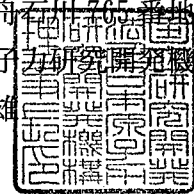




29 原機（大福材）010
平成 29 年 9 月 29 日

原子力規制委員会 殿

住 所 茨城県那珂郡東海村大字舟石 765-番地 1
名 称 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
代表者の氏名 理事長 児玉 敏雄



大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について（第3報）

標記の件について、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第62条の3に基づき、事象発生に至った原因の分析を行い、再発防止対策を策定したことなどから、それらの結果及び状況を取りまとめ、別紙のとおり報告いたします。

別紙：原子力施設故障等報告書

以上

原子力施設故障等報告書

平成 29 年 9 月 29 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

件名	大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について（第 3 報）
事象発生の日時	発生日時 平成 29 年 6 月 6 日（火） 11 時 15 分頃 判断日時 平成 29 年 6 月 7 日（水） 13 時 00 分
事象発生の場所	燃料研究棟分析室（管理区域）
事象発生の原子力施設名称	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター（北地区）燃料研究棟
事象の状況	<p>平成 29 年 6 月 6 日 11 時 15 分頃、燃料研究棟分析室（以下「108 号室」という。）フード（H-1）において、核燃料物質を収納したプルトニウム・濃縮ウラン貯蔵容器（以下「貯蔵容器」という。）の点検等作業中、貯蔵容器内にある核燃料物質が入った容器を封入したビニルバック（以下「樹脂製の袋」という。）が破裂した。108 号室内において作業員がα線用表面汚染検査計を用いて汚染検査を行った結果、作業員 5 名（作業員 A～E）全員に汚染があることを確認した。</p> <p>作業員からの聞き取り情報に基づくと、事故発生時の状況は以下のとおり。</p> <p>作業員 E（フード（H-1）での作業員）が貯蔵容器の 6 本のボルトのうち 4 本を対角線上に外した後、残り 2 本のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり、「シュ」という貯蔵容器内圧の抜ける音がした。このため、作業員 E は蓋と貯蔵容器本体のすき間について全周のスミヤをとり、汚染がないことを確認した。全周のスミヤで汚染がないことが確認できたことから、作業員 E は引き続き作業を進めることを判断し、片手で蓋を持ちながら残り 2 本のボルトを外したところ、樹脂製の袋が破裂した。作業員 E はその後蓋をフード内に置いた。破裂の際、作業員 E は腹部に風圧を感じた。また、ほかの作業員 4 名も含め全員が破裂音を聞いた。半面マスク越しではあるが、作業員 E は異臭がないことを確認した。また、作業員 E がゴム手袋越しに貯蔵容器に触れたところ、温度上昇は認められなかった。</p> <p>事故発生後は、汚染の拡大を防止するため、108 号室入口廊下側にグリーンハウスを設置するとともに、108 号室から建家外への非常口扉に外側から目張りを実施した。</p> <p>平成 29 年 6 月 6 日 14 時 30 分に作業員は 108 号室からグリーンハウスへの退室を開始した。退室時のグリーンハウス内における身体汚染検査の結果、5 名の特殊作業衣等に汚染（最大 322 Bq/cm² 以上（α線））を確認し、慎重に半面マスクを交換後、特殊作業衣等の脱装を実施した。作業員 5 名のうち 4 名に皮膚の汚染を、うち 3 名から鼻腔</p>

内の汚染（最大 24 Bq（ α 線））を確認した。作業員の 108 号室からグリーンハウスへの退室時における身体汚染検査結果から、平成 29 年 6 月 6 日 16 時 27 分に 108 号室を立入制限区域に設定した。

皮膚の汚染を伴う作業員は管理区域内にある除染用のシャワー室で除染を行った。除染は、中性洗剤、固形石鹼、液体石鹼、シャンプー、鼻洗浄キット等を用いて実施し、除染補助者による汚染検査の結果、汚染が検出された場合は除染補助者の協力を得て除染を繰り返し、汚染が検出されなくなった時点で、放管員の身体サーベイによる最終確認検査を受け、検出限界（0.013 Bq/cm²（ α 線））以下であることを確認して管理区域から退域した。

シャワー室における除染に先立ち、シャワーが使用できることを確認した後に除染を開始したが、1 人目の除染開始後、1～2 分経過してシャワーの流量が減少した。このため、ホースにより燃料研究棟機械室から工業用水（ろ過水）をシャワー室に引き、水を用いた除染を再開した。2 人目は、シャワーの流量が回復したため、シャワーを用いて除染を行った。3 人目以降は、再びシャワーの流量が低下したため、ホースを用いて除染を行った。

作業員 5 名のうち 3 名が補助線量計であるポケット線量計を装着しており、その読み取り値は 2 μ Sv（作業員 B）、3 μ Sv（作業員 D）、60 μ Sv（作業員 E）であった。作業員 5 名を核燃料サイクル工学研究所へ搬送し、緊急に実施すべき医療処置（キレート剤：Ca-DTPA の投与等）の判断に資するため肺モニタ測定を行った。その結果、Pu-239 と Am-241 について、最大でそれぞれ 2.2×10^4 Bq、 2.2×10^2 Bq と評価されたため、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所（以下「量研 放医研」という。）の支援を受け、体内に取り込まれた Pu 等の体外排泄を促進させる目的でキレート剤を投与した。平成 29 年 6 月 7 日、作業員 5 名を量研 放医研に搬送し、体表の再除染、肺モニタ測定等を含む医療処置を受けさせた。

作業員 5 名の核燃料サイクル工学研究所において実施した肺モニタの測定結果から、Pu-239 及び Am-241 について、最大で 2.2×10^4 Bq 及び 2.2×10^2 Bq と評価されたことから、管理区域に立ち入る放射線業務従事者について計画外の被ばくがあったときの報告基準である 5 mSv を超え、又は超えるおそれがあること、また、作業員 5 名の汚染状況から、108 号室の床等の表面密度が保安規定に定める立入制限区域指定基準（ α 核種：4 Bq/cm²）を超えるおそれがあることから、平成 29 年 6 月 7 日 13 時 00 分、本事象を核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第 62 条の 3 に基づく法令報告事象と判断し、13 時 27 分、原子力規制庁に報告した。

108 号室の表面密度については、平成 29 年 6 月 7 日に床面を測定し

	<p>た結果、最大 55 Bq/cm² (α線)、3.1 Bq/cm² (β(γ)線) の汚染を 18 時 55 分に確認した。また、108 号室の線量当量率は、最大で 2 μSv/h であった。108 号室へ出入りする管理区域内の廊下及び 108 号室から建家外への非常口の外側については、汚染がないことを確認した。</p> <p>(別添参照)</p>
<p>事象の原因</p>	<p>事故の原因究明に係る対応では、樹脂製の袋の破裂に関して、破裂時の状況調査結果、作業員への聞き取り調査結果、有機物の放射線分解に関する検証試験結果等を基にフォルトツリー解析を行った。その結果、樹脂製の袋の破裂に至った原因は「内部でのガス発生」であり、Pu からの α 線により「混入有機物 (エポキシ樹脂)」、「ポリ容器」及び「混入水分」が分解して水素やメタン等のガスが発生し、樹脂製の袋が膨張したことが要因であることを推定した。さらに、貯蔵容器内容物及び飛散物の詳細な調査を行った結果、樹脂製の袋が破裂に至った主な原因は「混入有機物 (エポキシ樹脂)」によるものであることを特定した。樹脂製の袋の破裂に至る推定シナリオに基づいて 21 年間の貯蔵期間における樹脂製の袋の内圧を計算した結果、当該貯蔵容器開封時と同様な樹脂製の袋の破裂又は破損状況となる内圧以上であることを確認した。</p> <p>被ばく評価に係る対応では、外部被ばく線量の評価を行うとともに、作業員のバイオアッセイ試料を分析し、量研 放医研が医療処置として実施する内部被ばく線量評価に協力した。外部被ばくによる実効線量は、作業員 5 名全員が記録レベル (0.1 mSv) 未満であった。また、内部被ばくについては、量研 放医研が実施した線量評価の結果を入手・確認し、法令に基づく線量の記録を行った。その実効線量 (預託実効線量) は、1 名が 100 mSv 以上 200 mSv 未満、2 名が 10 mSv 以上 50 mSv 未満、2 名が 10 mSv 未満であった。</p> <p>また、室内汚染検査のスミヤろ紙及び Pu ダストモニタフィルタの測定・評価、作業員が装着していた半面マスクの調査及び半面マスクの防護性能の調査を実施し、放射性物質の摂取に至った原因を以下のとおり推定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半面マスクは、顔面等に付着した放射性物質の接顔部からマスク内部への侵入を防ぐ性能は有していない。このため、破裂時の密着性低下、会話/発汗等による密着性の低下により、顔面等に付着した Pu 等の放射性物質が接顔部からマスク内へ入り込み、放射性物質を吸入摂取した可能性が高い。 ・脱装時の半面マスクの交換等において、拭き取り等の処置をせずに顔面等が汚染した状態のまま半面マスクを取り換えるなど、放射性物質の摂取を防止するための対応が十分ではなかったため、頭部及び顔面に付着していた Pu 等の放射性物質を吸入摂取した可能性

がある。

本事故が発生した原因については、当時の状況を調査するとともに、汚染と被ばくに至った原因分析を行った。具体的には、「樹脂製の袋の破裂の主な原因は、Pu からの α 線と「混入有機物（エポキシ樹脂）」によるものであること」及び放射性物質の摂取に至った推定原因は、「顔面等に付着した Pu 等の放射性物質が接顔部から入り込み、放射性物質を吸入摂取した可能性が高い」ことのほか、関係者への聞き取り調査の結果を踏まえ、5 項目の問題となる事象を抽出した。

その上で、抽出した問題の背後にある要因を分析し、12 項目の直接的な原因を明らかにした。

以下に、抽出した 5 項目の問題となる事象（(1)～(5)）及び 12 項目の直接的な原因（①～⑫）を示す。

- (1) X線回折測定済試料からエポキシ樹脂を除去せず封入していた、またその情報が引き継がれていなかった。
- ① 初代プルトニウム技術開発室長は、貯蔵容器に貯蔵した核燃料物質の状態の記録についてルール化し引き継ぎすべきであったが、計量管理の核燃料物質移動票（燃料研究棟内移動票を含む。）で核燃料物質の管理ができることから貯蔵容器に貯蔵した核燃料物質及びその状態の記録を残すことをルール化していなかった。
- ② 初代プルトニウム技術開発室長は、X線回折測定済試料を酸化加熱処理してから回収した核燃料物質を貯蔵容器に保管するまでの作業方法をルール化し引き継ぎすべきであったが、炭窒化物燃料等は安定化処理のための酸化加熱処理を徹底してきたことから、X線回折測定済試料も同様に酸化加熱処理するものと考えルール化していなかった。
- ③ 平成2年頃、プルトニウム技術開発室長は、プルトニウム技術開発室及び実験しているプルトニウム燃料研究室の関係者と協議を行わずに、試料中の核燃料物質は安定していると判断し、初代プルトニウム技術開発室長から引き継いだ有機物と混在した核燃料物質の酸化加熱処理の中止を決定した。これ以降、X線回折測定済試料の酸化加熱処理は行われてこなかった。
- ④ 平成3年10月、プルトニウム技術開発室長は、放射線安全取扱手引の貯蔵の条件を考慮しX線回折測定済試料を酸化加熱処理して貯蔵容器に貯蔵すべきであったが、当時の放射線安全取扱手引で「貯蔵の条件 放射線分解によるガス圧の上昇に十分注意する。」と定めていることに反し、十分な確認を行わずに、X線回折測定済試料のエポキシ樹脂はPuの放射線による放射線損傷に対する影響が少ないと考え、酸化加熱処理をしないまま貯蔵していた。
- ⑤ 平成8年、プルトニウム技術開発室長は、樹脂製の袋の膨張とポ

リ容器の破損までも確認したにもかかわらず、放射線安全取扱手引の要件（貯蔵の条件）に反し、新しい樹脂製の袋やポリ容器に交換しただけで、酸化加熱処理を行った上で金属容器への変更等の異常状況の回避、その記録を残し定期的な点検を指示する等の改善をしていなかった。そのため、これ以降、貯蔵状況の改善や定期的な点検は実施されてこなかった。

核燃料物質の安定化及び貯蔵並びにその情報の引き継ぎに関する事項がルール化されていなかった点について、当時の保安規定に「手引の作成」に関する明確な要求はなかったが、作業を実施する上でそれらの対応に係る手引を定めておくべきであった。現在は、保安規定第7編第2条「手引の作成」に基づき下部要領「燃料研究棟使用手引」及び「燃料研究棟本体施設作業要領」に「核燃料物質の管理に関する事項」を規定しているが、その中に情報の引き継ぎに関する事項が定められていないことから、当該手引を改善する必要がある。

また、X線回折測定済試料からガスの発生が知られていたエポキシ樹脂を除去せず封入していた点については、貯蔵を開始した当時から現在に至るまで、保安規定の下部要領「放射線安全取扱手引」に定める貯蔵時の条件「放射線分解によるガス圧の上昇に注意する」が考慮されていなかった。このことは、当時の保安規定第6編第24条及び現在の保安規定第7編第19条「核燃料物質の貯蔵」に関する事項に抵触する。

(2) 核燃料物質の保管に関して、Puの取扱い、貯蔵（保管）に関する技術情報の考え方が活かされていなかった。

⑥ 歴代のプルトニウム技術開発室長、燃料製造試験課長及び燃料試験課長は、IAEAやDOEで示されたPuの取扱い、貯蔵（保管）に関する技術情報について、Puを取り扱う部署として情報を入手し業務に反映すべきだったが、当該情報を確認していなかった。このため、燃料研究棟における核燃料物質の貯蔵において、金属容器への保管や有機物を含めない等の改善が行われてこなかった。

核燃料物質の保管に関して、過去においてPuの取扱い、貯蔵（保管）に関する技術情報の考え方が活かされていなかった点については、当時の保安規定には予防処置に関する明確な要求はなかったが、不適合の発生を予防する上で、核燃料物質の取扱いに関する技術情報を収集し、手引に反映しておくべきであった。現在は、保安規定第1編第18条「予防処置」の第2項に関して下部要領「大洗

研究開発センター品質保証に係る不適合管理並びに是正処置及び予防処置要領」に「予防処置の計画及び実施に関する事項」を規定しているが、結果として技術情報が反映されなかったことから、予防処置の手順を改善する必要がある。

(3) 燃料研究棟では、貯蔵容器をフードで蓋を開け内容物を確認する際に、樹脂製の袋が破裂し、室内が汚染する可能性があることを想定していなかった。

⑦ 燃料試験課長、マネージャー及び担当者は、クローブボックスから核燃料物質を移動する作業計画書を作成する際、付随作業であっても貯蔵容器内の不明瞭な核燃料物質を確認する場合には、フード以外の適切な場所及び放射線防護具を選定した上で具体的な手順を含む作業計画を作成すべきであったが、事前の調査で貯蔵された核燃料物質は安定化処理等、安全な状態で保管されていると考えてしまい、不明瞭な核燃料物質により室内が汚染するようなリスクを防止する詳細な作業計画書を作成していなかった。

⑧ 福島燃料材料試験部長、燃料試験課長、マネージャー及び担当者は、安全・核セキュリティ統括部から平成 29 年 1 月 26 日に「サイクル研プルトニウム燃料技術開発センターの原子力規制庁面談情報」（樹脂製の袋の膨れによるものの取扱いに関する情報を含む。）が配信されたが、面談結果の周知であったため、添付資料中の「樹脂製の袋の膨れによるものの取扱いに関する情報」に気が付かなかった。

貯蔵容器をフードで蓋を開け内容物を確認する作業計画作成の際に、樹脂製の袋が破裂し、室内が汚染する可能性があることを想定していなかった点については、保安規定の下部要領「燃料研究棟本体施設・特定施設作業要領」及び計画立案時点での情報に基づいて作業計画を立てたが、貯蔵容器内容物の安定化に係る情報が正確ではなく、結果として事故の発生を想定できなかったことから、保安規定第 2 編第 16 条「放射線作業計画」の第 2 項第 2 号から第 4 号「作業場所、作業内容及び放射線防護具の検討」の手順を改善する必要がある。

また、「サイクル研プルトニウム燃料技術開発センターの原子力規制庁面談情報」の中の「樹脂製の袋の膨れによるものの取扱いに関する情報」に燃料研究棟関係者が気付かなかった点については、前項(2)の予防処置に関する事項と同様に技術情報が反映されておらず、予防処置の手順を改善するべきであった。

(4) 貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり「シュ」という内圧が抜ける音がなり汚染検査を実施したが、蓋の浮き上がり等通常とは異なる状態を異常と認識できず作業を継続した。

⑨ 作業員 E は、貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり「シュ」という内圧が抜ける音がした際に、作業を一旦停止して、ガスが発生している可能性を想定し対応策を検討すべきであったが、ホールドポイント（作業中断点）を定めていなかったため、異常と認識できず残りのボルトを外して蓋を開けても問題ないと考えてしまった。

貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり「シュ」という内圧が抜ける音がなったことを放射線分解ガスに起因する異常と認識できずに作業を継続した点については、ホールドポイントが定められていなかったため作業員の判断で貯蔵容器の汚染検査をするにとどまり、結果として作業を中断できず作業計画を見直せなかったことから、保安規定第 2 編第 16 条「放射線作業計画」の立案に当たり、「作業の内容の検討」の手順を改善する必要がある。

(5) 作業員は、貯蔵容器内の確認作業において作業計画に従い半面マスクを装着していたが、樹脂製の袋が破裂することを想定していなかったことから飛散した核燃料物質を吸入摂取した（作業計画に関する原因は(3)⑦に関連する。）。

⑩ 作業員 E は、樹脂製の袋が破裂し、作業服や顔面等、全身汚染をした際、皮膚に付着した核燃料物質が汗等で半面マスク内に入り込むことを抑制するための応急的な処置を行うことが被ばく防止につながるが、大洗研究開発センターには明確な手順がなかったことから、室内への汚染拡大をさせないため、退室するまで発災時の立ち位置に待機し、汚染部位の拭き取りや固定（封じ込め）及びしめひもの締め付けの調整の措置を行わなかった。

⑪ 放射線管理第 2 課員は、汚染検査のほか、半面マスクを交換し、特殊作業衣を脱装するに当たって、汚染した作業員の退出を補助する際、顔面等の汚染部位の拭き取りや固定（封じ込め）を助言することが被ばく防止につながるが、大洗研究開発センターには明確な手順がなかったことから、半面マスクの交換を優先し、顔面等の汚染部位の拭き取りや固定（封じ込め）の助言を行わなかった。

⑫ 福島燃料材料試験部長は、緊急時にグリーンハウスを設営して作業員を退室させる場合はグリーンハウスをなるべく短時間で設置すべきであったが、燃料研究棟でグリーンハウスを設置するような事故を想定していなかったことから、資材調達や設営作業に手間取

	<p>った。</p> <p>作業員が事故で飛散した核燃料物質を吸入摂取した点については、(3)⑦のとおり計画段階において今後改善していく必要があるが、事故直後に顔面近傍の汚染が除去されず皮膚に付着した核燃料物質が半面マスクの内側に侵入したことについては、保安規定第2編第19条の2「身体に汚染を認めた場合の措置」の第4項「汚染の除去」に対して改善の余地がある。</p> <p>また、グリーンハウスの設営に時間を要したことについては、保安規定の下部要領「福島燃料材料試験部事故対策要領」に事故対応を迅速かつ適切に遂行できるよう、あらかじめ防護機材の点検・整備及び保守を行うことが定められているが、グリーンハウスの資材は対象になっていなかった。しかし、今回の事故対応において結果的にグリーンハウスを設営し作業員を退出させたことから、保安規定第1編第28条「非常事態における活動」に関する事項について改善の余地がある。</p> <p>(別添参照)</p>
安全装置の種類及び動作状況	なし
放射能の影響	<p>事故発生時、燃料研究棟の給排気系設備は運転を継続し、管理区域内の負圧を正常に維持しており、モニタリングポスト及び燃料研究棟の排気ダストモニタの指示値は通常の変動範囲内であった。よって、本事故発生時の環境への影響はなかった。</p> <p>事故発生以降も継続して燃料研究棟の給排気系設備を運転しており、管理区域内の負圧を正常に維持し続けている。また、燃料研究棟のPuダストモニタ、排気ダストモニタ及び敷地境界のモニタリングポストの指示値は通常の変動範囲内であった。以上のことから、施設外部への影響はない。</p> <p>(別添参照)</p>
作業員の被ばく	<p>被ばく評価に係る対応では、外部被ばく線量の評価を行うとともに、作業員のバイオアッセイ試料を分析し、量研 放医研が医療処置として実施する内部被ばく線量評価に協力した。外部被ばくによる実効線量は、作業員5名全員が記録レベル(0.1 mSv)未満であった。また、内部被ばくについては、量研 放医研が実施した線量評価の結果を入手・確認し、法令に基づく線量の記録を行った。その実効線量(預託実効線量)は、1名が100 mSv以上200 mSv未満、2名が10 mSv以上50 mSv未満、2名が10 mSv未満であった。</p> <p>(別添参照)</p>
他に及ぼした被害	なし

<p>復旧の日時</p>	<p>現場復旧については、まず、フード（H-1）までのアクセスルートを確認し、フード（H-1）内の貯蔵容器の蓋を固定し、フード（H-1）から貯蔵容器を搬出して108号室から101号室内のグローブボックス群（123-D、124-D）内へ移動した。その後、グリーンハウスの更新等により汚染管理の強化を図った後、フード（H-1）及び108号室の汚染検査・除染作業を行った。フード（H-1）の汚染検査と除染については、フード（H-1）内外表面の汚染検査を行いながら、除染作業及び固着汚染の固定を行った。108号室の汚染検査と除染については、床面に対して実施した後、壁面、天井とグローブボックス等の機器に対して実施している。</p> <p>平成29年9月8日に燃料研究棟において作業員の特殊作業衣等の汚染事象が発生し、その応急処置を実施した上で不適合管理を実施した。これを受けて108号室の作業を中止し、作業手順等の緊急点検を実施した。また、101号室の汚染事象の不適合管理により抽出された改善点を反映して作業計画書を改訂し、作業員の教育を実施した。これらにより作業の安全対策の強化を図り、108号室の汚染検査・除染作業を再開している。</p> <p>108号室の除染作業、汚染検査を完了し、立入制限区域を平成29年10月中旬までに解除する見通しである。</p> <p>(別添参照)</p>
<p>再発防止対策</p>	<p>汚染及び被ばくに至った12項目の直接的な原因に対し、(1)汚染の発生防止、(2)被ばくの発生防止の2つの側面から、以下に掲げる事項の再発防止対策を講ずる。また、今回の事故で顕在化した除染用設備及び身体汚染検査の管理に関する問題についても対策を講ずる。</p> <p>(1) 汚染の発生防止について（問題となる事象(1)～(4)）</p> <p>① 原因①の対策</p> <p>燃料試験課は、関係者と協議し核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項（放射能・放射線情報、物理・化学性状情報、臨界管理情報等、同梱物の性状、使用履歴等）を明確にし、それらの記録の管理について手順化し確実なものとする。</p> <p>② 原因②の対策</p> <p>燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。</p> <p>(a) Pu、Am等α線を放出する核種を含む試料は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱により分解・除去する。</p> <p>(b) Pu、Am等α線を放出する核種を含む粉末状の試料は、ポリ容器</p>

等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。

- (c) 容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。
- (d) 炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化処理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。

③ 原因③の対策

燃料試験課は、関係者と協議し核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項（放射能・放射線情報、物理・化学性状情報、臨界管理情報等、同梱物の性状、使用履歴等）を明確にし、それらの記録の管理について手順化し確実なものとする。【原因①の対策と同じ。】

また、燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。

- (a) Pu、Am等 α 線を放出する核種を含む試料は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱により分解・除去する。【原因②の対策と同じ。】
- (b) Pu、Am等 α 線を放出する核種を含む粉末状の試料は、ポリ容器等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。
- (c) 容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。
- (d) 炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化処理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。

④ 原因④の対策

燃料試験課は、現在の放射線安全取扱手引の「3.3.4 貯蔵の条件（4）放射線分解によるガス圧の上昇に十分注意する。」ことの趣旨を理解させるために今回発生した事故に関する原因（エポキシ樹脂とPuの放射線による影響でガスが発生すること）と対策を教育する。

⑤ 原因⑤の対策

燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。【原因②の対策と同じ。】

- (a) Pu、Am等 α 線を放出する核種を含む試料は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱により分解・除去する。
- (b) Pu、Am等 α 線を放出する核種を含む粉末状の試料は、ポリ容器等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。

	<p>(c) 容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。</p> <p>(d) 炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化処理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。</p> <p>また、燃料試験課は、核燃料物質を貯蔵するに当たって、内容物の点検項目、点検方法及び点検頻度を明確にする（通常状態と異常状態の判断基準及び交換基準の明確化を含む。）。</p> <p>⑥ 原因⑥の対策</p> <p>福島燃料材料試験部は、DOE-STD レポートや IAEA Safety Report の核燃料物質の貯蔵に関する最新の安全情報や国内の核燃料物質の管理に関する情報等の知見を適宜入手し、レビューした上で関係規定類へ反映する。</p> <p>⑦ 原因⑦の対策</p> <p>福島燃料材料試験部は、取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合について、以下の対策を講ずる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ リスクを考慮した安全な作業計画を作成するため、核燃料物質の安全取扱い、作業方法（作業場所及び防護装備の選定を含む。）等の基本的事項を手順で明確にする。 ➤ リスクを回避するため手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント（作業中断点）を作業計画で明確化する。 <p>⑧ 原因⑧の対策</p> <p>福島燃料材料試験部は、DOE-STD レポートや IAEA Safety Report の核燃料物質の貯蔵に関する最新の安全情報や国内の核燃料物質の管理に関する情報等の知見を適宜入手し、レビューした上で関係規定類へ反映する。【原因⑥の対策と同じ。】</p> <p>⑨ 原因⑨の対策</p> <p>福島燃料材料試験部は、取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合について、リスクを回避するため手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント（作業中断点）を作業計画で明確化する。【原因⑦の対策と同じ。】</p>
--	---

(2) 被ばくの防止について（問題となる事象(5)）

① 原因⑩及び⑪の対策

福島燃料材料試験部は、性状不明で安全性に疑義がある放射性物質等を取り扱う場合には、汚染事故の発生も想定して、安全性の高い上位の装備を選定するよう、規定類を改定する。

安全管理部は、以下の被ばく防止のための応急的な措置に関する対策を講ずるとともに、事故時の対応（関与）を明確にする。

- 呼吸保護具の適切な使用のために、「しめひも」の伸縮性など防護性能に影響を及ぼす項目に対する点検の徹底・強化及び適切な装着を確実にするための教育訓練の充実を図る。
- Pu など α 線放出核種によって頭部や顔面が汚染された状況において、身体除染の応急処置として、顔面近傍に付着した放射性物質の拭き取りや固定の実施、汗等による半面マスクの密着性の低下に備えて半面マスクの「しめひも」をきつく締め直すなどの応急的な密着性の強化の方法を手順として明確にする。また、頭部及び顔面に汚染のある状態での退出後の脱装方法、半面マスクの交換時や鼻スマイヤ採取時の汚染の拭き取りや固定方法を検討し、内部被ばくの可能性を低減する手順を具体化する。その際、身体除染の応急処置に必要な資材の準備と作業手順を明確にする。
- 半面マスクの密着性に係る事項について、使用前点検、フィッティングテストなどの半面マスクの適切な装着を確実にする措置の充実を図る。

② 原因⑫の対策

大洗研究開発センターは、以下の対策を講ずる。

- 管理区域内のある程度の汚染拡大は許容し、身体汚染の飛散を抑制する措置（養生シートで身体を覆う等）を講じた上で作業員を発災場所から退出させることを含め、判断や対応に迷いや遅れが生じないように、退出基準（例えば、室内の広範囲に汚染が拡大していること、顔面近傍に身体汚染があること等）や汚染拡大の影響を最小限にとどめる方策（例えば、身体を覆う養生シート、簡易テント等の事前準備）を定める。この方策には、作業の特殊性や取扱対象物の危険性から事故時の影響が大きいと予想される場合、又は、発災現場から退出すると汚染が管理区域外に拡大するおそれがある場合には、あらかじめ事故時退出用のグリーンハウスを作業場所の外側に設置しておくことも勘案する。
- 事故を想定し必要となる設備、資機材や要員等を再度確認

し、それら資機材等が常に利用できるよう維持管理することや、実効的な訓練により、速やかな対応が取れる仕組みを構築する。

(3) 事故発生後に顕在化した問題の改善について

① 除染用設備の管理

除染用シャワーについて、保安規定の下部要領「福島燃料材料試験部事故対策要領」及び「放射線安全取扱手引」に基づき定期的に点検を行っていた。しかし、今回の事故対応において身体除染の際に除染用シャワーに不具合があり、別建家からホースで洗浄水を引き込むなど、除染用シャワーが必要なときに使えなかったことから、管理区域の放射線管理における洗浄設備の管理に問題があった。

これに対する原因と対策は次のとおりである。

- ・原因：燃料試験課担当者は、手洗いの出方が悪くなっていることに気が付いた際に、原因である減圧弁を補修（交換）し正常な状態にすべきだったが、出方が多少悪くなくても利用できるため、問題ないと考えたものの、除染用シャワーが長時間利用できなくなることに気が付かず、適切に補修していなかった
- ・対策：燃料試験課は、除染用設備の点検方法及び系統の保守管理に関して、確実な点検及び適切な保守管理が行えるよう、管理要領を改定する。

② 身体汚染検査の管理

作業員の身体除染後、燃料研究棟の管理区域から退出する際には、保安規定の下部要領「放射線安全取扱手引」に基づき身体汚染検査を行い検出下限値未満であると判断されているが、結果として身体汚染が残留していたことが問題であった。

これに対する原因と対策は次のとおりである。

- ・原因：放射線管理第2課員は、除染用シャワーにより身体汚染の除染を行ったのちの汚染検査の際に、時間をかけて α 線のダイレクトサーベイを実施したが、汚染が残っていることに気が付かなかった
- ・対策：安全管理部は、身体除染の確認の方法に関して、身体除染の方法や除染後の測定方法に関する手順等を明確にする。

このうち、次の対策が同様の事故発生を防止する上で重要な事項と位置付け、早急に対策を講ずる。

- ・核燃料物質を安定して保管するために、核燃料物質の貯蔵及び管理に関する基本的な基準を策定する。
- ・リスクを回避するため手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆

	<p>候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント(作業中断点)を作業計画で明確化する。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合は、リスクを考慮した安全な作業計画を作成するため、核燃料物質の安全取扱い、作業方法(作業場所及び防護装備の選定を含む。)等の基本的事項を手順に明確する。・ 核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項(放射能・放射線情報、同梱物の性状、使用履歴等)を手順に明確にし、それらの記録の長期にわたる管理を確実なものとする。・ 今回発生した事故に関する原因(エポキシ樹脂と Pu の放射線による影響でガスが発生すること)と対策を教育する。 <p>今後、再発防止対策及び水平展開については、不適合管理の中で原因分析結果に基づき是正処置を実施していく。</p> <p>(別添参照)</p>
--	--

別添

大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について（第3報）

平成29年9月

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

目 次

1.	件名	1
2.	事象発生の日時	1
3.	事象発生の場所	1
4.	事象発生の状況	1
4.1	事象発生に至る経緯	1
4.2	発生時の状況	2
4.3	法令報告に係る通報の状況	4
5.	環境への影響	4
6.	事象発生後の措置	5
6.1	現場復旧、原因究明等に係る計画	5
6.2	事象発生場所の復旧	5
6.3	作業員の被ばく評価	10
6.4	貯蔵容器内容物及び破裂時の状況調査	12
6.5	放射線管理情報等の調査	16
6.6	核燃料物質の飛散量の評価	19
6.7	作業員ケアに係る対応	20
7.	調査結果に基づき推定した事象発生原因	20
7.1	破裂要因の分析による事象発生の原因	20
7.2	放射性物質の摂取に至った原因推定	23
8.	原因分析及び対策	27
8.1	燃料研究棟における組織の変遷と 当該貯蔵容器の取扱い等の概要	27
8.2	原因分析	27
8.3	事故の再発防止対策	30
8.4	原因及び対策のまとめ	34

9. 再発防止に向けた水平展開	35
10. まとめ	35

図 表

図 4. 1. 1	大洗研究開発センター施設配置図	38
図 4. 1. 2	プルトニウム・濃縮ウラン貯蔵容器の構造と内容物	39
図 4. 1. 3	燃料研究棟における保安活動（核燃料物質の取扱関係） に係る主要な規定類	40
図 4. 1. 4	改善作業及び事故対応における作業手順の流れ	41
図 4. 1. 5	事故発生時の作業員と同等の防護具を装着した状態	43
図 4. 2. 1	燃料研究棟平面図	44
図 4. 2. 2	フード（H-1）概略図	45
図 4. 2. 3	108 号室における事故発生時の作業員 5 名の位置関係	46
図 4. 2. 4	グリーンハウス	47
図 4. 2. 5	目張り箇所	48
図 4. 2. 6	モニタリングポスト（P-2）指示値のトレンド (H29 年 6 月 4 日～6 月 10 日)	49
図 4. 2. 7	燃料研究棟の排気ダストモニタ指示値のトレンド (H29 年 6 月 5 日～6 月 14 日)	50
図 4. 2. 8	燃料研究棟の室内 Pu ダストモニタ No. 2（108 号室）指示値の トレンド（H29 年 6 月 5 日～6 月 14 日）	50
図 4. 2. 9	表面密度測定結果	51
図 4. 2. 10	線量当量率測定記録	51
図 4. 2. 11	燃料研究棟の放射線管理モニタの配置図	52
図 4. 2. 12	燃料研究棟の排気ダストモニタ及び 室内 Pu ダストモニタ No. 2（108 号室）の系統図	53
図 4. 2. 13	燃料研究棟の排気系統図	54
図 4. 2. 14	事故発生後のフード（H-1）周辺	55
図 4. 2. 15	TV カメラによる貯蔵容器の監視	56

図 5.1	モニタリングポスト (P-2) 指示値のトレンド (H29年6月6日～9月22日) ……	57
図 5.2	燃料研究棟の排気ダストモニタ指示値のトレンド (H29年6月14日～9月22日) ……	58
図 5.3	燃料研究棟の室内Puダストモニタ No.2 (108号室) 指示値のトレンド (H29年6月14日～9月22日) ……	58
図 6.1.1	燃料研究棟汚染事故対応工程表(9月29日現在) ……	59
図 6.2.1	アクセスルート床の表面密度測定結果及び 粒子回収前後の写真 ……	60
図 6.2.2	蓋の固定及び転倒防止治具を取り付けた貯蔵容器 ……	61
図 6.2.3	汚染管理強化概要図 ……	62
図 6.2.4	グローブボックス (123-D) 搬入後の貯蔵容器 ……	63
図 6.2.5	汚染管理の強化を図った更新後のグリーンハウス ……	64
図 6.2.6	フード (H-1) 内表面の除染結果 ……	65
図 6.2.7	フード (H-1) 外表面の除染結果 ……	66
図 6.2.8	108号室床面の表面密度分布 (除染前) ……	67
図 6.2.9	108号室の空気流線測定結果 ……	68
図 6.2.10	108号室床面の表面密度分布 (除染後) ……	69
図 6.2.11	108号室床面の汚染固定及び除染後の養生の状況 ……	70
図 6.2.12	B壁面の除染前後における表面密度分布 ……	71
図 6.2.13	R壁面備品の除染前後における表面密度と汚染固定写真 ……	72
図 6.2.14	R壁面の除染前後の表面密度分布 ……	73
図 6.2.15	天井面の除染前後における表面密度分布 ……	74
図 6.2.16	装置の除染前後における表面密度測定結果 ……	75
図 6.4.1	貯蔵容器内容物を取り出した際の外観写真 ……	76
図 6.4.2	核燃料物質の梱包更新時の収納状態想定図 ……	77

図 6.4.3	樹脂製の袋の破裂後貯蔵容器上部状態	78
図 6.4.4	フード手前における床養生シート上の飛散物の外観	79
図 6.5.1	108号室スミヤろ紙及び室内Puダストモニタ No.2 フィルタの 空気力学的放射能中央径 (AMAD) 分布評価結果	80
図 6.5.2	半面マスクの構造	81
図 7.1.1	樹脂製の袋の破裂要因に係るフォルトツリー図	82
図 7.1.2	樹脂製の袋の破裂に至る推定シナリオ	83
図 7.1.3	樹脂製の袋における内圧の経時変化の計算結果	84
図 7.2.1	被ばく経路の推定に係る要因分析図	85
図 7.2.2	作業員の事故発生時の位置及び事故発生後の行動範囲	86
表 4.2.1	鼻腔内汚染検査結果	87
表 4.2.2	核燃料サイクル工学研究所における肺モニタ測定結果 (平成 29 年 6 月 6 日)	87
表 4.2.3	事故発生場所に係る時系列	88
表 6.2.1	現場復旧の実績とスケジュール	93
表 6.3.1	作業員の外部被ばくによる実効線量	94
表 6.3.2	作業員の内部被ばくによる実効線量 (預託実効線量)	94
表 6.4.1	当該貯蔵容器内のプルトニウムの 5 種類の同位体組成	95
表 6.4.2	平成 8 年 5 月から平成 9 年 2 月までに実施した 貯蔵容器内の点検結果	95
表 6.6.1	フード (H-1) 内面の表面密度測定結果	96
表 6.6.2	ダストフィルタの α 線測定結果	96
表 6.6.3	核燃料物質及び ^{241}Am の飛散量の評価結果	96
表 7.1.1	樹脂製の袋の破裂に係る基本事象の影響度評価	97
表 7.2.1	放射性物質の摂取に至った原因となる可能性のある要因事象	99
表 8.3.1	燃料研究棟の汚染事故に関する原因及び対策の整理表	100

添付

添付 4.1.1	燃料研究棟（PFRF）の概要	104
添付 4.1.2	今回のフードでの点検作業の位置付けについて	105
添付 4.1.3	プルトニウム・濃縮ウラン貯蔵容器の点検等作業の状況	136
添付 4.2.1	退院後の作業員聞き取り概要	137
添付 4.2.2	現場から回収したデジタルカメラ画像について	139
添付 4.2.3	鼻腔内汚染検査に用いた測定器及び測定結果について	143
添付 4.2.4	事故発生後の作業員に対する除染作業の概要	144
添付 5.1	燃料研究棟における汚染に伴う環境モニタリング結果	145
添付 6.2.1	燃料研究棟における排気系統の運転について	147
添付 6.2.2	燃料研究棟における作業員の特殊作業衣等の汚染について	148
添付 6.2.3	108 号室の汚染検査・除染作業に係る安全対策の 強化について	154
添付 6.3.1	外部被ばく線量（実効線量及び皮膚の等価線量）の 評価について	156
添付 6.3.2	肺モニタ測定値と体表面汚染との関係の評価	161
添付 6.3.3	体表面汚染の原因について	165
添付 6.4.1	計量管理帳簿による貯蔵容器内容物の調査結果概要	169
添付 6.4.2	燃料研究棟の月報、技術レポート、点検記録に基づく 貯蔵容器内容物の調査結果概要	171
添付 6.4.3	燃料研究棟の関係者（退職者含む。）への聞き取りによる 貯蔵容器内容物の調査結果概要	175
添付 6.4.4	当該貯蔵容器内の 5 種類のプルトニウムの混在比と 平均同位体組成の推定	177
添付 6.4.5	当該貯蔵容器内容物及び飛散物の観察結果	179

添付 6.4.6	当該貯蔵容器内容物及び飛散物の分析結果	187
添付 6.4.7	貯蔵容器の蓋開封時の状況に関する作業員への 聞き取り調査概要	197
添付 6.5.1	スミヤろ紙・フィルタの測定・評価結果	199
添付 6.5.2	室内 Pu ダストモニタ No.2 の指示値及び フィルタ測定結果の検討	208
添付 6.5.3	半面マスクの測定・分析結果	209
添付 6.5.4	半面マスクの防護性能の調査について	231
添付 7.1.1	樹脂製の袋の破裂に係る基本事象ごとの評価内容詳細	235
添付 7.1.2	γ 線照射による樹脂製の袋の吸収線量評価	276
添付 7.1.3	樹脂製の袋の強度評価	278
添付 7.1.4	樹脂製の袋の内圧計算	298
添付 7.2.1	放射性物質の摂取に至った原因の推定	307
添付 8.1.1	事故の発生に影響したと推定される事項の事実関係	310
添付 9.1	理事長指示	321
添付 9.2	核燃料物質の貯蔵、取扱作業等に関する 総点検の結果について	322

1. 件名

大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について

2. 事象発生の日時

事象発生の日時：平成 29 年 6 月 6 日 11 時 15 分頃

法令に基づく判断日時：平成 29 年 6 月 7 日 13 時 00 分

- ・作業員の計画外の被ばくが報告基準である 5 mSv を超え、又は超えるおそれがあると判断したこと。
- ・作業員 5 名の汚染状況から、燃料研究棟分析室（後述）の床等の表面密度が保安規定における立入制限区域指定基準（ α 核種：4 Bq/cm²）を超えるおそれがあること。

3. 事象発生の場所

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター（北地区）

燃料研究棟分析室（管理区域）

4. 事象発生の状況

4.1 事象発生に至る経緯

燃料研究棟（図 4.1.1 及び添付 4.1.1 参照）における核燃料（炭化物・窒化物燃料等）に関する研究は、昭和 52 年 5 月から開始された。今回事故が発生したプルトニウム・濃縮ウラン貯蔵容器（以下「貯蔵容器」という。図 4.1.2 参照）は、平成 3 年 10 月に X 線回折測定済試料が収納されたものであった。

平成 29 年 2 月に原子力規制庁からグローブボックス内での核燃料物質の保管等に関する改善を求められたこと（平成 29 年 2 月 15 日「使用施設等における核燃料物質のグローブボックス等を用いた長期保管に係る保安検査における確認について」）等を受けて、その改善に係る作業（グローブボックス等に一時的な保管状態にある核燃料物質を貯蔵施設に貯蔵する等の作業）（以下「改善作業」という。）を実施していた。この改善作業の計画立案に当たっては、原子炉等規制法及び労働安全衛生法その他関係法令に基づく関連規程・規則とそれらの下部要領等に従い（図 4.1.3 参照）、①核燃料物質の不適切管理（不適合）の不適合除去、②作業場所の検討、③作業期間の検討、④安全作業手順書の作成、⑤作業に伴う線量の検討、⑥放射線安全チェック、⑦取扱対象物の検討、⑧一般安全チェック、⑨使用許可・保安規定チェック、⑩作業区分（定常又は非定常）の検討及び⑪リスクアセスメントを行った（図 4.1.4 参照）。このうち、②作業場所の検討については、大洗研究開発センター（北地区）核燃料物質使用変更許可申請書（以下「使用許可書」という。）に基づき、フード（H-1）を選定した。また、④安全作業手順書の作成、⑦取扱対象物の検討、⑧一般安全チェック、⑩作業区分（定常又は非定常）の検討及び⑪リスクアセスメントにおいては、計画立案時点での情報に基づき、当該作業を「定常作業」（過去の同様・同種作業の延長として既存対策で作業可能）として計画した。

なお、貯蔵容器には、核燃料物質を入れた容器を二重のビニルバック（ポリ塩化ビニル製。以下「樹脂製の袋」という。）で密封したものが収納されているが、フード（H-1）での改善作業では樹脂製の袋の開封は行わない。添付 4.1.2 に当該フードでの点検等作業の位置付けを示す。

作業に当たっては、核燃料物質使用施設等保安規定（以下「保安規定」という。）及びその下部要領に基づき（図 4.1.3 参照）、⑫被ばく防止及び被ばく低減措置、⑬核燃料物質の取扱い（核物質防護、

計量管理)、⑭フード作業(貯蔵容器の点検・汚染検査)を行った(図 4.1.4 参照)。このうち⑫被ばく防止及び被ばく低減措置については、安全対策等を検討した放射線作業連絡票等に従い、必要な防護具(特殊作業衣、特殊作業帽子、個人線量計、綿手袋、ゴム手袋(二重)、半面マスク、靴カバー、RI 作業靴、フード内で作業を行う者は腕カバー:図 4.1.5 参照)を装着していた。添付 4.1.3 に貯蔵容器の点検等作業の状況を示す。

80 個の貯蔵容器のうち、事故発生までに 30 個の貯蔵容器についての点検等作業を実施(前日までに 28 個の点検等作業を実施。発生当日の平成 29 年 6 月 6 日は、点検等作業実施済みの 2 個についての空きスペースの詳細確認を含む 4 個の点検等作業まで実施)し、31 個目の貯蔵容器の点検等作業時に本事故が発生した。

4.2 発生時の状況

(1) 発生事象

平成 29 年 6 月 6 日 11 時 15 分頃、燃料研究棟管理区域内の分析室(以下「108 号室」という。図 4.2.1 参照)のフード(H-1)(図 4.2.2 参照)において、貯蔵容器の点検等作業中、貯蔵容器内にある核燃料物質が入った容器を封入した樹脂製の袋が破裂した。この事故対応に当たっては、保安規定とその下部要領(図 4.1.3 参照)及び発災現場の情報に基づき、以下に示す、⑮初動対応(事故現場)、⑯初動対応(現地対策本部)、⑰汚染拡大防止措置(グリーンハウス設営)、⑱立入制限区域の指定、⑲作業員の除染、⑳緊急医療措置を行った(図 4.1.4 参照)。

108 号室内において作業員が α 線用表面汚染検査計(以下「 α 線サーベイメータ」という。)を用いて汚染検査を行った結果、5 名全員に汚染があることを確認した。事故発生時の 108 号室における作業員 5 名(作業員 A~E)の位置関係を図 4.2.3 に示す。

作業員からの聞き取り情報(平成 29 年 6 月 13 日:添付 4.2.1 参照)に基づく、事故発生時の状況は以下のとおり。

作業員 E(フード(H-1)での作業員)が貯蔵容器の 6 本のボルトのうち 4 本を対角線上に外した後、残り 2 本のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり、「シュ」という貯蔵容器内圧の抜ける音がした。このため、作業員 E は蓋と貯蔵容器本体のすき間について全周のスミヤをとり、汚染がないことを確認した。全周のスミヤで汚染がないことが確認できたことから、作業員 E は引き続き作業を進めることを判断し、片手で蓋を持ちながら残り 2 本のボルトを外したところ、樹脂製の袋が破裂した。作業員 E はその後蓋をフード内に置いた。破裂の際、作業員 E は腹部に風圧を感じた。また、ほかの作業員 4 名も含め全員が破裂音を聞いた。半面マスク越しではあるが、作業員 E は異臭がないことを確認した。また、作業員 E がゴム手袋越しに貯蔵容器に触れたところ、温度上昇は認められなかった。

聞き取り調査において、事故発生前後における当該フードでの貯蔵容器の写真を撮影していたことが明らかとなったことから、平成 29 年 6 月 14 日に管理区域内からデジタルカメラ内の記録媒体(SD カード)を回収し、画像を確認した(添付 4.2.2 参照)。

(2) 発生場所における放射線及び汚染の状況

事故発生後は、汚染の拡大を防止するため、108 号室入口廊下側にグリーンハウス¹(図 4.2.4 参照)

¹ 原子力施設において除染作業等を行う際に汚染の拡大防止を目的として作業エリアに仮設される囲いである。パイプ等を用いたフレームにビニルシート、防災シート等で覆いをした構造である。

を設置するとともに、108号室から建家外への非常口扉に外側から目張りを実施した。目張り箇所を図4.2.5に示す。モニタリングポスト及び燃料研究棟の排気ダストモニタの指示値は、本事故の発生の前後で変化はなかった。図4.2.6及び図4.2.7に燃料研究棟に至近のモニタリングポスト（P-2）及び燃料研究棟の排気ダストモニタにおける指示値のトレンドを示す。発生場所における空気中の放射性物質の濃度については、事故発生時の室内PuダストモニタNo.2（108号室）（以下「Puダストモニタ」という。）の指示値は通常の変動範囲内であった。平成29年6月6日13時55分、その指示値が約 5×10^{-8} Bq/cm³（1週間平均濃度）²まで上昇したが、それ以降は上昇しなかった。この値は、法令に定めるPu-239の空气中濃度限度（ 7×10^{-7} Bq/cm³）を一桁下回るものである。その後、Puダストモニタの集塵用フィルタを交換した結果、指示値が通常の変動範囲内まで低下したことを確認した。これ以降、指示値は通常の変動範囲内である。図4.2.8にPuダストモニタの指示値のトレンドを示す。作業員の108号室からグリーンハウスへの退室時における身体汚染検査結果（後述）から、平成29年6月6日16時27分に108号室を立入制限区域に設定した。

108号室の表面密度については、平成29年6月7日に床面を測定した結果、最大55 Bq/cm²（ α 線）、3.1 Bq/cm²（ β （ γ ）線）の汚染（図4.2.9参照）を18時55分に確認した。また、108号室の線量当量率は、最大で2 μ Sv/hであった（図4.2.10参照）。108号室へ出入りする管理区域内の廊下及び108号室から建家外への非常口の外側については、汚染がないことを確認した。

燃料研究棟の放射線管理モニタの配置図を図4.2.11に、排気ダストモニタ及びPuダストモニタの系統図を図4.2.12に示す。また、燃料研究棟の排気系統図を図4.2.13に示す。

事故発生後のフード（H-1）の写真（平成29年6月7日撮影）を図4.2.14に示す。フード（H-1）前床に貯蔵容器から飛散したと思われる粒子を確認した。事故発生後、当該貯蔵容器は蓋をのせ、スライド式ガラス窓を閉めたフード（H-1）内に置かれた状態にあった。当該貯蔵容器はフード（H-1）のガラス窓を通してTVカメラで監視していた（図4.2.15参照）。

（3）作業員の汚染・被ばくの状況

平成29年6月6日14時30分に作業員は108号室からグリーンハウスへの退室を開始した。退室時のグリーンハウス内における身体汚染検査の結果、5名の特殊作業衣等に汚染（最大322 Bq/cm²以上（ α 線））を確認し、慎重に半面マスクを交換後、特殊作業衣等の脱装を実施した。作業員5名のうち4名に皮膚の汚染を、うち3名から鼻腔内の汚染（最大24 Bq（ α 線）：表4.2.1及び添付4.2.3参照）を確認した。皮膚の汚染を伴う作業員は管理区域内にある除染用のシャワー室で除染を行った。除染は、中性洗剤、固形石鹼、液体石鹼、シャンプー、鼻洗浄キット等を用いて実施し、除染補助者による汚染検査の結果、汚染が検出された場合は除染補助者の協力を得て除染を繰り返し、汚染が検出されなくなった時点で、放管員の身体サーベイによる最終確認検査を受け、検出限界（0.013 Bq/cm²（ α 線））以下であることを確認して管理区域から退域した（添付4.2.4参照）。

シャワー室における除染に先立ち、シャワーが使用できることを確認した後に除染を開始したが、1人目の除染開始後、1～2分経過してシャワーの流量が減少した。このため、ホースにより燃料研究棟機械室から工業用水（ろ過水）をシャワー室に引き、水を用いた除染を再開した。2人目は、シャワーの流量が回復したため、シャワーを用いて除染を行った。3人目以降は、再びシャワーの流量が低下したため、ホースを用いて除染を行った。ホースの導入に際しては、管理区域境界の扉を開いた状態にした

² 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（平成十二年科学技術庁告示第五号）第七条参照

が、シャワー室のある更衣室も燃料研究棟の排気系統に接続されており、当該扉を開放しても空気は管理区域内に流れる。管理区域境界の扉を開いた状態で空気が管理区域内に流れることは、従来から定期的に確認している。後日、ホース使用時の扉の状態を再現してスモークテスターにより風向を測定し、閉じ込め機能が維持されていたことを確認した（添付 4.2.4 参照）。

なお、シャワーについては、平成 29 年 6 月 29 日に減圧弁を交換し、適切に給水できる状態に復旧している。

作業員 5 名のうち 3 名が補助線量計であるポケット線量計を装着しており、その読み取り値は 2 μ Sv（作業員 B）、3 μ Sv（作業員 D）、60 μ Sv（作業員 E）であった。作業員 5 名を核燃料サイクル工学研究所へ搬送し、緊急に実施すべき医療処置（キレート剤：Ca-DTPA³の投与等）の判断に資するため肺モニタ測定を行った。その結果、Pu-239 と Am-241 について、最大でそれぞれ 2.2×10^4 Bq、 2.2×10^2 Bq と評価された（表 4.2.2 参照）ため、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所（以下「量研 放医研」という。）の支援を受け、体内に取り込まれた Pu 等の体外排泄を促進させる目的でキレート剤を投与した。平成 29 年 6 月 7 日、作業員 5 名を量研 放医研に搬送し、体表面の再除染、肺モニタ測定等を含む医療処置を受けさせた。

事故発生場所に係る時系列を表 4.2.3 に示す。

4.3 法令報告に係る通報の状況

作業員 5 名の核燃料サイクル工学研究所において実施した肺モニタの測定結果から、Pu-239 及び Am-241 について、最大で 2.2×10^4 Bq 及び 2.2×10^2 Bq と評価されたことから、管理区域に立ち入る放射線業務従事者について計画外の被ばくがあったときの報告基準である 5 mSv を超え、又は超えるおそれがあること、また、作業員 5 名の汚染状況から、108 号室の床等の表面密度が保安規定に定める立入制限区域指定基準（ α 核種：4 Bq/cm²）を超えるおそれがあることから、平成 29 年 6 月 7 日 13 時 00 分、本事象を核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第 62 条の 3 に基づく法令報告事象と判断し、13 時 27 分、原子力規制庁に報告した。

5. 環境への影響

事故発生時、燃料研究棟の給排気系設備は運転を継続し、管理区域内の負圧を正常に維持しており、モニタリングポスト及び燃料研究棟の排気ダストモニタの指示値は通常の変動範囲内であった。よって、本事故発生時の環境への影響はなかった（図 4.2.6 及び図 4.2.7 参照）。

事故発生以降も継続して燃料研究棟の給排気系設備を運転しており、管理区域内の負圧を正常に維持し続けている。また、燃料研究棟の Pu ダストモニタ、排気ダストモニタ及び敷地境界のモニタリングポストの指示値は通常の変動範囲内であった（図 5.1、図 5.2、図 5.3 及び添付 5.1 参照）。以上のことから、施設外部への影響はない。

³ キレート剤は、中心に金属イオンを挟むような形で配位結合できる化合物である。ペンテト酸カルシウム三ナトリウム（Ca-DTPA）は超ウラン元素（Pu、Am 等）による体内汚染の軽減に効果がある。

6. 事象発生後の措置

6.1 現場復旧、原因究明等に係る計画

燃料研究棟における汚染への対応では、平成 29 年 6 月 8 日に国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）対策本部の体制を強化し、以下、(1)から(4)に示す現場復旧、原因究明等に係る計画を策定し、活動を進めた。図 6.1.1 に工程表を示す。

(1) 事象発生場所の復旧

現場復旧は、まず、フード (H-1) までのアクセスルートを確認し、フード (H-1) 内の貯蔵容器の蓋を固定し、フード (H-1) から貯蔵容器を搬出して 108 号室から調製室（以下「101 号室」という。）内のグローブボックス群 (123-D、124-D) 内へ移動する。その後、グリーンハウスの更新等により汚染管理の強化を図った後、フード (H-1) 及び 108 号室の汚染検査・除染作業を行う。

(2) 作業員の被ばく評価

被ばく評価に係る対応では、外部被ばく線量の評価を行うとともに、作業員のバイオアッセイ試料を分析し、量研 放医研が医療措置として実施する内部被ばく線量評価に協力する。また、その結果を入手・確認し、法令に基づく線量の記録を行う。

(3) 貯蔵容器内容物及び破裂時の状況調査

原因究明に係る対応では、作業員の聞き取り、過去の記録類等に基づき、樹脂製の袋の破裂に至った要因を推定するとともに、当該貯蔵容器、内容物及び飛散物の調査、分析並びに樹脂製の袋の破裂現象及び樹脂の放射線分解に関する検証試験を行う。また、直接的な原因及び背後要因を分析し、再発防止対策を検討する。

(4) 放射線管理情報等の調査

放射性物質の摂取に至った要因の推定に資するため、108 号室内汚染検査のスミヤろ紙、作業員が着用していた半面マスク等の測定等を実施する。また、直接的な原因を分析し、再発防止対策を検討する。

6.2 事象発生場所の復旧

貯蔵容器を 108 号室から搬出して 101 号室のグローブボックス (123-D) へ移動し、フード (H-1) と 108 号の汚染検査と除染を実施した。これらの現場復旧作業に際しては、作業員の被ばく防止と汚染拡大防止に努めるとともに、記録を残すなど現場の保全に努めた。燃料研究棟の給排気系設備は運転を継続し、管理区域内の負圧維持を継続している（添付 6.2.1 参照）。現場復旧作業の実績とスケジュールを表 6.2.1 に示す。

(1) 108 号室外のグローブボックス内への貯蔵容器の移動

フード (H-1) までのアクセスルートを確認し、フード (H-1) から飛散したと思われる粒子を回収して 101 号室内のグローブボックス (123-D) 内へ移動し、フード (H-1) 内の貯蔵容器の蓋を固定する。その後、フード (H-1) から貯蔵容器を搬出して 108 号室から 101 号室内のグローブボックス (123-D) 内へ移動した。

まず、108 号室入口からフード (H-1) までの通路について、作業員の歩行による汚染拡大・飛散防止のために化学雑巾を用いて床の拭き取りを行った。拭き取り後の床において α 核種の表面密度を測定し

た結果は、図 6.2.1 に示すように、最大 55 Bq/cm² (図 4.2.9 参照) から、最大 5 Bq/cm² (立入制限区域指定基準 (α 核種: 4 Bq/cm²)) まで低減した。フード (H-1) から飛散したと思われる粒子については、カメラで位置情報を記録 (図 6.2.1 参照) した後、位置ごとにバイアル瓶に回収し、金属容器に収納した。フード (H-1) 前面のビニルシートについても、折りたたんで金属容器に収納し、101 号室のグローブボックス (123-D) へ搬入した。これらについては、原因究明に資するため、外観の観察及び試料の分析を行った (「6.4」参照)。

フード (H-1) 内の貯蔵容器にアクセスできる程度にスライド式ガラス窓を開け、貯蔵容器の蓋部をガムテープで固定した。蓋固定後、貯蔵容器に転倒防止治具を取り付け、フード (H-1) 前面のガラス窓を全閉とした。蓋を固定し、転倒防止治具が取り付けられた貯蔵容器の状況を図 6.2.2 に示す。

フード (H-1) から貯蔵容器を搬出し、108 号室から 101 号室へ貯蔵容器を移動した。この作業は、収納容器を用い、適宜ビニル袋で養生し、表面の汚染を検査して異常のないことを確認した上で実施した。108 号室内の移動は、プルトニウム・濃縮ウラン管理区域内運搬車を用い、108 号室出入口からグリーンハウス 1 (図 6.2.3 参照) の近傍に待機させた簡易運搬車までは貯蔵容器を手渡しで移動した。その後、簡易運搬車を用いて 101 号室へ移動し、同室内のグローブボックス (123-D) へ搬入した。グローブボックス (123-D) へ搬入後の貯蔵容器の状況を図 6.2.4 に示す。当該貯蔵容器については、原因究明に資するため、外観の観察を行った。また、貯蔵容器の内容物を取り出して各部の外観を観察するとともに、試料の分析を行った (「6.4」参照)。分析の結果、貯蔵容器の内容物に炭化物が含まれることが分かったため (後述の「6.4」(1)⑩参照)、貯蔵容器の内容物は 101 号室内のアルゴン (Ar) ガス雰囲気グローブボックス (124-D) へ移動した。

なお、ここまでの 108 号室内の作業は、空気呼吸器を装着 (1 回当たりの作業時間を 20 分に制限) して実施した。また、当該貯蔵容器は、フード (H-1) から搬出するまで、TV カメラによる監視を継続した。

(2) 汚染管理の強化

被ばく評価の目的で 108 号室の床の汚染検査に用いたスマヤろ紙等を燃料研究棟から搬出する作業の準備中に、廊下に軽微な汚染を確認した (平成 29 年 7 月 7 日)。このため 108 号室及びグリーンハウスから汚染を拡大させないための措置及び区域管理強化のための措置を講じて汚染管理の強化を図った。

108 号室及びグリーンハウスから汚染を拡大させないための措置として、事故直後に緊急に設置したグリーンハウスから図 6.2.5 に示す汚染管理の強化を図ったグリーンハウスへ更新した。グリーンハウス境界の出入口はジッパー構造とし、汚染の閉じ込め機能を向上させた。また、以下に示す事項を実施することを定め、運用している。

- ・立入制限区域内への入城及び立入制限区域内からの退城時は、当該エリア専用の RI 作業靴に履き替える。ただし、108 号室及びグリーンハウスで使用する RI 長靴を立入制限区域外に持ち出す場合は、靴カバーの装着を徹底し、装着は養生シート上で行う。
- ・汚染管理強化のため、作業終了後のグリーンハウス 2、3 は、床に加えて側面についても汚染検査を実施する。

また、汚染管理の強化を進めるに当たり、区域管理強化のための措置として以下に示す事項を定め、運用している。

- ・廊下の床へ養生シートを設置するとともに、廊下の中央付近にフットモニタを追加設置し、出入口側へ移動する場合はフットモニタによる汚染検査を実施する。汚染を拡大させる可能性のある 108

号室及びグリーンハウスからの退室者は、養生シート上を歩き、フットモニタで汚染検査を実施する。

- ・エアロック室前のハンドフットクロスモニタで汚染検査を実施する前に、自主サーベイエリアで α 線サーベイメータによる汚染検査の実施（従来から実施してきた事項）を周知徹底する。
- ・これまで巡視点検時に実施していた化学雑巾での各室の床の拭き取りについて、グリーンハウスに向かって一方向に拭き取る方法に変更する。拭き取りは、巡視点検時に加えて、108号室及びグリーンハウスでの作業後にも実施する。
- ・フットモニタ前と自主サーベイエリア前に追加設置した粘着シートを含め、廊下に設置されている粘着シートは、108号室及びグリーンハウスでの作業実施前に交換する。

汚染管理強化の概要を図 6.2.3 に示す。

その他、空気呼吸器又は全面マスクを装着した作業員の交替制が可能となるよう、放射線業務従事者を増員した。

(3) フード (H-1) の汚染検査・除染

フード (H-1) の汚染検査と除染については、フード内の不要物品をフードから取り出して金属容器等に収納した後、フード (H-1) 内外表面の汚染検査を行いながら、除染作業及び固着汚染の固定を行った。フード (H-1) 内の除染は、ストリップابلペイントの塗布・剥離により行い、ストリップابلペイント剥離後の表面密度が高い部分については、濡れウエスによる拭き取りを行い、拭き取り後の汚染の程度により、拭き取り作業を繰り返し行った。フード (H-1) 外の除染は、濡れウエスによる拭き取りにより行った。表面密度の測定については、フード (H-1) 内外表面を区画化し、当該エリアについてダイレクトサーベイを実施し、その時の最大値を記録した。ダイレクトサーベイでスポット汚染を確認した部位については、別途スポット汚染部位として記録した。

フード (H-1) 内表面の除染結果を図 6.2.6 に示す。除染前の α 線サーベイメータによる測定は、汚染拡大防止の観点から、床面及び側面（左右）のみを対象に実施した（計画段階からこの範囲に限定）。その結果、床面は全域にわたって 100 kcpm 以上であった。側面については左側面が 15 kcpm、右側面が 2.5 kcpm であり、当該貯蔵容器の樹脂製の袋における破裂開口方向との相関が見られた。除染後、内表面全域（床面、側面、ガラス面（手前）、背面（奥）及び天井面（前・後）の汚染を測定した。ストリップابلペイント及び濡れウエスによる除染により、汚染レベルの低減が確認できた。除染後の汚染検査の後、ストリップابلペイントの再塗布を行った。

フード (H-1) 外表面の除染結果を図 6.2.7 に示す。除染前後の α 線サーベイメータによる測定は、正面及び側面（左右）を対象に実施した。除染前の測定値は、検出限界未満～7 kcpm の範囲にあったが、拭き取り除染により全面が検出限界未満となった。

なお、ガラス窓左側底部の 4 kcpm を示したスポット汚染部位はレガテープ（フローモニタ）の部分であり、2 kcpm を示したエリアの汚染は養生シート上であったことから、これらを取り外すことで除染した。

この後、後述する 108 号室の床、壁、天井及びグローブボックス等の設置機器の除染作業終了後、再びフード (H-1) の外表面及び内表面の汚染検査を実施し、遊離性の汚染が検出限界未満であることを確認する。

(4) 108号室の床の汚染検査・除染

108号室の汚染検査と除染については、最初に床面に対して実施した後、壁面、天井とグローブボックス等の機器に対して実施した。

床の汚染検査及び除染作業については、汚染分布状況を把握するために、108号室床面を1m×1mに区画化し、区画ごとに化学雑巾による拭き取りを実施し、化学雑巾のダイレクトサーベイにより表面密度を求めた。床面の除染は、濡れウエス等により実施する。除染が終了した区画は、化学雑巾による拭き取りを実施し、遊離性の汚染が検出限界未満であることを確認した。固着性の汚染を確認した場合は再度除染を実施した後、汚染検査を実施した。

除染前の108号室床面の表面密度分布を図6.2.8に示す。除染前の表面密度は、フード近傍のエリアが高い傾向を確認した。108号室へ入退室及び脱装を実施しているF000～F020付近の汚染レベルが比較的高い傾向であった。表面密度分布は、参考までに別途実施した108号室の床上1mの空気流線の測定結果(図6.2.9参照)と概ね一致する傾向であった。

除染後の108号室床面の表面密度分布を図6.2.10に示す。床面について化学雑巾による拭き取りを実施し、化学雑巾のダイレクトサーベイによる汚染検査において、遊離性の汚染については検出限界未満であることを確認した上で除染を終了した。一方、固着性の汚染が除去できなかった箇所(図6.2.10中のF710、F810)については、図6.2.11(a)に示すように汚染部位を粘着テープにより固定し、図6.2.11(b)に示すようにビニルシートにより床面を養生した。

(5) 108号室の壁、天井、グローブボックス等の汚染検査・除染

壁面の汚染検査・除染については、当初計画では、壁面を1m×1mに区画化して汚染分布状況を把握する予定であったが、壁面の汚染のレベルが低いことから、4区画(4m²)を一つのエリアとして化学雑巾による拭き取りを実施し、化学雑巾のダイレクトサーベイにより表面密度を求めた。壁面の除染は、濡れウエスによる拭き取りで実施し、除染が終了した区画は、化学雑巾を用いた拭き取りにより遊離性の汚染が検出限界未満であることを確認し、更に表面のダイレクトサーベイにより固着性汚染の有無を検査した。

以下、壁面については、廊下側の壁面をB壁面、その反対側をA壁面、フード(H-1)が設置されている壁面をL壁面、その反対側をR壁面とする。

除染前後の108号室B壁面の表面密度分布を図6.2.12に示す。フード近傍のエリアに若干高い傾向を確認した(最大0.03Bq/cm²)が、このエリア以外の表面密度は低かった。除染が終了したB壁面は、濡れウエスによる拭き取り後の化学雑巾のダイレクトサーベイによる汚染検査で遊離性の汚染が検出限界未満であることを確認した。また、除染後のB壁面の固着性汚染は検出されなかった。

壁面に設置されている備品については、当該壁面の汚染検査に先立ち除染を実施し、除染できなかった部分についてはストリップابلペイントにより汚染を固定した。108号室R壁面に設置されていた備品の除染前後の表面密度を図6.2.13に示す。ボンベスタンド以外の備品に対して除染を実施し、拭き取り後の化学雑巾のダイレクトサーベイによる汚染検査で遊離性の汚染が検出限界未満であることを確認した。備品の側面に汚染は確認されなかった。ボンベスタンド下面については、表面形状に起因して除染が困難であったことから、ストリップابلペイントを塗布し、汚染を固定した。

除染前後の108号室R壁面の表面密度分布を図6.2.14に示す。R壁面の拭き取り後、化学雑巾のダイレクトサーベイによる汚染検査を実施した結果、排気口に近いエリア(図6.2.14中のW001R、W002R、

W011R、W012R)の表面密度が高かった(0.02 Bq/cm²)が、このエリア以外の表面密度は低かった。壁面に備品が置かれていた一部のエリアについては、遊離性の汚染が検出限界未満であった。除染の終了したR壁面は、拭き取り後の化学雑巾のダイレクトサーベイによる汚染検査で遊離性の汚染が検出限界未満であることを確認した。また、除染後のR壁面の固着性汚染については確認されなかった。

天井についても、当初計画では1 m×1 mに区画化して汚染分布状況を把握する予定であったが、汚染レベルが低いことから、4区画(4 m²)を一つの除染エリアとして汚染検査を行い、化学雑巾による拭き取りを実施し、化学雑巾のダイレクトサーベイにより表面密度を求めた。

フード(H-1)から最も遠いR壁面側及び廊下側(B壁面側)の天井面における除染前後の表面密度分布を図6.2.15に示す。除染前の段階で天井の表面密度は低く、検出限界未満のエリアも確認された。除染後は遊離性の汚染が検出限界未満であることを拭き取り後の化学雑巾のダイレクトサーベイによる汚染検査で確認した。除染後は、固着性汚染も検出されなかった。

設置されている機器についても化学雑巾を用いた拭き取りにより汚染検査を行い、濡れウエスで拭き取ることにより除染した。除染できなかった部位についてはストリップابلペイントにより固定した。

当該区域に設置されているグローブボックス(821-D)、Arガス雰囲気ユニット及び装置付属備品の除染前後における表面密度の測定結果を図6.2.16に示す。グローブボックス及びArガス雰囲気ユニットの上部に設置されている付属備品についても除染を実施し(グローブボックス(821-D)の上部に設置されているフィルタ木枠を除く)、拭き取り後の化学雑巾のダイレクトサーベイによる汚染検査で遊離性の汚染が検出限界未満であることを確認した。フィルタ木枠については、表面形状に起因して除染が困難であったことから、ストリップابلペイントを塗布し、汚染を固定した。グローブボックス(821-D)のグローブについては、ビニルシートにより養生した。Arガス雰囲気ユニット表面についての除染は終了しているが、本装置の形状が複雑であることから、深部に汚染が存在する可能性も考えられる。そのため、形状が複雑な外側にフレームを組み、ビニルシートにより養生した。

A壁面及びL壁面並びに残りの設置機器についても同様に汚染検査と除染を実施し、除染終了後は遊離性の汚染が検出限界未満であることを確認する。

(6) 101号室における作業員の特殊作業衣等の汚染を踏まえた安全対策の強化

9月8日、燃料研究棟101号室(調製室)において、グローブボックス(123-D)内の整理作業としてバッグアウト作業を実施していた。グローブボックス内の使用済み樹脂製の袋を廃棄物(廃棄物の仕掛品。以下「梱包物」という。)として払い出すため、樹脂製の袋内に入れた。梱包物を先端まで押し込んだとき、樹脂製の袋の先端が開いていたため、梱包物が床に落ちた。この事象により作業員3名の特殊作業衣及び装備から最大で2.5 kcpmの汚染を確認した。本事象による環境への影響はない。また、室内の汚染状況は、スポット的な汚染であり、汚染拡大の可能性がないことから、本事象は法令報告に該当しないと判断した。その後、101号室の復旧のための応急措置を実施した上で不適合管理を行い、原因を特定し対策を立案した(添付6.2.2参照)。

これを受けて、燃料研究棟における点検等の安全確保に必須な作業以外は108号室の現場復旧作業も含め全て中止し、作業の手順等に係る緊急点検を実施してきた。108号室の現場復旧作業に係る作業計画書についても、上記の緊急点検を実施し、101号室での汚染事象の不適合管理で抽出された改善点も反映して改訂を行うとともに、当該作業に従事する作業員に対して改訂した作業計画書に基づく教育を実施した。これらより、作業の安全対策の強化が図られたことから、9月19日、108号室の現場復旧作

業を再開した（添付 6.2.3 参照）。

なお、燃料研究棟においては、108 号室に設定している立入制限区域を解除するまでの期間、点検等の安全確保に必須な作業を除いて 108 号室の現場復旧作業以外は停止し、108 号室の現場復旧作業の安全確保及び監視に集中する。

(7) 最終確認と立入制限区域の解除

フード(H-1)を含む 108 号室内の全域の除染作業終了後、室内を養生していたビニルシートを撤去し、化学雑巾を用いた拭き取りにより室内全域の汚染検査を実施する。固着性の汚染については再度除染を試み、除染しきれない部位が残った場合は粘着テープ等で固定の上、周辺を養生する。その上で、遊離性の汚染の表面密度が表面密度限度（4 Bq/cm²）を下回ることを確認した後（自主的には表面密度が検出限界未満となることを目標とする。）、グリーンハウスの汚染検査・除染を実施して解体・撤去し、現場の整理と後片付けを終えて、108 号室の立入制限区域を平成 29 年 10 月中旬までに解除する見通しである。

6.3 作業員の被ばく評価

(1) 外部被ばくによる実効線量の評価（詳細は添付 6.3.1 参照）

① 光刺激蛍光線量計による測定

大洗研究開発センターでは放射線業務従事者の日常モニタリング用の個人線量計として光刺激蛍光線量計（以下「OSL 線量計」という。）を使用している。作業員の着用していた OSL 線量計は、表面汚染が認められたためグリーンハウス内で保管され、平成 29 年 6 月 13 日に回収された。回収時に行われた表面汚染検査の結果、OSL 線量計ケース外側には最大で 1.0×10^3 Bq/cm² の汚染を確認したが、ケースに収納された OSL 線量計本体には汚染はなかった。

平成 29 年 6 月 15 日に OSL 線量計の測定を実施した結果、作業員 A、B、C、D の 1 cm 線量当量は検出下限値（0.1 mSv）未満であった。しかし、作業員 E の OSL 線量計については、表面に付着していた汚染からの放射線が長時間にわたって線量計に局所的に入射したために指示値異常が発生したと考えられることから、評価不能と判定した。

また、OSL 線量計に同梱された中性子用の固体飛跡中性子線量計の測定も実施した結果、中性子による有意な被ばくは認められなかった。

② 電子式ポケット線量計による測定

作業員 5 名のうち 3 名が補助線量計として電子式ポケット線量計（以下「EPD」という。）を着用しており、その読取値は 2 μSv（作業員 B）、3 μSv（作業員 D）、60 μSv（作業員 E）であった。

③ 実効線量の評価

以上の結果から、5 名の作業員の外部被ばくによる実効線量は、作業員 A、B、C、D については OSL 線量計、作業員 E については EPD を基に評価を行い、全員記録レベル（0.1 mSv）未満であると評価した（表 6.3.1 参照）。

なお、平成 29 年 6 月 7 日に測定した 108 号室内の線量当量率は最大で 2 μSv/h であった（図 4.2.10 参照）ことから、同室内に 8 時間滞在したとして計算しても、外部被ばくは記録レベル（0.1 mSv）未満と評価できる。

(2) 体表面汚染による皮膚被ばく線量の評価（詳細は添付 6.3.1 参照）

108号室からの退室時のグリーンハウスにおける身体汚染検査において、作業員全員の特殊作業衣に、うち4名には皮膚に汚染を確認したことから、これらの汚染による皮膚被ばく線量について評価を行った（添付 6.3.1 参照）。

この評価においては、作業員に関連する種々の測定データの中で最も汚染密度の高い、OSL 線量計のケース表面の測定結果（スミヤ法での測定結果に基づく保守的な評価で $1.0 \times 10^3 \text{ Bq/cm}^2$ ）を用い、この値の汚染が直接皮膚に付着し、事故発生時刻から管理区域を退域する時刻まで皮膚被ばくが継続していたとの仮定により皮膚の等価線量を評価した。その結果、最大で $83 \mu\text{Sv}$ であった。

また、量研 放医研が受入時に実施した体表面汚染検査時に検出された汚染（最大 140 cpm ）についても上記と同様保守的な仮定により評価した結果、最大で $0.11 \mu\text{Sv}$ であった。

これらの結果から、体表面汚染による皮膚の等価線量は、全員記録レベル（ 0.1 mSv ）未満であることを確認した。

(3) 内部被ばくによる実効線量の評価

今回、原子力機構は作業員の内部被ばくに対する診察、処置を受けさせるため、事故が発生した翌日の平成 29 年 6 月 7 日から量研 放医研へ作業員を入院させた。そのため、原子力機構は内部被ばく線量の測定・評価について、量研 放医研が診察、処置の一部として実施する内部被ばく線量の測定・評価に協力する形で行うこととした。この一環として原子力機構はバイオアッセイ試料（便）の分析を実施し、平成 29 年 7 月 5 日、量研 放医研にその結果を報告した。

このように内部被ばく線量の測定・評価の結果は量研 放医研の管理する医療情報であるため、原子力機構は、適切な手続の下で必要な情報を入手し、量研 放医研がバイオアッセイ検査等の結果を基に実施した内部被ばく線量の評価の内容を確認し、その内容を基に原子炉等規制法等の法令に基づく放射線業務従事者の被ばく線量の記録を行った。作業員 5 名の内部被ばくによる実効線量（預託実効線量）の概要を表 6.3.2 に示す。このように作業員のうち 1 名が法令の放射線業務従事者に対する線量限度（5 年間につき 100 mSv 及び 1 年間につき 50 mSv ）を超過したことを確認したことから、保安規定に従い当該者の放射線作業を制限する措置を講じた。

(4) 事故発生当日に実施した肺モニタ測定での過大評価について

事故発生当日に核燃料サイクル工学研究所で行った肺モニタ測定の結果は、Pu-239 と Am-241 について、最大でそれぞれ $2.2 \times 10^4 \text{ Bq}$ 、 $2.2 \times 10^2 \text{ Bq}$ であった⁴が、翌日量研 放医研で実施された肺モニタ測定については、「プルトニウムについては明確なエネルギーピークを確認できなかった。アメリシウムについては、計測データからエネルギーピークを確認した方がいるが、そのレベルは減少している。」と発表された。また量研 放医研からは事故発生翌日の受け入れ時、4 名の体表面に汚染が検出されたことも発表されている。これらのことから、事故発生当日の肺モニタ測定は被検者の胸部表面に Pu-239 等が付着していたことによる過大評価であったと考えられる。このため肺モニタで測定された値と体表面汚染のレベルの関係について調査・検討を行った結果、検出器近傍の胸部表面に α 線サーベイメータの計測値にして 100 cpm 程度の汚染がある場合には、上記の値が計測される可能性があることを確認した（詳細は添付 6.3.2 参照）。

⁴ 全量が肺中放射能であると仮定した場合、預託実効線量は 12 Sv に相当する。

除染完了を確認して管理区域を退出したとする作業員にこのような汚染が付着していた原因について、関係者からの聞き取り、専門家からの情報収集、体内動態モデルの調査・確認等により幅広く検討した結果、皮膚に付着していた汚染が管理区域退出時の汚染検査では検出できなかった可能性が高いと考えられる（詳細は添付 6.3.3 参照）。

6.4 貯蔵容器内容物及び破裂時の状況調査

(1) 貯蔵容器内容物の調査結果

樹脂製の袋が破裂した当該貯蔵容器の内容物の性状と履歴に関して、計量管理帳簿の調査（添付 6.4.1 参照）、燃料研究棟の月報、技術レポート、点検記録等の資料の調査（添付 6.4.2 参照）及び燃料研究棟に関係する職員（退職者含む。）への聞き取り調査（添付 6.4.3 参照）を実施し、明らかになったことは以下のとおりである。

- ① 当該貯蔵容器内の核燃料物質は、天然ウラン (U) とプルトニウム (Pu) であり、Pu は同位体組成の異なる 5 種類（表 6.4.1 参照）が混在している。
- ② 当該貯蔵容器内の核燃料物質は、X 線回折測定済試料を集めたものである。
- ③ 燃料研究棟における X 線回折測定用試料の特徴として、核燃料物質の粉末をエポキシ樹脂系の接着剤（主剤と硬化剤の 2 液混合型）と混合し、アルミニウム製の試料ホルダーに固定する方法を用いていた。試料ホルダー中の樹脂固化物部分の寸法は、約 20 mm×20 mm 又は約 20 mm×18 mm の四角形で、厚さ 1.5 mm 強の平らな形状である。試料作製方法の技術レポートでは、この樹脂固化物 1 個当たり核燃料物質の粉末を 0.2 g 程度使用するとされている。エポキシ樹脂の使用量は 1 g 前後である。
- ④ 核燃料物質の化合物の種類として、酸化物、炭化物、窒化物が確認されている。また、これらの化合物は、U あるいは Pu のみからなるものと、U と Pu の混合化合物であるものが混在している。
- ⑤ X 線回折測定後の試料は空気雰囲気グローブボックス内に集約し、樹脂製等の密閉性の低い容器に収納して置かれていた。平成元年 10 月に、当時置かれていた全量のうち約 78 % に相当する量をほかの空気雰囲気グローブボックスに移動した。
- ⑥ この移動先のグローブボックスには、アルミニウム製の試料ホルダーから樹脂固化物を打ち抜く治具と酸化加熱処理用の加熱炉が設置されており、移動した核燃料物質はここに 2 年間置かれた後、平成 3 年 10 月に当該貯蔵容器に収納された。
- ⑦ 貯蔵容器へ収納する際の内容器として、燃料研究棟にあった比較的容積の大きい筒状のポリエチレン製容器（以下「ポリ容器」という。）を用いた。このポリ容器は、核燃料物質の保管を目的としたものではなく、グローブボックス内で生じる紙等の可燃性廃棄物や、金属・ガラス等の不燃性廃棄物を一時的に収納しておくために用いられているものである。
- ⑧ 貯蔵容器への収納に際しては、グローブボックス内で核燃料物質をポリ容器に入れてから、樹脂製の袋（一重目）へのバッグアウト操作によって搬出し、これを更に樹脂製の袋（二重目）に封入した。
- ⑨ 平成 3 年 10 月に当該貯蔵容器の貯蔵を開始した後、平成 8 年 7 月に貯蔵容器の蓋を開封し、内部の状態を点検した際の記録の存在を平成 29 年 7 月 14 日に確認した。この点検では、Pu が収納された計 64 個の貯蔵容器について内部の収納物の状況が確認されており、異常の認められたものについては梱包更新（詰め替え）されている（表 6.4.2 参照）。当該貯蔵容器の記録には、ポリ容器の

底部が変色、破損していること、樹脂製の袋が膨張していることの記載があるほか、梱包を更新した後には異常なしとの記載がある（添付 6.4.2 (3) 参照）。

上記の明らかになった事項に関する補足事項及び状況として考えられることを以下に述べる。

①の同位体組成に関しては、Pu 中に生成する Am-241 は使用過程で除去されているものと、除去されていないものが混在していると推測される。表 6.4.1 中の α 崩壊の実効崩壊定数の比較は、Am-241 を除去していないと仮定した場合の値である。5 種類の同位体組成の Pu の混在比について、計量管理帳簿に記載の供給当事国別重量明細と、全 Pu 重量に対する核分裂性 Pu の重量比の数値から、貯蔵容器内の平均同位体組成を推定した（添付 6.4.4 参照）。また、昭和 58 年時点で Pu 全量から Am-241 を除去したとの仮定の下で、Am 除去の有無による α 崩壊数の相違を評価した。「7.1」の諸要因の影響を評価する際には、この平均同位体組成の推定値を用いるとともに、Am 除去の有無についても考慮することとした。

④～⑥に関して、移動先のグローブボックスには、酸化還元炉と呼ばれる加熱炉が設置されていたことから、樹脂固化物を酸化加熱処理することを意図して移動したと考えられる。当時の燃料研究棟在籍者による昭和 60 年及び平成元年に刊行された技術論文には、有機物中の Pu を加熱処理して回収する方法が記載されていることから、酸化加熱処理した核燃料物質をスクラップとして貯蔵し、将来再利用することを想定していたと考えられる。X 線回折測定済試料のうち、炭化物と窒化物については化学的に活性であるとの認識があり、炭化物については試料ホルダーから樹脂固化物を取り外し（打ち抜き）、酸化加熱処理が行われていたことが昭和 60 年の作業月報に記載されている。この処理過程でエポキシ樹脂も分解・除去され、U と Pu の酸化物粉末となる。しかし、当該貯蔵容器内の核燃料物質が上記グローブボックス内に置かれている平成元年から平成 3 年の間に、樹脂固化物を酸化加熱処理したとの記載は作業月報に見られなかったことから、樹脂固化物のまま貯蔵容器に収納された可能性が高い。酸化物粉末の樹脂固化物についても、化学的に安定との認識から、加熱によるエポキシ樹脂の除去を行わないまま貯蔵容器に収納されたと考えられる。

⑦に関して、当時においても金属容器を使用するのが燃料研究棟において業務に従事した職員の一般的な考え方であった。

⑨に関して、具体的な措置作業の記録は見つかっていないが、貯蔵容器内の収納物をグローブボックスに搬入し、核燃料物質を新しいポリ容器に詰め替えた後、再度バッグアウト操作により樹脂製の袋に封入して貯蔵容器に収納したと推測される。これ以降の当該貯蔵容器内部の状態に関する点検記録類は見つからなかった。

当該貯蔵容器を 108 号室のフード (H-1) から別室のグローブボックス (123-D) に搬入した後、内容物を取り出して各部の外観を観察（図 6.4.1 及び添付 6.4.5 参照）するとともに、試料の分析を行った（添付 6.4.6 参照）。その結果明らかになったことの要点は以下のとおりである。

- ⑩ 貯蔵容器と蓋の内面には樹脂製の袋を損傷するような鋭利な突起物はなかったが、蓋の O-リングには亀裂が生じていることを確認した。
- ⑪ 一重目（内側）の樹脂製の袋は二重目（外側）より上下方向に長く、一重目の袋が二重目の頂部を突き破るように破損していた。
- ⑫ ポリ容器は変色と脆化があるものの、破損していなかった。
- ⑬ ポリ容器の高さの 2/3 程度まで樹脂固化物（ほぼ完全な形状のものと割れたものが混在）が収納されていた。アルミニウム製の X 線回折測定用ホルダーは入っておらず、全てホルダーから打ち抜いた樹脂固化物であった。

- ⑭ ポリ容器底部付近には細かいかけらと粉末があった。
- ⑮ 樹脂固化物（割れたかけらを含む。）の重量は ■ g で、ふるい分けした粉末成分は ■ g であった。
- ⑯ 粉末成分は数十 μm 以上の粗大な粒子が多く、化学形は二酸化物のほかに炭化物が含まれ、微細な樹脂のかけらも含まれる。U と Pu の混合化合物のほか、ほとんど Pu のみからなる粒子も局所的にはある。
- ⑰ 比較的形状を保持しているものを選別した樹脂固化物の線量当量率は約 5 μSv/h から 220 μSv/h まで幅広く分布しており、飛散物も含めて、U と Pu の混合化合物のほか、ほぼ U のみ及びほぼ Pu のみからなる化合物があることを確認した。
- ⑱ 2 つの樹脂固化物について、内部の粉末の平均粒子径を体積基準により評価した結果、約 22 μm と約 36 μm の値を得た。

⑲ 上記以外に、フード前及びフード内の養生シート上から回収した飛散物重量は合わせて ■ g であった。分析の結果、飛散物は樹脂固化物のかけらであることを確認した。

上記の貯蔵容器内収納物の観察・分析結果から考えられることは以下のとおりである。

⑩～⑫の結果から、内圧上昇した樹脂製の袋を破損させるような外的物理要因（突起物、異物混入、ポリ容器破片等）はなく、蓋開封時の急激な上方への膨張によって袋の破裂に至ったと考えることができる。また、O-リングに亀裂が生じた時期は蓋開封時か貯蔵期間中か断定できないが、後者の場合には貯蔵中の袋の内圧推移に影響する。

⑮と⑯の結果から、ポリ容器内にあった粉末成分は樹脂固化物断面から崩れ落ちた微細な成分と考えられ、当該貯蔵容器には樹脂固化物を加熱処理して得た酸化物粉末は収納されていなかった可能性が高い。

樹脂製の袋の内圧上昇と破裂に至った事象進展を検討するために、貯蔵容器内部の梱包更新時（平成 8 年 7 月）の状態の想定図を、上記観察結果と貯蔵容器の製作図面及びポリ容器の採寸により作成した（図 6.4.2 参照）。図中には樹脂製の袋の採寸と溶着部位の観察に基づき、平らな状態にした際の寸法も示した。貯蔵容器の材質はステンレス鋼（SUS304）製（以下「SUS304 鋼製」という。）であり、蓋には取手が付いている。貯蔵容器本体と蓋の間は O-リングで気密が保たれており、製作時に 3 気圧の加圧下で気密検査が行われている。これは、貯蔵容器内部の加圧を想定したものではなく、臨界管理上の観点から貯蔵容器内への水の浸入を防ぐための設計仕様である。貯蔵容器本体への蓋の固定は 6 本のボルト（M8、SUS304 鋼製）で締め付ける構造である。

ポリ容器の内容積約 1.5 L に対して貯蔵容器の内容積は約 3.9 L であるが、入口径 120 mm に対してポリ容器外径は 94 mm であることから、樹脂製の袋に二重に封入したポリ容器がかろうじて入れられる状態である。ポリ容器の蓋は本体に被せるのみの形式であり、紙テープが巻かれてあったが密閉性は低く、急激な圧力変化が起こらない限りはポリ容器内部と一重目の樹脂製の袋内部は圧力平衡になると考えて良い。一重目の袋が上下方向に長かったことから、ポリ容器上方で折りたたまれていたと推測される。一重目の袋で包んだポリ容器を収納した二重目の袋は、上下方向の余裕は少なかった。

なお、平成 3 年 10 月の貯蔵開始時の収納状態については、使用したポリ容器が梱包更新時と全く同じ寸法のものかどうか、二重の袋の溶着部位や寸法等が梱包更新時と同等であったかどうかを示す情報は得られなかった。

核物質防護上の観点から ■ の箇所は非開示としています。

(2) 破裂時の状況調査結果

フード内で当該貯蔵容器の蓋を開封する作業中に内部の樹脂製の袋が破裂に至った事象に関して、作業員への状況の聞き取り調査（添付 6.4.7 参照）を実施するとともに、108 号室の現場の写真（図 6.4.3 及び図 6.4.4 参照）を基に、破裂時の状況を以下のとおり整理した。

破裂事象に関して、聞き取り調査内容の重要な点は以下のとおりである。

- ① 貯蔵容器の 6 本のボルトを順に緩めていく過程で蓋が浮き上がってきていた。
- ② ボルトを 4 本外した後、残り 2 本のボルトを緩める際に「シュ」と内圧の抜ける音を聞いており、その際に容器と蓋の隙間のスミヤを採取して汚染がないことを確認した。
- ③ 片手で蓋の取手を持ちながら、残り 2 本のボルトを指で交互に緩めていき、2 本のボルトのネジ山が容器から外れた時点で破裂音とともに蓋が浮き上がった。
- ④ 作業員が聞いた破裂音は「パン」と 1 回である。
- ⑤ 破裂後に養生シート上の飛散物を見た際に、何かで固めてあるものと思った。

①及び③から、貯蔵期間中に樹脂製の袋の内圧が上昇していたことは明らかである。また、②で汚染のなかったことから、破裂に至るまでの樹脂製の袋は、少なくとも一重目か二重目のどちらかは破損していなかったことになる。内圧の抜ける音は、貯蔵容器内面と袋の間で圧縮されていた空気が放出されたものと推測できる。貯蔵容器の蓋の観察により O-リングに亀裂発生が認められたが、内圧の抜ける音が聞こえたことから、密閉機能を完全に失っていたわけではない。④から、一重目と二重目の袋が同時に破裂したか、あるいは一方は貯蔵期間中に破損していたことになる。

破裂後に作業員が撮影した貯蔵容器の写真（図 6.4.3 参照）と内容物の観察結果からは、以下のことが言える。

- ・貯蔵容器上端から樹脂製の袋がはみ出ており、破裂の開口部は袋の側面に沿って縦に裂けるように破損している。上端からはみ出ているのは一重目の樹脂製の袋であり、側面の溶着部に沿って縦に長く開口している。
- ・二重目の樹脂製の袋は写真に写っていないが、貯蔵容器上端より低い位置で袋の頂部が開口し、そこから一重目の樹脂製の袋が上方にはみ出している。
- ・一重目、二重目ともに樹脂製の袋の上端には溶着部がない。
- ・破裂に伴う開口部は作業員側を向いており、作業員が左腹部に風圧を感じたとの証言と整合している。
- ・袋の内側に見える大きな円形状のものは、ポリ容器の蓋であり、作業員の証言では上下が逆さまになった状態で、写真に見えているのは蓋の内面側である（観察により確認済み）。
- ・蓋の右側の袋内部に黒い物体が見えており、ポリ容器内の核燃料物質が破裂時に飛び出してきた可能性があるが、この写真の撮影以後、蓋の固定作業の際に内部に押し戻されたと推測される。

破裂時に貯蔵容器内から飛散した粒子（飛散物）を回収する作業の際に、フード手前の床養生シートを撮影した写真（図 6.4.4 参照）において、白枠部分を拡大したのが下段の 2 枚の写真である。黒い塊状のものに関して作業員は「何かで固めてあるものと思った」と証言している。これらの飛散物は割れや欠けにより元の形状を保っていないが、観察及び分析により樹脂固化物の一部であることを確認した。フード開口部の空気引き込みの面速が 0.5 m/s 以上であることから、内圧上昇していた樹脂製の袋の破裂に伴う吐き出しの気流に乗り、面速を上回る速度で貯蔵容器内から飛散したことになる。

6.5 放射線管理情報等の調査

(1) 室内汚染検査のスミヤろ紙及びPuダストモニタフィルタの測定・評価

作業員が摂取した放射性物質の核種組成や粒子径⁵の分布等の性状を把握するため、Puダストモニタのフィルタ（平成29年6月6日交換）及び平成29年6月7日に実施した108号室内汚染検査のスミヤろ紙（平成29年6月7日採取）（以下「スミヤろ紙・フィルタ」という。）について、分析を実施した。スミヤろ紙・フィルタは照射燃料集合体試験施設（FMF）に運び、外観の詳細撮影、Ge検出器による光子エネルギー核種分析、イメージングプレートによる α 放射能分布分析及び粒子径の分布評価等を行った。スミヤろ紙・フィルタの外観、光子エネルギースペクトル、イメージングプレート画像及び粒子径の分布の評価結果を添付6.5.1に示す。また、粒子径の分布から評価した空気力学的放射能中央径（以下「AMAD」という。）の分布を図6.5.1に示す。

光子エネルギースペクトルでは、Am-241以外の γ 線放出核種の有意な検出はなかった。したがって、貯蔵容器内貯蔵物の情報に含まれない γ 線放出核種による有意な汚染は発生していないと評価する。

イメージングプレート画像からスミヤろ紙に回収された粒子のAMADを化学形がPuO₂であると仮定して評価した結果、最低でも5 μ m以上、フード近傍では10 μ m以上であった。走査型電子顕微鏡（SEM）による特性X線像で観察した粒子の粒子径は、一部の巨大粒子を除いて数 μ m程度であった。

破裂に伴って飛散した放射性物質の粒子のうち比較的粒子径が大きく重いものの多くは床に沈降し、粒子径が小さく軽いものは空気中に浮遊する。このことは、イメージングプレートによる測定等から評価した床スミヤろ紙と室内Puダストモニタフィルタの粒子径を比較すると、Puダストモニタフィルタの粒子径は小さい傾向にある（添付6.5.1内の表6.5.1-1参照）ことから確認できる。したがって、108号室内に拡散した粒子の粒子径は、破裂の際フードの近くにいた作業員が直接浴びた飛散粒子の粒子径より小さいと考えられる（添付6.5.2参照）。

(2) 半面マスクの汚染状況等の調査

作業員が事故発生当時、作業中に着用していた半面マスク（5体）及び108号室退出時に一時的に着用した交換後の半面マスク（4体）については、内部被ばくの経路等に関する重要な情報が得られることから、半面マスクの放射性物質の付着状況を詳細に調査した。半面マスクの構造を図6.5.2に示す。調査は、照射燃料試験施設（AGF）でGe検出器による核種分析の予備調査を行い、その後、固体廃棄物前処理施設（WDF）で本調査を行った。汚染状況調査の対象と目的は以下のとおりである。

- ・面体の接顔部：接顔部からの汚染の侵入の痕跡調査（ペンシル型測定器⁶による α 汚染相対強度分布直接測定（作業中に着用していた半面マスク3体及び交換後の半面マスク1体）、イメージングプレート⁷による α 汚染詳細分布測定（全数）、湿式スミヤ法による α 汚染相対強度分布測定（作業中に着用していた半面マスク3体、交換後の半面マスク1体））
- ・フィルタカートリッジホルダ内側：フィルタカートリッジの健全性確認（乾式スミヤ法による α 汚染量測定（全数））

⁵ ここでは実際の粒子の直径をいう。内部被ばく線量評価に使用する空気力学的放射能中央径（AMAD）とは異なる。

⁶ 直径5mmの有感部分を持つ鉛筆型のZnS(Ag)シンチレーション検出器であり、狭い範囲の α 汚染の検出に特化した測定器である。

⁷ 薄いプラスチック基板上に放射線に感度を持つ輝尽発光性蛍光体を塗布した位置検出型放射線検出器であり、 α 線放出核種の放射能分布を画像化することが可能である。

- ・吸気弁上流側：フィルタカートリッジの健全性確認（ α 放射エネルギー直接測定（全数））
- ・吸気弁下流側：半面マスク装着中の呼吸空気の汚染状況（ α 放射エネルギー直接測定（全数））
- ・排気弁上流側：半面マスク装着中の呼吸空気の汚染状況（ α 放射エネルギー直接測定（全数））

さらに、半面マスクと顔面の密着性を低下させる要因となる可能性のあるゴム製のしめひも（以下「しめひも」という。）の状態を調査した。

調査結果の概要を以下に示す（詳細は添付 6.5.3 参照）。

① 面体の接顔部の測定結果

- ・ペンシル型測定器、イメージングプレート及び湿式スミヤ法で測定した結果、いずれの方法でも同じ傾向の汚染分布であった。
- ・作業中に着用していた半面マスクについては、作業員 B、C、D、E の半面マスクで面体の接顔部及びその内側に放射性物質の付着が確認され、放射性物質の侵入の痕跡と推定する。特に作業員 E の作業中に着用していた半面マスクは、左頬骨及び左下顎接触部分で高い汚染が確認され、また面体全体が広く汚染していた。作業員 A の作業中に着用していた半面マスクでは汚染は認められていない。
- ・交換後の半面マスクについては、1 体について高い汚染があった。これは作業員 E が着用していたものと考えられる。その他の交換後の半面マスクの面体接顔部に顕著な汚染は認められなかった。

② フィルタカートリッジホルダ内側及び吸気弁上流側の測定結果

- ・全ての半面マスクについて、フィルタカートリッジホルダ内側に汚染は認められなかった。
- ・吸気弁上流側の測定結果については、作業員 C、E の作業中に着用していた半面マスクで僅かに汚染が認められたが、吸気による弁の動作により面体内の汚染空気に接触していたためと考えられ、フィルタカートリッジの健全性を否定するものではない。
- ・以上のことから、全ての半面マスクについて、吸気中の汚染をろ過するフィルタカートリッジは健全であり、ろ過材を放射性物質が透過した可能性はないと考えられる。

③ 吸気弁下流側及び排気弁上流側の測定結果

- ・吸気弁下流側及び排気弁上流側の測定結果では、作業員 C、D、E の作業中に着用していた半面マスクで汚染を確認した。半面マスク内に汚染が侵入していたと考えられる。

④ しめひもの状態の調査結果

- ・半面マスクのしめひもの状態については、作業員 B、D、E の作業中に着用していた半面マスクについては正常であったが、作業員 A、C の半面マスクについては伸縮性が弱まっていたことが観察された。

以上の半面マスクの調査結果を作業員ごとにまとめた結果は以下のとおりである。

- ・作業員 A：作業中に着用していた半面マスクに汚染の侵入の痕跡は認められない。しめひもに伸縮性の弱まっている状態を確認した。
- ・作業員 B：作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染を確認した。しめひもは正常であった。
- ・作業員 C：作業中に着用していた半面マスクの接顔部、吸気弁下流側、排気弁上流側に汚染を確認した。しめひもに伸縮性の弱まっている状態を確認した。
- ・作業員 D：作業中に着用していた半面マスクの接顔部、吸気弁下流側、排気弁上流側に汚染を確認した。しめひもは正常であった。
- ・作業員 E：作業中に着用していた半面マスクの接顔部、吸気弁下流側、排気弁上流側に高い汚染を

確認した。面体接顔部の左頬骨及び左下顎接触部分で高い汚染を確認し、また面体全体が広く汚染していた。交換後の半面マスクの面体接顔部にも汚染を確認した。しめひもは正常であった。

(3) 半面マスクの防護性能の調査

事故発生当時、作業員は全員半面マスクを着用していた。この半面マスクの防護性能について、文献調査、メーカーへの聞き取り、実験等により調査した。

作業員の着用していた半面マスクは、日本工業規格(JIS)における指定防護係数3~10(マスク面体内外の粉じん濃度の比)⁸を満たす性能を有するものである。ただし、JISに液体状の放射性物質の侵入に対する規定はない。

面体と顔面の密着性に係る試験により、しめひもの伸縮性が弱まった半面マスクでも、密着性を意識して、通常よりも締め付けを強くすれば、着用中に防護性能が著しく低下することがないことを確認した。

飛散した粒子及び顔面に付着した放射性物質の面体への侵入に係る試験では、漏れ率が0.1%程度の場合には飛散した粒子又は顔面に付着した放射性物質が面体内部に侵入しないが、3%程度の場合には侵入することを確認した。

なお、防護係数はマスク面体内外の粉じん濃度の比であり、ろ過式マスクの場合、面体等の漏れ率(%)とフィルタの透過率(%)の和の逆数に100を乗じた値と定義されている。当該半面マスクのフィルタの粒子捕集効率は99.9%以上と規格されていることから、防護係数10は漏れ率約10%、防護係数3は漏れ率約30%に相当する。

以下に詳細を示す。

① 汚染した空気に対する防護性能

- ・JISによれば、呼吸用保護具は人体に有害のおそれがある環境空气中で呼吸保護の目的で着用するものである⁹。したがって、面体は着用者の顔面との気密を保つためのものであり、例えば液体状の放射性物質の侵入等に対する防護性能に関する規定はない。
- ・本事故において作業員が着用していた半面マスクは、指定防護係数3~10、マスク性能区分RL3(取替え式防じんマスクのうちオイルミスト等が混在する場合でも粒子捕集効率が99.9%以上)で国家検定合格済みの型式のものである⁷。
- ・マスクの性能として使用される指定防護係数とは、実験室内で測定された多数の防護係数値の代表値で、訓練された着用者が正常に機能する呼吸用保護具を正しく着用した場合に少なくとも得られるであろうと期待される防護係数である。

② 面体の密着性に対するしめひもの影響

- ・半面マスクの装着時はしめひもを用いて顔面に密着させる。作業員が着用していた型式のしめひもはゴム製であることから、使用回数や保管時間を重ねると十分な伸縮性が得られなくなり、適切な密着性が得られる状態が維持しにくくなるおそれがある。
- ・このため、しめひもの伸縮性及び着用時の締め付け具合による漏れ率の変化をフィッティングテスターでの試験で確認した(添付6.5.4参照)。その結果、伸縮性が弱まったしめひものマスクでも、

⁸ JIS T 8150-2006 呼吸用保護具の選択、使用及び保守管理方法

⁹ JIS T 8001-2006 呼吸用保護具用語

通常より締め付けを強くして装着した場合、着用中に防護性能が著しく低下することはないことを確認した。さらに伸縮性の十分なしめひもを使用している時と同程度の締め具合で装着した場合は、会話、表情の大きな変化及び頭部の運動（首を振る等）で密着性が低下することを確認した。

- ・作業員が作業開始前に実施した陰圧試験は、吸気口を手のひらで閉鎖し静かに吸気した際に、顔面との密着部分に空気の漏れが感じられず、かつ、面体内の圧力低下が感じられるかを確認することで密着性を確認するものであるが、吸気口の閉鎖時に面体を顔面に押し付けてしまい接触状態が改善される場合もあり、十分な習熟が必要な点検方法である。

③ 風圧を伴う汚染及び身体表面汚染に対する防護性能

- ・①で述べたとおり、半面マスクの面体は着用者の顔面との気密を保つためのものであり、例えば液体状の放射性物質の侵入等に対する防護性能に関する規定はない。
- ・このため、放射性物質が風圧により顔面に直接飛散してきた場合及び面体外側に汚染がある状態で顔面に汗をかいた場合に、放射性物質が面体内に侵入する可能性について、食用色素粉末等を用いた試験で確認した（添付 6.5.4 参照）。その結果、試験開始前にフィッティングテスターで確認した漏れ率が 0.1 %程度の場合には飛散した粒子及びに付着した放射性物質が面体内部に侵入することとはなかったが、3 %程度でも侵入することを確認した。

6.6 核燃料物質の飛散量の評価

燃料研究棟における事故によって、核燃料物質が貯蔵容器から 108 号室内の広範囲にわたって飛散し、フード (H-1) 内及びフード (H-1) 前には、X 線回折測定済試料の一部が観察された。汚染は、作業員の特殊作業衣や半面マスクをはじめ、室内に広がっており、室内に設置されたグローブボックスの給気フィルタへの付着や排気設備への移行も考えられる。飛散物等の観察結果やフード (H-1) 及び 108 号室の汚染検査結果に基づき、不確かさが大きい情報については保守性を考慮して、核燃料物質の飛散量を評価した。

フード (H-1) 前及びフード (H-1) 内の養生シート上から回収した飛散物は樹脂固化物であり、その重量は ■ g であった（「6.4(1)⑩」参照）。樹脂の存在比は定量できていないため、保守的に全量が核燃料物質であるとみなし、U と Pu の存在比は点検記録等に基づく調査結果（添付 6.4.2 の図 6.4.2-2 参照）に従い、Pu 及び Am-241 の同位体組成については計量管理帳簿の調査結果（表 6.4.1 参照）から組成 A について崩壊計算して求めた現時点の組成を用いると、放射エネルギーは約 ■ Bq と見積もった。

フード (H-1) 内側の汚染については、除染に先立ち採取した汚染分析試料を測定して表面密度を求め、表 6.6.1 に示す各面の最大値の汚染が当該面の全域に広がっているとみなし、各面の面積を乗じて飛散量を求めた。排気系へ接続されている開口部への移行量は、天井の汚染と同じとみなした。得られた α 核種の放射エネルギーより、前述の U/Pu 存在比及び Pu の同位体組成から β 核種を含む放射エネルギーを求めた（以下、同様の計算を実施した。）結果、フード (H-1) 内側への飛散量は約 ■ Bq と見積もった。

作業員の装備の汚染については、事故発生後に 108 号室からの退出時にグリーンハウス内で実施した身体汚染検査の結果（表 4.2.3 の当該部の記述参照）に示された表面密度の汚染がフード (H-1) を向いている前面側全体に広がっているとみなし、作業員前面の面積を 60 cm×170 cm とすると、作業員 5 名への飛散量は約 ■ Bq と見積もった。

108 号室の床の汚染については、除染前の床における表面密度の測定結果（図 6.2.8 及び図 6.2.11 参照）から、床面 80 m²の放射エネルギーは約 ■ Bq となる。壁と天井の汚染状況（図 6.2.12、図 6.2.14 及び

核物質防護上の観点から ■ の箇所は非開示としています。

図 6.2.15 参照) は、床のそれと比較して十分小さい。また、設置機器については、壁際のボンベスタンド等の備品やグローブボックス、Ar ガス雰囲気ユニットに汚染が検出されているが(図 6.2.13 及び図 6.2.16 参照)、それらの汚染レベルは当該機器が設置されている近傍の床面の汚染と同レベルであり、床面の汚染の評価に包含されるとみなせる。しかし、表面の形状が複雑な機器もあり、108 号室内全体(床面、壁、天井、設置機器)に対しては保守的に床面への飛散量の 2 倍として、放射エネルギーは約 ■ Bq と見積もった。

また、108 号室内には、ダストフィルタが 4 か所設置されている。これらのろ紙を回収してα線計測を実施した結果を表 6.6.2 に示す。さらに、室内には 4 台の空気雰囲気グローブボックスの給気フィルタが合計 4 か所と 108 号室の排気口が 2 か所設置されている。これらへの付着・移行量はそれぞれダストフィルタの最大値の 10 倍として、フィルタ等への移行量は合計で約 ■ Bq と見積もった。

以上のことから、貯蔵容器から飛散した放射性物質は、フード(H-1)前及びフード(H-1)内の養生シート上へ飛散した樹脂固化物(X線回折測定済試料)が大半を締め、その他の飛散量は 3 桁少ないレベルである。これらを合計すると、約 ■ Bq の核燃料物質(Am-241を含む。)が貯蔵容器から飛散したと評価した。核種ごとの飛散量を表 6.6.3 に示す。

6.7 作業員ケアに係る対応

事故が発生した翌日の平成 29 年 6 月 7 日以降、作業員 5 名は、量研 放医研へ入院し、体内に取り込まれた Pu 等の体外排泄を促進させる目的であるキレート剤の投与による治療と肺モニタ測定、バイオアッセイ等による検査を受けた。治療の効果に応じて作業員の入院回数は異なるものの、現在の全員の体調に特段の変化はない。

大洗研究開発センターにおいては、量研 放医研と協力しながら、産業医、保健師等による作業員及び家族との面談等を行い、ケアを実施している。

入院期間及び人数は以下のとおり。

- ・キレート剤投与による治療、バイオアッセイ等による検査

6 月 7 日～6 月 13 日 : 5 名

6 月 18 日～6 月 26 日 : 5 名

7 月 3 日～7 月 7 日 : 3 名

7 月 24 日～7 月 28 日 : 3 名

8 月 7 日～8 月 11 日 : 2 名

8 月 21 日～8 月 25 日 : 1 名

9 月 4 日～9 月 8 日 : 1 名

9 月 25 日～9 月 29 日 : 1 名

- ・定期検診

9 月 11 日～9 月 12 日 : 4 名

7. 調査結果に基づき推定した事象発生原因

7.1 破裂要因の分析による事象発生の原因

樹脂製の袋の破裂要因分析のため、フォルトツリー解析を行った。まず、「6.4」をベースとして、原因を特定すべき事象(トップ事象)を最外層のバウンダリである「二重目樹脂製の袋の破裂」として、

核物質防護上の観点から ■ の箇所は非開示としています。

その要因となる事象をこれ以上分解できない基本事象にまで順次分解することにより、フォルトツリー図を構築した。次に、抽出された基本となる要因（基本事象）各々の影響度評価を行って原因を推定し、対策を検討した。

(1) 樹脂製の袋の破裂事象要因分析のためのフォルトツリー図構築

図 7.1.1 に、構築したフォルトツリー図を示す。トップ事象である「二重目樹脂製の袋の破裂」は、「二重目樹脂製の袋の内圧上昇」及び「二重目樹脂製の袋の破損条件到達（条件変化含む。）」の 2 つの事象が重畳した場合に発生するとした。

「二重目樹脂製の袋の内圧上昇」については、内圧上昇による一重目樹脂製の袋の破裂あるいは破損、又は一重目樹脂製の袋の膨張により発生するとした。前者の「一重目樹脂製の袋の破裂あるいは破損」は、「二重目樹脂製の袋の破裂」と同様に、「一重目樹脂製の袋の内圧上昇」及び「一重目樹脂製の袋の破損条件到達（条件変化含む。）」の 2 つの事象の重畳により生じる。

一重目樹脂製の袋の破裂あるいは破損要因のうち、「一重目樹脂製の袋の内圧上昇」について、「内部でのガス発生」及び「内部温度上昇」を挙げた。

「内部でのガス発生」については、内蔵する Pu 等と有機物との相互作用や化学反応を要因として考え、基本事象として図 7.1.1 に示す①～⑧の 8 つの要因を考えた。一方、「内部温度上昇」をもたらす事象としては、化学反応熱の発生等による温度上昇を考え、基本事象として図 7.1.1 に示す⑤～⑩の 6 つの要因を考えた。

「一重目樹脂製の袋の破損条件到達（条件変化を含む。）」をもたらす事象としては、樹脂製の袋の品質劣化によるものと傷等によるものを考え、基本事象として図 7.1.1 に示す⑪～⑳の計 11 の要因を考えた。

以上のとおり、トップ事象「二重目樹脂製の袋の破裂」をもたらす要因として計 21 個の基本事象を抽出してフォルトツリー図を構築した。

(2) 各基本事象の影響度評価結果

構築したフォルトツリー図を構成する基本事象 21 個それぞれについて、「6.4」により得られた情報に加えて、作業員への聞き取り調査、帳票類・作業記録等の確認、現地調査、概略評価・文献調査及び検証試験により得られる情報に基づき、各基本事象がトップ事象である二重目樹脂製の袋の破裂に与える影響度（重要度）を評価した。評価に際し、以下の値を用いた。

- ・ガス発生による内圧上昇を計算するための基準となる体積は、貯蔵容器の容積 3.9 L から内容物としてポリ容器及び樹脂固化物の体積相当である 0.4 L を減じた 3.5 L とした（添付 7.1.1 ①「 α 崩壊による He ガス」参照）。
- ・樹脂製の袋に対する γ 線の挙動を粒子・重イオン輸送計算コード PHITS によりシミュレーションした結果から、樹脂製の袋への γ 線照射試験における 21 年間の貯蔵期間相当の照射量（吸収線量）を、一重目と二重目の樹脂製の袋に対してそれぞれ 227 kGy 及び 108 kGy とした（添付 7.1.2 参照）。
- ・貯蔵容器を模擬した金属容器及び蓋による外部からの拘束下において、未照射及び照射した樹脂製の袋を破裂又は破損するまで加圧する試験を行った結果から、当該貯蔵容器開封時と同様な樹脂製の袋の破裂又は破損状況となる内圧を 2.5 気圧程度以上とした（添付 7.1.3 参照）。

「二重目樹脂製の袋の破裂」に与える影響評価結果の一覧を表 7.1.1 に示す。また、評価の詳細を添付 7.1.1 に示す。「内部でのガス発生」のうち、樹脂製の袋の内圧増加に有意な影響を与え得る基本事

象は、②「混入有機物」、③「ポリ容器」及び④「混入水分」の3つであり、 α 線分解による21年間の貯蔵期間中のガス発生量は、それぞれ48 L、0.18 L及び0.09 Lと評価された。このことから、樹脂製の袋が破裂に至った主な原因は、発生ガスの評価量がほかの2つより圧倒的に多い②「混入有機物」であることを特定した。

なお、④「混入水分」によるガス発生量の評価については、吸着水分の全量が分解するなど過度に保守的な仮定をしていることから、実際にはその影響は無視できると考えられる。

(3) 樹脂製の袋が破裂に至った原因の特定

フォルトツリー解析により、樹脂製の袋の破裂は、主に②「混入有機物」の基本事象により発生したことを特定した。樹脂製の袋が破裂に至った原因を時系列で表した推定シナリオは以下のとおりである(図7.1.2参照)。

- ・平成3年にPu等の核燃料物質を含む樹脂固化物をポリ容器に入れ、ポリ容器を樹脂製の袋によって二重に封入し、貯蔵容器内に入れて貯蔵した。
- ・貯蔵期間中、主にPuからの α 線によりエポキシ樹脂が分解して水素やメタン等のガスが発生し、樹脂製の袋が膨張した。
- ・5年後の平成8年に貯蔵容器内容物の点検を行った。その結果、ポリ容器底部の変色と破損、樹脂製の袋の膨張等が確認されたため、梱包更新を行った。
- ・その後21年間の貯蔵期間中、放射線の影響により樹脂製の袋が劣化するとともに、ガス発生による内圧が当該貯蔵容器開封時と同様な樹脂製の袋の破裂又は破損状況となる内圧以上となった。しかしながら、樹脂製の袋は、貯蔵容器による拘束で破裂せずに留まっていた。
- ・フードで貯蔵容器内部を点検するため貯蔵容器の蓋を開封した。その結果、貯蔵容器による拘束を失って樹脂製の袋内外の圧力均衡が崩れ、樹脂製の袋の容器や蓋等で拘束されていない部分が、放射線照射によりもたらされた樹脂製の袋の引張強度や破断伸び低下の影響もあり、線状に裂ける形で破裂開口した。

以上の推定シナリオに基づき、発生ガス(水素及びメタン)の樹脂製の袋や貯蔵容器のOリングを通じた漏えいを考慮して、貯蔵期間中の樹脂製の袋の内圧上昇を計算した。計算の詳細は添付7.1.4に示す。エポキシ樹脂に含まれる核燃料物質の平均粒径、Am除去の有無及びOリングからのガス透過割合には不確かさがある。このためこれらの不確かさを考慮して、エポキシ樹脂からのガス発生量及びOリングを通じたガスの漏えい量が異なる3つのケースについて21年間の内圧上昇を計算した。図7.1.3に樹脂製の袋の内圧計算結果を示す。樹脂製の袋の内圧計算結果には大きな幅があるが、いずれのケースも、21年後の貯蔵容器開封時においては、当該貯蔵容器開封時と同様な樹脂製の袋の破裂又は破損状況となる内圧である2.5気圧以上となった。

(4) まとめ

樹脂製の袋の破裂に関して、破裂時の状況調査結果、作業員への聞き取り調査結果、有機物の放射線分解に関する検証試験結果等を基にフォルトツリー解析を行った。その結果、樹脂製の袋の破裂に至った原因は「内部でのガス発生」であり、Puからの α 線により「混入有機物(エポキシ樹脂)」、「ポリ容器」及び「混入水分」が分解して水素やメタン等のガスが発生し、樹脂製の袋が膨張したことが要因であることを推定した。さらに、貯蔵容器内容物及び飛散物の詳細な調査を行った結果、樹脂製の袋が破

裂に至った主な原因は「混入有機物（エポキシ樹脂）」によるものであることを特定した。樹脂製の袋の破裂に至る推定シナリオに基づいて 21 年間の貯蔵期間における樹脂製の袋の内圧を計算した結果、当該貯蔵容器開封時と同様な樹脂製の袋の破裂又は破損状況となる内圧以上であることを確認した。

7.2 放射性物質の摂取に至った原因推定

放射性物質の摂取に至った原因推定のために、洗い出した要因事象（表 7.2.1）を基に、要因分析図（図 7.2.1 参照）で作業員ごとの原因を推定（詳細は添付 7.2.1 参照）した。

(1) 樹脂製の袋の破裂時の放射性物質の摂取について

事故発生時、樹脂製の袋の破裂により Pu 等の粒子が飛散した。破裂の方向、聞き取り調査で得られた事故発生時の作業員の位置・行動範囲（図 7.2.2 参照）及び腹部等に風圧を感じたとの証言から、作業員 B、作業員 D 及び作業員 E は、飛散した Pu 等の粒子を直接浴びて体表面が汚染したと考えられる。一方、作業員 A 及び作業員 C は事故発生時の位置関係及び証言から飛散した Pu 等の粒子を直接浴びておらず、破裂で拡散した Pu 等の粒子により汚染したと考えられる。

① 破裂時の濃度上昇による半面マスクろ過材の放射性物質の透過

樹脂製の袋の破裂に伴う放射性物質の飛散により空气中放射性物質濃度が急激に上昇し、その一部が半面マスクのろ過材を透過し、放射性物質を吸入摂取した可能性が要因事象として考えられる。

作業員 5 名は国家検定を合格した形式の伝声板付半面マスク¹⁰を着用していた。半面マスクの汚染調査結果から Pu 等の放射性物質は半面マスクのろ過材を透過していない（6.5(2)参照）。スミヤろ紙等からの飛散した粒子の粒子径¹¹の評価結果においても平均で約 0.8～3.5 μm（添付 6.5.1 参照）の比較的大きな粒子であったことから、吸入する空気中に Pu 等の粒子が存在していたとしてもろ過材で十分に除去されたものと考えられ、放射性物質の半面マスクのろ過材の透過による吸入摂取の可能性は低いと推定される。

② 破裂時の密着性の低下に伴う吸入摂取

破裂時においては破裂に驚いたことにより半面マスクの密着性が低下（顔の緊張、顔をしかめる動作等）し、放射性物質を吸入摂取した可能性が要因事象として考えられる。この経路が考えられるのは、破裂時に Pu 等の粒子を直接浴びた作業員 B、D 及び E である。作業員 A 及び作業員 C については、破裂時に Pu 等の粒子を直接浴びていないことから、この経路による放射性物質の吸入摂取の可能性は低い。

作業員 B については、フードに近い場所において、飛散した Pu 等の粒子を直接浴びている。聞き取り調査では破裂時の風圧を感じたこと、その時に顔を背けたとの証言がある。また、作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染がある。これらのことから、破裂時に半面マスクの密着性が低下して放射性物質を吸入摂取した可能性が高い。

作業員 D については、フードに近い場所において、飛散した Pu 等の粒子を直接浴びている。聞き取り調査では破裂時の風圧を感じたが、破裂時に半面マスクがずれる動作はなかったと証言している。しかしながら、作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染がある。これらのことから、破裂時に半面マスクの密着性が低下して放射性物質を吸入摂取した可能性がある。

作業員 E は、フード前の最も汚染源に近い場所において、飛散した Pu 等の粒子を直接浴び、ほかの作業員に比べ高い顔面の汚染（81 Bq/cm²（25 kcpm））があった。作業中に着用していた半面マスク面体左

¹⁰ 半面マスク国家検定の区分：RL3（0.15～0.25 μm の粒子捕集効率 99.9 %以上）

¹¹ 実際の粒子の直径。内部被ばく線量評価に使用する空気力学的放射能中央径（AMAD）とは異なる。

側の下部の汚染は、イメージングプレート画像から破裂時に飛散した Pu 等の粒子が顔面左側下方の半面マスク接顔面に付着した痕跡と認められる。一方、聞き取り調査では風圧を感じたが、反射的な動きはしておらず、風圧で半面マスクが浮く感じはなかったとの証言がある。これらのことから、破裂時に非常に高い汚染を直接浴びており、半面マスクが風圧でずれるほどではなかったものの、飛散した Pu 等の粒子が半面マスク内に入り込み、放射性物質を吸入摂取した可能性が高い。

(2) 108 号室での放射性物質の摂取について

① 会話等による密着性の低下に伴う吸入摂取

作業員同士のコミュニケーションや室外との電話や口頭での連絡等で大声を出した際、半面マスクの密着性が低下し、放射性物質を吸入摂取した可能性が要因事象として考えられる。樹脂製の袋の破裂後、汚染の拡大を防ぐために作業員はあまり動き回らず、立った姿勢でいた。作業員間での必要最低限の会話がなされていた。半面マスクは伝声板付きのもので会話に苦勞するものではなかった。聞き取り調査において、作業員全員は、半面マスク装着時に陰圧法¹²で半面マスクの接顔部から空気の流入のないことを確認していたとの証言が得られている。

作業員 A については、作業中に着用していた半面マスクに汚染は検出されなかった。しかしながら、室内の会話に加えて、電話等による外部との連絡を行っており、作業中に着用していた半面マスクのしめひもの伸縮性が弱まっていたことを確認した。これらのことから、会話等により半面マスクの密着性が低下し、特殊作業衣等の体表面の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性がある。

作業員 B については、作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染があった。室内では会話がなされた。これらのことから、会話により半面マスクの密着性が低下し、顔面等の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性が高い。

作業員 C については、作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染がある。室内での会話を行っている。また、半面マスクのしめひもの伸縮性が弱まっていたことを確認した。これらのことから、会話により半面マスクの密着性が低下し、顔面等の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性が高い。

作業員 D については、作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染がある。室内での会話に加え、電話等での室外との連絡を行っている。これらのことから、半面マスクの密着性が低下し、顔面等の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性が高い。

作業員 B については、顔面等及び作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染がある。室内での会話を行っている。これらのことから、会話により半面マスクの密着性が低下し、顔面等の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性が高い。

② 発汗等による密着性の低下に伴う吸入摂取

発汗及び呼気中水蒸気の半面マスク内での結露により半面マスクの密着性が低下し、放射性物質を吸入摂取した可能性が要因事象として考えられる。聞き取り調査では作業員 5 名は滴るほどではなかったが発汗を感じていたとの証言が得られている。

作業員 A は、作業中に着用していた半面マスクに汚染は検出されなかった。しかしながら、発汗を感じている。これらのことから、発汗等により半面マスクの密着性が低下し、特殊作業衣等の体表面の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性がある。

作業員 B は、作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染があり、発汗を感じている。これらの

¹² 半面マスクのフィルタを手で塞ぎ、フィルタ以外からの流入がないことを確認する方法

ことから、発汗等により半面マスクの密着性が低下し、顔面等の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性が高い。

作業員 C 及び D は、作業時に装着していた半面マスクの接顔部、吸気弁下流側、排気弁上流側に汚染があった。また、イメージングプレート画像では、接顔部隙間からの放射性物質の侵入の痕跡が認められた。さらに発汗を感じている。このことから、発汗等により半面マスクの密着性が低下し、顔面等の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性が高い。

作業員 E は、作業中の半面マスク面体の接顔部、吸気弁下流側、排気弁上流側に高い汚染があり、イメージングプレート画像から接顔部との隙間の汚染が内部に移動した痕跡が認められている。頭部には 81 Bq/cm^2 (25 kcpm) (ほかの作業員の 50 倍程度) の汚染が付着した状態であった。また、発汗を感じている。これらのことから、発汗等で半面マスクの密着性が低下し、顔面等の放射性物質が半面マスク内に侵入して吸入摂取した可能性が高い。

③ 汗で流れた頭部等の放射性物質の侵入による経口摂取

作業員の頭部及び顔面の放射性物質が汗とともに流れ、半面マスク内に侵入し、経口摂取したことが要因事象として考えられる。

聞き取り調査では、半面マスクの接顔部に汗を感じていたが、滴るほどではなかったとの証言が得られている。したがって、頭部から滴った放射性物質を含む汗の侵入はなく、汗の飲み込みによる放射性物質の経口摂取の可能性は低いと推定される。

(3) 脱装及び除染時の放射性物質の摂取について

① 半面マスク交換時等の吸入摂取

半面マスクを汚染していないものに交換する際(短時間だが半面マスクを装着しない状態となる)に、グリーンハウス内で放射性物質を吸入摂取した可能性が要因事象として考えられる。108号室からは、作業員 A、B、C、D、E の順に退出した。作業員 B、作業員 C、作業員 D 及び作業員 E の 4 名はグリーンハウス 1 で半面マスクを交換したが、顔面の拭き取りや汚染を固定するなどの措置は行われていない。また、グリーンハウス 2 を出てから除染開始までの間に半面マスクを一時的に外して、鼻スミヤを採取した。聞き取り調査から半面マスク交換時及び鼻スミヤ採取時は息を止めていたとの証言が得られている。

作業員 A については、特殊作業衣及び特殊作業帽子の汚染レベルは低く、これら脱装後に半面マスクを外し、退出を完了した。脱装後の頭部、顔面等の身体には汚染は検出されておらず、脱装時及び鼻スミヤ採取時の放射性物質の吸入摂取の可能性は低いと推定される。

作業員 B、作業員 C、作業員 D 及び作業員 E は、半面マスク交換時及び鼻スミヤ採取時に息を止めていたが、交換後の半面マスク接顔部に汚染があり、頭部及び顔面に付着していた放射性物質を吸入摂取した可能性がある。

② 身体除染時の経口摂取

流水による除染の際、頭髮や顔面を除染した水が口元などにまわり放射性物質を経口摂取した可能性が要因事象として考えられる。皮膚や頭髮に汚染のあった作業員 4 名は、順番にシャワー室において、洗剤等により自ら除染を行った。半面マスクは、除染開始の直前に外した。作業員の聞き取り調査において頭部及び顔面に汚染があることを認識しており、身体除染中に洗淨水を飲み込まないように注意していたとの証言が得られていることから、身体除染中の放射性物質の経口摂取の可能性は低いと推定され

る。

③ 鼻腔除染時の経口摂取

鼻腔除染の際、誤って一部の汚染が口腔側にまわり放射性物質を経口摂取した可能性が要因事象として考えられる。鼻腔除染を行った作業員2名については、聞き取り調査において鼻腔除染中の洗浄水が汚染している可能性を認識しており、鼻腔除染中に洗浄水を飲み込まないように注意していたとの証言が得られていることから、鼻腔除染中の放射性物質の経口摂取の可能性は低いと推定される。

(4) 放射性物質の摂取の推定原因

本事故において作業員が放射性物質を摂取した推定原因は以下のとおりである。

- ・作業員Aについては、会話や発汗等による半面マスクの密着性の低下により特殊作業衣等の体表面の放射性物質が侵入し、これを吸入摂取した可能性がある。一方、破裂時及び脱装時に放射性物質を吸入摂取した可能性は低い。
- ・作業員Bについては、破裂時の密着性の低下及び会話や発汗等による密着性の低下により顔面等の放射性物質が侵入し、これを吸入摂取した可能性が高い。また、脱装時に放射性物質を吸入摂取した可能性がある。
- ・作業員Cについては、会話や発汗等による密着性の低下により顔面等の放射性物質が侵入し、これを吸入摂取した可能性が高い。また、脱装時に放射性物質を摂取した可能性がある。一方、破裂時に放射性物質を吸入摂取した可能性は低い。
- ・作業員Dについては、会話や発汗等による密着性の低下により顔面等の放射性物質が侵入し、これを吸入摂取した可能性が高い。また、破裂時及び脱装時に放射性物質を吸入摂取した可能性がある。
- ・作業員Eについては、これまでの作業やマスクマンテスト受検の履歴、着用していた半面マスクの外観確認の結果から半面マスクの状態及び着用状態に問題はなかったといえること、破裂により飛散したPu等の粒子を直接浴びており半面マスク表面を含む顔面及び半面マスク面体の接顔部に極めて高いPu等の放射性物質による汚染を確認したことから、密着性の著しい低下はなかったものの、わずかな隙間から侵入した放射性物質を吸入摂取したと考えられる。放射性物質が侵入したタイミングは、破裂の直後及びその後のいずれも可能性があり、どちらが内部被ばく線量に大きく寄与しているかは特定できない。

(5) まとめ

半面マスクの汚染状況、防護性能等の調査及び作業員からの聞き取り調査を行い、放射性物質の摂取に至った原因を推定した。その結果は、次のとおりである。

- ・半面マスクは、顔面等に付着した放射性物質の接顔部からマスク内部への侵入を防ぐ性能は有していない。このため、破裂時の密着性低下、会話／発汗等による密着性の低下により、顔面等に付着したPu等の放射性物質が接顔部からマスク内へ入り込み、放射性物質を吸入摂取した可能性が高い。
- ・脱装時の半面マスクの交換等において、拭き取り等の処置をせずに顔面等が汚染した状態のまま半面マスクを取り換えるなど、放射性物質の摂取を防止するための対応が十分ではなかったため、頭部及び顔面に付着していたPu等の放射性物質を吸入摂取した可能性がある。

8. 原因分析及び対策

8.1 燃料研究棟における組織の変遷と当該貯蔵容器の取扱い等の概要

日本原子力研究所大洗研究所管理部（当時）は、燃料研究棟で高速増殖炉用炭化物及び窒化物燃料（以下「炭窒化物燃料等」という。）の研究開発の保安に係る業務を行うため、プルトニウム技術開発室を設置していた。また、日本原子力研究所東海研究所燃料工学部プルトニウム燃料研究室（当時）では、燃料研究棟で研究業務を行う室員をプルトニウム技術開発室の兼務としていた。プルトニウム技術開発室において、X線回折測定用試料を作製し、X線回折を実施するまでの業務はプルトニウム燃料研究室の兼務者が担当し、その後のX線回折測定済試料からの核燃料物質の分離、核燃料物質の貯蔵、貯蔵容器の管理及び計量管理は、プルトニウム技術開発室の本務者が担当していた。

今回の事故の発端となった貯蔵容器 No. 1010 には、平成 3 年 10 月、グローブボックス内で保管されていた X 線回折測定済試料が、酸化加熱処理されずにポリ容器に入れられ、樹脂製の袋（二重）に封入された状態で収納されたものと推測される。

平成 8 年 5 月～平成 9 年 2 月に、空容器を除く 64 個の貯蔵容器の内容物確認・梱包更新が行われた。この点検作業の結果、貯蔵容器 No. 1010 には、内容物のポリ容器が変色、損傷し、樹脂製の袋が膨張しているなどの異常が確認された。しかし、その点検作業の目的がポリ容器及び樹脂製の袋の交換（梱包更新）であったとの理由で貯蔵方法は変更されず、異常発生の原因検討や容器の材質変更等の見直しは行われなかったと推測される。さらに、点検結果は貯蔵容器ごとに表にまとめられたが、正式な保安記録として保管されず、情報継承がなされなかった。

その後、当該貯蔵容器 No. 1010 は、平成 29 年 6 月 6 日まで蓋を開けられることはなかった。

以上の経緯に加え、今回発生した事故に関連した事実関係の詳細を添付 8.1.1 に示す。

8.2 原因分析

当時の状況を調査するとともに、汚染と被ばくに至った管理上の原因について分析を行った。具体的には、「7.1」の事象発生原因で特定された「樹脂製の袋の破裂の主な要因は「混入有機物（エポキシ樹脂）」によるものであること」及び「7.2」の放射性物質の摂取に至った原因で推定された「顔面等に付着した Pu 等の放射性物質が接顔部から入り込み、放射性物質を吸入摂取した可能性が高い」並びに「8.1」（添付 8.1.1）に示した事実関係（エビデンス）のほか、関係者への聞き取り調査の結果を踏まえ、5 項目の問題となる事象を抽出した。その上で、抽出した問題の背後にある要因を分析し、12 項目の直接的な原因を明らかにした。

以下に、抽出した 5 項目の問題となる事象（(1)～(5)）及び 12 項目の直接的な原因（①～⑫）を示す。

(1) X線回折測定済試料からエポキシ樹脂を除去せず封入していた、またその情報が引き継がれていなかった。

① 初代プルトニウム技術開発室長は、貯蔵容器に貯蔵した核燃料物質の状態の記録についてルール化し引き継ぎすべきであったが、計量管理の核燃料物質移動票（燃料研究棟内移動票を含む。）で核燃料物質の管理ができることから貯蔵容器に貯蔵した核燃料物質及びその状態の記録を残すことをルール化していなかった。

- ② 初代プルトニウム技術開発室長は、X線回折測定済試料を酸化加熱処理してから回収した核燃料物質を貯蔵容器に保管するまでの作業方法をルール化し引き継ぎすべきであったが、炭窒化物燃料等は安定化処理のための酸化加熱処理を徹底してきたことから、X線回折測定済試料も同様に酸化加熱処理するものと考えルール化していなかった。
- ③ 平成2年頃、プルトニウム技術開発室長は、プルトニウム技術開発室及び実験しているプルトニウム燃料研究室の関係者と協議を行わずに、試料中の核燃料物質は安定していると判断し、初代プルトニウム技術開発室長から引き継いだ有機物と混在した核燃料物質の酸化加熱処理の中止を決定した。これ以降、X線回折測定済試料の酸化加熱処理は行われてこなかった。
- ④ 平成3年10月、プルトニウム技術開発室長は、放射線安全取扱いの貯蔵の条件を考慮しX線回折測定済試料を酸化加熱処理して貯蔵容器に貯蔵すべきであったが、当時の放射線安全取扱いで「3.3.3 貯蔵の条件 (4)放射線分解によるガス圧の上昇に十分注意する。」と定めていることに反し、十分な確認を行わずに、X線回折測定済試料のエポキシ樹脂はPuの放射線による放射線損傷に対する影響が少ないと考え、酸化加熱処理をしないまま貯蔵していた。
- ⑤ 平成8年、プルトニウム技術開発室長は、樹脂製の袋の膨張とポリ容器の破損までも確認したにもかかわらず、放射線安全取扱いの要件（貯蔵の条件）に反し、新しい樹脂製の袋やポリ容器に交換しただけで、酸化加熱処理を行った上で金属容器への変更等の異常状況の回避、その記録を残し定期的な点検を指示する等の改善をしていなかった。そのため、これ以降、貯蔵状況の改善や定期的な点検は実施されてこなかった。

核燃料物質の安定化及び貯蔵並びにその情報の引き継ぎに関する事項がルール化されていなかった点について、当時の保安規定に「手引の作成」に関する明確な要求はなかったが、作業を実施する上でそれらの対応に係る手引を定めておくべきであった。現在は、保安規定第7編第2条「手引の作成」に基づき下部要領「燃料研究棟使用手引」及び「燃料研究棟本体施設作業要領」に「核燃料物質の管理に関する事項」を規定しているが、その中に情報の引き継ぎに関する事項が定められていないことから、当該手引を改善する必要がある。

また、X線回折測定済試料からガスの発生が知られていたエポキシ樹脂を除去せず封入していた点については、貯蔵を開始した当時から現在に至るまで、保安規定の下部要領「放射線安全取扱い」に定める貯蔵時の条件「放射線分解によるガス圧の上昇に注意する」が考慮されていなかった。このことは、当時の保安規定第6編第24条及び現在の保安規定第7編第19条「核燃料物質の貯蔵」に関する事項に抵触する。

- (2) 核燃料物質の保管に関して、Puの取扱い、貯蔵（保管）に関する技術情報の考え方が活かされていなかった。
- ⑥ 歴代のプルトニウム技術開発室長、燃料製造試験課長及び燃料試験課長は、IAEAやDOEで示されたPuの取扱い、貯蔵（保管）に関する技術情報について、Puを取り扱う部署として情報を入手し業務に反映すべきだったが、当該情報を確認していなかった。このため、燃料研究棟における核燃料物質の貯蔵において、金属容器への保管や有機物を含めない等の改善が行われてこなかった。

核燃料物質の保管に関して、過去において Pu の取扱い、貯蔵（保管）に関する技術情報の考え方が活かされていなかった点については、当時の保安規定には予防処置に関する明確な要求はなかったが、不適合の発生を予防する上で、核燃料物質の取扱いに関する技術情報を収集し、手引に反映しておくべきであった。現在は、保安規定第 1 編第 18 条「予防処置」の第 2 項に関して下部要領「大洗研究開発センター品質保証に係る不適合管理並びに是正処置及び予防処置要領」に「予防処置の計画及び実施に関する事項」を規定しているが、結果として技術情報が反映されなかったことから、予防処置の手順を改善する必要がある。

- (3) 燃料研究棟では、貯蔵容器をフードで蓋を開け内容物を確認する際に、樹脂製の袋が破裂し、室内が汚染する可能性があることを想定していなかった。
- ⑦ 燃料試験課長、マネージャー及び担当者は、クローブボックスから核燃料物質を移動する作業計画書を作成する際、付随作業であっても貯蔵容器内の不明瞭な核燃料物質を確認する場合には、フード以外の適切な場所及び放射線防護具を選定した上で具体的な手順を含む作業計画を作成すべきであったが、事前の調査で貯蔵された核燃料物質は安定化処理等、安全な状態で保管されていると考えてしまい、不明瞭な核燃料物質により室内が汚染するようリスクを防止する詳細な作業計画書を作成していなかった。
- ⑧ 福島燃料材料試験部長、燃料試験課長、マネージャー及び担当者は、安全・核セキュリティ統括部から平成 29 年 1 月 26 日に「サイクル研プルトニウム燃料技術開発センターの原子力規制庁面談情報」（樹脂製の袋の膨れによるものの取扱いに関する情報を含む。）が配信されたが、面談結果の周知であったため、添付資料中の「樹脂製の袋の膨れによるものの取扱いに関する情報」に気が付かなかった。

貯蔵容器をフードで蓋を開け内容物を確認する作業計画作成の際に、樹脂製の袋が破裂し、室内が汚染する可能性があることを想定していなかった点については、保安規定の下部要領「燃料研究棟本体施設・特定施設作業要領」及び計画立案時点での情報に基づいて作業計画を立てたが、貯蔵容器内容物の安定化に係る情報が正確ではなく、結果として事故の発生を想定できなかったことから、保安規定第 2 編第 16 条「放射線作業計画」の第 2 項第 2 号から第 4 号「作業場所、作業内容及び放射線防護具の検討」の手順を改善する必要がある。

また、「サイクル研プルトニウム燃料技術開発センターの原子力規制庁面談情報」の中の「樹脂製の袋の膨れによるものの取扱いに関する情報」に燃料研究棟関係者が気付かなかった点については、前項(2)の予防処置に関する事項と同様に技術情報が反映されておらず、予防処置の手順を改善すべきであった。

- (4) 貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり「シュ」という内圧が抜ける音になり汚染検査を実施したが、蓋の浮き上がり等通常とは異なる状態を異常と認識できず作業を継続した。
- ⑨ 作業員 E は、貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり「シュ」という内圧が抜ける音がした際に、作業を一旦停止して、ガスが発生している可能性を想定し対応策を検討すべきであったが、ホールドポイント（作業中断点）を定めていなかったため、異常と認識できず残りのボルトを外して蓋を開けても問題ないと考えてしまった。

貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり「シュ」という内圧が抜ける音になったことを放射線分解ガスに起因する異常と認識できずに作業を継続した点については、ホールドポイントが定められていなかったため作業員の判断で貯蔵容器の汚染検査をするにとどまり、結果として作業を中断できず作業計画を見直せなかったことから、保安規定第2編第16条「放射線作業計画」の立案に当たり、「作業の内容の検討」の手順を改善する必要がある。

- (5) 作業員は、貯蔵容器内の確認作業において作業計画に従い半面マスクを装着していたが、樹脂製の袋が破裂することを想定していなかったことから飛散した核燃料物質を吸入摂取した（作業計画に関する原因は(3)⑦に関連する。）。
- ⑩ 作業員Eは、樹脂製の袋が破裂し、作業服や顔面等、全身汚染をした際、皮膚に付着した核燃料物質が汗等で半面マスク内に入り込むことを抑制するための応急的な処置を行うことが被ばく防止につながるが、大洗研究開発センターには明確な手順がなかったことから、室内への汚染拡大をさせないため、退室するまで発災時の立ち位置に待機し、汚染部位の拭き取りや固定（封じ込め）及びしめひもの締め付けの調整の措置を行わなかった。
- ⑪ 放射線管理第2課員は、汚染検査のほか、半面マスクを交換し、特殊作業衣を脱装するに当たって、汚染した作業員の退出を補助する際、顔面等の汚染部位の拭き取りや固定（封じ込め）を助言することが被ばく防止につながるが、大洗研究開発センターには明確な手順がなかったことから、半面マスクの交換を優先し、顔面等の汚染部位の拭き取りや固定（封じ込め）の助言を行わなかった。
- ⑫ 福島燃料材料試験部長は、緊急時にグリーンハウスを設営して作業員を退室させる場合はグリーンハウスをなるべく短時間で設置すべきであったが、燃料研究棟でグリーンハウスを設置するような事故を想定していなかったことから、資材調達や設営作業に手間取った。

作業員が事故で飛散した核燃料物質を吸入摂取した点については、(3)⑦のとおり計画段階において今後改善していく必要があるが、事故直後に顔面近傍の汚染が除去されず皮膚に付着した核燃料物質が半面マスクの内側に侵入したことについては、保安規定第2編第19条の2「身体に汚染を認めた場合の措置」の第4項「汚染の除去」に対して改善の余地がある。

また、グリーンハウスの設営に時間を要したことについては、保安規定の下部要領「福島燃料材料試験部事故対策要領」に事故対応を迅速かつ適切に遂行できるよう、あらかじめ防護機材の点検・整備及び保守を行うことが定められているが、グリーンハウスの資材は対象になっていなかった。しかし、今回の事故対応において結果的に作業員を退出させるためにグリーンハウスを設営しことから、保安規定第1編第28条「非常事態における活動」に関する事項について改善の余地がある。

8.3 事故の再発防止対策

「8.2 原因分析」の結果を基に、汚染及び被ばくに至った12項目の直接的な原因に対し、(1)汚染の発生防止、(2)被ばくの発生防止の2つの側面から、以下に掲げる事項の再発防止対策を講ずる。また、今回の事故で顕在化した除染用設備及び身体汚染検査の管理に関する問題についても改善を検討した。

(1) 汚染の発生防止について（問題となる事象(1)～(4)）

① 原因①の対策

燃料試験課は、関係者と協議し核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項（放射能・放射線情報、物理・化学性状情報、臨界管理情報等、同梱物の性状、使用履歴等）を明確にし、それらの記録の管理について手順化し確実なものとする。

② 原因②の対策

燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。

- (a) Pu、Am 等 α 線を放出する核種を含む試料は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱により分解・除去する。
- (b) Pu、Am 等 α 線を放出する核種を含む粉末状の試料は、ポリ容器等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。
- (c) 容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。
- (d) 炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化処理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。

③ 原因③の対策

燃料試験課は、関係者と協議し核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項（放射能・放射線情報、物理・化学性状情報、臨界管理情報等、同梱物の性状、使用履歴等）を明確にし、それらの記録の管理について手順化し確実なものとする。【原因①の対策と同じ。】

また、燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。

- (a) Pu、Am 等 α 線を放出する核種を含む試料は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱により分解・除去する。【原因②の対策と同じ。】
- (b) Pu、Am 等 α 線を放出する核種を含む粉末状の試料は、ポリ容器等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。
- (c) 容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。
- (d) 炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化処理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。

④ 原因④の対策

燃料試験課は、現在の放射線安全取扱手引の「3.3.4 貯蔵の条件 (4)放射線分解によるガス圧の上昇に十分注意する。」ことの趣旨を理解させるために今回発生した事故に関する原因（エポキシ樹脂と Pu の放射線による影響でガスが発生すること）と対策を教育する。

⑤ 原因⑤の対策

燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。【原因②の対策と同じ。】

- (a) Pu、Am 等 α 線を放出する核種を含む試料は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱に

より分解・除去する。

- (b) Pu、Am 等 α 線を放出する核種を含む粉末状の試料は、ポリ容器等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。
- (c) 容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。
- (d) 炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化处理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。

また、燃料試験課は、核燃料物質を貯蔵するに当たって、内容物の点検項目、点検方法及び点検頻度を明確にする（通常状態と異常状態の判断基準及び交換基準の明確化を含む。）。

⑥ 原因⑥の対策

福島燃料材料試験部は、DOE-STD レポートや IAEA Safety Report の核燃料物質の貯蔵に関する最新の安全情報や国内の核燃料物質の管理に関する情報等の知見を適宜入手し、レビューした上で関係規定類へ反映する。

⑦ 原因⑦の対策

福島燃料材料試験部は、取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合について、以下の対策を講ずる。

- ▶ リスクを考慮した安全な作業計画を作成するため、核燃料物質の安全取扱い、作業方法（作業場所及び防護装備の選定を含む。）等の基本的事項を手順で明確にする。
- ▶ リスクを回避するため手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント（作業中断点）を作業計画で明確化する。

⑧ 原因⑧の対策

福島燃料材料試験部は、DOE-STD レポートや IAEA Safety Report の核燃料物質の貯蔵に関する最新の安全情報や国内の核燃料物質の管理に関する情報等の知見を適宜入手し、レビューした上で関係規定類へ反映する。【原因⑥の対策と同じ。】

⑨ 原因⑨の対策

福島燃料材料試験部は、取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合について、リスクを回避するため手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント（作業中断点）を作業計画で明確化する。【原因⑦の対策と同じ。】

(2) 被ばくの防止について（問題となる事象(5)）

⑩ 原因⑩及び⑪の対策

福島燃料材料試験部は、性状不明で安全性に疑義がある放射性物質等を取り扱う場合には、汚染事故の発生も想定して、安全性の高い上位の装備を選定するよう、規定類を改定する。

安全管理部は、以下の被ばく防止のための応急的な措置に関する対策を講ずるとともに、事故時の対応（関与）を明確にする。

- 呼吸保護具の適切な使用のために、「しめひも」の伸縮性など防護性能に影響を及ぼす項目に対する点検の徹底・強化及び適切な装着を確実にするための教育訓練の充実を図る。
- Pu など α 線放出核種によって頭部や顔面が汚染された状況において、身体除染の応急処置として、顔面近傍に付着した放射性物質の拭き取りや固定の実施、汗等による半面マスクの密着性の低下に備えて半面マスクの「しめひも」をきつく締め直すなどの応急的な密着性の強化の方法を手順として明確にする。また、頭部及び顔面に汚染のある状態での退出後の脱装方法、半面マスクの交換時や鼻スマヤ採取時の汚染の拭き取りや固定方法を検討し、内部被ばくの可能性を低減する手順を具体化する。その際、身体除染の応急処置に必要な資材の準備と作業手順を明確にする。
- 半面マスクの密着性に係る事項について、使用前点検、フィッティングテストなどの半面マスクの適切な装着を確実にする措置の充実を図る。

② 原因⑫の対策

大洗研究開発センターは、以下の対策を講ずる。

- 管理区域内のある程度の汚染拡大は許容し、身体汚染の飛散を抑制する措置（養生シートで身体を覆う等）を講じた上で作業員を発災場所から退出させることを含め、判断や対応に迷いや遅れが生じないように、退出基準（例えば、室内の広範囲に汚染が拡大していること、顔面近傍に身体汚染があること等）や汚染拡大の影響を最小限にとどめる方策（例えば、身体を覆う養生シート、簡易テント等の事前準備）を定める。この方策には、作業の特殊性や取扱対象物の危険性から事故時の影響が大きいと予想される場合、又は、発災現場から退出すると汚染が管理区域外に拡大するおそれがある場合には、あらかじめ事故時退出用のグリーンハウスを作業場所の外側に設置しておくことも勘案する。
- 事故を想定し必要となる設備、資機材や要員等を再度確認し、それら資機材等が常に利用できるよう維持管理することや、実効的な訓練により、速やかな対応が取れる仕組みを構築する。

以上の対策と直接的な原因の関連を表 8.3.1 に示す。

(3) 事故発生後に顕在化した問題の改善について

① 除染用設備の管理

除染用シャワーについて、保安規定の下部要領「福島燃料材料試験部事故対策要領」及び「放射線安全取扱手引」に基づき定期的に点検を行っていた。しかし、今回の事故対応において身体除染の際に除染用シャワーに不具合があり、別建家からホースで洗浄水を引き込むなど、除染用シャワーが必要ときに使えなかったことから、管理区域の放射線管理における洗浄設備の管理に問題があった。

これに対する原因と対策は次のとおりである。

- ・原因：燃料試験課担当者は、手洗いの出方が悪くなっていることに気が付いた際に、原因である減圧弁を補修（交換）し正常な状態にすべきだったが、出方が多少悪くなくても利用できるため、問題ないと考えたものの、除染用シャワーが長時間利用できなくなることに気が付かず、適切に補修していなかった
- ・対策：燃料試験課は、除染用設備の点検方法及び系統の保守管理に関して、確実な点検及び適切な

保守管理が行えるよう、管理要領を改定する。

② 身体汚染検査の管理

作業員の身体除染後、燃料研究棟の管理区域から退出する際には、保安規定の下部要領「放射線安全取扱手引」に基づき身体汚染検査を行い検出下限値未満であると判断されているが、結果として身体汚染が残留していたことが問題であった。

これに対する原因と対策は次のとおりである。

- ・原因：放射線管理第2課員は、除染用シャワーにより身体汚染の除染を行ったのちの汚染検査の際に、時間をかけてα線のダイレクトサーベイを実施したが、汚染が残っていることに気が付かなかった
- ・対策：安全管理部は、身体除染の確認の方法に関して、身体除染の方法や除染後の測定方法に関する手順等を明確にする。

8.4 原因及び対策のまとめ

(1) 今回の事故における直接的な原因(12項目)及びその他顕在化した除染用設備と身体汚染検査の問題の原因(2項目)と合わせて、合計14項目の原因が保安要求に対して十分でなかった。それぞれ対策を講ずる必要があるが、今回の事故の原因として、最も深刻と考えられる原因は、以下の貯蔵時とその後の点検時の2点である。

- ① 平成3年、放射線安全取扱手引の要件(貯蔵の条件)に反し貯蔵容器No.1010にX線回折測定済試料を酸化加熱処理せず貯蔵した。
- ② 平成8年、ポリ容器の破損や樹脂製の袋の膨張を確認したにもかかわらず、放射線安全取扱手引の要件(貯蔵の条件)に反し金属容器への変更や点検などの改善及びこれらの情報が継承されなかった。

このため、以下の対策を早急に講ずることとする。

- ▶ 核燃料物質の貯蔵の条件である「放射線分解によるガス圧の上昇に十分注意する」ことの趣旨を理解させるために、今回発生した事故に関する原因(エポキシ樹脂とPuの放射線による影響でガスが発生すること)と対策を教育する(原因④の対策)。
- ▶ 核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項(放射能・放射線情報、同梱物の性状、使用履歴等)を手順に明確にし、それらの記録の長期にわたる管理を確実なものとする(原因③の対策)。
- ▶ 核燃料物質を安定して保管するために、核燃料物質の貯蔵及び管理に関する基本的な基準を策定する(原因④、⑤の対策)。

(2) (1)に加え、以下の2つに示すようにリスクを回避する機会を逸してしまった。

- ① 貯蔵容器の点検等の計画段階において、貯蔵容器の内容物に関する情報を調査したものの、核燃料物質は安定化した状態で保管されていると思い込み、汚染のリスクを防止する詳細な作業計画書を作成していなかった
- ② 点検等の作業中において、貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際、これまでに経験のない蓋の浮き上がりや内圧が抜ける音に対して異常と認識できず、作業を中断できなかった。

これらについて以下の対策を講ずることが、今後同様の事故防止の観点から極めて重要である。

- ▶ 取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合は、リスクを考慮した安全な作業計画を作成するため、核燃料物質の安全取扱い、作業方法（作業場所及び防護装備の選定を含む。）等の基本的事項を手順に明確にする（原因⑦の対策）。
- ▶ リスクを回避するため、手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント（作業中断点）を作業計画で明確化する（原因⑨の対策）。

9. 再発防止に向けた水平展開

本事故の発生に伴い、原子力機構全体で安全最優先の再徹底を図るとともに、核燃料物質を扱う類似の全作業を停止した（添付 9.1 参照）。類似事象の再発防止の観点で今後実施する水平展開に向けて核燃料物質の管理状況、核燃料物質を貯蔵又は保管する容器（以下「貯蔵容器等」という。）の健全性を確認するための調査、点検を実施した。また、調査の結果を踏まえ、貯蔵容器等について、ガスの発生及び破裂の観点で、確認、評価し、安全に貯蔵又は保管されていることを確認した。燃料研究棟で破裂した貯蔵容器と同種の容器については、別途記録等を詳細に確認しており、原因究明の結果に基づく再発防止対策を踏まえ、適切に対応する（添付 9.2 参照）。

また、水平展開として、各拠点の緊急時対応について、除染設備（除染用シャワー及び除染キット）、グリーンハウス・養生資材の現状を確認した。その結果、現状の除染設備等は、適切に維持管理されているが、これらの設置や点検について要領書等で明確に記載されていない例があり、また、これらを用いて燃料研究棟の事故のような重度の身体汚染を想定した訓練は多くの拠点で実施されていないことを確認した。今後、要領書等の見直しや訓練を計画的に進める。

今後、原因究明及び原因分析の結果に基づき「8. 原因分析及び対策」でまとめられた再発防止対策を基に、核燃料物質の安定化処理、貯蔵容器等の材質など核燃料物質の安全な貯蔵又は保管に係る事項及び重度の身体汚染が発生した場合の早期の退域など内部被ばくの防止に係る事項について、原子力機構の「安全に関する水平展開実施要領」に従い各拠点に水平展開する。各拠点においては、核燃料物質の管理の実状に応じて反映について検討し、必要な改善を図る。併せて、ガス発生や破裂による汚染を防止するための核燃料物質の貯蔵又は保管の際に注意すべき事項、貯蔵又は保管に係る記録の内容や保存等に係る基本的な管理基準を定め、原子力機構における核燃料物質の管理の改善を図っていく。

本事故に係る根本的な原因分析により抽出された組織的要因について、大洗研究開発センターにおいて改善に向けた是正処置を進めるとともに、その結果を踏まえ、原子力機構内での水平展開を図る。

10. まとめ

平成 29 年 6 月 6 日の事故発生後、樹脂製の袋の破裂に係る原因究明、作業員の被ばく評価、現場復旧等に取り組んできた。今般、樹脂製の袋の破裂に至った原因を特定したこと、放射性物質の摂取に至った原因を推定したこと、事故発生に至った原因の分析を行って再発防止対策を策定したこと及び現場復旧の見通しを得たことから、それらの結果及び状況を取りまとめ、第 3 報として報告する。

事故の原因究明に係る対応では、樹脂製の袋の破裂に関して、破裂時の状況調査結果、作業員への聞き取り調査結果、有機物の放射線分解に関する検証試験結果等を基にフォルトツリー解析を行った。その結果、樹脂製の袋の破裂に至った原因は「内部でのガス発生」であり、Pu からの α 線により「混入有

機物（エポキシ樹脂）」、「ポリ容器」及び「混入水分」が分解して水素やメタン等のガスが発生し、樹脂製の袋が膨張したことが要因であることを推定した。さらに、貯蔵容器内容物及び飛散物の詳細な調査を行った結果、樹脂製の袋が破裂に至った主な原因は「混入有機物（エポキシ樹脂）」によるものであることを特定した。樹脂製の袋の破裂に至る推定シナリオに基づいて 21 年間の貯蔵期間における樹脂製の袋の内圧を計算した結果、当該貯蔵容器開封時と同様な樹脂製の袋の破裂又は破損状況となる内圧以上であることを確認した。

被ばく評価に係る対応では、外部被ばく線量の評価を行うとともに、作業員のバイオアッセイ試料を分析し、量研 放医研が医療処置として実施する内部被ばく線量評価に協力した。外部被ばくによる実効線量は、作業員 5 名全員が記録レベル（0.1 mSv）未満であった。また、内部被ばくについては、量研 放医研が実施した線量評価の結果を入手・確認し、法令に基づく線量の記録を行った。その実効線量（預託実効線量）は、1 名が 100 mSv 以上 200 mSv 未満、2 名が 10 mSv 以上 50 mSv 未満、2 名が 10 mSv 未満であった。

また、室内汚染検査のスミヤろ紙及び Pu ダストモニタフィルタの測定・評価、作業員が装着していた半面マスクの調査及び半面マスクの防護性能の調査を実施し、放射性物質の摂取に至った原因を以下のとおり推定した。

- ・半面マスクは、顔面等に付着した放射性物質の接顔部からマスク内部への侵入を防ぐ性能は有していない。このため、破裂時の密着性低下、会話／発汗等による密着性の低下により、顔面等に付着した Pu 等の放射性物質が接顔部からマスク内へ入り込み、放射性物質を吸入摂取した可能性が高い。
- ・脱装時の半面マスクの交換等において、拭き取り等の処置をせずに顔面等が汚染した状態のまま半面マスクを取り換えるなど、放射性物質の摂取を防止するための対応が十分ではなかったため、頭部及び顔面に付着していた Pu 等の放射性物質を吸入摂取した可能性がある。

本事故が発生した原因については、本事故が発生するまでの経緯を整理し、5 項目の問題となる事象を抽出し、それら問題の直接的な原因を分析して 12 項目を明らかにした。また、事故発生後に顕在化した除染用設備と身体汚染検査の 2 つの問題の原因と合わせて、合計 14 項目に対して、それぞれ対策を講ずる。

このうち、次の対策が同様の事故発生を防止する上で重要な事項と位置付けた。

- ・核燃料物質を安定して保管するために、核燃料物質の貯蔵及び管理に関する基本的な基準を策定する。
- ・リスクを回避するため手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント（作業中断点）を作業計画で明確化する。
- ・取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合は、リスクを考慮した安全な作業計画を作成するため、核燃料物質の安全取扱い、作業方法（作業場所及び防護装備の選定を含む。）等の基本的事項を手順に明確にする。
- ・核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項（放射能・放射線情報、同梱物の性状、使用履歴等）を手順に明確にし、それらの記録の長期にわたる管理を確実なものとする。
- ・今回発生した事故に関する原因（エポキシ樹脂と Pu の放射線による影響でガスが発生すること）と対策を教育する。

今後、再発防止対策及び水平展開については、不適合管理の中で原因分析結果に基づき是正処置を実

施していく。

現場復旧については、まず、フード（H-1）までのアクセスルートを確認し、フード（H-1）内の貯蔵容器の蓋を固定し、フード（H-1）から貯蔵容器を搬出して108号室から101号室内のグローブボックス群（123-D、124-D）内へ移動した。その後、グリーンハウスの更新等により汚染管理の強化を図った後、フード（H-1）及び108号室の汚染検査・除染作業を行った。フード（H-1）の汚染検査と除染については、フード（H-1）内外表面の汚染検査を行いながら、除染作業及び固着汚染の固定を行った。108号室の汚染検査と除染については、床面に対して実施した後、壁面、天井とグローブボックス等の機器に対して実施している。

平成29年9月8日に燃料研究棟において作業員の特殊作業衣等の汚染事象が発生し、その応急処置を実施した上で不適合管理を実施した。これを受けて108号室の作業を中止し、作業手順等の緊急点検を実施した。また、101号室の汚染事象の不適合管理により抽出された改善点を反映して作業計画書を改訂し、作業員の教育を実施した。これらにより作業の安全対策の強化を図り、108号室の汚染検査・除染作業を再開している。

108号室の除染作業、汚染検査を完了し、立入制限区域を平成29年10月中旬までに解除する見通しである。

原子力機構は、今回の事故を深く反省し、核燃料物質を取り扱う研究開発機関としてのこれまでの実績に驕ることなく、リスクを考慮したより慎重な保安活動を徹底し、安全確保に努める。

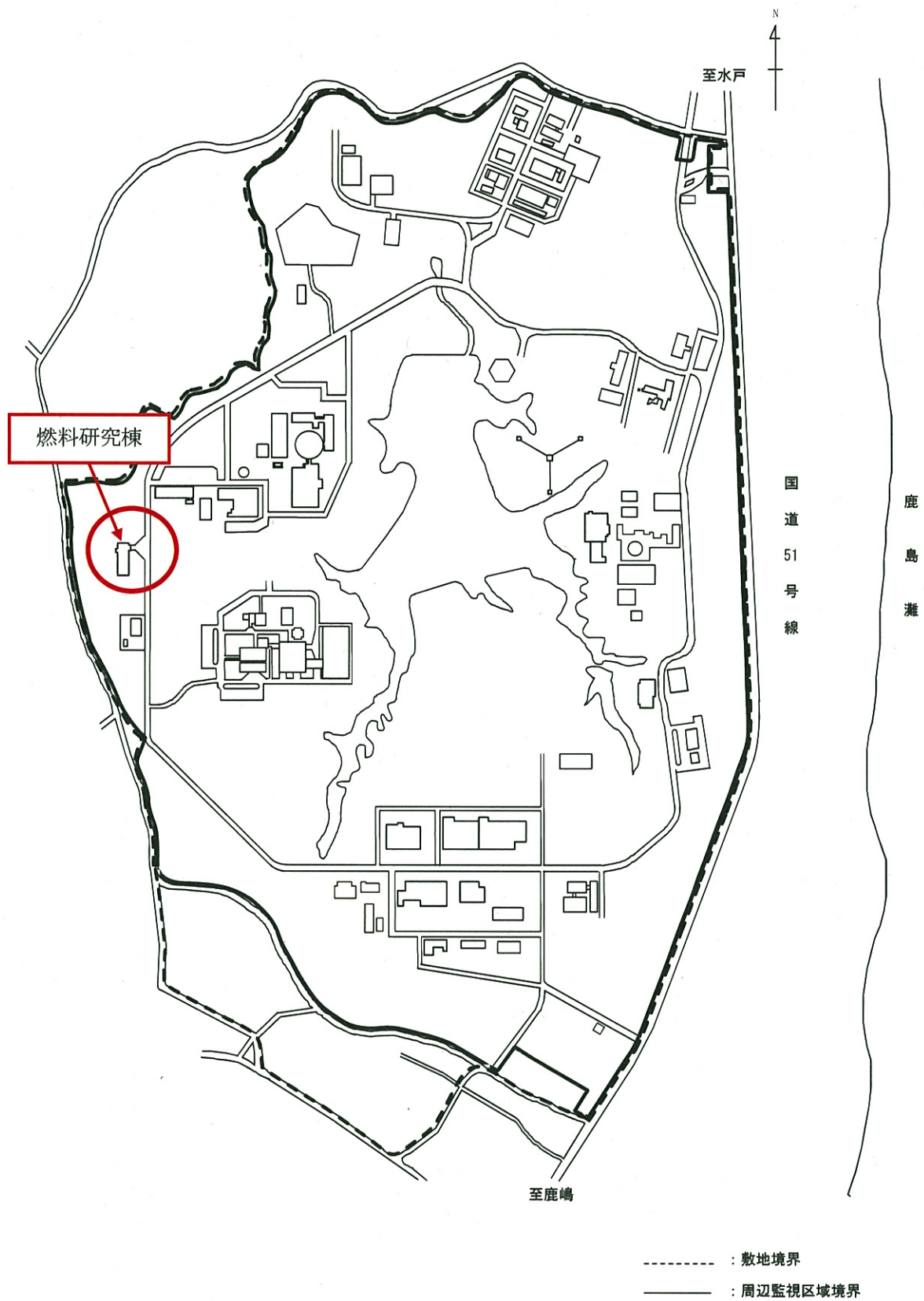


図 4.1.1 大洗研究開発センター施設配置図

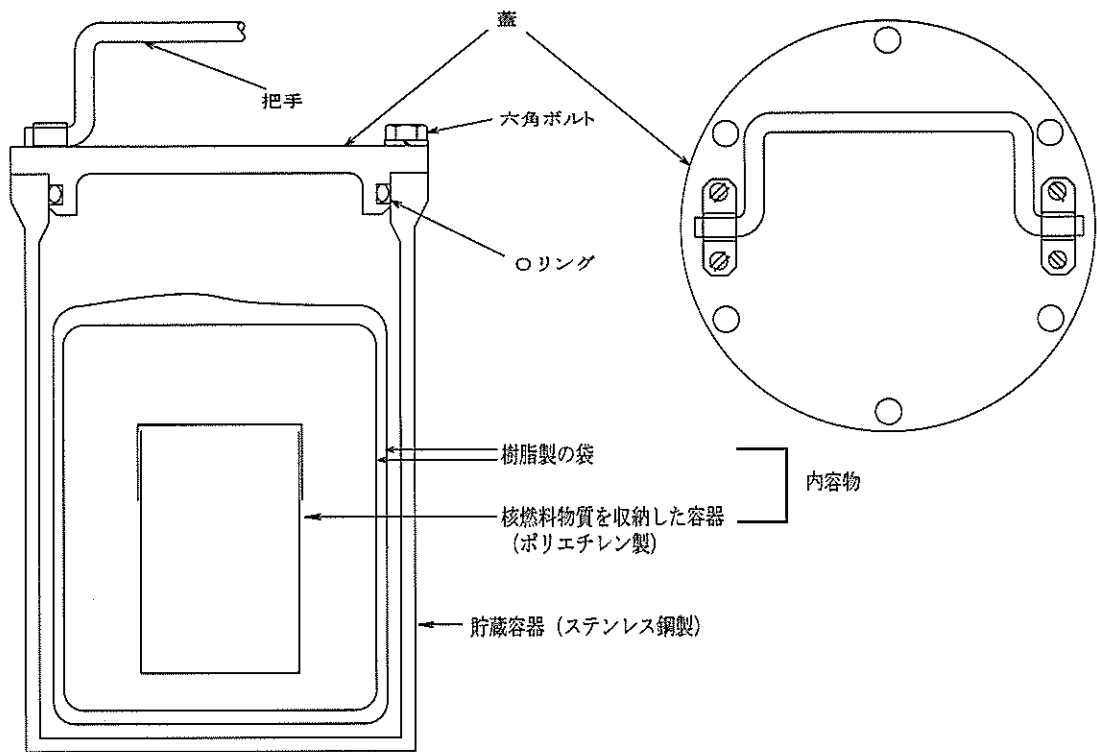
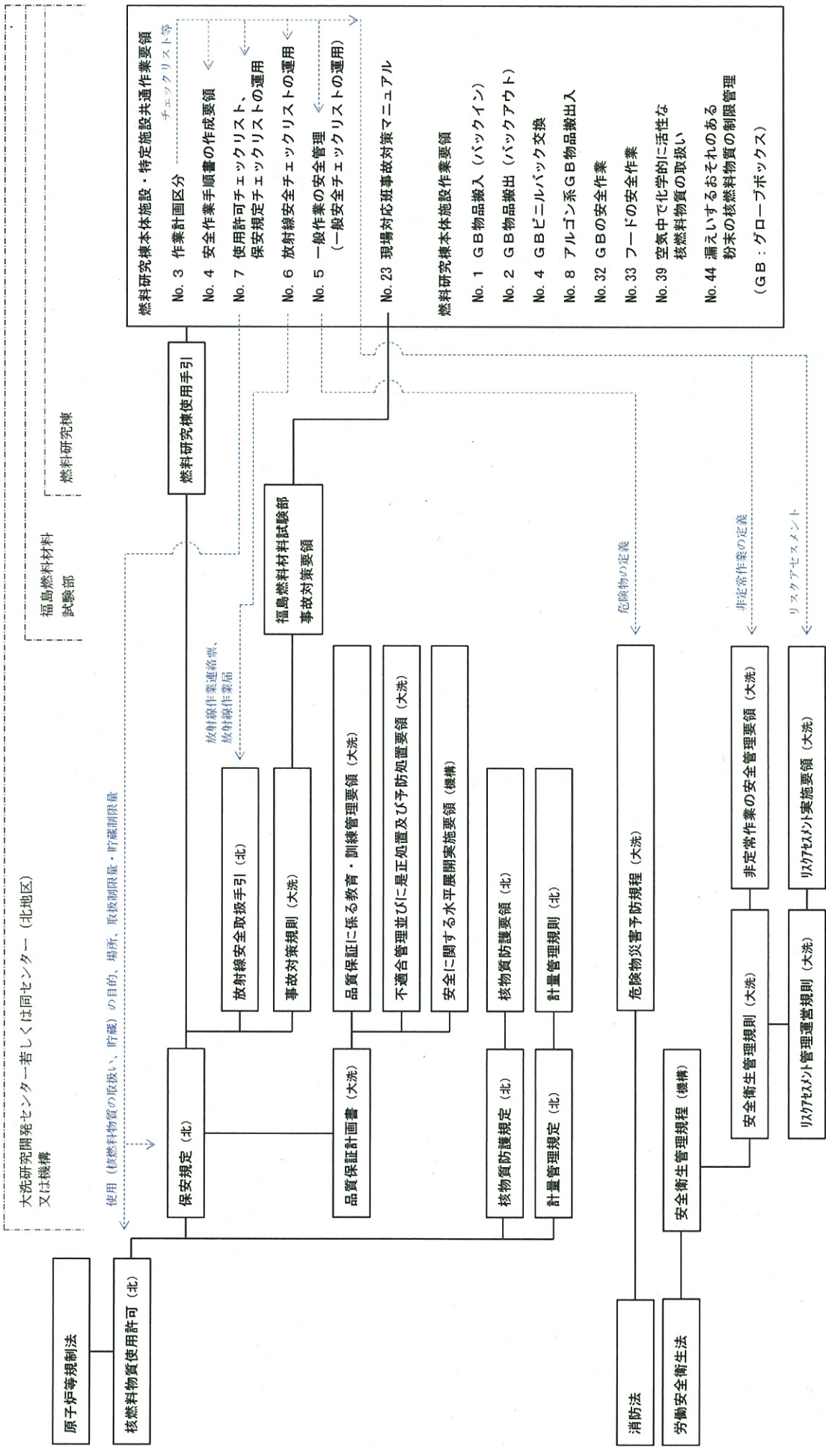


図4.1.2 プルトニウム・濃縮ウラン貯蔵容器の構造と内容物



(注) 一部の規定類の名称は略称表記とした。
 (凡例) — 関連のある規定類とのつながり
 <--- 関連する規定類

図4.1.3 燃料研究棟における保安活動（核燃料物質の取扱関係）に係る主要な規定類

(1) 作業計画段階

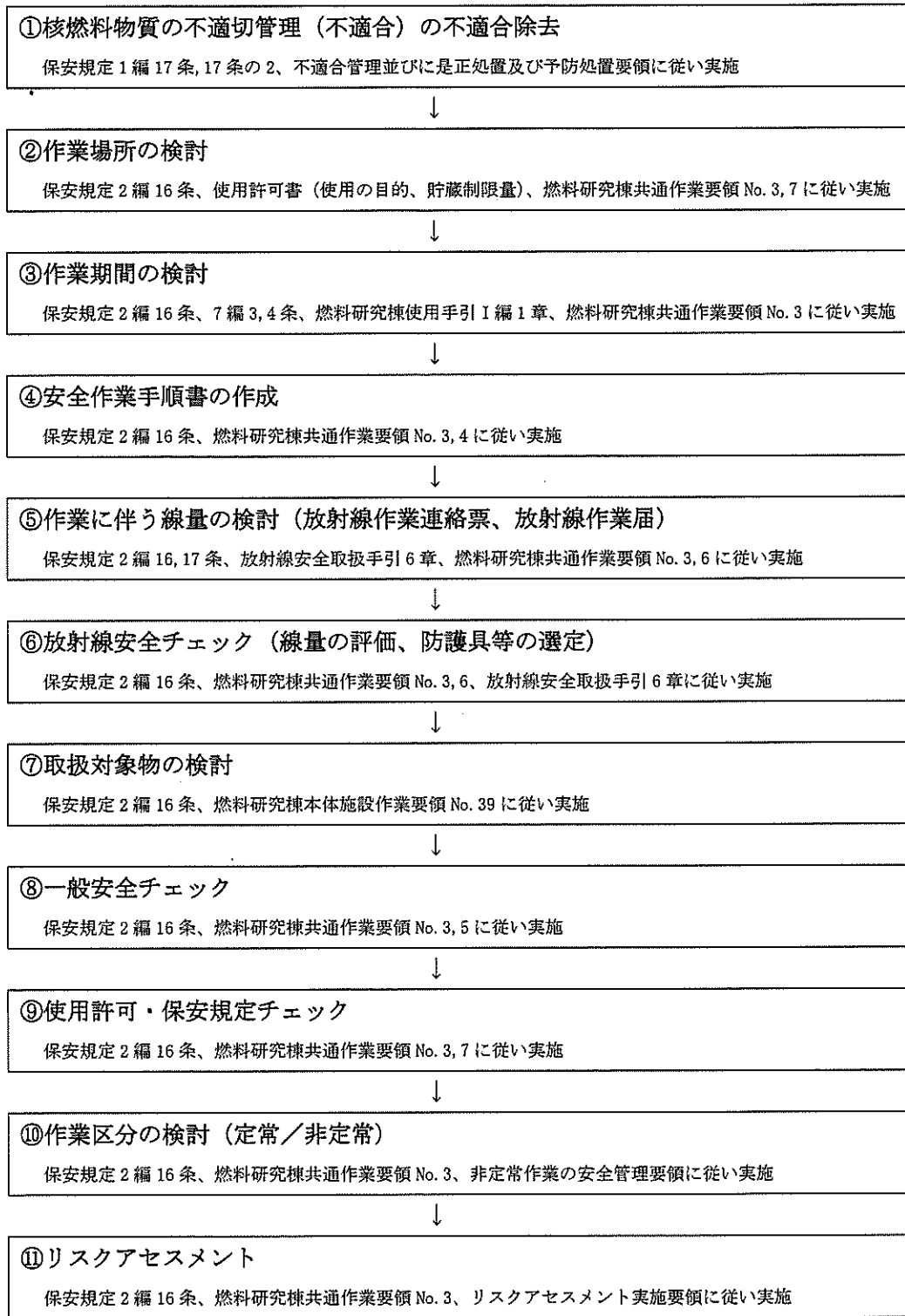
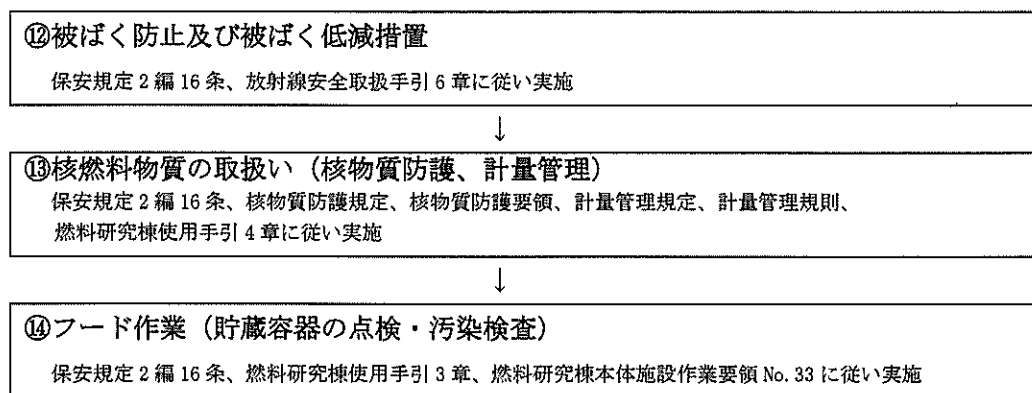
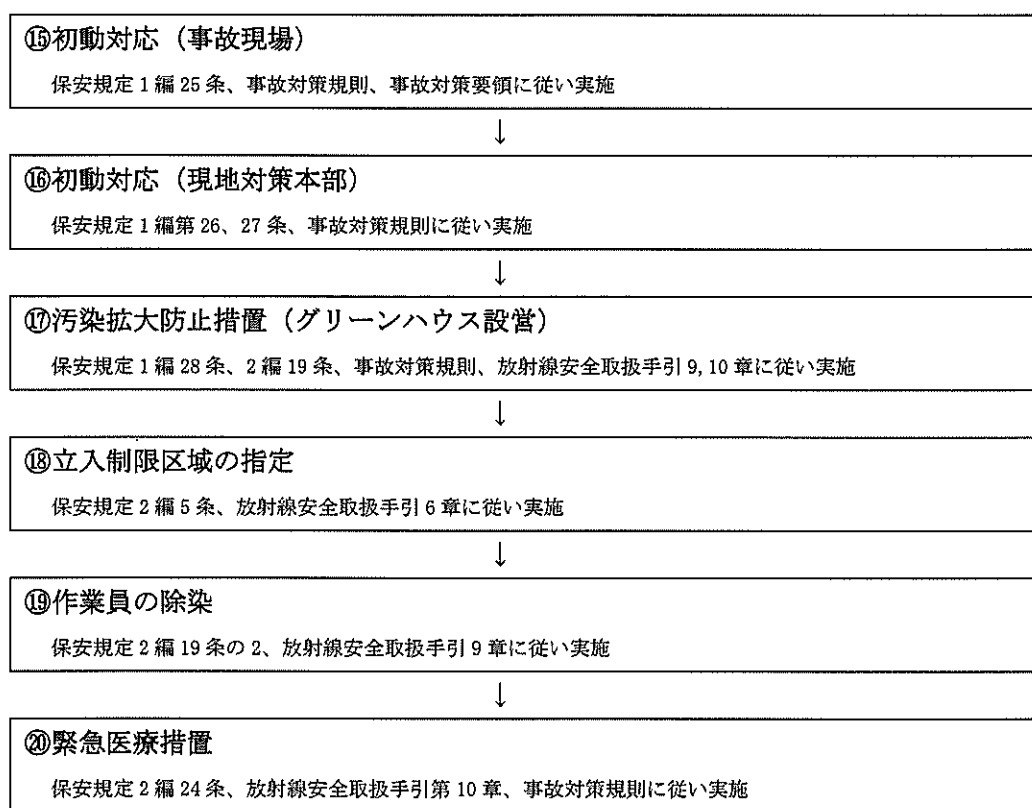


図 4.1.4 改善作業及び事故対応における作業手順の流れ (1/2)

(2) 作業実施段階

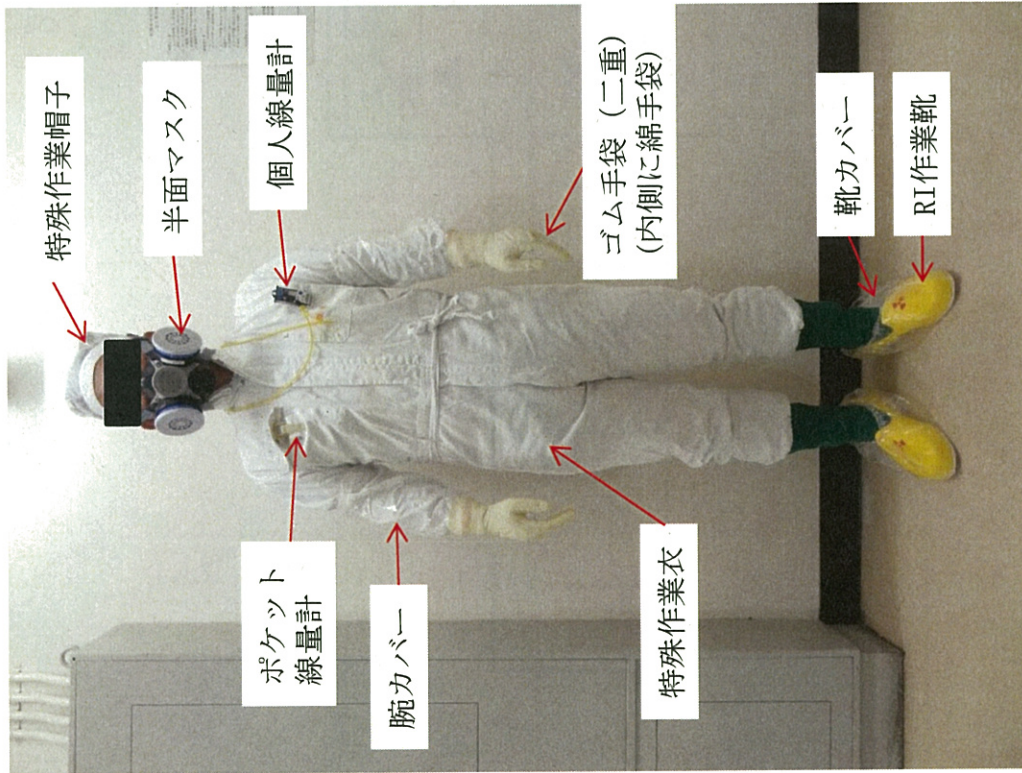


(3) 事故対応



(注) 一部の規定類の名称は略称表記とした。

図 4.1.4 改善作業及び事故対応における作業手順の流れ (2/2)



(H29. 6. 16撮影)

前面

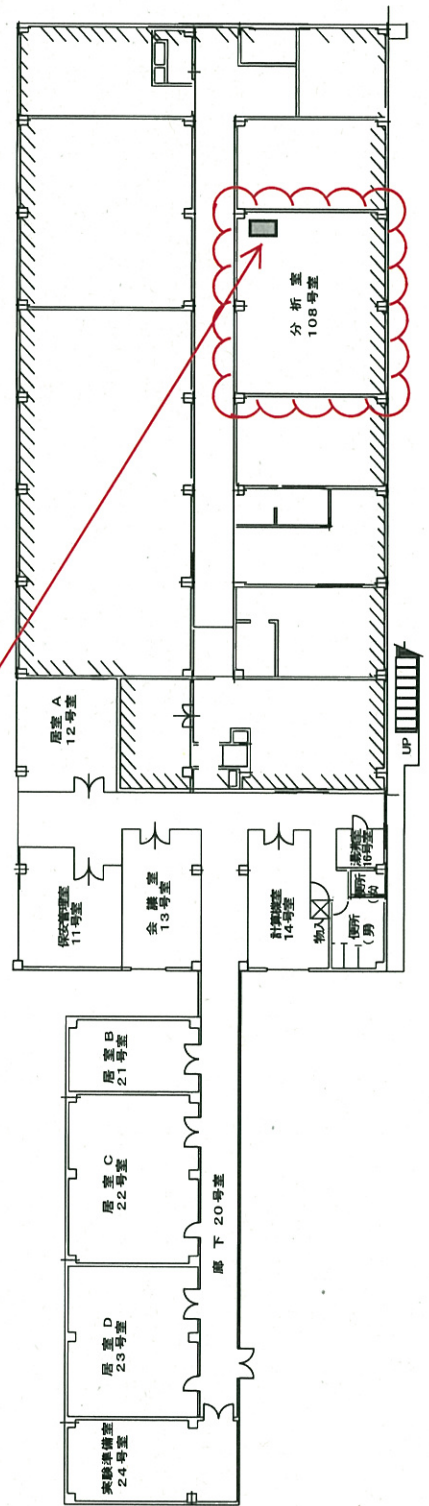


(H29. 6. 16撮影)

背面

図4.1.5 事故発生時の作業員と同等の防護具を装着した状態

フード (H-1)

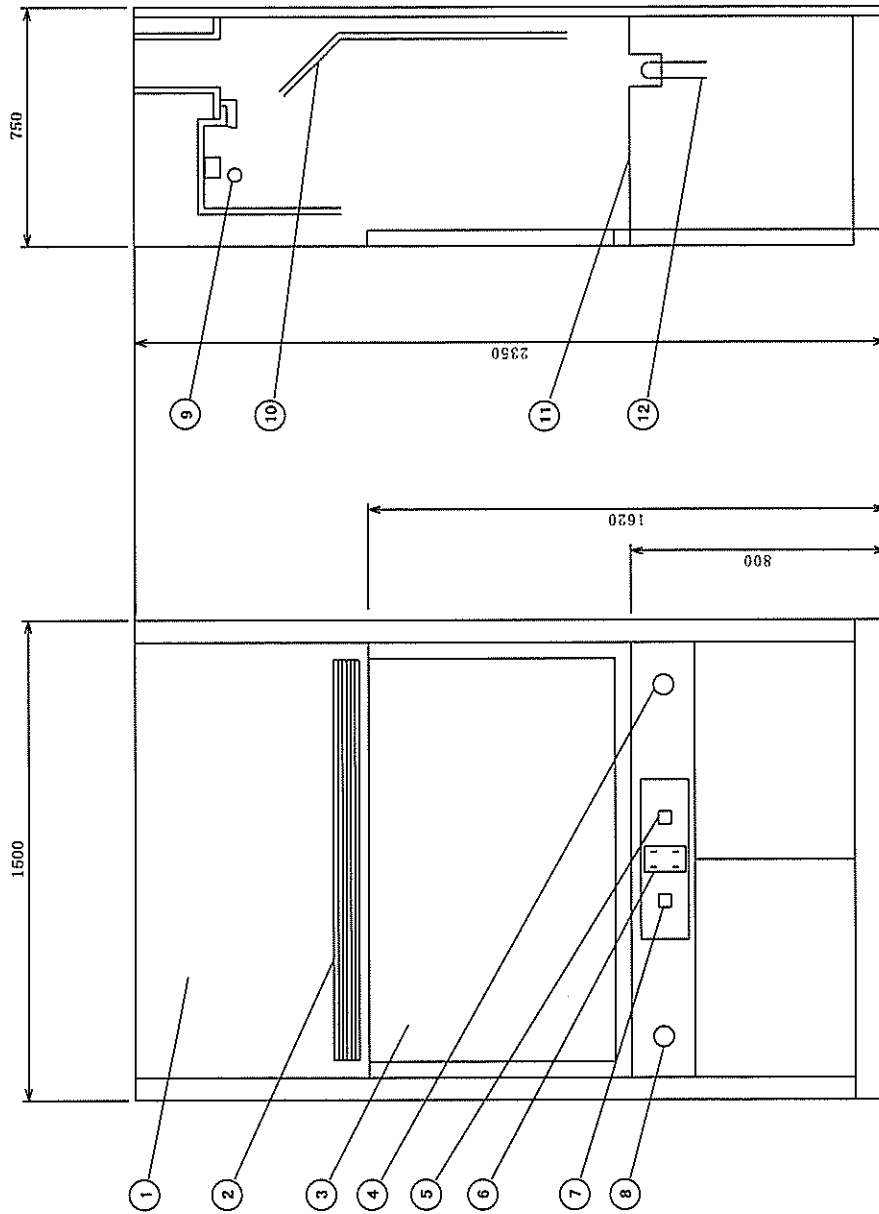


1 階 平面図

斜線部は管理区域境界を示す。

図4.2.1 燃料研究棟平面図

番号	部品名称
①	本体
②	給気ギャラリ
③	スライド式ガラス窓
④	ガスハンドル
⑤	蛍光灯用スイッチ
⑥	電源コンセント
⑦	電源用表示ランプ
⑧	給水ハンドル
⑨	蛍光灯
⑩	パツフルプレート
⑪	鉛張り流し
⑫	排水管



(単位 mm)

図4.2.2 フード (H-1) 概略図

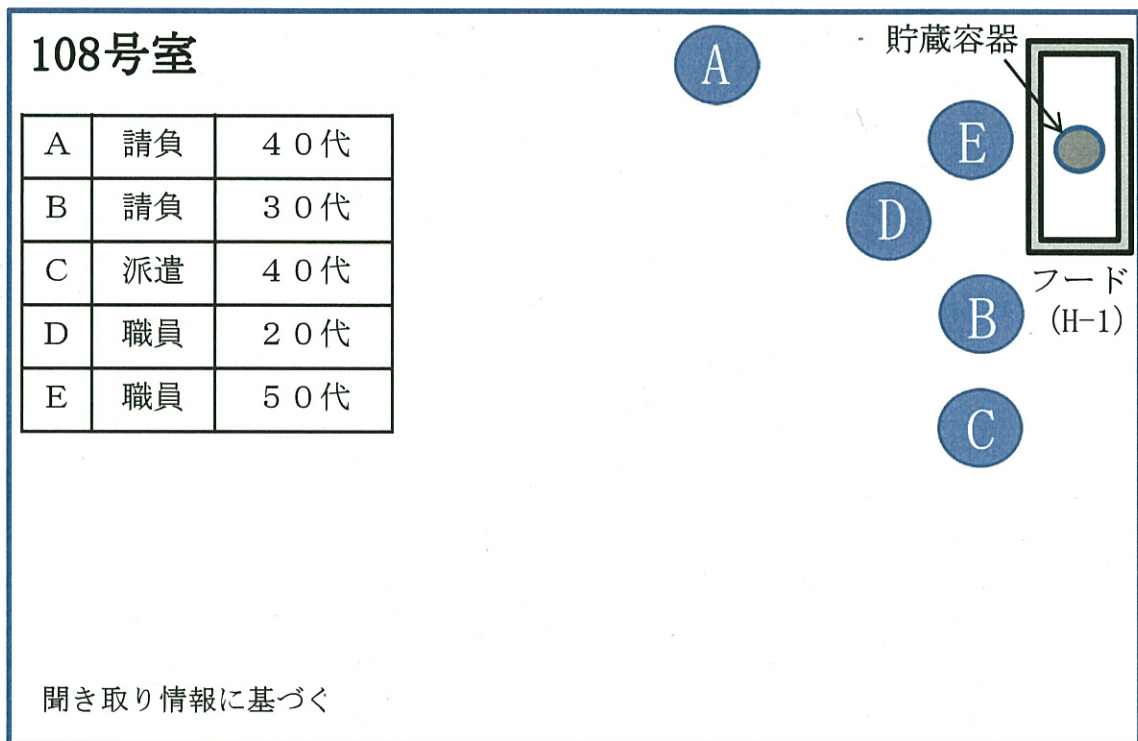
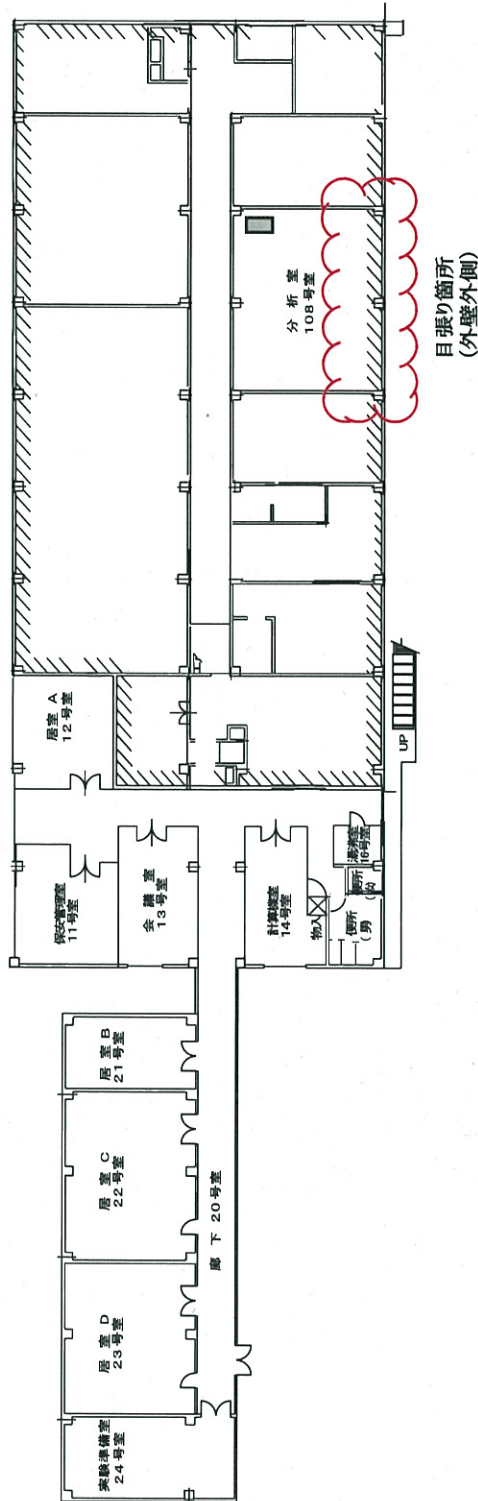


図4.2.3 108号室における事故発生時の作業員5名の位置関係



(H29. 6. 6 撮影)

図 4. 2. 4 グリーンハウス



1 階 平面図

斜線部は管理区域境界を示す。

図4.2.5 目張り箇所

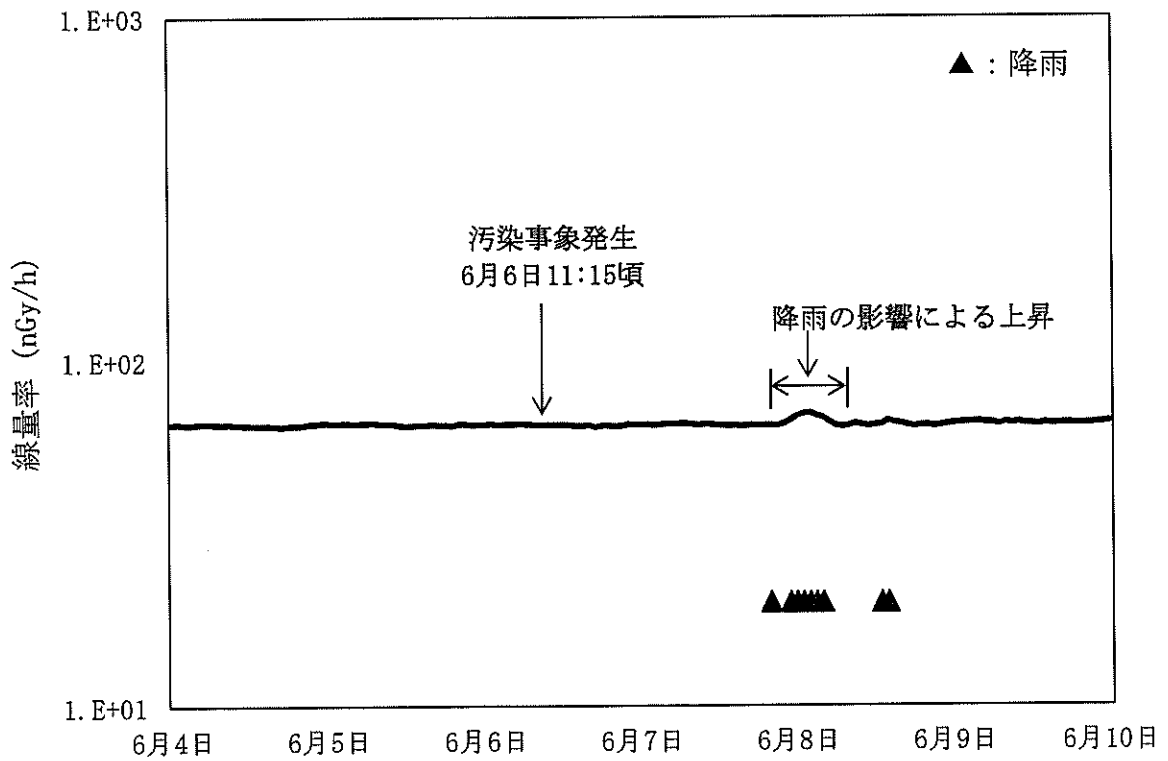
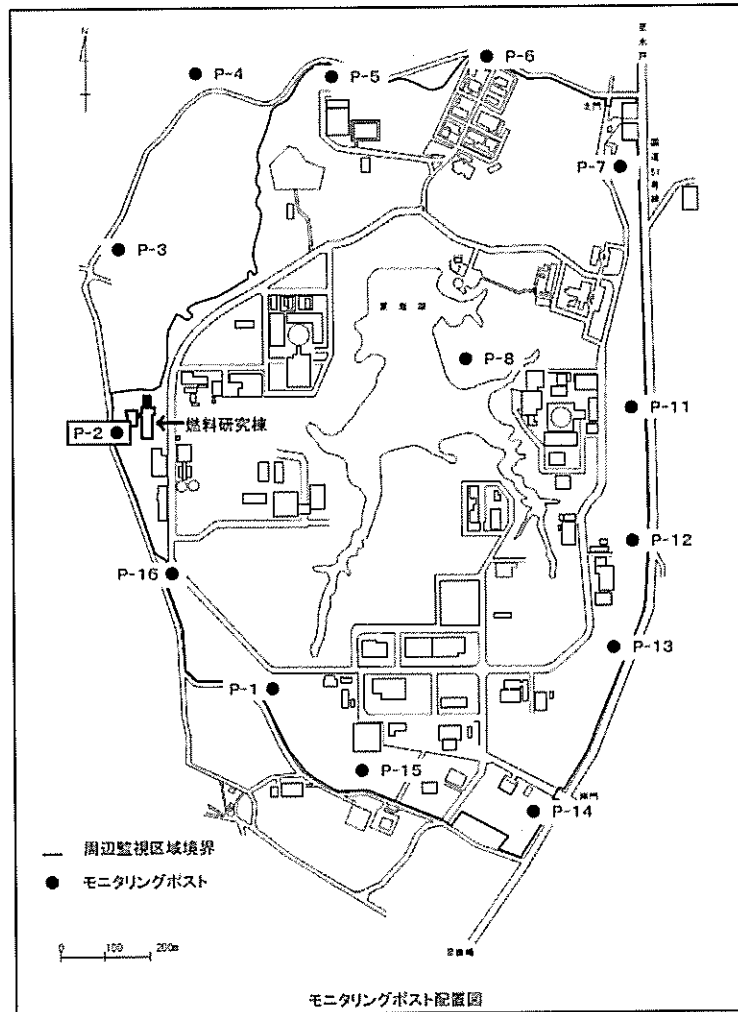


図4. 2. 6 モニタリングポスト (P-2) 指示値のトレンド (H29年6月4日～6月10日)

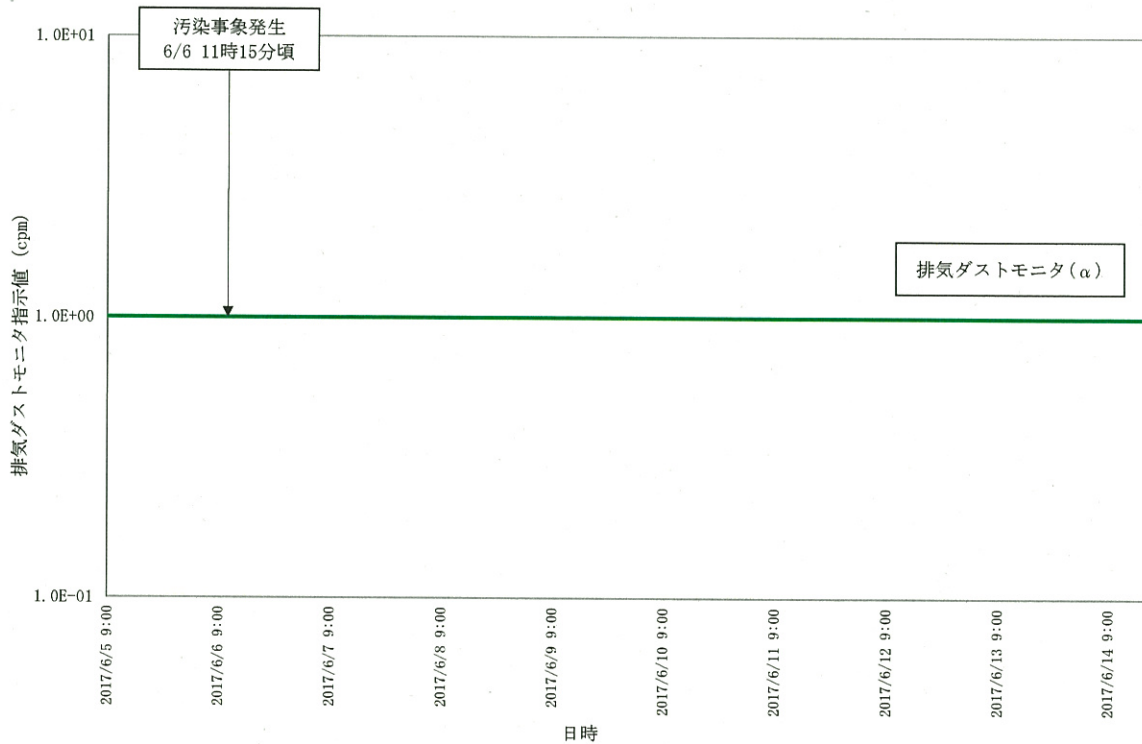


図4.2.7 燃料研究棟の排気ダストモニタ指示値のトレンド
(H29年6月5日～6月14日)

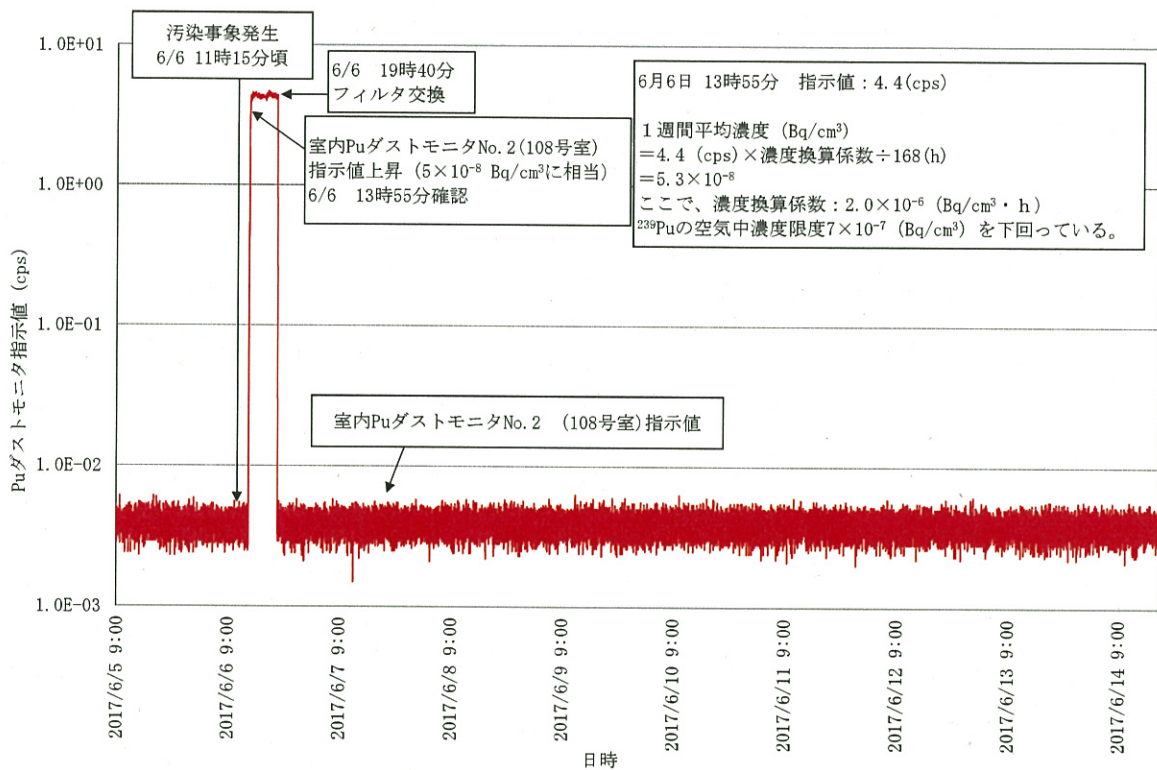
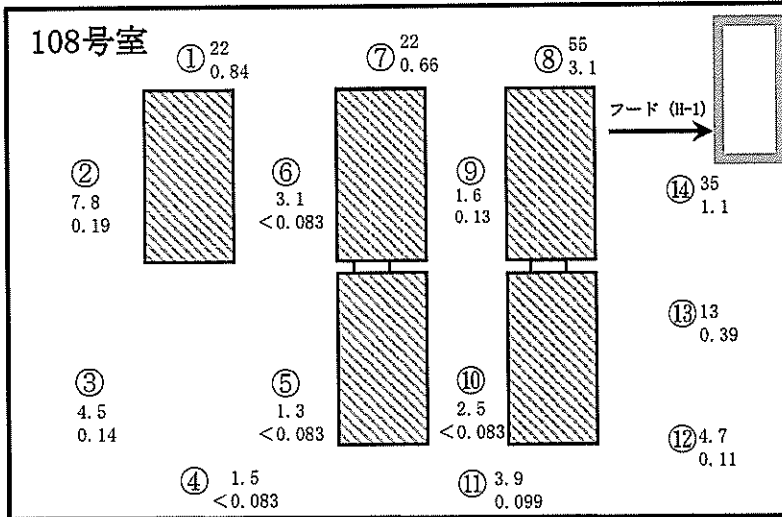


図4.2.8 燃料研究棟の室内PuダストモニタNo.2 (108号室) 指示値のトレンド
(H29年6月5日～6月14日)

上段：α線
下段：β(γ)線

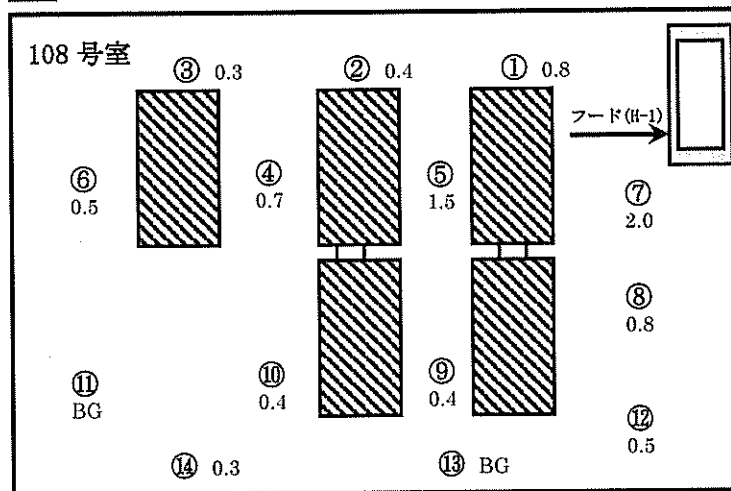
▨ : グローブボックス



建家名	燃料研究棟
測定日時	平成29年6月7日 18:36~18:55
測定線種	■ α線 ■ β(γ)線
測定器	放射能計測装置 (ES-7284)
測定方法	スミヤ法
単位	Bq/cm ²
測定条件	拭取効率: 10%
備考	
記事	①~⑭: 測定ポイント

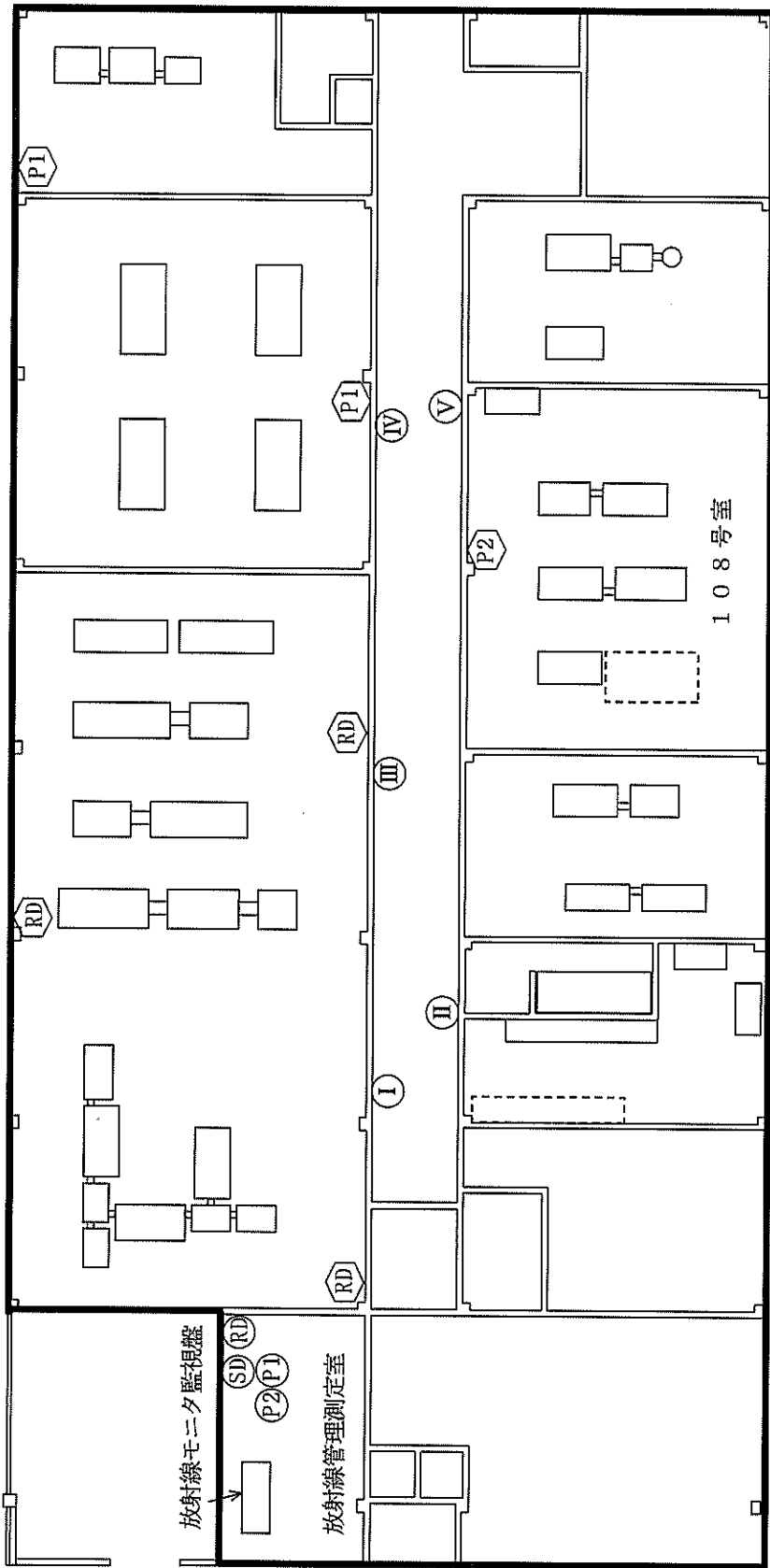
図4.2.9 表面密度測定結果

▨ : グローブボックス



建家名	燃料研究棟
測定日時	平成29年6月7日 16:41~17:09
測定線種	γ線
測定器	GM管式サーベイメータ (GM-137)
BG	0.2 μSv/h
測定方法	サーベイ法(床上約1m)
単位	μSv/h
備考	
記事	①~⑭: 測定ポイント

図4.2.10 線量当量率測定記録



- ⓇD : 室内ダストモニタ
- ⓇD : 室内PuダストモニタNo. 1
- ⓇD : 室内PuダストモニタNo. 2
- ⓇD : 室内ダストモニタサンプリング端
- ⓇD : 室内PuダストモニタNo. 1サンプリング端
- ⓇD : 室内PuダストモニタNo. 2サンプリング端
- ⓈD : 排気ダストモニタ
- ⓈD : 室内PuダストモニタNo. 1
- ⓈD : 室内PuダストモニタNo. 2
- ⓈD : 室内ダストモニタサンプリング端
- ⓈD : 室内PuダストモニタNo. 1サンプリング端
- ⓈD : 室内PuダストモニタNo. 2サンプリング端
- Ⓡ : ガンマ線エリアモニタ
- Ⓡ : 室内Puダストモニタ
- Ⓡ : 室内PuダストモニタNo. 1
- Ⓡ : 室内PuダストモニタNo. 2

図4.2.11 燃料研究棟の放射線管理モニタの配置図

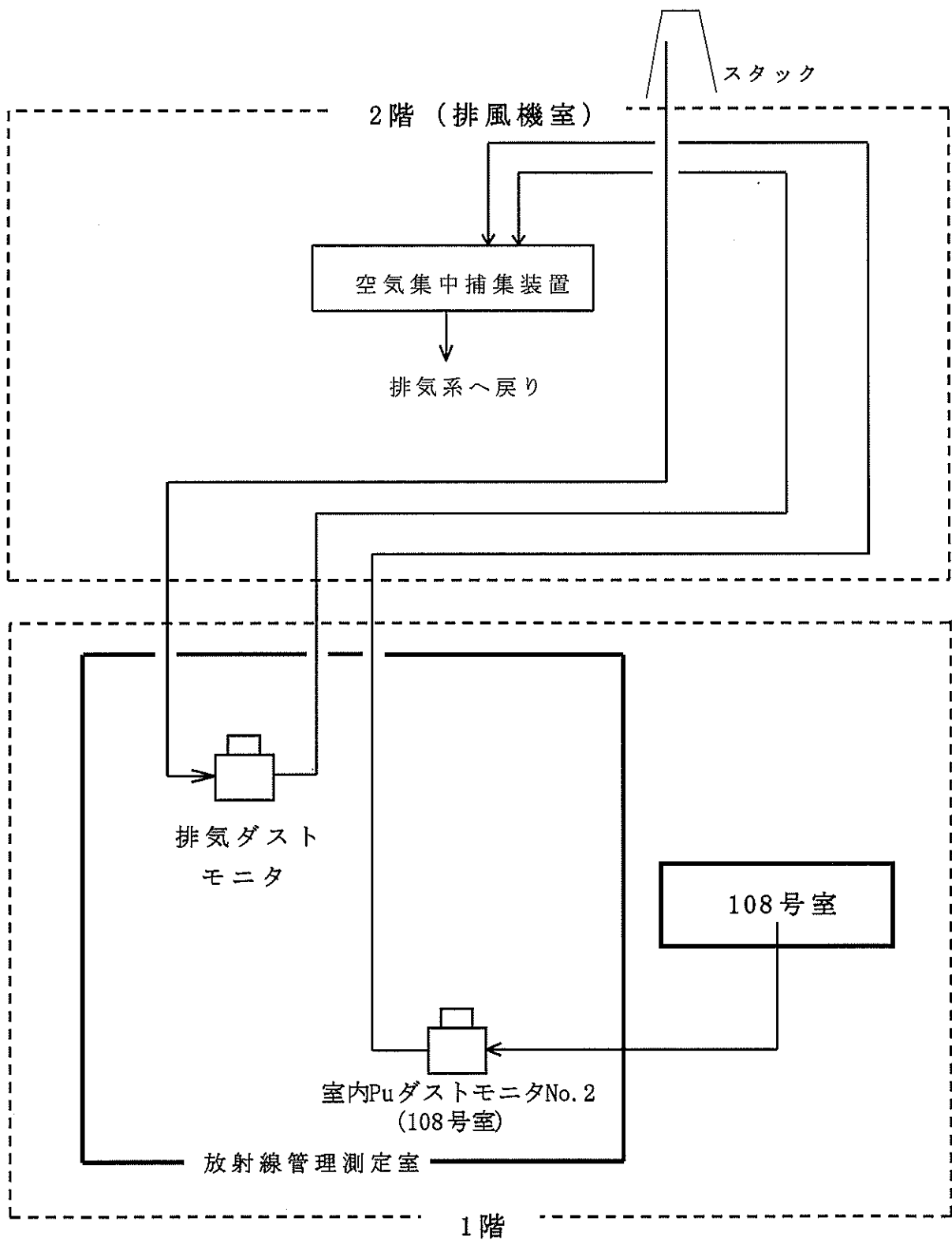


図4.2.12 燃料研究棟の排気ダストモニタ及び室内PuダストモニタNo.2 (108号室) の系統図

※排気第1系統は2系統あり、1系統は予備である。
H29/6(火)は排気第1-2系統が運転されていた。

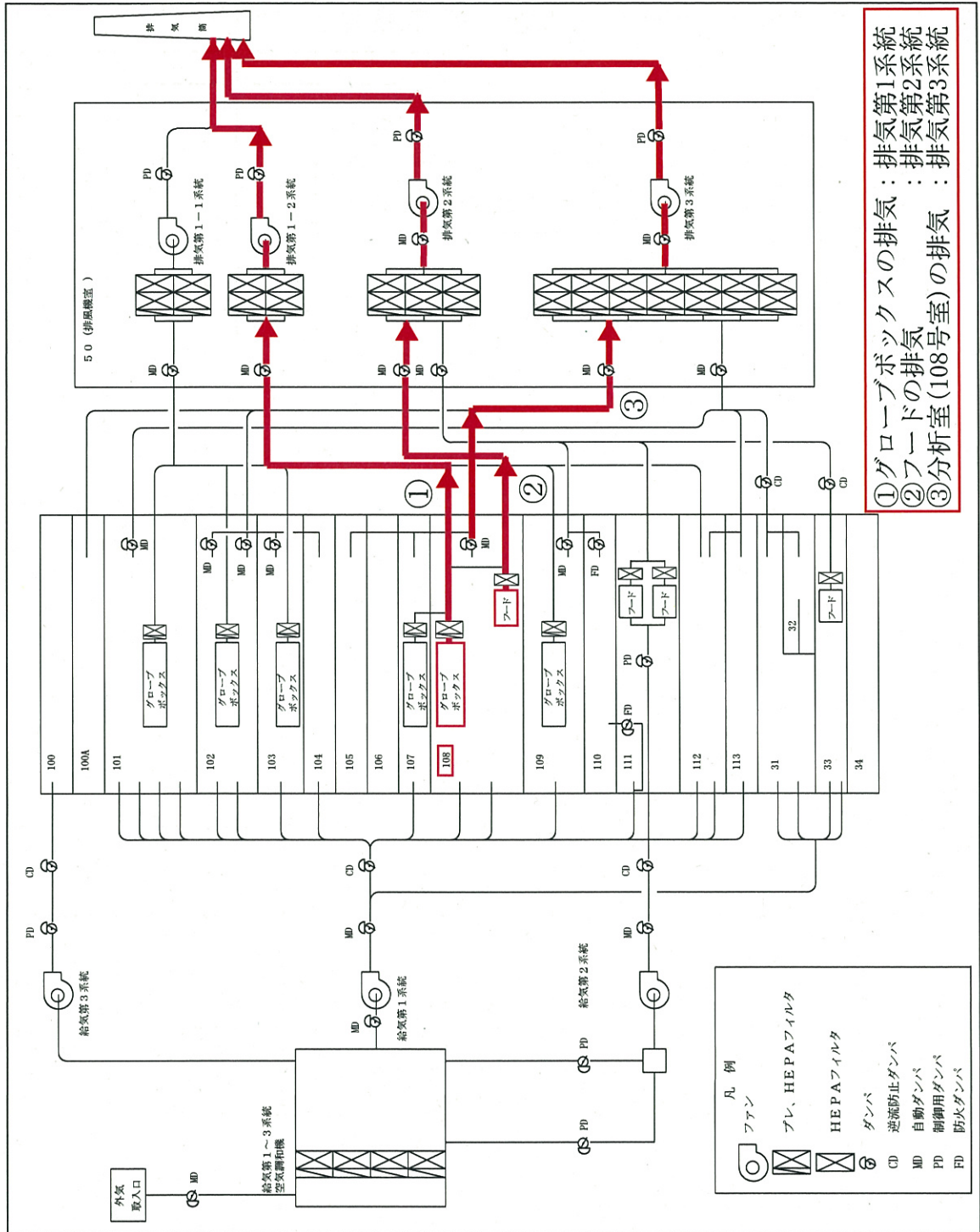


図4.2.13 燃料研究棟の排気系統図



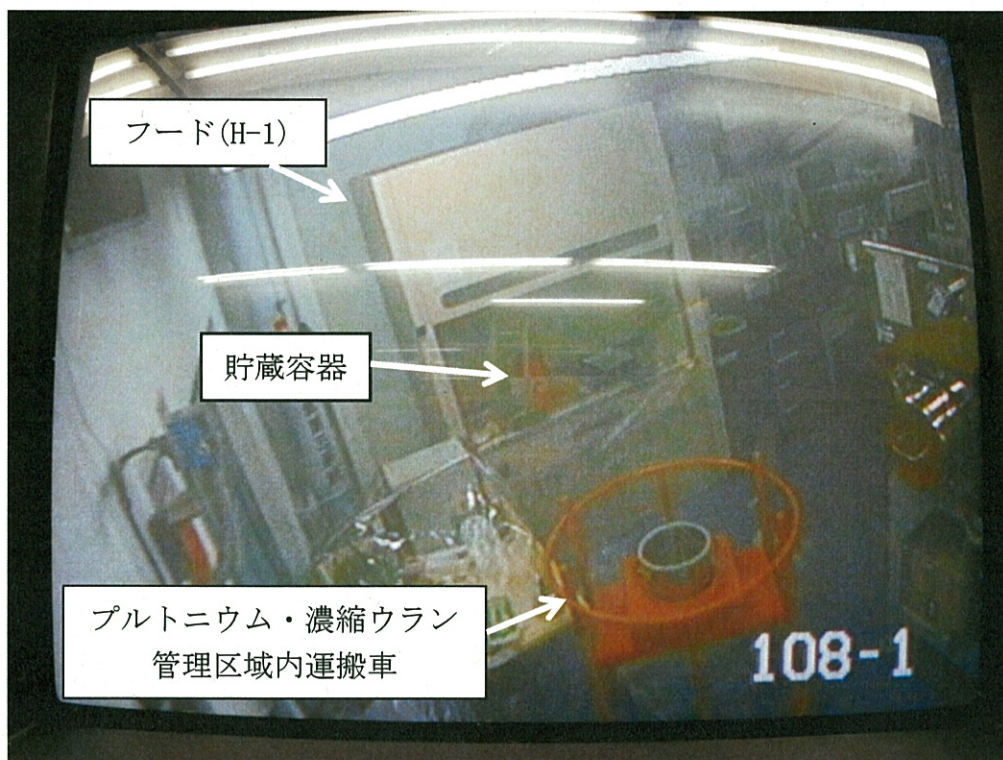
フード内



フード前床

(H29.6.7 撮影)

図 4.2.14 事故発生後のフード (H-1) 周辺



(H29. 6. 6 撮影)

図 4. 2. 15 TV カメラによる貯蔵容器の監視

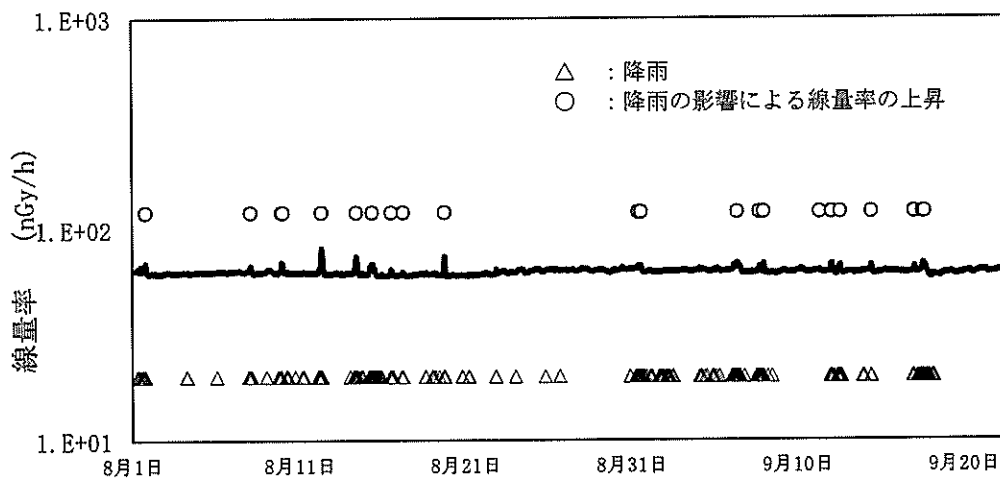
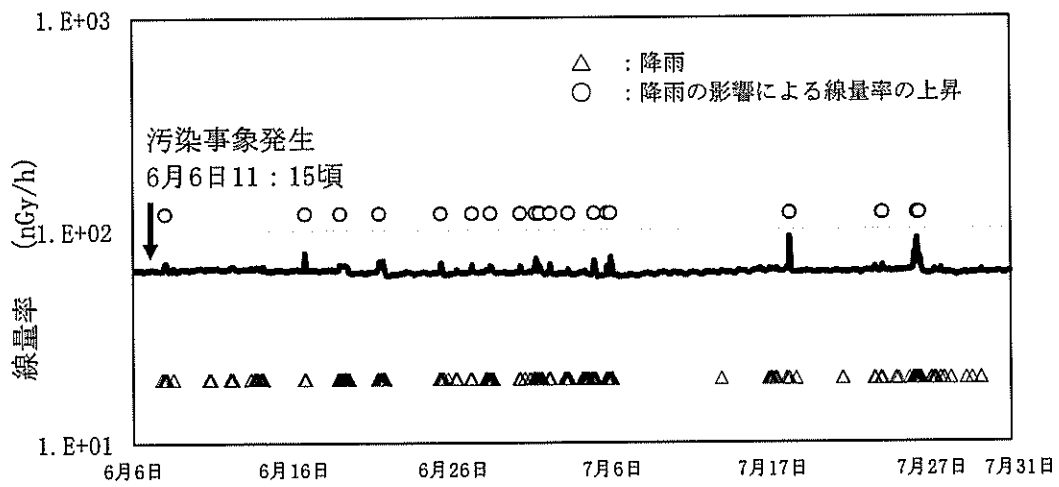
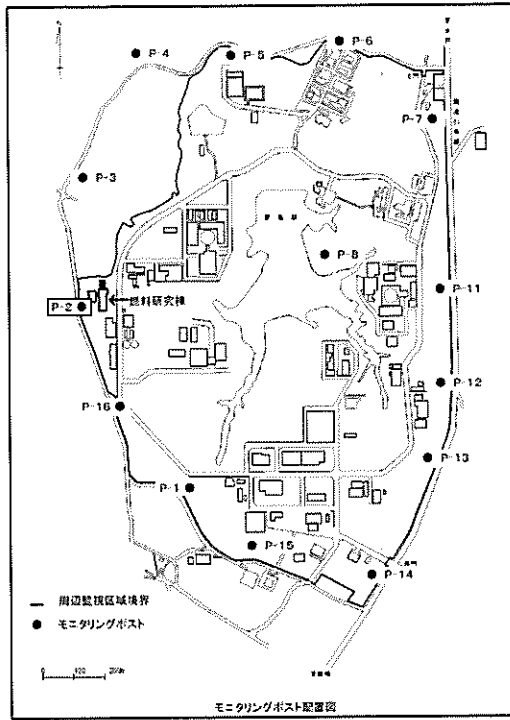


図5.1 モニタリングポスト (P-2) 指示値のトレンド (H29年6月6日～9月22日)

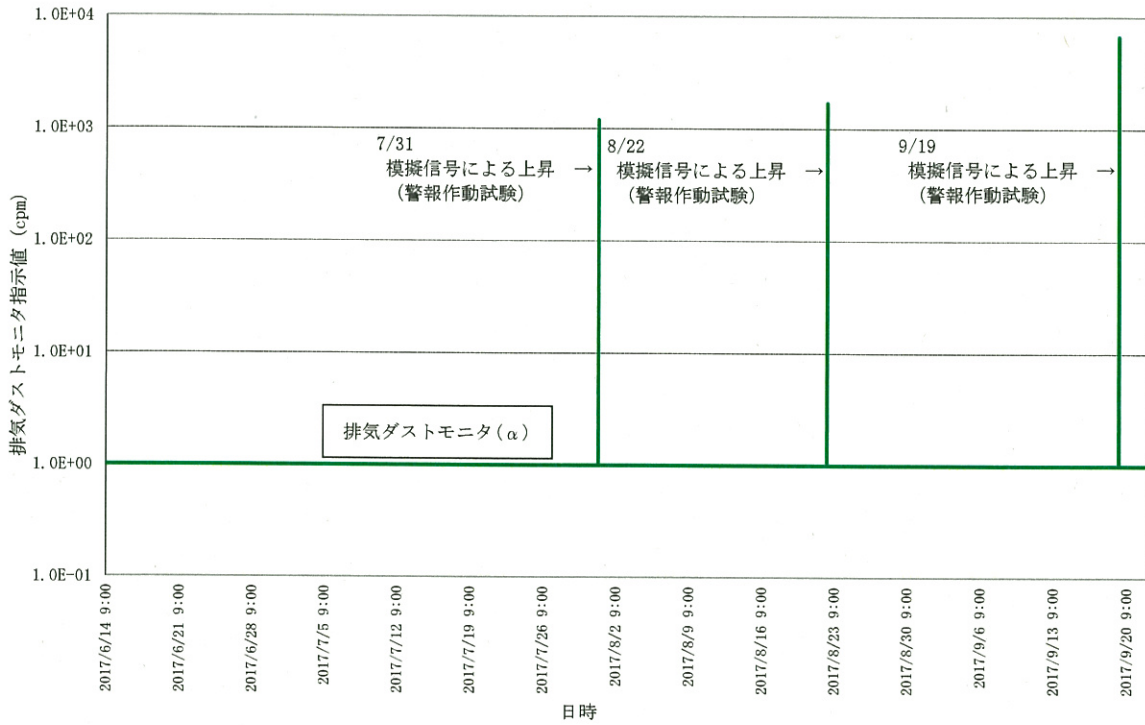


図5.2 燃料研究棟の排気ダストモニタ指示値のトレンド
(H29年6月14日～9月22日)

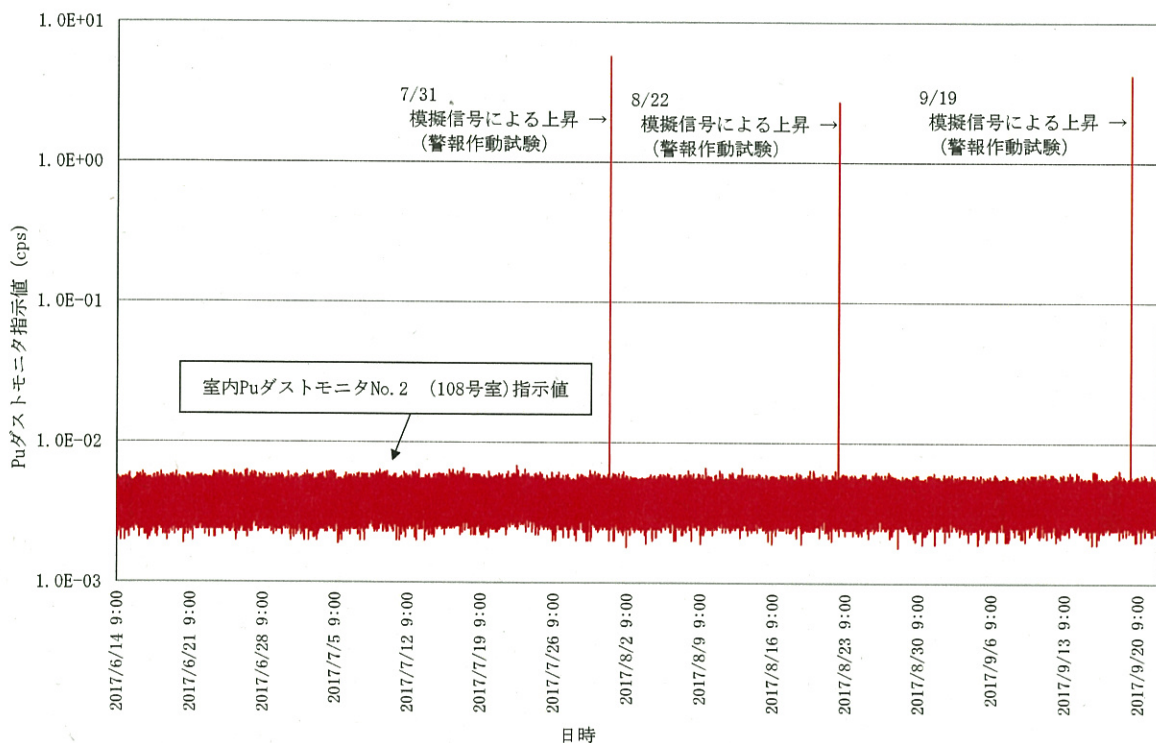


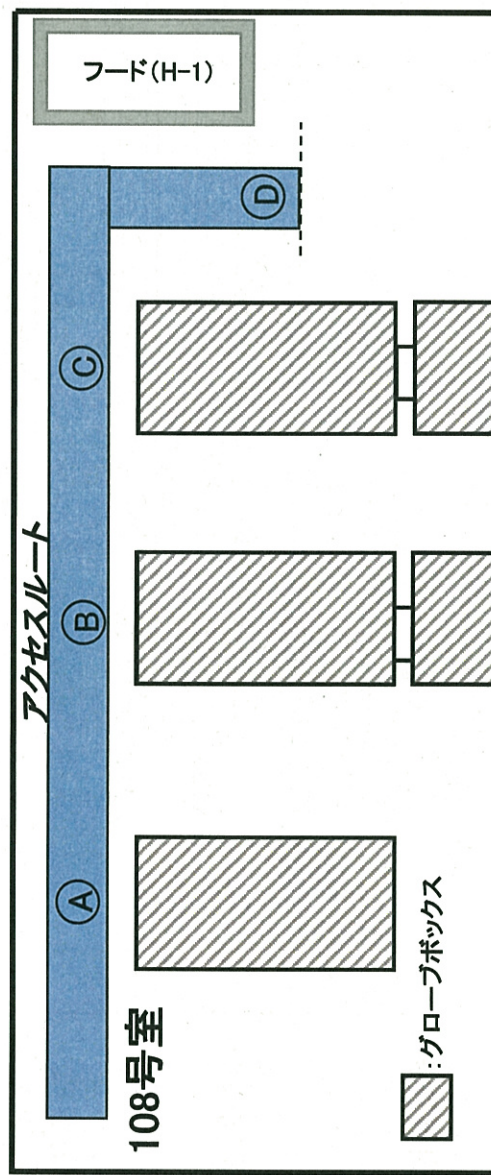
図5.3 燃料研究棟の室内PuダストモニタNo.2 (108号室) 指示値のトレンド
(H29年6月14日～9月22日)

	6月			7月			8月			9月			10月		11月以降
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
報告書等	▼事故発生	▼法令報告(10日報)	▼法令報告(第1報)	▼法令報告(第2報)	▼法令報告(第3報)	▼法令報告(第4報)									▼法令報告(第3報)
現場復旧	貯蔵容器の移動 汚染状況把握・粉子の回収 専用グリーンハウスの更新			フード内除染、108号室除染											
原因究明	情報収集・整理・要因リストアップ (追加調査) フォルトツリー図構築等 事故進展シナリオ検討 貯蔵容器内部観察、容器内試料及び飛散試料の分析 検証試験(樹脂製の袋の破裂現象・エポキシ樹脂の放射線分解) 総合評価			分析を踏まえた事故進展シナリオ検討											
総点検・水平展開	事実関係調査・要因分析・問題点抽出・再発防止策取りまとめ			総点検の実施(各拠点)											
作業員ケア	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼退院	▼入院 ▼定期健診 ▼退院		
被ばく評価	肺モニタリングバイアッセイ試料の分析 [総量評価協力(便測定結果及び核種情報提供等)] 半面マスク等の汚染分布の調査・分析、108号室内の放管情報等の調査・分析 核燃料物質の採取に関するシナリオ検討			継続して作業員のケアを実施											

図6.1.1 燃料研究棟汚染事故対応工程表 (9月29日現在)

フードまでのアクセスルートの確保(7月4日)

- 108号室入口からフードまでの通路について、作業員の歩行による汚染拡大・飛散防止のための床の拭き取りを実施
- アクセスルート(床の一部)の表面密度は、床の拭き取りにより低減
- フードから飛散したと思われる粒子については、カメラで位置情報を記録した後、位置ごとにバイアル瓶の容器に回収し、金属容器に収納した。前面のビニルシートについては、折りたたんで金属容器に収納した。



α線表面密度 (Bq/cm²)

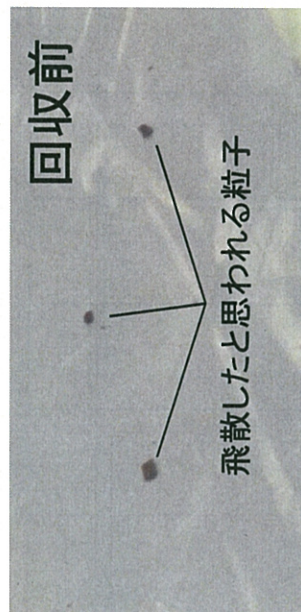
A: 22	C: 55
B: 22	D: 35

(6月7日測定)



A: 0.35	C: 1.9
B: 5	D: 1

(7月4日測定)



(H29. 7. 4撮影)

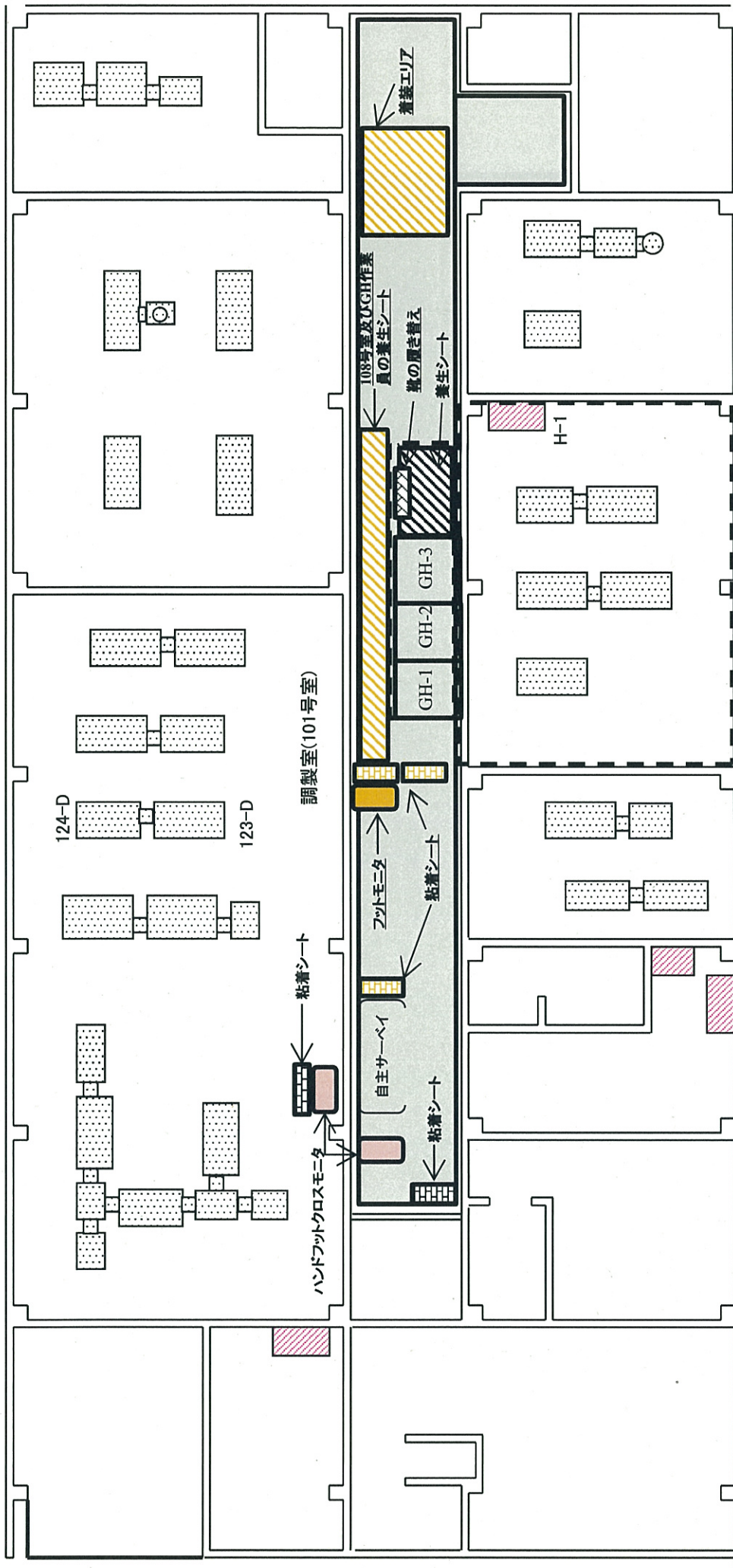


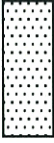




(H29. 7. 4撮影)

図6. 2. 1 アクセスルート床の表面密度測定結果及び粒子回収前後の写真



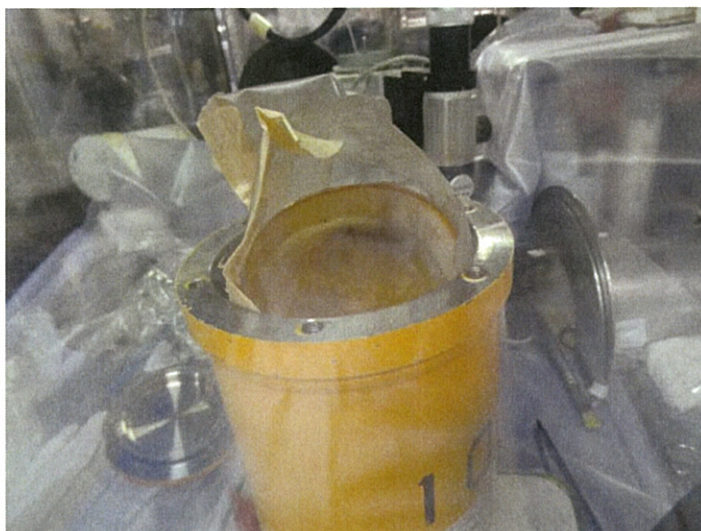
図6.2.2 蓋の固定及び転倒防止治具を取り付けた貯蔵容器



-  : グリーンハウス(GH)
-  : グローブボックス
-  : フード
-  : 床養生シート(2重)
-  : 立入制限区域

下線部: 汚染管理の強化に伴う追加

図6.2.3 汚染管理強化概要図



(H29. 7. 20 撮影)

貯蔵容器の内部の状況



(H29. 7. 20 撮影)

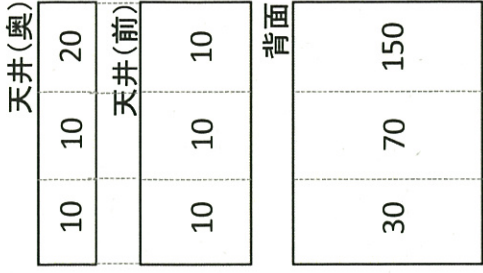
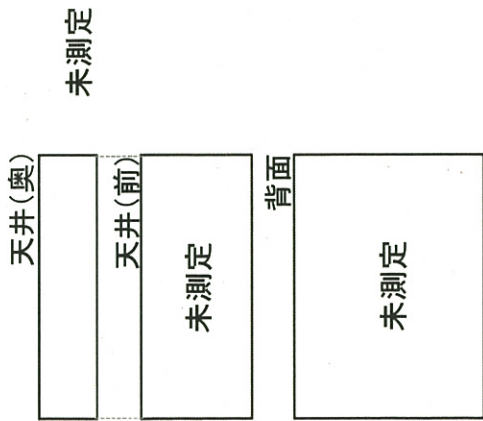
グローブボックス (123-D) 搬入後の貯蔵容器の状況
(転倒防止治具取り付け後)

図 6.2.4 グローブボックス (123-D) 搬入後の貯蔵容器

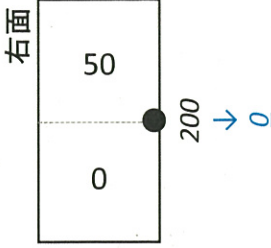
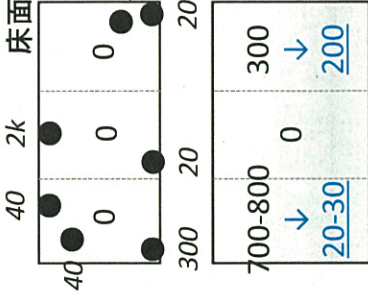
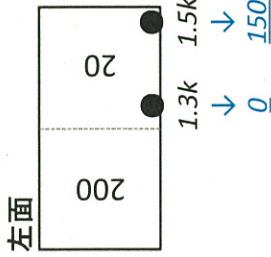
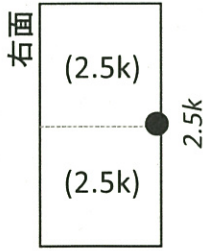
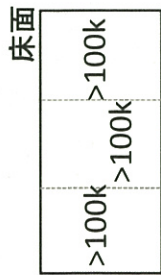
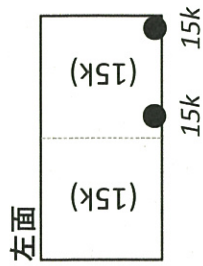


(H29. 7. 20撮影)

図6. 2. 5 汚染管理の強化を図った更新後のグリーンハウス



フード(H-1)イメージ図



ガラス内面(透視野)

除染前の表面密度(cpm)

ガラス内面(透視野)

除染後の表面密度*(cpm)

ガラス内面(透視野)

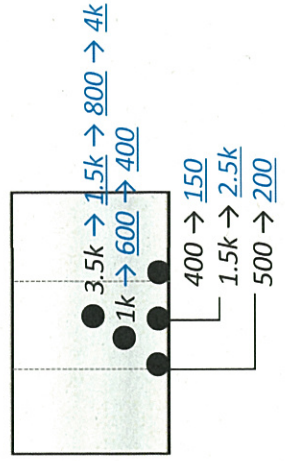
*) 除染後の表面密度状態からフード内側については除染が困難であると判断し、ストリッパブルペイントを塗布し汚染を固定した(図6.2.7の外観写真参照)。

【測定結果の見方】

標準体:測定エリアのダイレクタサーベイ結果(最大値)
イタリック体:スポット汚染の部位と測定結果(除染前後)

【除染方法】

- ・ストリッパブルペイント(SP)を塗布し、乾燥後にSPを剥離して表面密度を測定
- ・SP剥離後の表面密度が高い部分については、濡れウエスで拭き取り除染を実施
(部位により複数回、青字+アンダーライン付記で結果を記載)



スポット汚染部

図6.2.6 フード(H-1) 内表面の除染結果

【測定結果の見方】

標準体:測定エリアのダイレクトサーベイ結果(最大値)

イタリック体+青字:スポット汚染の部位と測定結果(除染前後)

【除染方法】

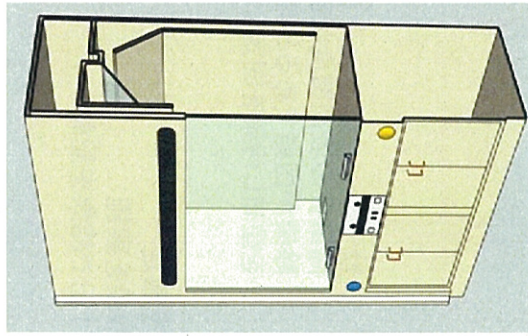
- ・濡れウエスにより、拭き取り除染を実施

※ ガラス窓左側底部のスポット汚染(4k cpm)は、フローモニタ(レガテープ)部分であり、除去した。

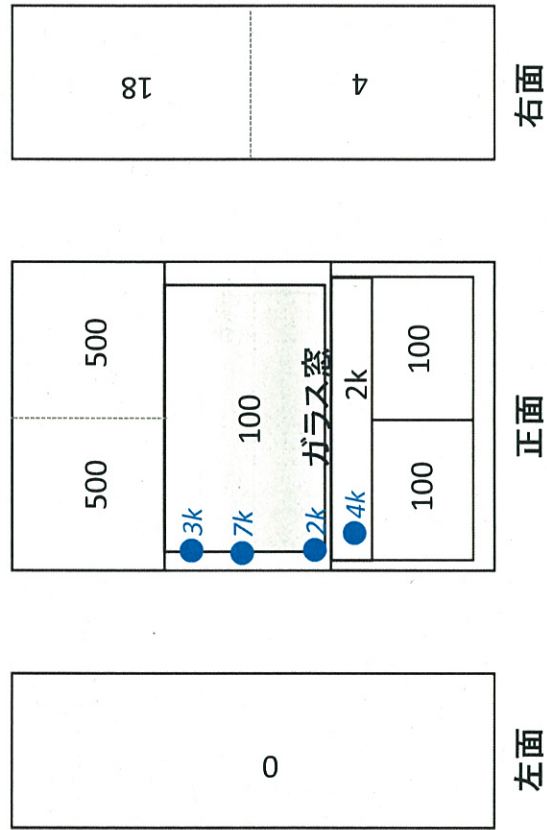


H29.7.31撮影

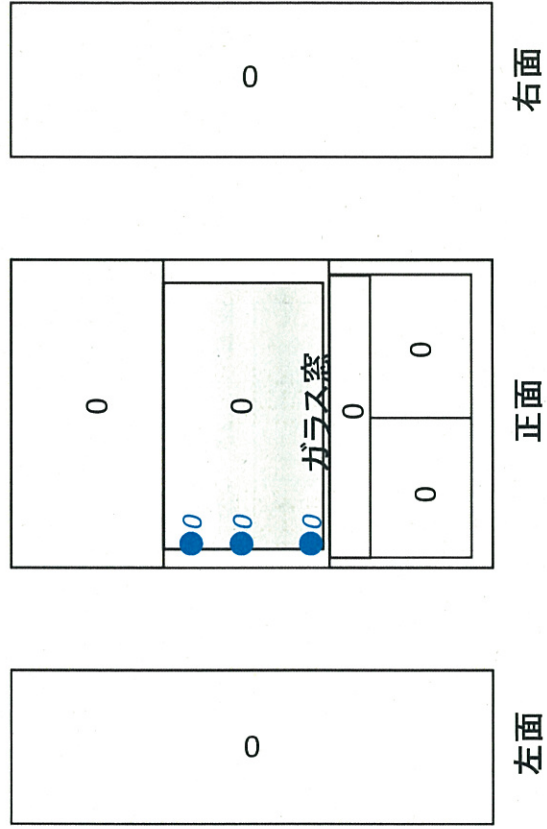
除染後のフード外観写真



フード(H-1)イメージ図

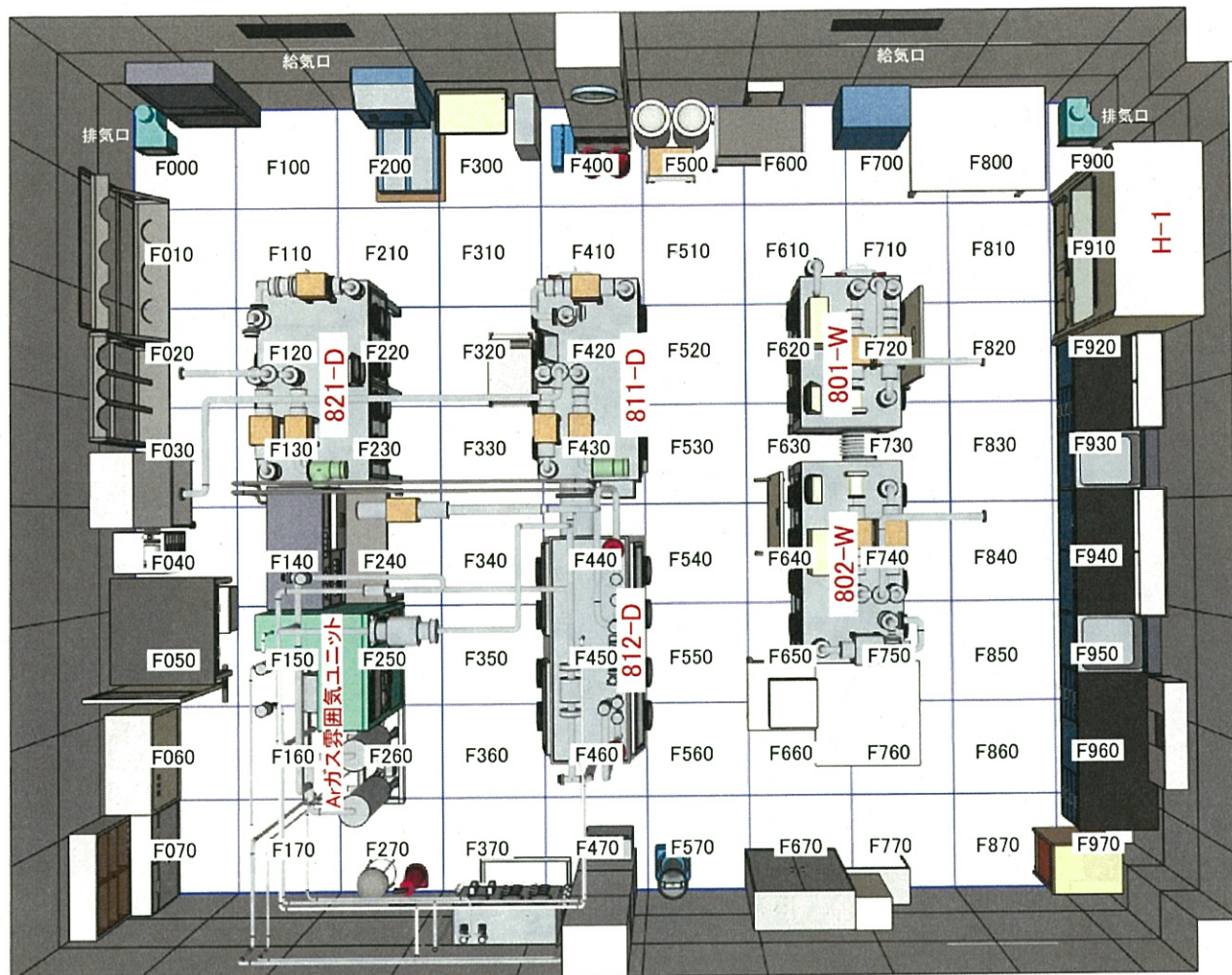


除染前の表面密度(cpm)



除染後の表面密度(cpm)

図6.2.7 フード (H-1) 外表面の除染結果



【測定方法】 化学雑巾による拭き取り後、サーベイメータにより化学雑巾を測定

	000	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
00	8.77	3.59	2.57	1.02	0.91	0.90	6.57	2.78	13.23	6.77	机等が設置されており、 床面の露出はない。
10	8.89	2.76	2.42	1.05	1.55	1.73	2.82	5.50	23.22		
20	12.89	1.85	0.85	1.05	0.81	1.92	1.02	5.27	4.16		
30	4.99	1.62	0.99	1.14	0.83	0.97	1.63	4.24	8.47		
40	1.20	2.60	0.69	1.07	0.85	0.43	1.93	3.89	8.81		
50	0.39	2.71	1.33	0.74	0.29	0.76	1.58	2.15	6.03		
60	2.33	1.87	1.79	0.60	4.47	1.03	1.83	6.08	2.63		
70	1.15	1.29	1.02	0.93	1.26	0.65	0.96	1.48	2.14	0.50	

1未満 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10以上 [Bq/cm²]

図6.2.8 108号室床面の表面密度分布 (除染前)

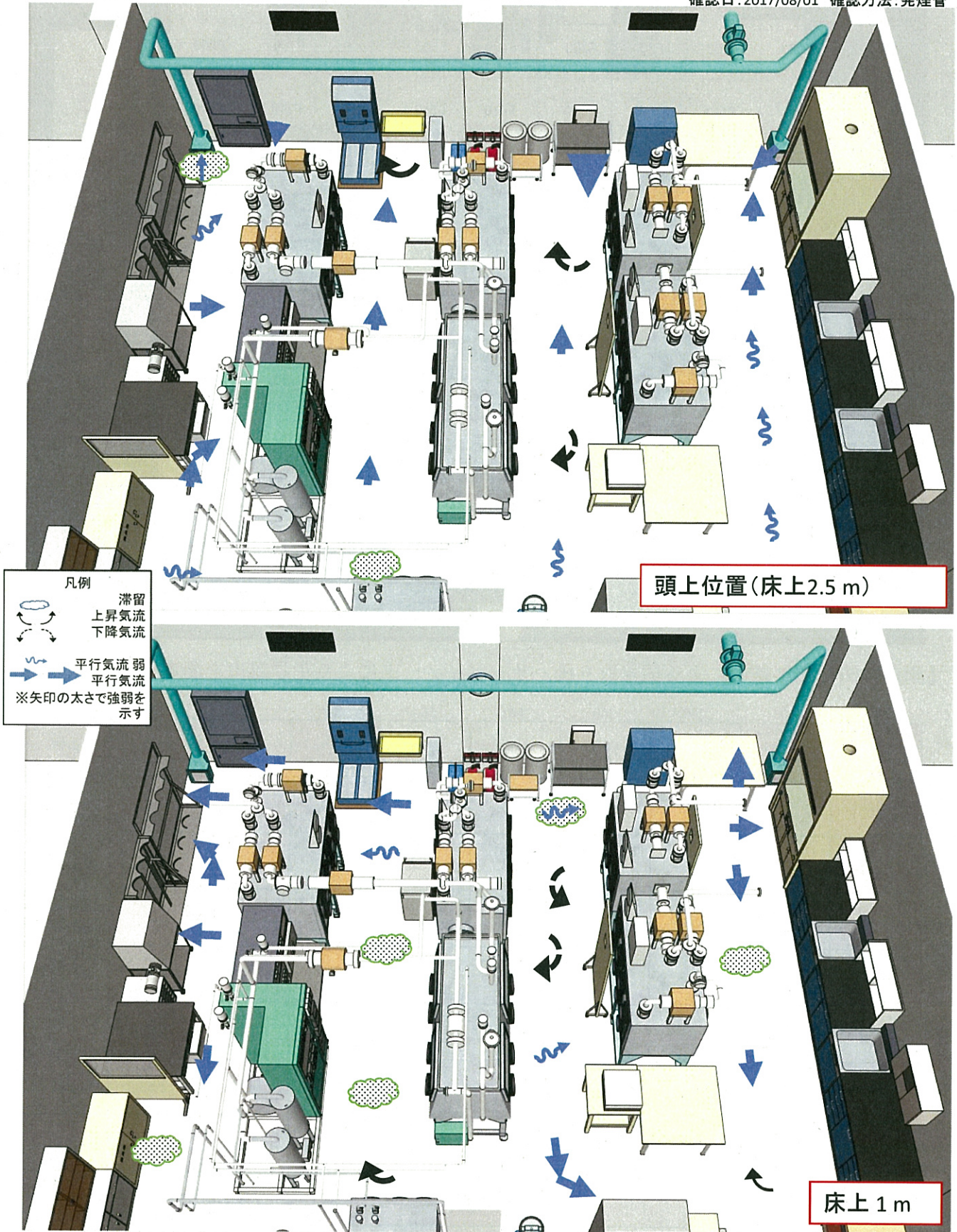
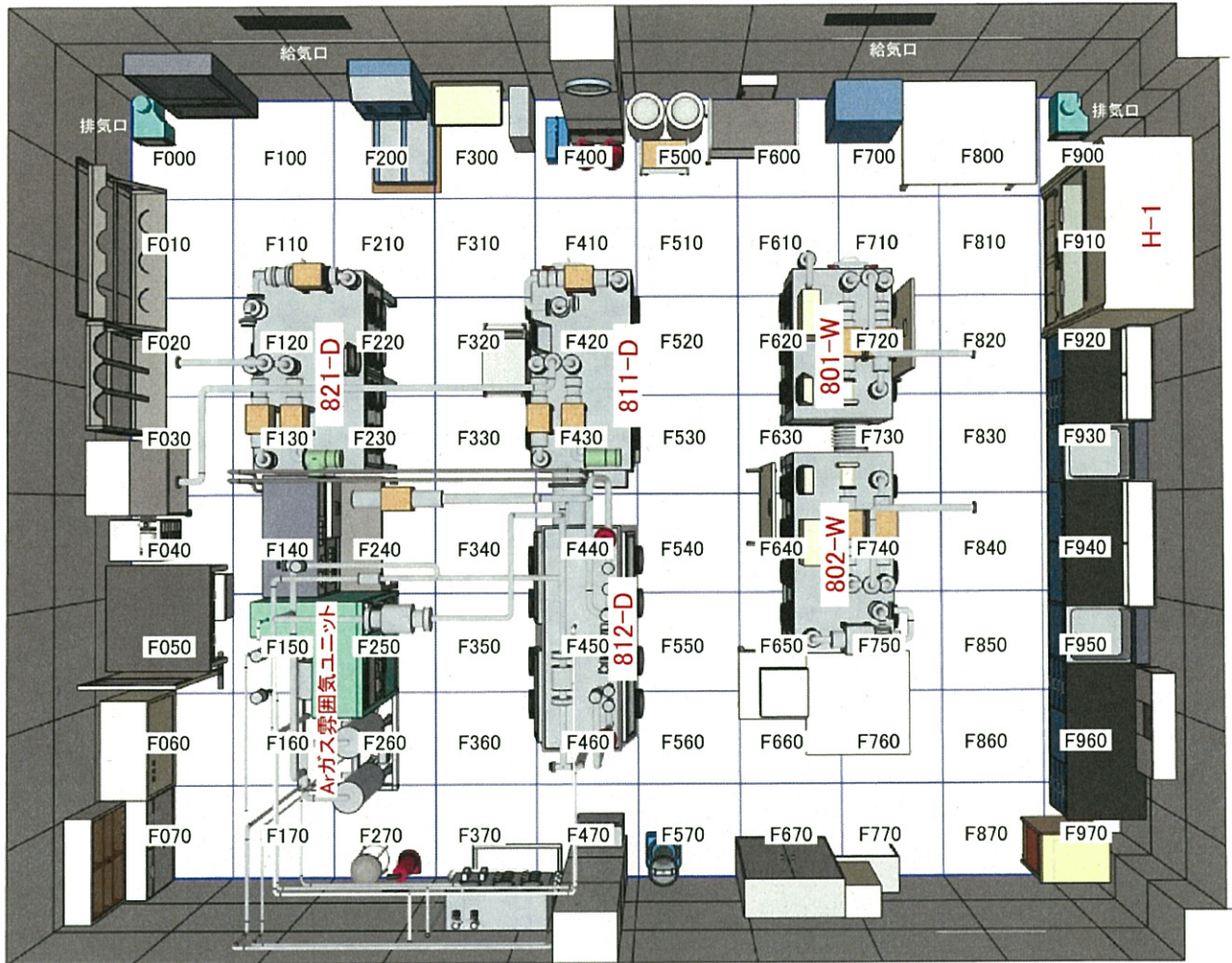


図6.2.9 108号室の空気流線測定結果



【測定方法】 化学雑巾による拭き取り後、サーベイメータにより化学雑巾を測定

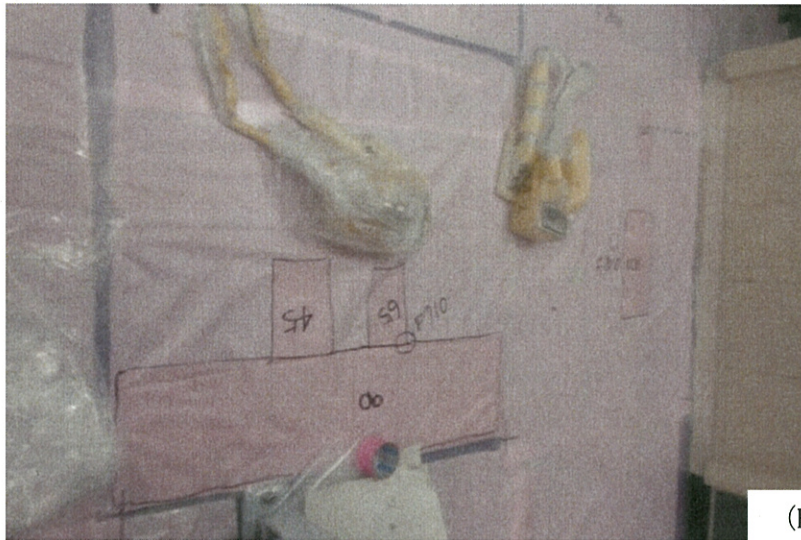
	000	100	200	300	400	500	600	700	800	900	
00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	机等が設置されており、 床面の露出はない。
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
70	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

1未満	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10以上
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------

[Bq/cm²]

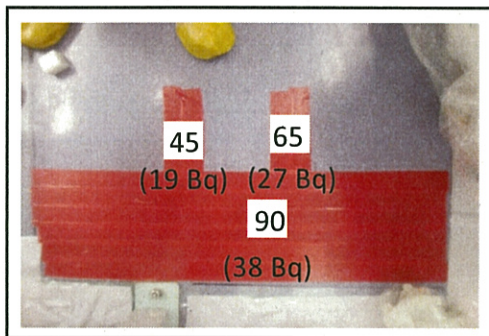
ND: 検出限界未満

図6. 2. 10 108号室床面の表面密度分布 (除染後)



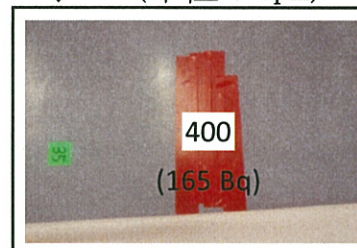
(H29. 8. 22撮影)

(b) 除染作業後のビニルシートによる養生の状況



(H29. 8. 21撮影)

←(a) 汚染の固定状況
↓
(単位: cpm)



(H29. 8. 21撮影)

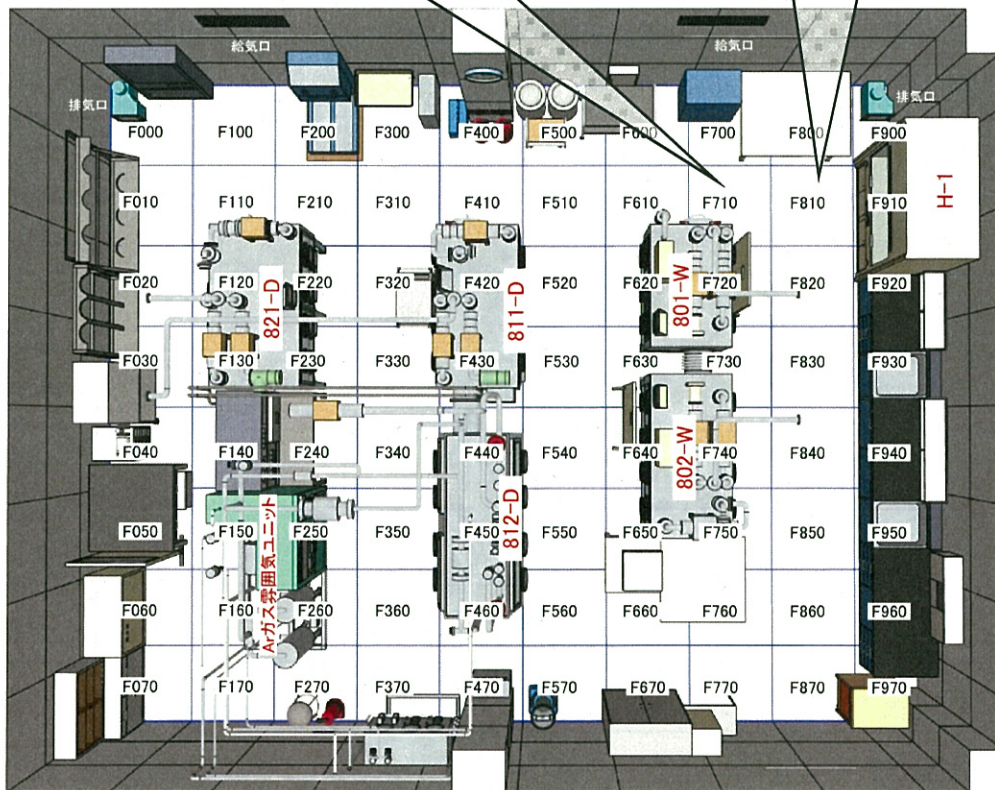
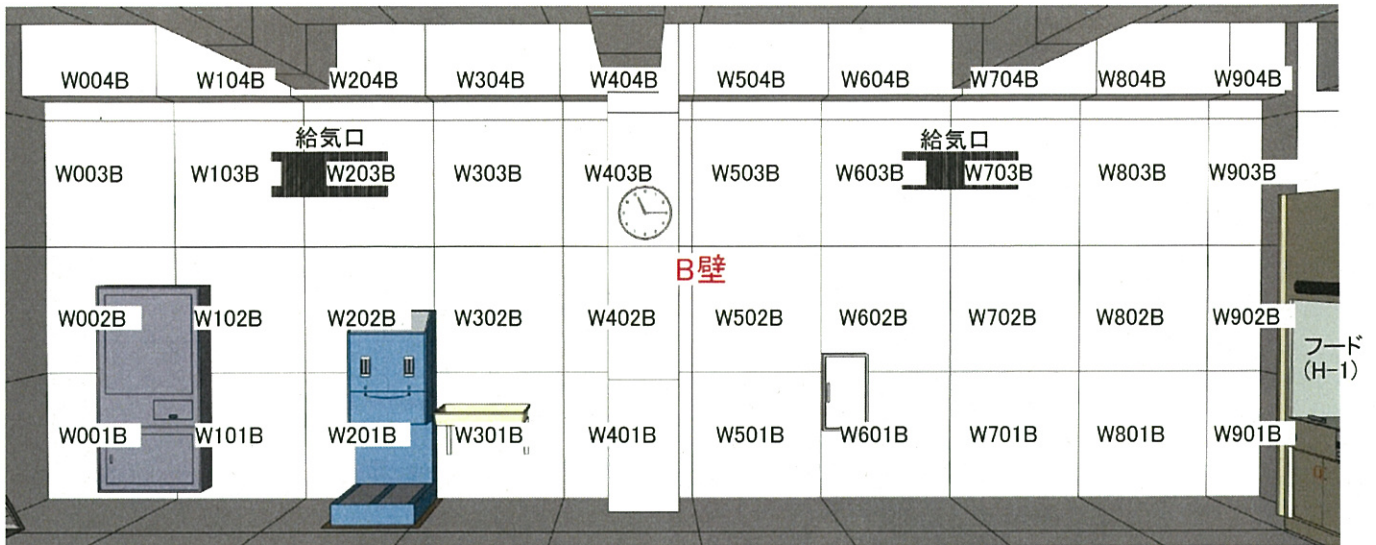


図6. 2. 11 108号室床面の汚染固定及び除染後の養生の状況



【測定方法】化学雑巾による拭き取り後、サーベイメータにより化学雑巾を測定

【除染前の表面密度】

		000	100	200	300	400	500	600	700	800	900
天井側	04	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.03	
	03										
床面側	02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01	0.02	
	01										

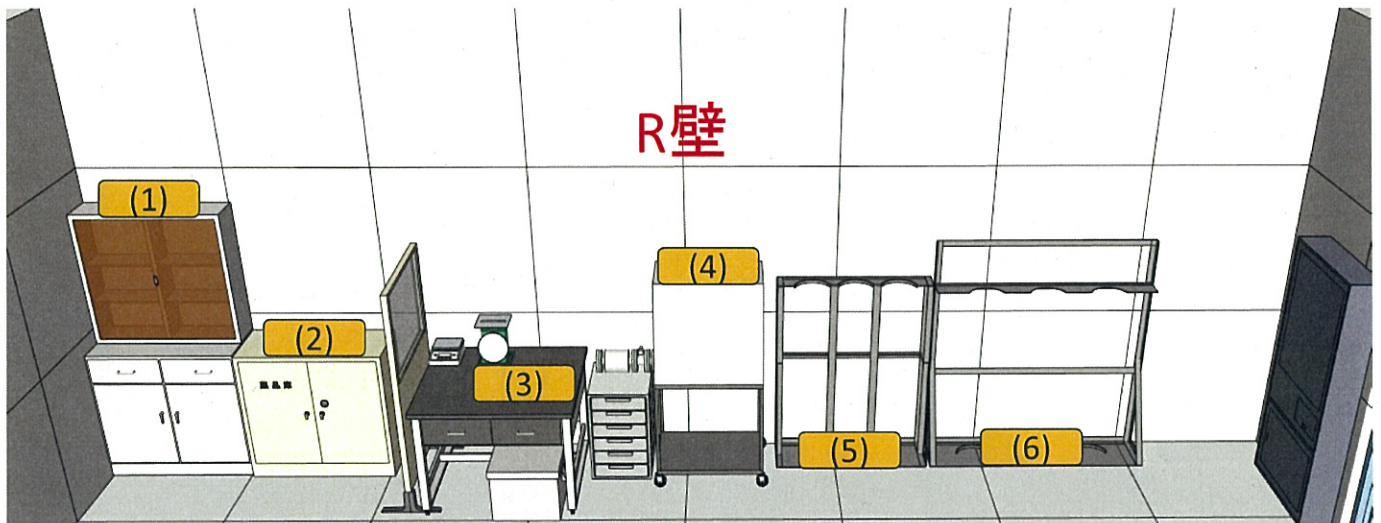
【除染後の表面密度】

		000	100	200	300	400	500	600	700	800	900
天井側	04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	03										
床面側	02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	01										



ND: 検出限界未満

図6.2.12 B壁面の除染前後における表面密度分布



【除染前後の表面密度】

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
除染前 (Bq/cm ²)	0.36	0.99	0.86	2.23	2.11	3.32
除染後	ND	ND	ND	ND	固定	固定

ND: 検出限界未満

【汚染固定前】 → 【ストリッパブルペイントによる汚染固定後】

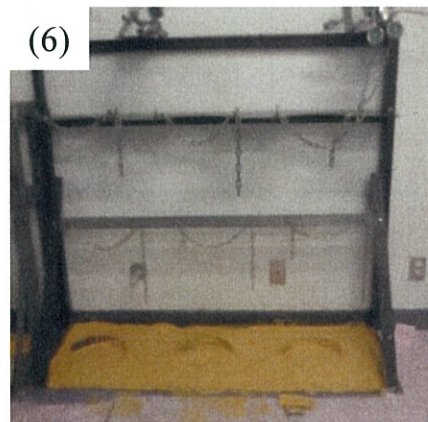


(H29. 8. 28撮影)

(表面状態に起因し、ボンベスタンド下面の除染は困難)

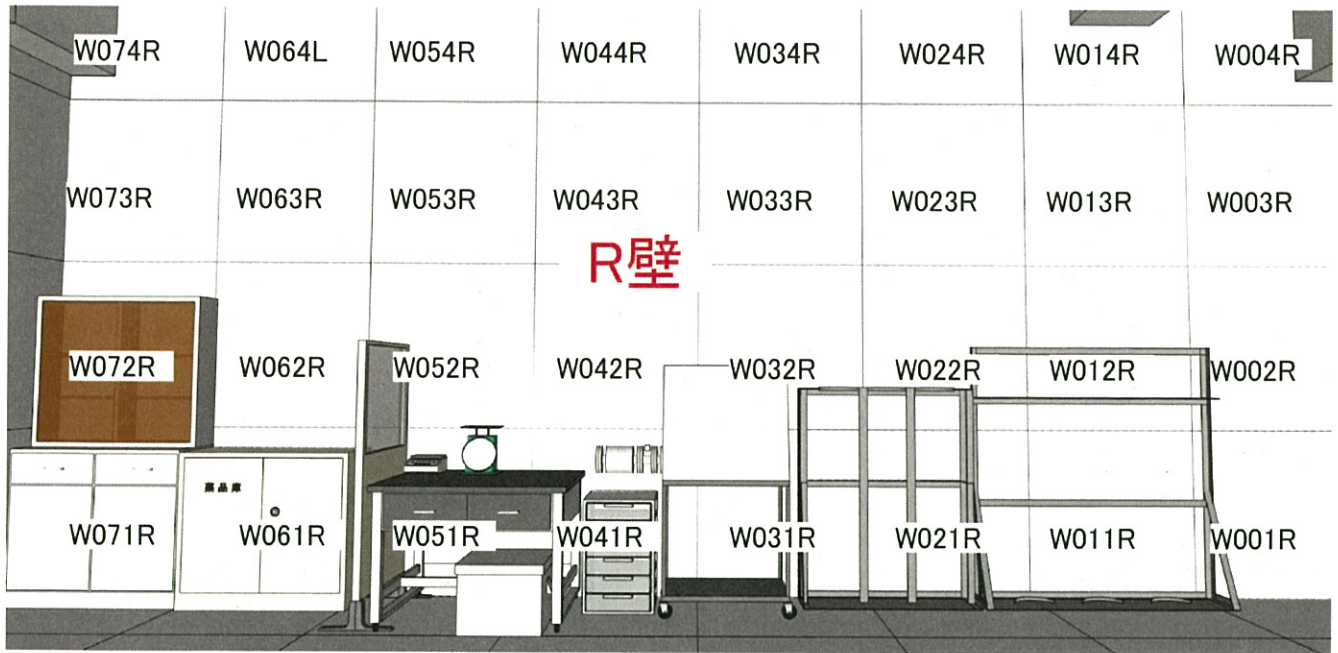


(H29. 8. 28撮影)



(H29. 8. 28撮影)

図6. 2. 13 R壁面備品の除染前後における表面密度と汚染固定写真



【測定方法】 化学雑巾による拭き取り後、サーベイメータにより化学雑巾を測定

【除染前の表面密度】

		070	060	050	040	030	020	010	000
天井側	04	< 0.01		< 0.01		< 0.01		< 0.01	
	03								
床面側	02	ND		< 0.01		ND		0.02	
	01								

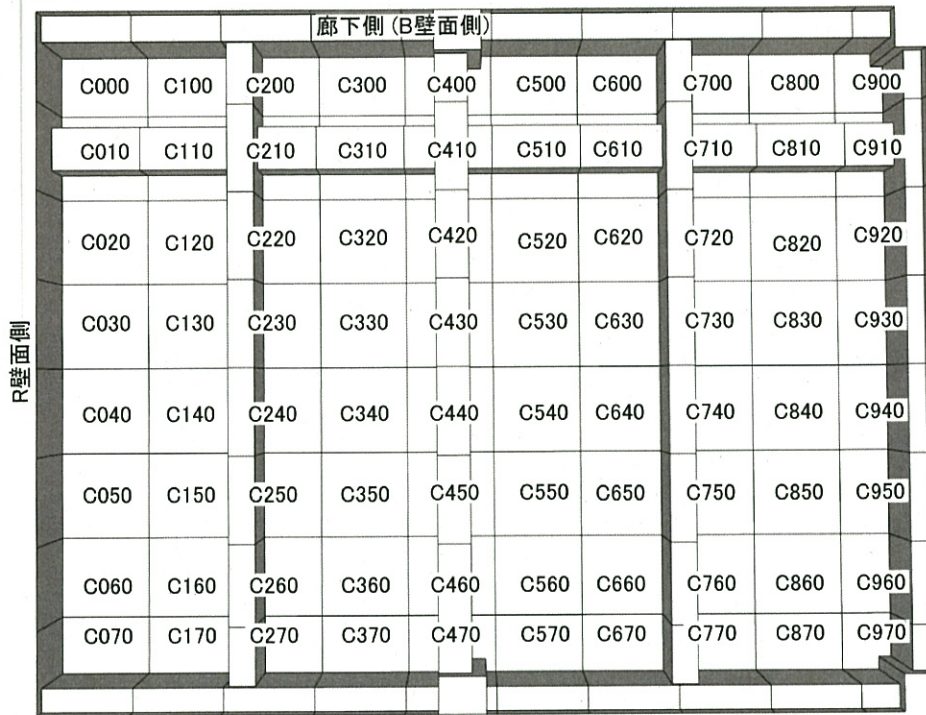
【除染後の表面密度】

		070	060	050	040	030	020	010	000
天井側	04	ND		ND		ND		ND	
	03								
床面側	02	ND		ND		ND		ND	
	01								



ND: 検出限界未満

図6.2.14 R壁面の除染前後の表面密度分布



【測定方法】 化学雑巾による拭き取り後、サーベイメータにより化学雑巾を測定

【除染前の表面密度】

(廊下側)

	000	100	200	300	400	500	600	700	800	900
00	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	ND	ND
10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
20	ND	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
30	ND	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
40	ND	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
50	ND	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
60	ND	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
70	ND	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

【除染後の表面密度】

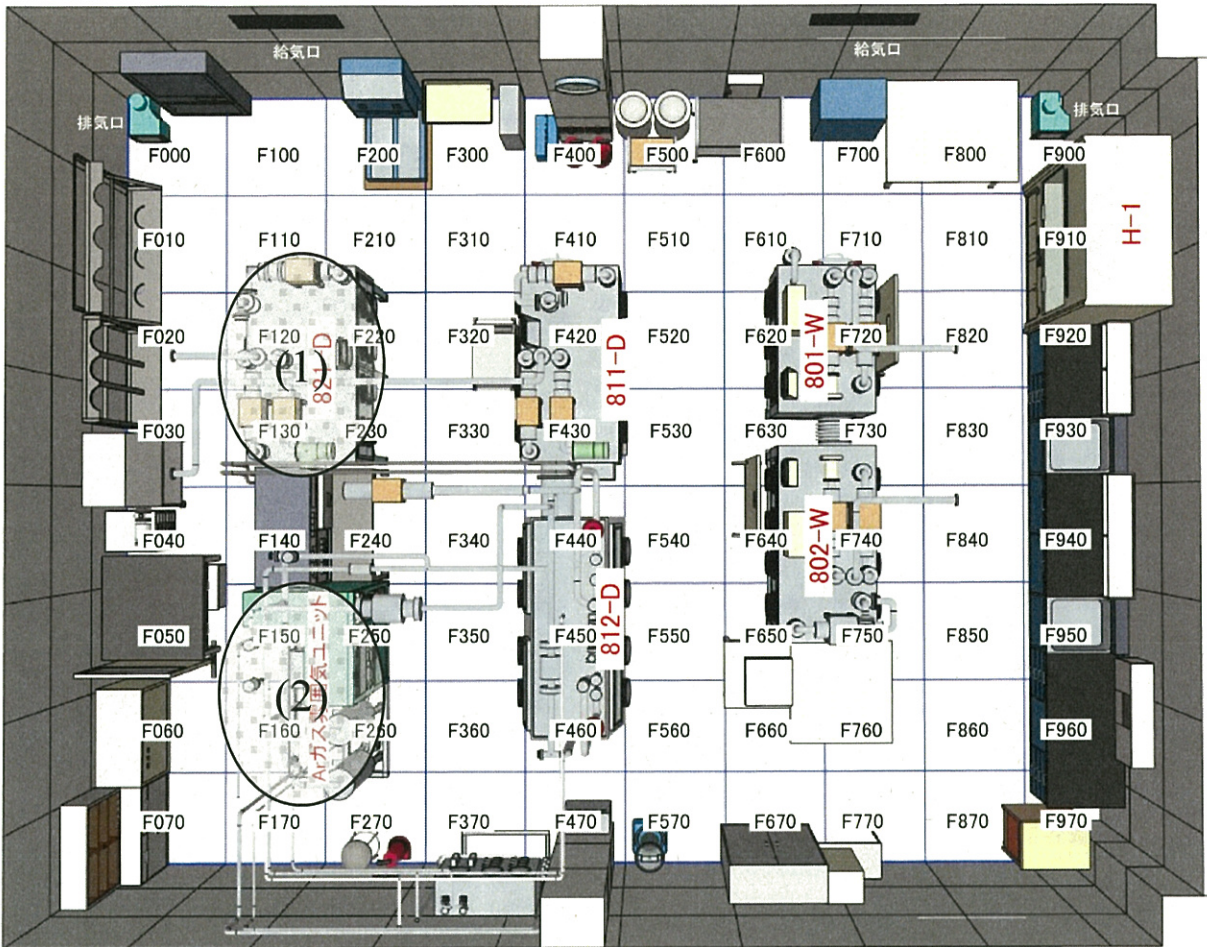
(廊下側)

	000	100	200	300	400	500	600	700	800	900
00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
70	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

1未満 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10以上 [Bq/cm²]

ND: 検出限界未満

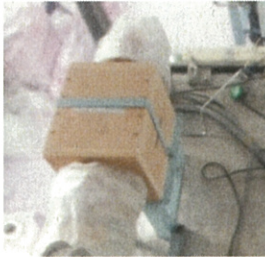
図6.2.15 天井面の除染前後における表面密度分布



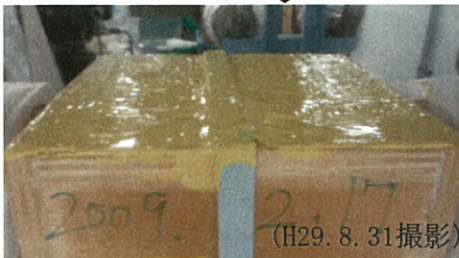
装置	除染前(最大)	除染後	備考
(1)グローブボックス(821-D)	0.661 Bq/cm ²	ND	一部固着有
(2)Arガス雰囲気ユニット	0.559 Bq/cm ²	ND	一部固着有

ND: 検出限界未満

グローブボックスのフィルタ木枠に
固着汚染有

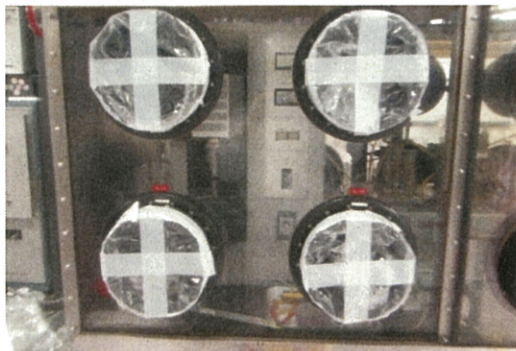


(H29. 8. 30撮影) ↓



ストリッパブルペイント塗布後
(表面状態に起因し、木枠上面の除染は困難)

除染後のグローブボックスの
グローブポート部



(H29. 9. 1撮影)
(ビニル養生)

除染後のArガス雰囲気
ユニット



(H29. 9. 5撮影)

(ビニル養生)

図6. 2. 16 装置の除染前後における表面密度測定結果



貯蔵容器から取り出した収納物の全体像
(H29. 8. 2撮影)



ポリ容器の蓋を外した状態
(H29. 8. 3撮影)

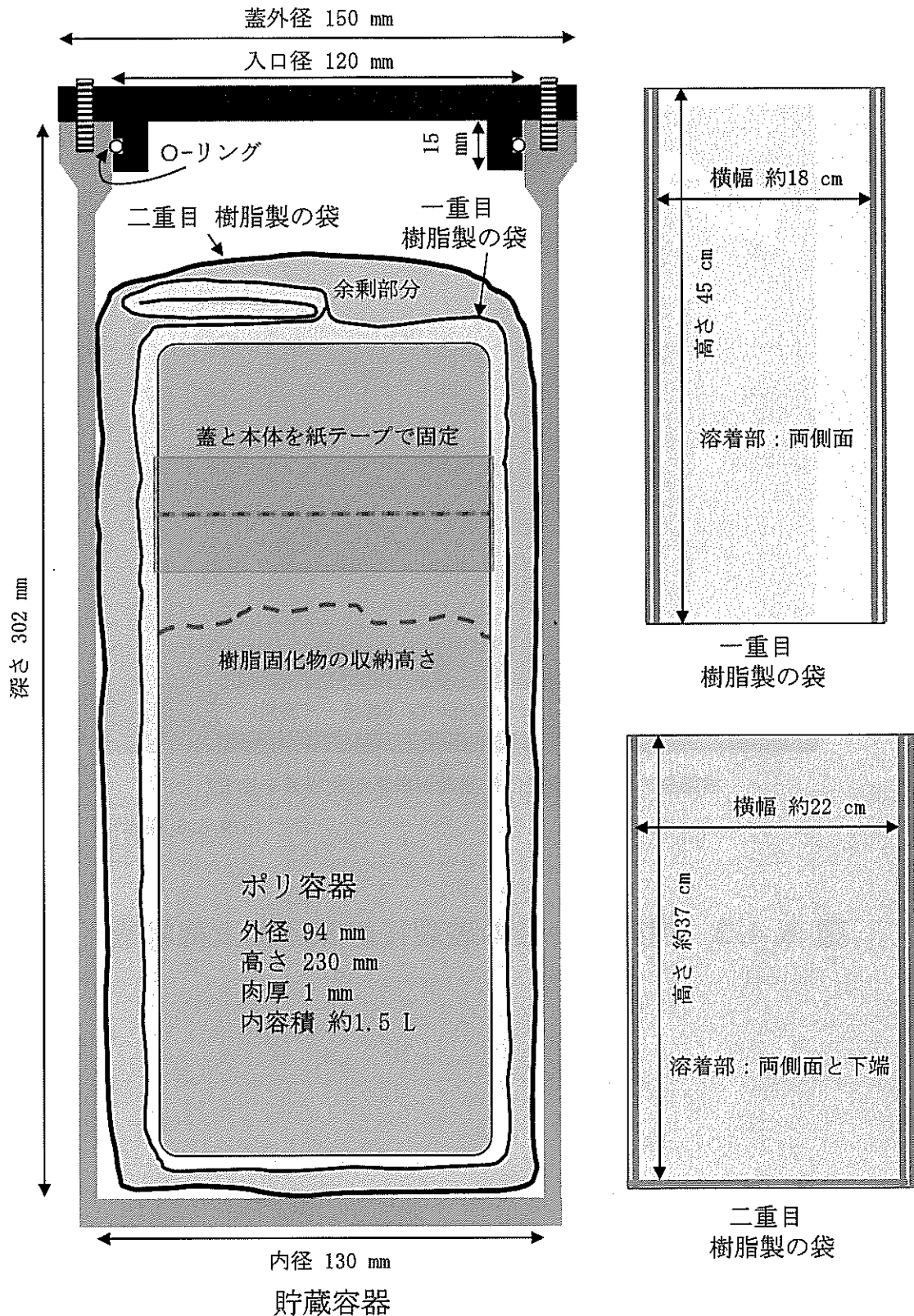


ポリ容器から回収する前の
樹脂固化物の収納状態
(H29. 8. 2撮影)



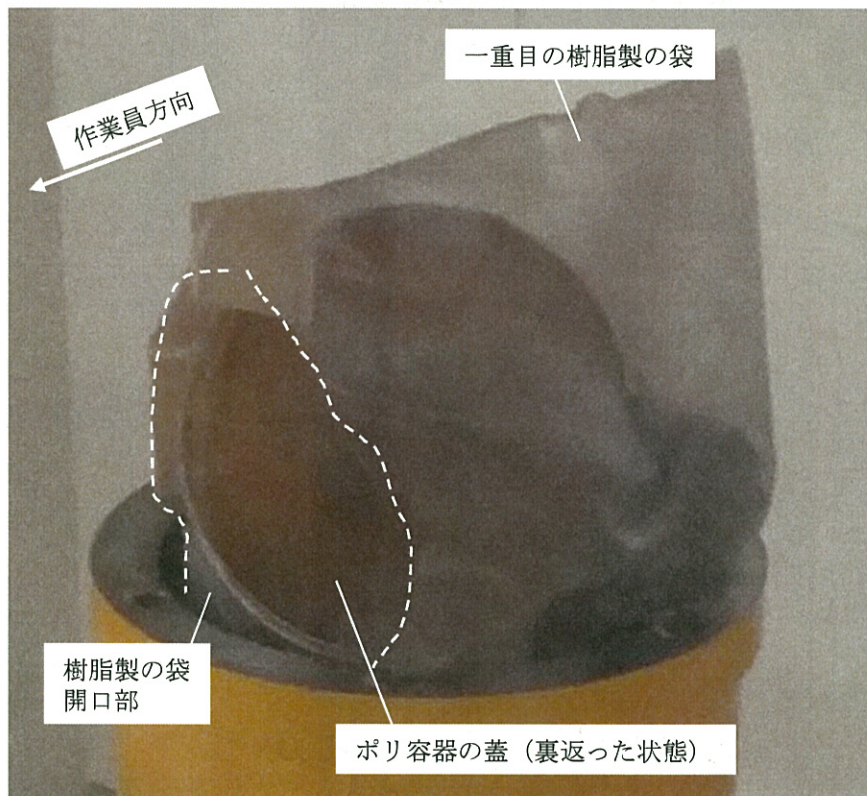
ポリ容器底部付近のかけら成分
(H29. 8. 4撮影)

図 6. 4. 1 貯蔵容器内容物を取り出した際の外観写真



全高320 mm×胴外径140 mm、胴体肉厚5 mm、底肉厚8 mm、蓋肉厚10 mm、内容積約3.9 L

図 6.4.2 核燃料物質の梱包更新時の収納状態想定図



樹脂製の袋の破裂後に作業員が撮影した写真を拡大

(H29. 6. 6 撮影)

図 6. 4. 3 樹脂製の袋の破裂後貯蔵容器上部状態



図 6.4.4 フード手前における床養生シート上の飛散物の外観

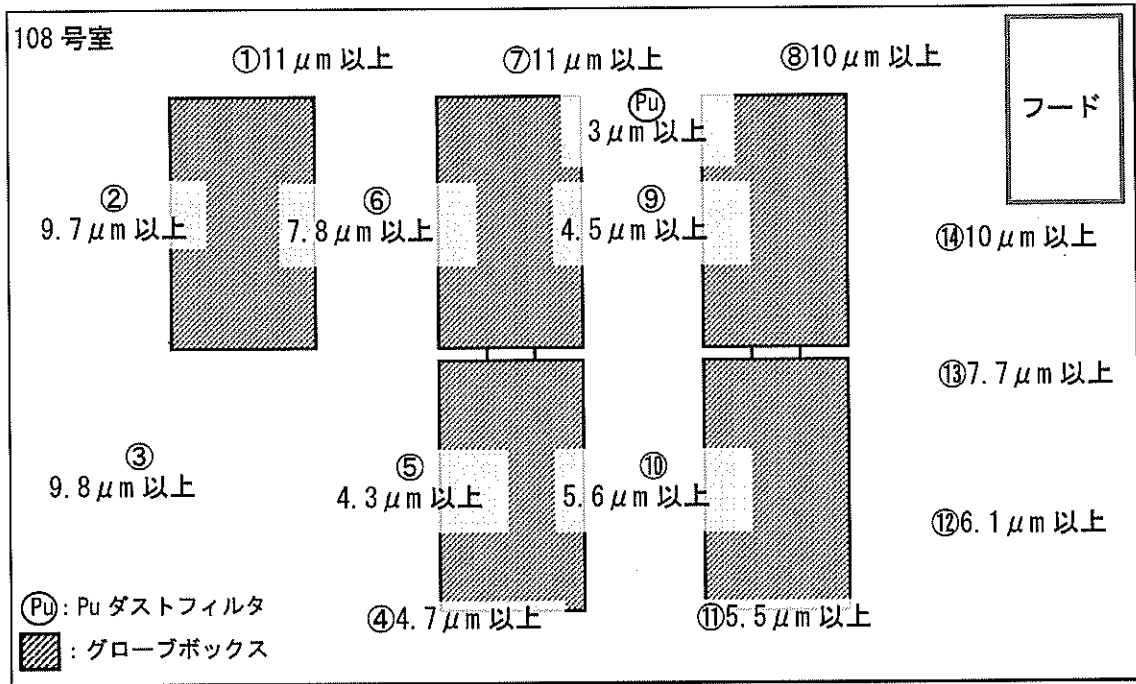
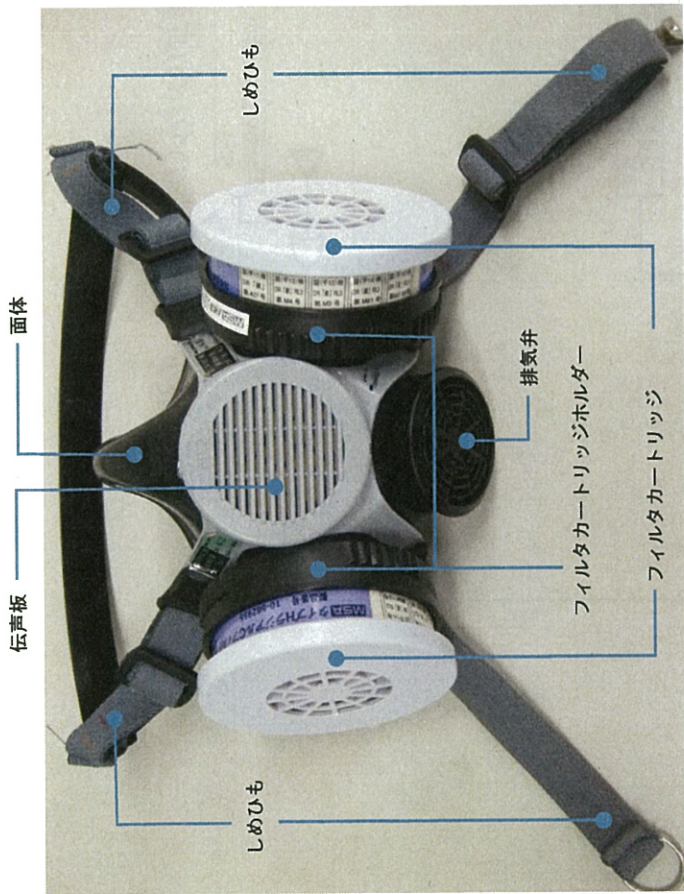


図 6.5.1 108号室スミヤろ紙及び室内PuダストモニタNo.2フィルタの
空気力学的放射能中央径 (AMAD) 分布評価結果

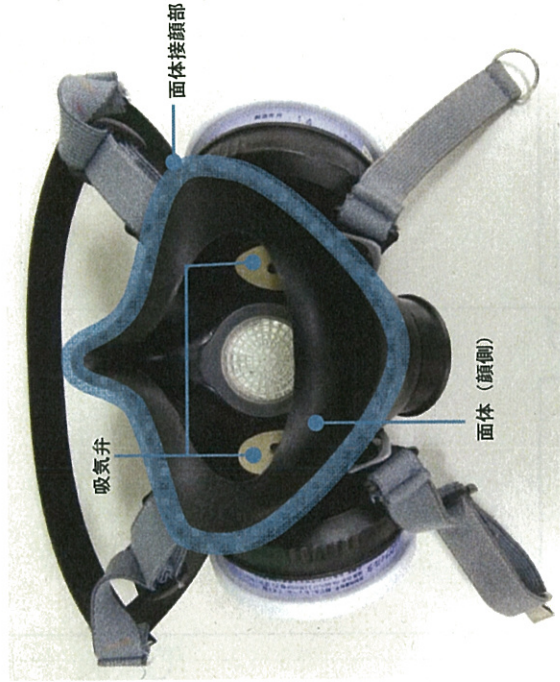


マスク前面



マスク前面

(フィルタカートリッジ取り外し状態)



マスク着用者側

図6.5.2 半面マスクの構造

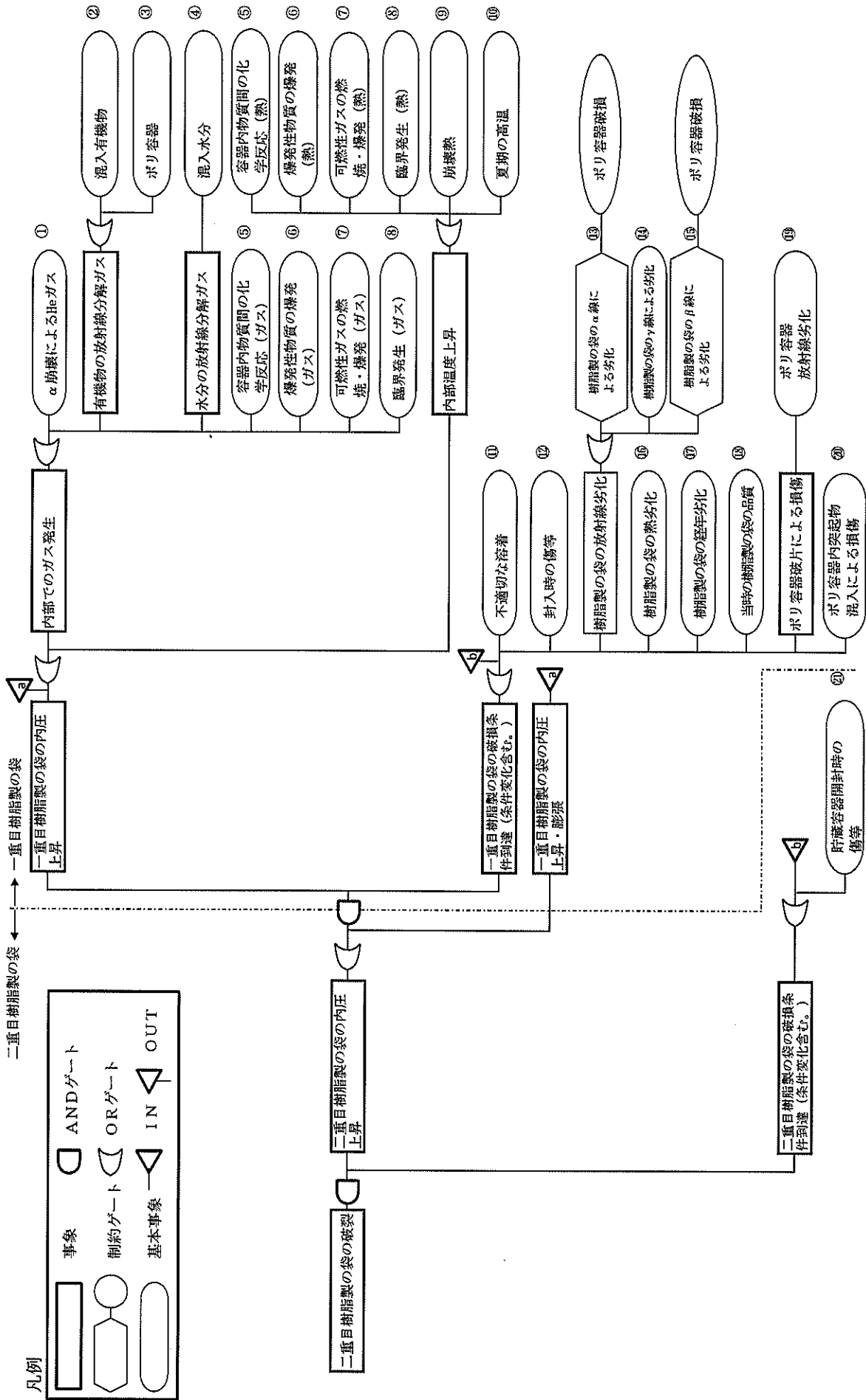


図7.1.1 樹脂製の袋の破裂要因に係るフオルトツリ一図

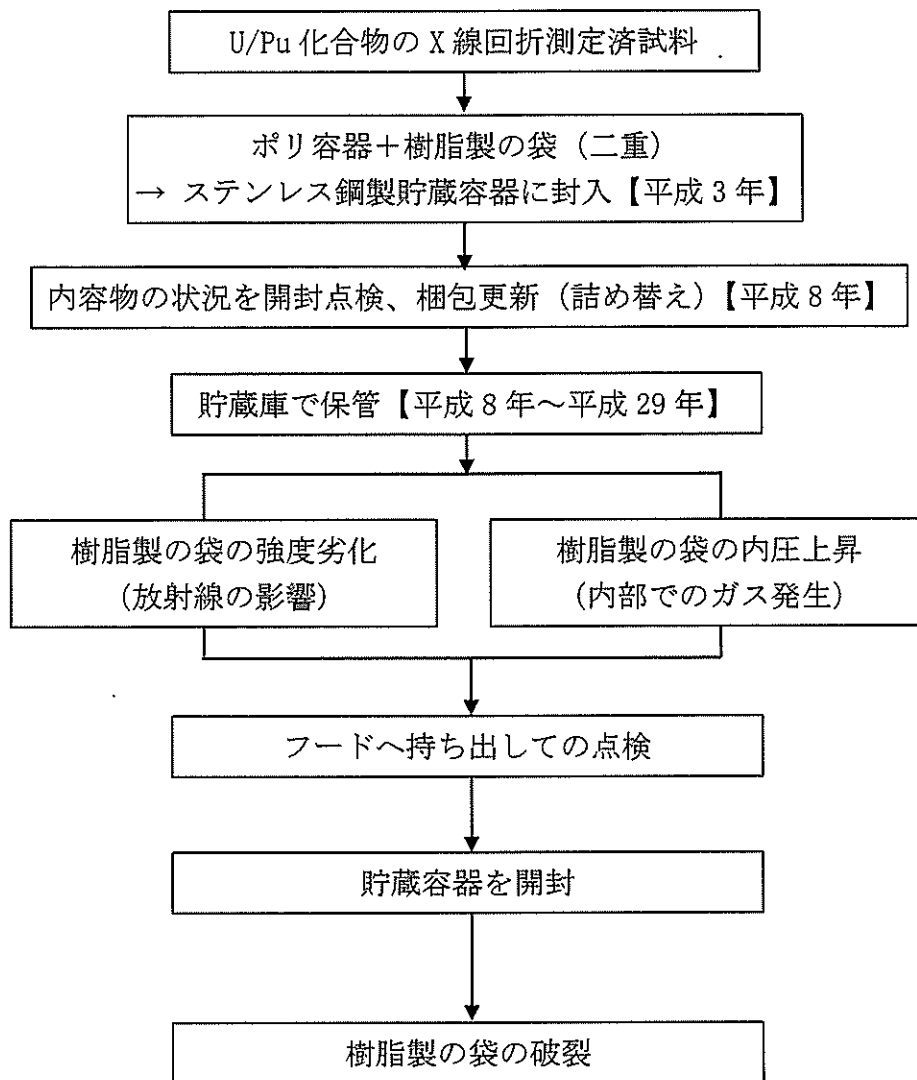
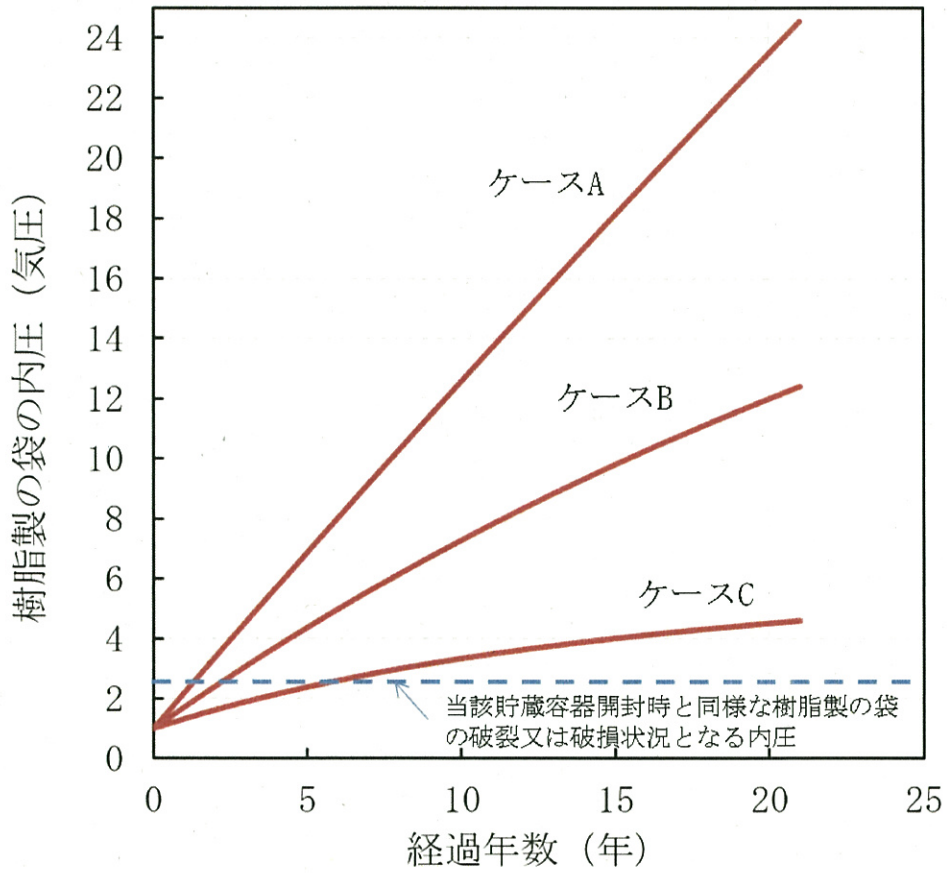


図 7.1.2 樹脂製の袋の破裂に至る推定シナリオ



(当該貯蔵容器開封時と同様な樹脂製の袋の破裂又は破裂状況となる内圧は、21年間の貯蔵期間中の γ 線照射による樹脂製の袋の劣化を模擬した状態に相当)

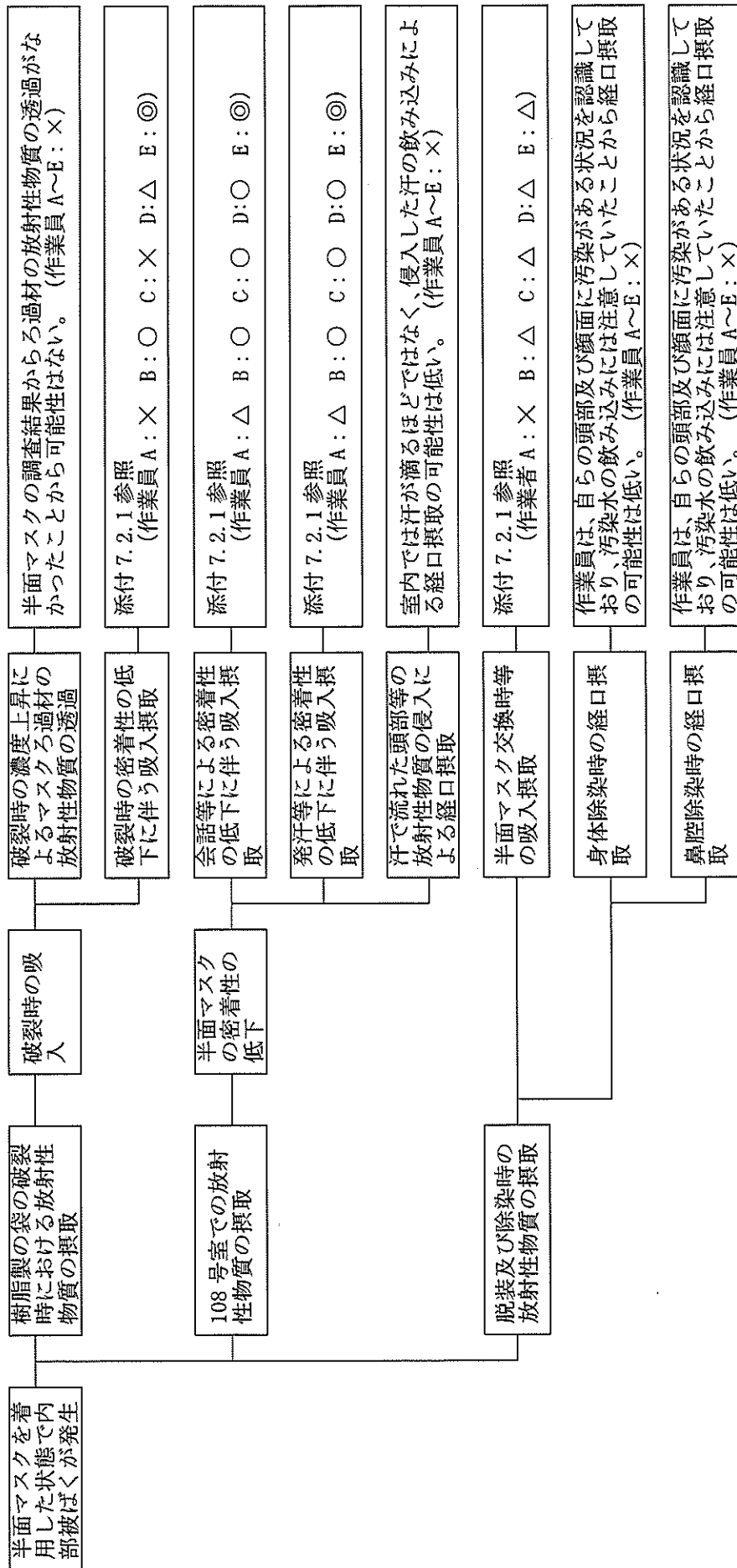
図 7.1.3 樹脂製の袋における内圧の経時変化の計算結果

調査結果

調査項目

放射性物質の摂取の原因

事象



○：被ばくの経路として可能性が高いと評価したもの Δ：可能性があるが低いと評価したもの X：可能性が低いと評価したもの
 ⊙：○のうち、線量限度との関係で重大な被ばくの可能性を評価したもの

図 7.2.1 被ばく経路の推定に係る要因分析図

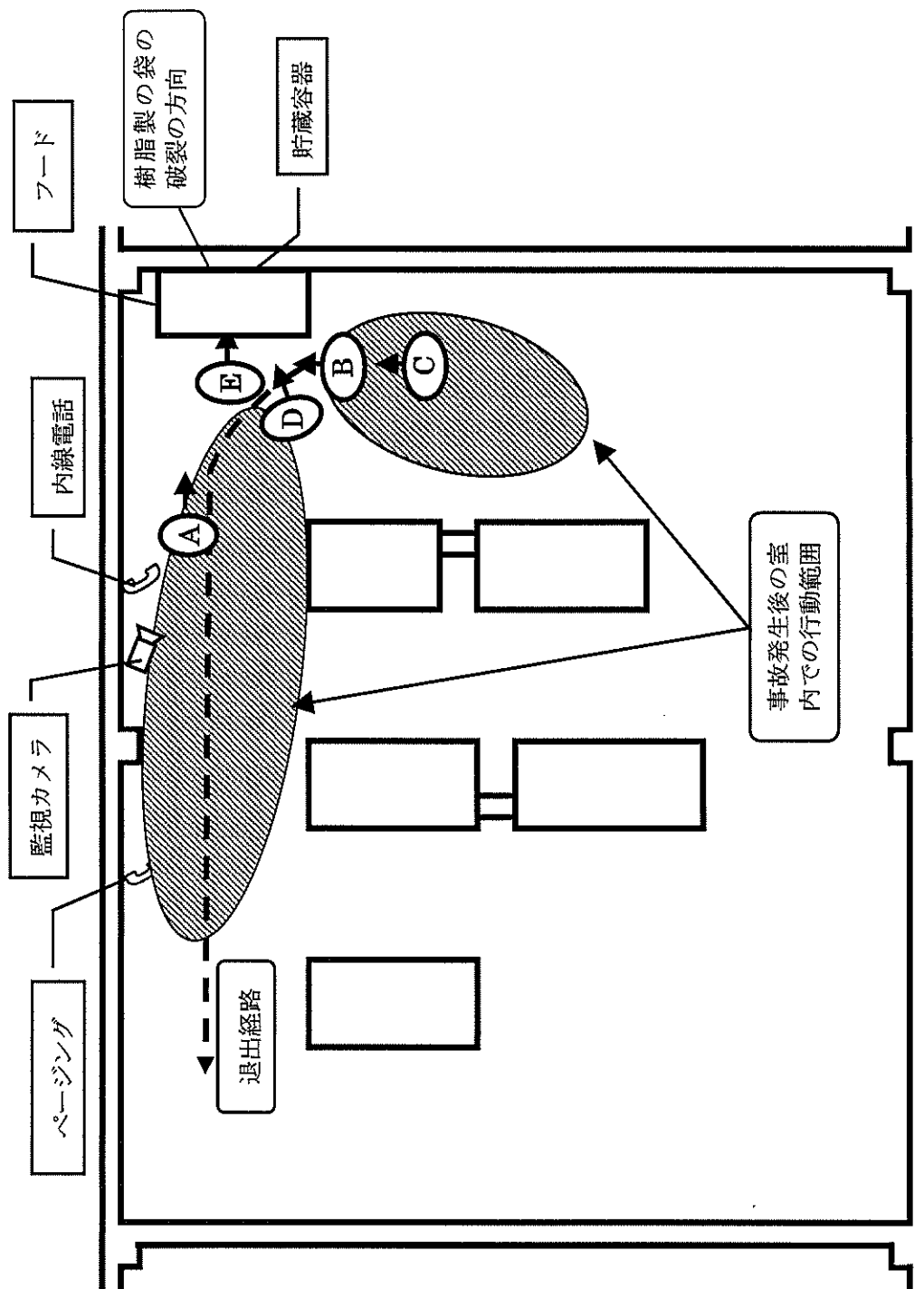


図 7.2.2 作業員の事故発生時の位置及び事故発生後の行動範囲

表 4.2.1 鼻腔内汚染検査結果

作業員	α 放射能 (Bq)
A	不検出
B	不検出
C	13
D	3
E	24

※鼻腔内汚染検査に用いた測定器及び測定結果を添付 4.2.3 に示す。

表 4.2.2 核燃料サイクル工学研究所における肺モニタ測定結果

(平成 29 年 6 月 6 日)

作業員	放射能 (Bq)	
	Pu-239	Am-241
A	$< 2.2 \times 10^3$	$< 7.1 \times 10^0$
B	$< 5.6 \times 10^3$	8.5×10^0
C	$< 6.0 \times 10^3$	1.2×10^1
D	$< 1.4 \times 10^4$	1.3×10^2
E	2.2×10^4	2.2×10^2

注 1: 「<」は、核種が検出されておらず、この値未満であることを示す。

なお、この値は被測定者体内の天然核種の量などによって異なる。

注 2: 表の値は平成 29 年 6 月 6 日時点のものである。

注 3: 肺モニタ仕様、測定方法等を添付 6.3.2 に示す。

注 4: 量研 放医研は平成 29 年 6 月 12 日付けで肺モニタの測定結果について次のように公表している。「肺モニターの計測は、受け入れ以降、3~4 回実施。全員、いずれの回の計測からも、プルトニウムについては明確なエネルギーピークを確認できなかった。アメリシウムについては、計測データからエネルギーピークを確認した方がいるが、そのレベルは減少している。」

表 4.2.3 事故発生場所に係る時系列

日付	時間	内容
平成 29 年 6 月 6 日	11:15 頃	燃料研究棟の 108 号室（管理区域内）において、核燃料物質を収納した貯蔵容器の点検作業中（フード（H-1）内作業）、貯蔵容器内の樹脂製の袋の破裂を確認し、作業員 5 名に身体汚染の可能性を確認した。作業員 5 名は半面マスクを着用していた。当該作業に当たっての手袋の装備としては、内側から、布手袋、ゴム手袋①、ゴム手袋②と 3 重に重ねて装着していた。
	11:20 頃	108 号室作業員から 101 号室で行っていた熔融塩電解炉の運転中断を指示
	11:23 頃	作業員 A から施設管理統括者である福島燃料材料試験部長へ汚染発生を連絡
	11:25 頃	放射線管理第 2 課員 2 名が燃料研究棟に到着。放射線管理第 2 課員が Pu ダストモニタ No. 2（108 号室）の指示値が正常値であることを確認
	11:30 頃	放射線管理第 2 課員が放射線モニタ異常無しを確認
	11:35 頃	放射線管理第 2 課員（上記 2 名のうち 1 名）が管理区域へ入域
	11:37 頃	放射線管理第 2 課員が実験室廊下の汚染無しを確認。負傷者無し
	11:37 頃	作業員 5 名自らが α 線用表面汚染検査計を用いて測定した結果、全員の汚染を確認（汚染の有無のみの確認で、数値については記録無し）
	11:48 頃	施設管理統括者から連絡責任者（危機管理課長）に連絡するとともに現場指揮所を設置
	11:54 頃	施設管理統括者が 108 号室廊下にグリーンハウス設置を指示
	12:00	Pu ダストモニタ No. 2（108 号室）及び排気ダストモニタ指示値異常無し
	12:00	大洗現地対策本部設置
	12:20	モニタリングポスト（P-2）指示値異常無し。環境への影響無し
	12:22	Pu ダストモニタ No. 2（108 号室）及び排気ダストモニタ指示値異常無し
	12:23	放射線管理第 2 課にグリーンハウス設置場所の汚染確認のための入域を依頼
	12:27	FAX（第 1 報）発信→12:52 FAX 着信確認完了
	12:43	グリーンハウス資材の準備完了
	12:45	グリーンハウス資材搬入準備開始
	12:52	放射線管理第 2 課員 1 名、燃料試験課員 1 名、管理区域に立ち入り。作業員、健康状態異常無しを確認
	13:05	108 号室の壁 非常口等のすき間（外側境界）の汚染無し、目張りを実施
	13:10	Pu ダストモニタ No. 2（108 号室）及び排気ダストモニタ指示値異常無し
	13:15	グリーンハウス組立要員 5 名（燃料試験課員 2 名、他施設から 3 名）入域、108 号室入口グリーンハウス設置開始
	13:22	FAX（第 2 報）発信→13:40 FAX 着信確認完了
13:45	グリーンハウス組立追加要員（燃料試験課員 1 名、他施設から 1 名）入域（組立要員計 7 名）	

日付	時間	内容
平成 29 年 6 月 6 日	13:55	Pu ダストモニタ No. 2 (108 号室) の指示値上昇を確認 (約 5×10^{-8} Bq/cm ³ (1 週間平均濃度))。排気ダストモニタは通常指示範囲内を確認
	14:00	グリーンハウス骨組み設置完了、ビニルシート貼付け等作業開始
	14:20	モニタリングポスト (P-2) 指示値異常無し。環境への影響無し
	14:29	108 号室入口グリーンハウス設置完了
	14:30	Pu ダストモニタ No. 2 (108 号室) の指示値 (約 5×10^{-8} Bq/cm ³ (1 週間平均濃度)) 変動無し
	14:30~	作業員の 108 号室からの退室開始 (身体の汚染検査)
	14:44~	作業員 A の汚染検査実施: 最大 100 cpm (0.33 Bq/cm ²) (α 線、特殊作業帽子)。半面マスク交換後に特殊作業衣等の脱装、身体汚染無し。鼻腔内汚染検査結果: 異常無し
	14:53	FAX (第 3 報) 発信→15:15 FAX 着信確認完了
	14:59~	作業員 B の汚染検査実施: 最大 3,000 cpm (9.7 Bq/cm ²) (α 線、特殊作業衣)。半面マスク交換後に特殊作業衣等の脱装、汚染検査結果: 身体汚染有り; 耳 500 cpm (1.7 Bq/cm ²) (α 線)。鼻腔内汚染検査結果: 異常無し。シャワー室で除染実施 [15:25-16:34] (シャワー開始後 1~2 分経過して流量が減少したため、ホースを敷設して燃料研究棟機械室から工業用水を引水し、水を用いた除染を再開)
	15:25~	作業員 C の汚染検査を実施: 最大 1,000 cpm (3.3 Bq/cm ²) (α 線、特殊作業帽子)。半面マスク交換後に特殊作業衣等の脱装、鼻腔内汚染検査結果: 13 Bq (α 線)。シャワー室で除染実施 [16:34-17:29] (シャワー使用)
	15:30	モニタリングポスト (P-2) 指示値異常無し。環境への影響無し。
	15:47~	作業員 D の汚染検査を実施: 最大 1,800 cpm (5.8 Bq/cm ²) (α 線、特殊作業衣)。半面マスク交換後に特殊作業衣等の脱装、鼻腔内汚染検査結果: 3 Bq (α 線)。シャワー室で除染実施 ¹⁾ [18:22-18:52] (ホース使用)
	16:07~	作業員 E の汚染検査を実施: 最大 100,000 cpm (322 Bq/cm ²) 以上 (α 線、特殊作業衣)。半面マスク交換後に特殊作業衣等の脱装、鼻腔内汚染検査結果: 24 Bq (α 線)。シャワー室で除染実施 ¹⁾ [17:29-18:22] (ホース使用)
	16:17	モニタリングポスト (P-2) 指示値異常無し。環境への影響無し。
	16:27	108 号室を立入制限区域に設定 (17:05 通算第 4 報にて連絡)
	16:51	グリーンハウス内作業員退出
	17:05	FAX (第 1 報) 【通算第 4 報】 発信→17:40 FAX 着信確認完了
	18:15	Pu ダストモニタ No. 2 (108 号室) の指示値: 変動無し
	18:52	作業員 5 名全員の除染が完了
	18:55	作業員 5 名全員の退城が完了
19:05	作業員 5 名が核燃料サイクル工学研究所に向けて出発	
19:08	プレス文を FAX 発信	
19:40	Pu ダストモニタ No. 2 (108 号室) の集塵用フィルタの交換を実施	

1) 作業員 E の汚染レベルが高かったことから、作業員 D と E の順番を入れ替えて実施した。

日付	時間	内容
平成 29 年 6 月 6 日	19:41	作業員が核燃料サイクル工学研究所に到着
	19:59	肺モニタにて作業員 E の測定を開始
	20:04	Pu ダストモニタ No.2 (108 号室) の集塵用フィルタの交換後、通常指示値範囲内を確認 (この時刻以降、変動無し)。排気ダストモニタ：通常指示範囲内を確認
	21:47	管理区域から防護資材等の片付け作業員が退出
	22:05	作業員にキレート剤の投与を開始
	23:33	作業員 5 名の肺モニタによる測定が終了。測定の結果、Pu-239 と Am-241 について、最大でそれぞれ 2.2×10^4 Bq、 2.2×10^2 Bq を確認 (6 月 6 日時点)
平成 29 年 6 月 7 日	1:05	作業員全員のキレート剤投与を終了
	1:42	作業員 5 名が大洗研究開発センターに到着
	10:00	量研 放医研に向けて大洗研究開発センターを出発 (作業員 5 名)
	10:16	グリーンハウス増設のため、作業開始
	10:42	モニタリングポスト (P-2) 指示値異常無し。環境への影響無し
	11:55	量研 放医研に作業員 5 名到着 身体汚染検査、除染後肺モニタによる測定を開始
	12:12	増設グリーンハウスの設置作業が終了
	12:18	FAX (第 2 報) 【通算第 5 報】 発信→13:01 FAX 着信確認完了
	13:27	原子力規制庁に法令報告と判断した旨を報告 (判断時刻：13:00)
	16:41	108 号室内の汚染検査 (スミヤ試料採取) のため、作業員 2 名が入域
	17:05	FAX (第 3 報) 【通算第 6 報】 発信→17:56 FAX 着信確認完了
	17:05	作業員 1 名退域
	17:09	作業員 1 名退域
18:36	スミヤ試料測定開始	
18:55	スミヤ試料測定終了。108 号室の汚染検査の結果、最大 55 Bq/cm^2 (α 線) の汚染を確認	
平成 29 年 6 月 8 日	10:43	FAX (第 4 報) 【通算第 7 報】 発信→11:20 FAX 着信確認完了
	16:40	グリーンハウス内の整理・除染作業が終了
平成 29 年 6 月 13 日	11:51	大洗研究開発センターに向けて量研 放医研を出発 (作業員 5 名)、 13:52 到着、到着後に作業員 5 名への聞き取りを開始
	14:37	OSL 線量計回収開始
	14:58	OSL 線量計回収終了
平成 29 年 6 月 14 日	14:01	現場に入域
	14:37	SD カードを管理区域から搬出
	14:46	SD カードを現地対策本部へ搬送
	14:50	SD カードが現地対策本部に到着
	15:25	SD カード内の画像チェック開始
	15:29	画像確認終了

日付	時間	内容
平成 29 年 7 月 4 日	14:09	現場に入城
	14:53	108 号室へ入室
	15:17	アクセスルートの確保に係る作業を終了し、108 号室から退室
	16:43	現場から退城
平成 29 年 7 月 6 日	13:48	現場に入城
	14:42	108 号室へ入室
	14:54	貯蔵容器の蓋固定及び転倒防止治具取付を完了
	14:59	ビニルシート及び飛散粒子を収納した金属容器を 108 号室から搬出
	15:08	108 号室から退室
	16:29	101 号室グローブボックス(123-D)へ金属容器を搬入
	16:52	現場から退城
平成 29 年 7 月 7 日	9:29	現場に入城
	14:43	化学雑巾を用いた廊下の汚染検査を開始
	18:24	汚染検査で確認された廊下の汚染拭取り等の作業を終了し、現場から退城
平成 29 年 7 月 12 日	15:35	現場に入城
	17:56	汚染管理の強化に係る作業を終了
	18:09	現場から退城
平成 29 年 7 月 13 日	9:41	現場に入城
	10:30	金属製運搬容器へのスミヤ等の収納作業を終了
	11:00	金属製運搬容器を管理区域から搬出、運搬準備開始
	11:16	金属製運搬容器の運搬開始、燃料研究棟を出発(行先:照射燃料集合体試験施設)
	11:58	現場から退城
平成 29 年 7 月 14 日	14:48	現場に入城
	17:19	グリーンハウス更新準備作業を終了し、現場から退城
平成 29 年 7 月 18 日	10:12	現場に入城
	16:20	グリーンハウスの解体終了
	17:02	現場から退城
平成 29 年 7 月 19 日	9:49	現場に入城
	17:57	グリーンハウスの更新(床養生残し)
	18:08	現場から退城
平成 29 年 7 月 20 日	9:16	現場に入城
	11:35	グリーンハウスの更新終了
	15:36	貯蔵容器を 108 号室から搬出
	16:45	101 号室グローブボックス(123-D)へ貯蔵容器を搬入
	19:04	現場から退城

日付	内容
平成 29 年 7 月 25 日	フード (H-1) 内の汚染検査・除染作業を開始 (7 月 28 日まで)
平成 29 年 7 月 27 日	6 月 6 日に作業員が装着した半面マスク (9 個) を燃研棟から AGF に搬出
平成 29 年 8 月 3 日	108 号室の床の汚染検査・除染作業を開始 (8 月 22 日まで)
平成 29 年 8 月 23 日	108 号室の壁、天井、グローブボックス等の汚染検査・除染作業を開始
平成 29 年 9 月 8 日	101 号室のグローブボックス (123-D) の整理作業中に作業者の特殊作業衣等の汚染が発生。当日の応急措置を実施
	108 号室の壁、天井、グローブボックス等の汚染検査・除染作業を中断
平成 29 年 9 月 11 日	101 号室の現場復旧のための措置を開始 (9 月 13 日まで)
平成 29 年 9 月 19 日	108 号室の壁、天井、グローブボックス等の汚染検査・除染作業を再開

表6.2.1 現場復旧の実績とスケジュール

(1) 安全確保のための措置	
1) フードまでのアクセスルート確保	7/4
2) フード内の貯蔵容器の蓋固定	7/6
3) フード内の貯蔵容器を搬出し、108号室から101号室へ貯蔵容器移動	7/19 → 7/20
(2) 本格的な現場復旧のための措置	
1) 汚染管理の強化	7/12
継続的な改善	
1-1) グリーンハウスの撤去・更新	7/14 → 7/20
2) フード内の除染	7/25 → 7/28
3) 108号室内の粒子回収+床面除染	8/3 → 8/22
4) 108号室内の天井部・壁面・GB他構造物の除染	8/23 → 10月
5) 108号室の全域養生撤去+汚染検査	10月
6) グリーンハウスの除染・解体・撤去	10月

※108号室の放射線状況等により、変更する場合があります。

表 6.3.1 作業員の外部被ばくによる実効線量

実効線量	人数
記録レベル(0.1mSv)未満	5名

表 6.3.2 作業員の内部被ばくによる実効線量 (預託実効線量)

実効線量	人数
100 mSv 以上 200 mSv 未満	1名
10 mSv 以上 50 mSv 未満	2名
10 mSv 未満	2名

表 6. 4. 1 当該貯蔵容器内のプルトニウムの 5 種類の同位体組成

組成名称	A	B	C	D	E
受入年月	昭和 56 年 12 月	昭和 55 年 4 月	昭和 55 年 4 月	昭和 54 年 3 月	昭和 54 年 1 月
払出元	旧動燃東海*1	旧原研東海*2	旧原研東海*2	旧動燃東海*1	旧原研東海*2
同位体組成データ (重量%)					
Pu-238	■	■	■	■	■
Pu-239	■	■	■	■	■
Pu-240	■	■	■	■	■
Pu-241	■	■	■	■	■
Pu-242	■	■	■	■	■
Am-241	■	■	■	■	■
組成の年月	昭和 55 年 2 月	昭和 48 年 6 月	昭和 46 年 12 月	昭和 49 年 4 月	昭和 49 年 12 月
年月	α 崩壊の実効崩壊定数*3 (s ⁻¹)				
平成 29 年 6 月	3.06×10^{-12}	1.23×10^{-12}	2.19×10^{-12}	2.97×10^{-12}	1.20×10^{-12}

*1 旧 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所

*2 旧 日本原子力研究所 東海研究所

*3 Am-241 の除去を行なっていないと仮定した値

核物質防護上の観点から ■ の箇所は非開示としています。

表 6. 4. 2 平成 8 年 5 月から平成 9 年 2 月までに実施した貯蔵容器内の点検結果

項目	個数	備考
貯蔵容器点検総数	64	
異常なし	41	
異常あり	23	
異常ありの内訳	樹脂製の袋の膨張及びポリ容器底部破損	1 更新 (交換)、当該貯蔵容器 No. 1010 内容物「X 線回折済打抜試料」
	樹脂製の袋の膨張	1 更新 (交換)、貯蔵容器 No. 1051 内容物 : Pu(NO ₃) ₄ · 5H ₂ O
	樹脂製の袋や容器の変色	21 更新 (交換)

表 6.6.1 フード (H-1) 内面の表面密度測定結果

各部位	各部位の表面密度測定結果の最大値 (Bq/cm ²)
天井 (150 cm×70 cm)	約 ■
背面 (150 cm×100 cm)	約 ■
床面 (150 cm×70 cm)	約 ■
前面 (150 cm×50 cm)	約 ■
左側面 (70 cm×100 cm)	約 ■
右側面 (70 cm×100 cm)	約 ■

表 6.6.2 ダストフィルタのα線測定結果

対象	放射能量 (Bq)
ダストフィルタ (1)	約 ■
ダストフィルタ (2)	約 ■
ダストフィルタ (3)	約 ■
ダストフィルタ (4)	約 ■

表 6.6.3 核燃料物質及び²⁴¹Amの飛散量の評価結果

核種	飛散量 (Bq)
²³⁵ U	約 ■
²³⁸ U	約 ■
²³⁸ Pu	約 ■
²³⁹ Pu	約 ■
²⁴⁰ Pu	約 ■
²⁴¹ Pu	約 ■
²⁴² Pu	約 ■
²⁴¹ Am	約 ■

核物質防護上の観点から ■ の観点は非開示としています。

表7.1.1 樹脂製の袋の破裂に係る基本事象の影響度評価 (1/2)

基本事象 No.	基本事象名	影響度 (*1)	確認・調査事項	作業員等への聞き取り調査 (*2)	破損の種類、作業記録等確認 (*2)	現地調査 (*2)	概略評価・文献情報 (*2)	検証試験 (*2)	各種調査の実施内容、調査・評価結果等
①	α崩壊によるHeガス	×	5種Pu同位体組成の中で、最も厳しい条件でHe発生量を評価	-	●	-	●	-	貯蔵容器内にあるPuの中で、α崩壊が最大となるPu同位体組成を用いて、21年間のHe発生量を計算した。その結果、発生量は12.6 mL (標準状態換算) であり、影響は小さい。
②	混入有機物	○	聞き取り調査等により混入有機物の種類及び量を推定	●	●	●	-	-	主たる混入有機物はエポキシ樹脂である。エポキシ樹脂はX線回折用試料作製時に使用され、エポキシ樹脂固化物はg、粉末状の物はgであった。
③	ポリ容器	△	混入有機物の放射線分解によるHe発生量	-	-	-	●	●	エポキシ樹脂のα線分解によるHe発生量 Cm-244のα線照射による圧力上昇試験や電研 高崎研におけるエポキシ樹脂へのHeイオン照射試験の結果から、ガス発生率は種算照射量とともに低下することが分かった。これらを考慮して、G値を0.22と見積もった。その結果、21年間のガス発生量は、Pu粉末粒径を20 μmとした場合、48 L (標準状態換算) である。
④	混入水分	×	ポリ容器の放射線分解による発生ガス量、内容物形状(塊、分布等)及びポリ容器への接触状態を確認 混入水分の量(核物質の物理形態を確認した上で評価)	-	●	-	●	-	ポリエチレンのα線分解によるガス発生 貯蔵容器内の粉末gを全てUとPuの混合化合物粉末と仮定し、それらがポリ容器底部に存在するとした場合の放射線分解の結果、21年間のガス発生量は0.18 L (標準状態換算) であり、②「混入有機物」に比べて著しく小さい。
⑤	容器内物質間の化学反応 (ガス及び熱)	×	混入水分の放射線分解によるガス発生量	-	-	-	●	-	粉末g全量を核燃料物質粉末と仮定し、文献調査結果を基に吸着水分量をwt%として計算を行った結果、吸着水分量は0.05 gである。
⑥	爆発性物質の爆発 (ガス及び熱)	×	化学反応による熱及び発生ガスの種類及び量の推定	●	-	-	●	-	上記吸着水分量を基に評価した放射線分解によるガス発生量は0.09 L (標準状態換算) である。吸着水分の全量が分解するなど、過度に保守的な仮定をしていることから、実際にはその影響は無視できると考えられる。
⑦	可燃性ガスの燃焼・爆発 (ガス及び熱)	×	爆発性物質生成の有無(量、爆発可能性など)、衝撃・影響等の有無の調査	●	-	-	●	-	炭化物及び窒化物が加水分解を起した場合、それぞれメタン及びアミンの生成が考えられる。樹脂固化物の分析結果から、炭化物又は窒化物(あるいはその双方)がエポキシ樹脂に含まれていることが分かった。特に炭化物については反応性が高く水分と接触した場合即座に加水分解を生じることから、この結果は貯蔵期間中に炭化物又は窒化物(あるいはその双方)の加水分解がほとんど起こらなかったことを示している。これらより、本事象の影響は小さいと考えられる。
⑧	臨界発生 (ガス及び熱)	×	臨界可能性	-	●	-	-	-	作業員への確認の結果、破裂時の爆発による異臭等無し。 平衡条件では爆発性物質である硝酸アンモニウムは生成せず、また爆発温度である260℃以上にも達していないため、爆発性物質の生成並びにその爆発によるガス及び燃焼発生の可能性は低い。
⑨	崩壊熱	×	水素等の燃焼範囲への到達可能性、爆発発生等の有無	●	-	-	●	-	作業員への確認の結果、樹脂製の袋破裂時の爆発による異臭や火災等無し。 電気が発生して爆発したとしても、二重目の樹脂製の袋は健全であったことを考える 最小臨界量は220 g (湿式条件で二重袋前を考慮して安全係数を見込んだ値) であり、実際はこれより本體に小さい核分裂性物質質量gであったことから、臨界発生可能性はない。

*1 ○：影響大、△：影響あり、×：小 (無視できる)

*2 ●：実施済み、-：実施しない

*3 一重目の樹脂製の袋の容積3.9 Lに対して、内容物0.4 Lを減じた値として、3.5 Lを考慮し、これに対する内圧上昇を計算

核物質防護上の観点から■の箇所は非開示としています。

表7.1.1.1 樹脂製の袋の破裂に係る基本事象の影響度評価 (2/2)

基本事象 No.	基本事象名	影響度 (*1)	確認・調査事項	作業員等への聞き取り調査 (*2)	破裂作業記録等確認 (*2)	現地調査 (*2)	概略評価・文獻情報 (*2)	検証試験 (*2)	各種調査の実施内容、調査・評価結果等
⑩	夏期の高温	×	夏期の室内温度	●	-	-	-	-	作業記録の調査結果等によると、封入は夏に実施された。このため夏期の温度上昇はほとんど無く、内圧上昇へ及ぼす影響は小さいと考えられる。
⑪	不適切な溶着	×	現物の破損箇所 (溶着性)	-	-	●	-	-	貯蔵容器内内容物の観察結果からは、溶着部の不良箇所は観察されなかった。このため、本事象の影響は小さいと考えられる。
⑫	封入時の傷等	×	現物確認による傷等の有無	-	-	●	-	-	貯蔵容器内内容物の観察結果からは、傷等は観察されなかった。このため、本事象の影響は小さいと考えられる。
⑬	樹脂製の袋のα線による劣化	×	樹脂製の袋のα線照射による劣化度合い ポリ容器現物確認による劣化の有無 (樹脂製の袋が直接α線源に接していたか)を確認	-	-	●	-	-	樹脂製の袋にα線による劣化をもたらすためには、ポリ容器の破損により内部の核燃料物質が放出して樹脂製の袋に接触することが必要であるため、ポリ容器の観察を行った。その結果、ポリ容器の破損は認められなかった。また、樹脂製の袋の劣化も認められなかったことから、本事象の影響は小さいと考えられる。
⑭	樹脂製の袋のγ線による劣化	△	樹脂製の袋のγ線照射による劣化度合い	●	-	●	●	●	樹脂製の袋のγ線照射試験 (量研 高崎研) により劣化度合いを評価。樹脂製の袋のγ線照射試験後、引張試験を実施した結果、照射に伴い引張強度及び破断伸びは線形的に低下し、240 kGy (21年間の貯蔵期間相当) では、未照射のものに比べてそれぞれ約25%及び約21%低下することが分かった。
⑮	樹脂製の袋のβ線による劣化	×	樹脂製の袋のβ線照射による劣化度合い	-	-	-	●	-	Pu-241のβ線照射に伴い放出されるβ線エネルギーは0.0208 MeVとα線のものに比べて大幅に小さいことから、⑬「樹脂製の袋のα線による劣化」における評価に包含される。
⑯	樹脂製の袋の熱劣化	×	樹脂製の袋の熱による劣化度合い 樹脂製の袋の熱劣化結果と過去の基準値との比較	●	-	-	●	-	文獻による高温での樹脂製の袋の伸びがデータからの外推を正しいとすると、室温付近において樹脂製の袋の伸びが有意に低下する時間は、貯蔵期間中に比べて長い。また、作業員への聞き取り調査や内部温度上昇に係る評価の結果、貯蔵容器の温度上昇は小さいことが分かったことから、本事象が樹脂製の袋の破損条件変化に影響する度合いは小さいと考えられる。
⑰	樹脂製の袋の経年劣化	×	樹脂製の袋の経年による劣化度合い	●	-	-	●	-	温度上昇として考えられる事象 (⑤~⑩) のいずれも貯蔵期間中に有意な劣化をもたらすほどの温度ではない。
⑱	当時の樹脂製の袋の品質	×	数十年前の樹脂製の袋の品質調査 (強度等)	-	-	-	●	-	文獻調査の結果、貯蔵期間中に樹脂製の袋の破断に至る強度や伸びの低下はほとんど生じないことが分かった。樹脂製の袋製造メーカーへの聞き取り調査の結果、経年劣化は主に紫外線の影響によるが、放射線の影響の方が大きい。本項目は放射線による劣化 (⑬及び⑭) に包含される。
⑲	ポリ容器放射線劣化	×	ポリ容器現物の放射線による劣化度合い	-	-	●	-	●	樹脂製の袋製造メーカーへの聞き取り調査により、購入当時より原材料等の変更がないことを確認。品質に変更がないことから劣化度合いは小さいと考えられる。
⑳	ポリ容器内突起物混入による損傷	×	突起物等混入の有無	-	-	●	-	-	ポリ容器のγ線照射試験による劣化度合い評価を実施した結果、360 kGy (26年間の貯蔵期間相当) まで照射してもやや変色する程度で、柔軟性もほとんど変化なく、劣化は認められなかった。また、ポリ容器を実際に触れてみた感度からは、α線による劣化と思われるポリ容器脆化の傾向が認められたが、破損はなかった。このことから、本事象の影響は小さいと考えられる。
㉑	ポリ容器内突起物混入による損傷	×	現物確認による開封時の傷	-	-	●	-	-	貯蔵容器内内容物の観察結果、突起物等の混入は認められなかった。これより、本事象の影響は小さいと考えられる。
㉒	貯蔵容器開封時の傷等	×	現物確認による開封時の傷付与の有無	●	-	●	-	-	作業員への聞き取りの結果、傷付与に係る証言無し。また、貯蔵容器内内容物の観察の結果、傷等は認められなかった。これらの結果から、本事象の影響は小さいと考えられる。

*1 ○：影響大、△：影響あり、×：小 (無視できる)

*2 ●：実施、-：実施しない

*3 一重目の樹脂製の袋の容積3.9 Lに対して、内容物0.4 Lを減じた値として、3.5 Lを考慮し、これに対する内圧上昇を計算

表 7.2.1 放射性物質の摂取に至った原因となる
可能性のある要因事象

放射性物質の摂取の原因	要因事象
樹脂製の袋の破裂時における放射性物質の摂取	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂製の袋の破裂に伴う放射性物質の飛散により作業環境の空气中放射性物質濃度が急激に上昇し、その一部が半面マスクのろ過材を透過したことにより、放射性物質を吸入摂取した。 ・破裂音が聞こえたときの反射的な顔の動き等により、半面マスクの面体と顔面との密着性半面マスクの密着性が低下し、放射性物質を吸入摂取した。
108号室での放射性物質の摂取	<ul style="list-style-type: none"> ・作業員同士のコミュニケーションや室外との電話や口頭での連絡等で大声を出した際、半面マスクの密着性が低下し、放射性物質を吸入摂取した。 ・半面マスク装着による発汗、呼気中水蒸気の半面マスク面体内での結露等により半面マスクの密着性が低下し、放射性物質を吸入摂取した。 ・破裂時の飛散物又は汚染した空気に触れたことにより頭部（頭髪及び半面マスク外側の顔面）に付着した放射性物質が汗で流れて半面マスクの面体内に侵入し、経口摂取した。
脱装及び除染時の放射性物質の摂取	<ul style="list-style-type: none"> ・半面マスクを汚染していないものに交換する際（短時間だが半面マスクを装着しない状態となる。）に、グリーンハウス内で放射性物質を吸入摂取した。 ・流水による除染の際、頭髪や顔面を除染した際に放射性物質を含んだ水が口元などにまわり経口摂取した。 ・鼻腔除染の際、放射性物質を含んだ水の一部が誤って口腔側にまわり経口摂取した。

表 8.3.1 燃料研究棟の汚染事故に関する原因及び対策の整理表(1/4)

問題事象	直接的原因	対策
(1) X線回折測定済 試験材からエポキ シ樹脂を除去せ ず封入していた こと、またその情 報が引き継がれ ていなかった。	① 初代プルトニウム技術開発室長は、貯蔵容器に貯蔵した核燃料物質の状態の記録についてルーテル引き継ぎすべきであったが、計量管の核燃料物質移動票(燃料研究棟内移動票を含む。)で核燃料物質の管理ができることから貯蔵容器に貯蔵した核燃料物質及びその状態の記録を残すことをルーテル化していなかった。	燃料試験課は、関係者と協議し核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項(放射能・放射線情報、物理・化学性状情報、臨界管理情報等、同梱物の性状、使用履歴等)を明確にし、それらの記録の管理について手順化し確実なものとする。
②	初代プルトニウム技術開発室長は、X線回折測定済試験材を酸化加熱処理してから回収した核燃料物質を貯蔵容器に保管するまでの作業方法をルーテル引き継ぎすべきであったが、炭素化合物燃料等は安定化処理のための酸化加熱処理を徹底してきたことから、X線回折測定済試験材も同様に酸化加熱処理するものと考えルーテル化していなかった。	燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。 (a)Pu、Am等α線を放出する核種を含む試験材は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱により分解・除去する。 (b)Pu、Am等α線を放出する核種を含む粉末状の試験材は、ポリ容器等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。 (c)容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。 (d)炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化処理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。
③	平成2年頃、プルトニウム技術開発室長は、プルトニウム技術開発室及び実験しているプルトニウム燃料研究室の関係者と協議を行わずに、試験中の核燃料物質は安定していると判断し、初代プルトニウム技術開発室から引き継いだ有機物と混在した核燃料物質の酸化加熱処理の中止を決定した。これ以降、X線回折測定済試験材の酸化加熱処理は行われてこなかった。	燃料試験課は、関係者と協議し核燃料物質の貯蔵に関する情報として必要な事項(放射能・放射線情報、物理・化学性状情報、臨界管理情報等、同梱物の性状、使用履歴等)を明確にし、それらの記録の管理について手順化し確実なものとする。【原因①の対策と同じ。】 燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。 (a)Pu、Am等α線を放出する核種を含む試験材は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱により分解・除去する。 (b)Pu、Am等α線を放出する核種を含む粉末状の試験材は、ポリ容器等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。 (c)容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。 (d)炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化処理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。【原因②の対策と同じ。】

表 8.3.1 燃料研究棟の汚染事故に関する原因及び対策の整理表(2/4)

問題事象	直接的な原因		対 策
	番号	分析結果	
	④	平成3年10月、プルトニウム技術開発室長は、放射線安全取扱手引の貯蔵の条件を考慮しX線回折測定済試料を酸化加熱処理して貯蔵容器に貯蔵すべきであったが、当時の放射線安全取扱手引で「3.3.3 貯蔵の条件 (4)放射線分解によるガス圧の上昇に十分注意する。」と定めていることに反し、十分な確認を行わずに、X線回折測定試料のエポキシ樹脂はプルトニウムの放射線による放射線損傷に対する影響が少ないと考え、酸化加熱処理をしないまま貯蔵していた。	燃料試験課は、現在の放射線安全取扱手引の「3.3.4 貯蔵の条件 (4)放射線分解によるガス圧の上昇に十分注意する。」ことの趣旨を理解させるために今回発生した事故に関する原因(エポキシ樹脂とPuの放射線による影響でガスが発生すること)と対策を教育する。
	⑤	平成8年、プルトニウム技術開発室長は、樹脂製の袋の膨張とポリ容器の破損までも確認したにもかかわらず、放射線安全取扱手引の要件(貯蔵の条件)に反し、新しい樹脂製の袋やポリ容器に交換しただけで、酸化加熱処理を行った上で金属容器への変更等の異常状況の回避、その記録を残し定期的な点検を指示する等の改善をしていなかった。そのため、これ以降、貯蔵状況の改善や定期的な点検は実施されてこなかった。	燃料試験課は、燃料研究棟で自ら取り扱う核燃料物質の性状及び貯蔵状態を明確にするとともに、核燃料物質を安全・安定に貯蔵する。核燃料物質の安全・安定貯蔵のため以下の事項を明確にする。【原因②の対策と同じ。】 (a) Pu、Am 等 α線を放出する核種を含む試料は、放射線分解ガスの発生起源となる有機物等を加熱により分解・除去する。 (b) Pu、Am 等 α線を放出する核種を含む粉末状の試料は、ポリ容器等の有機物との密着を避けるために金属容器に収納する。 (c) 容器材質については、内容物との物理・化学的反応や腐食が発生しない適切なものを選択する。 (d) 炭化物等の空気中や貯蔵環境下で化学的に活性な物質は、安定化処理するか又は不活性環境下で安定に貯蔵する。
(2) 核燃料物質の保管に関して、Puの取扱い、貯蔵(保管)に関する技術情報の考え方が活かされていなかった。	⑥	歴代のプルトニウム技術開発室長、燃料製造試験課長及び燃料試験課長は、IAEA や DOE で示された Pu の取扱い、貯蔵(保管)に関する技術情報について、Pu を取り扱う部署として情報入手し業務に反映すべきだったが、当該情報を確認していなかった。このため、燃料研究棟における核燃料物質の貯蔵において、金属容器への保管や有機物を含めない等の改善が行われてこなかった。	また、燃料試験課は、核燃料物質を貯蔵するに当たって、内容物の点検項目、点検方法及び点検頻度を明確にする(通常状態と異常状態の判断基準及び交換基準の明確化を含む。) 福島燃料材料試験部は、DOE-STD レポートや IAEA Safety Report の核燃料物質の貯蔵に関する最新の安全情報や国内の核燃料物質の管理に関する情報等の知見を適宜入手し、レビューした上で関係規定類へ反映する。

表 8.3.1 燃料研究棟の汚染事故に関する原因及び対策の整理表 (3/4)

問題事象	直接的な原因		対 策
	番号	分析結果	
(3) 燃料研究棟では、貯蔵容器をフードで蓋を開け内容物を確認する際に、樹脂製の袋が破裂し、室内が汚染する可能性があることを想定していたかった。	⑦	燃料試験課長、マネージャー及び担当者は、グローブボックスから核燃料物質を移動する作業計画書を作成する際、付随作業であっても貯蔵容器内の不明瞭な核燃料物質を確認する場合には、フード以外の適切な場所及び放射線防護具を選定した上で具体的な手順を含む作業計画を作成すべきであったが、事前の調査で貯蔵された核燃料物質は安定化処理等、安全な状態で保管されていると考え、つまり、不明瞭な核燃料物質により室内が汚染するようリスクを防止する詳細な作業計画書を作成していなかった。	福島燃料材料試験部は、取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合について、以下の対策を講ずる。 > リスクを考慮した安全な作業計画を作成するため、核燃料物質の安全取扱い、作業方法(作業場所及び防護装備の選定を含む。)等の基本的事項を手順で明確にする。 > リスクを回避するため手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント(作業中断点)を作業計画で明確化する。
(4) 貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり、内圧が抜ける音がなり汚染検査を実施したが、蓋の浮き上がり等の状態とは異なる認識で引き続き作業を継続した。	⑧	福島燃料材料試験部長、燃料試験課長、マネージャー及び担当者は、安全・核セキュリティ統括部から平成 29 年 1 月 26 日に「サイクル研ブルトニウム燃料技術開発センターの原子力規制庁面談情報」(樹脂製の袋の膨れによるものの取扱いに関する情報を含む。)が配信されたが、面談結果の周知であったため、添付資料中の「樹脂製の袋の膨れによるものの取扱いに関する情報」に気が付かなかった。	福島燃料材料試験部は、DOE-STD レポートや IAEA Safety Report の核燃料物質の貯蔵に関する最新の安全情報や国内の核燃料物質の管理に関する情報の知見を適宜入手し、レビューした上で関係規定類へ反映する。【原因⑥の対策と同じ。】
(4) 貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり、内圧が抜ける音がなり汚染検査を実施したが、蓋の浮き上がり等の状態とは異なる認識で引き続き作業を継続した。	⑨	作業員 E は、貯蔵容器の蓋のボルトを緩めた際に蓋が浮き上がり「リッシュ」という内圧が抜ける音がした際に、作業を一旦停止して、ガスが発生している可能性を想定し対応策を検討すべきであったが、ホールドポイント(作業中断点)を定めていなかったため、異常と認識できず残りのボルトを外して蓋を開けても問題ないと考えた。	福島燃料材料試験部は、取り扱う核燃料物質が不明瞭で安全が確認できない場合について、リスクを回避するため手順と異なる事象が発生した場合や異常の兆候を確認した場合に作業を停止するホールドポイント(作業中断点)を作業計画で明確化する。【原因⑦の対策と同じ。】

表 8.3.1 燃料研究棟の汚染事故に関する原因及び対策の整理表(4/4)

問題事象	直接的な原因		対策
	番号	分析結果	
(5) 作業員は、貯蔵容器内の確認作業において作業計画に従い半面マスクを装着していたが、樹脂製の袋が破裂すること、全身汚染をした際、皮膚に付着した核燃料物質が汗等で半面マスク内に入り込むことを抑制するための応急的な処置を行うことが被ばく防止につながるが、大洗研究開発センターには明確な手順がなかったことから、室内への汚染拡大をさせないため、退室するまで発災時の立ち位置に待機し、汚染部位の拭き取りや固定(封じ込め)及びびしめひももの締め付けの調整の措置を行わなかった。	⑩	作業員 E は、樹脂製の袋が破裂し、作業服や顔面等、全身汚染をした際、皮膚に付着した核燃料物質が汗等で半面マスク内に入り込むことを抑制するための応急的な処置を行うことが被ばく防止につながるが、大洗研究開発センターには明確な手順がなかったことから、室内への汚染拡大をさせないため、退室するまで発災時の立ち位置に待機し、汚染部位の拭き取りや固定(封じ込め)及びびしめひももの締め付けの調整の措置を行わなかった。	<p>福島燃料材料試験部は、性状不明で安全性に疑義がある放射性物質等を取り扱う場合には、汚染事故の発生も想定して、安全性の高い上位の装備を選定するよう、規定類を改定する。</p> <p>安全管理部は、以下の被ばく防止のための応急的な措置に関する対策を講じるとともに、事故時の対応(関与)を明確にする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 呼吸保護具の適切な使用のために、「しめひも」の伸縮性など防護性能に影響を及ぼす項目に対す点検の徹底・強化及び適切な装着を確実にするための教育訓練の充実を図る。 ▶ Pu など α線放出核種によって頭部や顔面が汚染された状況において、身体除染の応急処置として、顔面近傍に付着した放射性物質の拭き取りや固定の実施、汗等による半面マスクの密着性の低下に備えて半面マスクの「しめひも」をきつく締め直すなどの応急的な密着性の強化の方法を手順として明確にする。また、頭部及び顔面に汚染のある状態での退出後の脱装方法、半面マスクの交換時や鼻スミヤ採取時の汚染の拭き取りや固定方法を検討し、内部被ばくの可能性を低減する手順を具体化する。その際、身体除染の応急処置に必要な資材の準備と作業手順を明確にする。 ▶ 半面マスクの密着性に係る事項について、使用前点検、フィッティングテストなどの半面マスクの適切な装着を確実にする措置の充実を図る。
	⑪	放射線管理第 2 課員は、汚染検査のほか、半面マスクを交換し、特殊作業衣を脱装するに当たって、汚染した作業員の退出を補助する際、顔面等の汚染部位の拭き取りや固定(封じ込め)を助言することが被ばく防止につながるが、大洗研究開発センターには明確な手順がなかったことから、半面マスクの交換を優先し、顔面等の汚染部位の拭き取りや固定(封じ込め)の助言を行わなかった。	
(5) 作業員は、貯蔵容器内の確認作業において作業計画に従い半面マスクを装着していたが、樹脂製の袋が破裂すること、全身汚染をした際、皮膚に付着した核燃料物質が汗等で半面マスク内に入り込むことを抑制するための応急的な処置を行うことが被ばく防止につながるが、大洗研究開発センターには明確な手順がなかったことから、室内への汚染拡大をさせないため、退室するまで発災時の立ち位置に待機し、汚染部位の拭き取りや固定(封じ込め)及びびしめひももの締め付けの調整の措置を行わなかった。	⑫	福島燃料材料試験部長は、緊急時にグリーンハンハウスを設営して作業員を退室させる場合はグリーンハンハウスをなるべく短時間で設置すべきであったが、燃料研究棟でグリーンハンハウスを設置するような事故を想定していなかったことから、資材調達や設営作業に手間取った。	<p>大洗研究開発センターは、以下の対策を講ずる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 管理区域内のある程度の汚染拡大は許容し、身体汚染の飛散を抑制する措置(養生シートで身体を覆う等)を講じた上で作業員を発災場所から退出させることを含め、判断や対応に迷いや遅れが生じないよう、退出基準(例えば、室内の広範囲に汚染が拡大していること、顔面近傍に身体汚染があること等)や汚染拡大の影響を最小限にとどめる方策(例えば、身体を覆う養生シート、簡易テント等の事前準備)を定める。この方策には、作業の特殊性や取扱対象物の危険性から事故時の影響が大きいと予想される場合、又は、発災現場から退出すると汚染が管理区域外に拡大するおそれがある場合には、あらかじめ事故時退出用のグリーンハンハウスを作業場所の外側に設置しておくことも勘案する。 ▶ 事故を想定し必要となる設備、資機材や要員等を再度確認し、それら資機材等が常に利用できるように維持管理することや、実効的な訓練により、速やかな対応が取れる仕組みを構築する。