

研究開発推進本部 第1回会合資料

燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発

平成23年12月26日

(株)東芝

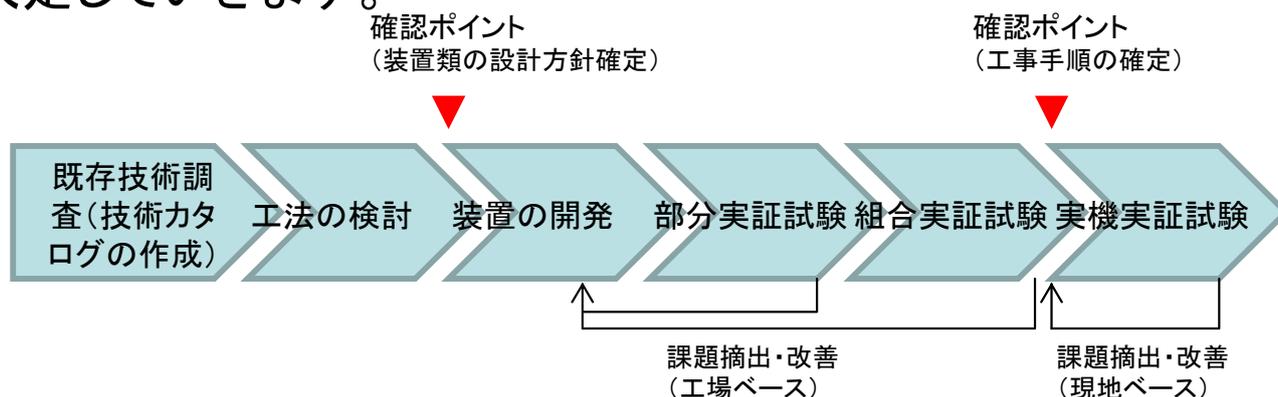
日立GEニュークリア・エナジー(株)

三菱重工業(株)

平成23年度発電用原子炉等事故対応 関連技術開発費 補助事業の進め方

1. 研究計画の計画性及び柔軟性について

- 本研究はプラントメーカー3社が主体的に研究を進めることとし、複数のメーカーが情報を共有することにより効率的な開発を進めていきます。なお、各プロジェクトの中の個々の作業については、克服すべき条件を段階的にクリアするような計画としており、最終的に実機適用に結び付けていく所存です。
- 各研究開発事業は採択された補助事業範囲(Phase-1)のみならずそれ以降の研究開発範囲(Phase-2)についても研究項目を整理しており、各事業の研究開発項目を詳細に示した開発工程を策定しております。
- 計画した方策は現場状況に合わせて実際の現場に適用できるよう臨機応変に対応することが求められていますが、これについては研究開発項目毎に、確認ポイントを設けることにより、研究の進捗、達成度を評価して次善対策を検討していただけるように致します。具体的には、現場を預かる東京電力と、技術的な審議を尽くしたうえで、デブリ燃料取り出し準備ワーキングチームが判断し、最終的には研究開発推進本部の審議を踏まえて決定していきます。



2.現場主義の運用

•本プロジェクトでは現場状況に合わせて実際の現場に適用できるよう臨機応変に対応することが重要であると考えています。本研究に参加するプラントメーカーは、既に直接現場作業に係っており、東京電力と連携して現場の状況、課題及びニーズを常に共有できる体制を構築しています(資料4:全体の体制図参照)

•また、研究に参加しているプラントメーカーは、それらの現場情報に基づき、プロジェクトリーダー及び各研究開発項目毎の研究開発責任者が開発にフィードバックをかけていきます。

•現場での運用が重要であるとの視点から現場実証や改良を重ねることについても検討が進んでおり、開発計画の中で、実機適用に至るまでに、部分実証、組み合わせ実証等で抽出された課題を解決していきます。

3.内外叡智の活用

- 福島復旧に向けた中長期的な取り組みを進める上で、必要な研究開発を効率的に実施するには、適用可能な国内外の技術や専門家の知見を広く取り入れていくことが重要であると考えます。
- このために、TMI-2事故等の知見を有する海外の技術者と情報交換し、それらの知見をプロジェクトリーダー及び各研究項目の研究開発責任者より、研究計画に反映していきます。(資料4:全体の体制図参照)
- 既存技術・知見、関連研究や関連プロジェクトの成果を最大限に活用する体制の検討も重要であると考えており、このために、各研究開発項目毎に開発責任者をおき、プロジェクト全体を取り纏めるプロジェクトリーダーのもと、研究開発項目間の連携を図っていきます。
- また、各プラントメーカーが連携し、既存技術・知見を研究開発の初期段階で調査して技術カタログを作成し、整理していきます。

必要性

建屋内作業では、被ばく低減の観点から汚染されたエリア等の除染が重要となる。除染方法の選定にあたっては、除染性能、適用性、被ばく及び二次廃棄物処理特性等を総合的に評価して選定する必要があるが、現状、汚染状態及び除染方法による除染性能のデータが少ないため、その適用性評価が必要となる。また、格納容器等の除染対象箇所は高線量下にあるため、遠隔装置が必要となる。よって、格納容器周りのエリアを含め、遠隔装置の適用性を評価することも必要である。

実施内容

1. 汚染状態の推定、基礎データ取得

除染概念検討に先立って、条件となる汚染状態を設定する必要があるため、除染対象箇所の汚染状態を推定・調査し、そのベースとする。まずPCV周りのエリア(原子炉建屋1階)の汚染状況を調査し、その後、他のエリア(各建屋の代表的な汚染源)について調査する。なお、調査のためには遠隔装置が必要であり、汚染状況調査のための遠隔装置を検討・製作し調査に利用する。

2. 除染技術整理および除染概念検討

除染技術の整理にあたっては、除染性能、除染にかかる時間、二次廃棄物発生量と処理特性、遠隔装置との組合せの可能性等について検討を行う。また、現場の汚染状況調査の結果により、汚染箇所に対する除染技術の選定について、除染概念を検討し、実機適用性を検討する。

3. 模擬汚染による除染試験

候補となる除染技術の試験を実施し、汚染の状態と適用可能な除染技術のデータベースを作成する。試験に使用するサンプルは調査で得られた汚染状態を模擬して製作する。

4. 除染技術の実証

除染装置を製作し、遠隔装置と組み合わせ、除染技術の実証試験を行う。

候補となる技術例

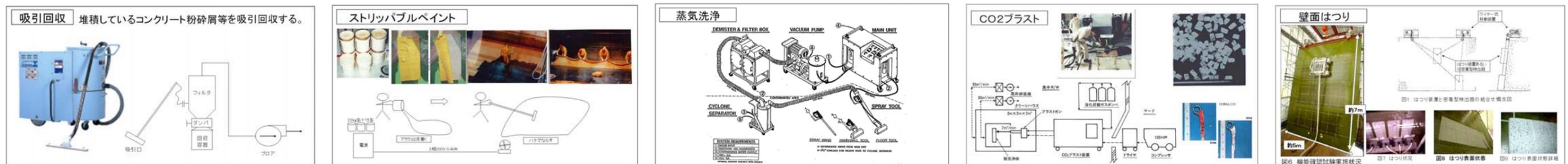
要素技術	適用例
除染技術及び汚染状態への適用性評価	各発電所
汚染状況調査のための計測技術	各発電所
除染技術のロボット搭載化	TMI他
除染用ロボット・走行台車(遠隔無人、過酷環境下)	TMI他

実施工程

事項/年度	第1期		
	2011年度	2012年度	2013年度
1.汚染状態推定、基礎データ取得	■		■
2.除染技術整理、除染概念検討	■		■
3.模擬汚染による除染試験	■		
4.除染技術の実証		■	■

注)2011~2012年度:原子炉建屋通路部等の比較的アクセスしやすい箇所を除染対象として実証
2013年度:部屋、上部階等アクセス困難箇所を除染対象として実証
「模擬汚染による除染試験」は2011~12年度に一括で実施。

候補となる除染技術



必要性

原子炉圧力容器及び原子炉格納容器は、今後も長期間に亘り希釈海水環境に曝されることが想定される。よって、燃料取り出しまでの期間、機器の健全性を確保するため、腐食劣化進行の適切な評価・予測に必要な腐食データを取得する。また、実機適用が可能な腐食抑制策を確立し、その効果を確認する。

実施内容

原子炉圧力容器 (RPV) 及び原子炉格納容器 (PCV) の構造材料は、高温の海水に曝されていたため、腐食が懸念される。また、鉄筋コンクリート製のRPVペDESTALは、高温かつ海水環境に曝されていたため、劣化の促進が懸念される。このため、各材料が海水に曝された場合の定量的なデータを取得し、今後の構造健全性評価に資する。さらに、RPV、PCV構造材及びRPVペDESTALの海水による腐食抑制策の確証試験を行う。

(1) 原子炉容器の構造材料腐食試験

- 高温海水や希釈海水に曝された鋼材の腐食試験を行い、構造材の腐食速度に関するデータを取得する。また余寿命評価に資する高温強度データを取得する。

(2) RPVペDESTAL鉄筋コンクリート劣化試験

- コンクリート中の塩化物イオン拡散試験を実施する。また、コンクリート中の鉄筋の腐食試験を実施する。

(3) 原子炉容器、RPVペDESTALに対する腐食抑制策確証試験

- RPV、PCV構造材料及びRPVペDESTALに対して用いる腐食抑制策の確証試験を行い、腐食抑制効果を確認する。

(4) 原子炉容器、RPVペDESTAL構造物余寿命評価、寿命延長評価

- 従来知見や上記データベースに基づき、RPV、PCV及びRPVペDESTALの構造物余寿命評価及び寿命延長評価を行う。

(5) 腐食抑制システムの開発および実機適用性評価

- 実機にて適用可能な腐食抑制システムを開発し、上記結果より寿命延長効果の認められた腐食抑制策をPCV内へ試運用する。滞留水処理ループ内に腐食監視試験片を適用することで実機におけるPCV構造材への腐食抑制効果を確認する。

(6) 原子炉構造材料の健全性評価に係る基礎試験

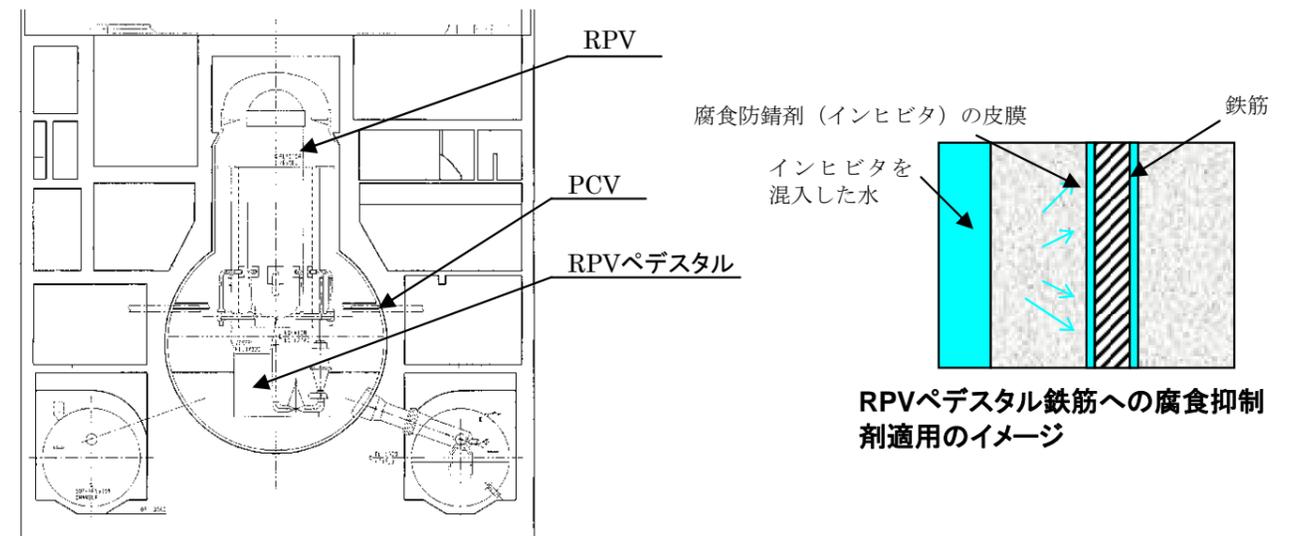
- 上記の健全性評価に必要な放射線環境を考慮した基礎試験を実施し、データを整備する。

実施工程

事項/年度	第1期			第2期		
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
RPV/PCV健全性評価技術開発						
(a)実事故履歴分析に基づく試験条件の検討	■					
(b)原子炉容器の構造材料腐食試験	■	■				
(c)RPVペDESTAL鉄筋コンクリート劣化試験		■	■			
(d)原子炉容器、RPVペDESTALに対する腐食抑制策確証試験						
(e)原子炉容器、RPVペDESTAL構造物余寿命評価、寿命延長評価					■	
(f)腐食抑制システムの開発						■
(g)実機適用性評価						■
(h)健全性評価に係る基礎試験	■	■	■			

候補となる技術例

要素技術	適用例
RPV、PCV腐食試験・評価 (高温履歴を模擬した評価)	高温海水対象 希釈海水対象 ホウ酸水対象 のものは、無し
RPVペDESTAL腐食試験・評価 (地震、高温環境によるひび割れ状態、高温履歴を模擬した評価、海水注入から淡水注入に切替えて希釈された効果の評価)	高温海水対象 希釈海水対象 ホウ酸水対象 のものは、無し
RPV、PCV、RPVペDESTAL腐食抑制策確証試験 (RPV及びPCV構造材、RPVペDESTALに対する腐食抑制策の効果確認、腐食抑制策の放射線環境下での水質影響評価)	高温海水対象 希釈海水対象 ホウ酸水対象 のものは、無し 腐食抑制策は候補はあるが 実機適用経験無し、特にコン クリートへの浸透効果は不明
RPV、PCV、RPVペDESTAL構造物余寿命評価、寿命延長評価技術	高温海水対象 希釈海水対象 ホウ酸水対象 のものは、無し



必要性

原子炉圧力容器と原子炉格納容器のバウンダリ機能が喪失した状態で炉心燃料を取り出すためには、まずは遮へい等の観点から原子炉格納容器を補修してバウンダリを再構築し、原子炉格納容器内を原子炉圧力容器と共に水で満たした状態にすることを想定している。しかし、原子炉格納容器近傍は高線量下で狭隘部もあり、また格納容器下部(圧力抑制室等)が浸水しており、こうした環境で損傷箇所を特定する技術は未だ確立されていない。このため、高線量・狭隘・水中環境における点検調査工法と装置の開発が必要である。

候補となる技術例

要素技術	適用例
カメラ計測による原子炉格納容器外観点検 (気中部、水没部)	燃料検査 炉内VT
雰囲気計測 (温度、湿度、爆発性ガス、放射線、等)	雰囲気計測 線量計測
遠隔ロボット技術 (トラス室内点検用、原子炉格納容器貫通部点検用、等)	クローラビークル 穿孔装置
原子炉格納容器漏洩箇所特定技術 (放射線計測、音響センサー、赤外線モニタリング、 超音波検査技術等)	線源可視化 音響診断 熱源可視化
原子炉格納容器周辺遠隔点検用ロボット	クローラビークル

実施内容

1. 点検調査工法の検討・装置設計

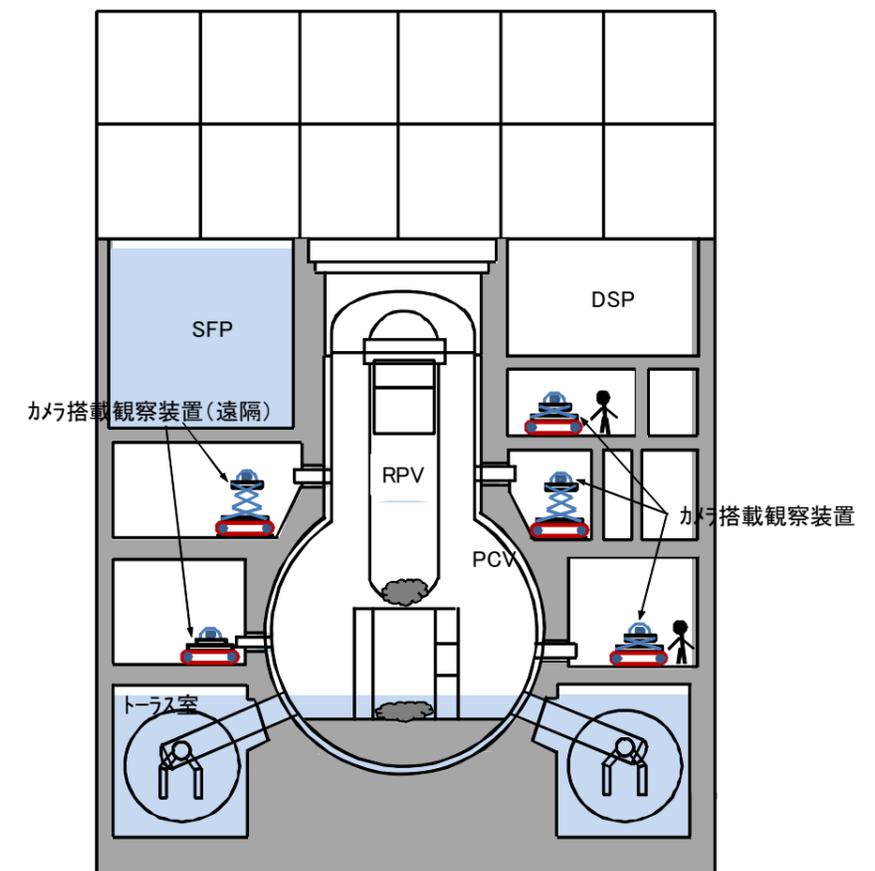
・格納容器や原子炉建屋の漏えい箇所を特定するための工法を検討し、装置の設計を行う。

2. 点検調査装置の製作・改良

・格納容器や原子炉建屋の漏えい箇所を特定するための装置を製作するとともに実機適用性評価(現場実証)を行い、必要に応じて改良を進める。

実施工程

事項/年度	第1期			第2期
	2011	2012	2013	2014 (前)
1. 点検調査工法 検討・装置設計	████████████████████			
2. 点検調査装置 製作・改良			████████████████████	



原子炉格納容器漏洩箇所調査概念図

必要性

原子炉圧力容器と原子炉格納容器のバウンダリ機能が喪失した状態で炉心燃料を取り出すためには、まずは遮へい等の観点から原子炉格納容器を補修してバウンダリを再構築し、原子炉格納容器内を原子炉圧力容器と共に水で満たした状態にすることを想定している。しかし、原子炉格納容器近傍は高線量下で狭隘部もあり、また格納容器下部(圧力抑制室等)が浸水しており、こうした環境で損傷箇所を補修する技術は確立されていない。このため、高線量・狭隘・水中環境における補修工法と装置を開発する必要がある。

実施内容

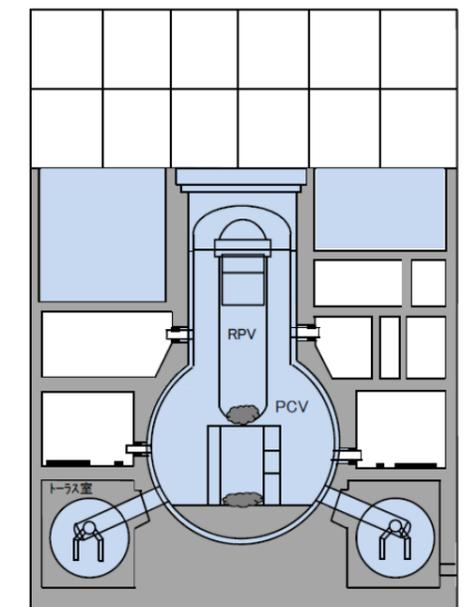
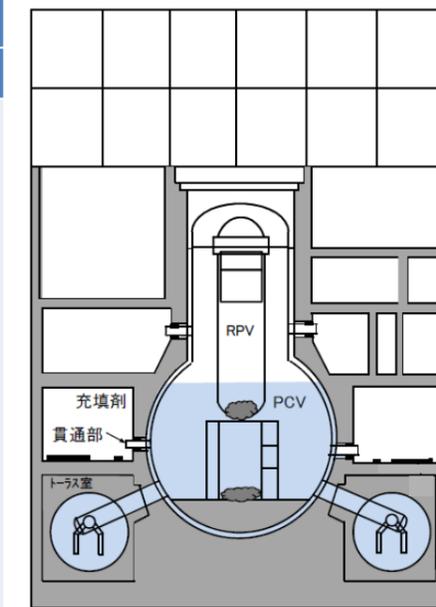
1. 補修工法の検討・装置設計(下部用)
 - ・格納容器下部や原子炉建屋の漏えい箇所を補修するための工法を検討し、必要な装置を開発する。(漏えい箇所調査結果を反映する。)
2. 補修装置の製作・改良(下部用)
 - ・格納容器下部や原子炉建屋の漏えい箇所を補修するための装置を製作し、実機適用性評価(現場実証)を行った上で、必要に応じて装置を改良する。
3. 補修工法の検討・装置開発(上部用)
 - ・格納容器上部の漏えい箇所を補修するための工法を検討し、必要な装置を開発する。(漏えい箇所調査結果を反映する。)
4. 補修装置の製作・改良(上部用)
 - ・格納容器上部の漏えい箇所を補修するための装置を製作し、実機適用性評価(現場実証)を行った上で、必要に応じて装置を改良する。
5. 代替工法の検討
 - ・原子炉格納容器を水で満たして炉心燃料を取り出す工法の代替工法について検討する。

候補となる技術例

要素技術	適用例
補修(止水)材 補修(止水)用装置	シール材 グラウト材
補修(止水)材注入孔穿孔工法 補修(止水)材等の充填工法	空隙充填、 水中構造物
原子炉格納容器遠隔補修用ロボット	クローラ ビークル

実施工程

事項／年度	第1期			第2期			
	2011	2012	2013	2014 (前)	2015	2016	2017 (中)
1.補修工法 検討・装置設計 (下部用)	■						
2. 補修装置 製作・改良 (下部用)				■			
3.補修工法 検討・装置設計 (上部用)	■						■
4.補修装置 製作・改良 (上部用)						■	
5..代替工法の検討	■						



原子炉格納容器下部水張りイメージ図 原子炉格納容器上部水張りイメージ図

必要性

現在、燃料デブリの存在状況は不明であるため、その取り出しに向けて原子炉格納容器内のデブリの位置及び状況を事前に調査するとともに、圧力容器を支持するペDESTAL等の状況も確認する必要がある。また、原子炉格納容器内は高温・多湿・高線量の過酷環境下であり、遠隔装置等による調査が要求される。さらに、原子炉格納容器内に装置を投入するために原子炉格納容器バウンダリを開放する際には、放射性物質が飛散しないためのシステムの開発も併せて要求される。

実施内容

原子炉格納容器内の状態把握、原子炉圧力容器の漏えい調査、燃料デブリ取り出し工法の検討を目的とした原子炉格納容器内調査の工法および装置の研究開発を行う。原子炉格納容器外まで作業員または装置がアクセスし、原子炉格納容器貫通孔等から遠隔検査装置を投入し原子炉格納容器内部を調査する計画を基本とし、以下の研究開発を行う。

(1) 炉内状況の推測結果に基づく既存技術の整理

原子炉格納容器/原子炉圧力容器内の状況（燃料デブリの位置・流下挙動、構造健全性・損傷状態等）をプラントパラメータ計測、シミュレーション等により推測し、適切な調査計画を立案（工法の概念検討）するとともに、過酷な環境下においても適用可能な既存技術を整理する。

(2) アクセス方法と装置（ツール）の開発

- ・原子炉格納容器事前調査工法の検討
- ・原子炉格納容器内本格調査工法の検討
- ・原子炉格納容器内本格調査のアクセス装置

(3) 原子炉格納容器内部の放射性物質に対する対策

調査時および調査後に、原子炉格納容器内部から放射性物質が飛散することによる作業員および公衆の被ばくに対する対策として、飛散防止カバー及びカバー内で原子炉格納容器開口部の開閉・装置挿入引抜きを行う遠隔機構を検討する。

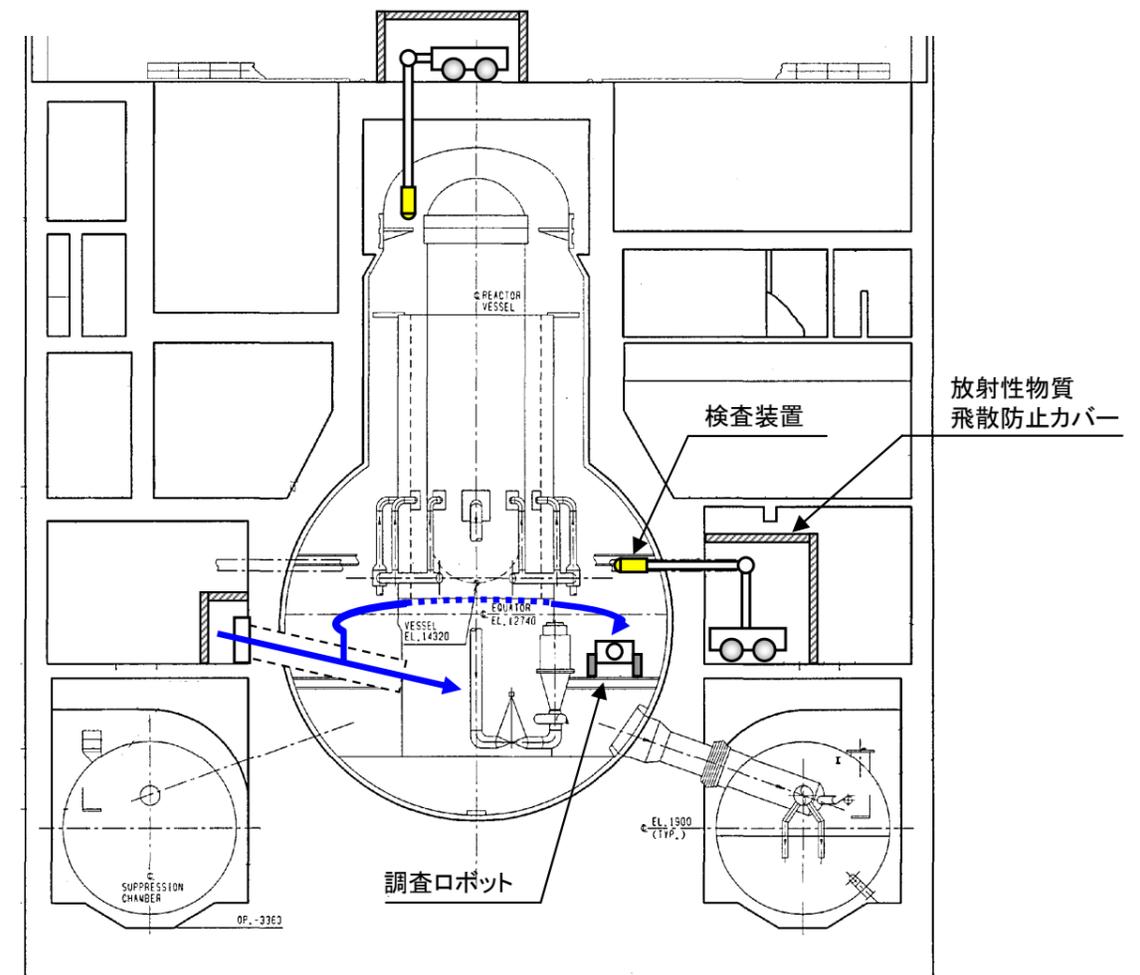
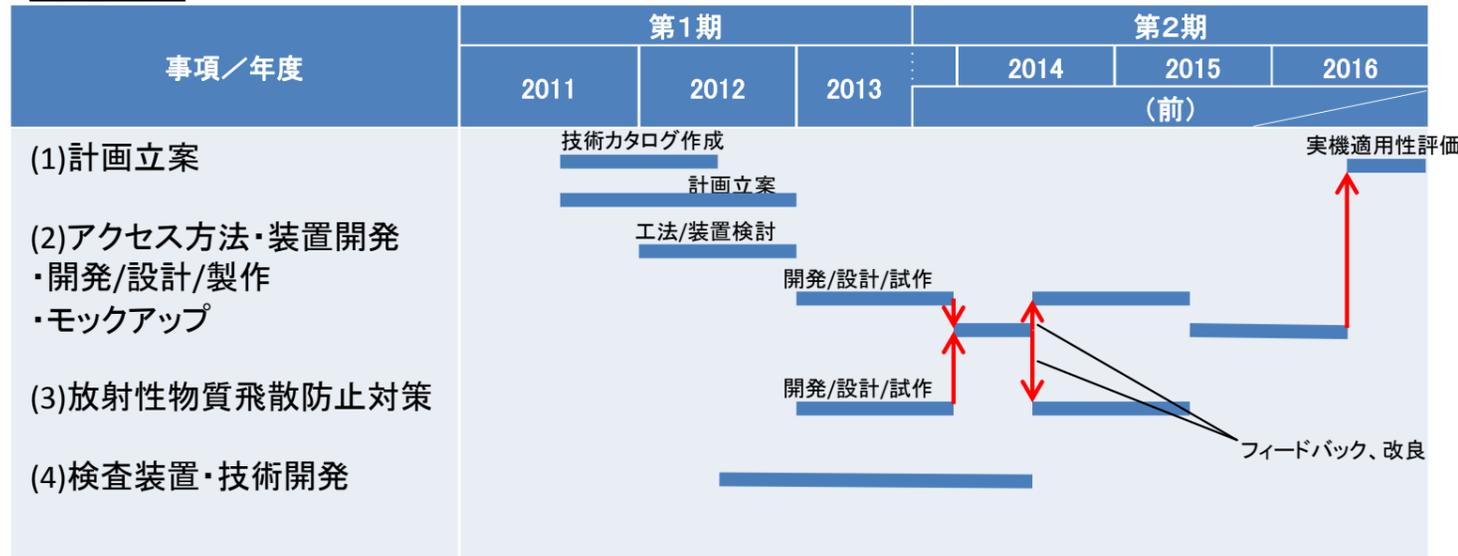
(4) 検査装置・技術の開発

従来の点検範囲を超える箇所、手段、環境（線量、温度等）で検査するための検査装置・技術の開発と、汚染した装置の除染・処理方法の検討を行う。

候補となる技術例

要素技術	適用例
原子炉格納容器内調査ロボット（遠隔無人、過酷環境下）	防災ロボット
原子炉格納容器内各種作業ロボット	防災ロボット
放射性物質の飛散防止対策	—
検査装置・技術	TMI経験

実施工程

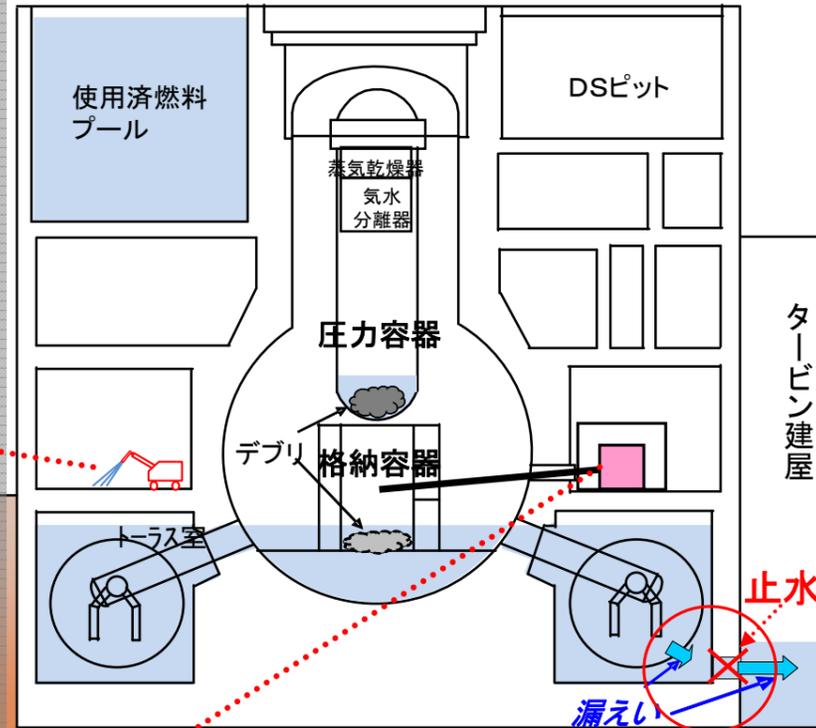
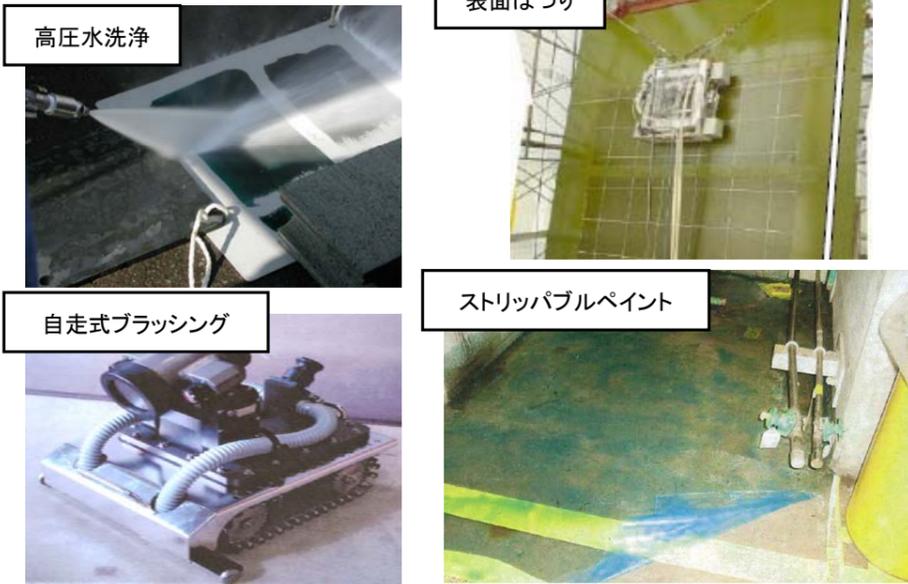


資料3 燃料デブリ取り出し作業に係る主な研究開発のイメージ

■ 建屋内の遠隔除染技術の開発

- ◆ 内容
漏えい箇所調査、補修等の作業環境改善のため、現場の汚染状況に合った遠隔除染装置を開発する。
- ◆ 技術開発のポイント
 - ・汚染形態に応じた有効な除染技術の整理、開発
 - ・高線量、狭隘等の過酷環境下における遠隔除染装置の開発

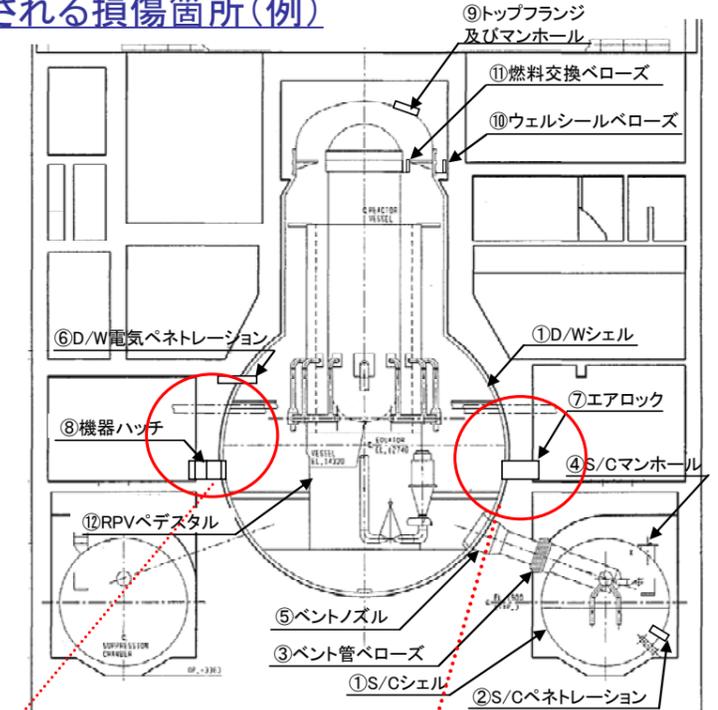
除染技術(例)



■ 格納容器漏えい箇所特定技術の開発

- ◆ 内容
格納容器等の漏えい箇所を遠隔で特定する技術を開発する。
- ◆ 技術開発のポイント
 - ・高線量、狭隘等の過酷環境下における遠隔調査技術の開発

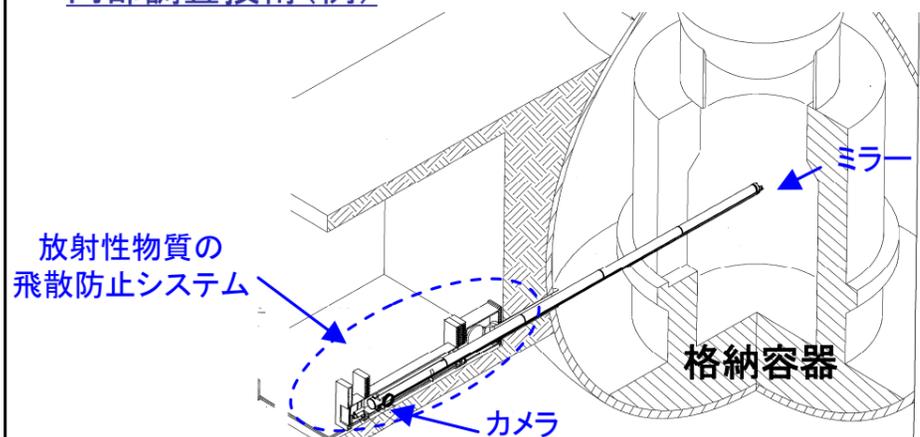
想定される損傷箇所(例)



■ 格納容器内部調査技術の開発

- ◆ 内容
格納容器内の状態及び燃料デブリの状況把握のため遠隔による調査工法、装置を開発する。
- ◆ 技術開発のポイント
 - ・高温、多湿、高線量下における遠隔調査技術の開発
 - ・放射性物質の飛散防止システム

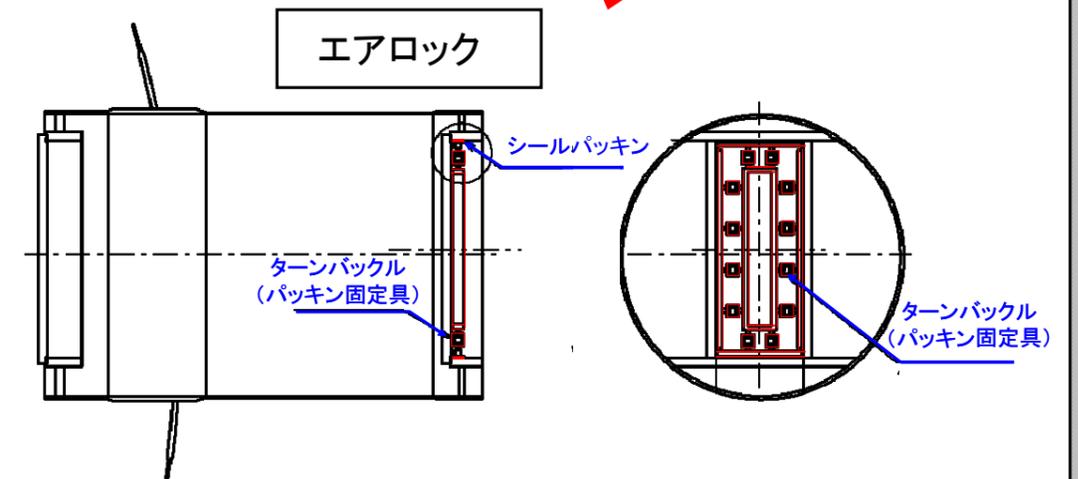
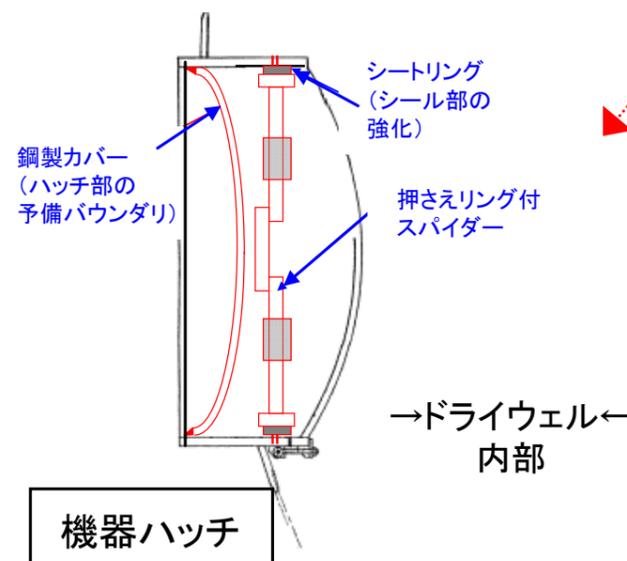
内部調査技術(例)



■ 水張り技術の開発(補修・充てん等)及び工法・装置開発

- ◆ 内容
漏えい箇所(トラス室、格納容器等)を補修するため、遠隔による止水方策及び補修技術を開発する。
- ◆ 技術開発のポイント
 - ・高線量、狭隘等の環境下における遠隔補修技術の開発
 - ・水中(PCV下部等)で適用可能な補修技術

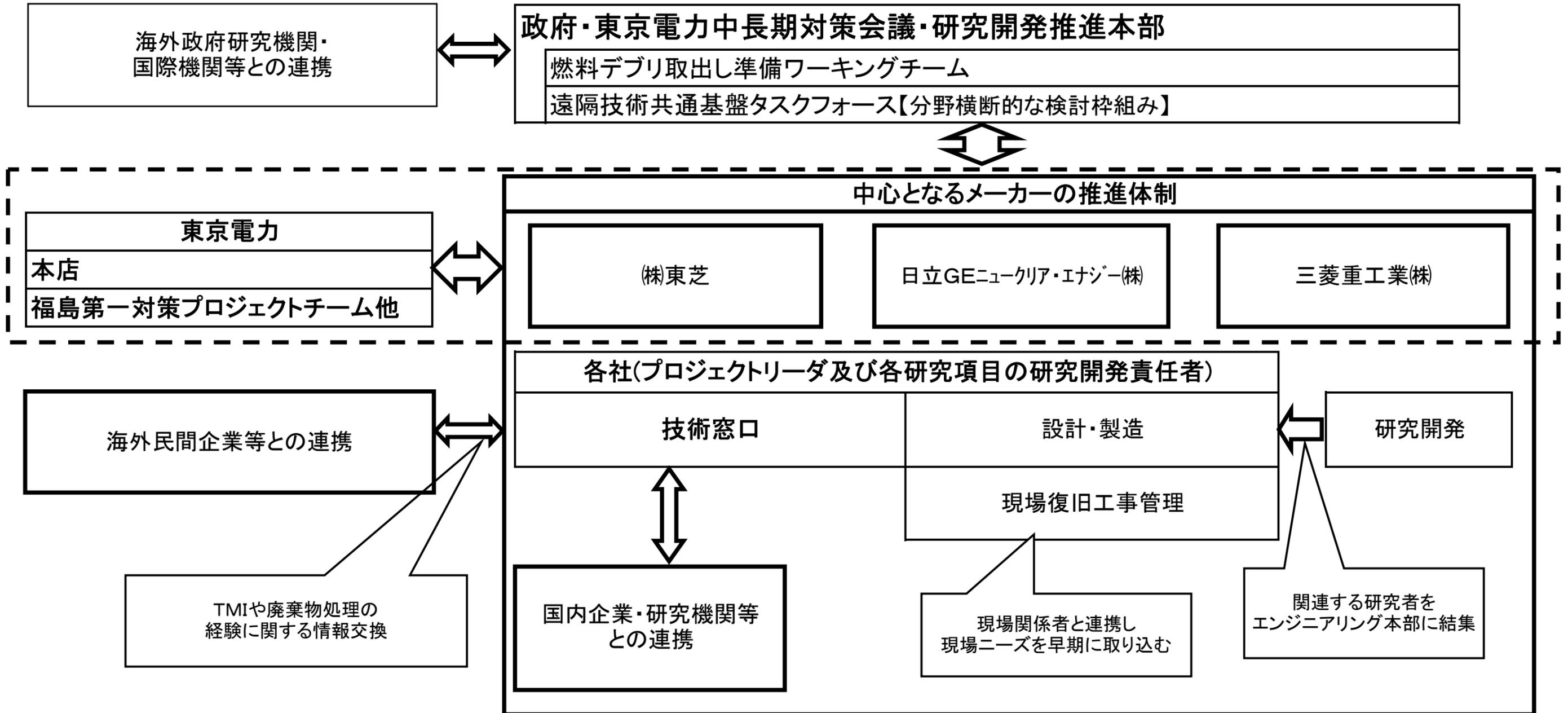
貫通孔に対する補修技術(例)



発電用原子炉等事故対応関連技術開発 推進体制（平成23年度～）

燃料デブリ取り出し準備のための機器・装置開発に係る以下の5つの研究開発プロジェクトを有機的に連携させて取り組む計画

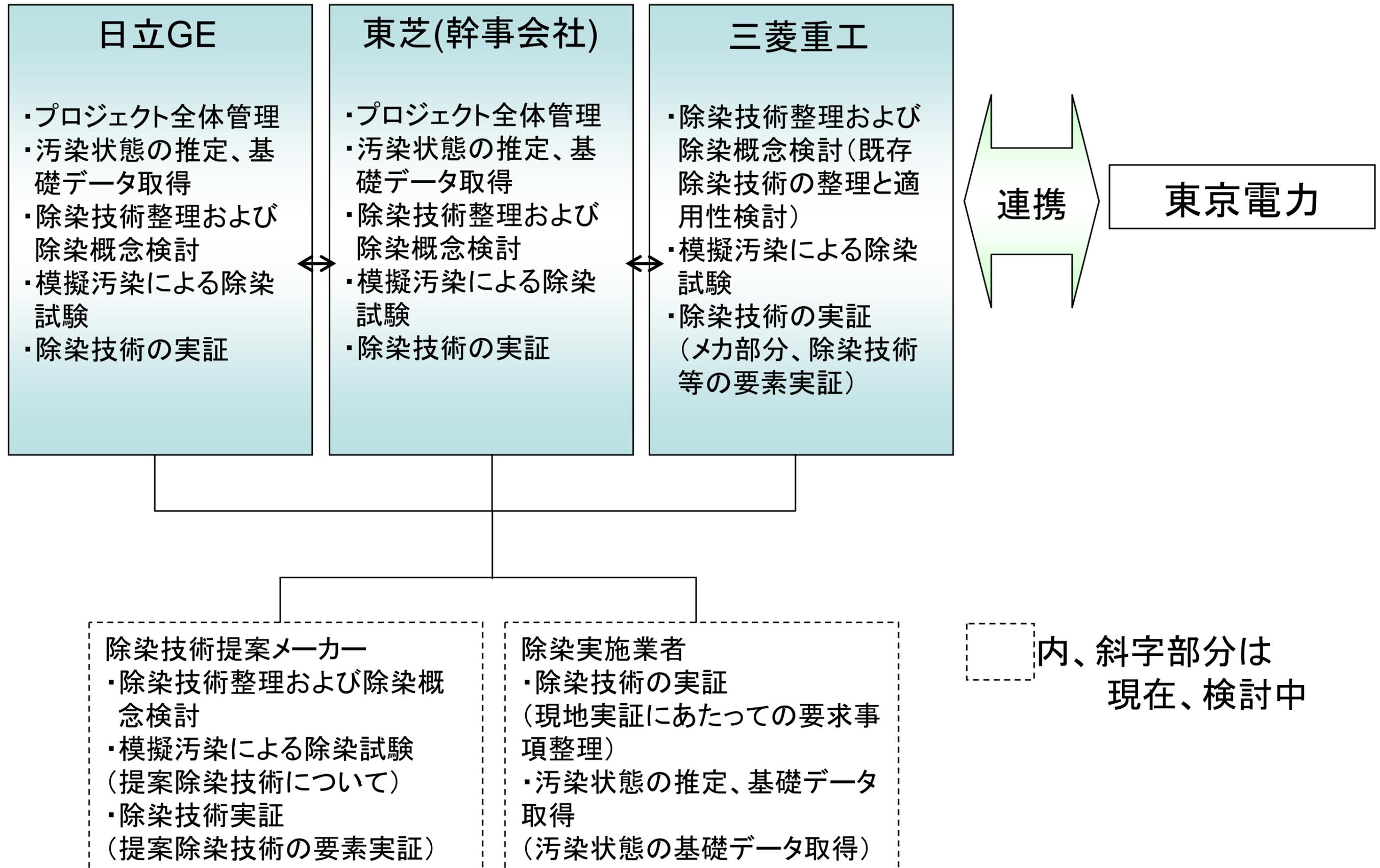
- 1) 建屋内の遠隔除染技術の開発
- 2) 格納容器漏えい個所特定技術の開発
- 3) 格納容器補修技術の開発
- 4) 格納容器内部調査技術の開発
- 5) 圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発



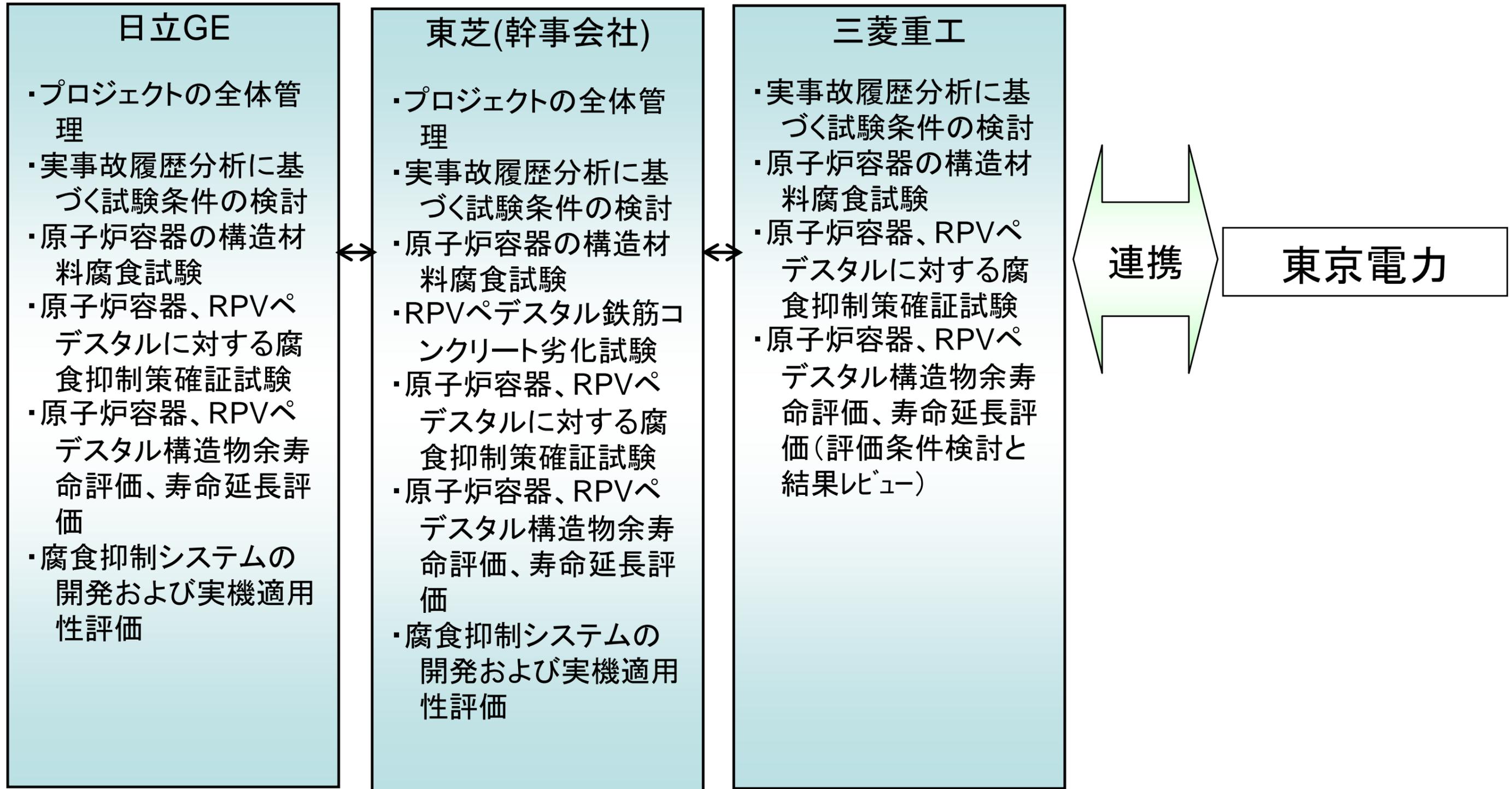
福島第一に係わる中長期研究開発体制について
(民間主体の研究開発について)

平成23年12月26日

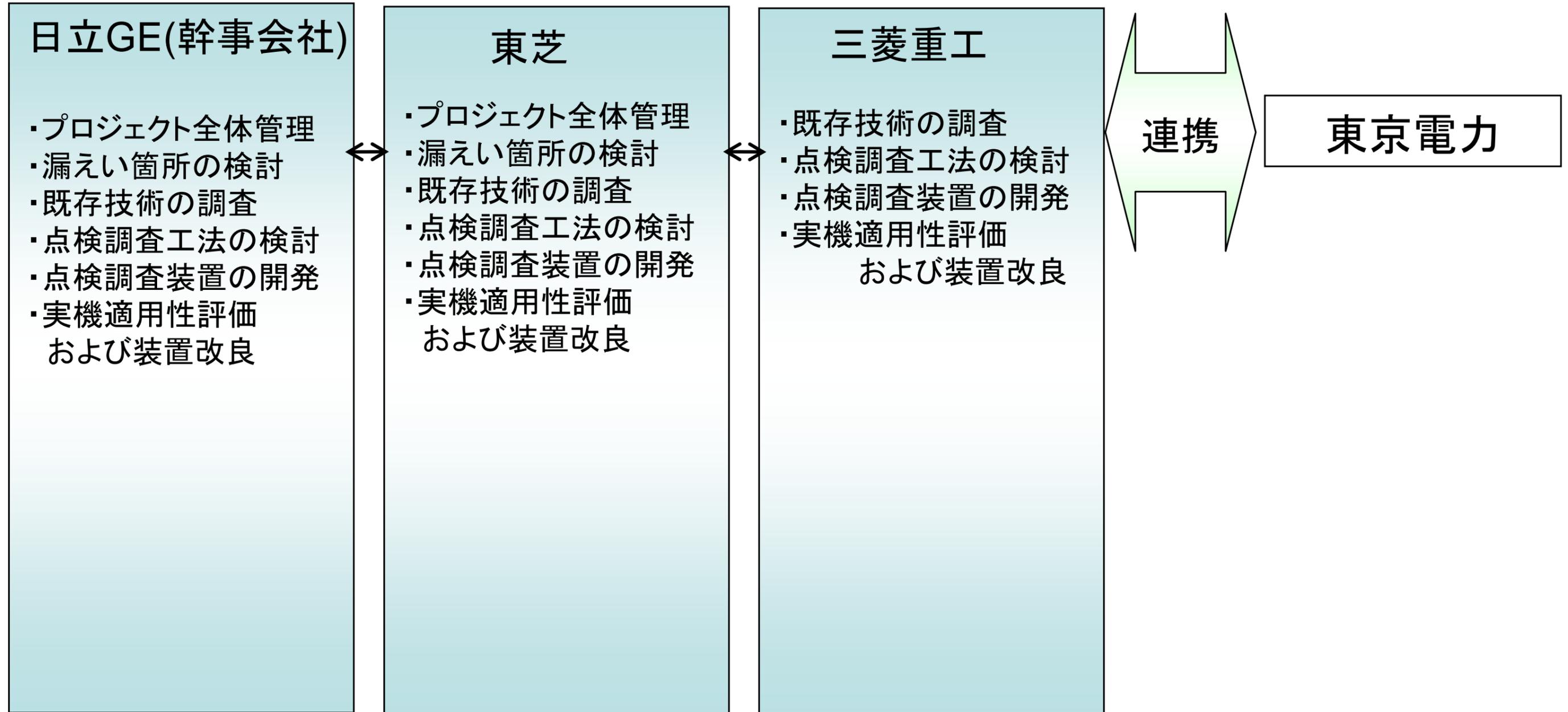
建屋内の遠隔除染技術の開発



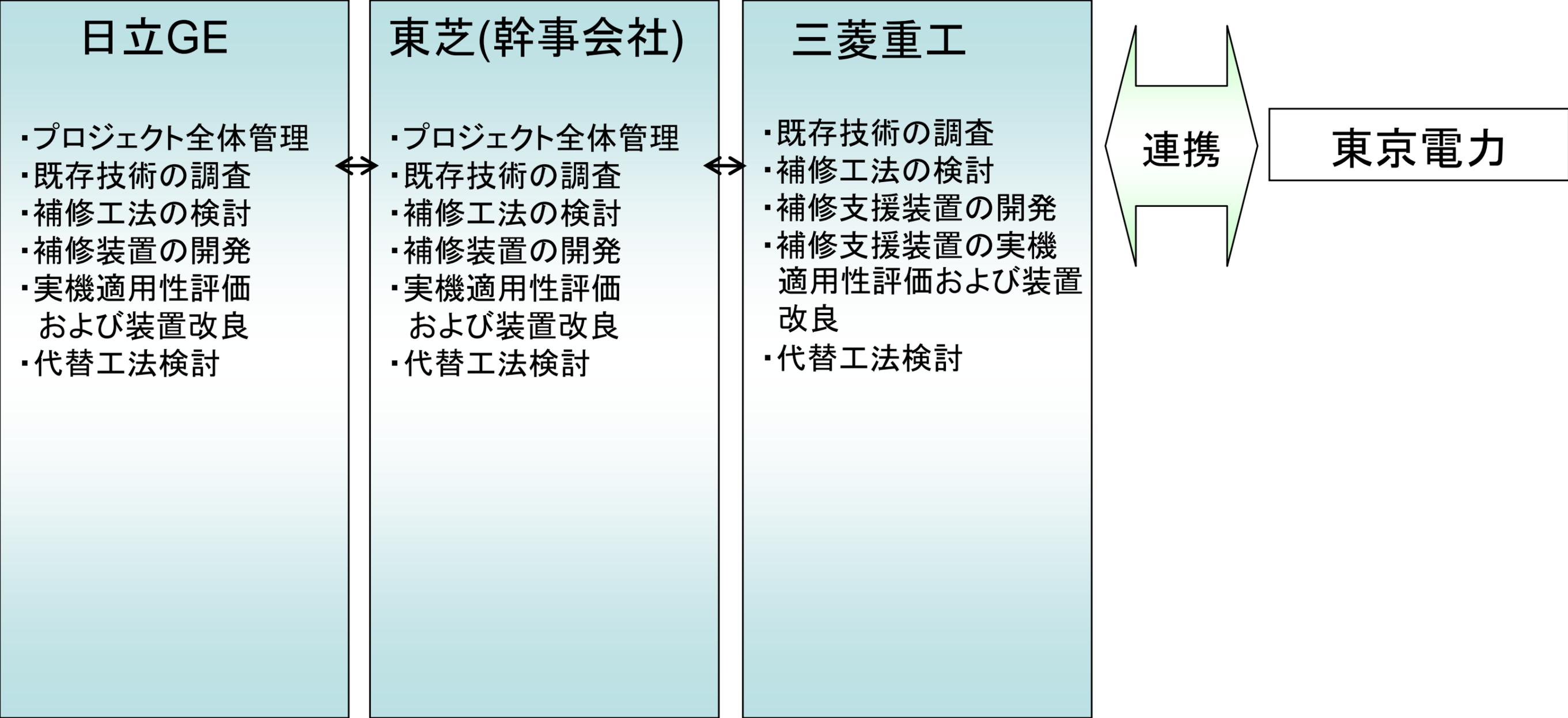
圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発



格納容器漏えい箇所特定技術の開発



格納容器補修技術の開発



格納容器内部調査技術の開発

