

動燃事業団プルトニウム取扱施設におけるデコミッショニングの現状

1991年3月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。(注)

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 (Tokai Works)

技術協力部 技術管理室

(Technology Management Section)

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technology Management Section Office, Tokai Work, Power Reactor and Nuclear
Fuel Development Corporation 4-33, Muramatu Ooaza, Tokai, Naka-gun, Ibaraki,
319-11, Japan (注)

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation) 1991

動燃事業団プルトニウム取扱施設におけるデコミッショニングの現状

佐藤寿人*，石橋 隆**
川又 博*，廣田栄雄*

要 旨

動燃事業団プルトニウム取扱施設におけるデコミッショニングの現状として、プルトニウム取扱施設の概要、解体の特徴、解体の基本的な考え方、解体の実績、コスト評価、今後の課題をまとめた。

なお、本資料は（財）原子力施設デコミッショニング研究協会が取りまとめた核燃料施設解体技術総合調査報告書（平成2年度）の参考資料として作成したものである。

* プルトニウム燃料工場 設備課
**プルトニウム燃料工場 加工課

目 次

1. はじめに	1
2. プルトニウム取扱施設の概要	2
3. プルトニウム取扱施設の解体の特徴	5
4. 解体にあたっての基本的考え方	6
5. 解体の実績	7
6. グローブボックスの概要	8
7. 解体の方法	9
7.1 概 要	9
7.2 グリーンハウス	10
7.3 汚染、線量当量率の測定	11
7.4 除 染	12
7.5 解 体	13
7.6 廃棄物の処理	14
7.7 放射線管理	14
7.8 作業安全	16
8. コスト評価	17
9. 今後の課題	18

1. はじめに

動燃事業団のプルトニウム取扱施設は、昭和42年にプルトニウム燃料第一開発室の操業開始以来、プルトニウム燃料第二開発室、プルトニウム転換技術開発室及びプルトニウム燃料第三開発室の建設、操業を行い現在に至っている。この間、多分野に亘るMOX燃料の研究や製造技術開発を進めてきた。

これらのプルトニウム取扱施設においては、研究開発内容の変遷または設備の老朽化に伴い、設備のデコミッショニング（以下「解体」という。）が必要となつたため、主としてグローブボックス及び内装設備を解体の対象としてきた。なお、建屋については耐用年数に達していないことと有効利用という観点から、現時点まで解体の対象とはしていない。

グローブボックスの解体に際しては、グローブボックスが非密封の核燃料物質を取り扱う設備であるため、これに付着したプルトニウムの内部被ばく防止等の上から十分な安全対策が必要とされている。動燃においては、この解体を昭和52年より始めており、現在まで約20件に達している。今後、さらに技術の高度化が望まれるもの必要な技術は、これまでの間に確立されたと考えられる。

ここでは、これらのうち主としてプルトニウム燃料第二開発室を例にその概要、解体実績、解体方法等について述べる。

2. プルトニウム取扱施設の概要

1) 施設の概要

プルトニウム取扱施設のうちプルトニウム燃料第二開発室を例に概要を述べる。

建屋は、鉄筋コンクリート耐火構造で、床面、壁、天井はエポキシ系樹脂またはビニール樹脂塗装が行われている。床面積は約6000m²であり、このうち8割は管理区域である。

建屋内には、プルトニウム粉末からペレットを製造するペレット製造工程、ペレットを被覆管に充填し集合体まで組み上げる加工工程、燃料の物性・分析等を行う検査工程、湿式回収を行う湿式回収工程及び原料等を貯蔵する貯蔵庫等が設置されている。燃料製造工程のフローシート略図を図-1に示す。

主要な設備としては、①管理区域の各工程室及びグローブボックスを負圧に維持するための換排気設備、②燃料製造のための内装設備を含むグローブボックス、フード、③燃料設備にガス等を供給する各種ユーティリティ設備、④放射線、安全管理設備等である。

なお、ペレット製造工程及び検査工程のほとんど並びに加工工程の一部の設備は、グローブボックスの中に設置されている。

2) プルトニウムの取り扱いの特徴

プルトニウム取扱施設でプルトニウムを取り扱うためには、ウランに比べてより厳しい以下のようないくつかの管理が要求されている。

① プルトニウムの閉じ込め対策

プルトニウムが作業環境及び自然環境に影響を及ぼさないようにその取り扱いは「閉じ込め」機能を有するものの中で取り扱われており、プルトニウム取扱施設では、一般的にグローブボックスが用いられ、プルトニウムを直接取り扱う設備はこの中に設置される。

また、グローブボックスの中は、排風機の連続運転により工程室に対し、約30mmH₂Oの負圧が維持されており、万一グローブボックスの気密に障害があったとしても安全側になるよう管理されている。さらに、施設全体としても外気に対し、廊下、工程室、グローブボックスの順に負圧を低く管理している。

なお、グローブボックス、工程室からの排気は数段の高性能エアフィルタを経て排気筒より放出される。

② 外部被ばく対策

プルトニウム同位体は²⁴¹Puを除き α 崩壊が主であるが、 α 崩壊に伴って放出される

γ 線、 ^{241}Pu が β 崩壊してできる ^{241}Am からの γ 線並びに ^{238}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{242}Pu の偶数核種の自発性核分裂等による中性子線のため、線量率が高くなる。これらは燃焼度が高い使用済み燃料から回収されたプルトニウムほど高くなり、さらに再処理後の時間経過とともに ^{241}Am の生成量が増加するため、 γ 線量率が高くなる。したがって、作業者の被ばく線量を低減する対策が必要となり、グローブボックス表面に、鉛入りガラス、鉛入りアクリル板の付加及び必要に応じ内装設備に γ 線及び中性子線に対する遮へい材を付加して線量の低減を図ると同時に、工程設備の自動化、遠隔操作化によって線源から離れて作業できるような対策も行っている。また、原料及び中間製品等を貯蔵・保管する場所についても γ 線に対する遮へいとともにポリエチレン等による中性子遮へいを施している。

③ 臨界管理

MOX燃料製造工程では大量のプルトニウムが取り扱っているため、厳重な臨界管理を行っている。臨界管理には容器の直径、厚さなど幾何学的形状で管理する方法（形状管理）と臨界量に対して十分余裕を持った取り扱い制限量を工程毎（多くはグローブボックス毎）に定めて常にその質量以下に管理する方法（質量管理）がある。MOX燃料製造工程では主に質量管理が行われているが、プルトニウム溶液を取り扱う一部の工程では容器形状の寸法制限を行う形状管理も行われている。

④ 保障措置

プルトニウム取扱施設では、国内及び国際的な保障措置制度の適用を受け、厳重な計量管理が行われている。計量管理は臨界管理と組み合わされ、コンピュータを用いて移動量、在庫量を管理する方法がとられ、多岐にわたるプルトニウム、ウランの種類、形状及び国籍別の管理が行われている。

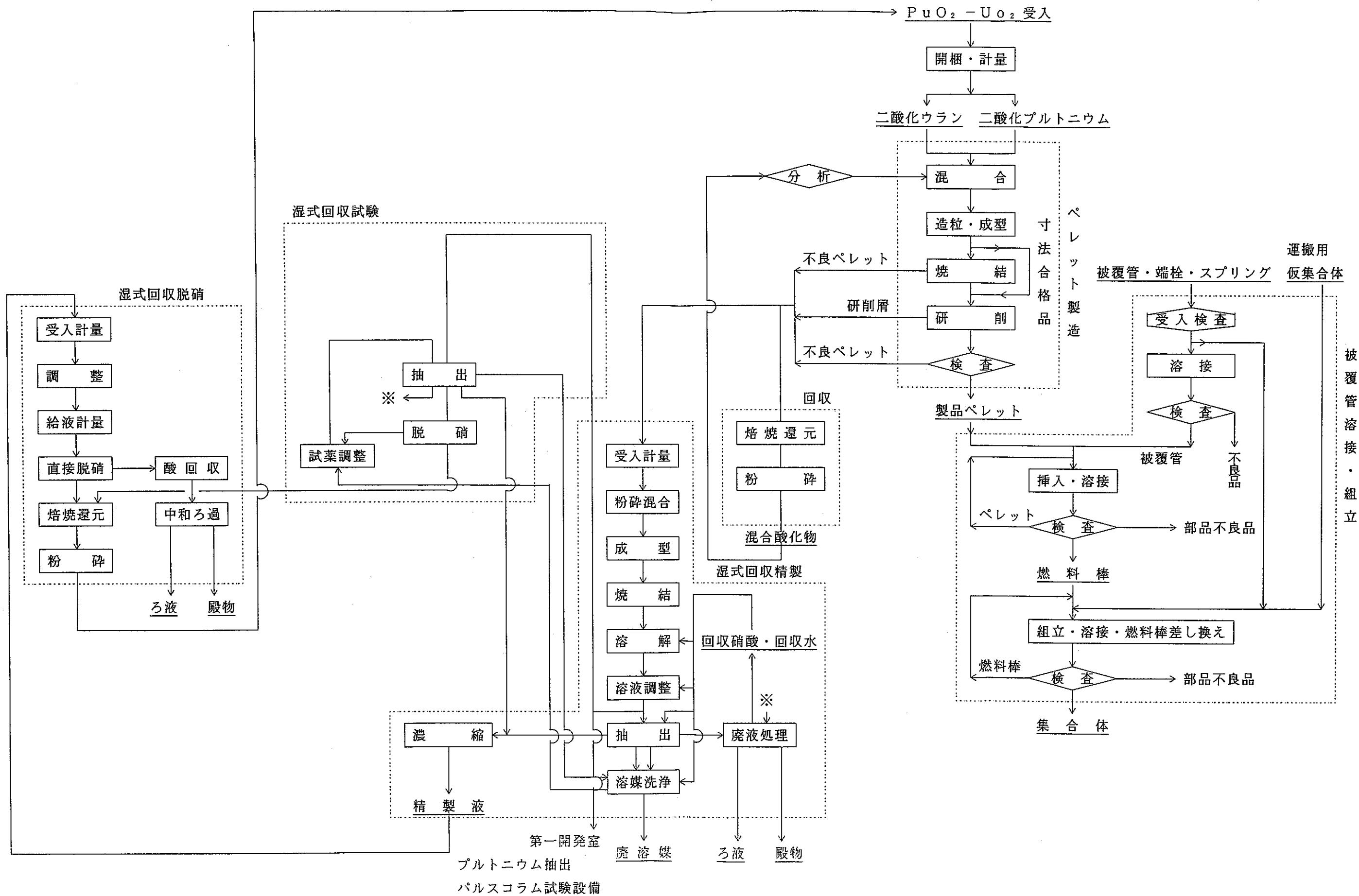


図-1 燃料製造工程フローシート略図

3. プルトニウム取扱施設の解体の特徴

プルトニウム取扱施設の解体の特徴を原子炉のデコミッショニングと比較してみると次の事項が挙げられる。

- 1) デコミッショニングの対象としては、プルトニウムを閉じ込めるグローブボックス及びそれに内装される設備が主である。なお、内装設備のうちグローブボックス作業により解体できるものについては、通常のバッグアウトにより撤去することも一般的に行われている。
- 2) グローブボックス及び内装設備の構造、形状、材質が多種多様であるため、除染、解体では広範な技術が必要となる。
- 3) 原子炉の材料は放射化されているのに対して、グローブボックス及び内装設備を構成する材料は放射化されていない。
- 4) グローブボックス内面、内装設備に付着しているプルトニウムについては、除染作業によりある程度のレベルまで除染するが、解体時においては除染できなかったプルトニウムの再浮遊があるため、作業者の内部被ばく対策及び環境に対する閉じ込め機能が必要となる。
- 5) 建屋については、未だ耐用年数に達していないことと有効利用を図る観点から、建屋解体の経験は動燃では有していないが、動燃におけるプルトニウム取扱施設では汚染ゼロを目指し管理しているため、建屋の床、壁等については、解体する場合に汚染チェックは必要になるが、基本的には汚染はないものとして考えられる。

4. 解体にあたっての基本的考え方

グローブボックスの解体にあたっては、1) 安全性、2) 廃棄物発生量の低減、3) 経済性を基本にしている。

1) 安全性

解体においては、次の項目を目標している。

- 1) 作業員の外部被ばくを可能な限り少なくする。
- 2) 作業員のプルトニウム内部吸入のゼロを目指す。
- 3) 火災等の一般災害の発生のゼロを目指す。

2) 廃棄物発生量の低減

作業方法の改善等により除染、解体作業で発生する廃棄物の量を低減させることを目指している。

3) 経済性

作業の合理化を図り、解体の工期を短縮化して、作業に係わる人件費、燃料の製造工程に与える影響を最小にすることを目標としている。

5. 解体の実績

プルトニウム取扱施設において建屋を解体した経験は未だなくグローブボックスが主体であるが、それらのうちプルトニウム燃料第二開発室における主要なグローブボックスの解体の実施例を表-1に示す。

昭和52年にプルトニウム燃料第一開発室の小型焼結炉を含むグローブボックス(4m³)を解体して以来、今まで約20件のグローブボックスの解体を行ってきた。この間、除染方法、解体方法、放射線管理方法等の開発を行い、現在では解体の基本的技術は確立されたと考えられている。

表-1 プルトニウム燃料第二開発室における主要なグローブボックス解体の実施例

実施年度	設備名称	グローブボックスの台数	グローブボックスの容積(m ³)	作業期間(月)	放射性廃棄物発生量*'(m ³)
昭和53	FBR湿式回収設備	8	8.9	8	160
昭和55	ATR湿式回収設備	5	4.7	9	100
昭和58	廃液処理設備	10	6.9	11	120
昭和61	分析設備	11	1.0	2	10
昭和63	脱硝設備	9	10.7	13	200
平成元	成型設備	1	1.8	5	30

*' ドラム缶(200リットル)等からの換算推定値

6. グローブボックスの概要

プルトニウム取扱施設におけるグローブボックスはプルトニウムを作業環境に対して閉じ込めるために設けているものである。グローブボックスは、ステンレス鋼からなるグローブボックス本体、透明パネル、作業操作用のグローブ、グローブボックスの換気のための給気口及び排気口等、物品を搬出入するための搬出入ポート等からなる。

通常、グローブボックスの寸法は高さと横が1mの整数倍で奥行きは1mで設計される。本体のステンレス鋼板の厚さは4~6mmで、パネルは透明アクリル樹脂あるいは透明塩化ビニール樹脂である。プルトニウム燃料第二開発室の標準的なグローブボックスを図-2に示す。

グローブボックスの閉じ込め機能は、基準値以下の漏洩率及び給気と排気とのバランスによって確保される一定の負圧で担保している。

番号	名 称	番号	名 称
1	本 体	6	差 圧 計
2	透 明 パ ネ ル	7	大搬出入ポート
3	グローブポート	8	小搬出入ポート
4	架 台	9	消火ガスノズル
5	排 気 口	10	給 気 フ ィ ル タ

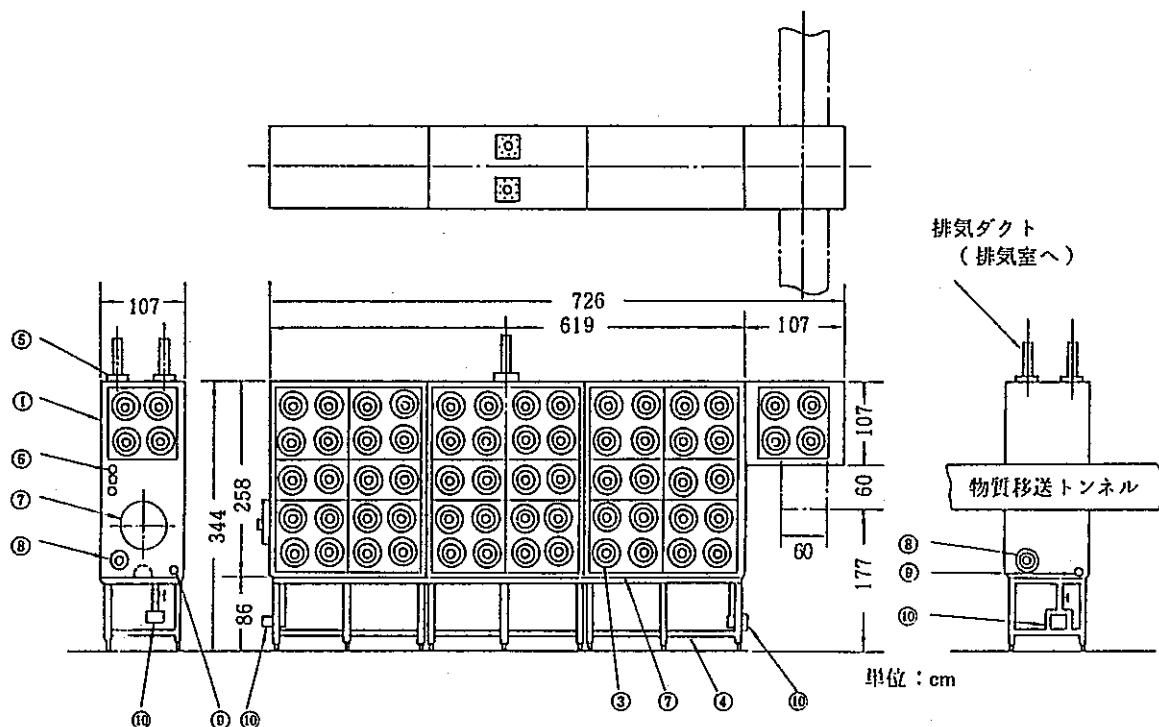


図-2 グローブボックスの概要

7. 解体の方法

7.1 概要

グローブボックスの解体は、大別するとグローブボックス内のプルトニウムのクリーンアウト、室内の間仕切り等の準備作業、グローブボックス内の除染作業、グローブボックス及び内装設備の解体作業である。グローブボックスの解体方法の概要を図-3に示す。

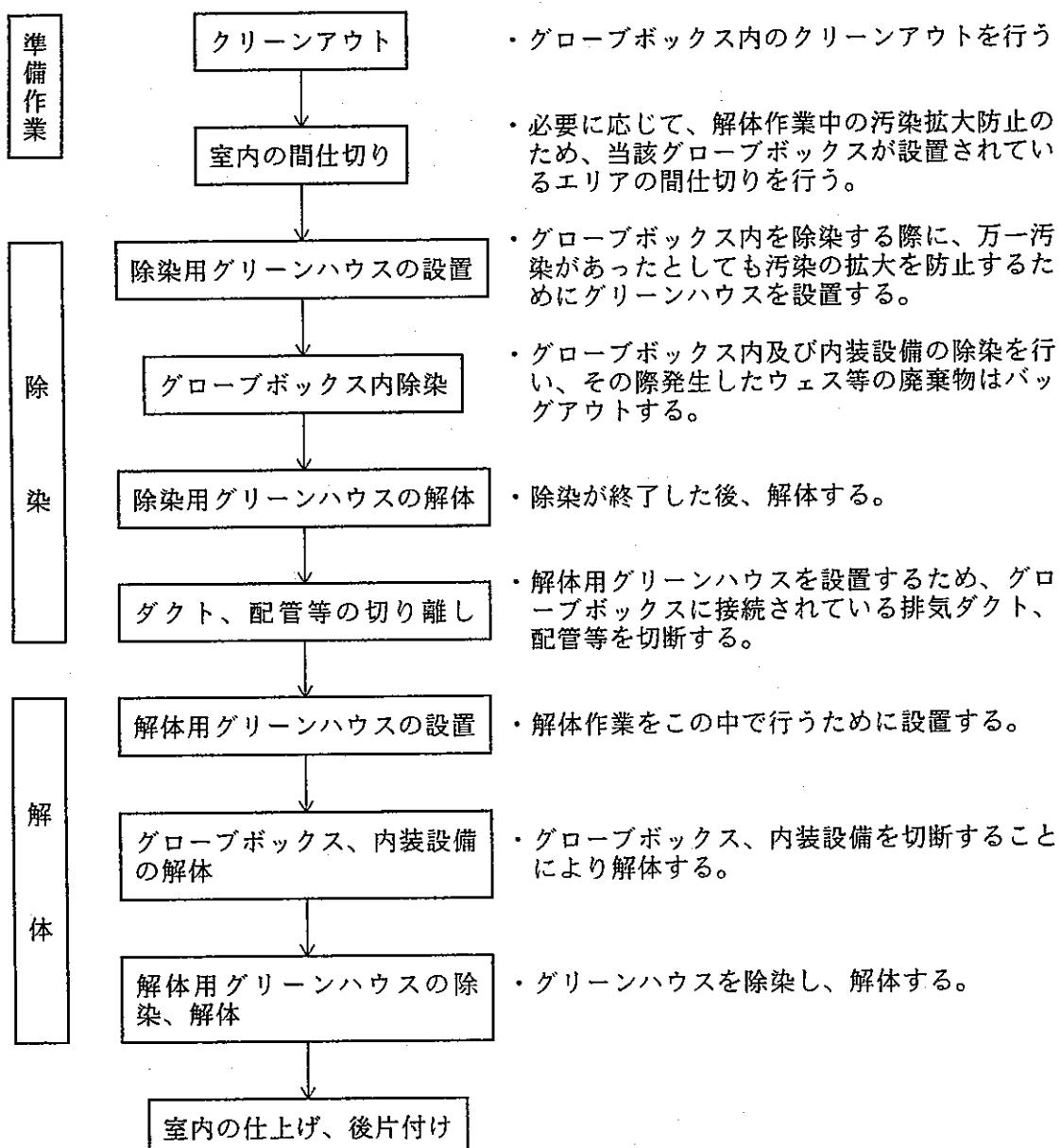


図-3 グローブボックスの解体方法の概要

7.2 グリーンハウス

グリーンハウスはグローブボックスの除染及び解体時のルーズなプルトニウムを閉じ込めるために設営するもので、鉄パイプ等で骨組し、これに酢酸ビニール等の樹脂シート（廃棄物になった場合に焼却処理が可能）で作製したカバーを吊し、グローブボックスを囲うものである。必要に応じ、内部観察用の窓も設置する。また、グリーンハウスには汚染の拡大を防止するため、メインのグリーンハウスの前に前室を一般的に3段に設置する。グリーンハウスの概要を図-4に、グリーンハウス及び付属機器の配置を図-5に示す。

解体用グリーンハウスは図-4に示すようにGH-1、GH-2、GH-3及びGH-4に区分され、GH-1にはグリーンハウス内の換気及び負圧（数mmH₂O程度）維持のため、高性能エアフィルタと排風機が接続されている。

また、グリーンハウスには解体物等の廃棄物の払い出しのために廃棄物搬出用バッグアットポートを設けている。

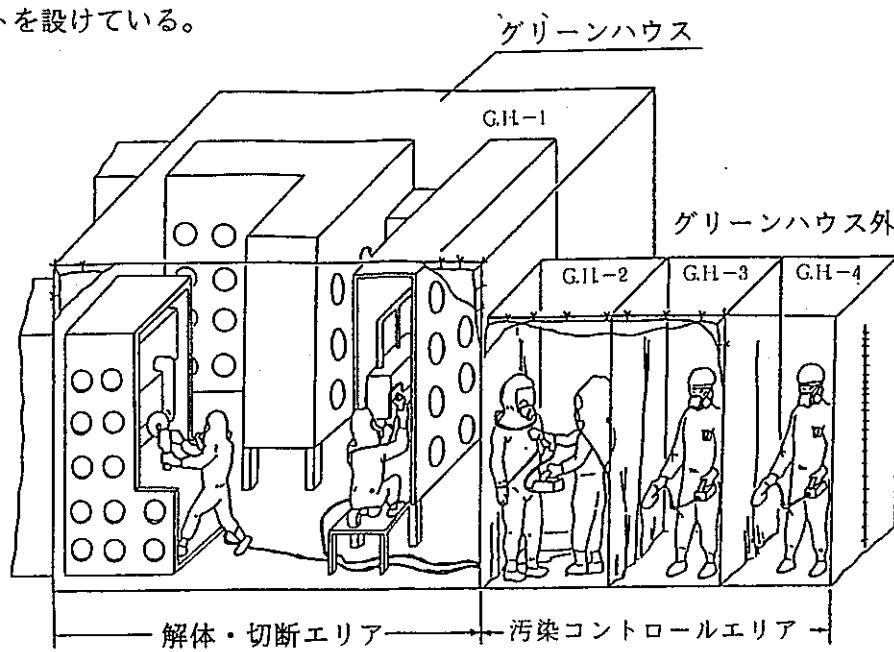


図-4 グリーンハウスの概要

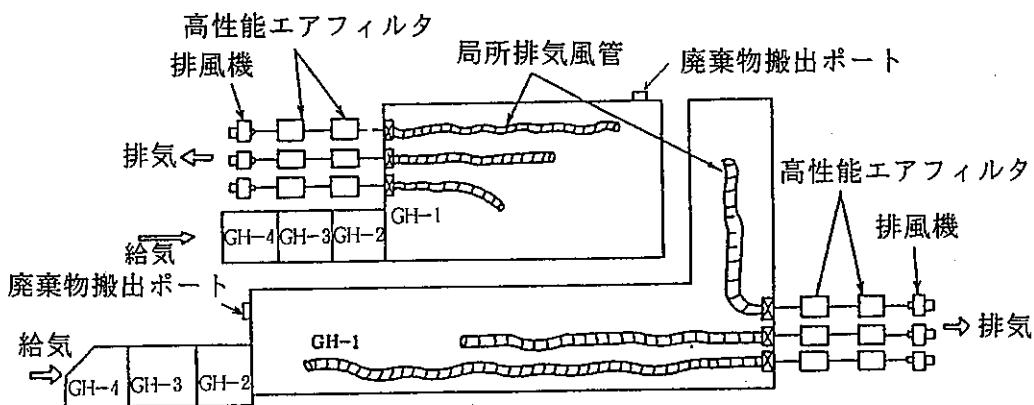


図-5 グリーンハウス及び付属機器の配置

7.3 汚染、線量当量率の測定

グローブボックス内及び内装設備の汚染の程度、グローブボックス表面、解体物の線量当量率は準備作業、除染作業及び解体作業の中で行われる。汚染の程度は、一般的にはスミヤ法でサンプリングされ α 線用 ZnS (Ag) シンチレーションカウンタ等で測定される。また、線量当量率については γ 線が主体であるため、電離箱等により測定される。

昭和63年度に解体されたグローブボックス（脱硝設備）におけるグローブボックス内汚染状況及びグローブボックス表面での線量当量率の例を図-6、表-3に示す。このグローブボックスは、粉末のプルトニウムを取り扱っていたため、汚染のレベルは比較的高かった。また、飛散したプルトニウムは沈降して、グローブボックス床面に付着するため、床面が最も汚染していた。

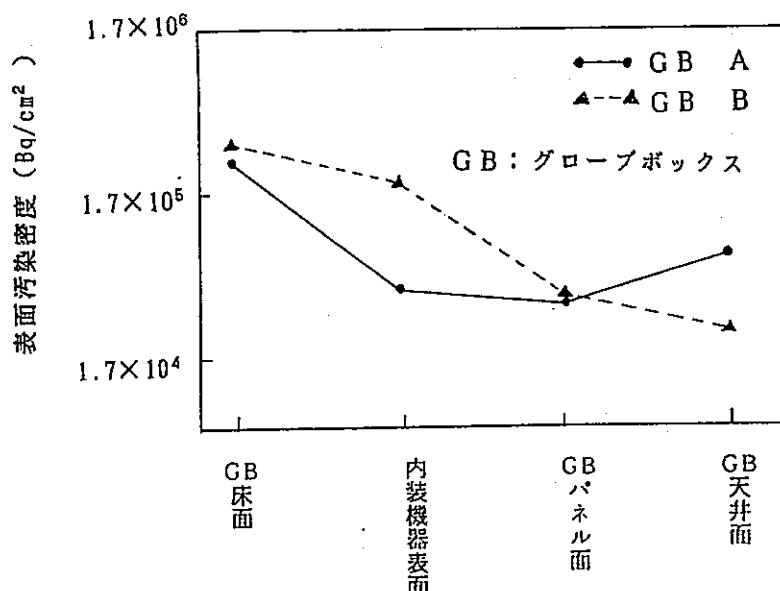


図-6 グローブボックス内汚染状況

表-3 グローブボックス表面の線量当量率 (γ 線)

測定場所	平均値 (C/kg・h)	最大値 (C/kg・h)
GBパネル面	1.03×10^{-6}	1.49×10^{-5}
GBポート部	2.45×10^{-6}	4.90×10^{-5}
GB床部	—	2.58×10^{-4} 以上

7.4 除 染

グローブボックス内の除染は、1) 解体作業中における空気中のプルトニウム濃度の低減、2) 解体作業中の外部被ばくの低減等を目的に行われる。除染の目標レベルとしては、汚染レベルが低いグローブボックスの場合は $0.17\text{Bq}/\text{cm}^2$ 程度、汚染レベルが高いグローブボックスの場合は $1.7\text{Bq}/\text{cm}^2$ 程度としている。

除染方法は、従来、市販のR Iクリーナ（界面活性化剤等）やシュウ酸、クエン酸などを浸み込ませた布で除染する拭き取り除染法を主に採用していたが、昭和63年度に解体されたグローブボックス（脱硝設備）の場合は、湿った紙タオルでグローブボックス内面を拭いた後、塗膜剥離除染法で除染した。従来の方法（昭和53年のF B R湿式回収設備の場合）での除染係数は 10^2 程度（8回除染）であったが、塗膜剥離除染法では最大で 10^4 （3回除染）が得られた。塗膜剥離除染法の手順を図-7に示す。

一般的に、除染方法の選定にあたっては、グローブボックスの使用経歴、汚染レベル等に応じて除染法を選択している。

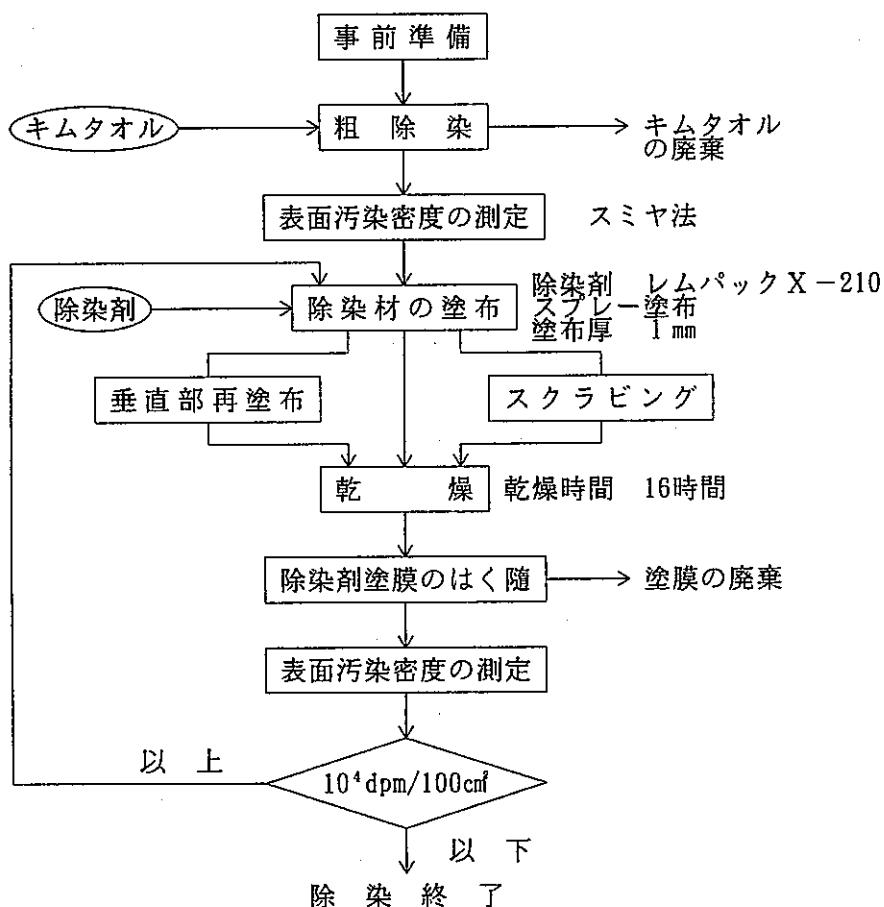


図-7 塗膜剥離除染法の手順

7.5 解体

グローブボックスの解体は、エアラインスーツを装着した作業員がグリーンハウス内へ入室し、切断解体工具を使用して直接作業を行っている。解体作業に当たっては、作業中、プルトニウムの飛散防止対策として、ペイント固定を行うとともに水を霧状にして散水する。

グローブボックス等の解体手順は図-8に示すように、まずパネルを取り外した後、グローブボックス本体の天井板、側面板の順で切断解体してから内装設備の解体を行う。大きな内装設備については、解体の効率化を図るためにグリーンハウス内に細断場所を別途設置し、専用の機器で切断する。その後、グローブボックス底板、架台等の解体を行う。

解体で一般的に使用した切断解体工具を表-4に示す。

切断解体物は、材質毎に分類し、切断面を養生した後、コンテナまたはカートンボックスに収納して保管廃棄する。

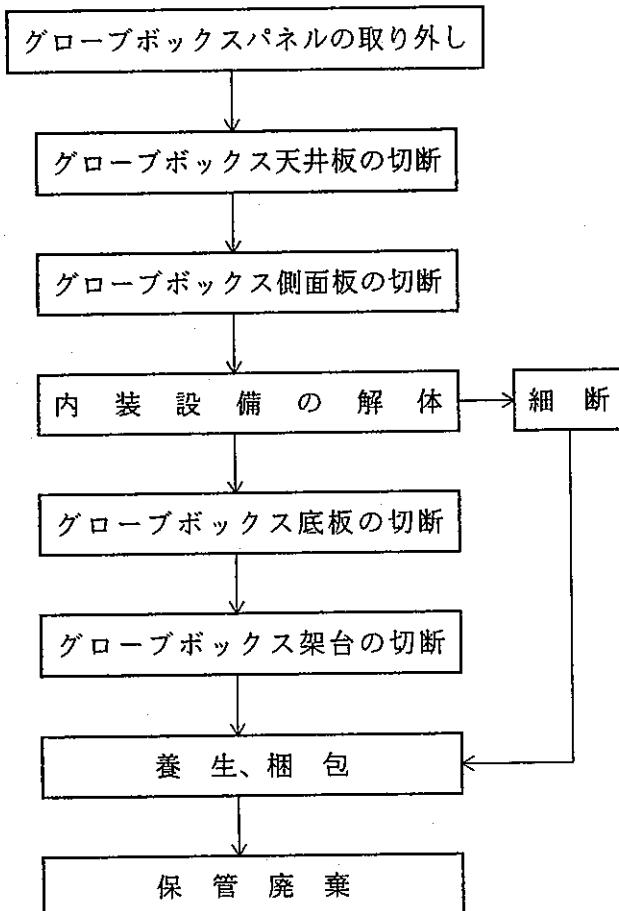


図-8 グローブボックス等の解体手順

表-4 切断解体工具

切 断 対 象	切 断 解 体 工 具
グローブボックス本体	・電動ニブラ ・ロータバンドソー
内 装 設 備	・ローターバンドソー ・セーパーソー ・ディスクグラインダー
解 体 物 の 細 断	・高速カッター

7.6 廃棄物の処理

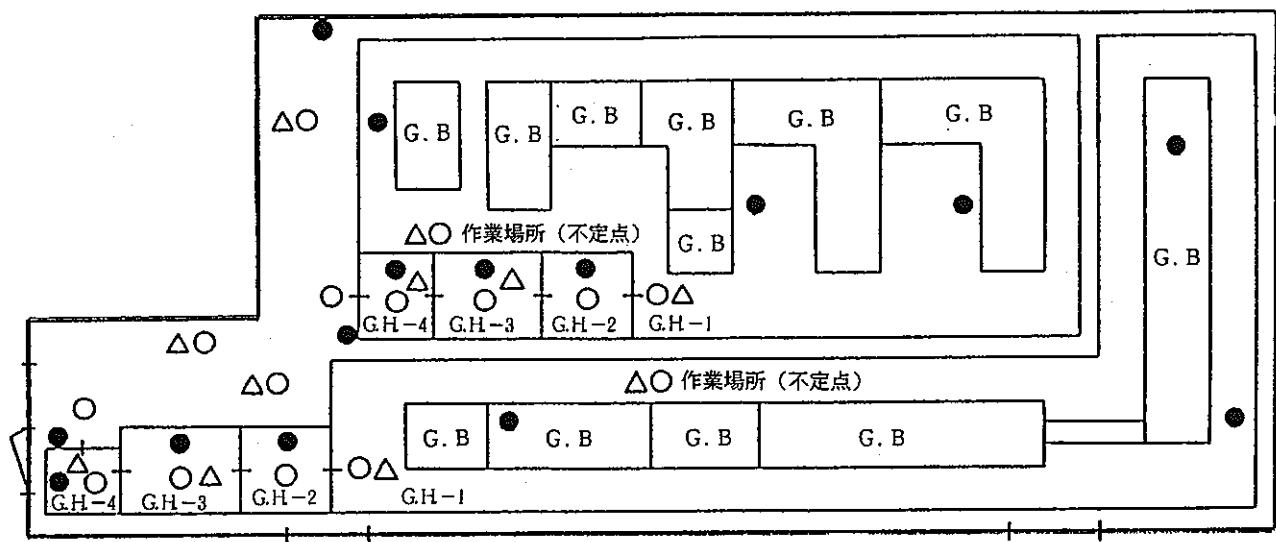
グローブボックス等の解体により発生する放射性廃棄物は大別すると一次廃棄物と二次廃棄物に分類される。一次廃棄物は、グローブボックス、内装設備を切断したものであり、ステンレス鋼、S S 材、アクリルパネル、グローブポート、ケーブル等である。二次廃棄物は、除染作業で発生する紙タオル、ウェス、グリーンハウスを解体する際に発生するビニールシート等ある。

これらの廃棄物は、放射化されていないが、プルトニウムで汚染されており、包蔵性管理が必要になるため、材質毎（可燃、難燃、不燃）に分類され、ビニールバッグ等で密封し、kartonボックス等に梱包した後、それぞれに対応したドラム缶、コンテナに収納される。次に、これらは動燃内のプルトニウム廃棄物処理施設に搬送され焼却、減容処理等が行われた後、プルトニウム廃棄物貯蔵施設に貯蔵される。

7.7 放射線管理

1) 放射線モニタリング

グローブボックス解体時の放射線モニタリングは、外部被ばくの低減、内部被ばくの防止を目的に、空気中プルトニウム濃度、表面密度、線量当量率について測定点を設け測定する。グローブボックス解体時の放射線管理点の事例を図-9に示す。この測定点については、作業の進捗状況により位置を変更し、測定結果は迅速に把握できるようとする。また、この測定点は、作業状況から空気中のプルトニウム濃度、表面密度、線量当量率が高くなる可能性のあるところを重点的に選定する。



G. B : グローブボックス
G. H : グリーンハウス

● : 空気中放射性物質濃度測定点
○ : 表面汚染密度測定点
△ : 線量当量率測定点

図-9 グローブボックス解体時の放射線管理点事例

なお、空気中のプルトニウム濃度及び表面密度については、自主管理値を設定し管理している。この管理値は解体時に使用する防護具の種類、作業方法、作業時間に応じて設定されるものである。昭和55年度に解体されたグローブボックス（ATR湿式回収設備）の場合のグリーンハウス毎の自主管理値の例を表-5に示す。

表-5 グリーンハウス毎の自主管理値の例

	G H 1	G H 2	G H 3	G H 4
空気中プルトニウム濃度 ($\text{Bq}/\text{cm}^3 \cdot \text{h}$)	3.7×10^{-5}	7.4×10^{-7}	7.4×10^{-8}	1.5×10^{-10}
表面汚染密度 (Bq/cm^2)	1.7	1.7×10^{-2}	1.7×10^{-3}	1.7×10^{-3}

2) 線量当量の管理

作業員の外部被ばくを管理するため、作業員にはTLDバッジ及び指リング線量計を着用させ、定期的に被ばく量を測定する。さらに、必要に応じ、これ以外にポケット線

量計を着用させ、毎作業終了時に線量当量を測定する。

なお、一日の線量当量が多い場合あるいは3か月の線量当量が管理基準を越える恐れのある場合は、作業員の人員交代を行い、線量当量の分散化を図るようにしている。

3) 汚染管理

解体作業は解体用グリーンハウスの中で行われるが、この中には解体・切断エリヤと複数の汚染コントロールエリヤを設け、負圧管理とサーベイメータによる入念な汚染チェックにより解体・切断エリヤの汚染がグリーンハウス外に拡大することを防止している。

4) 防護具

解体作業時に使用する放射線防護具は、内部被ばく防止用としてエアラインスーツ、外部被ばく防止用としてエアラインスーツ用鉛エプロン、鉛手袋が用いられている。

7.8 作業安全

グローブボックス等の解体に当たっては、当該グローブボックスの使用履歴を十分に調査するとともに事前に作業手順、作業方法、安全対策を十分に検討し、作業計画書、作業マニュアル等を作成しているが、特に以下の項目については十分な安全対策を行っている。

1) 火災対策

切断作業で火の粉が発生する場合は、防炎シート等で養生して作業に当たる。また、切断作業終了時には水を霧状にして散水を励行する。

2) 停電対策

グリーンハウス用排風機については非常用電源に接続し、停電時でもグリーンハウス内が負圧に維持できるようにする。また、エアラインスーツについては空気供給用のコンプレッサーが停電により停止した場合に備えて、空気ボンベを別に用意する。

3) 落下防止対策

高所作業時に作業員が落下しないように、足場等に滑り防止用テープを貼り付けたり、転落防止用の棚を取り付ける。

4) 閉所作業の安全対策

グリーンハウス内と作業指揮所とは無線で連絡を行えるようにする。また、作業指揮所でグリーンハウス内の状況を把握するため、テレビカメラをグリーンハウス内に設置する。

8. コスト評価

グローブボックスの解体の工程は大別すると、準備作業、除染作業、解体作業、後片付け作業に分けられるが、このうち除染作業、解体作業及び付随する放射線管理作業で全体の費用のほとんどを占めている。また、これらの作業はほとんどが手作業であるため、費用の観点からは、人件費の占める割合が大きい。

除染作業に要する費用は、グローブボックスの汚染の程度によりかなり異なる。概して、粉末のプルトニウムを取り扱ったグローブボックスの汚染は、溶液で取り扱ったグローブボックスの汚染レベルより高い。

解体作業に要する費用は、グローブボックス内の設備の構造、大きさ、使用している材質により異なる。

9. 今後の課題

以上に述べたようにプルトニウム取扱施設におけるグローブボックスの解体技術は実用化のレベルに達しているが今後、安全性の向上、経済性の向上、廃棄物発生量の低減に向かって、さらなる各種の技術開発が必要である。

1) グローブボックスの解体方式

解体方式のタイプとしては、従来より行われている現場でグローブボックスを解体する方式とグローブボックスの解体専用の設備を施設内に設け、そこに運搬して解体する方式がある。しかし、後者については未だ実施例はないが、製造工程に対する影響を小さくする観点から、動燃においてこの方式の検討を開始している。

2) 要素技術

グローブボックスの解体に係わる要素技術としては、次のような技術開発が必要である。

① 除染技術

- ・ グローブボックス内をより効果的かつ発生する廃棄物量を少なくできる除染技術の開発
- ・ 徹底除染技術（電解研磨等）の開発

② 解体技術

- ・ 効率化、遠隔・自動化、小型化を目指した切断装置の開発

③ 廃棄物低減技術

- ・ グローブボックスの再利用技術の開発

④ 設備設計技術

- ・ 解体性を考慮した設備（グローブボックス等）設計の標準化

参考文献

- 1) 嘉代甲子男：“プルトニウム施設の解体撤去技術” RAND ECニュース、1991・2
- 2) 木原 義之他：“混合転換技術開発試験設備の解体撤去”
デコミッショニング技報No.2(1990)
- 3) 大島 博文他：“脱硝設備の解体撤去” 動燃技報No.70(1989)
- 4) 嘉代甲子男他：原子力学会「1989年会」予稿集、K38(1989)
- 5) 甲野 啓一他：“動燃プルトニウム燃料製造施設の建設” 日本原子力学会誌、Vol. 31、
No.5(1989)
- 6) PNC資料：“核燃料施設等デコミッショニングと技術開発について”
PNC N4410 90-001(1990)
- 7) PNC資料：“FBR回収工程W-1系、W-3系グローブボックス解体撤去にかかる放
射線管理報告、PNC SN841-78-68(1978)
- 8) PNC資料：“F-104 大型グローブボックス群(W-1、W-3、W-11)の現場解体、
PNC SN843-79-04(1979)
- 9) PNC資料：“A-104 室グローブボックス解体撤去工事、
PNC SN841-82-27(1982)
- 10) PNC資料：“脱硝設備の解体撤去(I) —グローブボックスの除染—
PNC SN8410 89-015(1989)