

高速増殖炉もんじゅ発電所の建設動向

Current Status of Construction of the Prototype Fast Breeder Reactor “MONJU”

ウラン資源の有効利用を目ざし、動力炉・核燃料開発事業団が中心となり国家プロジェクトとして建設中の高速増殖炉もんじゅ発電所は、昭和60年10月に本格着工して以来、平成元年8月末現在の建設工事の総合進捗(ちよく)率は約72.3%に達し、機械・電気工事は平成4年10月の臨界に向けてまさに最盛期を迎えている。

本稿は、本プロジェクトに関し、最近の開発の動向について概説するとともに、本プロジェクトに参画している原子力メーカー4社(株式会社東芝、富士電機株式会社、三菱重工業株式会社および株式会社日立製作所)の中で主として日立製作所の果たしている主要な役割、具体的活動状況および成果について紹介する。

村山 衛*
小笠原英雄**
近藤 嶺一***
河原 愈****

Mamoru Murayama
Hideo Ogasawara
Ryôichi Kondô
Masaru Kawara

1 緒 言

わが国初の発電用高速増殖炉である電気出力28万kWの高速増殖炉もんじゅ発電所(以下、「もんじゅ」と略す。)は、昭和55年12月に原子炉設置許可申請を行い、厳重な審査のあと昭和58年5月に設置許可が与えられた。昭和60年10月から現地での本格的な建設工事が開始されて以来、各種設備・機器の工場製作とともに、現地では土木、建築、機電の各工事が行われている。昭和63年10月の原子炉容器の据付けに引き続き、平成元年6月から8月にかけて1次主冷却系中間熱交換器、1次主冷却系循環ポンプ、蒸気発生器など原子炉冷却系の主要機器が据え付けられ、その後これらの機器を接続する配管工事が行われている。平成元年8月末現在の建設工事の総合進捗率は72.3%に達し、機械・電気工事は平成4年10月の臨界に向けてまさに最盛期を迎えている。

本稿は、動力炉・核燃料開発事業団が中心となり日立製作所ほか国内の原子力メーカーが協力して進めてきた「もんじゅ」の開発動向と、この開発に当たり日立製作所が果たしている役割および活動状況について述べるものである。

2 高速増殖炉の開発

高速増殖炉は、消費した原子燃料以上の燃料を生産し、ウラン資源をもっとも有効に利用できることから、原子力発電の本命とされ、アメリカ、イギリス、フランス、西ドイツ、ソ連などの原子力先進国でも、早い時期から積極的に開発が

推進されてきた。わが国でも、高速増殖炉はウラン資源に恵まれない国情に最適な原子力発電として、将来の原子力政策のうえで重要な意義を持つと判断され、昭和42年から動力炉・核燃料開発事業団を中心に国家プロジェクトとして着実にその開発が進められてきた。なお、日立製作所でも昭和31年からナトリウム技術の研究を手始めにこれに協力し、高速増殖炉の開発を進めている。

わが国の高速増殖炉の開発は、実験炉、原型炉、実証炉の各段階を踏む手順が採られており、まず昭和45年高速実験炉「常陽」〔最大熱出力：100 MW、非発電炉(以下、「常陽」と略す。))が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に建設を開始し、昭和52年4月に初の臨界に達し、昭和53年7月に50 MW、昭和54年7月に75 MWを達成した。昭和57年1月には増殖炉心としての所定の試験および運転を終了し、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100 MWを達成した。それ以降、熱出力100 MWでの照射試験の開始に向けて、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5月から照射試験を開始した。現在は「もんじゅ」用燃料材料および将来の実証炉用各種材料の照射試験が順調に行われている。「常陽」の運転実績を表1に示す¹⁾。

「常陽」では、日立製作所は1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

* 動力炉・核燃料開発事業団 動力炉建設運転本部

** 日立製作所 原子力事業部 工学博士

*** 日立製作所 日立工場 工学博士

**** 日立製作所 日立工場

表1 「常陽」の運転実績 昭和52年4月24日に初臨界に達して以来、各種の試験および運転が続けられており、これまで燃料破損は皆無である。

項 目	実 績
累積原子炉運転時間	37,856 h
累積発熱量	2,924,825 MWh
最大燃焼度(要素平均)	約71,000 MWd/t
起動回数(含臨界試験)	430回
燃料取扱い系炉心構成要素取扱い本数	1,524本
定期点検回数	7回

注：平成元年8月末現在運転実績

リウムポンプ、電磁ポンプなどや、関連電気・計装品の設計・製作を担当した。わが国の自主技術により進められてきた「常陽」の設計・製作、建設、運転経験および各種研究・開発によって、きわめて貴重なデータが数多く得られており、これらは後続の「もんじゅ」の開発に有効に反映されている。

「常陽」に続く「もんじゅ」は、前述のとおり発電用高速増殖炉であり、「常陽」の経験を反映する一方、炉心設計、燃料・材料、構造設計手法、蒸気発生器設備などの主要機器ほかについて研究・開発を重ねてきた。「もんじゅ」は発電用高速増殖炉としての性能、信頼性および安全性を実証するとともに、将来の実用化に対する技術的可能性を見極めるなどの役割も持っている。

さらに、高速増殖実証炉に関しては、日本原子力発電株式会社を中心に、現在60万～80万kW級の大型炉の設計研究および研究・開発が進められている。日立製作所は本設計研究にも参画し、プラントや主要機器の概念を構築するとともに、崩壊熱除去系流動試験や新型炉停止機構、免震システムの開発など幅広い研究・開発も併せて推進中である。

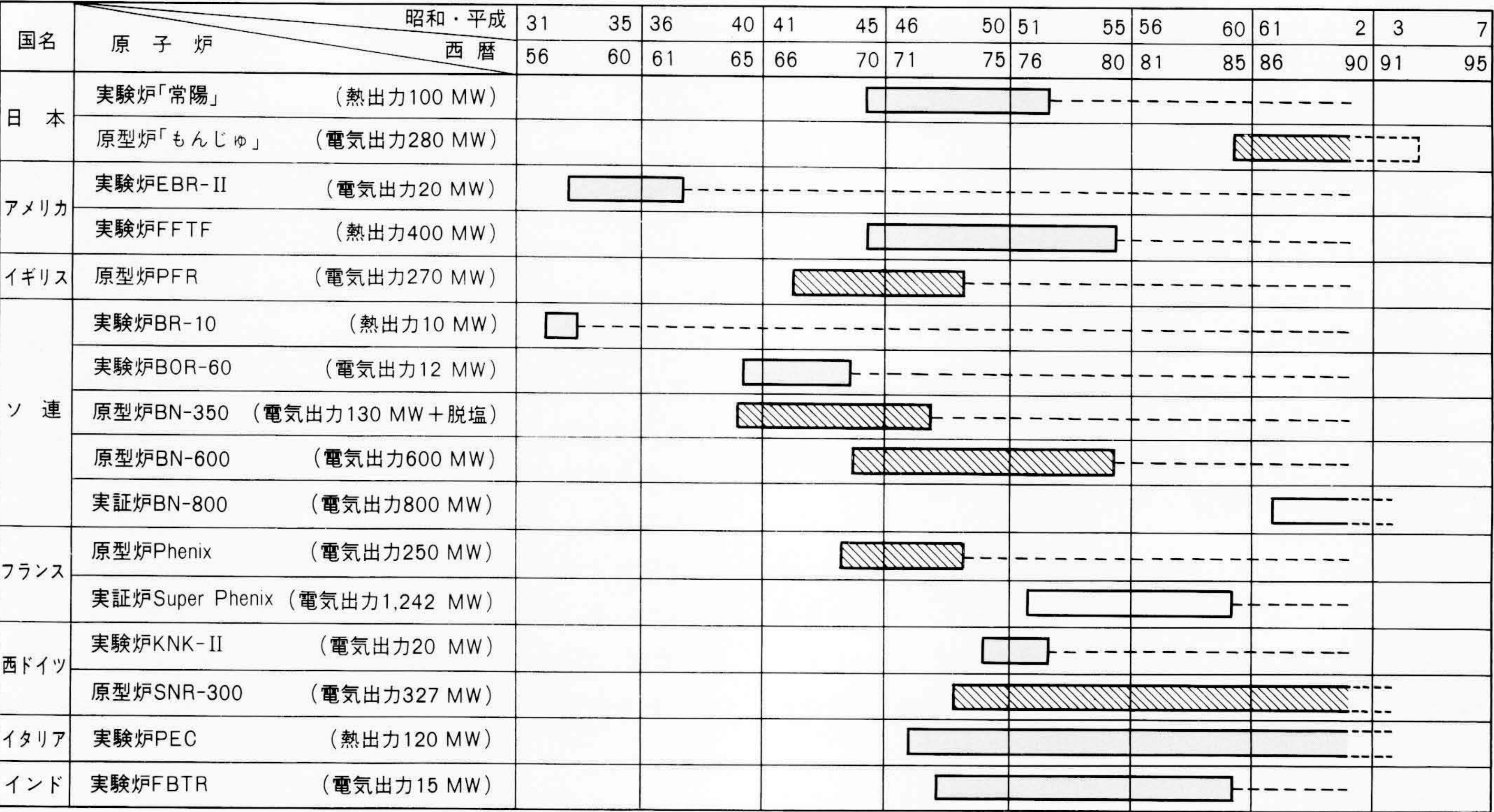
海外でもわが国と同様に、各国で高速増殖炉の開発が進められている。世界各国での高速増殖炉の建設・運転実績および計画を図1に示す。なお、日立製作所は高速増殖炉の開発の効率化および技術の高度化のため、諸外国との技術交流も積極的に進めている。

3 「もんじゅ」の建設

3.1 設計および研究・開発の概要

「もんじゅ」の主系統図を図2に、その主要目を表2に示す。原子炉はいわゆるループ型で、1次冷却系、2次冷却系、水・蒸気系で構成され、原子炉で発生する熱は、おのおの3系統から構成される1次冷却系、2次冷却系を経て水・蒸気系に伝えられ、タービン・発電機により発電し、275 kV電力系統へ送電する。

「もんじゅ」の主要設備については、原子力メーカー4社(株式会社東芝、富士電機株式会社、三菱重工業株式会社および株式会社日立製作所)が分担している。また、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



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 点線は運転期間を示す。

図1 建設・運転中の高速増殖炉²⁾ 世界での運転および建設中の高速増殖炉の工程を示す。

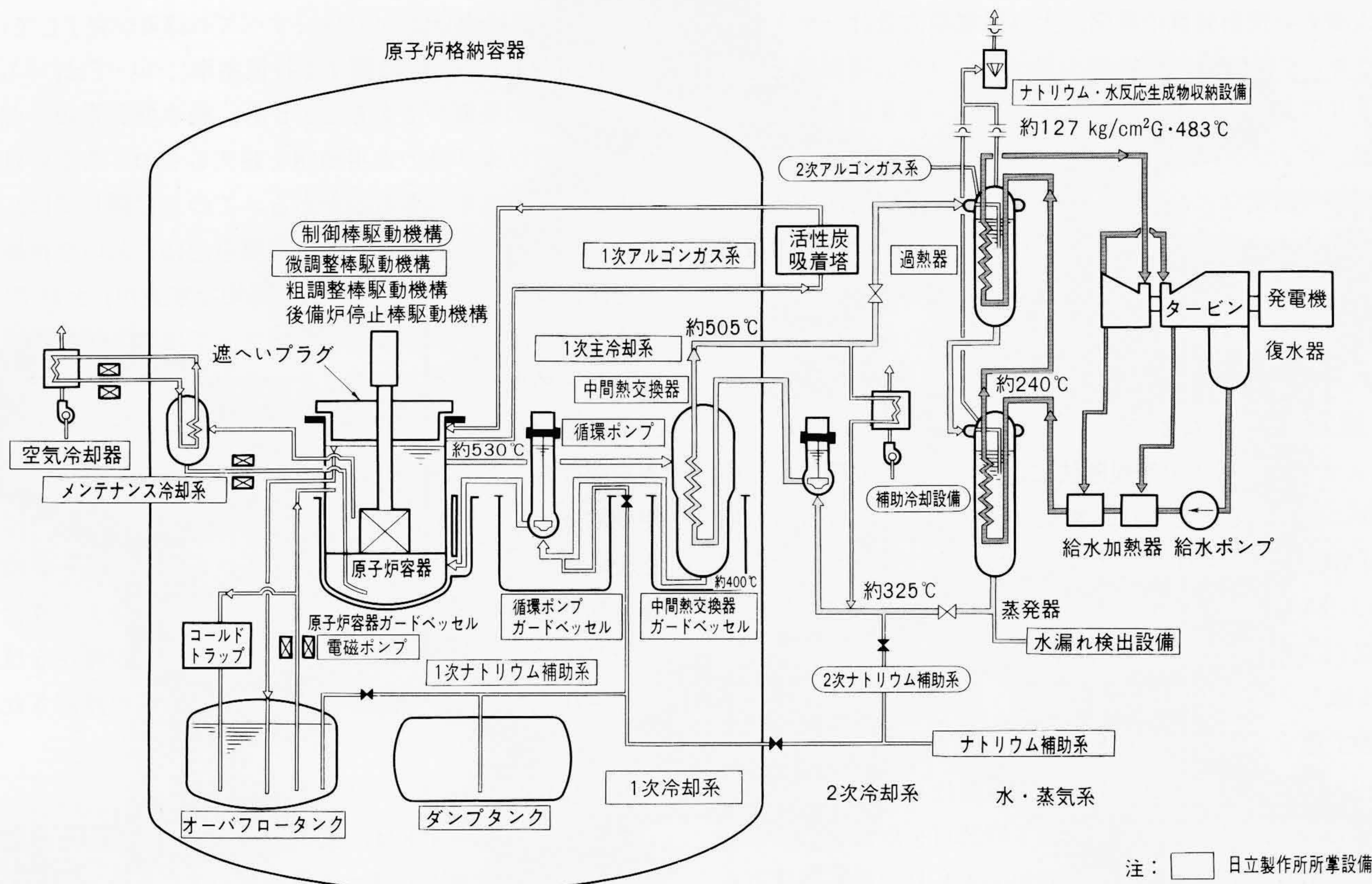


図2 「もんじゅ」の主系統図 原子炉で発生する熱は、1次冷却系、2次冷却系を経て水・蒸気系に伝えられ、発生した蒸気によりタービン・発電機が駆動する。

表2 「もんじゅ」の主要目³⁾ 冷却系は独立した3系統で構成されており、おのおの1次冷却系、2次冷却系、水・蒸気系を備えている。原子炉出口温度は約530℃と軽水炉に比較して非常に高温であるため、熱効率が優れている。

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	714 MW
電気出力	約280 MW
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
炉心燃料平均取出し燃焼度	約80,000 MWd/t
被覆管外径・肉厚(炉心) (ブランケット)	6.5 mm・0.47 mm 11.6 mm・0.5 mm
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
1次冷却材流量	15.3×10 ⁶ kg/h
1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	たて型無液面平行向流型
2次冷却材流量	3.7×10 ⁶ kg/h(1ループ)
2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)	127 kg/cm ² G
タービン流入蒸気量	1.1×10 ³ t/h
燃料交換方式	単回転プラグ固定アーム方式

元化し、効率よく円滑に進めるために、昭和55年4月に4社合弁のFBEC(高速炉エンジニアリング株式会社)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ている。

「もんじゅ」設備のうち、日立製作所は燃料設計・安全設計を他社と分担するとともに、原子炉構造として微調整棒集合体および同駆動機構、1次冷却系設備(中間熱交換器、循環ポンプ、ガードベッセル、オーバーフロータンク、配管など)、蒸気発生器のうち過熱器、電気・計装設備(中央計算機・監視盤、所内・起動変圧器、ディーゼル発電機など)およびライニング設備などの設計・製作・据付けを担当している。これらのうち、ライニング設備は、万一原子炉冷却材として用いるナトリウムが室内に漏れたと想定した場合であっても十分安全であるように、建物コンクリート室内に鋼板を内張りするものである。

「もんじゅ」に関連した研究・開発としては、炉心実験解析、燃料ピンバンドルーラップ管相互作用試験、制御棒駆動機構モックアップ試験、中間熱交換器に関する一連のモックアップ性能試験、機械式および電磁式ナトリウムポンプのモックアップ試験、50 MW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、1次主冷却系配管の耐震試験をはじめ、高温構造強度にかかわる非弾性解析手法の開発および各種材料試験、供用期間中検査装置の開発、微少ナト

リウム漏えい検出装置の開発、大口径電磁流量計・ナトリウムプラグング計・NaK封入圧力計・ナトリウム液面計など各種ナトリウム計測技術の開発および改良、多重信号伝達装置の開発、デジタル制御装置・計算機を中枢としたプロセス制御装置の開発などを実施した。このように、高速増殖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。

以上の詳細については、本特集号に掲載の各論文を参照されたい。

3.2 設工認・工認など

「もんじゅ」は原子炉等規制法に定められる研究開発段階の原子炉に該当するとともに、電気事業法に定められる自家用電気工作物にも該当するため、科学技術庁に対しては設工認(設計および工事の方法の認可)、また、通商産業省に対しては工認(工事計画の認可)申請を、それぞれの設備区分に対応して実施し、認可を得たうえで機器・設備の製作を行っている。設工認・工認は申請対象となる機器・設備が非常に広範囲にわたるため、設工認は7回に、工認は9回に分割されている。設工認は昭和60年8月の第1回認可を皮切りに昭和62年9月に第6回分まで、工認は昭和60年9月の第1回認可を皮切りに昭和62年10月の第8回分まで認可を得ており、日立

製作所の担当設備分については、すべての認可が完了している。

なお、設工認・工認に関する技術基準については、「もんじゅ」が新型の発電炉であることから、軽水型発電炉を念頭においた現行技術基準の適用範囲を超えるもの、あるいは運用の考え方を見直すべきものがある。この点に関しては、監督官庁によって「もんじゅ」への適用を念頭においた技術基準などが作成され、それに基づいて適切な審査が行われている。

また、各設備・機器の製作に当たっては、各製作段階で、動力炉・核燃料開発事業団および動力炉・核燃料開発事業団に技術協力している日本原子力発電株式会社による立会い検査を受けるとともに、原子炉等規制法に基づく溶接検査と使用前検査として科学技術庁、原子力安全技術センターによる立会い検査、および電気事業法に基づく溶接検査と使用前検査として通商産業省、発電設備技術検査協会による立会い検査などを受けることによって、各設備・機器が確かな技術で製作され、かつ十分な品質を持っていることが確認されている^{3)~5)}。

3.3 建設状況

「もんじゅ」のサイトは、福井県敦賀市市街地から北西約12 kmの敦賀半島北部に位置する敦賀市白木にある。昭和60年10月建設工事が本格着工して以来、約4年が経過した現在、建

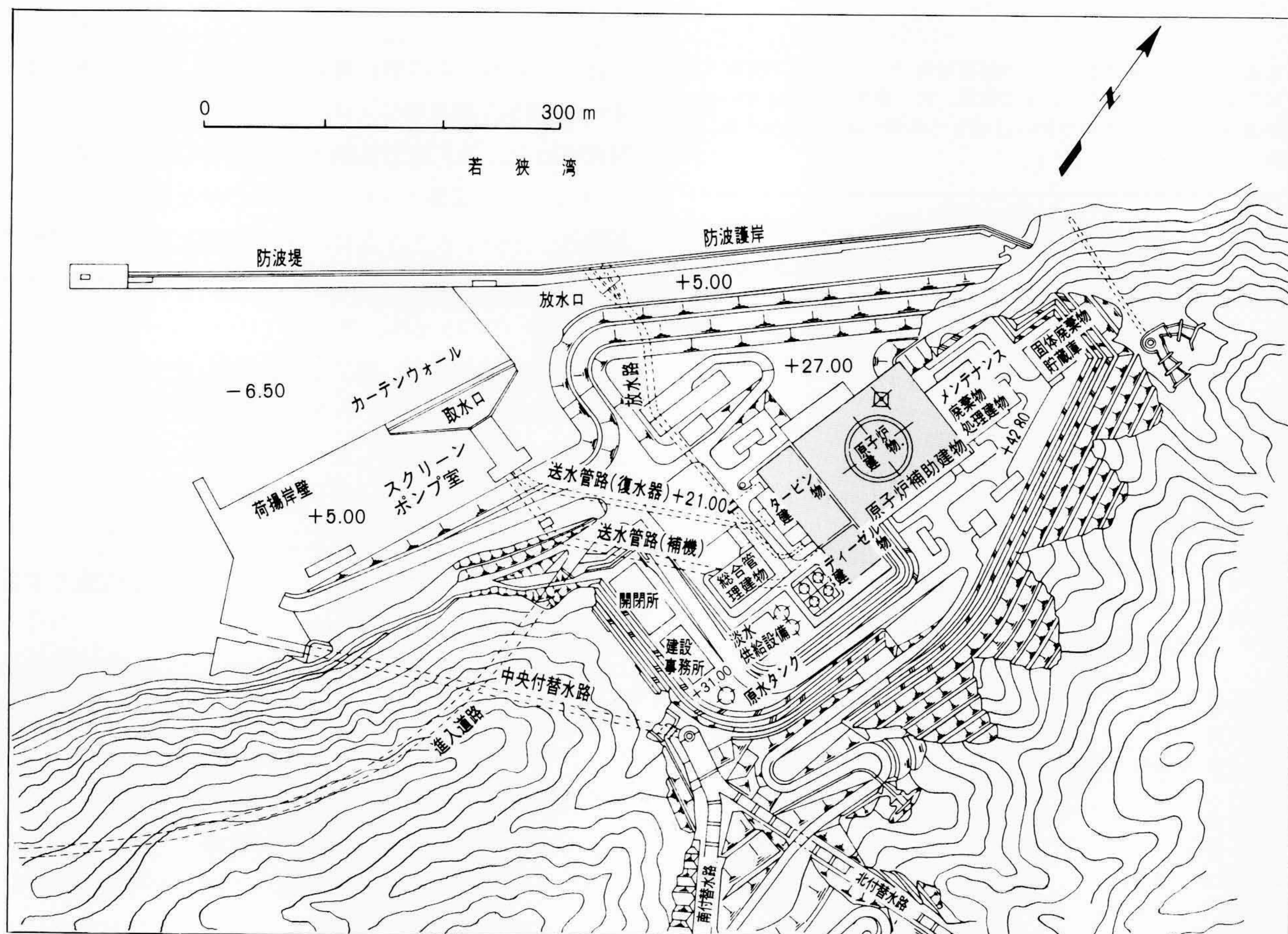


図3 「もんじゅ」配置図 原子炉建物は標高5 mに掘削した岩盤上に配置され、その周辺に原子炉補助建物などの主要構造物が設置される。

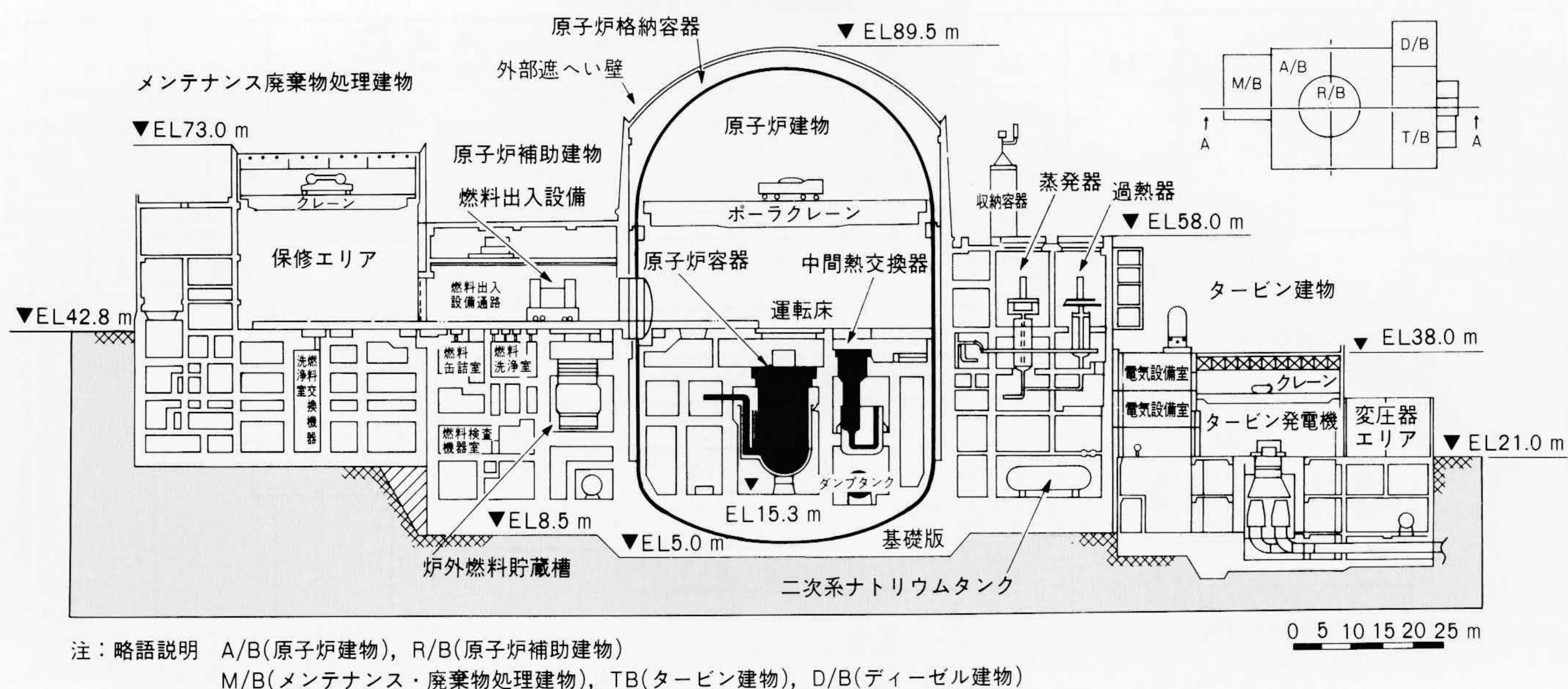


図4 「もんじゅ」主要建物断面図(A-A断面) 主要建物の基礎は、堅固な岩盤上に直接支持している。

設工事は当初計画どおり順調に進んでおり、昭和58年1月からの準備工事も含めて平成元年8月末現在の総合進捗率は72.3%に達している。「もんじゅ」の配置図を図3に示す。発電所敷地内の主要な施設としては、原子炉建物、原子炉補助建物、メンテナンス・廃棄物処理建物、タービン建物、ディーゼル建物および取水・放水設備などの構築物がある。主要な建物の断面図を図4に、サイト現況を図5に示す。本発電所の設置に当たっては、環境審査により適格であることが確認されるとともに、立地点が若狭湾国定公園内であるため自然環境との調和が図られるよう十分配慮されている。

建設工程については、昭和58年1月準備工事開始、昭和60

年10月本工事着工(建物基礎掘削工事)開始、昭和61年2月マットコンクリート(建物基礎版工事)開始、昭和63年10月原子炉容器搭載完了、平成3年4月機器据付け完了、同5月総合機能試験開始、平成4年10月初臨界の見通しである。主要建設工程を図6に示す。

日立製作所が担当する設備として、1次主冷却系は、中間熱交換器、循環ポンプ、循環ポンプオーバフローコラム各3基と、これらの機器を内包する中間熱交換器ガードベッセルと循環ポンプガードベッセル各3基の据付けを完了し、現在、原子炉容器とこれらの機器を接続する配管(直径約813 mmおよび約610 mm)の据付け工事が3ループ並行して行われている。そして、平成元年11月に高圧テスト、平成2年1月に低圧テストが行われる予定である。中間熱交換器の据付け作業状況を図7に示す。

1次補助ナトリウム系についても、すでにオーバフロータンク1基、ダンプタンク3基、コールドトラップ2基などの大型機器の据付けとともに、2次主冷却系の蒸気発生器過熱器3基の据付けを完了した。また、電気設備は平成2年4月の275 kVの受電を目標に中央監視盤、各種制御盤・電源盤、電磁流量計、ディーゼル機関・発電機などが次々と据え付けられている。

これらの設備の据付けに当たっては、より高品質を維持するため、清浄度管理区域の設定、湿分・塵埃(じんあい)の混入防止のための雰囲気管理、養生などを行い、建設工事段階から塵埃、異物などが侵入しないような対策を講じている。

ライニング設備は1次冷却系室の床・壁・天井の全面を鋼板製のライナプレートと断熱材によって内張りしたものであり、建築工事と並行して据付け工事が進められている。一部



図5 「もんじゅ」サイトの現況 福井県敦賀市白木地区で行われている「もんじゅ」サイトの建設工事の現況を示す(平成元年7月25日撮影)。

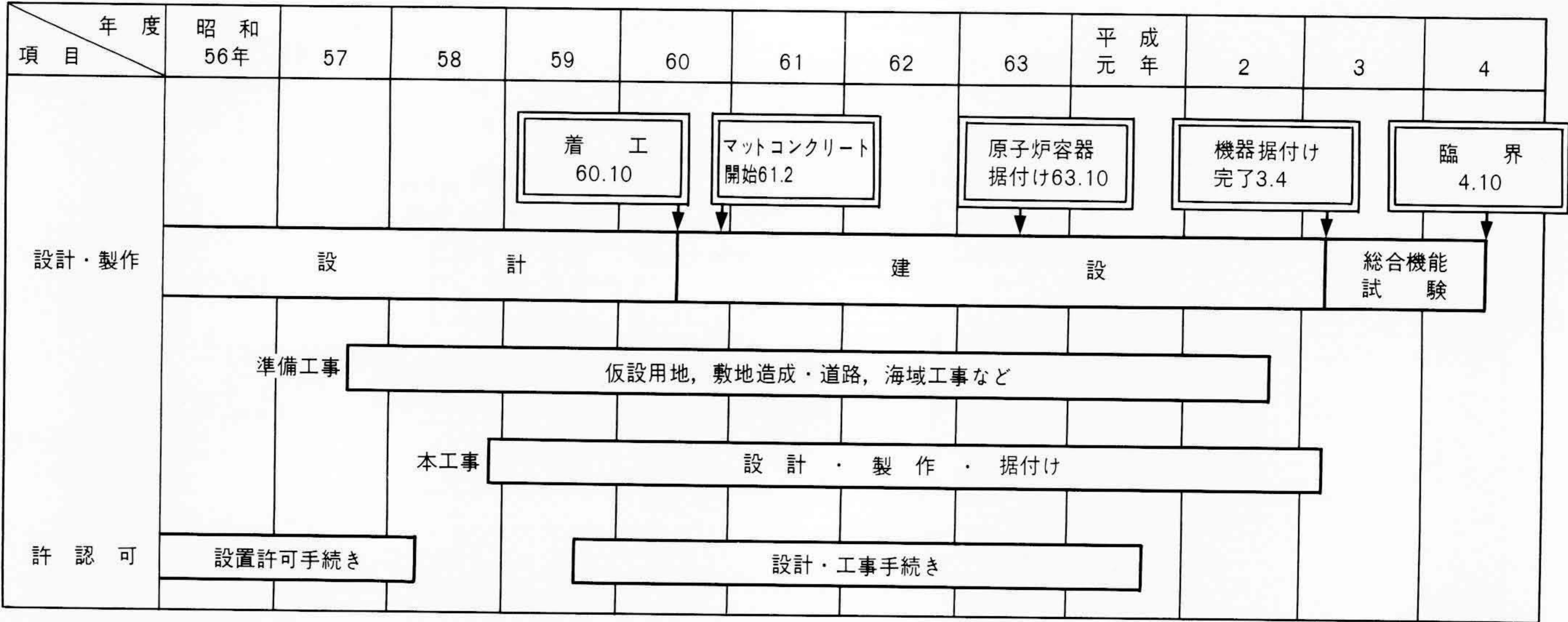


図6 「もんじゅ」建設工程 平成3年4月に機器の据付けを完了し、その後総合機能試験に入り、平成4年10月には臨界に達する予定である。

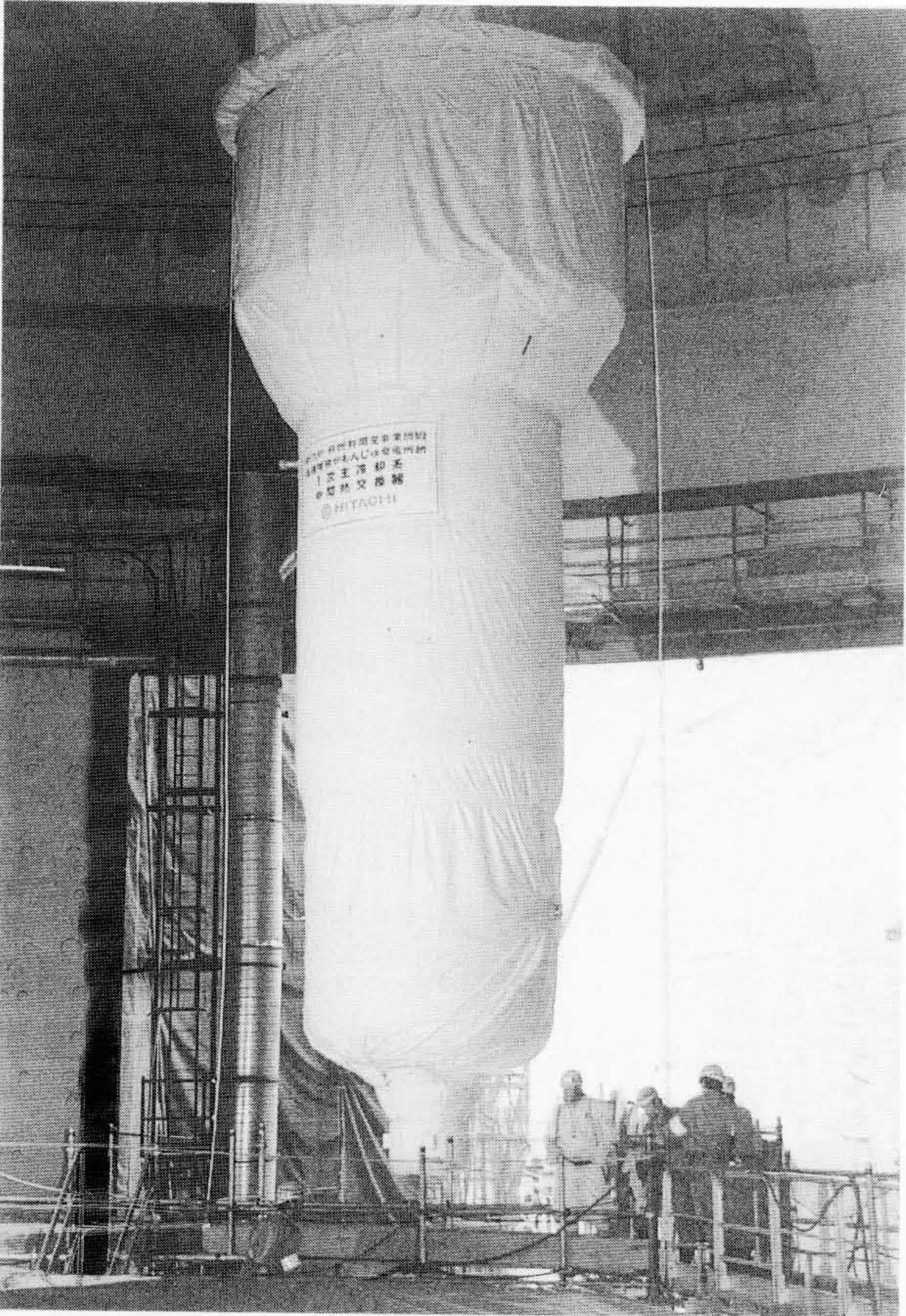


図7 中間熱交換器の据付け工事作業 Ⅰ次主冷却系中間熱交換器3基は、平成元年6月から7月にかけて船便で輸送され、原子炉格納容器内に据付けを完了した。

のライナプレートは建物コンクリートの型枠も兼ねており、工程短縮の一助となっている。

以上述べたように、「もんじゅ」は国家プロジェクトとして国の総力を挙げ、動力炉・核燃料開発事業団が建設主体とな

り、また、すべてにわたる事前の研究・開発と設計、製作、据付けの各段階を通じてていねいな品質保証活動がなされていることを特徴としている。

4 結 言

高速増殖炉の開発経緯と「もんじゅ」建設の動向、および日立製作所の活動状況の概要について述べた。

今後の機器製作、建設工事および試運転でも信頼性の確保に万全を期すとともに、平成4年10月の臨界を目ざして「もんじゅ」建設を強力に推進したい。さらに、その成果を高速増殖実証炉に有効に反映することによって、実証炉の早期実現に貢献したい。

参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団：高速増殖炉研究開発の現状，82～100(昭63-12)
- 2) 日本原子力産業会議：原子力ポケットブック1989年版(昭63-11)
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団：建設を開始した高速増殖炉「もんじゅ」の全貌，原子力工業，32，5，13～50(昭61-5)
- 4) 動力炉・核燃料開発事業団：期待の高速増殖原型炉「もんじゅ」は今…，エネルギーレビュー，2～29(昭62-12)
- 5) 動力炉・核燃料開発事業団：高速増殖炉もんじゅ発電所建設状況，動燃技報，67，38～63(昭63-9)