

もんじゅ廃止措置 審査資料	
資料番号	添付書類五 改0
提出年月日	2022年9月7日

高速増殖原型炉もんじゅ
汚染の分布の評価について

令和4年9月7日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

目 次

1. はじめに
2. 汚染の分布に関する評価について
3. 汚染の分布に関する評価の実施内容について
 3. 1 放射化汚染の評価
 3. 2 二次的な汚染の評価
4. 表面線量率の測定について
 4. 1 放射性物質の移行
 4. 2 測定対象
 4. 3 放射線測定器
 4. 4 測定方法
 4. 5 測定結果
5. まとめ

1. はじめに

本資料は、高速増殖原型炉もんじゅ（以下「もんじゅ」という。）原子炉施設廃止措置計画変更認可申請書に係る「添付書類五 核燃料物質による汚染の分布とその評価方法に関する説明書」の記載事項について説明する。

2. 汚染の分布に関する評価について

汚染の分布に関する評価は、放射線業務従事者及び周辺公衆の被ばくを低減することを目的に適切な解体撤去工法及び手順を策定するため、また、解体撤去工事に伴って発生する放射性廃棄物の発生量を評価するため、廃止措置対象施設に残存する放射性物質の種類、放射能及び分布を評価する。

もんじゅの廃止措置は、化学的に活性なナトリウムを保有する炉心等に燃料体が存在している状態から開始したことから、汚染の分布に関する評価は、軽水炉の廃止措置における準備期間に相当する第1段階（燃料取出し期間）及び第2段階（解体準備期間）に実施し、管理区域内の本格的な解体作業を行う第3段階（廃止措置期間Ⅰ）を開始するまでに評価が完了する。これら汚染の分布に関する評価の概略工程を別図1に示す。

3. 汚染の分布に関する評価の実施内容について

廃止措置対象施設に残存する放射性物質は、原子炉運転中の中性子照射により炉心部等の構造材が放射化して生成される放射化汚染と、主として放射化された炉心部等の構造材が冷却材中に溶出して生成される腐食生成物が機器及び配管内部などに付着して残存する二次的な汚染とに区分される。このため、放射化汚染と二次的な汚染に分けて評価を行っている。放射化汚染及び二次的な汚染の評価フローを別図2示す。

3. 1 放射化汚染の評価

放射化汚染は、中性子束分布及び放射能濃度の計算による方法と、その計算の妥当性を確認するためのサンプリング測定による方法で評価する。

計算による方法では、中性子束分布は計算コードにより計算し、放射能濃度は計算で得られた中性子束分布を基に、構造材の元素組成及び照射履歴を考慮して、構

造材ごとの放射化汚染の放射能を計算コードによって計算する。

中性子束分布及び放射能濃度の計算に用いる計算コードは、高速炉プラントでの解析実績があり、軽水炉の廃止措置においても放射化汚染の評価で一般的に使用されている以下に示す計算コードを使用することで進めている。

- ・中性子束分布の計算：2次元輸送計算コード DORT
- ・放射能濃度の計算：放射性核種生成崩壊コード ORIGEN

第1段階では、第2段階に実施する詳細な計算を行うための準備として、中性子束分布及び放射能濃度の計算による方法によって評価するために入力データとして必要となる原子炉の運転履歴や設計情報を整理するとともに、構造材の元素組成分析を実施し、設計情報を補足する情報の調査を行っている。

(1) 運転履歴

原子炉の運転は、1994年4月4日の臨界・炉物理試験に始まり、0%から45%熱出力の起動試験が行われ、1995年12月8日の起動試験中に運転を停止している。その後、2010年5月8日から7月17日まで0%熱出力の炉心確認試験が行われている。

1995年の運転停止までの積算熱出力は40.02EFPD、2010年の炉心確認試験の積算熱出力は0.003EFPDであり、2010年の炉心確認試験の放射化汚染に対する影響は十分小さい。そのため、運転停止日を1995年12月8日とし、経験した最大の45%熱出力で88.93日間連続運転したものとして照射履歴を設定する。

(2) 設計情報

機器構造図、機器配置図等を基にしゃへいプラグを含む生体しゃへい壁までの原子炉まわりの体系を構築し、設計組成やミルシート等を基に燃料体や構造材の原子数密度を設定するとともに、設計時の情報から45%熱出力時の中性子発生数や原子炉内の温度分布を考慮し、入力条件を設定する。

(3) 構造材の元素組成分析

放射化汚染の解析評価の入力データである構造材の元素組成については、建設当時の設計組成や構造材のミルシート等が利用できるが、ミルシートに記載されている元素は主に主要成分に限られている。高速炉用にJIS規格の範囲内

で微量元素を添加した構造材が使用されていることから、これらの影響を考慮し原子炉内構造物等で使用されている構造材を中心に SUS304、SUS316、ステライト等の計 21 試料の元素組成データの取得を行っている。

第 1 段階で、上記(1)～(3)の調査の内、(1)運転履歴及び(2)設計情報を用いて、中性子束分布及び放射能濃度の計算による放射化汚染の放射能の試算を実施している。なお、この試算をする際の構造材の元素組成は、建設当時の設計組成やミルシート等から主要成分について引用し、主要な構造材であるステンレス鋼、炭素鋼及びコンクリートの微量元素成分はふげんの元素組成分析結果を引用している。

今後、第 2 段階で、構造材の元素組成分析を実施した結果を入力データに取り込み、放射化汚染の計算による方法の評価の精度向上を図る。

また、計算の妥当性を確認するためのサンプリング測定については、第 2 段階で燃料池に取出す中性子しゃへい体から遠隔操作等により、試料を採取し、分析することで検討を進めている。

3. 2 二次的な汚染の評価

二次的な汚染は、機器や配管の外部から γ 線の測定を行うとともに、施設を構成する配管及び機器の材料組成を考慮して腐食生成物中の核種組成比を計算又は測定によって評価する。

もんじゅでは、管理区域内における区域区分を適切に管理するため、放射線管理要領 (MQAP714) 等に基づき、電離箱式サーベイメータを用いて管理区域全域 (計 316 箇所。ただし、立ち入りのできない原子炉容器室等は除く。) の線量当量率測定を毎月実施している。この測定において、電離箱式サーベイメータの検出限界値である $1 \mu\text{Sv/h}$ を超える測定箇所はなく、放射線管理区域の設定基準である 1.3mSv/3 か月 ($2.6 \mu\text{Sv/h}$) と比較して十分に低い値で管理区域が維持されていることを確認している。これら結果を踏まえ、二次的な汚染の評価では、電離箱式サーベイメータより検出感度が高い NaI (T1) シンチレーションサーベイメータや可搬型 Ge 半導体検出器を用いて、より詳細な汚染状況について評価を行う方針としている。

第 1 段階では、機器や配管の外部から γ 線の測定は、測定器の特徴を考慮して、以下に示す 2 種類の放射線測定器を使用し、現場での測定を実施している。

(1) NaI (Tl) シンチレーションサーベイメータ

- ・ 検出感度が高く、放射線量率が低い一般環境の放射線量率の測定に適しており、短い時間で測定することが可能という特徴がある。
- ・ 2020年7月～2021年3月に、NaI (Tl) シンチレーションサーベイメータを用いて、施設の機器や配管等を網羅するように399箇所の機器や配管等の表面線量率の測定を実施している。詳細な測定方法・測定結果等については、「4. 表面線量率の測定について」に示す。

(2) 可搬型 Ge 半導体検出器

- ・ ガンマ線スペクトルを測定でき、放射性物質の種類ごとの量を正確に測定することができるが、放射能の小さいものを正確に測定する場合は、長時間の測定が必要になるという特徴がある。
- ・ 2021年6月～2022年1月に、可搬型 Ge 半導体検出器を用いて、施設内の機器や配管等の代表点を測定した。測定で得られたガンマ線スペクトルデータは、核種の同定・定量を行うため、解析評価を実施中である。

今後、第2段階で、(2)可搬型 Ge 半導体検出器による測定で得られたガンマ線スペクトルデータを用いた解析評価を引き続き実施し、腐食生成物中の詳細な核種組成を設定するため、放射化汚染の評価で得られる核種組成及び可搬型 Ge 半導体検出器の測定結果を組み合わせる評価を実施する予定である。

4. 表面線量率の測定について

4. 1 放射性物質の移行

もんじゅの二次的な汚染源となる放射性物質は、主に原子炉内で放射化又は核分裂によって生成し、1次主冷却系又は1次アルゴンガス系を経て、廃棄物処理系等の下流の系統に付着する。なお、もんじゅにおいては燃料破損が発生していないことから、系統内の汚染は放射化生成物による汚染を考慮し、測定・評価を実施する必要がある。放射性物質の生成・移行の過程の概要図を別図3に示す。

4. 2 測定対象

表面線量率を測定するにあたり、測定対象は、別図3に示した放射性物質の生成・移行の過程を網羅するように、放射能を減衰・除去する機能をもつ機器や系統の代表的なタンクや配管等の機器の表面を測定対象とした。

測定対象とした機器は、1つの機器あたり3点の測定を行った。なお、1次主冷却系設備、1次ナトリウム補助設備等については系統を網羅することと考慮し、1次主冷却系3ループのセル室ごとに、それぞれ50点の測定を行い、合計150点を測定した。測定対象設備及び測定点数の内訳を表1に示す。

表1 測定対象設備及び測定点数

測定対象設備	測定点数
1次主冷却系設備	150 (50点×3ループ)
1次ナトリウム補助設備	
1次メンテナンス冷却系設備	
1次アルゴンガス系設備	39
燃料取扱及び貯蔵設備	27
気体廃棄物処理設備	36
液体廃棄物処理設備	39
固体廃棄物処理設備	18
共通保修設備	27
換気空調設備	63
合計	399

4. 3 放射線測定器

管理区域内の線量当量率は低い値で維持されていることから、表面線量率の測定するための放射線測定器は、一般環境レベルの低い線量率を測定可能なNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを使用した。使用した測定器は、点検・校正が行われ、測定の信頼性が確保されている測定器を使用した。主な測定器の仕様を表2に示す。

表2 使用した測定器の主な仕様

型式	TCS-161
測定放射線	γ 線
検出部	NaI(Tl) 25.4Φ×25.4 mm
測定範囲	0.00 ~ 30.0 μ Sv/h
時定数	3秒、10秒、30秒

4. 4 測定方法

表面線量率の測定は、以下に示す(1)～(4)の方法によって、機器等の表面線量率を測定した。なお、表面線量率を測定する際の時定数は、測定指示値に応じて設定し、測定時間は設定した時定数の3倍以上とした。

- (1) 測定対象とする機器の周囲の線量率を測定し、局所的な汚染の有無を確認する。
なお、1次主冷却系設備等は、多数の箇所を測定することから測定点を事前に系統を網羅するように定めた。
- (2) 局所的な汚染があり有意に指示値が上昇する場合は、その測定点での表面線量率を測定し、記録する。
- (3) 局所的な汚染がなく有意に指示値が上昇しない場合は、機器の入口、出口及び本体部分を代表点として測定する。
- (4) 測定値及び測定箇所の記録を行う。

4. 5 測定結果

機器や配管等の表面線量率の測定結果の度数分布を図1に、 $0.12\mu\text{Sv/h}$ 以上を示した測定箇所を表3に、各測定対象設備の測定値の最小値及び最大値を表4に示す。また、各設備で測定された表面線量率をまとめた概略図を別図4-1から別図4-18に示す。

燃料に付着したNaを洗浄する設備である燃料洗浄槽で最大値 $0.44\mu\text{Sv/h}$ を示した。また、粉末廃樹脂を貯蔵している粉末廃樹脂タンクや1次系Naを貯蔵しているダンプタンクにおいても表面線量率の上昇を確認したが、貯蔵物に含まれる放射能による寄与が大きいことを確認している。

測定された表面線量率の最大値は $0.44\mu\text{Sv/h}$ であり、放射線管理区域の設定基準である $1.3\text{mSv}/3$ か月($2.6\mu\text{Sv/h}$)と比較して十分に低い値である。また、この値は、一般的な原子炉の廃止措置で実施される解体工事前の汚染の除去後よりも、十分に低い値であることから、機器・配管等の内面に残存している二次的な汚染は小さいことを確認した。

この結果から、合理的に達成可能な限り放射線業務従事者の被ばくを低減するた

めに講じる安全対策を目的とした解体工事前の汚染の除去は必要がないと判断した。

なお、立ち入りが制限されており、機器や配管等の測定が実施できない原子炉容器室等の放射化汚染が高い区域に設置されている設備は、主要な汚染形態が放射化汚染であり母材そのものが放射化されている。そのため、表面の放射能を取り除く汚染の除去を行っても母材の放射能を取り除けないことから、汚染の除去によって放射線業務従事者の被ばくを低減することができない設備である。

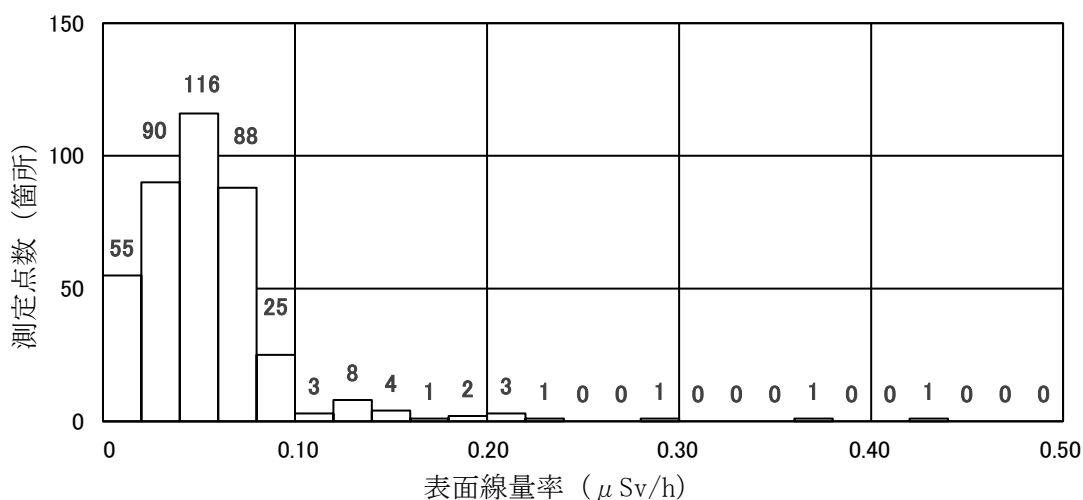


図1 表面線量率の測定結果の度数分布

表3 0.12 μSv/h以上を示した測定箇所 ※1

測定箇所 ※2	表面線量率 (μSv/h)	測定箇所	表面線量率 (μSv/h)
燃料洗浄槽	0.44	ダンプタンク C	0.15
燃料洗浄槽	0.37	ダンプタンク C	0.15
粉末廃樹脂タンク	0.30	ダンプタンク C	0.14
ダンプタンク C	0.24	ダンプタンク C	0.14
ダンプタンク C	0.22	ダンプタンク C	0.14
ダンプタンク C	0.22	ダンプタンク C	0.14
燃料洗浄槽	0.21	燃料検査槽	0.14
ダンプタンク B	0.20	ダンプタンク C	0.13
ダンプタンク C	0.20	高圧サージタンク	0.13
ダンプタンク B	0.18	粉末廃樹脂タンク	0.13
粉末廃樹脂タンク	0.16	燃料検査槽	0.12
ダンプタンク C	0.15		

※1 0.12 μSv/hは、測定値の分布から算出した標準偏差 3σである。

※2 測定箇所は、1つの機器に対して複数の箇所を測定しているため、複数回列挙されている。

表 4 各測定対象設備の測定値

測定対象設備	測定 点数	測定値	
		表面線量率 (μ Sv/h)	
		最小値	最大値
1次主冷却系設備	150	0.01	0.24
1次ナトリウム補助設備			
1次メンテナンス冷却系設備			
1次アルゴンガス系設備	39	0.03	0.13
燃料取扱及び貯蔵設備	27	0.03	0.44
気体廃棄物処理設備	36	0.02	0.09
液体廃棄物処理設備	39	0.04	0.10
固体廃棄物処理設備	18	0.05	0.30
共通保修設備	27	0.04	0.09
換気空調設備	63	0.02	0.11

5. まとめ

第1段階で施設内の機器・配管等の外部から表面線量率を測定し、機器・配管等の内面に残存している汚染が十分に小さいことを確認した。

このことから、原子炉容器室等の放射化による汚染が高い区域を除いて、機器・配管等の内面に残存している汚染は、合理的に達成可能な限り放射線業務従事者の被ばくを低減するために講じる安全確保対策を目的とした解体工事前の汚染の除去の必要性がないことを確認した。

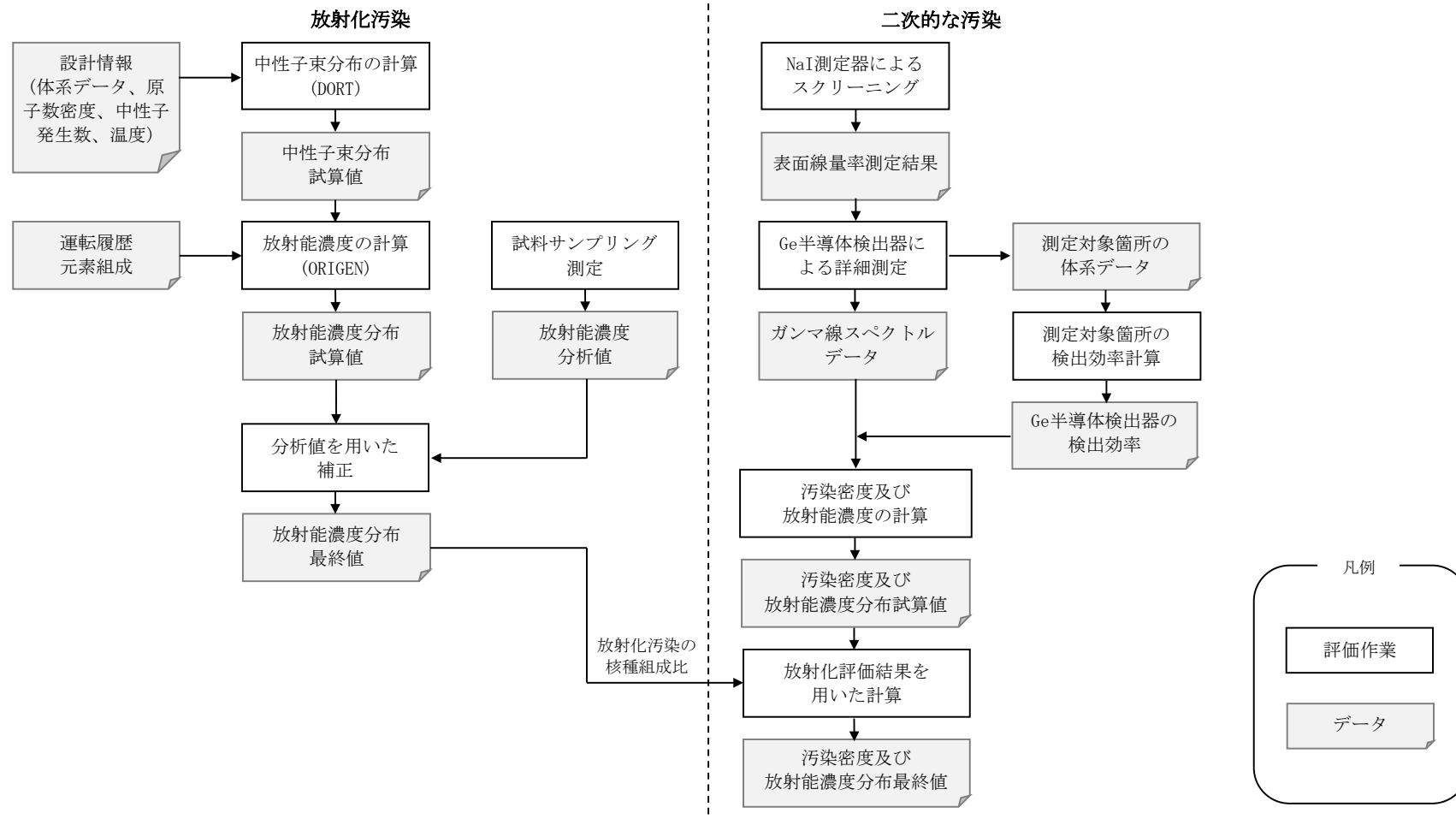
一方、解体工事前の汚染の除去は行わないものの、解体作業を実施する際は、放射線業務従事者の被ばくを合理的に達成可能な限り低い水準になるように、作業環境に応じた保護具等の着用を行い、計画線量を定め、放射線業務従事者の被ばくを可能な限り低減させる措置を実施する。

また、クリアランス化を含む放射性廃棄物の放射能レベルを低減するために行う汚染の除去は、除染の対象を定め、適切な除染方法及び完了要件となる目標を策定し、実施する。

汚染の分布に関する評価は、第1段階に引き続き、第2段階においても、より精度の高い評価となるよう評価を継続する。

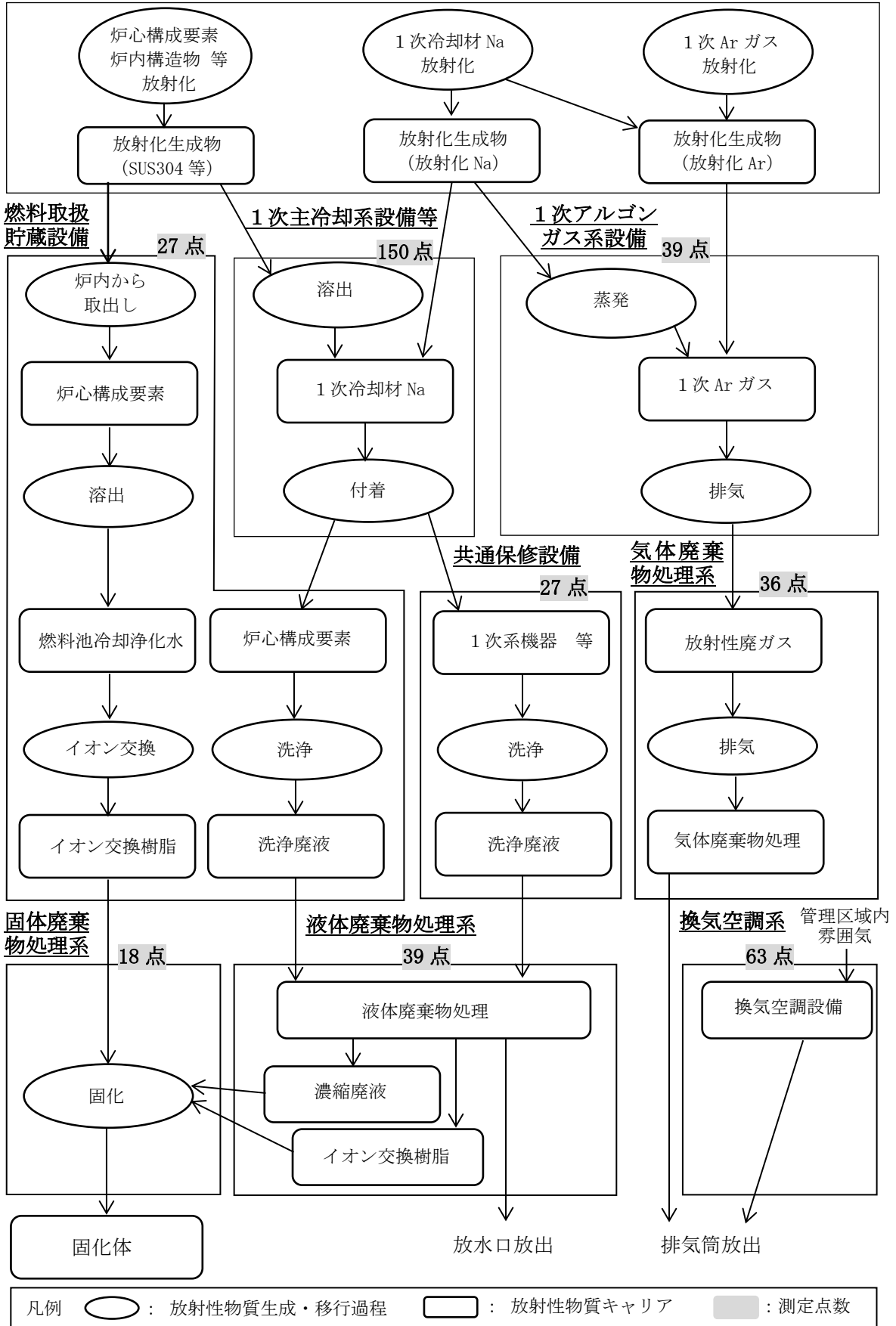
実施項目	第1段階					第2段階					第3段階
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	~	~	~	2031	2032-
1. 汚染の分布評価											
(1) 放射化汚染の分布評価											
① 中性子輸送計算、放射線濃度分布計算等の計算手法の検討		計算コードの選定									
② 入力データの整理		運転履歴、設計情報									
③ 元素組成分析			微量元素分析								
④ 放射化汚染(中性子束、放射能濃度)の分布の評価計算			試算			元素組成分析結果の反映		採取試料の核種分析値の反映	最終評価		
⑤ 計算の妥当性を確認するためのサンプリング測定											
・試料採取の概念検討、要素試験				検討(採取場所、採取量、採取装置、作業環境)							
・試料採取装置の詳細設計・製作、モックアップ試験						遠隔採取装置設計製作、事前試験					
・中性子しゃへい体からの試料採取								試料採取			
・採取試料の核種分析								核種分析			
(2) 二次的な汚染の分布評価											
① 測定方法の検討		測定方法の選定									
② 放射線測定準備			測定手順、測定場所								
③ 機器・配管等の表面線量率の測定			表面線量率測定								
④ 機器・配管等のGe半導体検出器によるγ線スペクトルの測定				ガンマ線スペクトルの測定							
⑤ 二次的な汚染による放射能濃度の評価計算				試算					放射化評価結果の反映	最終評価	
2. 廃止措置計画等への反映											

別図1 汚染の分布に関する評価の概略工程

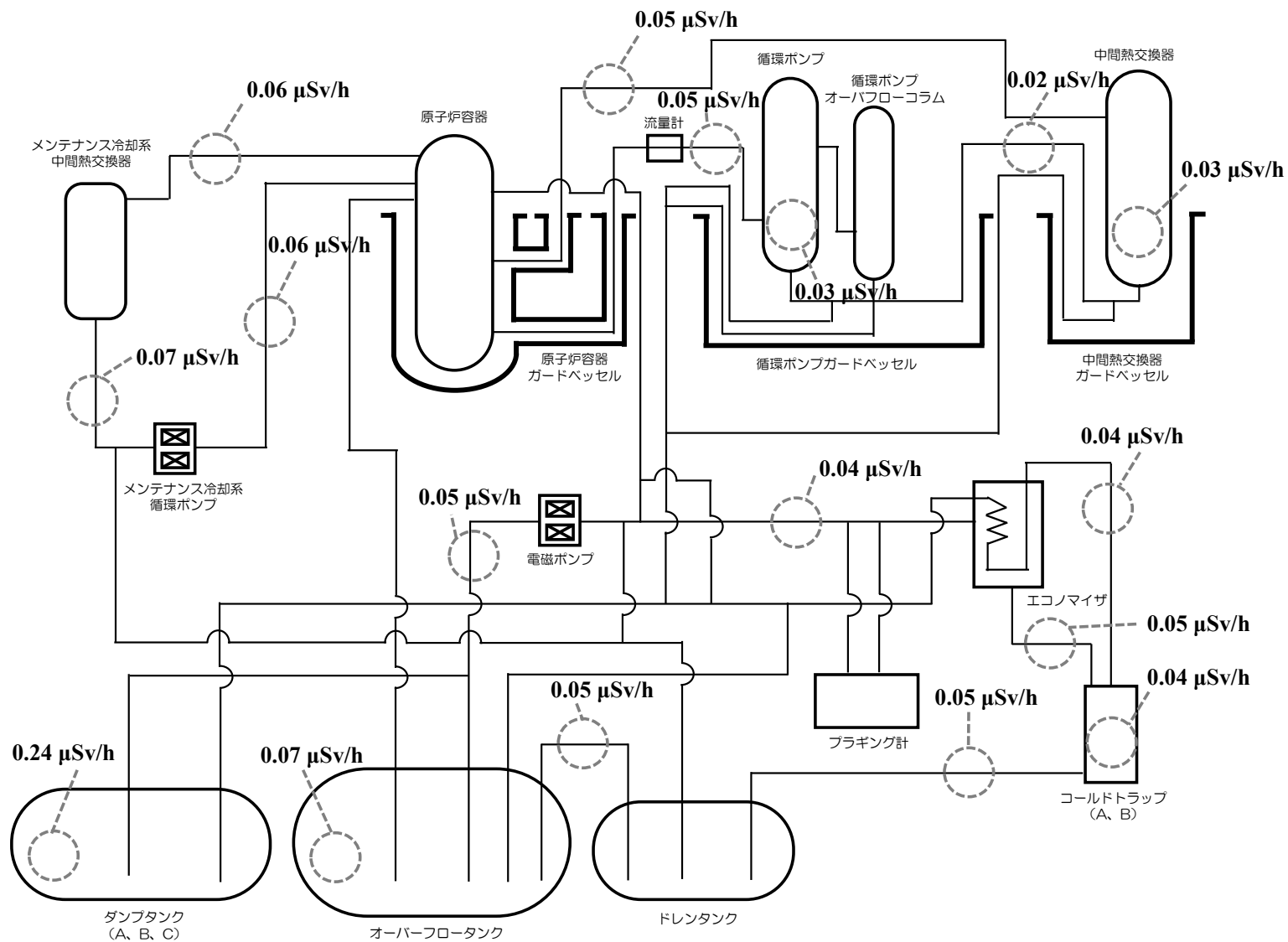


別図2 放射化汚染及び二次的な汚染の評価フロー

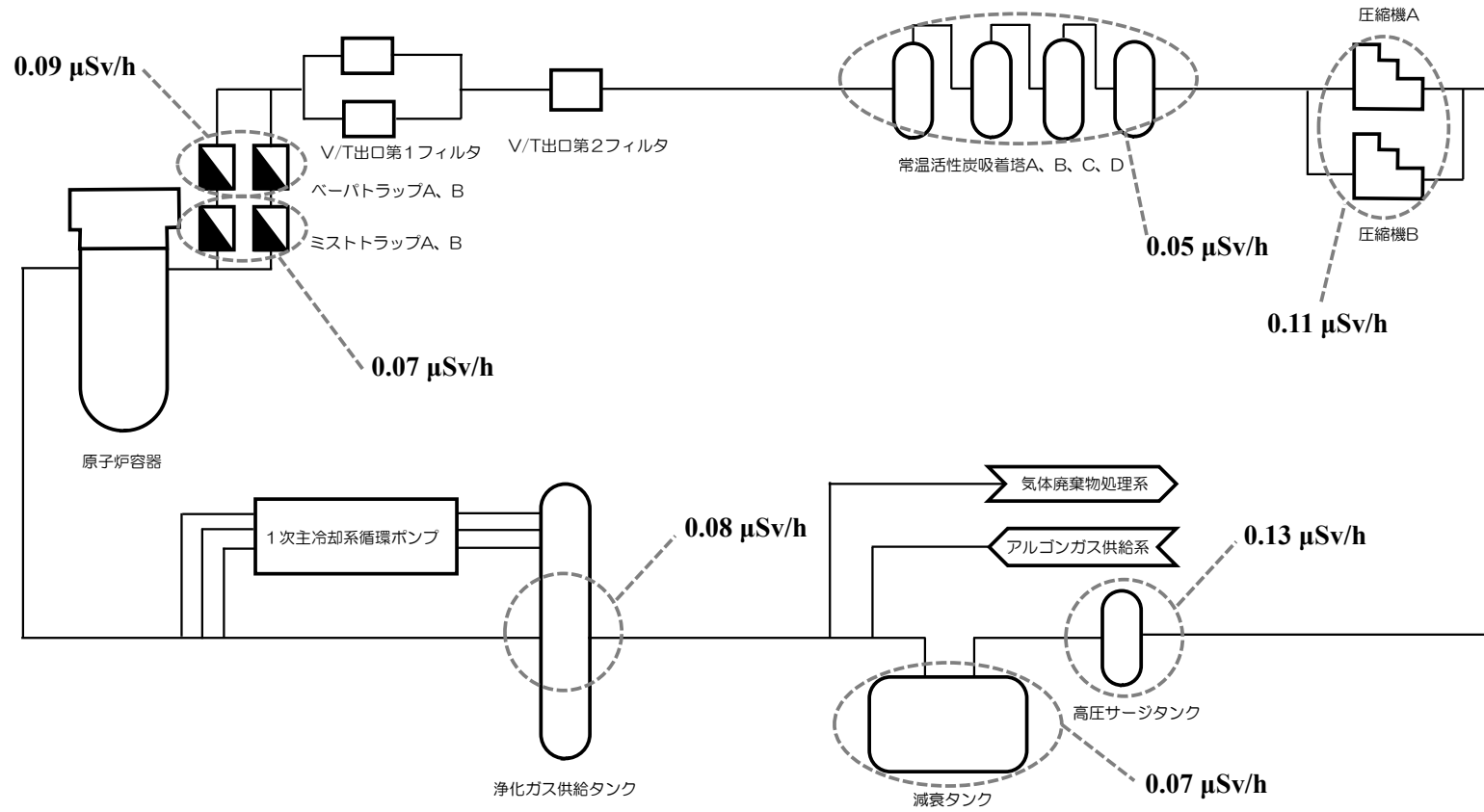
原子炉内



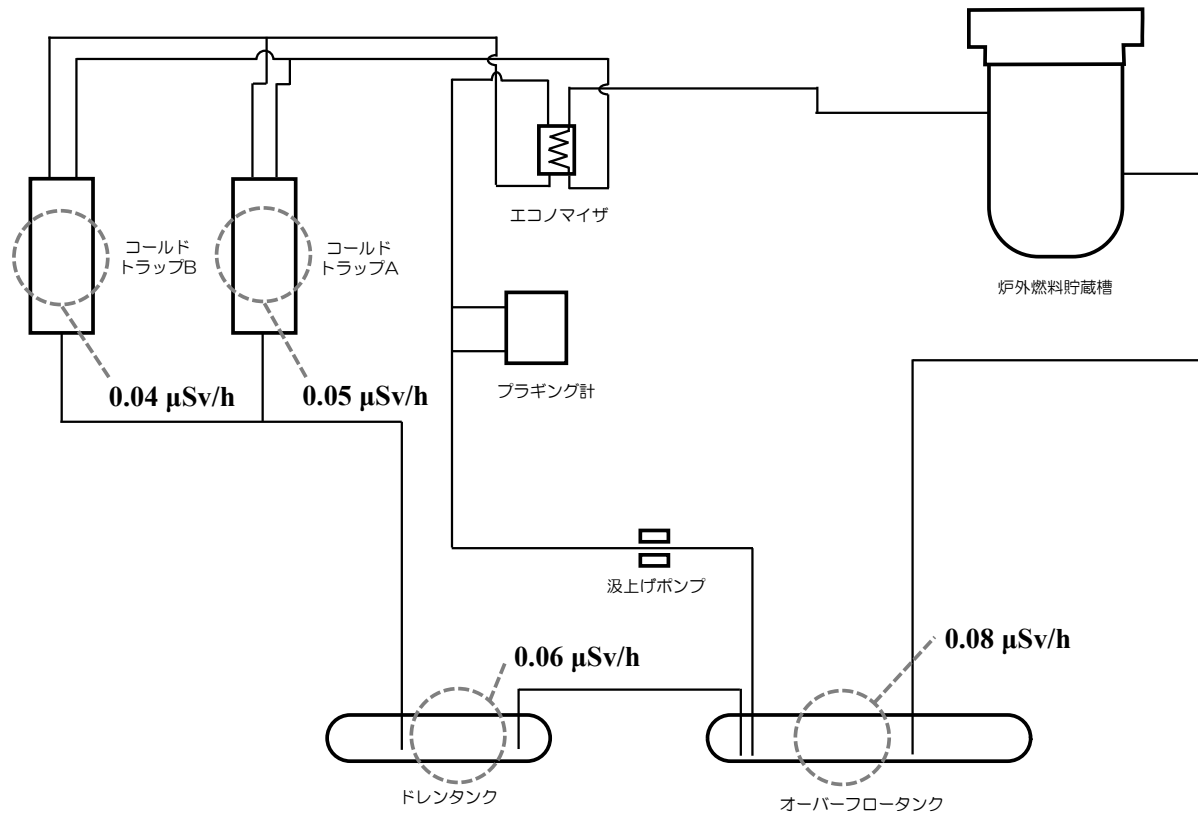
別図3 放射性物質の生成・移行の過程の概要図



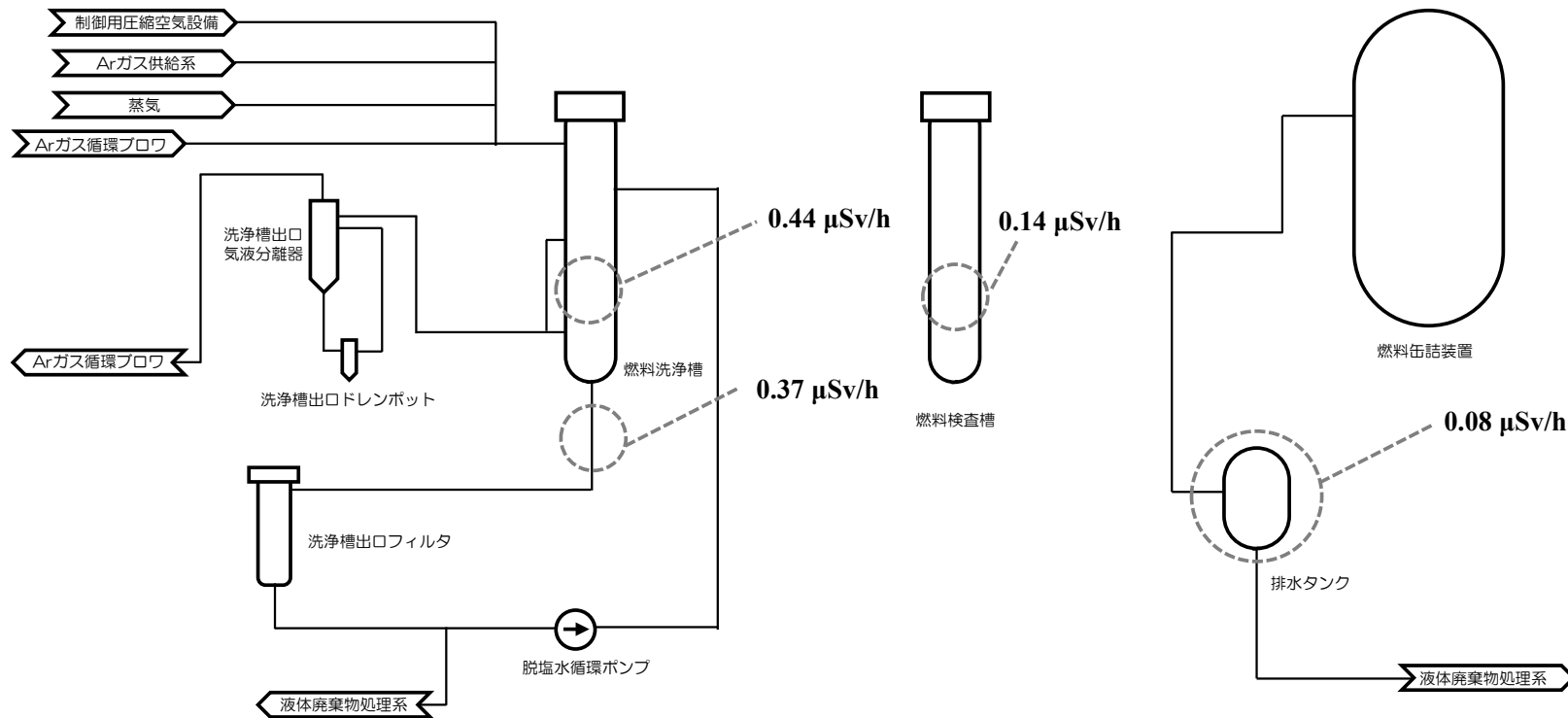
別図 4-1 測定された表面線量率をまとめた概略図 (1次主冷却系設備等)



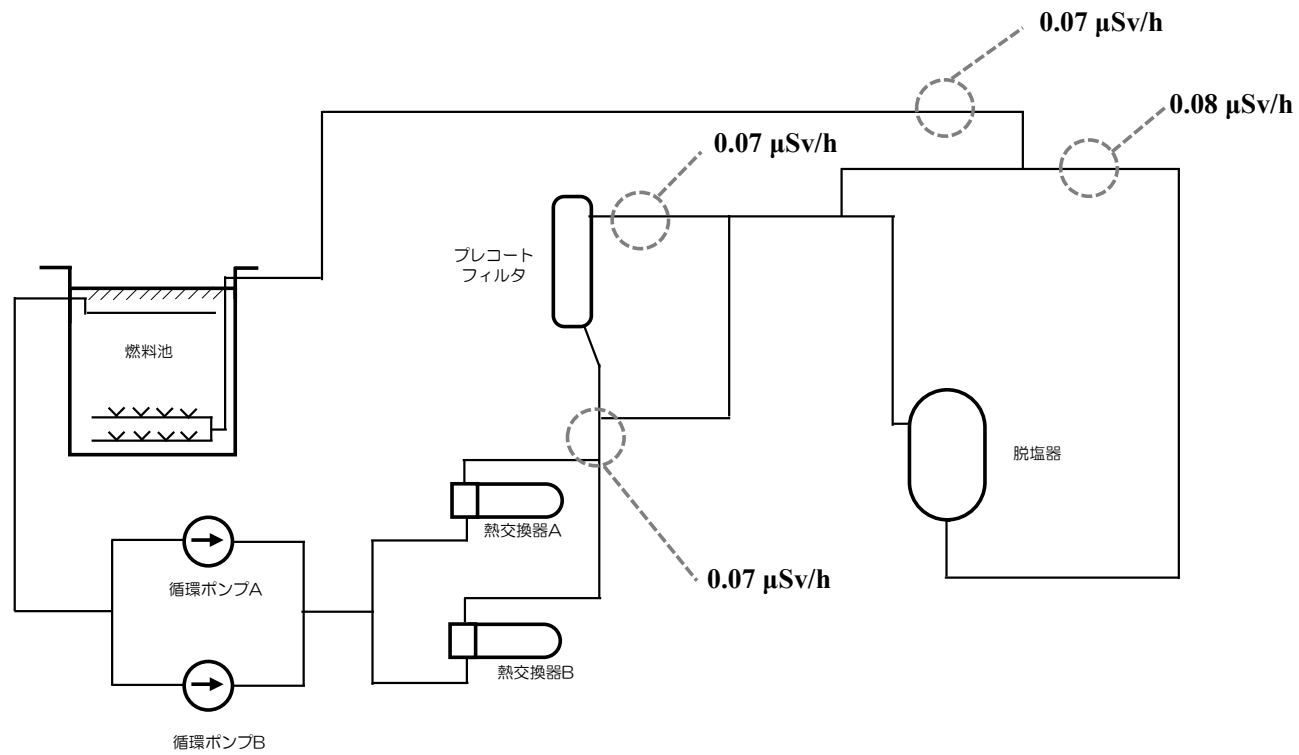
別図 4-2 測定された表面線量率をまとめた概略図 (1次アルゴンガス系設備)



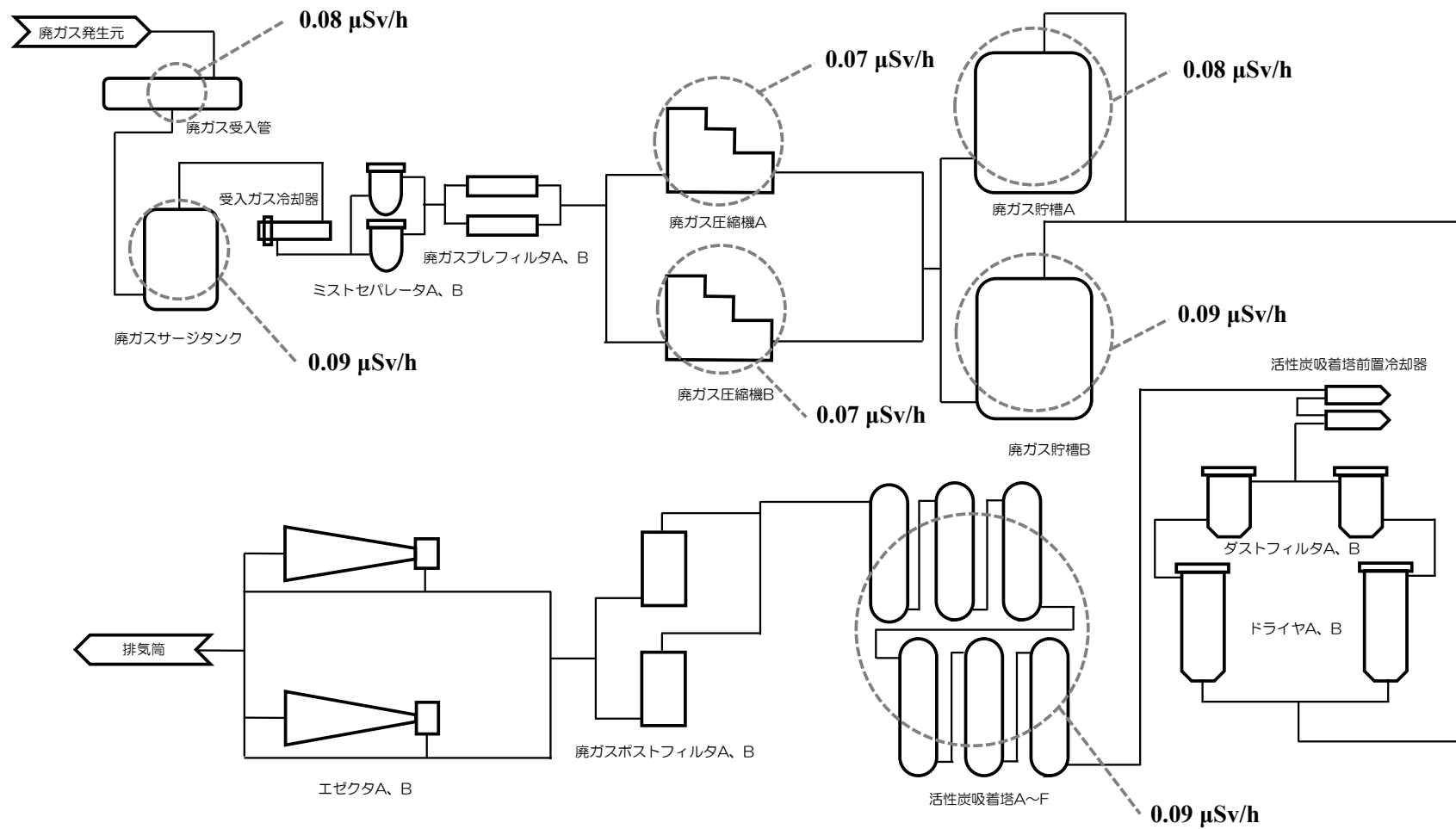
別図 4-3 測定された表面線量率をまとめた概略図 (燃料取扱及び貯蔵設備 (1/3))



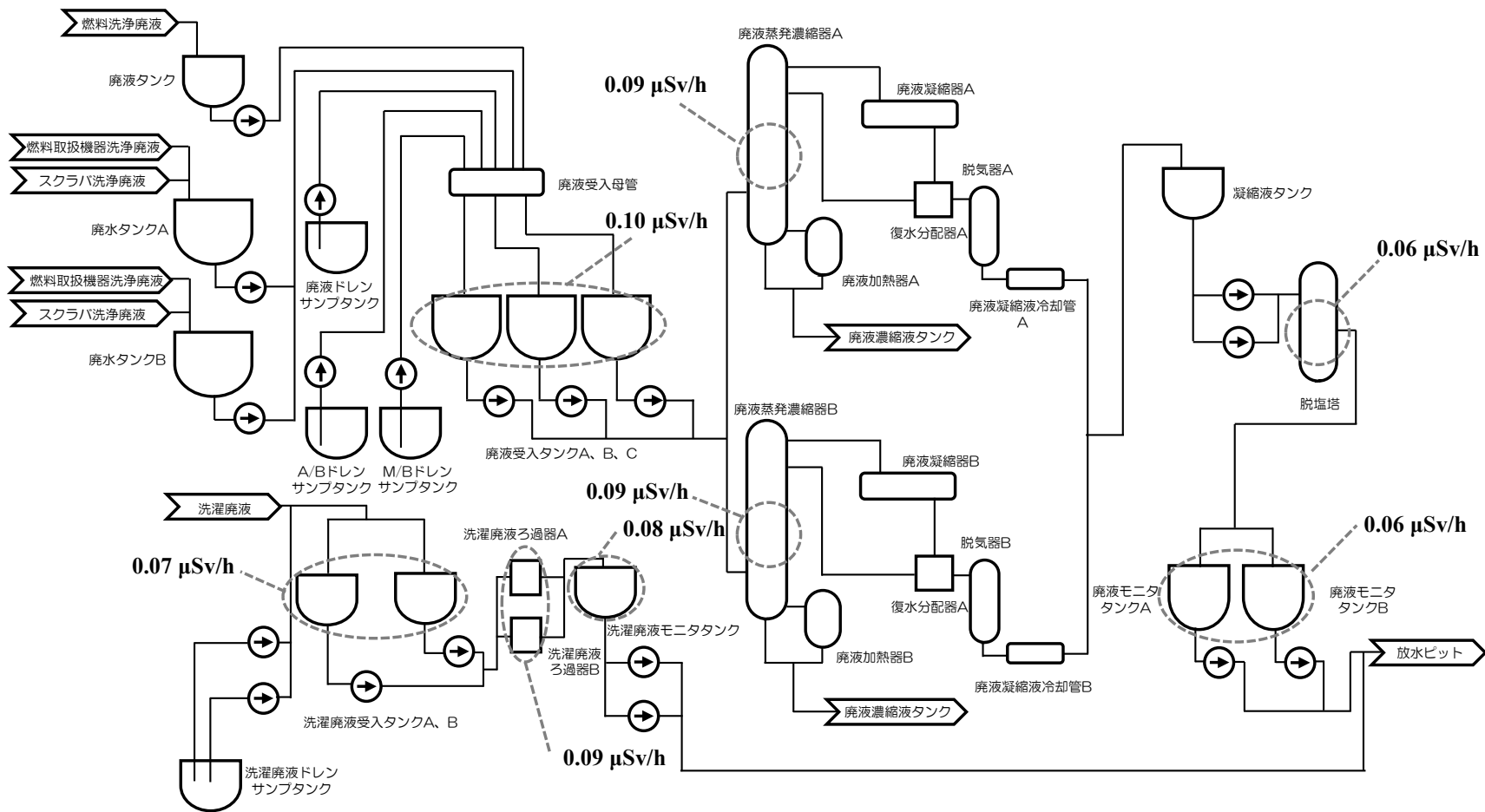
別図4-4 測定された表面線量率をまとめた概略図 (燃料取扱及び貯蔵設備 (2/3))



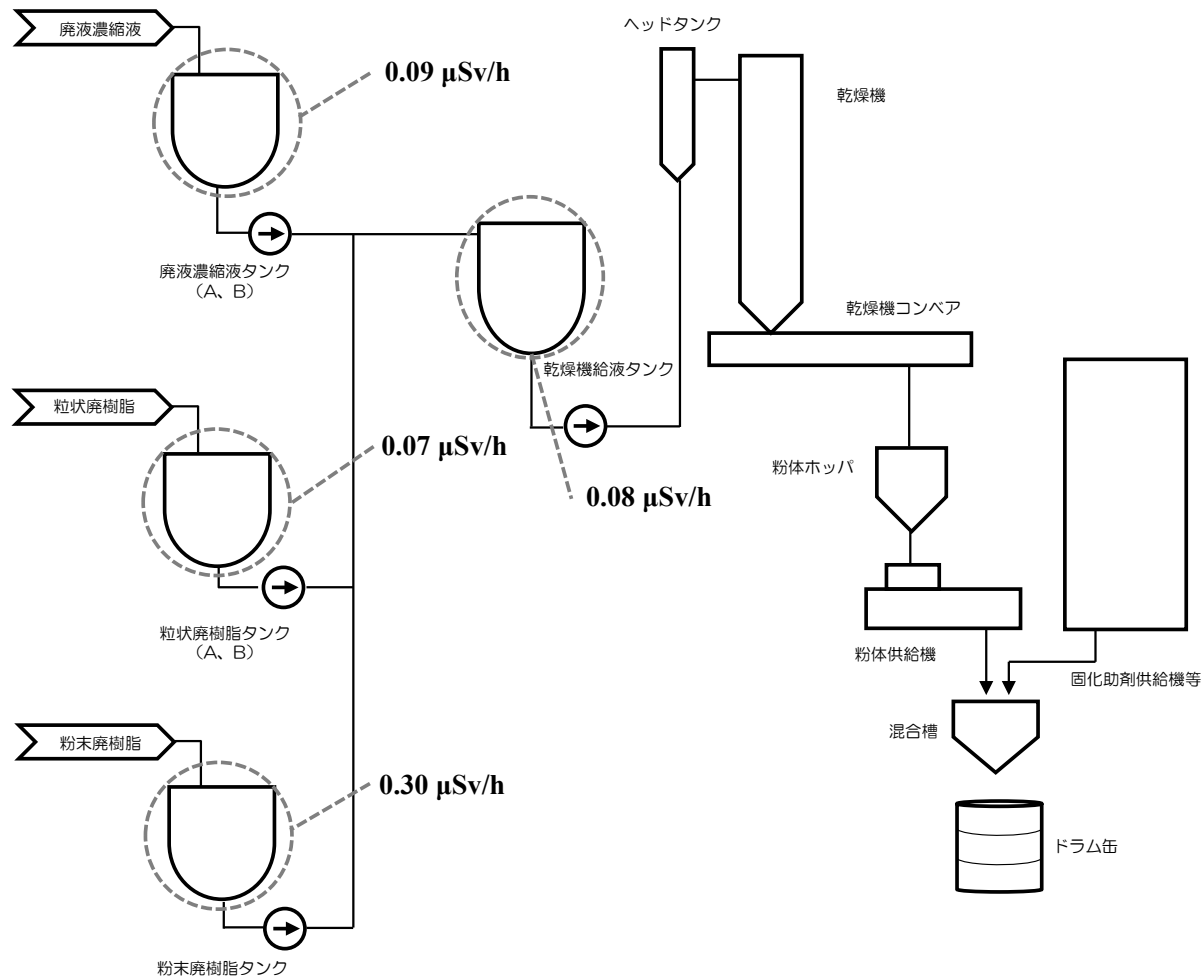
別図 4 - 5 測定された表面線量率をまとめた概略図 (燃料取扱及び貯蔵設備 (3/3))



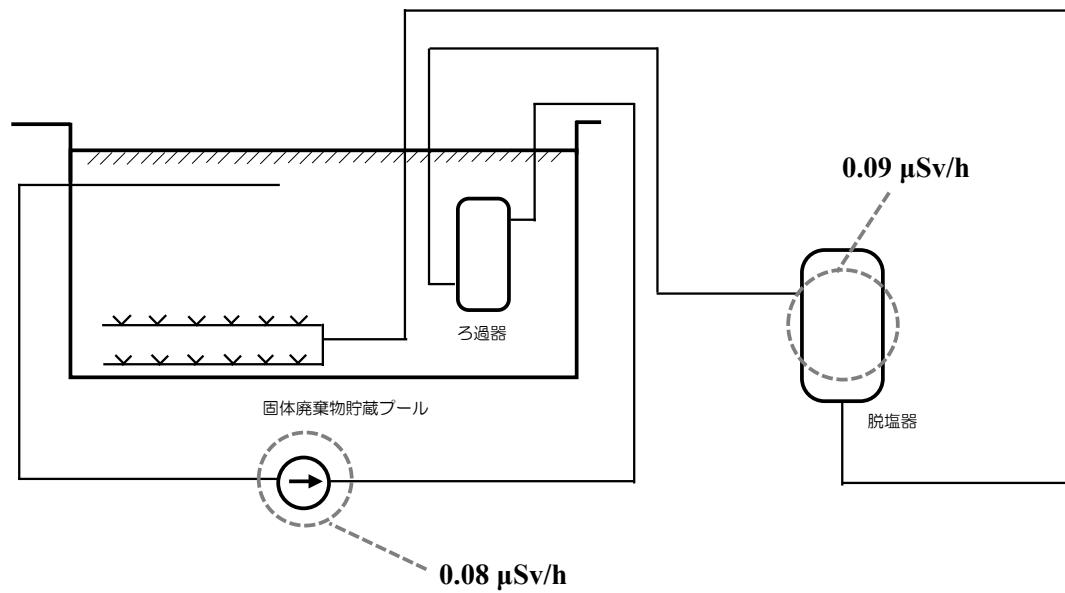
別図4-6 測定された表面線量率をまとめた概略図 (気体廃棄物処理設備)



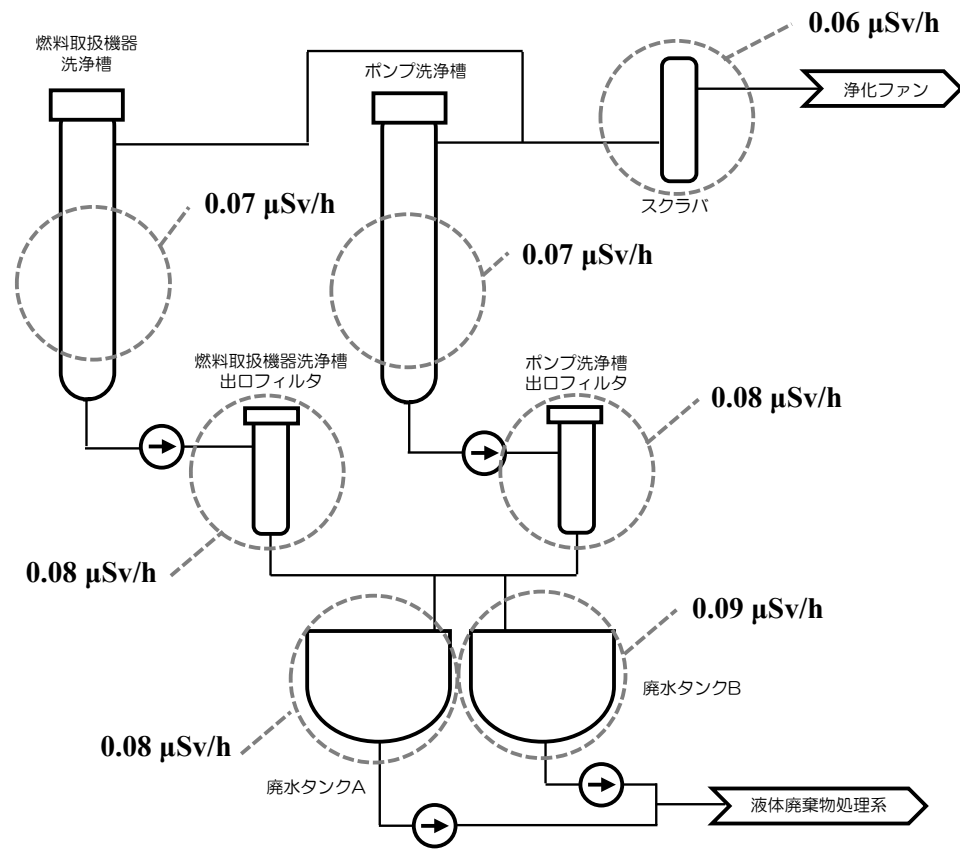
別図 4-7 測定された表面線量率をまとめた概略図 (液体廃棄物処理設備)



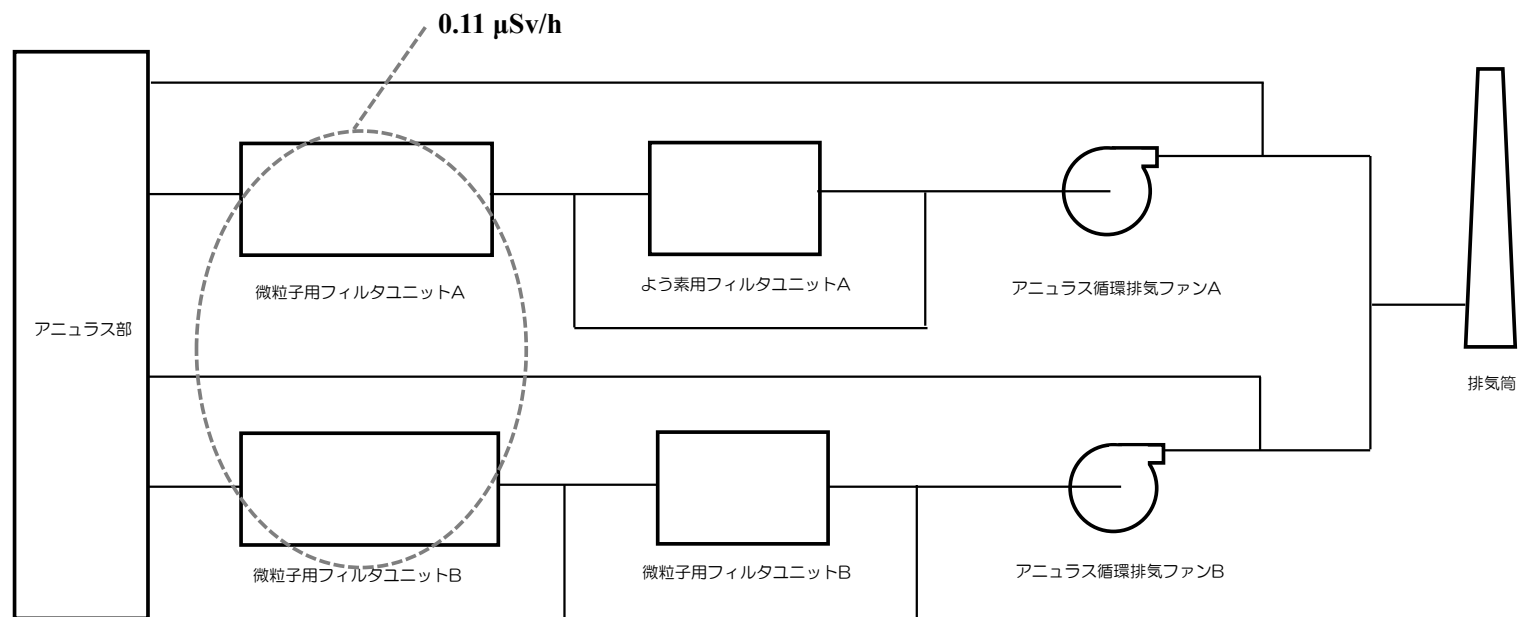
別図4-8 測定された表面線量率をまとめた概略図 (固体廃棄物処理設備 (1/2))



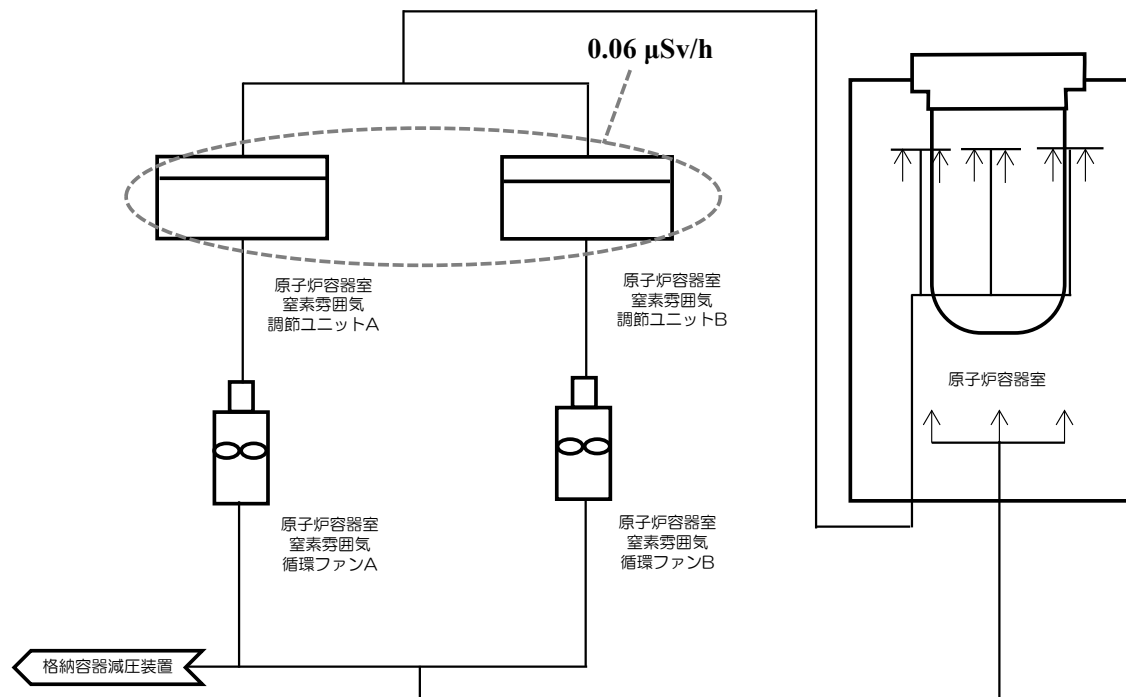
別図 4 - 9 測定された表面線量率をまとめた概略図 (固体廃棄物処理設備 (2/2))



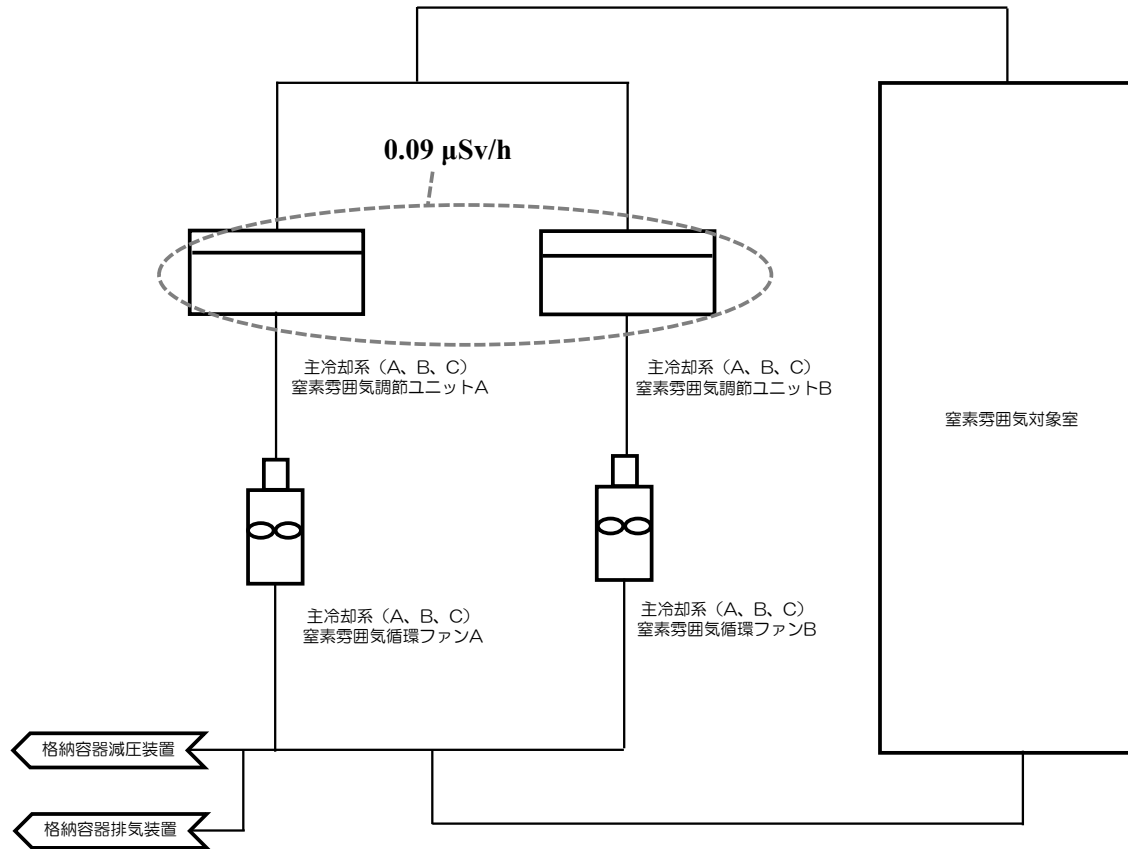
別図4-10 測定された表面線量率をまとめた概略図 (共通保修設備)



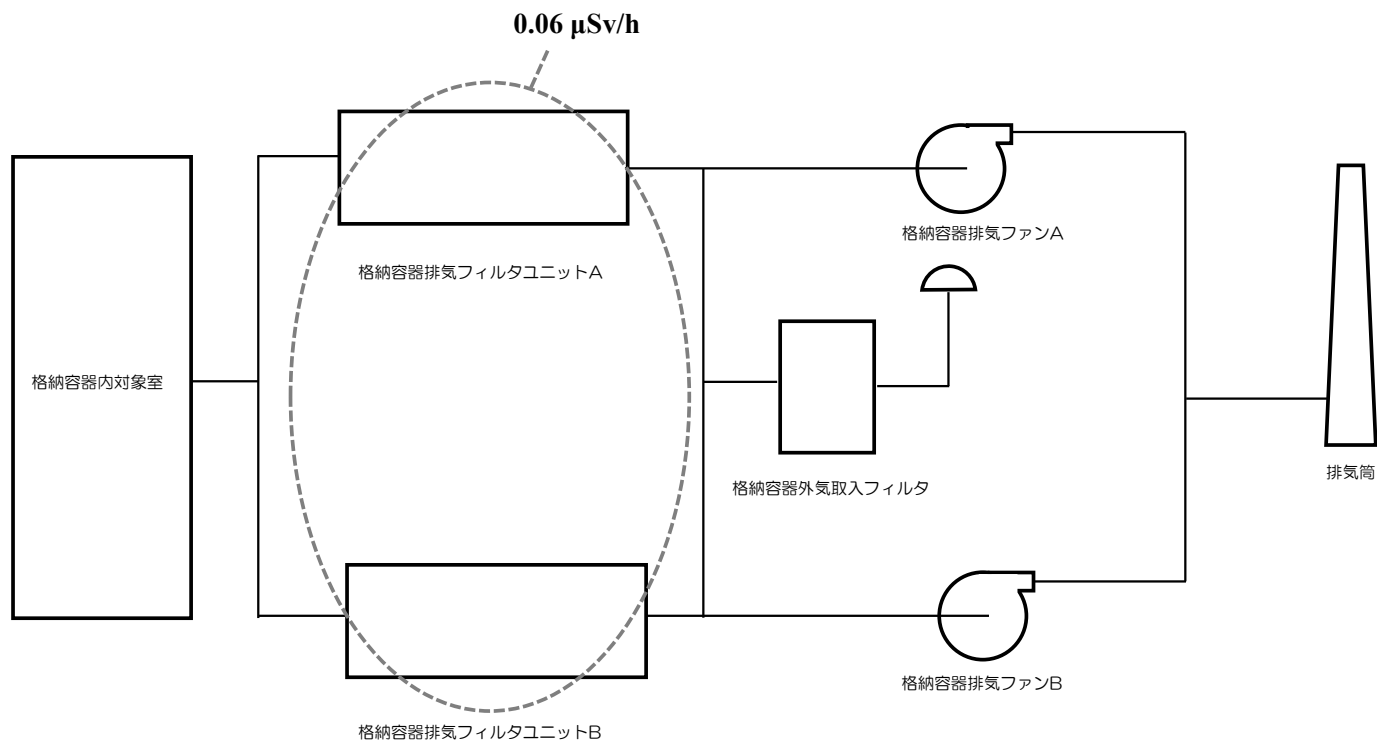
別図4-1-1 測定された表面線量率をまとめた概略図 (換気空調設備 (1/8))



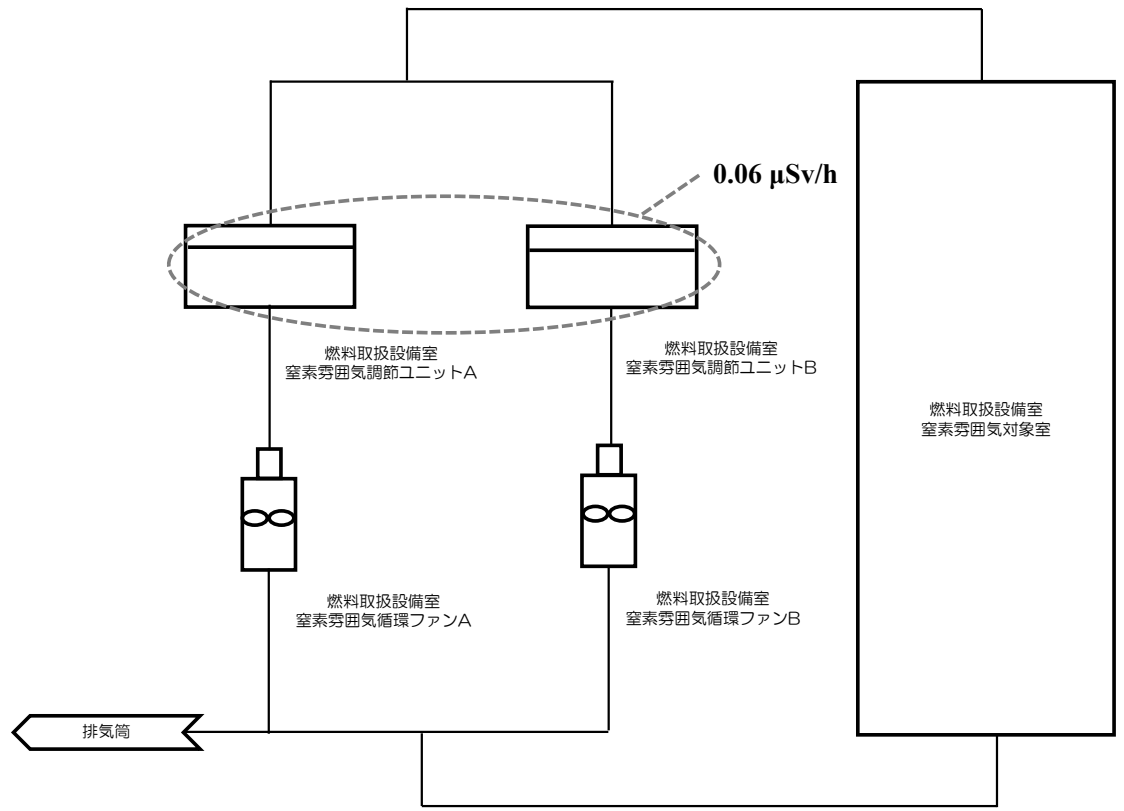
別図4-12 測定された表面線量率をまとめた概略図 (換気空調設備 (2/8))



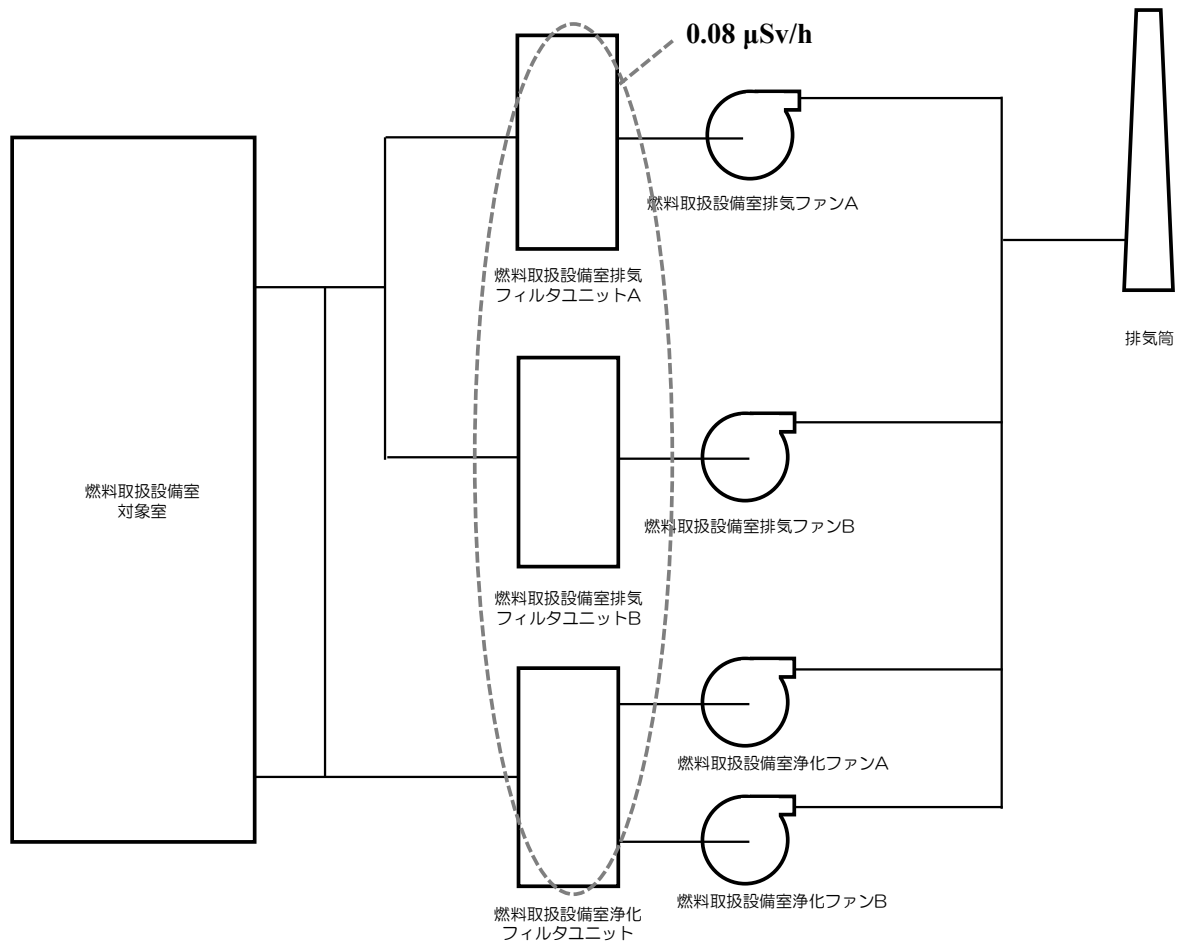
別図4-13 測定された表面線量率をまとめた概略図 (換気空調設備 (3/8))



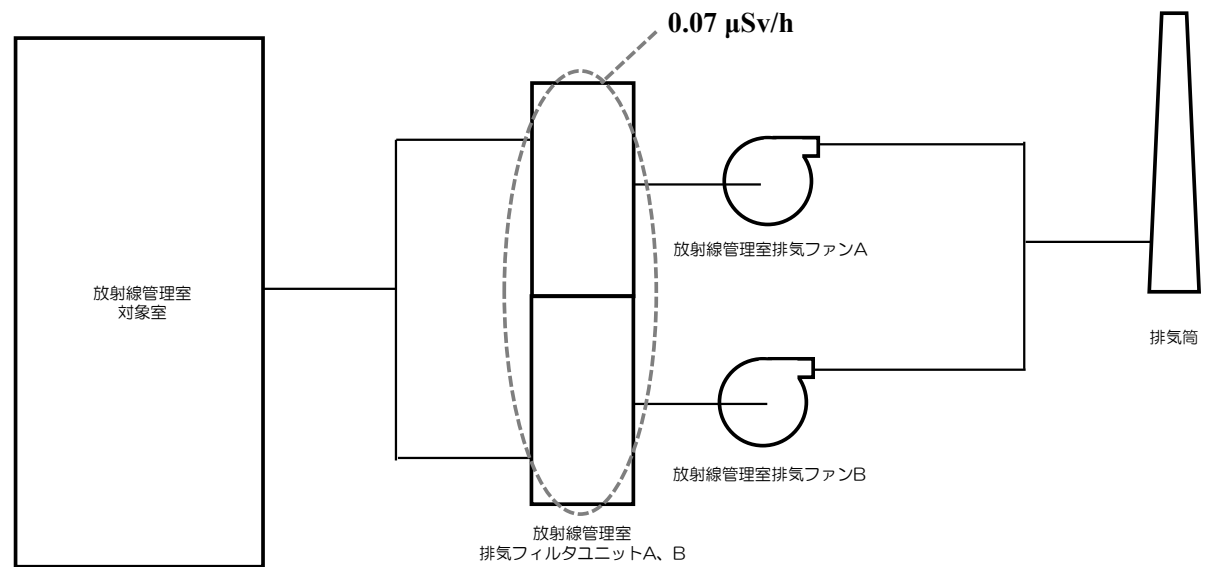
別図 4 - 1 4 測定された表面線量率をまとめた概略図 (換気空調設備 (4/8))



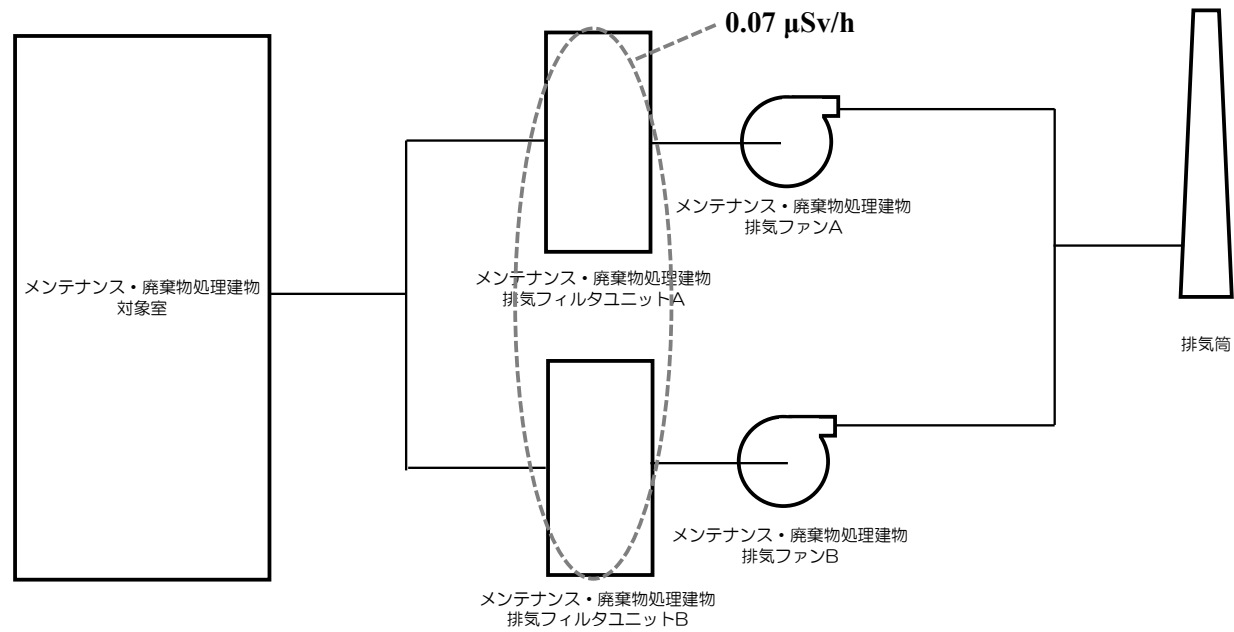
別図4-15 測定された表面線量率をまとめた概略図 (換気空調設備 (5/8))



別図4-16 測定された表面線量率をまとめた概略図 (換気空調設備(6/8))



別図4-17 測定された表面線量率をまとめた概略図（換気空調設備（7/8））



別図4-18 測定された表面線量率をまとめた概略図（換気空調設備（8/8））