

**地層処分基盤研究開発における  
平成19年度の成果  
— 工学技術開発について —**

**平成20年3月5日**

**地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット  
ニアフィールド研究グループ  
内藤 守正**

## 前回のコメント:工学技術分

- 成果の提示について,
  - ✓ 銅の腐食のように個々の成果ではなく、システムとしての成果を提示してほしい
  - ✓ 材料の情報提供は、他の人が判断できるレベルのものでないといけない
  - ✓ 代替技術オプションなど、ある程度絞ったうえで提示する必要があるのではないか
  - ✓ 実施主体の判断材料となるような成果の出し方とすべき
  - ✓ 設計は、使用する側が選択・判断すべきものであり、JAEAは材料やオプションを提供するのが役割

# 知識ベース(工学技術)への反映のまとめ①

■:平成19更新・新規、■:平成19実績なし、■:未着手

分類の例	知識ベースに反映する成果の例
データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オーバーパック腐食データベース【オーバーパック】</li> <li>・緩衝材基本特性データベース【緩衝材】</li> <li>・閉鎖材料及び性能に係るデータベース【シーリング】</li> <li>・低アルカリ性コンクリートの材料特性データベース【支保】</li> <li>・原位置で確認すべき操業・閉鎖技術項目【操業・閉鎖】</li> <li>・緩衝材/岩盤応力連成評価に用いるパラメータ等のデータベース【緩衝材の長期力学的変形挙動】</li> <li>・緩衝材流出・侵入データベース【緩衝材の流出・侵入挙動】</li> <li>・岩盤長期力学変形挙動に関わる物性データベース【岩盤の長期力学変形挙動】</li> <li>・熱-水-応力-化学連成挙動評価用データベース【熱-水-応力-化学連成挙動】</li> <li>・透気特性(岩盤・緩衝材)データベース【ガス移行挙動】</li> </ul>
ドキュメント	各種公開技術資料, レビュー報告書
ソフトウェア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材/岩盤応力連成モデル【緩衝材の長期力学的変形挙動】</li> <li>・緩衝材侵入現象モデル【緩衝材の流出・侵入挙動】</li> <li>・岩盤長期力学変形挙動予測モデル【岩盤の長期力学変形挙動】</li> <li>・熱-水-応力-化学連成モデル【熱-水-応力-化学連成挙動】</li> <li>・ガス移行-応力連成モデル【ガス移行挙動】</li> </ul>

# 知識ベース(工学技術)への反映のまとめ②

■:平成19更新・新規、■:平成19実績なし、■:未着手

分類の例	知識ベースに反映する成果の例
経験・ノウハウ (方法論など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道掘削段階において得られる情報を基にした、処分場設計の考え方や設計手法【URLにおける適用性検討】</li> <li>・概念オプションの成立性や実現性関わる技術基盤情報【工学技術オプション】</li> <li>・オーバーバック腐食評価手法【オーバーバック】</li> <li>・オーバーバック材料・材質選定及び設計・製作手法【オーバーバック】</li> <li>・標準化した緩衝材膨潤応力等の測定手法(土木学会と連携予定)【緩衝材】</li> <li>・緩衝材の設計基準に関わる基盤情報及び設計の考え方【緩衝材】</li> <li>・閉鎖設計の基本的な考え方と閉鎖要件【シーリング】</li> <li>・低アルカリ性コンクリート配合選定方法【支保】</li> <li>・低アルカリ性コンクリート施工管理基準【支保】</li> <li>・グラウト材料の長期評価手法【グラウト】</li> <li>・グラウト施工技術【グラウト】</li> <li>・地質環境データを基にした設計用物性値設定の考え方【建設】</li> <li>・情報化施工システム【建設】</li> <li>・人工バリア等の長期安全性の観点からの品質管理の考え方【品質管理】</li> <li>・人工バリア等に係わる性能保証データの計測技術【品質管理】</li> <li>・降水/海水条件での緩衝材/岩盤応力連成解析パラメータ設定方法の考え方【緩衝材の長期力学的変形挙動】</li> <li>・緩衝材長期変質挙動評価手法【緩衝材の長期変質挙動】</li> <li>・緩衝材の安全機能に対する変質が及ぼす影響評価手法【緩衝材の長期変質挙動】</li> <li>・ベントナイトコロイド生成条件【緩衝材の流出・侵入挙動】</li> <li>・岩盤長期力学変形挙動解析パラメータ設定の考え方【岩盤の長期力学変形挙動】</li> <li>・熱-水-応力-化学連成データ計測技術【熱-水-応力-化学連成挙動】</li> <li>・ガス移行解析パラメータ設定方法の考え方【ガス移行挙動】</li> <li>・人工バリアの限界条件【人工バリアのせん断応答挙動】</li> <li>・人工バリアのせん断応答挙動解析パラメータ設定方法の考え方【人工バリアのせん断応答挙動】</li> </ul>
統合化した知識	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道掘削段階において適用した施工方法や対策工法の適用事例及び留意点【URLにおける適用性検討】</li> <li>・ナチュラルアナログに関する統合データ【オーバーバック】</li> </ul>
ガイダンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質環境に応じた処分場設計要件【URLにおける適用性検討】</li> </ul>
プレゼンテーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数値実験技術【熱-水-応力-化学連成挙動】</li> </ul>

# 国の全体計画における工学技術の開発の枠組み

## 1. 処分場の総合的な工学技術

- ◆URLにおける適用性検討
- ◆工学技術オプション

## 2. 処分場の設計・施工技術

- ◆人工バリア  
オーバーパック(ナチュラルアナログ含む), 緩衝材
- ◆支保・グラウト・シーリング  
シーリング, 支保(低アルカリ性セメント), グラウト
- ◆建設・操業・閉鎖等の工学技術  
建設技術, 操業技術, 閉鎖技術, 品質管理

## 3. 長期健全性評価技術

- ◆緩衝材  
長期力学的変形挙動, 緩衝材の長期変質挙動, 緩衝材の流出・侵入挙動
- ◆岩盤の長期力学変形挙動/長期変質挙動
- ◆熱-水-応力-化学連成挙動
- ◆ガス移行挙動
- ◆人工バリアせん断応答挙動

## 平成19年度年度計画(地層処分関係抜粋)

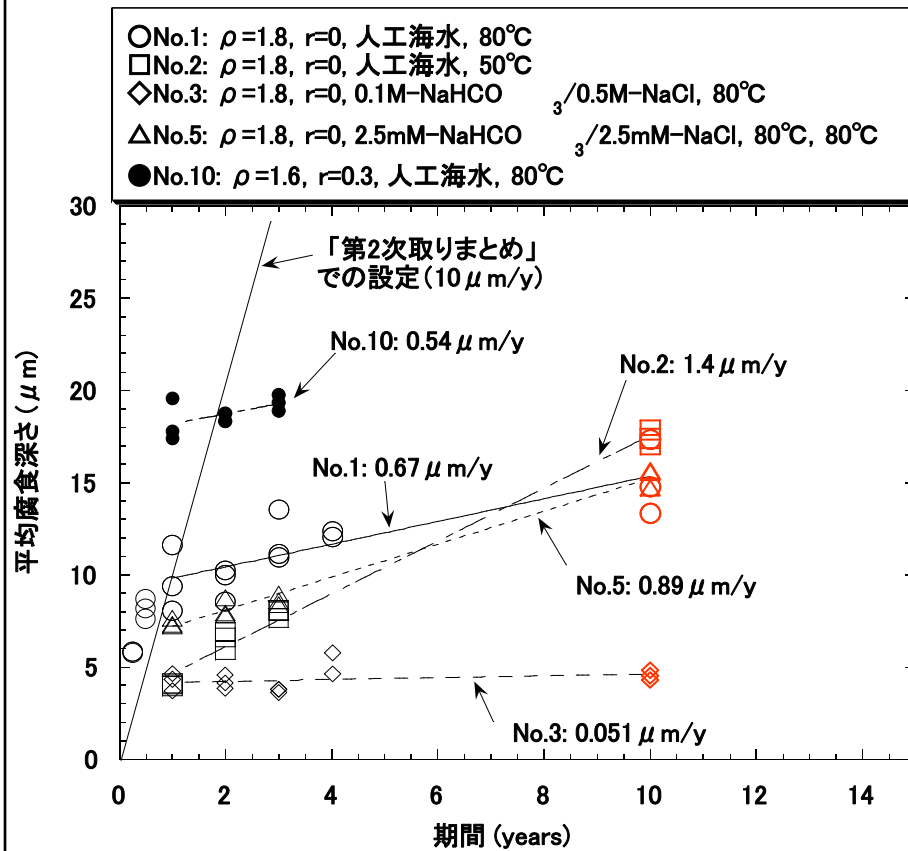
- 処分場の設計や安全評価の信頼性を向上させるため、地層処分基盤研究施設や地層処分放射化学研究施設等を活用して、人工バリア等の長期挙動や核種の溶解・移行等に関するモデルの高度化、基礎データの拡充、データベースの開発を進め、①オーバーパックに関する10年間の長期腐食試験データ及び②人工バリア材料に係るナチュラルアナログデータの取りまとめを行うとともに、③様々な処分場概念(設計オプション)に共通する重要課題を抽出・整理する。
- 深地層の研究施設等における実際の地質環境条件を考慮して、重要シナリオの抽出及び不確実性を考慮した性能評価の方法論を検討し、その適用例を示す。さらに、④幌延深地層研究所で得られた地質環境データを用いて、掘削による影響を考慮した水-化学連成挙動の解析結果を提示するとともに、⑤低アルカリ性コンクリートの現場施工試験におけるセメントの配合選定例等を提示する。

## 平成19年度年度計画において 設定した工学技術の成果目標

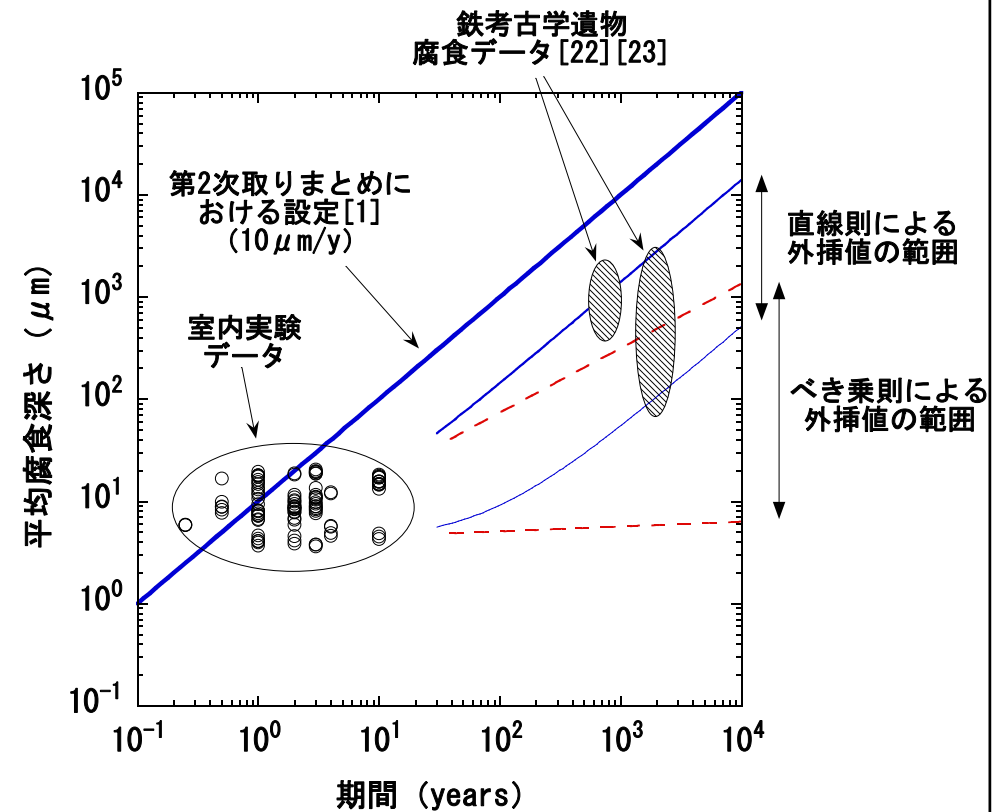
- ① オーバーパックに関する10年間の長期腐食試験データ
- ② 人工バリア材料に係るナチュラルアナログ・データ
- ③ 様々な処分場概念(設計オプション)に共通する重要課題の抽出・整理
- ④ 幌延深地層研究所で得られた地質環境データを用いて、掘削による影響を考慮した水-化学連成挙動の解析結果の提示
- ⑤ 低アルカリ性コンクリートの現場施工試験におけるセメントの配合選定例の提示

# ① オーバーパックに関する10年間の長期腐食試験データ

## 試験結果

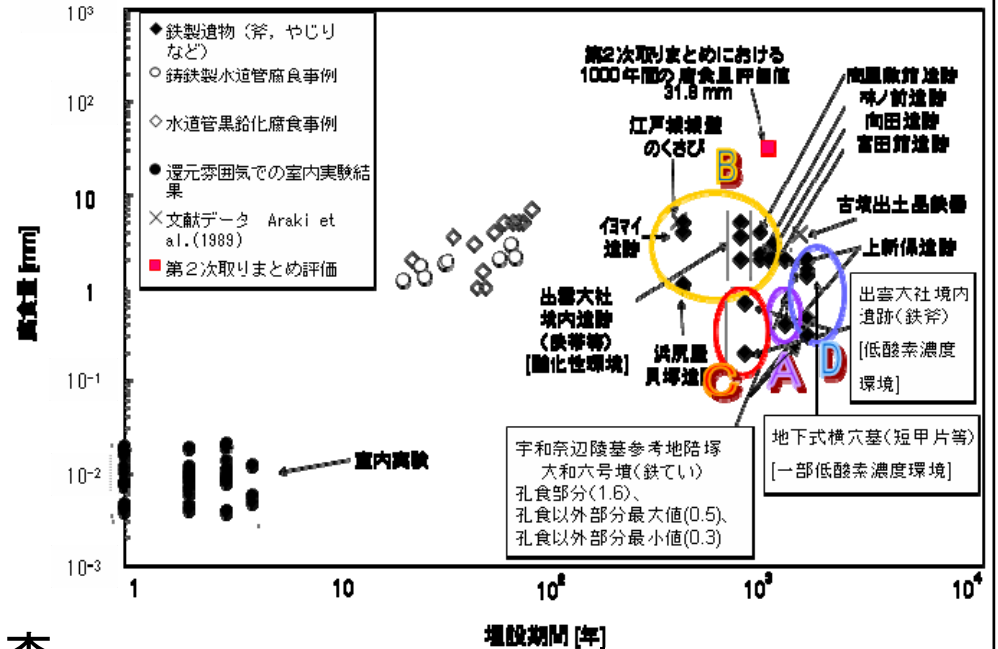
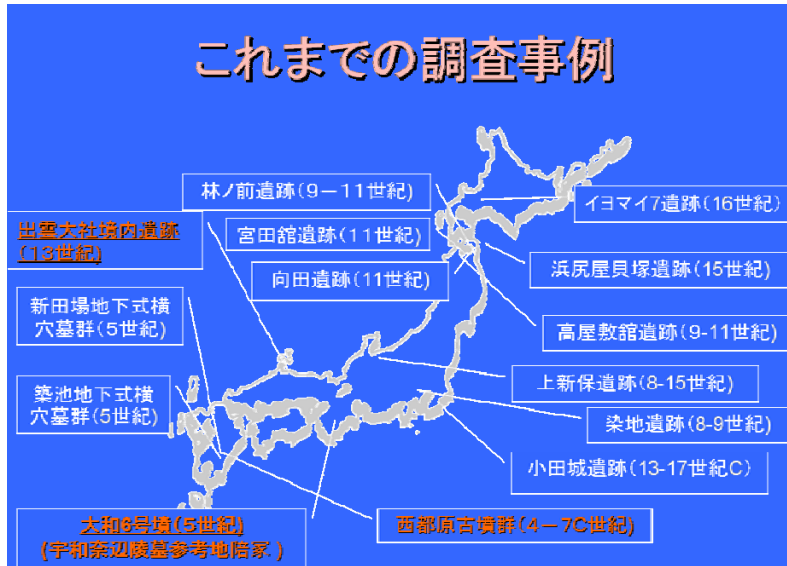


## 腐食評価





## ②人工バリア材料に係るナチュラルアナログ・データ



全国14遺跡から約40試料の鉄腐食量調査

腐食状況を4タイプに分類

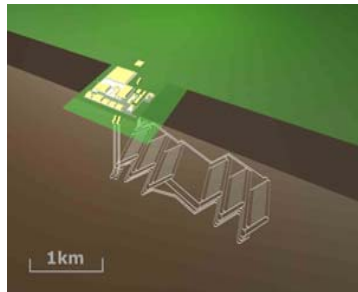
⇒ 処分環境での鉄長期腐食の傍証となるのはC,Dタイプ

- 低酸素濃度環境下(タイプC,D)のデータは、第2次取りまとめの1000年後の評価値を超えず最大でも2mm

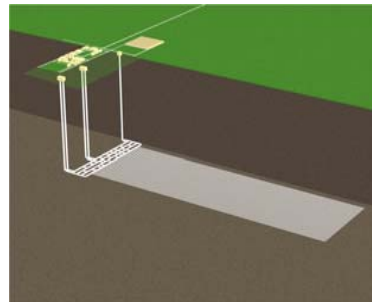
# ③ 様々な処分場概念(設計オプション)に共通する重要課題

## a) 地下施設レイアウト

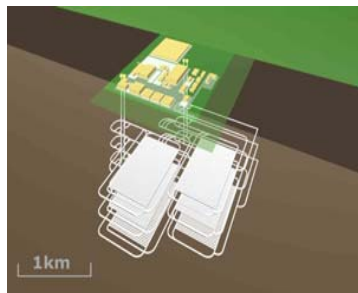
単一パネル方式  
(第2次取りまとめ)



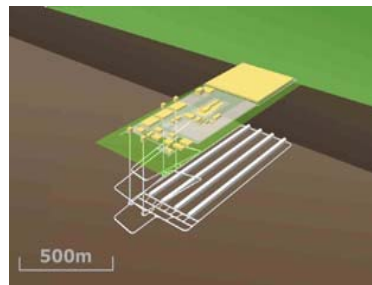
長坑道処分方式



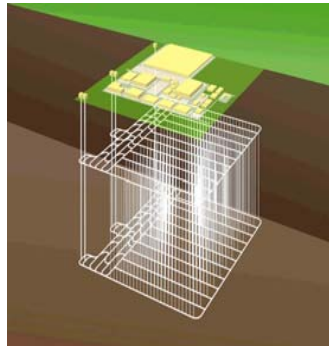
多層パネル方式



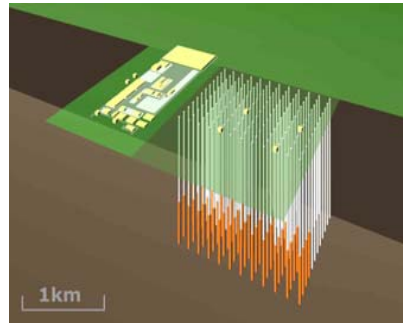
サイロ型処分方式



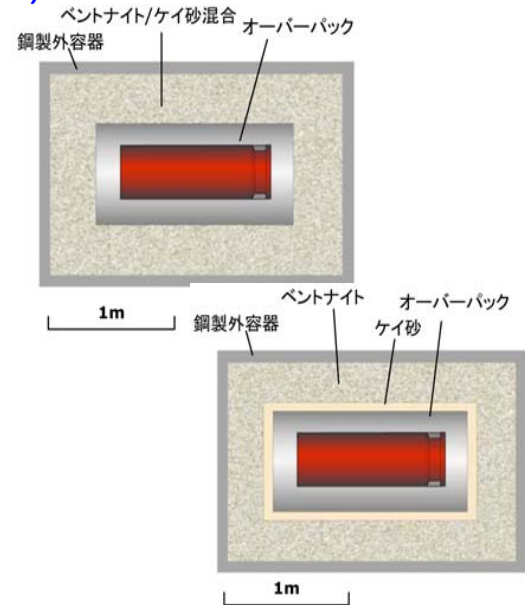
採鉱型処分孔方式



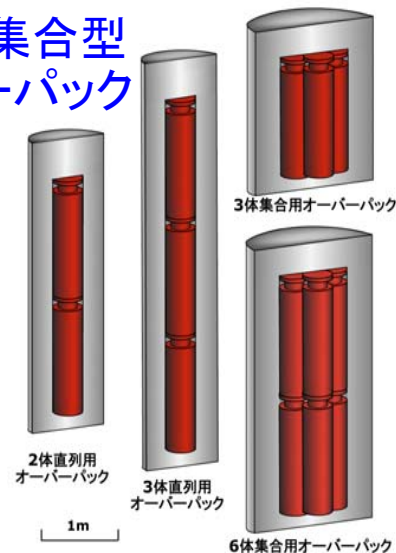
深孔処分方式



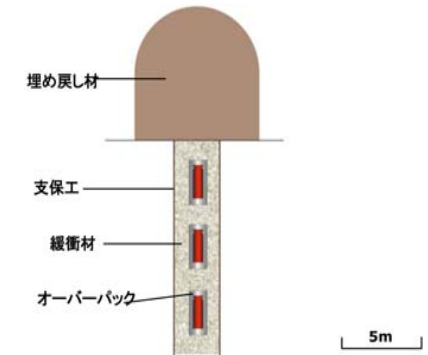
## b) プレハブ型人工バリア



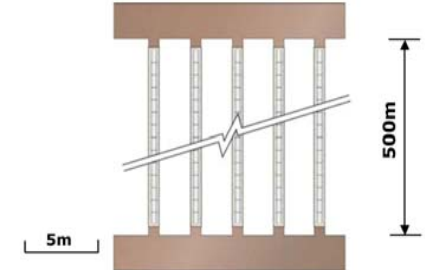
## c) 廃棄体集合型 オーバーパック



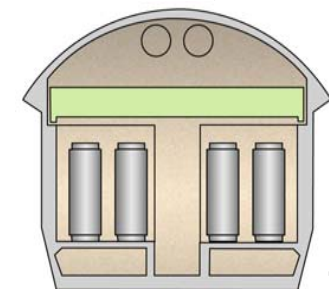
## d) 廃棄体定置方式 廃棄体多段処分孔方式



## 採鉱型処分孔方式

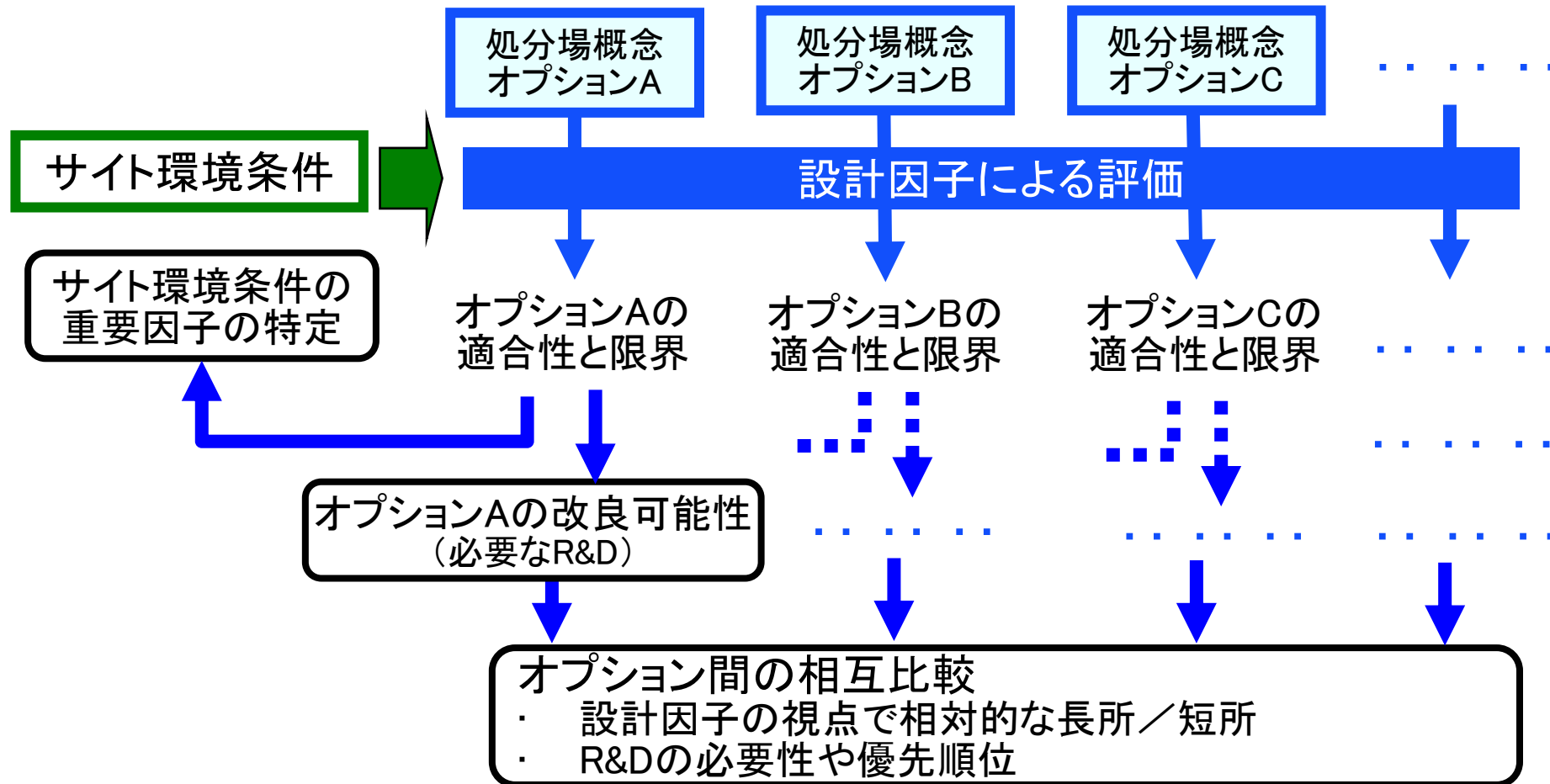


## サイロ型処分方式



(after NUMO, 2004)

# 設計因子を用いた処分概念の分析

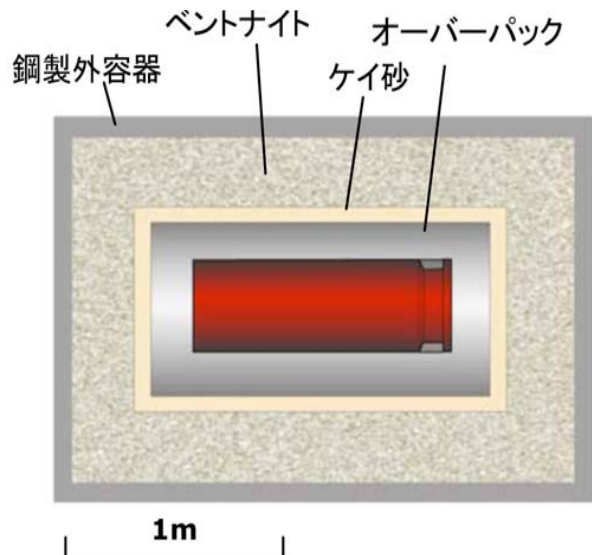
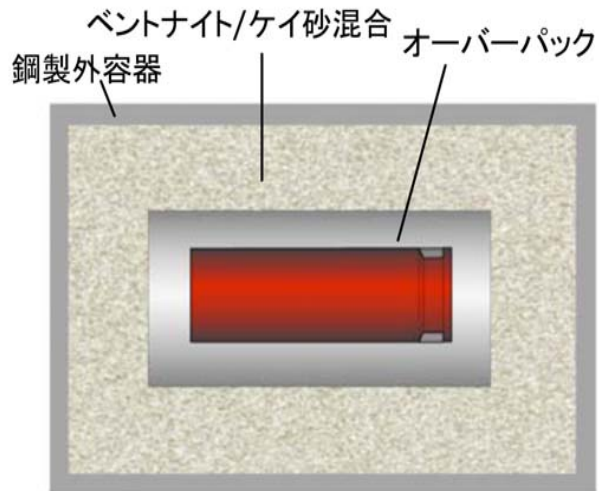


# 設計因子 (NUMO, 2004) と分析の視点

- **閉鎖後安全性**
  - ✓ 処分場閉鎖後の長期安全性のロバスト性
- **操業安全性**
  - ✓ 処分場の建設, 操業, 閉鎖および施設解体時における作業安全および放射線安全
- **工学的成立性/品質保証**
  - ✓ 処分場の建設と操業について詳細な品質レベルに至るまでの基本的な実現可能性
- **工学的信頼性**
  - ✓ 操業に影響を与える可能性のある擾乱に対するロバスト性や境界条件(たとえば一日の廃棄体定置数)の観点からの事業の実現可能性
- **サイト特性調査とモニタリング**
  - ✓ サイト特性調査とモニタリングに対する技術的要件を満足するうえで求められる取り組み
- **回収可能性**
  - ✓ 定置後の廃棄体回収の容易さ
- **環境影響**
  - ✓ 処分事業に関係するすべての環境影響
- **社会経済的側面**
  - ✓ コストやステークホルダーの受入れに寄与する因子

設計因子の観点からの分析例:

## プレハブ型EBSモジュール (PEM)



(after NUMO, 2004)

### • 品質保証

✓ EBSの品質確保の困難さに対する  
工学的実用性の向上

- 特に、高湿度環境下での圧縮ベント  
ナイトの取扱い

### • 工学的信頼性

✓ 年間の定置要件(廃棄体1000体)に  
対して柔軟な対応が可能

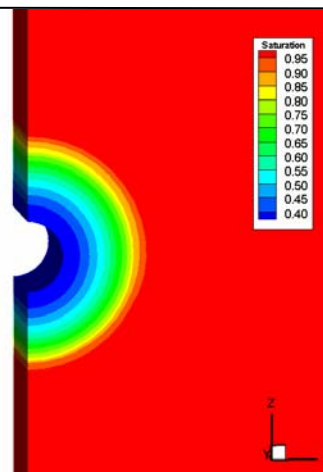
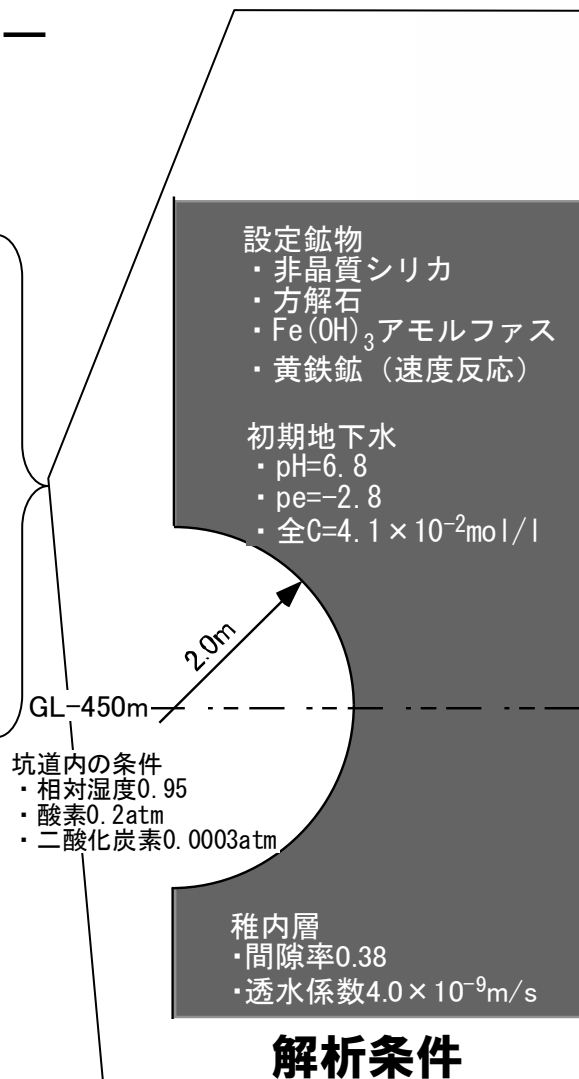
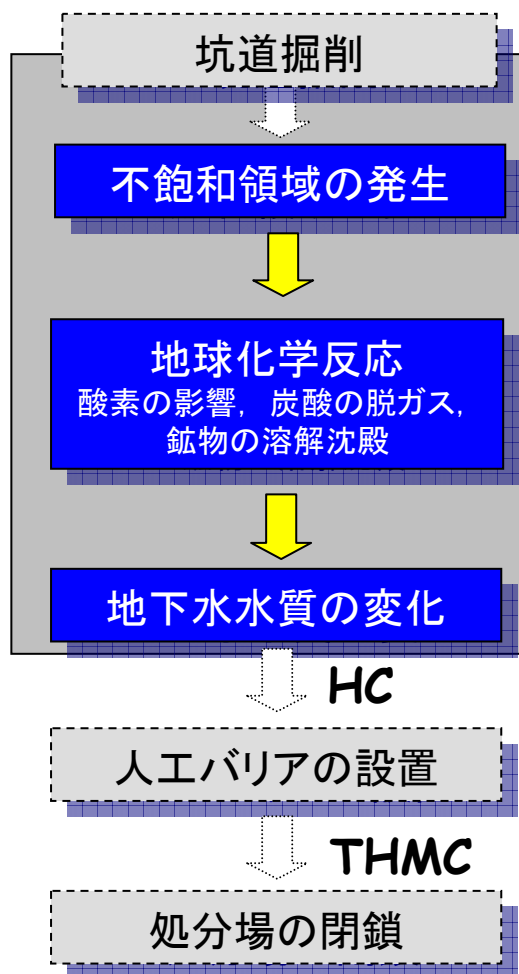
### • 回収可能性

✓ 相対的に容易

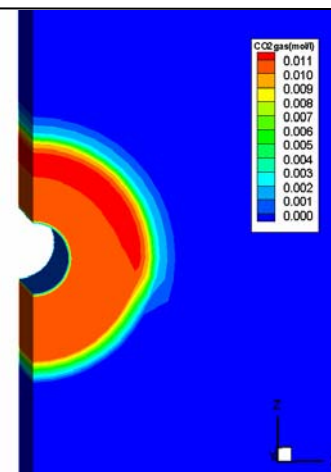
# ④ 幌延の地質環境データを用いた、掘削による影響を考慮した水-化学連成挙動の解析結果

## 幌延地質環境に基づく坑道周辺の地下水水質変化

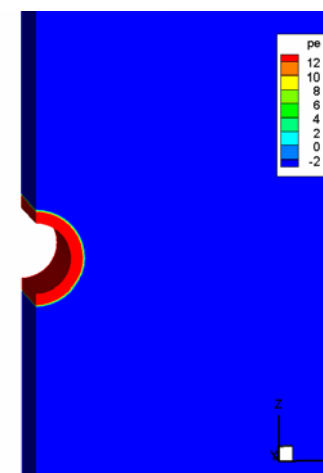
ニアフィールドのTHMCフロー



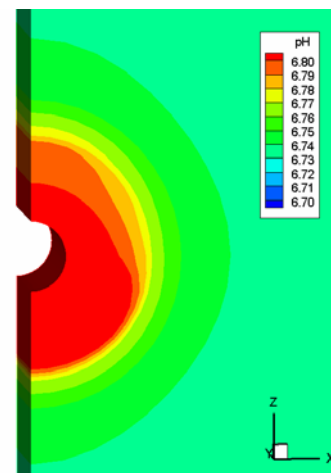
水分飽和度



気相中の二酸化炭素



間隙水pe



間隙水pH

1000日後の解析結果

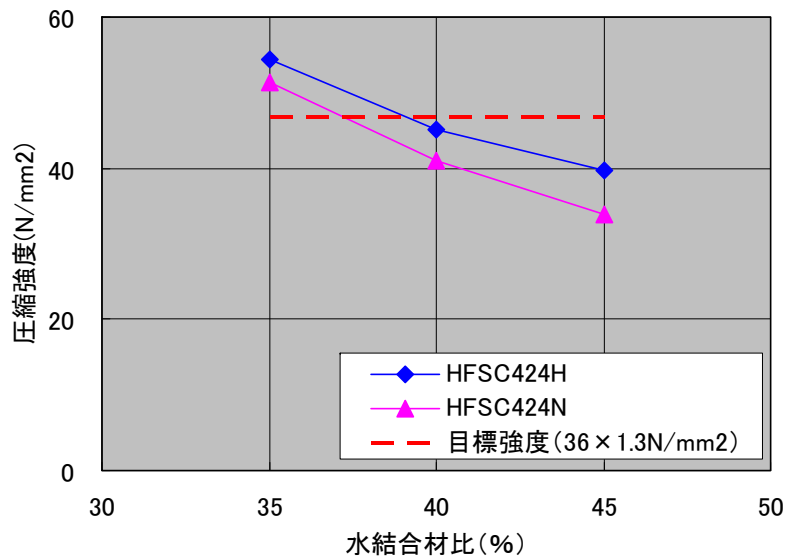


# ⑤ 低アルカリ性コンクリートの現場施工試験におけるセメントの配合選定例

## 吹付けコンクリートの配合選定例

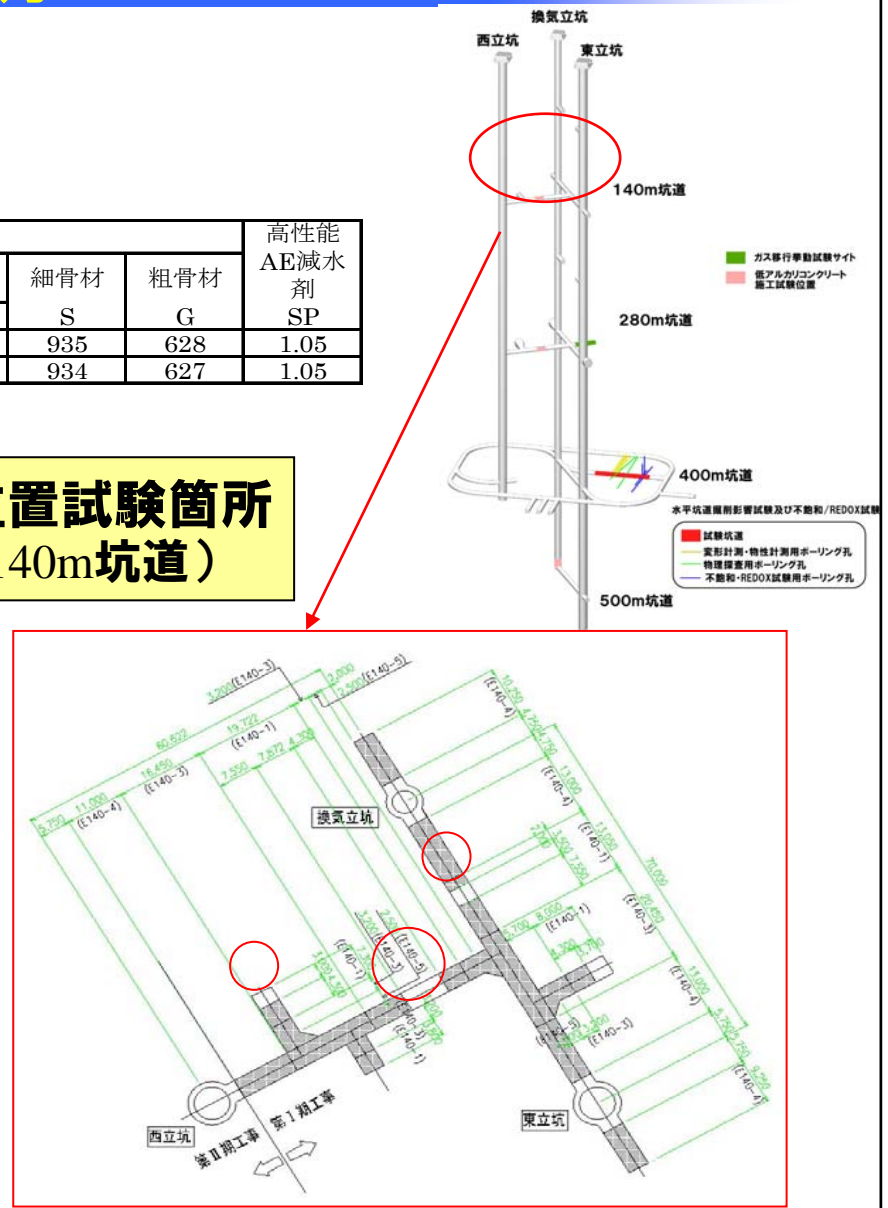
セメントの種類	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							高性能 AE減水剤 SP
			水 W	結合材:B				細骨材 S	粗骨材 G	
				OPC	HPC	SF	FA			
HFSC424N	35	60	175	200	—	100	200	935	628	1.05
HFSC424H	35	60	175	—	200	100	200	934	627	1.05

## 圧縮強度試験結果



幌延URLの設計基準強度を確保可能

## 原位置試験箇所 (140m坑道)



注)上記レイアウト図は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがある。15

# 知識ベースへの平成19年度の主な反映

知識ベースにおける分類	平成19年度の主な成果
データ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10年目の試験結果に基づく長期腐食データの取得(炭素鋼)【オーバーパック】</li> <li>・純銅の耐食性に対する環境条件の影響に関するデータの拡充(銅)【オーバーパック】</li> <li>・緩衝材基本特性データベースの改良【緩衝材基本特性】</li> <li>・緩衝材と鉄とを10年間接触させた試験データの取得【緩衝材の長期変質挙動】</li> <li>・緩衝材の侵入挙動に関するデータベースの構築及びWeb公開【緩衝材の流出・侵入挙動】</li> <li>・COUPLEを用いた連成試験データのとりまとめ【熱-水-応力-化学連成評価技術】</li> </ul>
ドキュメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各種公開技術資料, レビュー報告書の作成</li> </ul>
ソフトウェア	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緩衝材の長期力学挙動に係る解析コード(MuDIAN)【緩衝材の長期力学的変形挙動】</li> <li>・COUPLEを用いた実験結果に基づく連成解析【熱-水-応力-化学連成評価技術】</li> <li>・応力連成ガス移行評価モデル(GAMBIT-GWS)の改良【ガス移行挙動評価】</li> </ul>
経験・ノウハウ (方法論など)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多連接坑道の設計上の課題の抽出及び対応案の整理【岩盤の長期力学的変形挙動】</li> <li>・低アルカリ性セメントの配合選定例と品質管理項目の整理【低アルカリ性セメント】</li> </ul>
統合化した知識	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幌延第2段階実施計画に関する検討【URLにおける適用性検討】</li> </ul>
ガイダンス	
プレゼンテーション素材	



**(参考資料)**

# 主な平成19年度の成果[1/3]

## ◆査読付投稿論文（査読付国際会議プロシーディングスを含む）

1. 藤田朝雄ほか：“結晶質岩における粘土プラグの閉鎖性能にかかわる原位置試験及び解析評価”，原子力バックエンド研究, Vol.14, No.1, pp.13-30 (2007).
2. Ishidera, T., et al.: “Montmorillonite alteration in compacted bentonite in contact with carbon steel for ten years”, Journal of Nuclear Science and Technology (2007) (submitted).
3. Mitsui H.: “Stress corrosion cracking susceptibility for low carbon steel welds in carbonate-bicarbonate solution”, Corrosion Science (2008) (submitted).
4. Okubo T. et al.: “Evaluation of pore structure in compacted saturated bentonite using NMR relaxometry”, Applied Clay Science (2007) (submitted).
5. Okubo T.: “Tortuosity based on anisotropic diffusion process in structured plate-like obstacles by Monte Carlo simulation”, Transport in Porous Media (2007) (submitted).
6. 棚井憲治ほか：“X線CTスキャナによる亀裂内侵入ベントナイトの密度測定に関する適用性”，原子力バックエンド研究,(2007)(投稿中).
7. 谷口直樹ほか：“結晶質岩における粘土プラグの閉鎖性能にかかわる原位置試験及び解析評価”，材料と環境, 56-12, p.576-584(2008).
8. Taniguchi N. et al.: “Influence of sulfide concentration on the corrosion behavior of pure copper in synthetic sea water”, Journal of Nuclear Materials (2007) (submitted).

## ◆学会発表(口頭発表、ポスター発表):

9. 藤崎淳ほか：“熱-水-応力-化学連成解析モデルの開発,1: 室内連成試験による熱-水連成モデルの確証”，土木学会平成19年度全国大会第62回年次学術講演会 (2007).
10. Fujita T.: “Current status on geological disposal program in Japan”, International Exchange Seminar between Saitama University and Thammasat University on Environmentally Sustainable Infrastructure Development in Asia (2007).
11. 藤田朝雄：“原位置における実規模プラグのシーリング性能に関する研究,3”，日本原子力学会2008年春の年会 (2007).
12. 藤田朝雄ほか：“結晶質岩における原位置試験結果に基づく閉鎖要素に期待すべき性能要件”，土木学会平成19年度全国大会第62回年次学術講演会 (2007).
13. 平本正行ほか：“地層処分施設における多連設坑道の設計手法に関する検討”，第37回岩盤力学に関するシンポジウム (2008).
14. Kobayashi Y. et al.: “Development of low-alkali cement for application in a JAEA URL”, R&D on Low-pH Cement for a Geological Repository 3rd Workshop (2007).
15. 小林保之ほか：“低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの実用性検討,1: トンネル支保工への適用性検討”，日本原子力学会2007年秋の大会 (2007).

# 主な平成19年度の成果[2/3]

## ◆学会発表(口頭発表、ポスター発表): [→前頁からの続き]

16. 松本一浩ほか: “緩衝材の侵入試験に関する今後の計画”, 日本原子力学会2007年秋の大会 (2007).
17. 西村蘭果ほか: “コンクリート支保の劣化を考慮したニアフィールドの長期力学的挙動の検討,2: 処分孔竖置き方式における解析的検討”, 土木学会平成19年度全国大会第62回年次学術講演会 (2007).
18. Okubo T. et al.: “Evaluation of pore structure in compacted saturated bentonite using NMR relaxometry”, 3rd International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
19. 大窪貴洋ほか: “NMR緩和法による飽和圧密ベントナイト中の空隙構造の解析”, 日本原子力学会2007年秋の大会 (2007).
20. 重野喜政ほか: “コンクリート支保の劣化を考慮したニアフィールドの長期力学的挙動の検討,1: コンクリート支保劣化の力学モデル”, 土木学会平成19年度全国大会第62回年次学術講演会 (2007).
21. 鈴木英明ほか: “熱-水-応力-化学連成解析モデルの開発,2: 連成解析モデルによるニアフィールド事例解析”, 土木学会平成19年度全国大会第62回年次学術講演会 (2007).
22. 陶山忠宏ほか: “低酸素雰囲気での高温条件下におけるFe型スメクタイトの変化の同定”, 日本原子力学会2007年秋の大会 (2007).
23. 棚井憲治ほか: “塩水条件下におけるセメント影響を考慮した圧縮ベントナイトの透水特性”, 日本原子力学会2007年秋の大会 (2007).
24. 棚井憲治: “幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書の概要「処分技術の信頼性向上: 設計手法の適用性確認」”, 日本原子力学会バックエンド部会第23回バックエンド夏期セミナー (2007).
25. Tanai K. et al.: “A Study on extrusion behavior of buffer material into Fractures using X-ray CT method”, 3rd International Meeting on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement (2007).
26. 横山裕ほか: “炭素鋼オーバーバック溶接部の酸化性雰囲気における腐食挙動評価”, 腐食防食協会第54回材料と環境討論会 (2007).

# 主な平成19年度の成果[3/3]

## ◆研究開発報告書類(原子力機構報告書):

27. 藤崎淳ほか: “熱-水-応力連成試験設備 (COUPLE) を用いた室内試験の結果に基づく熱-水連成モデルの信頼性確認”, JAEA-Research 2008-020 (2008).
28. 平本正行ほか: “岩石の強度回復特性・一般化応力緩和挙動に関する研究”, JAEA-Research 2008-002 (2008).
29. 平本正行ほか: “ニアフィールド岩盤の長期力学挙動予測評価手法の信頼性向上に関する検討,2”, JAEA-Research 2008-013 (2008).
30. 平本正行ほか: “地層処分施設における多連設坑道の設計手法に関する検討”, JAEA-Research 2008-001 (2008).
31. 齋藤雄也ほか: “断層ずれに伴う人工バリアの力学的挙動評価,2”, JAEA-Research 2008-010 (2008).
32. 陶山忠宏ほか: “炭素鋼と10年間接していた圧縮ベントナイトの変質挙動調査”, JAEA-Data/Code 2008-007 (2008).
33. 鈴木英明ほか: “坑道周辺における不飽和領域の生起に伴う地球化学反応を考慮した水理-物質移行連成解析: 高レベル放射性廃棄物の地層処分における熱-水-応力-化学連成挙動モデル/解析コードの適用”, JAEA-Research 2008-003 (2008).
34. 立川博一ほか: “オーバーパックの長期耐食性に関する調査: 平成18年度”, JAEA-Research 2007-086 (2007).
35. Tanai K. et al.: “A Study on extrusion behavior of buffer material into fractures using X-ray CT method”, JAEA-Research2007-094 (2007).
36. 谷口直樹ほか: “緩衝材中における炭素鋼の腐食挙動の実験的検討,1: 10年間の浸漬試験結果に基づく腐食進展挙動の検討”, JAEA-Research 2008-011 (2008).
37. 谷口直樹ほか: “炭酸塩水溶液中における純銅のアノード分極挙動”, JAEA-Research 2008-012 (2008).
38. 上野健一ほか: “スメクタイトと2:1型粘土鉱物の標準生成自由エネルギーの推定手法による誤差について”, JAEA-Research 2007-069 (2007).