

2026年2月4日 14:00～15:10
原子力委員会定例会議

核医学治療における 排水処理のレギュレーションについて

～核医学治療拡大に伴う排水管理の判断枠組み～

**尾川松義**

横浜市立大学附属病院 放射線部
東北大学大学院医学系研究科 画像解析学分野

1

発表議題名：
核医学治療における排水処理のレギュレーションについて

COI開示

説明者名：尾川 松義

本説明に関して開示すべき利益相反はありません。

2

本日の流れ

現状評価

- ✓ 核医学診療の排水処理レギュレーション

認知的管理

- ✓ 排水管理の実運用と制度の交差点
- ✓ 核医学治療拡大における判断枠組み

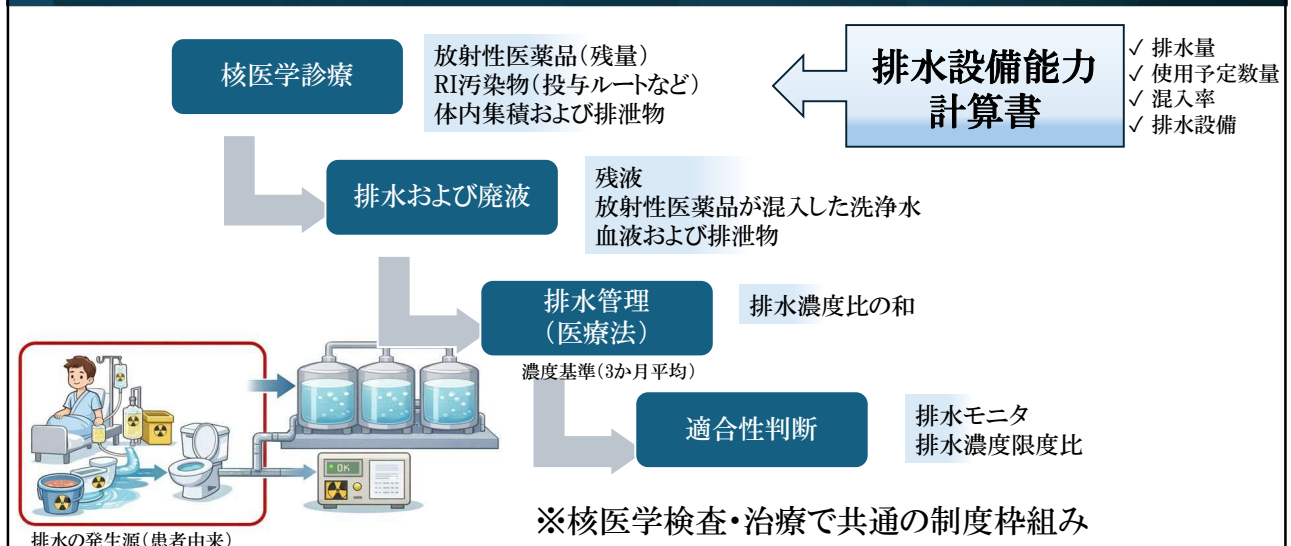
まとめ

3

核医学診療の排水処理レギュレーション ～制度整理～

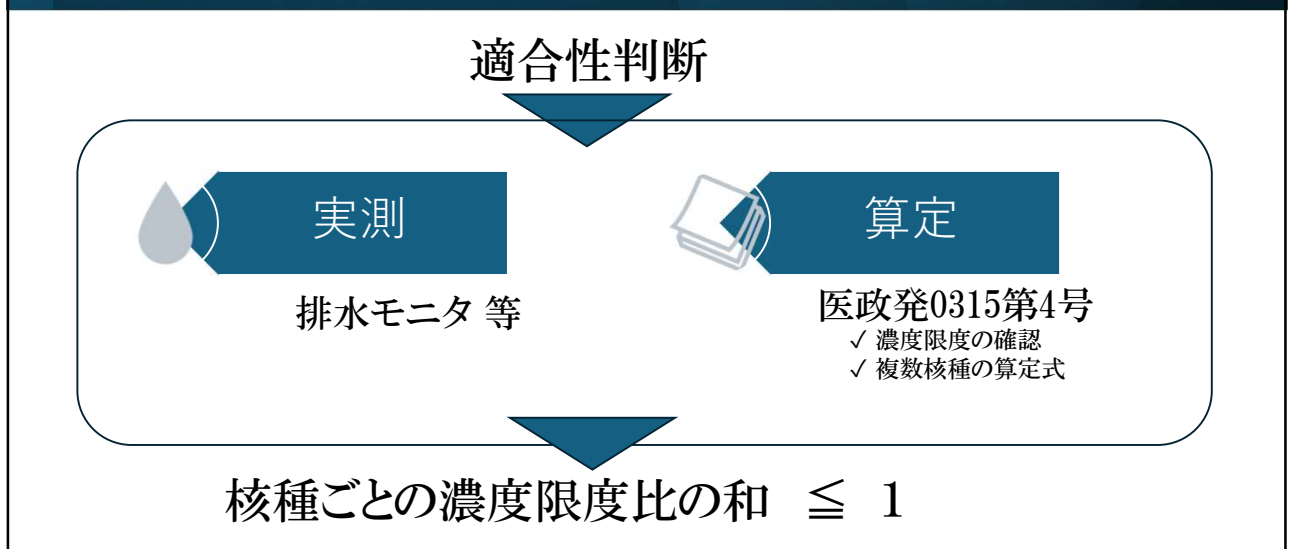
4

医療施設における排水制度の全体像



5

適合性判断の方法



6

制度の特徴

- 設備・記録・帳簿を中心とした安全設計
- 全国で均てん化された「形式的管理」

制度順守

設備・記録・帳簿

安全性の均てん化

制度遵守を前提に、安全水準を全国で揃える仕組みとして普及

7

実運用の現実：制度思想の交差

- 排水管理は医療法に基づき実施されている
- 設備設計・測定・安全評価の考え方には
RI規制法で培われた放射線管理思想が実質的に影響している

結果として医療法で管理されているが、
実運用では2つの管理思想が重なった形で運用されている

診療の一部として管理

(医療法に基づく管理の実態)



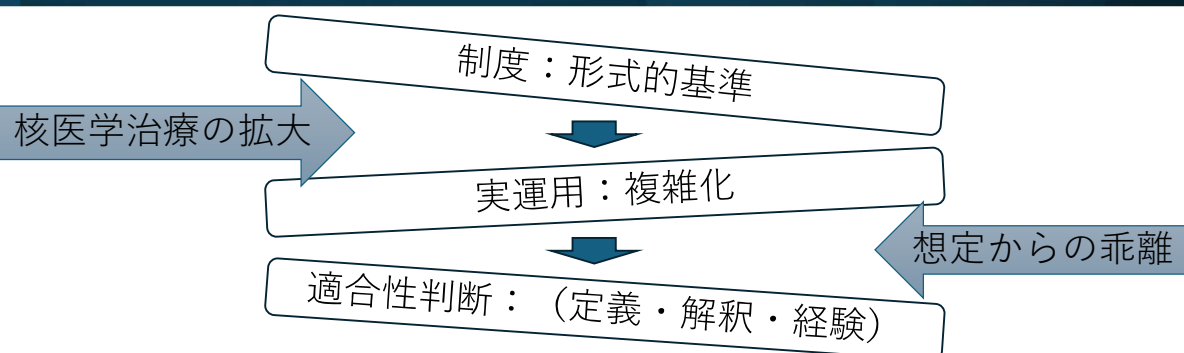
放射線管理室/取扱主任者
を中心に独立して管理

(RI規制法で培われた管理思想)

臨床現場では管理思想の違いが整理されないまま、
2つの考え方が重なった形で運用が定着してきた

8

論点の抽象化



排水問題は、「制度」「現場」という問題ではない
形式的管理が想定していない判断領域に拡大

9

小括

- 排水管理の制度設計そのものは合理的
- これまでの形式的管理により全国で一定の安全水準を確保してきた

課題は制度の不備ではなく、
想定していた実運用・治療規模との乖離

「制度 × 実運用 × 適合性判断」の交差に論点

10

排水管理の実運用と制度の交差

11

核医学検査の排水管理

核医学検査における排水処理の特徴

- 使用核種： 主に短半減期核種(例：Tc-99m 6時間 など)
- 投与量： 比較的低放射能(例：骨シンチ 740MBq など)
- 排水への寄与： 患者排泄物由来が中心(例：検査前排尿 など)
設備・器具由来の混入は十分に低い
- 管理成立条件： 貯留・減衰により時間とともに確実に低下

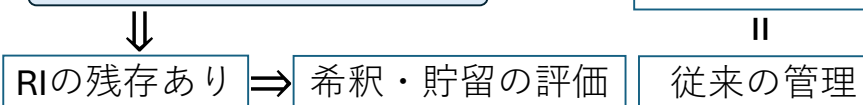
排水中放射能濃度が十分に低いことを確認する管理が主体
排水管理は形式的管理で十分に成立

12

核医学治療の排水管理

核医学治療における排水処理の特徴

- 使用核種： 検査より比較的長い半減期（例：Lu-177 6日、Ra-223 10日 等）
- 投与量： 治療投与量（例：7400MBq、55kBq/kg 等）
- 排水への寄与： 患者排泄物由来が中心（例：蓄尿 等）
設備・器具由来の混入は十分に低い
- 管理成立条件： 貯留・減衰により時間とともに低下 ⇒ RIの残存なし



排水中放射能濃度を評価する管理が必要となる施設が存在
施設(設備)により排水管理の運用が異なる

13

核医学検査と治療の違い

観点	核医学検査	①核医学治療	②核医学治療
核種半減期	主は数時間	主は数日	主は数日
排水へのRI寄与	低	高	高
専用RI病室	—	あり	なし
設備		施設差あり	
運用		同様	
判断	無い事の証明	無い事の証明	測定値の評価
管理手法	形式的管理	形式的管理	???

測定値に基づく実質的な管理・評価手法

14

同一制度で管理している現実

問題の本質

- 制度が想定していた前提条件と実際の治療実態が変化してきたこと
検査と治療で「要求される適合性判断」が異なる

その結果

- 臨床では「安全側」判断が重なり続けている
判断の根拠が安全側評価に強く依存する構造

15

核医学治療拡大における判断枠組み — 認知的管理と D-TIF —

16

なぜ「判断枠組み」の再考が必要か

形式的管理とは

- 法令遵守/帳簿中心/チェックリスト起点
法的基準に基づいた**記録重視**の管理手法
- 一律基準・画一的手順・設備仕様の固定化
全国**標準化**された運用手順と設備基準

メリット

- 平準化と責任の明確化
- 管理の均てん化と責任体制の明確化を実現

デメリット

- 現場の多様性・実情を反映しにくい
- 施設ごとの構造設備や運用変化への対応が困難

17

核医学治療の拡大による形式的管理の限界

- 核医学治療の多様化(β 線・ α 線など)への対応に限界
複雑性に追従できない
- 過度な安全側評価
リソースの過大消費
- データ不在の意思決定
PDCA・改善循環が回らない/回せない

核医学治療の拡大は
十分に低いことを確認する管理法の余力が限界に

18

「認知的管理」への転換の必要性

◇目的志向・リスクベース・状況適応型の管理

治療目的に基づいた柔軟なリスク管理アプローチ

◇現場データと判断を結びつける「考える管理」

実際のデータに基づいた合理的な判断と対応

◇コンプライアンス+最適化の二刀流

法令遵守と業務効率化を同時に実現する管理

多様な施設条件に即した柔軟な選択
各施設の実情に応じた最適な管理手法の選択

19

認知的管理への具体的アプローチ



現状評価

As-Is可視化
設備・人材・フロー
の把握



ハザード分析

シナリオ別リスク評価
間違いやすい部分や
問題点の洗い出し



指標設計

測定・記録の閾
値設定
改善を数字で
確認
レビューPDCA



データ駆動SOP

退出・排水・除染・
廃棄手順書に取りま
とめ
データでチェック・
改善し、属人的な判
断を減らす



実務者会議

専門職種の協働
改善のアイデア
共有や持続可能
な標準化推進



20

制度の境界が可視化された一事例（横浜市大）

- 横浜市大は、特殊な施設・特殊な運用ではない

放射線治療病室はなし/医療用サイクロترون設置
核医学検査（約45人/週）と核医学治療（約7人/週）を実施

- 核医学治療件数の増加と、治療核種の多様化が進行

⇒その結果、従来は顕在化しにくかった制度の境界条件が、
実運用の中で見えやすくなった

治療件数・核種の増加

実運用の複雑化

制度の前提条件が可視化

本事例は、制度の有効性を否定するものではなく、
将来、同様の条件が他施設にも広がる可能性を示唆する

21

核医学治療における排水管理戦略 ～現状分析～

✓排水系統への流入

放射性医薬品の廃液

⇒バイアル減衰保管によりほぼ混入なし

手指などの洗浄

⇒グローブ等の使用によりほぼ混入なし

患者さんからの尿便

⇒混入

✓測定機器

水モニタ

γ線水モニタ: NaI(Tl)シンチレータ

β線水モニタ: プラスチックシンチレータ

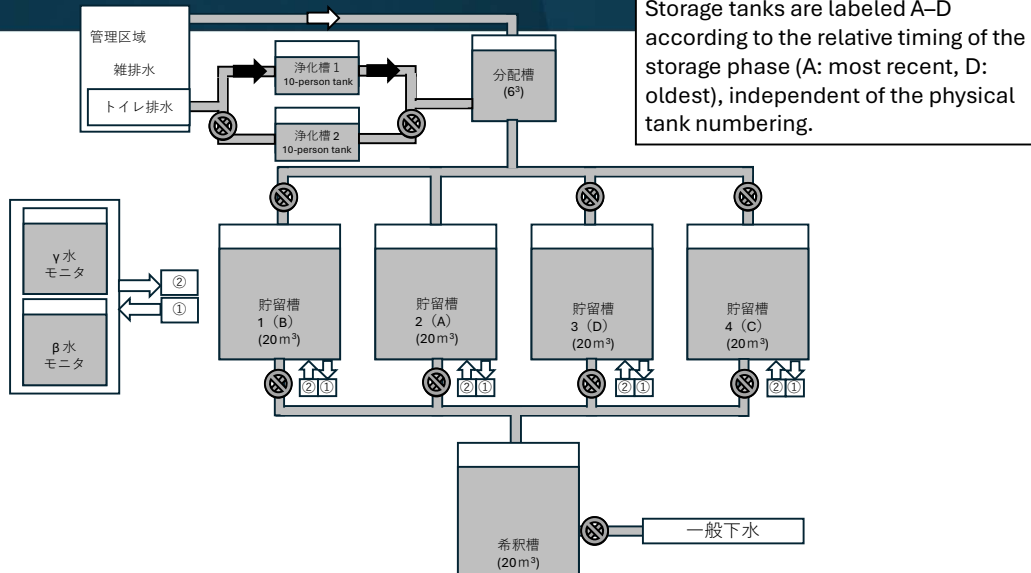
✓排水フロー

貯留槽4槽目が満水の前 ⇒ 最も古い貯留槽の**排水測定** ⇒ 希釈の有無を判断

⇒ 希釈槽へ移送 ⇒ 再度排水測定 ⇒ **濃度限度以下を確認し一般下水へ排水**

22

排水設備の一例(横浜市大)



23

3か月間の水モニタ測定結果の変化

	Activity(Bq/cm3)								合計 濃度限度 比の和
	γ 水モニタ						β 水モニタ		
	Ga-67	Tc-99m	In-111	I-123	I-131	Tl-201	C-11	Lu-177	
2024/12/16	0.15	0.08	0.02	0.57	0.06	0.10	DL	DL	1.7
2025/1/20	0.14	0.06	0.02	0.58	0.05	0.10	DL	DL	1.4
2025/2/17	0.12	0.06	0.01	0.41	0.04	0.07	DL	DL	1.3
濃度限度	4.00	40.00	3.00	4.00	0.04	9.00	40.00	2.00	
検出限界	0.0437	0.0163	0.0037	0.1270	0.0237	0.0219	14.6000	0.4490	

Detection limit : DL

単純な物理半減期モデルだけでは
説明できない挙動がある

24

核医学治療における排水管理戦略 ～ハザード分析～

判断が難しくなる場面の抽出

- ✓ 低濃度域での測定値のばらつき
- ✓ 核種混在の測定環境
- ✓ 多核種による半減期の変動



排水タイミングの判断

25

横浜市大の各槽の測定結果 HPGe(上)と水モニタ(下)

	Activity(Bq/cm3)				濃度限度 比の和
	Lu-177	Lu-177m	I-131	In-111	
浄化槽 1	DL	0.14	DL	DL	0.28
浄化槽 2	1500.00	0.44	1.20	0.39	781.01
分配槽	620.00	0.19	0.55	DL	324.13
貯留槽 A	130.00	0.14	0.21	DL	70.53
貯留槽 B	0.97	0.11	DL	DL	0.71
貯留槽 C	DL	0.08	DL	DL	0.16
貯留槽 D	DL	0.05	DL	DL	0.09
希釈槽	DL	0.04	DL	DL	0.08
濃度限度	2.00	0.50	0.04	3.00	

Detection limit : DL

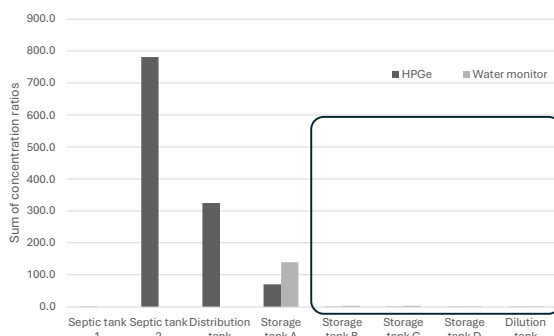
低濃度域の
挙動に注目

		Activity(Bq/cm3)							濃度限度 比の和
		γ 水モニタ					β 水モニタ		
		Ga-67	Tc-99m	In-111	I-123	I-131	Tl-201	C-11	
貯留槽 A	23.34	11.66	3.45	64.41	1.28	12.06	257.67	152.10	139.2
貯留槽 B	0.41	0.20	0.06	1.39	0.11	0.25	DL	DL	3.2
貯留槽 C	0.34	0.14	0.04	1.11	0.12	0.22	DL	DL	3.4
貯留槽 D	0.12	0.05	0.01	0.41	0.04	0.07	DL	DL	1.2
希釈槽	0.12	0.06	0.01	0.41	0.04	0.07	DL	DL	1.3
濃度限度	4.00	40.00	3.00	4.00	0.04	9.00	40.00	2.00	

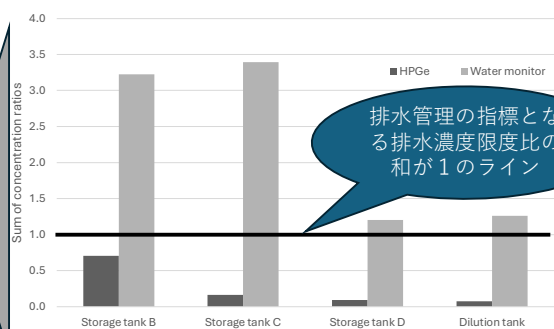
26

HPGeと水モニタの排水濃度限度の比の比較

(a) Overview of the wastewater management process



(b) Enlarged view focusing on the low-activity region



27

核医学治療における排水管理戦略 ～指標設計～

毎回、HPGeによる測定では管理が煩雑、維持管理費が増大
どの測定値、どの目的の判断に使うのか

低濃度域の指標を整理し、
安全側に管理・運用できる体制の構築

「指標設計の具体化」、枠組みの整理について
今回は実装に向け検討している二層構造的判断枠組みについて紹介

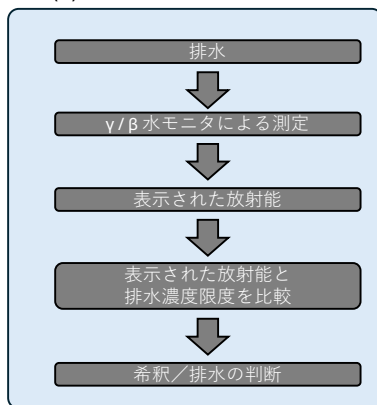
28

【実装に向け検討中】 二層構造的判断枠組み(D-TIF)の考え方

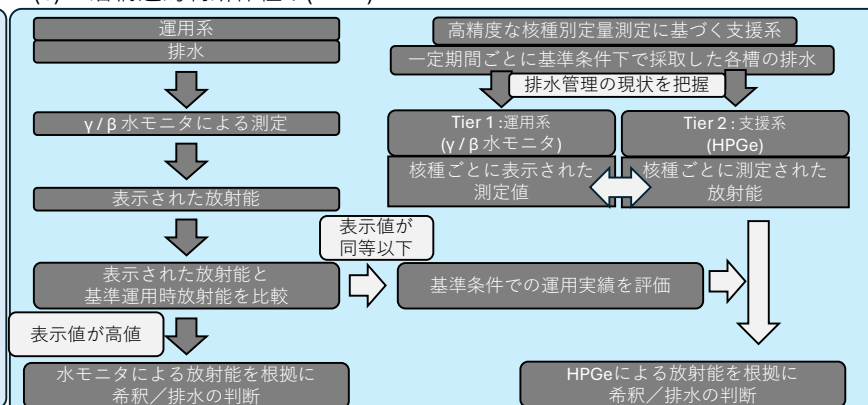
• D-TIF: Dual-Tier Interpretative Framework

排水管理における2系統の評価を活用し、役割分担を明確化

(a) 単一階層ロジック



(b) 二層構造的判断枠組み(D-TIF)



29

一般的な管理

水モニタの信頼性確保

- 水モニタの定期校正/点検



基準条件下でのRI使用

排水測定値

減衰期間の延長

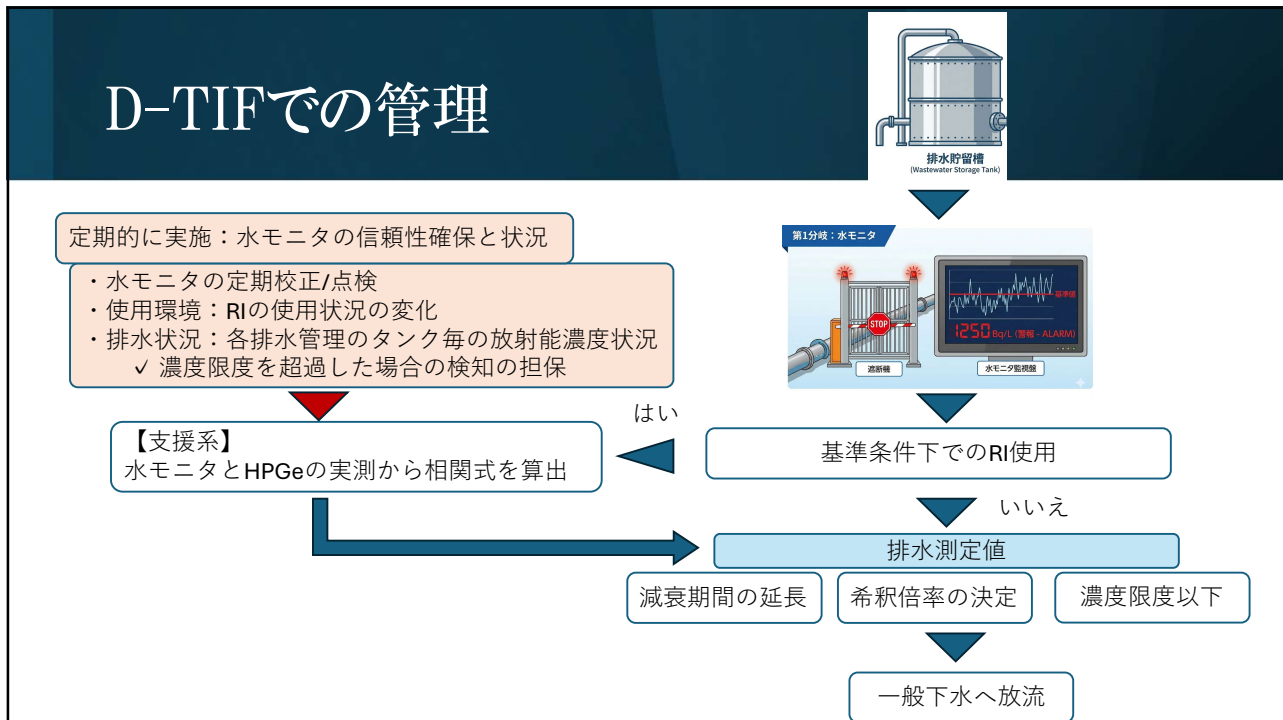
希釈倍率の決定

濃度限度以下

一般下水へ放流

30

D-TIFでの管理



31

D-TIFによる実運用上の示唆

基本思想

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ 水モニタ表示値を排水判断に使用 ✓ ただし、そのまま核種別放射能濃度として扱わない | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 事前に基準運用を定め、その条件下で水モニタと HPGe 測定との整合性を評価 |
|--|--|

判断の構造

基準条件下での運用	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 運用系(放射線防護) 水モニタ表示値を日常運用 保守的スクリーニング指標 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 支援系(排水判断) HPGe による核種構成・定量評価 特に低濃度領域の不安定さを評価

排水濃度限度比の和 < 1 を確認

32

D-TIFによる基準条件

整合性が確認されている条件下で水モニタによる排水管理が可能

排水濃度限度比の和が 1 を下回っていると解釈して排水管理

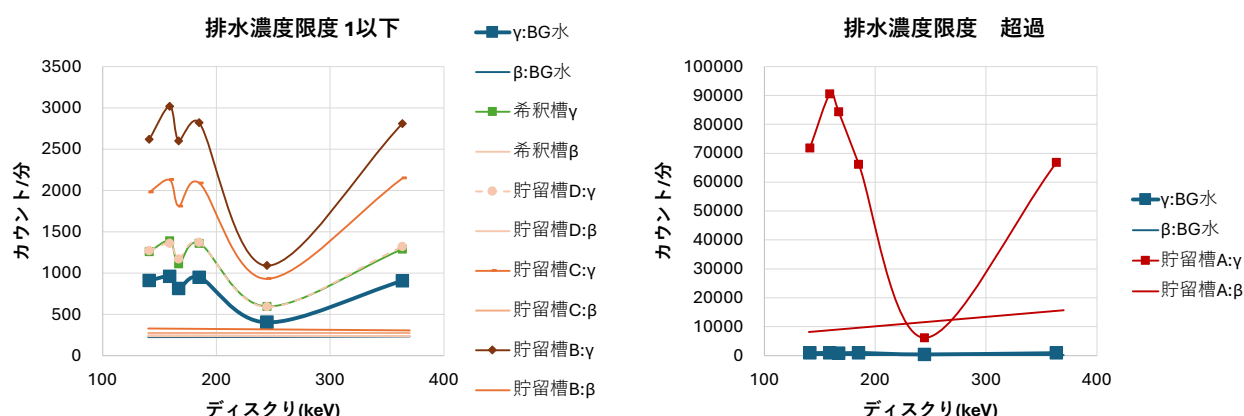
D-TIFの位置づけ

- 水モニタの安全側評価を維持
- HPGe を核種別評価の参照系として併用
- 定期的にHPGeと水モニタの整合性を評価
- 知識や技術を習得した担当者による認知的管理

排水管理における合理性と保守性を両立する枠組み

33

HPGeと水モニタの排水濃度限度の比の比較



34

D-TIFによる希釈水の削減効果

	希釈水量(m ³) (Single-tier logic)	希釈水量(m ³) (D-TIF)	希釈水 削減量(m ³)	排水管理運用 希釈水 削減量(m ³)
貯留槽 A	2763.1	1390.6	1372.5	—
貯留槽 B	44.5	0	44.5	60
貯留槽 C	47.9	0	47.9	60
貯留槽 D	4.1	0	4.1	20
希釈槽	5.2	0	5.2	20

1 回に 5.2m³、年間 41.6m³ の節水
(1.5 か月満水、年間 8 回の排水を想定)

当院のシステムの
希釈は 2 倍から
すなわち 1 回 20m³

35

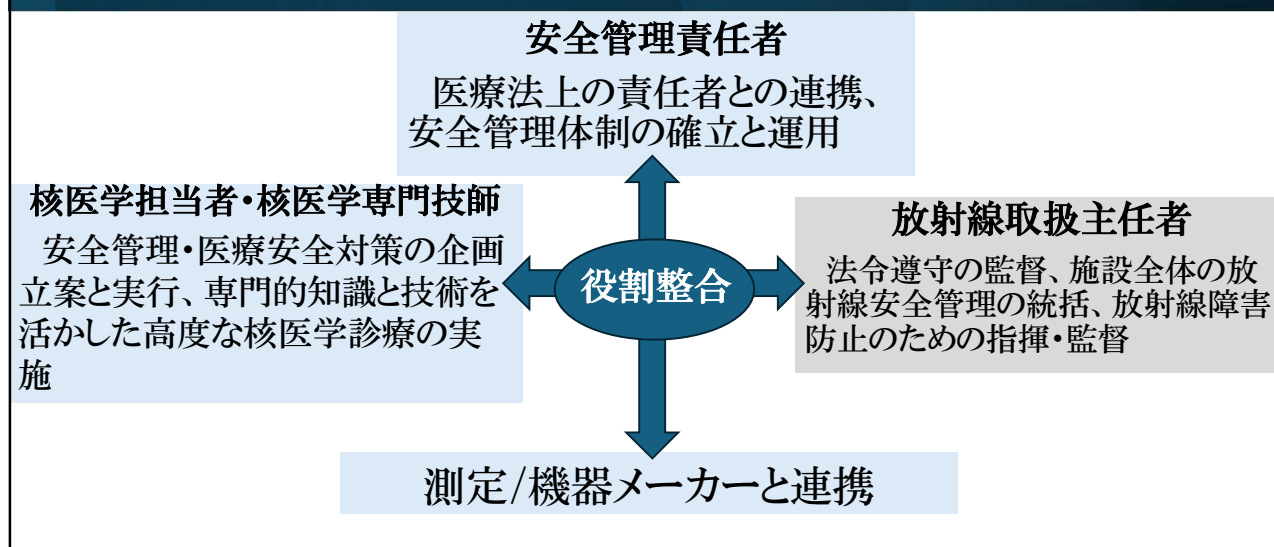
認知的管理により見えてくる本質

- 過剰な希釈水運用
不必要な希釈により、水資源の浪費とコスト増加
- 設備改修のポイント
設備投資と施工期間の最適化
- 排水運用のポイント
蓄尿による排水流入のコントロール

認知的管理により様々な対策や工夫を有効的に活用可能

36

認知的管理では 専門的管理者の役割強化が重要



37

まとめ

38

まとめ

— 核医学治療拡大期における排水管理の整理 —

① 排水管理の制度設計は合理的

- 医療法に基づく排水管理制度はこれまで全国で一定の安全水準を確保してきた
- 本検討は制度の不備を指摘するものではない

② 課題は「制度 × 実運用 × 適合性判断」の交差点

- 核医学検査と治療では排水管理において求められる判断の質が異なる
- 治療件数・核種の多様化により従来は顕在化しにくかった判断領域が見え始めている

③ 認知的管理と D-TIF は「判断構造を整理する枠組み」

- 測定系の役割を整理し規制判断と運用判断を層別化し整理
- 規制の枠組みを維持したまま排水管理における合理性と保守性の両立を図る考え方

本事例は将来の議論の出発点

横浜市大の事例は特殊事例ではなく将来、他施設でも起こり得る状況を示唆する
今後、核医学治療のさらなる拡大を見据え判断構造の整理という視点での議論が重要