - ”, 日本第四紀学会, 35, 24-25, 2005 年 8 月, 島根, (2005) .
- 9) 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碎帯と断層ガス分布 ”, 日本地質学会第 112 年学術大会, 258, 2005 年 9 月, 京都, (2005) .
- 10) 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 年 9 月, 青森, (2005) .
- 11) 野原, 中田, 鷲谷, 他, “ 地下の活断層の特徴の検討 - 被害地震, 地質構造および地殻変動から推定される特徴 - ”, 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) .
- 12) 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 ) - 地下微生物の酸化還元活性とそのメカニズムについて - ”, 日本地下水学会 2005 年秋季講演会, pp.26-29, 2005 年 10 月, 青森, (2005) .
- 13) 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 年 6 月, 東京, (2005) .
- 14) 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 年 6 月, 東京, (2005) .
- 15) 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 年 6 月, 東京, (2005) .
- 16) 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 年 9 月, 京都, (2005) .
- 17) 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 年 9 月, 京都, (2005) .
- 18) 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 - 地殻変動の特徴 - ”, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 19) 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 年 9 月, 京都, (2005) .
- 20) 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 年 5 月, 千葉, (2005) .
- 21) 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 年 10 月, 札幌, (2005) .

#### Web 公開 :

- 1) 緩衝材基本特性データベースの構築及び Web 公開 (平成 18 年 3 月 30 日)

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

IV. 放射性廃棄物・廃止措置分野 / 高 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 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 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。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】

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。【一部保安院受託】

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】

### 【達成目標】

廃棄物処分の安全評価に係る基本的考え方の構築では、

- ・ 安全評価手法（リスク論的考え方の適用の可能性を含む）評価期間、線量目標値、安全評価シナリオ等安全評価の重要事項を検討、提示

廃棄物処分の安全評価手法の開発では、

- ・ 高 廃棄物（炉内構造物等廃棄物）処分の安全評価手法の整備
- ・ 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、

- ・ 高 廃棄物（炉内構造物等廃棄物）の処分施設におけるバリア機能の性能評価手法の整備
- ・ 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 廃棄物（炉内構造物等廃棄物）の処分施設の安全審査指針は、平成 18 年度までにま

とめることとしており、そ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、安全審査指針を検討するに当たっては、炉内構造物等廃棄物の処分施設の安全規制要件とも関連しており、これらの廃棄物処分に関する研究成果を必要とする。また、最新の技術や成果を安全評価のための基盤情報とし活用する。

#### 【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)  
委託先研究施設

#### 【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・保安院からの特会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所内に設置し、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。余裕深度処分については一部特会運営費交付金事業として行う。

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連携する。また、一部の研究は大学へ委託する。

機構内ではバックエンド推進部門、また、他機関では産業技術総合研究所深部地質環境研究センターと情報交換を行うとともに、(独)原子力安全基盤機構等との連携を一層強化する。

#### 【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 (原子力安全・保安院)

[ 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 (金沢大学)

#### 【研究実施内容及び成果 (平成 17 年度)】

イ．高 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・検討をも含め、隆起・浸食事象による影響を概略的に取りまとめた。

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溶融固化がある。セメントが共存する実際の処分システムで想定されるスラグの溶解挙動を解明し、溶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)。

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 を開発し、コードマニュアルとして公開した。また、TRU 廃棄物に対するクリアランスレベル評価のため、本コードを用いた決定論及び確率論的手法による線量評価を行い、IAEA RS-G-1.7 の規制免除レベルとの比較検討を通して、当該廃棄物のクリアランスレベル試算値を取りまとめた (図 2, 3)。さらに、TRU 廃棄物の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概念に対する濃度上限値を試算した。【保安院受託】

TRU 廃棄物の地層処分については、電気事業者などの関係機関と検討を行い、今後、5年間程度で取り組むべき研究開発課題を取りまとめた。その検討結果に従い、セメント系材料とベントナイトの相互作用及びセメント系材料中での核種移行データなどを取得、整備する課題への取組を開始した。さらに整備済みの核種移行解析コードに汎用化と効率化を図るための改良が施された。

#### 八．ウラン廃棄物の処分に関する研究

ウラン廃棄物に対するクリアランスレベル評価では、開発した PASCLR コードを用いて決定論及び確率論的手法による線量評価を行い、その結果、当該廃棄物のクリアランスレベルは、処分場の跡地利用を想定したシナリオにおける核種流出の条件、及びラドンガス吸入被ばく経路の考慮の有無に大きく依存することが明らかとなった（図 4）。また、ウラン廃棄物について、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概念に対する濃度上限値を試算した。

【保安院受託】

#### 【人員】（上段：安全研究センター、下段：地層処分研究開発部門）

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	3	3	6
	4	5	9
18 年度	2	3	5
	4	5	9

#### 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

成果の活用

[チェック欄]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他（具体的な内容を記述）

[説明欄]

余裕深度処分に関しては、H19 頃と予想されている事業申請の安全審査において活用すべく安全評価手法を整備する。また、その後は、TRU 廃棄物及びウラン廃棄物の処分の基本的考え方の検討が予定されており、整備中のクリアランスレベル及び処分方法ごとの濃度上限値設定に必要な評価手法を用いて解析を行い、基準値策定の検討に資する。

#### 【特記事項】

#### 【研究成果の発表状況】

#### 雑誌掲載論文：

- 26) 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”、*日本原子力学会和文論文誌*、4(4)、242-247 (2005)。
- 27) 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)。

#### 技術報告書：

- 3) 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)。
- 4) 小澤、前田、水野、馬場、中山、堀田、“原子力施設の焼却灰の溶融固化に関する検討”、JAEA-Technology 2006-001 (2006)。
- 5) 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)。

#### 国際会議：

- 6) 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)。
- 7) 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)。
- 8) 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)。

#### 口頭発表：

- 9) 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)。
- 10) 佐々木、武田、木村、“ウラン・TRU 廃棄物の余裕深度処分における濃度上限値評価”、バックエンド部会第 21 回夏期セミナー、山形、2005。
- 11) 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)。
- 12) 日本原子力研究開発機構 安全研究センター、“典型的な評価シナリオを用いた隆起・浸食に伴う線量の試算”、低レベル放射性廃棄物埋設分科会 (第 3 回) 配布資料、平成 17 年 12 月。

#### 受託事業報告書：

- 13) 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。

#### 【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

原子力発電所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、普通の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

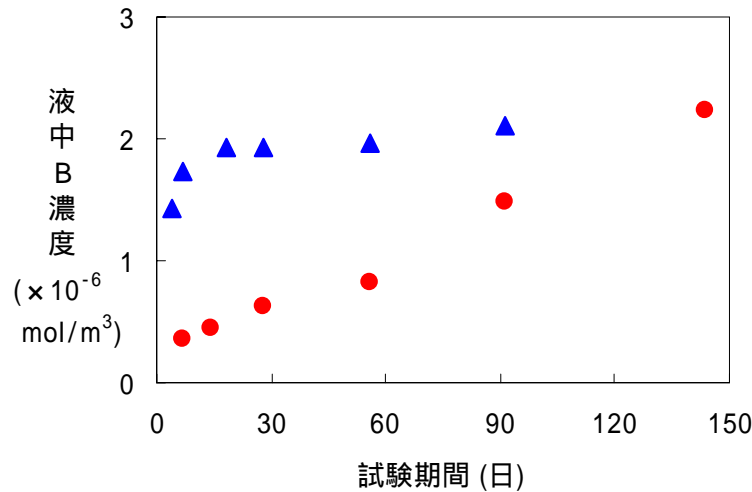


図1 セメントが共存する系( )と共存しない系( )でのスラグ溶解量の時間変化の比較

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 (ホウ素) 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、試験初期でセメント共存系での値と比較すると 5 倍以上大きな値であったが、試験期間が 30 日を超えるとほぼ一定の値 ( $2 \times 10^{-6} \text{ mol/m}^3$ ) になった。一方、セメント共存系でのスラグ溶解量は、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、試験期間 120 日程度で、セメントが共存しない系でのスラグ溶解量と逆転することがわかった。

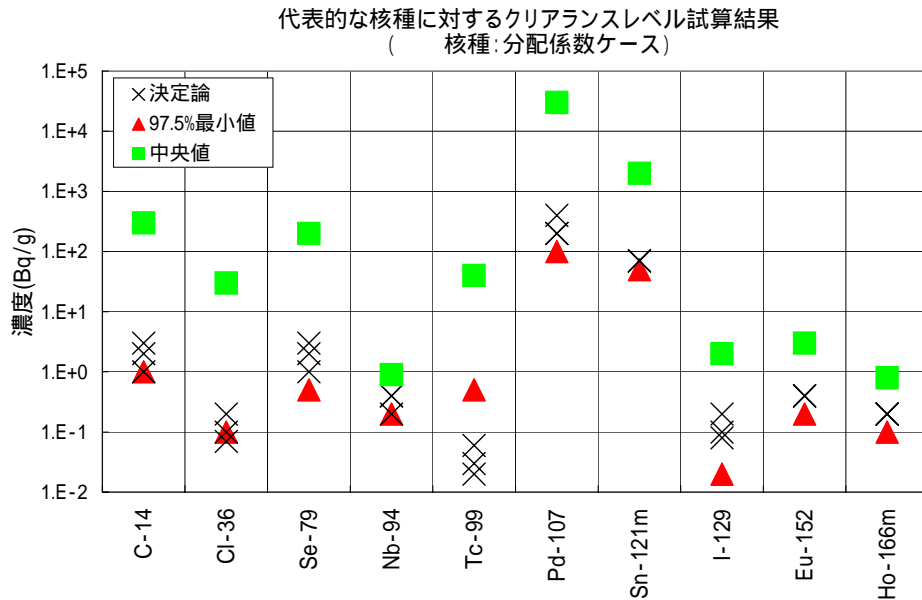


図2 TRU 廃棄物における代表的な核種に対するクリアランスレベル算出結果 (核種)

TRU 廃棄物におけるクリアランスレベル試算に用いた評価パラメータの保守性を検討する必要がある。そこで、モンテカルロ法による確率論的解析を行い、決定論的解析結果との比較からパラメータ不確かさの影響を検討した。決定論的手法による核種に対するクリアランスレベル試算結果が中央値 ~ 97.5% 下限値の範囲内、あるいは 97.5% 下限値の近傍にあり、評価パラメータの保守性を確認した。



代表的な核種に対するクリアランスレベル試算結果  
(核種: 放出係数ケース、流出あり)

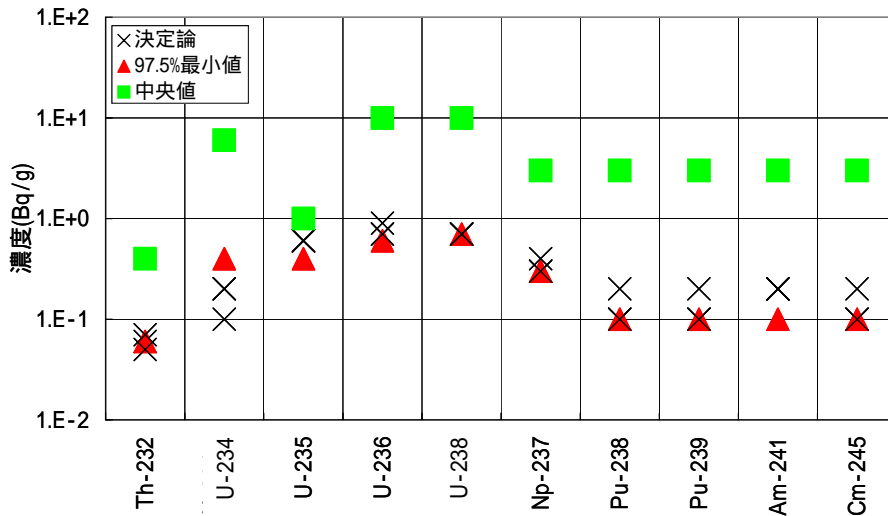


図3 TRU 廃棄物における代表的な核種に対するクリアランスレベル算出結果 (核種)  
核種に対するクリアランスレベル試算結果についても、核種と同様に、確率論的解析によるパラメータ不確かさの影響の評価を行った。その結果、決定論的手法による核種に対するクリアランスレベル試算結果が中央値～97.5%下限値の範囲内、あるいは97.5%下限値の近傍にあり、評価パラメータの保守性を確認した。

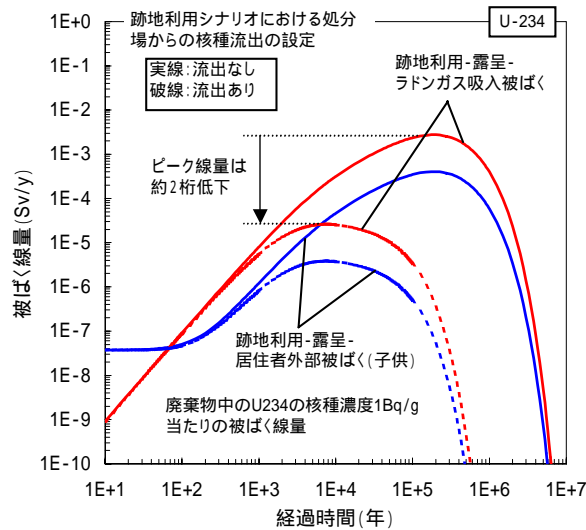


図4 跡地利用シナリオにおける核種流出条件の設定の影響 (U-234)

U-234 に対する決定シナリオは処分場跡地の利用に伴うシナリオ (跡地利用シナリオ) であり、本シナリオ評価における処分場からの核種流出の前提条件 (「流出なし」、「流出あり」) がクリアランスレベルに与える影響を検討した。その結果、処分場からの核種流出の前提条件の違いにより、「流出あり」ケースの方が 2 桁程度低い最大被ばく線量を示す結果になる。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 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計画の進捗に伴い、廃止措置の安全を確保するため安全評価等の研究が必要である。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．発電用原子炉廃止措置基準化調査

国内外原子炉施設の廃止措置情報の収集・分析、また、安全性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制度を踏まえリスクレベルに応じた安全規制のあり方をまとめる。

廃止措置に係る基準との適合性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への影響並びに放射線業務従事者の被ばく線量評価する計算コードを整備する。

原子力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廃棄物を安全・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】

#### ロ．核燃料サイクル施設の廃止措置にかかる調査

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わる安全評価手法をまとめる。【保安院受託】

### 【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、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】

- ・「東海発電所」の本格解体、今後廃止措置が見込まれる「ふげん」及び軽水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 バックエンド技術開発建家  
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)

[ 委託研究名 (委託機関) ]

なし

#### 【研究実施内容及び成果 (平成17年度)】

##### イ．発電用原子炉廃止措置基準化調査

周辺公衆の被ばく線量を評価する計算コード(DecDose)を用いて参考原子力発電所廃止措置時の公衆被ばく線量を計算し、気体状核種の移行割合等の評価パラメータの影響を評価した。また、上記計算コードの機能を拡張し、多様な機器配置に対し職種別の作業者の外部被ばく線量を評価できる手法を整備し、作業員被ばく評価プログラムの第一次版を完成させた(図1)。

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の検討として、可搬型 Ge 検出器による建屋一括測定法の測定試験及び検出特性評価計算を実施し、一括測定法について具体的手法を提示した。また、金属機器及び解体コンクリートに関して核種組成比の設定方法を体系的に整理するとともに、配管、平板、コンクリートブロックを対象に放射線計数値から放射能濃度への換算に利用可能な放射能換算テーブルを整備した。さらに、クリアランス省令を踏まえて放射性核種選択、評価単位の設定やその中の放射能濃度の偏りの問題等について技術調査を実施した。

廃止措置の終了(サイト解放を含む)に関しては、米国・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った。これらの情報に基づいてサイト解放に係わる制度化の枠組みを検討し、技術的検討課題を提示した。

##### ロ．核燃料サイクル施設の廃止措置にかかる調査

原子力機構の再処理特別研究棟及び仏原子力庁 CEA マルクールの再処理工場 UP-1 における除染・解体技術及び廃止措置状況の情報を収集し、核燃料サイクル施設に特徴的な安全確保対策や安全評価手法のあり方を提示した。また TRU 核種を含む解体廃棄物の区分測定のあり方について整理した。

## 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17年度	2	9	11
18年度	2	9	11

## 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

- 計画以上に進捗した。
- 計画どおり進捗した。
- 計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

- 目標どおりの成果が得られる見込み。
- 目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

成果の活用

[チェック欄]

- 現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 学協会基準等への活用が期待できる。
- その他（具体的な内容を記述）

[説明欄]

東海1号炉に続く解体対象とされているふげん発電所の廃止措置安全審査において、整備中の公衆及び従事者の被ばく評価手法を適用する。これまで発電用原子炉のクリアランス制度導入のために蓄積した技術的情報は、国によるクリアランスレベル検認において適用するとともに、TRU 廃棄物及びウラン廃棄物に対するクリアランス制度導入に向けた今後の検討に資する。

## 【特記事項】

クリアランス制度の法制化へ向けた検討作業に技術的資料を提供するとともに、制度導入後も原子力安全・保安院に協力して、クリアランス省令を踏まえての放射性核種選択、評価単位の設定や放射能濃度の偏りの問題等について技術調査を実施。

## 【研究成果の発表状況】

雑誌掲載論文:

技術報告書:

- 1) 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).
- 2) 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).

国際会議:

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

口頭発表:

- 3) 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( )”、同上.
- 4) 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)”、同上.

受託事業報告書:

- 5) 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.
- 6) 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.

委員会報告:

**【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。

図表

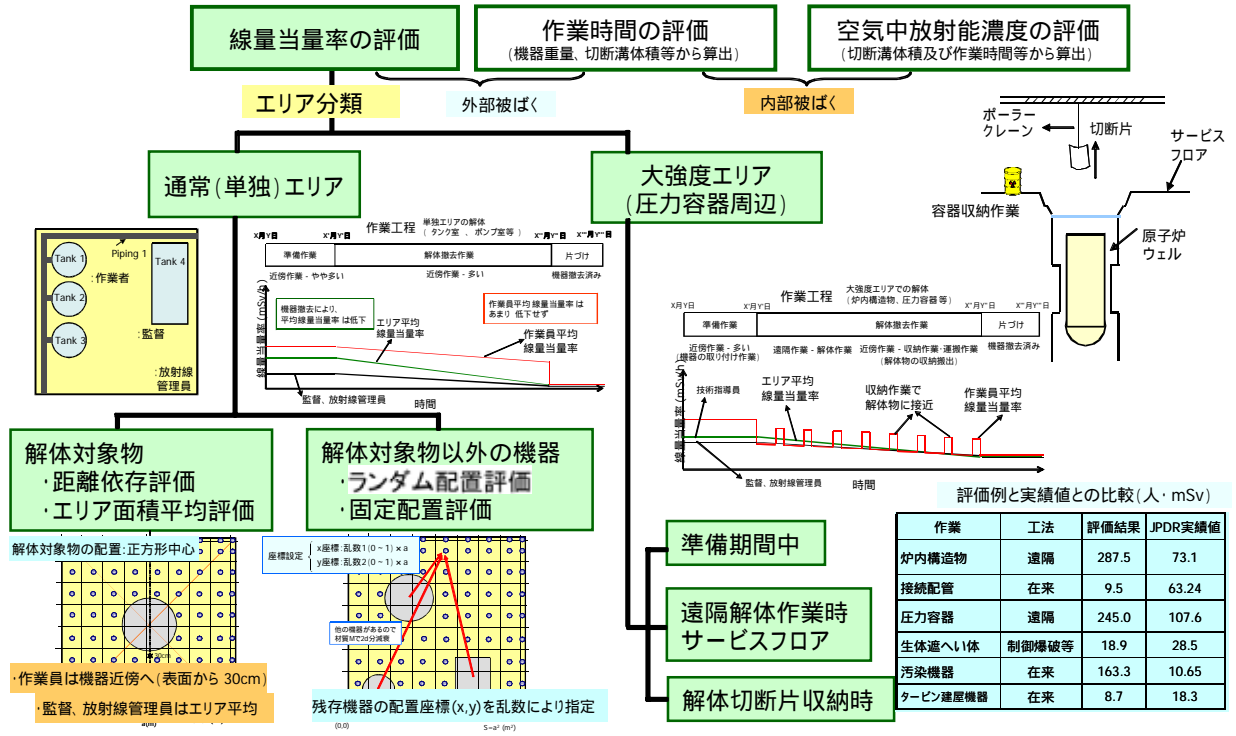


図1 廃止措置のための放射線業務従事者被ばく評価手法の検討

これまでに整備した平常時及び事故時の周辺公衆の被ばく線量を評価する計算コード(DecDose)の機能を拡張し、廃止措置の進捗に伴う工法や作業内容の変化を反映した放射線業務従事者の被ばく線量評価コードの開発に着手した。

放射線業務従事者の外部被ばく線量は、線量当量率と作業時間の積が基本となるが、それらは職種によって異なり、また、各機器からの放射線が相互に影響するため画一的に取り扱うことが困難である。そこで、作業エリアを原子炉周辺の大強度エリアと内蔵放射能量の小さな通常エリアに分類し、それぞれの解体作業の特徴を反映した線量当量率評価モデルを作成した。大強度エリアに対しては、解体の進捗に応じて作業フロアの平均線量当量率が減衰することと、解体した切断片等を作業フロア上で収納する際に切断片に接近することを反映できるようにした。通常エリアに対しては、解体対象物とそれ以外の機器・構造物に区分して、距離依存評価、ランダム配置評価等を用いてそれぞれの影響を反映できるようにした。

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算を実施した結果、一部を除き、概ね評価結果と実績の傾向は一致した。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

・ 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.yoshi tsugu@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溶融検認技術の研究  
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溶融サンプリングによる放射能濃度代表性確認

- ・ 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溶融金属廃棄物の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年度)】

- (1) 原子炉施設の放射能特性評価のために、原子炉施設において原子炉運転中の中性子束分布および原子炉構造材の放射化量を評価する手法を開発した。

その内容は、中性子束分布については、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、各領域の中性子束強度の違いを考慮して評価できるものである。炉心構造材領域では、格子計算コード(WIMS-ATR)により燃料体1体の中性子束分布ならびに炉心管理コード(POLESTER)により炉心内全域の規格化中性子束を求め、両者から炉心構造材領域の中性子束分布を計算評価する。また、遮へい体領域では、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る。

原子炉構造材の放射化量については、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)により放射化放射エネルギーを評価できるものである。

- (2) 原子炉解体時の安全評価においては、原子炉構造材(Zr材)の切断に伴って発生する粉塵の作業環境への移行挙動を明らかにする必要がある。このため、既に実施されている同種の試験に係る公開資料等を調査し、試験装置には、原子炉本体の解体工法に係る検討結果を考慮し、原子炉



本体構造材の水中切断を模擬できる有液面水槽と気中及び水中への粉塵移行量や粉塵粒径、成分等を求める計測系で構成されるものを設置する等を決定した。

- (3) クリアランス検認に関するデータを拡充するため、原子炉施設におけるコンクリートへの汚染浸透に係る文献等の調査、建屋コンクリートのサンプリング分析等の現場調査を行った。サンプリング調査では、原子炉運転中に生成された炭素-14のコンクリート中への浸透汚染の状況を調べると共に、文献調査や解析により浸透メカニズムの検討を行った。また、コンクリートの骨材分離処理試験によってモルタルや骨材中の汚染状況を調べ、炭素-14の汚染はモルタル中に限定されており、骨材への汚染はなく再利用が可能との見通しを得た。

#### 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17年度	3	1	4
18年度			

#### 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

- 計画以上に進捗した。
- 計画どおり進捗した。
- 計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

- 目標どおりの成果が得られる見込み。
- 目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

成果の活用

[チェック欄]

- 現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 学協会基準等への活用が期待できる。
- その他（具体的な内容を記述）

[説明欄]

#### 【特記事項】

自らの施設廃止措置に必要な評価手法やデータの整備を進展させた。

#### 【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 - 」

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

・ 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、反応ジェット伝熱流動現象の解明、急速加熱時の管内伝熱特性の把握、及び新型水リーク検出特性を評価し、高温ラプチャ評価手法の高精度化と機構論的な解析評価手法の開発・整備を進める。また、12Cr 鋼のウェステージ特性を把握し、ウェステージ型破損伝播解析コードを改良する。

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。

#### 八．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試験を実施し、格納系応答解析コード CONTAIN/LMR の改良・検証、及び炉内ソースターム移行解析コード TRACER 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。

#### 二．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- 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。

#### 八．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。

#### 二．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」や実用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 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- 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

## 【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。

### 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 H18 年度前半までに完了し、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・整備を進める。

### ニ．PSA 技術の高度化

ナトリウム冷却高速炉に特有の機器を中心に高速実験炉「常陽」及び高速増殖原型炉「もんじゅ」の機器の運転・故障データ収集を行う。また、国内外の高速炉、軽水炉等の PSA 研究の動向を把握しつつ、「常陽」、「もんじゅ」及び実用化高速炉概念への PSA 手法の適用を通じて PSA 技術の高度化を図る。

## 【関連する共同研究、受託研究等】

### [ 共同研究名 (実施機関) ]

- ・ 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)
- ・ SAS4A/SIMMER-III コード開発に関する日欧共同研究 (仏国 CEA, IRSN、独国 FZK)
- ・ カザフスタン共和国における IGR 炉内試験研究 (EAGLE プロジェクト) (カザフ NNC)
- ・ 炉心安全性向上のための IGR 試験研究 (日本原子力発電(株))

[ 受託研究名 ( 委託元 ) ]

- ・ 現行解析の問題点の抽出と既存試験の分析 ( 東京大学 )

[ 委託研究名 ( 委託機関 ) ]

- ・ 多成分多相流の熱流動現象の数値シミュレーションに関する研究 ( 九州大学 )

**【研究実施内容及び成果 ( 平成 17 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やこれまでに整備したデータを用いた予備評価を行い、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を検討した。

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イ燃焼試験、エアロゾル浮遊空間における輻射減衰測定試験、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、燃焼火炎の放射率の解析評価法に関する成果をまとめた。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>) の反応挙動を調査するための実験も実施し、プール状ナトリウムと CO<sub>2</sub> が火炎を伴う連続的な発熱反応を生じる条件として、ナトリウム初期温度及び CO<sub>2</sub> 温度に閾値的な値が存在することを確認した。( 図 1 )

(2) ナトリウム - 水反応

反応ジェットの流動現象解明と検証データ蓄積のため、最も厳しい大型炉 SG 中リーク条件で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。試験で使用した SWAT-3R 実験装置はループ構造で、ブローダウンを含む管内蒸気流動および管外ナトリウム流動を模擬し、反応容器内部にはヘリカルコイル管束部構造の試験体 ( Mod. 9Cr-1Mo 鋼伝熱管 32 本で 8 層 ) を設置した。試験では、最内層の 1 次破損孔から外側のターゲット管に向けて、水リーク率 1.2kg/s で、余裕をもって 70 秒間注水した。図 2 に管束部でのナトリウム側温度分布図の一例を示す。時刻 15 秒 ( 図 2 左図 ) から、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こと、時刻 20 秒 ( 図 2 右図 ) から、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ことを明らかにした。今後、より詳細なデータ評価と共に、試験体の解体・分析等を実施し、機構論的解析コードのモデル開発・整備に反映する。

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

炉心からの熔融燃料流出を促進する再臨界問題排除概念としての内部ダクト付集合体 ( FAIDUS ) における流出挙動の把握のため、メカニズム解明を狙い模擬物質を用いた可視型基礎試験 ( JAEA 大洗で実施 ) と、実機模擬性の高い実証型の炉内・炉外試験 ( カザフ NNC との共同研究として実施 ) を組合せた試験計画を進めた。これらの流出に関わる試験計画は、H17 年度に完了する目標であったが、炉内の最終試験 ( ナトリウムを使用した 2 回目の炉内試験 ) は H18 年度前半に実施することとなった。

可視型基礎試験の結果、流出挙動に関わる重要知見 ( 流出経路内冷却材の早期排除、冷却材蒸気圧が流出の駆動力となる可能性 ) を得て、この知見に基づき実証型実験の条件を最適化した。また、流出経路の寸法依存性や設計依存性を把握するために試験体形状をパラメータとした試験を実施し、実証型試験の結果と組み合わせることで複数の実機設計オプションに適用するためのデータを得た。

実証型試験については、UO<sub>2</sub> 燃料を IGR を用いて核加熱し熔融させる炉内実験 3 回、及び、電気加熱で燃料模擬物質を熔融させる炉外実験 4 回を実施した。その結果、FAIDUS 型の燃料流出促進経路を有する集合体設計概念の場合に、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チール壁が早期に破れる ) 及び 実機で想定される圧力条件では短時間に流出が期待できるとの見通しを得た。なお、実機模擬性の最も高いナトリウムを用いた炉内実験の 1 回目を H18 年 3 月までに実施し、流出経路内液体ナトリウムの早期排除に裏付けを与えるデータが取得された。今後取得する試験後解体検査データ等を合わせて流出挙動に与えるナトリウムの効果を確認する。2 回目のナトリウム使用炉内試験は H18 年度前

半に実施しており、その結果を合わせて、上記見通しを総合的に確認してゆく予定である。

## (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。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 3 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。

実用化戦略調査研究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、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 4(a) 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 4(b) に short-FAIDUS による燃料流出挙動の SIMMER-III による解析結果を示す。short-FAIDUS を採用した炉心では、炉心の燃料インベントリの 20% 以上が燃料破損開始から数秒で内部ダクトを通して流出することで、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回避を short-FAIDUS によって実現できる見通しを得た。

## 二．PSA 技術の高度化

「もんじゅ」を対象としたアクシデントマネジメントの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 を実施している。平成 17 年度においては、炉心損傷頻度に感度が高いと予測したナトリウム冷却系配管の破損による漏洩事象の発生率を中心に機器故障率を、これまで収集・整備したナトリウム冷却系の機器信頼性データベース CORDS に基づき、最新の故障率パラメータ推定法を用いて定量的に推定した。さらに、アクシデントマネジメントのみならず、より現実的なプラント応答特性を考慮に入れてイベントツリーモデルの構築を行うとともに、定量評価のための重要な解析条件である使命時間、猶予時間を設定し、炉心損傷頻度の概算値及び支配的な要因を明らかにするための試算を実施した。

その結果、炉心損傷シーケンス及びその発生頻度の推定値について以下の見通しを得た。

- ・ これまでに蓄積したナトリウム冷却系の運転時間及び故障件数に基づく、冷却材パウンダリ破損による冷却材漏洩の発生頻度は、小規模な漏洩（例：1995 年にもんじゅで生じた程度の規模）も含む場合、プラント寿命中に想定できないほど低いとは言えず、炉心損傷シーケンスにおいても小規模なナトリウム漏洩が重畳するシーケンスの寄与が支配的である。

また、炉心損傷頻度に支配的な（すなわち高い感度を有する）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以下を整備した。

- ・ 国内外の過去のナトリウム漏洩事例統計データに基づく、漏洩規模に依存した漏洩発生頻度の定量化
- ・ ナトリウム冷却系配管・機器の配置情報に基づき、同一区画内での漏洩ループの識別の困難性を考慮したイベントツリーモデル
- ・ ナトリウム漏洩後の復旧に長期間を要することを考慮した崩壊熱除去失敗評価モデル
  - ・ 起因事象発生頻度と崩壊熱除去中の故障事象の確率を同一データソースから推定する際におけるデータソースの不確かさを適切に考慮したシーケンス発生頻度平均値の簡易評価手順

## 【人員】

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度	21.9	20	41.9
18 年度			

## 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

成果の活用

[チェック欄]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他（具体的な内容を記述）

[説明欄]

本研究を通じて得られる高速炉 PSA の practice は、日本原子力学会標準委員会が策定している PSA 関連の標準改訂時に解説書、附属書等へ反映させることが期待できる。

## 【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) 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)
- 3) 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)
- 4) 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).
- 5) 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).
- 6) Kenji Kamiyama, David J. Brear, Yoshiharu Tobita and Satoru Kondo, “Establishment of Freezing Model for Reactor Safety Analysis,” Journal of Nuclear Science and Technology, (to be printed).

### 技術報告書

- 7) 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)
- 8) 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)

- 9) 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)
- 10) 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)
- 11) 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.
- 12) 二神敏, “ ナトリウム - 水反応ジェットの熱流動特性 - 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)
- 13) 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)
- 14) 豊岡, “ EAGLE プロジェクト中規模炉内試験の予測解析 - SIMMER- コードを用いた 3 次元解析 - (研究報告) ”, JNC TN9400 2005-036, (2005).
- 15) 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

- 16) H. Ishikawa, S. Miyahara, Y. Yoshizawa, “ Experimental Study of Sodium - Carbon Dioxide Reaction, ” Proceedings of ICAPP '05, Paper:5688, Seoul, Korea (2005)
- 17) 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)
- 18) 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)
- 19) A. Vurim, V. Gaidachuk, *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).
- 20) 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).
- 21) 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).
- 22) 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).
- 23) 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).
- 24) 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).
- 25) 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).
- 26) Koji, Morita, Tatsuya Matsumoto, 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).
- 27) M. Sotsu and K. Kurisaka, “ ATWS frequency evaluation of FBR Monju ”, *Proc. of ICONE14*, Miami, USA, July, ICONE14, (2006).
- 28) 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

- 29) 田辺, 宮原, 三宅, “超臨界 CO2 サイクルの発電プラントへの応用と開発の現状 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)
- 30) 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)
- 31) 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).
- 32) 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).
- 33) 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).
- 34) 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).
- 35) 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).
- 36) 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).
- 37) 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.

## 【用語解説】

### 再臨界問題、FAIDUS、short-FAIDUS

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、溶融燃料の運動に依存して燃料の集中化が生じた場合の正の反応度投入による過大な機械的エネルギーの発生が格納系の健全性の脅威となる可能性が心配されてきた（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再臨界問題の排除あるいは回避を掲げた研究を進めている。流出促進型燃料集合体設計は、溶融燃料の全炉心規模での連結・集中化が生じる十分前の集合体規模の溶融段階で炉心外に燃料を流出させる工夫を施した燃料集合体設計を指し、流出を促進するためのダクト状経路を内蔵する種々の設計オプションが検討されている。集合体中心にダクト状経路を設けて溶融燃料を下方向に導くことを狙った FAIDUS 型や、集合体内周辺領域にダクト状経路を設けて溶融燃料を上方向に導くことを狙った short-FAIDUS 型が提案されている。

### 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、試験燃料を溶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溶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

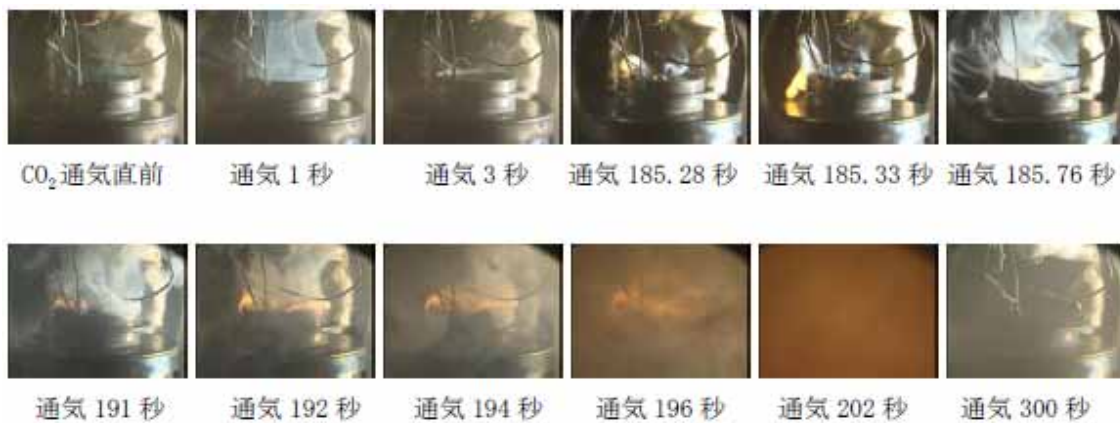
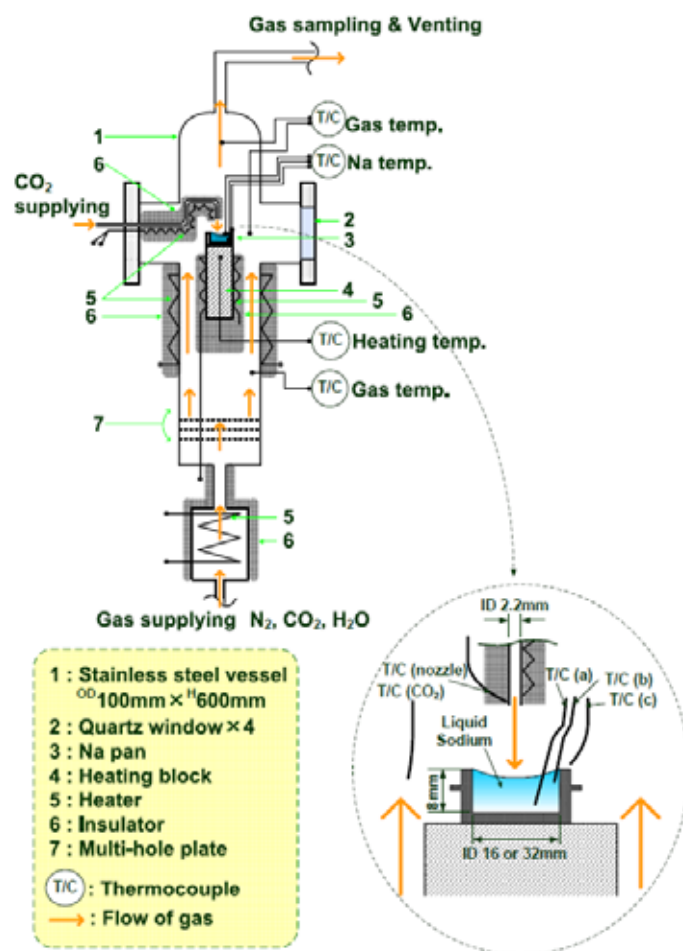


図1 ナトリウム - CO<sub>2</sub>反応実験装置の概要及び反応状況の例  
 (ナトリウム初期温度及び対向流 CO<sub>2</sub> 温度 : 580 °C)

実験は、ステンレス皿に入れた約 1.2 ~ 4.8 g のナトリウムを所定の温度に加熱後、CO<sub>2</sub>ガスを供給したものである。上の写真には、CO<sub>2</sub>通気 180 秒頃からオレンジ色火炎とエアロゾルの発生を伴って連続的な反応が生じた様子を示す。

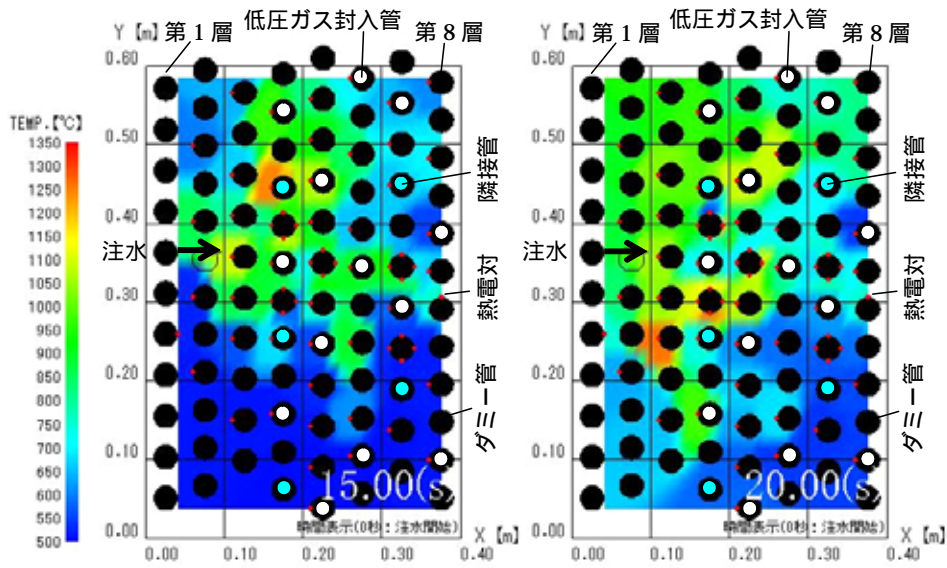


図2. 実験時の温度分布の一例 (時刻 15 秒と 20 秒)

大型炉 SG 条件で最も厳しい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ことが明らかになった。

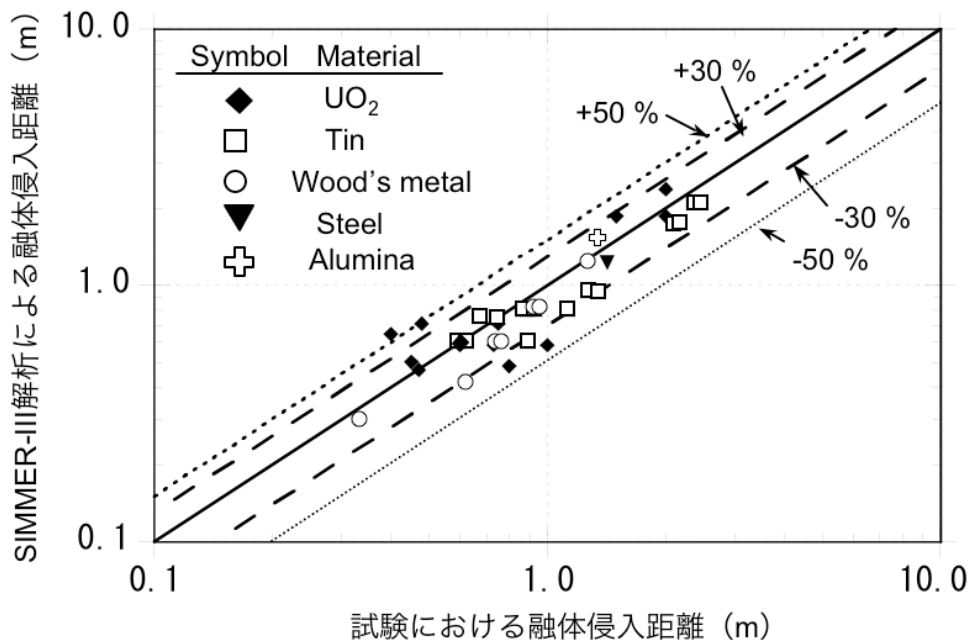


図3 実験における融体侵入距離と SIMMER-III による予測結果の比較 (SIMMER-III コードの閉塞形成挙動モデル改良)

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。

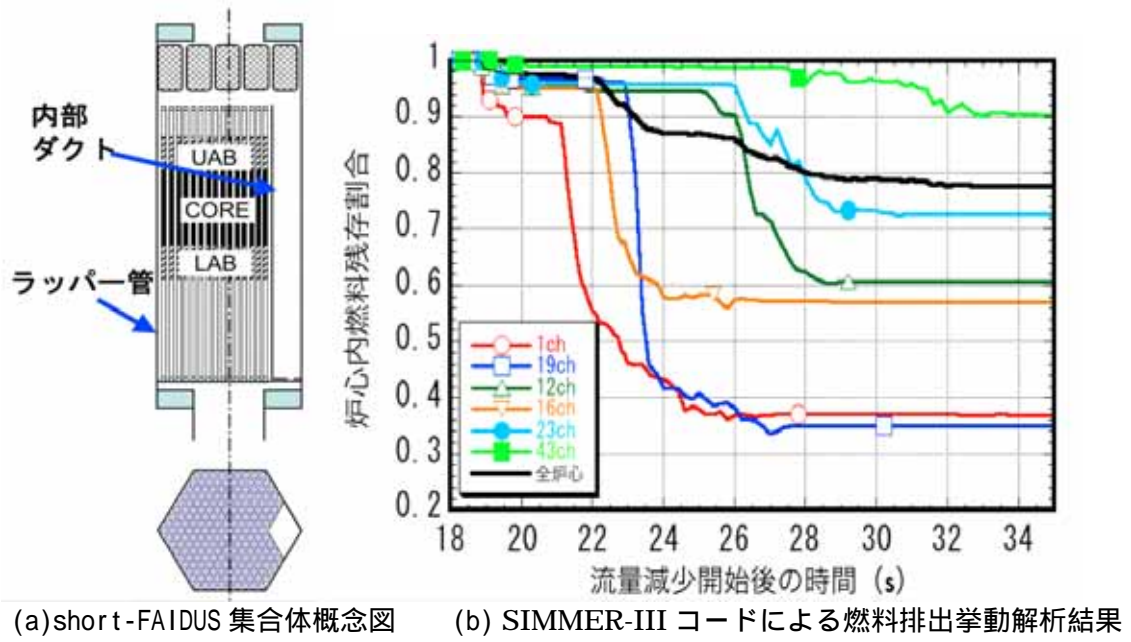


図4 short-FAIDUS による再臨界回避成立性の評価

short-FAIDUS を採用した炉心では、炉心の燃料インベントリの 20%以上が燃料破損開始から数秒で内部ダクトを通して流出することで、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。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

### 【研究分野 / 項目】

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.orihiro@jaea.go.jp

[ 所属 ] 人形峠環境技術センター 安全管理課

[ 氏名 ] 田子 格 (たご いたる)

[ 連絡先 ] TEL:0868-44-2211 (代表) 内線 2700 E-mail:tago.itaru@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・システムの構築を構築する。また、日本海物質循環予測モデルを開発する。環境負荷物質の包括的動態予測モデル・システムの構築を構築する。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。

- 二．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。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。
- 二．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）
- 二．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。
- 二．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．ミセルを利用した環境中有害物質の除去（（独）国立環境研究所）  
グリーン媒体中逆ミセルによる環境負荷物質の抽出（九州大学）  
海洋モデルの妥当性検証に関する研究（（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）
- ロ．なし

八．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）

二．なし

[ 受託研究名（委託元）]

イ．陸面過程モデルに関する研究（3）（三菱重工業（株））

環境動態に係る重金属分析への逆ミセル濃縮法の適用性試験（（株）日産アーク）

下北海域における海洋放射能予測コードの整備（ ）（（財）日本海洋科学振興財団）

ロ．なし

ハ．なし

二．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）]

なし

**【研究実施内容及び成果（平成17年度）】**

イ．大気・陸域・海洋モデルの水循環計算の性能評価を実施し、大気・海洋結合計算の妥当性と地域環境の水収支を概ね再現できることを確認した（図1）。水環境中微量元素の分離濃縮技術を開発するための分配基礎データを取得した。日本海における物質吸脱着モデルを決定するとともに、加速器質量分析装置を用いた海洋中の<sup>14</sup>Cと<sup>129</sup>Iの分析による物質移行基礎データを取得した。また、日本海における核実験フォールアウト起源の人工放射性核種分布マップを始め作成した（図2）。

ロ．前期安全研究において開発した拡散評価コードについて、性能調査項目の把握を進めた。本コードでは、複雑地形上の気流場及び温度場を推定するために、気流推定モデルを導入している。支配方程式は質量保存則、運動量保存則、熱エネルギー保存則である。乱流モデルはk-モデルを採用した。計算した気流場において、乱流エネルギーk及びその散逸率を拡散係数に引き継ぎ、拡散評価モデルでラドンの拡散計算を行う。座標系は複雑な地形を表現するのに適した一般曲線座標系を採用し、有限体積法により離散化している。今期においては、主に計算格子間隔と地表面温度について検討した。

また、跡措置工事の開始された一部鉱山跡地について、環境データの蓄積を継続すると共に、工事開始前の平成14年度から平成16年度までのデータを取りまとめ、解析した（図\*\*）。

なお、平衡等価ラドン濃度の積分測定結果は、前期までの安全研究で開発した機構独自の手法である。今後、措置工事後のデータ蓄積結果と共に、拡散評価コードの妥当性評価に資する。

さらに、主にラドン測定手法の標準化に関して、学会での口答発表及び学術誌での論文発表を行った。

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、小動物簡易モデルを用いた中性子線量分布シミュレーション解析により、エネルギー沈着に寄与する電子、陽子等の割合の中性子エネルギー及び小動物体積依存性を明らかにした。臨界事故時線量計算システムの開発では、臨界事故の線源形状、燃料組成等の設定機能を開発した。日本人成人男性のCT画像を用いて、立位数値ファントムの胴体部を完成させ、臓器線量に対する姿勢の影響を詳細に解析することを可能にした。

二．中性子の飛跡構造計算コードを開発するとともに、陽子線、線によるDNA損傷シミュレーションを進め二本鎖切断収率のLET依存性の基礎データを取得した。鎖切断に対する修復シミュレーションを開始し、一本鎖切断の末端の挙動を明らかにした。

**【人員】**

年度	人員		
	職員	その他	合計
17年度	28.2	9	37.2
18年度	27.2	9	36.2

## 【自己評価】

研究の進捗状況

[チェック欄]

計画以上に進捗した。

計画どおり進捗した。

計画どおり進捗しなかった。

[説明欄]

今後の達成見通し

[チェック欄]

目標どおりの成果が得られる見込み。

目標どおりの成果が得られない見込み。

[説明欄]

成果の活用

[チェック欄]

現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。

学協会基準等への活用が期待できる。

その他（具体的な内容を記述）

[説明欄]

- イ．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．なし
- ハ．国際放射線防護委員会が 2007 年に採択予定の新勧告に対応した最新モデルに基づく線量評価法を開発することにより、我が国の防護基準の策定に資することが期待できる。
- ニ．DNA 損傷・修復研究から得られる知見は、放射線生物影響の線質効果の基礎データ、また生物学的な事象に基づく新しい線量概念を考案する際の基礎データを与える。また生物影響実験データを系統的に解析するための基本的ツールを提供する。

## 【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 - 日本海における放射性核種移行の特徴を解明 - 」(2006 年 2 月 27 日)

## 【研究成果の発表状況】

雑誌掲載論文：

- イ．1) 金庚玉, 李漢洙, 山下隆男; ボーガス低気圧を援用した MM5 と WW3 の結合モデルによる冬季日本海の異常波浪の再現計算, 海岸工学論文集, 第 52 巻(1), p.176-180 (2005)
- 2) 金庚玉, 山下隆男; 1991 年のサイクロンによるベンガル湾の高潮場の再解析 - 波浪・高潮結合モデルによる白波砕波の影響評価 -, 海岸工学論文集, 第 52 巻(1), p.211-215 (2005)
- 3) 山口弘誠, 山下隆男, 金庚玉; メソ気象モデルによる降雨・地上風シミュレーションに及ぼす黒潮海域 SST の影響, 海岸工学論文集, 第 52 巻(1), p.366-360 (2005)
- 4) T. Senjyu, Y. Isoda, T. Aramaki, S. Ootosaka, S. Fujio, D. Yanagimoto, T. Suzuki, K. Kuma and K. Mori; Benthic Front and the Yamato Basin Bottom Water in the Japan Sea, J. Oceanogr., Vol.61, p.1047-1058 (2005)
- 5) H. Nagai; Incorporation of CO<sub>2</sub> exchange processes into a multiplayer atmosphere- soil-vegetation Model, J. Appl. Meteor., Vol.44, p.1574-1592 (2005)



- 6) A. Furuno, M. Chino, A. Okuta, T. Watanabe, M. Matsumura and Y. Suzuki; Development of a numerical simulation model for long-range migration of rice planthoppers, *Agric. Forest Meteor.*, Vol.133, p.197-209 (2005)
- . 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)
- 八 . 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).
- 二 . 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).

#### 技術報告:

- イ . 1) 印貞治, 島茂樹, 中山智治, 石川洋一, 外川織彦, 小林卓也, 川村英之; 下北沖海域における海況予報システムの構築, *月刊海洋*, Vol.37, No.9, p.674-680 (2005)
- 2) H. Terada and M. Chino; Development of a long-range atmospheric transport model for nuclear emergency and its application to the Chernobyl nuclear accident, *Proceedings from the 2nd International Conference on Radioactivity in the Environment*, p.15-18, Nice, France, October 2-6 (2005)
- 3) K.G. Kim and T. Yamashita; Wind-wave-surge coupled model: Application to storm surge simulation in the Bay of Bengal, *Proceedings (CD-ROM) of the International Symposium on Fluvial and Coastal Disasters*, Kyoto, Japan, December 1-2 (2005)
- 4) 伊藤集通, 乙坂重嘉; 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 ( ), 第 47 回環境放射能調査研究成果論文抄録集, p.59-60, 文部科学省 (2005)
- 5) O. Togawa, T. Ito, T. Kobayashi, S. Otosaka and T. Suzuki (eds.); Japan Sea expeditions for studies on water circulation and transport processes of radionuclides, *JAEA-Research 2006-004* (2006)
- 6) 鈴木崇史, 北村敏勝, 甲昭二, 外川織彦, 木下尚喜, 天野光; 加速器質量分析装置ヨウ素ラインの性能, *JAEA-Technology 2006-018* (2006) 津田, 遠藤, 山口. "中性子吸収線量測定用の人体組織等価材料の開発", *JAEA-Research 2006-010*, (2006).
- . なし
- 八 . 1) 津田, 遠藤, 山口. "中性子吸収線量測定用の人体組織等価材料の開発", *JAEA-Research 2006-010*, (2006).
- 2) 遠藤. "放射線防護・医学分野で用いられる放射性核種崩壊データベースの開発", *RIST News*, **40**, 19 (2005).
- 二 . 1) 渡邊, "放射線 DNA 損傷の飛跡構造シミュレーションに基づく研究", *放医研シンポジウムシリーズ「放射線の個体影響--機構研究からのアプローチ」*, pp97, (2005).
- 2) Kinase, S. Watanabe, R. and Saito, K., "Specific absorbed fractions for photon and electron to a simple stomach model considering stem cells", *KEK Proceedings 2005-10* (2005).

## 国際会議：

- イ . 1) H. Terada and M. Chino; Development of a long-range atmospheric transport model for nuclear emergency and its application to the Chernobyl nuclear accident, The 2nd International Conference on Radioactivity in the Environment, Nice, France, October 2-6 (2005)
- 2) H. Nagai, T. Kobayashi, K. Tsuduki and K.G. Kim; Coupled atmosphere, land-surface, hydrology, ocean-wave, and ocean-current models for mesoscale water and energy circulations, The 11th Conference on Mesoscale Processes, Albuquerque, USA, October 24-29 (2005)
- 3) K.G. Kim and T. Yamashita; Wind-wave-surge coupled model: Application to storm surge simulation in the Bay of Bengal, The International Symposium on Fluvial and Coastal Disasters, Kyoto, Japan, December 1-2 (2005)
- 4) T. Matsunaga and S. Nagao; Role of the association with colloidal material in the transport of actinides in surface aquatic environments, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Honolulu, Hawaii, December 15-20 (2005)
- 5) H. Amano, S. Kabuto, N. Kinoshita, T. Suzuki and T. Kitamura; Status of JAEA Mutsu Tandatron AMS facilities, The 1st East Asian Symposium on Accelerator Mass Spectrometry, Tsukuba, Japan, January 26-28 (2006)
- 6) S. Otsuka, O. Togawa, T. Tanaka, H. Amano and M. Minagawa; Deep sea circulation of particulate materials in the Japan Sea, The AGU 2006 Ocean Sciences Meeting, Honolulu, Hawaii, February 20-24 (2006)
- 7) T. Kobayashi, S. Otsuka and O. Togawa; Three-dimensional modelling of the tidal dispersion of radionuclides in the Irish Sea, The AGU 2006 Ocean Sciences Meeting, Honolulu, Hawaii, February 20-24 (2006)
- . 1) Y. Ishimori, Y. Maruo, Radon exhalation rate monitoring in/around the closed uranium mine sites in Japan. Eds Sugahara, T., Sasaki, Y., Morishima, H., Hayata, I., Sohrabi, M., Akiba, S., High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects; Proceeding of the 6th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, held in Osaka, Japan, 6-10 September 2004, 291-292, (2005)
- 2) Y. Yasuoka, T. Ishii, T. Sanada, W. Nitta, Y. Ishimori, et al : Measurement of Radon Concentration in Water Using Direct Dpm Method of Liquid Scintillation Counter, High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects, Eds., T.Sugahara et al, Proceedings of 6th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, Osaka, 6-10 September 2004, International Congress Series 1976, Elsevier, 299-300, (2005)
- 八 . 1)K. Saito, K. Sato, S. Kinase, et. al. "Dose calculation using Japanese voxel phantoms for diverse exposures". The Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic Computing World, Chattanooga, USA, April 17-21(2005).
- 2)F. Takahashi, A. Endo and Y. Yamaguchi. "A system utilizing Monte Carlo calculation method for precise assessment of dose distribution in human body in radiation accidents", The 50th Annual Meeting of the Health Physic Society, Spokane, USA, July 10-14 (2005).
- 二 . 1)SCHYMAN, P., DAHLBERG, M., PINAK, M., BUNTA, J., LYUBARTSEV, A., KOROLEV, N., LOHIKOSK, R., ERIKSSON, L. and LAAKSONEN, A. "Modeling, manipulating, damaging and repairing DNA in a computer," Theoretical Biophysics Symposium "TeoBio-05", Orebro, Sweden, June 28-July 1, (2005).
- 2)KOTULIC BUNTA, J., LAAKSONEN, A., NEMOTO, T. and PINAK, M., "DNA strand break – structural properties studied by molecular dynamics simulation," 4<sup>th</sup> European Conference on Computational Biology, Madrid, Spain, September 28-October 1, (2005).
- 3)KOTULIC BUNTA, J., PINAK, M. and SAITO, K., "Radiation Damage in DNA: Computational Study of the Strand Breaks," The 1<sup>st</sup> Asian Congress of Radiation Research, Hiroshima, Japan, November 16-17, (2005).
- 4)R. Watanabe, H. Nikjoo, "Simulation of clustered DNA damage including base damage using Monte Carlo track structure methods," 14th international symposium on microdosimetry, Venezia, Italy, Nov., (2005).
- 5)A. Urushibara, N. Shikazono, R. Watanabe, K. Fujii, P. O'Neill, A. Yokoya, "Clustered DNA damage induced by helium ions of different LET," 14th international symposium on microdosimetry, Venezia, Italy, Nov., (2005).

- 6) A. Yokoya, K. Fujii, T. Ushigome, N. Shikazono, A. Urushibara, R. Watanabe, "Yields of soft X-ray induced strand breaks and base lesions in plasmid DNA." 14th international symposium on microdosimetry, Venezia, Italy, Nov., (2005).
- 7) K. Akamatsu, K. Fujii, Y. Kobayashi and R. Watanabe, "Difference of DNA damage induced by ultrasoft X-rays around oxygen K-edge from that by Co-60 gamma-rays," 14th international symposium on microdosimetry, Venezia, Italy, Nov., (2005).
- 8) KINASE, S., TAKAGI, S., NOGUCHI, H. and SAITO, K., "Application of Voxel Phantoms and Monte Carlo Method to Whole-body Counter Calibration," IM2005 April 11-15, Vienna (2005).
- 9) Kinase, S., Watanabe, R. and Saito, K., "Specific absorbed fractions for photon and electron to a simple stomach model considering stem cells," The 1st Asian congress of radiation research, November 15-17, Hiroshima, (2005).

口頭発表:

- イ. 1) 鈴木崇史, 北村敏勝, 甲昭二, 天野光, 伴場滋, 磯貝啓介; 環境試料中の  $^{129}\text{I}$  測定 - 加速器質量分析法と中性子放射化分析法の比較, 第 8 回ヨウ素利用研究国際シンポジウム, 千葉 (2005 年 10 月)
- 2) 永井晴康, 小林卓也, 都築克紀, 金庚玉; 大気・海洋・波浪・陸面・水文結合モデルの開発, ワークショップ「気候変動と気象水災害」, つくば (2005 年 11 月)
- 3) 金庚玉, 李漢, 山下隆男; ボーガス低気圧を援用した MM5 と WW3 の結合モデルによる冬季日本海の異常波浪の再現計算, 海岸工学講演会, 青森 (2005 年 11 月)
- 4) 金庚玉, 山下隆男; 1991 年のサイクロンによるベンガル湾の高潮場の再解析 - 波浪・高潮結合モデルによる白波砕波の影響評価, 海岸工学講演会, 青森 (2005 年 11 月)
- 5) 山口弘誠, 山下隆男, 金庚玉; メソ気象モデルによる降雨・地上風シミュレーションに及ぼす黒潮海域 SST の影響, 海岸工学講演会, 青森 (2005 年 11 月)
- 6) 古野朗子, 山澤弘実, 茅野政道; 放出現推定手法の開発, 日本気象学会 2005 年度秋季大会, 神戸 (2005 年 11 月)
- 7) 伊藤集通, 乙坂重嘉, 川村英之; 日本海における人工放射性核種の蓄積量の見積もり, 環境科学シンポジウム - むつからのメッセージ, むつ (2005 年 11 月)
- 8) 乙坂重嘉; 日本海における粒子状物質の輸送過程, 環境科学シンポジウム - むつからのメッセージ, むつ (2005 年 11 月)
- 9) 川村英之, 小林卓也, 広瀬直毅, 伊藤集通, 外川織彦; 日本海における海洋環境評価システムの構築, 環境科学シンポジウム - むつからのメッセージ, むつ (2005 年 11 月)
- 10) 松浦康孝, 中山智治, 印貞治, 賀佐信一, 島茂樹, 小林卓也, 外川織彦, 石川洋一, 淡路敏之; SEA-GEARN によるピキニ環礁周辺における核実験の北太平洋への影響の試算, 環境科学シンポジウム - むつからのメッセージ, むつ (2005 年 11 月)
- 11) 鈴木崇史, 北村敏勝, 磯貝啓介, 伴場滋, 片山淳, 桑原潤, 坂本信也, 外川織彦, 天野光; JAEA-Mutsu における加速器質量分析装置を用いた  $^{129}\text{I}$  応用研究, 環境科学シンポジウム - むつからのメッセージ, むつ (2005 年 11 月)
- 12) 伊藤集通, 乙坂重嘉; 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 ( ), 第 47 回環境放射能調査研究成果発表会, 東京 (2005 年 12 月)
- 13) 乙坂重嘉, 皆川昌幸, 乗木新一郎; 西部北太平洋および日本海における粒子輸送と微量元素サイクル, 東京大学海洋研究所共同利用研究集会, 東京 (2006 年 1 月)
- 14) 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, つくば (2006 年 1 月)
- 15) 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, つくば (2006 年 1 月)
- 16) M. Jayappa, T. Kozaki, N. Kozai and S. Sato; A new method for Fe(II)-montmorillonite preparation using Fe(II)-nitrilotriacetic acid, The 2006 Annual Meeting of the Atomic Energy Society of Japan, Oarai (March, 2006)
- 17) 下条晃司郎, 長縄弘親, 久保田富生子, 後藤雅宏; イオン液体を媒体とした多座配位型抽出剤 TPEN による金属イオンの抽出特性化学工学会第 71 年会, 東京 (2006 年 3 月)
- 18) 下条晃司郎, 長縄弘親, 久保田富生子, 後藤雅宏; イオン液体を抽出媒体とした多座配位子 TPEN による金属イオンの抽出挙動日本化学会第 86 春季年会, 船橋 (2006 年 3 月)

- 19) 小林卓也, 外川織彦; 海洋環境評価システムの検証 ( ) アイリッシュ海における  $^{137}\text{Cs}$  の長期拡散シミュレーション, 日本原子力学会 2006 年春の年会, 大洗 (2006 年 3 月)
- 20) 外川織彦; 日本海におけるロシアの廃棄物投棄及び原子力潜水艦の臨界事故, 日本原子力学会 2006 年春の年会, 大洗 (2006 年 3 月)
- 21) 石川洋一, 淡路敏之, 印貞治, 中山智治, 松浦康孝, 島茂樹, 豊田隆寛, 小林卓也, 外川織彦, 川村英之; 六ヶ所沖現況解析・海況予報システムの構築について ( ) 北西太平洋データ同化システム 2006 年度日本海洋学会春季大会, 東京 (2006 年 3 月)
- 22) 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, 豊田隆寛; 六ヶ所沖現況解析・海況予報システムの構築について ( ) 2003 年ハインドキャスト実験 2006 年度日本海洋学会春季大会, 東京 (2006 年 3 月)
- ロ . 1) 石森有, 阪元重康, 飯田孝夫, 山崎敬三, 石川徹夫, ラドン標準線源による測定器校正手法の検討, 日本保健物理学会第 39 回研究発表会要旨集, (2005)
- ハ . 1) 遠藤, 山口, K.F. Eckerman. “線量計算用放射線核種崩壊データ DECDC2 の開発”, 日本保健物理学会第 39 回研究発表会, 六ヶ所村, 6 月 (2005).
- 2) 高橋, 遠藤, 山口. “体内生成 Na-24 量に基づく臨界事故時迅速線量評価システムの開発”, 日本保健物理学会第 39 回研究発表会, 六ヶ所村, 6 月 (2005).
- 3) 津田, 遠藤, 山口. “中性子線量測定用物理ファントムの開発”, 日本原子力学会 2005 年秋の年会, 八戸, 9 月 (2005).
- 4) 高橋, 遠藤. “放射線事故時の詳細線量解析システムの開発”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, 大洗, 3 月 (2006).
- 5) 佐藤, 野口, 江本, 古賀. “膜状臓器におけるベータ線吸収割合に対するボクセルスライス厚の影響”, 日本原子力学会 2006 年春の年会, 大洗, 3 月 (2006).
- ニ . 1) KOTULIC BUNTA, J., PINAK, M. and SAITO, K., “Molecular Dynamics Simulations of DNA Single and Double Strand Breaks,” The 6<sup>th</sup> Big Tsukuba seminar (The 1<sup>st</sup> Ibaraki University Molecular Dynamics Seminar), Daigo-machi, Ibaraki, Japan, January 6-7, (2006).
- 2) PINAK, M., “Radiation and non-radiation damage to DNA: onset of molecular instability and carcinogenesis. Theoretical explorations on DNA damage and repair,” The 7<sup>th</sup> Environmental radioactivity workshop, KEK, Tsukuba, Japan, March 7-9, (2006).

#### 【用語解説】

##### 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 . なし

##### 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人体モデル。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、人の CT や MRI 画像データを用いてモデル化するため、現実の人体に非常に近い構造のモデルを作成することができる。

##### ニ . 飛跡構造計算

放射線が電離・励起を起こして物質にエネルギーを与える様子を詳細にシミュレーションする計算である。DNA 損傷等の放射線影響初期過程の解明に用いられる。

図表

イ.

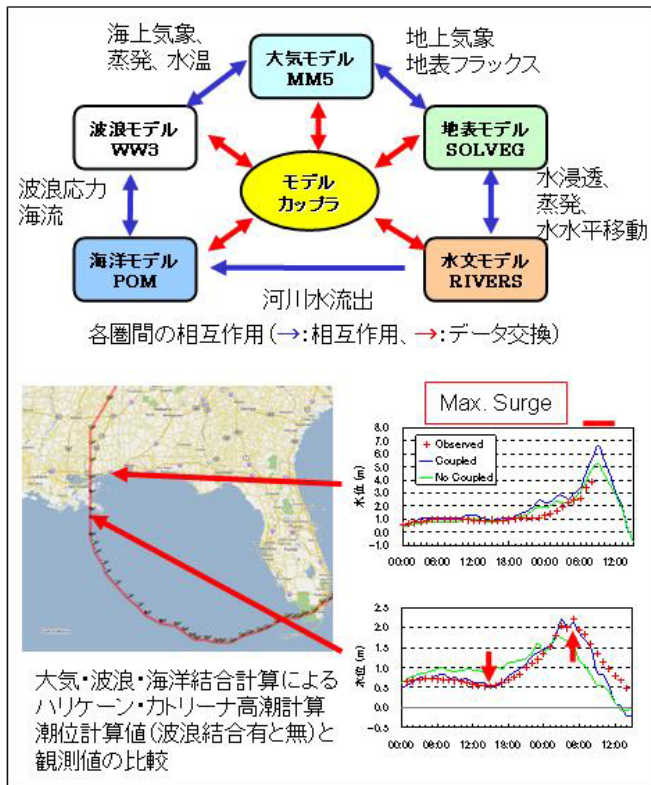


図 1 大気・陸域・海洋モデルにおける水循環計算の構成、及びハリケーン・カトリーナの実測データによる大気・海洋結合計算の妥当性検証

大気と陸域及び海洋の境界モデルも含めた 5 モデルダイナミック結合の複雑な水循環計算が 1 ヶ月以上の長期間を計算対象としても安定して実行でき、地域環境の水収支を概ね再現できることを確認した。大気・海洋間相互作用の妥当性を評価するために、2005 年 8 月のハリケーン・カトリーナによる高潮の再現計算を実施し、大気・海洋・波浪結合モデルは海面水位観測値を良好に再現した。ここで、波浪モデルを用いない計算では水位変化を完全に再現できないことから、波浪モデルの重要性が確認できた。

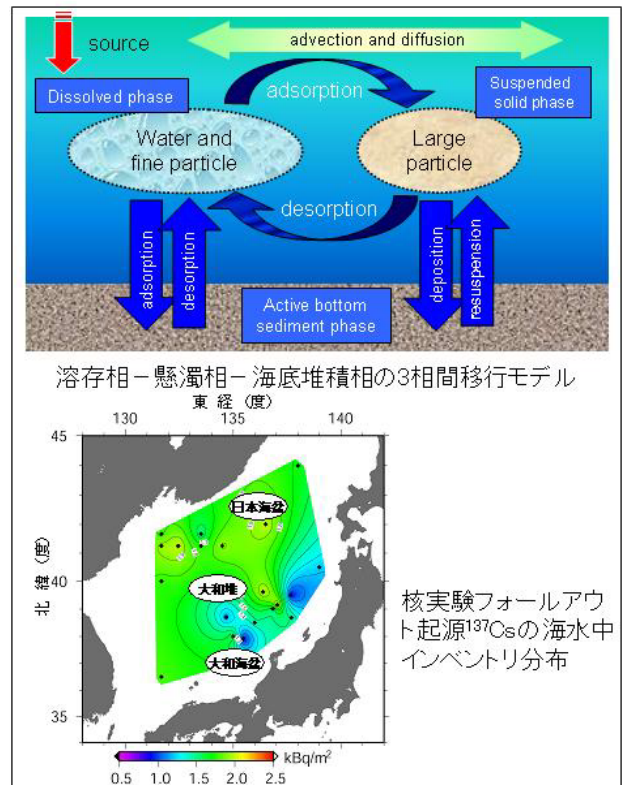


図 2 3 相間の放射性核種移行を考慮した日本海における物質吸脱着モデル、及び日本海における人工放射性核種分布マップ

これまで実施した海洋調査の知見等に基づいて、溶存相 - 懸濁相 - 海底堆積相の 3 相間移行を考慮した日本海における物質吸脱着モデルを決定した。また、これまで得られたデータを解析し、日本海における核実験フォールアウト起源の放射性核種分布マップを初めて作成した。この結果、日本海盆では表層の放射性核種の中・深層への沈み込みにより中・深層での存在量は大きくなり、大和海盆では日本海盆に比べて中・深層での存在量が小さい傾向が見られた。

□ .

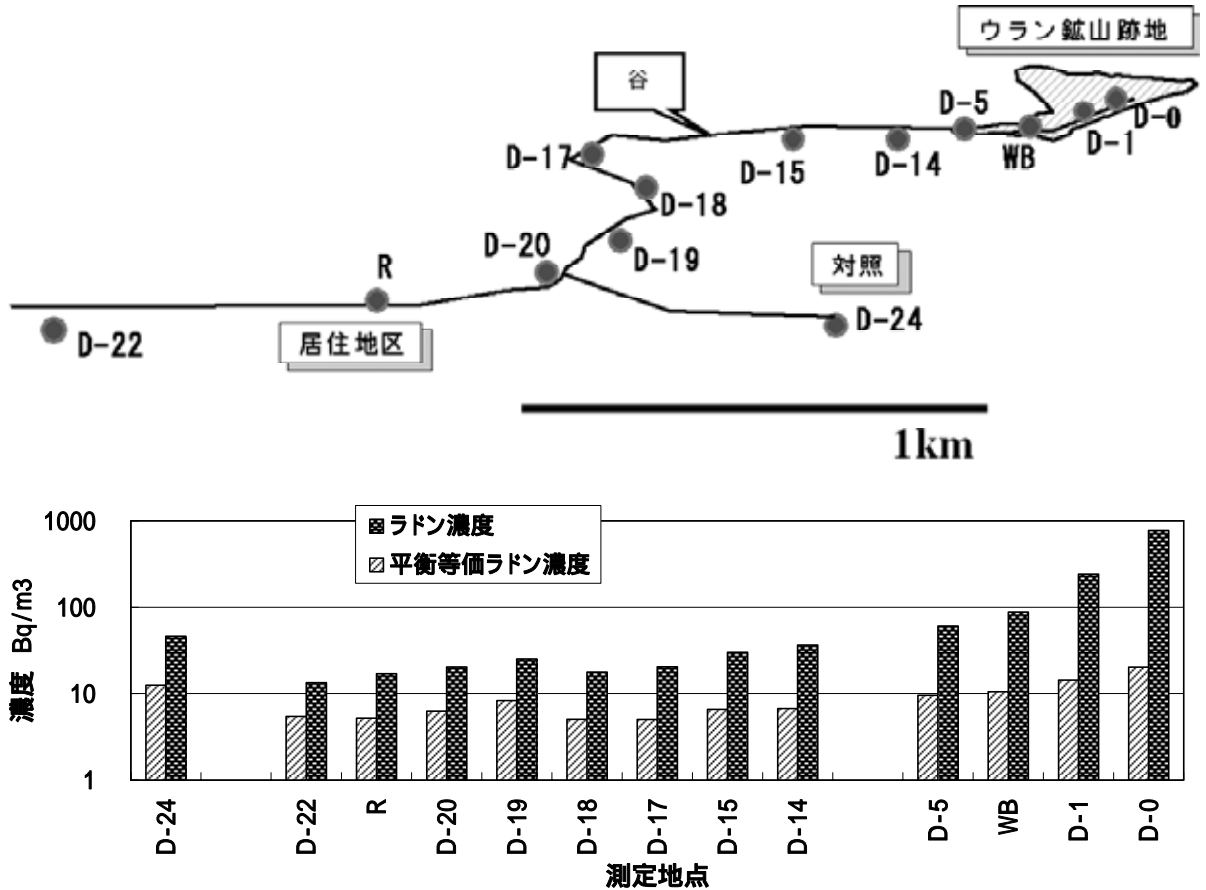


図3 鉱山跡地周辺のラドン濃度及び平衡等価ラドン濃度の積分測定結果

八 .

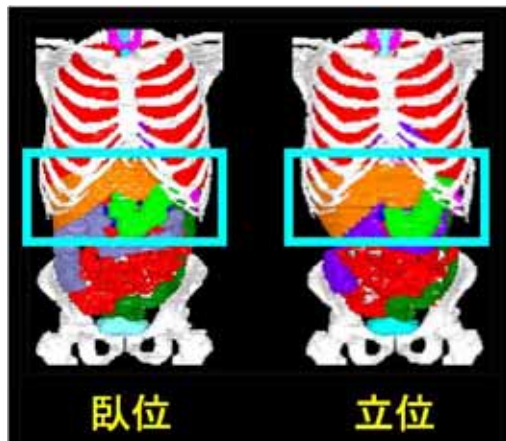


図4 臥位姿勢と立位姿勢による臓器形状の違い

立位姿勢の日本人成人男性の全身精密ボクセルファントムをCT画像データに基づき開発した。既に開発した臥位姿勢（仰向けに寝た姿勢）と比較すると、立位姿勢では肝臓、胃が重力によって脚方向に下がっている（図中の で囲った部分）。両姿勢のファントムを用いることで、姿勢が線量評価に及ぼす影響を解明することが可能になった。

## 重点安全研究成果調査票（平成 17 年度）

**【研究分野 / 項目】**

・ 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 : 81-6862 E-mail : homma.toshimitsu@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

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

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】

**【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) ]

[ 受託研究名 ( 委託元 ) ]

- ・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 )

[ 委託研究名 ( 委託機関 ) ]

なし

**【研究実施内容及び成果 ( 平成 17 年度 )】**

イ . 防災計画策定の支援に関する研究

緊急事態の準備と対応に関する国際原子力機関 ( IAEA ) の安全要件や諸外国のガイド等を調査 ( 図 1 ) すると共に、我が国の軽水炉に対するレベル 2PSA 結果を整理し ( 図 2 )、防災指針見直しのための技術的・専門的事項の検討課題として、緊急時対応の基本的考え方、防護対策のための指標の定義、屋内退避、避難や安定ヨウ素剤予防服用等の実施範囲及び実施時期等の防護措置戦略を抽出した。

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検討に着手し、避難の判断のための環境条件及び主要な防護指標を明らかにすると共に、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となる線量係数に関するデータベースを整備した。

**【人員】**

年度	人員		
	職員	その他	合計
17 年度 イ , ロ ハ	2	1	3
18 年度			

**【自己評価】**

研究の進捗状況

[ チェック欄 ]

- 計画以上に進捗した。
- 計画どおり進捗した。
- 計画どおり進捗しなかった。

[ 説明欄 ]

今後の達成見通し

[ チェック欄 ]

- 目標どおりの成果が得られる見込み。
- 目標どおりの成果が得られない見込み。

[ 説明欄 ]

成果の活用

[ チェック欄 ]

- 現行の安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 新しい安全規制、指針・基準及び安全審査等への活用が期待できる。
- 学協会基準等への活用が期待できる。
- その他 ( 具体的な内容を記述 )

[ 説明欄 ]

現在、原子力安全委員会で防災指針の見直しが検討されているが、本成果はその技術的基礎情報として活用される。



## 【特記事項】

特になし

## 【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 131I Released from Hanford," *Journal of Environmental Radioactivity*, 84, 211 (2005).
- 2) K.M. Thiessen, T. Homma, et al., "Model testing using data on 137Cs 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) .

### 技術報告書：

- 4) 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 ) .

### 口頭発表：

- 5) 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).
- 6) 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).

### 受託事業報告書：

- 7) 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 .
- 8) (独)原子力安全基盤機構受託報告書, 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 .

### 委員会報告：

- 9) 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 .
- 10) 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 .
- 11) 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 .

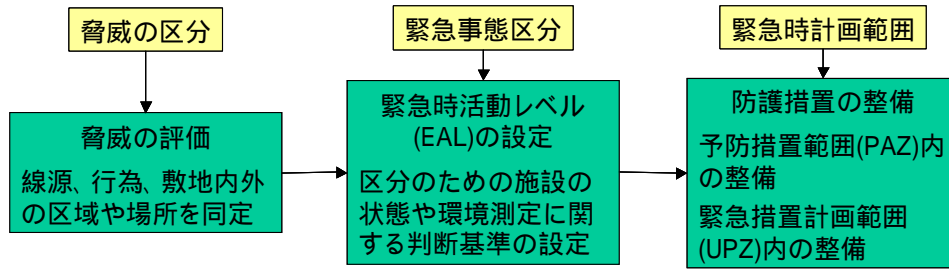
## 【用語解説】

### 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

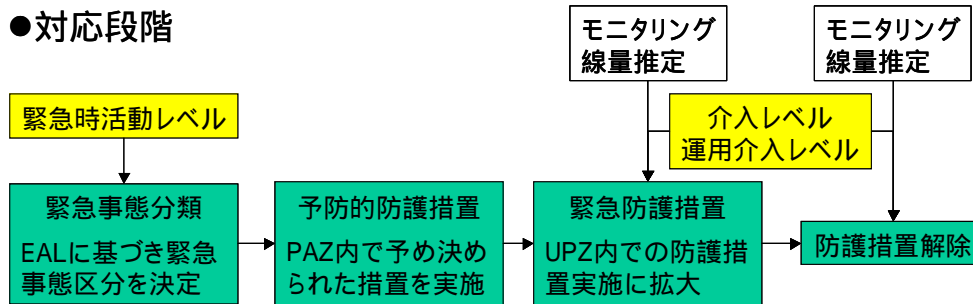


図1 IAEAの緊急事態準備と対応の基本的考え方

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。

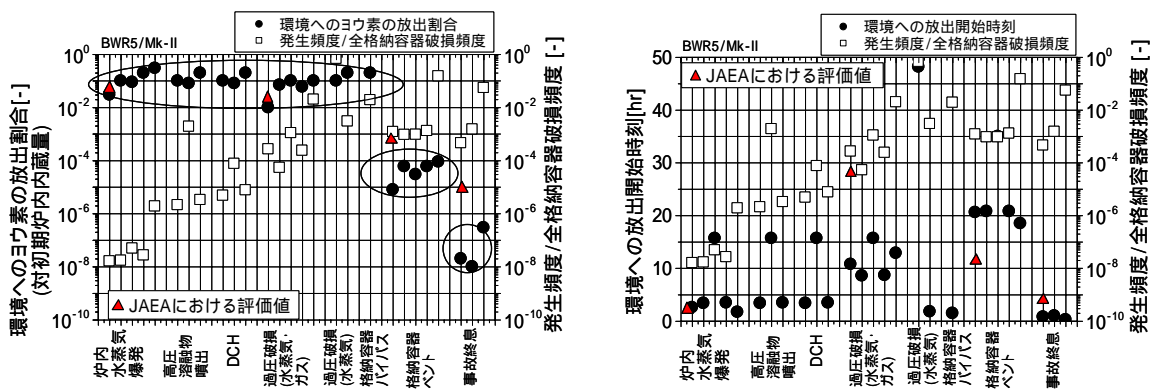


図2 様々な事故シナリオにおけるヨウ素放出量と放出開始時刻の関係

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。