

# 格納容器補修技術の開発

平成24年4月23日

(株)東芝

日立GEニュークリア・エナジー(株)

三菱重工業(株)

# 1. 事業目的

## プロジェクトの背景・目的

- 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、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・水中環境等における補修工法と装置を開発する必要がある。

## 平成23年度における事業の目標

- 「既存技術の調査」
  - － 格納容器の損傷箇所を高線量・狭隘・水中等の環境下で補修するために必要な要素技術や遠隔操作技術等について、既存技術の調査を行う。
- 「【損傷の可能性が高い箇所】D/W外側補修装置開発」
  - － 損傷している可能性が高いと想定されるフランジ、ハッチ、ペネトレーションに対する補修工法を抽出する。
- 「冠水代替案の検討」
  - － 格納容器バウンダリの再構築ができない場合の冠水代替工法の概念を抽出する。

# 2. 事業概要

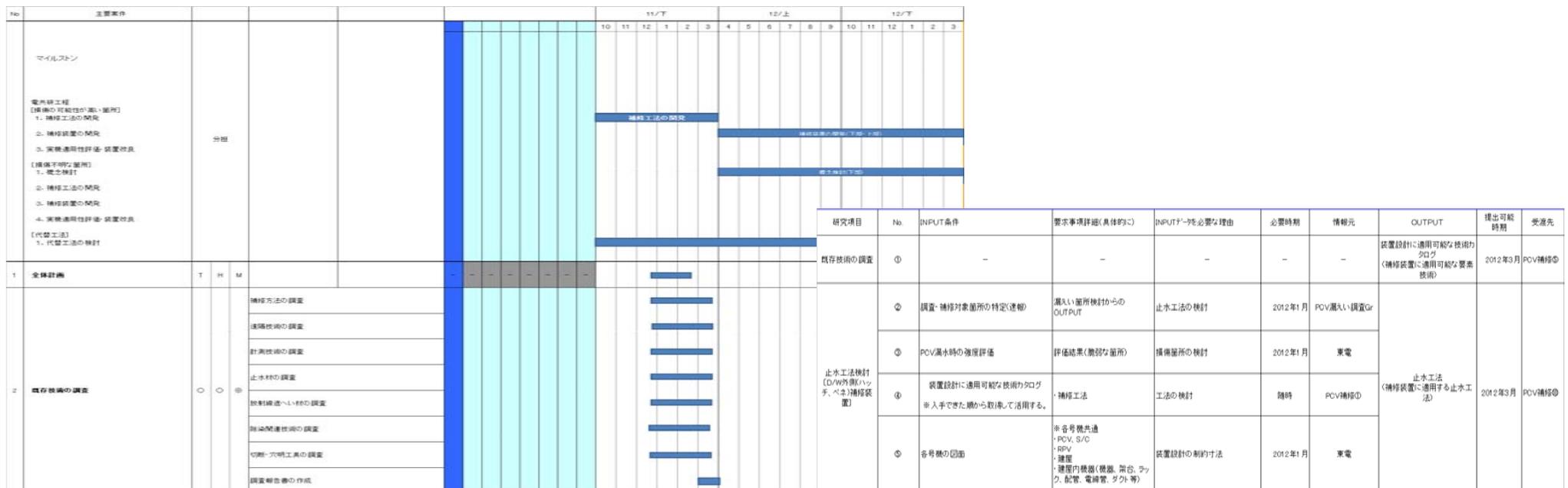
## ○全体計画の立案

**事業の実績:** 具体的な作業がイメージできるレベルに項目をブレイクし、開発工程を立案した。平成23年度は、既存技術の調査、損傷の可能性が高い箇所に対する止水工法の検討及び、冠水代替の概念検討を行うことを計画した。

インプット／アウトプットの項目及び時期を明確化し、必要情報取得や他研究Prjへのアウトプットを実施した。

**事業の評価:** 研究開発のスケジュールの策定が、計画通り完了しており、研究開発のインプット／アウトプットの進捗については、後工程に影響を及ぼすような遅延がなく作業が進んでいる。

計画スケジュールに対し、完了時期を延期している項目があるが、後工程に影響が出ないように工程調整を行うことで平成24年度事業計画の見直しは必要ない。



全体工程

インプット／アウトプット

# 2. 事業概要

## ○既存技術の調査

**事業の実績:** 格納容器補修技術として必要な要素技術を検討し、当該技術とその保有ベンダー調査を実施して、技術カタログを作成中。技術カタログワークショップおよび国際ワークショップ／シンポジウムの公募取り纏めに時間を要しており、当初計画（3月末完了）より約1ヵ月延期して4月末集約の予定である。

**事業の評価:** 技術カタログの取りまとめには時間をかけているが、後工程に影響が出ないように並行作業等の工程調整を行う。  
より多くの技術を収集するために、技術カタログワークショップ及び国際ワークショップ／シンポジウムを通して、広く国内外の既存技術を公募及び評価し、カタログを作成中。

分類	必要技術 (構成要素)	技術概要 (ニーズ)	技術を保有するベンダ	備考
D/W外側補修ロボット(フロンツ、ハッチ、ベネ等)  【特に求められる技術】 ①複雑な形状の対象物からの水の漏えいを止める技術 ②大口径フランジ(約φ3m)からの水の漏えいを止める技術 ③高線量環境下で20年の耐久性を有する止水技術 ④遠隔で、狭隙部での止水作業が可能な技術	移動装置	・ドライウェル外側のベネ、ハッチ部に干渉物を避けてアクセスすることが可能な移動装置 ・ドライウェル外側の狭隙部(MSTノル管等)で干渉物を避けて対象ベネ、ハッチ類近傍側にアクセスすることが可能な移動装置 ・無線で移動機構及び取扱装置の操作が遠隔で可能な装置。 ・移動機構、作業装置を操作するための制御装置。	株式会社 キュー・アイ	
			株式会社 イクシスリサーチ	
			株式会社 IHI検査計測	
			Tビー工業株式会社	
			株式会社IHIエアロスペース	
			三菱電機特機システム株式会社	
			iRobot	
			Inuktun	
			株式会社AAIジャパン	
			Adept Technology	
			パプ日立工業株式会社	
			日立GEエレクトリック・エナジー株式会社	
			広和株式会社	
			有限会社浦上技術研究所	
			SeaBotk	
			VideoRay	
			ビー・エル・オートテック株式会社	
			双葉電子工業株式会社	
			朝日智響株式会社	
			HBOラディオマテック・ジャパン	
			ローム株式会社	
			オムロン株式会社	
			有限会社ムシシステムズ	
			株式会社コンテック	
			日本無線株式会社	
株式会社ゼルライン・ジャパン				
パナソニック株式会社				
株式会社アドバンテック				
株式会社テクノ				
株式会社キーエンス				
株式会社デンソー				
株式会社ハイボット				
マクソンジャパン株式会社				
株式会社東芝	カタログサンプル添付			

ベンダリストの例

技術カタログ																				
分類	移動装置																			
タイトル	ガンマクローラ																			
提案者	株式会社東芝																			
1. 技術内容 (特徴、仕様、性能など)	左右独立駆動型クローラタイプの移動機構。 ・外形：910×440×290mm (突起含まず) ・重量：60kg。 ・走行段差：130mm (実績) ・階段昇降：41度 (実績) ・可搬荷重：150kg (用途に合わせて調整可能) ・ケーブル巻き取り：100m (無線 LAN も可) ・インターフェース：ジョイスティック ・オプション：走行用カメラ (2台)、LED 照明カメラ、点検カメラ用パンチルト機能、多関節マニピュレータ																			
2. 実績 (国内プラント、海外プラント、他産業での実績を含む)	2011年5月以降、福島第一原子力発電所の屋外/屋内の点検作業に使用中。																			
3. 福島第一原子力発電所の適用可と考える根拠、技術的課題	<table border="1"> <thead> <tr> <th>適用課題</th> <th>可否</th> <th>備考・根拠など (定量的に)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>放射線環境での使用</td> <td>可・否</td> <td>最大 15wh×1h の使用実績あり</td> </tr> <tr> <td>高温環境 (60℃) での使用</td> <td>可・否</td> <td>使用実績があるのは 40℃まで</td> </tr> <tr> <td>2012 年上期中の装置提供</td> <td>可・否</td> <td>標準納期 1.5 ヶ月</td> </tr> <tr> <td>技術情報の開示・改造対応</td> <td>可・否</td> <td>用途に応じたカスタマイズ可能</td> </tr> <tr> <td>運転・運用技術者の派遣</td> <td>可・否</td> <td>福島第一原子力発電所にオペレーター/技術者を派遣可能</td> </tr> </tbody> </table>		適用課題	可否	備考・根拠など (定量的に)	放射線環境での使用	可・否	最大 15wh×1h の使用実績あり	高温環境 (60℃) での使用	可・否	使用実績があるのは 40℃まで	2012 年上期中の装置提供	可・否	標準納期 1.5 ヶ月	技術情報の開示・改造対応	可・否	用途に応じたカスタマイズ可能	運転・運用技術者の派遣	可・否	福島第一原子力発電所にオペレーター/技術者を派遣可能
適用課題	可否	備考・根拠など (定量的に)																		
放射線環境での使用	可・否	最大 15wh×1h の使用実績あり																		
高温環境 (60℃) での使用	可・否	使用実績があるのは 40℃まで																		
2012 年上期中の装置提供	可・否	標準納期 1.5 ヶ月																		
技術情報の開示・改造対応	可・否	用途に応じたカスタマイズ可能																		
運転・運用技術者の派遣	可・否	福島第一原子力発電所にオペレーター/技術者を派遣可能																		

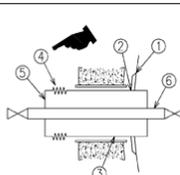
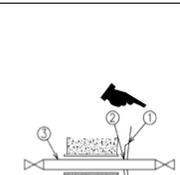
技術カタログの例

# 2. 事業概要

## ○【損傷の可能性が高い箇所】D/W外側補修装置開発

**事業の実績:** 損傷の可能性が高い箇所の補修に適用する止水工法を抽出した。補修対象部位を7種に分類し、部位ごとの選定・具体化を進めている。現場の環境を考慮し実現性を考慮した検討が必要なこと、及び、技術カタログWS及び国際WS／シンポジウムの公募の結果の反映が必要なことから、3月末完了の当初計画を5月末完了に延期して作業を継続している。

**事業の評価:** 止水工法検討は、技術カタログの取りまとめに時間を要しているが、後工程に影響が出ないように並行作業等の工程調整を行う。  
現場情報を具体的に収集するために類似プラントである1F-5の現地調査を実施し、アクセスルート・干渉物等を確認した。

部位	対象部位	構造概略	補修方法						その他	
			溶接(当て板、直接)	充てん材	グラウト等による埋設	テープ、パッチ	被覆	機械締結(継輪等)		接着材、パテ(当て板、直接)
PCV1階以上	ペロー付き貫通部		既設のペロー保護カバーを活用し、その隙間部を鋼板にて覆い、溶接により固定する工法。恒久対策であり、既に漏えいしている部位や、遠隔作業が必要な場合の適用は困難と想定している。	既設の保護カバーを活用し、その隙間部だけを閉止するクランプ状の閉止用具、もしくは止水材で止水し、保護カバーもしくは止水材部に充てん材圧入用開口を複数箇所設け、ペローとの間に充てん材(デブコン等の流動性の高いもの)を圧入、漏えいを止める。	ペロー周辺に型枠等を設置し、グラウト材にて埋設する工法。他のケースとして、アクセスが困難かつ、大量の漏えいがあり、ベネ室のような閉塞された空間内である場合、グラウト材をベネ室に充てん、漏えいを止める工法も考えられる。ただし後年の廃炉工程で撤去物量が増大するため、可能な限り大規模埋設は避ける方がよい。	既設の保護カバーの上から防水シートを巻き付け、両端を固縛し、漏えいを止める工法が考えられる。基本的には漏えいが少ない場合に適用されると考えられるが、止水テープを何層も巻くことで可能な限り漏水を止め、他工法で完全に止水する手順も考えられる。遠隔操作でアクセスすることを想定しても、その作業自体は簡易なことから、技術的なハードルも比較的、低いと考える。	ラバーブーツのようなもので覆う。ただしペローズをまとめて覆う作業は自動化が困難なことが予測されるため技術的なハードルも比較的、高いと考える。	ペローズ部を含む全体を覆う特殊締結器具を作成・設置することで漏えいを止める工法。ただし器具が大型になるものと考えられ、遠隔作業が必要な場合には現実的ではない。	既設保護カバーの隙間を接着剤で覆う工法。もしくは隙間が大きい場合には鋼板を接着剤により固定する工法も考えられる。止水テープ等も併用することで、止水効果が向上することが期待できる。遠隔操作でアクセスすることを想定しても、その作業自体は簡易なことから、技術的なハードルも比較的、低いと考える。	ペローズは保護カバー、補強リングが付いており、全体を直接目視できないし、ペローズに直接補修できない。
	直管		PCVとコンクリ壁の隙間が狭く、現有の溶接機材のアクセスが不可能なことから、PCV外面からの溶接補修は不可能と考える。	PCVとコンクリ壁の隙間に部分的に充てん材を充てんする方法が考えられる。ただし損傷が大規模な場合には充てん材のみで補修するのは困難であり、グラウト材等(流動性のモルタル等)の併用が現実的と考える。	PCVとコンクリ壁の隙間に全面的にグラウトを注入、埋設する工法が考えられる。損傷が小規模であれば、充てん材のみで補修できる可能性も有るが、損傷形態が明確になるまでは本工法を基本とする。	PCVとコンクリ壁の隙間が狭いため、そこを通過して、破損部位に到達し、テープ、パッチ形状の止水材を張り付ける遠隔技術の開発は極めて難航することが予測されることから、止水材による補修は不可能と考える。	PCVとコンクリ壁の隙間が狭いため、そこを通過して、破損部位に到達し、止水シートで破損部位を覆い、かつ固定する遠隔技術の開発は極めて難航することが予測されることから、止水シート等による補修は不可能と考える。	当該損傷想定部位の形状から機械式締結器具を固定することは出来ない。そもそもPCVとコンクリ壁の隙間が狭いことから締結器具の搬入は不可能であると考えられる。	PCVとコンクリ壁の隙間が狭いため、そこを通過して、破損部位に到達し、接着材、パテ状の止水材を張り付ける遠隔技術の開発は極めて難航することが予測されることから、止水材による補修は不可能と考える。	スリーブとコンクリ壁の隙間を閉止する器具を設置して、充てん材を充てんし、PCV周囲の歪みコンクリート壁をパウダリとする。ただし全てのベネに対して実施する必要があるため、作業は長期化することが想定される。
			△	○	△	○	△	×	○	-
			×	△	○	×	×	×	×	△

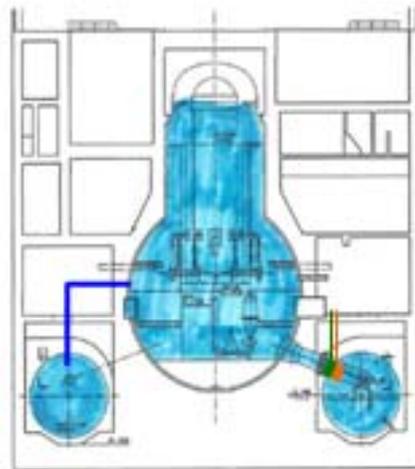
損傷の可能性が高い箇所 補修工法(案)の検討

## 2. 事業概要

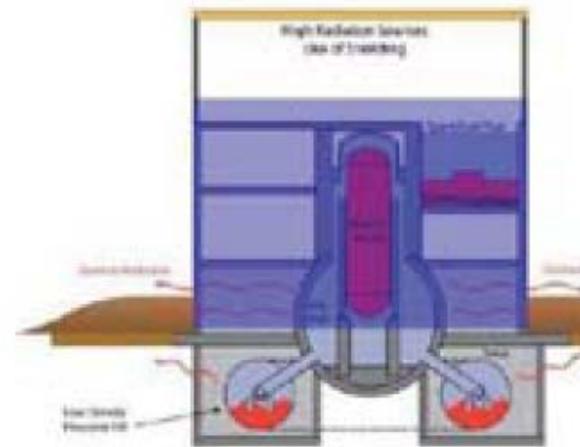
### ○冠水代替案の検討

事業の実績: 格納容器バウンダリ再構築による冠水が実施不可能となった場合の冠水代替について、代替工法の概念抽出を実施した。

事業の評価: 冠水代替案の検討は、今後詳細なエンジニアリングスケジュールを策定して実現可能性の評価を行う予定であり、問題はない。



原子炉遮へい壁  
バウンダリ案



原子炉建屋  
バウンダリ案

冠水代替工法概念(案)の例

# 3. 今後の計画

## 格納容器補修技術の開発

### 必要性

原子炉圧力容器と原子炉格納容器のパウ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パウダリを再構築し、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

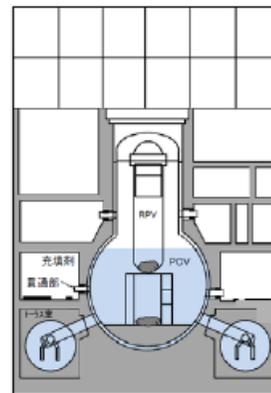
1. 補修工法の検討・装置設計(下部用)
  - ・格納容器下部や原子炉建屋の漏えい箇所を補修するための工法を検討し、必要な装置を開発する。(漏えい箇所調査結果を反映する。)
2. 補修装置の製作・改良(下部用)
  - ・格納容器下部や原子炉建屋の漏えい箇所を補修するための装置を製作し、実機適用性評価(現場実証)を行った上で、必要に応じて装置を改良する。
3. 補修工法の検討・装置開発(上部用)
  - ・格納容器上部の漏えい箇所を補修するための工法を検討し、必要な装置を開発する。(漏えい箇所調査結果を反映する。)
4. 補修装置の製作・改良(上部用)
  - ・格納容器上部の漏えい箇所を補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

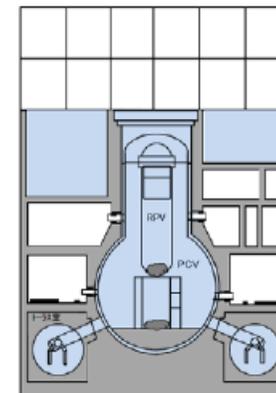
要素技術	適用例
補修(止水)材 補修(止水)用装置	シーリング材 グラウト材
補修(止水)材注入孔穿孔工法 補修(止水)材等の充填工法	空隙充填、 水中構造物
原子炉格納容器遠隔補修用ロボット	クローラ ビークル

### 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)	[Progress bar from 2011 to 2015]						
2.補修装置 製作・改良 (下部用)	[Progress bar from 2014 to 2016]						
3.補修工法 検討・装置設計 (上部用)	[Progress bar from 2011 to 2017]						
4.補修装置 製作・改良 (上部用)	[Progress bar from 2015 to 2017]						
5.代替工法の検討	[Progress bar from 2011 to 2013]						



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

## 3. 今後の計画

### 平成24年度における事業の目標

- 平成24年度は、下記の項目を実施する。
  - ◆ 損傷の可能性が高い箇所に対する補修装置の要素開発・設計
  - ◆ 損傷不明な箇所に対する補修工法・装置の概念検討
  - ◆ 代替冠水工法の成立性検討
- 計画スケジュールに対し、完了時期を延期している既存技術調査、止水工法の検討については、後工程に影響のでない範囲で完了する。

# 機器・装置開発サブワーキング

報告 ↑ ↓ 管理

## 格納容器補修技術の開発

(幹事会社: 東芝)

既存技術の調査

◎三菱重工、東芝、日立GE

D/W外側補修技術開発【損傷の可能性が高い箇所】

止水工法の検討

◎東芝、日立GE、三菱重工

補修要素技術・装置の検討・開発・設計

◎日立GE、東芝、三菱重工

ロボット(要素技術の組合せ)

◎日立GE

人間系(遠隔以外)作業用装置

◎東芝

DW外側(フランジ・ペネ・遮蔽壁間ギャップを除く)・  
S/C及びトラス室壁面補修技術の開発【損傷不明な箇所】

止水工法の検討(上部・下部)

◎東芝、日立GE、三菱重工

穴開けロボット及びS/C補修ロボット(下部)

◎東芝、日立GE、三菱重工

トラス室壁面補修ロボット(下部)

◎日立GE、東芝、三菱重工

DW外側(フランジ・ペネ・遮蔽壁間ギャップを除く)・  
S/C及びトラス室壁面補修技術装置の開発

東芝、日立GE、三菱重工

冠水代替案検討

◎日立GE、東芝、三菱重工