

# 再処理施設におけるグローブボックスパネルの更新技術

## Replacement of the Glove Box Panel in Nuclear Fuel Reprocessing Facility

日本原子力研究開発機構	舛井 健司	Kenji MASUI	(Non-Member)
日本原子力研究開発機構	山本 昌彦	Masahiko YAMAMOTO	(Non-Member)
日本原子力研究開発機構	久野 剛彦	Takehiko KUNO	(Non-Member)
日本原子力研究開発機構	駿河谷 直樹	Naoki SURUGAYA	(Non-Member)

In the new regulation formulated after the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, it is demanded that the glove box consists of incombustible or noncombustible materials. However, combustible acryl materials are used for many glove boxes installed in nuclear fuel cycle facilities. In this work, the glove box acryl panel has been replaced to incombustible material with accordance to the new regulation. The new panels have been manufactured by polycarbonate which satisfied the UL94 V-0 incombustible class. The glove box has been in service for 37 years and its inside has been contaminated with radioactive materials. Thus, the contaminations have been decontaminated before the replacement work. Then, the replacement has been conducted in closed space covering glove box with vinyl sheets to maintain the containment function. The enclosure function of glove box has been verified by the inspection of the new panels after the replacement.

**Keywords:** Glove Box, Transparent panel, Polycarbonate, Incombustible material

### 1. はじめに

平成 23 年の東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故後に制定された核燃料施設等に係る新規制基準では、核燃料物質等を取り扱うグローブボックス(以下、「GB」とする)は、火災発生時でも放射性物質の閉じ込め機能を維持するため、不燃性材料又は難燃性材料を使用することが要求されている<sup>1)</sup>。しかし、核燃料サイクル施設等で設置されている GB の多くは、透明パネルの材質に空気中で可燃性を示すアクリルが使用されており、新規制基準への適合にあたっては、パネルの難燃化、不燃化等の火災防止対策が必要となってくる。そこで、本件では、新規制基準へ適合するため、GB パネルを従来のアクリルから難燃性の材料への変更を試みた。

更新を実施した GB は、本体の材質にステンレス鋼である SUS304L、パネルに透明アクリルが合計 6 枚使用されている。図 1 に当該 GB の写真を示す。なお、パネルは、図 2 に示すように、コの字型の断面を有するクロロプレンゴム製のガスケットによって端部を覆い、スタッドボルトを通した L 字型のステンレス製押さえ板でナットにより漏えい率が 0.1vol%/h 以下になるように設置さ

れている<sup>2,3)</sup>。この GB は、東海再処理施設の分析所に昭和 53 年に設置され、現在も供用中であり、その内部は放射性物質によって汚染されている。このため、パネルの更新作業にあたっては、放射性物質の拡散による汚染拡大と作業者の被ばく防止を図るとともに、更新作業終了後に GB の閉じ込め機能が、作業前と同様に維持されていることを検証する必要がある。

以上を踏まえ、本件では、GB パネル用の難燃性材料の選定、更新作業時の汚染の拡大防止と作業者の被ばく防止のための対策、パネルの交換作業手順及び検査の方法について検討して、更新を実施した。

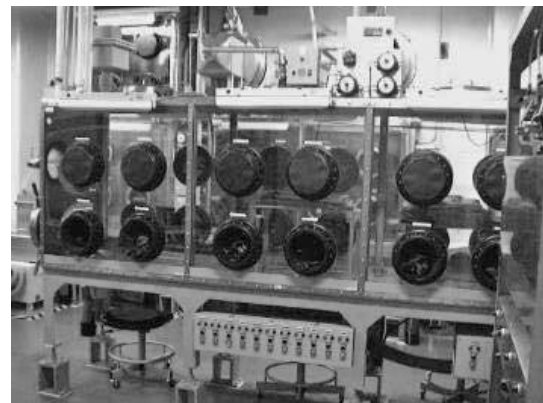


図 1 パネル更新対象のグローブボックス

連絡先:舛井 健司、〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33、バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 再処理技術開発センター 施設管理部 分析課  
電話:029-282-1111、E-mail: masui.kenji@jaea.go.jp

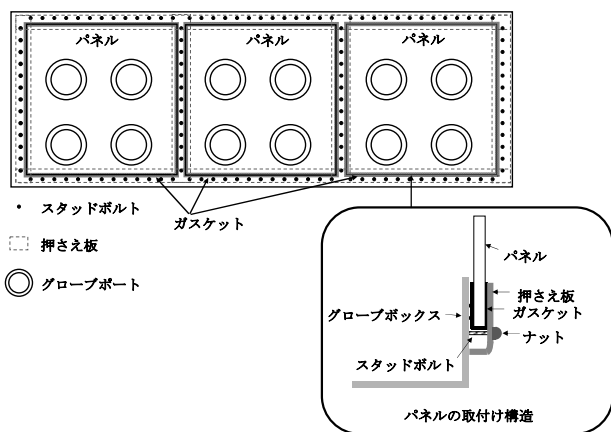


図2 パネルの取り付け構造

## 2. 更新パネルの材料

更新するパネルは、新規基準の要求に応えるため、難燃性のプラスチック材料から選定した。プラスチックの燃焼性を判断する指標としては、米国 Underwriters Laboratories 社による試験規格 UL94 がある<sup>4)</sup>。これは、米国で提唱された規格であり、現在の日本のプラスチック産業界では、UL94 を燃焼性試験規格として広く採用している。ここで定める試験は、所定の試験片を水平及び垂直に保持した条件で燃焼性を確認する水平燃焼試験(以下、「HB 試験」とする)と垂直燃焼試験(以下、「V 試験」とする)の2種類があり、HB 試験に適合する材料は遅燃性、V 試験に適合する材料は V-2、V-1、V-0 のグレード順で高い難燃性を有し、自己消化性を示す。本件では、UL94 の各グレードのうち、高い難燃性を示す V-0 に適合するプラスチックについて検討した。

UL94 V-0 に適合する代表的なプラスチックとしては、分子骨格に芳香族を加えて難燃性を高めたポリカーボネートや分子内に窒素及びハロゲン系元素を加えて難燃性を高めたポリ塩化ビニールが知られている。表 1 に日本工業規格(以下、「JIS」とする)にて規定されているポリカーボネート<sup>5)</sup>、ポリ塩化ビニール<sup>6)</sup>、及び現在 GB パネルとして使用しているアクリル<sup>7)</sup>の主な物性の規格値等を示す。各材料を比較すると、機械的性質、全光透過率、耐酸性、耐アルカリ性、耐有機溶媒性はほぼ同じであったが、ポリカーボネートは荷重たわみ温度とビカット軟化温度が最も高く、熱的性質に優れていることがわかった。なお、ポリカーボネート、ポリ塩化ビニール、アクリルの耐放射線性はほぼ同じであることが報告されている<sup>8)</sup>。

これらのことから、更新するパネルの材料には熱的性質に優れ、UL-94 V-0 に適合する難燃性材料であるポリカーボネート(積水化学工業：エスロン DC プレート PH-407-AS)を選定した。パネルは、従来と同じ寸法で製作し、GB の固有振動数と応力を再評価した結果、耐震上の問題はないことを確認した。

表1 アクリル、ポリカーボネート、ポリ塩化ビニールの物性の主な規格値

材料の種類		アクリル	ポリカーボネート	ポリ塩化ビニール
機械的性質	引張降伏応力(MPa)	70 以上	55 以上	50 以上
	引張破断伸び(%)	4 以上	60 以上	8 以上
	シャルピー衝撃強さ(kJ/m <sup>2</sup> )	13 以上	6 以上	2 以上
熱的性質	荷重たわみ温度(°C)	98 以上	130 以上	データなし
	加熱収縮率(%)	2.5 以下	5 以下	4 以下
	ビカット軟化温度(°C)	105 以上	145 以上	70 以上
比重		約 1.2	約 1.2	約 1.4
全光透過率(%)		約 85	約 80	約 80
燃焼性		可燃性	難燃性	難燃性
耐酸性	弱酸の影響	◎	◎	◎
	強酸の影響	△	△	△~◎
耐アルカリ性	弱アルカリの影響	◎	○	◎
	強アルカリの影響	×	×	◎
有機溶剤の影響		ケトン・エステル・塩素化溶剤に可溶	芳香族、塩素化溶剤に可溶	ケトン・エステルには膨潤又は可溶、芳香族に膨潤

※表中の記号は、当該項目への耐性に対して、◎：最適、○・△：やや不適、×：不適である。

### 3. グローブボックス内の汚染の除去

GB の内部は、これまでの使用によりウラン、プルトニウム等の放射性物質によって汚染されている。このため、パネル更新作業時の汚染リスクを低減するため、作業前に内部の汚染状況を調査し、除染を実施した。汚染状況の調査は、GB 内の床面、側面、天井、パネルの所定面積(100 cm<sup>2</sup>)をスマイヤ紙で拭き取り、 $\alpha$ 線シンチレーション式サーベイメータ(日立アロカメディカル:TCS-21JE)及び $\beta\gamma$ 線 GM 管式サーベイメータ(日立アロカメディカル:TGS-146B)で測定して表面汚染密度を求めた。この結果、GB 床面の表面汚染密度が最も高く、サーベイメータの検出上限である $\alpha$ :  $7.1 \times 10^3$  Bq/cm<sup>2</sup>、 $\beta\gamma$ :  $2.5 \times 10^2$  Bq/cm<sup>2</sup>を超える値を示した。そこで、水、アルコール、中性洗剤を湿らせたウェス、不織繊維製スポンジ、メラミン樹脂製スポンジの順で拭き取り除染を試みた。図 3 に除染前、各拭き取りによる除染後の表面汚染密度の測定結果を示す。

水、アルコール、中性洗剤を湿らせたウェスによる拭き取り(6回)を実施することで、表面汚染密度は除染前の約 1/10~1/100 程度に低下した。その後、不織繊維製スポンジ及びメラミン樹脂製スポンジによる拭き取り(3回)で、表面汚染密度は、 $\alpha$ :  $2.5 \times 10^2$  Bq/cm<sup>2</sup>以下、 $\beta\gamma$ : 2.5 Bq/cm<sup>2</sup>

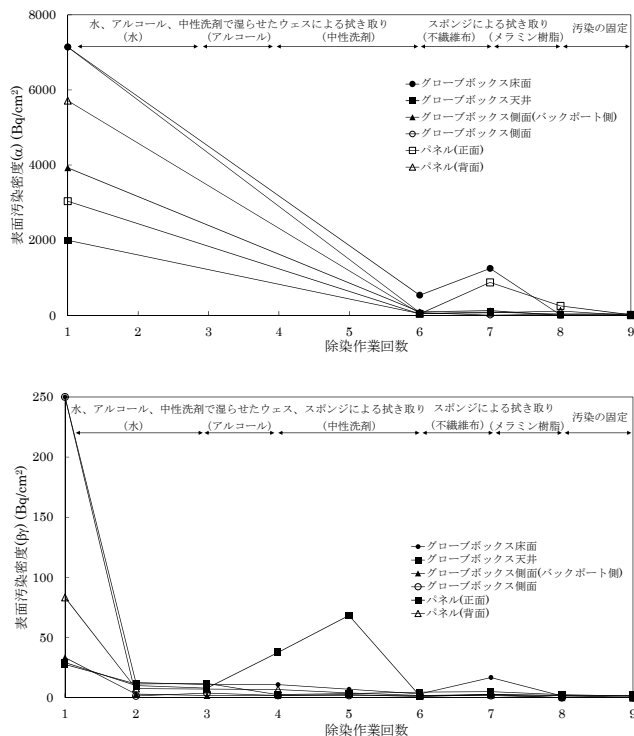


図 3 グローブボックス内の除染結果(上:  $\alpha$ 線放出核種の除染結果、下:  $\beta\gamma$ 線放出核種の除染結果)

以下にまで低下したが、これ以上拭き取りを行っても、表面汚染密度は低下しなかった。

GB 本体及びパネル表面は、完全な平滑面ではなく、汚染が微細な傷等に入り込んでいる可能性がある。このため、残存する汚染については固定することとした。汚染の固定には、アクリル系樹脂にキレート剤を加えた厚膜タイプの剥離型塗料とスプレー式の水性ペイント剤を用いて実施した。固定後にスマイヤ法で確認した GB 内の表面汚染密度は、 $\alpha$ : 33 Bq/cm<sup>2</sup>以下、 $\beta\gamma$ : 1.7 Bq/cm<sup>2</sup>以下であり、除染前の約 1/150~1/215 にまで低下することができた。これにより、GB 内部の放射性物質を減らし、作業員及び作業エリアの汚染リスクを低減することができた。

### 4. パネルの更新作業

パネルの更新作業を安全且つ円滑に行うには、GB 内部からの放射性物質の拡散による汚染と作業員の被ばくを防止することが重要となる。そこで、作業場所周囲にはグリーンハウス(GH)を設置するとともに、作業員は、呼吸保護具等の放射線防護具を着用して作業を実施した。

#### 4.1 グリーンハウスの設置

GH は、放射性物質が作業場所から拡散して汚染が拡大するのを防止するため、GB の周囲に鋼管パイプとビニール製シートを用いて設置した。図 4 に設置した GH の概略を示す。GH は 4 室構造とし、汚染レベルの高いハウスから順次 GH-1、GH-2、GH-3、GH-4 とした。GH-1 は、パネルの更新作業を実施するハウスであり、GH-1 からの作業員は、着用した放射線防護具の表面を除染し、サーベイメータによる汚染検査を実施してから退出することにした。GH-2、GH-3 は、作業員が放射線防護具を着脱するハウスであり、GH-1 からの退出者が、ここで汚染検査を実施して放射線防護具を脱装できるようにした。GH-4 は、GH からの退出者の最終汚染検査を実施するハウスとし、ここで確実に汚染がないことを確認してから、GH を退出することとした。このように、各 GH を通して二重三重の汚染検査を実施することで、放射性物質の拡散及び汚染の拡大防止を図った。なお、GH 内はビニール製シートを多重に敷設することで、作業中に汚染が発生しても、シートを交換することで容易に除去できるようにした。また、GH-1 には、高性能エアフィルタである HEPA フィルタ(放射性物質の捕集率 99.97%)を介して排気ブローを取り付け、GH 内部を換気(換気回数: 10 回/h

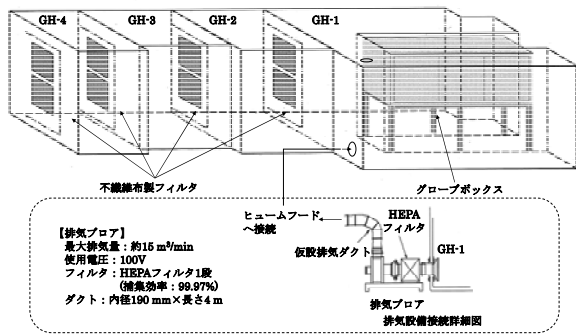


図4 グリーンハウスの概略図

以上)することで負圧とし、放射性物質の閉じ込めを図った。さらに、各 GH には、 $\alpha$ 線ダストモニタを設置して作業中の空気における放射性物質濃度を監視し、濃度限度を超える事態が生じた場合には、作業を中断して除染等を実施することにした。

#### 4.2 放射線防護具の選定

除染後に測定した GB の表面線量率は  $1\mu\text{Sv/h}$  以下であり、更新の予定作業時間を考慮して評価した作業者の累積線量率は約  $0.6\text{mSv}$  であった。この値は、法令等で定められている放射線業務従事者の実効線量限度( $50\text{mSv/年}$ )を十分に下回るため、本作業において外部被ばく上の問題は無い。このため、作業者の放射線防護具は、内部被ばくと身体汚染防止の観点から選定した。

除染及び汚染固定後の GB 内部の表面汚染密度は、3 節より  $\alpha: 33\text{Bq/cm}^2$ 、 $\beta\gamma: 1.7\text{Bq/cm}^2$  以下であった。GB 内の汚染が空気中へ舞い上がる程度を示す再浮遊係数( $1 \times 10^{-6}\text{cm}^{-1}$ )<sup>9)</sup>を用いて、更新作業中における GH 内の空気中の放射性物質濃度を推定した結果、その値は  $\alpha: 3.3 \times 10^{-5}\text{Bq/cm}^3$ 、 $\beta\gamma: 1.7 \times 10^{-6}\text{Bq/cm}^3$  であった。GH 内の放射性物質濃度に対して、内部被ばくを防止するための呼吸防護具である全面マスクの着用限度は  $\alpha: 5.6 \times 10^{-5}\text{Bq/cm}^3$ 、 $\beta\gamma: 2.9 \times 10^{-6}\text{Bq/cm}^3$  と僅かに許容できる値であり、全面マスクに空気供給式ホースを接続したエアラインマスクの着用限度は  $\alpha: 5.6 \times 10^{-3}\text{Bq/cm}^3$ 、 $\beta\gamma: 2.9 \times 10^{-4}\text{Bq/cm}^3$  と 2 桁程度の裕度を持った値であった。このため、本件では、内部被ばくを確実に防止するため、最も内部被ばくのリスクが高い GH-1 の作業者の呼吸防護具にエアラインマスクを選定した。また、GH-1 と比較して汚染リスクが少ない GH-2 の作業者の呼吸防護具には全面マスク、GH-3

及び GH-4 の作業者の呼吸防護具には半面マスクを選定した。さらに、放射性物質が直接身体に付着するのを防止するため、ポリエチレン繊維製放射線防護服、酢酸ビニール製放射線防護服、ゴム手袋、綿手袋、シューズカバー、フットカバー及びオーバーシューズを必要に応じて着用することとした。なお、万が一の外部被ばくを防止するため、GH 内作業者は個人被ばく線量計、電子ポケット線量計及び警報付きポケット線量計を常時着用することとした。

#### 4.3 更新作業

放射性物質の拡散を確実に防止するためには、GB の閉じ込め機能を維持したままパネルの交換作業を実施する必要がある。このような方法としては、GB の内側にステンレス鋼製閉止板と外側にグローブ付のビニール製シートを取り付けて、作業領域を隔離しながら実施した例が桜庭らによって報告されている<sup>10)</sup>。本更新でも GB の閉じ込め機能を維持するため、桜庭らの報告を参考に、作業領域を隔離するためのビニール製シートを GB パネルの内側と外側に取り付け、図 5 に示す作業手順を策定して作業を実施した。

GB 内側は、図 6 に示すように両面テープ、布テープ、伸縮棒を用いてビニール製シートを取り付けた。その後、アクリル製パネルを取り外すための事前処置として、パネルを固定している押さえ板を取り外し、スタッドボルト及び周辺の除染とテープによる汚染の固定を実施した。なお、押さえ板の固定に用いるスタッドボルトには、Oリング付きの真鍮製保護キャップを取り付けることで放射性物質の付着を防止した。

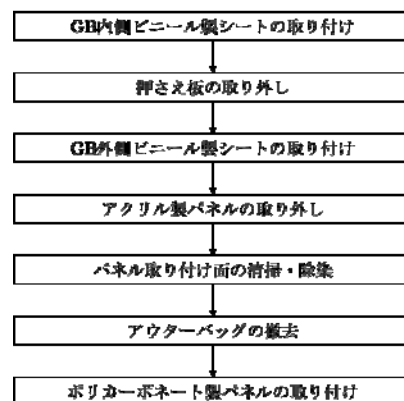


図5 パネル更新の作業手順

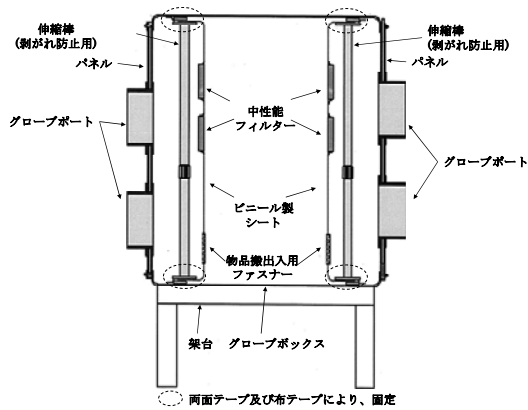


図6 インナーバッグの概略図

GB パネルの外側は、図7に示すように塩化ビニール製パイプの骨組にテープ等を用いてビニール製シートを取り付けた。シートにはグローブを取り付けることでアクリル製パネルの取り外しを遠隔でできるようにした。さらに、上部にはフィルタを取り付けることで、パネル取り外し時に空気流線がGB 内部へ流れるように調整した。

その後、グローブを用いてパネル及び付随するガスケットを取り外し、廃棄用ビニールバッグに入れて、溶着して切り離すことでパネルに付着していた汚染を内部に閉じ込めたまま搬出した。なお、パネル取り外し時に確認した空気流線は GB 側へ流れており、作業領域の閉じ込め機能は維持されていることを確認した。

パネル取り外し後、放射性物質の拡散を防止するため、排気ダクトに接続したトレイを用いながら GB パネル取り付け面の清掃及び除染を実施した。取り付け面には、旧パネルで使用していたガスケットの一部が付着していたため、除染前に軟質プラスチック製のヘラを用いて付着物を除去した。除染は、水及びアルコールで湿らせたウェスを用いて拭き取りにより行った。除染後の汚染検査で取り付け面の表面汚染密度は、 $\alpha$ 線サーベイメータによる直接測定で最大  $4.6 \times 10^2 \text{ Bq/cm}^2$  と高い値を示した。このため、再度の拭き取りを行ったが同等の表面汚染密度が確認されたため、スプレー式水性ペイントを吹き付けて汚染の固定を図った。固定後の表面汚染密度は  $\alpha: 8.3 \times 10^1 \text{ Bq/cm}^2$  以下と大幅に汚染を低下させることができた。

ポリカーボネート製の新パネルは、GB 外側のビニール製シートを撤去した後、スペーサーを用いて位置合わせをしながら1枚ずつ慎重に取り付けた。パネルの取り付け作業時の様子を図8に示す。パネル取り付け時のスタッドボルトのナットの締め付けトルクには、新設 GB 用

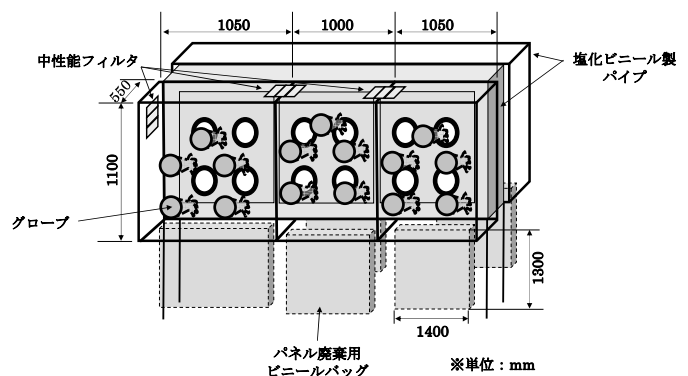


図7 アウターバッグの概略図

パネルのトルクである  $2 \sim 3 \text{ N}\cdot\text{m}$  を用いた。なお、ガスケット及び押さえ板は、従来と同様の寸法で新たに製作したものを取り付けた。これらの結果、作業場所及び作業員への汚染はなく、作業領域から放射性物質を拡散させずに更新を行うことができた。

## 5. 検査

検査は、難燃性材料を使用した GB パネルが適切に設置されていること及び GB の閉じ込め機能が維持されていることを検証するため、作業終了後にポリカーボネートの材料検査、パネルの据付・外観検査、GB の負圧検査及び漏えい検査を実施した。

材料検査ではパネルに使用したポリカーボネートが JIS K6735 で規定された特性を満足し、燃焼性が UL94 V-0 に適合する難燃性を有することを購入メーカ及び米国 Underwriters Laboratories 社が発行する証明書を用いて確認した。



図8 新パネル取り付け作業時の様子

パネルの据付・外観検査は、設置した 6 枚のポリカーボネート製パネルの寸法と取り付け位置をコンベックスルールで測定し、設計通りに作業が行われたことを確認するとともに、パネルの外観に有害な傷等がないことを確認した。なお、検査は、日本機械学会の発電用原子力設備規格に基づき<sup>11)</sup>、検査箇所明るさが 540Lx 以上、目視検査における眼から検査対象部までの距離が 1200 mm 以内の条件で実施した。

GB の負圧検査では、パネル更新後の GB の内部が東海再処理施設で定められている $-300 \pm 50$  Pa の負圧状態に維持されていることを負圧計により確認した。

漏えい検査では、日本非破壊検査協会で規格化されているハロゲンリーク試験方法(NDIS 3407)<sup>12)</sup>に準じて試験を行った。NDIS では、漏えいの判定基準として  $1 \times 10^6$  Pa・m<sup>3</sup>/s 以下が定められている。これは、GB の漏れ率に換算すると  $1.5 \times 10^6$  vol%/h に相当する値であり、JIS Z4820:2002 で定められた放射性物質取扱用 GB の漏えい率である 0.1 vol%/h 以下<sup>3)</sup>を十分に満足する値である。このため、本検査の判定基準としては、NDIS:3407 の判定基準をそのまま採用した。検査の結果、パネルとグローブポートの設置境界部からの漏えいは判定基準以下であった。

以上の結果より、更新したパネルの材料、据付・外観状況に問題はなく、GB の閉じ込め機能も更新前と変わらずに維持されていることを確認した。なお、上記検査項目については、原子力規制庁による使用前検査を受検して合格した。

## 6. まとめ

グローブボックスの新規制基準への適合を図るため、新しく取り付けられたパネルの材質は、従来の可燃性であるアクリルから難燃性であるポリカーボネートへ変更した。パネルの更新作業は、グローブボックス内及びパネル取り付け面の除染を実施し、ビニール製シート等により作業領域を隔離することで、問題なく放射性物質を内部に閉じ込めることができ、作業者の有意な被ばく、放射性物質の拡散、汚染等を発生させずに完了することができた。更新後、新たに設置したポリカーボネート製パネルの健全性及びグローブボックスの閉じ込め機能が更新前と同様に維持されていることを検証するため、材質検査、据付・外観検査、負圧検査、漏えい検査を実施した。検査結果に問題はなく、原子力規制庁が実施した使用前検

査にも合格し、パネルを更新したグローブボックスの閉じ込め機能は、更新前と同様に維持されていることが確認された。これらの結果より、グローブボックスパネルを可燃性であるアクリルから難燃性のポリカーボネートへと更新し、新規基準へ適合させることができ、供用中の GB パネルの更新技術を確立することができた。

核燃料再処理施設には、可燃性であるアクリル製パネルを取り付けたグローブボックスが多く使用されている。これらは、今後の使用状況等に応じてパネル更新を含めた難燃化対策を実施する必要がある。また、東海再処理施設は、多くのグローブボックスでパネル等の老朽化が進んでいる。このような状況を鑑み、今回の更新作業を通じて得られた知見や技術を継承していくことが重要である。

## 参考文献

- 1) 原子力規制委員会: “再処理施設の位置、構造及び備基準に 再処理施設の位置、構造及び備基準に関する規則 の解釈の制定について”, 原管研発第 1311275 号 (平成 25 年 11 月 27 日制定)
- 2) JIS Z4808:2002. 放射性物質取扱作業用グローブボックス.
- 3) JIS Z4820:2002. グローブボックス気密試験方法.
- 4) UL-94:2013. Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances.
- 5) JIS K6735:2014. プラスチック - ポリカーボネート板 - タイプ, 寸法及び特性.
- 6) JIS K6745:2008. プラスチック - 硬質ポリ塩化ビニール板.
- 7) JIS K6718-1:2000. プラスチック - メタクリル樹脂板 - タイプ, 寸法及び特性 - 第 1 部: キャスト板.
- 8) 栗山将: “原子力産業に要求される高分子材料”, JAERI-M 9412 (1981).
- 9) 関昭雄, 大西俊彦, 叶野豊, 岩月恒信: “放射線管理のための表面汚染からの再浮遊係数に関する文献調査”, PNC SN8420 88-008 (1988).
- 10) 桜庭直敏, 沼田正美, 古宮友和, 市瀬健一, 他: “バッグイン・バッグアウト方式による大型グローブボックスのアクリルパネル交換技術”, JAEA-Technology 2009-071 (2010).
- 11) JSME S NA1-2008. 発電用原子力設備規格.
- 12) NDIS3407:1999. ハロゲンリーク試験.