

平成26年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金  
（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」  
最終報告

平成29年8月

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)

# 目次

1. 研究開発の目的
2. 放射性廃棄物対策の全体概要
3. 福島第一事故廃棄物の特徴(推定)
4. 事業内容
  - (1) 性状把握
  - (2) 廃棄物の処理及び長期保管方策の検討
  - (3) 廃棄物の処分に関する検討
  - (4) 研究開発成果の統合
5. 研究開発の運営
6. 進捗状況管理と実施体制

## 1. 研究開発の目的

本研究は、東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策に資する技術の開発を支援する事業を行うことで、福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策を円滑に進めるとともに、我が国の科学技術の水準向上を図ることを目的とする。

東京電力福島第一原子力発電所の事故により発生した事故廃棄物は、破損した燃料に由来した放射性核種を含んでいること、津波や事故直後の炉心冷却に起因する海水成分を含む可能性があること、高線量であり、汚染のレベルが多岐にわたりその物量も大きいこと等、従来の原子力発電所で発生する放射性廃棄物と異なる特徴がある。このため「固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発」においては、これらを安全に処理・処分するために必要とされる研究開発を実施する。

## 2. 放射性廃棄物対策の全体概要

### 中長期ロードマップ(平成27年6月12日改訂)

#### 4-5. 廃棄物対策

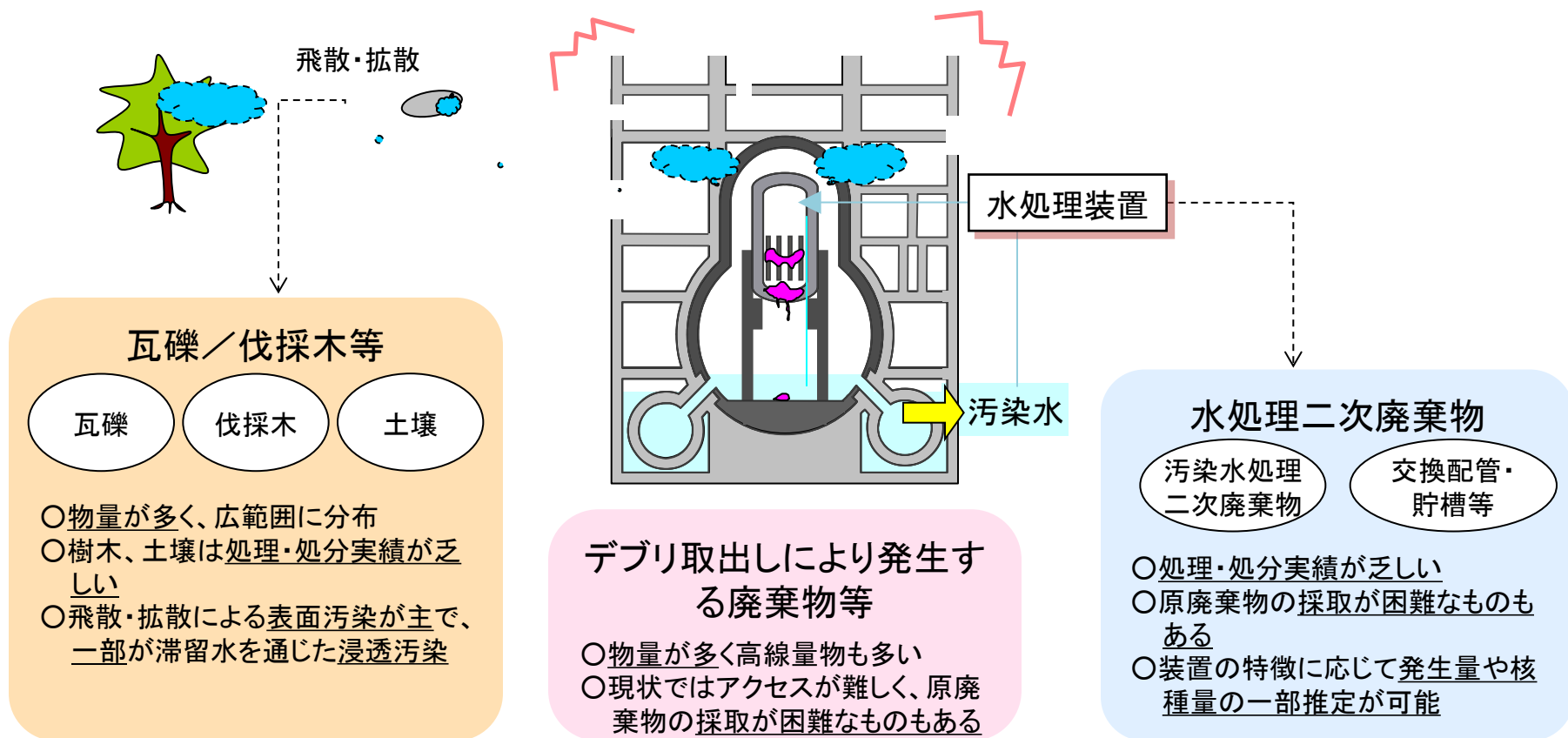
##### (2) 処理・処分

固体廃棄物の性状把握、幅広く抽出した処理・処分技術の適用性の検討、難測定核種等の分析手法やインベントリ評価技術の開発等を実施し、原子力規制委員会の意見も聴きつつ、2017年度(平成29年度)内に、「廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え方」を取りまとめる。

その上で、現在設計を行っている放射性物質分析・研究施設を活用し、固体廃棄物の性状把握等を通じた研究開発を加速し、2021年度(平成33年度)頃までを目処に、処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通しを得る。

### 3. 福島第一事故廃棄物の特徴(推定)

- ◆ 事故により管理できない状態で発生
- ◆ 1～3号機の炉心燃料を起源とした汚染\*
- ◆ 廃止措置作業が状況に応じて変化するため、発生量の想定が困難
- ◆ 汚染範囲が広く、高線量箇所もあるため、データが非常に限定的(特に長半減期核種の組成)



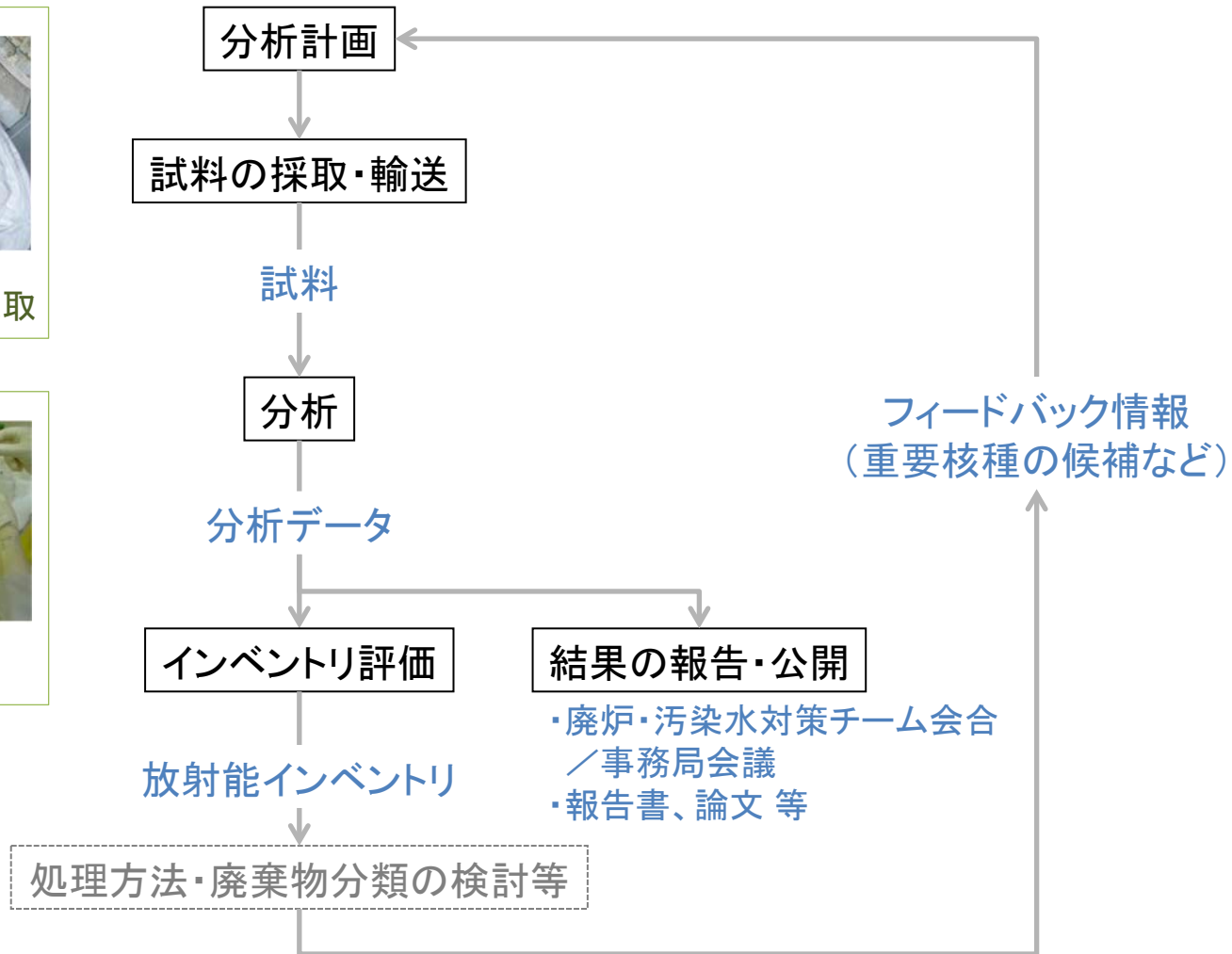
\* :放射化物、運転廃棄物由来のものが含まれる可能性がある。

## 4. 事業内容

### (1) 性状把握

# 性状把握の進め方

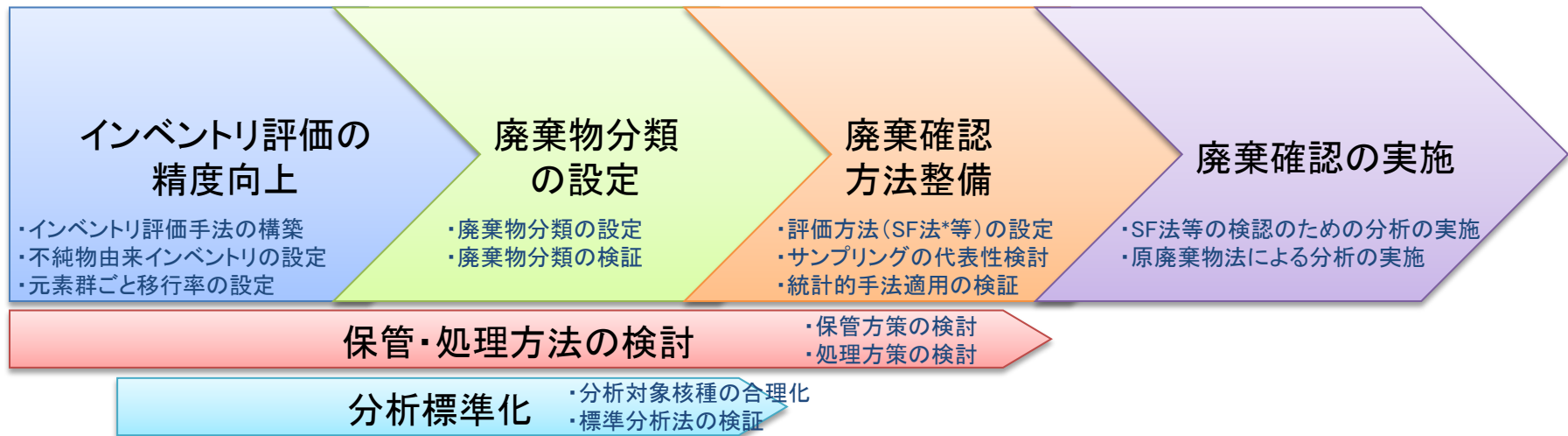
- 分析からインベントリ評価への流れ -



# 分析に関する中長期計画の検討

## - 廃棄物管理の進展と分析の目的の推移 -

- 分析の目的は、廃炉工程の進捗や研究の進展とともに段階的に推移する。
  - 廃棄物が含有する放射エネルギー(インベントリ)の評価: 管理方策の検討に資するため、廃棄物の全体像を捉える。
  - 廃棄物の分類: 廃棄物の種類ごとに、特徴を踏まえて管理方策を絞り込んでいくため、分析データを蓄積、提供する。
  - 廃棄確認: 廃棄体が処分施設の放射能濃度限度等の受入基準に合致することを確認する方法を整備し、また、製作した廃棄体について確認の分析を行う。
- インベントリの評価を主な目的として、試料採取可能性等を考慮して分析を進めた。



\* SF法: スケーリングファクタ法。難測定核種の放射能濃度評価に用いられる方法で、廃棄物容器外部から測定可能な放射性核種と難測定核種との相関比(スケーリングファクタ)から、難測定核種の放射能濃度を評価する方法。



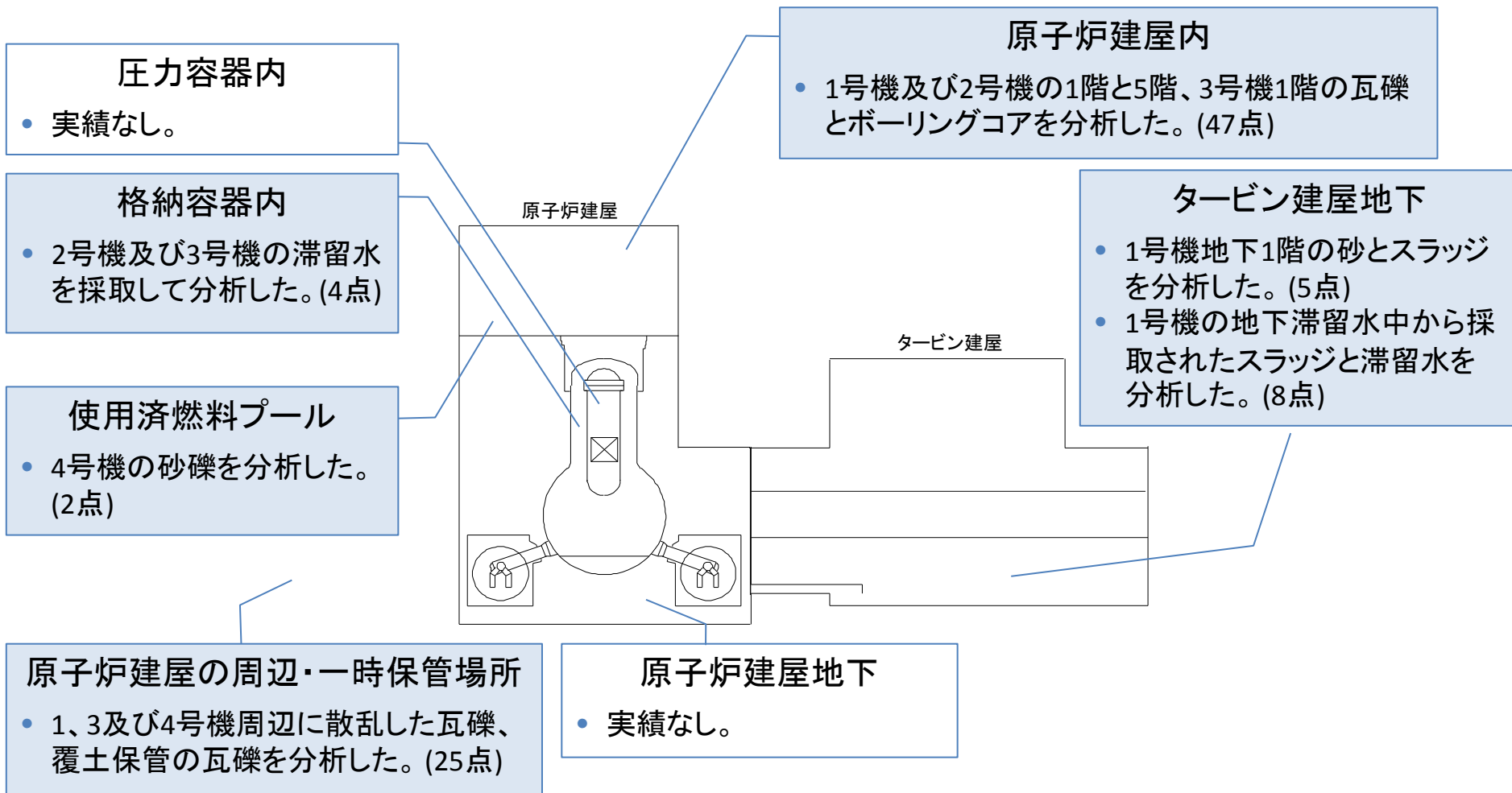
# 分析試料

## - 結果の発表に関する実績 -

分類	試料		試料点数		
瓦礫類	原子炉建屋内	1号機 1・5階	瓦礫等	29	
		2号機 1・5階	瓦礫等	7	
		3号機 1階	瓦礫等	11	
		4号機使用済燃料プール	瓦礫	2	
	タービン建屋内	1号機 地下	スラッジ・砂	7	
	原子炉建屋周辺	1・3・4号機周辺	瓦礫	15	
	覆土式一時保管施設	第1・2槽	瓦礫	10	
汚染水	原子炉建屋内	2・3号機格納容器内	滞留水	4	
	タービン建屋内	1号機 地下	スラッジ・滞留水	6	
	集中廃棄物処理建屋内	地下	滞留水	12	
	処理装置	セシウム吸着装置(第二含む)		処理水	27
		除染装置		処理水	3
		淡水化装置(RO)		処理水	2
		蒸発濃縮装置		処理水	3
多核種除去設備(増設含む)		処理水	18		
水処理二次廃棄物	多核種除去設備(増設含む)		スラリー	6	
可燃物	保護衣等焼却灰			5	
土壌	土壌			6	
植物	伐採木	枝葉		5	
	立木	枝葉、落葉、表土		123	

# 原子炉・タービン建屋の分析状況（実績）

- 今後も継続して瓦礫等の分析を進める予定である。
- 特に、格納容器内の固体試料については、内部の調査に合わせて採取できた場合に、入手、分析する予定である。原子炉建屋内の試料については、高線量環境下における採取方法を検討している。



# 原子炉・タービン建屋の汚染の傾向

■ 汚染の傾向を分析結果に基づいて推定した。今後、試料採取・分析を通じて検証を進めていくことが必要。

## 圧力容器内

—

(燃料デブリと放射化生成物による高汚染が考えられるが、実績なし。)

## 格納容器内

- 2号機及び3号機の滞留水では、下流(集中廃棄物処理建屋)の滞留水に比べて、Co や  $\alpha$ 核種の  $^{137}\text{Cs}$  に対する放射能濃度比が高い傾向にある。

## 使用済燃料プール

- 4号機では、放射化生成物である  $^{60}\text{Co}$  の  $^{137}\text{Cs}$  に対する放射能濃度比が原子炉建屋の他の試料と比べて大きい傾向にある。

## 原子炉建屋の周辺

- 1及び3号機周辺の瓦礫は、汚染の核種組成が原子炉建屋内と似た傾向にある。

## 原子炉建屋内

- 1号機及び2号機の1階と5階、3号機1階で、 $^{137}\text{Cs}$  のほか、Sr 等の核分裂生成物、Pu等の $\alpha$ 核種、Co 等の放射化生成物を検出した。

## タービン建屋地下

- 原子炉建屋内に比べて、 $^{90}\text{Sr}$  の  $^{137}\text{Cs}$  に対する放射能濃度比が高い傾向にある。
- 沈降したスラッジは、Cs、Sr や $\alpha$ 核種を含む傾向にある。

原子炉建屋

タービン建屋

## 原子炉建屋地下

—

(滞留水による汚染が考えられるが、実績なし。)

# 滞留水・処理水・水処理二次廃棄物の分析状況(実績)

- 今後も継続して汚染水と二次廃棄物の分析を進める予定である。
- 特に除染装置スラッジについては、採取方法を検討している。

## 滞留水

集中廃棄物処理建屋内	12点を分析した。
原子炉建屋内	2・3号機格納容器内の4点を分析した。
タービン建屋内	1号機内の6点を分析した。

## 除染装置(アレバ)

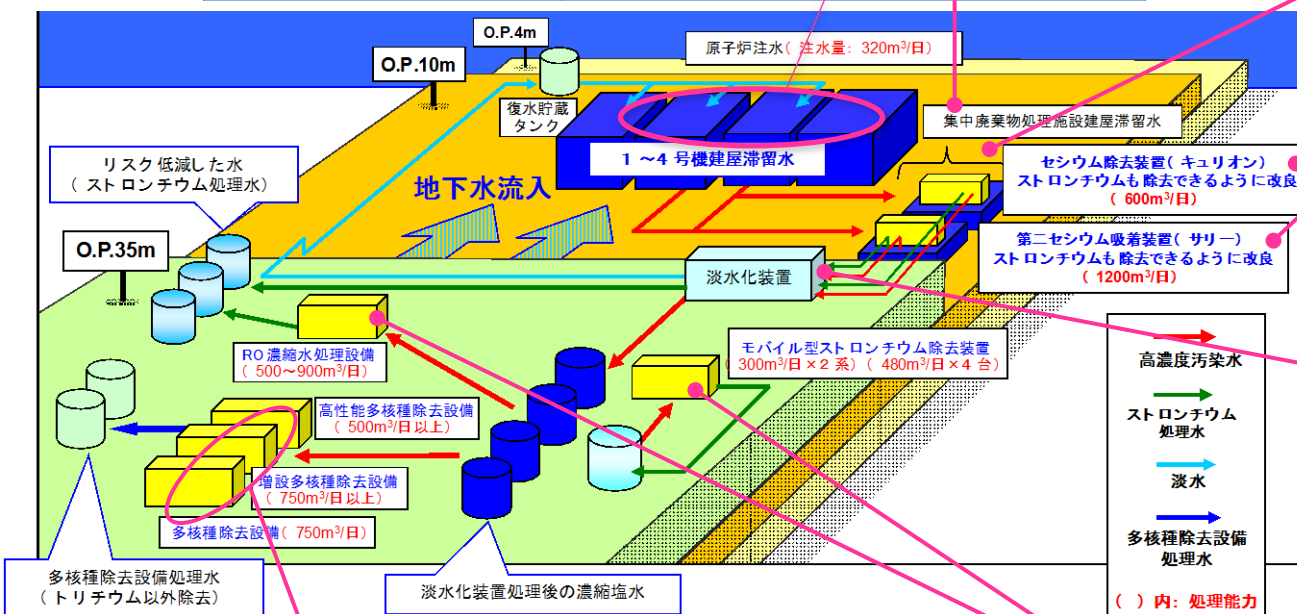
スラッジ	実績なし。
処理水	3点を分析した。

## セシウム吸着装置 (キュリオン, サリー)

吸着材	実績なし。
処理水	27点を分析した。

## 淡水化装置 (RO, 蒸発濃縮)

RO	実績なし。
RO処理水	2点を分析した。
蒸発濃縮処理水	3点を分析した。



## 多核種除去設備

スラリー	既設・増設の6点を分析した。
吸着材	試料を順次採取・分析中。
処理水	既設・増設の前処理水(6点)、増設の処理水(12点)を分析した。

## RO濃縮水処理設備・モバイル型ストロンチウム除去装置

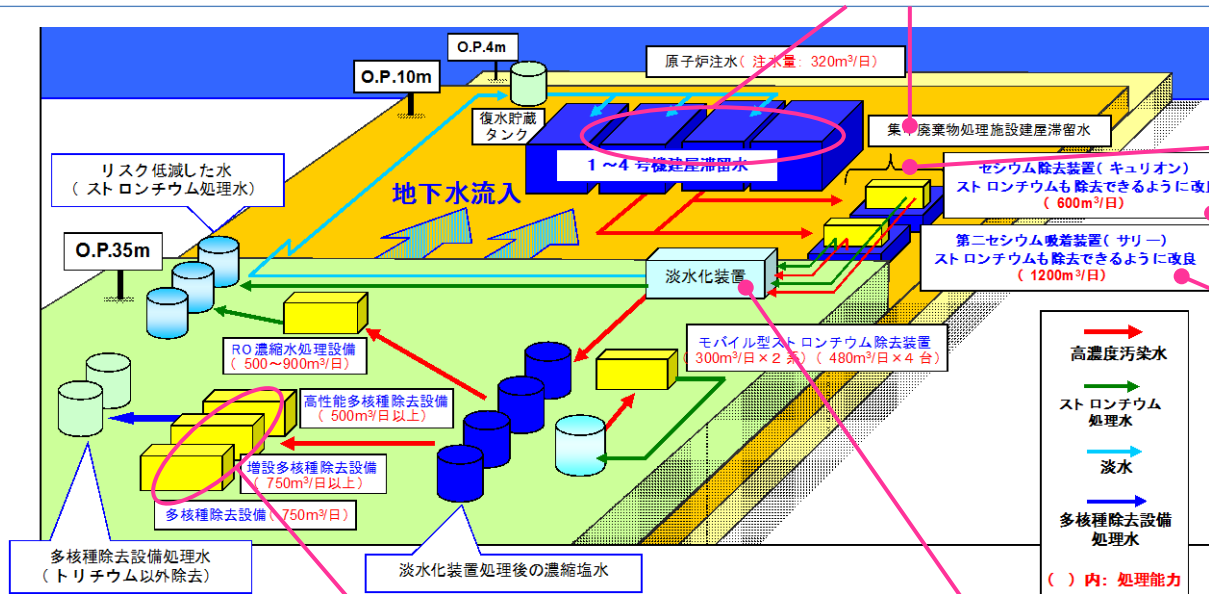
吸着材・処理水	実績なし。
---------	-------

# 滞留水・処理水・水処理二次廃棄物の汚染の傾向

■ 汚染の特徴を分析結果に基づいて推定した。今後、試料採取・分析を通じて検証を進めていくことが必要。

## 滞留水

- 集中廃棄物処理建屋滞留水では、 $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  濃度が高く同程度であり、 $^3\text{H}$  がこれらに次ぐ傾向にある。他の $\beta$ 、 $\alpha$ 核種濃度はより低い。 $\text{Cs}$  と  $\text{Sr}$  核種の濃度は時間とともに減少しているものの、減少の割合が小さくなっている。
- タービン建屋滞留水は、汚染の度合いが号機により異なる傾向にある。
- 2及び3号機の格納容器内滞留水では、下流(タービン建屋、集中廃棄物処理建屋)の滞留水に比べ、 $\alpha$ 核種の $^{137}\text{Cs}$  に対する放射能濃度比が高い傾向にある。



### 除染装置(アレバ)スラッジ※

- $\text{Sr}$ と $\text{Cs}$  核種を含む一方で、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ 、 $^{79}\text{Se}$ 、 $^{129}\text{I}$  濃度は  $^{137}\text{Cs}$  や  $^{90}\text{Sr}$  に比べて低い傾向にある。

### セシウム吸着装置吸着材(キュリオン, サリー)※

- $\text{Cs}$  核種を含む一方で、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ 、 $^{79}\text{Se}$ 、 $^{129}\text{I}$  濃度は  $^{137}\text{Cs}$  に比べて低い傾向にある。

### 多核種除去設備

スラリー	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>^{90}\text{Sr}</math> が主要核種であり、<math>^{238}\text{Pu}</math> と <math>^{239+240}\text{Pu}</math> 濃度は <math>1 \text{ Bq/cm}^3</math> 未満である。</li> </ul>
吸着材※	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\text{Sr}</math> と <math>\text{Cs}</math> 核種を含む一方で、<math>^{60}\text{Co}</math> と <math>^{99}\text{Tc}</math> 濃度は <math>^{137}\text{Cs}</math> に比べて低い傾向にある。</li> </ul>

### 淡水化装置(RO, 蒸発濃縮)

RO	<ul style="list-style-type: none"> <li>– (汚染の特徴を推定する実績なし。)</li> </ul>
蒸発濃縮処理水	<ul style="list-style-type: none"> <li>濃縮廃液は <math>^{79}\text{Se}</math> と <math>^{129}\text{I}</math> 濃度が滞留水よりも高い傾向にある。</li> </ul>

※ 関連する水の分析結果から推定した水処理二次廃棄物の傾向

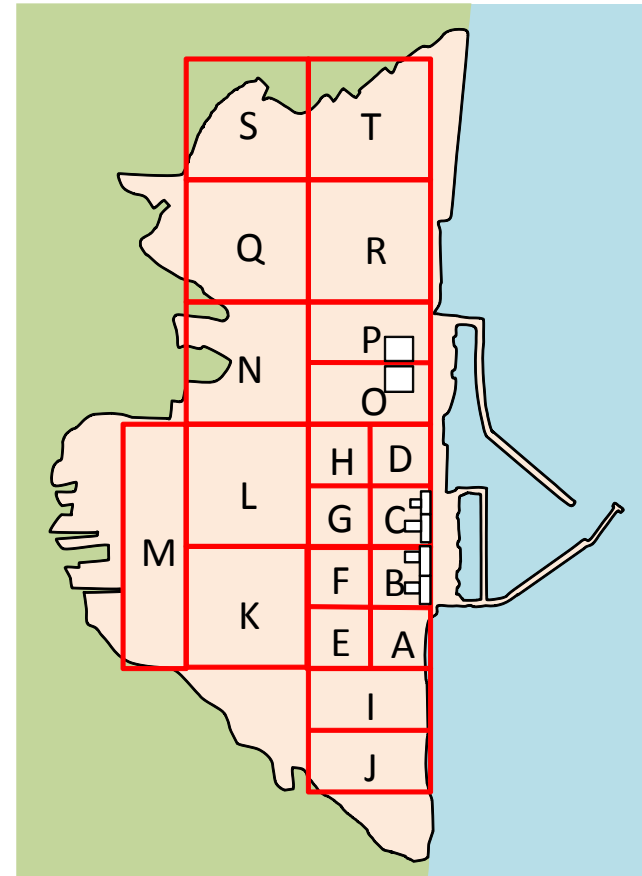
# 土壌と植物の分析状況(実績)

- 今後土壌については、採取済みの試料を順次分析し、植物については、焼却処理後の焼却灰を分析する予定である。

土壌と植物の分析試料数

エリア	土壌*	植物(立木)		
		枝葉	落葉	表土
A	0	3	2	3
B	—	—	—	—
C	—	3(草)	—	3
D	1	3	3	6
E	—	1	1	1
F	1	5	3	6
G	0	1	1	1
H	0	3	1	3
I	1	3	2	6
J	0	1	1	1
K	1	1	1	1
L	1	1	1	4
M	—	1	1	1
N	0	3	3	6
O	0	3	3	6
P	1	2	2	2
Q	0	1	1	1
R	0	1	1	1
S	0	1	1	3
T	0	1	1	1

\* エリア B、C、E、M はフェーシングなどの工事に伴い採取対象がない。



土壌、植物試料の採取位置

# 土壌・植物の汚染の傾向

■ 汚染の特徴を分析結果に基づいて推定した。今後、試料採取・分析を通じて検証を進めていく。

## 構内土壌(地表から0-5 cmの表土)

- $^{137}\text{Cs}$ が主な核種であり、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ が全ての試料で検出された。(図1)
- Uはその同位体組成から天然由来の影響が大きく、事故による影響は確認されていない。(図1)
- $^{238}\text{Pu}$ 濃度はほとんどが検出下限値未満あるいは $10^{-3}$  Bq/g 程度のごく低い濃度であった(事故以前の環境中のフォールアウト相当)。

## 立木(枝葉、落葉、表土・腐葉土)

- $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ の他に、原子炉建屋の近傍では $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{79}\text{Se}$ が検出された(図2)。
- Dエリアの落葉とEエリアの表土からPu核種が検出された( $10^{-3}$  Bq/g 程度であり環境のフォールアウト相当)。
- Cs核種濃度は、枝葉に比べて落葉や表土(腐葉土を含む場合がある)で高い傾向にある。

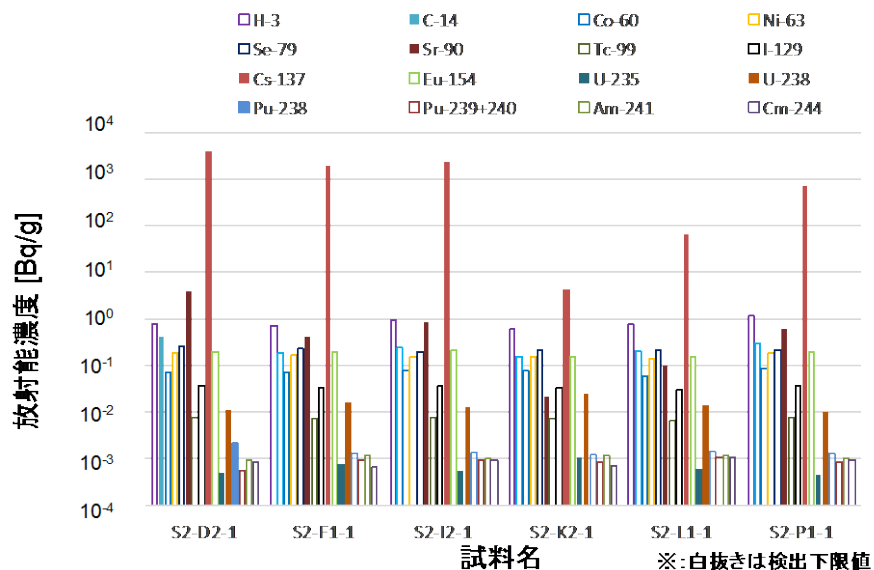


図1 土壌の放射性核種濃度

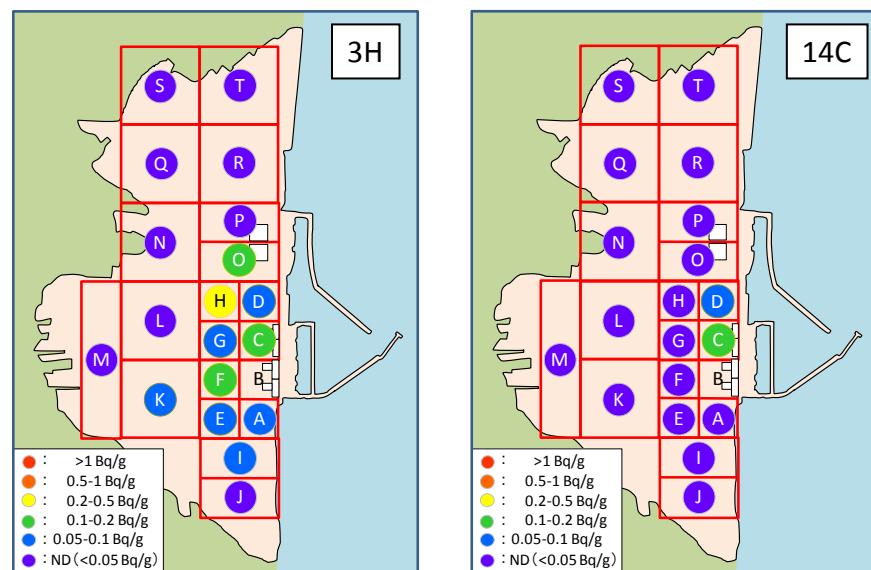


図2 構内における立木(枝葉)中の放射能濃度分布

# インベントリ評価のための汚染プロセスの推定

- 現在分析できない汚染物を含めて、放射性核種の含有量(インベントリ)を推定するために、汚染プロセスのモデルを検討している(図1)。
  - 炉内燃料の放射エネルギーや、核種の移行割合などをパラメータとし、それぞれの不確実性を考慮して廃棄物のインベントリを評価する。
- 汚染の過程を表すパラメータを当初は文献値から引用していたが、分析データを用いてその不確実性を低減している。
  - 滞留水や建屋内外の空気への移行など、核種の移行割合に対して、分析値を導入して不確実性を低減した(図2)。

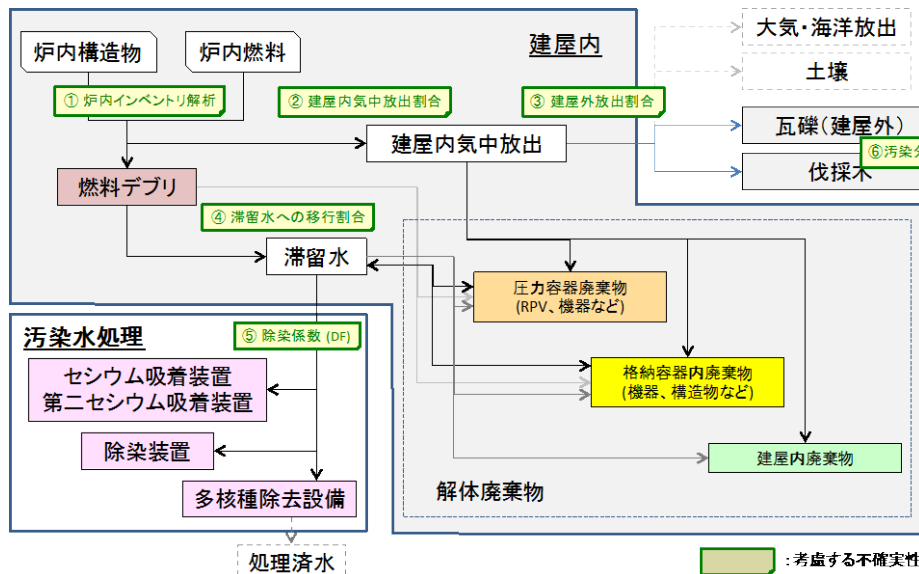


図1 汚染プロセスのモデル(全体像)

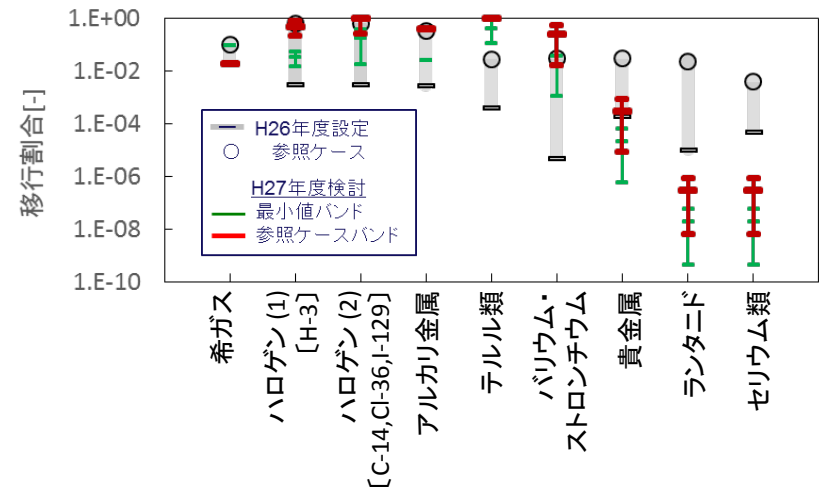


図2 滞留水への移行割合に対して分析値を用いた不確実性の低減



## まとめと今後の検討

- 種々の廃棄物のインベントリを推定するために、廃棄物・汚染物を分析し、放射性核種濃度等のデータを蓄積する必要がある。また、分析データが得られない場合に、分析データを補完するために汚染プロセスの推定が必要である。
- これまでに、汚染水、水処理二次廃棄物、瓦礫、焼却灰、土壌、植物を分析し、得られた分析データを基にして、汚染の核種組成が分かりつつある。
- しかしながら、高線量のために試料が採取できない領域があること、分析試料の代表性を検討するために廃棄物の分類ごとに相当数の分析点数を要すること等の観点から、さらなる試料の採取と分析が必要である。
- また、汚染プロセスの推定に関しては、これまでに得られた分析データのみでは、汚染プロセスを推定するモデルの確立には不十分である。
- 今後の検討課題には次のことが挙げられる。
  - － 分析データの蓄積のために、多数の正確な分析データを継続して得ていくことを念頭に、高線量試料の採取・輸送方法の確立、分析方法の合理化が必要である。
  - － 汚染プロセスを推定するためには、汚染の核種組成等の情報をもとにして汚染プロセスを仮定、モデルを検討して、分析データによってこれを検証する必要がある。

## 4. 事業内容

### (2) 廃棄物の処理及び長期保管方策の検討

# (a) 廃棄物処理 ～水処理二次廃棄物の固化技術～

- 処理実績のない水処理二次廃棄物を対象として、廃棄物性状、既存の処理技術および廃棄体要件に基づき、可能性のある廃棄物処理フローを検討した。
- 適用可能性が高いと推定される複数の既存固化技術を選定した。これらの技術を対象として、模擬廃棄物を用いた各廃棄物の基礎固化試験により固化体の特性を調べ、選定した固化技術の適用可能性を評価した。

## 前提条件の検討

- 廃棄物性状
  - 物理的/化学的な性状
  - 水分の含有
  - 熱分解する有害物(天然有機物/シアン化合物)の含有

- 既存の処理技術
  - 減容・前処理技術
  - 固化技術

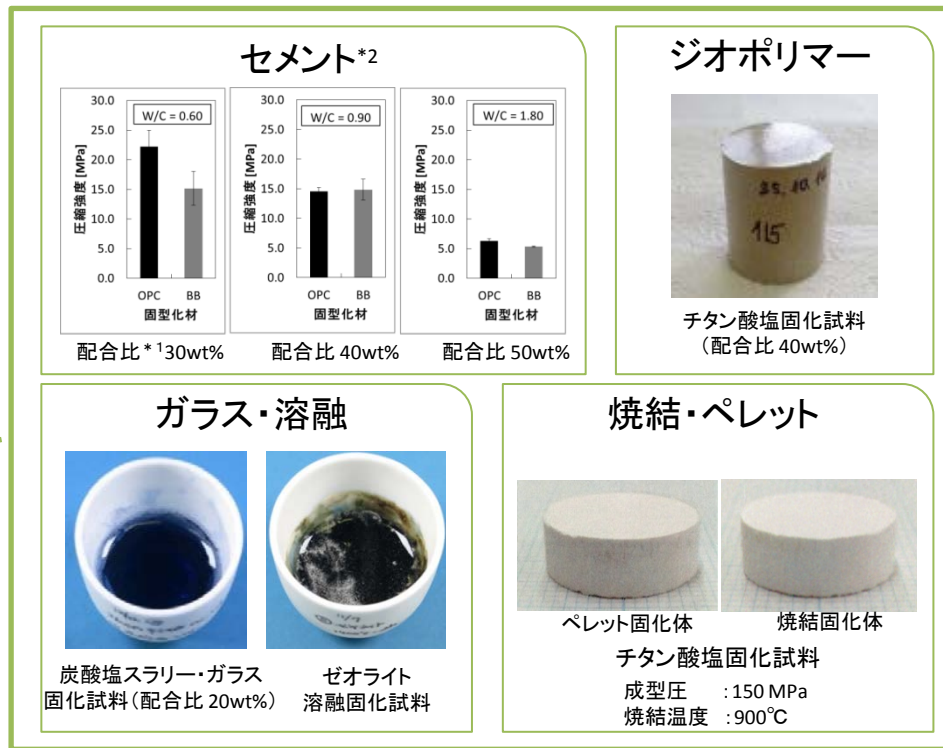
- 廃棄体要件
  - 技術的に可能な範囲で減容されていること
  - 廃棄体の健全性を損なうおそれのある物質を含まないこと
  - 放射性物質を容易に飛散・漏洩させない、物理的・化学的に安定な性状であり必要な強度をもつ固化体であること

## 廃棄物処理フローの検討

## 基礎固化試験

## 適用候補技術の評価

製作した固化体の特性(一軸圧縮強度、水への浸出率、水素ガス発生量)を評価した。



\*1 配合比: 固化体重量に対する廃棄物の重量割合。ただし、ガラス固化の場合はすべての成分元素を酸化物として重量換算した場合の廃棄物の重量割合。  
\*2 OPC 普通ポルトランドセメント、BB 高炉セメントB種。

## (a) 廃棄物処理 ～固化技術の基礎データと評価の例～

- 模擬廃棄物を用いて既存固化技術により製作した固化体について、廃棄物の配合比、一軸圧縮強度、放射性核種の水浸出率、放射線分解による水素ガス発生に関するデータを試験によって求め、適用可能性を検討した。
- 対象とした各々の廃棄物の固化処理に、適用可能性のある技術があることを確認した。

多核種除去設備から発生する鉄共沈スラリーに関する基礎固化試験の結果と評価(例)

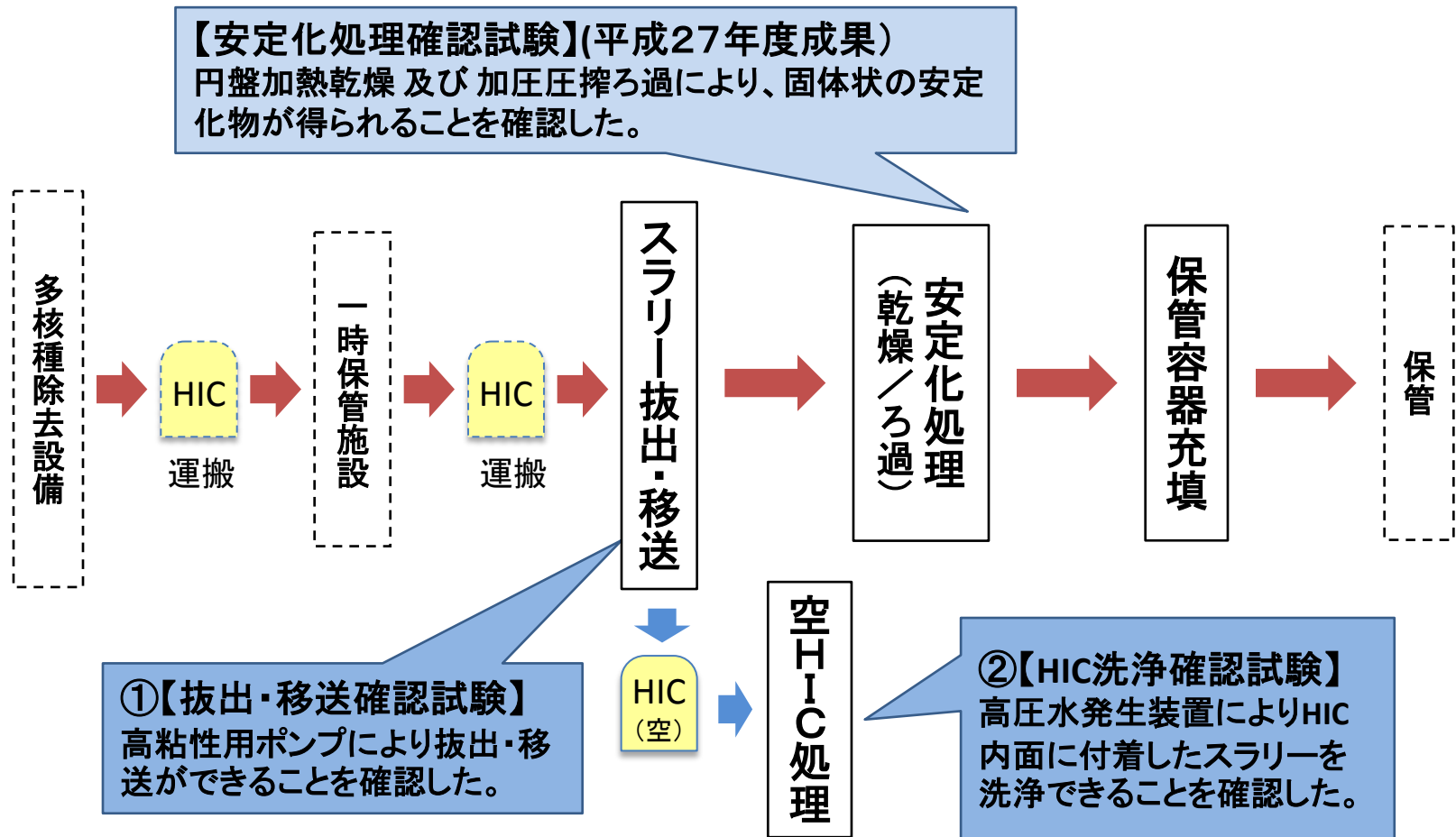
固化技術	廃棄物の配合比		一軸圧縮強度		放射性核種の水への浸出率		放射線分解による水素ガス発生量(G値)	
セメント (OPC: 普通ポルトランドセメント、 BB: 高炉セメントB種)	40wt%で固化可能	○	OPC: 4.5 MPa BB: 4.8 MPa (配合比: 40wt%)	○	OPC: Co 0.28%, Ni, Eu <0.14% BB: Co, Ni, Eu <0.14% (配合比: 40wt%)	○	OPC: 0.20 BB: 0.16 (配合比: 40wt%)	△
			OPC: 15.5 MPa BB: 14.0 MPa (配合比: 30wt%)	◎	OPC: Co 0.38%, Ni, Eu <0.19% BB: Co, Ni, Eu <0.19% (配合比: 30wt%)	○	-	-
ジオポリマー	40wt%で固化可能	○	16.9 MPa (配合比: 40wt%)	◎	Co, Ni < 0.01% Eu <0.02% (配合比: 40wt%)	◎	0.12 (配合比: 40wt%)	△
ガラス	35wt%で固化可能	△	- (*2)	-	Cs, Sr, Eu, N, Co <0.2% (配合比: 35wt%)	○	- (*4)	◎
溶融(*1)	溶融不可(配合比100wt%)	×	-	-	-	-	-	-
焼結	80wt%で固化可能	◎	- (*2)	-	Co 0.003%, Ni 0.01%, Eu 0.001% (配合比: 80wt%)	◎	- (*4)	◎
ペレット成型	80wt%で固化可能	◎	- (*2)	-	- (*3)	-	- (*4)	◎
適用可能性(*5)	廃棄物をより多く配合できることが良く、40wt%を超える場合を優、40wt%を良、40wt%未満を可の目安とする。		固化体自体の強度が高いことが良く、5MPa以上を優、1.47MPa以上を良の目安とする。		浸出率が小さいことが良く、0.1%以下を優、1.0%以下を良の目安とする。		G値が小さいことが良く、水を用いない場合を優、0.1以下を良、0.1を超える場合を可の目安とする。	

\*1: 溶融助剤を加えずに廃棄物をそのまま溶融する方法。 \*2: モルタル充填固化と併用のため単体では未測定。 \*3: 融解するため測定不可。

\*4: 固型化プロセスに水が含まれないため発生量は極めて少ないと考えられる。 \*5: 適用可能性: 優◎、良○、可△、低×。この評価のための暫定的な基準。

## (b) 長期保管方策の検討 ～スラリー安定化技術の検討 概要～

多核種除去設備から発生する高含水率・高粘性のスラリーに対して、下記の安定化処理プロセスフローを想定し、主要なプロセスについて模擬スラリーを用いて確認試験を実施した。

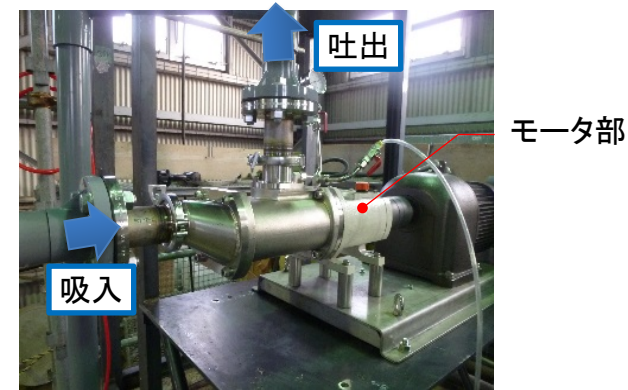
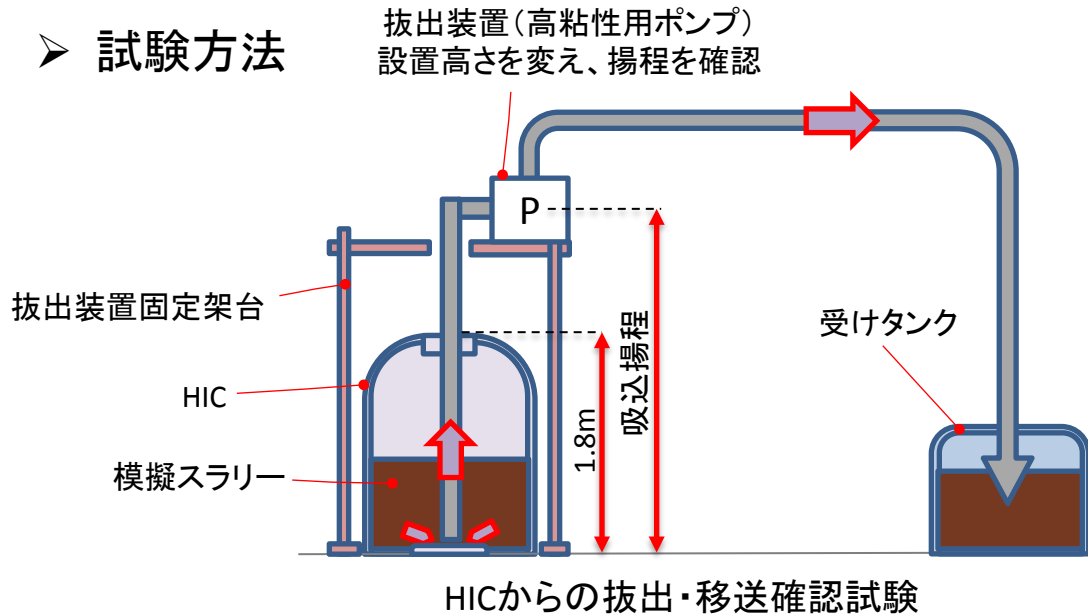


## (b) 長期保管方策の検討

### ～スラリー安定化技術の検討 ① 抜出・移送確認試験～

高粘性スラリーに適応できるポンプを用い、模擬スラリーを入れたHICからタンクへの抜出・移送確認試験を実施した。吸込揚程と移送能力の結果より、HICからスラリーを抜出・移送できることを確認した。

#### ➤ 試験方法



高粘性用ポンプ外観写真(例)

#### ➤ 試験結果

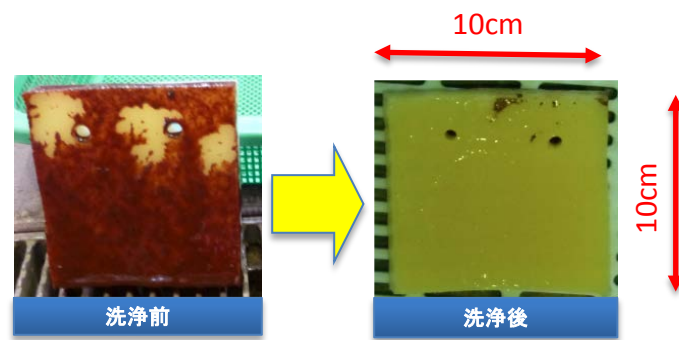
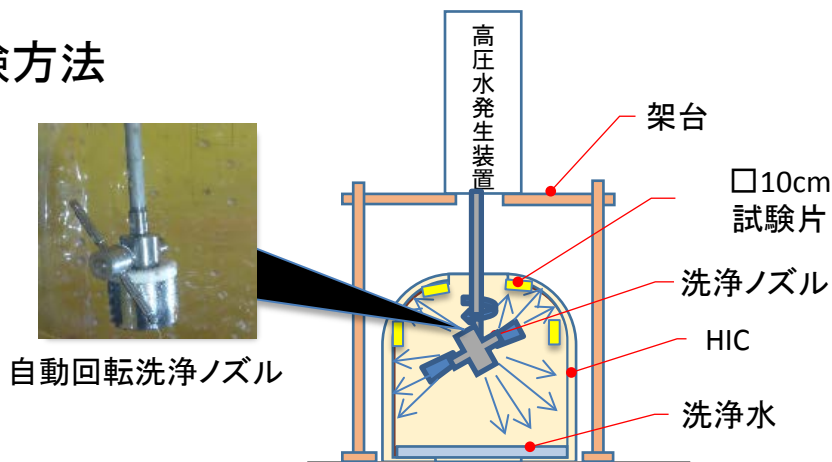
- ・吸込揚程: 4.5m(最大)
- ・移送能力: 70L/min以上 (HIC1本のスラリーを約1hで抜出)

## (b) 長期保管方策の検討

### ～スラリー安定化技術の検討 ②HIC洗浄確認試験～

HIC内面の各所に模擬スラリーを塗布した試験片を設置し、高圧水発生装置と自動回転洗浄ノズルを用いて洗浄試験を実施した。洗浄後のスラリーの残存状況から、スラリーを除去できることを確認した。

#### ➤ 試験方法



□10cm試験片洗浄前後写真(鉄共沈)

#### ➤ 試験条件

項目	試験片取付位置	試験片取付数	洗浄ノズル位置	洗浄ノズルタイプ	水圧
内容	HIC内面上部、側面	上部2箇所、側面2箇所	HIC内中心	扇型	1.5MPa

#### ➤ 試験結果

##### ・主成分の除去率

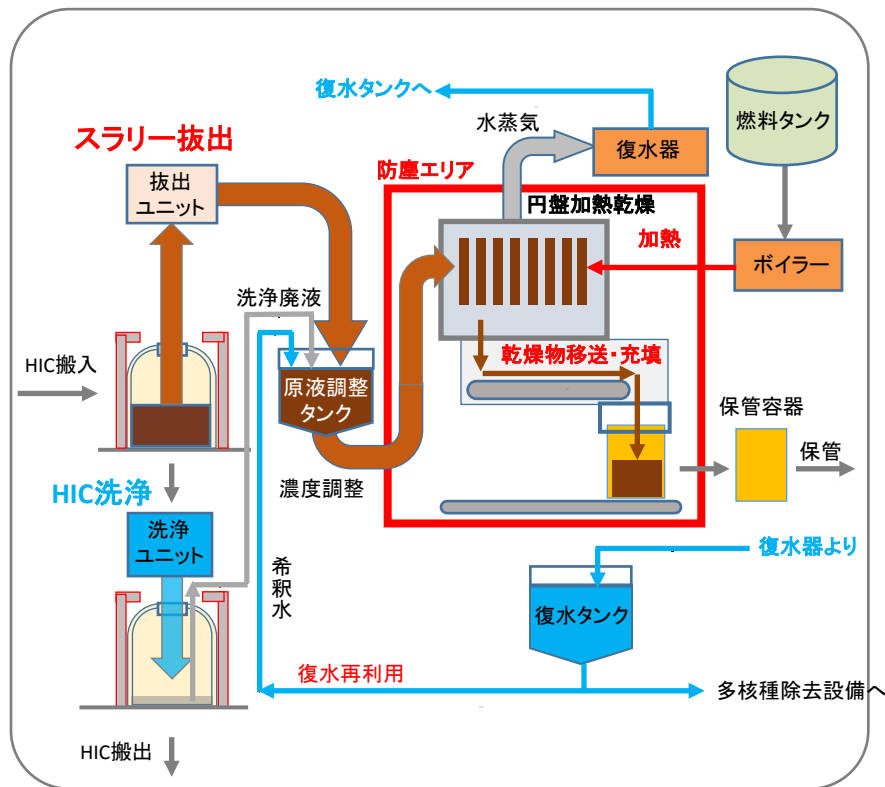
炭酸塩(カルシウム、マグネシウム) 約97%

鉄共沈(鉄) 約99%

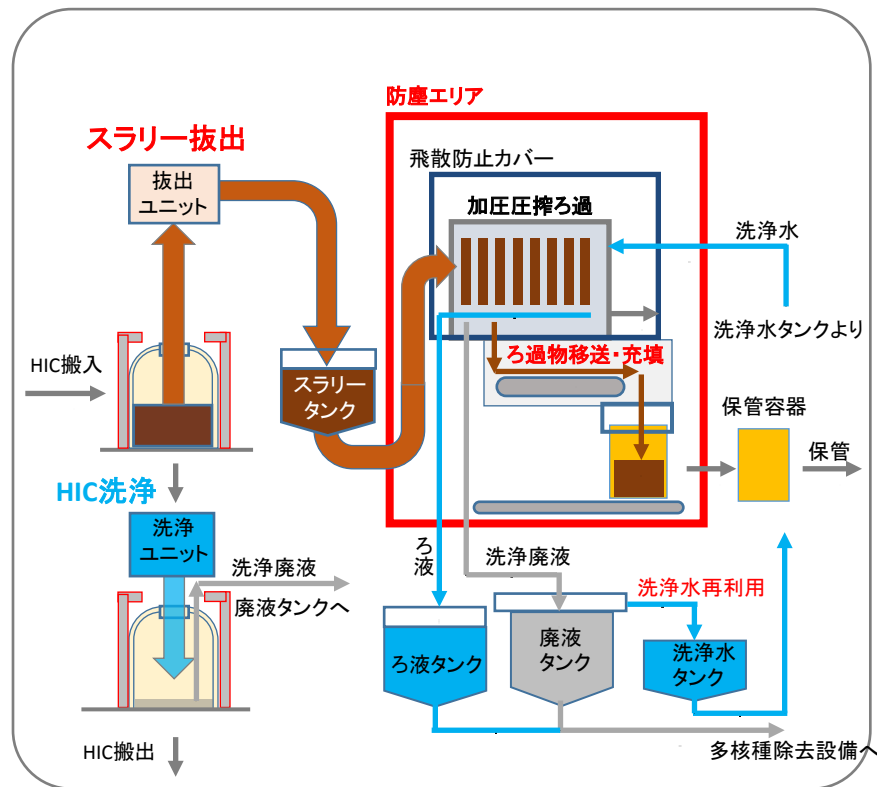
## (b) 長期保管方策の検討

### ～スラリー安定化技術の検討 安定化処理設備のイメージ～

試験結果をもとに、スラリー安定化処理設備の概念的な検討を行った。各処理のイメージは下記の通り。



乾燥処理イメージ



ろ過処理イメージ



# 処理に関する成果のまとめと今後の検討の方向性

## 成果のまとめ

- 水処理二次廃棄物の固化技術
  - － 既存の固化技術(6種類※1)の水処理二次廃棄物(13種類※2)への適用性に関し、コールド固化試験及び文献調査により検討し、廃棄物を概ね40%配合する条件において、適用可能性のある複数の固化技術があることが分かった。
- スラリー安定化技術の検討
  - － スラリー安定化の処理プロセスを想定し、主要なプロセスについて模擬スラリーを用いて安定化処理(乾燥・ろ過)、抽出・移送、HIC洗浄の確認試験を実施し、これらプロセスが成立する可能性があることを確認した。

※1)スライド19参照

※2)スラリー2種類, 無機系吸着材5種類, 有機系吸着材5種類, フェロシアン化合物1種類

## 今後の検討の方向性

- 実廃棄物の放射エネルギーを考慮した、処理時や固化体の長期的な物性への影響の検討・評価を進める。また、既存技術だけではなく、適用の可能性のある新規技術の検討・評価を進める。
- 水素発生対策について先行している海外事例の調査により、保管や処理に際し水素の評価や取り扱いなどの現場への具体的な適用策を検討し、高線量廃棄物の安全な保管を目指す。
- 安定化処理の検討成果は、処理の具体化に反映される見込み。

## 4. 事業内容

### (3) 廃棄物の処分に関する検討

# (a) 廃棄物の分類手法の検討～背景・目的・意義～

- ◆ 優先的に検討すべき廃棄物や核種など、性状把握や処分前管理の効率的な検討に資する情報を提供するため、幅広い濃度分布を有する1F廃棄物を処分の観点から分類する評価手法(モデル・パラメータ等の整備を含む)の検討が必要



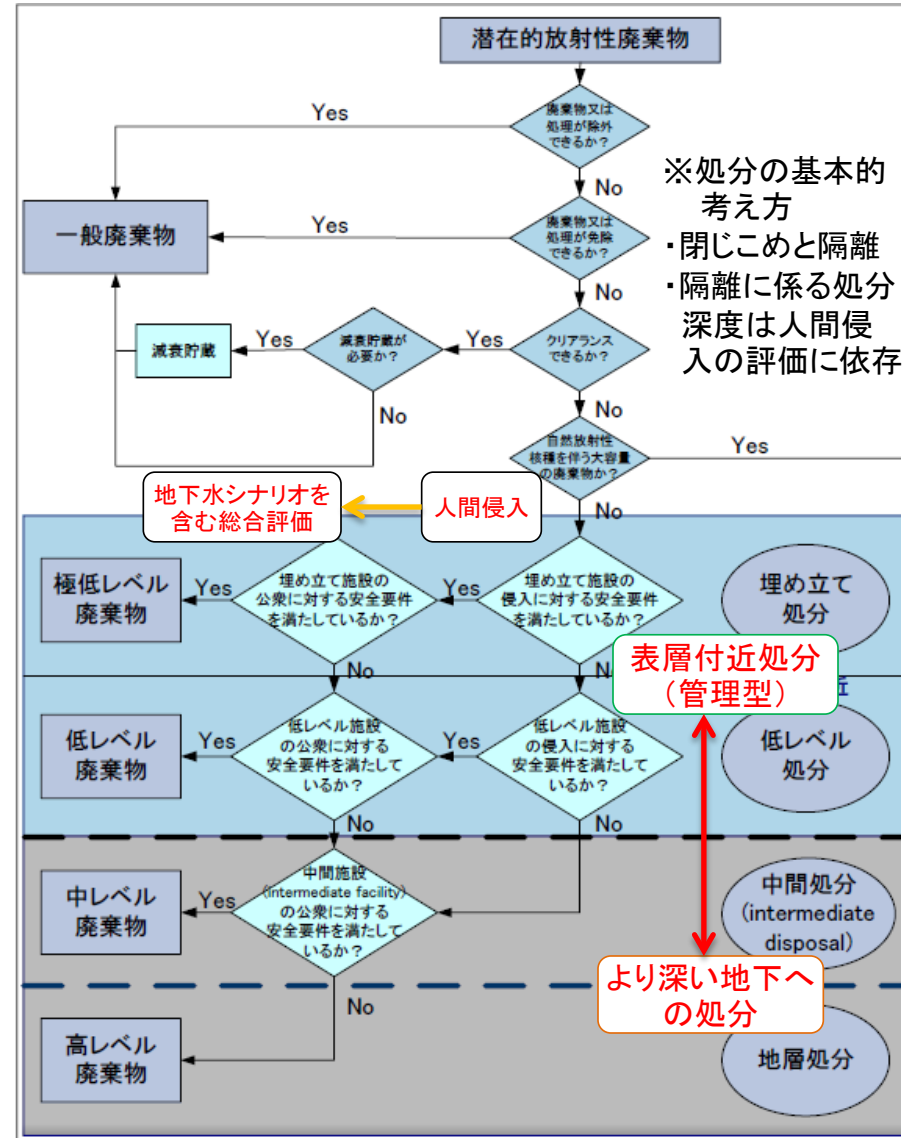
- ◆ インベントリ(廃棄物中の核種濃度)や評価で用いるパラメータ等の変動を考慮した分類手法を検討

- 検討に当たっては廃棄物の分類の考え方、IAEA安全指針GSG-1 (IAEA,2009)を参照
  - 半減期と放射能レベルに応じた分類
  - 管理期間終了後における人間侵入に対しても安全確保が可能となる分類



- ◆ IAEA安全指針GSG-1を参照し、まずは、表層付近とより深い地下への処分の境界に着目した廃棄物の分類手法を検討

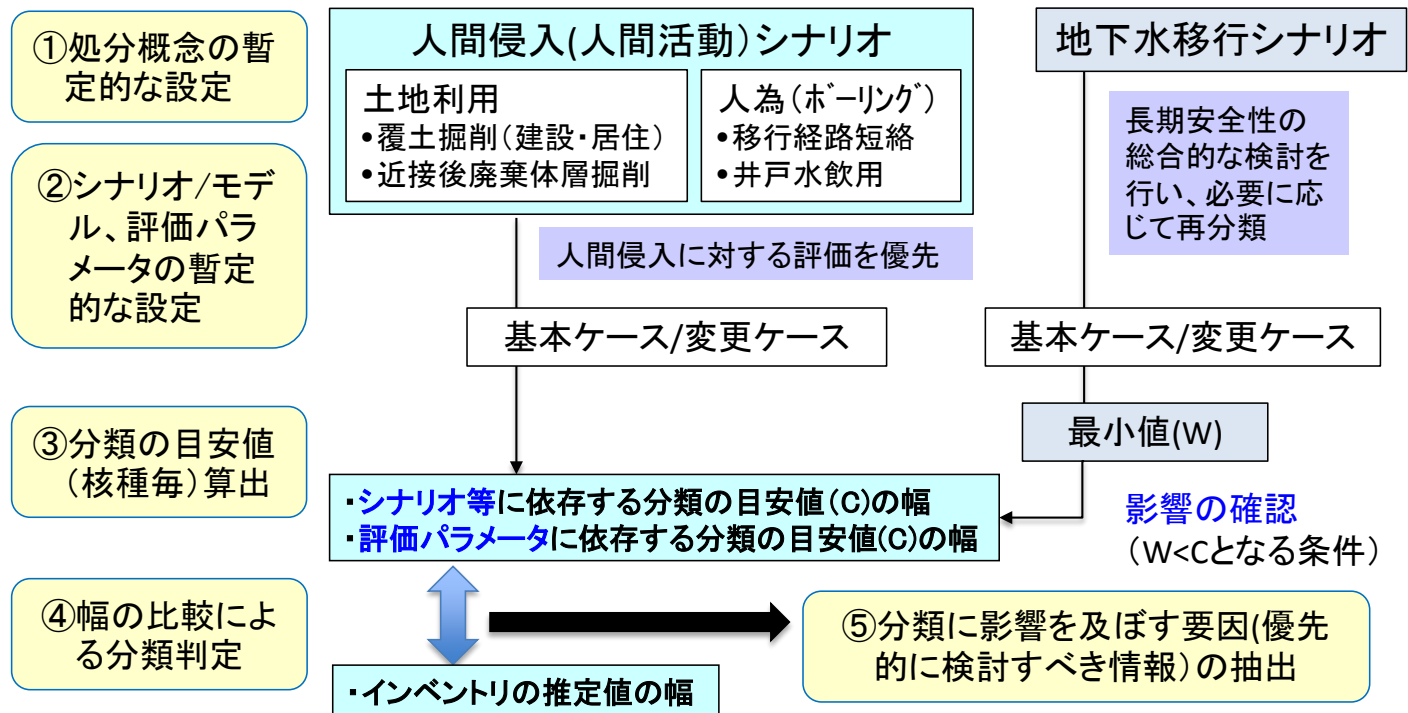
- ◆ 検討においては、試行的に求めた廃棄物のインベントリと既存の一般的な評価手法(シナリオ、モデル、パラメータ等)を暫定的に適用



IAEAの廃棄物の分類フロー(IAEA安全指針GSG-1の図2において、自然放射性核種に関するフローを除いた部分に朱書き箇所を追記)

# (a) 廃棄物の分類手法の検討 ～検討手順～

- ① 処分概念(表層付近処分)の暫定的な設定
- ② 既存の評価例を参照したシナリオ/モデル、評価パラメータ等の暫定的な設定
- ③ 性能評価解析に基づく分類の目安値(c)の算出
- ④ シナリオや評価パラメータに依存する分類の目安値の幅とインベントリの推定値の幅との比較による廃棄物分類の判定
- ⑤ 廃棄物の分類を支配する要因(核種、シナリオ、評価パラメータ等:優先的に検討すべき情報)の抽出

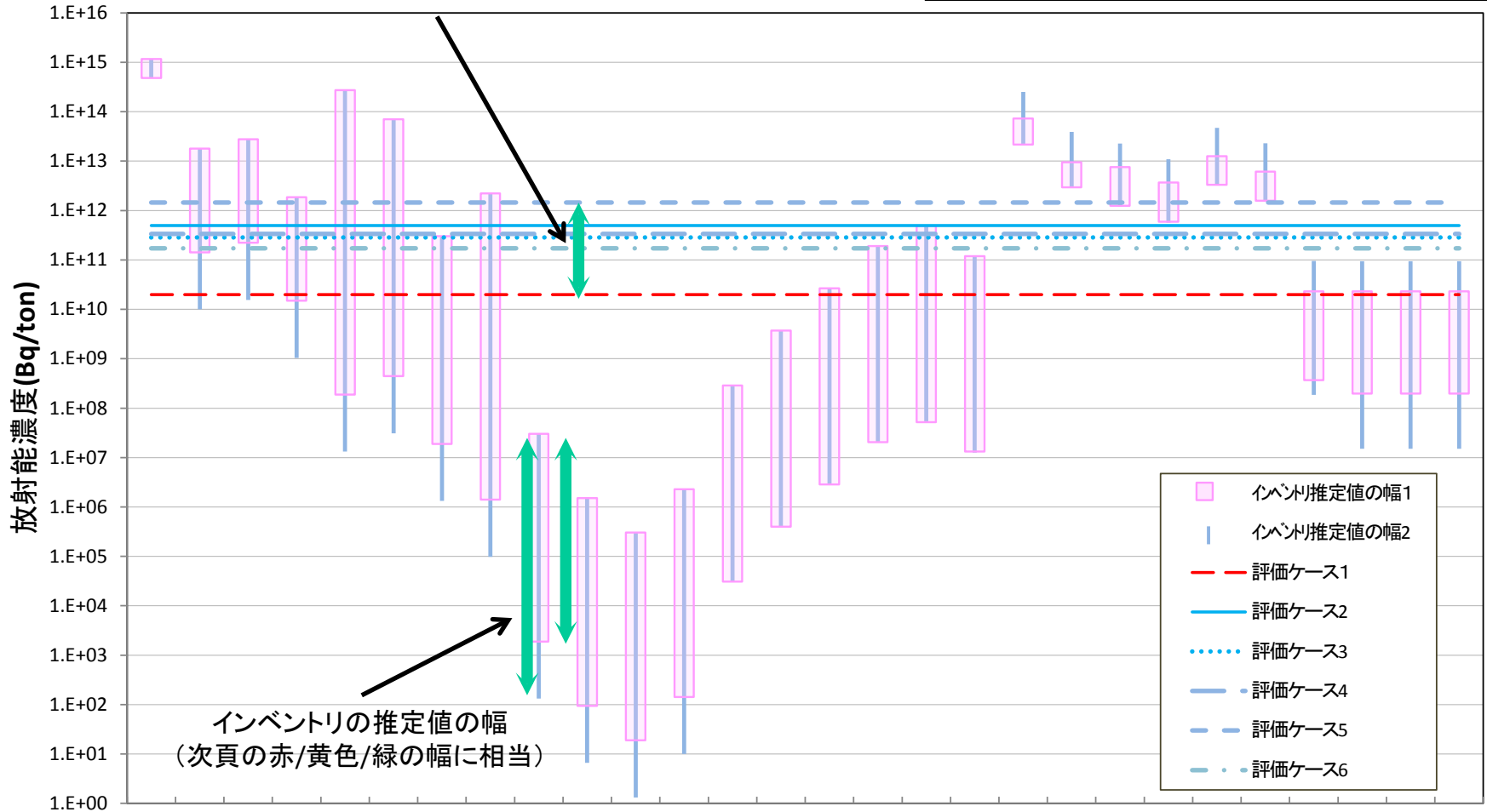


廃棄物の分類手法の検討手順

# (a) 廃棄物の分類手法の検討～評価例～

評価パラメータに依存する分類の目安値の幅  
(次頁の水色の帯に相当)

核種: Sr-90  
シナリオ: 人間侵入土地利用-覆土掘削(居住)  
設計パラメータは基本ケースを対象



暫定的に検討対象とした個々の廃棄物

廃棄物の分類手法を用いた評価例

# (a) 廃棄物の分類手法の検討 ～廃棄物分類の判定の仕方～

**赤**

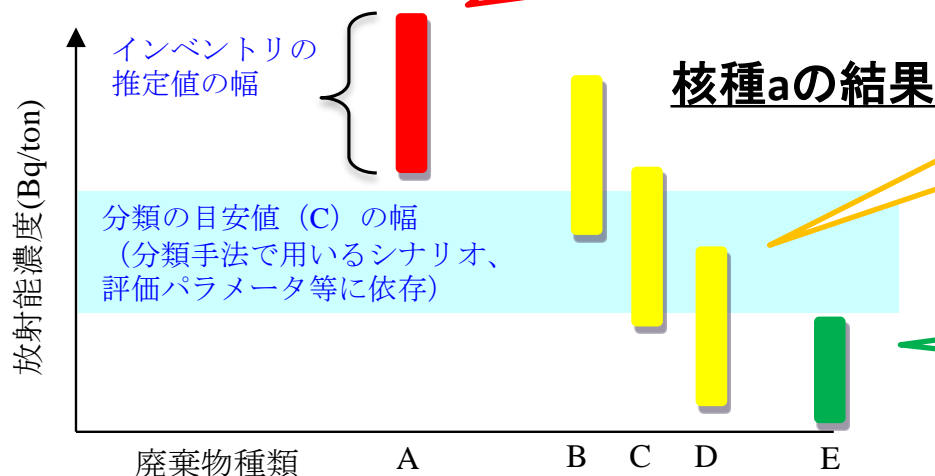
核種aについて、インベントリおよび評価パラメータ等の変化を考慮しても分類の目安値を上回る廃棄物。

**黄色**

核種aについて、インベントリおよび評価パラメータ等の変化に起因して、分類の目安値を上回ったり下回ったりする廃棄物

**緑**

核種aについて、インベントリおよび評価パラメータ等の変化を考慮しても分類の目安値を下回る廃棄物



廃棄物の分類手法を用いた分類判定のイメージ

廃棄物毎に含まれる対象核種全てに対して検討

- ◆ 一つでも赤判定になる核種があればその廃棄物は**赤**と判定
- ◆ 赤判定の核種が無い条件で、一つでも黄色判定になる核種が存在する廃棄物は**黄色**と判定
- ◆ 全ての核種が緑判定となる廃棄物は**緑**と判定

- ・分類を支配する核種、シナリオ、評価パラメータを抽出
- ・性状把握において優先的に検討すべき廃棄物や核種の選定

## (a) 廃棄物の分類手法の検討～優先的に検討すべき情報の抽出例～

「どの廃棄物、核種に着目した検討を行うべきか」に関する有用な情報の抽出

### ◆性状把握において優先的に検討すべき廃棄物や核種の例示

- ①分類を確かなものにするとの観点で、まずは、黄色判定の廃棄物に着目
  - ②合理的な処分を実施できる可能性に着目して、廃棄物分類を支配する核種を選定
- ◆核種の半減期は、合理化対策の選定に重要な影響を与える。そのため、分類結果を支配する核種の半減期の確認が重要
    - 短半減期核種(例えば、半減期が30年ほどのSr-90)のみが分類結果を支配する廃棄物(本試行では低線量の瓦礫が抽出された)に対しては、工学的な対応(閉じこめ機能の確保)により表層付近処分の可能性が増大する。そのため、そのような廃棄物中の短半減期支配核種のインベントリを確認することが重要
    - 短半減期核種(Sr-90)以外に、長半減期核種(例えば、半減期が10万年を超えるTc-99、Sn-126、I-129)が分類結果を支配する廃棄物(本試行では、一部の瓦礫/水処理廃棄物が抽出された)に対しては、より深い深度の処分概念の適用(隔離の確保)を含む新たな検討が必要となる。そのため、そのような廃棄物中の長半減期支配核種のインベントリを確認することが重要

## (b) 処分概念の特徴に関する調査・整理

- ◆ 国内の既存の処分概念の評価体系(シナリオ、モデル、パラメータ)と特性(バリア機能発揮の仕組み)に関する整理、検討を実施
- ◆ 多様な廃棄物に対して多くの国で実績がある地表付近の処分施設の特徴に着目した海外の事例調査を実施

### 【英国 Driggの例】

- ◆ 特徴: 多層構造カバー(図中番号1~8)、多層ライナー(図中番号13~20)、鉛直遮水バリア(cut-off wall)の設置/(地盤沈下、浸食、浸透、人間侵入の抑制)
- ◆ 人間侵入(管理期間の100年以降~1万年)に対する考え方
  - 人工的な埋立地であることが判明することで、高度な開発、大規模なインフラ整備、サイトの井戸掘削等の行為が排除される
  - Driggの検討において絞り込まれた以下のシナリオを評価  
建設居住(工学的カバーは貫通しない) / 小農(工学的カバーは貫通しない)/海岸清掃・回収(廃棄物が露呈)/調査孔掘削

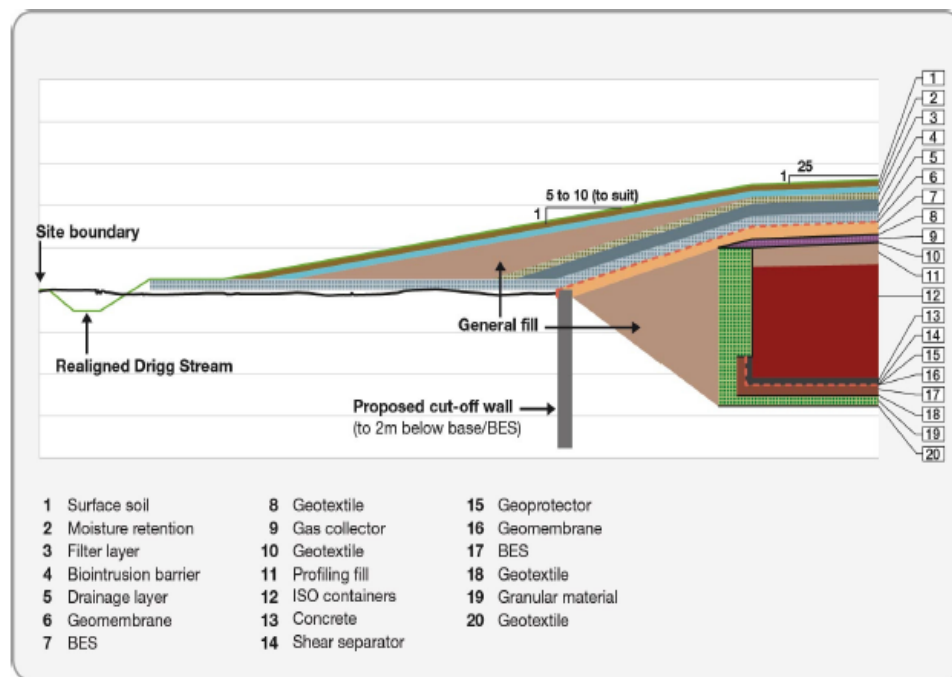


図 英国 Driggの処分施設の概要(断面)

廃棄物分類の検討で示される廃棄物の特徴を考慮し、様々な処分概念の適用可能性や処分前管理との組み合わせの調査を踏まえ、安全かつ合理的な処分概念候補を検討する。



# 処分に関する成果のまとめと今後の検討の方向性

## 【成果のまとめ】

### (1) 廃棄物の分類手法の検討(インベントリ推定値、評価パラメータの変化を考慮)

- ◆ 表層付近とより深い地下への処分に着目した廃棄物の分類手法を検討
- ◆ 分類を支配する核種、シナリオ、評価パラメータ等の抽出が可能  
例: 性状把握において優先的に検討すべき廃棄物や核種の選定

### (2) 処分概念の特徴に関する調査・整理

- ◆ 既存の処分概念の評価体系と特性に関する整理、検討を実施
- ◆ 海外事例調査に基づき、1F廃棄物の処分の合理化に資する可能性があると考えられる様々な概念の情報等を整理

## 【今後の検討の方向性】

- 固体廃棄物の特徴を踏まえた処分方法の調査・設定
- 処分方法毎の安全性の評価手法の調査・開発

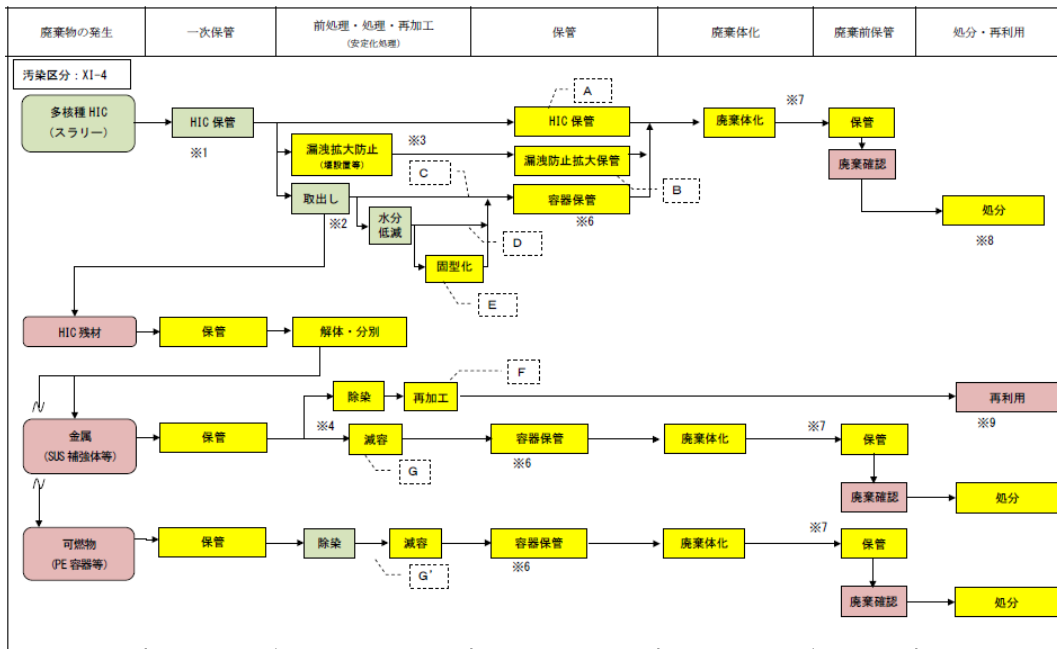
### 3. 事業内容

#### (4) 研究開発成果の統合

# (a) 廃棄物ストリームの検討

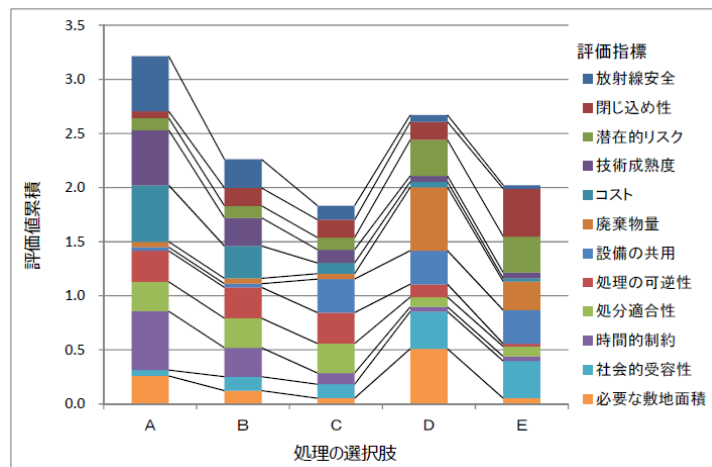
- 発生が予想される廃棄物の発生～処理・処分までの想定される流れについて検討
- また、これまでの研究成果や課題を整理し、検討状況を色分けして見える化
- 合わせて、想定されるオプションを絞り込むための手法について海外事例を参考に検討
- 本成果を踏まえ、2017年度からは、研究開発の進捗や課題を統合的に管理するツールとして活用

## 廃棄物フローの例(HICスラリー)



緑: 発生済みの廃棄物/検討済みの技術/1F適用済みの技術  
 黄: 未検討だが既存技術の適用が見込まれる技術/検討中だが基礎研究段階  
 赤: 未発生廃棄物/検討未実施でかつ今後研究開発が必要と思われる技術

## オプション絞り込み手法の試行例



海外事例(英国、BPEO: Best Practical Environmental Options)を参考に、オプションを定量的に絞り込むための手法を検討

# (b) 事故廃棄物情報管理ツールの開発

## ■ 研究開発用情報管理ツールの開発(図1)

- 研究開発関係の情報項目(性状把握, インベントリ評価, 廃棄物処理, 廃棄物処分の各分野内及び分野間で想定される検討プロセスと情報の入出力)をフローとして整理した。また、情報(テキスト, データ, 図表等)の利用や管理のパターンの抽出・類型化, それらの利用と管理の際に求められる機能(閲覧, 検索, 登録・削除, 加工等)とその実現のための情報技術を整理し, 情報項目の整理結果と合わせて研究開発用情報管理ツールの概念を設計した。

## ■ 分析データの収集

- 汚染水や瓦礫等の放射能濃度等の分析データを収録したデータ集に関し, 既報のデータ集に平成27年度に得られたデータ等を追加するなどの対応をした改訂3版を発行した(図2)。

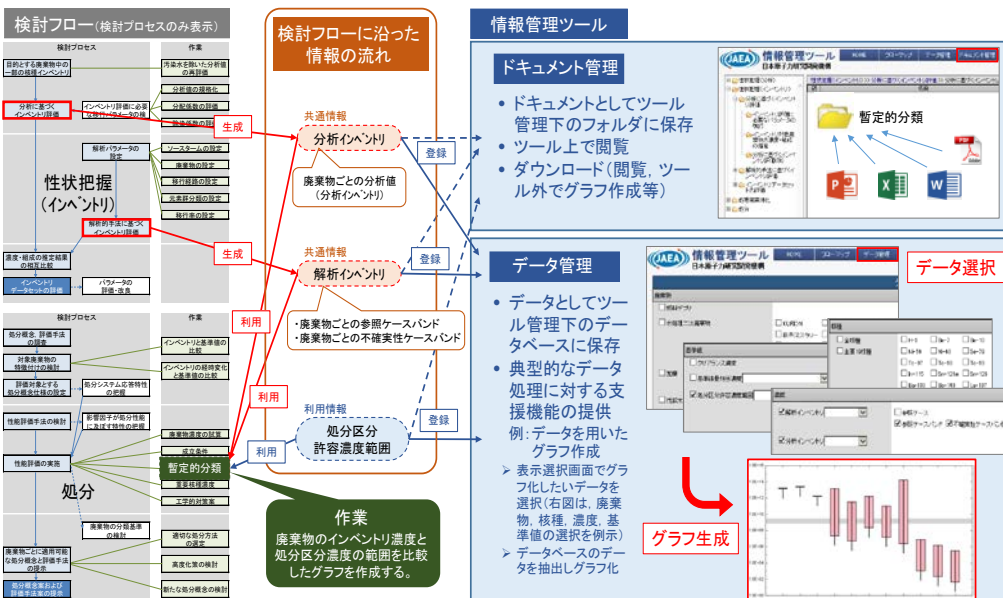


図1 研究開発用情報管理ツールの概念



図2 発行した分析データ集  
<http://dx.doi.org/10.11484/jaea-data-code-2017-001>

## 5. 研究開発の運営

- 中長期的視点での人材育成

筑波大学大学院での特別講義講師の受任、東京工業大学とのスモールワークショップの開催、及びIRIDシンポジウムにおけるコミュニケーション等を通し、学生に対する廃炉の必要性等について啓蒙活動を実施。

- 国内外の叡智の結集

平成26年度からOECD/NEAに専門家グループを設置し、諸外国の専門家から意見・アドバイスを受ける会合を実施。平成28年7月6日～7日にワークショップを開催し、これまでの活動により作成された報告書の内容について議論を実施。

また、平成28年度も継続して研究機関(米国カリフォルニア大バークレー校、電力中央研究所)の知見を得つつ実施。

- 情報発信の充実

本事業の成果について日本原子力学会(2016年秋の大会:19件、2017年春の大会:1件)や海外機関等が開催する国内外の学会(IAEA、LABONET等)で発表することにより、情報発信の充実を図った。また、定期的に行うIRIDシンポジウムで実施内容等について報告・公開すると共に、成果概要の冊子を発行。

# 6. 進捗状況管理と実施体制 ～実績スケジュール～

実施内容	平成28年度														
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
1 研究開発成果の統合															
①廃棄物ストリームの検討	検討計画	▽					廃棄物ストリーム選定の試行、基本的な考え方の検討					取りまとめ	▽		
②事故廃棄物情報管理ツールの開発	検討計画	▽			ツールの検討					ツールの検討・データ収集		取りまとめ・公開	▽		
2 性状把握															
①分析計画の検討	分析計画	▽						見直し	▽			次年度分析計画	▽		
②廃棄物試料の採取		採取			輸送	▽		返還輸送	▽	輸送		輸送	▽▽		
③廃棄物試料の分析							分析の実施(一部外注)・順次結果を報告					取りまとめ	▽		
												準備の完了	▽		
④廃棄物のインベントリ評価	検討計画	▽					分析データに基づく評価			インベントリデータセット	▽				
							汚染プロセス基礎データの収集				基礎データ	▽	取りまとめ	▽	
										改良モデル	▽	見直し・改訂インベントリ	取りまとめ	▽	
⑤難測定核種分析の検討	検討計画	▽					Pd-107分離フロー適用性、分離マニュアル整備						取りまとめ	▽	
3 廃棄物の処理及び長期保管方策の検討															
①廃棄物の処理に関する検討	検討計画	▽								調査、情報の追加			取りまとめ	▽	
							廃棄体化基礎試験						取りまとめ	▽	
							選定評価要件の整理			技術絞り込み検討			取りまとめ	▽	
②長期保管方策の検討	検討計画	▽													
							塔内残水の蒸発乾燥挙動・長期保管対策検討	▽	検証方法検討				長期保管対策、取りまとめ	▽	
4 廃棄物の処分に関する検討															
①処分概念の特徴整理、調査	検討計画	▽					既存の処分概念の定性/定量的な特徴の提示						取りまとめ	▽	
							事故廃棄物の核種移行等に対する影響の評価結果の提示						取りまとめ	▽	
							安全性評価に用いる手法と解析ケースの設定						取りまとめ	▽	
②廃棄物の性状を考慮した処分概念の検討 (廃棄物の分類手法の検討)										安全性評価の解析ケースに基づく廃棄物の 処分区分および重要核種の再設定			取りまとめ	▽	
										安全性を向上させるため要件等の再設定			取りまとめ	▽	
										処分概念・安全評価手法の候補案の設定			取りまとめ	▽	
③新たな処分概念等の検討 (廃棄物の分類手法の検討)										新たな処分概念候補案の抽出			取りまとめ	▽	
5 研究開発の運営															
①国内外の観智の結集					▽	OECD/NEA WS									
②事業の報告									▽	中間報告				最終報告	▽
③情報発信の充実					▽	シンポジウム								成果パンフレット	▽

■ 計画  
■ 実績

技術研究組合国際廃炉研究開発機構

東京電力ホールディングス株式会社

- 開発調整(①, ②)
- 運営補助(⑤)

- 全体計画の策定と技術統括(①~⑤)
- 技術開発の進捗などの技術管理(①~⑤)
- 技術開発の実施に係る調整(①~⑤)

~実施体制~

日本原子力研究開発機構

- 技術開発総括(①~④)
- 開発実施(①~④)
- 運営補助(⑤)

日立GEニュークリア・エナジー株式会社

- 開発実施(①, ②)

株式会社 東芝

- 開発実施(①, ②, ③)

三菱重工業株式会社

- 開発実施(①, ②)

株式会社 アトックス

- 開発実施(②, ③)

東京工業大学(①)  
ガンマ線測定を用いた廃棄物管理  
手法に関する研究開発(②)

(株)QJサイエンス(①)  
事故廃棄物の研究開発用情報の  
管理技術に関する調査・整理(II)

(株)アセンド(②)(③)  
・福島汚染水処理二次廃棄物の性  
状調査に係る分析・試験に関する  
業務請負契約  
・SARRY試験体を用いた崩壊熱模  
擬加熱試験

検査開発(株)(②)  
福島汚染水及び汚染水処理二次  
廃棄物に関するβ核種分析及び  
分析データベースに係る業務請負

ニュークリア・デベロップメント(株)  
(②) 事故廃棄物等の放射能分析

日本核燃料開発(株)(②)  
汚染水等の放射能分析

東京ニュークリア・サービス(株)(②)  
異なる液性条件下での核種のゼ  
オライトへの吸着に関する基礎デ  
ータの取得

(株)太平洋コンサルタント(③)  
・模擬スラリーの製作  
・模擬吸着材の元素吸着作業

(株)化研(③)  
・有機材料の加熱処理作業  
・シアンを含む材料の分解試験

富士電機(株)(③)  
ジオポリマーによる吸着材の固化  
試験

(株)IHI(③)  
ガラス固化及び熔融固化試験

ユニオン昭和(株)(③)  
汚染水処理二次廃棄物の模擬物  
を用いた圧縮固化及び焼結固化  
試験

(株)日立パワーソリューションズ(③)  
ガラスアンブル中の水素ガスの分  
析作業

富士産業(株)(③)  
固化体の浸出液に含まれる成分  
の分析作業

(株)ヴィジブルインフォメーションセン  
ター(③)  
吸着線量解析コードの改良

日揮(株)(④)  
事故廃棄物に対する処分概念の  
適用性に関する調査・整理(II)

栗田工業(株)(③)  
模擬スラリーの製作

(株)日立物流(②)  
試料の輸送(福島第一から茨城  
地区)

電力中央研究所(②)  
廃棄物インベントリの推算・評価  
技術に関する研究(Phase2)

ココヨ(株)(⑤)  
資料・データ整理

東電タウンプランニング(株)(⑤)  
成果概要冊子(英語版)制作  
成果概要冊子(日本語版)増刷

三菱マテリアル(株)(②)(④)  
・廃ゼオライト中のインベントリ評  
価に向けた核種収着挙動に関する  
データ取得  
・事故廃棄物の影響因子と影響  
伝・播及び核種移行パラメータ設  
定に関する調査

カリフォルニア大ハーレー校(④)  
福島第一原子力発電所の破損燃  
料の地層処分における臨界安全  
性に関する研究

ニュークリア・デベロップメント(株)(①)  
廃棄物ストリームに関する物質  
収支及び放射能収支作業の助  
成

MHIニュークリアシステムズ・ソリューションエン  
지니어リング(株)(①)  
廃棄物ストリームに関する情報  
整理作業の助成

第一カッター興業(株)(②)  
試料採取装置要素試験

(株)AREVA ATOX D&D  
SOLUTIONS(②)  
装置概念設計、技術調査、試作

(株)荏原製作所(③)  
装置仕様検討

(株)宇徳(③)  
試験用HIC容器運搬作業

A社(③)  
試験機移設・保管

【担当業務の凡例】

- ① 研究開発成果の統合
- ② 性状把握
- ③ 廃棄物の処理に関する検討  
及び長期保管方策の検討
- ④ 廃棄物の処分に関する検討
- ⑤ 研究開発の運営