

2019年秋の大会  
水化学部会企画セッション

# 水化学ロードマップフォローアップの状況と概要

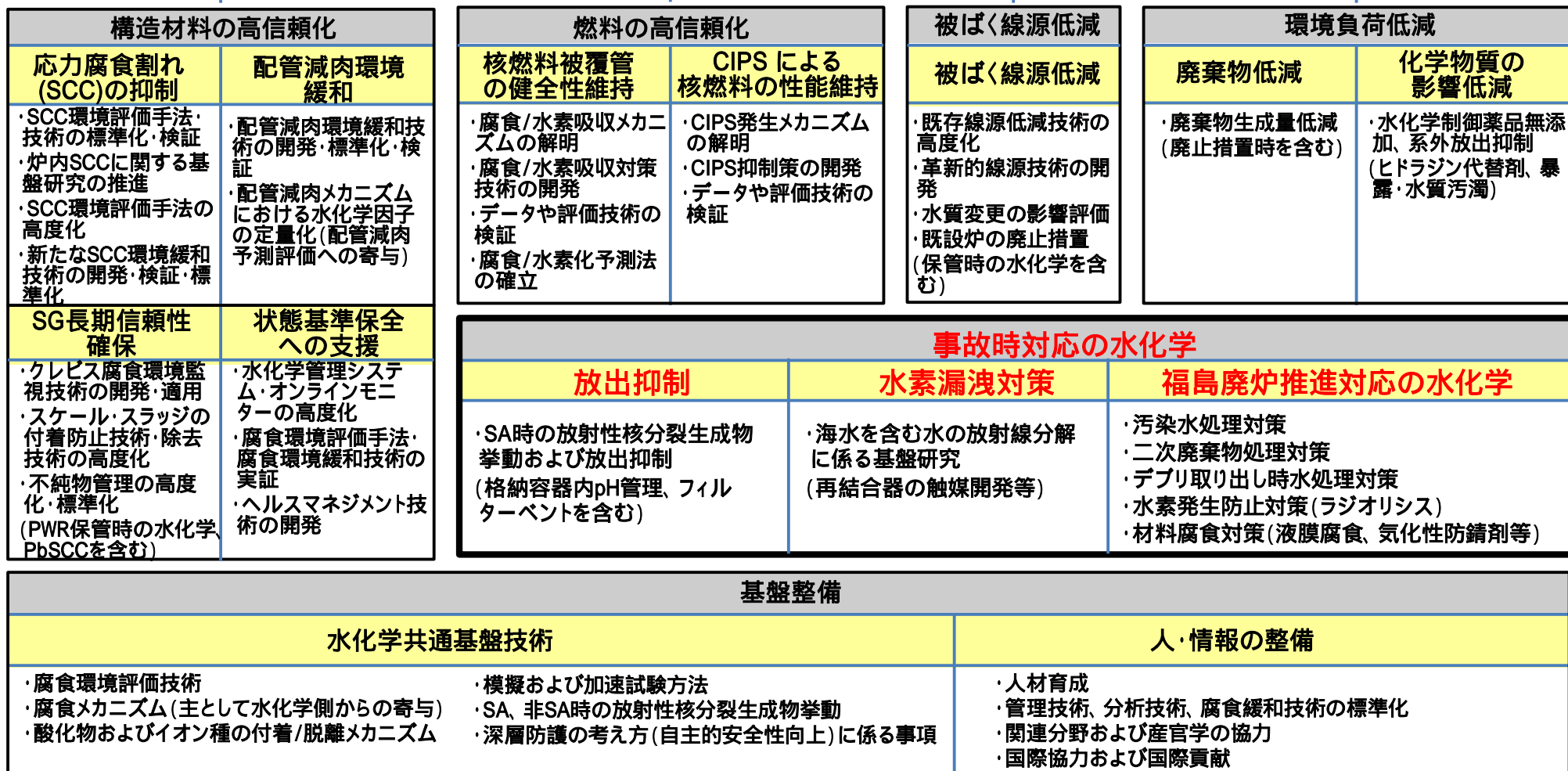
## (4) 事故時対応の水化学

日立GEニュークリア・エナジー(株)  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
日本原子力研究開発機構

長瀬 誠  
高木 純一  
内田 俊介

# 1. 水化学の諸課題とそれらの相互関係

## 水化学による原子力発電プラントの安定性・信頼性維持への貢献



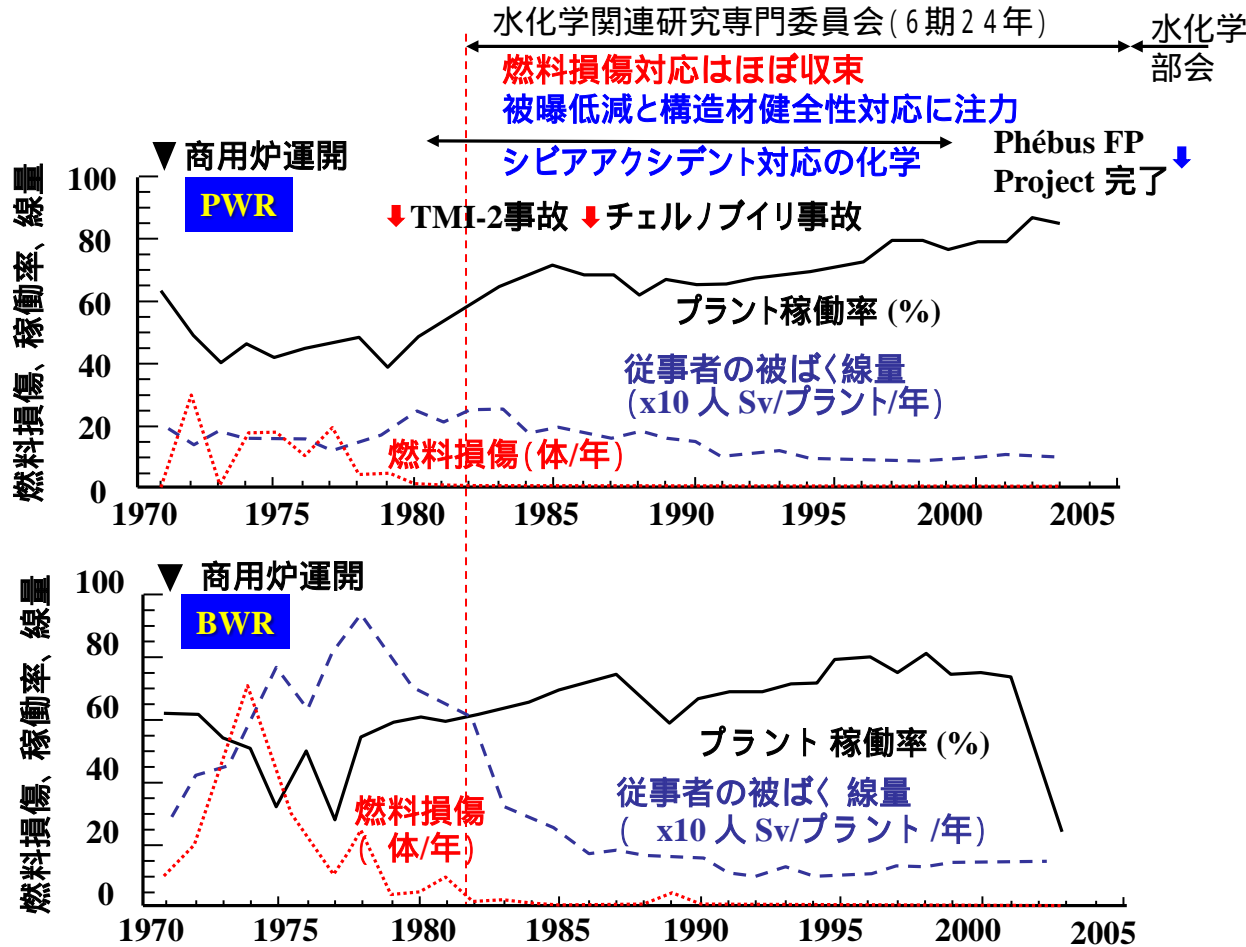
## 2. ロードマップ2019の目次

HITACHI



目次	執筆者
1. はじめに	渡邊
2. 水化学ロードマップの意義	渡邊
3. 水化学を取巻く環境の変化	高木
4. 自主的安全性向上に向けての水化学ロードマップ改訂の基本方針および実施体制	久宗、杉野
5. 水化学ロードマップ2019	稲垣
6. 安全基盤研究	内田
6.1 構造材料の高信頼化	内田
6.1.1 応力腐食割れ(SCC)の抑制	BWR:長瀬、山本、PWR:寺地
6.1.2 配管減肉環境緩和	阿部、藤原
6.1.3 SG長期信頼性確保	荘田
6.1.4 状態基準保全への支援	小野
6.2 燃料の高信頼化	河村
6.2.1 核燃料被覆管の健全性維持	河村
6.2.2 CIPS対策による核燃料の性能維持	河村
6.3 被ばく線源低減	稲垣、中野、杉野、赤峰
6.4 環境負荷低減	BWR:稲垣、PWR:赤峰
7. 基盤整備	佐藤、内田
7.1 水化学共通基盤技術	佐藤、内田
7.2 人・情報の整備	小野、阿部、室屋
8. 事故時対応の水化学	内田、高木、長瀬、箭内
8.1 水化学が関与する事故時対策	
8.2 福島廃炉推進対応の水化学 (汚染水処理対策、デブリ取出し時水処理対策、水素発生対策、材料腐食対策)	渡邊、高木、長瀬、箭内、佐藤
9. まとめ	渡邊
略語表	河村

## 第8章の背景として頭書きに**新規記載**



- 事故時対応の水化学として、**放射性核分裂生成物挙動**に係わる研究は、初期には**燃料損傷**とそれに伴う**環境放出**に関連し活発に実施
- しかし、**燃料破損対策の確立**、**SA研究の収束**の2段階で縮小し、現在に到る
- 福島事故以降、原子力安全の自主的な向上努力が必要とされ、水化学分野においても深層防護の観点を踏まえつつ**新しい視点で取り組むこととなった**

### 深層防護との関連:

- U 水化学が関与する**事故時対策**のうち、設計基準事故の対策は**レベル3**「事故の影響緩和」に**該当**
- U SA対策としての**放射性核分裂生成物挙動**に係わる対応は、**レベル4**「設計基準を越す事故への施設内対策」に**該当**
- U さらに、事故炉の**廃炉推進対応の水化学**は、広義の意味で、**レベル4**「設計基準を越す事故への施設内対策」に**該当**

# 5. 事故時対応の水化学技術の分類

区分	名称	概要	本ロードマップ 報告書での記述章
	想定事象としての レベル4対応の水化学	Y アクシデントマネジメント用のマニュアル作成 のためのFP挙動主体の水化学評価(1F事故 評価)	を合わせて 8.1節
	実事象としての レベル4対応の水化学	Y 1F事故評価を通して得られた知見を整理、 分析して、上記 に的確にフィードバック	
	事故炉の廃炉対応の 水化学	Y 廃炉作業計画、実施の係わるプラント内のFP 分布の実態把握。 Y 体内体外被ばく抑制への対応 Y 除染に係わる水化学 Y 廃棄物処理処分に係わる水化学	8.2節
	FP挙動に関する 共通基盤技術	Y FP挙動に係わる基礎的共通技術の確保	7.1.2節

### 主な改訂点:

- U 起回事象の発生から事故が収束して安定冷却が達成されるまでの期間における水化学が関与する対策として、**水素発生、漏洩と爆発防止および核分裂生成物の環境への放出抑制を新規に記載**

### 深層防護との関連:

- U **事故発生後の対策**となるため、深層防護の**レベル1**「水化学による信頼性の確保」および**レベル2**「異常・故障の拡大防止」には**非該当**
- U **LOCA時などの設計基準事故で水素が格納容器内に漏えいした場合の爆発抑制対策**(可燃性ガス制御系等)は**レベル3**「事故の影響緩和」に**該当**
- U SA後の**ジルコニウム-水反応に起因する水素の爆発抑制**については**レベル4**「設計基準を越す事故への施設内対策」に**該当**
- U **核分裂生成物の環境への放出抑制**となる**サブレーションプールのpH制御**や**フィルタベントの対策**は、**燃料溶融後の事象で水化学的制御が効果に大きく影響**するため**レベル4**「設計基準を越す事故への施設内対策」に**該当**

### DBA時のFP挙動:

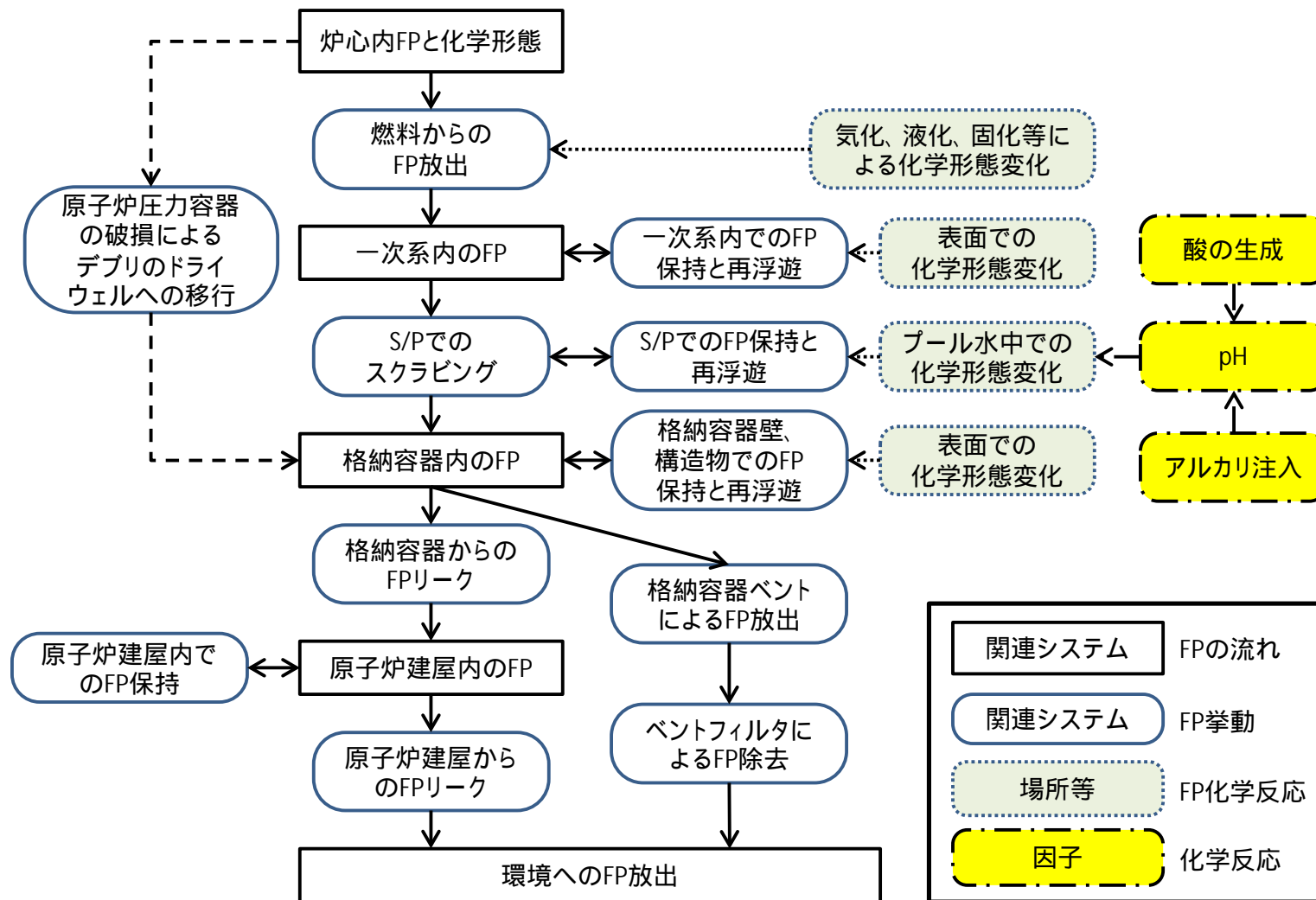
- 大規模燃料破損を想定しないため、FP放出による**一般の公衆被ばくは十分低いと評価**

### SA時のFP挙動:

- 大規模な燃料破損とジルコニウム・水蒸気反応に伴う多量の水素発生等を想定するため、格納容器内に多量のFPや水素が放出
- 事故シナリオに応じたFP放出抑制対策による**一般公衆被ばくの低減が必要**



## PCVベントを考慮したFP放出の流れ



### BWRプラントの例

#### ○ 深層防護レベル1相当

炉心での放射線分解で生成する水素をオフガス再結合器で水に戻して系統内への蓄積抑制

#### ○ 深層防護レベル2相当

オフガス再結合器の不全時には水素を検出して隔離し、原子炉が自動的にスクラムして安全に停止

#### ○ 深層防護レベル3相当

事故によりPCV内に水素が漏洩しても爆発しにくいようにPCV内を運転中は窒素雰囲気、さらに蓄積抑制のための可燃性ガス制御系が存在

既存の技術で対応可能であるが、**評価モデルの更なる向上が必要**

### SA時

ヨウ素は種々の形態や化合物を形成するため、その挙動は複雑で、冷却水のpHにより気液分配が大きく変化

#### ○ 深層防護レベル4相当

サプレッションプール水のpHを事故時にアルカリ性に制御するシステムの検討・導入や放射性核種を除去する機能を有するフィルタベントシステムの検討・導入

既存の技術で対応可能であるが、**評価精度の更なる向上が必要**

## 主な改訂点:

- 福島事故後の廃炉推進に向けて取り組むべき水化学の課題として、新たに、**汚染水処理対策と二次廃棄物処理、デブリ取り出し時水処理対策、水素発生量評価、材料健全性評価**について、**新規に記載**

## 深層防護との関連:

- これらは事故後の対応であり、深層防護の**レベル1**「水化学による信頼性の確保」、**レベル2**「異常運転や故障の防止」には**非該当**
- 設計基準を超える事故を想定**しており、**レベル3**「事故の影響緩和」に**非該当**
- 事故炉の廃止措置開始後に実施される**廃炉推進対応**の水化学対策は、直接的にSAの影響緩和につながらないものも含まれるが、広義の意味で、**レベル4**「設計基準を越す事故への施設内対策」に**該当**
- 具体的には、放射能の閉じ込め、除去、処理、処分を適切に行う必要があり、**汚染水、二次廃棄物、燃料デブリの適切な処理**を行う必要あり
- 水素発生防止、材料健全性維持**のため、**適切な対策**を行う必要あり

### 現状:

- ｜ タービン建屋滞留水中に原子炉建屋から高濃度のFP成分が流入し、放射性汚染水を形成。その後、継続的な地下水の流入による汚染水量の増大。
- ｜ 汚染水の放射能除去に用いられたメディアには多種類の放射能成分が含まれており、現在、一次処理が終わった段階で一時保管中。

### 課題:

- ｜ 汚染水からの放射能除去メディアの開発、モデル化
- ｜ 二次廃棄物処理における水化学からのアプローチ

## 現状:

- PCV内部調査を通して、PCV内での燃料デブリの堆積状況が徐々に明らかになりつつある。
- 燃料デブリ取り出しが現実的な実施段階に移行すると、全体システムの一部として、切削や切断等の作業に伴う微粒子等の舞い上がり防止や、新たに溶出してくるイオン状成分の除去など、燃料デブリ性状を十分に把握した上での水処理システムの構築が必要。

## 課題:

- 燃料デブリ取り出し時の水質環境評価
- 燃料デブリ取り出し時の水処理システムの構築

## 現状:

- 一次廃棄物・二次廃棄物処理、燃料デブリ取り出し、燃料移送、等、廃炉推進のための種々のフェーズで、放射線分解による水素発生リスクが常に存在。また、運転中プラントの線支配と異なり、局所的に線、線が寄与するため、様々な線源による水素発生量の評価手法の確立が急務。
- 海水成分の存在により水素発生量が増大する傾向が見られるように、水の放射線分解による水素発生量は、放射線の種類や強度、含有される不純物の種類や濃度に大きく依存。

## 課題:

- および、ラジオリシスによる水素発生挙動の評価
- 不純物存在下での水素発生挙動の評価

## 現状:

- 1F事故においては、緊急的な措置として原子炉および使用済燃料プールに海水注入が実施され、系統・機器の耐食性評価が課題となった。
- 原子炉格納容器の健全性評価は、廃炉作業を実施して行く上で安全上必須で、事故後の水質環境に鑑みた長期にわたる腐食対策の検討が必要。

## 課題:

- 海水注入時の構造材料健全性評価
- 長期的な構造材料健全性評価



## 現状:

- | 今後の燃料デブリ取り出しを初めとする廃炉作業の推進に当たっては、作業従事者の被ばく低減対策を適切に講じることが要求される。
- | 被ばく線源としては、Csを中心とする 線放出核種、Srを中心とする 線放出核種、U、Pu、その他TRU核種等の 線放出核種があり、それらのPCV内や原子炉建屋内の存在形態、正確な放射能付着分布を把握することが必須。

## 課題:

- | 既存知見に基づくFP/TRU核種の移行挙動の解析評価
- | 1F実機での実測データの採取とそれに基づくベンチマーク評価
- | 廃炉推進の各作業における作業従事者の被ばく線量評価

**HITACHI**

