



日本原子力学会シンポジウム
「東電福島第一原子力発電所廃炉への取り組み～過去・現在・未来～」
2016年3月6日@フクラシア東京ステーション

(第2部 講演3)

事故炉の廃炉の現状と課題

日本原子力学会
廃炉検討委員会委員長
法政大学

宮野 廣

目次

1. 学会の体制
2. 事故後と現在の状況
3. 廃炉に向けた取り組みの全体像
4. 廃炉の技術課題
5. 論点(課題)～学会としての視点と取り組み
6. 学会としての今後の取り組み方

1. 学会の体制

○福島第一の廃炉に向けての活動

- 極めて長期、世界が関心と懸念
- 学会の貢献が求められている。
- 学会の定款変更(事故炉の支援活動は主要な柱の一つ)

○目的

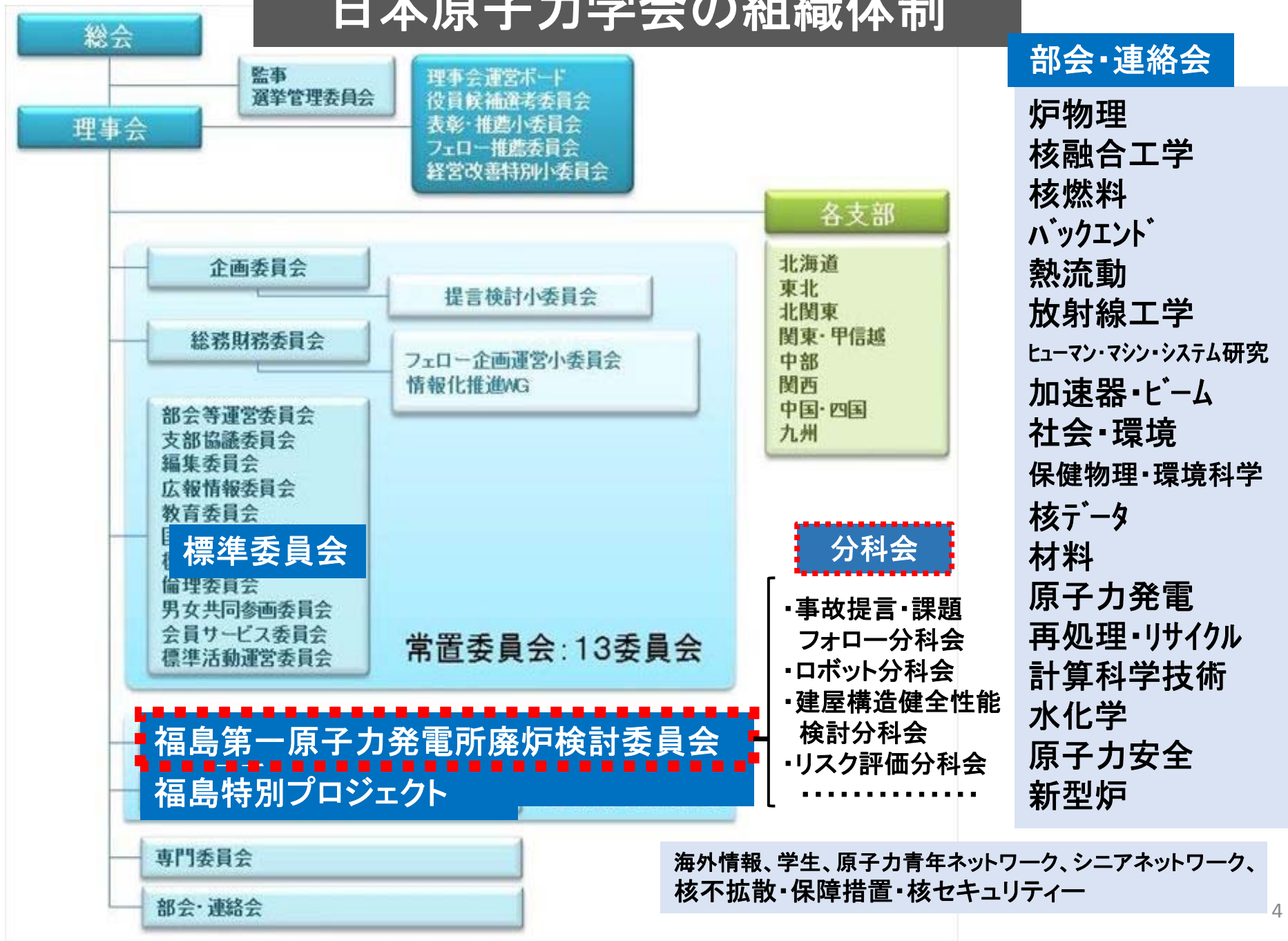
- (1) 安全かつ円滑な廃炉に貢献する。
- (2) 福島第一の廃炉について、課題の抽出と対応策の検討など”学術”としての専門性を活かし支援を行う。併せて、情報を共有し、活用に学会内の活動を集約する。
- (3) 事故から得られた教訓(Lessons Learned)および未解明事項のフォロー。

○活動方針

- ・ 新たな知見を効果的に活用すべく、学会等での規格基準化、標準化を図る。
- ・ 福島第一の廃炉に関する俯瞰的な視点での検討を独自に行い、成果を提言する。
- ・ 特定の技術課題について掘り下げた検討が必要なものについて、部会・連絡会との連携、分科会等を設置して検討する。
- ・ 毎年の活動は、学術会議で公開報告、討論する。毎年、報告書(年報)を発刊公表する。

1. 学会の体制

日本原子力学会の組織体制



2. 事故後と現在の状況

○ 福島第一原子力発電所の現状（現状と課題）（出典：東京電力HP／経済産業省HP資料を基に作成）

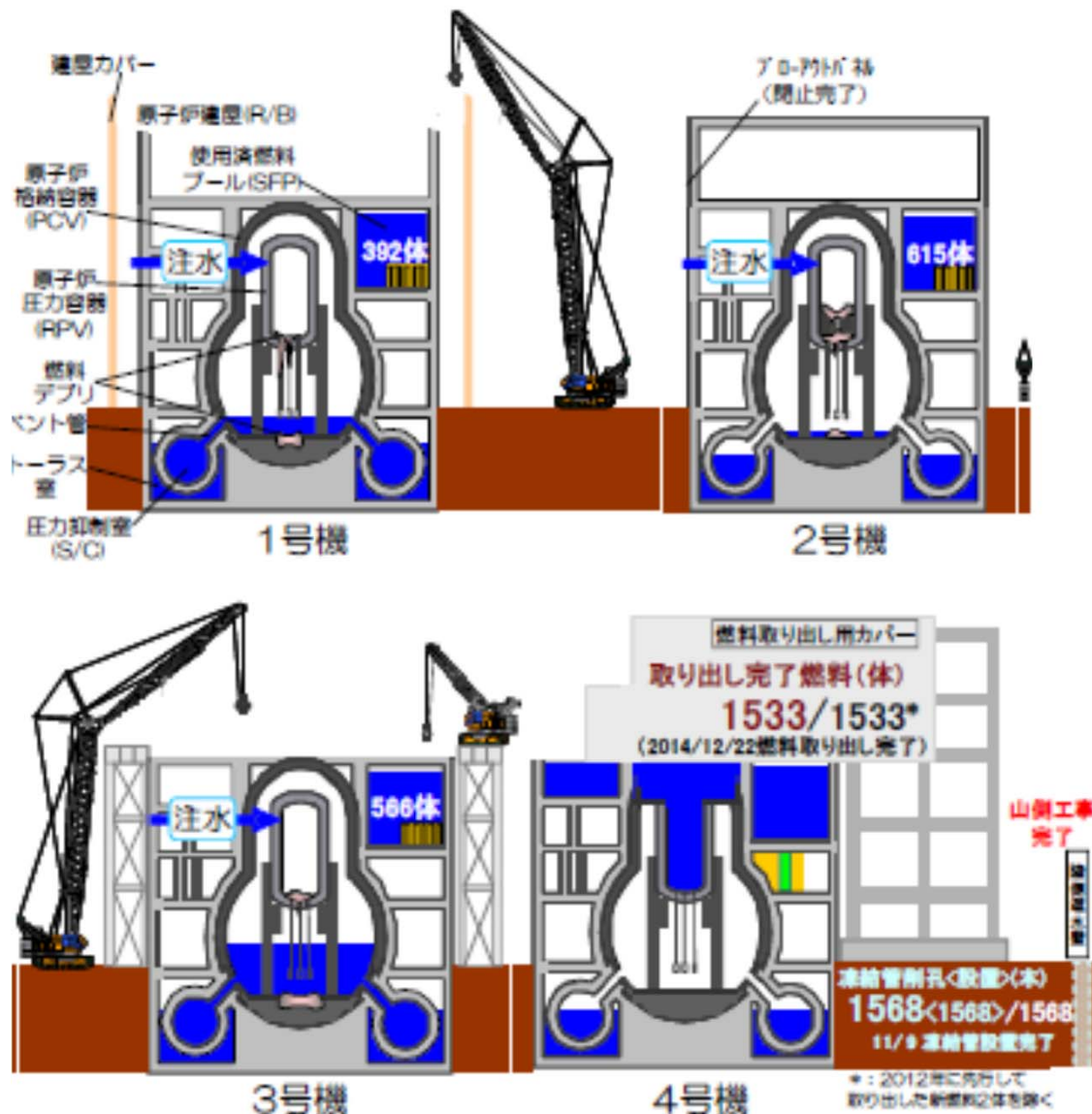
| | | |
|-----|---|--|
| 1号機 | <p>現状</p> <p>水素爆発した原子炉建屋にカバーを設置(2011年10月) 使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた建屋カバー撤去</p> <p>課題</p> <p>原子炉建屋上部及びプール内ガレキ状況の把握 建屋カバー撤去期間中の放射性物質の飛散防止</p> |  <p>2011年3月12日撮影</p>  <p>2014年12月撮影</p> |
| 2号機 | <p>現状</p> <p>ブローアウトパネルを閉止し、放射性物質の飛散を抑制</p> <p>課題</p> <p>原子炉建屋内の線量低減対策</p> |  <p>2011年4月10日撮影</p>  <p>2012年8月15日撮影</p> |
| 3号機 | <p>現状</p> <p>原子炉建屋上部のガレキ撤去が完了(2013年10月) 使用済燃料プール内ガレキ撤去作業終了し、燃料取り出し作業に向け準備中</p> <p>課題</p> <p>線量が高いため、線量低減対策を遠隔操作重機で安全かつ着実に実施</p> |  <p>2012年2月12日撮影</p>  <p>2013年10月11日撮影</p>  <p>燃料取り出し用カバーイメージ</p> |
| 4号機 | <p>現状</p> <p>使用済燃料プールからの燃料取り出し完了(2014年12月22日完了)</p> <p>課題</p> <p>建屋解体を含む本格的な廃炉作業の検討</p> |  <p>2011年9月22日撮影</p>  <p>2013年11月12日： カバー工事完了</p>  <p>2014年12月22日： 燃料取り出し完了</p> |

<事故後の取組みの進展が非常にわかりやすく説明されている最新版ビデオ(エネ庁作成、1月28日公表)>

http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osensui/index.html#movie

2. 事故後と現在の状況

各号機の状態



1号機： 事故直後に放射性物質の飛散防止のために設置した建屋カバーを撤去し、オペフロ上の瓦礫撤去の開始へ

2号機： 水素爆発が起きずに建屋が健全。今後、この建屋屋根を解体し、プール燃料取り出し用のカバーを設置することが課題。

3号機： オペフロ上、プール内の瓦礫を遠隔装置で撤去した後、設計を終えているプール燃料取り出し用カバーの設置へ

4号機： プール燃料取り出し完了済み

(出典：廃炉・汚染水対策チーム事務局会議資料(2016年1月28日))

2. 事故後と現在の状況

サイト内敷地汚染と汚染水



(出典: 廃炉・汚染水対策チーム事務局会議資料
(2016年1月28日))

1. 汚染源に水を「近づけない」凍土方式(土を凍らせる方法)による地下水の流入を防ぐ「陸側遮水壁」の設置や、建物に流れ込む前に地下水を汲み上げ海に放出する「地下水バイパス」等を行い、汚染水になる量を減らす。
2. 汚染水を「漏らさない」「福島第一」の護岸に、鋼管製の杭を打って「海側遮水壁」をつくり、汚染水を海に漏らさないようにする。
3. 汚染源を「取り除く」最新設備(多核種除去設備など)を用いて、タンクに貯めている高濃度汚染水からトリチウム以外の放射性物質を除去し、濃度を十分低くする。



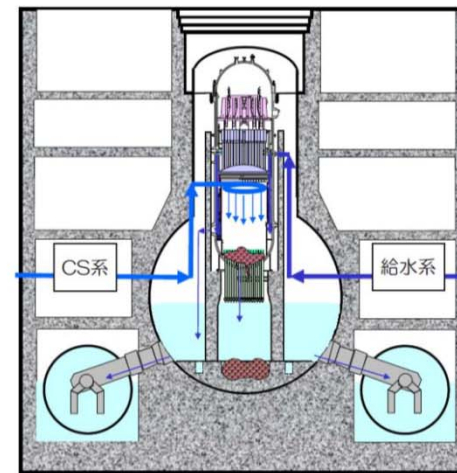
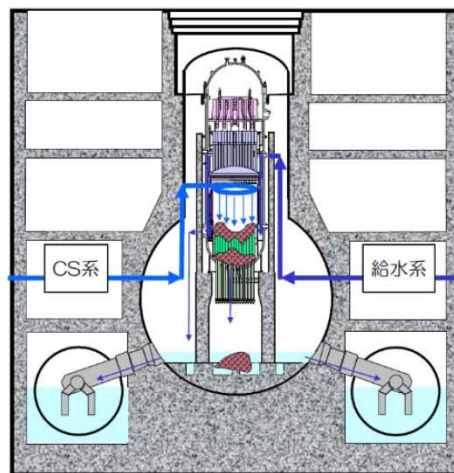
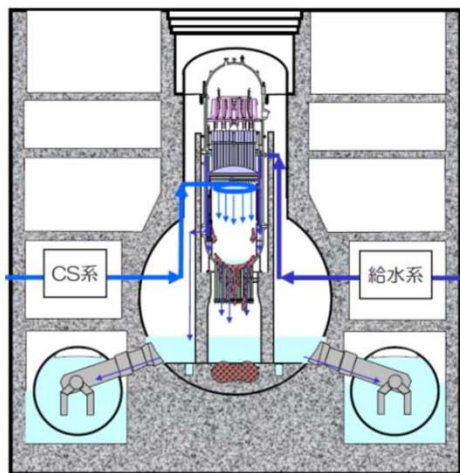
(出典: 経済産業省「廃炉の大切な話(平成28年2月)」)7

2. 事故後と現在の状況

プラントの内部状況(1~3号機)

これまでの検討から推定されるプラントの状況

「技術戦略プラン2015」NDF



1号機

2号機

3号機

プラント調査状況

- D/W内水位は底部から約3m程度
- S/C内水位はほぼ満水
- サンドクッションドレン管からの漏えい確認
- S/C真空破壊ラインの伸縮継手カバーからの漏えい確認
- 原子炉建屋1階南東エリアに線量高い(数Sv/h) 個所有

- D/W内水位は底部から約30cm程度
- S/C内水位は中央付近、トラス室水位とほぼ同等
- トラス質上部に漏えい痕跡なし
- RPVペDESTAL開口部から内部を撮影した写真よりRPV下部の構造物確認、RPV底部の破損は大規模でない可能性

- D/W内水位は底部から約6.5m程度 (D/WとS/Cの差圧より推定)
- S/Cはほぼ満水
- 主蒸気配管Dの伸縮継手周辺からの漏えい確認

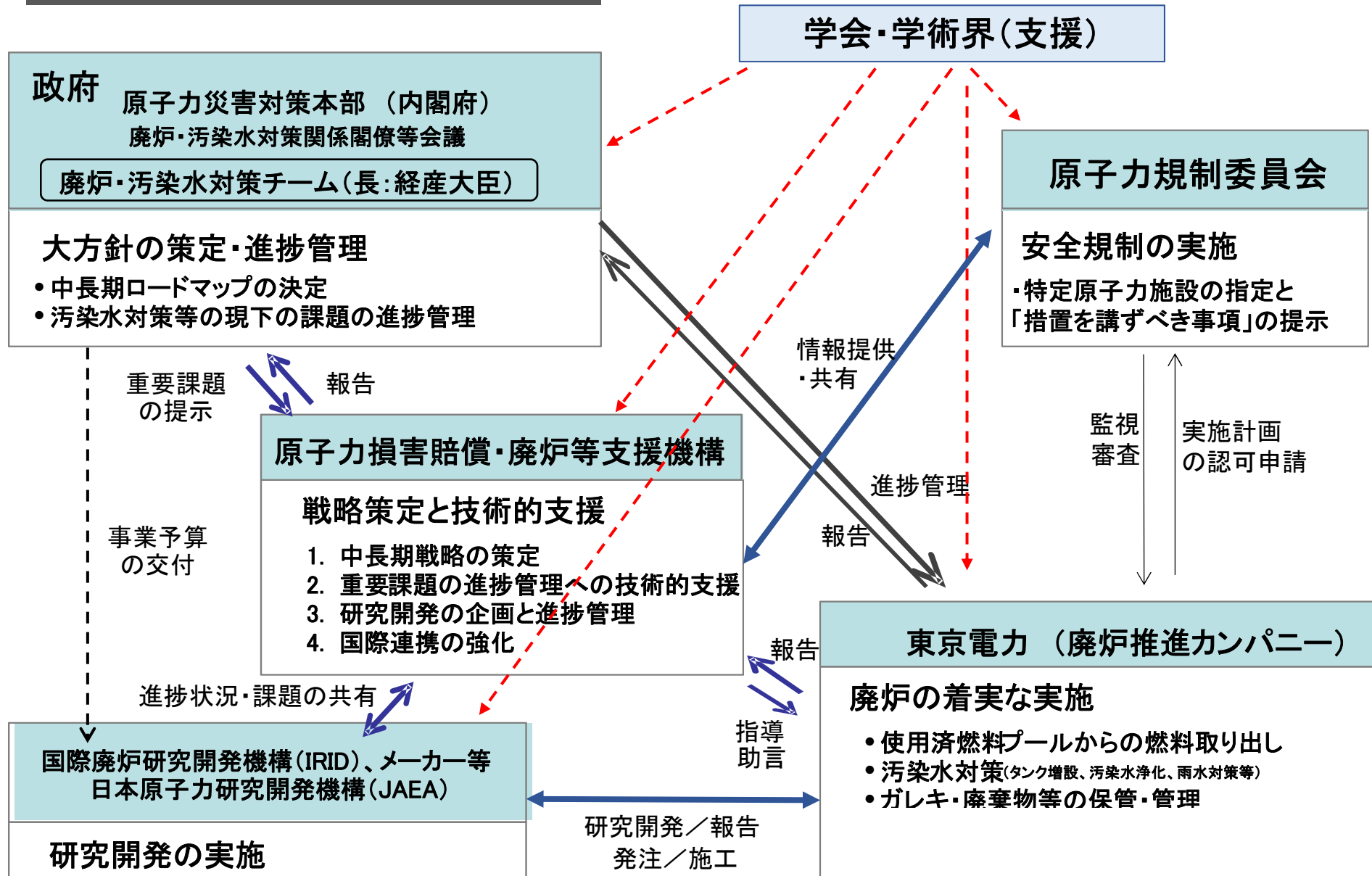
燃料デブリの位置推定の

- 燃料デブリはほぼ全量下部プレナムへ落下、炉心部にほとんど燃料残存無
- 下部プレナムに落下した燃料デブリは大部分がD/W底部に落下
- RPVペDESTAL外側にも存在範囲が拡大(シェルアタックの可能性有)

- 燃料デブリの一部は下部プレナムへ落下、また一部はD/W底部に落下、一部は炉心部に残存 (RPVペDESTAL外側には無い可能性あり)

3. 廃炉に向けた取組みの全体像

体制と方針（全体像）



3. 廃炉に向けた取組みの全体像


事故炉に対する規制・制度

- 原子力災害が発生し、応急の措置を講じた施設に対して、施設の状態に応じた適切な方法による安全管理を講じさせるため、「特定原子力施設」に指定（平成24年11月7日）。
- 安全確保の基本的な考え方となる「措置を講ずべき事項」を提示し、東京電力に「実施計画」の提出を求めるもの。

「特定原子力施設」のねらい

- 長期にわたる廃炉作業に向けた「**見通しある規制**」
- 東京電力福島第一原子力発電所の**実態に合わせて特化した安全確保**
- 原子力規制委員会の**積極的なコミット**を可能にする法的裏付け

（出典：原子力規制庁ウェブページ www.nsr.go.jp/data/000025796.pdf）

- 
- フレキシブルな運用
 - 長期を見通した技術の施工
 - 安全確保策の提案と裏付け

3. 廃炉に向けた取組みの全体像

目標の設定・戦略策定・実行計画

国プロとしての目標、政策

政府が決定する戦略、方針、計画の重要要素

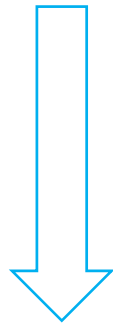


① 戦略

目標の実現に向けた取り組みや判断の考え方、優先順位等

リスク低減のための方策

1. 安全
2. 確実
3. 合理的
4. 迅速
5. 現場指向



② 戦略実行のための具体的な方針

取り組みや判断に係る具体的な方針・要件

③ 戦略実行のための統合的な計画

現場作業、研究開発等の取り組みに関する統合的な計画



③

東京電力、研究機関等による具体的計画
(現場作業、エンジニアリング、研究開発)

(出典：NDF戦略プラン2015より)

アイディアの提供
と研究開発の実施

①

「中長期ロードマップ」

いかに目標を達成させるか、英知を集合させる

②

「戦略プラン」の提案

(正式名称：
東京電力(株)福島第一
原子力発電所の廃炉のため
の技術戦略プラン2015)

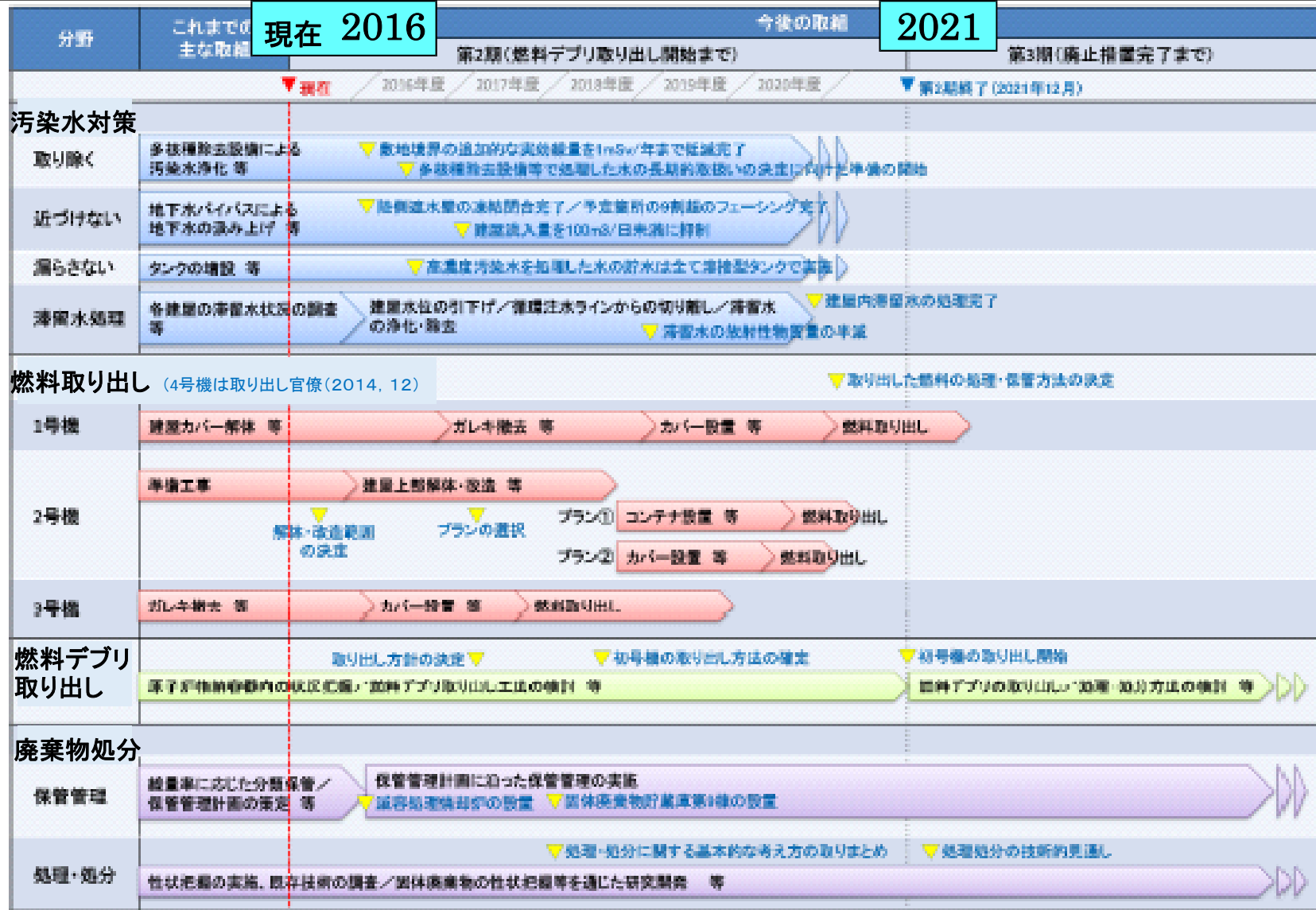
施策の評価と提言
知見の提供

③

・東京電力による廃炉の遂行
・メーカー、研究機関等による
研究開発

3. 廃炉に向けた取組みの全体像

中長期ロードマップ（改訂2016年6月） 1/2



3. 廃炉に向けた取組みの全体像

中長期ロードマップ（改訂2016年6月） 2/2



3. 廃炉に向けた取組みの全体像

中長期ロードマップ（改訂2016年6月）

1. リスク低減の重視

スピード重視

汚染水、プール内燃料
燃料デブリ
固体廃棄物、水処理二次廃棄物

リスク低減重視

スピードだけでなく、長期的にリスクが確実に下がるよう、優先順位を付けて対応

可及的速やかに対処

周到的準備の上、安全・確実・慎重に対処

長期的に対処

2. 目標工程(マイルストーン)の明確化

地元の声に応え、今後数年間の目標を具体化

3. 徹底した情報公開を通じた地元との信頼関係の強化等

福島評議会の設置(昨年2月)

コミュニケーションの更なる充実

(廃炉に係る国際フォーラム等)

4. 作業員の被ばく線量の更なる低減・ 労働安全衛生管理体制の強化

5. 原子力損害賠償・廃炉等支援機構(廃炉技術戦略の司令塔)の強化

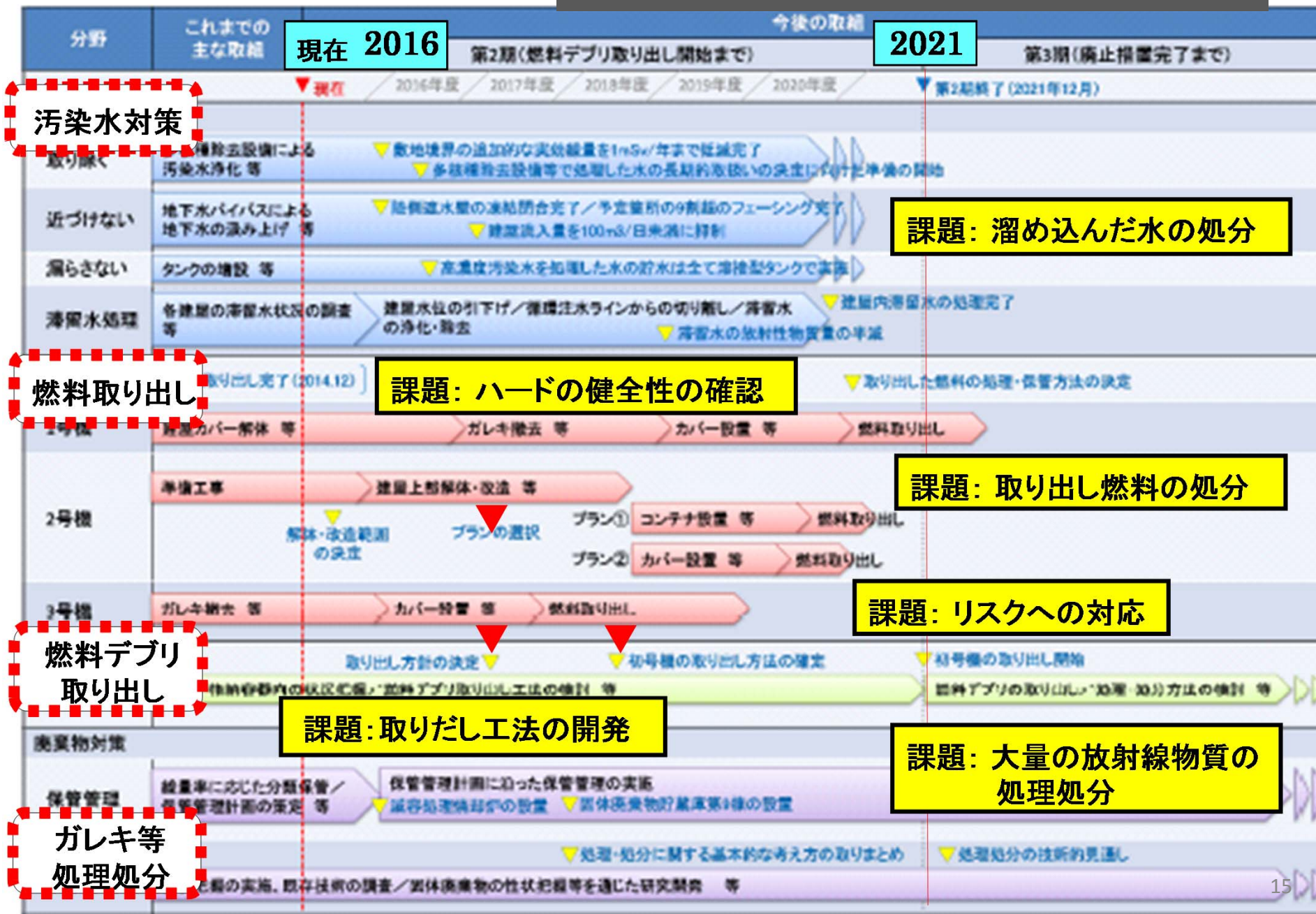
原賠・廃炉機構の発足(昨年8月)

研究開発の一元的管理・国内外の叢智結集

(出典:中長期ロードマップ改定について(平成27年6月12日、内閣府廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議決定))

3. 廃炉に向けた取組みの全体像

ロードマップ の課題



3. 廃炉に向けた取組みの全体像

叡智を結集する研究開発体制

日本原子力学会
「福島第一原子力発電所
廃炉検討委員会」

- ロボット分科会
ロボット学会との連携
- 建屋の構造性能検討分科会
建築・土木分野との連携
- リスク評価分科会
規制、事業者、メーカほか関連機関
の集合
- 廃棄物対策分科会(開設予定)
化学工学会ほかとの連携
- 事故調提言フォロー分科会
提言フォローの継続・見直し
未解明事象の検討

<廃炉研究開発連携会議>

(2015年7月発足)

- 実用化研究・応用に加え、基盤・基礎研究の
重要性が一層高まるとの認識のもと設立
(NDFが議長、事務局)
- ニーズ・シーズのマッチング、一層の情報共有
に向けた取組みに着手(JAEAによる「研究拠点
施設」、「廃炉基盤研究プラットフォーム」構想と
密接に連携)
- 日本原子力学会としても連携・協力を図る。

【JAEAによる大規模拠点・国際連携拠点整備】



モックアップ試験施設
(楢葉遠隔技術開発センター)
遠隔操作機器の開発・実証(除
染、観察、補修)等を実施



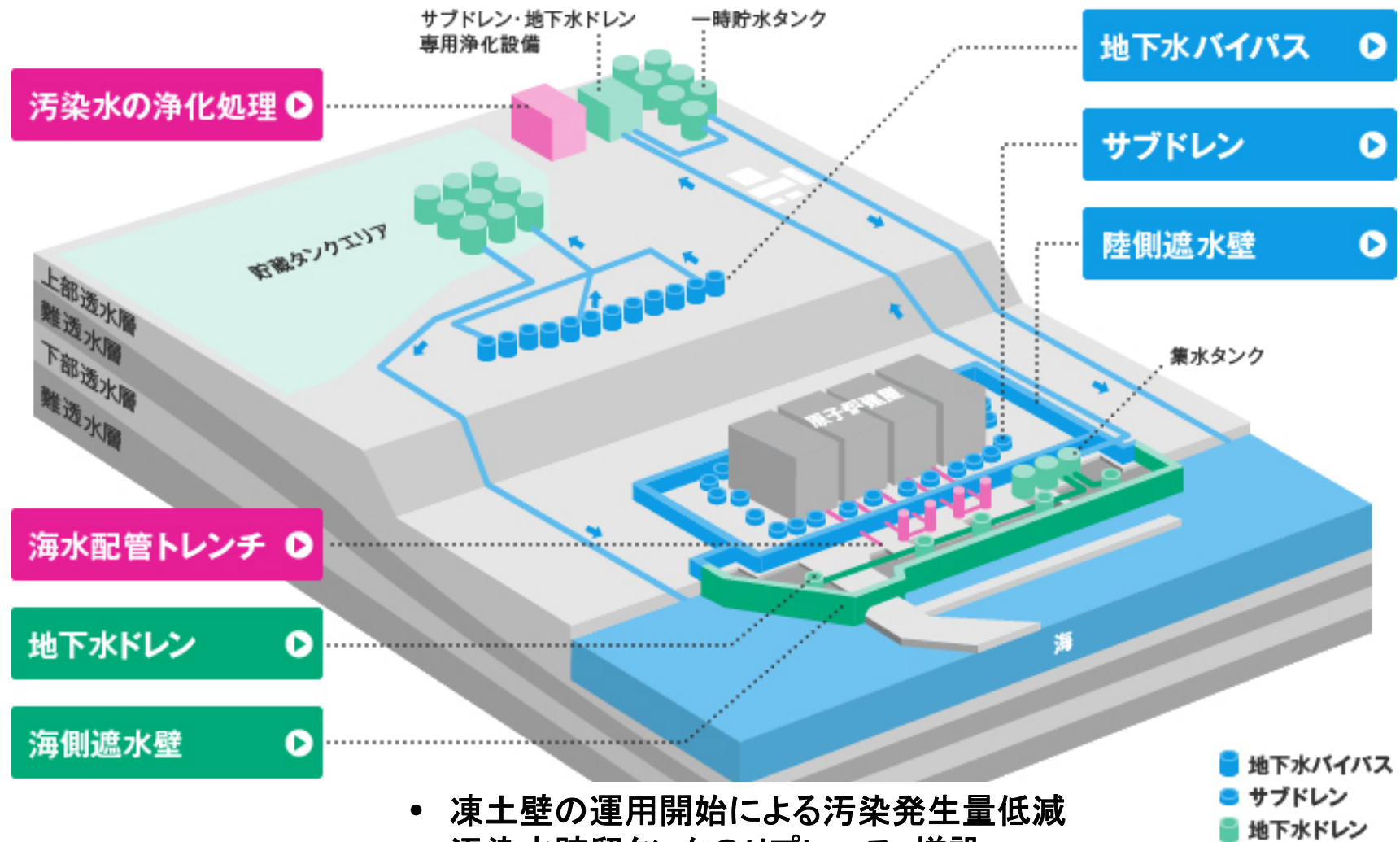
分析研究施設
難測定核種の分析、モニタリ
ング手法の開発等を実施



廃炉国際共同研究センター
国内外の英知を結集し、研究開発
と人材育成を一体的に進める拠点

4. 廃炉の技術課題

汚染水の扱い

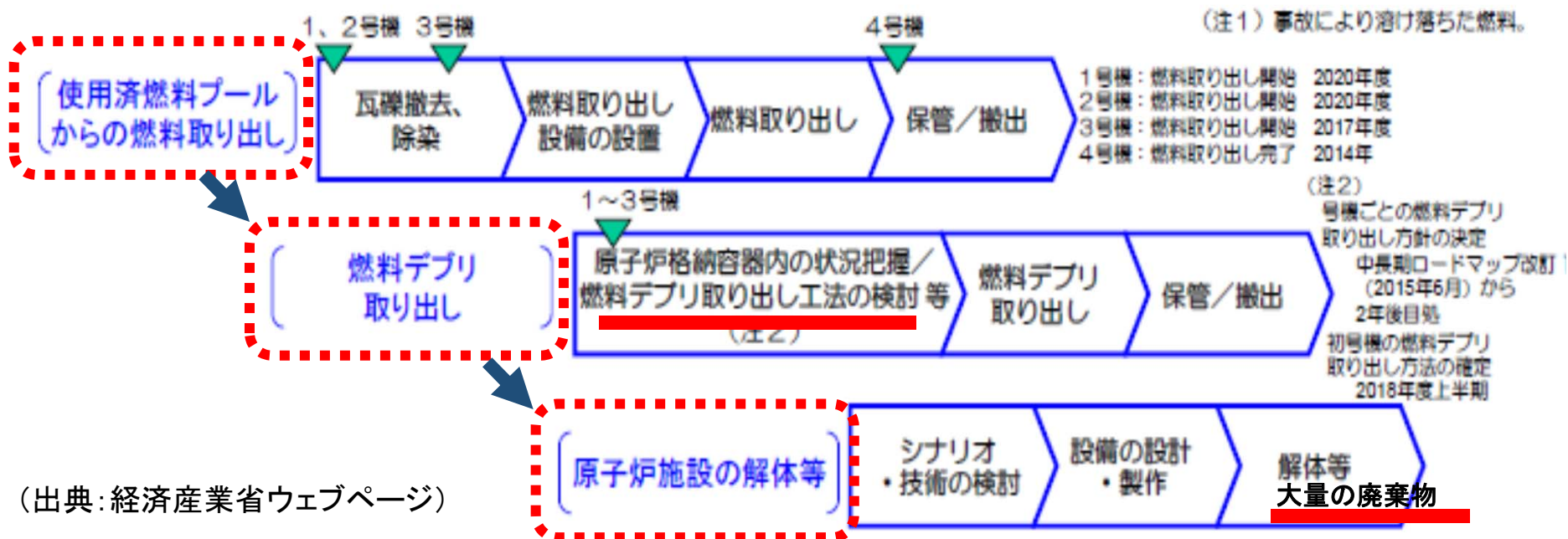


- 凍土壁の運用開始による汚染発生量低減
- 汚染水貯留タンクのリプレース・増設
- タンク中のトリチウム水の処理方針の検討

(出典: 東京電力ウェブページ)

4. 廃炉の技術課題

廃炉の手順と課題



【4号機の燃料取り出し用カバー内部】



原子炉建屋



3号機燃料取り出し用カバーイメージ図

4. 廃炉の技術課題

炉内状況調査

放射能レベルが高く、建屋内へのアクセスが困難である中、様々な調査のニーズ

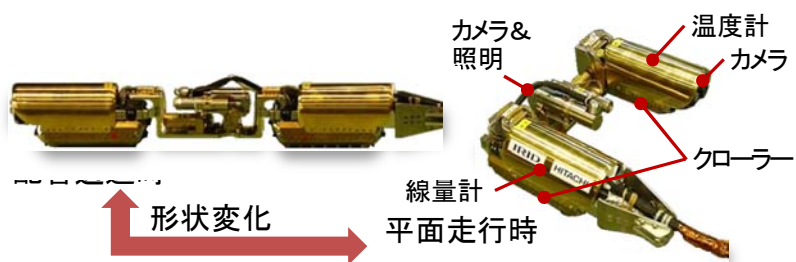
- 遠隔機器(ロボット技術)の活用

- 除染・線量低減策

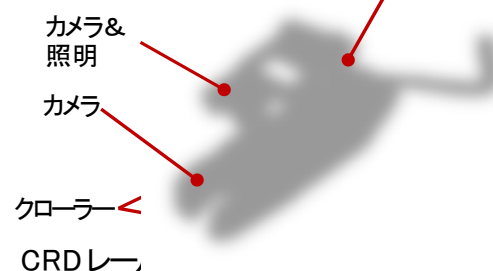
が 鍵(キーポイント)

PCV内部調査ロボットの開発

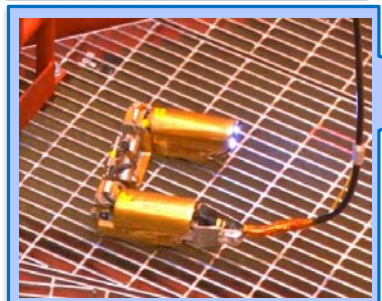
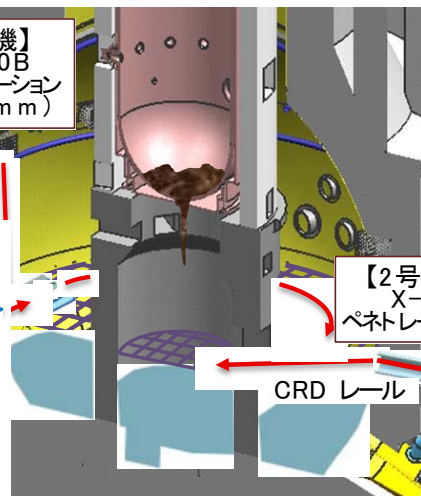
形状変化型ロボット(1号機)



クローラ型遠隔操作ロボット(2号機) 起き上がり機構



【1号機】
X-100B
ペネトレーション
(φ115mm)



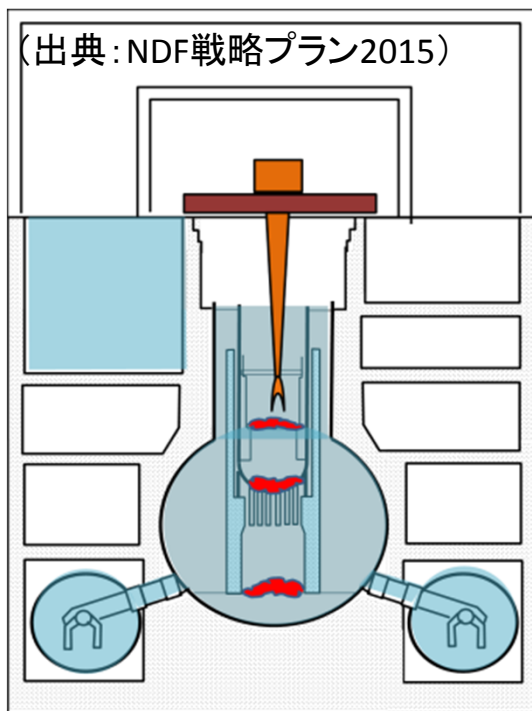
(出典:IRID資料)

4. 廃炉の技術課題

燃料デブリ取り出し方法の選定

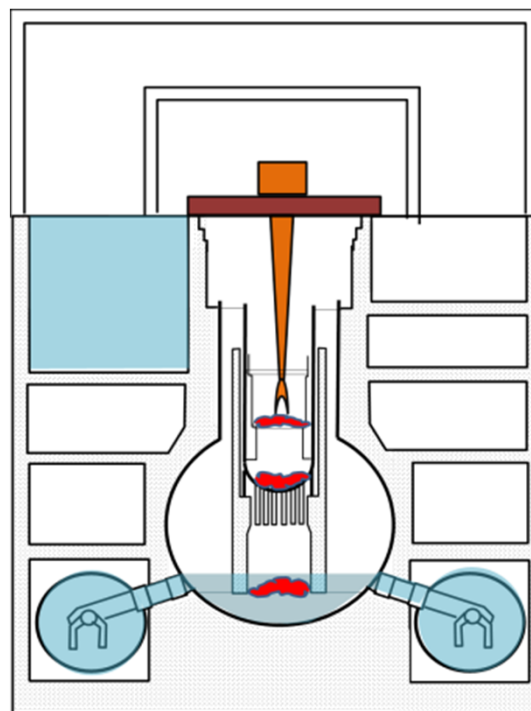
- 2017年夏頃 : 号機毎の方針の検討
- 2018年上半期: 初号機の方法の確定

- 構造健全性の確保
- 漏えいの防止、
- 放射性物質の拡散防止
- 遠隔自動化



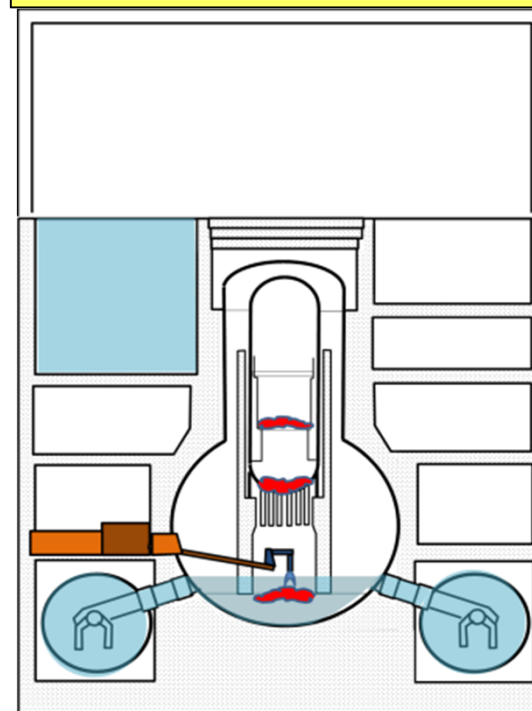
冠水-上アクセス工法

燃料デブリ上方の炉内構造物取り出しが完了していることを前提としたイメージ



気中-上アクセス工法

燃料デブリ上方の炉内構造物取り出しが完了していることを前提としたイメージ



気中-横アクセス工法

PCV内RPVペDESTAL外側の機器、干渉物撤去が完了していることを前提としたイメージ

4. 廃炉の技術課題

燃料デブリ取り出し方法の選定（課題）

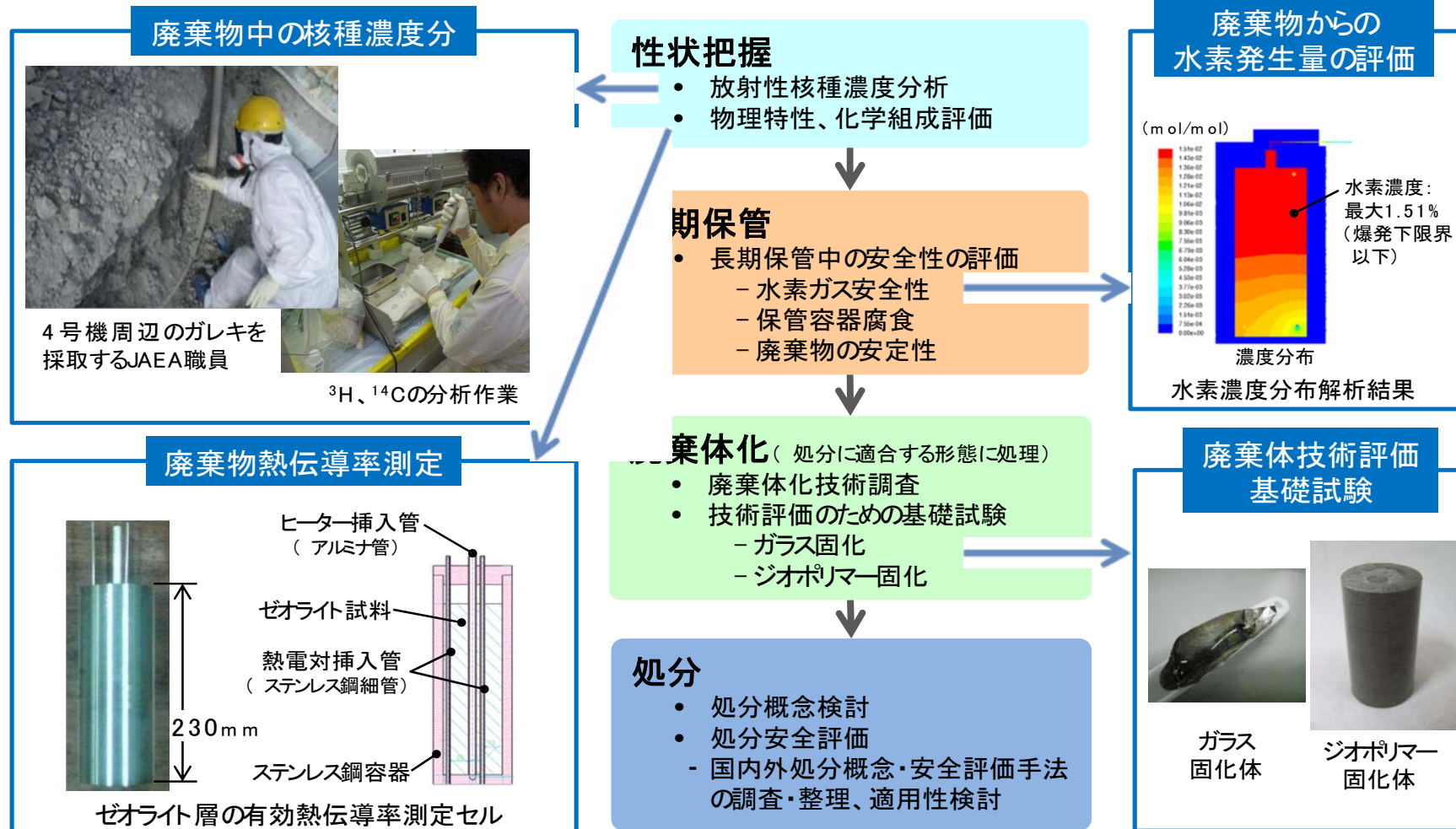
| 技術要件 | 冠水工法 | 気中工法 |
|----------------------|------------------|---------------------------|
| 1. PCV・建屋の構造健全性の確保 | ☆ 冠水時等の荷重及び経年劣化等 | ○ |
| 2. 臨界管理 | ☆ 水位上昇時等の未臨界性の維持 | ○ |
| 3. 冷却機能の維持 | ○ | ☆ 燃料デブリの空冷可能性 |
| 4. 閉じ込め機能の構築 | ☆ PCV補修及び水位管理 | ☆ 放射性ダストの飛散 |
| 5. 作業時の被ばく低減 | ◎ 原子炉建屋内の除染 | ☆ 高放射線の遮へい ◎ 原子炉建屋内の除染 |
| 6. 労働安全の確保 | ○ | ○ |
| 7. 燃料デブリ取り出し機器・装置の開発 | ◎ 装置の保守 | ☆ 耐放射線性 ◎ 装置の保守 |
| 8. 燃料デブリへのアクセスルートの構築 | ◎ | ◎ |
| 9. 系統設備、エリア構築 | ○ | ○ |
| 10. 収納・移送・保管 | ◎ | ◎ |

4. 廃炉の技術課題

廃棄物対策

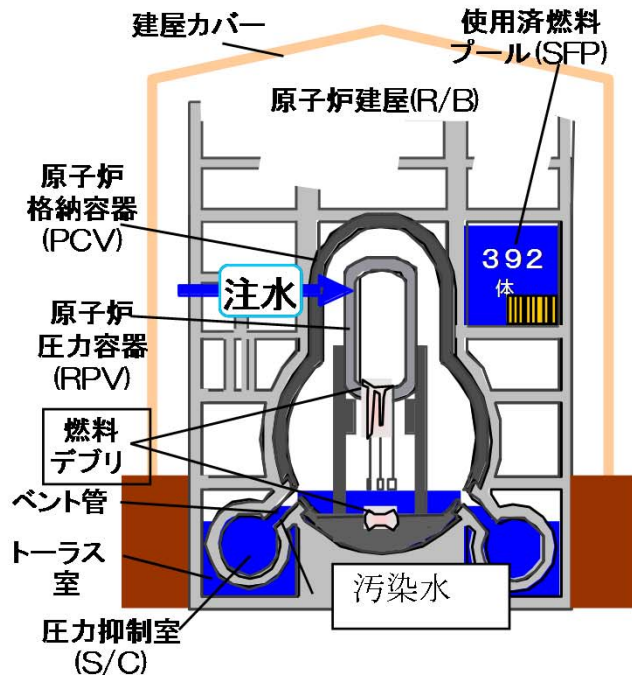
廃棄物の処分までの流れと研究項目

(出典: IRID資料)



- 2017年度内に「廃棄物の処理・処分にに関する基本的な考え方」を取りまとめ。
- 2021年度頃までに、処理・処分における安全性に関する技術的な見通しを得る。

5. 論点(課題)～学会としての視点と取組み～



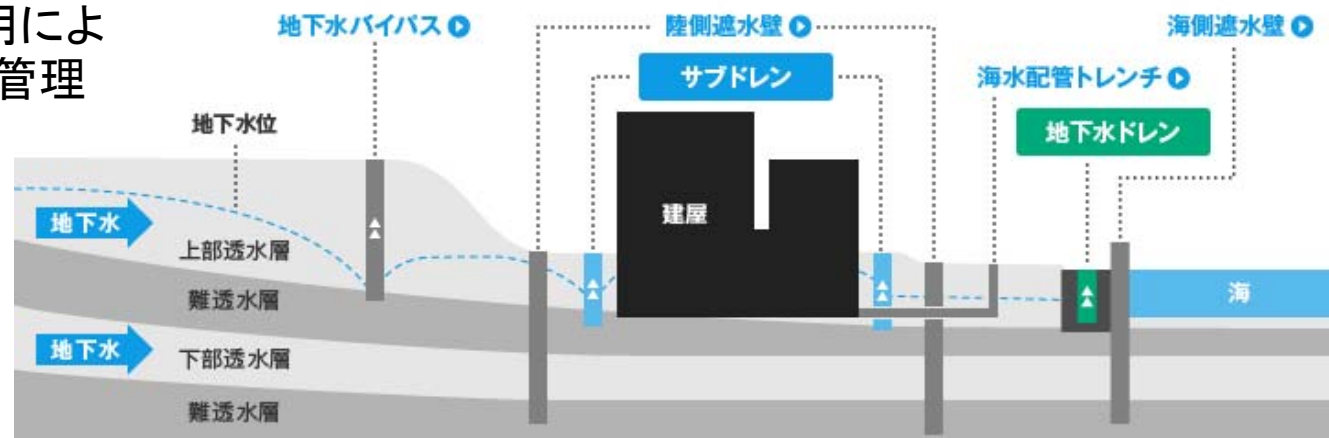
- | | |
|-------------------|------------|
| 廃炉におけるリスク同定とリスク対応 | (リスク評価分科会) |
|-------------------|------------|
- | | |
|-------------------|----------------|
| 建屋・構造物の長期に渡る健全性評価 | (建屋の構造性能検討分科会) |
|-------------------|----------------|
- | | |
|-----------------------|-----------|
| 廃炉におけるロボット(高機能自動機)の活用 | (ロボット分科会) |
|-----------------------|-----------|
- | | |
|--------------|-------------------|
| 放射性廃棄物・汚染水処理 | (廃棄物対策分科会) [設置予定] |
|--------------|-------------------|

福島第一原子力発電所の廃炉への課題

5. 論点(課題)～学会としての視点と取組み～

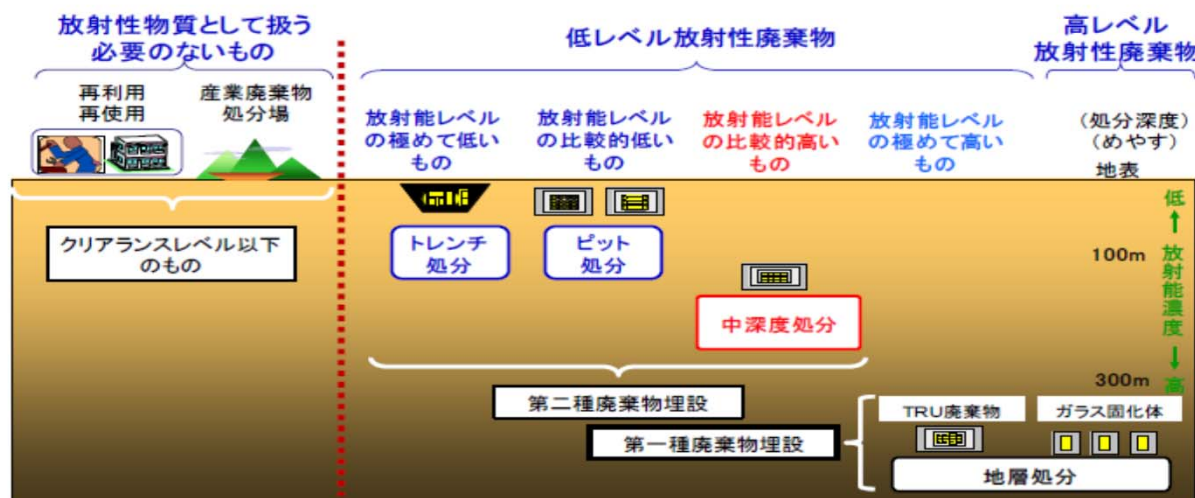
汚染水、廃棄物の中長期的な管理と取扱い

サブドレン、遮水壁の併用による地下水流入・建屋水位管理



(出典:東京電力ウェブページ)

事故で発生した廃棄物の性状把握を踏まえた処分方針検討



(出典:原子力規制庁ウェブページ)

→ 広い分野を集約し、長期的な課題も含めて検討を進め、早期対応に貢献する。

5. 論点(課題)～学会としての視点と取組み～

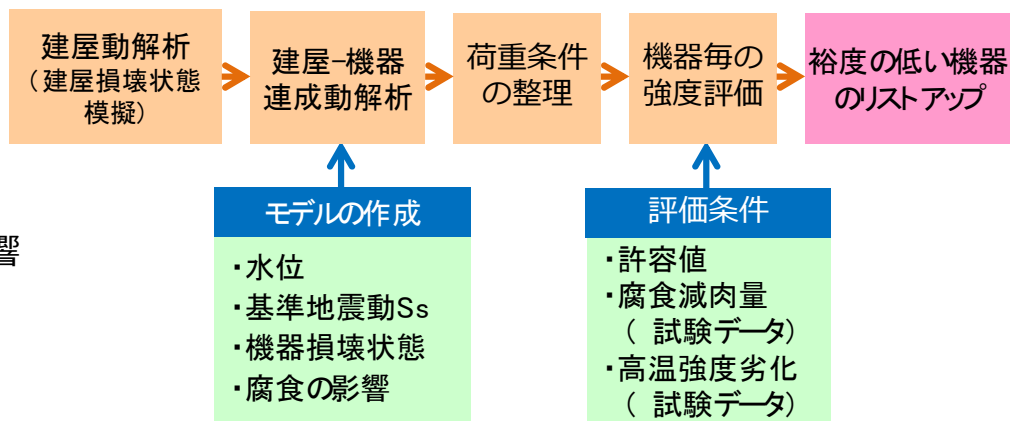
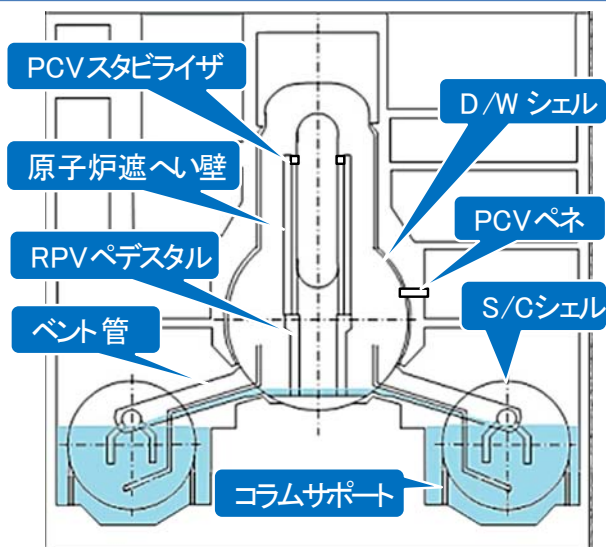
建屋健全性

余寿命評価の概略フロー

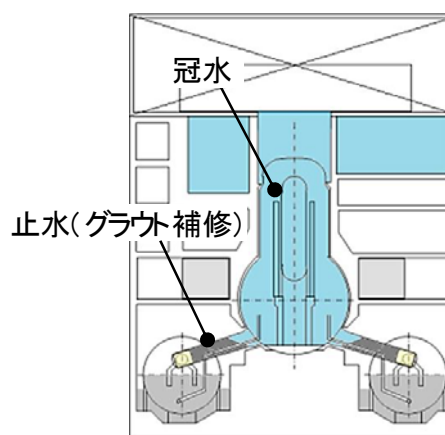
炉心から燃料デブリを取り出すまでの間、
長期間にわたって原子炉の構造健全性を
維持する方策が必要

- 燃料溶融時の高温状態の影響
- 海水注入、異物混入による腐食の影響
- 水素爆発などによる機器損壊状態の影響
- デブリ取出し工法の影響
- 地震再発の影響

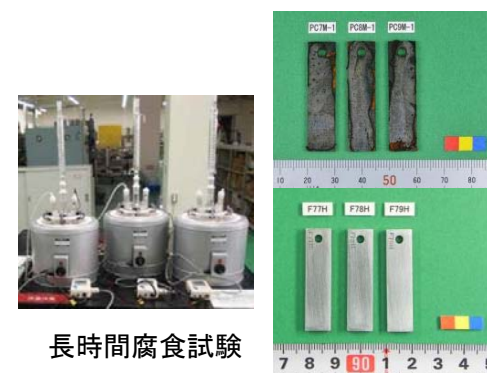
健全性評価ポイント例



想定されるプラント状態



長期の腐食減肉量の予測の高度化



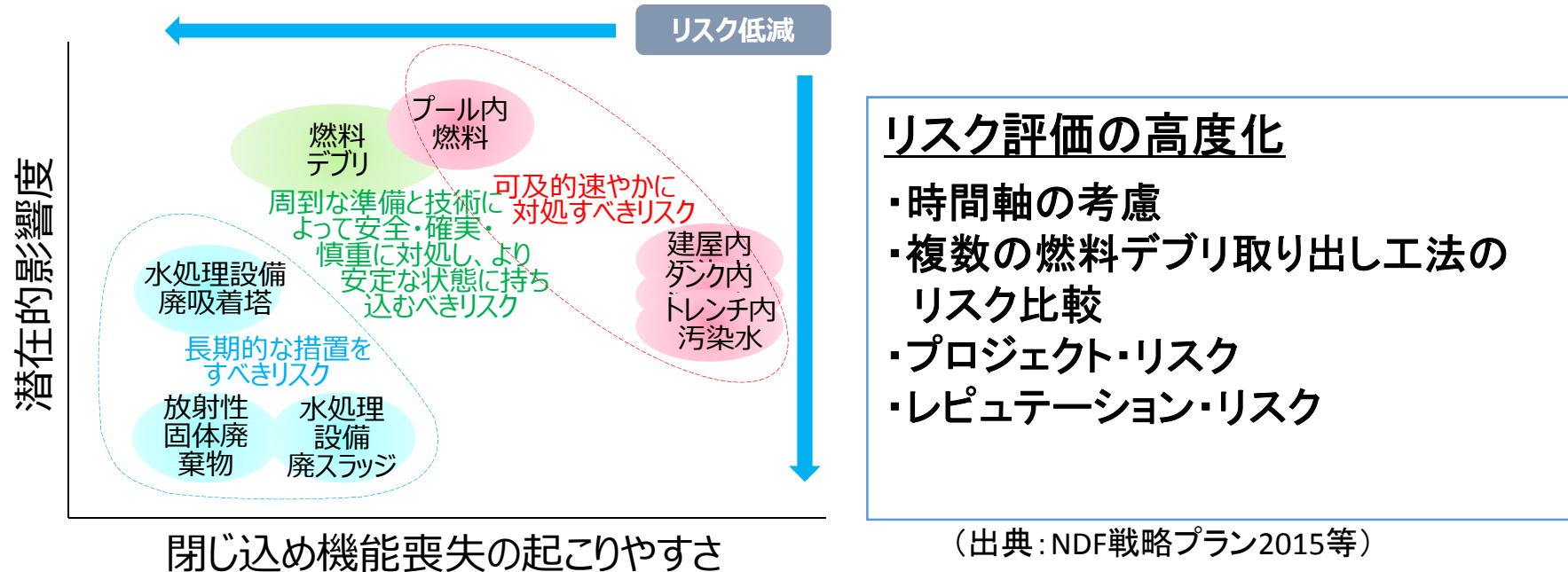
腐食抑制策比較
(出典: IRID資料)

→ 工法を左右する重要な中期的な課題に分野横断で検討する。

5. 論点(課題)～学会としての視点と取組み～

リスク／リスク評価

リスク評価 (1Fサイトの放射性物質によるリスク)



1Fサイトのリスクについて、適切に評価・共有することがスタート

- ① 関係機関によるリスク認識の共有とリスク評価に基づく優先付け
- ② 社会により、リスク認識の共有

→ 学会の場で広い学術分野、組織・機関の意見を集約し抜けない評価、手法の開発を行い、リスク回避に貢献

5. 論点(課題)～学会としての視点と取組み～

遠隔技術

◎施工内容

燃料デブリ取出し3工法を対象として、各工法の実現性を評価するために必要な要素技術の開発・評価を行う

◎燃料デブリ取出し作業の開発課題

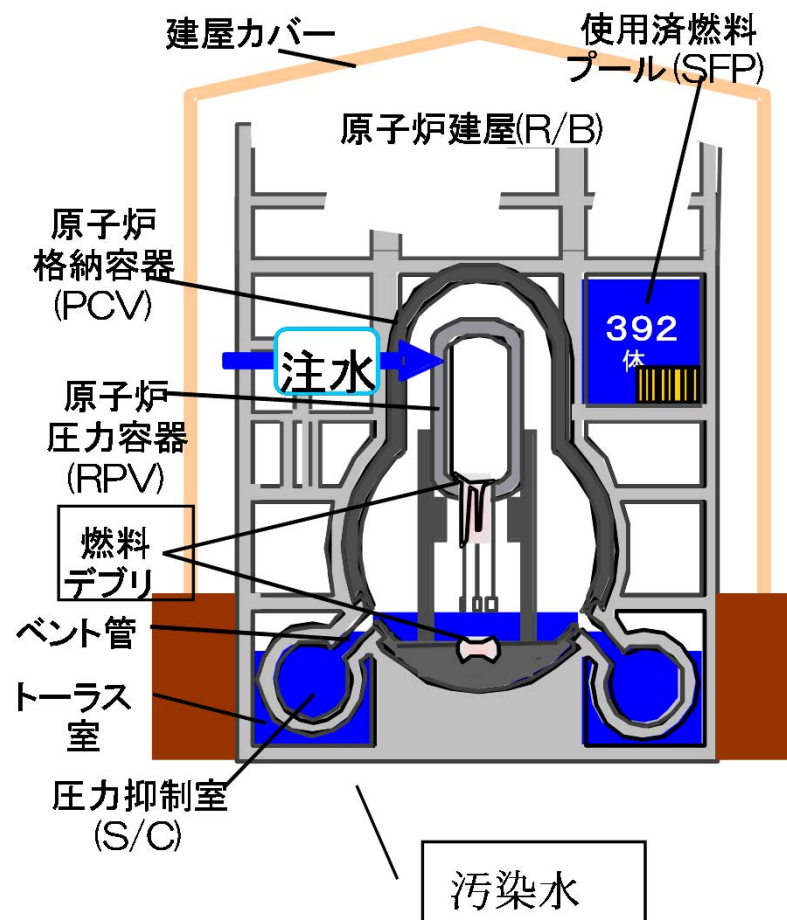
工法によらず、燃料デブリ取出し作業共通の課題で主なものは下記。

- ①燃料デブリ切断
- ②遠隔作業
- ③汚染拡大防止
- ④遮へい
- ⑤臨界防止

◎要素技術開発

- 以下の要素技術開発がある
- (1)汚染拡大防止技術
 - (2)燃料デブリへのアクセス技術
 - (3)遠隔操作技術
 - (4)作業員の被ばく低減技術
 - (5)切削・集塵・視覚・計測技術

工法の成功の可否は、遠隔自動技術(ロボット技術)に依存する。



→ 工法の判断、実現に重要な課題であり、学の集約が必須である。²⁷

5. 論点(課題)～学会としての視点と取組み～

更なる叡智の結集、戦略的な体制構築

- 人類史上例のない厳しい取組 (“ナショナル・チャレンジ”)
- 地域や作業員にとっての安全確保を前提とし、未来を担う世代に負の遺産を残さぬよう、迅速に、かつ、合理的に、戦略的に判断し、進めていく。
 - ◆ リスク認識を共有し、政府/規制/事業者に加え、地域のステークホルダーとの間で優先事項を共有
 - ◆ 原子力以外の広範な技術分野での知見・経験の活用
 - ◆ 中期的な課題も視野に入れた学際的な研究開発体制
- 廃炉への挑戦は、次なるイノベーションの始まりでもあるとの将来ビジョンを示し、人材・若手の確保・育成を強化。

6. 学会としての今後の取り組み方

「学」の取り組み-学会の役割

- 「学」としての広い分野の活用
 - ・原子力学会での 炉物理、から 流動、材料、安全と広い技術分野に対応した22部門の部会・連絡会の活用
 - ・**広く他学会との連携と融合した活動**
- 30年を超える長期にわたる活動を視野に入れた体制
 - ・シニアと若手の混合による知見、活動の**次世代への継承**（人材育成）
 - ・国際社会との連携による**知見の収集と集約**（情報基盤の整備）
- 自由な場を提供
 - ・自由な意見と発想
 - ・廃炉の技術分野、**原子力分野の活性化**

多くの方々のご協力を得て、この国家プロジェクトを支援して行きたい



日本原子力学会シンポジウム「福島第一原子力発電所 廃炉の現在と未来」

ご静聴いただきありがとうございました。