

# 新型動力炉の動向

## Current Status of Development Program for Advanced Power Reactors in Japan

次世代の原子炉を目指し、我が国が国家プロジェクトなどで現在開発中の新型炉、すなわち動力炉・核燃料開発事業団を中心とした高速実験炉「常陽」、高速増殖原型炉「もんじゅ」、新型転換炉原型炉「ふげん」、電力会社を中心とした高速増殖実証炉、新型転換炉実証炉及び日本原子力研究所を中心とした多目的高温ガス炉に関し、最近の開発の動向について説明するとともに、日立製作所の果たしてきた主要な役割、具体的活動状況及び成果について紹介する。

和嶋常隆\* Tsunetaka Wajima  
 八巻秀雄\*\* Hideo Yamaki  
 小笠原英雄\*\*\* Hideo Ogasawara

### 1 緒言

現在、国家プロジェクトなどで開発が進められている新型炉としては、高速増殖炉、新型転換炉及び高温ガス炉がある。高速増殖炉はプルトニウムの利用による核燃料資源の有効利用を主目的としており、一方、新型転換炉は使用する原子燃料の多様化を図るとともに、本格的に高速増殖炉が導入されるまでの間ウラン資源を有効に利用することを主目的として、動力炉・核燃料開発事業団及び電力会社により、その開発が進められている。

一方、日本原子力研究所を中心に、高温ヘリウムガス冷却材を化学工業などのプロセス熱源として利用する、いわゆる多目的高温ガス炉の研究開発が進められている。

本稿は、日立製作所ほか国内原子力メーカーが動力炉・核燃料開発事業団、電力会社及び日本原子力研究所に協力して進めてきた高速増殖炉、新型転換炉及び多目的高温ガス炉の開発状況と、これらの開発に当たり日立製作所が果たしている役割及び活動状況について述べるものである。

### 2 高速増殖炉

我が国初の高速炉である高速実験炉「常陽」(最大熱出力：100MW、発電せず)は、昭和45年、茨城県大洗の動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センターで建設に着手され、昭和52年4月24日に初臨界に達し、昭和53年7月に50MW、昭和54年7月に75MWを達成した。昭和57年1月には増殖炉心としてのすべての試験及び運転を終了し照射炉心への炉心改造を経て昭和57年11月22日に再び臨界に達し、昭和58年3月には設計最高出力である100MWを達成した。それ以降、熱出力100MWでの照射試験の実現に向けて、出力上昇試験、各出力レベルでの連続運転試験を経て、昭和58年8月から照射試験を開始した。現在は高速増殖原型炉「もんじゅ」用燃料の照射試験が行なわれている。

高速増殖原型炉「もんじゅ」(電気出力：280MW)は、昭和58年5月に設置許可、昭和60年8月設計及び工事の方法(第1回申請)の認可を受け、現在本格着工を目前に控え、福井県敦賀市白木地区で鋭意建設準備工事が進められている。図1に「もんじゅ」発電所配置図を、図2にサイト現況を示す。また、表1に主要目を示す。

更に、高速増殖実証炉に関しては、電力会社による概念設計及び動力炉・核燃料開発事業団による要素技術研究が進められている。

上記プラントの設計とともにR & D (Research and Development：研究・開発)も多数進行してきており、高速増殖炉は着実に我が国独自の手で現実のものとなりつつある。

このような状況に応じて株式会社東芝、富士電機株式会社、三菱重工業株式会社及び株式会社日立製作所の原子力メーカー4社は、高速炉プロジェクトのエンジニアリング業務を一元化し、効率よく円滑にエンジニアリングを進めるために、昭和55年4月に4社合弁の高速炉エンジニアリング株式会社(FBEC)を設立して、国家プロジェクト協力体制のいっそうの充実を図った。

次に、このような高速炉開発の活動の中で、日立製作所が果たしてきた主要な役割について述べる。まず、「常陽」では、一次冷却系のシステムと機器、すなわち原子炉容器、安全容器、中間熱交換器、機械式ナトリウムポンプ、電磁ポンプなど、及び関連電気・計装品の設計・製作を担当した。



図1 「もんじゅ」発電所配置図<sup>1)</sup> 原子炉建物は標高5mに掘削した岩盤上に設置され、その周辺に原子炉補助建物などの主要構造物が設置される。なお、配置に当たっては、自然環境が保全されるよう配慮されている。

\* 日立製作所原子力事業部 工学博士 \*\* 日立製作所日立工場 \*\*\* 日立製作所日立工場 工学博士



図2 「もんじゅ」サイト近況 福井県敦賀市白木地区で行なわれている「もんじゅ」サイトの建設準備工事の近況を示す(昭和60年8月29日撮影, 動力炉・核燃料開発事業団提供)。

表1 「もんじゅ」発電所の主要目<sup>2)</sup> 「もんじゅ」発電所の主要目を示す。冷却系は独立した3系統で構成されており, それぞれ一次, 二次ナトリウム冷却系, 水・蒸気系を備えている。

項目	要目
原子炉型式	ナトリウム冷却高速中性子型
熱出力	714MW
電気出力	約280MW
燃料(炉心) (ブランケット)	プルトニウム・ウラン混合酸化物 二酸化ウラン
増殖比	約1.2
炉心燃料平均取出燃焼度	約80,000MWd/t
被覆管外径・肉厚(炉心) (ブランケット)	6.5mm・0.47mm 12mm・0.5mm
炉心燃料被覆管最高温度	675℃
原子炉容器型式	底部鏡板付き円筒縦型容器
一次冷却材流量	15.3×10 <sup>6</sup> kg/h
一次冷却材温度(原子炉入口・原子炉出口)	397℃・529℃
ループ数	3
中間熱交換器型式	縦型無液面平行向流型
二次冷却材流量	3.7×10 <sup>6</sup> kg/h(1ループ)
二次冷却材温度(低温側・高温側)	325℃・505℃
ポンプ位置	コールドレグ
蒸気発生器型式	ヘリカルコイル貫流式分離型
蒸気タービン型式	くし型3気筒4流排気非再熱式
蒸気温度(主蒸気止め弁前)	483℃
蒸気圧力(主蒸気止め弁前)	ゲージ圧127kg/cm <sup>2</sup>
タービン流入蒸気量	1.1×10 <sup>3</sup> t/h
燃料交換方式	単回転プラグ固定アーム方式

「もんじゅ」では, 燃料設計・安全設計を他社と分担するとともに, 一次冷却系及び蒸気発生器過熱器については, システムの設計, 機器の設計製作を担当している。

また, 「もんじゅ」に関連した研究・開発としては, 炉心実験解析, 燃料ピンバンドル・ラップ管相互作用試験, 配管耐衝撃試験, 中間熱交換器に関する一連のモックアップ性能試験, 機械式ナトリウムポンプのモックアップ試作, 50MW蒸気発生器の製作, 「もんじゅ」用蒸気発生器の $\frac{1}{2}$ モデルによる耐震試験をはじめ, 高温構造強度にかかわる各種材料試験, 供用期間中検査機器の開発, 微量ナトリウム漏えい検出器の開発, NaK封入圧力計, ナトリウム液面計の改良などの各種Na計測技術の開発, 多重信号伝達装置の研究及び計算機, CRT

(Cathode Ray Tube)を中枢とした運転監視システムの開発などを実施した。このように, 高速炉に関する数多くの重要なテーマに取り組み, 技術の開発と蓄積に努めている。

更に, 実証炉に関しては, 現在100万kW級の大型炉が計画され, 概念設計が進められている。この炉型式としては近年ヨーロッパで実績を積み重ねつつある「タンク型炉」が取り上げられ, その合理化設計研究を電気事業連合会高速増殖炉開発準備室(FPO)の参画を得て, 電力会社及び株式会社東芝と共同で実施している。また, これに関連して各種の技術開発研究及び実用化研究を財団法人電力中央研究所と共同で実施し新技術の開発に取り組んでいる。

以上の詳細については, 本特集号中の各論文を参照されたい。

なお, 上記高速増殖炉につながる様々な設計, 製作, 検査及び据付をはじめ試験, 運転などについては, 社内開発研究及び試作・試験, 軽水炉の建設・運転に関する経験の反映, 動力炉・核燃料開発事業団-米国DOE (Department of Energy: エネルギー省)協定に基づく海外技術情報の有効活用などがその強力な基盤となっている。

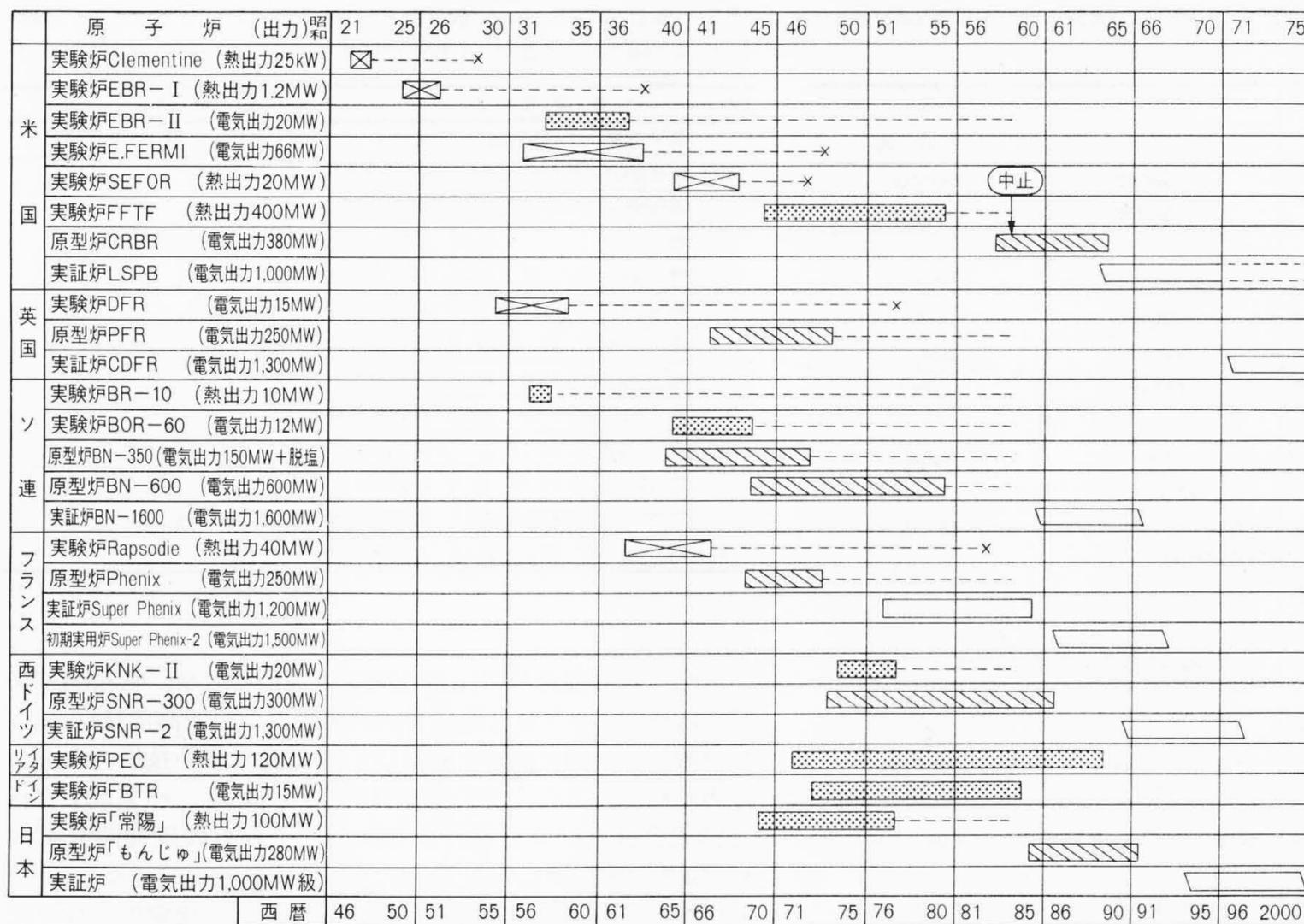
図3に, 海外の状況と比較しながら, 我が国の高速増殖炉の開発計画を示す。

### 3 新型転換炉

我が国初の新型転換炉である原型炉「ふげん」(電気出力: 165MW)は, 昭和45年福井県敦賀市で建設に着手され, 昭和52年6月に機器据付が完了し, 昭和53年3月最小臨界に到達した。1年間の起動試験を経て, 昭和54年3月本格運転が開始され, 昭和54年度の設備利用率は72.4%と高稼働率を達成した。その後引き続き良好な運転実績を示し, 昭和59年度末で3万3,530時間, 53億1千万kWhに達している。

また, これに続く新型転換炉実証炉(電気出力: 606MW)は, 昭和50年度から概念設計(STEP-1~5)を開始し, 調整設計, 合理化設計1を経て, 昭和58年6月に合理化設計2を完了した。これらの実証炉設計も原型炉「ふげん」と同様に, 動力炉・核燃料開発事業団を中心に日立製作所を含む原子力5社の協力により推進されてきた。そして, 昭和55年3月から原子力委員会によるチェックアンドレビューが, また昭和54年初めから電気事業者と動力炉・核燃料開発事業団の合同設定によるATR合同委員会で技術審議が行われ, 昭和57年8月には原子力委員会が新型転換炉実証炉開発計画を官民協力して推進することを決定した。電源開発株式会社が実証炉の実施主体に決定し, 昭和58年2月に動力炉・核燃料開発事業団と電源開発株式会社の間で「新型転換炉実証炉開発に関する相互協力基本協定」が締結されて, 昭和58年12月には動力炉・核燃料開発事業団から電源開発株式会社に合理化設計までの成果が技術資料として引き渡された。この新しく実施主体となった電源開発株式会社からは, 昭和59年1月に「基本設計」が原子力メーカー5社に発注された。日立製作所は主務会社として設計の取りまとめを行ない, 引き続き昭和60年度まで「基本設計」を実施中である。

次に, 上記の新型転換炉開発の中で, 日立製作所が果たしてきた主要な役割について述べる。「ふげん」では, 日立製作所はプラントの系統間又は各社間のシステム, 計測制御, 配置などの調整を行なう主務会社業務を担当し, プルトニウム燃料を使用した炉心の設計, 動特性解析, 事故解析, 及び安全性評価(災害評価を含む)などのエンジニアリングを実施した。設備としては, 原子炉本体, 炉心への入口管, 炉心からの上



注：棒線は建設開始から初臨界までを示す。  
 ☒ 実験炉  
 ☒ 原型炉  
 ☒ 実証炉  
 ☒ 閉鎖  
 点線は運転期間を、  
 ×印は閉鎖を示す。

図3 高速増殖炉の開発計画<sup>3)</sup>  
 世界の高速増殖炉開発に関する実績及び計画の大工程を示す。

昇管、制御棒、同駆動装置、電気設備、原子炉制御装置、原子炉保護装置などの設計・製作を担当した。更に各メーカーとともに動力炉・核燃料開発事業団に協力して起動試験を遂行した。

次に「実証炉」では、動力炉・核燃料開発事業団の指導の下に、概念設計(STEP-1, 2)を日立製作所単独で実施してプラント基本計画を固め、引き続き(STEP-3, 4, 5)で国内原子力メーカー5社がそれぞれ分担協力して概念設計を実施した。

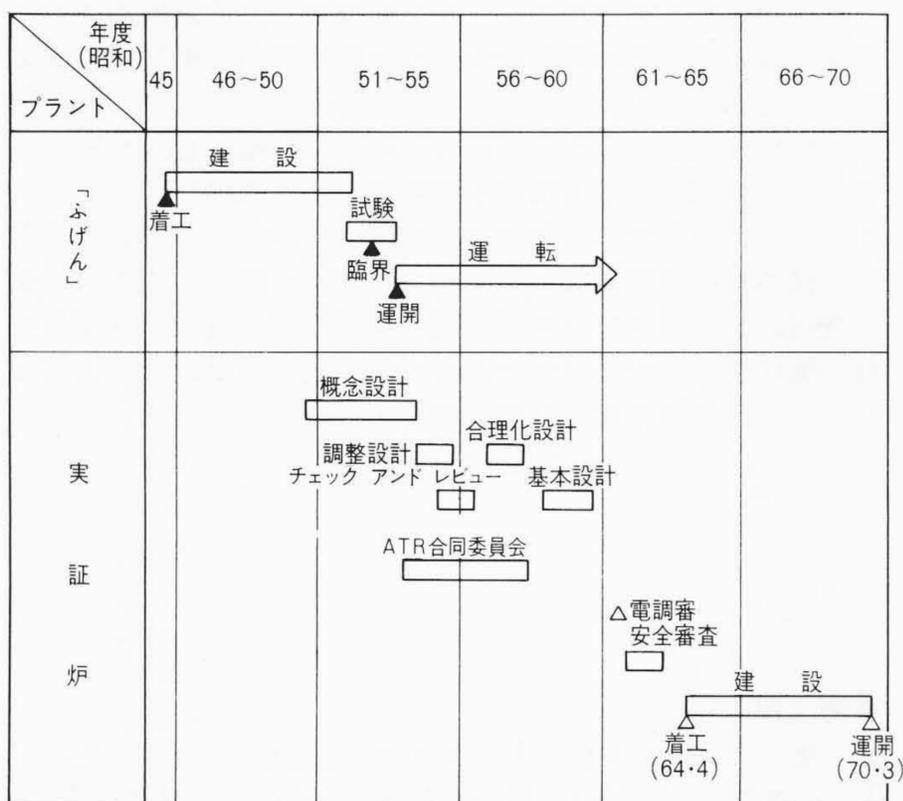


図4 新型転換炉の開発計画大工程 「ふげん」は昭和54年3月に本格運転を開始した。「ふげん」の建設と並行して進められてきた実証炉設計は、基本設計を終了し安全審査の準備中である。

日立製作所は、この間主契約会社として設計の取りまとめを行なった。その後、調整設計、合理化設計と進んだが、日立製作所は主契約会社として、各社間の相互調整、炉心設計、動特性解析、安全性評価などのエンジニアリングを実施し、更に原子炉本体、制御棒駆動装置、ポイズン急速注入系、遮へい冷却系、換気設備、電気・計測制御設備などの主要設備の設計を担当した。

また、電源開発株式会社の「基本設計」では、主務会社として同様のエンジニアリングの実施と原子炉本体、制御棒駆動装置、ホウ酸急速注入系、遮へい冷却系、補機冷却系、電気・計測制御設備、建物設計などの主要設備の設計を担当している。

なお、動力炉・核燃料開発事業団からの委託研究及び社内研究試作・試験などにより、圧力管ロールドジョイント法などの新型転換炉特有技術の研究開発を行なっている。

図4に新型転換炉の開発計画を、表2に新型転換炉の諸元を示す。

4 多目的高温ガス炉(VHTR)

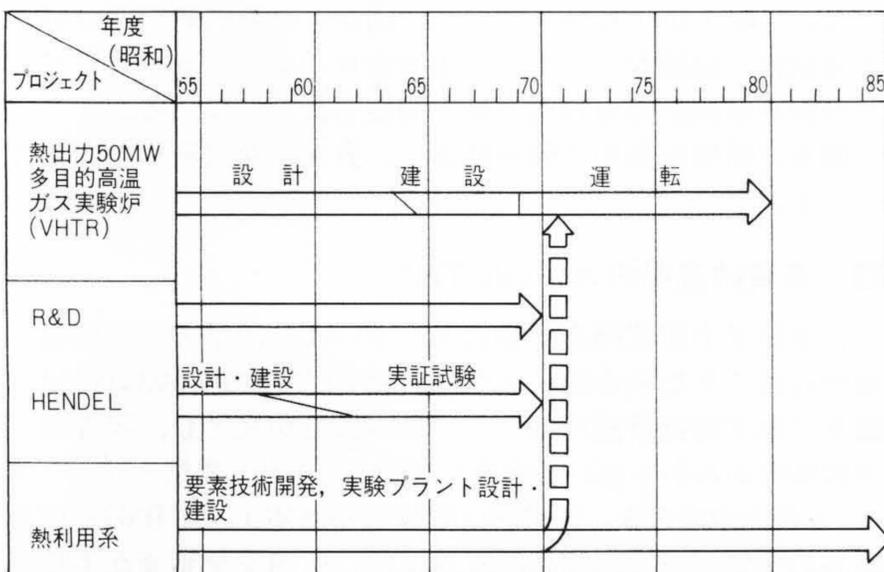
日本原子力研究所を中心にメーカー4社が協力して開発が進められてきた多目的高温ガス実験炉(熱出力：50MW)は、図5に示す開発計画に基づいて基本設計が完了し、現在は、昭和59年から引き続いて合理化設計(システム調整・フェーズ2)を実施中である。実験炉は昭和64年度着工、昭和69年度末臨界の予定であり、昭和61年度には、所内安全審査が実施されるとともに、総合調整設計が行なわれるスケジュールとなっている。

日立製作所は、多目的高温ガス炉の設計、バブコック日立株式会社を中心に、圧力容器、炉内構造物、蒸気発生器、炉容器冷却系などの主要機器の設計を担当してきた。設計の基本条件は、表3に示すとおりである。

表2 新型転換炉の諸元 「ふげん」と「実証炉」の主要諸元の比較を示す。

項目	諸元	
	実証炉	ふげん
出力 (熱) (電気)	1,930MW 606MW	557MW 165MW
原子炉本体		
有効炉心直径	6,951mm	4,053mm
高さ	3,700mm	3,700mm
圧力管本数	648本	224本
重水装荷量	320m <sup>3</sup>	139m <sup>3</sup>
燃料		
集合体当たり燃料ピン数	36本	28本
ペレット外径	12.4mm	14.4mm
種類	ウラン・プルトニウム 混合酸化物	同左
平均核分裂物質 量 (初装荷・取替)	2.5wt%・3.1wt%	1.4wt%・2.0wt%
平均燃焼度(初装荷・取替)	19,000Mwd/t・30,000Mwd/t	10,000Mwd/t・17,000Mwd/t
原子炉冷却設備		
再循環ループ数	2	2
蒸気圧力・温度	69kg/cm <sup>2</sup> ・284.5℃	68kg/cm <sup>2</sup> ・283.3℃
原子炉格納容器		
種類	鋼製ハイブリッド型	鋼製上下部半長円鏡円筒型
内径・全高	45m・67.7m	36m・64m

一方、日本原子力研究所では、安全審査及び実機製作に必要な諸データを整備するため、昭和52年度から大型構造機器実証試験装置(略称HENDEL)の開発を進めている。日立製作所は燃料スタック実証試験部(T1：昭和58年3月完成)では、冷却水系、電気設備などを担当した。また、昭和58年4月に受注した炉内構造物実証試験部(T2)では、圧力容器、炉内構造物、加熱器、プラント計装系などの主要機器を担当し、昭和61年度完成を目指し、現在鋭意製作中である。T2は原子炉本体の実機大の試験設備であり、圧力容器の大きさは軽水炉の電気出力800MWにほぼ匹敵する。



注：略語説明  
 VHTR(Very High Temperature Gas-Cooled Reactor)  
 HENDEL(Helium Engineering Demonstration Loop：  
 大型構造機器実証試験ループ)  
 R&D(Research and Development：研究・開発)

図5 高温ガス炉開発計画 実験炉は昭和64年度着工、昭和69年度末臨界達成の予定である。

表3 多目的高温ガス実験炉設計の基本条件 多目的高温ガス実験炉は、この基本条件に基づいて基本設計を実施し、現在合理化設計が実施中である。

No.	主要項目	基本条件
1	原子炉熱出力(公称値)	50MW
2	原子炉出口冷却材温度	950℃
3	原子炉入口冷却材温度	400℃
4	燃料	二酸化ウラン被覆粒子・黒鉛内分散型
5	燃料体型式	ブロック型燃料体
6	炉心内冷却材流れ	下向流
7	圧力容器	鋼製
8	冷却回路数	2ループ
9	熱交換方式	中間熱交換方式
10	一次冷却材圧力	4 MPa
11	二次冷却材圧力	4.3MPa
12	二次冷却系構成機器	除熱系機器、熱利用系機器
13	格納方式	二重格納方式

また、日立製作所では自社開発も進めており、昭和58年10月にはバブコック日立株式会社呉工場内に中型高温Heループを設置し、各種R&Dを実施して高温He取扱い技術の向上に努めている。また、炉心核熱設計についても、バブコック日立株式会社及び日立製作所の研究所で独自の研究開発を進め、将来の実用炉に備えている。特にMRS(モジュール炉)は、実用炉として実現の可能性が高いと思われ、発電用及び多目的熱利用の両面で、プラントシステム全体の評価検討を行なう予定である。

こうした開発の中で、日立製作所及びバブコック日立株式会社は、日本原子力研究所を中心とした高温ガス炉に関する西ドイツ、米国との政府間協力による技術情報交換に積極的に参加してきた。国内産業界にあっても、昭和52年度から三井物産株式会社を中心にメーカー7社で構成する高温ガス炉エネルギー有効利用システム研究会(JANP)に参加し、商用規模高温ガス炉熱利用システムの概念を確立するための共同研究を続けている。

## 5 結 言

新型炉として高速増殖炉、新型転換炉及び多目的高温ガス炉を取り上げ、その開発動向と日立製作所の活動状況の概要について論述した。

新型動力炉については、更に研究開発を推進し、我が国独自の自主技術による実用炉が実現するよう念願している。

終わりに、平素から御指導、御協力をいただいている動力炉・核燃料開発事業団、電気事業連合会、財団法人電力中央研究所、日本原子力研究所、電源開発株式会社及び各電力会社の関係各位に対し深謝の意を表わすとともに、今後ともよりいっそうの御指導をお願い申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) 建設工事概要(準備工事)：動力炉・核燃料開発事業団
- 2) 高速増殖炉もんじゅ発電所の設計概要：動力炉・核燃料開発事業団(昭和58-6)
- 3) 原子力ポケットブック昭和60年版：日本原子力産業会議(昭和59-12)