

本資料は 年 月 日付で登録区分、
2001. 6. 6 变更する。

[技術情報室]

脱硝設備の解体・撤去(I)

—グローブボックスの除染—

1989年2月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

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

者だけに配
。なお、こ

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

配 布 限 定

PNC T N 8410 89-015

1 9 8 9 年 2 月



脱硝設備の解体・撤去(I)

— グローブボックスの除染 —

大島 博文 三代 広昭
浅野 孝 嘉代甲子男
村山 富彦* 品田 雅則*
橋本 敏美*

要 旨

設備解体前に実施するグローブボックス内除染方法として新たに塗膜はく離除染法を採用した。
塗膜はく離除染法の概要及び結果について報告する。

プルトニウム燃料第二開発室F-104室に設置されている脱硝設備(グローブボックス容積107 m³)の解体撤去作業に先立って塗膜はく離除染法による除染を行った。

除染前に実施したグローブボックス内の汚染状況は、表面汚染密度については、スミヤ法による測定で $10^7 \sim 10^8$ dpm/100 cm²であったが、塗膜はく離除染法による除染で $10^3 \sim 10^4$ dpm/100 cm²まで除染することができた。

目 次

1.はじめに	1
2.設備の概要	2
2.1 各グローブボックスの概要と汚染の状況	5
2.2 設備の汚染状況の確認	7
3.除染準備	10
3.1 除染方法の検討	10
3.2 塗膜はく離除染法の概要	10
3.3 先行試験	16
4.除染作業	19
4.1 除染スケジュール	19
4.2 除染方法	19
4.3 除染結果の解析	24
4.4 拭き取り除染法との比較	31
5.まとめ	37
参考文献	37

1 はじめに

グローブボックス（以下 GB と略す）の解体撤去に先立って、解体時に使用する防護具の防護性能上から事前に GB 内の放射性物質を一定レベルまで除去することが必要である。

これまでの解体撤去前の除染作業では、ウエス等に水、洗剤等の除染剤を浸して放射性物質を拭き取る、拭き取り除染法により、除染作業を実施してきた。

しかし、今回の脱硝設備の解体撤去では、GB 及び内装機器表面の線量率が高く、従来の拭き取り除染法では作業員の被ばくが原因調査レベルを大巾に上まわれる恐れがあった。

そこで、各種の除染法を比較検討し、はく離性塗料を塗布し、乾燥したのち塗膜をはく離する塗膜はく離除染法を採用して除染を行った。以下に、塗膜はく離除染法による GB 内汚染について報告する。

2 設 備 の 概 要

脱硝設備は、昭和54年から昭和59年まで再処理工場の精製硝酸プルトニウム溶液（取扱量 0.8 t·pu）を使用して、混合転換技術の工学試験を行い、その後、プルトニウム燃料部の燃料スクラップの湿式回収精製工程の後工程として使用してきた。

本設備のGBの総容量は、約 $107 m^3$ である。各々の GB 容積を表-1に示す。また、GBの配置図及び概略図を図-1及び図-2に示す。

表-1 グローブボックスの容積

系区分	GB No	容 積	備 考
湿 式 系	W-1-1~1-4	$41 m^3$	主として溶液を取り扱った。
	W-13	$8 m^3$	
	W-19	$7 m^3$	
	W-21	$6 m^3$	
半湿式系	W- 3	$8 m^3$	主として溶液、沈澱物、脱硝生成物を取り扱った。
	W- 7	$19 m^3$	
	W-11	$9 m^3$	
	W-15	$5 m^3$	
乾 式 系	W-17	$4 m^3$	主として酸化物粉末を取り扱った。

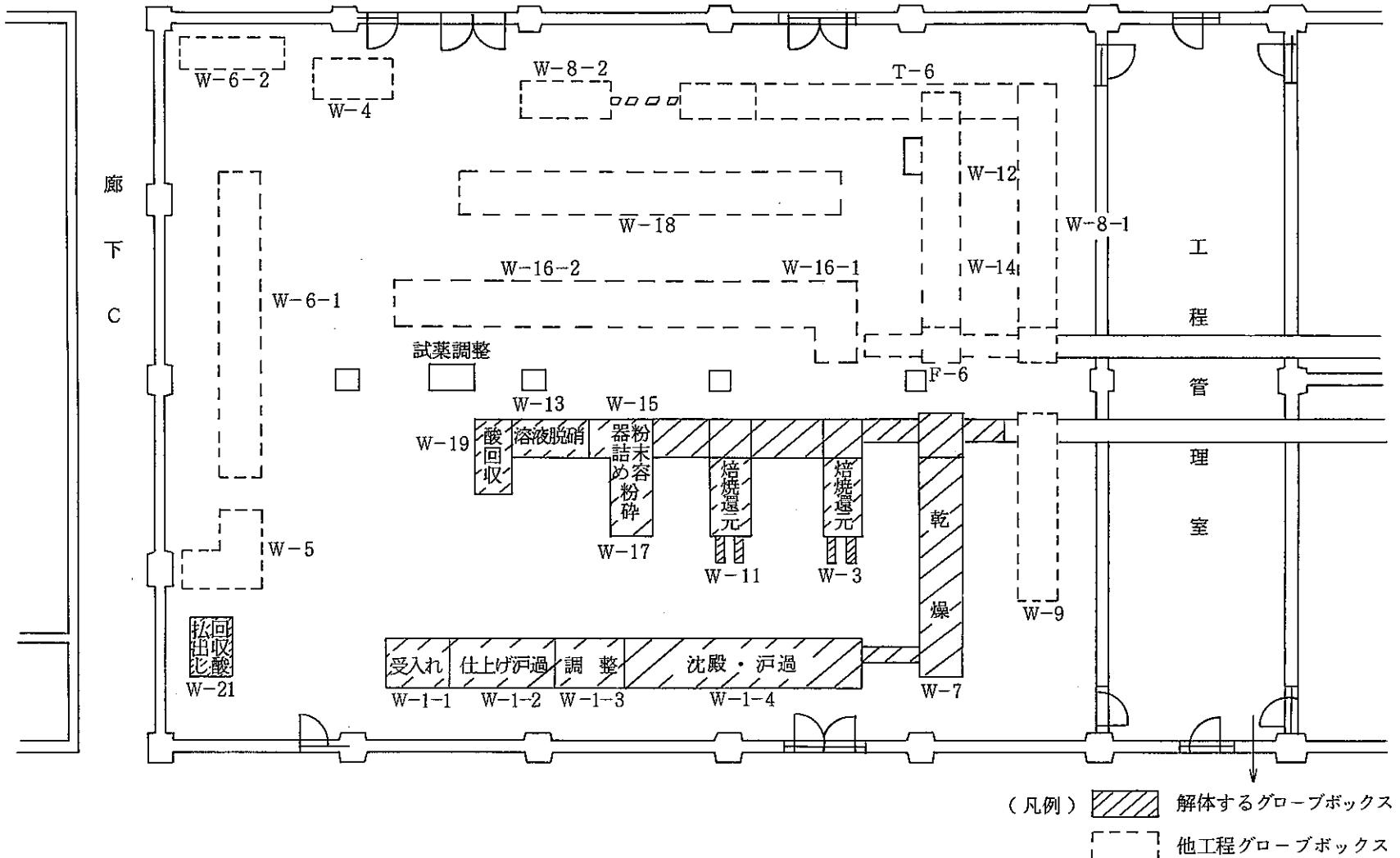


図-1 グローブボックス配置図

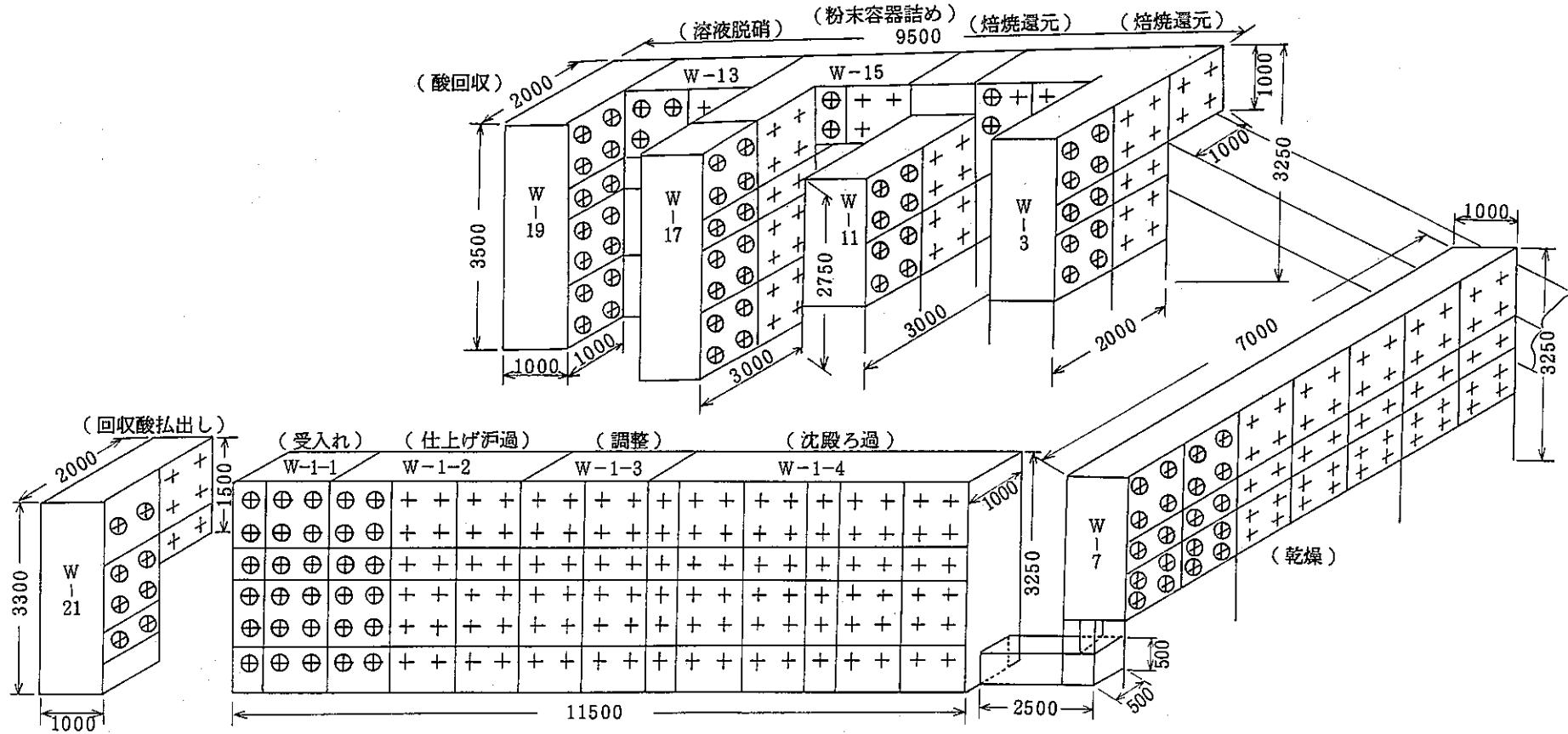


図-2 グローブボックスの概略図

2.1 各グローブボックスの概要と汚染の状況

図-2に示した各GBの概要と汚染の状況を除染作業に先立って確認した。その結果を以下に述べる。

各GB内に設置されている主要機器を表-2に示す。なお、これらの詳細については「脱硝設備の解体・撤去(II) — グローブボックスの解体」で報告する。

1) GBNo.W-1-1 (受入れ工程)

再処理工場からの硝酸プルトニウム溶液の受入れに使用した。このためGB床面及び機器表面に取り扱い時に漏れた硝酸プルトニウム溶液の乾固物が付着している。

表-2 主要機器一覧

GB-No.	工程名	主　要　機　器	備　考
W-1-1	受　入　れ	・溶液受入装置（一式）　　・秤量器	G B内は、配管電気配線等が密集している。
W-1-2	仕上げ済過	・100 ℥環状タンク（2基）　　・円筒タンク（5基） ・中和槽	
W-1-3	調　整	・160 ℥環状タンク（2基）	
W-1-4	沈澱・済過	・送液ポンプ（3台）　　・真空ポンプ（4台）	
W-7	乾　燥	・乾燥器（10台）	
W-13	溶液脱硝	・マイクロ波加熱器　　・秤量器 ・円筒タンク（2基）	G B内は、配管電気配線等が密集している。
W-15	粉末容器詰め	・かきとり装置（一式）	
W-3	焙燒還元	・昇降装置　　・秤量器　　・炉芯管（4本）	
W-11	焙燒還元	・昇降装置　　・秤量器　　・炉芯管（4本）	
W-17	粉　碎	・粉碎装置（一式）　　・秤量器	
W-19	酸回収	・20 ℥環状タンク（2基）　　・凝縮器（2基） ・洗浄塔（1基）	G B内は、配管電気配線等が密集している。
W-21	回収酸払出し	・100 ℥タンク（2基）　　・50 ℥タンク（1基）	

2) GB No W-1-2 (仕上げ済過工程)

各工程で発生した脱硝凝縮液等の廃液を受入れ、中和・沈澱処理に使用した。取扱い時に飛散した硝酸プルトニウム、水酸化プルトニウム等の乾固物が付着している。

3) GB No W-1-3 (調整工程)

W-1-1で受入れた硝酸プルトニウム溶液の一時貯蔵に使用した。機器内部及びGB床面に硝酸プルトニウム溶液の乾固物が付着している。

4) GB No W-1-4 (沈澱・済過工程)

各種ポンプ及び計装機器を設置し使用した。

GB床面に機器の補修時に漏れた硝酸プルトニウム溶液等の乾固物が付着している。

5) GB No W-7 (乾燥工程)

済過回収した沈澱物の乾燥に使用した。

主要内装機器の材質が炭素鋼であるため、表面が腐食して、汚染が内部まで浸透している。

6) GB No W-13 (溶液脱硝工程)

硝酸溶液(Pu-U混合液)の加熱脱硝に使用した。

脱硝時に飛散したPu-U混合溶液の乾固物が付着している。

7) GB No W-15 (粉末容器詰)

W-13で生成した脱硝酸化物の破碎、かきとりに使用した。破碎・かきとり時に飛散した酸化物粉末がGB全体に付着している。

8) GB No W-3, W-11 (焙焼還元工程)

脱硝生成物の焙焼・還元に使用した。焙焼・還元容器、粉末移動容器等への粉末の移し替え時に飛散した粉末がGB床面及び炉内に付着している。

9) GB No W-17 (粉碎工程)

焙焼・還元粉末の粉碎に使用した。粉碎機への粉末の装荷及び取り出し時に飛散した微粉末がGB全体に付着している。

10) GB No W-19 (酸回収工程)

GB No W-13でPu-U混合溶液の加熱脱硝時に排気される硝酸蒸気及びNOXガスの処理・捕集に使用した。

GB床面には、内装機器の補修時に漏れたPu-U混合液の乾固物が付着している。

11) GB No W-21 (回収酸払い出し工程)

GB No W-19で回収した硝酸の一時貯蔵及び再処理工場への払い出しに使用した。

取り扱ってきた溶液が回収した硝酸溶液であるため、GB内の表面汚染密度は、他のGBに比べて比較的低い。

2.2 設備の汚染状況の確認

除染作業に着手する前に、主要な GB 内の汚染状況を測定し確認した。

1) 測定対象 GB

本設備の GB は、2.1 項で述べたように、取り扱った Pu の化学形態、取り扱い量、取り扱いの方法等により、内部の汚染状況が異っている。このため、比較的取り扱い量が多く、かつ GB 内に Pu の飛散の程度が高いと考えられる GB のうちから、溶液を主として取り扱った GB No.W-1-1 (湿式系) 及び酸化物粉末を取り扱った GB No.W-17 (乾式系) の汚染状況の確認をすることとした。

各 GB 内の表面汚染密度測定ポイントは、これまでの GB 使用経緯から考えて、最も表面汚染密度が高いと推定される GB 床面、作業頻度の高かった床面から 1 m の高さのパネルと内装機器表面及び表面汚染密度の低いと推定される GB 天井の 4 点とした。

2) 表面汚染密度の測定方法

- ① スミヤロ紙を当該 GB 内にクロスコンタミしないように注意してバッグインする。
- ② 予じめ定めた測定点でスミヤ法により汚染をスミヤロ紙に採取する。
- ③ 採取したスミヤロ紙をクロスコンタミしないように注意してバッグアウトする。
- ④ 比較的汚染の少ない GB No.W-21 内に設置した α 線用 ZnS シンチレーションカウンタにより、採取したスミヤロ紙を測定する。図-3 に α 線用 ZnS シンチレーションカウンタの設置図を示す。

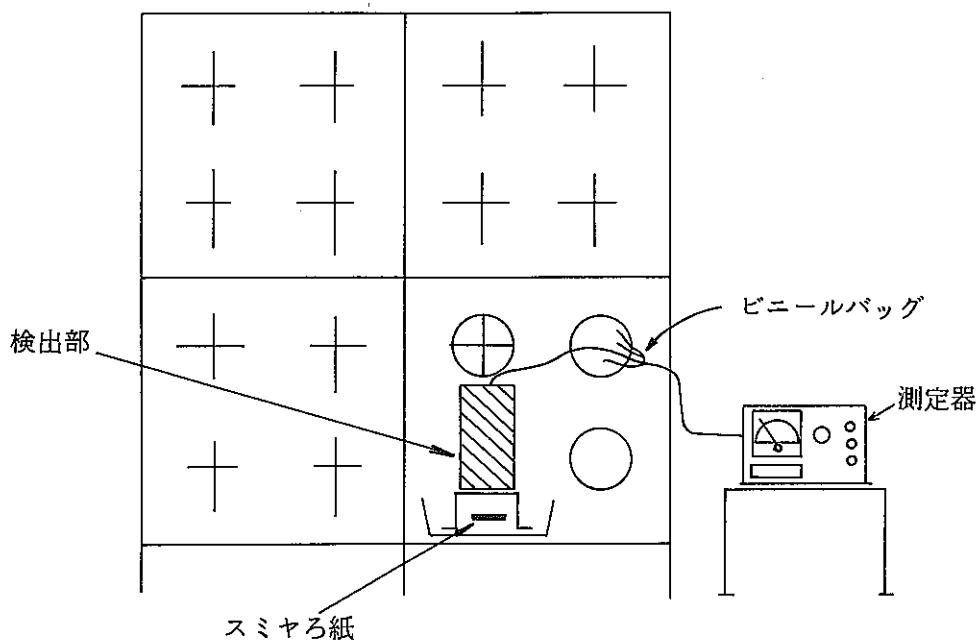


図-3 α 線用 ZnS シンチレーションカウンタ設置図

3) 測定結果

主要な3つのGB内の表面汚染密度の測定結果を表-3に示す。

表-3 汚染状況測定結果

GB No.	測定ポイント	材質	測定結果 (dpm/100 cm ²)
W-1-1 (湿式系)	A GB床面	ステンレス鋼	2.7×10^8
	B " 天井	"	2.6×10^5
	C " パネル	アクリル	2.2×10^7
	D 内装機器	ステンレス鋼	6.8×10^7
W-3 (半湿式系)	A GB床面	ステンレス鋼	2.6×10^8
	B " 天井	"	1.9×10^7
	C " パネル	アクリル	4.0×10^7
	D 内装機器	ステンレス鋼	1.3×10^8
W-17 (乾式系)	A GB床面	ステンレス鋼	2.4×10^8
	B " 天井	"	6.5×10^7
	C " パネル	アクリル	3.9×10^7
	D 内装機器	ステンレス鋼	4.3×10^7

GB内の表面汚染密度は、各GB共に、GB床面及び内装機器表面で~ 10^8 dpm/100 cm², 天井及びパネル面で~ 10^7 dpm/cm² であった。

また、GB内の各測定ポイントの表面汚染密度は、図-4に示すように、GB床面の汚染レベルが最も高く、天井に近づくに従って低くなる傾向にある。

GB No.W-1-1では、取り扱った放射性物質が溶液状であり、液の漏洩で直接放射性物質が接触した床面は表面汚染密度が高いが、天井面では比較的表面汚染密度が低く、床面と天井では約 10^3 の差がある。

GB No.W-3, W-17では、放射性物質を粉末状で取り扱ったため飛散し易く、GB床面と天井の表面汚染密度の差は 10^1 程度と、GB No.W-1-1と比べその差は小さかった。

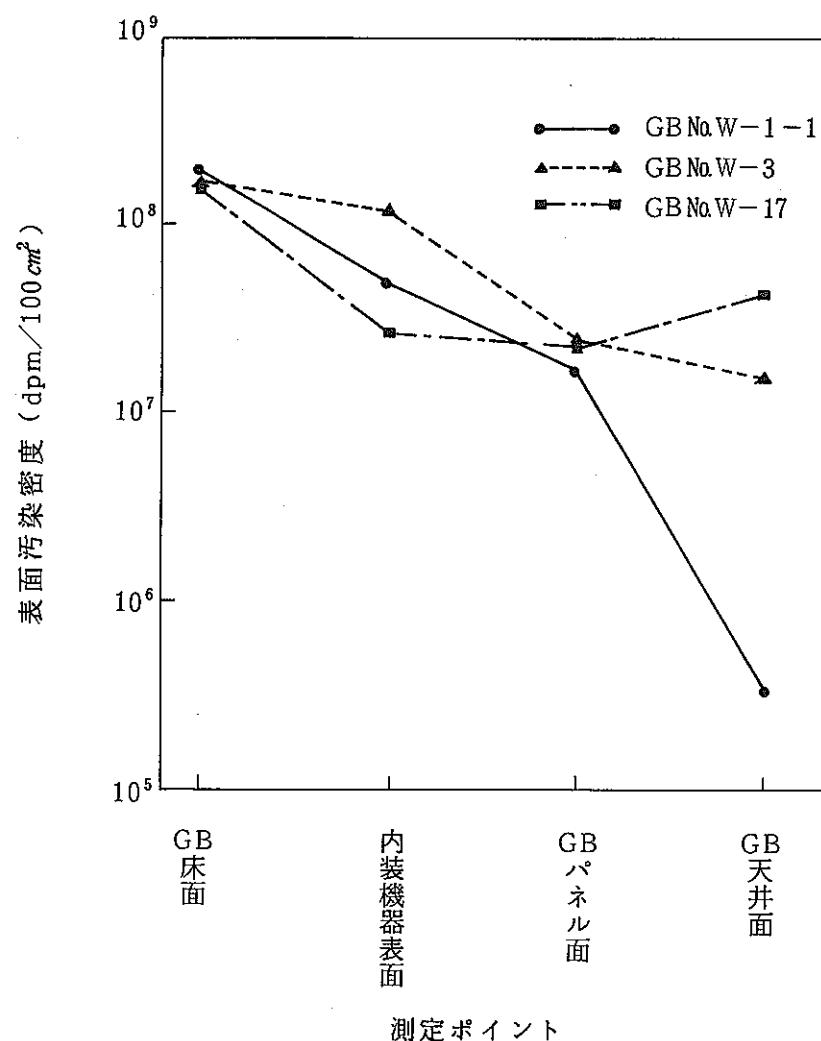


図-4 GB内の汚染傾向

3 除 染 準 備

3.1 除染方法の検討

第2章で確認したGB内の表面汚染密度を基に、GBの解体に最も適した除染方法を検討した。

原子力施設の除染法の中から、⁽¹⁾ GB内の除染で使用可能と考えられるフロン除染法、⁽²⁾ 塗膜はく離除染法及び^{(3),(4)} 従来の拭き取り除染法の三方法について比較検討した。⁽⁵⁾

拭き取り除染法は、過去のGB解体経験から類推すると、今回のように表面汚染密度の高いGBを解体可能な $10^4 \text{ dpm}/100\text{cm}^2$ 程度まで除染するとなると、除染回数が増加し、大量のウエス等の廃棄物が発生することになる。また、グローブによる除染作業時間が長くなり、作業者の被ばく線量が原因調査レベルを大巾に超えることが懸念される。

フロン除染法は廃棄物発生量の低減及びグローブ作業時間の大軒な短縮が見込め、作業者の被ばく低減が見込める。しかしながら、フロンガスの使用規制が叫ばれている現在は、安易に大気中にフロンを放出することは好ましくない。このため、新たにGB排気系にフロン捕集設備を取付け、さらに、捕集したフロン溶液の処理システムを確立する必要がある。

塗膜はく離除染法は、拭き取り除染法と比較して廃棄物発生量で $1/3$ 、除染効果で同等以上が予想され、また、グローブ作業時間が少なく、作業者の被ばくが低減できる等の利点がある。

さらに、発生した塗膜（廃棄物）は焼却処分できる。

これらの検討の結果を表-4に示す。この結果から、今回のGB除染方法として塗膜はく離除染法を採用することとした。

表-4 除染方法の比較検討

除染方法	除染効果	廃棄物量	発生廃棄物の処理	除染期間	被ばく	安全性
拭き取り除染	○	×	○	×	×	×
フロン除染	○	○	×	○	○	○
塗膜はく離除染	○	○	○	○	○	○

3.2 塗膜はく離除染法の概要

1) 塗膜はく離剤

原子力施設の除染用塗膜はく離剤としては国内においては1社から発売されているのみである。

今回の除染作業には日本特殊塗料KKから市販されているレムパックX-210を使用した。

レムパックX-210は特殊アクリル系樹脂をベースとし、放射性物質を塗膜に吸着、固定化しやすいようにキレート剤を加えた厚膜タイプのはく離型塗料である。

主要な組成を表-5に示す。また、主要な性状を表-6に示す。

表-5 レムパック X-210 の組成

成 分 名	含有量(%)
特殊アクリル系樹脂	42
キレート化剤	微量
顔料	1
可ソ剤	3
難燃剤	8
添加剤	3
純水	43

(日本特殊塗料カタログによる。)

表-6 レムパック X-210 の性状

	レムパック X-210
外観	ライトブルー
不揮発分	54%
比重	1.12 ± 0.05
粘度	175 pois at 20°C
PH	7.6 ~ 8.0
MFT	0°C
臭気	アクリル臭

2) 塗膜はく離剤の特長

- (1) 塗布時に塗膜が金属、コンクリート、合成樹脂などとの親和性に優れ、表面のキズ部にも均一に入り込む。また、金属イオンはキレート剤と結合し、塗膜内に固定される。このため、高い除染係数を得ることが可能である。
- (2) 乾燥した塗膜が強じんで、はく離性がよい（表-7 参照）。
- (3) 有機溶剤を含まない。
- (4) ハロゲン化物等を含まないため、被除染物を腐食しない。
- (5) 除去した塗膜は焼却しても有害物質を出さない（表-8 参照）。

表-7 レムパック X-210 の塗膜の物性

項目	試験方法	結果
付着力	180°ピールテスト 20%巾	30 g
塗膜強度	膜厚 100~110 μ 20%巾	250 Kg/cm ²
伸び	膜厚 100~110 μ 20%巾	300%
耐水性	常温水 スポットテスト 24時間	剥離性 良好
耐湿性	50°C 98%RH以上 24時間	剥離性 良好
耐油性	潤滑油 24時間浸漬	剥離性 良好
耐熱性	60°C 8時間放置	剥離性 良好

(日本特殊塗料カタログより)

表-8 レムパック X-210 の塗膜の熱分解ガス分析結果

燃焼条件 1. 試料 100 mg
 2. 空気 30 ml/min, 2L通気
 3. 温度 RT→700°C, 10°C/min

全ガス量 (ℓ)	21.0			
タール分 (%)	12.0			
水分 (%)	4.3			
残さ分 (%)	13.7			
無機ガス	N ₂ (%)	73.53	ハロゲン	NOx (%) 2.7
	O ₂ (%)	18.85		SOx (%) 0.4
	CO ₂ (%)	1.60		HCl (ppm) 180
	CO (%)	0.27		
有機ガス(ppm)	<800			

(日本特殊塗料カタログより)

3) 塗膜はく離法による除染のメカニズム

被除染物に付着している放射性物質は、

- A イオン状で表面に付着している（イオン状）
- B ほこりのように表面に付着している（ルーズな粒子状）
- C なべのこげつきのように表面に強く固着している（表面固着）
- D 表面のキズ等に深く入り込んで固着している（内部浸透）

に大別することができる。

塗膜はく離法の除染メカニズムは、図-5に示すように以下のようになっている。

・ステップI（塗布）

除染剤を刷毛又はスプレーで塗布する。この時Bのルーズな粒子状の放射性物質は塗膜中に取り込まれる。なお、スプレーで塗布する場合には、空気中に浮遊している放射性物質も取り込むことができる。

・ステップII（乾燥初期）

除染剤がまだ乾燥しない状態では、Aのイオン状の放射性物質はキレート剤と結合し塗膜中に取り込まれる。また、乾燥していく過程でCの表面固着している放射性物質は被除染物表面から遊離され、塗膜中に取り込まれる。

この時期にブラシ等で被除染物表面をこする（スクラビングという。）と、Dの内部浸透している放射性物質がある程度被除染物表面から離脱し、塗膜中に取り込まれる。

・ステップIII（乾燥後期）

ステップIIの後、静置し塗膜が乾燥・重合するのを待つ。

塗膜内に取り込まれた放射性物質は塗膜内に固定される。

・ステップIV（はく離）

乾燥・重合が完了した塗膜を指で少しづつはく離する。

Dの被除染物表面に浸透した放射性物質は固定汚染として残る。

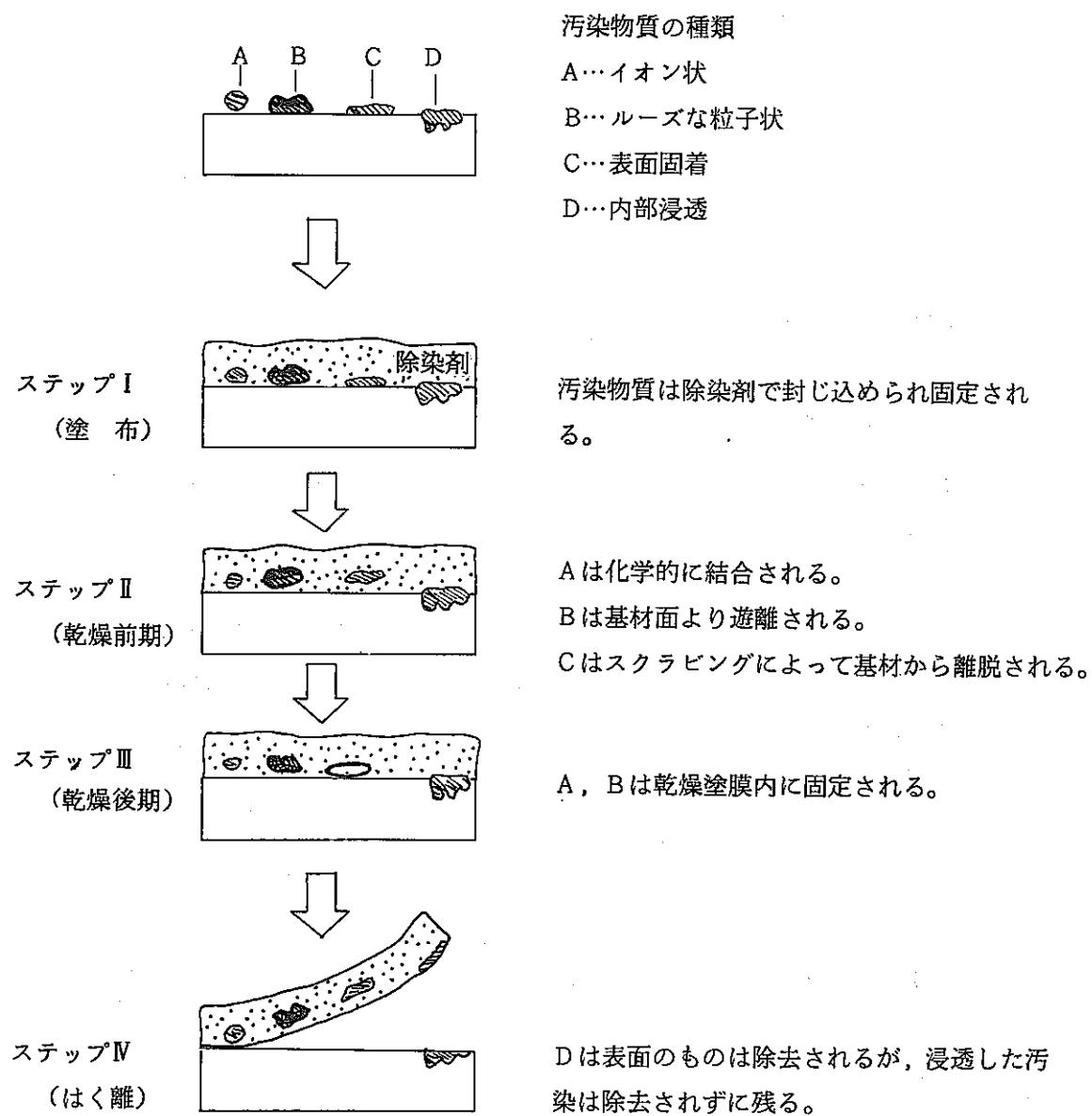
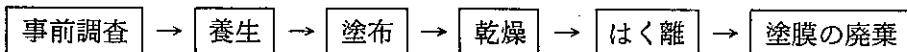


図-5 塗膜はく離除染法の除染機構

4) 作業手順及び作業方法

以下に基本的な作業手順及び作業方法について述べる。

[作業手順]



[作業方法]

① 事前調査

塗布方法、乾燥時間等を決定するため、被除染物の形状、表面状態、作業環境等を調査・確認する。

② 養 生

除染剤が付着して困る場所は、あらかじめビニルシートやテープ等で保護する。

③ 塗 布

塗布後のはく離作業を円滑にするために塗膜の厚さを均一にする必要がある。

塗布法としては、スプレー法、ローラ法及びはけ塗り法等があるが、被除染物の形状、汚染物質の飛散及び固着状態等により最適な塗布方法を選択する。

④ 乾 燥

乾燥後の塗膜を残さずはく離するためには、十分な乾燥時間を保持することが必要である。

乾燥時間は、作業環境（温度、湿度、換気、塗布厚）により変化する。メーカー推奨の標準状態では、約10時間ではく離可能となる。
※注

⑤ はく離

塗膜のはく離は、塗膜の厚さが適切で、十分に乾燥していれば、グローブ作業で容易にはく離できる。

⑥ 塗膜の廃棄

はく離した塗膜は、ビニルバッグでバッグアウトし、可燃性廃棄物としてカートンボックスに入れ、払い出す。

注) 標準状態

温 度	20 ℃
湿 度	60 %
換 気	有
塗布厚	1 mm

3.3 先行試験

先に GB 内の汚染状況を調査した GB の中で、表面汚染密度が高く、溶液状の汚染が固着していて、最も除染が困難と思われる GB No.W-1-1 (湿式系) を使用して、先行試験を実施した。

1) 目的

先行試験では、

(3),(4)

- ① メーカーカタログ及び文献等に示されている塗膜はく離除染法の実際の GB 除染時の除染効果の確認
- ② GB 内条件での塗膜の乾燥時間の確認
- ③ 塗膜のはく離方法の確認

を目的とした。

2) 除染方法

刷毛を用いて除染剤を GB No.W-1-1 の GB 床面及びパネル面に塗布し、乾燥後はく離して、はく離後の表面汚染密度をスミヤ法により測定する。

なお、除染剤塗布直後、スクラビングを行い、スクラビング効果の確認もする。

3) 除染結果

① 除染効果

除染前後の表面汚染密度を表-9 に示す。

今回の除染結果では、ステンレス鋼とアクリルの材質による除染効果の差はなく、1 回の除染係数 (DF) 10 以上の除染効果が得られた。図-6 に除染効果の詳細を示す。

表-9 先行試験結果

除染部位	材質	除染前汚染レベル (dpm/100 cm ²)	除染後の汚染レベル (dpm/100 cm ²)	
			1回目	2回目
床面	ステンレス鋼	2.7×10^8	5.3×10^6	5.1×10^5
		3.5×10^8	7.6×10^6	—
パネル	アクリル	2.2×10^7	8.6×10^5	7.7×10^4
		1.9×10^7	7.1×10^5	—

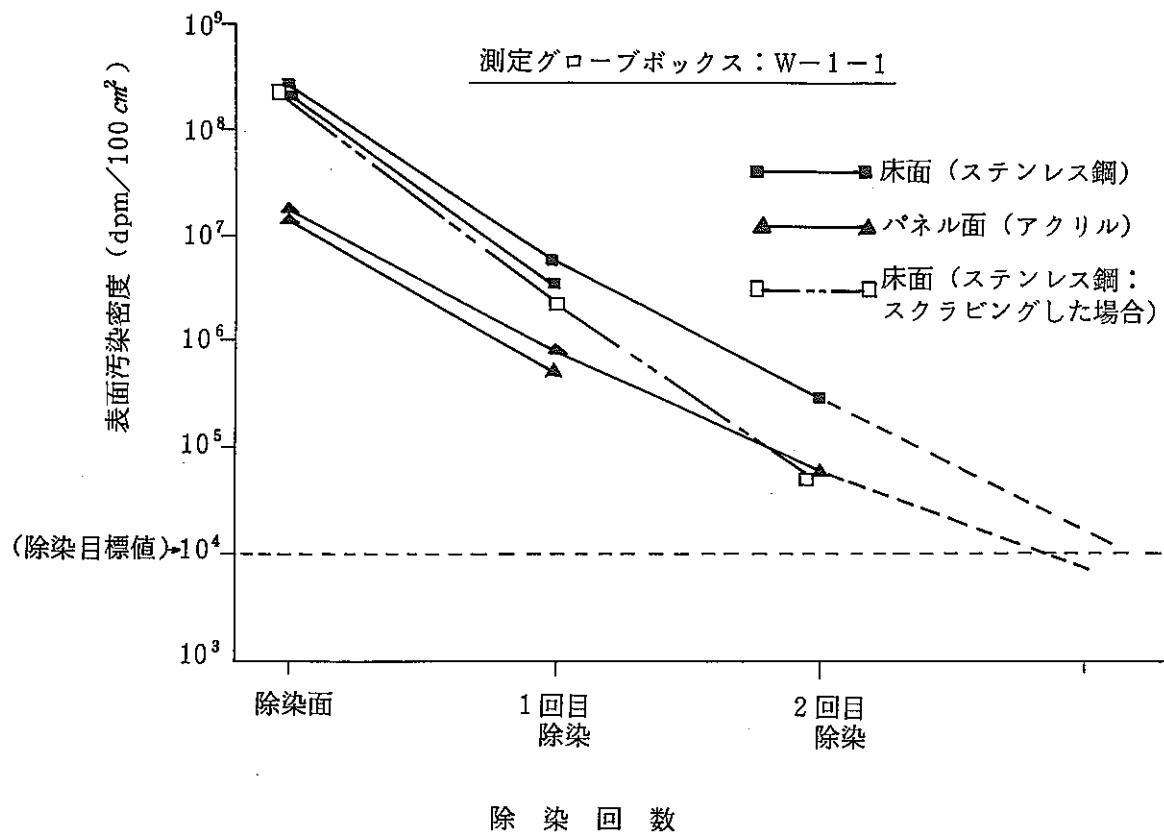


図-6 除染効果

この結果から、本除染では、3回くり返して塗膜はく離を行えば、除染目標値である $10^4 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ 以下にまで除染できる見通しが得られた。また、スクラビング効果としては塗布直後にスクラビングを付加することにより、2回のくり返しで除染効果を約1桁向上することが判った。

② 乾燥時間

乾燥は、G B内の換気による自然乾燥で行った。

自然乾燥での、塗膜厚約 1 mm の時の乾燥状況の観察結果を表-10 に示す。

表-10 塗膜の乾燥状況

経過時間	乾燥状況
0 (時間)	(除染剤塗布)
4	表面が膜状に乾燥している
8	はく離すると被除染物に未乾燥部が残る
10	完全に乾燥する。

条件
 (塗布厚 1 mm)
 (相対湿度 75 %)
 (温度 23 °C)

塗膜厚 1 mm での乾燥時間は、4 時間後に表面から乾燥が始まり、8 時間後にはほぼ乾燥状態となるが、被除染物には一部未乾燥部が残る。10 時間後には簡単にはく離できる状態になっており、完全に乾燥している。

この結果、G B 内の換気で、一晩放置すれば翌日にはく離できることが確認できた。

③ はく離

塗膜のはく離は、塗膜厚により、顕著な差がある。

パネル面のように垂直な部分は、除染剤が乾燥するまでに垂れるため、薄い膜となって乾燥する。

このため、はく離中に膜が切れ、はく離に手間がかかる。逆に床面のコーナー部分は、除染剤が溜りとなり塗膜が厚くなる。厚い塗膜のはく離時は、塗膜がゴム状の弾力を持つため、簡単にははく離できない。

これらの結果から、除染剤の塗膜厚は、1 mm 程度が最もはく離性が良い。従って垂直な部分は、2 度塗りを行って、塗膜厚 1 mm に近づけるなど、塗膜厚さを一定（約 1 mm）になるように除染剤を塗布することとした。

4 除染作業

4.1 除染スケジュール

除染スケジュールを図-7に示す。

除染作業は、GB容積 $107 m^3$ を実作業日数39日で終了することができた。

4.2 除染方法

先行試験の結果に基づき、GB内の除染手順及び方法を決定した。図-8に除染作業の手順を示す。

1) GB内小物類のバッグアウト

単体機器であって、切断・解体せずにバックアウトポート（ $180 \phi mm$ ）からバッグアウトできる小物類は、ビニール袋で梱包してバッグアウトした。これらの作業は、グローブを介して行うので、グローブに傷等を生じさせない様に注意するとともに、グローブ保護のため皮手袋を使用した。

今回の除染作業では、過去のGB解体時に実施した配管類及び小型機器等の分解・バッグアウトは、^{※注}グローブ作業時間^{*}を少なくするために行わなかった。

注) 作業員の被ばく線量を抑えるため、極力グローブ作業時間を低減する必要があった。

図-7 除染スケジュール

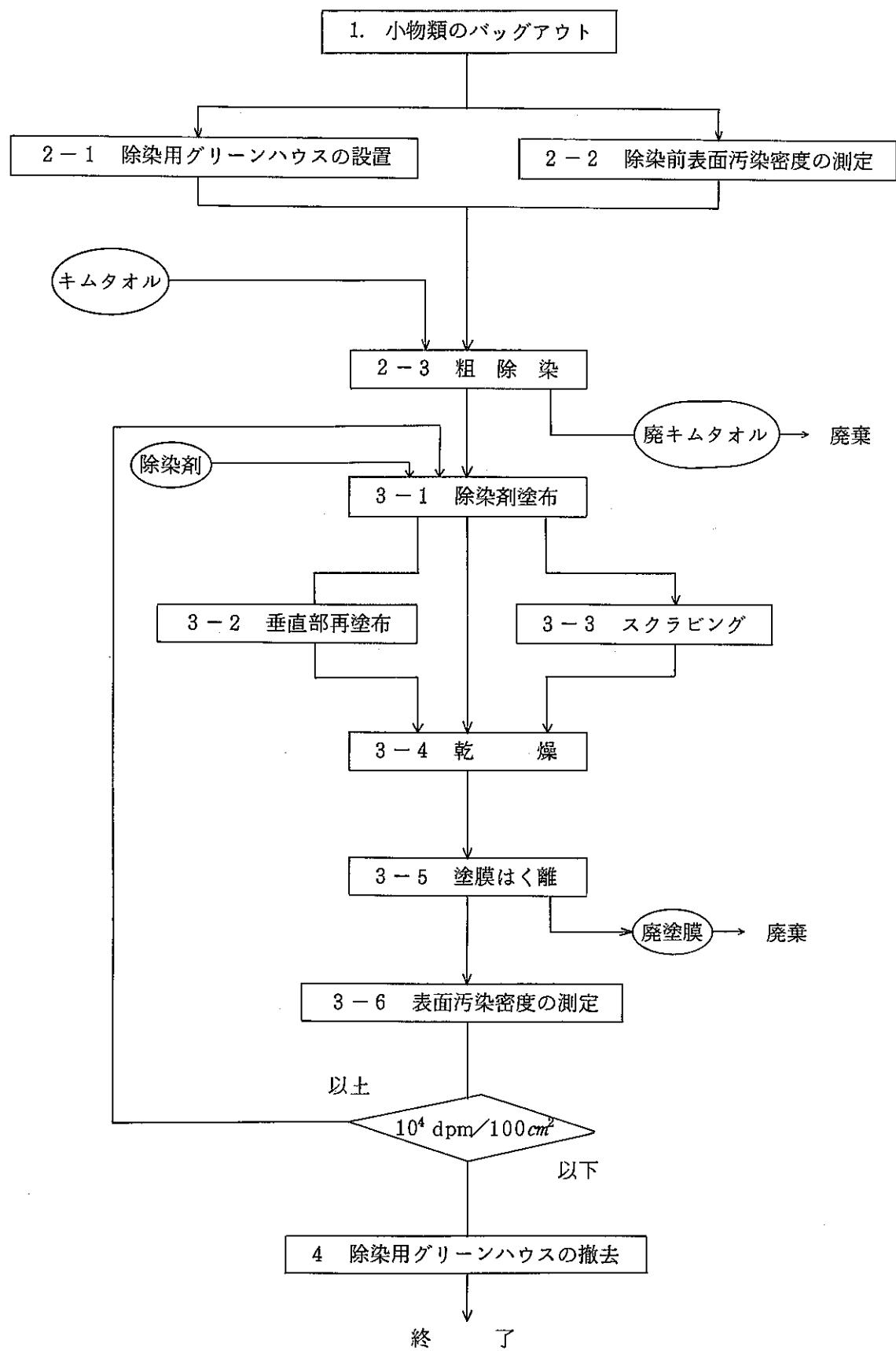


図-1 除染作業の手順

2-1) 除染用グリーンハウスの設置

過去の大規模なGB解体撤去工事では除染作業時にグローブのピンホールなどからのPuの漏洩による内部被ばくが発生したことがある。このため、除染作業中に万一グローブの破損等により作業区域にPuの漏洩があった場合でも、一定区域内に留められるようにするため除染用グリーンハウスを設置した。

2-2) 表面汚染密度の測定

除染作業開始前に、GB内の汚染状況を把握するため汚染の高いと考えられるGB5基の各4ヶ所の表面汚染密度を確認した。表-14に各測定ポイントを示す。

表-11 表面汚染密度測定ポイント

GB No.	測定ポイント
W-1-1 W-19 (湿式系)	各GBとも GB床面、パネル面、天井、 及び代表的機器表面の4点
W-3 W-7 (半湿式系)	
W-17 (乾式系)	

2-3) 粗除染

GB内に残っているゴミ、装置のサビなどを除去し、塗膜はく離除染の効果をより高めるため水を浸したキムタオルでGB内を全般的に拭いた。

3) 塗膜はく離法による除染

以下に示す手順で塗膜はく離法による除染を行った。除染回数は原則として3回繰り返すこととし、1回ごとに表-10で示した測定ポイントで表面汚染密度を測定した。

3-1), 3-2), 3-3) 除染剤の塗布

除染剤の塗布は、施設の圧縮空気を利用して、スプレーでGB内全面に塗布した。

天井及び垂直な部分は、除染剤の塗布厚が薄くなるため、乾燥後に再度、スプレーで塗布した。また、床面等の汚染レベルの高い場所は、除染剤を塗布後にナイロンタワシでスクラビングを行い、除染効率の向上をはかった。

写真-1に塗布状況を示す。

3-4) 乾燥

一日の作業終了時に、必要に応じ再度除染剤をスプレーで塗布し、GBの換気により一晩(15時間以上)乾燥させた。

3-5) 塗膜のはく離

GBの天井及びパネル面は、装置等もなく平たんであるため、はく離面積1m²当たりの塗

膜はく離時間は数秒である。しかし、複雑な形状の装置表面及び配管の密集場所に塗布した塗膜は、塗布厚が一定に成り難く、G B天井等と同じはく離面で約半日の作業となった場所もあった。

今回の平均はく離時間は、約1時間/ m^2 であった。

塗膜のはく離状況を写真-2に示す。

3-6) 表面汚染密度の確認

表-10の測定ポイントを、除染毎にスミヤ法により、表面汚染密度を測定した。

なお、2回目以降の除染剤の塗布、スクラビング、塗膜はく離作業時には、グローブポート内面にわずかに残った塗膜がグローブとこすれ、グローブ腕部のピンホールが多く発生した。G B内部の汚染はほとんど固定されていたため、作業衣に汚染が付着することはほとんどなかったが、安全のため、グローブ腕部を布テープ等で補強した。

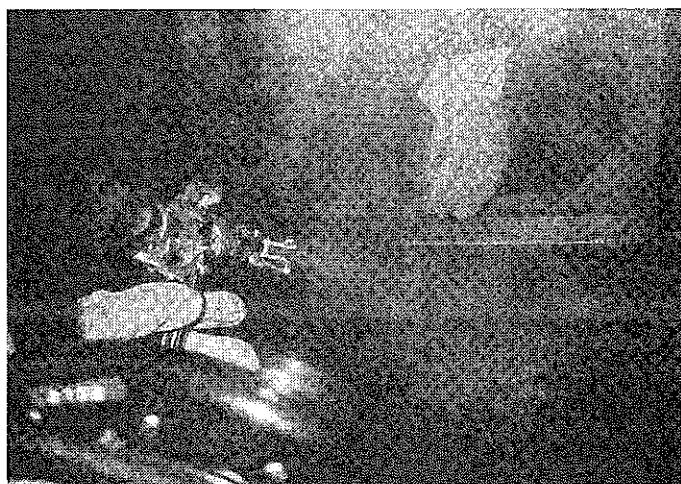


写真-1 除染剤の塗布

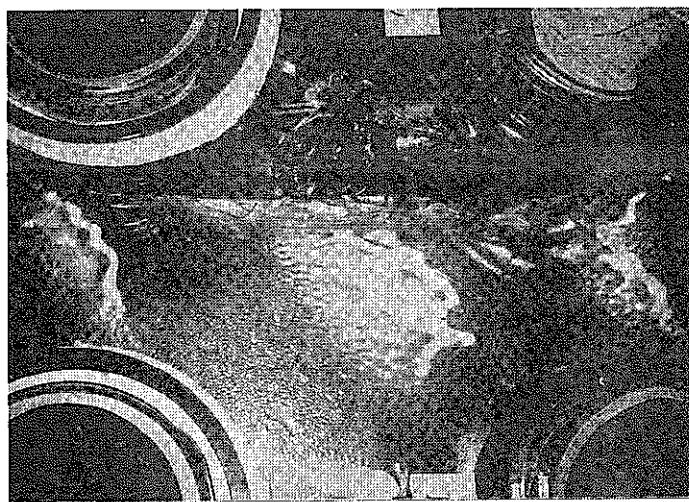


写真-2 除染剤のはく離

4.3 除染結果の解析

全てのGBにおいて、1回のキムタオルによるふきとり除染（粗除染）と3回の塗膜はく離法による除染作業で、GB内の表面汚染密度を $10^3 \sim 10^4 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ に除染することができた。

表-12に表-11に示した測定ポイント20ヶ所の除染作業時に測定した表面汚染密度を、表-13にその結果得られた除染係数を示す。

1) 粗 除 染

ぬらしたキムタオルでのふきとりによる粗除染は、GB No.W-17（乾式系）を除いては、全般的に除染係数は低く1.1～4.0で平均2.1であった。

一方、GB No.W-17では床面、パネル面及び機器表面での除染係数がそれぞれ8.7、5.0、及び7.5と、他の測定ポイントに比べると大きい除染係数が得られた。これは、他のグローブボックスでは溶液あるいは沈澱物などが強固に付着しているのに対し、GB No.W-17では乾燥した酸化物粉末による汚染であるため、ふきとり法でも高い除染効果が得られたためと考えられる。

2) 到達表面汚染密度

今回実施した1回の粗除染、3回の塗膜はく離法による除染によって、表-12に示したように各測定ポイントの表面汚染密度は、 2.0×10^3 から 6.1×10^4 の範囲にある。

図-8に示したGB No.W-1-1（湿式系）及びW-17（乾式系）のステンレス鋼部分の除染効果でも、溶液、酸化物粉末と汚染の形態が変化した場合や、除染前表面汚染密度が $10^5 \sim 10^8 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ の間で大きく異なっている場合でも、除染作業後は $10^4 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ 程度の表面汚染密度となっている。

今回の除染作業では、塗膜はく離法の3回目の除染で、たまたま目標除染レベルである $10^4 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ に到達したため、4回以上の除染データは得られなかったが、図-8からも、Puで汚染したGB内の除染に塗膜はく離法を採用する場合には実用上除染可能レベルは除染回数で3回、表面汚染密度で $10^4 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ と考えることができる。

表-12 表面汚染密度測定結果

系区分	GB No.	測定ポイント	材質	測定結果 (dpm/100cm ²)					合計除染係数
				除染前	粗除染	1回目	2回目	3回目	
湿式系	W-1-1	床面	ステンレス鋼	2.7×10^8	9.8×10^7	1.1×10^6	9.4×10^4	1.0×10^4	2.7×10^4
		天井	ステンレス鋼	2.6×10^5	1.7×10^5	8.2×10^4	4.8×10^4	9.1×10^3	2.9×10^1
		パネル	アクリル	2.2×10^7	5.3×10^6	2.8×10^5	7.0×10^4	1.3×10^4	1.7×10^3
		機器	ステンレス鋼	6.8×10^7	1.3×10^7	3.6×10^5	6.5×10^4	2.2×10^4	3.1×10^3
	W-19	床面	ステンレス鋼	1.1×10^8	1.0×10^8	7.2×10^6	2.2×10^5	6.1×10^4	1.8×10^3
		天井	ステンレス鋼	4.6×10^5	3.3×10^5	9.8×10^4	2.0×10^4	7.3×10^3	6.3×10^1
		パネル	アクリル	1.4×10^7	4.2×10^6	3.5×10^5	7.7×10^4	1.6×10^4	8.8×10^2
		機器	ステンレス鋼	2.1×10^7	9.7×10^6	4.4×10^6	3.4×10^5	2.7×10^4	7.8×10^2
半湿式系	W-3	床面	ステンレス鋼	2.6×10^8	1.0×10^8	1.6×10^6	6.3×10^5	4.9×10^4	5.3×10^3
		天井	ステンレス鋼	1.9×10^7	9.4×10^6	1.6×10^6	1.4×10^4	7.8×10^3	2.4×10^3
		パネル	アクリル	4.0×10^7	3.1×10^7	2.4×10^6	3.6×10^4	2.6×10^4	1.5×10^3
		機器	ステンレス鋼	1.3×10^8	8.3×10^7	6.3×10^6	6.1×10^5	4.3×10^4	3.0×10^3
	W-7	床面	ステンレス鋼	5.5×10^7	2.1×10^6	3.1×10^5	2.0×10^4	7.1×10^3	7.7×10^3
		天井	ステンレス鋼	4.8×10^5	2.4×10^5	1.6×10^4	3.0×10^3	2.0×10^3	2.4×10^2
		パネル	アクリル	2.1×10^6	9.7×10^5	2.7×10^5	3.4×10^4	7.2×10^3	2.9×10^2
		機器	ステンレス鋼	8.1×10^5	7.2×10^5	3.2×10^5	8.7×10^4	5.3×10^4	1.5×10^1
乾式系	W-17	床面	ステンレス鋼	3.4×10^8	3.9×10^7	5.0×10^5	2.6×10^4	9.7×10^3	3.5×10^4
		天井	ステンレス鋼	6.5×10^7	4.1×10^6	8.6×10^4	1.7×10^4	8.8×10^3	7.4×10^3
		パネル	アクリル	3.9×10^7	7.8×10^6	1.3×10^6	1.9×10^5	5.0×10^4	7.8×10^2
		機器	ステンレス鋼	4.3×10^7	5.7×10^6	2.3×10^5	3.2×10^4	1.1×10^4	3.9×10^3

表-13 除染係数

系区分	GB No.	測定ポイント	材質	粗除染 除染係数	塗膜はく離除染係数				全除染係数
					第1回	第2回	第3回	合計	
湿式系	W-1-1	床面	ステンレス鋼	2.8	89	12	9.4	9.8×10^3	2.7×10^4
		天井	ステンレス鋼	1.5	2.0	1.7	5.3	1.9×10^1	2.9×10^1
		パネル	アクリル	3.9	19	4.0	5.4	4.1×10^2	1.7×10^3
		機器	ステンレス鋼	4.0	36	5.5	3.0	5.9×10^2	3.1×10^3
	W-19	床面	ステンレス鋼	1.1	14	32	3.6	1.6×10^3	1.8×10^3
		天井	ステンレス鋼	1.4	3.4	4.9	2.7	4.5×10^1	6.3×10^1
		パネル	アクリル	3.3	12	4.5	4.8	2.6×10^2	8.8×10^2
		機器	ステンレス鋼	2.2	2.2	13	13	3.6×10^2	7.8×10^2
半湿式系	W-3	床面	ステンレス鋼	2.6	63	2.5	13	2.0×10^3	5.3×10^3
		天井	ステンレス鋼	2.0	5.9	110	1.8	1.2×10^3	2.4×10^3
		パネル	アクリル	1.3	13	67	1.4	1.2×10^3	1.5×10^3
		機器	ステンレス鋼	1.6	13	10	14	1.9×10^3	3.0×10^3
	W-7	床面	ステンレス鋼	2.6	6.8	16	2.8	3.0×10^2	7.7×10^3
		天井	ステンレス鋼	2.0	15	5.3	1.5	1.2×10^2	2.4×10^2
		パネル	アクリル	2.1	3.6	7.9	4.7	1.3×10^2	2.9×10^2
		機器	ステンレス鋼	1.1	2.3	3.7	1.6	1.4×10^1	1.5×10^1
乾式系	W-17	床面	ステンレス鋼	8.7	78	19	2.7	4.0×10^3	3.5×10^4
		天井	ステンレス鋼	1.6	4.8	5.0	1.9	4.7×10^1	7.4×10^3
		パネル	アクリル	5.0	6.0	6.8	3.8	1.6×10^2	7.8×10^2
		機器	ステンレス鋼	7.5	25	7.2	2.9	5.2×10^2	3.9×10^3

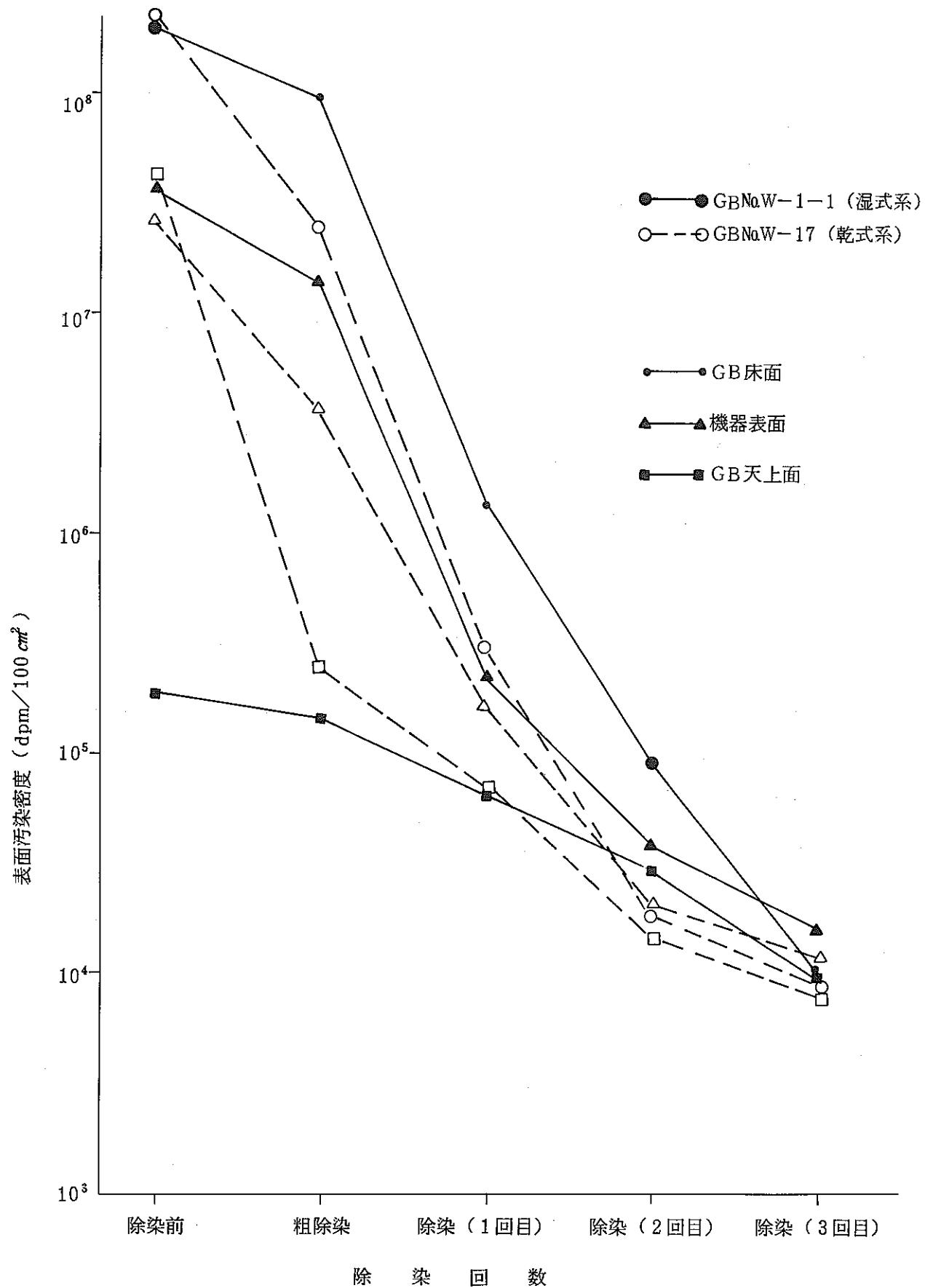


図-8 GB No W-1-1 及びW-17 のステンレス鋼の除染効果

3) 除染係数の変動要因

一般的に、除染作業をくり返し実施する場合には、各回ごとの除染係数は回数を重ねるに従がって小さくなっていく。

また、除染係数は、除染前の汚染のレベル、汚染物の化学的・物理的性質などでも変動する。

除染作業の各回ごとの除染係数は表-13に示したように、必ずしも系統的な変動をしていない。特にGB No.W-3の天井及びパネルでは、第1回目よりも除染効率がよくなっている。

この原因としては、①汚染物の付着が強固で第1回目でのはく離、特に塗膜側に移行しない
②スクラビング作業の標準化が十分でなく、作業方法などにばらつきがあることが考えられる。

GB No.W-3の天井及びパネルには除染前の観察でも①の強固な付着が観察されていないこと、又W-3の過去の使用経歴から、主たる原因是②のスクラビング作業の個人差によるものと考えられる。

一方、3回の塗膜はく離法の除染係数の合計では、スクラビング作業の個人差と思われる差はなく、図-9に示すように除染前の表面汚染密度に比例して除染係数は大きくなる。

今回の測定ポイントは1ヶ所を除いて全てステンレス鋼とアクリルである。ステンレス鋼、アクリルの除染係数は図-9に示したように除染前の表面汚染密度に依存するが、材質による差は認められなかった。※注唯一の炭素鋼の除染効果については図-10に示すように、炭素鋼はステンレス鋼及びアクリルと比べて除染係数が低く、粗除染で1.1、3回の塗膜はく離法の除染で 1.4×10^1 となっている。

これは炭素鋼表面の塗料が劣化し、塗料の割れ目の炭素鋼がさびていたことが原因と考えられる。

注) 炭素鋼: G B内に設置された恒温乾燥器(沈澱物乾燥に使用した)の外板

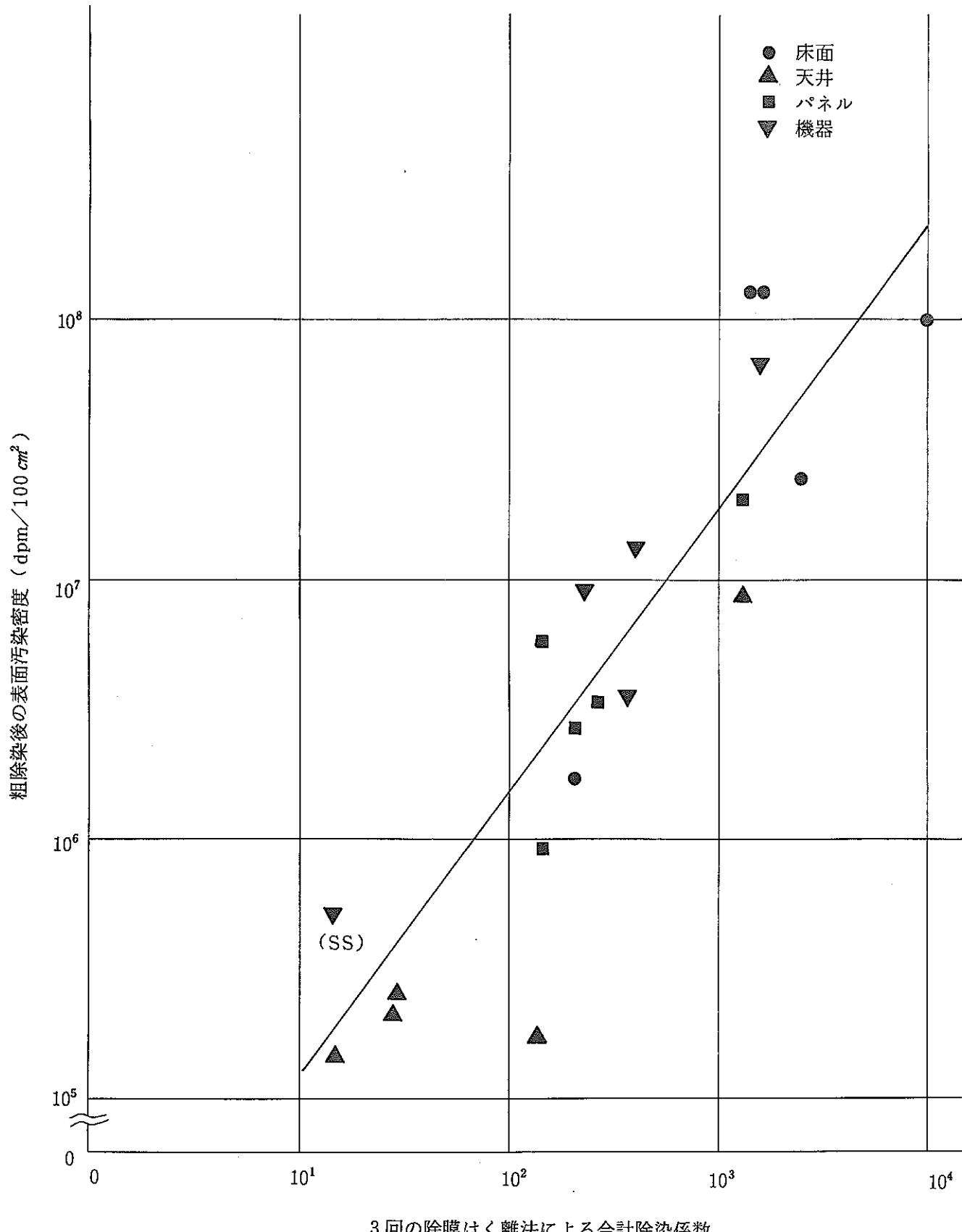


図-9 表面汚染密度と除染係数

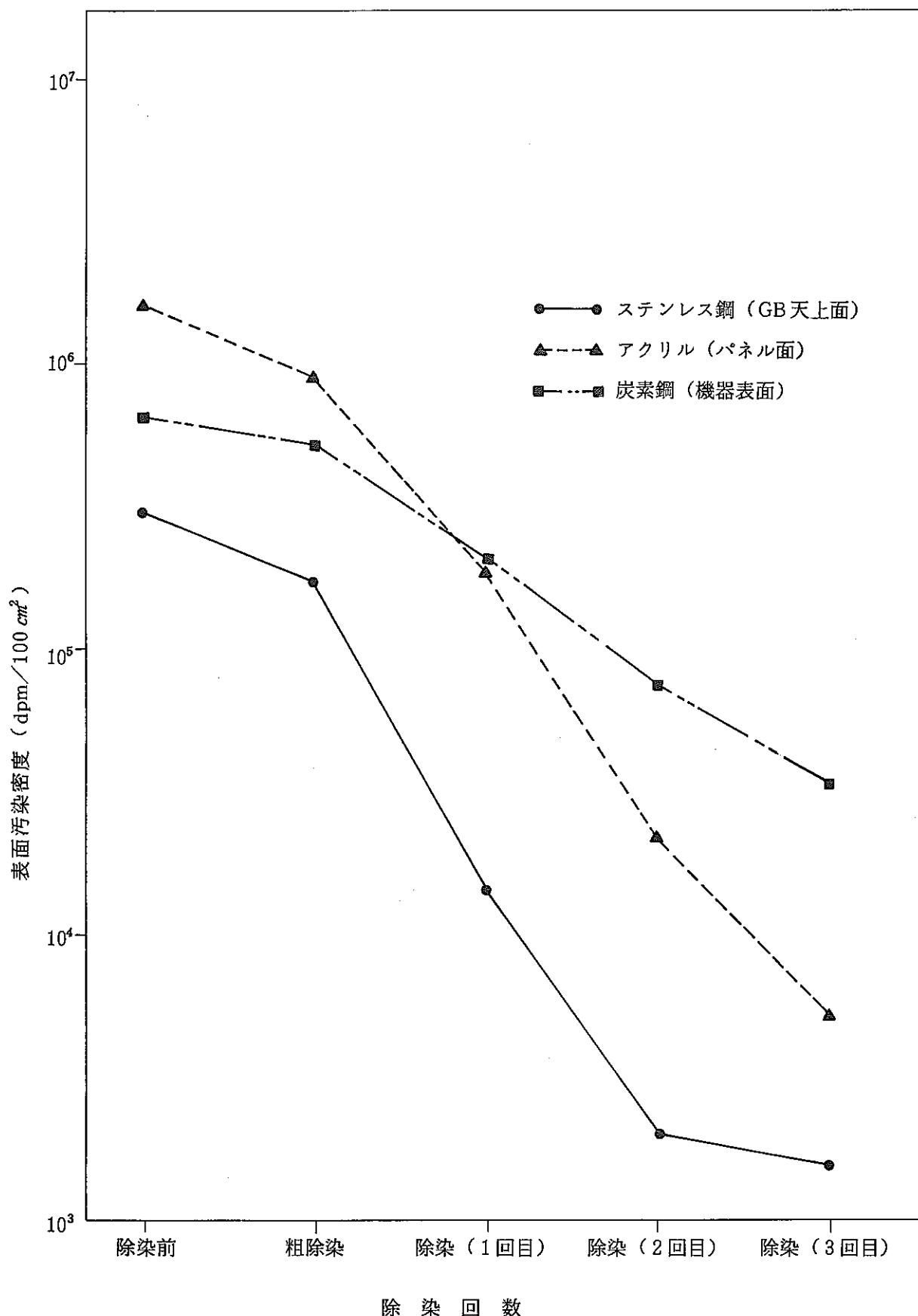


図-10 GB No.W-7 の各部の除染効果

4.4 拭き取り除染法との比較

今回実施した塗膜はく離法による除染方法が表-4に示した特性通りになっているかどうかを検討する。

比較用いるデーターとしては、昭和53年度に実施した同じF104室の解体撤去（FBR湿式回収設備）の実績をもとに、今回の解体を拭き取り除染法で実施した場合の各種パラメータを推定したもの用いた。表-14に昭和53年度の解体・撤去と今回の解体撤去の設備の比較を示す。また図-11に拭き取り除染法と塗膜はく離法の比較を示す。

表-14 解体設備の概要

項目 設備名	GB総容積	GB数	GB寸法 (高さ)	使用経緯	GB内 表面汚染密度
FBR 湿式回収設備	90 m ³	5基	3.5 m	FBR燃料製造スクラップ の湿式回収及び精製液の 転換	10 ⁷ dpm/100 cm ² (推定)
脱硝設備	107 m ³	12基	3.5 m	MOX粉末の転換	10 ⁸ dpm/100 cm ² (実測)

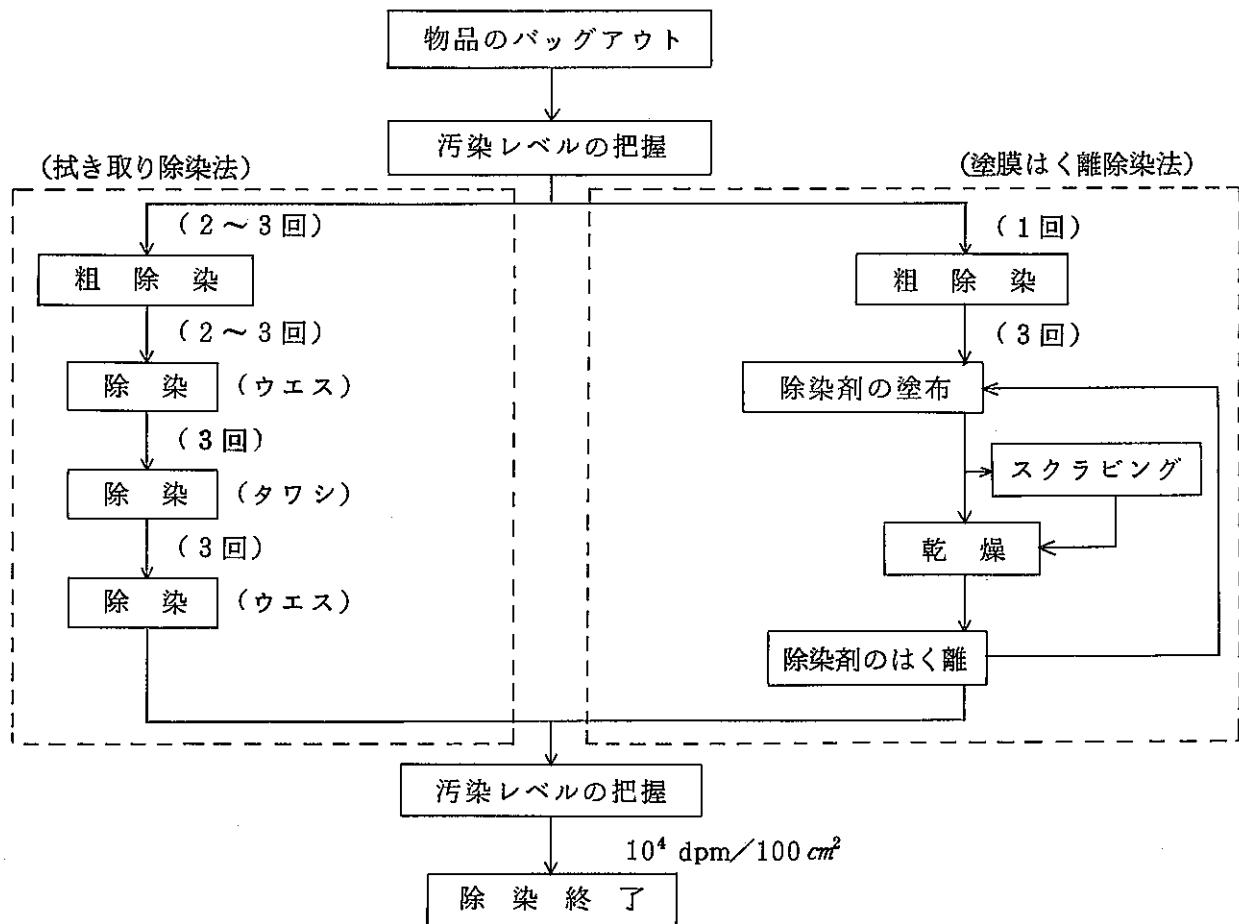


図-11 除染法の比較

1) 作業人工数

GB 1 m^3 当りの除染作業人工数は、FBR 湿式回収設備の解体撤去の時の拭き取り除染法では、16.1 人・日/ m^3 であった。今回の塗膜はく離除染法では 13.1 人・日/ m^3 であり、拭き取り除染法の約 80% の人工数で除染作業を実施できた。この要因として以下のようなことが考えられる。

- ① GB 内の移動性の汚染を塗膜中に取り込んでしまうため、ウエス等での拭き取りと比べて移動性汚染が早く除去される。
- ② 拭き取り除染法では、ウエスで拭き取った回数が 10 回以上であったが、塗膜はく離法では目標表面汚染密度迄除染できた。
- ③ 除染による廃棄物発生量が次頁で示すように少なく、廃棄物のバグアウトに要する時間が少なくなった。

(注) 今回の GB 内に近い表面汚染密度のあった GB は拭き取り除染法では 10 回以上の除染でも表面汚染密度は $10^4 \text{ dpm}/100 \text{ cm}^2$ まで除染できなかった。

2) 除染資材使用量及び廃棄物発生量

拭き取り除染法ではウエス、除染剤（活性剤）、ナイロンタワシを除染に使用した。塗膜はく離法では、キムタオル、除染剤（塗膜はく離剤）及びスクラビングに使用したナイロンタワシである。

これらの除染資材の使用量は、表-15に示すように、拭き取り除染法ではウエスが主たる材料であり、GB 1m³あたり約31ℓの資材を必要とするのに対し、塗膜はく離法では約6ℓで、約5分の1であった。

表-15 除染資材使用量

除染資材 撤去名	ウエス キムタオル	除染剤	ナイロンタワシ	使用資材容積
FBR 湿式回収設備 解体撤去 (拭き取り除染法)	ウエス 294束 (2.6m ³) 30ℓ/m ³	界面活性剤 50ℓ 0.55ℓ/m ³	600枚 (15ℓ) 0.17ℓ/m ³	2.6m ³ 35.7ℓ/m ³
脱硝設備解体撤去 (塗膜はく離法)	キムタオル 36束(0.2m ³) 1.9ℓ/m ³	塗膜はく離剤 432ℓ 4.0ℓ/m ³	250枚 (6.3ℓ) 0.06ℓ/m ³	0.63m ³ 6.0ℓ/m ³

塗膜はく離法での主たる除染資材である塗膜はく離剤はほとんどスプレーで塗布したため、GB内のバックインした量はほんのわずかであり、バックイン作業に必要なビニルバックもほとんど使用しなかった。

FBR湿式回収工程解体撤去時の除染作業により発生した廃棄物発生量はカートンボックス数で714個であり、7.9個/m³であった。今回の除染作業では192個、1.8個/m³であった。

これより、塗膜はく離法では拭き取り除染法の約4分の1の廃棄物発生量で除染できたことになる。

除染資料使用量及び廃棄物発生量がそれぞれ約5分の1及び約4分の1に減少した要因としては、それぞれの除染効果の差によるものが最も大きいと考えられる。

3) 外部被ばく

脱硝設備は第2章でも述べたように、GB内のPuによる汚染が過去の解体撤去時と比べて極めて高く、表-16に示すようにGBパネル面で最大57.6mR/hr、平均4mR/hrとなっている。

表-16 GB表面の γ 線の線量率

解体撤去設備名	平均 値	最 大 値	測 定 場 所
F B R 湿式回収設備	<1 mR/hr ^{*1}	4 mR/hr ^{*1}	GBパネル面
脱 硝 設 備 (今 回)	4 mR/hr ^{*1}	57.6 mR/hr ^{*1}	GBパネル面
	9.5 mR/hr	190 mR/hr ^{*2}	GBポート部
	—	>1000 mR/hr	GB床部

注) * 1 : 鉛ガラス取付時に測定

* 2 : 鉛グローブ取付時に測定

また、作業日数と外部被ばく線量は表-17に示すように、作業員1人当りの被ばく線量は1.29 mrem/人・dayと倍増している。

表-17 作業人工数と外部被ばく線量

解体撤去設備名	作 業 人 工 数	外部被ばく線量
F B R 湿式回収設備	1,450 人・日	960 人・mrem (0.66 mrem/人・日)
脱 硝 設 備	1,400 人・日	1,800 人・mrem (1.29 mrem/人・日)

F B R 湿式回収設備の解体データをもとに、今回の脱硝設備の除染作業を拭き取り除染法で実施した場合の被ばく線量を推定する。

作業員1人当りの被ばく線量は、GB表面の線量率が4倍以上となっているので、4倍の $0.66 \times 4 = 2.64$ mrem/人・日になり、作業人工数は、GBの容積比で $1,450$ 人・日 $\times (\frac{107 m^3}{90 m^3})$
 $= 1,720$ 人・日とする。これより拭き取り除染法と塗膜はく離法による外部被ばく線量を比較すると表-18に示すように、塗膜はく離法は2.5分の1となる。

表-18 外部被ばく線量の比較

除染法	作業人工数	GB表面線量率 (平均)	1日当りの 被ばく線量	合計被ばく線量
拭き取り除染法	1,720人・日	4mR/hr	2.64 mrem/人・日	4,540人・mrem
塗膜はく離法	1,400人・日	4mR/hr	1.29 mrem/人・日	1,800人・mrem

作業員の外部被ばく線量を2.5分の1に低減できた要因としては

- ① 作業人工数が減った。
- ② 作業員のグローブ作業時間が拭き取り除染法に比べて大幅に減少できた。
ことが考えられる。

4) まとめ

拭き取り除染法と塗膜はく離法の比較を作業人工数、除染資材使用量、廃棄物発生量及び外部被ばく線量の各項目について行なった。この結果、図-11に示すように、塗膜はく離法では

- ① 作業人工数では20%の節減ができた。
- ② 使用資材量では容積比で5分の1になり、廃棄物発生量で4分の1となった。
- ③ 外部被ばく線量は2.5分の1に低減した。
ことが明らかになった。

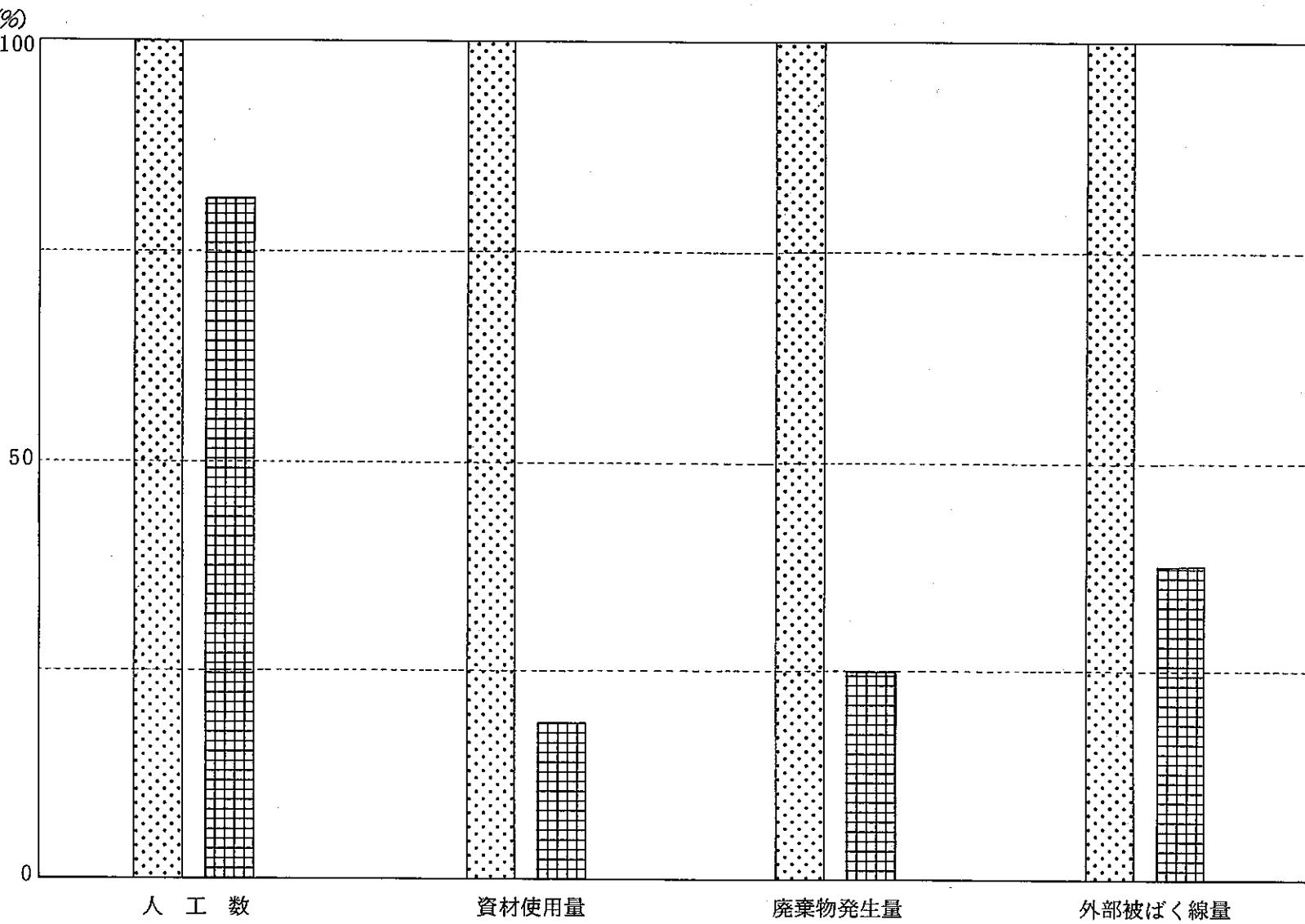
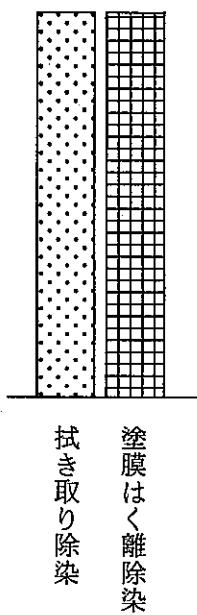


図-11 拭き取り除染法との比較結果

5 ま と め

外部被ばく線量及び廃棄物発生量の低減及び工期の短縮を目的として、グローブボックスの解体撤去に先立つ除染作業に、初めて塗膜はく離法を採用した。

採用にあたっては、他の除染法との比較・検討及び除染試験を行い、除染方法・手順の確認を行った。

実際の各 G B の除染でも除染試験のデータとほぼ同じ除染効果が得られ、上記目的が十分に達成されたことも確認できた。また、過去の大型グローブボックス群の解体撤去時に経験したことのある作業員の内部被ばくもなかった。

以上のように、塗膜はく離法による G B の除染方法・技術は今回の作業で十分実用化されたと考えられる。

なお、塗膜はく離法で除染する場合には、以下の方法で行う必要がある。

- (1) 塗膜厚さをできる限り均一（約 1mm の塗膜厚がよい）にする。
- (2) ポート部等グローブが接触する部分にはグローブの破損防止のため塗膜をつけない。
- (3) 解体作業に移行する時には塗膜ははく離し、塗料で残っている汚染を固定する。

参 考 文 献

- (1) 塩月編「放射線廃棄物の除染技術」安全教育研修所テキスト、昭和 62 年 3 月
- (2) 同 上
- (3) 河野強、他「ストリッパブルコーティング除染法の評価試験」第 20 回理工学における同位元素研究発表会要旨集 P 121 1983. 7. 4~7.6
- (4) 生田目康二、他「塗膜剥離除染法」原子力工業第 31 卷第 10 号 1985 年
- (5) 大塚勝幸、他「F-104 大型グローブボックス群 (W-1, W-3, W-11) の現場解体」 N843-79-04, 1979 年 4 月
- (6) 加藤仁三、他「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」 SN 841-78-68 1978 年 12 月