

中部電力株式会社浜岡原子力発電所 3 号機の建設

Construction of Hamaoka Nuclear Power Station Unit No. 3

中部電力株式会社浜岡原子力発電所 3 号機は、60サイクル地域では初の電気出力1,100 MWの国内最大級沸騰水型原子力発電設備である。日立製作所は、蒸気タービン・発電機を主としたタービン建屋内設備一式を受注し、自主開発技術を多く取り入れ、信頼性・稼働率の向上、被ばく低減の改良など多くの特徴を持つプラントとするための努力を払ってきた。試運転でも計画外停止もなく順調に終え、本プラントは昭和62年 8 月28日から営業運転に入った。

本稿では、プラントの設計・建設・試運転の面から主な特徴について紹介する。

土井喬夫* *Takao Doi*
堀内俊雄** *Toshio Horiuchi*
柏倉功次** *Kôji Kashiwakura*
西岡一也** *Kazuya Nishioka*

1 緒 言

中部電力株式会社浜岡原子力発電所 3 号機(以下、浜岡・3号機と言う。)は、60サイクル地域では初の電気出力1,100 MWの国内最大級BWR(沸騰水型原子炉)であり、原子力設備・廃棄物処理設備を株式会社東芝、タービン・発電機設備を日立製作所が受注し、昭和58年 2 月の岩盤検査以来54箇月という短期間で建設を終え、昭和62年 8 月28日から営業運転に入った。その全容を図 1 に示す。

浜岡・3号機は、昭和50年から通商産業省が中心となって官民一体となり進められてきた軽水炉改良標準化設計を取り入れるとともに、先行機及び浜岡・1, 2号機の運転経験を反映した開発技術を取り入れ、信頼性・保守性の向上、被ばく低減の改良など多くの特徴を持つプラントである。

本稿ではプラントの主な特徴について紹介する。

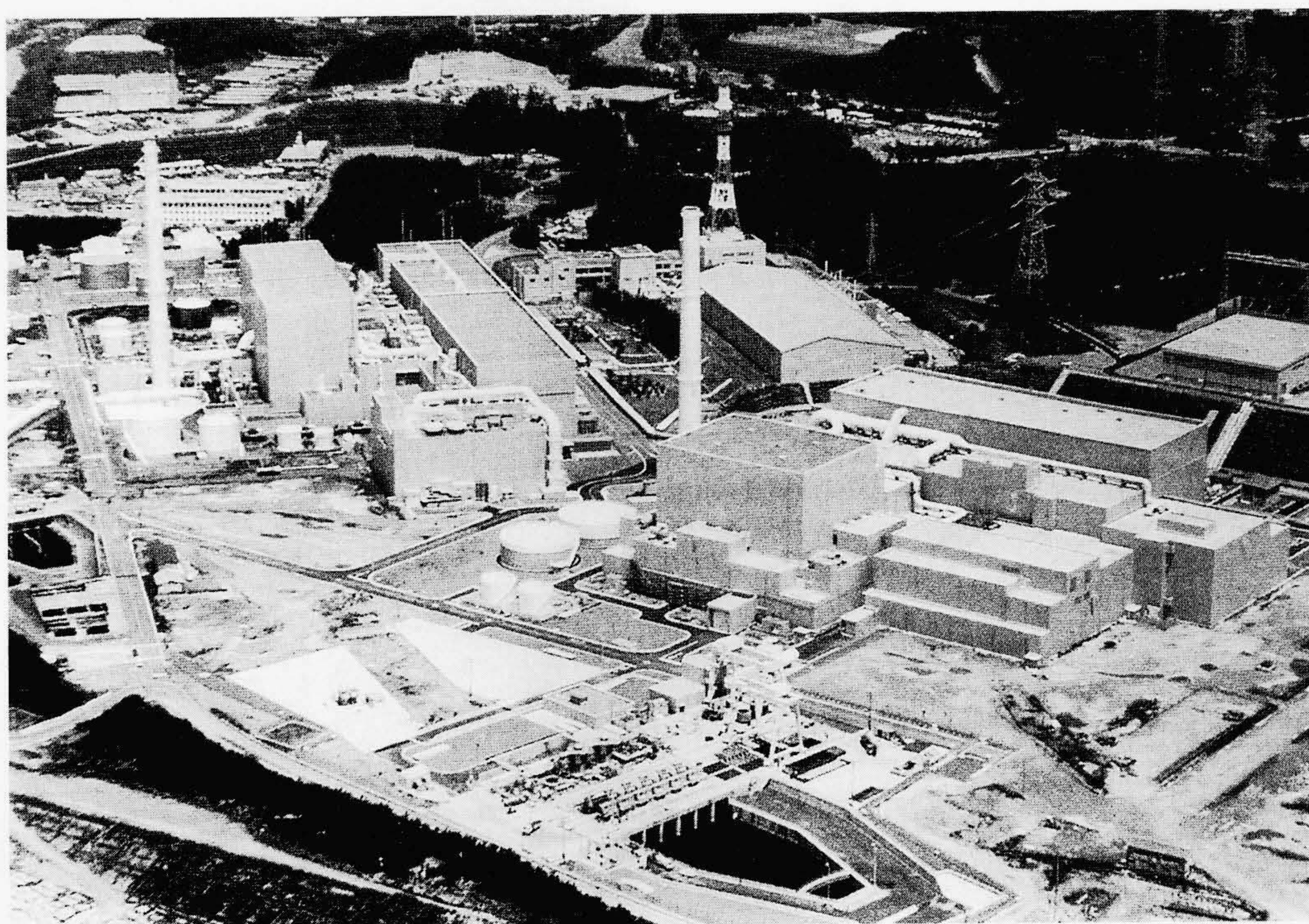


図 1 中部電力株式会社浜岡原子力発電所 3 号機の全容(右側が浜岡・3号機) 60サイクル地域で我が国初の電気出力1,100 MWのBWR(沸騰水型原子炉)として、昭和57年11月着工し、62年 8 月運開した。

* 日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社 ** 日立製作所日立工場

2 浜岡・3号機建設の経過

浜岡・3号機は昭和53年10月に電源開発調整審議会で国の基本計画に組み込まれ、昭和56年11月に原子炉設置許可、昭和57年6月に工事計画認可を受け、昭和57年11月に着工した。以来鋭意建設を進め、昭和61年10月30日燃料装荷開始、昭和62年1月20日初併入し、昭和62年8月28日通商産業省による最終使用前検査に合格して営業運転を開始した。

3 浜岡・3号機の設計・設備の特徴

浜岡・3号機のタービン・発電機設備設計には、先行機の経験及び浜岡・1、2号機の運転経験からくる浜岡原子力発電所特有の対策、更に保守性・信頼性を高めるために自主開発技術を多く取り入れている。表1に浜岡・3号機の基本仕様を示す。

以下に設計・設備の主要な特徴について紹介する。

3.1 水質の改善

従来は、給水加熱器、抽気管、クロスアラウンド管などの機器・配管に炭素鋼が用いられていたが、先行機実績調査と試験研究の成果を取り入れ、これらの機器・配管に低合金鋼を採用し、蒸気タービンについては肉盛溶接などを、給水加熱器については材料に加えて構造変更をも実施した。この結果、復水・給水系のクラッドが低減され、従来にない良好な水質を維持している。

3.2 一体鍛造式大型低圧ロータの採用

先行機では、製鋼技術の関係で、焼ばめ式低圧タービンロータを採用していたが、低圧タービンに一体鍛造式大型低圧ロータの導入を検討し、製鋼メーカーの技術向上とあいまって十分に信頼性のある大型ロータ素材の製造が可能となり採

表1 浜岡・3号機の基本仕様(タービン・発電機設備) 60サイクル地域で、我が国初の電気出力1,100 MW BWRプラントには、日立製作所の記録製品が数多く採用されている。

項 目		仕 様
原 子 炉 熱 出 力		3,293 MW
電 気 出 力		1,100 MW
タ ー ビ ン 型 式		くし型6流排気復水式 (TC6F-43)
復 水 器 型 式	表面接触単流3区分式	
	全チタン管 約69,700本	
復水器連続洗浄装置		全自動
発 電 機 型 式		横軸円筒回転界磁3相同期型
容 量		1,280 MVA
タ ー ビ ン 制 御		デジタル方式 (D-EHC)
給水ポンプ	タービン駆動	50%×2台
	電動機駆動	25%×2台
復 水 脱 塩 器		10塔(1塔予備)
復 水 炉 過 脱 塩 器		11塔(1塔予備)

用した。

3.3 43インチ最終段落翼

60サイクル・電気出力1,100 MW BWRの蒸気タービン最終段落長翼として、熱効率・経済性の面からタンデム6流型との組合せにより、43インチ翼を採用した。なお、採用に当たっては、我が国で初めての計画であり、実物大モデルロータによる回転振動試験、振動ダンピング試験、蒸気力耐久試験などを実施し、43インチ翼の信頼性を十分に確認している。

3.4 チタン復水器の採用

従来、主復水器の冷却管にはアルミブラス材を使用していたが、海水に強い材料であるチタンに着目し、これを冷却管とする復水器を採用している。採用に当たり、浜岡サイトの実海水を用いた中部電力株式会社との共同研究により、その特性を把握し、ボール浸水・計数・選別工程を自動化した全自動復水器連続洗浄装置を開発し適用している。

3.5 プラント起動・停止の自動化

浜岡・3号機では、運転の操作性・監視性の向上、更にはプラント運転管理の充実を図った制御システムを構築した。タービン系では、主タービン制御装置(デジタル方式:D-EHC)を主体に、プラント起動・停止操作及び通常運転時でのブロックごとの操作の自動化を図った。

特に気体廃棄物処理系、タービングランド蒸気系及び復水器空気抽出系についてその操作を自動化し、プラント起動・停止過程での運転員操作回数を大幅に軽減することができ、

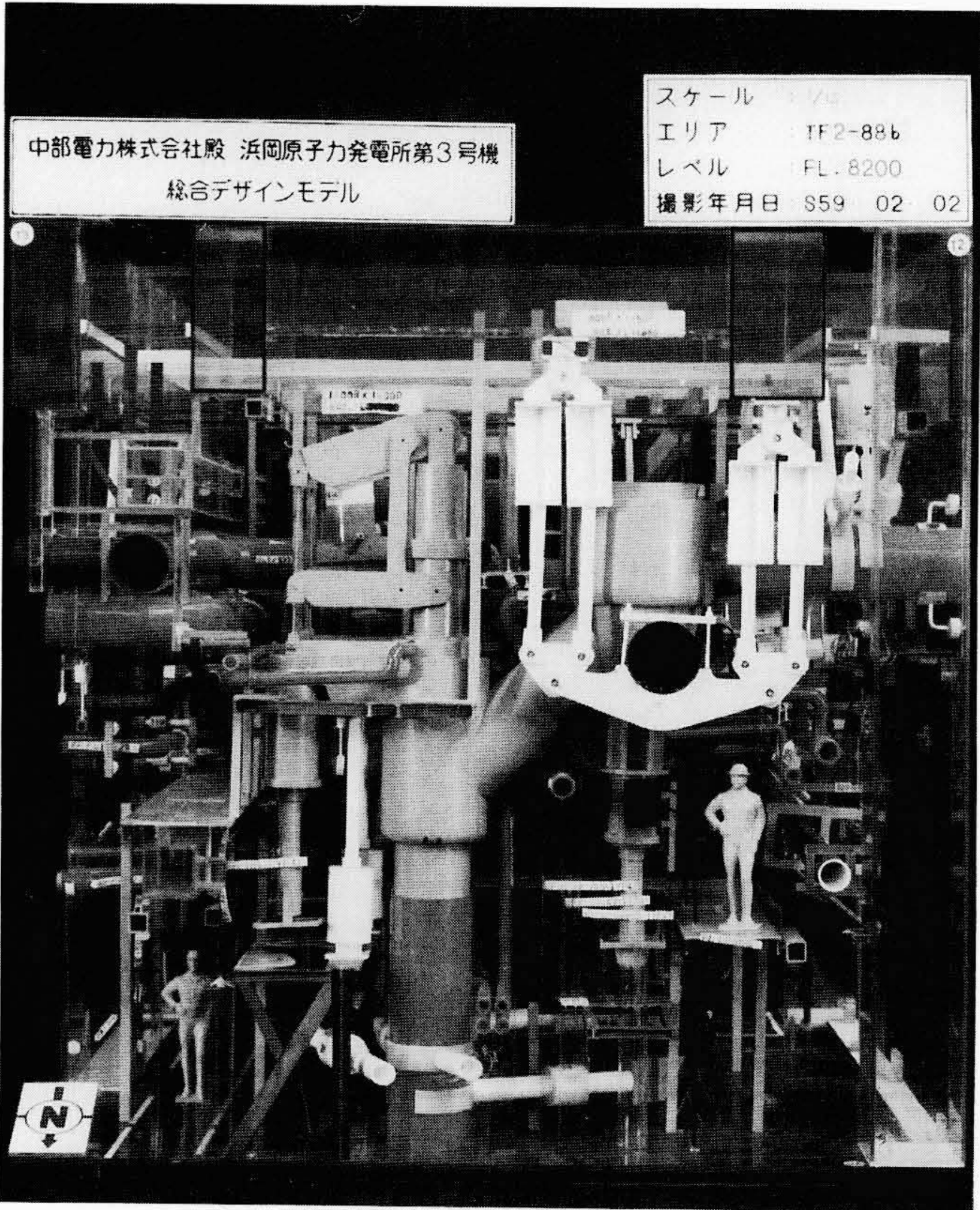


図2 浜岡・3号機タービン建屋プラスチックモデル(縮尺1/10) プラスチックモデルエンジニアリングを設計当初から取り入れることによって、現地据付けで干渉問題が大幅に低減した。

運転員操作の省力化、誤操作防止に大きく寄与している。

3.6 プラスチックモデルエンジニアリングの適用

原子力発電プラントの機器配置及び配管設計については、機能・据付け・放射線被ばく・保守などについて多角的な調整・検討を要し、かつ高い信頼性が要求される。浜岡・3号機では設計当初からモデルエンジニアリングの手法を導入した。着工の前から、エリア調整モデル(縮尺 $\frac{1}{50}$)で主配管・トレー・ダクト計画、機器分解スペースなどを検討し、その後約2年間、総合モデル(縮尺 $\frac{1}{15}$)で小口径配管・計装配管・操作床・サポート計画などの詳細設計を実施した。本総合調整モデルは、昭和59年4月現地に搬入し、現地での詳細設計、機器搬入計画、据付工事工程調整、据付作業者の訓練などに

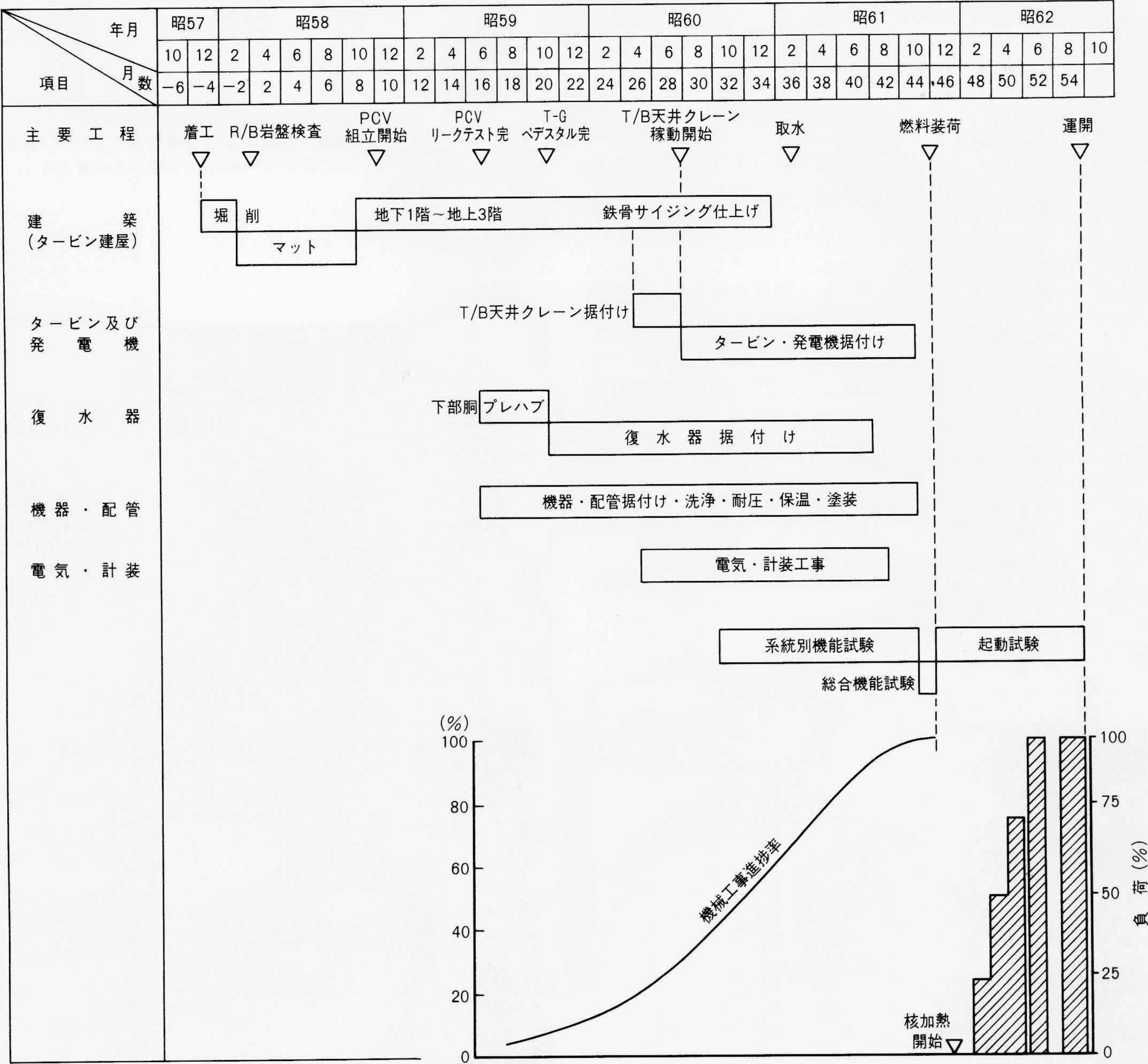
大きく寄与した。図2に総合調整モデルの一例を示す。

4 建設及び試運転の特徴

4.1 建設概要

浜岡・3号機は、昭和57年11月掘削を開始し、昭和58年2月末岩盤検査後、昭和62年8月28日の運開まで、54箇月という、電気出力1,100 MW級BWRとしては最短級の工事期間で完成することができた。図3に建設及び試運転工程の概要を示す。

本プラントは、船舶輸送の大物品は隣接する御前崎港で荷揚げし、トレーラなどで約12 kmの道程を輸送した。また、タービン建屋側には大型の専用クレーンを設置せず、建築用タ



注：略語説明 R/B(原子炉建屋), PCV(原子炉格納容器), T-G(タービン-発電機), T/B(タービン建屋)

図3 建設及び試運転工程の概要 電気出力1,100 MW級BWRとしては、最短級の据付け工事期間を達成し、試運転は計画外停止もなく良好に進捗した。

ワークレーンやクローラクレーンなどを利用して建屋内への搬入を実施した。

4.2 循環水配管

タービン設備の最初の工事は、タービン基礎台マット下に埋設する循環水配管であり、マンメイドロックを先行設置し、それを据付け架台として使用する先行マンメイドロック方式や配管大型ブロック化などの新工法を取り入れ、クリティカル工程の短縮を図った。循環水管は埋設部の第一期工事、ボール捕集器周りの第二期工事、タービン建屋内復水器周りの第三期工事と、昭和61年1月の取水時期までに3期に分割して行われた。循環水配管第一期工事状況を図4に示す。

4.3 復水器

復水器据付け工事は工程短縮をねらいとして、タービン建屋北側のヤードであらかじめ下部胴を2分割に大ブロック組立てし、タービン基礎台の施工完了を待って建屋内に引込み設定した。ヤードでの下部胴工事期間中は、開閉式の仮設屋根を取り付け雨などの天候に影響されず組立作業を行った。また、溶接には、自動・半自動溶接を大幅に採用し、品質と能率の向上を図った。

約7万本の冷却管には、海水に対し強いチタン管を採用しているが、その取付けには、図5に示す冷却管自動挿入装置、管端自動溶接機を使用した。

4.4 蒸気タービン

蒸気タービンの据付けは、タービン建屋天井クレーン稼動後、低圧外車室下半のつり込みから開始され、使用前検査を経て組立完了まで、2台の天井クレーンの有効活用と、タービンカップリング合わせ加工の改善などにより、従来約12箇月要していた工期を、9.5箇月に短縮して完成することができた。

各車室、ダイアフラム、軸受は入念に組み立て、アライメントを実施し、振動の極めて少ない信頼性の高いタービンとなった。図6に、低圧ロータの組込作業状況を示す。

4.5 発電機

発電機は、日立据付品のうちで最大重量品であり、質量420 t

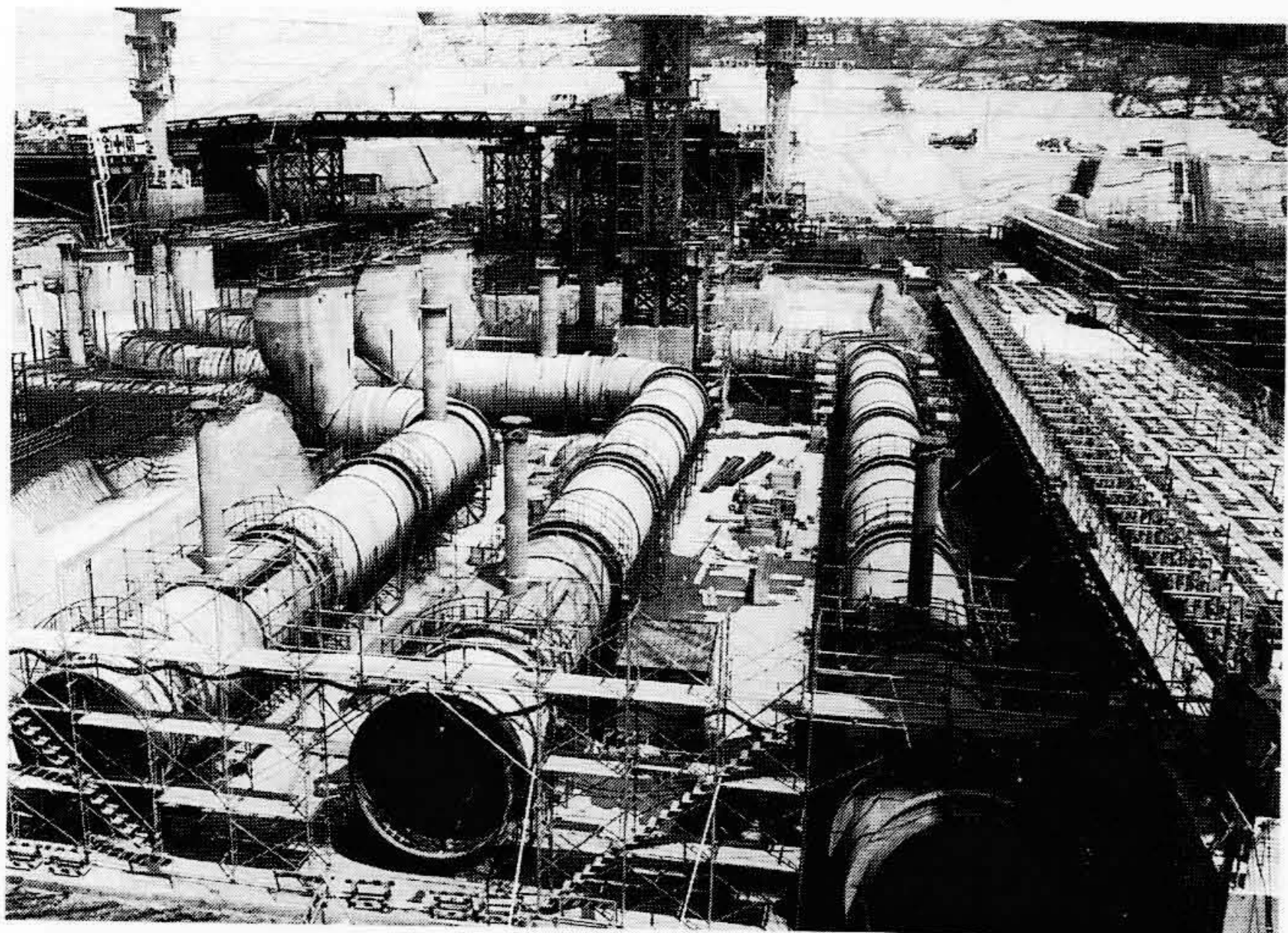


図4 循環水配管据付け状況(タービン建屋マット下) 先行マンメイドロック方式、配管大型ブロック化などの新工法を採用し、クリティカル工程の短縮を図った。

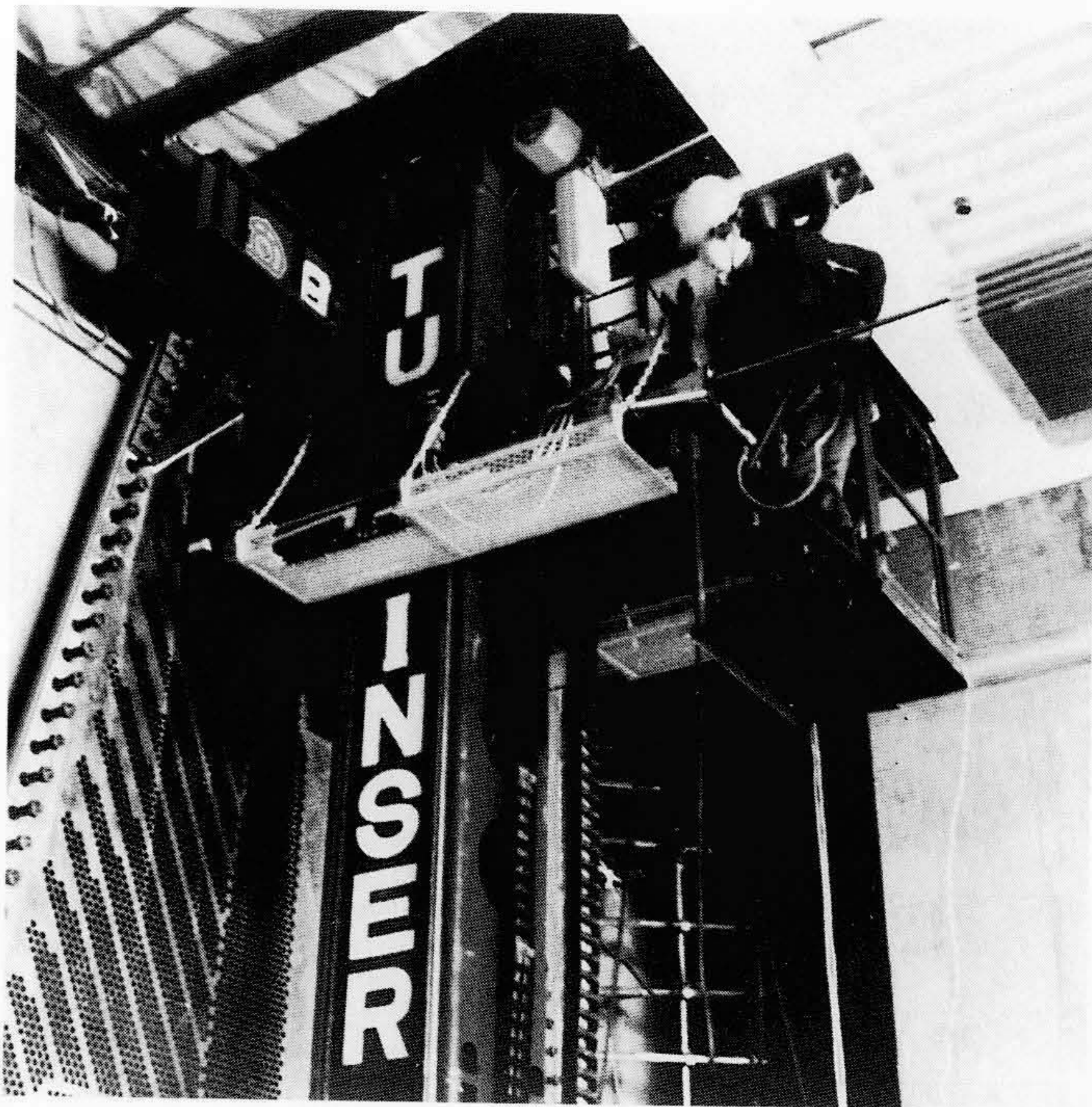


図5 復水器冷却管自動挿入装置による冷却管挿入状況 約7万本の冷却管の取付けに、日立製作所で開発した自動挿入装置を用い、建設工期の短縮に貢献した。

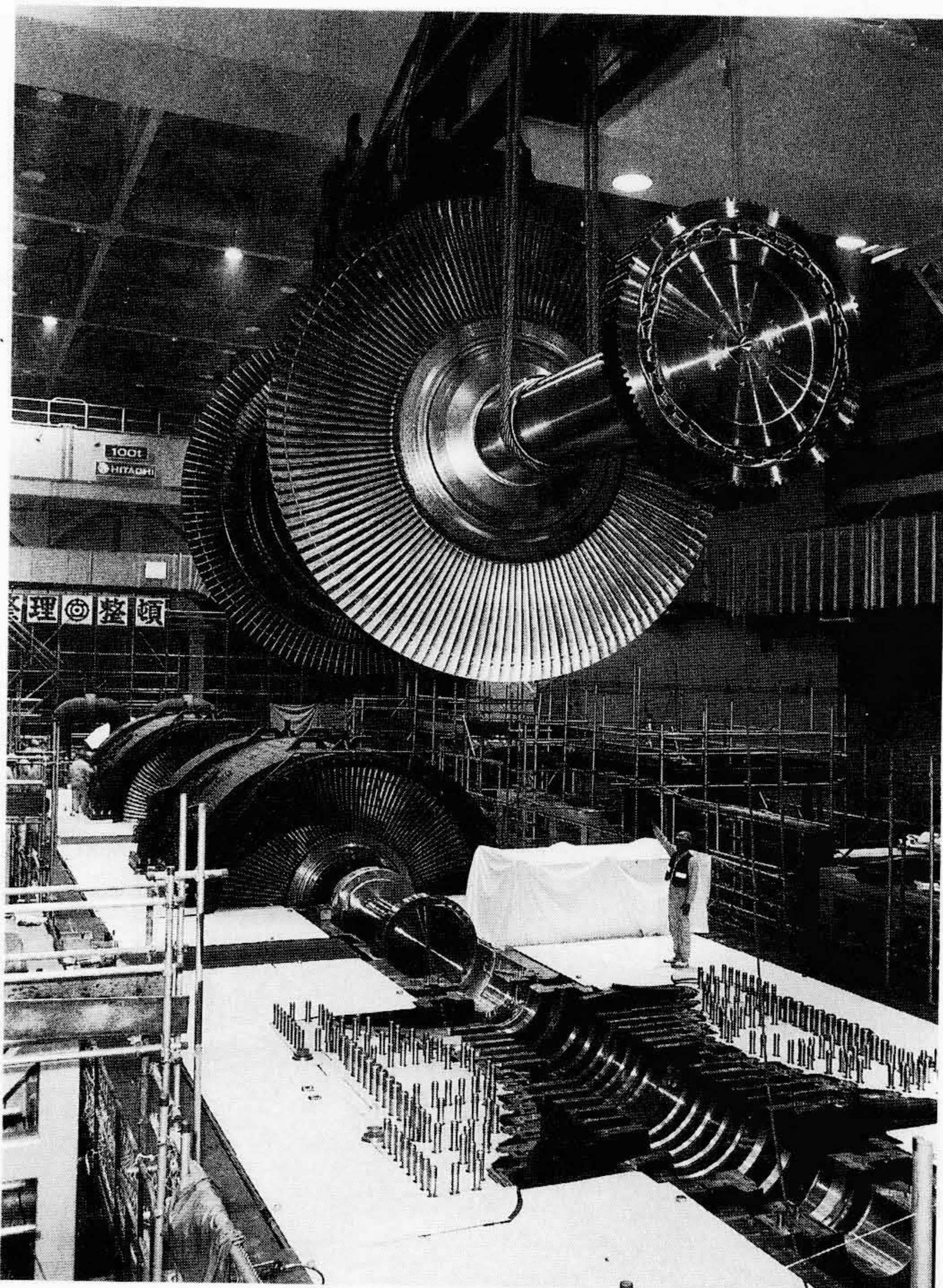


図6 低圧タービン据付け状況 浜岡・3号機のタービンには、43インチ最終段落翼を搭載した一体鍛造式低圧タービンロータを採用しており、軸振動の極めて低い信頼性の高いタービンである。

の固定子を御前崎港中部電力株式会社専用岸壁で1,050 t級フローティングクレーンにより陸揚げを行い、800 t自走車に荷積みの上サイト内に輸送し、図7に示す特殊つり上げ装置により、地上からオペレーティングフロア(高さ18 m)まで油圧ジャッキによりジャッキアップし、据え付けた。その後回転子を天井クレーンを用いて挿入した。

4.6 配管

大口径配管はヤードでの仮置を最小とするため、工場の出荷時期と現地建屋内搬入時期を同期化させるように、ジャストイン納期調整を行い、屋外長期保管による製品の汚れ防止及び搬入の効率化を図った。

また、主蒸気系配管などへの自動ミグ溶接、中口径配管への自動ティグ溶接、サポート架構への半自動溶接の適用を拡大し、溶接効率、品質、外観の向上を図った。

小口径配管は現地にCAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)を搭載した移動式小径管FA(Factory Automation)工場を作り、NCベンダ複合加工機により、配管の3次元曲げ加工・自動刻印・切断を行い据付効率化を図った。図8に、小口径管FA工場を示す。

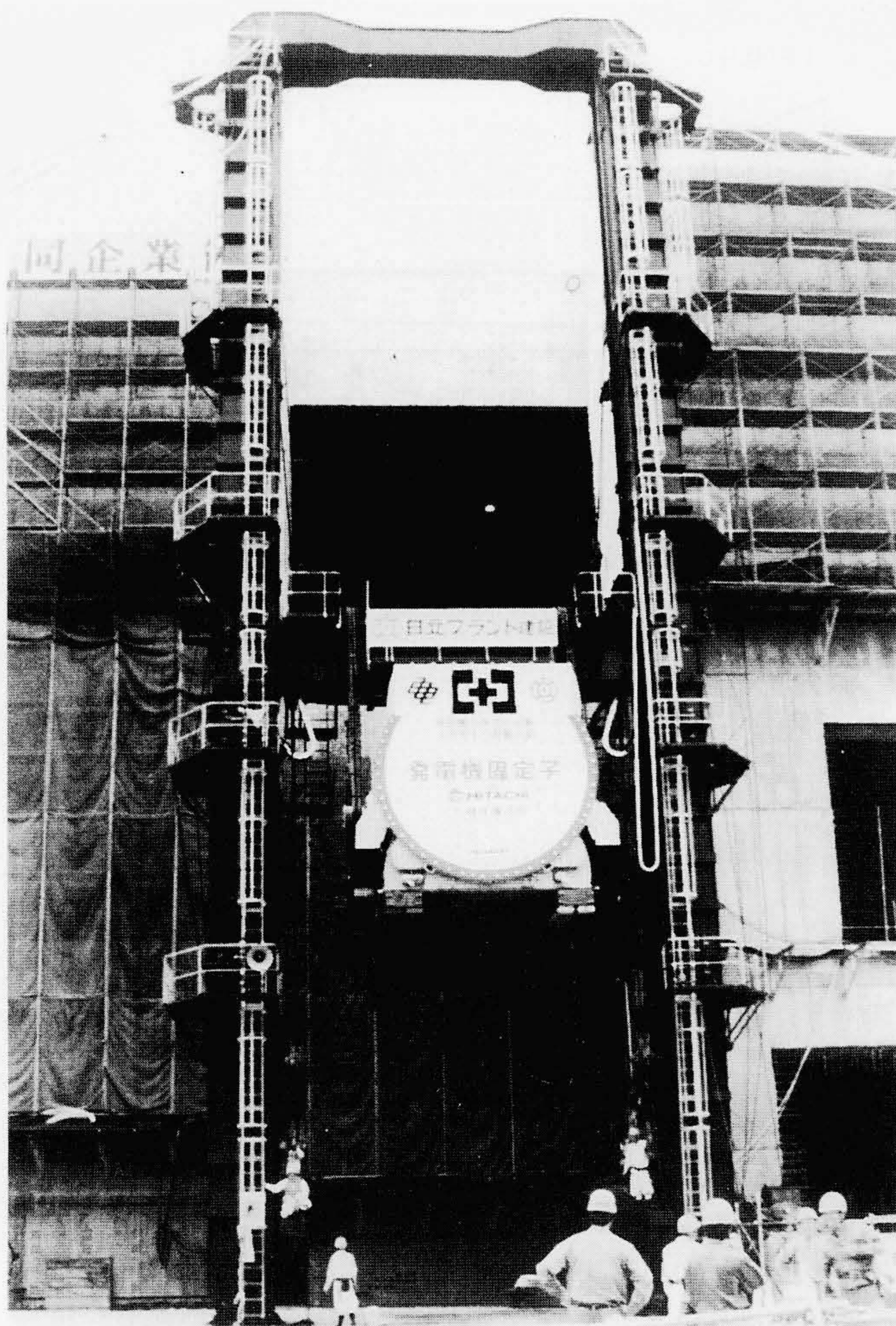


図7 発電機固定子ジャッキアップ状況 質量420 tの発電機固定子を、御前崎港からサイトまで約12 kmの道程を800 t自走車で輸送し、昭和60年9月4日特殊つり上げ装置によってオペレーティングフロアまでジャッキアップした。

なお、配管工事には膨大な足場を必要とするが、天井埋込金物を利用したつり足場の採用により、通路の確保・作業安全性の向上を図った。

4.7 電気工事

従来、ケーブルの施設には大きなドラムを建屋内に搬入していたが、ケーブル切分け機の採用により、事前にケーブルを必要長さに自動計測・切断し、建屋内に搬入・布設した。これにより、通路をケーブルドラムに専有されることなく、ケーブル布設が効率よく実施できた。

4.8 建設管理

原子力発電所の建設には、膨大な量の図面・図書、機器・配管・購入品の納期進捗状況などを管理する必要がある。このため現地にL330/6コンピュータシステムを設置し、日立製作所の工場と電話回線で結ぶことによって情報の一元化を図り、日立製作所の工場のNDCS(図書管理)、BPMS(製品納期管理)、QTS(物量管理)などのシステムと連係するCAR-AVAN(現地建設管理システム)を構築し運用した。

4.9 起動試験の概要

浜岡・3号機の起動試験は、昭和61年10月30日の燃料装荷

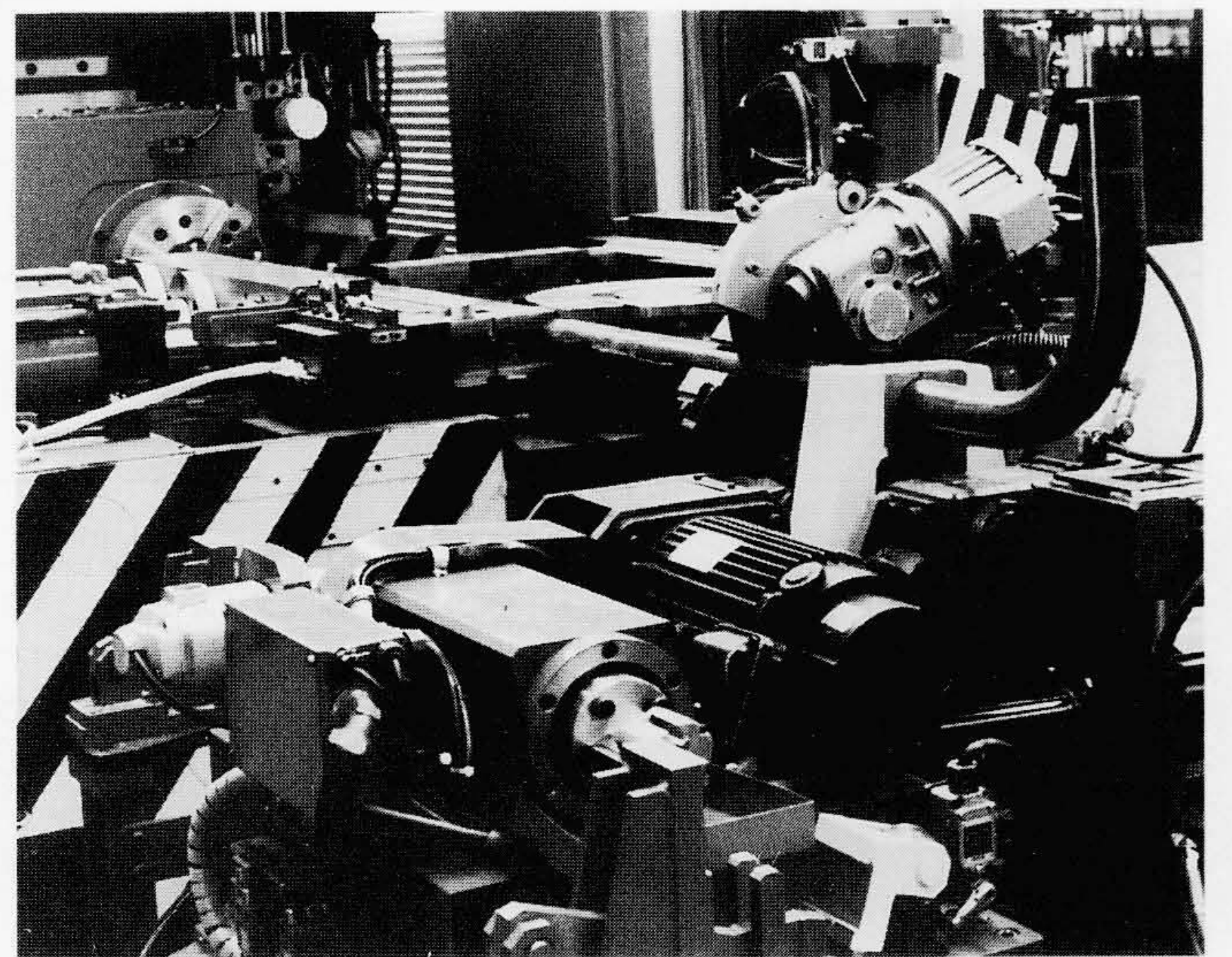
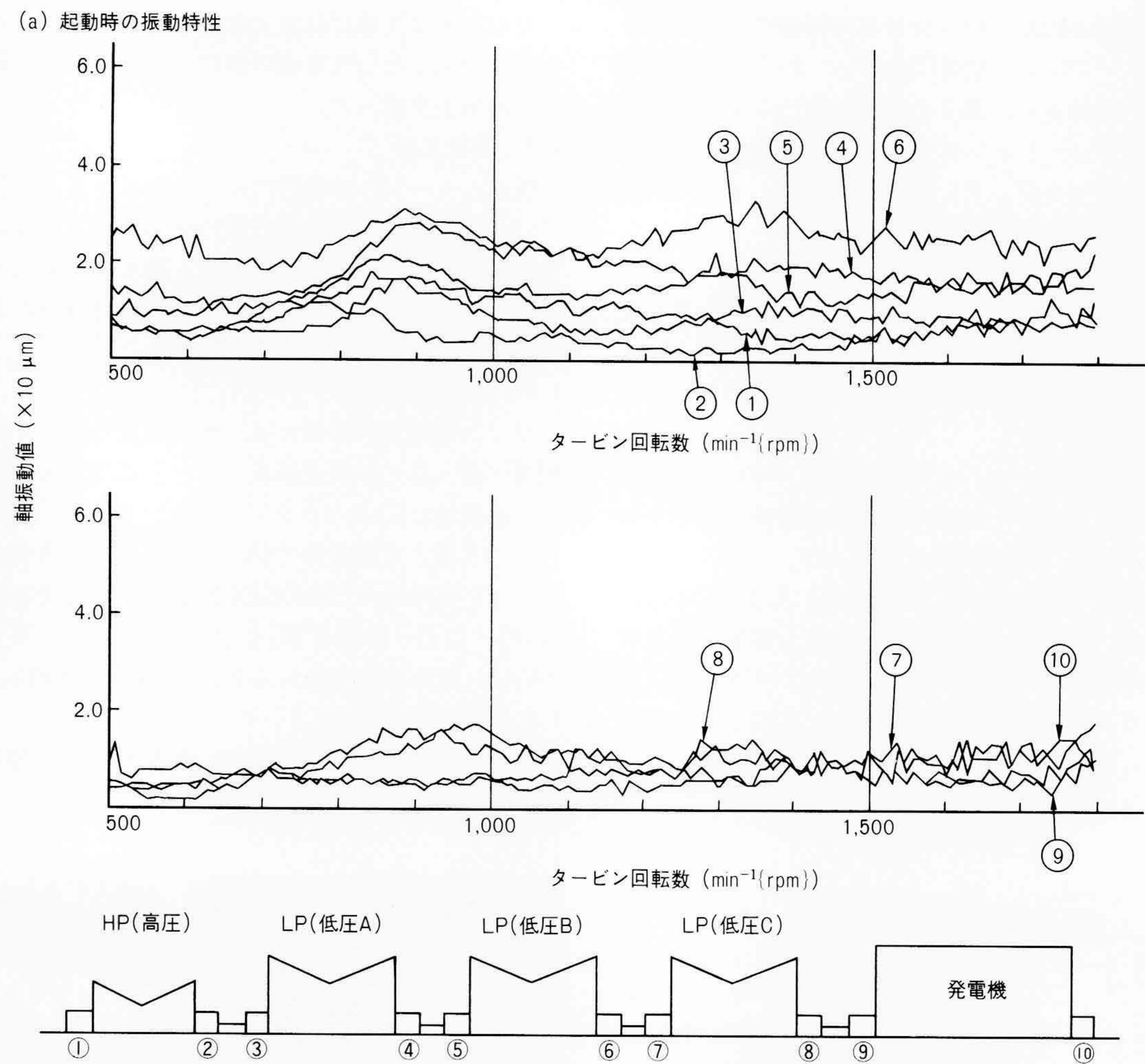


図8 小口径管FA工場の状況 現地に、CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)を駆使した小口径管FA(Factory Automation)工場を設置することにより、据付けの効率化を図った。



(b) 定格出力時軸振動値

軸受No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
振動値 ($\times 10 \mu\text{m}$)	2.0	2.3	2.2	4.0	1.4	0.9	1.3	0.6	1.5	1.5

図9 タービン発電機振動特性 60サイクル電気出力1,100 MW BWRとして初めて一体鍛造式大型低压ロータを採用し、起動試験過程でのクリティカル振動及び負荷運転時の振動を大幅に低減することができた。

開始から昭和62年8月28日の通商産業省最終使用前検査まで302日(約10箇月)にわたって実施された。

起動試験は昭和61年11月21日初臨界、同12月10日初通気、昭和62年1月20日初併入、その後25%、50%、75%の各出力段階でプラント全般にわたる機能確認試験を経て、昭和62年4月28日から100%負荷試験に入った。

各負荷試験とも計画外停止もなく順調に進捗して、改良設計・新技術の機能・性能が確認された。

特に、60サイクル電気出力1,100 MW BWRとして初めて低压タービンロータに一体鍛造式大型ロータ、及び43インチ最終段落翼を採用したが、タービン初通気、無負荷運転から定格負荷までの起動・停止過程、及び負荷変更時でもタービンの振動特性は極めて安定しており良好な結果が得られた。図9に起動時、定格運転時でのタービン振動特性を示す。

5 結 言

国内60サイクル地域では最大級電気出力1,100 MW BWRとして、最短ベースの工期で完成した浜岡・3号機は、改良標準化設計を大幅に取り入れたプラントとして今後の運転が期待される。

浜岡・3号機は、原子炉設備は株式会社東芝、蒸気タービン・発電機設備は日立製作所で担当し設計・建設を進めてきたが、この貴重な経験と成果を、今後の原子力発電設備の設計・建設に反映し、我が国軽水炉の信頼性・稼働率の向上と合わせ、技術のいっそうの高度化を図る考えである。

浜岡・3号機の完成に至るまで、中部電力株式会社の関係各位から豊富な建設・運転経験に基づく御指導をいただいた。ここに、建設・試運転の完遂とその好結果について深謝の意を表わす次第である。