

加圧水型原子力プラント計測制御技術の 改良と保全の高度化

Technical Improvement and Maintainability Upgrade
of PWR Instrumentation and Control Systems

原子力事業本部 高嶋 誠^{*1} 斎藤 実^{*2}
神戸造船所 西村 幸高^{*3}

最近の加圧水型原子力プラント（PWR）の計測制御設備においては信頼性・運転性・保守性等の向上の観点から順次デジタル制御システムを導入しており、改良型PWR（APWR）では、原子炉の安全にかかる安全系システムを含めた全計測制御システムのデジタル化を計画している。実機適用に当たって、信頼性、運転性等の向上はもちろんのこと、さらにデジタル化のメリットを生かして保守方法の最適化により簡素で保修員の負担軽減を可能とするバランスのとれたシステムを目指し、客先ニーズも取り入れて総合デジタル化システムの保全の高度化研究を実施した。その結果、運転中の最新プラントに比べ主要設備の保守作業量が約2割削減できるとの評価が得られ、かつ信頼性向上及び物量削減が図れる計測制御システムが構築できた。今後、実機適用を順次図っていくこととなる。

The digital control technology has been applied step by step to the recent PWR instrumentation and control (I & C) systems, and also it is planned to apply it to all the I & C systems, including the safety grade systems related to the reactor safety for the Advanced PWR plant. The integrated digital I & C systems have also been updated to enhance the maintenance capabilities of the systems, to optimize maintenance activities and reduce workloads of maintenance personnel. As a result, the integrated digital I & C systems have been established which can be applied to the actual plants, and which can contribute to the enhancement of reliability, hardware reductions and maintenance workload reduction of about 20 % in comparison with recent plants.

1. まえがき

原子力発電所の計測制御設備は、火力プラント等で実績のある設備をベースとし、これに原子力プラント特有の安全性・信頼性に対する高い要求を考慮した技術改善を図ってきたが、近年、運転・保守性等における新たなニーズにこたえるため、進歩の著しい電子機器技術を導入し改良・開発を進めている。ここでは、運転中の最新加圧水型原子力発電プラント（PWR）及び計画中の改良型PWR（APWR）において部分採用されあるいは全面採用が計画されているデジタルシステム技術に焦点を当て、デジタル化のメリットや開発の経緯を踏まえ、原子炉系とタービン系の各計測制御設備の保守性を更に向上させることを狙いとした総合デジタル化システムの保全の高度化研究の成果と、今後実機適用を図っていく最新のデジタル式計測制御システムについてまとめる。

2. デジタル化の流れ

2.1 デジタルシステムの開発と経緯

当初PWRの計測制御設備はアナログモジュールや電磁リレーを使用し、実績ある技術を採用してきたが、1980年代より廃棄物処理設備等の周辺設備から徐々にデジタル技術の導入を進め、1990年代に入って、大飯3,4号機で、原子炉制御設備を含む常用系設備にデジタル式計測制御システムを全面適用するに至った。さらに、APWRでは安全系設備を含め全システムをデジタル化した総合デジタル化計測制御設備の採用を計画している。また、在来プラントにおいても順次デジタル式計測制御システムへの取替の検討を進めている。

開発したデジタル式計測制御システムの特長は、

- 多重化構成と自己診断機能等による信頼性向上とプラント稼働性の向上（各制御システムの平均故障間隔の評価結果は約100年以上）
- 自動化の拡張と制御監視機能改善によるプラント運転性の向上
- 計測制御設備の定期試験の自動化と自己診断機能の充実による保守性の向上

にあり、併せて計算機技術と多重伝送を駆使したシステム構築により経済性の向上（物量・建設コストの低減）も図っている。

2.2 総合デジタル化システム

APWR向けの計測制御設備には、運転中の最新プラントでのデジタル技術導入実績及び最新の研究成果を取り込み、常用系に加えて安全系にもデジタル技術を導入し、CRT及びFDP（フラットディスプレイパネル）とタッチスクリーンを搭載したソフトオペレーションを基本とする新型中央制御盤との間を多重伝送で結び、デジタル技術の持つ信頼性、保守性等のメリットを最大限生かして開発された総合デジタル式計測制御システムを適用する計画としている。これにより、より一層の信頼性、運転性、保守・試験性及び経済性の向上を図ることが可能となっている。

総合デジタル式計測制御システムの全体システム構成を図1に示す。その概要は次のとおりである。

- (1) システムを階層化し、階層ごとにプラントの安全性、稼働性の両面からの要求に応じて設備の多重化・分散化を適切に図っている。
- (2) 中央制御盤からの操作はすべてタッチオペレーションとし、個別の補機を制御する現場ロジック盤に至るまでの信号伝送を全面的に光多重伝送化している。なお、図2にAPWRの中央

*1 原子力技術センター原子力電気計装設計部計装制御設計課長

*2 原子力技術センター原子力電気計装設計部主務

*3 電子・宇宙技術部デジタル制御設計課長

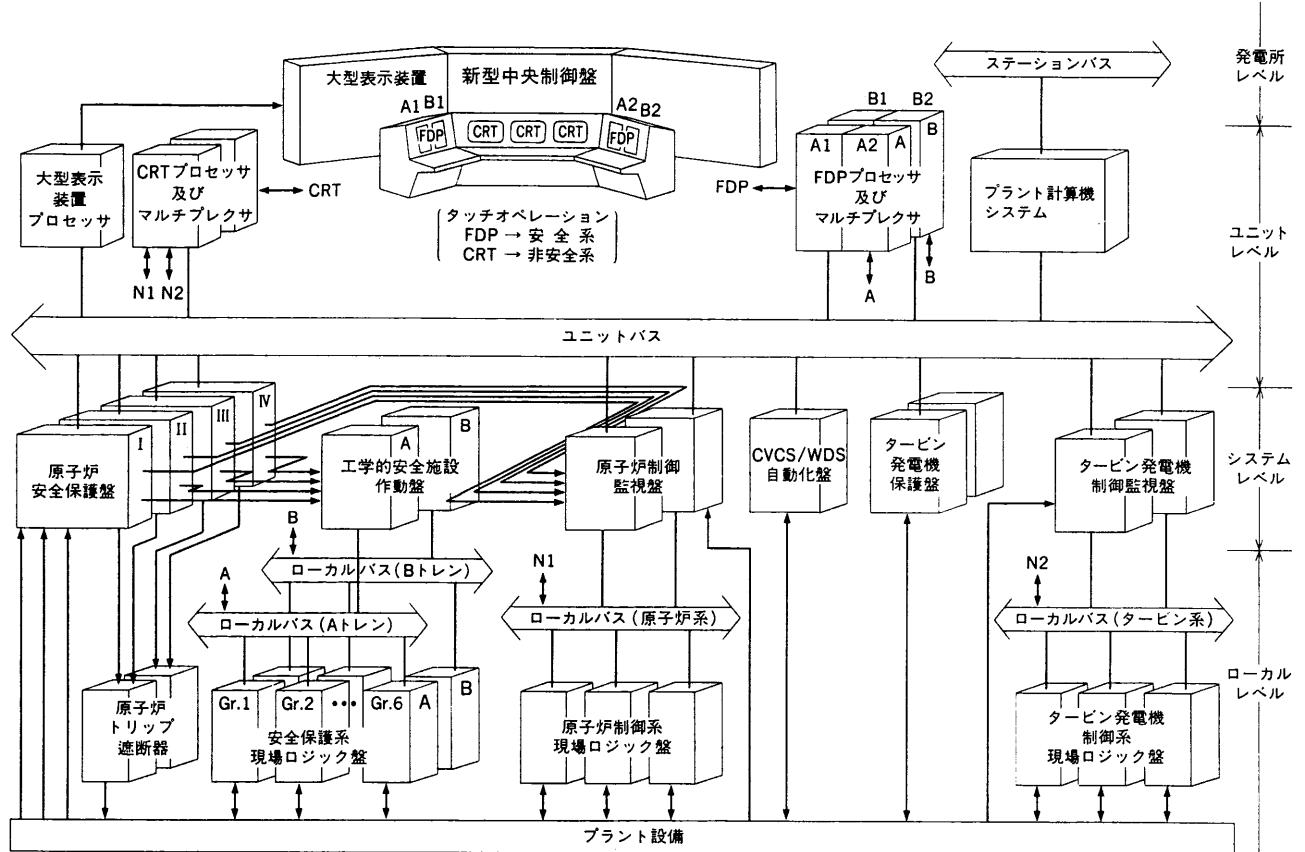


図1 総合ディジタル式計測制御設備全体構成図 総合ディジタル化システムの全体構成を示す。
System architecture of overall digitalized I & C system

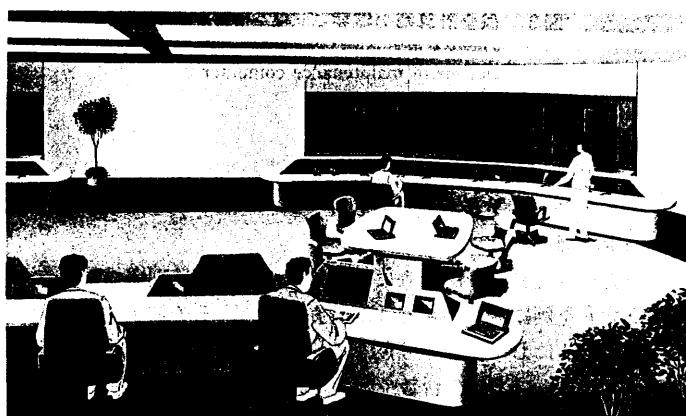


図2 APWR 中央制御室予想図 APWR の中央制御室を予想したイメージ図。
Conceptual figure of main control room in Advanced PWR

制御室を予想したイメージ図を示す。

(3) デジタル化の特長を生かした自己診断範囲の拡大や保守情報の一元管理及び保守手順提示等の保守支援により、保守性の向上を図っている。

なお、設備構成においては、原子炉系、タービン系、電気系を含めて類似設備間の統廃合化を考慮している。

すなわち、デジタル化により制御設備機種の統一が図られ、また設備間インターフェースの柔軟性が向上し合理的な機能別分散が可能となったことにより、各階層レベルで同一設置場所の同種機能の盤を統廃合するなどバランスのとれた設備構成を実現している。

3. 総合ディジタル化システムの保全の高度化

3. 1 保全の高度化の狙い

デジタル化の目的の一つとして保守性の向上があり、前述のような経緯で総合ディジタル化の基本構成を構築したが、実機適用の観点からさらに保全性の面からの高度化、すなわち保守方法を最適化して全体としてバランスのとれたプラントを実現することを目的として改善を検討した。総合ディジタル化システムの保全の高度化研究の狙いは以下のとおりであった。

●保守ワークロードの低減

デジタル化のメリットを生かして修復員の負担軽減を目指し、保守量の低減を図る。

●設備信頼性の維持

ワークロード低減を図る際に、本来の設備信頼性を確保しつつバランスのとれたものとするよう配慮する。

●保守・補修作業時の修復員の緊張の緩和

隔離・養生作業等のプラントに影響を与える可能性のある作業における修復員の緊張を可能な限り緩和させる。併せてデジタル化により保全内容が複雑化して修復員の精神的な負担が増大しないよう留意する。

●情報の一元管理とその将来の有効利用の容易化

保全に関する各種情報の伝送が容易となり、これらの有効活用が更なる保全の高度化に寄与することも考えられるので、情報の集約による一元管理を進める。

3. 2 保全の高度化と全体構成の策定

3. 2. 1 保全の高度化に対する要求機能

各電力会社の御協力をいただき、現状の各種設備に対する保守

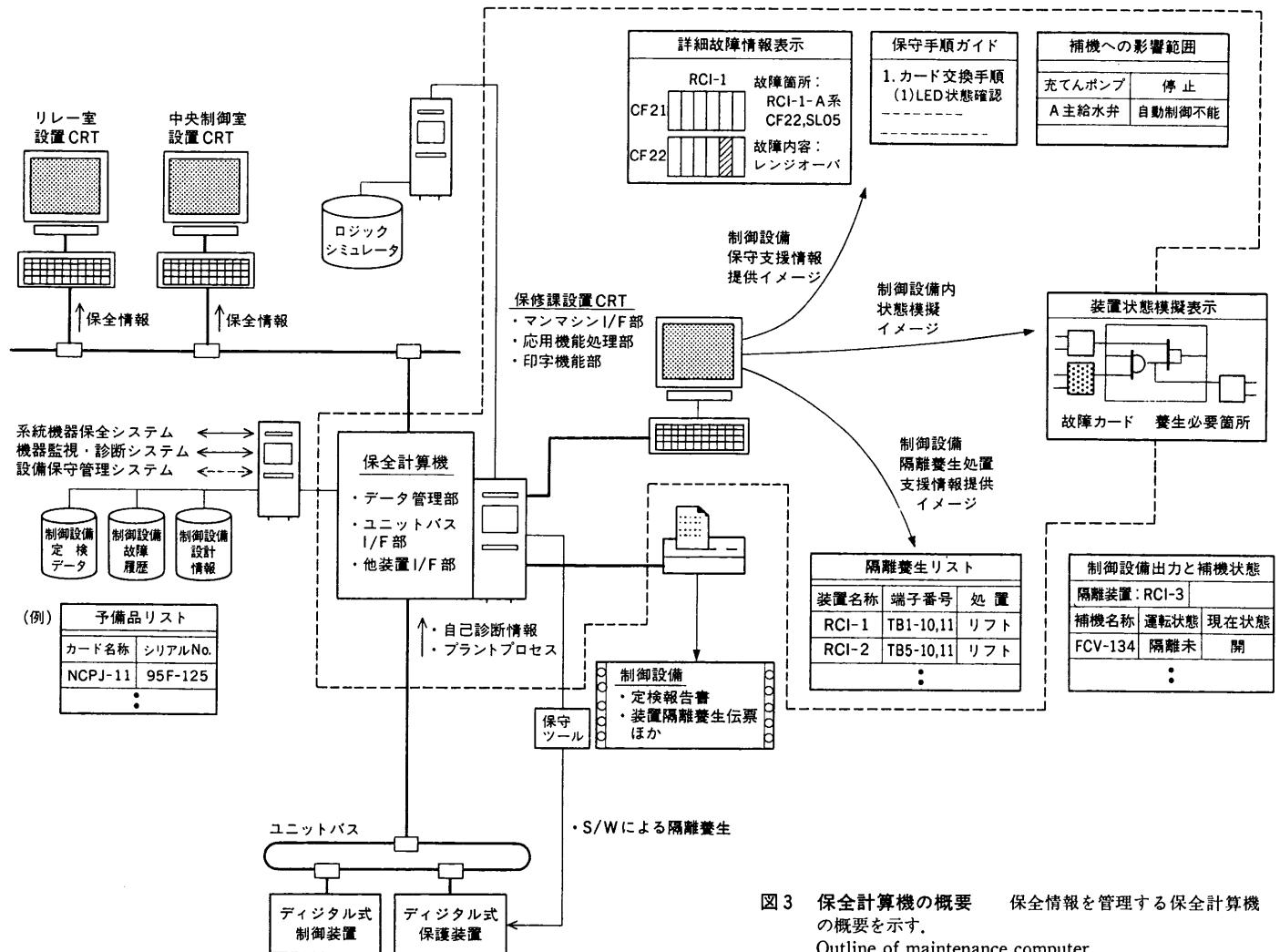


図3 保全計算機の概要 保全情報を管理する保全計算機の概要を示す。
Outline of maintenance computer

作業内容を分析・整理してニーズを洗い出し評価を行った結果、保全の高度化に対する要求機能が抽出された。以下に主要なポイントを示す。

(1) 故障対応

故障情報及び故障時運転操作ガイダンス等の保修用CRTへの表示。

(2) 保守対応

中央の定検コンソール及び現場にてプラント監視パラメータが確認でき、試験時の遠隔入力等の対応が可能であること。定検時の中央盤作業の錯そう度状態の緩和による作業円滑化。

(3) オンライン自己診断情報

現場検出器のインテリジェント化による総合的自己診断の実現及び重要度・影響度の自動評価を含めた診断情報の一括処理・管理。

(4) 定期点検対応

自己診断範囲の拡大、試験の簡素化及び自動化の充実、試験範囲の見直し等。

(5) 設備保守

故障箇所の同定や隔離養生処置の簡素化。

3.2.2 全体構成の策定

システム構成に関し以下の観点から検討を実施し、保全の高度化を反映したAPWR向け総合ディジタル式計測制御設備の全体構成を策定した。

●中央制御室錯そう度調査

- 情報伝送方式の検討
- 情報伝送量評価
- ソフトウェア V & V (検証及び健全性確認) 方法の提言
- 物量評価

中央制御室錯そう度調査については、最も定検期間の短い在来プラントを例に現状の錯そう度調査を行い、その結果を基に新型中央制御盤における錯そう度を評価し、定検用コンソールの仕様を含めCRT・FDPの台数や配置の検討等を実施した。

一方、各計測制御設備の自己診断情報を集約管理し詳細故障情報を基に保守支援情報を提供するものとして保全計算機を設定し、情報伝送方式や情報伝送量の検討評価を実施し、最適化を図った。

図3に保全計算機の概要を示す。

保全計算機を中心にして計測制御設備保全システムを構築したが、実機適用としては、系統隔離の支援や機器の保全管理を行う系統機器保全システム、機器の監視・異常診断システム等とリンクすることでプラント全体の保全に展開していく計画としている。

また、中央計装設備のソフトウェア V & V に関しても検討を行い、中央計装設備のマンマシン性と融合を図りつつV & V の容易なソフトウェア構成とすることとした。

なお、物量評価の結果、保全計算機、CRTプロセッサ及び安全系設備の面数がやや増加したが、運転中の最新プラントに比べれば全体として減少しており機能的に充実したものとなっている。

最終的には、プロトタイプ装置を試作し機能確認を行うことで、システム基本構成が妥当であることを検証し有効性を確認した。

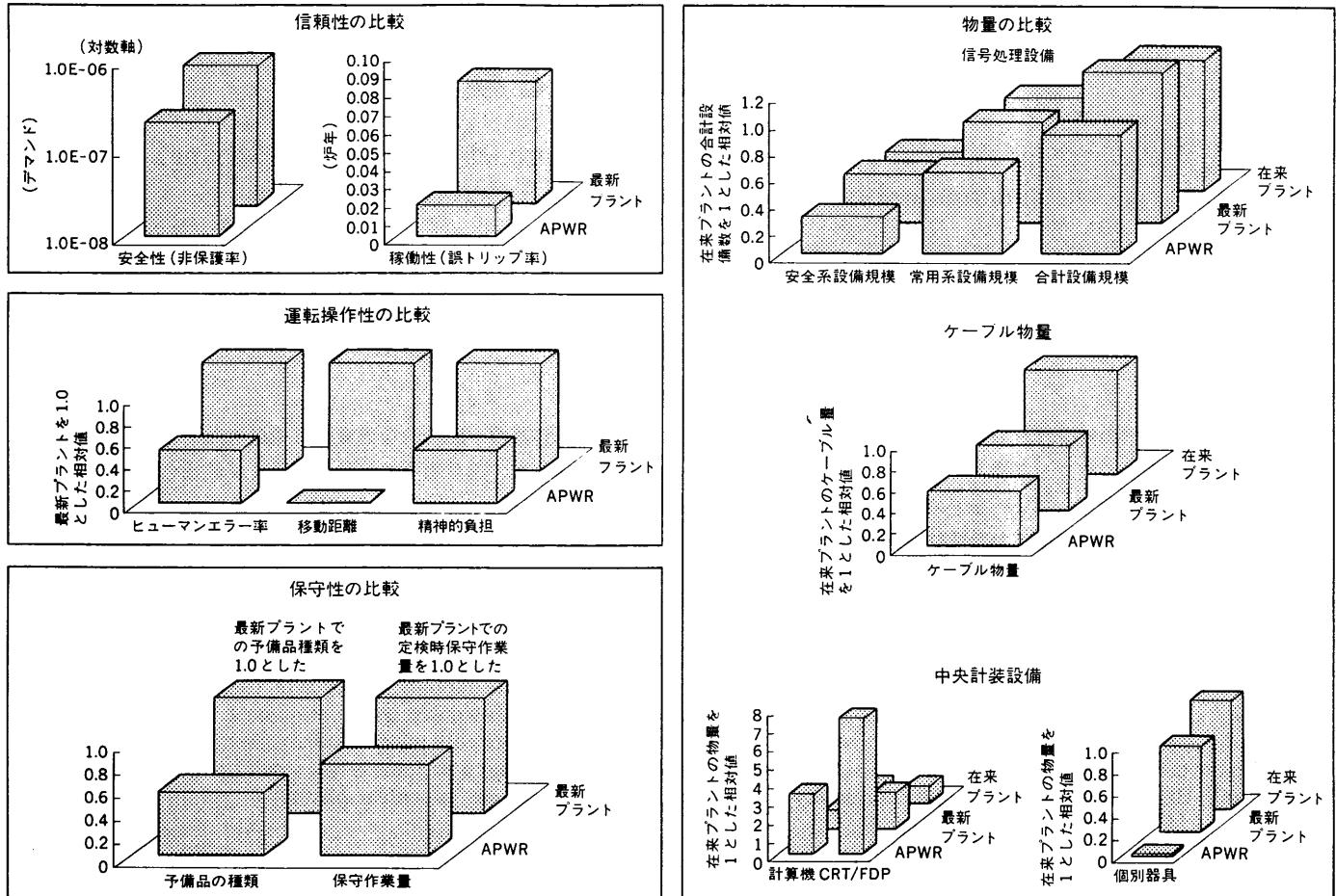


図4 総合ディジタル化システムの従来との比較による総合評価
性・保守性・物量を従来と比較し総合的に評価した結果を示す。
Evaluation of overall digitalized I&C system

3.2.3 ワークロード低減効果の評価

策定された総合ディジタル式計測制御設備の全体構成において、設備定検時と設備故障時におけるワークロードの低減効果を評価した。

定検時保守ワークロードについては、主要な制御設備において、運転中の最新プラントに対し約80%に低減されるとの評価結果となつたが、さらに低減させるためには定検時保守を行っている検出器点検要領等についても実機適用に際し改善を進める必要がある。

設備故障時ワークロードについては負担軽減が図られており、特に煩雑で熟練度を要する隔離養生作業については、隔離対象範囲の削減により十分な効果が得られた。

3.3 総合ディジタル化システム保全の高度化の総合評価

保全の高度化の研究成果による設備変更点は保全計算機の接続であるが、最終的な構成をベースにプラントとしての信頼性、運転操作性、保守性、物量の評価を実施し、在来プラントや運転中の最新プラントと比較した。図4にその総合評価の概要を示すが、総合ディジタル化システムにおいては、

(1) 信頼性

確実な安全動作及び稼働性の向上により、運転中の最新プラントより更に信頼性が改善された。

(2) 運転操作性

誤操作防止及び精神的負担の低減等については運転中の最新プラントより更に改善され、運転員の移動距離はほとんどなくなつた。

(3) 保守性

故障は自己診断により発見可能であり、運転中の最新プラントに比べ、予備品はほぼ半減、また、主要設備の保守作業量は約2割減との評価結果が得られた。

(4) 物量

信号処理設備・ケーブル物量は在来及び運転中の最新プラントから低減され、中央計装に関しては、個別器具が飛躍的に減少し計算機及びCRT/FDPに置換された。
という成果が得られている。

4. む　す　び

APWRに向けたディジタル式計測制御システムの全面実機適用に関しては、総合ディジタル化システムの保全の高度化研究成果により保全の面からも簡素化・負担軽減等が図れたことから、今後、信頼性・運転保守性・物量等の総合評価において運転中の最新プラントに比べ改善された総合ディジタル化システムを中心として実プラント設計を進めていくこととなる。

人間と機械との接点となる運転制御の中心である計測制御設備については、今後更なる機能の向上を目指すことが望まれ、改良と開発に重点を置いていく所存である。

最後に、本研究は関西電力(株)・北海道電力(株)・四国電力(株)・九州電力(株)・日本原子力発電(株)・三菱電機(株)との共同研究として実施したものであり、種々の御指導と御協力をいただいた関係各位に対し心から感謝の意を表する次第である。