

福島第一事故廃棄物の 分析能力について

2016年2月12日
東京電力株式会社

1. 廃棄物の核種分析の目的

廃棄物の核種分析は、処理・処分の検討に必要な核種組成（インベントリ）などの廃棄物の性状を把握するために実施する

- 廃棄物の保管は、発生場所や表面線量率に応じて、汚染拡大防止策（容器収納）や、遮蔽（固体庫収納等）を施すことで、安全性を確保
- 一方、放射性廃棄物の処理・処分は、処分後の長期に亘る安全性を評価する必要があることから、廃棄物中に含まれる半減期の長い核種の組成や濃度を把握する必要がある

2. 1 福島第一事故廃棄物に関する現状の分析能力

- 現状の分析能力は約70試料/年（日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）50、民間ラボ20）
 - 施設の特徴に合わせて分析する試料を選定
 - 試料の性状や対象核種により手順が異なるため、分析能力は変化する
 - JAEA分（約50試料/年）の現状の分析能力は以下の通り

施設	特徴	主な設備	分析能力
原子力 科学研究所 バックエンド 技術開発建家	<ul style="list-style-type: none"> ● 研究廃棄物の経験を生かしてほとんどの分析が可能 ● 放射能量制限から高線量試料が扱えない 	<ul style="list-style-type: none"> ● フード ● Ge ● ICP-MS ● SEM-EDX 	固体（瓦礫、伐採木、土壌） 約20試料/年 水 約10試料/年
核燃料サイクル 工学研究所 高レベル 放射性物質 研究施設 （CPF）	<ul style="list-style-type: none"> ● 遮蔽セルにより高線量試料の取扱が可能 ● 使用済燃料も扱う施設であるためαのコンタミがある ● 前処理で塩酸が使用できず手順に制限がある 	<ul style="list-style-type: none"> ● 遮蔽セル ● グローブボックス ● フード ● Ge ● ICP-AES 	水 約15試料/年 スラリー 約5試料/年

本資料は、平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金（事故廃棄物処理・処分技術の開発）」ならびに平成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・処分技術に関する研究開発）」の成果の一部を含む

2. 2 分析の実績例と特徴

■ 「原子力科学研究所バックエンド技術開発建家」における実績例

- 分析対象試料: 瓦礫8試料
- 分析実施核種*
 - γ 核種 Co-60, Nb-94, Cs-137, Eu-152,154
 - β 核種 H-3, C-14, Se-79, Sr-90, Tc-99, I-129
 - α 核種 Pu-238, Pu-239+240, Am-241, Cm-244
- 9基のフードを用いて実施した際、**平均して14週フード**を占有

■ 分析の特徴

- 処分では重要な核種は長半減期で弱い放射線を出すものが多く、試料溶解や化学的な核種分離プロセスが必要
 - γ 核種の分析でも、Csの影響を除くためにCs除去が必要
 - 弱い放射線を検出するため、放射線測定に長時間が必要
- 高線量試料を扱える遮蔽セル等の設備・輸送容器、及び分析プロセスに応じた多数のフードが必要
- 事故廃棄物用の分析手順を開発する能力・経験が必要

*既存の処分概念に対する安全評価で評価対象とされている核種の中から、これまでの分析結果を踏まえて検出する可能性の高い核種を選定

2.3 これまでの分析実績(2016年1月31日現在)

- 2011年度からJAEAに分析試料を輸送し、福島第一事故に伴う依頼分析や手順の開発を開始
- 2012年度より廃棄物の処理・処分を念頭においた核種分析を開始
- 2012～2013年度は資源エネルギー庁委託事業にて、2014年度以降は資源エネルギー庁補助事業にて、JAEAを中心に分析、ならびに測定機器整備など能力の拡充を進めていただいている

年度	分析数		備考
	合計	内訳	
2012	27	水 9 固体 18	・JAEAにて測定装置を増強
2013	51	水 12 固体 39*1	・JAEAにて設備を整備し、実施可能施設を追加
2014	98	水 0 固体 98*2	
2015	66	水 26*3 固体 33*3 スラリー 7*3	・民間ラボの活用を開始

*1 うち8試料はγ核種+全αのみ分析 *2 うち5試料はγ核種+全α、68試料はγ核種のみ分析 *3 分析中の試料を含む

本資料は、平成25年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金(事故廃棄物処理・処分技術の開発)」ならびに平成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・処分技術に関する研究開発)」の成果の一部を含む

3. 今後の分析について

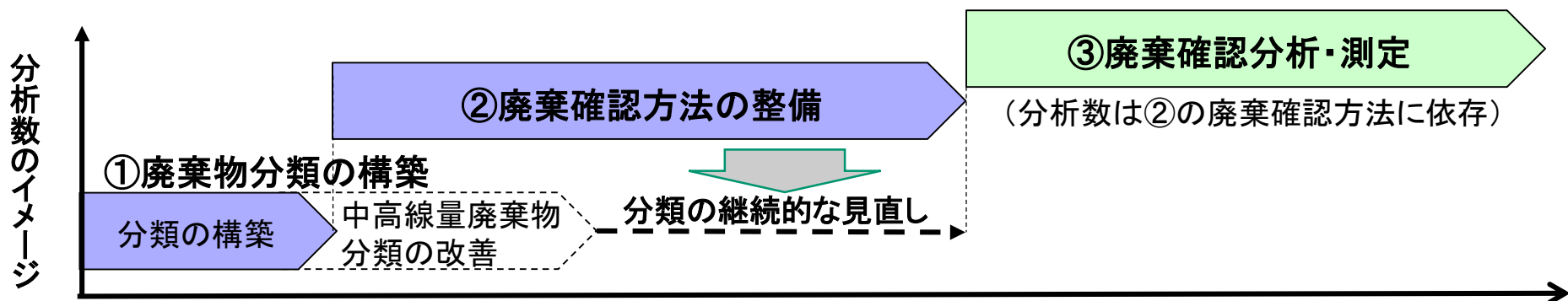
- 現状の分析能力には限りがあることから、能力拡充のためJAEA大熊分析・研究センターを整備いただいているところ

大熊分析・研究センターの概要

- 福島第一隣接地に建設
- 施設管理棟、第1棟、第2棟から構成
- 第1棟の分析対象物は、瓦礫や水処理二次廃棄物等
 - フード、遮蔽セル(鉄セル)、グローブボックスが設置される想定
- 第2棟の分析対象物は、燃料デブリ等

4. 1 処理・処分に向けた分析の進め方

- 廃棄物に関する分析の進め方は下記のように整理できる
 - 処理・処分方法を検討し、それを見据えた廃棄物分類を構築する段階(①)
 - 実際に廃棄物を処分場に埋設することを念頭に、廃棄体中の廃棄物を確認する方法を整備する段階(②)
 - 整備した手法を適用していく段階(③)

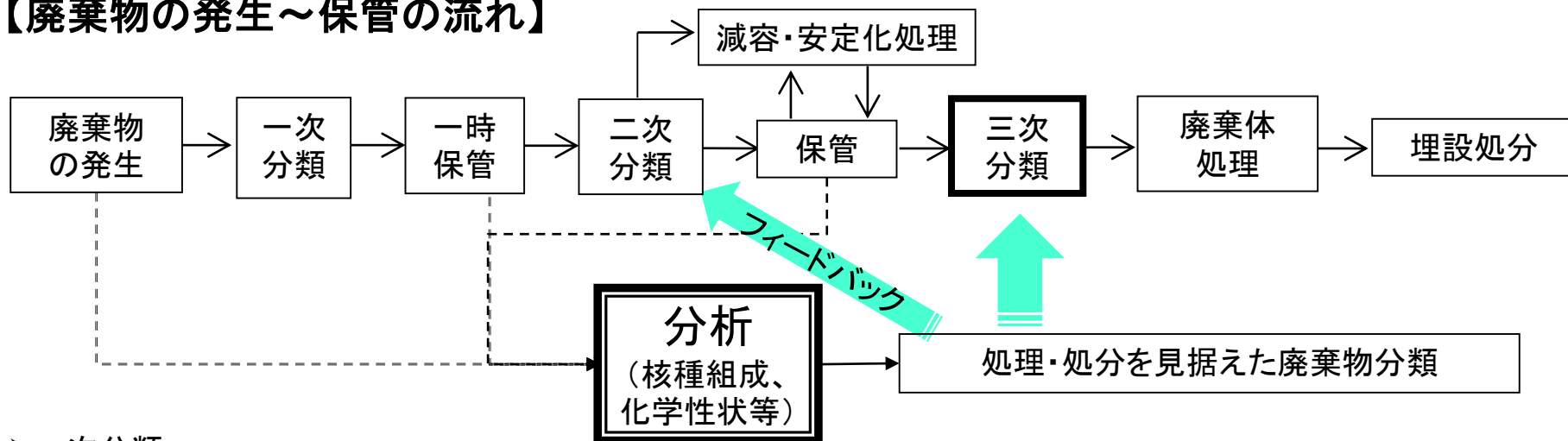


- 分析データの蓄積と処理・処分の検討の進展により、必要分析数の推定精度は向上。特に、③で必要な分析数は②の成果に依存する

4.2 「①廃棄物分類の構築」について

- 分析結果を基に処理・処分を見据えた廃棄物分類を構築（三次分類）
- 結果は、二次分類にもフィードバック

【廃棄物の発生～保管の流れ】



➤一次分類

- ・瓦礫類は放射性物質の汚染拡大防止や遮蔽の観点より、線量区分毎に分類。さらに、被ばくを考慮し、可能な範囲で減容処理に向けた材質ごとに分類
- ・伐採木は火災の発生リスクや線量の観点より、幹・根と枝・葉に分類
- ・水処理二次廃棄物はその性状により、吸着塔類、廃スラッジ及び濃縮廃液に分類

➤二次分類

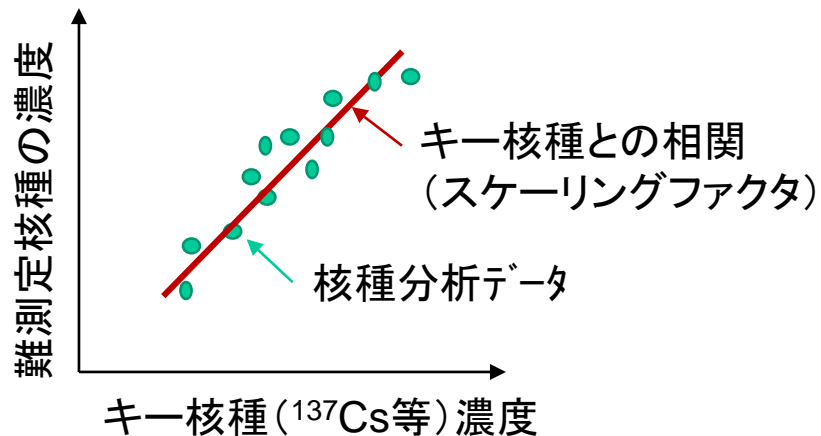
- ・材質により減容・安定化処理を考慮して分類。また、処理・処分の検討の進捗に応じて見直していく

➤三次分類

- ・処理・処分の検討の進捗に応じて分類

4.3 「②廃棄確認方法の整備」について

- 廃棄確認のための放射能濃度決定方法としては、「原廃棄物法」、「理論計算法」、「平均放射能濃度法」、「スケーリングファクタ法(SF法)」*等があるが、福島第一の事故廃棄物が多種・多量であることを踏まえ、合理的な方法を整備することが、将来の処理・処分を円滑に進める上で重要
- 廃棄確認方法を整備するためには、分析結果を蓄積し、廃棄物を核種組成比の違いで分類し、汚染履歴の推定や、統計的な評価等を行う必要がある



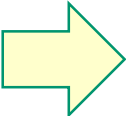
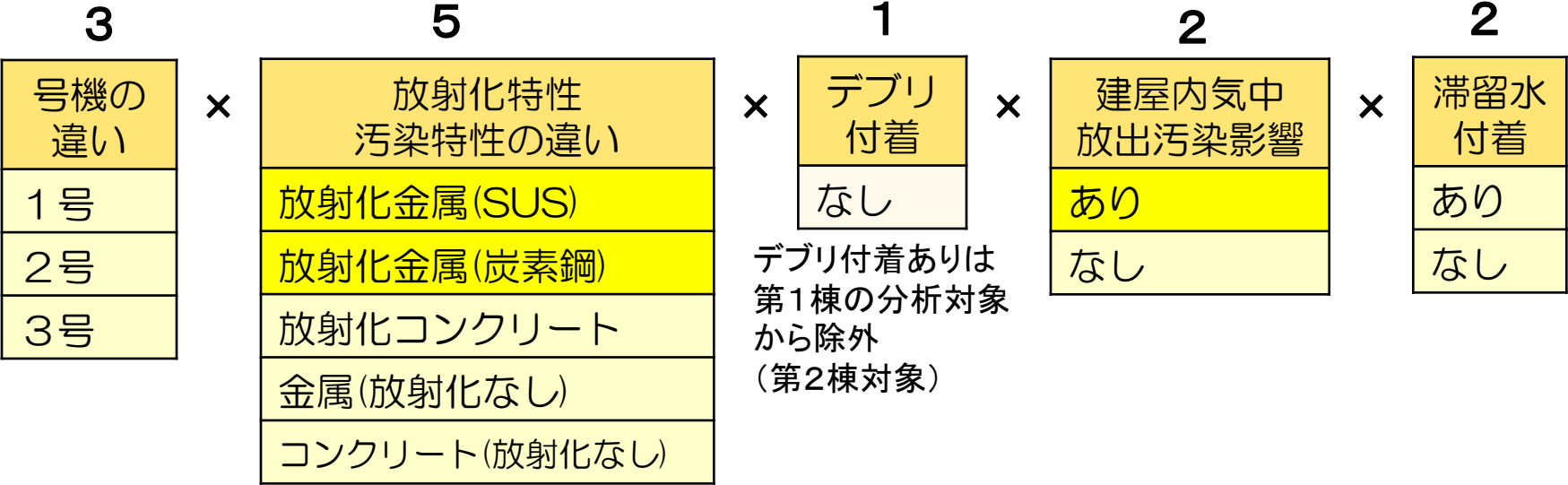
* スケーリングファクタ法(SF法):
非破壊測定の容易な**キー核種**(^{137}Cs など)と**難測定核種**(Tc 、 α 核種など)の**相関関係**を分析結果の**統計的な評価に基づき設定**する方法

5. 1 必要な分析数の試算例

- 「大熊分析・研究センター第1棟」における瓦礫等や水処理二次廃棄物の必要分析数を試算
 - 「②廃棄確認方法の整備」までに必要な分析数を試算（「①廃棄物分類の構築」に必要な分析数はその内数）
- 合理的な確認方法として、我が国や諸外国で実績のあるSF法を整備すると仮定して試算
- SF法は、**核種組成比が類似した廃棄物毎にグルーピングし検討**する
- そのため、福島第一で発生しているまたは発生が想定される主な廃棄物の**核種組成比に影響を与える汚染履歴等に着目し、廃棄物を分類**
- 必要な分析試料数量を、下記の式で算定
 - **総分析試料数量 = (分類数)**
× (SFの設定に必要な1分類当たりの分析試料数)
- なお、廃棄物の分類に際し、デブリ付着物は第2棟の分析対象として対象外とした

5. 2 1～3号機の廃棄物分類数の試算例

- 放射化の有無や、汚染特性によって核種組成が異なると想定
- 事故による汚染形態としては、デブリ付着の有無、建屋内気中放出による汚染影響の有無、滞留水付着の有無を想定
- 性状把握を進めるため、線量の高いサンプルも分析すると仮定



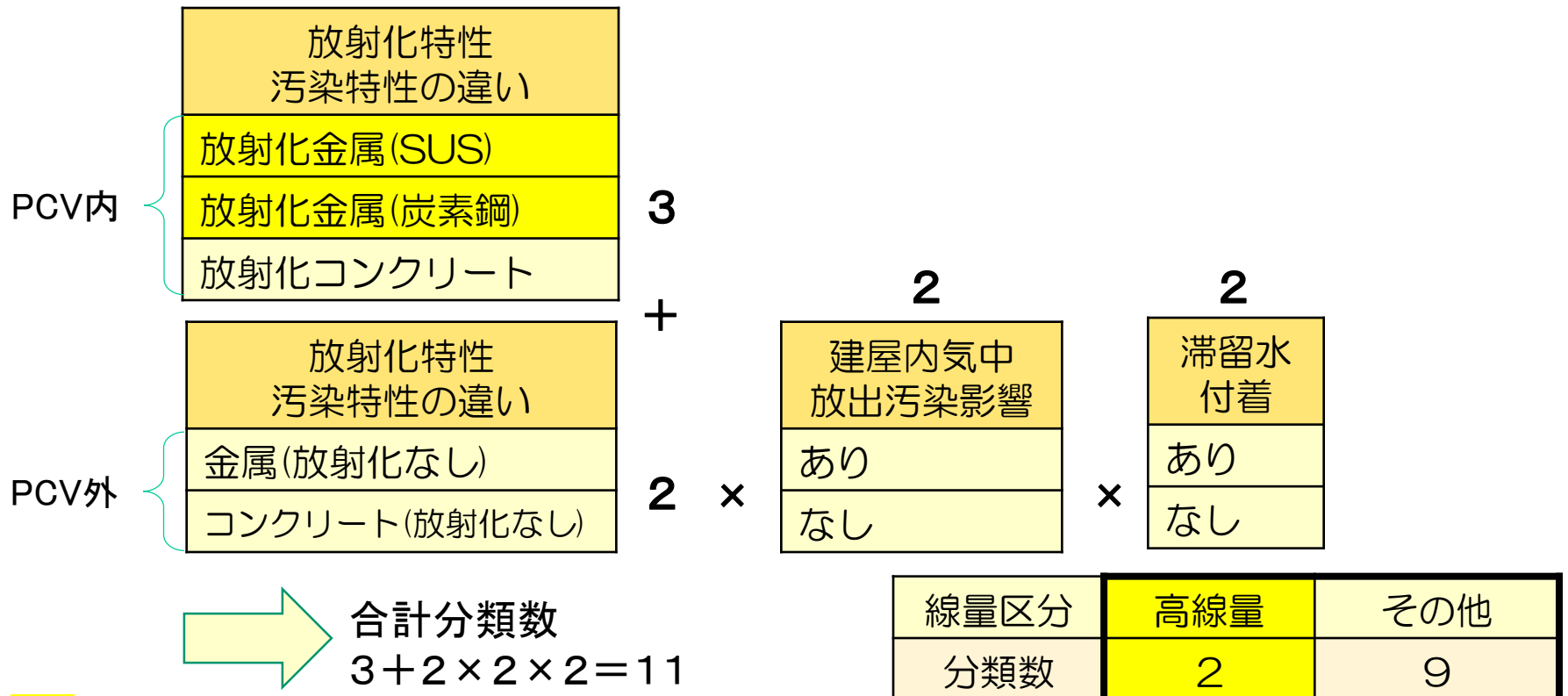
合計分類数
 $3 \times 5 \times 1 \times 2 \times 2 = 60$
 (うち、高線量
 $3 \times 2 \times 1 \times 2 \times 2$
 $+ 3 \times 3 \times 1 \times 1 \times 2 = 42$)

線量区分	高線量	その他
分類数	42	18

黄色: 高線量で前処理のための遮蔽セルが必要と想定される試料

5.3 4号機の廃棄物分類数の試算例

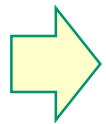
- 4号機から発生する廃棄物についても、放射化の有無や、汚染特性によって核種組成が異なると想定
- ただし、1～3号機と異なり、デブリ付着有無の考慮はなく、格納容器(PCV)内側の放射化領域は、建屋内気中放出汚染影響と滞留水の付着は無いと想定
- 性状把握を進めるため、線量の高いサンプルも分析すると仮定



黄色: 高線量で前処理のための遮蔽セルが必要と想定される試料

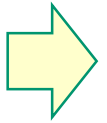
5.4 瓦礫等と水処理二次廃棄物の分類数の試算例

瓦礫等		
瓦礫類		混合汚染（滞留水、フォールアウト等）
		低Cs高Sr（滞留水処理水）汚染
土壌		フォールアウト汚染
		低Cs高Sr（滞留水処理水）汚染
焼却灰	使用済保護衣等、可燃物	混合汚染（滞留水、フォールアウト等）
		低Cs高Sr（滞留水処理水）汚染
	伐採木	フォールアウト汚染



線量区分	その他
分類数	7

水処理二次廃棄物	
セシウム吸着装置吸着塔	Cs吸着
	Cs, Sr同時吸着
第二セシウム吸着装置吸着塔	Cs吸着
	Cs, Sr同時吸着
除染装置スラッジ	
多核種除去設備（ALPS）スラリー（炭酸塩）	
ALPSスラリー（鉄共沈）	
増設ALPSスラリー（炭酸塩）	



線量区分	高線量	その他
分類数	5	3

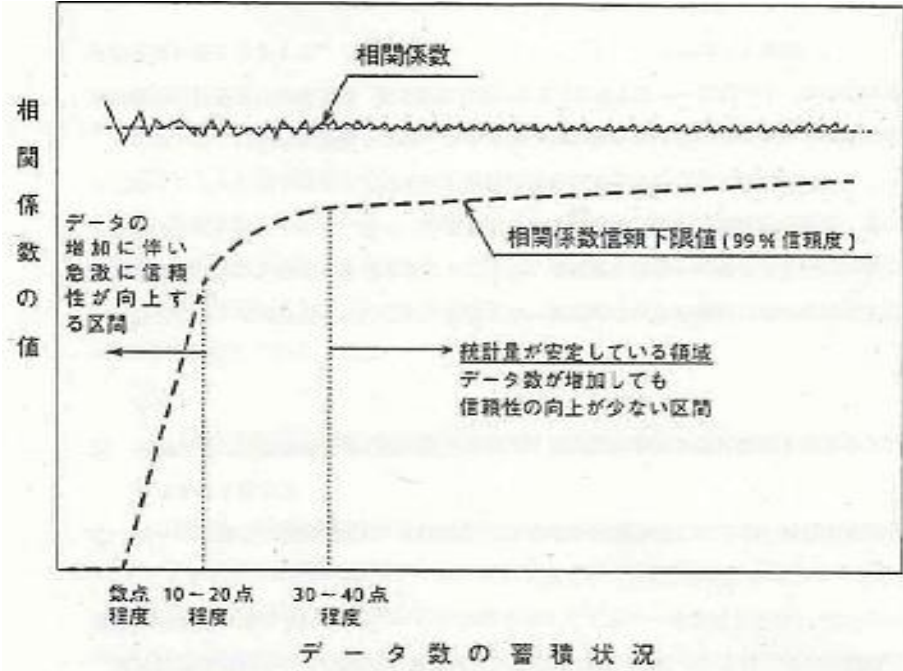
物量の少ない廃棄物（ALPSの処理カラム等）は分析を蓄積し統計的評価を行うことが現実的ではないので検討対象に含めない

黄色: 高線量で前処理のための遮蔽セルが必要と想定される試料

5. 5 SFの設定に必要な1分類当たり必要な分析試料数の試算例

■ 「SFの設定に必要な1分類当たりの分析数」については、性状にばらつきがない廃棄物(均質・均一固化体)について、十分な信頼性でSFの値を決定できるとされるデータ数30~40点

➡ 1分類当たり**40試料**と設定



均質・均一固化体について、SF法及び相関係数などの統計量のデータ数量蓄積による変化を整理した結果、SFの信頼区間の推定範囲は、データ数が概ね30~40点でほぼ落ち着き、変化が少なく安定

統計値が安定するサンプル数の模式図
((財)原子力安全技術センター)

平成8年度放射性廃棄物処理処分対策調査研究 調査報告書
雑固体廃棄物の確認方法に関する調査研究(平成9年)

5. 6 分析試料数量の試算例

■ 必要な分析試料数量を、下記の式で算定

- **総分析試料数量 = (分類数) × (SFの設定に必要な1分類当たりの分析試料数)**

■ 必要な分析試料の総数は、前述の結果より下記のとおり

- **合計 = 86 × 40 = 3,440試料**
うち、高線量試料**1,960試料**

	分類数	40試料／分類
高線量	49	1,960試料
その他	37	1,480試料
合計	86	3,440試料

■ 今後20年間で廃棄確認方法を整備し、第1棟が3年後に稼働すると仮定すると、第1棟で必要とされる**年間の分析試料数量**は下記のとおり

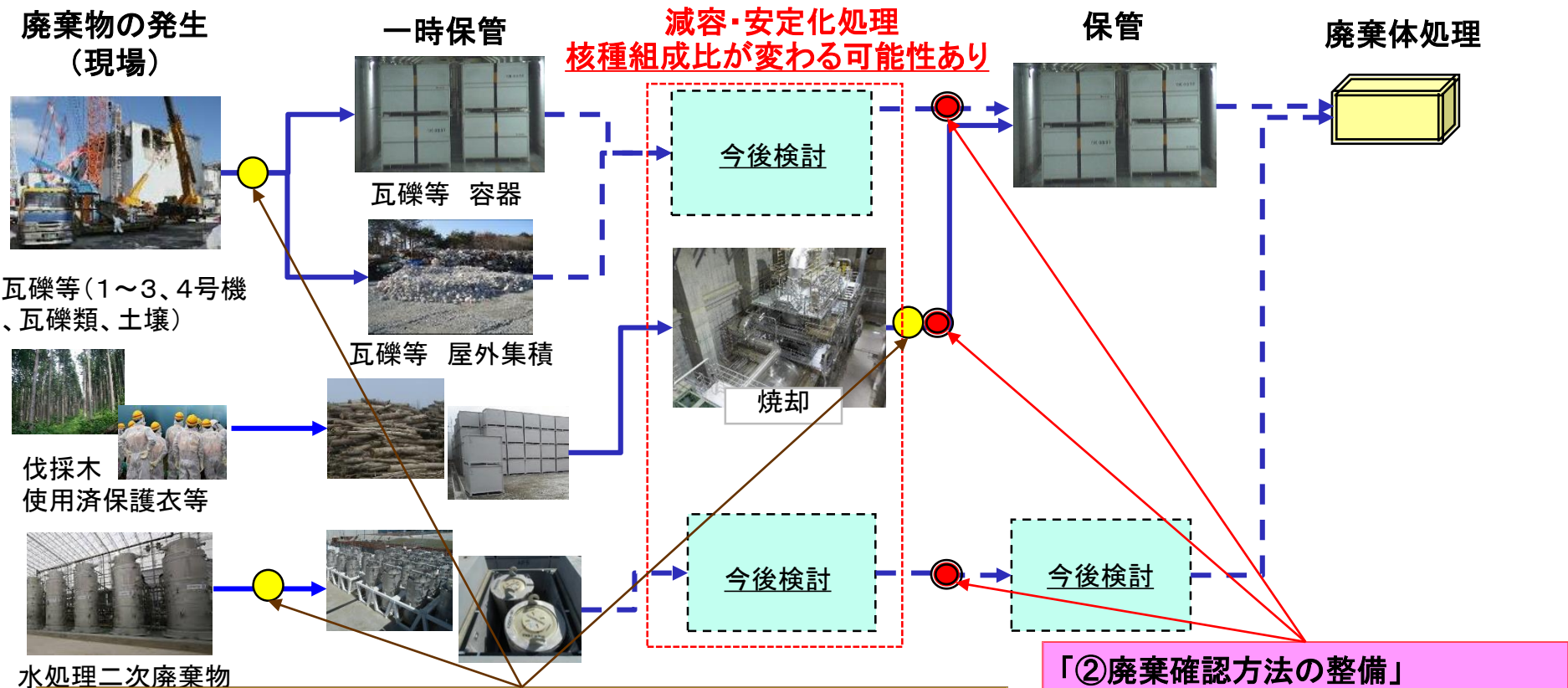
- **合計 = (3,440 - 210) ÷ (20年 - 3年) = 190試料／年**
うち、高線量試料**115試料／年**

	分類数	40試料／分類
高線量	49	115試料／年
その他	37	75試料／年
合計	86	190試料／年

210: 現状の70試料/年での今後3年間の分析試料数

5.7 分析試料採取のタイミング

- 「②廃棄確認方法の整備」のための分析は、処理・処分で重要となる核種組成比 (Cs/Srの比等) が確定するタイミング以降で採取する必要あり
- しかし、処理・処分に関する検討を行い「①廃棄物分類の構築」をするためには、各廃棄物の核種組成比の傾向を把握することが重要であるため、核種組成比の確定を待たずに採取 (伐採木、使用済保護衣等は、焼却の計画があるため、焼却灰を採取)



「①廃棄分類の構築」
 核種組成比の傾向を把握するため、組成比の確定を待たずに採取
 (伐採木、使用済保護衣等は、焼却の計画があるため焼却灰を採取)

「②廃棄確認方法の整備」
 核種組成比が確定する減容・安定化
 処理後に試料採取する必要

6. 今後の予定

- 現在、処理・処分を見据えた廃棄物分類の構築を目指して、廃棄物の性状把握を進めている
- 分析能力の拡充を図ってきたが現状は約70試料/年
- 本格的な能力の拡充のため、福島第一隣接地にJAEA大熊分析・研究センターを整備いただいているところ
- 前述の目的を達成する上で必要な分析数量の検討を行い、施設の能力を現在検討いただいているところ
- 今後必要な分析数については、データの蓄積に伴い見直しを図っていく