

# 海外におけるオーバーパックスの検討例について

1992年5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下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 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:  
Technology Management Section Tokai Works Power Reactor and Nuclear  
Fuel Development Corporation 4-33, Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation) 1992

## 海外におけるオーバーパックスの検討例について

石川 博久\* 本田 明\* 鶴留 浩二\*\*  
井上 邦博\* 小畑 政道\* 佐々木憲明\*\*\*

### 要 旨

オーバーパックス候補材料選定の参考とするために、欧米各国におけるオーバーパックスの検討内容を調査した。

各国における、オーバーパックス候補材料選定の状況は以下のようなものである。

- (1) 米 国 : ステンレス鋼 (Type 304L, 316L), 脱酸銅, Cu-Al 合金,  
Cu-Ni 30合金, インコロイ 825
- (2) カナダ : 純チタン, 銅
- (3) スイス : 鋳鋼, 銅
- (4) スウェーデン : 銅
- (5) フィンランド : 鋼/銅 (二重容器としての概念)
- (6) 西 独 : 鋼 (ハステロイ C4 ライニング : 耐食性を担保)

本資料は、1991年8月の時点での調査内容をまとめたものであり、今後も調査は継続して実施していく考えである。

---

\* 環境技術開発部 地層処分開発室

\*\* 中部事業所 環境地質課

\*\*\* 環境技術開発推進本部

目 次

1. はじめに .....	1
2. 海外のオーバーパックの検討例 .....	2
2.1 米 国 .....	2
2.2 カナダ .....	3
2.3 スイス .....	4
2.4 スウェーデン .....	5
2.5 フィンランド .....	7
2.6 西 独 .....	8
参考文献 .....	10

## 表 一 覧

表 1	各国のオーバーパック候補材料選定状況 .....	11
表 2	Yucca Mountain の凝灰岩の標準とされた地下水組成 <sup>1)</sup> .....	12
表 3	Canadian Shield における地下水条件 <sup>4)</sup> .....	14
表 4	想定された地下水組成 (スイス) <sup>11)</sup> .....	16
表 5	KBS-3 で想定された地下水条件 <sup>12)</sup> .....	17

## 図 一 覧

図 1	ガラス固化体用オーバーパックの形状・寸法 (米国) <sup>2)</sup> .....	13
図 2	使用済燃料用オーバーパックの形状・寸法と内部構造例 (米国) <sup>1) 2)</sup> .....	13
図 3	オーバーパックの形状・寸法 (カナダ) <sup>7)</sup> .....	15
	(Ti シェル, パーティクル充填)	
図 4	オーバーパックの形状・寸法 (カナダ) <sup>7)</sup> .....	15
	(銅シェル, 鉛鑄込み)	
図 5	オーバーパックの形状・寸法 (カナダ) <sup>7)</sup> .....	15
	(Ti シェル, 鉛鑄込み)	
図 6	ガラス固化体用オーバーパック (スイス) <sup>10)</sup> .....	16
図 7	使用済燃料用オーバーパック (スイス) <sup>10)</sup> .....	16
図 8	オーバーパックの形状・寸法 (鉛鑄込み型) (スウェーデン) <sup>12)</sup> .....	18
図 9	オーバーパックの形状・寸法 (銅粉末充填型) (スウェーデン) <sup>12)</sup> .....	18
図 10	ACPC (Advanced Cold Process Canister) の構造 (フィンランド) .....	19
図 11	使用済燃料用キャスク (Pollux Cask/Canister) の構造・寸法 (西独) <sup>6)</sup> .....	20

1. はじめに

本資料は、オーバーパックの開発研究において候補材料選定の参考とするために、海外各国でのオーバーパックの検討事例を調査して、まとめたものである。

調査対象としては、米国、カナダ、スイス、スウェーデン、フィンランド、西独の6ヶ国とした。ベルギー、仏等でも処分研究が進められているが、オーバーパックの概念がない（あるいは未定）ため、本資料からは除外した。

本資料は、1991年8月迄に実施した調査の内容をまとめたものである。今後も海外におけるオーバーパック研究についての調査を継続して実施していく予定である。

## 2. 海外のオーバーパックスの検討例

海外各国におけるオーバーパックス候補材料の選定状況は以下のようである（概要を表1にまとめて示した）。

### 2.1 米 国<sup>1) 2)</sup>

#### 2.1.1 概 要

米国では、以前、玄武岩、凝灰岩、岩塩の3種類の岩体を対象として、使用済燃料およびガラス固化体の処分技術開発が行われたが、現在では凝灰岩を対象とした研究が進められている。処分場としての特性評価を行うサイトは、ネバダ州 Yucca Mountain の Topopah Spring凝灰岩層（地表より約 350m下）である。

#### 2.1.2 処分場の設計

垂直ボアホールに、廃棄体を格納したオーバーパックスを設置することが考えられている。地下水位が、処分場より低いため、緩衝材は考えられていない。

地 圧 : 最大 6 MP a

温 度 : 廃棄体については、最大 350°Cとされている。

母岩については、最大 250°Cとされている。

（凝灰岩の熱的安定性からの条件）

母岩の自然温度は約26°C

地下水 : 試錐孔 J 13の地下水組成が標準とされている（表2）。

pHは7.1, Ehは若干酸化性である。

代案として、水平坑道に埋設する方法も検討されている。

#### 2.1.3 オーバーパックス（図1, 2）

機能は、300～1000年間の密封保持<sup>3)</sup>およびハンドリングを容易とすることである。なお、初期の数100年間は容器と液相の地下水との接触は無いと考えられている。

設計圧力 : 大気圧（岩体のクリープは起こらないと考えられている）

設計温度 : 規定なし

肉 厚 : 10～30mm

## 材料選定

耐食性, コスト, 機械的強度, 溶接性が考慮された。これらに対する望ましい特性としては, 以下のように考えられた。

- 腐食速度 : 0.0254mm/y以下
- 降伏強さ : 13.8MPa以上(800°C:ハンドリング時の火災が想定された)
- 溶接性 : Type 304Lステンレス鋼と同等以上

炭素鋼, ステンレス鋼, 高Ni合金, チタン, ジルカロイ, 銅Ni合金等について, 総合的に評価された結果, ステンレス鋼 (Type 304L 316L), インコロイ 825, 脱酸銅, Cu-7Al合金, Cu-30Ni合金が候補材とされている (第一候補材料はType 304Lステンレス鋼)。現在, これらの材料についての評価が行われており, 最終的には1992年迄に材料が選定される予定である。

## 2.2 カナダ<sup>4) 5) 6)</sup>

### 2.2.1 概要

使用済燃料の処分が考えられている。候補サイトは, 地下約 500~1000mの深成岩 (花崗岩, 斑れい岩) 層 [Canadian Shield] である。

### 2.2.2 処分場の設計

垂直ボアホールに使用済燃料を格納したオーバーパックを埋設することが考えられている。

- 緩衝材 : Na型ベントナイト+石英砂 (重量比1:1, 密度1.66Mg/m<sup>3</sup>)
- 埋戻し材 : 粘土と砂の混合物 (粘土 20~30%)  
砂は掘削時のものを使用する計画である。
- 温度 : 緩衝材/キャニスタ境界で最高 150°Cと想定されている。
- 静水圧 : 最大9.8MPa
- 緩衝材膨潤圧 : 最大 3MPa
- キャニスタ内圧 : 最大0.135MPa (ガス発生のため)
- 地下水組成 : 表3の組成の地下水が代表例として考えられている。

代案として, 水平トンネルに容器を設置して埋戻す方法も検討された。



### 2.2.3 オーバーパック

#### ① 機能

使用済燃料を格納し、密封保持(500年～1000年)すること、および輸送時のハンドリングに耐える強度を有することとされている。

#### ② 構造

以下の2種類の構造が考えられたが、現在では主に薄肉の耐食性シェルタイプが検討されている。

##### a. 耐食性シェル(薄肉)に強度材を付加

(金属の鑄込み、パーティクル充填、サポート部材組込み)

##### b. 耐圧強度を持つ厚肉シェル型

#### ③ 材料選定

想定される地下水の塩濃度が大きいいため、耐食性の高い金属を選定。海水中の耐食性を指標とし、工業用純Ti、G12Ti、ハステロイC 276、インコネル 625、銅が候補材とされたが、その後の研究では主にTiと銅が対象となっている。

#### ④ 設計例<sup>7)</sup>

a. 純Tiシェル+パーティクル充填 (図3)

b. 銅シェル+鉛充填 (図4)

c. 純Tiシェル+鉛充填 (図5)

## 2.3 スイス<sup>8) 9) 10) 11)</sup>

### 2.3.1 概要

ガラス固化体および使用済燃料の処分が考えられている。処分場は、結晶質岩層(花崗岩または斑れい岩:深度1200m)および堆積岩層(粘土層:深度700m)が候補とされている。

### 2.3.2 処分場の設計

廃棄体をオーバーパックに格納し、水平の処分トンネル(直径3.7m)に設置する。設置間隔は、ガラス固化体では5m、使用済燃料では10mが考えられている。

周辺母岩の温度 : 最大 150°C (本来の温度は55°C)

地圧 : 最大 30MPa

緩衝材 : Na型ベントナイト (密度1.7Mg/m<sup>3</sup>)

地下水条件 : 表4に示した地下水を考えている。

### 2.3.3 オーバーパック

#### ① 機能

1000年間の密封保持およびハンドリングを容易とすることが機能として挙げられている。

#### ② 材料選定

耐食性、機械的強度、製作・加工性、コスト等を検討し、鋳鋼・球状黒鉛鋳鉄・銅・G12Tiが第1次候補材として選定された。2次選定では、単純な構造にできることを重視して、ガラス固化体用オーバーパックには鋳鋼、使用済燃料用オーバーパックには銅が選定されている。

#### ③ 構造・寸法

##### a. ガラス固化体用オーバーパック (図6)

両端球殻の厚肉円筒型：直径 0.94 m, 長さ 2 m, 厚さ 250 (球殻部 150) mm

##### b. 使用済燃料用オーバーパック (図7)

円筒型：直径 0.8 m, 長さ 4.8 m, 厚さ 100mm

(内部のすきまには鉛を充填する：スウェーデン (KBS-3) の概念と同じ)

### 2.3.4 選定材料の腐食量評価

a. 銅 純水中では 150°Cまで熱力学的に安定であり、腐食は酸化性物質の拡散により律速される。孔食係数は5と評価されている(過度に安全側と認識されている)。酸素・硫化物・硫酸塩による1000年間の腐食量は40mmと評価されている。

b. 鋳鋼 pH 6以上では腐食速度は小さく許容できると考えられている。酸化性条件での孔食係数は2と評価されている。酸素・硫化物・硫酸塩の供給による腐食および水との直接の反応による腐食速度について検討され、1000年間の腐食量は29mmと評価されている。

## 2.4 スウェーデン<sup>6) 12)</sup>

### 2.4.1 概要

使用済燃料を処分することが考えられている。サイトとして、先カンブリア紀源の結晶質岩(花崗岩、斑れい岩、片麻岩)層の地下約 500mを候補としている。

## 2.4.2 処分場の設計

垂直ボアホールに、使用済燃料を格納したオーバーパックを埋設することが考えられている。

緩衝材	: Na型ベントナイト (密度2.0~2.1 Mg/m <sup>3</sup> )
すきま充填材	: Na型ベントナイト (密度1.2 Mg/m <sup>3</sup> )
埋戻し材	: Na型ベントナイトと砂の混合物 (ベントナイト10~20%)
温度	: 緩衝材/キャニスタ境界で最高80°Cを想定している。 (原位置の本来の温度は15°C)
静水圧	: 最大 5 MP a
緩衝材膨潤圧	: 最大10 MP a
キャニスタ内圧	: 最大15 MP a (燃料棒中で発生するHeの蓄積による)
地下水組成	: 表5に示す地下水組成が考えられている。

## 2.4.3 オーバーパック

## ① 機能

使用済燃料を格納し、密封保持 (10万年の保持を期待) する。ハンドリング時の遮蔽機能も担保する。

## ② 材料選定

一般工業材料の中で最も熱力学的に貴な材料である銅が選定されている。具体的には、純銅が候補である。地下水・緩衝材からの酸化種の供給速度、実環境での孔食係数の評価から、腐食寿命は少なくとも10年以上と評価されている。

他に、炭素鋼・セラミックも候補材料として検討されている。

## ③ 構造・寸法等 (図8, 9)

寸法	: 直径0.8 m 長さ4.5 m 肉厚 100mm
内部構造	: 耐圧強度をもたせるため、内部の空間は鉛または銅粉末を充填し強度を確保することが考えられている。

## 製作方法 a. 鉛充填型

燃料バンドル挿入後、熔融鉛を鑄込む。上部端面を機械加工後蓋板を取付け、電子ビーム溶接を行う。

## b. 銅粉末充填型

燃料バンドル挿入後、銅粉末を充填し気密カバーを取付け、シール溶接を行う。内部を水素パージ後、真空引きして封じる。蓋板を取付け、HIP処理を行う (500°C, 1500気圧)。

## 2.5 フィンランド<sup>13) 14)</sup>

### 2.5.1 概要

使用済燃料の処分が考えられている。スウェーデンのKBS-3による処分方法を採用し、さらにキャニスタ製作時の温度をより低く抑え、工程の安全性向上／単純化・コスト低減を図る目的で、キャニスタ改良の検討が行われてきている。現在、銅と鋼による複合キャニスタACPC (Advanced Cold Process Canister) の設計・評価が実施されている (スウェーデンと共同)。

### 2.5.2 ACPCの構造

内側は鋼、外側は銅製の二重容器で、内部のすき間には充填材を入れることが考えられている (図10)

#### Case 1

- 外容器 : 直径 822mm, 長さ 4.52 m 肉厚 60 mm (銅)
- 内容器 : 直径 702mm, 長さ 4.40 m 肉厚 55 mm (鋼)
- 充填材 : 鉛粒・石英砂・ガラスビーズ・マグネタイト等

#### Case 2

- 外容器 : 直径 802mm, 長さ 4.50 m 肉厚 50 mm (銅)
- 内容器 : 直径 702mm, 長さ 4.40 m 肉厚 50 mm (鋼)
- 遮蔽材 : 肉厚 10 mm, (角部は 6.9mm) (鉛)
- 充填材 : 鉛粒・石英砂・ガラスビーズ・マグネタイト等

### 2.5.3 耐食性に関する検討課題とその評価結果

#### ① 内部腐食 (銅容器破損前)

内部空隙中の水分による腐食量は微小であり問題は無いとされた。

照射で生じる硝酸・アンモニアによるSCCについては可能性は有るとされた。

(照射による全面腐食量は問題の無いレベルであると評価されている。)

#### ② 銅容器破損後の腐食 (鋼・銅・ベントナイト共存系)

鉄・ベントナイト共存系 (脱気条件) の腐食速度は、 $\sim 6.5 \mu\text{m}/\text{y}$ 程度。

銅の共存により、水の還元反応が加速される可能性が有るが、内外容器のすき間に低電導性のベントナイトが入るため促進は緩和されると考えられている。

## 2.6 西 独<sup>6)</sup>

### 2.6.1 概 要

ガラス固化体の処分が主に考えられているが、一部の使用済燃料〔THTR, GCR, LMFBR, MOX (LWR)〕は、そのまま処分する方針である。

処分サイト候補地は、ゴアレーベン (Salt Dome 層 地下 870m) である。

### 2.6.2 処分場の設計

#### ① ガラス固化体処分

処分孔に固化体を直接埋めることが考えられている。

処分孔 : 直径 0.7 m, 深さ 300~ 600m, 間隔 50~60m で各孔には約 225~450 個の固化体が設置される。緩衝材の使用は考えられていない。孔の上部 10m はプラグを施工することが考えられている。

温 度 : 周囲の岩体は 200℃以下となるように設計される。

#### ② 使用済燃料処分

水平坑道内に約 3 m の間隔をおいて、使用済燃料を格納したキャスクを設置する考えである。坑道は、掘削による碎石で埋め戻すことが考えられている。

### 2.6.3 廃棄物容器

#### ① ガラス固化体処分

ガラス固化体容器は単なる格納容器であり、耐食性・強度は担保しないものと考えられている。

形状寸法 : 直径 0.43m, 長さ 1.33m, 厚さ 5 mm (ステンレス鋼製)

処分用のオーバーパックは使用が考えられていない。

#### ② 使用済燃料処分

二重構造のキャスク (Pollux Cask/Canister) の使用が考えられている (図11) キャスクは貯蔵、輸送時の格納容器でもある。最低 500年の密封保持および遮蔽機能がキャスクに考えられている。

地 圧 : 30MP a

温 度 : 使用済燃料の温度は 300°C, オーバーパック表面は最大 150~ 200°C  
と考えられている。

遮 蔽 : 外表面線量率 200mSv/h以下

寸 法 : 直径 1.542m, 長さ 5.462m

内容器 15Mn-6.3Ni鋼 厚さ 150mm

+ Hastelloy C4 厚さ 8mm (耐食性を担保)

外容器 鋳鉄製シェル

+ ポリエチレン層 100mm (遮蔽性を担保)

参考文献

- 1) W. C. O'Neal et al. : "Preclosure Analysis of Conceptual Waste Package Designs for a Nuclear Waste Repository in Tuff" : UCRL-53595 (1984).
- 2) R. D. McCright : "Container Materials for High-Level Nuclear Waste at the Proposed Yucca Mountain Site" Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 212 (1991).
- 3) 10CFR Part 60, 40CFR Part 191.
- 4) K. Nuttall, V. F. Urbanic : AECL 6440 (1981).
- 5) P. Baumgartner, G. R. Simmons : AECL 9050 (1986).
- 6) K. J. Schneider, L. T. Lakey, D. J. Silviera : PNL 6981 (1989).
- 7) L. K. Grover : Proc. of the 2nd Annual Int. Conf. Las Vegas, Nevada, P968 (1991).
- 8) NAGRA Project Report NGB 85-09 (1985).
- 9) NAGRA Technischer Bericht 83-05 (1983).
- 10) NAGRA Technischer Bericht 84-32 (1984).
- 11) NAGRA Technischer Bericht 86-25 (1986).
- 12) SKBF / KBS : KBS-3, III (1983).
- 13) Heikki Raiko, Jukka-Pekka Salo : "An Advanced Cold Process Canister Design for Nuclear Waste Disposal" Mat. Res. Sym. Proc. Vol. 212 (1991).
- 14) J. Henshaw, A. R. Hoch, S. M. Sharland : Proc. of the 2nd Annual Int. Conf. Las Vegas, Nevada, P953 (1991).

表1 各国のオーバーパック候補材料選定状況

国名	求める機能	設置環境	候補材
スイス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・密封期間1000年</li> <li>・遮蔽性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・結晶質岩層</li> <li>温度 150°C</li> <li>外圧 30MPa</li> <li>pH 7~8.5</li> <li>Eh -60~-230mVより還元側に变化</li> </ul>	鋳鋼 球状黒鉛鋳鉄
スウェーデン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1000年以上の密封</li> <li>・遮蔽性 表面で γ線 60mSv/h 中性子 3mSv/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・結晶質岩層</li> <li>温度 50°C</li> <li>外圧 水圧 5MPa 緩衝材膨潤圧 5~10MPa</li> <li>pH 6.5~9.0</li> <li>Eh 0~-500mV</li> </ul>	銅
アメリカ*	<ul style="list-style-type: none"> <li>・密封期間 300-1000年</li> <li>・遮蔽性 作業員被曝 5μSv/y 以下</li> <li>・再取出性 50年</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・凝灰岩層</li> <li>温度 250°C</li> <li>外圧 大気圧 (岩体のクリープは想定しない)</li> </ul>	Type 304L Type 316L インコロイ825 脱酸銅 Cu-7Al 合金 Cu-30Ni合金  (リファレンス材は Type 304L)
カナダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・密封期間 500年</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・深成岩層 (結晶質岩層)</li> <li>温度 150°C</li> <li>外圧 水圧 9.8MPa 緩衝材膨潤圧 3MPa</li> </ul>	チタン  銅
フィンランド	基本的にスウェーデンに同じ。現在スウェーデンと共同で炭素鋼容器+銅被覆+充填材 (+鉛遮蔽) の新型冷間加工キャニスタ (ACPC) を開発・検討中。		

\* 玄武岩層、岩塩層についても検討していたが中止



表2 Yucca Mountainの凝灰岩の標準とされた地下水組成<sup>1)</sup>

Component	Mean concentration (mg/L)	Standard deviation
Cations		
Magnesium (Mg)	2.17	0.22
Manganese (Mn)	0.16	0.02
Silicon (Si)	30.7	2.3
Iron (Fe)	0.001	0.020
Strontium (Sr)	0.09	0.06
Barium (Ba)	0.021	0.014
Vanadium (V)	0.023	0.016
Titanium (Ti)	0.000	0.013
Calcium (Ca)	12.2	1.2
Lithium (Li)	0.16	0.16
Potassium (K)	6.8	2.0
Aluminum (Al)	0.003	0.011
Sodium (Na)	51.7	3.5
Anions		
Fluorine (F)	2.0	
Chlorine (Cl)	6.4	
Phosphate (PO <sub>4</sub> )	0.1	
Nitrite (NO <sub>2</sub> ) <sup>4</sup>	9.6	
Sulphate (SO <sub>4</sub> )	18.2	
Alkalinity as HCO <sub>3</sub>	135	

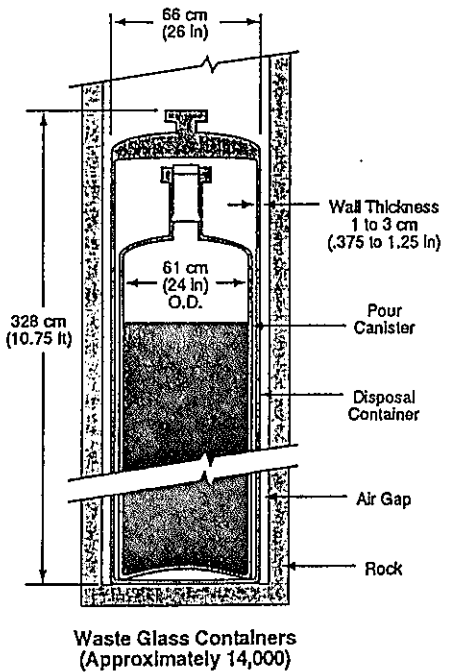


図1 ガラス固化体用オーバーパックの形状・寸法 (米国)<sup>2)</sup>

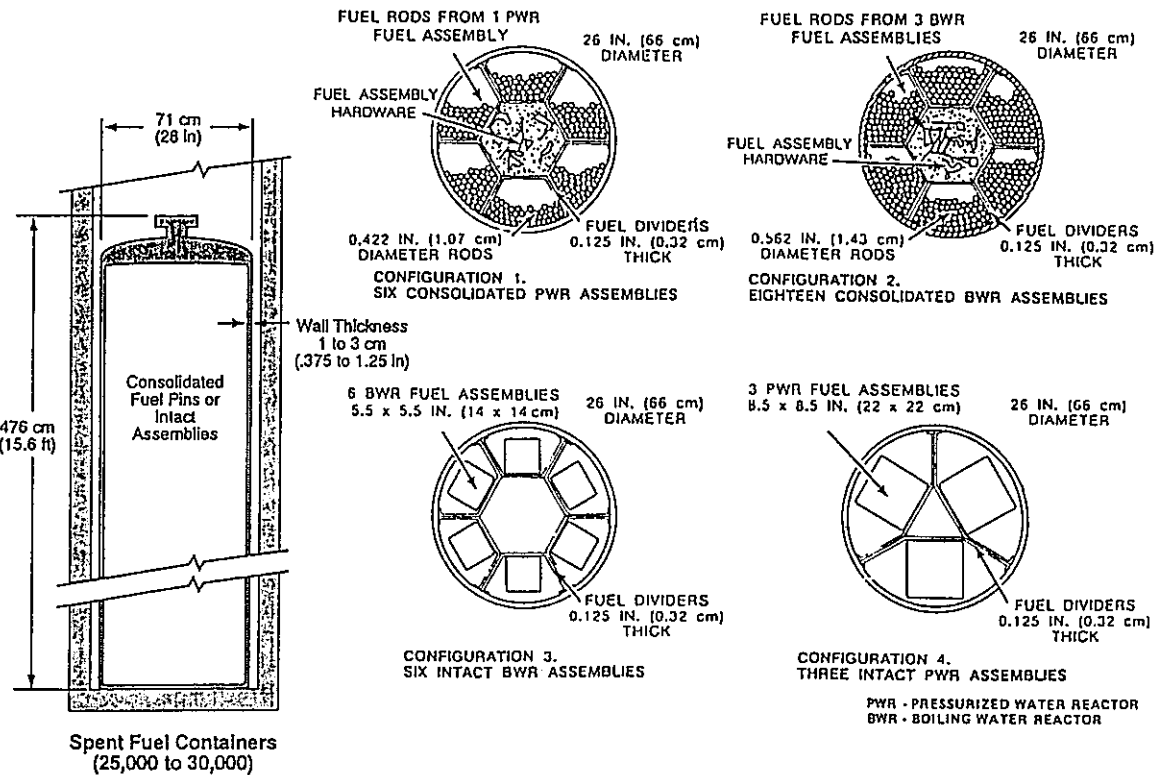


図2 使用済燃料用オーバーパックの形状・寸法と内部構造例 (米国)<sup>1) 2)</sup>

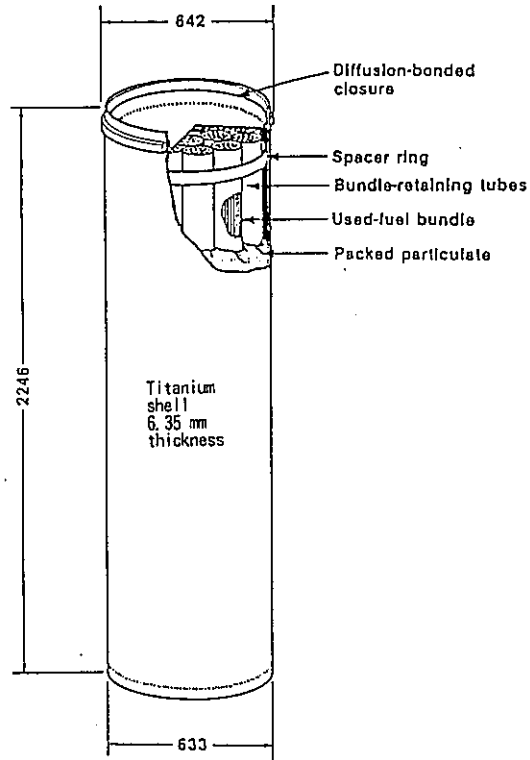
PWR - PRESSURIZED WATER REACTOR  
BWR - BOILING WATER REACTOR

表3 Canadian Shieldにおける地下水条件<sup>1)</sup>

PROBABLE GROUNDWATER COMPOSITIONS OF CRYSTALLINE ROCKS  
OF THE CANADIAN SHIELD

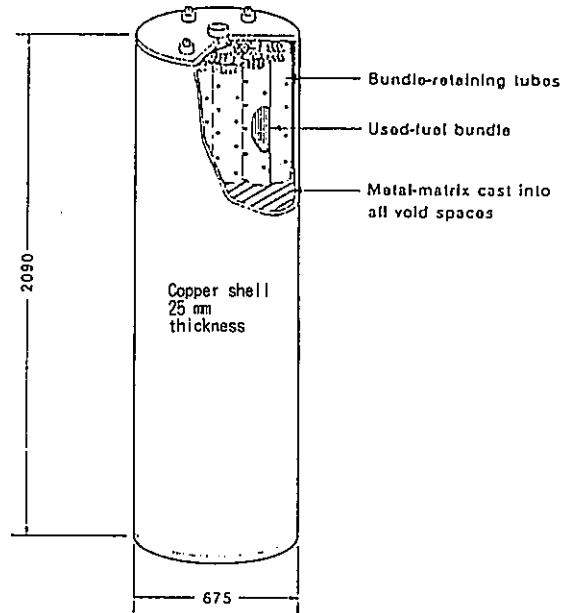
Analysis	Units	Probable Range	Maximum*
Conductivity	$\mu\text{S}/\text{cm}$	400-600	1 100
$\text{KMnO}_4$ consum.	mg/L	5-35	50
$\text{COD}_{\text{Mn}}^{2+}$	$\text{O}_2$ mg/L	1.2-9	12.5
$\text{Ca}^{2+}$	mg/L	20-60	100
$\text{Mg}^{2+}$	mg/L	15-30	150
$\text{Na}^+$	mg/L	(~ 20-40)	200
Fe-total	mg/L	1-20	30
$\text{Fe}^{2+}$	mg/L	0.5-15	30
$\text{Mn}^{2+}$	mg/L	0.1-0.5	3
$\text{HCO}_3^-$	mg/L	150-400	500
$\text{CO}_2$	mg/L	0-25	50
$\text{Cl}^-$	mg/L	20-100	400
$\text{SO}_4^{2-}$	mg/L	20-40	100
$\text{NO}_3^-$	mg/L	0.1-2	10
$\text{PO}_4^{3-}$	mg/L	0.1-0.6	1
$\text{F}^-$	mg/L	0.5-3	8
$\text{SiO}_2$	mg/L	15-40	60
$\text{HS}^-$	mg/L	< 0.2-5	10
$\text{NH}_4^+$	mg/L	0.1-0.4	5
$\text{NO}_2$	mg/L	0.01-0.1	0.5
$\text{O}_{\text{dH}}$	$\text{O}_{\text{dH}}$	6-15	50
$\text{O}_2$	mg/L	<0.01	1
pH	~ 8 (Swedish tunnel water)		

\* 95% Estimated probability that the maximum will not be exceeded.



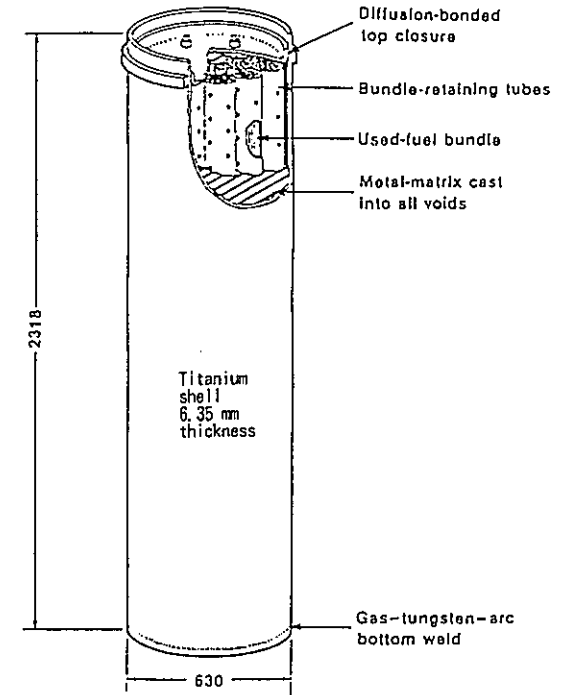
Packed-Particulate Fuel Isolation Container

図3 オーバーパックの形状・寸法<sup>7)</sup>  
 (Tiシェル, パーティクル充填)  
 (カナダ)



Copper-Shell Metal-Matrix Fuel Isolation Container

図4 オーバーパックの形状・寸法<sup>7)</sup>  
 (銅シェル, 鉛鑄込み)  
 (カナダ)

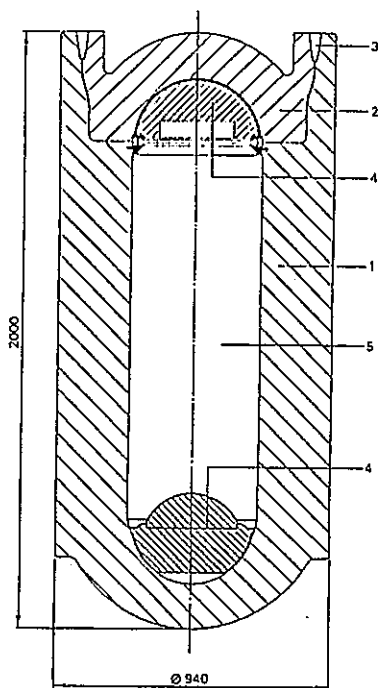


Titanium-Shell Metal-Matrix Fuel Isolation Container

図5 オーバーパックの形状・寸法<sup>7)</sup>  
 (Tiシェル, 鉛鑄込み)  
 (カナダ)

表4 想定された地下水組成 (スイス)<sup>11)</sup>

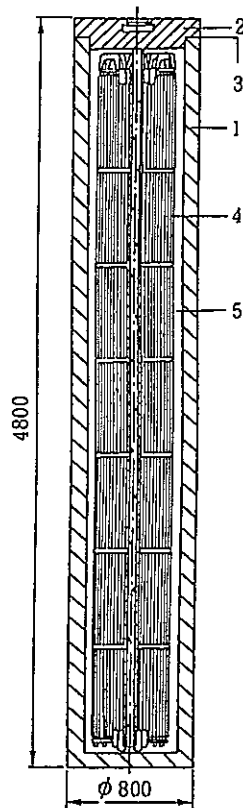
Cations:		Anions:	
	μg/g		μg/g
Na <sup>+</sup>	4038	Cl	6620
K <sup>+</sup>	45	F <sup>-</sup>	2.8
Mg <sup>++</sup>	2.6	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1560
Ca <sup>++</sup>	870	Silicates (as SiO <sub>2</sub> )	17
Sr <sup>++</sup>	21		
Mn(tot)	3.1		
Fe(tot)	0.5	Dissolved carbonates (tot)	1.91 mmol/l
U (tot)	10 <sup>-4</sup>	Alkalinity	1.58 meg/l
Dissolved gases:		pH, Eh:	
log (P(O <sub>2</sub> )/1 atm)	-59	pH= 6.8	
log (P(CO <sub>2</sub> )/1 atm)	-1.73	Eh= -60 mV to -230 mV	



All dimensions are in mm.

- 1 : container body ; 2 : lid ; 3 : sealing weld ;
- 4 : radiation screening material ;
- 5 : emplacement of vitrified high-level waste.

図6 ガラス固化体用オーバーパック<sup>10)</sup>  
(スイス)



All dimensions are in mm.

- 1 : container body ; 2 : lid ; 3 : sealing weld ;
- 4 : spent fuel elements, embedded in lead ;
- 5 : lead filling.

図7 使用済燃料用オーバーパック<sup>10)</sup>  
(スイス)

表5 KBS-3で想定された地下水条件<sup>12)</sup>

Assumed composition of  
deep granitic groundwaters

(concentrations in mg/l)

pH	7-9
Eh(V)	0-(-0.45)
$\text{HCO}_3^-$	90-275
$\text{SO}_4^{2-}$	0.5-15
$\text{NO}_3^-$	0.01-0.05
$\text{Cl}^-$	4-15 <sup>1)</sup>
$\text{HS}^-$	0-0.5
$\text{Ca}^{2+}$	10-40
$\text{Fe}^{2+}$	0.02-5
Fe (tot)	1-5
$\text{NH}_4^+$	0.05-0.2
TOC	1-8

- 1) An evaluation has also been done for chloride concentrations of up to 35 000 mg/l.

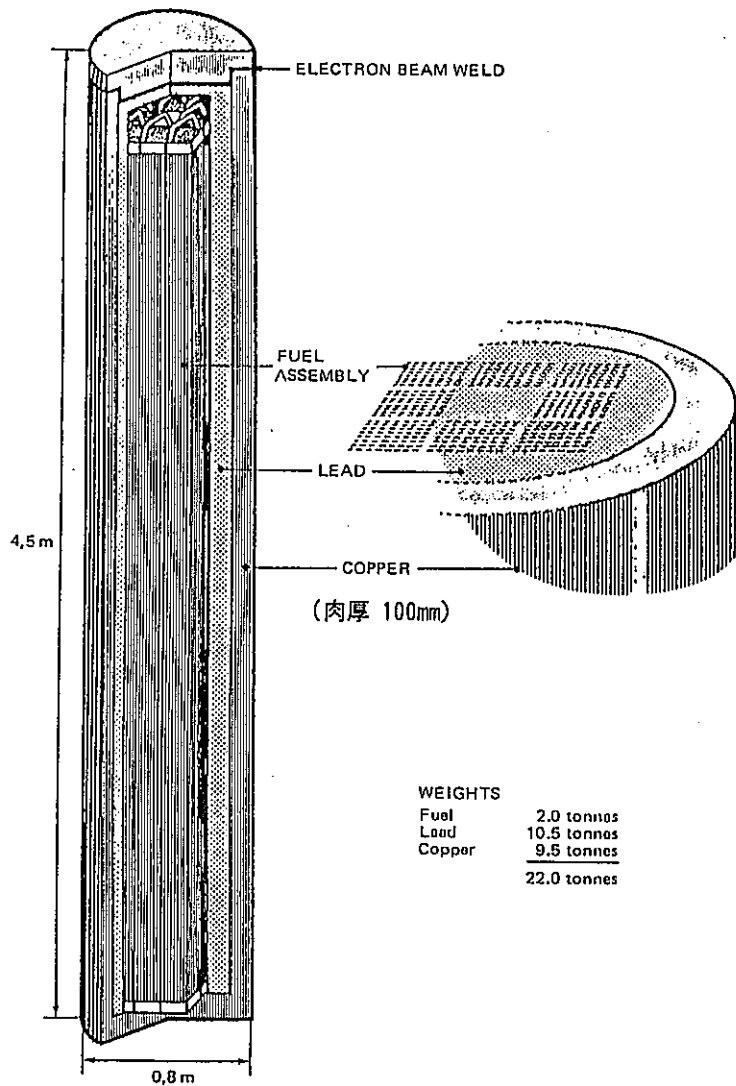


図8 オーバーパックの形状・寸法  
(鉛鑄込み型) (スウェーデン) <sup>12)</sup>

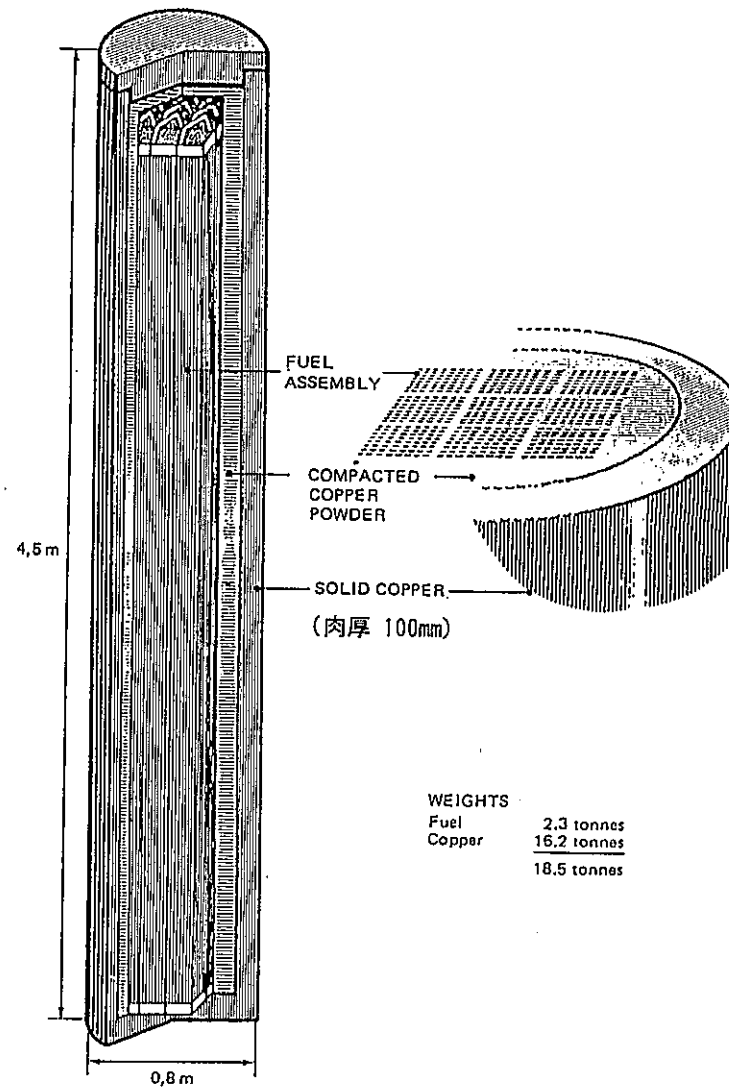


図9 オーバーパックの形状・寸法  
(銅粉末充填型) (スウェーデン) <sup>12)</sup>

# CANISTER FOR SPENT NUCLEAR FUEL

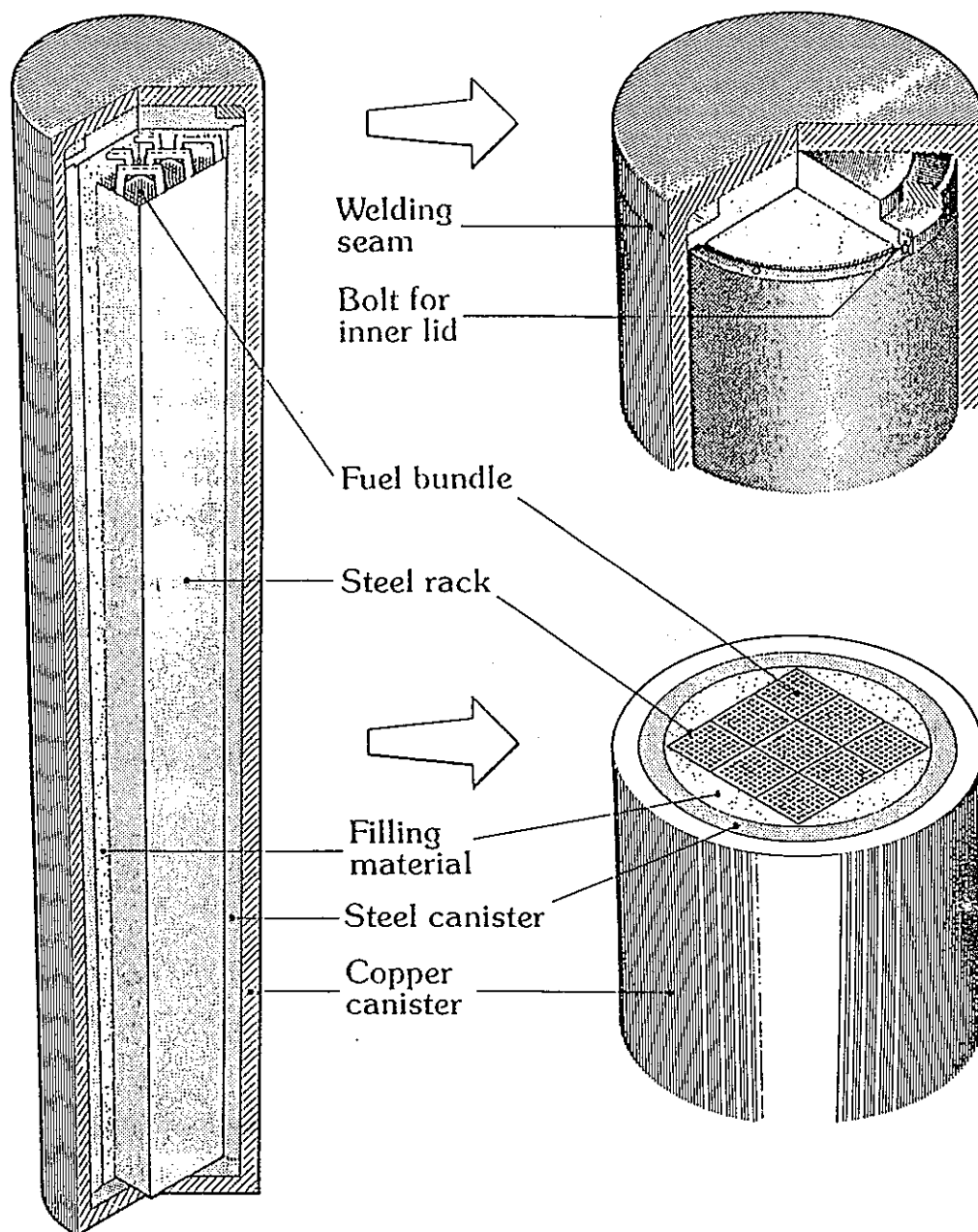


図10 ACPC (Advanced Cold Process Canister) の構造 (フィンランド)



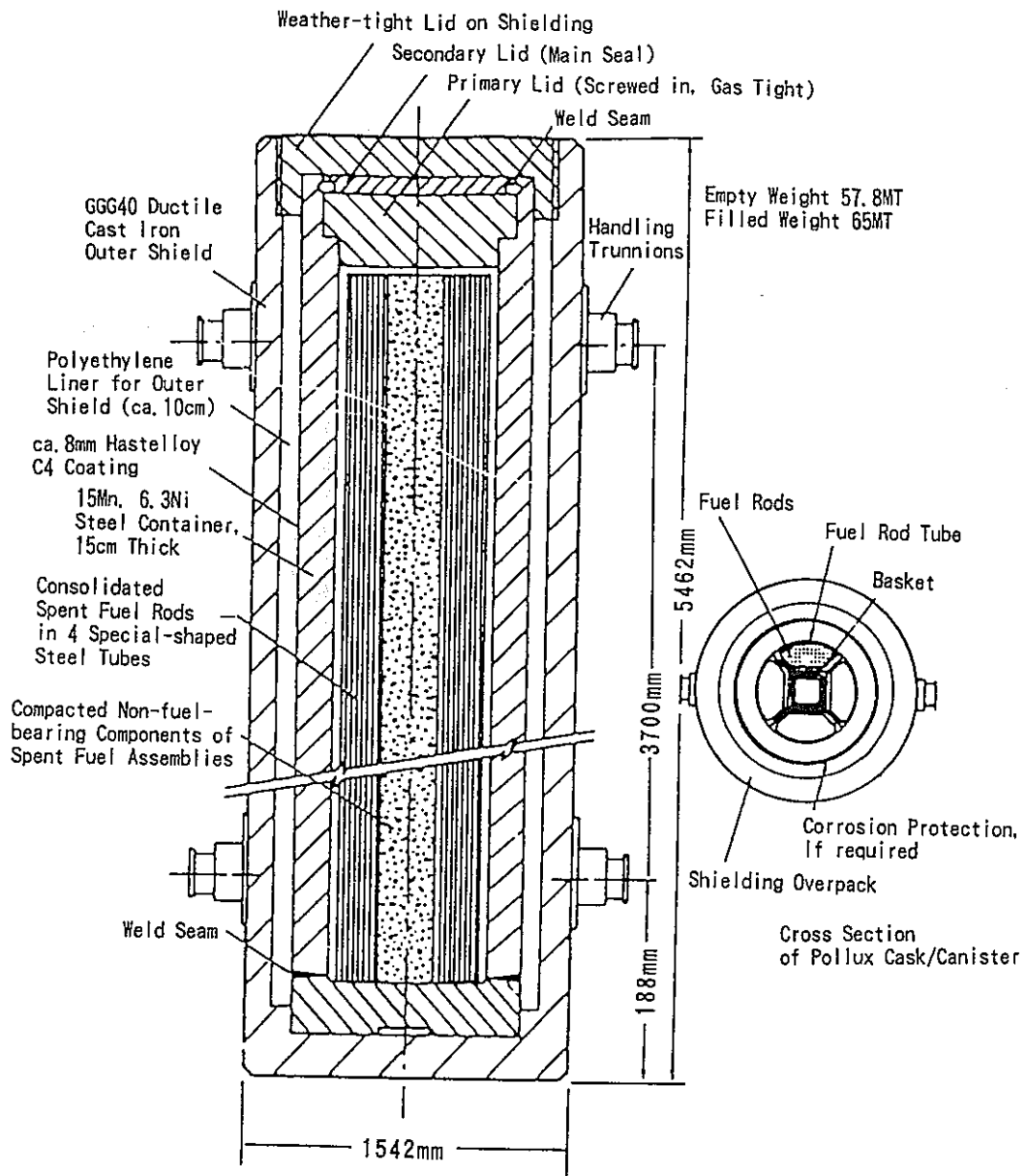


図11 使用済燃料用キャスク (Pollux Cask/Canistar) の構造・寸法 (西独) <sup>6)</sup>