

原子力発電技術の研究開発の現状と今後の課題

原子力運営部長 安井 恒政

1 ま え が き

わが国初の商用炉である東海発電所が運開してから16年、軽水炉の初稼動以来13年が経過し、原子力発電の全設備容量は1,600万kWを超え、わが国全体の発電電力に占める原子力の比率は12%に達した。

エネルギー源の多様化、石油代替エネルギーの開発という国家的要請に応じて、原子力発電設備量は毎年増加しつつある。

先づ最初に、原子力開発利用に関する研究開発の歩みを振り返って、わが国全体としての原子力発電技術の開発研究について要約し、その中で電力側の研究開発の位置づけを明確にした上で、現状を紹介する。

2 わが国の原子力技術に関する研究開発

わが国の原子力発電技術は、その基本方針を定めた原子力基本法が昭和31年に施行された時がその始点であると言える。そして昭和30年代は、将来に向けての体制が整備され、開発の基盤が確立された時期であった。

すなわち、日本原子力研究所（原研）、原子燃料公社、および放射線医学総合研究所などの研究開発機関が設立され、研究開発の基本的な組織体制が整えられた。

このうち原研では昭和31年の創立以来、主として原子力関係技術等に伴う安全性に関する研究に取り組んでいる。すなわち、総合的な原子力の研究開発機関として、原子炉安全および環境安全の両分野にわたり、体系的・実証的な研究が実施されている。

例えば、原子炉安全研究では軽水炉の冷却材喪失事故、反応度事故などに関する研究、原子炉燃料体の安全性、健全性に関する研究、安全性評価解析手法の研究などが実施されている。また安全性研究は国際的な協力のもとに進められており、ハルデン計画、LOFT計画への参加などが行なわれている。

環境安全研究では、放射性廃棄物処理処分の方策や、基準づくりのための研究、環境放射線・放射能の評価・解析、およびモニタリングに関する研究等が実施されている。そのほか、“廃炉”に関する研究も実施されている。

次に、昭和42年に設立された動力炉・核燃料開発事業団は、高速増殖炉（FBR）、新型転換炉（ATR）および核燃料の研究開発を国家的事業として一元的に実施し、自主技術の確立を目指した機関である。

同事業団により、FBR実験炉“常陽”，およびATR原型炉“ふげん”が建設され、夫々昭和52年、53年に臨界に達し、一先づの具体的な成果として開発の基礎段階が達成された。

核燃料の開発については、ウラン探査活動、プルトニウム燃料の開発、遠心分離法によるウラン濃縮パイロットプラントの稼動、再処理施設の稼動等の成果が得られている。

さて、昭和40年頃からの約10年間は、原子力発電の開花期とも言うべき時期で、東海1号炉のほか、各社の軽水炉が次々と計画決定され、その建設が可成り急速に進められた。

こうした電力各社の動きに呼応して、電力中央研究所（電中研）においても、原子力発電技術に関する研究開発が開始された。

研究開発の推進については、電力各社および関連機関の代表者により構成される“原子力発電技術開発推進会議”が設けられ、電気事業のニーズと要請に基づいた研究計画の審議および成果の評価をふまえて、研究開発が行なわれている。

その研究課題は、①運転信頼性・安全性、②耐震・構造・立地拡大技術、③核燃料サイクル・バックエンド対策、④FBR等の分野に大別され、メーカーや他機関における研究と重複しないような、基礎的・実証的研究、ならびに評価技術の確立のための研究が実施されている。

核燃料サイクル・バックエンド対策上の重要な課題である放射性廃棄物の処理処分については、原研、電中研等で基本的な実験・研究が実施され

ているが、主として低レベル放射性廃棄物の処理処分を受託、推進する機関として(財)原子力環境整備センターが、昭和51年10月に設立された。そして、試験的海洋処分に関する準備および陸地処分に関する調査研究が進められている。

その後、昭和48年、54年の第1、2次オイルショックによる石油の値上りに伴って、原子力発電の経済的優位は確かなものとなってきたが、反面、設備の大規模化に従って、昭和50年頃から各種配管類の漏洩、応力腐食・熱疲労割れなどの故障が生じ、原子力発電所の稼働率が著しく低下した。

そこで、通産省の主宰の下に、原子力発電設備改良標準化調査委員会が、昭和50年に発足し、輸入技術を軸として開発されてきた軽水炉技術を、自主技術によって改良し、標準化するための調査検討が開始された。

こうしたプラント改良・標準化の検討と併せて、発電用機器の安全性、信頼性に関する自主技術の向上を図るため、各種の実証試験、確証試験等を実施する機関として、(財)原子力工学試験センターが昭和51年に官民協力のもとに設立された。

一方、電力業界としては、こうした改良標準化の動きを積極的に支持し、参加するため、全電力として原子力利用に関する研究開発を促進することとした。しかし、原子力発電技術の研究開発は電力各社間に共通した課題が多く、且つ多額の費用を要するので、昭和51年度より原子力発電に関する共同研究(電力共研)が、各電力および関連メーカー等との間で、電事連大のプロジェクトとしてスタートした。

その研究計画は電力各社の要望に基づき、毎年度見直されることになっている。

3 電力共同研究の概要

電力共研の研究対象となっている項目は次のとおりである。

I 軽水炉技術の確立

- i 軽水炉の定着化ならびに信頼性向上対策
- ii 安全性の確認
- iii 軽水炉技術の改良
- iv 耐震設計の合理化

II 原子力利用のための基盤整備

- i 核燃料サイクルの確立
- ii 廃棄物の保管処分
- iii 立地・環境保全
- iv 条件整備のための諸技術

III 核燃料資源の有効活用

そして、昭和57年度の研究件数は137件で、そのうちBWRに関係のあるものは、81件である。

また、昭和56年度より、電力共研の一環として、BWR関係6社と日立、東芝、およびGEのメーカー3社との間で新型沸騰水型原子炉(A-BWR)に関する共同研究が開始された。

これは、GE社の設計を基本とした現在のBWRを更に改善し、一層の信頼性、運転性の向上を図るため、ヨーロッパの技術の優れた点も取り入れた新しい型のプラントの開発を目指すものである。

以下に各研究項目の概要について述べる。

(1) 軽水炉技術の確立

A 軽水炉の定着化ならびに信頼性向上対策

軽水炉技術のうち、ハードウェア面の国産化率は既に90%に達しているが、最近ではTMI事故等の影響で、軽水型プラントの置かれている技術的立場は厳しいものがある。

この厳しい現状を克服し、軽水炉の定着化、信頼性の向上を図るため、各種の開発実証試験が行なわれている。

先づ改良標準化に関連した項目としては、

- ①保守点検作業を容易にし、被ばく低域のための原子炉格納容器の大型化
- ②耐SCC材の開発と耐SCC工法の確立、
- ③遠隔自動超音波傷装置の開発による能率向上と被ばく低減
- ④低コバルト材の開発によるプラントの低放射線量化
- ⑤燃料交換機、CRD交換機等の遠隔自動・高効率化による被ばく低減と定検期間の短縮
- ⑥改良8×8燃料の開発と高速スクラムCRDの組み合わせによる炉心設計の改良等である。そのほか、56年度より
- ⑦運転管理システムの改良
- ⑧定検のための各種自動化、遠隔化の検討
- ⑨放射性廃棄物処理装置の改良等が取り上げられている。

さらに、軽水炉の定着化を進める上で重要な項目である被ばく低減については

- ① 作業者の被ばく低減と作業環境の改善のため
「クラッド発生低減化と除去技術の開発」
「よう素の形態把握と除去技術の開発」
- ② 放射性廃棄物の放出低減、減害処理のため
「逆浸透膜利用技術の開発に関する研究」
「廃樹脂スラッジおよび活性炭の焼却処理技術に関する研究」
- ③ 諸測定を自動化して、業務の迅速、合理化のため、「化学管理・放射線管理の自動化研究」等の研究課題が設定されている。

そのほか、点検保修の効率化対策として、「給水スパーージャの耐久性」「RPV自動点検機器の開発」「給水ノズルコーナUT探傷技術の向上」「配管保修技術等に係わる確信試験」等の研究課題が設定され検討が続けられている。

また、補修工事の面からプラント稼働率の向上を図るため「プラント運転中の補修方法についての確信試験」「あて板等による補修方法についての確信試験」等の電力共研が本年度より実施されることになった。

イ 安全性の確認

原子炉等の技術面からの安全性は既に十分なレベルで確保されているが、それ等の設計、建設、運転経験の蓄積、安全研究の進展による知見の増大に対応して、また今後予想される原子炉等の改良・発展に備えて、安全基準・指針・評価手法等の判断材料の整備に資するため、安全性実証研究を一層推進する必要がある。

軽水炉の安全性評価上重要な冷却材喪失事故(LOCA)に関しては「蒸気雰囲気中における炉心スプレー分布試験」「LOCA時の炉心再冠水過程に関する研究」「LOCA時の複数チャンネル炉心挙動に関する研究」などの研究課題が設定され、LOCA時の非常用炉心冷却水の挙動、冷却効果等をよりの確に解明し、現在の解析および設計の妥当性を実証する実験が行なわれている。

また、TMI事故を契機として、より小さな配管破損事象や、運転時の異常な過渡現象に関する情報の必要性が増したため「各種中小破断事故時の複数チャンネル炉心挙動に関する研究」なども進められている。

ウ 軽水炉技術の改良

電力共研として、現在までに実施されてきた軽水炉技術の改良に関する研究は全て核燃料に関するものである。

BWR燃料の改良の主なものは

- ① 被覆管として延性の大きい再結晶焼ナマシ材が採用されたこと
- ② “局部水素化”による破損を防止するため水分管理が徹底されたこと
- ③ 熱負荷を低減するため、7×7型燃料から8×8型燃料に変更されたこと

等である。その結果、燃料の破損率は大幅に低下し、外国の燃料の破損率が1万本に4～5本であるのに対し、国産のものは10万本に1本程度となっている。

しかしながら、現在の燃料は出力上昇時に、燃料ペレットと被覆管との相互作用(PCI)により燃料の健全性が損なわれる恐れがある。

その対策として、出力上昇率を制限して、燃料の出力変化をなるべく小さくする運転方法(“ならし運転”, PCIOMR)が行なわれている。しかし、ならし運転は燃料の健全性を保つ上からは好ましいが、プラント利用率(稼働率)が低下するというマイナス面がある。

そこで、プラント利用率の向上を図るには

- ① 出力上昇率の詳細再検討により、ならし運転を緩和または撤廃の方向へ努力する
- ② 運転期間中の制御棒パターンの変化を殆んど要しないコントロール・セル炉心を採用
- ③ 被覆管は銅バリア型またはジルコニウムライナ型とする
- ④ 燃料ペレットとして、中空ペレットを採用等の対策が検討されている。

そこで、電力共研では「燃料体品質向上に関する研究」「燃料体改良研究」「銅バリ刀型改良燃料炉内実証共同研究」などの燃料改良に関する諸研究が、海外の試験炉を用いて実施されている。

エ 耐震設計の合理化

世界有数の地震国であるわが国では、原子力発電所の地震対策は安全確保上の最重要課題の1つであり、発電所の耐震性には国の厳しい安全審査が課されている。

その審査は、原子力委員会による「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に基づいて実施される。電力共研では、

①設計用地震動の特性を把握するため

「地震動特性に関する研究」「岩盤の地震動特性に関する研究」などの課題を設定し、耐震設計上の基礎データの収集

②地震時建屋の安定性評価手法合理化のため、

「原子炉建屋の地震時安定性に関する研究」「原子炉建屋応答性状に関する研究」などの課題を設定し、地震時における建屋や主要機器配管類の振動性状のより正確な把握と設計への反映

③建物および機器等の上下地震動に対する応答解析手法確立のため

「上下地震動に対する解析手法の実証研究」などの研究開発が実施されている。

(2) 原子力利用のための基盤整備

ア 核燃料サイクルの確立

1990年以降に、イギリスやフランス等から返還されてくることになっている、海外での再処理に伴う高レベル放射性廃棄物の受入れ、貯蔵、処分に関する検討の一環として「返還廃棄物対策に関する研究」が実施されている。

これは返還廃棄物の量、性状、輸送、貯蔵、検査、安全評価手法、等に関する検討、および経済的総合的検討を実施するものである。

イ 廃棄物の保管処分

最終処分方法としての固化技術に関する研究としては、「海洋処分に伴う研究」「プラスチック固化体の評価試験研究」「処分用パッケージの実用化に関する研究」などが実施されている。これらの研究は固化体のハンドリングシステム、安全性評価手法、および投棄専用船の検討、プラスチック固化体の海洋および陸地処分への適応性評価のため、落下、水圧、熱等に対する供試体を用いた強度試験を実施するものである。また、セメント、アスファルト、プラスチック等による各固化パッケージ方式について、供試体による実用化のためのデータ収集、および基準作成に役立たせるためのものである。

ウ 立地・環境保全

原子力発電所周辺での安全解析および影響評価方法の確立に関する研究として、「安全解析のための風洞実験の実施評価に関する合理的手法の確立」という課題が実施されている。

これは、被ばく評価に用いる大気拡散のデータを得るための風洞実験における、実験条件の選定、実験方法の改良、実験結果の安全解析への適用方法などを検討し、風洞実験をより合理的、効率的なものとするための研究である。

また、事故時の放出放射能の空間的・時間的挙動の解明、放出放射能の予測、サイト条件を考慮した被ばく評価手法の開発とシステム化、等の目的で「事故影響評価システムの研究」が実施されている。

そのほか、最近、米国およびわが国で立地基準を見直す動きがあり、電力側としてその改定による影響を調査検討するため「原子炉サイティングに関する研究」なども実施されている。

エ 条件整備のための諸技術

廃炉に関して、「廃炉の基本方針およびフィージビリティに関する研究」という課題が設定され、各廃炉方式の検討のほか、廃炉の基本方針を策定するために必要な厚肉鋼容器の水中切断などの実験的研究が実施されることになっている。

(3) 核燃料資源の有効活用

核燃料サイクル技術の一層の向上、および軽水炉の定着化を図っていくと共に、核燃料資源の有効活用という立場から、再処理により得られたプルトニウムを軽水炉で燃焼させる（プルサーマル）技術の研究開発が求められている。

電力共研では、プルトニウム燃料の製作、実際の原子炉での燃焼研究という目的で、「プルトニウム等核燃料資源の多面的利用に関する研究」が実施されることになった。

また、FBRについては、「高速増殖実証炉概念に関する研究」という課題が設定され、大型実証炉に向けてその概念を確立するため、安全性、運転保守の観点から多方面な調査研究が進められている。

(4) A-BWRの開発

軽水炉技術の確立の一環として、新型BWRプ

ラントの開発を目指して昭和56年度からBWR 6社による共同研究が開始された。

その研究開発目標は

- ①プラントの大容量化
- ②安全ならびに運転余裕の増大
- ③プラント運転性、日負荷追従性の向上
- ④稼働率の向上
- ⑤放射線被ばく量の低減
- ⑥プラント建設費および運転費の低減

等である。研究開発の内容は、在来技術の延長に位置づけられるものと、新たな開発実証を要するものに分けられる。

電力共研としての課題数は19件で

- ①燃料および炉心の設計改良
- ②炉心等の大容量化設計検討、タービン再熱器の実用化
- ③原子炉圧力容器内蔵型再循環ポンプ（インターナルポンプ）の実用化のための確性試験、
- ④微調整可能な電動駆動式制御棒駆動機構（FM CRD）の開発と実証
- ⑤鉄筋コンクリート製格納容器の検討と実用化

などが研究開発の対象である。

4 あとがき

以上は原子力発電技術に関する研究開発について、全国大での取り組みの現状と電力共研を中心とした全電力としての実施状況の概要を述べたものである。

これらのほかに、社内研究として、当社の発電所サイトに関連の深い課題とか、電力共研で得た成果を当社のプラントへ応用発展させるための検討など、当社独自のテーマについても、調査研究を実施している。

軽水炉に関する技術開発については、以上述べたとおり精力的に実施してきているが、今後更にその定着化のための信頼性の向上、安全性の確認、等の研究を進めると共に、原子力のPAの基礎となるよう努力する必要がある。

また、現在の軽水炉に続き実用化されるA-BWR、FBR等についても、長期的な観点に立って今後一層、研究開発を推進する必要があると考える。

第12回 IERE（電気事業研究国際協力機構）総会出席 ならびに米国における電力新技術調査報告

前研究開発担当 安生 晃一郎

第12回 IERE総会出席ならびに米国における電力新技術調査のため、本年4月17日から5月1日にかけて米国へ出張したので、以下その概要を報告する。

I 第12回 IERE総会報告

IERE（電気事業研究国際協力機構）の第12回総会は、サンフランシスコで開催され、米国（EPRI：電力研究所）、欧州（UNIPED：欧州発送配電事業者連合）、カナダ（CEA：カナダ電気協会）および日本の代表等39名（外に婦人16名）が参加した。日本からは、日本 IERE 会議長山田直平氏、事務長増井健吉氏、電源開発田川技術開発部長、東京電力山本技開研・技術調査課長および私と総計5名が参加した。



総会で演説中の筆者

1 第1技術部会“電気事業における研究開発の現状”

カナダ、米国、欧州、ブラジルおよび日本から電気事業における研究開発の現状について報告が