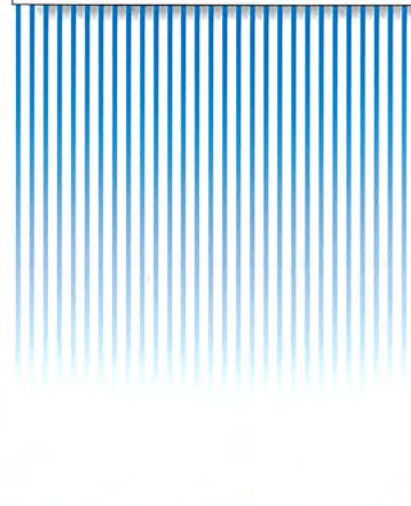
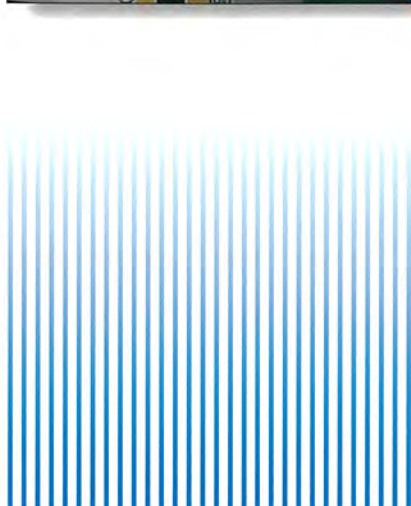


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.81 No.10 2007 10

特集Ⅰ「人と環境にやさしい交通システム」

特集Ⅱ「発電プラントの最新技術と応用展開」



目次

特集 I 「人と環境にやさしい交通システム」

“交通システム技術” 特集に寄せて 1
水間 毅

人と環境に優しい交通システムへの取り組み 2
小尾秀夫

人にやさしい旅客案内システム 7
高木大史・重枝哲也

環境を支える車両動態監視システム 11
福田司朗・永尾俊繁・出口生滋・藤野友也

環境にやさしい車両駆動システム 15
根来秀人・寺澤英男・坂根正道・西川武志・広瀬悦子

交通分野における情報ユニバーサルデザイン 23
金子達史

車内環境向上を目指した空調システム 27
白石和彦・酒井 修

特集 II 「発電プラントの最新技術と応用展開」

21世紀のニーズに応える新たな発電技術 31
吉川榮和

高速・大容量ネットワーク適用による
原子力発電プラント向け総合デジタル設備の実現 32
佐久間智英・北村一雄・松本 等・岡本浩希

国内コンバインドサイクル発電プラントへの
取り組みと適用技術 36
松本匡史・柳川茂幸・門田成悟・若林 聖

最新の水力発電技術 42
町野 毅・大川雅博・藤本路奥・寺山雄一郎・矢倉武宣

大容量水素冷却発電機の最新技術動向 46
田中賢治・増永 顕・古賀清訓

タービン発電機への最新電磁界解析技術の適用 50
前田 進・米谷晴之

発電プラントにおける監視制御用ネットワーク 54
増濱和生

大容量複合形発電主回路用開閉装置 58
岸田良二・山下 透・松田大二

Passenger and Environment Friendly Transportation System
In Expectation of Transport Technology
Takeshi Mizuma

Passenger and Environment Friendly Transportation System
Hideo Obi

Passenger-Friendly Information Systems
Daiji Takagi, Tetsuya Shigeeda

Environmentally-Significant Diagnostic and Monitoring System
Shiro Fukuta, Toshishige Nagao, Seiji Deguchi, Tomoya Fujino

Environment-Friendly Propulsion Systems
Hideto Negoro, Hideo Terasawa, Masamichi Sakane, Takeshi Nishikawa, Etsuko Hirose

Universal Design for the Information System in the Field of Public Transportation
Tatsuji Kaneko

Air Conditioning System for Advancement of Amenity in the Train
Kazuhiko Shiraishi, Osamu Sakai

Advanced Technology for Power Plants and its Applications
New Electric Power Technologies for the Needs of the 21st Century
Hidekazu Yoshikawa

Development of Full-Digital I&C System Applying High-speed and Large-capacity Network
for Nuclear Power Plant
Tomohide Sakuma, Kazuo Kitamura, Hitoshi Matsumoto, Hiroki Okamoto

Solutions and Technologies for Domestic Combined Cycle Power Plants
Tadafumi Matsumoto, Shigeyuki Yanagawa, Seigo Kadota, Masaru Wakabayashi

The Latest Hydraulic Power Generation Technology
Takeshi Machino, Masahiro Okawa, Rooku Fujimoto, Yuichiro Terayama, Takenori Yagura

Advanced Technology of Large Hydrogen Indirectly Cooled Generator
Kenji Tanaka, Ken Masunaga, Kiyonori Koga

Advanced Electro-magnetic Field Analysis Technology for Turbine Generators
Susumu Maeda, Haruyuki Kometani

Highly-Reliable Control Network for Power Plant
Kazuo Masuhama

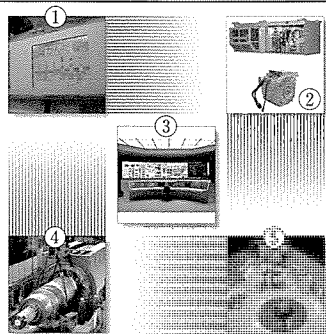
Large Capacity Switchgear for Generator Main Circuit
Ryoji Kishida, Toru Yamashita, Daiji Matsuda

特許と新案

「プリントカードの温度測定装置」 62

スポットライト

広域侵入検知センサ “MELWATCH”



表紙：人と環境にやさしい車両システム機器

三菱電機は鉄道事業において、人と環境にやさしく、信頼性の高い安全・安定輸送を実現する様々な車両システム機器を供給している。表紙の写真は、①乗客サービス向上を目的とし、ドア上に設置し、広告や行き先案内、運行情報を表示するトレインビジョンシステムと、②推進駆動装置の代表である、主電動機と推進制御装置である。

表紙：発電プラント

この特集は、発電プラントの最新技術と技術動向について述べたものである。③最新のデジタル技術を取り入れた発電プラント向け新型中央計装制御室、④高効率・大容量化が進む、原子力・火力発電プラント向けタービン発電機、⑤高速・大容量化する、水力(揚水)発電プラント向け水車発電機(発電電動機)である。

「交通システム技術」特集に寄せて

In Expectation of Transport Technology

水間 毅
Takeshi Mizuma

世界では、現在、地球温暖化現象が大きな課題となっており、一方、日本では、今後、稀代(きたい)の高齢化社会を迎えようとしている。そのような状況の中で、交通システムは環境と人に配慮しつつ発展を遂げる必要がある。

環境については、元々、鉄道のような軌道交通系システムは自動車に比して、省エネルギーで環境に優しいと言われており(自動車に比して、エネルギー消費率で約1/5、二酸化炭素排出量で約1/10)、さらなる進歩を遂げているが、今後は、さらに二つの方向での開発が望まれる。

一つは、現状の安全性を向上させつつ環境に配慮した機器、システムを開発することである。これは、機器やシステムの低騒音化、高信頼性化を図り、低環境負荷(LCC)にも配慮した開発を進めるとともに、日本の鉄道が培ってきた“安全性”も向上させるという両面からの開発である。そのためには、予防保全という考え方を進展させることが重要である。予防保全とは、機器やシステムを常時監視して、重大な故障や事故に至る以前にその予兆を検知して、未然に対応を行うことである。この考え方は、近年、人体の安全に関する考え方等では一般化しており、例えば、鉄道でよく話題となる漏洩(ろうえい)磁界に対して、たとえ、鉄道からの漏洩磁界のレベルが、人体の安全上の指針値を下回っていたとしても、より安全側を見て、できうる範囲(コスト等を考慮して)で対策を採ることが推奨されており、鉄道システムでも、このような考え方を一般化させる必要がある。すなわち、車両搭載機器、システムの動作状態をリアルタイムに監視して、その情報を分析し、故障、事故への予兆を検知して、場合によっては、未然に対応を行うシステムの開発が望まれ、これが実用化されるとさらなる安全性向上が望まれる。

もう一つは、環境に優しい交通システムを人々がより利用するように誘導可能な技術開発を進めることである。利用者は、交通システムが環境に優しいからといって利用を促進してくれるわけではない。便利であるから利用するのであり、便利でないシステムは利用されなくなる。したがって、便利で、人が利用したくなる交通システムの開発が今後は重要になってくると思われる。

では、便利な交通システムとはどういうものであろうか？これは、利用する人と交通システムとの関係によって大きく異なる。例えば、都市間を結ぶ交通システムや都市

内の通勤を主体とした交通システムの場合、適切な情報提供が重要であり、地方の交通システムでは、バリアフリーやサステナブルな技術開発が重要である。

情報技術は、近年著しく進歩し、それを利用して、便利な交通システムを構築することは、利用者の利便性にとって望まれるが、適切な情報を提供することが重要である。すなわち、都市間交通システムでは、乗り継ぎや降車地における交通情報の提供、インターネットの利用等、長時間の乗車でも、飽きない、仕事、情報検索等ができる環境作りが望まれる。一方、都市内交通システムでは、乗り換え案内やダイヤ乱れ情報など短時間に効果的な情報提供が望まれる。また、故障、事故等が発生した場合のスムーズな乗り換え情報は、現在、特に望まれており、単なる情報提供に留まらず、それらの情報から最適な誘導方法も提供できるシステムの開発が望まれる。

バリアフリーやサステナブルな技術については、地方では特に望まれており、お年寄りが、抵抗なく自宅から目的地へ行けるシステムの構築が望まれている。それには、交通システム単独のバリアフリー化だけではなく、自宅-複数の交通システム-目的地の流れが、スムーズになるような総合的なバリアフリー化が望まれ、さらに、時間のロスが少ない接続も望まれる。そのための情報提供も重要である。さらに、地方においては、公共交通システムの利用の減少が叫ばれているが、高齢化社会を迎えるにあたっては、公共交通システムをサステナブル可能なように構築して、高齢者が安心して利用できる環境を維持することも重要である。すなわち、交通システム技術を“人に優しく”をキーワードに開発するとともに、これらの交通システムをネットワーク化することがより重要である。そのためには、行政側と協力して、交通システムのネットワーク化の中で、バリアフリー、情報といった技術を搭載した個別の交通システムの開発を行う必要がある。そうすることで、人に優しい交通システムに人々が誘導され、結果として、環境に優しい交通システムが発展を遂げることになる。

以上のように、交通システムは、“人と環境にやさしい”をキーワードに、今後のさらなる発展が望まれるが、情報というキーテクノロジーを中心として個別に発展するのではなく、総合的な交通体系の中で継続的な発展を遂げるような開発を行っていくことが望まれる。



小尾秀夫*

人と環境に優しい交通システムへの取り組み

Passenger and Environment Friendly Transportation System

Hideo Obi

要旨

社会インフラの根幹に位置付けられている交通システムにおいては、その基本である安全性・信頼性の更なる向上とともに、少子高齢化や地球環境問題への対応、利用者利便性の一層の向上など現代社会が求める新しいニーズに的確にこたえていくことが重要な課題となっている。

三菱電機は“Better Mobility”を交通事業のスローガンとして、“世界No.1の車両用電機品メーカー”を目指すとともに“次代をになう交通システムプロバイダー”として社会に貢献するために、車両システムを基幹製品とし、電力システムや総合指令システム、駅システムについても豊富な実績を積み重ねてきた。

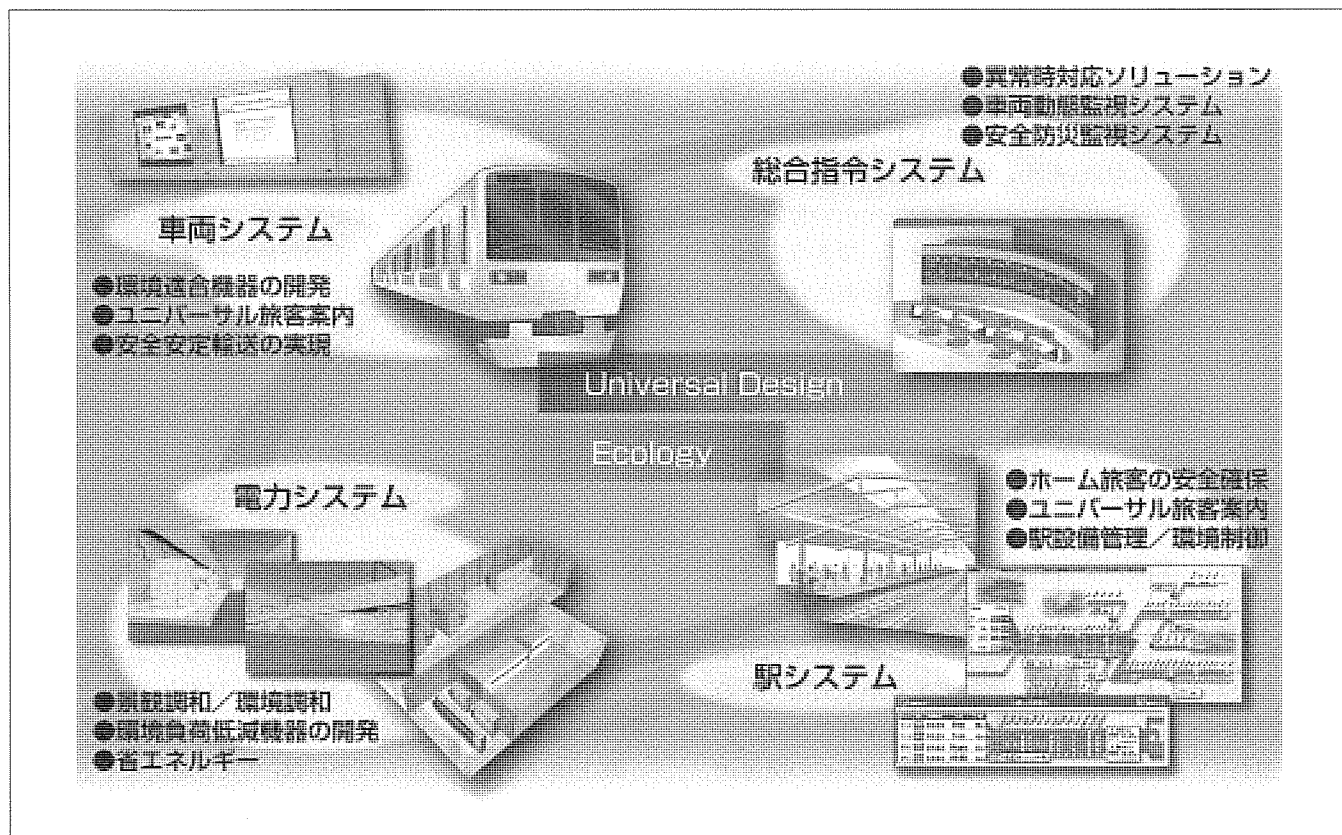
これらシステム・製品の開発にあたっては、旅客サービスソリューション“ユニバーサルデザイン”と、社会サービスソリューション“エコロジー”を念頭に、人と環境に優しい交通システムの構築に取り組んできた。

“ユニバーサルデザイン”の観点では、障がいを持たれる方や高齢の方々も健常者と同じように利用できる交通システムの実現を目指し、駅構内の移動時や列車内での適切な案内システムを提供するとともに、ホーム旅客の安全を確保するための各種システムを開発している。また、ダイヤ乱れなどの異常時に対応し、異常の早期回復と旅客への的確な情報提供を行うシステムも提供している。

“エコロジー”の観点では、車両搭載製品の小型軽量化や低騒音化、回生電力の有効利用や省エネルギー技術の適用と新エネルギーの利用など、新たな要望にこたえられるよう車両・電力設備・情報通信で総合的なソリューションを提供している。

本稿では、鉄道システムを構成する様々なシステムの分野における“ユニバーサルデザイン”と“エコロジー”への当社の取り組みと将来展望について述べる。

特集
I



人と環境に優しい交通システムへの取り組み

車両システム、電力システム、総合指令システム、駅システム等、鉄道システムを構成する様々なシステムの分野において、“ユニバーサルデザイン”と“エコロジー”を念頭に、安全・安定輸送の確保に向けて技術革新を図っている。

1. ま え が き

当社は“Better Mobility”を交通事業のスローガンとして“世界No.1の車両用電機品メーカー”を目指すとともに“次代をになう交通システムプロバイダー”として社会に貢献するために、製品開発を進めている。

一方、21世紀の鉄道においては、安全性・信頼性の更なる向上とともに、少子高齢化や地球環境問題への対応、利用者利便性の一層の向上など現代社会が求める新しいニーズに的確にこたえていくことが重要な課題となっている。

本稿では、このような背景に基づき、人と環境に優しい交通システムをテーマに、鉄道システムを構成する様々なシステム分野における当社の取り組みを述べる。

2. 人と環境に優しい交通システムへの取り組みビジョン

当社は、車両システムを基幹製品としつつ、電力システムや総合指令システム、駅システムなど鉄道を構成する様々なシステムの分野で豊富な実績を積み重ねてきた。

これらシステムの開発においては、次の二つのビジョンから“人と環境に優しい交通システム”を目指している。

(1) ユニバーサルデザイン

障がいを持たれる方や高齢の方々も健常者と同じように利用できる交通システムの実現を求めていく。当社では鉄道へのアクセスのしやすさ、出改札の利便性、駅構内や列車内での情報提供の最適化、移動の快適性・安全性など、バリアをなくしすべての人が利用しやすいユニバーサルデザインを適用したシステム構築を目指し、デザインのコンサルティングからシステム提供までのソリューションを提供している。

(2) エコロジー

環境に配慮し、かつ、便利な輸送手段の確立が社会的なニーズであり、環境負荷の低減と環境マネジメントの強化が求められている。当社では、車両搭載製品の小型軽量化や低騒音化、回生電力の有効利用や省エネルギー技術の適用と新エネルギーの利用など、新たな要望にこたえられるよう、車両・電力設備・情報通信システムで総合的なソリューションを提供している。

3. 車両システムへの取り組み

3.1 人に優しい車両システム

車両システムは直接的もしくは間接的に乗客と接するシステムであり、人に優しいシステムであることが求められる。特に近年、“誰でも、簡単に、不便なく乗車することができる”バリアフリーの考え方は新造車両の設計において、重要な考え方になっている。JR東日本E721系は、ホームと床面の高さの差を小さくし、乗降口のステップをなくす低床型の車両として開発された。また新しい交通シ

テムとして注目されるライトレールにおいても、当社が電機品を担当した富山ライトレールに見られるように低床型のバリアフリー設計が不可欠条件となっている。このような低床型バリアフリー車両の実現には、艤装(ぎそう)スペースを考慮した当社電機品の小型化開発が大きく貢献している。

また、当社が業界に先駆けて導入してきたトレインビジョンは、必要な情報をあまねく提供するという意味においてバリアフリーの達成に貢献している。トレインビジョンは、広告画面と案内画面からなるが、特に案内画面において、従来車内放送やLED(Light Emitting Diode)式の文字表示装置によって伝達された情報を、グラフィックな表現を利用して誰にとっても理解しやすい形で提供している。また液晶ディスプレイの採用によって表現できる情報量が大きくなったことで、乗車車両と駅のホームエレベーターの位置関係等、あらゆる方々にとって必要となる情報を提供することを可能としている。ここでは当社デザイン研究所のユニバーサルデザインの研究成果を活用し、画面デザイン、表示文字の大きさ、配色において“誰にでも理解しやすい画面”を実現するように開発を進めてきた(図1)。

乗客に優しい車両という意味では、乗り心地を良くしていく基本的な取り組みも重要となる。主回路機器やブレーキについては、振動や加減速性能等、乗り心地に関する基本的な性能の向上に努めている。また空調装置の冷却性能や制御の面も乗り心地の重要なファクターである。

一方で、乗務員に優しいシステムであることも重要である。TIMS(Train Integrated Management System)に代表される車両情報管理システムでは、モニタ表示器に、車両機器の状態に加え運転に必要な当該列車の時刻表(行路)情報や次停車駅情報、徐行情報等を表示することで乗務員の支援を行っている。これらの支援システムは、事故や輸送障害を減らし、安全・安定輸送につながるものでもある。

3.2 環境にやさしい車両システム

車両システムに関する環境への配慮としては、まず省電



図1. トレインビジョンの案内画面例

力を志向してきたことが挙げられる。在来線車両においては、1980年代からVVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータによる制御装置を開発し、以降省電力型の車両を実現してきている。また電力再生ブレーキを開発し、電気ブレーキによって発電した電力を架線へ戻し、他の電車にて使用することで省電力に貢献してきた。新幹線車両においても、東海道・山陽新幹線の新型新幹線N700系では従来の700系と比較し約19%の電力消費量低減が確認されており、そこでは低消費電力や小型・軽量化といった当社電機品の技術開発も大きく貢献している。また、再生時に余った電力を車上バッテリーで貯蔵し、力行時のエネルギーとして使用するシステムが試行されており、当社も取り組んでいきたい。

一方で、地球環境への適合も大きなテーマである。従来、制御装置においてパワー半導体の冷却媒体としてフロン等が利用されてきたが、当社はこれら冷媒を使用せず、ドライフィンを採用することで走行風による自己冷却方式を実現した制御装置を開発、製品化した(図2)。

また、主回路機器から発生する電磁界の大きさや高調波成分を一定の基準値以下に抑えることは、環境適合という意味のほかに、制御システムの誤動作を防ぎ安全性を向上させる面でも重要であり、主回路機器の設計・製作において積極的に取り組んでいる。

騒音の低減も人・環境への優しさといえるが、当社では全閉型主電動機を開発し、騒音の低減に寄与することが実証できた。小田急電鉄等で採用されている(図3)。

4. 電力システムへの取り組み

電力システムは、電気鉄道のすべてのシステムに電力を供給し、安定大量輸送という鉄道サービスの根幹を支える非常に重要なものである。一方、電力システムは鉄道事業者の顧客へのサービスの点で直接的でないが環境への配慮、省エネルギー・省資源、省力化等が求められている。これらのニーズにこたえるため、電力システムでは3つのデザインコンセプト、“Harmony 地域環境との調和”“Ecology 自然との共存”“Friendly 設備とヒトの融合”を設定している。システムに要求されている高性能、安全性、高信頼性、保守の容易さ等を損なわず、むしろそれらを更に向上させる形で、社会、そして顧客の新しいニーズの実現に取り組

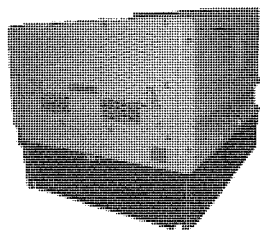


図2. ドライフィンによる
冷媒レス走行風自冷制御装置

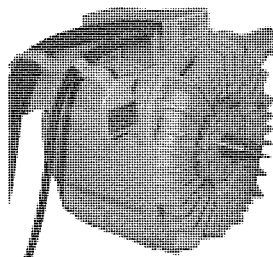


図3. 全閉型主電動機

んでいる。

4.1 Harmony 地域環境との調和

鉄道網はその性格上都心部～都市近郊で発達したため鉄道用変電所も都市に近いほど多くなる。したがって変電所が地上に設置される場合、否応なく人目にさらされることになり、鉄道事業と地域社会との共生の観点から変電所の地域環境との調和は避けて通れないものである。

(1) 変電所デザイン

当社デザイン研究所の協力を得て、顧客の要望を取り入れながら図4に示すような周辺環境に調和する変電所デザインの提案を行っている。

(2) 磁界シミュレーション

公共電波への雑音侵入防止や電気・電子機器誤動作防止の観点から漏洩(ろうえい)電磁界に対する配慮は重要であり、変電所主回路配線の最適化設計をサポートする(図5)。

(3) 騒音シミュレーション

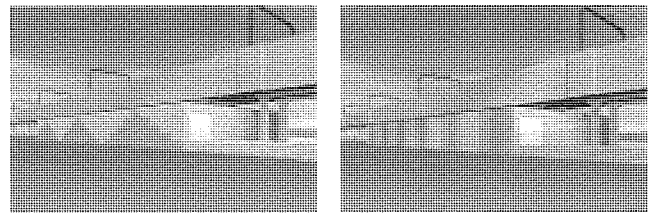
低騒音変圧器、変電所周辺の騒音レベルを予測することで居住地域での騒音を抑制し、地域との調和を図る。

4.2 Ecology 自然との共存

温暖化防止をはじめとする環境負荷低減や省エネルギー・省資源は鉄道のエネルギー供給を行う電力システムでは最優先課題である。脱SF₆ガス、ガス圧低減、リサイクル、温暖化低減冷媒、高効率設計等の取り組みによって寄与している。

(1) 脱SF₆ガス複合絶縁スイッチギヤ

主回路開閉装置は、密閉容器にドライエアを加圧封入し、要所に絶縁バリア、固体絶縁母線を用いた複合絶縁スイッチギヤを7.2kVから72kVまでシリーズ化している。遮断器は、真空バルブを使用し大幅な小型化を図るとともに、新



(a) 風景の創出

(b) リズム感による調和

図4. 周辺環境に調和する変電所デザイン

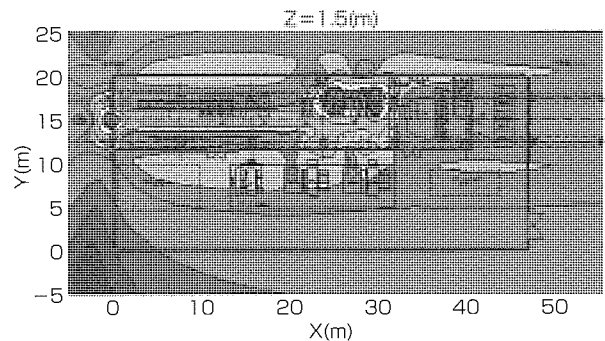


図5. 変電所漏洩電磁界シミュレーション出力

たな電磁操作機構を採用し異常な兆候を検出するCBM (Condition Based Maintenance)機能ユニットを搭載し、効率的なメンテナンスを可能にした。

(2) ヒートパイプ整流器

縦型純水ヒートパイプを採用し、環境フリーと冷却効果の向上、据付面積の低減を図っている。素子とヒートパイプブロックの間に熱伝導性に優れ絶縁性を持つ窒化アルミニウムシート (AlN) を設けヒートパイプを接地電位に保持することで安全性を保っている。

(3) シリコン液入薄型高効率変圧器

変圧器に難燃性シリコン液を使用し外鉄形三相5脚鉄心とフォームフィット構造を採用して薄型化を図り、さらには鉄心断面積を増加(磁束密度を低減)させたことで低騒音化された。また全損失30%減の達成によってラジエータ片側配置、整流器との一体化構造を実現、据付面積は従来比50%となった。

(4) 電力回生インバータ

車両の回生余剰電力を熱損失として消費することなく、交流電力に変換し有効利用を図る。電源転流による他励式位相制御方式のため制御が単純で応答性に優れ安定した回生電力吸収を行う。車両の回生失効によるブレーキシューの磨耗と発熱によるトンネル内温度上昇を抑制する。

4.3 Friendly 設備とヒトの融合

保守員の削減が要求される一方で、鉄道輸送にはますます安全、安心が求められている。

回線ごとの独立構成を実現し、点検・保守作業を限定させることができる回線単位型主配電盤や、保守業務のサポート及び軽減、トラブル時の素早い状況把握と的確な対応が可能となる保守支援システムなど、保守員に負担をかけずに実現する設備をハードウェア、ソフトウェアの両面から提供している。

5. 総合指令システムへの取り組み

人に優しい交通システムとして、輸送に関する情報を的確に伝えることが重要である。鉄道事業者においては乗務員や指令員に的確な情報を伝えることが必要であり、それは輸送の安定にもつながる。また携帯電話などインフラが発達し、乗客は目的の列車や乗り換え情報などいつでもどこでも手軽に入手でき、便利さが増している。当社は車両・基地・駅システムと連携を図り、IT化時代にふさわしい総合指令システムの発展に取り組んでいる。

5.1 異常時対応ソリューション

ダイヤ乱れ時に求められることは迅速なダイヤの復旧である。この期待にこたえるには、①ダイヤ乱れの原因やリソース(車両・乗務員)状況を素早く把握すること [情報収集]、②原因を取り除くとともに、乱れの拡大状況・影響範囲を未来も含め把握し迅速に復旧案を作成すること [予

測・判断]。③把握した情報及び復旧案を関係各所・乗客に正確に伝達すること [情報伝達] が必要である。これらを実現する指令システムとして情報制御系と指令支援系のシステムの開発に力を入れている(図6)。

(1) 情報収集

ダイヤ乱れ発生初期には原因となる事故・災害・車両故障などの発生状況を短時間で幅広く情報収集するため、指令員は運転見合せや徐行運転等素早く的確に判断できる。

(2) 予測・判断

運転再開後の列車ダイヤ・車両運用・乗務員運用の回復計画においては、局所的な変更案に対して数時間先までの状況予測をシミュレーションし指令員に提供する。これによって、指令員は変更案の妥当性を迅速・的確に判断することが可能である。

(3) 情報伝達

ダイヤ乱れの発生原因や状況に加え回復計画によるダイヤの変更情報を、乗客をはじめ、駅係員、車両基地、乗務区、乗務員に正確に迅速に伝達することができる。

5.2 車両動態監視システム

車上機器の状態監視・故障検知情報を地上指令員に提供する車両動態監視システムは、情報収集の役を果たしている。車上の列車情報管理装置が保有する情報を地上に伝送することで、車両故障時には運転士を介さず指令員自身で迅速・正確に原因を把握することができる(図7)。

5.3 安全・防災監視システム

近年大型台風などの災害が頻発する中、風速・水位・地震計などの各種センサや監視カメラの映像、さらには気象庁の提供情報を総合的に管理する安全・防災監視システムが注目されている。災害の発生状況や影響範囲を一括して指令員に提供するため、列車運行にかかわる的確な判断が可能になる。

6. 駅システムへの取り組み

駅については二つの視点から見ることができる。旅客にとって鉄道利用との接点となる空間ととらえたサービスへ

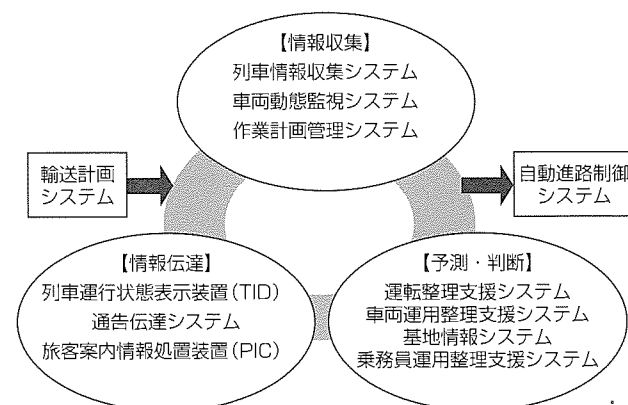


図6. 総合指令システムの構成

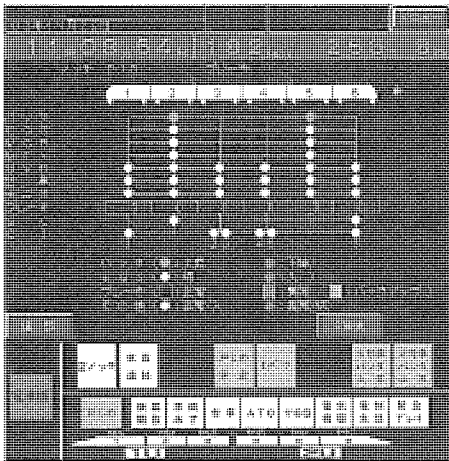


図7. 車両動態監視システムの画面例

の取り組み, 他方は鉄道事業者としての環境への取り組みといえる。前者については, 昨今のエキナカの展開など, これまでは単なる旅客の乗降又は乗り換えの通過点と位置付けられていた空間が, バリアフリーや旅客のニーズの多様化への対応として, 安全性, 快適・利便性が求められている。後者については, 空調などの環境制御と省エネルギー・省資源化によるエコロジーの実現などが挙げられる。当社は, 鉄道へのアクセスのしやすさ, 情報提供の最適化, 構内移動の快適性などバリアをなくしすべての人が利用しやすいユニバーサルデザインを適用したシステム構築を目指し, デザインのコンサルティングからシステム提供までのソリューションの提供に力を入れて取り組んでいる。

6.1 安全性向上の取り組み

旅客の安全確保という点では火災・浸水などの災害から旅客を守ることと, 列車との触車事故防止の2点が重要である。当社ではSES(環境制御シミュレーション)を代表とした各種シミュレーション機能を保有し, 駅ごとの最適な排煙設備や火災時の排煙シミュレーションによる防災シナリオの作成提案を行っている。また可動式ホーム柵システムの開発を行い, 転落・触車事故防止にも貢献している。可動式ホーム柵システムはエレベータードアの制御技術を基に高い信頼性を実現し, また一部にガラスを利用することで, 駅のデザインと融合し, 環境に配慮したシステムを提供した事例もある。また駅構内に設置されたカメラによる監視は従来から取り組んでいるが, デジタルカメラの技術によって高画質, 省配線化を実現したデジタルCCTV(Closed Circuit TeleVision)カメラシステムも積極的に展開している(図8)。

6.2 快適性・利便性向上の取り組み

旅客の利便性向上には, 正確かつ安定した鉄道輸送の実現が不可欠であることはもちろんだが, 正確かつ適切な情報提供も利便性向上には欠かせない。当社ではLCD(Liquid Crystal Display)表示装置を活用した旅客向け案内表示システムを開発し, 2006年12月に開業した大阪市交通局

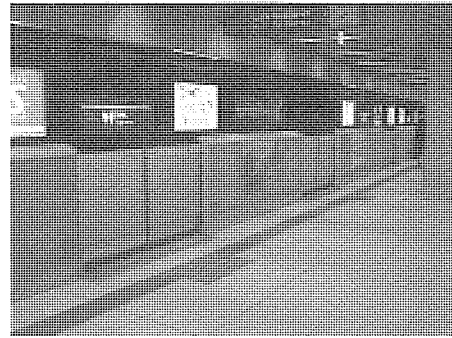


図8. 可動式ホーム柵の外観

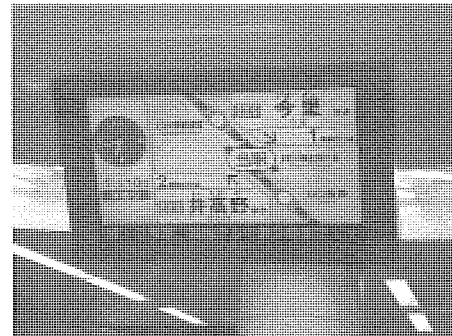


図9. 旅客案内システム(コンコース用)の外観

今里筋線に運行管理システムや可動式ホーム柵システムと連携した旅客案内システムを納入した。このシステムの画面設計は当社デザイン研究所の協力を得て, 視覚的に理解しやすいユニバーサルデザインを採用したヒューマンインタフェースを実現し, 好評を得ている(図9)。

今後は広報・広告・ニュースなどの各種コンテンツの表示を取り入れ, 乗客サービスの向上を図るとともに, トレインビジョンシステムとのコンテンツ共有によって, 駅と車内で同様の情報サービスを受けることが可能となる。

また将来的には動画コンテンツと連動した音声サービスが求められることも予想される。当社の指向性スピーカーは, ごく限られたエリアでのみ音声を楽しめるため, 構内・防災放送を妨害する可能性が少なくなり, 将来のマルチメディア旅客案内サービスへの展開が期待されている。

6.3 環境問題への取り組み

地球温暖化が問題視されている昨今, 当社では環境問題に全力で取り組むとともに, 関連するソリューションの提案, 提供を積極的に展開している。例えば, 太陽光や湧水(わきみず)など, 未利用エネルギーの活用をテーマとした省エネルギーを実現する各種システムを提案し, 環境にやさしい取り組みを全面的にサポートし, 社会への貢献を目指している。

7. む す び

人と環境に優しい交通システムの実現は, 社会的な要請となっている。今後とも, 当社の技術力とシステム構築力をもって, その実現に大いなる貢献をしていく所存である。

人にやさしい旅客案内システム

高木大史*
重枝哲也*

Passenger-Friendly Information Systems

Daiji Takagi, Tetsuya Shigeeda

要旨

最近の鉄道はバリアフリー法の施行に伴って障がいを持たれる方や高齢の方々など移動制約者に対する移動の利便性や安全の確保が義務付けられ、エレベーター、エスカレーター、ホーム柵の設置が進むとともに旅客にとって利用しやすい旅客案内システムが開発されている。

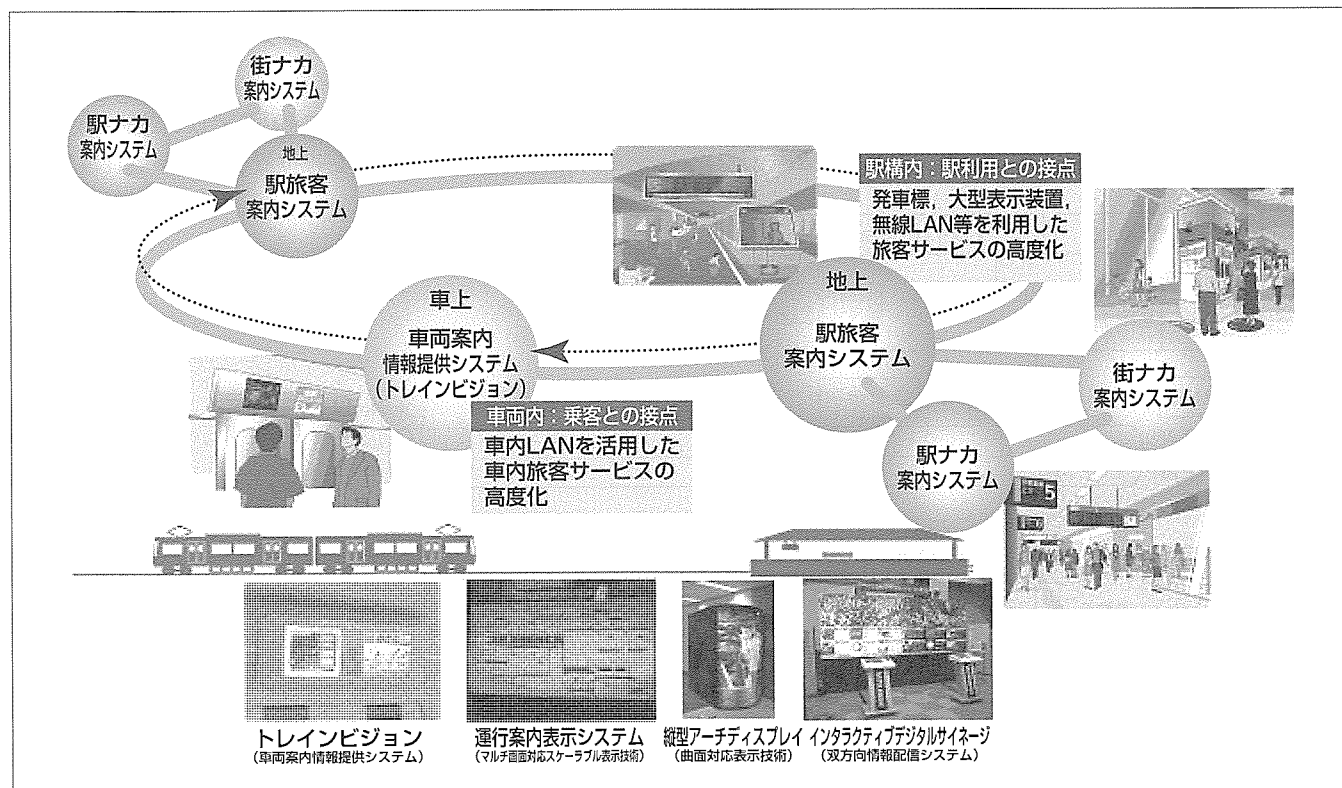
駅はこれまでの単なる旅客の乗降又は乗り換え場所としての存在から、鉄道の顔として旅客への多種多様な情報サービスや安全確保が求められている。そのため、旅客案内システムの機能は複雑化かつ多様化の方向にあり、発車標、大型表示装置を始めとする各種映像表示装置、インタラクティブな情報端末等を用途に応じて使い分けることによって利用者ニーズに対応した付加価値の高い情報を提供することが求められている。

さらに列車内においても駅と同様に移動中に必要な情報をリアルタイムに提供することが求められている。

本稿では最近の駅旅客案内システムの事例として大阪市交通局に納入した大型表示装置を紹介する。この表示装置の表示デザインは情報のユニバーサルデザインをコンセプトに設計した。また、旅客への情報提供サービスの拡充として、車内の旅客向けの案内情報提供システム(トレインビジョン)について述べる。

そして、駅構内の旅客案内システムと車両内のトレインビジョンの情報を融合させた駅ナカ情報配信システムと乗務員・駅務員がきめ細かい案内サービスを旅客へ提供することを支援するオンライン情報提供システムについて述べる。

最後に多様化・高度化する情報提供サービスへの要求にこたえるための三菱電機旅客案内システムの構築コンセプトと旅客サービスの向上への今後の取り組みについて述べる。



地上・車上の融合と情報のシームレス化

トレインビジョンと駅旅客案内システムの情報を共有化し、広告コンテンツ浸透の深度化と旅客案内サービスの向上を目指す。駅から街へ情報を配信し、これまでの通過するポイントであった駅を情報ステーションとして位置付け、駅とその街の利用者への情報提供サービスを行う夢のある駅・街づくりを実現する。

1. ま え が き

運行管理システムを始めとして当社はこれまで数多くの運行情報制御システムを鉄道事業者へ納入してきた。旅客案内システムは運行管理システム等の他の制御系システムと接続することで、列車の運行状況に関するリアルタイムな情報を旅客へ提供している。

最近では、駅はこれまでの単なる旅客の乗降又は乗り換え場所としての存在から、鉄道の顔として旅客への多種多様な情報サービスや安全確保が求められるため、旅客案内システムの機能が複雑化かつ多様化の方向にある。

本稿では、当社旅客案内システムにおける旅客サービスの向上における取り組みについて近年の状況と今後の展望について述べる。

2. 大型表示装置を使用した駅旅客案内システム

近年、鉄道事業者は列車種別の多様化、鉄道事業者間の相互乗り入れ等によって旅客の利便性向上に努めてきた。しかしその一方で列車種別や乗り換えなどが複雑になり旅客に分かりやすく伝える必要がある。

駅旅客案内システムの構成例を図1に示す。

駅旅客案内システムを構成する現状の表示装置においては、知っている人には便利に利用可能であるが、不慣れな人・始めての人には、“どのように利用してよいのか分からない”“迷ってしまう”という状態にあり、情報の認知・活用に格差が生じていると言える。

当社ではこれらを解決するために“情報のユニバーサルデザイン”が重要であると考えており、不慣れな人でも慣れている人と同様に利用できるような、誰もが分かりやす

い、使いやすい表示装置の構築を提案している。

2.1 情報のユニバーサルデザイン

情報提供サービスの確立のためには情報のユニバーサルデザインが重要となる。

表示画面デザインの決定にあたり、利用者の認知、判断、意思決定、確信の各プロセスにおいてバリアを取り除くよう、鉄道を利用するにあたり駅構内のそれぞれの場所での行為に必要な情報をその行為のプロセスに沿って適切に配置し提供することについて検討し、鉄道事業者ごとに最適なデザインを提案している。

2.2 大型表示装置

大型表示装置の例として、最近の事例である大阪市交通局今里筋線のLCD(液晶ディスプレイ)型表示装置について述べる。表示デザインは情報のユニバーサルデザインの実現のため、当社デザイン研究所が担当した。

図2に表示コンテンツ例を示す。

- (1) 表示デザインのコンセプトとして、旅客の視認性を高めるため、平常時の案内表示画面は設置位置を考慮し照明光の反射が目立ちにくいポジ表示による配色を採用した。緊急時には、平常時のポジ表示を基調とした配色からネガ表示で明暗の関係を反転させ情報を強調することで旅客の注意をひきつける表示とした。
- (2) ホームには32型LCDを4両編成列車の各車両中央付近に1台ずつ(上下8台)軌道と平行に配置した。列車の進入・進出方向に合わせ、列車接近・到着・出発・ホーム柵の開閉を簡易アニメーションで表示することで列車の動きを分かりやすく伝える表示とした(図2(a)~(d))。
- (3) コンコースには改札付近に40型LCDを各駅1台配置し、上下両方向の列車の在線位置と行先が一目瞭然(り

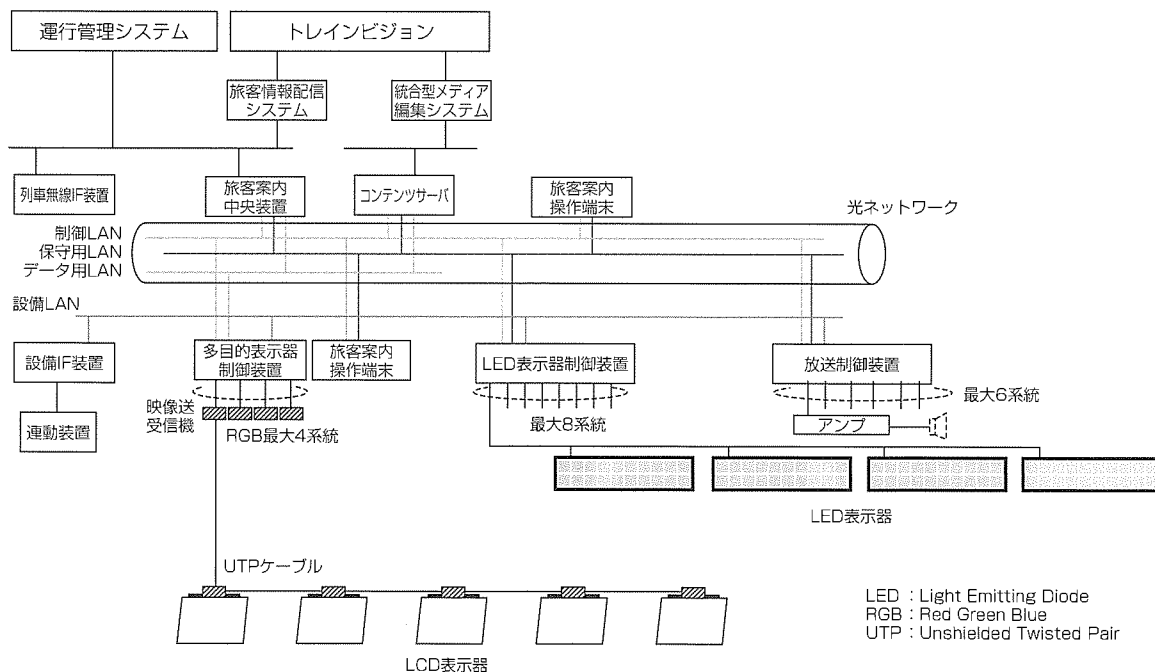


図1. 駅旅客案内システムの構成例

LED : Light Emitting Diode
 RGB : Red Green Blue
 UTP : Unshielded Twisted Pair

ようぜん)となる表示とした(図2(e), (f))。

- (4) 次列車の現在位置を示す案内表示では路線図と行先表示に駅番号を配置し位置関係の分かりやすさを高めている。また現在時刻に加え、日付と曜日を表示している。
- (5) 旅客の多様化を考慮し、基本案内に加え緊急時の表示についても、日・英・中・韓の4か国語の表示を行っている。
- (6) LCDを天吊する筐体(きょうたい)は地下鉄ずい道内の塵埃(じんあい)特性を調査の上、国際防塵規格IP5xに準拠した専用天吊筐体を設計・製作した。図3はホーム表示器の天吊例である。

3. 車両案内情報提供システム(トレインビジョン)

旅客への情報提供サービスを拡充するために、車両内にLCDを用意して、きめ細かい案内サービスを行う“車両案内情報提供システム”を実用化している。

車両案内情報提供システムは、列車モニタ装置とRS485通信を行い、地点情報やドア開閉指令を受け取り、旅客の次の行動に便利な情報を提供する。例えば、行先駅までの予想所要時間や、他路線への乗り換え案内を静止画や動画を用いてビジュアルに示すことで、不慣れな旅客でも理解しやすくしている(図4)。

さらに、パケット無線などの広域リアルタイム伝送を使用して運行情報を受信し、LCDに輸送障害発生時の列車運行状態を示すサービスを行っている。これも、旅客の次の行動を考えるための判断材料提供サービスである。

4. 駅ナカ情報配信システム

駅という施設が持つ集客力や利便性の良さに注目し、駅

構内における商業スペース(駅ナカ)の充実がめざましい。

そこで駅ナカ利用者へのサービス向上として、従来のコンコース用表示装置に運行情報に加え動画・静止画コンテンツを表示する駅ナカ情報配信システムを構築している。

表示するコンテンツは車両内で表示しているトレインビジョンのコンテンツを共有する。

- (1) トレインビジョンの動画・静止画コンテンツを共有し、車両内、駅構内で同一の映像を放映
車両・駅構内で同一の広告コンテンツを放映することで、広告媒体周知の相乗効果を計ることが可能となる。
- (2) 商業施設の設備・イベント情報を放映
期間イベントの告知、トイレ等の公共設備案内を放映し、利用者へのサービス向上を図る。
- (3) 輸送障害情報、緊急情報の共有
トレインビジョンと駅ナカ案内表示装置に表示する輸送障害情報、緊急情報を共有し、リアルタイムな情報提供を実現する。

5. 駅務員・乗務員へのオンライン情報提供システム

乗務員・駅務員によるきめ細かい案内サービスを実施することを目的としてオンライン情報提供システムを構築している。

これまで運行管理システム単位で設置されてきた運行情報端末(Traffic Information Display : TID)を一括管理するオンライン情報提供システム(図5)を構築し、自社管轄全路線の運行情報を関係各所へリアルタイムに提供する。

無線LAN等の通信手段を使用し携帯端末でオンライン情報を表示し、輸送障害時には詳細情報をメールで配信することによって旅客への迅速な情報提供を可能とする。

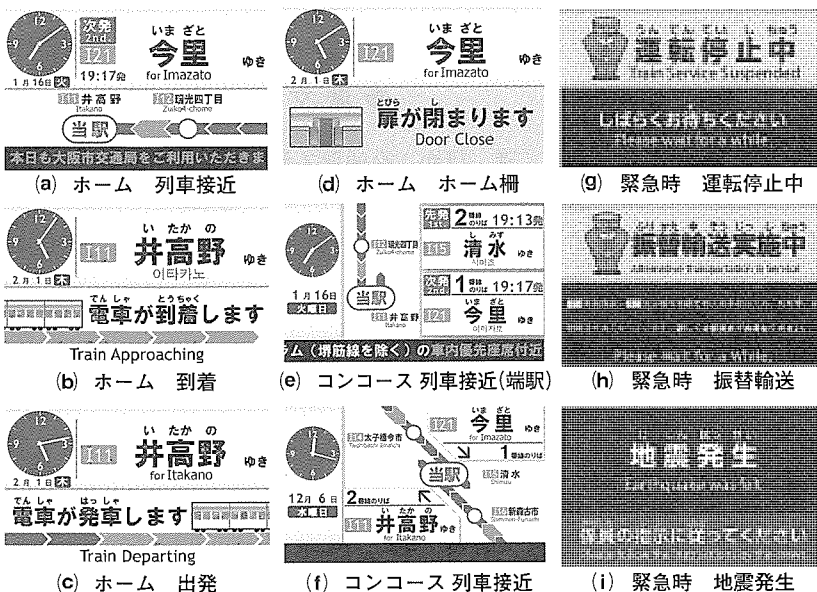


図2. 表示コンテンツ例

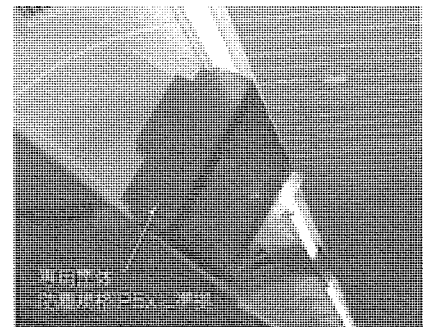


図3. ホーム表示器

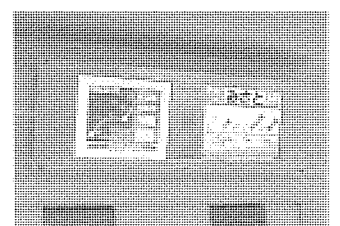


図4. トレインビジョン

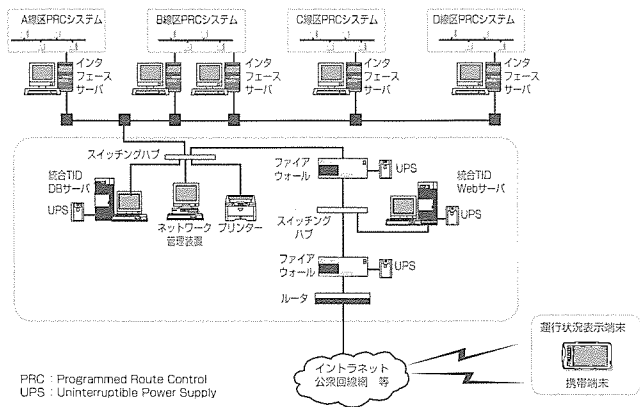


図 5. 在線情報提供システムの概念図

6. 今後の旅客案内システム

6.1 旅客案内システムのコンセプト

情報提供サービスへの要求がますます多様化・高度化しており、次のコンセプトで旅客案内システムの開発を行っている。

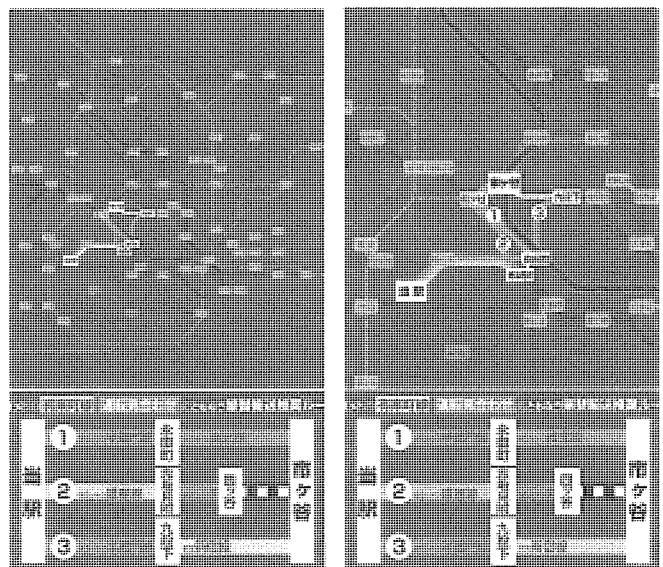
- (1) 大画面装置ならではの高解像度・高精細な画面機能を活用し、ビジュアルな表現で利用者に分かりやすい情報を提供する。
- (2) 在線情報・運行情報をテキスト表示で提供するのではなく、利用者の視点で分かりやすいコンテンツを表示する。
- (3) 輸送障害発生時に代替輸送ルートを図示化によって利用者に情報を提供する(6.2節)。
- (4) ホーム・コンコース・駅ナカ等の表示装置設置場所に最適な平常時案内情報・コンテンツを提供する。
- (5) 輸送力と旅客需要の不均衡を常に予測しその予測結果と、同一列車内での車両ごとの混雑度のばらつき測定結果を考慮した乗客流動案内を提供する。
- (6) ターゲットを絞った特定旅客へのサービスを提供する(6.3節)。

6.2 代替輸送ルート推奨システム

案内対象とする交通手段を普段あまり使用していない利用者でも理解可能とし、都市圏では複雑な代替ルートを分かりやすく提供する。

膨大な情報を一覧表示するのではなく、一定間隔の画面切り換えと簡易アニメーションを活用して多種多様な利用者への情報提供を行う。

図6は地下鉄を例にした代替ルートを提供する表示例である。



(a) 路線図全体表示

(b) 路線図拡大表示

図 6. 代替ルート推奨システム画面例

6.3 特定旅客への情報提供

- (1) 情報サービスの多様化への対応として、携帯端末向けリーダー・ライタ端末を活用した特定旅客向けの情報提供サービスを実現する。

時刻表、輸送障害情報、各種サービス案内の提供等を可能とする。

- (2) 特定の空間にいる人だけに限定的に音を聞かせることができる指向性音響システムを使用して視覚障がい者への運行状況や各種案内を提供するサービスを実現する。

7. む す び

鉄道交通システムにおける旅客案内サービスについて当社の取り組みについて述べてきた。今後も鉄道利用者へのサービス向上と鉄道事業者の業務革新と効率化に貢献するよう最新の情報技術を適用したシステムの提供を進めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 四方 進, ほか: 交通システムの動向と展望, 三菱電機技報, 80, No.12, 777~780 (2006)
- (2) 町田一善, ほか: E231系山手線情報提供装置(VIS), 第9回鉄道技術連合シンポジウム, S5-1-6, 571~574 (2002)

環境を支える車両動態監視システム

福田司朗* 藤野友也**
永尾俊繁*
出口生滋*

Environmentally-Significant Diagnostic and Monitoring System

Shiro Fukuta, Toshishige Nagao, Seiji Deguchi, Tomoya Fujino

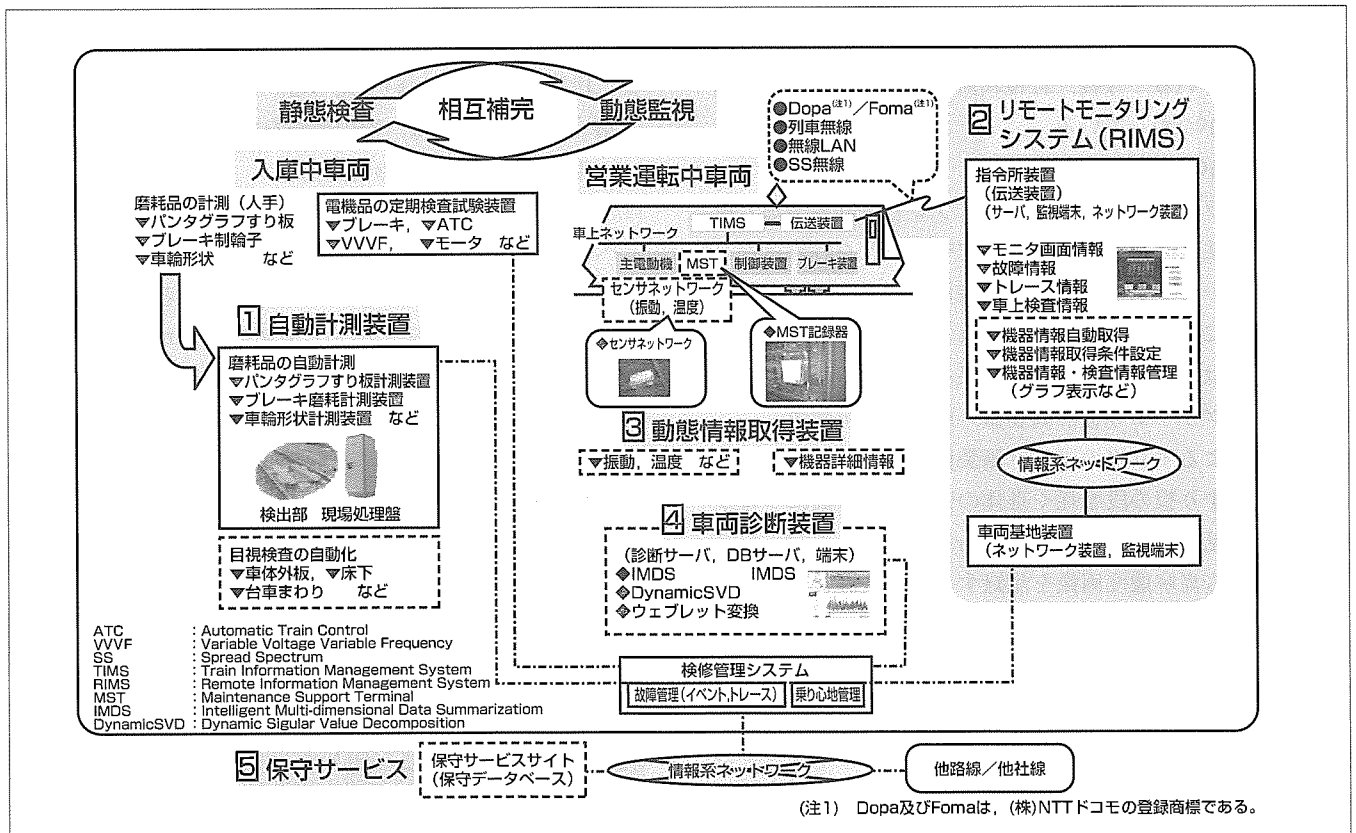
要旨

鉄道はエネルギー効率がよく、地球温暖化の抑止に貢献する環境にやさしい乗り物である。環境にやさしい鉄道では、安定運行のために、車両を最適な状態に維持することが必要である。これまで車両の状態は、定期的に点検を行うことで維持されてきた。しかし、安全・安定輸送、さらに定時運行の要求にこたえるためには、走行中の車両の状態を監視・管理する仕組みが必要である。本稿で述べる車両動態監視システム構築の取り組みはこの要求にこたえるものであり、環境を支える上で重要な取り組みである。

三菱電機はこれまで、電機品の定期検査で使用する試験装置、パンタグラフなどを点検する計測装置を提供してきた。これらは主に車両を静止状態で検査する装置である(静態検査)。一方、営業運転中、車両に搭載されている車両情報管理システム(TIMs)が把握している監視情報を得

て指令所及び車両基地で監視するリモートモニタリングシステム(RIMS)が普及し始め、RIMSを導入した鉄道事業者では走行中の車両故障を監視できるようになってきた。現状のRIMSは車両故障等の輸送障害の早期復旧を目的としているが、今後、車両検査部門への適用を視野においた展開が必要である。

本稿では、定期検査で活躍する検査・計測装置の動向及び営業運転中の機器の監視機能強化(RIMS強化)の動向について述べる。さらに、機器の信頼性基準作りのために走行中の機器の詳細動作情報を取得する装置、定期検査回帰適正化の基準作りのために主電動機、輪軸等に関して走行中の温度、振動情報を取得する装置の開発状況とこれらのデータを分析する手法(車両診断装置)の開発状況について述べる。



静態検査及び動態監視の全体イメージ

図は、定期検査(静態検査)を基準とした車両検査と、動態監視による車両監視の全体イメージを示したものである。図中の①~④で示した4つの順に車両の保守にかかわるシステムを開発している。

1. ま え が き

環境にやさしい鉄道では、安定運行のために、車両を最適な状態に維持することが必要である。

当社は、鉄道車両電機品の定期検査試験装置に加えて、レーザ、超音波、画像処理等の光計測技術を応用することによって、車輪等の摩耗品の計測・点検作業を自動化した計測装置を開発し、機器の安定動作維持に貢献している。

今後、車両を最適な状態に維持するためには車両搭載機器の状態を監視・管理し、機器ごとの検査内容、検査時期を適正化すること、機器の信頼性や耐久性等の指標の管理目標に基づき機器の修理・交換時期を設定する取り組みが必要である。

現在、光計測技術を応用することによる目視検査の自動化、RIMSに車両機器情報の管理機能を搭載する開発を行っている。さらに、機器の詳細動作情報を取得する装置の開発及び走行中の車両温度、振動情報を取得する装置の開発、取得したデータの分析手法の開発に取り組んでいる。これらの取り組みは、安全・安定輸送、さらに定時運行の要求にこたえるものであり、地球温暖化抑止にも貢献する。

2. 定期検査で活躍する計測装置の動向

定期検査での屋根上や床下の作業を軽減する目的で導入が始まった自動計測装置は、人の技量に依存しない安定な結果を提供し、省力効果のみならず保守技術の伝承を行う役割も担っている。今後、目視判断を含めた検査全体の自動化に期待がかかっている。

2.1 摩耗品の自動計測装置

パンタグラフすり板、車輪寸法、ブレーキ制輪子など摩耗部分の寸法は、定期検査において管理されなければならない項目の一つである。自動計測装置は、検査庫に車両が入庫する際に非接触で自動的にこれらの寸法を計測するので、検査員はパソコンの画面で結果を確認するだけで済む。

(1) パンタグラフすり板計測装置、屋根上監視装置

超音波によるすり板の厚さ計測装置が広く普及しているが、最近はすり板の段摩耗や舟体の変形など事故につながる異常を発見するため、CCD(Charge Coupled Device)カメラによる高解像度画像を記録する監視装置と併用する例が増えている。

(2) 車輪形状計測装置、ブレーキ摩耗計測装置

交番検査(月検査)ごとの測定自動化が目的のため検査ピットに設置することが多かったが、最近では装置を車両基地の入区線に設置し、日々計測することによって摩耗傾向を掌握し、車輪の計画転削、制輪子の計画交換、さらにはブレーキ制動の異常検知などへ利用することが考えられている。当社は、既設基地の入区線で大規模ピット工事を伴わない、線路上に設置可能な小型の車輪形状計測装置

(図1)を実用化した⁽¹⁾。さらに制約の多いブレーキ摩耗計測装置の小型化についても開発中である。

2.2 目視検査の自動化への取り組み

作業員の目による外観検査は、人間の高度な判断能力によってわずかな異常までも検知され得るという長所と、体調・気分・個人差によるばらつきや見落としを伴うという短所をあわせ持つ。当社は後者の問題を解決すべく、細密ではないが単調な繰り返しの性格を持つ目視検査を、カメラによる撮影と画像処理に置き換える開発を行っている。

車体外板の汚れやキズなど比較的均質な表面上に生じた異常か所の検知は、実用レベルに達してきた。しかし、屋根上、床下、台車まわりという順に対象が複雑かつ車両ごとの個体差が大きくなるほど異常検知は難しい。すべてを機械に判断させることは無理であろうが、画像処理で検知された異常か所を検査員がパソコンの画面で再確認する方法などで現場の作業を軽減できると考えている。

3. 動態監視の中核を担うRIMSの動向

動態監視を実現するための手段として、まず、車両システムと地上システムを結合し、相互に情報を処理する仕組みが必要である。これを具体化したものが、リモートモニタリングシステム(RIMS)である。具体的には、車両情報管理システム(TIMIS)と地上に構築した計算機システムを、携帯電話や列車無線の通信手段を介して、情報授受できるようにした(図2)。この章では、現状のRIMS(第一段階)、第二段階のRIMSについて述べる。

第一段階のRIMSは、次の機能を持つ。

- (1) 車両故障の地上への自動通知
- (2) 車両状態の監視、具体的には、車両モニタ画面の地上への伝送と表示
- (3) 故障記録、トレースデータの無線伝送と地上での表示
- (4) 発生した車両故障に応じた故障処置フローの自動表示
- (5) 車上検査記録の無線伝送と地上での表示



図1. 線路上に設置可能な小型車輪形状計測装置

第一段階は、車両故障等の輸送障害の早期復旧を主な目的としており、主に乗務員や指令員を対象としている。(3)、(5)の機能は車両の保守にかかわる社員への情報提供や、関連システムへのデータ提供も意図している。第一段階のシステムは、複数の顧客に納入し成果を得ている⁽²⁾。

従来、車両機器の詳細な動作記録や故障記録は、機器から直接又はTIMS経由で取得していた。すなわち、主に車両基地や工場で検修係員が直接車両に出向いてデータを取得する必要があった。RIMSは機器の動作状態を営業運転中に直接地上に送信し、グラフ表示や数値の監視を行う。このようにRIMSを用いれば、これらの情報を遠隔で取得することができる。

第二段階は、RIMSの車両検査部門への適用を視野において、車両機器情報のオペレーションを重視した設計とし、次の機能を付加している。

- (1) 列車の位置変化を追跡することによって、車両に記録された機器データを自動でダウンロードする機能
 - (2) 機器等の数値変化の監視、変化点監視によるデータの自動取得、及び監視条件を車両にアップロードする機能
 - (3) ダウンロードしたデータの管理(データベースで管理)
 - (4) ダウンロードしたデータのトレンドグラフによる表示
- すなわち、故障記録やトレースデータの取得や数値の管理までも自動化したシステムとすることで、車両検査の質を向上し、車両状態を管理することができる。

今後、RIMSは、TIMSで取得する車両情報の拡大に同期して、動態監視の中核になり、営業運転中の車両状態を遠隔で管理するシステムとして発展していくと考える。

4. 動態情報取得装置開発の状況

動態情報取得装置は、①車両搭載機器の信頼性基準作りのために走行中の機器の詳細動作情報を取得すること、②定期検査回帰適正化の基準作りのために主電動機、輪軸等に関して走行中の温度、振動情報を取得することを目的に

開発を進めている。

4.1 MST(Maintenance Support Terminal)記録器

走行中の機器の詳細動作情報を取得する装置の例としてMST記録器を紹介する⁽³⁾。

MST記録器は表1のインバータ機器情報(項番3)をインバータ稼働中の全時間にわたってサンプリング取得する。車両搭載機器の連続データをMST記録器で取得することで、表2に示すVVVFインバータ装置の信頼性管理指標(例)の指標目安設定のために基本データを取得し、指標設定に活用することを目的にしている。

4.2 センサネットワーク

動態監視の範囲拡大としてセンサネットワークを活用してモータ温度を常時監視している。検証装置はセンサネットワーク+GPS(Global Positioning System)+Dopaで構成しており、走行中車両のモータ、輪軸のベアリング部分の温度、振動などを監視することによって定期検査の回帰延長の検証、車両運行時、線路周辺での振動、騒音及び乗り心地の安定度監視に活用することを目的にしている。

5. 車両診断装置の開発状況

鉄道は、線路上の駅間という限定された範囲を、定められた速度曲線に従った運転操作で走行する。このため、車両搭載機器の動態情報(例えばインバータ機器情報、モータ、輪軸の各部温度、振動)が、通常の動態情報の挙動か

表1. MST記録器の蓄積情報

項番	情報種別	情報名称
1	基本情報	日時、サンプリング間隔
2	輸送情報	運行番号、行き先(方向)、位置情報、駅コード、投入時間、平均加減速度、勾配、曲率、降水量、気温、振動(xyz)、積算電力、駅停止時間
3	インバータ機器情報	電流、トルク、電圧、速度、架線電流、箱内温度、指令情報、コンタクト情報、保護情報、応荷重信号、ブレーキ力指令、非常停止情報

表2. VVVFインバータ装置の信頼性管理指標(例)

指標種別	管理指標	指標目安
信頼性	VVVF保護動作間隔	時間間隔
	回生失効間隔	
	異常振動発生間隔	
	異常温度発生間隔	
	加速度異常間隔	
可用性	走行距離	距離
	回生率	率
	電制負担率	
保守性	乗車率	時間間隔
	MST異常検出間隔	
	コンデンサ放電時間	
	車輪径	
	滑走動作回数	
安全性	接点動作回数	回数
	ATS停止距離	距離
	常用最大ブレーキ停止距離	
	駅停車時間ばらつき	率

ATS: Automatic Train Stop

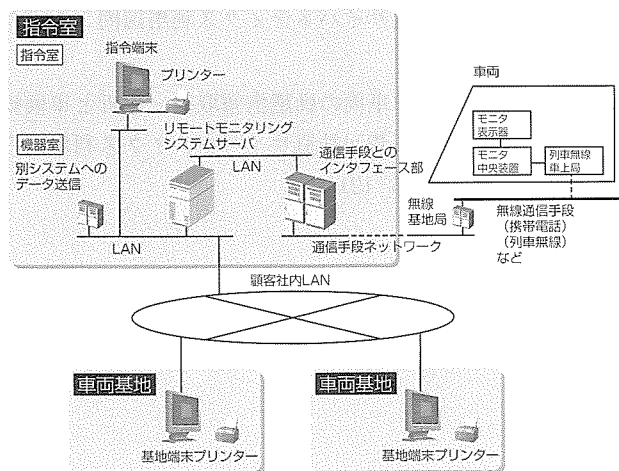


図2. リモートモニタリングシステム(RIMS)構成例

ら逸脱する挙動を示す場合、車両自体又は線路等に異変が発生する兆候ととらえることができる。

5.1 データ分析を支援する技術

現在、特異な挙動を発見するために適用している分析技術及び分析支援技術の概要について述べる。

(1) ウェーブレット変換

局所的な範囲の周波数成分を解析する技術で、突発性の高周波ノイズを検出するのに有効である。鉄道車両では輪軸駆動装置から発生する振動を解析することによって軸受部の異常判断することに適用できる。

(2) データ特性可視化技術IMDS(Intelligent Multi-dimensional Data Summarization)

膨大な点数のデータ集計結果を可視化し、特異な挙動を分析者が発見する作業を支援する技術である。走行中の機器の動作状態を分析するためには多数の箇所の測定を短いサンプリング周期で行う必要があり、膨大なデータ量になる。この技術によって、採取されたデータの集計手法及び分析対象データを容易に変更して高速で分析できる。

(3) 特異値分解技術DynamicSVD(Dynamic Singular Value Decomposition)

特徴抽出に使用される特異値分解(SVD)という手法を、高速に処理する技術である。走行中車両の各部位の温度、振動が緩やかに変化する状況に適応し、特異な箇所を絞り込んでいくことができる。

5.2 車両動態情報の分析

車両動態情報のうち、特に制御機器の制御状態と機器の振動強度に着目して分析を行った。4章で述べたMST記録器の情報をIMDSで分析した結果、これまでに、振動が特異な挙動を示した運行及び駅区間が特定され、その箇所の制御情報を評価することで、通常行われない運転操作が行われたことを発見することができた⁽³⁾。長期に蓄積される動態情報のうち、分析の範囲の絞り込みを自動処理できればIMDSによる分析が短時間で可能となる。一方、MST記録器で取得した振動を、地点を固定して評価すると運行ごとのばらつきが少ないことを確認できた。現在、この点に着目し、各地点に対してDynamicSVDを用いることで、IMDSで分析すべき範囲、条件を自動的に絞り込むシステムを開発中である(図3)。さらに、人が詳細に判断すべき条件と手順をIMDSにティーチングすることで、振動の特異点における異常データの分析を自動化している。

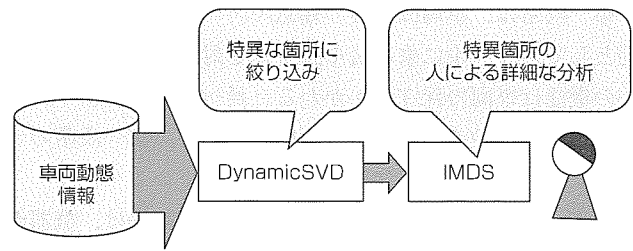


図3. 動態情報分析の流れ

6. 保守サービスサイトの構想

鉄道事業者ごとに蓄積される動態監視情報をさらに有効に活用することを目的に保守サービスサイトの将来構想がある。保守サービスサイトでは、①車両・機器のリモート監視、②故障データ解析(故障部位、原因の特定)、③非解体による診断(編成状態による診断)、④復旧に必要な作業の内容、手順提供、保守人員、交換部品供給等のサービスを提供可能である。

7. むすび

本稿で述べた車両動態監視システムは、IT及び計測技術の向上とともに、さらに実用化範囲を拡大できる。

このシステムの活用によって、車両検査内容、検査時期を走行中の状態も考慮して設定すること、及び、機器の信頼性や耐久性等の指標の管理目標に基づき修理・交換時期を設定することができ、車両を最適な状態に維持できる。

この結果、安定運行を継続し、鉄道輸送の環境貢献を支えることができると考える。

参考文献

- (1) 永尾俊繁, ほか: 線路上に設置可能な小型車輪形状計測装置, 第41回鉄道サイバネティクス利用国内シンポジウム(2004-12)
- (2) 出口生滋, ほか: E231系車両故障情報伝送システムの開発, 第42回鉄道サイバネティクス利用国内シンポジウム(2005-12)
- (3) 藤野友也, ほか: 車両の動態情報取得・分析と車両検修業務への活用, 第42回鉄道サイバネティクス利用国内シンポジウム(2005-12)

環境にやさしい車両駆動システム

根来秀人* 西川武志*
 寺澤英男* 広瀬悦子**
 坂根正道*

Environment-Friendly Propulsion Systems

Hideto Negoro, Hideo Terasawa, Masamichi Sakane, Takeshi Nishikawa, Etsuko Hirose

要旨

鉄道は、都市間・都市内における人の移動手段という役割を果たしており、市場の期待は非常に大きい。鉄道に求められる市場ニーズには様々なものがあり、車両駆動システムはこれらの市場ニーズを満足することが必要である。近年クローズアップされてきた“環境にやさしい”というニーズに対応して、三菱電機では“環境への配慮”というコンセプトを掲げ、地球・周辺・車内・作業の各環境に対して車両駆動システムを構成する全機器が一丸となって“環境にやさしい車両駆動システム”の達成を目指している。

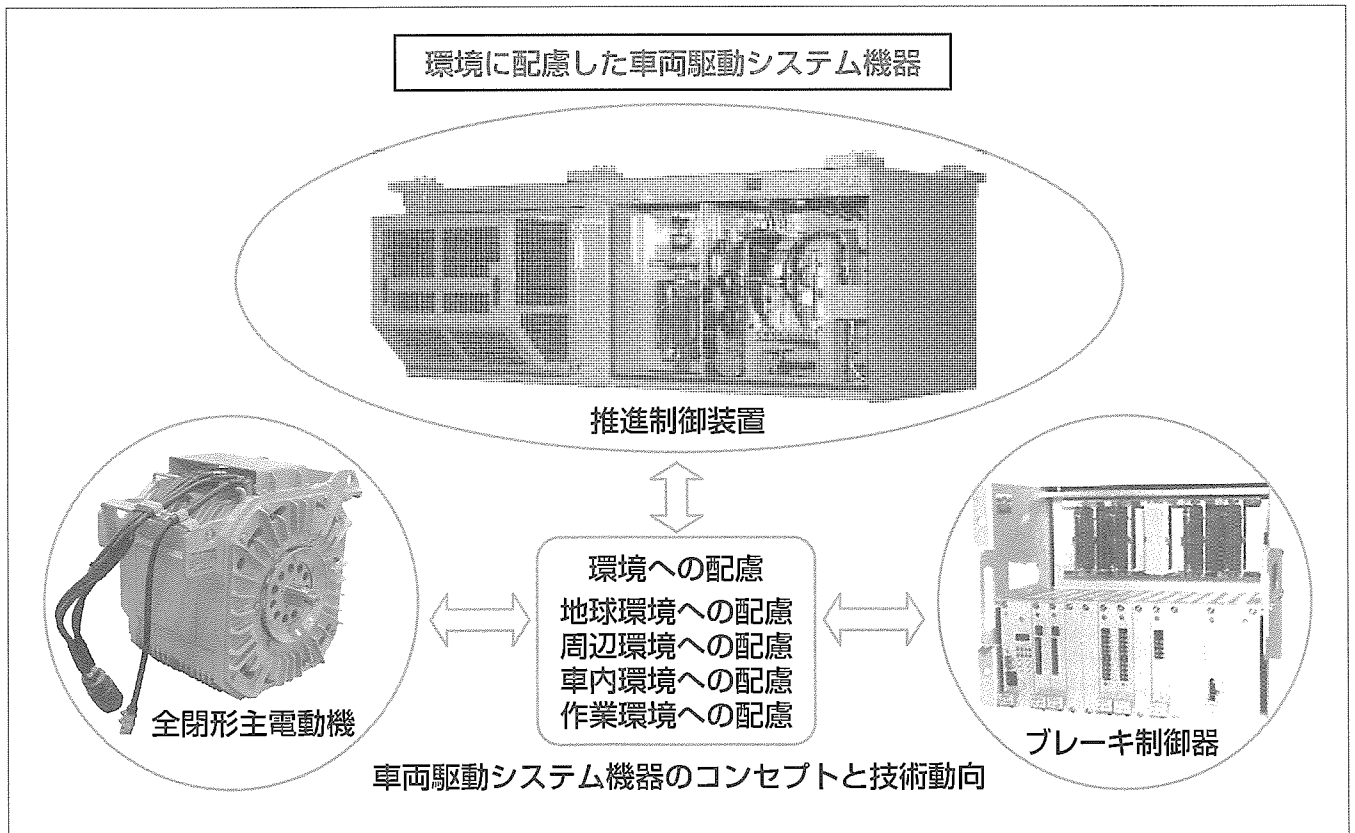
車両駆動システムの中核となる推進制御装置では、地球環境への配慮という観点から、ライフサイクルアセスメント手法を適用した環境負荷評価を行って、環境負荷の大幅な低減に積極的に取り組んでいる。また、回生ブレーキの有効活用・環境破壊物質排除(地球環境への配慮)、新変調方式適用による低騒音化(周辺・車内環境への配慮)、部品

点数削減・自己診断機能採用・保守部位前面集約などの省保守化(作業環境への配慮)にも取り組んでいる。

車両の移動に欠かせない主電動機では、全閉形主電動機の適用に積極的に取り組んでいる。主電動機を密閉化することで、内部で発生する騒音を外部に漏らさない低騒音化構造(周辺・車内環境への配慮)、内部への塵埃(じんあい)侵入を防止した省保守化構造(作業環境への配慮)を達成した。

車両の安全走行に不可欠なブレーキ装置では、電空協調ブレーキシステム適用による省エネルギー化(地球環境への配慮)、部品点数削減・構造簡素化・一体化(作業環境への配慮)・走行騒音低減(周辺・車内環境への配慮)等に取り組んでいる。

今後も全機器一丸となった活動を継続し、より環境・人にやさしい車両駆動システムを目指す所存である。



環境に配慮した車両駆動システム機器

車両駆動システムには、推進制御装置・主電動機・ブレーキ装置が含まれ、各機器一丸となって環境にやさしい車両駆動システムを目指している。車両駆動システム機器として、推進制御装置・全閉形主電動機・ブレーキ制御器の製品外観を示す。

*伊丹製作所 **先端技術総合研究所

1. ま え が き

鉄道は、都市間・都市内における人の移動手段という役割を果たしており、市場の期待は非常に大きい。鉄道車両に求められる代表的な市場ニーズには次の項目がある。

- ① 安全な移動ができること。
- ② 時間的に正確な移動ができること。
- ③ 短時間での移動ができること。
- ④ 安価な移動ができること。
- ⑤ 快適な移動ができること。
- ⑥ 環境にやさしいこと。

車両駆動システムは、鉄道車両の加速・減速を行うためのシステムであり、前述の市場ニーズを満足することが必要である。当社では車両駆動システムの3項目の基本コンセプトを設定しており、ニーズを満足するための考え方や技術動向について三菱電機技報の2006年12月号の中で紹介した。

本稿では、近年クローズアップされてきた“環境にやさしい”を取り上げ、基本コンセプトの1項目でもある“環境への配慮”に関する各機器の具体的な技術動向・活動状況について述べる。

2. 車両駆動システム構成機器とその役割

車両駆動システムは、主電動機・推進制御装置・ブレーキ装置などから構成され、鉄道車両の最も重要な“移動”という機能を加速及び減速という形で分担している。そのため各機器が密に連携し、一丸となって“環境にやさしい車両駆動システム”の達成を目指している。

3. 環境に配慮した車両駆動システム

車両駆動システムにおける環境には4つの側面(地球環境、周辺環境、車内環境、作業環境)があり、これらを満足して“環境にやさしい”というニーズに対応するための技術課題及び当社の活動は、図1に示すとおりである。

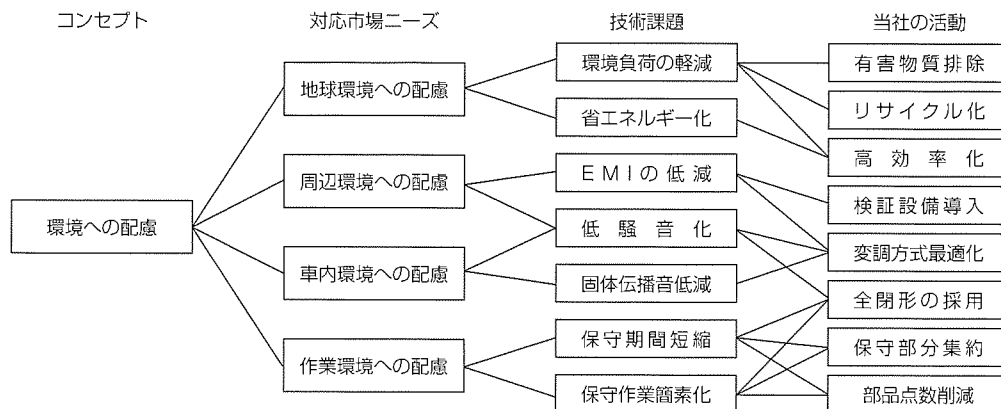


図1. 環境への配慮に関する市場ニーズ・技術課題・当社活動

3.1 地球環境への配慮

地球環境への配慮は、環境負荷を低減(省エネルギー化、環境破壊物質排除、リサイクル化を含む)することである。

3.1.1 環境負荷の低減

推進制御装置は車両駆動システムの中核となる機器であり、環境負荷の低減についてはライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment : LCA)手法を適用した環境負荷評価を行って積極的に取り組んでいる。

環境負荷の低減において、LCA手法を適用した具体的な環境負荷の評価結果の一例について次章で述べる。

3.1.2 省エネルギー化

(1) 回生ブレーキの有効活用

近年、自動車業界ではハイブリッド車の普及が進みつつあり、ブレーキ時に電動機を発電機として動作させ、発電電力を有効活用する回生ブレーキが燃費向上の手法として注目を浴びている。

鉄道車両では、20年以上前から回生ブレーキ方式を導入し、省エネルギーに大きく貢献してきた。近年では、回生ブレーキを車両がほぼ停止するまでの極低速域にまで拡大し、さらなる省エネルギー化を進めている。

鉄道車両における回生ブレーキを活用した省エネルギーの具体的な取り組みを6章で述べる。

(2) 機器効率の向上(高効率化)

鉄道車両を移動させるために必要なエネルギーは、加速のためのエネルギーと走行抵抗に消費されるエネルギーに大別される。後者の走行抵抗の低減は車両先頭形状最適化等、主として車両側の取り組みであるが、前者の加速のためのエネルギー低減は車両駆動システム側の取り組みであり、消費電力を低減する省エネルギー運転パターンを提案してきた。

近年では、車両駆動システムの効率向上、特に主電動機的全閉化による高効率化によってさらなる省エネルギー化に貢献している。

3.1.3 環境破壊物質排除

循環型社会形成のため、有害特定化学物質を含まない材料の使用を徹底している。排除している有害特定化学物質には次のものがある。

- ① 圧着端子：PVC(Polyvinyl chloride：塩化ビニル)
- ② コンタクタチップ，コネクタ：カドミウム
- ③ ケーブル(電線被覆)：ハロゲン
- ④ 塗料：鉛，カドミウム など

また、火災発生時の毒性ガス発生量を規定した国際規格に適合する材料の適用を図っている。

3.2 周辺環境への配慮

周辺環境への配慮は、鉄道沿線における低騒音化とEMI (Electro Magnetic Interference)低減である。

3.2.1 低騒音化

推進制御装置は、PWM(Pulse Width Modulation：パルス幅変調)方式を採用しているため、変調時には半導体素子のオン/オフの周波数に依存した変調音が発生し、車両騒音の一要因となる。当社ではIPM(Intelligent Power Module)の採用によって高周波化を実現し、図2に示すように、半導体素子としてGTO(Gate Turn Off)サイリスタを適用した従来装置に対して、最大10dB程度の低騒音化(当社比)を実現している。

さらに、図3に示すように、変調方式を最適化するとともに、特定周波数の騒音ピークを分散することで好音質化を行い、周辺環境・車内環境に十分配慮している。

一方、主電動機は高速で回転する機器であり、通風冷却用のファンや回転子バーエンド部による空力音(回転による空気の流れが排風口やコイルに衝突する際に発生する音)が発生する。従来、ファン形状や排風口形状の最適化を行うとともにサイレンサー適用や冷却風量の最適化(クラッチファン適用など)を行ってきたが、空力音は主電動機内部で発生することに着目し、全閉形主電動機を採用することで大幅な低騒音化を達成することが可能となった。

全閉形主電動機での具体的な取り組みは5章で述べる。

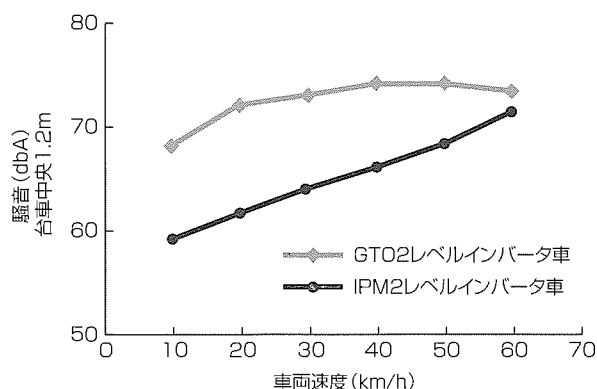


図2. 発生騒音の比較

3.2.2 EMI低減

EMIとは、機器が動作することで、他の機器の動作を阻害したり、人体に影響を与える一定レベル以上の干渉源となる電磁妨害のことである。そこで、EMI低減のために、装置材料にアルミニウムを使用し、ノイズが装置外に放出されることを抑制している。さらに、製品出荷前には高圧電源供給や実負荷の接続が可能な大型のEMC (Electro-Magnetic Compatibility：電磁環境適合性)試験設備によって検証評価を実施し、国際規格に適合した製品としている。

3.3 車内環境への配慮

車内環境への配慮は、車内騒音の低減であり、機器の低騒音化(3.2.1項)と固体伝播音低減である。

固体伝播音は、各機器で発生する振動が車体まで伝達して車体床板や側板を振動させることによって発生する騒音であり、振動発生要因には、回転体アンバランス、トルクリップル、磁歪振動などがある。

回転体アンバランスによる振動は、主に歯車形軸継手で発生する。歯形の最適化・製造方法の最適化によって、歯車噛合い状態を保持しつつ半径方向の動き量を従来の50%に低減した低騒音形継手によって、耳障り感を解消した。

トルクリップルによる振動や磁歪振動は、変調方式を改善して最適化することで、耳障り感を解消した。

さらに、車体側との連携を強め、発生する各種振動の周波数と車体各部の固有振動数が極力一致しないような振動特性を持たせることで、大幅な車内騒音の低減を達成することができた。

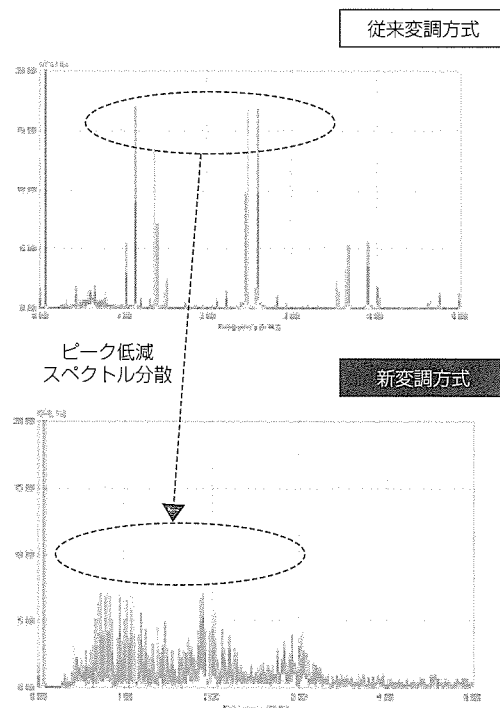


図3. 変調方式改善による好音質化

3.4 作業環境への配慮

作業環境への配慮は、機器の保守作業の簡素化と容易化(周期延長・期間短縮)である。

3.4.1 保守作業周期の延長

保守作業周期の延長は、保守に必要な構成ユニットの信頼性向上と各部品の寿命増大によって達成できる。

推進制御装置では、次の3項目を考慮している。

- ① 構成部品の点数削減：故障率低減
- ② 冗長度(多重度)向上：製品故障低減
- ③ 部品温度余裕の向上：部品長寿命化

システム構成部品の点数を、主回路部で80%、制御部で20%(当社比)と大幅に削減し、故障率を大幅に低減した。重要部を2重系にするなど冗長度を向上することによって製品故障を大幅に低減した。さらに、部品の寿命に直結する装置内の温度上昇を、最適な機器配置や箱枠構造、配線及びバー構造の選定を実施して抑制し、大幅な長寿命化を達成した。これらは、設計段階におけるシミュレーションによる十分な検討を行うとともに、製造後の環境試験室での検証試験において確認を実施している。

主電動機における保守は、軸受部と各部清掃が主要作業となる。軸受部の寿命は潤滑寿命が支配的であり、潤滑に必要な基油を長期間保持するため次の点を考慮している。

- ① 軸受部の温度低減：基油の劣化防止
- ② グリースの最適化：離油率の適正化
- ③ グリース保持量増大：基油量の増大

軸受部の温度は回転子温度に依存するため、回転子導体の低抵抗化や高調波損失低減による温度上昇低減を図るとともに、軸受部を積極的に冷却する構造を採用してグリース(基油)の劣化防止を図っている。グリースは耐熱性の高いタイプとし、周囲の温度環境を考慮して最適な離油率の銘柄を選定している。さらに、軸受部の分解周期延長にはグリース量の増大が必要であり、グリースポケットの容積増大による保持量増大や排油室を設けた中間給油回数増大も有効な手段である。

また、内部清掃作業については、全閉形主電動機とすることで内部への塵埃侵入がないため、作業周期を大幅に延長することが可能となった。

3.4.2 保守作業期間の短縮

車両駆動システムを健全な状態に保つための定期的な保守を短期間を実施するためには、保守作業項目の削減と保守作業内容の簡素化(容易化)が必要となる。

推進制御装置は、次の項目を考慮している。

- ① 自己診断機能の採用：保守項目削減
- ② 保守部品の大幅削減：保守部位削減
- ③ 保守部位の前面集約：保守の容易化

主電動機は、前述のように、軸受部については分解保守周期を延長することで、途中の定期保守を大幅に軽減でき

るほか、全閉形化による清掃作業軽減が可能となった。

ブレーキ装置は、部品点数の削減や主要部品の集約化などによって、大幅な保守の省力化が可能となった。

ブレーキ装置における小型軽量化・省保守化の具体的取り組みと製品については、7章で述べる。

4. 推進制御装置における環境負荷低減

推進制御装置では、大幅な環境負荷の低減を達成しており、LCA手法を適用した環境負荷の評価結果の一例について述べる。

4.1 LCA手法

当社では、環境適合性を評価するために、製品のライフサイクル、すなわち、製造→輸送→使用→経年廃棄までの各段階を通じて、環境に与える負荷を定量化するための手法として、LCAを実施している。

LCAは、資源採掘から製造→輸送→使用→経年廃棄までのライフサイクル全般にわたり、製品が使用する資源やエネルギーと排出する環境負荷物質の量を算定し、その環境への影響を総合的に評価する手法で、すでに国際標準化されている。当社では、ライフサイクル全体での製品の環境負荷をMET(M:Material 資源の有効活用, E:Energy エネルギーの効率利用, T:Toxicity 環境リスク物質の排出回避)の視点で評価し、削減を行う“3R(Reduce, Reuse, Recycle)製品アセスメント”を1991年から導入し、環境適合設計(DFE:Design for Environment)を進めている。その中で、LCAは製品アセスメント評価項目の一つで、合計796項目に及び“社内標準LCAデータベース”をイントラネットで公開し、全製品についてLCAの実施を義務付けている。

ここでは、最新の制御装置と、VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)インバータ導入当初に製作した制御装置についてLCAによる評価を実施した。

4.2 LCA評価モデル

表1に、評価対象品として取り上げた2種類の推進制御装置の概要を示す。今回比較を実施したのは、半導体素子としてIPMを適用した最新の制御装置と、VVVFインバータ導入当初(約18年前)に製作したGTOサイリスタを適用した装置である。

表1. 評価モデル

	GTO適用推進制御装置	IPM適用推進制御装置
主回路素子	GTOサイリスタ	IPM
電圧	入力	DC 1.500V
	出力	AC 1.100V
駆動主電動機数	8個/装置	4個/装置
主回路冷却方式	フロン冷却 (フロンナート使用)	ヒートパイプ冷却 (純水使用)
製品重量	2.860kg	400kg
比較車両数	30両(4M2T)	30両(5M5T)

4.3 評価条件

今回の評価範囲は、図4に示す資源採掘～部品・ユニット製造段階と、使用・消費段階とした。

各種素材やエネルギー源に関する環境負荷データは、経済産業省のLCAプロジェクトで公開されているJLCA-LCAデータベース2007年版1版を基に作成した。また、主回路のGTOサイリスタやIPMのデータは、社内で素材、製造データを収集し構築した独自のデータベースを使用した。これらのデータを基に、今回は地球温暖化への対応を重視し、温室効果ガス排出量(CO₂排出量換算)で評価した。

いずれの制御装置も、主要構成ユニットとして、箱枠・組立・ユニット部品、パワーユニット及びゲート制御ユニットに分類し、それぞれのユニット別に算出した。

使用段階の評価は、1日当たりの車両運用時間を18時間、1年間の稼働日数を300日と設定し、運用期間20年で実施した。また、VVVFインバータの走行中の稼働率を35%、回生率30%、インバータ効率を99%として、30両編成時の消費電力を算出した。

4.4 評価結果

IPM適用制御装置と、GTO適用制御装置の環境負荷評価結果を図5に示す。この結果から、IPM適用制御装置は、GTO適用制御装置に比べてCO₂排出量で約40%削減されており、制御装置の小型化、軽量化並びに使用時の省エネルギー化による効果が顕著であることが確認できた。

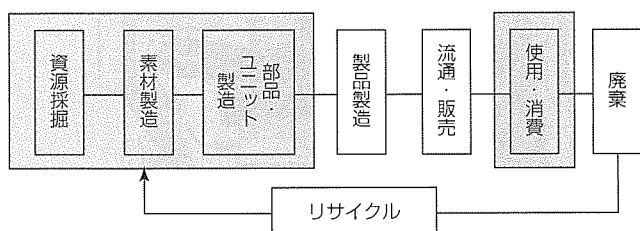


図4. 評価対象範囲

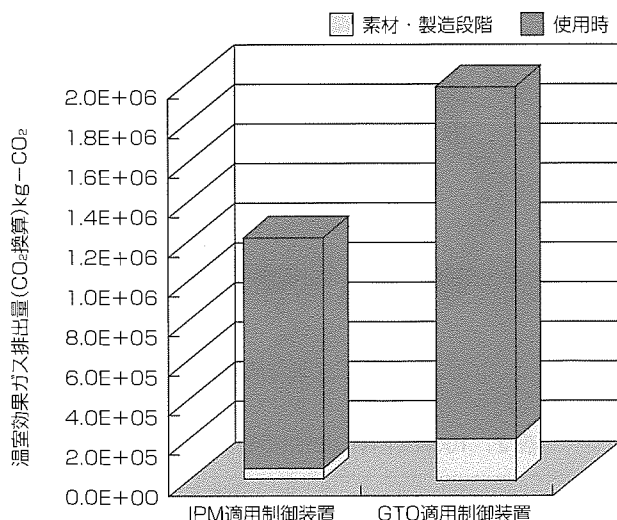


図5. 制御装置の環境負荷評価結果

また、いずれの制御装置も使用時のCO₂排出量が全体の90~95%を占め、これより環境負荷の低減には省エネルギー化を促進することが有効であることが明らかになった。

さらに、IPM適用制御装置1台における素材、部品・ユニット製造段階の環境負荷評価結果を図6に示す。これで、箱枠・組立・ユニット部品のCO₂排出量が全体の約60%を占め、この構成素材の中では、図7に示すようにアルミニウムに起因する箱枠が全体の約80%を占めることが分かる。アルミニウムは再生時のエネルギーが新地金製造の3%程度と小さいため、再生アルミニウムを採用することで、CO₂排出量をさらに削減することが可能である。

このように、環境適合性の評価の一手法として、LCAを用いて、最新の制御装置とVVVFインバータ導入当初に製作した制御装置について評価した。その結果、最新の制御装置では、VVVFインバータ導入当初に比べて環境負荷

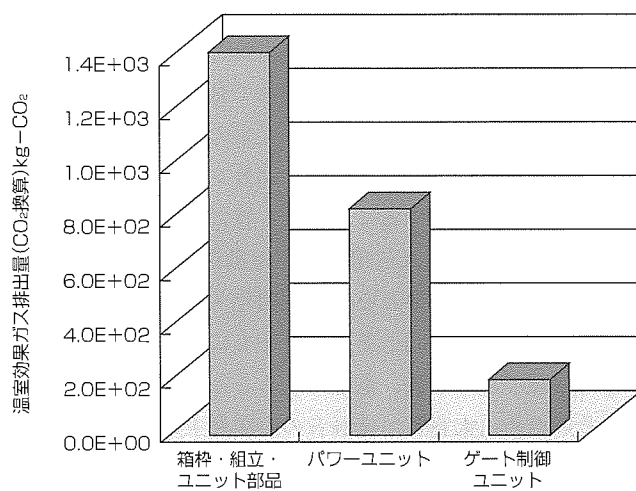


図6. 素材、部品・ユニット製造段階の環境負荷評価結果

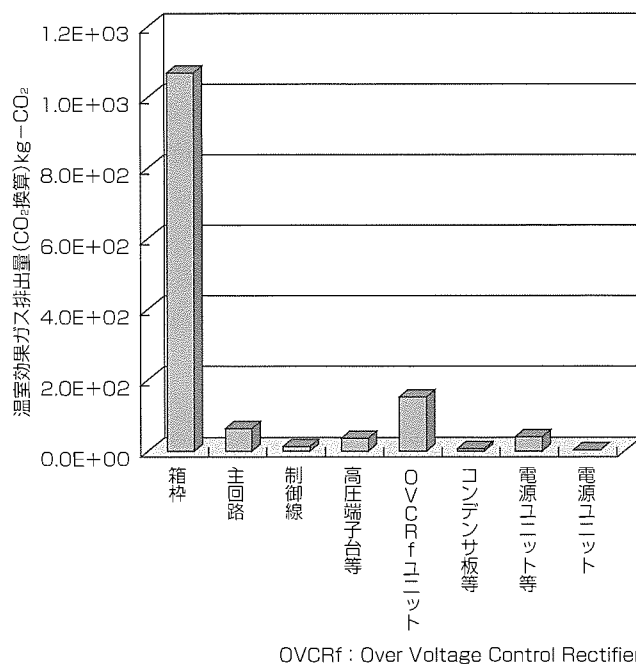


図7. 箱枠・組立・ユニット部品の環境負荷評価結果

として40%削減されていることが確認できた。今後もこのような手法を用いて環境負荷を定量的に評価するとともに、再生アルミニウムの適用も視野に入れて、より環境適合性の高い推進制御装置を設計・製造していく予定である。

5. 主電動機における全閉化

5.1 主電動機の環境への配慮

主電動機における環境への影響は、列車走行に伴う騒音・振動であり、鉄道沿線・車内におけるこれらの影響を軽減していくことが重要な課題となっている。

環境への配慮という観点から、当社は主電動機から発生する騒音を極力低減させた全閉形主電動機の実現に努めてきた。全閉形主電動機は、内部に塵埃が入らないため定期検査時に内部の清掃が必要であった開放形主電動機と比較して省保守になっており、作業環境へも配慮したものとなっている。

5.2 全閉形主電動機の最新の開発動向

主電動機を低騒音化するための方策として、騒音の発生か所の密閉化がある。主電動機内部で発生した騒音を外部に漏らさない構成にできるため、従来の開放形に比べ低騒音化を図る設計が可能であるが、同等レベルの低騒音化を他の車種へ水平展開するにあたり、特に通勤車両のように各停運転が繰り返される用途の主電動機は200kW級と大容量化することが必要となる。全閉化・低騒音化する上で放熱能力のさらなる向上を図るとともに、既存の狭軌台車にまで搭載できる寸法、重量とすることが大きな課題である。そのため、大容量・低騒音の全閉形主電動機を確立するために、単体試験での十分な検証を行ったほか、試験車両に搭載した現車試験での性能確認も行った。

5.3 全閉形主電動機の概要

全閉形主電動機は、内部で発生した騒音を外へ出さない(低騒音化)ことに加え、内部への塵埃侵入を防ぐことで清掃作業を削減する(省保守)が必要であるため、密閉構造としている。そのため、内部循環空気の放熱性能の向上及び内部の発生熱量低減などが要求される。

5.3.1 放熱システムの最適化

図8に示す経路で冷却風を通風させ、特に内気循環経路から外気への放熱効率を向上させ、内部の循環空気の冷却を行い、放熱システム最適化を図った。

5.3.2 低騒音化

主電動機大容量化を達成するために放熱効率を従来のものからさらに向上することで、冷却風量を抑制した設計が可能となり、同一容量の開放形に比べ、単体で約7dBの騒音低減を達成した。

5.3.3 低損失ロータバーの採用

ロータバーに低抵抗材料を採用し、損失を低減する設計とすることで、発熱量の低減を実現した。回転子部での損

失低減を図っているため、省エネルギー(高効率化)の観点からも地球環境へも配慮したものとなっている。

さらに、主電動機極数を4極から6極に変更することで、コイルエンドのコンパクト化によって小型化を図った。

全閉形主電動機の外観を図9に示す。

5.4 電動機試験検証

5.4.1 単体騒音試験

主電動機から1m離れた地点における単体騒音試験において、走行速度100km/hを想定した回転数での騒音レベルを、全閉形主電動機と開放形主電動機の両方で測定した。表2及び図10に示すように、全閉形主電動機は同一容量の開放形主電動機よりも大幅に騒音レベルが低減していることを確認した。

5.4.2 単体温度上昇試験

190kWの1時間定格温度上昇試験を実施し、固定子コイル・軸受ともに温度上昇限度値以下の結果となり、熱的にも問題ないことを確認した。

5.4.3 現車搭載走行試験

この主電動機は、現車搭載した走行試験を実施しており、現車での騒音レベルも高速域の車外騒音で3~4dBAの低減が確認された。さらに、現車走行試験における主電動

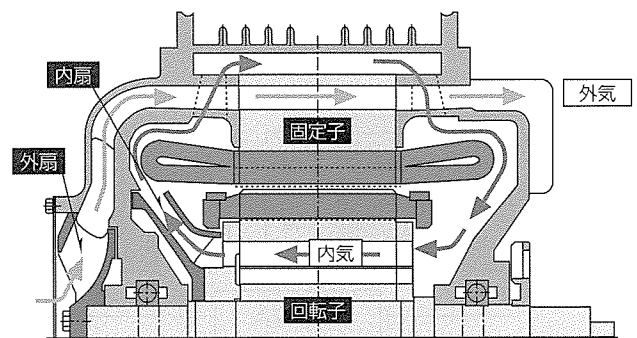


図8. 全閉形主電動機の構造

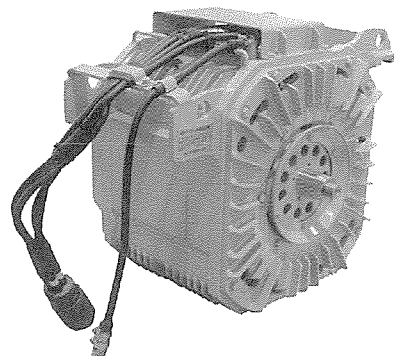


図9. 全閉形主電動機の外観

表2. 100km/h時の単体騒音レベルの比較

	出力(kW)	ギア比	回転数(rpm)	騒音値(dB)
開放形主電動機	190	6.06	3,922	92
全閉形主電動機	190	6.06	3,922	85

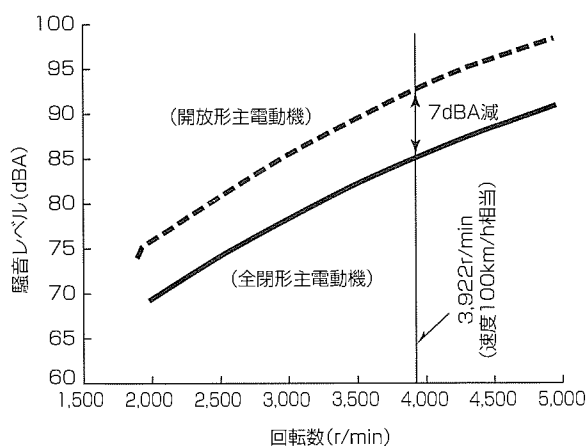


図10. 全閉形主電動機と開放形主電動機の騒音比較 (5点平均値)

機の温度上昇値も測定し、単体試験同様に問題ないことを確認した。

5.5 保守の省力化検証

5.5.1 実運用後の外部及び内部の状態

現車走行の後、定期検査時に軸受部グリースの状況及び主電動機外部・内部の状態などについて確認・調査を実施した。その結果、軸受部グリースでは鉄分・銅分・ちよう度・油分離率・酸化防止剤残存量とも問題なく良好な状態であった。また、外部の状態は主電動機枠の外気通風穴に塵埃の付着は若干あったものの、通風路は十分に確保されていた。内部の状態についても、分解して確認した結果、塵埃・水などの侵入はなく、密閉状態が保たれており、外部・内部の状態はともに良好であった。

5.5.2 メンテナンス性

定期検査における誘導電動機の一般的メンテナンス方法としては、分解→気吹→手入れ→再組立となるが、全閉形主電動機は密閉されており内部は非常に綺麗な状態であったため、“気吹”“手入れ”の作業時間を大幅に軽減することができた。今後は、現車追跡調査を実施することによって、分解周期を長くすることで、さらにメンテナンスの省力化を図ることを目標とする。

また、従来の開放形誘導主電動機では、検車区で実施する月検査で、検査ごとに吸気口のフィルターの着脱・清掃を実施しているが、全閉形主電動機ではフィルターが存在しないため、1編成に搭載される十数台の主電動機のフィルターの着脱・清掃にかかる約2時間程度の作業を軽減することができる。

これらの結果によって、全閉形主電動機は、車両の低騒音化を達成するとともにメンテナンスの省力化も図れることを実際の車両で確認することができた。

6. ブレーキ装置における環境対策への貢献

6.1 電空協調ブレーキシステムによる省エネルギー化

三菱ブレーキシステムの歴史は古く、1924年米国ウエス

ティングハウスエアーブレーキ社(WABCO)との技術提携で国内生産を開始した。初期のブレーキは空気ブレーキのみであり、ブレーキシリンダーに空気圧力を送り、これに取り付けたブレーキシューを車輪に押し当てその摩擦力でブレーキをかけるシステムであったが、1970年代以降、パワーエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクスの急速な進歩・発展によって推進制御装置にチョップ制御やVVVFインバータ制御が実用化され、これに伴って回生ブレーキ方式が急速に普及した。

現在は、電空協調制御を付加したブレーキシステムの開発が完了しており、電気制御の飛躍的な進歩によって省エネルギー化に貢献している。本章では、省エネルギー化の取り組みと電空協調ブレーキシステムについて述べる。

6.1.1 回生ブレーキの普及

回生ブレーキは、ブレーキ時に車両駆動用主電動機を発電機として動作させ、その発電電力を架線に返して省エネルギー化を図るものである。当初は直流主電動機を用いたチョップ制御で電動車のみのブレーキ力を回生エネルギーに変換していたため、編成に占める電動車の割合が少なければ効果は低い状態であったが、省エネルギー化に貢献してきた。

1980年代以降、三相誘導電動機の優れた再粘着特性を有効に利用できるVVVFインバータ制御が実用化され、電動車以外に付随車のブレーキ力も回生ブレーキで賄える制御が可能となり、編成における回生ブレーキ力の大幅な増大が可能となった。その結果、電動車のみならず付随車のブレーキシュー磨耗低減をも可能とし、省保守化にも貢献している。

6.1.2 電空協調ブレーキ制御器の実用化

鉄道車両のブレーキには、前述のように電気(回生)ブレーキと空気(摩擦)ブレーキがある。電空協調ブレーキシステムは、電気ブレーキを優先使用して不足分を空気ブレーキで補足する方式であり、電空ブレーキ力を電動車と付随車に相互関連させながらブレーキ力を制御するブレーキ制御器(7.2節)を実用化した。

近年は、制御伝送装置(TIMIS)を用いた編成ブレーキ力管理を行い、推進制御装置が1台開放された状態においても編成全体のブレーキ力を健全な推進制御装置で賄うことも可能となり、さらなる回生ブレーキの有効利用によって省エネルギー化に貢献している。

6.2 空制滑走制御によるタイヤフラット防止

6.2.1 滑走の発生と弊害

雨天や降雪時にブレーキをかけると、レールと車輪間に作用する粘着が低下しているため、滑走が発生しやすく、滑走時に自己再粘着によって回復しなければ、ついには車輪の回転が止まり固着してしまう。

車輪が固着するとレール上を車輪が滑りながら減速して

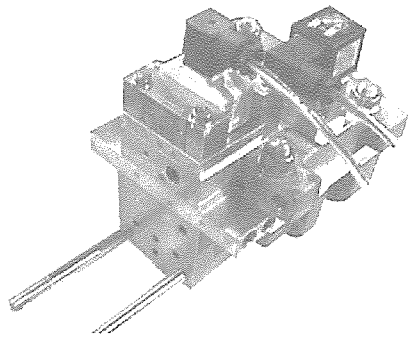


図11. ON-OFF型電空変換中継弁

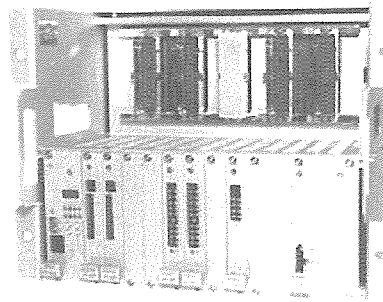


図12. ブレーキ制御器

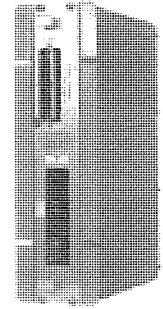


図13. 滑走制御装置

いき、この結果、停止距離が伸び、かつ大きなタイヤフラットが発生する。走行時にこのフラット部がレール面を打撃して騒音や振動が発生し、レールも傷めてしまう。また、予期せぬ車輪研削作業も発生する。

6.2.2 空制滑走制御の導入

前述のとおり滑走が発生すると、①停止距離延伸、②走行騒音、振動の発生、③レール面の損傷、④車輪研削作業の増加、といった弊害が起こる。

1990年代に、これらの弊害をなくすために滑走したら滑走軸(又は台車2軸分)の空気ブレーキ力を低下させ再粘着に向かうと空気ブレーキ力を再込めする滑走制御装置(7.3節)を実用化している。

当初は滑走制御装置として独立した製品を開発したが、現在はブレーキ制御と滑走制御を一体化したブレーキ制御器を実用化し、滑走時の停止距離延伸抑制やタイヤフラット防止に広く採用されている。

7. ブレーキ装置における小型軽量・省保守化

空気ブレーキを制御するための機器においても小型軽量化による省エネルギー化、部品点数削減や構造簡素化による保守作業の簡素化を図っており、代表的な3機種について次に述べる。

7.1 ON-OFF型電空変換中継弁

空気ブレーキ制御は、電氣的に演算したブレーキ力を空圧に変換して、その圧力をブレーキシリンダーに送り摩擦ブレーキ力を作用させる。電氣的なブレーキ力を圧力変換するものに電空変換弁と呼ばれる制御弁がある。

従来は、この電空変換弁と空気圧を容量増幅する中継弁と呼ばれる制御弁を組み合わせていたが、ON-OFF型電空変換中継弁は、この電空変換弁と中継弁を一体化した製品である。従来の電流制御型EP弁+中継弁と比較して大幅に小型・軽量・省保守化した(図11)。

この中継弁は、電空変換部に加え、非常ブレーキ用の応荷重弁、非常電磁弁及び不足検知用の圧力スイッチ等を搭載可能で、様々な機能を電空変換中継弁1台に集約でき、小型かつシンプルなシステムが構築できる。

7.2 ブレーキ制御器

運転台からのブレーキ指令と荷重信号(空気バネ圧)を取り込み、各車ブレーキ力演算及び電空協調制御をつかさどるブレーキ制御器について、信頼性向上、小型軽量化、保守の容易化等を目指した新シリーズの開発、実用化を完了した。また、滑走制御機能を取り込み一体化している。

① 特長

基板のサイズは世界標準のVME-3Uサイズラックを使用している(図12)。

② 信頼性向上

信頼性向上として、従来品に比べ約20%の部品点数削減を行い、CPU/ROM/PLD(Programmable Logic Device)のソケット式デバイスを使用しない方式で接触信頼性を向上した。又、EMC・EMI対策を施し、環境適合性を向上した。

③ 小型軽量化

高密度実装によって大幅な小型・軽量化を図り、従来品の50%の質量低減を達成した。

7.3 滑走制御装置

前述のブレーキ制御器が搭載されない車両には、滑走制御装置を搭載し単独制御としている(図13)。

8. む す び

車両駆動システムを構成する全機器が密に連携し、車両駆動システムにおける環境の4つの側面を満足するよう活動してきた。今後も全機器一丸となってベクトルを合わせた活動を継続し、より環境にやさしい、より人にやさしい車両駆動システムを目指す所存である。

交通分野における情報ユニバーサルデザイン

金子達史*

Universal Design for the Information System in the Field of Public Transportation

Tatsuji Kaneko

要旨

人にやさしい交通システムの実現を目指す上では、例えば障がいを持たれる方や高齢の方々が移動する上でのバリアを取り除くといったバリアフリーの概念だけでなく、すべての人を対象としたユニバーサルデザインの概念を取り入れていくことが重要となってくる。特に、今後のユニバーサルデザインとしては、昇降機などの物理的な移動を支援する対策だけでなく、すべての人が迷うことなく、安全・安心に移動できるための、人々の認知・判断を支援する“情報のユニバーサルデザイン”の整備が強く求められてくるものと考えている。本稿では、この“情報のユニバーサルデザイン”を主題として、車両内、駅内、さらには地

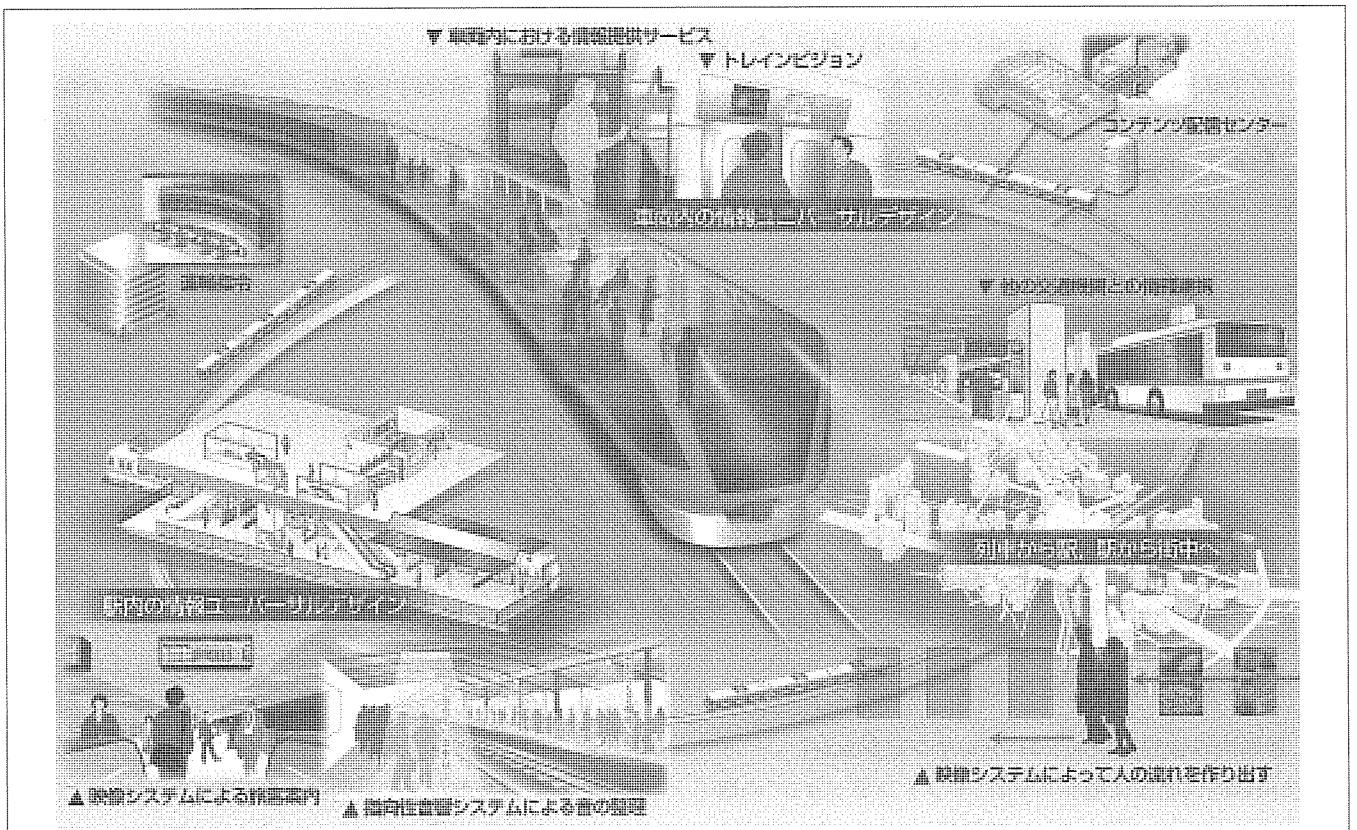
上-車上の連携による交通分野全体で目指すべき情報ユニバーサルデザインについて述べる。

車両内については、現行の車両内映像情報システム“トレインビジョン”のさらなる改善や、情報ユニバーサルデザインの新たな取り組みについて述べる。

駅内については、表示器による視覚情報やアナウンスによる聴覚情報など各種の情報を整理、再構築して最適な情報環境を提供していく“情報のトータルプランニング”の考え方について述べる。

さらに、列車から駅、駅から街中までのシームレスな情報連携のサービスモデルについて述べる。

特集
I



交通分野における情報ユニバーサルデザイン全体像

人にやさしい交通システムを考える上では、一つの駅や車両などの限られた範囲の中だけでなく、今後は移動環境や駅を中心とした街づくりの視点も求められてくる。

*デザイン研究所

1. ま え が き

鉄道は、当然ながら通勤・通学客をはじめ障がいを持たれる方や高齢の方々、子供、さらに外国人観光客など様々な人が利用している。これらすべての人にやさしい交通システムの実現を目指す上では、あらゆる方々が移動する上でのバリアを取り除くというバリアフリーの概念はもちろんであるが、すべての人々が公平に様々なサービスを楽しむことができるというユニバーサルデザインの概念を取り入れていくことが重要となる。特に、今後のユニバーサルデザインの取り組みとしては、昇降機などの物理的な移動を支援する対策だけでなく、すべての人が円滑に、迷うことなく、安全・安心に移動できるための、人々の認知・判断を支援する“情報のユニバーサルデザイン”が必要となってくるものとする。

本稿では、人にやさしい交通システムの実現に向けて、この“情報のユニバーサルデザイン”を主題に、交通分野における情報ユニバーサルデザインの目指すべき姿と、そこに向けた三菱電機の取り組みについて述べる。

2. バリアフリー新法に見る新しい視点

交通システムに大きく関係するバリアフリー新法「高齢者障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」が、2006年12月に施行された。これは、旧建設省が1998年に制定した「ハートビル法」と、旧運輸省が2000年に制定した「交通バリアフリー法」の2つの法律が統合されたものである。新法のポイントは、移動環境と街やビルとが一体化したという点にあり、例えば、ある駅からその周辺の市役所までの道をバリアフリーにして連続性を確保していくといったことが挙げられる。また、これまで“一日の乗降客が5千人以上の駅を対象”としていたバリアフリー対策を、鉄道全駅に広げるとしている。さらにガイドラインでは、券売機などのタッチパネル式画面の色覚障がい者に分かりやすい色使い、エスカレーターの乗り場での音声案内など、円滑な移動のための情報提供に関する点が追記されている。

人にやさしい交通システムを考える上では、一つの駅や車両などの限られた範囲の中だけでなく、今後は移動環境や駅を中心とした街づくりの視点も求められてくるものとする。

3. 車上における情報ユニバーサルデザイン

3.1 車両内映像情報システム“トレインビジョン”

当社は車両内映像情報システム“トレインビジョン”の開発・導入によって、車上における情報ユニバーサルデザインにいち早く取り組んできた。このトレインビジョンは鉄道利用客に対し、運行情報、広告をはじめとする各種案内情報を映像という視覚情報によって提供するシステムであ

り、今では社会的にも高く評価されている。

トレインビジョン導入前は、車両内の情報、特に運行にかかわる重要な情報はアナウンスのみでの情報提供だったため、聴覚障がい者はもとより騒音の多い車内では聞き逃す場合もあった。文字、ピクトグラム、色彩などを用いた視覚情報によって、聴覚障がい者や旅行客などの不慣れな人、外国人など様々な人に対して、必要な情報を分かりやすく、公平に提供することが可能となった。乗り換え案内やダイヤ乱れ情報などをタイムリーに視覚情報として提供できるようになり、車上における情報ユニバーサルデザインの先駆けとなった。

すでに最初のトレインビジョンの導入から数年が経ち、様々な鉄道、路線に採用され、車上における情報ユニバーサルデザインが徐々に広がりつつある。その間、情報伝送技術や表示装置などが進化してきており、今後、情報ユニバーサルデザインの考え方や内容も進化が求められるだろう。例えば、当初15インチだった表示装置の画面サイズを19インチにした例や、4：3だった画面比率を16：9のワイド画面にした事例も出てきた。画面のサイズや比率が変わることによって、分かりやすい表現やGUI(Graphical User Interface)デザインの可能性も広がる。また、最近では色弱の人にも見やすい色使いを行うカラーユニバーサルデザインの取り組みが注目されており、様々な人を対象とするトレインビジョンとしてもこのような取り組みが必要となってきている。

当社デザイン研究所ではユニバーサルデザインの視点から、様々なヒューマンインタフェースの評価を行いながら現行トレインビジョンの改善や情報ユニバーサルデザインとしての新たな取り組みを試行している。

3.2 車両内における情報提供サービスの研究

現行のトレインビジョンでは、乗客に対し必要な情報を一方的に提供するプッシュ型の情報提供サービスを具現化した。今後、すべての人々に、さらに満足してもらえるようなサービスを実現していくためには、それぞれの人の状態やニーズにきめ細かく対応していくことが必要となってくるだろう。プッシュ型の情報提供だけでは限界があり、現行トレインビジョンはそこまでの対応には至っていない。

車両内における各個人への対応として、携帯電話を利用した情報提供が考えられる。車両内にFelica^(注1)リーダー/ライター端末を設置し、乗客は携帯電話をリーダー/ライター端末にかざすことによって、欲しい情報を携帯電話に吸い上げることができるサービスが考えられる(図1)。しかし、満員電車などで車内の移動が難しい場合はこのリーダー/ライター端末までたどり着くのが難しい。赤外線通信、Bluetooth^(注2)、車内無線LANなど、車内に無線配信

(注1) Felicaは、ソニー(株)の登録商標である。

(注2) Bluetoothは、Bluetooth SIG Inc.の登録商標である。

インフラが整い、携帯電話などの個人端末側もそれに対応する機能が備われば、リーダー／ライター端末に頼ることなく車内のどこに居ても情報サービスが受けられるようになる。

当社では東日本旅客鉄道(株)・フロンティアサービス研究所との共同研究によって、この“車両内における情報提供サービスの研究”を実施し、これらサービスを実現するデモシステムの開発を行っている。実用化までにはまだ課題も多いが、さらに研究・開発を重ね、すべての人に公平で、さらに、それぞれの人の状態やニーズにこたえていくことのできる新たな情報ユニバーサルデザインを追求していきたい。

4. 駅における情報ユニバーサルデザイン

4.1 駅内における情報提供の必要性

現在、駅は、バリアフリー設備の充実や各種店舗の導入など多機能化が進んでおり、ますます便利に快適に進化し続けている。しかし、その一方で駅の構造や設備は複雑になりつつある。また、列車種別の多様化、鉄道会社間の相互乗り入れ等によって利用者の利便性もさらに向上しているが、列車種別や乗り換えなどが複雑になり利用者に新たな迷いや不安を与えているともいえる。

普段から使い慣れている人にとってはさらに便利に利用できるが、不慣れな人、初めての人にとっては“どこに何があるのか分からない”“どの列車を利用してよいか分からない”“迷ってしまう”という状態にあり、情報の認知・活用に格差が生じているといえるだろう。さらに、ダイヤ乱れ時には、利用者に状況が正確に迅速に伝えられているとは言いがたく、すべての人がいまだに不安や迷いを抱いている。これら情報提供の代表的な手段としては、LED (Light Emitting Diode) 表示器による文字情報とアナウンスによる音声情報が挙げられるが、情報量に限界があると同時に、すべての人に対応できているともいいがたい。

必要な情報を利用者へ確実に伝えるために、これまでで



図1. 車両内リーダー／ライター端末イメージ

上に便利なサービスを提供するために、心地よい空間を創り出すために、各種の情報を整理、再構築する必要がある。

4.2 情報のトータルプランニング

駅における情報ユニバーサルデザインを実現していく上では、まず、駅構内のそれぞれの空間における利用者の目的や、利用者が求める機能に則して、必要な情報を適切に配置し、各種の情報提供手段を組み合わせながら最適な情報を提供していく“情報のトータルプランニング”が必要不可欠である。

さらに、それぞれの人の状態やニーズにきめ細かく対応していく情報提供を実現するためには、一方向型(押し型)の情報だけでは限界が生じるため、今後は、押し型の公共情報と双方向型(プル型)の個別情報の併用と適切な使い分けも考えていくべきだろう。

情報提供の手段も検討していくべきである。視覚情報の新たな提供手段として、大型映像表示装置の活用が挙げられる。文字情報に、画像やピクトグラム、色彩などの視覚情報を加え、豊富な情報量によって誰にでも分かりやすい視覚情報の提供が可能となる。

聴覚情報、つまり音の整備も求められる。すべての人に伝達する構内アナウンスと、ある状態や位置にいる特定の人にだけ伝えればよい個別情報、その他チャイムや広告の音声なども整理し、適切に配置、提供していくべきである。従来型の音響システムに加え、指向性のある音響システムとの組み合わせなどが効果的である。

駅構内の無線LANや、携帯電話をユニバーサルデザインへ活用していくことも考えられる。これらの通信インフラに対応した情報提供端末の設置や、その情報提供端末と各個人の携帯電話などを連携させることによって、個人向けの情報サービスも可能となる。

5. 地上-車上の情報ユニバーサルデザイン連携

5.1 シームレスな情報連携

交通システムの全体テーマである「地上-車上の連携」として、駅や指令所などの地上設備と移動する列車との間で鉄道無線網、移動体通信網などを用いて情報連携が可能となれば、利用者への情報サービスの観点においても可能性が広がってくるだろう。

仮に中・長距離の移動を考えた場合、利用者は複数の交通手段を乗り継ぎながら出発点から目的地までを移動する。そこで必要となる情報としては、各交通機関の運行情報や乗り継ぎ情報、又は運賃等の交通機関利用にあたっての経済的な情報が求められる。利用者が、別々の交通機関を連続して使用する上でも、同様の利用方法やサービスを受けられる方が、迷いもなく、不安もなく、望ましいものとなる。

都市圏の駅ではJR線だけでなく私鉄、地下鉄等の乗り

継ぎ機能を持つ駅が多く存在する。一部では、相互乗り入れ、同一ホーム等の空間的・物理的連続性や、交通系ICカードによる経済的連続性が確保されてきた。他電鉄とも情報共有・連携が可能となれば、移動の連続性、移動時間の連続性、経済的連続性が実現され、すべての鉄道利用者はどの路線、鉄道会社でも自由に快適に利用できることとなる。障がいを持たれる方や高齢の方々でも移動できる範囲が広がるだろう。

また、駅は、バス、タクシーなど他の交通機関との結節点でもある。他の交通機関とも情報共有・連携が実現すれば、移動・時間・交通運賃の連続性はさらに広がっていく。利用者はすべての乗り継ぎ情報を把握することができるし、すべての交通機関も含めた指定席予約なども容易となる。当然、事故・遅延時の情報提供や代替輸送にも大きな効果を発揮する。

5.2 トレイン&ウォーク・ソリューション

当社では、列車から駅、駅から街中までのシームレスな情報連携のサービスモデルを考え、CEATEC2006の当社ブースにおいて、これらソリューションのデモ展示を行った(図2)。

列車内のトレインビジョンで乗客に対して、沿線の駅近辺で開催されているイベントなどの情報を提供する。その情報を見て該当駅で降りた乗客へは、駅構内に設置した大型ディスプレイで会場へのアクセスや、より詳細なイベント情報などを提供する。駅前やビルエントランスなどの公共性の高い場所に設置されている映像表示装置も情報提供に用いられる。それらに表示される映像はデジタル化されており、コンテンツ配信センターで集中管理してIPネットワーク経由で配信される。さらに、携帯電話へ映像やクーポン券などのデータをダウンロードできる双方向性の高い仕組みも用意する。このように、街中のあらゆる場所で映像によって適切な情報を適切なタイミング、形態で提供することで、人の流れを作り出し、街を活性化していくことを目的としたソリューションを示した。

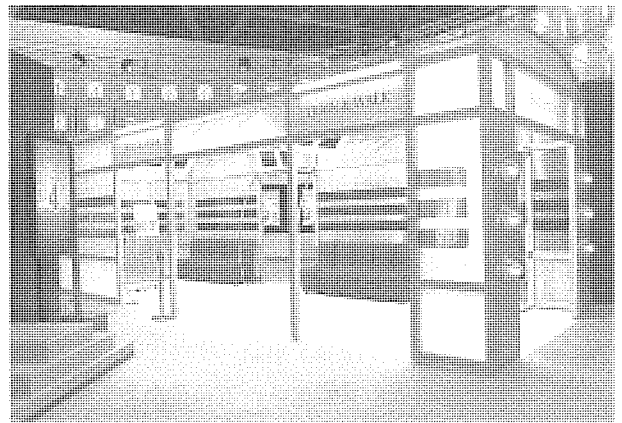


図2. CEATEC2006・トレイン&ウォークコーナー

これら映像を中心とする情報提供の仕組みは、当然、情報ユニバーサルデザインにも活用できる。さらに、災害時などの緊急情報の連絡にも利用可能である。街の活性化と安心・安全の双方の実現に重要な社会インフラとなるものとする。

6. む す び

“人にやさしい交通システム”とは、利用者ニーズに合致し、満足してもらえるシステム&サービスでなくてはならない。これらを確認していくためには、シーズからの研究開発だけでなく、利用者ニーズの視点からの研究開発が必要不可欠である。利用者ニーズに合致し、満足してもらえるサービスが確立したとき、はじめてそのサービスの存在価値が社会に認められるものになると考える。

当社はトレインビジョンをはじめ、様々な情報ユニバーサルデザインに取り組んできたが、その実現は鉄道事業者とのコラボレーションなくしては不可能であったことは言うまでもない。今後、交通分野における情報ユニバーサルデザインを確立し、各種システム&サービスを開発・実現していくために、鉄道事業者とのコラボレーションのもと、シーズとニーズの両面からの研究・開発を推進して行きたい。

車内環境向上を目指した空調システム

白石和彦*
酒井 修**

Air Conditioning System for Advancement of Amenity in the Train

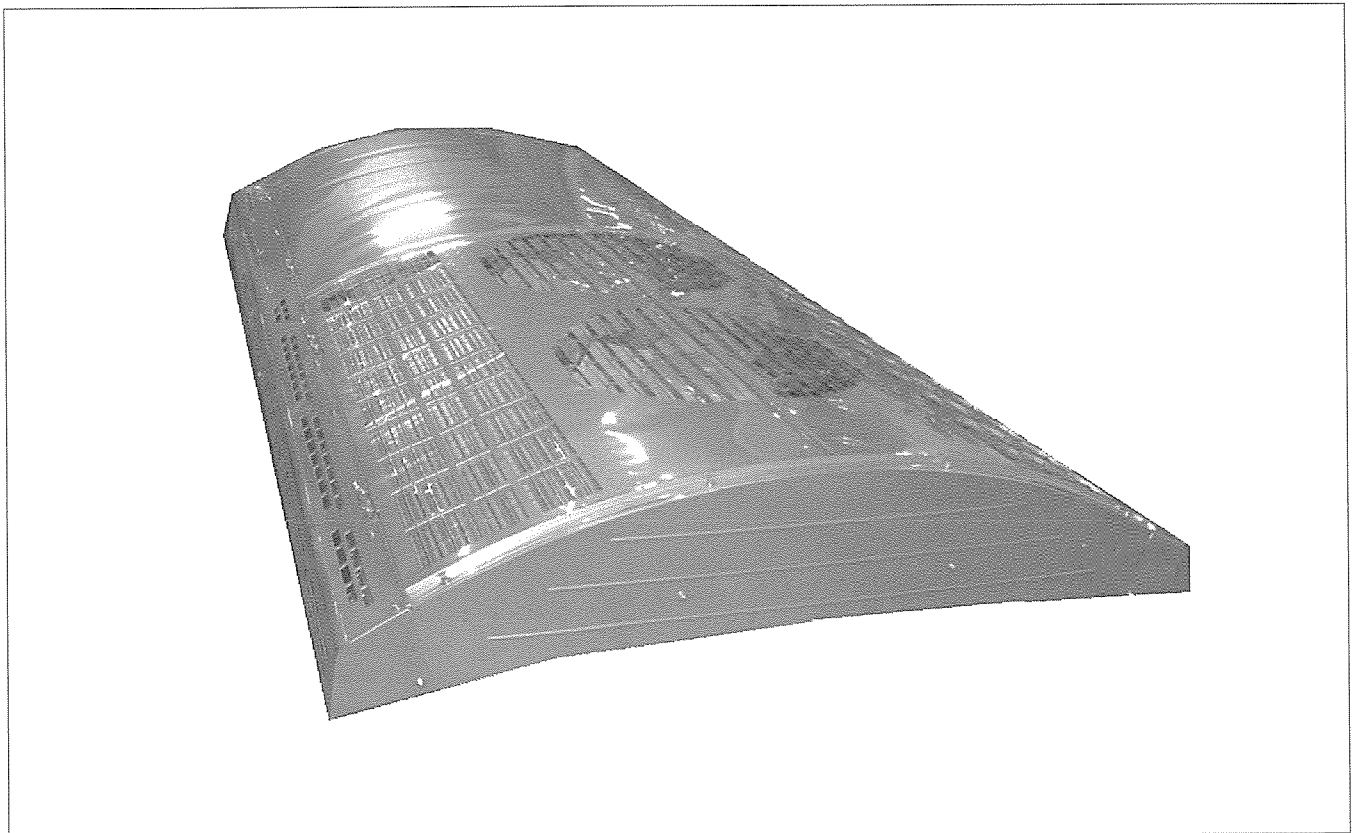
Kazuhiko Shiraishi, Osamu Sakai

要 旨

鉄道車両の車内空間においては、朝夕のラッシュや、始発時と終着時の外気条件の変化、駅停車時のドア開閉とそれに伴う乗客の乗り降り等、一般の家庭やオフィスと異なった特殊な環境が存在する。また、乗客の服装や空調に対する好みも様々であり、快適な車内環境確保のためには、年間を通して、負荷変動に追従した最適な空調制御が必要となってくる。また最近では、情報技術を駆使し、車両情報管理装置からの乗車率・ドア開閉情報等を制御に反映す

るとともに、営業運転中の車内空間が快適な環境に維持されているかをモニタリングし、環境状態と制御ロジックの整合性を検証して、必要に応じて速やかに制御方法を改善することも乗客サービス向上の点で重要である。

本稿では、首都圏の通勤・近郊電車に搭載されている空調システムを事例として、システム構成、制御内容及び車内モニタリングによる制御方法の改善等について述べる。



“AU726A-G4形”車両用空調和装置

通勤・近郊電車用の空調装置であり、車両の屋根上に1台設置している。空調制御器は、空調装置の近傍の天井部に設置され、空調装置との配線の簡略化を行っている。また、ファジー推論、年間全自動機能、再熱除湿機能等を用い、季節や乗客の状況に応じた制御を行っている。

1. ま え が き

鉄道車両の空調システムは、1970年代頃から急速に普及し、現在では、寒冷地を除き、冷房化率がほぼ100%となっている。車両に搭載されるという事情から、普及当初は、搭載スペースや電源容量、騒音・振動の車内への伝播抑制等、ハードウェアに関する検討が主体になされ、乗客への快適性向上が具体的に進められてきたのは、マイコン式の空調制御器が導入されはじめた1988年以降あたりからである。空調制御において、従来の温度サーモ式が、温度が高ければ冷房ON、低ければ冷房OFFといった、簡単な制御であったが、マイコン式の場合は、温度に加えて湿度も制御条件に加え、乗客の体感温度を想定しながら、より人にやさしい空調が可能となってきた。

その後、車両情報管理装置の登場によって、空調に関する必要な情報(外気温度・ドア開閉情報・乗車率等)がタイムリーに認識できるようになり、現在の主流は、乗務員の操作を不要とした、年間全自動空調になりつつある。しかしながら、現状では、乗客からの苦情の約半数は空調に関するもの(暑いまたは寒い)であり、車内環境向上にはまだまだ検討の余地がある。

ここでは、現在の通勤車両に搭載されている空調装置について、そのシステム構成や制御内容について述べるとともに、現車での空調データのモニタリングによる車内環境の分析や改善検証等について述べる。

2. 空調システムの構成

図1に通勤車両の代表的な空調システムの構成例を示す。このシステムは、冷房、除湿、補助暖房機能のついた空調装置が屋根上に1台、各座席下に暖房用の電気ヒータ、天井部に冷房効果の向上及びサーキュレータの役割も果たすラインフローファンが主要機器として搭載され、これらの制御は、天井部に格納されたマイコン式空調制御器1台で行われる。また、空調制御器は車両情報管理装置とのRS485による伝送を行い、外気温度やドア開閉情報、乗車率の情報を受信するとともに、車内の温度情報や空調動作

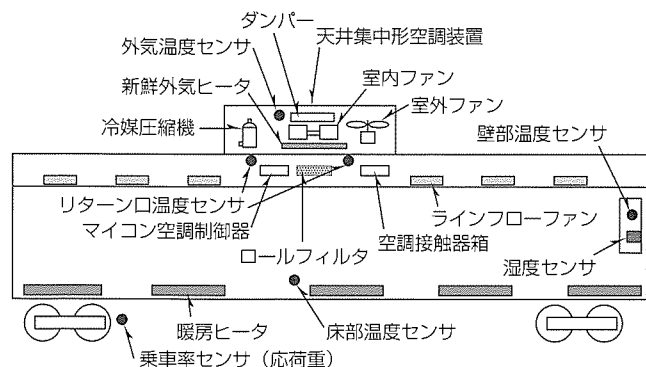


図1. 空調システム構成

情報を運転席へ発信している。

空調装置は車両の屋根上に1台集中配置されたもので、その仕様を表1に示す。首都圏の通勤車両の場合、空調導入当初の冷房能力は、48.84kW(42,000kcal/h)であったが、過密なラッシュ時等を考慮し、現在はおおむね58.14kW(50,000kcal/h)に能力アップがなされている。心臓部分である圧縮機については、1台で2段階の圧縮比が実現できる容量制御機構を持ったものを複数台内蔵し、多段階のきめ細かな空調制御に対応できるようになっている。車内に冷風や温風を供給するための室内送風機は、モータの極数変換タイプを用い、空調の負荷に応じて、風量が調整できるようにしている。また、冷媒は、代替冷媒のR407C(HFC)を採用している。

3. 空調制御の概要

3.1 年間全自動制御

逐次変動する車内環境に対し、各号車ごとに最適な空調制御を実施するため、冷房・暖房が自動的に切り換わる年間全自動制御を採用している。この制御のモード判定図を図2に示す。運転モードの判定は、基本的に外気温度と車内温度によって実施されるが、カレンダー機能を用いて、季節による判定も織り込んでいる。

3.2 ファジー推論

各種センサ(温度・湿度)の検出値を基に、適正な冷房もしくは暖房能力で運転するための能力演算においては、フ

表1. 空調装置の仕様

形式	天井集中形(1台/両)
電源	主回路 : 3相 440V 60Hz
	制御回路: 単相 100V 60Hz
冷房能力	58.14kW
暖房能力	6 kW(電気ヒータ内蔵)
循環風量	120m ³ /min
質量	約660kg

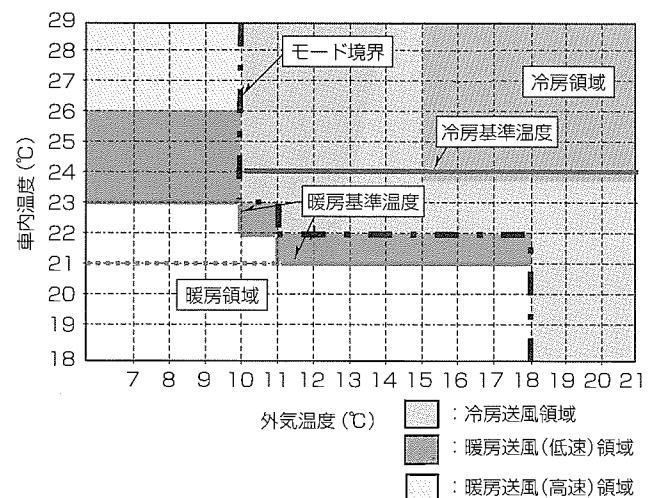


図2. 全自動制御モード判定図

ァジー推論を採用している。図3にファジー推論の流れを示す。ファジー制御では、車内温度と基準温度(設定温度)の差に加え、車内温度の上昇・下降の変化速度を演算に考慮していることから、車内の空調負荷の変動に対する追従性を高めている。

3.3 端境期の空調制御

近年の空調装置における課題として挙げられるのが、端境期の制御である。特に梅雨時期等は温度は高くないが、湿度が高い場合、乗客の不快感は大きく高まる。このシステムでは、空調装置に内蔵された電気ヒータを、冷房運転と組み合わせて通電することによって、温度低下を抑制した再熱除湿方式を採用している。

また、冬期及びその前後の端境期において、乗車率が高い場合、暖房モードから冷房モードに切り換わる場面があるが、ハードウェアの運転規制や頻繁なモード変更による車内温度の変動回避も考慮し、モード変更のデファレンシャル時間を設定している。

3.4 送風制御

通勤電車においては、混雑時の清涼感を向上させるためラインフローファンが天井部に設置されている。このシステムでは、強速・弱速・微速の速度切換機能を持ったラインフローファンを採用し(図4)、車内温度・湿度・乗車率データを基に、車内の空調負荷に応じた運転を実施してい

る。また、微速運転については、暖房時における暖気の天井部への滞留を抑制するサーキュレータとしても活用している。

4. 実車での車内環境モニタリング

4.1 新型空調データ収集器

前述の空調システムは種々の空調環境において最適な運転制御を求められるが、暑い・寒いとの苦情が絶えないのが現状である。これらの苦情要因としては、季節・運転路線・使用時間帯・天候・乗客の多寡等々による空調環境変動が挙げられる。

空調環境変動や実運転状態推移の車内環境モニタリングとして、従来は、データ収集用ソフトウェアをインストールしたノートパソコンを使用していたが、パソコンのハングアップや電源断による収集停止、営業線データ収集時におけるパソコン設置場所の確保等の課題があった。これらの改善策として、マイコンを内蔵した小形の空調専用データ収集器を開発した。データ収集器の外観と仕様を図5、表2に示す。データ収集器は車両電源によって自動的に起動し、あらかじめ設定した時刻(月日・時分)で、データ収集を開始するものである。収集データ量は5秒サンプリングで約7日分の記録が可能なフラッシュメモリを搭載している。

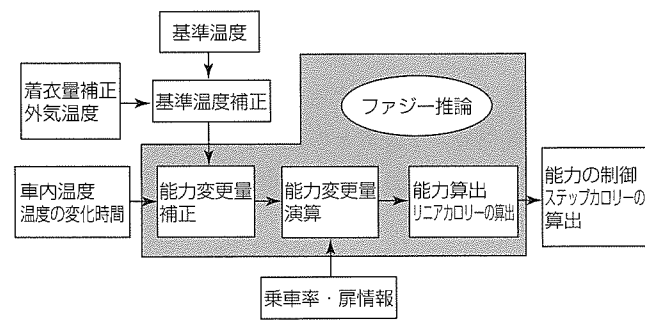


図3. ファジー推論の流れ

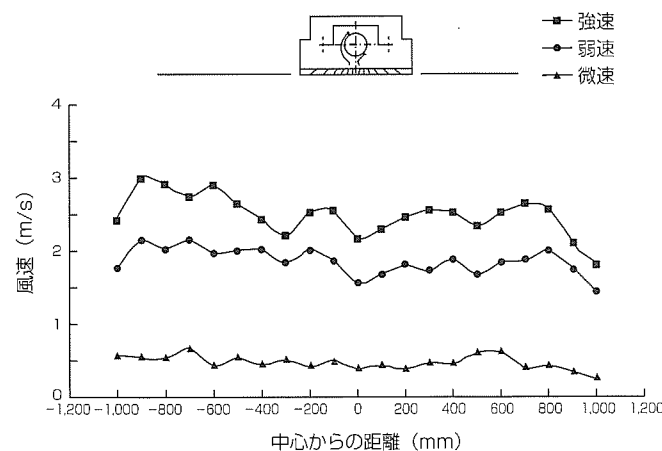


図4. 3速形ラインフローファンの車内風速分布

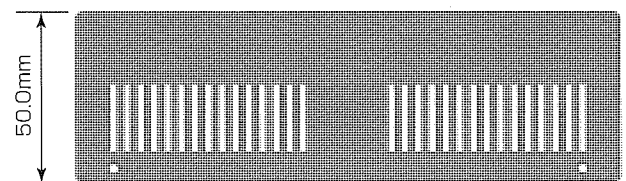
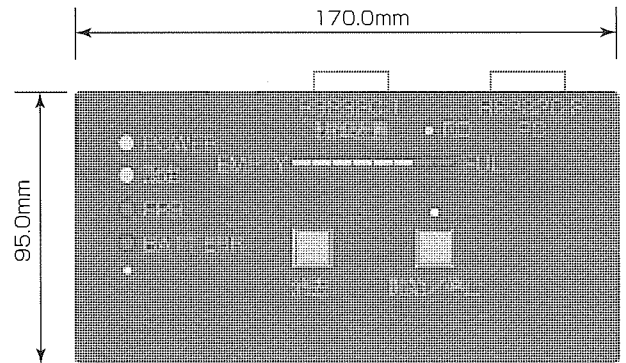


図5. 新型空調データ収集器外観

表2. 空調データ収集器の仕様

形式	TDR01
電源	単相 100V 60Hz 15W
サンプリング	5~60sで任意に設定
記録点数	128,880回/5s (136word/回)
収集期間	2,148~1,79hr (サンプリング時間によって変動)
メモリ	16Mwordフラッシュメモリ
外形寸法・質量	170×95×50(mm), 0.72kg

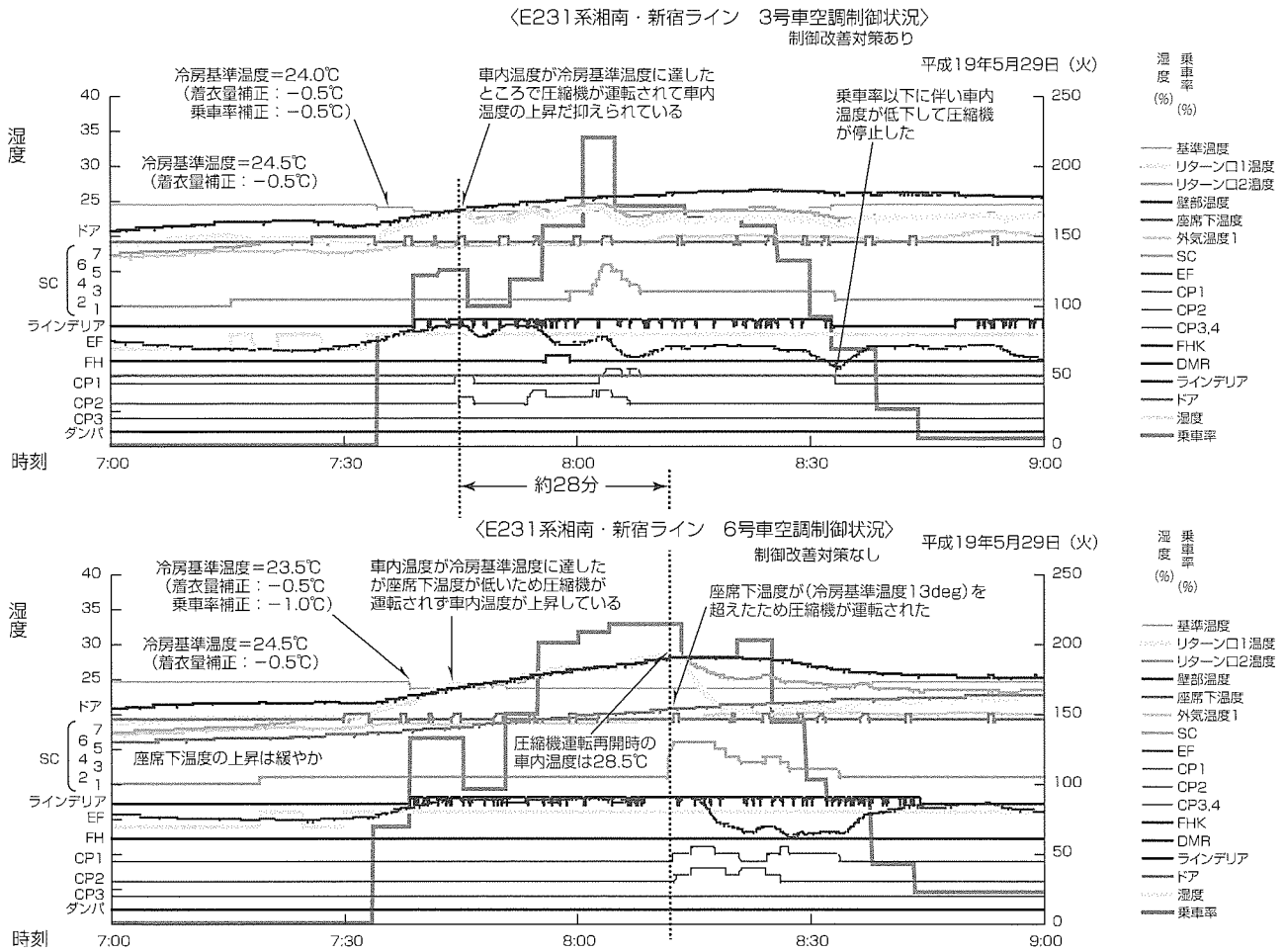


図6. 実車データ収集例

4.2 空調制御改善例

図6にこの収集器を使用して採取した現車データを示す。この例は、同一編成の車両において、制御改善対策あり(3号車)／なし(6号車)の比較測定を実施したケースである。従来車では車内温度が上昇しても座席下温度が低いため過冷房防止機能が動作し圧縮機が追従しないため車内温度が28°C付近まで上昇している。改善車両では車内温度が冷房基準温度に達した時点で圧縮機を運転し車内温度の上昇を抑制しており、圧縮機の追従性と車内温度制御性において改善対策車両の優位性が確認されている。

5. むすび

今後も新型データ収集器を活用し実車データ収集による

車内環境改善・実証を推進するとともに、空調制御器への収集機能内蔵やモニタ装置との連携による車内環境モニタリング機能向上等の改良を図り、車内環境向上を追究していく所存である。

参考文献

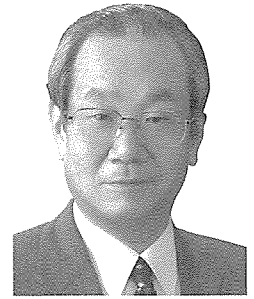
- (1) 浜崎信義, ほか: 快適な車両用空調装置, 鉄道車両と技術, No.91, 32~40 (2003)
- (2) 橋本公秀: 車両用空調装置の最新動向, 日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, A111 (2006)

II 21世紀のニーズに応える新たな発電技術

New Electric Power Technologies for the Needs of the 21st Century

吉川榮和

Hidekazu Yoshikawa



21世紀世界は、“エネルギーと環境”の時代である。特に電気エネルギーは、クリーンで安全で便利な2次エネルギーのため、世界中でますます電気利用が進んでいく。その電気を作る発電技術には、世界の地域々々で異なったニーズがあり、それにこたえる新たな技術開拓が求められている。筆者は、昨年京都大学エネルギー科学研究科を退職し、その後、一時中国大連に滞在したがその後も中国への往来は多い。そこでまず中国の発電事情への印象を述べ、次いで昨今のわが国の電力事業界の社会的状況を述べて、21世紀の発電技術へのニーズを論じる。

中国は最近原子力発電の増設を急ピッチで進め、中国市場をターゲットに原子力産業の国境を越えた再編も進んでいる。しかし、大連滞在中、中国の発電の主流は今後も依然として微粉炭燃焼の火力発電だと実感した。市内には何か所も石炭火力発電所があり、露天掘りの撫順炭田から鉄道輸送された石炭が山積みされ、たとえ海岸沿いでも例外なく冷却塔がそびえる。そして火力発電所からの高圧送電線は市内を取り巻くが、その鉄塔はすべて背が低い。経済発展する中国沿海地域は例外なく水不足、大気汚染、河川汚染が進んでいる。電気も不足している。空気も臭く、喉が痛くなってくる。

中国全体として経済発展のための電源は石炭火力中心が続くだろうが、その効率は低く、送電システムの整備が脆弱(ぜいじゃく)、安全対策、環境汚染対策は二の次、と思われる。今後、中国沿海地域に天然ガス発電所、原子力発電所も増設される一方、西部山岳部や三峡ダムでの水力発電の送電システムの整備が課題のように思われる。本特集号で紹介されている三菱電機が培っている先進的な技術である集中型及び分散型電源のための多様な発電技術、さらには送電技術及びマイクログリッド技術は、21世紀の中国各地の多様なニーズにこたえて、中国の大地で活用されることを期待している。

さて国内の状況に戻る。神戸・淡路大震災後も続発した大地震と並行し、8年余の議論を経て原子力発電の耐震設計基準が平成18年末に改訂された。また平成18年末の水力発電所ダムデータ改ざん発覚に端を発した、原子力安全・保安院指示による全電力会社への30年以前にもさかのぼる全発電所のデータ改ざん、法令違反トラブルの報告隠しの総点検作業の報告が今年3月末にあり、その一方で平成20年4月目標に原子力発電所の新検査制度導入の議論が開始されている。そこに平成19年7月15日に、旧耐震設計基準をはるかに超える中越沖地震が東電・柏崎刈羽原子力発電所を襲い、様々な影響をもたらしている。このように今年前半だけでも、わが国発電事業運営の根本に関わる事件が続いている。

わが国は、四季の変化に富み、山河の風景も豊かな“美しい国”だが、地震、台風と自然災害が多い。そのために科学技術によって自然災害を克服する努力が営々と続けられてきた。国民には科学技術によって“社会の安全と安心”が築かれるとの楽観的信仰があり、それが現在の重要な科学技術政策の一つの柱となっている。

資源に乏しく、様々な自然災害にさらされているわが国民は、刻苦勉励の資質に富み、自然災害に耐える人工基盤、技術体系を築いてきたし、今後もさらに信頼性、安全性の高い技術へと向上させようとしている。特に巨大地震という自然災害は予測しがたい。どこも活断層だらけのわが国の特殊事情にこたえるための原子力発電技術は、技術者にはチャレンジであっても、その国土に生きようとする21世紀国民の“社会の安全と安心”を希求する要望にこたえるものである。世界各国からは当面は随分極端でコストが掛かると評価されるとしても、巨大地震が直撃してもびくともしないし、シビアアクシデントも生じない、故障も少ないという、世界を凌駕(りょうが)する高度安全な原子力発電技術を築いていくことを期待したい。

高速・大容量ネットワーク適用による 原子力発電プラント向け総合デジタル設備の実現

佐久間智英* 岡本浩希*
北村一雄*
松本 等*

Development of Full-Digital I&C System Applying High-speed and Large-capacity Network for Nuclear Power Plant
Tomohide Sakuma, Kazuo Kitamura, Hitoshi Matsumoto, Hiroki Okamoto

要 旨

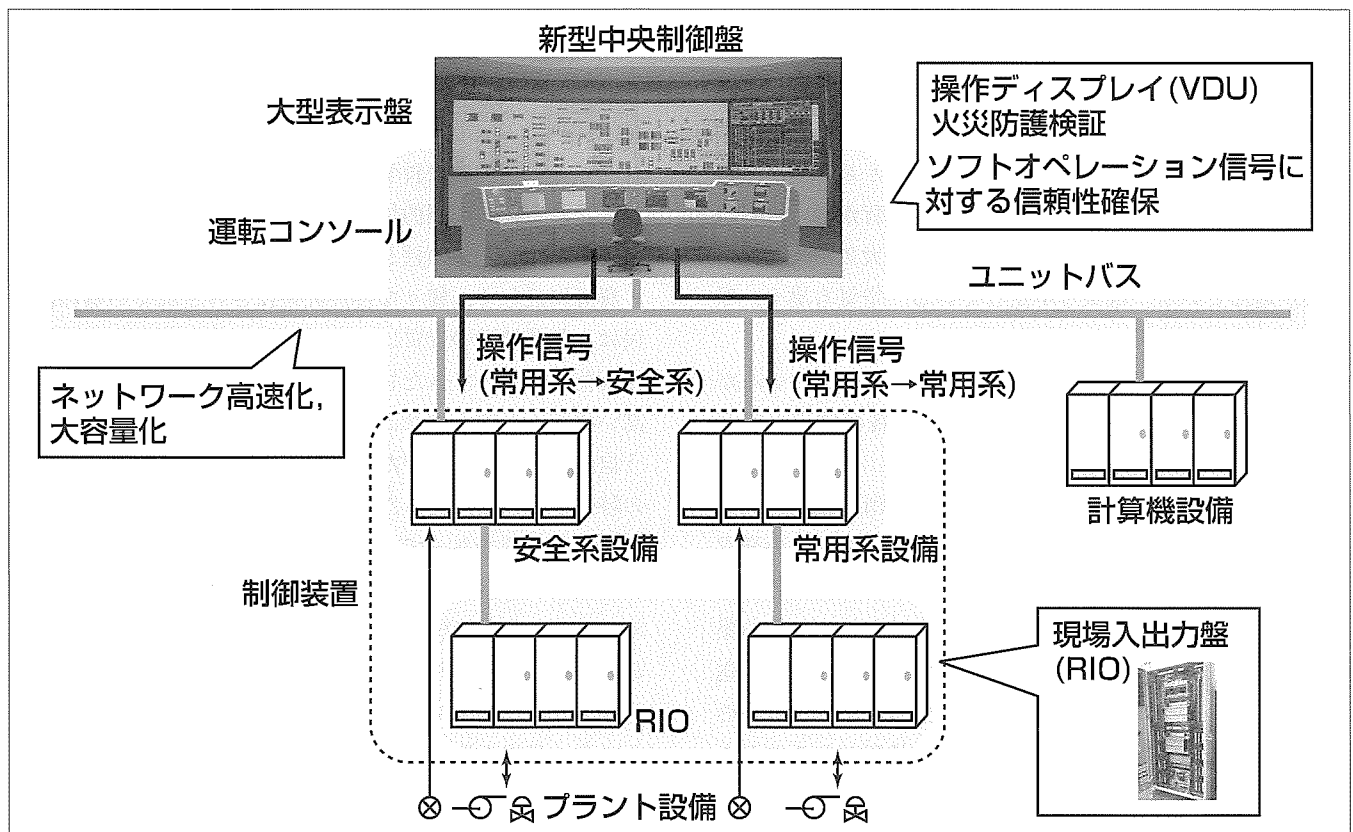
三菱グループが納入する加圧水型軽水炉(PWR)プラントにおける計装制御設備は、ハード計器を設けた中央制御盤+アナログ制御盤に始まり、最新技術の適用や電力共同研究等の成果を取り込み、CRTを導入した中央制御盤+アナログ制御盤、CRT監視主体運転中央制御盤+安全系(原子炉安全保護回路)アナログ制御盤+常用系(プラント計測制御回路)デジタル制御盤へと変遷してきた。最新プラントではソフトオペレーションを採用した新型中央制御盤+安全系/常用系デジタル制御盤の総合デジタル化によって運転性、信頼性、保守性、経済性のさらなる向上を実現した。今後の新設プラントや中央制御盤(CBR)更新工事ではこの総合デジタル設備が主流となる。

総合デジタル設備においても、従来と同様、耐震、火災防護、安全系/常用系の分離等、原子力特有の要求を満足する必要があり、さらに大容量の監視パラメータを伝送しつつ、監視・制御の応答時間を満足することが要求される。

三菱電機では、新たな高速・大容量ネットワークを開発するにあたり、原子力特有の要求を盛り込み、原子力発電プラント向けネットワークに適用した。また、火災防護検証やソフトオペレーションでの信頼性確保策を実施した。さらに、既設プラント更新工事での設置スペースの制約を考慮した薄型の現場入出力盤(RIO)を開発した。

本稿では、前述した原子力発電プラント向け総合デジタル設備を実現するための課題とその対応について述べる。

特集
II



原子力発電プラント向け総合デジタル設備の標準的な構成

総合デジタル設備では、新型中央制御盤と安全系設備及び常用系設備をネットワークで接続している。多数の監視パラメータを伝送し、かつ監視制御の応答性が要求されるネットワークには、高速・大容量の製品を新たに開発し、原子力特有の要求を盛り込み検証を行った。さらにソフトオペレーション信号に対する信頼性確保の検証、既設プラント更新工事を考慮した現場入出力盤の開発を実施し、標準のシステム構成を構築した。

1. ま え が き

CO₂を排出しないクリーンなエネルギーとして、原子力発電が見直されている昨今、安定した電力を供給し続ける上でも、当社が納入する計測制御設備は原子力発電プラントの中核となる重要な設備である。当社では長年にわたり蓄積されたネットワーク通信技術を基に、原子力発電プラントの運転監視を行うデジタル計装設備を導入しており、これを原子力発電プラント向け総合デジタル設備と呼んでいる。近年のネットワークの高速・大容量化を背景に、新設プラントをはじめ、既設プラントの中央制御盤取替工事においても、この総合デジタル設備が合理的かつ信頼性の高いシステムを構築している。

本稿では、高速・大容量ネットワークを適用した原子力発電プラント向け総合デジタル設備の実現に関する技術概要について述べる。

2. 原子力発電プラント向け総合デジタル設備の概要

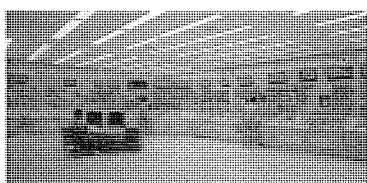
2.1 新型中央制御盤の構成

総合デジタル設備を構成する中央制御盤について、従来型と比べて新型中央制御盤は次の特徴を持つ(図1)。

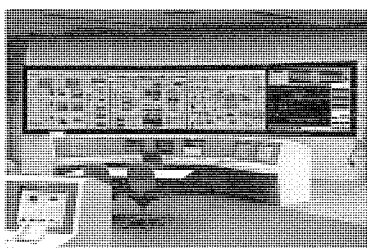
- ・ソフトオペレーションを主体としたコンパクトなコンソールタイプの中央制御盤(安全系の監視操作を含むフルソフトオペレーション)
- ・大型表示装置による運転クルー間の情報共有化と重要情報の常時監視

2.2 総合デジタル設備の構成

総合デジタル設備は、新型中央制御盤とデジタル制御保護設備をネットワーク接続したもの(図2)であり、次の特長を持つ。



- ・操作器や指示計器はすべてハード機器、監視用にCRTを設置
 - ・監視操作時の移動距離が大きく、運転員の負担大
- (a) 従来型の中央制御盤



- ・ソフトオペレーションの実現
 - ・中央制御盤をコンパクトなコンソールに統合
 - ・大型表示装置の導入
- (b) 新型中央制御盤

図1. 中央制御盤の変遷

- ・安全系設備を含めた総合デジタル化
- ・多重伝送化によるケーブル工事物量の削減
- ・自己診断率向上による信頼性向上

3. 原子力発電プラント向け総合デジタル設備における新たな開発検証

3.1 背景

総合デジタル設備については国内新設プラントで初号機システムが完成しているが、次に示す状況の変化によって新たな開発、検証を実施してきた。

(1) 次期ネットワークの開発

当社では原子力プラント、火力プラント、公共プラントへの適用をターゲットとして、新たにネットワークを開発することとなった。これを原子力発電プラント向け総合デジタル設備に適用するには、性能や信頼性等、原子力特有の要求を満足させる必要がある。

(2) ソフトオペレーションへの信頼性要求の高まり

総合デジタル化設備では、安全系専用の操作デバイスとしてハードウェア操作器や、専用のディスプレイなどを設けているが、運転操作性の観点から、常用系設備である操作ディスプレイ(Visual Display Unit: VDU)から安全系設備に対し操作信号を出力する監視操作形態を研究してきた。このようなシステムを想定する場合、VDUに火災が発生してもプラントに影響を与えるような操作信号を出力しないことが求められる。また、操作信号を受けてプラントへの出力を行う制御装置でも、VDUから誤った操作信号が出力されることを想定し、プラント運転への影響を防止する機能が必要となる。

(3) 既設更新工事への適用

総合デジタル設備初号機は、前述のとおり新設プラント

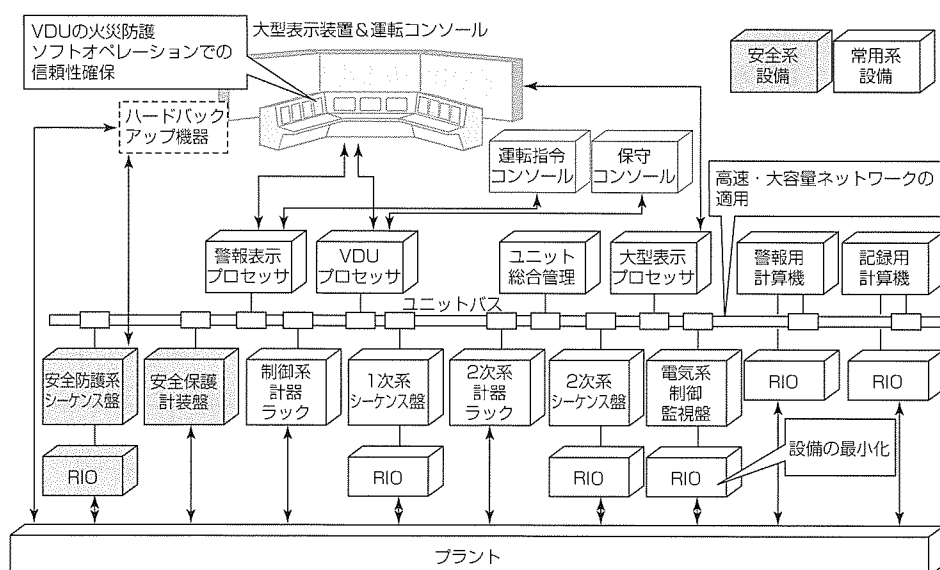


図2. 総合デジタル設備の全体システム構成

に適用したが、今後は既設更新工事への適用が主流となる。その場合、設置スペース等、既設設備特有の制約を考慮したシステム構成や盤配置を検討する必要がある。特に、中央制御盤近傍のケーブル物量削減のために設置する現場入出力盤については、現場のスペースに合わせた形状の盤開発が必要となる。

3.2 開発、検証

前節に述べた状況の変化に対して、具体的に開発、検証した主な内容について述べる。

3.2.1 ネットワークの開発検証

(1) 大容量・高速ネットワークの開発

ネットワーク構成簡素化の観点から、大容量、かつ高速ネットワークを開発、及び原子力発電プラントへの適用性検証を実施した。

開発に当たっては、当初の段階から、原子力発電プラントでの要求事項を満足することを開発目標として掲げ、取り組んできた。その内容は次のとおりである。

① 生産・保守継続性の確保

- ・原子力プラントのライフサイクル(60年)に合わせて20年以上の生産・保守の継続性を確保する。

② 性能強化

- ・約1万点に及ぶ監視・操作信号、警報信号を1本のネットワークで伝送できる容量を確保する。
- ・この容量の信号を100ms以内で常時更新を行うよう、応答時間を保証する。
- ・総合デジタル設備全体でネットワーク機種を統一できるよう、制御系バスで必要となる50msの高速通信も可能とする。

③ 高稼働率の確保

- ・ケーブルの断線やネットワークに接続された設備の停止時にも、異常発生箇所を回避してネットワーク機能を維持可能とする(影響範囲極小化)。
- ・制御機能と通信機能を独立させ、通信している相手設備が停止しても制御機能には影響を及ぼさない仕組みとする。

④ 安全系設備適用への対応

- ・常用系設備の異常が安全系設備に影響を及ぼさないよう、光通信をサポートし電磁誘導ノイズの影響を排除する。
- ・最新指針に適合した耐震性を確保する。

上記開発目標に対し、基幹技術(ハードウェア)にはGビットイーサネット等のデファクトスタンダード技術、基本プロトコルには一般産業分野で実績あるRPR(Resilient-Packet-Ring)技術を適用し、アプリケーションにおいては先行総合デジタル設備で適用しているネットワーク機種の機能を継承する、等によって実現を図った。

(2) 総合デジタル設備適用に向けた検証

このような新しいネットワークを原子力プラントの総合デジタル設備に適用するにあたり、図3に示すとおり、段

階的に検証を実施してきた。

具体的には、総合デジタル設備として適用する制御装置、及び計算機の2機種について、まずカード単体での通信機能を確認した後、同一機種間での通信機能の検証を実施し、ハードウェア、ファームウェアレベルでの信頼性を確認した。

次に、制御装置と計算機を接続して通信機能確認を行い、最終的には、原子力発電プラントで通信する監視、操作データを模擬し、応答性や耐故障性などの検証を実施した。

3.2.2 火災防護検証

VDUに火災が発生しても安全保護系の機能を阻害しないことを確認するために、安全系設備と同様の条件で検証を実施した(図4)。具体的な条件を次に示す。

- ① カード、ユニット内部品の異常・故障等によって短絡し、過電流による加熱によって発生する火災を想定する。
 - ② 過電流防止回路(ヒューズ等)の不動作を想定する。
- 検証はカード、ユニットごとに実施し、発火時に他のカード、ユニットに延焼しないこと、及び誤信号を出力しないことを確認した。

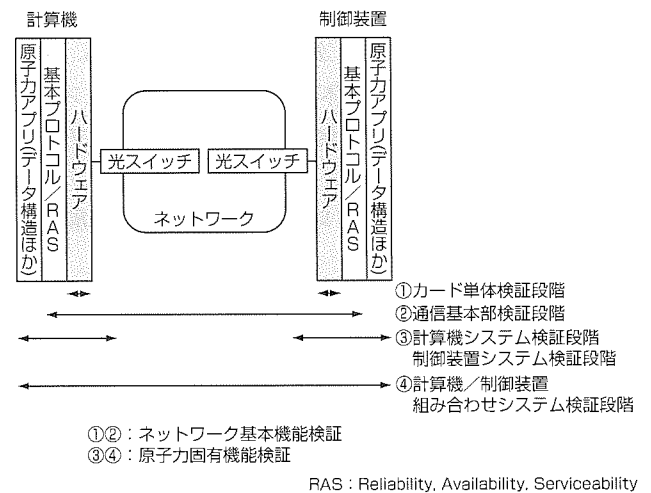


図3. ネットワーク開発検証

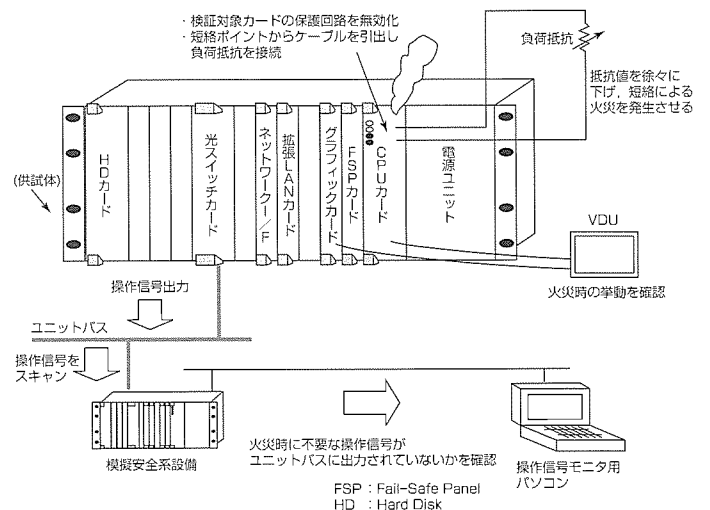


図4. 火災防護検証実施例

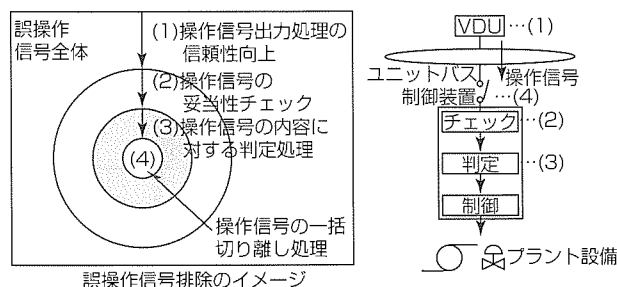


図 5. VDUからの誤操作信号に対する影響排除

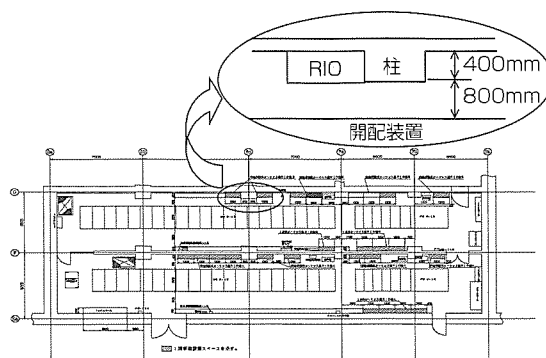


図 6. RIO設置可能スペース

3.2.3 ソフトオペレーション信号に対する信頼性確保

プラントを制御している制御装置の機能に影響を与える可能性のある、VDUからの誤操作信号を排除する仕組みとして、次に示す配慮を行っている(図5)。

(1) 操作信号出力処理の信頼性向上

VDUの操作信号出力処理を安定動作させることで、VDUから誤操作信号が出力されることを防止する。このため、操作信号出力処理はその他の処理(画面描画など)とは独立、シングループとし、かつ割り込みなしの処理としている。

(2) 操作信号の妥当性チェック

VDUからの手動操作信号は、単にON/OFFの状態だけでなく、送信相手の設備情報などの付属情報を付加して特定のフォーマットで送信される。受信する制御装置側にこのフォーマットをチェックする機能を設け、一般的に計算機で起こり得る文字化けなどによる誤操作信号は制御装置側で排除するようにした。

(3) 操作信号の内容に対する判定処理

VDUからの操作信号の内容をチェックして、意図する操作以外の信号を書き換えるような信号を受信した場合は処理しない機能を、制御装置に装備した。

(4) 操作信号の一括切り離し処理

前項(1)~(3)によって誤操作信号の発生及び影響を排除しているが、万一VDU異常によって誤操作信号を送信し続けるような状態が発生した場合に備え、VDUからの操作信号伝送を一括で切り離す機能を、制御装置の標準機能とした。

3.2.4 現場入出力盤(RIO)の開発

既設更新工事においては、中央制御盤近傍のケーブルの減容のため、シーケンス制御盤と現場とをインターフェースさせる際、現場に入出力盤(RIO)を設置することが有効であるが、実際に現場での設置可能なスペースは、壁際のわずかなスペースしかない場合もある(図6)。このスペースにも設置可能とするため、幅1,200mm、奥行き400mm、

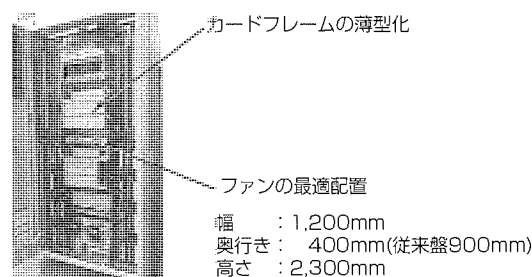


図 7. 現場入出力盤

高さ2,300mmという薄型の盤を開発した(図7)。

薄型化を実現するために実施した項目を次に示す。

① 盤内収納カードフレームの薄型化

保守性を考慮し、コネクタ等の信号アクセスを前面でできる薄型カードフレームを開発した。

② 盤筐体(きょうたい)の耐震性能確保

設置可能なスペースが壁際のため、壁面設置とした。これによって、壁据付型の筐体として耐震性を確保した。

③ 盤内冷却方式の確立

盤内ファンの最適配置をシミュレーションによって評価し、要求される冷却性能を確保した。

4. む す び

高速・大容量ネットワークをはじめとした種々の技術開発によって、高信頼、かつ合理的な原子力発電プラント向け総合デジタル設備を構築した。

今後は、これを標準として国内新設/既設プラントへの適用を図っていく。また海外案件に対しても積極的に展開を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 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)

国内コンバインドサイクル 発電プラントへの取り組みと適用技術

松本匡史* 若林 聖*
柳川茂幸*
門田成悟*

Solutions and Technologies for Domestic Combined Cycle Power Plants

Tadafumi Matsumoto, Shigeyuki Yanagawa, Seigo Kadota, Masaru Wakabayashi

要 旨

省資源化と地球温暖化ガス(CO₂)削減の観点から、近年建設される火力発電所は、高効率のコンバインドサイクル発電プラントが主流となっている。一方、近年の電力自由化及び規制緩和によって、石油、ガス会社などが電力事業へ参入し、IPP(Independent Power Producer)やPPS(Power Producer and Supplier)向けの発電所が建設されるようになり、建設コストを低減する動きが一段と進んでいる。

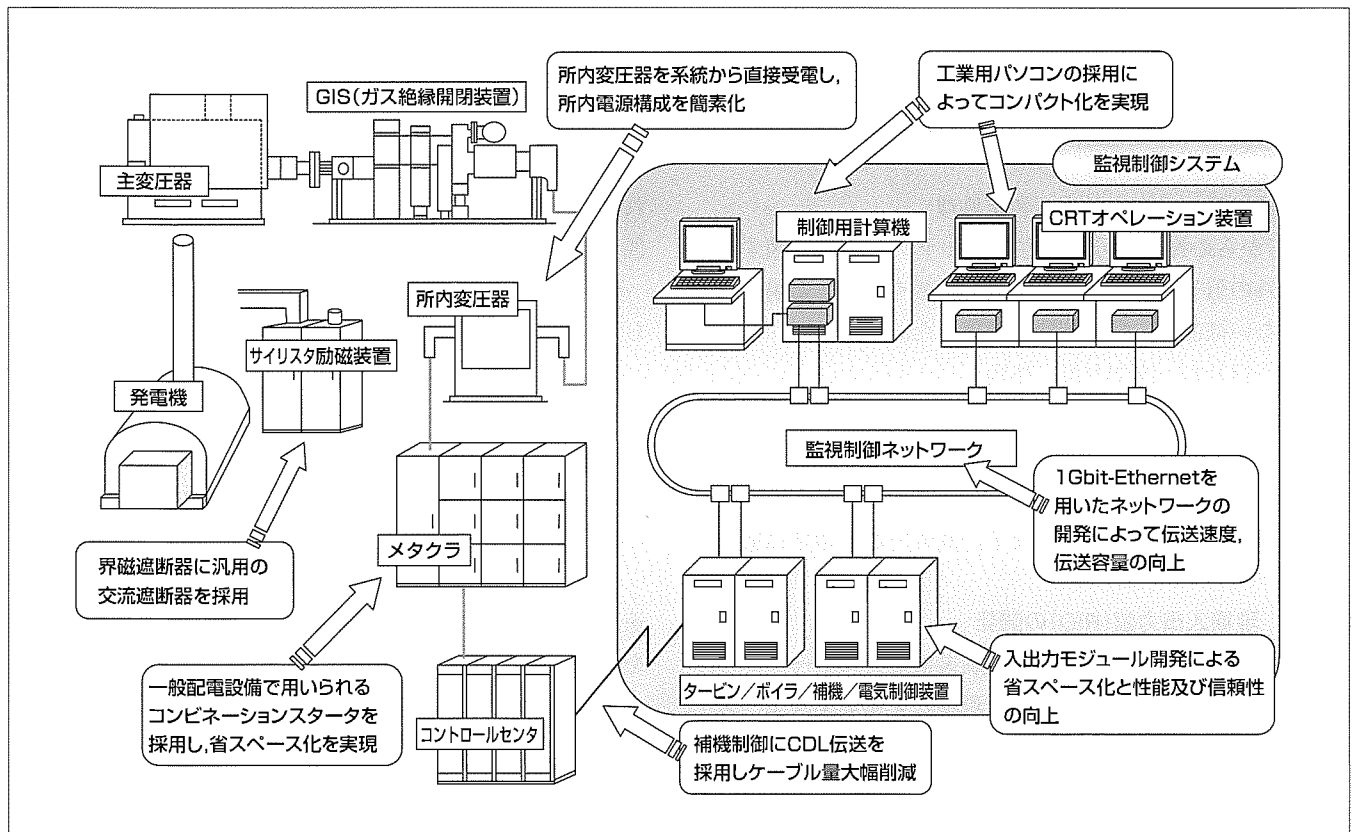
これらの要求に対応するために、発電所主回路の系統構成の合理化や汎用機器を用いた設備構成を提案し採用している。

また、監視制御システムにおいても、現状の性能、機能、

信頼性を維持しつつコストパフォーマンスに優れたシステムが要求されている。従来、専用の技術、専用の製品を用いてきたが、高性能な工業用パソコンを採用することでコンパクト化を実現している。さらに1Gbit-Ethernet^(注1)を用いた監視制御ネットワーク及び制御装置の入出力モジュールなどを開発し、省スペース化とともに性能と信頼性を向上させている。

本稿では、最新のコンバインドサイクル発電プラントへの取り組みとこれらのプラントに適用している計算機システム、監視制御ネットワーク、制御装置の新技术について述べる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。



コンバインドサイクル発電プラントへの取り組み

近年のコンバインドサイクル発電プラントでは、建設コストの低減を目的として電源系統構成の簡素化など様々な合理化が採用されている。また、監視制御システムにおいても高速Ethernetをベースとした大容量・高信頼性のネットワーク開発、複数装置の統合・PIOユニットのリニューアルによる制御装置の面数削減、機能向上を実現している。

1. ま え が き

近年の省エネルギー化と地球温暖化ガス(CO₂)の削減に対する要求から、火力発電設備には一層の効率化が求められている。そのため、近年建設される火力発電所はガスタービンの排熱を回収して蒸気を発生させ、蒸気タービンを駆動する方式のコンバインドサイクル発電プラントが主流となっている。

一方、電力自由化及び規制緩和によって、石油、ガス会社などが電力事業へ参入し、IPPやPPS向けの発電所が建設されるようになり、建設コストを低減する動きが一段と進んでいる。また、監視制御システムにおいては、現状の性能、機能、信頼性を維持しつつ、コストパフォーマンスに優れたシステムの提供が課題となっている。

三菱電機ではこれらの要求に対応するために、発電所主回路の系統構成の合理化や汎用機器を用いた設備構成の提案などを積極的に行っている。また、中央制御室においても、従来ハードウェアのスイッチ、ランプ、リレーで実現していた監視、操作回路をソフトウェア化し、ディスプレイ画面上での監視、マウスを用いた運転操作を採用している。

本稿では、最新のコンバインドサイクル発電プラントへの取り組みとこれらのプラントに適用している計算機システム、監視制御ネットワーク、制御装置の新技术について述べる。

2. コンバインドサイクル発電プラントの概要

コンバインドサイクル発電プラントとは、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた複合発電プラントである。この方式では、ガスタービンが排出する高温排気を回収して蒸気タービンを駆動する蒸気を発生させることで、高い熱効率を得ることができる。コンバインドサイクル発電プラントの監視制御システムは、従来の制御に加えガスタービン特有の保護、制御を担う必要があり、高機能で信頼性の高いシステムが要求されている。

プラントの構成としては、ガスタービンと蒸気タービン

を同軸上に直結した一軸コンバインドサイクルと、複数台のガスタービンと蒸気タービンが別の軸で構成される多軸コンバインドサイクルの2つに分類される。そのため、一軸コンバインドサイクルは小容量機の組み合わせとなり起動時間を短くできるという特徴を持ち、多軸コンバインドサイクルは蒸気タービンの容量が大きくなるため、定格負荷のプラント効率が高いという特徴を持つ。

代表的なコンバインドサイクル発電プラントの構成例を図1に示す。

3. コンバインドサイクル発電プラントへの取り組み

電力自由化に伴い、各電力会社においても発電所建設コストを低減させるために様々な合理化を行っている。監視制御システムにおいては、高機能化、信頼性向上を実現しつつ合理化の要求にも対応するため、監視制御ネットワークやプロセス入出力(PIO)ユニットなどを新規に開発し適用している。これら監視制御システムへの取り組みの詳細については次章で述べる。また、最新のコンバインド発電プラントで採用した電気設備に関する合理化項目の例を以下に述べる。

(1) 所内電源系統の簡素化

従来、1台の発電機に対し1台の所内変圧器を設け、発電機の主回路から所内変圧器回路を分岐していた。この方式の場合、発電機が起動するまでの間は起動変圧器から所内電源を供給し、起動後に電源切り換えを行う必要がある。これに対し、所内変圧器を系統から直接受電する系統構成を採用し起動変圧器を省略、また、複数台の発電機に対して所内変圧器、高圧メタクラ母線を共用することで所内変圧器の台数を削減し、メタクラ連絡母線の電源系統構成を簡素化した。(図2)

(2) CDL(Control center Data Link)伝送の採用

従来は制御装置とコントロールセンタ間の補機の監視制御信号をケーブルで接続していたが、保安回路を除く監視制御信号を光ケーブルで接続して伝送する方式のCDL伝送を採用しケーブル量を大幅に削減した。

(3) 機器のシステム構成変更による合理化

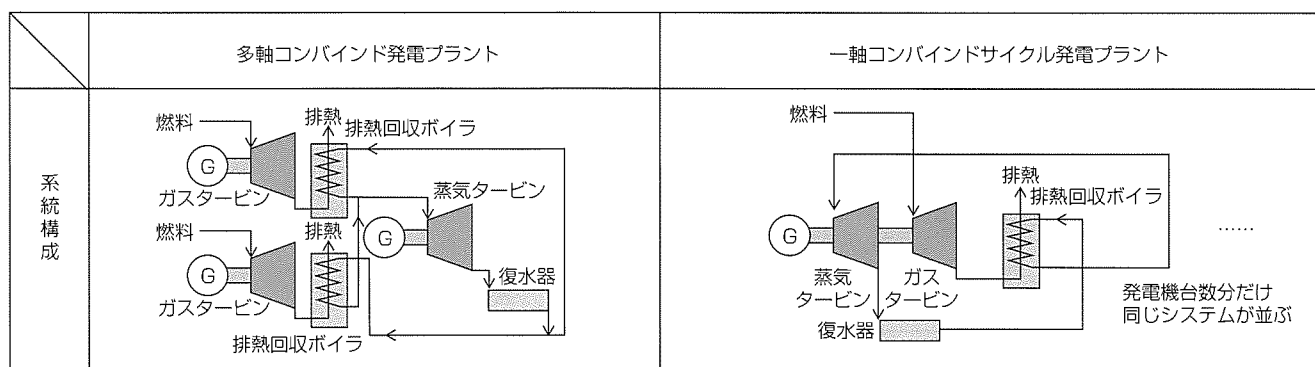


図1. コンバインドサイクル発電プラントの構成

従来、直流側に設置していた界磁遮断器を交流側に設けることで、特殊な直流遮断器を使用せず汎用の交流遮断器を適用した。

(4) 汎用機器の採用

従来、高圧開閉装置用の開閉装置には真空遮断器を採用していたが、一般配電設備で用いられるヒューズとコンタクタで構成されたコンビネーションスタータを採用した。これによってユニットサイズを縮小し、真空遮断器の場合2段積みであったものに対し、3段積み、4段積みが可能となった。

(5) 制御ケーブルの細線化

制御ケーブルの最低サイズは従来2mm²であったが、保護協調を検討し、上位保護ヒューズ、MCCB定格を必要最低限に下げることによって最低サイズ1.25mm²とし細線化を図った。

(6) 中央監視盤の簡素化

従来、ハードウェアのスイッチ、ランプ、リレーで実現していた回路をソフトウェア化し、ディスプレイ画面上での監視操作を実現した。さらに信頼性の高いデジタル式の自動同期装置を開発して採用し、手動同期回路を省略した。合わせてバックアップ操作に必要なスイッチ、メータ類を最小限にすることで中央監視盤のサイズを従来の約半分に縮小した。

(7) 警報回路の簡素化

従来の中操設置盤には、重故障、軽故障などの警報のレベルと故障機器名称などを表示できるよう多数のハードウェア警報窓が設けられていた。計算機の信頼性が向上したことに加え、複数台のディスプレイオペレーション装置に個々に警報表示機能を持たせることで冗長化を図り、個別警報はディスプレイ上で確認するシステムとしてハードウェアの警報窓は最低限の集約表示のみとした。また、警報窓を再フリッカさせるための再故障回路を計算機内部に取り込み、ソフトウェアロジックで実現しハードウェア部品の数を削減した。

(8) 制御盤室の省スペース化

デジタル制御装置の高性能化及び信頼性向上によって、計算機監視用のプロセス入出力(PIO)装置と補機関係の制御機能を持ったシーケンサ盤を統合し面数の削減を図った。また、先に述べたハードウェア回路のソフトウェア化、次章以降に述べる新技術の適用の効果を含めて従来に比べて面数を約3割削減し、制御盤室のスペース縮小にも貢献している。

4. 火力発電設備向け監視制御システム

火力発電設備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、市場要求を満足してきた。しかし、監視制御システムにおいても建設コストを低減させるための合理化が要求されており、現状の性能、機能、信頼性を維持しつつ、コストパフォーマンスに優れたシステムの提供が課題となっている。図3に最新のコンバインドサイクル発電プラントに適用している監視制御システムの構成例を示す。ここでは、これらシステムの特長について述べる。

4.1 計算機システムの特徴

これまで、火力発電設備向けの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MELCOM350-60/2200G、MELSEP2000Xを適用してきたが、更なる高性能・ダウンサイジング・オープン化等の市場要求にこたえるために、MELSEP2000S/Cを製品化している。次に主な特徴について述べる。

(1) 工業用パソコンの採用

ハードウェアは工業向けに必要な環境条件、RAS(Reliability Availability Serviceability)機能を搭載した高性能な工業用パソコンを採用し、コンパクト化を実現している(図4)。

(2) Linux OSの採用

OSは、ソースコードが公開されているLinuxに対し、リアルタイム性、解析性の強化を施し、現行機種MEL-

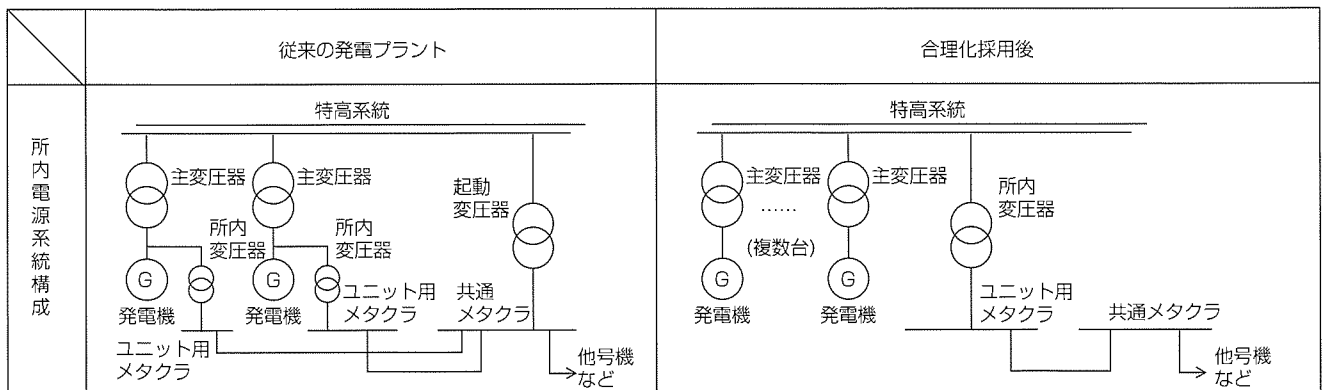


図2. 所内電源システムの簡素化

COM350-60/2200G, MELSEP2000Xと同様, 信頼性, 解析性, 保守性を継承している(図4)。

(3) 火力発電設備向け監視制御機能の継承

現行機種の監視制御用ミドルウェア, アプリケーションソフトウェアをLinux上に移植することで, これまで培ってきた操作性や視認性を継承し, カスタマイズも容易に対応可能としている(図4)。

(4) サーバ/クライアント一体化

制御用計算機本体のサーバ機能とCRTオペレーション装置のクライアント機能を同一装置に統合した上で, 2台の装置間でサーバ機能の二重化構成を実現し, 装置の設置台数を削減している。

4.2 監視制御ネットワークの特徴

1 Gbit-Ethernetの1000BASE-LXを採用した監視制御ネットワークを開発し, 通信カード, ユニット, 電源など構成機器の省スペース化を図るとともに, 伝送容量, 伝送速度の性能を向上させている。また, 従来と同様に, 監視制御ネットワークに要求されるサイクリック通信を実現しており, ネットワーク断線時の障害迂回制御, 異常装置との光路バイパス機能を実装することで, 信頼性を維持している(表1)。

4.3 制御装置の特徴

制御装置MELSEP550では, 複数装置の統合, ハードウェアのソフトウェア化によって信頼性向上を図るとともに, PIOユニットのレパートリー追加, 機能向上を実現してい

る。次に主な特徴について述べる。

(1) PIOユニット入出力点数の多点化

MELSEP550第1世代PIOユニットから, 多点化を図った第2世代PIOユニットを開発, 適用している。第2世代PIOユニットは, 1台あたりの点数を, AI, AO: 4点→16点, DI, DO: 8点→32点に多点化することで, PIOユニットの盤実装効率が向上し, 盤面数削減が可能となった(図5)。

(2) 調節弁ドライブ用AOユニットの二重化

調節弁制御において, 従来, 専用PIOユニットである調

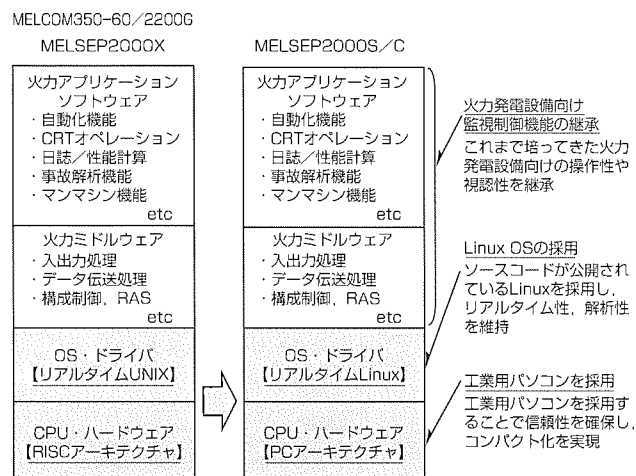


図4. 計算機システムMELSEP2000S/Cのソフトウェア構成

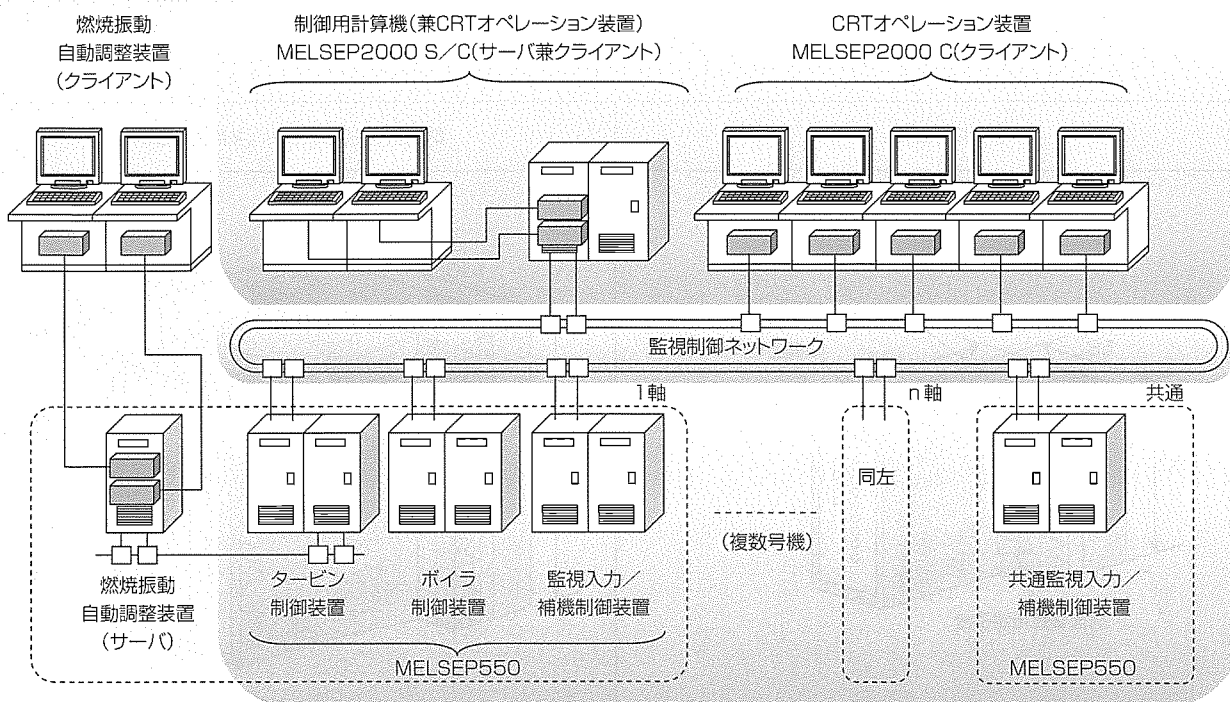


図3. 火力発電設備向け監視制御システムの構成例

節弁ドライバユニットを適用してきたが、二重化AOユニットを採用することによって、8台の調節弁に対し、調節弁ドライバユニットは8台必要であったが、二重化AOユニットは2台で構成可能であるため、4分の1に省スペース化が可能となった。また、二重化することで、信頼性が向上している(図6)。

(3) 改良型サーボドライバユニットの適用

従来、弁開度計測は、ガスタービン(GT)用として開度発信器、蒸気タービン(ST)用としてLVDT(差動トランス)が用いられてきた。最新のコンバインドプラント採用の動向によって、機種統一の観点から、GTへのLVDT適用が求められるようになった。当社としては、ST用LVDT国産化開発を2003年に完了して市場投入している状況もあり、次のステップとして既存のST用LVDT対応サーボドライバユニットをベースとしてGT用LVDTにも対応可能な、改良型サーボドライバユニットを開発した。改良型サーボ

ドライバユニットの特徴は、①サーボ弁の定格仕様に合わせた定電流制御、②二重系切替部のサーボドライバユニット取り込み及びサーボ演算部のソフトウェア化による部品点数の削減、これらによって信頼性の向上及び弁の制御性の向上を図ることができた。

(4) 振動インタフェース(I/F)ユニットの適用

ガスタービンでは、高温・高効率化及び低NOx化の要求を満足するため、あらかじめ燃料と空気を混合させて燃焼させる希薄予混合燃焼方式を採用している。しかし、この方式は燃焼安定性の維持(燃焼振動の抑制)が課題であり、この課題を克服するために燃焼振動自動調整システム(A-CPFM)の機能追加要求も出てきている。

このシステムを構築するためのキーとなるデバイスが振動I/Fユニット(三菱重工(株)と共同開発)である。燃焼器の圧力計と加速度計からの振動値信号を振動I/Fユニットで高速フーリエ解析する。その結果から燃焼振動の特性を推定し、操作量を最適化することで、燃焼振動が許容値に収まるように制御する。

この振動I/FユニットをMELSEP550のタービン制御装置に収納することで制御装置の合理化・省スペース化を実現した。

5. むすび

国内向けのコンバインドサイクル発電プラントの概要と取り組み及び適用した新技術について述べた。これらのシステムは現在建設中の発電所を含め、今後の発電システムにも採用する予定である。

また、デジタル制御装置の信頼性の向上に伴い、今後は運転コストの低減を目的とした無人化運転の要求などが想

表1. 監視制御ネットワークの仕仕様

項目	仕様
端末接続インタフェース	IEEE802.3z(1000BASE-LX) シングルモード光ファイバ
端末接続形態	二重リング
端末接続台数	126台
端末間距離	最大2km(拡張時:最大20km)
通信速度	1Gbps
通信方式	IEEE802.17(RPR)準拠
通信プロトコル	サイクリック通信, UDP/IP
サイクリック通信容量	最大256Kbyte(100Mbps相当)
伝送路異常時	異常か所を避けて障害迂回
装置異常時	光路バイパス

特集
II

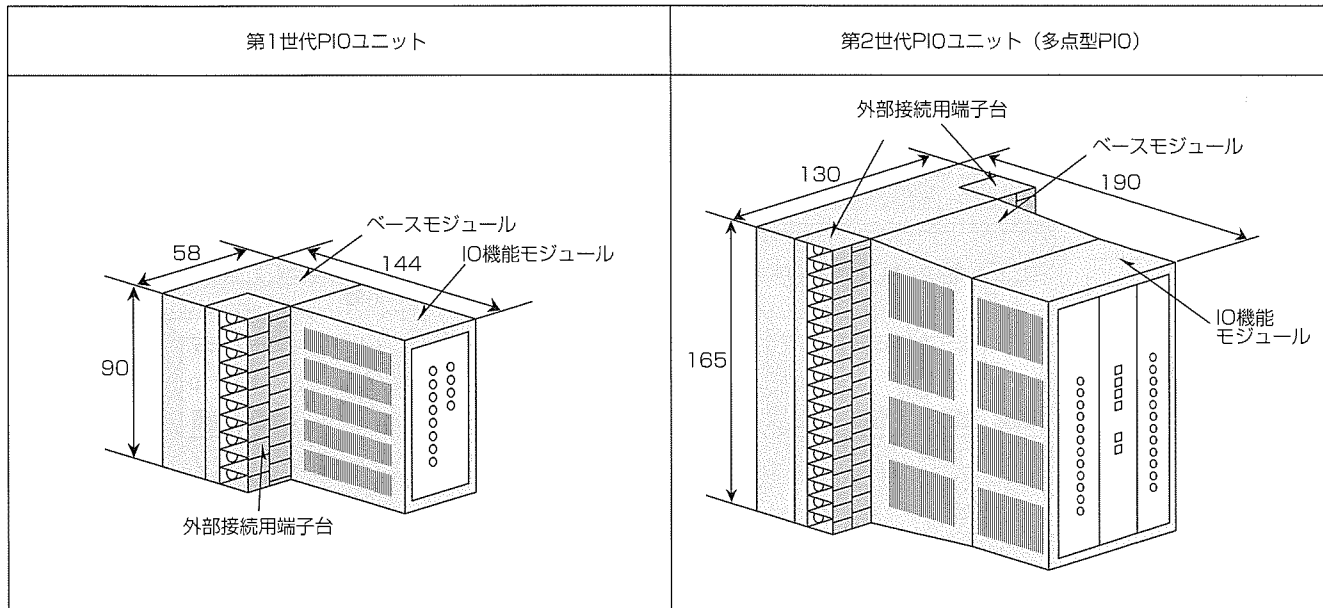


図5. MELSEP550 PIOユニット

	調節弁ドライバユニット方式	二重化AOユニット方式
ハードウェア構成	<p>調節弁ドライバユニットは1台あたり1点の出力があり、1台の調節弁ドライバユニットで1台の調節弁を駆動する。</p>	<p>AOユニットは1台あたり8点の出力があり、二重化された2台のAOユニットで最大8台の調節弁を駆動する。</p>
冗長化	<p>調節弁ドライバユニットと調節弁とは1対1であり、調節弁ドライバユニット単一故障が発生すると、当該調節弁のみ影響が出るが、他の調節弁へは影響を与えない。</p>	<p>二重化されたAOユニット2台で最大8台の調節弁駆動するが、AOユニット単一故障が発生しても、残った正常なAOユニットから駆動信号を出力し続け、調節弁は正常に動作する。</p>

図 6. MELSEP550 二重化AOユニットの特徴

定され、これらに対応するために機能の簡素化、合理化及び自動化を推進していく計画である。

さらに、電力自由化の流れに追従するためにプラント建設コストの低減も重要な顧客ニーズである。顧客ごとに要

求される機能の差が比較的少ない発電機廻りの監視、保護、制御などを標準パッケージ化するなど、シンプルかつ合理的なシステムを構成し提案していく所存である。

最新の水力発電技術

町野 毅* 寺山雄一郎*
大川雅博* 矢倉武宣*
藤本路奥*

The Latest Hydraulic Power Generation Technology

Takeshi Machino, Masahiro Okawa, Rooku Fujimoto, Yuichiro Terayama, Takenori Yagura

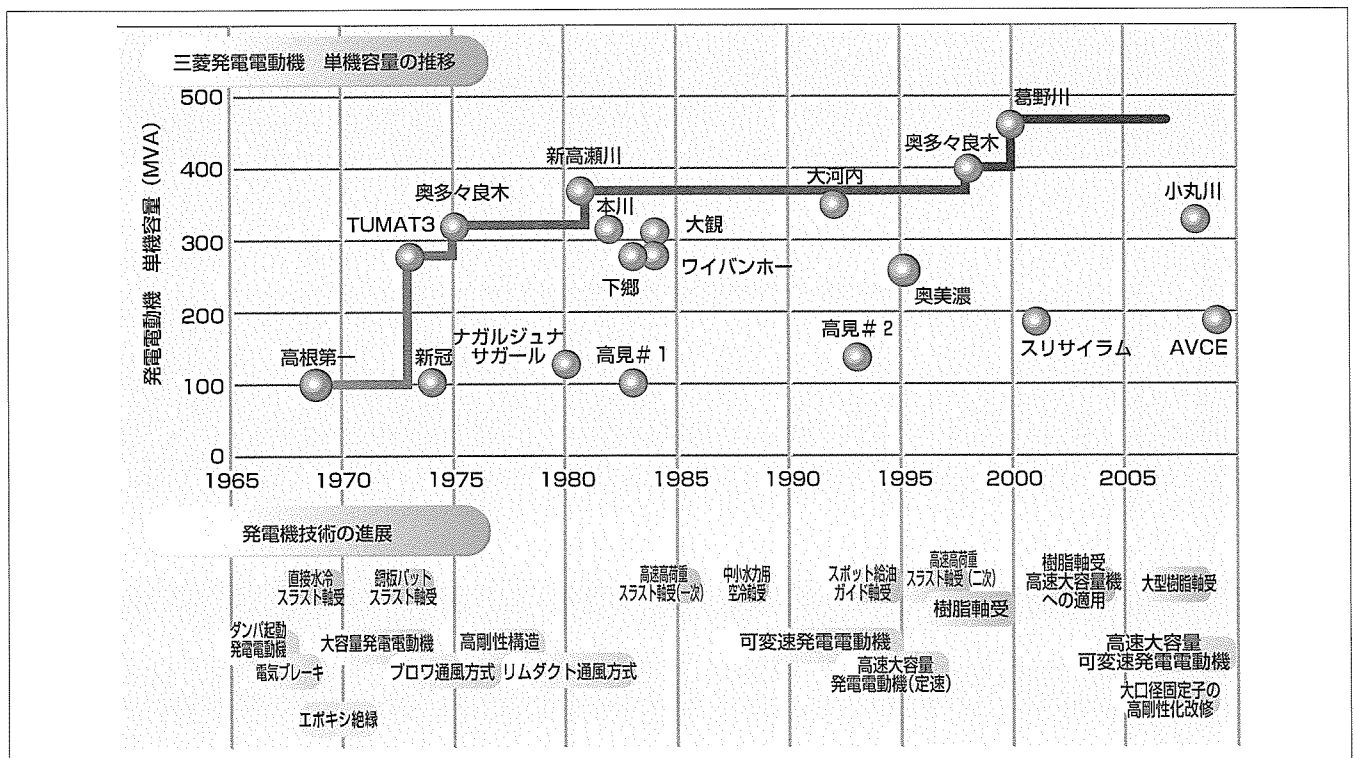
要 旨

現在は“火主水従”時代、あるいは“原主火従”時代となっており、発電電力量構成比に占める水力の割合は約1割となっている。しかしながら、ピーク対応の貯水式水力、ベース電源の流れ込み式水力、あるいは夜間の需給調整を行う揚水発電所などそれぞれの目的に合った運転によって電源構成が複雑化する中で、今後とも水力の価値は一層重要なものになると考える。また、世界的に見ても地球温暖化などの環境問題を背景に、水力資源のある中国、東南アジア、中南米などで大規模地点の開発が進んでいる。国内外においても水力発電はクリーンかつ再生可能なエネルギーとして、数百kWの小水力から450MWクラスの大容量揚水まで、種々の目的に合った役割を果たしており、環境への影響が比較的少ないことから既設発電所のリハビリ、リパワーリングが注目されている。特に可変速揚水発電システムは系統安定化に寄与できる揚水発電システムとして国内のみならず海外においても注目されている。これらの二

ーズに対応するための発電機の要素技術として、可変速発電電動機の回転子設計・製作、大口径発電機の部分更新、樹脂軸受適用などがあり、これらの技術を背景にして信頼性が確保された水力発電所の大容量化、可変速化が可能となっている。

一方、水力プラントの監視・制御の領域では、過去の集中制御に伴い発電所のほとんどが無人化されている。加えて公益企業体においては業務効率化によって広域監視・制御が進み監視対象となる発電所数も増大している。このような状況下、監視・制御装置の機能として、発電所の安定運転のため詳細な運転状況を常時監視し異常の兆候を初期段階で発見することが求められ、装置そのものとしては処理性能や監視機能の向上、さらにはメンテナンス性の向上が求められている。

ここでは、近年の水車発電機及び公益企業体向け集中監視制御システムの技術動向について述べる。



水車発電機の大容量化と発電機技術の進展

1970年以降、三菱機の水車発電機、特に揚水発電所向け発電電動機の単機容量は増加しており、大容量化に伴う種々の要素技術(絶縁、冷却、軸受け ほか)を開発し、実機に適用してきた。これらの実績を基に、今後とも国内外のユーザーに信頼性の高い発電機を供給していく。

1. ま え が き

発電機は高速・大容量化、あるいは可変速揚水の時代になりつつあり、各要素技術の信頼性がさらに重要になってくる。また発電所の運用面においても、監視制御システムの個々の機能が電力の安定供給にいかに関与できるかが求められている。本稿ではこれらの最新動向について具体例とともに述べる。

2. 水車発電機の技術動向

2.1 可変速発電電動機の紹介

当社では1980年代から可変速揚水システムの研究開発を行い、その成果として北海道電力(株)高見揚水発電所2号機向け可変速発電電動機⁽¹⁾が1993年に営業運転を開始し、現在まで順調に運転を続けている。その後、さらなる高速・大容量化に対応するため実物大モデルによる開発、検証を実施し⁽²⁾、高速・大容量可変速発電電動機の設計、製作技術を確認した。現在、当社ではその結果を反映し、九州電力(株)小丸川発電所2, 3号機向け及びスロベニアSENG (Soske Electricarne Nova Gorica) AVCE発電所向けの可変速発電電動機の設計、製作を行っている。各機の主な諸元を表1に示す。

可変速発電電動機の設計、製作においては、回転子コイルエンドの支持が最重要ポイントの一つである。当社では、回転子コイルエンドの内径側にバックアップリングを設置し、回転子コイルエンドの外径側からアラミド繊維製バインドテープを巻装し、回転子コイルエンドを支持する方式を開発し、小丸川機、AVCE機に適用している(図1)。

小丸川機では現地でのバインド巻線において、熱・気流解析に基づく温度管理を実施するとともに、バックアップリングの歪(ひず)み計測によってバインド線張力を確認しながら作業を実施した。2007年6月にはバインド巻線作業を完了し、所期の張力が得られていることを確認した。2008年の運転開始に向け、据付作業が進められている(図2)。

2.2 大口径水車発電機の改修工事

2006年から当社最大径(フレーム対辺17.8m)の水車発電機であるカナダ BC Hydro Peace Canyon (PCN) 発電所の

固定子改修工事を開始し、同年に初号機の工事が完了した。

固定子改修(固定子入れ替え)工事において、固定子フレームのレベル調整は重要な作業の一つである(図3)。今回の工事ではコンクリートに埋め込まれた既設フレームベースを溶断し基礎部は流用して、新製したフレームベースを溶接し据え付ける必要があった。大口径発電機の場合、レベルのばらつきが固定子全体の変形を引き起こし、エアギャップの不均一や運転時の固定子の楕円変形・振動問題まで発展する可能性がある。今回のPCN発電所の場合16か所のベースに計32個のロードセルを取り付け、荷重のばらつきを管理して高さ調整を実施した(図4)。高さ調整後、16か所のベースの水平度測定を実施し、ディスタンスピースの調整加工を個別に現地で行い、フレームとベース間に挿入した。これらの作業を行うことによって、溶接時の新製ベースのひずみを吸収し、固定子コアの垂直度・真円度・エアギャップを規定値内に保った状態での据え付けを実現することができた。運転試験でも良好な特性が確認できた。

2.3 樹脂軸受の適用範囲拡大(揚水機への適用)

スラスト軸受は水車発電機構成部品の中でも最も信頼性が要求される部位の一つである。当社では軸受摺動面の材

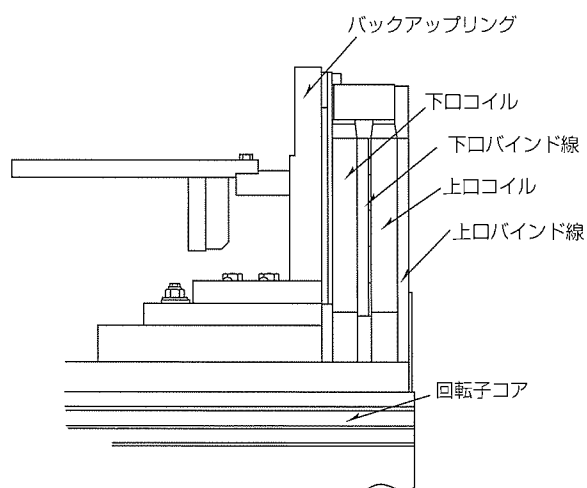


図1. 小丸川機の回転子コイルエンド支持構造

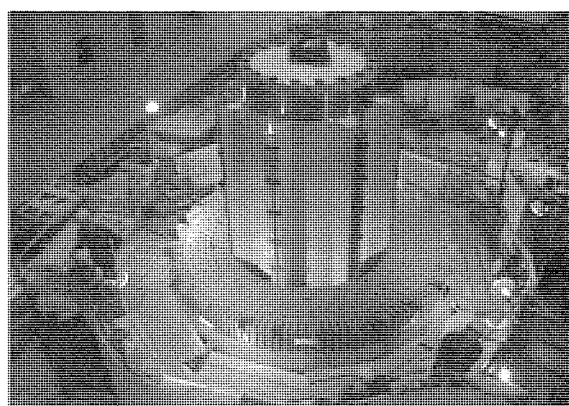


図2. 小丸川機の回転子組立て

表1. 可変速発電電動機の諸元

納入先	北海道電力/ 高見2号機	九州電力/ 小丸川2, 3号機	スロベニア SENG/AVCE
容量(MVA/MW)	105/140	340/330	195/190
回転速度(min ⁻¹)	231±23	600±24	576~626
一次電圧(kV)	16.5	16.5	18.0
コイルエンド支持材	SUS線	アラミドテープ	アラミドテープ
運転開始	1993年	2008年	2009年

質に従来のホワイトメタル(WJ2)に替わる材料として、耐摩耗性、耐焼付性、高温での機械強度特性に優れ、摺動摩擦係数が低い樹脂(PEEK)軸受の開発を行ってきた⁽³⁾。

図5に示すように、1999年に実機に初めて適用して以来、中小水力発電所向けを中心として順調に適用実績を増やしてきた。その後、2003年に揚水機として初めて四国電力(株)本川発電所納め1号発電電動機に樹脂軸受を適用した。図6に示すように、本川機は軸受の使用環境の過酷度を示すPV値(平均面圧と軸受外周速の積)がそれ以前の一般水力機実績を大きく上回っている。

揚水機への適用にあたり、起動停止の繰り返しに対する樹脂軸受の強度、及びセンターサポートにおける軸受特性の最適化が技術的課題であった。PEEKは運転中のセクタの熱変形量がWJ2に比べて約1/2に低減されるため、起動直後と運転中の軸受特性に大きな差がなくなるという特徴がある。また、センターサポートの軸受では、摺動面が適切な凸形状のときに最適な軸受特性を持つ。そのため、当社のセンターサポートの樹脂軸受は、摺動面にあらかじめクラウニング加工を施すことによって、起動直後から運転中まで安定した軸受特性が得られるように最適化を図っている⁽⁴⁾。

現在、2008年6月に運開予定の関西電力(株)奥多々良木発電所納め4号発電電動機の改修工事において樹脂軸受化が

進められており、奥多々良木機は樹脂軸受としては当社の過去最大寸法となる。今後も同クラスの大容量揚水機への樹脂軸受化の適用を多数計画している。

3. 水力発電所集中監視制御装置の動向

集中監視制御装置は、水力発電所の発電機の運転・停止指示や出力調整制御及び電力系統や河川の状況などの監視をしている。業務効率化による一極集中化が進み、監視対象となる発電所数も増大、処理性能向上、信頼性向上、監視機能向上、メンテナンス性の向上が求められている。

各発電所設置の遠方監視制御装置(テレコン子局)からの情報を、データ中継装置(テレコン親局)経由で、監視制御サーバがデータの送受信を行う(図7)。テレコン親局及び監視制御サーバは、二重系構成となっており、信頼性を向上。サーバはリアルタイム処理が可能なLinuxOX^(注1)を採用し、処理性能を向上。端末はWindows^(注2)端末を採用し、汎用ソフトウェアの活用等でユーザーの操作性を向上させている。

警報発生時には、ブザー発生とともに、各端末そばの操作選択スイッチで、警報発生中の発電所名がランプ点灯し、点灯中のボタン押下によって該当するスケルトン画面が自動で表示される等の考慮がされている。

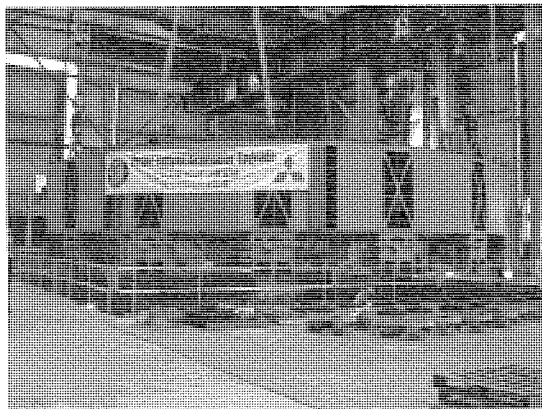


図3. 固定子吊り込み

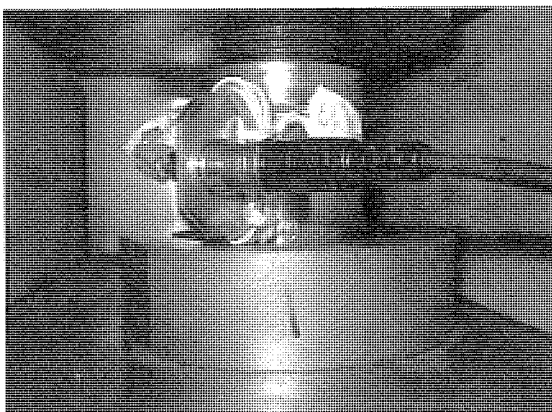


図4. 荷重調整用ロードセル

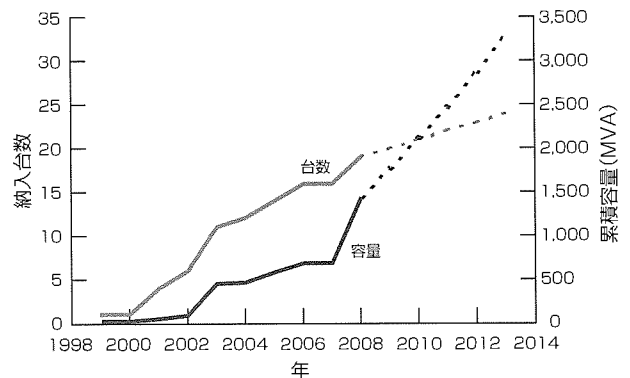


図5. 樹脂軸受の採用実績

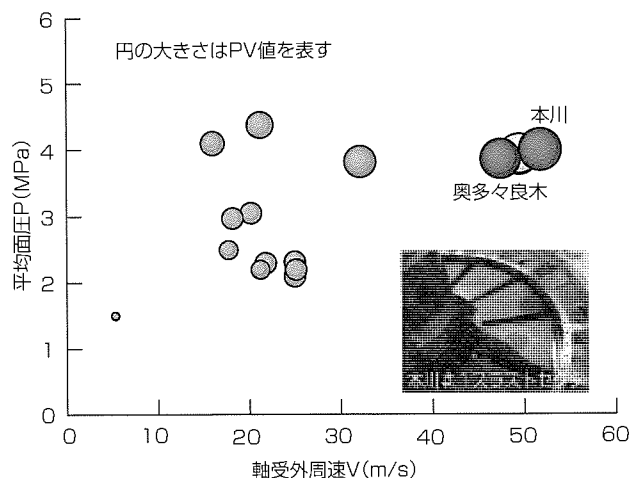


図6. 樹脂軸受の採用実績 (PV値)

Webサーバを設置することで、他場所からもブラウザのみでスケルトン画面や各種帳票が容易に閲覧可能となっており、情報の共有化が図れる。

あらかじめ計画した出力で運転するスケジュール運転では、水位予想、発電予想を行うシミュレーション機能を使って運転計画を立案できる。また、監視制御サーバからの出力増減指令によって、設定した目標水位で一定となるような水位一定運転を実現している。

監視制御サーバは、データ中継装置(テレコン親局)からのプラント情報を1秒周期で収集可能であり、常時データを蓄積している。例えば、1秒データを1か月間、1分データや日誌データを3年間蓄積でき、履歴データとして活用可能。トラブル解析時等には、履歴データから任意に検索を行い、トレンドグラフや一覧で容易に確認できる。また、長期傾向監視も容易となり、保守業務に活用できる。

プラントデータや帳票はExcel^(注3)への展開が容易で、ユーザーの利便性を向上させている。

メンテナンス性については、警報上下限值の設定、発電所からのデータ項目の追加・変更、スケルトン画面情報の変更などがユーザーレベルで操作可能である。

4. む す び

水力発電はクリーンかつ再生可能なエネルギーの有効活用及び機動性のある電力供給システムとして今後ともエネルギー供給の一翼を担っていくことには変わりはない。当社は揚水発電も含めた水力発電技術を今後も継続して発展させていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 安井順司, ほか: 可変速揚水発電システムの開発と北海道電力(株)高見発電所への適用, 三菱電機技報, 67, No.7, 679~684 (1993)

(注1) Linuxは, Linus Torvalds氏の登録商標である。

(注2) Windowsは, 米国Microsoft Corp.の登録商標である。

(注3) Excelは, 米国Microsoft Corp.の登録商標である。

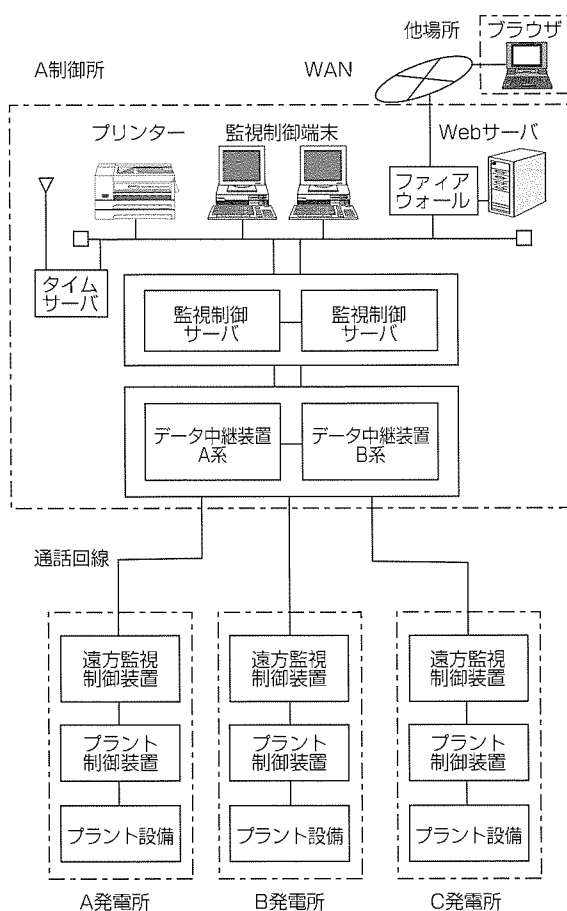


図7. 水力発電所集中監視制御装置のシステム構成図

- (2) 吉田康夫, ほか: 高速大容量可変速発電電動機の実物大モデルによる技術検証, 三菱電機技報, 69, No.7, 672~676 (1995)
- (3) 松枝泰生, ほか: 水車発電機/発電電動機における最新技術, 三菱電機技報, 74, No.11, 674~678 (2000)
- (4) Goto, H., et al.: Application of plastic thrust bearing for pumped storage hydro power plant, THE INTERNATIONAL JOURNAL ON HYDROPOWER & DAMS, HYDRO 2004 A New Era for Hydropower (2004)

大容量水素冷却発電機の最新技術動向

田中賢治*
増永 顕*
古賀清訓*

Advanced Technology of Large Hydrogen Indirectly Cooled Generator

Kenji Tanaka, Ken Masunaga, Kiyonori Koga

要 旨

近年、発電プラントにおいては各国の環境規制への対応が本格化しており、発電機も高出力・大容量化することが必要とされている。これに対応し、三菱電機では間接水素冷却発電機で580MVA級/50Hzまでのラインアップ化を完了した。また、更なる適用容量域の拡大を進めるため、最新技術を適用した510MVA級発電機を製作し、この成果を基に700MVA級大容量機の技術開発を進めている。

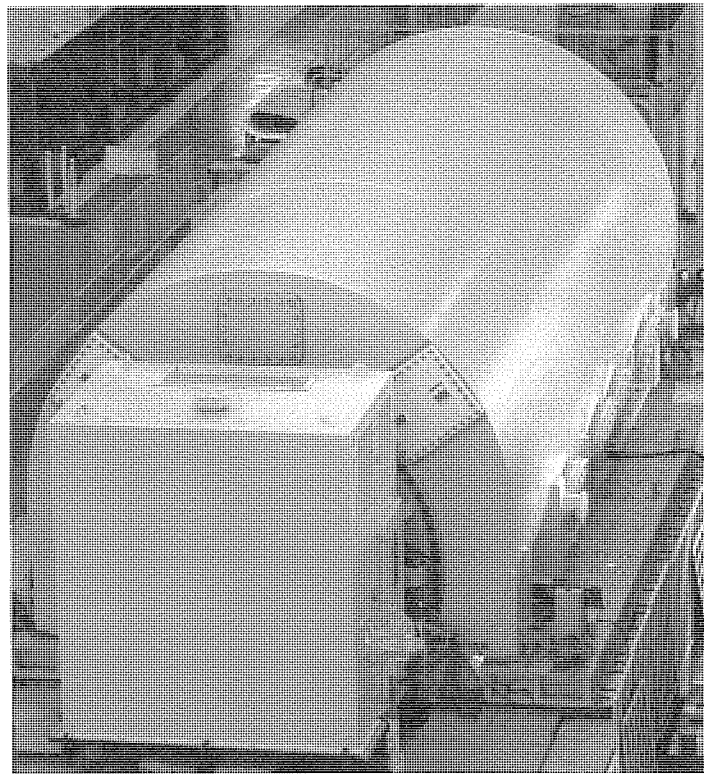
一般に、発電機の大容量化には、冷却能力の向上とともに、発電機各部で発生する損失を低減することが課題となる。このため、大容量機では、最新の流体解析技術や電磁界解析技術を設計に応用することで、冷却の改善や損失の低減を図っている。これら要素技術は、各種モデル試験の

実施や、先行製作した510MVA級発電機の試験結果から、所定の性能と高い信頼性が得られていることを確認している。

本稿で述べる最新鋭の海外火力発電所向けに製作した350MVA級間接水素冷却型発電機では、これらの技術を背景に設計・製作を進めた。本機の仕様は、すべて先行製作した大容量発電機の実績範囲内で設計を行い、機器の信頼性を高めた設計にしている。

製作後に実施した工場試験の結果はいずれも良好であり、350MVA級機及び適用要素技術の高い信頼性を確認した。

高効率化技術の適用によって、発電機の実測効率は従来機比で約0.2%の向上となった。これらの技術試験結果を基に、今後も発電機の更なる大容量化に取り組んでいく。



350MVA級タービン発電機

最新技術を適用した350MVA級のタービン発電機を設計、製作し、工場試験によって設計の妥当性と信頼性を確認した。これらの技術成果を基に、700MVA級の大容量間接水素冷却機開発を現在進めている。

1. ま え が き

近年、地球温暖化防止対策の一環として、CO₂の排出量削減に向けた社会的な取り組みに関心が集まっている。発電プラントにおいても各国の環境規制への対応が本格化しており、機器の高効率化に対する要求は高まりつつある。また、昨今の原油価格高騰の影響を受け、火力発電においては、ガスタービンを利用した熱効率の高い複合型発電方式(ガスタービン・コンバインドサイクル：GTCC)の利用が世界的に拡大している。このGTCCは年々高性能化が進んでおり、これに対応するために、発電機も高出力・高効率化することが必要とされている。

本稿では、この最新鋭の海外GTCC火力発電所向けに製作した350MVA級間接水素冷却型発電機について取り上げ、最新の技術動向と工場試験結果の概要について述べる。

2. 発電機設計の概要

2.1 間接水素冷却機の大容量化

当社では、1990年代後半から間接水素冷却機の大容量化と高効率化に対して積極的な取り組みを進めてきた。図1に間接水素冷却機の大容量化の変遷を示す。2002年以降、間接水素冷却機の容量は400MVAを超えるようになり、一軸型のGTCC出力領域に相当する400～550MVA級の発電機は、現在までに20台以上を製作している。この豊富な実績を生かし、発電機の更なる大容量化に向けた技術開発を進めている。

2.2 発電機への最新適用技術

現在、最新型の発電機に採用している要素技術を次に示す。これら最新技術の適用によって、発電機の大容量化と高効率化を進めている。

- ① 低損失ファン
- ② 低損失型軸受け
- ③ 3次元流体解析を適用した最適風路設計
- ④ 3次元電磁界解析を適用した低損失構造
- ⑤ 固定子巻線端部の支持方式改善

これら要素技術は、各種モデル試験の実施や、先行して

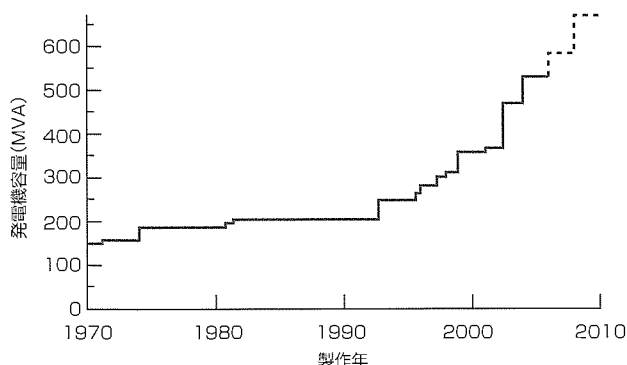


図1. 間接水素冷却機の大容量化の変遷

製作した510MVA級発電機における工場試験、及び負荷試験によって、所定の性能と高い信頼性が得られていることを確認している。

2.3 発電機ラインアップ

図2に冷却方式で分類した発電機のラインアップを示す。当社では発電機容量に応じて、間接水素冷却、水素内部冷却、水冷却の3種類のラインアップを持ち、それぞれ最適な冷却方式を選定している。このうち、間接水素冷却機では580MVA級/50Hzまでのラインアップ化を完了した。また、更なる適用容量域の拡大を進めるため、700MVA級大容量機の開発を視野に入れた要素技術開発を進めている。

3. 350MVA機の設計仕様

表1に今回製作した350MVA級発電機の設計仕様を示す。本発電機の端子電圧は、発電機周辺機器の設計を考慮し、プラント全体で最適となる電圧21kVを採用した。機内水素ガス圧については、通風経路の最適化によって各部の冷却に必要な風量を確保しつつ、ガス圧を0.30MPa-gに抑えることで、機内風損の低減を図った。

なお、350MVA級発電機の設計・製作においては、前述の十分に検証された要素技術を基に最適設計を行った。また、本機の仕様は、すべて先行製作済み510MVA級発電機の実績範囲内で設計を行い、機器の信頼性を高めた設計にしている。

4. 大容量機への適用技術

発電機の大容量化には、冷却能力の向上とともに、発電機各部で発生する損失を低減することが課題となる。そこ

冷却方式	発電機容量(MVA)							
	300	400	500	600	700	800	900	1000~
間接水素冷却方式	■	■	■	■	■	■	■	■
水素内部冷却方式				■	■	■	■	■
水冷却方式					■	■	■	■

図2. 水素冷却発電機のラインアップ

表1. 発電機仕様

	製作機	先行機
容量(MVA)	350	510
力率	0.85	0.85
端子電圧(kV)	21	21
電機子電流(A)	9,623	14,021
ガス圧(MPa-g)	0.3	0.5
周波数(Hz)	50	60
短絡比	0.50以上	0.50以上
適用規格	IEC 6034	IEEE C50.13

で、本章では、大容量機へ適用している要素技術(冷却, 損失低減, 振動抑制)について述べる。

ここ数年, 計算機速度の進歩は著しく, 流体解析や電磁界解析, コイルエンド振動解析などの大規模数値解析をパソコン上で行うことが可能となった。このため, これら最新の数値解析技術を設計に応用することで, 開発期間の短縮と設計精度の向上を図っている。

4.1 通風経路の最適化

図3に発電機通風冷却の模式図を示す。大容量間接水素冷却機には, 従来型発電機で十分実績のある信頼性の高い通風冷却方式を選定した。本冷却方式は, 固定子半径方向への単一通風を特徴としている。固定子鉄心内部, 及び回転子内部に設けられた冷却ダクトや通風孔は, 通風回路網計算によって配置・形状を最適化している。これによって, 機内温度分布を均一化し, 冷却能力を向上している。

また, 冷却風の流れの把握が難しいコイルエンド部については, 3次元流体解析(CFD)や図4に示すコイルエンド部1/4モデルによる通風試験を実施し, 風路構造の最適化による冷却の改善を図っている。

4.2 高効率化技術

本発電機に適用した主な高効率化技術について次に述べる。以下の高効率化技術の適用によって, 発電機の効率は, 従来機比で約0.2%向上した。

特集
II

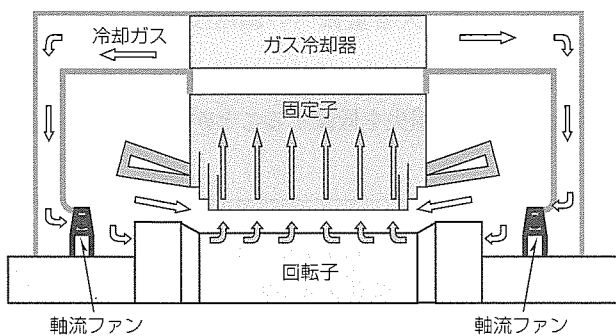


図3. 発電機の通風冷却の模式図

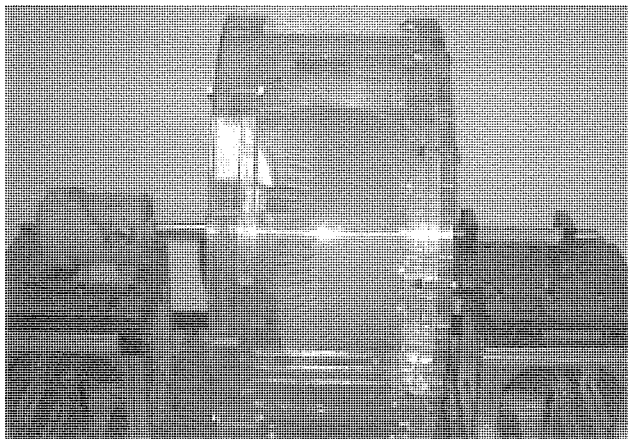


図4. コイルエンドの1/4モデル試験

4.2.1 低損失ファン

発電機機内の風損は, ファン動力損と機内の通風経路内で発生する圧損, 摩擦損に大別される。本発電機では, ファンの翼形状最適化, 及びファン入口の吸い込み風路構造の適正化によって, ファン動力と静圧効率の向上を図った。ファン設計の妥当性は, 1/4モデルを用いた検証試験を実施し, 設計どおりの性能が得られていることを確認した上で実機へ適用した。

4.2.2 低損失軸受け

先行510MVA級機と同様, 従来型軸受け(油浸漬方式)に替えて, 直接給油型軸受け(給油ノズルで直接給油する方式)を採用した。これによって, 発電機軸受けの損失は, 従来型より約25%の低減となった(図5)。

4.2.3 鉄損・漂遊損低減技術

発電機の無負荷電圧発生時に計測される鉄損には, 固定子鉄心内で発生する損失(主鉄損)の他に, 回転子表面や固定子鉄心ダクトの損失, 固定子端部構造物で発生する損失などが含まれる。これらの損失は, 3次元電磁界解析を用いて部位ごとに損失を算出した⁽⁴⁾。図6に主鉄損の解析例を示す。今回, 固定子鉄心材料にはハイグレードコア材を適用し, 主鉄損の低減を図っている。また, 材料・構造の最適化によって端部損失などの低減も図り, 鉄損を従来機比で約30%低減した。

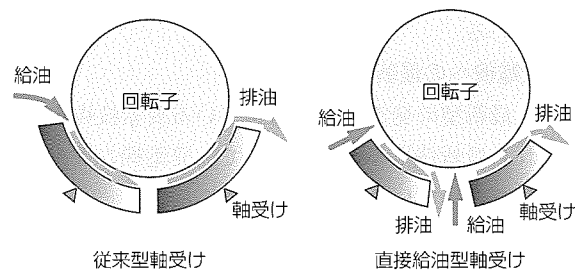


図5. 軸受け形式の比較

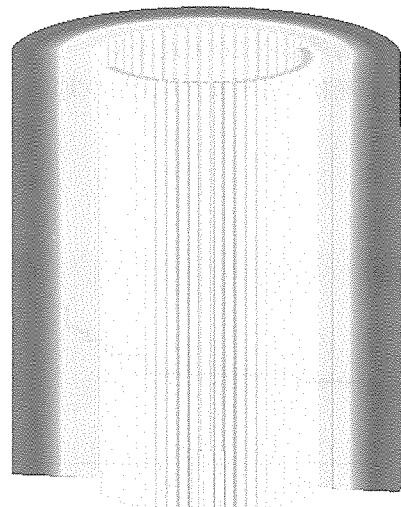


図6. 無負荷定格電圧発生時の鉄損解析結果

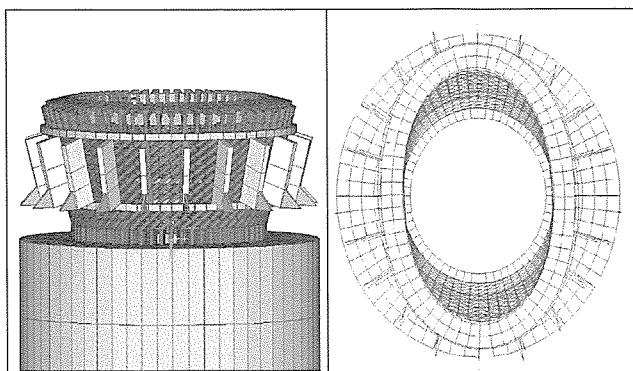


図7. コイルエンド振動応答の解析モデルと解析結果

また、三相短絡時に計測される漂遊負荷損についても、3次元解析を用いて部位ごとの損失を算出し⁽²⁾、鉄損同様に損失の低減を図った。

4.3 コイルエンド支持方式の改善

発電機の大容量化・出力密度の増大に伴い、固定子コイルエンドに働く電磁力は増加する傾向にある。このため、本発電機には、先行510MVA級機と同様に固定子コイルエンドの支持剛性の強化を図り、良好な振動特性と高い信頼性を確保した。

図7に振動特性解析モデルと解析結果を示す。開発設計段階では、3次元FEM解析を利用した。固有振動数及び負荷運転時の振動応答の推定を行い、電磁加振周波数からの離調及び振動値の評価を効率よく実施した。

5. 工場試験結果

これらの技術を背景に、350MVA級発電機を製作し、工場試験を実施した。試験結果の概要を次に示す。

(1) 発電機飽和特性

発電機の無負荷電圧発生時及び三相短絡時の界磁電流を計測し、設計値とよく一致していることを確認した。また、短絡比は仕様値0.50以上を満足した。

(2) 発電機損失・効率

発電機の各損失を測定し、設計どおりの性能が得られていることを確認した。本機の発電機効率は99%を達成し、従来機比で約0.2%の効率向上となった。

(3) 通風冷却設計・温度

ファン差圧及び全体風量を計測し、設計どおりの性能が得られていることを確認した。等価温度法による各部温度計測の結果は、規格値に対して十分余裕があり、冷却設計に問題がないことを確認した。

(4) 軸振動特性

回転数上昇・下降時の軸振動の変化は十分小さく問題がないことを確認した。また、定格負荷運転時と等価な回転数温度状態で軸振動計測を実施し、温度変化に対する振動変化は小さく安定したものであった。

(5) コイルエンド振動

各部の振動値は設計許容値を満足するものであり、コイル端部支持構造が電磁加振力に対し十分な剛性を持っていることを確認した。

以上に述べた各種試験の結果はいずれも良好であり、350MVA級機の信頼性を確認した。

6. むすび

350MVA級発電機の工場試験を実施し、設計どおりの性能が得られていることを確認した。これらの試験結果を生かし、今後も発電機の大容量化に取り組んでいく予定である。

参考文献

- (1) 米谷晴之, ほか: タービン発電機の鉄損解析, 電気学会回転機研究会資料, RM-03-72 (2003)
- (2) 米谷晴之, ほか: タービン発電機の漂遊負荷損解析, 電気学会回転機研究会資料, RM-03-114 (2003)

タービン発電機への最新電磁界解析技術の適用

前田 進*
米谷晴之**

Advanced Electro-magnetic Field Analysis Technology for Turbine Generators

Susumu Maeda, Haruyuki Kometani

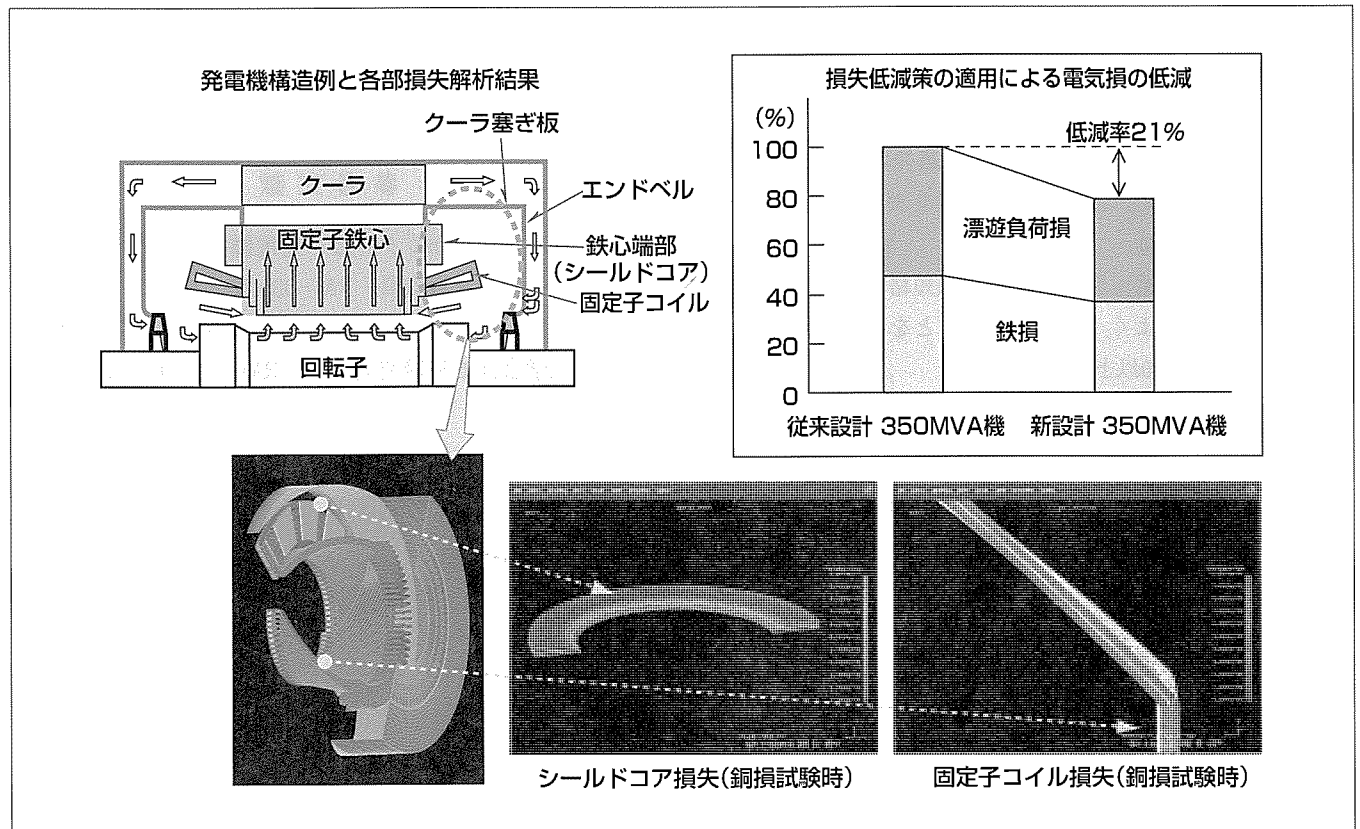
要 旨

三菱電機では、環境負荷低減の一環として、タービン発電機の高効率化(低損失化)によるエネルギー効率の向上を図っている。タービン発電機の損失のうち、鉄損、漂遊負荷損は、発電機の鉄損試験時、及び銅損試験時に計測される損失であり、発電機内で発生する渦電流損、ヒステリシス損の合計値に対応するが、その損失発生メカニズムが必ずしも明確ではなかったため、低損失化検討の際、定量評価に困難を伴っていた。一方、電磁界数値解析技術の進歩によって、タービン発電機内の構造、起磁力分布を簡略化することなく正確に考慮可能な三次元電磁界数値解析技術が実用的に適用されるようになってきている。当社では、三次

元電磁界数値解析技術の開発に先駆的に取り組んでおり、損失、界磁電流、電磁力、リアクタンスなどの大規模解析が可能となっている。今回、最新鋭海外火力発電所向け350MVA間接水素冷却型タービン発電機の製作にあたり、最新の三次元電磁界数値解析技術に基づく損失低減構造を適用した結果、鉄損、漂遊負荷損の合計で約20%の低減を達成した。

本稿では、鉄損、漂遊負荷損の解析技術に関して、三次元電磁界数値解析技術による解析法、解析例を紹介するとともに、350MVAタービン発電機で実施した損失低減について実測結果との対比等を紹介する。

特集
II



タービン発電機の電磁界解析事例と350MVA機での鉄損、漂遊損の低減

最新の三次元電磁界解析技術を適用して鉄損、漂遊負荷損の発生メカニズムを明確にするとともに、最新鋭海外火力発電所向け350MVA間接水素冷却型タービン発電機の損失低減策を検討して適用した。その結果、鉄損、漂遊負荷損合計値で、従来機比約20%の低減を達成した。これらの電磁界解析技術は、大容量間接水素冷却機、水車発電機にも適用し、発電機全般の高効率化を進めていく。

1. ま え が き

近年、地球規模の環境問題に対する関心の高まりからエネルギー効率の向上が急務となっており、タービン発電機においては、高効率化(低損失化)を推進している。

タービン発電機の損失のうち、鉄損、漂遊負荷損は、鉄損試験時、銅損試験時に発電機内各部位で発生する渦電流損、ヒステリシス損の合計値に対応しており、低損失化には、各部位の損失分布と損失低減策の効果を定量的に把握する必要がある。一方、近年の三次元電磁界数値解析技術の向上によって、構造、起磁力分布を正確に考慮できる精度の高い解析が可能となっている。当社は三次元電磁界数値解析技術の開発に先駆的に取り組んでおり、損失、界磁電流、電磁力、リアクタンスなどの算定のための大規模解析を実用化している。

本稿では、鉄損、漂遊負荷損の解析技術に関して、三次元電磁界数値解析技術による解析法、解析例を紹介するとともに、350MVAタービン発電機で実施した損失低減について実測結果との対比等を紹介する。

2. 発電機設計の概要

表1に350MVA間接水素冷却型タービン発電機の基本仕様を示す。タービン発電機の損失は電機子銅損、界磁銅損、機械損、鉄損、及び漂遊負荷損などに分類される。図1には間接水素冷却型機の代表的な損失構成比率を示しており⁽¹⁾、鉄損は全損失の10~20%、漂遊負荷損は15~25%を占めている。

表1. 350MVAタービン発電機の基本仕様

	間接水素冷却型機
容量(MVA)	350
力率	0.85
端子電圧(kV)	21
電機子電流(A)	9,623
ガス圧(MPa-g)	0.3
周波数(Hz)	50
短絡比	0.50以上

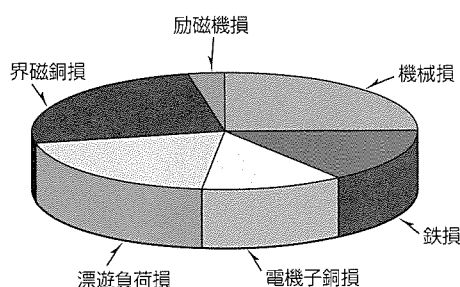


図1. 水素間接冷却型機の代表的な損失比率

3. 電磁界解析技術の適用

タービン発電機の電磁界数値解析技術の歴史は、60~70年代の“差分法”による二次元解析、擬似三次元解析を経て、80年代には有限要素法による二次元解析が適用されている。一方、有限要素法による三次元解析は、90年代に開発が開始され⁽²⁾、計算機の処理能力の向上に合わせて進歩してきた。

タービン発電機の二次元解析では、回転子巻線端部、電機子巻線端部の漏洩(ろうえい)磁束を考慮できないため、これらの影響を別に求める必要があり、計算精度の点で改善が必要であった。また、発電機端部の擬似三次元解析においても、巻線端部起磁力分布には級数展開近似が適用されていた。表2には、三次元電磁界数値解析の適用例を示す。構造、起磁力分布を正確に考慮できるという特徴から、精度の高い解析が可能である。

4. 解析手法

4.1 損失分離⁽¹⁾

鉄損及び漂遊負荷損の主な発生原因を表3(1)(2)に示す。本稿では、これらの損失を三次元電磁界数値解析技術を主体に適用して計算し、これまであいまいに取り扱われてきた鉄損及び漂遊負荷損の損失発生メカニズムを明らかにするとともに効果的な損失低減法を検討した。

4.2 損失計算の方法⁽³⁾⁽⁴⁾

固定子積層鉄心の損失は、鉄心のダクトの影響を鉄心占積率として考慮できる均質化法⁽⁵⁾を用いることで各部の磁束密度履歴を電磁界解析によって計算し、鉄損カーブを参照することで計算する(図2)。さらに、セグメント間隙間による損失増加を考慮し、計算によって得られた鉄損値に補正をかけて精度を上げる工夫をしている(図3)。

発電機端部部材に発生する渦電流損失は、部位ごとに三次元解析を実施し、これまでには考慮していなかったシールドコアの段落ちの影響や、エンドベル、シールドコア押え板などの複雑な形状にも対応している(図4、図5)。固定子鉄心端面の渦電流損失は、均質化法を用いて三次元計算した(図6)。

表2. 三次元電磁界数値解析技術の適用例

解析項目	概要
① 無負荷、負荷特性	無負荷電圧発生時、三相短絡時界磁電流
	負荷時界磁電流
② リアクタンス	X_d, X_d', X_d'', X_2
③ 固定子コイル端電磁力	負荷時、突発短絡時電磁力
④ 逆相電流耐量	負荷時、突発短絡時、逆相電流による回転子表面損
⑤ 鉄損、漂遊負荷損	表3(1), 表3(2)参照

固定子素線の局部渦電流損は、スロット内と端部に分離し、それぞれ素線ごとにメッシュ分割した解析を行った。特に、端部のインボリュート曲線に沿った素線に発生する損失分布(図7)は、当社独自の技術である。素線間循環電流損失は、レーベル転位の影響を考慮したスロット内素線間誘起電圧及び端部素線間誘起電圧と素線間相互インダクタンスを電磁界解析によって計算し、構成される電圧方程式を解く方法を新規開発し、損失計算精度を向上させた。

固定子コイル端で上口・下口コイル間を接続する短絡板

表3(1). 鉄損発生部位

	発生部位	原因など
(a) 主鉄損	固定子鉄心	主磁束
	端部鉄材	端部漏れ磁束
(b) 端部渦電流損失	固定子鉄心端面, シールドコア, フレーム, ほか	端部漏れ磁束
(c) 付加的な電機子巻線損失	局部渦電流損(固定子素線)	素線に鎖交する周方向磁束, 径方向磁束, 表皮効果
(d) 回転子表面損	磁極, ウエッジ, ダンパ, ほか	スロット高調波磁束
(e) その他の損失	ダクト周り	漏れ磁束, 高調波磁束
	コアボルト周り, ほか	漏れ磁束

表3(2). 漂遊負荷損発生部位

	発生部位	原因など
(a) 付加的な鉄損	固定子鉄心	漏れ磁束, 高調波磁束
	端部鉄材	端部漏れ磁束
(b) 端部渦電流損失	固定子鉄心端面, シールドコア, フレーム, ほか	コイルエンド及び位相リングなどからの端部漏れ磁束
	局部渦電流損(固定子素線, シリーズ接続部, 位相リング, ほか)	導体に鎖交する周方向磁束, 径方向磁束, 表皮効果
(c) 付加的な電機子巻線の損失	循環電流損	素線ごとの誘起電圧, インピーダンスの差
	磁極, ウエッジ, ダンパ, ほか	固定子高調波磁束
(d) 回転子表面損	ブッシング周り	リード線漏れ磁束
	ダクト周り	漏れ磁束, 高調波磁束
	コアボルト周り, ほか	漏れ磁束

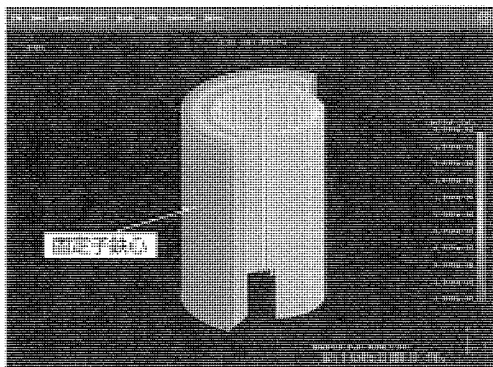


図2. 主鉄損分布(鉄損時)

近傍の損失, ダクト周りの損失, 回転子表面損なども別途解析を行っているが紙面の都合で割愛する。

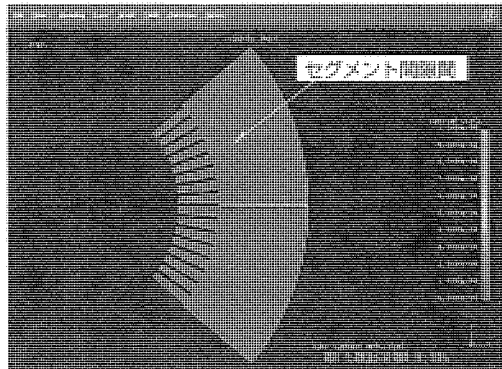


図3. セグメント間隙間に発生する損失密度分布(鉄損時)

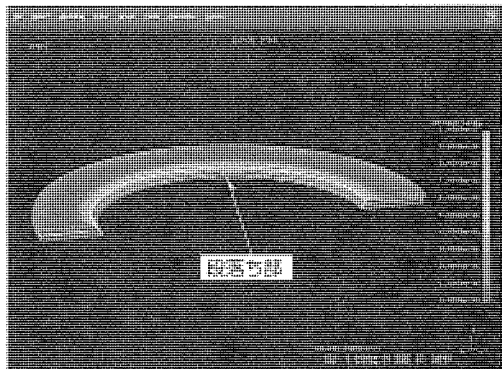


図4. シールドコアの損失密度分布(銅損時)

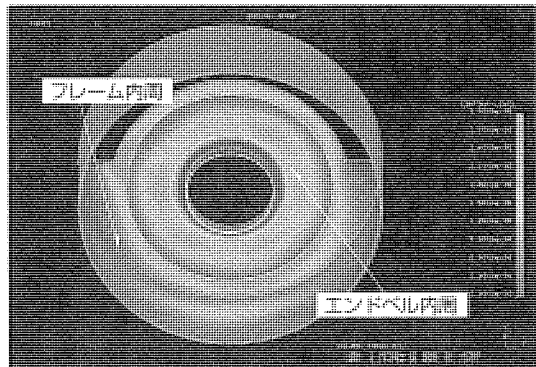


図5. エンドベルの損失密度分布(銅損時)

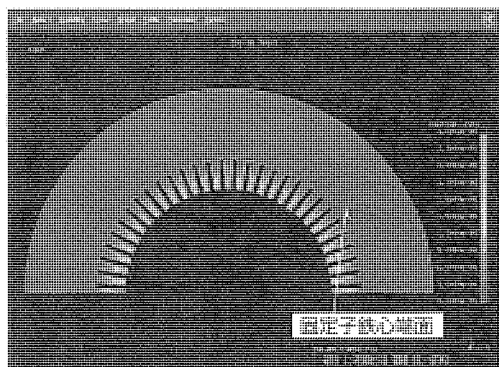


図6. 鉄心端面の損失密度分布(銅損時)

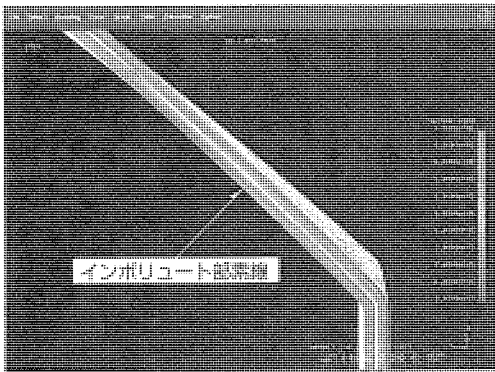


図7. インポリュート部素線損失密度分布(銅損時)

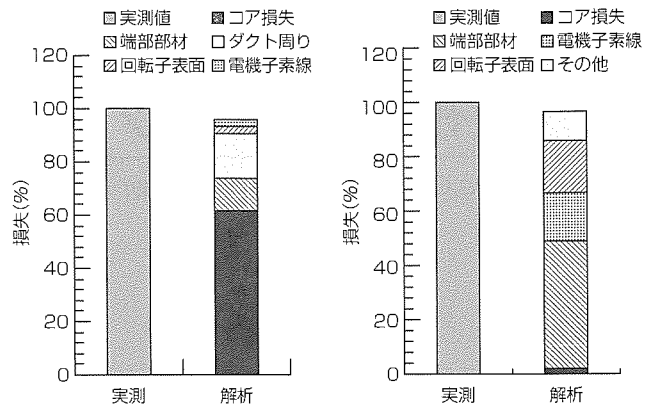


図8. 鉄損, 漂遊負荷損の実測と解析の比較

5. 解析結果と実測結果

図8に、350MVA機について実施した鉄損及び漂遊負荷損の実測値と解析結果の比較を示す。同図から、電磁界解析によって詳細な鉄損、漂遊負荷損の評価が可能であることが分かる。

損失低減効果を検討した例として、クーラ塞(ふさ)ぎ板及びエンドベルをSS材からSUS材に変更した場合の漂遊負荷損の低減度合いを図9に示す。ただし、case 1:クーラ塞ぎ板, エンドベルともにSS材, case 2:クーラ塞ぎ板SUS材, case 3:クーラ塞ぎ板, エンドベルともにSUS材である。同図から、クーラ塞ぎ板, エンドベルSUS化の効果を定量的に把握することができた。

これらを始めとする損失低減策の適用によって、鉄損と漂遊損の合計で、従来比約20%の損失低減を達成した。

6. む す び

当社では、タービン発電機の三次元電磁界数値解析技術開発に先駆的に取り組んでおり、本稿では、最新の三次元電磁界数値解析技術の概要、損失解析例、350MVA間接水素冷却発電機での鉄損、漂遊負荷損の低減結果について述べた。今後は、大容量水素間接冷却型タービン発電機に適用するとともに、水車発電機への展開を図ることで、発電機全般の高効率化を進めていく。

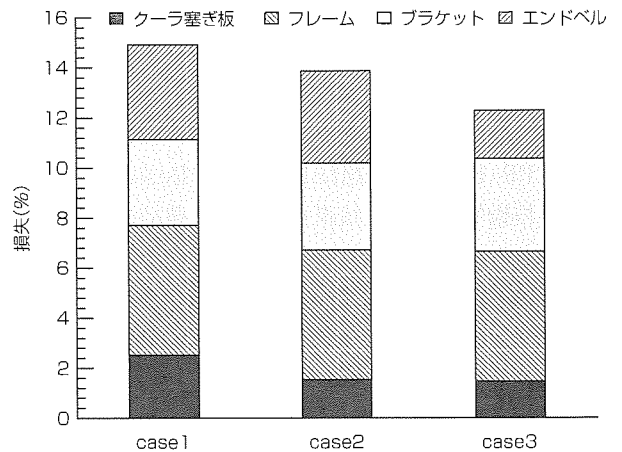


図9. 損失低減効果検討例

参考文献

- (1) 電気学会技術報告第967号:誘導機と同期機の損失評価技術(2004)
- (2) 米谷晴之, ほか:三次元解析の使い方, 電全大シンボS18-4(1995)
- (3) 米谷晴之, ほか:タービン発電機の鉄損解析, 電研資SA-03-70, RM-03-72(2003)
- (4) 米谷晴之, ほか:タービン発電機の漂遊負荷損解析, 電研資RM-03-114(2003)
- (5) 亀有昭久, ほか:均質化法による積層鉄心の非線形静磁場解析, 電研資SA-05-83, RM-05-89(2005)

発電プラントにおける 監視制御用ネットワーク

増濱和生*

Highly-Reliable Control Network for Power Plant

Kazuo Masuhama

要旨

従来、発電プラントにおける監視制御ネットワークでは、リアルタイム性が要求されるため、各メーカーは独自方式のネットワークを製品化してきた。一方では、インターネットの浸透によってデファクト技術となったEthernet^(注1)を利用した工業用リアルタイムネットワークが登場し、国際標準化が活発になってきている。また、高速・大容量化を実現するため1 Gbpsクラスの製品や高信頼性を確保するためRPR(国際標準規格IEEE802.17“Resilient Packet Ring”)技術等の冗長化技術を採用した製品が登場している。

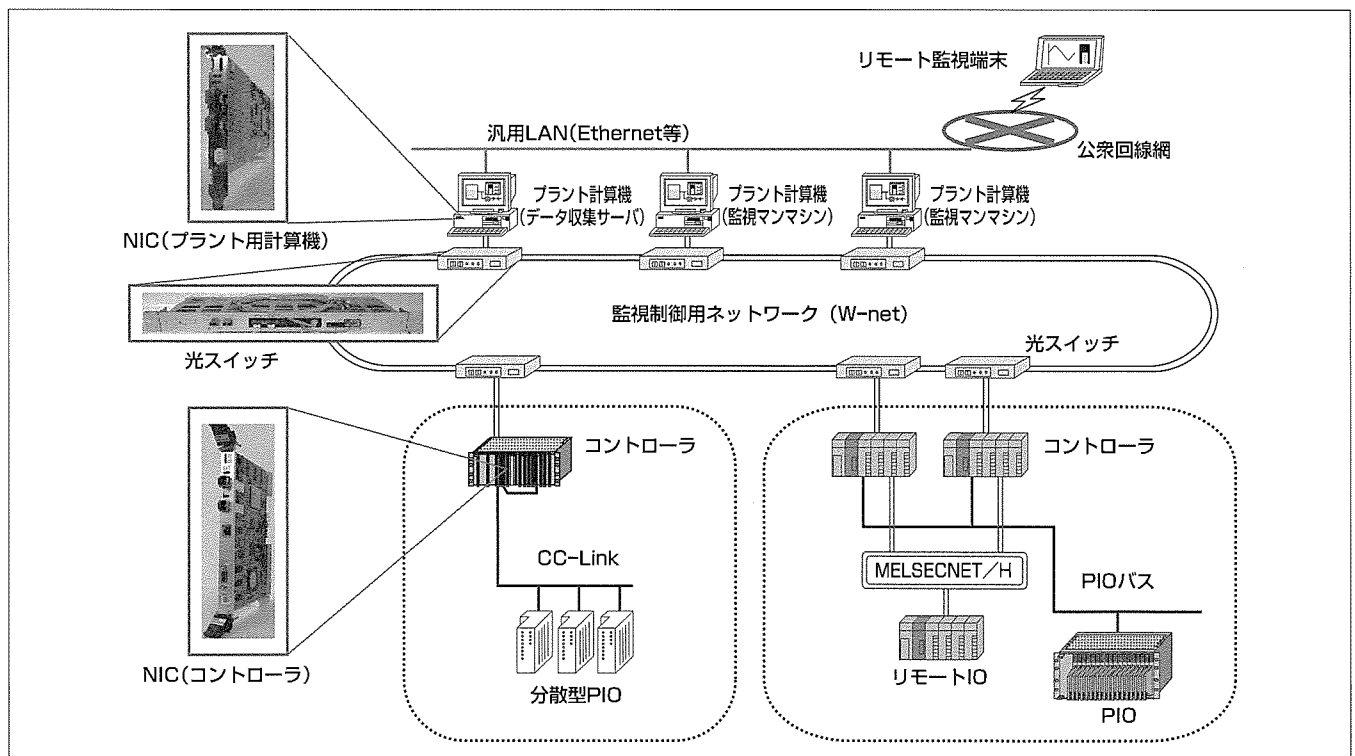
近年の発電プラントにおける監視制御用ネットワークのニーズとしては、システムの大規模化と高機能化に伴い、端末台数(プラント用計算機・コントローラ)や通信データ量の増加、さらには、監視制御の要求応答時間の短縮が求

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

められている。また、従来は別に設けられた汎用Ethernetで通信されていた情報系や画像系の一般データも監視制御ネットワークで流したいという要求も増えてきた。これらを満足するため、高速Ethernetをベースとし、高速・大容量と高信頼を実現する次期監視制御用ネットワーク(開発コード:W-net)を開発した。

“W-net”は、Ethernetでは実現が難しかった“障害復旧時間の短縮”を、IEEE規格で定められているRPR技術を採用することで解決した。また、サイクリック通信機能の提供や通信プロトコルの継承によって、従来機種との機能互換性を確保した。

- (1) 価格競争力の強化……1 Gbit-Ethernetの採用
- (2) 高信頼化……IEEE802.17“RPR”の採用
- (3) 高速・大容量化……サイクリック制御の改善
- (4) 既存機種との互換性……通信プロトコルの継承



監視制御ネットワークのシステム構成例

発電プラントにおける監視制御ネットワークは、PIOを制御するコントローラや、監視マンマシンに代表されるプラント用計算機などの端末間を接続し、大容量のデータを高速通信しなければならない。高速・大容量通信を実現するNIC(Network Interface Card)と、端末故障時にも安全にネットワークからバイパスできる光スイッチと、既存機種の通信プロトコルを継承するモジュールウェアを“W-net”開発で製品化したので、発電プラントで最適な監視制御用ネットワークを提供できる。

特集
II

1. ま え が き

従来、発電プラントにおける監視制御ネットワークでは、リアルタイム性が要求されるため、各メーカーは独自方式のネットワークを製品化してきた。一方では、インターネットの浸透によってデファクト技術となったEthernetを利用した工業用リアルタイムネットワークが登場し、国際標準化が活発になってきている。

近年の発電プラントにおける監視制御用ネットワークのニーズとしては、システムの大規模化と高機能化に伴い、端末台数(プラント用計算機・コントローラ)や通信データ量の増加、さらには、監視制御の要求応答時間の短縮が求められている。また、従来は別に設けられた汎用Ethernetで通信されていた情報系や画像系の一般データも監視制御ネットワークで流したいという要求も増えてきた。これらを満足するため、高速Ethernetをベースとし、高速・大容量と高信頼を実現する次期監視制御用ネットワーク(開発コード:W-net)を開発した。

本稿では、このような国際標準化の動向を踏まえ、“W-net”の特長と技術課題の解決策について述べる。

2. 開発背景

2.1 標準化状況

FA分野等で多く採用されている工業用ネットワークは、リアルタイム性が要求されるため、データ衝突によって通信時間が変動するEthernetの適用は困難であった。そのため、各社は、データ衝突を回避するトークン制御方式など、独自のプロトコルを駆使して工業用ネットワークを実現してきた。しかし、Ethernet技術の進展によって、同技術を利用した工業用ネットワークが採用されるとともに、国際標準化する動きが活発になってきた。

現在、国際標準化としてIEC(International Electrotechnical Commission)では、“IEC61784-2”(Real Time Ethernet: RTE)が提案・審議されている。RTEでは複数の方式を規格化しているが、リアルタイム性を保証するため、その多くは同期通信方式を採用している。また、リング接続/伝送路二重化/障害切り換え/時刻同期/等の工業用

ネットワークに必要とされる機能も提案・審議されている。

2.2 開発ロードマップ

以上のように工業用ネットワークの標準化が進む中、三菱電機では発電プラント向けの監視制御ネットワークとして、Ethernetに比べてリアルタイム性に優れたFDDI(ANSI X3 T12規格, Fiber Distributed Data Interface)やATM(ATM Forumで標準化, Asynchronous Transfer Mode)技術を駆使した製品を出荷してきた。図1に示すとおり、その時代の最先端技術をいち早く導入し、ユーザーニーズにこたえる製品を市場投入してきたが、FDDIやATM通信もIPネットワークの普及・拡大に伴い、価格競争力の確保と高速・大容量化への追従ができなくなってきている。この課題を解決するために、高速Ethernetをベースとした監視制御ネットワーク“W-net”を開発した。“W-net”では、Ethernetで実現が難しかった“障害復旧時間の短縮”を、IEEE規格で定められているRPR技術を採用することによって解決した。また、サイクリック通信機能の提供や通信プロトコルの継承によって、従来機種との機能互換性を確保した。

- (1) 価格競争力の強化…… 1 Gbit-Ethernetの採用
- (2) 高信頼化…… IEEE802.17“RPR”の採用
- (3) 高速・大容量化……サイクリック制御の改善
- (4) 既存機種との互換性…通信プロトコルの継承

2.3 W-net 仕様

“W-net”の主な仕様を表1に示す。当社は、発電プラントの主力製品すべてに対し“W-net”を接続できるNICを開発した。

3. W-netの特長

3.1 高信頼化

3.1.1 RPR規格

RPR規格は、2000年3月にIEEE802.17標準化ワーキンググループが発足し、2004年6月に標準化が完了した。

ネットワーク構成は二重リングであり、伝送路に障害が発生した場合、即座に障害箇所を迂回してデータ通信を復

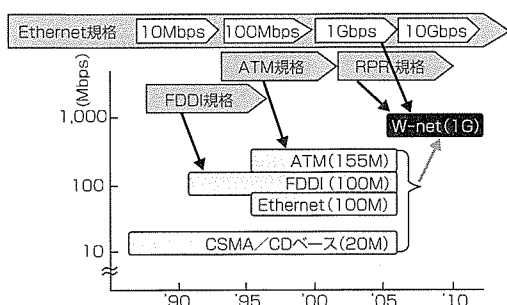


図1. 三菱電機のネットワーク開発推移

表1. W-net 仕様

項目	仕様
端末接続インタフェース	IEEE802.3z(1000BASE-LX) シングルモード光ファイバ
端末接続形態	二重リング
端末接続台数	126台
端末間距離	最大2 km(拡張時:最大20km)
通信速度	1 Gbps
通信方式	IEEE802.17(RPR)準拠
通信優先制御	4レベル
通信プロトコル	サイクリック通信, UDP/IP
サイクリック通信容量	最大256Kバイト(100Mbps相当)
伝送路障害時の復旧時間	50ms以内

旧でできることを特長とする。また、リング型ネットワークの弱点とされるフレームの無限周回によるストーム(残存フレームによる通信帯域の低下)の危険性を防止する機構を具備しており、信頼性の高いネットワークを構築できる。

RPR規格で定義される仕様は、表2に示すとおり、データリンク層のメディアアクセス副層のみであり、物理層は限定していない。“W-net”では1Gbit-Ethernetの1000BASE-LXを採用した。

3.1.2 通信方式

通信方式は、IPパケット転送に適したパケットレベルの多重伝送方式であり、トークン制御に代表される同期通信方式ではないが、パケット優先制御機能によって、リアルタイム性を確保している。次に“W-net”の通信方式を示す。

(1) 高速障害迂回

126ノード(端末と同義)の多接続時でも、伝送路の断線やノード故障による1か所分断時に、50ms以下で迂回路を決定する機能を持つ(図2)。この機能は、RPR規格で定義された方式(ステアリングプロテクション)を採用した。

(2) 自律的な接続位置検出

各ノードは、自律的にRPR制御用パケットを送信することで、リング上の全ノードの接続位置を常時把握している(各ノード位置を示すテーブルを生成)。したがって、ノードの移設や増設に柔軟に対応できる。また、リング構成を

表2. W-net 通信仕様

ネットワーク階層構造	W-net通信仕様	
アプリケーション層	プラント監視制御用アプリ	
トランスポート層	UDP	サイクリック通信 (独自プロトコル)
ネットワーク層	IP	
データリンク層		
論理リンク制御副層	—————	
メディアアクセス副層	IEEE802.17(RPR)	
物理層	IEEE802.3z(1000BASE-LX) シングルモード光ファイバ	

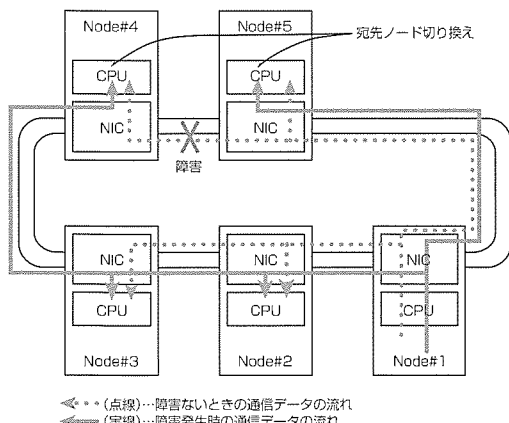


図2. ステアリングプロテクション

集中管理する管理局が不要となるため、管理局故障時の障害回復時間の増加を防ぐことができる。

(3) リング伝送帯域の有効利用

“W-net”では、時計回りと反時計回りの両リングを使用すると同時に、自ノードから最も遠いノードで終端する機能を持つ。これによって、二重リングが持つ通信帯域すべてを使用可能であり、通信性能の向上が図れる。

(4) 通信優先制御

“W-net”では、パケット種別によって通信の優先制御を実施する機能を持つ。優先度レベルは4レベルあり、最高優先はRPR制御用パケットに規定されている。残りの優先度レベルでサイクリック通信用パケットの優先度を一般通信データパケットよりも上げることで、サイクリック通信のリアルタイム性を確保している。

3.1.3 光スイッチの採用

リング型ネットワークは、障害箇所が2か所以上発生した場合、リングが分断されるため、ノード間の通信が途絶する弱点がある。この問題を解決するため、“W-net”では光スイッチによるバイパス機能を提供する。

例えば、図3で示すようにノード2か所(Node#2/#5)が故障した場合、光スイッチがないときは、Node#1とNode#3/#4は通信が途絶する(リング分離)。一方、光スイッチを実装したときは、Node#2とNode#5をバイパスすることで、リングの断線箇所をなくし、Node#1/#3/#4が通信継続できる。したがって、万一の場合でも発電プラントへの影響を最小限にして縮退運転することが可能となる。この機能は、プラント稼働中の端末増設時や電源を落として実施する定期点検時にも有効である。また、ノードやCPUが故障した場合に光スイッチを使ってバイパスする機構を設けることで、不正データをリングに送信させないことができる。

3.2 高速・大容量化

発電プラントにおける監視制御データは、サイクリック

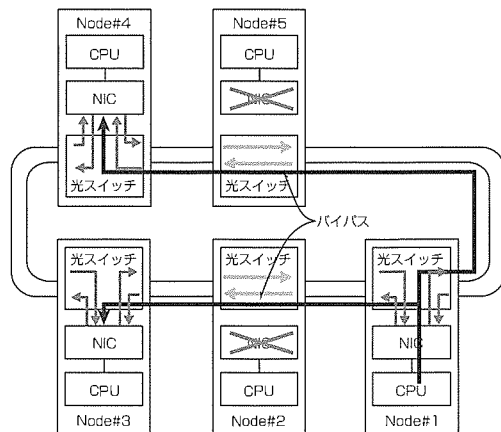


図3. ノード2か所故障時のバイパス動作

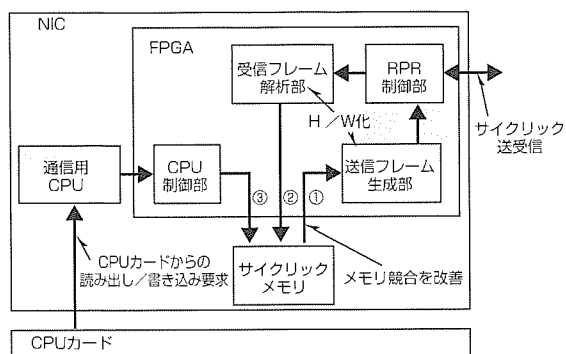


図4. ノート内のH/Wブロック図

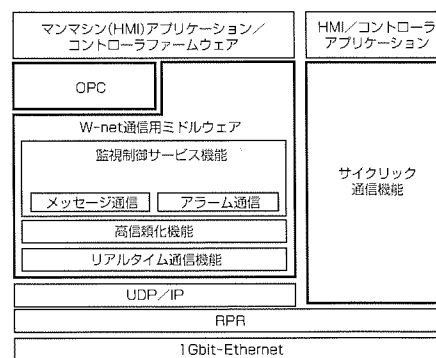


図5. W-net の機能構成図

メモリ容量が増加するとともに、通信速度の向上も要求されている。“W-net”では、サイクリック通信容量を従来比の2倍(256Kバイト)にしたことで、100Mbps以上の通信性能が必要になる。リング側の通信帯域は、IEEE802.3z(1000BASE-LX)の採用によって1 Gbpsを確保できるが、ノード内のCPU処理速度がボトルネックとなる。“W-net”では、この技術課題を解決するために、次に示すアーキテクチャの改善を行った。

(1) サイクリック送受信のH/W化

既存ネットワークでは、通信用CPUをNIC内に搭載している。通信用CPUは、UDP/IPの様な複雑なパケットを生成して送信したり、受信データをパケット解析しながらサイクリックメモリに書き込んだりする処理を実行している。通信CPUの性能から考えると、この方法で100Mbps以上の送受信処理に追従することは困難であった。

“W-net”では、送受信処理をすべてH/W化することで、通信用CPUのS/W負荷を軽減させると同時に、サイクリックメモリ(送信ノード内)からサイクリックメモリ(受信ノード内)までの送受信速度を向上させた。“W-net”では、FPGA(Field Programmable Gate Array)内に、①送信フレーム生成部と②受信フレーム解析部を集約して実装した。NIC内のブロック図を図4に示す。

(2) サイクリックメモリの時分割制御

各ノードのCPUカードは、サイクリック送受信(①②)とは非同期的に、サイクリックメモリを読み出し/書き込みする(③)。図4の①~③のように、この読み出し/書き込み処理(③)と送受信処理(①②)が競合した場合、メモリバス調停によって、どちらかの処理が一定期間待たされるため、リアルタイム性向上の阻害要因となっていた。“W-net”では、メモリバス調停方式からメモリ時分割制御に改善することで、双方のリアルタイム性を向上させた。

(3) 汎用LANとの統合

“W-net”では、監視制御データ以外の通信帯域を、汎用LANで通信される画像系や情報系の一般データに割当

てられるようにした。サイクリック通信では通信帯域を100Mbps程度使用するが、1 Gbpsの広帯域を確保できたので、一般データに割当てられる通信帯域も大きくなり、画像データや情報データなども問題なく通信することが可能となった。

3.3 既存機種との互換性

“W-net”の機能構成図を図5に示す。図の太枠で示すミドルウェア(M/W)は、従来機種から継承してきた通信プロトコルを実現するものである。OPC(Object linking and embedding for Process Control)、W-net通信用ミドルウェア、サイクリック通信機能などのM/Wは、既存機種から“W-net”への変更点(1 Gbit-EthernetやRPR)を意識することなく、アプリケーションが開発できる環境を提供する。

4. む す び

このように、発電プラントにおける監視制御ネットワークとして、高速・大容量と高信頼性を兼ね備えた“W-net”を開発した。“W-net”は、コストパフォーマンスや生産継続性で優れるEthernetを採用した。さらに、既存機種からのリプレースも容易としたので、当社における発電プラント監視制御用ネットワークの主力機種になっていくと考える。

今後は、画像データや情報データなどの汎用通信と共存できるネットワークに仕上げていく所存である。

参考文献

- (1) 曾田圭一, ほか: RPR対応光ネットワーク, 三菱電機技報, 80, No.2, 133~136 (2006)
- (2) 田中康博, ほか: オープン分散計装制御システムのオープン分散ネットワーク, 三菱電機技報, 73, No.6, 408~411 (1999)
- (3) 根本泰典, ほか: プラント監視制御・管理ネットワーク, 三菱電機技報, 70, No.7, 678~683 (1996)

大容量複合形発電主回路用開閉装置

岸田良二*
山下 透*
松田大二*

Large Capacity Switchgear for Generator Main Circuit
Ryoji Kishida, Toru Yamashita, Daiji Matsuda

要 旨

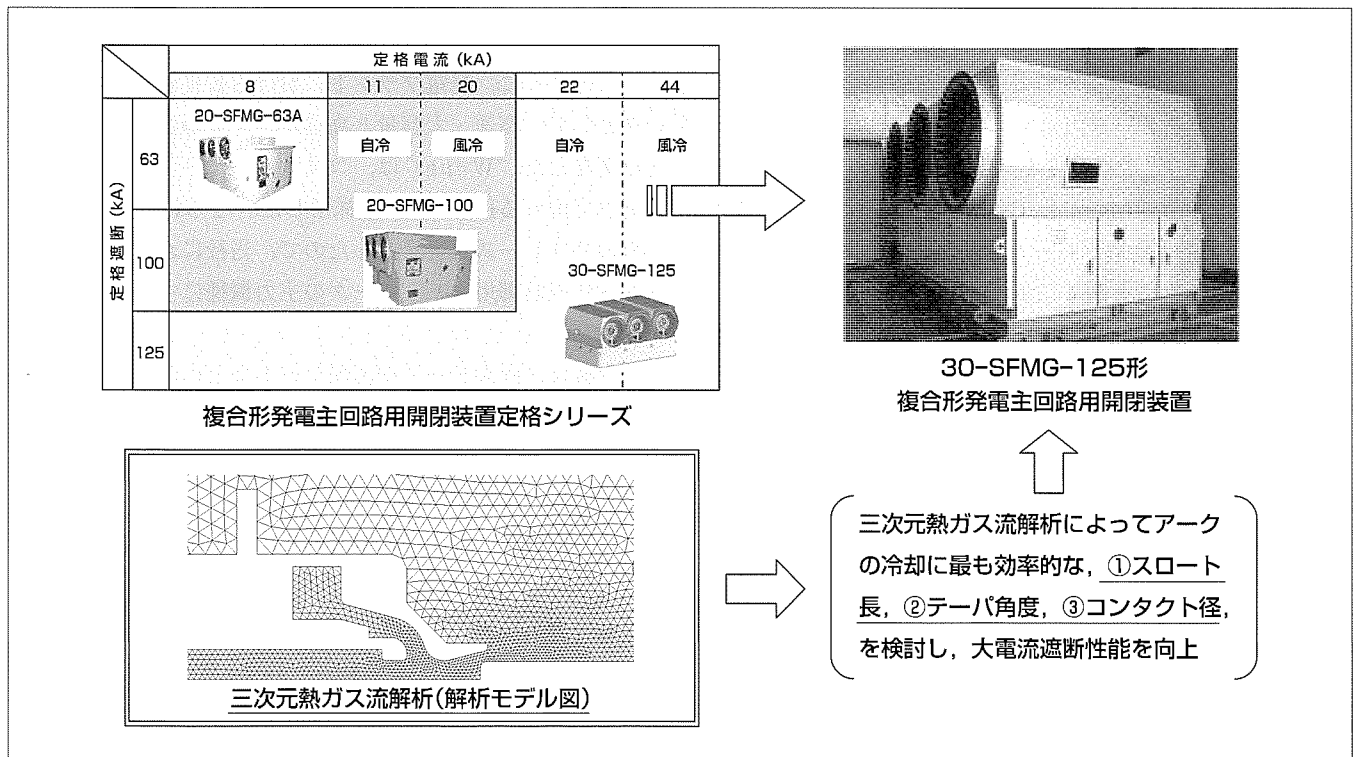
三菱電機では1977年に、世界で初めて、SF₆ガス遮断器を用いた発電主回路用開閉装置を製品化して以来、各種発電プラントに適合できるようにシリーズ化を図ってきた。発電プラントに主回路用開閉装置を適用することで、起動用変圧器や関連設備が不要となるなど、発電プラント全体の合理化設計が可能となるが、さらに、機器の小形化、高信頼度化の要請に対応するために、断路器などと一体化した複合形開閉装置のシリーズ化開発を継続して実施しており、今回、定格遮断電流125kA、定格電流44kAの大容量複合形発電主回路用開閉装置を開発した。今回開発した主回路開閉装置は、遮断器、断路器、接地装置などを複合一体化し、三相一括操作形で小形化を達成した。従来の遮断器と断路器を組み合わせた開閉装置と占有面積で比較すると約50%となる。

一般的に大電流遮断を行う場合は、遮断速度を高めるなど操作装置の出力増加が有効であるが、三相一括操作とす

るためには、低操作力で、大電流遮断を実現する消弧室の開発が必要である。このため、TVD(Total Variable Diminishing)条件を満足する流束ベクトル分割法を用いた軸対称3次元熱ガス流解析で、消弧室の中で遮断性能に大きな影響を及ぼすノズルやコンタクトの形状について様々な検討を行った。

発電主回路用開閉装置の場合、電流零点時のアーク空間の導電性に影響されて遮断成否が決定される熱的遮断性能の向上が重要となる。したがって解析では、アークの冷却を効率的に行うために電流零点時のアーク周辺のガス温度に着目し、消弧室の各形状がガス温度の高低に及ぼす影響を検討し、大電流遮断性能の向上を図った。

今後も、発電機主回路用開閉装置の需要は増加していくと考えられるので、複合形開閉装置シリーズの充実を目指し、更なる大容量化に取り組んでいきたい。



複合形発電主回路用開閉装置のシリーズと今回開発品(上)、消弧室の大電流遮断を実現した解析モデル(下)

発電プラントの合理化設計に貢献するため、各種発電プラントに対応できるように、複合形発電主回路用開閉装置のシリーズ化を行っている。今回、熱ガス流解析技術を駆使し、消弧室のノズルやコンタクトの形状を最適化設計し、低出力で、大電流遮断性能を向上させた発電主回路用遮断器を開発した。

1. ま え が き

近年の発電プラントは、発電機と主変圧器の間に発電主回路用開閉装置を設けた低圧同期方式が採用されてきている。低圧同期方式は、高圧同期方式と比較して、起動用に必要とされていた起動変圧器及び関連設備が不要になり、さらにプラントの起動・停止時の所内母線切り換え操作も不要になるなど、発電プラント全体の合理化設計や運転操作の簡素化につながっている。現在、大容量発電主回路用ガス遮断器として、単一圧力パuffァ式消弧室を採用し、遮断電流110kAまで製品化しているが、更なる遮断電流の大容量化や据付面積の縮小化が求められており、遮断器、断路器、接地装置などを複合一体化した大容量複合形開閉装置が主流となってきている。今回、これらの要請に対応するため、単体機器をベースに最新の技術を適用し、遮断電流125kAまでの大容量化と遮断器と断路器の一体構成による複合化を行った発電主回路用開閉装置を開発した。

2. 定 格 概 要

今回開発した複合形発電主回路用開閉装置の主要定格を表1に示す。遮断電流は125kA、投入電流は750kAとし、定格電流は、自冷で22kA、風冷で44kAと大容量通電を実現しており、発電機用遮断器だけでなく、発電機用負荷開閉器としても適用できる定格としている。

3. 構造及び動作

外形図を図1に、構造図を図2に示す。遮断器、断路器、接地装置などを一体化し、遮断器は、550kVガス遮断器で実績のあるOM-3形油圧操作装置を適用して、三相一括

操作方式とし、発電主回路用開閉装置全体の小形化を図るとともに、動作信頼性を向上させた。遮断部と断路器部の一体化による軸方向長さの縮小、及び各機器の三相一括操作化によって相間方向の長さを短くしたことにより、従来の遮断器と断路器を組み合わせた開閉装置に対し、占有面積で比較すると約50%に削減した。また、輸送や据付を考慮し、各相ごとに分離して、輸送、発電所搬入、据付が可能な構造とした。

発電主回路用開閉装置は、相分離母線と容易に直結できる構造であり、内部導体・外被ともにたわみ導体で接続され、外被相互間はベローズで直結される。外被には導体電流と逆位相の電流が誘起され、外部への漏れ磁束がほとんどなくなるミニフラックス方式を採用している。定格電流が22kAを超える場合は、相分離母線の冷却風を遮断部及び断路器部に流して冷却する。

遮断部及び断路器部で構成されている内部導体部は絶縁物で支持されており、遮断部内部は、消弧媒体及び極間の絶縁のためにSF₆ガスが充填(じゅうてん)されている。断路器部の極間及び内部導体と大地間は空気絶縁されている。

遮断器消弧室は、現在の主流である単一圧力パuffァ形二方向吹付方式とし、遮断電流は、当社最大となる125kAまで遮断可能とした。一般的に、遮断電流を大きくする場合、パuffァシリンダ径、アークコンタクト及びノズル径

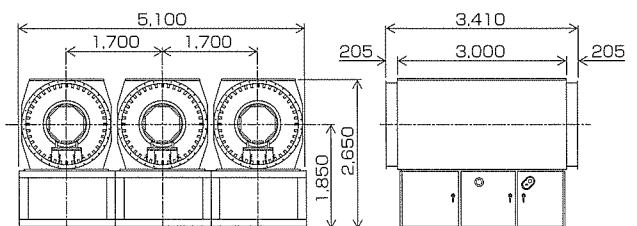


図1. 外形寸法

表1. 定格事項

形式	30-SFMG-125
電圧	36kV
電流	22kA(自冷), 44kA(風冷)
遮断電流	125kA
投入電流	750kA
短時間電流	300kA
過度回復電圧上昇率	1.2kV/μs
遮断時間	5 サイクル
投入時間	0.15秒
商用周波耐電圧	70kV(対地), 80kV(極間)
雷インパルス耐電圧	170kV(対地) 195kV(極間)
ガス圧力	0.5MPa(at 20℃)
操作方式	油圧操作(OM-3形)
消弧方式	単一圧力パuffァ式
総質量	21,000kg

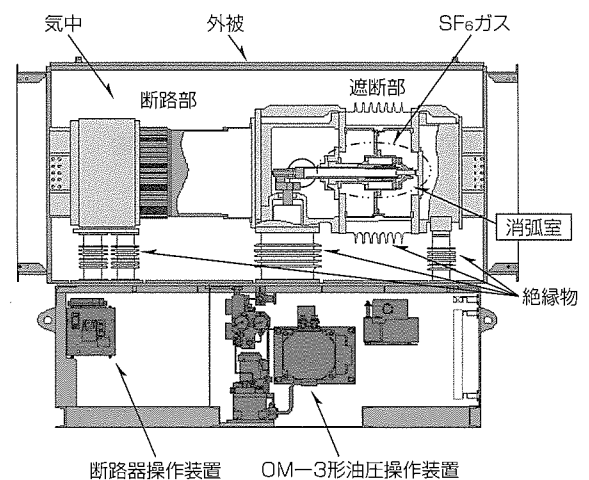


図2. 内部構造図

の大径化，操作装置の出力増加による遮断速度の向上が有効であるが，今回は，三相一括操作方式を前提に，低操作力で，ノズルやコンタクト形状の最適化を目指し，消弧室構造の検討を行い，遮断電流125kAの性能を実現した。

4. 大電流遮断性能の検討

発電主回路用開閉装置の場合，適用電圧が低いこともあり，遮断後の過度回復電圧に耐える誘電的遮断性能より，電流零点時のアーク空間の導電性に影響されて遮断成否が決定される熱的遮断性能の向上が重要となる⁽²⁾。つまり，アークの冷却を効率的に行うことが遮断電流の大容量化につながる事となる。

アークの冷却に影響を及ぼす消弧室の形状の決定には，多くのパラメータが存在するため解析による形状の影響度合いの検討が有効である。消弧室では，電流遮断時にガスの流速が超音速状態となっており，衝撃波の発生も予想され，亜音速と超音速が混在する流れを解くために，衝撃波を精度良く扱えることが必要となる。そこで，TVD条件を満足する流束ベクトル分割法を用いた軸対称3次元熱ガス流解析⁽³⁾によって，遮断性能の指標として電流零点時のアーク周辺ガス温度の高低を比較し，消弧室の各形状がガス温度に及ぼす影響を検討した。

ここでは，図3に示す消弧室の中で，遮断性能に影響を及ぼすと考えられる，①スロート長L，②テーパ角度 θ ，③コンタクト径(スロート内径)dをパラメータとして，遮断電流125kAの場合の解析を実施した。図4に解析の一例(消弧室内部のガス温度分布)を示す。

図5(a)は，スロート長を基準値の L_0 から変化させた場合の，可動コンタクト先端とスロート中央部の軸心周辺の温度を示す。この例では，他のパラメータの場合も含めて

すべてスロート部よりも可動コンタクト先端付近の温度が低い。これは，可動コンタクト先端付近のアークによる発熱に対して，可動コンタクト先端部を通過して可動側(図3左側)に流れるガスによって効果的に冷却されていることを示している。

また，スロート長が L_0 と最も短い場合の温度が，可動コンタクト先端及びスロート部ともに低くなっている。これは，スロートが固定コンタクトを通過した後に固定コンタクト側の流路面積が広がり，熱ガスが固定コンタクト側に大量に流出する影響が出ており，スロート長さが長いほど熱ガスの流出が遅れるため，スロート部のガス温度が低下しにくいことによるものと考えられる。可動コンタクト先端の温度については，スロート長さが長くても温度が下がっているが，可動側に流れるガス流が相対的に増えたことで，冷却が促進されたものと考えられる。

図5(b)は，テーパ角度を基準値 θ_0 から変化させた場合について示す。テーパ角度が $1.5\theta_0$ の場合が最も低く，最も小さい θ_0 の場合が全体の温度が高い。これは，テーパ角度が大きいほど固定コンタクト側への熱ガスの排出が促進されるが，二方向流れによって熱ガスの可動コンタクト側への排出量が少なくなり，可動コンタクト部の温度が高くなっていることによるものと考えられる。

図5(c)は，コンタクト径を基準値 d_0 から変化させた場合について示す。コンタクト径が小さいほど温度が低くなっている。これは，コンタクト径が小さいほど吹付けるガスの密度が高くなり，またスロートを通過する流速が速くなって冷却が促進されることによるものと考えられる。

以上の検討結果から，今回検討したパラメータの中から，ガス温度を比較的低くするパラメータを組み合わせ(最適

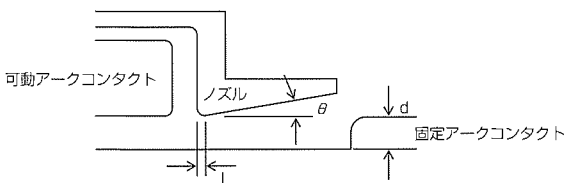


図3. ノズル・コンタクトの模式図

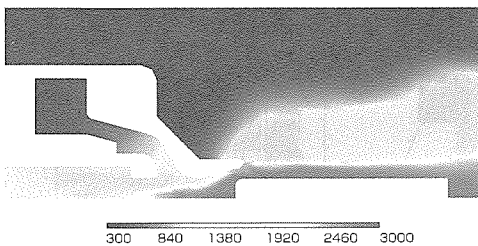


図4. 消弧室内のガス温度分布

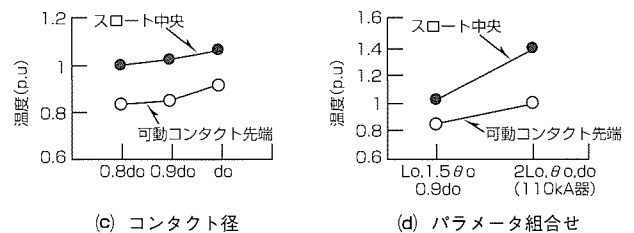
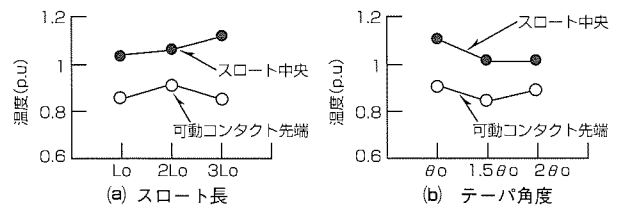


図5. スロート長，テーパ角度，コンタクト径によるガス温度変化

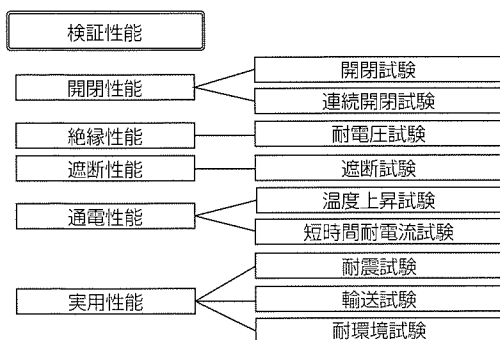


図 6. 検証性能と試験項目

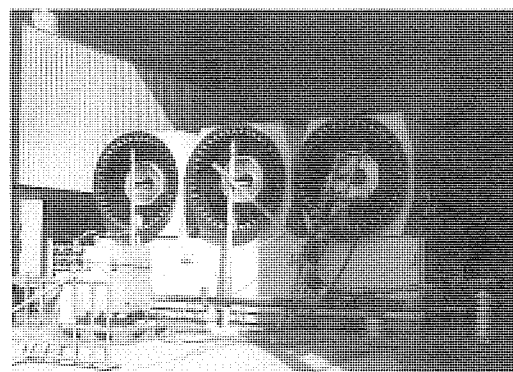


図 7. 遮断試験状況

化し)たものと、110kA器のパラメータを組み合わせたもので計算を実施した。結果を図 5 (d) に示す。両者の温度差は、可動コンタクト先端で0.15p.u.スロート中央で0.35p.u.であり、ノズル形状のパラメータ選択により大きな温度差が生じることが分かる。

これらガス流の相違が遮断性能に与える影響を確認するために、電流零点近傍のアーク解析を実施した。図 3 に示すように、スロートの上流から中央部にかけて流れはほぼ一様であることから円筒アークモデル(4)とし、上流領域のガス温度とスロートにおけるガス流速を初期条件とした。解析の結果、最適化したノズルの場合、125kA遮断を達成できる目途が得られた。

5. 試 験

図 6 に遮断試験を含め、今回実施した各種検証試験項目を示す。これらの試験から、複合形開閉装置に必要な各種性能が満足することを確認した。

遮断試験については、解析によって諸元を決定したノズルを用いて、遮断電流125kAを実施し、パuffァシリンドラ径は従来の遮断電流110kA遮断器と同等で、一相当りの操作力を0.7p.u.とした条件で、125kAの遮断性能を満足することを実機にて確認した。図 7 に遮断試験の実施状況を示す。

また、温度上昇試験では、開閉装置の両端に相分離母線を接続し、相分離母線の端部で母線と外被を接続して通電を行い、自冷で22kA、風冷で44kAの通電を行い、各部位の温度上昇値が規格値を満足することを確認した。試験状況を図 8 に示す。

6. む す び

複合形発電主回路用開閉装置シリーズ化の一つとして開

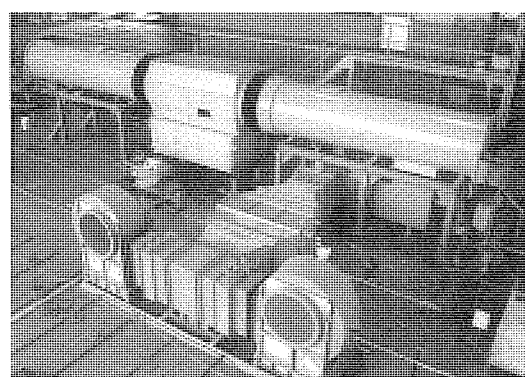


図 8. 温度上昇試験状況

発した、大容量複合形発電主回路用開閉装置について述べた。遮断電流125kAまでの大容量化と、遮断器と断路器などの複合一体化によって占有面積にして50%の小型化を実現している。今回紹介した開閉装置が、発電主回路の合理化として今後のプラント計画の参考になれば幸いである。今後は更なる大容量化及びシリーズの充実化を図り、顧客ニーズに適合した電力設備を提供できるよう、努力を重ねていきたい。終わりに、この開閉装置の開発・適用に当たってご協力いただいた関係者各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 伊吹恒二, ほか: 原子力プラント向大容量発電主回路用ガス遮断器, 昭和63年 電気学会全国大会 No.1180
- (2) 平野良樹, ほか: 発電主回路用ガス遮断器の開発, 平成10年 電力・エネルギー部門大会 No.510
- (3) 山下 透, ほか: ガス遮断器の電流遮断時における衝撃波を含む流れについて, 平成 8 年 開閉保護研究会 SP-96-59
- (4) 吉田大輔, ほか: 大電流遮断時における熱的遮断性能評価, 平成11年 電力・エネルギー部門大会 No.458



特許と新案***

三菱電機は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)

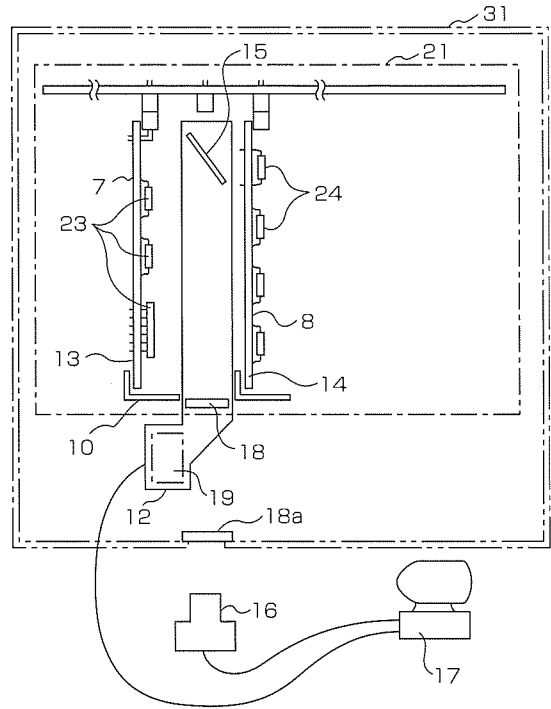
プリントカードの温度測定装置 特許第3417779号(特開平10-206241)

発明者 犀川真一, 高田潤二

この発明は、プリント基板に回路部品を実装したプリントカードをカードラックに実装したままの状態、温度分布及び風速分布を測定する装置に関するものである。

ミラーユニットを測定対象のプリントカードに隣接して設置し、プリントカードから放射された赤外線、プリント基板の挿脱方向に移動するミラーを介してサブラックの前面に導出するようにすることによって、カードラックに実装したままの状態、測定することができる。

また、風もれ防止用整風板を設けることで、サブラックの内部と外部との気流の流れを遮断して、プリントカードへの冷却効果を実際の状態に近付けて測定することが可能である。



- 7, 8: プリントカード
- 10: 全面パネル
- 12: ミラーユニット
- 13, 14: プリント基板
- 15: ミラー
- 16: 赤外線検出装置
- 17: パーソナルコンピュータ
- 18, 18a: 風もれ防止用整風板
- 19: 駆動装置
- 21: サブラック
- 23, 24: 回路部品
- 31: 筐

<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.81 No.11 特集「昇降機・ビルシステム」

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 山口 隆一</p> <p>委員 小林智里 増田正幸 滝田英徳 佐野康之 糸田 敬 世木逸雄 江頭 誠 河合清司 長谷勝弘 木槻純一 逸見和久 光永一正 河内浩明 橋高大造</p> <p>事務局 園田克己</p> <p>本号取りまとめ委員 山内 四郎 津谷 定廣</p>	<p>三菱電機技報 81巻10号 2007年10月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2007年10月25日 発行</p> <p>編集人 山口 隆一</p> <p>発行人 園田 克己</p> <p>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</p> <p>印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス</p> <p>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</p> <p>定 価 1部945円(本体900円) 送料別</p>
三菱電機技報 URL	URL http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/giho/
三菱電機技報に関するお問い合わせ先	URL http://www.mitsubishielectric.co.jp/support/corporate/giho.html
英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」がご覧いただけます	URL http://global.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/

三菱電機㈱は、電力、通信、運輸等の社会インフラに関わる施設に加え、工場、ビル、学校等の一般施設においても今後ますます増加するであろうセキュリティ需要に対応した侵入検知センサとして、屋外周辺から敷地内への侵入に対し、赤外線ビームセンサなど従来のセンサでの制約や運用面の手間を解決する微弱電波^(注1)を利用した新型センサ“MELWATCH”を製品化しました。

システムの概要

MELWATCHの基本システムは、監視区域に沿って地上に敷設した2本のセンサケーブルとセンサ装置及び侵入検知端末で構成します(図1、図2)。

この2本のセンサケーブルの間には微弱電波による電界を形成しており、この電界間に侵入者があると電界強度に変動が発生します。その変動をセンサ装置で解析し侵入者の有無を判定します(図3)。

MELWATCHの特長

1. 長距離検知を実現、複雑な地形にも対応

1台のセンサ装置で最長600mの距離にわたる警戒距離の侵入検知が可能です。なお、センサ装置を複数連結させることによって、それ以上の距離にも対応できます。

また、赤外線ビームセンサの場合には、警戒区間が直線で、かつ見通しがよくなくてはなりません。MELWATCHは地面にセンサケーブルが敷設できる場所であれば、土地の起伏や曲がりにも柔軟に対応できます。

2. 侵入者の位置を精度よく特定

検知した侵入者の位置をおよそ±5m(センサケーブルの長さ方向)の精度で特定することができます。さらに可動式カメラと連携させれば、侵入者の映像をピンポイントでとらえることも可能となり監視効率が向上します。

3. 誤検知が少ない

木の葉やごみなどの飛来物、小動物が侵入しても、電界の

(注1) 微弱電波とは、電波法で定められた電界強度の著しく微弱なレベルの電波であり、利用にあたって無線局としての免許や申請を必要としません。

乱れが少ないので、誤検知件数が赤外線ビームセンサに比べて低減されます。

4. 拡張性の高いシステムインタフェース

セキュリティシステムや映像システムとの連動にはソフトウェアインタフェースと接点インタフェースの両方に対応しており、既存システムへの組み込みも容易にできます。

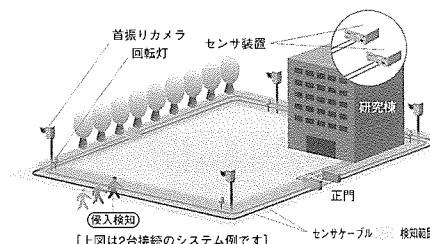


図1. 監視システム適用イメージ図

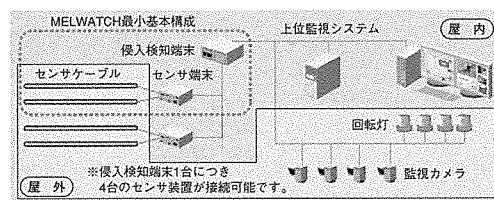


図2. システム構成図例

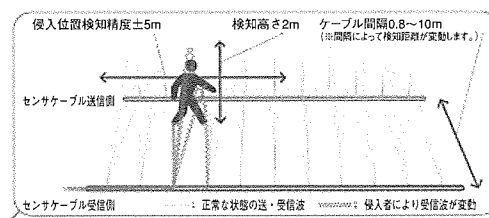


図3. 電界変動による検知イメージ

表1. MELWATCHの主な仕様

侵入検知端末 (本体)	最大消費電力	300W (AC100V, 50/60Hz)
	外形寸法, 質量	幅435mm×奥行480mm×高さ170mm, 約19kg
	設置環境	温度:0~40℃ 湿度:20~90%(結露なし)
センサ装置	センサ装置 接続可能台数	最大4台/侵入検知端末1台
	最大消費電力	45W (AC100V, 50/60Hz)
最大検知距離	外形寸法, 質量	幅280mm×奥行235mm×高さ120mm, 約5kg
	設置環境	温度:-10~55℃ 湿度:10~90%(結露なし)
最大検知距離	600m/センサ装置1台(センサ装置連結で600m以上に対応可能)	
検知位置精度	約±5m(センサケーブルの長さ方向)	
センサケーブル間隔	0.8~10m	
センサケーブル外径/最小曲げ半径	26mm/500mm	
検知エリア	センサケーブル間及び高さ2mまでの空間	
放射電波	微弱電波(無線局免許不要)	
検知するもの	人・車・バイク・自転車・動物(小動物を除く), その他, 水分や金属を多く含む移動物体	
検知しないもの	紙・ガラス・樹木 ^(注2) ・小動物 ^(注3) ・静止物体	

(注2) 強風などの大きな揺れに検知する場合があります。

(注3) 全長50cm以下が目安ですが固体の大きさ、数、動作などで検知する場合があります。

住 所: 〒652-8555 神戸市兵庫区和田崎町1-1-2

会社名: 三菱電機株式会社 お問い合わせ先: 電力システム製作所 営業部 TEL: 078-686-4664 FAX: 078-682-6289

E-mail: MELWATCH@rm.MitsubishiElectric.co.jp