

格納容器漏えい箇所特定技術の開発

平成24年4月23日

日立GEニュークリア・エナジー(株)

(株)東芝

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（RPV）と原子炉格納容器（PCV）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、PCVを補修してバウンダリを再構築し、水で満たした状態にすることを想定している。

しかしPCV近傍は高線量下で狭隘部もあり、またPCV下部（圧力抑制室等）が浸水している。こうした環境で損傷箇所を特定する技術はいまだに確立されていない。

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。

平成23年度における事業の目標

- ▶ 漏えい箇所の検討
 - ・ シビアアクシデントで生じる圧力変動や温度変動等によりPCVが受ける影響、並びにPCVの材質・強度・構造等の設計情報等に基づき、シビアアクシデント等で損傷する可能性のある箇所を想定する。
- ▶ 既存技術の調査
 - ・ 損傷想定箇所を当該環境下（高線量・狭隘・水中等）で点検調査するために必要な要素技術や遠隔操作技術等について、既存技術を調査する。
- ▶ 調査工法の検討
 - ・ 点検調査工法や装置の開発に有益な情報を得るための現地調査を行う。
 - ・ 上記を踏まえ、最適な点検調査工法を開発する。

2. 事業概要(1/4)

➤ 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年度実績としては漏えい箇所の検討、既存技術の調査、及び、調査工法の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。

No	主要案件				11/下	12/上	12/下
	電共研工程						
	1. 点検調査工法の開発				点検調査工法の開発		
	2. 点検調査装置の開発				点検調査装置の開発(設計)		
	3. 実機適用性評価・装置改良						
1	全体計画	T	H	M			
2	漏えい箇所の検討 ・PCV・S/CTーラス室 損傷箇所推定 (1F-1,2,3構造より)	◎	○	漏えい箇所の洗い出し ⇒鋼製シェル、ハッチ、エアロック、ベント管、ベネ			
				漏えい原因(環境条件)の洗い出し ⇒溶融デブリ、水素爆発、熱、内圧、地震、腐食起因			
				漏えいパターンの洗い出し ⇒変形、破断、溶融、破裂、腐食			
				評価 (部位・原因・パターンの組合せによる)			
				調査報告書の作成			
	走行系装置の調査						

No.	INPUT条件	要求事項詳細(具体的に)	INPUTデータが必要な理由
-	-	-	-
①	シビアアクシデント状況中のアラームデータ	・PCV温度 ・RPV水位 ・PCV圧力	・漏えい原因の洗い出し ・漏えいパターンの洗い出し
②	・事故時の格納容器耐性評価 ・格納容器電気ベネトレーションの特性	・PCV耐圧限界 ・有機シール耐熱・耐圧限界 (破損条件の確認のため)	・漏えい箇所の洗い出し ・漏えい原因の洗い出し ・漏えいパターンの洗い出し
③	地震時の強度評価	・地震動の大きさ、許容値に対する結果	・漏えい箇所の洗い出し ・漏えい原因の洗い出し ・漏えいパターンの洗い出し
④	シビアアクシデント時の燃料挙動に関する解析評価結果(MAAP)	・溶融炉心位置 ・PCV内圧力 ・PCV内温度	・漏えい箇所の洗い出し ・漏えい原因の洗い出し

インプット/アウトプット

全体工程

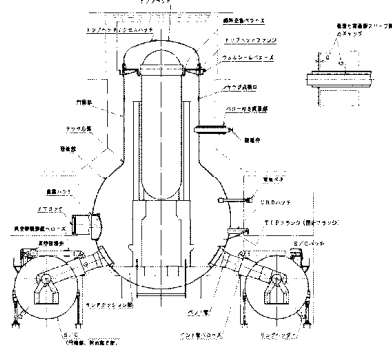
2. 事業概要 (2/4)

➤ 漏えい箇所 の 検討

事業の実績：・格納容器バウンダリにおいて構造的観点より、検討部位をPCVシェル、貫通部、隔離弁の3つに分類した。分類ごとに損傷評価の必要な部位の抽出を完了してリスト化し、整理した。現在、これらのうち、損傷の可能性のある部位の抽出作業を実施中であり、損傷要因の評価値の設定根拠の明確化が必要。当初計画(3月末完了)より約1ヶ月延期して4月末までにまとめる予定である。

事業の評価：・シビアアクシデントの影響による損傷の要因の評価値の設定は、詳細に実施しているために時間をかけているが、後工程である調査・点検装置の開発・設計に影響が出ないように並行作業等の工程調整を行う。

対象箇所



PCVシェル	トップヘッド	ウェルシールペローズ	
	トップヘッドフランジ	その他	燃料交換ペローズ
	円筒部		S/Cハッチ
	球殻部	貫通部	ペロー付貫通部
	ナックル部		二重管
サンドクッション部	直管		
スタビライザ取付部	計装配管		
S/C	円筒部	予備ベネ	
	斜め継ぎ部	機器ハッチ	
	耐震サポート取付部	閉止フランジ	
その他	バント管ペローズ	エアロック	
	リングヘッダ	バント管	
	シアラグ点検口	真空破壊弁	
	トップヘッドハッチ	隔離弁	

調査箇所 の 評価

No.	区分け	設置フロア	機器名 貫通部 番号	部 位	詳細設置場所 (小部屋名、広間)	員数	プラントデータ (東電中から)				環境条件 (漏えい発生シビアアクシデント)			調査・点検の要否と対象箇所 対漏えい発生 影響・損傷形態	調査・点検 対漏えい発生 影響			
							温度°C		圧力Moa		湿度	圧力 (内圧)	温度			溶融 燃料		
							実測値	解析値1 (2011.11.30)	解析値2 (2012.03.12)	実測値							解析値1 (2011.11.30)	解析値2 (2012.03.12)
1. PCVシェル																		
1	D/W	R/B4階	PCV	トップヘッド	-	1	400	520	780	0.84	0.87	0.84	○	○	×	-	高温下の許容応力低下による損傷**	① 注水時にトップヘッド開放されるため調査対象外
2	D/W	R/B4階	PCV	トップヘッドフランジ	-	1	400	520	780	0.84	0.87	0.84	○	○	○	-	① 高温によるシール剥離 ② 注水時にトップヘッド開放されるため調査対象外	
3	D/W	R/B2階	PCV	円筒部	-	1	400	520	780	0.84	0.87	0.84	○	○	○	-	① 高温下の許容応力低下による損傷**	② 代表部としてナックル部について調査実施**
4	D/W	R/B1階	PCV	ナックル部	-	1	400	520	780	0.84	0.87	0.84	○	○	○	-	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

2. 事業概要 (3/4)

➤ 既存技術調査

事業の実績：・本開発に必要な要素技術を検討し、当該技術とその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WS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ヶ月延期して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、より広く技術を収集するため時間をかけて実施している。後工程である調査・点検装置の開発・設計に影響が出ないように並行作業等の工程調整を行う。
・当初計画からの改善点として、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。

技術カタログ ベンダリスト(格納容器(PCV)漏えい箇所特定技術の開発)				
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
トラス室壁面およびS/C上面調査ロボット	移動機構	・トラス室内水中を遊泳して壁面の状況を調査可能な装置 ・トラス室外部から室内へ侵入し、S/C上面に位置する真空破壊弁、ハッチ類を調査することが出来る装置 ・本機構には、遠隔操作のための制御装置及び通信装置を含む	パブリコ工業(株)	
			日立GEエネルギー・エンジニアリング	
			広和機	
			(有)浦上技術研究所	
			SEABOTIX	
			VideoRay	
			(株)キュー・アイ	
			ビー・エル・オートテック(株)	
			株式会社 IHI検査計測	
			トビー工業	
			IHIエアロスペース	
			三菱電機特機システム	
			iRobot	
			Inuktun	
			AAIジャパン	
Adept Technology				
コンテック	無線装置			
アドバンテック	無線装置			
(株)ハイボット	制御装置			
MAXON MOTOR	制御装置			
双葉電子工業				
朝日音響				
HBCラディオマチック・ジャパン				
【特に求められる技術】	通信装置	移動機構を含む	-	
・水中移動、S/C上の走行等により干渉物を回避	制御装置	移動機構を含む	-	
			三菱重工 安川電機	

ベンダリストの例

技術カタログ	
分類	移動機構(取扱装置、作業装置含む)
タイトル	遊泳型ROV
出典	火原協講演論文誌、日立評論、電気評論、他
1. 技術内容(特徴、使用、性能など)	
6基のスラスタにより、左右並進、旋回、昇降の動作を実現。スラスタの駆動軸やカメラの回転軸などの軸シール部を無くし、長寿命化。CCDカメラは、水平方向(パン)360°回転と、上下方向(チルト)0~90°回転の動作範囲を持ち、狭隘な炉底部においても装置本体の姿勢を変えずに様々な方向のVTを実施することが可能。	
表. 遊泳型ROVの主な仕様	
項目	仕様
寸法	W120mm × H352mm × L250mm
気中重量	約 6kg
推進機構	推進用スラスタ 2基、 左右並進・旋回・昇降スラスタ 4基
カメラ	CCDカメラ、照明用LED
	パン: 360° チルト: 0~90°(水平)
耐環境性	耐放射線性、耐水圧構造(0.3MPa)
図. 遊泳型ROVの概観	
2. 実績	
原子カプラント用途に実績有り。	
短身機、...	

カタログの例

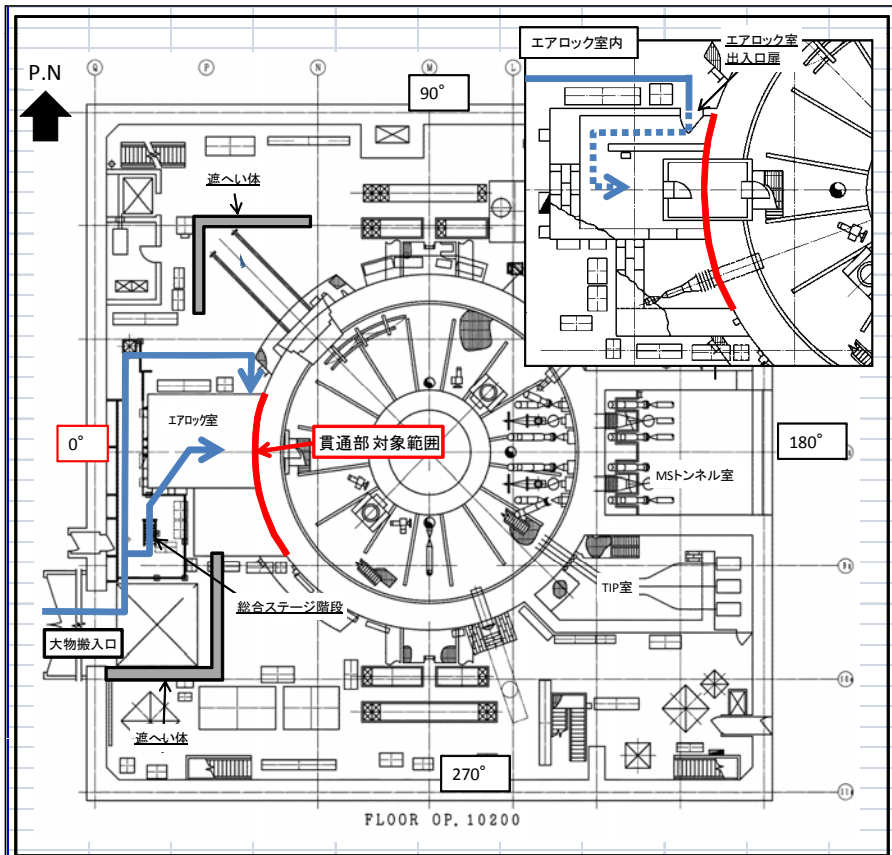
2. 事業概要(4/4)

調査工法の検討

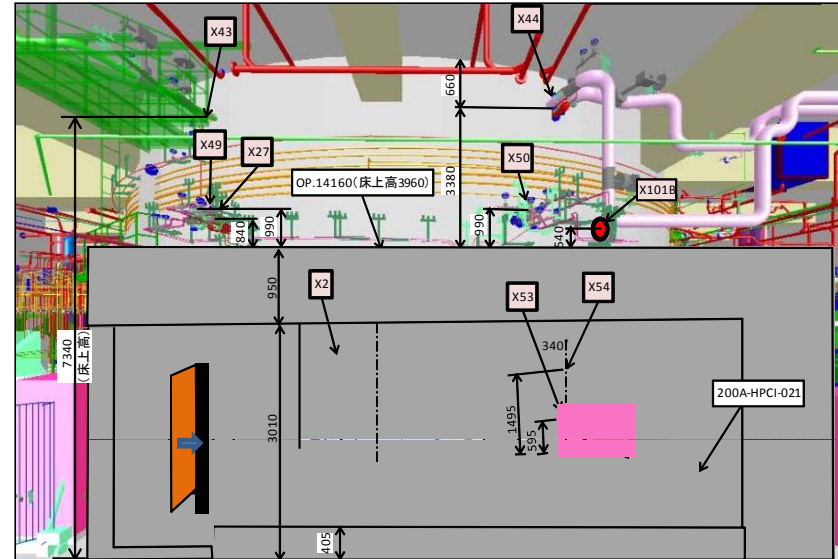
事業の実績：・漏えい可能性のある部位に対し、アクセスルートと周囲の干渉物を可能な範囲で確認した。
到達方法や観察方法についても検討中。
・今後、至近に実施する現場調査の情報も取り込み、当初計画(3月末完了)より約3ヶ月延期して6月末までにまとめる予定である。

事業の評価：・現場状況等の情報取得に時間をかけているが、後工程である調査・点検装置の開発・設計に影響が出ないように並行作業等の工程調整を行うこととする。
当初計画からの改善点として、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。

アクセスルート検討



干渉物検討



3. 今後の計画(1/2)

格納容器漏えい箇所特定技術の開発

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。

実施内容

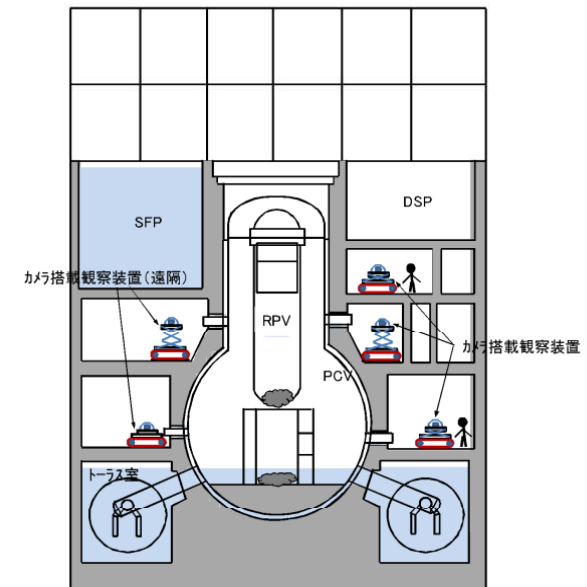
- 点検調査工法の検討・装置設計
 - 格納容器や原子炉建屋の漏えい箇所を特定するための工法を検討し、装置の設計を行う。
- 点検調査装置の製作・改良
 - 格納容器や原子炉建屋の漏えい箇所を特定するための装置を製作するとともに実機適用性評価(現場実証)を行い、必要に応じて改良を進める。

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

3. 今後の計画(2/2)

平成24年度における事業の目標

- 点検調査工法 検討
 - ・ 点検調査工法 検討・装置設計のうち、調査工法の検討が当初計画より、完了時期を延期したため、PCV漏えい箇所調査開始予定時期に影響がない範囲で完了する。
- 点検調査工法 装置設計
 - ・ 開発した点検調査工法に基づき当該環境下（高線量・狭隘・水中等）で想定箇所等を点検調査するために必要な装置の開発、設計を実施する。

4. 格納容器漏えい箇所特定技術の開発体制

