

東京電力株式会社福島第二原子力発電所 4号機の建設

Construction of Fukushima Dai-Ni Nuclear Power Station Unit No.4

昭和55年12月に着工し鋭意建設を進めてきた東京電力株式会社福島第二原子力発電所4号機は、電気出力1,100 MWのBWR原子力発電設備で、途中電力需要の関係から19箇月の納期延期となったが、昭和62年8月25日営業運転を開始した。

本プラントは日立製作所が昭和59年2月に完成した改良標準型ベースプラントである同発電所2号機の実績をもとに、更に自主開発技術を各所に採用し、よりいっそうの信頼性、稼働率の向上、従事者が受ける放射線量の大幅な低減などを目指した最新の設備である。

本稿では4号機に採用した100%バイパスシステム、新型8×8燃料、低圧タービン一体ロータディスクなどの新技術と建設工事、試運転に関する主な特徴点について紹介する。

林 勉* *Tsutomu Hayashi*
軍司 貞* *Tadashi Gunji*
阿部和宏* *Kazuhiro Abe*

1 緒 言

東京電力株式会社福島第二原子力発電所4号機(以下、福島第二・4号機と言う。)は、国内最大級の電気出力1,100 MW、BWR(沸騰水型原子炉)原子力発電設備で、日立製作所が昭和55年12月に着工し、途中電力需要低迷の予測により19箇月の納期延期があったが、昭和62年8月25日に営業運転に入った。

福島第二・4号機は日立製作所にとって福島第二原子力発電所2号機(以下、福島第二・2号機と言う。)に次ぐ2基目のプラントである。また、福島第二・4号機は福島第二・2号機と同様に官民一体となって進められた改良標準化仕様が全面的に適用された。またその後開発された数々の新技術も採用され、信頼性、運転性をいっそう高めたプラントとして注目されている。

図1に福島第二原子力発電所の全容を示す。

以下その特徴について紹介する。

2 建設の概要

2.1 建設工程

福島第二・2号機は昭和54年2月に着工し、昭和59年2月、建設期間59箇月で営業運転に入っている。福島第二・4号機も当初62箇月で営業運転に入るべく同55年12月に着工(掘削は同56年1月から開始)したが、電力需要の低迷予測により東京電力株式会社は19箇月間営業運転開始を延期(以下、納延と略称。)することを決定した。

19箇月の納延による建設工程は種々検討の結果、次のよう

な方針で進めることにした。

- (1) RPV(原子炉圧力容器)は既に据付けを完了していたので、RPV一次水压試験までは当初工程に従って工事を進める。
- (2) 上記試験以後、燃料装荷までの期間を当初計画よりも17箇月延長する。

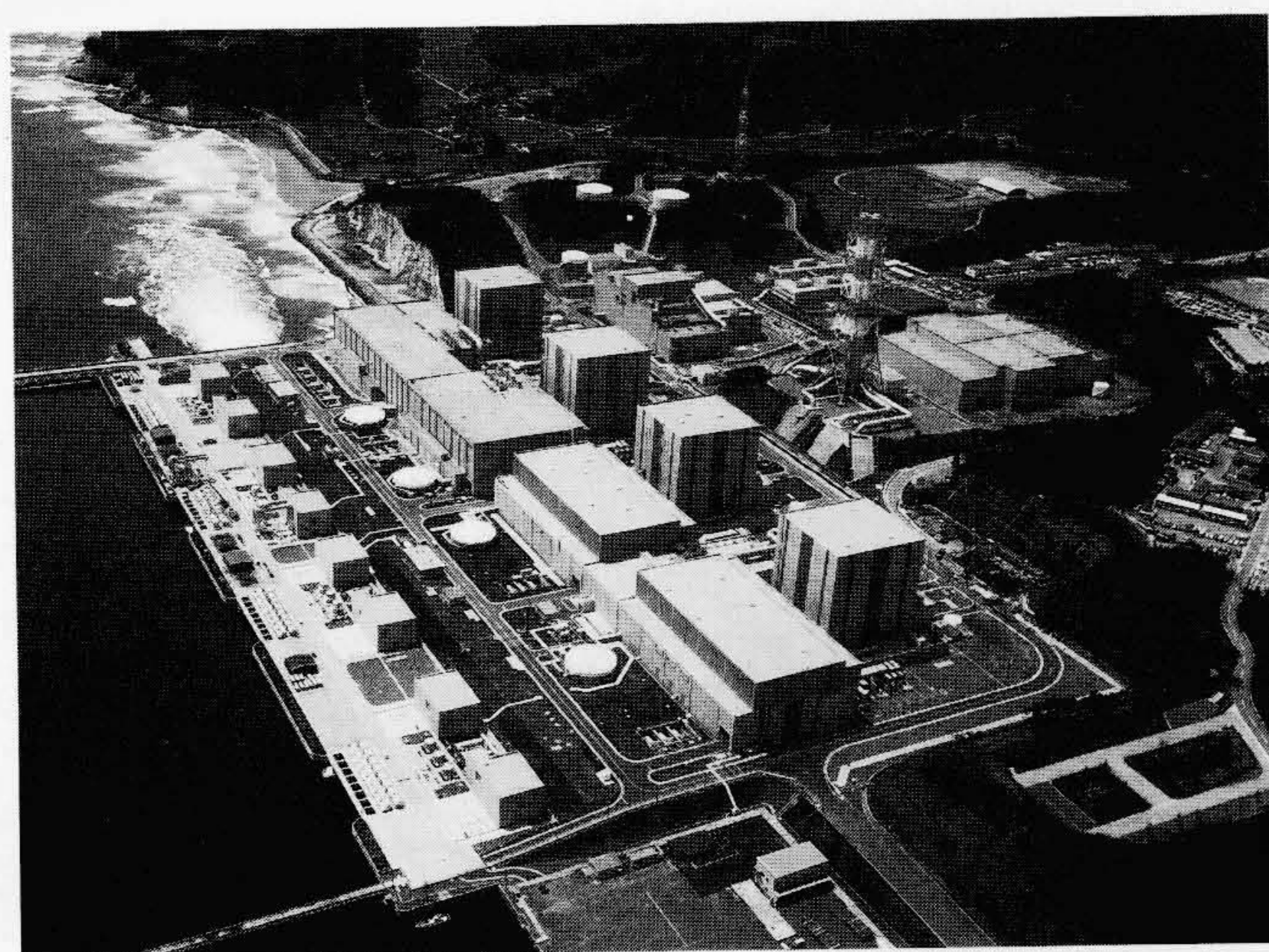


図1 東京電力株式会社福島第二原子力発電所4号機(右手前側)の全容 福島第二・4号機は福島第二原子力発電所に建設が予定されていた最後のプラントで、この完成により同発電所の総出力は電気出力4,400 MWとなった(写真提供:東京電力株式会社)。

* 日立製作所日立工場

(3) 燃料装荷以降営業運転開始までの期間を、当初計画よりも2箇月延長する。

一方、工事は上記水圧試験以降スローダウンさせることにしたので、機器・配管などの設備は工事再開までの期間、その健全性が確保できるよう保管対策が必要となった。そのため、保管はできる限り早い時点から開始することにし、各設備の据付状況により、一部RPV一次水圧試験よりも早い時点から開始していった。保管解除は系統試験工程に合わせて行った。図2に変更前後の建設工程比較を、また図3に長期設備保管工程を示す。

2.2 プラント系統設備の長期保管対策

19箇月の納延に伴い、製作着手前の機器は製作を納延後の建設工程に合わせて繰延べした。

製作が完了し工場出荷前となっていた機器は、工場内で保管することにした。現地に到着して未据付けのものは工場へ返送し、工場内で保管することにした。既に据付けが完了した機器については、現場での長期設備保管対策を実施した。また計装品(電子部品)は工場保管とした。

長期設備保管に当たっては、健全性の維持と一次系統の鉄

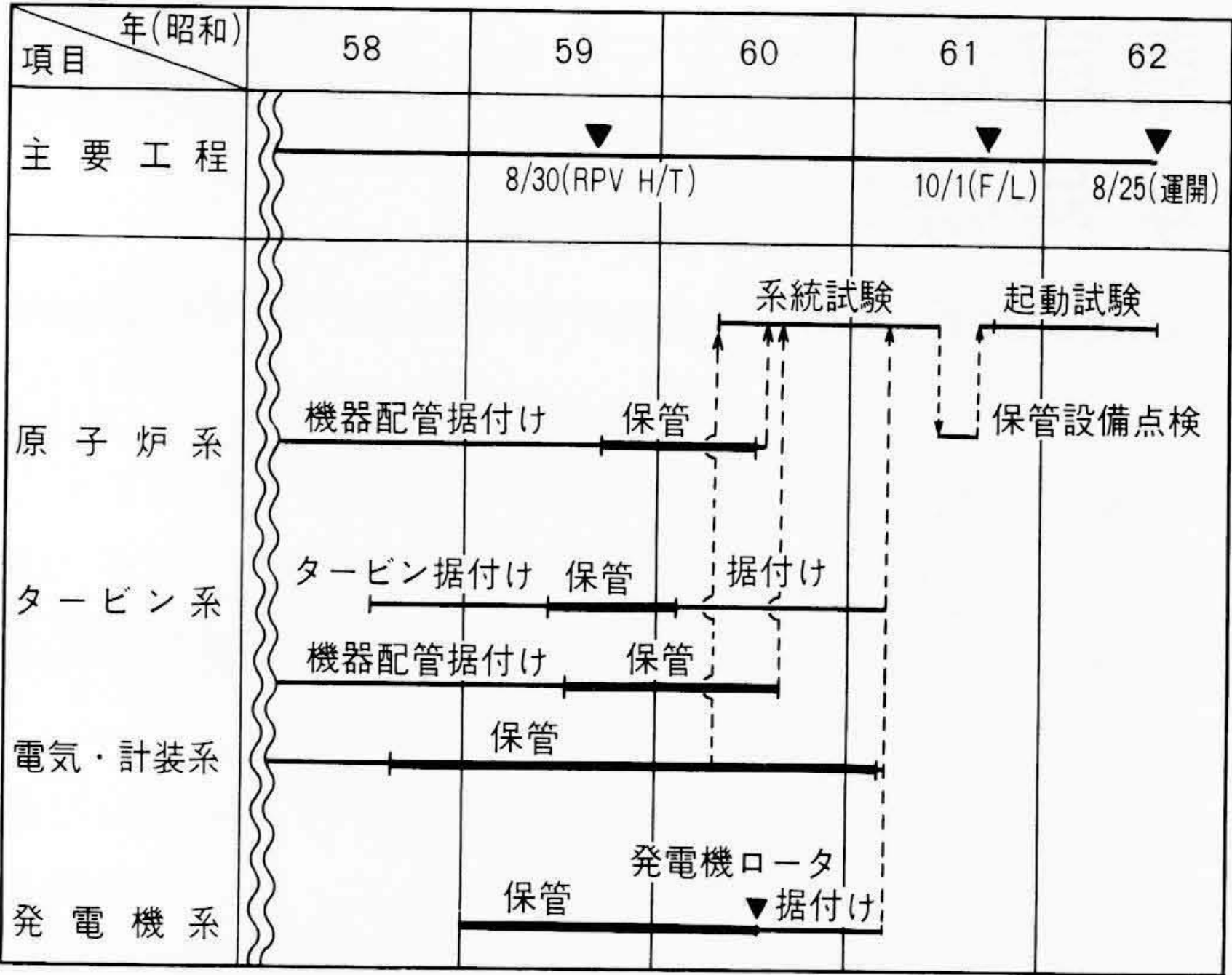


図3 長期設備保管工程表 長期設備保管の開始時期は、各機器類の据付け状況により決定した。また、系統試験工程に合わせて保管を解除していった。

クラッド量の低減を目的としてそれぞれの対策方法を決めた。設備保管期間中には点検を実施し、保管解除時では異常のないことを確認した。また、保管解除以降から起動試験を通じて保管方法とその効果の評価を行った。その結果、健全性が維持されていることを確認した。また原子炉内へ持ち込まれた鉄クラッド量も、福島第二・2号機とほぼ同等程度であると評価することができた。

設備保管の概要を表1に示す。

2.3 建設技術

福島第二・4号機では福島第二・2号機と同様130t大型ジブクレーンを採用し、これによりPCV(原子炉格納容器)の大型ブロック化の拡大及び機器配管の大型モジュール化を図った。また、このジブクレーンとデッキプレート工法との組合せにより、建築工事と並進して大型機器をダイレクトにつり込んで設定位置へのベースオンを行い、機器据付け工期の短縮を図った。

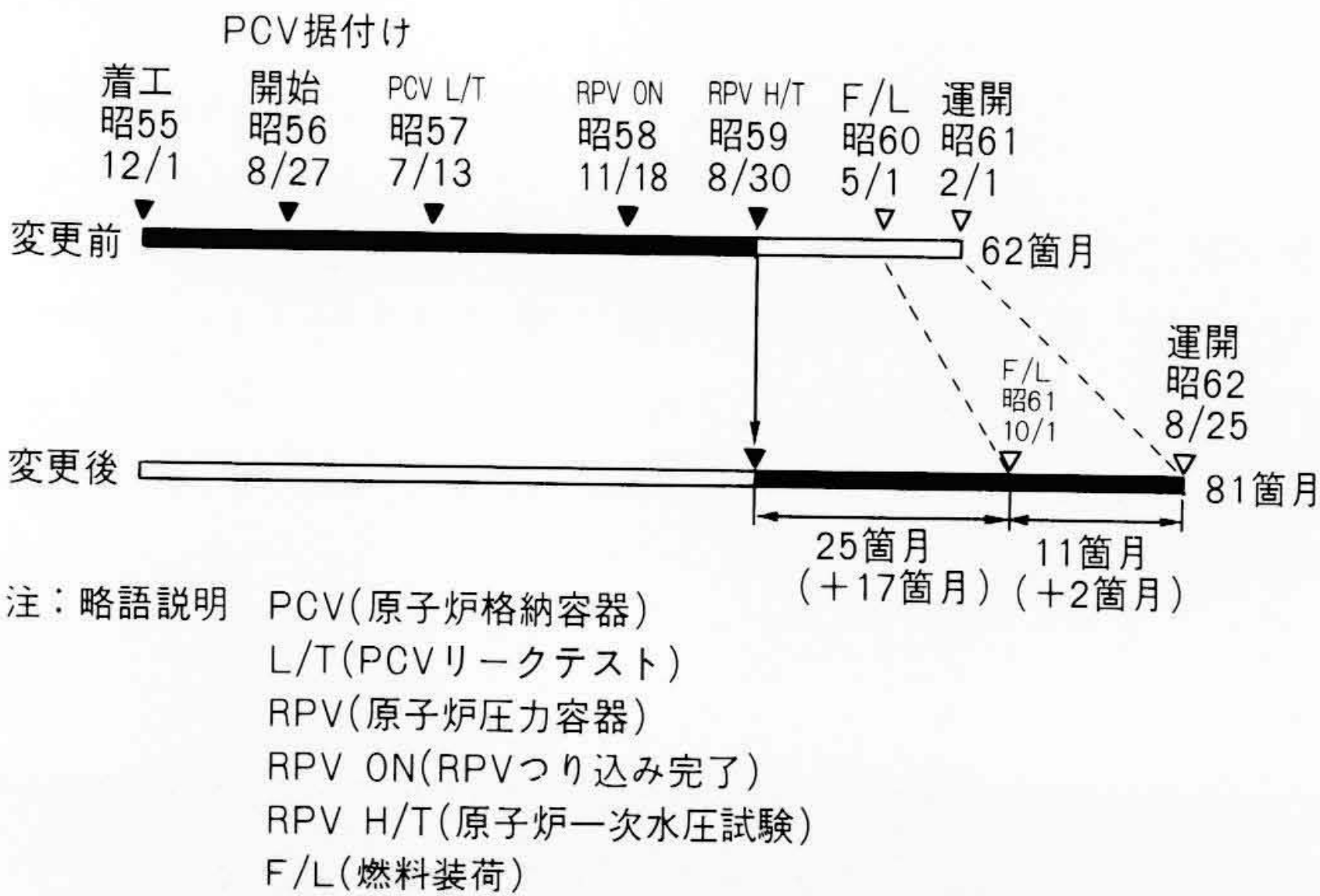


図2 納期変更前後の工程比較 顧客側の納期延期の方針により昭和59年8月のRPV一次水圧試験以降を19箇月間工程延長した。

表1 設備保管の概要 機器、系統設備の保管は、健全性の維持と鉄クラッド量の低減を目的に実施した。

項目		健全性の維持	クラッド量の低減
対策	目的	1. 環境対策 2. 外的損傷防止対策 3. 異物による阻害防止対策	1. 内部環境対策 2. 発生クラッド除去対策
	実施	1. 製作工程、機器の特性に応じた保管場所の選定 2. 各系統、機器別保管方法の確立と実施	1. 各系統、機器別の保管方法の確立と実施 2. クラッド除去方法の確立と実施
確認	保管	1. 製作工程、機器の特性に応じた保管場所の選定 2. 各系統、機器別保管方法の確立と実施	1. 各系統、機器別の保管方法の確立と実施 2. クラッド除去方法の確立と実施
	点検	3. 定期的な巡視、点検の実施	3. 定期的な点検の実施
評価	確認	1. 保管解除時の状況確認 2. 単体試験、系統試験及び起動試験での性能機能確認 3. 燃料装荷前の保管設備点検の実施	1. 保管期間中のさび発生量の確認 2. 試運転中でのクラッド除去量の確認 3. 試運転中での炉水中のクラッド量調査
	評価	1. 総合的にみての保管前後の劣化の有無による対策実施効果確認 2. 試運転中の不具合と保管との関連の評価	1. 測定されたさびの発生量からの実施効果の確認 2. 原子炉内へ持ち込まれるクラッド量の先行機との比較評価

建築工法では福島第二・2号機の場合と同様、鉄筋プレハブ工法、ねじ鉄筋、鉄筋受架台のプレハブ化などの採用のほかに福島第二・4号機としては、く(軀)体工事昇降式足場、タービン発電機架台コンクリート型枠無支柱工法、130 tジブクレーンによるタービン建屋鉄骨建方工法などの新工法が採用された。

3 採用された新技術

昭和50年から通商産業省、電力会社、メーカーが一体となって稼働率向上、信頼性向上、従事者の受ける放射線量の大幅な低減などを目標とした改良標準化計画が開始され、福島

表2 主な新技術 新技術の導入によって、信頼性・稼働率の向上、従事者が受ける放射線量の低減及び保守性の向上が図られている。

項目	適用技術	信頼性向上	稼働率向上	被ばく低減	保守性向上
1. 原子炉炉心	インコアモニタハウジングの一体化	◎	—	—	—
	新型 8 × 8 燃料の採用	◎	—	—	—
	高耐食性燃料チャンネルボックスの採用拡大	◎	—	—	—
	3次元シミュレータ型炉心性能計算システムの採用	—	◎	—	—
2. 原子炉補機	高速スクラム制御棒駆動システムの採用	◎	—	—	—
	原子炉冷却材再循環系配管異径クロスの採用	◎	—	—	—
	改良小型主蒸気逃し安全弁の採用	◎	—	○	○
	低压炉心スプレーポンプ軸の短軸化	○	—	—	◎
3. タービン及び同補機	100%タービンバイパスシステムの採用	◎	○	—	—
	100%タービンバイパス弁の採用	◎	○	—	—
	復水器真空ポンプの国産化	○	—	—	◎
	低压タービンロータディスクの一体化	◎	—	—	—
	サイドストリーム方式復水浄化系の採用	◎	—	○	—
	復水ポンプの保守性改良	○	—	—	◎
	給水加熱器 4 本内蔵型復水器の採用	—	—	—	◎
	リファレンスタービンプラントの採用	◎	—	—	—
	電解鉄イオン供給装置の採用	◎	—	—	—
4. 電気計装制御	発電機速応励磁方式の採用	◎	—	—	○
	新型中央監視制御システムの採用	◎	—	—	—
	原子炉給水ポンプ用駆動タービンのEHG化	◎	—	—	○
	7.2 kV 真空遮断器収納高圧メタルクラッドの採用	—	—	—	◎
	プラント出力設定装置の採用	◎	—	—	—
	デジタル制御装置の採用	◎	—	—	○
	光多重伝送システムの採用	◎	—	—	—
	サンプリング式格納容器雰囲気モニタの採用	◎	—	—	—
	PLR可変周波数発電機回転数計測方式の変更	◎	—	—	○
	事故後サンプリング装置の採用	—	—	◎	—

注：略語説明など EHG (Digital Electrical Hydraulic Governor)
PLR (原子炉冷却材再循環系)
◎ (主な目的), ○ (関連する目的)

第二・2号機がそのベースプラントとなった。

福島第二・2号機には第一次及び第二次改良標準化が採用されたが、福島第二・4号機には、これらに加え更に日立製作所の今までの建設経験、運転実績により蓄積してきた技術をもとに自主開発した新技術が数多く盛り込まれている。

福島第二・4号機に採用された新技術を表2に示す。その主なものについて以下に述べる。

3.1 プラントシステム技術

3.1.1 100%タービンバイパスシステム

本システムは、発電所外の電力系統の故障などで負荷遮断されたときに、タービンへ送っていた原子炉からの主蒸気をタービンバイパス配管によりバイパスさせ復水器へ逃がしながら、原子炉をタービン系の状態に対応した出力で運転継続させるものである。

これにより発電機の負荷遮断にもかかわらず原子炉を停止させることなく、電力系統の復旧まで単独運転を継続することができる。故障の復旧後は速やかに電気出力を上昇させることができ、電力系統全体の供給信頼性と稼働率の向上を図っている。

- 本システムは主に下記のものから構成されている。
- (1) タービン蒸気量を100%復水器へバイパスして導くためのバイパス配管とバイパス弁
 - (2) 燃料の過渡変化を緩和する高速スクラム制御棒駆動装置
 - (3) 再循環流量減少装置及び選択制御棒挿入装置
 - (4) 原子炉への給水量を減少させる給水流量制御装置

福島第二・4号機の100%タービンバイパスシステムは、福島第二・3号機とともに電気出力1,100 MW級の原子力発電所で初めて採用されたシステムで、従来の福島第二・2号機などは25%のバイパス量である。

本システムのために、上記に述べたバイパス弁が新たに開発された。バイパス弁は福島第二・2号機では呼び径16.5 cmで5台であったのに対し、福島第二・4号機では22.9 cm 8台となり、バイパス蒸気量も約1,700 t/hから約6,700 t/hと増加している。

本システムと福島第二・2号機との比較を表3に示す。また、本システムを設置した効果については5.2.1項の起動試験

表3 タービンバイパス設備比較 福島第二・2号機と4号機の設備主要部分についての仕様差を示す。

	福島第二・2号機	福島第二・4号機
バイパス容量	25%	100%
タービン電気出力	1,100 MW	1,100 MW
タービンバイパス蒸気量 (全弁当たり)	1,682 t/h	6,717 t/h
タービンバイパス弁 個数	5	8
高圧油圧ユニット タービン制御系統 制御油圧	電気油圧式 10.98 MPa	電気油圧式 10.98 MPa

結果で述べる。

3.1.2 高速スクラム制御棒駆動システム

100%タービンバイパスシステムが作動したときにタービン加減弁が急閉され、それによりタービンへ供給されていた蒸気を復水器へ導くためタービンバイパス弁が急開する。

この作動に関連して、原子炉の発生蒸気量を速やかに低下させるために、従来の約2倍の高速で制御棒(負荷遮断時は選択制御棒のみ)を炉心に挿入させるのが本システムである。

本システムと福島第二・2号機など従来の制御棒駆動システムとの相違点を下記に述べる。

- (1) 制御棒の挿入時間が福島第二・2号機では90%ストローク挿入で3.5秒であるのに対し、高速スクラム制御棒駆動システムでは75%ストローク挿入で1.62秒以下となっている。
- (2) 駆動水压系では、表4に示すように窒素容器の容量を大きくし、挿入・引抜き配管の口径をアップし、駆動水ポンプ吐出し圧を上昇させ高速スクラムに対応している。
- (3) 従来のスクラム制御棒駆動装置は、アキュムレータの水圧でスクラム挿入され、ストロークの途中から炉圧スクラムに切り替わる方法がとられていた。高速スクラムの場合は、アキュムレータの水圧だけで全ストローク挿入される。

高速スクラム制御棒駆動システムと福島第二・2号機の従来のスクラムストロークに対する制御棒挿入時間の比較を図4に示す。これによると、ストロークの大きい領域で従来型との差異が大きく出ていることが分かる。

3.1.3 原子炉給水ポンプ用駆動タービンのEHG化

従来、原子炉給水ポンプ用駆動タービンの回転数を制御する方式は遠心振り子式调速装置と油圧サーボモータを組み合わせたMHG(Mechanical Hydraulic Governor)であった。福島第二・4号機ではこれらと異なり、デジタルコントロ

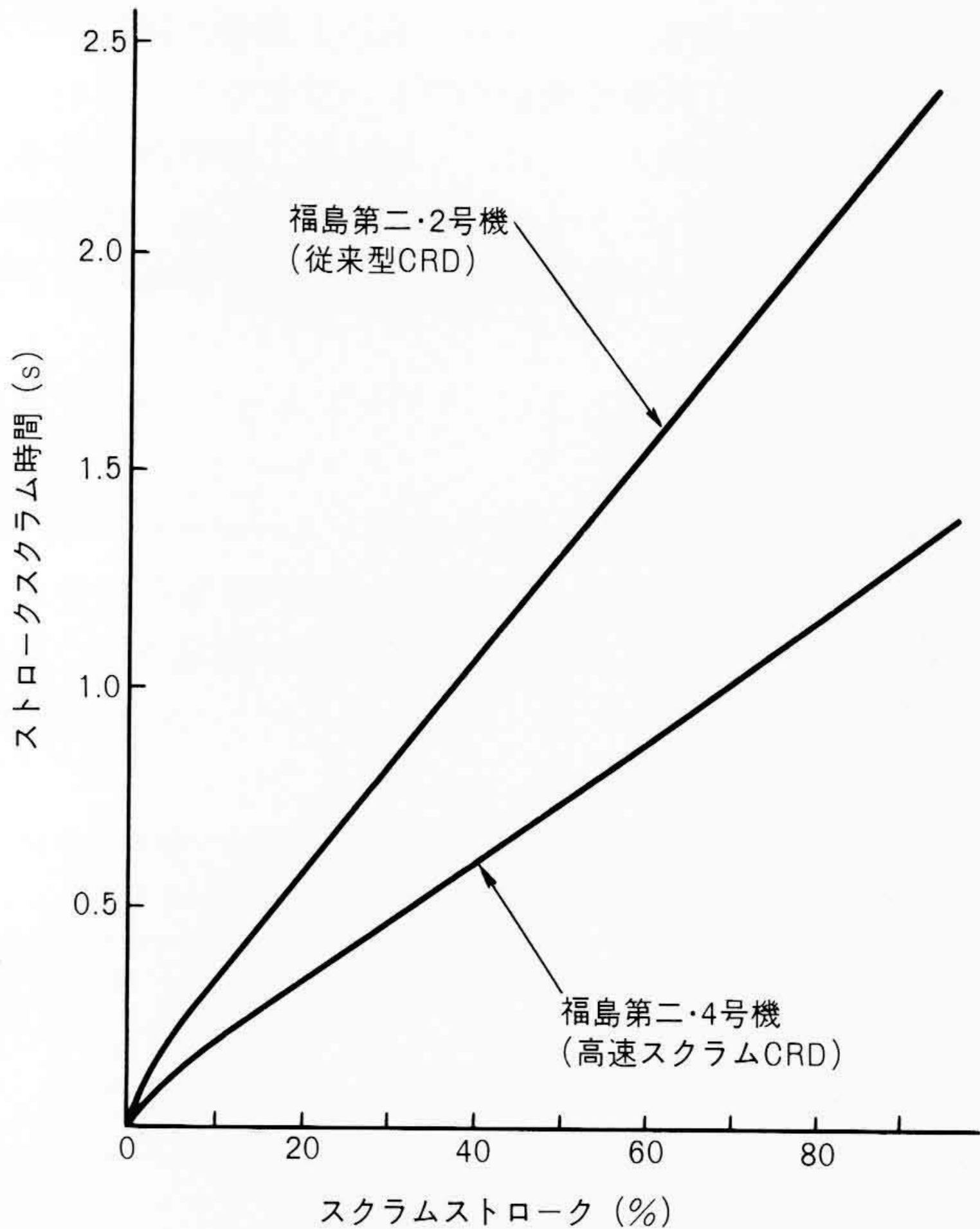


図4 高速スクラムCRDと従来型CRDの挿入時間比較 高速スクラムCRDは、従来型に比べスクラム時の挿入時間が大幅に短縮されている。

ーラを主構成要素としたD・EHG(Digital Electrical Hydraulic Governor)を採用した。これは電磁ピックアップにより原子炉給水ポンプ用駆動タービンの回転数を検出し、その値から加減弁開度指令を出力し、アクチュエータ、サーボモータを介して加減弁開度を変化させ、タービン回転数を制御するものである。これにより、従来のMHGよりも信頼性、保守性及び制御性の向上を図っている。

3.1.4 新型中央監視制御システム

プラントを安定的・効率的に運転し、かつ運転中の状況把握と対応を迅速、的確に行えるよう監視面積の縮小化、カラーCRT(Cathode Ray Tube)の大幅採用、運転状態の合理的集中表示及び操作の自動化を図り、監視性、操作性を強化した新型中央監視制御システムを採用した。

これにより、プラント運転性の向上、運転員の負荷軽減を図った。その詳細については本誌別稿で述べる。

3.2 設備技術

3.2.1 新型8×8燃料

ボイド係数を改善し局所ピーキング係数を下げ、バンドル内の出力分布の平坦(坦)化を図るため従来の8×8燃料の改良を行っている。主な改良点を以下に述べる。

(1) 燃料集合体の寸法の変更

- (a) 燃料集合体の寸法変更としては、燃料集合体の外形寸法を小さくして集合体外側の水ギャップを広くした。
- (b) ウォータロッドを1本増やし2本とし、更にロッド径を大きくした。
- (c) 燃料棒の外径をわずかに細くし、被覆管相互の間げきを広くした。

表4 CRD駆動水压系の仕様比較 高速スクラムCRDのスクラム時の駆動速度は、従来に比べると約2倍に高速化している。

		従来スクラムCRD	高速スクラムCRD
駆動方法	通常	駆動水ポンプによる水压駆動	駆動水ポンプによる水压駆動
	スクラム	アキュムレータによる蓄圧力及び原子炉圧力	アキュムレータによる蓄圧力
駆動速度	通常	76.2 mm/s	76.2 mm/s
	スクラム	90%ストローク3.5 s 以下 (原子炉定格圧力時)	75%ストローク1.62 s 以下 (原子炉定格圧力時)
水压制御ユニットのアキュムレータのN ₂ 容量		18 l	36 l
挿入配管口径 引抜き配管口径		34 mm 27.2 mm	42.7 mm 34 mm
ポンプ吐出側最高使用圧力		12.06 MPa	13.83 MPa

注：略語説明 CRD(制御棒駆動系)

このようにすることで、燃料の体積に対する水の体積比を増しボイド係数の絶対値の低減を図っている。

(2) 加圧型燃料棒の採用

燃料棒内をヘリウムガスで約300 kPa {3 kgf/cm²}に加圧して、燃料棒内のガス中のヘリウムの割合を多くしている。ヘリウムは熱伝導率が良いため、これにより燃料ペレットと被覆管の間のギャップでの熱伝導率が改善され、ペレット温度を下げる効果がある。これにより原子炉の運転余裕を増大させ、プラントの信頼性向上を図っている。

図 5 に従来型 8×8 燃料と新型 8×8 燃料の寸法比較を示す。

3.2.2 低圧タービンロータディスクの一体化

従来、低圧タービンロータディスクは焼ばめ方式を採用していたが、伝熱不均一による熱的アンバランス微振動を防止し、信頼性の向上を図るため削り出しによる一体鍛造方式のロータディスクを採用した。これによりメンテナンスを容易にする効果がある。その試験結果は後述の 5.2.3 項タービンの振動特性で示す。

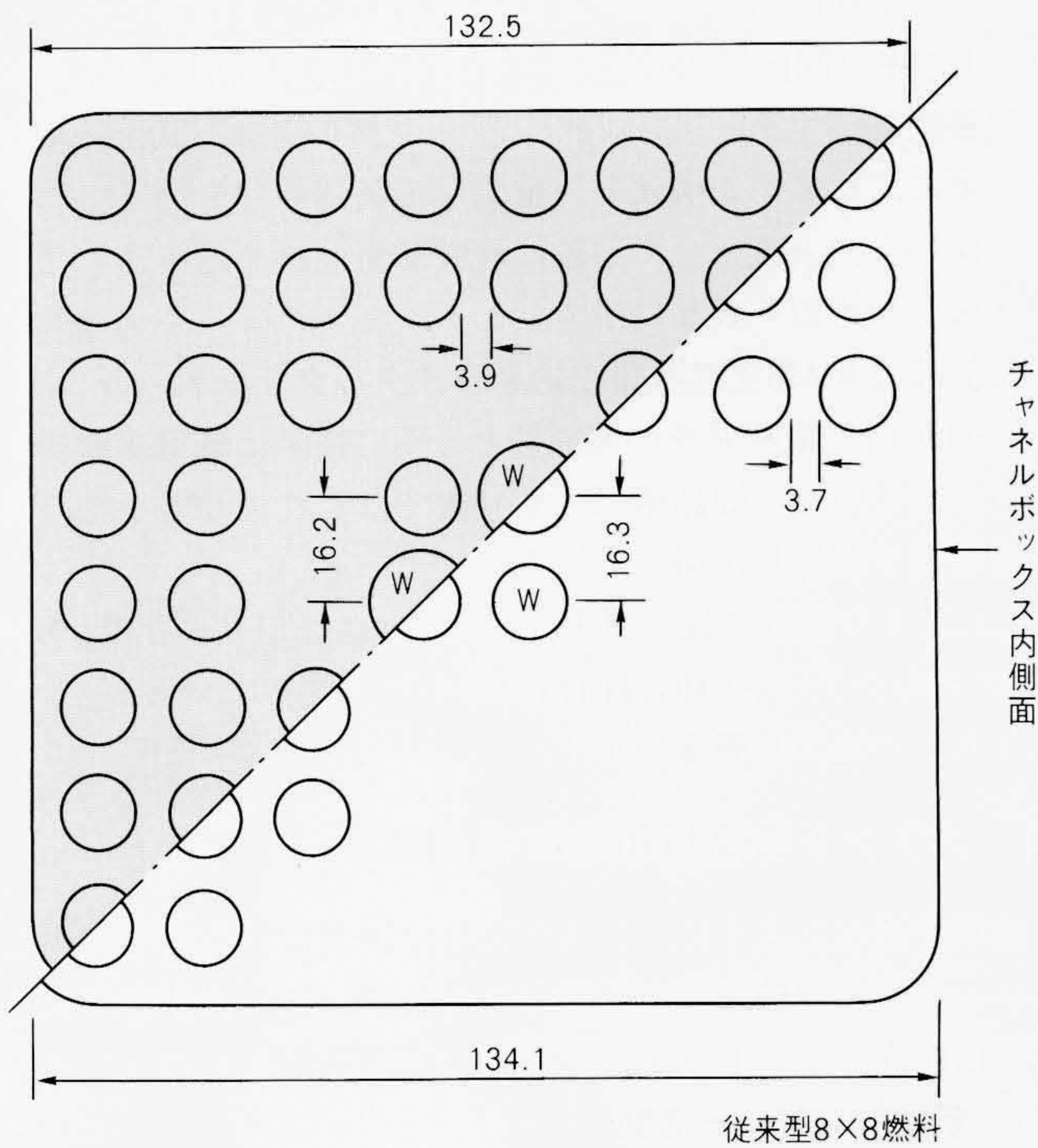
3.2.3 発電機速応励磁方式

電力系統に動揺が生じ、系統電圧が急激に変動した場合、迅速に応動して電力系統の安定を図るため、主発電機の励磁方式を従来の交流励磁方式からサイリスタ励磁方式に改善した。更に、電力系統の動揺の継続を抑制するために、電力系統安定化装置が付加されている。本励磁方式の採用により電力系統の過渡安定度、動態安定度を共に向上するとともに、冗長系統構成により信頼性を大幅に向上させている。

また、従来回転機方式であったものがサイリスタ方式の静止器となったことにより、保守性の向上も図られている。

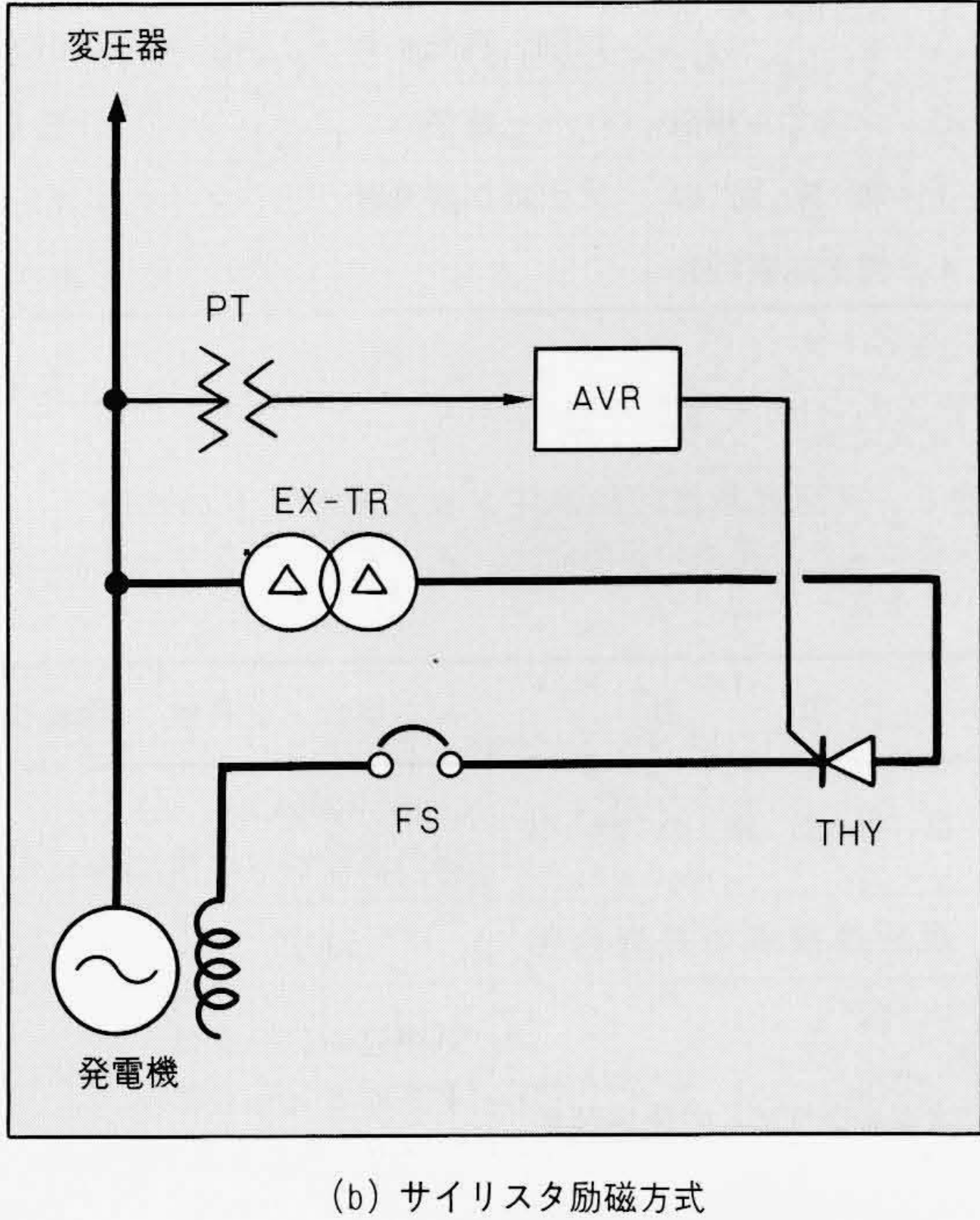
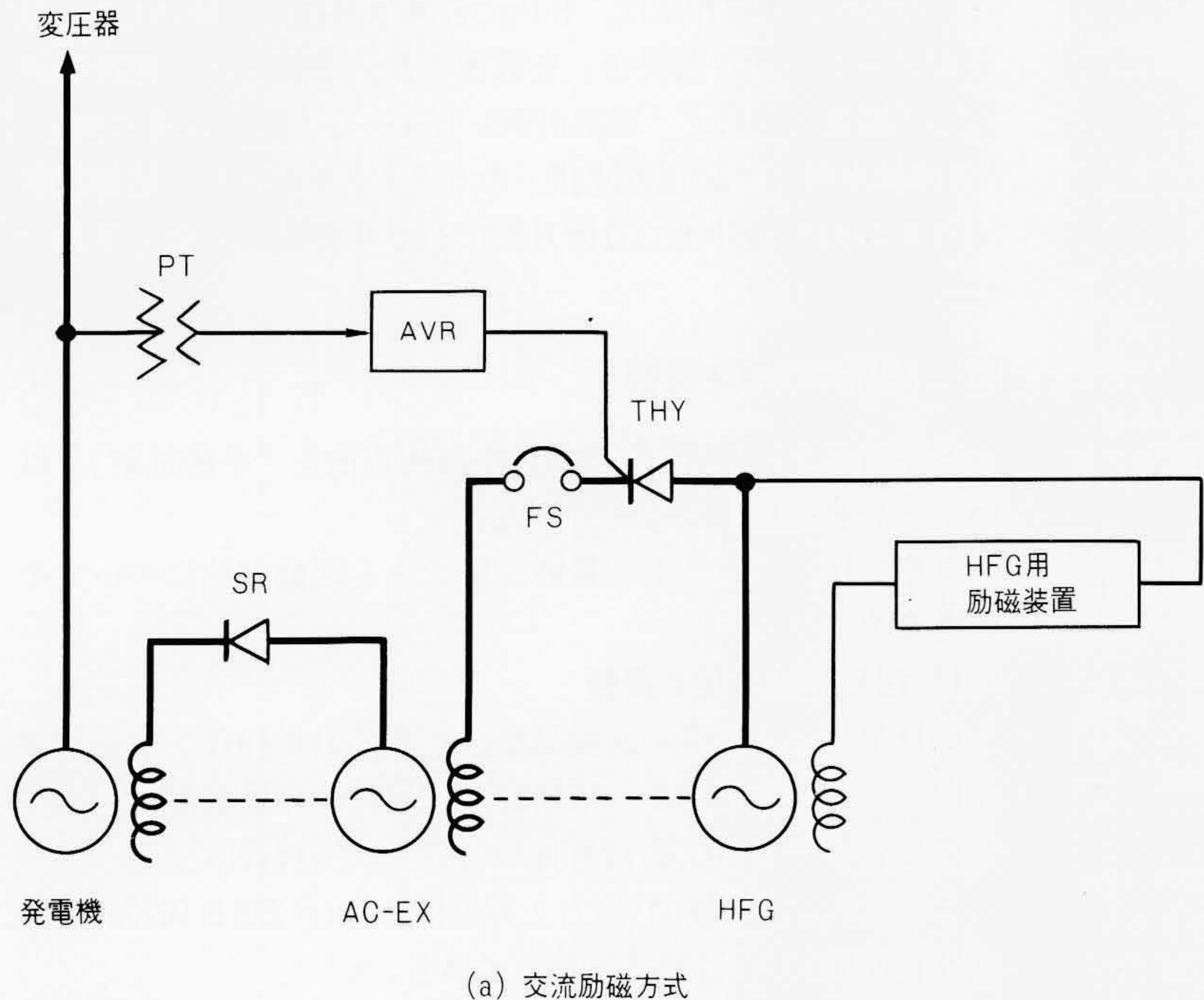
交流励磁方式との比較を図 6 に示す。

新型 8×8 燃料



注：○ (燃料棒)
○ W (ウオータロッド)

図 5 新型 8×8 燃料と従来型 8×8 燃料 新型 8×8 燃料は、燃料棒間のギャップを広げ、チャンネル内側寸法は逆にせばめている。



注：略語説明
AVR (自動電圧調整器) THY (サイリスタ) PT (電圧変成器) HFG (交流励磁機)
EX-TR (励磁電源変圧器) FS (界磁遮断器) AC-EX (交流主励磁機) SR (整流器)

図 6 励磁方式の比較 サイリスタ方式は安定度が向上するとともに静止形となるため、保守性が向上する。

3.2.4 デジタル制御装置

プラント運転の高信頼化と制御機能の向上を図るため、プラントの中枢制御システム(原子炉再循環流量制御，原子炉給水流量制御，主タービン制御)にデジタル制御方式を採用した。更に，システム構成を三重化して高信頼化を図るとともに，保守性向上策として系統に異常診断回路を組み込んだ。従来との比較を表5に示す。

3.2.5 7.2 kV真空遮断器収納高圧メタルクラッド

6.9 kV所内電源系統の遮断器として，従来は磁気遮断器が用いられていた。福島第二・4号機ではこれよりも小型の真空遮断器を開発し採用している。これにより接点の長寿命化，メンテナンスフリー化及び6.9 kVメタルクラッドの据付面積の縮小化を図っている。従来との比較を表6に示す。

4 プラントの高信頼性推進活動

前章で述べたように，システム及び設備に新技術を採用していっそうの信頼性向上を図ってきたが，また設計管理面でも高信頼性プラント実現のため数々の推進活動を行った。

4.1 新設計レビュー活動

設計変更をした場合，その変更部分だけに着目するのではなく，それにかかわる系として広くとらえたデザインレビュー

表5 デジタル制御とアナログ制御の比較 福島第二・4号機では，プラントの中枢制御システムにデジタル制御方式を採用するとともに，システム構成を三重化した。

No.	項 目	福島第二・2号機	福島第二・4号機
1	制 御 方 式	アナログ制御 比例・積分制御	デジタル制御 比例・積分制御及び最適制御
2	システム構成	一重系	三重系
3	演 算 回 路	アナログ演算器	マイクロコントローラ
4	異常診断回路	なし	あり

表6 真空遮断器収納高圧メタルクラッドの特徴 真空遮断器の採用により，接点の長寿命化，メンテナンスフリー化及び設置面積の縮小化を図った。

項 目	福島第二・2号機	福島第二・4号機
据 付 面 積 の 縮 小	100% (磁気遮断器 1段積)	54% (真空遮断器 2段積)
遮断器接点の長寿命化	500回	10,000回
メタルクラッド内環境改善	気中遮断アークによりイオン化したガス発生，メタルクラッド内で処理。	真空バルブ内のため，メタルクラッド内には影響なし。
保 守 性 改 善	遮断器接点点検要 (アークシュートカバー取外し)	遮断器接点点検不要 (メンテナンスフリー)

一が必要であり，その変更の妥当性の検証については，製作から試運転まで各ステップごとになんらかの確認を行う必要がある。福島第二・4号機では福島第二・2号機からの設計変更をすべてリストアップした。

本実施に当たり，関係する設計部署が多数の事業所にまたがっているため全社統合組織(タスク)を設置した。本タスクは設計変更をリストアップする各設計グループとその変更内容をレビューし評価する社内専門技術者グループで構成した。リストアップは，購入品メーカーの設計にも漏れなく実施した。リストアップされた件数は1,600件となった。

すべての変更がリストアップされた段階で，社内専門技術者グループにより1件ごとに設計評価と検証方法の妥当性のチェックがなされた。上記で評価されたあと，それぞれの変更項目は適当な時期に検査され，更に試運転グループが単体試験，系統試験段階，及び起動試験の各出力段階で検証した。

4.2 プラント総点検の実施

プラント建設の各段階ごとに，設備と設計の総点検を実施した。現地総点検はRPV一次水压試験の前後，燃料装荷前，営業運転開始前の時点で，東京電力株式会社と日立製作所の設計者及び現地技術者の合同チームによって，トラブルポテンシャルの早期摘出を行った。また，設計総点検は上記と同時期に日立製作所本社及びプロジェクトグループが中心となり各設計グループに対してエンジニアリング推進状況，懸案事項の処理状況などの総点検を行い東京電力株式会社に報告した。

4.3 試運転ノートラブルレビュー活動

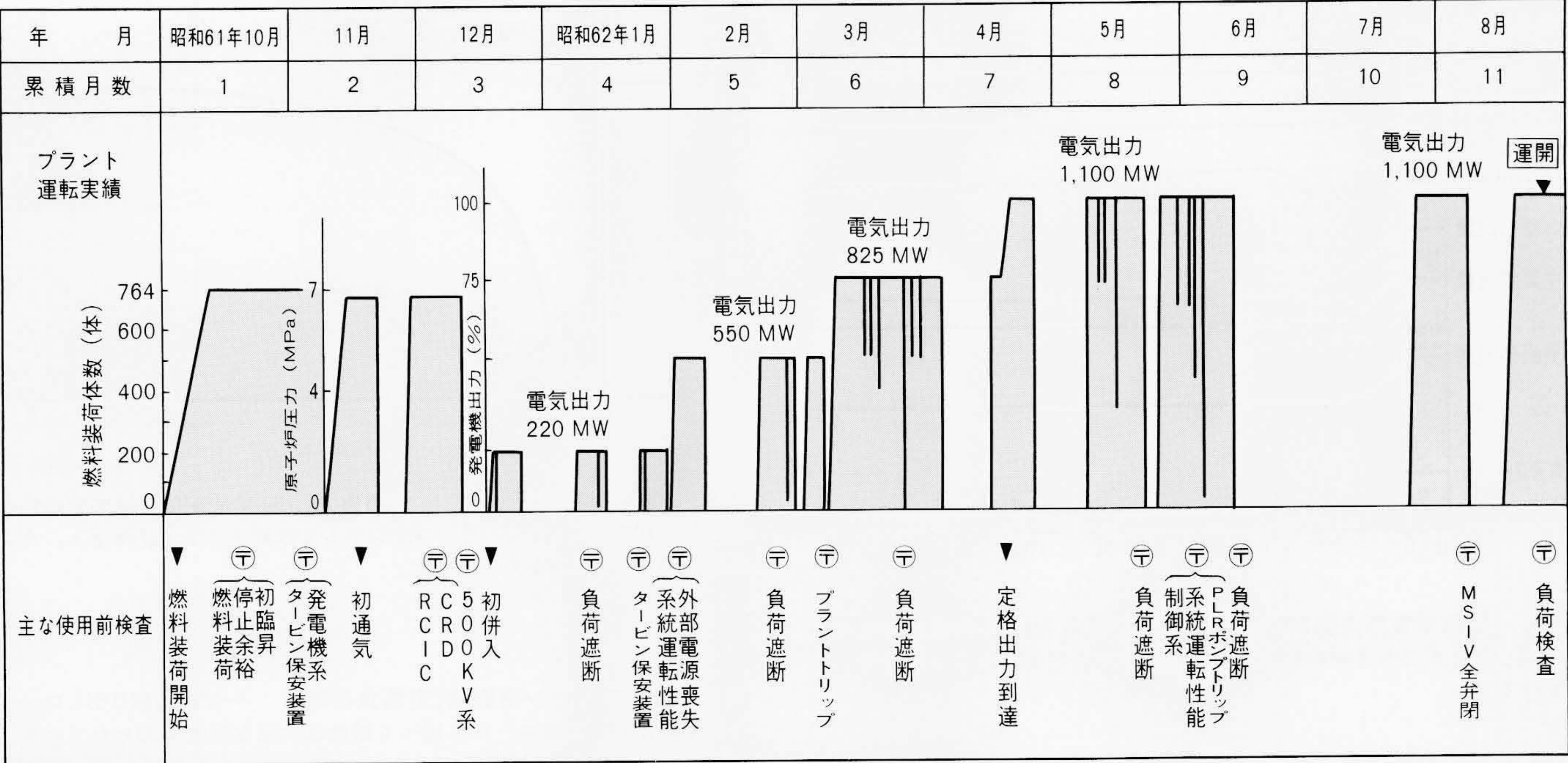
起動試験でのトラブル，特に計画外停止は運転プラントと同様皆無にしなければならない。そのため日立製作所は，社内に各関連事業所を総括した「試運転ノートラブル委員会」を設置した。委員会は「設計総点検」，「製造・据付」，「試験計画レビュー」，「総合設備点検」，「現地総点検」，「試運転支援」の6タスクから成り，昭和59年4月から61年10月まで31箇月間にわたり各種の活動を展開した。

5 起動試験の概要

原子力プラントの試運転は燃料装荷以前を「系統試験」，以降を「起動試験」と分けられる。本章では，プラントの最終試験である起動試験についてその概要を述べる。

5.1 起動試験工程と要領

福島第二・4号機の起動試験は，昭和61年10月1日の燃料装荷により開始となり，昭和62年8月25日の通商産業省立会負荷検査まで329日(約11箇月)にわたって行われた。この内訳は試験期間(出力上昇期間を含む)220日(67%)，計画停止期間109日(33%)となっている。起動試験は昭和61年10月24日初臨界，同年11月17日初通気，同年12月17日初併入，その後25%，50%，75%と各出力段階で機器の機能，改良項目の性能評価，新技術，設計変更項目の検証などを実施し，昭和62年4月20日に100%の定格出力に



注：略語説明 RCIC(原子炉隔離時冷却系)，MSIV(主蒸気隔離弁)，Ⓢ(通商産業省使用前検査)

図 7 起動試験実績工程 起動試験は昭和61年10月の燃料装荷から開始され、運開まで正味試験期間220日で実施された。

達した。実績工程の詳細を図 7 に示す。

起動試験期間では、起動試験とプラント機能試験が実施された。

起動試験では、プラントの安全性確認を主とした試験が行われる。プラントの通常運転時及び異常な過渡状態で、プラントが安全かつ安定に運転又は停止できるように調整、試験するとともに、契約書に定められているプラント保証値を満たしているかどうかを確認する。

プラント機能試験は主にプラントの機能を確認するために行われ、プラントの温態での機能確認、プラントの特性の確認、実証、今後の運転に役立てるための基礎データの採取などが実施される。

各試験はすべて方案を作成し、東京電力株式会社の承認を受けて実施した。特にプラントの状態を変化させるような、多数の試験員・運転員が関係するような複雑な試験では詳細な手順書を作成し、関係者全員がそれに従って試験を進めるよう徹底した。

なお、過渡状態での多数のプラント運転データを高速で収録することが可能で、任意のデータを任意の時間、範囲でグラフ出力すると同時に、最大、最小値などプラントの挙動評価に必要な値を自動的に演算出力することができる日立製作所が開発したNUSTARS(過渡現象解析支援システム)を、従来より更に機能アップして福島第二・4号機の全試験期間に運用した。

以下に、主な起動試験結果を示す。

5.2 起動試験結果

5.2.1 負荷遮断特性

福島第二・4号機では前述したように、100%タービンバイ

パスシステムを採用しており、定格負荷で負荷遮断が発生した場合でもプラントは停止せず運転継続が可能である。

定格負荷時の発電機負荷遮断試験時の過渡応答を、図 8 に示す。負荷遮断と同時にRPT(原子炉再循環ポンプトリップ)機能、及び選択制御棒挿入機能が働き、プラントは安定した運転状態に移行し整定している。

また、負荷遮断後の復旧では、100%タービンバイパスシステムの採用により、図 9 に示すように約 6 時間後に定格負荷に復帰できることが確認された。

今回、発電機速応励磁方式をサイリスタ方式に改善したが、負荷遮断試験での特性を福島第二・2号機(交流励磁方式)と比較したものを表 7 に示す。これによると福島第二・4号機の発電機電圧(19 kV)の変動幅は、福島第二・2号機に比べ約 1/2 以下、整定時間も0.5秒と福島第二・2号機の 1/3 となって性能向上が図られている。

5.2.2 炉心特性

福島第二・4号機では、燃料の仕様として新型 8 × 8 燃料を採用し、先行機の福島第二・2号機と同様に上下 2 領域燃料を採用している。

図10に100%出力状態でのMLHGR(最大線出力密度)の実績値を示す。MLHGRについては、福島第二・2号機と同様に約32.8 kW/mと低く、良好な運転をすることができた。

5.2.3 タービンの振動特性

福島第二・4号機では低压タービンロータに一体鍛造ロータが採用されている。タービンの初通気、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。

表 8 に定格負荷時での振動値を先行機である福島第二・2

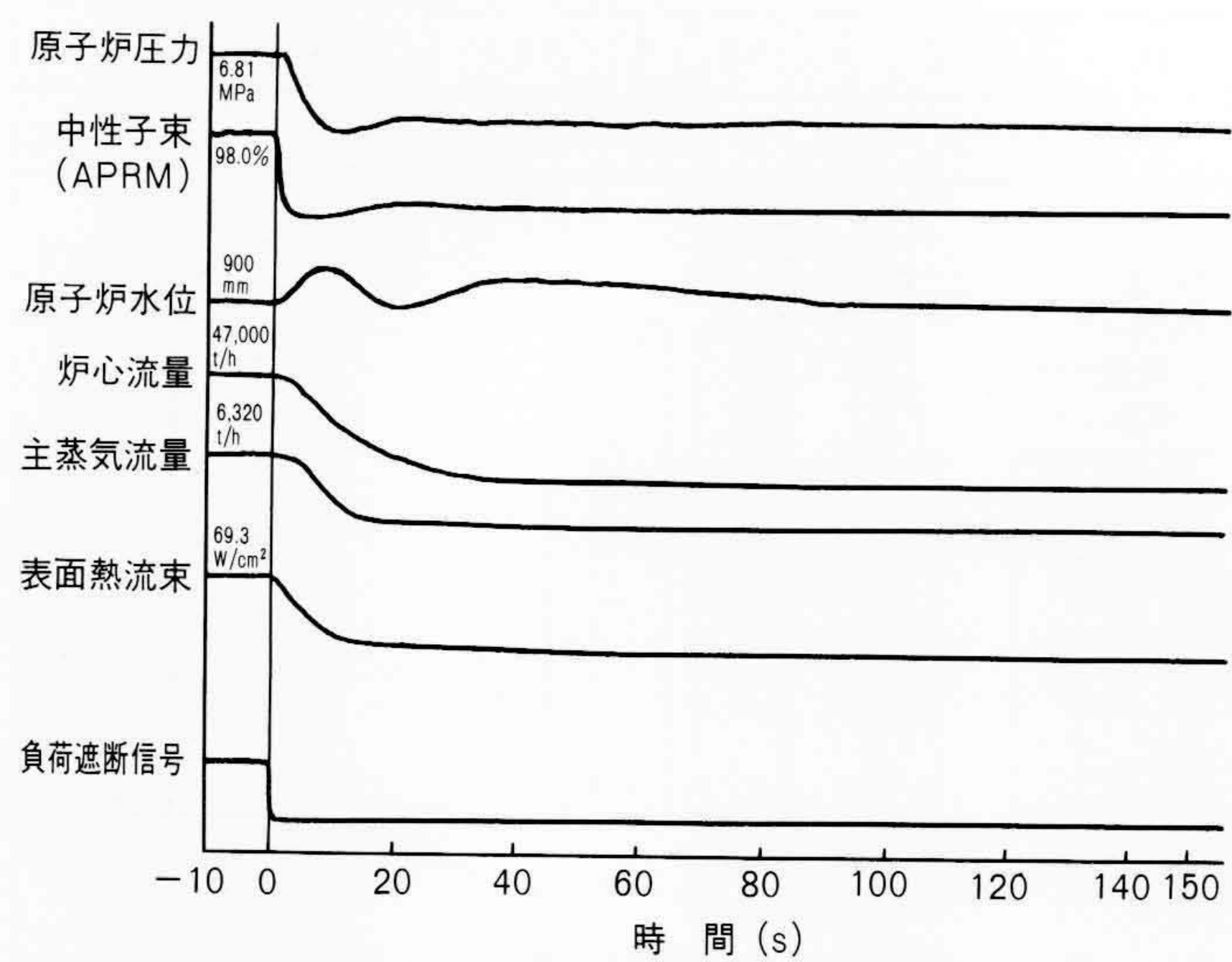


図8 発電機負荷遮断時の過渡応答(定格負荷) 発電機の負荷を遮断したときの原子炉の過渡応答状態を示す。約40秒後にはほぼ整定している。

表7 発電機速応励磁装置 100%負荷遮断時のデータで、電圧変動幅、整定時間ともに福島第二・4号機は福島第二・2号機よりも大幅に向上している。

		福島第二・2号機	福島第二・4号機
発電機電圧 (19 kV)	定格値に対する変動幅(V)	1,800(9.5%)	800(4.2%)
	整定時間(s)	1.5	0.5

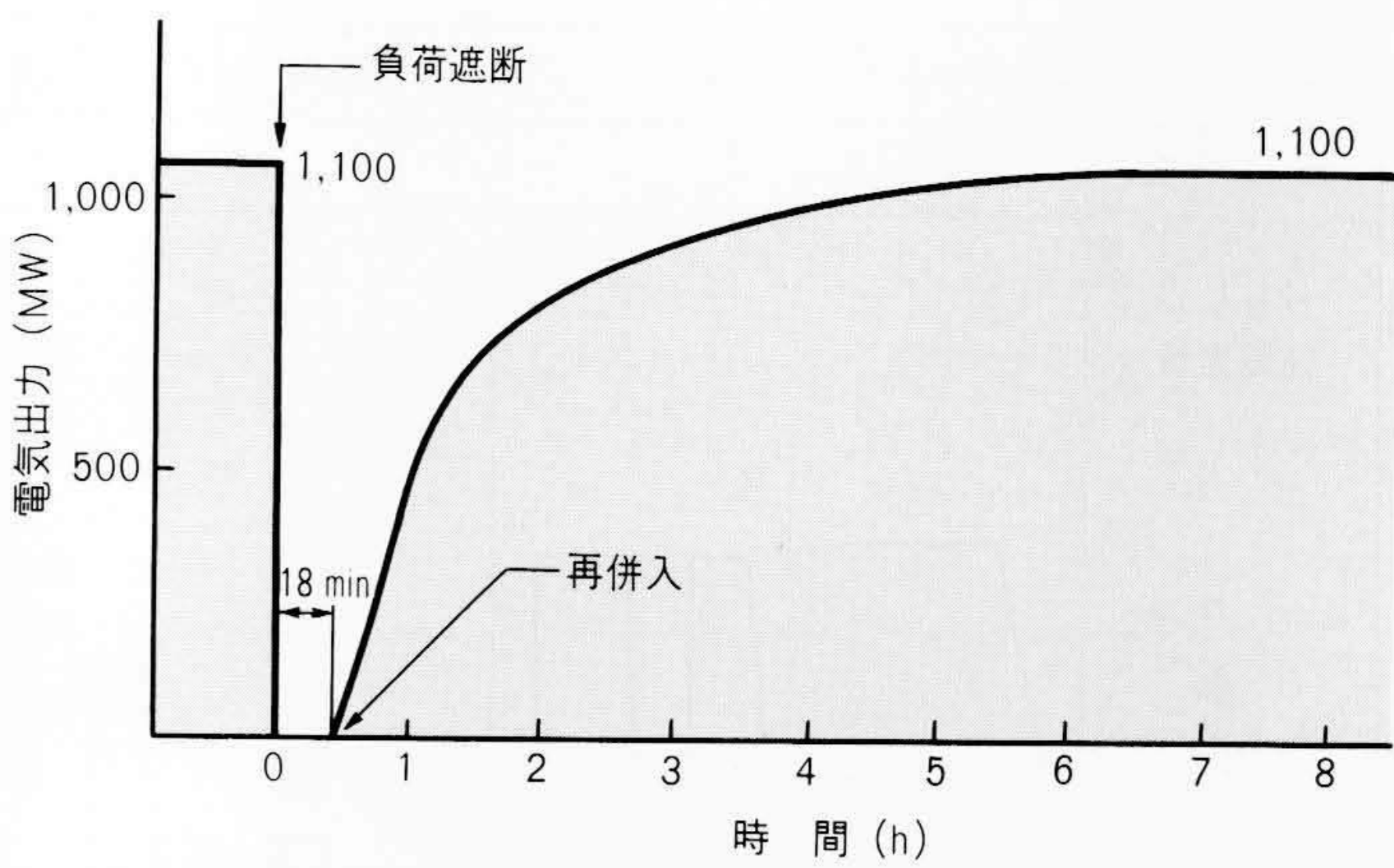
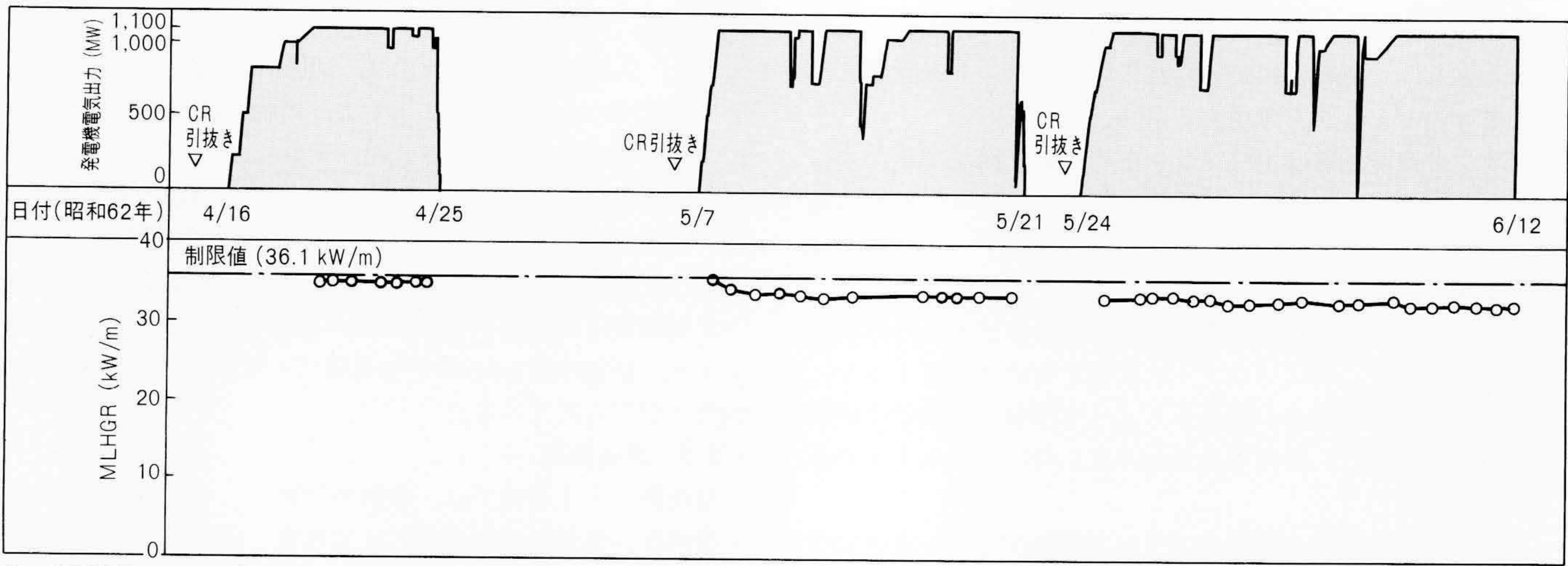


図9 100%負荷遮断試験 電気出力1,100 MWの100%出力時に負荷遮断し、100%タービンバイパスシステムを作動させ18分後再併入、その後約6時間で100%出力に達した。

表8 低圧タービン振動値(定格負荷時) 一体鍛造削り出しロータの採用により、従来ロータに比べて振動は大幅な低減が図られている。

		低 圧 タ ー ビ ン					
		A		B		C	
プラント	軸受No.	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
福島第二・2号機		3.2	4.9	4.2	5.2	3.6	2.3
福島第二・4号機		2.6	2.1	1.0	1.2	1.0	0.5

注：1. 単位($\frac{1}{100}$ mm)
2. 4号機(一体鍛造削り出しロータ)
3. 2号機(焼きばめロータ)



注：略語説明 MLHGR(最大線出力密度)

図10 最大線出力密度、最小限界出力比の実績 100%出力段階でのデータを示す。MLHGRは制限値に対し余裕がある。

号機と比較して示す。

6 結 言

以上、福島第二・4号機の概要についてそのそ特徴点を中心に述べた。福島第二・4号機は従来にも増して高信頼性を目指したプラントとなっているが、これは今後、より高度化

を図るための1ステップにすぎない。今後もより高度な技術開発に全社を挙げ全力で取り組んでゆく考えである。
福島第二・4号機が計画どおりの良好な結果をもって完成するまでには、東京電力株式会社の関係各位から終始、豊富な建設経験に基づく御指導をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。