

ハル減容化技術調査研究

再処理施設に於ける溶解残渣(ハル)の減容処理技術調査研究

Study on treatment and densification techniques for hull wastes.

— Study on treatment and densification techniques
for hull wastes from spent-full reprocessing. —

April 1980

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

TOKAI WORKS

複製あるいは入手については、下記にお問い合わせください。

茨城県那珂郡東海村 〒 319-11

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所技術部研究管理課 東海 (02928) 2-1111 内線 238

Enquires about copyright and reproduction should be adressed to ;

Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation,

Tokai, Ibaraki, Post No. 319-11, Japan.

1980年 4月

ハル減容化技術調査研究

武田 維博 *	八木 英二 **	浜辺 直彦 ***
岩永 雅之 *	山本 一雄 **	村上 修一 ***
上村 順一 *		高橋 淳悦 ***
		金森 潔 ***
		小林 悦郎 ***
		桑田 勝広 ***

要 旨

使用済燃料のせん断及び溶解処理に伴い発生する固体廃棄物は、被覆管残渣（ハル）を主体として構造部材も含まれている。これらは現在、ステンレス製収納容器へそのままの状態で見詰められ、高放射性固体廃棄物貯蔵庫へ保管貯蔵されている。しかしながら、この投棄形態は重量に対し体積が大きく貯蔵スペースを有効に利用できない欠点がある。この観点から、将来の処分形態も考慮し、減容化技術に関し調査、検討を行ったものである。

種々の方法の比較検討から、熔融法、高温化学的処理法、機械的処理法を選び、装置、設備概念をまとめるとともに、開発、実用化の為の問題点も摘出した。

* 動力炉・核燃料開発事業団 再処理建設所 処理部 前処理課

** ㈱三菱金属 原子力本部 原子力部

*** ㈱三菱金属 エンジニアリングセンター

APRIL, 1980

Study on treatment and densification techniques for hull wastes from spent-fuel reprocessing.

K.Takeda*	E.Yagi**	N.Hamabe***
M.Iwanaga*	K.Yamamoto**	S.Murakami***
J.Kamimura*		J.Takahashi***
		K.Kanamori***
		E.Kobayashi***
		K.Kuwata***

Abstract

The solid wastes generated from shearing and dissolution of spent fuels mainly consist of cladding hulls, the remainder including structural materials. These wastes are at present contained directly into stainless steel drums without further treatment and stored in the high active solid waste storage. However, the waste volume to the weight is high in such treatment, and the storage space is not utilized effectively.

With such background, volume reduction techniques have been investigated and studied with due consideration to the subsequent disposal in future.

After comparison and evaluation of various potential methods, melting, pyro-chemical and mechanical densifications were selected. The concepts of the process and equipment and possible problems for development and demonstration were summarized respectively.

* Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Tokai, Ibaraki, 319-11, Japan.

** Mitsubishi Metal Corporation, Nuclear Energy Department.

*** Mitsubishi Metal Corporation, Engineering Center.

ハル減容化技術調査研究

再処理施設に於ける溶解残渣（ハル）の減容処理技術調査研究

目 次

ま え が き	1
1. 文献・施設等の調査	5
1.1 ハルの特性	5
1.1.1 ハルの物性	5
1.1.2 ハルの形状	5
1.1.3 照射ジルカロイの機械的性質	7
1.1.4 ハルの構成材料	11
1.1.5 放射特性	14
1.1.6 ハルの汚染分布	19
1.1.7 トリチウムの分布	23
1.1.8 自己発火性	24
1.2 前 処 理	25
1.2.1 分 類	29
1.2.2 表 面 洗 浄	30
(1) 改良水溶液処理法	30
(2) 熔融塩プロセス	35
(3) 超音波洗浄法	35
(4) 電解研磨法	40
1.3 マトリックス形成	40
1.3.1 砂による充填	40
1.3.2 ガラス内への固定	40
1.3.3 アスファルト内への固定	41

1.3.4	コンクリート内への固定	41
1.3.5	鉛への固定	46
1.4	機械的処理法	48
1.4.1	機械的処理法の分類	48
1.4.2	プレス減容	48
1.4.3	ロール減容	54
1.4.4	HIP法	54
1.5	化学的処理法	59
1.5.1	硫酸一硝酸溶液への溶解法	59
1.5.2	Nitrofluorプロセス	60
1.5.3	Zirflex法	63
1.6	高温化学的処理法	67
1.6.1	Silicate/Aluminosilicate法	67
1.6.2	酸化法	70
1.6.3	熔融金属法	71
1.6.4	熔融塩法	72
1.6.5	塩化物揮発法	73
	(1) 塩化水素法	74
	(2) 塩化亜鉛法	81
	(3) サンディア法	82
1.7	冶金的処理法	89
1.7.1	インダクトスラグ法	89
1.7.2	グラファイトルツボ法	92
1.7.3	その他	93
1.8	ハルの貯蔵	96
1.8.1	ハルの貯蔵とその目的	96
1.8.2	ハル貯蔵の現状	98
1.8.3	貯蔵方式	99
1.8.4	貯蔵に関する今後の検討課題	104

1.9	ハルの処分	105
1.9.1	わが国の処分体系	105
1.9.2	地層処分施設の概念	107
1.9.3	処分からの固化体要件	111
1.9.4	ハル除染の意義	111
1.10	ジルコニウムの再利用の可能性	113
1.10.1	高レベル廃液吸着剤	113
1.10.2	トリチウム捕集剤	113
2.	減容処理方式の評価・選定	114
2.1.	処理方式の評価・選定	114
2.1.1	処理方式の評価・選定基準	114
2.1.2	評価結果	114
2.2	冶金的処理方式でのプロセスの評価・選定	118
2.3	機械的処理方式でのプロセスの評価・選定	121
2.4	高温化学的処理方式でのプロセスの評価・選定	124
3.	減容処理施設の概念のまとめ	128
3.1	減容化対象物主仕様	128
3.1.1	発生形態	128
3.1.2	材質	128
3.1.3	付着核種	128
3.1.4	γ 線エネルギースペクトル	131
3.1.5	放射エネルギー	131
3.1.6	発生量	131
3.2	処理システムの全体構想	132
3.3	冶金的処理法	132
3.3.1	処理能力	132
3.3.2	プロセスフローシート	133
3.3.3	概要説明	135

3.4	機械的処理法	135
3.4.1	処理能力	135
3.4.2	プロセスフローシート	135
3.4.3	概要説明	138
3.5	高温化学的処理法	142
3.5.1	処理能力	142
3.5.2	プロセスフローシート	143
3.5.3	概要説明	145
4.	減容処理施設の建設費および操業費の推定	148
4.1	建設費	148
4.1.1	冶金的処理法建設費	148
4.1.2	機械的処理法～圧縮・HIP処理法建設費	149
4.1.3	機械的処理法～圧縮・鉛マトリックス法建設費	151
4.1.4	高温化学的処理法建設費	153
4.2	直接操業費	155
4.2.1	冶金的処理法の直接操業費	155
4.2.2	機械的処理法の直接操業費	155
4.2.3	高温化学的処理法の直接操業費	157
4.3	建設費および直接操業費	158
5.	今後の問題点および開発計画	159
5.1	問題点	159
5.1.1	冶金的処理法の問題点	159
5.1.2	機械的処理法の問題点	159
5.1.3	高温化学的処理法の問題点	160
5.2	開発計画	160
5.2.1	全体計画	160
5.2.2	個別計画	163
5.2.3	研究開発費	167
	ヘル減容化技術に関する文献リスト	168
Appendix	PWR燃料構造材・被覆材の組成,放射能および発熱量	178

目 次

- 図 1.1 - 1 動燃再処理工場で発生した BWR 被覆材ハル
- 図 1.1 - 2 ジルカロイ-2 のリング引張性質に及ぼす中性子照射の影響
- 図 1.1 - 3 ジルカロイ-2 の扁平性質に及ぼす中性子照射の影響
- 図 1.1 - 4 Axial Burnup Distribution
- 図 1.1 - 5 Fraction of Heat from Hulls Clad Constituents
- 図 1.1 - 6 Induced Radioactivity in Waste Zircaloy Cladding and Inconel Spacers
- 図 1.1 - 7 Typical Maximum Head Releases Expected from 1 MTU Cladding (includes 0.5% undissolved fuel)
- 図 1.1 - 8 Distribution of Total Alpha and Plutonium Activity in a Piece of PWR UO₂ Fuel Cladding
- 図 1.1 - 9 Distribution of Tritium in Fuel Reprocessing Wastes
- 図 1.2 - 1 Decision Areas in the Management of Fuel Bundle Residues
- 図 1.2 - 2 Chop-Leach Fuel Bundle Residue Conversion to Nonmetallic Products
- 図 1.2 - 3 SEM of Oxidized ZR-4 after Treatment with HF at 600°C
- 図 1.2 - 4 Nondispersive X-ray Analysis of the Specimen from Fig. 1.2-3 for Zr and F Content
- 図 1.2 - 5 Conceptual Design of HF Reactor
- 図 1.2 - 6 Conceptual Design of Aqueous Washer
- 図 1.2 - 7 Proposed Layout of Hot-cell Fuel Hull Melting and Decontamination Equipment
- 図 1.2 - 8 Hull Treatment Flowsheets
- 図 1.2 - 9 Hull Leacher/Washer
- 図 1.2 - 10 Treatment Scheme for Stainless Steel and Zircaloy Hulls
- 図 1.3 - 1 Hydrogen Release from Various Concrete Mixtures as Function of Temperature
- 図 1.3 - 2 Cumulative Hydrogen Release from Concrete (EPI-350) by Water/Zirconium Reaction at 55°C
- 図 1.4 - 1 プレス減容のフローシート
- 図 1.4 - 2 圧縮方法の一例
- 図 1.4 - 3 圧縮機の一例
- 図 1.4 - 4 H I P 装置の全体系統図
- 図 1.4 - 5 プレス枠式 H I P 装置
- 図 1.5 - 1 Conceptual Process for Zirconium Hulls
- 図 1.5 - 2 Nitrofluor プロセス概念フローシート

- 図 1.5-3 Zirflex Recirculating Decladding of Oxidized PRTR Elements
- 図 1.5-4 Zirflex Batch Pilot Plant Equipment
- 図 1.6-1 Conceptual Process for Conversion of Cladding Wastes to Silicate Glasses
- 図 1.6-2 酸化法概念フローシート
- 図 1.6-3 溶融金属法概念フローシート
- 図 1.6-4 溶融塩法概念フローシート
- 図 1.6-5 塩化物揮発法概念フローシート
- 図 1.6-6 Schematic Flowsheet for Processing Zircaloy-clad UO_2 - PuO_2 Fuel by Fluid-bed Fluoride Volatility Method
- 図 1.6-7 Zircaloy Conversion Process
- 図 1.6-8 Baseline Flowsheet for Solidification of High-level Liquid Waste from a 5 t/d Light-water Reactor Fuel Reprocessing Plant
- 図 1.7-1 Inductoslag Melting Process
- 図 1.7-2 Drawing of Inductoslag Melting Furnace Designed and Fabricated for In-cell Melting of Acid Leached Irradiated Fuel Hulls
- 図 1.7-3 Half-scale Melting Rig
- 図 1.7-4 Melting Furnace (50 kW)
- 図 1.8-1 ハル管理システムの選択肢
- 図 1.8-2 高レベル固体廃棄物（ハル）空冷貯蔵方式概念図
- 図 1.8-3 ハル地表下貯蔵方式概念図
- 図 1.9-1 地層処分概念図
- 図 1.9-2 地層処分施設概念図（断面）
- 図 1.9-3 埋戻し完了後の最終貯蔵施設
- 図 3.1-1 ステンレススチール製廃棄用缶
- 図 3.1-2 ハル運搬用カスク（カスク NO 1a）
- 図 3.3-1 冶金的処理法概略レイアウト図
- 図 3.4-1 プレス減容・HIP法のプロセスフローシート
- 図 3.4-2 プレス減容・鉛マトリックス法のプロセスフローシート
- 図 3.4-3 圧縮・HIP法概略レイアウト図
- 図 3.4-4 圧縮・鉛マトリックス法概略レイアウト図
- 図 3.5-1 プロセスの構成
- 図 3.5-2 プロセスフローシート
- 図 3.5-3 高温化学的処理法概略レイアウト図
- 図 5.2-1 ハル管理の基本システム

表 目 次

表 1.1 - 1	ジルカロイ, ステンレススチール, インコネルの融点, 密度, 比熱
表 1.1 - 2	被覆材ハルの寸法
表 1.1 - 3	ハルの構成材料 (Wt %)
表 1.1 - 4	ハルの構成材料 (動燃実績例)
表 1.1 - 5	ハルの構成材料 (kg/MTU)
表 1.1 - 6	Properties of Metals and Selected Elements Contained in Fuel Assembly Waste
表 1.1 - 7	Radio-Activity and Thermal Power of Cladding Waste from a Reference PWR
表 1.1 - 8	Characteristics of Isotopes Formed in Cladding Materials
表 1.1 - 9	Activity of Isotopes in Fuel Claddings
表 1.1 - 10	²³⁹ Pu Content of Hulls
表 1.1 - 11	The Distribution of α -Activity on Zircaloy and Stainless Steel Hulls
表 1.1 - 12	Activation and Fission Products in Zircaloy Hulls
表 1.1 - 13	Apparent Effects of Selected Factors on the Pyrophoricity of Zirconium
表 1.2 - 1	Process-Product Characteristics and Status
表 1.2 - 2	Densification Process-Mass Volume Summaries
表 1.2 - 3	Summary of Sorting Criteria
表 1.2 - 4	TRU Distribution in Irradiated, Acid Leached Zircaloy Fuel Cladding
表 1.2 - 5	The Removal of α -Activity from Zircaloy Hulls
表 1.3 - 1	Water Release from Concrete Samples at 100°C
表 1.3 - 2	Tritium Release from Concrete Overcoated Tritiated Zircaloy Hulls at Various Temperatures and Experimentation time
表 1.3 - 3	Weight Changes (mg/cm ²) of Lead Alloys after Exposure to Different Environments at 322°K
表 1.4 - 1	ジルカロイ-4 被覆管の圧縮テスト結果
表 1.5 - 1	Dissolution Rates of Nuclear Materials in Nitrofluor Solvents
表 1.5 - 2	Uranium and Plutonium Concentrations in Simulated Decladding Solutions
表 1.6 - 1	Conversion of Cladding Oxides to Immobile Silicates
表 1.6 - 2	Hydrochlorination of Zircaloy-2, Conditions and Results
表 1.6 - 3	Mass Spectrographic Analysis of Zircaloy and Reaction Products

表 1.6-4	Calculated Amounts of Elements in Samples from Hydrochlorination Runs ZH-1, ZH-1A, ZH-2, and ZH-2A
表 1.6-5	Composition of a Zircaloy-4 Cladding and Inconel Spacer Waste 1 to 3 yr after Discharge
表 1.6-6	Radioactivity and Thermal Power of Activation-Product Elements Present in 1MT (10 ³ kg) of Zircaloy-4 Cladding and Inconel Spacer Waste 1 and 3 yr after Discharge
表 1.7-1	グラフィートルツボでの溶解テスト結果
表 1.7-2	Chemical Analyses of Interstitials
表 1.8-1	各再処理施設におけるハル貯蔵の現状
表 1.9-1	各国の再処理廃棄物の処分方針
表 1.9-2	海洋投棄体の放射能限度
表 2.1-1	処理方式の評価・選定
表 2.2-1	評 価 表
表 2.3-1	機械的処理方式の評価結果
表 2.4-1	高温化学的処理方式でのプロセスの評価・選定
表 3.4-1	未減容ハルと減容ハルの体積比較
表 4.2-1	機械的処理に必要な資材・ユーティリティ
表 4.2-2	プレス減容・HIP法の直接操業費
表 4.2-3	プレス減容・鉛マトリックス法の直接操業費
表 4.2-4	副原料・ユーティリティ量
表 4.3-1	建設費および直接操業費
表 5.2-1	ハル減容固化技術研究開発計画
表 5.2-2	減容固化プロセスの研究開発スケジュール

ハル減容化技術調査研究

まえがき

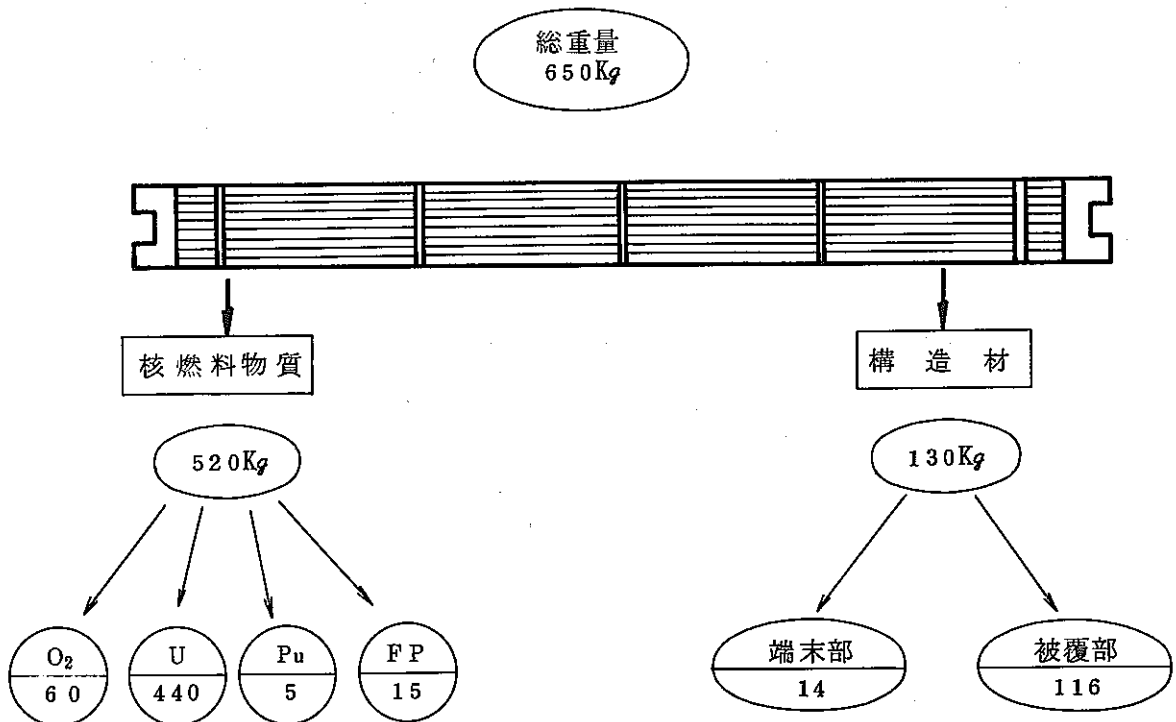
本調査・研究は、動力炉・核燃料開発事業団の再処理施設・前処理工程から発生する、剪断溶解後の燃料被覆管、燃料集合体の上下端末部、スペーサー、スプリング等の金属廃棄物（以下ハル等と称する）の減容処理技術に関するものである。

ハル等は、ステンレス製のハル収納容器にそのままの形態で収納されて高放射性固体廃棄物貯蔵庫に投棄される。この投棄形態は、重量に比べて体積が大きく高放射性固体廃棄物貯蔵庫の貯蔵効率を著しく低下させている。

ところで、PWR燃料集合体を例にして核燃料物質、構造材が最終的にどのようなようになるかを予想すると以下の様になる。

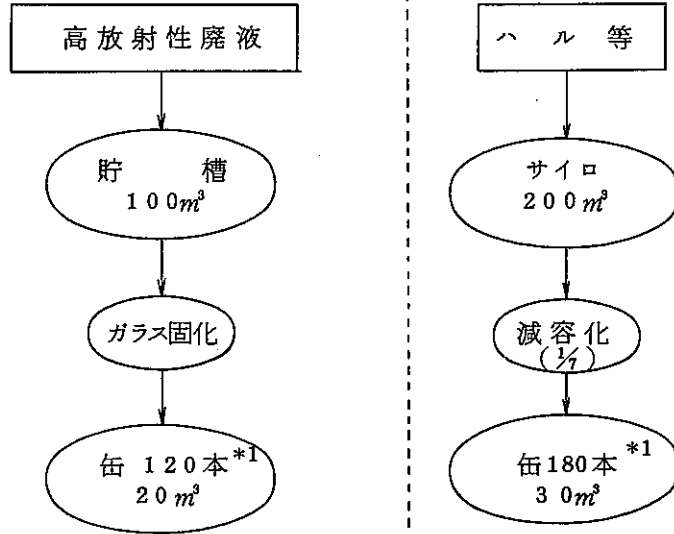
PWR燃料集合体

燃 焼 度	3 3 0 0 0 MWD/MTU		
比 出 力	3 7.5 MW/MTU		
全 長	4 0 5 8 mm	断 面	2 1 4 × 2 1 4 mm
U重量(装荷時)	4 6 0 Kg (3 % U ²³⁵)		



460 Kg U × 870 体 ≒ 400 ton U

PWR燃料集合体400 ton U 処理した場合の高放射性廃棄物の最終的な量の予想は



冷却年数	高放射性廃液		ハル等	
	Ci *2	Ci/m³	Ci *2	Ci/m³
5	1.9×10^8	9.3×10^6	2.8×10^6	9.4×10^4
10	1.2×10^8	6.2×10^6	1.4×10^6	4.6×10^4
100	1.3×10^7	6.7×10^5	1.3×10^5	4.3×10^3
1,000	8.7×10^3	4.3×10^2	3.2×10^3	1.1×10^2
10,000	8.4×10^3	4.2×10^2	2.4×10^3	8.1×10
30,000	8.0×10^3	4.0×10^2	1.8×10^3	6.0×10

*1 缶は ORNL-DWG-78-5448 参照。

*2 Ci数はORNL-TM6008 の資料より計算し推計

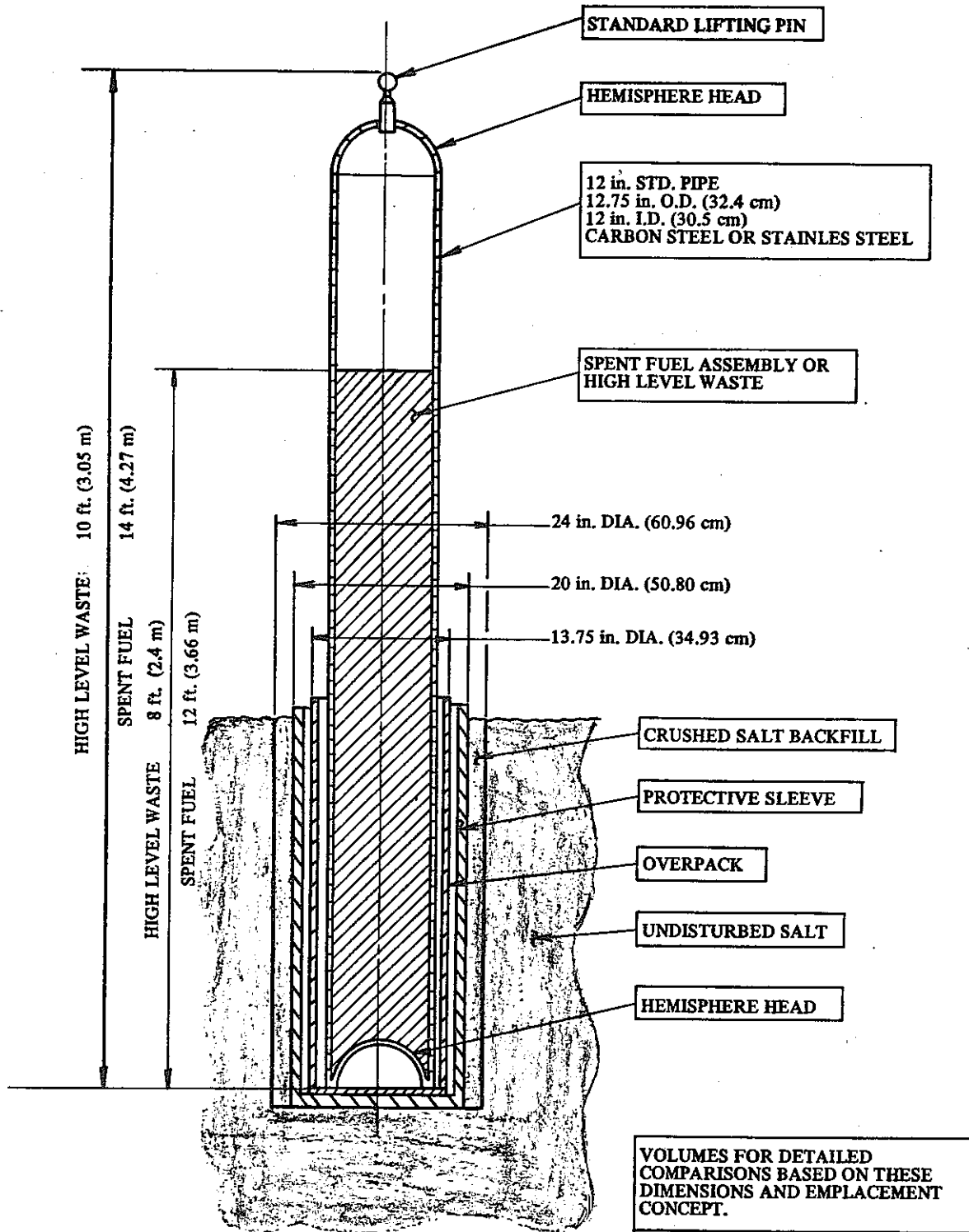
以上の結果となりハル等の構造材はその中に含まれている半減期の非常に長い放射化生成物のため長期的に問題となる。また発生量，処理後の量とも高放射性廃液よりも多い。

高放射性廃液の固化および処分の方法は現在世界的に種々の方法が検討され工学的規模の研究，パイロット施設等作られ開発が進められている。

それに較べハル等の高放射性固体廃棄物の処理，処分の研究，開発は大きく引き離されている。

今後ハル等の高放射性固体廃棄物を長期的展望に立脚し貯蔵処理処分の技術を研究し開発していかなければならない。本調査・研究はハル等を安定的に減容処理して，貯蔵効率向上をはかるとともに，将来の処分形態を探索しようとするものである。

ORNL-DWG 78-5448



Canister emplacement concept for detailed unit-cell model.

1. 文献・施設等の調査

1.1 ハルの特性

燃料構造材および被覆材は硝酸に不溶性で、これらを合わせてハルという。ハルは中性子照射による放射化によりそれ自身放射能を有するほか、未溶解燃料およびトリチウムを含む。軽水炉燃料を対象としたハルの特性について以下に述べる。

1.1.1 ハルの物性

(1) ジルカロイ、ステンレススチール、インコネルの物性

表 1.1-1 ジルカロイ、ステンレススチール、インコネルの融点、密度、比熱

	融 点	密 度	比 熱
ジルカロイ	約 1850℃	6.5 g/cm ³	0.066 cal/g·deg
ステンレススチール	1400~1420℃	7.8 g/cm ³	0.12 cal/g·deg
インコネル	1390~1430℃	8.2 g/cm ³	0.11 cal/g·deg

(2) ハルの密度および容積

ハルの密度

$$1.1 \text{ g/cm}^3 \text{ (56)}, \quad 1 \text{ g/cm}^3 \text{ (31)}, \quad 0.9 \text{ g/cm}^3 \text{ (57)}$$

ハルの容積

$$0.327 \text{ m}^3/\text{MTU} \text{ (57)}, \quad 0.3 \text{ m}^3/\text{MTU} \text{ (31)}, \quad 0.3 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{MTU} \text{ (31)}$$

未処理ハル、端末部及びグリッド等の空隙率は 80~90% である。(31)

1.1.2 ハルの形状

ハルの形状は、被覆材部と燃料端末部で異なる。被覆材ハルの寸法を表 1.1-2 に示す。

注 () 内の数字は文献リストの番号を示す。

表 1.1-2 被覆材ハルの寸法

炉 型	材 質	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	長 さ (mm)
B W R	Zr - 2	1 2.5~1 4.3	0.8 1~0.9 4	3 0~5 0
P W R	Zr - 4	9.5~1 0.7	0.5 7~0.6 2	3 0~5 0
A T R	Zr - 2	1 6.4 6	0.8 6	3 0~5 0

B W R 燃料集合体を剪断して得られた被覆材ハルを図 1.1-1 に示す。

燃料端末部は、B W R 燃料について約 1 4 cm 角、P W R 燃料について約 2 0 cm 角、厚さは 5 ~ 1 0 cm の扁平正方形で、その主成分はステンレススチールおよびインコネルである。

燃料剪断の際、微粉が発生するが、この発生率は多分 0.1 % 以下である。⁽³¹⁾

なお、ロールプレスによる減容の際の微粉発生率は 0.0 3 % で、酸化されていればいるほど微粉が発生する。⁽⁵⁶⁾

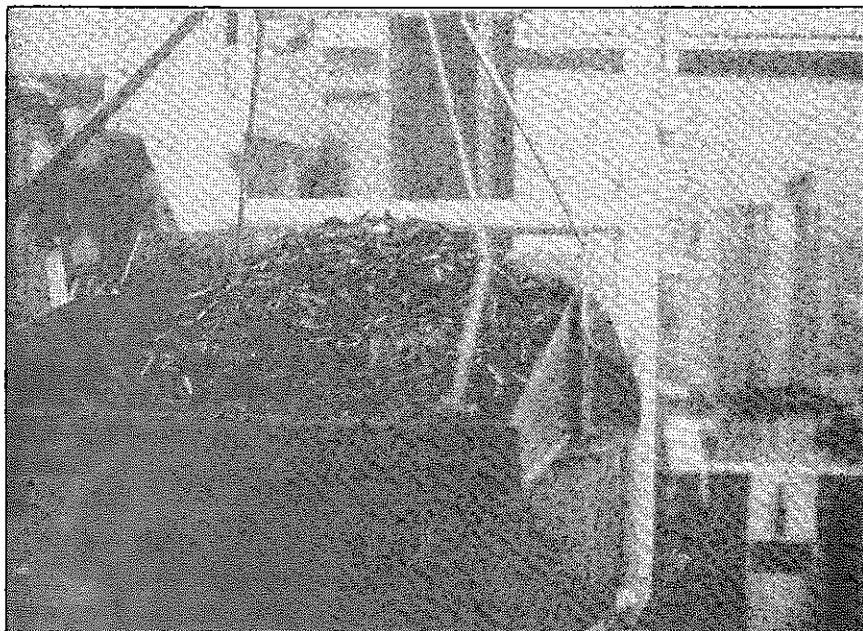


図 1.1-1 動燃再処理工場で発生した B W R 被覆材ハル

1.1.3 照射ジルカロイの機械的性質

中性子照射されたジルカロイは強度が上昇し、延性が低下する。ジルコニウム合金の軽水炉における照射量は高々 10^{21} nvt のオーダーで、通常の被覆材の寿命末期の水素量は $150 \sim 250$ ppm である。⁽⁵³⁾

ジルカロイの引張・降伏強度は照射量 10^{21} nvt, 照射温度 $250 \sim 300^\circ\text{C}$ で 30% 上昇し、延性は照射量 2×10^{21} nvt, 照射温度 280°C で 14% 低下する。⁽²⁰⁾

以下にジルカロイの機械的性質を試験方法により分類して述べる。

(1) 割管型引張試験⁽⁵³⁾

(a) 照射量の影響

照射効果が現われるのは $10^{18} \sim 10^{19}$ nvt 以上である。照射温度が高い方が効果の現われる照射量が大きくなる。

(b) 照射温度の影響

引張強度は 720°F (382°C) \sim 730°F (388°C) の照射で、降伏強度は 650°F (343°C) 前後でコントロール材と同じレベルになる。

(c) 水素の影響

室温試験では $250 \sim 400$ ppm の水素は 10^{19} nvt 以下の照射量では延性を低下させるが、 10^{19} nvt 以上の照射量では照射による効果が大きく水素の効果は不明である。

水素の影響についての試験結果を列挙すると次の通りである。

- ① 150°C 以上では水素化物は非常に延性に富み、機械的性質にほとんど影響しない。
- ② 650°F (343°C) \cdot 775°F (413°C) の試験温度では 900 ppm までの水素は照射、非照射を問わず影響しない。
- ③ ジルカロイ-2, ジルカロイ-4 の 10^{21} nvt 照射材に及ぼす水素の影響について、 200 ppm までの水素は 300°C における性質には影響しない。

ジルカロイ照射材の引張性質に及ぼす水素の影響に関しては通常の被覆材の寿命末期の水素量 ($150 \sim 250$ ppm) では 300°C 以上であれば影響はないと考えられる。

(2) リング引張試験，扁平試験⁽⁵³⁾

ジルカロイ-2管のリング引張試験結果，扁平試験結果を図 1.1-2，図 1.1-3 に示す。

リング引張試験における引張強さは 10^{21} nvt 照射後では約 20% 増加する。全伸びは室温では水素の影響を受け，水素量が多いと全伸びは低下するが，300℃では水素の影響を受けない。

扁平試験における扁平率に対する照射効果はリング引張試験における全伸びと似ている。室温における水素の効果はリング引張試験よりも顕著である。

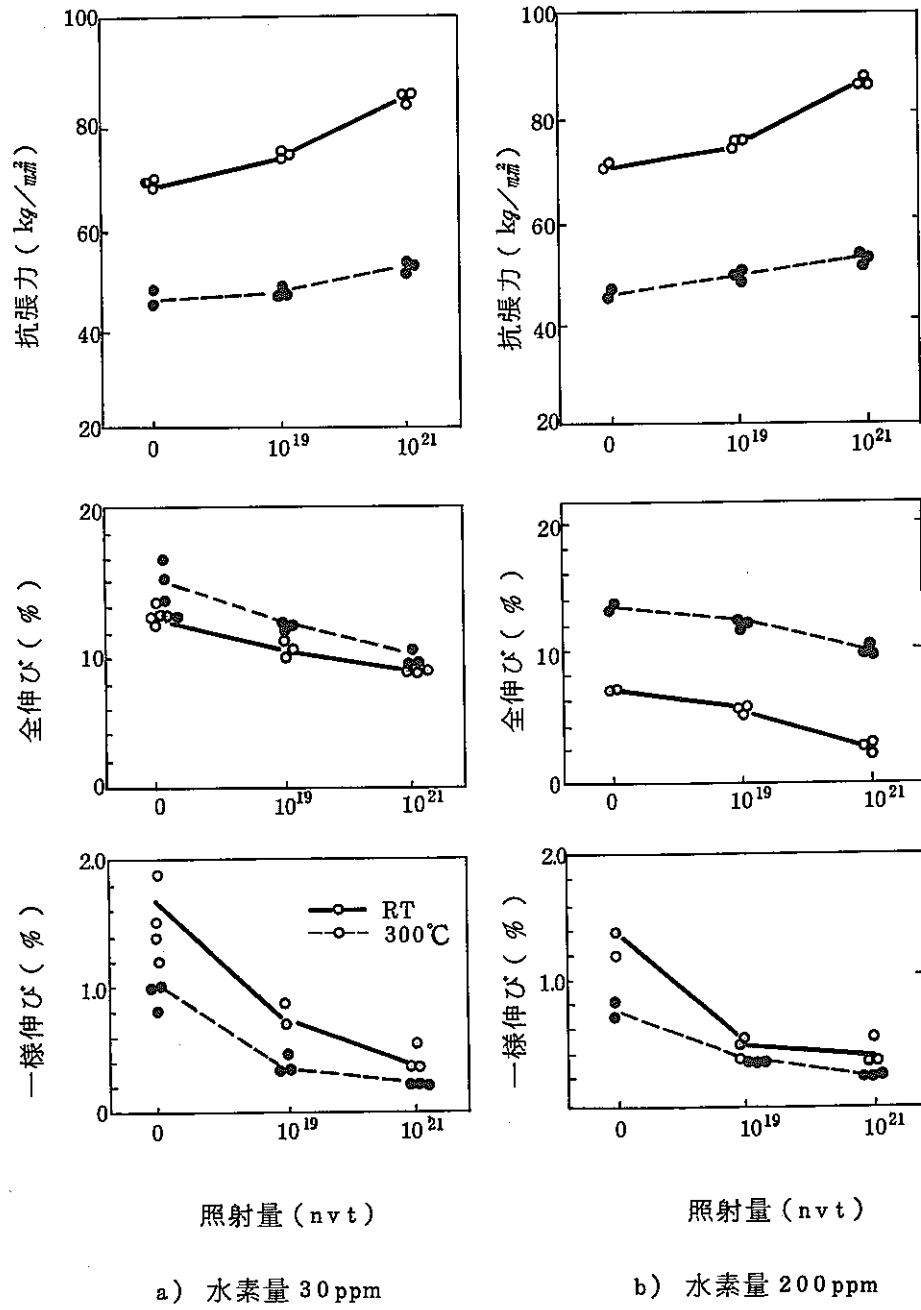


図 1.1-2 ジルカロイ-2 のリング引張性質に及ぼす中性子照射の影響 (53)

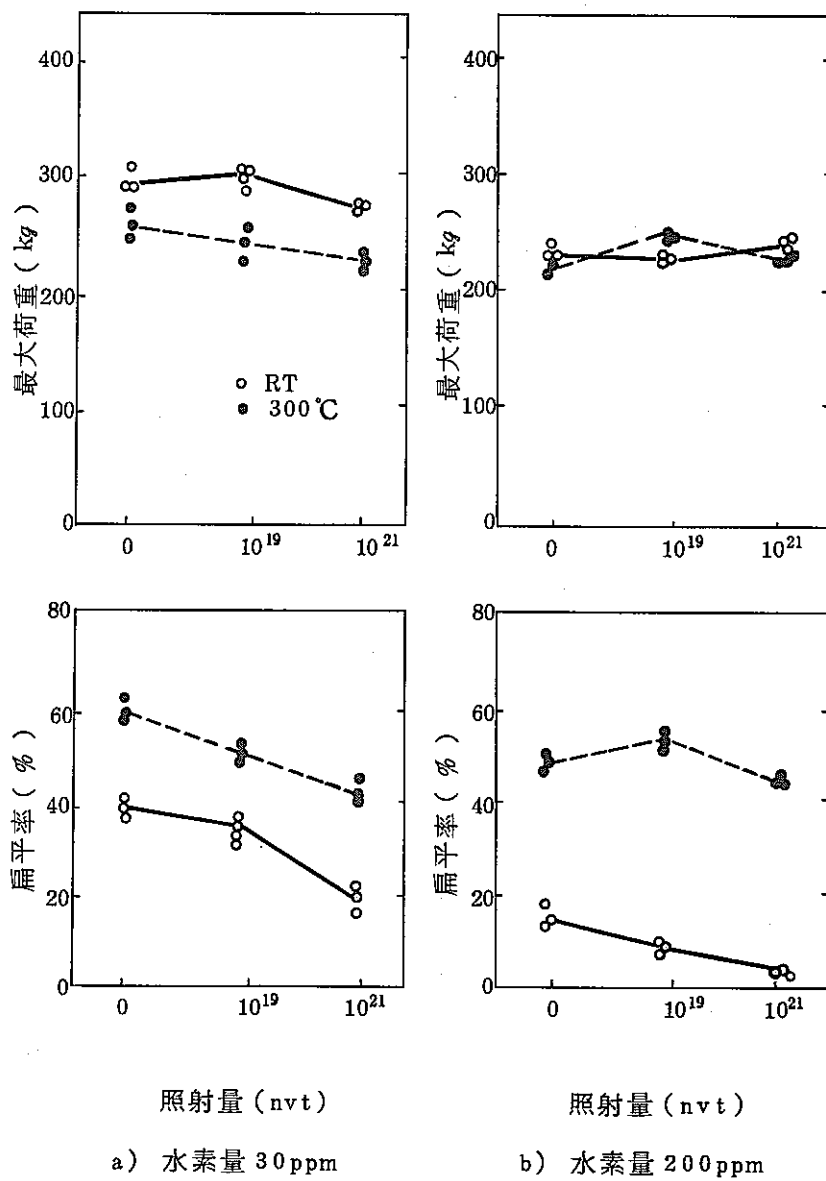


図 1.1-3 ジルカロイ-2 の扁平性質に及ぼす中性子照射の影響 (53)

1.1.4 ハルの構成材料

溶解槽から回収されるハルの構成材料はジルカロイ、ステンレススチール、インコネルよりなるが、これらの材料比は原子炉の型式により異なる。表1.1-3に、これらの重量組成比を示す。

表1.1-3 ハルの構成材料 (wt%)

材 料	構 成 (wt%)					
	ジルカロイ	82.8	92.2	80~100	75	87.0
ステンレススチール	13.8	4.4	0~20	25	8.7	9.0
インコネル	3.4	3.4			4.3	2.4
	(56)	(57)	(56)	(54)	(31)	(31)

表1.1-4 国内原子炉ハル構成材料

MATERIAL	PWR 14x14 10'			PWR 14x14 12'			BWR/3			BWR/5		
	kg	kg/MTU	%	kg	kg/MTU	%	kg	kg/MTU	%	kg	kg/MTU	%
Zircalloy-2	---	---	---	---	---	---	45.7	232	91.0	53.7	286	92.8
Zircalloy-4	82.7	257	90.2	99.8	253	92.4	2.0	10	4.0	2.0	11	3.3
Stainless Steel	4.4	14	4.8	2.8	7	2.6	2.2	11	4.4	1.9	10	3.2
Inconel-718	4.6	14	5.0	5.4	14	5.0	---	---	---	---	---	---
Inconel-X750	---	---	---	---	---	---	0.3	2	0.6	0.4	2	0.7
(U)	(322)	---	---	(394)	---	---	(197)	---	---	(188)	---	---
TOTAL	91.7	285	100.0	108.0	274	100.0	50.2	255	100.0	60.0	309	100.0

(端板部は含まない)

軽水炉燃料用のハルの発生量は320~330Kg/MTUである。(57)(31)

表1.1-5にウラン1ton当りの組成を示す。

表1.1-5 ハルの構成材量 (Kg/MTU)

	Kg/MTU	
	ジルカロイ	271
ステンレススチール	13 ※	29
インコネル	10	8

(57)

(31)

※ エンドノズル24Kg/MTUは非アルファ廃棄物として分離されている。

その他、ウラン1ton当りのモデル的軽水炉燃料用ハルに関する推定平均値の例を以下に示す。(31)

燃料集合体 (FA)	3.2 FA/MTU
燃料酸化物重量	1.13 MT/MTU
合計重量	1.46 MT/MTU
燃焼度	25,000 MWd/MTU

ハルの組成を表1.1-6に示す。

表 1.1 — 6 Properties of Metals and Selected Elements Contained in Fuel Assembly Waste^(a)

per 1000 kg of hulls and hardware

	Mass (g)	Activity, Ci ^(b)			Heat Generation, W ^(b)		
		120 day	1 year	10 year	120 day	1 year	10 year
Metal	1 E6	2.7 E5	1.1 E5	1.2 E4	1.5 E3	5.8 E2	8.6 E1
Zircaloy ^(g)	8.9 E5 ^(f)	----	----	----	----	----	----
Stainless Steel	8.9 E4	----	----	----	----	----	----
Inconel	2.5 E4	----	----	----	----	----	----
Mn ^(d)	1.8 E3	1.7 E4	9.8 E2	5.0 E-1	1.4 E2	7.9 E0	4.1 E-3
Fe ^(d)	6.8 E4	2.2 E4	1.8 E4	1.6 E3	2.9 E1	2.3 E1	2.1 E0
Co ^(d)	2.0 E2	2.8 E4	1.6 E4	4.4 E3	4.3 E2	2.5 E2	6.8 E1
Ni ^(d)	2.1 E4	7.8 E2	7.8 E2	7.3 E2	1.6 E-1	1.6 E-1	1.5 E-1
Sb ^(d)	8.4 E2	5.7 E4	3.5 E4	3.3 E3	2.5 E2	1.5 E2	1.4 E1
Te ^(d)	4.8 E1	1.6 E4	1.4 E4	1.4 E3	1.4 E1	1.3 E1	1.3 E0
Fission products ^(c)	3.4 E1	8.4 E3	3.2 E2	3.7 E2	3.5 E1	1.4 E1	1.1 E0
TRU Elements ^(c)	2.7 E1	5.4 E2	4.7 E2	2.9 E2	6.0 E0	3.0 E0	1.5 E0
n/sec		6.4 E6	5.9 E6	3.9 E6	----	----	----
Totals/MTHM	3.3 E5	9.1 E4	3.6 E4	4.2 E3	5.0 E2	2.0 E2	2.9 E1
Totals/MT hulls-hardware	1.0 E6	2.8 E5	1.1 E5	1.3 E4	1.5 E3	6.0 E2	8.9 E1

a. Based on data in Table 2.2 for the reference LWR fuel assembly, 25,000 MWd/MTHM burnup and 35 MW/MTHM specific power.⁽⁶⁾

b. For cooling times indicated.

c. Based on residual fuel in cladding of 0.05%.

d. Selected on the basis of significant activity fraction after more than

e. 1000 kg of metallic waste \approx 9.898 fuel assemblies \approx 3.08 MTHM. A 1500 MTHM/year plant generates 487 MT of this metallic waste, or 14.8 MT of waste/1000 MWe-year. At an average density of 1 g/cm³, the metallic waste from one day operation of the 1500 MTHM/year plant has a volume of \approx 1.6 m³.

f. Includes from 90 to 900 g zirconium fines (0.01 to 0.1% of Zircaloy).

g. Includes 15% of the tritium, corresponding to \approx 77 Ci/MTHM (239 Ci³H/1000 kg hulls) at 1-year cooling.

1.1.5 放射特性

炉内の位置に対する放射化の程度を PWR と BWR について図 1.1-4 に示す。⁽³¹⁾

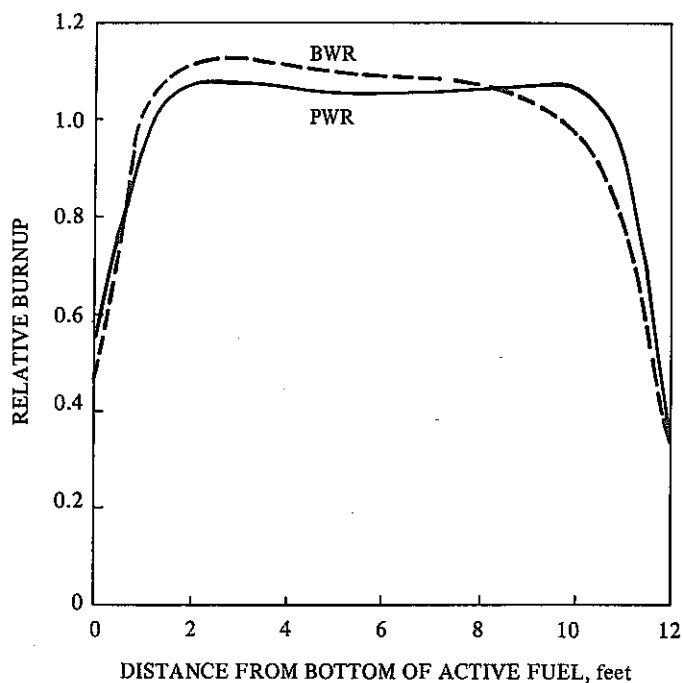


図 1.1-4 Axial Burnup Distribution

図 1.1-5 は被覆廃棄物中の 0.5% 未溶解燃料および各構造材からの放射熱の総発熱量に対する相対的寄与を減衰時間の関数として示している。ジルカロイによる放射能は炉から取出した後の最初の 6 ヶ月だけ優勢である。それから約 2 年間はステンレスによる放射能が優勢になり、約 3 年後、インコネルによる放射能が優勢になる。⁽³¹⁾

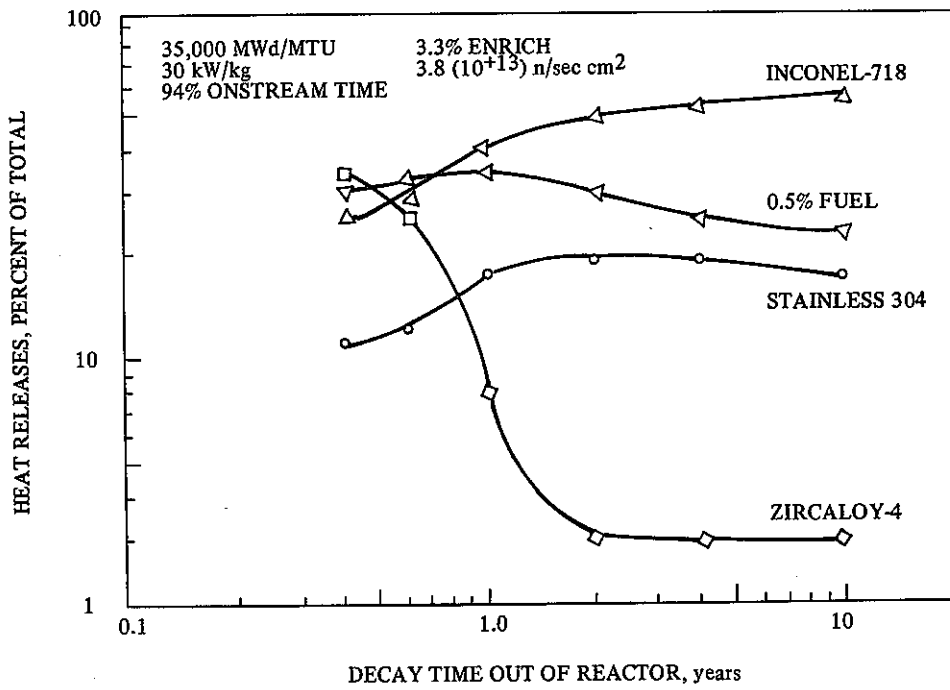


図 1.1-5 Fraction of Heat from Hulls Clad Constituents

ORIGENコードで計算した被覆管廃棄物の放射能と発熱量を表 1.1-7 に示す。汚染核種については、燃料中に存在するアクチナイドと娘核種の 0.1% および核分裂生成物の 0.5% が被覆管に残ると仮定している。(57)

表 1.1-7 RADIO-ACTIVITY AND THERMAL POWER OF CLADDING WASTE FROM A REFERENCE PWR*

Post-irradiation time	1 y	3 y	10 y
- assembly extremities (24 kg/MTU)			
activation products : Ci/kg	154	92.6	22.2
thermal power : W/kg	0.97	0.58	0.20
- cladding waste (294 kg/MTU)			
activation products : Ci/kg	21.4	9.31	3.26
fission products : Ci/kg	37.8	13.5	5.44
actinides and daughters : Ci/kg	0.39	0.33	0.24
total thermal power : W/kg	0.28	0.10	0.04

* Ref. PWR : fuelled with 3.3% enriched UO₂, operated at an average power level of 30 MW/MTU during 1100 days and achieving a fuel burn-up of 33,000 MWd/MTU.

ジルカロイ被覆管およびインコネルスペーサの廃棄物中の誘導放射能を図 1.1-6 に示す。この計算機シミュレーションには、アクチナイドと核分裂生成物による寄与をふくんでいない。(31)

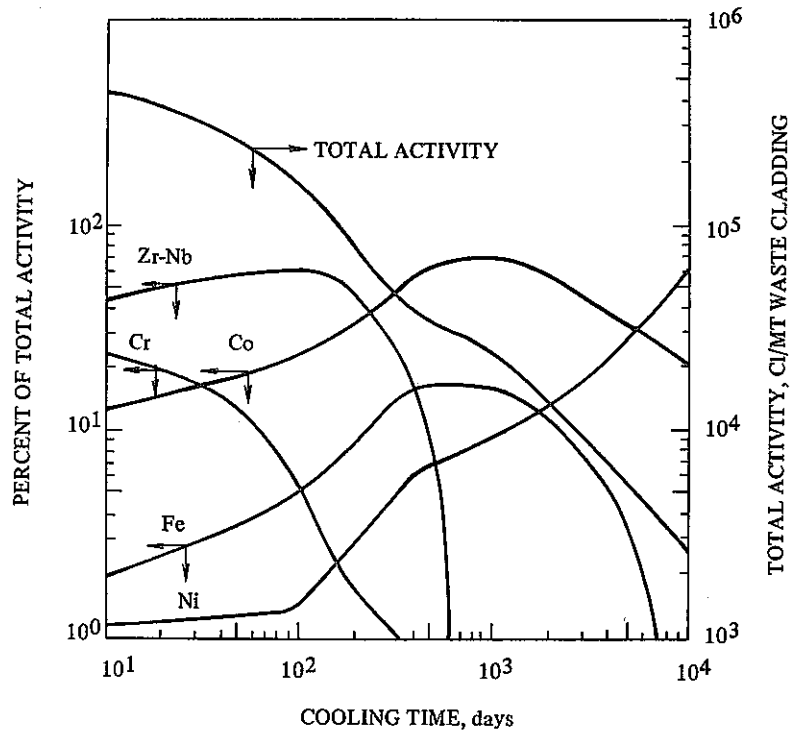


図 1.1-6 Induced Radioactivity in Waste Zircaloy Cladding and Inconel Spacers

図 1.1-7 は BNFP のハル容器からの最大熱放射量を示している。(31)

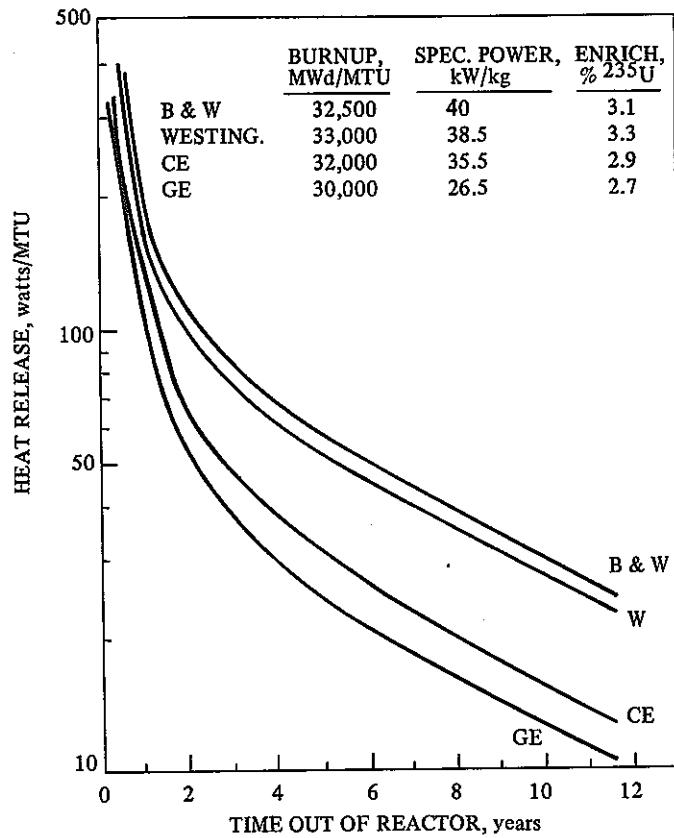


図 1.1-7 Typical Maximum Heat Releases Expected from 1 MTU Cladding (includes 0.5% undissolved fuel)

燃焼度 33 GWD/MT, 冷却期間 1 年, 使用済燃料の 0.5% の未溶解残渣がある場合
 のハル 1 m³ 当りの放射能と発熱量はそれぞれ 150 kCi/m³, 850 W/m³ である。(54)

燃料被覆管は原子炉内での核反応により同位元素を生成する。被覆管材料中で生成する同位元素の特徴を表 1. 1 - 8 に示す。(58)

表 1. 1 - 8 Characteristics of isotopes formed in cladding materials

Reactions	Half-life of final isotope	Abundance of initial isotope, %	Gamma-radiation energy in main lines, MeV
$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	303 days	5.84	0.835
$^{58}\text{Fe}(n,p)^{59}\text{Fe}$	45.1 days	0.31	{ 1.095 1.292
$^{50}\text{Cr}(n,r)^{51}\text{Cr}$	27.8 days	4.31	0.320
$^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$	5.25 years	26.16	{ 1.173 1.332
$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	71.3 days	67.76	0.810
$^{94}\text{Zr}(n,r)^{95}\text{Zr}$	65 days	17.40	{ 0.724 0.756
$^{95}\text{Zr} \xrightarrow{\beta^-} ^{95}\text{Nb}$	35 days	-	0.765
$^{54}\text{Fe}(n,r)^{55}\text{Fe}$	2.6 years	5.84	-
$^{62}\text{Ni}(n,r)^{63}\text{Ni}$	92 years	3.66	-

燃料被覆管中の同位元素の放射能を表 1. 1 - 9 に示す。(58)

表 1. 1 - 9 Activity of isotopes in fuel claddings*, Ci/t of fuel

Isotope	Zircaloy-4 Cooling time			Stainless steel Cooling time		
	0	1 year	3 years	0	150 days	3 years
^{51}Cr	29200	3.27	0	3770	139	0
^{54}Mn	248	107	20.2	70300	49900	5730
^{55}Fe	1990	1520	894	36200	32500	16300
^{58}Co	9270	267	0.22	189000	44100	4630
^{60}Co	6420	5630	4320	647	613	436
^{95}Zr	28750	586	0.24	-	-	-
^{95}Nb	27800	1125	0.51	-	-	-
^{63}Ni	563	559	550	-	-	-

* Burn-up 33,000 MW.d/t

1.1.6 ハルの汚染分布

(1) Harwell の分析例 (55)

サンプルは加圧水炉 (KWO) 燃料の再処理で得られたジルカロイ 4 のハル (長さ約 5 cm, 直径 1.07 cm) で, Karlsruhe で用意されたものである。この燃料は, 燃焼度 25,509 MWd/tU で, ^{235}U の含有量は, 使用前 2.8% で使用后 0.99% である。この照射済燃料ピンは剪断され, 燃料は硝酸に溶解され, ハルは硝酸で洗浄後 Harwell へ運ばれたものである。

ステンレススチールハルの記載もあるが, ここでは省略する。アクチナイドの同位元素組成はハルの全量溶解後, α スペクトル分析により決定されている。研究の結果, アルファ・エミッターは, ステンレススチールおよびジルカロイ被覆管ともに 1-2 μm の深さにしか浸透していないことが分っている。これは別の方法でも確認されている。

ハル中の主な核分裂性同位元素は ^{239}Pu で, これは中性子による非破壊測定法で定量されている。ハル中の ^{239}Pu の含有量を表 1.1-10 に示す。

アクチナイド濃度は広範囲に変化するが, 一般的にジルカロイハルの全アルファ量はステンレススチールハルのそれに比べて非常に少ない。ジルカロイおよびステンレススチールハルの内面および外面のアルファエミッターの分布を表 1.1-11 に示す。ステンレススチールハルは常に外面のアルファエミッター濃度が内面に比べ高い。

一方, ジルカロイハルの場合はその逆である。

ジルカロイハルの比放射能と主な核分裂生成物を表 1.1-12 に示す。

表 1.1 - 1 0 ^{239}Pu content of hulls ($\mu\text{g } ^{239}\text{Pu/g}$ hulls)

Sample	Method		
	Neutron activation	Direct α spectrometry	α spectrometry on samples from complete dissolution
Zircaloy (4 samples)	1.4-5.2	\approx 2-5.6	-
Zircaloy (6 samples)	-	-	9-16.7
SCOF 2 (stainless steel)	200-570 mean of 10 = 370	\approx 54	457-919 mean of 4 = 773
SCOF 3 (60V) stainless steel	55-550 mean of 10 = 173	\approx 18	18-63 mean of 21 = 47
SCOF 3 (93V) stainless steel	44-200 mean of 10 = 119	\approx 23	43-69 mean of 5 = 53

Explanatory Notes

1. Initial composition of fuel in SCOF experiments:

SCOF 2 and SCOF 3 (93V): PuO_2 -15%; UO_2 -85%

Isotopic composition of Uranium (approx.): ^{234}U -1%; ^{235}U -93%; ^{238}U -6%

SCOF 3(60V): PuO_2 -15%; UO_2 -85%

Isotopic composition of Uranium (approx.): ^{234}U -1%; ^{235}U -60%; ^{238}U -39%

2. The neutron activation method will give the ^{235}U content as well as the ^{239}Pu content. If the results are expressed as ^{239}Pu only it will give higher values than those from α spectrometry. This is the case for SCOF 3(60V) and SCOF 3(90V). The SCOF 2 hulls were more heavily contaminated than the others and the reason for a higher ^{239}Pu content by α spectrometry is believed to be due to sampling difficulties (different hulls were used for the measurements).

表 1.1 - 1 1 The distribution of α -activity on Zircaloy and stainless steel hulls

Sample	Surface	Activities in m Ci/M^2 of hull surface		
		5.15 MeV Peak $^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	5.5 MeV Peak $^{238}\text{Pu} + ^{241}\text{Am}$	5.8 MeV Peak ^{244}Cm
Zircaloy No.2	Inner	1.5	2.0	0.94
	Outer	0.05	0.09	0.02
Zircaloy No. 3	Inner	2.4	3.6	1.3
	Outer	0.33	0.17	0.06
Zircaloy No. 11	Inner	0.74	1.73	0.92
	Outer	0.26	0.27	0.03
Stainless steel SCOF 2	Inner	1.9	-	-
	Outer	16.6	-	-
Stainless steel SCOF 3 (60V)	Inner	0.49	-	-
	Outer	2.8	-	-
Stainless steel SCOF 3 (93V)	Inner	1.6	-	-
	Outer	2.3	-	-

表 1.1-1.2 Activation and fission products in Zircaloy hulls
(Activities corrected to discharge from reactor)

Nuclide	Zircaloy hull 3 Ci/kg	Zircaloy hull 18 Ci/kg
^{54}Mn	245	277
^{60}Co	408	193
^{106}Ru	15,000	9,400
^{125}Sb	828	1,800
^{134}Cs	670	845
^{137}Cs	432	464
^{144}Ce	6,500	7,100

使用済燃料被覆管の酸浸出後のアルファおよびプルトニウムアクティビティの分布例を図 1.1-8 に示す。(56)

現在のジルカロイ組成仕様では不純物としてのウランは 3.5 ppm まで許容されていることは注目に値する。この数値は照射後 10 nCi/φ TRU 以上になることを意味する。(56)

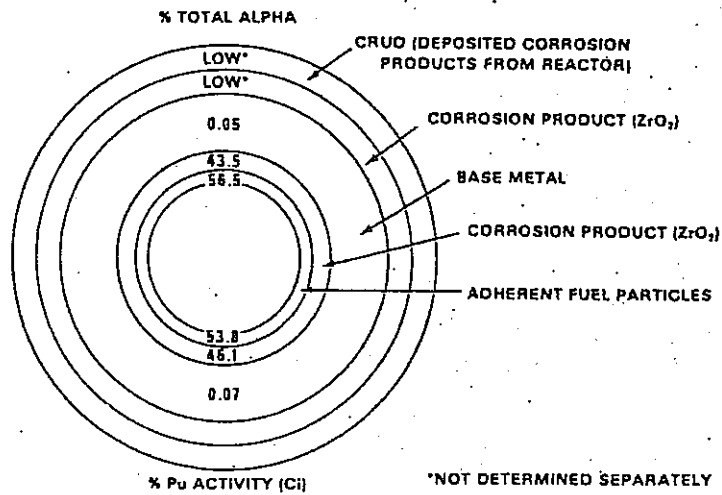


図 1.1-8 DISTRIBUTION OF TOTAL ALPHA AND PLUTONIUM ACTIVITY IN A PIECE OF PWR UO₂ FUEL CLADDING

1.1.7 トリチウムの分布

ジルカロイはトリチウムを捕集し、その量は燃料中の全トリチウムの10-15%になる。(58)

燃料再処理廃棄物中のトリチウムの分布を図 1.1-9 に示す。

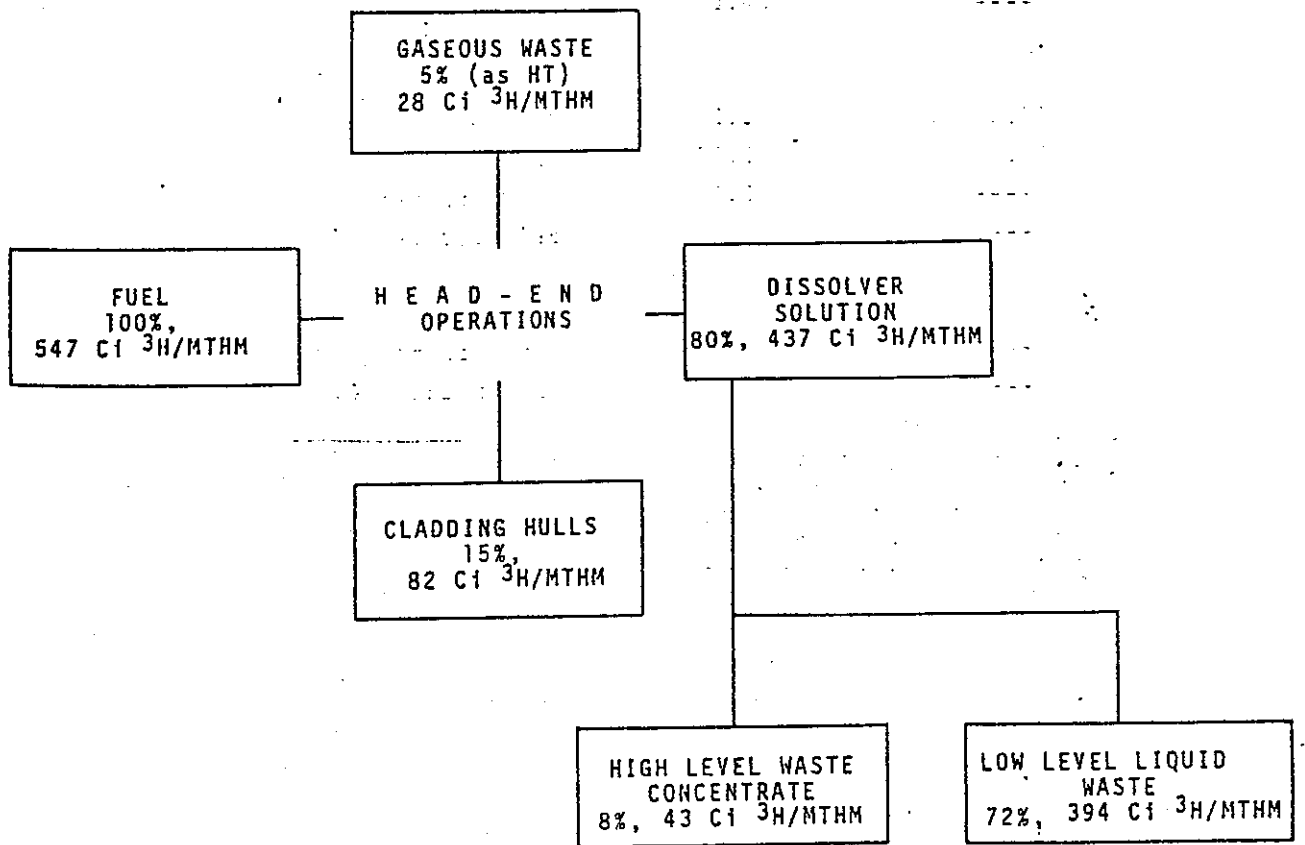


図 1.1-9 Distribution of Tritium in Fuel Reprocessing Wastes
(100% ³H Assumes No Cooling of Reference Fuel)

1.1.8 自己発火性⁽³¹⁾

ジルコニウムは化学的活性が強く、ジルコニウム微粉は火災と爆発を起こした例があるので、ジルカロイの自己発火特性について、未照射の材料を用いて研究されている。しかし自然発火を起こすのに必要な微粉量とその比表面積値は容易に断定しにくい。Levitz は径 0.085 cm 以上のジルカロイ粉子は安全に取扱いうる旨と指摘している。

表 1.1-13 にジルコニウムの発火性に関する要因と発火性を増大させるための要因の傾向を示す。

表 1.1-13 Apparent Effects of Selected Factors on the Pyrophoricity of Zirconium

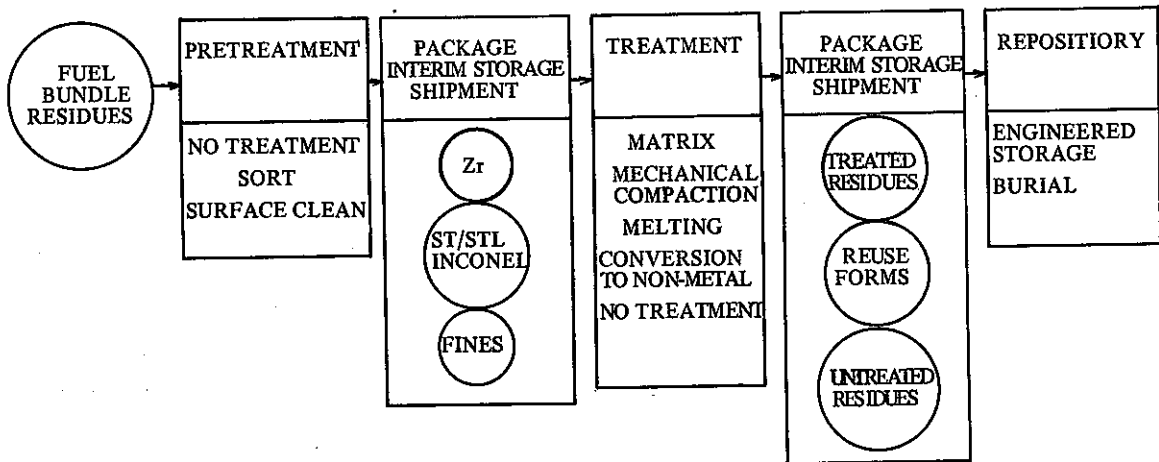
Factor	Trend of Factor Tending To Increase Pyrophoricity
Particle size	Decrease
Surface-to-Volume ratio (a)	Increase
Specific surface (area/mass)	Increase
Moisture content of environment	3-25% maximizes pyrophoricity, as does alternating wet/dry conditions
Temperature	Increase
Total mass of zirconium	Increase
Geometry of mass (a)	Reduce (toward minimum surface/volume)
Gaseous environment	Increasing oxidizing power
Impurities, alloying agents	Complex relations
Energy of ignition source	Minimum required for ignition; not directly related to pyrophoricity.

a. Geometry of mass relates to dissipation of heat once reaction has been initiated. The surface-to-volume ratio refers to the individual particles or pieces of the mass.

1.2 前処理 (31)

具体的な前処理にふれる前に、ハルの処理について概括的に述べることにする。

燃料集合体の剪断-浸出後の廃棄物をどう処理すべきかの判定エリアを図 1.2-1 に示す。一般的にいつて、この図に示した処理法では、金属または非金属生成物を生ずる。



☒ 1.2 - 1 Decision Areas in the Management of Fuel Bundle Residues

図 1.2-2 には、燃料集合体残渣の処理の複雑な状態が示されており、これは非金属生成物を生ずるプロセスである。

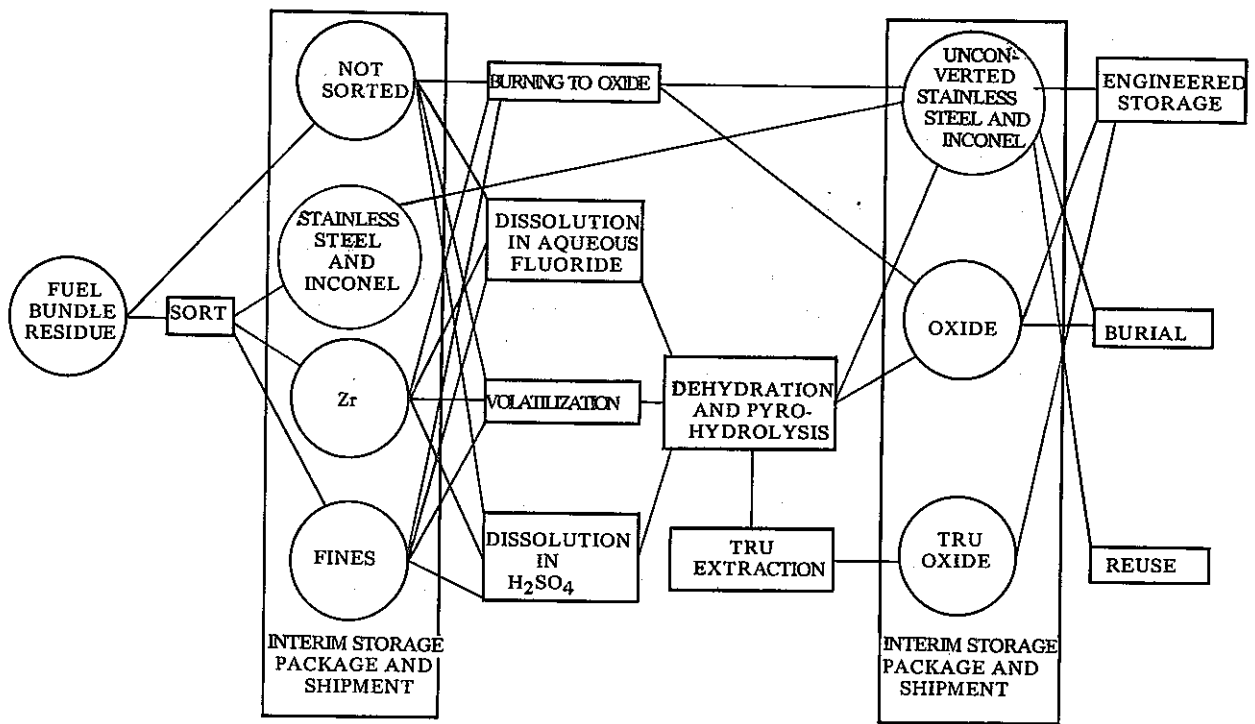


図 1.2-2 Chop-Leach Fuel Bundle Residue Conversion to Nonmetallic Products

各種の処理法に関するその特性、現状および処理製品について、表 1.2-1, 表 1.2-2 に要約して示す。

表 1. 2 - 1

Process-Product Characteristics and Status

TREATMENT ALTERNATIVE	PROCESS			STATUS OF TECHNOLOGY			PRODUCT DESCRIPTION						COMMENTS
	REMOTELY OPERABLE	BATCH/SEMI-CONTINUOUS	MAINTENANCE EXPECTED	DETAILED PROCESS AVAILABLE	DEMONSTRATION LEVEL	LEACHABLE OR REACTIVE	VOLUME PRODUCTS/VOLUME HULLS	RESISTANT TO IGNITION	TRANSPORTABLE SAFELY	FURTHER TREATMENT POSSIBLE	SUITABLE FOR REUSE	STORABLE WITHOUT CONTAINMENT	
CONTAINED ONLY, NO TREATMENT MATRIX	YES YES	B B	LOW LOW	YES YES	PLANT --	YES YES	1/1 1+1	? YES	? YES	YES YES	NO NO	NO NO	CONSTITUTES PRESENT PRACTICE WHILE NOT DEMONSTRATED, ADDITION OF CONCRETE OR LOOSE SAND APPEARS TO BE WELL WITHIN CURRENT TECHNOLOGY
MECHANICAL COMPACTION	YES	C	?	NO	--	YES	1/3	?	?	NO	NO	NO	CONCEPTUAL ONLY - MECHANICAL PROPERTIES OF IRRADIATED FUEL HULLS LARGELY UNKNOWN
MECHANICAL COMPACTION AFTER DECONTAMINATION	YES	B,C	?	NO	--	NO	1/3+	?	YES	YES	NO	NO	AS ABOVE
DENSIFICATION BY MELTING	YES	B	?	YES	LAB	NO	1/6	YES	YES	NO	NO	YES	MELTING DEVELOPED THROUGH PROOF OF PRINCIPLE STAGE
DENSIFICATION BY MELTING WITH DECONTAMINATION	YES	B	?	?	LAB	NO	1/6+	YES	YES	YES	?	YES	DECONTAMINATION DEVELOPED THROUGH PROOF OF PRINCIPLE STAGE
DENSIFICATION BY MELTING WITH DECONTAMINATION SEGREGATION	YES	C	?	NO	LAB	NO	1/6+	YES	YES	YES	YES	YES	SEGREGATION OF FUEL HULL RESIDUE METALS HAS NOT BEEN DEMONSTRATED
DISSOLUTION IN SULFURIC ACID	YES	B	?	NO	LAB	YES	1/1	YES	?	YES	NO	NO	CAN HYDROLYZE TO OXIDE AND INCLUDE IN GLASS
DISSOLUTION IN AQUEOUS FLUORIDES	YES	B	LOW	YES	PLANT	YES	1/1	YES	?	YES	NO	NO	CAN HYDROLYZE TO OXIDE AND INCLUDE IN GLASS
FUEL HULL VOLATILIZATION	YES	B		NO	LAB	YES	1/1	YES	?	YES	YES	NO	CONVERSION TO HLW ABSORBENT
BURNING FUEL HULLS TO OXIDES	YES	C	?	NO	LAB	?	1/1	YES	?	YES	NO	NO	CAN BE INCLUDED IN GLASS
CONVERSION OF SIDE WASTE STREAMS	YES	B	?	NO	LAB	?	1/1	YES	?	YES	NO	NO	PROOF OF PRINCIPLE, TECHNIQUES FOR HANDLING SIDE WASTE STREAMS NOT DEMONSTRATED

表 1.2 - 2 Densification Process--Mass Volume Summaries

TREATMENT	PROCESS ADDITIONS			IMPORTANT PRODUCTS		RECYCLE POSSIBLE	THEORETICAL MASS OF STREAM	REMARKS
	INPUT	CHEMICALS	THEORETICAL MASS	PRODUCT	THEORETICAL MASS+VOLUME			
CHEMICAL CONVERSION								
BURNING TO OXIDE	260Kg Zr/MTU 0.24m ³ Zr/MTU	HF (CATALYST) O ₂	91Kg O ₂ /MTU			ZrO ₂	350Kg ZrO ₂ /MTU 0.06m ³ ZrO ₂ /MTU	M ₂ NO O ₂ YES HF YES H ₂ O YES EXCESS ONLY ~40% OF GAS VOLUME
DISSOLUTION IN H ₂ SO ₄ -HNO ₃	"	H ₂ SO ₄ HNO ₃	560Kg H ₂ SO ₄ /MTU	Zr(SO ₄) ₂	810Kg Zr(SO ₄) ₂ /MTU 0.24m ³ Zr(SO ₄) ₂ /MTU	ZrO ₂	"	H ₂ SO ₄ YES HNO ₃ YES NO _x YES SO _x YES 560Kg H ₂ SO ₄ /MTU
VOLATILIZATION	"	HCL OR ZnCl ₂ H ₂ O	416Kg HCL/MTU OR 777Kg ZnCl ₂ /MTU	ZrCl ₄	665Kg ZrCl ₄ /MTU 0.24m ³ ZrCl ₄ /MTU	ZrO ₂	"	HCL YES H ₂ NO Zn YES 416Kg HCL/MTU 11Kg H ₂ /MTU 370Kg Zn/MTU
DISSOLUTION IN AQUEOUS FLUORIDE	"	NH ₄ F NH ₄ NO ₃ H ₂ O	430Kg NH ₄ F/MTU	(NH ₄) ₂ ZrF ₆	690Kg (NH ₄) ₂ ZrF ₆ /MTU 0.60m ³ (NH ₄) ₂ ZrF ₆ /MTU	ZrO ₂	"	NH ₃ YES N ₂ NO NO _x YES HF YES 360Kg NH ₃ /MTU 340Kg HF/MTU
SURFACE CLEAN	260Kg Zr/MTU 0.24m ³ /MTU	HF (GAS) AMMONIUM OXALATE AMMONIUM CITRATE AMMONIUM FLUORIDE H ₂ O ₂ H ₂ O	10Kg/MTU 29Kg/MTU 16Kg/MTU 1.6Kg/MTU 5-390Kg/MTU	METALLIC Zr HULLS	2210Kg Zr/MTU 0.24m ³ Zr/MTU	ZrO ₂	≤50Kg ZrO ₂ /MTU ≤0.01m ³ ZrO ₂ /MTU	HF YES CO NO CO ₂ NO ZrO ₂ NO (Fe,Ni,Cr)Ox NO H ₂ O YES 10Kg/MTU
METAL PRODUCTS								
MATRIX FORMATION	260Kg Zr/MTU 0.24m ³ Zr/MTU	CEMENT BITUMEN SAND	150-390Kg/MTU	(260Kg Zr/MTU) Zr-MATRIX	410-650Kg Zr MATRIX/MTU 0.24m ³ Zr MATRIX/MTU			Zr-MATRIX DENSITY CAN INCREASE TO 420Kg Zr MATRIX/MTU BY-IN CREAMING Zr DENSITY TO 50% OF MAX 0.08m ³ ~70% THEORETICAL DENSITY
MECHANICAL DENSIFICATION				Zr COMPACT	260Kg Zr/MTU 0.06m ³ Zr/MTU			
MELT				Zr INGOT	260Kg Zr/MTU 0.04m ³ Zr/MTU			CaF ₂ YES 8Kg CaF ₂ /MTU

138

具体的な前処理として、分類及び表面洗浄がある。

1.2.1 分類 (31)

分類の基準として、1.自己発火性、 2.合金型式、 3.サイズ、 4.超ウラン核種による汚染の程度、 5.しゃへいの必要性がある。被覆廃棄物を安全性と経済性を考慮し、分類するとすれば、

- a. 端末部とグリッド部からなる塊状グループ
- b. ハルとブレナムスプリングからなる中間グループ
- c. 残りの物質

の3分類が考えられる。

ジルコニウムの自己発火の防止のため、微粉を分離することが要求されることもある。ANLの報告では、燃料溶解後のハルから微粉を分離すること及び溶解槽から定期的に微粉を取出し、酸化によってそれらを不活性化することが望ましいと結論づけている。(48)

表 1.2-3 に各処理技術で考慮すべき分類基準を要約して示す。

表 1.2-3 Summary of Sorting Criteria

Technology	Sorting Criteria				
	Pyrophoricity	Alloy Type	Size	TRU Contamination	Shielding Requirement
No treatment	X	0	NR	0	0
Matrix forming	?	NR	NR	0	0
Mechanical densification	X	NR	X	0	0
Melting	X	X	X	0	0
Surface cleaning	X	0	X	0	0
Dissolution in sulfuric acid	X	0	0	0	0
Dissolution in aqueous fluorides	NR	0	0	0	0
Volatility processes	NR	?	?	0	0
Oxidation with HF-02	NR	NR	X	0	0
Conversion to zirconate for use in HLW ion exchange	NR	?	NR	0	0

X = Probably required by process
 0 = Economic decision
 ? = Uncertain
 NR= Probably not required by process.

1.2.2 表面洗浄

表面洗浄法として、改良水溶液処理法、熔融塩プロセス、超音波法、電解研磨法等がある。

Battelleでは、可能性のある除染法として、改良水溶液処理法、熔融塩プロセス、メルトフラクシング法を試験し、改良水溶液処理法が最も有望であるとしている。(38)

英国、HarwellのI.L. JenkinsとR.F. Taylorは、ハル表面の付着物は、硝酸によるリフラクシングまたは超音波槽の硝酸による洗浄で有効に除去されうると報告している。(55)

ハルを直接の対象とはしてはいないが、金属表面の除染法として、電解研磨法の報告がある。(47)

(1) 改良水溶液処理法 (56)

従来のジルコニウムのエッチング法は、高温水中で酸化された試料や、加熱や照射後、被覆管と UO_2 の界面に生成する酸化被膜の試料には有効ではないことがBattelleの研究であきらかにされている。そこで金属層を全部溶解しないで除染する新しい方法が必要となった。最も有効な方法は600℃のHFで前処理し、次いでMeserveyにより開発された下記組成の溶液を用い90℃、2時間で処理することである。

0.4 M 修酸アンモニウム

0.16 M クエン酸アンモニウム

0.1 M フッ化アンモニウム

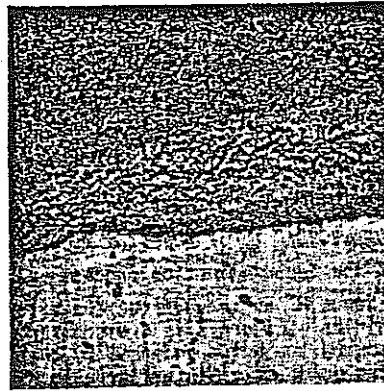
0.3 M 過酸化水素

HFガスの作用は多分ある種の酸弗化物と共に酸化物層と金属層の間にフッ化ジルコニウムを形成し酸化層を下からえぐり取ることができるようにすることである。

図1.2-3はHF処理後のサンプルの走査電子顕微鏡写真で、酸化物-金属の界面に選択的に成長している弗化物層により酸化物層が分離されていることを示している。

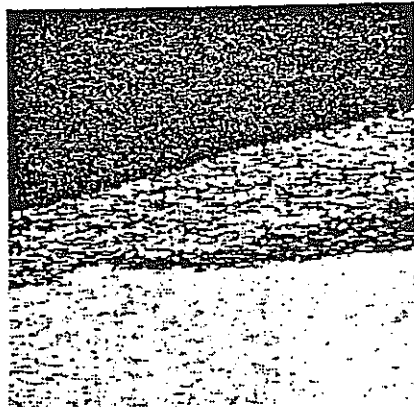
図1.2-4は上記試料をX線マイクロアナライザーで分析したもので、酸化層の下部の反応部はフッ化ジルコニウムであることが確認される。このフッ化物層はMeservey溶液中で酸化層を分離しながら定量的に溶解される。このプロセスの成否は酸化物がHFガスにより完全に浸透されるかどうかにかかっている。

照射済ジルカロイは未照射試料よりもより容易に剝離される。多分これは照射され

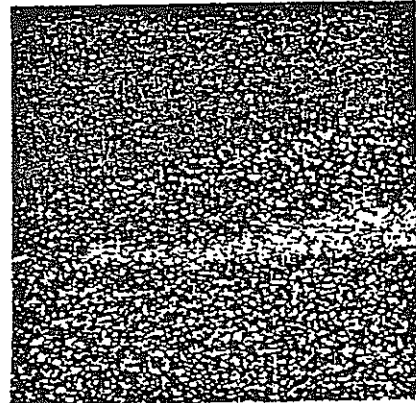


500X SEM

☒ 1.2 - 3 SEM OF OXIDIZED ZR-4 AFTER TREATMENT WITH HF AT 600°C



500X Zr



500X F

☒ 1.2 - 4 NONDISPERSIVE X-RAY ANALYSIS OF THE SPECIMEN FROM FIG 1.2-3 FOR Zr AND F CONTENT

た酸化物は機械的な健全性が劣るためであろう。表 1.2-4 に、除染前、除染後のアルファの分布を示す。除染後はアルファアクティビティは除染前の金属中のレベルまで減少していることが分かる。

小規模の除染設備が Battelle の遮蔽された施設内に建設され、除染試験が行なわれた。表面酸化物は完全に除去された。酸化物と金属のロスの合計は照射済、未照射ハルのいずれに対しても約 3 g/dm^2 であった。

ガス接触器内での HF-アルゴン混合物から水蒸気を注意深く除去することが金属層の攻撃をコントロールする上での必須要件である。

表 1.2-4 TRU DISTRIBUTION IN IRRADIATED, ACID LEACHED ZIRCALOY FUEL CLADDING

<u>α Distribution as Determined by Mechanical and Chemical Metal Removal</u>			
Source	Leachable Activity In Surface Oxides	Non-Leachable Activity In Surface Oxides	Residual Activity In Cladding Metal
Saxton PWR Mixed Oxide Fuel	$9.94 \times 10^{-5} \text{ Ci/dm}^2$	$9.88 \times 10^{-5} \text{ Ci/dm}^2$	$2.67 \times 10^{-7} \text{ Ci/dm}^2$
High Exposure PWR	$8.7 \times 10^{-4} \text{ Ci/dm}^2$	$6.7 \times 10^{-4} \text{ Ci/dm}^2$	$8.2 \times 10^{-7} \text{ Ci/dm}^2$
<u>α Activity After Decontamination Process</u>			
Saxton PWR Mixed Oxide Fuel			$3.0 \times 10^{-7} \text{ Ci/dm}^2$
High Exposure PWR			$8.2 \times 10^{-7} \text{ Ci/dm}^2$

今までの試験結果より

- ・この除染法により金属ハルの約 10% がロスとなる。
- ・満足すべき表面除染レベルが小試料の実験で達成された。
- ・二次廃棄生成物は熱分解により ZrO_2 と汚染酸化物とになる。これによりアルファ廃棄物の容積は最少になる。

Battelle のモックアップエリアに建設されている半連続除染プロセスの機器を図 1.2-5 と図 1.2-6 に示す。図 1.2-5 は HF 反応器の概念図で、図 1.2-6 は水溶液洗浄装置の概念図である。

改良水溶液処理で除染し、その後インダクトスラグ法で熔融減容する設備のレイア

ウトを図 1.2-7 に示す。

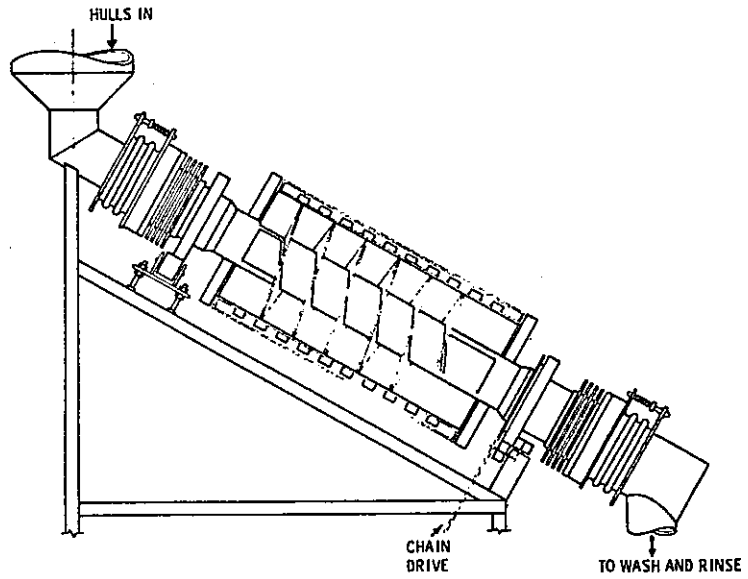


図 1.2-5 CONCEPTUAL DESIGN OF HF REACTOR

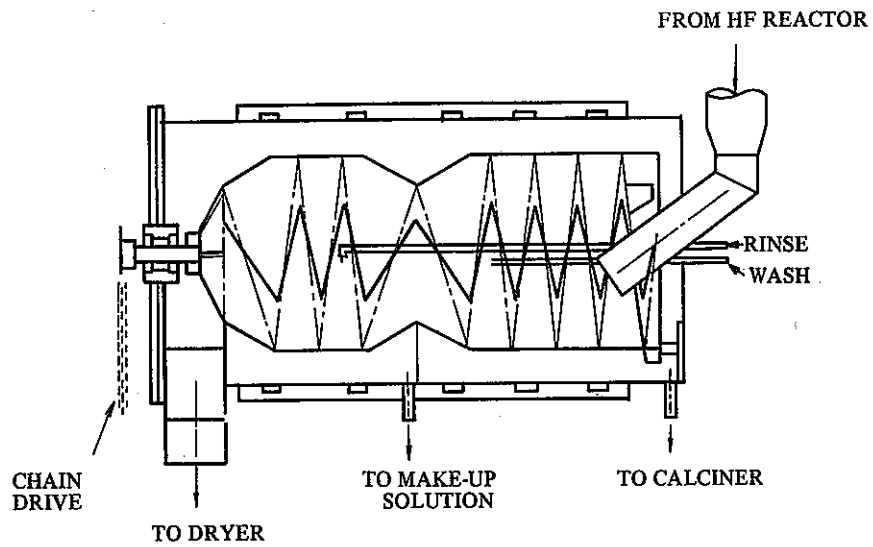
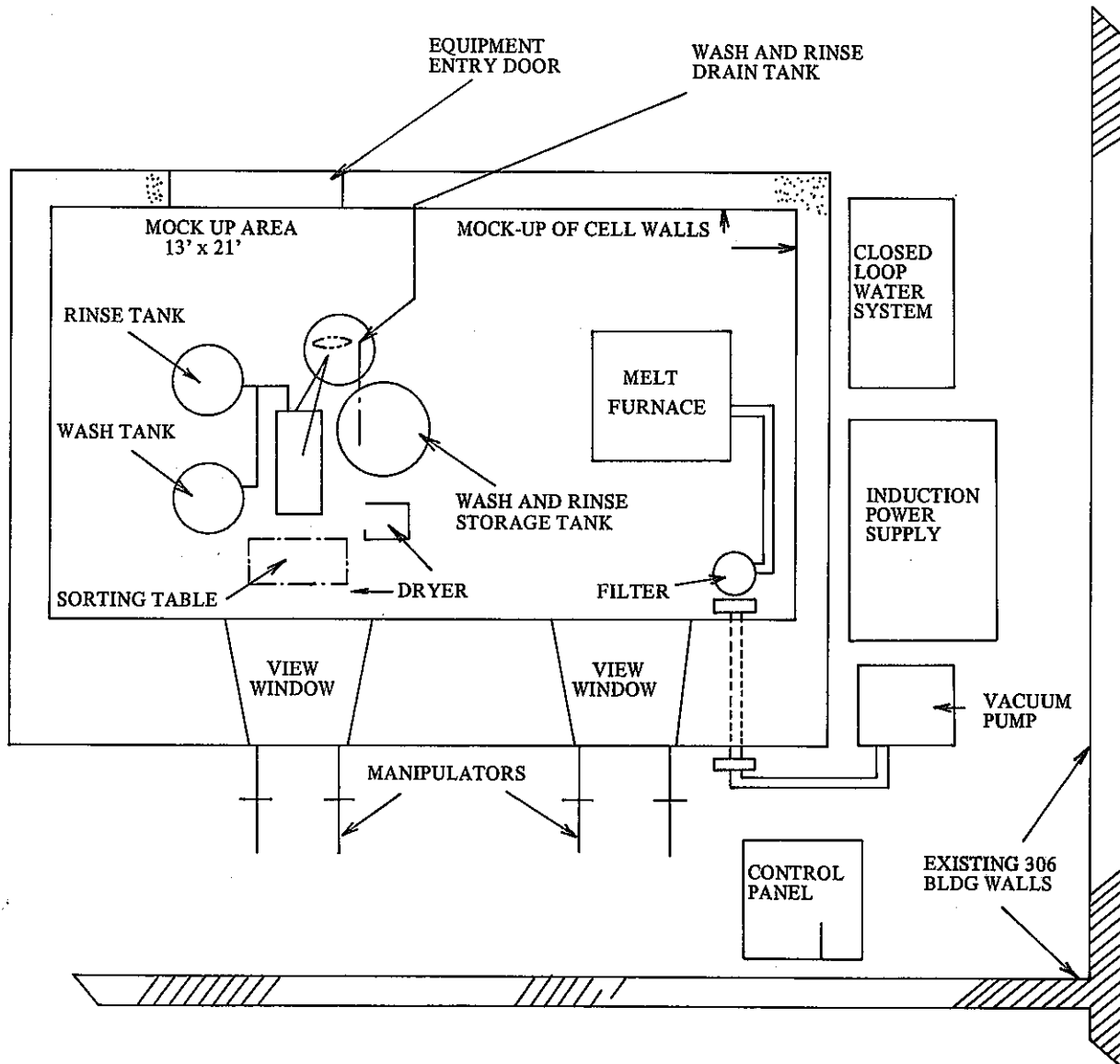


図 1.2-6 CONCEPTUAL DESIGN OF AQUEOUS WASHER



☒ 1. 2 - 7 PROPOSED LAYOUT OF HOT-CELL FUEL HULL MELTING AND DECONTAMINATION EQUIPMENT

(2) 溶融塩プロセス⁽³¹⁾

このプロセスは酸化ジルコニウムの腐食膜を除去するために開発されたもので、700℃の37mol%フッ化リチウム、37mol%フッ化ナトリウムおよび26mol%フッ化ジルコニウムの混合浴を用いる。このプロセスは燃料溶解プロセスが開発された時の資料をもとにして採用された。つまり、それは金属よりも酸化物を急激に浸食するという事実である。金属面の腐食速度は塩とか気体中の不純物に依存する。塩のジルカロイ表面への付着は腐食の程度に比例しているようである。酸化塩を用いる利点は空気や湿分への感度がないことである。

このプロセスは、高温のアルゴン中で酸化ジルカロイ片を予熱乾燥させ、更に700℃の溶融塩に浸し、溶融塩浴中で、アルゴンかAr-HFのゆつくりしたフラッシングをつづける。適当な時間がたった後、ジルカロイ片を取出し、アルゴン中で冷却する。冷却片は除染液を用いて処理される。ハステロイNで造られた実験室規模の装置は十分に溶融塩を保持するのに耐える。インコネル製の出入口管も比較的腐食を受けないようである。燃料溶解研究におけるパイロットプラントテストにより溶融塩系を取扱う機器の材質は確立されている。このプロセスの表面除染係数は 10^3 以上である。⁽¹⁷⁾

このプロセスは3つの流れを生ずる。つまり、溶融塩、除染液および金属残渣である。溶融塩は超ウラン核種、酸化ジルコニウムおよび腐食沈でん物を含む。溶融塩除去プロセスからの廃液は溶融塩中の不純物とジルカロイに付着する塩を含む。金属残渣は第3ストリームを構成する。廃棄物の精製に関しては研究されていない。比表面積の大きい廃棄物に付着する塩を置換しても、なお溶融塩は望まれる化学純度を保っているであろう。しかしながら、純度の基準は確立されていない。固体含有量の大きい廃液は回収が難かしいし、無視するには量が大すぎる。溶融塩プロセスは酸化ジルコニウムの腐食生成物を除去するが、金属腐食速度の低下、dragoutの減少および塩のリサイクル等について根本的な改良が実用化前に必要であろう。

(3) 超音波洗浄法⁽⁵⁵⁾

3種類の試薬を用いた超音波洗浄によるアルファアクティビティの除去率を表1.2-5に示す。Jenkins等は有効に除去しうるといっているが、表にみられるごとく約50%の除去率にすぎない。

CAGR燃料およびLWR燃料それぞれ100TU処理の再処理工場での溶解率99.5%

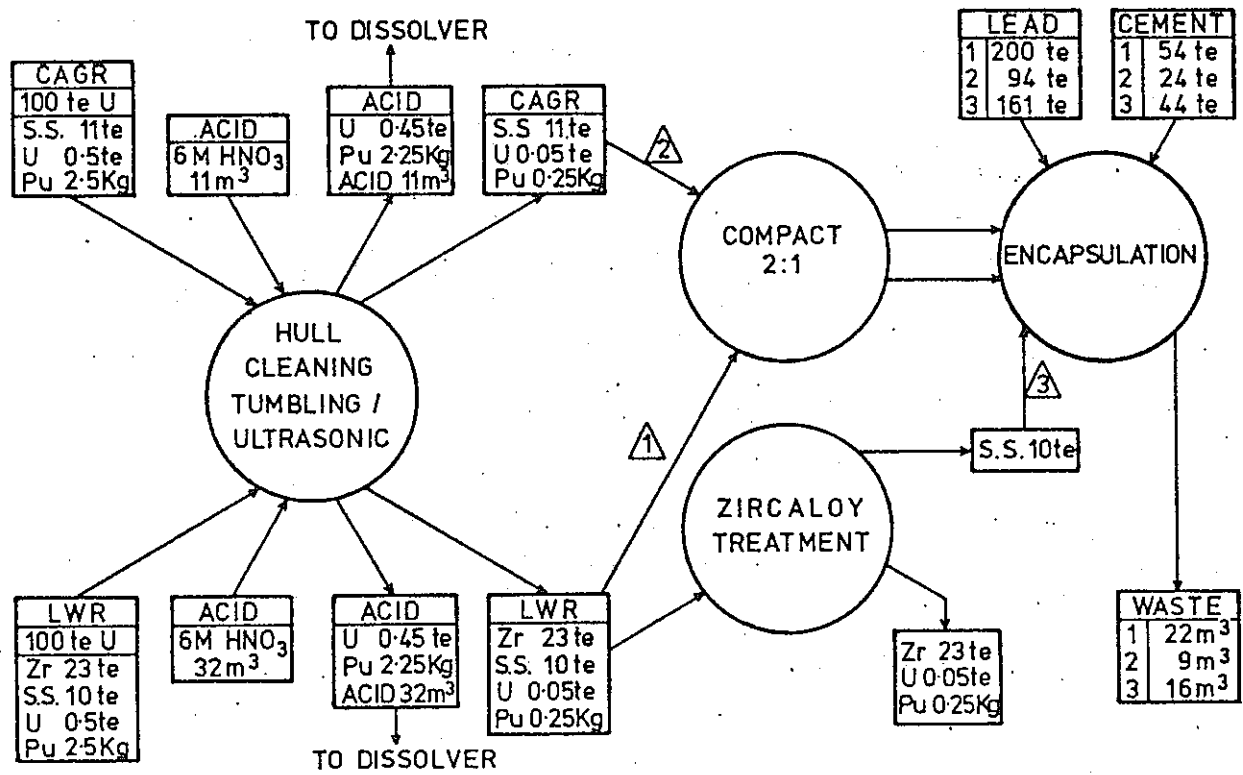
と想定した場合の超音波洗浄法でのフローシートを図 1.2-8 に示す。

ハル浸出・洗浄装置を図 1.2-9 に示す。これは剪断浸出後のハルを再浸出して洗浄するもので、大きな端末部を分離除去して、超音波洗浄されるものである。長所としては機械的に単純な装置であることである。この洗浄装置を使用した場合のハルの処理のフローシートを図 1.2-10 に示す。

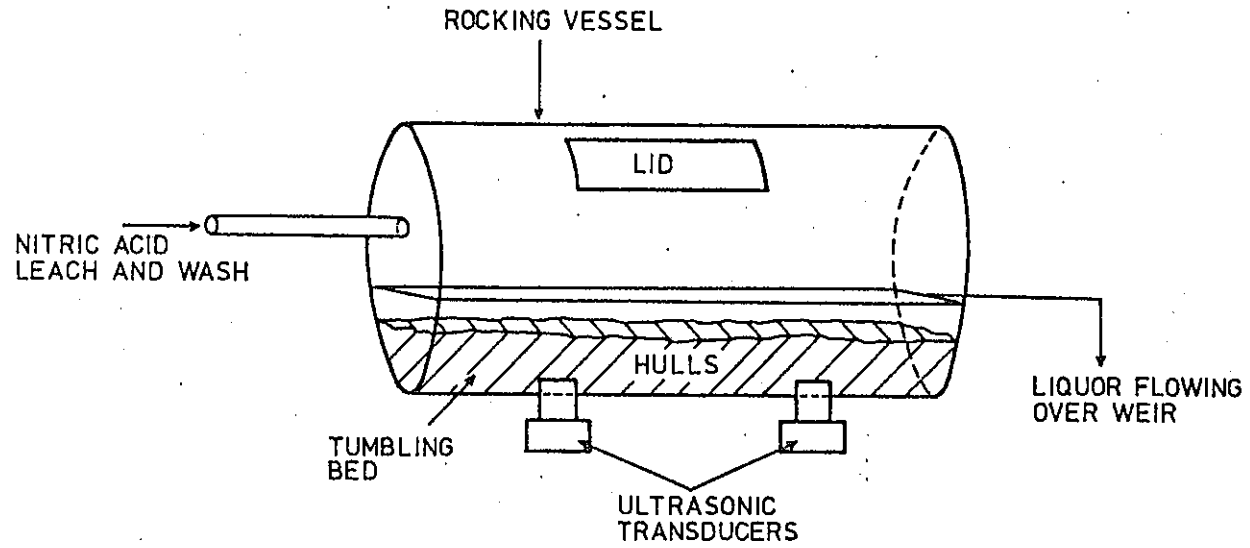
表 1.2-5 The removal of α -activity from Zircaloy hulls

(1 h. agitation in ultrasonic bath, 22°C)

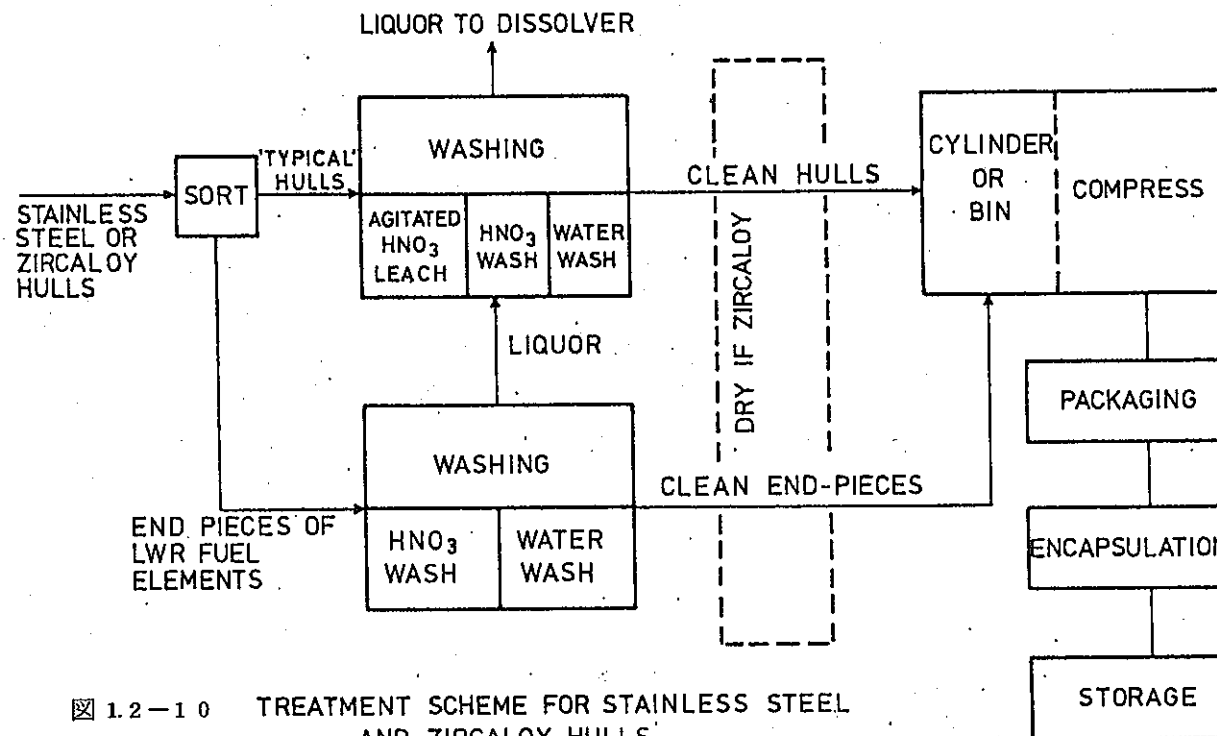
Reagent	Gross α -activity removed (% of total α count)	^{239}Pu removed $\mu\text{g/g}$ hulls	^{239}Pu left $\mu\text{g/g}$ hulls	^{239}Pu total $\mu\text{g/g}$ hulls
3 M HNO_3	42.9	4.1	5.4	9.5
3M HNO_3 + 0.5 M HF	51.6	8.6	8.1	16.7
0.4 M Ammonium oxalate 0.16 M Citric acid 0.05 M H_2O_2	32.2	3.3	6.9	10.2



☒ 1. 2 - 8 HULL TREATMENT FLOWSHEETS



☒ 1.2 - 9 HULL LEACHER / WASHER



1.2-10 TREATMENT SCHEME FOR STAINLESS STEEL AND ZIRCALOY HULLS

(4) 電解研磨法

一般的な表面洗浄法として、電解研磨法は工業的に確立している方法である。

Battelle では工場の解体後の除染を想定し、表面積の大きい金属の表面除染の方法として電解研磨法の開発をしている。初期の試験でも表面積が 15 ft^2 以上のプルトニウムで汚染されたステンレススチール製のタンクの除染を電解研磨法で実施している。この装置では、電解液のポンプシステムでのちょっとした漏洩問題をのぞけば、すべて満足すべき結果を得ている。(47)

ハルに関する電解研磨法の応用の記述は今回の文献調査では見出し得なかつた。ハルの場合は少片多数を同時に処理することになるだろうが、その際の通電方式を確立する必要があるだろう。

1.3 マトリックス形成

ハル廃棄物をマトリックス内へ混入すると、自然発火性、浸出性および遮蔽を減少させ、熱放散の改善を期待できる。

ガラスやアスファルトやコンクリートは放射性廃棄物に対し最近実施されている。砂による充填以外のマトリックス形成法は、後に金属の回収が困難であるという欠点がある。(55)

1.3.1 砂による充填

ベルギー CEN-Mol ではジルカロイハルを圧縮した塊に砂を充填し、熱放散を良好にして安定化をはかる構想がある。将来、金属を回収できる可能性があり、この装置の信頼度は、その単純性のため高いと考えられる。建設コストは後述するガラス、アスファルト、コンクリートおよび鉛の装置に比べ安い。

1.3.2 ガラス内への固定 (54)

フランスの CEA Marcoule では下記の2つのプロセスを考慮中である。

- (1) 廃棄物を共晶熔融により減容し、この熔融金属中へ熔融ガラスを注入し除染する。合金とスラグを分離し、長期貯蔵が可能ないように両生成物を適当な状態に処理する方式。
- (2) 核分裂生成物の固化に使用されたガラスをハルのマトリックス材として使用する方式。

Marcoule の研究は、(1)に主力を置いている。(2)の方式は2つの廃棄物を一つに統合

できるので、容量と重量のかなりの節約となる。

1.3.3 アスファルト内への固定

低レベルや中レベルの放射性廃棄物処理系に用いられる。しかし、放射能によるマトリックス分解や発炎性を伴う分解も考えられ、高放射性の固体金属廃棄物には適用できそうにもない。

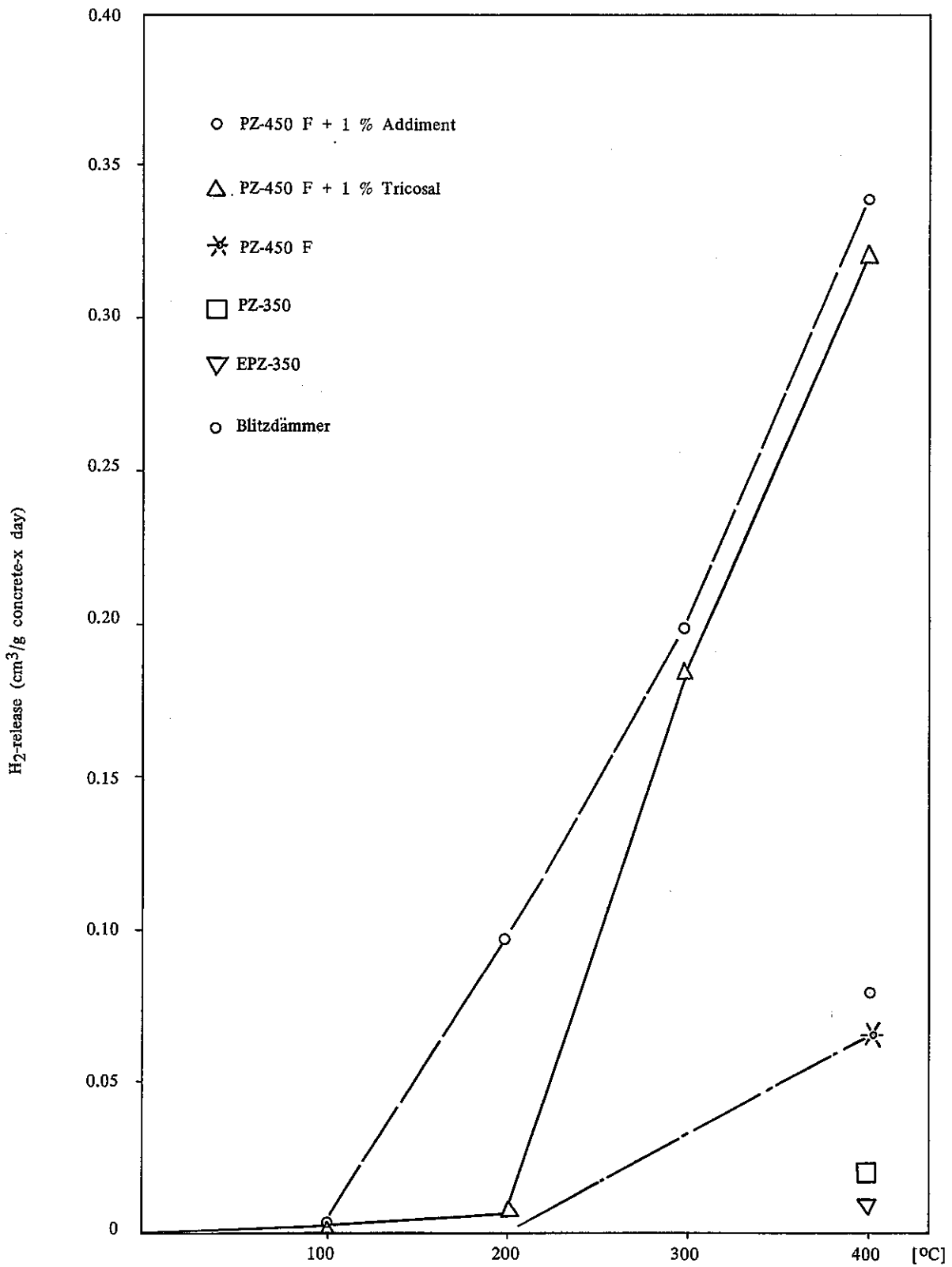
1.3.4 コンクリート内への固定⁽⁵⁴⁾

西独のKFK-Karlsruheでは、ローリングプレスで減容したハルと構成材をコンクリートに埋め込む方式を開発中である。

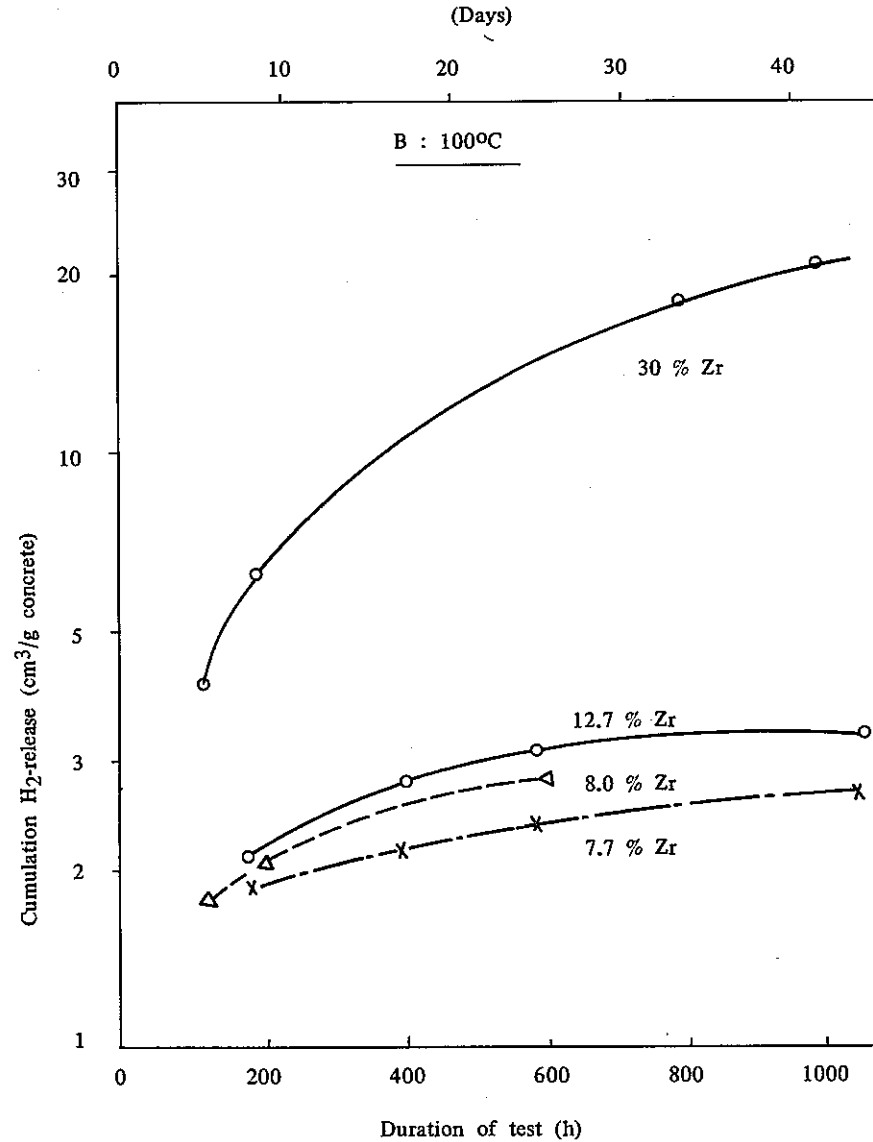
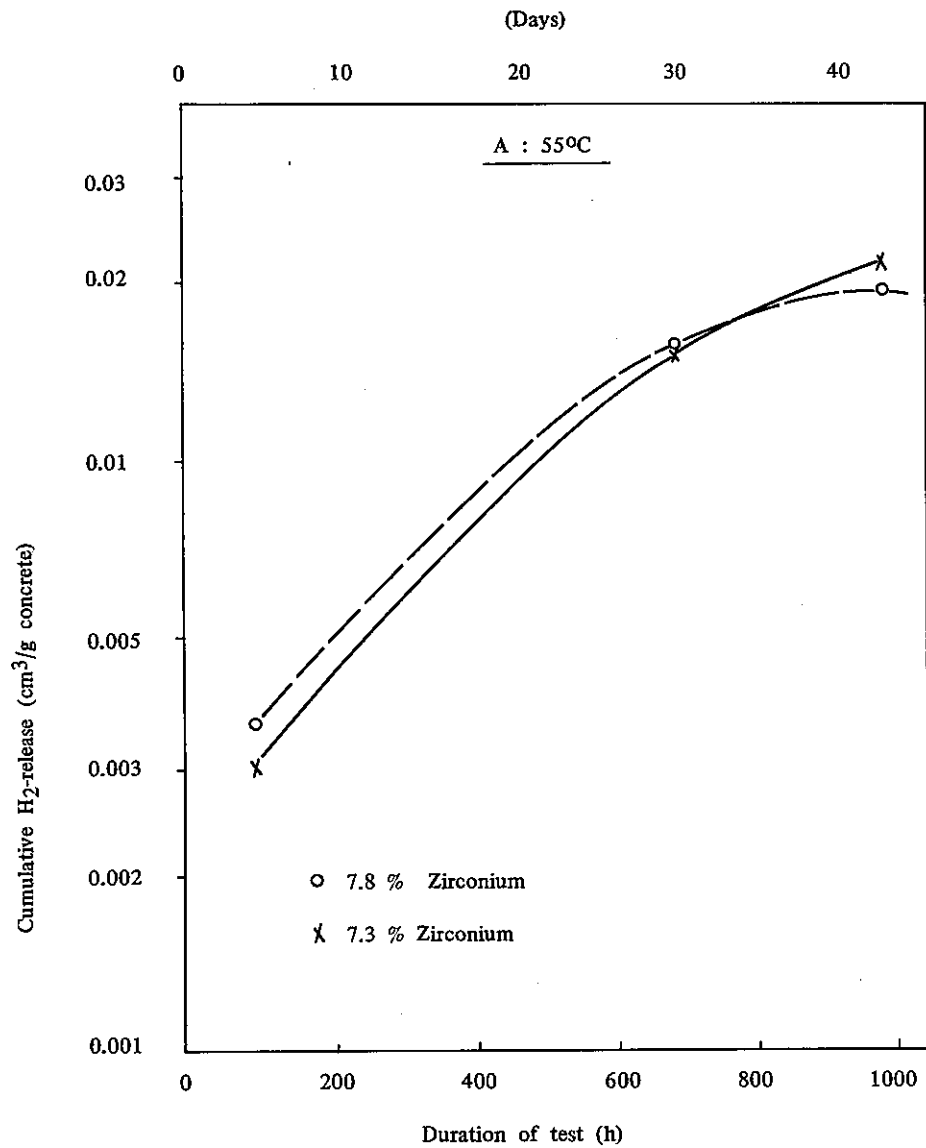
各種コンクリートやジルカロイ（微粉）-コンクリート混合物に関して、廃棄物温度は100℃は越えないと仮定して、物理的性質や化学的反応を調査している。事故時を想定して、400℃まで温度範囲を上昇した試験も若干実施している。

(1) 水素の発生

- ・熱効果； 200℃ではすでに発生し、高温になるほど発生する。温度と水素発生との関係を図1.3-1に示す。
- ・水・ジルコニウム反応； ジルコニウムはコンクリート中の水と高い反応性を示す。55℃と100℃での水・ジルコニウム反応での累積水素発生量の関係を図1.3-2に示す。

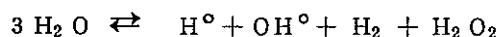


1. 3 - 1 HYDROGEN RELEASE FROM VARIOUS CONCRETE MIXTURES AS FUNCTION OF TEMPERATURE



1. 3 - 2 CUMULATIVE HYDROGEN RELEASE FROM CONCRETE (EPZ-350) BY WATER/ZIRCONIUM REACTION AT 55°C (A) AT 100°C (B)

- ・放射線による水の分解； コンクリート中の水は放射線により次のように分解する。



(2) 水の発生

熱効果により水が除去される。100℃で1日後26%の重量減を示した。各種コンクリートからの100℃での水の発生による重量減を表1.3-1に示す。

(3) トリチウムの放出

トリチウムの放出は熱効果によるものとみられる。100～400℃の温度範囲での熱によるトリチウム放出値を表1.3-2に示す。

米国のNFSではハルに対するマトリックス材料としてコンクリートを利用した経験がある。Stock Equipment Companyは低レベルや中レベルの廃棄物の固化に現在使用されている注入プロセスを適用してハルの固定を実証した。

Savannah River 研究所もコンクリート固化を研究している。⁽⁵⁶⁾

表 1. 3 - 1 Water release from concrete samples at 100 °C.

CONCRETE	EPZ-350	PZ-350F	PZ-450F	PZ-450F + 1 % Tricosal	PZ-450F + 1 % Addiment	Blitz- dammer
Weight loss (w/o)						
After 3 h	7.2	2.2	5.3	7.6	2	8
9 h	19.3	11	16	15.3	10	18
24 h	26	21	22	19	17	22

表 1. 3 - 2 Tritium release from concrete overcoated tritiated zircaloy hulls at various temperatures and experimentation time.

Sample Nr	Temperature (°C)	Experimentation time (h)	Relative release rate (Ci/Ci day)
2; 3; 4	100	24	$4.1 - 6.7 \times 10^{-5}$
6	300	24	3.6×10^{-3}
	300	150	9.8×10^{-4}
8	400	24	1.1×10^{-2}
	400	150	2.1×10^{-3}

1.3.5 鉛への固定 (54)

ベルギーの CEN/SCK Mo1 では、被覆管廃棄物を機械的に圧縮して塊とし、特殊なバスケットに入れ、空隙部を約 450℃の耐蝕性鉛合金で鑄込む方式を開発している。

充填材の候補として鉛-錫および鉛-アンチモン合金が選ばれている。これらの合金の耐蝕性は少量のテルルもしくはカルシウムを添加することで更に改善される。

処分環境での充填合金の耐蝕性を調べるため、粘土層の地下貯蔵所の湿った雰囲気下で試験が行なわれている。この試験結果を表 1.3-3 に示す。結果は空気と接している純水中、空気と接していない純水中および湿った粘土中の環境に比べ、地下水中の環境が腐蝕は最少であった。

充填合金として Pb-1.5% Sb を用い、空気中および真空中 (1 Torr) で 450℃の温度で圧縮減容されたハルに鑄込んだ結果は真空中の方が良好な充填状態を示した。一般的に圧縮減容されたジルカロイと鉛合金の接触性は良好で、外部に孔や割れ目は見られなかった。

Harwell の I. L. Jenkins 等は超音波洗浄後、機械的減容処理をし、その後、鉛やセメントによるマトリックス処理を提案していて、鉛使用のコストは全廃棄物処理費に対し、主要な要素にはならないと考えている。(55)

機械的減容後、鉛合金で鑄込む方式の特長は次のようである。

- 水圧プレスで得られる圧縮係数は 4.5 から 5 であり、これにより貯蔵や処分スペースの必要条件を減少させることができる。年間 300 t の再処理能力の工場では、年間の被覆管廃棄物は約 98 m³ に達するが、これを 20-22 m³ に減少することができる。
- この方法は低温技術にもとづいているので、ホットセル条件での応用には、克服できない問題はない。
- 200-450℃の作業温度なので、核分裂生成物の揮発、特にトリチウムは少ないと期待される。
- マトリックス材は鉛とその合金なので良好な耐蝕性を示す。
- もし必要ならば、発火防止のために機械的減容は不活性ガス雰囲気下で実施できる。鉛合金による鑄込後は発火性に対しては十分に不活性な状態となる。
- この方法は異なったタイプの被覆管廃棄物に適用できる。

表 1. 3 - 3 Weight changes (mg/cm^2) of lead alloys after exposure to different environments at 322 K.

Alloy	Ground water (+)		Demineralized water				Humid clay atmosphere
	15 days	3 months	Saturated with air		Absence of air		
			15 days	3 months	2.5 months	1 month	
Pb	-0.037 -0.035	-0.018 -0.059	-18.18 -17.79	-33.99 -35.51	+0.626 -6.67	+0.14	
Pb-Zr-Mg	+0.186 +0.185	+0.186 +0.148	-13.08 -18.59	-18.48 -24.58	-5.87 +2.27	+0.29	
Pb-Te	0 -0.072	0 -0.062	-35.75 -33.28	-52.32 -49.80	-9.74 -11.73	+0.14	
Pb-Sb	0 -0.019	0 +0.069	-16.76 -16.38	-26.15 -28.19	+1.93 +1.16	+0.14	
Pb-Ag	0 +0.019	+0.29 +0.24	-6.76 -2.64	-9.11 -13.18	-39.00 -39.02	+6.83	

1.4 機械的処理法

1.4.1 機械的処理法の分類 (20)(60)

ハルの機械的処理方法は概むね次の様に分類できる。

- (1) 圧縮 (press)
- (2) 偏平, 圧延 (rolling)
- (3) 破碎, 切断 (fragmenting, shredding)
- (4) 圧断 (coining, stamping)
- (5) 押出 (extrusion)
- (6) 衝撃 (explosive)
- (7) スウェーピング (swaging)
- (8) 熱間静水圧プレス (HIP) 法

1.4.2 プレス減容

(1) フローシート (60)

プレス減容のフローシートを図 1.4-1 に示す。

ハルは大きな金属類やジルカロイ粉末と分離後, プレス減容してステンレス容器に入れる。

ジルカロイ粉末は自然発火の危険があるので, 空気中で高温にして酸化物に不活性化する。

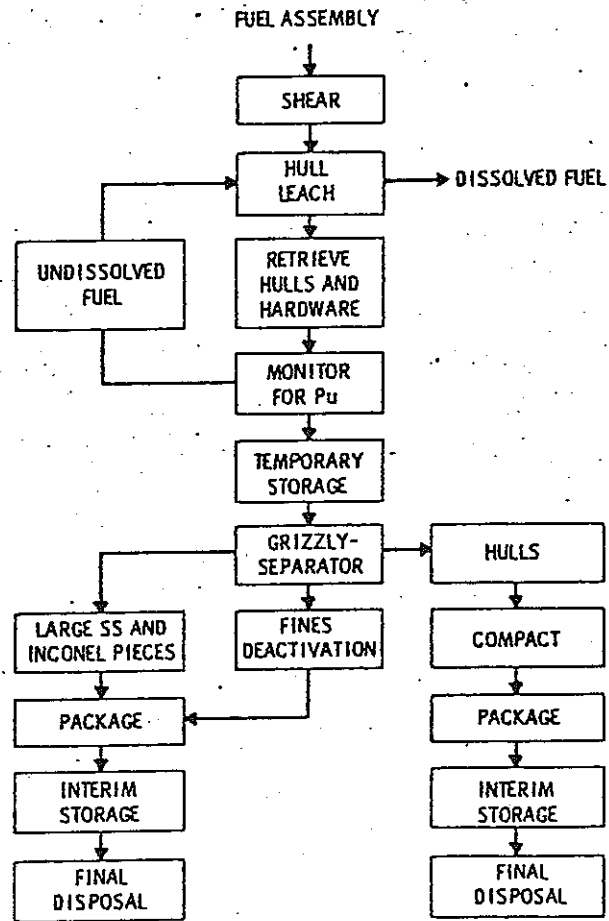


図 1.4-1 プレス減容のフローシート (60)

(2) 圧縮方法及び圧縮機

圧縮方法の一例を図 1.4-2 に示す。⁽²⁰⁾ 圧縮順序は次の通りである。

- ① 未減容ハルを装入する。
- ② ピストンでハルを圧縮後、再び未減容ハルを装入し圧縮を繰り返す。
- ③ 圧縮したハルが一杯になれば form（型枠）ごとハルを持ち上げ、容器を配置する。
- ④ Form からハルをはく離し容器に入れる。
- ⑤ 容器をシールする。

圧縮機の一列を図 1.4-3 に示す。⁽⁸⁾ 圧縮機は主にピストン、基礎プレート、ドラム、保護スリーブから成る。保護スリーブはドラムを保護し、圧縮作業前にドラム内に入れ、圧縮作業後取出す。

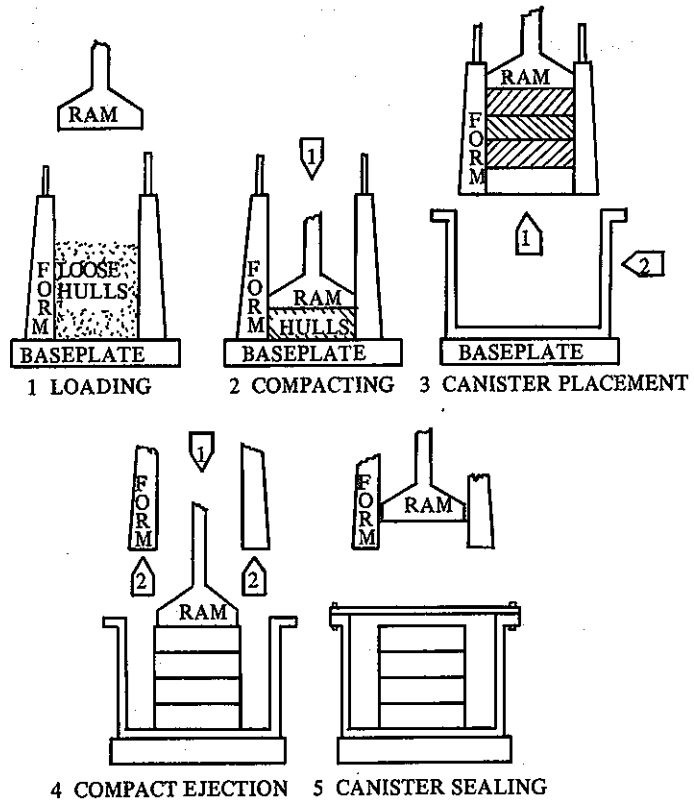


図 1.4 - 2 圧縮方法の一例 (20)

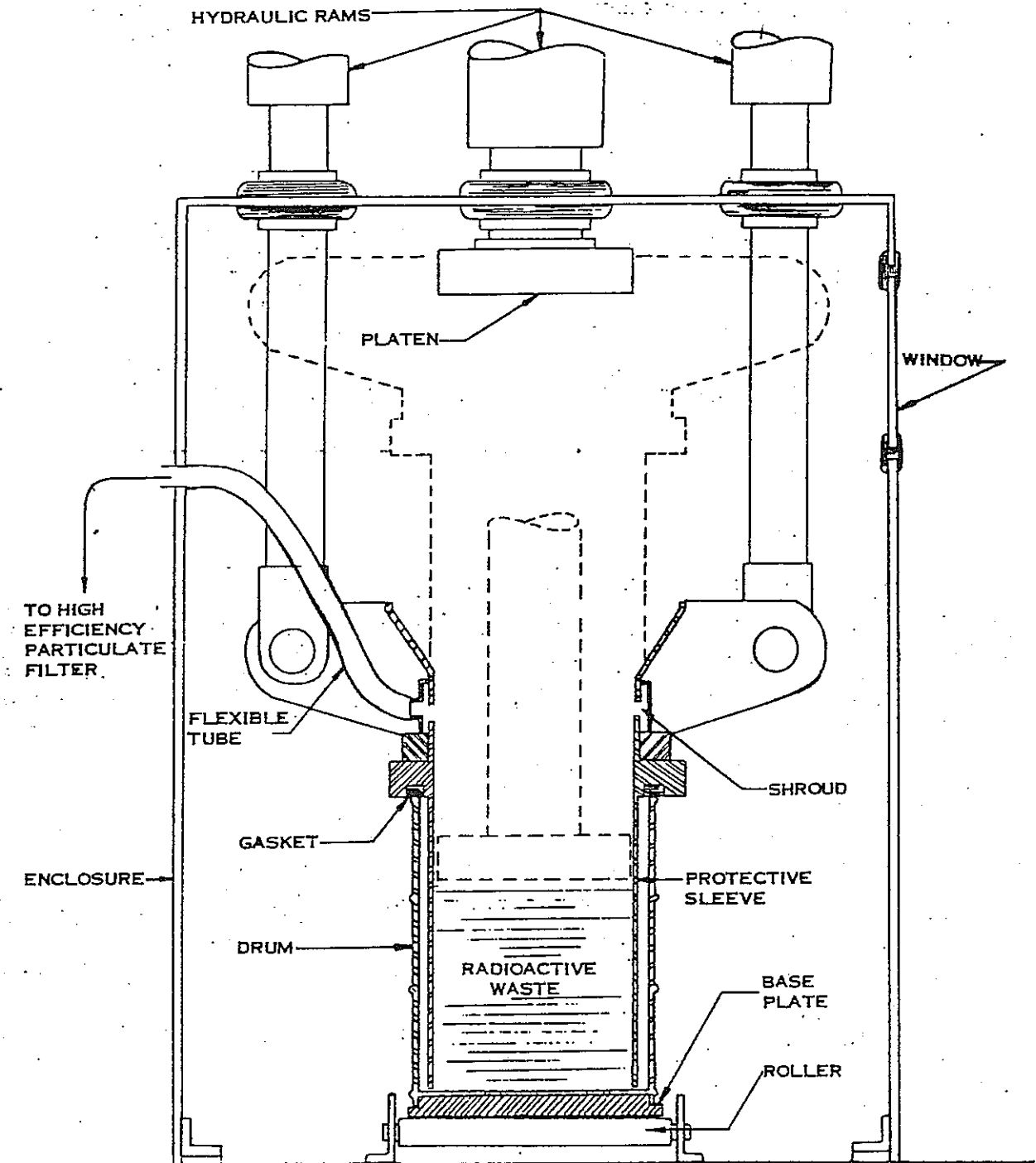


図 1.4 - 3 圧縮機 の一例⁽⁸⁾

(3) プレス減容の概要

(a) 減容化の程度

表 1.4-1 に未照射ジルカロイ-4 被覆管の圧縮テスト結果を示す。⁽⁵⁷⁾その他に 12,000 psi (8.4 Kg/mm²) の時、理論密度の 50%、20,000 psi (14.1 Kg/mm²) の時、理論密度の 56% に減容できるという報告がある。⁽⁶²⁾

以上の結果から理論密度の 75%、減容比 4.9 まで減容可能と思われる。理論密度の 70%、減容比 4.6 まで減容するには約 25 Kg/mm² 必要である。

照射ジルカロイは強度が上昇するので、未照射ジルカロイの圧縮力の 30% 増を見込まなければならない。

表 1.4-1 ジルカロイ-4 被覆管の圧縮テスト結果 ⁽⁵⁷⁾

CODE No.	MATERIAL	COMPACTION PARAMETERS			DENSITY (g/cm ³)		THEOR. DENS.(%)		Volume reduction $\left(\frac{\delta_1}{\delta_0}\right)$
		ϕ (mm)	Pressure (kg/mm ²)	Ho (mm)	Uncomp. (δ_0)	Comp. (δ_1)	Uncomp.	Comp.	
CW 1	AISI 304	150	5.7	150	0.84	3.7	10.8	47.6	4.4
CW 2	AISI 304	150	17.0	150	0.82	5.0	10.5	64.2	6.1
CW 3	AISI 304	150	34.0	150	0.82	5.9	10.5	75.2	7.2
CW 4	ZIRCALOY 4	150	5.7	150	0.86	2.8	13.0	41.5	3.3
CW 5	ZIRCALOY 4	150	17.0	150	0.82	4.2	12.4	62.9	5.1
CW 6	ZIRCALOY 4	150	34.0	150	0.88	4.9	13.3	74.2	5.6

(b) 開発段階

プレス減容は低レベル・乾燥廃棄物については行なわれている。⁽⁸⁾未照射ジルカロイの減容は広く研究されているが、照射ジルカロイの減容についての報告はない。性能の実証された市販の装置が利用可能である。処理能力は 50% の減少を見込む。⁽³¹⁾

(c) 自然発火性

ジルカロイ粉末は最も危険であるから早急に酸化・不活性化する必要がある。照射ジルカロイは未照射ジルカロイよりもろいので減容には安全と考えられるサイズ以下にしないことが必要である。ジルカロイのもろさは温度を上げることにより減る傾向がある。減容前に加熱することが望ましい。照射・浸出後のジルカロイの減容化時における自然発火性はまだ研究されていない。

減容後は表面積／体積比が減り、熱伝導性が増すから発火性は増すとは思われない。

(d) 問題点⁽³¹⁾

表面酸化がひどいと減容化のための結合力が少くなる。酸化した材料のプレス減容はコンテナ内で圧縮しないとばらばらになる未結合圧縮物を生じるだろう。

水素脆化、照射脆化したジルカロイ被覆材の室温でのプレス減容もばらばらの生成物を作りやすい。

1.4.3 ロール減容

相対するローラ間を通し、平らにする方法である。⁽³¹⁾

プレス減容と同様、ハルは大きな金属類やジルカロイ粉末と分離後偏平化してステンレス容器に入る。ジルカロイ粉末は酸化物に不活性化し、大きな金属類と共に容器に入る。

照射されたハルはローラから出る時は平らにされ、二つに割れ、わずかに皿状になっていると思われる。この時、自己発火性のある小さなジルカロイ-4粒子が破断面から生じるかもしれないが、これについて利用できる報告はない。⁽³¹⁾

減容化の程度は理論密度の50%程度である。連続操作は可能である。⁽²⁰⁾

1.4.4 HIP法

概要

熱間静水圧プレス法(Hot Isostatic Pressing, 以下HIPと略称する。)は高圧容器に内蔵された電気炉中で、ガス圧と高温とを同時に被処理体に加え、種々の材料の加圧焼結などを行なう方法である。この方法はもともと1955年ごろ米国のバテル研究所で核燃料集合体の拡散接合用の手法として考案されたものであるが、高い静水圧と高温との相乗効果を利用するという原理的にすぐれた興味ある方法である。その後各国

で研究開発が進められ、1970年代に入って超合金業界をはじめとして世界的に工業的利用がはじまった最新鋭の技術である。

現在ではこのHIP法の応用面は下記の3つの分野に大別することができ、それぞれの分野において研究開発とともに工業化が精力的に進められている。

HIP法の応用

- (1) 粉末材料の加圧焼結 (Powder Compaction)
- (2) 鋳造品、焼結品の内部欠陥除去 (Defect Healing)
- (3) 拡散接合 (Diffusion Bonding)

HIP装置

HIP装置とは高圧高温ガス雰囲気を安定に確保できる装置で、その主要構成要素はつぎのとおりである。HIP装置の全体系統図を図1.4-4に示す。

HIP装置の標準仕様

型 式	圧力 (Kg/cm ²)	温 度 (°C)	処理室寸法 (mm)	
			直 径	長 さ
KIP 1-10	1,000	1,250	100	500
KIP 1-30	1,000	1,250	300	800
KIP 1-40	1,000	1,250	400	1,200
KIP 1-50	1,000	1,400	500	1,500
KIP 1-10	2,000	1,400	100	500
KIP 2-35	2,000	1,400	350	1,000

HIP装置の主要構成要素

- ① 高圧ガスを保持する高圧容器
- ② 高圧容器に高圧ガスを供給する圧縮機、弁などの高圧発生装置
- ③ 高圧容器に内蔵されるヒーター、断熱層などの炉内構造物
- ④ ヒーターに電力を供給する加熱電源
- ⑤ 安全装置

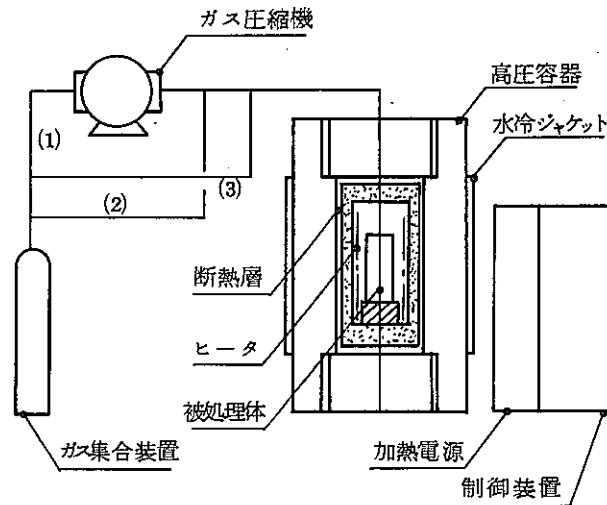


図 1.4-4 HIP装置の全体系統図

HIP装置は高圧ガス雰囲気という特殊条件下での高温炉であり、通常の真空炉あるいは常圧炉とは異なった設計概念が必要であり、高度の製造技術が必要となる。

とりわけ

- ① 大量の高圧ガスを取扱いするので安全な高圧装置の設計製造技術が不可欠の前提条件である。
- ② 高圧ガスは密度がきわめて大きくかつ流動性に富んだ流体であり、このような流体を高温に加熱するわけであるから必然的に激しい対流現象が生起する。したがってこの激しい対流現象に対して有効な断熱機能を持つ断熱層および均熱性にすぐれたヒータ構造の設計、製造技術が必要である。

(1) HIP処理の方法⁽⁶⁴⁾

(a) 試料(模擬ヘル)

ジルカロイ-2管を65℃、8時間大気中で酸化し、管表面に酸化層を形成させる。

(b) 前処理

圧力35Kg/mm²で試料を80mmφ×1.9~2.9mmhに成形する。前処理した成形体の密度は5、理論密度の77%である。成形体のかどは脱落することがある。

(c) カプセル充填

成形体7個を内径83mm、内高175mmの軟鋼製カプセルに充填する。成形体と

カプセル間には高速度鋼粉を入れる。次に排気管を有する蓋をカプセルに溶接し、
200℃に加熱しながらカプセル内を脱気後密封する。

(d) H I P 処理

圧力媒体としてArガスを使用し、900℃、1,000Kg/cm²、1時間の条件で試料を
H I P 処理する。

(e) 実験結果

H I P 処理後の固化体の密度は6.56g/cm³に達しており、真密度化されている。
固化体の断面はハル表面の酸化層による縞模様が観察される。抗折試験時、全ても
との管境界部で破壊し、抗折力値は4.8~5.8Kg/mm²である。

(2) H I P 施設の調査

粉末合金の加圧焼結にH I P装置を使用している工場の調査、見学を行なった。

(a) H I P 装置

H I P 装置を図1.4-5に示す。H I P 装置の全体系統図を図1.4-4に示す。

(b) H I P 装置の仕様

H I P 装置の主な仕様は次の通りである。

- | | |
|----------------------|---------|
| ① 直 径 | 230mm |
| ② 高 さ | 1400mm |
| ③ 圧 力 | 1400atm |
| ④ 温 度 | 1450℃ |
| ⑤ 圧力媒体 | アルゴン |
| ⑥ A S E A 社(スウェーデン)製 | |

世界では直径1,235mm、高さ3,658mmの大型のものが稼動している。

(c) H I P 処理方法

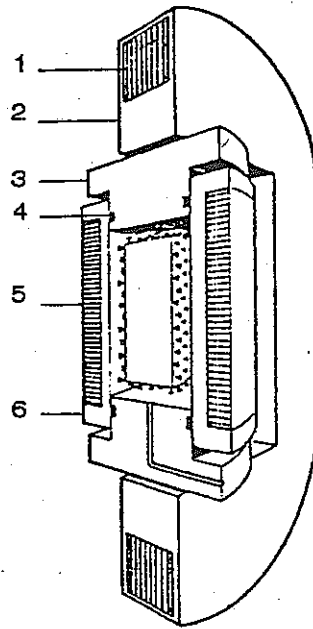
- ① 粉末焼結体をカプセルに入れ、脱気後密封する。焼結体に残存する気孔が閉孔であるならカプセルは不要である。焼結体の密度が理論密度の95%以上であるなら気孔は閉孔でありカプセルは不要である。
- ② カプセルをH I P装置内に入れ、圧縮機で600atmまで加圧する。その後1400℃まで昇温し、圧力を1200atmにする。
- ③ 約2時間加圧してから冷却し、翌朝カプセルを取出す。

(d) メンテナンス

- ① 1450℃までの温度の場合、ヒータ材としてモリブデンが使用できる。それ以上の温度の場合ヒータ材質が問題である。
- ② モリブデンヒータは脆化しやすい。
- ③ 圧縮媒体のアルゴンが汚染された場合、ヒータの絶縁破壊を起す。
- ④ 高圧のためシール用パッキンの費用が大きい。
- ⑤ 断熱材の材質が特殊であるため高価である。

(e) 設備費

昭45・46年当時で約1億円であった。



- 1 : 線巻き部分
- 2 : プレス枠
- 3 : プラグ
- 4 : シール
- 5 : 線巻き部分
- 6 : 高圧容器

図 1.4-5 プレス枠式, HIP装置 (59)

1.5 化学的処理法

1.5.1 硫酸-硝酸溶液への溶解法 (31)

高い濃度の硫酸-硝酸溶液によって、ハルを溶解するプロセスで、実験室規模で研究されている。混酸は良く制御された反応において、ジルカロイ被覆材に対し適当な侵蝕速度を有するが、インコネルおよびステンレスは溶解しない。

溶解プロセスは以下のとおりである。

- 1) ジルカロイ被覆材および硝酸が、150~250℃の濃硫酸に加えられる。
- 2) ジルカロイは硫酸-硝酸溶液に容易に溶解する。

溶解速度は150℃で、7.9 mils/h (1.400 mg/cm²/h) である。ジルコニウムの酸化被膜は初期の前置期間 (initial induction period) の経過後すみやかに侵蝕される。インコネルおよびステンレスの溶解速度はそれぞれ 0.1 mils/h (1.4 mg/cm²/h) および 0.7 mils/h (1.29 mg/cm²/h) である。

- 3) 溶解液は、250~350℃に熱せられ、過剰の酸が蒸発される。

- 4) 容器に残された硫酸ジルコニウムは、同一容器内で移送および/または貯蔵の準備が行なわれる。

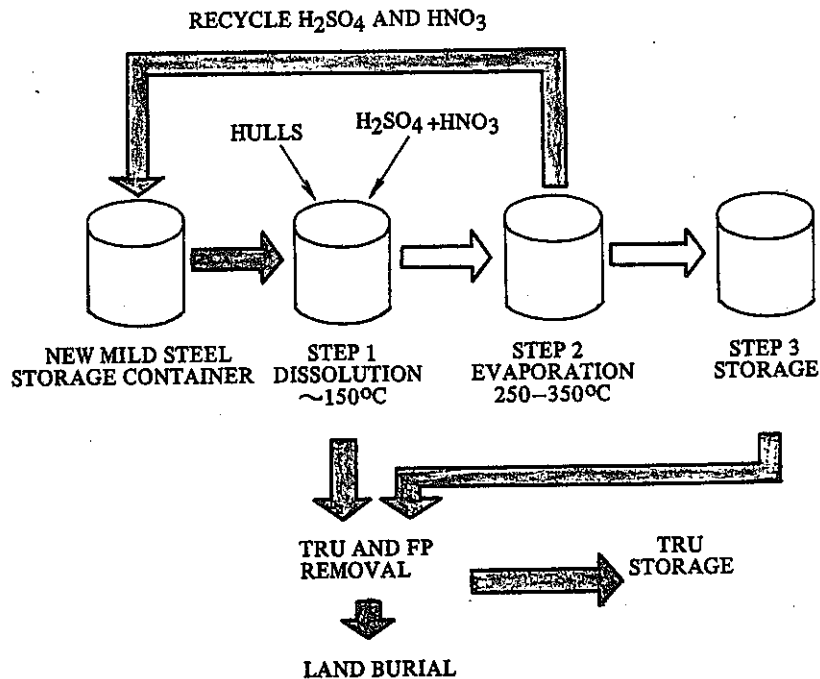


図 1.5 - 1 Conceptual Process for Zirconium Hulls (31)

ジルコニウム塩は、将来において充分な量が蓄積され最終的な廃棄方法が定まった時点に、再び処理することが可能である。

ハルに随伴する超ウラン核種は可溶性の硫酸塩となり、硫酸塩残渣から過剰の硫酸を蒸発させる操作の前あるいは後に硝酸で浸出することにより、標準的なイオン交換あるいは溶媒抽出で分離しうるイオン形に変換されるであろう。

本プロセスは鉄-クロム-ニッケル合金を溶解しない。したがってこれらはあらかじめハルから分離するか、硫酸ジルコニウム塩あるいは溶液で処理されねばならない。

本プロセスの生成物は水に可溶な硫酸ジルコニウムである。ジルカロイの硫酸ジルコニウムに対する体積比は約1である。硫酸ジルコニウムの酸化物への変換はまだ研究されていないが、示差熱分析(DTA)では、空气中で800℃に加熱すると不活性になることが示された。また硫酸ジルコニウムはHLW吸収剤として使用できる。

本プロセスは概念的段階にあり実用できない。また最近の研究が行なわれていない。

1.5.2 Nitrofluor プロセス⁽⁵⁾

乾式再処理プロセスの脱被覆工程として提案されているもので、窒素酸化物およびフッ化物よりなる非水溶液系のプロセスである。

溶解液としては、20 mol % NO_2 -liq. HF および $\text{NOF} \cdot 3\text{HF}$ の組成の液が研究されている。これらの液は、現在使用中あるいは企画されている燃料体のほとんどすべての構成材料と反応し、すべての金属元素およびその化合物をフッ化物に変換する。反応生成物はしばしば正規のフッ化物ではなく、窒素の酸化物を含む複雑な化合物であるが、これらは穏やかに熱することにより正規のフッ化物となる。二種の溶解液はいずれも同じ生成物を生ずると考えられている。両者の差異は、物性および種々の物質に対する反応性にある。 NO_2 -HF は75~150℃において蒸気圧が1気圧以上となる。一方、 $\text{NOF} \cdot 3\text{HF}$ は揮発性が低く、95℃で沸騰するが、大気圧以下でシステムを操業する設計が可能である。

二種の溶解液への種々の物質の溶解速度を表1.5-1に示す。一般的に $\text{NOF} \cdot 3\text{HF}$ の方が NO_2 -HFより低い温度で使用可能である。

表 1.5 - 1 DISSOLUTION RATES OF NUCLEAR MATERIALS IN (5)
NITROFLUOR SOLVENTS

Material	NO ₂ -HF		NOF-3HF	
	Temperature (°C)	Rate (mil/h)	Temperature (°C)	Rate (mil/h)
U	115	7.3	120	6.8
UO ₂	150	28	43	100
UC ₂	-	-	100	5.5
Zr	100	360	25 to 113	270
Al	160	57	93	28
Stainless steel	150	6.0	95	2.0
Nb	23	very high	-	-
Mo	110	220	-	-
Be	121	61	-	-
BeO-UO ₂	80	21	-	-
Ta	65	>5	-	-
Graphite	100	100	150	no attack
Pyrolytic graphite	195	13	-	-
Al ₂ O ₃	150	10	-	-
UC ₂ in pyrolytic graphite*	160	complete disintegration	166	no attack
Th	150	no attack	150	no attack
ThO ₂	150	no attack	150	no attack
ZrC	127	97	-	-

* Small-diameter, coated spheres.

NOF・3HF はジルコニウムを室温で急速に溶解するが、数分間で反応は沈静する。その後液は十分な溶解速度を得るために、ジルコニウム合金で90℃へ徐々に昇温される。発生するオフガスは主にNOで少量のN₂Oを含み水素を含まない。ステンレスの溶解速度はかなり遅くインコネルとともに溶解は困難と思われる。

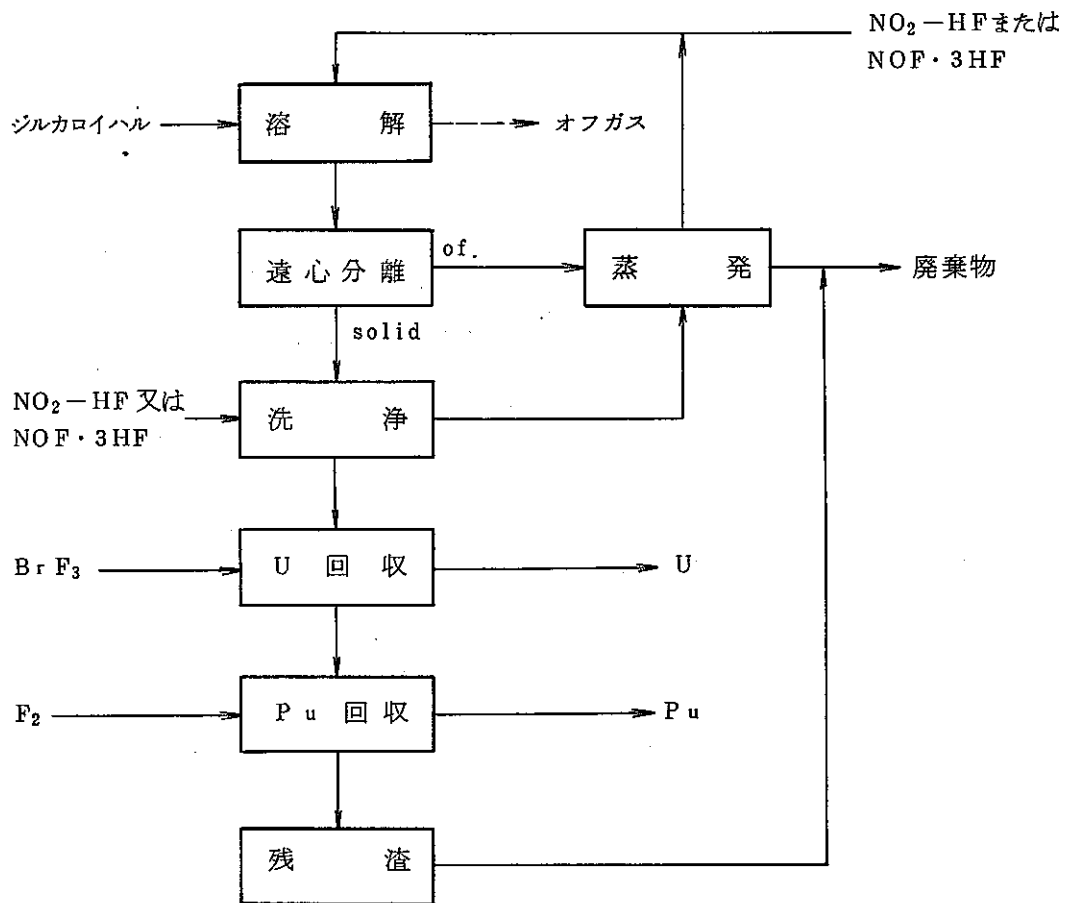


図 1.5-2 Nitrofluor プロセス概念フローシート

Uの回収は以下の工程になると考えられる。溶解液に対するジルコニウムの溶解度が複雑なジルコニウムフッ化物を形成して増加するのに対して、ウランウムフッ化物の溶解度は限られているため、Uは固型残渣として残る。残渣固型分を遠心分離機により分離後、新しい溶解液で洗浄し、さらに溶解液は蒸発により分離される。固型残渣は複雑なフッ化物を分解し、正規のフッ化物とするために加熱される。その後残渣に BrF_3 が加えられ、Uは6価に変換され UF_6 として BrF_3 とともに蒸発回収される。この場合 Pu は非揮発性の残渣として他の成分とともに残り、この残渣からのフッ素ガスとの反応による Pu の揮発・分離が試みられているが、定量的な Pu の回収はまだ確実に実証されていない。

本プロセスは開発の初期段階であり、溶解液による腐食に耐える装置材料の選定、開

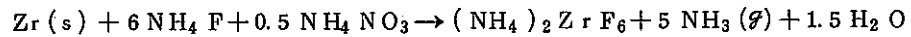
発も必要であり、現在は実用できない。

本プロセスをハルに適用した報告はないが、ジルカロイ中のZrは最終的には ZrF_4 になると考えられる。1ℓ(～1Kg)のジルカロイが ZrF_4 となった場合、理論的には重量1.8Kg、体積0.4ℓとなる。ハル中のPu, Uは上述のプロセスにより回収可能と思われる。

1.5.3 Zirflex 法⁽²⁾⁽³⁾

本プロセスはアルミニウム、ステンレスあるいはジルカロイ被覆の UO_2 , UあるいはU合金(U-Mo, U-Al, U-Zr)燃料の化学的な脱被覆および燃料コアの溶解に用いられるもので、溶解液としては $NH_4F-NH_4NO_3$ の沸騰水溶液が使用される。

Zirflexプロセスによるジルカロイの溶解は以下の反応によって行なわれる。



$$\Delta H_{100^\circ C} = -140 \text{Kcal/gm-mol.}$$

酸化されていないジルカロイの最適な供給溶液 5.5M $NH_4F-0.5M NH_4NO_3$ による溶解速度は、FとZrのモル比が $F/Zr=7$ において10～15mils/hである。高温の空気あるいは水への暴露により酸化されたジルカロイの溶解速度は3倍から5倍低い値となる。これは耐食性の強い酸化被膜を侵蝕するために、ピitting (pitting) やアンダーカット (undercutting) による侵蝕が必要なためである。したがって典型的な肉厚30～40milの酸化されていないジルカロイ被覆材の溶解時間は3～4時間であるが、酸化された被覆材は12時間以上必要であろう。

溶解反応に伴って、 H_2 および NH_3 が1モルのZrの溶解について、それぞれ約0.1molと5.0molの割合で生成する。 NH_3 はZirflex溶解液から、溶解速度の減少とZrの溶解度の低下を防止するために除去されなければならない。オフガス中の H_2 及び NH_3 を、それぞれ乾き空気基準で4%, 16%以下に空気又はスチームで希釈し、爆発限界以下の濃度にする必要がある。

U, U-Alおよび UO_2 の燃料コアは、Zirflex溶解液によってそれ程侵されない。しかしながら少量のコア物質は溶解し、溶解液を飽和して過剰分は UF_4 として沈殿する。 UF_4 の溶解度はフッ化物がZrと化合するにしたがい、また液が冷やされるにもなって減少する。よって、溶解したウランの大部分は最終の溶液中に沈殿する。沈殿は遠心分離により回収され、引き続いて行なわれるコア溶解のために溶解槽へ返送される。結

果的に、溶存ウランのみが廃棄物中にロスする。ロスは $0.3 \sim 3.0 \text{ g/l}$ の範囲で変化するが、大きなロスは U^{+4} が U^{+6} へ酸化された場合に生ずる。これらのロスは、液にエアを吹込まないことや、冷却後ただちに遠心分離することにより最少となるであろう。

被覆溶解後の Zirflex 廃液は貯蔵に先立って PH10 に中和される。中和には廃液 1 gallon 当り約 0.07 gallon の 50% NaOH が必要である。中和された廃液は約 20 vol% の沈降性の良い固形分を含む。この固形分は廃液が乱流状態になると容易にスラリーとなる。この固形分は流路中に沈降する傾向があり、したがって一時的な貯蔵中には攪拌が必要である。

溶解槽の装置材料としては、溶解液の腐食性が比較的穏やかなのでステンレスが使用可能である。6M NH_4F 沸騰溶液にさらされた SUS304L の腐食速度は 11 mils/month であった。しかし、パイロットプラントにおける反復試験中の平均腐食速度は 4.3 mils/month にすぎなかった。

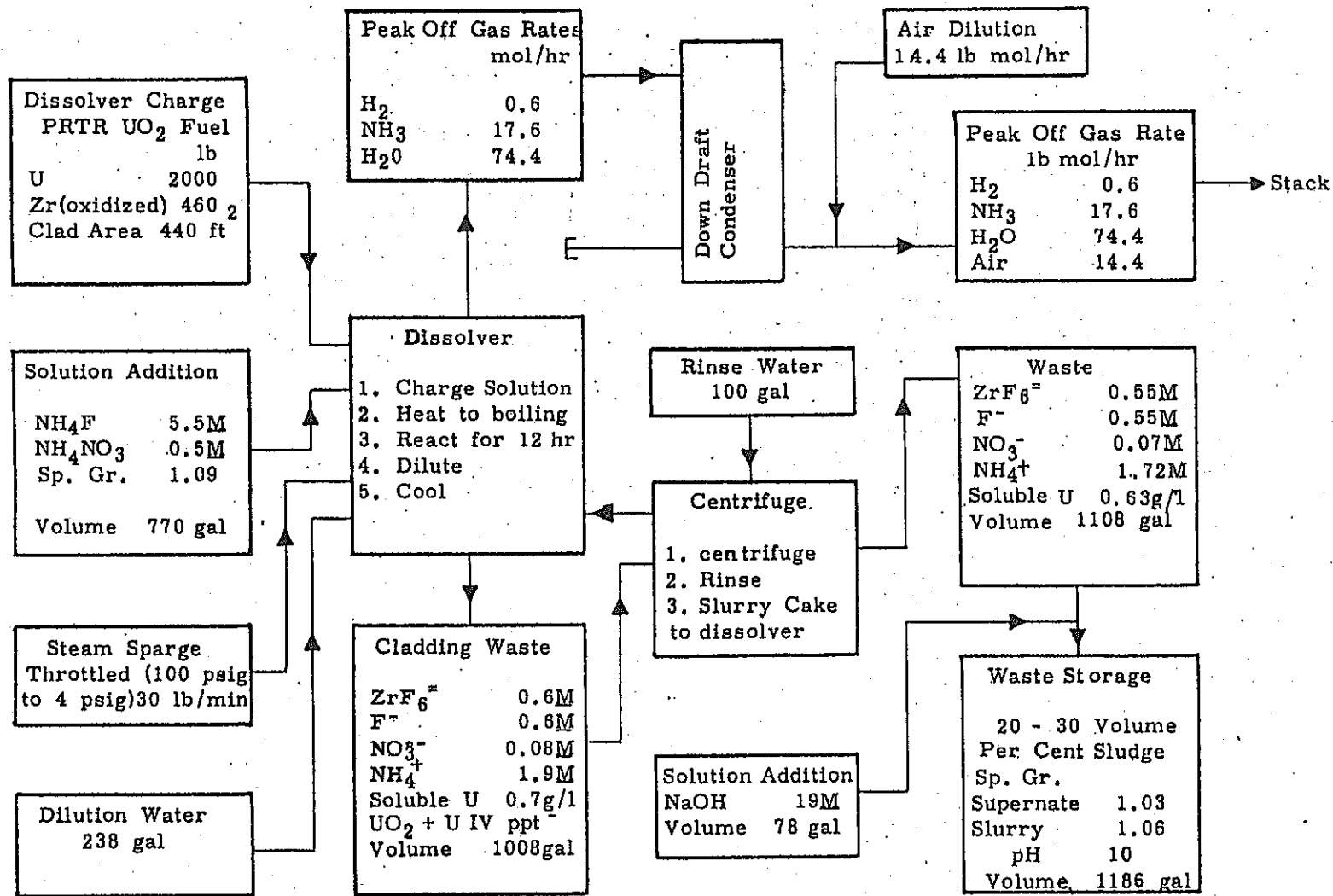
本プロセスは Hanford の Purex 法による再処理工場のみで N-原子炉のジルカロイ被覆燃料の処理に生産規模で使用されている。また ICPP でも脱被覆工程に工場規模で採用している。脱被覆工程のフローシートを図 1.5-3 に、パイロットプラントにおける機器フローシートを図 1.5-4 に示す。

Zirflex 溶解液によりジルカロイハルを溶解した場合、ハルに付随する U は前述のように溶解液中に $0.3 \sim 3.0 \text{ g/l}$ の範囲でロスし、残りは溶解残渣に残ると考えられる。残った U は溶解液が除去された後、硝酸にて溶解し、溶媒抽出あるいはイオン交換で回収可能と考えられる。

溶解液中への Pu のロスは実験室規模でしか研究されていない。これは U-Pu 合金についての実験であり、実験に使用された合金の Pu/U は 1.1×10^{-4} ($1,000 \text{ g-Pu/l-U}$) である。表 1.5-2 に溶解実験結果を示す。

表 1.5-2 URANIUM AND PLUTONIUM CONCENTRATIONS⁽³⁾
IN SIMULATED DECLADDING SOLUTIONS

Ratio in a U - Pu Alloy		In Boiling Solution				In Cooled Solution		
Pu/U $\times 10^{-4}$	$\frac{M}{F}$	$\frac{M}{\text{ZrIV}}$	U g/l	Pu mg/l	Pu/U $\times 10^{-4}$	U g/l	Pu mg/l	Pu/U $\times 10^{-4}$
3	6	0	15	4.3	2.9	4.5	1.4	3.1
11	6	0	13	6.6	5.1	2.5	1.7	6.8
11	6	0.7	2.5	0.68	2.7	0.2	0.003	0.15
11	6	0.86	1.4	0.23	1.6	0.3	0.015	0.5



☒ 1.5 - 3 Zirflex Recirculating Decladding of Oxidized PRTR Elements (3)

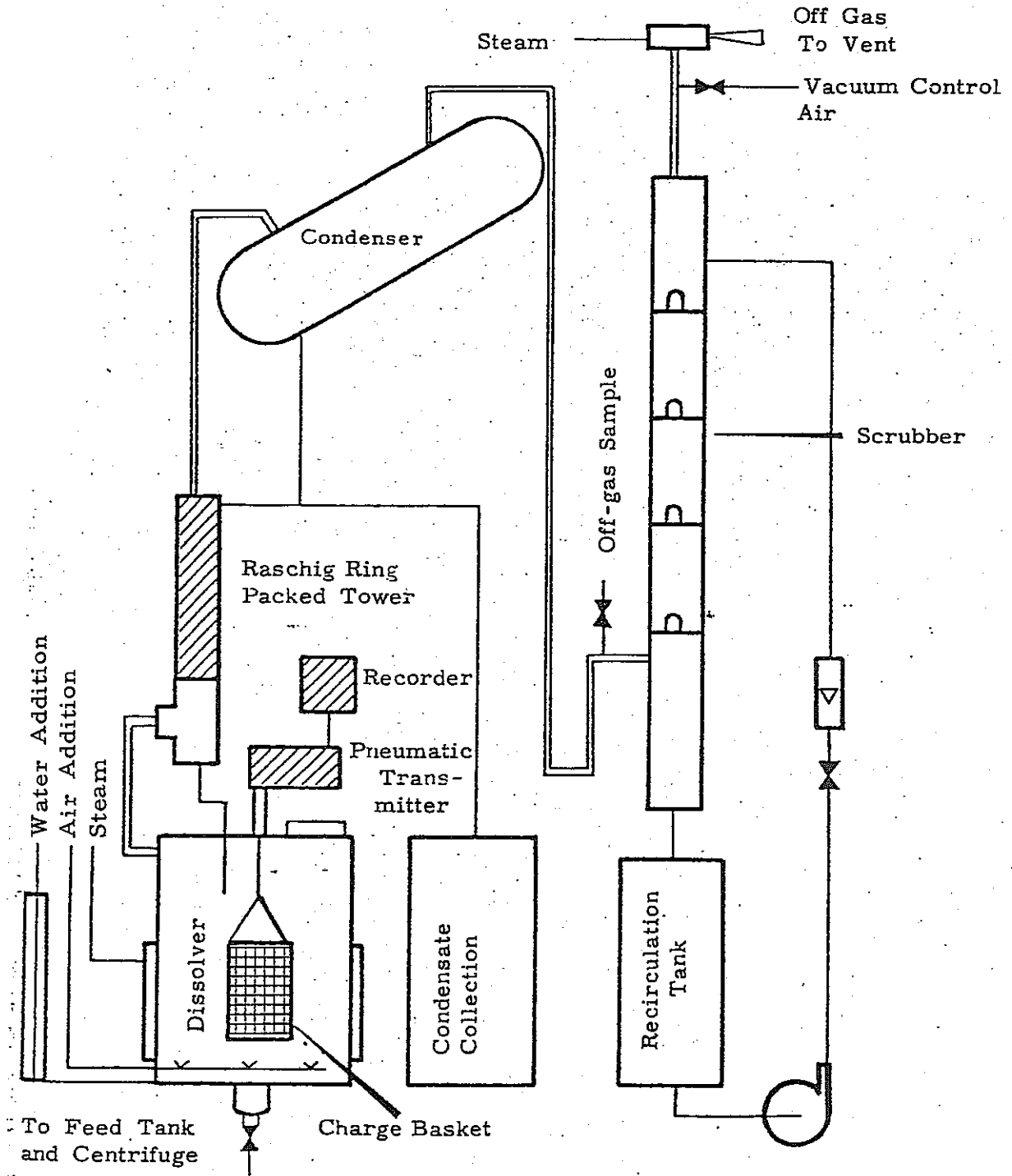
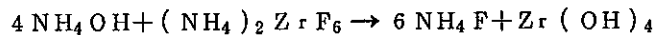


图 1.5 - 4 Zirflex Batch Pilot Plant Equipment⁽⁸⁾

液中のPu/Uはいずれの場合でも合金中よりも低く、Pu/Uの低下は希釈・冷却後の方が大きい。また溶解液へPuがロスする割合は、Uがロスする割合に等しいかそれ以下であり、それは溶解終了時の沈澱したUF₄量に依存している。したがってPuもUと同様の方法で回収可能と考えられる。

Zirflex 溶解液はステンレスも溶解するがその速度はおそい。したがってステンレスおよびインコネルはあらかじめ分離する必要があると考えられる。

本プロセスにより、ジルカロイハル中のジルコニウムはフッ化ジルコン酸アンモニウムになるが、これままでは貯蔵には適さないのでアルカリによって中和され、含水酸化ジルコニウム (Zr(OH)₄) 沈澱とされる。含水酸化ジルコニウムのジルカロイハルに対する容積比は0.6である。この場合、溶解反応によって生ずるNH₃で中和を行ない、生ずるNH₄Fを溶解工程へリサイクルする可能性も考えられている。



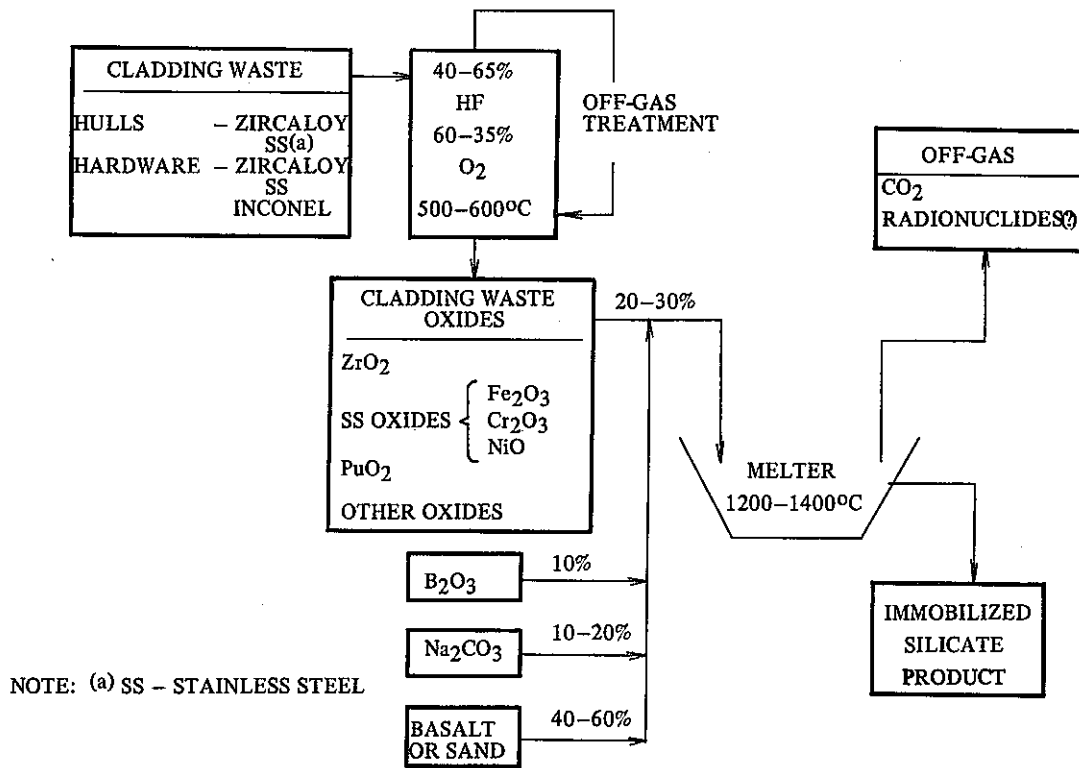
含水酸化ジルコニウムは加熱することにより水を失ない、水に不溶な不活性の酸化物ZrO₂となる。(NH₄)₂ZrF₆は可溶性で加熱するとNH₃とHFを発生する。ZrO₂のジルカロイハルに対する容積比は0.25である。

本プロセスをハルの溶解に適用することはいくつかの検証ならびにプロセスの開発が必要であるが、すでにHanfordおよびIdaho Fallsにおいて燃料被覆材の除去に工場規模で採用されている。ジルカロイについての溶解技術は本質的に実用可能である。溶解した廃棄物の処理法はさらに開発が必要である。

1.6. 高温化学的処理法

1.6.1 Silicate/Aluminosilicate法 (16)(18)

ジルカロイおよびステンレスハルをHF-O₂混合物(40~65%HF-35~60%O₂)雰囲気中で、500~600℃、1~4時間加熱することにより酸化物とする。生成した被覆材酸化物は玄武岩、B₂O₃およびNa₂CO₃が混合され、1200℃で溶解され、致密な非浸出性の硅酸塩となる。



NOTE: (a) SS - STAINLESS STEEL

図 1.6-1 Conceptual Process for Conversion of Cladding Wastes to Silicate Glasses (31)

生成物は、ステンレス酸化物が 20 wt % 以下の含有量の場合はガラス質、20 wt % 以上およびジルカロイ酸化物の場合は結晶質の物質となる。生成物の水に対する耐浸出性は、被覆材酸化物含有量の増加にともなって低下するが、浸出速度は 25 °C, 脱イオン水中で $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ g/cm}^2\text{-day}$ であり、ホウ珪酸ガラスの $10^{-7} \sim 10^{-4} \text{ g/cm}^2\text{-day}$ とほぼ同程度と考えられる。被覆材酸化物含有量が 30 wt % 以下の生成物は許容しうる浸出速度である。

ジルカロイハルの減容の程度については、1 l (~1 Kg) のジルカロイハルは 1.35 Kg の酸化物となるが、生成物中の被覆材酸化物含有量を 30 wt %, 生成物の密度を 2.91 g/cm^3 (表 1.6-1 参照) とすると、生成物は重量 4.5 Kg, 体積 1.55 l となり最終的な体積は増加し減容にはならない。

ハル中に含まれる Pu, U の回収の可能性は無い。

開発の程度としては部分的に実証されているが、さらに開発が必要である。長期間の

貯蔵に適した形態とするプロセスであると考えられる。

表 1.6 - 1 CONVERSION OF CLADDING OXIDES TO IMMOBILE SILICATES (16)
- TYPICAL RESULTS -

All melts at 1200 °C.

Charge Formulation (wt%) ^a			Density	State ^d	Bulk Leach Rate ^b
ZrO ₂	SS Oxide ^c	Basalt	g/cm ³		g/cm ² -day
10	-	60	2.66	Crystalline	1.0 x 10 ⁻⁶ e
20	-	50	2.89	Crystalline	2.0 x 10 ⁻⁶ e
20 ^f	-	60	2.63	Not determined	1.4 x 10 ⁻⁸ g
30	-	40	2.91	Crystalline	5.1 x 10 ⁻⁶ e
-	10	60	2.23	Glass	1.9 x 10 ⁻⁶ h
-	20	50	2.82	Glass	2.7 x 10 ⁻⁶ h
-	20 ⁱ	50	2.86	Not determined	1.7 x 10 ⁻⁷ j
-	30	40	2.67	Crystalline	4.9 x 10 ⁻⁶ h
-	40	30	2.96	Crystalline	5.0 x 10 ⁻⁶ h
-	50	20	3.11	Crystalline	1.1 x 10 ⁻⁵ h

a Unless otherwise stated all charges contained 10 wt% B₂O₃, 20 wt% Na₂CO₃ and indicated amounts of unirradiated ZrO₂ or stainless steel oxides.

b 96 hr in deionized water at 25 °C.

c 74% Fe₂O₃-18.5% Cr₂O₃-7.1% NiO.

d X-diffraction analysis.

e Leach rate based on sum of Na and Si concentrations in leachate.

f Charge contained 10 wt% Na₂CO₃ and ⁹⁵ZrO₂.

g Leach rate based on ⁹⁵Zr in leachate.

h Leach rate based on sum of Na, Si, Fe, Cr, and Ni concentrations in leachate.

i Charge contained mixture of inert and irradiated stainless steel oxides.

j Leach rate based on ⁵⁴Mn in leachate; no other radioisotopes detected in leachate.

1.6.2 酸化法⁽³¹⁾

ジルカロイおよびステンレスハルを HF-O₂ 混合物雰囲気中で加熱，酸化するプロセスである。ステンレスおよびジルカロイは 30~65% HF-70~35% O₂ 中で，500~625℃ に 1~4 時間加熱することにより，円滑にかつ速やかにそして完全に酸化物となる。これら被覆材の酸化処理は，動力炉燃料の乾式脱被覆と処理プロセスの開発および実証研究の一環として，実験室規模での実証に成功している。

Brookhaven National Laboratory では，HF-O₂ 混合ガスによる SUS 348^{*} ならびに SUS 348 を用いた未照射燃料棒あるいは模擬燃料集合体の酸化・分解，脱被覆実験が，流動層式反応装置で行なわれ，その結果試料は完全に分解されている。

Oak Ridge National Laboratory では，未照射ジルカロイの模擬燃料集合体を HF-O₂ 混合ガスにより，アルミナを用いた流動層式反応装置で ZrO₂ に酸化している。

照射ジルカロイおよびステンレスと HF-O₂ 混合ガスとの反応はまだ研究されていない。したがって，酸化反応中の放射性核種の挙動に関する情報は不足している。¹³⁷Cs，¹⁰⁶Ru，³H 等は揮発すると考えられ，これら揮発した物質の捕集ならびに最終的処分の設備が必要となるだろう。

ステンレスとジルカロイの HF-O₂ ガスによる酸化の報文は，すべてアルミナを用いた流動層式反応装置のものである。被覆材酸化物のアルミナによる希釈を防止することが望ましい。ステンレスおよびインコネルのフィッティングなどの大型金属塊は，処理に先立って他の被覆材から選り分けることが望ましい。

減容の程度は，1ℓ (~1Kg) のジルカロイハルは理論的には 1.35 Kg の ZrO₂ となり，その体積は 0.25ℓ (d=5.5) で減容比 4 となる。また同様にステンレスハルは，約 1.4 Kg の Fe，Cr および Ni の酸化物となり，その体積は 0.29ℓ，減容比 3.4 である。なお，インコネルの HF-O₂ ガスに対する高温下の挙動は不明であるが，それ程侵されないとと思われる。

ハル中に含まれる Pu，U の可収の可能性は無い。

このプロセスは生成した被覆材酸化物をさらに安定な貯蔵に適した形態にする必要があり，その処理により減容比は悪くなる。

	Cr	Ni	C	Mn	P	S	Si	Cb-Ta	Ta
※ 組成 (%)	17.0~19.0	9.0~13.0	0.08max	2.0	0.045	0.03	1.0	10×Cmin	0.1max

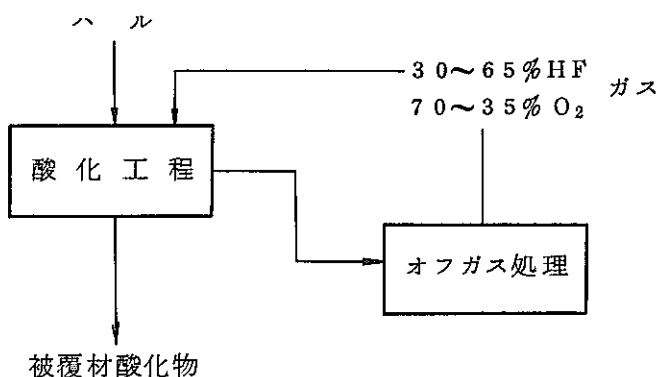


図 1.6 - 2 酸化法 概念フローシート

1.6.3 溶融金属法 (9)(24)

溶融金属にジルカロイハルを溶解し、冷却・沈澱によって α -廃棄物からZrを分離するプロセスである。溶融金属としては亜鉛が用いられ以下の工程よりなる。

- 1) ハルの亜鉛への溶解
- 2) Zr を沈澱させるための条件調整
- 3) Zr 相の分離

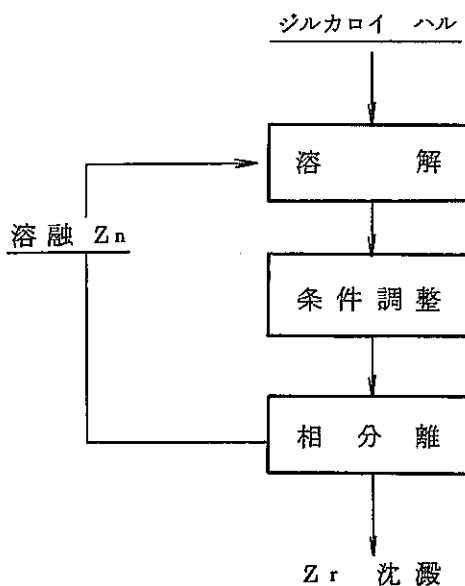


図 1.6 - 3 溶融金属法, 概念フローシート

Argonne National Laboratory で行なわれた予察試験⁽²⁴⁾では、360gのジルカロイ-2が2,640gの亜鉛(12wt%Zr-88wt%Zn)に850℃、グラファイト坩堝中で、50wt%MgCl₂-30wt%NaCl-20wt%KClのソルト・カバー(salt cover)を用いて溶解された。金属は2時間で完全に溶解し、徐冷によって何らかのZr分離が期待された。しかし結果は、ZrZn₆、ZrZn₁₄およびZrZn₂₂の組成を持つ金属間化合物が形成され、これら金属間化合物と亜鉛との密度差が少ないために相分離は不可能であった。したがってこの研究は放棄されている。

ステンレス被覆材については、同様にArgonne National Laboratoryで乾式再処理プロセスの脱被覆工程に熔融亜鉛を用いる方法が提案されている。⁽⁹⁾⁽²¹⁾予察試験⁽⁹⁾の結果、10wt%SUS-90wt%Znは800℃で容易にかつ充分な溶解速度で融けることが確認されている。亜鉛を被覆材から分離・回収して再利用することは、廃棄物の減容化により貯蔵コストが低減されなければ、おそらく経済的に引き合わない。

亜鉛の回収は、蒸留法により98%の回収率が実証されている。また適量のアルミニウムを添加し、融体中のFe、NiおよびCrをFe₂Al₅、CrAl₇およびNiAl₃などの金属間化合物として沈殿回収し、亜鉛を脱被覆工程にリサイクル方法も提案されている。

いずれの場合も亜鉛から分離した残渣の処理がさらに必要であるが、ハルに適用した報告はなく、詳細は不明である。

1.6.4 溶融塩法⁽⁵⁾

乾式再処理プロセスの脱被覆工程として提案されているもので、ジルカロイ被覆燃料要素の場合はNa、LiおよびZrを含むフッ化物の溶融塩(約650℃)に浸漬し、被覆材を溶解する。塩の代表的な組成は37.5-37.5-25.0mol% NaF-LiF-ZrF₄で、被覆材の溶解は無水フッ化水素を吹込みながら行なわれる。ジルカロイ中のZrはZrF₄になると考えられる。1ℓ(～1Kg)のジルカロイハルがZrF₄となった場合、理論的には重量1.8Kg、体積0.4ℓとなる。

塩中のUおよびPuは、塩中にF₂を吹込むことによりそれぞれUF₆、PuF₆として回収可能であるが、完全な回収は困難である。

本プロセスをハルについて適用した報告は無い。残渣塩の処理法および経済的観点からNaF、LiFの回収・リサイクル法が問題と考えられる。

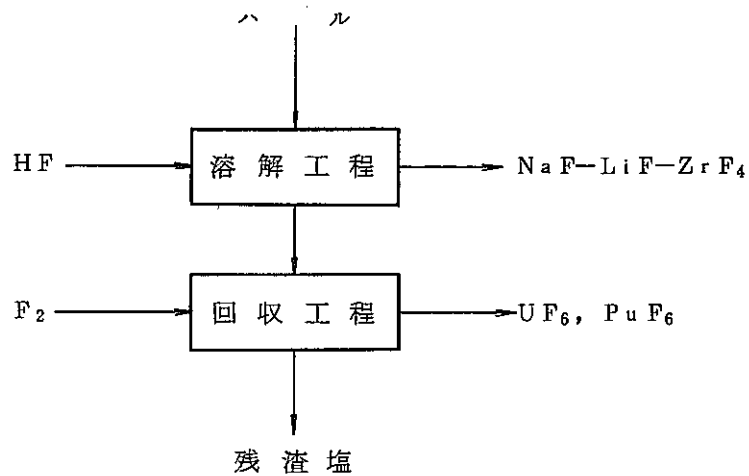


図 1.6-4 熔融塩法概念フローシート

1.6.5 塩化物揮発法

本プロセスは、ジルカロイハルを HCl ガス あるいは熔融 $ZnCl_2$ などの塩化剤で処理することによって分解し、金属塩化物に変換する。この反応により Zr は、揮発性の塩化物・ $ZrCl_4$ となり、最初の廃棄物に含まれる他の構成成分—構造材、FP、アクチナイドを含む—のほとんどから蒸留によって分離可能である。しかし、ジルカロイの重要な合金成分であるスズの塩化物や、同様に揮発性のある 2~3 の構成金属および FP が $ZrCl_4$ に随伴すると考えられる。分離された $ZrCl_4$ はさらに ZrO_2 あるいは無機イオン交換体などに変換することが提案されている。

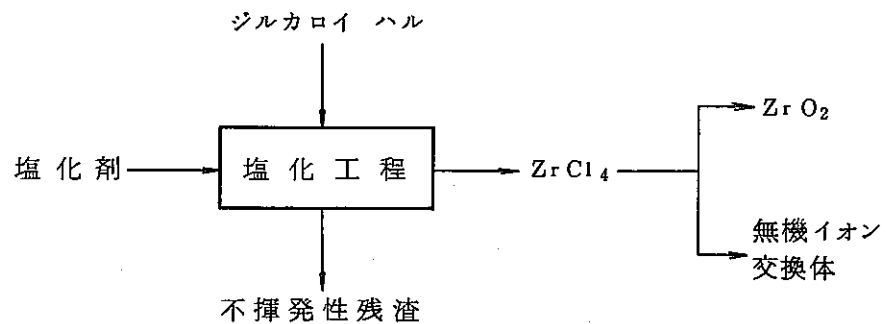


図 1.6-5 塩化物揮発法概念フローシート

(1) 塩化水素法

(流動層プロセス)⁽⁵⁾

乾式再処理プロセスの脱被覆工程に提案されているもので、粒状アルミナなどを媒体とする流動層に燃料要素を浸漬し、HClガスによって被覆材を除去するプロセスである。

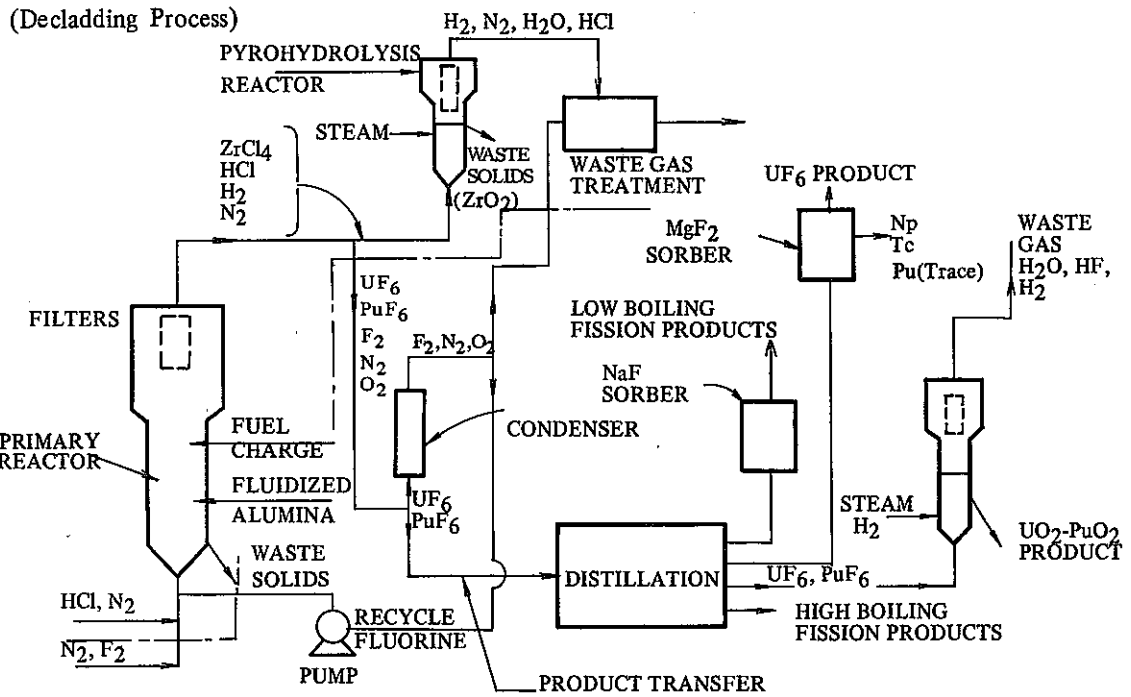


図 1.6-6 Schematic flowsheet for processing zircaloy-clad UO₂-PuO₂ fuel by fluid-bed fluoride volatility method⁽⁵⁾

流動層を使用した HCl による脱被覆。さらに被覆を除去された燃料ペレットを F₂ によってフッ化し、UF₆、PuF₆ を回収する再処理プロセス (図 1.6-6) はパイロットプラント規模で研究されている。

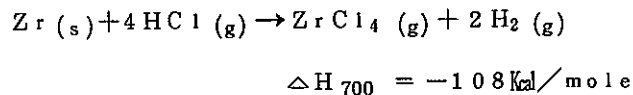
このプロセスをハルに適用した場合、以下の工程になると考えられる。

- 1) 無関係なハードウェアの機械的除去
- 2) 粒状アルミナなどの流動層にハルを浸漬する。被覆材は約 400°C で HCl と反応させられ揮発性の ZrCl₄ が生成する。

3) 生成した $ZrCl_4$ は、熱分解装置に導入され、スチームとの反応により ZrO_2 に変換される。生成した ZrO_2 は固体廃棄物として廃棄される。

4) ハルに付随する燃料や FP は、不揮発性の塩化物としてアルミナベッド中に残りベッドと共に固体廃棄物として廃棄される。

HCl とジルカロイ中の Zr は以下の式にしたがって反応する。



生成した $ZrCl_4$ は揮発性でその昇華温度は 331°C である。

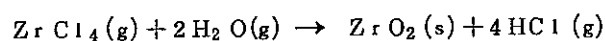
反応温度は 400°C で、それより高い温度は

- 1) $400\sim 500^\circ\text{C}$ のベッド温度範囲では反応速度、HCl 利用率に大きな差異が見られない。
- 2) 温度が高くなると腐食速度が増大する。

などの理由で通常用いられない。

生成した $ZrCl_4$ は、超ウラン元素化合物あるいは不揮発性残渣のエントレインメントを防止するため、アルミナなどを用いた充填層または焼結金属のフィルターによって戸過される。

$ZrCl_4$ は約 350°C でスチームと気相反応によって ZrO_2 を生成する。



熱分解反応は、アルミナあるいは砂などを媒体とする流動層で行なわれ、 350°C に熱せられたベッドへ $ZrCl_4$ とスチームが別々に導入される。生成物は粒度がほとんど -200 mesh で、組成は約 20% がオキシクロライド、残りは酸化物であった。

$ZrCl_4$ を直接熱分解する方法以外に、 $ZrCl_4$ をコンデンサで捕集する考えもある。この場合、反応ガス中の過剰な HCl のリサイクルが容易となる利点があるが、コンデンサの伝熱面に $ZrCl_4$ が凝縮するため特別な設計が必要となる。

1 l ($\sim 1\text{ Kg}$) のジルカロイハルを本プロセスによって ZrO_2 に変換した場合、生成する ZrO_2 は重量 1.35 Kg 、体積 0.25 l である。

なお、ステンレスについては、 600°C またはそれ以上の温度で塩素ガスと反応し、揮発性の $FeCl_3$ および不揮発性の Ni, Cr の塩化物を生成する。しかし温度が高いため装置材質として Ni が適さない等の問題があり、本プロセスは適用できないもの

と考えられる。通常の運転条件においては、ハル中のステンレスおよびインコネルは不揮発性残渣として流動層中に残ると考えられる。これは、流動層中に蓄積し、機械的トラブルの原因となることが考えられ、あらかじめ分離することが望ましい。

ハルに付随する Pu, U は不揮発性残渣としてアルミナベッドと共に抜き出した後、硝酸で浸出することによってイオン交換あるいは溶媒抽出によって回収可能と考えられる。

本プロセスをハルに適用した例はないが、乾式再処理プロセスの脱被覆工程として、塩化工程および熱分解工程はパイロットプラント規模で実証されている。したがってハルへの適用は可能と考えられる。塩化工程における超ウラン核種および FP の挙動の研究、不揮発性残渣の処理法の開発が必要である。

(ハルに関する実試室規模での研究) (21)(24)

Argonne National Laboratory では、前述の流動層プロセスでジルカロイ被覆 UO_2 ペレットおよび U-ジルカロイ合金などの未照射および照射済ジルカロイについて以前行なわれた研究にもとづいて、ジルカロイ中の Zr を HCl と反応させ $ZrCl_4$ として回収する研究が実験室規模で行なわれている。

研究は実験室用管状炉で行なわれ、装置は管状炉の他、ガス計測システム、 $ZrCl_4$ トラップおよびオフガストラップなどで構成される。装置材質は Ni および Mo である。照射済ジルカロイ中にはトリチウムがトラップされているが、反応によりオフガス中に放出される。トリチウムの捕集は、Ti または Zr スポンジへの吸着、酸化パラジウム触媒ユニットによる水への変換が利用できると考えられるが検討中である。

実験はジルカロイ-2 の被覆管片 5 枚あるいはさらに UO_2 セラミックの粒を加えて、公称温度 $400^\circ C$ で揮発性成分と不揮発性成分間の微量合金成分の分配を確認する目的で予察実験として行なわれた。結果は表 1.6-2 に示されるように 1 時間および 6 時間の反応でそれぞれ 60%, 97% の反応率が得られた。(Run ZH-1A は $ZrCl_4$ による配管の閉塞が生じて途中で打切られた。)

表 1. 6 - 2 Hydrochlorination of Zircaloy-2, Conditions and Results (24)

Run No.	Duration, min	Gas Flow Rate, cc/min		Reaction Temp. °C	System Pressure, mm Hg	Material Weight, %			
		N ₂	HCl			Original Zr-2	Reacted Zr-2	Volatile Product	% Zr-2 Reacted
ZH-1	15	400-200	100-50	400	800-10000	4.60	2.77	4.65	60
ZH-1A	45	250	50	350-400	810-850				
ZH-2	240	250	50	260-350	810	5.11	4.96	3.87	97
ZH-2A	130	250-200	50-75	350-400	810-900				

また表面の酸化被膜は金属-HCl反応をさまたげないが、酸化被膜自身はHClに対して安定である。UO₂は重量変化を生ぜず、目視上は反応していないと見受けられた。実験によって得られた揮発性生成物および不揮発性残渣は分析された。分析結果を表1.6-3に、また計算した重要な元素の量および分配が表1.6-4に示されているが、主要な元素の挙動は期待通りの傾向であり、高度に除染されたZr産物および固化されたPu含有成分が得られることが示された。

表 1.6 - 3 Mass Spectrographic Analysis of Zircaloy⁽²⁴⁾
and Reaction Products (ppmw)

Element	Sample Designation					
	Zircaloy Metal Z2A-2	Volatile Product			Nonvolatile Residue	
		ZH-1A	ZH-2	ZH-2A	ZH-1A	ZH-2A
Li	<0.003	0.005	<0.003	<0.003	0.1	2
Be	<0.003	<0.01	<0.005	<0.005	<0.003	<0.003
B	0.05	2	1	2	100	1000
F	<10 ^a	20	5	5	20	100
Na	<30	<5	<3	<3	50	200
Mg	<30	<5	<1	<1	50	200
Al	50	20	20	10	500	5000
Si	30	20	<1	<1	200	3000
P	3	<0.3	<0.05	<0.05	20	50
S	20	<1	<0.5	<0.5	20	30
Cl	10	Major	Major	Major	High	High
K	0.1	1	10	3	20	200
Ca	<2	3	5	2	30	200
Sc	b	b	b	b	b	b
Ti	50	<30	<20	<20	50	300
V	<10 ^c	<1	<0.5	<0.5	10	10
Cr	1000	<3	<2	<2	~2%	~2%
Mn	20	2	1	0.3	500	1000
Fe	2000	10	30	5	~3%	~3%
Co	<5	<0.3	<0.1	<0.3	5	20
Ni	30	100	<50	<20	2000	5000
Cu	10	100	500	300	~5%	~5%
Zn	<0.3	300	300	300	10	100
Ga	<0.2	<0.3	<0.5	<0.5	<0.3	<0.3
Ge	<0.1	<2	<3	<3	<2	<2
As	5	<0.2	<0.3	<0.3	50	100
Se	<1	<2	<2	<2	<1	<3
Br	<0.1	0.3	0.5	1	0.5	1
Rb	<0.03	<2	<2	<1	<0.5	<0.5
Sr	<0.1	<0.3	<0.5	<0.3	<1	<3
Y	<0.3	<0.3	<0.2	<0.2	1	1
Nb	3	<3	<20	<20	100	50
Mo	<0.5	<3	<3	<3	<5	30
Ru	<0.3	<2	<1	<1	<2	<2
Rh	<2	<2	<1	<1	<2	<2
Pd	<5	<5	<5	<3	<10	<10
Ag	<3	<3	<5	<5	<3	<3
Cd	<3	<5	<10	<10	<30	<30
In	<10	<2	<3	<3	<100 ^d	<100 ^d
Sn	5000	100	2000	2000	~5%	~3%
Sb	1	<0.5	<0.3	<0.3	3	2

表 1.6 - 3 (Cont'd)

Element	Sample Designation					
	Zircaloy Metal Z2A-2	Volatile Product			Nonvolatile Residue	
		ZH-1A	ZH-2	ZH-2A	ZH-1A	ZH-2A
Te	<2	<5	<3	<3	<10	<10
I	<0.5	<2	<1	<1	<2	<2
Cs	<0.3	<3	<2	<2	<0.5	<0.5
Ba	<0.3	<2	<3	<3	10	20
La	<0.2	<2	<1	<1	<2	3
Ce	<0.1	<2	<1	<1	<2	<2
Pr	<0.3	<2	<3	<2	<2	<3
Nd	<0.2	<5	<3	<3	<3	<10
Sm	<0.2	<5	<3	<3	<3	<3
Eu	<0.1	<3	<2	<2	<3	<2
Gd	<0.2	<0.3	<1	<1	<0.5	<1
Tb	<0.05	<0.3	<0.5	<0.2	<1	<1
Dy	<0.2	<2	<1	<1	<2	<2
Ho	<0.05	<0.2	<0.2	<0.2	<0.5	<0.5
Er	<0.2	<0.5	<0.3	<0.3	<1	<1
Tm	<0.05	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.3
Yb	<0.2	<0.5	<0.3	<0.3	<1	<1
Lu	<0.05	<0.2	<0.1	<0.1	<0.3	<0.3
HF	20	<0.5	<0.3	<1	20	20
Ta	<10	<2	<0.3	<0.1	≤10	≤10
W	<0.2	<0.2	<0.3	<0.3	≤1	3
Re	<0.3	<0.3	<0.2	<0.2	<1	<1
Os	<0.2	<0.5	<0.3	<0.3	<2	<2
Ir	<0.1	<0.1	<0.05	<0.05	<0.3	<0.3
Pt	<0.2	<0.2	<0.1	<0.3	<0.5	<0.5
Au	<2	<2	<2	<2	<0.2	<0.5
Hg	<0.2	<0.5	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Tl	<0.1	<3	<2	<2	<0.3	<0.3
Pb	5	0.3	0.5	0.2	100	100
Bi	0.5	0.3	0.1	<0.1	2	3
Th	<0.2	<0.5	<0.3	<0.3	0.3	0.3
U	1	<0.5	<0.3	<0.3	5	10

^a Possible contamination from HF etch.

^b Zr interference.

^c Memory from previous sample

^d Sn interference.

表 1.6 - 4

Calculated Amounts of Elements in (24)
 Samples from Hydrochlorination Runs
 ZH-1, ZH-1A, ZH-2, and ZH-2A

Element	Element Weight Based on Reacted Zircaloy, μg	Total Element Weight in Volatile and Nonvolatile Fractions, μg	Element Distribution Based On Material Balance ^b	
			Fraction in Nonvolatiles	Fraction in Volatiles
Cr	7700	5100	High	L.D.
Mn	155	171	High	Low
Fe	15500	7900	High	Low
Co	37	2	High	L.D.
Ni	232	678 ^a	High	L.D.
Zn	2	4300 ^a	Moderate	High
Nb	23	23	High	L.D.
Sn	38700	31800	Moderate	High
Sb	8	1	High	L.D.
Ba	2	3	High	L.D.
Hf	155	5	High	L.D.
U	8	2	High	L.D.

^a High values are attributed to these elements comprising the materials of construction; the tube furnace and reaction boat are nickel; zinc is a component of the silver solder.

^b Not calculated because concentrations on many elements were below limits of detection (L.D.).

(2) 塩化亜鉛法 (21)(23)(24)(26)

Argonne National Laboratory において、前述の塩化水素法に並行して実験室規模での研究が行なわれている。本プロセスの研究は、燃料被覆材ハルの固化技術開発に関する以下の高温化学処理プロセス概念

1) 塩あるいは金属を用いたハルの表面除染-圧縮減容-貯蔵

中性子による誘導放射能があるため高レベル廃棄物としての貯蔵が必要であろう。

2) ハルの圧縮減容-金属浸漬コーティング(例、亜鉛浸漬)-コーティングされた減容体の貯蔵(たぶん高レベル廃棄物)

コーティングは放射性核種の溶出に対して、貯蔵容器の他にさらにもう1つのバリアとなるであろう。

3) ハルの熔融塩化物処理, Zrは揮発性の $ZrCl_4$ に酸化され回収可能

本プロセスは高い除染係数(DF)を得られる可能性がある。Puは塩相中に抽出され分離して扱われるであろう。

金属塩化物を単独にまたは複合して使用する。

4) 熔融金属/熔融塩によるハルの処理および金属相からZrの回収

沈澱によってZrの回収が容易になると思われる。

高いDFの可能性があり、Puは塩相中に抽出され分離して扱われるであろう。

適用可能と思われるシステムは熔融亜鉛相や $KCl-NaCl-MgCl_2$ 塩相で、

750°C以下において Zr_2Zn が沈澱し、貯蔵あるいはさらにZrの回収のために処理されるであろう。

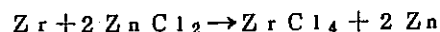
5) 固化/除染の結合した方法

ハルは溶解され(Zr m.p約1850°C), ソルトカバー(salt cover)が, PuO_2 や他の酸化物成分をスラッグにするため使用される。

Zrは、インゴットとして回収され貯蔵されるであろう。

の一環として行なわれた。

本プロセスはZrの塩化剤としてHClの代わりに熔融 $ZnCl_2$ を使用しているだけで、塩化水素法と本質的な差異はない。Zrと $ZnCl_2$ の反応は次式による。



実験はジロカロイ管を用いて、予察実験はアルミナ坩堝、大気開放で行なわれた

が、後にはタングステン坩堝, Ar雰囲気で行なわれた。炉は誘導加熱方式である。試料には UO_2 および PuO_2 の代用として CeO_2 が添加された。

実験の結果は以下のようである。

- 1) Zr を $ZrCl_4$ として塩相から完全に分離するためには, Zr の当量以下の熔融 $ZnCl_2$ と反応させる必要がある。

それ以外の場合は, 金属-塩反応の終了に引き続いて, $ZrCl_4$ を除去するために分離揮発工程が必要である。

- 2) 金属の反応範囲はほぼ完全 (97%) から約 50% で Zr の物質収率は 85.5% から 100.2% であった。
- 3) 系の U 分配に関する分析結果は, U の大部分は揮発せずに金属残渣と共に残る。
- 4) 2 度の実験で, 塩相中は最初加えた U のたった 0.36% および 0.25% しか含まず, U の物質収率は 95% および 61% であった。
- 5) PuO_2 の代用として CeO_2 の使用はあまり役に立たないようである。

したがってジルカロイを $ZnCl_2$ と反応させ, 揮発性の $ZrCl_4$ として不揮発性の成分から分離する方法は可能であると思われる。 UO_2 として添加した U は, わずかし反応しないが, PuO_2 の挙動は UO_2 と異なることが予想され試験が必要である。

回収された $ZrCl_4$ 中の既知の汚染物質は ^{93}Zr (半減期 9.5×10^5 年) であるが, 再利用を考慮する場合はその存在量を評価する必要がある。

また反応によって生じた Zn の再塩化を行ない, 塩化工程へリサイクルするプロセスの検討が必要で, この工程における放射性核種の挙動を実験する必要がある。Zn の再利用の限界ならびにその最終的な処理法を研究する必要がある。

本プロセスについては, もっと現実的なプロセス条件下での分離を確認するために, 照射済ジルカロイ-2 による実験が計画されている。

(3) サンディア法 ⁽³⁹⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁵¹⁾

本プロセスはジルカロイハル中の Zr を NH_4Cl あるいは $AlCl_3 \cdot NH_4Cl$ 等の塩化物で酸化し, 揮発性の塩化物 $ZrCl_4$ として回収した後, その $ZrCl_4$ から無機イオン交換体を製造するものである。生成した無機イオン交換体は, 使用済燃料の再処理によって生ずる高レベル廃液の処理に利用され, ハル中の Zr の再利用がはかられている。本プロセスは Sandia Laboratories で研究されている。

プロセスは以下の各工程より構成される。

- 1) 塩化工程； 高温下でジルカロイ廃棄物を塩化し，混合物から $ZrCl_4$ および他の塩化物を蒸留する工程。
- 2) アルコキッド工程； 留出物を凝縮させ，さらにアンモニアの存在下でイソプロピルアルコールと反応させ， NH_4Cl とアルコキッド (alkoxide) を生成する工程。
- 3) イオン交換体生成工程； アルコキッドを加水分解し，イオン交換体を生成する工程。

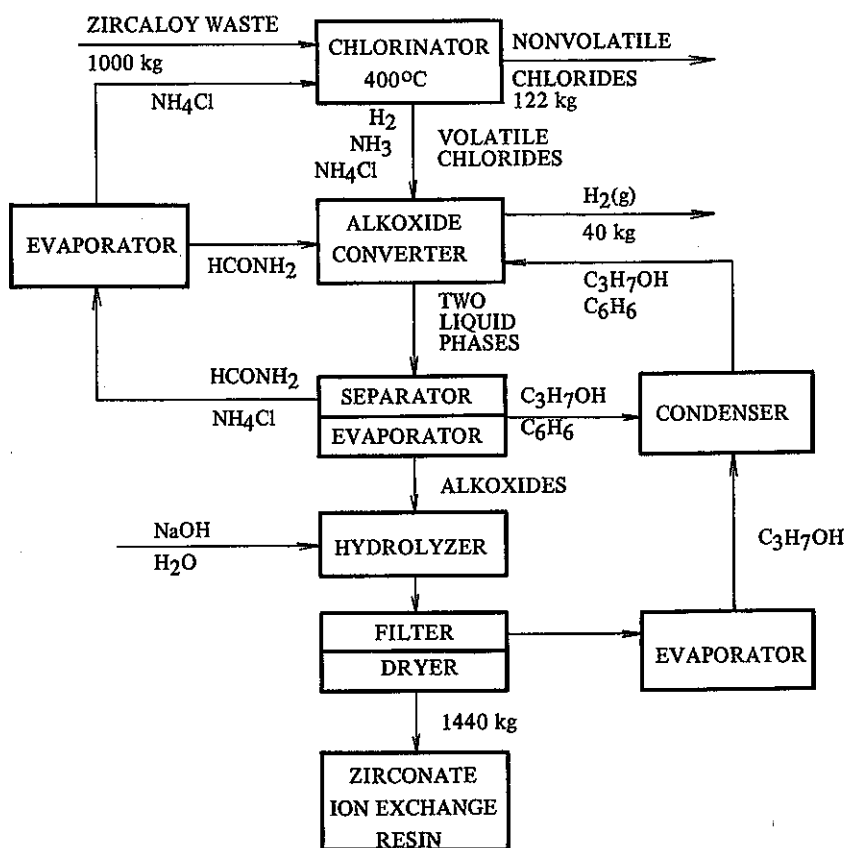
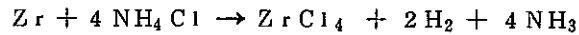


図 1.6 - 7 Zircaloy Conversion Process

(塩 化 工 程)

塩化剤によってジルカロイ中の Zr を揮発性の $ZrCl_4$ に変換する工程で、前述の他の塩化物揮発法と本質的な差異はない。ここでは、Zr 含有量の高い燃料について反応の温度制御、熱除去等の問題を除去あるいは軽減するために、 $AlCl_3 \cdot NH_4Cl$ または NH_4Cl の熔融塩を用いた液相反応が提案されている。反応は次式による。



($AlCl_3 - NH_4Cl$ 系の反応も NH_4Cl のみの反応と見なしうる。)

NH_4Cl との反応により生成される揮発性塩化物は、廃棄物中の Zr, Ti, Sn, Si, Sb, Al 成分に限られるであろう。これらは数年冷却後の使用済燃料ならば放射能はそれ程高くない。(表 1.6-5, 1.6-6 参照)

塩化反応によって生ずる不揮発性の残渣は未反応のインコネル、ステンレス成分および塩化物、窒化物、アミンの複雑な混合物である。これらは水に可溶性成分は高レベル廃液に加えられ、残渣は反応済イオン交換体に固化処理に先立って混合される。またハルに付随する Pu, U を回収するため、不揮発性残渣を酸で侵出しイオン交換あるいは溶媒抽出処理を行なうことも考えられる。

表 1. 6 — 5 Composition of a Zircaloy-4 Cladding and Inconel (44)
Spacer Waste 1 to 3 yr After Discharge

Element ^a	kg/MT of Fuel Charged to Reactor	kg/MT of Cladding Waste
Zr	249.00	916.79
Ti	0.18	0.66
Nb	0.95	3.50
Mo	0.57	2.10
Sn	3.76	13.84
Al	0.11	0.41
Cr	3.66	13.48
Mn	0.02	0.07
Fe	3.74	13.77
Co	0.05	0.18
Ni	9.56	35.20
Pu		(0.02-0.04)
	271.60	1000.0

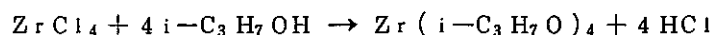
^aTrace quantities of V, Sr, Y, Sb, Te, C, Si, Cu, Tc, Ru, etc

表 1. 6 — 6 Radioactivity and Thermal Power of Activation-Product (44)
Elements Present in 1 MT (10³ kg) of Zircaloy-4
Cladding and Inconel Spacer Waste 1 and 3 yr
After Discharge

Element	Curies		Watts	
	1 yr	3 yr	1 yr	3 yr
Zr	2,157	1.3	11.3	
Nb	4,491	2.0	21.5	
Sn	35	4.9		
Cr	12	---		
Mn	394	74.4	3.2	0.6
Fe	5,596	3,291	7.3	4.3
Co	21,720	15,900	349	248
Ni	2,070	2,040	0.3	0.3
Sb	128	76	0.4	0.3
Te	53	32		
Sr	1.2	---		
Y	4.0	---		

(アルコキシド工程)

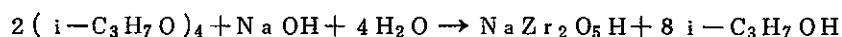
揮発性の塩化物は蒸留され、イソプロピルアルコール ($i-C_3H_7OH$) 中に導びかれ、 NH_3 の共存下で反応しZrはテトライソプロポキシド (tetra isopropoxide, $Zr(i-C_3H_7O)_4$) になる。



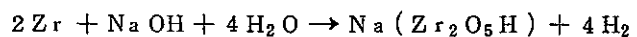
この反応で固体の NH_4Cl が再生されると考えられるが、 NH_3 の共存下ではアルコール溶液に極めて良く溶けると考えられる。しかし、この系にベンゼンを加えると NH_4Cl の溶解度が限られるので、ホルムアミド (formamide, $HCONH_2$) に溶解することによってアルコキシドコンバータから効果的に除去することが可能である。最終的に得られた $HCONH_3/NH_4Cl$ 溶液はアルコキシド/アルコール/ベンゼン溶液に溶解しない。 $HCONH_2$ を第二の液相として使用することによって、 NH_4Cl を除去しリサイクルするための高価で困難な大規模の過渡プロセスを使用せずにすむ。

(イオン交換体生成工程)

テトライソプロピルジルコネート (tetraisopropyl zirconate) および他のアルコキシド不純物は揮発性溶媒から容易に回収され、すでに実証されている方法で加水分解され、イオン交換体に変換される。Zrについてこの反応は次式で表わされる。



イソプロピルアルコールは回収されリサイクルできるであろう。結果的に反応は全体で以下のようなようになる。



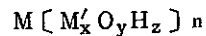
この他の産物としては、塩化工程で残留する不揮発性塩化物のみであろう。原理的にすべての試薬がプロセス内でリサイクルされるので、新規の大きな放射性廃棄物の流れは生じない。実際には、多少のロスが生ずることが予想され、その結果、多少の廃棄物の流れが生ずる。

(イオン交換体による高レベル廃液の処理) (39)

生成したイオン交換体は、ほとんどすべての多価カチオンに高い親和性を有し、交換容量も大きい。また廃液を処理した後に、比較的非揮発性で耐浸出性のセラミ

ックに変換することが可能である。

イオン交換体は Zr の他に, Ti あるいは Nb ベース等が提案されており, その組成は

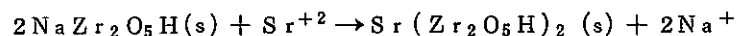


M ; +n 価のイオン交換されるカチオン

M' ; Ti, Nb, Zr あるいは Ta

であらわされる。イオン交換体による高レベル廃液の処理は Oak Ridge National Laboratory との共同研究で, ビューレックス法再処理プロセスから発生した高レベル廃液 (3 年冷却後の使用済商用炉燃料から調整) をホットセル内で行ない満足の結果が得られている。処理プロセスのフローシートを図 1.6-8 に示す。このフローは $NaTi_2O_5H$ (ST) を用い, 5 MT/d の再処理プラントから発生する高レベル廃液を処理するものである。

イオン交換体によるイオン交換反応は, $NaZr_2O_5H$ を用いて Sr^{+2} を処理する場合, 次式で示される。



高レベル廃液の処理は以下のステップで行なわれる。

- 1) 高レベル廃液を PH~1 に調整する。
- 2) 遠心分離機により液中の固形物を除去する。
- 3) 清澄化された廃液をイオン交換体が充填されたカラムに通液し, 汚染を除去する。
- 4) 流出液中に存在する Cs をゼオライトが充填されたカラムで除染する。
- 5) Tc 及び Ru の処理を行なう。
- 6) 生成した除染後の硝酸ナトリウム溶液は蒸発処理される。

トリチウムを含む水はリサイクルされ, 低レベルの $NaNO_3$ は廃棄される。

- 7) イオン交換体及びゼオライトはカラムから拔出され, 遠心分離機のスラッジ (2) で発生) と混合され, 脱水乾燥後, 加圧焼結法によって固化される。

これらのプロセスは遠心分離及び Ru の処理法以外はベンチスケールのテストで実用可能と評価された。

この処理法によって FP およびアクチナイドについては $10^8 \sim 10^9$ の除染係数が

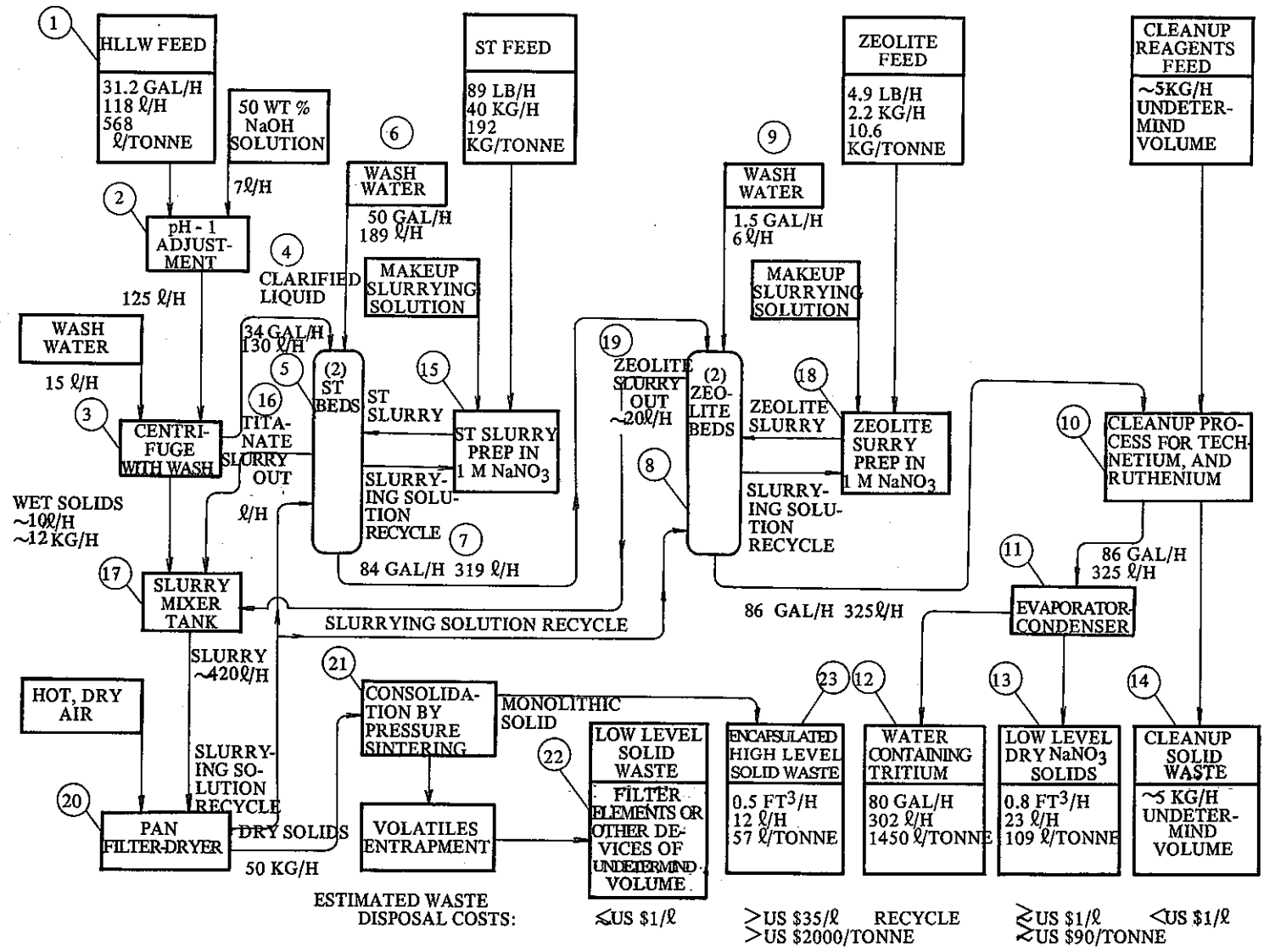


Fig. 1.6 - 8 Baseline flowsheet for solidification of high-level liquid waste from α 5 t/d light-water reactor fuel reprocessing plant. (39)

得られている。例外は ^{106}Ru で、DFは $\sim 10^5$ である。

最終的に発生する廃棄物量は、IMTの軽水炉燃料について発生する主な固体廃棄物として

1) 0.11m^3 の硝酸ソーダ；アクチナイドを 10pCi/g 以下含み、主な汚染物質として ^{106}Ru を約 $1\text{ }\mu\text{Ci/g}$ 含む。

2) 0.071m^3 の高レベル固体セラミック廃棄物

が、Tiベースのイオン交換体について予想される。Zr, Nbでも同様の廃棄物が発生すると考えられる。

なお再処理によって発生する高レベル廃液の安定化に必要なイオン交換体をハルから供給するためには、プロセスの総合的な収率が65～70%必要となる。

本プロセスは、まだ実験的に実証されていない。なおイオン交換体による高レベル廃液の処理は実験室でも、ホットセル内で実廃液によっても実験されている。

本プロセスを実用化するためには、塩化工程における蒸留物中の放射性物質の最少化や、不揮発性残渣の処理法、耐食材料の選定・開発等、プロセスの各ステップについて検討し、実証して行く必要があり相当の開発が必要と思われる。しかし予備的な経済評価⁽⁴⁴⁾によれば、5MT/dの再処理プラントから発生するハルから $\text{NaZr}_2\text{O}_5\text{H}$ を製造するコストは $\$1280/\text{Kg}$ (1975年当時)であり、経済的に成り立ちうるものと考えられている。

またZrを高レベル廃液の吸着体に変換することにより、限られた用途ではあるがZrの再利用が可能であり、不揮発性残渣からPu, Uを回収できる可能性もあり、開発が進んだ時点において、ハルの処理へ適用することは可能と考えられる。

1.7 冶金的処理法

ハルのみかけ密度は、約 1.0Kg/l である。溶融によって稠密化し約 6Kg/l 迄上げる事が出来る。ハルの減容を対象にした溶融法は、インダクトスラグ法とグラフアイトルツボ法が示されている。

1.7.1 インダクトスラグ法(図1.7-1) (33,36,38,42,46,47)

この溶解法はチタンスクラップの再溶解のためにU.S. Bureau of Minesで開発された方法で誘導加熱炉の一種である。分割された水冷銅ルツボが用いられ、スラグとして

CaF₂ (CaF₂-MgF₂)が使われ溶体を保持する。溶融はHe (又はAr)雰囲気中で½気圧で行われる。せん断されたハルは、1~3%のスラグといっしょに供給、溶解されインゴットはルツボの底から連続的に引き抜かれる。

現在使われている装置は出力100kWで径10cm、長さ107cmのものまで作っている。この方法でハルに関係した未照射の各種合金が溶かされ、性質等が調査された。溶解したインゴットについては、

- (1) 各種合金の分類や前処理を行う事による再使用
 - (2) 減容比が大きいことから直接貯蔵
 - (3) トリチウムリザーバーとしての利用
- を目的として調べられている。

再利用を前提として、ジルカロイ-4を前処理したものをインダクトスラグ法で溶解し、径10cm、長さ75cm(41Kg)のインゴットを作った。電力は95kW消費し処理速度は19Kg/Hであった。化学分析、硬度の結果では不純物の増加も少なく原子力基準に合っていた。加工テストも行なわれ、十分に使用出来るものであった。即ちCとHは、増加しなかったし、Nは30ppm、Oは300ppmの増加であった。Fは16ppm増加したがCaの増加は見られなかった。平均の硬度は180Brinellであった。SUS304、インコネル718及びその2:1の混合物も溶解された。溶解速度は、SUS304のみは85~95kWで28Kg/H、インコネル及び混合物は15Kg/Hrであった。SUS及びインコネルは再利用可能であるが、混合物は直接貯蔵に適している。

直接貯蔵のためにオートクレーブで加熱酸化した1,200~10,000ppmのO₂を含む試料の溶解は、85kWで20Kg/Hであった。この場合、飛沫が飛んだり、発煙があったが溶解を止める程ではなかった。1,200ppmのインゴットの硬度は175brinell、10,000ppmのものは375brinellであり再加工は無理であった。20,000~40,000ppmのものについては、溶湯の供給を行なった時激しく飛沫を発生し溶解を中止せざるを得なかった。これは試料中のHによるものと思われるが予熱処理の方法が考えられるかもしれない。

更にハルの実体を考え、端末部を除去すれば、ジルカロイとインコネルの混合物になりインコネルがそれぞれ0.5, 3.0, 4.0wt%について溶解テストが行われた。溶解速度は、21~27Kg/Hであった。各種分析についてはまだ報告はない。Battelle 研究所はこれ

までの実験と鉱山局と合同で行なつて来たが、更に研究を進めるため且つセル内での操作性の確認も含め新たに200kWの炉を建設中であり1978年1月末迄に出来上るとしている。計画図は図1.7-2に示す。

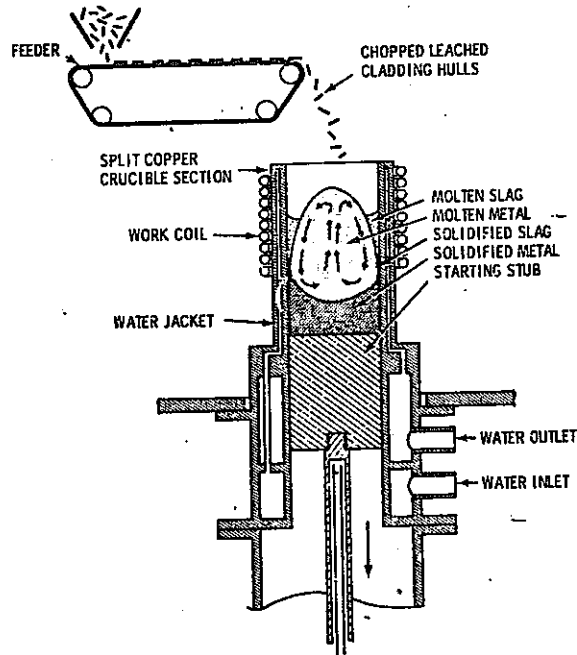


図 1.7 - 1 INDUCTOSLAG MELTING PROCESS

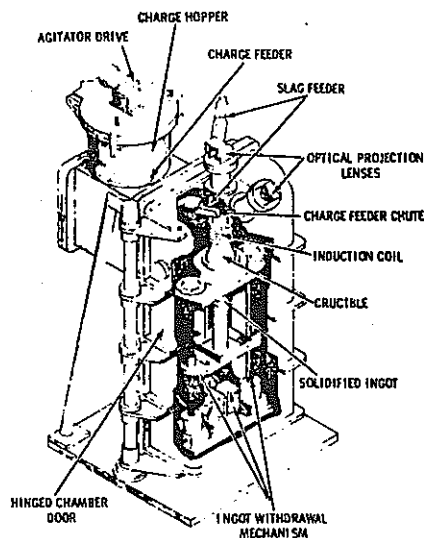


図 1.7 - 2 DRAWING OF INDUCTOSLAG MELTING FURNACE DESIGNED AND FABRICATED FOR IN-CELL MELTING OF ACID LEACHED IRRADIATED FUEL HULLS

1.7.3 グラファイトルツボ法 (33,36)

ハルの減容化に際して低融点の合金を使って溶解する方法も考えられる。Zr を基本とした共晶組成での溶解温度，ルツボとの反応性，インゴットの性質が Battelle 研究所で行なわれている。この実験では，50 kW，3,000 Hz 誘導炉が使われている。ルツボ部は二重のグラファイトルツボとなっており，溶解部のルツボの内径は 1.4 cm である。溶解は 5×10^{-4} Torr 真空中で行なわれ，モールドは $8.9 \text{ cm} \phi \times 3.05 \text{ cm}$ のグラファイト製である。モールドは 5 回の鑄込みでも損傷は見られなかった。溶解の結果は表 1.7-1 にまとめられていて温度が高いとルツボとの反応性も高い。化学組成は表 1.7-2 に示されているが，温度が高いもの (90% Zircaloy) は C の取り込みが多い。その他の成分については，大きな変動はみられない。結論的にインゴットは直接貯蔵にかなうだろうとしているし，又ルツボも再使用可能だとしている。

表 1.7-1 グラファイトルツボでの溶解テスト結果

Zircaloy	SUS	Inconel	鑄込温度	ルツボとの反応性
85 w/o	10 w/o	5 w/o	1300°C	非常に静か
80	13.4	6.6	1315	静か
90	6.7	3.3	1415~	激しい

表 1.7-2 Chemical Analyses of Interstitials

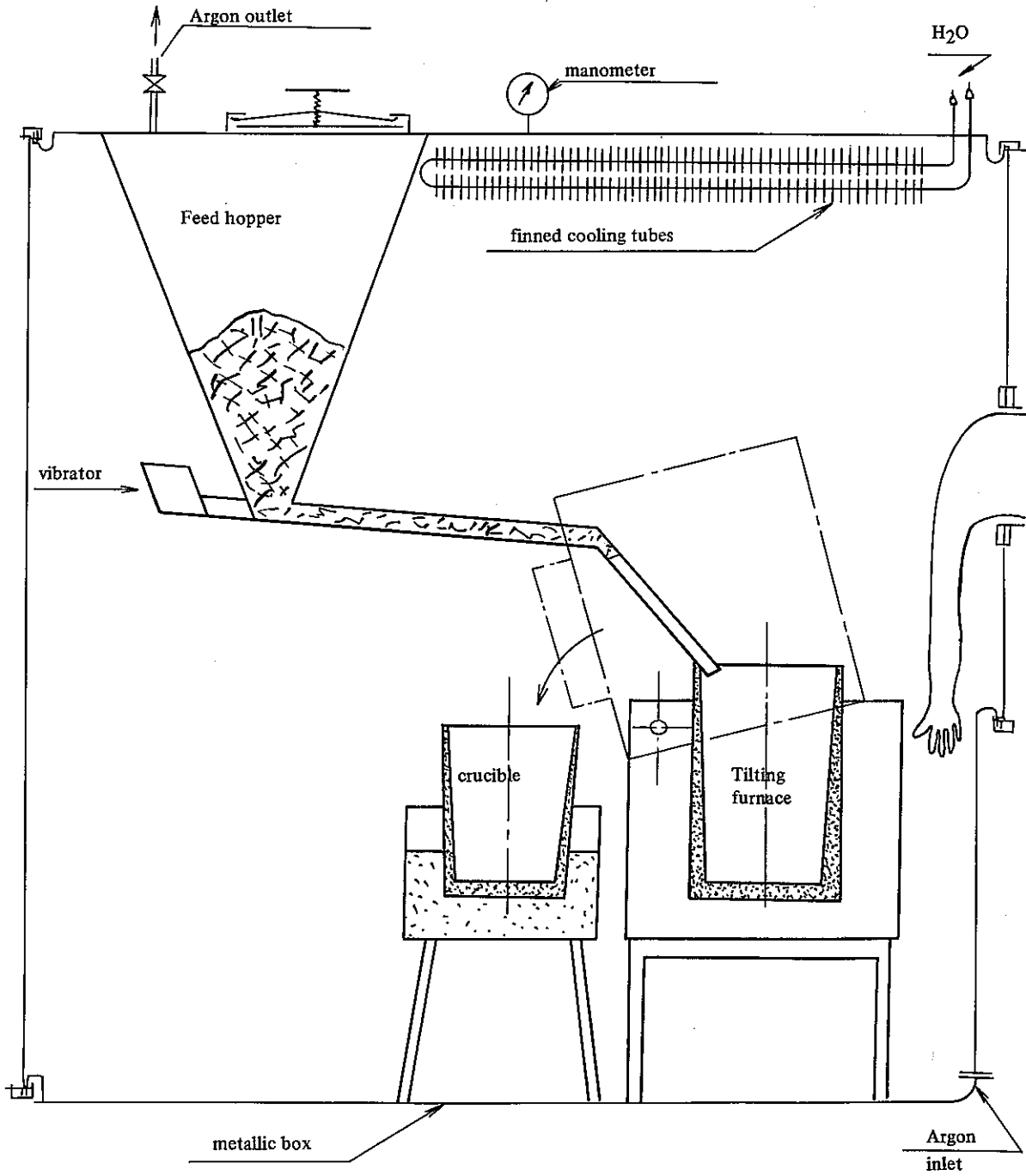
Composition of Ingots, ppm					
Heat No.	90% Zr-2				
	85% Zr-2 Alloy		Alloy	80% Zr-2 Alloy	
	8-29-74	9-5-74	9-12-74	9-18-74	9-26-74
C	100	160	250	160	90
H	24	14	8	60	80
O	1060	1010	980	980	870
N	380	120	200	180	70
Brinell Hardness					
		357	294	377	286
Melt Stock Composition, ppm					
Heat No.	304L		Inconel		
	Zircaloy-2	Stainless Steel	718		
C	100	420	430		
H	22	80	17		
O	1150	50	10		
N	50	350	280		

1.7.3 そ の 他⁽⁵⁴⁾

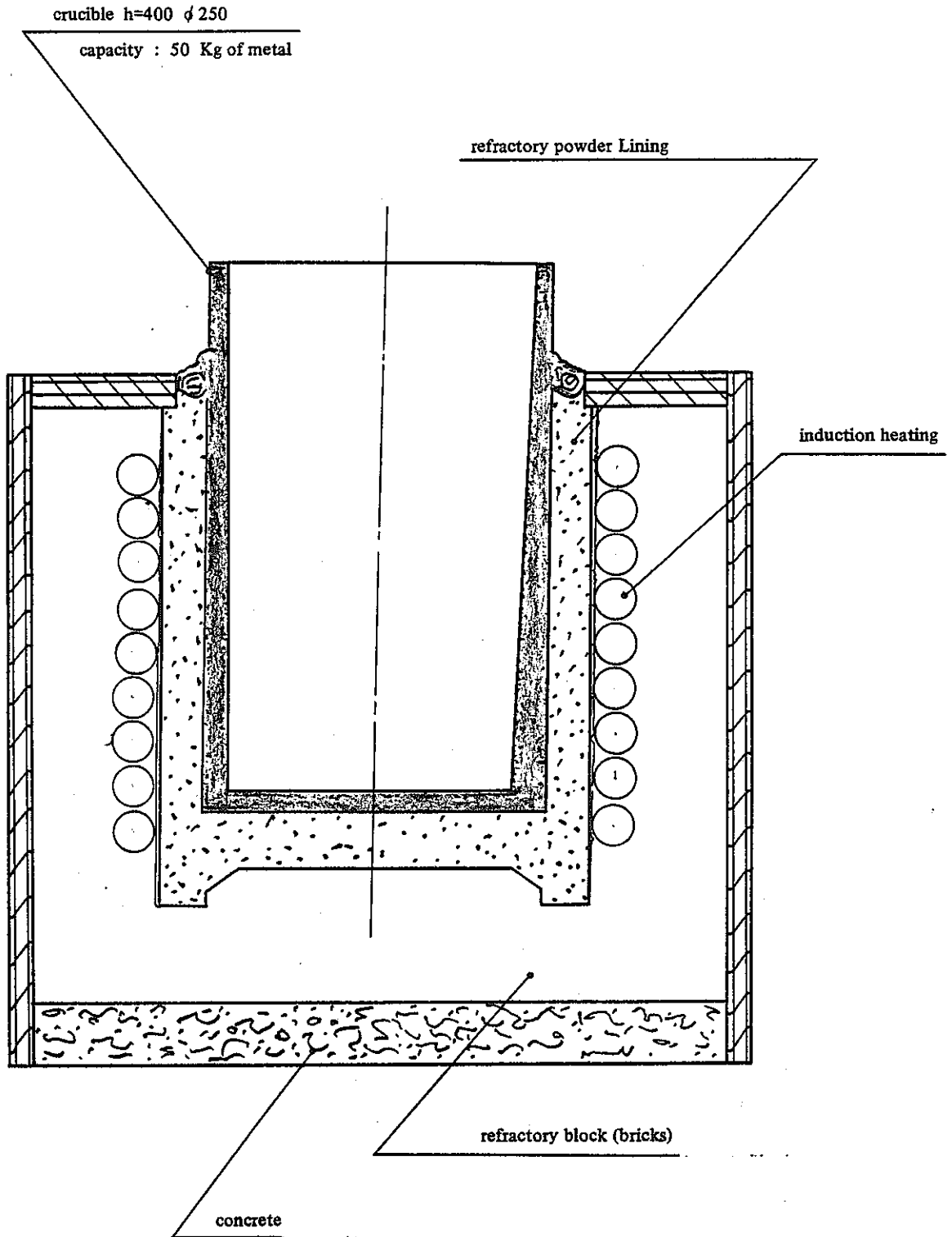
マルクールでの実験は、実験室規模で、995℃で共晶点を持つジルカロイ71.5w/o-Cu21.5w/oと960℃で共晶点を持つジルカロイ83w/o-Ni17w/oが溶解され、1200℃で十分溶解出来る事がわかった。更に準工業的実験として、Ar雰囲気中で50KWの誘導炉でジルカロイ71.5w/o-Cu21.5w/oの溶解を行なっている。実験結果は下記に記し、実験装置の図を図1.7-3, 1.7-4に示す。

ジルカロイ4 - 21.5% Cu

溶湯温度	1125℃
供給速度	50Kg/H
溶融点(液)	1238
" (固)	1188
インゴット重量	22.5Kg(Cu 19.5w/o)



☒ 1. 7 - 3 HALF-SCALE MELTING RIG



1. 7 - 4 MELTING FURNACE (50 KW)

1.8 ハルの貯蔵

1.8.1 ハル貯蔵とその目的

放射性廃棄物管理の面から、ハル（端板も含む）の管理システムは、図1.8-1のよう描くことができる。ハルは発生後二次処理が行なわれるまでの期間一時貯蔵される。この期間は、せいぜい工場の耐用期間（20～30年）以内である。ついでハルはあとの輸送および処分に適した固化体に処理され、処分が実施可能となるまでの期間工場内に貯蔵される。この期間が工場の耐用期間を越えるときは、国の長期貯蔵施設（集中施設、国内各所の再処理工場からの廃棄物を一括して受入れる）へ輸送され、ここで貯蔵されることになろう。現在国の方針では、地層処分の本格的実施の目標を2020年頃としており、少なくとも20～30年間の貯蔵は必要とされる。長期貯蔵するときは、その期間は1つの目標として100年間で考えられている。

このように、ハルの貯蔵期間は高レベル廃液固化体と同様にかなり長期にわたることが予想され、施設は廃棄物の再取出しが容易な構造であるとともに、貯蔵期間中のコンファイメント機能の維持が可能で、廃棄物はこの期間中にガス発生・火災発生などによる損傷もしくは腐食等による容器破損等が発生することのないようその健全性の維持が可能であることが必要条件となる。

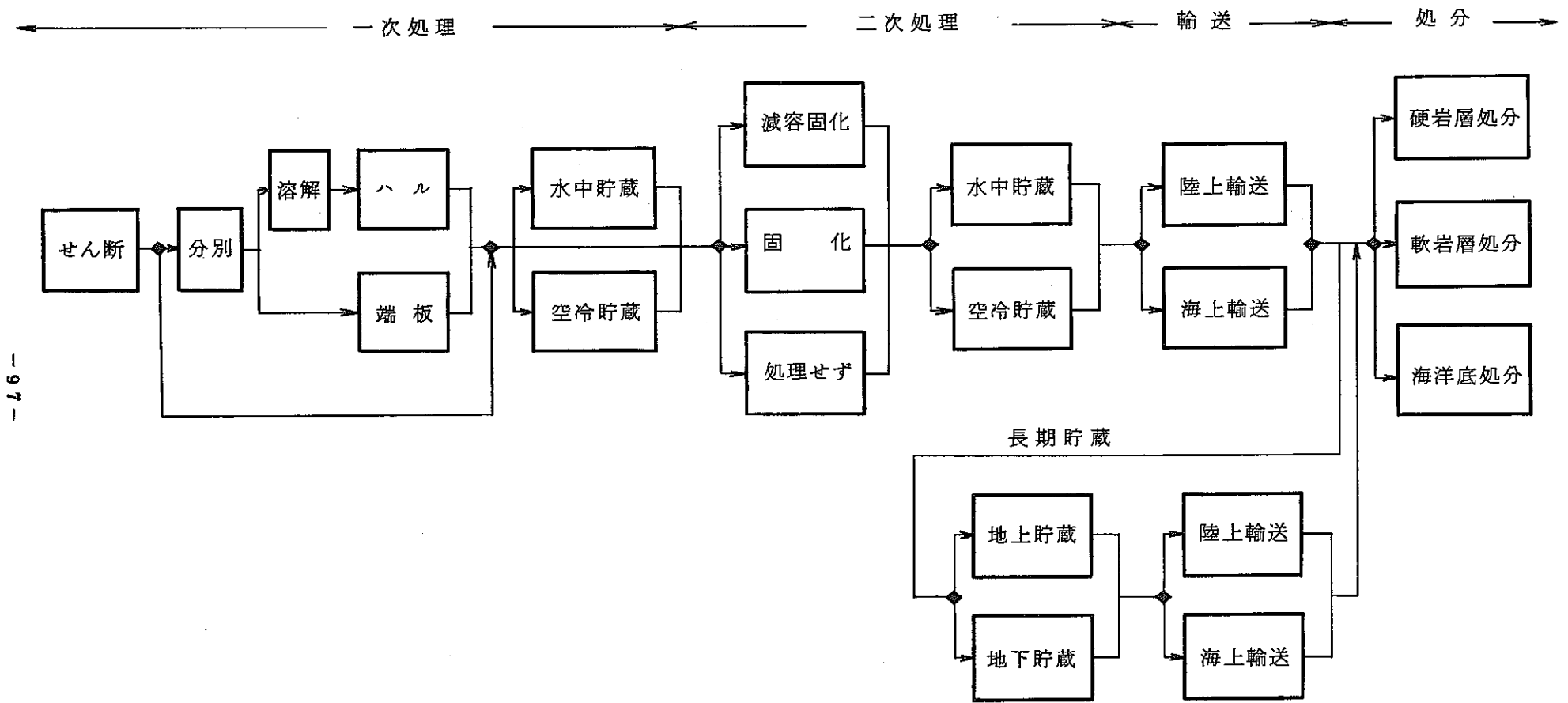


図 1.8 - 1 ハル管理システムの選択肢

1.8.2 ハル貯蔵の現状

各再処理施設におけるハル貯蔵の現状を表1.8-1に示した。

表1.8-1 各再処理施設におけるハル貯蔵の現状

施設名 (会社名)	貯蔵方法
ウインズケール (BNFL)	コンクリートサイロ内で容器に入れて水中貯蔵
ラ・アーグ (COGEMA)	コンクリートサイロ内で容器に入れて水中貯蔵
NFS (NFS)	鋼製ドラム缶(30gal)内に封入後サイト内の地中 (50フィート深さ)に埋設
BNFP (AGNS)	ステンレス製のフランジ付ボルト締めコンテナ(80ft ³) に入れ、地表下貯蔵方式で貯蔵する計画
Exxon (Exxon Nuclear)	ステンレス製容器(3'φ×8'長さ)に入れて溶封し、水 プールで貯蔵
WAK (GWK)	ドラム缶に入れたのちコンクリート固化し、岩塩鉱内へ 処分
タラプール (インド原子力委員会)	軟鋼製容器(約200ℓ)に入れ、サイト内で地中埋設 (710mmφ×4m深さの埋設孔)

(1) ウインズケールおよびラ・アーグ工場⁽¹⁹⁾

ウインズケールおよびラ・アーグ工場で発生するハルは、動燃工場と同様に、コンクリート製ピット内で水中貯蔵されている。

(2) NFS再処理工場

ハルは30ガロンの鋼製ドラム缶内に入れ、工場敷地内の地中埋設場へ運搬し地中埋設されている。埋設場は、粘土層で、巾約32インチ、長さ78インチ、深さ50フィートの孔が掘られ、この中にドラム缶が埋設された。この工場は現在では閉塞されており、埋設されたハルは今後掘出され別途処分されることになろう。

(3) バーンウェル再処理工場⁽¹³⁾

バーンウェル工場(BNFP)は、カータ大統領の核不拡散政策の影響のために、コ

ールド試験まで行なわれたが、ホット運転には至っていない。この工場では、ハルは認識番号を付したボルト締めフランジ付きステンレス製容器に入れて密閉されたのち、キャスクを用いて建家外のハル貯蔵所へ運搬され、ここで貯蔵される。このハル貯蔵所の概要を図 1.8-3 に示す。

ハル貯蔵所には、底付きの鋼製円筒が地表下に埋め込まれており、この上部には遮蔽用のコンクリートプラグが設けられている。コンクリートプラグを取外したのち、鋼製ピット上にハル容器を収納したキャスクが置かれ、キャスク下部を開いてキャスク内のハル容器をキャスク付属の吊下し装置を用いてピット内に吊下す。キャスクを移動させたのちピット上部にコンクリートプラグが挿入される。

この施設は、NFSとは異なり最初から再取出し可能な貯蔵を行なう考えの下に設計されている。

(4) エクソン再処理工場⁽⁴¹⁾

この工場は計画段階で核不拡散政策が実行されて建設認可が得られず、建設されていない。この計画では、ハルはステンレス製容器(3'φ×8'長さ)に入れられたのち蓋を溶接で取付け超音波検査する。この検査に合格したものは、バスケットに入れ使用済燃料貯蔵プールにつながるチャンネルを通してプール中へ運ばれ、プール内の貯蔵へバスケットから移されここで貯蔵される。

(5) WAK

WAKでは、ハルはドラム缶に入れられたのちセメントが充填されて固化される。⁽¹⁹⁾ このコンクリート固化体は、キャスクに入れてAsse岩塩鉱へ運搬され、岩塩鉱ドーム内に処分されている。現在計画中のバックエンドセンタでも同様の方式が計画されている。⁽⁴⁹⁾

(6) タラプール再処理工場⁽⁴⁰⁾

約 200 ℓ 軟鋼製容器に入れ、710mmφ径、4 m 深さの地中に埋設している。

1.8.3 貯蔵方式

ハルを再取出し可能な状態で長期間貯蔵する方式として、以下の三方式が考えられる。

(1) 水プール貯蔵方式

エクソン工場の概念と同様で、ハルを密閉容器に入れ、水中で貯蔵する方式である。冷却上の問題はないが、容器に欠陥があるときはプール水の汚染が生じる恐れがある。

(2) 空冷貯蔵庫方式 (ACVC)

この方式には、煙突効果による自然換気方式 (ACVC) と、排気ファンと HEPA フィルターを用いる強制空冷方式 (Forced Air-Cooling Concept, FACC) とがある。

ACVC の貯蔵建屋は半地下型で、貯蔵庫は地下にセルに区分して設け、キャニスターは垂直なスリーブにセットして貯蔵する。冷却空気は建屋の側面から取り入れ、スリーブ下部から容器との環状の隙間を通過して上部に抜け、建屋のエアベントから大気に放出される。この概念図を図 1.8-2 に示す。⁽⁶³⁾

この方式の特長は、冷却の為に機械装置が不要で、管理が容易で長期間の貯蔵に対して安定性があり、被曝管理が良好である。欠点としては、貯蔵室が大気に開放されているので、容器をオーバーバックする必要があり、高発熱量のもの取扱いに制限があり、冷却空気流が停止した場合キャニスターの内部温度が急速に上昇する。

FACC は ACVC の変形で、ファンによって冷却空気を取り入れ、裸キャニスターを強制空冷し、排気は HEPA フィルターを通して排出する以外は ACVC と同様である。施設は受入れ建屋と貯蔵建屋の二区域よりなる。

ACVC に比べ、冷却能力が大きく、従って貯蔵容量も多く、排気の管理も充分出来るが、建設費が割高で、運転費が高い。その他得失は ACVC と同じである。

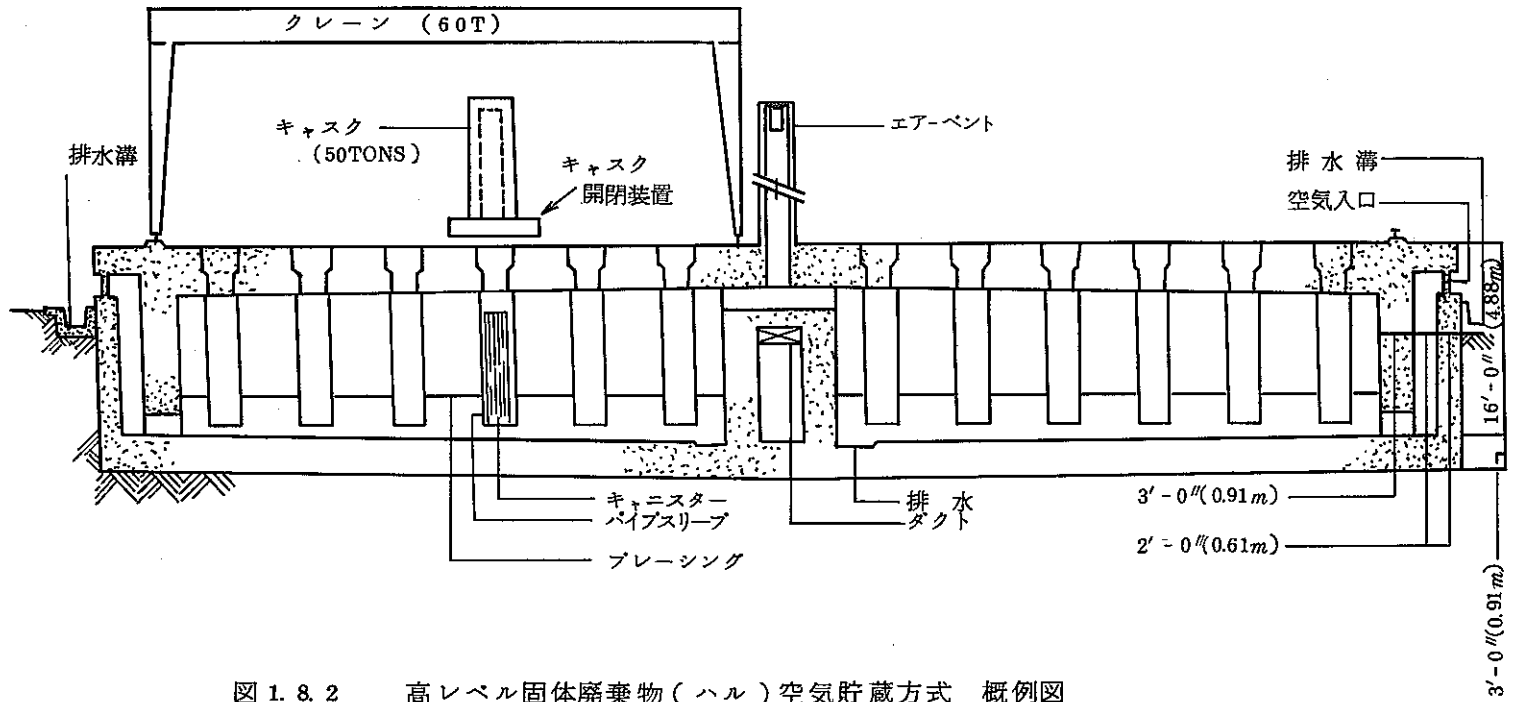


図 1. 8. 2 高レベル固体廃棄物 (ハル) 空気貯蔵方式 概例図

(3) 地表下貯蔵方式 (Near Surface Storage)

この方式は、バーンウェル工場で採用されているもので、土壌を利用して、コンクリート遮蔽床を通して地中にケーソンを設け、この中にキャニスターを収納し、床部でプラグ遮蔽する。熱は土壌を通して拡散させる。この概念図を図 1.8-3 に示す。⁽⁶²⁾

この方式は、空冷貯蔵庫方式に比べ、建設が容易であり、建設費も $\frac{1}{3}$ 以下であるが、敷地は約 2 倍を要する。自然条件のよい所に適する方式である。

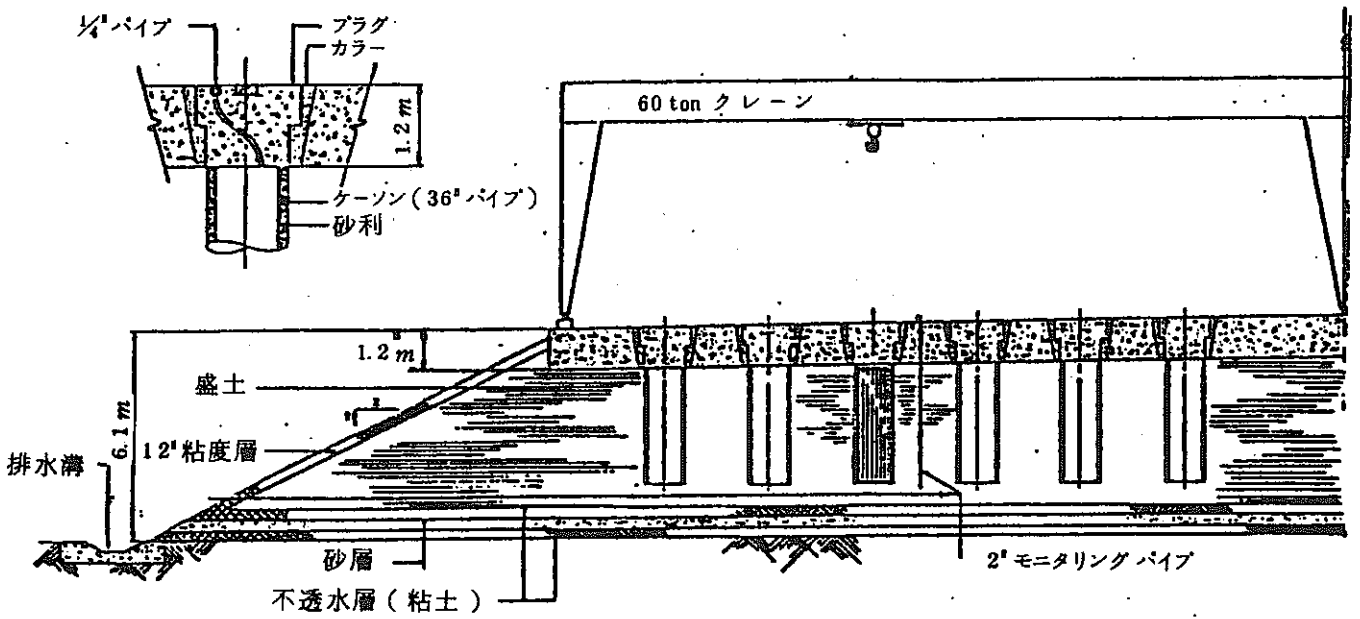
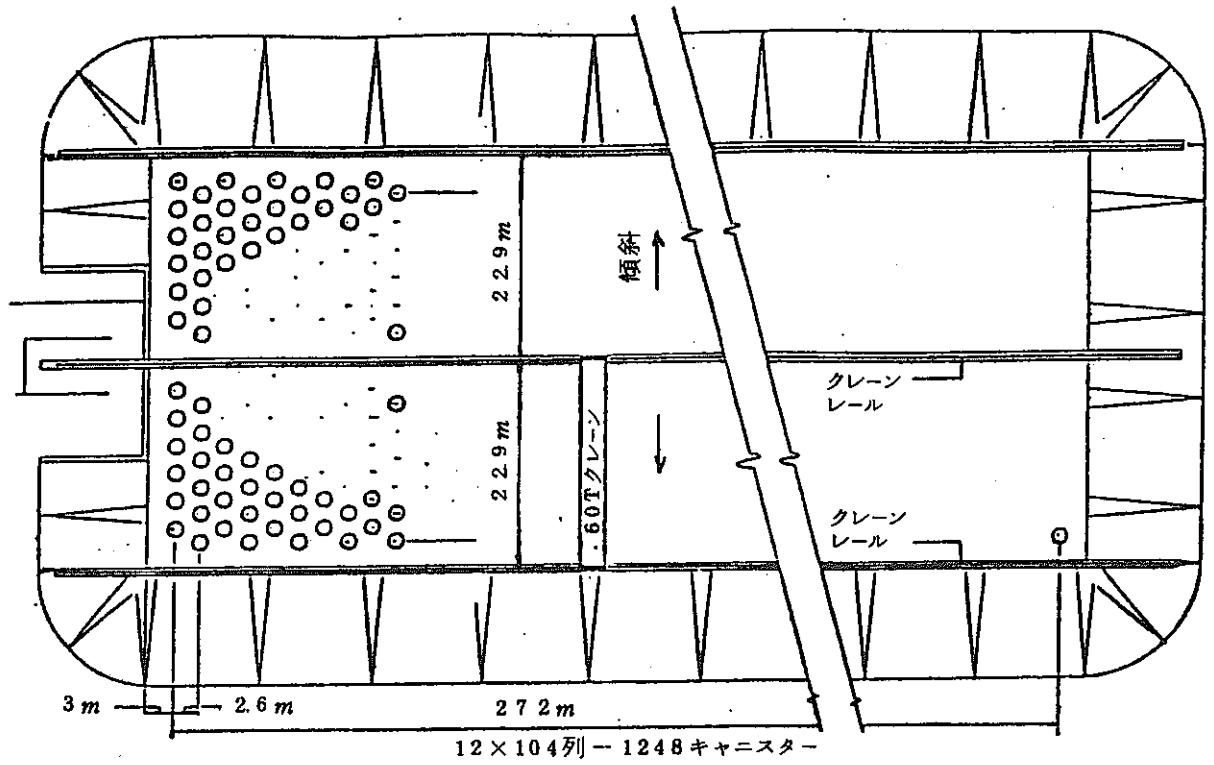


図 1.8 - 3 ハル地表下貯蔵方式概念図

1.8.4 貯蔵に関する今後の検討課題

ハルは、固化処理もしくは処分が可能となるまでの期間工場内で貯蔵される。この貯蔵は、ハルの履歴の識別が可能で、取扱いおよび貯蔵時の安全性が確保され、かつ再取出し容易な方式であることが望ましい。この貯蔵方式の選択のためには、今後以下の事項の検討が必要であろう。

- ① 貯蔵容器の密封方法とその健全性
- ② ハルの貯蔵形態
- ③ 貯蔵容器健全性の確認方法
- ④ 貯蔵時の事故の安全評価

1.9 ハルの処分

1.9.1 わが国の処分体系

原子力委員会の方針（昭和53年10月8日）によれば、「高レベル放射性廃棄物は安定な形態に固化し、処分をするものとする」と規定し、処分は「当面地層処分に重点を置き、わが国の社会的・地理的条件に見合った処分方法の調査研究を早期に進め、今後3～5年のうちに処分方法の方向づけを行なうものとし、さらに昭和60年代から実証試験を行なうことを目標とする」としている。

高レベル放射性廃棄物の定義は定まっていないが、ハルは比較的放射能が高いため海洋投棄が禁じられており、高レベル廃液固化体と同様に取扱う考えが一般的である。

高レベル放射性廃棄物の処分法としては、種々の方法が提案されているが、わが国では以下の方法が現実的と考えられる。

- ・地層処分（硬岩層または軟岩層）
- ・海洋底処分

このうち、海洋底処分は輸送が容易で、将来の地下資源利用への障害がなく極めて望ましい方法であるが、国際的合意を必要とするためにその実現性は地層処分と比べてより困難と思われる。したがってハルは当面地層処分することを前提に固化処理を検討することが妥当である。参考として各国の処分体系の現状を表1.9-1に示した。

表 1.9-1

各国の再処理廃棄物の処分方針

	日 本		米 国		英 国		仏 国		西 独	
	区 分	処 分	区 分	処 分	区 分	処 分	区 分	処 分	区 分	処 分
低レベル	$\alpha < 1 \text{ Ci/t}$ $\beta < 10^2 \text{ Ci/t}$ (注) $(t_{1/2} > 0.6 \text{ 年})$	海洋処分	$\alpha < 10^4 \text{ Ci/g}$ および 高レベル以外	地中処分	$\alpha < 20 \text{ Ci/yd}^3$ $\beta < 60 \text{ Ci/yd}^3$	地中処分	$\alpha < 1 \text{ Ci/m}^3$ $\text{Sr } 90 < 10^2 \text{ ,,}$ その他 $< 10^3 \text{ ,,}$	地中処分	$\beta < 10^{-1} \text{ Ci/m}^3$ $\alpha < 5 \text{ m Ci/m}^3$ または $\alpha < 10^2 \text{ Ci/m}^3$	岩塩層処分
中レベル		不能なものは陸地処分								
高レベル	高レベル 廃液固化体	地層処分 (軟岩層) (硬岩層) (海洋底)	・再処理 第1抽出 工程 廃液固化 体 ・アルファ $(\alpha > 10^4 \text{ Ci/g})$	地層処分 (花崗岩) (岩塩層) (頁岩層)	・高レベル 廃液固化 体 ・ハル	地層処分 (硬岩層) (海洋底)	・高レベル 廃液固化 体 ・ハル	地層処分 (花崗岩層) (粘土層)	低・中レベル以外	岩塩層処分

(注) 1000トンあたりの平均値

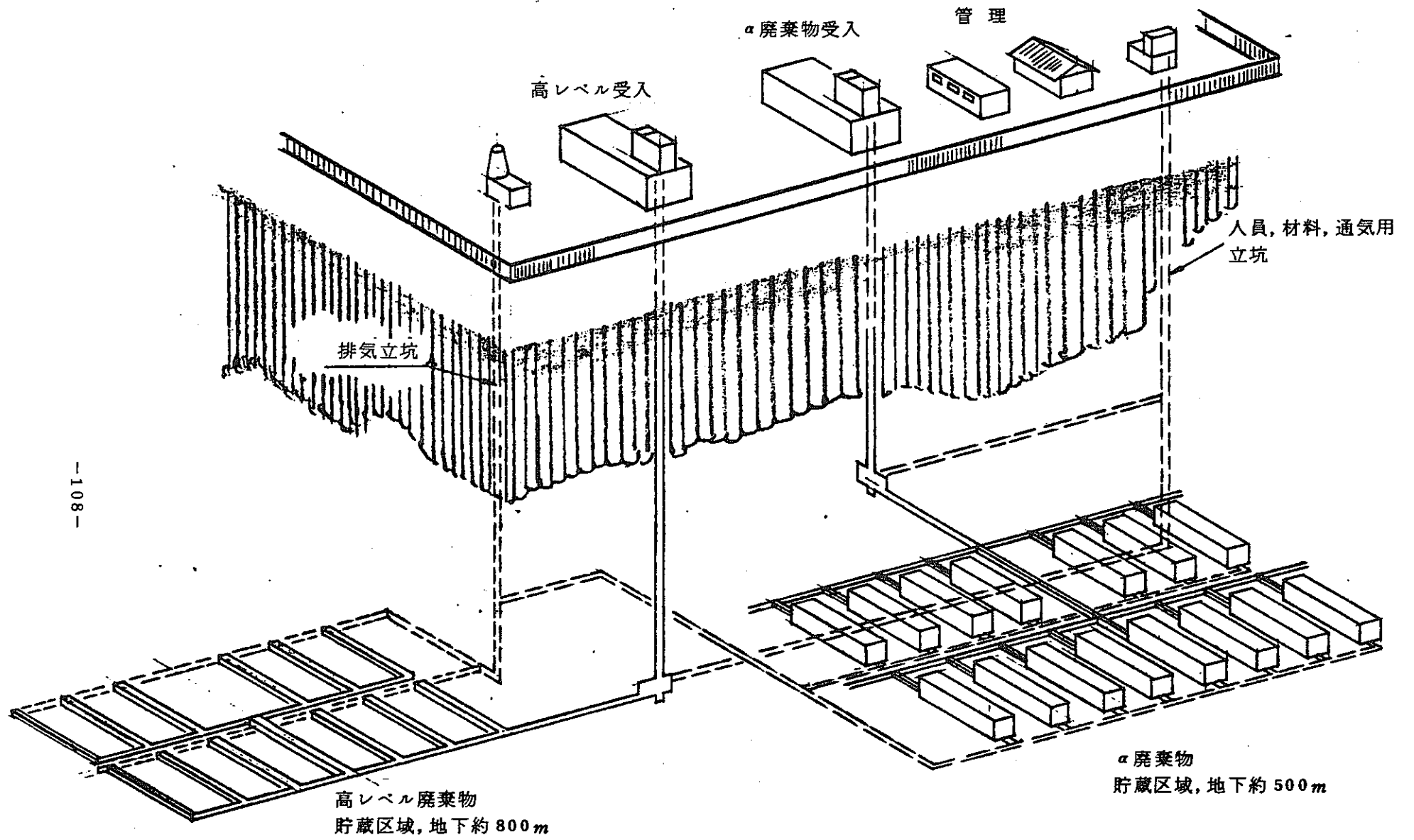
1.9.2 地層処分施設の概念

地層処分施設の概念を図1.9-1, 1.9-2に示す。廃棄物はトレーラもしくはトラックにより処分場へ搬入される。処分場では、廃棄物は積卸しされ、固化体が輸送容器から取出され検査される。検査に不合格な廃棄物は、ここで再包装される。

合格後の廃棄物は、坑内輸送用の容器に入れられ、縦坑を通して地下数百mの処分地へ運ばれる。

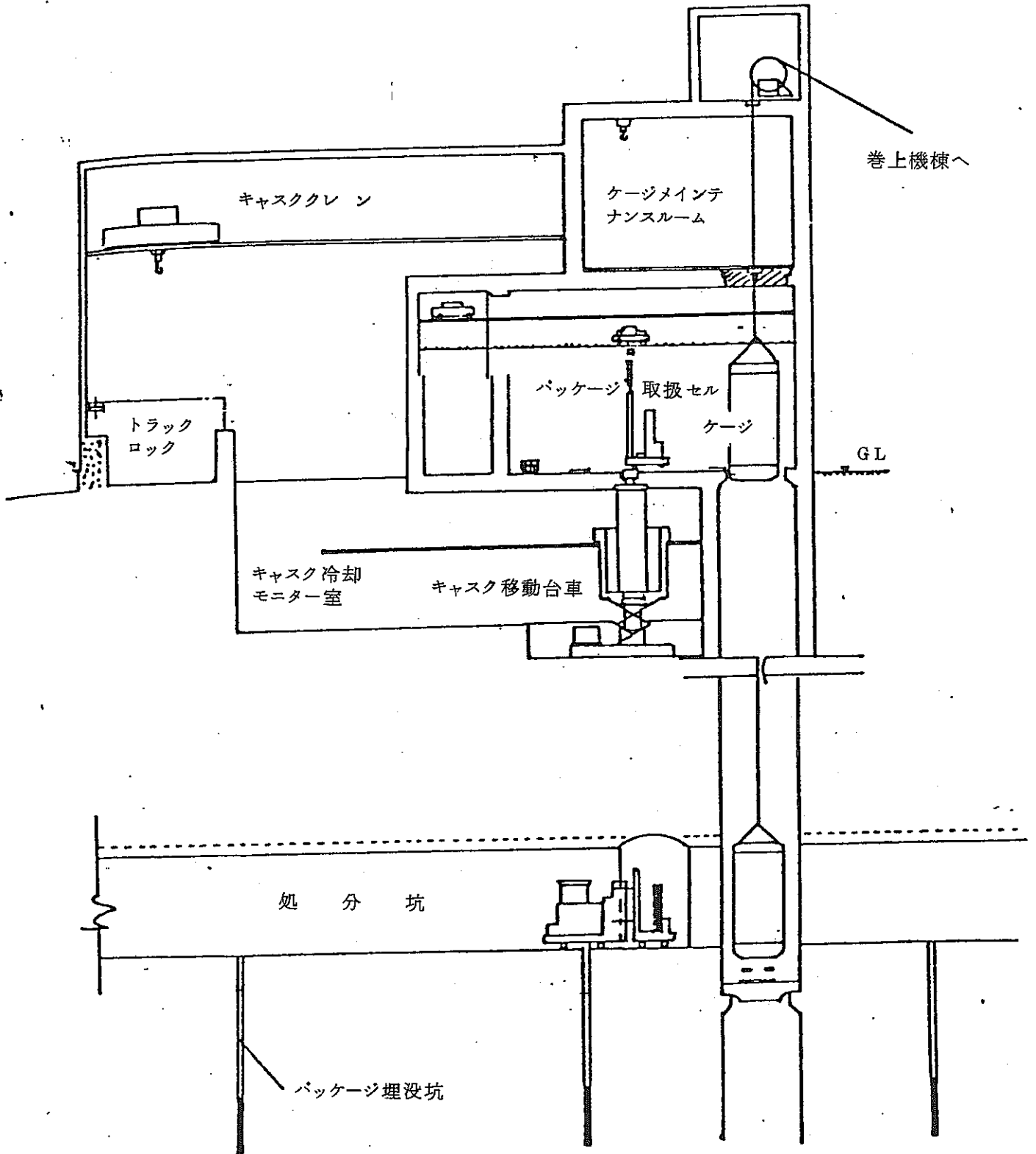
処分地は、高レベル用と中低レベル用に分かれている。前者は水平坑道床面に適当な間隔でたて孔を開けたもので、廃棄物は坑内輸送容器からこのたて孔内へ吊下され、上部に遮蔽用のコンクリート蓋が取付けられる。スウェーデンでは多重の工学バリアを設ける考えから、廃棄物容器外部にオーバパック（地下水に対して耐食性の優れた金属複合材料もしくはセラミクス材料で容器を覆ったもの）を施し、さらにその周辺に放射性核種の吸着性能の優れた土壌を詰めることが考えられている。この概念図を図1.9-3に示す。

一方、中低レベル処分地は、大きな地下空洞でこの中廃棄物はパッケージ体ごと収納される。



-108-

图 1.9 - 1 地層処分概念図



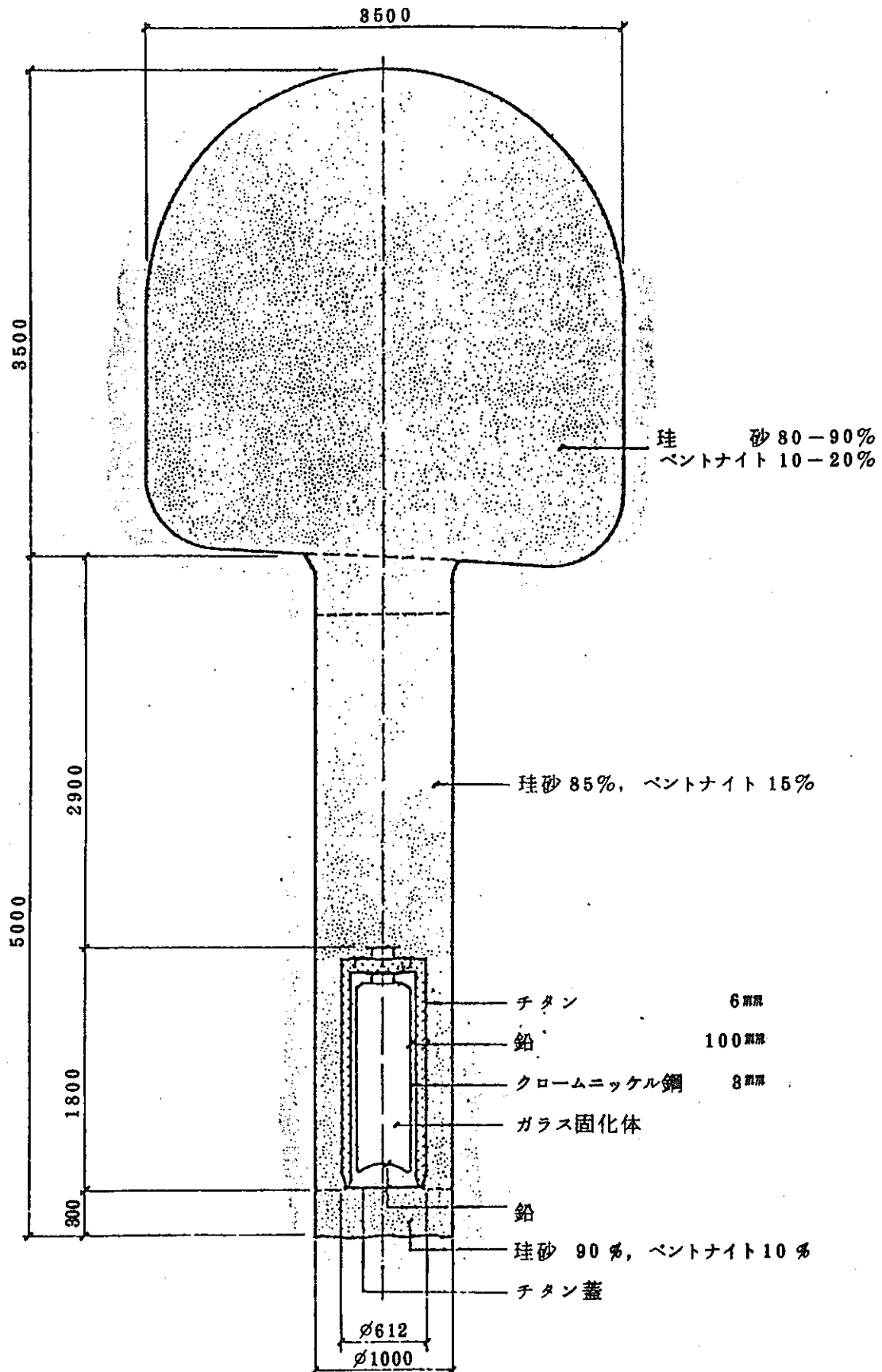


図 1.9 - 8 埋戻し完了後の最終貯蔵施設

1.9.3 処分からの固化体要件

二次処理は、処分を前提とした処理であるので、処分からの固化体への要求事項を予め明確にする必要がある。しかしながら、現状では地層処分技術の開発は処分に適した地層調査の段階にあり、処分固化体の要求事項を具体的に示すことは不可能である。一般的には、高レベル廃液固化体と比べて放射能および発熱量が $1/100 \sim 1/1000$ 小さいので、処分からの制約条件はなく、むしろ中間貯蔵もしくは長期貯蔵からの要求事項がより重要となろう。

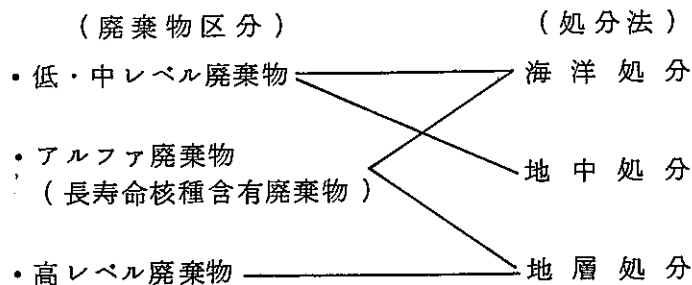
一般的な要求事項は、以下のように考えられる。

- ① 固化体は少なくとも100年間以上安定であること。
- ② 固化体は浸出度およびガス発生量が小さく、発火の危険性がないこと。
- ③ 固化体容器は、少なくとも100年間以上内圧に耐えること。
- ④ 固化体容器は、貯蔵条件下で少なくとも100年以上気密性が維持できること、かつ気密検査が可能な構造であること。
- ⑤ 固化体容器は、貯蔵および処分時の固化体ハンドリングならびに貯蔵が容易に行なえる構造であること。
- ⑥ 固化体および容器は、貯蔵もしくは貯蔵・処分時のハンドリングに際して想定される事故条件下で、重大な災害を発生しない機能を有すること。

1.9.4 ハル除染の意義

ハルは、構成元素の放射化による放射能のほかに、未溶解燃料の付着による放射能を有している。したがって、後者の除去が可能となれば、ハルの有する放射能は放射化によるもののみに限られるので、あとの管理がより容易になることが期待される。

わが国の処分体系は、以下のようになる。



このうち、海洋投棄処分に関する廃棄物の放射能限度はすでに制定されているが、その他の処分に関する値はわが国ではまだ定められていない。

(1) 海洋投棄処分の可能性

海洋投棄に関する廃棄物の放射能限度は、表 1.9-2 のように定められている。ハル放射化放射能の値は表 1.1-6 の通りで、約 1/100 以下に放射エネルギーをおとすことができれば α 放射性廃棄物に関する海洋投棄放射能限度をみだが、放射化による β 放射エネルギーは海洋投棄限度を上回ることになり、結局海洋投棄は不適である。

表 1.9-2 海洋投棄体の放射能限度

放射物質の種類	放射能濃度
1. アルファ線を放出する放射性物質 (次号に掲げるものを除く)	1 Ci/ton
2. ラジウム 226 及び鉛 210 と共存するポロニウム 210	0.1 Ci/ton
3. アルファ線を放出しない放射性物質(トリウムを除く)であつて半減期が6カ月以上のもの又は半減期が不明なもの	100 Ci/ton
4. トリチウム及びアルファ線を放出しない放射性物質であつて半減期が6カ月未満のもの	10 ⁵ Ci/ton

前項の放射能濃度の算定は、その重量の合計が1000トンを超えない投棄物毎に、当該投棄物中に含まれる放射性物質の数量の合計を当該投棄物の重量の合計で除すことによつて行なうものとする。

(2) アルファ廃棄物すそ切りのための除染

アルファ廃棄物の放射能下限は、わが国ではまだ定められていないが、米国では地中(浅地層)処分に供しうる α 放射能の限度として漸定的に 10 nCi/g と定めている。ハル中の α 放射能濃度をこの値以下にするには、約 10³ 以上の除染係数が必要となる。

(3) 処理のための除染

処理対象物の放射エネルギーが低い程取扱いはより容易になることが予想される。ハル処理の場合は、臨界管理上の問題は重要でないので、除染は運転・保守に伴う放射線被曝および二次廃棄物中の放射エネルギーの低減などを目的としたものとなる。この除染の程度は、除染のプラス面とマイナス面(除染ステップ付加、二次廃棄物発生など)のバランスから定められることになろう。

1.10 ジルコニウムの再利用の可能性

ハルの主要構成材料であるジルコニウムの再利用が可能であれば省資源の見地からも有意義である。一方、核融合時代の課題の一つとしてトリチウムの処理があり、ジルコニウムはトリチウムゲッターとしても期待されてくるであろう。

1.1 ハルの特性で述べているように、ハルの構成材料には、ジルカロイ、ステンレススチール、インコネルがあるので、ジルコニウムの再利用を考える場合には、まずジルカロイとその他の材料を分離する必要がある。

ジルカロイハルの表面には、未溶解燃料残渣等の放射性物質が付着しているので、

1.2 前処理で述べた表面洗浄法で完全に除染する必要がある。

以上の処理でジルカロイのベースメタルが得られるわけである。しかしジルカロイ中には不純物としてウランが現在の仕様では 3.5 ppm 以下ふくまれていて、原子炉内で高度に照射されると 10 nCi/g 以上の超ウラン核種を生ずる可能性がある。

表面を完全に除染したジルカロイを溶融法により更に除染してきれいなジルカロイを回収する試験が Battelle で行なわれている。

ジルコニウムをきれいな形で回収するには、以上のように、材料の分離、表面除染、溶融等の処理が必要であり、最終の溶融法による除染には、希薄な超ウラン核種濃度を更に希薄にさせねばならず、ゾーンメルティング法等の技術を用いることになる。ゾーンメルティング法は高純度の電子材料の製造に用いられている技術で、ジルカロイハルからの回収に用いるには経済的に無理があると考えられる。

きれいなジルコニウムにして再利用する方法以外に特別の除染を実施しないで、原子力産業界内で再利用する方法が考えられる。このような再利用の方法を以下述べる。

1.1.0.1 高レベル廃液吸着剤

Zr を $\text{NaZr}_2\text{O}_5\text{H}$ であらわされる無機のイオン交換体に変換し、そのイオン交換によって高レベル廃液を吸着処理する方法が提案されている。詳細は 1.6.5 (3) に述べられている。

1.1.0.2 トリチウム補集材

ハルをインゴットに溶融する際、ハルに吸収されていた水素やトリチウムを放出する。この放出された水素は他のインゴットに吸収され約 100 ppm の水素濃度となる。Zr-(Fe, Ni, Cr) 合金およびジルカロイ-4 は、両方とも充分速く水素を吸収するので、ハル溶解の際除去される水素の貯蔵用として有効である。⁽⁵⁶⁾

2. 減容処理方式の評価・選定

1. 文献・施設等の調査で述べた処理方式，すなわち，(a)マトリックス形成，(b)機械的処理，(c)化学的処理，(d)高温化学的処理，(e)冶金的处理の各方式を以下評価，選定する。選定された3つの方式について，各処理方式内でのプロセスにつき評価し，特定のプロセスを選定する。

2.1 処理方式の評価・選定

2.1.1 処理方式の評価・選定基準

評価・選定項目としては，いろいろな項目が考えられうるであろうが，ここでは，(1)減容比，(2)ハル等に付着しているウラン，プルトニウム等の核物質の回収の可能性の有無，(3)二次廃棄物の量，(4)構成材料（ジルカロイ等）の回収利用の可能性の有無，(5)保守性および操作性，(6)発火性及び処理後の安定性，(7)開発状況，(8)建設・運転コストにつき検討する。特に(1)の減容比に関しては，他の項目に比べ，2倍の評価を与えることとする。

2.1.2 評価結果

各項目の評価結果は以下のとおりである。

(1) 減容比

減容比が大なるものから順に示すと，(1)冶金的处理（ $\frac{1}{2}$ ），(2)機械的処理（ $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ ），(3)高温化学的処理（ 1 ～ $\frac{1}{2}$ ），(4)化学的処理(1)，(5)マトリックス形成（ 1 以上）となると判定される。ただし，(2)の機械的処理と(3)の高温化学的処理の比較は，本質的には，いずれの方式も理論密度付近までの減容化は可能なので，順位としては同列とみなされる。

(2) ハル等に付着しているウラン，プルトニウム等の核物質の回収の可能性の有無

前処理として除染を効果的に行なえれば，どの方式も核物質の回収の可能性はあるといえる。そこで，ここでは前処理を前提としない場合の比較を試みる。可能性のあるものとしては，(1)化学的処理，(2)高温化学的処理，(3)冶金的处理があり，可能性がほとんどないものとして，(4)機械的処理，(5)マトリックス形成がある。

(3) 二次廃棄物の量

二次廃棄物の量が小なるものから順に示すと，(1)マトリックス形成，(2)機械的処理，(3)冶金的处理，(4)高温化学的処理，(5)化学的処理となると判定される。

(4) 構成材料（ジルカロイ等）の回収利用の可能性の有無

可能性があるものとして、(1)高温化学的処理、(2)冶金的処理、(3)化学的処理があり、回収利用が困難なものとして、(4)機械的処理、(5)マトリックス形成がある。回収利用の用途については、一般産業界向けは期待できそうにない。原子力産業界での利用の仕方については今後更に検討を進める必要がある。

(5) 保守性および操作性

想定される各方式の装置の単純さにより比較されるとみなして、保守性および操作性の容易さは、(1)マトリックス形成、(2)機械的処理、(3)化学的処理、(4)冶金的処理、(5)高温化学的処理の順となろう。

(6) 発火性及び処理後の安定性

機械的処理方式ではジルコニウム微粉による発火の可能性があり、その防止法を確立する必要がある。マトリックス形成では、個々のプロセスにより処理後の安定性は異なり一概にはいえないが、冶金的処理、高温化学的処理、化学的処理に比べ一般に安定性は劣ると考えられる。総合的にみて、(1)冶金的処理、(2)高温化学的処理、(3)化学的処理、(4)マトリックス形成、(5)機械的処理の順となろう。

(7) 開発状況

開発が進んでいるものから順にあげていくと次のようになろう。

- (1) マトリックス形成：実証段階に近い
- (2) 機械的処理：未照射ハルについては実証段階に近い
- (3) 化学的処理：パイロットプラント規模
- (4) 冶金的処理：模擬ハルで実証段階
- (5) 高温化学的処理：実験室規模

(8) 建設・運転コスト

建設・運転コストを相対的に比較し、小なるものから順に示すと、(1)マトリックス形成、(2)機械的処理、(3)冶金的処理、(4)化学的処理、(5)高温化学的処理となると判定される。

処理方式、(a)マトリックス形成 ～ (e)冶金的処理、に対し、上述の評価・選定項目(1)～(8)の順位およびそれらの項目のうち特に減容比を重視し、満点として200点を配し、その他の評価項目には100点を配した場合の得点を表2.1-1に示す。評

評価結果は合計得点の高い順に、冶金的处理、機械的处理、高温化学的处理、マトリックス形成、化学的处理となった。この評価結果より、上位の冶金的处理、機械的处理および高温化学的处理の3方式を選定し、以下の節ではそれらの3方式のうちから、それぞれ具体的なプロセスを選定することとする。

表 2.1 - 1 処理方式の評価・選定

	(1) 減容比	(2) U、Pu等の回収性	(3) 二次廃棄物の量	(4) 回収利用の可能性	(5) 操作性および保守性	(6) 後の安定性及び処理	(7) 開発状況	(8) コスト・運転	合計得点
(a)マトリックス形成	1 以上 (5) (40)	無 (5) (20)	(1) (100)	無 (5) (20)	(1) (100)	(4) (40)	実証段階に近い (1) (100)	(1) (100)	(4) (520)
(b)機械的処理	$\frac{1}{8} \sim \frac{1}{6}$ (2) (160)	無 (4) (40)	(2) (80)	無 (4) (40)	(2) (80)	発火の可能性あり (5) (20)	未照射ハルについては実証段階に近い (2) (80)	(2) (80)	(2) (580)
(c)化学的処理	1 (4) (80)	有 (2) (80)	(5) (20)	有 (3) (60)	(3) (60)	安定 (3) (60)	パイロットプラント規模 (3) (60)	(4) (40)	(5) (460)
(d)高温化学的処理	$1 \sim \frac{1}{6}$ (2) (160)	有 (1) (100)	(4) (40)	有 (1) (100)	(5) (20)	安定 (2) (80)	実験室規模 (5) (20)	(5) (20)	(3) (540)
(e)冶金的処理	$\frac{1}{6}$ (1) (200)	有 (3) (60)	(3) (60)	有 (2) (80)	(4) (40)	安定 (1) (100)	模擬ハルで実証段階 (4) (40)	(3) (60)	(1) (640)
<p>()内の数値は総合判定順位を示す。 ()内の数値は評価項目のうち特に減容比を重視し200点満点を配し、他の評価項目は100点満点としたものである。</p>									

2.2 冶金的処理方式でのプロセスの評価・選定

ハル溶解に当って Battelle 研究所で各種溶融法の詳細な検討を行っている。⁽³⁵⁾ 選定に当って次の各点に基準を置いている。

- ① 径 9.5 ~ 15 cm のインゴットを 8 時間で 90 ~ 130 Kg 造りうる水冷ルッポ型である事
- ② ハルを用いた電極を作ることなく一回の熔解でインゴットに出来る事
- ③ 炉の操作, ハルの供給, 溶解, 取り外し, クリーニング保守がホットセル内で遠隔で行える事
- ④ Zr をベースとした合金の再溶解の他に, SUS, インコネル或いはこれらの合金も溶解出来る事
- ⑤ ホットセルは可能な限り小さい事
- ⑥ N, O の混入が少なく高品位のジルカロイが再溶解出来る事
- ⑦ 50 μ 程度の酸化皮膜のあるものを溶かせる事
- ⑧ 雰囲気ガス, 冷却システムは閉ループの循環を考える事
- ⑨ 操作と保守の安全性が第一に確保されている事

上記の条件をふまえて, 次の 10 種類の溶解法が検討された。

- 1 Inductoslag
- 2 Plasma
- 3 Mechanical Rotating Nonconsumable Electrode (MRNE)
- 4 Arc Magnetically Rotated Nonconsumable Electrode (AMRNE)
- 5 Carbon Electrode
- 6 Tungsten Electrode
- 7 Consumable Electrode
- 8 Electron Beam
- 9 Hollow Electron
- 10 Indirect Arc

比較された各方法の評価は表 2.2-1 にまとめられている。結論としては, Inductoslag, Plasma, MRNE, AMRE が秀れているとしているが, スラグの処理についての問題がなければインダクトスラグが最も好ましい方法であるとしている。

インダクトスラグは未だ開発段階であるが、前述の評価は妥当であると思われる。グラフィートルツボの誘導溶解法も検討に加えられるべきだが、ルツボの寿命（即ち固体廃棄物が増加する）、操作性で劣ると考えられるのでインダクトスラグ法を選定する。

表 2.2-1 評価表

溶 解 法	電 力 Volt A	真 空 度	ハル 供給方法	湯溜 深さ	鑄造方法	処理能力	設備の 複雑さ	保守性	コントロール	セルへの 適応性	安全性	開発状況	インゴット の 品 質	クリーンアップ の 必 要 性	総合評点
インダクトスラグ法	450 220 10KHz	250mmHg He, Ar	振 動 ロータリー	深	引抜き (W) Skull (SK) Static (St)	3 Kg 約0.45 / 15kg	2	2	2	2	2	2	(W) 1 (Sk) 1 (St) 1	1 3 1	17 19 17
プラズマ法	200DC 3,000	250 ^{mmHg} ~ 1atm Ar	振 動 ロータリー	浅	引抜き	2 kW/Kg	3 トーチ自身が 複雑	3 プラズマトー チに問題あり	2	3	2	2	3	1	21
Mechanical Rotating Nonconsumable Electrode (MRNE法)	40DC 15,000	20×10 ⁻³ ~ 20mmHg	振 動 ロータリー	深	引抜き Skull Static	1 1.5~2 kW/Kg	3 回転部分に やや問題あり	3	2	2	2	1	(W) 2 (Sk) 1 (St) 2	2 3 2	18 18 18
Arc Magnetically Rotated Nonconsumable Electrode (AMRNE法)	50 11,000	20×10 ⁻³ ~ 20mmHg	振 動 ロータリー	深	同 上	1 1.5~2.2 kW/Kg	4 電極チップ にむずかし さがある。	3	2	3	2	1	(W) 2 (Sk) 1 (St) 2	2 3 2	20 20 20
カーボン電極法	40 15,000	1 atm Ar	振 動 ロータリー	深	同 上	2 1~2 kW/Kg	2	2	2	4 電極の汚染	2	1	(W) 3 (Sk) 3 (St) 3	2 2 2	20 20 20
タングステン電極法	40	1 atm Ar	振 動 ロータリー	深	同 上	3	2	2	2	3	2	3	(W) 3 (Sk) 3 (St) 3	2 2 2	22 22 22
消耗電極法	40 15,000	10 ⁻² mmHg ~ 1atm Ar	電極降下	深	同 上	3	4 電極製造, 交換装置に 問題あり	3	2	4 電極製造が むづかしい	2	1	(W) 2 (Sk) 1 (St) 1	2 3 2	23 23 22
電子ビーム法	20KV 30	5×10 ⁻⁴ mmHg	振 動 ポート	浅	引抜き	4	4 電子ビーム 銃が複雑	4	3	4 システムの複 雑さ高真空の 維持	3	1	3	4	30
Hollow Electrode	75 4,500	5×10 ⁻³ ~ 5×10 ⁻¹ mmHg	振 動 ポート	浅	同 上	4	3	4	3	4 コイルに供給 方法に難が ある。	2	4	3	4	31
間接アーク法	40 15,000	1 atm Ar	振 動 ロータリー	浅	同 上	4	3	3	3	4 効率の低さに 問題あり	2	4	3	4	30

評点は, 1:優 2:良 3:可 4:困難

2.3 機械的処理方式でのプロセスの評価・選定

機械的処理方式のうちプレス減容，ロール減容，HIP法以外は報告がないので除外する。

プレス減容とロール減容はそれだけでは貯蔵を考えた場合不安定であり，マトリックス形成等の後処理が必要である。HIP法は処理後の安定性はあると思われるが前処理減容が必要である。そこで機械的処理を前処理と後処理の二段階に別けて評価・選定する。

2.3.1 前処理方式の評価

プレス減容とロール減容を比較検討する。

比較項目としては(1)減容比，(2)発火性及び処理後の安全性，(3)開発状況につき検討する。設備の保守性，建設コスト，核物質の回収性，ジルカロイの回収性については同程度と思われるので除外する。

(1) 減容比

プレス減容の方が良い。プレス減容の減容比は4.9（理論密度の75%）まで可能，ロール減容は3.3（理論密度の50%）程度である。

(2) 発火性及び処理後の安定性

どちらも発火の危険性があり，処理後の安定性もないが，ロール減容の方が微粉が発生しやすい。

(3) 開発状況

照射ハルの減容についてはどちらも実証されていない。プレス減容は低レベル・乾燥廃棄物について行なわれており，未照射ジルカロイについても広く研究されているのでロール減容より開発は進んでいる。

2.3.2 後処理方式の評価

HIP法とマトリックス形成を比較検討する。

比較項目としては(1)減容比，(2)建設コスト，(3)開発状況につき検討する。その他については同程度と思われるので除外する。

(1) 減容比

HIP法は理論密度75%程度のものを100%近くに減容する。マトリックス形成は減容にはならない。

(2) 建設コスト

H I P法の方が高くつくだろう。

(3) 開発状況

マトリックス形成は実証段階に近い。H I P法は模擬ヘル（未照射）での固化試験が報告されている。

2.3.3 処理方式の選定

評価結果を表 2.3 - 1 に示す。前処理ではプレス減容の方が良い。後処理ではH I P法とマトリックス形成の間に差はない。評価の結果，プレス減容・H I P法，プレス減容・マトリックス形成の二方式を選定する。

表 2.3 - 1 機械的処理方式の評価結果

		減容比	建設コスト	発火性・処理後の安定性	開発状況	合計得点
前処理	プレス	200	—	100	100	400
	ロール	160	—	80	80	320
後処理	H I P	200	80	—	80	360
	マトリックス	160	100	—	100	360

減容比は200点満点，他は100点満点

2.4 高温化学的処理方式でのプロセスの評価・選定

プロセスの評価・選定を行なううえでの比較項目を以下に示す。

- (1) 減容比
- (2) U, Pu等の回収の可能性
- (3) 二次廃棄物量
- (4) ジルカロイ等の回収利用の可能性
- (5) 保守性及び操作性
- (6) 発火性及び処理後の安定性
- (7) 開発状況
- (8) 建設・運転コスト

以下に各比較項目について概説する。

(1) 減容比

酸化法および塩化物揮発法のサンディア法以外のプロセスについては、最終産物が ZrO_2 でその減容比は $\frac{1}{4}$ となる。サンディア法についてはZrは再利用されるため、不揮発性残渣のみの容積となる。溶融塩法については ZrF_4 になり減容比は $\frac{1}{25}$ となる。その他のプロセスについては減容にならない。

(2) U, Pu等の回収の可能性

溶融金属法，溶融塩法および塩化物揮発法に回収の可能性があると考えられる。溶融塩法はフッ化物として揮発回収され，他は塩相から酸浸出した後，イオン交換あるいは溶媒抽出によって回収されることが考えられる。

(3) 二次廃棄物量

酸化法および Silicate/Aluminosilicate 法では，HF処理に伴なう高温のHFを含有するオフガスが主な廃棄物である。溶融金属法においては，使用済亜鉛および溶解に伴なうオフガスが，溶融塩法については使用済の塩相とU, Pu回収工程からの F_2 を含むオフガスが主となる。塩化物揮発法については塩素系のオフガスと少量の不揮発性残渣である。サンディア法については，さらにイオン交換体へ変換する工程で発生する廃棄物が追加されよう。オフガスについては各プロセスいずれもほぼ同等と考えられるので，使用済亜鉛，塩相が問題と思われる。

(4) ジルカロイ等の回収利用の可能性

可能性が有ると考えられるプロセスは熔融金属法、熔融塩法、塩化物揮発法であるが、塩化物揮発法がその中でも特に可能性が大きいと思われる。同法の中で、サンディア法は具体的な再利用法が検討されており、再利用へ最も近い位置にあると考えられる。

(5) 保守性及び操作性

いずれのプロセスもホットセル内に設置され、かつ高温で操業する工程を有するので、保守性及び操作性にそれ程の差はないと思われる。ここではプロセスの単純さに概略対応するものとした。

(6) 発火性及び処理後の安定性

Silicate/Aluminosilicate法及びサンディア法の固化処理後の産物が最も安定性が高いと考えられる。次は塩化物揮発法の ZrO_2 が大部分のFPやアクチナイドと分離されているため、酸化法によって得られる ZrO_2 より安定と考えられる。熔融塩法で得られるフッ化物が、水に対する浸出性など最も安定性に欠けると考えられる。

(7) 開発状況

熔融塩法および塩化物揮発法の流動層方式は、再処理プロセスの脱被覆工程としてはパイロットプラント規模で行なわれているが、ハルに適用した場合の開発状況はいずれも実験室段階であり、他のプロセスと大差はないと思われる。熔融金属法は金属相からのZrの沈澱分離に失敗し、その方向のアプローチは打切られている。また熔融塩法については塩相からのZrの分離、塩相のリサイクルに問題があると考えられる。この2つを除いた他のプロセスについては、技術的難易度がプロセスの複雑さに概略対応するものとし、開発する上での難易度を加味した評価とした。

(8) 建設・運転コスト

建設および運転コストはプロセスが複雑になる程上昇するものとした。

以上の比較項目について各プロセスの評価結果を表2.4-1に示す。ここで、塩化物揮発法については、塩化水素法および塩化亜鉛法により $ZrCl_4$ を生成し、最終的に ZrO_2 とする方法と、サンディア法により $ZrCl_4$ をイオン交換体に変換する方法の2方式に分類して評価した。

各比較項目について、各プロセスの相対的な優劣に応じた点数を付けて、プロセスごと

の、その合計得点で総合的な優劣を判定した。比較項目のうち減容比およびジルカロイ等の回収利用の可能性を特に重視して200点を、他の項目については100点を満点とした。

結果は、塩化物揮発法のうちサンディア法、塩化水素・塩化亜鉛法そして酸化法の順である。したがって高温化学的処理法としてはサンディア法を選定する。

表 2.4-1 高温化学的処理方式でのプロセスの評価・選定

		(1) 減 容 比	(2) U 回 ・ Pu 等の 回収 可能性	(3) 二 次 廃 棄 物 量	(4) ジ ル カ ロ イ 等の 回収 可能性	(5) 保 守 性 操 作 性 及 び	(6) 発 火 性 後 安 定 性 及 び	(7) 開 発 状 況	(8) 建 設 ・ 運 転 コ ス ト	合 計 得 点
Silicate/ Aluminosilicate 法		1 以上 — (0)	無 — (0)	2 (80)	無 — (0)	2 (80)	1 (100)	2 (80)	2 (80)	420
酸 化 法		¼ 2 (160)	無 — (0)	1 (100)	無 — (0)	1 (100)	4 (40)	1 (100)	1 (100)	600
溶 融 金 属 法		1 以上※1 — (0)	有 4 (40)	5 (20)	有 3 (120)	3 (60)	5 (20)	6 (0)	3 (60)	320
溶 融 塩 法		½,5 4 (80)	有 1 (100)	5 (20)	有 3 (120)	6 (0)	6 (0)	5 (20)	6 (0)	340
塩化物揮発法	塩化水素法 塩化亜鉛法	¼ 2 (160)	有 2 (80)	3 (60)	有 2 (160)	4 (40)	3 (60)	3 (60)	4 (40)	660
	・ サンディア法	⅓ ※2 1 (200)	有 2 (80)	4 (40)	有 1 (200)	5 (20)	1 (100)	4 (40)	5 (20)	700
備 考		中段は各項目での順位，下段()は得点を表わす。 ※1. 金属相との分離が不可能 ※2. 不揮発性残渣として								

3. 減容処理施設の概念のまとめ

3.1 減容化対象物主仕様

3.1.1 発生形態

- A 燃料集合体上下タイブレートは、ハルとは別に出す。
- B 剪断部分の長さは30～50 mm，外径10～14 mm φ，肉厚0.6～1 mmである。
- C ハル収納容器（図3.1-1）に収納後，カスク1a（図3.1-2）を利用して搬出する。

3.1.2 材 質

燃料の種類によって細部は異なるが，大略以下の条件とする。

- | | |
|------------|------------------|
| A 燃料被覆材 | ジルカロイ-2 |
| | ジルカロイ-4 |
| B スペーサ | SUS 304 |
| | インコネル X-750 |
| | ジルカロイ-4 |
| C スプリング | インコネルX-750，X-718 |
| | ピアノ線 |
| | SUS 304 |
| D 上下タイブレート | SUS 304 |

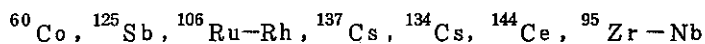
尚，上記各種材料の概略重量パーセントは

ジルカロイ系	約80%
その他	約20%

である。

3.1.3 付着核種

次のものが付着しているものと考えられる。



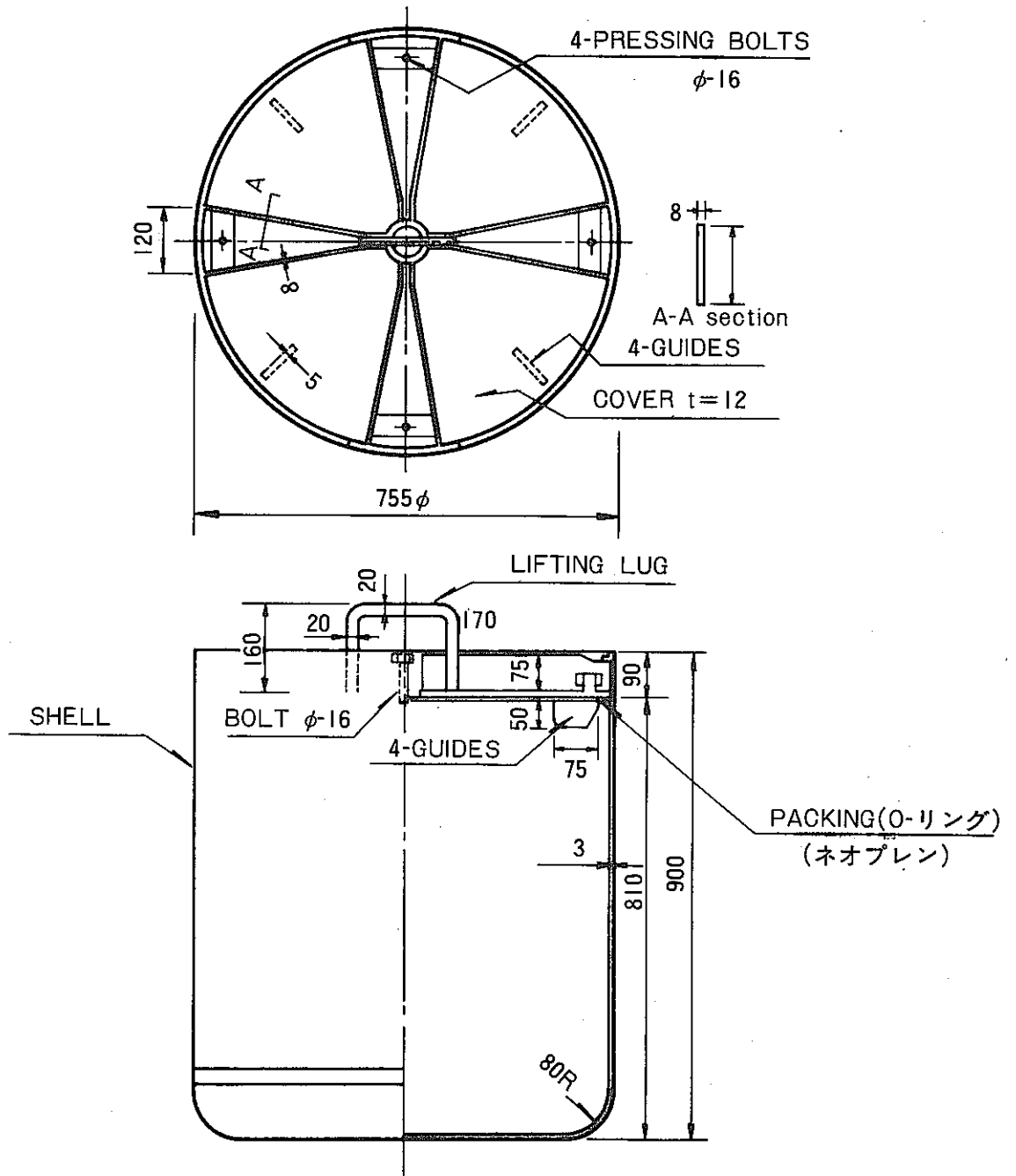
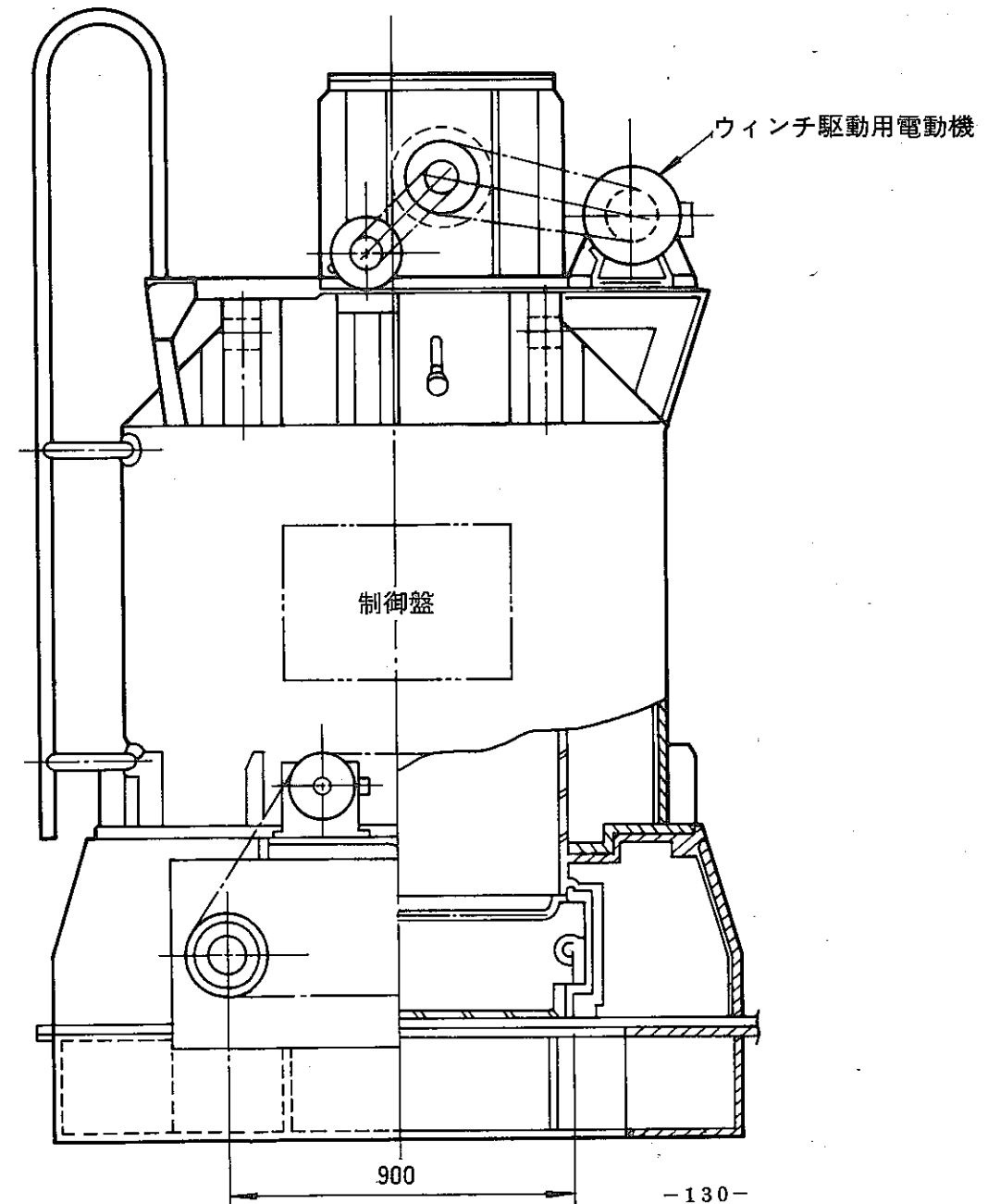
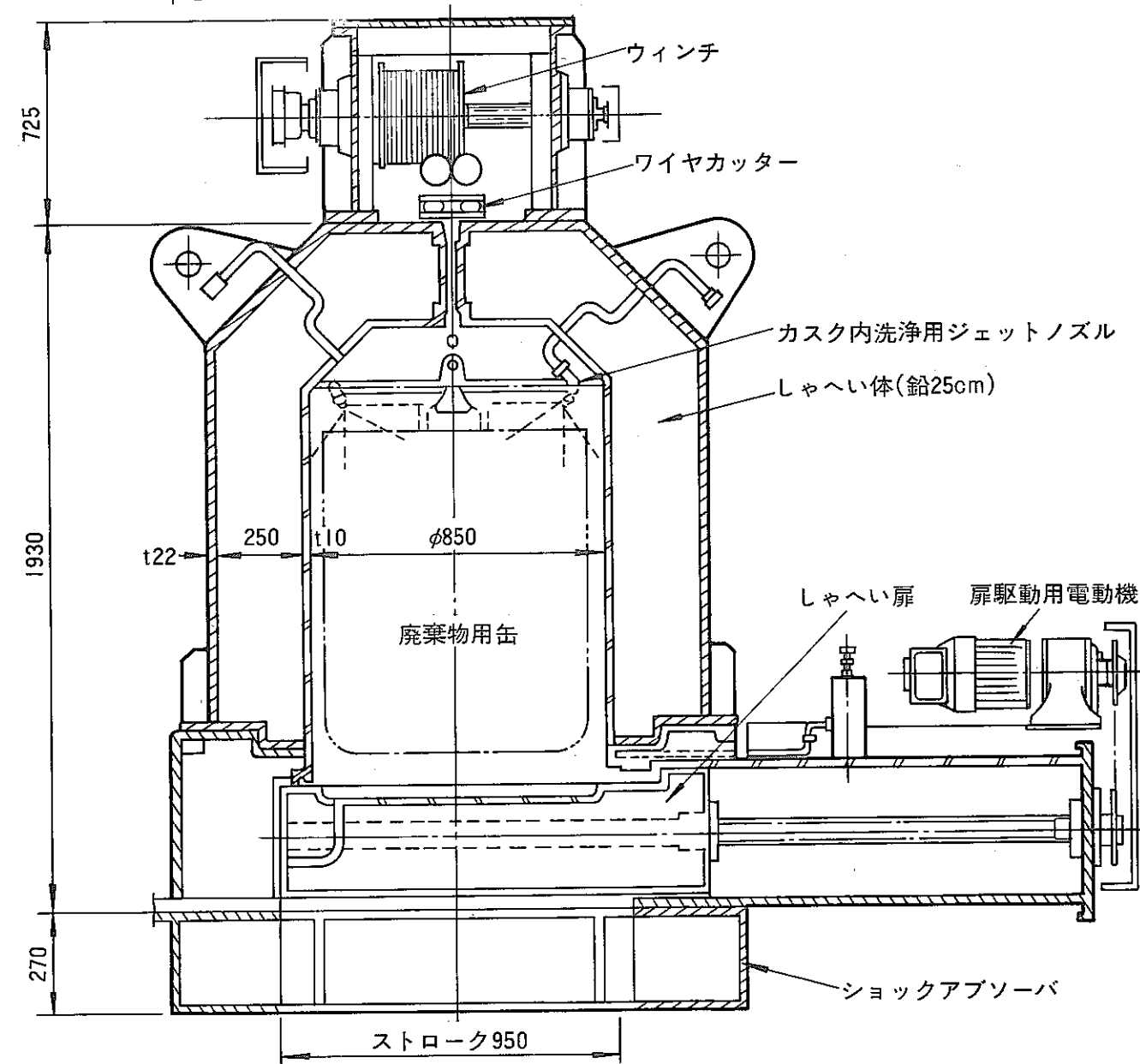
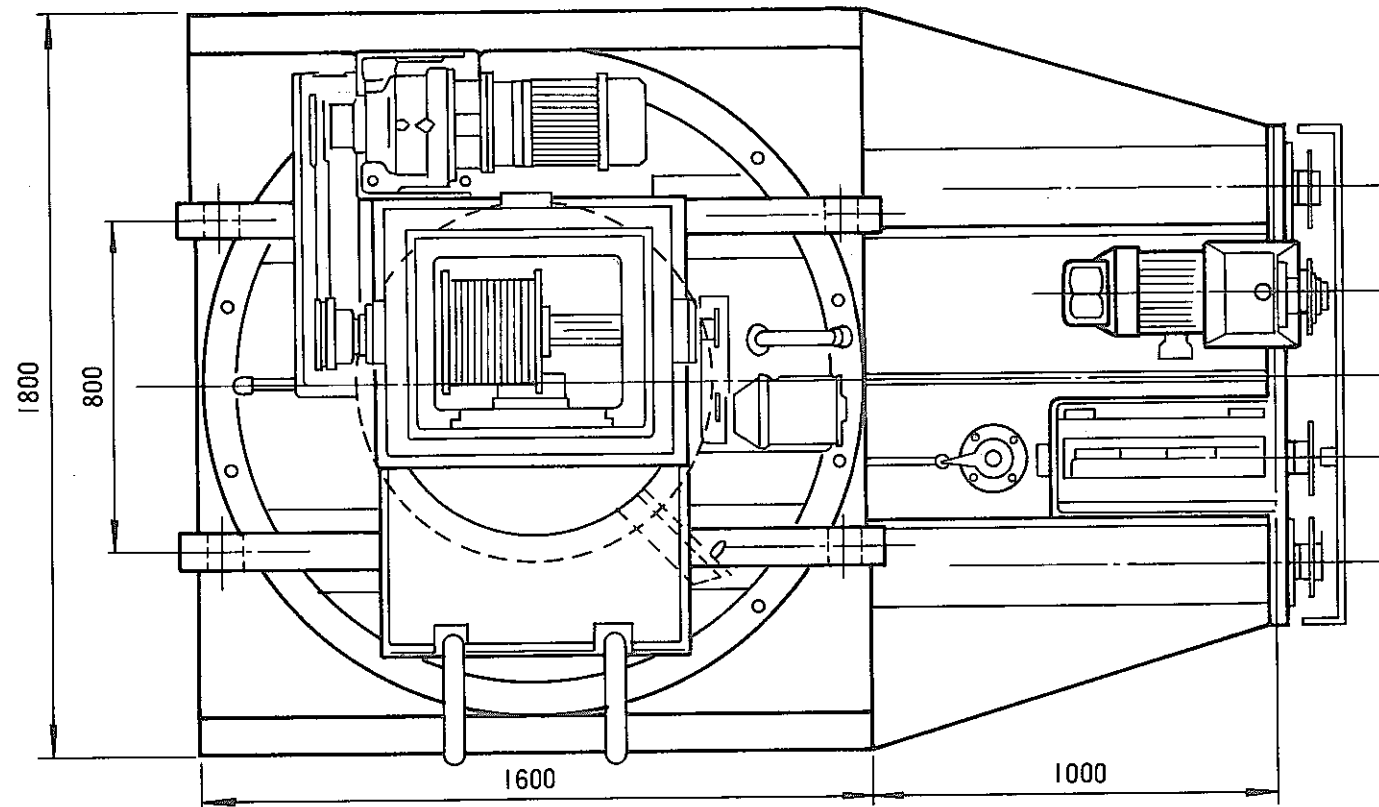


図3.1-1 ステンレススチール製廃棄用缶
SUS304

図3.1-2 ハル運搬用カスク(カスクNola)



3.1.4 γ 線エネルギースペクトル

(180日冷却時)

群	γ 線エネルギー (MeV)	スペクトル インデックス
I	0.4	0.004
II	0.75	0.351
III	0.85	0.051
IV	1.173	0.297
V	1.332	0.297

3.1.5 放射能量

A 約 30 Ci / Kg U

B 最大年間再処理量 : 210 ton U

3.1.6 発生量

A 発生量 : 約 0.3 m³ / ton UB 嵩密度 : 約 1 ton / m³

C 最大年間再処理量 : 210 ton U

3.2 処理システムの全体構想

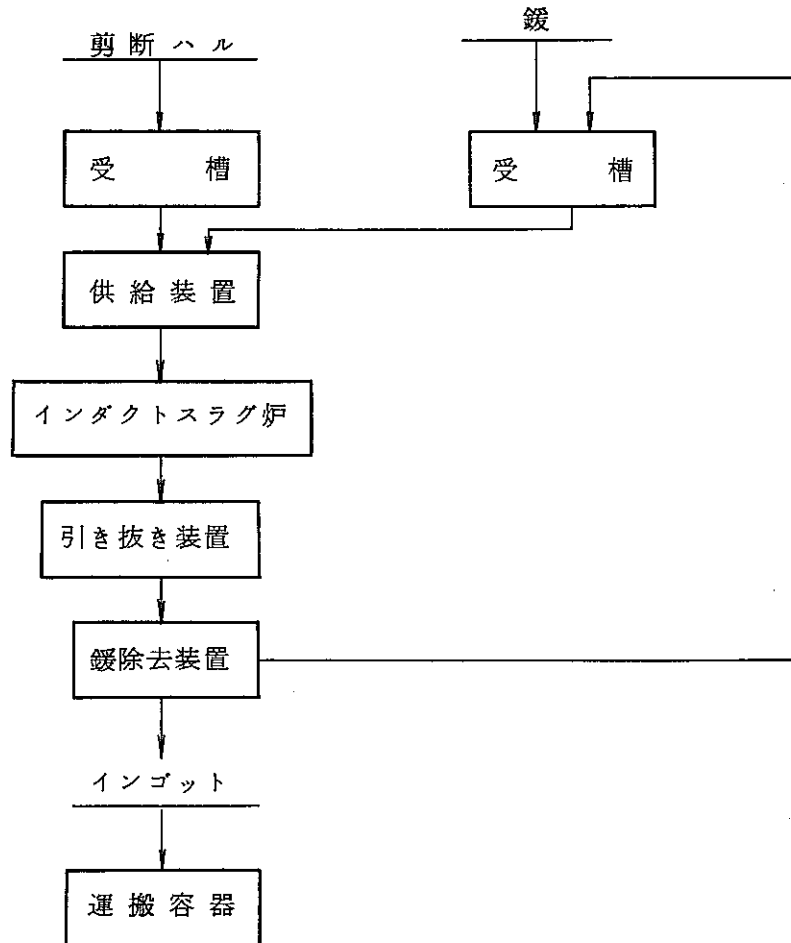
ハル等のうち、放射性物質の含有量が少ない端板は、それ以外のハルとは区別し、再包装後、貯蔵、輸送をへて、地中または地層処分される。端板をふくまないハルは、冶金的処理、機械的処理および高温化学的処理等の減容化処理後、貯蔵、輸送をへて、地中または地層処分される。今回の処理システムとしては、後者の端板をふくまないハルの処理システムについて、減容処理施設の概念をまとめることとする。

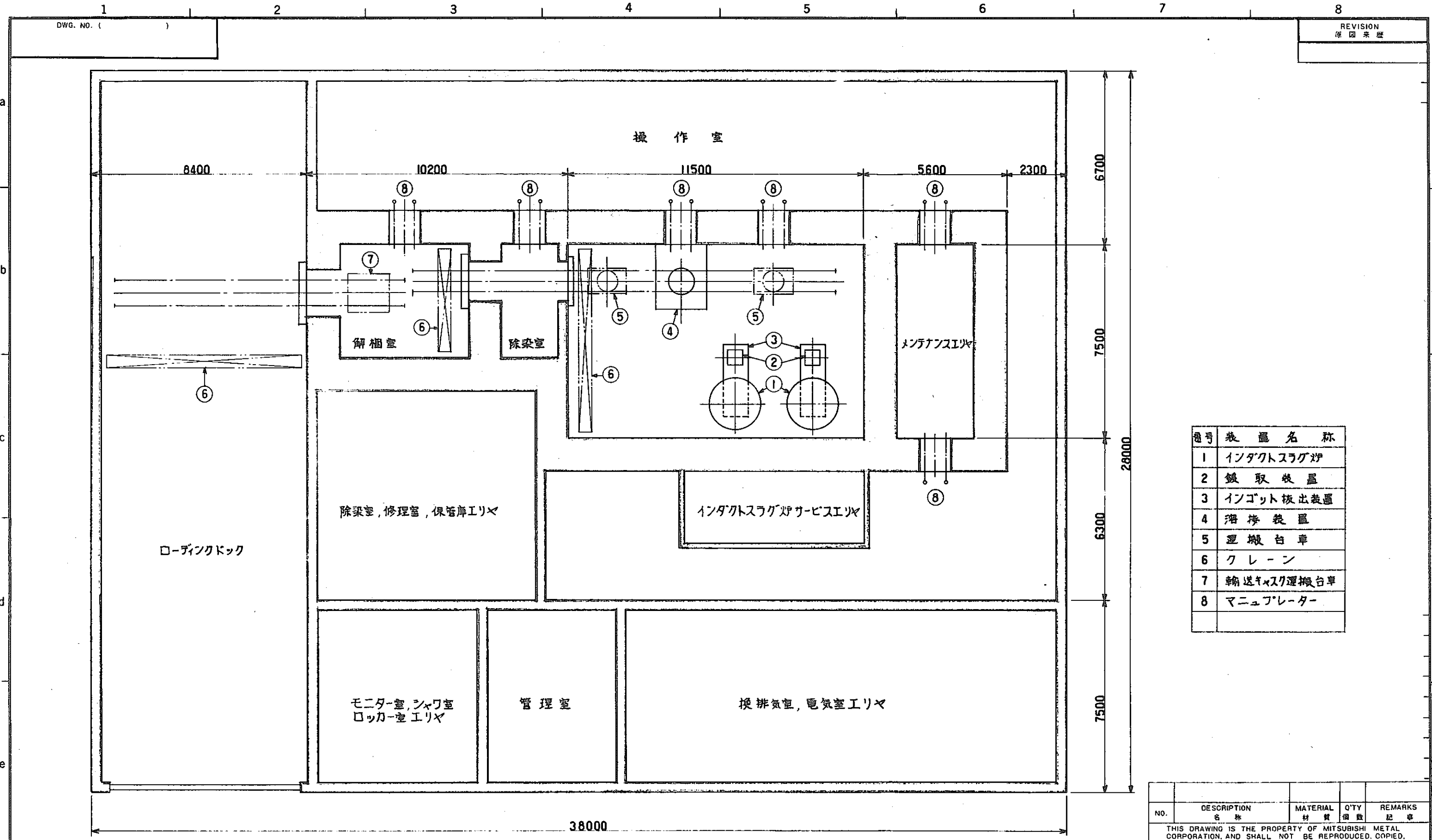
3.3 冶金的処理法

3.3.1 処理能力

ハルの発生量は、 $0.3 \times 210 = 63 \text{ m}^3/\text{Y}$ 嵩密度 $\cdot 1 \text{ T}/\text{m}^3$ であるためハル重量は $63 \text{ T}/\text{Y}$ である。シルカロイ系ハルの割合は、約80%であるからその発生量は $63 \times 0.8 = 50.4 \text{ T}/\text{Y}$ 実稼動日数を250日とし、稼動時間については1日8時間として計画した。1日当りの処理量は $50.4 \div 250 = 0.20 \text{ T}/\text{D}$ インダクトスラグ炉でのインゴットの大きさを $15 \text{ cm}\phi \times 1 \text{ m}$ とすると、1本当りの重量は概略 $115 \text{ Kg}/\text{本}$ となり、1日2本の製造となる。従って炉は2基設置する。

3.3.2 プロセスフローシート





番号	装置名称
1	インダクトスラグ炉
2	鋳取装置
3	インゴット取出装置
4	溶接装置
5	運搬台車
6	クレーン
7	輸送キーストク運搬台車
8	マニピュレーター

NO.	DESCRIPTION 名称	MATERIAL 材質	QTY 個数	REMARKS 記号
THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF MITSUBISHI METAL CORPORATION, AND SHALL NOT BE REPRODUCED, COPIED, LOANED OR DISCLOSED TO OTHERS WITHOUT PRIOR WRITTEN PERMISSION OF MITSUBISHI METAL CORPORATION.				

↑
トレーラー出入口

↑
出入口

3rd ANGLE PROJECTION 第3角法		CUSTOMER 動力炉・核燃料開発事業団 廠	
CHECKED 検査 <i>J.T</i>	APPROVED 承認 <i>M.M</i>	TITLE 3.3-1 治金的処理法 概略レイアウト図	
DRAWN 作成 <i>J. Yokoyama</i>	DESIGNED 設計	DWG. NO. PHC-M00-001	REV.改訂
SCALE 尺数 1/100	DATE 日付 55.3.27	MITSUBISHI METAL CORPORATION ENGINEERING CENTER	

3.3.3 概要説明

設備配置図を図3.3-1に示す。

受入れたハル容器は、クレーンで吊り上げ受槽に移された後インダクトスラグ炉に供給される。炉は $\frac{1}{2}$ 気圧のAr雰囲気には保たれる。鏝として CaF_2 が用いられるがインゴットに付着した鏝はその80%が繰り返し利用される。溶体は冷却しながら炉の底から引き抜かれる。引き抜かれたインゴットは、鏝を除去し、運搬容器に移送される。10～15本のインゴットを入れた運搬容器は、蓋をされ貯蔵所へ送られる。これらの工程はすべてセル内で行われ、マニピレーターでもって操作される。

3.4 機械的処理法

3.4.1 処理能力

(1) ハル発生量

発生量 : 約 $0.3 \text{ m}^3 / \text{ton U}$

嵩密度 : 約 $1 \text{ ton} / \text{m}^3$

最大年間再処理量 : 210 ton U

従って年間のハル発生量は $63 \text{ m}^3 / \text{y}$ ($63 \text{ ton} / \text{y}$) である。

(2) 運転条件

シフト : 1シフト

実働時間 : 7時間

稼働日数 : 年間250日

(3) 処理能力

$$63 \text{ m}^3 / \text{y} \div 250 \text{ d} / \text{y} = 252 \text{ l} / \text{d}$$

処理能力を未減容ハルで $260 \text{ l} / \text{d}$ とする。減容の程度はプレス減容でハルを理論密度の70%、HIP処理で理論密度のほぼ100%とする。

3.4.2 プロセスフローシート

図3.4-1, 図3.4-2にプレス減容・HIP法, プレス減容・鉛マトリックス法の概略の物量及びプロセス条件を記入したフローシートを示す。

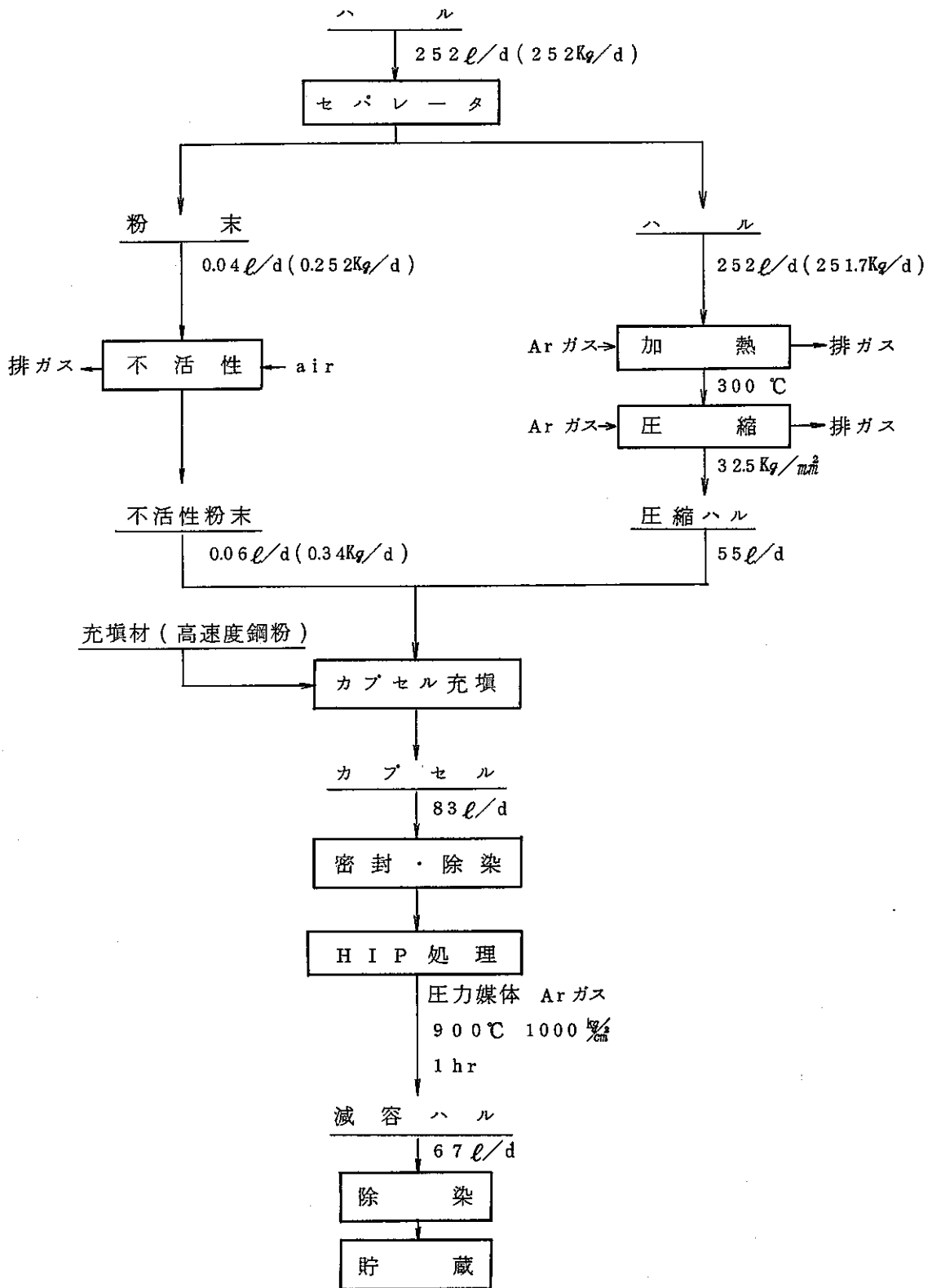


図 3.4 - 1 プレセス減容・HIP法の
プロセスフローシート

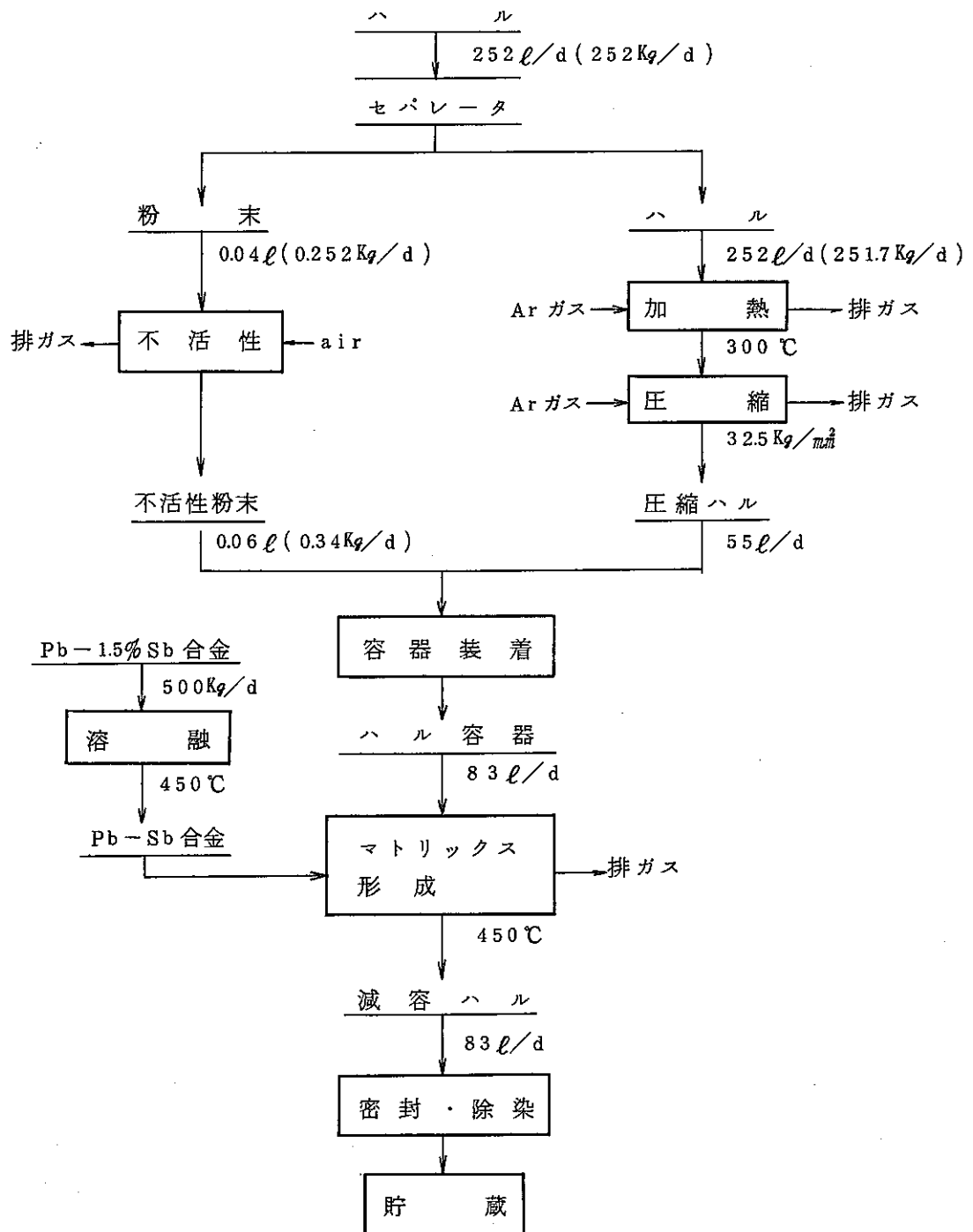


図 3.4 - 2 プレス減容・鉛マトリックス法の
プロセスフローシート

3.4.3 概要説明

ハルはセパレータでジルカロイ粉末と分離する。セパレータを通過する粉末の量は不明であるが、剪断時の粉末発生量は0.1%程度である⁽³¹⁾ことから極めて少ないと思われる。ジルカロイ粉末は径が0.85 mm以上であるなら安全に取扱える。⁽³¹⁾

理論密度の70%にプレス減容するには未照射ジルカロイの場合で約25 kg/mm²になる。照射ジルカロイの場合、強度が30%程度増加するので必要圧力は32.5 kg/mm²になる。必要力は径26 cmの時、約1,800 tになる。

(1) プレス減容・HIP法

設備配置図を図3.4-3に示す。

ハルの減容はセルの中で行う。セルの床はステンレス板でおおい、壁は耐放射・耐食材でコーティングする。⁽⁶²⁾

(a) プレス減容

受入れたハル容器をクレーンでつり上げ、セパレータにハルをダンプする。ハルはセパレータでジルカロイ粉末と分離する。

セパレータを通過したジルカロイ粉末は粉末不活性装置へ送る。不活性装置でジルカロイ粉末を空気中で高温にさらして酸化する。

ジルカロイ粉末と分離したハルはハル加熱装置へ送る。加熱装置でハルを300℃に加熱し、圧縮時の微粉の発生を防ぐためハルの延性を増す。

加熱したハルは圧縮機へ送る。圧縮機は油圧式堅型の1,800トンプレスである。圧縮は内径26 cmの圧縮缶の中で行う。圧縮缶はダイで支えられている。ダイは圧縮が終れば取除く。圧縮後のハルは直径26 cm、高さ104 cmである。

(b) HIP処理

圧縮したハルは内径31 cmのカプセルに入れた後、カプセルと圧縮缶の間に充填材料を入れ蓋を溶接し脱気する。脱気後カプセルを密封する。密封したカプセルは気密性を確認してから除染室へ送り、カプセルが汚染されていないかどうかを検査する。もし汚染されている場合は、除染する。

汚染がないことを確認したカプセルはHIP処理する。HIP処理はArガスを圧力媒体とし、900℃、1,000%、1時間の条件で行う。

HIP処理後、カプセルは再び除染室へ送り、汚染のないことを確認してからキヤスクに装荷し、貯蔵施設に送る。

(c) その他

表 3.4-1 に未減容ハルと減容後ハルの体積比較の結果を示す。HIP 処理後のカプセルの形状は不明だが、ハルが理論密度の 70% から 100% になる分だけ減容になると考え、カプセル充填材の体積変化はないとする。最終的な減容比は 3.8 になる。

減容設備に必要な人員は 5 名である。

(2) プレス減容・鉛マトリックス法

設備配置図を図 3.4-4 に示す。

(a) プレス減容

3.4.4(1)の(a)と同じである。

(b) 鉛マトリックス法

圧縮したハルは内径 31 cm の容器に入れ、ハル加熱炉へ送り 450℃ に加熱する。マトリックス材料としては Pb-1.5% Sb 合金を使い、溶融炉で 450℃ で溶融する。⁽⁵⁷⁾ 溶融した Pb-Sb 合金は加熱した容器に流し込む。Pb-Sb 合金の必要量は圧縮ハルの空間も考慮すれば約 500 Kg である。

Pb-Sb 合金の流し込みが終れば容器は溶接装置に送り蓋を溶接し、除染後キャスクに装荷して貯蔵施設に送る。

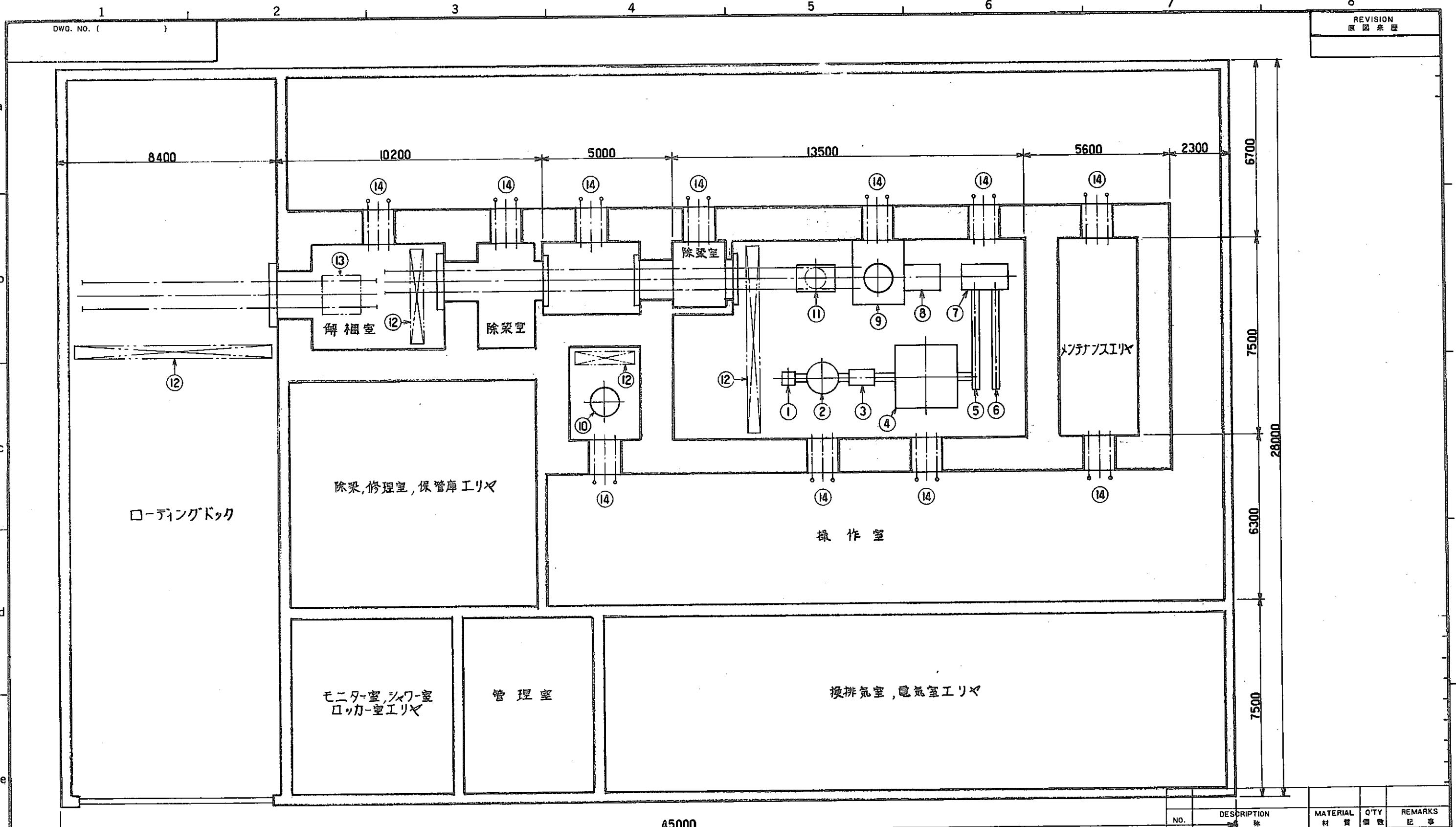
(c) その他

表 3.3-1 に未減容ハルと減容後ハルの体積比較の結果を示す。最終的な減容比は 3.0 である。

減容設備に必要な人員は 5 名である。

表 3.4-1 未減容ハルと減容後ハルの体積比較

	プレス減容・ HIP 法	プレス減容・鉛 マトリックス法
未減容	63 m ³ /Yr	63 m ³ /Yr
減容後	16.75 m ³ /Yr	20.75 m ³ /Yr
容器数	250 /Yr	250 /Yr
減容比	3.8	3.0



↑
トレーラー出入口

↑
出入口

番号	装置名称	番号	装置名称
1	粉末不活性換置	8	充填物投入装置
2	セパレーター	9	溶接装置
3	ハル加熱装置	10	HIP装置
4	圧縮機	11	運搬台車
5	圧縮缶輸送装置	12	クレーン
6	容器(カプセル)供給装置	13	輸送マスコ運搬台車
7	圧縮缶容器装着装置	14	マニピュレータ

3rd ANGLE PROJECTION
第3角法

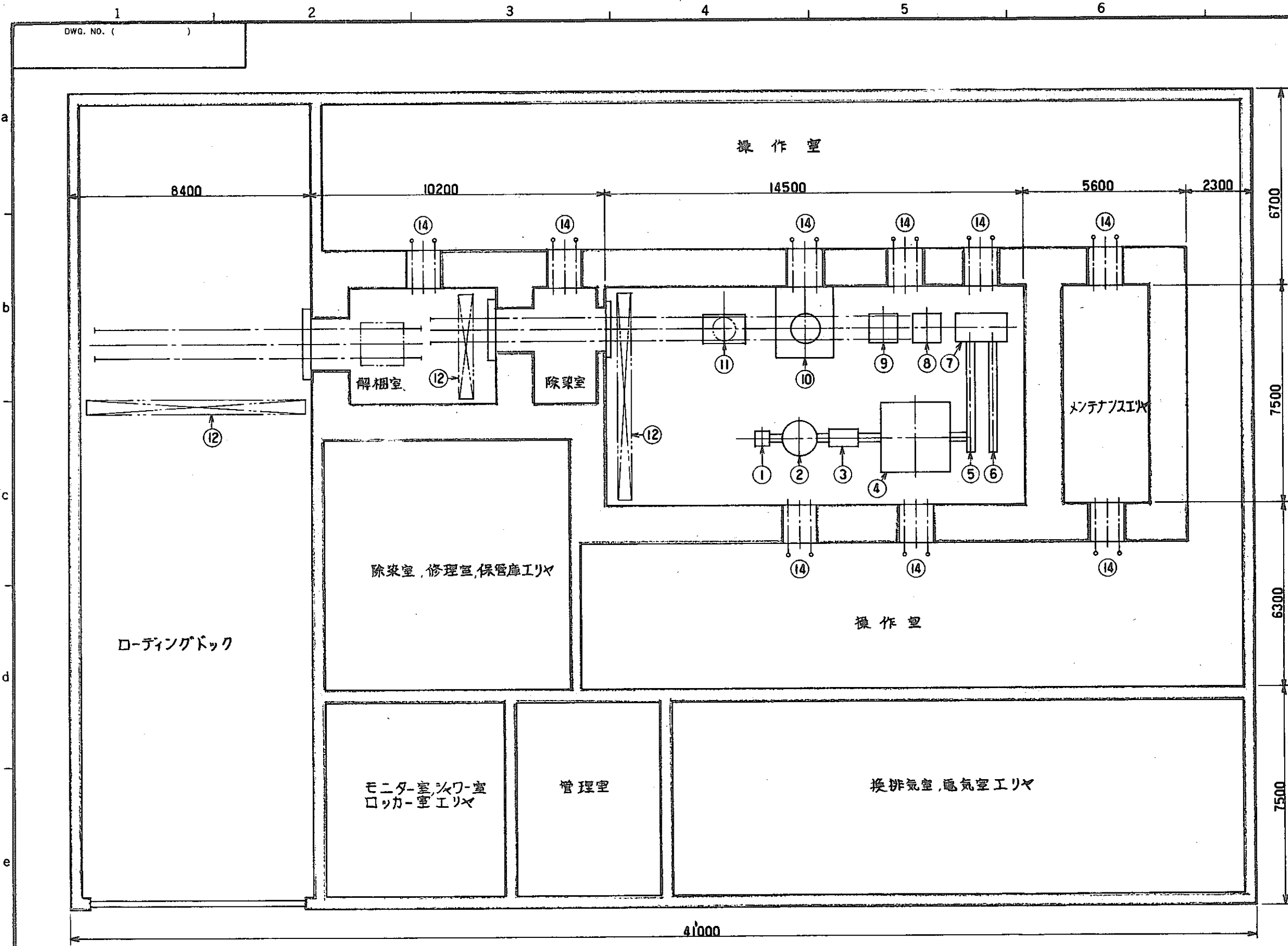
CHECKED 照査: *S.T.* APPROVED 検印: *m.m.*

DRAWN 作成: *Y. Yoko* DESIGNED 設計: *Y. Yoko*

SCALE 尺度: 1/100 DATE 日付: 55.4.10

NO.	DESCRIPTION 名称	MATERIAL 材質	QTY 個数	REMARKS 記事
CUSTOMER 動力炉・核燃料開発事業団 殿				
TITLE 図3.4-3 圧縮・HIP法 概略レイアウト図				
DWG. NO. PHC-M00-002 REV. 改訂				
MITSUBISHI METAL CORPORATION ENGINEERING CENTER				

ISSUE 出図先



REVISION	
原図	原図

番号	装置名称
1	粉末不活性装置
2	セパレーター
3	ハル加熱装置
4	圧縮機
5	圧縮缶輸送装置
6	容器(カプセル)供給装置
7	圧縮缶容器装着装置
8	ハル加熱炉
9	鉛合金溶融炉
10	溶持装置
11	運搬台車
12	クレーン
13	輸送キャスク運搬台車
14	マニピュレータ

NO.	DESCRIPTION 名称	MATERIAL 材質	Q'TY 個数	REMARKS 記号



3rd ANGLE PROJECTION 第3角法		CUSTOMER 動力炉・核燃料開発事業団 殿	
CHECKED 照査 J.T.	APPROVED 承認 M.M.	TITLE 図3.4-4 圧縮・鉛マトリックス法 概略レイアウト図	
DRAWN 作成 J. Yokoyama	DESIGNED 設計	DWG. NO. PHC-M00-003	REV. 改訂
SCALE 尺度 1/100	DATE 日付 55.3.28	MITSUBISHI METAL CORPORATION ENGINEERING CENTER	

3.5 高温化学的処理法

3.5.1 処理能力

(ハルの発生量)

発生量	:	約 $0.3 \text{ m}^3 / \text{ton U}$
嵩密度	:	約 $1 \text{ ton} / \text{m}^3$
最大年間再処理量	:	$210 \text{ ton U} / \text{y}$

したがって年間のハル発生量は、

$$W_H = 0.3 \text{ m}^3 / \text{t-U} \times 210 \text{ t-U} / \text{y} \times 1 \text{ t} / \text{m}^3 = 63 \text{ t/y}$$

また、ジルカロイ系ハルの割合は約80%であるから、その発生量は、

$$W_Z = 63 \text{ t/y} \times 0.8 = 50.4 \text{ t/y}$$

(施設の稼働条件)

稼働日数	:	250 d/y
稼働時間	:	24 h/d

稼働日数は年間300日を操業日数とし、メンテナンス等に年間50日を使用し、残り250日を実稼働日数とした。

稼働時間については、塩化炉などがスタートアップから安定化するまでに時間を要する事等、プロセス的に連続運転が適すると考えられ、24時間連続操業で計画した。

(処理能力)

塩化工程以降のZrを取扱い工程については、ジルカロイ系ハルの発生量から

$$Q' = 50.4 \text{ t/y} \times 10^3 \text{ Kg/t} \div 250 \text{ d/y} \div 24 \text{ h/d} \\ \approx 10 \text{ Kg/h}$$

また、塩化工程以前の前処理部については、ステンレス系の混入も考慮して

$$Q = 10 \text{ Kg/h} \div 0.8 = 12.5 \text{ Kg/h}$$

とする。したがって処理能力は

$$12.5 \text{ Kg/h} \times 24 \text{ h/d} \times 250 \text{ d/y} \times 10^{-3} \text{ t/Kg} = 75 \text{ t/y}$$

となる。

3.5.2 プロセスフローシート

本プロセスの構成を図 3.5-1 に示す。

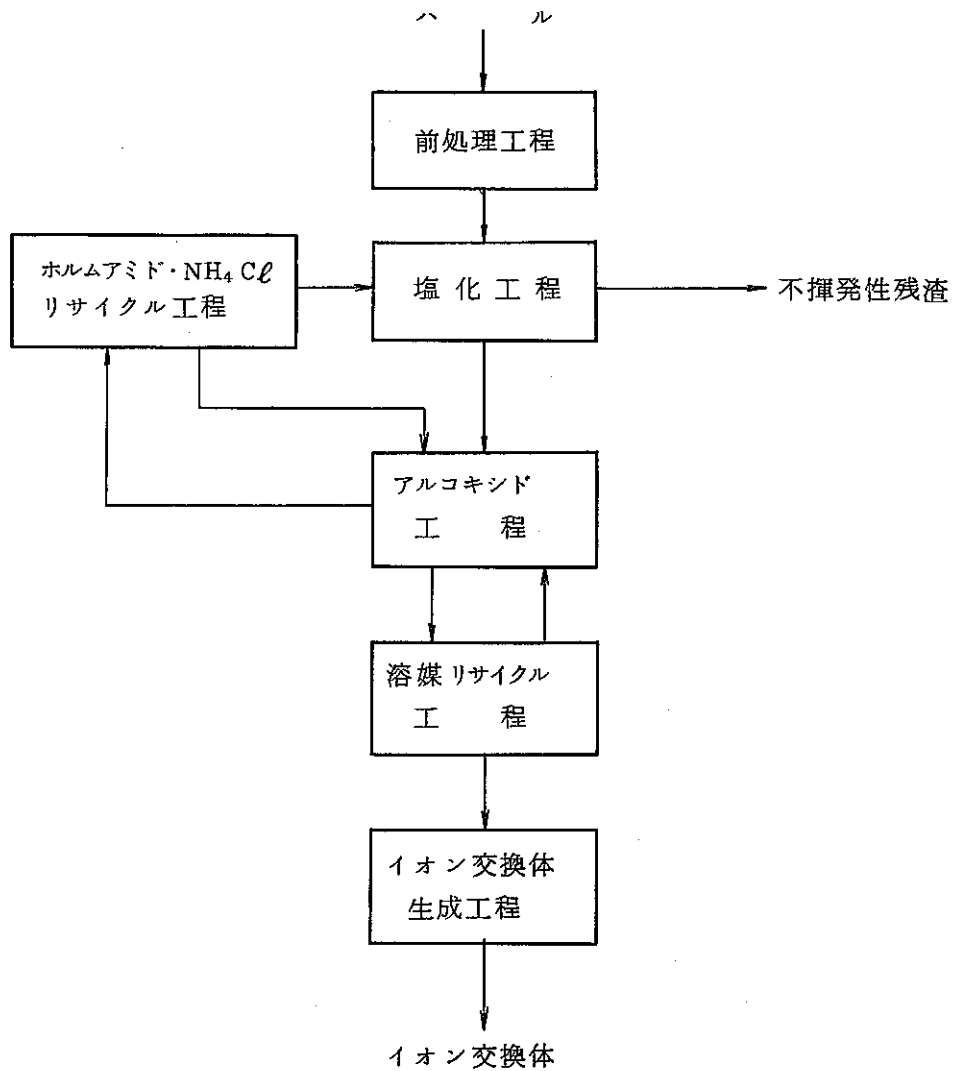
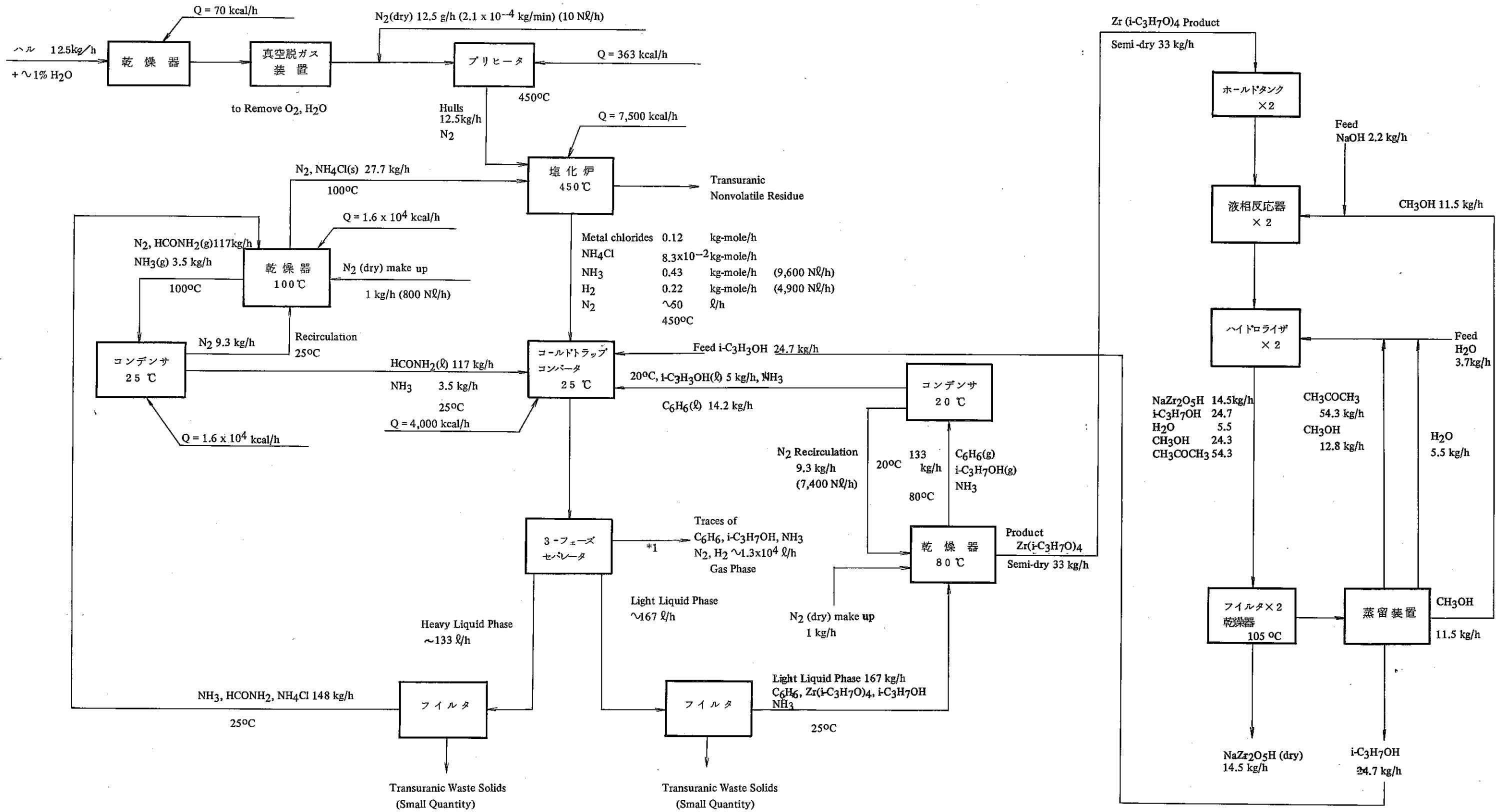


図 3.5-1 プロセスの構成

図 3.5-2 にプロセスフローシートを示す。なお同図には概略の物量および熱量、温度が記載されている。物量はハルのフィード 12.5 Kg/h 、操業条件 250 d/y 、 24 h/d をベースとしている。

図 3.5-2 プロセス フローシート



*1 Gases to Stack or Recovery and Recycle

3.5.3 概要説明

(1) 前処理工程

受入れられたハルは、付着水を除くため、乾燥器で乾燥された後、真空脱ガス装置において残留する水蒸気と空気が除かれ雰囲気は窒素に変換される。その後プレヒータに送られ、そこで塩化炉の作業温度450℃まで昇温される。

(2) 塩化工程

昇温されたハルは塩化炉において NH_4Cl と反応し、ジルカロイ中のZrは揮発性の ZrCl_4 に変換される。インコネル、ステンレス等の不揮発性残渣は定期的に塩化炉から抜き出される。生成した ZrCl_4 はアルコキシド工程へ送られる。

(3) アルコキシド工程

ZrCl_4 はコールドトラップに捕集され、コンバータにおいて、イソプロピルアルコールとアンモニアの共存下で反応しアルコキシドとなる。また、この反応では NH_4Cl も生成するが、これはホルムアミドに溶解される。アルコキシドを溶解するベンゼン・イソプロピルアルコールの軽液相と、 NH_4Cl も溶解するホルムアミドの重液相は、3-フェーズセパレータによって分離された後、それぞれ少量の固形分がフィルターによって分離され、重液相はホルムアミド・ NH_4Cl リサイクル工程へ、軽液相は溶媒リサイクル工程へ送られる。

(4) ホルムアミド・ NH_4Cl リサイクル工程

本工程において、重液相中の NH_4Cl が回収され乾燥後塩化工程へリサイクルされる。一方液相のホルムアミドはコンデンサによって捕集、冷却後アルコキシド工程へリサイクルされる。

(5) 溶媒リサイクル工程

本工程では、軽液相からアルコキシドが回収され乾燥後イオン交換体生成工程へ送られる。一方ベンゼンおよびイソプロピルアルコールは、コンデンサによって捕集冷却後、アルコキシド工程へリサイクルされる。

(6) イオン交換体生成工程

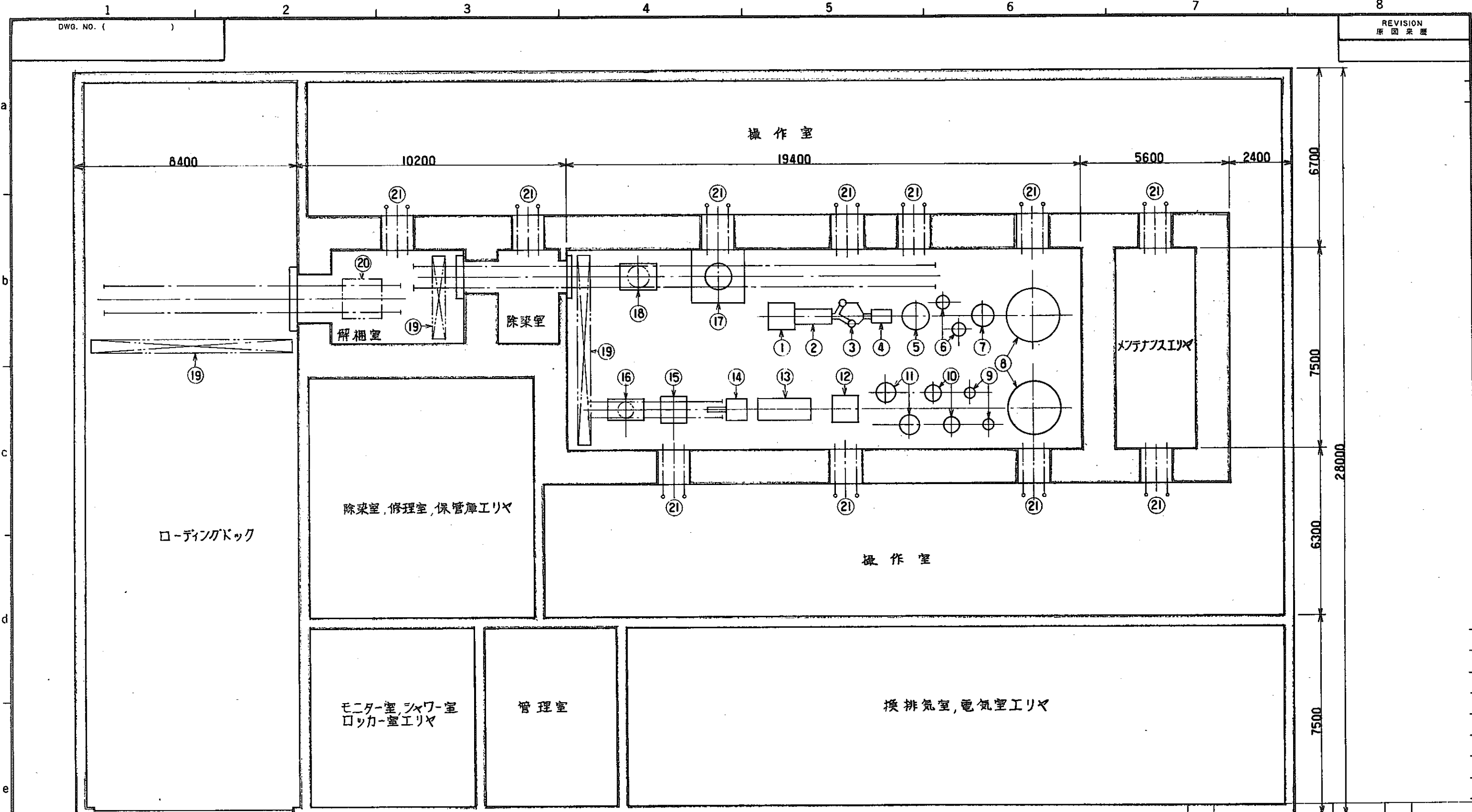
溶媒リサイクル工程で分離されたアルコキシドはホールドタンクに受入れられた後、液相反応器において NaOH のメタノール溶液と反応させられ、さらにハイドロライザにおいて加水分解されイオン交換体を生成する。生成したイオン交換体はフィルタに

よって分離し乾燥された後、容器に充填して払出され高レベル廃液の吸着剤として再利用される。一方フィルタの濾液は蒸留によってイソプロピルアルコール、メタノール、アセトンおよび水が分離され、イソプロピルアルコールはアルコキシド工程へ、メタノールは本工程内の液相反応器へ、水、アセトンおよびメタノールはハイドロライザへそれぞれリサイクルされる。

イオン交換体の生産量は、シルカロイハルの供給量 10 Kg/h に対して 14.5 Kg/h である。

(7) 設備レイアウト

本プロセスの設備および施設の構想図を図 3.5-3 高温化学的処理法概略レイアウト図に示す。なお建家高さは概略 15 m である。



REVISION
原図案歴

DWG. NO. ()

↑
トレー出入口

↑
出入口

番号	装置名称	番号	装置名称	番号	装置名称
1	ハル受入ホッパー	8	噴霧乾燥器	15	蓋取付装置
2	乾燥器	9	貯蔵タンク	16	製品容器運搬台車
3	真空脱ガス装置	10	セパレーター	17	溶接装置
4	プレヒータ	11	ハイドロライザー	18	運搬台車
5	塩化炉	12	フィルター	19	クレーン
6	ゴルフクラブコンバーター	13	乾燥器	20	運搬キョスク運搬台車
7	スリーフェーズセパレーター	14	製品充填装置	21	マニュアル

3rd ANGLE PROJECTION
第3角法

CHECKED
無
D.T.

APPROVED
検
M.M.

DRAWN
作成
Y. Yokoyama

DESIGNED
設計

SCALE
尺度
1/100

DATE
日付
55.3.29

NO.	DESCRIPTION 名 称	MATERIAL 材 質	Q'TY 個 数	REMARKS 記 事
CUSTOMER 動力炉・核燃料開発事業団 殿				
TITLE 3.5-3 高温化学的処理法 概略レイアウト図				
DWG. NO. PHC-M00-004				
MITSUBISHI METAL CORPORATION ENGINEERING CENTER				

ISSUE
出 図 先

4. 減容処理施設の建設費および操業費の推定

4.1 建設費

4.1.1 冶金的処理法建設費

(1) 見積条件

(a) 見積範囲内項目

(i) 建家設備

建家，基礎工事，給排水衛生設備，外構，セル設備

照明・コンセント設備，避雷針設備等

(ii) 機器・装置設備

ハルフィード装置，インダクトスラグ炉，インゴット引抜装置，鋳取扱装置，

溶接装置，マニユブレータ等

電気・計装設備

(iii) 付帯設備

搬送設備（クレーン設備，運搬台車等）

モニター・サーベイ設備

換排気設備，配管設備等

(b) 見積範囲外項目

建設地調査費

建設土地購入費

諸渉外費

整地，杭打および地盤造成費

道路工事費

ユーティリティ供給設備

施設外配管工事

送電設備

廃棄物処理設備

排水処理設備

福祉設備

輸送キャスク等の容器類

予備品
 試運転調整費
 開発項目設備開発，試験費
 施設建設着手までの企画，設計費

(c) 見積期日

本概算見積金額は，昭和55年3月現在の積算費用であり，建設時までの価格変動は，見込まない。

(2) 建設費概算見積金額

単位：百万円

(a) 建家設備	1 式	1,530
建家，基礎，セル設備		
建家付帯設備		
(b) 機器・装置設備	1 式	1,040
インダクトスラグ炉		
インゴット引抜装置		
鋳取扱装置，溶接装置		
マニプレータ等		
電気・計装設備		
(c) 付帯設備	1 式	900
搬送設備，モニター，サーベイ設備		
換排気設備，配管設備		
合 計		3,470

4.1.2 機械的処理法～圧縮・HIP処理法建設費

(1) 見積条件

(a) 見積範囲項目

(i) 建家設備

建家，基礎工事，給排水衛生設備，外構，セル設備
 照明・コンセント設備，避雷針設備等

(ii) 機器・装置設備

セパレータ，粉末不活性装置，ハル加熱装置，圧縮機，缶装着装置，充填装置，溶接装置，HIP装置，マニピレータ等

電気・計装設備

(iii) 付帯設備

搬送設備（クレーン設備，運搬台車等）

モニター・サーベイ設備

換排気設備，配管設備等

(b) 見積範囲外項目

建設地調査費

建設土地購入費

諸渉外費

整地，杭打および地盤造成費

道路工事費

ユーティリティ供給設備

施設外配管工事

送電設備

廃棄物処理設備

排水処理設備

福祉設備

輸送キャスク等の容器類

予備品

試運転調整費

開発項目設備開発，試験費

施設建設着手までの企画，設計費

(c) 見積期日

本概算見積金額は，昭和55年3月現在の積算費用であり，建設時までの価格変動は，見込まない。

(2) 建設費概算見積金額

単位：百万円

(a) 建家設備	1 式	1,810
建家，基礎，セル設備		
建家付帯設備		
(b) 機器・装置設備	1 式	1,200
ハル加熱装置，圧縮機，		
充填装置，溶接装置		
HIP 装置，マニユブレータ		
電気・計装設備		
(c) 付帯設備	1 式	970
搬送設備，モニター，サーベイ装置		
換排気設備，配管設備		
合 計		3,980

4.1.3 機械的処理法～圧縮・鉛マトリックス法建設費

(1) 見積条件

(a) 見積範囲内項目

(i) 建家設備

建家，基礎工事，給排水衛生設備，外構，セル設備

照明・コンセント設備，避雷針設備等

(ii) 機器・装置設備

セパレータ，粉末不活性装置，ハル加熱装置，圧縮機，缶装着装置，

ハル加熱炉，鉛熔融炉，溶接装置，マニユブレータ等

電気・計装設備

(iii) 付帯設備

搬送設備（クレーン設備，運搬台車等）

モニター・サーベイ設備

換排気設備，配管設備等

(b) 見積範囲外項目

建設地調査費
 建設土地購入費
 諸渉外費
 整地・杭打および地盤造成費
 道路工事費
 ユーティリティ供給設備
 施設外配管工事
 送電設備
 廃棄物処理設備
 排水処理設備
 福祉設備
 輸送キャスク等の容器類
 予備品
 試運転調整費
 開発項目設備開発，試験費
 施設建設着手までの企画，設計費

(c) 見積期日

本概算見積金額は，昭和55年3月現在の積算費用であり，建設時までの価格変動は，見込まない。

(2) 建設費概算見積金額

単位：百万円

(a) 建家設備	1 式	1,680
建家，基礎，セル設備		
建家付帯設備		
(b) 機器・装置設備	1 式	1,060
ハル加熱装置，圧縮機		
ハル加熱炉，鉛溶融炉		
溶接装置，マニピュレータ等		

(c) 付帯設備 1 式 9 6 0

搬送設備, モニター・サーベイ設備

換排気設備, 配管設備

合 計 3, 7 0 0

4. 1. 4 高温化学的处理法建設費

(1) 見積条件

(a) 見積範囲項目

(i) 建家設備

建家, 基礎工事, 給排水衛生設備, 外構, セル設備

照明・コンセント設備, 避雷針設備等

(ii) 機器・装置設備

前処理工程設備 : 乾燥器, 真空脱ガス装置, プレヒーター等

塩化工程設備 : 塩化炉等

アルコキシド工程設備 : コールドトラップ, コンバーター,
スリーフェーズセパレーター等

ホルムアミド・ NH_4Cl

リサイクル工程設備 : 噴霧乾燥器, 凝縮器, ガスクーラー等

溶媒リサイクル工程設備 : 噴霧乾燥器, 凝縮器, ガスクーラー等

イオン交換体生成
工程設備 : リアクター, ハイドロライザー, フィルター,
乾燥器, 精留塔等, 蒸留装置等

その他設備 : 溶接装置, マニユブレーター, キャスク修理設備
等

電気・計装設備

(iii) 付帯設備

搬送設備 (クレーン設備, 運搬台車)

モニター, サーベイ設備

換排気設備, 配管設備等

(b) 見積範囲外項目

建設地調査費
 建設土地購入費
 諸渉外費
 整地，杭打および地盤造成費
 道路工事費
 ユーティリティ供給設備
 施設外配管工事
 送電設備
 廃棄物処理設備
 排水処理設備
 福祉設備
 輸送キャスク等の容器類
 予備品
 試運転調整費
 開発項目設備開発，試験費
 施設建設着手までの企画，設計費

(c) 見積期日

本概算見積金額は，昭和55年3月現在の積算費用であり，建設時までの価格変動は，見込まない。

(2) 建設費概算見積金額

		単位：百万円
(a) 建家設備	1 式	1,930
建家，基礎，セル設備		
建家付帯設備		
(b) 機器，装置設備	1 式	1,360
前処理工程設備，塩化工程設備		
アルコキシド工程設備，		
ホルムアミドNH ₄ Clリサイクル工程設備		

溶媒リサイクル工程設備

イオン交換体生成工程設備

(c) 付帯設備 1 式 1,070

搬送設備, モニター, サーベイ設備

換排気設備, 配管設備

合 計 4,360

4.2 直接操業費

直接操業費には, 施設の減価償却費, 資金利子, 管理費等はふくまない。

物品・材料費は, プロセスに直接関係するもののみ限定し示した。減容処理後のハルの受入容器であるステンレススチール製貯蔵容器はふくんでいない。

電力には, プロセス運転用の電力と換排気用の電力をふくむ。

人件費は直接運転員のみ限定している。

各処理法ごとの直接操業費を以下に述べる。

4.2.1 冶金的処理法の直接操業費

2 炉 8 時間操業として計算すると物品, ユティリティーは次のようになる。

物 品	Ar	15 ℓ/min	130 万円/年
	CaF ₂	1.5 Kg/day	300 万円/年
ユーティリティー	電 力	350 KW	1,400 万円/年
作 業 員		4 人	2,000 万円/年

4.2.2 機械的処理法の直接操業費

機械的処理に必要な資材, ユーティリティーを表 4.2-1 に示す。

表 4.2-1 機械的処理に必要な資材・
ユーティリティ

	使用頻度	年間使用量
圧縮缶	1個/d	250個
Arガス	40 m ³ /d	10,000 m ³
Pb-Sb合金 ^(註)	500 kg/d	125 t
電力	200 kW	400,000 kWh

(註) 鉛マトリックス法の場合のみ使用

表 4.2-1 に基づいて算出した直接操業費を表 4.2-2, 表 4.2-3 に示す。

表 4.2-2 プレス減容・HIP法の
直接操業費

	年間コスト(千円)
労務費	25,000
材料費 ^(註)	32,875
ユーティリティ	8,000
合計	65,875

(註) HIP処理の操業費100千円/dを考慮

表 4.2-3 プレス減容・鉛マトリックス法
の直接操業費

	年間コスト(千円)
労務費	25,000
材料費	45,375
ユーティリティ	8,000
合計	78,375

4.2.3. 高温化学的処理法の直接操業費

本施設で使用する副原料，ユーティリティ量およびそれぞれの概算金額を表4.2-4に示す。

表4.2-4 副原料・ユーティリティ量

名 称	所要量(年間)	単 価	金額(千円/年)
(副原料)			
NaOH	13.2 t	150千円/t	1,980
N ₂	12.1 t	85千円/Kg	1,029
(ユーティリティ)			
電力 ※1	1.68 × 10 ⁶ kWh	20円/kWh	33,600
水(純水) ※2	22.2 t	40円/t	1
冷却水 ※3	4 t/h	—	—

- ※1 換排気を含む
 ※2 イオン交換処理費
 ※3 費用は電力費に含む

作業員の人件費は，4直3交代，4名/直の操業を行なうものとして，以下のようになる。なお，作業員数はプロセスの運転に直接必要な人員のみであり，メンテナンス等に必要の人員は含まれていない。

$$4 \text{ 名/直} \times 4 \text{ 直} \times 5,000 \text{ 千円/名} \cdot \text{年} = 80,000 \text{ 千円/年}$$

よって，直接操業費を以下に示す。

年間直接操業費 116,610千円

4.3 建設費および直接操業費

各減容処理方式について建設費および直接操業費を表4.3-1に示す。

表4.3-1 建設費および直接操業費

(百万円)

	冶 金 的 処 理 法	機 械 的 処 理 法		高 温 化 学 的 処 理 法
		圧 縮 ・ H I P 処 理 法	圧 縮 ・ 鉛 マ ト リ ッ ク ス 法	
(1) 建 設 費	3,470	3,980	3,700	4,360
1) 建 家	(1,530)	(1,810)	(1,680)	(1,930)
2) 機 器 ・ 装 置 及 び 付 帯 設 備	(1,940)	(2,170)	(2,020)	(2,430)
(2) 直 接 操 業 費	38.3	65.9	78.4	116.6
1) 物 品 及 び ユ ー テ ィ リ テ ィ	(18.3)	(40.9)	(53.4)	(36.6)
2) 人 件 費	(20)	(25)	(25)	(80)

5. 今後の問題点および開発計画

5.1 問題点

- (1) 端板の処理システムは今回の調査研究より除外したので、今後この処理システムの検討を進める必要がある。
- (2) トリチウム捕集材としてジルコニウムの再利用を述べたが、トリチウム捕集後のジルコニウムの貯蔵法につき、検討する必要がある。
- (3) 微粉の処理についての知見を得るため、組成、形状、比放射能、剪断や減容化処理の際の微粉発生率等を更に調査する必要がある。
- (4) 減容化処理で製品として出てくるハルの形状は、その最終処分の形態を考慮して決定されなければならないが、この検討がなされていないので、今後検討をする必要がある。
- (5) 今回の調査研究では各減容化処理法を選定し、その概念をまとめるまでの作業が主体となり、これら各減容化処理法の開発の仕方については検討する時間が残らなかった。開発計画については今後更に検討する必要がある。

5.1.1 冶金的処理法の問題点

- (1) インダクトスラグ法の特許等の問題
- (2) インダクトスラグ法の操作方法の確立
- (3) オフガス処理の検討
- (4) 安全性の確認
- (5) 遠隔保守性の確認
- (6) 稼動時間の確認
- (7) 炉の耐用年数の確認

5.1.2 機械的処理法の問題点

機械的処理は未照射ハルでは広く研究されているが、照射ハルでの報告はない。次に機械的処理の課題を列挙する。

- (1) 照射・浸出後のハルの性質の調査・研究
 - ① 自然発火性
 - ② 機械的性質
- (2) 照射・浸出後のハルの減容テスト
 - ① プレス減容 : 圧縮性、粉末発生率の調査・検討

② H I P 処理 : カプセル材質の検討, トリチウムの挙動

(3) 各設備の遠隔操作性の確立

5.1.3 高温化学的処理法の問題点

塩化揮発法の中のサンディア法を実用化するためには, 今後以下の項目についてさらに検討が必要と考えられる。

- 塩化工程におけるアクチナイド, FP など Zr 以外の元素の挙動およびこれらが最終産物であるイオン交換体の性質におよぼす影響。
- 不揮発性残渣からの U, Pu の回収および処理法。
- 塩化工程における揮発物中の放射性物質量の最小化。

その他各プロセスステップについて未照射ジルカロイから照射済ジルカロイによる実験を行ない, 実証して行く必要がある。

5.2 開発計画

5.2.1 全体計画

ハル管理システムの基本的考え方を図 5.2-1 に示す。ハルは, 発生後一時貯蔵され, 主に貯蔵時の固化体要件を満たすよう一次処理され貯蔵される。将来, 最終的に処分固化体の要件が確立したときは, 必要によりこの固化体は要件を満たすよう再び処理される。

動燃工場処理能力に見合った一次処理施設の運転開始を 1990 年代の初めとしたときのハル減容固化技術開発の全体計画(案)を表 5.2-1 に示す。処分技術の開発に基づき固化体要件が摘出されるために, ハルを対象とした処分施設および安全評価の検討も早期に着手する必要がある。

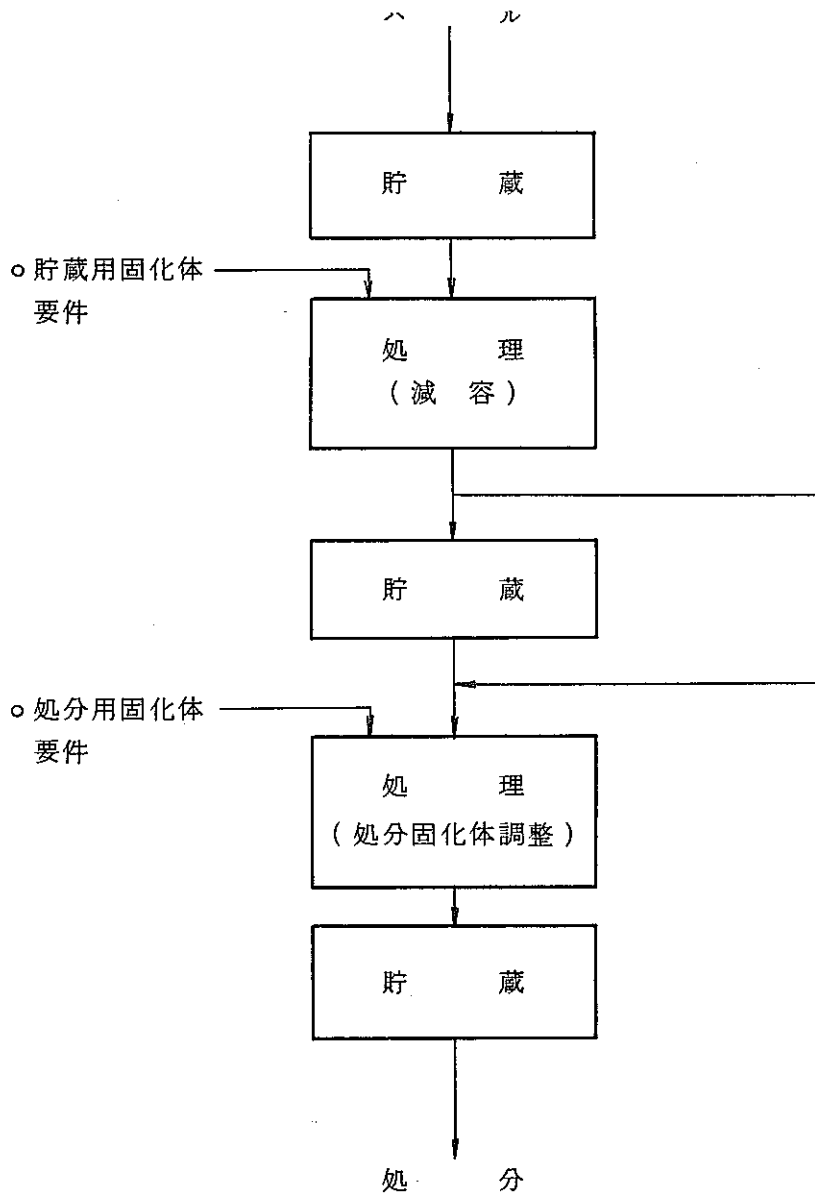


図 5.2 - 1 ハル管理の基本システム

表 5.2 - 1 ハル減容固化技術研究開発計画

項目	西暦年度	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
1. ハル・ファイン特性	1.1 端板汚染度	測定	測定	測定									
	1.2 ファイン性状	測定	測定	測定									
	1.3 ハル除染	測定	測定	測定									
2. 減容固化技術	2.1 プロセス	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査
	2.2 モック・アップ												
	2.3 パイロット(210トン/年)												
3. 固化体評価・ハンドリング技術	3.1 固化体特性 (注-1)	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査
	3.2 固化体容器(含ハンドリング) (注-1)	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査	調査
	3.3 検査技術												
4. 貯蔵技術	4.1 貯蔵施設												
5. 処分技術	5.1 処分施設 (注-1)												
	5.2 安全評価												

(注) - 1 高レベル廃液固化体処理・処分技術開発と共通技術

5.2.2. 個別計画

(1) ハル・ファイン特性

(a) 概要

動燃工場より発生した端板，ハルおよびファインを試料として，端板の汚染度，ファイン性状およびハル除染の可能性について実験的に検討する。

(b) 開発上の問題点

- ① 端板汚染（付着物）度の情報が無い
- ② ファイン性状の情報が無い
- ③ 化学洗浄によるハル除染の程度についての情報が不足

(c) 開発内容

- ① 端板放射性付着物の量および核種についての測定
- ② ファインの粒度，構成物質，比放射能の測定および自然発火性の実験的検討
- ③ 超音波洗浄または各種化学洗浄によるアクチナイドの除染係数の検討

(d) 開発ステップ

規模 施設	実 験 室	工 学	パイロット
コールド	—	—	—
セミホット	—	—	—
ホ ッ ト	S55～56 PNC ② ③	—	S55～56 PNC ①

(2) 減容固化技術

(a) 概要

被覆材片を減容し，かつあとの貯蔵・輸送・処分に適した固化体に転換するに適した固化技術を開発することを目的とし，当面，熔融法，プレス・メタル固化法，プレス・HIP法，高温化学法の4プロセスを開発の対象とする。

(b) 開発上の問題点

- ① 金属片であるので減容しにくい。
- ② 均質な固化体が得られにくい。
- ③ 処分のための固化体要件が未確定である。
- ④ 微粉を伴ない，自然発火の危険，汚染拡大の危険性がある。

(c) 開発内容

- ① 溶融方法の調査・選択
- ② 溶融法の工学試験および評価
- ③ プレス・メタル固化法の工学試験および評価
- ④ プレス・HIP法の工学試験および評価
- ⑤ 高温化学法の評価
- ⑥ 選択された減容固化法のモックアップ試験
- ⑦ 210トン/年規模施設の設計・建設

(d) 開発ステップ

規模 施設	実 験 室	工 学	パイロット
コールド	S55～57 メーカ ②～⑤	S56～58 メーカ ②～⑤	S59～61 PNCまたはメーカ ⑥
セミホット	—	—	—
ホ ッ ト	S57～59 PNC ②～④	—	S60～65 PNC/メーカ ⑦

なお，減容固化プロセスの研究開発スケジュールの詳細は，表 5.2-2 の通りである。

表 5.2-2 減容固化プロセスの研究開発スケジュール

西暦年度		80	81	82	83	84	85	86	87
(1) 溶融法	○ 調査・検討	→ 溶融方式 →							
	○ 試験, 実験室規模		→ コールド →						
工学規模				→ 製作 →	→ ホット試験 →				
				→ コールド試験 →					
						プロセス評価 ↓			
(2) プレス・メタル固化法	○ 調査・検討	→ コールド試験 →							
	○ 試験, 実験室規模		→ 製作・整備 →	→ ホット試験 →					
工学規模			→ コールド試験 →						
(3) プレス・HIP法	○ 調査・検討	→ コールド試験 →							
	○ 試験, 実験室規模		→ 製作・整備 →	→ ホット試験 →					
工学規模			→ コールド試験 →						
(4) 高温化学法	○ 調査・検討	→ コールド →		→ セミホット →	→ ホット →				
	○ 試験, 実験室規模		→ コールド →						
工学規模									

(3) 固化体評価・ハンドリング技術

(a) 概 要

各減容固化プロセスについて得られた固化体に関し，その貯蔵・処分に関連した固化体物性の評価および容器の材質選定・施工・ハンドリング技術，ならびに検査技術を開発する。

(b) 開発上の問題点

- ① 各プロセスから得られる固化体の物性が不明である。
- ② 固化体の長期安定性が不明である。
- ③ 容器仕様が不明である。
- ④ 検査項目および基準が不明である。

(c) 開発内容

- ① 固化体物性の測定・評価
- ② 容器材質・形状・寸法の確立
- ③ 容器施工技術の開発
- ④ 廃棄物検査基準の検討および検査技術の開発

(d) 開発ステップ

	実 験 室	工 学	パイロット
コールド	S55～57 メーカ ①	S57～58 メーカ ②～④	S59～61 PNC/メーカ ②～④
セミホット	S55～57 メーカ ①	—	—
ホ ッ ト	S57～59 PNC ①	—	—

(4) 貯蔵技術

減容固化技術に含まれる。

(5) 処分技術

高レベル廃液固化体および TRU 固化体処分技術開発の一環として取組む。

5.2.3 研究開発費

溶融法、プレス・メタル固化法、プレス・HIP 法および高温化学法の 4 プロセスの開発を並行して進め、そのうち 1 プロセスを 1983 年度末までに選定し、以後 1 プロセスのモックアップ試験およびパイロット施設詳細設計まで行なうとしたときの開発費は、ホットラボ試験費をのぞき約 60 億円である。

ハル減容化技術に関する文献リスト

1. Miller, G. L.
“Metallurgy of the Rarer Metals-2 Zirconium”
London Butterworths Scientific Publications
(1954)
2. Ferris, L. M.
“Decladding of PWR Blanket Fuel Elements with Aqueous Ammonium Fluoride Solutions”
Oak Ridge National Lab.
ORNL-2558
(October 1958)
3. Smith, P. W.
“The Zirflex Process Terminal Development Report”
Hanford Atomic Products Operation, Richland, Wash.
HW-65979
(September 1960)
4. Lawroski, S.; Burris, L. Jr.
“Processing of Reactor Fuel Materials by Pyrometallurgical Methods”
Atomic Energy Review 2(3)3
(1964)
5. Jonke, A. A.
“Reprocessing of Nuclear Reactor Fuels by Processes Based on Volatilization, Fractional Distillation,
and Selective Adsorption”
Atomic Energy Review 3(1)3
(1965)
6. Justing T. Long
“Engineering for Nuclear Fuel Reprocessing”
Gordon and Breach Science Publishers Inc.
(March 1967)
7. “Burial of Leached Hulls at the West Valley Plant”
Nuclear Fuel Services, Inc., West Valley, N.Y.
DOCKET-50201-16
(September 1969)

8. "Compaction of Radioactive Solid Waste"
U.S. Atomic Energy Commission
WASH 1167
(June 1970)
9. Steunenberg, R. K.: Pierce, R. D.: Burris, L.
"Pyrometallurgical and Pyrochemical Fuel Processing Methods"
ibid. P. 461
10. 1971年シンポジウム論文集
"再処理とフェエル・マネージメント"
"Pu とは何か?"
日本原子力産業会議 原子動力研究会
(August 1971)
11. "トリチウム その性質と挙動"
日本原子力学会
(October 1972)
12. "昭和46年度 核燃料研究委員会報告書"
通産省鉱山石炭局
(1972)
13. "Final Safety Analysis Report, Barnwell Nuclear Fuel Plant Separation Plant"
Allied-Gulf Nuclear Services
DOKET 50-332
(1973)
14. Schneider, K. J.
"Studies on Management of Selected Wastes"
Quarterly Progress Report, October ~ December 1973
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-1806
(January 1974)
15. Schneider, K. J.
"Studies on Management of Selected Wastes"
Quarterly Progress Report, January ~ March 1974
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-1825
(April 1974)

16. Schulz, W. W.: Dressen, A. L.
"Immobilization of Spent Cladding Hulls by Conversion to Silicate Forms"
Atlantic Richfield Hanford Co., Richland, Wash.
ARH-SA-193S
(May 1974)
17. Griggs, B.
"Feasibility Studies for Decontamination and Densification of Chop-Leach Cladding Residues"
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-1820, UC-70
(July 1974)
18. Schulz, W. W.: Dressen, A. L.: Hobbick, C. W.
"Immobilization of Spent Cladding Hulls by Conversion to Silicate Forms"
Atlantic Richfield Hanford Co., Richland, Wash.
ARH-SA-193
(October 1974)
19. "昭和48年度 核燃料研究委員会報告書
その1 (わが国における再処理事業の確立)"
資源エネルギー庁
(1974)
20. Levitz, N. M.: Kullen, B. J.: Steindler, M. J.
"Management of Waste Cladding Hulls"
Part I. Pyrophoricity and Compaction
Argonne National Laboratory
ANL-8139, Waste Management (UC-70)
(February 1975)
21. Steindler, M. J. et al.
"Chemical Engineering Division Waste Management Programs"
Quarterly Report, July ~ September 1974
Argonne National Lab., Ill.
ANL-8152
(February 1975)
22. Dau, G. J.
"Nuclear Waste Management and Transportation"
Quarterly Progress Report, October ~ December 1974
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.

- BNWL-1899, Waste Management (UC-70)
(February 1975)
23. Steindler, M. J. et al.
"Chemical Engineering Division Waste Management Programs"
Quarterly Report, October ~ December 1974
Argonne National Lab., Argonne, Ill.
ANL-75-23
(March 1975)
24. Steindler, M. J. et al.
"Chemical Engineering Division Waste Management Programs"
Quarterly Report, January ~ March 1975
Argonne National Lab., Argonne, Ill.
ANL-75-43
(June 1975)
25. Platt, A. M.
"Nuclear Waste Management and Transportation Quarterly Progress Report" January ~ March 1975
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-1913
(June 1975)
26. Steindler, M. J. et al.
"Chemical Engineering Division Waste Management Programs"
Quarterly Report, April ~ June 1975
Argonne National Lab., Ill.
ANL-75-63
(July 1975)
27. Platt, A. M.
"Nuclear Waste Management and Transportation Quarterly Progress Report" April ~ June 1975
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-1936, Waste Management (UC-70)
(September 1975)
28. Platt, A. M.
"Nuclear Waste Management and Transportation Quarterly Progress Report" July ~ September 1975
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-1952, Waste Management (UC-70)
(November 1975)

29. Dillon, R. L. et al.
"Chemical Decontamination and Melt Densification"
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-SA-5696
(March 1976)
30. Claiborne, H. C.
"Thermal Analysis of a Fuel Cladding Repository Pilot Plant in Salt"
Oak Ridge National Lab., Tenn.
ORNL/TM-5221
(April 1976)
31. "Alternatives for Managing Wastes from Reactors and Post-Fission Operations in the LWR Fuel Cycle"
Vol. 2 7.0 Treatment and Immobilization of Chop-Leach Fuel Bundle Residues
US ERDA
ERDA-76-43
(May 1976)
32. "Alternatives for Managing Wastes from Reactors and Post-Fission Operations in the LWR Fuel Cycle"
Vol. 3 18.0 Interim Storage of Chop-Leach Fuel Bundle Residues
US ERDA
ERDA-76-43
(May 1976)
33. Nelson, R. G.; Griggs, B.
"Chop-Leach Fuel Bundle Residues: Densification by Melting"
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-SA-5704
(June 1976)
34. Dillon, R. L.
"Cladding Hulls"
Battelle Pacific Northwest Institute, Richland, Wash.
BNWL-SA-5833
(July 1976)
35. Nelson, R. G. et al.
"Selection of a Melting Furnace for Consolidation of Nuclear Fuel Hulls"
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-1968
(July 1976)

36. Nelson, R. G.: Griggs, B.
"Chop-Leach Fuel Bundle Residues Densification by Melting"
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-2132, UC-70
(November 1976)
37. Balu, K.: Ramacbandran, S.: Jain, B. K.
"Management of Highly Active Decladding Zircaloy Solid Wastes from a Fuel Reprocessing Plant"
Bhabha Atomic Research Center, Trombay, Bombay, India
Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle Vol. 1
Treatment of Hulls and Solvent (Session IV)
International Atomic Energy Agency, Vienna
(1976)
38. Dillon, R. L.: Griggs, B. et al.
"Chemical Decontamination and Melt Densification of Chop-Leach Fuel Hulls"
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
Management of Radioactive Waste from the Nuclear Fuel Cycle Vol. 1
Treatment of Hulls and Solvent (Session IV)
International Atomic Energy Agency, Vienna
(1976)
39. Lynch, R. W. et al.
"The Sandia Solidification Process - a Broad Range Aqueous Waste Solidification Method"
Sandia Labs., Albuquerque, N. Mex.
IAEA-SM-207/75
(1976)
40. Baru, K. et al
"Management of Highly Active Decladding Zircaloy Solid Wastes from a Fuel Reprocessing Plant,
Management of Radioactive Waste from the Nuclear Cycle Vol. 1,
Treatment of Hulls and Solvent Session IV"
IAEA
(1976)
41. "Nuclear Fuel Recovery and Recycling Center, Preliminary Safety Analysis Report"
Exxon Nuclear Co.
DOCKET 50-564
(1976)

42. Platte, A. M.
"Nuclear Waste Management and Transportation Quarterly Progress Report" July ~ September 1976
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-2179
(January 1977)
43. Jenkins, I. L.
"Problems in the Disposal of Irradiated Fuel Cladding"
Applied Chemistry Division AERE, Harwell
AERE-R8374
(April 1977)
44. Levine, H. S.: Nowak, E. J.
"Conversion of Waste Zircaloy Hulls to Zirconate Ion Exchange Materials for Waste Stabilization"
Sandia Labs., Albuquerque, N. Mex.
(June 1977)
45. Trevorrow, L. E.: Kullen, B. J.: Milton, A.
"V. Establishment of Tentative Criteria for Hull Treatment"
Chemical Engineering Division Fuel Cycle Programs Progress Report January ~ September 1977
pp. 81 ~ 126
ANL-78-11
(1977)
46. Dillon, R. L.
"Decontamination and Melt Densification of Fuel Hull Wastes"
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
(November 1977)
47. Platt, A. M.
"Nuclear Waste Management Quarterly Progress Report"
April ~ June 1977
Battelle Pacific Northwest Labs., Richland, Wash.
BNWL-2377-2, UC-70
(November 1977)
48. Kullen, B. J.: Levitz, N. M.: Steindler, M. J.
"Management of Waste Cladding Hulls" Part II. An Assessment of Zirconium Pyrophoricity and
Recommendations for Handling Waste Hulls
Argonne National Lab., Argonne, Ill.
ANL-77-63

(November 1977)

49. "Entsorgungszentrum"
DWK
(1977)
50. Bauer, A. A.: Gallagher, W. J.: Lowry, L. M.: Markworth, A. J.
"Evaluating Strength and Ductility of Irradiated Zircaloy"
Task 5. Quarterly Progress Report
October ~ December 1977
NUREG/CR-0026
(January 1978)
51. Levine, H. S.
"Conversion of Fuel Hulls to Zirconate Ion Exchangers for Stabilization of Wastes from the Thorium Fuel Cycle"
Sandia Labs., Albuquerque, N. Mex.
SAND-78-0323C
(March 1978)
52. Johnson, D. R.: Stone, J. A.
"Light Water Reactor Fuel Reprocessing: Dissolution Studies of Voloxidized Fuel"
E. I. du Pont de Nemours & Co.
Savannah River Lab., Aiken, SC
DP-MS-77-77
(March 1978)
53. "軽水炉燃料のふるまい"
原子力安全研究協会 燃料安全特別専門委員会
(March 1978)
54. "Programme of Research and Development on Radioactive Waste Management and Storage"
Commission of the European Communities
EUR. 6128EN
(1978)
55. Jenkins I. L.: Taylor, R. F.
"Treatment of S. S. and Zircaloy Cladding Hulls"
Atomic Energy Research Establishment, Harwel, Oxon, UK.
Proceeding of the Technical Seminar on the Treatment, Conditioning and Storage of Solid Alpha-bearing Waste and Cladding Hulls. Paris, December 1977

- Technical Seminar Organized jointly by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency
OECD (1978)
56. Dillon, R. L.
"Decontamination and Melt Densification"
Battelle Pacific Northwest Labs, Richland, Wash, USA
Proceeding of the Technical Seminar on the Treatment, Conditioning and Storage of Solid Alpha-bearing Waste and Cladding Hulls, Paris, December 1977
Technical Seminar Organized jointly by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency
OECD (1978)
57. Broothaerts, J. et al.
"Cladding Waste Compaction and Encapsulation in Lead"
Studiecentrum voor Kernenergie Centre d'Etude de l'Energie Nucleaire
Proceeding of the Technical Seminar on the Treatment, Conditioning and Storage of Solid Alpha-bearing Waste and Cladding Hulls, Paris, December 1977
Technical Seminar Organized jointly by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency
OECD (1978)
58. Novoselov, G. P.
"High-Temperature Methods for Treating Spent Fuel Cladding"
State Committee for Atomic Energy, USSR
Proceeding of the Technical Seminar on the Treatment, Conditioning and Storage of Solid Alpha-bearing Waste and Cladding Hulls, Paris, December 1977
Technical Seminar Organized jointly by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency
OECD (1978)
59. Fischmeister
"Isostatic Hot Compaction - a Review"
Powder Metallurgy International Vol. 10, No. 3
(1978)
60. "Draft Environmental Impact Statement Management of Commercially Generated Radioactive Waste"
Vol. 2 Fuel Residue Packaging PP. L. 13-L. 25
DOE/EIS-0046-D
(April 1979)

61. 小野修一郎：大角泰章
“金属水素化物 エネルギー変換機能とその応用”
セラミックス14 (1979) No.4 PP.339~357
(1979)
62. U.S. Department of Energy
“Technology for Commercial Radioactive Waste Management Vol. 2 of 5 4.2 Packaging of Fuel Residue”
DOE-ET-0028
(1979)
63. “Technology for Commercial Radioactive Waste Management Vol. 3 of 5”
U.S. DOE
DOE/ET-0028
(1979)
64. 井上陽一 他
“熱間静水圧プレス (HIP) 法によるHullの減容固化”
第17回日本原子力学会年会要旨集 PP.153
(1979)

Appendix PWR 燃料構造材・被覆材の組成，放射能および発熱量

PWR 燃料構造材・被覆材の組成，放射能および発熱量の経時的変化の ORIGEN による計算例を表 A.1 に示す。実際のハルでは，燃料芯材の溶解残渣の存在を考慮する必要がある。

TYPICAL PWR FUEL (U+Pu) (2700CMWD/TU, 33.9MW/TU) (γ - λ =1TC)

LIGHT ELEMENTS IN GRAMS

		INITIAL	DISCRG	1-0	3-0	5-0	10-0	25-0	50-0	100-0	1000-0	10000-0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1 H	1	0.00E+00	0.00E+00	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01
	2	0.00E+00	0.00E+00	7.71E-05	7.71E-05	7.71E-05	7.71E-05	7.71E-05	7.71E-05	7.71E-05	7.71E-05	7.71E-05
	3	1.79E-09	0.00E+00	1.16E-08	1.10E-08	9.81E-09	8.76E-09	6.61E-09	1.03E-09	2.52E-10	1.50E-11	0.00E+00
	4	0.00E+00	0.00E+00	7.22E-25	7.22E-25	7.22E-25	7.22E-25	7.22E-25	7.22E-25	7.22E-25	7.22E-25	7.22E-25
	*	0.00E+00	0.00E+00	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01	1.24E-01
2 HE	3	0.00E+00	0.00E+00	1.24E-10	7.60E-10	1.93E-09	2.58E-09	5.13E-09	1.07E-08	1.15E-08	1.17E-08	1.17E-08
	4	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00
	6	3.56E-01	0.00E+00	2.32E-15	0.09E+00	0.90E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00	1.14E+00
	3 LI	6	0.00E+00	0.00E+00	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08
7	0.00E+00	0.00E+00	4.85E-12	4.85E-12	4.85E-12	4.85E-12	4.85E-12	4.85E-12	4.85E-12	4.85E-12	4.85E-12	
8	3.25E-01	0.00E+00	7.30E-24	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
*	0.00E+00	0.00E+00	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	3.90E-08	
4 BE	9	0.00E+00	0.00E+00	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04	2.29E-04
	10	9.79E-15	0.00E+00	4.01E-05	4.01E-05	4.01E-05	4.01E-05	4.01E-05	4.01E-05	4.01E-05	4.01E-05	4.00E-05
	*	0.00E+00	0.00E+00	2.69E-04	2.69E-04	2.69E-04	2.69E-04	2.69E-04	2.69E-04	2.69E-04	2.69E-04	2.69E-04
5 P	10	0.00E+00	0.00E+00	2.53E-12	1.37E-11	3.59E-11	5.82E-11	1.14E-10	4.81E-10	7.59E-10	1.32E-09	1.13E-08
	11	0.00E+00	0.00E+00	1.22E-10	1.22E-10	1.22E-10	1.22E-10	1.22E-10	1.22E-10	1.22E-10	1.22E-10	1.22E-10
	*	0.00E+00	0.00E+00	1.25E-10	1.36E-10	1.58E-10	1.80E-10	2.36E-10	6.03E-10	8.81E-10	1.44E-09	1.14E-08
6 C	12	0.00E+00	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02
	13	0.00E+00	4.86E+00	4.86E+00	4.86E+00	4.86E+00	4.86E+00	4.86E+00	4.86E+00	4.86E+00	4.86E+00	4.86E+00
	14	3.93E-12	0.00E+00	1.33E-02	1.33E-02	1.33E-02	1.33E-02	1.33E-02	1.33E-02	1.32E-02	1.32E-02	1.18E-02
	*	1.05E+02	1.09E+02	1.09E+02	1.09E+02	1.09E+02	1.09E+02	1.09E+02	1.09E+02	1.09E+02	1.09E+02	1.09E+02
7 N	13	1.16E-03	0.00E+00	5.26E-22	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	14	0.00E+00	0.00E+00	1.68E-06	3.29E-06	6.52E-06	9.75E-06	1.78E-05	7.09E-05	1.11E-04	1.91E-04	1.55E-03
	15	0.00E+00	0.00E+00	6.64E-11	6.64E-11	6.64E-11	6.64E-11	6.64E-11	6.64E-11	6.64E-11	6.64E-11	6.64E-11
	16	9.76E-02	0.00E+00	2.17E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	1.68E-06	3.29E-06	6.52E-06	9.75E-06	1.78E-05	7.09E-05	1.11E-04	1.91E-04	1.55E-03
8 O	16	0.00E+00	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05
	17	0.00E+00	4.44E+01	5.11E+01	5.11E+01	5.11E+01	5.11E+01	5.11E+01	5.11E+01	5.11E+01	5.11E+01	5.11E+01
	18	0.00E+00	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02	2.59E+02
	19	2.39E-02	0.00E+00	5.26E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05	1.13E+05
9 F	19	0.00E+00	0.00E+00	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05
	20	6.30E-02	0.00E+00	9.96E-16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05	7.90E-05

TYPICAL PWR FUEL (D-1+P2) (27000MWD/TU, 33.8MK/TU) (A-Z=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN GRAMS

	INITIAL	DISCRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
10 NE	20		0.00E+00	0.00E+00	1.97E-09	1.97E-09	1.97E-09	1.97E-09	1.97E-09	1.97E-09	1.97E-09
	21		0.00E+00	0.00E+00	2.00E-09	2.00E-09	2.00E-09	2.00E-09	2.00E-09	2.00E-09	2.00E-09
	22		0.00E+00	0.00E+00	8.26E-08	8.26E-08	8.26E-08	8.26E-08	8.26E-08	8.26E-08	8.26E-08
	23		1.94E-02	0.00E+00	1.1E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	0.00E+00	8.66E-08	8.66E-08	8.66E-08	8.66E-08	8.66E-08	8.66E-08	8.66E-08
11 NA	22		8.30E-09	0.00E+00	5.51E-24	5.51E-24	5.51E-24	5.51E-24	5.51E-24	8.84E-25	9.66E-25
	23		0.00E+00	0.00E+00	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09
	24		1.28E-05	0.00E+00	5.82E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	25		1.16E-02	0.00E+00	3.04E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	0.00E+00	5.88E-07	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09	6.73E-09
12 MG	24		0.00E+00	0.00E+00	4.68E-04	4.69E-04	4.69E-04	4.69E-04	4.69E-04	4.69E-04	4.69E-04
	25		0.00E+00	0.00E+00	1.69E-03	1.69E-03	1.69E-03	1.69E-03	1.69E-03	1.69E-03	1.69E-03
	26		0.00E+00	0.00E+00	7.74E-04	7.74E-04	7.74E-04	7.74E-04	7.74E-04	7.74E-04	7.74E-04
	27		1.22E-03	0.00E+00	3.31E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	0.00E+00	2.93E-03	2.93E-03	2.93E-03	2.93E-03	2.93E-03	2.93E-03	2.93E-03
13 AL	27		0.00E+00	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02
	28		5.00E-03	0.00E+00	2.34E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	29		1.75E-03	0.00E+00	3.32E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02	1.24E+02
14 SI	28		0.00E+00	3.90E+02	3.90E+02	3.90E+02	3.90E+02	3.90E+02	3.90E+02	3.90E+02	3.90E+02
	29		0.00E+00	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01
	30		0.00E+00	1.40E+01	1.40E+01	1.40E+01	1.40E+01	1.40E+01	1.40E+01	1.40E+01	1.40E+01
	31		7.35E-05	0.00E+00	4.98E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		4.24E+02	4.24E+02	4.24E+02	4.24E+02	4.24E+02	4.24E+02	4.24E+02	4.24E+02	4.24E+02
15 P	31		0.00E+00	0.00E+00	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03
	32		5.61E-07	0.00E+00	2.30E-08	4.70E-16	1.97E-31	8.25E-47	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	0.00E+00	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03	2.30E-03
16 S	32		0.00E+00	0.00E+00	3.95E-07	4.18E-07	4.18E-07	4.18E-07	4.18E-07	4.18E-07	4.18E-07
	34		0.00E+00	0.00E+00	6.54E-19	6.54E-19	6.54E-19	6.54E-19	6.54E-19	6.54E-19	6.54E-19
	35		9.12E-08	0.00E+00	2.35E-23	2.56E-24	1.46E-24	1.09E-24	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	37		2.28E-03	0.00E+00	7.58E-18	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	0.00E+00	3.95E-07	4.18E-07	4.18E-07	4.18E-07	4.18E-07	4.18E-07	4.18E-07
17 CL	35		0.00E+00	0.00E+00	1.03E-23	3.12E-23	3.53E-23	3.57E-23	3.27E-23	3.38E-23	3.38E-23
	37		0.00E+00	0.00E+00	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13
	38		3.10E-04	0.00E+00	1.20E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	0.00E+00	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13	3.62E-13

TYPICAL PWR FUEL (D1+P2) (27CCOMWC/TU,33.8MA/TU) (A-X=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN GRAMS

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
13	AR	38	0.00E+00	0.00E+00	5.82E-17	5.82E-17	5.82E-17	5.82E-17	5.82E-17	5.82E-17	5.82E-17	5.82E-17
		39	9.17E-11	0.00E+00	1.73E-17	1.72E-17	1.71E-17	1.70E-17	1.68E-17	1.55E-17	1.45E-17	1.27E-17
		40	0.00E+00	0.00E+00	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09
		41	1.05E-04	0.00E+00	1.28E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09	1.29E-09
13	K	39	0.00E+00	0.00E+00	2.11E-20	6.55E-20	1.54E-19	2.42E-19	4.60E-19	1.83E-18	2.80E-18	4.55E-18
		41	0.00E+00	0.00E+00	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11
		42	1.55E-05	0.00E+00	1.39E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		43	8.60E-06	0.00E+00	2.08E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		44	5.25E-04	0.00E+00	6.26E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	4.43E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11	4.22E-11
20	CA	42	0.00E+00	0.00E+00	5.54E-13	5.56E-13	5.56E-13	5.56E-13	5.56E-13	5.56E-13	5.56E-13	5.56E-13
		43	0.00E+00	0.00E+00	5.05E-05	5.05E-05	5.05E-05	5.05E-05	5.05E-05	5.05E-05	5.05E-05	5.05E-05
		44	0.00E+00	0.00E+00	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04	3.94E-04
		45	4.86E-08	0.00E+00	2.45E-06	5.27E-07	2.45E-08	1.14E-09	5.30E-13	5.40E-31	1.18E-47	0.00E+00
		46	0.00E+00	0.00E+00	4.94E-05	4.94E-05	4.94E-05	4.94E-05	4.94E-05	4.94E-05	4.94E-05	4.94E-05
		47	1.77E-05	0.00E+00	3.99E-10	2.14E-34	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	4.97E-04	4.95E-04	4.94E-04	4.94E-04	4.94E-04	4.94E-04	4.94E-04	4.94E-04
21	SC	45	0.00E+00	0.00E+00	5.64E-06	7.56E-06	8.06E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06
		46	9.56E-03	0.00E+00	1.69E-04	8.26E-06	1.98E-08	4.73E-11	1.33E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		47	2.34E-06	0.00E+00	1.15E-05	4.66E-34	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		48	4.38E-06	0.00E+00	6.00E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		49	2.01E-04	0.00E+00	1.27E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		50	6.72E-03	0.00E+00	7.12E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	1.87E-04	1.58E-05	8.08E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06
22	II	46	0.00E+00	1.25E+01	1.25E+01	1.25E+01	1.25E+01	1.25E+01	1.25E+01	1.25E+01	1.25E+01	1.25E+01
		47	0.00E+00	1.17E+01	1.17E+01	1.17E+01	1.17E+01	1.17E+01	1.17E+01	1.17E+01	1.17E+01	1.17E+01
		48	0.00E+00	1.21E+02	1.20E+02	1.20E+02	1.20E+02	1.20E+02	1.20E+02	1.20E+02	1.20E+02	1.20E+02
		49	0.00E+00	9.23E+00	1.06E+01	1.06E+01	1.06E+01	1.06E+01	1.06E+01	1.06E+01	1.06E+01	1.06E+01
		50	0.00E+00	9.13E+00	9.18E+00	9.18E+00	9.18E+00	9.18E+00	9.18E+00	9.18E+00	9.18E+00	9.18E+00
		51	1.09E-03	0.00E+00	1.58E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	1.64E+02	1.64E+02	1.64E+02	1.64E+02	1.64E+02	1.64E+02	1.64E+02	1.64E+02	1.64E+02
23	V	50	0.00E+00	0.00E+00	6.95E-02	6.95E-02	6.95E-02	6.95E-02	6.95E-02	6.95E-02	6.95E-02	6.95E-02
		51	0.00E+00	0.00E+00	1.05E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01
		52	3.43E-03	0.00E+00	5.74E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		53	9.78E-03	0.00E+00	1.88E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		54	1.20E-02	0.00E+00	9.78E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	1.05E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01	1.11E+01

ENERG OUTPUT

004

TYPICAL PWR FUEL (U-235) (27000MWD/TU, 33.8MW/TU) (N=21TU)

LIGHT ELEMENTS (I) GRAMS

		INITIAL	DISCRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
24	CR	50	0.00E+00	4.48E+02	4.37E+02	4.37E+02	4.37E+02	4.37E+02	4.37E+02	4.37E+02	4.37E+02	4.37E+02
		51	2.99E-07	0.00E+00	6.00E-01	6.64E-05	8.19E-13	1.01E-20	1.69E-40	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		52	0.00E+00	5.06E+03	9.05E+03	9.05E+03	9.05E+03	9.05E+03	9.05E+03	9.05E+03	9.05E+03	9.05E+03
		53	0.00E+00	1.05E+03	1.04E+03	1.04E+03	1.04E+03	1.04E+03	1.04E+03	1.04E+03	1.04E+03	1.04E+03
		54	0.00E+00	2.67E+02	2.96E+02	2.96E+02	2.96E+02	2.96E+02	2.96E+02	2.96E+02	2.96E+02	2.96E+02
		55	3.30E-03	0.00E+00	8.06E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*		1.08E+04	1.08E+04	1.08E+04	1.08E+04	1.08E+04	1.08E+04	1.08E+04	1.08E+04	1.08E+04
25	MN	54	2.65E-08	0.00E+00	3.25E-01	1.41E-01	2.65E-02	4.98E-03	7.63E-05	8.09E-17	6.85E-26	4.52E-44
		55	0.00E+00	8.60E+02	7.77E+02	7.78E+02	7.80E+02	7.81E+02	7.82E+02	7.82E+02	7.82E+02	7.82E+02
		56	7.46E-05	0.00E+00	5.29E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		57	6.80E-03	0.00E+00	4.49E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		58	1.05E-02	0.00E+00	1.02E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*		8.00E+02	7.77E+02	7.78E+02	7.80E+02	7.81E+02	7.82E+02	7.82E+02	7.82E+02	7.82E+02
26	FE	54	0.00E+00	1.60E+03	1.59E+03	1.59E+03	1.59E+03	1.59E+03	1.59E+03	1.59E+03	1.59E+03	1.59E+03
		55	8.45E-09	0.00E+00	5.20E+00	3.98E+00	2.34E+00	1.37E+00	3.62E-01	5.46E-05	6.85E-08	1.11E-13
		56	0.00E+00	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04	2.61E+04
		57	0.00E+00	6.35E+02	7.29E+02	7.29E+02	7.29E+02	7.29E+02	7.29E+02	7.29E+02	7.29E+02	7.29E+02
		58	0.00E+00	9.74E+01	1.03E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02
		59	1.78E-07	0.00E+00	2.49E-02	8.97E-05	1.16E-09	1.51E-14	-1.62E-25	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*		2.85E+04	2.85E+04	2.85E+04	2.85E+04	2.85E+04	2.85E+04	2.85E+04	2.85E+04	2.85E+04
27	CO	58	1.13E-07	0.00E+00	5.16E-01	1.48E-02	1.22E-05	1.01E-08	1.96E-16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		59	0.00E+00	0.00E+00	1.80E+00	1.82E+00	1.82E+00	1.82E+00	1.83E+00	1.84E+00	1.85E+00	1.87E+00
		60	4.18E-09	0.00E+00	1.24E-01	1.09E-01	8.36E-02	6.42E-02	3.32E-02	4.29E-04	1.59E-05	2.19E-08
		60*	1.10E-03	0.00E+00	1.64E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		61	1.17E-04	0.00E+00	3.81E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		62	8.31E-04	0.00E+00	5.44E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*		0.00E+00	2.44E+00	1.95E+00	1.91E+00	1.89E+00	1.86E+00	1.84E+00	1.85E+00	1.87E+00
28	NI	58	0.00E+00	7.66E+03	7.61E+03	7.61E+03	7.61E+03	7.61E+03	7.61E+03	7.61E+03	7.61E+03	7.61E+03
		59	2.75E-13	0.00E+00	4.93E+01	4.93E+01	4.93E+01	4.93E+01	4.93E+01	4.93E+01	4.93E+01	4.93E+01
		60	0.00E+00	3.06E+03	3.05E+03	3.05E+03	3.05E+03	3.05E+03	3.05E+03	3.05E+03	3.05E+03	3.05E+03
		61	0.00E+00	1.41E+02	1.53E+02	1.53E+02	1.53E+02	1.53E+02	1.53E+02	1.53E+02	1.53E+02	1.53E+02
		62	0.00E+00	4.42E+02	4.33E+02	4.33E+02	4.33E+02	4.33E+02	4.33E+02	4.33E+02	4.33E+02	4.33E+02
		63	2.39E-10	0.00E+00	9.54E+00	5.47E+00	9.33E+00	9.19E+00	8.85E+00	6.90E+00	5.72E+00	3.62E+00
		64	0.00E+00	1.35E+02	1.34E+02	1.34E+02	1.34E+02	1.34E+02	1.34E+02	1.34E+02	1.34E+02	1.34E+02
		65	7.52E-05	0.00E+00	6.25E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*		1.14E+04	1.14E+04	1.14E+04	1.14E+04	1.14E+04	1.14E+04	1.14E+04	1.14E+04	1.14E+04
29	CU	62	1.18E-03	0.00E+00	3.88E-18	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		63	0.00E+00	0.00E+00	7.69E-02	1.48E-01	2.90E-01	4.30E-01	7.70E-01	2.72E+00	3.90E+00	5.70E+00
		64	1.50E-05	0.00E+00	8.90E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

182

PNCJ 841-80-27

TYPICAL PWR FUEL (U-235) (27000MWD/TU, 33.9MW/TU) ($\lambda = 1$ TU)

LIGHT ELEMENTS IN GRAMS

	INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
65	0.00E+00	0.00E+00	2.95E-01	2.95E-01	2.95E-01	2.95E-01	2.95E-01	2.95E-01	2.95E-01	2.95E-01	2.95E-01
66	2.27E-03	0.00E+00	1.16E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	3.72E-01	4.43E-01	5.85E-01	7.25E-01	1.06E+00	3.01E+00	4.20E+00	5.59E+00
30 ZN	64	0.00E+00	0.00E+00	1.10E-04	1.11E-04	1.11E-04	1.11E-04	1.11E-04	1.11E-04	1.11E-04	1.11E-04
	65	3.27E-08	0.00E+00	2.83E-08	1.01E-08	1.28E-09	1.62E-10	9.22E-13	7.04E-25	4.24E-36	0.00E+00
	66	0.00E+00	0.00E+00	8.30E-04	8.30E-04	8.30E-04	8.30E-04	8.30E-04	8.30E-04	8.30E-04	8.30E-04
	*			0.00E+00	9.40E-04	9.40E-04	9.40E-04	9.40E-04	9.40E-04	9.40E-04	9.40E-04
38 SR	88	0.00E+00	0.00E+00	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01
	89	1.54E-07	0.00E+00	1.67E-03	1.28E-05	7.56E-10	4.46E-14	4.27E-24	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	90	7.82E-10	0.00E+00	5.76E-06	5.62E-06	5.35E-06	5.09E-06	4.50E-06	2.00E-06	1.08E-06	3.14E-07
	91	1.99E-05	0.00E+00	2.58E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*			0.00E+00	2.16E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01	2.15E-01
39 Y	90	3.01E-06	0.00E+00	3.21E-03	1.46E-05	1.39E-09	1.32E-09	1.17E-09	5.19E-10	2.80E-10	8.15E-11
	91	1.36E-07	0.00E+00	5.07E-03	6.84E-05	1.25E-08	2.27E-12	1.01E-21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	91*	7.70E-04	0.00E+00	3.95E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*			0.00E+00	8.28E-03	6.84E-05	1.38E-08	1.33E-09	1.17E-09	5.19E-10	2.80E-10
40 ZP	90	0.00E+00	1.03E+05	1.03E+05	1.03E+05	1.03E+05	1.03E+05	1.03E+05	1.03E+05	1.03E+05	1.03E+05
	91	0.00E+00	2.27E+04	2.25E+04	2.25E+04	2.25E+04	2.25E+04	2.25E+04	2.25E+04	2.25E+04	2.25E+04
	92	0.00E+00	3.50E+04	3.52E+04	3.52E+04	3.52E+04	3.52E+04	3.52E+04	3.52E+04	3.52E+04	3.52E+04
	93	1.46E-14	0.00E+00	2.90E+01	2.90E+01	2.90E+01	2.90E+01	2.90E+01	2.90E+01	2.90E+01	2.89E+01
	94	0.00E+00	3.63E+04	3.63E+04	3.63E+04	3.63E+04	3.63E+04	3.63E+04	3.63E+04	3.63E+04	3.63E+04
	95	1.23E-07	0.00E+00	1.29E+00	2.62E-02	1.09E-05	4.49E-09	1.56E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	96	0.00E+00	5.97E+03	5.97E+03	5.97E+03	5.97E+03	5.97E+03	5.97E+03	5.97E+03	5.97E+03	5.97E+03
	*			2.03E+05	2.03E+05	2.03E+05	2.03E+05	2.03E+05	2.03E+05	2.03E+05	2.03E+05
41 NB	92	7.87E-07	0.00E+00	5.38E-05	8.93E-16	2.46E-37	6.90E-59	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	93	0.00E+00	3.58E+02	3.57E+02	3.57E+02	3.57E+02	3.57E+02	3.57E+02	3.57E+02	3.57E+02	3.58E+02
	93*	1.62E-09	0.00E+00	1.58E-05	2.99E-05	5.61E-05	7.58E-05	1.29E-04	2.68E-04	2.91E-04	2.59E-04
	94	1.10E-15	0.00E+00	5.68E-01	5.68E-01	5.68E-01	5.68E-01	5.68E-01	5.68E-01	5.68E-01	5.68E-01
	95	2.29E-07	0.00E+00	6.70E-01	2.94E-02	1.29E-05	5.32E-09	1.85E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	96	8.37E-06	0.00E+00	7.63E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	97	1.60E-04	0.00E+00	3.49E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*			3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.58E+02
42 MU	92	0.00E+00	6.55E+01	6.55E+01	6.55E+01	6.55E+01	6.55E+01	6.55E+01	6.55E+01	6.55E+01	6.55E+01
	93	2.44E-12	0.00E+00	2.87E-02	2.87E-02	2.87E-02	2.87E-02	2.87E-02	2.87E-02	2.87E-02	2.87E-02
	93*	2.79E-05	0.00E+00	3.27E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	94	0.00E+00	3.82E+01	3.82E+01	3.82E+01	3.82E+01	3.82E+01	3.82E+01	3.82E+01	3.82E+01	3.82E+01
	95	0.00E+00	6.72E+01	6.31E+01	7.00E+01	7.01E+01	7.01E+01	7.01E+01	7.01E+01	7.01E+01	7.01E+01
	96	0.00E+00	7.14E+01	7.86E+01	7.86E+01	7.86E+01	7.86E+01	7.86E+01	7.86E+01	7.86E+01	7.86E+01

-183-

TYPICAL PWR FUEL(U4FP2) (27000MWD/TU,33.8MW/TU) (X=Z=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN GRAMS

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
97		0.00E+00	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+01
98		0.00E+00	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02	1.04E+02
99		2.87E-06	0.00E+00	3.47E-03	1.43E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
100		0.00E+00	4.32E+01	4.32E+01	4.32E+01	4.32E+01	4.32E+01	4.32E+01	4.32E+01	4.32E+01	4.32E+01	4.32E+01
101		7.91E-04	0.00E+00	3.74E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			4.32E+02	4.39E+02	4.41E+02	4.41E+02	4.41E+02	4.41E+02	4.41E+02	4.41E+02	4.41E+02	4.41E+02
43 TC	99	1.05E-13	0.00E+00	5.90E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.93E-01	5.92E-01
	99*	3.21E-05	0.00E+00	2.70E-04	1.22E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	101	8.25E-04	0.00E+00	3.58E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	5.90E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.94E-01	5.93E-01	5.92E-01
44 RU	101	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01
*			0.00E+00	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01	1.80E-01
48 CD	113	0.00E+00	0.00E+00	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07
	115	3.60E-06	0.00E+00	5.82E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119	1.16E-03	0.00E+00	7.18E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07	2.62E-07
49 IN	119	5.50E-03	0.00E+00	1.36E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119*	6.42E-04	0.00E+00	1.29E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	1.49E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
50 SN	114	0.00E+00	2.63E+01	2.63E+01	2.63E+01	2.63E+01	2.63E+01	2.63E+01	2.63E+01	2.63E+01	2.63E+01	2.63E+01
	115	0.00E+00	1.39E+01	1.39E+01	1.39E+01	1.39E+01	1.39E+01	1.39E+01	1.39E+01	1.39E+01	1.39E+01	1.39E+01
	116	0.00E+00	5.86E+02	5.79E+02	5.79E+02	5.79E+02	5.79E+02	5.79E+02	5.79E+02	5.79E+02	5.79E+02	5.79E+02
	117	0.00E+00	3.14E+02	3.15E+02	3.16E+02	3.16E+02	3.16E+02	3.16E+02	3.16E+02	3.16E+02	3.16E+02	3.16E+02
	117*	5.73E-07	0.00E+00	1.93E-01	2.71E-09	5.31E-25	1.04E-40	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	118	0.00E+00	1.00E+03	1.01E+03	1.01E+03	1.01E+03	1.01E+03	1.01E+03	1.01E+03	1.01E+03	1.01E+03	1.01E+03
	119	0.00E+00	3.62E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02	3.59E+02
	119*	3.21E-08	0.00E+00	6.07E-03	2.21E-03	2.91E-04	3.84E-05	2.43E-07	7.40E-22	7.40E-33	0.00E+00	0.00E+00
	120	0.00E+00	1.40E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03	1.41E+03
	121	7.13E-06	0.00E+00	2.81E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	121*	2.89E-10	0.00E+00	8.78E-03	8.70E-03	8.54E-03	8.39E-03	8.01E-03	5.93E-03	4.72E-03	2.59E-03	8.15E-07
	122	0.00E+00	2.04E+02	2.04E+02	2.04E+02	2.04E+02	2.04E+02	2.04E+02	2.04E+02	2.04E+02	2.04E+02	2.04E+02
	123	6.42E-04	2.61E+02	3.11E+00	4.10E-01	7.14E-03	1.24E-04	4.97E-09	8.85E-33	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	123*	2.89E-04	0.00E+00	2.93E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			4.18E+03	3.92E+03	3.51E+03	3.51E+03	3.51E+03	3.91E+03	3.91E+03	3.91E+03	3.91E+03	3.51E+03
51 SB	121	0.00E+00	0.00E+00	1.18E+00	1.18E+00	1.18E+00	1.18E+00	1.18E+00	1.18E+00	1.18E+00	1.19E+00	1.19E+00
	123	0.00E+00	0.00E+00	2.27E+02	2.30E+02	2.30E+02	2.30E+02	2.30E+02	2.30E+02	2.30E+02	2.30E+02	2.30E+02
	124	1.34E-07	0.00E+00	1.27E+00	1.86E-02	4.03E-06	8.72E-10	5.99E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	124*	7.45E-03	0.00E+00	1.02E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PWR FUEL (U+Pu) (2700MWD/TU, 33.8MW/TU) (λ=λ₁TU)

LIGHT ELEMENTS IN GRAMS

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125	9.14E-09	0.00E+00	1.66E+01	1.29E+01	7.70E+00	4.61E+00	1.28E+00	2.67E-04	4.37E-07	1.16E-12	0.00E+00	0.00E+00
126	6.42E-07	0.00E+00	1.12E-03	1.79E-12	4.56E-30	1.17E-47	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
126*	6.08E-04	0.00E+00	5.10E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	2.46E+02	2.44E+02	2.39E+02	2.36E+02	2.33E+02	2.32E+02	2.32E+02	2.32E+02	2.32E+02	2.32E+02
52 TE 124	0.00E+00	0.00E+00	9.15E+00	1.04E+01	1.04E+01	1.04E+01	1.04E+01	1.04E+01	1.04E+01	1.04E+01	1.04E+01	1.04E+01
125	0.00E+00	0.00E+00	3.61E+00	7.40E+00	1.27E+01	1.59E+01	1.93E+01	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01	2.06E+01
125*	1.33E-07	0.00E+00	3.40E-01	3.13E-01	1.98E-01	1.12E-01	3.11E-02	6.50E-06	1.06E-08	2.83E-14	0.00E+00	0.00E+00
126	0.00E+00	0.00E+00	4.32E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02
*		0.00E+00	1.31E+01	1.82E+01	2.33E+01	2.64E+01	2.98E+01	3.10E+01	3.10E+01	3.10E+01	3.10E+01	3.10E+01
73 TA 180	0.00E+00	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02	4.43E-02
181	0.00E+00	3.62E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02
182	6.99E-03	0.00E+00	2.74E+01	3.03E+00	3.71E-02	4.54E-04	7.53E-09	1.15E-34	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		3.62E+02	2.42E+02	2.18E+02	2.15E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02	2.14E+02
74 W 182	0.00E+00	0.00E+00	1.19E+02	1.44E+02	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02
183	0.00E+00	0.00E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00
183*	1.31E-01	0.00E+00	1.05E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
184	0.00E+00	0.00E+00	7.35E-03	7.35E-03	7.35E-03	7.35E-03	7.35E-03	7.35E-03	7.35E-03	7.35E-03	7.35E-03	7.35E-03
185	1.07E-07	0.00E+00	6.84E-06	2.34E-07	2.74E-10	3.20E-13	1.50E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
185*	7.22E-03	0.00E+00	7.96E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.21E+02	1.45E+02	1.48E+02	1.48E+02	1.48E+02	1.48E+02	1.48E+02	1.48E+02	1.48E+02	1.48E+02
TOTAL		3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05	3.74E+05

TYPICAL PWR FUEL (U+P2) (27000MW/D/TU, 33.8MW/TU) (N=2=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN CURIES

		INITIAL	DISCRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1	H	1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		3	1.79E-39	0.00E+00	1.12E-04	1.06E-04	9.50E-05	8.49E-05	6.40E-05	9.97E-06	2.44E-06	1.46E-07
		4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	1.12E-04	1.06E-04	9.50E-05	8.49E-05	6.40E-05	9.97E-06	2.44E-06	1.46E-07
2	HE	3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		6	8.56E-01	0.00E+00	5.39E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	5.39E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	LI	6	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		7	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		8	3.25E-01	0.00E+00	1.23E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	1.23E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4	BE	9	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		10	9.79E-15	0.00E+00	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07
		*	0.00E+00	0.00E+00	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07	5.74E-07
5	B	10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
6	C	12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		14	3.93E-12	0.00E+00	5.95E-02	5.95E-02	5.95E-02	5.94E-02	5.94E-02	5.92E-02	5.90E-02	5.86E-02
		*	0.00E+00	0.00E+00	5.95E-02	5.95E-02	5.95E-02	5.94E-02	5.94E-02	5.92E-02	5.90E-02	5.86E-02
7	N	13	1.14E-33	0.00E+00	7.64E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		16	9.76E-02	0.00E+00	2.16E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	2.16E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
8	D	16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		18	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		19	2.39E-02	0.00E+00	1.08E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	1.08E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9	F	19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		20	6.30E-02	0.00E+00	5.11E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	0.00E+00	5.11E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PWR FUEL (D4499) (27000MWE/TU,33.8MW/TU) (A-Z=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN CURIES

		INITIAL	DISCRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
10	NE	20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		22	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		23	1.34E-02	0.00E+00	1.52E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	1.52E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
11	NA	22	8.38E-09	0.00E+00	3.42E-20	3.42E-20	3.42E-20	3.42E-20	3.42E-20	5.48E-21	5.99E-21	1.08E-26
		23	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		24	1.28E-05	0.00E+00	5.06E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		25	1.16E-02	0.00E+00	2.28E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	5.06E+00	3.42E-20	3.42E-20	3.42E-20	3.42E-20	5.48E-21	5.99E-21	1.08E-26	0.00E+00
12	MG	24	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		25	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		26	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		27	1.22E-03	0.00E+00	2.43E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	2.43E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
13	AL	27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		28	5.00E-03	0.00E+00	6.81E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		29	1.75E-03	0.00E+00	3.26E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	6.84E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
14	SI	28	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		30	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		31	7.35E-05	0.00E+00	1.92E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	1.92E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
15	P	31	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		32	5.61E-07	0.00E+00	6.55E-03	1.34E-10	5.62E-26	2.35E-41	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	6.55E-03	1.34E-10	5.62E-26	2.35E-41	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
16	S	32	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		34	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		35	9.12E-08	0.00E+00	9.95E-19	1.09E-19	6.18E-20	8.13E-20	4.62E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		37	2.29E-03	0.00E+00	7.61E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	7.61E-09	1.09E-19	6.18E-20	8.13E-20	4.62E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
17	Cl	35	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		37	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		38	3.10E-04	0.00E+00	1.59E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	1.59E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PWF FUEL(0.470) (27000MWD/TU, 33.8MWD/TU) (A⁰-λ=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN CURIES

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
19	AR	38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		39	8.17E-11	0.00E+00	5.88E-16	5.87E-16	5.34E-16	5.81E-16	5.73E-16	5.27E-16	4.94E-16	4.34E-16
		40	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		41	1.05E-04	0.00E+00	5.35E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	5.35E-07	5.87E-16	5.34E-16	5.81E-16	5.73E-16	5.27E-16	4.94E-16	4.34E-16	4.27E-17
19	K	39	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		41	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		42	1.55E-05	0.00E+00	8.34E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		43	3.40E-06	0.00E+00	6.78E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		44	5.25E-04	0.00E+00	1.22E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	8.00E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
20	CA	42	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		43	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		44	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		45	4.25E-08	0.00E+00	4.30E-02	9.27E-03	4.31E-04	2.00E-05	9.33E-09	9.50E-27	2.08E-43	0.00E+00
		46	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		47	1.77E-06	0.00E+00	2.45E-04	1.31E-28	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	4.33E-02	9.27E-03	4.31E-04	2.00E-05	9.33E-09	9.50E-27	2.08E-43	0.00E+00	0.00E+00
21	SC	45	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		46	9.56E-03	0.00E+00	5.72E+00	2.80E-01	6.69E-04	1.60E-06	4.49E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		47	2.34E-06	0.00E+00	9.28E+00	5.39E-28	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		48	4.33E-06	0.00E+00	8.62E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		49	2.01E-04	0.00E+00	8.48E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		50	6.72E-03	0.00E+00	1.56E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	1.48E+01	2.80E-01	6.69E-04	1.60E-06	4.49E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
22	TI	46	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		47	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		48	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		49	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		50	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		51	1.93E-03	0.00E+00	1.01E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	1.01E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
23	V	50	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		51	3.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		52	3.43E-03	0.00E+00	6.16E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		53	5.73E-03	0.00E+00	3.29E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		54	1.26E-02	0.00E+00	3.71E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		*	0.00E+00	6.19E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

- 188 -

TYPICAL PHR FUEL (U+Pu) (2700MWD/TU, 33.8MH/TU) (A-Z=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN CURIES

		INITIAL	DISCHRG	1-0	3-C	5-0	10-0	25-0	50-0	100-0	1000-0	10000-0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
24	CR 50	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	51	2.87E-07	0.00E+00	5.53E+04	6.13E+00	7.54E-08	9.27E-16	1.56E-35	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	52	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	53	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	54	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	55	3.30E-03	0.00E+00	7.87E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	5.61E+04	6.13E+00	7.54E-08	9.27E-16	1.56E-35	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
25	MN 54	2.65E-08	0.00E+00	2.59E+03	1.12E+03	2.11E+02	3.97E+01	6.09E-01	6.45E-13	5.47E-22	3.93E-40	0.00E+00
	55	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	56	7.46E-05	0.00E+00	1.15E+05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	57	6.80E-03	0.00E+00	8.72E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	58	1.05E-02	0.00E+00	3.02E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	1.17E+05	1.12E+03	2.11E+02	3.97E+01	6.09E-01	6.45E-13	5.47E-22	3.93E-40	0.00E+00	0.00E+00
26	FF 54	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	55	8.45E-09	0.00E+00	1.30E+04	9.96E+03	5.84E+03	3.43E+03	9.04E+02	1.37E-01	1.71E-04	2.78E-10	0.00E+00
	56	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	57	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	58	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	59	1.78E-07	0.00E+00	1.22E+03	4.41E+00	5.72E-05	7.43E-10	7.95E-21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	1.42E+04	9.97E+03	5.84E+03	3.43E+03	9.04E+02	1.37E-01	1.71E-04	2.78E-10	0.00E+00	0.00E+00
27	CO 58	1.13E-07	0.00E+00	1.63E+04	4.68E+02	3.95E-01	3.17E-04	6.18E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	59	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	60	4.18E-09	0.00E+00	1.41E+02	1.23E+02	9.47E+01	7.27E+01	3.76E+01	4.86E-01	1.80E-02	2.48E-05	0.00E+00
	60*	1.10E-03	0.00E+00	4.90E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	61	1.17E-04	0.00E+00	1.19E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	62	9.31E-04	0.00E+00	1.19E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	1.69E+04	5.91E+02	9.51E+01	7.27E+01	3.76E+01	4.86E-01	1.80E-02	2.48E-05	0.00E+00	0.00E+00
28	NI 58	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	59	2.75E-13	0.00E+00	3.74E+00	3.74E+00	3.74E+00	3.74E+00	3.74E+00	3.73E+00	3.73E+00	3.73E+00	3.70E+00
	60	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	61	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	62	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	63	2.39E-10	0.00E+00	5.89E+02	5.84E+02	5.76E+02	5.67E+02	5.46E+02	4.26E+02	3.53E+02	2.42E+02	2.77E-01
	64	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	65	7.52E-05	0.00E+00	1.18E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	1.77E+03	5.88E+02	5.79E+02	5.71E+02	5.50E+02	4.30E+02	3.56E+02	2.46E+02	3.98E+00	3.43E+00
29	CU 62	1.18E-03	0.00E+00	1.20E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	63	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	64	1.50E-05	0.00E+00	3.41E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PWR FUEL (U+Pu) (2700JHWD/TU, 33.8MW/TU) (A'-lambda=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN CURIES

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
65		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
66		2.27E-03	0.00E+00	6.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	9.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
33	7N	64	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		65	3.27E-09	0.00E+00	2.32E-04	8.27E-05	1.05E-05	1.33E-06	7.56E-09	5.77E-21	3.48E-32	0.00E+00
		66	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	2.32E-04	8.27E-05	1.05E-05	1.33E-06	7.56E-09	5.77E-21	3.48E-32	0.00E+00	0.00E+00
38	SR	88	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		89	1.54E-07	0.00E+00	4.70E+01	3.61E-01	2.13E-05	1.24E-09	1.21E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		90	7.32E-10	0.00E+00	8.15E-04	7.95E-04	7.57E-04	7.20E-04	6.37E-04	2.82E-04	1.52E-04	4.43E-05
		91	1.99E-05	0.00E+00	9.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	9.18E+00	3.62E-01	7.78E-04	7.20E-04	6.37E-04	2.82E-04	1.52E-04	4.43E-05	1.01E-14
39	Y	90	3.71E-06	0.00E+00	1.75E+03	7.95E-04	7.57E-04	7.20E-04	6.37E-04	2.82E-04	1.52E-04	4.44E-05
		91	1.34E-07	0.00E+00	1.24E+02	1.67E+00	3.04E-04	5.53E-08	2.47E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		91*	7.70E-04	0.00E+00	5.44E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	1.99E+03	1.67E+00	1.06E-03	7.20E-04	6.37E-04	2.82E-04	1.52E-04	4.44E-05	1.01E-14
40	ZR	90	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		91	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		92	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		93	1.46E-14	0.00E+00	7.44E-02	7.44E-02	7.44E-02	7.44E-02	7.44E-02	7.44E-02	7.44E-02	7.41E-02
		94	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		95	1.23E-07	0.00E+00	2.72E+04	5.54E+02	2.29E-01	9.49E-05	3.31E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	2.72E+04	5.54E+02	3.04E-01	7.45E-02	7.44E-02	7.44E-02	7.44E-02	7.44E-02	7.41E-02
41	NE	72	7.37E-07	0.00E+00	7.48E+00	1.24E-10	3.43E-32	9.46E-54	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		93	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		93*	1.62E-09	0.00E+00	4.46E-03	8.45E-03	1.59E-02	2.25E-02	3.66E-02	7.59E-02	8.23E-02	8.46E-02
		94	1.10E-15	0.00E+00	1.08E-04	1.08E-04	1.08E-04	1.08E-04	1.08E-04	1.08E-04	1.08E-04	1.08E-04
		95	2.29E-07	0.00E+00	2.63E+04	1.15E+03	5.05E-01	2.69E-04	7.28E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		96	3.37E-06	0.00E+00	1.37E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		97	1.60E-04	0.00E+00	9.40E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	2.63E+04	1.15E+03	5.21E-01	2.29E-02	3.67E-02	7.60E-02	8.24E-02	8.47E-02	8.42E-02
42	MD	92	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		93	2.44E-12	0.00E+00	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02	1.22E-02	1.22E-02	1.21E-02	1.13E-02
		93*	2.79E-05	0.00E+00	1.60E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		94	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		95	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PHR FUEL (D11P2) (27000MWD/TU, 33.8MW/TU) (N=21TL)

LIGHT ELEMENTS IN CURIES

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
97		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
98		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
99		2.87E-06	0.00E+00	1.64E+03	6.75E-37	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
100		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
101		7.91E-04	0.00E+00	4.76E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	2.12E+03	1.23E-02	1.23E-02	1.23E-02	1.22E-02	1.22E-02	1.22E-02	1.21E-02	1.13E-02	5.67E-03
43 TC	98	1.05E-13	0.00E+00	1.01E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	9.88E-03
	99*	3.21E-05	0.00E+00	1.43E+03	6.45E-37	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	101	3.25E-04	0.00E+00	4.76E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.90E+03	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	1.02E-02	9.88E-03
44 RU	101	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
48 CD	113	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	115	3.60E-06	0.00E+00	2.97E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119	1.16E-03	0.00E+00	1.13E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	4.10E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
49 IN	119	5.50E-03	0.00E+00	1.02E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119*	6.42E-04	0.00E+00	1.13E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.04E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
50 SN	114	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	115	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	116	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	117	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	117*	5.73E-07	0.00E+00	1.54E+04	2.16E-04	4.23E-20	9.30E-36	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	118	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119*	3.21E-08	0.00E+00	2.67E+01	9.68E+00	1.28E+00	1.69E-01	1.07E-03	3.25E-18	3.28E-29	0.00E+00	0.00E+00
	120	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	121	7.13E-06	0.00E+00	2.70E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	121*	2.89E-10	0.00E+00	3.41E-01	3.38E-01	3.32E-01	3.26E-01	3.12E-01	2.31E-01	1.84E-01	1.16E-01	3.17E-05
	122	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	123	6.42E-08	2.22E+06	2.64E+04	3.48E+03	6.07E+01	1.06E+00	4.22E-05	7.52E-29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	123*	2.99E-04	0.00E+00	1.12E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		2.22E+06	4.46E+04	3.49E+03	6.23E+01	1.55E+00	3.13E-01	2.31E-01	1.84E-01	1.16E-01	3.17E-05	0.00E+00
51 SB	121	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	123	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	124	1.34E-07	0.00E+00	2.22E+04	3.27E+02	7.07E-02	1.53E-05	1.05E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	124*	7.45E-03	0.00E+00	9.55E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PWR FUEL (U+Pu) (27000MWD/TU, 33.8MW/TU) (A²³⁵-A²³⁸TL)

LIGHT ELEMENTS IN CURIES

		INITIAL	DISCRG	1-0	3-0	5-0	10-0	25-0	50-0	100-0	1000-0	10000-0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125	9.14E-09	0.00E+00	1.76E+04	1.36E+04	8.15E+03	4.28E+03	1.35E+03	2.83E-01	4.63E-04	1.23E-09	0.00E+00	0.00E+00
126	6.42E-07	0.00E+00	9.25E+01	1.48E-07	3.79E-25	9.67E-43	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
126*	6.08E-04	0.00E+00	4.79E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	4.10E+04	1.39E+04	8.15E+03	4.88E+03	1.35E+03	2.83E-01	4.63E-04	1.23E-09	0.00E+00	0.00E+00
52 TE 124	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125*	1.38E-07	0.00E+00	6.13E+03	5.63E+03	3.38E+03	2.02E+03	5.60E+02	1.17E-01	1.92E-04	5.10E-10	0.00E+00	0.00E+00
126	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	6.13E+03	5.63E+03	3.38E+03	2.02E+03	5.60E+02	1.17E-01	1.92E-04	5.10E-10	0.00E+00	0.00E+00
73 TA 180	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
181	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
182	6.98E-08	0.00E+00	1.71E+05	1.89E+04	2.31E+02	2.83E+00	4.70E-05	7.19E-31	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.71E+05	1.89E+04	2.31E+02	2.83E+00	4.70E-05	7.19E-31	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
74 W 182	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
183	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
183*	1.31E-01	0.00E+00	1.22E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
184	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
185	1.07E-07	0.00E+00	6.44E-02	2.20E-03	2.58E-06	3.01E-09	1.41E-16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
185*	7.22E-03	0.00E+00	5.05E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.22E+02	2.20E-03	2.58E-06	3.01E-09	1.41E-16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TOTAL		3.22E+06	5.10E+05	5.60E+04	1.86E+04	1.10E+04	3.40E+03	4.31E+02	3.57E+02	2.46E+02	4.21E+00	3.61E+00

TYPICAL PWR FUEL (U-235) (2700MMHC/TU, 33.8MW/TU) (A=7.1TL)

LIGHT ELEMENTS IN THERMAL POWER

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1 H	1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	3	1.79E-09	0.00E+00	4.00E-09	3.79E-09	3.38E-09	3.02E-09	2.28E-09	3.55E-10	8.67E-11	5.18E-12	0.00E+00
	4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	4.00E-09	3.79E-09	3.38E-09	3.02E-09	2.28E-09	3.55E-10	8.67E-11	5.18E-12	0.00E+00	0.00E+00
2 HE	3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	6	3.56E-11	0.00E+00	5.05E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	5.05E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3 LI	6	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	7	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	8	3.25E-01	0.00E+00	6.17E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	6.17E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4 BE	9	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	10	8.79E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5 B	10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
6 C	12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	14	3.83E-12	0.00E+00	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.75E-05	1.74E-05	1.56E-05	5.25E-06
	*	0.00E+00	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.75E-05	1.74E-05	1.56E-05	5.25E-06	
7 N	13	1.16E-03	0.00E+00	6.79E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	15	3.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	16	9.76E-02	0.00E+00	9.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	9.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3 D	16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	18	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	19	2.39E-02	0.00E+00	1.68E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	1.68E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9 F	19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	20	6.30E-12	0.00E+00	1.26E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	1.26E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PWR FUEL (U-235) (27000MW/TU, 33.8MW/TU) (A-2=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN THERMAL POWER

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
10	NE 20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	21	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	22	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	23	1.84E-02	0.00E+00	1.85E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	1.85E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
11	NA 22	8.38E-09	0.00E+00	4.96E-22	4.96E-22	4.96E-22	4.96E-22	4.96E-22	7.96E-23	8.70E-23	1.56E-28	0.00E+00
	23	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	24	1.78E-05	0.00E+00	1.42E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	25	1.16E-02	0.00E+00	2.59E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	1.42E-01	4.96E-22	4.96E-22	4.96E-22	4.96E-22	7.96E-23	8.70E-23	1.56E-28	0.00E+00
12	MG 24	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	25	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	26	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	27	1.22E-03	0.00E+00	2.98E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	2.98E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
13	AL 27	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	28	5.00E-03	0.00E+00	1.22E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	29	1.75E-03	0.00E+00	4.52E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	1.22E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
14	SI 28	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	29	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	30	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	31	7.35E-05	0.00E+00	6.77E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	6.77E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
15	P 31	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	32	5.61E-07	0.00E+00	2.70E-05	5.53E-13	2.32E-28	9.70E-44	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	2.70E-05	5.53E-13	2.32E-28	9.70E-44	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
16	S 32	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	34	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	35	9.12E-08	0.00E+00	2.83E-22	3.10E-23	1.76E-23	2.31E-23	1.31E-23	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	37	2.28E-03	0.00E+00	1.61E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	1.61E-10	3.10E-23	1.76E-23	2.31E-23	1.31E-23	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
17	Cl 35	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	37	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	38	3.10E-04	0.00E+00	2.92E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	0.00E+00	2.92E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PWP FUEL (D+P2) (27CCMWC/TL.33.0M#/TU) (A-Z=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN THERMAL POWER

	INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
18 AR	38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	39	0.17E-11	0.00E+00	8.17E-15	8.14E-15	8.10E-19	8.06E-19	7.96E-19	7.31E-19	6.85E-19	6.02E-19
	40	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	41	1.05E-04	0.00E+00	1.06E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	1.06E-08	8.14E-15	8.10E-19	8.06E-19	7.96E-19	7.31E-19	6.85E-19	6.02E-19
19 K	39	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	41	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	42	1.59E-05	0.00E+00	8.29E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	43	9.60E-06	0.00E+00	5.21E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	44	5.25E-04	0.00E+00	2.52E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	7.73E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
20 CA	42	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	43	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	44	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	45	4.86E-08	0.00E+00	2.63E-05	5.66E-06	2.63E-07	1.22E-08	5.70E-12	5.80E-30	1.27E-46	0.00E+00
	46	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	47	1.77E-06	0.00E+00	1.97E-04	1.05E-30	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	2.82E-05	5.66E-06	2.63E-07	1.22E-08	5.70E-12	5.80E-30	1.27E-46	0.00E+00
21 SC	45	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	46	9.56E-08	0.00E+00	8.03E-02	3.93E-03	9.40E-06	2.25E-08	6.30E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	47	2.34E-06	0.00E+00	2.70E-02	1.57E-30	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	48	4.33E-06	0.00E+00	1.89E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	49	2.01E-04	0.00E+00	4.15E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	50	6.72E-03	0.00E+00	4.29E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	1.31E-01	3.93E-03	9.40E-06	2.25E-08	6.30E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
22 TI	46	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	47	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	48	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	49	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	50	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	51	1.99E-03	0.00E+00	7.33E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	7.33E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
23 V	50	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	51	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	52	3.43E-03	0.00E+00	9.59E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	53	5.78E-03	0.00E+00	3.70E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	54	1.76E-02	0.00E+00	1.20E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	9.62E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

- 195 -

TYPICAL PWR FUEL (D+T) (27000MWD/TU, 33.8MW/TU) (A²-2+1TU)

LIGHT ELEMENTS IN THERMAL POWER

		INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
				Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
24 CR	50	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	51	2.39E-07	0.00E+00	2.45E+02	2.71E-02	3.34E-10	4.10E-18	6.88E-38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	52	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	53	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	54	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	55	3.30E-03	0.00E+00	5.74E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	2.50E+02	2.71E-02	3.34E-10	4.10E-18	6.88E-38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
25 MN	54	2.65E-08	0.00E+00	2.10E+01	9.10E+00	1.71E+00	3.22E-01	4.93E-03	5.23E-15	4.43E-24	3.18E-42	0.00E+00
	55	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	56	7.46E-05	0.00E+00	1.79E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	57	6.80E-03	0.00E+00	4.78E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	58	1.05E-02	0.00E+00	3.84E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*	0.00E+00	1.81E+03	9.10E+00	1.71E+00	3.22E-01	4.93E-03	5.23E-15	4.43E-24	3.18E-42	0.00E+00	0.00E+00
26 FE	54	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	55	8.45E-09	0.00E+00	1.70E+01	1.30E+01	7.62E+00	4.47E+00	1.18E+00	1.78E-04	2.23E-07	3.63E-13	0.00E+00
	56	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	57	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	58	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	52	1.78E-07	0.00E+00	9.52E+00	3.43E-02	4.45E-07	5.77E-12	6.18E-23	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	2.65E+01	1.30E+01	7.62E+00	4.47E+00	1.18E+00	1.78E-04	2.23E-07	3.63E-13	0.00E+00	0.00E+00
27 CO	58	1.13E-07	0.00E+00	2.23E+02	6.39E+00	5.26E-03	4.34E-06	8.44E-14	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	59	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	60	4.18E-09	0.00E+00	2.20E+00	1.93E+00	1.48E+00	1.14E+00	5.89E-01	7.61E-03	2.82E-04	3.88E-07	0.00E+00
	60*	1.10E-03	0.00E+00	1.86E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	61	1.17E-04	0.00E+00	3.91E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	62	8.31E-04	0.00E+00	2.75E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	2.25E+02	6.32E+00	1.49E+00	1.14E+00	5.89E-01	7.61E-03	2.82E-04	3.88E-07	0.00E+00	0.00E+00
28 NI	58	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	59	2.75E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	60	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	61	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	62	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	63	2.39E-10	0.00E+00	9.43E-02	9.35E-02	9.21E-02	9.08E-02	8.74E-02	6.82E-02	5.65E-02	3.87E-02	4.44E-05
64	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
65	7.52E-05	0.00E+00	8.43E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
*		0.00E+00	3.52E+00	9.35E-02	9.21E-02	9.08E-02	8.74E-02	6.82E-02	5.65E-02	3.87E-02	4.44E-05	0.00E+00
29 CU	62	1.18E-03	0.00E+00	1.64E-11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	63	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	64	1.50E-05	0.00E+00	2.09E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PWR FUEL(1044P2) (27000MWD/TU,33.8MW/TU) (33-31TU)

LIGHT ELEMENTS IN THERMAL POWER

	INITIAL	DISCRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
65	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
66	2.27E-03	0.00E+00	4.49E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*	0.00E+00	6.58E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
30 ZN	64	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	65	3.27E-08	0.00E+00	1.85E-06	6.57E-07	8.32E-08	1.05E-08	6.01E-11	4.59E-23	2.77E-34	0.00E+00
	66	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.85E-06	6.57E-07	8.32E-08	1.05E-08	6.01E-11	4.59E-23	2.77E-34	0.00E+00	0.00E+00
33 SH	88	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	89	1.54E-07	0.00E+00	1.67E-01	1.30E-03	7.67E-08	4.53E-12	4.34E-22	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	90	7.32E-10	0.00E+00	1.07E-06	1.04E-06	9.91E-07	9.44E-07	8.34E-07	3.70E-07	1.99E-07	5.81E-08
	91	1.99E-05	0.00E+00	7.43E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	2.44E-01	1.30E-03	1.07E-06	9.44E-07	8.34E-07	3.70E-07	1.99E-07	5.81E-08	1.33E-17
39 Y	90	3.01E-06	0.00E+00	1.03E+01	4.68E-06	4.46E-06	4.24E-06	3.75E-06	1.66E-06	8.97E-07	2.61E-07
	91	1.36E-07	0.00E+00	4.71E-01	6.36E-03	1.16E-06	2.11E-10	9.40E-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	91*	7.70E-04	0.00E+00	1.78E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.08E+01	6.36E-03	5.61E-06	4.24E-06	3.75E-06	1.66E-06	8.97E-07	2.61E-07	5.96E-17
40 ZR	90	0.00E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	91	0.00E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	92	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	93	1.46E-14	0.00E+00	8.83E-06	8.83E-06	8.83E-06	8.83E-06	8.83E-06	8.83E-06	8.83E-06	8.82E-06
	94	0.00E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	95	1.23E-07	0.00E+00	1.43E+02	2.90E+00	1.20E-03	4.97E-07	1.73E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.43E+02	2.90E+00	1.21E-03	9.33E-06	8.83E-06	8.83E-06	8.83E-06	8.82E-06	8.79E-06
41 NB	92	7.37E-07	0.00E+00	9.01E-02	1.50E-12	4.13E-34	1.14E-55	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	93	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	93*	1.62E-05	0.00E+00	1.56E-06	2.96E-06	5.55E-06	7.89E-06	1.28E-05	2.65E-05	2.88E-05	2.94E-05
	94	1.10E-15	0.00E+00	1.26E-06	1.26E-06	1.26E-06	1.26E-06	1.26E-06	1.26E-06	1.26E-06	1.26E-06
	95	2.29E-07	0.00E+00	1.27E+02	5.55E+00	2.43E-03	1.01E-06	3.51E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	96	8.37E-06	0.00E+00	7.09E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	97	1.60E-14	0.00E+00	6.46E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*		0.00E+00	1.27E+02	5.55E+00	2.44E-03	1.02E-05	1.41E-05	2.78E-05	3.01E-05	3.09E-05	3.07E-05
42 MD	92	0.00E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	93	2.44E-12	0.00E+00	3.05E-05	3.05E-05	3.05E-05	3.05E-05	3.04E-05	3.04E-05	3.03E-05	2.82E-05
	93*	2.79E-05	0.00E+00	2.20E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	94	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	95	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	96	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

-197-

TYPICAL PWR FUEL (D4150) (27000MHC/TU, 34.8M%TU) (K=2.1TU)

LIGHT ELEMENTS IN THERMAL POWER

	INITIAL	DISCHRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
97			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
98			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
99			2.97E-05	0.00E+00	6.43E+00	2.65E-39	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
100			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
101			7.51E-04	0.00E+00	5.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	1.22E+01	3.05E-05	3.05E-05	3.05E-05	3.05E-05	3.04E-05	3.04E-05	3.03E-05
											2.82E-05
											1.41E-05
43 TC	99		1.05E-13	0.00E+00	1.74E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.75E-05
	99*		3.21E-05	0.00E+00	2.39E+00	1.08E-39	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	101		8.25E-04	0.00E+00	2.25E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	4.64E+00	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.75E-05
											1.70E-05
44 RU	101		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
48 CD	113		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	115		3.60E-06	0.00E+00	9.52E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119		1.16E-03	0.00E+00	1.01E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	2.00E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
49 IN	119		5.50E-03	0.00E+00	9.03E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119*		6.42E-04	0.00E+00	7.85E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		0.00E+00	9.11E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
50 SN	114		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	115		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	116		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	117		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	117*		5.73E-07	0.00E+00	2.89E+01	4.05E-07	7.95E-23	1.56E-38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	118		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	119*		3.21E-08	0.00E+00	1.41E-02	5.11E-03	6.74E-04	9.50E-05	5.63E-07	1.71E-21	1.73E-32
	120		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	121		7.13E-06	0.00E+00	1.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	121*		2.89E-10	0.00E+00	3.58E-04	3.55E-04	3.49E-04	3.42E-04	3.27E-04	2.42E-04	1.93E-04
	122		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	123		6.42E-04	7.56E+03	9.01E+01	1.19E+01	2.07E-01	3.60E-03	1.44E-07	2.56E-31	0.00E+00
	123*		2.89E-04	0.00E+00	4.52E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	*		7.56E+03	1.21E+02	1.19E+01	2.08E-01	4.03E-03	3.28E-04	2.42E-04	1.93E-04	1.22E-04
											3.33E-08
											0.00E+00
51 SB	121		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	123		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
	124		1.34E-07	0.00E+00	2.90E+02	4.27E+00	9.23E-04	2.00E-07	1.37E-16	0.00E+00	0.00E+00
	124*		7.45E-03	0.00E+00	2.61E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

TYPICAL PHR FUEL (U+Pu) (27000MWD/TU, 33.8Mh/TU) (k_{eff}=1TU)

LIGHT ELEMENTS IN THERMAL POWER

	INITIAL	DISCRG	1.0	3.0	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0	1000.0	10000.0
			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
			0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125	9.14E-07	0.00E+00	7.14E+01	5.53E+01	3.31E+01	1.98E+01	5.48E+00	1.15E-03	1.88E-06	4.99E-12	0.00E+00
126	6.42E-07	0.00E+00	1.20E+00	1.93E-09	4.93E-27	1.26E-44	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
126*	6.03E-04	0.00E+00	3.24E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	3.66E+02	5.95E+01	3.31E+01	1.98E+01	5.48E+00	1.15E-03	1.88E-06	4.99E-12
52 TE 124	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125*	1.13E-07	0.00E+00	5.27E+00	4.84E+00	2.90E+00	1.74E+00	4.82E-01	1.01E-04	1.65E-07	4.39E-13	0.00E+00
126	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	5.27E+00	4.84E+00	2.90E+00	1.74E+00	4.82E-01	1.01E-04	1.65E-07	4.39E-13
73 TA 180	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
181	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
182	6.98E-08	0.00E+00	1.22E+03	1.35E+02	1.65E+00	2.02E-02	3.36E-07	5.14E-33	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	1.22E+03	1.35E+02	1.65E+00	2.02E-02	3.36E-07	5.14E-33	0.00E+00	0.00E+00
74 W 182	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
183	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
183*	1.11E-31	0.00E+00	1.88E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
184	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
185	1.77E-07	0.00E+00	6.11E-05	2.09E-06	2.44E-09	2.86E-12	1.34E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
185*	7.22E-03	0.00E+00	8.69E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
*			0.00E+00	1.99E-01	2.07E-06	2.44E-09	2.86E-12	1.34E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TOTAL			7.56E+03	4.37E+03	2.50E+02	4.88E+01	2.76E+01	7.82E+00	7.75E-02	5.71E-02	3.90E-02
									1.45E-04	7.40E-05	