

海外におけるオーバーパック材料の 研究開発状況調査

1988年8月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村村松4-33
動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所
技術開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel
Development Corporation 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki,
319-11, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団
(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1988年8月

海外におけるオーバーパック材料の研究開発状況調査

報告者 手 嶋 孝 弥*
野 高 昌 之*
石 川 博 久*

要 旨

オーバーパック材料の候補の一つとして、セラミックス材料を検討する上で、候補材料の抽出、試験方法の検討等今後の研究開発方針の参考とすべく、海外の情報入手・整理を行った。

調査対象は、IAEA発行のWaste Management Research Abstract No 13~18 (1981~1986年)として、研究概要、候補材料及び試験内容・条件等を国(機関)別、年度別に抽出・整理した。

その結果、セラミックス材料の研究開発を推進している国は、西独(KfK)、カナダ(AECL)、米国(PNL)及びスウェーデン(ASEA社、他)であり、スクリーニングテストの結果有望材料として Al_2O_3 、 ZrO_2 、 TiO_2 、磁器(ステアタイト含む)及びSiCがあげられていることがわかった。今回の調査はセラミックス材料を中心に行ったが、金属材料についても同様の調査を実施し結果を併記した。

また、上記調査と並行して、セラミックスオーバーパックの製作に関してその概念の予備検討を実施した。

今後は、今回の調査結果を参考に、詳細な研究開発状況の把握及びセラミックス材料の一次スクリーニングテストを実施していく予定である。

目 次

1.	緒 言	1
2.	海外のオーバーパック材料研究開発状況	2
2.1	調査方法	2
2.1.1	調査文献	2
2.1.2	調査対象期間	2
2.1.3	調査項目	2
2.2	調査結果	2
2.2.1	セラミックス候補材料	3
2.2.2	試験内容等に関する情報	5
2.2.3	その他	5
2.3	今後の予定	5
3.	セラミックスオーバーパックの製作についての検討	6
3.1	はじめに	6
3.2	セラミックスオーバーパックに期待する性能目標	6
3.3	製作についての検討	6
3.3.1	オーバーパックの構成	6
3.3.2	オーバーパックの材質	7
3.3.3	形 状	7
3.3.4	寸 法	7
3.3.5	製作方法	7
3.3.6	接合方法	7
<参考資料>		
	IAEA WMRA オーバーパック材料研究内容	18

表 リ ス ト

○海外のオーバーパック材料研究開発状況

表-1	セラミックス R & D 対象材料	4
表-2	有望候補材料の浸出速度	5
添付表-1	国別 R & D 対象材料一覧表	13
添付表-2.1	国別 R & D 内容一覧表 (西独, カナダ, スウェーデン, 米国)	14
添付表-2.2	国別 R & D 結果一覧表 (西独, カナダ, スウェーデン, 米国)	14
添付表-3.1	国別 R & D 内容一覧表 (英国, フィンランド, 日本, ベルギー)	15
添付表-3.2	国別 R & D 結果一覧表 (英国, フィンランド, 日本, ベルギー)	15
添付表-4.1	国別 R & D 内容一覧表 (スイス, デンマーク, ノルウェー)	16
添付表-4.2	国別 R & D 結果一覧表 (スイス, デンマーク, ノルウェー)	16
添付表-5.1	西独 [KfK(INE)] における材料選定経緯	17
添付表-5.2	カナダ (AECL) における材料選定経緯	18

○セラミックスオーバーパックの製作についての検討

表-3	セラミックスオーバーパックの構成案	9
表-4	セラミックスオーバーパックの候補材料	10
表-5	セラミックスオーバーパックの製作方法	11
表-6	セラミックスオーバーパックの接合方法	12

図 リ ス ト

○セラミックスオーバーパックの製作についての検討

図-1	セラミックスオーバーパックの基本形状	8
-----	--------------------	---

1. 緒 言

オーバーパック材料としては、現在、炭素鋼、Ti等金属材料が候補にあげられているが、より耐久性の期待できる材料としてセラミックスも有望な材料と考えられる。セラミックスは一般的に耐久性に優れた材料と考えられているが、処分環境のような条件下及び超長期（1,000年以上）の耐食性等の物性については、十分なデータが蓄積されているとは云い難い。

このため、今後オーバーパック材料としてセラミックス材料を検討する上で、候補材料、研究内容及び腐食挙動等の情報を収集し今後の研究開発方針の参考とすべく、海外のオーバーパック材料の研究開発状況を調査した。

また、上記調査と並行して、セラミックスオーバーパックの製作に関してその概念の予備検討を実施した。

今後は、今回の調査結果を参考に、より詳細な研究開発状況の把握及びセラミックス材料の一次スクリーニングテストを実施していく予定である。

2. 海外のオーバーパック材料研究開発状況

2.1 調査方法

2.1.1 調査文献

IAEA WASTE MANAGEMENT RESEARCH ABSTRACT

(以下 IAEA WMRA とする)

2.1.2 調査対象期間

1981年 - 1986年 (IAEA WMRA No.13 - 18 に相当)

2.1.3 調査項目

高レベル廃棄物 (使用済燃料を含む) の処分研究のうち、オーバーパック材料の評価研究に着目し、セラミックス材料を中心に年度別、国別に次の項目の抽出を行った。

- (1) 研究概要
- (2) 候補材料
- (3) 試験内容・結果
- (4) 試験条件
- (5) その他

2.2 調査結果

調査結果をまとめ、次表 (添付表 - 1 ~ 添付表 - 5.2) に示す。

a. 国別 R & D 対象材料一覧表	添付表 - 1
b. 国別 R & D 内容一覧表 (西独, カナダ, スウェーデン, 米国)	添付表 - 2.1
c. 国別 R & D 結果一覧表 (")	添付表 - 2.2
d. 国別 R & D 内容一覧表 (英国, フィンランド, 日本, ベルギー)	添付表 - 3.1
e. 国別 R & D 結果一覧表 (")	添付表 - 3.2
f. 国別 R & D 内容一覧表 (スイス, デンマーク, ノルウェー)	添付表 - 4.1
g. 国別 R & D 結果一覧表 (")	添付表 - 4.2
h. 西独 [K f K (I N E)] における材料選定経緯	添付表 - 5.1
i. カナダ (A E C L) における材料選定経緯	添付表 - 5.2

2.2.1 セラミックス候補材料

今回の調査結果から、セラミックスを候補材料としてR & Dを実施している国（機関）は次の2つがあげられる。

a. 西独 K f K (INE) (1981-1983年)

b. カナダ AECL (1983-1985年)

また、IAEA WMRA には情報提供されていないが、一部の文献調査等から次の機関もセラミックス材料のR & Dを実施していることがわかっている。

c. 米国 PNL

d. スウェーデン ASEA 社

e. スウェーデン Royal Institute of Technology

これらの機関がR & D対象としたセラミックス材料をまとめ表-1に示す。

この内、K f K, AECLが有望とした候補材料と浸出速度をまとめ表-2に示す。

表-1 セラミックスR&D対象材料

機 関 材 料	スウェーデン				
	西 独 K f K	カナダ AECL	米 国 PNL	ASEA社	Royal Institute
Al_2O_3	◎	◎	◎	○	
ZrO_2	○	◎	◎		
ステアタイト *1)	◎				
SiC	◎				
磁 器	○	◎	○		
グラファイト		○	◎		
TiO_2		◎	◎		○
サーメット *2)		○			
Si_3N_4		○			
コンクリート		○			
ムライト *3)			○		
Basalt			○		
$BaTiO_3$			○		
$BaZrO_3$			○		
$CaTiO_3$			○		
$CaTiSiO_5$			○		
$CaZrO_3$			○		
SiO_2			○		
$ZrSiO_4$			○		
結晶化ガラス			○		

(注) *1) $MgO \cdot SiO_2$

*2) 70% Al_2O_3 - 30% TiC

*3) $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$

○ : R & D対象材料

◎ : 有望と評価された材料

表-2 有望候補材料の浸出速度

材料	機関	A E C L	
	K f K 西 独	カ ナ ダ	
A l ₂ O ₃	○ 2-3 μm/a	○ 0.16-4.65×10 ⁻⁶ g/cm ³ ・d	*1) 0.2-6 μm/a
Z r O ₂	-		
S i C	○ (不明)	-	-
磁 器	-	○ 3.5-6.7×10 ⁻⁵	40-80 μm/a
T i O ₂	-	○ 0.3-1.9×10 ⁻⁵	4-20 μm/a

(注) *1) $\rho \approx 3 \text{ g/cm}^3$ として計算

2.2.2 試験内容等に関する情報

(1) 試験条件

模擬地下水又は蒸留水を用い、温度、圧力、 γ -ray 照射、ベントナイト共存有無をパラメータとして試験を実施している。

(2) 評価・測定項目

詳細な記述はないが、一部の文献調査結果等から次の項目を実施しているものと考えられる。

- a 減重量測定（浸出量の算出）
- b SEM による表面観察
- c EDX による侵入元素分析
- d 4点曲げ強度測定

2.2.3 その他

セラミックス材料とあわせ、金属材料についても同様の調査を行ったので、その結果を添付表-1～5に示す。

2.3 今後の予定

今回の調査から、西独（KfK）、カナダ（AECL）においてオーバーパック材料としてセラミックス材料も候補の1つとして検討されていることがわかった。また、米国（PNL）、スウェーデン（ASEA社、Royal Institute of Technology）についてもセラミックス材料のR&Dを実施しているとの情報があるため、主に上記4ヶ国のR&D情報を入手、参考にしてセラミックス材料の一次スクリーニングテストを実施していく予定である。

3. セラミックスオーバーパックスの製作についての検討

3.1 はじめに

本資料はセラミックスオーバーパックスの製作について、その概念を予備的に検討した結果をまとめたものである。

3.2 セラミックスオーバーパックスに期待する性能目標

セラミックスオーバーパックスに期待する機能は、「地下水がガラス固化体に接触するまでの時間の可能な限りの遅延」である。

現時点では、金属製オーバーパックスにより、少なくとも1000年間は地下水とガラス固化体の接触を防ぐことを目標に技術開発を進めているが、セラミックスオーバーパックスに期待する性能目標は、1000年間以上でできる限り長く（数1000年間）地下水をシャットアウトする機能である。

このため、次の項目を考慮する必要がある。

- (1) 耐食性
- (2) 耐圧性
- (3) 耐放射線性

なお、オーバーパックスの外表面（緩衝材と接触する部分）の温度は100℃未満であり、かつ、ガラス固化体の中心温度は450℃を超えないことが望ましいと考えられる。

3.3 製作についての検討

3.3.1 オーバーパックスの構成

次の4通りが考えられる。

- (1) 無垢のセラミックス容器のみ
- (2) 内側：セラミックス容器，外側：金属容器の二重容器
- (3) 内側：金属容器，外側：セラミックス容器の二重容器
- (4) セラミックスコーティング

これらの構成について比較した結果を表-3に示す。

最も現実的であると考えられる構成は、(2)の方法であると考えられる。

3.3.2 オーバーパックスの材質

表-4に候補材料をまとめた。

現時点では、高純度アルミナが強度、化学的耐久性の面で有望と考えられるが、他材料もすぐれた特性を有しており適用の可能性はあると考えられる。

3.3.3 形状

円筒状で上下端が球殻状（図-1）の形状が強度的に最も強く、可能性が高いものと考えられる。

3.3.4 寸法

外径430 mm，高さ1335 mm，総重量約500 kgのガラス固化体が1本収納できる寸法が現実的であると考えられる。なお，多数本収納の可能性についても検討が必要である。

3.3.5 製作方法

考えられる方法を表-5にまとめた。

候補材料として有望と考えられる高純度アルミナの場合には，HIP（Hot Isostatic Pressing：熱間静水圧焼結）法が適していると考えられる。

3.3.6 接合方法

蓋を接合して密封する技術は最も重量な技術の1つである。表-6に候補となる接合方法をまとめた。

ガラスによる高温封着，焼結（HIP），レーザ法が有望と考えられる。

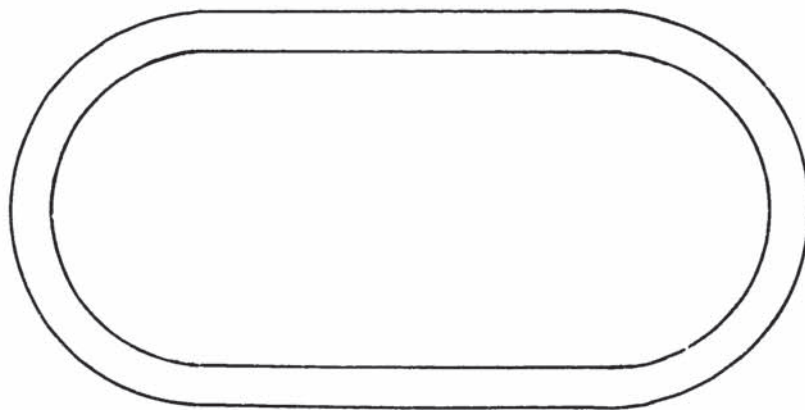


図-1 セラミックオーバーパックの基本形状

表-3 セラミックスオーバーパックの構成(案)

構 成	特 徴	優 劣	備 考
(1) セラミックス容器 (無垢の)	<ul style="list-style-type: none"> * 遮蔽が必要な場合は、セラミックス容器の肉厚が著しく厚くなる。 * ハンドリング時の万一の衝撃や落下で破損する可能性がある。 * 耐地圧強度に対する考慮が必要。 * 熱伝導に関する考慮が必要。 	△	(1)が製作可能であれば、(2)及び(3)は比較的容易に製作することができると考えられる。
(2) 〔二重容器〕 内側：セラミックス容器(無垢の) 外側：金属容器	<ul style="list-style-type: none"> * 耐衝撃性、耐地圧等問題ない。 * 熱伝導に関する考慮が必要。 	○	
(3) 〔二重容器〕 内側：金属容器 外側：セラミックス容器(無垢の)	<ul style="list-style-type: none"> * ハンドリング時にセラミックス容器が破損する可能性がある。 * 二重容器にするメリットは小さい。 * セラミックス容器の内、外径が大きくなる。 	×	
(4) セラミックスコーティング (金属表面への)	<ul style="list-style-type: none"> * ハンドリング時の万一の衝撃や落下で破損する可能性がある。 * コーティングの品質保証、検査に難点がある。 	×	

表-4 セラミックスオーバーパックの候補材料

材料の種類		項目	材料特性					備考
			耐熱性	伝熱性	強度	硬度	耐食性	
ファイ ンセ ラミ ック ス	酸化物	高純度アルミナ	○		○		○	1. 左記材料特性は定性的なものであり、同一レベルでの評価ではない。 2. 本表は2章とは別に一般的なセラミックス材料について候補をリストアップし、定性的に比較したものである。
		チタニア					○	
		ジルコニア					○	
	炭化物	炭化珪素	○	○	○		○	
		チタンカーバイド				○		
	窒化物	窒化珪素	○		○		○	
		窒化チタン				○		
	繊維強化セラミックス		靱性に優れる。					
耐酸磁器		成形性に優れる。						
結晶化ガラス		成形性に優れる。						

注) 高純度アルミナ : Al_2O_3
 チタニア : TiO_2
 ジルコニア : ZrO_2
 炭化珪素 : SiC
 チタンカーバイド : TiC
 窒化珪素 : Si_3N_4
 窒化チタン : TiN

表-5 セラミックスオーバーパックの製作方法

	製作方法	特徴	優劣
無垢の セラミックス	HIP又はCIP による焼結	*現時点ではオーバーパックのよ うな大型構造物を製作すること はできない。	○
	焼成 (圧力はかけない)	*HIP又はCIPによる焼結に 比べ脆い。	△
セラミックス コーティング	塗装法 溶射法 CVD(化学蒸着法) PVD(物理蒸着法)	*厚膜化が難しい。 *均一かつ欠陥の少ない皮膜を作 ることが難しい。	×
結晶化 ガラス	熱処理(再結晶)	*HIP又はCIPによる焼結に 比べ脆い。	△

(注) HIP : Hot Isostatic Pressing
CIP : Cold Isostatic Pressing

表-6 セラミックスオーバーパックの接合方法

接 合 方 法		特 徴	優 劣
封 着	(1) ガラスによる高温封着	*オーバーパック内のガラス固化体温度が高くなる可能性がある。 *強度, 耐食上焼結より劣る可能性がある。	△
	(2) 焼結 (HIP)	*オーバーパック内のガラス固化体温度が高くなる可能性がある。 *大型構造物への適用は技術開発が必要。	○
	(3) 金属封着 (鉛等)	*接合部の化学的耐久性が悪い。 *強度, 耐食上焼結より劣る可能性がある。	×
接 着	(4) 有機物接着材	同 上	×
	(5) セメント接着	同 上	
(6) レーザ溶接		*現有技術では難しいが魅力がある。	○
(7) ボルト締め		*接合部に隙間が生ずる - 地下水の浸入 *ボルトが金属製であれば, セラミックス本体より寿命が短い。 *ボルトがセラミックス製であれば, 強度の点で問題がある。	×

添付表-1 国別R & D対象材料一覧表

国名 \ 材料	炭素鋼	銅	Ti (合金)	その他金属	セラミック
西 独	<ul style="list-style-type: none"> • 軟鋼 ○ • 鋳鋼 • 熱延鋼 	-	○ • Ti-Pd	<ul style="list-style-type: none"> • Cr-Ni鋼 ○ • Ni合金 (Hastelloy) 	*1) ○
カ ナ ダ	○	○	<ul style="list-style-type: none"> • 純Ti ○ • Ti-Code12 	*2) <ul style="list-style-type: none"> • Ni合金 ○ • 鉛 ○ • 亜鉛 • Al-Si 	*3) ○
スウェーデン	○	*4) ○ • OFHC	<ul style="list-style-type: none"> • 純Ti ○ • Ti-Pd 	-	*5) ○ TiO ₂
米 国	○	○	<ul style="list-style-type: none"> • 純Ti ○ • Ti-Code12 	<ul style="list-style-type: none"> • ステンレス鋼 ○ • 鉛合金 	*6) ○
英 国	○	-	-	-	-
フィンランド	○	○ • OFHC	<ul style="list-style-type: none"> • 純Ti ○ • Ti-Code12 	○ • Ni合金	-
日 本	○ *7)	○ *7)	○ *7)	○ *7)	○ *7)
ベルギー	○	-	○ • Ti-Pd	○ • Hastelloy C4	-
ス イ ス	○ • 鋳鋼 • 鋳鉄	○	○ • Ti-Code12	-	-
デンマーク	-	○	-	-	-
ノルウェー	○ *8)	-	-	-	-

備 考

- *1) Al₂O₃ (3種類), ZrO₂, ステアタイト, SiC, 磁器
 - *2) 金属マトリックス材料
 - *3) Al₂O₃, 安定化ZrO₂, グラファイト, TiO₂, サーメット (Al₂O₃ - 30%TiC), Si₃N₄, 磁器, コンクリート
 - *4) OFHC: 無酸素銅 (Oxygen Free High Conductivity Copper)
 - *5) 王立研究所: 1985年
 - *6) 14種類のセラミックス: PNL 1981年
 - *7) PNC
 - *8) キャニスタ材料
- } IAEA WMRAには記載なし

添付表-2.1 国別R & D内容一覧表

材料 \ 国名	西 独	カ ナ ダ	スウェーデン	米 国												
炭 素 鋼	○金属, セラミックス候補材料の模擬処分条件によるスクリーニングテスト	○腐食挙動調査及び均一腐食, 孔食のモデル化。	○腐食速度測定 1. 炭酸溶液 2. 種々pH	○腐食メカニズム調査及び腐食モデル開発												
銅	○有望な候補材料について, ラボスケール腐食テスト及び原位置試験	1. 温度 2. 地下水成分 埋戻し材 硫化物イオン 3. γ -ray	○孔食ファクタ評価 1. 還元条件 2. 硫化物	—												
Ti (合金)	<試験条件> 1. 温度: 90-200°C (原位置試験Max210°C) 2. Q-brine 3. γ -ray: 1-100 Gy/h 4. 圧力: 常圧-13 Mpa 5. 期間: 2-4ヵ月 (原位置試験3年間)	○すきま腐食, 水素脆化メカニズム調査 1. 温度: (150°C) 2. 人工地下水 3. γ -ray 4. 鉄濃度, Cl濃度	○不動態膜の成長速度測定及び組成調査 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td></td> <td>熱 水</td> <td>ベントナイト</td> </tr> <tr> <td>温度</td> <td>60-95°C</td> <td>95°C</td> </tr> <tr> <td>期間</td> <td>1-6ヵ月</td> <td>4-48ヵ月</td> </tr> <tr> <td>液</td> <td>NaCl: 0.1% O₂濃度</td> <td>模擬地下水</td> </tr> </table>		熱 水	ベントナイト	温度	60-95°C	95°C	期間	1-6ヵ月	4-48ヵ月	液	NaCl: 0.1% O ₂ 濃度	模擬地下水	○破損条件とメカニズムの確立 1. 温度 2. 地下水組成
	熱 水	ベントナイト														
温度	60-95°C	95°C														
期間	1-6ヵ月	4-48ヵ月														
液	NaCl: 0.1% O ₂ 濃度	模擬地下水														
その他金属		—	—	—												
セラミックス		○模擬処分条件によるスクリーニングテスト 1. 温度: 100, 125, 150°C 2. 人工地下水(ベントナイト) 3. γ -ray (1t) 4. 圧力: 8, 8.9 MPa 5. 期間: 120日	—	—												

添付表-2.2 国別R & D結果一覧表

材料 \ 国名	西 独	カ ナ ダ	スウェーデン	米 国
炭 素 鋼	○厚肉オーバーパックとして適用可(第一候補) 1. 軟鋼: 250 $\mu\text{m}/\text{a}$	—	記述無し	記述無し
銅	—	○均一腐食, 孔食の腐食モデル設定 1. 均一腐食: 可溶性腐食物を考慮した設定 2. 孔食: 孔食ファクタ	○孔食ファクタの上限値決定	—
Ti (合金)	○種々パラメータに対し, 高耐食性 1. Ti-Pd: 0.05-0.5 $\mu\text{m}/\text{a}$	○すきま腐食, 水素脆化の情報蓄積	記述無し	○均一, 局所腐食条件及び速度を決定
その他金属	○Hastelloy C4: 高耐食性であるが γ -ray影響有 1. Hastelloy C4: 20 $\mu\text{m}/\text{a}$	—	—	—
セラミックス	○Al ₂ O ₃ , SiCが高耐食性 1. Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ : 2-3 $\mu\text{m}/\text{a}$ 2. ステアタイト: 20 $\mu\text{m}/\text{a}$	1. Al ₂ O ₃ , 安定化ZrO ₂ (4.65-0.16) $\times 10^6 \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 2. 磁器(6.7-3.5) $\times 10^5 \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 3. TiO ₂ (1.9-0.3) $\times 10^5 \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$	—	—

(注) 材料名の後ろに記載している数値は, 測定・評価された腐食速度である。

添付表 - 3.1 国別 R & D 内容一覧表

材料 \ 国名	英 国	フィンランド	日 本	ベルギー
炭 素 鋼	○腐食モデルの数式化及びSCCしきい値調査 <試験条件> 1. 温度：記述なし 2. 埋戻し材，花崗岩，粘土 3. γ-ray 4. 圧力 5. 期間：2-5年間	-	-	○原位置における腐食速度調査 <試験条件> 1. 温度：記述なし 2. 225m地下，粘土 3. γ-ray 4. 期間：記述なし ○処分場の機械的挙動調査 1. コンピュータコード確立 2. 外部荷重決定 3. 縮少モデルの圧縮テスト 4. 圧縮時の破壊挙動解析
銅		○処分条件の腐食速度への影響調査 ○腐食速度の理論計算 1. 温度：20-80℃ 2. 地下水組成 ベントナイト	-	
Ti (合金)		○水素脆化調査 <試験条件> 1. 水素濃度	-	
その他金属		○腐食挙動とクラック成長速度の調査 [低歪速度試験 分極試験 電気化学試験	-	
セラミックス		-	-	

添付表 - 3.2 国別 R & D 結果一覧表

材料 \ 国名	英 国	フィンランド	日 本	ベルギー									
炭 素 鋼	○腐食計算値と実験値との比較 [μm/a] <table border="1"> <tr> <td>温 度</td> <td>計算値</td> <td>実験値</td> </tr> <tr> <td>90℃</td> <td>65</td> <td>25-55</td> </tr> <tr> <td>25℃</td> <td>8</td> <td>3-10</td> </tr> </table>	温 度	計算値	実験値	90℃	65	25-55	25℃	8	3-10	-	-	記述無し
温 度	計算値	実験値											
90℃	65	25-55											
25℃	8	3-10											
銅	○局部腐食 $P = 2.4 T^{0.36}$ (P : 腐食深さ, T : 時間) - 実験値 - 1,000年で Max 200 mm	記述無し	-										
Ti (合金)	○SCCしきい値 a. 母材：600 N/mm ² b. 溶接：280 "	○水素脆化は，低歪速度又は継続荷重によるクラックを原因として発生	-										
その他金属	○γ-ray 高Clの場合，腐食促進	記述無し	-										
セラミックス	-	-	-										

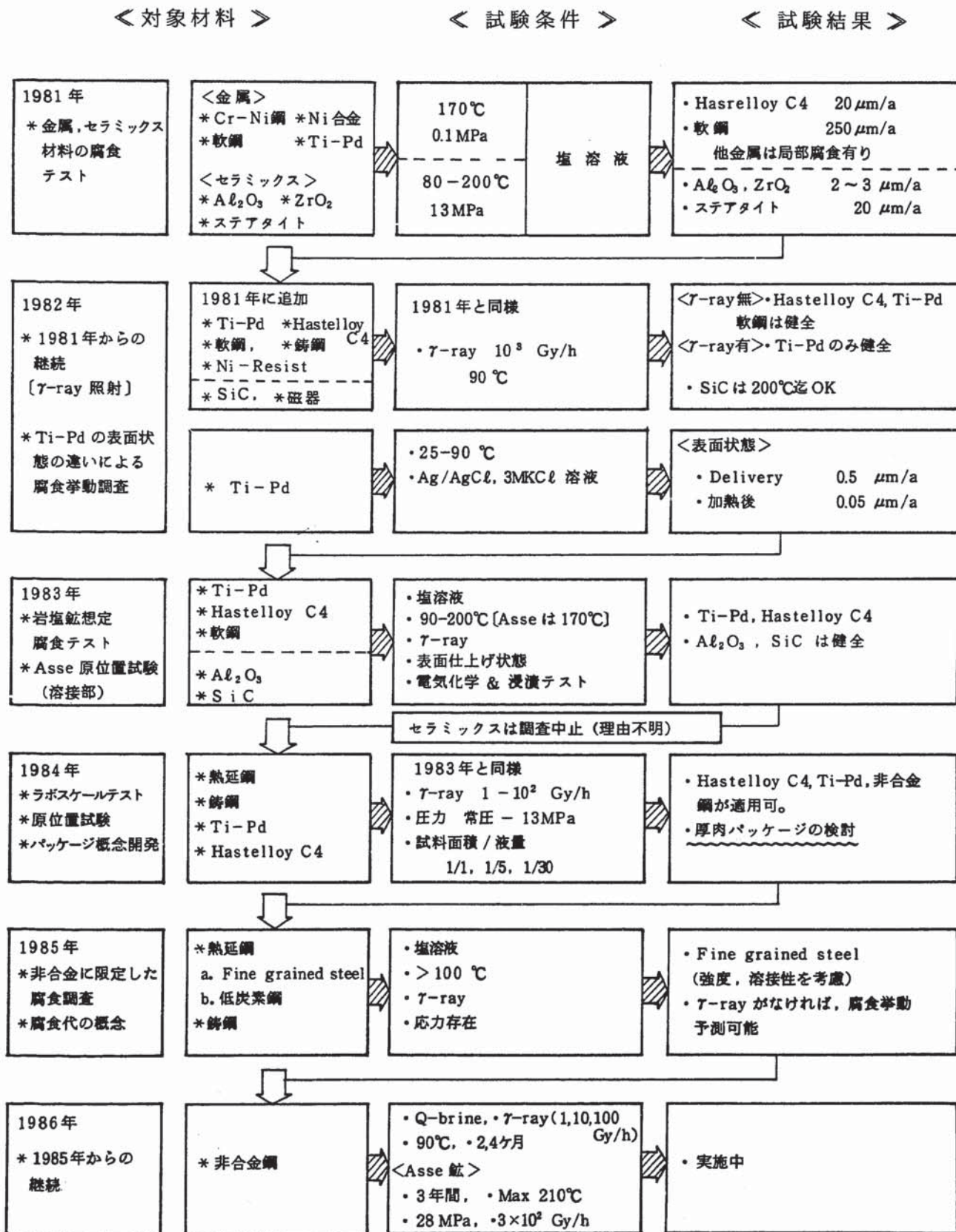
添付表 - 4.1 国別 R & D 内容一覧表

材料 \ 国名	ス イ ス	デンマーク	ノルウェー
炭 素 鋼	○種々パラメータの腐食 1. Ti-Code12 & 銅 a. 温度: 80℃ b. 2 mg · O/l, c. 15 g · Cl/l c. 引張速度 $10^{-5}, 2 \times 10^{-7} \text{ S}^{-1}$ 2. Ti-Code12 & 銅 & 炭素鋼 a. 溶接部 b. 温度: 140℃ c. 期間: 1年間 3. 銅 a. NO_3^- , SO_4^{2-} b. γ -ray	-	-
銅		○処分条件下における腐食ポテンシャルの計算 1. 地下水組成 2. 温度 3. 硫黄	-
Ti (合金)			-
その他金属		-	-
セラミックス		-	-

添付表 - 4.2 国別 R & D 結果一覧表

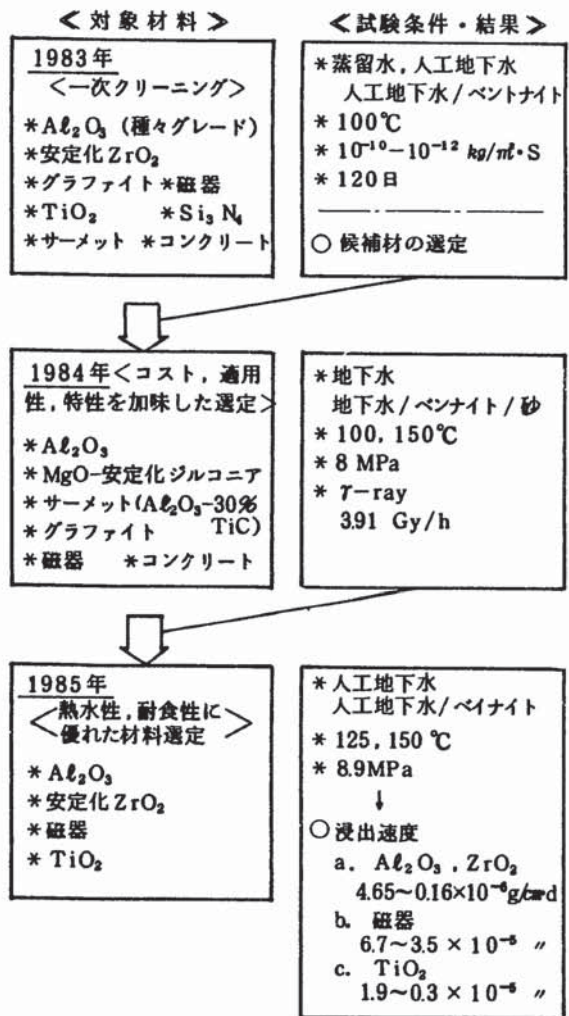
材料 \ 国名	ス イ ス	デンマーク	ノルウェー
炭 素 鋼	○腐食速度: 10 μm/a 以下	-	-
銅	記述無し	○硫黄の影響有り	
Ti (合金)		-	-
その他金属	-	-	-
セラミックス	-	-	-

添付表 - 5.1 西独 [KfK(INE)] における材料選定経緯



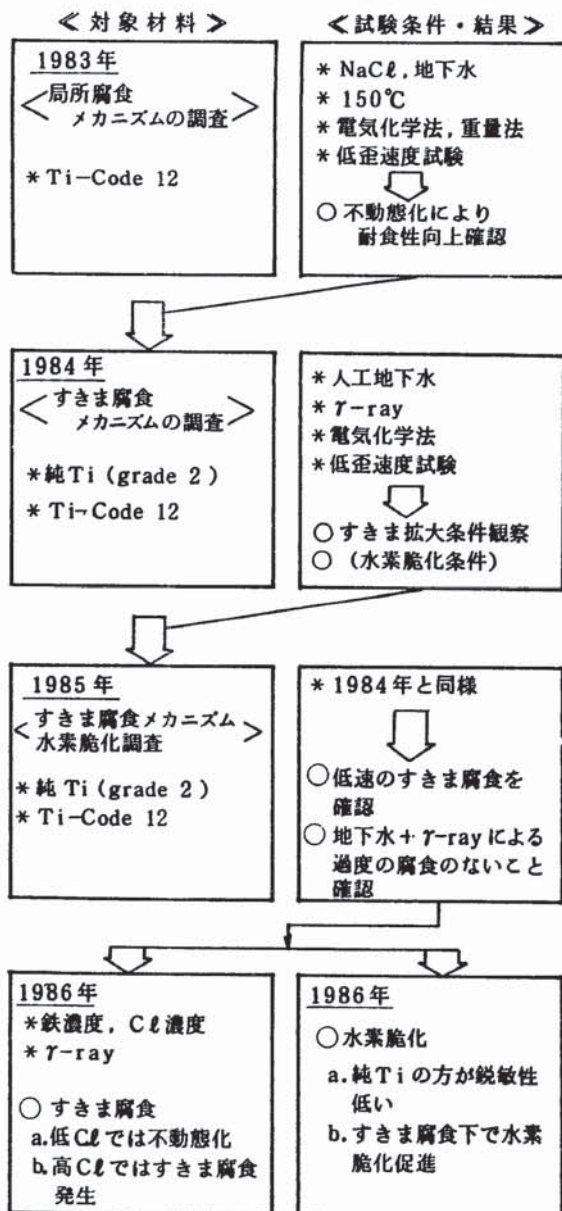
セラミックス

Ti [合金]

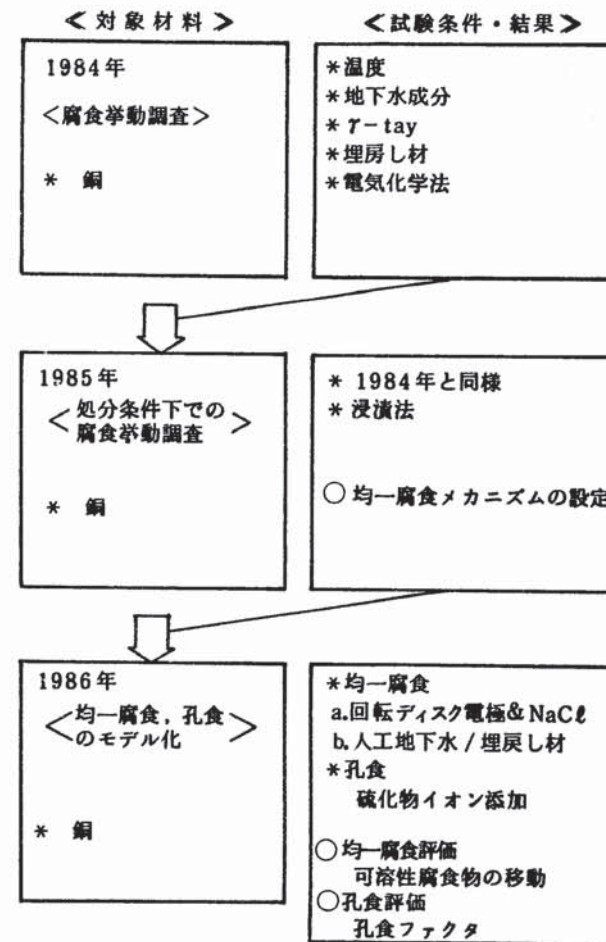


(注) この他にも, 工学バリエータテスト施設での処分模擬条件による長期腐食テスト有り(1986)。

[Ti, 銅, ニッケル合金, 鉄合金]
 セラミックス



銅



<参考資料>

IAEA WMRA オーバーパック材料研究内容

	頁
1. 西 独	19
2. カ ナ ダ	24
3. スウェーデン	32
4. 米 国	36
5. 英 国	39
6. フィンランド	41
7. 日 本 ..	43
8. ベルギー	45
9. ス イ ス	46
10. デンマーク	47
11. ノルウェー	48

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	西		独
機関	K f		
年度	1986	DE 22	1986 DE 23
概要	1985 DE 11と全く同じ。		1. 一次スクリーニングで非合金鋼, Ti-Pd Hastelloy C 4を選定。 2. 非合金鋼の全面腐食の方が, 不動態化合物よりも評価し易いため非合金鋼に調査を集中。 (腐食代の概念)
オーバーパック材料	-		非合金鋼
試験内容	-		1. γ 線量の影響 (1, 10, 100 Gy/h) a. Q・brine, 90℃ b. テ PNC TN8420 88-006 より長期のテスト実施中 2. Asse 鉍での原位置試験 a. 3年間 b. Max 210℃ c. 28 MPa d. γ -ray 3×10^2 Gy/h
試験条件, 他	-		

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	西 独		
機関	K f K		
年度	1984 DE18	1985 DE11	1985 DE18
概要	<ol style="list-style-type: none"> 岩塩中の耐食材料の選定及びパッケージ概念の開発。 ラボスケール及び原位試験。 厚肉パッケージの検討。 	<ol style="list-style-type: none"> Spent Fuel 処分用キャニスタ 個々の材料テストは前のプログラム('81-'84)で実施済。 処分キャニスタの認可は DWK が実施。 全面、局部腐食を温度、線量を変え、KfK で実施中。 	<ol style="list-style-type: none"> 高温下(>100℃)の塩溶液に対し、バリアとして用いる非合金鋼の調査。 非合金鋼は“腐食代”として認められる。 溶接性と機械的強度を考慮して Fine grained steel 選定。
オーバーパック材料	<ol style="list-style-type: none"> 熱延鋼 鋳鋼 Ti 99.8 - Pd Hastelloy C4 	-	<ol style="list-style-type: none"> 熱延鋼 <ol style="list-style-type: none"> Fine-grained steel 低炭素鋼 鋳鋼
試験内容	<ol style="list-style-type: none"> 厚肉パッケージを考えた鋼材料の選定。 	-	<ol style="list-style-type: none"> 鋼はγ-ray がなければ、局部腐食、SCCに強く、腐食挙動が予測可能。 今後の予定 <ol style="list-style-type: none"> γ-rayが腐食に影響しないことを保証するコンテナ肉厚決定。 低応力存在下でのSCC鋭敏化調査。
試験条件, 他	<ol style="list-style-type: none"> 塩溶液 温度(90-200℃) 圧力(常圧-13 MPa) γ-ray(1-100 Gy/h) 試料面積/液量 (S/V 1:1, 1:5, 1:30 cm⁻¹) 	-	<ol style="list-style-type: none"> >100℃ 塩溶液 γ-ray *応力存在下

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	西 独		
機関	K f K		
年度	1982 DE15	1982 DE16	1983 DE05
概要	1. 表面状態によるTi-Pdの腐食挙動調査。 2. 電気化学解析 a. Open circuit b. 分極試験 c. 電流密度 - 時間依存性	1. 原位置試験とラボスケールテストとの比較評価を計画。	1. 岩塩鉱を想定した材料の腐食挙動調査。 2. 電気化学法と長期浸漬テスト、溶接部のAsseでの原位置試験。 1. Ti 998 - Pd 2. Hastelloy C4 3. 軟鋼 (*5種の鋳物)
オーバーパック材料	Ti 998 - Pd	1. Hastelloy C4 2. Ti - Pd 3. 軟鋼	4. Al ₂ O ₃ 5. SiC
試験内容	1. 25℃ a. 0.5 μm/a <Am> b. 0.05 μm/a <Ao> 2. 25-90℃では表面状態による影響無し。	-	1. Ti 998 - Pd, Hastelloy C4, Al ₂ O ₃ , SiC が全面, 局部腐食に対し耐久性高い。
試験条件, 他	1. Ag/AgCl 3MKCl 溶液 2. 表面状態 a. Delivery <Am> b. 加熱後 <Ao>	-	1. 塩溶塩 2. 90℃-200℃ 3. 時間 4. γ-ray 照射 5. 表面仕上げ 6. Asseは170℃

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	西 独		
機関	K f K		
年 度	1981 DE29	1982 DE13	1982 DE14
概 要	1. HLW パッケージ設計のための金属, セラミックス材料の腐食テスト。 1. Cr-Ni 鋼 5. 軟 鋼 2. ニッケル合金 3. Ti 99.8 - Pd 4. X1CrMoTi 182 (ELA ferrite) 6. Al ₂ O ₃ (3種類) 7. ZrO ₂ 8. ステアタイト	1. 4つのオーバーパック概念 a. 厚肉のオーバーパック b. Compound cast キャニスター c. 非金属内挿キャニスター d. 均一な tight cast 容器	1. 1981. DE 29 の継続。 2. 候補材の追加及びγ線照射。 1. DE 29 に追加 a. Ti 99.8 - Pd, Hastelloy C4 軟鋼, 鋳鋼 (GGG 40.3) Ni-Resist D2, D4 b. SiC, 磁器 + Al ₂ O ₃
オーバーパック材料		—	
試験内容	1. Hastelloy C4 20 μm/a 2. 1.0566 Mild steel 0.25 mm/a 局部腐食に強い。 3. 他金属は, 応力腐食, 孔食有り。 4. Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ 2~3 μm/a 5. ステアタイト 20 μm/a (セラミックスは200℃, 13MPa)	1. 熔融ガラスとAl ₂ O ₃ 容器にクラックが発生しない温度差は150k。 2. 固化後の容器とガラスのすきまは0.2mm。 3. ガラス接着 a. 1,100℃ b. 50-80 μmt, 曲げ強度 48 MPa 4. コーティングテスト(軟鋼)	1. γ-ray 無 a. Hastelloy, C4, Ti-Pd, 軟鋼は局部腐食無。 b. 他のは孔食有(特にGGG 40.3)。 2. γ-ray 有 a. Ti-Pdのみ健全 3. SiCは200℃迄OK。
試験条件, 他	1. 塩溶液 2. 170℃, 0.1MPa (金属) 3. 80~200℃, 13MPa (セラミックス)		1. DE29と同じ 2. γ-ray 10 ³ Gy/h, 90℃

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	西		独
機関	NUKEM / DWK		STEAG Kernenergie GmbH
年度	1981	DE13	1984 DE28
概要	1. Spent Fuel 処分技術の開発 2. 1981～1984の4ヶ年計画。		1. 鋳鋼製オーバーパックの概念設計 2. 自己遮蔽, 自己支持型 3. 円筒, 端は半球状
オーバーパック材料	-		鋳鋼 (引張強度 400 MPa)
試験内容	1. 遮蔽キャスク 2. キャスク材の腐食テストを計画。		-
試験条件, 他	-		-

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	カナダ		
機関	AECL		
年度	1986	CA69	
概要	1. 1985 CA90 の継続, 追加分は次の通り。 2. フルスケール容器を製作するための製造, 検査プロセスの調査。		
オーバーパック材料	-		
試験	-		
試験条件, 他	-		

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	カナダ		
機関	AECL		
年度	1986 CA65	1986 CA66	1986 CA67
概要	1. 銅コンテナの腐食挙動を予測するためのモデルを設定。 2. 均一腐食と孔食を考慮。 3. モデルを実験的に確認。	1. マトリックス化金属の腐食挙動調査（使用済燃料）。	1. Tiのすきま腐食のメカニズム解明。 2. 鉄濃度と γ -rayの影響を調査予定。
オーバーパック材料	銅	-	1. 純Ti (Grade 2) 2. Ti-Code 12
試験内容	1. 均一腐食：表面からの可溶性腐食生成物の移動により計算。 2. 孔食：孔食ファクタを用いる。 3. テスト方法	-	1. 鉄濃度 > 0.1 wt % a. 低Cl (0.27 mol/l), 150℃ ではすきまの不動態化を観察。 b. 高Cl (> 1.0 mol/l) ではすきま腐食を観察。 2. γ -ray有無の長期テスト
試験条件, 他	a. 均一腐食：回転ディスク電極をNaCl溶液, 常温に浸漬。 埋め戻し材は, 半浸透膜で模擬。 b. 銅板が実際の埋め戻し材に埋められ, 模擬地下水に浸漬(昇温)。 c. 孔食は模擬条件への浸漬により, 時間の関数として測定。 硫化物イオンを添加。	-	a. γ -ray無：減量と浸透深さの関係を決定。 1. 鉄濃度, Cl濃度 2. γ -ray 3. 150℃

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	カナダ		
機関	AECL		
年度	1985 CA90	1986 CA63	1986 CA64
概要	1. 1983 CA21の継続。 2. 500年間の耐久性容器設計。 <概念> 1. 耐食耐圧(厚肉) 2. 耐食(二重容器) <ul style="list-style-type: none"> a. 鋳物(低融点) b. 粒状物充填 c. 耐圧内部容器 	1. TiとTi-Code 12 へのH ₂ 侵入メカニズム調査。	1. 工学バリアテスト施設でのγ-rayを含んだ処分模擬条件における長期腐食テスト。
オーバーパック材料	1. 鉛 2. 粒状物	1. 純Ti(Grade 2) 2. Ti-Code 12	1. Ti 2. 銅 3. ニッケル合金 4. 鉄合金 5. 金属マトリックス 6. セラミックス
試験内容		1. 純Tiの方が水素脆化に対し鋭敏性は低く、不動態膜が重要と云える。 2. 純Tiの鋭敏化はすきま腐食下で促進される。 3. 今後 <ul style="list-style-type: none"> a. すきま条件下での水素吸収調査。 b. 遅れ破壊の可能性調査 	1. 1年後には、予測された局所腐食は生じなかった。 2. 2年後のものは、ペンディング。
試験条件, 他	1. 10PMa, 150℃ (1,000mを想定)		1. γ-ray照射 2. 模擬処分条件 3. 100, 150C 4. 埋め戻し材有無

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	カナダ		
機関	AECL		
年度	1985 CA82	1985 CA83	1985 CA86
概要	1. γ -ray の電気化学プロセスと腐食プロセスの関連説明。	1. セラミックスの熱水溶解に関する研究。 2. 熱水安定性の決定と耐食性に優れた材料の選定。	1. マトリックス化金属の腐食挙動調査。
オーバーパック材料	1. (Pt) 2. 今後は他金属	1. Al_2O_3 2. 安定化 ZrO_2 3. 磁器 4. TiO_2	1. 鉛 2. 亜鉛 3. $Al-7\text{wt}\%Si$
試験内容	1. 以前の結果は電極の汚染により間違っていた。 2. γ -ray は、電極と溶液の間に還元環境を作る。	1. 浸出速度 a. Al_2O_3 , 安定化 ZrO_2 $4.65 \times 10^{-6} \sim 0.16 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{d}$ b. 磁器 $6.7 \times 10^{-5} - 3.5 \times 10^{-5}$ " c. TiO_2 $1.9 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-6}$ " 2. ベントナイト, 砂は浸出抑制。 3. γ -ray 照射の影響なし。	1. 亜鉛と $Al-Si$ は局部腐食有り。 2. 鉛は均一腐食で $2-83 \mu\text{m/a}$ 3. 全面腐食 a. $Al-Si$: $6-209 \mu\text{m/a}$ b. 亜鉛 : $36-15,800 \mu\text{m/a}$ 4. 腐食生成物分析: XRD, SEM a. 鉛 363K $Pb(OH)Cl$ 293K 炭酸Pb b. 亜鉛 ZnO c. $Al-Si$ 363K $\gamma-AlOOH$ 293K $Al(OH)_3$
試験条件, 他	1. 今後は高温の試験を予定。	1. 模擬地下水, +Na ベントナイト, +Na ベントナイト/砂 2. $125^\circ\text{C}, 150^\circ\text{C}$ 3. 8.9 MPa	1. $293-423\text{K}$ 2. 模擬地下水 3. O_2 濃度 $8-410 \text{ mg/L}$

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	カナダ		
機関	AECL		
年度	1984 CA72	1985 CA46	1985 CA81
概要	<ol style="list-style-type: none"> 1. 低融点金属及び合金で Fuel をマトリックス化する技術の実証。 2. FEMが鉛固化プロセスの説明用に開発された。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 銅の予測処分条件における腐食挙動評価。 2. 温度, 地下水成分, γ-ray 照射, 埋戻し材の影響調査。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ti (grade 2) と Ti-Code 12 のすきま腐食メカニズムの解明。 2. γ-ray のすきま腐食への影響を電気化学的に試験。 3. 合金の水素脆化も調査。 (低歪速度試験)
オーバーパック材料	鉛	銅	<ol style="list-style-type: none"> 1. 純 Ti 2. Ti-Code 12
試験内容	-	<ol style="list-style-type: none"> 1. 浸漬法と電気化学テストが実施された。 2. 銅表面からの Species の移動に着目。 3. 均一腐食のメカニズム設定に寄与。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 非常に低速のすきま腐食が確認された - 冶金学との関連。 2. 長期テスト - 地下水 + γ-ray 存在下で過度の腐食はみられない。
試験条件, 他	-		<ol style="list-style-type: none"> 1. γ-ray 2. 模擬地下水

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	カナダ		
機関	AECL		
年度	1984 CA69	1984 CA70	1984 CA71
概要	1. 純Ti (grade 2) とTi - Code 12 のすきま腐食メカニズムの調査。 2. すきまが拡大する限界条件の観察	1. 金属のバリア機能調査。 1. 鉛 2. 鉛合金 3. 亜鉛 4. Al - 7 wt% Si	1983 CA21 と全く同じ
オーバーパック材料	1. 純Ti 2. Ti - Code 12	1. 鉛は低腐食速度。 2. 各金属の種々コンテナ材存在下の腐食速度測定。	-
試験内容	1. γ -ray 照射による すきま腐食への影響を電気化学的に調査。 2. 合金の水素脆化も調査。(低歪速度試験)	1. 花崗岩地下水 2. 150℃	-
試験条件, 他	1. γ -ray 照射 2. 模擬地下水		-

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	カナダ		
機関	AECL		
年度	1984 CA66	1984 CA67	1984 CA68
概要	1. 24種類のセラミックス材のスクリーニングテストは完了(リーチングテスト)。 2. 耐食性, コスト, 適用性, 可能性, 機械・化学特性を考慮して候補材を選定。 3. 今後は γ -ray照射のリーチングに及ぼす影響調査。	1. γ -ray照射の腐食への影響調査。	1. 銅の処分条件における腐食挙動調査。 2. 温度, 地下水成分, γ -ray, 埋戻し材の影響調査。
オーバーパック材料	1. Al_2O_3 2. MgO-安定化ジルコニア 3. サーマット(70% Al_2O_3 -30%TiC)	1. (Pt) 2. 今後は他金属	銅
試験内容	4. グラファイト 5. 磁器 6. コンクリート	(1. Ptは酸化される。)	1. 電気化学法が腐食速度の測定とメカニズムの設定に使用された。
試験条件, 他	1. 水中(γ -ray) 2. 100℃, 150℃ 3. 8MPa 4. 地下水 5. 地下水/Naベントナイト/砂($\rho=1.5$) 6. 3.91Gy/h, Tiオートクレープ	1. 常温 2. 今後は高温	-

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	カナダ		
機関	AECL		
年度	1983 CA21	1983 CA30	1983 CA31
概要	1. 500年の耐久性容器設計。 2. プロトタイプ容器で熱試験。 3. FEM解析 <概念> 1. 耐食耐圧(厚肉) 2. 耐食(二重構造)	1. 非金属材料の腐食調査 2. 比較・スクリーニングテスト 1. Al_2O_3 (種々グレード) 2. 安定化 ZrO_2 3. グラファイト 4. TiO_2	1. Ti-Code 12の局部腐食メカニズムの調査。 2. 今後は γ -ray照射の影響調査。 3. 水素吸収の調査。
オーバーパック材料	1. 鉛 2. ガラスビーズ	5. サーメット 7. 磁器 6. Si_3N_4 8. コンクリート	Ti-Code 12
試験内容	—	1. 種々圧力, 温度 2. いくつかの材料が高耐食性を示した。 3. コーティング材料としても評価中。	1. 耐久性向上は, Ni, Moのクレビス表面での析出による。
試験条件, 他	1. 10MPa, 150℃ (1,000mを仮定)	1. 蒸留水, 人工地下水 人工地下水+20%ベントナイト 2. 100℃ 3. $10^{-10} \sim 10^{-12} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{S}$ 4. 120 day	1. NaCl, 地下水 2. 150℃ 3. 電気化学法, 重量法

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	スウェーデン		
機関	Institute for Metal Research	Swedish Corrosion Institute	Institute for Energiteknikk
年度	1985 SE04	1985 SE05	1985 SE40
概要	1. 低中負荷時の銅コンテナのクリープ破壊評価。	1. 還元条件下での銅コンテナの硫化物腐食に対する孔食ファクタの評価。	1. 種々pHの炭酸溶液中での炭素鋼の腐食速度測定。
オーバーパック材料	純銅 (OFHC)	銅	炭素鋼
試験内容	1. 純銅と溶接(電子ビーム)部のクリープ特性調査。	1. 考古学, 地質学あるいは文献上のデータから孔食ファクタは2.5以下で, 通常5程度。 2. 電気化学的に孔食メカニズムを設定。 3. 孔食ファクタの上限値決定。	-
試験条件, 他	1. 一軸, 三軸 2. 20-100℃	-	-

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	スウェーデン		
機関	Chalmers 大 学		
年 度	1983 SE19	1984 SE15	
概 要	1. Ti の還元条件下における不動態膜の成長速度と膜厚の調査。	1. Ti の熱水及びベントナイト（水飽和）中での不動態膜の成長速度，組成の調査。	
オーバーパック材料	1. 純Ti 2. Ti-Pd合金	1. 純Ti 2. Ti 99.8 - Pd	
試験内容	-	1. 反応生成物の解析はESCAにより実施。	
試験条件, 他	1. 蒸留水, 1% NaCl 2. ベントナイト共存 3. 圧力セル	1. 熱水 a. 60℃-95℃, 1min-6ヵ月 b. NaCl : 0.1%, O ₂ 濃度 c. O ₂ 濃度を低下する反応セル 2. ベントナイト a. 95℃, 4ヵ月-4年 b. 模擬地下水	

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	スウェーデン		
機関	ASEA		
年度	1982 SE11	1982 SE12	1983 SE08
概要	1. 純銅のHIPによる閉じ込め。 (Spent Fuel)	1. ハルのHIPによる処理。	1. 純銅のHIPによる閉じ込め。 (Spent Fuel)
オーバーパック材料	純銅	—	純銅
試験内容	1. 試作実施	1. プロセス開発 2. 固化体特性 3. Enclosureの影響 4. フレキシブルコンテナの開発	1. 試作実施
試験条件, 他	—	1. 1,000℃, 100MPa	—

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	スウェーデン		
機関	Studsvik	Newcastle 大学	
年度	1982 SE10	1982 SE21	
概要	1. SFの鋳物マトリックス(セラミックス)による閉じ込め。 2. SFの処理と二次 waste ハンドリングも含む。 (SF: Spent Fuel)	1. 銅の SCC の 低歪速度試験による測定。 2. 歪速度は $2.9 \times 10^{-6} - 1.7 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$	
オーバーパック材料	-	純銅 (無酸素銅 リン脱酸銅)	
試験内容	1. 基礎データの収集。 2. 次 Step として腐食挙動調査。	1. 常温の地下水では SCC はなく破壊エネルギーは減少。 2. 常温, 歪速度 $2.6 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$ で亜硝酸ナトリウムが存在すれば SCC は緩和される。 3. 亜硝酸ナトリウム中の SCC は次の場合減少。	
試験条件, 他	-	a. 脱気条件 b. 80℃迄昇温 c. 歪速度が $1.7 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$ 迄上昇	

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	米 国		
機関	Battelle Columbus Lab.		
年度	1986	US133	
概要	1. パッケージ破損条件とメカニズムの確立。		
オーバーパック材料	1. Ti-Code 12 2. ステンレス鋼 3. 低炭素鋼		
試験内容	1. オーバーパック材料の均一，局部腐食条件と速度をラボテストにより決定。		
試験条件，他	1. 種々温度 2. // 地下水組成		

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	米 国					
機関	Battelle Columbus Lab.					
年度	1984 US23		1984 US24		1985 US04	
概要	1. 第一，第二鉄を含んだ水の水化学及び放射線分解調査。 2. 塩化物を含んだ溶液の放射線分解メカニズム開発。 3. 複合作用のプロセスについて実験確認予定。		1. 初年度は，岩塩で使用されるTiオーバーパックの研究。 2. 2年目は低炭素鋼（ casting, forging ）—玄武岩の研究。		1. 炭素鋼の分極によるSCC，孔食，水素脆化に関する調査。 2. 低歪速度試験。	
オーバーパック材料	—		1. 純 Ti 2. 低炭素鋼		炭素鋼	
試験内容	—		1. 鋼製オーバーパックの劣化は，全面腐食，SCC，孔食，すきま腐食，水素脆化，機械応力による。 2. 地下水組成の影響は ┌ 分極試験 └ 低歪測定試験 で測定。 3. 水素吸収による鋭敏化も実験。 4. 全面腐食，孔食のモデル開発。		1. SCCは $FeCl_3$ 溶液により鋭敏化。 (< 100 ppm) 2. 孔食 3. 水素脆化：溶接サンプルによりテスト	
試験条件，他	—				—	

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	米 国		
機関	Brookhaven National Lab.	Savanna River National Lab.	Oak Ridge National Lab.
年度	1981 US04	1984 US05	1985 US77
概要	1. コンテナ材料の劣化評価 (1,000年間の封じ込め) 10CFR60 2. 水素脆化, γ -ray 脆化 SCC, 孔食, すきま腐食調査。	1. オーバーパック材料の原位置試験 (キャニスタ含む)	1. パッケージの信頼性解析
オーバーパック材料	1. 純 Ti 2. 純 銅 3. 鉛合金	金 属 (300種類)	-
試験内容	-	-	-
試験条件, 他	-	-	-

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	英 国		
機関	A E R E Harwell		
年度	1986	GB85	
概要	<ol style="list-style-type: none"> 1. 花崗岩, 粘土における炭素鋼の評価。 2. 浸漬テストが約5年間継続。 3. 委員会の炭素鋼について追加テスト。 4. データは均一腐食モデル式の確認と局部腐食のモデルテストに使用。 		
オーバーパック材料	炭素鋼		
試験内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 長期孔食成長速度測定を2, 3年浸漬の炭素鋼で実施。 2. 委員会の炭素鋼についても同一のテスト実施。 最大ピットサイズの面積効果確認のため30Xよりも大きい表面積のテストピース使用。 		
試験条件, 他			

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	英 国		
機関	AERE Harwell		
年度	1983 GB19	1984 GB59	1985 GB41
概要	1. 炭素鋼オーバーパックの評価 (500-1,000年) 2. 腐食モデルの数式化 3. SCCのしきい値調査	1. 炭素鋼オーバーパックの評価 2. 腐食モデルの数式化 3. SCCしきい値 4. 照射の影響	1. 炭素鋼の孔食が調査され、モデルと比較予定。
オーバーパック材料	炭素鋼	炭素鋼	炭素鋼
試験内容	1. 低浸透性埋戻し材中の腐食 a. >50mm: O ₂ の移動は無視でき、腐食速度は水の還元反応で制御される。 腐食速度 65 μm/a at 90℃ 2. 局部腐食(実験式) $P = 2.4 T^{0.36}$ (P: 腐食深さ, T: 時間) → 23mm in 500年	1. 腐食試験(2.5年経過) a. 腐食速度 25-55 μm/a at 90℃ → 3-10 μm at 25℃ <計算値> 65 μm/a at 90℃ → 8 μm/a at 25℃ 2. 局部腐食テスト 1,000年で Max 200mm。 3. γ-ray照射 a. 低 Cl ⁻ : 影響なし b. 高 Cl ⁻ : 腐食を加速 4. SCCしきい値 a. 母材 : 280 N/mm ² b. 溶接部: 600 N/mm ²	-
試験条件, 他	-	-	-

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	フィンランド		
機関	Technical Research Institute		
年度	1986	FI 13	1986
			FI 14
概要	1. 種々キャニスタ材料の腐食挙動とクラック成長速度の調査。		1. Ti 水素脆化調査
オーバーパック材料	1. 純銅 2. 鉄合金 3. ニッケル合金		1. 純Ti (Grade 2) 2. Ti-Code 12
試験内容	1. 低歪速度試験 2. 電気化学法		1. 水素脆化は低歪速度又は継続荷重によるクラックとして生じる。 2. 板状試料のテスト完了。 3. 破壊メカニズムのテスト中。
試験条件, 他	1. 模擬処分条件		1. 水素濃度

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	フィンランド		
機関	Technical Research Institute		
年度	1983 FI 02	1984 FI 03	1986 FI 12
概要	1. 種々カプセル化材料の腐食挙動調査。	1983 FI02と同じ。	1. 銅と模擬条件との腐食反応に及ぼす地下水組成、ベントナイト、温度の影響調査。 2. 銅の腐食について、理論計算、予測と実験との整合性評価。
オーバーパック材料	1. 銅 2. Ti 3. Ni合金	-	銅
試験内容	1. 分極試験 2. 低歪速度試験 (銅)	-	-
試験条件, 他	-	-	1. 温度 20-80℃ 2. ベントナイト 3. 地下水

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	日 本		
機関	P N C		
年度	1986	JP50	
概要	1. 工学バリアの予想処分条件での評価。		
オーバーパック材料	-		
試験内容	1. 種々金属の埋め戻し材，模擬地下水による腐食テスト。 2. 金属の沈澱物 (Sedimentary) 花崗岩中埋め戻し材中の腐食テスト。		
試験条件，他	-		

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	日 本		
機 関	J A E R I		
年 度	1982 JP22	1985 JP24	1986 JP49
概 要	1. γ 線照射によるキャニスタ, オーバーパック等のSCC調査。 1. SUS304, 304L, 304EL 2. SUS309 3. Incoloy 825 4. Inconel 600, 625 5. SMA50	1. キャニスタのSCC調査。 2. 花崗岩, 地下水におけるSCCテスト。	1. キャニスタのSCCへの γ -ray影響調査。
オーバーパック材料		-	1. SUS 304 2. 1020 炭素鋼
試験内容	1. SUS304, 304L, 309 γ -rayによる鋭敏化有。 2. 沸とう脱塩水は γ -rayにより酸化雰囲気に変化。 3. 水の分解による O_2 がSCCを加速。 4. 他合金はSCC鋭敏化無。 5. SMA50は全面腐食。	-	1. 低歪速度試験 2. 炭素鋼はSCC無。 3. SUS304はSCC有。 (γ -ray有・無とも)
試験条件, 他	6. 常温では, 全合金SCC鋭敏化なし。 (γ -ray照射下)。	1. Cベンド試料 2. γ -ray 3. 模擬地下水	1. γ -ray 2. 模擬地下水

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	ベ ル ギ ー			
機関	S C K / C E N			
年度	1986	BE13	1986	BE14
概要	<ol style="list-style-type: none"> 1. 実条件での材料の腐食速度決定。 (225 m 地下 / 粘土) 2. ホット容器導入後の粘土化学の決定。 3. γ-ray 照射の影響評価。 4. 電気化学的測定 (環境パラメータ)。 5. 肉厚の計算。 		<ol style="list-style-type: none"> 1. オーバーパックの機械的挙動に関する情報収集。 	
オーバーパック材料	-		<ol style="list-style-type: none"> 1. Ti 99.8 - Pd 2. Hastelloy C4 3. 炭素鋼 	
試験内容	-		<ol style="list-style-type: none"> 1. 容器の機械的特性評価用コンピュータコードの確立。 2. 処分シナリオ上の外部荷重の決定。 3. 他のコンピュータプログラムを用いた計算値の比較。 4. 縮小容器モデルでの圧縮テスト。 5. コンピュータを使った破壊挙動の予測と圧縮テスト結果との比較。 	
試験条件, 他	-			

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	スイス	
機関	N A G R A	Sulzer Bros Ltd.
年度	1982 CH04	1984 CH18
概要	1. コンテナ材料の種々パラメータによる腐食テスト 1. Ti - Code 12 2. 銅 3. 鋳鉄 4. 鋳鋼 (5. ジルカロイ 2)	1. 炭素鋼の腐食挙動に関する調査。 2. 局部腐食についても調査。 (地下水組成)
オーバーパック材料		炭素鋼
試験内容	1. 引張テスト(浸漬下) 2. ベントナイトの影響 3. 溶接部 4. γ-ray照射(銅) 5. 液体鉛浸漬 6. 多層コンテナの腐食	1. 浸漬法と水素放出測定。 2. 腐食速度: 10^{-2} mm/a 以下
試験条件, 他	1. 地下水 2. 140℃迄	1. 典型的地下水(還元条件)から海水レベル迄を対象。

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	デンマーク		
機関	Riso National Lab. (EEC)		
年度	1982	DK05	
概要	1. 銅の腐食に対する地下水組成, 温度の影響評価。		
オーバーパック材料	銅		
試験内容	-		
試験条件, 他	1. 地下水組成 2. 温度		

<< 海外におけるオーバーパック研究状況 >>

国名	ノルウェー		
機関	Institutt for Energiteknikk		
年度	1986	N001	
概要	1. CO ₂ の炭素鋼の腐食に及ぼす影響の実験的評価。		
オーバーパック材料	炭素鋼		
試験内容	-		
試験条件, 他	1. 炭酸溶液 2. pH		