

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。 2001. 6. 20

[技術情報室]

# 気体放出低減化技術の開発

## —昭和63年度上期報告—

1990年2月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

有  
の

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

©核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

配 布 限 定  
PNC SN8440 89-005  
1990年 2月



## 気体放出低減化技術の開発

— 昭和 63 年度上期報告 —

筆者氏名 中島 恒 中西 芳雄  
中道 秀哉 林 晋一郎  
沖本 克則 栗原 孝幸

### 要 旨

本報告書は、気体放出低減化技術開発室(GCS)で、昭和63年度に実施した業務内容をまとめたものである。

本報告書は、初めに業務実施概要の章で上記期間内にGCSで実施された業務全体を簡単に紹介したあと、主要な実施内容をより詳細にまとめた4つの報告書で構成されている。

- (i) Kr回収技術開発施設のトレーサ試験(I)の結果
- (ii) Kr回収技術開発施設の貯蔵セル改造工事
- (iii) Kr回収技術開発施設で回収されるXeの有効利用について
- (iv) Kr回収技術開発施設で回収されるKrの処置について

## 目 次

1. 序 .....	1
2. 業務実施概要 .....	2
3. Kr回収技術開発施設のトレーサ試験(I)の結果 .....	9
4. Kr回収技術開発施設貯蔵セル改造工事 .....	13
5. Kr回収技術開発施設で回収されるXeの利用について .....	44
6. Kr回収技術開発施設で回収されるKrの処置について .....	70

## 1. 序

本報告書は、気体放出低減化技術開発室（GCS）で昭和63年度に実施した業務内容をまとめたものである。

本報告書は、初めに業務実施概要で上記期間内にGCSで実施された業務全体を簡単に紹介したあと、主要な実施内容をより詳細にまとめた以下4つの報告書で構成されている。

- (i) Kr回収技術開発施設のトレーサ試験(I)の結果
- (ii) Kr回収技術開発施設・貯蔵セル改造工事
- (iii) Kr回収技術開発施設で回収されるXeの有効利用について
- (iv) Kr回収技術開発施設で回収されるKrの処置について

## 2. 業務実施概要

### 2.1 Kr回収技術開発施設の運転

Kr回収技術開発施設は、前年度昭和63年2月22日から試験運転を開始し、3月3日に再処理工場から初めてせん断時のオフガスを受け入れホット試験に入った。その後、1週間に1回再処理工場からせん断オフガス又は溶解オフガスを受け入れ回収試験を実施した。本試験では、せん断オフガス2バッチ、溶解オフガス2バッチを各週1バッチずつ、4週間で合計4バッチ、約2,000 CiのKr-85を受け入れた。

再処理工場からのオフガス受け入れ操作は、運転要領書に基づいて安全に行えることが確認され、各作業区域の放射線量率、空气中放射性物質濃度及び表面汚染密度は、それぞれ、再処理施設保安規定等に定められた基準を満足することが確認された。

### 2.2 高圧ガス取締法に基づく保安検査

ホット試験終了後は、施設内に残留しているKr-85を真空引き及び窒素ガスによる洗浄（窒素ガス・パージ）により除染し、放射線量率をバック・グラウンドまで下げた後、高圧ガス取締法に基づく定期保安検査を実施した。

茨城県による立合検査は、昭和63年8月4日に行われ同日付で検査証が交付された。

### 2.3 圧縮機分解点検

Kr回収技術開発施設のKr-85処理工程で用いられている4台の圧縮機の分解点検を実施した。分解点検項目を表2-1に示す。分解点検は、昭和63年8月下旬から9月下旬までの約1ヶ月を要した。点検日程を表2-2に示す。

点検の結果は、表2-3のとおりであった。

表 2-1 圧縮機分解点検項目

点検項目、内容		機 種	K12-K17	K13-K19	K11-K10	K14-K43
圧縮機本体関係	分解前の確認	1) 圧縮機組立上の間隙数値、デフレクション等の分解前数値の確認	○	○	○	○
	基礎及びフレーム関係	2) 基礎チェック	○	○	○	○
		3) 基礎ボルトの締付確認	○	○	○	○
		4) フレーム、レベルの確認	○	○	○	○
		5) 各締付部の確認	○	○	○	○
		6) Vベルトの点検、調整、外側軸受の点検、グリース補給	○	○	○	○
	クロスヘッドガイド及びクロスヘッド	7) クロスガイドレベルの確認	○	○	○	○
		8) 摺動面の点検	○	○	○	○
		9) クロスガイドとクロスシューの隙間測定	○	○	○	○
		10) クロスピンプッシュ内径測定	○	○	○	○
		11) クロスピン外径測定	○	○	○	○
		12) クロスピンとプッシュの隙間測定	○	○	○	○
		13) クロスシューのPT検査	○	○	○	○
	クランク軸	14) クロスピンのMT検査	-	-	-	-
		15) デフレクションの測定	○	○	○	○
		16) MT検査	-	-	-	-
		17) 各締付部の点検	○	○	○	○
	主軸受	18) クランクピン、ジャーナル部主要寸法の測定	○	○	○	○
		19) ジャッキアップクリアランスの測定	○	○	○	○
		20) スラスト方向のクリアランス測定	○	○	○	○
		21) 軸受のPT検査	○	○	○	○
	接合棒	22) クランク軸との当りチェック	-	-	-	-
		23) クランクピンのジャッキアップクリアランスの測定	○	○	○	○
		24) 軸受のPT検査	○	○	○	○
		25) ピックエンドボルトのMT検査	-	-	-	-
	ピストン及びピストン棒関係	26) ピントン棒の外径寸法測定	○	○	○	○
		27) ピントン棒のMT検査	-	-	-	-
		28) ライダーリングの摩耗状況点検(寸法測定)	○	○	○	○
		29) ピストンリングの摩耗状況点検(寸法測定)	○	○	○	○
		30) ピストン棒ランアウトの測定	○	○	○	○
		31) ピストンストロークエンドクリアランスの調整	○	○	○	○
		32) ピストンとシリンダ内面とのクリアランス	○	○	○	○
	シリンダ	33) シリンダライナー内径寸法の確認	○	○	○	○
		34) ライナー内面の摺動傷の手入れ	○	○	○	○
		35) 水ジャケット部の清掃	-	-	-	-
		36) シリンダー、取付レベルのチェック	○	○	○	○
		37) 各締付部の点検	○	○	○	○
	軸封パッキング油切りリング	38) 軸封パッキングエレメントの摩耗状況	○	○	○	○
		39) 油切りリングの当り	○	○	○	○
	シリンダ弁	40) シリンダ弁の点検整備	○	○	○	○
	組立後の確認	41) 圧縮機・分解・組立後の間隙数値、デフレクション等の確認	○	○	○	○
	補機関係	42) 油系統の点検(油フィルターの清掃、油の交換、オイルポンプの点検、油圧スイッチの設定確認)	○	○	○	○
		43) 吸込ガスフィルターの点検、清掃	○	○	○	○
	計電装関係	44) 電動機グリースの補給等	○	○	○	○
	点検工事後の運転	45) 組立後メカラン又は無負荷運転	○	○	○	○
	気出確認	46) 通常の運転圧力にて分解・組立・各部の気出確認	○	○	○	○

表 2-2 圧縮機分解点検日程表

	8/22	23	24	25	26	27	△28	29	30	31	9/1	2	3	△4	5	6	7	8	9	10	△11	12	13	14	15	16	17	18	19	20					
全体工程	安全教育 HB	準備	分解					PT 分解部品清掃整備, 測定	K10 1st 43 エアバンド 入替				ロットパッキン 中間シール, 油切						組立調整					弁組込	TR 準備	K17 19	K10 43			まとめ					
原料ガス圧縮機 (K-10)		各部分解						分解部品清掃整備					単体組立																						
		各部分解 測定						部品測定検査																											
循環ガス圧縮機 (K-17)		各部分解						分解部品清掃整備					単体組立																						
		分解前 測定						部品測定検査																											
送入ガス圧縮機 (K-19)		各部分解						分解部品清掃整備					単体組立																						
		分解前 測定						部品測定検査																											
再循環ガス圧縮機 (K-43)		各部分解						分解部品清掃整備					単体組立																						
		分解前 測定						部品測定検査																											

△: 休み



表 2-3 圧縮機分解点検結果

重要部品		シリンダーライナー	ピストンリング	ピストン及びピストンロッド	ライダーリング	ロッドパッキン	中間シールパッキン	油切リング	ガスフィルター	オイルポンプ	備考
K-10	一段	◦内径オーバーサイズ修正のため新品に取替	異常摩耗なし (良)	◦ピストン棒摩耗 MAX 0.2 %	下側摺動疵あり 取替	◦パッキンケース底面にテフロン粉少しあり ◦汚れあり	◦取付けアダプター内に油少しあり ◦汚れあり	(良)	◦全面に黄土色ゴミ付着	◦ポンプ点検 オイルシール交換	Vベルト交換
	二段	◦浅い摺動疵あり (良)	" (良)	◦ピストン棒摩耗 MAX 0.13 %	(良)	◦1 set 摩耗大	"	(良)			◦2段ピストン棒取替要
K-17	R側	◦全面に摺動模様が見られた。 (良)	" (良)	◦カーボン粉ピストンロッド取付部に少し付着	(良)	◦パッキンケース底面にカーボン粉少しあり ◦全体に汚れあり	◦全体に汚れ ◦取付けアダプター内黒く汚れている。	(良)	◦フランジの元に融媒片あり	"	Vベルト交換 (ヒビ割れ)
	L側	◦全面に摺動模様が見られた。 (良)	" (良)	(良)	(良)	"	"	(良)			
K-19		◦光沢あり (良)	" (良)	(良)	(良)	"	"	(良)	(良)	"	Vベルト交換
K-43		◦光沢あり (良)	" (良)	(良)	(良)	"	"	(良)	◦油気あり 全面黒く汚れている。	"	Vベルト交換

## 2.4 Kr回収技術開発施設貯蔵セル改造工事

Kr回収技術開発施設には、図2-1に示すようなKr貯蔵セル及びXe貯蔵セルがある。

Kr貯蔵セルは、設計・建設段階では、回収したKrを一番奥のAセルのシリンダから順次充填してゆき、一番奥のAセルが満杯になったら、Bセル内にシリンダを設置するとともに、BセルとCセル間にしゃへい扉を設置したのち、Bセルのシリンダに回収Krを充填するというように、貯蔵量を必要に応じて増強していく計画であり、シリンダに収納した回収Krガスは、有効利用や固定化等次の措置が決定されるまでは、そのまま貯蔵する計画であった。しかし昭和62年7月の高圧ガス取締法に基づく定期保安検査時にセル内の高圧ガス配管及び安全弁の検査が必要になったため、貯蔵している回収Krを別のセルに移し替えて空間線量率を下げ、セル内に立ち入り、上記検査が行えるようにするための工事を実施した。

またキセノン貯蔵セルについては、シリンダ4本をAセル、Bセルとも15本ずつ合計30本に増設するための工事を実施した。

Kr回収技術開発施設での工事は、昭和63年4月18に開始し、9月30日に終了した。この間科技庁核燃料規制課による据付検査を9月14日に受検し合格した。

## 2.5 回収Krの利用等技術開発

### 2.5.1 イオン注入固化基礎試験(Ⅲ)

放射性Krの固定化を目的としたイオン注入固定化法については、昭和58年度に(株)東芝に委託して技術調査を実施し、これにより我が国での研究開発の必要性が明らかになったことを受けて、翌年から引き続き(株)東芝に委託して基礎試験を進めてきた。

昭和62年度までに試験装置の製作、基礎試験(I)、(II)を実施した。基礎試験(Ⅲ)は本年3月から開始し8月末に終了した。(報告書番号 PNC S J 6164 88-004)

基礎試験の結論は以下のとおりである。

- (1) イオン注入装置の放電ギャップに対する注入特性を調べた。その結果、放電ギャップが狭くなるに従い、注入効率は向上するが、装置の安定運転領域が制限されることが判った。これにより、30mmの放電ギャップが最も適していることを確認した。
- (2) イオン注入装置の安定運転を確保するため、サブストレート電極材料および、その表面加工状態を変え、Kr注入固定体の付着力評価試験を実施した。  
その結果、SUS表面にガラスブラスト処理を施したものが付着力、コスト共に優れていることを確認した。
- (3) 注入速度をパラメータに200時間の長期注入運転試験を実施した。その結果、平均注入速度として4cc/minまでの長期運転実績を得ると共に、安定運転条件を把握することができた。ちなみに、約4cc/minの平均注入速度で約200時間運転することにより、約50ℓのKrガスを処した。また、ターゲット材(Ni-Y)1g当たり約30ccのKrガスが処理でき、注入固定体中のKr濃度としては、約10at%に相当することが判明した。

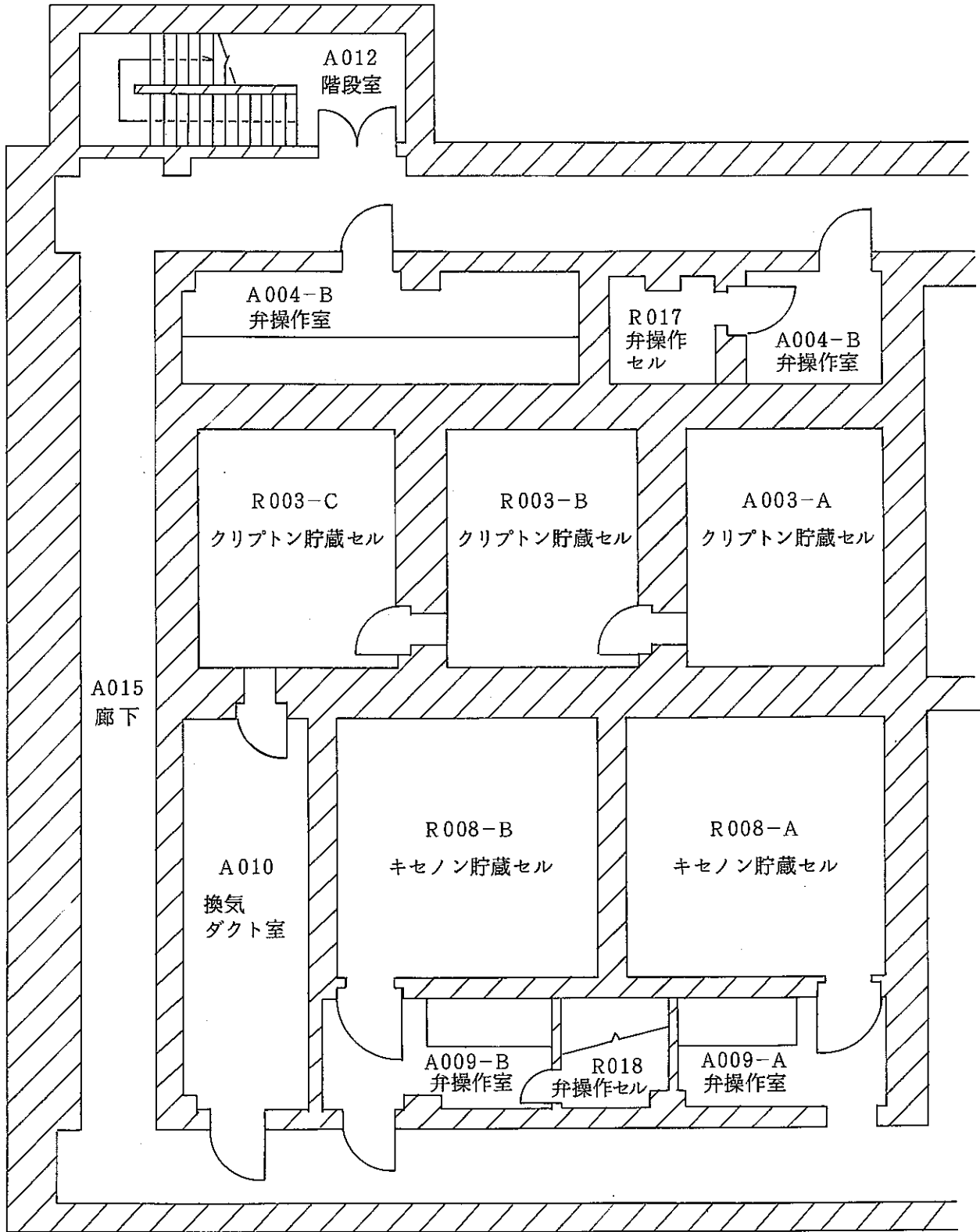


図 2-1 クリプトン及びキセノン貯蔵セル

### 2.5.2 Kr回収技術開発施設で回収されるXeの有効利用

原子炉内で燃料の核分裂によって生成されるXeは、一部放射性のものがあるが、それらの半減期は非常に短いため、使用済燃料を再処理する段階では非放射性になっている。しかしKr回収技術開発施設で回収されるXeには微量のKr-85が含まれており、このままでは、放射性同位元素として取り扱いなければならず、一般の照明等の使用に供することは出来ない。

このためGCSでは、遠心分離法による精製や既設設備を用いる精製等の検討や試験を実施してきた。

今期は、過去の検討や試験の経緯を整理するとともに、今年度から実施することになった吸着分離法についてその概要をまとめた。なおXeの最近の国内需給についても簡単なまとめを行った。

### 2.5.3 Kr回収技術開発で回収されるKrの処置について

Kr回収技術開発施設は、昭和63年3月3日に再処理工場からせん断オフガスを受け入れ、ホット試験に入った。

回収されるKr-85は、施設内の貯蔵庫に設置してあるシリンダに貯蔵することになっているが保管管理の簡素化による経済性の向上及びより一層の安全性向上を目指して、気体として回収される放射性Krを、適当な物質の中に固定化し、固化体として貯蔵する研究開発等を進めている。

今期は、試験の結果回収されるKr-85の処置について施設の現状や今後の研究開発等を念頭において概略の検討を実施した。

### 3. Kr回収技術開発施設のトレーサ試験(I)の結果

#### 3.1 試験の概要及び目的

再処理工場からせん断及び溶解オフガスをそれぞれ2バッチ受け入れ、運転マニュアル等に規定された所定の運転操作を行い、施設の運転及び保守の安全性が保たれていることを確認する目的でトレーサ試験(I)を実施した。

今回、実施したトレーサ試験の目的は、以下のとおりである。

- (1) 再処理工場からのオフガスの受け入れ操作の安全性の確認
- (2) 再処理オフガス受け入れに伴う、各作業区域の放射線量率、空气中放射性物質濃度及び放射性物質表面密度の確認
- (3) 放出放射エネルギーの確認

#### 3.2 試験工程（別添-1 トレーサ試験(I)工程 参照）

##### (1) 起動操作期間（昭和63年2月22日～3月2日）

2月22日から、窒素ガスによるプラントパージを開始し、吸着器の再生、反応器・分析系等の起動、施設の冷却等の一連の操作を行うとともに、処理ガスとして空気を供給し、所定の運転温度、圧力へと施設内各工程を整定した。

##### (2) クリプトン、キセノン供給期間（昭和63年3月3日～3月30日）

3月3日にせん断オフガスを受け入れを開始、3月30日までに、せん断オフガス及び溶解オフガスをそれぞれ2回受け入れるとともに、天然のクリプトン及びキセノンの供給を行った。

##### (3) 停止操作期間（昭和63年3月31日～4月13日）

クリプトン及びキセノンの供給停止後、工程内機器・配管に残るクリプトン及びキセノンの押し出し操作を行い、各機器の運転を停止した。その後、回収系を運転し機器・配管内に残存するクリプトンの回収・除染を実施するとともに、窒素ガスによる低温部の加温パージを行い試験運転を終了した。

#### 3.3 試験運転結果

##### (1) 再処理工場からのオフガス受け入れ

別添-2に示す通り、4回の再処理オフガスの受け入れを実施した。

##### (2) 再処理工場からのオフガスの受け入れ操作の安全性

受け入れ操作は、所定の運転要領に従い実施した。その結果、せん断及び溶解オフガスの受け入れ操作を安定して行うことができた。

(3) 作業区域の放射線量率等

① 放射線量率

施設内に設置された $\gamma$ 線エリアモニタの測定結果では、試験運転期間中の各作業区域の放射線量率は、すべて検出限界以下であった。また、可搬式のサーベイメータによるグリーン及びアンバー区域内各作業区域の放射線量率の測定結果は、保安規定に定める値を越える箇所はなかった。

② 空气中放射性物質濃度

施設内に設置されたエアスニファの測定結果は、すべて保安規定に定める値を十分に下回った。また、作業区域のクリプトンについては検知されなかった。

③ 放射性物質表面密度

分析室等の各作業区域のスミヤチェックの結果は、すべて保安規定に定める値を十分に下回った。

これらの結果から、本試験運転中において各作業区域における放射線量率等に問題はないことが確認された。

(4) 放出放射能量

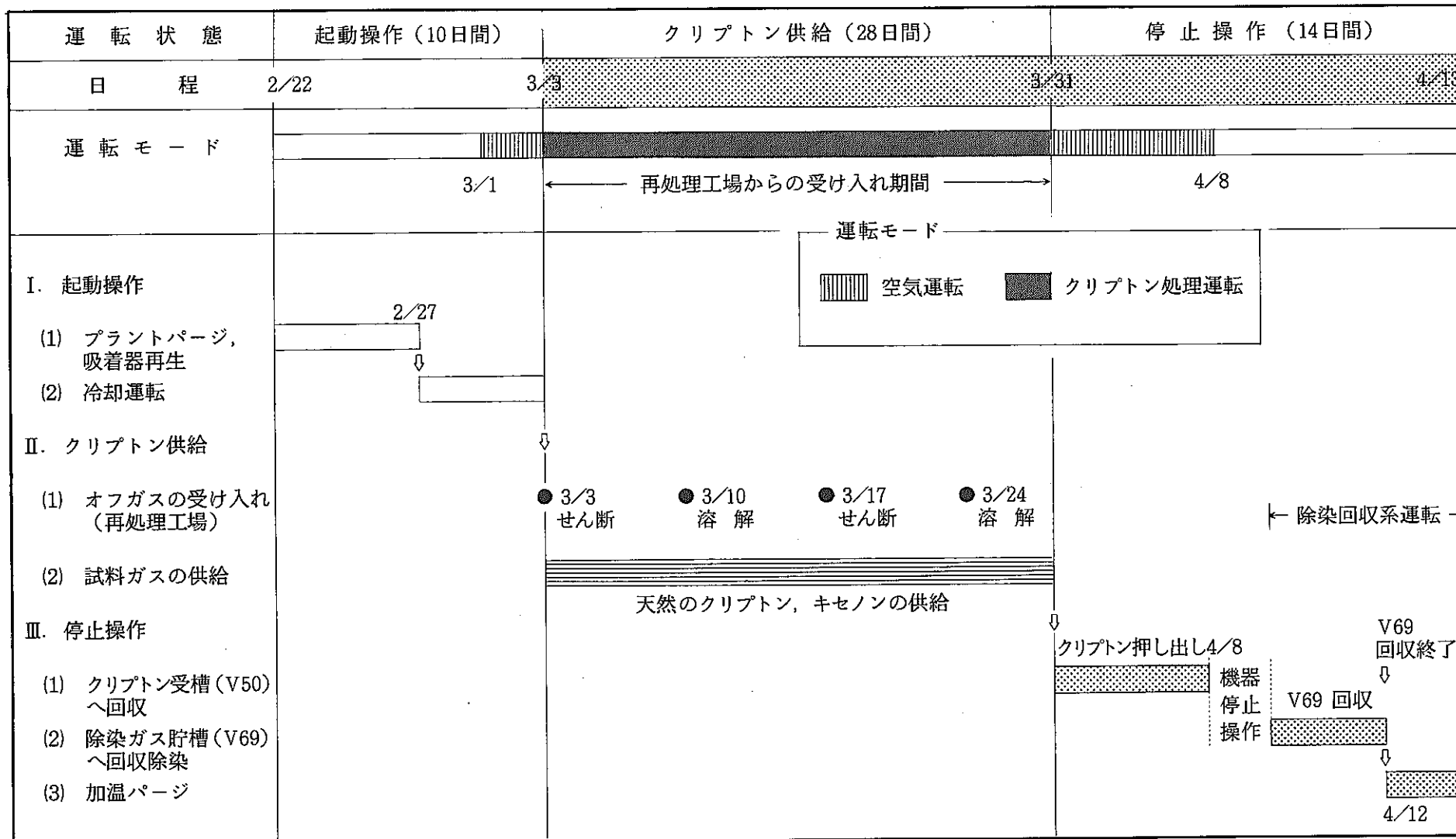
排出された放射性クリプトンは少量であり、本施設の運転中に保安規定に定める放出基準値を越えるような排出はなかった。

なお、排出されたクリプトンの大半は、除染パージガスとともに、排出されたものである。

(中西, 林 まとめ)

トレーサ試験(前期)工程

クリプトン回収技術開発施設



クリプトン施設への受入クリプトン量

受入日	処理燃料	対象オフガス	燃焼度	受入クリプトン量
3月3日	関電美浜1号炉 (MI1-115)	せん断オフガス	16,800 MWD/t	約 10 Ci
3月10日	東電福島2号炉 (FU2-059)	溶解オフガス	25,300 MWD/t	約 980 Ci
3月17日	東電福島2号炉 (FU2-071)	せん断オフガス	25,200 MWD/t	約 200 Ci
3月24日	中国電力島根1号炉 (SH1-144)	溶解オフガス	15,700 MWD/t	約 760 Ci
			<u>合計受入量</u>	<u>約 1,950 Ci</u>



## 4. Kr 回収技術開発施設貯蔵セル改造工事

### 4.1 改造工事の目的及び概要

改造工事の目的及び工事の概要は、以下の通りである。

#### (1) 工事の目的

昭和62年7月高圧ガス取締法に基づく保安検査（1回/年）の方法変更（茨城県の指導）に伴い、クリプトン貯蔵セル内に立ち入っての検査が必要となり、点検用ハッチ、しゃへい扉の設置及び貯蔵クリプトンの移し替え用クリプトン貯蔵シリンダの設置が必要となった。

#### (2) 工事概要

改造工事前の設備は、クリプトン貯蔵セル（R003-A, B, C）の3セルの内、R003-Aにクリプトン貯蔵シリンダ4基と充填用の配管24基分を設置していた、またキセノン貯蔵セル（R008-A, B）は2セルのうちR008-Aに、キセノン貯蔵シリンダ4基と充填用の配管30基分を設置していた。

また、R003-B, CにはR003-Aへ人が立ち入り、クリプトン貯蔵シリンダを設置できるように、壁に開口部が設けられていた。

##### ① 点検用ハッチ等の設置工事について（図-4. 1～4. 4 参照）

クリプトン貯蔵セル（R003-A, B, C）への出入りが行えるよう、R003-A, Bの天井部に点検用ハッチ及びR003-B, Cの壁開口部にしゃへい扉を設置した。また、点検用ハッチの開・閉及び容器再検査時の作業性を考慮し、前処理セル（R101）にチェーンブロックを設置した。

##### ② 移し替えに必要な工事について（図-4. 5～4. 7 参照）

移し替えが行えるよう、クリプトン貯蔵セル（R003-A）に設置する予定であったクリプトン貯蔵シリンダ24基を各セル8基となる様に、R003-A, B, Cに分散設置するとともに、充填用の配管をR003-B, Cに設置した。

また、キセノン貯蔵シリンダについても、キセノン貯蔵セル（R008-A）に設置する予定であった30基を各セル15基となる様に、R008-A, B分散設置するとともに、充填用の配管をR008-Bに設置した。

尚、充填用の配管及びエクステンションシステムについては、設置承認申請書記載の最大保管廃棄能力である。クリプトン貯蔵シリンダ72基分及びキセノン貯蔵シリンダ60基分、となる様設置した。

\* 工事工程の概略を表-4.1 に示す。

## 4.2 点検用ハッチ及びしゃへい扉設置工事の実績

### (1) 概要

クリプトン貯蔵セル (R003-B, C) 間及びクリプトン貯蔵セル (R003-C)・換気ダクト室間の壁開口部に各々しゃへい扉を設置し、クリプトン貯蔵セル (R003-A, B) の天井部に各々点検用ハッチを設置した。

また、点検用ハッチを開閉するためのチェーンブロックを前処理セル (R101) に設置した。

### (2) 事前処理

工事に先立ち、工程内に残留する放射性ガスは除染ガス貯槽 (K77-V69) に回収し、誤操作による作業区域内への放射性ガスの流入を防止するため、K77-V69の出入口弁を施錠管理するとともに、前処理セル (R101) 機器、配管への出入口弁を施錠管理した。放射性ガスの回収は、工程内に残留するガスが各モニター ( $\gamma$ R686-1,  $\gamma$ R11,  $\beta$ RA+01) でバックグラウンドとなるまで行った。

### (3) セル開口 (4/18, 4/27)

- ① 点検用ハッチ及びしゃへい扉設置作業場所であるクリプトン貯蔵セル (R003-A, B, C) は、貯蔵シリンダ等の設置工事に伴い4/18に開口した。
- ② 点検用ハッチ等の設置作業に先立ち、線量測定及び寸法測定等を実施する為4/27に前処理セル (R101) を開口した。
- ③ 前処理セル (R101) 及びクリプトン貯蔵セル (R003-A, B, C) は、ともに空間線量測定・スミヤ測定の結果、検出限界値以下であった。

### (4) 仮設工事及び養生 (5/24~9/16)

- ① 本工事に係わる資材搬入経路及び作業場所を、ベニヤ板、酢ビシートにより養生した。
- ② 点検用ハッチの設置に伴う、前処理セル (R101) 床のはつり作業の水、コンクリートの飛散防止の為、はつり作業を行う周囲を酢ビシートで仮囲いをするとともに排気ダクトに仮設フィルターを設置した。また、床下であるクリプトン貯蔵セル (R003-A, B) 側からも、受け架台を設置した。(図-4.8 参照)
- ③ チェーンブロック架台の設置に伴い、仮設足場を前処理セル (R101) に設置した。

### (5) はつり作業 (5/30~6/16)

点検用ハッチの設置に伴う、前処理セル (R101) 床のはつり作業を以下の通り実施した。

(図-4.9 参照)

- ① 中央貫通部分の外周を一部残し、コアボーリング (約 $\phi$ 150mm) で穴を開け、中央のコンクリートをチェーンブロックで吊り、外周の残りの部分を壊し撤去した。
- ② 半貫通部 (外枠の入る部分) の外周を、コアボーリング (約 $\phi$ 150mm) で床の半分まで穴を開け、中央のコンクリートをジャッキにより押し切った。

(6) チェーンブロック設置作業（6/13～7/27）

点検用ハッチの開・閉及び容器再検査時のボンベ吊り等で使用する、チェーンブロック設置作業を、前処理セル（R101）にて、以下の通り実施した。

- ① 工場加工可能なものは出来る限り工場加工し、架台、レール、サポートの接合部では高力ボルトを使用する等し、セル内での溶接等の作業量を減らした。
- ② チェーンブロック架台及びレールの溶接箇所は、仮設足場を組み立てながら順次実施し、架台の設置では点検用ハッチとセンターが合うよう、鉛直器、水平器、測量器等を使用し設置した。

(7) 点検用ハッチの設置作業（6/20～7/27）

クリプトン貯蔵セル（R003-A, B）の点検用ハッチ設置作業を、はつり作業終了後以下の通り実施した。

- ① 点検用ハッチは、㈱富士精工本社で製作し、6/10使用前検査を受検合格後、本施設に運搬した。
- ② 点検用ハッチの下枠を取付けた後、下枠と床コンクリートの隙間にコンクリートを充填し、据付面をコテ仕上げた。
- ③ 点検用ハッチ本体及び外枠は、専用の台車、本工事で設置したチェーンブロックを使用し開口部まで運搬した後、外枠を開口部に吊り込み外枠のスタッドと既設の配筋を溶接し固定した後、コンクリートを充填した。
- ④ コンクリート乾燥後、点検用ハッチ本体をチェーンブロックにより吊り込み設置した。
- ⑤ 点検用ハッチの据付位置に設置されていた、水吸着器の充填剤交換用のトラップを移設した。

(8) シャへい扉の設置作業（6/21～7/27）

クリプトン貯蔵セル（R003-B, C）間及びクリプトン貯蔵セル（R003-C）・換気ダクト室間のシャへい扉設置作業を、以下の通り実施した。

- ① シャへい扉は、㈱富士精工本社で製作し、6/10使用前検査を受検合格後、本施設に運搬した。
- ② 施設内への搬入は、1階の扉よりレッカー（20t）により吊り入れ、2階に取り付けた仮設のチェーンブロック（5t）より地下まで下ろした。（図-4.10参照）
- ③ シャへい扉本体、外枠及びシャへい枠の運搬時は、床に足場板を敷き詰め、更にその上にアルミ板を置き、専用台車がスムーズに転がる様にした。また、廊下の曲がり角にはアンカーを打ち、チェーンブロックで持ち上げ方向を変え搬入を容易にした。
- ④ 壁開口部の墨出し、レベル打ちが終了後ケミカルアンカーを打設し、シャへい扉外枠とシャへい枠を溶接により固定設置した。
- ⑤ シャへい扉外枠と壁開口部の左右の隙間（約2cm）に、鉛毛を押し棒により充填した。
- ⑥ シャへい扉外枠と壁開口部の上下、コンクリートを打設した。
- ⑦ コンクリートが乾燥した後、シャへい扉本体を設置した。

- ⑧ シャヘい扉の設置作業は、7/27をもって完了後、9/26の使用前検査を受検し合格した。
- (9) 仕上げ塗装作業（8/8～9/5）  
仕上げ塗装作業は、点検用ハッチ、シャヘい扉及びチェーンブロック架台について行った。
- (10) 取り合い部補修作業（9/6～9/9）
- ① 前処理セル（R101）の点検用ハッチ及びチェーンブロック架台周りの床について既設床と同様に、リノリウムにより補修を行った。
- ② シャヘい扉周り及び運搬作業で使用した廊下のアンカー穴を、コンクリートにより補修を行った。

#### 4.3 貯蔵シリンダの据付及び配管製作

##### (1) 概要

クリプトン貯蔵シリンダの設置本数を各セル8基とする為、クリプトン貯蔵セル（R003-A）へ4基、R003-B、Cへ各8基設置した。

キセノン貯蔵シリンダ設置本数を各セル15基とする為、キセノン貯蔵セル（R008-A）へ11基、R008-Bへ15基設置した。

クリプトン貯蔵セル（R003-B、C）に充填用配管を各24基分設置した。また、貯蔵シリンダを設置しない充填用配管には、盲キャップを取り付けた。

キセノン貯蔵セル（R008-B）に充填用配管を30基分設置した。また、貯蔵シリンダを設置しない充填用配管には、盲キャップを取り付けた。

##### (2) 事前処置

工事に先立ち、工程内に残留する放射性ガスは除染ガス貯槽（K77-V69）に回収し、誤操作による作業区域内への放射性ガスの流入を防止するため、K77-V69の出入口弁を施錠管理した。放射性ガスの回収は、工程内に残留するガスが各モニター（ $rR686-1$ 、 $rR11$ 、 $\beta RA+01$ ）でバックグラウンドとなる迄、行った。

また、工事終了まで貯蔵工程に放射性ガスを流入させないため、3月からのホット試験前に貯蔵工程への入口弁を二重に閉とし、施錠管理した。

##### (3) セル開口（4/18）

貯蔵シリンダ等の設置作業に先立ち、線量測定及び寸法測定等を実施する為4/18クリプトン貯蔵セル（R003-A）及びキセノン貯蔵セル（R008-A、B）のシャヘい扉を開口、クリプトン貯蔵セル（R003-B、C）のパネルを取り外した。

クリプトン貯蔵セル（R003-A、B、C）及びキセノン貯蔵セル（R008-A、B）ともに空間線量測定・スミヤ測定の結果、検出限界値以下であった。

(4) 仮設工事及び養生（4/23～9/26）

- ① 本工事に係わる資材搬入経路及び作業場所を、ベニヤ板、酢ビシートにより養生した。
- ② クリプトン貯蔵セル（R003-A, B, C）及びキセノン貯蔵セル（R008-A, B）に貯蔵シリンダ搬入用及び配管溶接用の仮設足場を設置した。

(5) エクステンションシステム設置作業（4/13～5/28）

充填用配管の設置にともない、クリプトン貯蔵セル（R003-B, C）に各24本及びキセノン貯蔵セル（R008-B）に30本のエクステンションシステム設置作業を以下の通り実施した。

- ① エクステンションシステムは、大野ペロー工業㈱で製作した後、クリプトン用の48本は4/13に、キセノン用の30本は4/18～4/25にかけて施設内に搬入した。
- ② 据付については、既設スリーブ内部のサビ落とし、清掃を行った後、既設スリーブのセンターを基準とし、エクステンションシステムと既設スリーブを溶接固定した。
- ③ エクステンションシステムと既設スリーブの隙間に、コンクリートを充填した。コンクリートは試験練りにより配合比を決め、その配合比により現場にて配合し、ボール状に成形（約8cm）した後、隙間が無いことを目視で確認しながら、少量ずつ治具で押し固めながら充填した。

(6) 既設配管切断作業（7/14～7/22）

本工事で製作した充填用の配管と接続する既設配管及びクリプトン貯蔵セル（R003-A）、キセノン貯蔵セル（R003-A）の仮設盲キャップの切断作業を、以下の通り実施した。

- ① 7/14, 21, 22にハンドソーにて切断した。
- ② 切断にあたっては、切断部周りの養生及び表面線量測定（スミヤ等）を行ったが、汚染はなかった。
- ③ 開先加工、開先面PTを行った後、既設ラインの温室素パーズを行い既設配管内の切粉等を除去した。

(7) 充填用配管の製作（7/5～8/20）

クリプトン及びキセノンの充填用配管の製作を、以下の通り実施した。

- ① 充填用配管の製作にあたっては、工場で加工、溶接等の可能なものは出来る限り工場で行い、セル内での作業量を減らした。
- ② 工場での加工、溶接等を行った充填用配管は、PT, RT, 肉厚測定等を行った後、フラッシングにより切粉等を除去し、本施設に搬入した。
- ③ 本施設内での溶接は最終接続部であり、配管形状よりバックシール（アルゴン）が流れにくいことが考えられる為、貯蔵シリンダ内にアルゴンを予め充填（30kg/cm<sup>3</sup>）しそれより流した、また、各セル2個ずつの盲キャップを貯蔵シリンダとの溶接が完了するまで、溶接せず残した。
- ④ 充填用配管の製作は、8/20をもって完了後、8/25(財)原子力安全技術センターの溶接検査、9/7 高圧ガスの完成検査、9/26 使用前検査を受検し合格した。

(8) 貯蔵シリンダの据付作業（7/18, 8/3）

クリプトン貯蔵シリンダ20基を、クリプトン貯蔵セル（R003-A）へ4基、R003-B, Cへ各8基、及びキセノン貯蔵シリンダ26基を、キセノン貯蔵セル（R008-A）へ11基、R008-Bへ15基の設置作業を、以下の通り実施した。

- ① クリプトン貯蔵シリンダ20基 4/10～4/19に、キセノン貯蔵シリンダ26基は6/1～6/6に、昭和高压工業㈱にて容器再検査を受検し合格した後、クリプトン貯蔵シリンダは7/18に、キセノン貯蔵シリンダは8/3に、本施設に搬入した。
- ② シリンダラックへの据付作業は、仮設足場を設置し既設天井フックよりチェーンブロックを使用し据付した。（図-4.11, 4.12参照）

(9) 貯蔵シリンダとエクステンションシステムの接続作業（9/16～9/26）

クリプトン貯蔵シリンダ20基とキセノン貯蔵シリンダ26基について、エクステンションシステムとの接続作業を、以下の通り実施した。

- ① 接合部を、付属ピン、リング、ボルトにより接続した。
- ② 接合後、弁操作室より操作を行い、貯蔵シリンダの元弁が円滑に作動することを確認した。

#### 4.4 許認可手続き

(1) 概要

点検用ハッチ・しゃへい扉及び貯蔵シリンダ等の据付工事等にあたって、設計及び工事の方法（設工認）、使用前検査、保安規定、高压ガス、安全専門委員会及び放射線作業計画の、認可手続き等を実施した。

(2) 設工認

設工認については、クリプトン回収技術開発施設本体建設時の認可内容の変更として申請手続きを実施した。

概略を、次頁に示す。

## 「再処理施設に関する設計及び工事の方法」の変更の認可申請について

変更申請番号	62 動燃(安) 720 (昭和62年12月23日)
認可番号	62 安(核規)第859号(昭和63年1月6日)
変更理由 (本件抜粋)	<p>(1) クリプトン貯蔵シリンダ及び配管の保守・点検を容易にするため、クリプトン貯蔵セルに点検用ハッチ等を設置する。</p> <p>(2) クリプトン貯蔵シリンダ及びキセノン貯蔵シリンダの保守・点検を容易にするため、クリプトン貯蔵シリンダ及びキセノン貯蔵シリンダの設置場所変更を行い、充てん用配管を設置する。</p>
変更の概要 (本件抜粋)	<p>(1) クリプトン貯蔵セル(R003-A, R003-B)に点検用ハッチを設置する。また、クリプトン貯蔵セル(R003-B)の西壁及びクリプトン貯蔵セル(R003-C)の南壁にしゃへい扉を設置する。</p> <p>(2) クリプトン貯蔵シリンダをクリプトン貯蔵セル(R003-A)へ24基からクリプトン貯蔵セル(R003-A, R003-B, R003-C)へ各8基に、キセノン貯蔵シリンダをキセノン貯蔵セル(R008-A)へ30基からキセノン貯蔵セル(R008-A, R008-B)へ各15基に変更するとともに、クリプトン貯蔵セル(R003-A, R003-B, R003-C)及びキセノン貯蔵セル(R008-A, R008-B)に充てん用配管を設置する。</p>

## (3) 使用前検査

使用前検査については、実績を表-4.2に示す。

(4) 保安規定

保安規定については、再処理施設保安規定の変更として、申請手続きを実施した。  
概略を、以下に示す。

「再処理施設 保安規定」の変更の認可申請について

変更申請番号	63 動燃(安) 031 (昭和63年11月14日)																																				
認可番号	63 安(核規) 第788号(昭和63年12月2日)																																				
施行日	63 規定 第28号(昭和63年12月2日)																																				
変更の概要	(1) クリプトン回収技術開発施設の貯蔵能力の変更に伴い、関連する表の変更を行う。 (2) その他、所要の変更を行う。																																				
変更事項	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="border: none;">R003-C 予備 クリプトン 貯蔵セル</td> <td style="border: none;">R003-B 予備 クリプトン 貯蔵セル</td> <td style="border: none;">⇒</td> <td style="border: none;">R003-C クリプトン 貯蔵セル</td> <td style="border: none;">R003-B クリプトン 貯蔵セル</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;">R008-B 予備 キセノン 貯蔵セル</td> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;">R008-B キセノン 貯蔵セル</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">第Ⅱ-1-91 管理区域及びホワイト区域 (クリプトン回収技術開発施設)</p> <p style="text-align: center;">第Ⅳ-4表 施設の貯蔵能力</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>関連条</th> <th>対象施設</th> <th>貯蔵能力</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>184の7</td> <td>クリプトン貯蔵シリンダ</td> <td>1本当たり約48リットル (24kg/cm<sup>3</sup>G)</td> <td>4本クリプトン回収 技術開発施設</td> </tr> <tr> <td>184の7</td> <td>キセノン貯蔵シリンダ</td> <td>1本当たり約48リットル (90kg/cm<sup>3</sup>G)</td> <td>4本クリプトン回収 技術開発施設</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">↓</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>関連条</th> <th>対象施設</th> <th>貯蔵能力</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>184の7</td> <td>クリプトン貯蔵シリンダ</td> <td>1本当たり約48リットル (24kg/cm<sup>3</sup>G)</td> <td>24本クリプトン回収 技術開発施設 (うち移し替え用 8本)</td> </tr> <tr> <td>184の7</td> <td>キセノン貯蔵シリンダ</td> <td>1本当たり約48リットル (90kg/cm<sup>3</sup>G)</td> <td>30本クリプトン回収 技術開発施設</td> </tr> </tbody> </table>			R003-C 予備 クリプトン 貯蔵セル	R003-B 予備 クリプトン 貯蔵セル	⇒	R003-C クリプトン 貯蔵セル	R003-B クリプトン 貯蔵セル		R008-B 予備 キセノン 貯蔵セル			R008-B キセノン 貯蔵セル	関連条	対象施設	貯蔵能力	備考	184の7	クリプトン貯蔵シリンダ	1本当たり約48リットル (24kg/cm <sup>3</sup> G)	4本クリプトン回収 技術開発施設	184の7	キセノン貯蔵シリンダ	1本当たり約48リットル (90kg/cm <sup>3</sup> G)	4本クリプトン回収 技術開発施設	関連条	対象施設	貯蔵能力	備考	184の7	クリプトン貯蔵シリンダ	1本当たり約48リットル (24kg/cm <sup>3</sup> G)	24本クリプトン回収 技術開発施設 (うち移し替え用 8本)	184の7	キセノン貯蔵シリンダ	1本当たり約48リットル (90kg/cm <sup>3</sup> G)	30本クリプトン回収 技術開発施設
R003-C 予備 クリプトン 貯蔵セル	R003-B 予備 クリプトン 貯蔵セル	⇒	R003-C クリプトン 貯蔵セル	R003-B クリプトン 貯蔵セル																																	
	R008-B 予備 キセノン 貯蔵セル			R008-B キセノン 貯蔵セル																																	
関連条	対象施設	貯蔵能力	備考																																		
184の7	クリプトン貯蔵シリンダ	1本当たり約48リットル (24kg/cm <sup>3</sup> G)	4本クリプトン回収 技術開発施設																																		
184の7	キセノン貯蔵シリンダ	1本当たり約48リットル (90kg/cm <sup>3</sup> G)	4本クリプトン回収 技術開発施設																																		
関連条	対象施設	貯蔵能力	備考																																		
184の7	クリプトン貯蔵シリンダ	1本当たり約48リットル (24kg/cm <sup>3</sup> G)	24本クリプトン回収 技術開発施設 (うち移し替え用 8本)																																		
184の7	キセノン貯蔵シリンダ	1本当たり約48リットル (90kg/cm <sup>3</sup> G)	30本クリプトン回収 技術開発施設																																		



## (5) 高圧ガス

高圧ガスについては、クリプトン回収技術開発施設本体建設時の許可内容の変更申請及び完成検査を実施した。

概略を、以下に示す。

## 「高圧ガス製造施設等 変更許可申請書」について

変 更 申 請	昭和63年5月14日 付け
許 可 番 号	工振指令 第228号(昭和63年6月6日付け)
変 更 の 目 的	クリプトン貯蔵セル及び、キセノン貯蔵セルに充てん用の配管を設置する。
変 更 の 内 容	<p>a. クリプトン貯蔵セル(R003-A) クリプトン貯蔵容器(8基)を、充填用の配管(K21-Kr-10~13-8-N1)に接続する。また、充てん用の配管(K21-Kr-2~9-8-N1)の末端にはキャップを取り付ける。</p> <p>b. クリプトン貯蔵セル(R003-B) 充てん用の配管(K21-Kr-26~49-8-N1)を設置し、クリプトン貯蔵容器(8基)を配管(K21-Kr-34~37-8-N1, K21-Kr-46~49-8-N1)に接続する。 また、充てん用の配管(K21-Kr-26~33-8-N1, K21-Kr-38~45-8-N1)の末端にはキャップを取り付ける。</p> <p>c. クリプトン貯蔵セル(R003-C) 充てん用の配管(K21-Kr-50~73-8-N1)を設置し、クリプトン貯蔵容器(8基)を配管(K21-Kr-58~61-8-N1, K21-Kr-70~73-8-N1)に接続する。 また、充てん用の配管(K21-Kr-50~57-8-N1, K21-Kr-62~69-8-N1)の末端にはキャップを取り付ける。</p> <p>d. キセノン貯蔵(R008-A) キセノン貯蔵容器(11基)充てん用の配管(K22-Xe-15~19-8-N1, K22-Xe-25~29-8-N1, K22-Xe-35-8-N1)の末端にはキャップを取り付ける。</p> <p>e. キセノン貯蔵セル(R008-B) 充てん用の配管(K22-Xe-40~69-8-N1)を設置し、キセノン貯蔵容器(15基)を配管(K22-Xe-45~49-8-N1, K22-Xe-55~59-8-N1, K22-Xe-65~69-8-N1)に接続する。 また、充てん用の配管(K22-Xe-40~44-8-N1, K22-Xe-50~54-8-N1, K22-Xe-60~64-8-N1)の末端にはキャップを取り付ける。</p>

## 「完成検査」について

完成検査事前検査実施日	昭和63年6月27日 ~ 昭和63年8月22日
完成検査事前検査報告日	昭和63年9月 6日 付け
完 成 検 査 年 月 日	昭和63年9月 7日
検 査 員	吉 田 憲 司

(6) 安全専門委員会

安全専門委員会への答申については、設工認変更申請の内容及び保安規定の変更の内容について、以下の手続きを実施した。

概略を、以下に示す。

「再処理施設 安全専門委員審議（承認）書」 - 許認可申請事項 -

申請番号	62（再安委一申）31（昭和62年8月17日）
第一専門部会答申	昭和62年8月19日
（再）安全専門委員会答申	昭和62年8月19日
承認番号	62（再安委）29（昭和62年8月20日）
概要	クリプトン貯蔵セルに点検用ハッチを設置する、さらにクリプトン及びキセノン貯蔵シリンダの設置本数の変更を行う。
審議事項	設工認変更内容及び工事上の安全性について。

「再処理施設 安全専門委員審議（承認）書」 - 許認可申請事項 -

申請番号	62（再安委一申）41（昭和62年9月19日）
第一専門部会答申	昭和62年10月6日
（再）安全専門委員会答申	昭和62年10月7日
承認番号	62（再安委）37（昭和62年10月7日）
概要	貯蔵セル立ち入り用点検口，しゃへい扉の設置等を行う。また，貯蔵シリンダの設置の設置場所の変更などを行う。
審議事項	設工認変更内容の妥当性について。

「再処理施設 安全専門委員審議（承認）書」 - 許認可申請事項 -

申請番号	63（再安委申）30（昭和63年9月19日）
（再）安全専門委員会答申	昭和63年9月26日 （保安統括者承認 昭和63年9月27日）
東海事業所 安全専門委員会答申	昭和63年9月29日
承認番号	所長承認 昭和63年9月29日 63（安専）58
概要	クリプトン回収技術開発施設の貯蔵能力の変更に伴い，関連図面等の変更を行う。また，その他所要の見直しを行う。
審議事項	保安規定の変更の妥当性について。

## (7) 放射線作業計画

放射線作業計画は、セル内事前点検、点検用ハッチ等の設置工事及び貯蔵シリンダ等の設置工事の三つに分け、手続きを実施した。

概略を、以下に示す。

## 「特殊（第一種）放射線作業計画」

作業計画番号	1-GCS-63-001
計画書起案・承認	昭和63年4月6日・昭和63年4月13日
報告書起案・承認	昭和63年11月1日・昭和63年11月25日
作業計画発行主旨	レッド区域立ち入り
作業概要	<ol style="list-style-type: none"> <li>クリプトン貯蔵セル(R003-A, R003-B, R003-C)及びキセノン貯蔵セル(R008-B)に充てん用の配管及び貯蔵シリンダを設置する。</li> <li>クリプトン貯蔵セル(R003-A, R003-B, R003-C)及びキセノン貯蔵セル(R008-B)に貯蔵シリンダ元弁操作用エクステンションシステムを設置する。</li> </ol>

## 「特殊（第一種）放射線作業計画」

作業計画番号	1-GCS-63-002
計画書起案・承認	昭和63年4月20日・昭和63年4月25日
報告書起案・承認	昭和63年5月18日・昭和63年5月20日
作業計画発行主旨	レッド区域立ち入り
作業概要	クリプトン貯蔵セル(R003-A, R003-B)に点検用ハッチを設置する為の事前点検、また、クリプトン貯蔵セル(R003-B)の西壁及びクリプトン貯蔵セル(R003-C)の南壁にしゃへい扉を設置する為の事前点検を実施する。

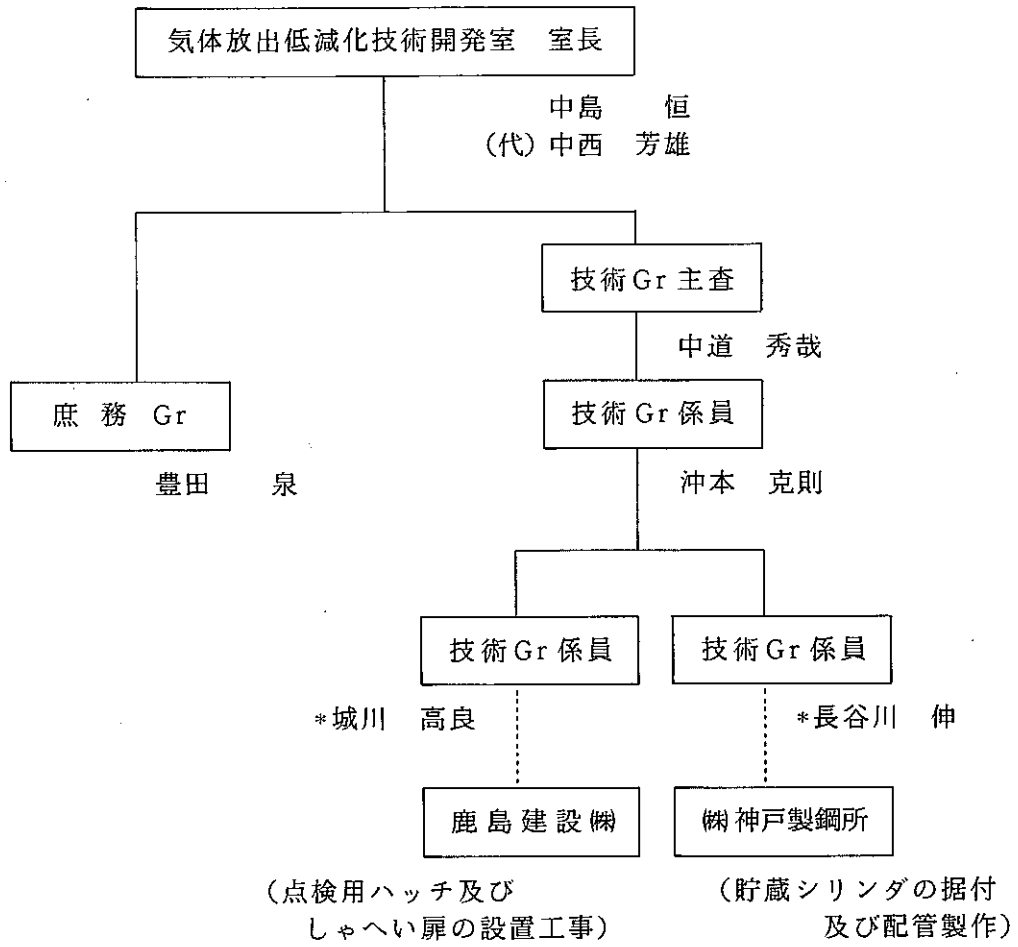
## 「特殊（第一種）放射線作業計画」

作業計画番号	1-GCS-63-004
計画書起案・承認	昭和63年5月20日・昭和63年5月24日
報告書起案・承認	昭和63年11月1日・昭和63年11月25日
作業計画発行主旨	レッド区域立ち入り
作業概要	クリプトン貯蔵セル(R003-A, R003-B)の天井に点検用ハッチを設置する。また、クリプトン貯蔵セル(R003-B)の西壁及びクリプトン貯蔵セル(R003-C)の南壁にしゃへい扉を設置する。

4.5 作業管理

(1) 組織

改造工事期間中の作業管理は、以下の組織により行った。



\* 運転 Gr からの補員

(2) 放射線管理

① 放射線に係わる事前処理

- (a) 工事終了まで貯蔵工程に放射性ガスを流入させないため、3月からのホット試験前に貯蔵工程への入口弁を二重に閉とし、施錠管理した。
- (b) 工事に先立ち、工程内に残留する放射性ガス（約2,000 ci）は除染ガス貯槽（K77-V69）に回収し、誤操作による作業区域内への放射性ガスの流入を防止するため、K77-V69の出入口弁を施錠管理した。放射性ガスの回収は、工程内に残留するガスが各モニター（ $\gamma$ R686-1,  $\gamma$ R11,  $\beta$ RA+01）でバックグラウンドとなるまで行った。

② 放射線作業管理

- (a) セル内作業は、特殊放射線作業計画を作成し、それに基づき作業を行った。
- (b) セル内作業に際しては、セル入口にサーベイエリアを設け、セル内作業及び物品の搬出入に伴う汚染拡大を防止した。
- (c) 被曝管理は、線量がB・GであることからTLDによる管理とした。

(3) 廃棄物・廃液管理

工事で発生した廃棄物・廃液は汚染等がなく、以下の通り全て非放射性として処理した。

① 非放射性廃棄物

	点検用ハッチ及び しゃへい扉の設置工事	貯蔵シリンダの据付及び配管製作
非放射性 可燃物	(内容物) 10袋 ・塩ビシート ・ウエス ・空き箱(鉛空箱) ・その他	(内容物) 10袋 ・塩ビシート ・ウエス ・モルタル紙袋 ・その他
非放射性 不燃物	・コンクリートガラ はつり作業 約2.4 m <sup>3</sup> 打設作業 約1.5 m <sup>3</sup>	・セル開口部 閉鎖用パネル 鉄製パネル(2,150×1,580) 1枚 SUS製パネル(2,150×1,580) 2枚

## ② 非放射性廃液

	点検用ハッチ及び しゃへい扉の設置工事	貯蔵シリンダの据付 及び配管製作
非放射性廃液	・コアボーリング用冷却水 約 400 ℓ	無し

## (4) 物品管理

工事で使用した物品は以下の通りであり、綿手、RIゴム手袋、シューズカバー等は主に床は  
つり、コンクリート打設、及び、エクステンションシステムのもルタル充填作業に使用した。

物 品 名	単位	点検用ハッチ及び しゃへい扉の設置工事	貯蔵シリンダの据付 及び配管製作
綿 手	双	50	80
RI ゴム手袋	双	15	60
紙 テ ー プ	巻	15	10
両 面 テ ー プ	巻	—	1
シューズカバー	足	20	80
塩 ビ シ ー ト	巻	—	1
非放射性 廃棄物袋	可 燃	枚	10
	不 燃	枚	—
	難 燃	枚	—

## (5) 人 工

現地工事での人工数は以下の通りであった。

職 種	点検用ハッチ及び しゃへい扉の設置工事	貯蔵シリンダの据付 及び配管製作
土 工	20	—
大 工	11	—
ボ ー リ ン グ 工	28	—
は つ り 工	12	—
特 殊 金 物 工	187	—
コンクリート圧送工	2	—
塗 装 工	16	—
左 官 工	5	—
建 具 工	2	—
クレーンオペレータ	3	—
内 装 工	4	—
配 管 工	—	378
溶 接 工	—	41
検 査 員	上記の職種に含む	38
下請業者責任者	上記の職種に含む	97
現 場 責 任 者	上記の職種に含む	254
総 計	290	808

## 4.6 まとめ

今回の工事は、事前のセル内サーベイから始まり、床はつり、点検用ハッチ及びしゃへい扉の設置、貯蔵シリンダの据付及び配管溶接等、5.5カ月で遂行した。

作業はセル内サーベイの結果汚染が認められずアンバー装備で行うことが出来た為、廃棄物の数も少なく、また、セル出入管理の徹底により汚染もなかった。また狭い作業エリアであったにも関わらず事前の入念な検討により、3tもの重量物を無事据付けることが出来た。

最後に、本工事が無事完工出来たことは、関係部署の方々の御協力、御支援によるものと、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

(中道, 沖本, 城川, 長谷川)

表4-1 工事工程表 ( / )

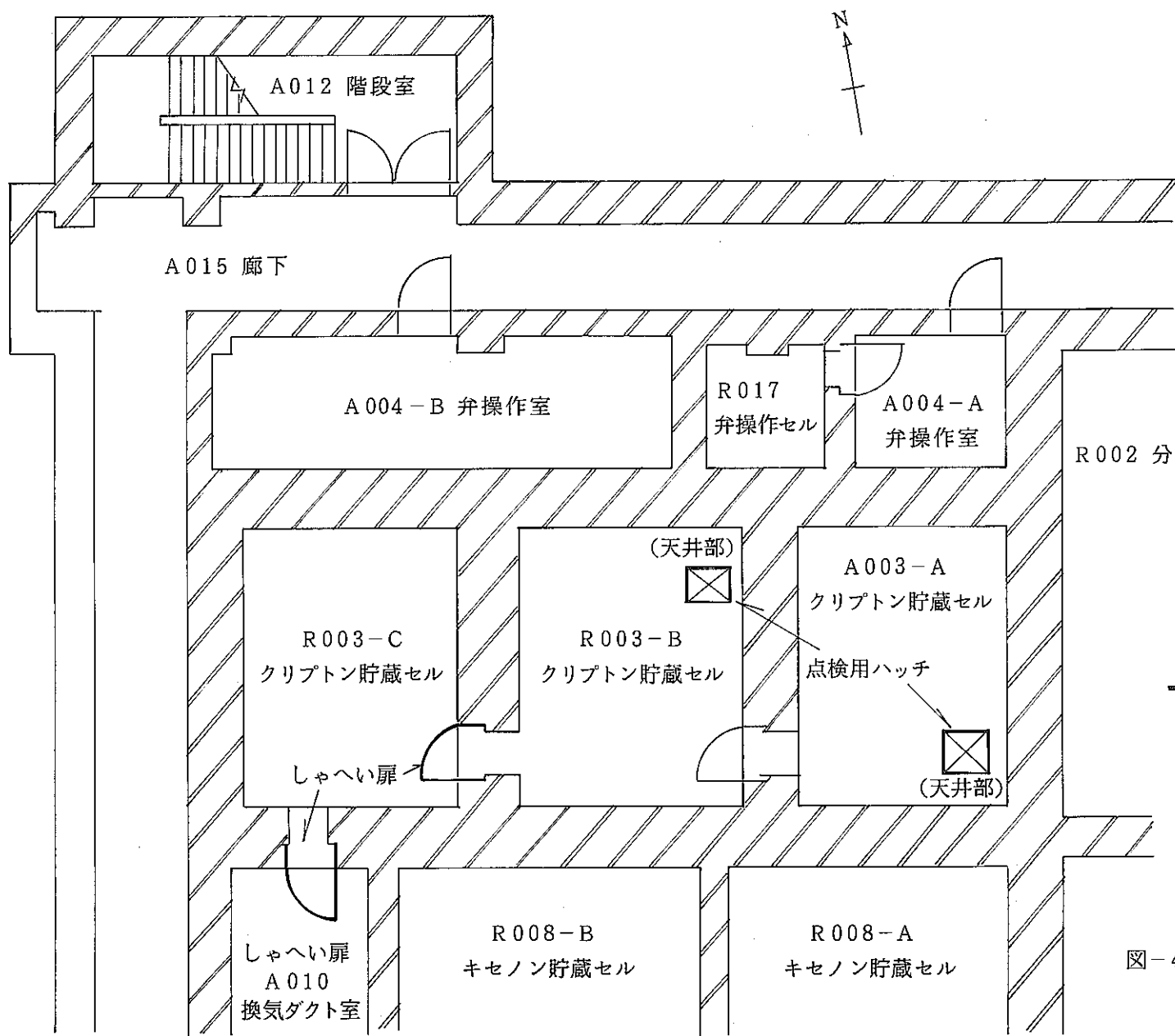
作成日 年 月 日

分類番号	発注先	完了予定期日	年 月 日			発行先	部長 室長 主査 担当									
			年	月	日		部長	室長	主査	担当						
名称 貯蔵セル改造工事実績		設置場所														
		63 年														
		10 4 20 30		10 5 20 31		10 6 20 30		10 7 20 31		10 8 20 31		10 9 20 30		10 10 20 31		11 10
1. 許認可																
(1) 設工認変更		62.12.23 申請○ 63. 1. 6 認可○														
(2) 使用前検査		4/28 変更届	点検用ハッチ, シャヘい扉		6/10 局立会					9/22 変電届	9/26 局立会		シャヘい扉のヒンジ固定ボルト, 充填用配管			
(3) 保安規定変更			63.11.14 変更申請 63.12. 2 認可 63.12. 2 施工													
(4) 高圧ガス		5/14 変更申請	6/6 認可						9/7 完成検査							
(5) 安全専門委員会		62.8.7, 62.10.7 設工認承認														
(6) 放射線作業計画		4/20 事前点検起案														
2. 点検用ハッチ及びシャヘい扉設置工事		4/18 R003-A,B,C開口	4/27 R101開口	5/24	仮設工事及び養生										9/16	9/30 R101閉口
(1) チェーンブロックの設置作業等						6/13	チェーンブロックの設置作業	7/27	8/8	仕上げ塗装	9/5	取り合い補修				
(2) 点検用ハッチの設置作業等				5/30	はつり作業	6/16	点検用ハッチの設置作業	8/8	仕上げ塗装	9/5	取り合い補修					
(3) シャヘい扉の設置作業等				6/20	シャヘい扉の設置作業		7/27	8/8	仕上げ塗装	9/5	取り合い補修					
3. 貯蔵シリンダの据付及び配管製作		4/18 R003-A,B,C開口	仮設工事及び養生										9/30	R101閉口		
(1) エクステンションシステムの設置等		4/13	チェーンブロックの設置作業	5/28							9/16	9/26	貯蔵シリンダと接続			
(2) 充填用配管の製作等						充填用配管の製作		7/5	7/14	7/22	8/20	8/25 原安センター検査				
(3) 貯蔵シリンダの据付等						7/18	Kr貯蔵シリンダ搬入			8/3	Xe貯蔵シリンダ搬入					
配付先		△ 使用材料の確認検査 ⊕ 寸法検査 ⊗ 外観検査														



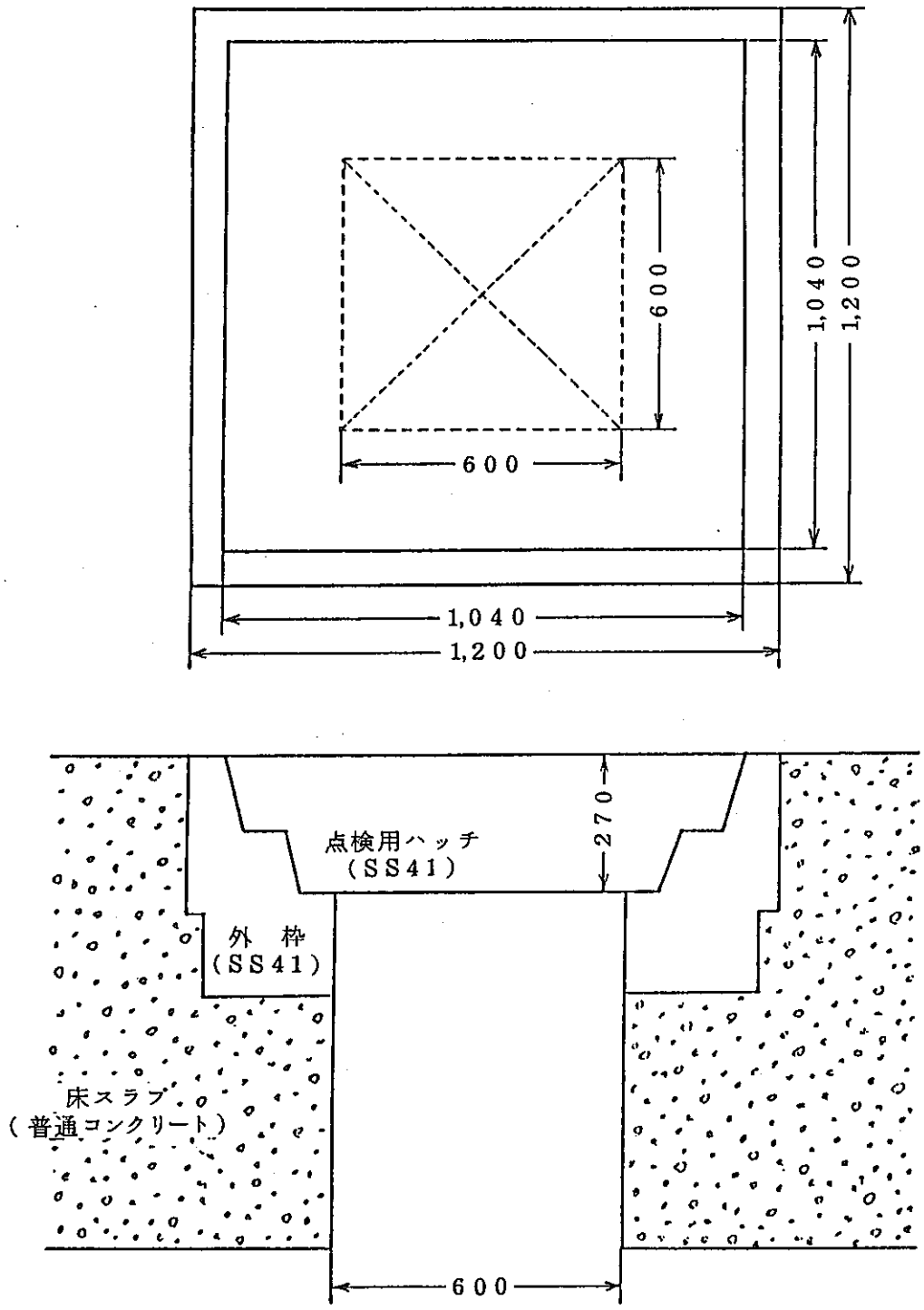
表-4.2 使用前検査実績表

	変更届	検査対象	検査項目	動燃自主検査実施日	使用前検査実施日	備考
第一回	62 動燃(安) 621 昭和63年4月28日	クリプトン貯蔵セル (R003-A天井, R003-B天井) 点検用ハッチ	使用材料の確認検査 寸法検査 外観検査	昭和63年4月13日 ) 昭和63年5月27日  (場所) ㈱富士精工本社 (動燃立会者) 中道 秀哉 山本 勝	昭和63年6月10日 (場所) ㈱富士精工本社 (検査官) 前田 厚 (動燃立会者) 中西 芳雄 沖本 克則 山本 勝	
		クリプトン貯蔵セル (R003-B西壁, R003-C南壁) しゃへい扉				
第二回	63 動燃(安) 705 昭和63年9月22日	クリプトン貯蔵セル (R003-B西壁, R003-C南壁) しゃへい扉のヒンジ固定ボルト	据付検査	昭和63年7月12日 ) 昭和63年9月14日  (場所) 動力炉・核燃料開発 事業団 東海事業所 (動燃立会者) 沖本 克則	昭和63年9月26日 (場所) 動力炉・核燃料開発 事業団 東海事業所 (検査官) 竹下 英文 (動燃立会者) 中島 亘 中道 秀哉 沖本 克則	
		クリプトン及びキセノン 充填用配管	材料の受入検査 耐圧(気圧)試験 据付検査			



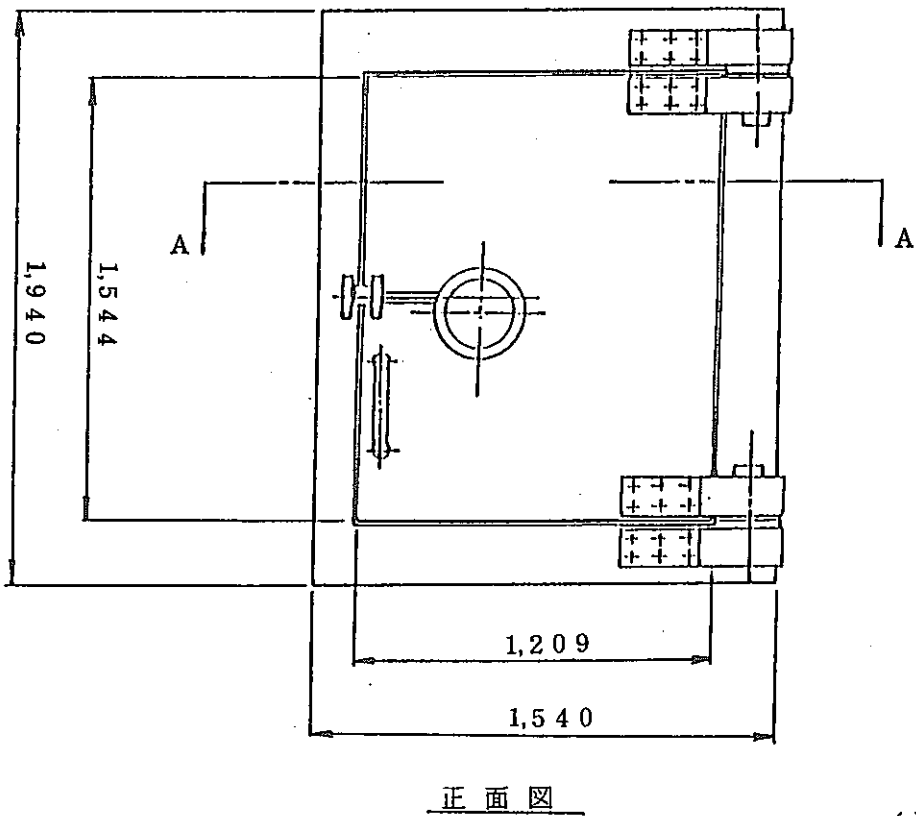
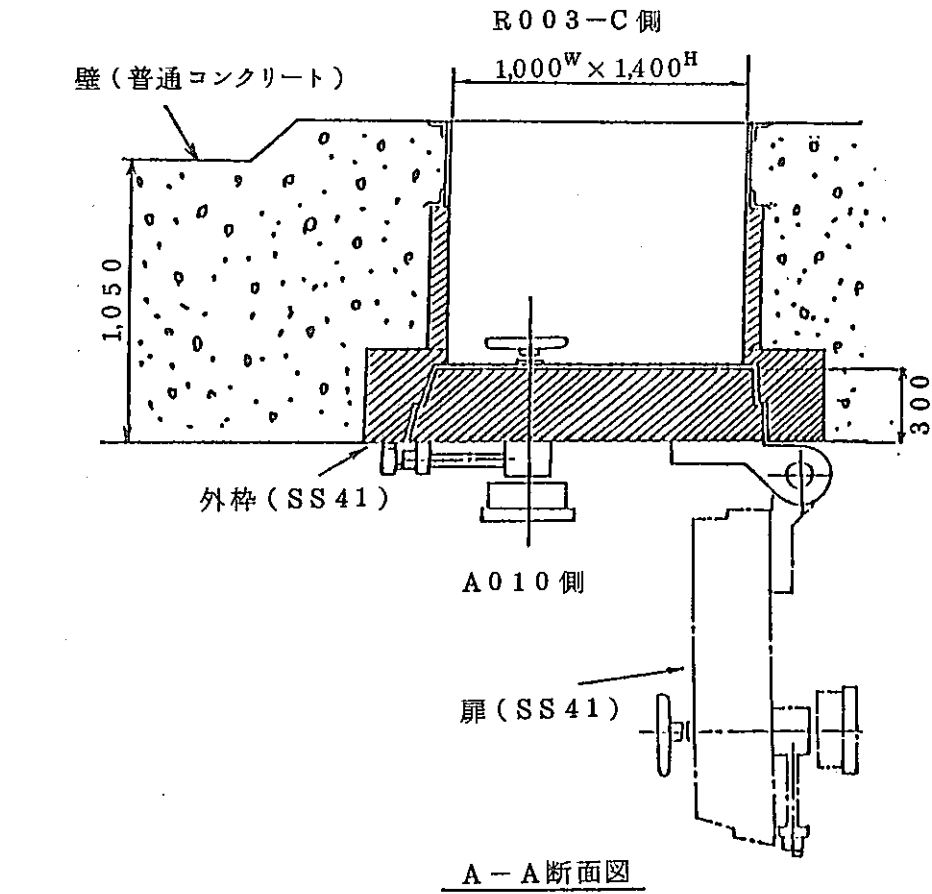
— : 太線は、変更箇所を示す。

図-4.1 クリプトン回収技術開発施設  
地下1階平面図



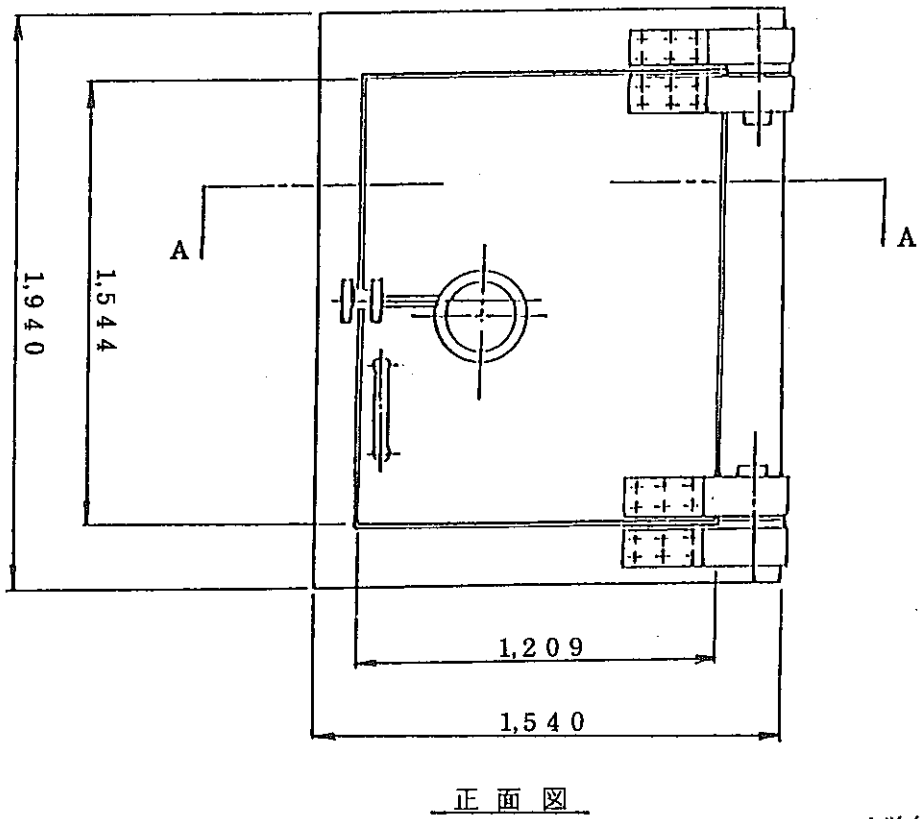
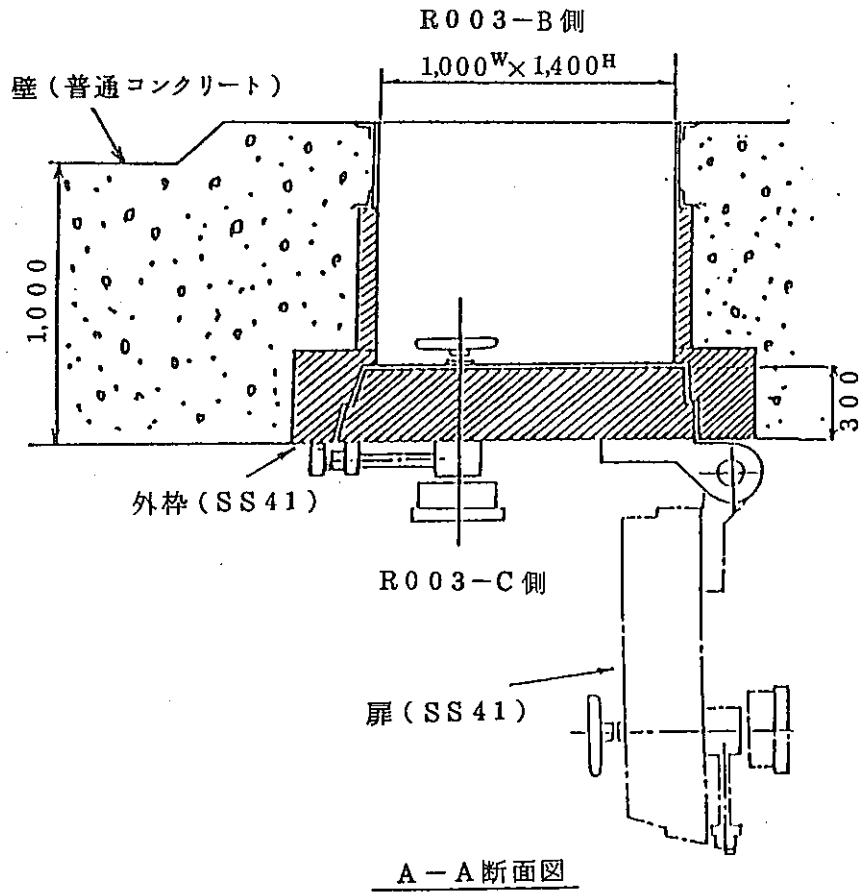
(単位：mm)

図-4.2 点検用ハッチ



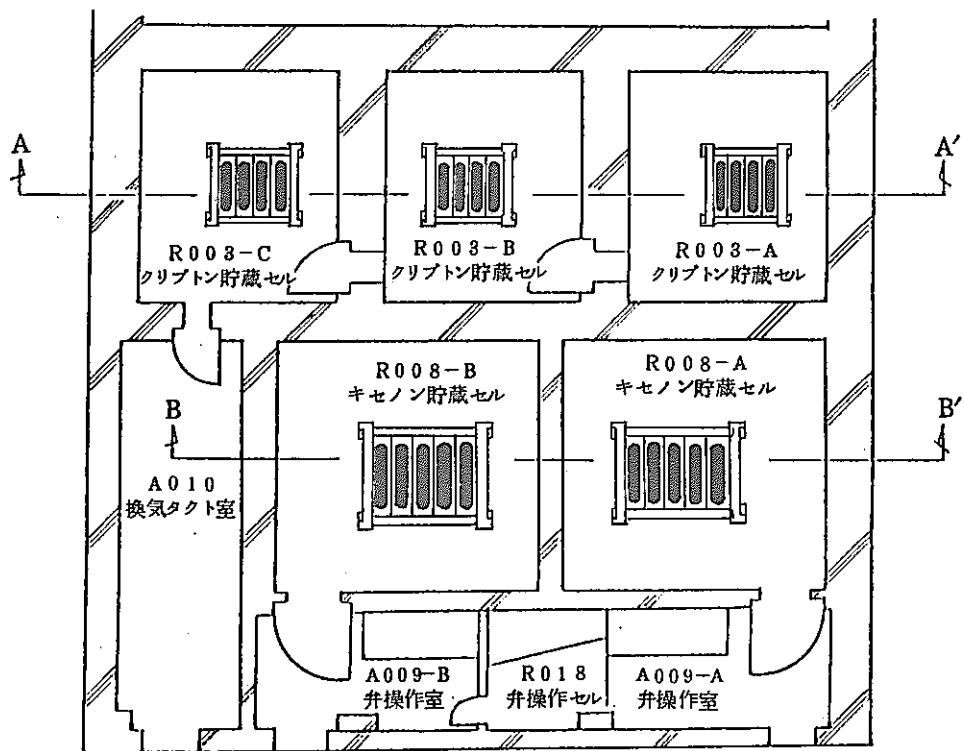
(単位：mm)

図-4.3 しゃへい扉 (その1)



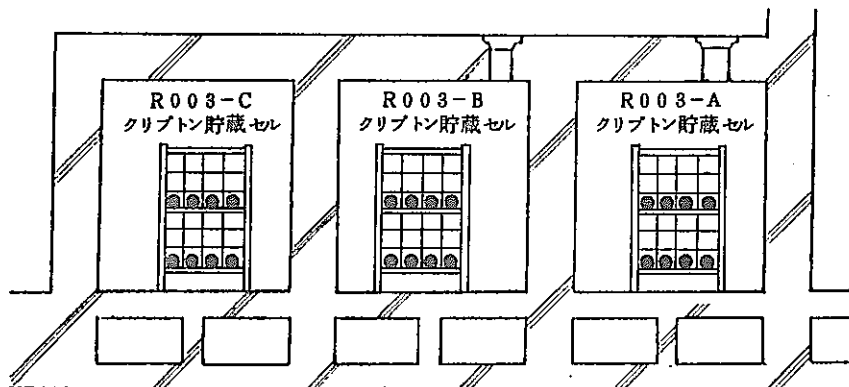
(単位: mm)

図-4.4 シャへい扉 (その2)

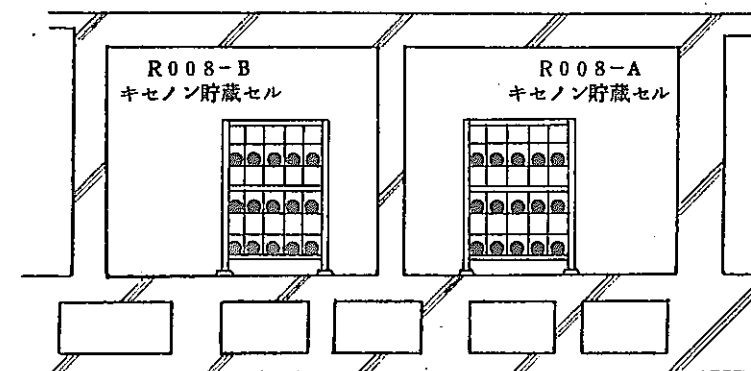


▨ : 黒塗りは、  
変更箇所を示す。

平面図



A-A' 立面図 クリプトン貯蔵シリンダ(8基×3セル)



B-B' 立面図 キセノン貯蔵シリンダ(15基×2セル)

図-4.5 貯蔵シリンダ配置図

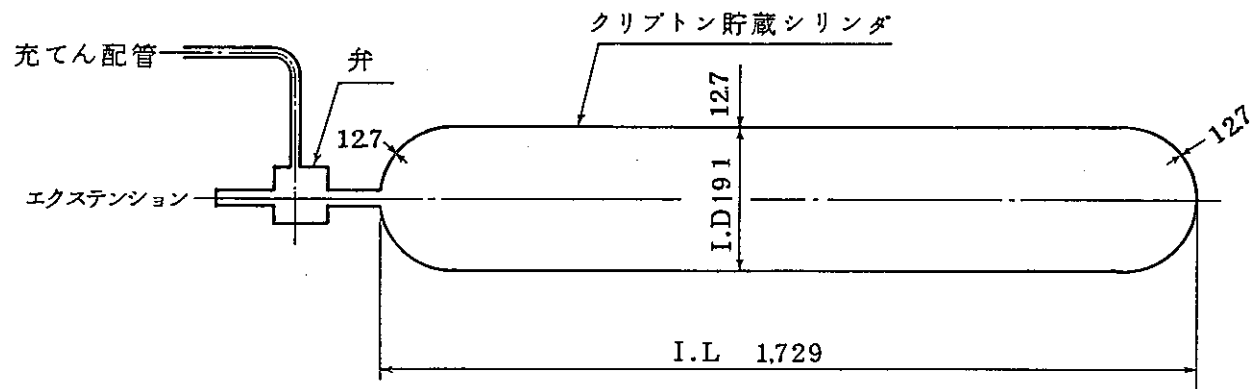


図-4.6 クリプトン貯蔵シリンダ

基 数	24	
容 量	全容量：48/基 リットル	
	使用時： — リットル	
設 置 場 所	R003-A	8基
	R003-B	8基
	R003-C	8基
設 計 条 件		
	本 体	備 考
流 体 名	クリプトン	
密 度 kg/m <sup>3</sup>	—	
最高使用圧力 kg/cm <sup>2</sup> G	60	
最高使用温度 °C	300	
試 験 圧 力 kg/cm <sup>2</sup> G	75	
腐 食 代 価	0	
漏 洩 試 験	ヘリウム	
放 射 性 物 質	種 類	F.P
	濃 度 $\mu\text{Ci/cm}^3$	0.001 以上
国 内 法 規	高圧ガス取締法 再処理第二種	
材 質	SUS 316 L	

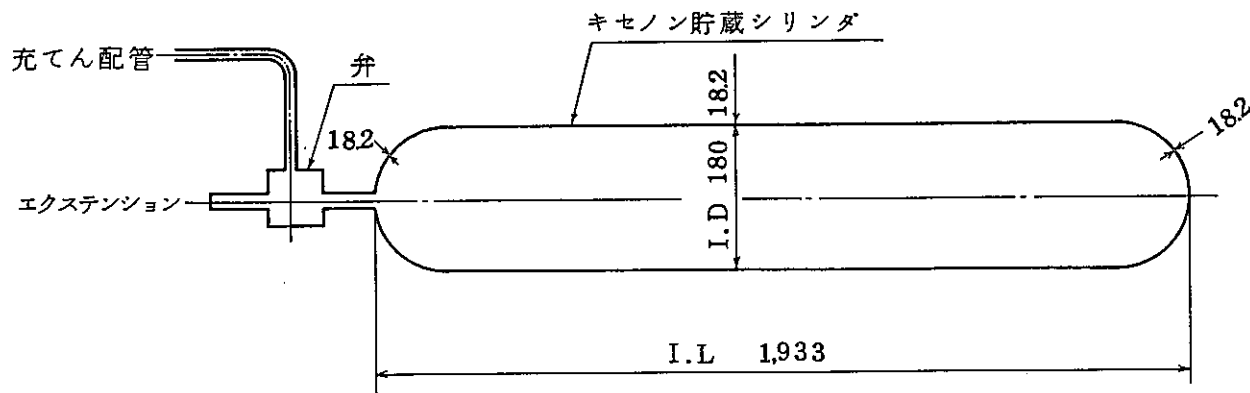


図-4.7 キセノン貯蔵シリンダ

基 数	30	
容 量	全容量：48/基 リットル	
	使用時： - リットル	
設 置 場 所	R008-A	15基
	R008-B	15基
設 計 条 件		
	本 体	備 考
流 体 名	キセノン	
密 度 kg/m <sup>3</sup>	—	
最高使用圧力 kg/cm <sup>2</sup> G	125	
最高使用温度 °C	80	
試験圧力 kg/cm <sup>2</sup> G	156.25	
腐 食 代 mm	0	
漏洩試験	ヘリウム	
放 射 性 物 質	種 類	F.P
	濃 度 μCi/cm <sup>3</sup>	0.001 以上
国 内 法 規	高圧ガス取締法 再処理第二種	
材 質	SUS304L	



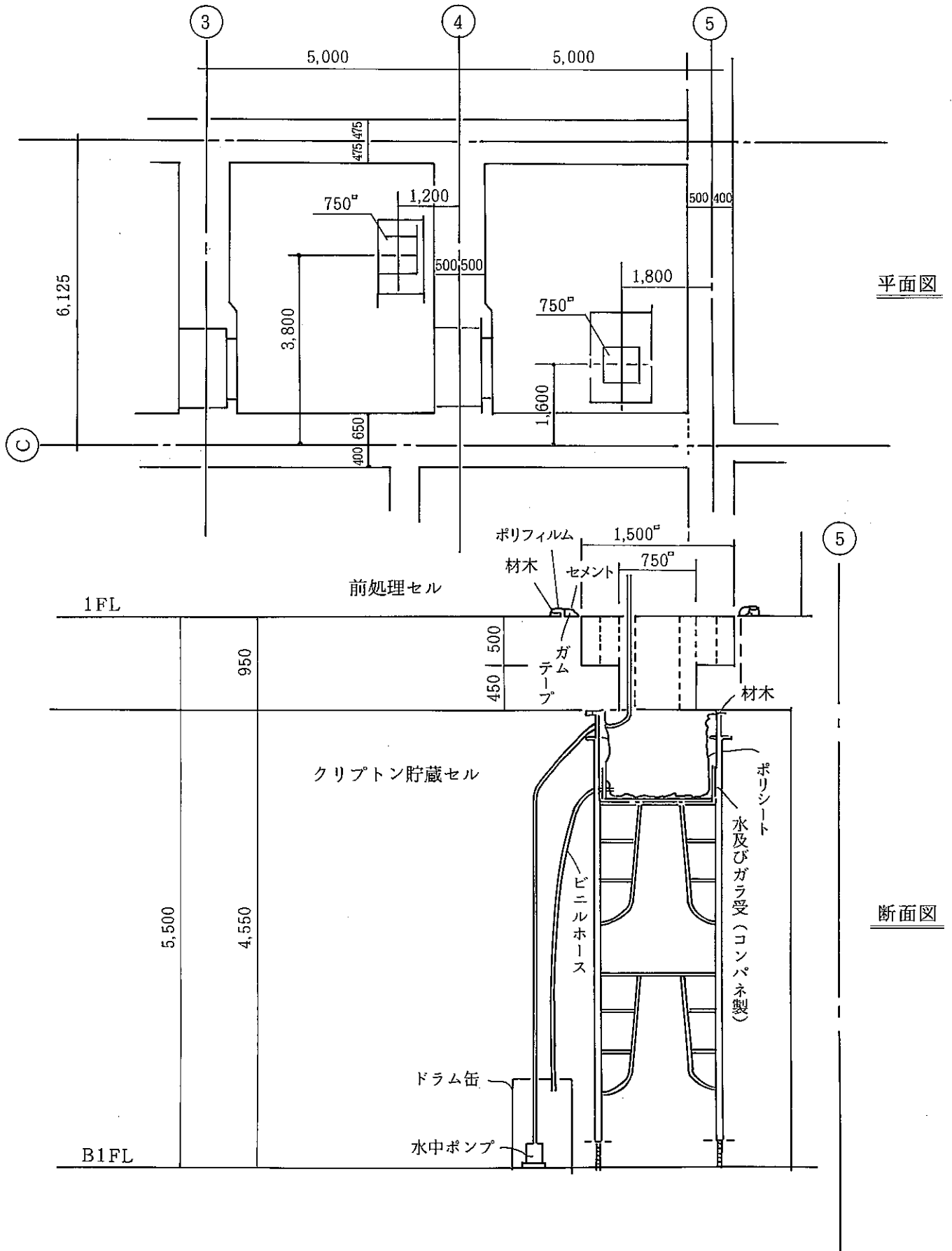


図-4.8 床はつり用仮設足場

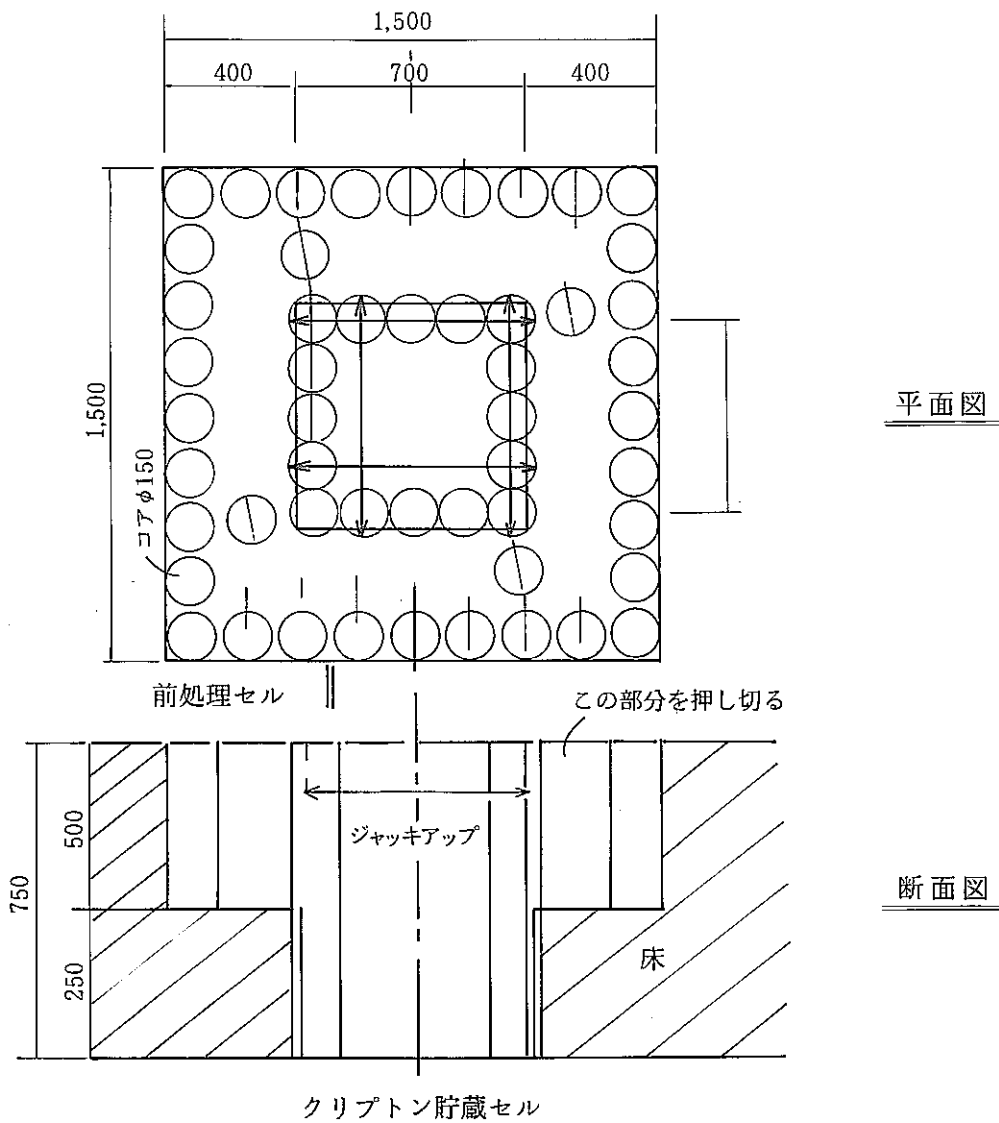


図-4.9 床はつり作業

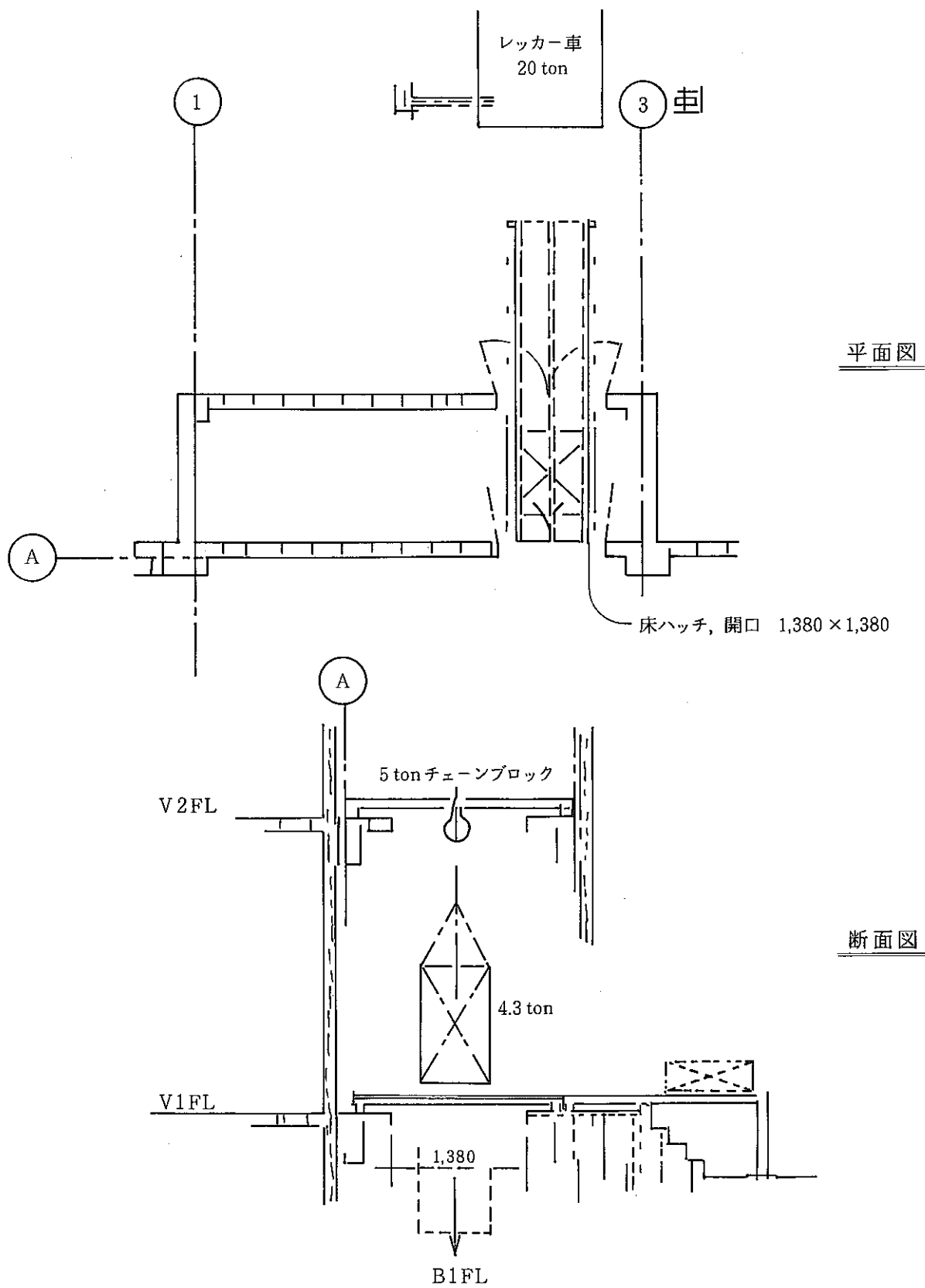


図-4.10 扉の搬入

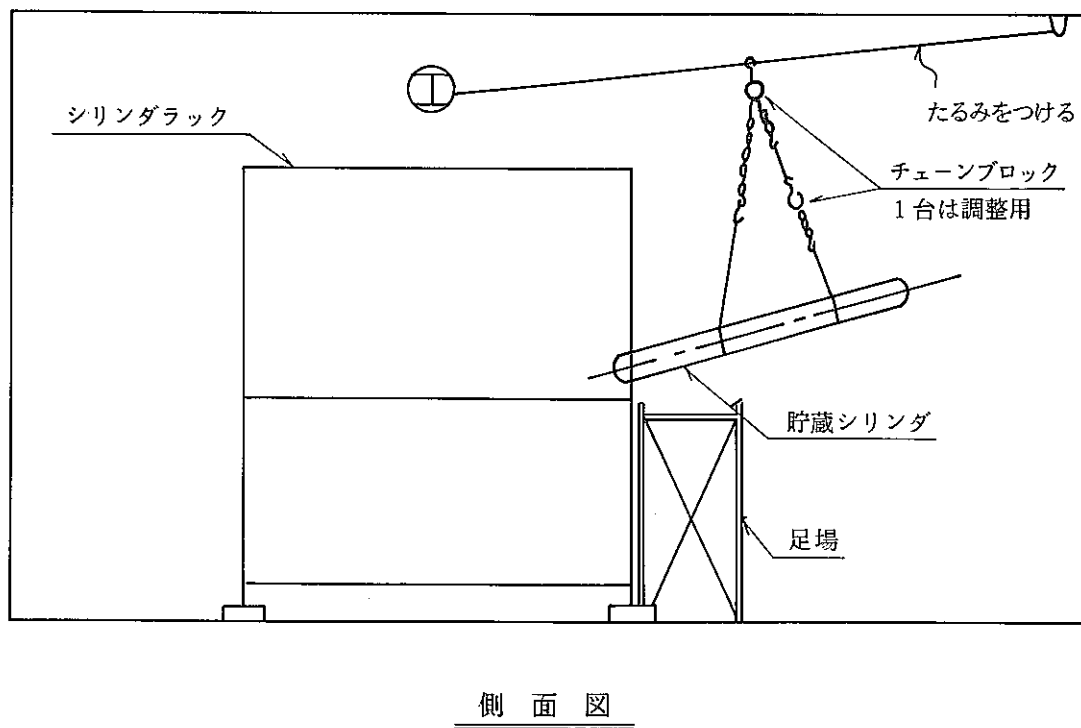
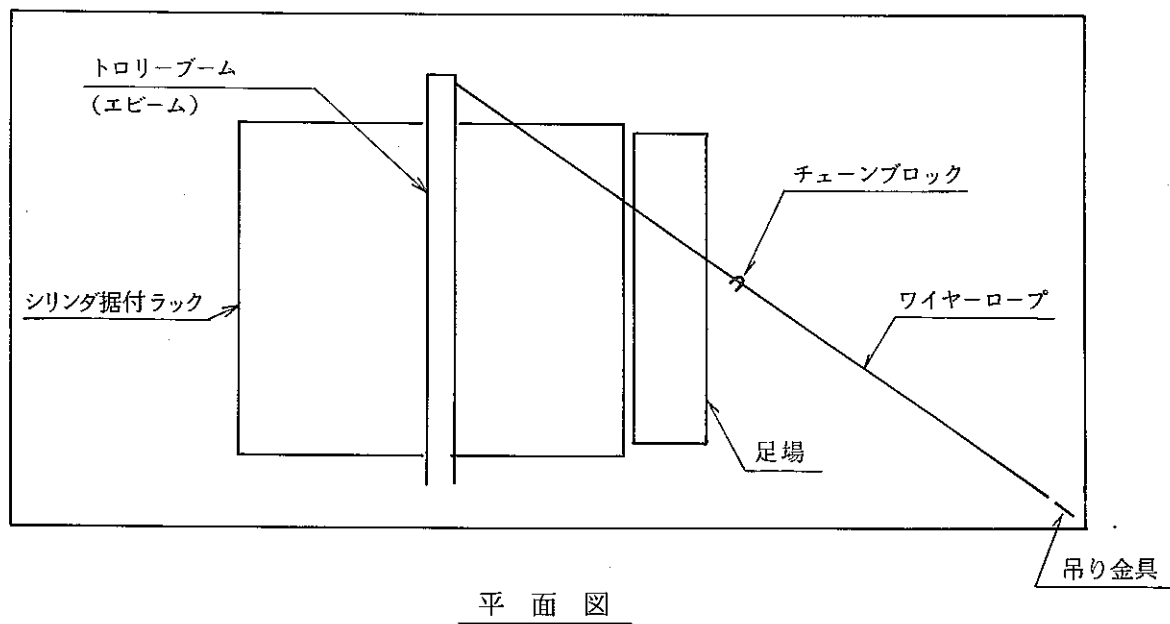


図-4.11 クリプトン貯蔵シリンダ据付要領図

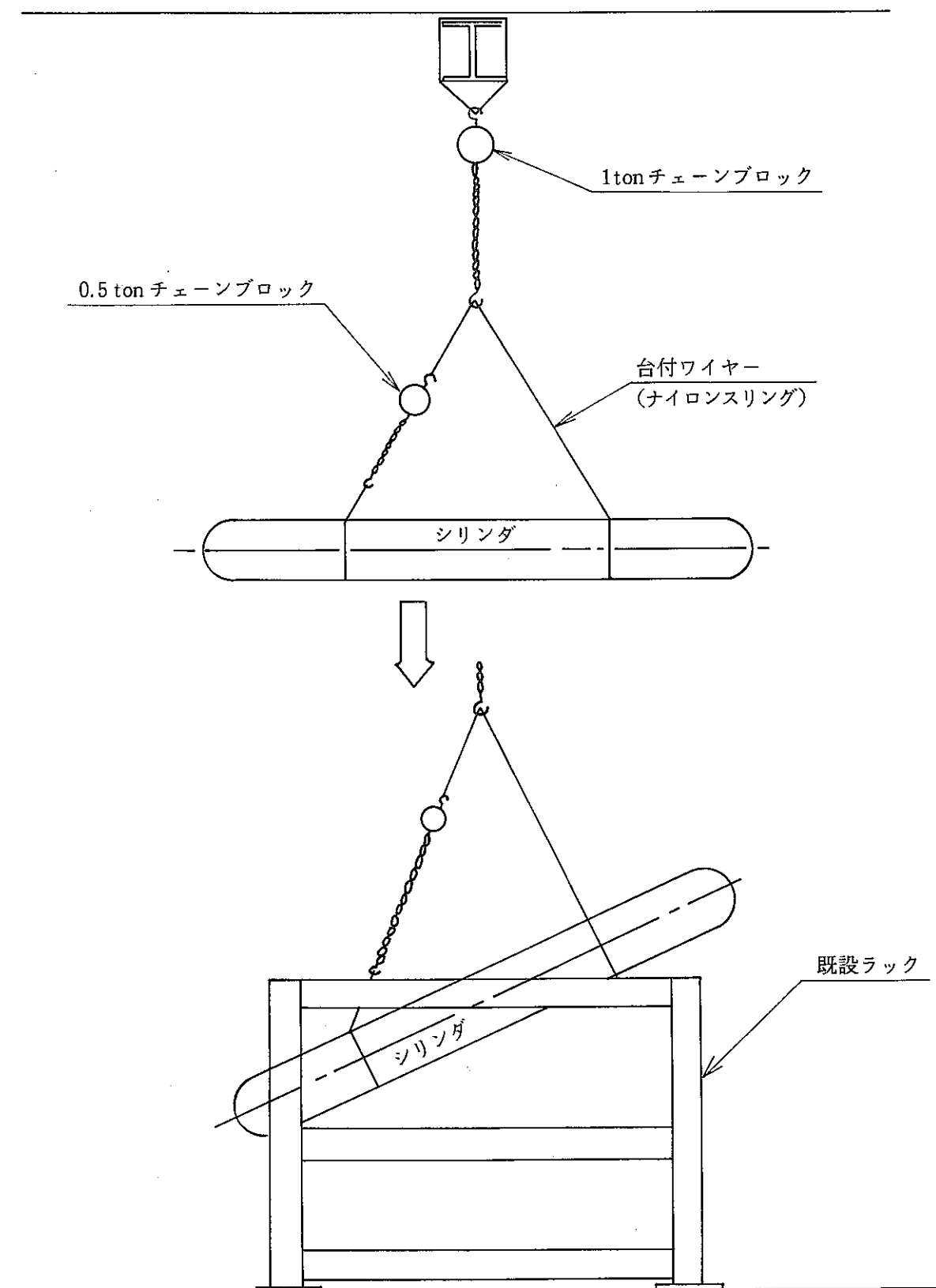


図-4.12 キセノン貯蔵シリンダ据付要領図

## 5. Kr 回収技術開発施設で回収される Xe の利用について

### 5.1 はじめに

Kr 回収技術開発施設は、再処理工場で使用済燃料のせん断時及び溶解時に使用済燃料から放出されるオフガス中に含まれる放射性の Kr を精製回収し、再処理工場から環境に放出される放射能物質量を出来るだけ低減すると共に回収された放射性 Kr を安定な形に固定化する技術を開発するための施設である。

この施設では放射性の Kr を精製回収する過程で非放射性の Xe が Kr の副産物として回収される。しかし、この Xe には微量の放射性 Kr が含まれているため、このままでは一般の使用に供することは出来ない。現在、わが国で使用されている Xe は大気中に約  $9 \times 10^{-6}$  ボリューム%含まれている天然の Xe を液体酸素製造の副産物として回収したものであり、Kr 回収技術開発施設のコード試験運転のために購入した時の単価は、1 リットル当り約 2,000 円であった。この単価は、Kr 技術開発施設での水素、窒素、Ar、He 及び Kr の 1 リットル購入単価がそれぞれ約 0.15 円（トレーラ購入）、0.05 円（ローリ購入）、0.75 円（ボンベ購入）、1.28 円（ボンベ購入）及び 340 円（ボンベ購入）であることを考慮すると非常に高価であるといえる。

Xe は、照明ランプ用や人工衛星の姿勢制御のための Xe ロケット用として用いられているが、高価であるため、その需要は限られている。しかし、大型の人工衛星の姿勢制御のためには Xe ロケットは必須のものであり、将来 Xe 価格が低減されるならば小型人工衛星の姿勢制御用のロケットにも、その需要が拡大していくことが予想されている。

### 5.2 Kr 回収技術開発施設で回収される Xe

原子炉で 2 万 8 千 MW 程度燃えた使用済燃料 1 トンには、約 700 リットルの Xe が含まれており Kr 回収技術開発施設では再処理工場から送られてくる Xe の 95% 以上が回収可能である。東海再処理工場では約 70 トンの使用済燃料が再処理されるので、これに伴って放出される Xe を全て回収出来れば、年間約 4 万 7 千リットルの Xe が回収可能である。

しかし、本施設で回収される Xe には、約 50 PPM の Kr が含まれておりこの内約 3~4 PPM は放射性の Kr-85 であるので、このままでは放射性同位元素として取り扱わなければならない、一般の使用に供することは出来ない。

「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」に定められている放射性同位元素の定義は、表-1 のように定められている。（付録-1 参照）

本施設で回収される Xe 1 g 中には、Kr-85 が 3~4 PPM ( $3 \sim 4 \times 10^{-6} g$ ) 含まれており、この放射能は、 $1.2 \sim 1.6 \times 10^{-3}$  Ci であり放射性同位元素の下限濃度の  $0.6 \sim 0.8 \times 10^6$  倍となっている。即ち本施設で回収される Xe 中の Kr 濃度を現在の  $10^6$  分の 1 以下になるよう除染すれば、放射性同位元素に係る規制の対象外での使用が可能となる。

（注）1 Ci の Kr-85 =  $3.02 \times 10^{-5}$  グラム原子

$$= 2.57 \times 10^{-3} \text{ グラム}$$

$$= 0.68 \text{ cm}^3 \text{ STP}$$

第-1 放射性同位元素の定義

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令 (昭和35年9月30日 政令第259号) 第1条 以下に示す告示の数量および濃度を越えるもの、放射線を 放出する同位元素の数量等を定める件 科学技術庁告示第22号(昭和35年9月30日) 第1条 (放射線を放出する同位元素の数量および濃度)	
数量	(1) 密封されたもの <span style="float: right;">100 <math>\mu</math>Ci</span> (2) 密封されていないもの <span style="float: right;">半減期 &gt; 30日 1 <math>\mu</math>Ci</span> (その種類が1種類のもの) <span style="float: right;">半減期 &lt; 30日 10 <math>\mu</math>Ci</span> (3) 密封されていないもの <span style="float: right;">a : それぞれの同位元素の</span> (その種類が2種類以上の <span style="float: right;">上欄の数量</span> もの) <span style="float: right;">b : それぞれ <math>\sum \frac{b}{a} = 1</math></span> <span style="float: right;">の同位元 となるよ</span> <span style="float: right;">素の数量 うな b</span>
濃度	0.002 $\mu$ Ci/g

5.3 Xeの市場価格

Xeの市場価格は、購入数量等により変動があると言われているが、Kr回収技術開発施設でワールド試験を実施する際に購入した実績は以下の通りである。

表-2 Xeの購入実績

購入年月日	S 58. 3. 7	S 58. 9. 8	S 59. 9. 28
購入量 (m <sup>3</sup> )	4	10	8
単価(円/ℓ)	1,850	1,850	1,850
購入先	巴 商 会	巴 商 会	巴 商 会

動燃以外での購入実績について調査中である。

#### 5.4 Xeの一般的な製造法

現在、市場で取引されているXeは、空気分離装置を用いて液体窒素や液体酸素を製造する際の副産物として製造されているが、Xeは大気中の含有量が極微量（ $0.089 \times 10^{-4}$  VOL%）であるため少なくとも空気量数十万立米/時クラスの設備で製造しないと、工業的に成立しないと言われている。

(注) 空気の組成と沸点

表-3 空気の組成と沸点

ガス名	窒素	酸素	アルゴン	ネオン	ヘリウム	クリプトン	キセノン
化学記号	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	Ne	He	Kr	Xe
vol %	78.08	20.95	0.934	$18.18 \times 10^{-4}$	$5.239 \times 10^{-4}$	$1.139 \times 10^{-4}$	$0.086 \times 10^{-4}$
標準沸点℃	-195.8	-183.0	-185.7	-246.1	-268.9	-153.2	-108.0

このように、Xeは液体窒素や液体酸素製造の副産物として、大規模な空気分離設備の運転を通じて製造されているので、液体窒素や液体酸素の需給動向により、Xeの価格も変化すると思われるが、酸素を大量に使用する鉄鋼生産の伸び悩みにより、Xeの国内生産も伸び悩みの傾向にあるものと考えられる。

一方、Xeの需要は技術の高度化、生活の高度化に伴って増大することが予想されるためXeの製造のために大規模な空気分離設備を運転する場合も考えられる。このような場合には空気中のXeの組成比が極めて小さいことから、Xeの価格は、上昇傾向になることも考えられる。

Xeの需給については、付録-2にこれまでの調査結果を示す。

#### 5.5 Kr回収技術開発施設でXeを精製する場合の製品Xeの原価の概算

Kr回収技術開発施設で、現在回収出来る微量の放射能を含むXeを原料として、これを更に精製して一般の使用に供することが出来る製品Xeを製造する場合の原価を一定の条件に基づいて概算した。設備費や運転員の人数等は概念が比較的明確になっている吸着分離法を念頭において設定した。

##### (1) 概算のための条件

- Kr回収技術開発施設で現在回収出来る微量の放射能を含むXe（原料）は無料とする。
- 精製するための追加設備は、Kr回収技術開発施設内の予備室に設置することとし、建屋の建設費は不用とする。
- 設備費は吸着分離法による1,000ℓ/日処理のコールド試験設備が2~3千万で製作可能とのことなので既設設備との続き込みやホット設備になることを考慮して、5千万、1億及び1億5



千万円の3つのケースを概算する。

- (d) 設備の消却は5年とする。
- (e) 設備の処理能力は大型再処理工場への適用も考慮して1,000ℓ/日、年間の操業日数200日/年、回収率は90%及び50%の2つのケースを概算する。
- (f) 運転員については現状の運転員でXeの精製設備も運転する場合と運転員を各直1名(4名/年)増員する2つのケースを概算する。
- (g) 電力費等のユーティリティ費や消耗品費は吸着分離法では、ほぼ無視できるとのことであるが吸着材やポンプ等の交換費として500万円/年とする。

(2) 原価の概算結果

(1)の条件に基づいて各ケースの製品Xeの原価を概算した。結果を表-4に示す。

原価の概算結果の最高値はケース9の750円であるが、それでもKr回収技術開発施設での過去の購入価格の1/2.5であり、最安値は、ケース4の87円、前記購入価格の1/20以下である。

仮にケース5が達成出来たとし、1,000円で既存のガス製造メーカーに販売出来るとすれば、

$1,000 (\ell/\text{日}) \times 200 (\text{日}) \times 0.90 \times [1,000 (\text{円}) - 139 (\text{円})] = 154,980,000 \text{円}$ の利益が期待出来る。

表-4 Xeの原価概算結果

ケース	設備費(千円)	設備消却費(千円/年)	操業費(千円/年)	経費合計(千円/年)	Xe 回収率(%)	精製Xe量(ℓ/年)	原価(円/ℓ)
	①	② = ① ÷ ⑤	③	④ = ② + ③		⑤	⑥ = ④ ÷ ⑤
1	50,000	10,000	45,000 〔10,000千円/年人〕 × 4人 + 消耗品費〕	55,000	90	180,000 〔1,000 ℓ/日〕 × 200日/年 × 0.90	305
2	100,000	20,000		65,000			361
3	150,000	30,000		75,000			417
4	50,000	10,000	5,000 (消耗品費のみ)	15,000			83
5	100,000	20,000		25,000			139
6	150,000	30,000		35,000			194
7	50,000	10,000	45,000 〔10,000千円/年人〕 × 4人 + 消耗品費〕	55,000	50	100,000 〔1,000 ℓ/日〕 × 200日/年 × 0.50	550
8	100,000	20,000		65,000			650
9	150,000	30,000		75,000			750
10	50,000	10,000	5,000 (消耗品費のみ)	15,000			150
11	100,000	20,000		25,000			250
12	150,000	30,000		35,000			350

## 5.6 Kr回収技術開発施設でXeを精製する場合の技術的代替案

Kr回収技術開発施設で回収される微量の放射性Krを含むXeを、一般の使用に供することが出来るまでにKrを分離除去するための技術的代替案として、

- (1) 吸着分離法
- (2) 遠心分離法
- (3) 液化蒸留法
- (4) 既設設備を利用する希釈液化蒸留法

がある。

以下に、各方法の概要と気体放出低減化技術開発室での検討状況を述べる。

### (1) 吸着分離法

三菱重工㈱が提案している方法で、Xe-Kr系において、Xeの大きな吸着量とXeの高い選択吸着性を示す吸着剤と逆にKrを選択的に吸着する吸着剤とを用いてXeの精製を行う方法であり、分離プロセスには、圧カスイング吸着法（PSA法：Pressure Swing Adsorption Method）が採用される。

PSA法は吸着-脱着のサイクルを系の圧力を変化させて行う方法で、その原理を図-1に示す。吸着、脱着の温度は25℃前後である。加圧状態で吸着させ減圧状態で脱着再生させる。

圧カスイング吸着法の原理図を図-2に示す。

これらの原理を用いた、Kr回収技術開発施設で回収される微量の放射性Krを含むXeを精製する小型テストプラントの鳥かん図とプロセスフローシートを、それぞれ図-3と図-4に示す。

図-3に示すように、設備は縦4m、横2m、高さ2.5mであり、その処理能力は約1m<sup>3</sup>/24時間である。設備は吸着塔、真空ポンプ、ブローア、製品タンク等から構成され単純である。

また、図-4に示すように、このテストプラントにはXe;99%、Kr;1%、Kr-85;10<sup>3</sup>μCi/cm<sup>3</sup>の原料ガスが供給され、Xe>99.99%、Kr<1ppt、Kr-85;3×10<sup>-7</sup>μCi/cm<sup>3</sup>の製品ガスが製造される。

このテストプラントでは、吸着剤1段の除染係数は10<sup>5</sup>を期待しており、吸着剤を2段設けることにより10<sup>10</sup>の除染効果を期待している。

このプロセスの成否は吸着剤が所期の性能を発揮するかどうかにかかっておりXe中のKrの濃度が高いXe-Kr混合ガスに対する除染実績が、Kr濃度の低い混合ガスに対しても期待出来るのかどうかを確認する必要がある。

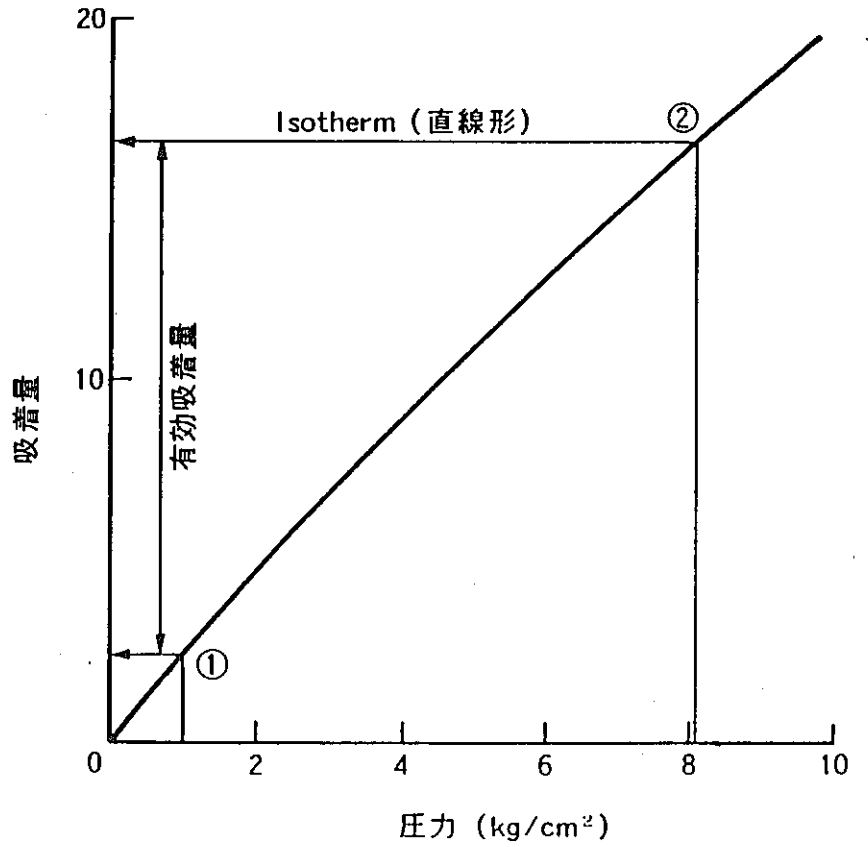
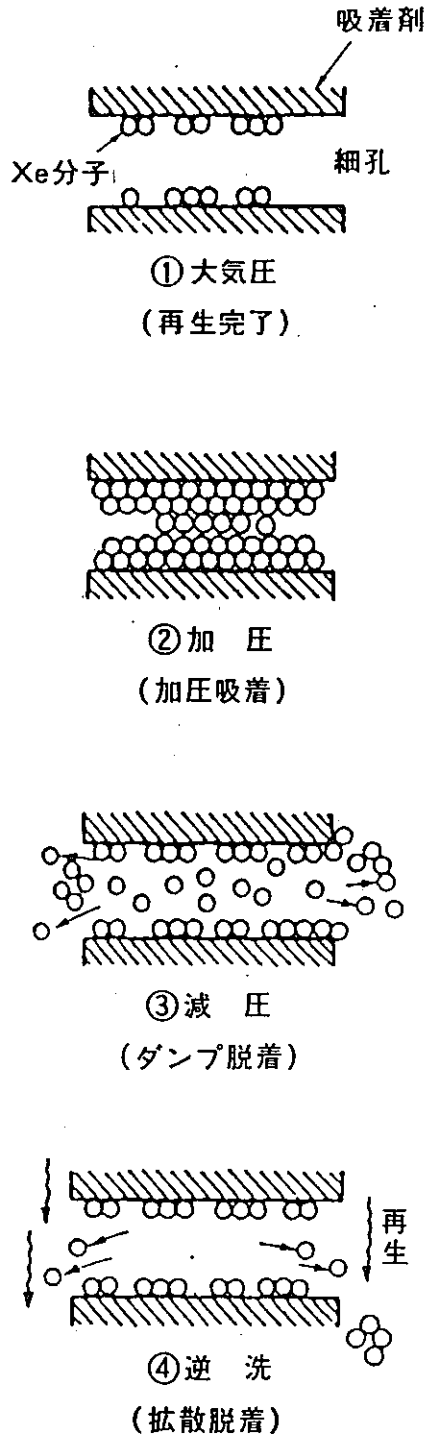


図-1 PSAの原理

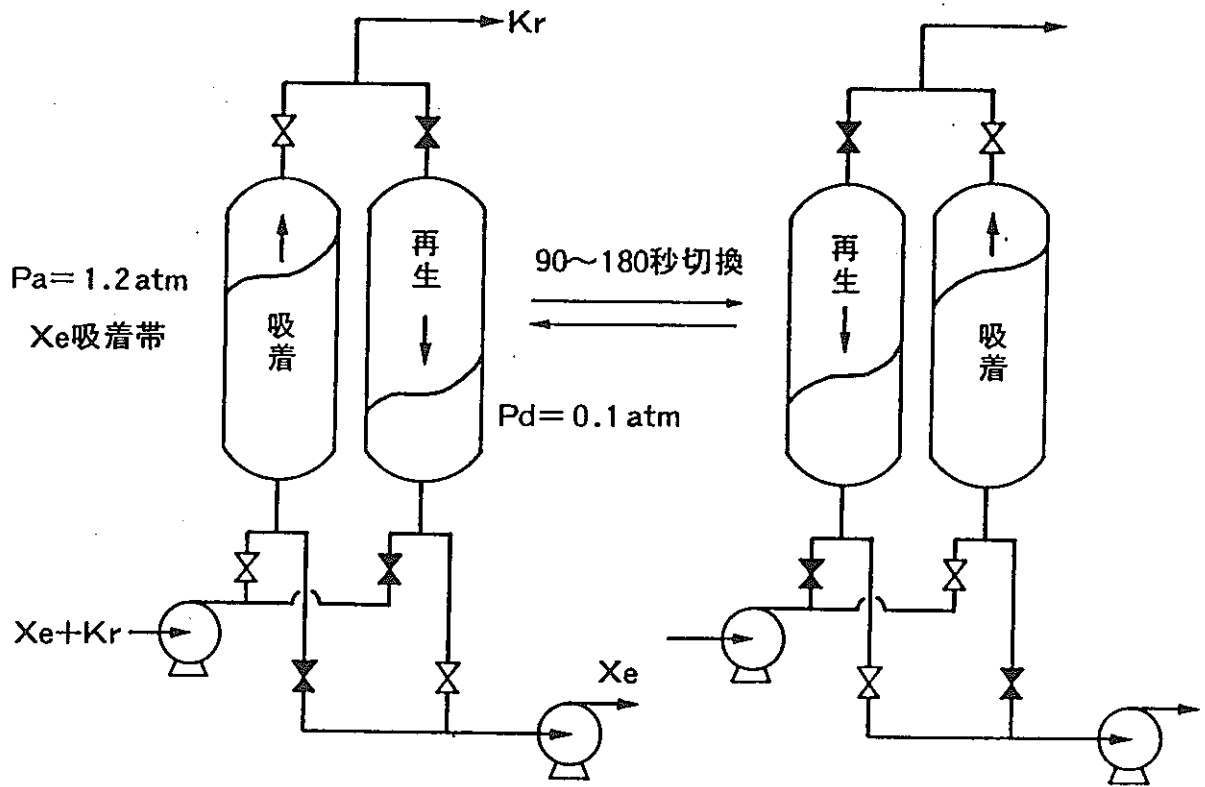
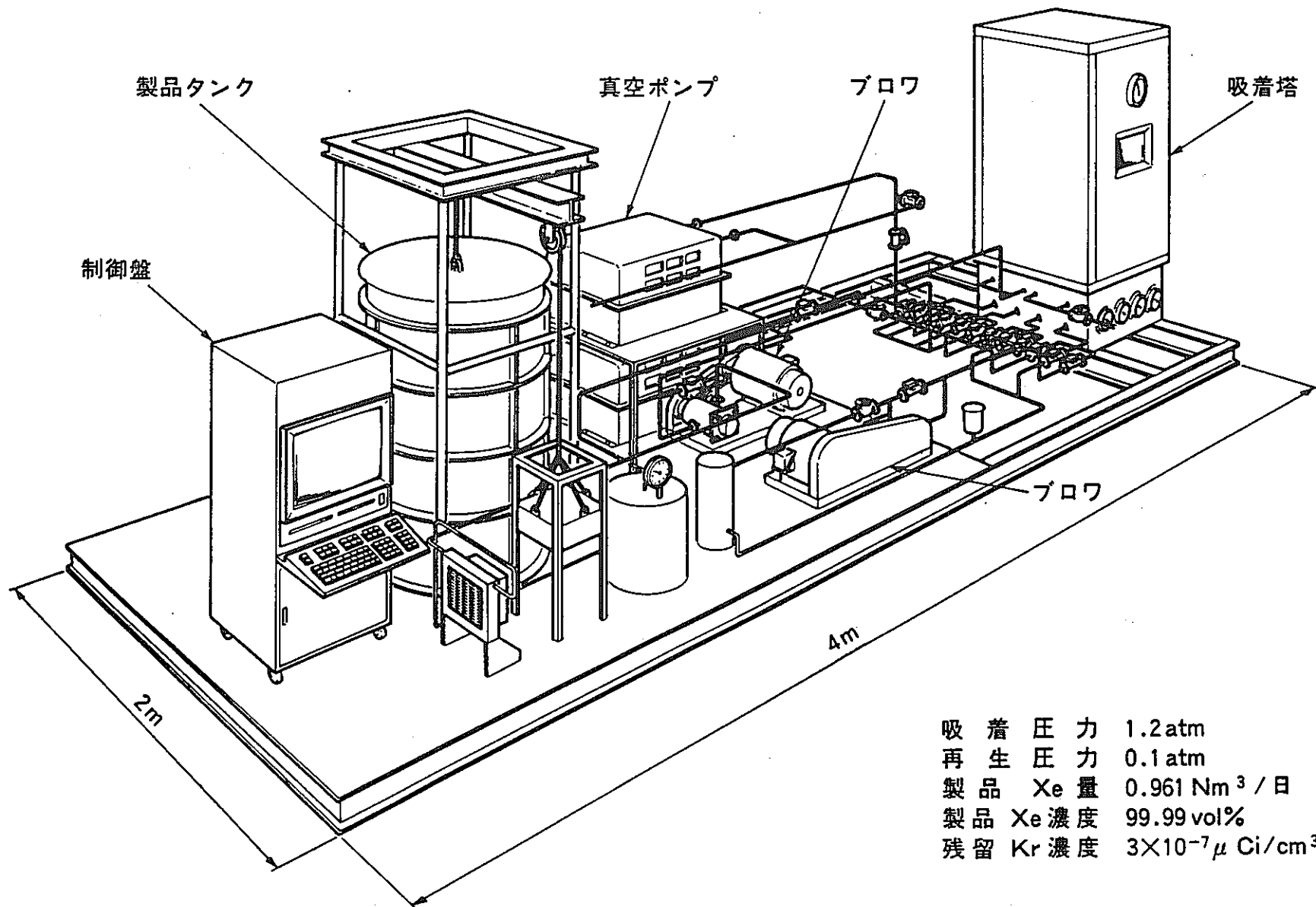


図-2 圧カスイング吸着法の原理図



吸着圧力	1.2 atm
再生圧力	0.1 atm
製品 Xe 量	0.961 Nm <sup>3</sup> / 日
製品 Xe 濃度	99.99 vol%
残留 Kr 濃度	3×10 <sup>-7</sup> μ Ci/cm <sup>3</sup>

図-3 小型テストプラント鳥瞰図

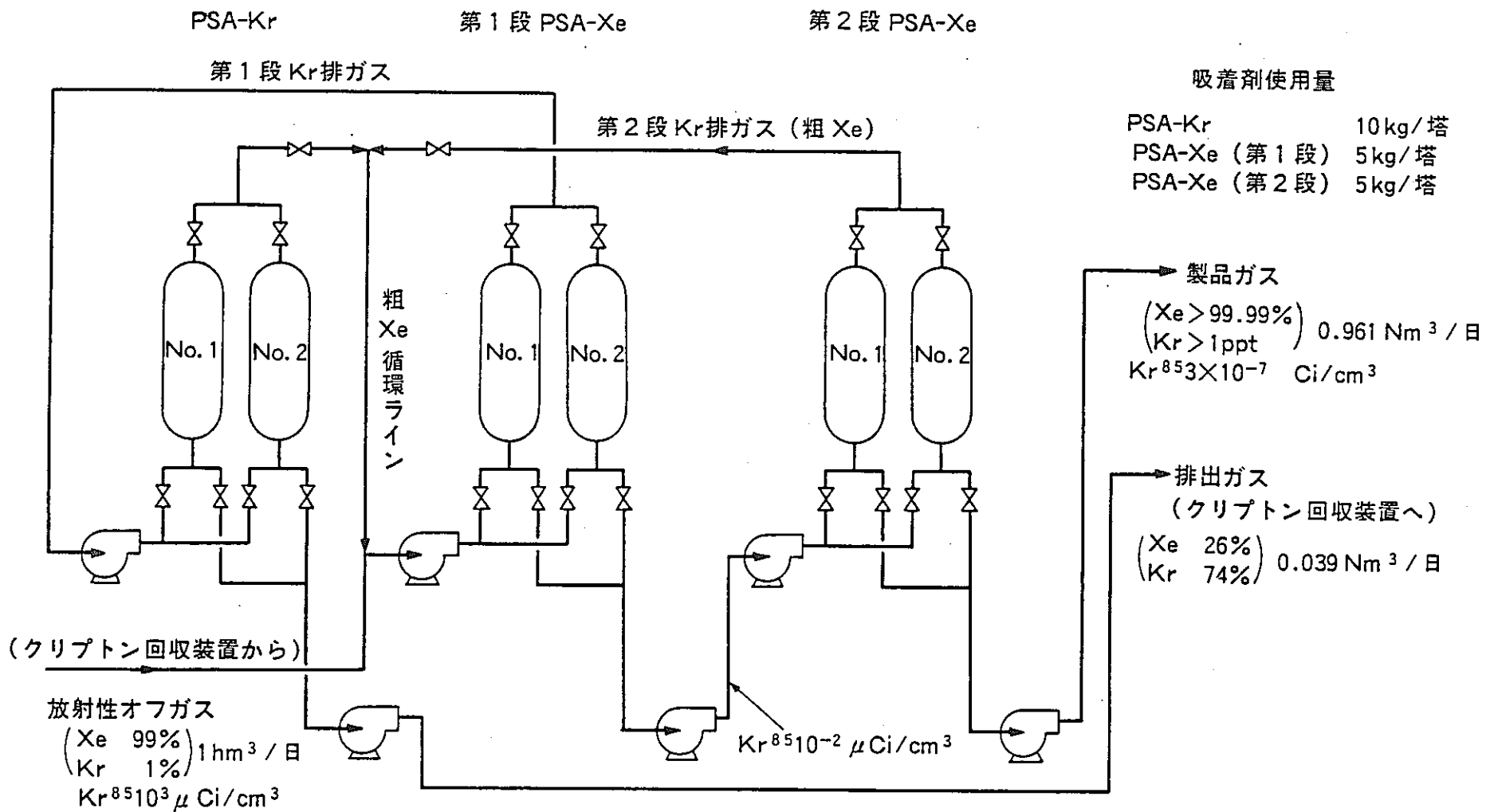


図-4 MHI PSA-Xe プロセスフローシート

## (2) 遠心分離法

遠心分離法によるXeの分離精留については、昭和54年度から、現在の再処理工場と濃縮部との間で検討が開始され、両者で情報交換を進めると共に、濃縮部の試験装置を用いた試験が実施された。この試験の結果は昭和56年11月に濃縮部から提出された「Kr-Xe分離に関する検討」(EZN878-81-98 手書き)にまとめられている。

以下が、その概要であるが、設備費や設備の設置スペース等の検討はなされていない。

- (a) 試験装置の概略図：図-5に示す
- (b) 試験のパラメータ及び水準：原料ガスのフィード流量3水準、抜き出し圧力3水準
- (c) 実験回数：10回、上記(b)の9実験と9回の実験中分離係数が最大であった実験の確認実験
- (d) Xe中のKr濃度：原料；1,345 PPM，製品；1-4 PPM，廃棄ガス；約2,600 PPM
- (e) 分離効率（注参照）：最大；2,600，最小；600
- (f) 製品収率：最大；43%，最小；30%
- (g) 分離係数2,000というようなオーダーの遠心分離機を使う必要はなく、分離係数100で十分
- (h) 分離係数100の場合のカスケード構成を図-6，図-7に示す。
- (i) カスケード構成：
  - ・カスケード段数は6-7段
  - ・カット  $0 = (\beta - 1) / (\alpha \beta - 1)$  を理想カットにすれば収率90%以上となる。
  - ・遠心機台数は、単機のフィード流量  $f$ ，カスケードフィード流量を  $F$  とすると、 $7 \times F / f$  となる。
- (m) 遠心機：
  - ・周速 200 m/sec
  - ・単機フィード流量 1 g Xe/min
  - ・分離係数 100


以上が濃縮部から提出された報告書の概要であるが、以下の疑問点がある。これらの疑問点については、濃縮部の考え方を質していく必要がある。

- (イ) 実験のパラメータを直交させて、分散分析を可能としなかったのは、なぜか。
- (ロ) 10回の実験の製品収率が、全て約40%であり、Xeの精製を目的とした試験としては、方向が逆でなかったのか。
- (ハ) Xeの精製のためには、分離係数2,000の遠心分離機は不用であり、分離係数100が適当としているが、前者であれば2-3段で精製することが可能と思われるのに、なぜ後者を適当としたのか。

---

(注) 原料XeのKr濃度： $N(Kr)$ ，製品XeのKr濃度： $N(Kr+)$ ，廃棄XeのKr濃度： $N(Kr-)$ とし  
 $\alpha = N(Kr+) / N(Kr)$   
 $\beta = N(Kr) / N(Kr-)$  とすれば  
 分離係数は  $\alpha\beta$  であり  
 $\alpha\beta = N(Kr+) / N(Kr-)$



備考  : サンプルング時閉  
 (P) : 圧力計

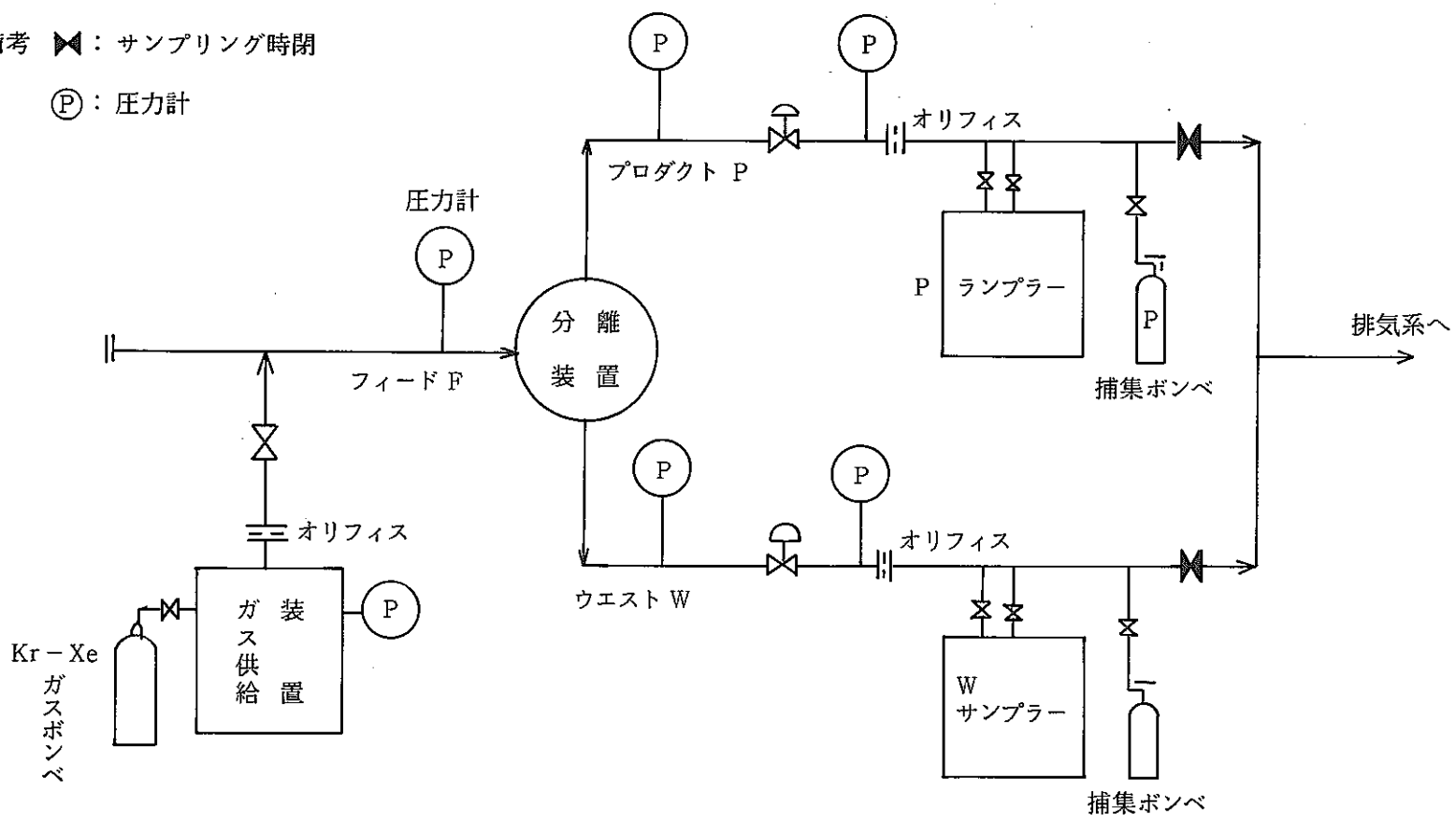
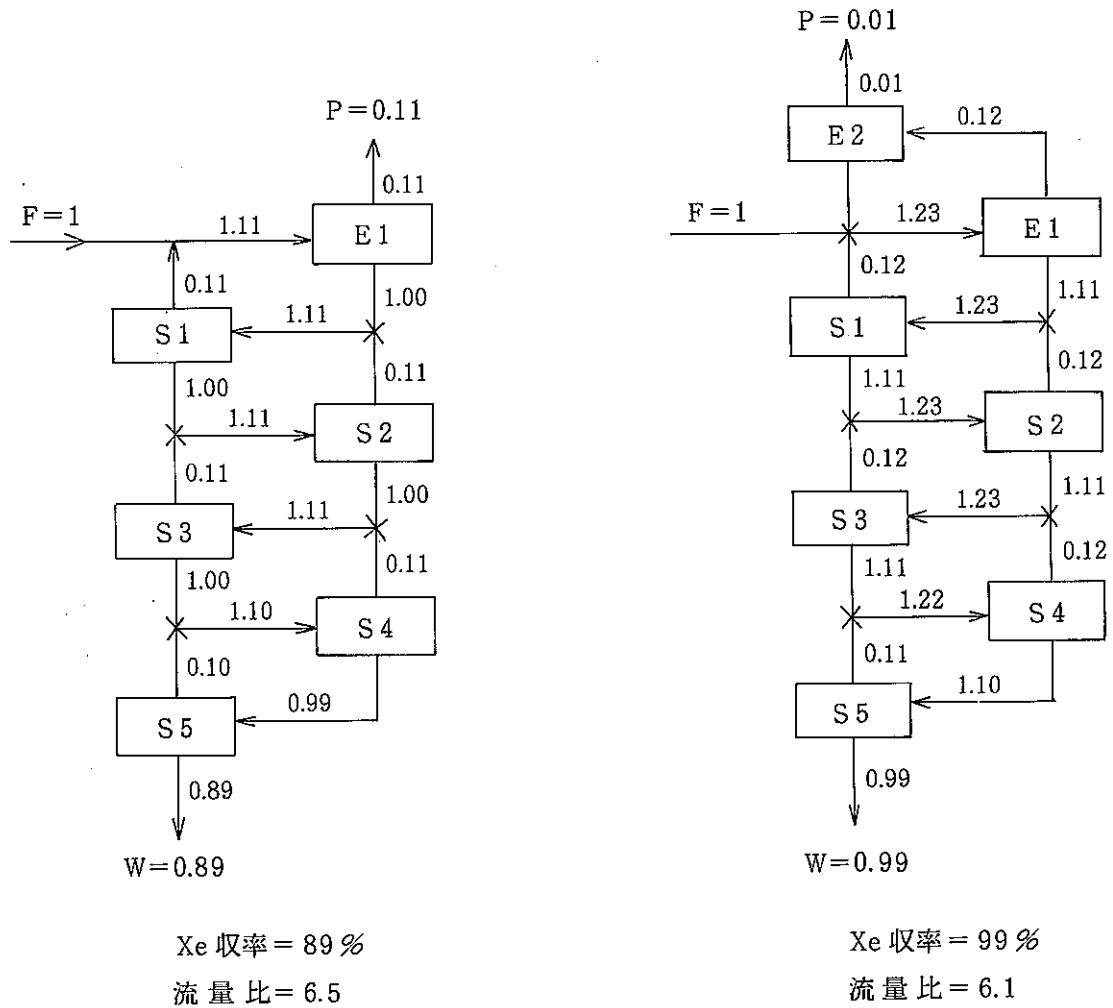


図-5 試験装置の概略フローシート

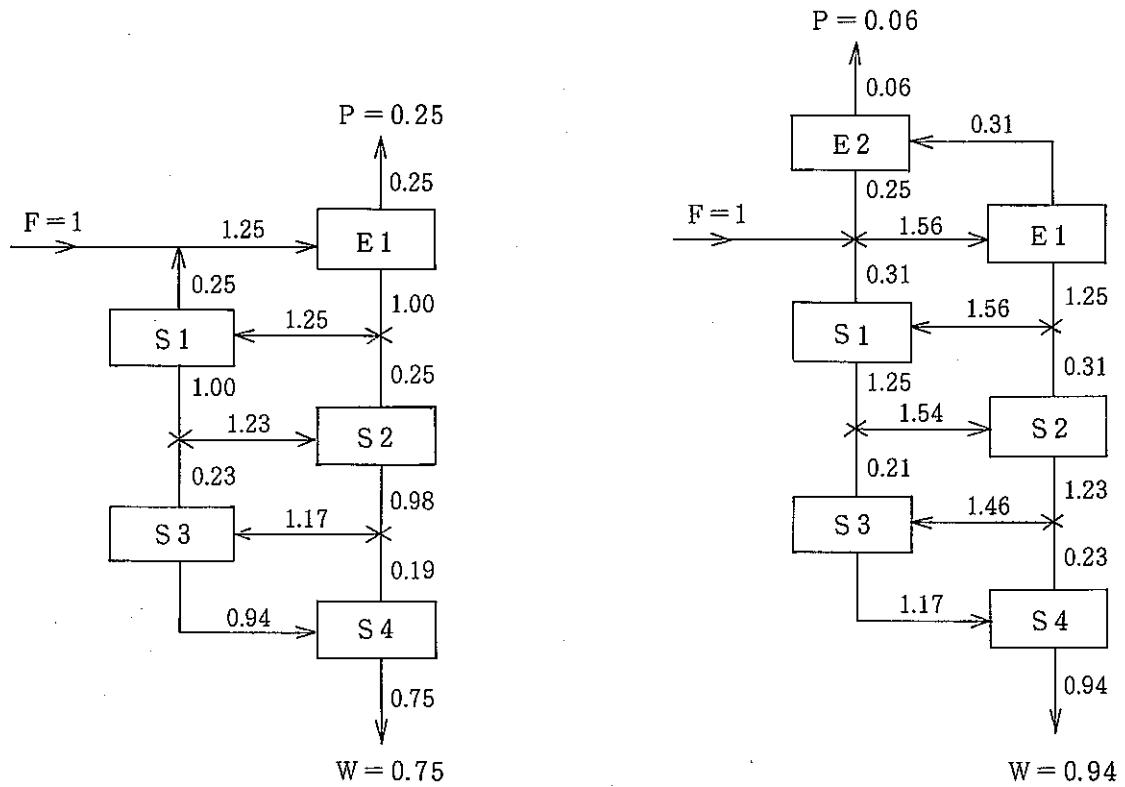


(a) Xe 回収段なしの場合

(b) Xe 回収段 1 段の場合

注) 条件  $\alpha\beta = 100$   
 $\alpha = 10$   
 $\beta = 10$   
 $\theta \doteq 0.1$  (ideal  $\theta$ )

図-6 カスケードの構造例 ( $\theta \doteq 0.1$ )



Xe 収率 = 75 %  
 流量比 = 5.8

Xe 収率 = 94 %  
 流量比 = 7.6

(a) Xe 回収段なしの場合

(b) Xe 回収段 1 段の場合

注) 条件  $\alpha\beta = 100$   
 $\alpha = 5$   
 $\beta = 20$   
 $\theta \doteq 0.2$

図-7 カスケードの構造例 ( $\theta \doteq 0.2$ )

(3) 液化蒸留法

空気分離によって回収されるXe-Kr混合ガスを原料として、これを分離精製して純Kr、純Xeを製造する方法で現在商業用に用いられている方法である。

現行の蒸留法は、充填塔などの一般的な精留塔によって行われる。精留塔内では頂部からKr、底部からXeが採取されるが、ともに酸素や窒素に比べて沸点が高いため通常の空気分離塔にない難しさがある。例えば頂部コンデンサで普通使われている液体酸素で冷却すると、Krの固化温度より低くなり固化閉塞し、運転困難になる。また、底部のリボイルも単独で行うことになり運転操作が難しい。

そこで、混合ガスを循環させ精留上必要な還流をうるようにした方法が考えられている。(日本酸素特許第1090695)

図-8に、その系統図を示す。

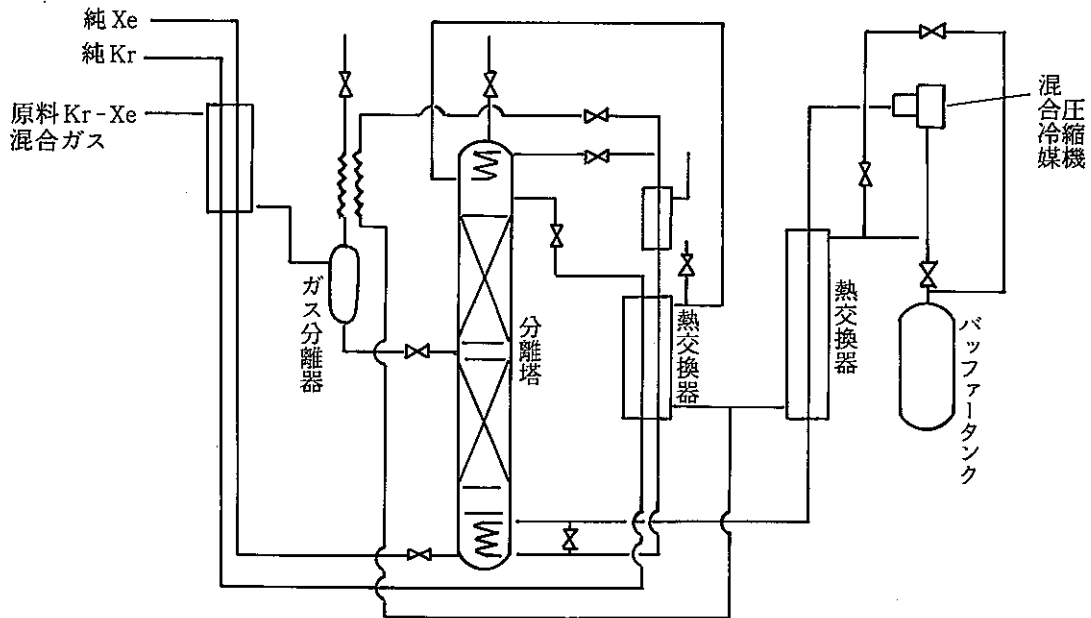


図-5.8 混合冷媒によるKr, Xeの精留による分離法

原料のKr + Xe混合ガスは熱交換器で冷却、液化されKr, Xeの分離精留塔に供給される。一方、精留塔の還流を作るためにKrとXeの沸点、蒸気圧が類似した2種類以上の混合ガス(例えばメタンとエタン)を常温で圧縮し、熱交換器で予冷した後、精留塔リボイルに導き、そこで塔底の液体Xeを気化し、自身は液化して次に塔頂のコンデンサに行きKrを凝縮して還流液を作り、自身は気化してから熱交換器を通り常温となり、循環される。この方式によれば、前述の固化閉塞の危険がなく、しかも安定した精留ができ、Kr, Xeを高純度に採取できる。

このような方法で製造されたXeの成分分析結果を表-5に示す。これらの結果は、Kr回収技術開発室で日本酸素㈱から2度に分けて購入したXeのメーカーの分析値をまとめたものである。

表-5 Xeの成分分析結果

充 填 年 月 日	容 量 (l)	Xe (%)	Kr (PPM)	O <sub>2</sub> (PPM)	N <sub>2</sub> (PPM)	H <sub>2</sub> O (PPM)	CO <sub>2</sub> (PPM)
59. 1. 3	3017	> 99.995	7	1.1	4	1.6	0.09
	2944		8	1.1	4	1.6	0.18
	2052		12	1.5	4	1.6	0.16
	1992		3	1.4	4	1.6	0.05
60. 1. 17	2003	> 99.995	4.3	0.7	2.6	1.7	0.03
	2007		4.1	0.8	2.6	1.6	0.03
	1989		4.9	0.5	2.4	1.8	0.03
	2005		4.6	0.6	2.6	1.6	0.03

表-5に見られるように、市販のXeには、10PPM近いKrが含まれている。

この原因は蒸留法の技術的な限界があるためではなく、市場で要求されるXe中のKr濃度が厳しくないことにあるというのが日本酸素㈱の話である。

Kr回収技術開発施設で回収される微量の放射能を含むXeを原料として、一般の使用が可能なレベルまで精製する技術的可能について、日本酸素㈱は以下の見解を述べている。

「最近、電子工業界の液体窒素の純度に対する要求が厳しくなり、残留酸素が、10PPB( $10^{-8}$ )程度の液体窒素を製造している。この場合の除染係数は、 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ である。N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>系の比揮発度は2~3であるが、Xe-Kr系の比揮発度は10であり、原料Xe中のKrは既に100PPM程度になっているので、これを0.1PPBにすると、即ち $10^6$ の除染係数を得ることは十分可能である。

但し、目標の不純物濃度がN<sub>2</sub>の場合(10PPB)の1/100(0.1PPB)なので、このような低濃度まで、通常の理論が適用できるか否かを実証する必要がある。」

日本酸素㈱で検討したXe液化蒸留設備の概略図を図-6にしめす。精留塔の理論段数は11段、高さは3~4mであるが、設備の設置スペースや設備製作費については未検討である。

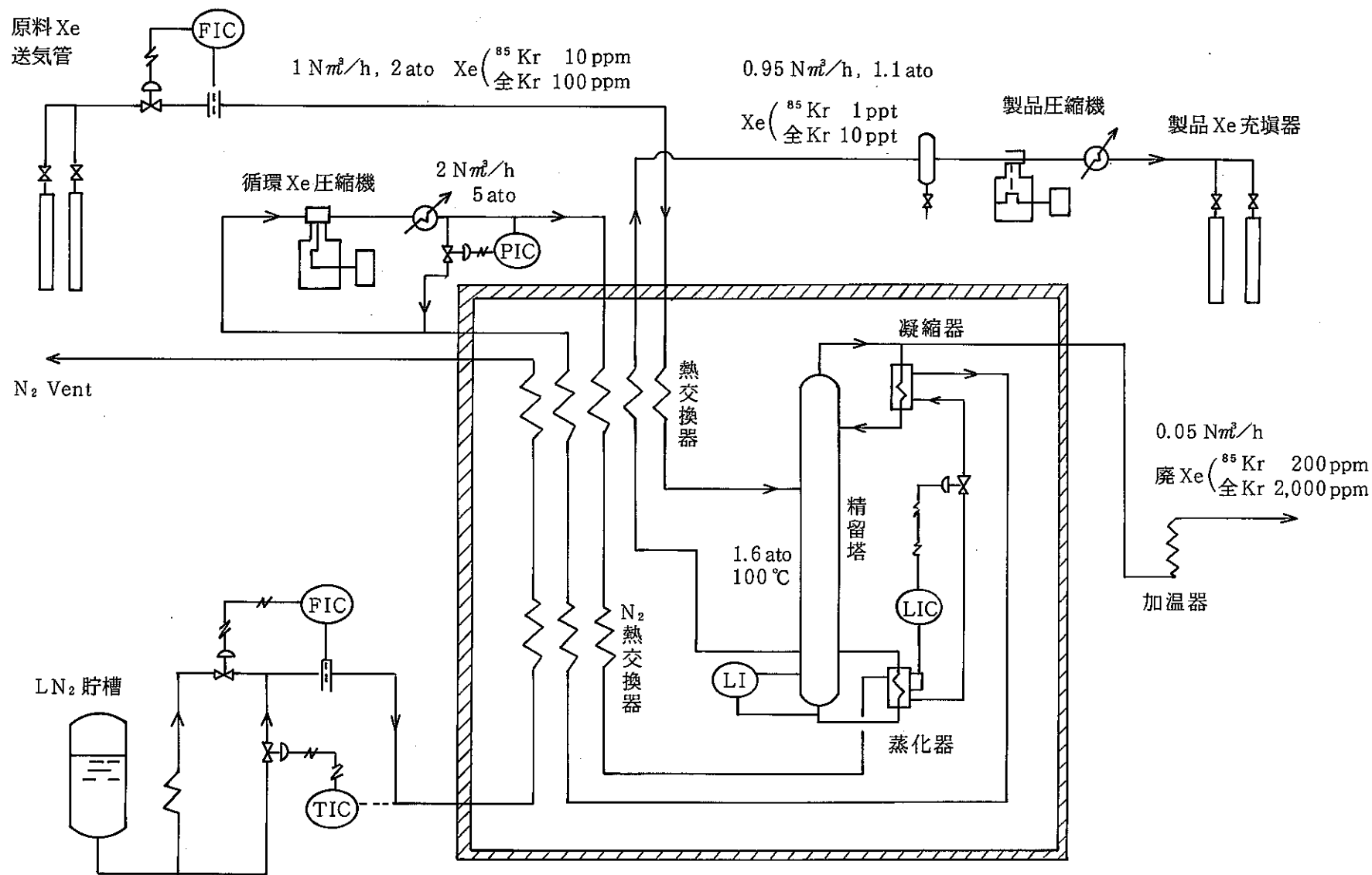


図-9 Xe液化蒸留設備の概念図

(4) 既設設備を利用する希釈液化蒸留法

既設設備で回収されるXeには、Kr(この内放射性のKr-85は約7%)含まれているが、このXeに天然Krを、例えば10%添加し再び精製してKr濃度を100PPMまで除染すると、単位Xe当りの放射能は1/1,000になる。そこで、この操作を2回繰り返せば、単位Xe当りの放射能は理論的には、 $10^6$ 分の1になり、第2節で述べたように放射性同位元素としての取扱は不用になる。この時必要な天然Kr量は、Xe 1m<sup>3</sup>精製当り200ℓである。

再精製操作を3回行う場合には、天然Krの必要量はXe 1m<sup>3</sup>精製当り30ℓに減少する。

この方法の利点は新たな設備が不用なことであるが、以下の欠点がある。

- (a) 既設設備は、再処理オフガス中のKr、Xeの除去精製を同時に行う一連のシステムであるため、Xe精製を他の工程と分離して単独で運転することは出来ない。このため、通常の再処理オフガス処理の場合と同じだけの液体窒素や機器を運転するための電力が必要となるので、操作経費が高額になる。
- (b) 再処理オフガス処理中は、Xe精製は出来ない。
- (c) 希釈用天然Kr(約200円/ℓ)が必要である。

5.7 技術的代替案の比較

前節の4つの技術的代替案の比較を行った。設備の規模は、商業規模の再処理工場でXeの回収精製設備を設置する場合に、この設備の設置運転データが有効に利用出来るように、約1m<sup>3</sup>Xe処理/日とした。

比較は4点法を採用し、最良と思われるものを4点として、順位付けを行った。

表-6 Xe精製の技術的代替案の比較

	吸着分離法	遠心分離法	液化蒸留法	希釈液化蒸留法
設備製作費	3	1	1	4
設備設置スペース	3	2	1	4
副資材	4	4	2	1
消費電力	4	3	2	1
運転要員費	3	3	3	4
技術的難易度	3	2	1	4

4点法で比較を採用した理由は、各技術的代替案の調査が必ずしも十分とは、言えないためである。





れば Kr 施設の合格証取得後に試験を実施していくものとする。

昭和64年度の第2ステップ以降の進め方については、以下のとおりである。

第2ステップ（比較評価）

昭和64年度当初に前年度の実施結果に基づき比較評価を行い、一つ方法を選定する。

第3ステップ（コールド試験）

昭和64年度、第2ステップに引き続き、コールド試験装置の製作及びコールド試験を開始する。

第4ステップ（設計・許認可）

昭和65、66年度にホット試験装置の詳細設計及び許認可を実施し、ホット試験設備を設置する。

第5ステップ（ホット試験）

昭和67年度に、試運転を経て、ホット試験を開始し、技術の実証を計ってゆく。

## 5.9 あとがき

本報告は、再処理工場で発生し Kr 回収技術開発施設で回収される微量の放射性 Kr を含む Xe の有効利用に関し、昭和56年頃から実施されてきた調査や試験結果を整理すると共に、最近の空気分離技術の動向等を参考にして、まとめたものである。

これまでに実施されてきた調査や試験で得られた知見を、有効に利用すると共に、不十分な点を今後補充しつつ、より効率的な技術開発を進め最短距離で Xe の有効利用のための技術を確立する必要がある。

## 5.10 参考文献

- (1) 原子炉等規制法等法令集
- (2) 放射性オフガスからの PSA-キセノン分離精留装置について  
(PSA-Xe) S. 63年5月 三菱重工(株)
- (3) ガス分離精製とその利用  
S. 61年2月 (株)フジテクノシステム編
- (4) 蒸留法による Xe 中の Kr 除法について  
S. 62年11月 日本酸素(株)

(中島まとめ)

付録 - 1

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律

〔昭和32年6月10日〕  
〔法律第167号〕

改正	昭和33年5月21日法律第162号	昭和47年6月6日法律第57号
	昭和35年5月2日法律第78号	昭和55年5月7日法律第43号
	昭和35年6月10日法律第145号	昭和55年5月19日法律第52号
	昭和37年5月16日法律第140号	昭和57年7月16日法律第66号
	昭和41年7月1日法律第112号	

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律をここに公布する。

(定義)

第2条 この法律において「放射線」とは、原子力基本法第3条第5号に規定する放射線をいう。

2 この法律において「放射性同位元素」とは、りん32、コバルト60等放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物（機器に装備されているこれらのものを含む。）で政令で定めるものをいう。

3 この法律において「放射性同位元素装備機器」とは、硫黄計その他の放射性同位元素を装備している機器で政令で定めるものをいう。

4 この法律において「放射線発生装置」とは、サイクロトロン、シンクロトロン等荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置で政令で定めるものをいう。

## 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令

〔昭和35年9月30日〕  
〔政令第259号〕

改正	昭和36年1月26日政令第11号	昭和55年11月17日政令第299号
	昭和41年3月31日政令第71号	昭和56年3月31日政令第62号
	昭和50年7月4日政令第212号	昭和56年5月15日政令第167号
	昭和53年3月30日政令第61号	昭和59年4月13日政令第100号
	昭和55年10月24日政令第270号	昭和62年3月17日政令第42号

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令をここに公布する。

### 第1章 放射性同位元素等の定義

#### (放射性同位元素)

第1条 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（以下「法」という。）第2条第2項の放射性同位元素は、放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物（機器に装備されているこれらのものを含む。）で、放射線を放出する同位元素の数量及び濃度が科学技術庁長官が定める数量及び濃度をこえるものとする。ただし、次に掲げるものを除く。

- 1 原子力基本法（昭和30年法律第186号）第3条第2号に規定する核燃料物質及び同条第3号に規定する核原料物質
- 2 薬事法（昭和35年法律第145号）第2条第1項に規定する医薬品
- 3 薬事法第2条第4項に規定する医療用具で、科学技術庁長官が厚生大臣又は農林水産大臣と協議して指定するものに装備されているもの

## 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件

〔昭和35年9月30日〕  
〔科学技術庁告示第22号〕

改正 昭和41年5月12日科学技術庁告示第4号 昭和42年6月30日科学技術庁告示第6号 昭和52年7月30日科学技術庁告示第8号 昭和54年2月1日科学技術庁告示第1号	昭和54年3月7日科学技術庁告示第4号 昭和55年11月1日科学技術庁告示第6号 昭和56年5月16日科学技術庁告示第6号
--	---

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令（昭和35年政令第259号）及び放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則（昭和35年総理府令第56号）の規定に基づき、昭和33年科学技術庁告示第4号（放射線を放出する同位元素の数量等を定める件）の全部を改正するこの告示を次のように定め、昭和35年10月1日から適用する。

（放射線を放出する同位元素の数量及び濃度）

第1条 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令（以下「令」という。）第1条に規定する放射線を放出する同位元素の数量及び濃度は、数量については次の各号に掲げるとおりとし、濃度については0.002マイクロキュリー毎グラムとする。ただし、自然に賦存する放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物で固体状のものに係る濃度については、0.01マイクロキュリー毎グラムとする。

- 1 放射線を放出する同位元素が密封されていないものであって、その種類が1種類のものについては、次の表の上欄に掲げる種類に応じて、それぞれ同表の下欄に掲げる数量
- 2 放射線を放出する同位元素が密封されていないものであって、その種類が2種類以上のものについては、次の表の上欄に掲げる種類の放射線を放出する同位元素のそれぞれの数量の同表の下欄に掲げる数量に対する割合の和が1となるようなそれらの数量
- 3 放射線を放出する同位元素で密封されたものについては、100マイクロキュリー
- 4 放射線を放出する同位元素で時計その他の機器又は装置以外の物に密封されたもの（放電管、煙感知器その他の機器又は装置に装備されたものを除く。）であって、それらの集合したものについては、その集合したものごとに100マイクロキュリー

種 類	数 量
ストロンチウム90及びアルファ線を放出する同位元素（以下「第一群」という。）	0.1 マイクロキュリー
物理的半減期が30日をこえる放射線を放出する同位元素（水素3、ベリリウム7、炭素14、いおう35、鉄55、鉄59及びストロンチウム90並びにアルファ線を放出するものを除く。以下「第2群」という。）	1 マイクロキュリー
物理的半減期が30日以下の放射線を放出する同位元素（ふつ素18、クロム51、ゲルマニウム71及びタリウム201並びにアルファ線を放出するものを除く。）並びにいおう35、鉄55及び鉄59（以下「第三群」という。）	10 マイクロキュリー
水素3、ベリリウム7、炭素14、ふつ素18、クロム51、ゲルマニウム71及びタリウム201（以下「第4群」という。）	100 マイクロキュリー

付録-2

Xe の 需 給

(1) ガスレビュー誌の情報から

ガスレビューは、毎月1日及び15日に(株)ガスレビューが発行している定期刊行誌であり、主に国内外のガス産業の技術動向や各種ガスの需給動向等を紹介している。このガスレビュー誌に紹介されたXeの需給動向及びその用途を以下に記す。

(a) Xeの需要

ガスレビューNo.160(昭和63年1月15日号)に紹介されたレアガスの需要の推移を、図-1に示す。また、それらの用途別のシェアを図-2に示す。

Xeの需要は、昭和60年に20万ℓ(200m<sup>3</sup>)に達し、昭和62年には、23万ℓ(230m<sup>3</sup>)と予想されている。昭和58年の需要は12万ℓ(120m<sup>3</sup>)であり、5年で需要が倍増したことになる。

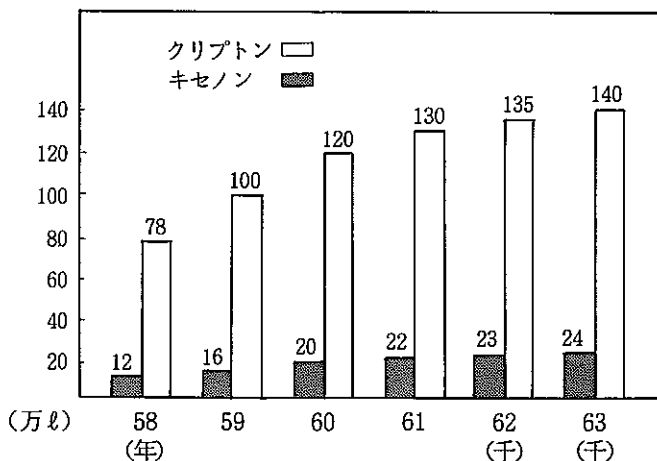


図-1 レアガス販売量推移

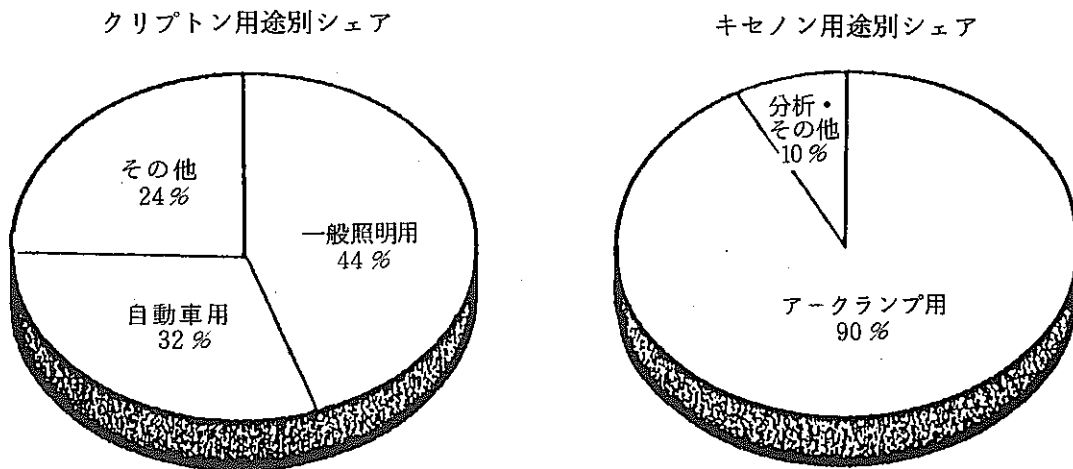


図-2 レアガスの用途別シェア

Xeの用途は、図-2に示すように、アークランプ用が90%であり、その他が10%となっている。昭和61年1月15日発行のNo.136に記載されている用途別シェアも昭和62年とほぼ同様であり、昭和61年と昭和62年の用途別シェアの変化はない。アークランプ用の内訳は、ストロボ、カラーランプ、CTスキャナの撮像管、映写機の光源などの他、スペースシャープ用の人工太陽としても使われている。人工太陽灯向けはスポット的ではあるが、大型人工衛星ETS-6の開発が本格化してきただけに、チャンバ関連需要も期待できる。また宇宙関連では、Xeをイオンエンジンロケット原料として利用する動きもでてきた。

(b) Xeの供給

前記のガスレビューNo.160に紹介されていた国内のレアガス生産工場を表-1に示す。3工場のうち共同酸素は昭和61年10月、テスト規模のXe生産プラント(2,500ℓ/月)を完成させ、昭和62年3月からサンプル出荷を開始した。この工場は、他の2工場が深冷分離方式を採用しているのに対し、サーマル・ウイング・アドソープション(TSA)装置を用いる吸着分離方式を採用している点に特徴がある。

3工場の合計Xe生産量は、18万3千ℓ(183m<sup>3</sup>)であり、Xeの国内総需要23万ℓ(230m<sup>3</sup>)との差、約5万ℓ(50m<sup>3</sup>)は海外からの輸入に依存している。

表-1 レアガス生産工場

工場名	地区	生産規模 (年)	備考
製鉄オキシトン	広畑	Ne 1,200万ℓ Kr 120万ℓ Xe 7万ℓ	テイサン、新日鉄広畑との合併企業。64年広畑の高炉停止の影響をけるか。
千葉サンソセンター	千葉	Kr 21万8千ℓ Xe 8万2千ℓ	日本酸素100%子会社
共同酸素	和歌山	Xe 3万ℓ	住友金属直系のメーカー

No.164(昭和63年3月15日号)によれば、Xeの輸入は、他のレアガスとの抱合せ輸入がほとんどであり、単独の輸入は、いかに円高であってもコスト高につくとしている。

輸入ルートは、

- ・UCC → 住友商事 → 製鉄化学
- ・エアコ → マチソン → 日本酸素
- ・エアコ → 大阪酸素
- ・ソ連化学工団 → 伊藤忠商事 → 日本酸素
- ・エアプロダクツ → 住友商事 → 太陽酸素 → 日本酸素

- ・西独リンデ→東京化成
- ・エアリキッド→テイサン

があり、エキシマレーザ用の台頭で、大同酸素、昭和電工、レーザ加工メーカーである丸文などが独自のルートを開発している。

また、Xe需要の増加に対応するため、大容量の酸素プラントを持つ鉄鋼メーカーはXe回収を検討しているが、小量生産ではコスト的に輸入品に対抗出来ないのがネックとなっている。

照明大手メーカーへのレアガスの流通経路を図-3に示す。

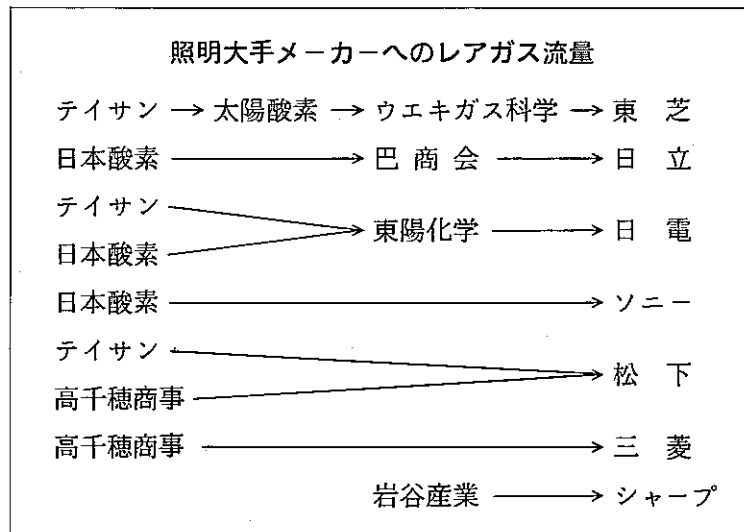


図-3 照明大手メーカーへのレアガス流通

(2) その他の情報から

「ガス分離・精製とその技術」〔株フジ・テクノシステム編，昭和61年2月発行〕第1章第4節-5 希ガス〔筆者：吉田 喬（日本酸素）〕には，以下の記述があるが，ここに示されたレアガスの使用量は，ガスレビュー誌の昭和57年頃の数値に対応している。

〔Ne, Kr, Xeは，He, Arと比べて使用量が，格段にすくないので，工業ガス業界では，この3種類のガスを希ガスとして一括している。表-2にこれらの用途を示す。その使用量は，それぞれ，年間，1,000 m<sup>3</sup>，400 m<sup>3</sup>，100 m<sup>3</sup>程度といわれているが，詳細はわからない。……〕

表-2 ネオン，クリプトン，キセノンの用途

ガス	用途
ネオン	ネオンランプ，ニキシー管，ネオンサイン等
クリプトン	自動車用ハロゲンランプ，クリプトン電球，そのほかの特殊光源等
キセノン	ストロボ，そのほかの特殊光源，X線CT用検知管等

## 6. Kr 回収技術開発施設で回収される Kr の処置について

### 6.1 はじめに

Kr 回収技術開発施設は、昭和63年3月3日に、再処理施設で発生する放射性 オフガスを受け入れ、ホット運転を開始した。

現時点では、回収した放射性 Kr は、施設内の貯蔵庫に設置してあるシリンダの中に約  $25 \text{ kg/cm}^3$  の圧力で充填し、保管することとしている。

また、保管の簡素化による経済性向上及びより一層の安全性向上を目指して、気体として回収される放射性 Kr を、適当な物質の中に固定化し、固化体として貯蔵するための研究開発を進めている。

現在の設計では、シリンダ1本当たり約12万 Ci の放射性 Kr (Kr-85) を充填することとしているが、このシリンダの放射線量率は、シリンダの中心から1mの位置で、毎時約47レントゲンであり、シリンダ表面ではシリンダから1mの位置での放射線量率の約20倍以上の値となる。

Kr 回収技術開発施設には、3つのシリンダ貯蔵庫があり、放射線的には互に独立になっている。また1つのシリンダ貯蔵室のシリンダに充填した放射性 Kr を、別のシリンダ貯蔵室のシリンダに充填し直すことも可能である。

そこで、シリンダ貯蔵庫内に立ち入る場合には、その貯蔵庫内の放射性 Kr を、全て別の貯蔵庫内のシリンダに移し替えてから立ち入ることとしている。

高圧ガスの保安検査として、シリンダ貯蔵庫内の配管検査があるが、この場合には、上記措置を講じてから検査する計画であり、そのための改造工事が行われている。

しかし、シリンダは貯蔵庫内のラックに固定されており、高線量のシリンダを遠隔操作で、キャスク内に収納するような設備がないので、放射性 Kr が充填されたシリンダが1本でもあれば、その貯蔵庫内への立ち入りは出来なくなる。

現状の Kr 回収技術開発施設は、回収した放射性 Kr の貯蔵施設としては、いわゆるリトリバブル（移動可能）な施設ではない。但し、上述したように、放射線的に独立したシリンダ貯蔵庫が3つあるので、1つを改造して、シリンダのキャスク収納設備を設置することは可能であろう。

また、Kr-85は、半減期が10.76年で、Sr-90やCs-137の半減期の約1/3であり、環境への影響が少ないことから、現在は大気中に放出している。

そこで、ALARAの精神に従って、回収した Kr を一定期間貯蔵した後、大気放出することも1つのオプションとして考えられる。即ち、例えば回収した Kr を50年間貯蔵した後に大気放出すれば、放射能は約1/30に減衰するので、環境への影響も約1/30に減少する。

今までは、再処理オフガス中の Kr をいかに安全に回収するかを最重点課題として技術開発を進めてきたが、回収した Kr の処置を明確にしないまま回収試験を進めると Kr 回収技術開発施設の技術開発施設としての自由度をせばめることになりかねない。

そこで、以下に回収した Kr の処置について検討した。



## 6.2 Kr回収技術開発施設に受け入れる予定の放射性Krの量

Kr回収技術開発施設に保有している放射性Krの放射量は、昭和63年7月現在で約2,000 Ciである。昭和63年度は、この放射性Krを用いて試験運転を実施し、再処理工場からオフガスを受け入れる計画はない。

昭和64年度の計画は、オーソライズされていないが、GCSとしては以下のステップで、順次、1週間当りの受け入れ回数を増加させ、連続的な受け入れが出来るようにし、この段階で、最終の使用前検査を受験し、施設の合格証を取得する計画である。

### (1) 試験運転（前期）

#### (a) 第1週

せん断オフガス 2バッチ 例えば火曜日と木曜日に受け入れる。

#### (b) 第2週

溶解オフガス 2バッチ 例えば火曜日と木曜日に受け入れる。

#### (c) 第3週

せん断オフガス及び溶解オフガス 各2バッチ 例えば火曜日と木曜日にせん断オフガスと溶解オフガスを各1バッチずつ連続で受け入れる。

#### (d) 第4週

せん断オフガス及び溶解オフガス 各4バッチ 例えば火曜日と木曜日にせん断オフガスと溶解オフガスを各2バッチずつ連続で受け入れる。

この試験の受け入れ放射能の合計は、標準燃料の場合、約16,000 Ciである。

### (2) 試験運転（後期）

#### (a) 第1週

せん断オフガス 5バッチ 月曜日から金曜日まで1バッチずつ受け入れる。

#### (b) 第2週

溶解オフガス 5バッチ 月曜日から金曜日まで1バッチずつ受け入れる。

#### (c) 第3週

せん断オフガス及び溶解オフガス 各5バッチ 月曜日から金曜日までせん断オフガス溶解オフガスを各1バッチ連続で受け入れる。

#### (d) 第4週

せん断オフガス及び溶解オフガス 各10バッチ 月曜日から金曜日までせん断オフガスと溶解オフガスを各2バッチずつ連続で受け入れる。

この試験の受け入れ放射能の合計は、標準燃料の場合、約56,000 Ciである。

### (3) 総合連続試験

#### (a) 第1週 - 第4週

せん断オフガス及び溶解オフガス 各14バッチ/週で4週間、連続で受け入れる。  
この試験の受け入れ放射能の合計は、標準燃料の場合、約120,000 Ciである。

以上の計画どおりの受け入れを行うと、合格証取得までの受け入れ放射能は合計約192,000 Ciである。Kr-85の標準状態の体積は、約131ℓ(1cc=1.48 Ci)であり、Kr貯蔵シリンダ約1.5本分に相当する。ただし、この計画は、まだ検討の余地はある。

昭和64年度以降の計画は、表-1(昭和63年2月 研究幹部会資料 別添-5)を考えているが、放射性Krの具体的な受入量は未定である。

### 6.3 Kr回収技術開発施設で回収される放射性Krの処置の代替案とそれらの利害得失

Kr回収技術開発施設で回収される放射性Krの処置については、以下の5つの代替案が考えられる。

#### (1) 気体状でシリンダに貯蔵

- (a) Kr回収技術開発施設で永久貯蔵
- (b) Kr回収技術開発施設で所定期間貯蔵し大気放出
- (c) Kr回収技術開発施設で所定期間貯蔵し処分場に移管

#### (2) 固化体にして貯蔵

- (a) Kr回収技術開発施設で永久貯蔵
- (b) Kr回収技術開発施設で所定期間貯蔵し処分場に移管

以上5つの代替案の利害得失を表-2に示す。

表-1 クリプトン回収技術開発計画

項目	年度	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	備考
再処理工場操作計画			停止				停止				停止					
施設運転計画			STEP1 トレーサ試験 ↓ 少量の放射性クリプトン量を受け入れ、運転マニュアルの確認、ホットでの運転習熟を行う、	合格証 STEP2 性能・経済性評価 ↓ ① 前処理工程 ① I <sub>2</sub> 除去 ② O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CH <sub>4</sub> 除去 ③ H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , Xe吸着除去 ・ Kr, Xe回収工程 ① Kr, Xe回収 ② Kr, Xeのプロダクト濃度等のユニットの性能評価 ② Kr, Xeの挙動、収支の実証評価 ③ 運転技術の評価 ④ 被曝、評価、コンテイメント機能評価 ⑤ 圧縮機、計装計器等の性能評価 ⑥ I <sub>2</sub> , H <sub>3</sub> の挙動評価 ⑦ 保安検査等保守に係わる評価 ⑧ 容器再検査に係わる評価			STEP3 耐久性, FP蓄積評価 コスト低減, キセノン回収 ↓ ① 施設の各ユニットの性能, 機器の耐久性評価 ② FPの蓄積影響(保守技術, 触媒, 吸着材)評価 ③ 貯蔵シリンダの実証評価 ④ コスト低減化を考慮した試験評価 ⑤ キセノンの有効利用の実証			STEP4 固定化 ↓ ① コスト低減化の実証 ② 固定化技術開発との一体化試験の評価 ③ C-14, H-3, I-129等気体廃棄物一元化処理技術開発が可能						
技術開発計画																
(1) 固定化技術開発			基礎試験	固定化法選択	実証試験	詳細設計	許認可	建設								
① ゼオライト封入法			基礎試験	固定化法選択	実証試験	詳細設計	許認可	建設								
② イオン注入法			基礎試験	固定化法選択	実証試験	詳細設計	許認可	建設								
(2) クリプトン・キセノン有効利用			基礎試験	評価	設計/許認可	改造										

表-2 Kr回収技術開発施設で回収されるKrの処置の代替案と利害得失

Krの形態	処 置	利 害 得 失					
		既設設備の改善の 必 要 性	環境への影響	永久貯蔵 or 処分場	輸 送	長期貯蔵・ 輸送の安全性	輸送の安全性
(1) 気 体 〔 シリンダ 〕 〔 封入 〕	(a) Kr 施設内で永久貯蔵	不 要	な し	不 要	不 要	一時的な大量 漏洩の可能性 がないとは言 えない	N. A
	(b) Kr 施設内で所定期間 貯蔵し大気放出	不 要	貯蔵期間の長 さに反比例し て影響は減少 する 10年で約1/2	不 要	不 要		N. A
	(c) Kr 施設内で所定時間貯蔵 したあと処分場に移管	要 (シリンダのキャスク 収納設備の追加)	な し	要	要		一時的な大量 漏洩の可能性 がないとは言 えない
(2) 固 体 〔 固体中に 〕 〔 固定 〕	(a) Kr 施設内で永久貯蔵	要 (Krの固定化設備の 追加)	な し	不 要	不 要	一時的な大量 漏洩の可能性 はない	N. A
	(b) Kr 施設内で所定期間貯蔵 したあと処分場に移管	要 (Krの固定化設備及 び固化体のキャスク 収納設備の追加)	な し	要	要		一時的な大量 漏洩の可能性 はない

Kr の形態	利 害 得 失				
	P. A	Kr 施設の運転費*	Kr 施設の他 目的への転用	放射性 Kr の利用 のための取出し	
(1) 気 体 〔シリンダ〕 〔封入〕	永久貯蔵の安全性	約 100,000 千円/年 電力 2,000 千円/月×12 人工 2 人/直×4直×7,000  63 年度ベース	部分的には可	容 易	
	再放出の安全性	放出まで同上 放出後は不要	放出後は全体的に 可	容 易	
	輸送の安全性及び 処分場設置の合意	移動まで同上 移管後不要	移管後は全体的に 可	困 難	
(2) 団 体 〔固体中に〕 〔固定〕	永久貯蔵の安全性	約 100,000 千円/年  63 年度ベース	部分的には可	高温加熱により 取出し可	
	輸送の安全性及び 処分場設置の合意	移管まで同上 移管後は不要	移管後は全体的に 可	困 難	

\* シリンダー又は固化体貯蔵のための空調運転のみ

#### 6.4 放射性Krの処分について

第3節では、Kr回収技術開発施設で回収される放射性Krの処置の代替案について概括的に検討したが、処分方法が不明確のまま、現在放出出来ている放射性Krをすることは、かえって問題を生ずる結果になる。そこで処分までも考えたR&Dを今後進めていく必要がある。

処分方法の代替案は、以下のようなものが考えられる。

- (1) 気体状で所定期間貯蔵し、その後大気放出する。
- (2) 固化体として所定期間貯蔵し、その後高温加熱して大気放出する。
- (3) 固化体として永久貯蔵する。
- (4) 固化体として所定期間貯蔵し、その後地中処分する。
- (5) 固化体として所定期間貯蔵し、その後海洋投棄処分する。

以下に、気体状で貯蔵処分する場合と固化体として処分する場合の検討をおこなった。

- (1) 気体状で所定期間貯蔵し、その後大気放出する場合

この場合問題となるのは貯蔵期間をどの程度にするかということである。

いま仮に東海再処理工場と同規模の再処理工場が年間300日稼働し、稼働日1日あたり8,000 Ciの放射性KrがS.Fのせん断・溶解段階で放出される場合の放射性Krの放射能は、

$$8,000 \text{ Ci/日} \times 300 \text{ 日/年} \times 30 \text{ 年} = 72,000,000 \text{ Ci}$$

である。この放射性Krの環境への放出を1/10以下にする場合を考える。

Kr回収技術開発施設の放射性Krの回収率を95%とし、貯蔵シリンダは、現在Kr回収技術開発施設で使用しているシリンダと同一のものをを用いるとする。現在Kr回収技術開発施設で使用している貯蔵シリンダの材質は、SUS316で、直径20cm、長さ175cm、肉厚12.7mmである。このシリンダ中に約12万CiのKr-85を含むKrを貯蔵する。(Kr-85/Krは約7%)

この貯蔵シリンダを取り扱う場合の重要なパラメータであるシリンダ重量は120kgであり、シリンダ表面の放射線量率は、図-1に示す。図-1から分かるよう100年間貯蔵しても、シリンダ表面の放射線量率は約1R/hrであり、遠隔で取り扱う必要がある。複数のシリンダを身近で取り扱うことが出来るようになるまでには、150年間以上の貯蔵が必要である。

また操業中の30年間は、回収された放射性Krは全て貯蔵することとする。

この場合の放射性Kr貯蔵シリンダの最大貯蔵量は、

$$72,000,000 \text{ Ci} \times 0.95 \div 120,000 \text{ Ci/シリンダ} = 570 \text{ シリンダ}$$

である。

放出の方法については、

- ① 再処理の運転を停止した翌年から、毎年一定量を放出する場合(ケース1)
- ② 再処理工場運転初年度に貯蔵した放射性Krの放射能が発生時の放射能の5%になった時(貯蔵開始から46.5年後)から放出する場合(ケース2)

が考えられるので、以上の2つの場合について検討した。

① 再処理の運転を停止した翌年から毎年一定量放出する場合（ケース1）

貯蔵・放出にともなう放射性Kr貯蔵シリンダの蓄積・減少の推移を表-3及び図-2に示す。

② 再処理工場運転の初年度に貯蔵した放射性Krの放射能が発生時の5%になった時点（貯蔵期間45.7年後）から放出する場合（ケース2）

貯蔵・放出にともなう放射性Kr貯蔵シリンダの蓄積・減少の推移を表-4及び図-3に示す。

再処理工場運転開始から回収した放射性Krを全て環境に放出しおわる期間は、ケース1とケース2でそれぞれ84年と76年であり、ケース2の方が処分終了までの期間は短い。

貯蔵中のシリンダから放射性Krが漏洩する可能性は、極めて低いものと考えられるが、このような異常事態が発生する回数は、貯蔵しているシリンダの本数と貯蔵期間の積に比例すると考えられる。この積の値は、ケース1とケース2でそれぞれ26,179 シリンダ・年と26,220 シリンダ・年であり、その差は0.2%以下である。

放出管理の容易さを考えると、ケース1は、放出すべきシリンダの本数が毎年変化するのに対して、ケース2は毎年19本ずつの放出であり、ケース2の方が容易であろう。

以上のことから、放射性Krを一定期間貯蔵したあと環境へ放出する処分法としてはケース2の方がケース1よりも優れていると言える。

しかし、いずれの場合も放射性Krを気体状で長期間貯蔵することになるので、貯蔵施設はシリンダからの万一の漏洩を考慮して、漏洩Krの再回収設備を備えいつでも運転出来る状態にしておく必要がある。更に、施設外への放射能の漏洩を防止するため、施設内の圧力を大気圧より低く保つため、貯蔵中は、空調設備の運転が必要である。

そこで、このような処分法に対する処分費用は、貯蔵施設の建設費と施設の約80年間の運転費の合計となる。

現在、Kr技術開発施設で使用中のシリンダには、1本当たり12万Ciの放射性Krを貯蔵することになっており、貯蔵圧力は25気圧である。このため、高圧ガス取締法に基づく保安検査として、半年毎のシリンダ貯蔵庫内の配管検査と3年毎のシリンダの検査（所定期間を過ぎると検査間隔はみじかくなる）が義務づけられており、検査のたびに放射性Krの移し替えを行って、検査対象物及びその周囲の放射線量率をバックグラウンドまで下げなければならない。このような移し替え操作を行わなければならないとすると、単なる貯蔵の場合には必要ない異常想定とそれに対する安全確保対策が必要になり、移し替えのためのシリンダ、装置及びこれらの設置スペースが必要になる。高圧ガス取締法に基づく検査を受けた貯蔵容器に10気圧未満のガスを充填する場合には、3年毎の容器検査は必要なく、充填のための配管についても高圧ガス取締法の対象外とすることが出来るので、移し替え操作は不要とすることが出来る。但し、この場合にはシリンダ本数とその設置スペースは約2.5倍になる。

放射性Krのシリンダ内貯蔵圧力を、現在の設計のように、25気圧にするか、10気圧未満にす

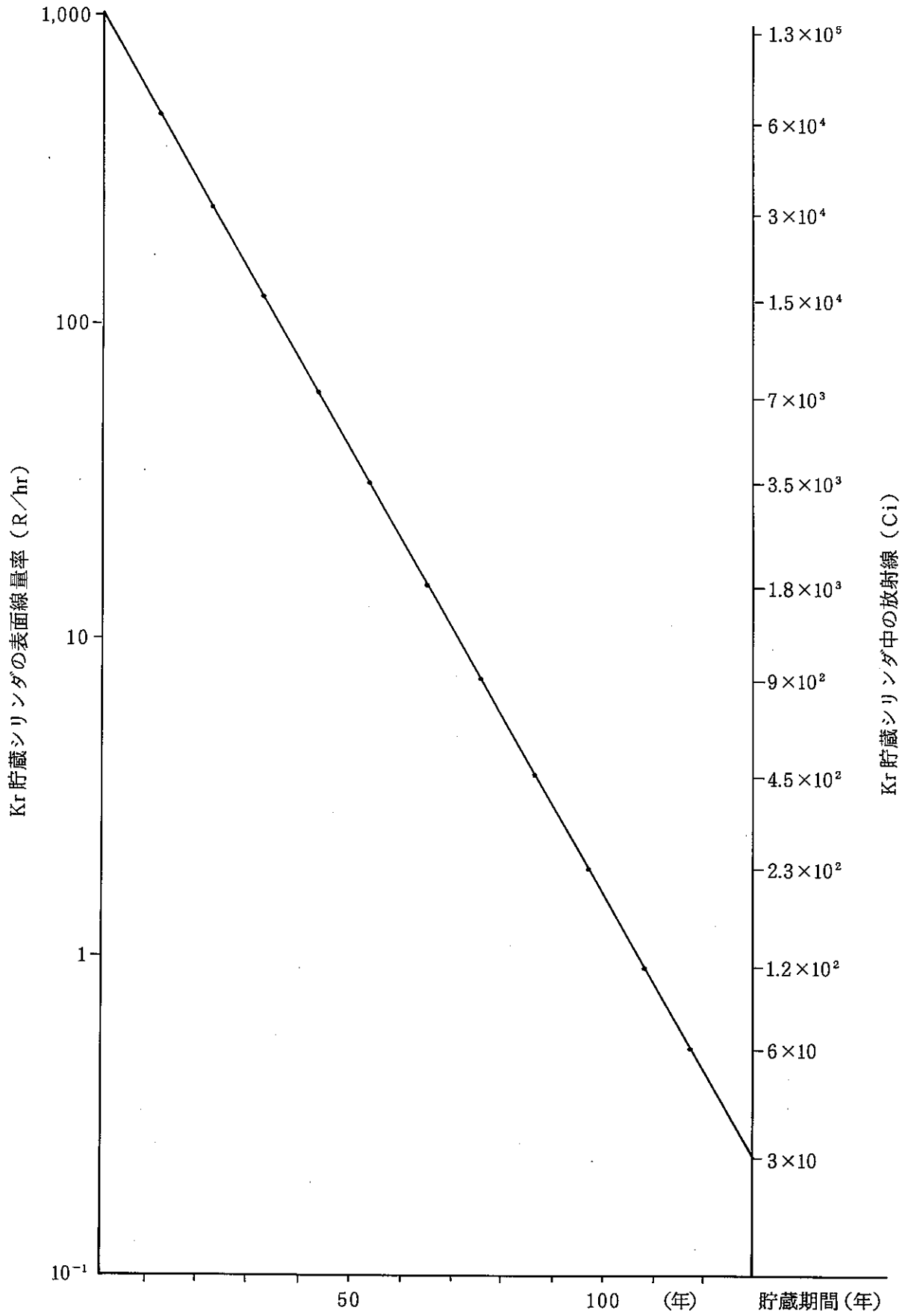


図-1 Kr 貯蔵シリンダ表面線量率と貯蔵期間



表-3 放射性Kr貯蔵シリンダ貯蔵量の推移(ケースI)

項目 \ 操業後の年数	1～10	11～12	21～30	31～40	41～50	51～60	61～70	71～80	81～84	合計
発生量(万Ci)	2,400	2,400	2,400	—	—	—	—	—	—	7,200
環境放出量(万Ci)	120	120	120	65	65	65	65	65	28	713
期末貯蔵量(万Ci)	1,735	2,647	3,125	1,594	791	369	147	31	0	—
期末貯蔵シリンダ数量(本)	190	380	570	522	444	331	195	28	0	—

表-4 放射性Kr貯蔵シリンダ貯蔵量の推移(ケースII)

項目 \ 操業後の年数	1～10	11～12	21～30	31～40	41～50	51～60	61～70	71～74	合計
発生量(万Ci)	2,400	2,400	2,400	—	—	—	—	—	7,200
環境放出量(万Ci)	120	120	120	0	63.4	120	120	56.6	720
期末貯蔵量(万Ci)	1,735	2,647	3,125	1,641	819	344	95	0	—
期末貯蔵シリンダ数量(本)	190	380	570	570	470	280	90	0	—

(運転停止後16年目に環境放出開始)

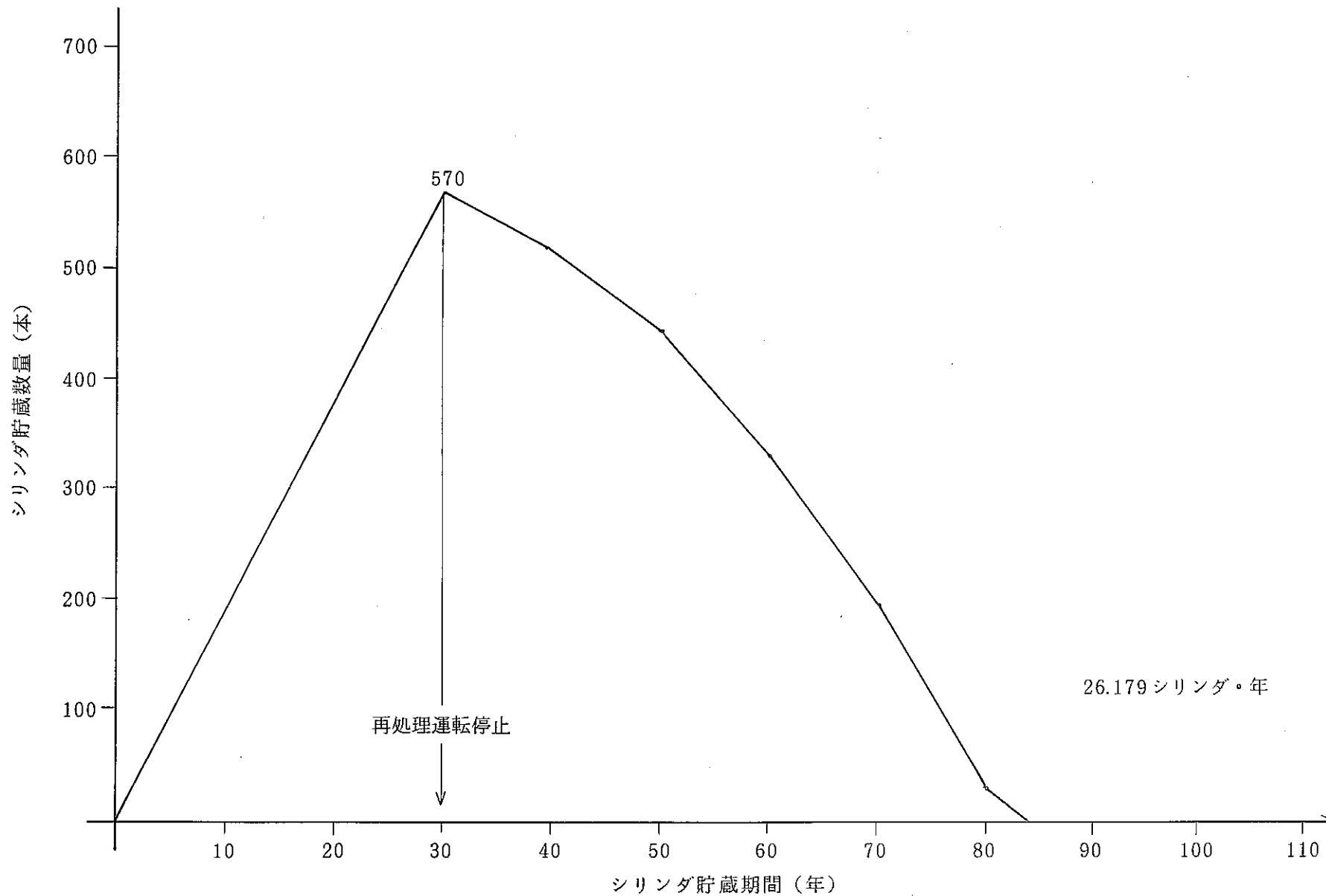


図-2 放射性Kr貯蔵シリンダの貯蔵量の推移 (ケース I)

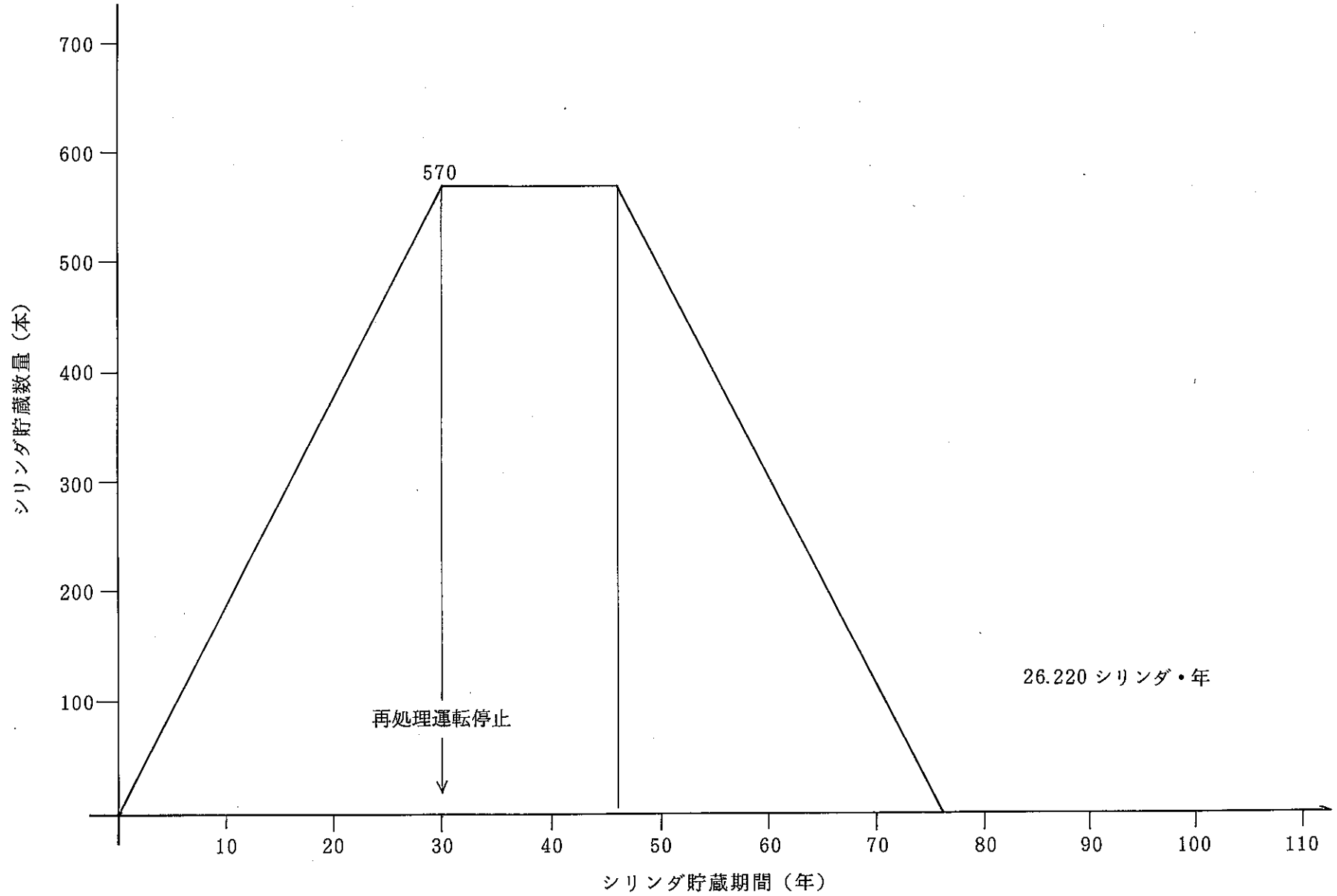


図-3 放射性Kr貯蔵シリンダの貯蔵量の推移 (ケースII)

るかによって、前述のような貯蔵形態の違いが出てくる。

安全上からは、シリンダ間の放射性Krの移し替えのない後者が優れており、コストの面でも移し替えの人員費や安全対策費を考慮すれば後者の方が優れていると思われる。

## (2) 固化体として所定期間貯蔵して、その後処分する場合

回収された放射性Krを気体としてシリンダで貯蔵する場合は、万一異常事態が起こっても、施設外に多量の放射性Krが漏洩しないために、万一に備えた十分な対策を講ずる必要がある。そこで、本来的にこのような事態にいたらぬように、Krを固定化する技術の開発が進められている。Krの固定化技術については、別添-1参照。

現在GCSが東芝に委託して実施しているイオン注入固定化法では、目標とする固化体の寸法は、直径18cm、長さ78cmの円筒形であり、底面は球面状のものを考えており、この中に約1,000ℓSTPの回収Kr(約10万Ci)が注入出来るように開発をすすめている。この装置の仕様を表-5に、また、装置の固化体部分の概略図を図-4に示す。

この場合についても、(1)で想定した再処理工場及びその操業形態を想定すると、毎年以下の数の固化体が発生する。

$$8,000 \text{ Ci/日} \times 0.95 \times 300 \text{ 日/年} \div 100,000 \text{ Ci/固化体} = 22.8 \text{ 固化体/年}$$

そこで、再処理工場を30年間運転すると684個の固化体が発生することになる。

固化体表面の放射線量率は、(1)の貯蔵シリンダの表面の放射線量率(図-1参照)と同じオーダーの値になるものと考えられ、固化体1個の重量も約200kgになるので、遠隔操作で重量物を取り扱う装置が必要である。

固化体からのKrの漏洩率は、イオン注入固化体の場合、注入する金属材料によって違いがあるが、Cuの場合、150℃、100年間で0.05%、Ti結晶では、400℃、100年間で1%と言われている。

ゼオライト封入固化体も、約400℃、200日間のKr漏洩率は、 $10^{-4}$ オーダーの低い値であるが、長期間の包蔵性に関する知見は得られていないようである。

Krの固定化法の比較評価は、今後ホット試験をどちらの方法で実施していくかを決定するための重要な検討項目なので別途詳細に報告する。

固化体からのKrの漏洩率は極めて小さいので、固化体の貯蔵に対しては、シリンダ貯蔵に対するように、万一の大量漏洩に備えて、回収設備を常に運転可能な状態にしておく必要はないと考えられる。

固化体を処分するまでの一時貯蔵期間は、以下の項目について、安全性やPA上の要件を満足しつつ、費用の合計が最小になるように決定されなければならない。

- (a) 一時貯蔵
- (b) 一時貯蔵施設から処分場への固化体の輸送
- (c) 処分

以上に係る費用は一時貯蔵期間によって定まる固化体の表面線量率や発熱量，放射エネルギーが主要な決定因子と考えられる。

固化体の処分に関しては，固化体からのKrの漏洩速度が極めて遅いこと及び臓器へのKrの蓄積はないことから，安全上の問題は少ない。問題なのは固化体表面の放射線量率が高いことである。しかし，Kr-85の半減期は10.76年なので，約200年間，人が近づかないような方策を講ずれば，その後は固化体一体の表面線量率は1 mR/hr程度になるので，放射線作業従事者が素手で取り扱うことが可能になる。

そこで，処分の合意形成にあたっては，「処分場からの少量のKrの漏洩があっても，Krを回収せずにそのまま放出するよりは，環境放射能低減のメリットがある」ことを示しながら話を進めていくことが肝要と思われる。

Krを回収後，直ちに固化し，再処理工場近くに処分することにすれば，一時貯蔵と輸送の費用は最小になる。

EC委員会が1982年7月にブラッセルで開催したKr-85の処理処分に関する会合報告書に，経済性評価についての記述があるので，その要約を別添-2に示す。

表-5 スケールアップ装置の仕様

項目	仕様
サブストレート 形状 面積 析出厚さ Kr含有率 Kr吸収速度 Kr総量	18 cm ID* × 78 cm L (底面は球面状) 4,410 cm <sup>2</sup> * * (初期値) 1 cm 10 atom% 約 1.0 ℓ STP/hr 988 ℓ STP
ターゲット 形状 面積 材質，組成	12 cm ID* × 60 cm L (底面は球面状) 2,488 cm <sup>2</sup> * * (初期値) 90 atom% Ni + 10 atom% Y
電力ターゲット サブストレート	- 2,000 V, ~ 10 A - 250 V, ~ 15 A
注入時間 所要チェンバ数 年間所要チェンバ数	42 日 (1,008 hr) 4 29 台

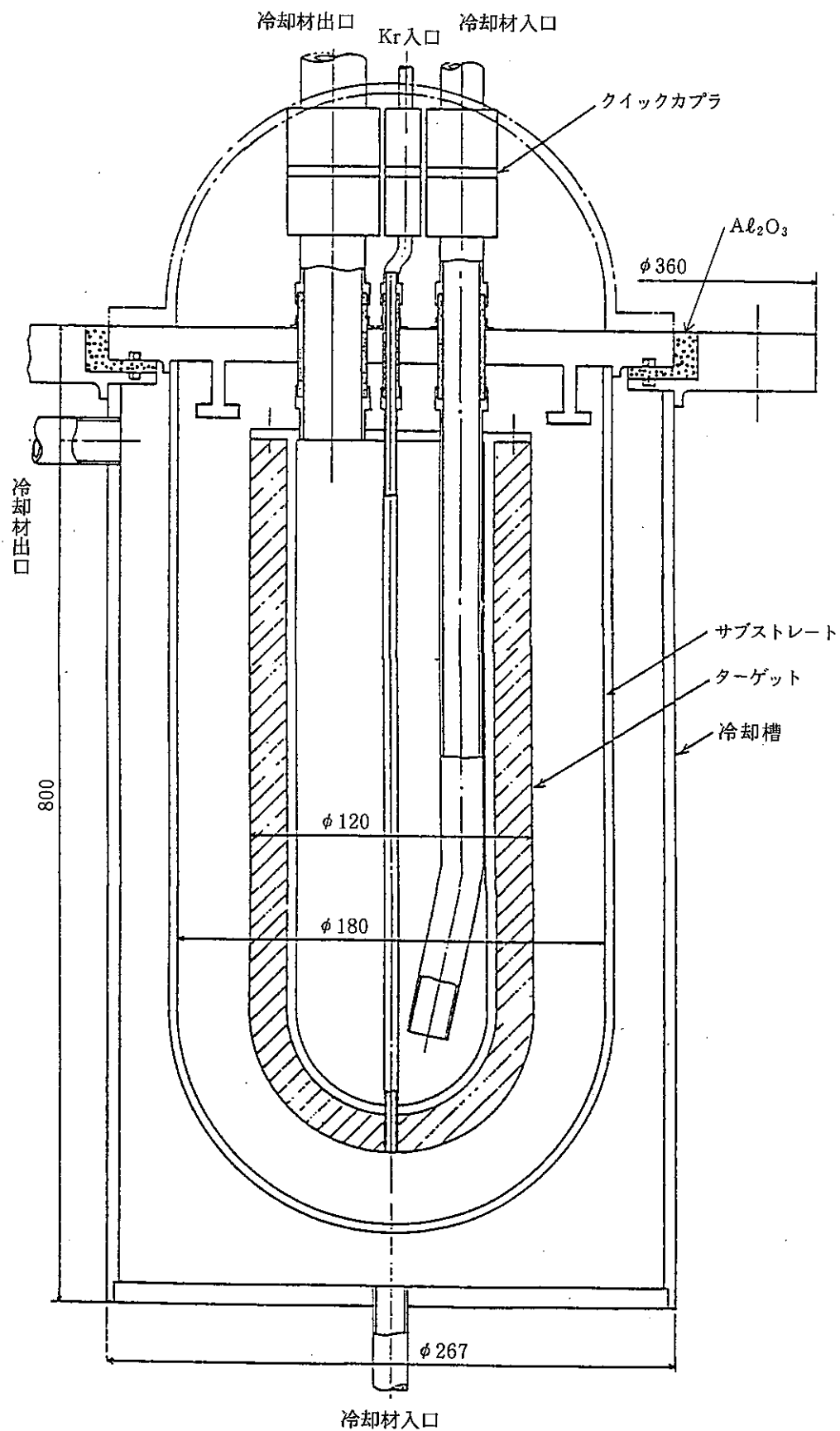


図-4 イオン注入固定化装置 (スケールアップ装置)

## 6.5 Kr 回収技術開発施設で回収されるKrの処置について

前節までの検討から、Kr 回収技術開発施設で回収されるKrは、直ちに固定化して、Krの放出速度が極めて遅く、一時的な大量放出の恐れがない形態にして、施設内で一定期間貯蔵した後に、地中中等への処分することが、安全上のみならず経済上からも望ましい処置方法と思われる。

また、Kr 回収に伴って回収されるXeについては、直ちに精製して放射性Krを除去し、一般産業用として利用していけば、貯蔵の負担が減少するだけでなく、Xeの精製費用を十分上回る利益が期待出来そうである。（“Kr 回収技術開発施設で回収されるXeの有効利用について”参照）

Kr 回収技術開発施設は、昭和63年3月に再処理オフガスを初めて受け入れホット試験を開始したばかりであり、今後は放射線下での各工程機器の性能やKrやXe等の挙動を知るための試験を実施していかなければならないが、同時に、回収されるKr及びXeについては、前述の処置が出来るように研究開発を進めていかなければならない。

そこで、Kr 回収技術開発施設の効果的な利用と改造、増設等の必要性について以下で検討した。

### (1) Kr 回収技術開発施設の現状

Kr 回収技術開発施設の現状の設備は、

- (a) 再処理オフガスの受入設備：1系列
- (b) Kr 及びXeの回収精製設備：1系列
- (c) Kr シリンダ貯蔵庫：3系列
- (d) Xe シリンダ貯蔵庫：2系列
- (e) 排水排気設備：1系列
- (f) 工程制御分析設備：1系列

からなり、新たな設備を設置するスペースとしては、アンバー区域内にある予備室（8mL×2mW×2.5mH）のみである。

そこで、現状では、回収したKr及びXeは固定化や利用が可能になるまでは、シリンダで貯蔵しておかなければならない。（Xeについては、放出可能）

貯蔵シリンダへの貯蔵圧力は、現在の設計では10気圧以上なので、封入配管及び貯蔵シリンダは、高圧ガス取締法の対象になり、それぞれ半年毎の保安検査と3年毎の容器検査が義務付けられる。このため、検査時には、検査員が貯蔵庫内に立ち入れるように、貯蔵中のKr及びXeを、放射線的に独立した別の貯蔵庫内のシリンダに移し替えて、貯蔵庫内の放射線量率を、事前に下げる必要がある。

### (2) 今後の研究開発と回収Krの処置

#### (a) Kr 固定化技術開発と回収Krの処置

昭和57年度に調査を開始し、現在も ㈱東芝に実施させているイオン注入法及び昭和52年度から57年度までは山梨大学に、58年度から61年度までは ㈱神鋼に実施させたゼオライト封入法の試験結果を、最近の海外の動向等も参考にして比較評価し、どちらか一方の固定化法を選

定する。

次に、選定した固定化技術を用いて試験設備の設計を行う。この際の設計要件は工学試験が実施可能なこと及び極力、既設建屋内に設備の設置を可能とすることであろう。

既設建屋内で改造等を行って固定化設備を設置出来そうな場所は、予備室、Kr貯蔵庫のうち1-2系列及びXe貯蔵庫のうち1系列である。回収Kr量を100万Ci程度以下に押さえることが出来れば、貯蔵圧力10気圧以下でも貯蔵庫1系列(シリンダ24本)に収納できる。この場合には、高圧ガス取締法に基づく半年毎の配管検査と3年毎の容器検査が必要になるので、貯蔵庫2系列が別目的に転用出来そうであるが、万一の漏洩等を考えれば、1系列は予備として確保しておく必要がある。

予備室は、前記のように天井が低く、細長い小さな部屋なので、Kr固定化設備や固化体の取扱・貯蔵設備を設置することは出来ない。

このような状況から、Kr固定化関連設備を既設建屋内に設置する場合には、Kr貯蔵庫1系列とXe貯蔵庫1系列のスペースに収容出来るように設計製作しなければならない。Kr貯蔵庫及びXe貯蔵庫の平面図を図-5に示す。

Kr固化体表面の放射線量率は、貯蔵シリンダ表面のそれと同じオーダーの高い値(固定化当初1,000 R/hr)になるが、シリンダ貯蔵のようにガスの移し替えによって、放射線量率を下げることは出来ないので、固化体の個々に遮へい能力を持たせて、移動等が出来るようにするか、遠隔操作で固化体をキャスクに収納するような装置を設けて、放射線量率を下げて移動等が出来るようにする必要がある。2つの方法のうち、どちらが有利かについては今後の検討が必要である。

回収Kr量が100 Ci以上になると、Kr貯蔵庫は転用出来なくなるので、Xe貯蔵庫1系列分のスペースにKr固定化関連設備を設置しなくてはならないが、この場合には工学試験設備の設置は難しくなると思われる。

#### (b) Xe精製(有効利用)技術開発と回収Krの処置

Kr回収技術開発施設で回収されるXeには、50~100 ppmのKr(この内放射性のKr-85は3.5~7 ppm)が含まれており、このままでは放射性同位元素として取り扱わなければならない。

一般産業用として使用出来るようにするためには、Kr濃度を現在の濃度の $10^6$ 分の1以下になるように除染する必要がある。

この時に分離されるKrは、配管を増設することにより、Kr回収精製工程に戻して、再び処理すればよく、配管の増設は特に問題はない。

Xe精製設備については、工学試験規模(処理能力:1~2 m<sup>3</sup>/日)の設備を予備室に設置することが可能と考えられる。(詳細は、“Kr回収技術開発施設で回収されるXeの有効利用について”参照)

#### (c) 既設Kr回収設備の試験運転と回収Krの処置について

前述のように、Kr回収技術開発施設は、昭和63年3月に再処理オフガスを初めて受け入れ、



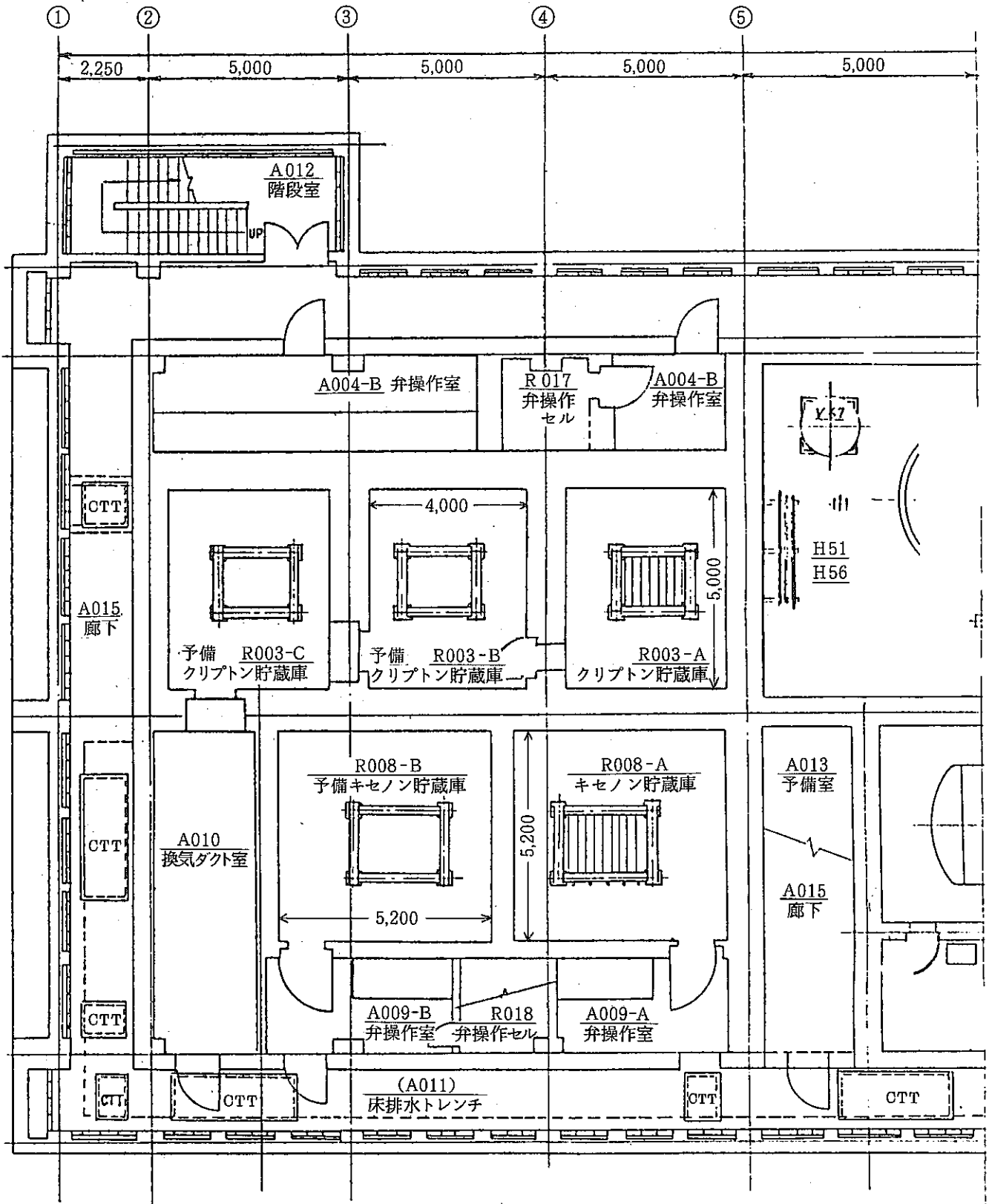


図-5 Kr 貯蔵庫及び Xe 貯蔵庫の平面図

ホット試験を開始したばかりであり、今後は放射線下での各工程機器の性能やKrやXe、CO<sub>2</sub>等の挙動を知るための試験を実施していかなければならない。この試験の際に回収されるKrは固定化技術が利用可能になるまでは、気体状でシリンダに貯蔵しなければならない。貯蔵量が増加すると、貯蔵Krの管理のために人員を充当しなければならないだけでなく、Kr固定化関連設備の既設建屋への設置スペースが減少し、Kr固定化技術の研究開発に支障を来す恐れも出てくることが予想される。

そこで、回収Kr量が出来るだけ少なくするような効果的な試験を実施していく必要があり、このためには、昭和58年から昭和62年の間に、天然のKr及びXeを用いて実施したコールド試験の結果を評価解析し、実際に再処理オフガスを用いなければならない試験項目を明確にしてホット試験を進めていく事が重要である。

(中島まとめ)

別添 - 1

3. 希ガスの固定化処理

<sup>85</sup>Kr は半減期が 10.76 年と長いため、回収されたKr はその放射能が十分減衰するまで数10~100 年間貯蔵する必要がある。長期貯蔵法は世界中の各機関で開発中であるが、まだ確立されるには至っていない。<sup>85</sup>Kr 貯蔵法として要求される最も重要なことは、長期間安全に貯蔵できること、および万一異常事態が起こっても多量の<sup>85</sup>Kr を外部へ放出しないことである。

現在、貯蔵法としてシリンダーに貯蔵することが考えられており、そのための開発も進められている。しかし、万一シリンダーが破損すると大量の<sup>85</sup>Kr が瞬時に放出される可能性があるため、貯蔵施設側で万一に備えた十分な対策を講ずる必要がある。

一方、本来的にこのような事態に至らぬよう、<sup>85</sup>Kr を安定な固体に変換するか、他の固体中に封入する、いわゆる固定化技術の開発が進められている。主な固定化技術としてはイオン注入法、ゼオライト封入法、包接化合物法、化学的固定化法等がある。

3.1 イオン注入法

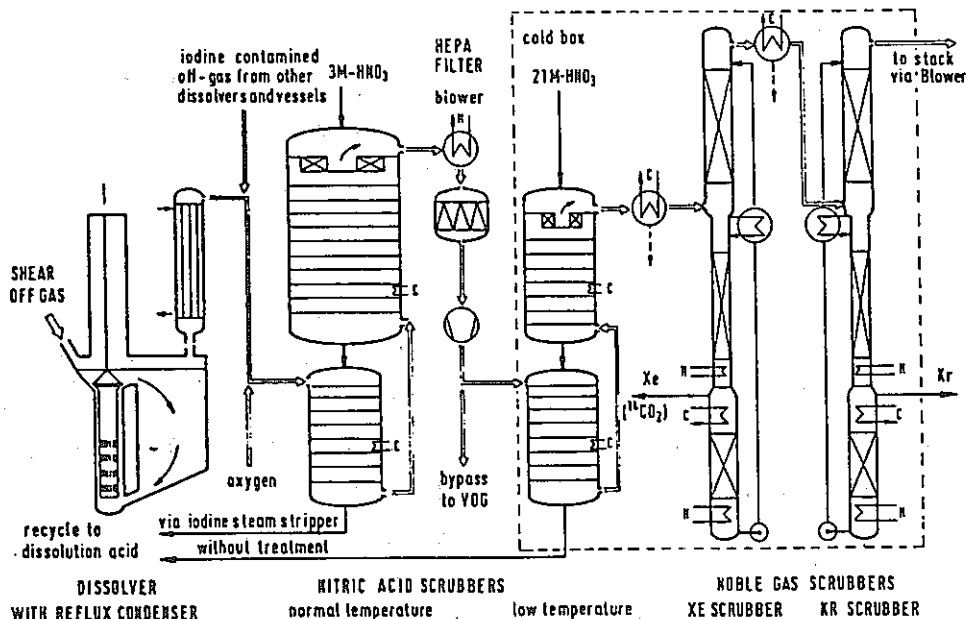
イオン注入法は正式にはイオン注入/スパッタリング (Ion Implantation/Sputtering) と呼ばれるもので、半導体への不純物の注入技術から発展したものである。この方法を開発中の機関は AERE Harwell (英) (以後 Harwell と略す)、Battelle Pacific Northwest Laboratories (米) (以後 PNL と略す)、Kernforschungszenhtrum Karlsruhe (西独) (以後 KFK と略す) であり、国内では (株) 東芝の検討がある<sup>11), 12)</sup>。

① 動作原理とプロセス

イオン注入法は、名称に示されるように Kr ガスを電

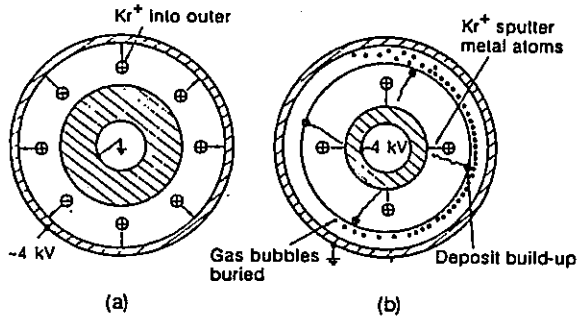
表-1 NOMINAL WORKING CONDITIONS OF THE CRYOGENIC DISTILLATION UNIT

Flow rate:	2 to 8.6 X 10 <sup>3</sup> kg·s <sup>-1</sup>
Pressure:	0.8 MPa
Inlet temperature:	124 K
Argon concentration:	1 vol.%
Krypton concentration:	0-200 vpm
Xenon concentration:	0-1800 vpm
Reflux ratio:	0.3 to 1



(HENRICH E., et al.: 16th DOE NUCLEAR CLEANING CONFERENCE, San Diego, (1980))

図-10 Schematic DOG Flow Sheet



(WHITMELL D. S. : Nucl. Energy, vol. 21, No. 3, pp. 181-187, June(1982))

図-11 The Harwell process : (a) implant ; (b) coat

離，加速して金属母材に衝突，注入させることによりKrを固定化するのが基本原理である。

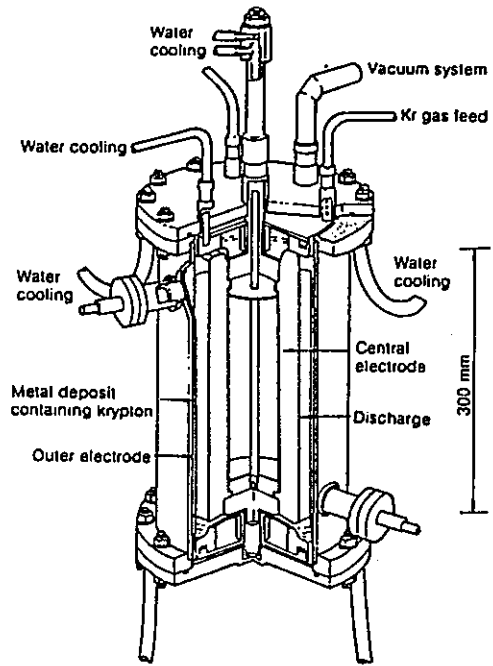
Kr の電離，加速の手段としては，イオン注入する容器内で放電および電界加速を行う方式が主流であるが，イオン源により Kr を電離，加速する方法もある。

金属中へのイオン注入は，再放出と双方向に生じ，注入濃度が一定値に達すると再放出と注入が平衡状態となり，それ以上は注入できなくなる。従ってイオン注入法による Kr 固定を実用的に行うためには，注入と共に新しい金属面を生じさせると都合がよい。この方法としてスパッタリング作用により，新しい金属層を注入された表面に形成し，その金属層に更に注入するという繰り返しの過程が行われる。

注入装置の形状や電極材，ガス圧，放電形態，印加電圧等の動作条件は各開発機関により異なっている。以下に各方式の概要を述べる。

(1) Harwell 方式<sup>13), 14)</sup>

Harwell で開発しているイオン注入法の概要を図-11に，注入容器を図-12に示す。プロセス容器は同軸円筒状の電極からなっており，内側電極はCu，Fe またはNi製等であり，外側電極はSUS等の耐食金属による水冷式である。容器内にKrを約0.1torrのガス圧で導入し，内側電極に3～5kVの負電圧を印加してグロー放電を起こすと，電離したKr<sup>+</sup>は内側電極をスパッタし，飛び出した金属原子が接地された外側電極上に析出する。次に切換えスイッチにより極性を反転し，内側電極を接地，外側電極を-3～-5kVにバイアスすると，Kr<sup>+</sup>は外側電極面に析出した金属中に注入（インプランテーション）される。このスイッチングを繰り返すことにより，内側電極は次第に消耗し，外側電極にはKrを含ん



(WHITMELL D.S. : Nucl. Energy, vol. 21, No. 3, pp. 181-187, June(1982))

図-12 Schematic diagram of vessel

だ金属マトリックスが成長してくる。マトリックス中のKr濃度はスパッタリングとイオン注入に費やす時間の割合で変化するが，最大5atm%のKr（170l（STP）Kr/1lCu）を包蔵でき，マトリックス形成速度は約0.2mm/dayとなる。50ℓのプロセス容器1個（処理量：25l（STP）/day）で3カ月連続運転し，2500l（STP）のKr（<sup>85</sup>Kr：2.5×10<sup>6</sup>Ci）を固定化できる。

注入終了後，プロセス容器は配管，配線を取りはずし蓋を取り付け溶接した後，保管される。Harwellプロセスでは大容量の切換えスイッチが必要となる。開発の程度は他の機関に比べ最も進んでおり，装置はシンプルだが消費電力が高いのが欠点である。

(2) PNL 方式<sup>15), 16)</sup>

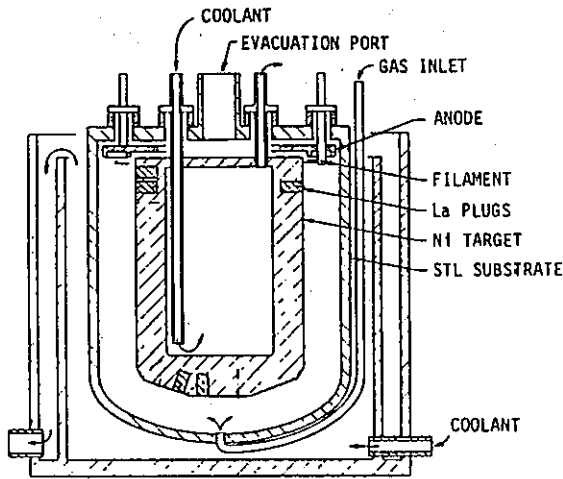
PNL方式はHarwellと同様な同軸円筒状の構造であるが，放電形成メカニズムが異なる。図-13にPNLの注入容器の構造図<sup>17)</sup>を，図-14にKr注入プロセスの説明図を示す。内側電極はスパッタリングを受け，外側電極にKrイオンが注入される。両電極間で放電を発生させるためフィラメントとアノードを持っており，図-14に示すように，フィラメントとアノード間の約50Vの電圧で放電が維持される。

内側電極（ターゲット），外側電極（サブストレート）

への印加電圧は、Ni と La をターゲット材料とした場合、それぞれ - 2.5 kV、- 250 V で連続的に印加している。これはターゲットの円柱に割れ目を作り、Ni90a / o、La 10a / o の割合としたものがスパッタされ、サブストレートに析出する時にアモルファス状となり、アモルファス中に Kr を注入する場合は結晶状に比べ約 1 桁低い

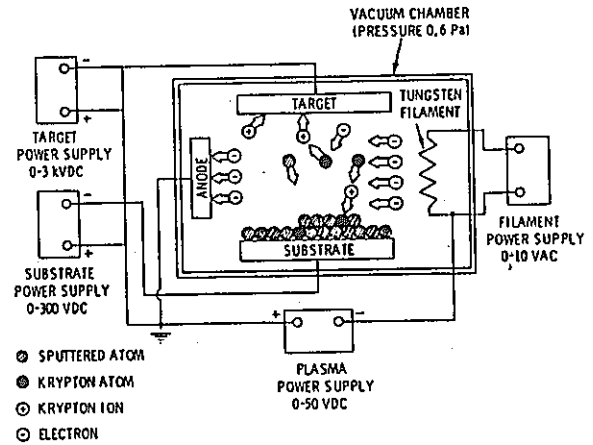
電圧ですむためである。また、250 V という低電圧ではサブストレートのアモルファス合金をスパッタする恐れがないため、印加電圧を Harwell とは違い、定常的に印加することが可能である。

Kr 注入濃度は Ni, La アモルファスの場合、10a / o と Harwell 方式の約 2 倍まで注入できる。注入後の容器の処理は Harwell と同様である。



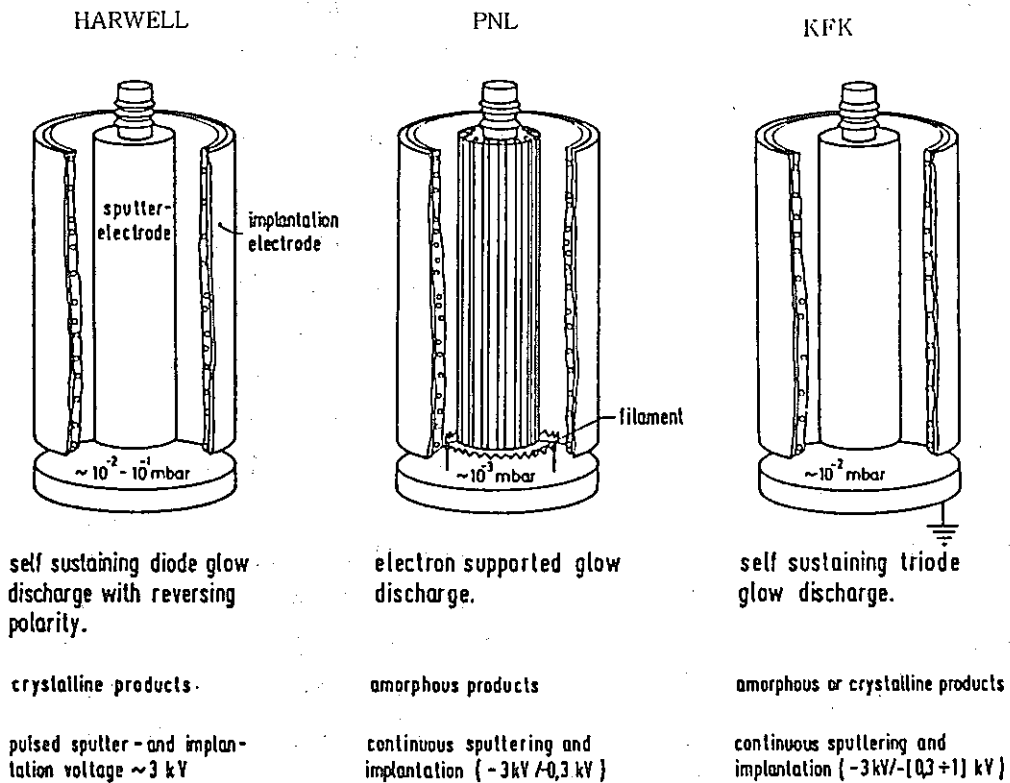
(T. D. Chikalla and J. A. Powell : PNL-4250-3, pp. 6, 12, June 1983)

図-13 1500-cm<sup>2</sup> Disposable Gas Trapping Unit



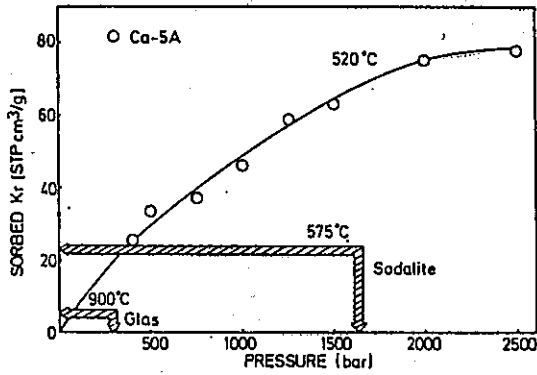
(TINGEY G. L., et al. : IAEA-SM-245/31(1980))

図-14 Thermionically supported plasma sputtering/ion implantation system.



(Schmidt H. J., et al. : Proc. 16th Air Cleaning Conf., San Diego, p. 1019(1980))

図-15 Fission product krypton implantation procedures



(PENZHORN R.D., et al.: IAEA-SM-245/10(1980))

図-16 Krypton fixation as a function of pressure.

(3) KFK方式 18), 19)

KFKでは開始時期が遅かったこともあり、Harwell、PNLの両方式を検討し、図-15に示すような構造とし、PNLの定常電源方式とHarwellのフィラメント無し方式の利点を活かすようにしている。

放電は約 $10^{-2}$  torrでの自動グロー放電で、内側電極に約3 kVの負電圧を、外側電極に最大1 kVの負電圧を定常的に印加し、スパッタリングとイオン注入を同時進行させている。

Tiマトリックス中のKrは熱的に安定性が高いため、Tiの使用に力を入れており、8 a/oのKrを注入することができる。

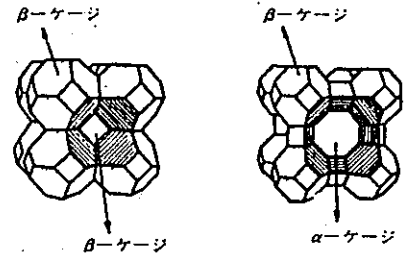
② 注入Krの安定性

金属中でKrは20~30 Å程度の気泡として存在する。CuマトリックスからのKrの再放出率は、150°Cで100年間に0.05%であり、400°C前後では急激に増える(約100%/yr)が、再び冷却してやれば問題にならない。

Ni, Laアモルファスの場合の再放出率は、注入後10年間で350°Cの場合0.5%程度であり、220°C以下に保てばさらに7桁程度低い放出率となる。またTi結晶の場合、400°Cで100年間で1%、300°C以下なら100年間で0.1%以下の微量となる。

$^{85}\text{Kr}$ の崩壊によって生成するRbによる腐食等の影響は懸念されていない<sup>1), 13)</sup>。また貯蔵中の $^{85}\text{Kr}$ による放射線損傷も無視できる程度<sup>1), 13)</sup>である。

以上述べたように、イオン注入法によるKrの固定は理想的な方法である。



ソダライト A型ゼオライト  
いずれの場合も各頂点はSiまたはAl、各枝辺は酸素結合を示す。陽イオンはケージ内に位置する。  
(桜井勉等：日本原子力学会誌、24(10)、pp. 776(1982))

図-17 ソダライトおよびA型ゼオライトの骨格構造

3.2 ゼオライト封入法

ゼオライト封入法は、高温・高圧下でKrをゼオライトの空洞に閉じ込める方法である。ゼオライト法の研究開発は西独のKFK<sup>20)</sup>と米国のEXXON Nuclear Idaho Co., Inc. (ENICO)<sup>21)</sup>がよく知られている。

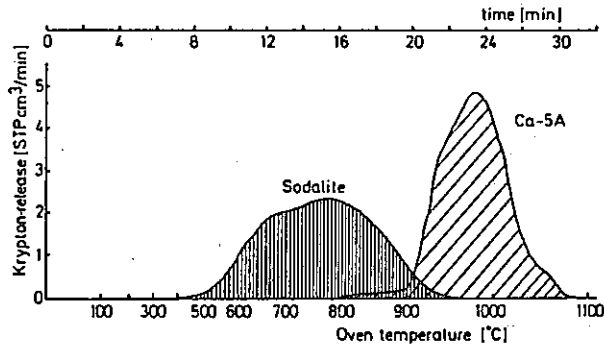
ゼオライトの中ではソダライトとゼオライトA(5A, 3A)を対象に種々の検討がなされ、現在ではゼオライト5Aが最も有望とされている。Penzhornらによる結果の1例を図-16に示す。

① 原理とプロセス

ゼオライト法でKrが閉じ込められる空洞は、図-17に示すようなKr原子(径3.5 Å)より小さい開口部(2.3 Å)を持つβ-ケージと大きい開口部(4.2 Å)を持つα-ケージである<sup>22)</sup>。Krのβ-ケージへの拡散には大きなエネルギーを必要とし、その活性化エネルギーEは100~700 kJ/molと言われている。高温・高圧下でβ-ケージにKrを拡散させた後、高圧を保ったまま冷却すると、ケージ内のKrは外部へ拡散できなくなり、ケージ内に固定される。α-ケージ中のKrはゼオライトの焼結による結晶のアモルファス化が作用<sup>23)</sup>する。2価の陽イオン(Ca, Mg, Srなど)で置換されたゼオライトAは、450~500°CでKrを封入した後650~700°Cに昇温すると、結晶構造が崩壊しアモルファス化する性質がある。このため開口部が塞がれ、Krの熱的安定性が増加するとともにα-ケージ中のKrも固定化される。

② 封入Krの安定性

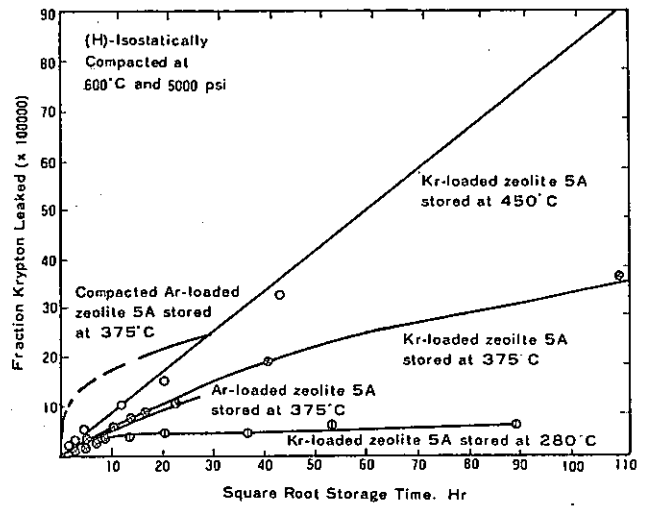
Penzhorn らおよび Christensen らによる Kr 放出挙動の結果を図-18、図-19にそれぞれ示す。ゼオライト 5 A は 800 °C から放出が顕著となり、400 °C 前後では 200 日で  $10^{-4}$  オーダと非常に低い値である。ゼオライト 5 A 中の Kr は耐水性および耐放射線性の面でも優れており、1 週間以上水中に放置しても Kr の放出は認められない。また約 2 カ月間でトータル  $10^6$  kJ/kg の照射を



(PENZHORN R. D., et al. : IAEA-SM-245/10, pp. 297(1980))

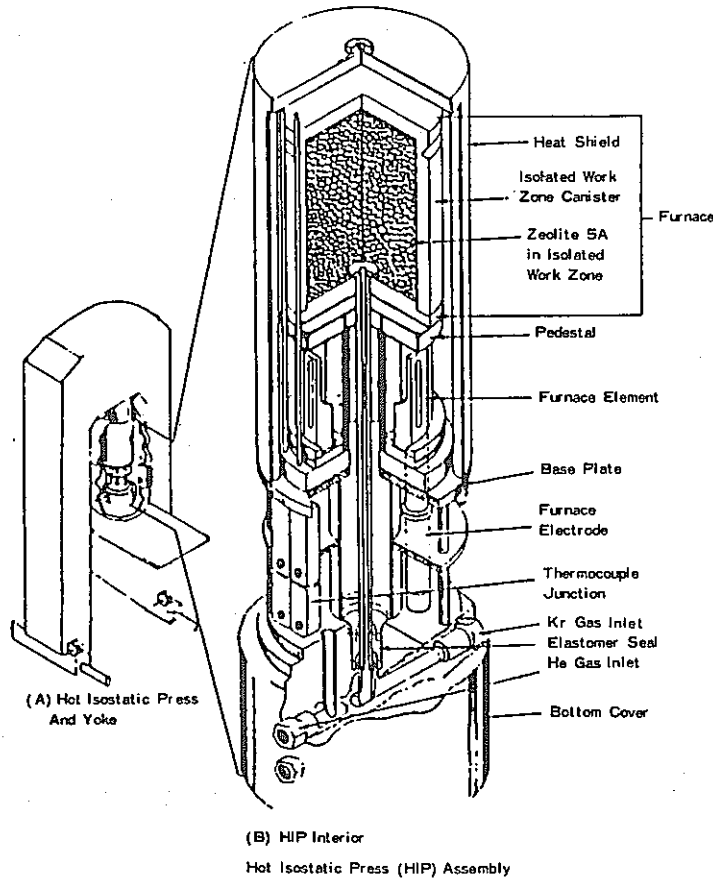
図-18 Krypton leakage from 5A zeolite and sodalite.

しても、 $37.2 \text{ cm}^3/\text{g}$  の試料から僅かに 0.009 名の Kr が放出されるに過ぎない。



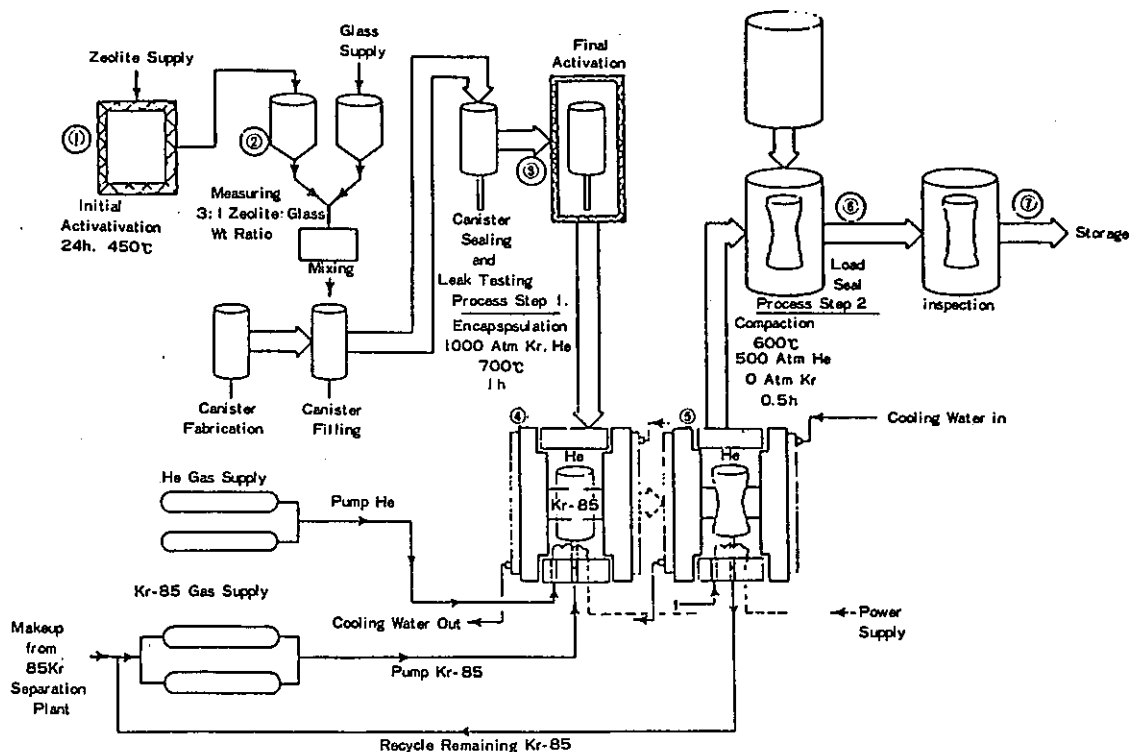
(CHRISTENSEN A. B., et al. : 17th DOE Air Cleaning Conf. (1982))

図-19 Fractional Gas Leakage From Sintered Zeolite And Zeolite/Glass Matrices As A Function of Storage Time And Temperature



(CHRISTENSEN A. B., et al. : 17th DOE Air Cleaning Conf. (1982))

図-20 Cutaway of HIP Interior With Isolated Work-Zone.



(CHRISTENSEN A. B., et al.: 17th DOE Air Cleaning Conf. (1982))

図-21 Krypton Encapsulation Process Schematic.

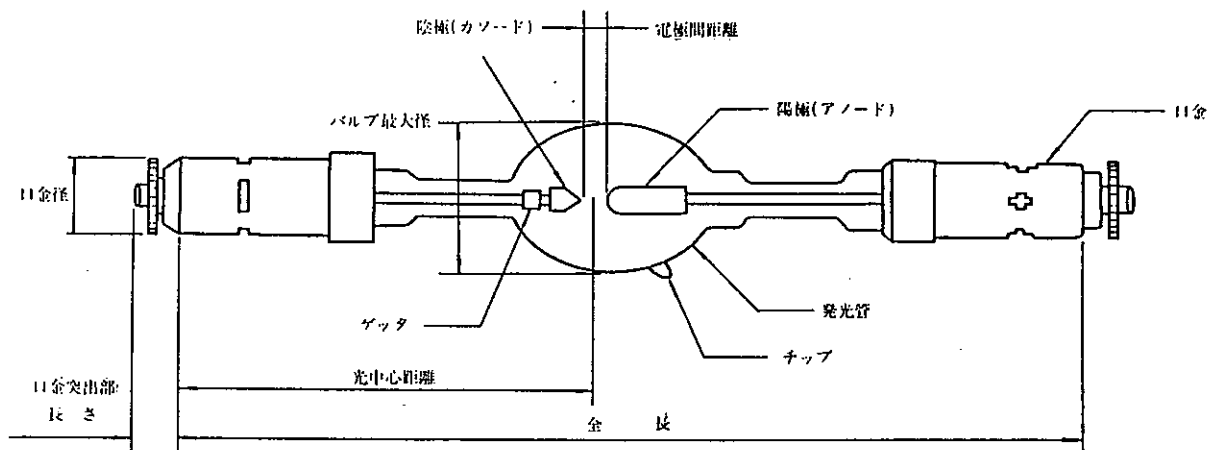


図-22 キセノンランプの構造

③ プロセス設備

ゼオライト封入の代表的なプロセスである Hot Iso-static Press (HIP) 技術を用いた Christensen らの開発した Kr 封入容器<sup>21)</sup> を図-20に示す。また本容器を用いた HIP プロセスフローを図-21に示す。本プロセスは大きく2つのステップに分けられ、ステップ1では 1,000 atm, 700°C 約1時間で Kr を封入し、ステップ2では 500 atm, 600°C 約30分で He によりコンパク

ションを行う。本プロセスの高圧条件はクライオポンプにより容易に設定できる。

4. 回収希ガスの利用

回収希ガスの利用方法としては、大きく二つに分けて



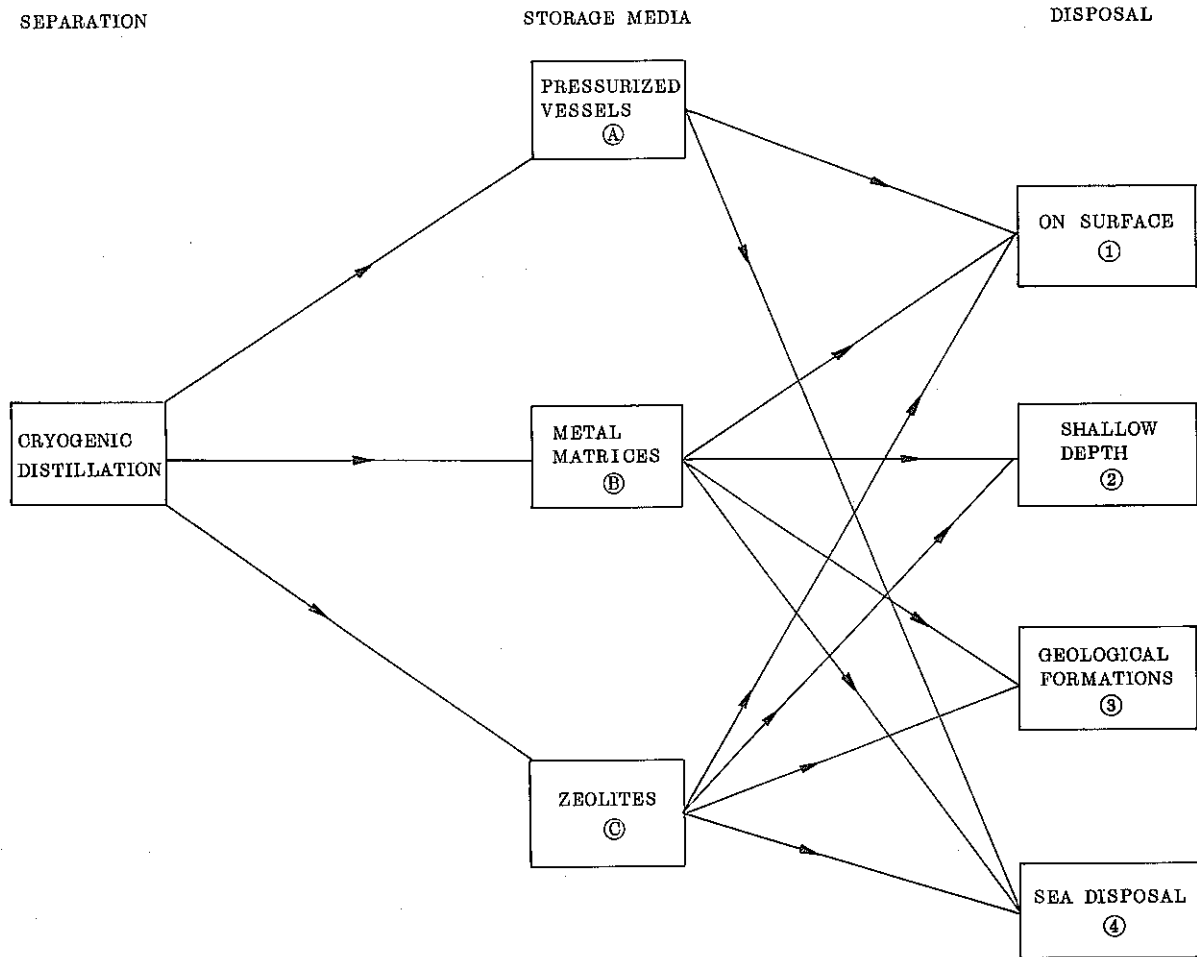
別添 - 2

Kr-85 の処理・処分の経済評価

—— ブラッセル会議（1982年7月）報告書から ——

1. 対象とした処理処分の代替案

経済評価の対象とした Kr-85 の処理処分の代替案を図-1 に示す。



分離回収法は、深冷分離法のみが評価対象になっているが、この理由は、以下のとおりである。

- ① 深冷分離法は多くの国で開発が進んでおり、Kr と Xe を効果的に分離できる。
- ② Xe 中に微量含まれる Kr-85 を一定の基準値以下に低減できれば、一般市場での価格が出てくる。
- ③ 溶媒吸収法は、溶媒の放射性分解による塩素ガスの発生や材料の腐蝕問題があるとともに、Kr と Xe の分離が良くないという欠点がある。

④ 除染係数として50～100が必要である。

Krの貯蔵方法は、圧力容器での貯蔵、金属マトリックスへの注入及びゼオライト封入が対象とされており、処分方法としては、陸上処分、浅地層処分、深地層処分及び海洋処分があげられている。しかし、圧力容器を地層処分することは安全上の観点から対象外としている。

2. 各代替案のコスト比較

各代替案のコスト比較を表-1に示す。また百万KWeの発電所を1年間運転した時に生成されるKrを処理処分するために必要な各代替案の総コストを比較したグラフを図-2に示す。Krをガス状で処分する代替案のコストは、Krを固化して処分する代替案のコストよりかなり広い。

Krを固化して処分する8つの代替案の間のコストの差は小さい。

TABLE 1 GENERAL TABLE OF COSTS

STRATEGY	SEPARATION	CONDITIONING		STORAGE/DISPOSAL		TOTAL COST			
	S/kg U	S/kg U	REF	S/kg U	REF	\$/kg U	K\$/GWe year	10 <sup>-1</sup> \$/KWh	
A-1	1.09-1.51	*		7.8 - 11.5	/63/, /118/, /124/	8.9 - 13.0	220-325	25-37	
A-4				0.8 - 5	/87/, /64/, /119/ /78/	1.89-6.5	47-162	5.4-18	
B-1		0.62-0.95		/120/, /121/	0.1 - 1	/122/, /123/	1.81-3.46	45-86	5.1-9.9
B-2					0.0007-0.099	/118/, /117/	1.7 - 2.56	42-64	4.8-7.3
B-3					0.01-0.15	/115/, /71/, /125/	1.81-2.60	45-65	5.1-7.4
B-4					0.12-0.8	/63/, /126/	1.83-3.26	45-82	5.3-9.3
C-1		0.4		/72/	0.1 - 1		1.59-2.91	39-73	4.4-8.3
C-2					0.0007-0.099		1.49-2.01	37-50	4.2-5.7
C-3					0.1 - 0.15		1.59-2.06	39-52	4.4-5.9
C-4					0.12-0.8		1.61-2.71	40-68	4.6-7.7

\* The cost of storage in pressure cylinders is included in the cost of separation.

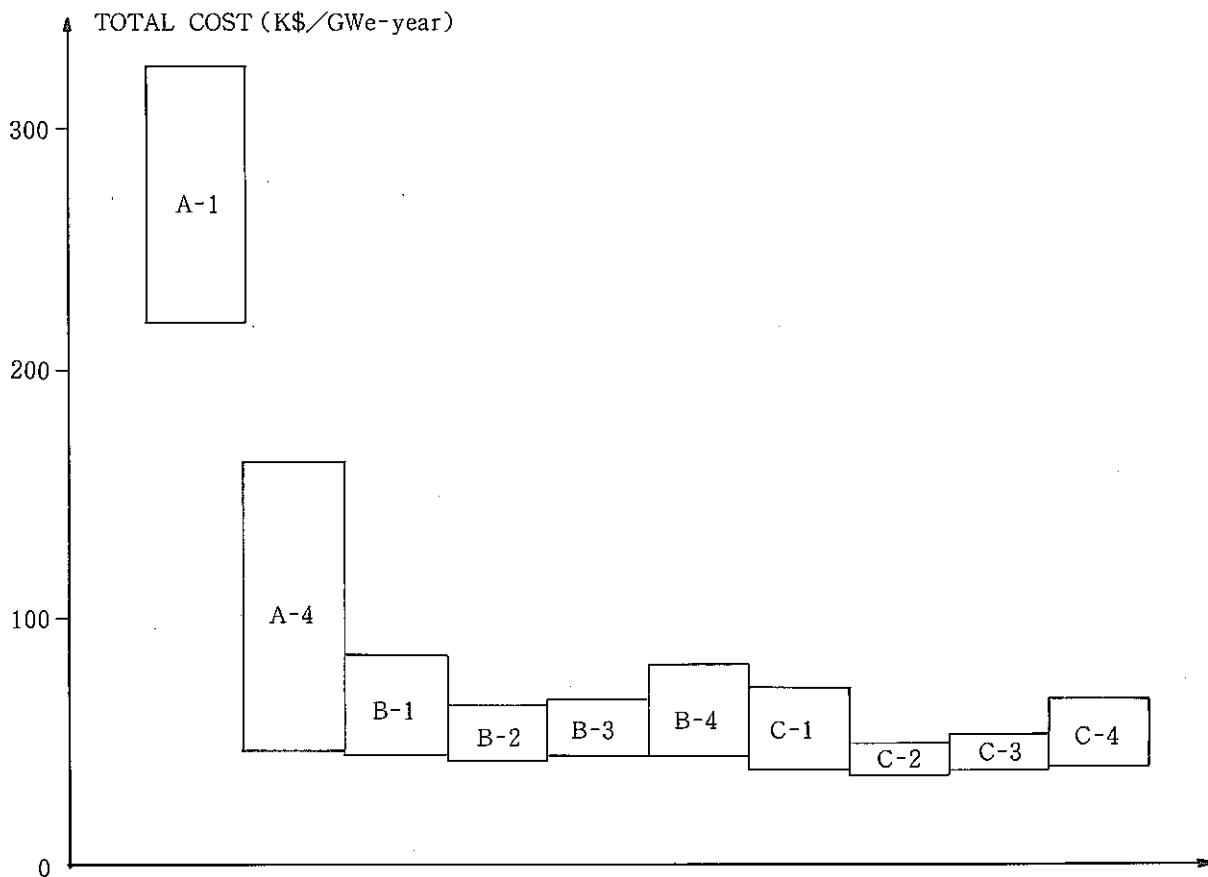


Figure 2 COST COMPARAISON OF THE DIFFERENT STRATEGIES

なお、金額は、1980年のドル換算値であり、毎年のインフレーション率は8.5%である。