

# MITSUBISHI

## 三菱電機技報 Vol.77 No.12

特集I 「原子力プラントのリニューアル技術」

特集II 「新しい発電方式,発電事業と新技術」

# 2003 12



## 目次

発電事業特集号に寄せて 大黒志郎	1
<b>特集Ⅰ「原子力プラントのリニューアル技術」</b>	
原子力発電所のリニューアル技術 早川利文・山脇雅彦・服部憲治	2
プラント計算機の更新技術 岡本浩希・小峰一郎・杉野孔一・深津裕二	6
計装制御設備の更新技術 山西忠敏・原田和世・杉谷 滋・稲積義則・前山一登	10
放射線計装設備の更新技術 高岡 章・泉 伸幸・高木淳之・浦中康夫・五嶋一茂	14
制御棒制御装置の更新技術 別府伸一・松村俊明・稲光裕之・右近浩幸・野崎保志	18
実機環境模擬試験設備 山西忠敏・高松典彦	22
発電機／モータの絶縁評価と更新技術 宮原正敏・小松原健介・岩永英樹・粟田基次	25
変圧器の寿命診断技術と更新技術 野田 睦・大野孝雄・勝河幸一・東畑和也	28
<b>特集Ⅱ「新しい発電方式、発電事業と新技術」</b>	
再生可能エネルギー発電プラントへの取り組み 岡崎勝広・町野 毅・橋 浩司	31
PPS・IPPへの取り組み 番場隆治・高松宏至・上田健二・中田浩人	35
コジェネレーションシステム 小鍛治 稔・田中武司・左野祐二	39
発電所向け監視制御システム 広島郁芳・西都一浩・高橋恵士	43
一般産業用コントローラを適用した水力一体形配電盤の最新技術 佐藤裕二・岩下正則・西本耕二郎	47
火力発電所における省エネルギー・保守／管理サービスの最新技術 阿南義憲・藤田高規・佐伯 稔	51
電力規制緩和に対応した自家用発電所の運用システム 薩摩泰博・武田和幸・小柳晋一・松本匡史	55
産業プラント向けEMS 片桐三津雄・田中滋樹・高松宏至・進藤静一	59
<b>普通論文</b>	
製造業向けSCM／ERPソリューション “ERPの短期導入を実現する即効構築テンプレートMELEBUS” 青野英樹・関口英明・中塚善之・篠崎 衛	63
<b>特許と新案</b>	
「半導体製造装置」「ウェット洗浄装置及びその薬液交換方法」	67
「微小異物の検出および検査方法、それに用いられる走査型プローブ顕微鏡 ならびにこれらを用いた半導体素子または液晶表示素子の製法」	68
三菱電機技報77巻総目次	69
<b>スポットライト</b>	
三菱発電プラントデジタル式自動電圧調整装置	
三菱中規模計装制御システム“MELTAC-700C”	

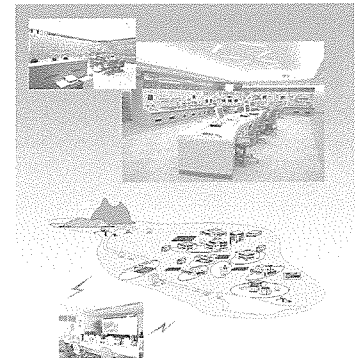
## 表紙

### 九州電力株式会社海原子力発電所1号機中央制御室

設備別(原子炉, タービン, 発電機)分割盤の第一世代の中央制御盤(写真左上)を最新プラントベースのCRT監視主体, 操作(通常運転, 起動・停止等の機能別)分割盤の第三世代の中央制御盤(写真上段右)に更新を行った。更新に当たり中央制御室のトータルデザインを行い居住環境の改善を図った。

### エコ・エネタウンと24時間保守サービス

太陽光, 風力, ミニ水力, 燃料電池などの発電設備を地域の電力需要に適した組合せで設置し供給する電源システムが注目されている。これらの設備を既に稼働している24時間保守サービスセンター(写真左下)と組み合わせ, 環境に配慮し, 安全性も備えた社会の実現を目指す当社の思いをエコ・エネタウン構想としてモデル化した。



## 発電事業特集号に寄せて

社会インフラ事業本部長

大黒志郎



我が国の発電事業は、自由化、規制緩和などの追い風があるものの、新規大型電源の開発計画の延期、保守費用の抑制により、重電機器製造メーカーにとって厳しい環境にある。しかしながら、電力供給は人々の日常生活、生産活動を維持向上し発展させる基本的な要素の一つであり、今後も発電事業を継続・伸展させる必要がある。

顧客の要求は多様化しているが、それぞれの顧客が目指している安全で信頼性が高く、高品質、かつ低コストの電力供給に向けて、それぞれの顧客が満足する製品とサービスを提供することが三菱電機の大きな役割と考えている。

この特集号においては、“原子力プラントのリニューアル技術”“新しい発電方式、発電事業とその技術”の2つの視点からその取り組みの一端を紹介したい。

初めに原子力プラントのリニューアルにおける当社の取り組みについて述べたい。

我が国の商業用軽水炉原子力発電は関西電力(株)美浜発電所1号機から1970年の大阪万国博覧会に送電したのが始まりで、30年以上の運転実績を持っている。

現在運転中の原子力発電所は加圧水型(PWR)プラントが23基1,936.6万kW、沸騰水型(BWR)プラントが29基2,637.6万kWで合計52基4,574.2万kWと全発電量の約1/3を占め、原子力発電の社会的使命はますます重要性を増している。

また、運転開始以来30年が経過し高経年の取り組みの重要度が高まっており、1996年には国が「高経年化に関する基本的な考え方」を取りまとめた。これを受けて各電力会社は経年変化事象に関する技術評価を実施し、営業運転開始後30年を契機として講じる保全策を計画し、実施しているところである。

1999年には最初に30年を迎えた日本原子力発電(株)敦賀発電所1号機、関西電力(株)美浜発電所1号機、東京電力(株)福島第一原子力発電所1号機の保全策が公表されている。

このような環境下で、当社では原子力発電所の電気・計装設備の経年変化事象の診断と評価技術を確立するとともに、経年対策の一環として実施される機器・設備の更新にかかわる技術を確立し原子力発電所のリニューアルに取り

組んでいる。

次に、新しい発電方式、発電事業に対する取り組みについて述べる。

20世紀後半の我が国における事業用火力・水力発電システム、産業用の自家発電システムは、プラントの運用と用途に応じた大型化・効率化などを目指した技術発展を続けてきたが、更により効率的で環境にも配慮した発電方式を目指している。

一方、1990年代後半には、地球温暖化防止のためのCO<sub>2</sub>抑制など環境保全への対応と、規制緩和、電力事業の自由化など発電事業環境の変化が生じている。

この結果、風力発電・太陽光発電など再生可能エネルギーを利用した新しい発電方式の導入拡大、電気事業法の改正に伴い独立系発電事業者・特定電気事業者の参入による発電事業の推進、分散電源と再生可能エネルギーを組み合わせた最適地域エネルギーシステムの試行など、多様な発電システム、発電事業への取り組みが行われている。

当社はこのような市場動向に対して、従来の発電プラント向け技術に対し、エネルギーソリューションサービス技術、エネルギープラント技術を柱とする、より拡大した事業体制でもって製品とサービスの提供を既に行ってきた。

従来の火力・水力発電、産業用自家発電システムに対しては、より高性能で信頼性・経済性に優れた製品のメニュー化と保守サービスを実現している。

一方、再生可能エネルギーを利用した発電システム・分散電源システムなどの新しい発電システムとこれらを所有する幅広い事業者による様々な運用、事業目的に対しては、エネルギーソリューションサービス、24時間リモート監視、産業プラントのエネルギーマネジメントサービスの提供など、従来の発電システムで培った技術とノウハウを基に、最新技術を応用した製品とサービスの提供を行っている。

以上の如く、発電事業環境の変化に伴う顧客の一つ一つの課題に対し、当社はそれぞれにふさわしい技術とサービスでもってこたえているところである。

今後とも時代の要求を先取りし、顧客の信頼にこたえ、当社発電事業の継続・伸展に寄与していきたい。

# 原子力発電所のリニューアル技術



早川利文\*



山脇雅彦\*\*



服部憲治\*\*\*

特集  
I

## 要旨

三菱グループが納入する加圧水型(PWR)軽水炉プラントでは、初号機の関西電力(株)美浜発電所1号機(1970年送電開始)から20世紀最後のPWRプラントである九州電力(株)玄海原子力発電所4号機(1997年運開)まで23プラントを建設してきた。建設初期のプラントでは約30年の運転実績を持っており、長期間使用に伴う機器・設備の経年劣化防止や技術進歩・変遷による製品供給困難化等により機器・設備の更新検討が必要な時期／時代になっている。更新検討はプラントライフ60年を想定しプラント全体をバランスよく見通した中長期計画の枠組みで検討することが必要で、構想から実現まで約10年間を要する。

九州電力(株)玄海原子力発電所1, 2号機で実施した主要機器更新工事は世界初の大規模更新工事であり、三菱電機は、中央計装設備更新工事、発電機・変圧器更新工事等を担当した。特に、中央計装設備更新工事はプラントの中樞神経とも言える中央制御室、継電器室設置の機器やケーブル／ケーブルトレイの更新であり、過去に数多く経験した

機器単体更新とは質、量共に大きく異なり、また、新設プラント建設とも質的に異なる工事であった。

フィジビリティスタディを1994年に開始し、国内外の調査を含め広い視野での調査や検討を行い、更新範囲、方式、工事・工法、工程等の基本方針を1996年に決定した。検討と並行してケーブル特定技術開発を始めとする工事・工法検討、ツール開発を行い工事の実現性を担保した。また、基本方針を受けて、中央計装システムの基本設計・詳細設計を行い、2000年には工場で総合組合せ試験を行い、2001年に現地工事(機器撤去、中央制御室／継電器室整備(天井、フリーアクセス床、ケーブルトレイ等)、機器搬入、ケーブル敷設・端末、調整・試験)を行い、実に7年の歳月を要して無事計画のとおり完成した。

この貴重な経験をベースに原子力発電所のリニューアル技術を確立し、各発電所のリニューアル計画／中長期計画に取り組んでいる。



## 九州電力(株)玄海原子力発電所1, 2号機 中央計装設備更新工事概要

旧中央盤の隔離と外部ケーブルの切離し後に盤を搬出する。搬出後に天井工事、基礎工事を行う。新中央盤を搬入し、フリーアクセス床工事を行う。ケーブル敷設・端末後に現場機器とのインタフェースを主体に機能試験を行い、プラント起動、併入と工事を進めた。  
 工事期間：1号機：2001年3月6日～8月18日(第20回定検)、2号機：2001年3月16日～9月20日(第16回定検)

## 1. ま え が き

我が国の商業用軽水型原子力発電は、1970年に関西電力(株)美浜発電所1号機から大阪万国博覧会へ送電を行ったのが最初で、それ以来原子力発電所の建設を進め、現在では52基(BWR:29基, PWR:23基)、4,574.2万kWが運転中で、その発電電力量は全体の約1/3を占めている。

最初の運転から30年以上が経過し、高経年化についての検討や技術開発の重要性が高まっている。

当社では、原子力発電所納入機器の長期保全技術、補修・取替技術の開発・高度化に三菱重工業(株)とともに積極的に取り組み、2001年に九州電力(株)玄海原子力発電所1, 2号機で実施した世界初の大規模な主要機器更新工事のうち“中央計装設備更新工事”“発電機更新工事”及び“主変圧器更新工事”等を担当した。その後、九州電力(株)を始めとして原子力発電所の機器・装置の更新工事や更新工事計画・検討を鋭意進めている。

以下に、九州電力(株)玄海原子力発電所1, 2号機主要機器更新工事で当社が担当した工事の概要とリニューアル技術について紹介する。

## 2. 工 事 概 要

九州電力(株)玄海原子力発電所1, 2号機で実施した主要機器更新工事は図1に示すとおり“原子炉容器上ふた更新”“蒸気発生器更新”“中央計装設備更新”“復水器更新”“発電機更新”及び“主変圧器更新”で、2001年の定期検査期間中に実施した。

当社が担当した工事の内容について以下に示す。

### 2.1 中央計装設備更新工事概要

玄海原子力発電所1, 2号機の中央制御室は第一世代の中央制御盤で設備別(原子炉, タービン・発電機)に盤分割し、1, 2号機は左右対称(ミラー配置)、盤高さは2,800mmであった。操作性・監視性の更なる向上を図るため、最新プラントの玄海原子力発電所3, 4号機と同様の第三世代の中央制御盤とし、CRTを監視の主体とし、操作を主体(通常運転, 起動・停止等の機能別)に盤を分割し、1, 2号機を回転対称(スライド配置)、盤高さ2,300mmと

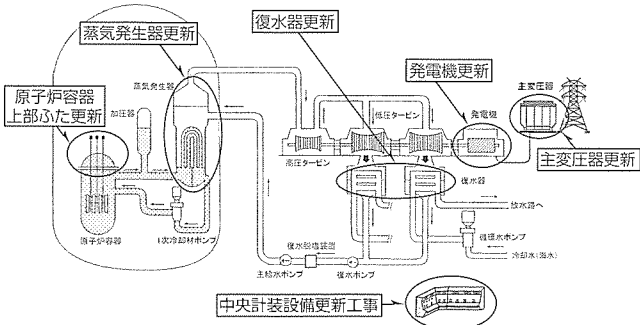


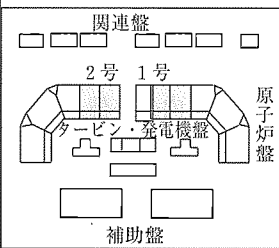
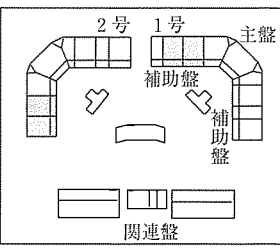
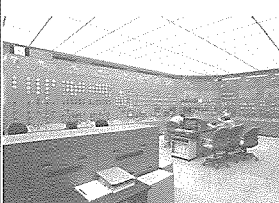

図1. 玄海1, 2号機の主要機器更新工事

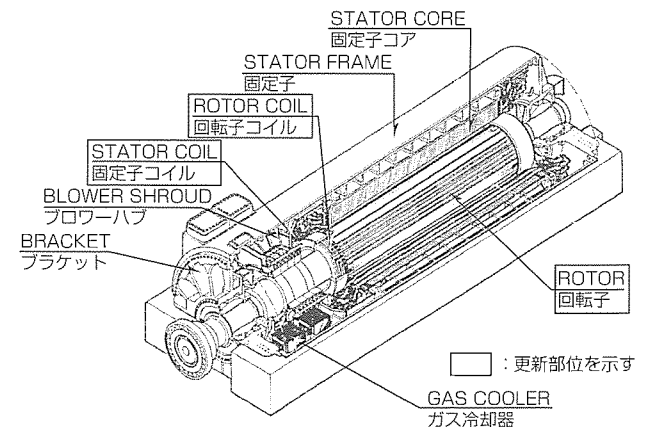
し、最新のマンマシンインタフェース技術を適用するとともに、中央制御室のトータルデザインを行い居住環境の改善を図った(表1)。

### 2.2 発電機更新工事概要

タービン発電機の絶縁は、熱的・電氣的・機械的なストレスが複合して累積することにより劣化が進展すると考えられている。玄海原子力発電所1号機の絶縁評価は寿命到達時期であり、至近年で対策が必要と判断された。十分な対策期間を確保するため、他の大型更新工事と併せて実施した(図2)。

表1. 更新前後比較

項目	更新前	更新後
制御盤の構成	設備別(タービン・発電機, 原子炉)に盤を分割 ○タービン・発電機盤 ○原子炉盤, 補助盤 (通常時, 起動・停止時とも同一盤で操作)	操作を主体(通常運転, 起動・停止等の機能別)に盤を分割 ○主盤 通常時の運転操作 ○補助盤 起動・停止, 異常時の運転操作
CRT	2台/ユニット	12台/ユニット
レイアウト	左右対称 	回転対称 
		



項目	更新前	更新後
固定子	絶縁材料 ポリエステルレジン	エポキシレジン
	コイルエンド支持 ガラスひも	ガラスバンド
回転子	回転子材料 Ni, Mo, V鋼	同左(流用)
	リテーニングリング材料 18Mn-5Cr鋼	18Mn-18Cr鋼

図2. 発電機更新工事概要

### 2.3 主変圧器更新工事

変圧器の寿命は絶縁紙の劣化による要因が一番大きく、運転時間と温度により決まる。変圧器の定期点検時に絶縁紙や絶縁油のサンプルを採取し分析した寿命予測の結果、玄海原子力発電所1号機の主変圧器絶縁評価は寿命到達時期で至近年での対策が必要と判断された。十分な対策期間を確保するため、発電機と同様に、大型更新工事と併せて実施した。更新時に主変・所変一体化変圧器を適用し変圧器エリアスペースの有効活用を図った。また、更新後の変圧器寿命が30年以上確保できる等価容量で設計を行った(図3)。

### 3. リニューアル技術

玄海原子力発電所1, 2号機の更新工事は、表2に示すとおり、工事実施の約7年前から計画に着手し、ステップバイステップの検討・準備を積み重ね2001年に工事を無事完了することができた。更新工事におけるキー技術及び主要検討項目について以下に述べる。

#### 3.1 更新工事のキー技術

##### 3.1.1 ケーブル特定

中央計装設備更新工事は、中央制御室、継電器室及び計算機室設置の機器・設備の更新や室内の整備(天井, 床, 照明, ケーブルトレイ)を行うリニューアルである。このため、中央制御室、継電器室及び計算機室を通過する約10,000本のケーブルをケーブルトレイ上でいったん切断し、更新後に再接続する工事が不可欠である。このため、狭隘(きょうあい)なケーブルトレイ上で数回の定検で全ケーブルを特定する技術確立が必要である。この解決のため、ケーブル特定装置の開発を行った。ケーブル特定装置は、静電結合方式のケーブル自動特定装置と、ケーブルシース面

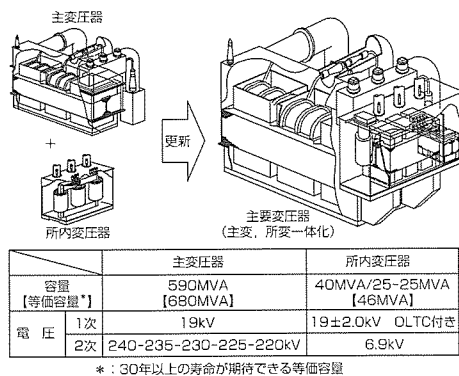


図3. 変圧器更新工事概要

表2. 更新工事工程

	1994~1996	1997	1998	1999	2000	2001
中央計装	基本計画	方針決定	シミュレータ製作	運転員訓練	運転員訓練	
変圧器		基本設計/詳細設計	製作・試験	ケーブル特定	工事ワーキンググループ	現地工事
発電機		寿命評価		設計・製作		
		基本計画				

端が接地している等で静電結合方式が適用できない場合に用いる電磁誘導方式で実現した。さらに、ケーブル切断時には、その切断可否(電圧引加の有無)をセンサをケーブル表面に当てるだけで判断できるケーブル死活判別装置を開発した。これらの装置を用い、工事実施前の3回の定検でケーブル全数(10,000本)を特定し、当該の工事では問題なくケーブル切断、再接続することができた。

#### 3.1.2 工事工法の開発

短期間に中央制御室や継電器室で盤撤去、室内整備(天井, フリーアクセス床, ケーブルトレイ), 盤搬入, ケーブル敷設を行うため工事工法の開発を行った。主要項目は次のとおりである。

- (1) ケーブルトレイ一括切断装置開発
- (2) 大口径油圧カッター開発
- (3) 盤運搬・据付技術
  - エアパレットやチルローラ等の機材適用
  - 連動コアドリル開発
  - 実物大モデルでの搬入出シミュレーション技術

#### 3.1.3 最新技術の適用

中央制御室、継電器室及び計算機室設置の機器については、表3に示すとおり、最新技術を適用した。

#### 3.2 事前検討・準備

工事を円滑に遂行するためには周到な事前準備が重要である。以下に主要な事前検討・準備事項を紹介する。

##### 3.2.1 運転員訓練

定検時に中央制御室が一新されるため、事前に運転員訓練が不可欠である。プラントシミュレータを製作し、1年間運転員訓練を行い、工事実施後の実機運転に備えた。

表3. 中央計装設備更新仕様

設備	改善内容	仕様
中央制御室	・居住性改善 ・分離性, 拡張性改善	・トータルデザイン適用 ・運転エリア拡大 (中央盤を北側に移動) ・中央部天井(600mm)折り上げ ・フリーアクセス(400mm)化
中央制御盤	・CRT主体運転化 ・大型表示装置 ・送電盤ソフトオペレーション	・改良型中央制御盤適用 ・監視用FDP10台/ユニット ・40インチ×3台 ・監視用FDP1台, 操作用FDP1台
原子炉安全保護設備	・電磁リレー回路をソリッドステート化 ・自動試験導入	・最新ソリッドステート設備適用 ・7面×2トレイ/ユニット
非安全系制御設備	・電磁リレー回路をデジタル制御化 ・1次系計器ラック(アナログ設備)は流用(更新せず)	・最新デジタル制御装置適用 ・プラント設備: 2面+7面/プラント 補助設備: 6面+2面/2ユニット
プラント計算機	・機能集中型を機能分散型とし合理化	・最新工業用計算機適用
警報監視盤	・窓型警報ユニットをデジタル制御化	・警報抑制機能適用 ・電子式警報窓(LED) ・2面/ユニット
ケーブル処理	・リレー室周りケーブル/トレイ更新 ・中継端子盤で多心化 ・RIO盤で多重伝送化	・中継端子盤約40面/ユニット ・更新ケーブル: 約10,000本/ユニット

### 3.2.2 総合組合せ試験

現地での確認・検証を最小限とするため、工場と現地の分担を見直し、整理を行った。工場では下記の総合組合せ試験を行い、完成度を高めて機器・設備を出荷した。現地では主に現場機器とのインタフェース確認を実施し工期短縮を図った。総合組合せ試験の内容は以下のとおりである。

#### (1) 対象設備

- 中央制御室、継電器室に設置するすべての装置

中央制御盤、原子炉安全保護設備、非安全系制御設備、プラント計算機、警報監視盤など

#### (2) 確認・検証項目

- 各装置の機能・性能の確認
- ロジック試験、シーケンス試験、ループ試験

中央制御室での操作及び表示(CRT表示、警報表示、ランプ表示、指示/記録計)確認を含め全回路について試験を行った。また、現場機器は必要に応じて模擬回路を接続した。

総合組合せ試験の実施状況を図4に示す。

工場での装置単体試験、総合組合せ試験や現地での試験・調整を通じて、現場機器とのインタフェースを事前に工場で確認しておくことが特に重要であることを再認識した。今回の工事で得たこの知見を基に、工場に実機環境模擬試験設備(Nuclear Simulation and Training Center)を構築し、工場での試験・検証の有効性を高めた。

### 3.2.3 工事ワーキング

工事が多岐にわたり輻輳(ふくそう)するため、九州電力(株)、三菱グループ及び協力会社でワーキンググループを作り、全体工程、変更が生じた場合の調整要領、プラントの隔離養生の要領を確立した。当該工事では工程管理センターで日々の調整を行い円滑な工事推進を図った。

### 3.2.4 現場通信手段(PHS)確保

工事や試験・調整では、現場通信手段の確保が工事効率に大きく寄与する。従来は仮設の有線電話回路を事前に敷設していたが、短期間に多数のメンバーが輻輳する場合は、十分な回線が確保できない恐れがあり、現場通信手段としてPHSを適用し大きな成果を得た。なお、適用に当たり、機器・装置への影響評価を実施し問題ないことを事前に確認した。

## 4. 今後の課題

九州電力(株)玄海原子力発電所1, 2号機では、複数の大



図4. 総合組合せ試験実施状況

＜総合組合せ試験の特長＞  
 ・全装置組合せによるI/F運動性の確認  
 ・試験項目100%客先立会い  
 ・現地で使用する無線通話設備の実証と運用  
 ・工場と現地の確認範囲の明確化

型更新工事を同時に実施すること、1, 2号共用設備も更新が必要であること、工事対象エリアである中央制御室や継電器室が狭く工事期間中の分離が困難であること、工事期間中に運転中プラントへ影響を与えるリスクがゼロでないこと等より、1, 2号機を同時に停止して工事を実施した。今後のツインプラントでの更新工事では2機同時に長期停止することは困難と予想されるので、通常の間検期間に1機ごとに更新工事を行うことを前提に計画・検討を進める必要がある。

中央計装更新工事では、プラントの状況にマッチした検討として、制御装置を一括更新するのではなく、複数の間検で順番に更新を行う順次更新策の検討を進めている。

また、近年のプラント計算機更新工事では25日間検で工事を行った実績があり、プラントにマッチした地道な検討を行うことで課題をクリアし短縮間検下でも更新工事は実施可能となる。

発電機及び変圧器についても工事工法の改善を図っており、更に短縮に向け検討を進めている。

## 5. むすび

世界的に初めての九州電力(株)玄海原子力発電所1, 2号機の主要機器更新工事は、関係者のたゆまぬ努力の結果、成功裏に実施することができた。更新工事では新設プラントでは経験できない検討項目や技術要素があり、更新工事の計画・検討、設計・製作、現地工事を通じて技術の進歩・蓄積や人的資源拡大など貴重な財産を得ることができた。

現在更新工事を検討中のプラントや今後更新検討を予定しているプラントへ、これらの貴重な経験を反映させるとともに、更なる技術進歩を目指してまい進する所存である。

# プラント計算機の更新技術

## 要旨

原子力プラントの運転監視を行うプラント計算機システムの更新技術について紹介する。この数年は、電力会社の設備投資抑制、定検期間削減のニーズにこたえるため、更新を行うに当たり、様々な制約条件を克服し、設備更新を実施している。

プラント計算機の更新工事に合わせて機能増強を実施するケースが多いが、この場合、既設設備を設置していたスペース内で実現する必要がある。このため、分散型のプロセス入力装置(PIO)、最新大型表示デバイスを開発し、物量低減、既設スペースの有効活用を実現している。

昨今の原子力発電所では、稼働率向上のため、13か月に1度、プラントを停止して行う定期点検(以下“定検”という。)の短縮が進んでいる。短縮定検での工事を可能とするため、新設設備の一部を定検開始前に先行出荷し、仮設設

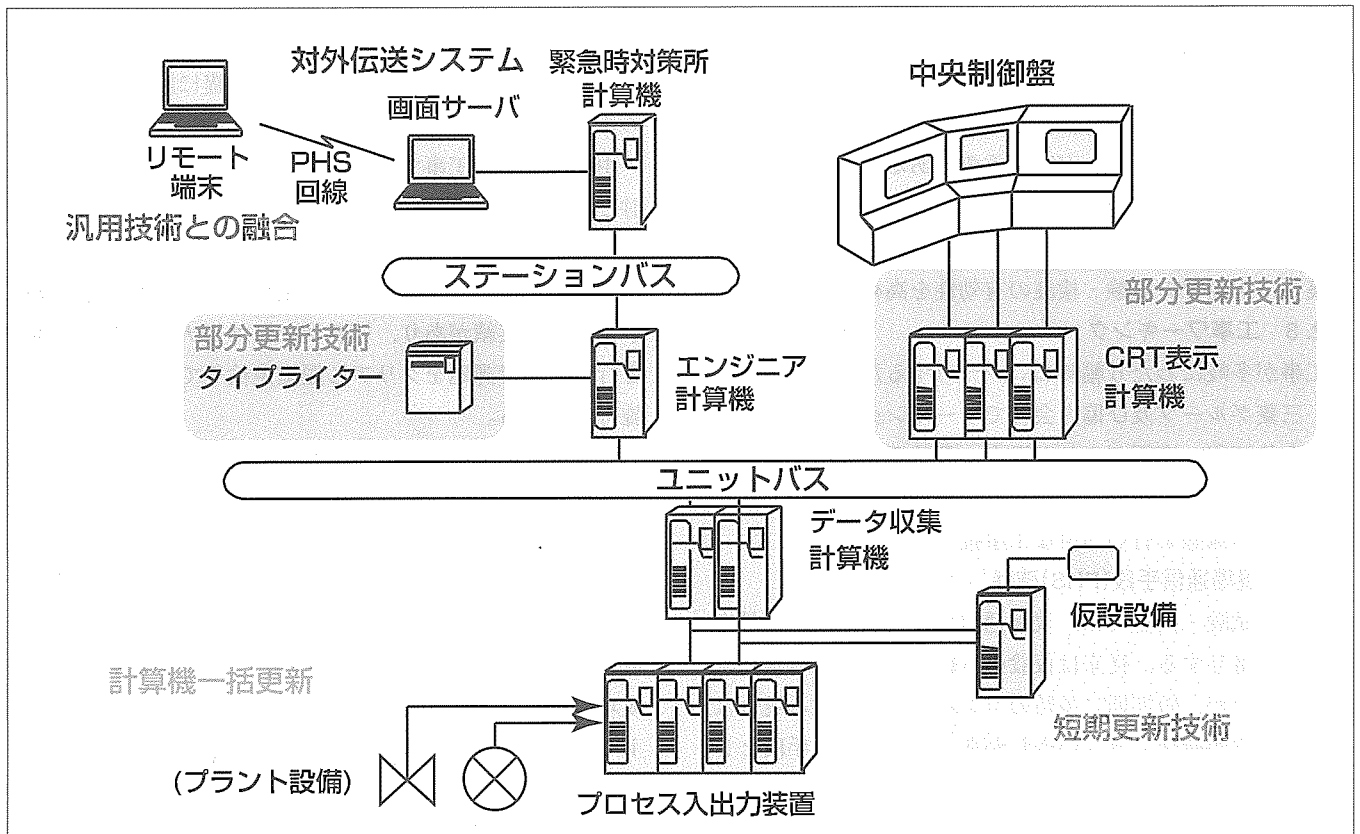
備として導入する工法を開発した。

また、設備投資抑制、定検期間削減のニーズから、一括で更新するよりも、流用可能な設備は継続活用し更新が必要な設備から段階的に更新する工事を提案する必要性が高まっている。この流れを受け、特定の計算機や周辺機器を部分的に更新するための技術を開発した。

また、発電所内においても、限られた端末だけでなく、各居室からもアクセスできるようにといった新たな要求にこたえるため、汎用技術を取り入れ、経済的なシステム構築を実現した。

本稿では、以上のように、プラント計算機システムの更新に伴う様々な課題に対して、その課題を解決するために開発した技術内容について紹介する。

特集  
I



## 原子力プラント計算機及び対外伝送システムの一般的な構成例

プラント計算機は、データ収集を扱う部分であるデータ収集計算機/プロセス入力装置、プラント管理データ用等の応用計算を行うエンジニア計算機、及び監視データを表示するCRT表示装置の3つの計算機から構成する。また、プラントデータを発電所外に对外伝送するためのシステムは、ステーションバスというネットワークを介して、プラント計算機とインタフェースしている。



## 1. ま え が き

原子力プラントでは、プラントの運転監視を行うための計算機を導入している。これをプラント計算機と呼んでいる。既設プラントに納入している計算機設備の更新工事においては、物理的な制約や工事期間面での制約がある。設備の状況に応じて部分的に更新するケースもある。

また、更新前の計算機は、工業用途に専用に開発した工業用計算機で構築していたが、電力会社の設備投資抑制の要望もあり、汎用計算機技術の適用も必要となっている。

以上の課題と制約をクリアし電力会社の要求にこたえるため、三菱電機では、様々な更新技術を開発している。その更新技術について以下に紹介する。

## 2. 既設スペースを活用した一括更新技術

### 2.1 背景

プラント計算機(PCCS)の更新工事に合わせて、プラントからの入力点を追加したり、監視ディスプレイを追加するなど、機能増強を実施するケースは多い。この場合、既設設備を設置していたスペースを有効に活用しなければならない。

この章では、スペースを活用するために導入した技術として、九州電力(株)玄海原子力発電所1, 2号機で2001年に実施した大型更新工事の中で適用した次の(1), (2)の技術を紹介する。

- (1) 分散型のプロセス入力装置の適用
- (2) 最新大型表示デバイスの適用

### 2.2 分散型のプロセス入力装置の適用

既設プラント計算機のプロセス入力装置(以下“PIO”という。)は、集中型のPIOであり、計算機付近に一括して設置していた。そのため、各制御装置又はフィールドからのプロセス入力、すべて計算機室近くまで信号ケーブルを敷設していた。これに対し、今回の更新工事では、分散型のPIOを採用し、各制御装置と同じ室内に設置する構成とした(図1)。これにより、プロセス入力の信号ケーブル長

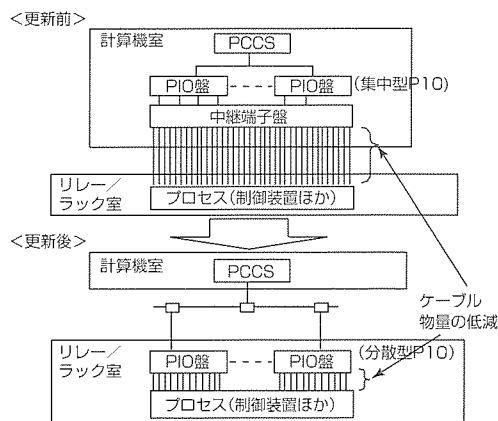


図1. プラント計算機入出力の構成

を短縮し、ケーブル物量の低減を図り、既存のケーブルトレイで配線を可能とした。

分散型のPIOでは、PIO間での同時性が課題となる。原子力プラントでは事故時のプラント挙動を把握する観点から、ミリ秒オーダーでの分解能で順序付けが必要な信号がある。この工事で適用した分散PIOでは、以下の手法によりPIO間の時刻同期を行い、ミリ秒オーダーの分解能を実現した。

- (1) 複数のドライバカードの時刻同期を計算機が周期的に行う。
- (2) ドライバカードは、時刻同期のタイミングに合わせて、接続しているPIOにリフレッシュ信号を送信する。
- (3) 各PIOは、その信号を受信した時点で、それまでに収集していたデータを保存して、新たなデータの収集を開始する。
- (4) 各PIOで保存しているデータをドライバカードが収集し、時刻付けを行う。

さらに、プラント計算機内では、PIOから収集したデータを複数個バッファリングする仕組みを設け、プラント事故時で様々な処理が起動しても発生順番を並べる処理中に取りこぼさない施策を施した。

### 2.3 最新大型表示デバイスの適用

既設設備では、デジタル表示器にメッセージ表示させることにより運転員間の情報の共有を図っていた。今回の更新工事では、中央盤上部の限られたスペースに小型・軽量の映像デバイスであるDLP<sup>(注1)</sup>方式のプロジェクタを導入した(図2)。これにより、プラントの監視情報やITVによる監視画像も映写することができ、監視性向上、情報共有化の効果が得られた。

従来のCRT方式のプロジェクタは、サイズ、焼き付き、視認性が課題であった。これに対して、DLP方式であれば小型で焼き付きもなく、視野角、輝度、解像度といった視認特性も良好であるためこの工事で適用した。

## 3. 短期間での一括更新技術

### 3.1 背景

昨今の原子力発電所では、設備投資抑制と並び、稼働率(注1)DLPは、米国テキサス インストルメンツ社の商標である。

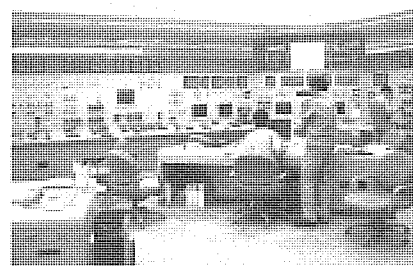


図2. 大型表示装置導入風景

向上が求められている。このため、13か月に1度、プラントを停止して行う定検の短縮が進んでいる。従来の工法では40～50日の定検期間を想定したものであるが、今日では30日以下の定検も行われており、大幅な工期短縮が求められる。

また、短期定検のためプラント計算機を利用する頻度が高くなり、既設設備を撤去してから新規の設備を稼働させるまでの期間は可能な限り短縮しなければならない。

### 3.2 仮設設備の導入

短期更新への要求にこたえるため、当社では、新設設備の一部を定検開始前に先行出荷し仮設設備として導入する工法を提案した。この工法におけるシステム構成を図3に示す。

仮設設備を導入した場合の更新手順を以下に示す。

- (1) 既設設備のプラントデータが流れるPIOバスに更新する計算機の一部を仮設設備として接続する。
- (2) 既設設備を撤去し、新設設備を接続する。この間は仮設設備でプラント監視を行う。
- (3) 新設設備で据付け、調整が完了した時点で仮設設備を撤去する。

これは、既設設備で当社が納入しているPIOバスの特长を生かしたものである。バス状にプラントデータを伝送しているため、接続した計算機は、同時に、かつ並行してプラントデータを入手することができる。既設と仮設、次に、仮設と新設を並行に接続し、常にいずれかの計算機でプラント監視を可能とした。

さらに、このPIOバスを二重化している場合は、1か所解線しても、接続している計算機はプラントデータを継続して入手することができる。例えば、上記更新手順で(1)の仮設設備を接続する際にも、既設設備は運転を継続したままの状態で作業可能である。

この更新技術は、日本原子力発電(株)敦賀発電所2号機の第12回定検(2002年6月～7月)で実施した計算機の更新工事に適用した。この工事では、計算機でプラント監視機能を

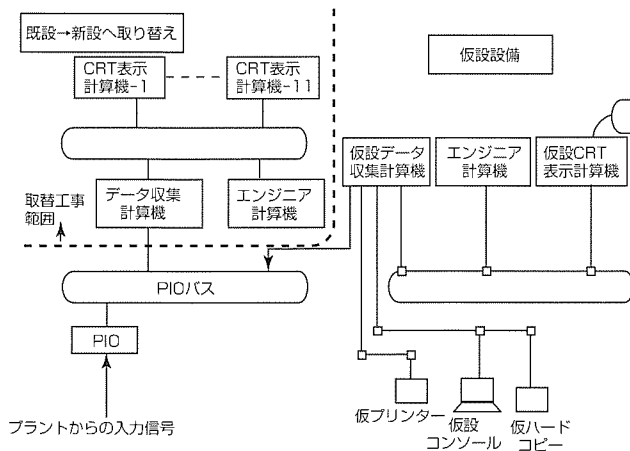


図3. 仮設設備導入時のシステム構成

が停止した時間は、計算機設備の電源を停止する5時間に抑えることができた。

また、仮設設備を定検開始1か月前に導入した。そして、仮設設備により、ほとんどのソフトウェア機能試験は定検開始前に完了した。このため、定検期間中の試験期間も大幅に短縮することができ、国内最短短定検(28日16時間)の期間内に工事を完了した。

## 4. 部分更新技術

### 4.1 背景

これまでのプラント計算機更新は、約10年～15年周期でシステム全体を一括で更新する工事形態であった。

しかし、設備投資抑制、定検期間削減のニーズから、一括で更新するよりも流用可能な設備は継続活用し更新が必要な設備から段階的に更新する工事を提案する必要性が高まっている。

また、最新の計算機技術を導入することにより、機能や性能の向上、保守コスト低減などの改善が期待できる設備については、設備の更新サイクルよりも前倒しで部分更新を提案する必要がある。

この章では、プラント計算機の中でも部分更新のニーズが高い以下(1)、(2)について、部分更新技術を紹介する。

- (1) プラント監視用の画面を表示するCRT表示計算機
- (2) プリンターやタイプライターの周辺機器

### 4.2 CRT表示計算機の部分更新技術

図4に機能ごとに計算機を分散したプラント計算機のシステム構成を示す。CRT計算機は、負荷が高いこと、画面改造の頻度が高いことから、更新のニーズは高い。

CRT表示計算機を部分更新する技術として、既設ユニットバスにゲートウェイ計算機を追加しCRT表示計算機は新設バスに接続する技術を考案した。この方式により、今後、他の計算機や制御装置の更新時には、順次新設バスへ移行することを可能とした。また、既設流用計算機と新設計算機間のインタフェース相違点をゲートウェイ計算機で吸収することにより、既設流用計算機の改造量を最小限に抑えることができる。

ゲートウェイ計算機を追加することによるプロセス応答

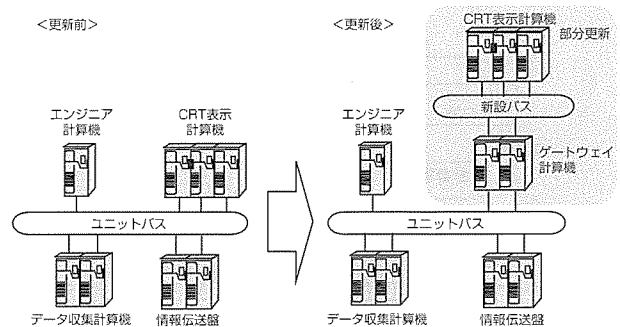


図4. 部分更新のシステム構成

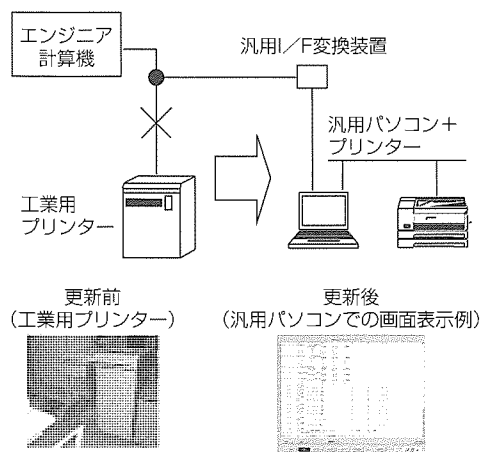


図5. 周辺機器部分更新—プリンターの例—

時間への影響については、新計算機の適用により、CRT表示計算機と併せて、演算周期の高速化を図り、更新前と同等の応答性を確保できる。

### 4.3 周辺機器の部分更新技術

既設設備のタイプライターやラインプリンターの印字装置は、導入後約10年を経過して老朽化が進んでいる。しかも、印字内容別に印字装置を設けているため、台数が約5台と多く、保守コスト低減が求められている。

そこで、既設設備の計算機とプリンター間の専用インタフェースを汎用インタフェースに変換する装置を開発した(図5)。これにより、印字情報を出力するエンジニア計算機は改造せずに、印字装置のみ汎用プリンター装置への更新を可能とした。この変換装置を介することにより、1つのプリンターで複数の印字内容を出力可能とし、プリンター装置の台数も1ユニット当たり2台に削減できた。さらに、市販の汎用機器が採用できたことにより、保守コストも低減できる。

印字装置のほかにも、データを保存する光ディスクについても同様のインタフェース変換装置を開発し、汎用機器への更新を可能とした。

## 5. 汎用技術を融合した更新技術

### 5.1 背景

緊急時にプラントデータを発電所内外に伝送する緊急時データ伝送システムにおいては、オフサイトセンターや自治体ホームページへの情報を伝送するため、伝送範囲も広がりを見せている。また、発電所内においても、限られた端末だけでなく、各居室からもアクセスできるようにといった新たな要求が加わり始めた。

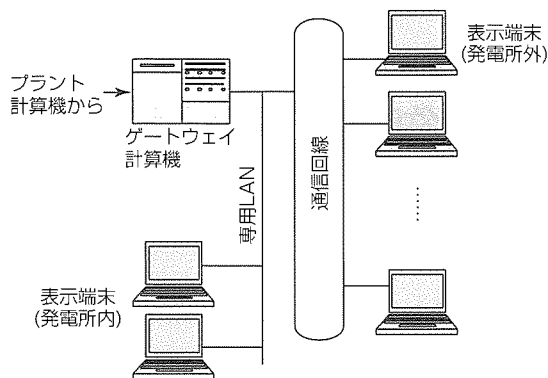


図6. 緊急時データ伝送システムの構成

工業用計算機は集中した場所でのリアルタイム性・信頼性に優れた計算機であるが、こういった広範囲での監視機能については、汎用計算機が得意とする分野である。また、こういった付加的な機能は安価でなければならない。

### 5.2 実現手法

図6に示すとおり、データ収集を行うゲートウェイ計算機は工業用計算機とし、個々の表示端末には汎用パソコンを用いたシステム構成を開発した。

汎用パソコンで画面を表示する仕組みには、Xサーバを使用した。これにより、既存のプラント計算機で使用しているプラント監視画面と同じ画面データを用いて画面表示できる仕組みを構築した。また、画面のソフトウェアは、ゲートウェイ計算機の実装し、画面改造の際に個々の端末改造を不要とした。

また、ゲートウェイ計算機には、表示端末の接続状況に応じて、各端末ごとに画面更新周期を設定できる機能も実装した。表示端末は、あらかじめ画面更新周期を設定しており、通常時はその周期で画面更新を行う。ただし、接続台数が多い場合には、優先度の高い端末の更新周期が確保できるように、その他の表示端末の周期を変更できる。

この通信回線は、既存アナログ回線やPHS回線などの低速回線も適用可能であり、幅広い適用が可能である。

## 6. むすび

プラント新設時の導入工事や一括更新が中心であった時代から、最近では、既設更新や部分更新へと潮流が移っている。その流れに対応するため、様々な技術を開発してきた。今後も、更新工事を実現するためには、様々な条件や制約をクリアする必要が生じるであろう。このため、技術開発を継続し、工事の実現へとつなげていく。

# 計装制御設備の更新技術

山西忠敏\* 稲積義則\*\*  
 原田和世\* 前山一登\*\*  
 杉谷 滋\*

## 要 旨

既設原子力プラントでは、アナログ設備からデジタル設備への近代化更新が計画されている。

三菱電機は、これまで、原子力主要設備向けデジタル計装制御装置としてMELTACシリーズを開発し製品化してきたが、今回、横河電機㈱と協業し、最新機種として、新型MELTACを開発し製品化した。新型MELTACでは、従来機種に、小型、省スペース、省電力を特長とする横河電機製のオープンIOを新たにメニュー化して加えている。今後は、インテリジェント伝送器への対応も可能なメニュー

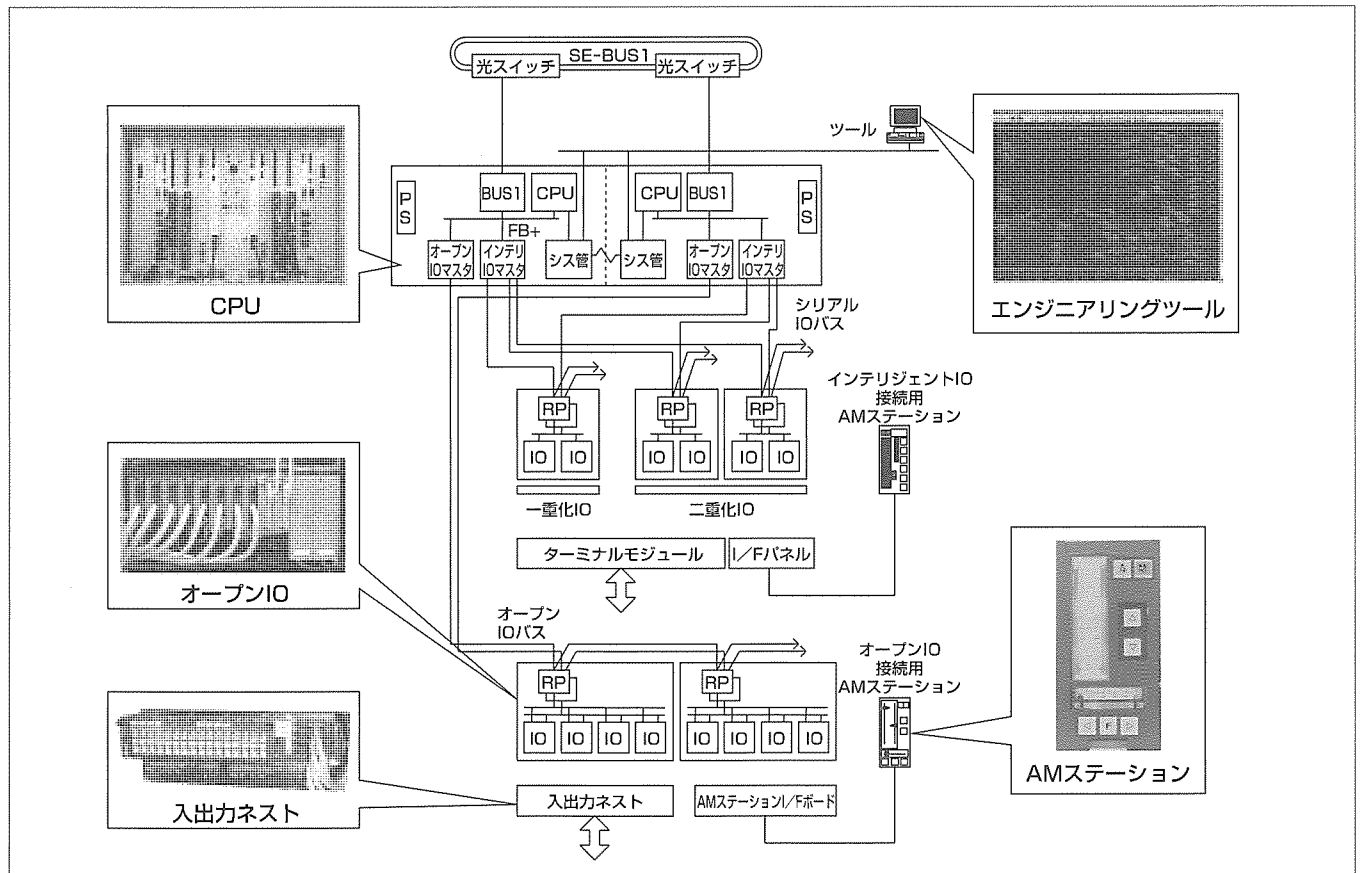
ーをそろえる計画である。

CPU部とオープンIOの接続には、MELTACの設計思想を継承した高速シリアルバス(オープンIOバス)を適用し開発した。

本稿では、新型MELTACのシステム概要と、新たに拡充したオープンIOシステムについて紹介する。

また、九州電力㈱川内原子力発電所2次系制御装置に初品適用したので、その適用事例について紹介する。

特集  
I



## 新型MELTACシステム全体図

新型MELTACは、横河電機と協業して開発し製品化したMELTACシリーズの最新機種である。この機種は、多点型小型省スペースを特長とするオープンIOと、特殊なI/F対応や実装点数を少なく(アナログ1点/枚、デジタル4点/枚)し異常時の影響範囲を極小化していることを特長とするインテリジェントIOの2種類のIOをサポートしている。

## 1. ま え が き

三菱電機は、これまで、原子力主要設備向けデジタル計装制御装置としてMELTACシリーズを開発製品化してきたが、今回、横河電機と協業し、小型、省スペース、省電力を特長とする横河電機製のオープンIOをメニュー化し、最新機種として新型MELTACの開発製品化を行った。そこで、本稿では、新型MELTACのシステム概要と、新たに拡充したオープンIOシステムについて紹介する。

また、九州電力(株)川内原子力発電所2次系制御装置に初品適用したので、その適用事例について紹介する。

## 2. 新型MELTACシステム概要

図1に、新型MELTACのシステム構成を示す。以下に、システムの主要構成部について示す。

### (1) CPU部

共通部を廃し、系間の独立性を持たせた待機冗長二重化構成をとる。異常発生時の自動系切換えに加え、メンテナンス用に手動切換機能も持っている。

二重化したCPU系間では、バンプレス切換えのために、演算結果のトラッキングを行う。

CPU部外部とのI/Fとして、プラントバスI/F、IOバスI/F(2種類)、保守バスI/Fを持っている。

### (2) IO部

以下の2種類のIOをメニュー化している。これら2種

類のIOは、それぞれに対応したIOバスマスタカードをCPU部に実装することで、同一システム内に混在させることが可能である。

#### (a) オープンIO

多点型で標準的な信号取り合いを行う汎用IOである。IO単位で同一カードフレーム内の隣接スロットで二重化が可能である。フィールドケーブルの接続は、入出力ネストを介して行う。

標準的な入出力である、電流/電圧入出力、デジタル入出力、温度(TC/RTD)入力をメニュー化している。

#### (b) インテリジェントIO

カード1点当たりの点数を減らし、故障時の影響範囲を極小化し、原子力向けに特化した専用IOである。アナログは1点/枚、デジタルは4点/枚を基本とする。IO単位で二重化が可能で、二重化したIOは、それぞれ別カードフレームに実装する。

パワーI/F、EHガバナ用等、特殊なIOをメニュー化している。

### (3) AMステーション

総合デジタル化される新設プラントではソフトウェアオペレーションとなるが、既設のリプレースではハードウェアオペレーション用のAMステーションが必要となる。

新型MELTACでは、アナログ表示のオープンIO接続用AMステーションと、デジタル表示のインテリジェントIO接続用AMステーションの2種類をメニュー化している。AMステーションのドライブ部とCPU部との接続は、オープンIO接続用はIO取り合い、インテリジェントIO接続用ではIOバスに直接接続可能としている。

### (4) エンジニアリングツール

装置のアプリケーションソフトウェア生成、入出力定義データ生成から保守管理までのソフトウェアライフサイクル全般をサポートする機能を実現するツールである。主に以下の機能を実現している。

#### (a) システム生成機能

アプリケーションソフトウェアの製作/編集、IOの定義、及びこれら設計情報のドキュメント化支援

#### (b) オンライン機能

アプリケーションソフトウェアのダウンロード、パラメータチューニング、コントローラモニタ

### (5) ネットワーク(SE-BUS1)

プラントバスに適用するため、単一故障で機能喪失に至らないよう、二重リングを構成する。また、監視、操作応答最悪時間を保証するために、サイクリック伝送を行う。

## 3. オープンIOシステム

### 3.1 オープンIOバス

オープンIOと上位CPUとの通信はマスタポーリング方

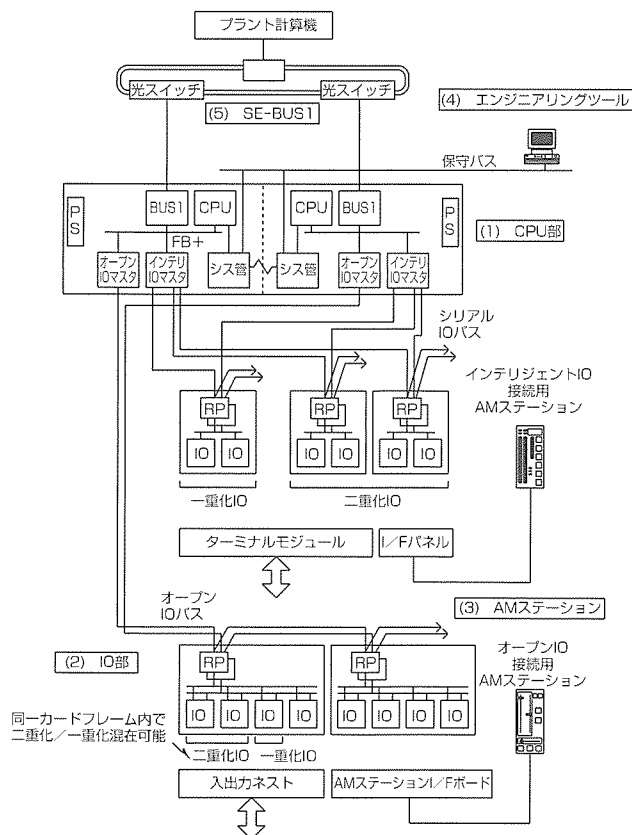


図1. 新型MELTACシステムの構成

式であり、オープンIOは、上位のCPU部からポーリングを受信すれば応答する動作を行う。つまり、IOが自発的に通信を行うことはない。また、汎用IOとしてIOに対して種々の設定が可能であるため、上位のCPU部からの扱いに自由度があり、システムに合わせたIOバスを構築することが可能である。新型MELTACでは、以下の考え方で高速IOバスを構築した(図2)。

(1) IOに対するポーリングはCPUカードの周期とは非同期でマスタカードが常時繰り返し行う。

これにより、マスタカード上には常に新しいデータが存在するため、CPUの入出力処理はマスタカード上のデータを読み書きするだけでよく、CPUの処理負荷を低減することができる。これにより、演算周期の異なるシーケンス盤から計装盤まで幅広い設備に適用可能とした。

(2) 待機側CPUのIOバスの健全性を確認するために、待機側CPUのIOバスでも常時通信を行う。ただし、出力は制御側のみとするために、待機側は入力動作のみ行う。

(3) IO動作定義データには入出力のレンジ等を含んでおり、IOが動作するためにIO上の不揮発性メモリに書き込む必要がある。そのIOの動作定義データは、IO交換を容易にするために、CPU部に保管しているデータをマスタデータとしている。

IOを交換した際、CPU部は、IOに保管されている定義データと自身が保管しているデータとを比較し、不一致があればCPU部は自身が保持している定義データをIOへ自動的にダウンロードしてから入出力動作を開始するシステムとした。

システム全体の定義データとして、CPU部にはすべてのIOの動作定義データを保管している。

これにより、IO交換時も別途IOへ定義を書き込まなくてもよいシステムとした。

また、交換したIOへ定義データをダウンロードしているときも、他への通信周期は保つようにしている。これにより、オンラインカード交換作業容易化を実現した。

### 3.2 CPU 1 台で実現可能な入出力規模

CPU 1 台に接続可能なIOの枚数は640枚である(マスタカード最大8枚, 1マスタカードに接続可能なIOカードフレームは最大10段, 1IOカードフレームに実装可能なIO枚数は最大8枚。8×10×8=640)。したがって、CPU 1 台で実現可能な入出力規模は表1のとおりである。表の最大入出力点数を、IOマスタカードは、20msで高速スキャンが可能である。

### 3.3 IOの二重化

IOは、同一カードフレーム内の隣接するカードで二重化を構成することが可能である。二重化構成としたIOカードの制御/待機の状態決定はIOカード間でIOが互いに状態を通知しIOカード自身が決定するため、CPU部がIOの系を切り換える必要がない。ただし、CPU部はIOの状態を監視し、両系制御や両系待機のようにIOの系状態が異常であることを検知すると警報を発信し、そのIOに対しては、入出力を停止する仕組みとしている。

### 3.4 入出力ネスト

オープンIOと入出力ネストは、プレハブケーブルで接続する。入出力ネストは、外部ケーブルを接続する端子台と、接続する信号種別に合わせた入出力モジュールで構成する。

アナログ入出力モジュールは、信号を測定するためのテストジャック、二重計装のための信号分配回路、フィールドと装置内部を切り離すための隔離スイッチを搭載する。また、熱電対入力用のネストには、端子台近辺に冷接点補償器を実装し、端子台近辺温度での補償を可能としている。

デジタル入出力モジュールは、信号の状態を表示するLED、フィールド側仕様に合わせたリレー等の回路、及びフィールドと装置内部を切り離す(出力に関しては信号状態を保持する)ための隔離養生スイッチを搭載している。

端子台は、既設プラントを考慮したサイズのケーブルも接続可能としている(図3)。

### 3.5 AMステーション

既設リプレースを考慮し、図4のとおり、アナログ設備の場合と同様な操作性を持つAMステーションをメニュー

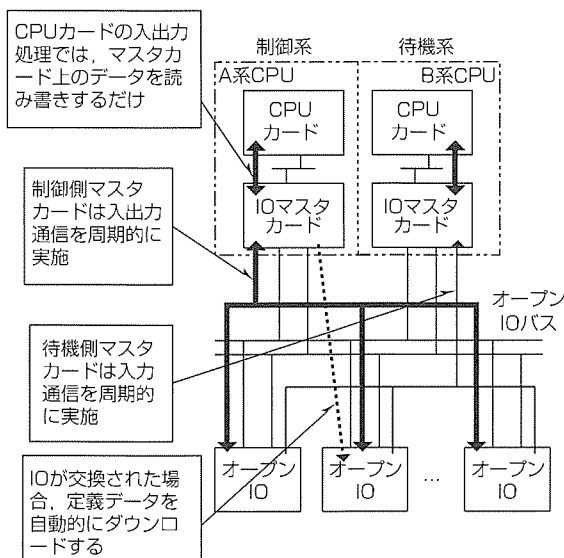


図2. オープンIOバス

表1. CPU 1 台で実現可能な入出力規模

種別	IO 1 枚当たりの点数	全IOを二重化した場合の点数
アナログ入出力	8点/枚	2,560点
デジタル入出力	32点/枚	10,240点
温度入力	16点/枚	5,120点

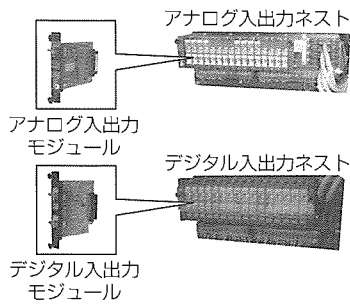


図3. 入出力ケーブルと入出力モジュール

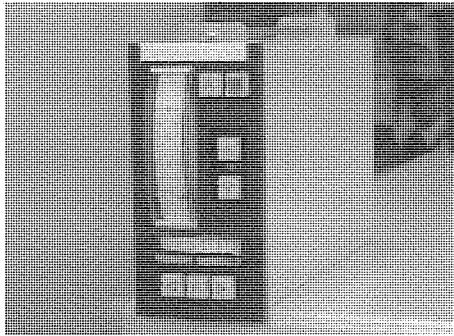


図4. オープンIO接続AMステーション

化している。

#### 4. 実機適用事例

新型MELTACを九州電力(株)川内原子力発電所2系制御装置に初品適用したので、それについて以下に紹介する。

##### 4.1 リプレースのねらい

川内発電所1号機は、製作時から約20年経過しており、生産中止、及び定検保守コストが増大している。

そこで、以下を基本方針(図5)としてリプレースを実施し、1号機は2003年6月に運転を開始し、2号機は2004年更新予定である。

- (1) ART盤, MSH盤, NPSH盤の統合による保守性の向上と省電力化、及び継電器室スペースを有効活用する(7面→4面に削減)。
- (2) CPU二重化構成により信頼性を向上、及び自己診断機能の充実によりシステムの信頼性を向上させる。
- (3) オープンIO採用によるカード無調整化・定期取替部品の削減及び長寿命化(長寿命ファン等の採用による保守コスト大幅削減)。
- (4) 制御ロジックの可視化及び試験調整の容易化、及び遠隔監視化の可能な保守ツールの適用。
- (5) 将来の拡張を容易にする(シーケンス盤の統合等)。

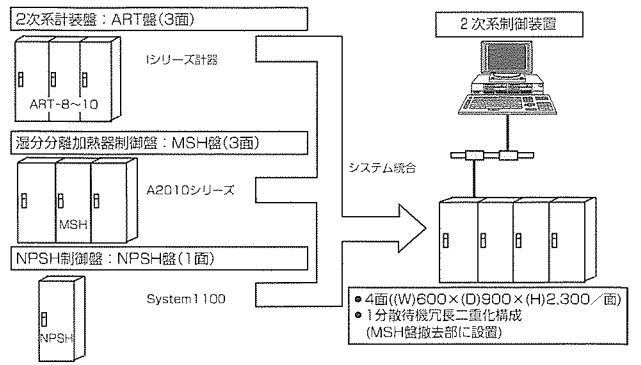


図5. リプレースの基本方針

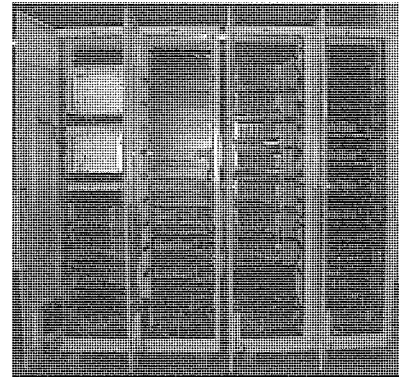


図6. 九州電力(株)川内原子力発電所2次系制御装置

##### 4.2 装置概要

この2次系制御装置では、新型MELTACを適用し、今回開発適用したオープンIO及びオープンIO接続用AMステーションを用いている(図6)。将来的には、シーケンス盤の機能も統合していく計画である。

#### 5. むすび

以上、新型MELTACのシステム概要と、オープンIOシステムの説明、及び実機適用事例について紹介した。現在、さらにIOメニューの拡充開発を実施しており、今後も必要な機器とのインタフェース用のIOメニューを拡充開発し製品化を行う所存である。

#### 参考文献

- (1) 赤木克巳, ほか: 原子力プラント総合デジタル化システム, 三菱電機技報, 74, No. 8, 493~500 (2000)
- (2) 山脇雅彦, ほか: 次期原子力プラント向け計装制御保護システム, 三菱電機技報, 66, No. 12, 1149~1152 (1992)

# 放射線計装設備の更新技術

高岡 章\* 浦中康夫\*  
 泉 伸幸\* 五嶋一茂\*\*  
 高木淳之\*

## 要 旨

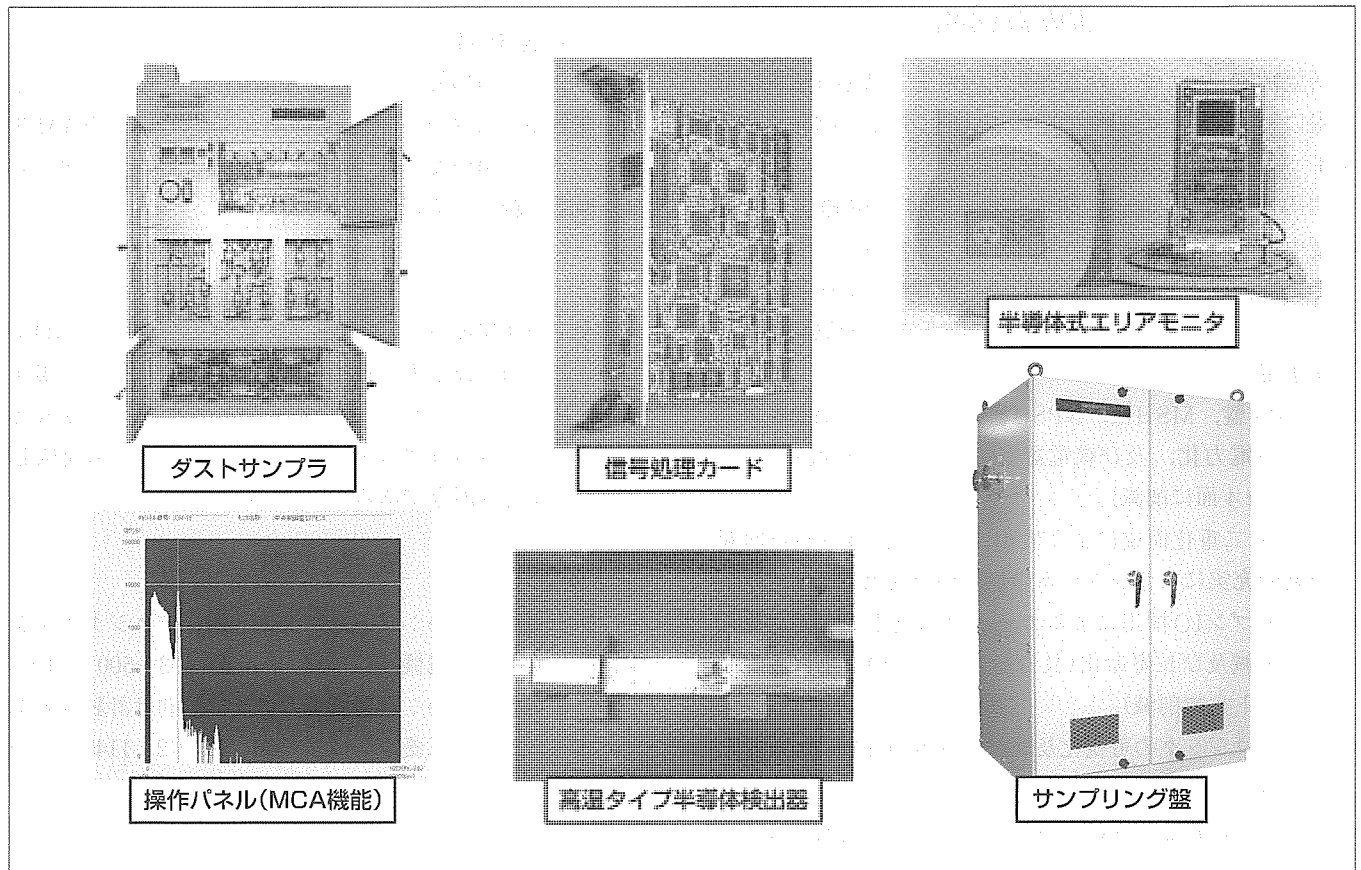
原子力発電プラントには、人体の放射線障害を防止しプラントの異常を早期に検知するために、空間及びプロセス流体中の放射線レベルを測定・監視する放射線監視設備が設置されている。三菱電機は、1969年以来国内すべての加圧水型原子力(PWR)発電プラントに放射線監視設備を納入してきた。

次期PWR発電プラントの計測制御設備では、計測制御設備のデジタル化、及びソフトオペレーション主体の中央計装システムを採用した総合デジタル化システムの適用を計画しており、放射線監視設備においても、総合デジタル化システムに対応した次期プラント向けの新しいシステムの構築が要求されている。一方、既設PWR発電プラント

に目を向けると、放射線監視設備については既に稼働後20数年経過した設備もあり、更新の時期にきている。これらは、上位設備とハードワイヤードによる接点又は電圧／電流信号で情報伝達がされており、このような従来どおりのインターフェースを持つ設備も従来設備の更新のために依然として必要である。当社では、最新の総合デジタル化システムにおける上位設備との親和性と既存設備とのインターフェースの両立を図るとともに、信頼性を確保しながら経済性・保守性・操作性の向上を図った新型放射線監視設備を開発した。

本稿では、新型放射線監視設備の概要とその更新技術について述べる。

特集  
I



## 放射線監視設備の製品群

当社は、PWR発電プラント向け放射線監視設備のシステム・関連機器に関する開発、設計、製造、試験、現地据付け工事、及び保守業務を行っている。新型放射線監視設備は、信頼性を確保しながら経済性・保守性・操作性の向上を図っている。



## 1. ま え が き

放射線監視設備は、人体の放射線障害防止、プラントからの放射性物質放出管理及びプラントの異常の早期検知のため原子力発電プラントにとって不可欠な設備であり、当社では1969年以来国内すべてのPWR発電プラントに納入してきている。現在、納入から20数年経過し、設備の更新時期を向かえた既設プラントがあり、一方、新規プラント向けには最新の計装システムの一環としての放射線監視設備も必要である。今回、既設プラントとのインタフェースと最新の計装システムとのインタフェースの両立を可能としたシステムを開発したので紹介する。

## 2. 新型放射線監視設備の概要

新型放射線監視設備のシステム構成を図1に示す。放射線監視設備は、現場機器である検出装置と被測定流体を源流点から検出装置に移送するサンプリング盤、及び放射線監視盤(測定系)で構成している。検出装置からの検出信号を測定系で演算処理し、放射線測定データ、警報状態、及び機器の動作状態の情報をプラントの上位システムに伝送する。

放射線の測定は、主に人の立入り頻度の多い場所に設置し、空間放射線量率を測定・監視するエリアモニタと、放射性廃棄物の放出にかかわる排気・排水系統や発電所の運転状態の監視に必要な系統等に設置しプロセス流体中に含まれる放射性物質濃度を測定するプロセスモニタに大きく分類できる。従来、これら放射線モニタの検出器には、GM計数管(Geiger-Muller Counter)、電離箱、シンチレーション検出器が採用されてきた。当社では、従来検出器に代わる検出器としてエリアモニタとプロセスモニタの一部に半導体検出器を採用している。これにより、検出器の長寿命化による信頼性・保守性の向上を図ることができる。

測定系は、検出装置から伝送されたパルス等の信号を受

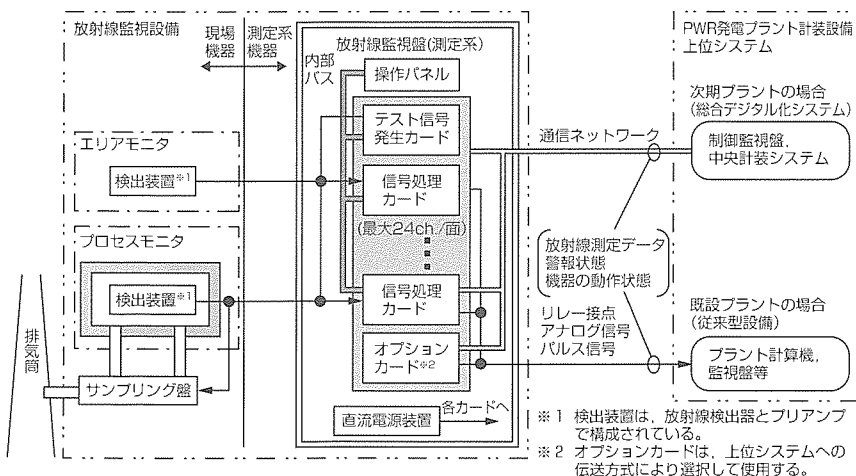


図1. 新型放射線監視設備のシステム構成

け、パルス整形(パルス出力型検出器の場合)、レート演算、警報比較演算、通信処理等を行う。測定系については、これまで1チャンネル当たり複数種必要であったカードを新たに開発した信号処理カード1種に集約し測定系の小型化による盤内実装効率の向上とともに、最新のデジタル回路技術の採用により波形診断等の自己診断機能の強化を図った。また、この測定系は、最新の総合デジタル化システム対応の通信出力のほかに、リレー接点信号のような従来型の上位設備に必要な信号を出力できるオプションカードをユニットに追加・接続できる構成としている等、上位システムに合わせてフレキシブルに測定系を構築できるよう設計している。

## 3. 検出器の更新

半導体検出器は、放射線の作用による半導体中の電子・正孔対の生成、及びその移動を利用した検出器である。

当社エリアモニタの検出素子には、常温で使用でき、エネルギー特性が良いSi半導体を採用している。従来ではエリアモニタの検出器にGM計数管を使用してきたが、2001年度以降、国内既設プラントを対象にエリアモニタの半導体化工事を実施している。半導体検出器を採用することにより、一般的に以下の効果が期待できる。

### (1) 長寿命化

検出素子そのものの材質の安定性から、取替周期は5年以上が期待できる(GM管やシンチレーション検出器では経年劣化により1~数年で取替えが必要)。

### (2) 信頼性向上

GM計数管ではガスの劣化、シンチレーション検出器では光電子増倍管の経年劣化による指示ドリフトの恐れがあるが、半導体検出器では長期間指示が安定することを検証で確認している。

### (3) 小型化

半導体検出器の採用により、光電子増倍管等が不要となり、従来と同等の検出能力を持たせながら小型化が可能となる。プロセスモニタでは、バックグラウンドを低減させるために、サンブラと呼ばれる鉛製容器で検出器を遮蔽(しゃへい)する。検出器が小さくなることで、サンブラの小型化が可能となり、省スペース化を実現できる。

半導体式エリアモニタ検出装置の外観を図2に、主要仕様を表1に示す。検出装置には検出素子やプリアンプのほかにチェック線源が内蔵され、測定系からの遠隔操作でチェック線源による照射を行い、定期的な

点検を可能としている。この検出装置は、従来検出器からの更新工事(検出装置のみの更新)において、改造範囲が最も小さくなるように考慮しており、検出器位置、外観、取り付け寸法、使用コネクタ及び測定系回路は、従来検出器と同等としている。

また、当社では、最大100℃までの高温下でも使用可能な化合物半導体のCdZnTeを採用した半導体式モニタを開発し、製品化する段階となっている。今後、半導体検出器が従来検出器に代わり主流になるものとして期待している。

#### 4. 測定系の更新

新型放射線監視盤及び測定系の主要機能を持つ信号処理カードの外観を図3に示す。また、放射線監視盤の主要仕様を表2に示す。新型放射線監視盤は、信号処理カード、テスト信号発生カード、オプションカードとこれらカードを収納するカードフレーム、直流電源装置、操作パネル、分電パネル、及び盤筐体(きょうたい)で構成している。この測定系は、以下の特長を持っている。

##### (1) 測定系の集約による部品点数の削減

従来、測定系は、パルス整形、演算処理、警報出力とい

表1. 半導体式エリアモニタの主要仕様

項目	仕様
測定対象	γ線
測定範囲	1~10 <sup>5</sup> μSv/h
エネルギー特性	±25%以内( <sup>60</sup> Coを基準として80keV~3MeV)
方向特性	0°~±45°において±10%以内 ±45°~±60°において±30%以内
温度特性	±10%以内
ドリフト	±2%/24時間以内
使用温度範囲	10~60℃
使用湿度範囲	95%RH以下

表2. 測定系の主要仕様

項目	仕様
対応検出器	半導体式検出器, NaI(Tl)シンチレーション検出器 PLシンチレーション検出器, 電離箱
演算処理機能	レート変換, 警報比較演算, サンプリング盤の監視, 制御
指示表示	計数率又は線量率, 機器情報, 系統図, スペクトル
表示方法	デジタル表示(LED板数部3けた, 指数部1けた) 操作パネル表示(LCD表示)
外部出力(モニタ1ch.当たり)	アナログ9点, パルス3点, リレー接点(オプション)15点
通信出力(モニタ1ch.当たり)	RS-232C通信1点, 上位ネットワーク通信1点, 制御用通信1点
接続モニタch.数	最大24ch./面
収納ユニット(盤1面当たり)	カードフレーム3段, 直流電源装置1台 操作パネル1台, 分電パネル1台
搭載カード (カードフレーム1段当たり)	信号処理カード*18枚, テスト信号発生カード*11枚 オプションカード*13枚 ※1カードサイズ:233.35×160(mm)
電源条件	電圧 AC100V/AC115V±5%, 周波数 50/60Hz±2% 電源容量 最大1kVA/面
環境条件	温度 0~50℃, 湿度 10~95%RH
外形寸法	(W)600×(D)900×(H)2,300(mm)

った機能ごとにカード分割してシステムを構成しており、1チャンネル当たり4種のカードが必要であった。また、従来のカードはシステムごとに盤内で異なる配線となっていたため、システム設計や配線処理に膨大な時間を要していた。そこでこの測定系では、従来システムにおける各種カードの機能を信号処理カード1種に持たせることで、機能を集約しシステム構成の合理化を実現するとともに、カード間の接続や外部とのインタフェース部にパターン配線とコネクタ配線を採用することで、システム設計や配線処理に要する時間の短縮化を図った。放射線監視盤1面当たりの最大実装チャンネル数についても、従来の16チャンネルから24チャンネル(実装効率従来比+50%UP)に向上している。

##### (2) 総合デジタル化システムへの適合性

次期PWR発電プラントの計測制御設備では、計測制御設備のデジタル化、及びソフトオペレーション主体の中央計装システムを採用した総合デジタル化システムの適用を計画している。放射線監視設備においても、総合デジタル化システムに対応した次期プラント向けの新しいシステムとする計画である。そこで、この測定系には、当社原子力向けデジタル計装制御装置である新型MELTACと接続するための通信ネットワークを標準搭載し、チャンネル間や上位システムとをネットワークで接続することで、放射線レベルや警報状態など放射線監視に必要なすべての情報をネットワーク経由で送受信可能なシステムとしている。また、上位システムと接続するネットワークは、単一故障で機能の喪失に至らないように、ネットワークを冗長化可能な構成とした。

##### (3) 既設プラント更新工事への適合性

放射線監視設備は、既設プラントにおいて様々な形態で上位システムに情報を伝送している。この測定系では、既設プラントの設備更新を対象として、電圧/電流出力とパルス出力を標準搭載している。既設プラントでは、放射線レベルの高警報や機器の動作状態をリレー接点信号で上位システムに伝送しており、1チャンネル当たり

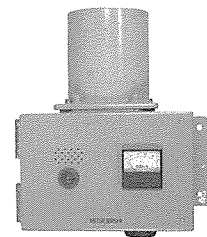


図2. 半導体式エリアモニタ  
検出装置の外観

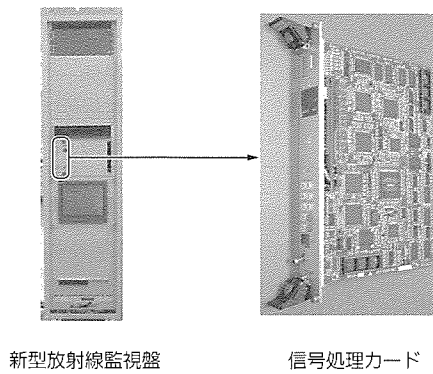


図3. 新型放射線監視盤と信号処理カードの外観

10点以上のリレー接点出力が必要である。このような要求に対しては、警報リレーカードをオプション追加し、1チャンネル当たり最大15点までのリレー接点出力を追加できる。信号処理カードは、従来から用いてきた各種検出器とも接続できる仕様としており、2章で述べた半導体式モニタのほかにも当社が所有しているすべての検出器との接続が可能である。これにより、測定系のみでの更新工事の場合でも、最小の工事範囲で設備を更新できるように考慮した。

(4) 定期取替部品の削減

この測定系の各種カードでは、過電流保護素子としてポリスイッチを採用することによるヒューズレス化、及び熱設計の最適化による放射線監視盤のファンレス化を図り、定期取替部品の削減を行い、保守の合理化を実現した。

(5) 信号処理機能の高度化

今回開発した信号処理カードは、ノイズ除去機能とMCA (Multichannel Analyzer) 機能を付加し、高機能化を図った。

微小信号を取り扱う放射線計測では、ノイズ対策が重要な課題である。ノイズ除去機能は、入力パルスから波形情報をリアルタイムで計測し、ノイズと判断されたパルスを測定対象から除去する機能で、誤計測を抑制する効果がある。MCA機能は、各入力パルスをその放射線のエネルギーに比例した波高値に従って多数のチャンネルに仕分けし各チャンネル当たりのパルスの頻度を表示する機能であり、エネルギースペクトルによる核種の推定や検出器の健全性確認等の用途に使用できる。従来スペクトル測定時には別置きMCAを使用しているが、今回の機能を標準で内蔵す

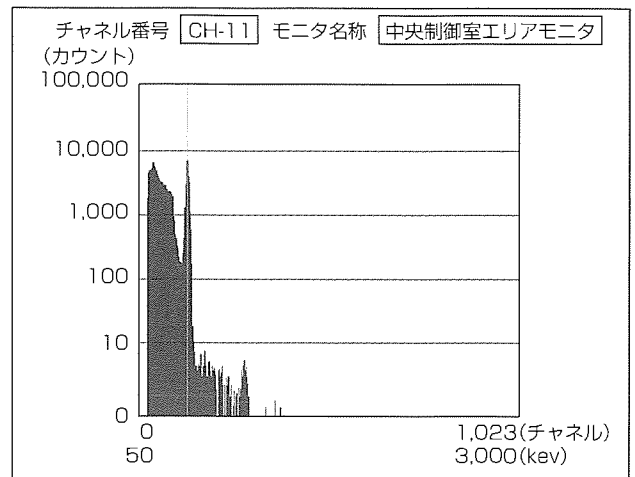


図4. 操作パネルの画面例(スペクトル表示)

ることにより保守機能の高度化を図った。

放射線監視盤の前面には信号処理カードの操作や保守及びモニタの状態表示を行うための操作パネルを備え付けており、モニタ情報については、従来よりもマン-マシン性を向上させた画面に表示している。ここでは、最大24チャンネル分の放射線測定データや機器の動作状態をオンラインでリアルタイム処理し、各種データの一覧/個別表示、MCAデータの表示、系統図によるモニタ情報の表示、定期点検時のデータ採取のサポート、点検結果の帳票出力、保存を可能とし、保守作業の省力化を図った。

MCA機能によるスペクトル表示画面を図4に示す。このシステムでは、操作パネルの画面上で、信号処理カードに蓄積されたMCAデータを確認可能である。

5. む す び

以上、既設プラント更新及び次期プラントへの適用を計画している新型放射線監視設備の概要と特長について紹介した。この設備の採用が、PWR発電プラントにおける保守作業の省力化/効率化に寄与するものと期待している。

参 考 文 献

- (1) 今川清作, ほか: 半導体型放射線センサ, 三菱電機技報, 75, No.5, 356~359 (2001)
- (2) 赤木克巳, ほか: 原子力プラント総合デジタル化システム, 三菱電機技報, 74, No.8, 493~496 (2000)

特集  
I

# 制御棒制御装置の更新技術

別府伸一\* 右近浩幸\*\*  
松村俊明\* 野崎保志\*\*  
福光裕之\*

## 要旨

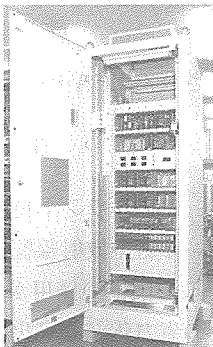
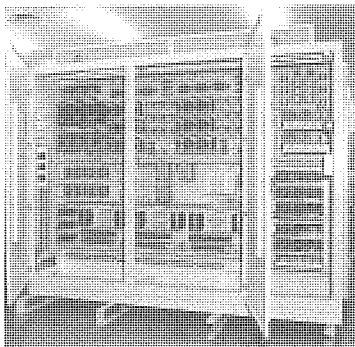

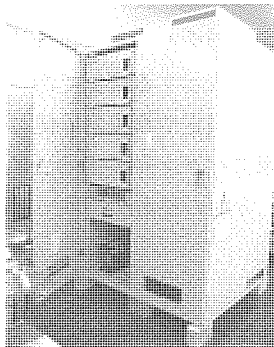
PWR発電プラントにおける制御棒制御装置は、1975年に国産化開発し実機適用後、ダブルホールドシステム化、監視機能の強化等の改善を行い現在に至っている。現状の設備においては、ここ十数年間制御棒落下に至る不適合を経験しておらず極めて高い信頼性を持っているものの、適用技術は、国産化開発当時の技術をベースとしているため適用部品の生産中止割合が増加している。

一方、原子力プラントにおいては、プラントライフ60年の実現に向けた長期運用性に関する技術評価が検討されており、制御棒制御装置についても将来を見通したシステムを検討することが重要である。

三菱電機は、これらの課題を解決するため、①ロジックキャビネットへのデジタル制御装置の適用、②パワーキャビネット主回路へのIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)の適用、③ユニット化構造の適用による標準化、④DCホールド電源キャビネットの不要化による省スペース化と更新コストの低減を図った新型制御棒制御装置の開発を行った。

本稿では、新型制御棒制御装置の開発コンセプト、パワーキャビネット適用技術、ロジックキャビネットのシステム構成と特長、検証試験の結果概要について述べる。

特集  
I

	ロジックキャビネット	パワーキャビネット
従来装置		
新型装置		

### 新型制御棒制御装置の盤の外観(ロジックキャビネット及びパワーキャビネット)

このシステムは、①ロジックキャビネットへのデジタル制御システムの適用、②パワーキャビネットへの絶縁ゲート型トランジスタ(IGBT)の採用、③ユニット化構造の採用の特長を持っている。

## 1. ま え が き

既設原子力プラントにおいては、長期運用に向けた設備更新について検討が進められている。設備更新に当たっては、従来設備との差別化として、コスト低減(更新コストとランニングコストの低減)、保守性の向上を実現することが重要な課題であり、制御棒制御装置についても、他装置と同様にデジタル制御技術の導入と既設保守経験を反映した装置の改善が必要である。

本稿では、当社の標準デジタル制御装置を適用し制御棒制御ロジックをソフトウェア化したロジックキャビネットと、近年のパワーエレクトロニクス技術を導入したパワーキャビネットについて述べる。

## 2. 制御棒制御装置のシステム構成と課題

原子炉の出力は、原子炉頂部に設置された制御棒駆動機構によって制御棒を炉心の内外に挿入・引抜することにより制御される。制御棒制御装置は、制御棒駆動機構を動作させるコイルの電流を制御する装置であり、中央制御盤又は原子炉制御系からの動作要求に従って制御棒駆動コイルに対する電流命令信号を生成するロジックキャビネットと、260Vの交流電力を直流に変換しコイルに給電するパワーキャビネットにより構成される(図1)。

現状の制御棒制御装置はソリッドステート式のロジックキャビネットとサイリスタ三相半波整流方式によるパワーキャビネットにより構成されており、故障がプラントトリップにつながる装置であることから、回路と適用部品は極力変更せずに高い信頼性を実現してきた。

一方、この間、半導体電子部品の世代交代によりロジックIC、キャンタイプ素子、スタッド式パワー素子が生産中止となり、既設プラントの保守継続において課題が生じ

てきた。また、定検作業の合理化、メンテナンス部品の削減、予備品の削減を図ったシステムが必要とされている。

## 3. 新型システムの設計方針と適用技術

新型システムは、従来の信頼性向上策とシステム要求を踏襲すること、及び一般産業で十分な実績を持つ技術の導入によるコスト低減を図ること、すなわち、以下を設計方針として開発を行った。

- (1) 制御棒停止時にステーションナリグリッパとムーバブルグリッパをラッチするダブルホールドシステムを採用する。
- (2) 機能は従来と同一とし、各盤の機能分担や制御棒駆動コイルの電流波形は従来装置と同一となるように設計する。
- (3) ソフトウェア化とカード機能の統廃合により、ハードウェアの物量削減を図る。
- (4) 標準化とシステム簡素化、ソフトウェアによる設定を可能とすることにより保守性の向上を図る。

### 3.1 デジタル制御装置の適用

ロジックキャビネットは、以下の機能を実現する。

- (1) ステーションナリ、ムーバブル、リフトの各コイルに制御棒の挿入又は引き抜きに対応した励磁シーケンス信号を生成する機能
- (2) 動作指令入力及びインタロック処理
- (3) 動作バンク選択機能
- (4) 制御棒動作ステップカウント機能

(1)はミリ秒単位の高速度動作が必要であるためI/Oカードに搭載したFPGAで、また、(2)~(4)はアプリケーションソフトウェアで機能を実現するシステム構成とした(図2)。その結果、カード種類及び実装カード総枚数を従来装置の1/2以下で実現可能とした。また、デジタル制御装置標

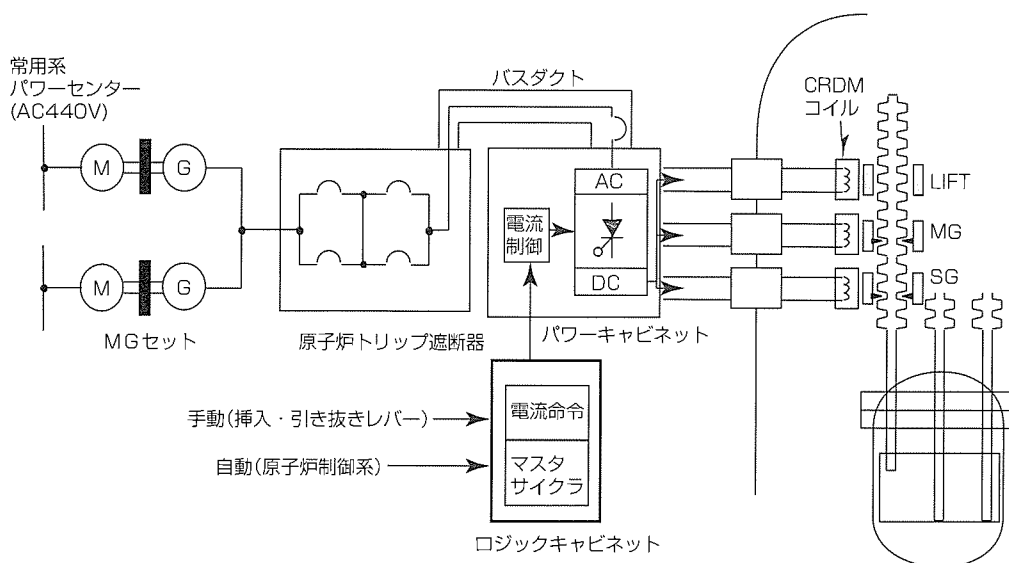


図1. 制御棒駆動システムの設備構成

準のカードであり、予備品の他装置との共用化も可能である。さらに、自己診断機能により定検における点検項目の削減と故障の早期発見による信頼性向上、ロジックのソフトウェア化による機能拡張性向上を実現した。

### 3.2 パワー主回路へのIGBTの適用

制御棒駆動コイルの通電電流は、ステーションナリ及びムーバブルグリッパコイルが8A、リフトコイルが40Aである。これらの電流レベルに適切な電力用半導体素子は、IGBT(絶縁ゲート型トランジスタ)であり、パワーエレクトロニクス産業においても無停電電源装置等で数多くの使用実績がある(図3)。

制御棒駆動コイルの通電電流制御回路は、①コイル通電電流値を目標値に制御できること、②電流の立ち上げ、立ち下げ時に高速追従できることが必要である。これを実現する回路として電圧可逆チョッパ回路を適用している。この回路を従来と比較して図4に示す。この回路では、三相交流電源を全波整流回路で直流に変換しIGBTのスイッチング速度を目標値に見合う速度に制御することにより、コイル通電電流を目標値に制御する。また、電流の立ち下げ時には、コイルに印加される電圧の極性が逆となるため、高速な電流の立ち下げが可能である。

従来システムではサイリスタによる位相制御方式を適用しているのに対し、新型システムではPWM(Pulse-Width Modulation)方式、すなわち、内部で生成した三角波と偏差信号の交点によりIGBTゲート信号を生成する方式を採用しているため、位相制御回路が不要となる。また、電子部品の小型化技術の導入によるカードの統廃合を図り、カード種類を1/3以下、実装カード総枚数を2/3以下で実現可能とした。

また、従来装置では、三相半波整流方式を適用していたため、電源に対するインダクタンス制限があり、その対

応としてバスタクトと負荷容量以上の容量を持つ電動発電機を使用してきた。しかし、新型システムでは、電源に対する特殊要求が不要であるため、電源装置の簡素化も可能である。

このチョッパ回路は、ステーションナリ及びムーバブルグリッパコイルが最大5個で1グループであり通電電流の総和がリフトコイルと同一となることに着目して、グループ単位で標準化した回路構成とした。さらに、この回路構成単位ごとに外部の電流命令をブロックして強制通電モードとするスイッチを付加することにより、従来システムにおけるDCホールド電源盤と等価な機能を実現できるものとし、DCホールド電源盤を不要とした(図5)。

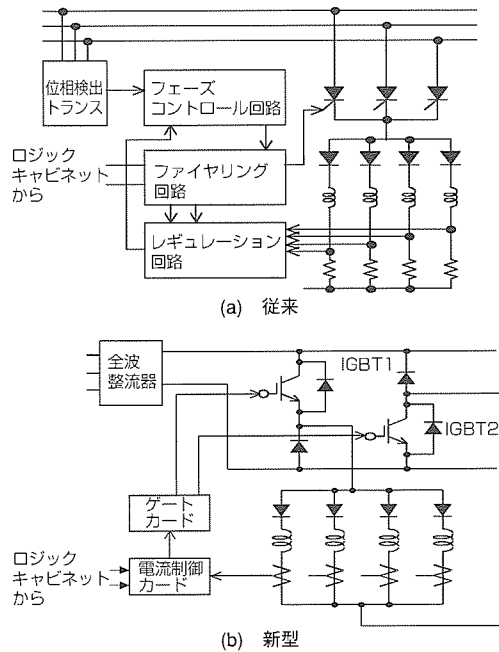


図4. パワー主回路

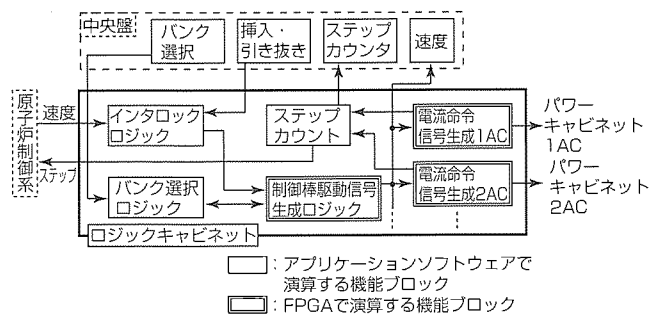


図2. ロジックキャビネット機能ブロック図

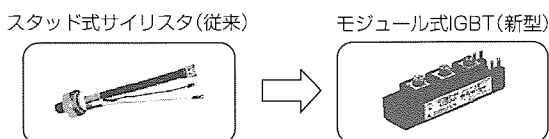


図3. 適用パワー素子

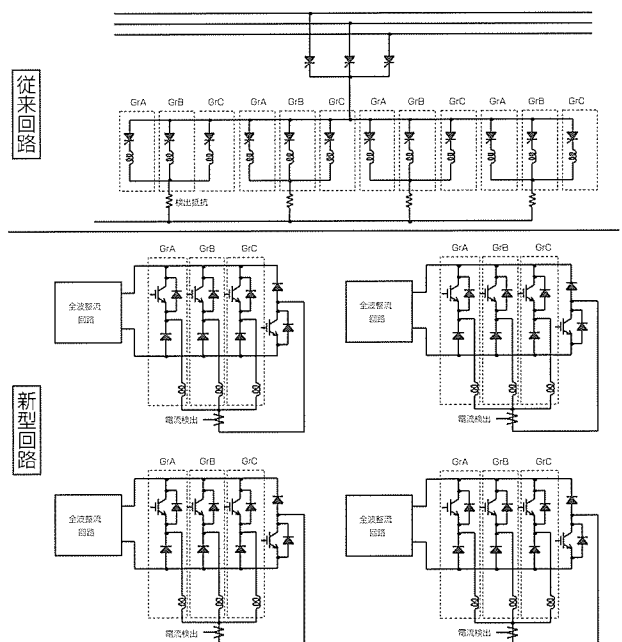


図5. リフト主回路の標準化

表1. パワーキャビネット検証試験結果

No.	検証試験項目	内容	結果
1	模擬コイル通電	選択したグループに模擬コイルを接続し、コイルの通電電流値が判定基準を満足することを確認する。	良
2	グループ選択	選択、非選択グループのコイルの通電電流の通電電流値が、判定基準を満足することを確認する。	良
3	電流波形	コイル電流の立ち上がり・立ち下がり時間を測定し、判定基準を満足することを確認する。	良
4	主電源断	主電源の断により警報信号が発信することを確認する。	良
5	全電流故障	全電流命令が規定された時間よりも長く続いた場合、警報信号が発信することを確認する	良
6	レギュレーション故障	電流命令信号とコイル通電電流値の不一致が規定時間よりも長く続いた場合、警報信号が発信することを確認する。	良
7	DCホールド機能確認	DCホールドスイッチにより、外部の電流命令とは無関係にコイル電流値が固定されることを確認する。	良
8	ロジックキャビネット組合せ	ロジックキャビネットとパワーキャビネットを組み合わせて、ロジックキャビネットの電流命令に従ってコイル電流波形がシーケンシャルに変化することを確認する。	良

### 3.3 ユニット化構造の採用

従来のパワーキャビネットはパワー部品を盤のバックパネルに搭載するパネルマウント方式による盤構造としてきたが、新型パワーキャビネットでは、グループ単位で標準化した回路をそれぞれユニットに搭載しドロー構造とした(図6)。ドローは標準化しているため、予備品の削減及び機能確認が容易であり、また、運転中に故障が発生した際にパワー部品も含めた交換が可能である。

また、制御棒駆動コイルとの接続を端子台からコネクタとしたことにより、定検時の模擬コイル通電試験時の解結線作業量を1/2以下に低減することを可能とした。

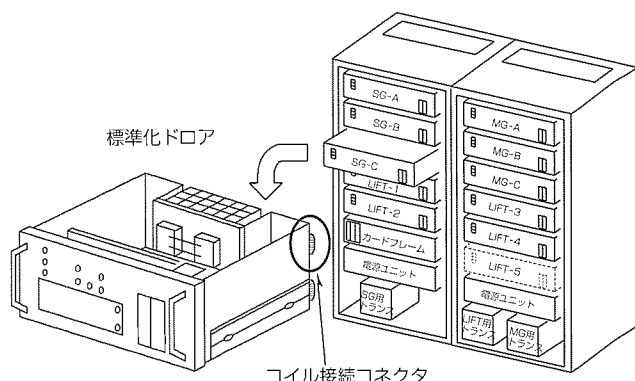


図6. パワーキャビネットの構造設計

## 4. システム検証

検証盤を試作し模擬制御棒駆動コイルとの組合せにより以下の試験を実施した。

- パワーキャビネットドロー単体試験
- ロジックキャビネットとパワーキャビネットの組合せ試験

その結果、

- 励磁シーケンスが判定基準を満足すること
- 制御棒駆動コイルの通電電流波形が判定基準を満足すること

を確認でき、制御棒制御装置として必要な機能的な実現性を実証することができた。主な検証試験項目と内容、結果を表1に示す。特に制御棒の動作信頼性確保において重要である電流立ち上がり及び立ち下り時間は良好な結果が得られており、適用回路が妥当であることを検証することができた。

## 5. むすび

最新技術の導入による長期的な保守性確保とコスト低減を図った新型制御棒制御装置を開発し検証した。このシステムは、新設プラントと既設プラントの更新に適用が可能であり、特に、既設プラントの更新においては、盤の機能分担を従来装置と同一としているため、ロジックキャビネットとパワーキャビネットの分割更新も可能である。

また、制御棒駆動電源システムに対するインダクタンス制限や直流偏磁対策等の特殊要求を不要としたことにより、電源システムを含めた更新においてもコスト低減に寄与できる。

この装置は、電力会社との平成15年度持寄研究「新型制御棒制御装置の駆動機構組合せ実証試験」で実機相当の検証試験を実施中であり、この研究で得られる検証データの評価及び参加電力会社のご指導、ご助言を賜り製品化開発を完了していく所存である。

# 実機環境模擬試験設備

山西忠敏\*  
高松典彦\*

## 要旨

泊3号機新設プラント及び既設大型更新工事が今後計画されており、総合デジタル化プラント設計のシステム構築教育、検証試験環境の整備、今後万一の不適合発生時の対応迅速化、及びこれらを支える技術力の維持・向上が必要となっている。

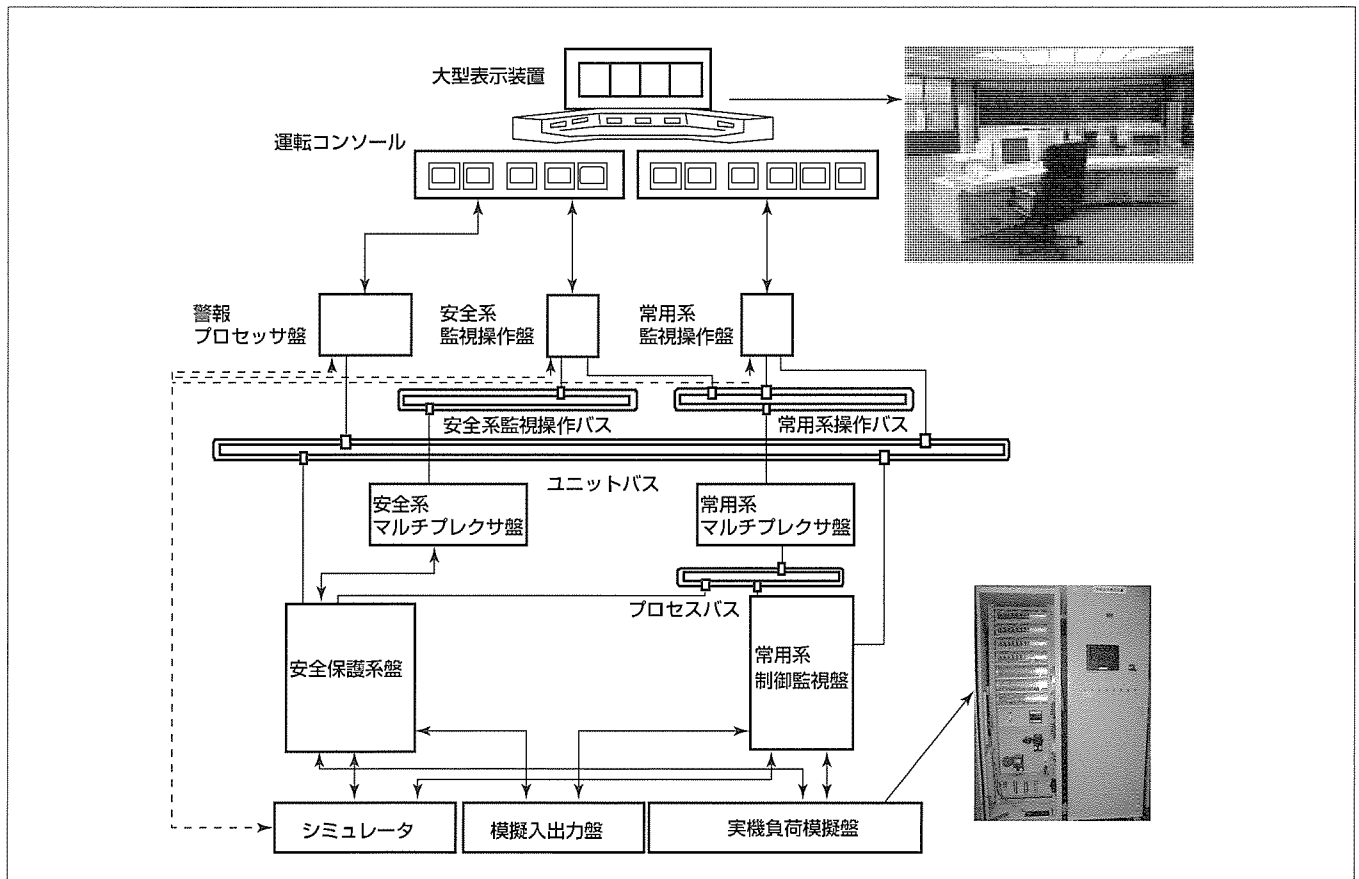
このため、新型中央制御盤・プラント計算機・計装制御保護設備を実機相当にネットワーク接続された実機環境模擬試験設備を構築した。併せて、プラント現場実機負荷を接続した模擬設備及びシミュレータを組み合わせてプラン

トとほぼ同じ条件下での保守訓練環境を構築した。

この設備システムは、実機システムの部分モデルであり、中央制御盤、安全保護系操作監視システム、常用系制御操作監視システム、現場模擬負荷装置からなる。各盤自体のハードウェア、ソフトウェアは実機同様であるが、一部模擬盤で構成している。

本稿では、実機環境模擬試験設備(Nuclear Simulation and Training center)のシステム概要と、現場模擬負荷装置、システム教育の事例について紹介する。

特集  
I



## 実機環境模擬試験設備システムの構成

中央制御盤、安全保護系操作監視システム、常用系制御操作監視システム、現場模擬負荷装置、プラントシミュレータから構成される。この設備システムのネットワークはSE-BUS1、安全保護系及び常用系の各盤は原子力プラント向け計装設備新型MELTACで構成される。



## 1. ま え が き

この設備の構築コンセプトを図1に示す。“製品品質の向上”“技術力維持・向上”“不再現不適合の削減”“不適合対応の迅速化”として、中央制御盤から現場機器までを含めたプラントとほぼ同じ条件下での保守訓練環境、原子力プラント計装システムの教育環境、プラント環境模擬検証試験環境、緊急時対策センターとしての環境を構築し活用することを目的とする。

## 2. 実機環境模擬試験設備システム

原子力プラント向け計装設備として信頼性向上、コスト低減、自己診断率向上を目的として開発された新型MELTACは、CPU(Pentium)、OSレスシングルタスク、ロジックのPOL(Problem Oliented Language)言語ソフトウェア化、I/O調整レス化による定検工数削減、ブロック図ベースのモニタ監視ツールによるロジックの可視化を実現した最新設備であり、この共通のプラットフォームをベースに安全保護系、常用系システムを構築している。

### 2.1 安全保護系操作監視システム

図2に安全保護系操作監視システムを示す。

#### (1) システム構成

- 実機部分モデル盤：安全系監視操作パネル、安全系監視操作盤、安全系マルチプレクサ盤、安全保護

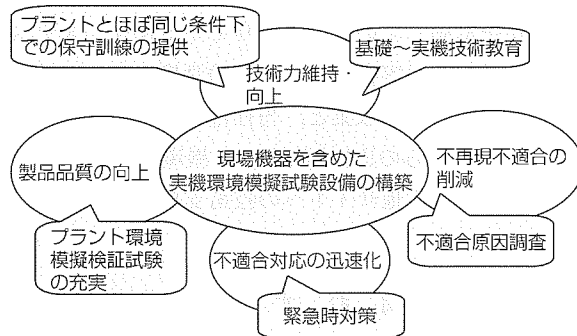


図1. 実機環境模擬試験設備の構築コンセプト

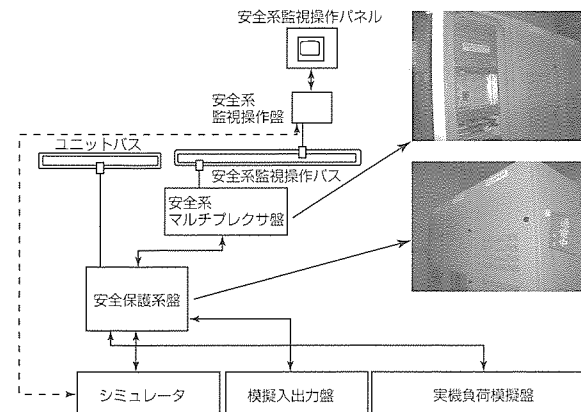


図2. 安全保護系操作監視システムの構成

系盤を最小構成で実現

- 実機負荷模擬盤：実機で接続する電気系、計装系負荷
- 模擬入出力盤：実機盤と部分モデル盤の差を模擬
- シミュレータ：実機盤と部分モデル盤の差を模擬

#### (2) 特長

- 最新デジタル計装の標準プラットフォーム(常用系と共通)の採用
- 定検、官庁検査における自動試験機能の組み込み
- I/Oカードオンラインキャリブレーション無調整化
- 隔離養生機能付き

### 2.2 常用系制御操作監視システム

図3に常用系制御操作監視システムを示す。

#### (1) システム構成

- 安全保護系操作監視システムと同様構成

#### (2) 特長

- I/Oカード：二重化／一重化混在可能
- I/Oカードオンラインキャリブレーション無調整化
- 隔離養生機能付き

### 2.3 現場模擬負荷装置

図4の模擬装置により、安全系及び常用系の現場ロジック盤のパワーインタフェース(PIF)カードに対して、実ブ

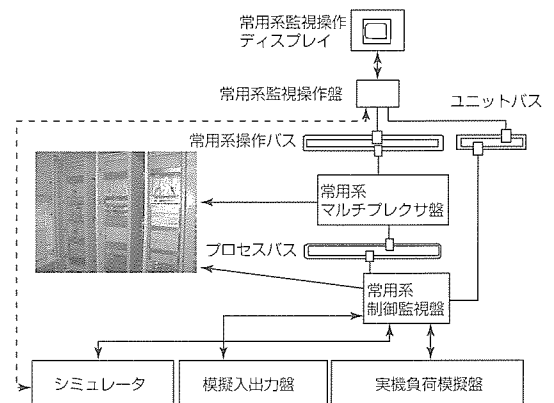


図3. 常用系制御操作監視システムの構成

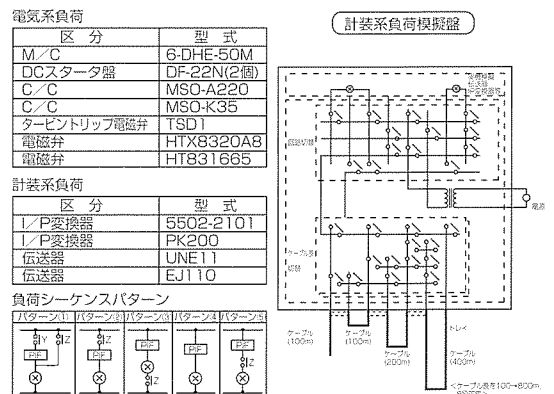


図4. 現場模擬負荷装置ブロック図

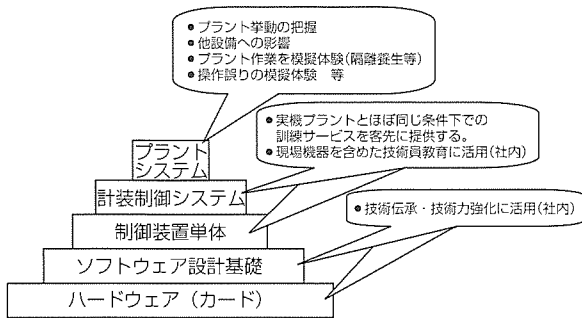


図5. 教育カリキュラム体系

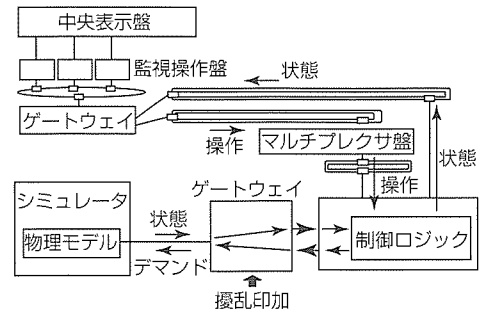


図6. プラントシステム教育の構成

プラントの電気負荷を選定し、シーケンサによるシーケンスパターン及び負荷選択の容易化により、サージ電圧、最大負荷、動作タイミング等の実機環境を模擬することを可能とした。

### 3. 実機環境模擬試験設備の活用

#### 3.1 教育カリキュラム

図5に教育カリキュラム体系を示す。社外向けとして、計装制御システム教育、制御装置単体教育であり、これらを実機プラントとほぼ同じ条件下での訓練サービスを提供する。

社内向けとして、制御装置を構成するハードウェア(カード)及びソフトウェアの設計基礎、現場機器を含めた計装制御システム及び装置単体の教育カリキュラムを提供する。さらに、当社製品が適用される原子力プラントシステムのプラント挙動把握、他設備への影響把握、プラント作業(隔離養生等)の模擬体験、操作誤りの模擬体験も提供する。

#### 3.2 プラントシステム教育事例

図6のように、プラントシステムコースの教育事例として、実際のプラント計装において現場フィールド入出力インタフェースに擾乱(じょうらん)を与え、中央制御盤を運転する運転員と計装盤を調査復旧する保守員の連携訓練システムを構築した。

中央盤・計算機・計装制御保護設備、模擬計装負荷、模擬電気負荷、プラントシミュレータへ接続したことにより、実機部分モデルは実機相当盤で、それ以外はシミュレータで実現した。

これにより、プラント実運転状態での流量計、圧力計、温度計、弁開度などのパラメータを計装制御装置にフィールド模擬信号として入出力し、各制御装置は、実プラント相当にネットワーク経由で信号を授受し、中央盤へ状態表示することを可能にした。

この設備を活用して、フィールド入出力信号に擾乱を与え、運転訓練員が中央制御盤で隔離養生運転を継続しながら、保守訓練員が計装盤を調査し、不適合箇所を同定し、復旧するという実プラントさながらの訓練を可能にした。

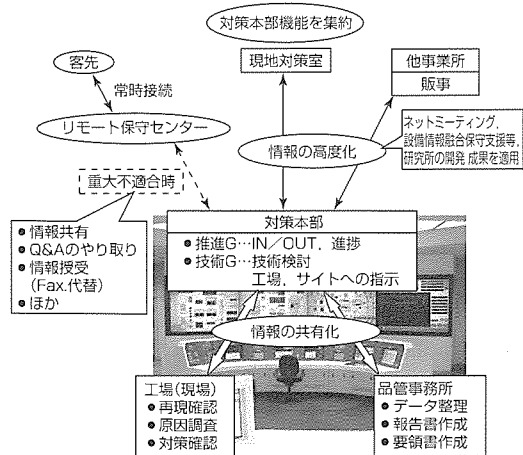


図7. リモート保守システムの構成

#### 3.3 今後のリモート保守計画

今後、実機環境模擬試験設備を活用したリモート保守も計画しており、図7のように、現地調整、不適合発生時に工場側支援を計画している。このリモート保守システムは、現地計装盤及びこの実機環境模擬試験設備の盤へ接続し、現地計装盤の故障情報収集と、当社電力・社会システム事業所共通サーバからのFT図検索、実機環境模擬試験設備での再現試験と、現地サイトへの技術支援を可能とする予定である。

## 4. む す び

総合デジタル化プラント設計のシステム構築教育、検証試験環境の整備及び今後のトラブル対応迅速化を目指して、新型中央盤・計算機・計装制御保護設備を実機相当に接続した実機環境模擬試験設備を構築し、原子力プラント電気計装設備の信頼性向上及び保守高度化、原子力関連エンジニアの育成強化を図っていく所存である。

### 参考文献

- (1) 赤木克己, ほか: 原子力プラント総合デジタル化システム, 三菱電機技報, 74, No.8, 493~496 (2000)
- (2) 今瀬正博, ほか: 原子力プラント向け新型中央計装システム開発の取り組み, 三菱電機技報, 72, No.6, 554~559 (1998)

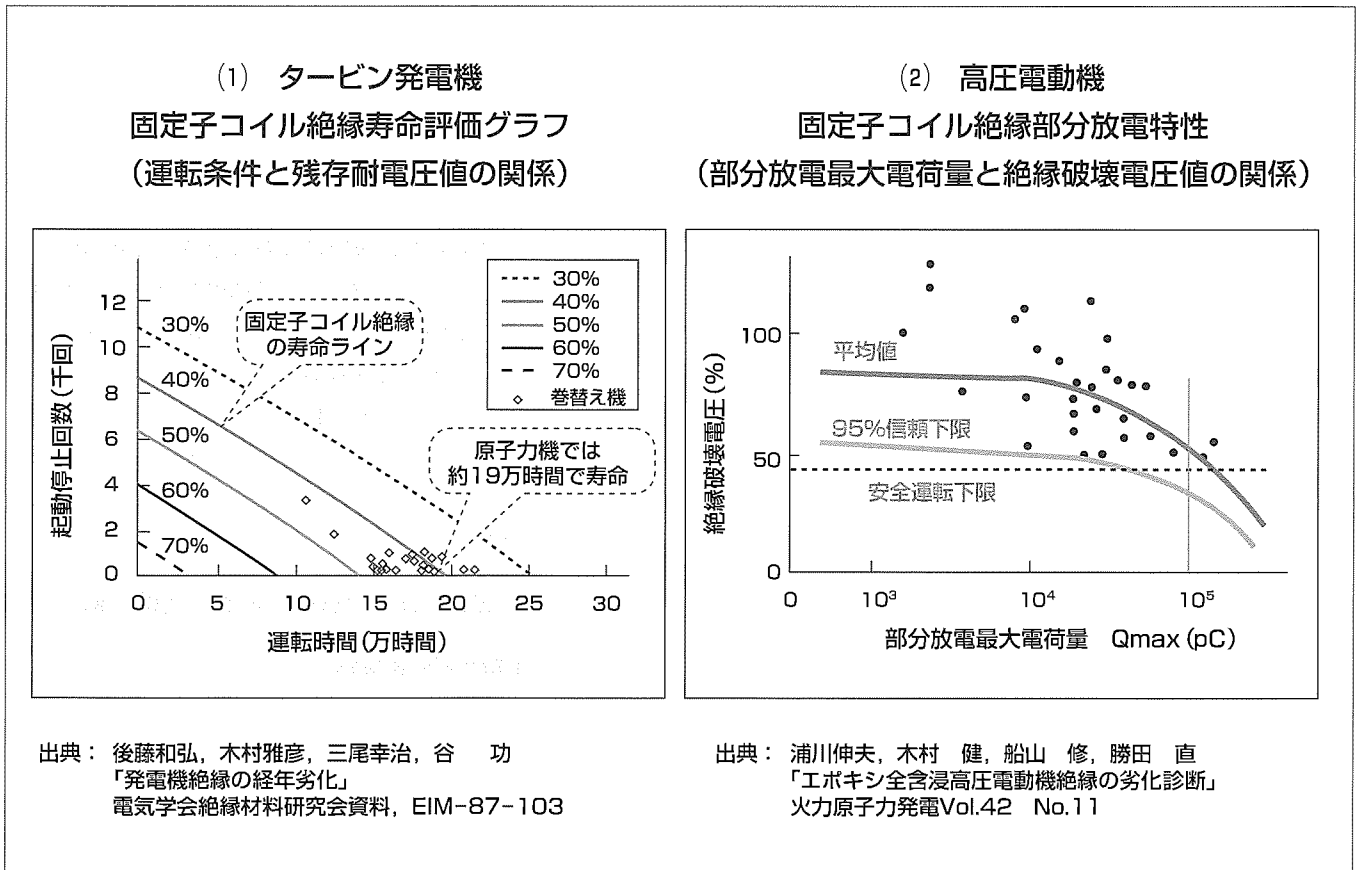
# 発電機／モータの絶縁評価と更新技術

宮原正敏\* 栗田基次\*\*  
小松原健介\*  
岩永英樹\*\*

## 要旨

三菱電機では、原子力発電プラントで稼働しているタービン発電機、高圧電動機の絶縁診断、評価技術を基に絶縁更新計画提案及び工事を行っている。タービン発電機については、火力機のサンプリング調査結果に基づく固定子コイルの絶縁寿命評価式が原子力機にも適用できることを、原子力機のサンプリング調査による実測データで確認した。固定子コイル絶縁更新工事では、人力手作業に代えて動力による専用工具の開発と導入により作業効率を大幅に改善でき、また、現地組立てを簡易にした巻替専用防塵(ぼうじん)ハウス、コイル搬送クレーンの採用で準備時間を短縮した。さらには、最新設計技術の導入に基づくコイルエンド部構造の簡素化により結線部接続作業時間を短縮できた。その結果、従来70日を要していた工事期間に比べ28日

間の大幅な工程短縮を実現した。高圧電動機については、従来の予防保全から突発事故発生時のプラント運転への影響度評価、保守費用の経済評価、ライフアセスメントに基づくリスク管理保全など、設備保全の高度化に沿って、固定子コイルの絶縁劣化診断の精度向上と保守コスト低減を目指した絶縁劣化診断技術の開発に取り組んでいる。絶縁診断結果、プラントごとの運転点検履歴及び定期点検スケジュールを基に固定子コイル絶縁更新マイルストーンを策定し、固定子コイル絶縁更新工事では、設計改善(絶縁種別の変更による絶縁仕様の再設計)、工法改善(窒素ガス封入高温炉でのコア、コイル加熱による旧コイル開放作業によるコア変形、損傷防止とエポキシ含浸レジソ燃焼ガスの消煙処理)により、品質向上と環境保護を図っている。



## タービン発電機、高圧電動機の絶縁寿命

左図はタービン発電機固定子コイルの絶縁寿命(残存耐電圧)について運転時間と運転条件の関係を示す。寿命ラインは初期平均絶縁耐力の40%(2E+3kV相当)としている。右図はエポキシ全含浸高圧電動機固定子コイル絶縁内部の劣化兆候を示す部分放電最大電荷量と絶縁寿命(絶縁破壊電圧値)の関係を示す。安全運転下限(寿命ライン)は2E+1kV(E:定格電圧)としている。この経年劣化特性を基に絶縁余寿命推定が可能である。

1. ま え が き

タービン発電機、高圧電動機の固定子コイル絶縁劣化診断、評価技術及び最近の巻替工事工法を紹介する。

2. タービン発電機の絶縁評価と更新技術

2.1 タービン発電機固定子コイルの絶縁寿命評価

タービン発電機の固定子コイル絶縁の劣化は、図1に示すように、熱的・電氣的・機械的なストレスが複合して累積することにより進展すると考えられている。

上記ストレス累積量の評価のため、火力プラントにおける実機からのコイルサンプリング調査結果に基づき、当社では下記の寿命評価式を確立していた。

$$Y = 100 - 3.80 \cdot X1 - 1.82 \cdot X2 - 23.9 [1.00 + 3.70 \times 10^{-3} \cdot (X1 - 0.748)^2 + 1.00 \times 10^{-4} \cdot (X2 - 11.7)^2 - 2.14 \times 10^{-4} \cdot (X1 - 0.748) \cdot (X2 - 11.7)]^{1/2}$$

ここで、Y：残存耐電圧値(99.9%信頼下限値)(%)  
 X1：起動停止回数(千回)  
 X2：運転時間(万時間)

原子力プラントのタービン発電機(原子力機)では、火力プラントのタービン発電機(火力機)に比べて起動停止回数が少ないなどの運用条件の違いがある。近年、固定子コイル絶縁更新を実施した原子力機においてサンプリング調査を行った結果、その実測値は火力機から得た寿命評価式による推定値と有意差はなく、前記寿命評価式が原子力機、火力機にかかわらず有効であることを確認できた。

2.2 タービン発電機固定子コイル巻替工法

タービン発電機固定子コイルの巻替えは、現地で行われ、一定のプラント停止期間を必要とする。一方、プラントの設備利用率向上のため、運転期間+停止期間を1サイクルとするプラント運転周期のうち、定期点検による停止期間が短くなり、コイル巻替工程短縮の必要性も高まった。従来の巻替工法に対して、次の3つの観点で検討し、70日間を要した巻替工程(発電機分解完了からコイル巻替完了まで)を大幅に短縮し、42日間で実施できるに至った。

- (1) 現地巻替装置改善
- (2) 現地作業体制整備
- (3) 設計構造変更

以下に、各項目における検討結果を紹介する。

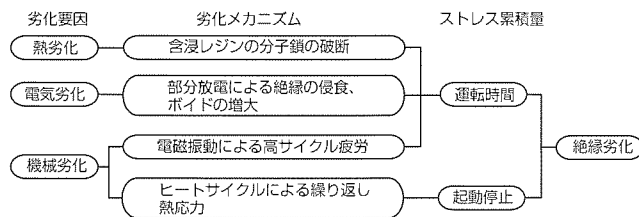


図1. 絶縁劣化のメカニズム

2.2.1 現地巻替装置改善による工程短縮

コイル巻替作業では、発電機内で1本当たり約200kgのコイルを固定子一円周にわたって分解・組立てを行う。従来、作業性を良くするために発電機が据え付けられているタービンプロアから固定子を数メートルの高さにジャッキアップさせ、作業ポイントが下半周位置になるように発電機固定子を回転させていたため、発電機へ接続されている導体、配管等の分解・復旧等の準備・復旧作業を要していた。この人力、手作業に頼っていた作業に対し、動力による専用の工具・装置を開発し実用化させることで、固定子を回転させるためのジャッキアップ作業を廃止できた。導入した専用工具の一例として、ウェッジ打ち込み工具を図2に示す。

2.2.2 現地作業体制整備による工程短縮

現地作業面においては、巻替専用の防塵ハウス、コイル搬送専用クレーンを設置する準備作業に対し、あらかじめ部分的に組み立てられた状態(プレハブ化)で現地へ搬入することにより短縮を図った。また、品質管理専任者、工程管理者を配置して作業を分業化し、現場作業を効率化させた。

2.2.3 設計構造変更による工程短縮

設計的には、最新技術の適用で固定子コイル内の冷却管の数を少なくでき、コイルエンド部の接続構造を簡素化したことにより、コイル接続作業日数を短縮できた。

2.3 タービン発電機固定子コイル絶縁に対する予防保全

経年劣化等により万一固定子コイルの絶縁機能が喪失した場合、地絡によるコイル損傷だけでなく、コア損傷に発展することも考えられ、復旧には多大な時間と費用が必要となる。また、コイル巻替えには長期のプラント停止期間が必要であることから、寿命評価式を用いて事前に寿命時期を推定し、コイル巻替時期を計画しておくことが必要である。一方、コイル巻替工程については、今後もプラント停止期間が短縮されて、更なる工程短縮が必要になると考えられ、巻替実績に基づき改善点を見付けて一層の工程短縮の実現を図る。

3. 高圧電動機の絶縁劣化診断と更新技術

3.1 高圧電動機の設備保全

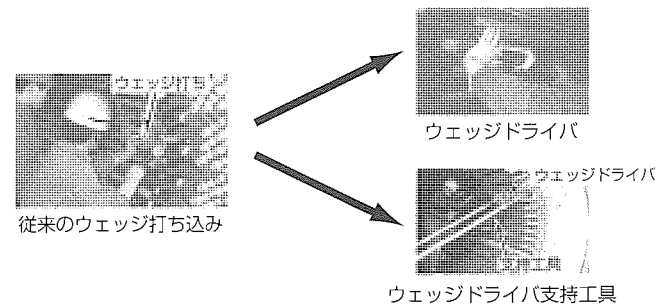


図2. 固定子ウェッジ打ち込み作業改善

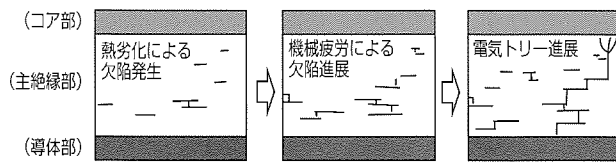


図3. エポキシ全含浸絶縁の劣化メカニズム

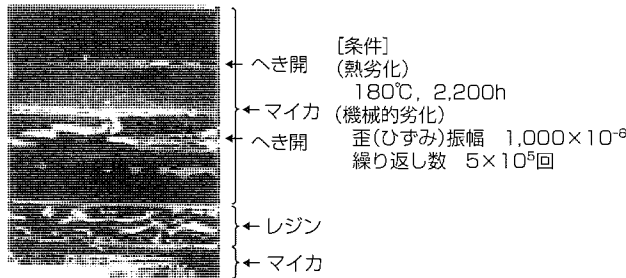


図4. 熱劣化+機械的劣化後の絶縁層SEM写真

近年、電動機の設備保全においても、信頼性維持を主目的とした“予防保全”から、各機器の突発事故のプラント運転への影響度評価、保守費用の経済評価及び各機器のライフアセスメントに基づいた“リスク管理保全”への設備保全方式の高度化などが求められている。

### 3.2 固定子コイル絶縁の劣化

高压電動機の経年劣化部位として固定子、回転子、軸受、冷却器などが挙げられるが、なかでも固定子コイル絶縁劣化は支配的な劣化現象である。一般に固定子コイル絶縁は“熱劣化”“課電劣化”“環境劣化”“機械的劣化”を要因として経年劣化が進行する。原子力発電所で稼働している高压電動機の固定子コイル絶縁方式であるエポキシ全含浸絶縁の劣化は主に熱劣化と機械的劣化の複合で進展する。熱劣化、機械的劣化で絶縁層内欠陥が増加・拡大すると絶縁破壊電圧が低下し、部分放電は増大する。図3、図4にエポキシ全含浸絶縁の劣化メカニズム、熱劣化+機械的劣化後の絶縁層の走査電子顕微鏡(SEM)写真を示す。

### 3.3 絶縁劣化診断

電動機の設備保全の高度化(事後保全→予防保全/状態監視保全→生産保全/リスク管理保全)を実現するために、固定子コイル絶縁の劣化研究、劣化診断技術開発に取り組む、劣化メカニズムの究明、劣化診断(余寿命診断)手法の確立に至っている。特に絶縁劣化兆候を示す部分放電のオンライン計測・診断技術は、運転中の絶縁劣化診断(劣化兆候検出)を可能とし、余寿命診断精度向上と保守コスト低減の実効が期待される。当社のオンライン部分放電計測は、独自のノイズ除去法を持ち、また、コイル温度センサ(RTD)等を部分放電センサとして活用するため、既設機への導入の際、電動機の主電源端子周りの改造を不要としている。図5にオンライン部分放電計測例を示す。部分放

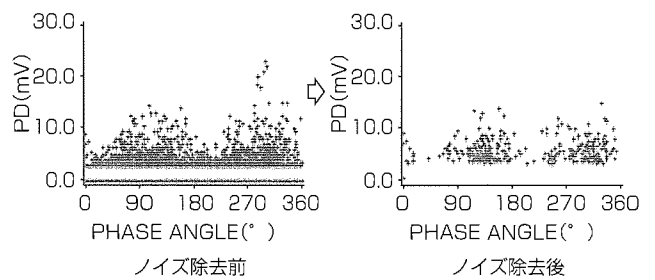


図5. 高压電動機 オンライン部分放電計測例

電の信号強度-発生個数-位相分布等により、絶縁劣化状況を判断できる。

### 3.4 長期保守計画(絶縁更新マイルストーン)

プラントごとに運転/点検履歴、絶縁診断結果及び定期点検スケジュール等に応じたすべての高压電動機の絶縁更新時期の計画(絶縁更新マイルストーン)を策定し、各ユーザーへの提案活動に取り組んでいる。一部のユーザーにおいては、既にこの絶縁更新マイルストーンに沿った絶縁更新工事計画、施工が展開されている。長期保守計画(絶縁更新マイルストーン)の利点として下記が挙げられる。

- (1) ライフサイクル(絶縁寿命)で保守コストが積算されるので、保守コストの定量把握が容易である。
- (2) 複数プラントにおける絶縁更新計画の横断的な優先順位付けが可能である。
- (3) 絶縁更新が計画されている電動機における積極的な点検範囲の見直し(点検省略)が可能である。

### 3.5 高压電動機の絶縁更新

原子力発電プラント用電動機では、定検スケジュール、放射能汚染度(一次系)に応じて、①コイル巻替え(フレーム/コア流用)、又は②固定子新製(固定子一式取替え)で絶縁更新を行う。絶縁更新工事においては、絶縁仕様の再設計や“むし焼き”工法による旧コイル開放作業などによって仕様・品質向上、環境保護に取り組んでいる。

#### (1) 絶縁仕様の再設計

絶縁種別の変更(B種→F種)など、現行標準の絶縁仕様へ再設計を行い、仕様、品質向上を図る。

#### (2) 窒素ガス封入高温加熱(むし焼き)工法による旧コイル開放

窒素ガスを封入した高温炉でコア/コイルを加熱する旧コイル開放工法でコア変形/損傷の防止、エポキシ含浸レジンの燃焼ガスの消煙処理(環境保護)を図る。

## 4. むすび

タービン発電機、高压電動機は共に原子力発電所の安全や稼働に重要な役割を果たす電気設備である。今後も絶縁劣化診断、評価技術の向上と工法改善に努め、原子力発電所の安定運転に貢献していく所存である。

# 変圧器の寿命診断技術と更新技術

野田 睦\* 東畑和也\*\*  
大野孝雄\*\*  
勝河幸一\*\*

## 要 旨

原子力発電所は運転開始から約30年を経過するようになり、主要電気設備の一つである変圧器においても経年化対策を考える時期にある。変圧器の寿命は、絶縁紙の劣化による要因が大きく一般的には期待寿命30年と言われているが、運用条件や温度特性等によって絶縁紙の寿命は異なる。そのため、計画的な経年化対策を検討するに当たり、絶縁紙の寿命診断技術は重要である。

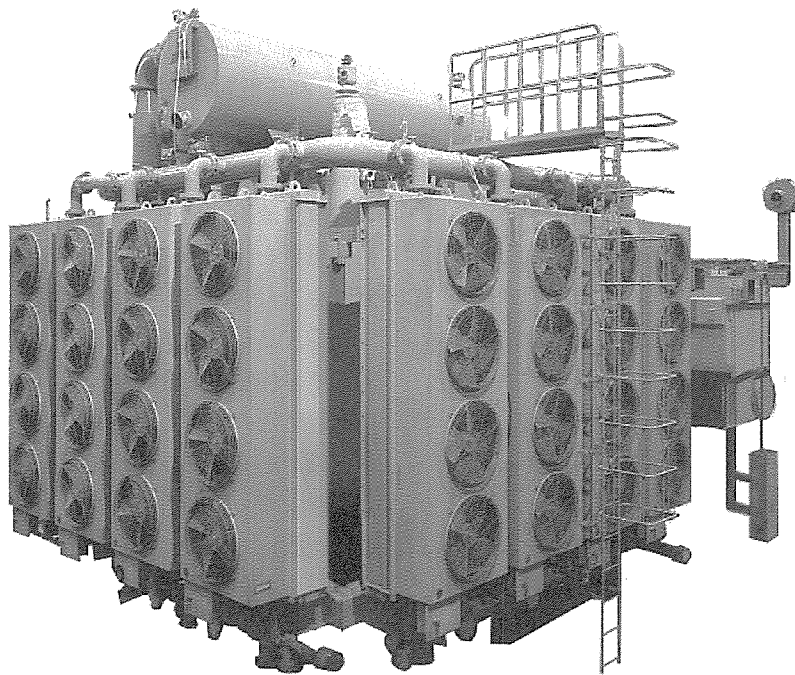
今回、九州電力(株)の旧玄海原子力発電所1号機主変圧器の劣化調査を行った結果について、その概要を紹介する。

更新時期については、最も劣化の早い巻線最高温度部の絶縁紙の平均重合度を推定し寿命到達時期を予測する寿命

診断結果と、定検工程等を勘案し決定された。

新製の更新器は、主変圧器・所内変圧器の一体化を図り外鉄形の特長を生かしたコンパクトな設計として既設主変圧器エリアに設置した。所内変圧器は、将来的な系統受電によるプラント起動を考慮し負荷時タップ切換器付きとした。

また、既設主変圧器の一部付属品の再使用や今後のプラント寿命との整合性を図る寿命設計等の合理化や、現地据付けにおける新しい工法を採用するなどして、信頼性・安全性の確保の下に無事計画どおり工事を完了した。



九州電力(株)玄海1号主変圧器(工場組立て完成)

九州電力(株)玄海1号主変圧器・所内変圧器一体形の工場組立て完成写真を示す。

## 1. ま え が き

変圧器の寿命診断技術について劣化調査評価に基づき紹介するとともに、最近の現地据付工事における更新技術内容について紹介する。

## 2. 寿命診断技術と劣化調査評価

### 2.1 寿命診断技術

図1の変圧器内部に使用されている材料のうち、経年的に劣化するのは絶縁油と絶縁紙である。絶縁油は交換が容易にできるが、絶縁紙は交換が不可能なため、変圧器の寿命は巻線の最高温度部(HSP)に巻かれている絶縁紙の劣化度で決定されることになる。

絶縁紙は図2に示すようにグルコース環の繰り返しで構成されている高分子で、この繰り返しの単位 $n$ 数が平均重合度と呼ばれ、機械強度との間に良い相関性があることから劣化度の指標に用いられている。日本電機工業会規格JEM1463では、絶縁紙の平均重合度が450に低下したときが絶縁紙の寿命レベルとされている。

絶縁紙は劣化しても耐電圧の低下は小さいが、引張り強度が低下する。また、絶縁紙の劣化特性には110℃前後を境に劣化速度が異なるという特徴があるため、絶縁紙の劣化度を推定するためには、変圧器の運転温度である110℃以下の低温での劣化特性が必要になる。図3は約12年間の長期に及ぶ絶縁紙の低温加熱試験結果を示す。

このデータを統計処理し、平均重合度・加熱温度・加熱時間の関係を示す重回帰式を作成したことにより絶縁紙の劣化度の予測が可能となった。

診断方法としては、プレスボードやリード絶縁紙を採取

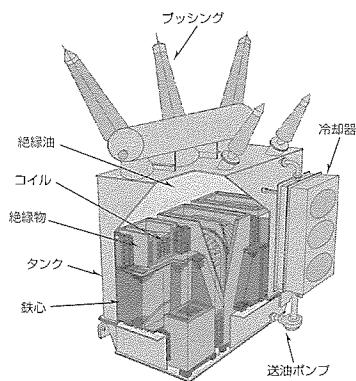


図1. 変圧器の内部構造

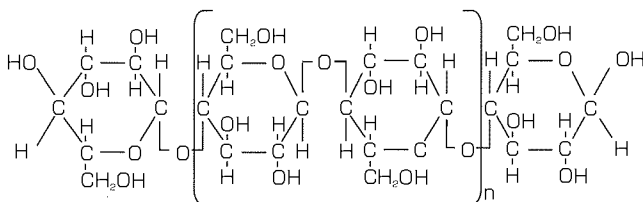


図2. セルロースの化学構造式

して推定する方法、絶縁紙の劣化生成物である絶縁油中のフルフラール量・(CO<sub>2</sub>+CO)量から推定する方法等が実用化されている。

### 2.2 既設器の劣化調査評価

原子力発電所で高負荷・長期間運転された主変圧器本体を解体し劣化調査を行った結果、予測の範囲内であった。

#### (1) 絶縁紙の劣化調査

コンピュータによる磁界解析及び熱流体解析から巻線の温度分布を求めた結果を基に解体した巻線から絶縁紙を採取し、平均重合度を測定した。

その結果、温度分布の解析結果と平均重合度の実測値とはよく一致することが確認でき、HSP部の平均重合度推定値487に対し実測値は509と近い値であった。

この差は総寿命年数に換算すると1.4年に相当する。

#### (2) 絶縁紙以外の劣化調査

通常点検できないタンク底部の腐食量を測定した結果、プラントライフ60年を想定しても問題となる腐食量ではなかった。図4にタンク底部の腐食状況を示す。

また、本体の主要構成部品である鉄心の調査結果は、外観の異常はなく、交流磁気特性においても規格値を満足しており経年的な劣化は見られなかった。

## 3. 変圧器の更新技術

変圧器更新工事には、表1に示すような据付けスペース

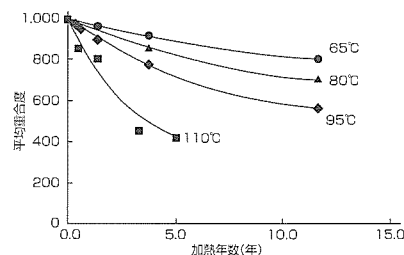


図3. 平均重合度と加熱時間の関係

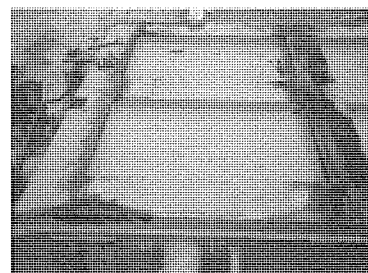


図4. タンク底部の腐食状況(タンク転倒状態)

表1. 更新変圧器の技術的特長

(1) 最新技術を適用した低損失化(高効率)設計
(2) 既設スペースを考慮したコンパクト設計
(3) プラント寿命との整合性を図った寿命設計
(4) プラント運用を考慮した変圧器の機能向上
(5) 現地据付工事の合理化による期間短縮
(6) 既設設備・付属品の一部流用による費用低減

表 2. 変圧器本体発生損失の新旧比較

		既設変圧器	更新変圧器
主変圧器 230kV 590MVA	無負荷損	100%	94%
	負荷損	100%	78%
	合計損	100%	81%
所内変圧器 19kV 40MVA	無負荷損	100%	95%
	負荷損	100%	75%
	合計損	100%	79%

や既設設備流用等の制約条件、技術的特長があるが、九州電力(株)玄海原子力発電所1号機向け更新用主変圧器(所内変圧器一体形)に適用した主な設計技術・新工法について以下に紹介する。

### 3.1 最新技術を適用した高効率化

原子力発電所のように高負荷で運転される変圧器においては、低損失化設計による運転コストの低減が求められる。UHV変圧器の開発により進歩した低損失化技術を適用することで、表2に示す損失改善を図り高効率変圧器を実現した。

### 3.2 既設スペースを考慮したコンパクト設計

近年の発電所向け主変圧器の技術動向としては、据付けスペースの縮小化、輸送・現地据付工事の合理化を目的とした所内変圧器一体形の適用が主流となりつつある。

中身構造の最外周が矩形(くけい)でアース電位の鉄心からなる外鉄形変圧器同士を一体形とすることにより、主変圧器と所内変圧器との近接配置が可能となりコンパクト化に有利である。

更新用変圧器では、これらの外鉄形変圧器の特長を最大限に生かし、既設主変圧器エリア内においても所内変圧器一体形を実現した。その構造を図5に示す。

既設所内変圧器エリアは、定期点検工事用の設備や機材置場として有効利用ができる。

### 3.3 プラント寿命との整合性を図った寿命設計

更新変圧器は、プラント運転利用率・変圧器負荷率を考慮し、更新後の残存プラント寿命を満足する設計が求められる。

これについては、絶縁紙の劣化度の予測が可能となった寿命診断技術を適用することにより、プラント寿命との整合性を図った寿命設計を行うことができた。

### 3.4 プラント運用を考慮した変圧器の機能向上

更新用所内変圧器では、将来的な系統受電によるプラント起動を考慮し、電圧変動調整が可能な負荷時タップ切換装置付き変圧器とした。

所内変圧器においては、発電主回路側に接続される巻線は三角結線となっており、負荷時タップ切換器を設けるためには、大型で单相用の負荷時タップ切換器が3台必要になり、経済性・コンパクト性を損なうことになる。

これに対し、“直列変圧器を付加した間接切換方式”という電圧切換技術を適用することで、小型で三相用の負荷時

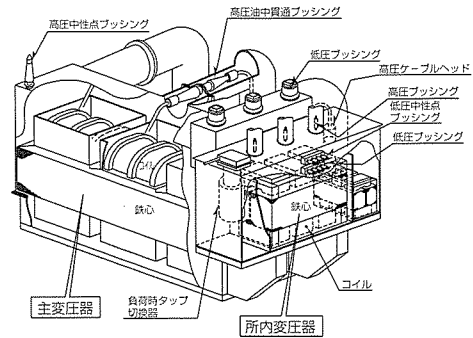


図 5. 主変圧器, 所内変圧器一体形の構造

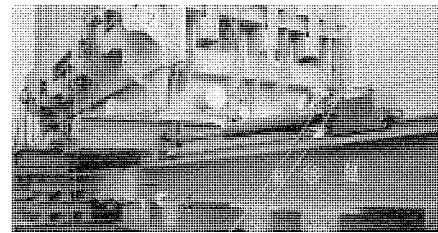


図 6. スライドレール工法

タップ切換器1台で対応可能となり合理化を実現した。

### 3.5 現地据付工事の合理化による期間短縮

新旧変圧器の現地搬出入作業や据付作業において最新技術を適用し、現地据付工期の短縮などを実現した。

#### (1) 新旧変圧器の現地搬出入作業

引込みフックを必要とせず変圧器の搬出入を可能とする新工法として“スライドレール工法”を用いた。

図6にその作業中の状況を示す。スライドレール工法とは、レール→チルトタンク(ローラ付き)→変圧器本体という順序でセッティングし、水平ジャッキで横引きさせる工法である。

#### (2) 更新変圧器の据付作業

変圧器本体輸送時からドライエアーを封入し、現地組立時でも低露点管理されたドライエアーを封入し続けることで吸湿防止を行う。また、注油方法はタンクローリー車で運ばれてきた絶縁油を、ローリー車から脱気装置を介して直接注油を行う。絶縁油を取り扱うのはこの注油作業の場面だけとなる。

このドライエアー封入工法を適用することにより、広大な油タンク設置スペースや仮設防油堤の省略、消防申請回数の低減、現地工期の短縮を図ることができた。

## 4. む す び

変圧器の更新技術は今後必要な技術であり、今回の貴重な実績を他の原子力プラントに生かしていく。

玄海原子力発電所1号機主変圧器の更新の機会を与えていただいた九州電力(株)関係者各位及び更新工事にご協力いただいた関係者に感謝申し上げます。



# 再生可能エネルギー 発電プラントへの取り組み



岡崎勝広\*



町野 毅\*\*



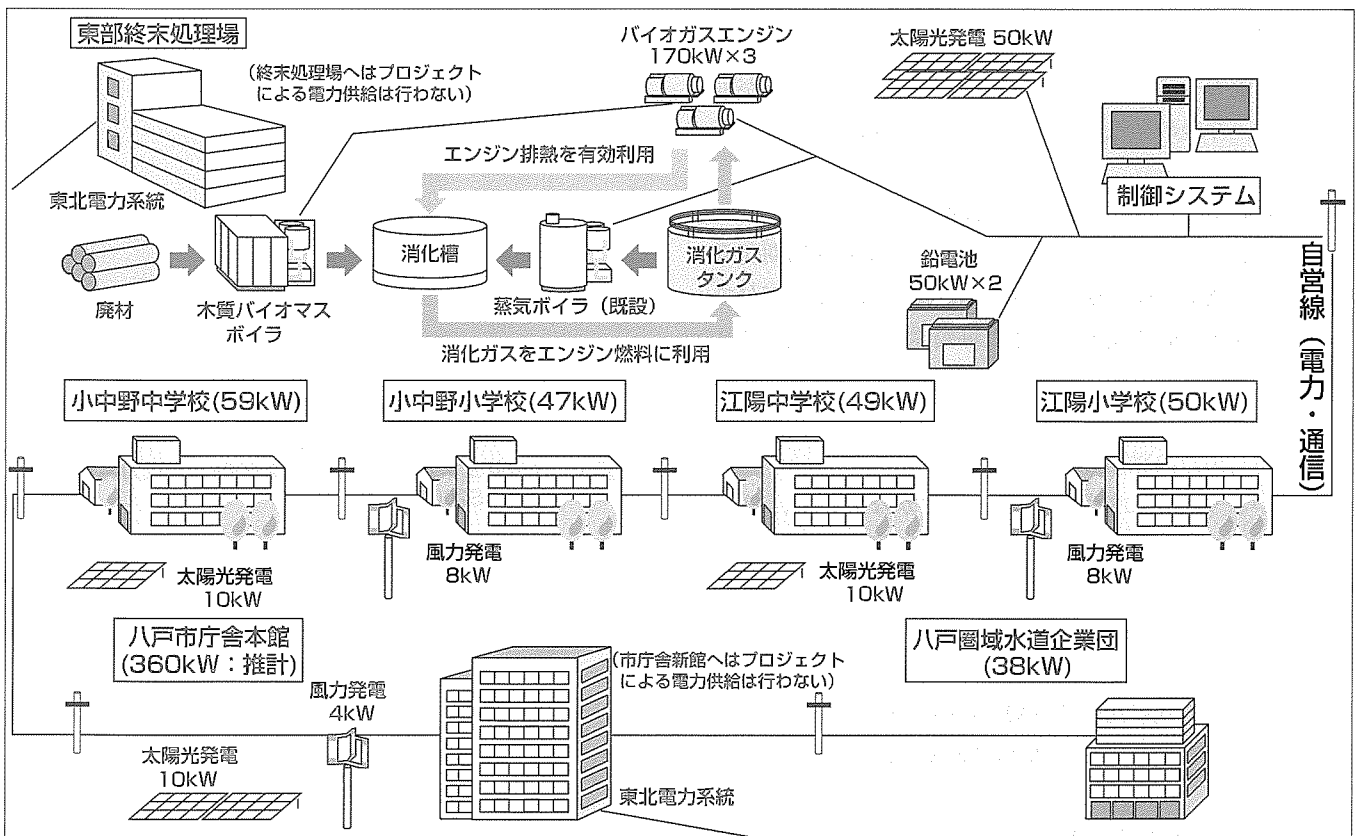
橘 浩司\*\*\*

## 要 旨

環境問題、とりわけ地球温暖化の問題は、非常に深刻かつ世界的な問題になっている。一方で、日本のエネルギー消費量は相変わらず増加傾向にあり、エネルギー資源のほとんどを外国に頼っている。これらの実情を踏まえ、我々には、自然エネルギーの更なる活用が求められている。1997年12月京都議定書が採択され、先進国全体の温室効果ガスの排出量を2008年から12年までの期間中に1990年の水準より少なくとも5%削減することを目的として、先進各国の削減目標を設定し、我が国は6%削減を世界に約束した。エネルギーの利用効率が見ても既に最高レベルに達している我が国にとっては、この目標を達成することは容易ではない。三菱電機も、発電プラントビジネスに携わる立場で、環境と調和した循環型社会を実現するために、自然エネルギー、再生可能エネルギーによる発電設

備の普及促進に努めている。これまで風力発電、ミニ水力発電、木屑バイオマス発電などを納入してきたが、本稿では、代表的な再生可能エネルギーである風力発電、ミニ水力発電に対する当社の取り組み、技術、適用事例などについて述べる。

また、新エネルギーの分散型電源による電気を特定地域内で消費する“地域集中型の電力供給システム”の研究も進められている。比較的狭い地域を分散型電源と自営線で結ぶこうした構想は、“マイクログリッド”と呼ばれ、将来の新しい電源構成として注目されている。これは自治体、研究機関、メーカーが一体となって“循環型社会の構築”を目指すものであり、当社も、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からのマイクログリッドの委託研究に参画する機会を得た。この研究内容についても紹介する。



## 自然エネルギーを生かした環境調和型電源システム

分散型電源による電力供給システムの概念作りは進んでいるが、実需要で実証されたケースはない。当社は、NEDOの委託研究として青森県八戸市、(株)三菱総合研究所(研究統括者)と、八戸市の特定地域を対象として、新エネルギーによる分散型エネルギー供給システムを提案し、実証研究を開始した。分散型電源による電力供給システムの概念はマイクログリッドと呼ばれ、従来の大型集中電源を基にしたシステムから自然エネルギーを生かした環境調和型電源として注目されている。なお、イメージ図は発電設備の設置予定場所を示す。また、台数、容量は変更する可能性がある。

\*電力・社会システム事業所エネルギープラント部風力プロジェクトグループマネージャー \*\*同部水力担当部長 \*\*\*同所回転機製造部次長

1. ま え が き

地球環境負荷低減のため自然エネルギーを用いた発電設備の導入が進んでおり、風力発電設備では、政府が掲げた2010年の風力発電導入目標が300万kWの規模となると予想されている。風力と同様、ミニ水力発電も、自然エネルギーの発電設備として注目されている。環境への影響がなかつた落差と流量で発電が可能であり、河川以外に上下水道設備などへの適用も進められており、水資源の有効活用は更に進むと思われる。これらの再生可能エネルギー発電への取り組みについて以下に述べる。

最後に、青森県八戸市の市庁舎、処理場、小中学校を対象としてマイクログリッドの実証研究を開始したが、この研究内容についても紹介する。

2. 風 力 発 電

2.1 風力発電の新技术

当社は、三菱重工業(株)及びTMAE(現、東芝三菱電機産業システム(株))と共同で、発電機に永久磁石を搭載した風力発電設備を搭載したギヤレス可変速風力発電設備を開発し、シリーズ化している。現在、新たに、風車上部にレーザ風向風速計を搭載した風力発電設備を設置し、風車前方の風向、風速計測に成功した。装置の最適化を沖縄電力(株)と共同で実施しており、今後、数秒～数分後の風力発電設備の発電電力予測及び翼系のフィードフォワード制御が可能となり、今後の発電電力量向上、電力脈動抑制への適用拡大が期待できる。

2.2 永久磁石式可変速ギヤレス風車

永久磁石式可変速ギヤレス風車は、永久磁石式同期発電機と電力変換器の組合せにより、誘導機式風車で不可欠であった増速ギヤを不要とし、また可変速運転が可能であり、これにより以下の特長を持っている。

- (1) 風のエネルギー変化を回転エネルギーとして蓄積できるため、出力の脈動を低減できる。
- (2) 高いタワー上に設置する増速ギヤがないため、施工、メンテナンス性が大幅に向上し、騒音が低減できる。
- (3) 発電機の回転子に永久磁石を採用しており、他の同期式発電機に比べシステムが簡素化できる。
- (4) 風速に応じた最適回転速度で運転できるため、従来の誘導固定速方式に比べ発電効率が向上する。

図1にシステム構成を、図2に2,000kW機の実機外観を示す。

2.3 レーザ風向風速装置

風力発電において、風向風速をいかに的確にとらえるかは風車制御に非常に重要である。この装置は、風車の前方にレーザ光(波長λ)を出射して、空間に存在する塵(ちり)などの微小浮遊物(エアロゾル)による散乱光の周波数ずれ

(ドップラーシフト)を検出し風向風速を計測するものである。エアロゾルはその近傍の風と同方向に同速で移動すると考えられるため、エアロゾル散乱光のドップラーシフト $F_D$ を検出することでレーザ出射方向の風速 $V_w$ を測定できる。

$$V_w = \frac{\lambda F_D}{2} \dots\dots\dots(1)$$

図3に示すように風車面に垂直でかつ風車に到来する方向を+r、それに垂直かつ地表面に平行な方向をx、地表面に垂直な方向をyと定義する。このとき風速Vはr方向成分 $V_r$ とx方向成分 $V_x$ とで次のように表すことができる。

$$V = \sqrt{V_r^2 + V_x^2} \dots\dots\dots(2)$$

風車の中心軸近傍に設置したレーザ出射位置からrに対して、レーザ光を2方向(±θの角度)で出射、r=Rの位

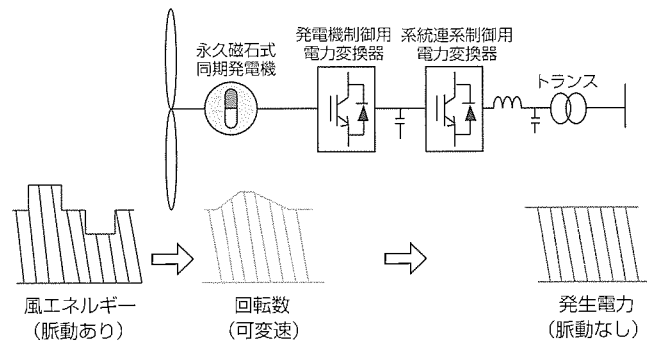


図1. 永久磁石式風力発電システム構成



図2. 沖縄新エネルギー開発向け2,000kW級風力発電設備(MWT-S2000)

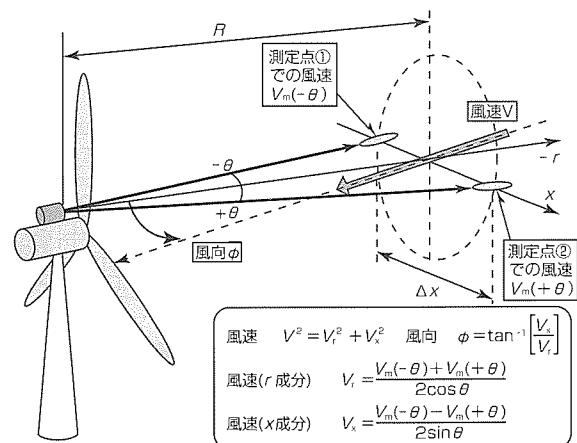


図3. 測定原理

置に集光させる場合を考える。各方向での風速測定値を  $V_m(+\theta)$ ,  $V_m(-\theta)$  とすると、風速  $r$  方向成分  $V_r$  と  $x$  方向成分  $V_x$  は次式のように表すことができる。

$$V_r = \frac{V_m(-\theta) + V_m(+\theta)}{2\cos\theta}, \quad V_x = \frac{V_m(-\theta) - V_m(+\theta)}{2\sin\theta} \quad \dots(3)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[ \frac{V_x}{V_r} \right] \quad \dots(4)$$

以上のように2方向の風速測定値  $V_m(+\theta)$ ,  $V_m(-\theta)$  に式(2)~式(4)を適用することで、風速  $V$ , 風向  $\phi$  の算出が可能となる。

今後更に風力発電を普及・拡大させるためには、風力発電設備の電力脈動を抑え、出力を安定に制御することが重要である。この装置によって風車前方の風向風速を早く正確に計測することにより、風車の効率改善のみならず、風車出力の予測、翼系制御に伴う出力脈動抑制風車制御が可能となるため、ハイブリッド発電など今後の風力発電設備導入拡大に寄与できると考える。

### 3. ミニ水力発電システム

#### 3.1 ミニ水力発電システムの特長

河川だけではなく、上下水道や工場排水設備などでの有休落差を活用したミニ水力が注目されている。これは100kW前後(10kW~200kW程度)の容量を持つ水車を標準化したもので、以下にミニ水力の特長を示す。

##### (1) 容易な据付けが実現可能

水車、発電機が一体化(又は同一ベースに設置)されており、小型トラックなどで移動、荷降ろし後すぐに据付けが可能、据付けもほぼ1日で完了する。

##### (2) 保守の簡素化を実現

原則的にメンテナンスフリーを実現している。ただし、可動部分の定期的な部品交換、給油などの保守は必要である。

##### (3) 容易な運転、幅広い運用を実現

単純な起動停止操作で運用が可能である。また、所内負

荷対応、系統連系対応、単独運転対応など幅広い適用が可能である。

#### (4) 経済的な電源システムを提案

標準設計により機器レベルの価格を大幅に低減している。それに加えて、土木建設工事について費用を抑制する提案を行い、経済的な価格を実現している。

#### 3.2 適用水車の仕様

水車の型式はマイクロ水車、水中タービン、ポンプ逆転水車の3種類を標準としており、幅広い落差での選定が可能となる。

図4に、各水車の流量と落差をパラメータにした選定表を示す。また、表1に、各水車の仕様一覧を示す。

標準システムとして

- 所内(構内)負荷対応(低圧連系逆潮流なし)
- 系統連系対応(高圧系統連系)

の2種類が選択できる。

#### 3.3 適用事例の紹介

ミニ水力発電システムの適用事例として、2002年3月に神戸市湊川ポンプ場に納入したプラントを紹介する。

- 落差：65m
- 使用水量：0.185m<sup>3</sup>/s

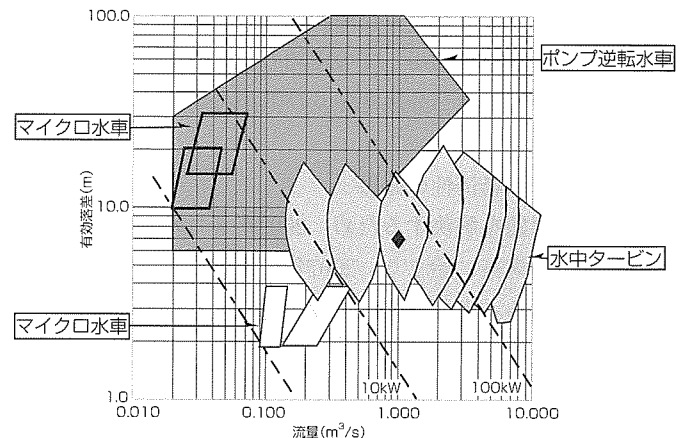


図4. 水車選定表

表1. ミニ水力水車の仕様一覧

項目	マイクロ水車	水中タービン	ポンプ逆転水車
構造	パイプ to パイプ接続 水車発電機付きベルト駆動	配管収納(水車発電機一体型)	汎用ポンプを逆転し利用
価格	安価(ただし、容量が小さいため、kW当たりの単価は割高)	安価(従来型式の50%以下)	同左
流量変動への対応	流量に応じた出力(必要最小限の機能とし、シンプルなシステムを実現)	同左	同左
回転速度	高速タイプ (PHP型500~1,000, HF型2,000~3,000)	500~1,000min <sup>-1</sup> (タイプによって増速機設置)	同左
保守点検	容易(駆動部チェック、消耗品交換)	容易(駆動部チェック、消耗品交換) 10年目にオーバーホール要	同左
有効落差 (m)	10~30	2.8~20	6~80
水車出力	1~10	10~500以上	10~500
流量 (m <sup>3</sup> /s)	0.03~0.35	0.4~10	0.02~1以上
据付け	容易(水車、発電機一体ベースをアンカー打ち)	容易(水車発電機を一体としてパイプに収納)	容易(水車、発電機一体ベースをアンカー打ち)

- 定格出力：85kW
- 水車：横軸フランシス水車(流量制御要のため)
- 発電機：横軸誘導発電機

ここは、市北部から市街地に流れ込む下水処理水を使ったミニ水力発電システムでポンプ場の電力を賄うとともに、余った電力は売電される。CO<sub>2</sub>削減量は年間250tで、原油に換算すると18リットル缶で約4,720缶の削減となる。

このような自治体の上下水道設備へのミニ水力(図5)導入を今後とも進めていく考えである。

#### 4. マイクログリッド

従来の大型集中電源システムだけではなく複数の新エネルギー電源、複数の需要家を想定し、そこでの安定供給かつ電力会社の系統との整合性を図れば、今後の新エネルギーの広い普及が可能になると考えられる。当社は、この“特定区域内で系統に悪影響を与えない安定した需給システムの構築”を目指して、NEDOの委託研究として、青森県八戸市、(株)三菱総合研究所と「新エネルギーによる分散型エネルギー供給システム」の実証研究を開始した。このマイクログリッド導入に関しては、以下の課題が挙げられる。

- (1) 電力供給等の信頼性、電力品質の確保
- (2) 負荷追従を前提として自然状況に発電量が左右される自然エネルギーを利用する際の需給バランスの確保
- (3) 異なる特性を持つ分散電源及び熱源の組合せによる安定運転
- (4) システムの経済性の確保

これらの課題を解決するため、2003年8月からの実証試験のシステム構築に始まり、2007年の研究総括まで研究を行う予定である。実証研究区域は、青森県八戸市の東部終末処理場、八戸市庁舎、八戸市立小学校(2校)、中学校

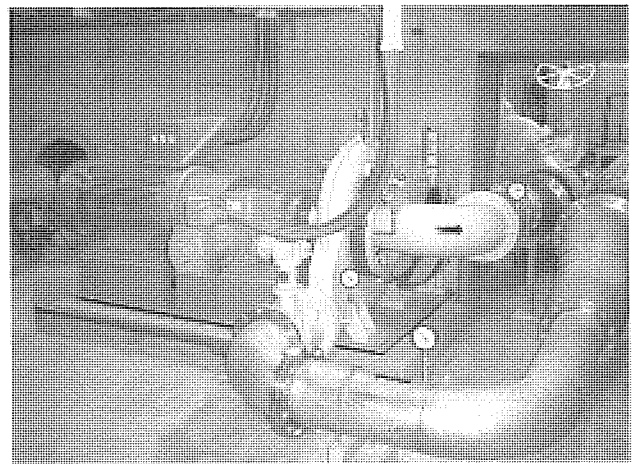


図5. ポンプ場納めミニ水力

(2校)、八戸圏域水道企業団の各施設及びこれらを結ぶ自営線で形成されるエリアである。

実証研究の効果は大きく以下の3つと考える。

- 新エネルギーの更なる普及
- 循環型社会形成への貢献
- 我が国のエネルギー分野における技術力のPR

この実証研究の全体システム構成を要旨ページの図に示す。

#### 5. むすび

地球温暖化などの環境問題、助成制度の充実、電力規制緩和、リサイクルの義務化などの追い風を受け、新エネルギー、再生可能エネルギーによる発電プラントへの期待は更に高まると思われる。また“環境”と“エネルギー”のバランスのとれた社会形成は後世に対する我々の重要な使命であり、今後とも循環型社会の実現に向け努力していく所存である。

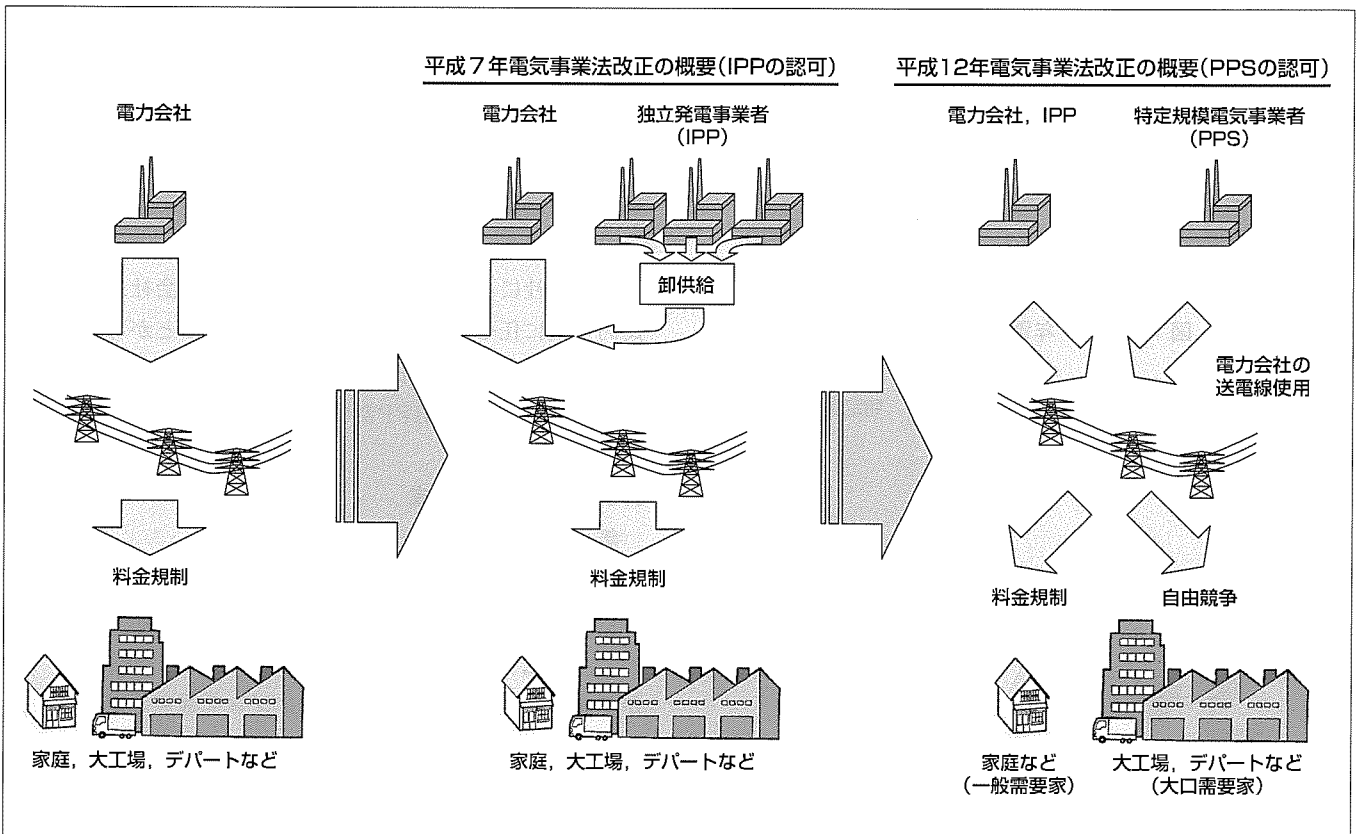
# PPS・IPPへの取り組み

## 要旨

我が国では、平成7年に発電部門への新規参入拡大を目的とした電気事業法の改正により、電力会社以外の一般企業でも独立系発電事業者(Independent Power Producer: IPP)として一般電気事業者(10電力会社)へ電力の卸供給が行えるようになった。さらに平成12年の電気事業法の改正から、特定規模電気事業者(Power Producer and Supplier: PPS)が大口需用家(使用規模が2,000kW以上で2万V以上の特別高圧線路から受電)に電力会社に託送料金を支払って対象需要家へ電力を供給することができるようになった。併せて、その対象需要家は、PPSと自由に契約を結び電力

会社の送電線を利用してPPSから電力供給を受けることが可能となった。PPSの参入形態は特定規模電気事業に参入する以前から自社グループ内に自家発電設備を持っていた企業や自家発電設備を持たない企業など様々であるが、PPSによる発電所建設計画は今後活発化されるものと考えられる。

本稿では、電力自由化の流れを背景に、三菱電機のPPSに対する発電所建設計画への取り組みや、離島IPP発電所の建設計画概要について述べる。



### 平成7年電気事業法改正

事業者に市場への参画機会を拡大し発電市場での競争を促進することを目的として、電力会社の電源調達に入札制度を導入し、IPPから電力会社への卸供給を制度化した。

### 平成12年電気事業法改正

経済構造改革の一環として、大口需要家への電力小売供給を自由化した。電力会社が維持・運用する送電設備を介して大口需要家に対して電力の供給を行える。

\*電力・社会システム事業所

1. ま え が き

我が国では、平成7年に発電部門への新規参入拡大を目的とした電気事業法の改正(図1)により、電力会社以外の一般企業でも独立系発電事業者(IPP)として一般電気事業者(10電力会社)へ電力の卸供給が行えるようになった。さらに平成12年の電気事業法の改正(図2)から特定規模電気事業者(PPS)が大口需用家(使用規模が2,000kW以上で2万V以上の特別高圧線路から受電)に電力会社に託送料金を支払って対象需要家へ電力を供給することができるようになった。併せて、その対象需要家は、PPSと自由に契約を結び電力会社の送電線を利用してPPSから電力供給を受けることが可能となった。PPSの参入形態は特定規模電気

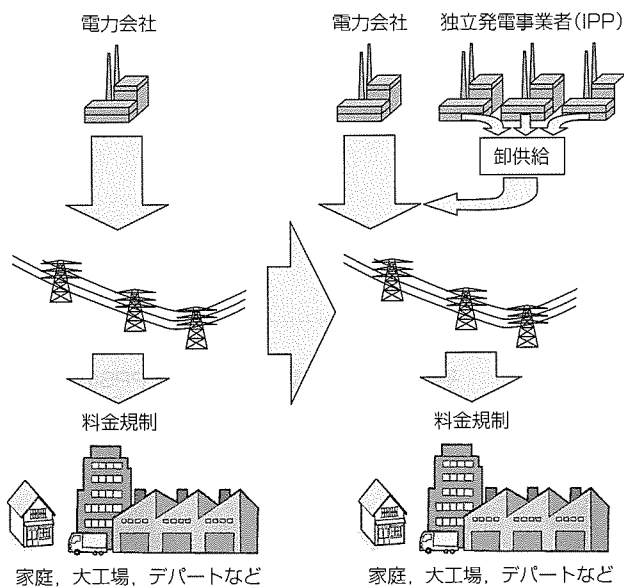


図1. 平成7年電気事業法改正

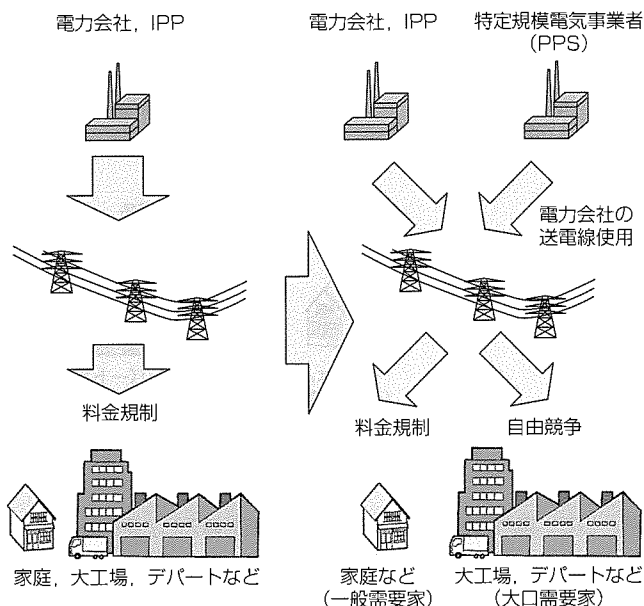


図2. 平成12年電気事業法改正

事業に参入する以前から自社グループ内に自家発電設備を持っていた企業や自家発電設備を持たない企業など様々であるが、PPSによる発電所建設計画は今後活性化されるものと考えられる。

本稿では、電力自由化の流れを背景に、当社のPPSに対する発電所建設計画への取り組みや、離島IPP発電所の建設計画概要について述べる。

(1) 平成7年電気事業法改正

事業者が市場への参画機会を拡大し発電市場での競争を促進することを目的として、電力会社の電源調達に入札制度を導入し、IPPから電力会社への卸供給を制度化した。

(2) 平成12年電気事業法改正

経済構造改革の一環として、大口需要家への電力小売供給を自由化した。電力会社が維持・運用する送電設備を介して大口需要家に対して電力の供給を行える。

2. IPPに対する取り組み

2.1 背景

電力会社以外の一般民間企業が発電事業に参入できるようになり、電力会社は今後必要となる電力を民間から募集し、各企業が入札した後に、その落札企業が電力会社に対して電力を卸供給するようにしている。平成7年改正時は、インフラ・技術等を多く持つ企業の落札が目立っていたが、近年では、電力会社による募集自体が減少しているように思われる。一方で現在離島での電気需要の増加は進むものの、その離島への電力供給コストは、燃料の輸送や人員の配置など離島としての特性上、販売コストよりも高めになりがちである。

電力会社にとっては、電気の供給を電力会社以外の一般民間企業に任せれば設備投資を抑制することが可能となるので、IPPを採用して低コストを達成することが望まれる。ここでは、この離島IPP計画に対する当社の取り組みを主に述べる。

2.2 プラントの構成

離島という特徴から、

- 熱効率が高く中小発電容量であること(1MW級)
- 輸送上、燃料が液体であること(A重油)
- 運転しやすく起動停止が容易であること

が望まれるため、ディーゼルエンジンを選定した。一般的なディーゼルエンジンを使用したシステム構成を図3に示

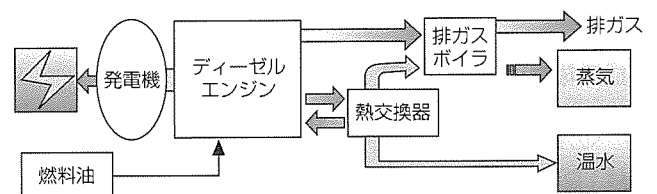


図3. ディーゼルエンジンプラントシステム構成

す。排ガス回収ボイラを採用すれば、蒸気・温水の利用で廃熱回収し、総合効率78%までなる省エネルギーシステムの構築が可能となる。

### 2.3 システムの構成

離島であるがために発電コストが高めになりがちである故、運転コストを低減することが重要な課題である。そこで、電力会社運転計画に基づいた出力調整機能を持たせつつこれを遠隔から制御／監視を実施することで、IPP発電所内の非常駐化を図り省人化を達成していく。

この制御／監視システム構成を図4に示すが、このIPP発電所の出力調整操作を島内監視所から可能にすることで、電力会社のニーズに沿った発電所の形態が実現できる。

### 2.4 システムの特長と取り組み

上記システムの特長を以下に述べる

- (1) 監視については、当社では既にESS(Energy Solution Service)事業として運用しているリモート監視センターを活用して24時間遠隔監視を実施するため、常時駐在の体制はとらず、島内メンテナンス要員による1日に数回程度の巡視で十分となり、省力化によってIPP本来の目的である低コスト電源が実現できる。
- (2) 離島特有の系統変動に対しても、電力会社と協調しながらIPP発電所側でも変動を吸収できるよう、運転システムに出力調整機能を持たせ、電力会社からの発電出力指令により発電所系統安定への迅速な対応ができる設備としている。
- (3) 既設発電所に島内監視所を設置しているためにIPP発電所の運転状態が把握でき、異常時の既設発電所での早期対応が可能となる。

### 2.5 今後の課題と展望

離島での電気需要の増加や設備のリプレースを考慮する

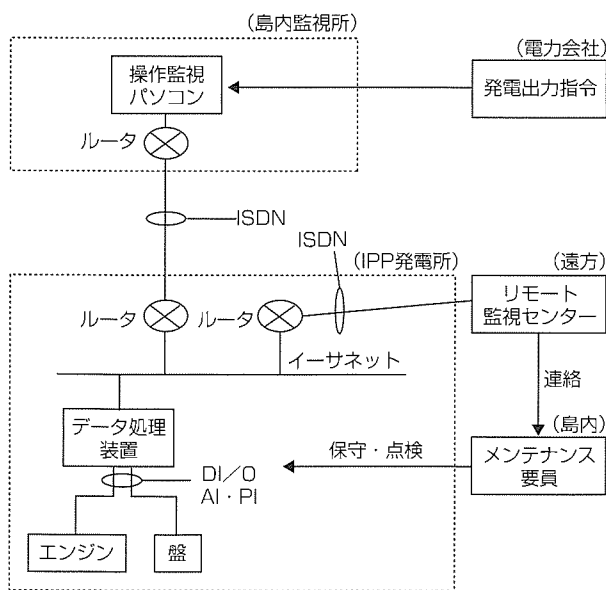


図4. 制御／監視システム構成

と、将来的には離島内複数発電所の遠隔監視／操作を実施し、自動化の推進によって離島内での発電に掛かる発電コストを軽減させ、さらには高齢化や人手不足などに対応するための省人化にも寄与していきたい。

また、離島の場合は、トラブル発生時の迅速な現地対応の実現が不可欠となるため、現地対応者の選定と保守体制の検討が重要な要素となる。

## 3. PPSに対する取り組み

### 3.1 背景

特定規模電気事業者による電源の調達に対して自家発電設備の余剰電力を買い取り大口需要家に供給しているが、この余剰電力では需要に対する供給の限界がある。需要と供給の同時同量制御要求を満足するためにも、自前の発電所建設計画が活発化されている。

### 3.2 プラントの構成

PPSとしての自由競争、同時同量制御という特徴から、

- 短期間で建設が完了すること
- 高効率であること
- 起動時間が短く負荷追従が容易であること

が望まれるため、ガスタービンコンバインドサイクル発電システムを選定した。一般的なガスタービンコンバインドサイクル発電システムの構成を図5に示す。ガスタービンで発電機を駆動するとともに、ガスタービンの廃熱を回収して、蒸気を発生させ蒸気タービンを駆動する高い熱効率を実現した発電システムである。高効率ガスタービン、大容量排熱回収ボイラ(HRSG)、そして蒸気タービンが、従来の大型火力を上回る高い熱効率を実現する。また、ガスタービン用燃料はガス燃料を使用することが多いため、環境に優しいシステムである。

### 3.3 プラント計画の特長

プラント計画の特長を以下に述べる。

- (1) 2 on 1コンバインドサイクル

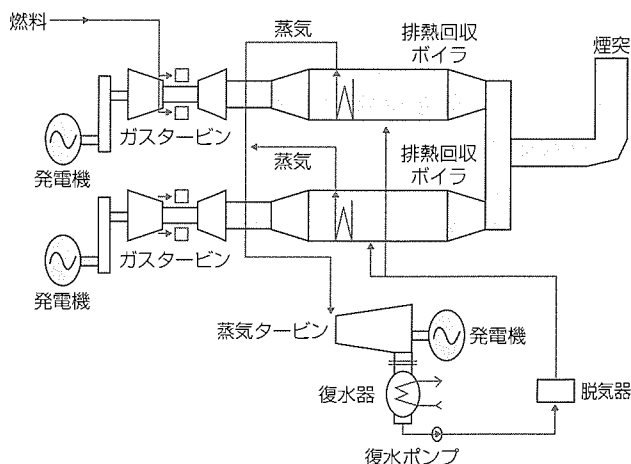


図5. コンバインドサイクルプラント構成

プラントの要求仕様(出力と効率)をベースに、標準化されたガスタービン容量と蒸気タービン容量との組合せのバランスから、2 on 1の100MW級コンバインドシステムを採用した。

(2) 吸気冷却方式の採用

ガスタービンは、その最大出力が大気温度に左右されるという特徴を持っている。大気温度が上昇すると空気の比重量が減少しガスタービン吸込重量流量が減少するため、大気温度の上昇とともに出力が減少することになる。したがって、大気温度の高い夏季の出力を増加させるために、ガスタービンの吸気を冷却することによって出力を増加させる吸気冷却方式を採用した。ガスタービンの大気温度と出力の関係を図6に示す。

(3) ガスタービンや蒸気タービンに屋外設置形を採用し、建屋建設費用を低減した。

近年における発電所設置計画をする場合は、特に近隣への環境負荷への影響を最小限にするように配慮することが必要である。今回のプラント計画に当たり環境へ配慮した点について以下に述べる。

3.4 環境負荷への配慮

平成11年に環境影響評価法が全面施行され、すべての都道府県・政令指定都市で環境アセスメントに関する条例が制定されている。発電容量によってアセスメントの要否が定められてはいるものの、自主的な取り組みが必要である。

(1) 騒音対策

騒音シミュレーションプログラムを導入してプラント配置計画を含めた騒音検討を実施した。

低騒音対策を実施した機器を採用するとともに、各機器の騒音が敷地境界でどの程度の騒音になるか配置を見直しながら防音壁の設置と併せてシミュレーション計算を繰り返した結果、敷地境界での騒音レベルを規制値内に収めた。この騒音シミュレーションの結果を図7に示す。

(2) 空冷コンデンサの適用

コンバインドサイクルプラントの特長の一つに温排水量が少ないことが挙げられるが、さらに、蒸気タービンの排気蒸気凝縮用として空冷コンデンサを適用するので、温排水を排出せず、環境への影響も極少となる。

(3) 排水及び補給水の低減

(a) HRSGのブローダウン用冷却水は高温のため、冷却水が必要である。そこで、冷却塔ブローダウン水をこの冷却源に活用することにより排水・補給水量を低減する。

(b) 吸気冷却ドレンを冷却塔に導き冷却塔への補給水の一部として活用することにより、補給水量を低減する。

(4) 緑化施設

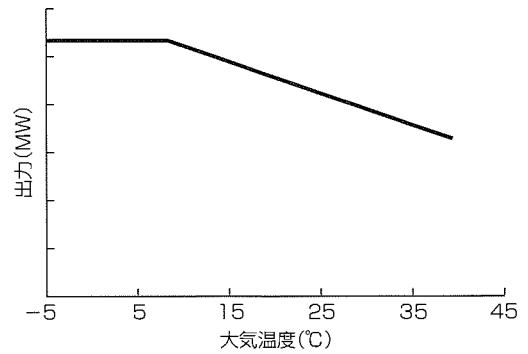


図6. 大気温度特性

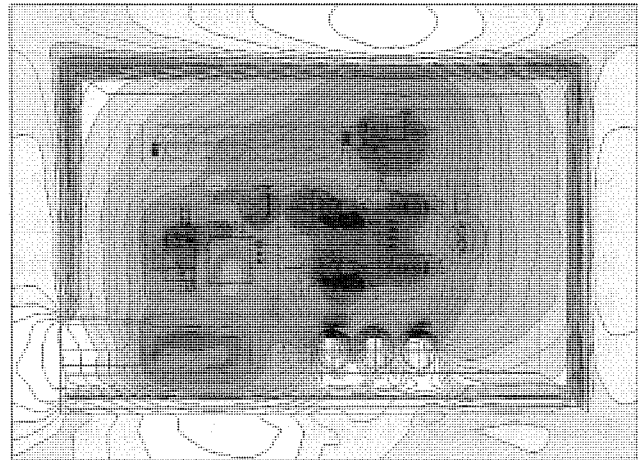


図7. 騒音シミュレーション

緑化計画は地域緑化基準(緑化率と植栽密度等)を満足するように計画する必要がある。今回の計画では騒音対策として防音壁を設置するが、この防音壁の外周部を緑化することにより地域と融和する植栽配置計画とした。

(5) ゼロエミッション

掘削土を緑化の部分にあてがい、再利用することにより、発電所建設敷地外へ排出せずゼロエミッションを実現した。コンクリート瓦礫(がれき)についても細かく裁断し構内砂利としての活用を推進する。

3.5 今後の課題と展望

PPSによる“競争力のある電源確保”は、今後更に大きな発展がある分野であると考えられる。同時同量制御の多様化への対応も含め、今回のPPS計画を基に競争力のある発電所建設の達成につなげていきたい。

4. む す び

今後の電力自由化制度の見通しは不透明なところもあるが、2004年に“高圧”，2007年には“低圧・電灯”まで自由化となることを見込まれており、今回の計画で得られた知見を基にPPS/IPPの更なる事業展開に寄与していきたい。



# コジェネレーションシステム

小鍛治 稔\*  
田中武司\*  
左野祐二\*

## 要旨

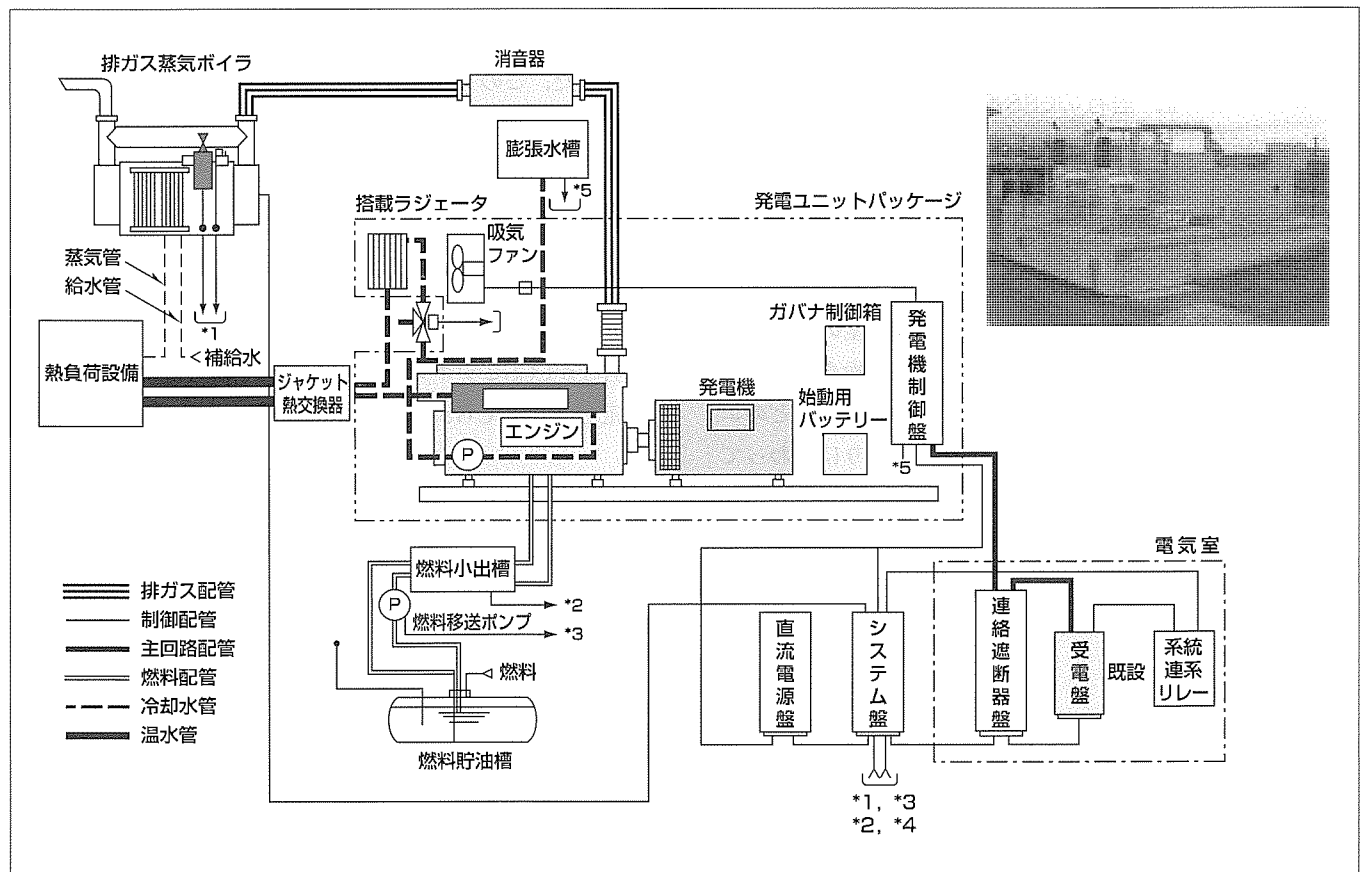
エネルギー分野において、2つの大きな流れが一段と加速している。

1つは地球環境保全に対する取り組みであり、もう1つは自由化の進展である。今や各企業、団体などにおける省エネルギー、殊にCO<sub>2</sub>排出削減に向けた動きは、日に日に注力度合いが増してきている。さらに、電力とガスで進行中の段階的自由化は、環境保全への動きとあいまって、その目標年度に向けた市場の流れを加速している。

これらの流れから生じる時代の要請に対し、三菱電機は、コジェネレーションシステム(CGS)を主体とした熱電併給システムやその熱源を利用するシステムを主体に、エネル

ギーに関するトータルエンジニアリングにより、工場やビルなどの省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減に向けてエネルギーソリューションサービス(ESS)事業で正面から取り組んでいる。この取り組みに伴い、ESS事業に本格的に参画した2001年から当社が納入したCGSの台数は年々増加しており、今後ますます、ESS事業の拡大に期待が寄せられている。

このような状況の中、本稿では、当社が展開しているESS事業内容の紹介と導入事例、CGSの原動機別特徴と標準パッケージの紹介、及び燃料の供給を含めた保守・点検サービスについて述べる。



## コジェネレーションシステム(CGS)の導入例

熱回収として排ガス蒸気ボイラで蒸気回収するCGSの構成例と現地写真である。24時間遠隔監視センターで運転状態を監視し、日報・月報・年報などの自動作成等を行う。また、異常発生時のフィールドエンジニア即応体制とリンクしている。

1. ま え が き

今、エネルギー分野において、我々を取り巻く2つの大きな流れが目標に向かって一段と加速している様子が如実に感ぜられる。その1つは地球環境保全に対する取り組みである。1997年12月地球温暖化防止の京都議定書採択以来、2008年から2012年の間に温室効果ガスを1990年度比6%削減する目標に向けて、省エネルギー法の改正・強化を始めとした各種活動が推進されている。当初は目標の高さへの戸惑いも見られたが、今や各企業、団体、家庭における省エネルギーの必要性が浸透してきた感があり、殊に各企業の省エネルギー、殊にCO<sub>2</sub>排出削減に向けた動きは、日に日に注力の度合いが増してきている。もう1つは自由化の進展である。既に電力においては特別高圧20kV以上、消費電力2,000kW・h以上の取引が自由化されているが、契約件数が特別高圧の90倍にも当たる高圧6kV、消費電力500kW・h以上の自由化が2004年に予定されている。さらに、50万m<sup>3</sup>/年超のガス供給の自由化も予定され、上記環境保全への動きとあいまって、目標年度に向けた市場の流れを加速している。これらの流れから生じる時代の要請に対し、当社は、ESS事業で正面から取り組んでいる。以下、当社のESS事業での提案と、その一角であるコジェネレーション技術について述べる。

2. 当社のESS事業展開

2.1 ESS事業内容

概要を図1に示す。当社ESS事業は、総合エネルギーエンジニアリング及びオンサイト熱電併給サービスを含む総合エネルギーサービスにより、顧客のパートナーとして省エネルギー、エネルギーコスト削減、環境保全のニーズにこたえていくことを目指している。当社は、総合電機メーカーとして、発電、CGS、電力流通、冷熱・空調などのエネルギー関連の設備・システム・プラント作りに携わってきた。

当社ESS事業は、これらのエネルギー設備技術をベースに、総合エネルギーエンジニアリング&サービス事業を目

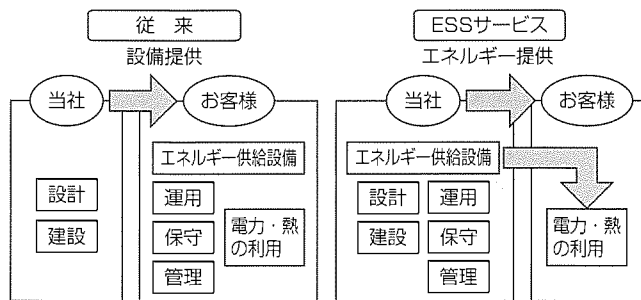


図1. ESS事業の概要

指している。

(1) 総合エネルギーエンジニアリング

各種事業で培った業種ごとの業務・製造プロセスノウハウをベースに、顧客の施設・工場全体のエネルギー最適化の観点から一次エネルギー(電気、蒸気、水、空気)、二次エネルギー(空調、冷熱設備、動力、光熱等)の省エネルギー施策とその効果を提案し、契約後は工事施工まで一括請け負う。

(2) 総合エネルギーサービス

当社でエネルギー設備に対するファイナンス・燃料調達・運転保守を一括で請け負い、顧客はエネルギー設備投資をすることなく省エネルギー、エネルギーコスト削減を享受できるサービスである。当社のこの総合エネルギーサービス事業は米国から起きたESCO事業の概念をより拡張・具体化したサービス事業であり、顧客のニーズに合わせてオンサイト熱電併給サービスやエネルギーセンター運用サービス等のレパートリーをそろえている。

2.2 CGS導入事例

ショッピングセンターへのオンサイト熱電併給サービスの導入事例(図2)を紹介する。CGSとしてガスエンジンを使用し、排熱を空調用熱源(吸収式冷凍機)に利用することで省エネルギーとエネルギーコスト削減を図り、また、受電設備費用の軽減(特高回避)及び電力負荷平準化に寄与する。また、このシステムはリモート監視システムにより運転・監視されており、日報・月報・年報などの自動作成、保守履歴・計画管理機能を持ち、また、異常発生時のフィールドエンジニア即応体制とリンクしている。

3. CGS発電システム

3.1 当社CGSの納入実績

当社がCGSビジネスを始めた1981年から2003年9月納入予定分までのCGSの納入実績を図3に示す。本格的に

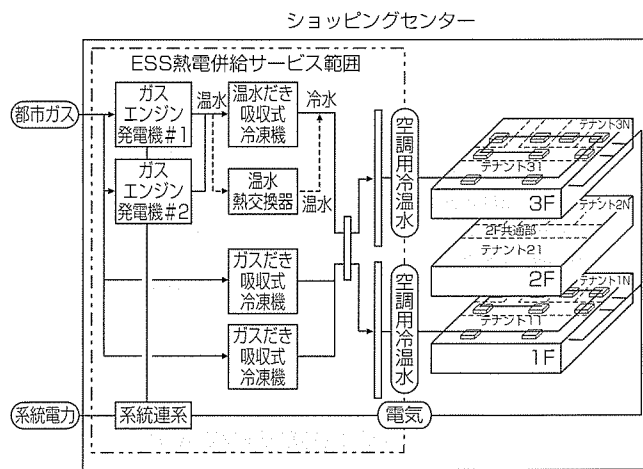


図2. CGSのショッピングセンターの導入事例

ESCO事業に参画した2001年から納入台数が増え、以降も増加傾向となっている。

### 3.2 当社CGSのラインアップ

当社が提供するCGSは、原動機としてディーゼルエンジン(DE)、ガスエンジン(GE)、ガスタービン(GT)のいずれについても対応可能で、表1にCGSのラインアップと特徴を示す。DEについては、1,000kW未満をオールマウント式パッケージに収納した設備を標準化しており、現地工事や輸送の簡略化、配置スペースの縮小を図っている。また、GEやGTについても小容量機についてパッケージを適用している。一般的にGE、DEは電力使用量が比較的小さい施設、GTは電力使用量が大きい施設に導入されるが、燃料の調達条件や周囲の環境等により導入が決定される。

### 3.3 CGSの構成例

CGSは、主にエンジン、発電機、制御盤を収納した発電パッケージと消音器、熱回収設備で構成される。熱回収の

方式としてエンジンのジャケットから熱交換器又は温水ボイラを通して温水を回収する方式、さらに温水から吸収式冷凍機等により冷温水を回収する方式、又はエンジンの排気ガスから蒸気ボイラを通して蒸気を回収するシステムが代表的であるが、実際には客先の設備に合わせたシステムで構成する。導入事例として、食品工場向けに納めた温水+蒸気回収システムのCGS構成例を図4に示す。この場合、温水は蒸気ボイラの給水の加温用として使用しており、このときの納入仕様を表2に示す。

### 3.4 CGSコントローラの高機能化

従来のCGSコントローラは、並列運転制御機能を備えていないため、複数の発電機で構成されるシステムにおいては、図5のように別途シーケンサを設けていたが、システムの簡略化とコストダウンをねらう目的で次機コントローラ(MELGIC-IV)の開発を進めており、年内中には市場投入する予定である。

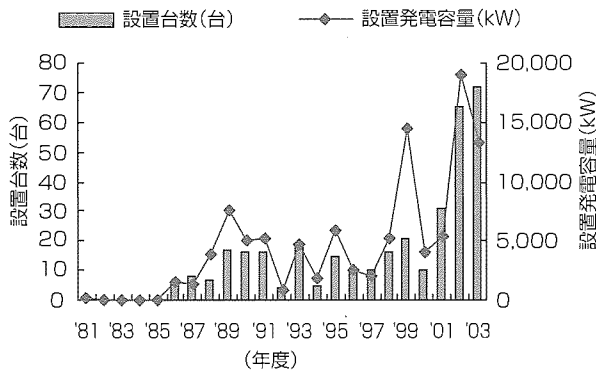


図3. CGSの納入実績

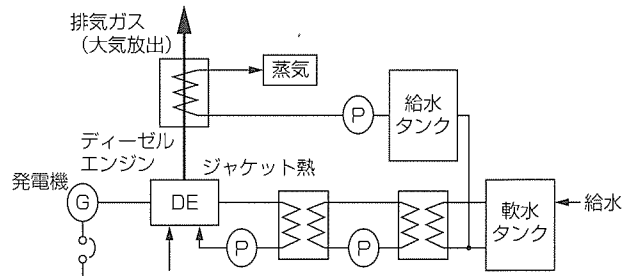


図4. CGSのシステム構成例

表1. 原動機別CGSの特徴

項目	機種	原動機別CGSの特徴			
		ディーゼルエンジン	ガスエンジン		ガスタービン
			三元触媒付き	希薄燃焼	
出力範囲		~10,000kW	~1,500kW	~5,000kW	500~10,000kW
燃料		灯油・軽油・A重油・C重油	13Aガス・消化ガス		灯油・軽油・A重油・13Aガス
発電効率		35~44%	30~35%	35~40%	20~30%
回収率	排ガス	10~18%	15~22%	15~22%	40~55%
	ジャケット	12~20%	20~27%	18~25%	-
総合効率		65~80%	75~80%	65~75%	65~80%
排ガス温度		300~400℃	550~650℃	300~400℃	500~550℃
ジャケット水温度		80~90℃	80~90℃	80~90℃	-
排熱回収		温水, 蒸気	温水, 蒸気		蒸気
騒音		防音カバーなしで95~105dB(A) 防音カバー付きで75~85dB(A)	防音カバーなしで95~105dB(A) 防音カバー付きで75~85dB(A)		高周波域騒音が高いため防音カバーが必要 防音カバー付きで75~85dB(A)
標準パッケージ型		185~800kWクラスのコジェネレーション, モノジェネレーション 標準騒音: 75dB	1,000kW以下のコジェネレーション, モノジェネレーション 標準騒音: 75dB		-
NOx低減対策 (0%O <sub>2</sub> 換算値)		1. エマルジョン燃料(A重油+水)適用 NOx, 300ppm以下 機種250kW, 500kW 2. 脱硝設備適用	1. 脱硝設備適用		1. 水噴射 2. 脱硝設備適用

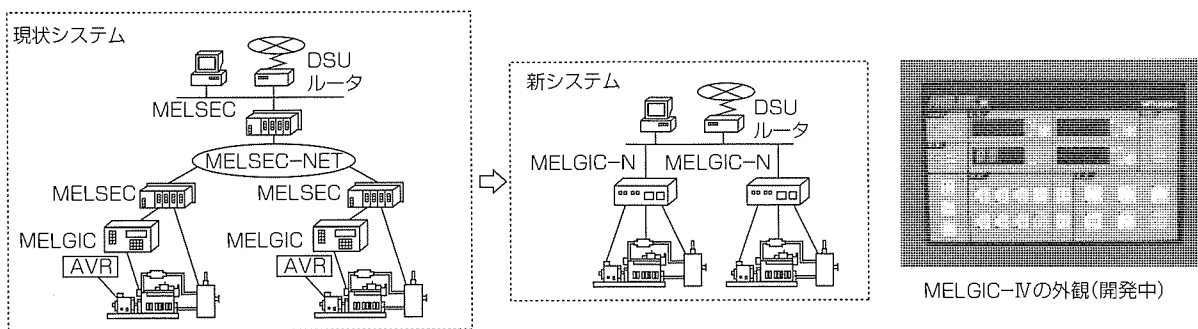


図5. CGSコントローラの新旧システム比較

表2. CGSの納入仕様

発電機容量	580kW × 2台(発電効率37.8%)	
電圧	三相 6.6kV 60Hz	
発電機	形式	CFC(円筒回転界磁形) ブラシレス励磁
	極数	4P(1,800r/min)
エンジン	形式	ディーゼルエンジン
	使用燃料	A重油
熱回収	形態	エンジン排気ガス+ジャケット熱
	熱利用	工場内業務用蒸気
	熱量	964,000kcal/h(熱回収効率37%)
総合エネルギー効率	75%	

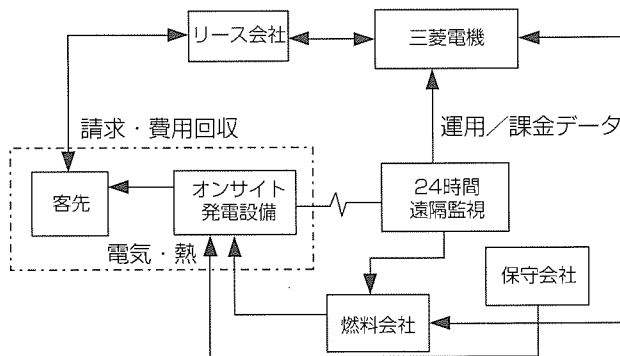


図6. ESS事業のサービス形態

MELGIC-IVの主な追加機能は次のとおりである。

- (1) 複数台運転に対応させるために発電機とエンジンごとの並列運転制御機能・通信機能を追加
- (2) 業界標準のネットワーク、プロトコルへの対応を可能とし、拡張性・柔軟性を向上
- (3) メンテナンス機能強化及び自動試験のサポート機能強化によって試験の自動化率を向上

#### 4. 保守・サービス

##### 4.1 サービス形態

ESSにおけるサービスは、客先の敷地内に発電設備をリース設備として設置し、電気及び熱エネルギーを供給する形態となる。このとき、エネルギー代金は、電気代金+熱エネルギー代金として毎月客先に請求し回収する(図6)。

##### 4.2 サービス内容

###### (1) 設備の運用

発電設備は、無人で、あらかじめ決められた運用スケジュールと客先の負荷条件により、自動で起動停止を行う。このため、遠隔監視により24時間監視センターで異常発生の有無を監視するとともに、監視データにより定期的に燃料を供給し、設備の稼働状態・供給電気量・熱エネルギー

の供給量を把握し客先との契約に基づき自動検針と請求処理を行っている。

###### (2) 設備の保守・点検

保守は、エンジン/ボイラが主体で、遠隔監視により稼働運転時間を把握し定期的実施する。また、吸収式冷凍機を始めとした空調関連設備の保守も実施している。点検には、エンジンオイルを交換するだけの数時間の停止からオーバーホールのような数日間の停止を伴うものがあり、電力の供給が停止した期間を利用して実施する。

###### (3) 燃料供給

燃料供給会社との長期契約により燃料配送センターとタイアップしたスムーズな供給が必要であり、客先の運用負荷状態を把握して計画的に実施している。

### 5. むすび

今後、エネルギー分野においては、環境規制の強化や電力・ガスの規制緩和の拡大、省エネルギーのニーズからますますCGSを中心としたESS事業の拡大が予想される。このニーズに対応するため、当社では、今までの豊富な実績と最新の技術をもって正面から立ち向かっていく所存である。

# 発電所向け監視制御システム

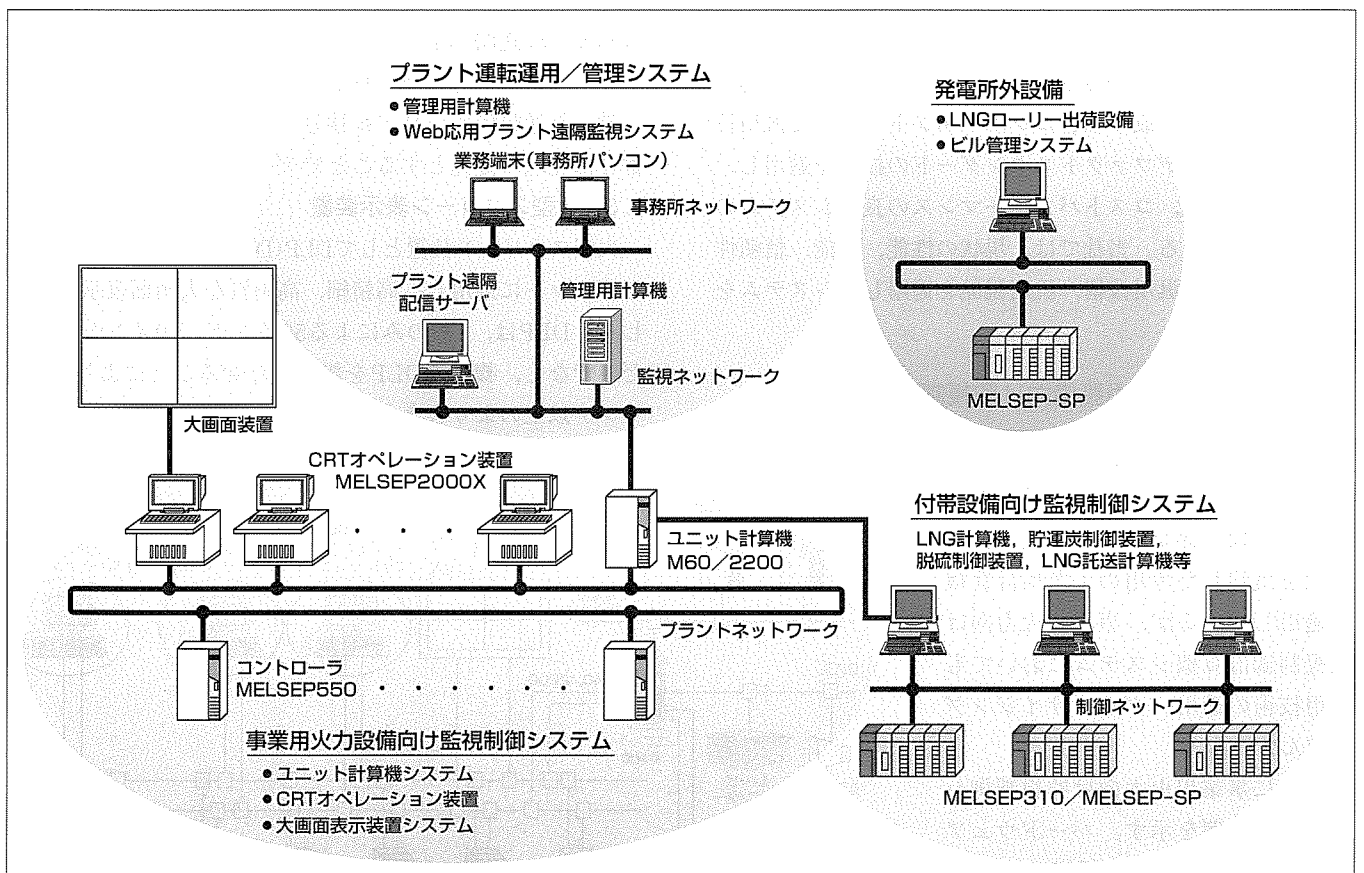
## 要旨

電力市場の規制緩和、電力料金の見直しに対応して、より安いコストの電力が求められており、発電コストや建設コストを削減することが課題となっている。また、発電所向け監視制御システムにおいても同様の課題がある。

最近の汎用技術・業界標準技術の進歩は目覚ましく、三菱電機では、発電所向け監視制御システムとして必要な信頼性を確保した上で、汎用技術による性能向上・機能向上

に取り組んでおり、本稿では、監視制御システムに適用されるMELSEPシリーズを紹介する。

事業用火力向け監視制御システムにはMELSEP2000XとMELSEP550、付帯設備向け監視制御システムにはMELSEP310、付帯設備中小規模向け監視制御システムにはMELSEP-SPといったレパートリーをそろえている。



## 発電所向け監視制御システムのシステム構成

MELSEPシリーズが提供する監視制御システムは、従来の当社専用技術に加え、汎用の技術、汎用の製品を適用した最新のシステムである。適用するプラントの規模、種類により、最適な機種をラインアップしている。

1. ま え が き

電力市場の規制緩和による本格的な電力自由化が始まり、発電事業に対して独立発電事業者の参入や電力小売自由化などにより、より安いコストでの発電が求められている。このため、発電所の監視制御システムの新設・更新においては、従来の信頼性を損なうことなく、よりコストパフォーマンスを重視した最適な監視制御システムが要求されている。当社では、様々なユーザーニーズにこたえるため、発電所向けの監視制御システムに適用する機種シリーズを進めており、大規模から中小規模といったプラントの規模、事業用火力向けから付帯設備向けといった適用システムの種類に応じて、MELSEP2000X, MELSEP550, MELSEP510, MELSEP310, MELSEP-SPのMELSEPシリーズを開発し、発電所の監視制御システムに適用中である。

2. 発電所向け監視制御システムの課題

発電所向け監視制御システムでは、従来、専用の技術、専用の製品を用いて高性能・高信頼性を実現し、ユーザーニーズを満足してきた。しかし、電力自由化に代表される規制緩和の影響により、発電コストのみならず、建設コストを下げ、より低コストで電気を供給しなければならない。このため、専用技術、専用製品だけを用いたシステムだけではなく、監視装置からネットワーク、表示装置、制御装置のシステムを構成する各コンポーネントについて汎用技術、汎用製品、デファクトスタンダードの技術を適用し、高機能、高性能、コストパフォーマンスの良いシステムの提供が課題になる。当社では、現状の性能、機能、信頼性を維持しつつ、汎用技術、汎用製品を適用したシステムを開発した。

3. 事業用火力設備向け監視制御システム

3.1 システムの特長

事業用火力向け監視制御計算機システムでは、高信頼・高性能・長寿命化を実現した専用の工業用計算機を適用しているが、事業用火力向け監視制御計算機システムにおいても汎用技術の適用、ダウンサイジングが進んでいる。

図1に事業用火力向け監視制御システム構成例を示す。ハードウェアは大きく4ブロックに分けられ、ユニット計算機、CRTオペレーション装置、プラントネットワーク、コントローラ(入出力モジュールを含む)で構成される。

システムの特長は、①高信頼性・高リアルタイム性を持つFDDIベースのMELSEP-XネットワークのほかにFastEthernetに準拠したプラントネットワークであるMELSEP-FEネットワークを中・小規模プラント向けにレパトリー化、②大型スクリーン表示装置による大画面での集中監視制御、③CC-Linkを用いたプロセス入出力のリモート分散化による最適な配置、④CRTオペレーション装置にホスト計算機機能を取り込み、仮想ホスト機能によりシステム規模に合わせた最適なシステムを構築することが可能である。

次に、各機能について述べる。

3.2 MELSEP-FEネットワーク

MELSEP-FEネットワークは、FastEthernetに準拠したプラントネットワークである。特長を以下に示す。

(1) 高速な伝送

UDP/IPに準拠したブロードキャスト方式により各装置は100Mbpsの伝送速度を実現

(2) 高い信頼性

伝送媒体にはノイズに強い光ケーブルを使用。ネットワーク及びHUBを二重化し、ネットワークの断線、HUBの故障時にもデータ送受信を継続

図2、図3に、MELSEP-FEネットワークを用いた接続例及び伝送路異常時の動作を示す。

(3) 二重系に対応したプロトコルを実装

データ送信側でシリアル番号を付加し、受信側では同一番号は先取り優先とすることでデータの二重受信を防止

3.3 大型スクリーン表示装置

大型スクリーン装置としてDLP(Digital Light Processing)をプラントに適用し、高精細、高画質な大画面表示を実現した。DLPは、1面のみによる50インチ、70インチの表示だけでなく、複数のDLPを組み合わせることにより、100インチ以上のより大きな画面での監視・制御が可能となっ

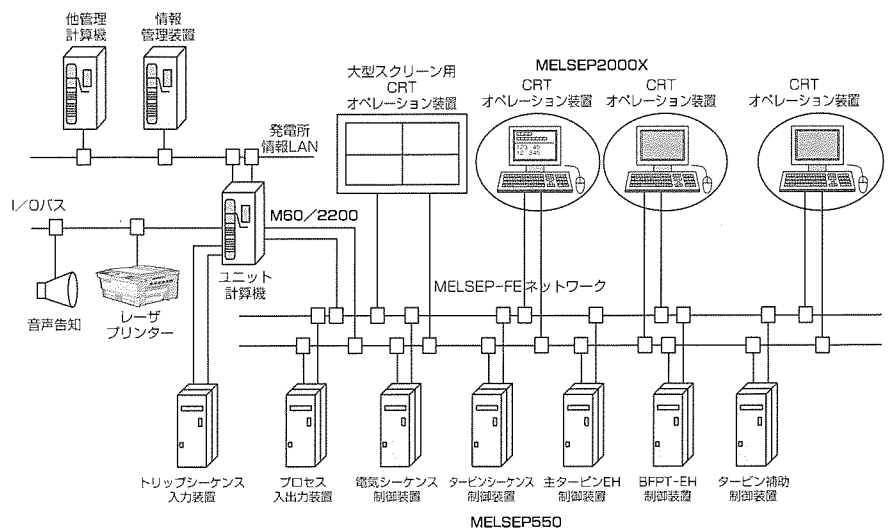


図1. 事業用火力向け監視制御システム構成例

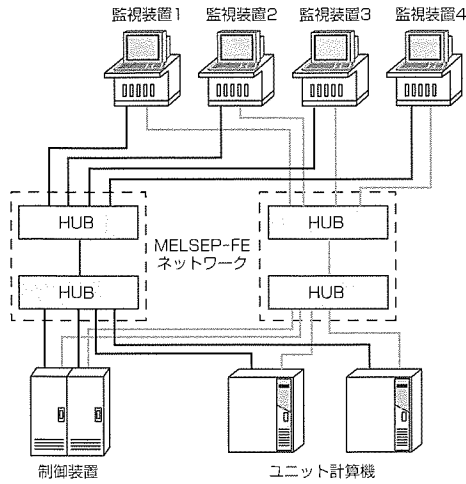


図2. MELSEP-FEネットワークの構成例

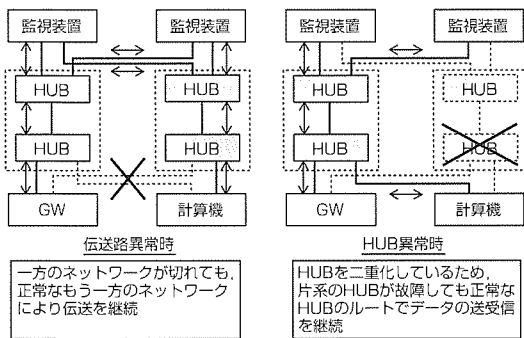


図3. 伝送路異常時のイメージ

た。さらに、従来の監視装置のCRT画面を表示するだけでなく、マウスを用いて直接DLP画面で操作することが可能になり、中央操作室のCRT台数を減らし、物量削減を実現している。図4に大型スクリーン表示装置を示す。

### 3.4 PIOのリモート分散化

PIOモジュールは、フィールドネットワークであるCC-Linkによる接続方式を採用し、現場分散配置を可能にした。このモジュールの特長を以下に、図5にPIOモジュールの外観を示す。

- PIOカードと外部端子台との一体化
- PIOバスレシーバ機能をPIOカードに搭載
- PIOシャーシレス化
- 活線挿抜可能(オンラインでの交換)

## 4. 火力付帯設備向け監視制御システム

### 4.1 システムの特長

近年、発電プラントの付帯設備向け監視制御システム分野では、従来からある工業用計算機に比べ基本性能面で引けをとらない汎用機器の適用が盛んになってきている。

MELSEP310では、監視装置に汎用機器を採用し、システムのコスト低減を図っている。システムの特長として、①監視装置は汎用パソコン又は工業用パソコンを適用し、

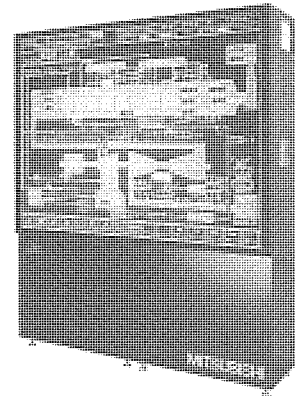


図4. 大型スクリーン表示装置

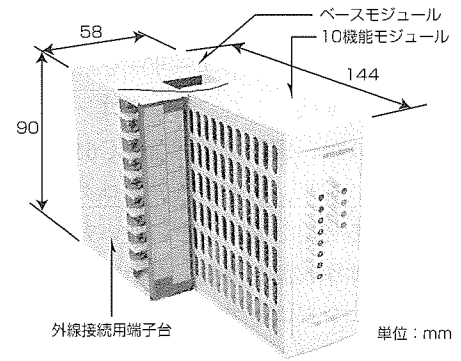


図5. MELSEP550 PIOモジュール

Windows上に標準監視制御ソフトウェアを構築、②制御ネットワークは100Mbpsの伝送速度を持つFastEthernetに準拠し、リアルタイム通信機能・高信頼性化機能を追加したネットワークを採用、③コントローラは従来の高速性・高リアルタイム性・高信頼性・高保守性を維持した専用のコントローラを適用、④システム全体のエンジニアリング環境をサポートした統合エンジニアリング環境を適用したことである。

### 4.2 監視装置

監視装置は汎用パソコン又は工業用パソコンを適用し、Windows上に標準監視制御ソフトウェアを構築したが、全面的にオブジェクト指向技術を適用するとともにスタンドアロン型システム、サーバ/クライアント型システムなど柔軟性・拡張性を持っている。また、OPC、ActiveX技術を適用し、他社装置との接続やイントラネットシステム、マルチメディアシステムとの統合機能を提供している。

図6にMELSEP310の監視装置を示す。

### 4.3 エンジニアリング環境

プラントエンジニアリングコストの削減を目指し、プラントのエンジニアリングをトータルに支援する統合エンジニアリング環境を提供する。これまでエンジニアリングデータは各装置用に別々に作成・管理されることが多かったが、今回、データを汎用のデータベースを用いてシステム側で一元管理した。この結果、定義した入出力データを制

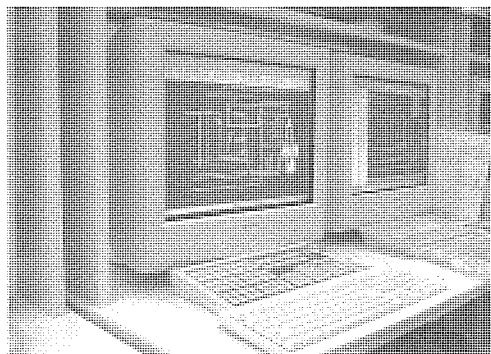


図 6. MELSEP310の監視装置

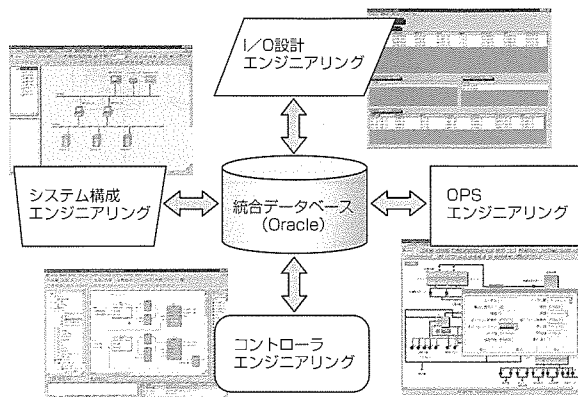


図 7. 統合エンジニアリング環境の概念

御ロジックのデータ，系統図等の画面表示データとして容易に使用可能となり，複数のデータの相互関係を意識し，個別に管理する煩わしさからユーザーを解放し，エンジニアリング作業効率が向上した。また，コントローラのプログラミングツールは，国際標準言語IEC61131-3の5言語をサポートした。従来，制御装置のプログラミングには各社独自のツールを使用し適用ごとに使い方を新たに習得していたが，国際標準言語を使用したため，国際標準言語の使用経験のあるエンジニアであれば，だれでもこのプログラミングツールを教育なしにIECの標準作法に従い使用できる。また，5言語の中のStructured Textを使用することにより，従来コントローラが不得意とした計算処理をコントローラで容易に実現することが可能となった。図7にエンジニアリング環境の概念を示す。

## 5. 火力付帯設備中小規模向け監視制御システム

### 5.1 システムの特長

中小規模向け監視制御システムでは，他のプラント機器との接続性向上，コストパフォーマンス向上を目指し，汎用PLC(Programmable Logic Controller)を使用したMELSEP-SPを適用している。システムの特長として，①コントローラには汎用PLCの分野でトップシェアを誇るMELSECの最新機種であるQシリーズを適用，②制御ネットワークは，他の汎用制御機器との接続を可能にするため，一般計装分野で使用されているMELSECNET/Hを使用，③標準監視制御ソフトウェアパッケージとは別に監視装置上に汎用のC又はC++で記述した発電向けアプリケーションが組み込み可能である。なお，監視装置は，MELSEP310と同じ汎用パソコン，Windowsを適用した製品を採用した。エンジニアリング環境に関しても，汎用データベースや国際標準言語を用いたMELSEP310と同じ統合エンジニアリング環境を採用した。このため，コントローラの違いがあるが，大規模から中小規模まで，MELSEP310とMELSEP-SPでは監視装置の同じ操作性，同じエンジニアリング環境を提供している。図8にMELSEP-SPのシステム構成例を示す。

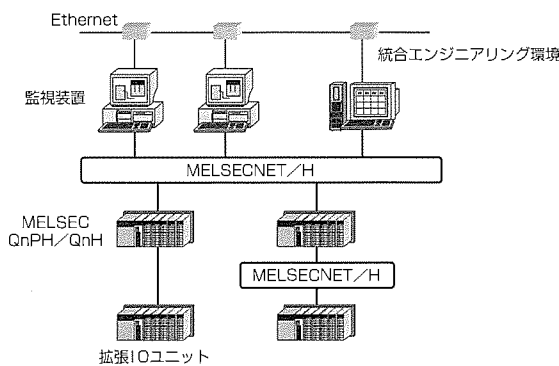


図 8. MELSEP-SPのシステム構成例

### 5.2 MELSEP-SPコントローラ

MELSEP-SPのコントローラにはMELSEC-Qシリーズを適用し，大容量，省スペース，低価格化を実現した。また，MELSEC-Qシリーズに，付加機能として，MELSEC-Q上に専用の計装用パッケージ，高信頼化パッケージ，監視装置I/Fを搭載した。これにより，従来のDCSと同等の監視制御機能をMELSEP-SPでは提供している。

### 5.3 制御ネットワーク

制御ネットワークはMELSECの高速ネットワークであるMELSECNET/H(25Mbps)を使用し，MELSECNET/H10を用いた従来のシステムに比べ，監視装置のレスポンスの高速化，表示点数の拡大を実現した。また，他の汎用制御機器との接続は制御ネットワークであるMELSECNET/Hを使用して行い，他の制御機器の監視装置への表示やコントローラとのデータ交換が，ゲートウェイ装置を置かず，MELSECNET/H直結に実現可能である。

## 6. む す び

以上，発電所向け監視制御システムの技術動向と当社で開発したMELSEPシリーズについて紹介した。今後も，信頼性を確保の上，コストパフォーマンスを追求したユーザーニーズにこたえるシステムの開発に取り組んでいく所存である。



# 一般産業用コントローラを適用した 水力一体形配電盤の最新技術

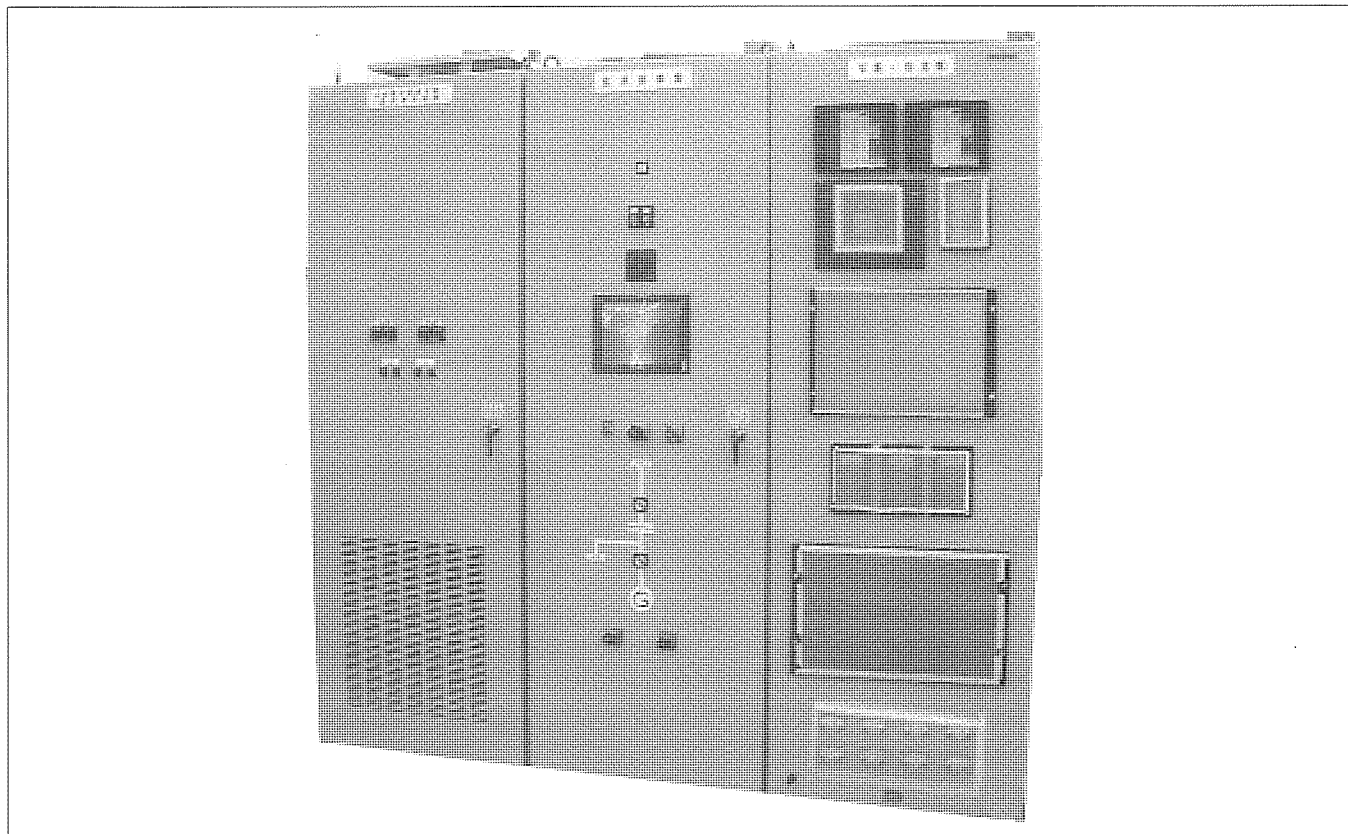
佐藤裕二\*  
岩下正則\*  
西本耕二郎\*\*

## 要旨

2003年に運開した中小水力発電所に分類される出力900kWの発電所へ三菱電機が納入した制御装置は、一般産業用コントローラを用いてシーケンス制御、AVR (Automatic Voltage Regulator)制御及び調速制御を一体とした制御を行い、これに保護機能、テレコン機能を合わせた一体形配電盤である。一般産業用コントローラの適用は、中小水力発電所向けハードウェア(以下“H/W”という。)のニーズである低コストと省スペースを実現するためである。一般産業用コントローラは、当社製コントローラを採用しており、シーケンス制御及び調速制御とAVR制御のCPUを分けたマルチCPU方式とすることで制御性能を確保している。保護は、従来のアナログ保護継電器に代

わるユニット形デジタル保護継電器を採用し、低コストと省スペースを実現している。また、H/Wだけでなくソフトウェア(以下“S/W”という。)の生産性向上によるコスト低減を実現するため、当社電力・社会システム事業所で開発したプログラミングツールである高機能POL (Problem Oriented Language: 問題向き言語)を使用している。高機能POLの主な特長は、①マルチCPU対応のプログラムを容易に作成できる、②S/Wを機能ブロック単位でモジュール化できる、③アナログ制御回路の構成が容易であることである。

本稿では、一般産業用コントローラを適用した一体形配電盤の構成と特長について述べる。



## 一体形配電盤

一般産業用コントローラを適用した一体形配電盤の外観写真である。3面での構成となっており、向かって左からAVRパワー部・電動サーボ収納盤、監視制御盤、保護・伝送盤である。

1. ま え が き

水力発電所向けの制御装置は、コスト低減に対する要求が高まっている。当社においては、1999年度に当時の電力向けコントローラの最新機種を用いてシーケンス制御、調速制御及び励磁制御を一体とした一体形配電盤を開発し、ユーザーへ納入した。しかしながら、プラント規模の小さな発電所においては一層の経済性追求が求められていた。このため、一般産業用コントローラを適用した一体形制御装置を2000年度に中部電力㈱との共同研究で試作し、実プラント適用への目処を付けた。また、同時期に、電気協同研究会においても経済性を考慮した一般産業用コントローラの適用について検討が進められ、2002年3月に電気協同研究第57巻第5号“一般水力発電所の制御、保護システムの合理化”が発刊された。これにより、社内外における一般産業用コントローラの水力発電所制御装置への適用の基礎が固まった。このような中で、当社は、一般産業用コントローラを適用した一体形配電盤を、2003年5月に運開した発電所へ納入することができた。この発電所へ納入した一体形配電盤の特長は、H/W性能を最大限に引き出すためマルチCPU方式を採用したこと、S/W記述言語として当社が開発した高機能POLを使用していることである。

本稿では、これらについて紹介する。なお、表1に設備概要を示す。

2. 一体形配電盤H/W構成

中小水力発電所向けH/Wのニーズとして低コストと省スペースがあり、これらを実現しつつ発電所の制御装置として要求されるシーケンス制御、調速制御、励磁制御を行い、必要な性能を確保できる一般産業用コントローラとして当社製コントローラを採用している。

2.1 制御機能

今回一体形配電盤を納入した発電所として要求される機能は表2に示すとおりである。調速機については電協研第42巻第2号で定義されているZ級でよいが、クロスフロー水車のダブルガイドベーン制御に加え流量調整を行う。AVRについては、過渡応答性能を確保する必要があるた

表1. 発電所設備概要

発電所形式	水路式発電所	
水車	形式	横軸単輪二枚クロスフロー水車
	出力	983kW
発電機	形式	横軸回転界磁形三相同期発電機
	出力	950kVA
励磁方式	ブラシレス励磁方式	
調速機	電動サーボ方式	
一体形配電盤	監視制御盤	プラント監視・主機制御、調速制御、励磁制御
	保護・伝送盤	発電機保護、変圧器保護、テレコン
	AVR・GOV盤	AVRパワー部、電動サーボドライバ

め、AVRの演算処理をシーケンス制御及び調速制御とは別CPUで演算させることにした。つまり、シーケンス制御及び調速制御で1CPU、励磁制御で1CPUの計2CPUで行うシステムとしている。当社製一般産業用コントローラは、マルチCPUシステムを構成でき、同一基本ベースに最大4枚のCPUを装着可能であり、制御システム上の入出力ユニットをCPUごとに管理できる特長を持っている。励磁制御に関係する入出力信号は、励磁制御用CPUに従属させる構成とし、応答性を向上させている。図1に基本ベースユニットのユニット配列を示す。

2.2 保護機能

保護については、従来のアナログタイプに代わる継電器として開発されたユニット形デジタル保護継電器を採用した。この継電器は、ユニット単位で収納される要素数は決められているが、アナログタイプが単要素であるのに対し、ユニット寸法がほぼ同じで複数要素を収納するものもあり、省スペースを実現している。表3に保護継電器ユニットと収納要素を示す。また、外観を図2に示す。

2.3 テレコン機能

水力発電所は無人で遠方制御所から遠隔操作により起動停止が行われ発電所の状態・警報を遠方で監視する必要があるため、テレコンは欠かせない機能である。テレコンについては、一般産業用コントローラが故障したとしても発電所の状態を認識できるように別H/Wとしており、当社製の

表2. 一体形配電盤機能仕様

監視制御	グラフィックパネルをタッチ制御
主機制御	起動、普通停止、故障停止
調速制御	Z級
励磁制御	ブラシレス励磁
二次調整	水位調整、力率調整
発電機保護	過電流、過電圧
母線保護	低電圧、地絡
変圧器保護	方向短絡、方向地絡、過電流、周波数異常
テレコン	サイクリック

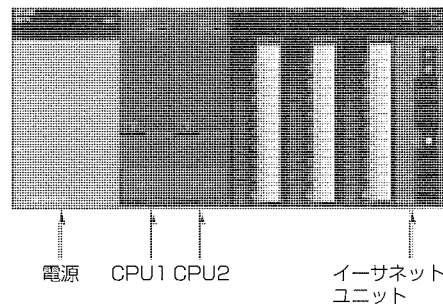


図1. 一般産業用コントローラの基本ベース

表3. ユニット形デジタル保護継電器収納要素

保護継電器ユニット名	要素
発電機保護	51, 59
母線保護	64B, 27B
変圧器保護	167S, 151H, 195H, 195L, 159, 127

テレコンユニットを組み込んでいる。

### 2.4 H/Wラックアップ

2.1節から2.3節で説明した機能を備えた、今回納入した発電所向け一体形配電盤のラックアップ図を図3に示す。

### 3. 制御用S/W

一般産業用コントローラで使用されるS/W記述言語はラダーである。これに対し、電力向けコントローラでは、POLを用いてきた。近年、電力・社会システム事業所では、S/W生産プロセスの革新により、生産性向上をもたらすプログラミングツールとして高機能POLを開発した。高機能POLは、表計算S/W上でPOLを作成し、トランスレート後、当社製一般産業用コントローラへロードできるツールである。つまり、トランスレートにより、各種コントローラに対応したオブジェクトを生成するため、当社製一般産業用コントローラへ適用した場合、ラダーを意識することなく、これまでどおりPOLとしてS/Wを扱うことができる特長を持っている。更に種々の特長を持っており、代表例を紹介する。

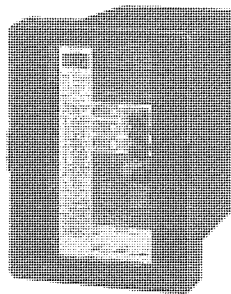


図2. ユニット形デジタル保護継電器の外観

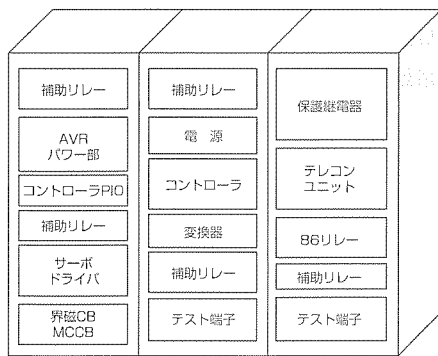


図3. ラックアップ

### 3.1 高機能POLの特長

#### (1) マルチCPUへの対応

高機能POLでは、まず、システム構成定義シートと呼ぶシートを作成する。図4は、今回納入した発電所向けシステム構成定義シートであり、Ethernet上にCPU1, CPU2, グラフィックパネル及びテレコンが接続されている。次に、プログラム作成シートにPOL図を作成する。図5がプログラム作成シートの一例である。システム構成定義シートとプログラム作成シートは、表計算S/Wの同一ファイル上に記載でき、かつ、異なるCPUに対応したプログラム作成シートも同じファイル上に記載できる。そして、プログラム作成シート上のCPU間の信号インターフェース点番を自動でアサインする。このため、マルチCPUを適用しても同一ファイル上にプログラムできるため、あたかも、1つのCPU上でS/Wを構成しているかのように扱える特長を持っている。

#### (2) アナログ制御ロジックの作成

AVR制御・调速制御はアナログ制御が主体であるが、元々ラダーが持つアナログ制御関数では効率良くロジックを作成することが困難であった。

高機能POLでは、電力向けコントローラ用POLで培ったノウハウを適用したアナログ制御関数を標準部品として持っているため、効率良く作成できる。

#### (3) S/W機能部品として、S/Wモジュールを標準化

プログラムを作成する上で、同一プログラムで何度も使用するロジック、又は機能として標準化されたロジックをS/W機能部品として登録することができるため、S/Wの作成時間を削減し、品質の優れたプログラムを作成できる。また、S/W機能部品内部回路は、簡単に参照できるようになっている。一例として、図6にAVRのOEL機能をS/W機能部品化したプログラムと、S/W機能部品の

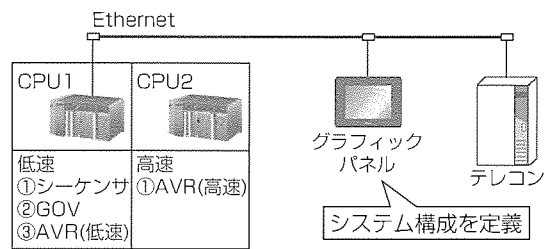


図4. システム構成定義シート

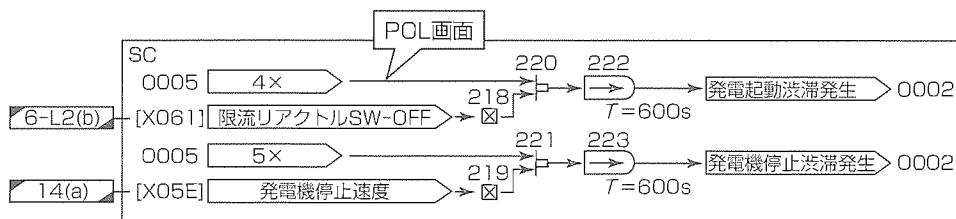


図5. プログラム作成シート

内部回路を示す。

### 3.2 高機能POLの効果

高機能POLの適用により、設計～試験フェーズにおいて種々の効果が得られた。

- (1) 高機能POLが周辺装置とのつながりを表現できることと、S/W機能部品により標準化された機能を一つのシンボルで表示できるため、制御ブロック図としてS/Wを記述することが可能となった。これをS/Wヘトランスレートするため、S/W作成時間が不要となり、ブロック図とS/Wの不一致がなくなり、品質が改善される。
- (2) これまで標準機能と非標準機能がPOL上で明確になっていなかったため、S/Wの標準化が進まなかった。標準機能をS/W機能部品化することで標準化を進め図面枚数を大幅に削減できる。
- (3) S/W機能部品を多く使用することで検証済みのロジックを適用できるようになり、S/W品質が向上し、システム検証時間を削減できる。
- (4) ネットワーク上の信号に割り当てられる中間点番を自動アサインできるほか、従来設計者が手作業で行っていた作業の自動化を実現しており、ヒューマンエラーを削減している。

### 4. 今後の展開

今回納入した一体形配電盤は調速制御がZ級であったが、Y級が要求されるプラントへ適用していく。このとき、応答性確保のため、調速制御用CPUをシーケンス制御とは別CPUとする。また、一般産業用コントローラの適用範囲は中小水力発電所からスタートしたが、今後は、大規模水力への適用を拡大していく。特に、シーケンス制御については、調速制御及び励磁制御のような高速応答性が求められるため、シーケンサ機能のみでの一般産業用コントローラの適用を進めていく。

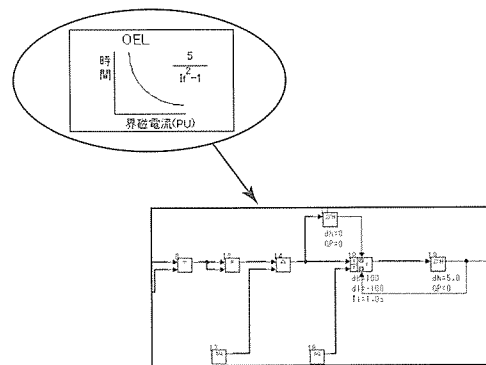


図6. ソフトウェア機能部品

高機能POLによる設計時間を更に削減するため、設計作業上流段階で作成するドキュメントからPOLへ自動展開する仕組みを構築することで、作業効率の改善を進めていく予定である。

### 5. むすび

本稿で紹介した一般産業用コントローラを適用した一体形配電盤は、中小水力発電所向けに低コスト、省スペースを目的としており、市場のニーズを反映したものである。

今後も、プラント及び装置の信頼性を保ちながら更なるコスト低減に向け検討を進めていく所存である。

### 参考文献

- (1) 水力発電所機器専門委員会：一般水力発電所の制御・保護システムの合理化，電気協同研究会，57，No.5 (2002)
- (2) 不破伸夫，ほか：小水力発電所用一体形保護制御装置の開発，電気現場技術，電気情報社，40，No.474 (2001)
- (3) 大川雅博，ほか：中小水力向け一体形配電盤技術，三菱電機技報，74，No.11，688～691 (2000)

# 火力発電所における省エネルギー・保守／管理サービスの最新技術

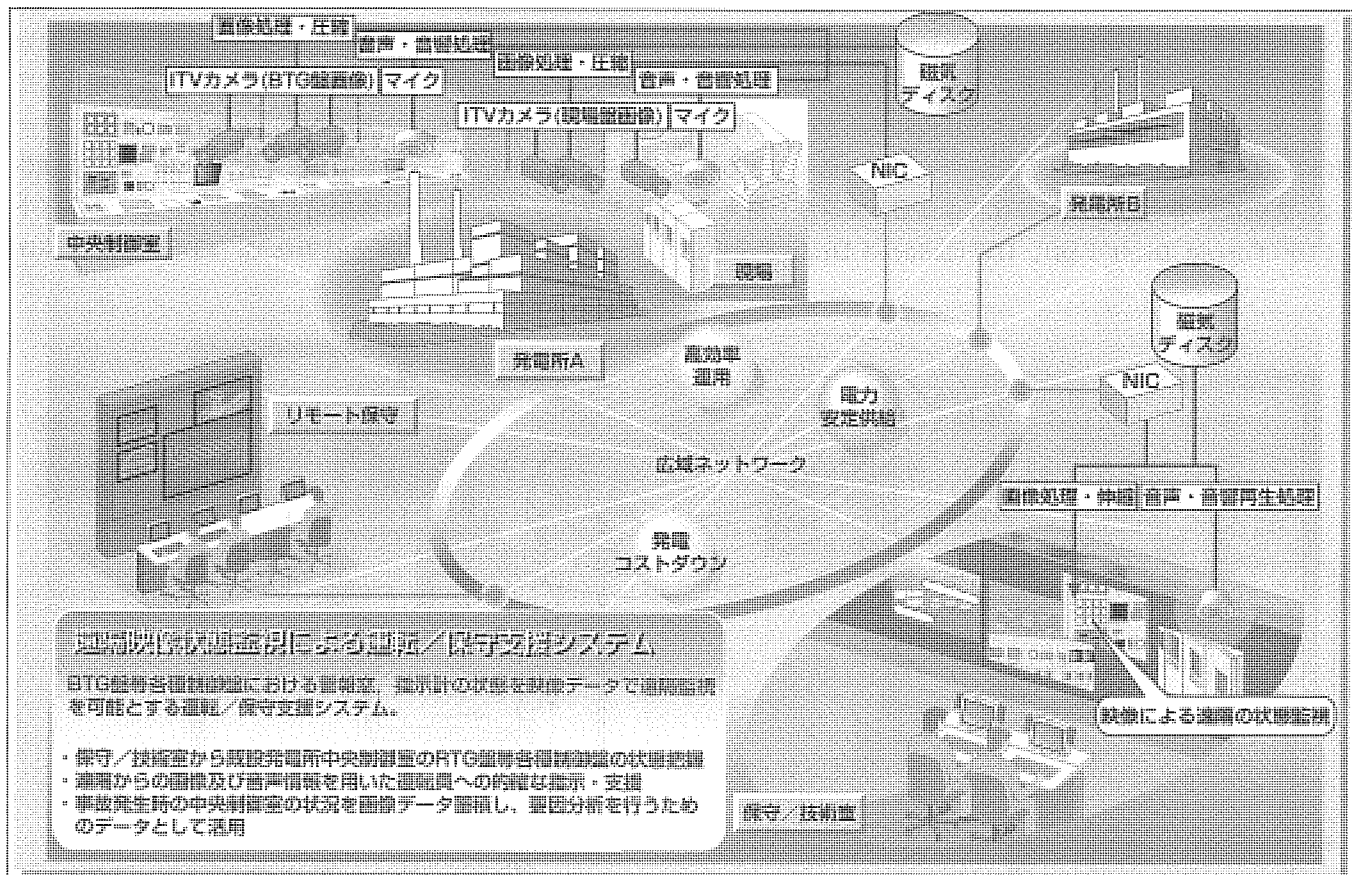
阿南義憲\*  
藤田高規\*  
佐伯 稔\*

## 要 旨

地球温暖化防止のためのCO<sub>2</sub>削減，電力事業の規制緩和，自由化などから，事業用火力発電設備の運用においては，効率化に取り組むことが課題であり，設備の運転，保守／管理についても従来と異なり一層の合理化とコスト低減が求められている。また，その一環で，発電所の設備の保守管理においても，時間計画保全(Time-Based Maintenance：TBM)からTBMと状態監視保全(Condition-Based Maintenance：CBM)を融合した保全形態に移行するニーズがある。

三菱電機では，最近の技術を反映して省エネルギーによる機器運転の効率化と，センサ技術・情報通信技術とを融合して運転中の設備の状態をリモート監視によって診断するシステムの開発，実用化によって保守／管理費用の低減に取り組んでいる。

本稿では，経済的効果が特に大きい回転体(発電機・電動機)を対象とした省エネルギーの最新技術と，保守／管理の合理化を実現する設備診断技術，発電用電気機器のリモート監視システムについて述べる。



火力発電所における状態監視(リモート監視)システムを示す。

1. ま え が き

当社では、最新の技術を適用して火力発電所の設備運用と保守の効率化に取り組んでいる。本稿では、経済的効果が特に大きい回転体(発電機・電動機)を対象とした省エネルギーの最新技術と、保守・管理の合理化を実現する設備診断技術、発電用電気機器のリモート監視システム、保守サービス技術について紹介する。

2. 回転体(発電機・高圧電動機)の省エネルギー技術

2.1 発電機水素ガス純度維持による風損の低減

運転中の発電機水素ガスを高純度に維持することができれば、風損が低減し発電機の高効率運転が可能となる。従来の複流式密封油処理装置は空気側密封油と水素側密封油を分離し、シールリング部分の油圧を等しくすることで水素側への空気進入を防止するとともに水素ガス消費を抑制しているが、密封部(シールリング)でのわずかな油圧の差で空気側密封油と水素側密封油とが混じり合うことにより水素ガス純度の低下が発生する。

当社では、この改善策として、従来の複流式密封油処理装置に脱気装置を追加する方法(図1)、又は真空処理式密封油装置への取替え(図2)を提案している。いずれのケースでも発電機水素ガス純度を99%以上に保持できる。従来方式での運転中の発電機内水素ガス純度を96%と仮定した場合、脱気装置設置後の水素ガス純度は99%のため、発電機出力400MW機クラスでは約360kWの風損が低減できる。

2.2 大型補機用電動機のVVF化による省エネルギー運用  
FDF(Forced Draft Fan), IDF(Induced Draft Fan),

GRF(Gas Recalculation Fan)等送風機用ファン及び電動機は、一般的に必要な最大風量に対し十分に余裕を持った設計となっており、実際の運用ではその風量はかなり低いところで運転されているケースが多いのが実状である。

送風機の風量制御を行う手段としては従来はダンパの開閉により制御を行っていたが、電動機消費電力は最大出力時と余り変わらないものとなっており、大きな電力のロスとなっていた。高圧インバータ(VVVF)による電動機可変速駆動制御は、従来のダンパ制御に比べ省エネルギー効果が高い風量制御方式である。図3に、高圧インバータによる可変速駆動制御のVVVF化のシステム構成を示す。

図4に、ダンパ制御の場合と、インバータ制御の場合の電動機消費電力曲線の一例を示す。風量を60%としたとき、インバータ制御時の消費電力は100%風量時の30%、ダンパ制御時の消費電力は100%風量時の90%となり、その差60%の省エネルギーを達成できる。

3. 保守・管理サービス

設備保全費用低減に対しては、保安規制が緩和され、発電用設備の点検周期延長や点検内容の簡素化による保守費用削減が具体的に検討されているが、これらを安易に実行すると、故障発生リスクが高まることになる。このため、従来から実施されている時間計画形保全と言われるTBMから、状態監視保全と言われるCBMとTBMとを融合した保全形態へ移行するニーズがある。これらに対応し、メーカー側の技術として、機器の状態を監視するための各種状態監視センサが開発され実用化されている。また、ネットワーク技術やセキュリティ技術など、IT(Information

特集 II

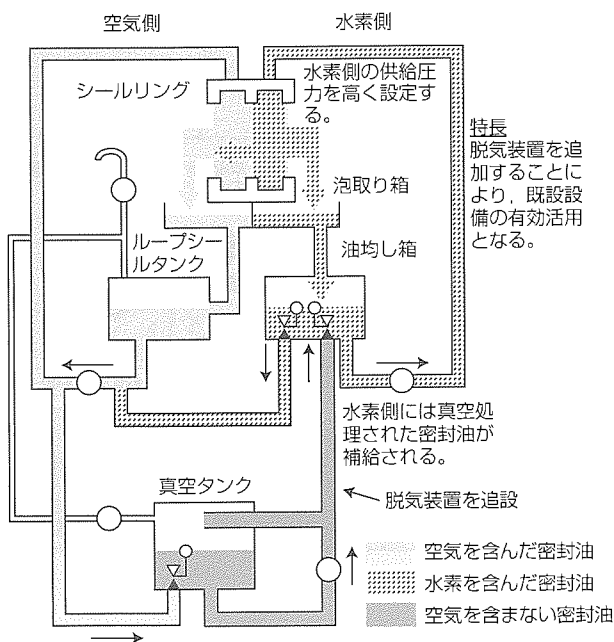


図1. 脱気装置を追加した複流式密封油処理装置

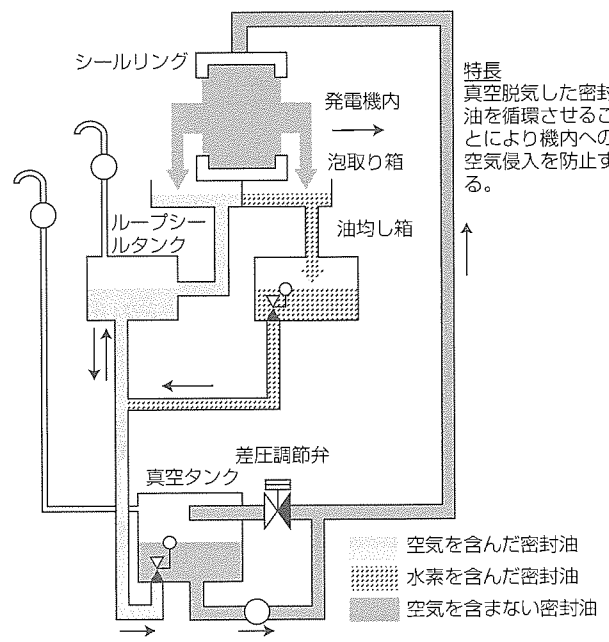
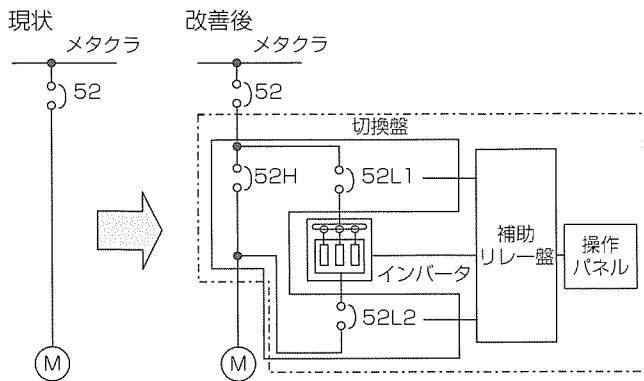


図2. 真空処理式密封油処理装置



※ VVVF運転/商用運転の2系列により、一定以上の負荷時・VVVF故障時において商用運転での運転が可能

図3. VVVF化システム構成図

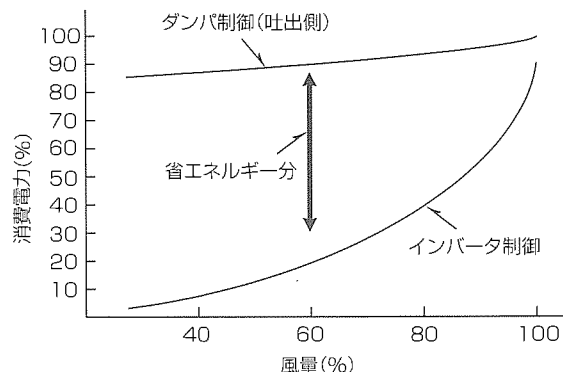


図4. ブLOWER運転の特性(例)

表1. 電機品の監視項目(例)

リモート監視項目	センサ	概要	発電機	変圧器	GIS	配開装置	電動機
固定子コイルエンド	光学式振動センサ	運転中の固定子コイルエンド部の振動を計測監視することで異常の検出が可能。	○				
絶縁特性	部分放電モニタ	部分放電を常時監視することで、絶縁劣化傾向を把握、適切な点検・修繕計画を行う。	○		○		○
内部異常	油中ガスモニタ	絶縁油に溶解しているガス成分を測定することにより、機器内部で発生している局部過熱や放電を早期発見する。		○			
漏油	油面センサ	油面を常時監視することにより、漏油を効果的に検出する。		○			
冷却能力内部異常	油温センサ 周温センサ	油温を常時監視することにより、内部異常や冷却装置の異常を検出する。		○			
LTC動作	駆動軸トルクセンサ モータ電流センサ	負荷時タップ切換器の各部位における異常の前駆現象を駆動軸トルク・電動機電流波形から検出して、異常を早期検出する。			○		
LTC接触子消耗量	負荷電流センサ	負荷電流やLTC動作時のタップ切換え方向などを測定することで、接触子の消耗量を推定し、適切な交換を行う。		○			
漏ガス	ガス圧力センサ	ガス圧力を常時監視することで、スローク等を検出する。			○		
通電特性	分解ガスセンサ	通電異常により発生する分解ガスを監視する。			○		
CB開閉特性	動作時間センサ 動作行程センサ	CBの動作時間・動作行程を監視することで、制御系、操作機構系、内部機構系の異常を早期に発見する。			○	○	
事故点標定	ガス圧力センサ	万一事故が発生した場合の当該部位の早期特定が可能。			○		
絶縁	漏洩(ろうえい)電流センサ	漏洩電流の計測監視によりケーブル絶縁劣化の傾向監視。				○	
軸振動, 軸受振動 フレーム振動	振動センサ	回転機の振動監視により機器の異常を検出する。					○
温度	温度センサ	各部(軸受, 固定子コイル, 吸気・排気, 潤滑油等)の温度をトレンド監視により機器の異常を検出する。					○

Technology) 技術との組合せによりデータ収集、分析、大量のデータ管理が容易となり、機器の診断精度の向上が可能になった。これらの顧客ニーズに対し、電気機器の総合的リモート監視システムを構築し、保守・管理サービスを展開することが可能となった。

以下に、保守・管理サービスに適用しているリモート監視システム及びIT技術を活用したその他の保守サービスについて述べる。

### 3.1 リモート監視項目

リモート監視システムを導入する目的はCBMの適用により設備保全費用を総合的に削減することにあるが、そのためには、監視用設備であるセンサ等の設置費用を抑え、初期投資の低減を実現するとともに、診断精度の高いシステムを提供することが必要である。

当社は、発電機、特高開閉器、変圧器、電動機などの製作実績を生かし、各機器から採取された状態監視データを基に機器の異常状態、劣化状況、トレンド変化などを監視しデータ処理する状態監視システムを構築しており、その結果、表1に示す電気設備の設備診断が可能となっ

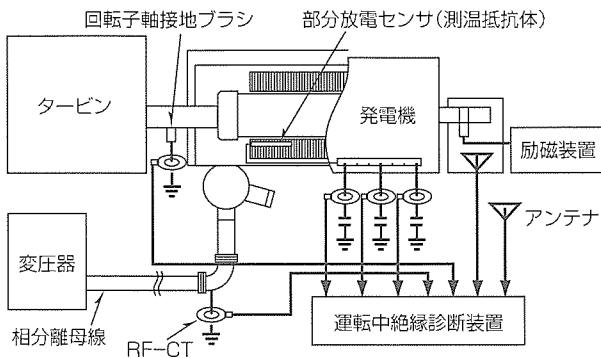


図5. 発電機部分放電モニタセンサ配置例

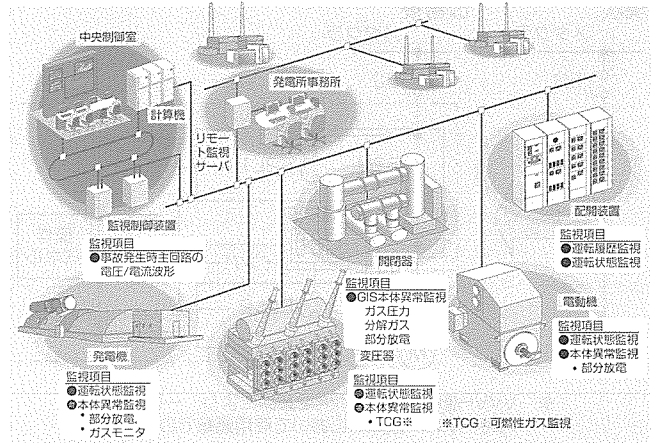


図6. リモート監視システムの概念

た。

### 3.2 診断技術

これらの診断に必要なデータを採取するためには電気機器にセンサを設置し収集する必要があるが、特に既設機器の監視においては、実機への影響が極力少なく、容易に実施できることが必要である。当社では、発電機の絶縁診断のセンサとして既存の発電機固定子コイルのコイル温度計測用の測温抵抗体(RTD)を使用し、固定子コイルの絶縁部の劣化進行によって生じたボイド(空隙)に発生する部分放電事象のアンテナとし、この部分放電信号をRF-CT(高周波変流器)で取り出し絶縁診断装置で雑音除去を行い、計測するなど、状態監視システムの導入による実機への影響を低減し導入を容易にする技術を適用している。図5は発電機運転中の部分放電計測におけるセンサ配置例を示す。

### 3.3 リモート監視システム

リモート監視システムの構築に当たり各種の状態監視センサからの信号取り込みとネットワーク化を考慮したシステムを図6に示す。発電機、変圧器、GIS、電動機などに取り付けられたセンサで検知された信号は、直接リモート監視サーバに送られる。高圧電動機に関しては、台数が多いこと、広い構内に分散して配置されていることなどからセンサターミナルによるデータ転送やPHSを活用した方法も適用可能である。リモート監視サーバは、各センサからのデータにより機器の劣化程度の判定や長期間にわたるトレンド監視を行う。

また、これらのデータは日報などの帳票として出力するとともに傾向管理のために蓄積され、保守員は設備運転中も任意の時間にその内容を確認できる。さらに、データのセキュリティを確保した上で、ネットワークに接続するこ

とにより発電所以外のエンジニアリングセンター、メーカーのリモート保守センター、装置製作事業所などと接続することが可能となる。

このように、従来はプラントを停止し機器を開放して点検せざるを得なかったが、リモート監視システムを導入することによって、運転中の機器の内部状態を連続して監視する又は過去にさかのぼって蓄積したデータを確認することができるため、機器に異常の兆候が認められない場合には、プラントの停止インターバル延長や、停止時の開放点検箇所を少なくするなど保守の合理化が可能となる。

### 3.4 リモート監視システムによる保守の充実

リモート監視システムについては設備保守の効率化面から設備診断について述べたが、当社は、次のような保守サービスを提供することができる。これらによって、より充実した設備の保守と運用を行うことが可能である。

- (1) メーカーで管理している設備情報・履歴の提供
- (2) 機器診断・更新計画コンサルテーション
- (3) 点検(点検計画立案, オンコールを含む)請負サービス
- (4) 長期保守計画(定期点検, 部品交換他)

## 4. む す び

コストダウン/効率化を考慮した発電機と電動機にかかわる省エネルギー事例と電気品のリモート監視システムを紹介した。

リモート監視については、今後も各機器の寿命や劣化傾向を評価するため長期のデータ収集や判断アルゴリズムの検証実績の積み重ねが今後の技術面での課題と考え取り組んでいる。



# 電力規制緩和に対応した 自家用発電所の運用システム

薩摩泰博\* 松本匡史\*  
武田和幸\*  
小柳晋一\*

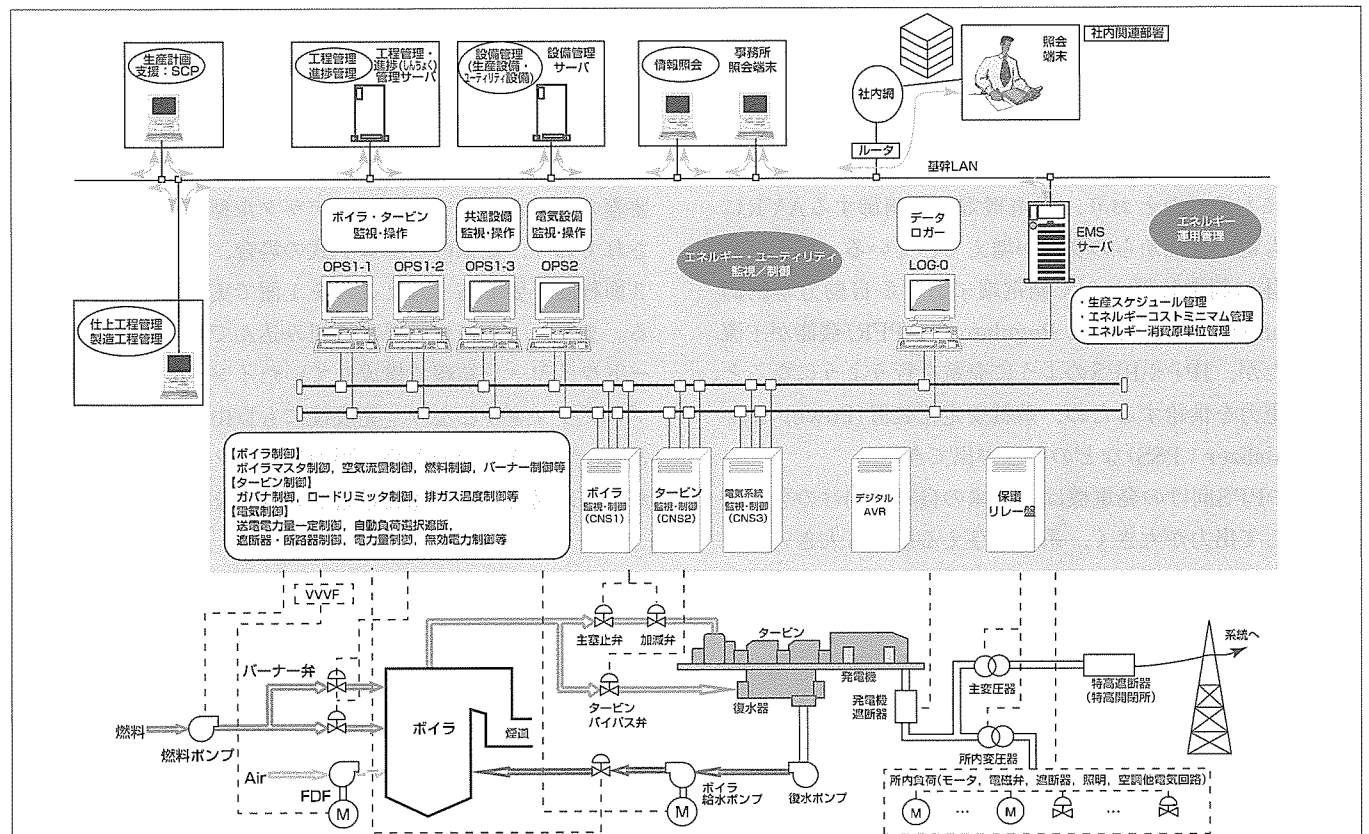
## 要旨

近年の電力自由化及び規制緩和により、石油、ガス会社などが電力事業へ参入し、売電用にIPP (Independent Power Producer)やPPS(Power Producer and Supplier)向けの発電所建設が著しく進められており、自家用発電所の役割も大きく変わりつつある。IPPやPPS向けの発電設備は一般に出力も大きく、系統へ及ぼす影響も大きいいため、運用システムに対する新たな課題が出てきている。第一に、これら発電所は系統へ電力を送電することになるため、系統を管理する電力会社からの制御に対する要求が多様多様になってきていること。第二に、発電所増設に伴って複雑になっている電気系統に対し、保護機能の充実、事故時に

負荷のバランスをとる選択遮断の自動化機能などが要求されていること。第三に、売電を行うことから送電端における電力量一定制御などの新たな制御方式が必要になっていることなどが挙げられる。

三菱電機では、これらの要求に対応するため、自動電圧調整装置(Automatic Voltage Regulator: AVR)、保護継電器などのデジタル化を進め、また、分散制御装置(Distributed Control System: DCS)によって発電所出力や力率を制御するシステムを構築してきた。

本稿では、これらのシステム概要とその適用事例及び今後の課題について述べる。



## 自家用発電設備トータルシステム

近年の電力自由化及び規制緩和により自家用発電設備の多様化が進む中、様々な発電設備に対応するため、デジタル機器を適用した監視制御システムが主流となっている。また、エネルギー関連の情報を設備管理や製品生産の情報とリンクし工場トータルでのエネルギー運用を管理するシステムのニーズが高まりつつある中、監視制御と情報を統合したシステムを提案する。

## 1. ま え が き

近年の電力自由化及び規制緩和により、石油、ガス会社などが電力事業へ参入し、売電用の発電所建設が著しく進められている。これらの設備は一般に出力も大きく、系統へ及ぼす影響も大きい。従来の自家発電設備の場合は、工場で消費するための発電が目的であり、系統への送電は行っていなかった。しかしながら、電力自由化及び規制緩和によって、IPPやPPS向けの発電所が建設されるようになり、新たな課題が出てきている。第一に、これら発電所は系統へ電力を送電することになるため、系統を管理する電力会社からの制御に対する要求が多様多様になってきていること。第二に、一般にこれらの発電所は従来の自家発電設備に対して増設する形で計画されるケースが多く、電気系統が複雑になっており、保護機能の充実、事故時に負荷のバランスをとる選択遮断の自動化機能などが要求されていること。第三に、従来は受電点での電力一定制御が主流であったが、送電端における電力量一定制御など新たな制御方式が必要になっていることなどが挙げられる。

当社では、これらの要求に対応するため、従来から自家発向けに採用されていたアナログ式の自動電圧調整装置(AVR)、保護継電器などのデジタル化を進めてきた。また、分散制御装置(DCS)によって発電所出力や力率を制御するシステムを構築してきた。

以下にその概要と今後の課題について述べる。

## 2. 自動電圧調整装置(AVR)

冒頭にも述べたとおり、発電機電圧を制御するAVRに対しても電力会社からの要求が増えてきている。従来は発電機単体の制御装置として発電端における自動力率制御(Automatic Power Factor Regulator: APFR)機能が主流であったが、IPPやPPSのように売電を行うようになると、系統へ電力を供給するため、系統安定化装置(Power System Stabilizer: PSS)などの要求が出てきた。

IPPやPPS向けの発電機は、従来の自家発向けの発電機と比較して出力が大きく、系統に与える影響も大きい。そのため、発電機の運転可能範囲内で電圧を調整し、系統に及ぼす影響をできる限り抑えることが要求されている。

従来のアナログ式AVRの場合、各機能は個々にアナログ基板で構成されているため、これらの機能要求に対応するためには専用のカードを追加する必要があり、多様化する要求への対応が困難になってきている。これに対し、デジタル式AVRの場合、各機能はソフトウェアで実現されているためアナログ式のようにカードを追加する必要はなく、ソフトウェアの変更(追加)のみで機能の追加が可能となる。

また、AVRの信頼性向上として二重化の要求がある。

従来のアナログ式の場合は二重系の各系間の取り合いなどの配線を追加する必要があり回路が複雑となるが、デジタル式AVRの場合は、ソフトウェアの変更により、容易に二重化の要求に対応できる。

さらに、アナログ式AVRでは各パラメータをボリューム調整で実施していたが、デジタル式AVRでは、メンテナンス用パソコンを接続し、データを入力することで、容易に設定できるようになった。これにより、経年変化もなく、信頼性の面でも貢献している。また、AVRの制御定数においても、発電機の定数を入力すれば、自動的に計算して設定する機能も実現している。これらの機能によってデータ設定が容易になることで、AVRの調整・試験時間が削減され、コスト面でもメリットがある。

自家用発電所向けAVRのデジタル化は1995年に初号機を納入し、1997年に納入を開始した第二世代を経て、2002年から現在の第三世代が採用されており、実績面でも信頼性の高いシステムとなっている。

デジタルAVR盤の外観を図1に示す。

## 3. デジタル化に伴う発電所の制御機器

近年建設される発電所では、制御室、電気室のスペース制約もあり、制御盤面数の削減も重要な要求事項の一つとなっている。AVRの項で述べたように、従来アナログ式で構築していた制御機器がデジタル化されることにより、機能追加によってハードウェアが大きく変わることが少なくなっており、制御盤面数削減にも大きく貢献している。保護継電器を例に挙げると、発電機保護として要求される要素の大半がマルチタイプのデジタル型保護継電器に収納されており、従来のアナログ式の場合、発電機1台当たり3面程度必要であったところを1面で実現可能となっている。また、1台に複数要素を組み込んでいるため、従来ハードワイヤード結線で構成していたインタロック回路も、プログラマブルとなり、完成後にも自由に設定変更が可能となっている。そのため、現地でインタロックの変更要求があった場合でも、保護継電器の設定を変更するだけで対

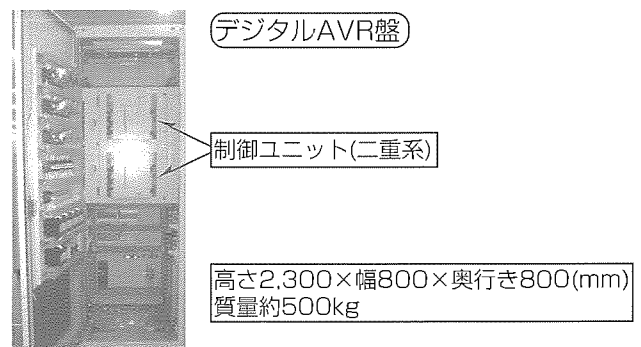


図1. デジタルAVR盤の外観

応可能となっている。また、一般的な発電機保護回路は、発電機1台に対し、マルチタイプのデジタル型保護継電器を2~3ユニット使用することで実現可能となるため、操作及び監視関係の機器と保護継電器を同一盤に収納することで、更に省スペース化を実現している。また、従来ハードウェアのスイッチ、ランプ、リレー回路で実現していた監視・制御機能はDCSにより実現され、コンソール型のマンマシンインタフェースを介して監視操作を行うのが主流となっている。

#### 4. 選択遮断

自家発電設備を含む電源系統において事故などにより電源の脱落(発電機事故や受電時の電力会社との連系点トリップ)が発生すると、負荷が電源容量を上回ることになり、電力会社との契約電力の超過、変圧器の過負荷、自家発電設備の周波数低下や電圧低下を引き起こし、最悪の場合には設備全体を停電に至らしめることになる。そのような状況を回避するためには、電源脱落事故が発生した場合に、重要度に従い負荷を遮断することによって電力供給量と負荷のバランスを調整する必要がある。しかしながら、前にも述べたとおり、近年のIPPやPPS向けの発電所建設及び工場規模拡大に伴う自家発電設備増設により電気系統は非常に複雑になっているため、運転員の判断のみでは対応が困難な状況になっている。そこで、各発電機、系統構成及び負荷優先度などの情報をあらかじめDCSに入力し、電源事故が発生した場合に、そのときの電力供給量とそれに見合う負荷を計算し、電力系統の接続状態及び優先度に従って重要度の低い負荷を遮断し、事故後の電力供給量と負荷のバランスを調整するシステムを構築している。

#### 5. 自家発電設備における送電電力量制御

従来、自家発では、受電点の電力を一定に制御する受電電力一定制御が主流であった。しかし、近年、IPP、PPSといった契約送電が行われる際、送電点の電力量を制御する方式が適用されている。

これは、1時間単位の契約電力量に対し実送電電力量を最大契約電力量の±1% (電力会社との契約により異なる。) 以内の誤差に抑えるため発電機の出力を制御する。このような電力量制御は、DCSを適用し、図2に示すアルゴリズムにより制御を行う。

送電電力量一定制御時の制御装置設定値算出フローは次のとおりである。

- ① 送電端電力量をパルス入力により取り込み、その積算値を電力量として算出する。
- ② スケジュール設定及び目標値パターンで設定された内部テーブルから、1時間契約目標電力量の現在目標値を読み込む。

- ③ 画面上から設定した制御周期により1時間を等分し、等分ごとのタイミングにおいて現在電力量と現在目標電力量の偏差により発電機出力設定値の電力偏差を算出する。
- ④ 発電機出力設定値の前回値に算出した電力偏差を加算した値を、次周期発電機出力設定値とする(所内電力及び工場負荷電力による変動は偏差に含まれる。)
- ⑤ 発電機出力設定値の上限値を定格出力、下限値を初期負荷出力とする。
- ⑥ 送電量一定制御の時間帯から出力変化の時間帯に切り換えを行う。出力変化量による(30-タイムラグ)分で変化するための変化率を算出し、変化率に応じた出力を行う。

制御周期ごとの送電量の状況は図3のような画面で監視している。また、PPS、電力託送における電力制御は、契約形態により、一般発電所と呼ばれる30分ごとの契約値に沿った制御を行う発電所と、調整発電所と呼ばれる5分ごとの契約値に沿った制御を行う発電所が存在する。

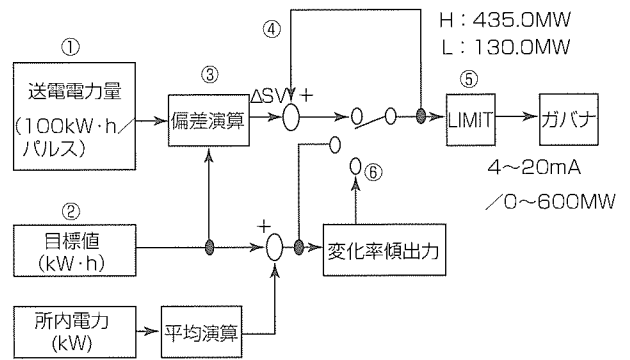


図2. 送電電力量制御アルゴリズム

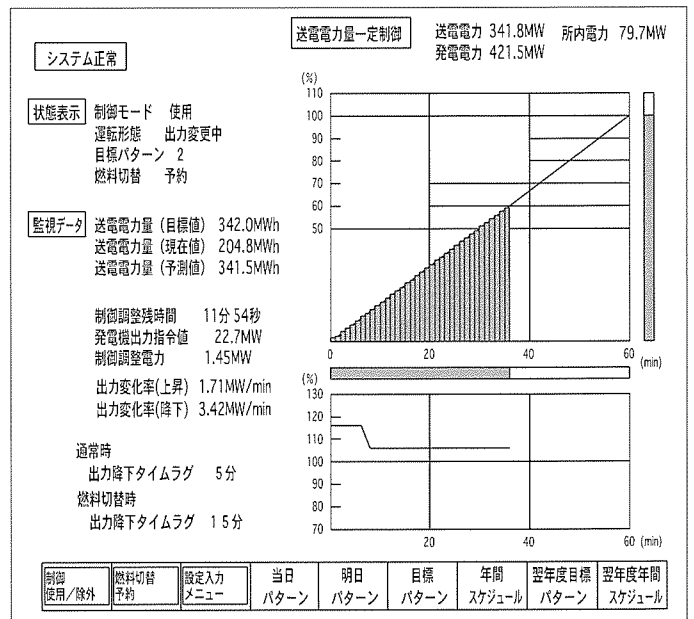


図3. 送電電力量制御監視画面(1時間)

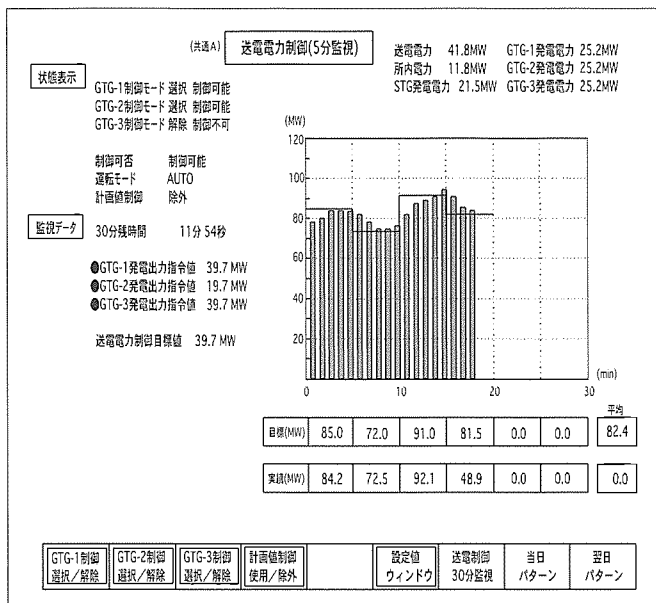


図4. 送電電力量制御監視画面(5分)

一般発電所の制御については、前述のIPPと同様の電力量制御を行う。調整発電所については、制御間隔の短い5分制御を行うため、IPPなどとは異なり、図4に示すとおり、5分単位による積算量を一致させるような制御を行う。すなわち、指令値が変化することで発電量の変化率に伴い

発生する不足分をカバーするように目標値を変化させ5分間における電力量積算値を保つよう制御する。

## 6. むすび

電力自由化及び規制緩和に対応した運用システムの概要を紹介した。これらのシステムは、現在建設中の発電所を含め、近年のIPPやPPS向けの発電所に採用されている。

今後は、更に発電向けの計算機化、デジタル化が進むと考えられ、工場内の様々なデータを連携した工場全体管理のニーズが増加している。発電設備は製品を作り出すための電力、蒸気を発生させる設備であり、その電力をどれだけの燃料を元に発生させるかを把握し、更に少ない燃料で効率良く電力、蒸気を得ることができるかが工場全体の省エネルギーにつながる。そのため、設備管理や製品生産計画のデータと情報をリンクし、これらの情報を基に、工場のエネルギー運用を検討・実践していくツールとしてFEMS(Factory Energy Management System)を適用するよう展開中である。

また、一般に発電機に要求される操作・監視項目及び保護要素は発電所ごとの変動要素が少なく、ほぼ同一であることから、将来的には、発電機の操作・監視・制御・保護回路を発電機の制御システムとして標準パッケージ化し、完成品として市場へ展開することが課題と考えている。

# 産業プラント向けEMS

片桐三津雄\* 進藤静一\*\*  
 田中滋樹\*  
 高松宏至\*

## 要旨

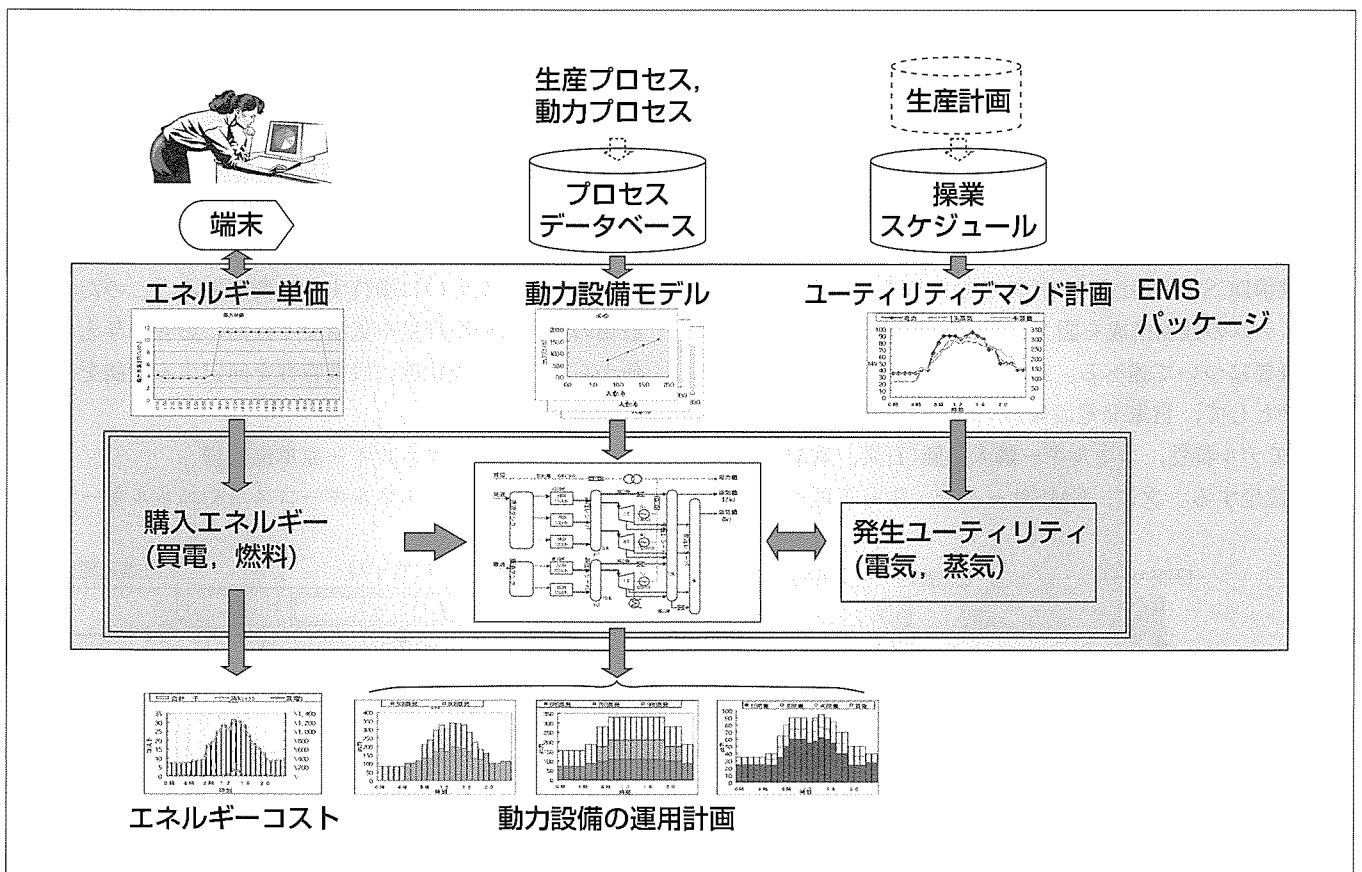
オイルショック以降、産業界では様々な省エネルギー対策が施され、特に個々の動力機器レベルやプロセス制御レベルでは省エネルギーを追求し尽くした感がある。その後は、管理・運用レベルでの更なる省エネルギー追求に加え、電力自由化の拡大やCO<sub>2</sub>削減への規制強化などの市場変化に対応したエネルギー運用管理のニーズが高まっている。

これらを背景に、筆者らは、産業プラント向けに、自家発電プラントを持つ工場をターゲットとして、エネルギー消費量・エネルギーコスト抑制の観点のほか、売電やCO<sub>2</sub>排出権取引などの新事業要素にも対応可能な新しいエネルギー運用管理システム(Energy Management System :

EMS)の開発を進めている。

このシステムの適用によって、エネルギー原単位の把握やリアルタイムでの製品原単位の把握、製品生産スケジュールと連動した自家発電設備の最適運用計画などが可能となる。特に最適運用計画では、コストミニマム優先やCO<sub>2</sub>削減優先など、様々な制約や複雑に入り組んだ評価指標を総合的に考慮した設備最適運転の支援を可能としている。

本稿では、この産業プラント向けEMSのシステム概要、特長、システム検証結果と今後の課題・展望などについて述べる。



## エネルギー管理システム(EMS)の機能イメージ

生産プロセスが要求するユーティリティ(電気、蒸気等)の負荷を満足し、かつ動力設備(自家発電設備)が最適な運用となるような運用計画を立案する。最適運用の評価としては、コストミニマム優先やCO<sub>2</sub>削減優先など、様々な制約や複雑に入り組んだ評価指標を総合的に考慮することができる。

## 1. まえがき

オイルショック以降、産業界では様々な省エネルギー対策が施されており、個々の動力機器のインバータ化やプロセス制御方式の効率改善などが進められ、相当のレベルまで省エネルギーを追求し尽くした感がある。一方で、電力自由化の拡大やCO<sub>2</sub>削減への規制強化など、産業界を取り巻く環境は変化しつつあり、このような新たな環境に対応したエネルギー運用管理のニーズが高まっている。

これらを背景に、筆者らは、産業プラント向けに、自家発電プラントを持つ工場をターゲットとして、エネルギー消費量やエネルギーコスト抑制の観点のほか、売電やCO<sub>2</sub>排出権取引などの新事業要素にも対応可能な新しいエネルギー運用管理システム(EMS)の開発を進めている。

このシステムの適用によって、エネルギー原単位の把握やリアルタイムでの製品原単位の把握、製品生産スケジュールと連動した自家発電設備の最適運用計画などが可能となる。特に最適運用計画においては、エネルギーコスト低減とCO<sub>2</sub>排出量削減といった、相反する目的の達成を総合的に考慮したベストバランスの設備運用計画が策定できる。

本稿では、この産業プラント向けEMSのシステム概要、特長、システム検証結果と今後の課題などについて述べる。

## 2. システム概要

### 2.1 システム構成

全体システム構成を図1に示す。統括管理を行うEMSサーバを導入し、既設の動力設備DCS(Distributed Control System:分散型監視制御システム)、生産管理サーバ、生産設備DCSと汎用LANで接続させた構成をとる。

システムの機能構成を図2に示す。以下このシステムの動作概要について述べる。EMSサーバへは、まず初期値データとして、自家発電設備(ボイラ、タービン発電機など)のモデル特性、エネルギー購入単価(石炭、重油、買電等)を設定する。次に、EMSサーバで、生産管理サーバか

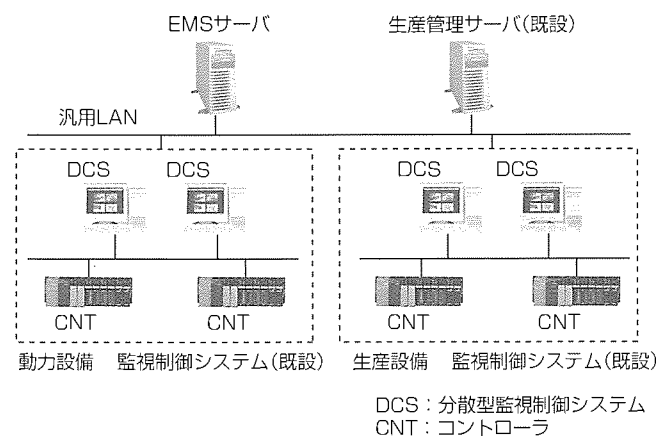


図1. 全体システム構成

ら翌日の生産・操業スケジュールデータを収集し、生産に必要なユーティリティ(電気、蒸気)の要求デマンド予測を行う。EMSサーバはこれらのデータを基に、操業目的に応じて設備運転・運用が最適となる(例えばエネルギーコストとエネルギー消費量を共に可能な限り抑制する)ような設備運転計画を立案する。

なお、設備モデルの特性については、動力設備DCSから発生蒸気量や使用燃料量等のプロセスデータを収集し、設備モデル特性の学習を行う。また、生産設備DCSからの生産実績データを基にリアルタイムでの原単位管理(製品原単位、エネルギー原単位)を提供する。

### 2.2 システムの特長

機能面での主な特長は以下のとおりである。

#### (1) 設備最適運用の計画立案

このシステム機能の中核となる設備最適運用計画の詳細については次章で述べる。

#### (2) ユーティリティデマンド予測・補正

翌日の生産操業スケジュールと過去の操業データ等を基に、操業に必要なエネルギー需要を算出し、生産に必要なユーティリティ(電気、蒸気)のデマンドを予測する。さらに、生産する製品種別の切換え時や気温・湿度などの要因を考慮したデマンドの補正を行うことで、より精度を高めている。

#### (3) オンラインの設備特性学習

設備特性情報は機器の設計仕様から得られるが、設備の性能は一般に経年劣化するので、設計仕様が設備特性の現状を正しく反映しているとは限らない。運用最適化によるメリットを正確に得るためには、設備モデルを、現状を正しく反映したものに維持する必要がある。このために、設備の入出力の物理量や気温など性能に影響を与える計測値から定期的に現状に設備特性を同定する機能を持っている。

#### (4) 製品原単位・エネルギー原単位管理

製品生産に必要なエネルギーコストやエネルギー量をリ

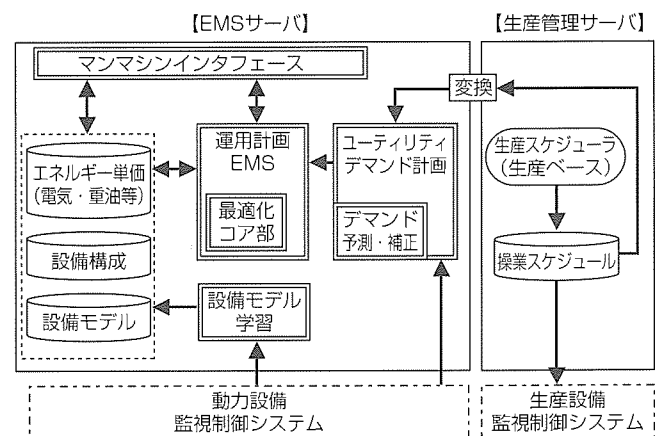


図2. システム機能構成

アルタイムに算出し、きめ細かなエネルギー管理を実現し、更なる省エネルギー改善を支援する。

(5) 初期値設定支援ツール

設備構成・設備モデル・エネルギー単価等の初期値設定ツールとして、グラフィカルインタフェースを備えたモデリングエディタを用いる。これによりシステム導入時の設定が簡素化され、後は設備特性式や制約条件式を所定のフォームに記述するのみで内部ロジックが自動生成されるため、多種多様なユーザーへのシステム導入・展開が効率的に行える。

3. 設備最適運用機能

3.1 機能概略

設備最適運用計画の中核となる最適化コア部は、工場からのユーティリティデマンド量を満たすことを制約として、購入エネルギー（自家発電設備の燃料と購入電力）のコスト・使用量やCO<sub>2</sub>排出量が最小となるような自家発電設備の運転計画及び買電計画を立案する。

3.2 最適化コア部の入出力

情報の入出力を図3に示す。

(1) 入力

以下の3種類の情報を入力とする。

- (a) デマンド量：工場の電力，熱の需要量の時系列データ（例：1時間ごと，翌日24時間分）である。
- (b) 設備特性：ボイラやタービン等，各々の設備についての入出力特性である。例えば蒸気タービンの場合，入力蒸気量(t/h)と発電量(kW)との関係である。
- (c) エネルギー単価：購入エネルギー各々についての，単価，原油換算値などの原単位である。

(2) 出力

最適化コア部は，上記3種類の情報を基に，自家発電設備の運転計画，すなわち，自家発電設備各々についての，各時刻の運用状態・発電量・発電量を出力する。さらに，

各時刻の購入電力量も出力する。最適化コア部の出力どおりに設備の運転と電力購入を行えば，工場からのユーティリティデマンド量を満たし，かつ，エネルギーに関する目標関数の値が最小となる。

(3) 目標関数

目標関数は，運転計画がどの程度適切かを示す定量的尺度である。各工場の事情によって異なるものと考えられるが，購入エネルギーのコスト，使用量，CO<sub>2</sub>換算値などが考えられる。すなわち，以下のユーザーが定義する関数となる。

$$f(\text{購入エネルギーコスト}, \text{エネルギー使用量}, \text{CO}_2\text{換算量}, \dots)$$

燃料の種類によってはこれらの尺度の間でトレードオフがあるので，例えば，コストと使用量の線形重み付き和を目標関数とし，これらの重みを適切に調整することによって，コストミニマム優先や量優先など工場の操業事情に合わせた自家発電設備の運用が可能となる。売電を計画する場合には，この売電価格の情報を最適化コア部に与えることによって，エネルギー収支(=売電収入-購入エネルギーコスト)を最大化するような自家発電設備の運転計画をも立案できる。

4. 設備最適運用機能の検証と今後の課題

このシステムの有効性を定量的に把握・検証するために，某紙パルプ系工場でのある時間範囲での自家発電設備の運転実測データを基に，最適運用計算を行った。以下にその概要を述べる。

4.1 検証に使用した最適化手法

購入エネルギーコストと量の削減メリットを正確に得るためには，自家発電設備が部分負荷運転時に現れる設備特性の非線形性を扱う必要がある。一方，高次の非線形性を扱って最適解を求めるのは困難である。そこでこの検証では，非線形を区間一次式で線形近似し，かつ，設備の起動停止も扱えるようにするために，数理計画法の一手法である混合整数計画法<sup>(2)</sup>を用いている。これによって，従来の経験に基づく運転パターン運転に比較して，工場負荷の様々な変動に対しても最適な運転計画を得ることができ

る。目標関数は次式とし，省エネルギーと省コストを同時に満たす最適運用を探った。

$$\text{目標関数} = a \times \text{購入エネルギーコスト} + \beta \times \text{エネルギー使用量}$$

ここで， $a$ ， $\beta$ は各尺度の重みである。また，エネルギー使用量は改正省エネルギー法の計算方式と原単位に準拠した。

4.2 検証に使用した設備諸元

同工場設備は，図4に示すように，ボイラ(容量200t/h

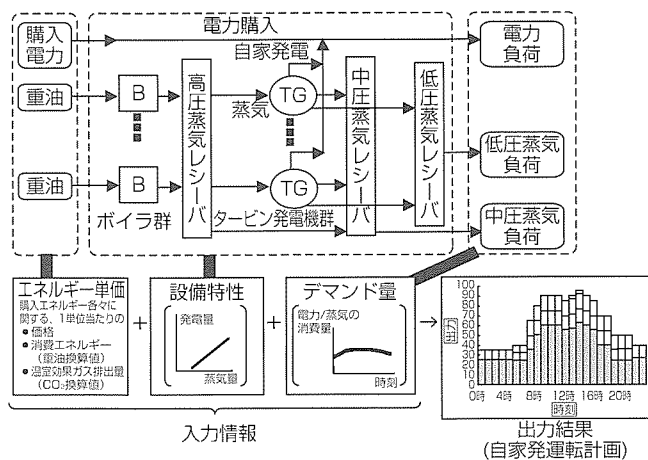


図3. 最適化コア部の入出力

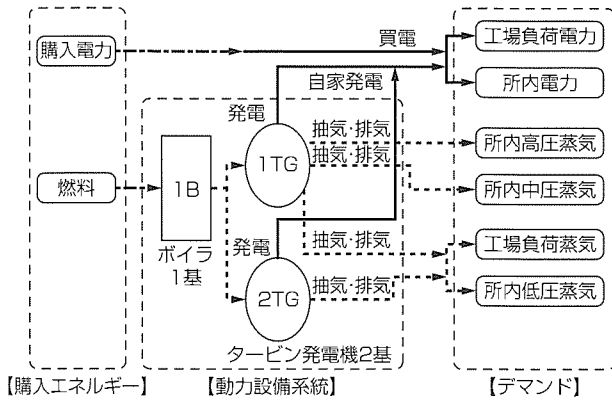


図4. 設備系統

クラス) 1基とタービン発電機(出力10MWクラス) 2基の構成であり、この自家発電設備と電力会社からの買電で所内の電力・蒸気と工場内の電力・蒸気を賅っている。

運転実測データから設備特性・ヒートバランスを求め設備特性をモデル化した。また、工場の電力・蒸気の使用量及び所内電力・蒸気の使用量実測値を要求デマンドとして設定し、これらをシステムへの入力データとした。

#### 4.3 検証結果

結果を図5に示す。同図から前項の $\alpha$ に対する $\beta$ の重み(省コストに対して省エネルギーをどの程度重視するか)に応じて最適運用ポイントは①, ②, ③と遷移し、省コストと省エネルギーを同時に満たすしきい値が存在する傾向が見られる。②の運転ポイントでは、実績値と比べて購入エネルギーコスト、エネルギー使用量共に削減が見込めることが分かる(コスト:1.9%減, エネルギー量:1.3%減)。

なお、具体的な設備運転・運用の変更点は次のとおりである。

- (1) 夜間の買電について、省コストと省エネルギーの双方を総合的に考慮し、買電時間帯を最適に調整する。
- (2) 工場蒸気は、基本的には1台のタービン発電機を定格運転させてタービン抽気で供給し、高負荷時は他のタービン発電機の抽気で補充する運用とする。
- (3) 蒸気負荷の突変に対して、大気放出弁の調整により放出蒸気量を減らす。

#### 4.4 課題

前述したとおり、このシステム導入により省エネルギー・省コストの見込みはあるものの、今後、以下に示す課題を解決することが必要である。

- (1) 最適化コア部の精度向上

前述の検証は特定の時間範囲の実績データを対象にオフラインで試算したものである。今後は、長期間つまり多様

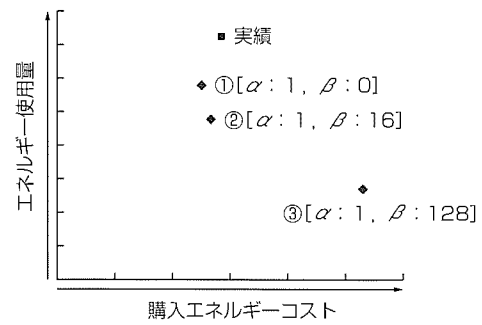


図5. 購入エネルギーコストとエネルギー使用量の相関関係

な負荷帯や気温等の状況下での実フィールド検証を実施し、デマンド予測や設備モデルの性能向上を図り、メリット試算の精度を高める必要がある。

#### (2) 設備運用の制約条件の考慮

動力設備の運転時間制約や電力会社との買電契約条件といった様々な制約条件を付加して、最適計算・評価を行う必要がある。

#### (3) 制御への展開

現時点では設備の最適運転・運用計画を出力するのみであるが、将来的には、同出力に基づいた動力設備の自動最適運転制御の方式を検討していく予定である。

## 5. むすび

前節で述べた課題を解決することで、様々な制約や複雑に入り組んだ評価指標を総合的に考慮した工場動力設備の最適運転が可能となる。また、このシステムは、工場操業や環境配慮に対する経営的な戦略立案にも活用できるものとする。これらの活用の方向性も踏まえて、このシステムによるビジネスモデルのレポートリーを検討していく予定である。

更なる展望としては、複数の工場間のエネルギー融通を想定した設備運用の相互最適化や、近年導入が活発化している自然エネルギー利用発電(太陽光, 風力, ミニ水力, バイオマス等)と既設自家発電とのベストミックス・相互連携を考慮した運用最適化などのテーマについて、このシステムの適用可能性を検討していく予定である。

## 参考文献

- (1) 上田隆美, ほか: エネルギーマネジメントシステム, 三菱電機技報, 75, No.9, 595~598 (2001)
- (2) 伊藤弘一, ほか: コージェネレーションシステムの最適計画, 産業図書 (1990)



# 製造業向けSCM/ERPソリューション “ERPの短期導入を実現する 即効構築テンプレートMELEBUS”

青野英樹\* 篠崎 衛\*\*  
関口英明\*  
中塚善之\*

## 要 旨

昨今の景気低迷により、企業のIT (Information Technology) 化への費用投資が抑制されている反面、企業存続をかけた経営・生産効率化を短期間、低コストで実現するソリューションとして、ERP (Enterprise Resource Planning) パッケージの導入に踏み切る企業が増加してきている。

大企業へのERPパッケージ導入は一巡した感があり、ERPパッケージベンダー各社は中堅・中小企業向け(本稿では、中堅企業は年商100~500億円、中小企業は年商50~100億円の企業を指す)の施策を打ち始めている。

三菱電機(以下、当社)では、SAP<sup>(注1)</sup>社のERPパッケージR/3<sup>(注1)</sup>を活用したシステムインテグレーション事業を1996年から開始している。

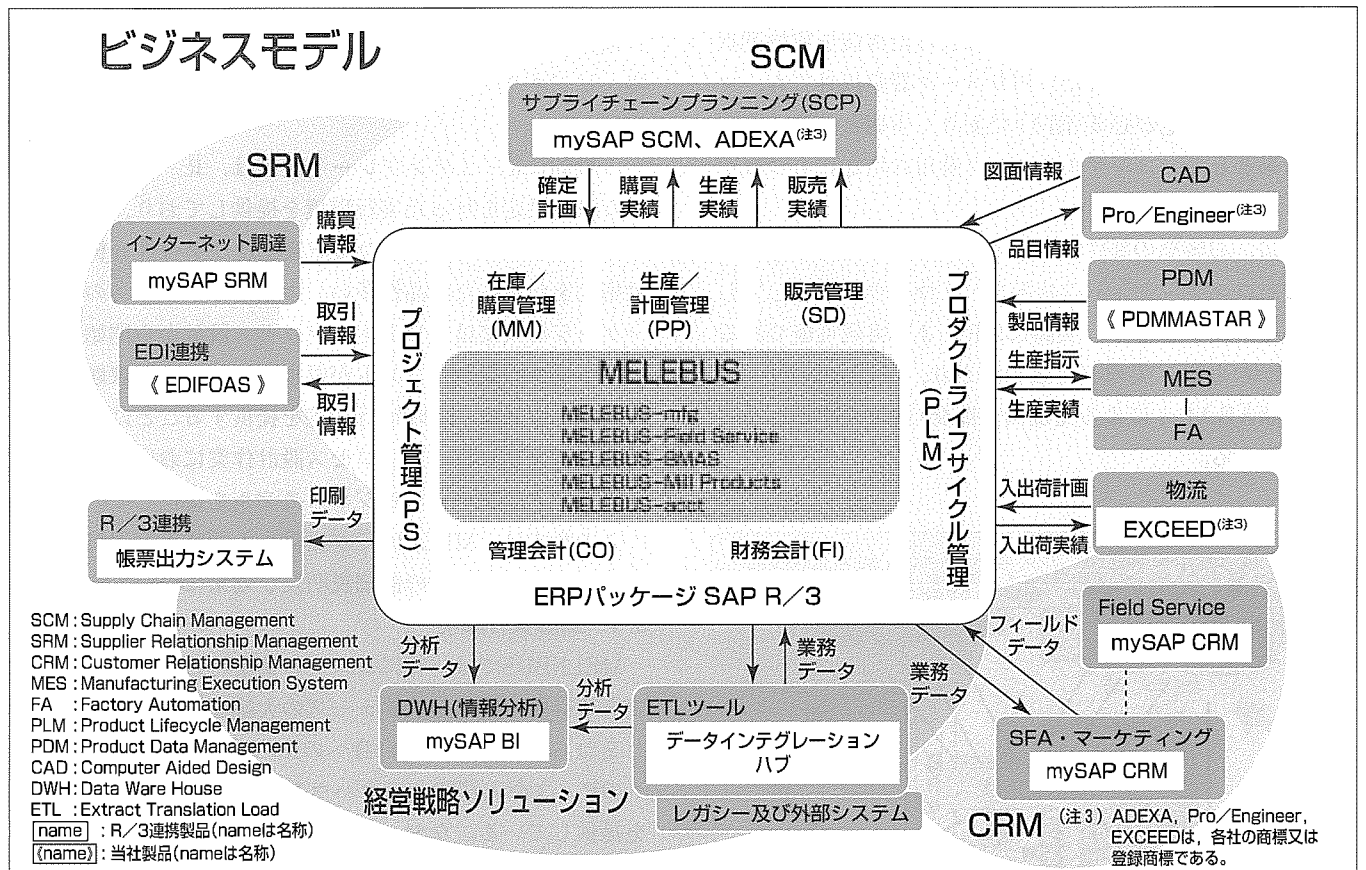
SAP社においても、パートナー企業数社(当社を含む)と提携し、R/3をテンプレート化し中堅・中小企業へ

の導入促進を図るmySAP All-in-Oneソリューション<sup>(注1)</sup>(以下、A1)の提供を開始した。A1は、ライセンス、導入コンサル費用、テンプレート費用等のトータル費用を1.5~10億円のセット製品として提供するものである。

当社では、自ら大手製造業としてR/3を導入した経験とノウハウのすべてを注入した即効構築テンプレートMELEBUS<sup>(注2)</sup>を提供している。MELEBUSは、他社テンプレートでは類を見ないビジネスモデルの提供と、ビジネスモデルをR/3で動作確認するための即時実行環境を提供する。MELEBUSを活用し、今後の成長が見込まれる中堅・中小企業をターゲットとしたR/3導入を加速していく計画である。

(注1) SAP, R/3, mySAP All-in-Oneソリューション, その他記載のすべてのSAP製品は、SAP AGの商標又は登録商標である。

(注2) MELEBUSは、三菱電機株の登録商標である。



## SAP R/3を核としたSCM/ERPソリューション全体図

当社のSCM/ERPソリューションは、業務要件フェーズに利用価値の高いビジネスモデルを土台とし、SAP R/3を核とした基幹系業務システム構築をベースに、各業務における周辺システムとの連携も含めた統合的なサプライチェーンマネジメントシステムの提供を推進している。

## 1. ま え が き

中堅・中小企業へのERPパッケージ(R/3)導入のポイントは、導入期間の短縮と導入費用の削減である。

当社では、ERPの短期・低コストの導入を目的とした即効構築テンプレート製品であるMELEBUSを活用し、中堅・中小企業へのR/3短期導入に寄与するソリューションを提供している。

本稿では、当社の提供するSCM/ERPソリューションである即効構築テンプレートMELEBUSの内容について紹介する。

## 2. R/3 導入時の課題

### 2.1 導入期間/費用

ERPパッケージ導入プロジェクトでは、システム構築の要求定義フェーズでのお客様の要件とR/3の適合性分析において、机上での分析にとどまらず、実際にR/3を動作させ、目で見て確認すること、すなわち、プロトタイプの実装が短期導入への近道となっている。

R/3は、様々な業種・業態を実現するために、何万種類ものパラメータを保持している。実際にお客様の要件に沿ったプロトタイプを作成するためには、何万種類もあるパラメータの中からお客様の要件に合った機能を取捨選択していく必要がある。また、パラメータ設定以外にも、マスタ、組織の設定が必要(図1)であり、手間と時間を要する。結果として、コンサルティング費用の増加にもつながる。

さらに、お客様の要件に対するR/3での実現可否は、担当したコンサルタントのスキル・ノウハウに依存してしまい、その結果として、実際にはR/3で実現可能であるにもかかわらず、実現不可と判断され、アドオン(R/3固有言語ABAP 4による追加機能開発)費用の増加となるケースがある。

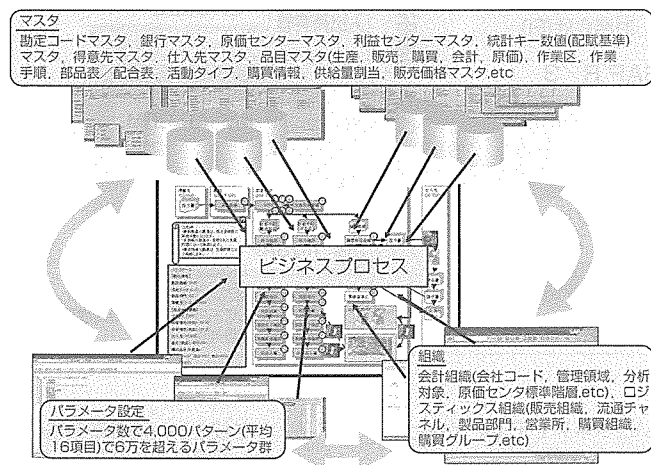


図1. R/3動作に必要な設定

## 2.2 ビジネスプロセス設計

中堅・中小企業への短期、低コストでのERPパッケージ導入には、BPR(Business Process Re-engineering)を前提としたプロジェクト推進体制が必要である。BPRをより効果的にするには、お客様固有の業務にかかわらず、ERPパッケージに業務を合わせていく姿勢、かつ、EPR導入の真の目的である企業の全体最適化を目指す姿勢が必要であり、そのためには、ERPパッケージ導入においてもビジネスプロセス設計が不可欠である。

しかし、昨今の景気悪化に伴う情報システムへの投資抑制により、中堅・中小企業の情報システム部門では、自社内で業務設計、ビジネスプロセス設計ができる要員育成に加え、自社内でERPパッケージの導入プロジェクトを推進(上申書の作成、ビジネスプロセス設計、システム設計/実装)していくことが困難となってきている。

さらに、外部コンサルタントにビジネスプロセス設計を依頼しても、導入するERPパッケージを良く知らないコンサルタントが理想を基に設計を進めてしまい、システム実装時に再度パッケージに合わせた設計をやり直すケースも多い。

## 3. 即効構築テンプレートMELEBUSの特長

当社の即効構築テンプレートMELEBUSは、即時実行環境、ビジネスプロセスの集合体であるビジネスモデルで構成される。

一般的にR/3テンプレート製品は、R/3の動作に必要な事前設定を行った実行環境を提供しており、要求定義フェーズにおけるR/3の機能確認及び適合性分析作業の効率化をねらった製品が多い。中堅・中小企業へのEPRパッケージ導入では、ビジネスプロセス設計から開始するには、かなりの期間、コストが要求されることが課題である。

MELEBUSは、即時実行環境を提供することに加えて、業務分析及びビジネスプロセス設計作業における効率化及び品質向上に寄与するビジネスモデルを提供している。

この章では、MELEBUSが提供する即時実行環境とビジネスプロセスモデルの詳細説明及び効果について述べる。

### 3.1 即時実行環境

MELEBUSでは、特にシステム構築時の最初のステップである計画・要求定義フェーズの大幅な期間短縮を図ることをねらいとし、当社自身へのR/3導入経験及びお客様へのR/3導入経験とノウハウを集約したビジネスモデルを提供している。なお、ビジネスモデルの詳細については次節で説明する。

このビジネスモデルに沿ったR/3の動作に必要な事前設定(パラメータ設定、組織、マスタ設定、モジュール間の整合性確認作業)を行った即時実行環境を提供している。

従来のERP導入プロジェクトでは、計画・要求定義フェ

ーズにおいて、即時実行環境なしでプロトタイプを構築した場合に数か月を要していたが、即時実行環境の活用により、プロトタイプ構築の負荷が低減され、ビジブルかつ即座にR/3の動作確認環境をお客様へ提供可能となった。その結果、上流設計期間を短縮し、コンサルティング費用を削減することで、短期、低コストでのERP導入を実現している(図2)。

さらに、MELEBUSは、図3のように、R/3のほぼすべてのモジュール群(販売、生産、購買、原価、会計)を網羅しており、BPRを意識したビッグバン導入にも対応できる。

### 3.2 ビジネスモデル

MELEBUSのビジネスモデルは、R/3で実装することを意識して作成されており、上流設計(ビジネスモデル設計)とシステム実装(即時実行環境)で整合性のとれたソリューションを提供可能である。

この節で述べるビジネスモデルとは、“企業活動を単純化し目に見える形で表現したもの”であり、ビジネスモデ

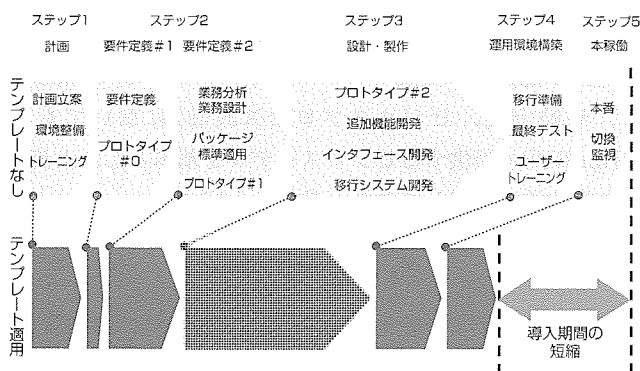


図2. テンプレートによる導入期間の短縮

ル特許等で使用される“儲(もう)ける仕組み”を意味するものではない。ビジネスモデルを表現する方法や表現する内容は様々あり、利用する目的によって使い分ける必要がある。MELEBUSでは、業務要件定義フェーズに利用価値の高いプロセスモデル及び目的モデルを提供する。

#### 3.2.1 プロセスモデル

プロセスモデルは、業務遂行に必要な構成要素(プロセス、情報、組織等)間の関係をダイアグラムとして表現したものであり、理解しやすさと再利用のしやすさを両立することが課題となる。MELEBUSでは、プロセスを生産方式及び業務の種類ごとに分類整理し、詳細化レベルごとに図4のように階層化することによって課題を克服している。モデルの構造は、SCOR<sup>(注4)</sup>を基準としており、要件定義フェーズからシステム実装フェーズへの連続性を考慮した

(注4) SCOR(Supply-Chain Operations Reference-model)は、SCMの普及を推進している非営利団体であるSCC(Supply Chain Council)が発行するSCMの参照モデルである。

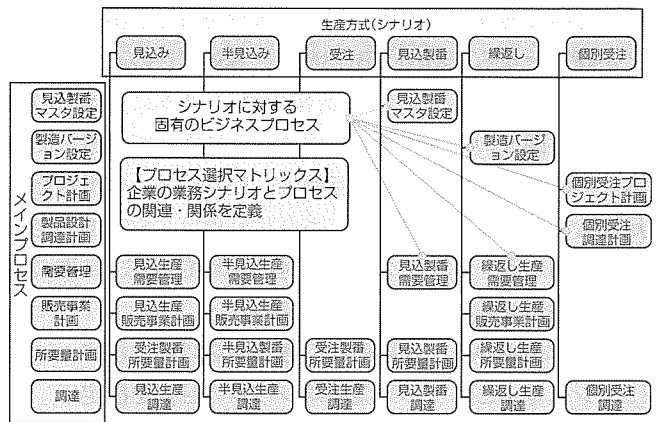


図4. プロセスモデル

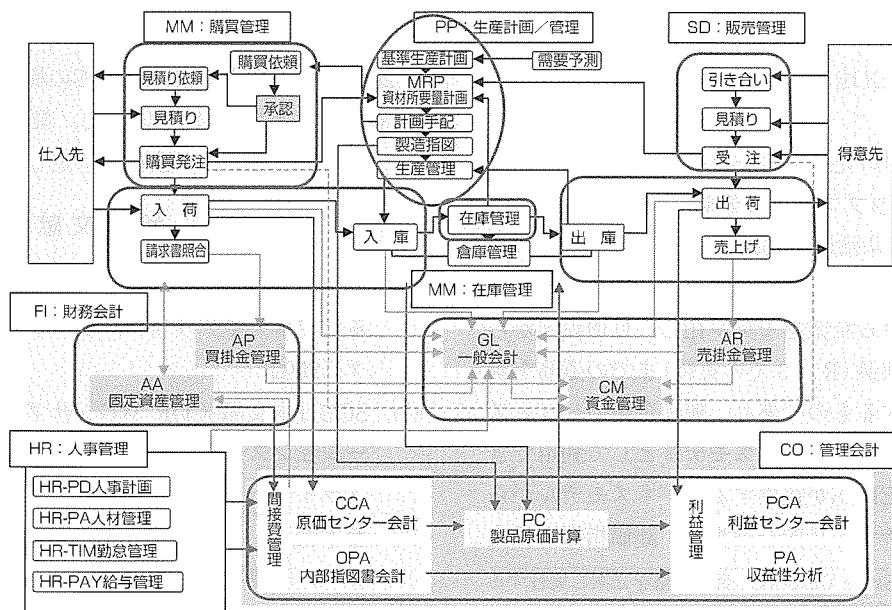


図3. MELEBUS適用範囲：ビッグバン型テンプレート

拡張を行っている。

プロセスモデルのレベル階層化の考え方を以下に示す。

- (1) プロセスの記述メッシュをレベル1とレベル2の2段階に設定
- (2) レベル1のプロセスは、SCORで定義されているプロセスタイプ(PLAN(計画), SOURCE(調達), MAKE(生産), DELIVER(受注出荷))のメッシュで表現
- (3) レベル2のプロセスは、SCOR詳細実行レベルのプロセスのメッシュで表現(R/3の機能にマッピング)
- (4) SCORで定義されているプロセスカテゴリー(見込生産, 受注生産, 受注設計生産(個別受注生産))を拡張し, MELEBUSのターゲットとしている加工組立製造業の特長な生産方式(半見込生産, 見込製番生産, 繰返し生産)を追加し, プロセスカテゴリーごとにレベル1及びレベル2のプロセスを分類整理

### 3.2.2 目的モデル

目的モデルは、企業活動によって達成すべき目標について目標間の関係(従属, 矛盾等)をダイアグラムとして表現したものであり, 目標間のバランスや妥当性を維持することが課題となる。MELEBUSでは, BSC<sup>(注5)</sup>の4つの視点及びSCORのメトリックス(評価指標)を基本に目標間の従属関係を図5のように階層化することによって克服している。モデルを構成している目標は, BSCの4つの視点を満足するように考慮してある。さらに目標は, SCORで定義されているメトリックスに関連付けられており, 目標の達成度を評価できるように構成している。

目的モデルのレベル階層化の考え方を以下に示す。

- (1) レベル1として, 事業戦略レベルの目標を設定
- (2) レベル2として, レベル1の目標を達成するための戦略目標をBSCの4つの視点(財務, 顧客, プロセス, 学習と成長)から設定
- (3) レベル3として, レベル2の目標を達成するための施策レベルの目標をSCORのメトリックスに関連付けて設定
- (4) レベル3で関連付けたメトリックスを測定評価可能なプロセスとして設定(プロセスモデルにリンク)

### 3.2.3 ビジネスモデル活用の効果

前述のようにMELEBUSの提供するビジネスモデルは, 加工組立製造業における企業をモデル化し, 目標設定から要件定義, システム実装(R/3での実装)までの道筋を論理的に一貫して提供するものであり, 個別企業のビジネスモデルを構築する際にリファレンスモデルとして利用できる。すなわち, MELEBUSが提供するビジネスモデルから各企業の戦略にマッチする目的を選択し, 評価指標を設定

(注5) BSC(Balanced Score Card)は, 企業戦略を立案し実行するための経営管理手法である。

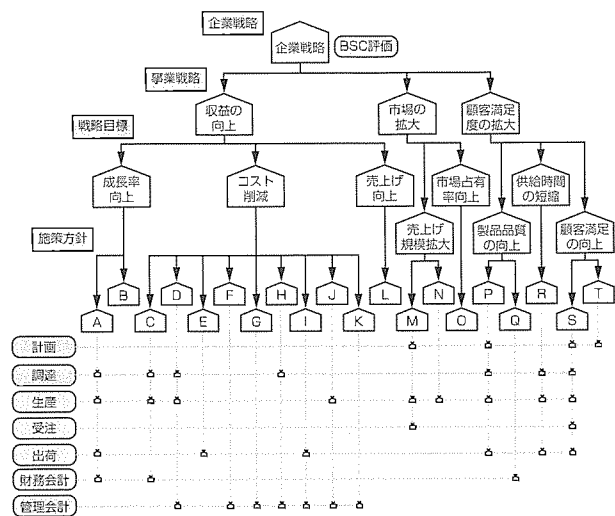


図5. 目的モデル

し, プロセスを選択し, 各企業固有の要件に合わせてカスタマイズを加えていくことによって, 各企業のビジネスモデルが構築(要件定義)できる。

このようにMELEBUSでは, ビジネスモデルを提供することにより, 即時実行環境のみの場合と比較して, システム構築全工程の大幅な期間短縮を実現している。

当社が提供する上流コンサルティングサービス(業務分析, 戦略定義, ビジネスプロセス設計)においても, MELEBUSの提供するビジネスモデルを基本とした上流工程の方法論を活用しており, 効果を上げている。

## 4. む す び

ビジネスモデルの強化により, MELEBUSは即時実行環境のテンプレートからさらに進化し, 上流設計からシステム設計/実装までのSCM/ERPトータルソリューションとして提供が可能となった。中堅・中小企業へのERPパッケージ(R/3)普及に貢献できる製品である。

2003年は, 従来のMELEBUSの機能強化(CRM対応, ビジネスプロセス追加等)に加え, 業界業種特化型のテンプレートのラインアップ強化を予定している。

## 参考文献

- (1) Eriksson, H., et al. (鞍田友美, ほか監訳): UMLによるビジネスモデリング, ソフトバンク パブリッシング (2002)
- (2) SCC日本支部SCOR WG: サプライチェーン・オペレーションズ・リファレンスモデル SCOR第4.0版, サプライチェーンカウンシル日本支部 (2001)
- (3) 藤本俊平, ほか: 製造業向けERP/SCMソリューション, 三菱電機技報, 77, No.4, 243~246 (2003)



# 特許と新案 \* \* \*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

## 半導体製造装置 特許第2661103号(特開平1-214115)

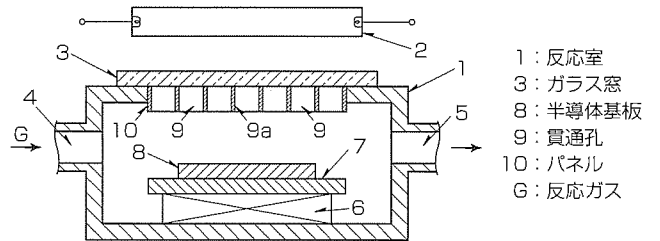
発明者 古森秀樹

この発明は、例えば発光をモニタするための光が透過するガラス窓を持つ反応室を備え、かつ、この反応室内部に供給された反応ガスによって半導体基板の表面処理を行う半導体製造装置に関するものである。

この種の半導体製造装置の一例として、プラズマ放電を用いた成膜装置やドライエッチング装置がある。これらの装置においては、分解された反応ガスの分子が半導体基板の表面に到達することにより所要の表面処理が行われるが、この際、ガス分子はガラス窓の内面にも到達するため、ガラス窓の“くもり現象”が発生する。くもり現象を解決するためにガラス窓に不活性ガスを吹き付ける構成のものなどが提案されているが、装置構造が複雑化するにもかかわらず、窓がくもるまでの時間はわずかしが改善されない問題があった。

この発明は上記の問題を解決するためになされたもので、

図に示すように、ガラス窓の反応室側表面に開口面積が $1\text{cm}^2$ 以下の多数の貫通穴が形成され、この貫通穴の開口有効直径に対しほぼ5倍以上の厚みを持つパネルを密着して配設することにより、反応室内で分解された反応ガスのガス分子が、貫通穴の内側面によってガラス窓表面に到達する前にトラップされる。したがって、装置構成の複雑化を招くことなく、ガラス窓のくもり現象を容易、かつ、有効に防止することができる。



## ウェット洗浄装置及びその薬液交換方法 特許第2948994号(特開平6-132270)

発明者 藤野直彦

この発明は、シリコンウェーハ等の基板洗浄に用いられウェット洗浄装置及び洗浄液中の異物のろ過除去に供されるフィルタの運用方法に関するものである。

従来の洗浄装置では、劣化した洗浄液を新液に交換する際、ろ過フィルタの乾燥を避けるためにフィルタへの洗浄液の循環を停止させていた。ところが、循環停止に伴いフィルタ内の圧力バランスが崩れ、フィルタ内に多量に蓄積されていた異物が洗浄液中に流出しやすくなり、洗浄液の交換直後の数時間において、流出した異物によるウェーハ汚染が持続発生するという課題があった。

この発明は上記の課題を解決するためになされたもので、図1に示すように、洗浄液の循環回路にバイパス配管(切換バルブ16と分岐配管18)を設けることによって、フィルタへの循環を行いながら洗浄液の交換ができる装置構成としたものである。図2に、従来の洗浄装置及びこの発明の洗浄装置を用いて洗浄したウェーハ上の異物数の測定結果を示す。洗浄液の交換直後におけるウェーハの洗浄性能が、この発明の洗浄装置で格段に向上しているのが分かる。

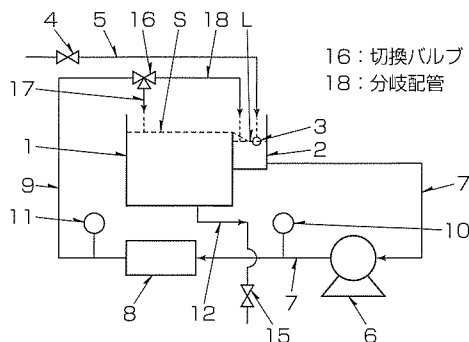


図1

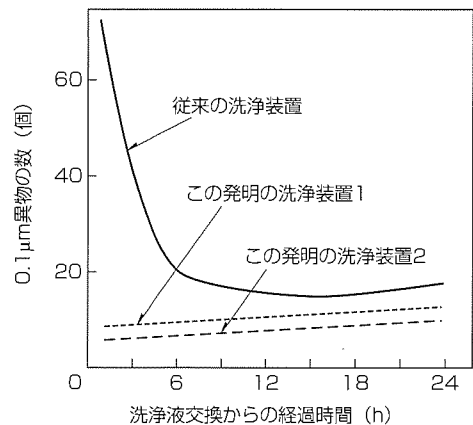


図2



# 特許と新案\*\*\*

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは  
三菱電機株式会社 知的財産渉外部  
電話 (03) 3218-9192(ダイヤルイン)

微小異物の検出および検査方法、それに用いられる走査型プローブ顕微鏡ならびに  
これらを用いた半導体素子または液晶表示素子の製法 特許第2981117号(特開平8-29354)

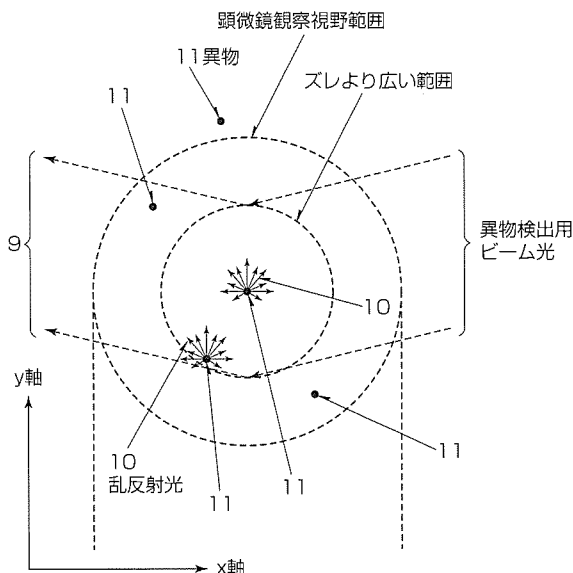
発明者 藤野直彦

この発明は、半導体デバイスや液晶表示素子等の基板の上に点在する微小異物の位置を特定し、その形状を三次元的に観察する走査型プローブ顕微鏡(SPM)に関するものである。

従来のSPMは、基板上的の任意位置表面の形状観察に用いられていた。ところが、観察視野範囲が狭いため、基板の上に点在する微小異物の観察は困難であった。また、微小異物の検出・位置特定の可能な光学式パーティクル検査装置(WIS)は、異物の大きさや形状の観察ができなかった。

この発明は上記の欠点を解決するためになされたもので、コンピュータによってSPMのステージ座標と概座標リンクされたWISを用い、あらかじめ基板上的の微小異物の位置座標を求める。SPMのステージに基板を移し替えるとともに、あらかじめ求めた異物の位置座標を入力する。この時発生する異物の存在位置と入力した位置座標との“ズレ”(数mm)を補正するため、SPMのステージ上に、異物の再観察・位置決め機構を設けている。図にズレを補正するための概念図を示す。ズレより広い基板上的の範囲にビーム光

をスポット照射し、異物によるビーム光の変化を光学顕微鏡で観察することから、異物の位置を再検出・位置決めし、SPM本来の機能で異物を三次元的に観察するものである。



## <本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

## <次号予定> 三菱電機技報 Vol.78 No.1 特集「技術の進歩」

<b>三菱電機技報編集委員</b> 委員長 井手 清 委員 小林智里 長谷川 裕 堤 清英 桑原幸志 村松 洋 松本 修 浜 敬三 田島 範一 中川 博雅 中島克人 部谷文伸 黒畑幸雄 山木比呂志 事務局 松本敬之 本号取りまとめ委員 服部 憲治 伊与田寛忠	<b>三菱電機技報 77巻12号</b> 2003年12月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2003年12月25日 発行 編集人 井手 清 発行人 松本 敬之 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話 (03) 3288局1847 印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス 発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03) 3233局0641 定 価 1部735円(本体700円) 送料別
URL <a href="http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/">http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/</a>	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp

# 三菱電機技報 (2003年 第77巻) 総目次

1号 技術の進歩	6号 特集「最新のNC装置, サーボシステム及びその周辺機器」	10号 特集「昇降機・ビルシステム」
2号 特集「第3世代携帯電話技術」	7号 特集「ソフトウェア開発プロセス・手法の革新」	11号 特集「交通システム」
3号 特集「IT社会に貢献する半導体」	8号 特集「IT宇宙インフラ」	12号 特集「原子力プラントの リニューアル技術」
4号 特集「ユビキタス社会に向けた ITソリューション」	9号 特集「パワーデバイス技術の 最前線」	特集「新しい発電方式, 発電事業と新技術」
5号 特集「環境技術」		

## 技術の進歩特集

	号	ページ		号	ページ
巻頭言・カラートピックス	1	4	7. 映像情報	1	76
1. 研究・開発	1	29	8. 住環境	1	79
2. 発電・系統変電・産業・公共・電気鉄道	1	48	9. FA及び産業メカトロニクス	1	83
3. 昇降機及びビル設備	1	57	10. 自動車機器	1	88
4. 宇宙・衛星及び電子応用	1	61	11. 半導体・電子デバイス	1	91
5. 通信	1	64	社外技術表彰一覧表・詳細目次	1	100
6. 情報	1	68			

## 特集論文

### 特集「第3世代携帯電話技術」

1. 21世紀型ライフスタイルの創造—第3世代携帯電話技術—	小坂益規・青山 滋・濱村正夫	2	112
2. IMT-2000標準化の概要	佐藤一美・牧平經市	2	117
3. W-CDMA携帯機用ベースバンド復調技術	青柳孝寿・中村隆彦・矢野安宏・石岡和明	2	121
4. W-CDMA携帯機用ベースバンドLSI	吉田豊彦・山本正幸・神原隆宏・武内良祐	2	125
5. W-CDMA携帯機送受信デバイス	谷口英司・新庄真太郎・森 一富	2	129
6. W-CDMA携帯機機構設計技術	高田志郎・伊藤順子・下地美保子・武者 淳・長谷川 学	2	133
7. W-CDMA携帯機の音声・音響処理技術	高橋真哉・古田 訓・松岡文啓・吉田佳子・丸橋 仁	2	138
8. W-CDMA携帯機の映像符号化伝送技術	小川文伸・浅井光太郎・馬場昌之・松田幸成・近藤省造	2	142
9. W-CDMA携帯機のイメージング技術	幡野喜子・久野徹也・結城昭正・的場成浩	2	146
10. W-CDMA携帯機セキュリティ技術	中川路哲男・松井 充・近澤 武	2	150
11. W-CDMA携帯機の基本ソフトウェア	片山吉章・黒澤寿好・上村一穂	2	154
12. W-CDMA携帯機のソフトウェアプラットフォーム	浮穴朋興・水口武尚・小中裕喜・二村祐地	2	158
13. W-CDMA携帯端末のデザイン	山本光彦・中原義仁・東田智輝	2	162

### 特集「IT社会に貢献する半導体」

1. ユビキタス社会に向けた半導体の課題と挑戦	中屋雅夫・西村 正	3	170
2. 90ナノメートル世代のシステムLSI技術	榮森貴尚・塚本和宏・牧野博之・森 義弘・宮永 續・初田次康	3	177
3. 16ビットマイコン“M16C/62P”グループ	大崎暁寿・和田啓祐・廣瀬進一・中野良宏・矢野敏之	3	182
4. マイコン内蔵テレビ信号処理LSIシリーズ	角 克晶・鈴木淳司・山田龍浩・大井真澄・小林忠昭	3	186
5. 400MHzシングルチップ・マルチプロセッサ対応M32Rコア	梶井規雄・奥村直人・金子 智	3	190
6. マイコン向けミドルウェア技術	木透康久・坂本 守・浅井 敬	3	194
7. 携帯電話用人工網膜モジュール	原 邦彦・下邨研一・長瀨洋二	3	198
8. 携帯機器向け第二世代32M Mobile RAM	鈴木富夫・築出正樹・佐藤広利・谷口浩二・福田達哉	3	202
9. 高速版64Mフラッシュメモリ	三原雅章・中山武志・宮脇好和	3	206
10. 新型SRAM	木原雄治・塩見 徹・外山 毅	3	210
11. CMOS高周波アナログ技術—Bluetoothトランシーバー—	佐藤久恭・小紫浩史	3	214

12. CMOSプロセスによる高周波デバイス技術	大森達夫・末松憲治・山川 聡	3	218
13. 0.15~0.13 $\mu$ m DRAM混載ロジック技術	藤野 毅・山崎 彰・蜂須賀敦司	3	222
14. 高速・高周波動作SOIデバイス技術	前川繁登・一法師隆志・岩松俊明・近藤晴房	3	226

### 特集「ユビキタス社会に向けたITソリューション」

1. インフォメーションシステム事業のねらいと展望	仙波 良・風間成介	4	234
2. ユビキタスセキュアソリューション	勝山光太郎・小松田敏二・佐藤勝幸・吉田 稔	4	239
3. 製造業向けERP/SCMソリューション	藤本俊平・石川 潔・久保田雅彦	4	243
4. フィールドサービスソリューション	尾崎 隆・福地陽一・三澤一夫・柴田俊二・清水光洋	4	247
5. 金融情報システム向けセキュア情報活用ソリューション	菊竹秀夫・荻野義一・松岡恭正・虎渡昌史・五月女健治	4	251
6. 新しいアーキテクチャによる酒類小売業向けソリューション	平塚智広・堀江信一・南 英知・山内 明	4	255
7. 中堅・中小企業向けITワンストップソリューション	谷ヶ崎明久・加藤修司・庭山正志	4	259
8. サーバベースコンピューティング(SBC)ソリューション	岡田潤之・河東 勇・清水茂樹	4	263
9. データウェアハウスソリューションとその適用効果の実例	安藤隆朗・郡 光則・東 辰輔・森田 登・三浦 隆	4	267
10. 最新ASPサービスとサービスレベルアグリーメント(SLA)	山田秀輝・及川和彦・細川真人・坂本顕男・近内 誠	4	271
11. ブロードバンドソリューション	伊藤隆夫・中川智明・富樫昌孝・磯西徹明・田名網淳夫	4	275
12. 企業向けネットワークソリューション	工藤和仁・市橋立機・秋山 誠・小山幸春・村上正信	4	279
13. アウトソーシングソリューション	西出政司・久保田雅彦・金子芳男・松本敏典・山本俊文	4	283
14. ビジネスプロセス管理ソリューション	桜田 孝・金山茂敏・鷺津 忍・川口正高	4	287
15. ITソリューションを支えるプロジェクトマネジメント(ISO9001, CMM)	芝田 晃・佐々木 誠・二村祐地・岩切 博・清島日出男	4	291

### 特集「環境技術」

1. 三菱電機第4次環境計画と技術開発への取り組み	東 健一・星之内 進	5	298
2. 三菱電機製品の環境効率指標の試算“ファクターX”の考え方と環境対策	高橋徹也・上野 潔	5	305
3. 太陽電池セル・モジュール鉛フリー化	森川浩昭・安田順一・宇都宮敬一郎	5	309
4. 電球形蛍光ランプ“ルピカボールミニ”	山崎広義・浜口岳久・此本高裕・浅見俊一	5	313
5. 循環型社会に向けた環境統合情報システム	境 国昭・関 昌弘・福田孝司・内藤知子・川原 明	5	317
6. 生産技術棟建設における省エネルギーへの取り組み	内山朋亮	5	323
7. グリーン調達に対応した環境保全物質管理システム	近藤俊介・宮崎恒行・加藤六彦・對馬一宏	5	327
8. 冷蔵庫用発泡ポリウレタン断熱材のケミカルリサイクル	村井道雄・藤本隆光・嶋村光助・高木 司・辻原雅法	5	331
9. 熱硬化/熱可塑ハイブリッドによる易分解樹脂	三村研史・伊藤浩美・反田哲史	5	335
10. 高効率O <sub>3</sub> /UV処理による難分解性排水処理	上村美貴・古川誠司・廣辻淳二・鐘ヶ江裕三	5	359
11. 下水汚泥からのリン回収技術	安永 望・古川誠司・廣辻淳二・鐘ヶ江裕三	5	343
12. 固体高分子型燃料電池電源	松村光家・三谷徹男・漆畑広明	5	347
13. 室内環境適合クリーン燃焼技術	佐藤 稔・重岡浩昭・小関秀規	5	351
14. 大気圧プラズマによるPFC除害装置	稲永康隆・吉田清彦・土井雅史・葛本昌樹・鐘ヶ江裕三	5	355
15. LCAによる変電機器の環境負荷評価	廣瀬悦子・藤本隆光・矢野 徹・羽馬洋之・但田昭司	5	359

### 特集「最新のNC装置、サーボシステム及びその周辺機器」

#### 最新のNC装置技術

1. 工作機械制御装置の将来	垣野義昭	6	366
2. 中国市場向け超小型高性能マシンコントローラ“EZMotion-NC E60”	岩井文雄・三田善郁・福谷武都志	6	371
3. 400V電源対応NC用ACサーボ・主軸駆動システム	田中利貴・加知光康・中村和幸	6	375



4. NCサーボのオートチューニング機能	小澤正啓・田中貴久・林 鋭志	6	379
5. 高速・高効率ビルトインIM主軸モータ	嶋田明広・仲 興起・川島和之・小川 徹	6	383
6. ナノメートル制御CNC	朽木 清・関川勝秀・設楽達哉・加知光康	6	387
7. 高精度金型加工制御機能	佐藤智典・杉江 弘	6	391

#### 最新のサーボコントロール装置技術

8. サーボコントローラの新しい試み	松井信行	6	395
9. 汎用ACサーボの制振制御機能	松本浩輝・長野鉄明・寺田 啓・磯田隆司	6	401
10. 印刷機対応制御機能	西村 眞・上田浩一郎	6	406
11. 汎用バス対応コントローラ — SSCNETとポジションボードの特長—	世木逸雄・原田保信	6	410

#### オープンフィールドネットワークCC-Link

12. オープンフィールドネットワーク“CC-Link”の普及とパートナー製品	原田昭男	6	414
13. オープンフィールドネットワークの位置付けと最新動向	飯田裕一・石田 誠	6	418
14. オープンフィールドネットワークCC-Link及びCC-Link/LTの開発技術	可知祐紀	6	422

#### 特集「ソフトウェア開発プロセス・手法の革新」

1. ソフトウェア開発プロセス・手法の革新への取り組み	木村廣隆・坂井英明・堀池 聡	7	430
2. 組織のソフトウェア開発成熟度を向上させるプロセス改善	佐々木 誠・真野哲也・小林正幸	7	435
3. ソフトウェア開発を成功に導くためのプロセス管理	山田裕子・安田光宏・長江雅史・佐々木俊昌・藤原良一	7	439
4. ソフトウェア単体試験支援技術	藤本卓也・松井聡一・岩垣征樹・小松 理・田口弘一	7	443
5. 鉄道システムにおける開発プロセスの監査活動	高橋 理・石岡卓也・駒谷喜代俊	7	447
6. 監視制御システム向けフレームワーク	小島泰三・野里貴仁・千葉裕二・山口 崇	7	451
7. 基幹業務システム開発におけるソフトウェア再利用技術への取り組み	上野浩一郎・倉持和彦・熊井秀憲・阿波道雄・浦井哲哉	7	455
8. MVCアーキテクチャを実現するアプリケーションフレームワーク“BizFrame”と適用事例	原田雅史・松田昇平・土屋 隆・鷺津 忍・武井篤志	7	459
9. 車載情報端末フレームワーク	上川哲生・下谷光生・橋本浩二	7	463
10. 組込み用ブラウザ・メーラソフトウェアの展開	山中 弘・佐々木幹郎・中 邦博・西川正治・田中功一	7	467
11. 組込み用UI設計ツールをベースとしたUI設計開発	小中裕喜・中川隆志・小船隆一・浮穴朋興	7	471
12. 車両空調機器におけるオブジェクト指向技術適用	風間由美子・小林 敦・大河原 繁・渋谷康雄・木村芳美	7	475
13. 列車情報管理装置のソフトウェアプロダクトライン	吉田 実・辰巳尚吾・遠藤義雄・重枝哲也・角南健次	7	479
14. WindowsAPIのUNIX環境へのPorting技術	佐藤重雄・金田典久・高山茂伸・河井弘安	7	483
15. ソフトウェア資産活用に有効なバイナリトランスレーション技術	平岡精一・近江谷康人・西川浩司・山崎弘巳	7	487

#### 特集「IT宇宙インフラ」

1. 準天頂衛星システムの全体構想	中島 務・下村寛士	8	494
2. 準天頂衛星システム—衛星系—	野口龍宏	8	499
3. 準天頂衛星システム—高精度測位に向けて—	齋藤雅行・古川敏雄・中久喜健司・青木 浩	8	503
4. 宇宙インフラ構築への当社の取り組み概況	寺西知幸・中村悦造・中村太一・田中周作	8	507
5. 商用衛星システム“DS2000”	世古博巳・関根功治・内田洋一	8	511
6. 技術試験衛星Ⅷ型“ETS-Ⅷ”	名取直幸・本間正修	8	515
7. HTV：宇宙ステーション補給機—対有人アビオニクスシステム—	津屋直紀・小山 浩・津久井 潤	8	520
8. 太陽観測衛星“SOLAR-B”	島田貞憲・斉藤秀朗	8	524
9. 宇宙環境信頼性実証システム“SERVIS”が拓く低軌道標準衛星	安光亮一郎・桐谷浩太郎・松岡 忍	8	528
10. 宇宙用リモートセンシング動向	迎 久幸・久家秀樹・森田直哉	8	532
11. 衛星搭載用コンポーネント	上小倉明宏・後藤正芳・下平久代・上月博史	8	536

12. 宇宙開発事業団向け衛星追跡管制地上ネットワークシステム .....	皿井宏仁・藤澤達也・藤原知博・山崎哲男・村田 眞・佐藤裕之	8	.....540
13. 地域衛星通信ネットワーク用DAMA装置	.....高橋 司・西村修司・木村敏章・今井 徹	8	.....547

**特集「パワーデバイス技術の最前線」**

1. 未来社会を支えるパワーデバイス技術の進展	.....長山安治・マジウムダール ゴーラブ・由宇義珍	9	.....554
2. 新パワー素子の技術	.....湊 忠玄・高橋英樹・山下潤一・榎崎教司	9	.....559
3. 低駆動電力新トレンチIGBTモジュール“NFシリーズ”	.....田畑光晴・石村暢一・松岡 徹	9	.....563
4. 新di/dt制御機能搭載低損失・低ノイズIPM“Lシリーズ”	.....五十嵐 尚・谷口信剛・井上貴公	9	.....567
5. 大容量1,200V IGBTモジュール“900/1,400A Mega Power Dual”	.....山田順治・佐伯聖司	9	.....571
6. 3Vマイコン駆動の新世代DIP-IPM	.....岩上 徹・末次英治・白川真也	9	.....575
7. 大容量(30・50A/600V)DIP-IPMのパッケージ構造技術	.....川藤 寿・内田清宏・上田哲也・林 建一	9	.....579
8. 新方式力率改善コンバータ“DIP-PFC”	.....岩崎光孝・瀬尾 護・天野勝之・孔 小明	9	.....583
9. ソフトリカバリダイオード搭載1.7kV HVIGBTモジュール	.....森下和博・石澤慎一・井浦真一	9	.....587
10. 6.5kV級IGBT	.....末川英介・石澤慎一・川口安人	9	.....591
11. マトリックスコンバータ用逆阻止IGBT	.....高橋英樹・金田 充・田畑光晴	9	.....595
12. 微細構造適用600V系HVIC	.....楠 茂・清水和宏・守谷純一	9	.....599
13. パワーモジュールの長寿命化技術	.....菊池正雄・林 建一・吉原邦裕・高尾治雄・鶴迫浩一	9	.....603
14. 2kV耐圧SiC-MOSFET技術	.....今泉昌之・樽井陽一郎・大塚健一	9	.....607
15. パワーモジュールの分布定数抽出と動特性解析	.....大井健史・碓井 修・中武 浩	9	.....611

**特集「昇降機・ビルシステム」**

1. 昇降機・ビルシステムの動向と将来展望	.....杉山美樹・山田邦雄	10	.....618
2. 三菱乗用エレベーター“NEXCUBE”(ネクスキューブ)	.....森 顕伸・船井 潔・安江正徳・竹内伸和	10	.....623
3. 駅舎エレベーター	.....小泉喜彦	10	.....627
4. 中間階免震建物用エレベーター	.....渡辺誠治・林 美克・府内宣史	10	.....631
5. 高速エレベーター用薄形巻上機	.....船井 潔・高井啓司・廣中康雄・大穀晃裕	10	.....635
6. 昇降機監視システム	.....天野雅章・千葉裕二・濱地浩秋	10	.....639
7. ドアの気配り安全装置(センサ応用)	.....高橋達司・鹿井正博	10	.....643
8. 傾斜部高速エスカレーターの基礎技術	.....小倉 学・湯村 敬・治田康雅・吉川達也	10	.....647
9. 最近の高速エレベーターの施工例	.....野嶋和彦・藤田 薫	10	.....651
10. 昇降機保守“ELE-FIRST”	.....塩崎秀樹・文屋太陽	10	.....655
11. 三菱エレベーターリニューアル“ELEMOTION”	.....柴田雅雄・奥田清治・中道良昇・斎藤俊一郎	10	.....659
12. 三菱統合ビルオートメーションシステム“MELBAS-AD”のWeb化とエネルギー管理機能強化 .....	.....阪田 哲・福田浩士・小島康治・藤田裕之	10	.....663
13. 三菱統合ビルセキュリティシステム“MELSAFETY-S5”	.....星野一郎	10	.....667
14. 三菱小型指紋照合装置“FPR-MK3Bシリーズ”	.....大江敏男	10	.....671
15. 昇降機の生産情報システム	.....竹内 太・井上清知・仲 修二郎	10	.....675

**特集「交通システム」**

1. 21世紀の交通事業への取り組み	.....宗行満男・金田順一郎	11	.....682
2. 交通情報システムの現状と今後の取り組み	.....四方 進・加山 勉・駒谷喜代俊	11	.....687
3. 運行情報制御システムの現状と今後の展望	.....本間英寿・伊地知政弘・府川達也・石岡卓也	11	.....691
4. 今後の車両基地システムへの取り組み	.....長嶋 真・永尾俊繁・野崎泰隆・片岡健司	11	.....697
5. 信号保安と列車制御システムの現状と今後の展望	.....落合 統・林 成男・明日香 昌	11	.....701
6. 最近の鉄道通信システム	.....藤岡 滋・岩根真一・木村尚史	11	.....705
7. 駅システムの現状と今後の動向	.....有村慎一・大崎 満・木村尚史	11	.....709

8. 最近の車両システム	小尾秀夫	11	713
9. 車両情報システムの将来展望	角南健次・河村薫子・沖 雅雄	11	719
10. 車載用パワエレ機器の現状と今後の展望	菊池高弘・寺澤英男・河本祥一	11	723
11. 車載空調システムの現状と今後の展望	山城芳裕	11	727
12. 電力システムの現状と今後の展望	米畑 譲・藤田敬喜・榊井 健	11	731
13. 海外鉄道システムの取り組みについて	関根康祐・武知秀行	11	737

**特集 I「原子力プラントのリニューアル技術」**

1. 原子力発電所のリニューアル技術	早川利文・山脇雅彦・服部憲治	12	746
2. プラント計算機の更新技術	岡本浩希・小峰一郎・杉野孔一・深津裕二	12	750
3. 計装制御設備の更新技術	山西忠敏・原田和世・杉谷 滋・稲積義則・前山一登	12	754
4. 放射線計装設備の更新技術	高岡 章・泉 伸幸・高木淳之・浦中康夫・五嶋一茂	12	758
5. 制御棒制御装置の更新技術	別府伸一・松村俊明・福光裕之・右近浩幸・野崎保志	12	762
6. 実機環境模擬試験設備	山西忠敏・高松典彦	12	766
7. 発電機／モータの絶縁評価と更新技術	宮原正敏・小松原健介・岩永英樹・粟田基次	12	769
8. 変圧器の寿命診断技術と更新技術	野田 陸・大野孝雄・勝河幸一・東畑和也	12	772

**特集 II「新しい発電方式，発電事業と新技術」**

1. 再生可能エネルギー発電プラントへの取り組み	岡崎勝広・町野 毅・橘 浩司	12	775
2. PPS・IPPへの取り組み	番場隆治・高松宏至・上田健二・中田浩人	12	779
3. コージェネレーションシステム	小鍛治 稔・田中武司・左野祐二	12	783
4. 発電所向け監視制御システム	廣島郁芳・西都一浩・高橋恵士	12	787
5. 一般産業用コントローラを適用した水力一体形配電盤の最新技術	佐藤裕二・岩下正則・西本耕二郎	12	791
6. 火力発電所における省エネルギー・保守／管理サービスの最新技術	阿南義憲・藤田高規・佐伯 稔	12	795
7. 電力規制緩和に対応した自家用発電所の運用システム	薩摩泰博・武田和幸・小柳晋一・松本匡史	12	799
8. 産業プラント向けEMS	片桐三津雄・田中滋樹・高松宏至・進藤静一	12	803

**普通論文**

製造業向けSCM／ERPソリューション“ERPの短期導入を実現する即効構築テンプレートMELEBUS”	青野英樹・関口英明・中塚善之・篠崎 衛	12	807
---	---------------------	----	-----



発電機の電圧を制御する自動電圧調整装置(AVR)は、運転に不可欠な装置であることから、高い信頼性及び容易な操作性・保守性が要求されます。さらに近年では、電力系統及び電力融通の増大に伴う系統安定度の低下を防止するため、励磁制御による系統安定度向上の要求がますます高まっています。また、電力の自由化を背景とした設備費やランニングコストの削減も重要な課題となっており、これらのニーズにマッチした高機能・高信頼で経済性をも兼ね備えたデジタル式AVRを供給しています。

## 特長

デジタル式自動電圧調整装置(D-AVR)は、従来のアナログ式AVRと比べ、次のような特長を持っています。

### 高機能・高性能な制御の実現

- 主CPUに32ビット高速マイクロプロセッサを採用することにより高速演算処理を実現
- デジタル変換器の採用による制御精度及び安定性の向上
- 制御関数定数の自己設計機能を装備
- AQR、PSSなどの付加機能を容易に装備可能
- CPU2台故障時にも、手で電圧を制御できるバックアップ機能を装備

### 操作性・保守性の向上

- 運転操作スイッチを簡素化し、発電機電圧及びAVR使用/除外等の操作性を向上
- 自己診断機能と階層化された警報システムにより、故障個所の早期発見が可能
- 発電機電圧・電流などの諸量の事故記録機能を装備
- 運転状態表示、制御モード表示、個別警報表示、制御モード

切替操作及び設定変更などが可能なグラフィックディスプレイパネル(タッチパネル方式)を採用

- カード故障時の復旧手順をグラフィックディスプレイパネル上に表示することにより、復旧時間を短縮
- プリントカードの活線挿抜可能なシステムを実現
- 保守ツールによるオンラインモニタなど機能を充実

### 信頼性の向上

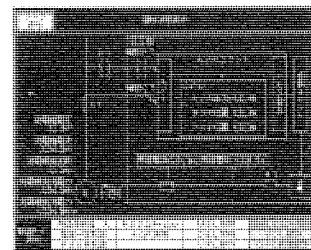
- 機能のソフトウェア化による部品点数・配線量の低減
- 主制御部すべてを二重化し、自己診断機能により自動的に待機系に切り換わるシステムを実現
- 二重化システムではCPU、アナログ入力、パルス制御出力などの各部位ごとの二重化システムの採用により、同一部位以外の多重故障の場合でもAVR運転を継続可能

### スペースファクタの向上

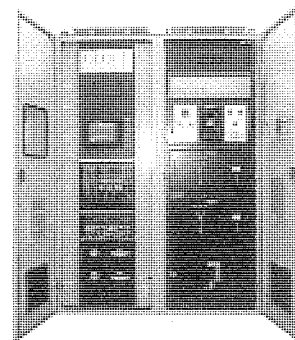
- 機能の高密度化を実現
- 従来アナログ盤5面構成のものを盤2面構成で実現(標準ブラシレス二重化タイプ、当社比)

### 総合的な経済性の向上

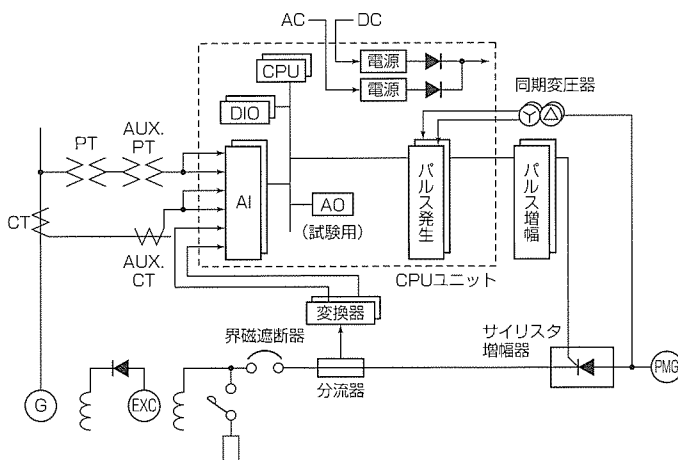
- 従来別盤であったAQR、PSS等の機能を組み込み可能とすることで、設備費や保守費用を削減
- 定期点検の省力化により、ランニングコストを低減



グラフィックディスプレイ運転状態監視画面



AVR盤前面



システム構成図(ブラシレス励磁方式、全二重化構成の例)

# スポットライト

# 三菱中規模計装制御システム “MELTAC-700C”

MELTAC-Cシリーズは、原子力プラントの制御・監視に要求される高信頼性・高保守性を兼ね備えた中規模計装制御システムです。主に原子力プラント及び関連設備の水処理施設、廃棄物処理施設等の周辺設備に適用されており、FCS(Field Control System)、OPS(Operators Station)、エンジニアリングツールで構成されたシステムです。

MELTAC-700Cは、業界標準技術をベースに小型化・低コスト化・高機能化・オープン化を実現した最新機種です。

FCSのCPU部、入出力部、ネットワークは完全二重化可能であり、また、強力な自己診断機能により、異常発生時に異常部位を特定することが可能です。

入出力部に横河電機(株)製・小型多点入出力“オープンIO”を採用し、省スペース化を実現しました。

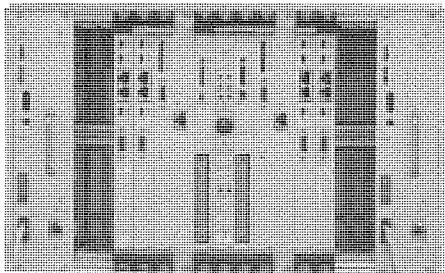
OPSには産業用パソコンを採用し、UPS、RASボードと組み合わせて高信頼性を確保するとともに、タッチパネル、ファンクションキーボードを接続することで操作性を高めています。

エンジニアリングツールは、FCSのロジック作成、状態モニタなど様々な機能を提供し、ソフトウェアライフサイクル全般をサポートしています。

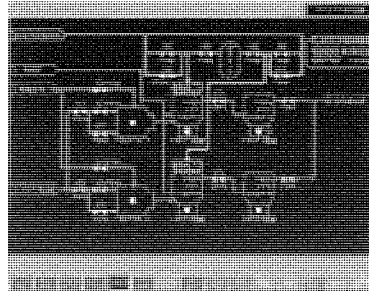
## 特長

- (1) CPU部、入出力部、ネットワーク共に二重化が可能
- (2) ネットワークにEthernetを採用し拡張性と定周期性を実現
- (3) 小型多点入出力を採用し省スペース化を実現
- (4) OPSは優れた操作性・拡張性・高信頼性を実現
- (5) OPSにエンジニアリングツールを内蔵可能

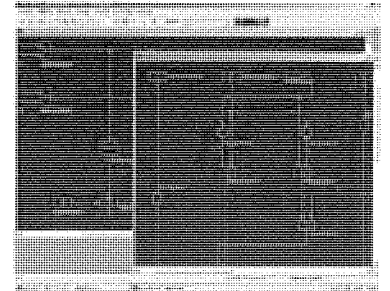
CPU部の外観



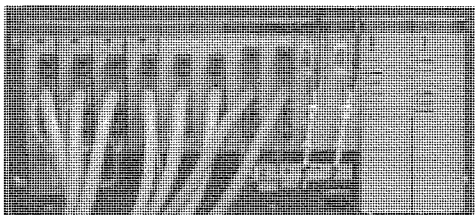
OPS画面例 (系統図)



エンジニアリングツール画面例 (オンラインモニタ)

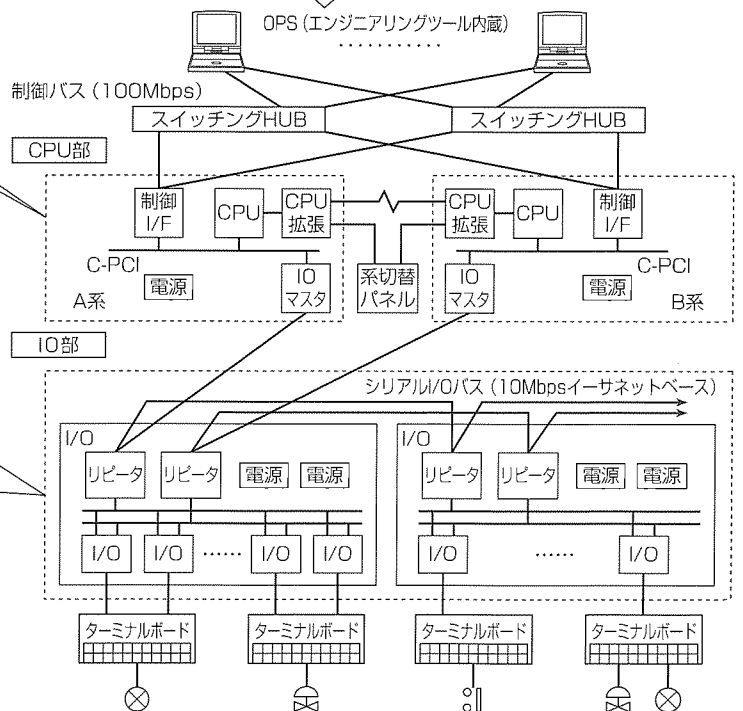


オープンIOの外観



オープンIOの主なメニュー

種別	絶縁方式	点数(点/枚)
デジタル入力	一括	32
デジタル出力	一括	32
電流入力	個別	8
電流入出力	個別	4点入力/4点出力
電圧入力/電流出力	個別	4点入力/4点出力
熱電対入力	個別	16
RTD入力	個別	16



MELTAC-700Cシステム構成

住 所：〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-2-3 (三菱電機ビル)

会社名：三菱電機株式会社 社会インフラ事業本部 お問い合わせ先：原子力部 TEL (03)-3218-2608