

燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書（概要）

令和6年3月7日
原子力損害賠償・廃炉等支援機構
燃料デブリ取り出し工法評価小委員会

目次

1. 検討の背景
2. 燃料デブリ取り出しの難しさ
3. 燃料デブリを取り出す方法
 - 3.1 気中工法
 - 3.2 冠水工法
 - 3.3 気中工法オプション（充填固化工法）
4. 工法選定への提言
5. 今後の進め方

1. 検討の背景

- **福島第一原発の燃料デブリは、炉内状況の調査やプラントパラメータの解釈から安定状態にあると解されるものの、この状態が長期にわたって継続される保証はなく、設備の経年劣化等を通じて少しずつリスクが高まっていくことが懸念される。このため、なるべく早く燃料デブリを回収して、中長期的に安全性を確保することが望ましい**
- **2030年代の大規模取り出し作業開始に向けて、設計検討の方向性を絞り込んだ上で、従来以上に具体的な設計検討を進め、技術的課題を抽出して精緻な検討を進めることで、より確実な工法とする作業を重ねていくことが必要**
- **燃料デブリの取り出しは、前例のない技術的挑戦であるとともに社会的・政策的課題でもあることから、不確かさが大きいなかで設計検討の方向性を絞り込むに当たっては、国・東京電力・NDFが協力して検討を進めるとともに、内外の技術的知見を集めた専門的かつ集中的な検討が必要**
- **このため、NDFの廃炉等技術委員会の下に「燃料デブリ取り出し工法評価小委員会」（以下「小委員会」という。）を設置し、安全性を大前提に総合的な検討・評価を実施**
- **小委員会で検討・評価した主な内容は以下の通り**
 - ✓ **各工法の課題の整理とその対応策**
 - ✓ **各工法の評価（技術成立性等）**
 - ✓ **工法選定への提言**
 - ✓ **今後の進め方**

1. 検討の背景

＜燃料デブリ取り出し工法評価小委員会 委員名簿＞（敬称略・50音順）

委員長	更田 豊志	前・原子力規制委員会	委員長
	糸井 達哉	東京大学大学院工学系研究科	准教授
	魚住 弘人	原子力エネルギー協議会	理事長
	岡本 孝司	東京大学大学院工学系研究科	教授
	桐島 陽	東北大学多元物質科学研究所	教授
	斉藤 拓巳	東京大学大学院工学系研究科	教授
	三浦 信之	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構	理事
	宮池 克人	前・中日本高速道路株式会社	代表取締役社長
	山本 章夫	名古屋大学大学院工学研究科	教授
	ハンス・ワナー	前・スイス連邦原子力安全検査局	長官

1. 検討の背景

<開催実績（1/2）>

回次	開催日	議題
1	令和5年 3月29日	・燃料デブリ取り出し工法検討の進め方について 等
2	4月18日	・安全確保の方針（気中工法）について ・気中工法（RPV注水）の概要と課題について 等
3	5月17日	・福島第一原子力発電所の地下水構造と汚染水対策について ・冠水工法の概要と課題について 等
4	6月6日	・燃料デブリ取り出しの必要性について ・気中工法オプションの概要と課題について 等
5	7月19日	・各取り出し工法の課題の整理等について 等
6	9月22日	・安全確保の在り方 [閉じ込め・遮へい（耐震関係）] について ・課題と対応策 耐震（閉じ込め・遮へい）について 等

1. 検討の背景

<開催実績（2/2）>

回次	開催日	議題
7	10月11日	・安全確保の在り方（臨界管理） ・課題と対応策 臨界関係 等
8	11月16日	・課題と対応策 高線量・現場情報の不足 等
9	12月15日	・廃棄物管理について ・工法の評価について 等
10	令和6年 1月17日	・安全確保の在り方について 等
11	2月21日	・各工法の技術成立性と事業継続性について ・燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書（素案）について 等
12	2月29日	・燃料デブリ取り出し工法評価小委員会報告書（案）について 等

2. 燃料デブリ取り出しの難しさ

①

格納容器の中は非常に高線量であり人が入れない

②

原子炉建屋の中は高線量であり長時間の作業ができない

④

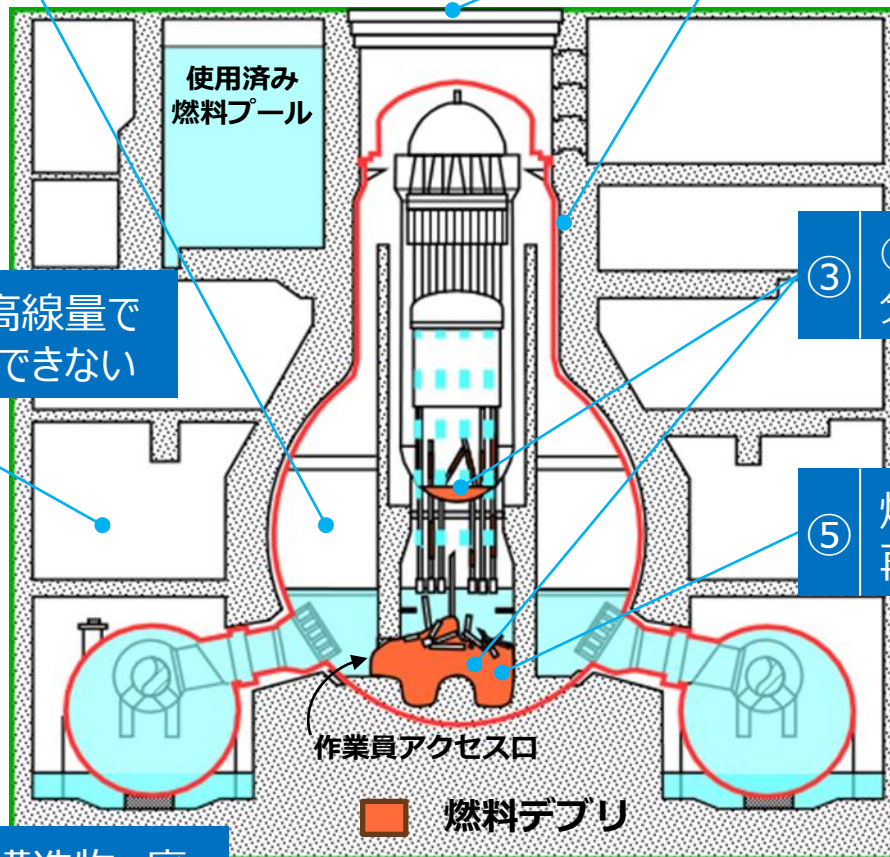
放射能の拡散を抑えつつ、格納容器を開口しなければならない

③

①、②により現場の状況が十分わかっていない

⑤

燃料デブリの状態変化による再臨界への対処



⑥

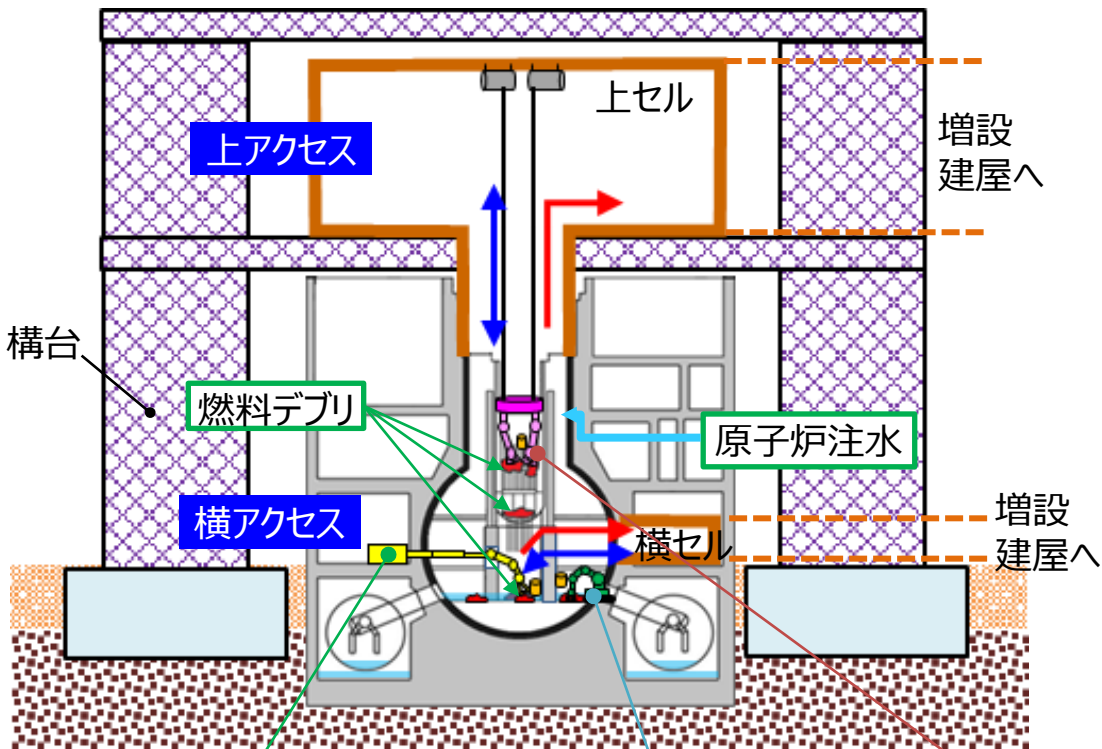
膨大な汚染された構造物、廃棄物の移動・保管計画策定

3号機 燃料デブリ分布の推定

格納容器 (鋼製)
原子炉建屋

3. 燃料デブリを取り出す方法

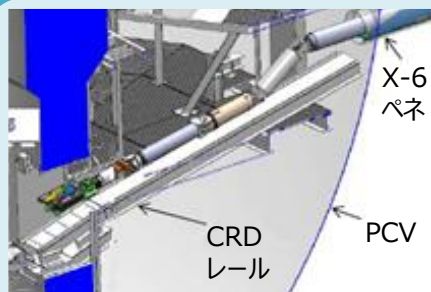
3.1 気中工法



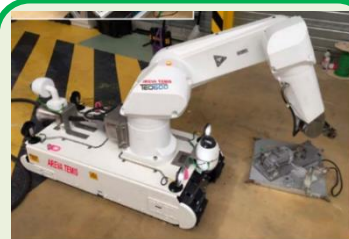
【概要】

燃料デブリが気中に露出した状態、もしくは低水位で浸漬した状態で取り出す工法

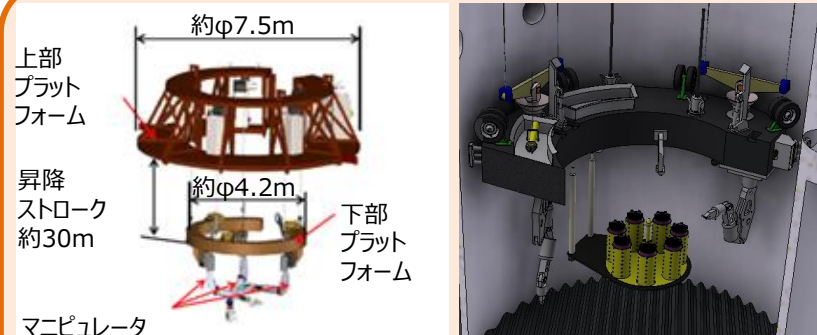
遠隔操作装置の例



ロングアームの例



ROVの例



プラットフォーム型アクセス装置の例

3. 燃料デブリを取り出す方法

3.1 気中工法

長所

- ◆ 現在気中で維持されている状況を大きく変化させずに取り組むため、状態変更に伴う懸案等が少ない
- ◆ 冠水工法よりも早期に燃料デブリ取り出し作業を開始できる
- ◆ 上アクセスでは複数の取り出し工法の中からの選択、また上アクセスと横アクセスの組み合わせ等、内部の状況に応じた燃料デブリ加工・回収方法を選定できる

課題

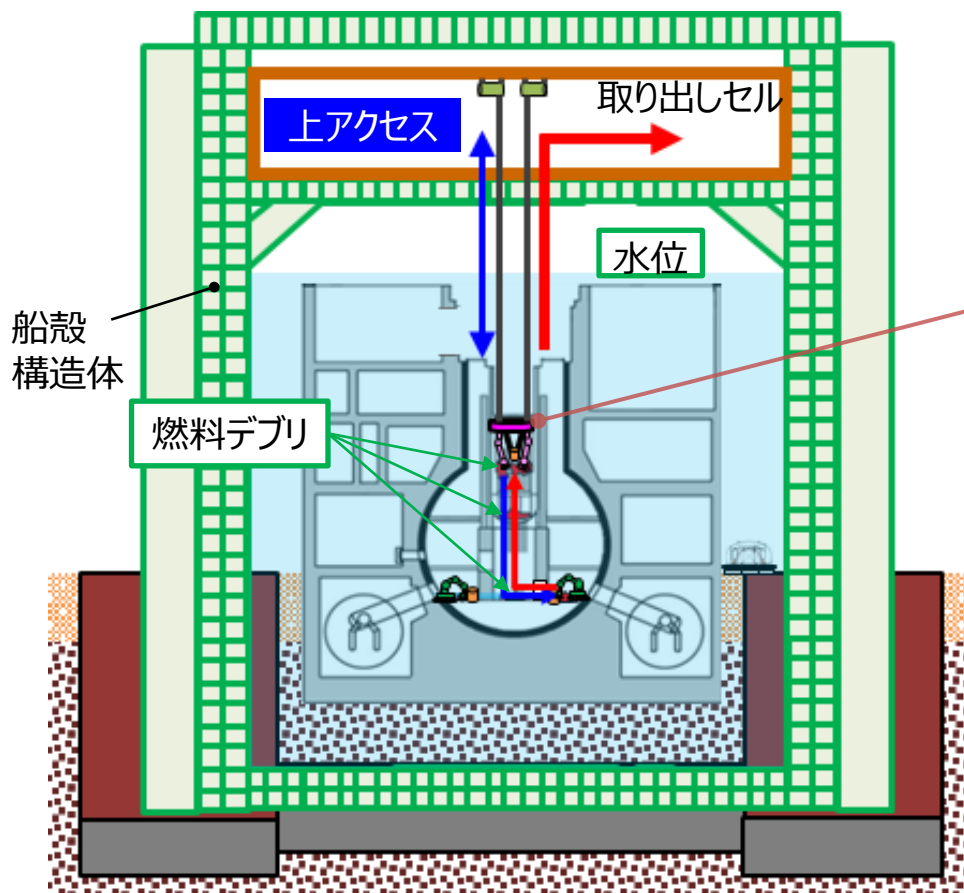
- ◆ 現場が高線量であるため、他工法と比較して多種多様の遠隔操作装置が必要であり、開発・設計・検証に長い期間を要する
- ◆ 遠隔操作装置のレスキューに相当な時間がかかる
- ◆ 高線量の燃料デブリと廃棄物を上から取り出すため、オペフロに高重量のセル、取り出し機器の設置が必要となり、これらを支持する構台の規模が大きくなる

3. 燃料デブリを取り出す方法

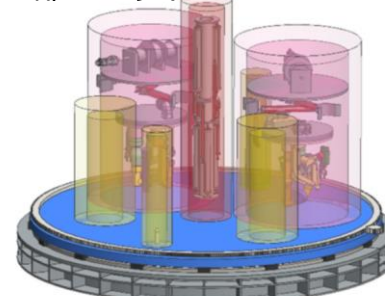
3.2 冠水工法

【概要】

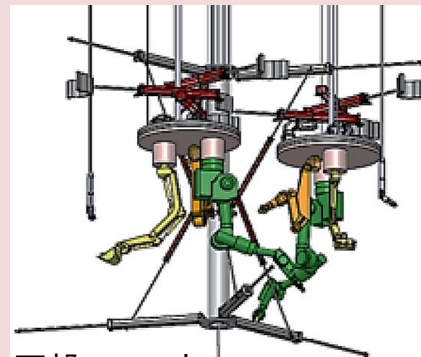
閉じ込め障壁として船殻構造体と呼ばれる新規構造物で原子炉建屋全体を囲い、原子炉建屋を冠水させ燃料デブリを取り出す工法



上部ユニット



回転テーブル



下部ユニット

プラットフォーム式
アクセス装置の一例

3. 燃料デブリを取り出す方法

3.2 冠水工法

長所

- ◆ 水遮蔽により線量を低減させ、併せて、ダスト飛散抑制の効果も期待できる
- ◆ 強固な閉じ込め障壁（船殻構造体）により外部と完全に隔離できる
- ◆ 機器故障時のレスキューはオペフロから人手による操作が可能である

課題

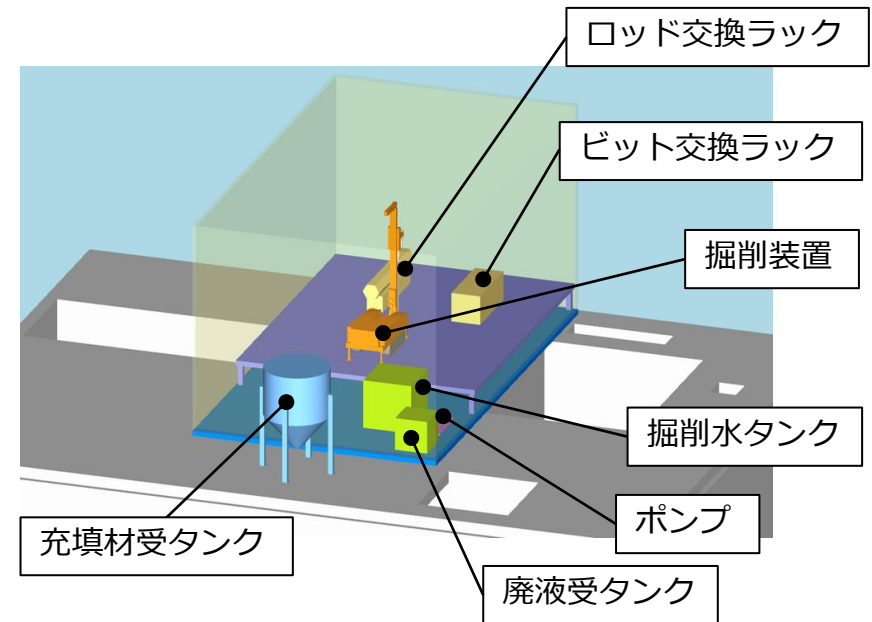
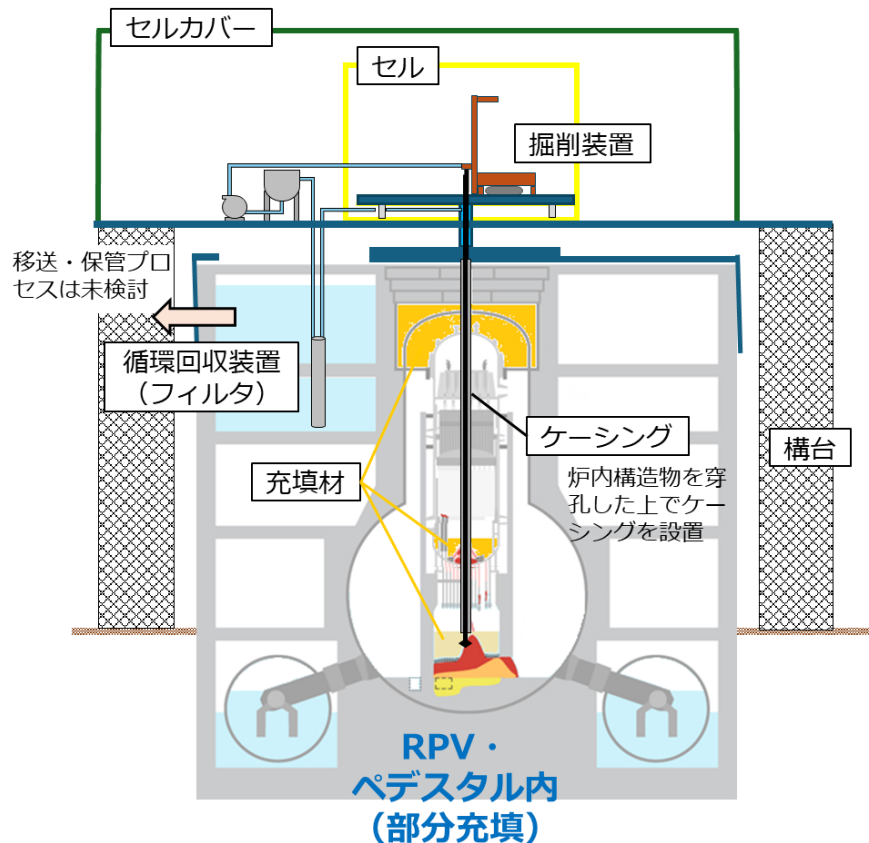
- ◆ 建屋の下部地盤での船殻構造体構築における現場施工性（施工中における地震時の地盤安定性含む）の検証が必要である
- ◆ 大量の保有水に対する臨界管理・水質管理・漏えい対策の確立が必要である
- ◆ 船殻構造体の設備規模が膨大である
- ◆ 準備工事期間が最も長く、燃料デブリ取り出し作業の開始時期が最も遅い

3. 燃料デブリを取り出す方法

3.3 気中工法オプション（充填固化工法）

【概要】

充填材により燃料デブリを安定化させつつ現場線量を低減し、オペフロに設ける比較的小さな開口部から、掘削等により、燃料デブリや炉内構造物等を取り出す工法



3. 燃料デブリを取り出す方法

3.3 気中工法オプション（充填固化工法）

長所

- ◆ 充填材で固めることにより一旦安定化させ、固化体にすることで取り出しの際の扱いが統一化・単純化できる
- ◆ 充填材による遮蔽効果、小さな開口から燃料デブリへアクセスすることなどから線量低減が期待される
- ◆ 機器故障時のレスキューにおいても人手による操作が期待できる
- ◆ 掘削装置は、遠隔操作となるが、構造はシンプルであり、掘削対象物に応じて先端ビット等を交換可能
- ◆ 設備規模が小さく、最も早期に取り出し作業を開始できる可能性がある

課題

- ◆ 充填材の選定（流動性・硬化時間調整性・固化後の機械的物性・熱伝導性・化学的安定性・放射線による劣化性等）、充填方法、充填状態の確認方法の確立が必要
- ◆ 掘削対象物に応じた先端ビット等の選定、検証が必要
- ◆ 充填範囲に応じて、廃棄物発生量が増大する
- ◆ スラッジ状で回収する場合には、その取扱いに注意が必要

4. 工法選定への提言

- 3工法ともに課題があり、**各工法の長所を活かしたシナリオを検討することが望ましい。**

工法	工法選定の観点での各工法の評価、方向性
気中工法	<ul style="list-style-type: none"> ・現場環境を大きく変化させずに取り出すため、状態変化に伴う懸念は少ないものの、工事シーケンスの成立性、遠隔操作性や全体の稼働率等のパフォーマンス上の懸念が大きいため、現場の現実的な制約や条件を加味した設計検討を行うことが必要。 ・気中工法オプションを本工法に合流させることによって、本工法の課題のいくつかを解決できる可能性があるため、今後の設計検討では気中工法オプションとの相補的な関係の構築を模索することが適切。
冠水工法	<ul style="list-style-type: none"> ・船殻構造体の現場施工性に不確かさがあること、大量の水を扱う困難さ等の問題があり、本格的に着手すべき工法として現時点で選択することは困難。 ・高線量物質を水中で扱うことのメリットは大きく、気中工法では困難な箇所の取り出しが容易になる可能性や作業効率を考慮すると、将来、気中工法から水遮蔽の機能を活用できる工法に移行する可能性も否定できない。 ・水遮蔽の機能を活用できる工法について、原子炉建屋下部を含む近傍の地盤を調査するなど、併行して検討を進めるべき。
気中工法オプション	<ul style="list-style-type: none"> ・技術的検討が不十分な面が否めず、現時点で単独での成立性を判断するには時期尚早。 ・充填材の選定、充填材の注入方法・回収方法等について見通しが得られれば、気中工法の発展が期待されるため、気中工法オプションの機能を適用して、気中工法と合わせたシナリオを想定する。

4. 工法選定への提言

- いずれの工法であっても、**原子炉内部の状況の十分な理解がその設計や安全確保の前提**となる。
- 今後、**内部調査**の加速が重要であるが、**工法の選定やその設計検討と同時併行で行うことが不可欠**。



- **気中工法と気中工法オプションの組み合わせによる設計検討・研究開発を開始する**
 - これと併行して、**小規模な上アクセス等による内部調査を進める**
 - **水遮蔽の機能を活用した工法についても、併行して検討を行う**

5. 今後の進め方

(1) 東京電力における大規模取り出し工法の具体的な設計検討の進め方

- ✓ 東京電力は**本報告書の提言に基づき、具体的な設計検討に着手**する。
- ✓ 設計検討と併行して、**内部調査や研究開発など本報告書が示した課題に取り組むことが重要**。

(2) 安全確保の具体化の進め方

- ✓ **安全確保の考え方、判断の基準とその根拠を早期に明確にし、これらに対する規制側からの見解や示唆を踏まえて、基本設計や詳細設計に反映**する。

(3) 小委員会によるフォローアップ

- ✓ **本小委員会は当面存続し、東京電力の設計検討・研究開発をフォローアップ**したい。

(4) 関係地域の自治体や住民との対話

- ✓ 本報告書の内容、東京電力の設計検討の実施状況等については、**関係地域の自治体や住民との対話を行うことで十分に共有**する。