

平成12年1月24日

富士電機株式会社 大瀬 克博

革新的な中小型炉の開発について

21世紀を展望すると、電力・エネルギー需給の不確実性が増すことが考えられる。そのような社会情勢の変化に対応して社会の持続的発展を図るために、我が国の原子力開発は、電力供給・エネルギー供給の多様化、立地の多様化、さらに国際協力にも目を向けた取り組みが必要である。このため、ABWR、APWRや次世代大型炉と併存して、新たな発想に基づく安全性、経済性に優れる革新的な中小型炉の開発を進めていくことが有意義である。また、社会的意義の大きい、革新的な原子力エネルギー技術の開発は我が国の原子力産業の活性化そして若い世代への魅力的な技術分野の提供につながると考える。(表1)

1. 開発の要件

軽水炉の開発は中型炉から始まり、次第に大型化してきた。これは、大型化のスケールメリットによる出力当たりの建設費や運転保守費の低減を追求してきたためであり、同時に限られたサイトの有効利用を図ることもできる。

同一の設計で建設するのであれば規模の経済が働くのが一般的な原則であって、今後の中小型炉の開発においては、在来炉のスケールダウンでは高い経済性を達成することは困難であり、中小型炉の特徴を活かした簡素化、モジュール化、静的安全性の導入などを行い、革新的な要素技術を取り入れたプラントを開発することが必要である。単なるスケールダウンによる中小型炉を目指すのであれば技術開発を必要とする要素は乏しく、中小型でも現在の大型の経済性を凌駕し得るような新規技術を開発の目標に据えるべきと考える。

従って、革新技術の例としては以下をあげることができる。

① 高い経済性の達成に向けた技術

静的安全技術を取り入れた安全系の簡素化、機器の一体化、モジュール化、汎用品活用、工場生産範囲の拡大などのプラントの構成、製造方法の改善、及び燃料の長寿命化、熱効率向上、新材料の導入など。

② 人との関わりの少ない安全性を目指した技術

原子力プラントの更なる普及を考慮し、人との関わりの少ない固有の安全性や静的安全技術の取り入れ。

③ 運転保守の容易なプラント

プラントの単純化による運転保守の簡素化、及び腐食や各種応力に対応出来る新材料開発など。

④ 核不拡散性の高い炉

使用済燃料の引き取りなどを考慮した核不拡散性の高い炉心・燃料設計、長期燃料無交換設計。原子力を使用する国が増すことを想定すると、核不拡散性に対するニーズは高い。

2. 開発の現状と今後の進め方

開発対象となる炉は、すでに開発に取り組んでいるが、新技術を取り入れて新たに開発するアイデア段階の炉など、開発段階が異なっており、今後の開発の進め方も異なったものになる。アイデア段階の炉については、小型軽水炉、中小型高速炉、小型の高温ガス熱利用炉など、実証段階の炉には高温ガス発電炉、実用段階に近い炉には中型の単純化軽水炉がある。(表2)

- ① アイデア段階の各種中小型炉については、まず大型炉に勝り得る安全性、経済性を高める概念の基礎となる革新的基盤技術の開発およびプラント概念の検討を実施する。テーマの選定にあたっては、公募など、競争により優れたアイデアが発掘できるシステムを導入し、研究開発の活性化を図る。次に、開発の対象とする概念を選定し、技術的・経済的フィージビリティ検討を実施して、実用化価値の評価を行う。なお、研究は、国が主体となり、国の研究機関、大学、民間などが協力して実施することが考えられる。

これらの技術開発には多くのオプションがあると考えられることから、研究成果の目標設定、評価の枠組みの明確化、研究マネジメントの方法など、官民が協力して効率的な研究開発の進め方を検討する必要がある。

- ② 高温ガス発電炉については、最近海外でも実用化開発の動きがあるが、我が国で実用化に向けた開発を進めるべきかを判断するための評価がまず必要である。このため、実用プラントの技術的・経済的フィージビリティ検討を実施し、その結果と高温工学試験研究炉(HTTTR)の運転・試験実績をもとに、我が国の原子力政策の中での位置づけを明確化し、実用化価値の評価を行う。このような評価を経た上で、実用化に向けた開発を進める。実用化に向けた開発にはHTTTRの活用を図る。なお、フィージビリティ検討は、国の支援のもとに、国の研究機関、メーカーなどが協力して実施し、官民共同でその評価を行うことが考えられる。
- ③ 中型の単純化軽水炉については、実用に近い段階にあることから、大型炉との比較を踏まえて、具体的ニーズ、経済性の見通しなどを明確にする。

なお、中小型炉には炉型、出力などにより、さまざまな特徴を有するものがあることから、それらの特徴を踏まえて開発ニーズ、目標設定等を十分検討した上で開発を進める必要がある。

3. 国際協力

我が国の原子力は国際的にフロントランナーの位置を占めており、従来以上に主体的に国際協力を進める必要があると考える。

海外には送電網が未整備で、中小規模の分散電源を必要とし、今後急速なエネルギー需要の伸びが見込まれる地域が多い。これらの地域のニーズに適合した中小型炉の開発・実用化は、地球環境保全およびエネルギー安定供給への貢献が期待できる。

革新的中小型炉の開発、実用化にあたっては、我が国の大型軽水炉の実績に基づく設計・製作・運転・保守技術、安全文化、および高速炉開発、HTTR開発などにより蓄積した革新技術などを背景に主導的立場に立って、これらの国々と協力し開発を進めることが望ましい。具体的には海外の需要を考慮しながらプラント概念を固め、要素技術開発・実証、プラント実証を共同で実施する。また、IAEAなど国際機関を通じて革新的中小型炉の国際安全基準を策定することなどが考えられる。

この場合、二国間（多国間）協定、核不拡散、燃料供給・使用済み燃料の取り扱いなどの国際的条件整備、我が国の技術開発成果の活用および共同開発に対する国の支援が望まれる。

21 世紀の新たなニーズ	中小型炉の有効性	考慮すべき事項
電力供給、エネルギー供給の多様化	電力の伸びの鈍化等を考慮した出力のベストミックス。離島などの地域電力供給。CO2 削減や化石燃料枯渇対策としての一次エネルギーの供給（熱供給、水素供給など）。	高い安全性、経済性が実用化の条件。
立地の多様化	需要地近接炉の必要性（遠隔化する立地の打開、消費地が原子力リスクの一部を負担すべきなどの世論、熱供給などの地域供給の必要性）。	都市近傍の立地では地盤条件への配慮が必要。地域熱供給、地域電力供給に関する社会的理解が必要。
多数の国への原子力普及への協力	小さなグリッド網、ファイナンスの制約等から概ね中小型炉。ただし、大型炉を必要とする国もある。	国際競争力の確保、核不拡散性の配慮、人との関わりの少なく人的エラーが生じ難い安全性、原子力導入に係る相手国との協定等の条件整備等
波及効果	原子力産業の活性化、若い世代への魅力的な技術分野の提供	

表2 各段階の中小型炉の開発例(最近の研究を中心に例示)

開発段階	炉型	名称	機関等	出力(Mwe)	特徴	1980	1990	2000	2010
アイデア段階	BWR	M-SBWR	NERI	200	稠密炉心、SBWRベース				
		HCBWR	NERI	600~1350	Th使用稠密炉心、ABWRベース				
	PWR	STAR-LW	NERI	50~200	一体型原子炉、15年燃料無交換、保守費小				
		改良MRX	原研	100/300th	熱供給専用炉、都市大深度地下立地				
	HTGR	高温ガス熱利用炉	原研他	100~600th	プロセス熱利用、カスケード利用				
	FBR (高速炉)	S-PRISM	GE	311×6	一体型原子炉、モジュール炉、長期燃料無交換				
		4S	電中研	10~50	一体型原子炉、長期燃料無交換				
		STAR ENHS	NERI	125th	一体型原子炉、長期燃料無交換、Pb-Bi利用				
		超臨界圧FR	東大		超臨界圧技術、稠密炉心				
	熔融塩炉	FUJI	東海大他	150	熔融塩(液体:燃料+冷却材)、トリウム燃料				
実証段階	HTGR (高温ガス炉)	PBMR	ESKOM	110	モジュール炉、Heガスタービン、近く建設具体化				
		GT-MHR	ロシア,DOE	285	兵器級Puの燃焼炉				
実用に近い段階	BWR	SBWR	GE,電力	600~1200	静的安全炉				
	PWR	AP600/SPWR	WH,電力	600~1200	静的安全炉、AP600最終設計承認取得				
【試験炉】	HTGR	HTTR	原研	30th	熱利用試験研究炉				

■ 建設

▨ 基本設計/許認可

▤ 概念設計

□ 予備検討

許認可中止

型式認定取得

着工

出力上昇試験中

革新的中小型炉開発の効果

国内効果

電力供給・立地の多様化

- ①電力需要の伸びが不確実な低成長期における投資リスクの低減、柔軟な設備計画
- ②分散立地→大規模災害、緊急事態における電力供給停止リスクの低減
- ③立地拡大→送電コストの低減、消費地/生産地問題の解消

エネルギー供給の多様化

原子力熱エネルギーの直接利用：海水淡水化、民生用・産業用熱供給、水素製造
→環境・資源問題に対する原子力の貢献の拡大

技術開発の活性化

- ①若い世代への魅力的革新的技術分野の提供
- ②原子力産業の活性化

革新的中小型炉開発の効果

国際的效果

多くの国への普及に適した原子力プラントの開発



- ①地球環境問題解決への原子力の貢献の拡大
- ②我国および世界のエネルギー供給の安定化
- ③開発途上国を中心とした急速な経済成長と、地球環境問題、資源問題の両立
- ④人との関わりの少ない安全性をもつ原子力プラントの普及

米国原子力エネルギー研究イニシアチブ

(NERI : Nuclear Energy Research Initiative)

ねらい

米国の国際競争力，人材，知的基盤の維持・活性化

→ 国際指導力強化

内 容

- ・ 研究テーマ公募：1999年度 45テーマ（応募約350件）
- ・ 重点：①核不拡散性強化 ②経済性・安全性向上
 ③開発途上国向小型炉 ④廃棄物管理・処分
- ・ 予算：1999年度 19M\$（1件 10万～120万\$／年）
 2000年度 22.5M\$

実用化への課題と開発の進め方

アイデア段階の炉（各種小型炉）

課 題

- ・ 開発目標の設定
- ・ 革新的技術・概念 → 経済性向上のブレークスルー
- ・ 概念の評価・絞り込み

開発の進め方

革新的基盤技術の開発、プラント概念検討
（公募による研究開発活性化）

→ 開発対象概念の絞り込み



【評価】

技術的・経済的フィージビリティ検討

→ 実用化価値評価

- ・ 国主体、国の研究機関、大学、民間等協力
- ・ 官・民・学共同の横断的な評価の場を設置

実用化への課題と開発の進め方

実証段階の炉（高温ガス発電炉）

課 題

- ・ 経済性詳細評価
- ・ 実用化のための開発試験
- ・ 原子力政策上の位置づけ明確化
- ・ 安全設計基準の確立
- ・ プラントの実証

開発の進め方

- ・ 実用プラントの技術的・経済的フィージビリティ検討
- ・ HTR 運転・試験データの取得・評価
→ 実用化価値評価



- ・ 実用化のための技術開発・実証、詳細設計
- ・ 安全設計基準確立のための評価・実証
(HTR 活用、国際協力)

- ・ 国の支援のもと、国の研究機関、メーカー等協力実施
- ・ 官民共同で評価

実用化への課題と開発の進め方

実用段階に近い炉（単純化軽水炉）

課 題

- ・ 具体的ニーズの明確化
- ・ 経済性の見通し明確化

開発の進め方

- ・ 具体的ニーズに応じた実用化推進

革新的中小型炉開発における国際協力

基本的立場

我が国の原子力は、国際的にフロントランナーの位置
→ 主体的国際協力の推進が必要

我が国の役割

- ・ 開発の主導
- ・ 大型軽水炉の実績に基づく設計・製作・運転・保守技術の活用
- ・ 高速炉, HTTR 開発で培った革新技術の活用

協力

- ・ 海外のニーズを考慮したプラント概念
- ・ 要素技術の開発・実証
- ・ プラントの実証
- ・ 国際安全基準の策定
- ・ IAEA 等を通じた協力

国際的ニーズ

- ・ 中小規模電源を必要とし、需要の急速な伸びが見込まれる地域に適した中小型炉
- ・ 国際協力による中小型炉開発の効率化

国による 条件整備

- ・ 2 国間（多国間）協定締結
- ・ 核不拡散、燃料供給・使用済み燃料の取り扱い等国際的条件整備
- ・ 我が国の技術成果の活用（技術移転）、共同開発に対する国の支援