これまでをふりかえり、今後を展望する(原子力発電部会)

原子力の安全性向上のための技術開発 Technology Development for Nuclear Safety Enhancement

後藤 圭太
Keita Goto

KEYWORDS: Safety Enhancement, Passive Core/Debris Cooling, Hydrogen Management

原子力を取り巻く環境

原子力は、二酸化炭素排出量削減による地球温暖化防止や長期的なエネルギーセキュリティ確保の観点から、日本において重要なエネルギーである。

平成30年7月に閣議決定された日本の第5次エネルギー基本計画¹⁾において、「東京電力福島第一原子力発電所事故を経験した我が国としては、(中略)原子力については安全を最優先し、可能な限り原発依存度を低減する」とされている一方で、原子力技術開発の推進については、「原子力利用の安全性・信頼性・効率性を抜本的に高める新技術等の開発を進める」、「こうした取組みを進めるに当たっては、(中略)民間は創意工夫や知恵を活かしながら、多様な技術間競争と国内外の市場による選択を行うなど、戦略的柔軟性を確保して進める」とされている。

近年、国内外を含め、地球環境に優しい再生可能エネルギーの増加や、電力市場の自由化による電力価格競争の激化など、原子力を取り巻く環境が変化している。エネルギー環境が変化する中で、原子力発電が今後もエネルギー源として選択されるためにも、福島第一原発事故の教訓を踏まえたより高い安全性の追求はもちろんのこと、環境に配慮した、安定的で、他電源に負けない低廉な電力供給という観点で、原子力の技術開発・研究開発を進め、原子力発電の電力市場への競争力向上を図っていく必要がある。

原子力の技術開発の取り組み

従来の軽水炉技術の向上に加え、国内外の原子力発電を取り巻く環境変化、および福島第一原発事故の教訓を踏まえ、原子力の技術開発・研究開発に取り組む必要がある。当社においても、福島第一原発事故による外部ハザード対策の重要性、深層防護の向上の必要性を鑑み、原子力発電の更なる安全性向上のための技術開発に取り組んでいる。技術開発の分野は、福島第一原発事故の教訓において優先度が高いと判断されたシビアアクシデント(SA)の防止および緩和に関する技術課題として

	炉心損傷前	炉心損傷後 (原子炉容器内)	炉心損傷後 (原子炉容器外)
炉心冷却 ／デブリ冷却	事故耐性燃料(ATF) (SiC:炉心冷却喪失時の 優れた耐性)	原子炉容器内保持 (IVR)による外部冷却	静的デブリ冷却／ MCCI防止
格納容器 健全性		静的崩壊熱除去	
		スクラビング／フィルターベント	
水素対策	事故耐性燃料(ATF) (SiC:水素発生抑制)	金属酸化物を用いた水素除去システム	
SA シミュレータ	事故解析(MAAP)モデルの開発／改良		
計装設備強化	シビアアクシデント事象関連パラメータ計測技術		
蓄電池	大容量リチウムイオンバッテリー (SCiB TM)		
地震対策	振動減衰／免震技術		

図1 安全性向上のための技術開発の概要

IAEAの報告書²⁾で強調されている技術分野に対応しており、具体的には、深層防護、異常事象/外部事象、全交流電源喪失(SBO)および最終ヒートシンク喪失、水素対策、格納容器ベント、SA対策、計装制御・電源設備の強化、使用済み燃料プール冷却といった広範囲に亘る技術開発を推進している。

当社の福島第一原発事故後の安全性向上のための技術開発の概要を図1に示す。また、主な先行技術開発の概要について、以下に紹介する。

先行技術開発の紹介

1. 水素対策

福島第一原発事故では、燃料被覆管のジルコニウムと水蒸気との反応で大量かつ急激に発生した水素が格納容器過圧や原子炉建屋爆発の原因と推定されており、水素対策の重要性が強調されている。この対策として、(1)水素発生抑制と、(2)発生した水素の除去の2つの対策に関する技術開発を進めている。

(1)については、高温水蒸気環境下でも反応速度が緩慢で温度上昇しにくいシリコンカーバイド(SiC)による事故耐性燃料(ATF)の被覆管材料等の炉心材料の開発である。炉心材料には、通常プラント運転時の高温水中での耐食性や照射による膨張変形を許容するための靱性が求められるが、一般的にSiCのようなセラミックス材料は靱性が低い。このため、SiCマトリックスとSiC繊維

図2 SiC 炉心材料の試作品

水素処理システム概念図

図3 水素処理システム概念図

維を複合化した材料(以下、SiC 複合材料と称す)とすることで靱性を確保する製造技術を開発している。この製造技術により、SiC 複合材料による短尺のチャンネルボックスと燃料被覆管(以下、SiC 炉心材料と称す)の試作に成功した。図2にSiC 炉心材料の試作品を示す。

今後、フルスケールのSiC 炉心材料の製造、および照射試験の準備等を進めていく。

(2)については、格納容器内が窒素置換されたBWR向けに、酸素を必要とせず高速に水素処理が可能な金属酸化物を用いた水素処理システムの開発を進めている。

新規規制基準対応に準拠した安全対策として、フィルターベントシステムによる系外放出で格納容器過圧を防止するが、放射性物質の格納容器外への放出は避けられない。このため、ノーベント達成を目指した水素処理システムの開発は、原子力の社会的受容性向上にも役立つものと期待される。図3に水素処理システムの概念図を示す。

これまで、水素処理材の反応速度式、反応器評価モデルの構築を実施し、システム解析評価により水素処理システムの有効性を確認している。今後、各評価モデルの精度向上を図ると共に、水素処理システムの実用化に向けた検討を進めていく。

2. 炉心冷却/デブリ冷却

炉心損傷後の高温の溶融炉心と格納容器床面/壁面の

図4 コアキャッチャ概念図

コンクリートの接触(溶融炉心-コンクリート相互作用(MCCI))による非凝縮性ガスの発生を防ぎ、溶融炉心を格納容器下部で安定的に保持/冷却できるコアキャッチャは、原子炉格納容器の安全性向上に有効な設備である。

当社は、図4に示すような冷却流路を水平に対し傾斜を設けたコアキャッチャを開発し、模擬試験にて、流路内の冷却水が自然循環し、溶融炉心を冷却可能であることを確認した。

また、設置スペースや搬入に制約のある既設炉への適用のための薄型コアキャッチャの開発も経産省の委託事業にて実施しており、実機で想定される炉心溶融物を冷却可能であることを確認している。

今後の展望

電力の安定供給、二酸化炭素排出量削減の観点で、原子力発電は引き続き重要な電源であり、福島第一原発事故の教訓を踏まえた更なる安全性向上や、他電源に対する競争力向上に資する技術開発の継続が必須である。原子力プラントメーカーは、国、事業者、研究機関との協調により、率先して技術開発を推進していく使命があると考えている。

参考文献

- 1) 経済産業省 HP 第5次エネルギー基本計画。
<http://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001-1.pdf>
- 2) IAEA report on reactor and spent fuel safety in the light of the accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant, 2012.
<https://www.iaea.org/sites/default/files/spentfuelsafety2012.pdf>

著者紹介

後藤圭太 (ごとう・けいた)
東芝エネルギーシステムズ(株)
原子力システム設計部