

世界における直接処分技術の調査(2)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1995年3月

株式会社 三菱総合研究所

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。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

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

世界における直接処分技術の調査（2）

服部 弘己*、大久保 博生**

要 旨

軽水炉から発生する使用済燃料の取扱い方については、①直接処分、②再処理-Puリサイクル利用の2つのシナリオがある。現在、日本では再処理-Puリサイクル利用路線を進めているが、世界的にPu利用に対する見直しの動きが広がっており、今後、世論や海外からの圧力が増すことが予想される。このためわが国としても両者を比較して、Puリサイクルの意義を明確にしておく必要がある。

このために本調査では、海外における使用済燃料の直接処分の検討事例を分析し、その考え方や技術、経済性について分析を行った。次いで、比較のため海外の検討事例を基に、我が国の状況を考慮したケースを想定し、基本仕様を作成し、さらに費用の見積を行って、海外における直接処分の経済性について評価した。

調査の結果、我が国で直接処分を行った場合、処分コストは54.9百万円/tUであり、海外の評価事例と比較すると、海外の評価の中で最も高いスウェーデン、フィンランドの評価結果よりも25%前後高いコストとなることが明らかになった。費目別では、処分容器代や緩衝材のコストなど物品費の比率が高い。また我が国の状況を比較すると、地下施設の建設および閉鎖に伴うコストが全体の半分を占めることが示された。

本調査の分析は、既存の分析結果をベースに我が国の国情を加味して評価を行っていることから、技術的な詳細な検討を経たものではない事は留意すべきである。我が国の状況を踏まえたケースで、おおよそどの程度のコストになるかという目安は得られたといえる。

一方、多量のプルトニウムを含む使用済燃料の核物質管理の考え方や、その管理に必要な施設、設備についてはこの評価には入れられていない為、ガラス固体化などの処分とは異なることに留意すべきである。

本報告書は、株式会社三菱総合研究所が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号 06 C 1122

事業団担当部課室：大洗工学センター 新型炉サイクル解析室 小藤 博英

* 株式会社三菱総合研究所 経済経営本部 産業技術部

** 株式会社三菱総合研究所 地球環境研究センター エネルギー・資源研究部

A Study of Direct Disposal Technology in the World (2)

HirokiHattori*,HirooOkubo**

Abstract

There are two methods of handling the spent fuel generated from the light water reactor; they are 1) direct disposal and 2) reprocessing-plutonium recycling. At present, Japan is following the line of "Reprocessing-Plutonium Recycling," but in the rest of the world, the movement for reviewing the plutonium recycling is spreading, and in the future, the world opinion and pressure from overseas countries will increase against this method. Under these circumstances, Japan must compare the two methods to clarify the meaning of plutonium recycling.

In this investigation, an overseas document by which the spent fuel had directly examined disposal was investigated. And, the content of those documents was arranged. The case of which directly disposed in Japan was set and the basic specification and the cost were evaluated.

As a result of the investigation, the disposal cost became 54,900,000 yen/tU in the case with our country. This evaluation value is about 25% higher than Sweden and Finland where the cost is the highest in an overseas case. In cost items, the ratio which the article expense occupies is high. Moreover, the cost of construction and the close of underground facilities occupies the entire half for our country. This investigation is an evaluation based on in the case of the evaluation the current. Therefore, I want you to note going as for a technical detailed examination. However, the guess of the cost when directly disposing in Japan pounded.

Moreover, the nuclear material control of the spent fuel is not evaluated. I want you to note cannot the comparison for that with the disposal of the glass solidification body.

Work Performed by Mitsubishi Research Institute, Inc., under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development corporation

PNC Liaison : Hirohide Kofuji, Advanced Reactor and Fuel Cycle Development Section, Technology Development Division, O-Arai Engineering Center

* Techno-Economics Department, Economy and Management Division

** Energy and Natural Resources Department, Research Center for Environment and Development

目次

I. 各国の直接処分コストの分析	1
1. スウェーデン	1
1.1 処分概念	1
1.2 処分コスト	4
2. フィンランド	10
2.1 処分概念	10
2.2 処分コスト	15
3. ドイツ	18
3.1 処分概念	18
4. カナダ	25
4.1 処分概念	25
4.2 処分コスト	29
II. 直接処分概念の検討	31
1. 全体像	31
1.1 全体レイアウト	31
1.2 処分量	40
2. 地下へのアクセス	45
2.1 方式と本数	45
2.2 断面と深さ	46
2.3 容器搬入方式/設備	46
3. 処分場	47
3.1 処分ピット	47
3.2 処分坑総延長及び掘削量	52
3.3 作業坑	54
3.4 地下作業エリア	54
4. 処分容器	55
4.1 容器形状	55
4.2 容量	57
4.2 充填材	57
5. コンディショニング施設	58
III. 直接処分の経済性評価	60
1. 基本仕様とコストの設定	60
1.1 地上施設(コンディショニング施設)	60
1.2 地下施設	64
2. 直接処分コストの評価	76
2.1 直接処分単価	76
2.2 感度分析	79
3. 経済性評価のまとめと今後の課題	83
付属資料	85

図表目次

図 I-1-1	スウェーデンの直接処分容器	2
図 I-1-2	スウェーデンの直接処分場の概観	6
図 I-1-3	スウェーデンの処分作業車外観	7
図 I-1-4	処分トンネルの梅戻し方法図	7
図 I-1-5	スウェーデンの直接処分プロジェクトにおける費用発生パターン	9
図 I-2-1	フィンランドの直接処分場概観	11
図 I-2-2	フィンランドの使用済燃料直接処分容器	12
図 I-2-3	フィンランドの使用済燃料コンディショニング施設概観	13
図 I-2-4	Deposition hole. (フィンランド)	15
図 I-3-1	ドイツの地下処分施設の概念図	19
図 I-3-2	Pollux cask	20
図 I-3-3	立坑でのキャスクの搬入方法概念図	22
図 I-3-4	(1) 鉄道による POLLUX casks. 輸送	22
図 I-3-4	(2) POLLUX casks. の定置	22
図 I-3-4	(3) 埋め戻し	22
図 I-4-1	カナダの使用済燃料直接処分場の概観	26
図 I-4-2	Thin-walled fuel disposal container (カナダ)	27
図 II-1-1	スウェーデンにおける使用済燃料直接処分の概観	31
図 II-1-2	フィンランドにおける使用済燃料直接処分の概観	32
図 II-1-3	ドイツにおける使用済燃料直接処分の概観 (図 I-3-1再掲)	33
図 II-1-4	カナダにおける使用済燃料直接処分の概観 (図 I-4-1再掲)	34
図 II-1-5	アメリカにおける処分場のレイアウト	34
図 II-1-6	処分区画の概念 (PNC)	35
図 II-1-7	地下施設へのアクセス方式	35
図 II-1-8	処分施設の基本レイアウト例 (PNC)	36
図 II-1-9	基本レイアウト	39
図 II-3-1	廃棄体の定置方式	47
図 II-3-2	Deposition hole with canister and buffer material. (スウェーデン) (図 I-1-2再掲)	49
図 II-3-3	Deposition hole. (フィンランド) (図 I-1-4再掲)	49
図 II-3-4	Reference canister for SKB 91. (スウェーデン) (図 I-1-1再掲)	50
図 II-3-5	ACP CANISTER. (フィンランド)	51
図 II-3-6	H L W処分用人工バリアの仕様例	52
図 II-3-7	坑道の断面例	53
図 III-1-1	鉛価格の月平均値の推移	63
図 III-1-2	鉄道トンネルの工事単価の変遷 (昭和45年実施価格)	68
図 III-1-3	地下鉄建設コスト (1970年実施価格)	68
図 III-1-4	トラクターショベル能力	70

表Ⅰ-1-1	スウェーデンの直接処分コスト評価結果	8
表Ⅰ-2-1	フィンランドにおける直接処分コスト評価結果	16
表Ⅰ-3-1	ドイツにおける直接処分コスト評価結果	24
表Ⅰ-4-1	カナダにおける直接処分コスト評価結果	30
表Ⅱ-1-1	放射性廃棄物処分施設への基本的な要求項目	37
表Ⅱ-1-2	軽水炉1GWeの1年間運転に伴う使用済燃料と 放射性廃棄物量（直接処分）	41
表Ⅱ-1-3	軽水炉1GWeの1年間運転に伴う使用済燃料と 放射性廃棄物量（再処理サイクル）	41
表Ⅱ-1-4	炉心特性データ	42
表Ⅱ-1-5	我が国の原子力発電容量、発電電力量の見通しに関する想定	43
表Ⅱ-1-6	使用済燃料発生量当りの廃棄物発生量	43
表Ⅱ-3-1	BWR, PWR燃料集合体の標準形式（例）	48
表Ⅱ-4-1	各国の人工バリアシステムの構成	55
表Ⅱ-4-2	各種金属材料の耐食性の比較	56
表Ⅱ-4-3	各種金属材料の耐食性以外の性質の比較	57
表Ⅲ-1-1	コストアップ要因 その1	69
表Ⅲ-1-2	コストアップ要因 その2	69
表Ⅲ-1-3	コストダウン要因	70
表Ⅲ-1-4	日本におけるトンネル工事単価例	71
表Ⅲ-1-5	直接処分に係る各工程の基本仕様の設定一覧	74
表Ⅲ-1-6	直接処分に係る各工程のコストの設定一覧	75
表Ⅲ-2-1	直接処分単価評価結果	77
表Ⅲ-2-2	諸外国の直接処分単価の評価結果との比較	78
表Ⅲ-2-3	(1) 直接処分コスト感度分析1-規模の影響（総費用で見た場合）	80
表Ⅲ-2-3	(2) 直接処分コスト感度分析1-規模の影響（単価で見た場合）	81
表Ⅲ-2-4	直接処分単価の感度分析2-岩質の影響	82

1. 各国の直接処分コストの分析

1. スウェーデン

1.1 処分概念

(1) 概要

スウェーデンの計画では、原子炉から取り出された使用済燃料は30～40年間湿式貯蔵施設 (CLAB) に貯蔵され、その後、地下に直接処分されることになっている。直接処分施設は2020年～2048年まで運転され、この間に、7,840tUの使用済燃料を直接処分する計画である。

直接処分のための施設としては、地上施設と地下施設があり、地上施設は中間貯蔵施設から運ばれてきた使用済燃料を直接処分容器中に詰める作業を行う。地下施設はSFL2と呼ばれており、結晶質岩の地層中の地下500mのところ建設する計画である。地下施設は地上施設と結ばれる立坑4本と地下の搬送用トンネル、処分用トンネルから構成される。

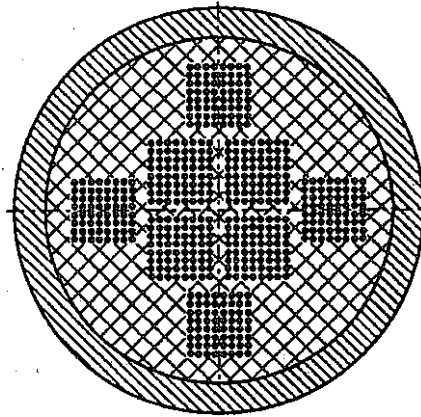
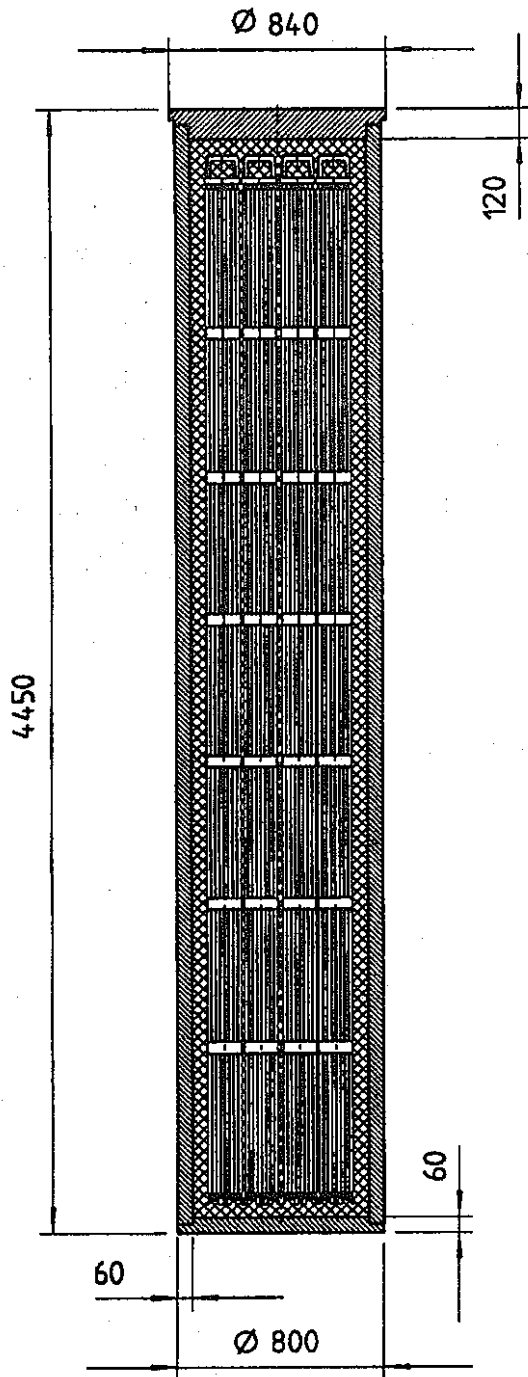
- | | |
|--------|--|
| ①処分時期 | : 2020年～2048年 |
| ②処分量 | : 7,840tU — 処分容器5,700本、処分容量12,900 m ³ |
| ③処分地層 | : 結晶質岩 |
| ⑤処分場深度 | : 500 m |
| ⑥施設 | |
| | ・地上施設: コンディショニング施設 (Encapsulation saturation) |
| | ・地下施設: 立坑4本 (shaft)、搬送用トンネル、サービス・エリア、処分用トンネル |

(2) 処分容器

使用済燃料の処分容器は長さ445cm、直径80cm、容器厚10cmの銅製の容器であり (図 I - 1 - 1 参照)、使用済燃料の燃料集合体の大きさに合わせてある。その中にBWRの使用済燃料集合体であれば9体が収納され、空隙は溶融した鉛で充填される。鉛は遮蔽材の役割を果たす。

処分容器の表面積は 11.18 m^2 である。一方、重量は容器の自重が $5,370 \text{ kg}$ 、使用済燃料が $2,100 \text{ kg}$ (1.6tU 相当)、充填材の鉛が $14,630 \text{ kg}$ であり、計 $22,100 \text{ kg}$ と見積もられている。

図 1-1-1 スウェーデンの直接処分容器



Section of canister

Canister surface (m^2) 11.18

Estimated weight (kg)

Canister 5370

Fuel assemblies 2100

Cast lead 14630

Total 22100

出典：(9)

(3) コンディショニング施設

コンディショニング施設は地下最終処分場の真上に位置し、中間貯蔵施設から搬入された使用済燃料を処分容器に詰める工程を受け持っている。処分容器に封入された使用済燃料は、そのままエレベータで地下最終処分場へ降ろされる。

施設は次のような6つのセクションから構成される。

- ①使用済燃料搬入部
- ②処分容器への封入および処分場への搬出部
- ③炉心構造物等の処理部
- ④サービス施設（容器貯蔵等）
- ⑤付帯設備部（冷却装置、除染施設、等）
- ⑥事務管理施設

施設の延長は150mであり、全容積は250,000m³となっている。

設備の処理能力は、年間210本（一日一本、10ヶ月間稼働）であり、2020～2048年の間で計5,700本を処理する。2048年の運転終了後は撤去される。

コンディショニング施設の運転に必要とされる人員は約80名と見積もられている。

(4) 地下処分施設 (SFL2)

処分施設は地下500mのところに位置し、地上とは4本の立坑 (shaft) で結ばれる。処分場は図 I -1 -2 に示すように並行に掘られたトンネルによって構成される。トンネルの総延長は約40kmで、処分トンネルの他に搬送用トンネルとサービス・エリアが付属する。処分場の面積は約1km²である。

地下処分施設の全掘削量は約800,000m³であり、そのうち処分トンネルの掘削量が500,000m³をしめる。処分トンネルは、処分の進行にしたがって掘り進められ、処分後、順次埋め戻される。

処分施設の作業員は全部で約120名程度と見積もられている。

①立坑

立坑は全部で4本ある。そのうち3本はコンディショニング施設の真下に掘られる。その3本の機能は次の通りである。

- ・中央坑：作業員及び機材の搬入出に使用。その他水、電気等供給にも使用。エレベータ2基を装備
- ・作業坑 (Skip shaft)：掘削作業のための立坑
- ・容器搬入坑 (Waste shaft)：容器を搬入するための立坑

この他に、処分場の反対側の端にもう一本立坑が掘ってあり、通常は排気坑として使用されるが、緊急時には作業員の脱出用に使えるようになっている。

②処分トンネル

処分トンネルの断面は図 I - 1 - 2 に示すとおりで、高さ 4.5 m、幅 3.3 m、断面積が 14 m² である。この断面形状は処分作業車 (図 I - 1 - 3 参照) の大きさと既存のトンネル掘削技術の適用限界から決定されている。

処分トンネルは満杯になると図 I - 1 - 4 に示すような形で順次埋め戻される。

③処分ホール (Deposition hole)

処分ホールは処分トンネルの床に立坑 (ホール) を掘って作られる (図 I - 1 - 2 参照)。処分ホールは、処分容器の大きさに合わせて、直径が 1.5 m、深さが 7.5 m となっている。ホール間の間隔は 6.2 m である。処分容器はこのホールの中に縦置きされ、空隙には緩衝材としてベントナイトが充填される。

1.2 処分コスト

(1) 工程別コスト

スウェーデンの使用済燃料の処分にかかる総費用は、表 I - 1 - 1 に示すように 24.41 億ドル (1991 年 7 月の米ドル換算、以下同じ) と見積もられている。スウェーデンでの評価においては、この他にコンディショニング施設へ使用済燃料を輸送するサイトサービス (Site Service) の費用も 7.6 億ドル含まれていることから、これを含めると 32.01 億ドルとなる。

地上施設におけるコンディショニング工程と地下施設での処分工程では、前者の方が 13.49 億ドルに対し後者が 10.92 億ドルであり、コンディショニング工程の方が費用がかかるという評価となっている。特に細目で見るとコンディショニング施設の運転費用が 8.41 億ドルと

最も大きく、34.5%を占めている。この中には、コンディショニング施設の運転にかかる人件費やユーティリティ費用の他に、容器代や充填材の費用が含まれており、これらの比重が高いことが推計される。

地下処分工程の費用は10.92億ドルで、そのうち地下施設建設に5.29億ドル、埋め戻しに4.61億ドルがかかっている。運転費用は0.89億ドルに過ぎず、コンディショニング工程に比べると運転費用が少なく評価されている。

なお、50年間の運転期間中の費用の発生パターンとしては図I-1-5に示すようなパターンが想定されている。

(2) 処分単価

上記の費用を処分総量（重量7,840tU、処分容器5,700本）で割ると、処分単価は次のようになる。

- ・ 重量単価 311.35 千ドル / tU (42.97 百万円 / tU)
[但し 1 ドル = 138.01 円 (1991.7 平均為替レート採用)]
- ・ 処分本数当たり 428.25 千ドル / 本 (59.10 百万円 / 本)

図1-1-2 スウェーデンの直接処分場の概観

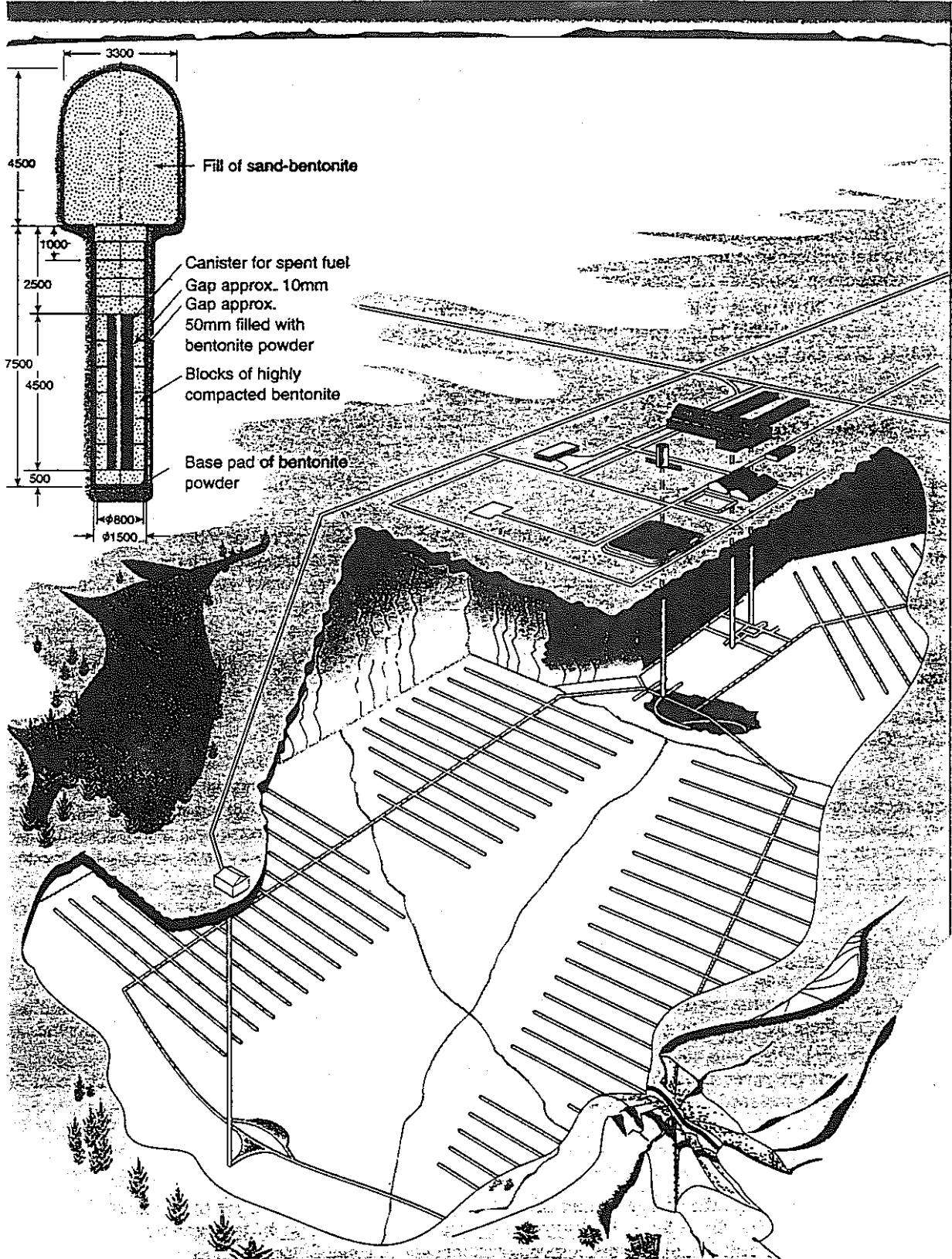


図 1-1-3 スウェーデンの処分作業車外観

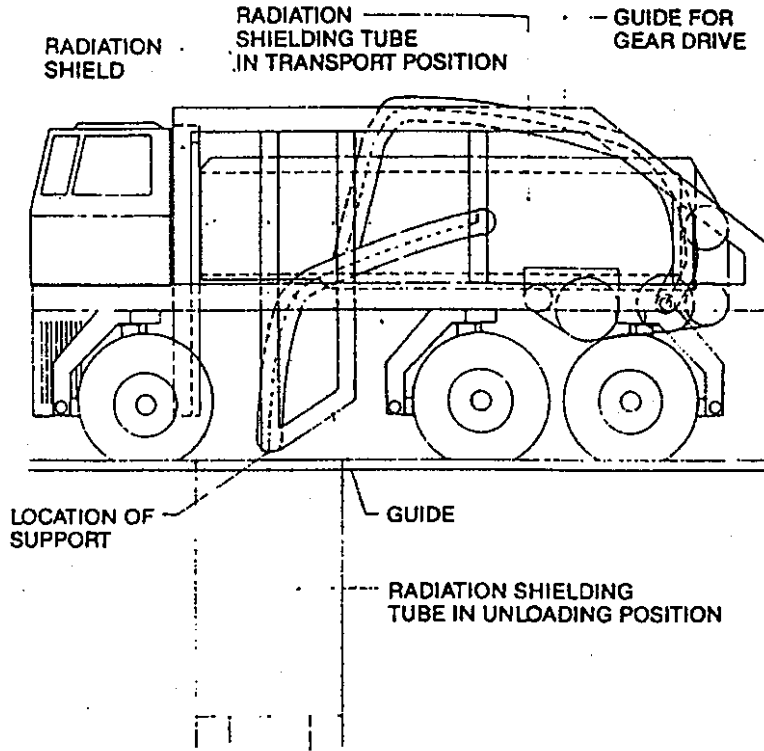


図 1-1-4 処分トンネルの梅戻し方法図

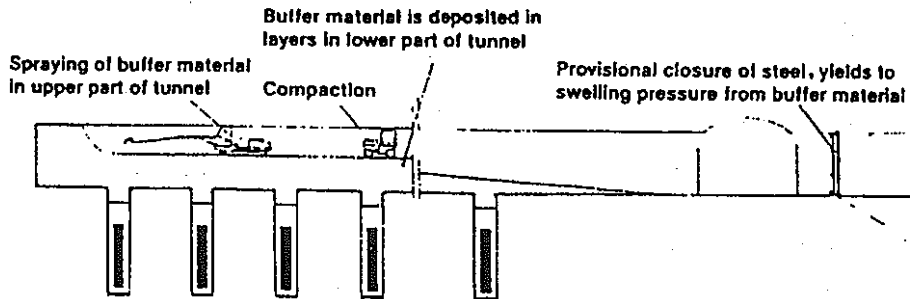


表1-1-1 スウェーデンの直接処分コスト評価結果

Summary of cost results for the Swedish spent fuel disposal facility
M SEK, price level of January 1990^a

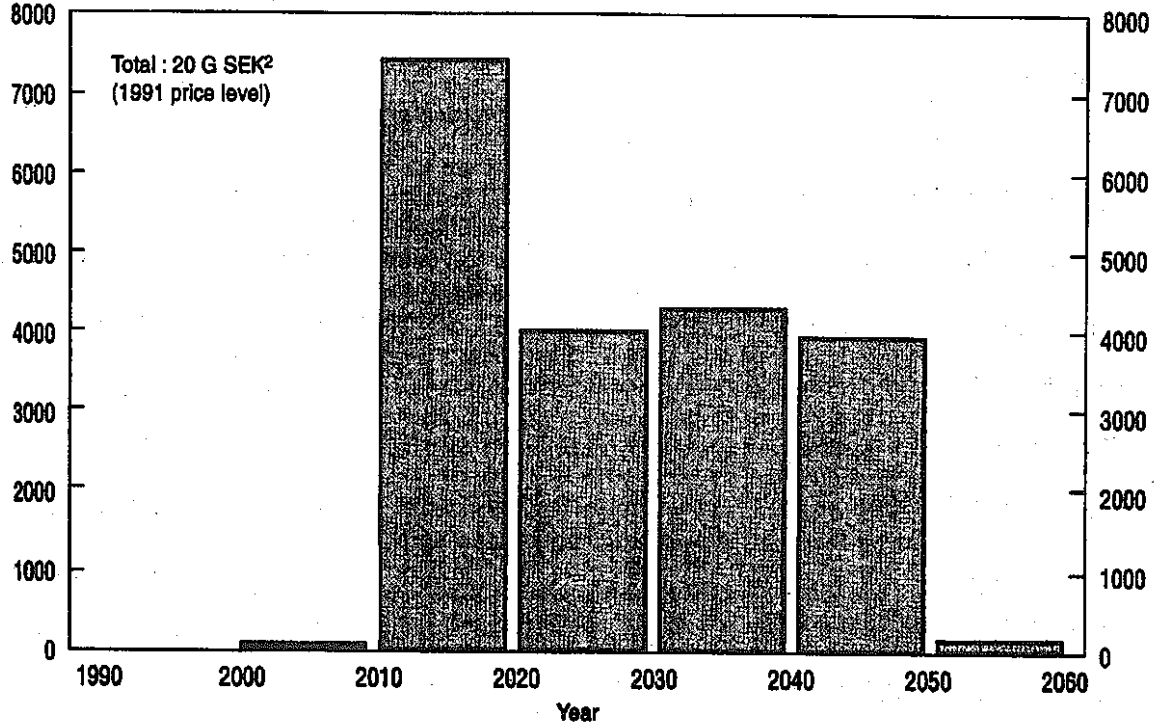
Facility	Encapsulation	Repository	Total	
自 国 通 貨	Cost category			
	Investment	2830	3343	6173
	Operation	5318	562	5880
	Reinvestment	127	42	169
	Sealing		2913	2913
	Decommissioning	254	44	298
	Toal	8529	6904	15433
米 ド ル 換 算 (億 ド ル)	Cost category			
	Investment	4.48	5.29	9.77
	Operation	8.41	0.89	9.3
	Reinvestment	0.20	0.07	0.27
	Sealing		4.61	4.61
	Decommissioning	0.40	0.07	0.47
	Toal	13.49	10.92	24.41
百 分 率	Cost category			
	Investment	18.35%	21.67%	40.02%
	Operation	34.45%	3.65%	38.10%
	Reinvestment	0.82%	0.29%	1.11%
	Sealing		18.89%	18.89%
	Decommissioning	1.64%	0.29%	1.93%
	Toal	55.26%	44.74%	100.00%

a)No discounting has been done.

出典：(8)よりMRI作成

図1-1-5 スウェーデンの直接処分プロジェクトにおける費用発生パターン

Cost distribution in 10 year periods in 1991 constant-money value (MSEK)



- 1) The Swedish cost estimates, which are included in the Countries Annex, are used as an example.
- 2) SEK : Swedish Krona.

2. フィンランド

2.1 処分概念

(1) 概要

フィンランドでは TVO が運転している 2 基の BWR の使用済燃料が直接処分の対象となる。その総量はウラン重量にして 1,840tU、処分容器本数で 1,200 本である。

現在、処分地の選定を進めており、4 カ所の候補地の中から 2000 年に処分地が決定される計画である。その後、2010 年台に最終処分施設の建設にとりかかる計画となっており、実際の処分開始時期は 2020 年以降になるものと推測される。処分場の運転期間は 20 年間と計画されている。

処分地の地層は結晶質岩を前提として検討が行われている。図 I - 2 - 1 に示すように、処分施設は地上のコンディショニング施設と地下処分場から構成される。地下処分場は深度 500 m の所に建設される。地上施設と地下処分場は 3 本の立坑で結ばれる。処分施設の面積は、地上が 37 万 m²、地下が 21.5 万 m² である。

①処分時期 : 2020 年以降? 20 年間稼働

②処分量 : 1,840tU - 処分容器 1,200 本、処分容量 2,600 m³

③処分地層 : 結晶質岩

④処分場深度 : 500 m

⑤施設

地上施設 : コンディショニング施設 (Encapsulation satation)

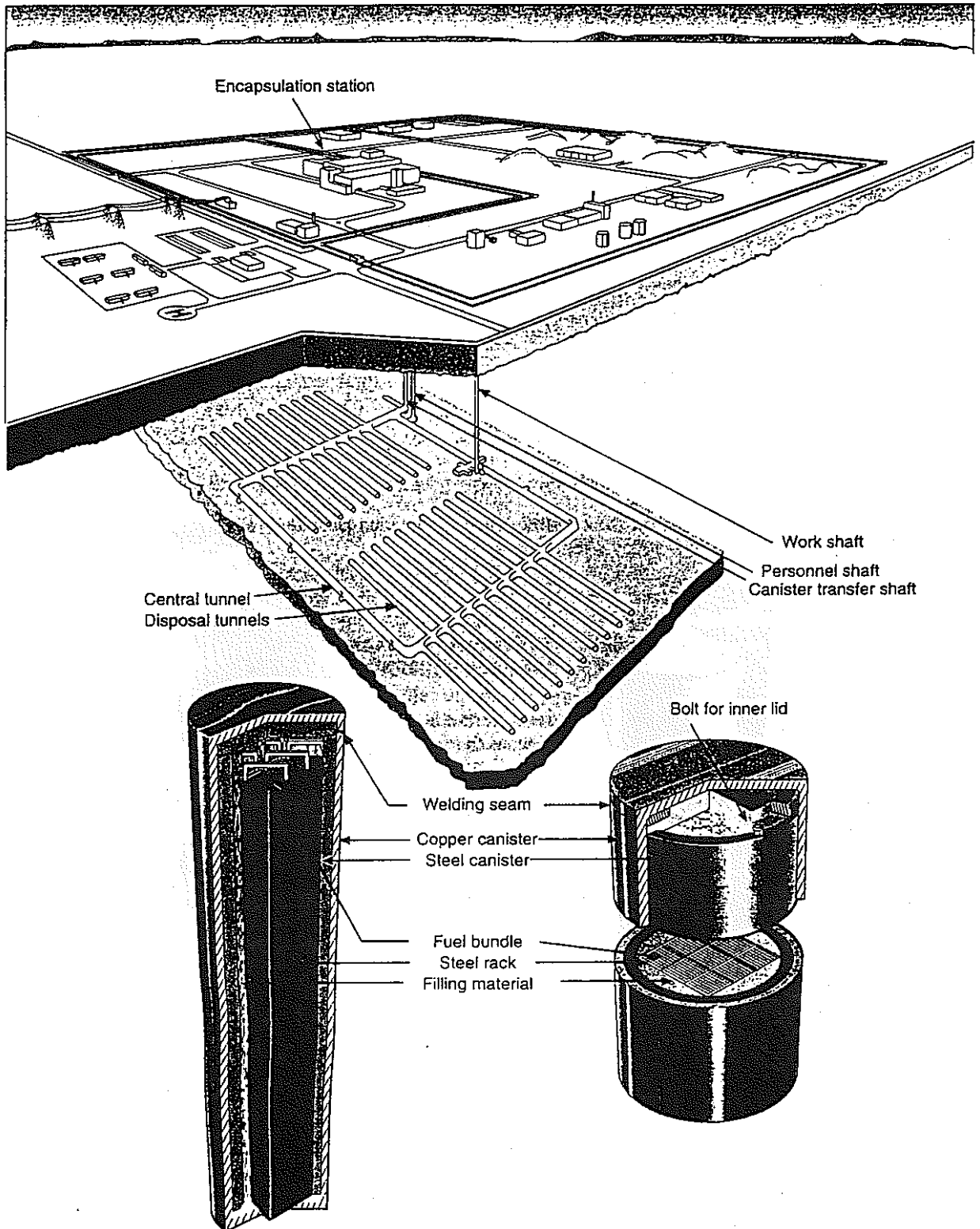
地下施設 : 立坑 3 本、中央トンネル、処分用トンネル

⑥処分場面積

地上 : 740 m × 500 m

地下 : 250 m × 860 m

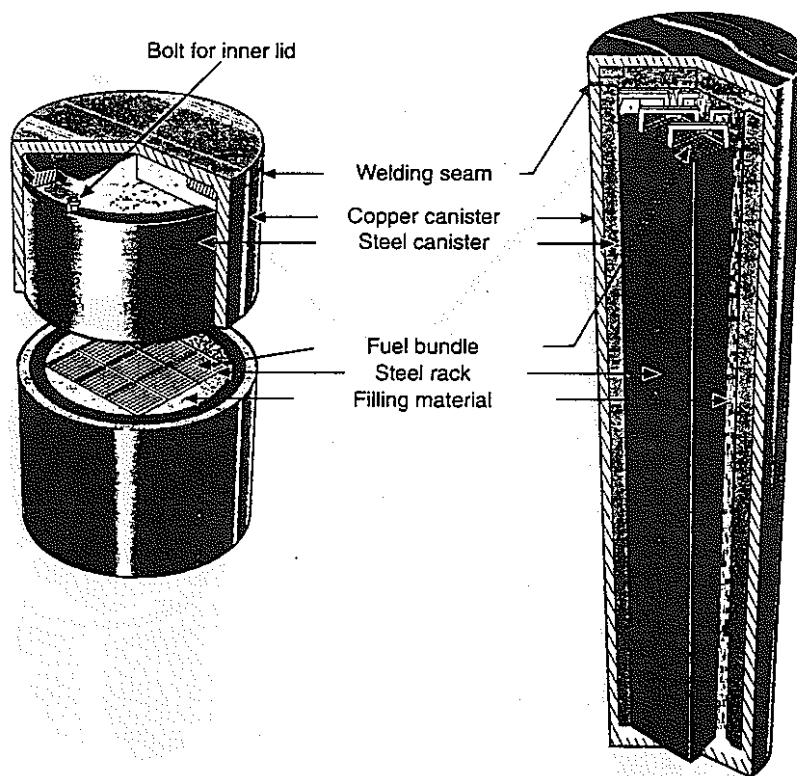
図 1-2-1 フィンランドの直接処分場概観



(2) 処分容器

使用済燃料の処分容器は、ACP (Advanced Cold Process) キャニスターと呼ばれる銅と鋼の二重容器が使われる。寸法的にはほぼスウェーデンの処分容器と同じで長さ450cm、直径80cmであり、容器の厚さは銅60mm、鋼55mmの計10.5cmとなっている(図I-2-2参照)。その中にBWRの使用済燃料集合体9体(1.6tU相当)が収納される空隙は充填材(粒状の鉛)で充填される。

図I-2-2 フィンランドの使用済燃料直接処分容器



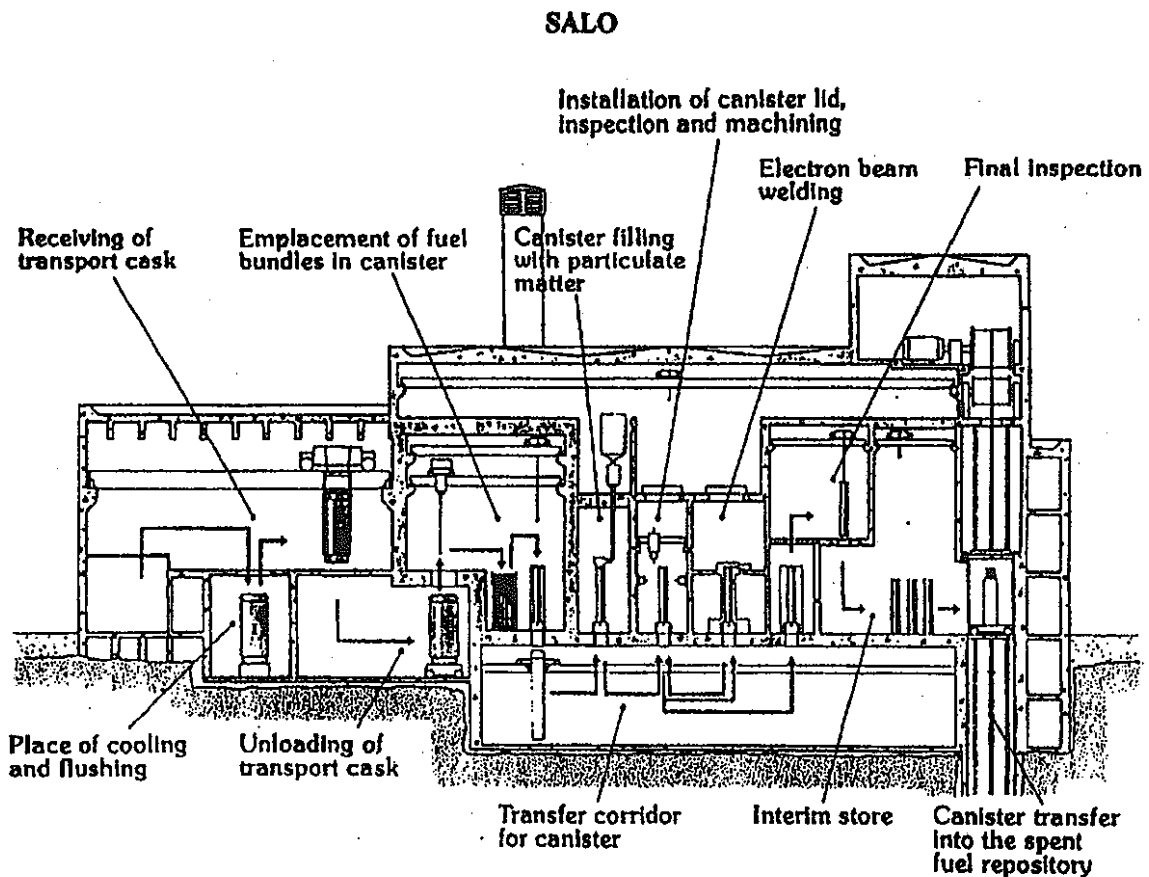
(3) コンディショニング施設

コンディショニング施設は地下の処分場の真上に位置する。主要部の断面図は図 I - 2 - 3 に示すとおりである。施設の容積は 99,610 m³ であり、ここで年間 60 本、20 年間で 1,200 本の処分容器が処理される。

処理工程は次の通りである。

- ① 輸送容器の搬入。搬入後、一時冷却
- ② 輸送容器から使用済燃料を取り出し、処分容器に装填
- ③ 空隙部を粒状の物質で充填
- ④ 容器に蓋をした後、検査
- ⑥ 蓋を電子線溶接
- ⑦ 最終検査
- ⑧ 中間的に一時貯蔵した後、地下処分場へ搬出

図 I - 2 - 3 フィンランドの使用済燃料コンディショニング施設概観



(4) 地下処分施設

最終処分場は地下 500 m のところに位置し、地上とは 3 本の立坑で結ばれている。図 I - 2 - 1 に示すように、ループ状になった容器搬送用の中央トンネルに沿って、処分エリアが設定されている。

地下処分施設的全掘削量は 240,000 m³ で、そのうち立坑が 32,000 m³、処分用トンネルが 136,000 m³、残りの 72,000 m³ が中央トンネルと付帯設備用のスペースの掘削量に当たる。

①立坑

3 本の立坑はそれぞれ次のような機能を果たしている。

- ・作業員入出用
- ・処分容器搬入用
- ・作業用（掘削物搬出、機材搬出入）

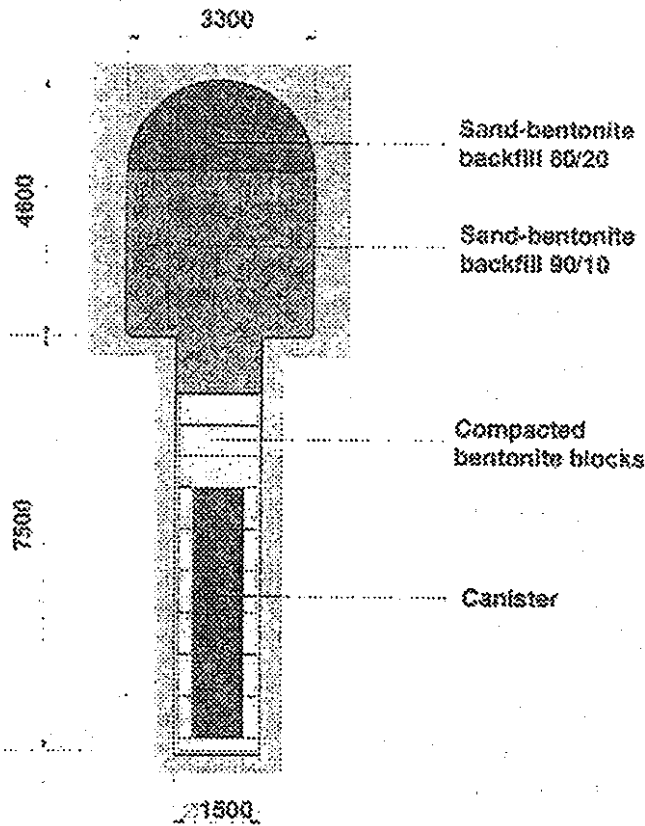
なお掘削量から推計すると、立坑の断面は 20 m²（5 m × 4 m）前後の大きさと推測される。

②処分トンネルおよび処分ホール

処分トンネルの断面は図 I - 2 - 4 に示すとおりで、高さ 4.6 m、幅 3.3 m の幌状である。高さが若干異なるものの、ほぼスウェーデンのトンネルと同じ形状である。処分後は埋め戻されるが、埋め戻し材には、砂とベントナイトの混合物が用いられる。トンネルの位置によって両者の混合比率が変えられている。

処分ホールはスウェーデンと同じく直径が 1.5 m、深さが 7.5 m となっている。ホール間の間隔は 6.2 m である。処分容器はこのホールの中に縦置きされ、空隙には緩衝材として圧密ベントナイトのブロックが充填される。

図 1-2-4 Deposition hole. (フィンランド)



2.2 処分コスト

(1) 工程別コスト

フィンランドの使用済燃料の処分にかかる総費用は、表 I-2-1 に示すように 5.88 億ドル (1991 年 7 月の米ドル換算、以下同じ) と見積もられている。フィンランドでの評価においては、この他に立地点探索や R & D 費用およびその他許認可等にかかる費用が 1.72 億ドル含まれていることから、これを含めると 7.6 億ドルとなる。

地上施設におけるコンディショニング工程と地下施設での処分工程では、前者の方が 3.66 億ドルに対し後者が 2.22 億ドルであり、スウェーデンの場合と同様にコンディショニング工程の方が費用がかかるという評価となっている。特に細目で見るとコンディショニング施設の運転費用が 2.65 億ドルと最も大きく、全体の 45.07% と半分近くを占めている。

建設コストでもコンディショニング施設が 0.95 億ドルであるのに対し、地下処分場が 0.87 億ドルであり、ここでもコンディショニング施設のコストが高くなっている。

表1-2-1 フィンランドにおける直接処分コスト評価結果

Price level of December 1990

Cost item		Cost estimate(M FIM)
自 国 通 貨	Investments	
	— Encapsulation plant	470
	— Final repository	430
	Operation	
	— Encapsulation plant	1310
	— Final repository	490
	Decommissioning and sealing	
— Encapsulation plant	30	
— Final repository	170	
Toal		3750
米 ド ル 換 算	Investments	
	— Encapsulation plant	0.95
	— Final repository	0.87
	Operation	
	— Encapsulation plant	2.65
	— Final repository	0.99
	Decommissioning and sealing	
— Encapsulation plant	0.06	
— Final repository	0.34	
Toal		7.6
百 分 率	Investments	
	— Encapsulation plant	12.50%
	— Final repository	11.45%
	Operation	
	— Encapsulation plant	34.87%
	— Final repository	13.03%
	Decommissioning and sealing	
— Encapsulation plant	0.79%	
— Final repository	4.47%	
Toal		100.00%

出典：(1) よりMRI作成

(2) 処分単価

上記の費用を処分総量（重量1,840tU、処分容器1,200本）で割ると、処分単価は次のようになる。

・重量単価 319.57千ドル／tU（41.10百万円／tU）

[但し1ドル＝138.01円（1991.7平均為替レート採用）]

・処分本数当たり 490.0千ドル／本（67.62百万円／本）

重量単価ではスウェーデンよりも僅かに高くなっている。しかしスケール（処分量）の差を考えれば、スウェーデンよりも安いという評価も可能である。

3. ドイツ

3.1 処分概念

(1) 概要

ドイツでは旧西ドイツ時代以来、幾つかの直接処分概念が検討されているが、最近は、使用済燃料だけでなく再処理高レベル廃棄物なども一緒に処分する二重目的処分が主に検討されている。この処分概念では、POLLUX キャスクを用いた処分が考えられている。

二重目的処分では、35,600tUの使用済燃料を処分することが検討されているが、その内訳は次の通りである。

LWR 使用済燃料	10,000tU
HLW	25,000tU
HTR 燃料	565tU

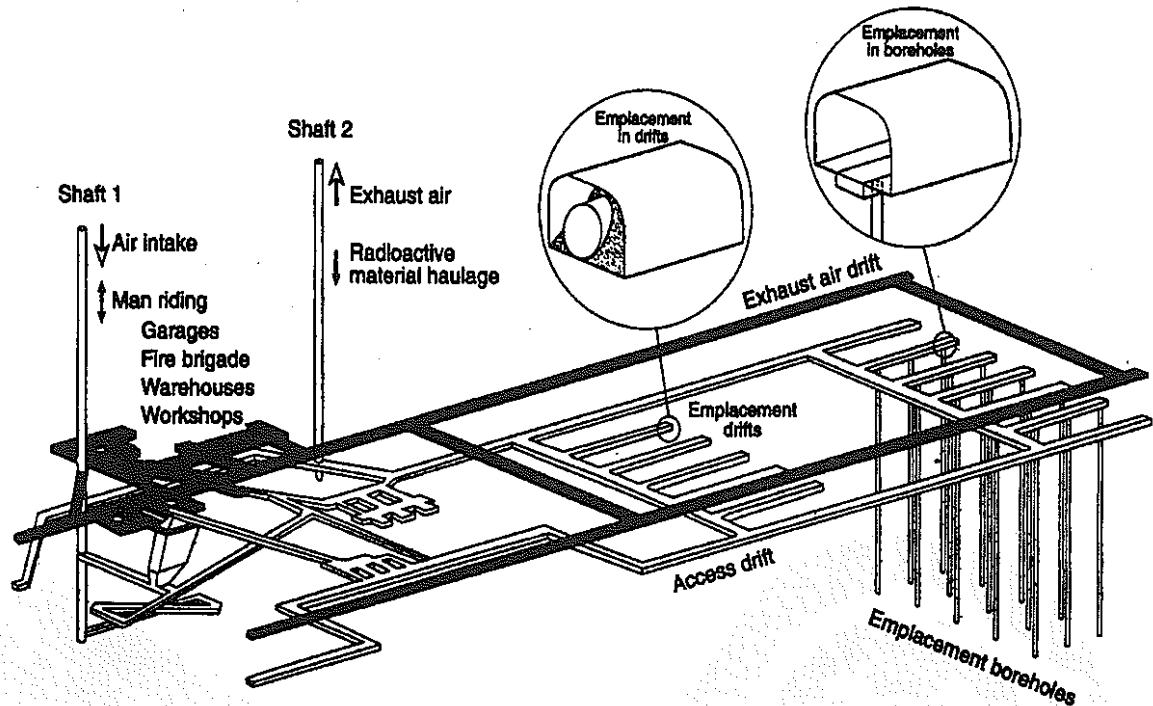
処分体数は128,300本（ただし、POLLUX キャスク以外に、ガラス固化体なども含む）、容積にして96,000 m³である。

なお、処分場の運転期間は50年間で想定されている。

検討されている処分地層は岩塩層であり、処分場の深度は870mである。処分施設は地上のコンディショニング施設と地下処分場から構成される。図I-3-1に示すように、地上施設と地下処分場の間は2本の立坑によって結ばれている。地下処分場はサービスエリアの他、各用途用のトンネルが走っており、さらにガラス固化体処分用の縦穴（Emplacement Borehole）がさらに下へ伸びている。地下処分場の面積は全部で66.5haである。各年1.33haが処分に使用される。

①処分地層	: 岩塩層
②処分場深度	: 870 m
③施設	
地上施設	: コンディショニング施設
地下施設	: 立坑2本、搬送用トンネル（Access Drifts）、排気用トンネル（Exhaust Air Drift）、処分用トンネル（Emplacement Drifts）、処分用縦穴（Emplacement Borehole）、サービス・エリア
④面積	: 1.33ha/y（66.5ha）

図 I - 3 - 1 ドイツの地下処分施設の概念図



(2) 処分容器

ドイツでは直接処分に使用する容器として POLLUX キャスクを検討している。POLLUX キャスクは、長期貯蔵と最終処分の両方に使えるように開発された容器で、図 I - 3 - 2 に示すように 150mm 厚さの内部コンテナ (Inner Container) と、それを取り巻く遮蔽用のオーバーパックから構成されている。内部コンテナの寸法は直径 1 m、長さ 5 m である。この中には、燃料を装填する場所が 4 カ所あり、ここに分離された使用済燃料棒が、PWR であれば 8 体分、BWR であれば 24 体分入れられる。これは重量にして 4 tU に相当する量である。

(3) コンディショニング施設

コンディショニング施設は地下処分場の上に建設される予定である。そこでは使用済燃料のみが POLLUX キャスクに詰められ、HLW の処理は行われない。HLW についてはその発生場所で処理される予定である。

コンディショニング施設の処理能力は 250~350tU 程度と想定されている。最終的には現在ゴアレーベンで建設中の中間貯蔵用のコンディショニングのパイロット・プラントの成果を

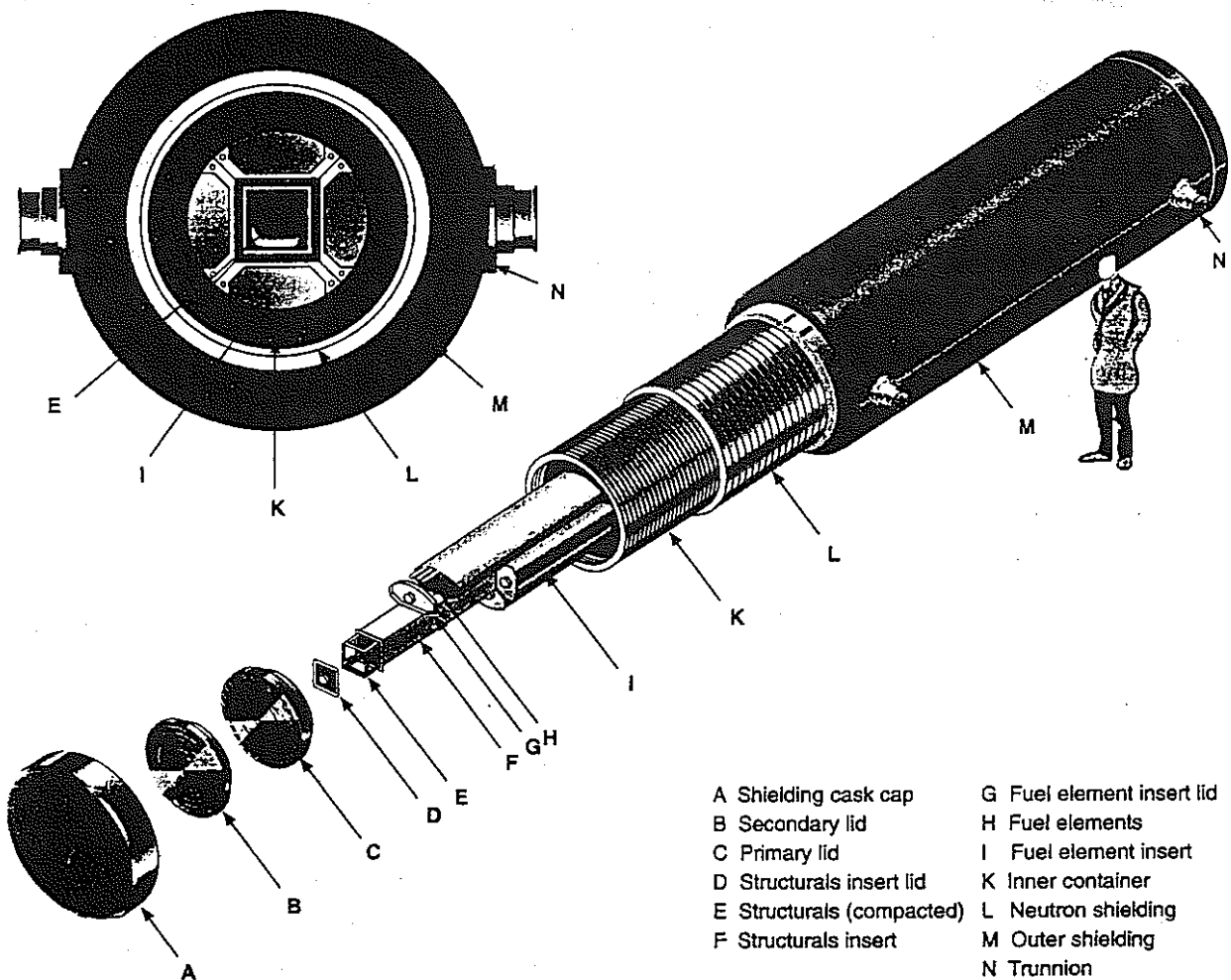
踏まえて建設されることになる。

使用済燃料はコンディショニング施設に搬入されると、集合体が分解されて、燃料棒と集合体の構造部とに分けられる。これは処分時のスペース効率を向上させるためである。

なお、実際にPOLLUXキャスクの中に詰められる燃料棒の数量は、使用済燃料の残存発熱量によって決められ、一律に何本と決まっているわけではない。

またパイロット・プラント（能力35tU）の運転に要する人員は50名である。

図 1-3-2 Pollux cask



Credit: Gesellschaft für Nuklear Service (GNS)

(4) 地下処分施設

地下処分施設は地下500～600mのところに横坑があり、そこからさらに300mの深さで処分用の縦穴 (Emplacement Borehole) が掘られている (図 I - 3 - 1 参照)。処分用トンネル (Emplacement Drifts) には使用済燃料のはいった POLLUX キャスクが横置きされ、処分用縦穴には H L W のガラス固化体が縦置きされる。

全体の掘削量は 2,500,000 m³ であるが、内訳は次の通りである。

立坑および探査	913,000 m ³
搬送用トンネル等	436,000 m ³
処分用トンネル	1,147,000 m ³

①立坑

立坑は 2 本であり、1 本が作業員の入出用及び吸気口を兼ねる。もう一本が廃棄物の搬入用と排気口を兼ねる。

廃棄物搬入用の立坑は、POLLUX キャスクを搬入するためかなりの大きさが必要であり、6.4 m × 2.6 m の大きさの搬入用エレベーターが入るだけの断面積が必要とされる。

②搬入用エレベータ (hoisting facility)

POLLUX キャスクは 65 トンもの重量があり、さらに搬送用の貨車の重量 20 トンを加えると、その重量は 85 トンにもなる。これだけの重量物を約 600 m 吊り下げる能力を有したエレベーターが必要である。(図 I - 3 - 3 参照)

③搬送用トンネル、処分用トンネル

搬送用トンネルは搬送用の鉄道 (現在のドイツ国鉄の規格に合った大きさの鉄道) が移動可能な断面で設計される (図 I - 3 - 4 参照)。このために断面積は 28 m² もある。また処分用トンネルの断面積は 14 m² である。

図 1-3-3 立坑でのカスクの搬入方法概念図

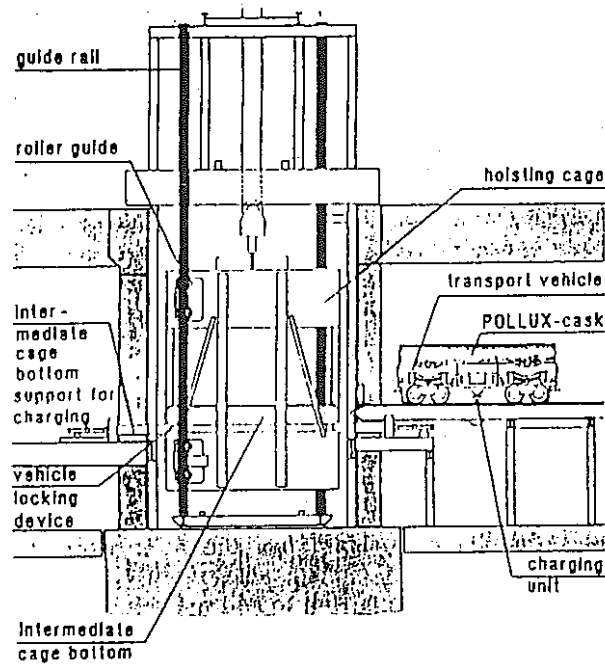


図 1-3-4 (1) 鉄道による POLLUX casks 輸送

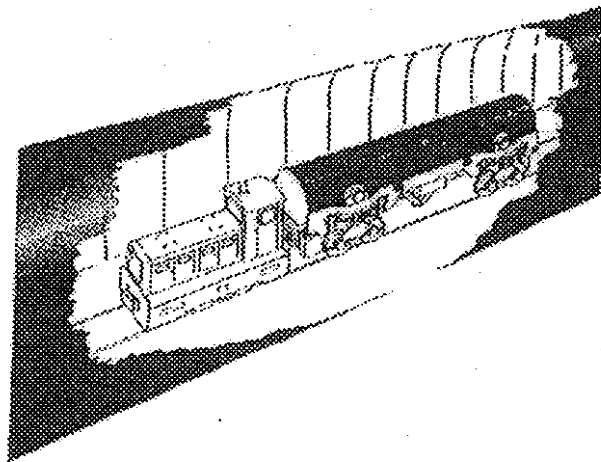


図 1-3-4 (2) POLLUX casks の定置

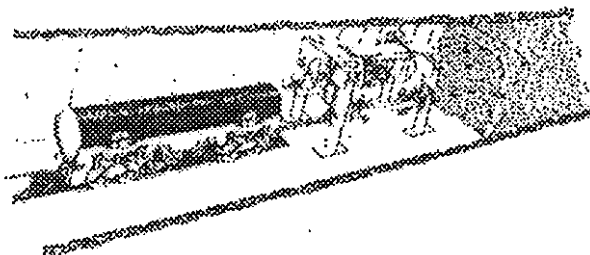
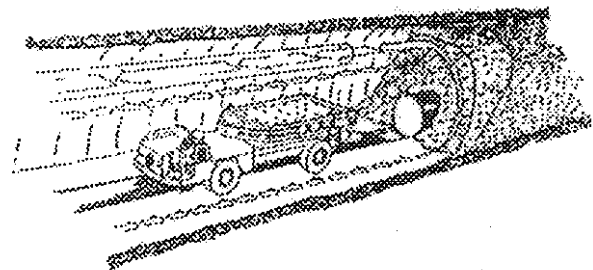


図 1-3-4 (3) 埋め戻し



3.2 処分コスト

(1) 工程別コスト

ドイツの使用済燃料の処分にかかる総費用は、表 I - 3 - 1 に示すように 46 億ドル (1991 年 7 月の米ドル換算、以下同じ) と見積もられている。

地上施設におけるコンディショニング工程と地下施設での処分工程では、前者の方が 17.9 億ドルに対し後者が 28.1 億ドルであり、地下施設での処分工程の方が費用がかかるという評価となっている。特に細目で見ると地下施設の建設費用が 13.11 億ドルと最も大きく、全体の 28.5% を占めている。また地下施設の運転費用が 11.42 億ドルと非常に大きな数字になっているが、ドイツの場合、閉鎖費用が分離されていないことから、運転費用の中に埋め戻しおよび閉鎖コストが含まれているものと考えられる。

コンディショニング工程ではキャスクのコストが 8.43 億ドルと最も高くなっている。キャスクの価格が処分コストにかなり大きく効いてくることが分かる。

(2) 処分単価

上記の費用を処分総量 (重量 35,565 tU) で割ると、処分単価は次のようになる。

重量単価 129.34 千ドル / tU (17.85 百万円 / tU)

[但し 1 ドル = 138.01 円 (1991.7 平均為替レート採用)]

重量単価ではスウェーデンよりも僅かに安くなっている。この理由としてはスケールメリットとともに、処分対象が使用済燃料のみでなく HLW が含まれているためであるといえる。

表1-3-1 ドイツにおける直接処分コスト評価結果

Results of cost calculation
Million Deutschemark, Price level 1988^a

	Cost item	Conditioning	Repository	Total
自 国 通 貨	Investment	650	2559	3209
	Operation	775	2229	3004
	Casks	1645	—	1645
	Taxes and Insurance	423	—	423
	Reinvestment	—	697	697
	Toal	3493	5485	8978
米 ド ル 換 算 (億 ド ル)	Investment	3.33	13.11	16.44
	Operation	3.97	11.42	15.39
	Casks	8.43	—	8.43
	Taxes and Insurance	2.17	—	2.17
	Reinvestment	—	3.57	3.57
	Toal	17.90	28.10	46.00
百 分 率	Investment	7.24%	28.50%	35.74%
	Operation	8.63%	24.83%	33.46%
	Casks	18.33%	—	18.33%
	Taxes and Insurance	4.72%	—	4.72%
	Reinvestment	—	7.76%	7.76%
	Toal	38.91%	61.09%	100.00%

a)No discounting has been done.

4. カナダ

4.1 処分概念

(1) 概要

カナダの原子炉は独自仕様のCANDU炉であり、燃料特性からして再処理－リサイクルではなく、直接処分を前提とした炉型である。このためカナダでは1980年代から直接処分のための検討が進められている。

カナダでは1991年時点で753,884体、14,348tUの使用済燃料が発生しており、さらに各年1,281tUの使用済燃料が発生すると予測されている。この結果2035年までに191,133tUの使用済燃料が発生することになる。

これらの使用済燃料は20年間冷却された後、処分容器に入れられて地下1000mの処分場に処分される方式が検討されている。処分場の運転期間は41年間で、毎年3,471本の処分容器を処分することになる。これは使用済燃料集合体349,912体に相当する量である。

処分地の地層は花崗岩等の火成岩を前提として検討が行われている。図I-4-1に示すように、処分施設は地上のコンディショニング施設と地下処分場から構成される。地下処分場は深度1000mの所に建設される。地上施設と地下処分場は5本の立坑で結ばれる。処分施設は2km四方の広さを必要とする。

①処分場運転期間：41年間稼働

②処分量：19万tU — 処分容器140,256本

③処分地層：火成岩（花崗岩）

④処分場深度：1000m

⑤施設

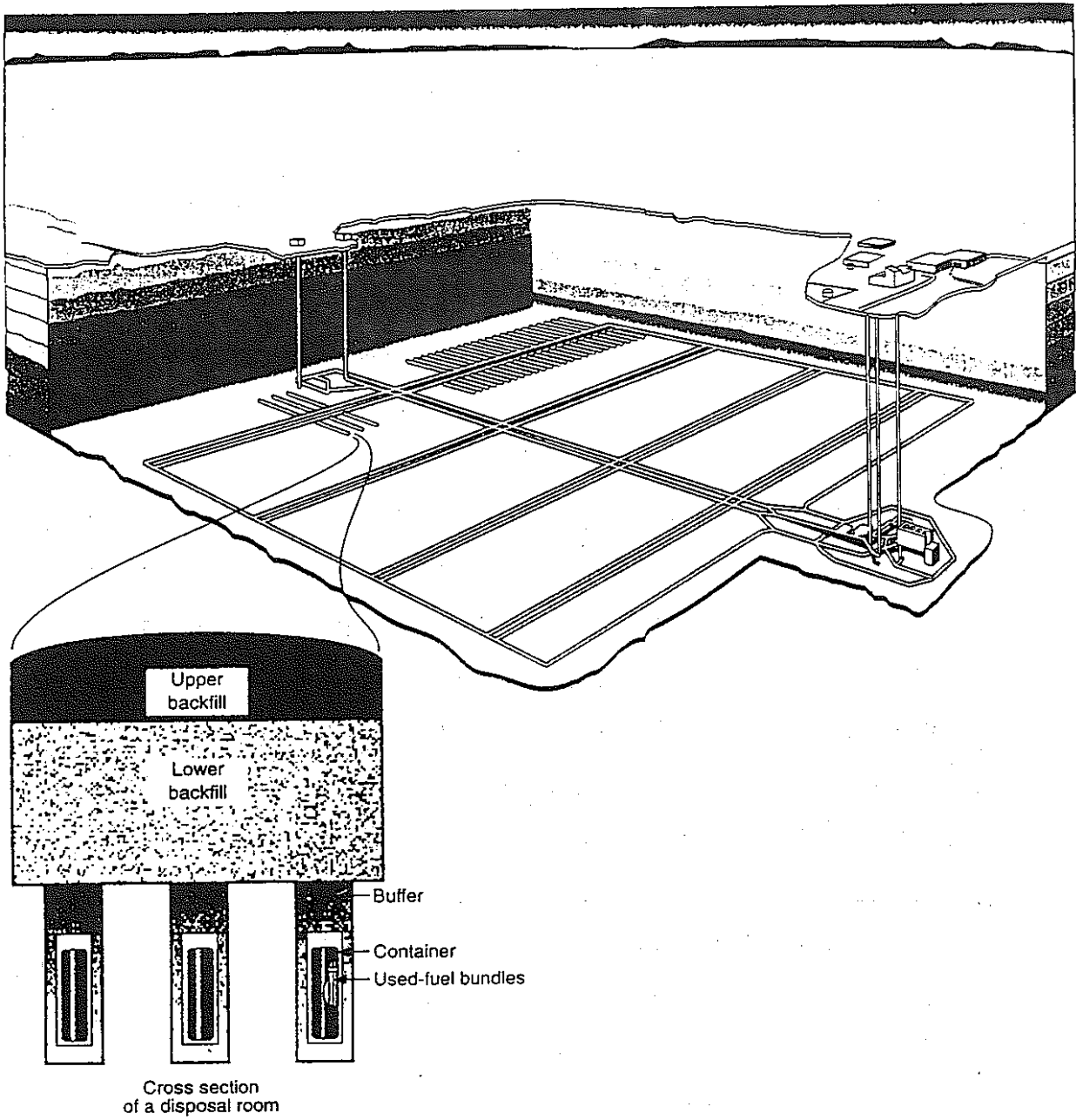
地上施設：コンディショニング施設（Encapsulation saturation）

地下施設：立坑5本、搬送用トンネル、処分ルーム

⑥処分場面積

地上：2km × 2km

図 1-4-1 カナダの使用済燃料直接処分場の概観

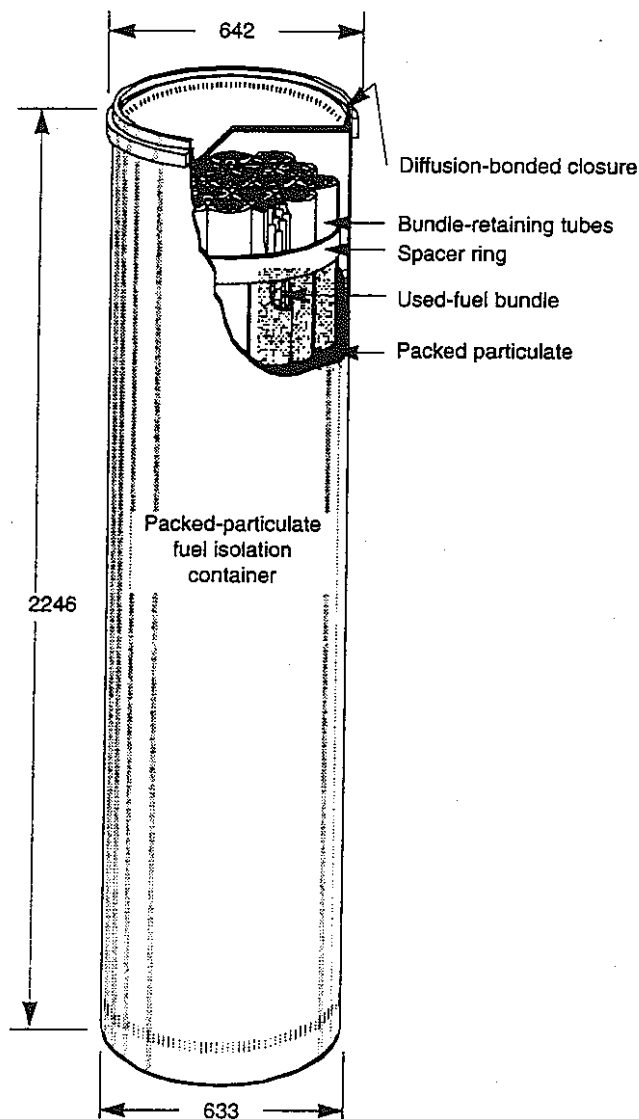


出典：(1)

(2) 処分容器

使用済燃料の処分容器は、チタン製の容器が想定されている。寸法的にはCANDU炉燃料の大きさに合わせて、長さ2246mm、直径642mmであり、容器の厚さは6.35mmである（図I-4-2参照）。その中にCANDU炉の使用済燃料集合体72体（1.37tU相当）が収納される。

図I-4-2 Thin-walled fuel disposal container (カナダ)



(3) 地下処分施設

最終処分場は地下1000 mのところに位置し、地上とは5本の立坑で結ばれている。図 I - 4 - 1 に示すように、処分エリアは搬送用のトンネルによって半分に分断されており、半分の方で処分が行われている間に、他方の掘削を行う形で進められる。

地下処分施設の全掘削量は7,215,330 m³である。なお、掘削された岩石は地上施設で粉碎され、さらに緩衝材と混ぜられて埋め戻し材に再生される。

①立坑

5本の立坑はそれぞれ次のような機能を果たしている。

- ・排気用 2本
- ・吸気用 1本
- ・処分容器搬入用 1本
- ・作業用 1本

なお掘削量から推計すると、立坑の断面は20 m² (5 m × 4 m) 前後の大きさと推測される。

②処分トンネルおよび処分ホール

処分トンネルの断面は図 I - 4 - 1 に示すとおりで、幅が6 m程度、高さが5 m程度の幌状である。スウェーデン等と比べるとかなり大きくなっている。さらに処分ホールが3本並んで掘られる。処分ホールの直径は124cmであり、処分ホールの中心間隔は210cmとなっている。

処分ホールは直径が124cm、深さが5 mである。ホール間隔は6.2 mである。処分容器はこのホールの中に縦置きされ、空隙には緩衝材が充填される。

4.2 処分コスト

(1) 工程別コスト

カナダの使用済燃料の処分にかかる総費用は、表 I - 4 - 1 に示すように 80.23 億ドル (1991 年 7 月の米ドル換算、以下同じ) と見積もられている。カナダでの評価においては、この他に立地点探索等にかかる費用が 6.77 億ドル含まれていることから、これを含めると 87 億ドルとなる。

地上施設におけるコンディショニング工程と地下施設での処分工程では、前者の方が 43.38 億ドルに対し後者が 36.85 億ドルであり、コンディショニング工程の方が費用がかかるという評価となっている。特に細目で見るとコンディショニング施設の運転費用が 33.05 億ドルと最も大きく、全体の 41.2% と半分近くを占めている。処分容器の制作コストがその大半を占めている。これは処分容器に高価なチタンを使用しているためと考えられる。また地下施設の運転コストも 26.34 億ドルとかなりの比率を占めているが、緩衝材のコストがその中の 40% を占めている。

建設コストでもコンディショニング施設が 8.46 億ドルであるのに対し、地下処分場が 6.09 億ドルであり、ここでもコンディショニング施設のコストが高くなっている。カナダの場合、掘削量が非常に多い割には地下施設の建設コストが小さすぎる感がある。

(2) 処分単価

上記の費用を処分総量 (重量 19 万 tU、処分容器 140,256 本) で割ると、処分単価は次のようになる。

・重量単価 42.23 千ドル / tU (5.83 百万円 / tU)

[但し 1 ドル = 138.01 円 (1991.7 平均為替レート採用)]

・処分本数当たり 57.20 千ドル / 本 (7.89 百万円 / 本)

他の国の処分単価と比較すると一桁小さい数字になっている。

表1-4-1 カナダにおける直接処分コスト評価結果

Summary of estimated costs for a used-fuel disposal centre
1990 M \$Canadian

Project stage		Surface facilities	Repository	Total
自 国 通 貨	Construction	1005.5	723.5	1729.0
	Operation	3928.3	3130.1	7058.4
	Decommissioning and sealing	221.6	525.7	747.3
	Toal	5155.4	4379.3	10339.7
米 ド ル 換 算 (億 ド ル)	Construction	8.46	6.09	14.55
	Operation	33.05	26.34	59.39
	Decommissioning and sealing	1.86	4.42	6.29
	Toal	43.38	36.85	87.00
百 分 率	Construction	9.73%	7.00%	16.72%
	Operation	37.99%	30.28%	68.26%
	Decommissioning and sealing	2.14%	5.08%	7.23%
	Toal	49.86%	42.36%	100.00%

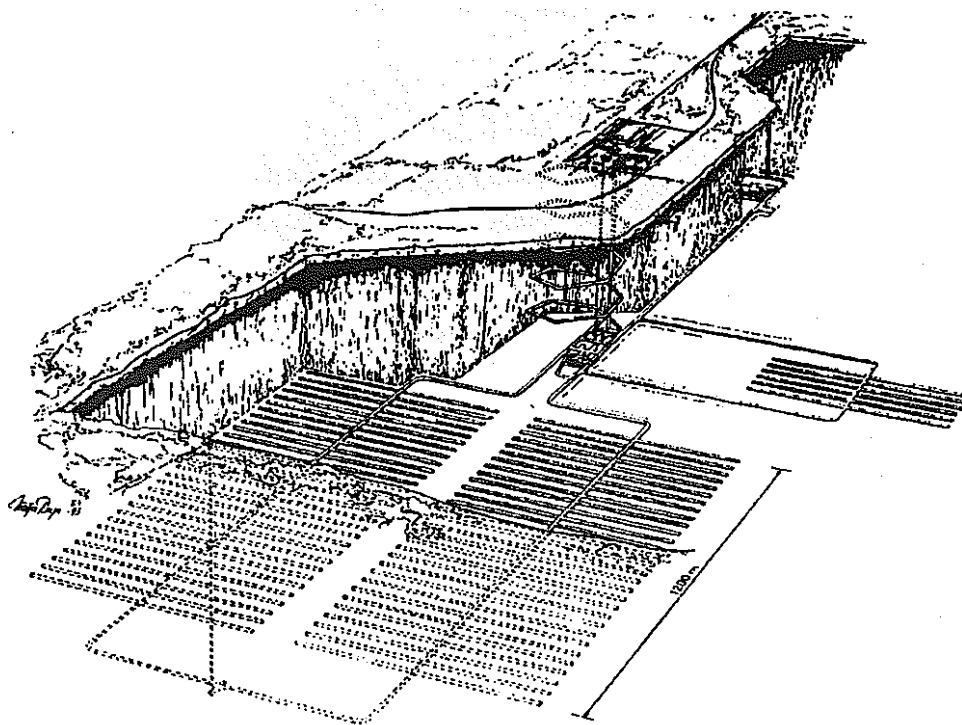
出典：(1) よりMRI作成

II. 直接処分概念の検討

1. 全体像

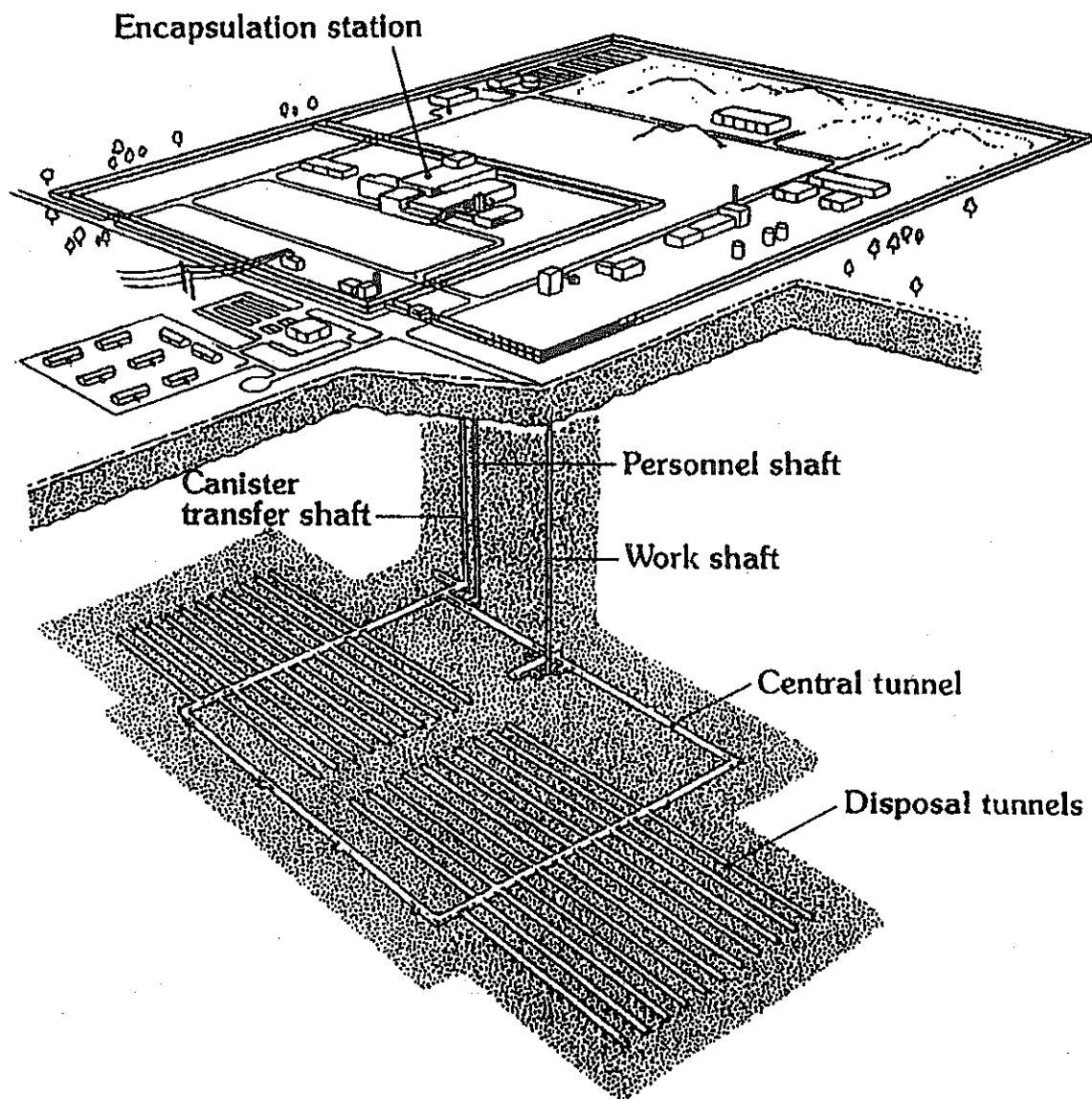
1.1 全体レイアウト

使用済燃料直接処分シナリオ採用国（スウェーデン、フィンランド、ドイツ、カナダ、USA）において検討されている処分場の全体レイアウトは図Ⅱ-1-1～図Ⅱ-1-5に示す通りであり、他方、PNCのHLW処分場概念での全体レイアウト等は図Ⅱ-1-6～図Ⅱ-1-8に示す通りである。使用済燃料、ガラス固化体いずれの処分を行う場合においても、処分場に要求される項目（表Ⅱ-1-1参照）を反映した基本的なレイアウトの設定の考え方に大きな差はないものと考えられる。



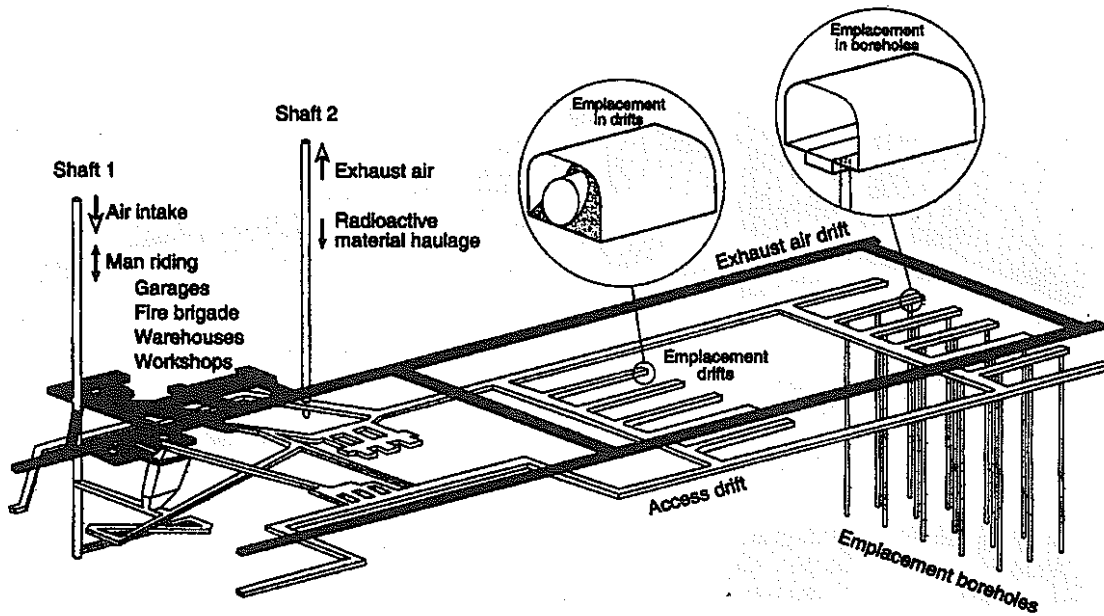
図Ⅱ-1-1 スウェーデンにおける使用済燃料直接処分の概観

出典：(8)



図II-1-2 フィンランドにおける使用済燃料直接処分の概観

出典：(10)



図II-1-3 ドイツにおける使用済燃料直接処分の概観 (図I-3-1再掲)

出典：(1)

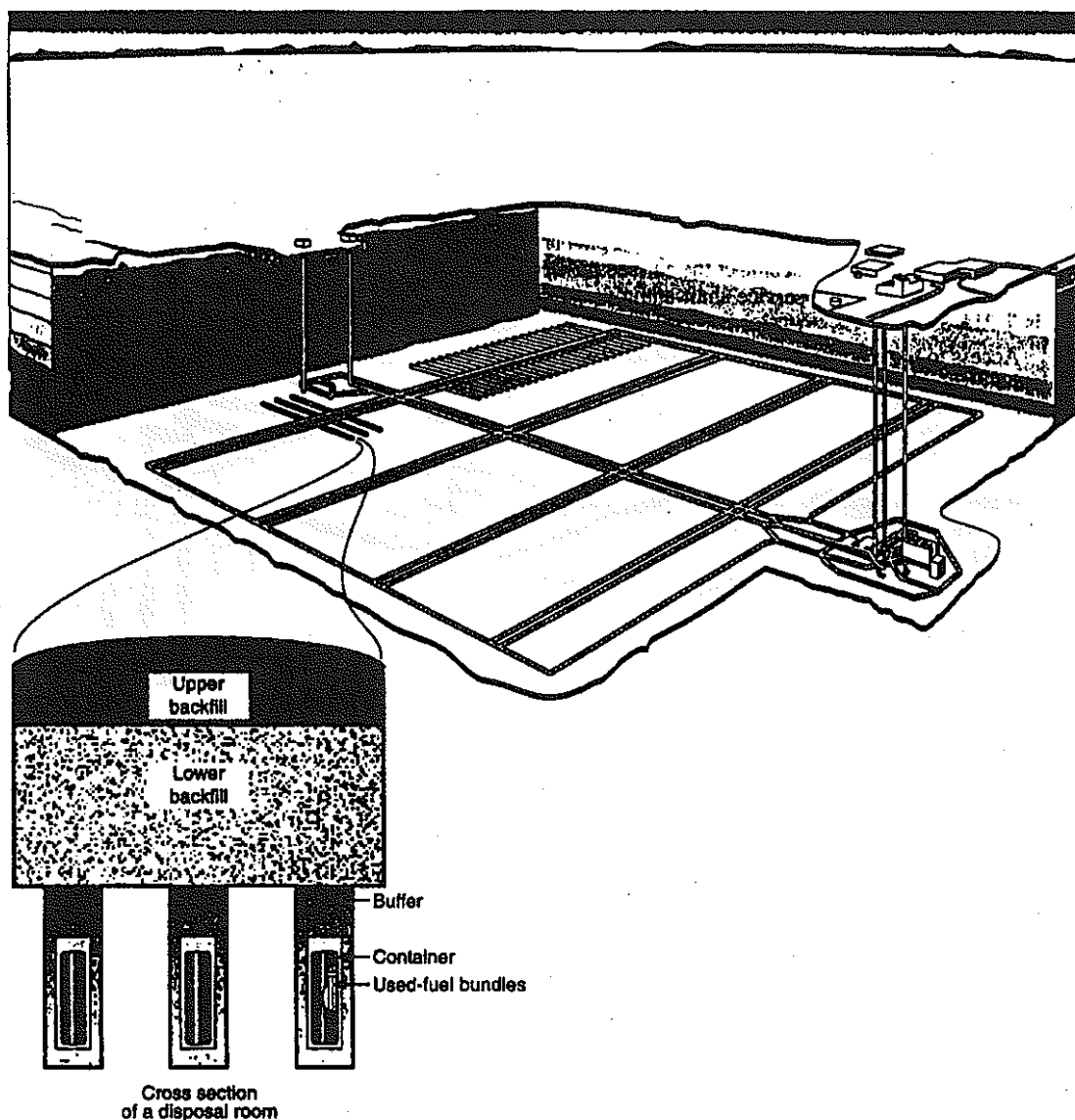


図 II-1-4 カナダにおける使用済燃料直接処分の概観 (図 I-4-1再掲)

出典：(1)

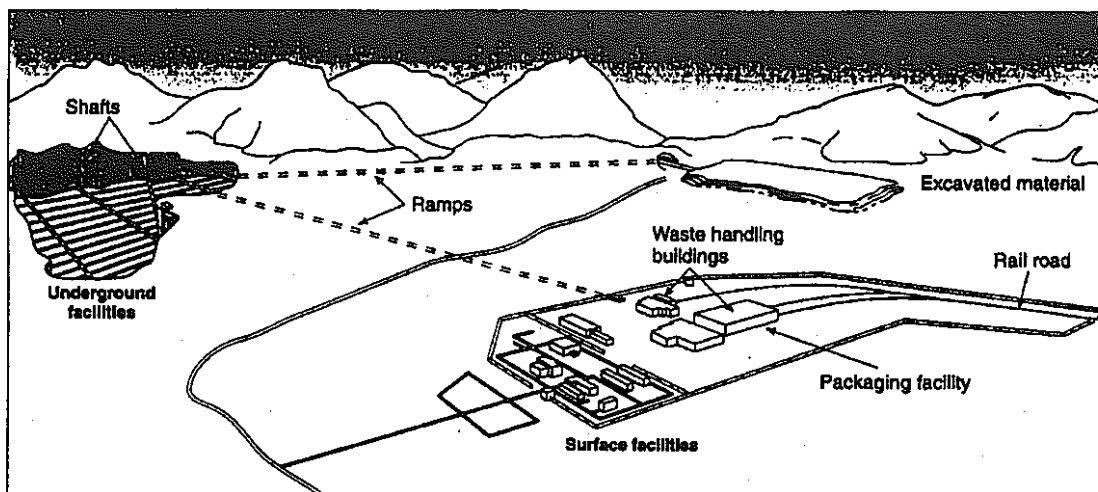
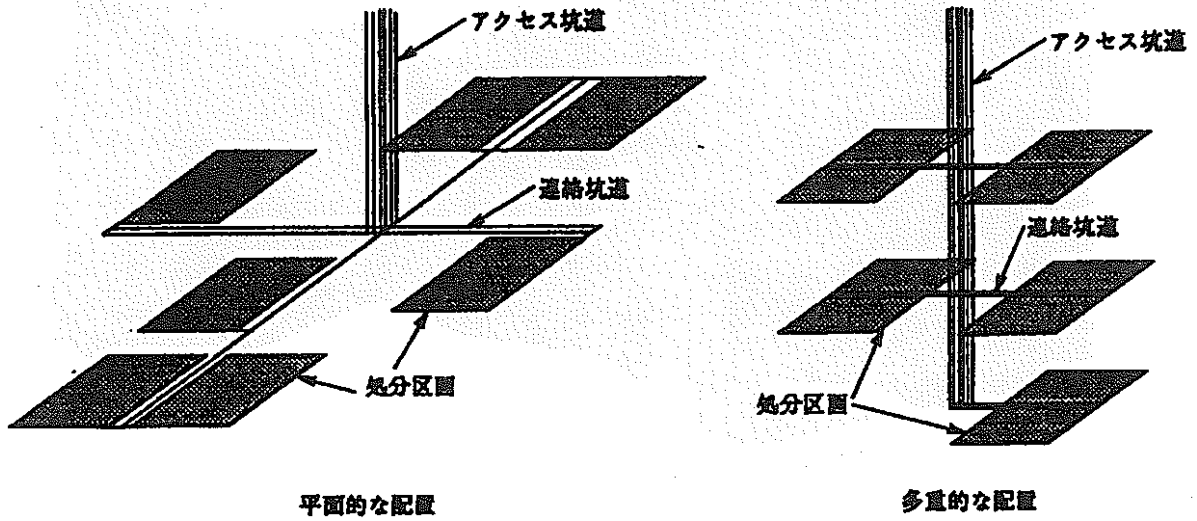


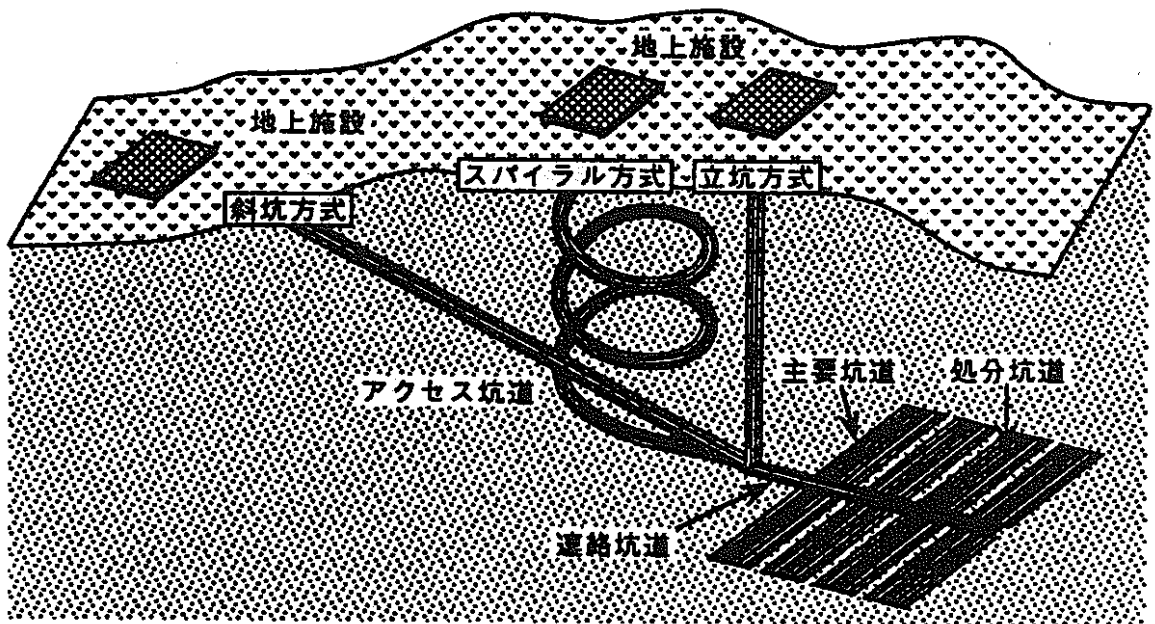
図 II-1-5 アメリカにおける処分場のレイアウト

出典：(1)



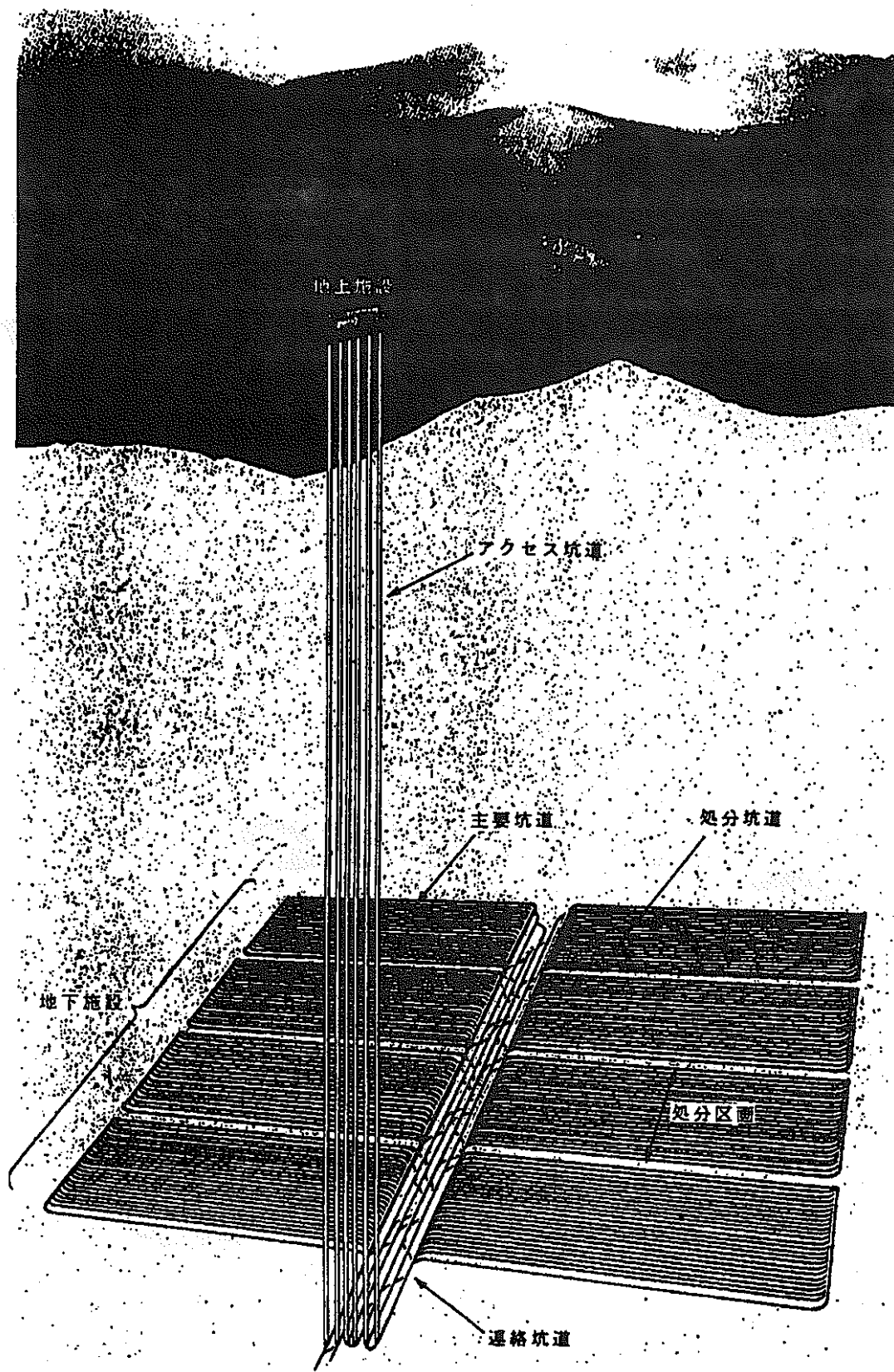
図II-1-6 処分区画の概念 (PNC)

出典：(7)



図II-1-7 地下施設へのアクセス方式

出典：(7)



図II-1-8 処分施設の基本レイアウト例 (PNC)

出典：(7)

表II-1-1 放射性廃棄体処分施設への基本的な要求項目

- ① 地下空洞は比較的長期にわたる建設・操業・閉鎖の作業期間中を通じて安定性が確保されること
- ② 放射性物質を取り扱うことから、放射線防護の対策がとられていること
- ③ 廃棄体の発生する熱に対する対策がとられていること
- ④ 廃棄体を埋設する地質環境が、施設の建設・操業・閉鎖によって極力乱されないこと、すなわち、岩盤の損傷、水位の低下等をできるだけ避けること
- ⑤ 人工バリアに期待される性能が確保されるよう十分な品質管理が行われること

出典：(7)

そこで、以下には、文献(7)に示されている処分場レイアウト設定の考え方を示すものとし、今回の評価の基本とする。

(1) 処分施設の構成

処分施設は、使用済燃料廃棄体を受入れ、必要な検査、オーバーパックへの封入等の処置を施したのち地下深部に搬送する地上施設と、地下深部に建設される廃棄体を定置する地下施設から構成される。

地下施設は、地上と地下の施設を結ぶアクセス坑道、廃棄体を定置する処分坑道、それぞれの坑道を連絡する坑道群（主要坑道、連絡坑道）の他、廃棄体の搬送・移送に関わる施設、坑道建設に関わる施設、およびそれらの作業の安全性を維持するための施設等から構成される。

(2) 地下施設の安全対策とレイアウト

廃棄体が放射性物質であることから、地下施設への搬送、定置作業をする操業区域は、場合によっては管理区域として区分されることも考えられる。一方、坑道掘削、閉鎖作業においては放射線防護の観点からの管理は必要とされない。また、それぞれの作業領域によって、安全確保上の想定事象が異なることから、建設・操業・閉鎖の作業が独立して実施できるレイアウトも考えられる。

また、処分施設全体のスケジュールによっては、坑道の掘削、廃棄体の定置、坑道の閉鎖作業が並行して実施される可能性がある。

従って、地下施設のレイアウトとしては、図Ⅱ-1-6に示すように、廃棄体を処分する領域をいくつかの独立した区画に分割し、建設・操業・閉鎖の作業が並行に独立して進められるシステムが考えられる。

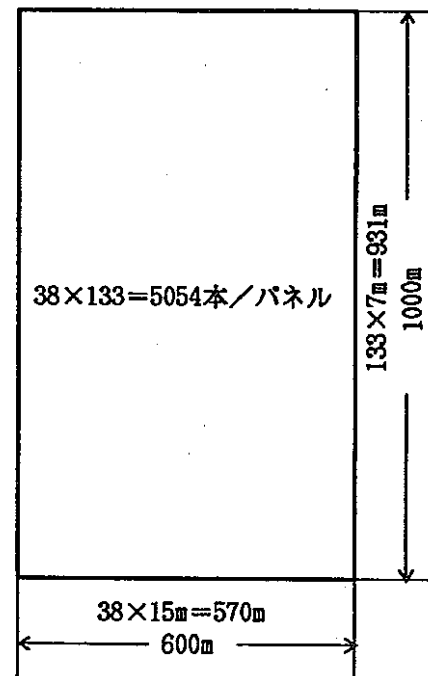
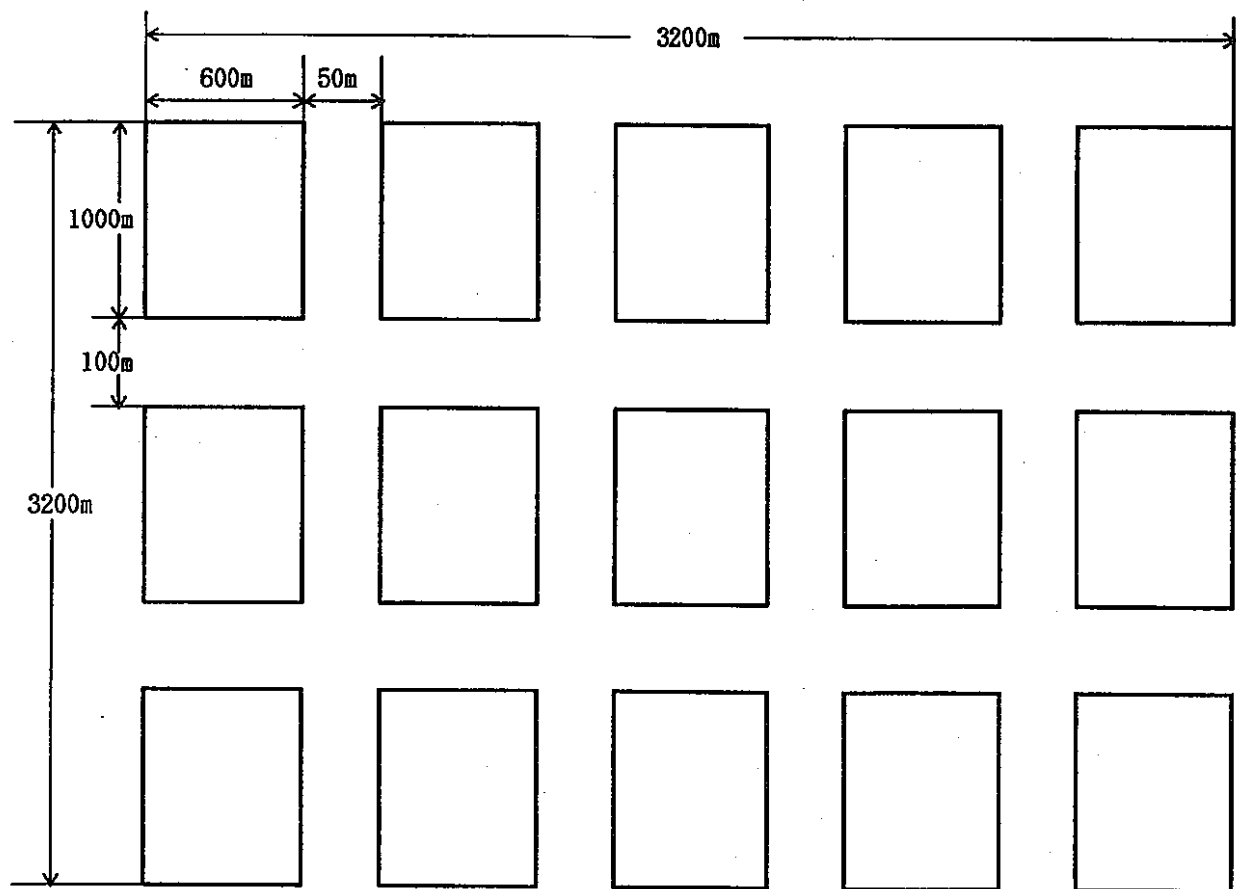
(3) 処分施設の基本概念

前項までの検討から、処分施設の基本概念は、図Ⅱ-1-8に示すようにまとめられる。

処分施設は、地表に設けられた地上施設、集中したアクセス坑道、地下に建設される廃棄体を定置する処分孔と処分坑道、その周辺の主要坑道、およびそれらで構成される処分区画を結ぶ連絡坑道から構成される。この基本概念は立地の自然条件として、岩盤が均質で不連続面、弱部、特異領域等が存在しない場合の平面的なレイアウトの例を示したもので、実際には、様々な条件を考慮して、適切なレイアウトが決められることになると思われる。

ここでは、このような理想的な環境条件のもとで平面配置を採用するケースを考える。

以上並びに1.2節の検討結果を踏まえると、例えば、図Ⅱ-1-9に示すような平面配列と処分区画が考えられる。



平面配列

処分区画

総本数 5,054本/パネル×15パネル=75,810本

図II-1-9 基本レイアウト

1.2 処分量

1.2.1 処分使用済燃料数

① トータル量

直接処分シナリオ採用国（フィンランド、スペイン、スウェーデン、USA）の軽水炉から発生する使用済燃料の量は、OECD/NEAのデータ⁽¹⁾をベースに算定した表Ⅱ-1-2に示すように、およそ20.72～32.39tU/GWe・yであり、他方、再処理サイクルシナリオ採用国（ベルギー、オランダ、スイス）の軽水炉からのそれは、表Ⅱ-1-3より、19.12～34.36tU/GWe・yである。従っていずれのバックエンドシナリオについても、同種の炉型である限り、使用済燃料の発生量には大きな差はないものと考えられる。

同様に、我が国の軽水炉からの使用済燃料発生量は、炉設計ベースのデータ⁽³⁾である表Ⅱ-1-4によると、PWR、BWRの平均平衡取出燃料25.96tHM/GWe・yであり、高燃焼度化すると22.6tHM/GWe・yに減少することが示されている。

従って、詳細には廃炉立替等も含めた今後の我が国の炉型導入計画によって、使用済燃料発生トータル量は異なり得るが、仮に処分場運用年であり、総設備容量約1億kWe⁽⁴⁾を見込んでいる2030年までを評価対象と考えるならば、年平均働率約75%として、1993年～2030年での累積発電電力量は、この期間には表Ⅱ-1-5の計算より、約 1.7×10^5 億kWh（ $\equiv 2.6 \times 10^3$ GWe・y）となるので、この期間に発生し得る使用済燃料のトータル量は、約 6.4×10^4 tHMとなる。同様に、2050年までを考える場合には累積発電電力量 3.3×10^5 億kWh（ $\equiv 5.0 \times 10^3$ GWe・y）、使用済燃料のトータル発生量約 1.2×10^5 tHMとなるので、今回の処分規模としては、 10^5 tHMを対象とする。

なお、使用済燃料を直接処分する場合の廃棄体の体積は、OECD/NEAのデータ⁽¹⁾から計算すると、表Ⅱ-1-6に示すようにおよそ $2.4\text{m}^3/\text{tU}$ となり得るので、トータル量（体積）は、2030年までならば $1.5 \times 10^5\text{m}^3$ 、2050年までならば、 $2.9 \times 10^5\text{m}^3$ となる。

表 II-1-2 軽水炉1GWeの1年間運転に伴う使用済燃料と放射性廃棄物量（直接処分）

国	炉形	発電電力量 (Gwe·y)	使用済燃料 発生量 (Gwe·y)	放射性廃棄物 発生量 (tU/Gwe·y)
フィンランド	BWR2基	56.8	32.39	45.8
スペイン	PWR BWR	211.0	25.12	189.6
スウェーデン	PWR3基 BWR9基	299.1	26.21	43.1
米国	PWR72基 BWR37基	4187.5	20.72	22.0

注1) 廃棄物発生量はキャニスターを含む量である。

出典：(1)よりMR I作成

表 II-1-3 軽水炉1GWeの1年間運転に伴う使用済燃料と放射性廃棄物量（再処理サイクル）

国	炉形	発電電力量 (Gwe·y)	使用済燃料 発生量 (tU/Gwe·y)	放射性廃棄物 発生量 (m ³ /Gwe·y)
ベルギー	PWR7基	165.0	21.39	124.2
				HLW 20.3
				Alpha W 103.9
オランダ	PWR BWR	105.2	19.12	1321.2
				HLW 38.0
				Alpha W 32.3
				Short-lived W 1254.7
スイス	BWR2基 PWR3基	116.4	34.36	207.9
				HLW 36.1
				Alpha 171.8

注1) 廃棄物発生量はキャニスターを含む量である。

出典：(1)よりMR I作成

表 II-1-4 炉心特性データ

諸元		炉型	BWR	PWR	BWR		PWR		A-BWR	A-PWR
			(UO ₂)	(UO ₂)	(Pu-SGR)		(Pu-SGR)			
電気出力	(MWe)		1,000	1,000	1,000		1,000		1,000	1,000
熱効率	(%)		33.4	34.0	33.4		34.0		33.8	35.4
比出力	(MW/t)		24.8	38.3	24.8		38.3		25.3	31.9
燃焼度	(MWt・D/t)		29,500	31,900	29,500		31,900		31,800	39,000
増殖比										
燃料炉内滞在時間	(年)		4.26	3.0	4.26		3.0		4.24	4.2
バッチ数			3.4	3	3.4		3		3.6	3
原子炉耐用年数	(年)		30	30	30		30		30	30
設備利用率	(%)		76	76	76		76		80	80
初期炉心取替遅れ	(年)		1	1	1		1		1	1
核燃料物質収支										
初装 荷 燃料	重金属	(t)	120.9	76.7	120.9		76.7		116.9	89.3
	ウラン	(t)	120.9	76.7	120.9		76.7		116.9	89.3
	プルトニウム	(t)	—	—	—		—		—	—
	分裂性プルトニウム	(t)	—	—	—		—		—	—
	ウラン濃縮度	(%)	2.17	2.60	2.17		2.60		2.2	2.0
平衡 装 荷 燃料	重金属	(t/年)	28.37	25.4	18.91	9.487	17.5	7.99	25.7	21.3
	ウラン	(t/年)	28.37	25.4	18.91	9.019	17.5	7.46	25.7	21.3
	プルトニウム	(t/年)	—	—	—	0.443	—	0.53	—	—
	分裂性プルトニウム	(t/年)	—	—	—	0.303	—	0.30	—	—
	ウラン濃縮度	(%)	3.0	3.20	3.0	0.711	3.20	0.71	3.2	3.1
初期 取 出 燃 料	重金属	(t/年)	27.86	24.9	27.86		24.9		26.9	20.5
	ウラン	(t/年)	27.70	24.7	27.70		24.7		26.7	20.4
	プルトニウム	(t/年)	0.177	0.20	0.177		0.20		0.18	0.16
	分裂性プルトニウム	(t/年)	0.130	0.14	0.130		0.14		0.13	0.11
	ウラン濃縮度	(%)	0.89	0.92	0.89		0.92		0.7	0.5
平衡 取 出 燃 料	重金属	(t/年)	27.41	24.5	27.46		17.0	7.67	24.8	20.4
	ウラン	(t/年)	27.17	24.3	18.11	8.837	16.8	7.28	24.6	20.2
	プルトニウム	(t/年)	0.240	0.24	0.508		0.17	0.39	0.22	0.17
	分裂性プルトニウム	(t/年)	0.160	0.17	0.308		0.11	0.21	0.15	0.12
	ウラン濃縮度	(%)	0.90	0.9	0.9	0.36	0.9	0.44	0.89	0.5
廃 止 取 出 燃 料	重金属	(t)	119.2	74.9	117.88		51.6	23.2	113.9	87.0
	ウラン	(t)	116.9	74.4	77.96	37.89	51.2	22.0	113.1	86.5
	プルトニウム	(t)	0.646	0.54	2.03		0.37	1.24	0.81	0.48
	分裂性プルトニウム	(t)	0.482	0.42	1.30		0.28	0.70	0.60	0.31
	ウラン濃縮度	(%)	1.35	1.49	1.35	0.45	1.49	0.53	1.47	1.37

出典：(3)

表 II-1-5 我が国の原子力発電容量、発電電力量の見通しに関する想定

西暦	発電容量 [万 kwe]	発電電力量 [億 kwh]	発電電力累計 [億 kwh]
1992	3,442 *2	2,223 *1	
1994.9	3,964 *2	2,973 *3	4,944
2000	4,560 *2	3,420 *3	22,525
2010	7,050 *2	5,288 *3	60,996
2030	10,000 *2	7,500 *3	172,319
2050	13,618	10,213 *3	329,484
t	A (t)	B (t)	C (t)

*1 : 出典(5)

*2 : 出典(4)

*3 : 稼働率 75% を仮定

但し、

$$A(t) = 174.437 t - 343977.836 \quad (r = 0.995)$$

$$B(t) = A(t) \times 0.657 \quad (t \geq 1993)$$

$$C(t) = B(1993) + B(1994) + \dots + B(t)$$

$$= 0.657 \times \{A(1993) + A(1994) + \dots + A(t)\}$$

$$= 0.657 \times \{A(1993) + A(t)\} \times (t - 1992) / 2$$

表 II-1-6 使用済燃料発生量当りの廃棄物発生量

ケース	国	m ³ /tU
直接処分	フィンランド	1.41
	(ドイツ)	(2.0) ¹⁾
	スペイン	5.93
	スウェーデン	1.65
	米国	1.06
		a v. 2.41
ケース	国	m ³ /tU ²⁾
再処理サイクル	ベルギー	5.81
	オランダ	3.7
	スイス	6.05
		a v. 5.19

注1)出典(6)より

注2)HLW + α 廃棄物

出典：(1)(6)よりMRI作成

②年間処分量

また、運転期間を2030年から2080年の50年間に設定すると、年間処分量は、平均すると、2,000tU/年（あるいは4,800m³/年）となる。

1.2.2 処分容器数

スウェーデンの場合、5,700本の容器に7,840tUの使用済燃料廃棄体を収容することから、1本の容器に約1.4tUの使用済燃料廃棄体を収容することになる。同様に、フィンランドの場合は、1,840tU/1,150本=1.6tU/本となる。従って、両国の平均をとって、100,000tUの収容に必要な容器数を計算すると、約 7.1×10^4 本となり、年間処分量は、平均 1.4×10^3 本となる。

2. 地下へのアクセス

2.1 方式と本数

アクセス坑道は、廃棄体の搬送だけでなく、作業員の出入り、掘削ズリの搬出、緩衝材の搬入、閉鎖材の搬入、排気、排水、エネルギー供給等、多様な目的に使用される。

地上から地下施設へのアクセスには、図Ⅱ-1-7に示すように、立坑、斜坑、スパイラル坑道など様々なタイプが考えられる。基本的には、アクセスにエレベータを用いる立坑方式と、車両・鉄道を用いる斜坑方式に大別される。いずれにしても、アクセス坑道はかなり長大となる。どちらのタイプが適切かについては、

- ①処分施設の立地点の自然環境（地形、地質構造、岩盤特性等）
- ②地上施設の用地確保
- ③廃棄体の搬送システムの効率と安全性（エレベータ、車両・鉄道）
- ④事故時の避難通路の確保
- ⑤建設・維持コスト

等の観点から総合的に判断される。

スウェーデンの場合には立坑4本（中央坑、作業坑、容器搬入坑、排気坑もしくは緊急作業員脱出用）、フィンランドは立坑3本（作業員入出用、処分容器搬入用、作業用（掘削物搬出、機材搬出入））となっている。即ち、通常は、換気、サービス及び建設の3本と、廃棄体搬送用（本数は廃棄体受入れ数に依存）の最低4本が考えられる。

他方、PNCがHLW処分用として考えているシステムでは、地下施設の安全性確保の観点から、建設、操業、閉鎖の平行作業を考慮して、それぞれ2本ずつ独立系系統で配置することを基本とし、計6本のアクセス坑道を設置することを考えている⁽⁷⁾。6本のアクセス坑道の配置、レイアウトとして、①集中方式、②分散方式が想定されるが、地上施設の占有面積および作業性を勘案すれば、集中式が良いと考えられている。

2.2 断面と深さ

仮りに、作業時に廃棄体を運搬するエレベータの設置スペースを考慮し、直径 a [m]、深さ H [m] の円筒型立坑を n 本掘削する場合、掘削量 V_s は、次式で計算される。

$$V_s = \frac{\pi}{4} a^2 H n \quad [m^3]$$

2.3 容器搬入方式／設備

地下施設への搬送方式としては、①立坑；エレベータ、②斜坑；車両／鉄道、③立坑と斜坑の組合せ；エレベータ＋車両／鉄道が考えられるが、ここでは、坑口積み込みからエレベータによる立坑搬送を対象とする。

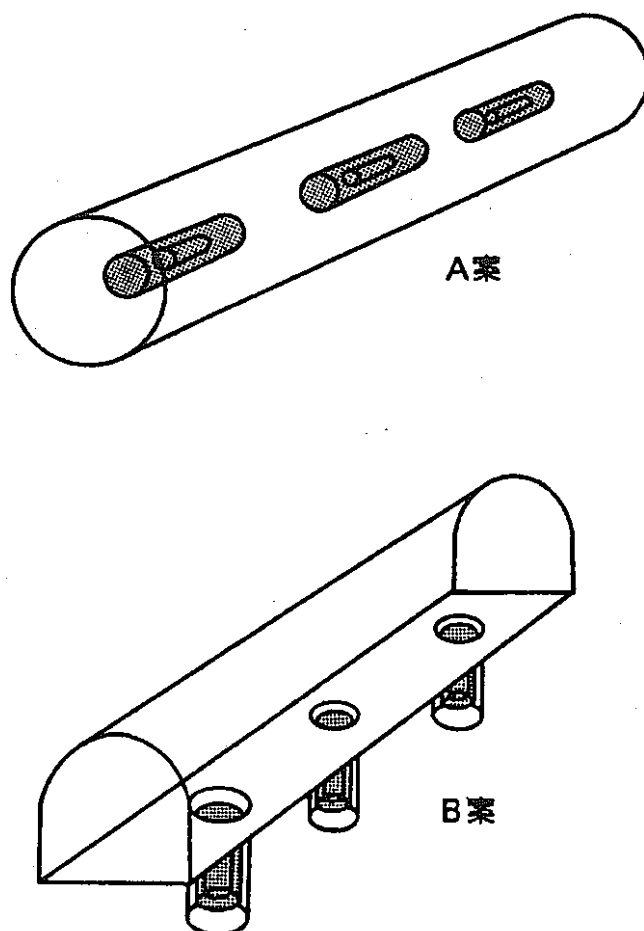
3. 処分場

3.1 処分ピット

3.1.1 定置方式

廃棄体は、地下施設へ定置する時点では発熱性を有することから、廃棄体の定置密度および定置方式は緩衝材および周辺岩盤への熱的影響を考慮して決める必要がある。

定置方式としては、図Ⅱ-3-1に示すように、基本的には廃棄体を横に定置する処分坑道横置方式（A案）と、縦に定置する処分孔堅置方式（B案）に代表される。安全性を考えるならば、緩衝材の厚みの大きくなるA案の方が有効とも考えられるがコスト高になる可能性もあり、一般には両案を検討・比較すべきと考えられるが、ここでは、スウェーデン、フィンランドと同じB案の検討を行うこととする。



図Ⅱ-3-1 廃棄体の定置方式

出典：(7)

3.1.2 ピット間隔

スウェーデン方式（B案）では、6.2m、また、PNCの坑道横置方式（A案）では7 m⁽⁷⁾となっている。この設定には、連設空洞の安定性や熱的安定性の観点からの検討が必要であり、ここでの計算フレームでは、ある範囲でのパラメータ扱いとすることが考えられる。

3.1.3 ピット形状と深さ

スウェーデンでは、図Ⅱ-3-2に示すように、直径1.5m、深さ7.5mの円筒型処分孔を検討している。他方、PNCでのHLW処分孔堅置方式（B案）では、同様の形状で、直径1.7m、深さ5mとなっており、使用済燃料とガラス固化体の縦横比の相異を反映した形となっている。ここでは、表Ⅱ-3-1に示すような我が国の軽水炉燃料の仕様（高燃焼度化をしてもrodの長さは不変）に基づいて、主に使用済燃料体の形状と大きさから直接処分するケースのピット形状（円筒）と深さとを設定する。これより、ピットの掘削量 v_p が次式より計算される。

$$V_p = \frac{\pi}{4} d^2 h \quad [\text{m}^3]$$

ここで、 d ：ピットの直径 [m]

h ：ピットの深さ [m]

ちなみに、スウェーデン、フィンランドの場合、 $d=1.5$ 、 $h=7.5$ より、 $v_p=13.3\text{m}^3$ （同様に、PNCのB案では、 11.3m^3 ）となる。（スウェーデン並びにフィンランドのキャニスターは図Ⅱ-3-4、図Ⅱ-3-5に示す通り。）

表Ⅱ-3-1 BWR, PWR燃料集合体の標準形式（例）

	B W R			P W R		
	50万kW級	80万kW級	110万kW級	50万kW級 (2ループ)	80万kW級 (3ループ)	110万kW級 (4ループ)
燃料集合体数[体]	368	560	764	121	157	193
燃料棒配列[本×本]	8×8	8×8	8×8	14×14	17×17	17×17
燃料棒本数/1体[本]	63	63	63	179	264	264
ペレット直径[mm]	10.6	10.6	10.6	9.3	8.2	8.2
被覆材	Zry-2	Zry-2	Zry-2	Zry-4	Zry-4	Zry-4
被覆管厚さ[mm]	0.86	0.86	0.86	0.62	0.57	0.57
燃料棒直径[mm]	12.5	12.5	12.5	10.7	9.5	9.5
燃料集合体全長[m]	4.47	4.47	4.47	4.1	4.1	4.1

Zry-2…ジルコニウム合金、「ジルカロイ-2」と呼ばれている。

Zry-4…ジルコニウム合金、「ジルカロイ-4」と呼ばれている。

出典：(11)

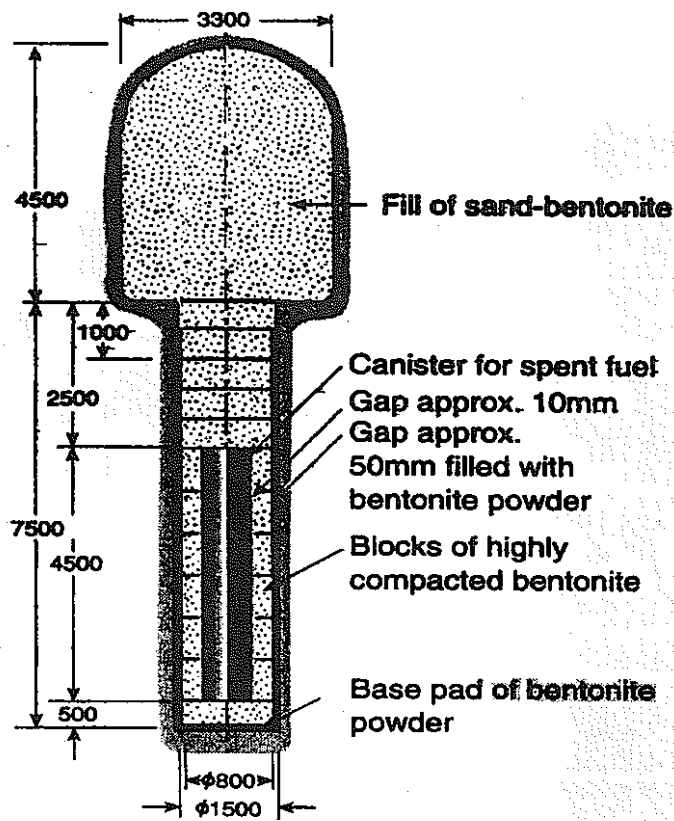


図 II-3-2 Deposition hole with canister and buffer material. (スウェーデン)
(図 I-1-2再掲)

出典：(8)

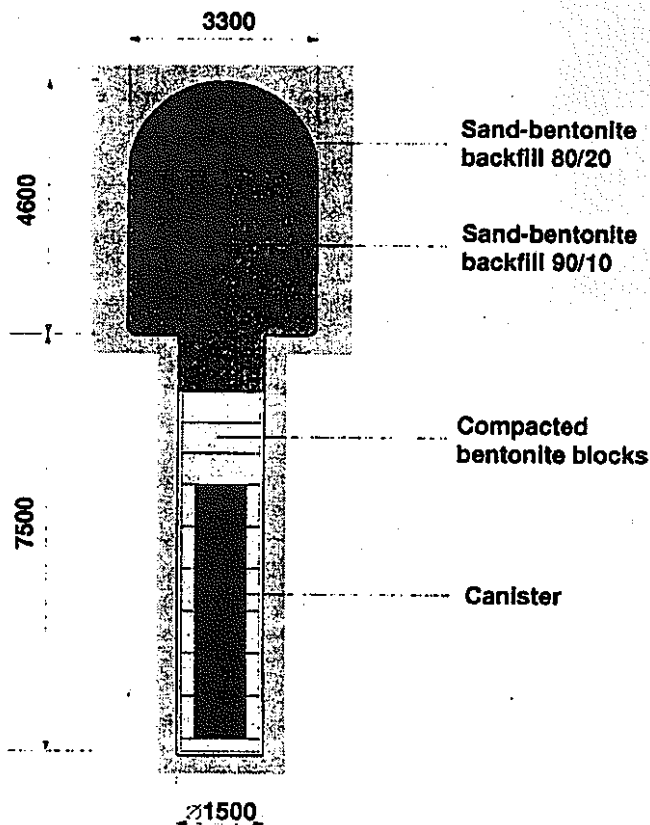
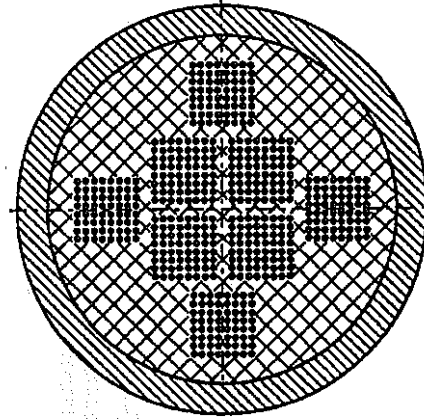
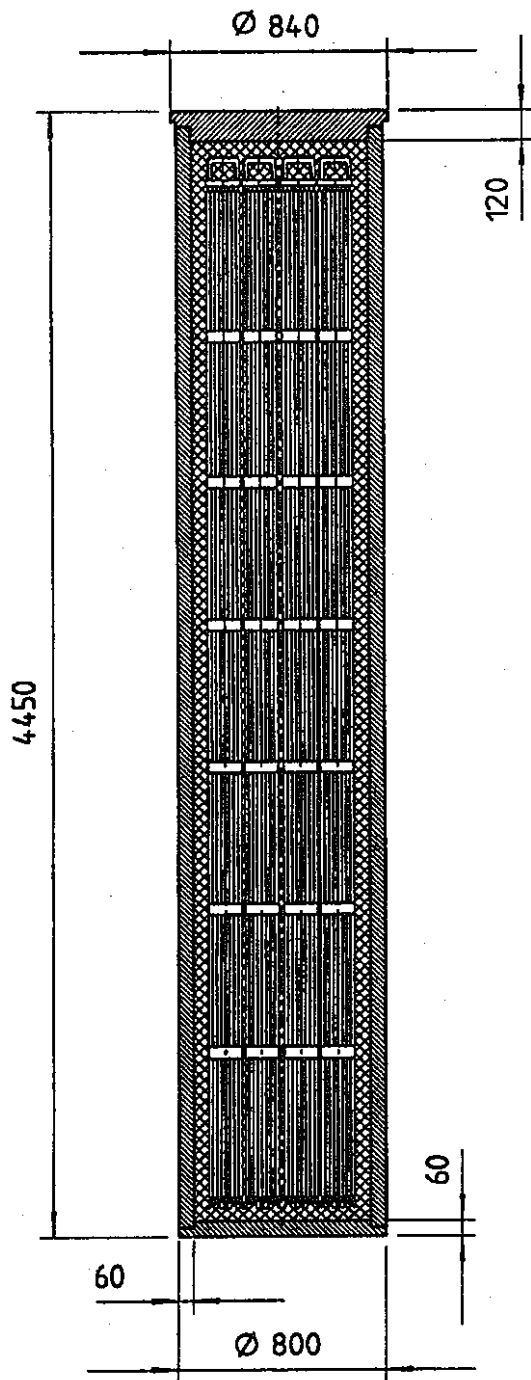


図 II-3-3 Deposition hole. (フィンランド) (図 I-1-4再掲)

出典：(10)



Section of canister

Canister surface (m²) 11.18

Estimated weight (kg)

Canister 5370

Fuel assemblies 2100

Cast lead 14630

Total 22100

図 II-3-4 Reference canister for SKB 91. (スウェーデン) (図 I-1-1再掲)
出典：(9)

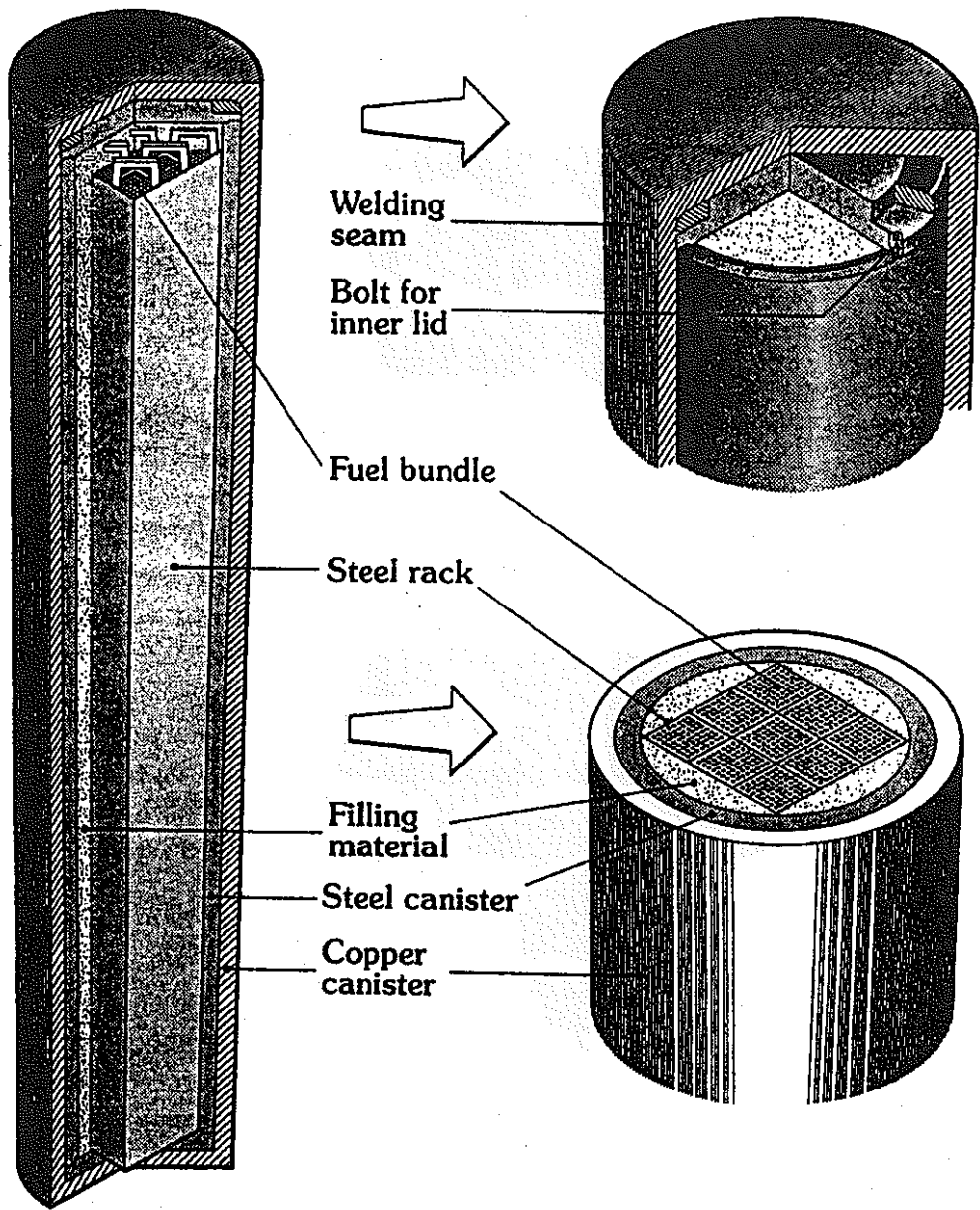
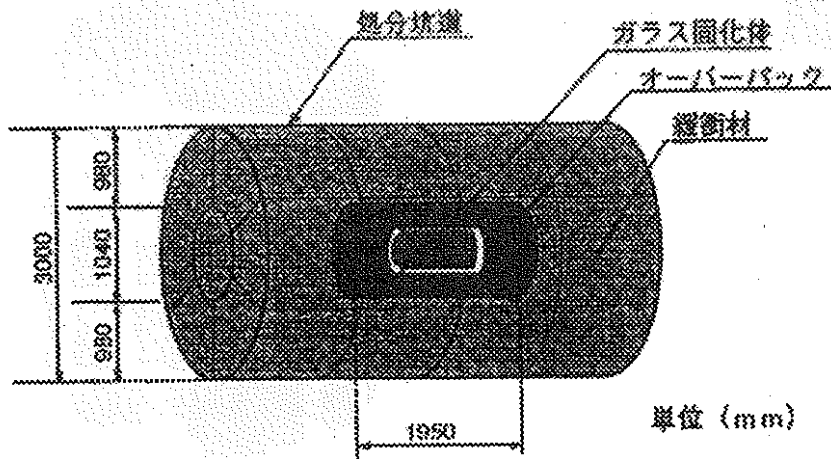
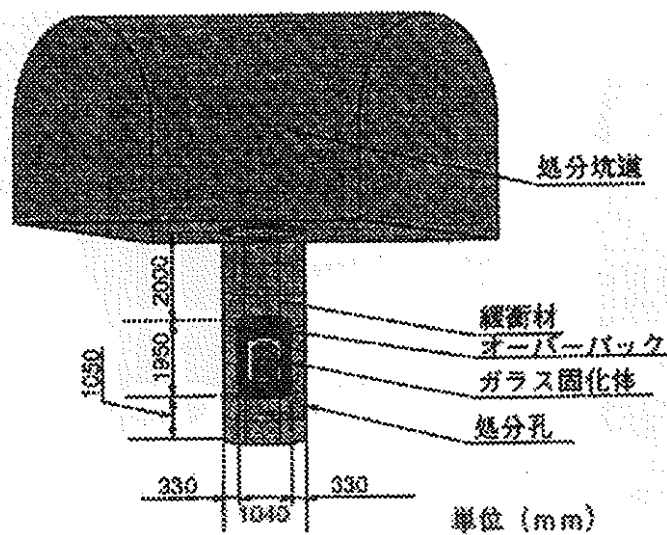


図 II-3-5 ACP CANISTER. (フィンランド)

出典：(10)



(a) 坑道横置方式



(b) 処分孔豎置方式

図 II-3-6 HLW処分用人工バリアの仕様例

出典：(7)

3.2 処分坑総延長及び掘削量

PNCのHLW処分場の検討⁽⁷⁾では、処分坑豎置方式（B案）の場合の処分坑道は、処分孔の掘削性を考慮し、高さ5.0mの幌型トンネルとしている。また、推積岩系岩盤では、空洞の安定性の面から、主要坑道は3心円の断面が考えられる。図II-3-7に以上に述べた坑道の断面を示す。

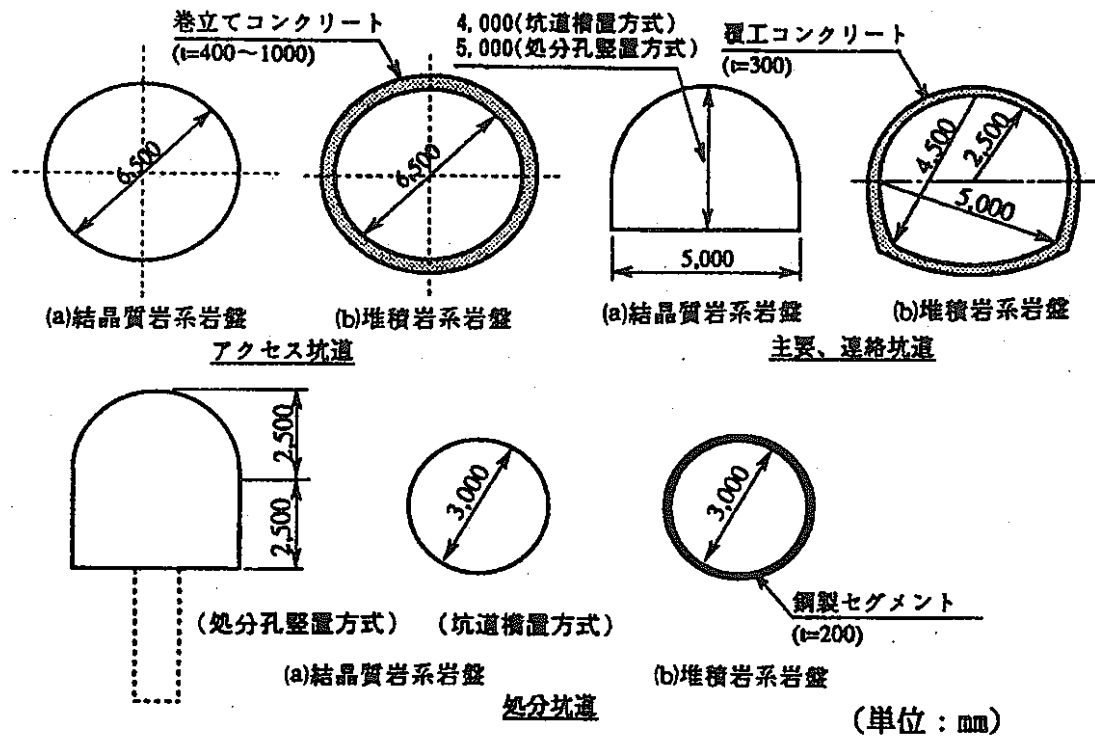


図 11-3-7 坑道の断面例

出典：(7)

仮りに、結晶質岩系のB案に対する処分坑道（幌形断面）の高さを $2a$ [m]、幅を b [m] とすると、処分坑道の断面積 S_r は、次式で計算される。

$$S_r = \left(1 + \frac{\pi}{4}\right) ab \quad [\text{m}^2]$$

また、処分坑の総延長 L [m] は、処分孔の数を N 、処分孔間のピッチを p [m] とすると、

$$L = Np \quad [\text{m}]$$

となるので、処分坑掘削量 v_r は、

$$\begin{aligned} V_r &= L \cdot S_r \quad [\text{m}^3] \\ &= \left(1 + \frac{\pi}{4}\right) abNp \end{aligned}$$

で算出し得る。ちなみに、スウェーデンの場合、 $2a = 4.5$, $b = 3.3$, $N = 5,700$, $p = 6.2$ より、 $v_r \doteq 4.7 \times 10^5 \text{m}^3$ 、また、フィンランドの場合、 $2a = 4.6$, $b = 3.3$, $N = 1,150$, $p = 6.0$ より、 $v_r \doteq 9.4 \times 10^4 \text{m}^3$ 、さらに、PNCのB案の場合、 $2a = b = 5$, $N = 40,000$, $p = 7$ より、 $v_r \doteq 6.2 \times 10^6 \text{m}^3$ となる。

3.3 作業坑

作業坑レイアウトに基づき、断面形状と総延長とから作業坑掘削量を求める。

3.4 地下作業エリア

同様に、地下作業のための空間域を確保する場合には、そのレイアウトに基づき、広さ、形状等から掘削量を求める。

4. 処分容器

4.1 容器形状

スウェーデンでは、銅製容器（長さ4.5m、直径0.8m、容器厚0.1m）のものを用いている。フィンランドは、容器厚が銅6cm、銅5.5cmである以外は基本的にスウェーデンと同様である。使用済燃料体の長さに基づき、容器の形状を設定する。素材については、表Ⅱ-4-1に示すように、銅、チタン、炭素鋼等が考えられているが、耐腐食性などの化学的条件（表Ⅱ-4-2、表Ⅱ-4-3参照）とコストとの兼ね合いによって、容器の内側に異材のライナーをつける（9）などのバリエーションが考えられるが、ここでは、還元性能がよく、比較的安価な炭素鋼を基準にする。

表Ⅱ-4-1 各国の人工バリアシステムの構成

国名	人工バリアシステムの構成		
	高レベル廃棄物	容器材料	緩衝材
スイス	ガラス固体化	炭素鋼	ベントナイト
ベルギー	ガラス固体化	チタン	ベントナイト
フランス	ガラス固体化	—————	ベントナイト
スウェーデン	使用済燃料	銅	ベントナイト
カナダ	使用済燃料	チタン	ベントナイト+砂混合
アメリカ	使用済燃料 ガラス固体化	ステンレス等	ベントナイト、ゼオライト、 シリカ混合材*

*現地発生材

出典：(7)

表 II-4-2 各種金属材料の耐食性の比較

材 料	腐食形態	全面腐食		すきま腐食		孔 食		粒界腐食		脱成分腐食		応力腐食割れ		水素脆化	
	環境の酸化性と還元性	酸化性	還元性	酸化性	還元性	酸化性	還元性	酸化性	還元性	酸化性	還元性	酸化性	還元性	酸化性	還元性
高耐食性金属	ステンレス鋼 (オーステナイト系)	○	○	×	△	△	○	△	△	○	○	×	△	○	○
	高ニッケル合金 (インコイ系合金)	○	○	△	○	△	○	△	△	○	○	○	○	○	○
	ニッケル基合金 (インコニル系合金) (ハステロイ系合金)	○	○	△	△	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○
	チタン, 低合金チタン	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△
準耐食性金属	炭素鋼, 鋳鉄	△	△	△	△	△	○	○	○	△	△	△	△	○	○
	純 銅	△	○	△	○	△	○	○	○	○	○	△	○	○	○

凡例：○ 耐食性 良, △ 可能性あり, × 劣る

* 腐食形態はFontana の分類 (Fontana, 1975)にしたがった。イロ-ジョン・コロ-ジョンは地下水の流れは遅く、低透水性の緩衝材に包まれていることから検討から除外した。またガルバニック腐食も異種金属接触のない構造とするため除外した。

* 表中の○は従来の知見から耐食性が良好で処分の環境で問題とならないことを示す。△は潜在的に発生・進展の可能性を有することを示し、研究課題と位置づけられることを示す。×は従来の知見から殆ど処分環境で耐食性が期待出来ないことを示す。

出典：(7)

表II-4-3 各種金属材料の耐食性以外の性質の比較

材 料	性 能	機 械 的 強 度	し ゃ へ い 性 能	還 元 環 境 の 持 続 性
高耐食性金属	ステンレス鋼 (オーステナイト系)	○	○	△
	高ニッケル合金 (インコロイ系合金)	○	○	△
	ニッケル基合金 (インコネル系合金) (ハステロイ系合金)	○	○	△
	チタン, 低合金チタン	○	△	△
準耐食性金属	炭素鋼, 鋳鉄	○	○	○
	純 銅	△	○	△

凡例： ○ 良い, △ 課題あり

出典：(7)

4.2 容量

使用済燃料収容量は、1.2.1節の検討より、スウェーデン、フィンランドの平均値約1.4tU/本を参考にしつつ、4.1節の検討・設定に従って求める。

4.2 充填材

スウェーデンのオーバーパック設計は、KBS-3キャニスタ概念に基づき、前記の図に示したような鉛充填材を一体当たり66%(=14630kg/22100kg)の重量比率分加えることによって、オーバーパック強度を増強するものとなっている。

他方、フィンランドの場合は、ACP (Advance Cold Process)キャニスタの設計概念に基づくもので、やはり前記に図示しているように、外形80cm、高さ4.5mの円筒形キャニスタの内側に、厚さ6cmの銅(6.4トン)とさらにその内側に5.5cm厚の鉄(4.1トン)を張った構造になっており、その内側につめる充填材によってキャニスタ全重量は約14~19トンとなっている。

そこで、本試算ケースでは、スウェーデン同様、充填材として鉛をつめるものとする、その重量は約15000kg/体となる。

5. コンディショニング施設

地上施設は、廃棄体の受入れ、検査、オーバーパックへの使用済燃料体の封入、地下施設への搬出等の他、地下施設の建設・操業・閉鎖作業のための換気、排水、緊急用の施設、および処分施設全体を管理する管理施設から構成される。このうち、使用済燃料体の受入れ施設は、放射性物質を取り扱うことから、十分な放射線の防護対策が必要となる。

1.2.1節で検討したように、使用済燃料廃棄体を年間2,000tU処分可能な処理能力を有する設備と機能が必要となる。

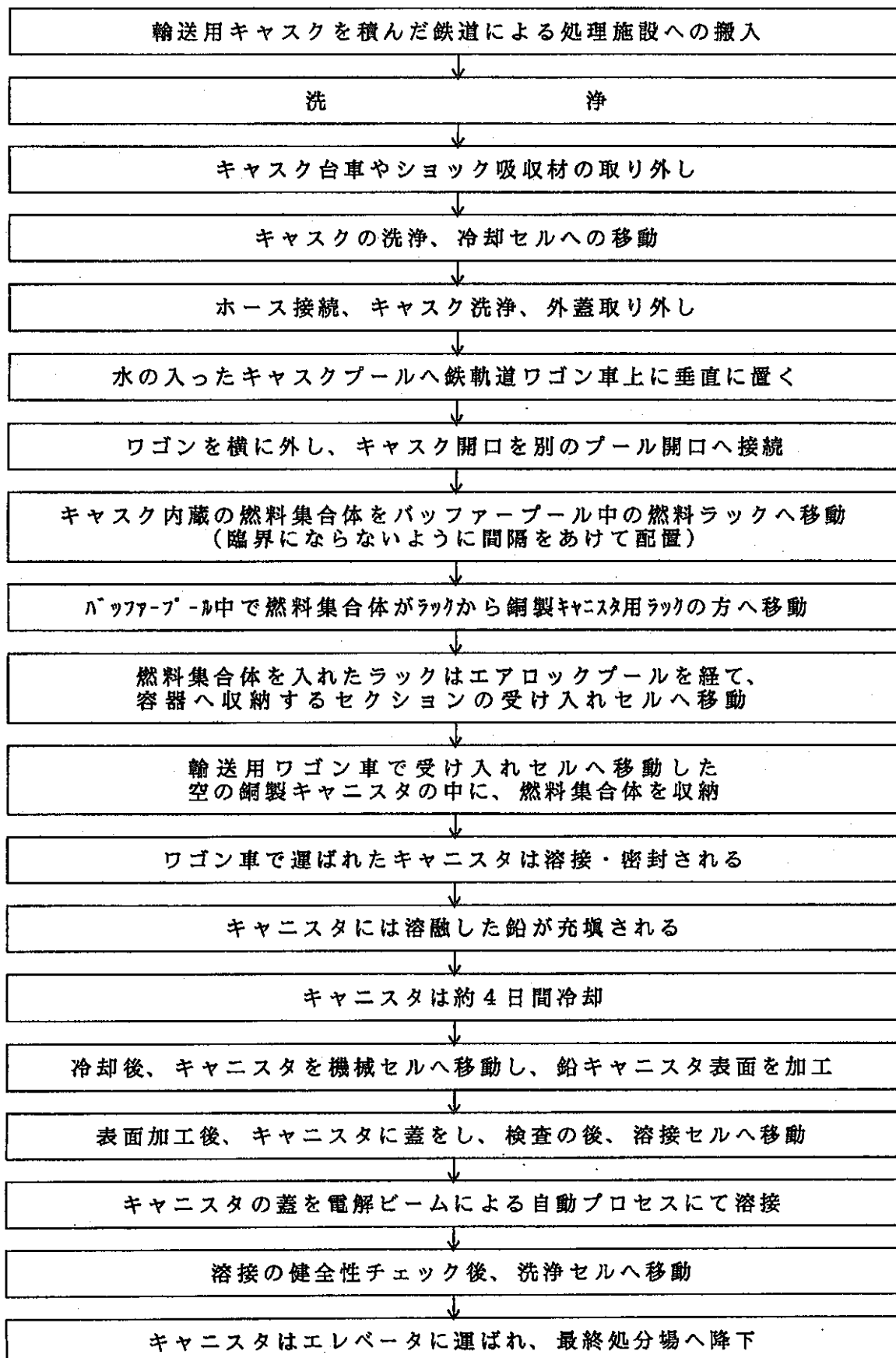
スウェーデンでは、使用済燃料をSFLで最終処分する前に、CLABという中間貯蔵施設に集められる。輸送車でCLABに運ばれた使用済燃料は、検査等の後、地下30mの貯蔵プールで管理される。

CLABでの中間貯蔵40年の後、最終処分場の真上に位置する処理施設は、以下の主要セクションより構成される。

- －使用済燃料受け入れセクション
- －使用済燃料を容器に収納するセクション
- －炉心構造物等を収納するセクション
- －貯蔵や鉛融解装置等を含むサービスセクション
- －冷却、精製システム並びに電気制御系等補助システム
- －作業員等用建屋

キャニスタを運び込んでから地下処分場へエレベータで降下するまでの一連の処理プロセスを図II-5-1に示す。

図II-5-1 スウェーデンの地上処理施設の主たる工程



Ⅲ. 直接処分の経済性評価

本章では、第Ⅱ章で検討した直接処分概念を踏まえて直接処分施設の基本仕様を検討し、その経済性について検討する。

1. 基本仕様とコストの設定

1.1 地上施設（コンディショニング施設）

(1) 基本仕様

本章で検討対象とする直接処分施設は、我が国で2050年までに発生すると予測される使用済燃料と同等量の使用済燃料の直接処분을想定したものである。したがって総処分量は10万tUである。これを50年間に渡って処分する計画であるから、各年の処分量は2000tUとなり、これに合わせてコンディショニング施設の能力も決まってくる。

なお、コンディショニング施設のプロセスはスウェーデンと同等のものと設定する。

また処分容器は、前章の検討を踏まえて、形状的にはスウェーデンの検討事例と同等のものを想定し、容器材料のみを鋼製とする。

[コンディショニング施設基本仕様]

・処理能力 年間2000tU ⇒ 体積換算で4,800 m³/年
処分容器数1,400本/年

・運転期間 50年間

・オーバーパック仕様：鋼製容器、長さ4.5 m×内径0.8 m、1.4tHM/容器

充填材として鉛を使用。一体当たりの使用料は15トン。

(2) 設備投資額

コンディショニング施設の設備投資額は16.41億ドル [2,265億円]（注：以下、価格表示については米ドルと円を適宜使い分けるが、いずれの場合も他の評価とベースを合わせるため、1991年7月平均の為替レートで換算するものとする）と設定する。

[設定根拠]

上記の設備投資額の設定に当たっては、第I章に整理した海外の評価事例のデータから、以下の2つの方法による推計値を参考にした。

①評価方法1：既存検討事例からの統計的処理による方法

既存検討事例（フィンランド、スウェーデン、ドイツ、カナダ、米国）の評価事例の数値から、処理能力と投資額（建設コスト）の関係式を推計し、その関係式を用いて投資額を評価した。推計式の詳細については、本報告書巻末の付属資料の付.表7に示すとおりである。

なお、評価結果は以下の通りである。

推計設備投資額 6.5～16.9億US\$ 平均11.97億US\$

②評価方法2：施設容積からの評価

スウェーデンの評価をベースとして、処理能力から推計される本検討対象の施設規模（施設容積）を2/3乗則で評価し、それにスウェーデンの工場の建設単価を乗じて評価した。

スウェーデンのコンディショニング施設は、処理能力478m³/年で施設容積250,000m³、建設費4.48億ドルである。これに対して本検討のコンディショニング施設の処理能力は4800m³である。したがって施設容積が処理能力の2/3乗に比例するとすれば、本検討の施設容積は1,163,632m³となる。

一方、スウェーデンの評価では施設容積当たりの建設単価は4.48億ドル/250,000m³=1792ドル/m³である。この建設単価を上記の施設容積に掛けると、本検討のコンディショニング施設建設コストは以下のように推計される。

推計設備投資額 20.85億US\$

本検討では以上の2つの評価を参考として、本検討では両者の中間値である。

16.41億US\$

を標準値として採用するものとする。なおこの数値は、①の評価方法の上限値とほぼ一致する。

更新投資（追加投資）についてはスウェーデンの事例（建設投資の4.5%）を参考に運転期間の差（本検討50年/スウェーデン27年）も考慮して、投資額の10%と設定する。したがって、更新投資額は次の通りである。

更新投資額 1.64 億 US\$

(2) 運転コスト

1) 人件費

必要人員数については、スウェーデンの事例ではコンディショニング施設の運転に約80名を想定している。これに対し、本検討の施設能力はスウェーデンの事例の6倍以上である。しかしながらコンディショニング施設は基本的に化学プラントであり、処理能力に比例して必要人員が増大するような要素はない。したがって必要人員数については、スウェーデンの評価事例をベースとし、その設備投資額の比にほぼ等しい4倍弱の人員に相当する300名と設定する。

一方、人件費単価については、現在の日本の平均的賃金を参考として以下の通りに設定する。

人件費単価 700 万円/年

2) 物品費

① 処分容器コスト

処分容器のコストについては我が国におけるHLW処分に関する検討事例のデータを参考に設定するものとする。

HLWの処分容器は直径104cm、長さ195cmの円筒状であり、外形寸法を除けば、本検討で想定している処分容器と材料や容器厚などの仕様は同じである。なお、HLW処分に関する検討事例では処分容器のコストは487万円/体と評価されている。

本検討では上記のデータを基に、HLW用と直接処分用（本検討）の処分容器の寸法差に基づき容積の差を勘案して、次のように設定する。

$$\text{使用済燃料処分容積} \quad (0.4)^2 \pi \times 4.5 = 2.262 \text{ m}^3$$

$$\text{HLW処分容積} \quad (0.52)^2 \pi \times 1.95 = 1.656 \text{ m}^3$$

$$\text{HLW処分容器価格} \quad 487 \text{ 万円/体}$$

$$\Rightarrow \text{使用済燃料処分容器価格} \quad 487 \times (2.262 \div 1.656) = \underline{665 \text{ 万円/体}}$$

② 充填材

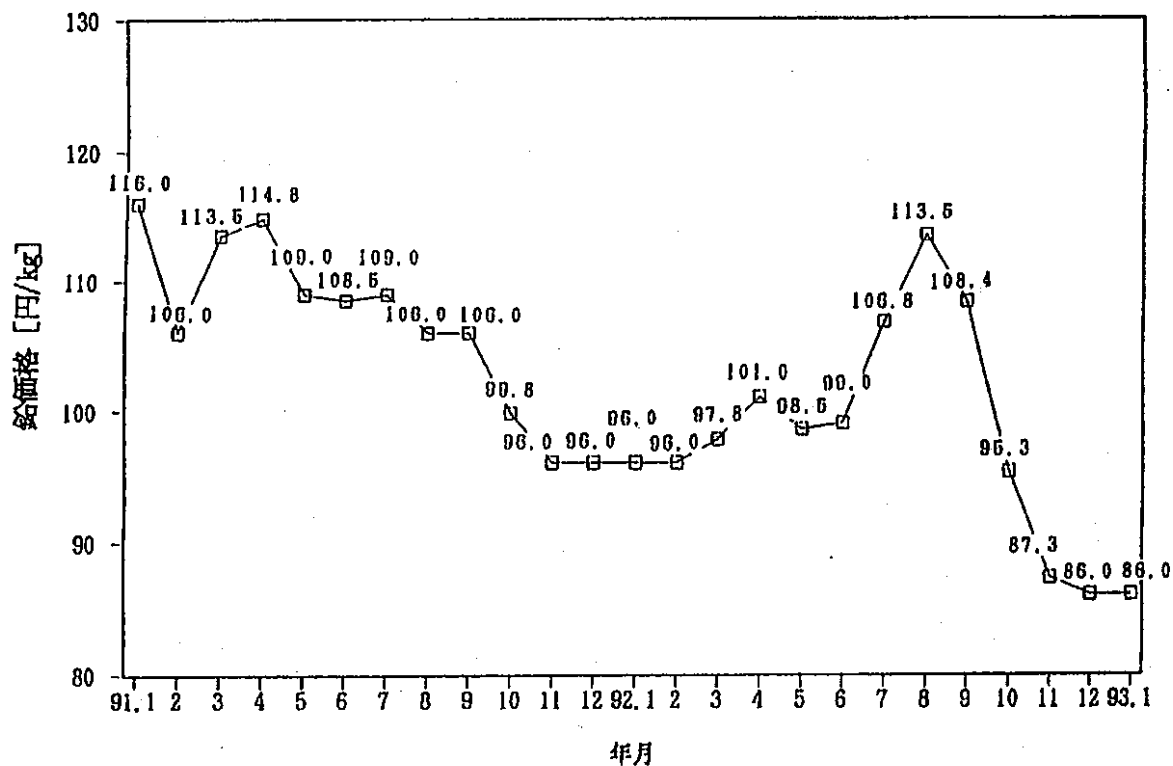
図Ⅲ-1-1に鉛相場（東京）価格の月別平均値を示す。これを見ると、1991年、1992年での平均価格は、それぞれ106.7円/kg、98.8円/kgとなっている。また、OECD/NEAの諸外国処分単価算定基準時点である1991年7月では、109.0円/kgであった。ここではこの数値を採用するものとする。

以上から処分容器1体当たりの鉛充填材の費用は次のように算定される。

$$109 \text{円/kg} \times 15,000 \text{kg/体} \approx 164 \text{万円/体}$$

3) ユーティリティ・コスト

図Ⅲ-1-1 鉛価格の月平均値の推移



出典：日経新聞

ユーティリティ・コストも基本的には処理量に比例すると考えられる。ここではHLWの検討事例を参考に以下の通りと設定する。

ユーティリティ・コスト (1400 体処理/年として) 6.5 億円/年

4) 維持費

施設設備の維持費は設備投資額の1%と設定する。この費用は毎年発生する。

(3) デコミッションング・コスト

既存検討事例におけるデコミッションングコストの評価は以下の通りである。(建設投資額に対する比率で示す)

カナダ	22.04%	
フィンランド	6.38%	
スウェーデン	8.98%	
米国	18.01%	
HLW 検討	15.09%	平均 14.1%

以上の事例を参考に、本検討では以下の通りに設定する。

建設投資額の 15%

1. 2 地下施設

(1) 基本仕様

地下施設の基本仕様は、前章の施設概念を踏まえて以下のように設定する。

- ・ 処分施設深度 500 m
- ・ 処分地層岩質 結晶質岩
- ・ 処分場構成 [600 m × 1000 m の処分区画] × 15 区画
= 3200 m × 3200 m = 10.24km²
- ・ 施設
 - 立坑 6 本 (500 m、φ 6.5 m)
総掘削量 16.58 × 10³ m³
 - 処分坑道 総延長 495km
坑道形状 高さ 5 m の幌型形状
総掘削量 11.04 × 10⁶ m³
 - 作業坑道 総延長 98.4km
坑道形状 高さ 5 m の幌型形状
総掘削量 2.19 × 10⁶ m³
- ・ 機器設備
 - 換気・照明施設
 - エレベータ (処分容器搬入用、要員運搬用、廃土搬出・物品搬入用)
 - その他

(2) 設備投資額

1) 建設コスト

我が国での地下空間建設コストは欧米諸国のそれと比べて一般に高く、これが我が国の地下利用の分野と地域を限定している理由の一つである。

地下空間建設コストが高い主な理由としては、次のようなことが挙げられている。

- ① 軟弱な地盤や断層・節理の発達した岩盤での利用が多いこと。
- ② 人口高密度地区や都市部での利用が多く、環境対策、地下の立体利用など工事条件が悪いこと。

データとしてはやや古いですが、我が国の鉄道トンネルならびに地下鉄建設の工事単価（1970年価格表示。これを1.87倍すれば1991年価格水準になる）は、図Ⅲ-1-2、図Ⅲ-1-3に示すように実質的な上昇傾向を示している。このようなコストアップの要因を一般的に列挙したものが表Ⅲ-1-1、表Ⅲ-1-2である。（これらに加えて環境問題に対する一般認識の高まりによるニーズや都市部における地下空間の高密度利用などが最近の傾向として付加しうる要因である。）地質条件や地表の土地利用状況によって掘削単価が数倍から数十倍の差が生じ得ることが、これまでの鉄道トンネルの工事単価の例に示されている。

また大断面空洞掘削工事費の内、補強費（ロックボルト、吹き付けコンクリートなど）に及ぼす地質の影響に関するこれまでの知見では、特に軟弱な地盤・岩盤のコストアップへの影響は大きいと考えられる。さらに掘削深度が大きくなるにつれて掘削単価が上昇することもこれまでの実状として明らかになっている。掘削が深くなると土圧・水圧が一般に増加するため、強度の高い山留め壁、支保工が必要となる。さらに、山留め壁内部を地盤改良するなどの補助工法の採用、排土に要する時間が長くなるなどのコストアップ要因が加わり、その結果、これまでの例では深さ30mの掘削単価は深さ6mの約3倍となっている。

これに対し、コストダウンの可能性を示したものが表Ⅲ-1-3である。例えば、掘削規模が大きくなると、大型機械の採用が可能となり、図Ⅲ-1-4のようにコストダウンの可能性が考えられる。

また掘削速度は、 $(\text{掘削岩体等の圧縮強度}) \times (\text{掘削機口径})^2$ の逆数で効くといった規則性からは、堆積岩系と花崗岩系での相違（後者の方が $1500\text{kgf}/\text{cm}^3$ と圧縮強度が一桁高い）がある程度定量的に評価しうる。

一方既存事例における建設単価の評価は以下の通りである。（いずれも1991.7US\$）この建設費には坑道掘削費と地下設備費が含まれる。

カナダ	66.9 \$/ m ³	(結晶質岩)
ドイツ	182.1 \$/ m ³	(岩塩)
フィンランド	362.5 \$/ m ³	(結晶質岩)
スウェーデン	661.3 \$/ m ³	(結晶質岩)
米国	127.6 \$/ m ³	(凝灰岩)

これに対し、我が国のH L W処分の検討において設定された坑道掘削コストは230万円/mである。このコストは表Ⅲ-1-3に示す最近の国内のトンネル建設のデータを基にしている。この230万円/mというコストは、上記の各国の評価の内、最も高いスウェーデンのコストと比較してもかなり高い。スウェーデンの建設単価は、我が国の坑道掘削単価（すなわち地下設備費は除いた純粹に掘削費用のみ）の80%程度しかない。

本検討では以上のデータを参考として、建設単価については次のように設定する。

建設単価 1,000 \$/ m³

なお、この設定値には、設備コスト分も含まれており、その比率は25%と想定して設定している。

上記の建設単価は、基本的にはH L W処分検討で採用された掘削単価230万円/mをベースとし、これに設備費（建設単価計の25%を想定）を加え、基本仕様で想定した坑道断面積を考慮してm³単位に換算した値である。

以上の単価を使用すると、建設費は以下の通りとなる。

$$\text{建設費 } 1000\$/\text{m}^3 \times 13.25 \times 10^6 = \underline{13.25 \times 10^9 \text{ US\$}}$$

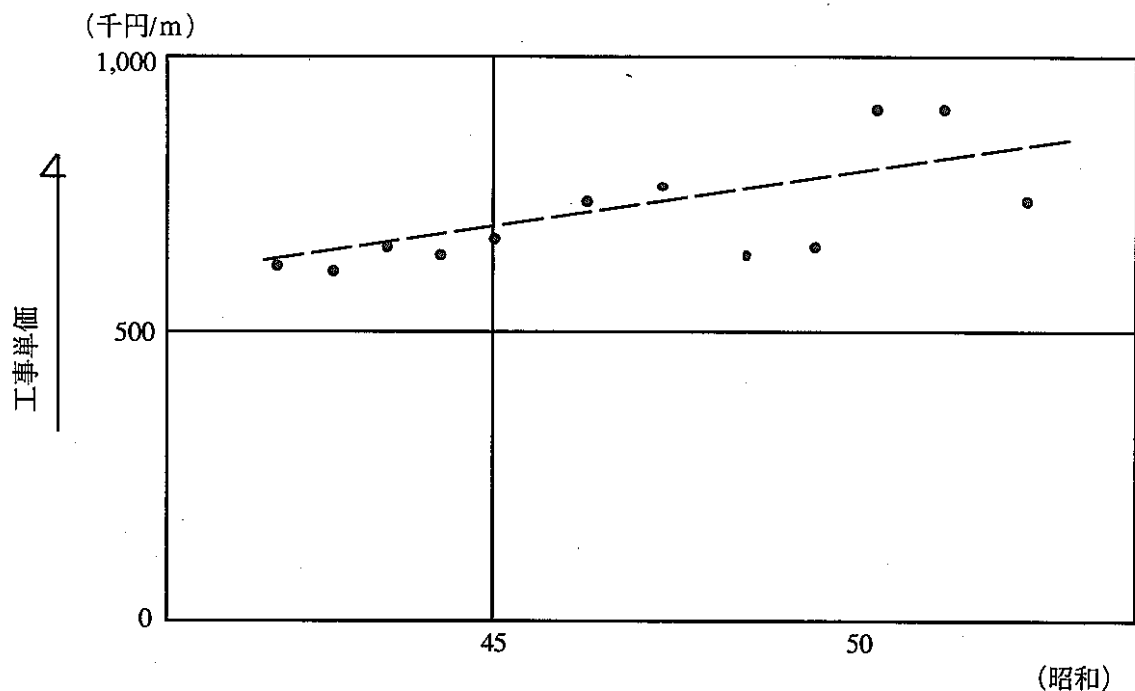
2) 設備費

設備費についてはH L W処分に関する検討例を参考に以下の通りに設定する。

建設投資額の25%

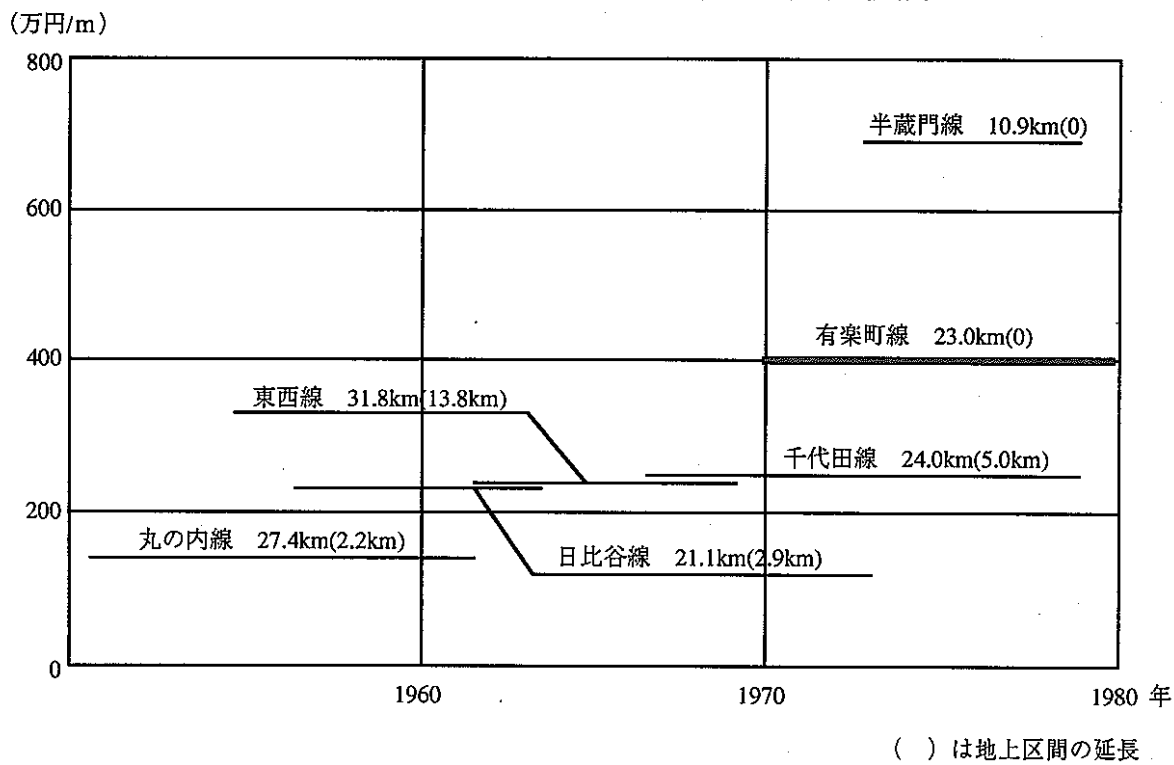
(3) 運転コスト

図III-1-2 鉄道トンネルの工事単価の変遷（昭和45年実施価格）



出典：(14)

図III-1-3 地下鉄建設コスト（1970年実施価格）



出所：(14)

表Ⅲ-1-1 コストアップ要因 その1

要 因		コ ス ト ア ッ プ 現 象
環 境 条 件	1. 作業時間の制約 i) 住宅地 ii) 地上交通の確保 iii) 営業鉄道線 iv) 営業店舗	①施工可能時間の減少 ②深夜施工による能率低下 ③深夜施工による労賃アップ
	2. 作業空間の制約 i) 都市における高密度利用	①施工方法の限定 ②施工能率の低下 ③危険作業の増加 (安全・管理費の増加)
	3. 公害対策 i) 騒音・振動防止 ii) 周辺地盤変状防止 iii) 地下水位低下防止 iv) 近接施工	①施工方法の限定 ②薬液注入などの地盤改良
	4. 環境保全 i) 掘削地点の限定 ii) 掘削範囲の限定	①アクセストンネルの増費 ②掘削工法の限定
地質・ 地形条件	1. 地質	①薬液注入などの地盤改良 ②ロックボルトなどの補強工 ③コンクリートなどの敷工
	2. 地形	①アクセス道路などの間接工事費アップ ②施工方法の限定 ③安全・管理費の増加

出典：(14)

表Ⅲ-1-2 コストアップ要因 その2

要 因		コ ス ト ア ッ プ 現 象
そ の 他	1. 材料費の上昇	
	2. 労務費の上昇	
	3. 用地費の上昇	
	4. 労務者の高齢化	①作業能率の低下
	5. 構造物の多様化・複雑化 i) 大深度化 ii) 複雑化 iii) 高い安全性 iv) 地下空間の高密度利用	①施工能率低下 ②安全・管理費の増加 ③覆工費、補強費の増加 ④地盤改良などの補助工法

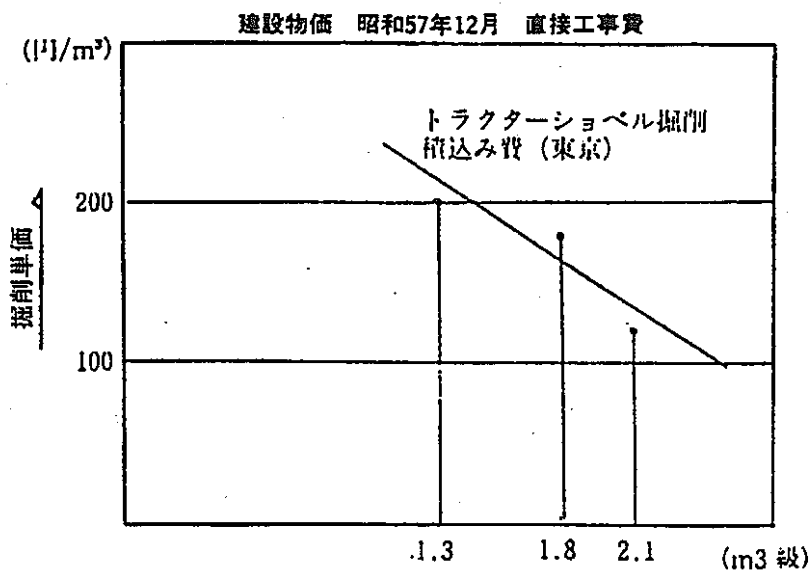
出典：(14)

表Ⅲ-1-3 コストダウン要因

要 因	コ ス ト ダ ウ ン 現 象
1. 設計技術の向上 i) 設計手法の合理化 ii) 解析手法の発展 iii) データの蓄積	① 覆工・補強工の数量減 ② 地盤改良工の数量減
2. 調査・計画技術の向上 i) 調査技術 ii) 計画技術	① 合理的な設計 ② 経済的な掘削システム ③ 最適工程計画 ④ 経済的な施工方法
3. 機械化施工の推進 i) 建設機械の大型化 ii) 建設機械のロボット化	① 施工速度の向上 ② 省力化 ③ スケールメリット
4. 新工法の開発	① 施工速度の向上 ② 数量の減少 ③ 信頼性の向上

出典：(14)

図Ⅲ-1-4 トラクターショベル能力



出典：(14)

表Ⅲ－１－４ 日本におけるトンネル工事単価例

No	トンネル延長	岩区分	掘削区分	請負金額	単位長さ当たり単価
1	2.111m	中・硬岩	発破・ベンチ	3.690百万円	175万円/m
2	1.508m	中・硬岩	発破・ベンチ	3.662百万円	243万円/m
3	1.627m	中・硬岩	発破・ベンチ	3.935百万円	242万円/m
4	794m	中・硬岩	発破・ベンチ	1.750百万円	221万円/m
5	1.630m	中・硬岩	発破・ベンチ	2.535百万円	156万円/m
6	2.599m	中・硬岩	発破・ベンチ	5.515百万円	213万円/m
7	2.815m	中・硬岩	発破・ベンチ	4.980百万円	177万円/m
8	3.406m	中・硬岩	発破・ベンチ	5.565百万円	164万円/m
9	1.920m	中・硬岩	発破・ベンチ	3.437百万円	179万円/m
10	875m	中・硬岩	発破・ベンチ	2.055百万円	235万円/m
11	1.298m	中・硬岩	発破・ベンチ	2.858百万円	221万円/m
12	273m	中・硬岩	発破・ベンチ	694百万円	255万円/m
13	780m	中・硬岩	発破・ベンチ	1.630百万円	209万円/m
14	800m	中・硬岩	発破・ベンチ	1.940百万円	243万円/m

1) 人件費

地下施設の要員数として、スウェーデンの事例では約80名(年間210体処分)が想定されている。一方、我が国のHLW処分の検討においては、約26名(年間平均1682体処分)しか想定されていない。この差は、処分体の重量、大きさの違いによる操作性の違い、作業手順や作業機器の違いなどに起因するものと考えられる。

本検討の場合、処分体の重量、寸法という点ではスウェーデンの事例とほぼ同等であるが、処分の作業手順、使用機器は我が国で検討されたHLW処分の方式に準じる形になるものと考えられる。また処分量の点では、本検討の場合、年間1400体であり、スウェーデンの事例の約7倍、HLWの事例とほぼ同等である。

ここではこれらのデータを参考として、HLWの作業手順をベースとして人員数を設定するものとし、HLWよりも処分体の重量、寸法が大きい点を考慮して、HLW処分の約2倍の人員を必要とすると想定した。したがって地下施設運転に必要とされる人員数は以下の通りに設定する。

必要人員数 50名

2) 物品費

最終処分が必要とされる物品費は緩衝剤として用いるベントナイト代である。ここではスウェーデン、フィンランドと同様に、処分ピット内は圧密加工を施したベントナイトを、坑道はケイ砂と混合した通常のベントナイトを用いるものとする。

ベントナイトの費用は、現在の市場価格を基に次の通りと設定する。

通常ベントナイト代	4万円/m ³
圧密加工ベントナイト代	37万円/m ³

圧密加工を施したベントナイトの必要量は1ピット当たり10.99m³である。したがって全処分量に必要とされる総量は次の通りとなる。

$$10.99 \text{ m}^3/\text{体} \times 71,000 \text{ 体} = 7.804 \times 10^5 \text{ m}^3$$

一方、処分坑の総容積は $1.109 \times 10^7 \text{ m}^3$ である。この容積に相当する量が通常ベントナイ

トの使用量になる。

以上から物品費の総額は次の通りとなる。

通常ベントナイト代	4万円/m ³	×	1.109 × 10 ⁵ m ³	=	4.436 × 10 ¹¹ 円
圧密加工ベントナイト代	37万円/m ³	×	7.804 × 10 ⁵ m ³	=	2.888 × 10 ¹¹ 円
合 計	:				7.324 × 10 ¹¹ 円

3) 維持費

地下施設の維持費率は建設投資額の1.5%と設定する。地上施設が1%の想定であるのに対し、環境的に厳しい地下施設の場合は、その50%増しで想定している。

なお、地下施設は、順次建設しながら運転していくために、初年度から地下施設の総建設コストの1.5%が維持費として発生するのではない。生涯年を平均すると、建設投資額の半分の費用の1.5%相当が維持費として計上されることになる。

(4) 閉鎖コスト

諸外国の既存検討事例における閉鎖コスト（デコミッションング&シーリング）の評価は以下の通りである。（建設投資額に対する比率）

カナダ	72.66%
フィンランド	39.53%
スウェーデン	88.45%
参考（米国）	195.34%

このように非常に幅が大きくこれらのデータから一概に閉鎖コストを評価することは出来ない。これはコストの評価において、各国ともコストの細目をどの費目として計上するかが共通していないためと考えられる。例えば、ドイツの評価においてはそもそも閉鎖コスト自体が独立して計上されていない。これを考えると、例えばフィンランドの評価においては、運転期間中の埋め戻しについては運転費に含まれている可能性がある。

本検討では以上の事例を参考に、スウェーデンの事例をベースとして以下の通り設定する。

建設投資額の90%

以上に設定した直接処分に係る各工程の基本仕様およびコストを表Ⅲ-1-5、Ⅲ-1-6にまとめて示す。

表Ⅲ-1-5 直接処分に係る各工程の基本仕様の設定一覧

項目	基本仕様	設定根拠
<p>コンテ「イヨニク」 施設</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・処理能力 2000tU/年 [処分容器換算 1400本/年] ・運転期間 50年間 (2020年～2070年) ・運転人員 300名 	<ul style="list-style-type: none"> ・我が国の2050年までの発生使用済燃料を50年間で処理すると想定 ・スウェーデンの事例 (本施設の1/6以下の能力で80名) を参考として設定
<p>処分容器</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・材質 鋼製 ・寸法 長さ4.5m×内径0.8m ・容量 1.4tU/容器 ・充填材 鉛。15トン/容器 	<ul style="list-style-type: none"> ・HLWガラス固化体処分容器 ・スウェーデンの処分容器と同仕様
<p>地下処分場</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・深度 地下500m ・処分地層岩質 結晶岩質 ・処分場構成 単位処分区画 600m×1000m 全処分区画 15区画 ・処分場面積 3200m×3200m=10.24km² ・施設 <ul style="list-style-type: none"> - 立坑 6本 (500m, φ6.5m) 総掘削量 16.58×10³m³ - 処分坑道 総延長 495m 坑道形状 高さ5m幌型 総掘削量 11.04×10⁶m³ - 作業坑道 総延長 98.4km 坑道形状 高さ5m幌型 総掘削量 2.19×10⁶m³ ・機器設備 <ul style="list-style-type: none"> - 換気・照明設備 - エレベータ (処分容器搬入、要員運搬、排土搬出、物品搬入) - その他 ・作業人員 50名 	<ul style="list-style-type: none"> ・スウェーデン、フィンランドと同仕様 ・HLW処分施設概念を参考に設定 ・HLW処分概念を参考に設定 ・HLW処分概念を参考に設定
<p>処分方式</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・方式 処分孔竖置き方式 ・ピット形状 直径1.5m×深さ7.5m ・ピット間距離 7m ・緩衝材 ベントナイト 	<ul style="list-style-type: none"> ・スウェーデン事例参考 ・HLW処分概念を参考

表III-1-6 直接処分に係る各工程のコストの設定一覧

項目	単価設定	設定根拠
コンテナリング 施設	<ul style="list-style-type: none"> ・建設コスト 16.41億US\$ ・更新投資額 建設投資額の10% ・維持費 設備投資額の1%(毎年) ・ユーティリティコスト 6.5億円/年 ・閉鎖コスト 建設投資額の15% 	<ul style="list-style-type: none"> ・各国事例より推計 ・スウェーデン事例を基に設定 ・本検討で設定 ・HLW処分概念検討事例を基に設定 ・各国事例の平均値を基に設定
地下処分場	<ul style="list-style-type: none"> ・建設単価（設備費込み） 1000 \$/m³ ⇒ [掘削単価 750 \$/m³] ⇒ [設備コスト 33億\$] ・維持費 各年時点での累積投資額の1.5% ・閉鎖コスト 建設投資額の90% 	<ul style="list-style-type: none"> ・国内トンネル建設実績および海外事例を基に設定 ・本検討での設定 ・スウェーデン事例を基に設定
処分容器	<ul style="list-style-type: none"> ・容器代 665万円/体 ・充填材 160万円/体 	<ul style="list-style-type: none"> ・HLW処分容器単価を基に体積比を考慮して設定 ・市況データを基に設定
緩衝剤	<ul style="list-style-type: none"> ・通常ベントナイト 4万円/m³ ・圧密ベントナイト 37万円/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> ・市場データを基に設定 ・市場データを基に設定
人件費	<ul style="list-style-type: none"> ・人件費単価 700万円/年 	<ul style="list-style-type: none"> ・製造業の平均年収に会社負担コスト（年収の30%）を考慮して設定

2. 直接処分コストの評価

2.1 直接処分単価

前節で設定した基本仕様と各工程の費用見積に基づいて、直接処分にかかる費用と処分量当たりの単価を評価した。評価結果を表Ⅲ-2-1に示す。なお、この評価においてはエスカレーションは考慮しておらず、また貨幣価値の現在価値換算も行っていない(即ちディスカウント率は0%としている)。

10万t Uの使用済燃料を50年間をかけて地中に直接処分するために要する総費用は54,917億円と評価される。これを処分量で割り戻した処分単価は、処分体当たりで78.5百万円/体、重量当たりでは54.9百万円/tUとなる。

この処分単価を諸外国の評価値と比較するために、1991年7月時点の為替レートで米ドルに変換すると、それぞれ568.5千ドル/体、397.9千ドル/tUとなる。この数値を諸外国の評価と比較すると(表Ⅲ-2-2参照)、ドイツの約3倍、カナダに至っては10倍近いコストとなっている。スウェーデン、フィンランドと比較しても25%前後高いコストと評価される。この結果、我が国を想定して設定された条件下での直接処分は、諸外国の評価結果と比較すると最も高いコストになるといえる。なお、スウェーデン、フィンランド等ではサイトの探索や許認可に係わる費用もコスト評価の中にも含まれており、これらを含めると410千US\$/tUとなり、本検討のコストよりも高くなる。

費目別の構成を見ると、本検討の場合中分類では総業費が39.7%で最も多い。ついで建設・設備費が33.4%を占めている。小分類で見ると、地下施設建設費が29.2%と最も大きく、次いで地下施設閉鎖費26.3%、緩衝材費用13.3%と続いている。物品費が比較的高いのが注目される。

諸外国の評価と比較して特徴的なことは、地下施設建設コストの高さである。カナダと比較すると約36倍、その他の国との比較でも2倍前後となっている。これは我が国のトンネル建設コストが諸外国に比べてかなり高いこと、また地下坑道の断面が諸外国の処分概念よりも大きめに想定されていることなどが、その原因となっている。一方、地上施設、即ちコンディショニング施設についてはスケール・メリットが効くために、スウェーデン、フィンランドと比べるとかなり安くなっている。

この結果から、地下施設の建設費の低減が直接処分コスト低減にとって大きな課題であると言える。

表III-2-1 直接処分単価評価結果

処分総量	処分体本数	70,000 体	
	処分重量	100,000 tU	
費目		費用	構成比率
建設・設備			
	地上施設建設費	2,265 億円	4.1% 年間処理能力1400体
	地下施設建設費	16,057 億円	29.2% 掘削量 13.25×10 ⁶ m ³
	中計	18,322 億円	{33.4%}
施設操業費			
	維持費		
	地上施設維持費	1,133 億円	2.1% 建設費の1%/年
	地下施設維持費	6,022 億円	11.0% 建設費の1.5%/年
	小計	7,154 億円	(13.0%)
	労務費		
	地上施設労務費	1,050 億円	1.9% 300名
	地下施設労務費	175 億円	0.3% 50名
	小計	1,225 億円	(2.2%)
	物品費		
	オーバーハック費用	4,655 億円	8.5% 665万円/体
	充填材費用	1,120 億円	2.0% 160万円/体
	緩衝材費用	7,324 億円	13.3% 通常ベントナイト 4万円/m ³ 圧密加工ベントナイト 37万円/m ³
	小計	13,099 億円	(23.9%)
	ユーティリティ費	325 億円	0.6%
	中計	21,803 億円	{39.7%}
解体・閉鎖費			
	地上施設解体費用	340 億円	0.6% 建設設備費の15%
	地下施設閉鎖費用	14,452 億円	26.3% 建設設備費の90%
	中計	14,791 億円	{26.9%}
合計		54,917 億円	100.0%
処分単価	処分体当たり	78.5 百万円/体	568.5 k\$/体
	重量当たり	54.9 百万円/tU	397.9 k\$/tU

表III-2-2 諸外国の直接処分単価の評価結果との比較

(単位：千US\$/tU)

		本検討	スウェーデン	フィンランド	ドイツ	カナダ
処分規模	処分重量 (tU)	100,000	7,840	1,840	35,600	190,000
	処分体数 (本)	70,000	5,700	1,200	128,300	140,256
	運転期間 (年)	50	29	20	50	41
建設費	地上施設	16.4	59.7	51.6	9.4	4.5
	地下施設	116.3	68.4	47.3	46.9	3.2
	小計	132.8	128.1	98.9	56.2	7.7
操業費	地上施設	60.0	107.3	144.0	40.9	17.4
	地下施設	98.0	11.4	53.8	32.1	13.9
	小計	158.0	118.6	197.8	73.0	31.3
解体・閉鎖費	地上施設	2.5	5.1	3.3	—	1.0
	地下施設	104.7	59.7	18.5	—	2.3
	小計	107.2	64.8	21.7	—	3.3
合計	地上施設	78.9	172.1	198.9	50.3	22.8
	地下施設	319.0	139.4	119.6	78.9	19.4
	総計	397.9	311.5	318.5	129.2	42.2

2.2 感度分析

前節に示した基本ケースをベースに、処分規模が処分単価にどのような影響を与えるか、及び処分層の岩質が変化した場合どのような影響があるかを分析した。

(1) 処分規模の影響

処分規模が単価に及ぼす影響を分析した結果を表Ⅲ-2-3、に示す。ここでは処分規模が変わっても地上施設の能力は変化させず（即ち各年の処理量は一定として）、地下施設の規模のみが変化するものとして、その影響を分析している。

表から分かるように、規模が大きくなるにつれて処分単価は減少しており、スケールメリットが効くことは示されている。しまたながらその効果は小さい。これは地下施設建設費の内、処分規模に依らず一定の立坑の比率が処分規模に比例する処分トンネルなどに比べると小さく、スケールメリットが発揮されないこと、また量に依存しない物品費の比率が高いといったところに原因がある。

(2) 岩質の影響

基本ケースは結晶質岩を想定したものであるが、これを堆積岩とした場合の評価を行った。岩質の変化は、大きくは次の2点に影響を及ぼすと考えられる。

①安全性の面から必要とされる処分体間隔

②坑道掘削コスト

①については、今回の評価では分析を行っていないために、とりあえず変わらないと想定した。

②については、掘削速度に依存してコストが変化するものとし、堆積岩では結晶質岩よりも掘削スピードが約11.1%程度遅くなるとされている（HLW処分に関する評価による知見）ことから、この分をコストアップ要因とした。結果は表Ⅲ-2-4に示すとおりである。

結晶質岩の場合よりもさらに地下施設の建設期間が長引くために建設コストがアップし、結果として堆積岩の場合、結晶質岩に比べると7%程度コストアップになると評価される。

表Ⅲ-2-3 (1) 直接処分コスト感度分析1—規模の影響 (総費用で見た場合)

	基本ケース	ケース1-2	ケース1-3	
対象期間 操業期間	2050年まで 50年間	2030年まで 30年間	2040年まで 40年間	
処分総量 処分体本数	70,000	42,000	56,000	体
処分重量	100,000	60,000	80,000	t U
費目	費用			
建設・設備				
地上施設建設費	2,265	2,265	2,265	億円
地下施設建設費	16,057	9,663	12,882	億円
中計	18,322	11,928	15,147	億円
施設操業費				
維持費				
地上施設維持費	1,133	680	906	億円
地下施設維持費	6,022	2,174	3,865	億円
小計	7,154	2,854	4,771	億円
労務費				
地上施設労務費	1,050	630	840	億円
地下施設労務費	175	105	140	億円
小計	1,225	735	980	億円
物品費				
オーバーハック費用	4,655	2,793	3,724	億円
充填材費用	1,120	672	896	億円
緩衝材費用	7,324	4,512	6,025	億円
小計	13,099	7,977	10,645	億円
ユーティリティ費	325	195	260	億円
中計	21,803	11,761	16,656	億円
解体・閉鎖費				
地上施設解体費用	340	340	340	億円
地下施設閉鎖費用	14,452	8,697	11,594	億円
中計	14,791	9,037	11,933	億円
合計	54,917	32,726	43,736	億円
処分単価 処分体当たり	78.5	77.9	78.1	百万円/体
重量当たり	54.9	54.5	54.7	百万円/tU

表Ⅲ-2-3 (2) 直接処分コスト感度分析1—規模の影響(単価で見た場合)

(単位:百万円/体)

	基本ケース	ケース1-2	ケース1-3
対象期間 操業期間	2050年まで 50年間	2030年まで 30年間	2040年まで 40年間
処分総量 処分体本数	70,000	42,000	56,000
処分重量	100,000	60,000	80,000
費目	費用		
建設・設備			
地上施設建設費	3.24	5.39	4.04
地下施設建設費	22.94	23.01	23.00
中計	26.17	28.40	27.05
施設操業費			
維持費			
地上施設維持費	1.62	1.62	1.62
地下施設維持費	8.60	5.18	6.90
小計	10.22	6.79	8.52
労務費			
地上施設労務費	1.50	1.50	1.50
地下施設労務費	0.25	0.25	0.25
小計	1.75	1.75	1.75
物品費			
オーバーハック費用	6.65	6.65	6.65
充填材費用	1.60	1.60	1.60
緩衝材費用	10.46	10.74	10.76
小計	18.71	18.99	19.01
ユーティリティ費	0.46	0.46	0.46
中計	31.15	28.00	29.74
解体・閉鎖費			
地上施設解体費用	0.49	0.81	0.61
地下施設閉鎖費用	20.65	20.71	20.70
中計	21.13	21.52	21.31
合計	78.45	77.92	78.10

表Ⅲ-2-4 直接処分単価の感度分析2-岩質の影響

	基本ケース	ケース2		
岩質	結晶質岩	堆積岩		
処分総量	処分体本数	70,000	70,000	体
	処分重量	100,000	100,000	t U
費目	費用			備考
建設・設備				
	地上施設建設費	2,265	2,265	億円
	地下施設建設費	16,057	17,840	億円
	中計	18,322	20,105	億円
施設操業費				
	維持費			
	地上施設維持費	1,133	1,133	億円
	地下施設維持費	6,022	6,690	億円
	小計	7,154	7,822	億円
	労務費			
	地上施設労務費	1,050	1,050	億円
	地下施設労務費	175	175	億円
	小計	1,225	1,225	億円
	物品費			
	オーバーハック費用	4,655	4,655	億円
	充填材費用	1,120	1,120	億円
	緩衝材費用	7,324	7,324	億円
	小計	13,099	13,099	億円
	ユーティリティ費	325	325	億円
	中計	21,803	22,471	億円
解体・閉鎖費				
	地上施設解体費用	340	340	億円
	地下施設閉鎖費用	14,452	16,056	億円
	中計	14,791	16,396	億円
合計				
		54,917	58,972	億円
処分単価				
	処分体当たり	78.5	84.2	百万円/体
	重量当たり	54.9	59.0	百万円/tU

3. 経済性評価のまとめと今後の課題

前節までに見たように、我が国の条件下で直接処分を行うとした場合、諸外国との条件の違いを考慮すると、諸外国の評価よりもかなり割高になることが予測される。特に大きいのは、他所での指摘されているように、我が国の場合諸外国よりも土木・建設コストがかなり高いことが知られているが、直接処分のように、そのコストのかなりの部分が土木・建設費であるようなプロジェクトにおいては、この要因は決定的である。

本検討においてはサイト探索や土地取得、許認可にかかわるコストは評価していないが、我が国の国情を考えるとこのような部分のコストも無視できないほどに大きいことが容易に想定される。したがってこれらをも含めたコスト評価を行うと、諸外国よりもさらに割高になる可能性があることが指摘される。

また、本検討だけでなく、諸外国の検討においても核物質防護や核不拡散の観点からの対応およびそれにかかるコストの評価といったことについては触れられていない。しかしながら多量にプルトニウムを含む使用済燃料の場合、その核物質管理の考え方やその管理に必要なとされる施設、設備はHLWのガラス固化体の場合とは同じには出来ない。したがって実際に直接処分を行うとなれば、こういった点の配慮も忘れることは出来ず、これらが経済性にどのような影響を及ぼすのかと言ったことも興味ある問題である。これらに関する分析は今後の課題として残されている。

本検討においては、基本的には諸外国の評価を下敷きとした机上の評価であり、エンジニアリング的な詳細な検討を経たものではない。したがってコスト評価に当たって用いている数値の幾つかは、海外の評価における設定値をそのまま採用しており、また幾つかの数値については、間接的な根拠に基づく本検討における設定値を使用している。これらの数値についてはエンジニアリング的検討を経て、より精度の高い数値で再検討されることが必要と考えられる。しかしながら、本検討における評価値は、このような課題を有しているものの、現時点での我が国における直接処分コストの評価値として十分意味を持つものであると考える。

付属資料

A. 使用済燃料処分コスト推計方法に関する考察

A. 1 スケール則の仮定を用いたマクロ的アプローチ

OECD/NEAのデータ⁽¹⁾を用い、使用済燃料直接処分策採用国であるカナダ、USA、スウェーデン、フィンランド（但し、ドイツについても参考値として加えた）の廃棄体体積当りのコストの廃棄体体積に対するスケール（メリット）指数を算出したところ、相関係数0.96でおよそ0.67というフィッティング結果が得られた（(1)式参照）。これは、通常化学プラント系で言われている0.7乗則⁽²⁾におよそ近い数値と言える。このスケール則が適用できると仮定するならば、同様の処分概念に対し、廃棄体の体積だけがわかれば廃棄体体積当りのコストを推定することも可能である。

$$C_v = a \cdot V^{n-1} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 C_v ：廃棄体の体積当りのコスト [1991.7k\$/m³]

V ：廃棄体の体積 [m³]

n ：スケール指数

付. 表1のデータより、

$$a = 4.38 \times 10^3$$

$$n = 0.672$$

ちなみに本文Ⅱ章の1.2.1節で求めた廃棄体のトータル体積量の数値を用いて、(1)式より廃棄体の体積当たりのコストを求めてみると、2030年までと2050年までのそれぞれの廃棄体のトータル体積量に対し、87k\$/m³、71k\$/m³となり、これを重量当たりに換算すればそれぞれ 210k\$/tU及び 170k\$/tU（以上いずれも 1991.7USk\$）と見積られる。

付. 表1 使用済燃料直接処分策採用国における廃棄体の体積当りのコスト

国	廃棄体の体積 V [m^3]	廃棄体の体積 当りのコスト C_v [$k\$/m^3$]	トータル・コスト C_T $\equiv V \times C_v$ [$k\$$]
カナダ	99,000	90	8,910,000
ドイツ	96,000	96	9,216,000
USA	92,300	110	10,153,000
スウェーデン	12,900	250	3,225,000
フィンランド	2,600	290	754,000

付. 表2 使用済燃料直接処分策採用国における廃棄体処分場地下掘削コスト

国	掘削岩体の 体積 v [Mm^3]	掘削岩体の体積 当りの地下 掘削コスト C_v [$\$/m^3$]	地下掘削 コスト C_r $\equiv v \times C_v$ [$k\$$]	地下掘削コスト のトータルコストに 占める比率 C_r/C_T [%]
カナダ	9.1	420	3,822,000	37.6
(ドイツ)	7.2	560	4,032,000	45.3)
USA	2.5	1,100	2,750,000	29.8
スウェーデン	0.8	1,400	1,120,000	34.7
フィンランド	0.24	1,200	288,000	38.2

付. 表3 使用済燃料直接処分策採用国における廃棄体重量当りのコスト

国	使用済燃料の重量 m [tU]	廃棄体の重量 当りのコスト C_m [$k\$/tU$]	トータル・コスト C_T' $\equiv m \times C_m$ [$k\$$]
カナダ	191,000	46	8,786,000
USA	96,300*	100	9,630,000
ドイツ	35,600	130	4,628,000
スウェーデン	7,840	410	3,214,400
フィンランド	1,840	410	754,400

* HLWの再処理以前の分も含む

出典：(1)

A. 2 大まかな費目別推計によるアプローチ

前項では、諸外国のトータルコストから本検討の単位重量あるいは単位体積当りのコストを推定したが、ここでは、地上施設、地下施設における費目として、それぞれ、建設コスト、運転コスト、（埋戻し&）デコミッショニングコスト別の諸外国の算出値（付. 表4 参照）からの推定を行った。その結果を付. 表5の最右欄に示す。これらの数値を積み上げると、スウェーデン、フィンランド、カナダ（, U S A）のデータからの推計では、およそ105～161（1991.7 US億\$）となり、廃棄体の重量当りでは、105～161k\$/tU、また、体積量当りでは、44～67 k\$/m³という値が得られ、これらの数値の上限値が、前項で求めた2050年までの廃棄体発生量に対応する数値に比較的近いことが示されている。他方、スウェーデンとフィンランドのデータのみからの推計では、341～377k\$/tU（あるいは、142～157k\$/m³）と高くなる。

付. 表4 使用済燃料直接処分策採用国の廃棄物処分コスト内訳*

(1) カナダ

Summary of estimated costs for a used-fuel disposal centre
1990 M \$Canadian

Project stage	Surface facilities	Repository	Total
Siting(Screening and evaluation)			805.0 (6.77)
Construction	1005.5 (8.46)	723.5 (6.09)	1729.0 (14.55)
Operation	3928.3 (33.05)	3130.1 (26.34)	7058.4 (59.39)
Decommissioning and sealing	221.6 (1.86)	525.7 (4.42)	747.3 (6.29)
Total	5155.4 (43.38)	4379.3 (36.85)	10339.7 (87.00)

出典：(1)よりMRI作成

(2) フィンランド

Cost estimates for encapsulation and final disposal of TVO's spent fuel
Price level of December 1990

Cost item	Cost estimate(M FIM)
Site selection, R&D	530 (1.07)
Investments	
- Encapsulation plant	470 (0.95)
- Final repository	430 (0.87)
Operation	
- Encapsulation plant	1310 (2.65)
- Final repository	490 (0.99)
Decommissioning and sealing	
- Encapsulation plant	30 (0.06)
- Final repository	170 (0.34)
Other costs (administration authorities, etc.)	320 (0.65)
Total	3750 (7.6)

出典：(1)よりMRI作成

(3) ドイツ

Results of cost calculation
Million Deutschemark, Price level 1988*

Cost item	Conditioning	Repository
Investment	650 (3.33)	2559 (13.11)
Operation	775 (3.97)	2229 (11.42)
Casks	1645 (8.43)	-
Taxes and Insurance	423 (2.17)	-
Reinvestment	-	697 (3.57)
Total	3493 (17.90)	5485 (28.10)

a) No discounting has been done.

出典：(1)よりMRI作成

(4) スウェーデン

Summary of cost results for the Swedish spent fuel disposal facility
M SEK, price level of January 1990*

Facility	Site service	Encapsulation	Repository
Cost category			
Investment	2959 (4.68)	2830 (4.48)	3343 (5.29)
Operation	1461 (2.31)	5318 (8.41)	562 (0.89)
Reinvestment	182 (0.29)	127 (0.20)	42 (0.07)
Sealing			2913 (4.61)
Decommissioning	201 (0.32)	254 (0.40)	44 (0.07)
Total	4803 (7.60)	8529 (13.49)	6904 (10.92)

a) No discounting has been done.

出典：(8)よりMRI作成

(5) U S A

Repository cost estimates
Millions of 1988 dollars

Cost Category	Phases				Total*
	Engineering and construction	Operations		Closure and decommissioning	
		Emplacement	Caretaker		
Management and integration	275 (3.15)	34 (0.39)	17 (0.19)	23 (0.26)	349 (3.99)
Site preparation	178 (2.04)	124 (1.42)	10 (0.11)	40 (0.46)	351 (4.02)
Waste package	n.a.	1777 (20.34)	6 (0.07)	n.a.	1784 (20.42)
Surface facilities	444 (5.08)	2302 (26.35)	136 (1.56)	80 (0.92)	2962 (33.90)
Shafts and ramps	88 (1.01)	23 (0.26)	12 (0.14)	5 (0.06)	128 (1.47)
Underground service systems	105 (1.20)	1002 (11.47)	129 (1.48)	181 (2.07)	1417 (16.22)
Underground excavations	86 (0.98)	1458 (16.69)	32 (0.37)	168 (1.92)	1745 (19.97)
Total*	1177 (13.47)	6720 (76.91)	343 (3.93)	498 (5.70)	8737 (100)

a) Columns and rows may not add up to totals due to independent rounding.

* () 内の数値は、1991.7. US億\$への換算値

付 . 表 5 コ ス ト 推 計 シ ー ト

		国	スウェーデン	フィンランド	ド イ ツ	カ ナ ダ	U S A	本 検 討	
								(1)	(2)
地上施設	コンデイング シヨニング 設	処理能力 (生涯処理量)	7840tU/27年 = 290tU/y 12900m ³ /27年 = 478m ³ /y	1840tU/20年 = 92tU/y 2600m ³ /20年 = 130m ³ /y	35600tU/50~70年 = 508~712tU/年 96000m ³ /50~70年 = 1371~1920m ³ /y	191000tU/40年 = 4775tU/y 99000m ³ /40年 = 2475m ³ /y	96300tU/50年 = 1926tU/y 92300m ³ /50年 = 1846m ³ /y	100000tU/50年 = 2000tU/y 240000m ³ /50年 = 4800m ³ /y	
		建設コスト(投資)	4.48	0.95	3.33	8.46	5.08	10.10~16.91	68.75~75.97
		追加投資	0.20		-				
		処理単価							
		処理コスト			(キャスク 8.43)		20.41		
		運転コスト	8.41	2.65	3.97	33.05	27.91	41.94~61.81	64.22~69.22
		デコミッションング	0.40	0.06		1.86	0.92	2.43~4.76	11.30~12.76
	計	13.49	3.66		43.38	54.32	54.47~83.48	144.27~157.95	
	その他施設 (サイト サービス)								
	計	7.60							
地下施設	建設	掘削量 [Mm ³]	0.8	0.24	2.5	7.2		13.25	13.25
		掘削単価							
		掘削コスト					0.98		
		建設コスト	5.29	0.87	13.11	6.09	3.19	9.28~12.66	127.08~142.65
	追加投資	0.07		3.57					
	処分(運転)	処分数量							
		埋設単価							
		埋設コスト					28.42		
	運転コスト	0.89	0.99	11.42	26.34	30.41	32.53~51.34		
	埋め戻し	埋め戻し単価							69.34~76.05
埋め戻しコスト		4.61	0.34		4.42	4.05	9.21~13.65		
デコミッションング		0.07							
計		10.92	2.20	28.10	36.85	37.65	51.02~77.65	196.42~218.70	

注) コストは1991.7.US億\$

本検討(1)の数値は、付.表6のデータ列に基づき、スウェーデン、フィンランド、カナダ(、USA)の数値のフィッティング式(付.表7参照)より推計したもの。また、本検討(2)の数値は、スウェーデン、フィンランドのみから推計したもの。但し、下限値は、相関係数でウェイト付けた加重平均推計値より算出。

付.表 6 推計式を求めるための各国コスト比較表

国	生涯処理量		廃棄体年間処理量[規模]		地上施設 [1991.7.US億\$]			地下施設 [1991.7.US億\$]		
	重量 M_T [tU]	体積 V_T [m ³]	重量 M_s [tU/y]	体積 V_s [m ³ /y]	建設 コスト C_{EI}	運転 コスト C_{EM}	デコミッショ ニングコスト C_{ED}	建設 コスト C_{GI}	処分(運転) コスト C_{GM}	埋戻し&デコ ミッショニングコスト C_{GD}
フィンランド	1840	2600	92	130	0.95	2.65	0.06	0.87	0.99	0.34
スウェーデン	7840	12900	290	478	4.48	8.41	0.40	5.29	0.89	4.68
U S A	96300	92300	1296 (2918)	1846 (2797)	5.08	27.91	0.92	3.19	30.41	4.05
カナダ	191000	99000	4775	2475	8.46	33.05	1.86	6.09	26.34	4.42

注) U S A の () の数値は、運転期間を caretaker phase を除く 33 年間とした場合。

付. 表7 費目別コスト推計式

(1) 本検討における地上施設のコスト推計 (ドイツのみを除くケース)

費目	推計式	相関係数	推計値	範囲と、相関係数でウェイト付けた加重平均推計値
建設コスト	(I 1) $C_{EI} = 0.0765 M_T^{0.886}$	0.886	6.52	6.0~12.5 (5.6) 9.18 (9.09)
	(I 2) $C_{EI} = 0.0259 V_T^{0.492}$	0.911	11.5	
	(I 3) $C_{EI} = 0.171 M_s^{0.468}$	0.889	6.00	
	(I 3') $C_{EI} = 0.198 M_s^{0.438}$	0.872	5.55	
	(I 4) $C_{EI} = 0.0513 V_s^{0.848}$	0.931	12.5	
運転コスト	(M 1) $C_{EM} = 0.055 M_T^{0.537}$	0.989	26.5	23.4~61.3 (21.4) 42.2 (41.7)
	(M 2) $C_{EM} = 0.0138 V_T^{0.672}$	0.999	57.1	
	(M 3) $C_{EM} = 0.177 M_s^{0.643}$	0.979	23.4	
	(M 3') $C_{EM} = 0.196 M_s^{0.618}$	0.986	21.4	
	(M 4) $C_{EM} = 0.0394 V_s^{0.867}$	1.00	61.3	
デコミッションコスト	(D 1) $C_{ED} = 6.18 \times 10^{-4} M_T^{0.657}$	0.959	1.19	1.0~3.4 (0.9) 2.18 (2.15)
	(D 2) $C_{ED} = 1.14 \times 10^{-4} V_T^{0.823}$	0.969	3.04	
	(D 3) $C_{ED} = 2.44 \times 10^{-3} M_s^{0.766}$	0.960	1.03	
	(D 3') $C_{ED} = 3.03 \times 10^{-3} M_s^{0.751}$	0.950	0.912	
	(D 4) $C_{ED} = 3.75 \times 10^{-4} V_s^{1.08}$	0.982	3.41	

注) コストは1991.7.US億\$

I 3', M 3', D 3'及び()内は、USAのM_s値を前表の()内の数値にセットしたケース

(2) 本検討における地上施設のコスト推計 (ドイツ、USAを除くケース)

費目	推計式	相関係数	推計値	範囲と、相関係数でウェイト付けた加重平均推計値
建設コスト	(I 1'') $C_{EI} = 0.0564 M_T^{0.426}$	0.900	7.63	6.5~16.9 12.0
	(I 2'') $C_{EI} = 0.0116 V_T^{0.588}$	0.953	16.9	
	(I 3'') $C_{EI} = 0.154 M_s^{0.493}$	0.890	6.52	
	(I 4'') $C_{EI} = 0.0343 V_s^{0.727}$	0.954	16.3	
運転コスト	(M 1'') $C_{EM} = 0.0603 M_T^{0.525}$	0.986	25.3	21.0~61.8 41.9
	(M 2'') $C_{EM} = 0.0116 V_T^{0.692}$	1.00	61.8	
	(M 3'') $C_{EM} = 0.202 M_s^{0.611}$	0.982	21.0	
	(M 4'') $C_{EM} = 0.0418 V_s^{0.655}$	1.00	58.9	
デコミッションコスト	(D 1'') $C_{ED} = 4.56 \times 10^{-4} M_T^{0.697}$	0.963	1.40	1.1~4.8 2.96
	(D 2'') $C_{ED} = 4.44 \times 10^{-5} V_T^{0.885}$	0.992	4.76	
	(D 3'') $C_{ED} = 2.31 \times 10^{-3} M_s^{0.609}$	0.956	1.08	
	(D 4'') $C_{ED} = 2.49 \times 10^{-4} V_s^{1.16}$	0.992	4.47	

注) コストは1991.7.US億\$

(3) 本検討における地上施設のコスト推計(ドイツ、USA、カナダを除くケース)

スウェーデン、フィンランドのみで推計するケース

費目	推計式	相関係数	推計値	範囲と、相関係数でウェイト付けた加重平均推計値
建設コスト	(I 1) $C_{EI} = 3.05 \times 10^{-4} M_T^{1.07}$	1	68.3	60.8~76.0 68.8
	(I 2) $C_{EI} = 4.69 \times 10^{-4} V_T^{0.968}$	1	76.0	
	(I 3) $C_{EI} = 2.11 \times 10^{-8} M_S^{1.35}$	1	60.8	
	(I 4) $C_{EI} = 2.88 \times 10^{-8} V_S^{1.19}$	1	69.9	
運転コスト	(M 1) $C_{EM} = 6.64 \times 10^{-3} M_T^{0.797}$	1	63.9	58.7~69.2 64.2
	(M 2) $C_{EM} = 9.14 \times 10^{-3} V_T^{0.721}$	1	69.2	
	(M 3) $C_{EM} = 0.0280 M_S^{1.01}$	1	58.7	
	(M 4) $C_{EM} = 0.0353 V_S^{0.887}$	1	65.1	
デコミンショング コスト	(D 1) $C_{ED} = 3.20 \times 10^{-6} M_T^{1.31}$	1	11.2	9.7~12.8 11.3
	(D 2) $C_{ED} = 5.41 \times 10^{-6} V_T^{1.18}$	1	12.8	
	(D 3) $C_{ED} = 3.41 \times 10^{-5} M_S^{1.86}$	1	9.72	
	(D 4) $C_{ED} = 4.99 \times 10^{-5} V_S^{1.46}$	1	11.5	

(4) 本検討における地下施設のコスト推計(ドイツ、USAを除くケース)

費目	推計式	相関係数	推計値	範囲と、相関係数でウェイト付けた加重平均推計値
建設コスト	(I 1''') $C_{GI} = 0.100 M_T^{0.357}$	0.782	6.13	5.3~12.7 9.28
	(I 2''') $C_{GI} = 0.0218 V_T^{0.614}$	0.864	12.7	
	(I 3''') $C_{GI} = 0.237 M_S^{0.410}$	0.768	5.35	
	(I 4''') $C_{GI} = 0.0560 V_S^{0.656}$	0.865	12.2	
建設コスト + 運転コスト	(M 1''') $C_{GI} + C_{GM} = 0.0234 M_T^{0.600}$	0.993	23.4	18.9~64.0 41.8
	(M 2''') $C_{GI} + C_{GM} = 3.75 \times 10^{-3} V_T^{0.787}$	1.00	64.0	
	(M 3''') $C_{GI} + C_{GM} = 0.0930 M_S^{0.699}$	0.989	18.9	
	(M 4''') $C_{GI} + C_{GM} = 0.0160 V_S^{0.972}$	1.00	60.6	
埋め戻し + デコミンショング コスト	$C_{ED} = 0.416 C_{GI}^{1.38}$	0.996	5.03*	4.2~13.6 9.21
			13.6*	
			4.17*	
			13.0*	

* 建設コスト欄の4ケースの推計値をそれぞれ代入して求めたもの

(5) 本検討における地下施設のコスト推計(ドイツ、USA、カナダを除くケース)

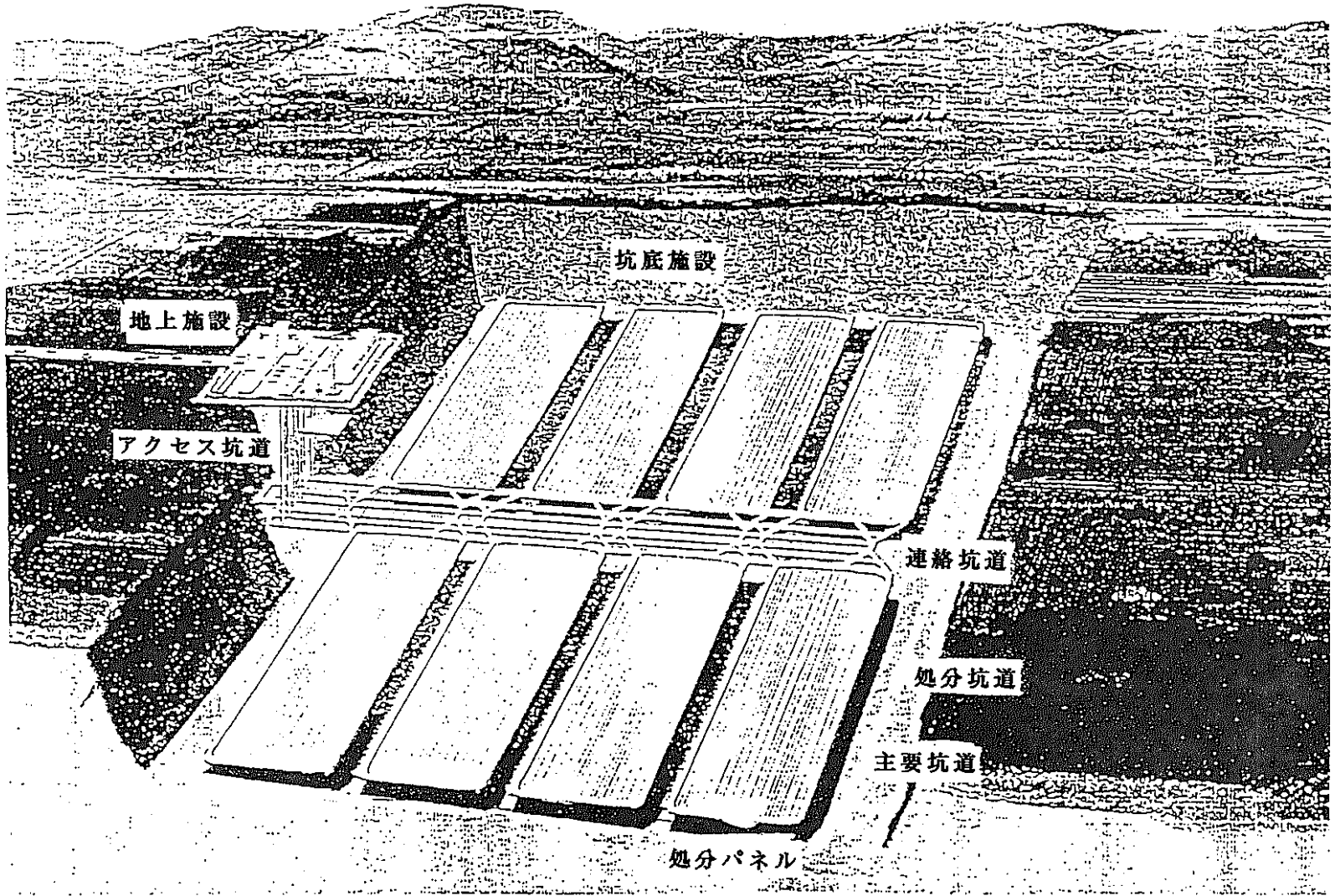
スウェーデン、フィンランドのみで推計するケース

費 目	推 計 式	相 関 係 数	推 計 値	範囲と、相関係数 でウェイト付けた 加重平均推計値
建設コスト	(I1) $C_{GI} = 7.48 \times 10^{-5} M_T^{1.25}$	1	126	110~143 127
	(I2) $C_{GI} = 1.23 \times 10^{-4} V_T^{1.13}$	1	143	
	(I3) $C_{GI} = 7.11 \times 10^{-4} M_S^{1.57}$	1	110	
	(I4) $C_{GI} = 1.02 \times 10^{-3} V_S^{1.39}$	1	130	
運転コスト + 埋め戻し& デコミシ ョニ ン グ コ ス ト	(MD1) $C_{GM} + C_{GD} = 7.91 \times 10^{-4} M_T^{0.988}$	1	68.9	61.9~76.1 69.3
	(MD2) $C_{GM} + C_{GD} = 1.18 \times 10^{-3} V_T^{0.894}$	1	76.1	
	(MD3) $C_{GM} + C_{GD} = 4.72 \times 10^{-3} M_S^{1.25}$	1	61.9	
	(MD4) $C_{GM} + C_{GD} = 6.29 \times 10^{-3} V_S^{1.100}$	1	70.4	
建設コスト + 運転コスト + 埋め戻し& デコミシ ョニ ン グ コ ス ト	(UT1) $C_{GI} + C_{GM} + C_{GD} = 5.57 \times 10^{-4} M_T^{1.10}$	1	179	159~200 181
	(UT2) $C_{GI} + C_{GM} + C_{GD} = 8.68 \times 10^{-4} V_T^{0.997}$	1	200	
	(UT3) $C_{GI} + C_{GM} + C_{GD} = 4.09 \times 10^{-3} M_S^{1.39}$	1	159	
	(UT4) $C_{GI} + C_{GM} + C_{GD} = 5.63 \times 10^{-3} V_S^{1.23}$	1	184	

注) 運転コストの推計式は、量との相関が悪いため、また、埋め戻し+デコミショニングコストは、推計値が建設コストの4倍近くなるため、それぞれを量の関数で表す推計式はここでは評価対象外とする。

B. 高レベル放射性廃棄物処分場の仕様例

動力炉・核燃料開発事業団で検討対象とした高レベル放射性廃棄物処分場の仕様例を以下に示す。諸外国の例同様、これについても、本論での使用済燃料直接処分場の概念設定検討の参考とした。



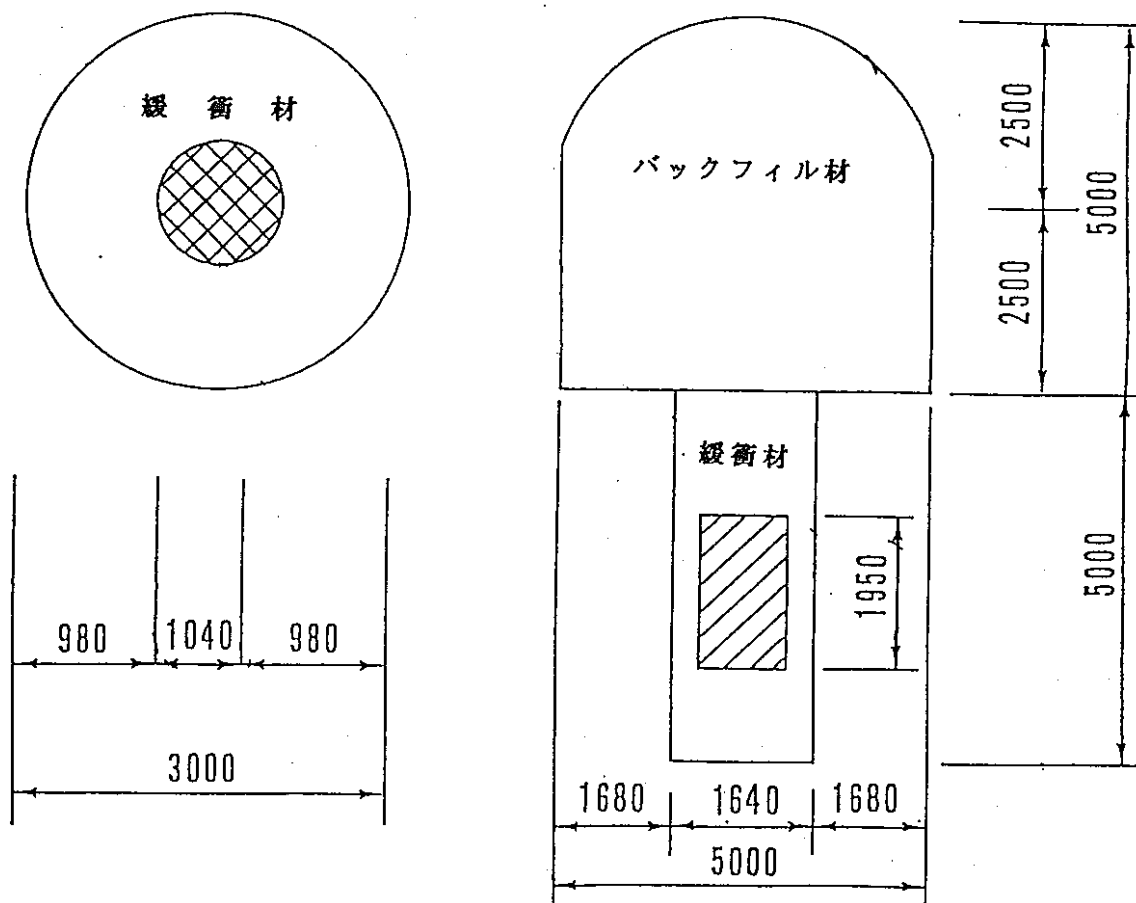
付. 図1 高レベル廃棄物処分場の概念図例

坑道横置方式

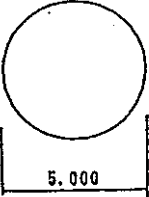
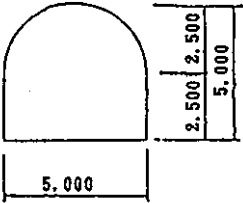
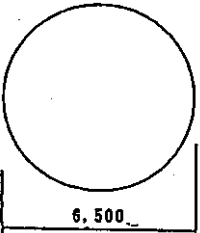
処分孔堅置方式

A 案

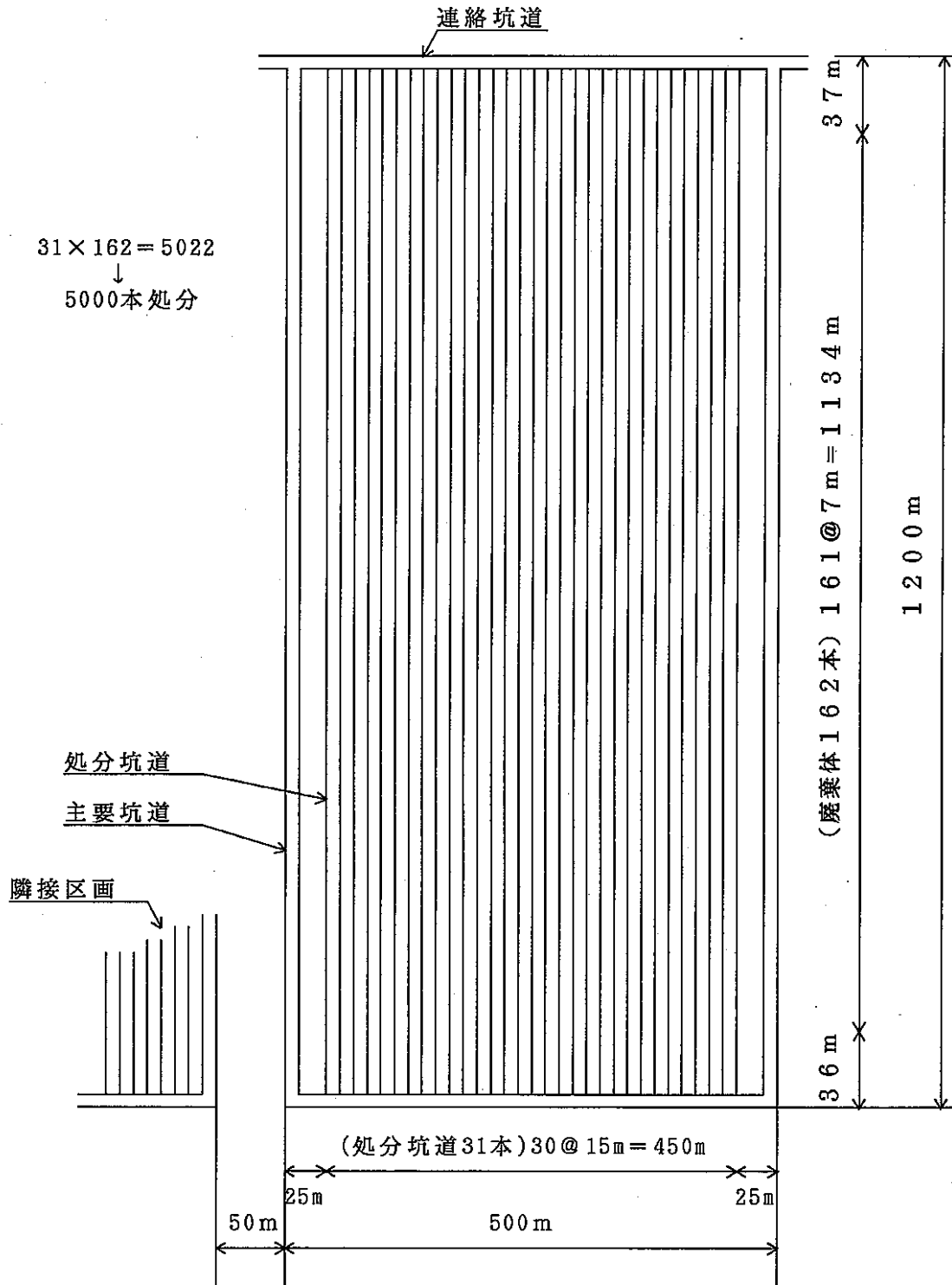
B 案



付. 図2 処分形態

	断面形状と内空寸法
廻分坑道	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>(円形)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(幌形)</p> </div> </div>
立坑	<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;"> <p>(円形)</p> <div style="text-align: center; margin-left: 100px;">  </div> </div>

付. 図3 空洞の断面形状寸法



付. 図4 処分区画形状例

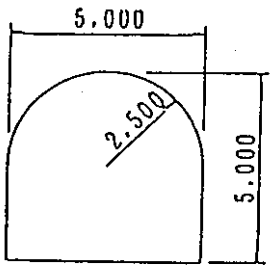
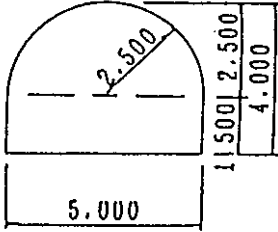
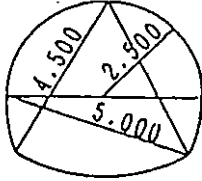
付. 表 8 地層処分システムの基本設定条件

基本条件項目		基本設定条件 (値)
(1) 廃棄物の諸特性・処分量・中間貯蔵期間	(i) 廃棄物の諸特性	① 形状寸法 外径：φ 430mm 厚さ： 300mm 高さ： 1350mm 重量： 492kg
		② 発熱量 冷却期間30年後におけるガラス固化体一本当りの発熱量は670W/本
	(ii) 処分量	2030年までの推定累積発生量 40,000本 (一ヶ所の処分場に処分するものとする)
	(iii) 中間貯蔵期間	30年間
(2) 人工バリアの形状・諸特性	(i) オーバーパック	外径：φ 1040mm、高さ： 1950mm 厚さ： 300mm、重量： 11.4 t 材質：炭素鋼、密度：7.83g/cm ³ 熱伝導率：53W/m℃、比熱：0.46KJ/kg℃
	(ii) 緩衝材	圧縮ベントナイト (クニゲル V 1) 許容温度：100℃ 厚 さ：300mm 以上

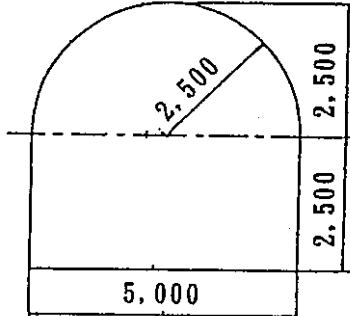
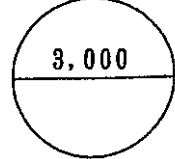
付. 表 9 立坑の仕様例

	結晶質岩系処分深度(1000m)	推積岩系処分深度(500m)
形状・寸法	円 形 直径 6.5m	
本 数	6 本	

付. 図5 主要坑道、連絡坑道の仕様例

	結晶質岩系 処分深度(1000m)		推積岩系 処分深度(500m)
処分形態	処分孔堅置方式	坑道横置方式	坑道横置方式
形状・寸法			

付. 図6 処分坑道の仕様例

	結晶質岩系 処分深度(1000m)	推積岩系 処分深度(500m)
処分形態	処分孔堅置方式	坑道横置方式
形状・寸法		
坑道離間距離	15 m	
廃棄体定置間隔	7 m	5 m

付. 表10 処分孔の仕様例

	結晶質岩系処分深度(1000m)
形状・寸法	円形 直径 1.64m
長さ	5.0m
処分孔間隔	7.0m

参 考 文 献

(1) OECD/NEA

「The Cost of High-Level Waste Disposal in Geological Repositories
- An Analysis of Factors Affecting Cost Estimates -」 OECD, Paris
(1993).

(2) 化学工学協会 編

「経済性評価とプラントコスト」プロセス設計シリーズ6、丸善(1975).

(3) 花房

「原子力開発の長期戦略Ⅱ -核燃料サイクル諸量の計算結果-」
原子力工業、Vol.31, No.2, pp40-49(1985).

(4) 原子力委員会編

「平成6年版 原子力白書」(1995).

(5) 日本原子力産業会議

「1994年版 原子力ポケットブック」(1994).

(6) G. Kessler et al.

「Direct Disposal versus Multiple Recycling of Plutonium」
Proc.Int.Conf.Tech.Expo.on Future Nucl.Sys.:
Emerging Fuel Cycles and Waste Disposal Options , Global'93,Sep.
12-17(1993).

(7) 動力炉・核燃料開発事業団

「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書」 PNC TN 1410
92-081 平成4年9月 (1992).

(8) SKB

「Plan 90, Costs for management of the radioactive waste from nuclear power production」 Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., SKB Tech. Rep. 90-33, June (1990).

(9) SKB

「Final Disposal of Spent Nuclear Fuel, Importance of the Bedrock for Safety」 Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., Tech. Rep. 92-20, May (1992).

(10) T. Vieno, A. Hautojärvi, L. Koskinen and H. Nordman

「Safety Analysis of Spent Fuel Disposal」 TVO Rep. YJT-92-33E, December (1992).

(11) 徳光

「原子力発電所の計画設計・建設工事」電気書院 (1979).

(12) 動力炉・核燃料開発事業団

「緩衝材の特性試験(I)」 PNC TN8410 92-057 (1992).

(13) M R I 内部資料

(14) 科学技術庁 資源調査所

「地下空間利用に関する基礎資料」 (1984).

(15) 岩松

「地熱資源ボーリング(マニュアル)」築地書館 (1991).