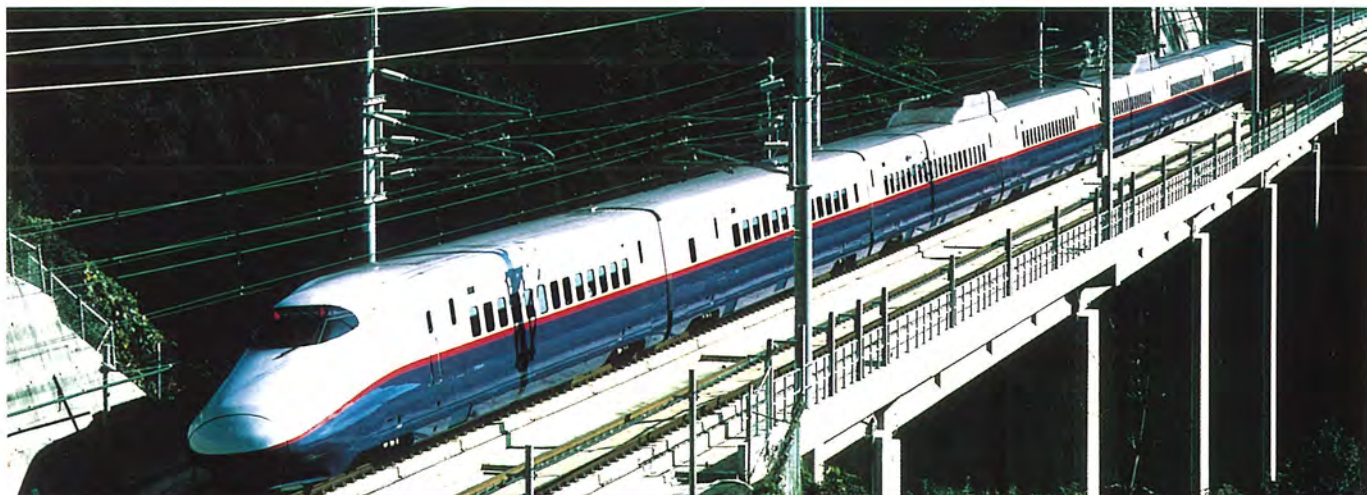


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.72 No.6

特集 “21世紀を拓く電気鉄道”

'98 **6**



特集 “21世紀を拓く電気鉄道”

目次

特集論文

電気鉄道をめぐる新しい潮流	1
曾根 悟	
鉄道への期待と技術の展望	2
成戸昌司	
車両システムの統合化と最適化	6
四方 進・本間英寿	
インテリジェント車両推進制御システム	10
小尾秀夫・児仁井克己・塩見省吾	
車両快適化補助システム	18
大山裕二・吉村圭二・下釜三嘉・梅崎達昭	
鉄道における運行情報制御システム	25
笹 精作・山口文敏・伊地知政弘	
鉄道における最新の通信システム	32
田子憲三・川本真紀夫・新倉弘久・山川恭一・津久井志朗	
電気・信号設備の監視・保全システム	36
村木一巳・金藤 悟・城ヶ崎 亨・高橋正芳	
九州旅客鉄道(株)納め作業計画管理システム	41
村山 聡・小佐野賢治・松原啓介	
鉄道広域情報システム	47
岩根真一・福井 毅・柴田文夫・森 勝・芝 直樹	
最近の車両基地管理・電力管理システム	54
小山 優・内本章二・水谷次雄・村上正春	
山梨リニア実験線用超電導磁石及び地上コイル	60
地蔵吉洋・板橋好文・赤木秀成・沖 雅雄・山口 孝・寺井元昭・五十嵐基仁・土島秀雄	
山梨リニア実験線の駆動・推進制御システム及び車上電源システム	67
松原秀樹・梶 芳信・田上吉洋	

普通論文

DLP方式マルチプロジェクト“LVP-DM1”	74
杉山和幸・竹内 茂・米岡 勲・川本直紀・小田切健介	
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	80
今瀬正博・岡本浩希	

特許と新案

「車両用走行情報表示装置」「2分割形垂直探触子」	87
「指紋判別装置」	88

スポットライト

換気空清機クリーンロスナイ壁埋込30cm角穴取付タイプ	86
九州旅客鉄道(株)納め電力遠制システム	(表3)

表紙

山梨リニア実験線とJR各社の新幹線

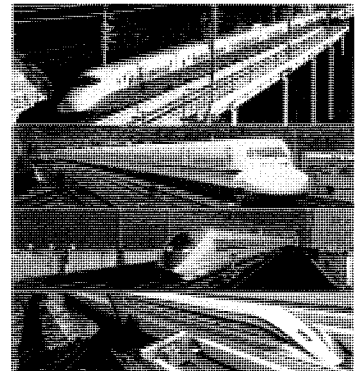
東日本旅客鉄道(株)E2系車両(写真上段)
上越・東北・秋田・長野の各新幹線網を走行する車両で、今後の主力車両である。

東海旅客鉄道(株)700系車両(二段目)
低騒音、軽量化、乗り心地を改善した東海道新幹線の次期主力車両である。

西日本旅客鉄道(株)500系車両(三段目)
ロングノーズ形状とし、騒音等の環境対策を行い、300km/h走行を可能とした。

山梨リニア実験線車両(下段)

将来の営業線走行を目指した試験車両で、昨年12月24日550km/h走行を達成した。



電気鉄道をめぐる新しい潮流

運営者のための技術から利用者・社会のための技術へ

従来の鉄道技術が安全性と効率化を優先し高速化と快適化をその次に位置付けてきた順番を明確に逆にしたのが、平成6年の「21世紀に向けての鉄道技術開発のあり方について」(運輸技術審議会)であった。

価値観の変化の先取りを

このことは、我が国の場合、急速な高齢化社会の到来と絡めて考えると分かりやすくなる。これまでの公共交通は、いわば強者向けにできていたのを弱者向けに作り変える必要がある、ということである。同時に、自家用車が増えすぎて困るほどに普及した原因であるその魅力を、公共交通に取り込むことも欠かせない。一口に言えば、多様で柔軟なシステムへの変化が社会から要請されているのである。

鉄道の世界では、“安全”から“安心”への価値観の変化も顕著である。狭義の安全性である事故による肉体的危険の排除から、安心して利用できる乗り物、つまり安全・確実、分かりやすく、快適な乗り物への変化である。

技術の融合からの大きな可能性

これまで進めてきた要素技術自体の進化も必要なことは言うまでもないが、見方を変えると、技術の融合によって大きな発展が期待できる分野が少なくないようだ。

ここで“融合”とは二つの意味を持っている。要素技術を連携して総合化するインテリジェント化と、異分野における同種技術の融合である。

良いサービスのための総合化は、これまでもお題目としては広く論じられてきた。情報化・知能化の中心になる技術は既に十分に育っている。問題は、いかに利用者個人の希望を調べ、適切なサービスを創造し、その内容を伝えるかにあると言えよう。非接触ICカードや携帯電話・PHS等の機能を利用すれば、利用者ニーズの把握、運賃の支払

東京大学工学系研究科
教授 曾根 悟



い、リアルタイムで個別の案内、という比較的難しい三つの機能が一気に達成できる仕掛けが構築できそうである。

異分野の同種技術では、最近筆者が関係したことに限っても、エレベーターと鉄道との運転制御技術の相互利用、自動車と鉄道車両との空転・滑走制御技術の交流、日本では高度道路交通システムとしてとらえられているIntelligent Transport System (ITS：本来は道路には限定されない。)への鉄道からの協力など、非常に大きな可能性がある。

電気鉄道への大きな期待

眼を海外に転じると、自動車交通の負の側面である環境や安全問題への現実的な唯一の対応としての鉄道の活用が盛んになっている。ライトレールの新設による街の再活性化、鉄道とライトレールとの直通化、積極的な高速鉄道の建設、既存の鉄道の高規格化や直通運転のための積極的な投資など、鉄道への大型投資が目白押しの状況である。

人口500万のデンマークでは、グレートベルト海峡横断の鉄道が1997年に完成した。これは東京湾横断道路に匹敵する、途中の島を境にトンネルと橋によるルートで、現在は鉄道ルートが完成しており、今年中には道路のつ(吊)り橋もできる予定で、鉄道を先に完成させたところがミソである。

人口600万のスイスでは、ヨーロッパの南北交通のために、我が国の青函トンネルよりも長い鉄道専用のアルプスベーストンネルを建設して、客貨車とともに自動車を人や貨物を乗せたまま鉄道で輸送することになっている。

このような大型プロジェクトが鉄道の負担だけでできるわけがなく、利子の付く金で建設したら、永久に黒字にならないことは明白である。社会が必要とする資金を堂々と要求することも我々の仕事で、我が国でも、運輸省と建設省の統合でこの可能性がにわかにならなくなった。

鉄道への期待と技術の展望

成戸昌司*

1. ま え が き

鉄道の高速度化、快適化、安全性向上、効率化、これらは21世紀に向けた鉄道技術開発の在り方を示した運輸技術審議会答申(1994年6月)における重点技術開発課題である。そして、新しい体制で意欲的なJRやそれに刺激を受けた民鉄など鉄道各社によって、これら課題に対する積極的な取組が行われてきた。

高速化は、その中で、最も華やかな成果を出している。交流電動機駆動方式の導入を始めとする電氣的・機械的システムチェンジで車両の軽量化・高性能化・低騒音化を行い、270~300km/h運転を実現した新幹線とその象徴として、在来線でも、振り制御や操舵機能導入による曲線通過速度向上とブレーキ粘着性能改善などによって運転速度の向上が行われた。また、21世紀の高速鉄道として期待されている磁気浮上式鉄道も、山梨リニア実験線で550km/hの目標速度が達成され、営業線建設に向けた技術課題への試験が進んでいる。

当社は、これら鉄道各社のニーズにこたえた製品の開発を進めてきたが、前述の答申にもあるとおり、我が国国土の更なる発展と豊かな社会を構築する基盤として、鉄道への期待は今後一層大きくなるものと考えられる。ここでは、より魅力的な21世紀の鉄道を展望するとともに、当社の取組について基本的な考え方を述べる。

2. 鉄道の現状と今後の展望

2.1 発展する鉄道

鉄道会社や関係メーカーの努力は、高速化以外の重点課題でも多くの成果を出しており、鉄道の発展を支えている。

快適性に関しては、車両や駅設備のレベルが大幅に向上しているのを始め、大きな課題であるラッシュ時の混雑緩和のために、多扉・広幅扉などの各種車両、列車の増結・増発などを可能にする運転システムの開発や複々線化工事などの量的改善だけでなく、着席率向上や通勤時間短縮といった質的改善、すなわち二階建て車両の投入や新しい直通ルートの設定などが積極的に行われている。また、都市間での利便性向上で高い評価を受けている新幹線と在来線の直通運転、乗客の利便性を第一に考えた柔軟性のある列車ダイヤの設定や鉄道による空港アクセスがある。

鉄道を支える安全対策として、新しい保安装置の開発や

信号システムの電子化、障害物検知装置の設置を始めとする踏切設備の改善に大きな投資が行われ、運転事故や踏切事故が大幅に減っている。また効率化の面では、重要な経営課題である保守に対して、超音波による自動計測やカメラ映像の画像処理による機械化などに積極的な投資が行われると同時に、駅における社会設備として自動改札機や券売機も定着している。

2.2 これからの鉄道とそのニーズ

目前に迫った21世紀に向けた技術開発に当たっては、これからの世界や経済・社会環境を展望して、①環境問題、②利用者本位、利用者による選択、③コスト、を特に重要なキーワードとしてとらえたい。

①は、新しい世紀に特に求められる、すなわち20世紀の技術が社会にもたらしたいろいろなひずみを解決し、達成していないことをやり遂げる重要な課題、②は、高度成長を遂げて成熟した社会における市場の要求であり、③は、課題に対する技術開発も実社会が受け入れるコストで実現させねばならないと言えるものである。

元来、鉄道は、各種交通機関の中でエネルギー効率が高く二酸化炭素排出が少ないなど、環境適合性に優れていると言われてきているが、今までの成長社会では十分に浸透できたとは言えず、逆に、大気汚染、交通渋滞、交通事故、騒音・振動など、特に都市部での交通環境問題が深刻化している。

この最重要課題に対する解決策を、新しい世紀で見出すためには、

- (1) 鉄道の環境適合性を更に高める、すなわち、地球環境に関するエネルギー効率だけでなく、騒音・振動などの沿線環境、高齢化や人口減少などの労働力・社会環境への対応力をより一層強める。
- (2) 他の交通機関との比較において“より利用される鉄道”にする、すなわち、利用者の多様化・高度化するニーズ、特に交通のネットワークとしての視点及び高齢者・弱者に対する視点を強めたサービス水準の向上を図る。
- (3) これらを社会や利用者が受け入れるコストで実現する、すなわち、鉄道の競争力を高めるために、製造から経営までのトータルコスト、ライフサイクルコストの低減を図ることが重要である。

以上の視点に鉄道の根本である安全性を加えて、これからの鉄道に要求されるニーズを図1に示す。

3. 三菱電機の取組

従来、鉄道は国土形成の基軸として着実に開発されてきたが、安全を第一優先とする宿命から、その技術は経験工学的な要素が強いと言われてきた。近年のエレクトロニクス技術の進展が、鉄道にも多くの技術革新をもたらしてきているが、どちらかといえば個々のサブシステムについて、各々の実績と経験を踏まえて各ニーズに対応した技術開発を先行させてきた面も否めない。

しかし、これからの鉄道ニーズにこたえていくには、

- (1) 利用者は、各サブシステム個々の機能達成だけで決して満足するものではなく、車両や駅を含めた鉄道のシステムとネットワークとして、安全、正確さ、速さ、快適さ、便利さを求めている。
- (2) 各サブシステムごとのコスト低減努力が必ずしもトータルコストの低減に結び付くとは限らない面もあり、システム全体のコストパフォーマンスを最適化することが重要である。

などの認識を基に、トータルシステムとしての取組が不可欠である。

このような視点から、当社は、長く培ってきた経験豊富な鉄道技術、20世紀最大の発明と言われる半導体とその応用における新世代最先端技術を基盤として、

- 広い分野でこれからの中核となる“情報技術”
- 必要な全体機能の達成を、許されるトータルコストで実現する“システム技術”

をこれからのキーテクノロジーとして加え、これまで鉄道各社が行ってきたシステムの最適化にメーカー自らも取り組み、ニーズの実現に貢献していきたいと考えている。

例えば、省エネルギー化に関しても、深く関係している車両性能／運行パターン／電力供給制御を協調のとれたインテリジェントシステムとして、かつトータルシミュレーション技術を高度化させ、システム設計と効果の把握を容

易にすることで、鉄道の特長をより高めることができる。

また、鉄道会社は、経営コスト低減と労働力問題対策として保守の革新を重要課題に掲げ、車両機器の省保守化、保守検修設備の自動化・機械化など、並々ならぬ努力を払っている。各機器のエレクトロニクス化とインテリジェント化を進めるとともに、地上と車上の情報伝送を駆使したシステム化を行い、機能分担の最適化と全体の効率化を図ってこれにこたえていきたい。さらに保守そのものの効率化だけでなく、保守をよく考慮した設計、設計設定寿命に沿った保守など、設計と保守との密接化も重要であり、この観点から、メーカーとして保守への取組も今後の課題としてとらえている。

トータルコスト低減についても、多様なニーズへの対応と技術・製品の標準化の両立、ライフサイクルアセスメント(LCA)の展開など、システム技術が重要な役割を果たすものと考えている。

4. 車両システム

'70年代以降、エレクトロニクス先進技術の導入によって鉄道車両は飛躍的に発展してきた。ただ、どちらかと言えば、各サブシステムが、個々に求められる性能と機能を最大限に発揮し、かつ省エネルギー、省保守化などを実現するようまい(邁)進してきたと言える。したがって、利用者や運行側から見て相互に関連したシステムとしての満足度や、運転や保守を含めた車両トータルコストの点で、最適化すべき課題が少なくないと言える。

この点で当社は、進歩の著しい情報制御技術を応用した車上情報システムを核として、車両の各サブシステムを機能統合し、列車単位、車両システム全体としての最適解を常に求め、無駄のない、かつ柔軟性のあるシステム構築を目指している。

4.1 推進制御・ブレーキシステム

電動機の駆動方式に革新をもたらしたVVVF(Variable

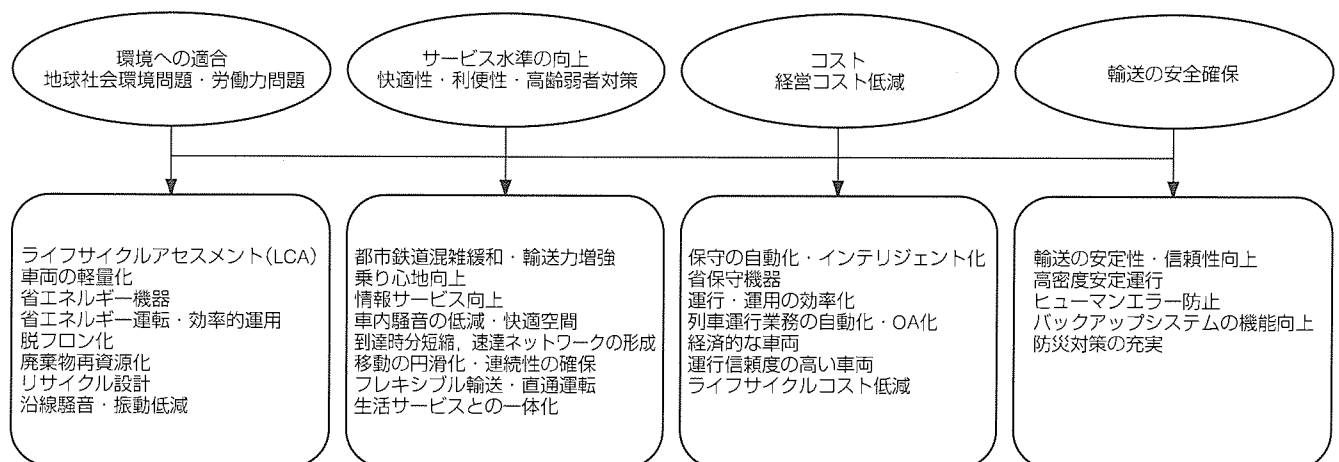


図1. 鉄道に要求されるニーズ

Voltage Variable Frequency)インバータ制御方式が定着しているが、前述の鉄道ニーズに向けて、より一層の小型・軽量化、高効率化、省保守化、快適性向上を経済的に実現するため技術開発に取り組んでいる。

主役である半導体はインバータの発展を支えてきたGTO(Gate Turn-off Thyristor)から高速動作/低損失のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)へと移行しているが、当社は、“システム化”の方針から“システムオンチップ”“インテリジェント化”の設計思想を展開して、IGBTに最適設計された駆動機能と保護機能を集約したIPM(Intelligent Power Module)を戦略素子として開発して実用化し、装置の簡素化と高信頼度化を進めている。特に、周辺要因による素子故障をなくすことで、車両の運行信頼度向上を可能にしている。

制御技術の面では、車両性能や低騒音快適性向上のための高周波変調制御、速い応答と安定性の高いベクトル制御、知能型高粘着制御などの高度化に取り組んでいるが、車両の保守で大きな比重を占めているブレーキシステムの革新、ライフサイクルエネルギー(LCE)の大部分を占めている走行エネルギーや乗り心地の面での車両システム最適化などの出発点の一つとして、電気ブレーキ域の拡大と純電気ブレーキ化にも注目している。

4.2 車両情報管理システム

当社は、車載電子機器の状態監視、故障記録機能を主とした車両モニタリングシステムを初めて実用化して以降、乗務員に対して運行情報の提供や自動入力、異常発生時に状況や処置要領を表示する運転支援機能、各機器自己診断機能と協調をとった車上試験を含む検修支援機能、及び乗客に対する行先・運行案内情報サービス機能を拡張し、車両インテリジェント化の核として先行発展させてきた。

この豊富な実績と最新技術の導入によって、車両に求められる安全性・信頼性を満足する車両情報技術を確認させ、“列車・車両のシステム化”を強力に推進している。すなわち、情報ネットワークによって各サブシステムの機能統合と有機的結合をより一層進め、地上設備との連携を含めた総合的なインテリジェント化を担う“車両統合管理システム”として、その確立と定着化に取り組んでいる。

車両制御信号の伝送化による電線の大幅削減、各機器との機能統合とインタフェース簡略化は車両の軽量化とコスト低減を進め、出庫時の運転整備操作自動化、動態記録の予防保全応用、地上-車上間移動体通信・画像伝送は検修機能の省力化や情報サービスの高度化を進め、車両の省エネルギー化や保守の革新に貢献できるものである。

4.3 補助システム

補助電源は、IPM素子応用や制御技術の高度化によって小型・軽量化、低騒音化を進めるとともに、車両駆動用インバータとの一体化・部品共通化、車両情報管理システム

を介した列車編成としての最適制御などで、車両のシステム化に向けた技術の展開を行っている。

快適性にかかわる重要要素である車両空気調和装置では、非特定フロン化、省エネルギー化、低騒音化の環境対策を始め、車両情報管理システムとの協調によって制御のインテリジェント化を進め、快適さの質的向上を図っている。

5. 情報制御・通信システム

5.1 列車制御・運行管理

新しい列車制御の方法については、世界的に次世代システムの開発が動き出している。当社も、鉄道各社の開発プロジェクトを始めとして、列車制御技術・通信技術・情報処理技術を組み合わせた総合的なシステム構築に参画し、高密度輸送を実現する手段の開発を行っている。

安全の基盤である信号システムにおいても、汎用技術の進歩によって信頼性、RAS機能、保守性や性能が向上するとともに、デジタル化によって列車検知や信号保安用を盛り込む多重高速伝送が出現し、地上-車上間双方向伝送が可能となるなど、新しいシステム構築が始まっている。

また運行管理システムは、周辺の業務や信号システムと有機的に結合する方向に向かっており、周辺業務を支援するシステムとして、運転整理支援、列車ダイヤ作成システム、乗務員運用作成システム、車両運用作成システムなど充実を図っている。

5.2 通信・伝送・マルチメディア

携帯電話などの普及が加速化されているように、最近の通信技術の発展は目覚しく、特に無線設備を応用したシステム化が指向されている。列車無線は、デジタル化に伴う高機能化により、通話に加えてセキュリティやデータ伝送を組み込んだ高付加価値化が可能となり、ミリ波を用いた列車と地上の双方向動画伝送は、ホーム監視映像の車両内表示による安全対策を可能としている。

また各駅を結ぶ情報伝送としては、大量の画像・音声・データを含めたマルチメディア伝送を実現するため、多様な端末のインタフェースを直接収容できる高速LANを市場に投入し、ネットワークの整備向上を図っている。

6. 鉄道設備管理システム

6.1 情報管理・設備管理・電力管理

情報処理技術の発達により、従来の工業用コンピュータ、伝送装置、コントローラなどの組合せから、ワークステーション、パソコン、LAN、シーケンサなど汎用情報処理装置によるシステムに移行しつつある。すなわち、ハードウェアの処理能力向上と価格低下、ソフトウェアの開発環境や関連ソフトウェア技術の拡大に伴って汎用製品によるシステム構築が可能になるとともに、従来のリアルタイム性を確保しながら情報処理が可能となり、システムの便利

性が飛躍的に向上している。

電力管理システムでは、シーケンサを基本制御装置としてLAN接続によって情報集約を行い、中央のワークステーションやパソコンで監視を行う簡易的なシステムが実現されつつあり、監視だけではなく、作業申込みソフトウェア(イントラネット対応)や設備資産管理全体を組み込む方向へのシステム拡大も行われている。

また、保線設備管理システムや電気設備管理システムなどのマルチメディアハイパーリンクを利用した資産管理システム、クライアント/サーバ方式として使用するアプリケーションを問わない不特定メディアを保管参照できるオープンな環境に適した図面管理システムなど、将来の鉄道CALSへの技術の蓄積も着実に進めている。

6.2 環境制御・防災・保守保全

トンネル内の気流や熱の評価を行うツールとして定着してきたSES(Subway Environmental Control Simulation)の活用を含め、設備容量の設定や防災シナリオ別の排煙・換気制御モードのアルゴリズムを算出して防災・環境制御システムを構築しているが、最近特に安全面でも注目されているホームドアの設置検討などに威力を発揮している。さらに、鉄道機械設備管理システムの構築には、設備のライフサイクルリエンジニアリング、すなわち、監視制御/保守保全/資産管理を一連の情報技術によってシステム化し、設備管理業務のプロセス改善を行っている。また、エキスパートツールによる故障診断と予知システムの構築、モバイル機器を利用した設備点検情報のペーパーレス化、鉄道会社や関連保守会社を含めた保守ネットワークの構築を行い、迅速な連絡による設備のダウンタイムの削減や保守業務の連携などの効率化を図っている。

6.3 基地管理

基地や工場の管理業務を、基地内運行に関するシステムと保守保全を主体としたシステムに区分けして、車両基地・工場統合システムの推進を行っている。基地内運行に関しては、新幹線構内作業計画システム、在線表示装置や無人自動回送システムがある。また、検車場における車両管理は、車両の運行状態を車両情報管理装置を通じて地上システムへ自動的にデータ伝送することで、保守保全情報のオンライン化が可能となっている。検修機械からの測定データは、携帯端末による入力と構内デジタル無線電話のネットワークを経由したデータ通信などで、サーバへの保管や加工を実施し、自動判別や予知などに活用するシステム化を実現している。

工場や基地におけるエネルギー活用については、エネルギーシミュレーション技術の確立によって、コジェネレー

ションによる利用効率の拡大、ヒートポンプによる排熱利用、さらには太陽光発電といった新エネルギーの応用提案など、ユーティリティ管理システムの導入からエネルギーマネジメントへの対応を行っている。

6.4 サイバネティックス機器・検修近代化・防音パネル

駅務機器システムとして長年の実績がある定期券発行機技術を基に、非接触ICカードを利用した新しい出改札システムについて、国内の標準化推進機関に参画して関連機器の開発を行っている。

車両保守の近代化を図るシステムとして、当社は、パンタグラフ擦り板計測装置や車軸自動探傷機などの超音波技術応用製品、画像処理技術を応用した車輪踏面形状計測装置や車両屋根上監視装置などを多数納入し好評を得ているが、異音診断技術を利用した各種回転機械部の診断装置、締め付け部や張り合わせ部の緩み発見装置の開発と製品化を進めている。

また、沿線環境問題対策として、鉄道沿線住民への騒音軽減効果の高い吸音プラスチック防音壁を開発して実用化しており、設置場所が着実に延伸している。

7. 超電導磁気浮上式鉄道

時速500kmで走行する21世紀の高速鉄道の実現に向けては、山梨リニア実験線の走行試験で今までの開発成果を検証している。主役である超電導技術は、他の分野での応用を含めて21世紀を開拓する重要技術とも言われており、その経済的実用化のために設計手法の確立と各要素技術の開発を進めている。また、地上制御を主体とするこのシステムは、地上-車上間の信号伝送・通信技術はもとより、運行、保安、列車駆動においても情報技術が重要な役割を担っており、在来鉄道での開発成果の展開を図っていく。

8. むすび

昨年11月の世界鉄道研究会議(WCRR'97)においては、“競争力と生産性が高く環境を尊重する21世紀の鉄道”が基本テーマとしてうたわれた。そして鉄道は今、情報技術の進歩とあいまって、そのシステム技術が目覚ましい進展を遂げつつある。製品開発から多様なニーズに対応する複合システムへの統合があり、リエンジニアリングのツールを始めとする業務プロセス改善も進んでいる。

当社は、高齢化・少子化を含む21世紀の環境問題を始め、交通利用者のニーズと実現するコストを十分認識した上で、鉄道を新しい時代を担うサービス事業へ転換を進める鉄道各社の要求にこたえるため、技術開発をより一層強力に進めていく所存である。

車両システムの統合化と最適化

四方 進*
本間英寿*

要 旨

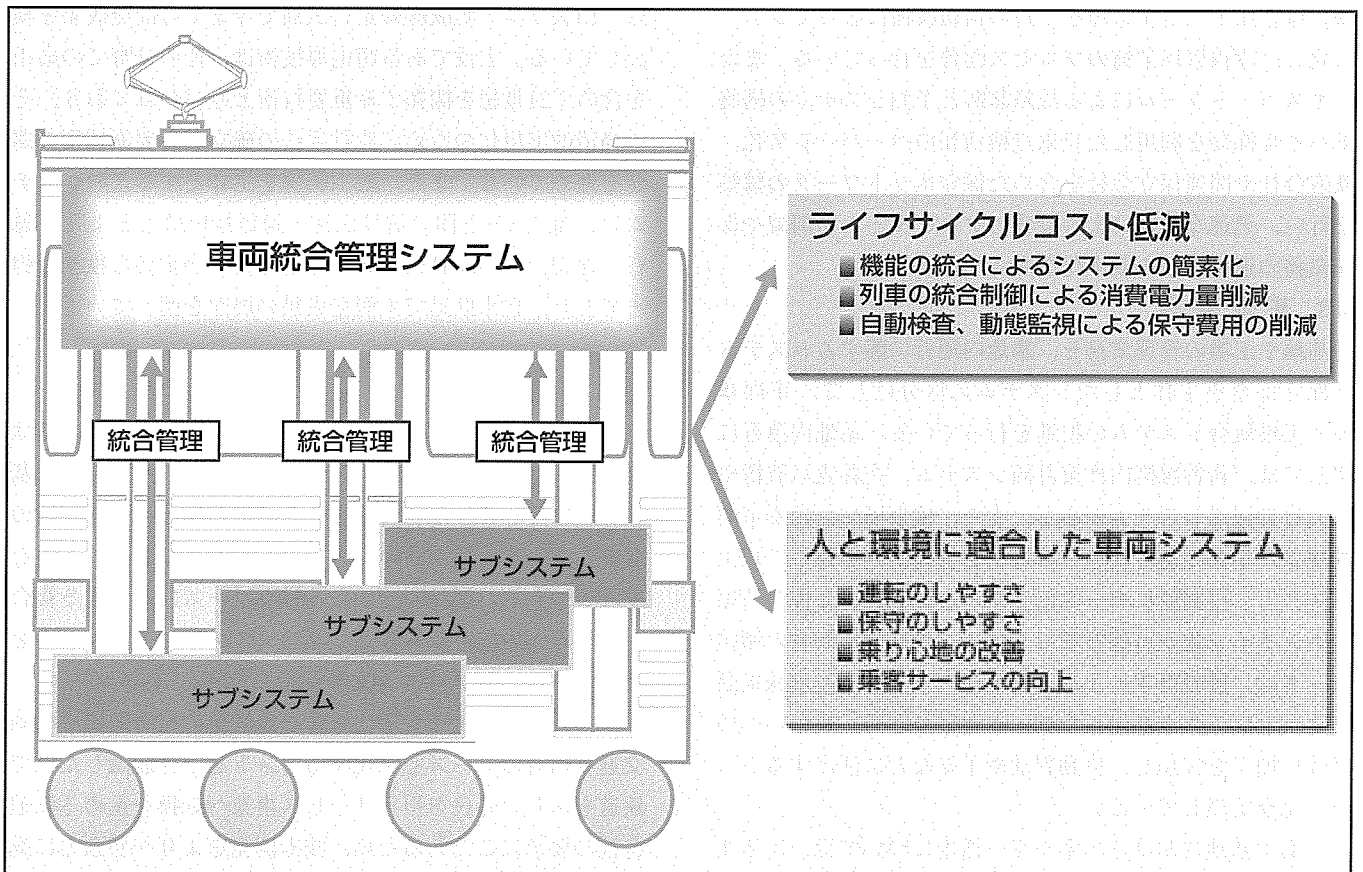
車両システムに対する事業者の要求は、個々のサブシステム又は装置が本来果たすべき機能、役割に関する技術的側面に加えて、乗客サービスの向上を含めた鉄道の経営的観点からの要求が増えつつある。これに伴い、メーカーでも、事業者のニーズを的確に把握した上で要求性能を満足し得るトータルシステムの提案とそれを実行し得るシステムインテグレーション(統合化と最適化)能力が必要となる。

21世紀の車両システムを目指して、乗客・乗務員そして保守員などの直接車両に接する“人や環境に対して優しい車両”であると同時に、“ライフサイクルコストの低減が可能な車両”が車両システムの統合化と最適化によって実現されつつある。

この車両システムの統合化と最適化を具現できる手段が、技術的に深度化された個々のサブシステムとともに、これらを統合する車両統合管理システムである。

車両の情報システムは、運転支援機能・検修支援機能・乗客サービス機能を備えたモニタ装置を第一世代として、これに制御指令伝送機能・自動車上試験機能を追加した第二世代の制御情報管理装置となり、最近は、これらの機能に加えてサブシステムの統合管理と機能分担の最適化を図った車両統合管理システムが第三世代として登場しつつある。

この車両統合管理システムでは、車両システムを制御機能面から幾つかのサブシステムに分割し、これらを列車トータルで制御する。したがって、これまで各装置が独立に行っていた制御機能をマイコンのソフトウェア論理と直列伝送機能を用いて統合制御することにより、機能を向上させながら部品数や配線の無駄をなくし、車両システムとしての最適化を図っている。



車両システムの統合化と最適化

三菱電機では、車両情報システムのパイオニアとして、第一世代のモニタ装置、第二世代の制御情報管理装置を製品化してきたが、21世紀の車両システムを目指して、列車を総合的に制御する車両統合管理システムを第三世代の車両情報システムとして開発しています。

1. ま え が き

これまで“車両システム”という概念はVVVF (Variable Voltage Variable Frequency) インバータに代表される車両の推進制御システムを指すことが多く、例えば電車においては、経済性や粘着性能に関連して電動車／付随車比率やインバータの制御方式を中心にその議論が展開されてきた。しかしながら最近では、モニタ装置から発展した車両統合管理システムを頭脳及び中枢神経として、手足に相当する推進制御システムや空調、補助電源システムなどのサブシステムを有機的に結合したシステム全体を車両システムと呼ぶのがふさわしい。これからの車両システムでは、各サブシステム固有の機能の高度化・深度化が要求されるとともに、この車両統合管理システムによって乗客・乗務員・保守員などの“人と環境に適合した車両”と、経営的観点から新製費用と保守費用を総合的に考慮した“ライフサイクルコストの低減が可能な車両”を目指してシステムの統合化と最適化が図られつつある。

本稿では、車両統合管理システムによる車両システムの統合化と最適化についてのコンセプトについて紹介する(図1)。

2. これからの車両システム

2.1 車両システムへの要求の変化

最近では、新車設計時における車両システムに対する事業者の要求は、個々のサブシステム又は装置が本来果たすべき機能・役割に関する技術的側面に加えて、乗客サービスの向上を含めた鉄道の経営的観点からの要求が増えつつある。すなわち、従来のサブシステム、装置ごとの個々の詳細技術の記述、指定から信頼性、運用効率、省エネルギー性など、経営指標に直結するシステムとしての性能仕様の提示に変化しつつある。これに伴い、メーカーでも、事業者のニーズを的確に把握した上で要求性能を満足し得るトータルシステムの提案とそれを実行し得るシステムインテグレーション(統合化と最適化)能力が必要となる。

21世紀の車両システムを目指して、乗客・乗務員・保守員などの直接車両に接する人や環境に対して適合した車両であると同時に、事業者の経営の本質要求事項であるライフサイクルコストの低減が可能な車両が、車両システムの統合化と最適化によって実現

されつつある。

この車両システムの統合化と最適化を具現できる手段が、技術的に深度化された個々のサブシステムとともに、これらを統合する車両統合管理システムである。

2.2 人と環境に適合

車両の騒音や振動の低減については車体・台車・各機器の構造設計やインバータ駆動の際の磁わい(歪)音の低減方法に依存するところが大きいであるが、車両統合管理システムにより、車両の編成全体にわたって各ユニットを統括制御することによって乗り心地を改善することが期待できる。人に対する適合性で車両統合管理システムに最も期待されるのは、乗客に対する音声や画像による各種情報提供サービスの向上と、乗務員及び保守員にとって運転しやすく保守のしやすい車両システムの実現である。

2.3 ライフサイクルコストの低減

車両関連のライフサイクルコストには、大別して、①車両とその予備品や試験装置などの初期設備投資コスト、②乗務員の人件費や電力料金などの維持コスト、③定期予防保守及び不定期の故障復旧費などの保守コストとリサイクルコストがある。

このうち初期設備投資については、これまで車両システムの各機器ごとに分散していた制御機能を統合化して情報を一元化することにより、今まで実現できなかった機能を実現可能にするとともに、システムとして最適化・簡素化することによってトータルコストの低減が可能となる。

保守コストに関しては、車両統合管理システムの車上検査機能を拡充することによって車両総合試験装置や各機器の単体試験器が不要となり初期設備投資額が抑制されるとともに、定期検査における省力化が可能となる。

また故障対応での不定期保守に関しても、各機器の故障情報を吸い上げて車両統合管理システムそのもの又はオンラインで直結した地上検修システムに情報伝送することに

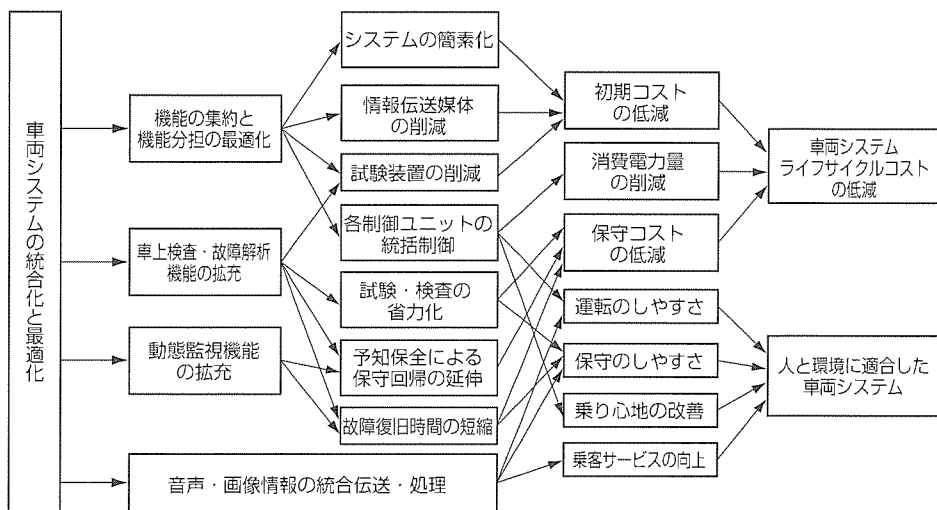


図1. 車両システムの統合化と最適化

より、故障内容を解析して乗務員や保守員に対して的確な処置をアドバイスし、車両の運行障害を軽減し、故障復旧時間を短縮することが可能となり、車両の運用効率を高めることができる。またこの機能は、センサの小型化・高性能化とあいまって、常時の動態監視機能に発展させることによって、従来の定期的予防保全の考え方から予知保全の考え方を導入して、保守回帰の延伸による定期検査費用の削減を目指すことが可能となる。

3. モニタ装置から車両統合管理システムへ

(1) モニタ装置

各車に搭載された伝送端末装置により、車両内の各機器の動作を監視する。モニタ機能のほかに、車内案内表示装置や空調装置等の乗客サービス機器の遠隔制御機能を持っている。乗務員及び検修係員の支援機能の向上による車両運用と検修作業の効率化を目的とする。

(2) 制御情報管理装置

モニタ装置の機能と制御伝送機能(運転台から各車への制御指令の伝送機能)を統合する。伝送を多用することによる車両間配線の削減と、制御伝送機能とモニタ機能を組み合わせた自動車上試験による保守の省力化が特長である。

(3) 車両統合管理システム(TIS)

TIS(Train Integrated Management System)は、制御情報管理装置を以下の点で更に発展させたシステムである。

(a) 車両間配線の削減

車両間の電線本数の削減により、電車の製作コストの低下、保守の省力化、車体の軽量化が図られ、電車のライフサイクルコストが低減される。

(b) 車両の制御論理部品・配線の削減

従来、リレー及び個別の配線で構成されていた車両の制御論理機能をTISに統合することにより、車両部品と車両内配線が削減される。

(c) 統合管理

モニタ装置と制御情報管理装置では、制御の対象が個別の装置であった。TISは、関連する機器をサブシステムとして統合し、これらのサブシステム及びサブシステム間のインタフェースを対象とする制御(以下“統合管理”という。)を行う。これにより、制御システムの安全性・信頼性の向上と自己診断機能の向上が図られている。

4. 車両統合管理

4.1 統合管理機能

TISの統合管理機能の対象は、VVVFインバータ装置や静止形変換装置(SIV)という個別の装置ではなく、車両システムを制御機能面から幾つかのサブシステムに分割したものである。TISの機能は、こ

れらに対してどのような制御・監視を行うかという観点から定義される。

車両システムは次のサブシステムに分割できる。

DC：運転台(Driver's Cab)

SE：信号保安装置(Signal Equipment)

HV：高圧機器(High Voltage system)

PR：推進制御装置(Propulsion system)

BC：ブレーキ装置・圧縮機(Brake & Compressor)

AP：補助電源装置(Auxiliary Power supply)

CE：車体電気装置(Carbody Equipment)

各サブシステムを構成するハードウェアと、関係するTISの機能の例を表1に示す。

4.2 統合管理制御の特長

TISの制御機能の特長を以下に例を挙げて説明する。

(1) 列車トータル制御(全体を統括する最適制御)

列車の力行とブレーキ制御を例にして述べる。TISは、乗務員又はATC/ATO装置からの運転指令を受けて、列車全体の力行とブレーキ力制御を行う。これにより、列車としての回生ブレーキ力の有効活用、列車の加減速度の安定したきめ細かな制御、ブレーキ不足故障時の編成としての不足ブレーキ力補償等のメリットが得られる。

(2) 応答確認制御(制御の各段階で制御の応答確認をとる制御)

車両の立ち上げ/泊車制御を例に述べる。車両の運転準備時に、乗務員が運転台のパンタグラフ上げボタンを押すと、パンタグラフ上げを指令し、その後、SIVを起動させ、次に照明・空調等の電源を投入する。泊車時には、乗務員

表1. 各サブシステムのTISによる制御機能例

略号	ハードウェア	TIS制御機能
DC	前後(方向)切替器 運転モード切替スイッチ 主幹制御器 ランプ、ブザー、メータ	運転台の起動(先頭車・後尾車決定) 進行方向の決定 運転指令論理の作成 デッドマン機能 ランプ、ブザー、メータ制御
SE	ATC(自動列車制御)装置 ATO(自動列車運転)装置	ATC/ATO装置と車両搭載各機器とのインタフェース・運転制御論理
HV	パンタグラフ 高速度遮断機(HB) 主回路/補助回路断路器	パンタグラフ上げ/下げ制御 HB入り許可制御 パンタグラフ制御安全インタロック
PR	VVVFインバータ モータ	力行・ブレーキ制御 VVVFインバータのリセット・開放 車輪径補正
BC	空気ブレーキ制御装置 空気圧縮機 非常・保安ブレーキ	電空ブレンディング制御 空気ブレーキの遠隔開放 空気圧縮機の運転制御
AP	SIV装置 バッテリー 延長給電(電源誘導)回路	SIV装置の起動・停止 バッテリー電圧の監視 SIV故障時の延長給電・負荷制限制御
CE	空調/暖房装置・換気装置 照明装置 乗客案内表示装置	空調/暖房装置・換気装置の制御 照明装置の制御 乗客案内装置への情報提供

が運転台のパンタグラフ下げボタンを押すと、上記の逆の手順で、パンタグラフを下げるまでの一連の制御を自動で行う。ここで、TISはこの制御の各段階で異常有無を検出し、異常がある場合には指令を元の状態へ戻し、かつアラーム表示を出して乗務員の操作を待つ。これにより、制御の安全性と異常時の原因検出の容易化を図っている。

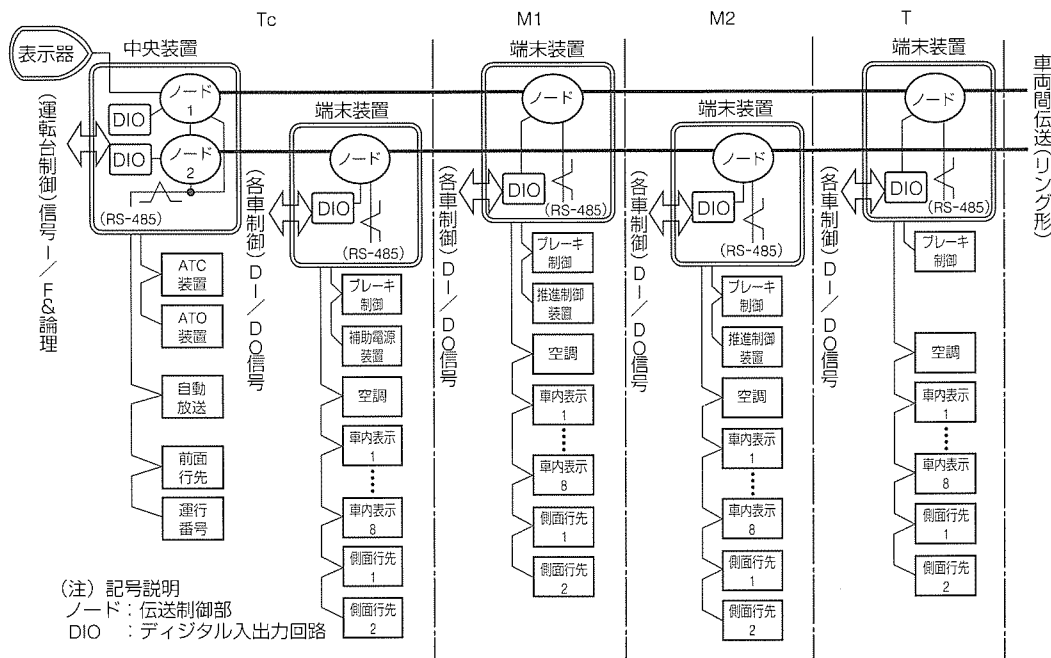


図2. TISシステム構成例

(3) 安全インタロック

ク(列車の安全条件をチェック)

車両の力行指令を例に述べる。TISは、力行を指令するに当たり、ドアの開閉状態、ブレーキ故障、保安ブレーキ動作、車両が試験中等の動作関連条件を漏れなくチェックして力行を許可する。これにより、従来ハードウェアの制約から不可能であったきめ細かな安全機能を、TISのソフトウェア論理で盛り込むことができる。

4.3 車両システムの最適化

TISは、従来各機器が独立に行っていた制御機能をマイコンのソフトウェア論理と直列伝送機能を用いて代替・統合することで、機能を向上させながら、一方で部品数や配線の無駄をなくし、車両システムとしての最適化を図っている。

5. TISの構成

8両編成の地下鉄電車の半分、4両の場合を例にとり、TISのシステム構成を説明する。

図2は標準的なTISのシステム例である。

(1) 車両間伝送

車両間伝送は、2.5Mbpsの速度で左右両回りでデータを伝送できるリング形としている。リング形は、1か所の障害でシステムの伝送経路が分断されることを防止する最もシンプルな方式である。

(2) 車両内伝送

車両内伝送は、最大伝送速度を1MbpsとしたRS-485規格の信号を用いたバス形としている。このRS-485バスは、機器の特性や要求される伝送速度が異なるグループ別(推進制御装置、ドア、案内表示器、放送装置等の数グループ)に分けて、車内配線長を最小とするように機器間を中継し

て接続する。

(3) 中央装置・端末装置

中央装置は運転台及び列車全体を制御する機能を持ち、端末装置はその搭載車両を制御する機能を持っている。中央装置のノードは冗長性から二重系とすることが必要である。端末装置のノードは通常は一重系である。

(4) 運転台表示器

乗務員への表示と操作入力に使用するもので、タッチスクリーン入力機能付きのカラー液晶画面が使用される。

6. むすび

今後の方向として、ATO装置、推進制御装置、空調装置等の統合制御による省エネルギー運転、駅の乗客案内や座席予約等の地上側システムとの連携による乗客サービス向上、運転中の自己診断機能の向上による検修の省力化等がある。

これからも車両システムに要求されるニーズにこたえ、TISを中心とする車両システムの統合化と最適化を実現するため、今後とも努力する所存である。

参考文献

- (1) 新井静男, 長谷部和則, 本間英寿, 宮内隆史: JR東日本E2/E3系車両情報制御装置, 32回鉄道サイバネ, 322~325 (1995-11)
- (2) 本間英寿: 鉄道車両における情報システム, 鉄道車両と技術, 1, No.4, 3~8 (1995-11)
- (3) 上野雅之, 中山久仁厚, 本間英寿, 角南健次, 宮内隆史: 700系モニタ装置の設計コンセプト, 34回鉄道サイバネ, 263~266 (1997-11)

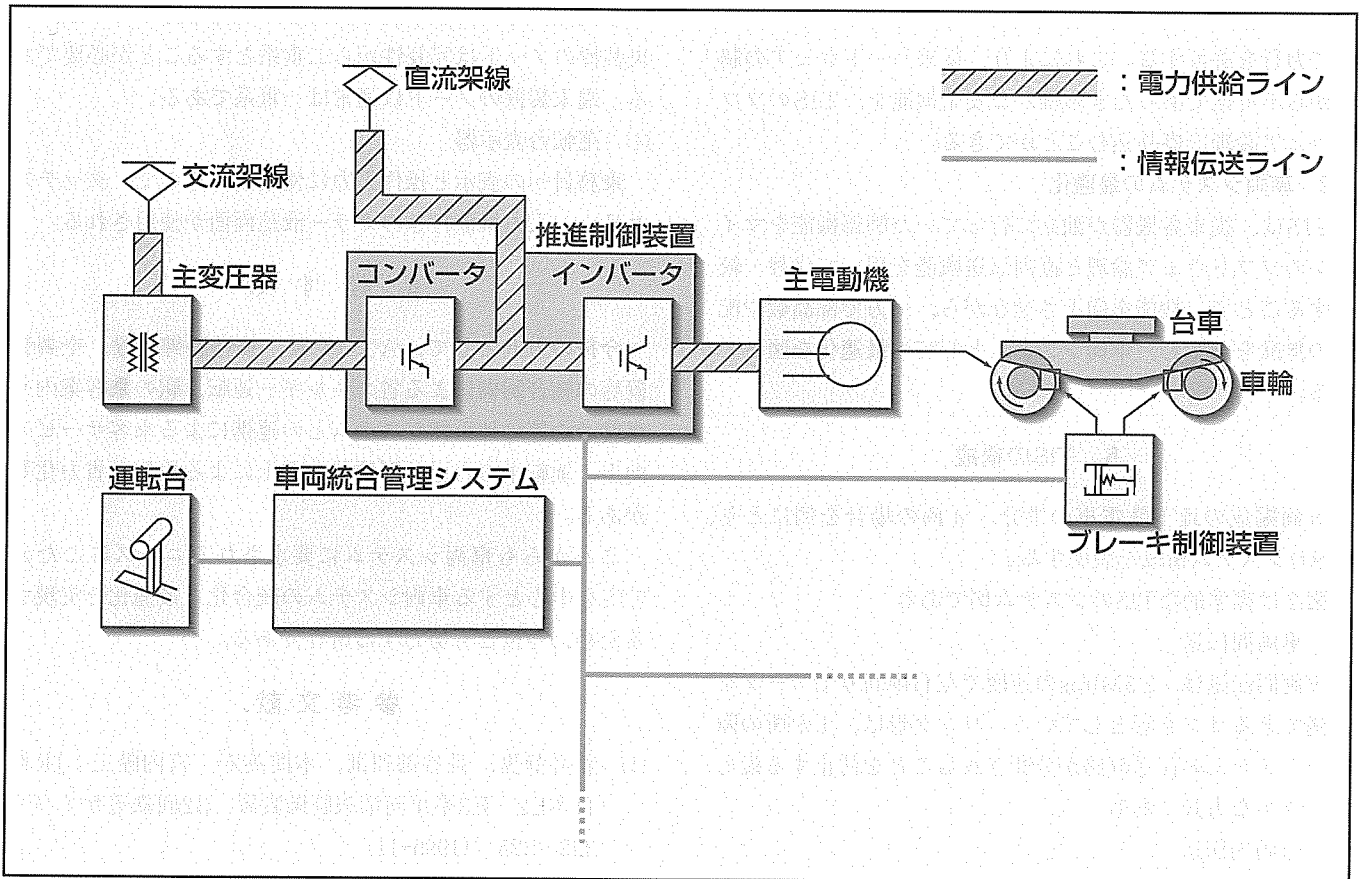
インテリジェント車両推進制御システム

要旨

鉄道車両は、高速化、省エネルギー化、乗客の快適性向上、機器の保守省力化などが要求されてきた。これらのニーズに対し、車両の各サブシステムとして、自動運転装置、推進制御装置、車両統合管理システムなどが広く採用されるとともに、各機器がそれぞれ技術の進歩を遂げている。

推進制御装置では、パワーエレクトロニクスとマイクロエレクトロニクスを応用したVVVFインバータ装置、車両駆動主電動機と交流架線における降電圧用主変圧器に代表されるプロパルジョンシステム、及びメカトロニクスとマイクロエレクトロニクスを応用した空気ブレーキシステムが車両の加速と減速を分担して駆動制御しているが、従来は電気信号のON/OFFとアナログ信号を受け渡すことで

粗なる連携を行っていたが、マイクロエレクトロニクスの急激な進展により、情報伝送によって受け渡しが可能となり密なる連携の時代に入った。三菱電機は、その総合力により、車両統合管理システムを核として車両のインテリジェント化を推進しているが、本稿では、インテリジェント車両推進制御システムと題して、自己保護を可能とした主回路素子“IPM(Intelligent Power Module)”を採用したパワーエレクトロニクス機器であるVVVFインバータ装置、交流架線用のコンバータ/インバータを内蔵した主変換装置、新幹線用主変圧器、マイコン化空気ブレーキの個々の製品の高性能化とインテリジェント化、及びその適用例について述べる。



車両用推進制御システム概念図

図示する推進制御システムは、主回路は電力供給ラインとして理想スイッチに近付き、制御系は車両統合管理システムを神経系として各サブシステム間の情報伝達を行う方式の概念図である。

1. ま え が き

鉄道車両は、高速化、省エネルギー化、乗客の快適性向上、機器の保守省力化などが要求されてきた。これらのニーズに対し、車両の各サブシステムとして、自動運転装置、推進制御装置、車両統合管理システムなどが広く採用されるとともに、各機器がそれぞれ技術の進歩を遂げている。

推進制御装置について、パワーエレクトロニクスとマイクロエレクトロニクスを応用したVVVFインバータ装置に代表されるプロパルジョンシステムと、メカトロニクスとマイクロエレクトロニクスを応用した空気ブレーキシステムのインテリジェント化を中心に、これらのシステム概要と最新技術、及び今後の取組について述べる。

2. プロパルジョンシステム

プロパルジョンシステムは、三相可変速駆動が1982年に日本に導入されて以来、急速に適用が拡大し、現在当社の製作する車両用主電動機の9割以上を交流機が占めるに至った。

三相可変速駆動は、無接点化に伴う保守の大幅軽減、高粘着性能による電動車比率の低減、電気ブレーキ時の高電力回生性能による省電力と経済性の向上、によって鉄道の発展に貢献してきた。

車両用インバータの実用化ばかりでなく、その進歩は、主回路半導体とマイクロプロセッサの進歩に負うところが大きい。最近では、その相乗作用により、導入当初からの課題であった電動機・主変圧器等の磁わい(歪)音、高調波発熱などの大幅な改善が図られたシステムが出現している。

2.1 主回路半導体のインテリジェント化

大容量GTO(Gate-Turn-Off)サイリスタの出現によって実用化が始まった車両用インバータであるが、一般産業用と比較して高電圧用途のため、素子の高速化と低損失化のハードルが高く、産業用に遅れてトランジスタ化さらにIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)化に成功した。

しかしながら、その高耐圧化と車両としての実用化に当たって大きな壁があった。それは、車両用に使用するIGBTは、1,500V以上の耐圧が必要であり、耐圧を高くするためには、シリコンウェーハを厚くする必要があるため素子発生損失が急増する上、スイッチング速度を高くすると dv/dt 、 di/dt の増加によるEMC問題、すなわち車両システムとして重要な信号保安機器への誘導障害を発生させる可能性があった。さらに、そのノイズにより、自己のマイコン制御、主回路素子の誤動作を招くイミュニティ問題を発生させるおそれがあった。

そこで当社は、IGBT素子に電圧電流のスイッチング波形を制御できるインテリジェントドライバ、電流電圧等の異常を検出して半導体を保護停止する機能を内蔵したIPMを車両用に開発して実用化に成功した。これにより、電流・電圧等の外部条件、誤った駆動信号による素子破壊から自己保護することが可能となった。

現在当社は、車両駆動用に1,700Vから3,300V、600Aから1,200AまでのIPMを使用している。

IPMの内蔵機能とその効果を図1に示す。

通常のIGBTはゲート抵抗の挿入によってそのON/OFFするスイッチング速度を一義的に決めているが、IPMの場合は、素子の主回路電流を内蔵するセンス部によって検出してリアルタイムに電流を制御することが可能となった。これを活用して、スイッチング時の電流・電圧変化率を車両システムとして許容し得る値に制限し、信号機器など車両周辺機器とのミスマッチを素子自身が防止しながら、発生損失と素子印加電圧を最適なものに制御可能となった。さらに、低インダクタンス配線技術とコンデンサ技術との複合効果として、素子過電圧を防止するコンデンサ、抵抗、ダイオードからなるスナバ回路を省略できるようになった。

現在、主回路を構成する部品は、半導体素子、冷却器、フィルタコンデンサ、主回路配線板の4部品に集約簡素化でき、IPM素子の採用とあいまって、大幅な信頼性と小型軽量化が可能となった。

2.2 主回路部の高機能高効率化

前項で主回路部品の4大要素部品への集約化について述べたが、主回路半導体以外の部品もそれぞれの機能の最適化・高機能化・高効率化ができた。

以下に、その特長を述べる。

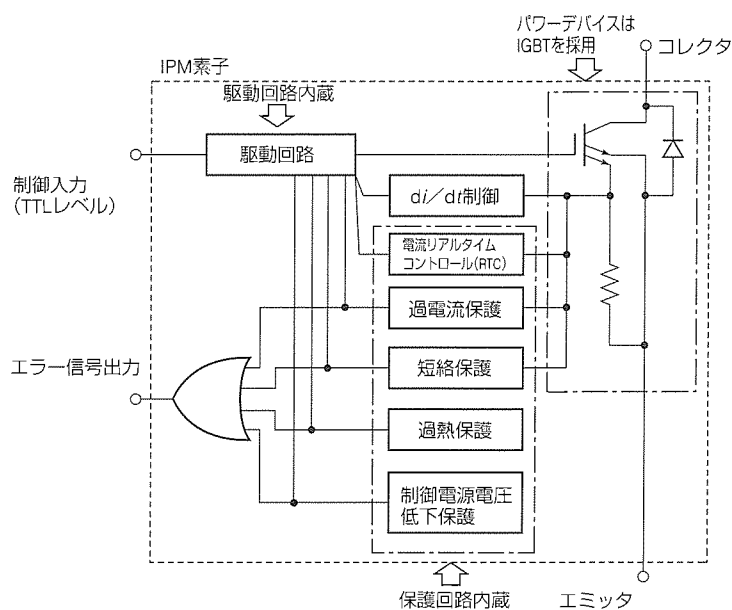
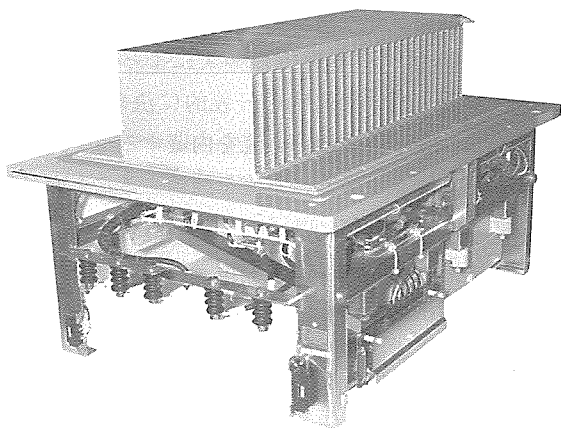


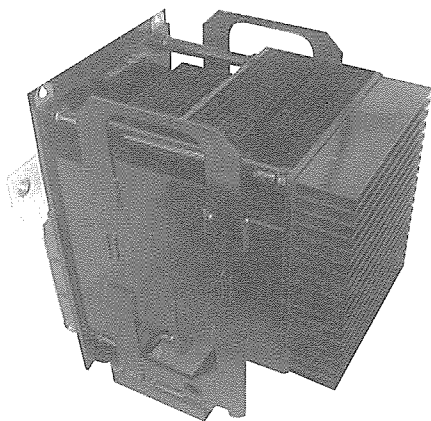
図1. IPMの機能

(1) 冷却器

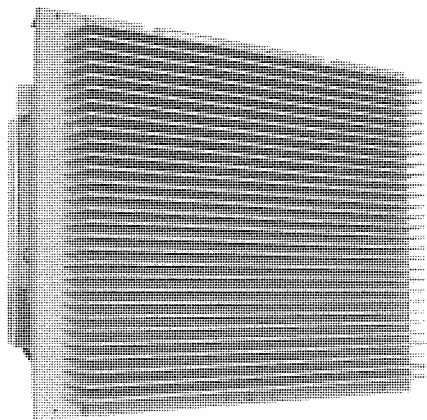
半導体素子を冷却する冷却器は、フロン冷媒の新規使用停止により、新幹線などの大容量では塩素を含まないパーフルオロカーボンを少量使用した素子非浸型冷却器へ、小容量機器では水を冷媒としたヒートパイプ冷却器へと切り換えた。さらに、地球環境への配慮を進めた車両走行風を積極的に活用した走行風自冷と冷媒を使用しないドライパ



(a) 新幹線向け風冷パネル



(b) 走行風冷却沸騰パネル



(c) ドライパネル

図2. 半導体冷却器の外観

ネル冷却フィンを車両用に使用可能な大型パネルを開発した。新幹線向け風冷パネル、地下鉄用在来線用大容量走行風冷却沸騰パネル、ドライパネルの外観を図2(a)~(c)に示す。

(2) DCフィルタコンデンサ

DCフィルタコンデンサは、電圧型インバータを構成する現状においては不可欠である古典的な要素部品であるが、近年急速な改良がなされた。車両用には、蒸着タイプのフィルムコンデンサを使用しているが、蒸着時に保安機構を作り込んだ製品が各社から供給されるようになり、フィルム厚さを薄くでき、コンデンサ単器容量を1けた多くできるようになった。さらに、内部配線構造の改良により、浮遊インダクタンスを50nH程度のものが実用化され、パワー半導体との一体化によってスナバ回路を省略することができた。

(3) 主回路配線板

従来は、パワー半導体間とDCフィルタコンデンサの接続には、導体バーを組み合わせて使用していたが、導体プレートに近接接着した主回路配線板を開発し、低インダクタンスで、かつ工作性の大幅な改善を達成した。

これら4大部品を組み合わせたパワーユニットの外観を図3に示す。

2.3 制御のインテリジェント化

車両用推進制御は、マイクロプロセッサの急激な技術革新によって進歩し続けている。

車両用は、一般産業パワーエレクトロニクス用途と比較し、使用環境に難しさがある。すなわち、移動体の車両に設置されるため、広温度範囲、振動、ノイズ環境など厳しい周囲条件が課せられており、それに適用可能なマイクロプロセッサとして、32ビット製品が供給され始めている。

32ビットの高速性を生かした制御及び各種機能の現状を、インテリジェント化に焦点を当てて述べる。

2.3.1 制御の高速化

32ビットCPUを制御に導入することにより、リアルタ

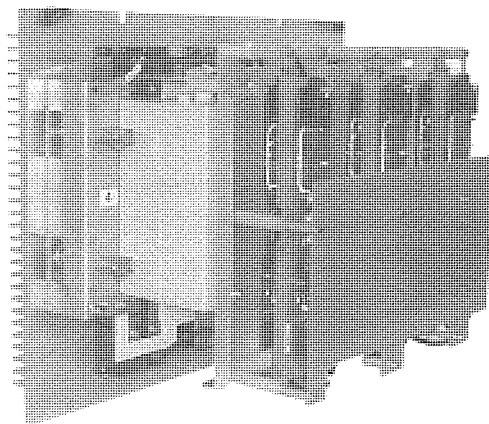


図3. パワーユニットの外観

イムで制御する各種運転機能をミリ秒単位の繰り返しから(サンプリングタイム)マイクロ秒へと高速化でき、回生電力の無負荷回生と急変時の過電圧トリップをなくすことができ、滑り周波数補正のV/f制御からベクトル制御への切換えと併せて大幅な性能向上が可能となった。

2.3.2 変調技術の精密演算化

変調演算は、特に高速性が要求されるため32ビットDSP(Digital Signal Processor)を使用し、マイクロ秒単位で最適なインバータ/コンバータの出力波形を生成して、騒音、電源・負荷高調波の低減を主回路IPMの高速スイッチングとともに実現している。

IPMによる高速スイッチング動作と変調技術の高精度化により、コンバータ/インバータに接続された主変圧器と主電動機に印加される電圧に含まれる高調波は大幅に低減することができた。さらに、中性点クランプ(NPC)型主回路構成を採用することで、1kHz程度の変調周波数においても、負荷機器に発生する可聴領域の磁歪音を、実用的に問題とならない程度に低減可能となった。

2.3.3 自己モニタ・試験機能

装置の高度化に伴い、信頼性は大幅に向上しているが、日ごろの点検診断の自動化と万一のインバータ運転における異状時には、その動作解析を的確に行い復旧作業を短時間で行うことが、顧客ニーズとしてますます必要となっている。個々にも、マイクロコンピュータの進歩が生かされ、車上传送制御から制御される自動試験やパソコンベースのものなど、様々なインタフェースに対応したものが用意されている。車上試験機能については、別論文で詳細を記載しているので、ここでは自己モニタ機能について一例を述べる。

図4に示すデータは、等価的に過電流を起こさせた場合のモータ電流波形やゲート波形等を記録したデータであり、数十マイクロ秒でデータを記録しており、外部要因・内部

要因の分別等を即座に行えるようになった。

3. 車両用主変圧器の技術動向

3.1 PWMコンバータ制御方式との協調

新幹線などの交流車両に設置される主変圧器は、パンタグラフで受けた電力を、車両を駆動するための主回路と、空調装置などを駆動するための補助回路とに供給する重要な機器である。

最近の交流車両の主回路方式で主流となっているPWMコンバータ制御方式では、主変圧器の特性とPWMコンバータの制御性能との間に密接な関係があり、システム設計において相互の協調を図っている。

PWMコンバータ制御方式における主変圧器の特長と最近の適用技術について以下に示す。

(1) 力率1制御による定格容量の最小化

従来のサイリスタ連続位相制御方式では負荷力率が0.7~0.8程度であるのに比べ、PWMコンバータ制御方式では、ほぼ力率1に制御できるため、一定の駆動パワーに対する主変圧器の負荷電流を小さくできる。これを考慮した走行シミュレーションによって最適容量を設定している。

(2) 高調波損失の発生

主変圧器の負荷電流には、半導体素子のスイッチング周波数に対応した高調波が重畳する。磁界解析によって発生損失及び局部加熱のチェックを行い、コイル配置や磁気シールドの設置を決定する。最近では、3レベル制御方式の採用及びスイッチングの高周波化によって高調波損失の低減を図っている。

(3) 高インピーダンス化及び疎結合化

半導体素子のスイッチングに伴う高調波電流の発生は、上記損失の問題や、高調波の架線側への流出の問題があり、高調波抑制のため主変圧器には高インピーダンスが要求される。また、同じ主変圧器につながる複数のPWMコンバータが相互に干渉を受けないよう、巻線間の疎結合性が要求される。当社が開発したギャップ鉄心及びセパレート鉄心をコイル間に設置することで、限られた質量、寸法制約の中でこれらの要求性能を実現している。

3.2 大容量化と軽量化

最近の新幹線電車では、高速化による編成出力の増大、及びユニット数が集約される傾向にある。これに伴い、編成当たりの主変圧器台数は減り、主変圧器単体の容量はますます増大している。例えば、300系“のぞみ”では16両一編成の出力が12,000kWであったのに対し、500系では18,240kWに増えており、さらに、その電力を供給する主変圧器は一編成当たり5台から4台に集約されたため、主変圧器容量は約2倍に増加している。

車両搭載機器の中で主変圧器是最重量物の一つであり、車両の軸重増加を抑えるためにも、その軽量化はますます

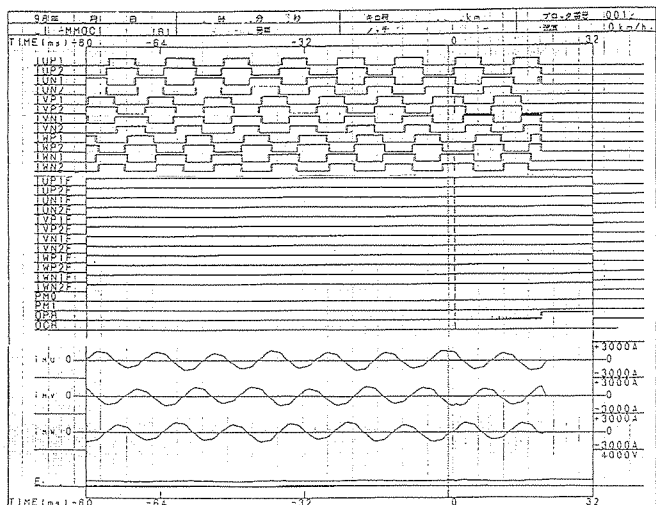


図4. 自己モニタ記憶波形

重要度を増している。当社では、次の新技術の適用により、単位容量当たりの質量で30%の軽量化(300系を基準とした500系及び700系の比)を達成している。

- 高周波3レベル制御方式の採用(700系)
- コイル導体のアルミ化
- 高耐熱で薄葉のポリイミドフィルムによるコイル素線絶縁
- 低比重ガラスエポキシ材の適用
- 冷却装置及び部品類の軽量化

最近の軽量化動向の一例として、表1に東海道・山陽新幹線(0系, 100系, 300系, 500系, 及び700系)用主変圧器の容量と質量の比較を示す。

また、図5に、電車床下搭載用として世界最大容量である500系用WTM205形主変圧器の外観を示す。

3.3 走行風利用自冷式主変圧器

車両の走行時には、その周囲に相当量の空気流(走行風)が存在する。従来、主変圧器の冷却方式は、電動送風機を用いた強制風冷式が主流であったが、最近の在来線車両では、この走行風を利用して電動送風機を不要とした走行風利用自冷式が適用されるようになった。

なお、新幹線車両では、主変圧器が車体カバーで完全に覆われることや、変圧器容量が大きいことなどから、現状では走行風利用自冷式の適用は難しく、したがって、在来線車両への適用が主流となっている。

当社は国内で初めて走行風利用自冷式主変圧器を実用化し、JR東日本の701系交流電車において量産車用として初

めて採用された。図6に、主変圧器の外観を示す(TM26形主変圧器：定格容量855kVA)。

さらに、E653系交直流特急電車においても走行風利用自冷式(TM28形主変圧器：1,600kVA)が採用され、JR各社の在来線電車において適用が広がりつつある。

3.3.1 特長

走行風利用自冷式主変圧器には次のような特長がある。

(1) 保守の省力化

電動送風機を使用しないことで、送風機の点検及びベアリング交換などの保守が不要となる。また、冷却管間隔を広くとっているため、冷却器が目詰まりしにくく、清掃も容易であり、保守の手間を軽減できる。

(2) 低騒音化

電動送風機による騒音がなくなり静かである。特に、従来の強制風冷式では吸排気の送風音がプラットホームでの周囲騒音に大きく影響しているが、これがなくなり、乗降客の周囲環境が改善される。

(3) 省エネルギー化

自然の風を有効利用することで、電動送風機の運転に要していた電力が節約できる。

3.3.2 冷却設計留意点

走行風利用自冷式は従来の強制風冷式とは異なる特質があり、冷却設計上、次のことを考慮している。

(1) 車両走行速度と冷却風速との関係

走行風利用冷却における最大の特質は、走行速度によって冷却風速が変わり、冷却性能が常時変化する点である。実車で得られた走行速度と冷却風速との関係を基に冷却設計を行っている。

(2) 冷却性能と変圧器容量の算定

走行速度の関数で冷却性能が変化することを考慮して、所定の走行線区及び走行パターンについて走行温度上昇シミュレーションを実施し、定格容量と冷却性能を設定する。

表1. 東海道・山陽新幹線用主変圧器の容量と質量

車両形式	0系	100系	300系	500系	700系
制御方式	タップ切換え	連続位相	PWM CONV	PWM CONV	PWM CONV
変圧器名	TM201A	TM203	TTM2	WTM205	TTM3
編成台数	8	6	5	4	4
容量(kVA)	1,650	2,500	2,900	5,400	4,160
質量(kg)	3,360	2,525	3,080	3,980	3,097
kg/kVA	2.04	1.01	1.06	0.74	0.74
絶縁種別	A種	特別A種	特別A種	特別A種	特別A種
コイル材質	銅	銅	銅	アルミ	アルミ

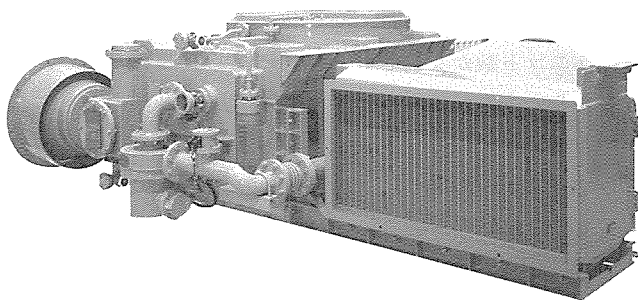


図5. 500系新幹線用WTM205形主変圧器
(電車床下搭載用として世界最大容量)

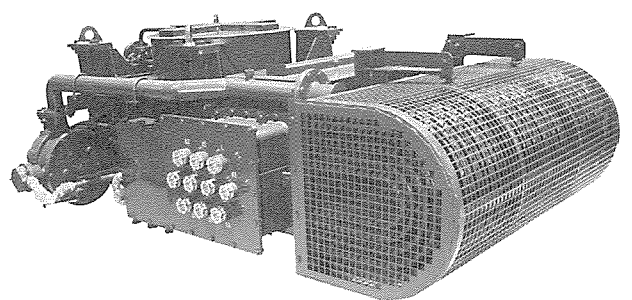


図6. 701系電車用TM26形主変圧器
(走行風利用自冷式)

(3) ぎ(蟻)装配置

自冷式冷却器を極力車体側面側に配置し、冷却器への風の流入を妨げないように、前後の機器との間に適当な間隔を確保する。

今後の課題として、更なる自冷式冷却器の性能向上、小型・軽量化が挙げられる。最近では、三次元熱流体シミュレーションを実施し、実験的検討と併せて、冷却装置構造の最適化を図っている。図7に自冷式冷却器の三次元熱流体シミュレーションの様子を示す。

4. 電気指令ブレーキシステム

列車の長大編成に対応する方式として現在も電磁直通ブレーキが広く使用されているが、応答性向上、精度向上及び保守軽減を図るため、昭和40年代前半に電気指令ブレーキシステムが実用化された。

また、最新のシステムでは、車両統合管理システムとの協調を図り直列伝送によるブレーキ指令の授受を行う方式も実用化されている。

4.1 ブレーキの種類

安全性の確保のため、次に示す三重系構成としている。

(1) 常用ブレーキ

減速ブレーキとして使用し、複数段(通常は7段。ATO運転対応として31段をとる場合もある。)の指令を可能とし

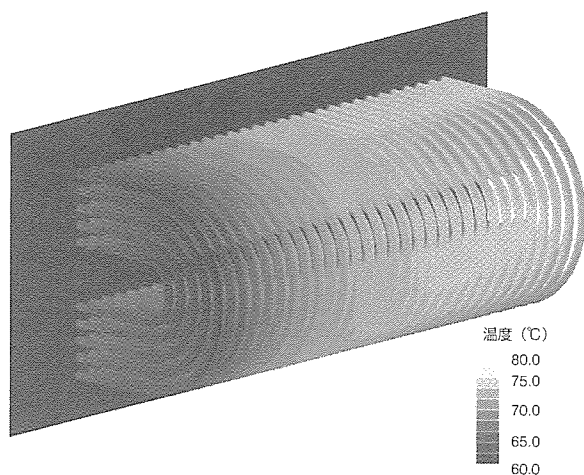


図7. 走行風利用自冷式冷却器の三次元熱流体シミュレーション

ている。省エネルギーと保守軽減の観点から回生ブレーキを主として使用し、空気ブレーキは回生不足時の補足ブレーキとして使用する。必要減速度を得るため、荷重に対してブレーキ力を可変する応荷重制御機能を持っている。

(2) 非常ブレーキ

異常時の絶対停止用ブレーキであり、指令系を常励とし、フェールセーフ構造としている。応荷重制御機能を備えた純空気的一段ブレーキである。

(3) 保安ブレーキ

バックアップ系としてのブレーキであり、一段純空気制御で、応荷重制御機能はない。

4.2 最新のシステム

近年の車両のインテリジェント化は目覚ましく、これに対応できる高度なブレーキシステムが要求されている。特に車両統合管理システムの登場により、更に密接に関連するようになっている。以下では、代表的なシステム構成及び最新のハードウェアについて述べる。

4.2.1 車両統合管理システム対応

図8に常用ブレーキのシステム構成を示す。運転台からのブレーキ指令を直列伝送によって受信装置に指令し、これを受けた受信装置は必要なブレーキ力を演算し、VVVFインバータへは回生ブレーキ要求を、ブレーキ作用装置へはブレーキシリンダ圧力(BC圧)指令を出力する。回生ブレーキと空気ブレーキとのブレンディングでは、T車ブレーキ力の一部を回生ブレーキ力で負担し、省エネルギー効果を向上する遅れ込め制御を行っている。また、車両統合管理システムの間では、双方向の直列データ伝送によって各種制御データの交換を行っている。

4.2.2 ファインスキッド制御システム

鉄道車両は、鉄車輪とレール間の接触によって成立している。このため、雨天時等の低粘着時に滑走が発生すると、車輪フラットによる騒音増大、乗り心地の悪化、ブレーキ距離の延伸等の問題があった。これらに対応するため、16ビットマイコンによるファジー制御を採用した高性能なファインスキッド制御と呼ぶシステムを実用化している。その概要について以下に述べる。

(1) システム構成

制御部、各軸速度を検出する速度センサ、及び制御部か

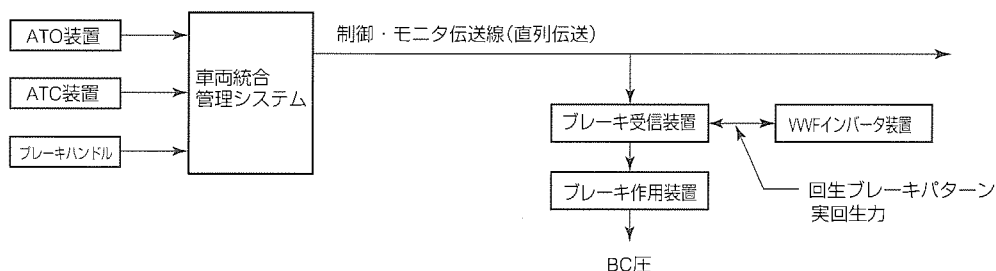


図8. 常用ブレーキのシステム構成

らの指令に基づいてBC圧の制御(排気, 保ち, 供給)を行う滑走防止弁で構成される。

(2) 動作

図9に滑走再粘着制御状態図を示す。滑走軸の速度差 ΔV , 加減速度 β をメンバーシップ関数として定義し, この結果をベースに, ファジー論理によってBC圧制御量を決定する。制御の一例を表2に示す。

(3) 効果

(a) フラット発生防止

表3に, 非搭載車と搭載車のフラット発生状況の一例を示す。これにより, フラット防止効果が大きいことが分かる。

(b) ブレーキ距離短縮

ブレーキ初速130km/hからの非常ブレーキ時のブレーキ距離実測例を表4に示す。これにより, 滑走の頻発する散水条件下でもブレーキ距離の延伸が防止できているのが分かる。

4.2.3 最新のハードウェア

(1) ブレーキ受信装置

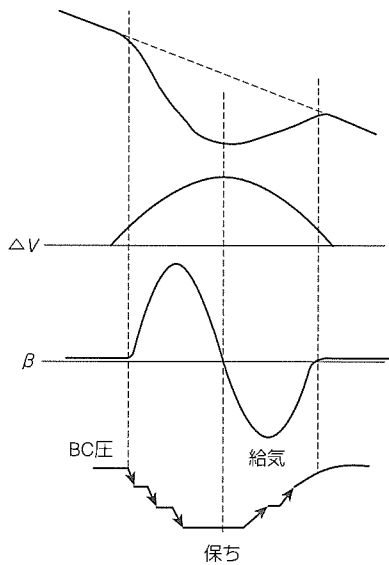


図9. 制御状態図

常用ブレーキ制御を行うブレーキ受信装置の演算素子としては, リニアIC→8ビットマイコン→16ビットマイコンと進化を遂げてきた。最新のユニットでは,

- 32ビットDSP(制御用)+16ビットCPU(伝送用)による高速処理
- 高機能化の実現
- 面実装基板の採用による小型・軽量化
- デジタルチューニングによる完全ボリュームレス化

を実現している。

ブレーキ受信装置の外観を図10に示す。

表3. フラット発生比較

	非搭載車	搭載車
フラット発生周期(月)	0.7	10.5
フラット発生までの走行距離(千km)	5.8	107.8

表4. ブレーキ距離比較

	ブレーキ距離(m)	延伸率(%)
レール面乾燥	483.5	—
レール面散水	494.3	2.2

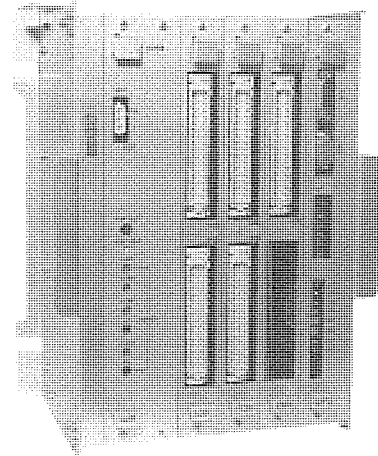
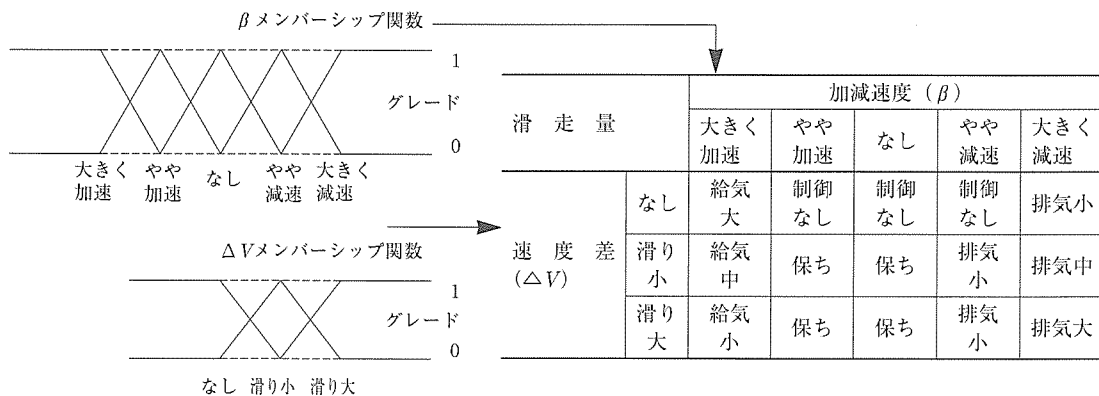


図10. ブレーキ受信装置

表2. ファジー制御



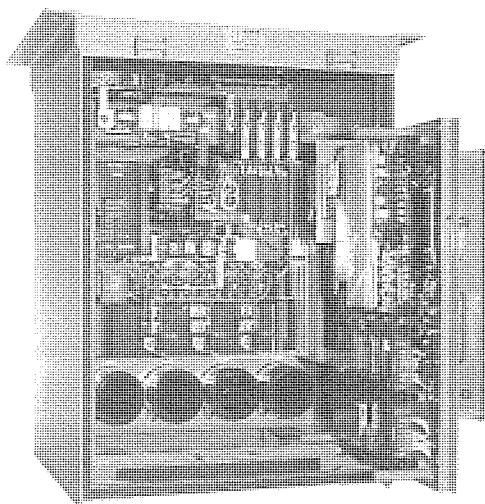


図11. 電動空気圧縮機制御装置

(2) 電動空気圧縮機制御装置

空気圧縮機の電動機は保守の容易化によって交流電動機の採用が主流となっているが、その制御装置においても、

起動電流の抑制、無保守化を目的にPWMインバータ制御方式を実用化している。

その外観を図11に示す。

主回路素子にIPMを用いて小型・軽量化及び信頼性の向上を図るとともに、渦巻式圧縮機と組み合わせる場合には、キャリア周波数の高周波化を行うことで低騒音化を達成することも可能としている。

5. むすび

以上、車両推進制御システムのインテリジェント化技術について述べた。

システムの信頼性・経済性を向上させるため、エレクトロニクス技術を核にして、駆動電機機器、静止機器である主変圧器、機械系を構成する空気ブレーキ装置の連携と、個々の性能向上、インテリジェント化高度化についてその有効性を確認した。

今後、更にこれらの成果を拡大させて、人と環境に優しい製品を提供していく所存である。

車両快適化補助システム

大山裕二* 梅崎達昭***
吉村圭二**
下釜三嘉***

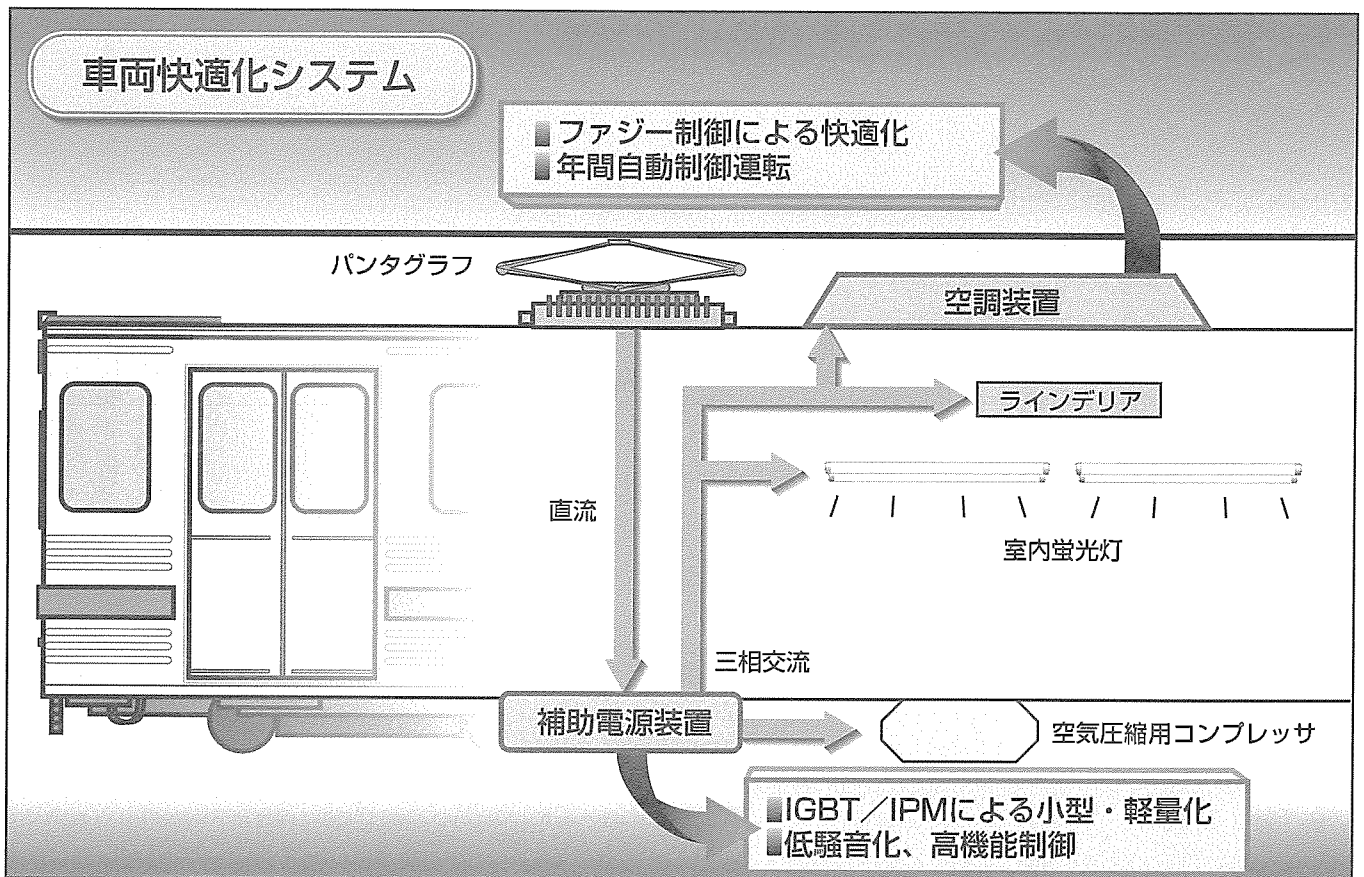
要旨

鉄道車両の近代化として、21世紀を目指した快適な車両空間の創出と環境に優しい車両快適補助システムへの取組を目指し、各種の新しい車両機器の開発が進められている。特に車両用補助電源装置と空調装置は、車両用サービス機器の中で最も重要な役割があり、技術の進歩には目覚ましいものがある。

車両用補助電源装置については、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)やIPM(Intelligent Power Module)等の最新のパワーデバイスを適用し、回路の簡素化と高周波化によって装置の小型・軽量化と高効率化が実現されている。この最新形のインバータ装置は、在来の通勤車両や新幹線車両へ多く搭載されている。今後は、高耐圧IPMを適用した装置の開発で、更に小型・軽量でシンプルな電源装

置としての適用が期待される。

また、補助電源装置から電源供給を受ける補助機器の中で最も大きな電源負荷となるのは空調装置である。空調装置は、省エネルギーや、きめ細かな車内温度制御の実現を求め、電源スペースの確保が厳しい車両等では空調装置専用のインバータ装置が活躍している。一方、最新の新幹線では、インバータ補助電源装置APU(Auxiliary Power Unit)や空調装置内蔵のインバータ装置を搭載した車両が現在営業線で活躍している。さらに、空調システムではファジー制御を採用した温度制御が実用化され、年間自動制御を可能にしている。また、車上モニタ装置とのデータ伝送により、運転室や車掌室に居ながらにして空調状態情報の入手や運転情報の指示が可能になっている。



車両の快適化補助システム

三菱電機では、お客様への快適な移動空間を創出するために、様々な車両用電機品を製作している。ファジー制御の空調装置やラインデリア、車内照明装置、空気圧縮用コンプレッサ等があり、これらのサービス機器を効率良く稼働させるための車両用補助電源装置がある。

1. ま え が き

車両冷房化に伴う空調装置の搭載によって、補助電源装置も大容量化されてきた。ここでは、車両用補助システムの中で最も主要な要素である補助電源装置と空調装置の最新の技術動向について述べる。また、21世紀を目指した両機器の新しい開発状況についても言及する。

2. 車両用補助電源装置

2.1 各種の車両用補助電源装置

2.1.1 直接3レベルIGBT方式SIV装置

車両用補助電源装置は通常“SIV装置”と呼ばれているが、現在最も新しいSIV装置は、パワーデバイスにIGBTを使用した3レベル方式のものである。図1に主回路構成を示すが、架線入力電圧のDC1,500Vを直接3レベルインバータで交流60Hzの三相電圧へ変換した後、絶縁トランス(TR)によって負荷側へ電力供給する構成となっている。IGBTは、1,700V、400Aの定格であり、1～2kHzでPWM(Pulse-Width Modulation)制御される。また150kVAのIGBT方式SIV装置の外観を図2に示すが、インバータ部は純水冷媒のヒートパイプで冷却されている。

最近では、このIGBTの代わりに、IPMを使用したSIVも製作されており、より高機能なSIVとして順調に稼働中

である。IPMはIGBTのチップ上に保護回路とゲート回路を配した最新のパワーデバイスであり、SIVとして、2,000V、600A定格のものが使われている。IGBTやIPM等のパワーデバイスはGTOと比較してより高速な周波数でスイッチング可能なため、交流フィルタの小型・軽量化やトランスの低騒音化ができ、環境に優しいSIV装置として現在の主流の方式となっている。

IGBTやIPMを使用することで、三相個別瞬時波形制御方式の適用が可能となり、制御機能が大幅に高速化・高機能化されている。

2.1.2 新幹線車両用補助電源装置

新幹線車両用の補助電源装置では、AC400～440Vの単相交流電圧が主変圧器の三次巻線からSIVへ供給される。このため、新幹線用SIVの場合は、入力回路にサイリスタを使用した補助整流回路を設置した後、インバータで電力変換を行う方式となっている。

新幹線車両用SIV装置の代表例を以下に示す。

(1) 秋田新幹線E3系車両用補助電源装置

新幹線車両用補助電源装置はAPUと呼ばれている。図3に秋田新幹線E3系車両用として製作されたAPU装置の主回路ツナギ図を示すが、このAPUでは、①サイリスタ整流回路によって、軽負荷時の直流電圧ピーク充電時に位相制御され、インバータの入力電圧を過大に上昇させない

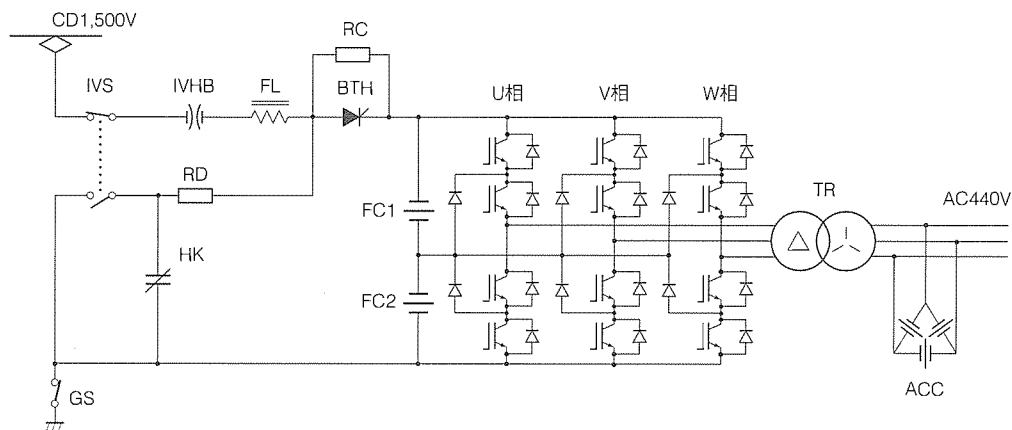


図1. 直接3レベルIGBT方式SIVツナギ図

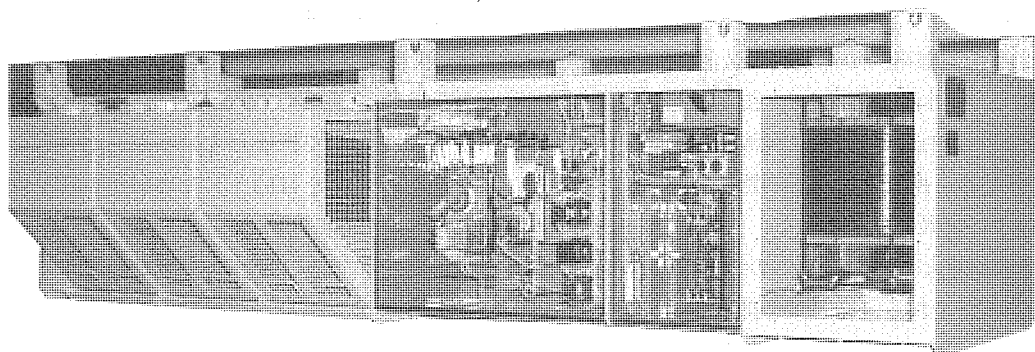


図2. 150kVA SIV装置の外観

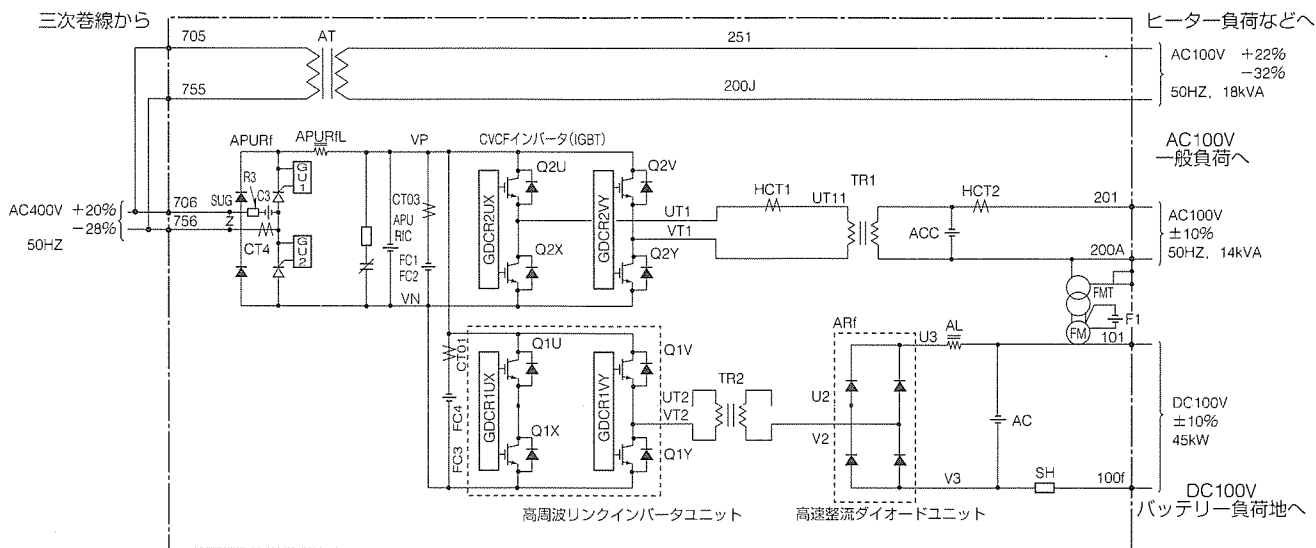


図 3. E3系新幹線車両用APU装置ツナギ図

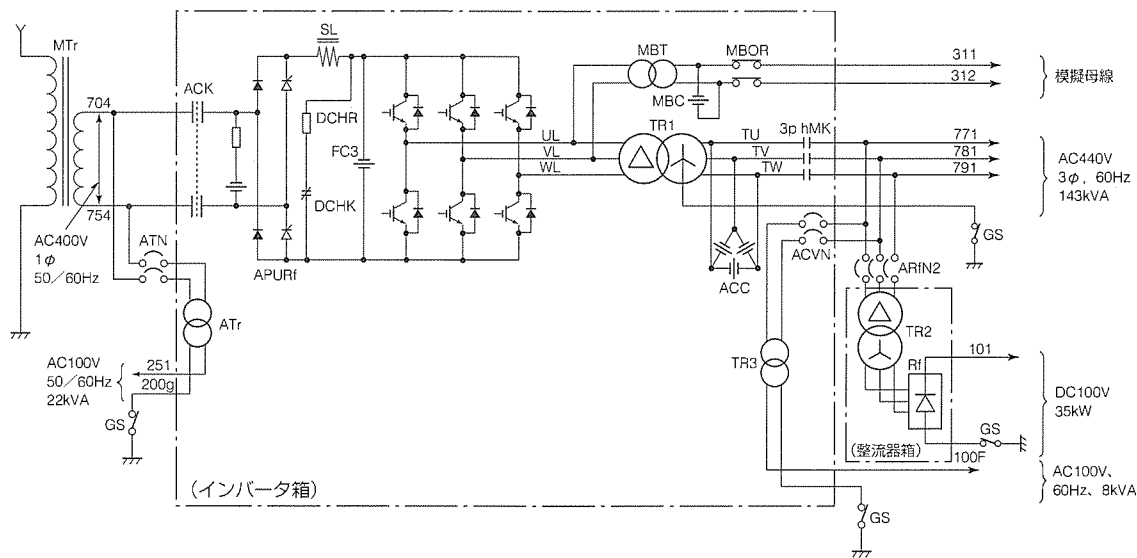


図 4. E2系用並列同期方式APU装置ツナギ図

ようになっており、また、起動時のサイリスタソフトスタートによって、起動突入電流を抑制する、②AC100VのCVCFインバータとDC100Vの高周波リンクインバータにはIGBTが使用され、高周波スイッチングによって、装置の小型・軽量化、低騒音化、制御の高速化が実現されているという特長がある。

(2) 長野行きE2系新幹線車両用補助電源装置

このAPU装置は、軽井沢-長野間で、交流架線の電源周波数が60Hzとなり、50Hzと60Hzの異周波区間を走行する車両である。そのため、換気装置や主回路機器の冷却ブロー等の補機類をAPU装置の負荷として、AC440V、三相60Hzの定周波電源供給としている。この装置は、APUの故障時を考慮して決定される定格容量を抑える目的で、編成に3台搭載されるAPUを並列同期運転方式として開発された。図4にAPU装置の主回路ツナギ図を示す。三相

インバータ回路はIGBTによって構成され、インバータ出力の模擬母線によって、各APUのAC440V出力が並列同期制御される。この模擬母線方式並列同期制御は、①並列起動時の一斉起動が可能となる、②現車での調整要素がなく、マスタ/スレーブ等の電源の区別が不要なため、複雑なシーケンスやAPU搭載順序の制約がない等の特長がある。

2.2 次世代2レベルIPM方式SIVの開発

DC1,500V架線用車両の場合、現在SIVは3レベル方式インバータとして構成しているが、次世代のインバータ回路のシンプル化を目的とした高耐圧のIPM直接2レベル方式SIVの開発が進められている。パワーデバイスには3.3kV電圧クラスの高耐圧IPMを適用することで、インバータ回路の2レベル化が可能となる。2レベル化で、①素子数の低減、②インバータユニット内のブスバーの簡素化と低インダクタンス化によるスナバの小型化が可能となり、

大幅に部品点数が削減できる。2レベル化に伴う交流フィルタ回路の低騒音化と寸法低減化の新しい開発が進められており、最適なSIV装置としての実用化が待たれる。

3. 新幹線電車用年間自動インバータ空調システム

新幹線電車では、従来から空調装置のほか、補助システム機器は主変圧器の三次巻線から単相電源の供給を受けている。この電源は、架線の影響を直接受けるため電圧変動が大きく、セクションでは瞬時停電が発生することとなり、空調システムとしては、電動機の大形化による空調装置の質量と寸法の増加や、車内に設置している配電盤が大きくなる等の影響に加え、運転の一時的な中断による空調サービス低下等の影響がある。これらの影響を排除するため、当社では、空調サービスの安定供給と空調装置の省スペース化・軽量化の達成を目的としてインバータ空調の採用を進めてきた。

今般、東北上越新幹線で“MAX”の愛称で知られるE1系新幹線電車がモデルチェンジされ、8両編成を2本連結して約1,600人を一度に運べる一本の高速列車の定員としては世界最大であるE4系新幹線電車(図5)として生まれ変わったことを機に、最新の技術を導入した年間自動インバータ空調システムを開発したのでここに紹介する。

3.1 E4系新幹線電車用空調システムの構成

E4系新幹線電車は、高速車両での大量輸送を目的として、全車両2階建てで構成されている。1階建て新幹線電車の200系と比較して定員が約1.4倍であり、冷房負荷が高く、標準冷房能力37,500kcal/hのAU815形空調装置(図5(a))を屋根上に2台搭載している。先頭車では、高速走行時の車体空力音の低下のためロングノーズ化が図られたことを受け、先頭部に搭載している標準冷房能力18,000kcal/hのAU218形空調装置は室外ユニット(b)部を

床下に設置し、運転室専用の室内ユニット1(c)と客室/運転室用の室内ユニット2(d)を車内に分割配置した。

E4系では、空調装置をインバータ化して安定した三相電源を供給することで機器のコンパクト化ができ、インバータ装置や接触器やリレー等を空調装置に内蔵することで、従来車内にあった空調関係の配電盤やサービス配電盤をなくし、ブレーカと空調制御器のみの構成とすることで、屋根上に搭載されている空調装置との間のぎ(艱) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

さらに、インバータによる周波数制御で空調制御の制御性を向上させるとともに、送風機の最大運転周波数を60Hz化することで機器のコンパクト化を図り、通常時に低周波数運転を行うことで騒音の改善を達成した。

3.2 空調装置の開発

(1) 空調装置用機器

圧縮機にはコンパクトで軽量の縦形ロータリ圧縮機を採

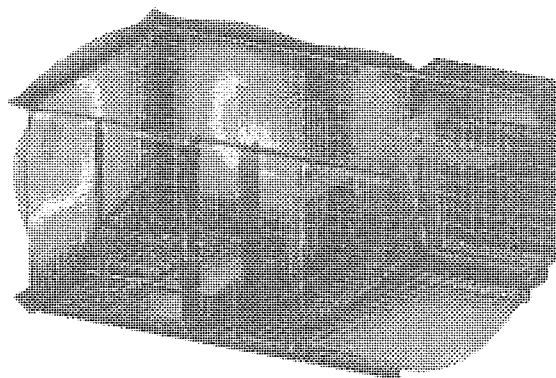


図6. 主枠応力解析例

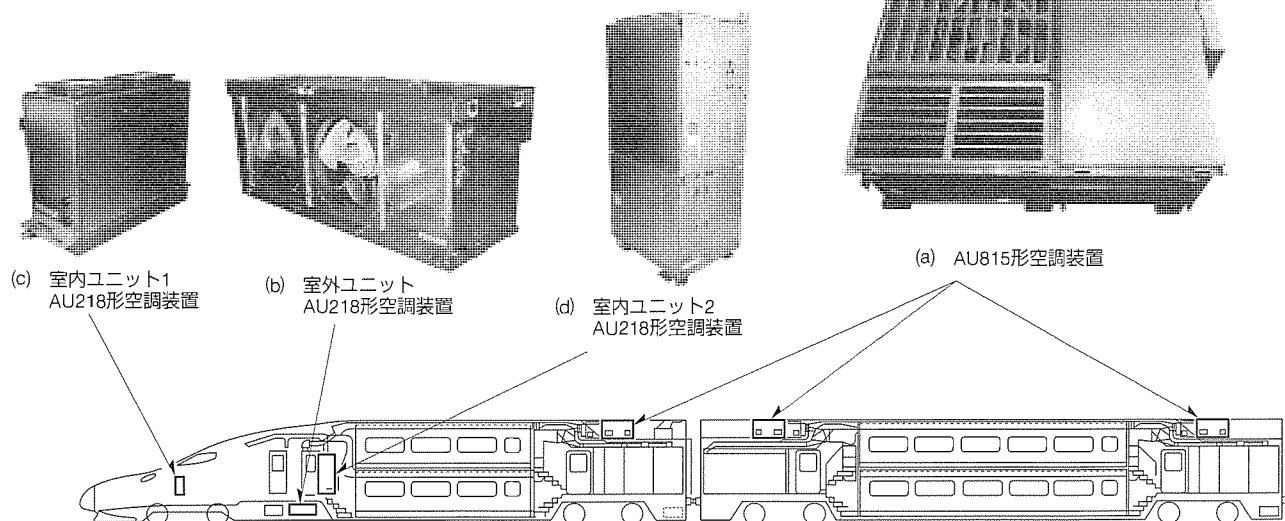


図5. E4系新幹線電車と空調装置

用し、3台搭載している。室外送風機は低騒音タイプの羽根とした。室内送風機には、高静圧のシロッコファンを採用している。室内外送風機とも定格周波数を60Hzとすることでコンパクト化を行い、通常時の運転周波数を50Hz運転として低騒音化を図った。

(2) 空調装置枠、カバーの軽量化

枠カバーの強度解析を行い、空調装置の軽量化を実施した。解析例を図6に示す。

(3) 室外送風機風量の確保

E1系では、車外空気を室外カバーから取り入れ、空調装置の室外の室外熱交換器で熱交換した後の吐き出しは車体カバーを通して行っていたが、E4系では、車体カバーの簡素化のために、空調装置の室外カバーのみを通して車

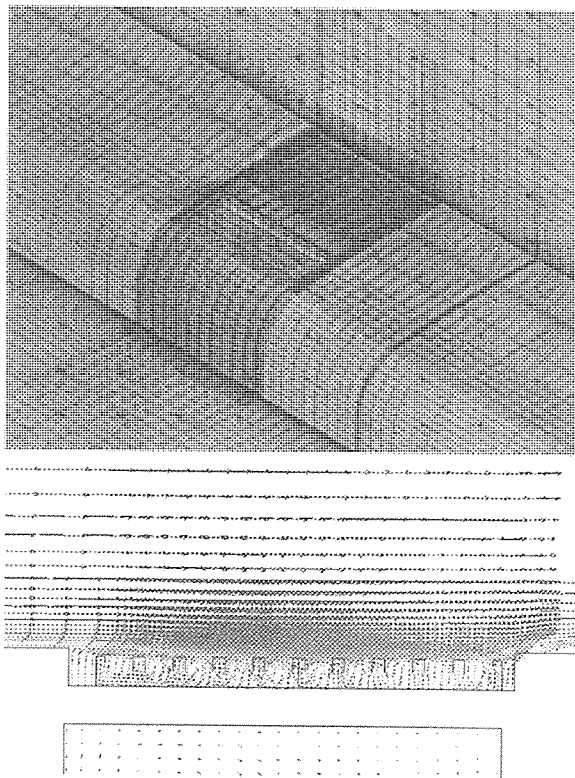


図7. 新幹線電車の車外気流解析例

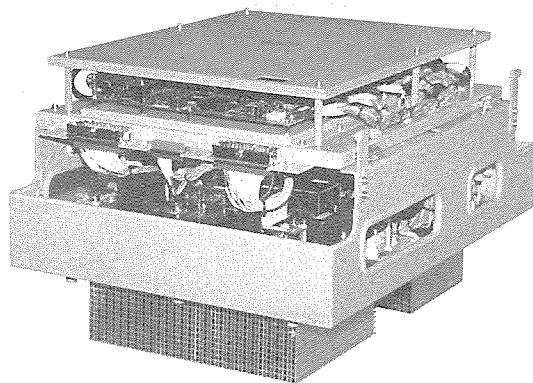


図8. 空調インバータユニット

外空気の取り入れと吐き出しを行うよう検討した。高速走行状態では車外空気取り入れ量が低下することが知られており、今回、設計時点で気流解析を行い、車外空気取り入れ量の低下率を推定して室外送風機を選定した(図7)。

3.3 インバータ装置

(1) インバータの構成

インバータ装置は、インバータユニット、コンデンサユニット、接触器盤、交流リアクトル、及び直流リアクトルで構成している。インバータユニット(図8)は、三次電源の電圧変動やリップル電圧によるキータへの過電圧を抑制するためにチョッパ回路を備え、また、室内外ファンと圧縮機に三相電源を供給しV/F制御するために、二つのインバータ(VVVF)を持っている。

(2) インバータの特長

- (a) IPM, パワー基板, 面実装基板の採用により、インバータユニットの小型・軽量化を実現し、空調装置への内蔵を可能とした。
- (b) 空調装置に使用しているモータの三相化による小型・軽量化を図った。
- (c) 通常時、室内/室外ファンを低速運転とすることで車内/車外の低騒音化を可能とした。
- (d) インバータ装置を空調装置に内蔵することで空調装置と車体間の臙装配線本数の低減を図った。
- (e) 空調装置内が過負荷状態に陥った場合、周波数制御により、空調装置を停止させないで継続運転することを

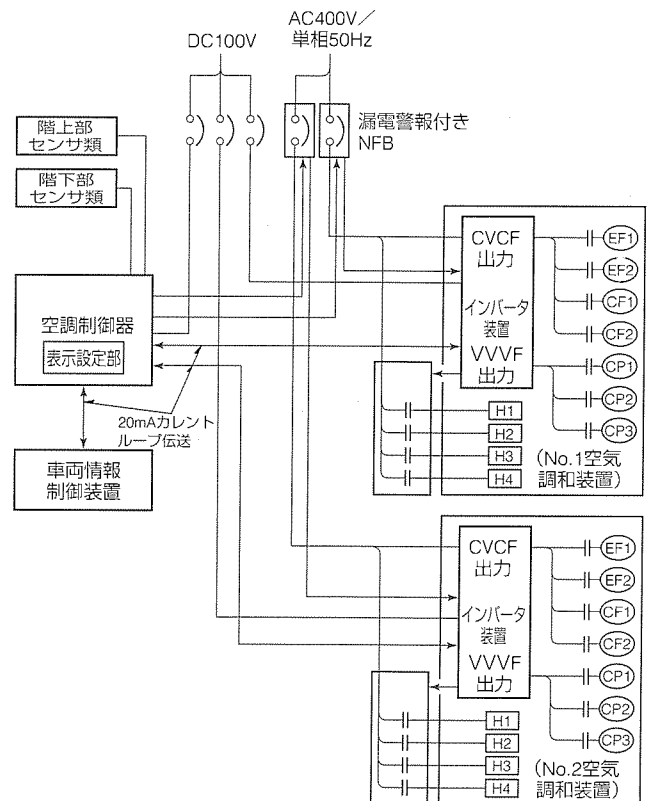


図9. 空調制御回路

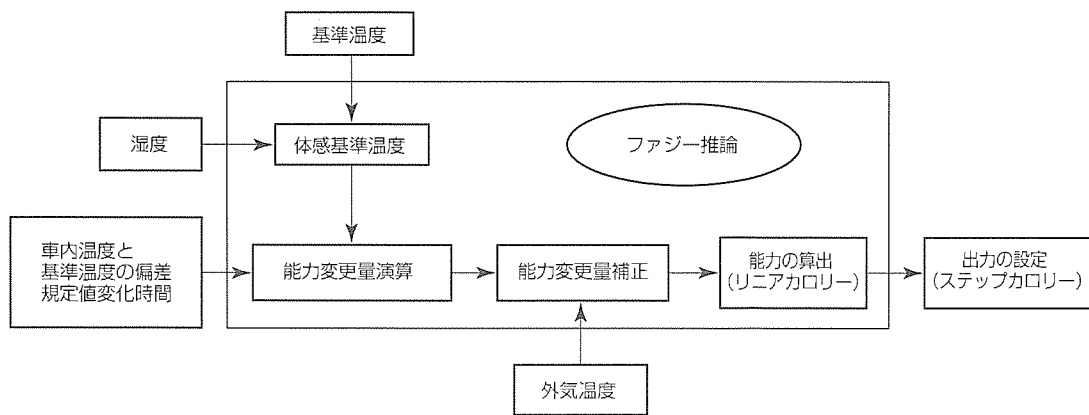


図10. ファジー推論の手順

	No.1 空調装置							No.2 空調装置									
	1F	ステップカロリー						1F	ステップカロリー								
No.1 圧縮機	2F	1	2	3	4	5	6	7	2F	1	2	3	4	5	6	7	
	ステップカロリー	1	x	x	o	o	o	o	o	1	x	x	x	o	o	o	o
		2	x	x	o	o	o	o	o	2	x	x	x	o	o	o	o
		3	x	x	o	o	o	o	o	3	x	x	x	o	o	o	o
		4	x	x	o	o	o	o	o	4	x	x	x	o	o	o	o
		5	x	x	o	o	o	o	o	5	x	x	x	o	o	o	o
		6	x	x	o	o	o	o	o	6	x	x	x	o	o	o	o
7	x	x	o	o	o	o	o	7	x	x	x	o	o	o	o		
No.2 圧縮機	1F	1	2	3	4	5	6	7	1F	1	2	3	4	5	6	7	
	ステップカロリー	1	x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x
		2	x	x	x	x	x	x	x	2	x	x	x	x	x	x	x
		3	o	o	o	o	o	o	o	3	o	o	o	o	o	o	o
		4	o	o	o	o	o	o	o	4	o	o	o	o	o	o	o
		5	o	o	o	o	o	o	o	5	o	o	o	o	o	o	o
		6	o	o	o	o	o	o	o	6	o	o	o	o	o	o	o
7	o	o	o	o	o	o	o	7	o	o	o	o	o	o	o		
No.3 圧縮機	1F	1	2	3	4	5	6	7	1F	1	2	3	4	5	6	7	
	ステップカロリー	1	x	x	o	o	o	o	o	1	x	o	o	x	o	o	o
		2	o	o	o	o	o	o	o	2	x	o	o	x	o	o	o
		3	o	o	o	o	o	o	o	3	o	o	o	x	o	o	o
		4	x	x	o	o	o	o	o	4	o	o	o	x	o	o	o
		5	o	o	o	o	o	o	o	5	o	o	o	o	o	o	o
		6	o	o	o	o	o	o	o	6	o	o	o	o	o	o	o
7	o	o	o	o	o	o	o	7	o	o	o	o	o	o	o		
圧縮機の運転周波数	1F	1	2	3	4	5	6	7	1F	1	2	3	4	5	6	7	
	ステップカロリー	1	x	x	40	50	50	60	65	1	x	40	40	50	50	60	65
		2	40	40	40	50	50	60	65	2	x	40	40	50	50	60	65
		3	40	40	40	50	50	60	65	3	40	40	40	50	50	60	65
		4	50	50	50	50	50	60	65	4	50	50	50	50	50	60	65
		5	50	50	50	50	50	60	65	5	50	50	50	50	50	60	65
		6	60	60	60	60	60	60	65	6	60	60	60	60	60	60	65
7	65	65	65	65	65	65	65	7	65	65	65	65	65	65	65		
室内送風機 室外送風機 運転周波数	1F	1	2	3	4	5	6	7	1F	1	2	3	4	5	6	7	
	ステップカロリー	1	50	50	50	50	50	50	60	1	50	50	50	50	50	50	60
		2	50	50	50	50	50	50	60	2	50	50	50	50	50	50	60
		3	50	50	50	50	50	50	60	3	50	50	50	50	50	50	60
		4	50	50	50	50	50	50	60	4	50	50	50	50	50	50	60
		5	50	50	50	50	50	50	60	5	50	50	50	50	50	50	60
		6	50	50	50	50	50	50	60	6	50	50	50	50	50	50	60
7	60	60	60	60	60	60	60	7	60	60	60	60	60	60	60		

図11. 機器の運転パターンマトリックス

可能とした。

3.4 制御の内容

(1) 制御回路(図9)

空調システムは制御電源・主電源を供給する配電盤と2台の空調装置(インバータ装置内蔵)と空調制御器及び温度センサ類で構成される。主電源供給用の遮断器には漏電警報内蔵形が採用されている。漏電情報をインバータ装置に取り込み、漏電時の制御を行う。空調制御器は車両情報制御装置と伝送によって情報交換を行い、運転室や車掌室に

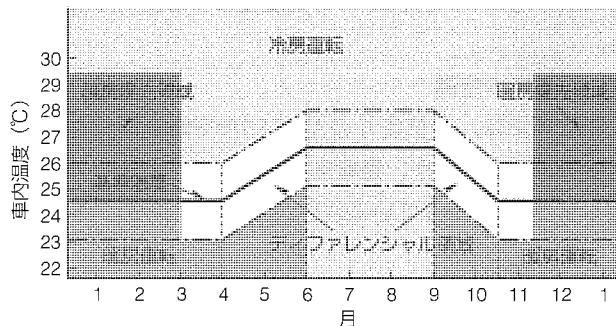


図12. 全自動による空調モード判定

あるモニタで空調状態の把握を可能としている。温湿度センサが、階下と階上の環境状態を把握するため、個別に配置されている。また、空調制御器と空調装置間には伝送によって情報交換を行う方式を採っており、運転指令や機器の状態情報は、この伝送情報によって授受が行われる。

(2) ファジー制御(図10)

制御にはファジー制御を採用し、各階ごとにファジー演算を適用して算出された空調能力に従い空調装置内の各機器を運転することとした。ファジー演算ではそのときに必要な空調能力が算出(リニアカロリー)され、実制御においては、算出された能力に最も近接した能力を持つ運転内容(ステップカロリー)(圧縮機運転の要否によって決められた多段階の能力しか出力し得ないことによる。)によって機器が運転される(図11)。今回は1台の空調装置から階下部と階上部に調和空気が配分される構成となっているため、上記各階ごとの能力算出によって運転されるべき機器を適切に決め、他の階の能力に影響しないように機器を運転することによって良好な空調が行える。また冷房においては、2台の空調装置にまたがる圧縮機6台とインバータ装置による周波数制御によって空調能力の細分化を図り、暖房においては、ヒータを階下専用と階上専用に分けて制御することとした。

(3) 年間自動空調(図12)

従来から冷暖房モード切換えの温度を固定化して行う方式が知られているが、モード切換え温度変更を容易に行うことができるように演算で求める内容とした。冷房期と暖房期の変わり目を直線で結び、中間期のモード切換え温度は直線上の値とした(着衣量による快適体感温度の変化を考慮し、モード切換え温度を季節によって変化させた)。車内目標温度となる基準温度は冷房期と暖房期を個別にモニタ画面で設定できる。また暖房期においても新幹線では冷房を要請される場合があるので、車内温度が高くなり快適度が低下する条件と外気温度が規定以上に高くなった条件の下で冷房運転を実施し、冷房能力をセーブした運転を行うこととした。今回の空調装置は屋根上に設置されているため空調装置への降雪や室外部の凍結が考えられ、室外送風機の運転(冷房運転)に外気温度による制約を設けている。

(4) 運転室の空調

先頭車では、後位寄りのAU815形空調装置は客室の温度情報で制御するが、運転室寄りに搭載され客室と運転室ともに空調を行っているAU218形空調装置に関しては、

運転室のために優先して制御することで運転室からの空調要求にこたえる。したがって、先頭車の2台の空調装置は異なる空調モードで運転される場合もある。運転室の車両情報制御装置のモニタ画面に運転室専用の空調画面を設け、運転室の空調設定変更を行えるようにした。

4. む す び

以上、車両快適化システムの中核である補助電源装置と空調装置の最新技術動向について紹介した。

補助電源装置については、今後の更なる小型化・低騒音化を目指して、最適な装置を開発し、快適な車両空間創出に貢献していく所存である。

一方、空調装置については、新幹線電車においても、最新の解析技術、インバータ技術、制御技術を駆使して空調システムを実用化し、車内の快適性、機器の信頼性や保守性の向上を図ってきた。今後さらに、車両用空調システムの技術的な構築を行うとともに、車両快適化補助システムの充実を図る所存である。



鉄道における運行情報制御システム

館 精作*
山口文敏*
伊地知政弘*

要 旨

近年、鉄道各社では、列車運行管理システムを始めとする運行情報制御システムの導入が積極的に進められている。三菱電機は、鉄道各社の要望にこたえるため、運行情報制御システムの製品レパートリーの拡充に努めてきて、一通りのラインアップを完成させた。これらの製品レパートリーは共通の技術的特色を持っている。

本稿では、最新の運行情報制御システムに盛り込んで以下の技術的特長とシステム構築例について述べる。

(1) ヒューマンインタフェース技術

列車の運行状況を表示し、列車ダイヤを表示するとともにダイヤの変更入力を容易に行わせるために標準化をねらって開発したヒューマンインタフェース技術として、プロセス監視システム向けGUIソフトウェア“GhostHouse”を適用した。

(2) 高速列車運転予測技術

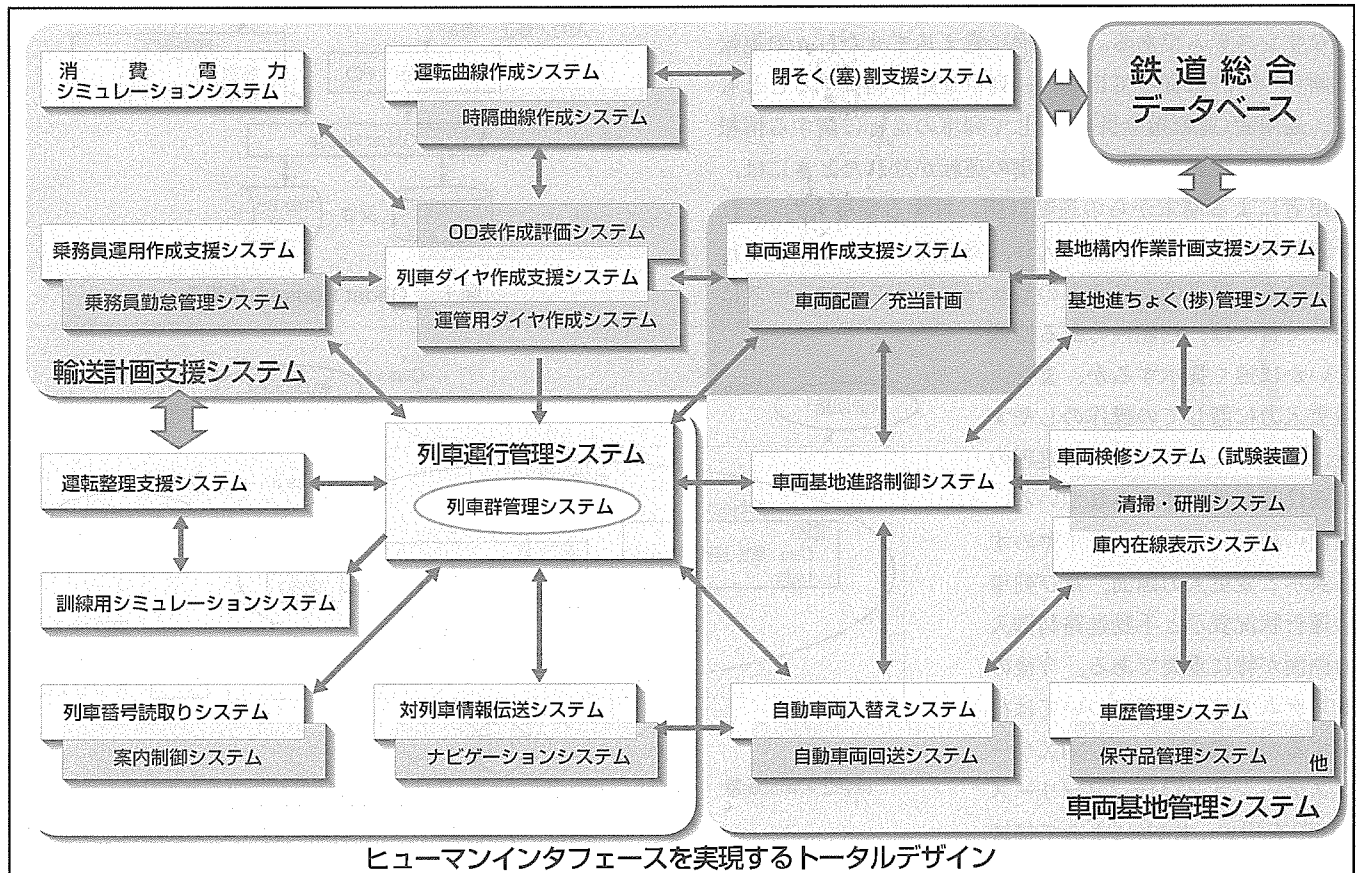
列車の現在の運転状況から近未来の運転状況がどうなるかを短時間に予測し、ダイヤ変更を提案し、さらに提案に従ってダイヤを変更すると運転はどうなるかのシミュレーションを行う。

(3) 交通システム用ミドルウェア

今後採用していく各種のシステムに、計算機の相違に依存せず、標準のソフトウェア構造が採れるように整備したミドルウェア体系とした。

(4) システム構築例

最近の製品の中から乗務員運用作成支援システムと基地構内作業計画支援システムを取り上げ、そこに盛り込まれた技術を紹介する。



三菱運行情報制御システムの関連図

三菱運行情報制御システムは、輸送業務の効率向上、信頼性の向上、サービスの向上、情報伝達の迅速化と適正化を目標に研究開発を推進している。

鉄道ユーザーの多様でかつ高度なシステムの構築の要望実現にこたえるため、関連図のような各種システムをベースシステムとして研究開発を行っており、品質の高い洗練されたシステムが短期間に提供できるように体制を整えている。

1. ま え が き

近年、社会全体の価値観が大きく変ぼう(貌)しつつある。経済を始め各方面の活動テンポが早まるとともに、何事にも効率が尊ばれるようになってきている。その結果、人々にとって時間価値に対する重要度が非常に増している。人々が受けるサービス面においても画一さが嫌われ、多様性が尊ばれるようになってきている。社会を動かす原動力である鉄道に利用客が求めているのは、旅客輸送の高速化・高密度化であり、需要に合致した便利な運転ダイヤである。各鉄道会社では、信号等の設備見直しと新車の投入等による高速・高密度運転の実施、ダイヤ改正頻度を上げた新ダイヤの投入、ダイヤ乱れに対する乱れの収束の迅速化等による定時性の確保等の諸策で利用客の要求にこたえようとしている。

本稿では、以上の鉄道会社の諸策に対し、運行情報制御システムの分野でどのようなシステムを提供でき得るか、当社の持つ最新の技術について述べる。

2. 列車運行管理システムにおける ヒューマンインタフェース

列車運行管理システムは、運行情報制御システムの中核をなすシステムである。計算機に覚え込ませた日々の運転計画(ダイヤ)に従って自動的に列車進路を制御するとともに、運用者(運転指令員)に対して列車の走行に関する情報を実時間で提供している。列車の運転が乱れたときには、運用者による端末からの運転計画に対する変更入力(これを運転整理という)を受け入れ、実時間でダイヤ変更を行っている。以上のシステムのヒューマンインタフェースに関して言えば、信頼性のある情報をいかに速く提示するか、また、変更入力に際しての操作のしやすさ、さらに入力に対応する処理の高速性等が常に要求されている。画面の種類としては、ダイヤのすじ表示と変更入力画面、及び列車の運行状況表示と手動進路制御入力画面が特に重要である。今後のシステムでは、詳細については後述するが、端末としてUNIXワークステーション(ME/RシリーズEWS)を用い、LANによって接続されたダイヤ管理を行う中央処理装置とで連携処理を行う機能分散型を採っていくが、今回、プラント監視システム向けにオブジェクト指向の考えを取り入れて当社が

開発したGUIソフトウェア構築ツール“GhostHouse”を適用し、上記2種類の画面表示端末装置の開発を行った。

2.1 列車の運行状況表示

列車の運行状況表示画面では、通常、実際の線路や信号関係の設備を模して描かれた配線図上で、列車の存在を示す軌道継電器のON/OFF状態、信号機の現示状態、転てつ機の転換状態、列車進路の開通状態等が、変化するたびに表示されている。今回開発した列車の運行状況表示画面では、GhostHouseの編集機能を用いて線路、転てつ機、信号機といった表示単位をオブジェクト(表示用部品)として登録させることが可能である。図1に示すとおり、GhostHouseは、これらに座標・色といった属性と表示のためのロジックを持たせている。さらに、図2に示すように、例えば線路1、線路2、転てつ器といったオブジェクトを組み合わせて軌道回路2という複合部品(これをクラ

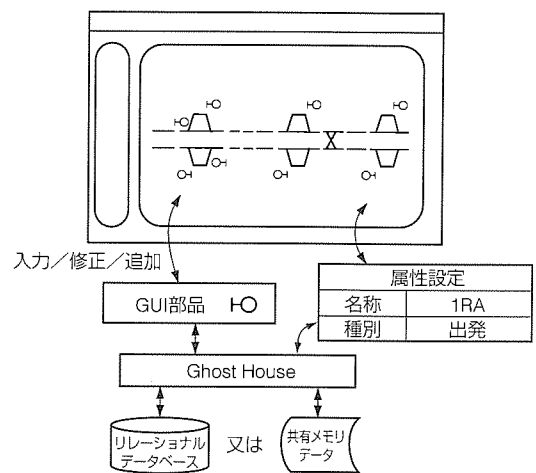


図1. Ghost Houseの枠組み

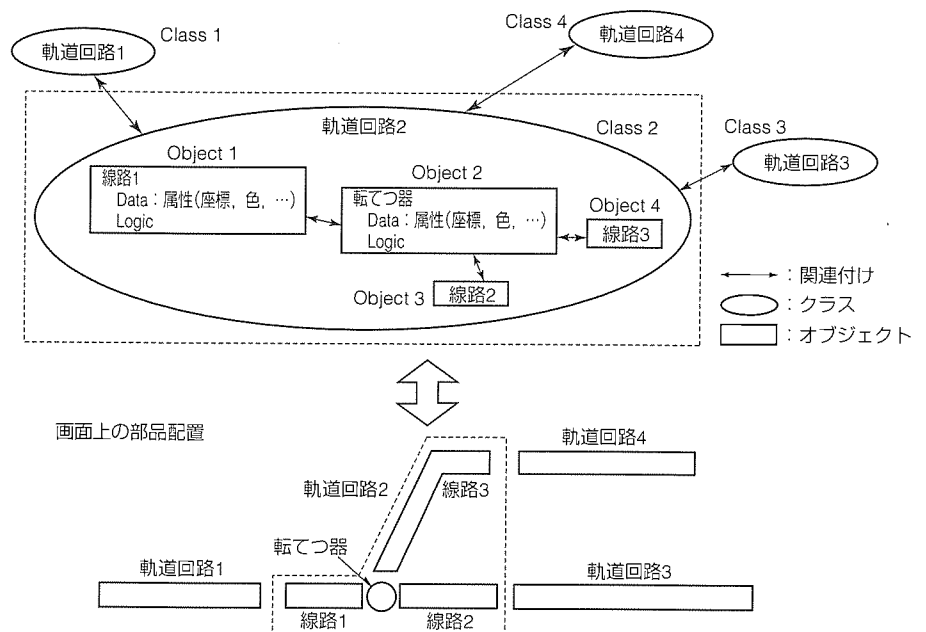


図2. オブジェクト間の関連付けの概念

スという。)を構成することも可能である。

画面の製作は下記の要領で可能である。設計者は、顧客先から入手した信号機器配置図を基に、マウスを用いてGhostHouseの運行状況表示編集画面上に各オブジェクトを任意に配置していく。同一内容であってもユーザーごとに表現が異なるシンボルに対しては、任意に登録も可能である。各部品に対して移動・拡大・縮小・反転等も自由にできる。こうして配置されたオブジェクトに対して属性定義ウィンドウを表示させ、名称、種別、入力ありの場合の表示方法、又は入力なしの場合の表示方法等の属性を一つ一つ定義していくことができる。オブジェクト相互を関連付けてクラス部品を構成させ、各クラス部品を関連付けてオンライン表示用の画面が出来上がる。最後に、連動装置やCTC装置といった運行管理システムの外部の現場機器に対する入出力信号をIOAW(入出力アドレスワード)のビット単位に割り当てし、表示更新のルールを定義すれば、オンライン表示に用いることが可能である。今回開発したGhostHouseによる列車の運行状況表示により、下記の事項が可能になり、品質向上、保守性改善、及び工期の短縮等の期待が持たれる。

- (1) システム製作の初期の段階で、顧客担当者が画面を見ることができ、したがって、この段階でシンボルの配置・色及び表示のルール等を確認することができる。従来のように紙と鉛筆で取り決めていた仕様と異なり、事前に画面確認が可能のため、製品が出来上がってきた段階でのそご(齟齬)が生じない。
- (2) 現場情報との対応付けを編集画面で簡単に行え、それが正しく表示されるかを引き続き確認できる。
- (3) 鉄道の分野は常時配線改良が行われており、システムの改修が必要となるが、こうした改修に容易に、かつ、短時間で対応できる。

2.2 列車すじ表示とダイヤ変更入力画面

列車すじ表示も列車の運行を管理する上で必ず(須)の画面であるが、各ユーザーごとに表現方法が異なっている。例えば、時刻座標を1分単位としているユーザーもあれば2分単位のユーザーもある。列車のシステム管理範囲に対する進入/進出、車庫に対する入出庫、列車の分割/併合など、各種運用に関する記号のダイヤ図への反映方法もそれぞれ異なっている。今回、列車すじ表示でもGhostHouseを用いて表示させる表示端末装置を開発した。

図3に列車すじの表示例を示す。縦軸に駅名を、横軸に時刻を配している。時刻座標の単位は、前述したとおり1分又は2分で、ユーザーによって異なっている。列車すじは基本的に長尺物であり、ユーザーによっては2~3日にわたる分を連続して表示してほしいという要望もある。そのため列車すじ表示シートの周囲に、上下及び左右方向に対するスクロール、ある特定時間を中心とする時間帯指定、

上り線のみ/下り線のみ/上下線同時等の表示対象線区指定、現在時刻表示部、マウスが指している列車すじに対する駅名・時刻表示部、主メニュー等の制御ブロックを、画面構成部品として配している。すじに関しては、表示対象とするダイヤの種別によって実施・実績・整理・予測すじ等の区別を持たせ、マウスの動作に関連したクリックすじやドラッグすじ等のすじ表示部品を設けた。さらに、停車時の時刻記号、列車番号、番線記号、運用記号のほか、列車すじの中で線路閉鎖といった工事情報も扱えるように工事記号等も設け、約80個の表示部品を開発した。ユーザーにおける運用者は、以上を用いて表示された実施ダイヤと実績ダイヤ、及び実施ダイヤと予測ダイヤを重ね合わせたダイヤすじを監視し、ダイヤ変更を行うことができる。

ダイヤ変更入力に際しては、図4に示すとおり、指令員が駅名をマウスでクリックし、さらに列車すじ又は運用接続をマウスでクリックすることで、システムは実施可能なダイヤ変更のプルダウンメニューを表示する。さらに指令員が、マウスを用いて指定した列車すじをそのまますじ移動(ドラッキング)等を行えば、それに呼応して、列車運転順序の変更、使用する着発線の変更、及び運用の変更をできるようにしている。また、与えた変更入力に対していったん仮実施ダイヤとして変更後のすじがどうなるか確認のための表示を行い、実際に更新指示を得て一斉にダイヤを書き換える方式としている。

以上のように、列車すじ表示端末装置の開発により、下記のようなことが可能となった。

- (1) 編集画面を用いて、各顧客の異なった要求に対しても柔軟に対応ができる。
- (2) 実施と実績、実施と予測といった複数のダイヤを画面上に重ね合わせて表示できるので、運用者にとって遅延している列車が目りょう(瞭然)となり、より有効な運転整理ができるようになる。

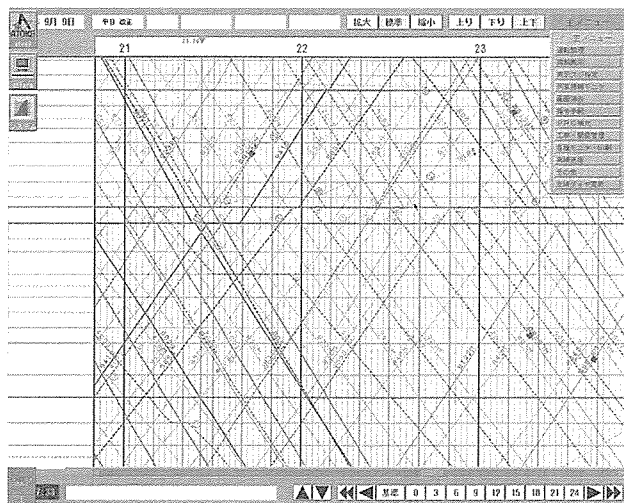


図3. 列車すじの表示例

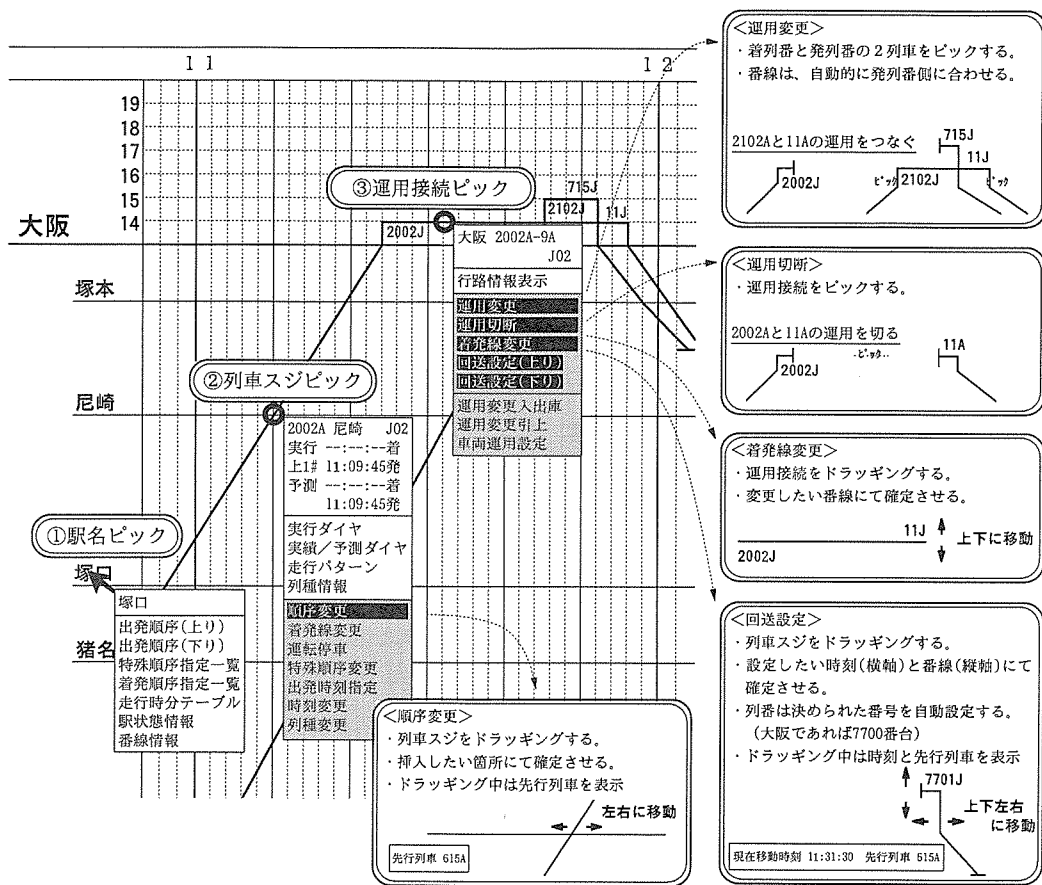


図4. すじによるダイヤ変更入力

(3) 従来はすじを見ながらキーボードで入力していたダイヤ変更を、マウスによるクリックとドラッグで簡単に変更できる。

(4) 変更入力に対して仮実施ダイヤで確認できるので、実際の運転状況に則した有効なダイヤ変更が可能となる。

2.3 列車運転予測と運転整理

従来のシステムでは、単に列車の着発実績情報のみに基づいて、指令員が頭の中で近未来の列車運転がどうなるか思い描いて運転整理を行ってきた。指令員の思い描く整理案は可視性を伴っていないため、どうしても運転整理内容が現場の実態とかけ離れ、かえって遅延の増幅という事態も過去には起きていたと聞く。

当社は、AI(Artificial Intelligence)技術を適用した思考整合型モデルを開発し、運転整理支援システムやダイヤ自動作成システム等を各鉄道ユーザーに提供してきた。運転整理支援システムでは複数列車の数時間先までの運転シミュレーションを数秒以内に行うため、近未来の列車の動きが短時間かつ正確に分かるものとして、各顧客から好評を博している。以下に、最新の列車運行予測と運転整理について述べる。

2.3.1 列車運転予測

列車の運行業務において、何らかの理由によってダイヤどおりの運行が保てない場合、各列車の今後の運行を迅速

に正確に予測して、できる限り速やかにダイヤを回復させることは輸送指令にとっては大変重要な業務の一つである。列車の高速・高密度運転に対応した高度な運転整理業務をよりの確に支援するために、列車運転予測機能を開発した。独自の部分シミュレーション方式によって高精度のシミュレーションを実行できるため、指令室で各列車の今後の運行をより迅速に、正確に知ることができる。また、先進技術であるAI技術を適用した思考整合型モデルを採用することにより、指令員の経験的知識に基づいた運転整理案を自動提案でき、輸送指令の意志決定を的確に支援することができる。

(1) 部分シミュレーション方式

この方式では、列車がある駅に到着してから出発するまでを最小単位としてシミュレーションを実施する。図5の例では、A, B, C, Dの四つの部分シミュレーションが存在する。それぞれの部分シミュレーションは、ある列車の着イベントと発イベントのように相互に関連する複数のイベントからなり、これらのイベントは、従来方式と同じく、時刻順に処理される。しかし、部分シミュレーションの単位では、A→B→C→D, A→C→B→D, C→A→B→Dのいずれの順でも処理できる。この方式では、基本指令を送る順序と駅を指定することにより、部分シミュレーションの実施順序を制御する。したがって、時間的な前後関係にと

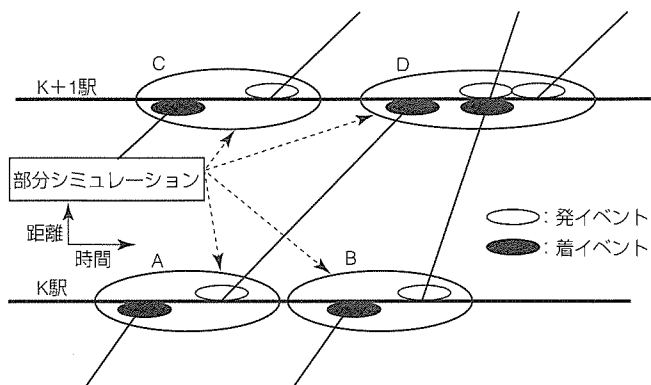


図5. 部分シミュレーション例

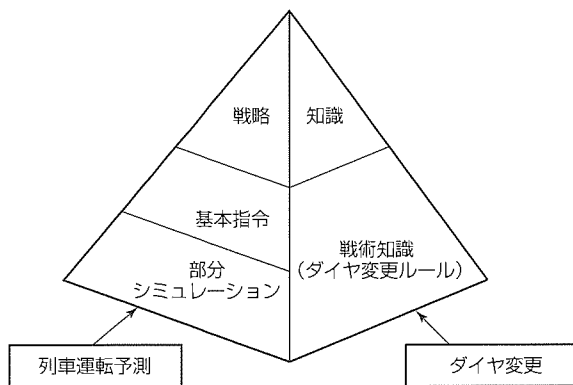


図6. 思考整合型モデル

られずに、指令員と同じような思考つまり柔軟な順序で必要な範囲内の列車運行のみを予測できる。このため、従来方式に比べて処理速度を飛躍的に向上させることが可能となった。

(2) 思考整合型モデル

思考整合型モデルは、当社が運転指令員業務を分析して独自に開発した専門家モデルであり、部分シミュレーションの実施とIF-THEN形式のルールによるダイヤ変更判断とを組み合わせている。図6に示すように、階層的に定義される四つの要素で構成される。部分シミュレーションと基本指令は前述のとおりである。戦術知識は、順序変更などのダイヤ変更手段ごとに、ダイヤ変更を実施する状況と変更内容をIF-THEN形式のルールとして表現したものである。また、他の変更手段に対しても同様のルールを駅ごとに記述する。

戦略知識は、整理案ダイヤを作成するために、部分シミュレーションによる列車運行予測と戦術知識によるダイヤ変更とを、人間にとって分かりやすい順序で段階的に進める役割を持っている。

2.3.2 運転整理

運転整理支援機能には、運用を考慮して、モニタ型予想機能と対話型予想機能の二つの機能がある。図7に機能関連図を示す。モニタ型予想機能は、最新の実績ダイヤ及び実施ダイヤに基づき、現在時刻から一定時間先までの予想ダイヤを作成してダイヤ図を表示する。また、予想した結果、あらかじめ定めた警報事象が発生した場合には、その内容を表示する。このモニタ型予想機能は、一定周期ごとに予想処理を繰り返し実行する。指令員は、この予想機能を使用して、常に現状より先のダイヤの乱れを監視することが可能となる。

一方、対話型予想機能は、モニタ型予想機能で作成され

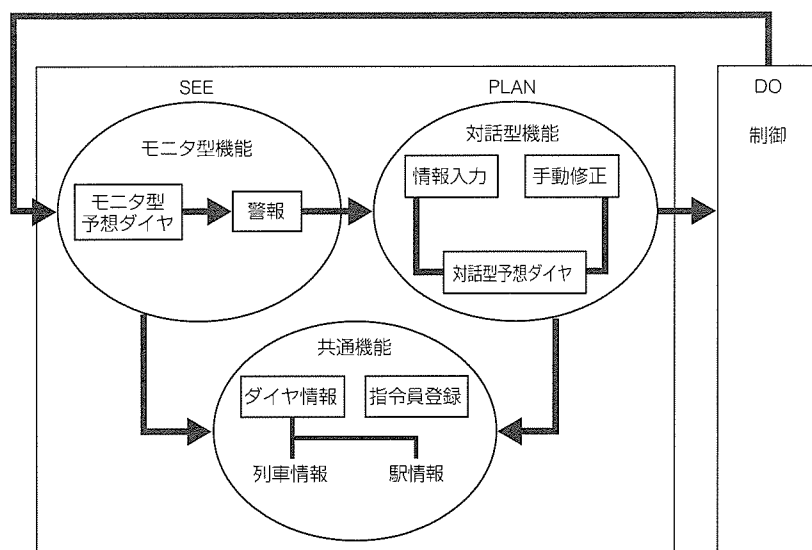


図7. 機能関連図

た予想ダイヤと指令員操作の情報入力と手動修正入力に基づいて、現在時刻から一定時間先までの予想ダイヤを作成してダイヤ図を表示する。また、予想した結果、あらかじめ定めた警報事象が発生した場合には、その内容を表示するとともに、この警報を回避する運転整理案を提案する。情報入力機能では、列車運転再開時刻の設定や遅延設定など、システムではとらえることのできない列車運行情報の指令員の入力を受け入れる。

手動修正機能は、順序変更や運転停止などをマニュアル入力に基づいてダイヤ情報を修正し、ダイヤ乱れ時の復旧案を作成する。指令員は、システムが提案したこの運転整理案を手動修正に反映させて予想ダイヤを作成し、ダイヤ図を表示することも可能である。この情報入力、手動修正や自動運転整理案を反映して予想ダイヤを繰り返して作成することができる。

指令員は、モニタ型予想機能によってダイヤの乱れの状況を早期に把握することができ、対話型予測機能によって試行錯誤的に最適な運転整理案ダイヤを短時間に作成することが可能である。

3. システムの構成と交通用ミドルウェア

当社はこれまで、システム構成の集中型・分散型を問わず、顧客先もJR、公営、民鉄と、数多くのシステムを納入してきた。従来のシステムは、産業用計算機MELCOM350/60シリーズで構成されていた。今後は、CPUにPA-RISCを用いた新しい産業用計算機MELCOM350/MR3000又はMR2000シリーズを中核に、端末として用いるエンジニアリングワークステーション(EWS)をLANで接続し、連携してダイヤ管理やダイヤ変更等の処理に当たる構成を採る。また、顧客によっては中央処理装置にフォルトトレラント計算機を必要とされる場合があるので、フォルトトレラント計算機とEWSを組み合わせたシステム構成も採る。MR3000/MR2000シリーズ、フォルトトレラント計算機、及びEWSは、それぞれオペレーティングシステム(OS)が異なっている。

今後作成するシステムの基本構造を共通にし、OSの相違を意識せずにアプリケーションソフトウェアの製作を行い、アプリケーションソフトウェアの相互流用を図っていくために、交通システム用のミドルウェアをこのたび整備した。図8に交通システム用のミドルウェアの標準構造を示す。構成制御は、多重系システムの運転管理、異常処理・回復処理を行う。通信管理は、計算機間の情報授受を高速に行うために、二重化LANの活休管理、回線の開・閉局管理、及びメッセージ管理を行っている。プロセス管理は、各アプリケーションプロセスの起動と終了を管理する。データ管理は、ダイヤ等数Mバイトにわたる容量のファイルに対し読み出し及び書き込みを高速に行う。このほか、警報管理ではシステムが扱う警報のキュー処理及び入出力処理を、帳票管理では帳票出力処理を、タイマ管理では定時起動プロセスに対する起動処理を行っている。以上の各機能に対して各機種種のOSに依存する部分については、それを最下層の基本部で吸収している。

4. 輸送計画支援システム

輸送計画支援システムは、鉄道輸送計画業務を計算機で支援するシステムである。鉄道会社では、より良い輸送の実現やサービス向上など、新たな要望や施策に対応した運転計画が検討され、策定されている。計画支援システムは、これらの運転計画業務を支援して質の良い計画を効率的に支援するとともに、需要に最も適した柔軟な計画作成の実現を支援する。

4.1 計画システムの体系と技術的特色

計画システムは、鉄道輸送計画業務を支援するトータルのシステム化の構想の下で開発しており、データ化された計画情報が各システムで有効に活用される。また、計画システムと運行管理システム間で、計画情報の授受が人手を煩わすことなく効率的に可能である。計画システムは、閉塞割支援システム、運転曲線作成システム、時隔曲線作成システム、列車ダイヤ作成支援システム、乗務員運用作成支援システム、車両運用作成支援システム、車両充当/配置計画システム、基地構内作業計画支援システム等で構成される。以下に、最近特に各鉄道ユーザーが注目している乗務員運用作成支援システム及び基地構内作業計画支援システムの概要について述べる。

4.2 乗務員運用作成支援システム

乗務員運用作成支援システムは、列車ダイヤに対して乗務員一人当たりの勤務パターンを示す乗務系統を作成する。乗務員の勤務に関しては労働協約等で規定があり、乗務系統は必ずこの協約を満足しなければならない。また、早朝から始まる泊り明け勤務や中休勤務(午前と午後に勤務が分かれる)、深夜までの泊り勤務などがあり、これらを満足した乗務系統を作成する必要がある。

そこで乗務員運用作成支援システムでは、労働協約に基づいた制約条件(勤務時間、乗務時間、休憩時間など)や駅等に関する条件(宿泊可能人数など)等を自由に編集可能と

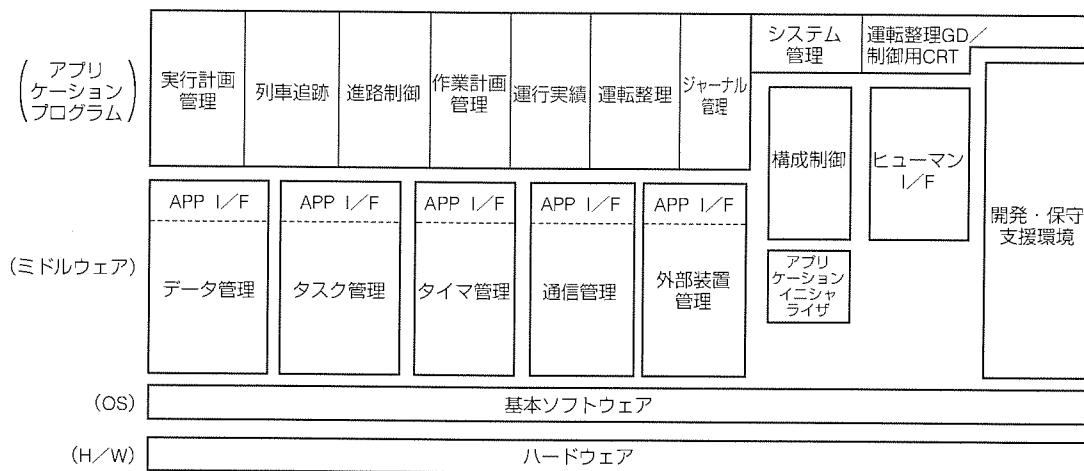


図8. ミドルウェア標準構造

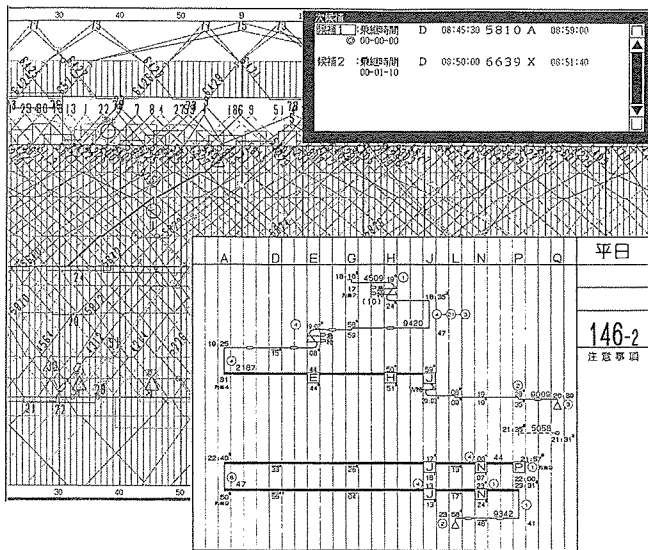


図9. 乗務員運用作成支援システムの作成例

している。また、ルールをメンバーシップ関数で記述したファジー手法を採用しており、乗務系統の作成において該当する複数のつな(繋)ぎ合わせ候補に対して点数評価を行い、評価の高い候補から順に、該当した複数の候補一覧を自動で提案する。これにより、あいまいなルールにもシステムで柔軟に対応することができ、ルールの重み付けの変更も可能である。

図9に、乗務員運用作成支援システムで作成した例を示す。また、条件をどのように変更すれば最適な乗務員の運用が実現できるか等、事前にシミュレーションできる機能等も持ち、高いシステムの運用効率を実現できる。

4.3 車両基地の構内作業計画支援システム

基地構内作業計画支援システムは、編成種別による使用番線の制約、番線ごとの作業可否、作業員の勤務時間等の制約条件に基づき、検査・清掃などの基地構内作業にかかわる計画作成作業を支援する。構内配線、番線ごとの編成種別による制約条件、検査・清掃等の作業時分、作業員の勤務時間等の情報は基地ごとに異なるため、基地ごとの固有情報として登録する。

この基地固有ごとの情報と本線ダイヤから抽出した出入区情報に基づき、基地構内における車両入替えや作業割当てを自動的／対話的に計画することができる。このとき、システムから他車両との番線支障・進路支障を考慮し、作業可能な番線に運転士及び作業員が割当てできる時間を短

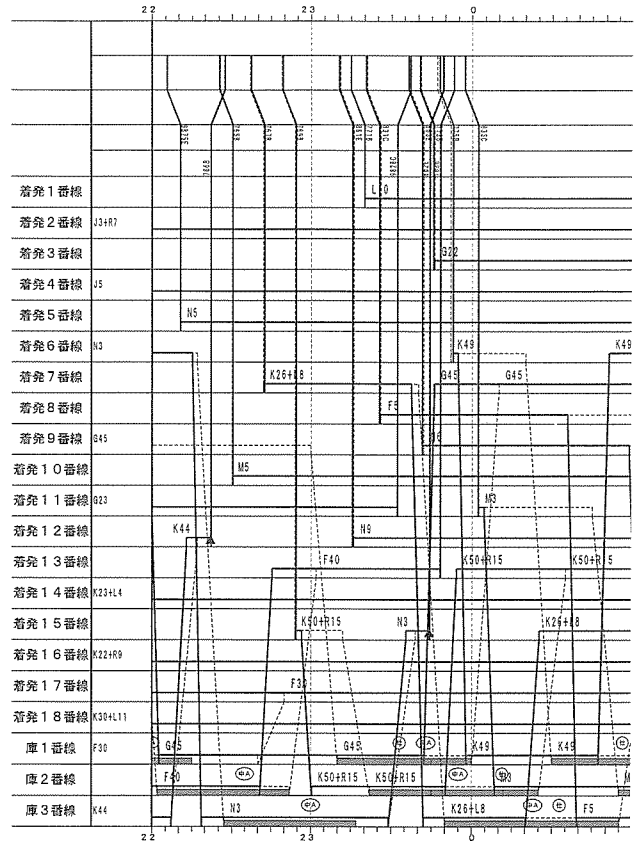


図10. 基地構内作業計画支援システムの作成例

時間に自動提案する。また、当日の列車乱れ等に伴う本線ダイヤの変更を取り込み、構内ダイヤを対話的に修正することができる。図10に、基地構内作業計画支援システムで作成した例を示す。

5. むすび

運転情報制御システムにおいて開発を進めてきた種々の最新技術について述べてきた。以上の技術を今後の製品において取り入れ、高品質の製品を短期間に提供していきたいと考えている。また、高速処理で扱いやすく、運用者の思考を妨げることがなく業務を効率的に支援することで、各顧客から喜ばれるシステムを実現していく所存である。

参考文献

- (1) 駒谷喜代俊：運転整理支援エキスパートシステム，計測と制御，32，No.7，586～588（1993）

鉄道における最新の通信システム

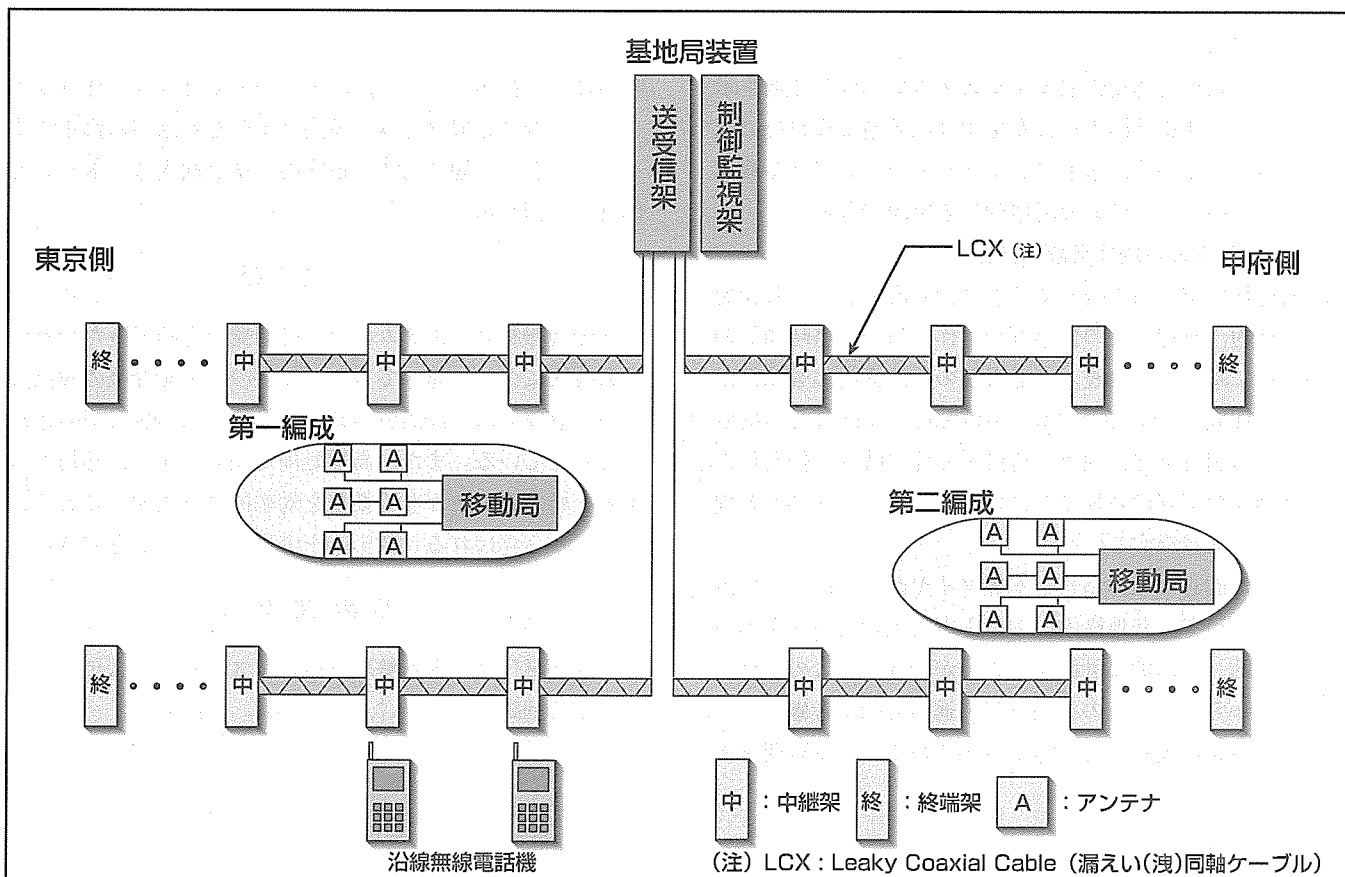
田子憲三* 山川恭一***
川本真紀夫* 津久井志朗+
新倉弘久**

要 旨

鉄道における代表的な通信システムとして列車無線システムがある。現在、様々な移動体通信が脚光を浴びているが、列車無線システムは、列車乗務員と運転指令員との間で使用する唯一のリアルタイムな連絡手段として、従来から鉄道運行のために非常に重要な設備として運用されている。ユーザーから要求される列車無線としての性能、機能、要求価格等の項目は様々であり、これらの要求に対して、三菱電機では、最良の列車無線システムを提供してきた。本稿では、新しい列車無線システムとして、山梨リニア実験線用列車無線システムを紹介する。このシステムは、従来の音声主体のサービスのみならず、データ伝送サー

ビスもサポートしている。リニア車両が500km/hを超える速度で走行するため、車上に設置される各種設備の状態監視情報をきめ細かく地上に伝送し、速やかに走行制御にフィードバックする必要がある。すなわち、列車無線システムには、高速で地上通信網と同等の高品質なデータ伝送サービスが要求される。

回線品質を確保するための手段として、スペースダイバシティ方式とフレームダイバシティ方式の両方を採用した。また、列車無線で敷設したLCXを利用して沿線作業者の便利な通信手段となる沿線無線電話システムも開発した。



山梨リニア実験線用列車無線システム

リニア車両が走行するガイドウェイ上にLCXを敷設し、LCXを介して、基地局装置と移動局装置及び沿線無線電話機間で、無線通信を行うシステムである。中継機を沿線に設置してLCXの伝搬損失を補償し、全線にわたって高品質な無線回線の提供を行う。

1. ま え が き

山梨リニア実験線での磁気浮上式車両による世界最高速度の達成、長野冬季オリンピックにおける長野行き新幹線の主要輸送機関としての活躍、新型新幹線車両や新型の在来線車両の投入によるスピードアップと車内設備の改良等、列車にかかわる話題は非常に豊富である。

三菱電機は、列車の乗務員と地上指令員の間を結び、安全で正確な輸送業務をサポートする列車無線通信設備を納入している。

本稿では、最新の列車無線システムの一例として、山梨リニア実験線用列車無線システムの概要を紹介する。

2. システムの概要

この実験線で要求される機能は、大容量伝送と列車高速走行時の回線品質の高さである。リニア車両は500km/hを超える速度で走行し、その制御は地上で行われる。したがって、車両の安全かつ効率的な運転を遂行するためには、車両の状態を常時きめ細かく監視し、異常時には直ちに停止制御ができるよう地上-車上間に高速で高品質な伝送路が要求される。また、従来の音声系サービスのみならず、データ系サービス等への対応も考慮する必要がある。しかし、列車無線に割り当てられるUHF帯の周波数は過密状態にあり、伝送容量拡大のために新規に周波数を確保することは困難である。

そこで今回のシステムでは、回線品質の安定性に定評があるLCX方式を採用した。またデジタル化を図り、音声系情報は圧縮し、データ系情報はフレキシブルに伝送速度を割り当てることで帯域内での伝送効率を向上させた。併せて、 $\pi/4$ QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 変調方式の採用により、限られた周波数内での伝送容量の拡大を図った。さらに、地上-車上間双方向の通信にダイバシティ技術を採用することで回線品質の向上を図った。

3. システムの特長

(1) デジタル無線

伝送速度が異なる複数のチャンネルを同時にデータ端末装置に接続しなければならない。そこで、情報を効率良く、高速に伝送するために、無線方式はデジタル直接変調方式とし、以下の特長がある $\pi/4$ QPSK方式を採用した。

- (a) 耐フェージング特性が良いこと
- (b) 伝送情報量と比較して帯域幅が狭いこと
- (c) 隣接チャンネルへの干渉が少ないこと
- (d) 装置が小型化でき、かつ経済的であること

(2) 高速伝送

車上に設置される各種設備の状態監視情報、計測情報(車体振動加速度、台車枠の応力、超電導磁石冷却用液体

ヘリウム圧力など)をきめ細かく地上にリアルタイムに伝送し速やかに走行制御にフィードバックするためには、情報伝送路が高速でなければならない。

必要とされる伝送容量を考慮して、無線区間の伝送速度を次のようにした。

- (a) 地上から車上：296kbps(2車両共用)
- (b) 車上から地上：296kbps(車両ごと)

(3) 高品質

状態監視情報、走行制御情報は、列車運転の安全を確保するために、確実に誤りなく伝送する必要がある。したがって、移動局の走行によって発生する電界変動状態においても、安定した通信を可能とするシステムが要求される。そこで、回線品質として、本線上の99.99%の地域でBER 1×10^{-6} 以下を確保した。

この回線品質はデジタル列車無線として既に稼働中の東海道新幹線(BER 1×10^{-4} 以下)を上回り、地上通信網と同等の回線品質を確保することを目標として設定した。

4. システムの構成

(1) サービスエリア

このシステムのサービスエリアは、リニア車両が走行する実験線の先行区間(全長18.4km)であり、本線である北線と南線、乗降設備を抱える副本線、及び車両基地検修庫からなる。

このサービスエリア内にはリニア車両が2編成在線し、地上との間で同時に通信できる。

(2) ゾーン構成

無線ゾーンは1ゾーン構成で、基地局装置1組を実験センターに設置し、ガイドウェイの側壁上面に全線にわたって敷設したLCXを経由してリニア車両と通信する。また、ガイドウェイの両側に設置した中継機により、LCXを伝搬する電波の減衰を補償する。

(3) 無線周波数

無線に使用する周波数帯は、400MHz帯の中の3周波数帯とし、それぞれの周波数帯で無線周波数1波を割り当てた。

(a) 地上→車上方向

無線周波数1波を割り当て、2編成のリニア車両に対する回線を時分割多重で伝送する。

(b) 車上→地上方向

2編成のリニア車両に対して、それぞれ無線周波数1波を割り当てた。

5. 回線品質の確保の手段

(1) 概要

回線品質を確保する手段として、無線機単体でBER 1×10^{-5} 以下を確保できるように回線設計を考慮し、ダイ

バシティで最終目標であるBER 1×10^{-6} 以下を確保することとした。

このシステムでは次の二つのダイバシティ方式の両方を採用した。

- (a) スペースダイバシティ方式
- (b) フレームダイバシティ方式

さらに、本線上の99.99%でBER 1×10^{-6} 以下を確保するために、位相調整が必要となった。これは中継機設置箇所における電界の急激な落ち込みを改善するためのもので、中継機内部で同軸ケーブルの長さを変えることによって無線区間の位相を調整した。

(2) スペースダイバシティ方式

(a) 地上→車上方向

地上→車上方向では、リニア先頭車両側面の前後に2面のアンテナを取り付け、それぞれのアンテナからの受信入力を復調する受信機を設けた。ダイバシティユニットは、この2台の受信機のうち強い電界の復調結果を選択する。

リニア車両は北線ガイドウェイ又は南線ガイドウェイを走行するので、前後アンテナによるスペースダイバシティを行うため、リニア車両の北側面及び南側面にそれぞれ2面のアンテナを取り付けた。さらに、車両基地等はLCXをガイドウェイの底面に敷設するため、リニア車両の床下にも前後2面のアンテナを取り付けた。

リニア車両におけるスペースダイバシティの系統を図1に示す。

(b) 車上→地上方向

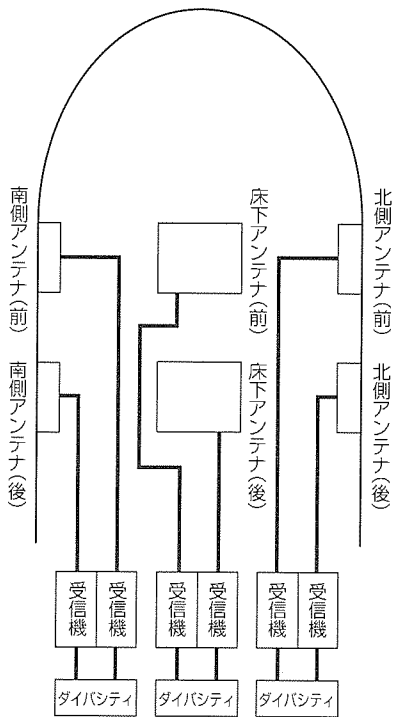


図1. リニア車両におけるスペースダイバシティの系統

車上→地上では、北線ガイドウェイに敷設したLCXからの受信入力を復調する受信機と、南線ガイドウェイに敷設したLCXからの受信入力を復調する受信機を設け、ダイバシティユニットで強い電界の復調結果を選択する。

基地局におけるスペースダイバシティの系統を図2に示す。

(3) フレームダイバシティ方式

回線品質の更なる改善のために、フレームダイバシティ方式を採用した。これは、各受信機の復調結果とダイバシティユニットの選択結果を、それぞれの系統において個別にフレームを認識し、各フレームにおいてCRCによる誤り検出を行い、誤りのないフレームを選択するものである。

移動局におけるフレームダイバシティ系統を図3に示す。また、基地局におけるフレームダイバシティ系統を図4に示す。

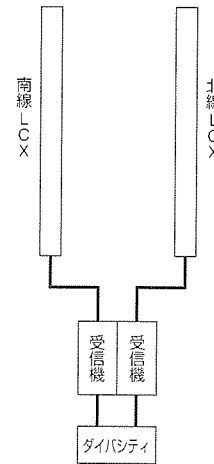


図2. 基地局におけるスペースダイバシティの系統

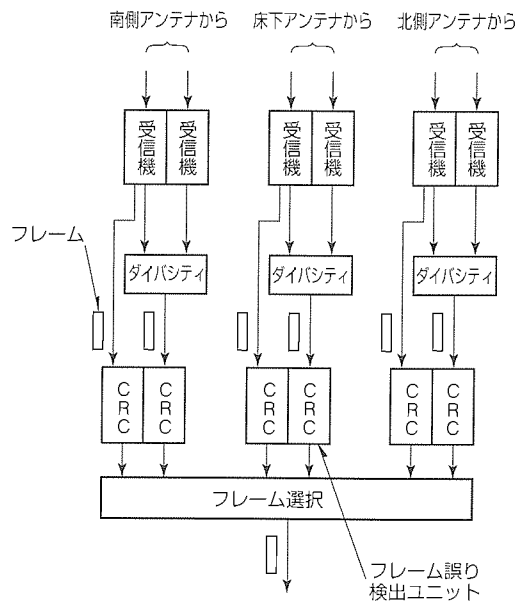


図3. 移動局におけるフレームダイバシティの系統

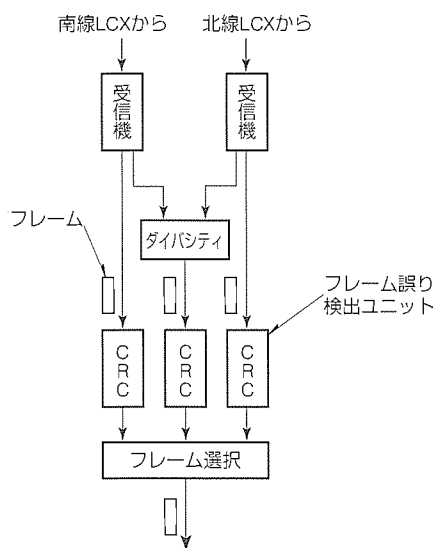


図4. 基地局におけるフレームダイバシティの系統



図5. 沿線無線電話機の外観

6. 沿線無線システム

(1) システムの概要

列車無線システムで敷設したLCXを利用して沿線作業者が実験線センターとの連絡手段に用いる“沿線無線システム”も同時に開発して納入した。既存の鉄道では、沿線作業者は、線路沿い500mごとに設置されている有線の沿線電話機を連絡手段に用いてきた。しかし、沿線電話機の設置場所まで移動して利用する必要があるため不便であり、最近では携帯電話機が普及しているのをこれを連絡手段に用いることが多くなってきた。

山梨リニア実験線はほとんどの区間がトンネルであるため、沿線作業者は通常の携帯電話機を使用することができない。また、有線の沿線電話機では不便である。そこで、列車無線システムで敷設したLCXを利用した沿線無線電話システムを開発して納入した。

(2) 構成機器

(a) 沿線無線電話機

沿線無線電話機の寸法はアンテナを含まず(H)160mm×(W)56mm×(D)33mmであり、その外観を図5に示す。

(b) 基地局装置

列車無線の基地局装置と同一のきょう(筐)体内に沿線無線システム用のユニットを実装した。

(3) 動作

基地局装置は実験センター内のPBXと接続し、沿線無

線電話機はPBXの一つの内線と同じ扱いとした。実験センターの内線から沿線無線電話機を呼び出す場合は、沿線無線電話機に割り当てた内線番号(4けた)をダイヤルする。沿線無線電話機では呼出し音が鳴り、応答すれば相手と会話ができる。

沿線無線電話機からPBXの内線を呼び出す場合は、相手の番号をダイヤルする。内線では呼出し音が鳴り、応答すれば相手と会話ができる。

7. むすび

これからの列車無線に求められるものとして、音声通話のみでなく高速・高品質のデータ伝送を用いて車上情報の収集を行い指令員の列車運行管理を行う補助手段とする方法や、さらに、地上の信号システムの代わりに列車制御を行うシステムへ発展すると予想される。そのためのキーワードがデジタル無線化であり、電波利用の効率化の動きと併せて、列車無線においても重要な技術となる。

今後は、安全で正確な列車運行に貢献できるようなデジタル列車無線システムを提供していく。

参考文献

- (1) 佐々木 伸, 杉山寛之, 植苗 肇: 山梨リニア実験線列車無線通信システム, 鉄道と電気技術, 8, No. 7, (1997)

電気・信号設備の監視・保全システム

村木一巳* 高橋正芳***
 金藤 悟**
 城ヶ崎 亨**

要 旨

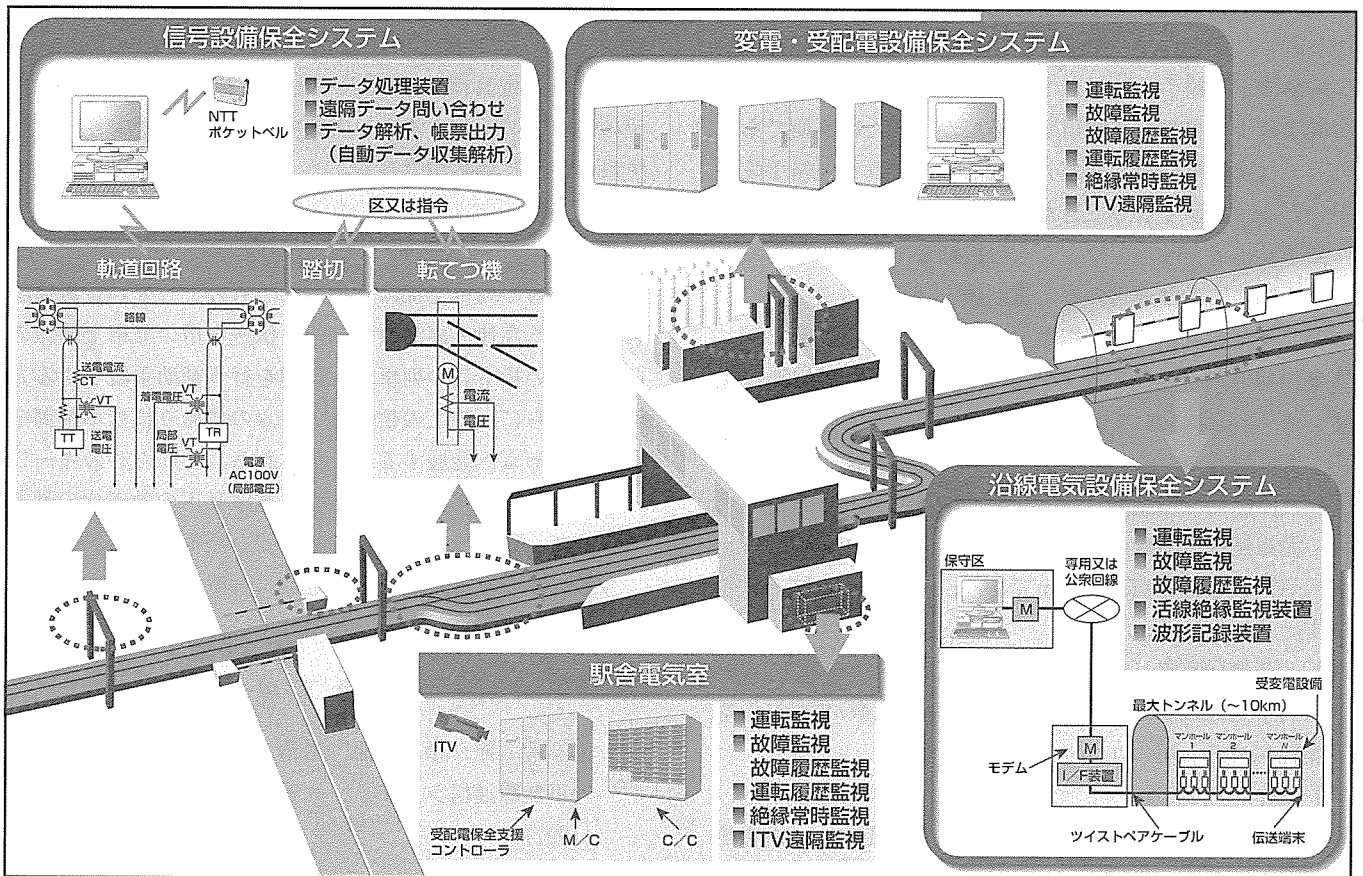
鉄道分野における電気・信号設備の故障は、列車の定常運行を乱し、社会的に大きな影響を引き起こす。このため、設備の維持管理には多大な労力が費やされている。この保全作業は、設備が広く散在しているため、移動を伴う作業、列車が通過しない夜間の作業、万一の場合の危険を伴う作業など、この分野に特有な作業がある。一方、保全作業に従事する技術者は年々減少しつつあり、今後、若年労働者の不足がこの傾向をますます加速させる。そこで、設備保全の省力化、故障の未然防止、故障の早期復旧と再発防止をねらいに、これまで人手に頼ってきた設備保全を機械化し、自動化するシステムを開発した。

このシステムは、対象設備によって次の3システムに分類される。

- 信号設備保全システム
- 変電・受配電設備保全システム
- 沿線電気設備保全システム

これらのシステムに共通した主な特長を示す。

- (1) 事故の未然防止と事故原因の究明
 イベント発生前後の変化や中長期トレンドを遠隔監視できる。
- (2) システムの変更・増設が容易
 インテリジェント端末によって処理を階層化したため、ビルディングブロック式にシステムを拡張できる。
- (3) 経済的なシステム
 フィールドネットワークの採用により、工事費の削減が可能である。



電気・信号設備の監視・保全システム

各設備の保全システムイメージを示す。駅構内、線路沿線に散在する監視対象設備を、インテリジェント端末及びフィールドネットワークを用いて遠隔常時監視を行う。

1. ま え が き

三菱電機は各分野における変電設備や受配電設備を提供しているが、これらの設備に対する維持管理の合理化を目的に、各種の診断・監視・保全システムを併せて提案してきた。

鉄道分野においても、電気・信号設備の維持・管理は、故障時の多大な社会的影響から、ますますその重要性が増してきている。一方、今後の若年労働者減少の傾向に加え、線路に沿った移動作業、列車が通過しない夜間の作業、万一の場合の危険作業など、この分野に特有の作業もあり、設備の信頼性を維持しながら保全の合理化を図ることが重要なテーマとなっている。

本稿では、これらの背景に基づき、信号設備、変電・受配電設備、沿線電気設備を対象に、これまで人手に頼ってきた設備保全を機械化し自動化するシステムについて述べる。

2. 信号設備保全システム

2.1 システムの機能

信号設備は沿線に散在しており、計測器を携帯しての移動のため、保全業務には労力を要する。このシステムは、

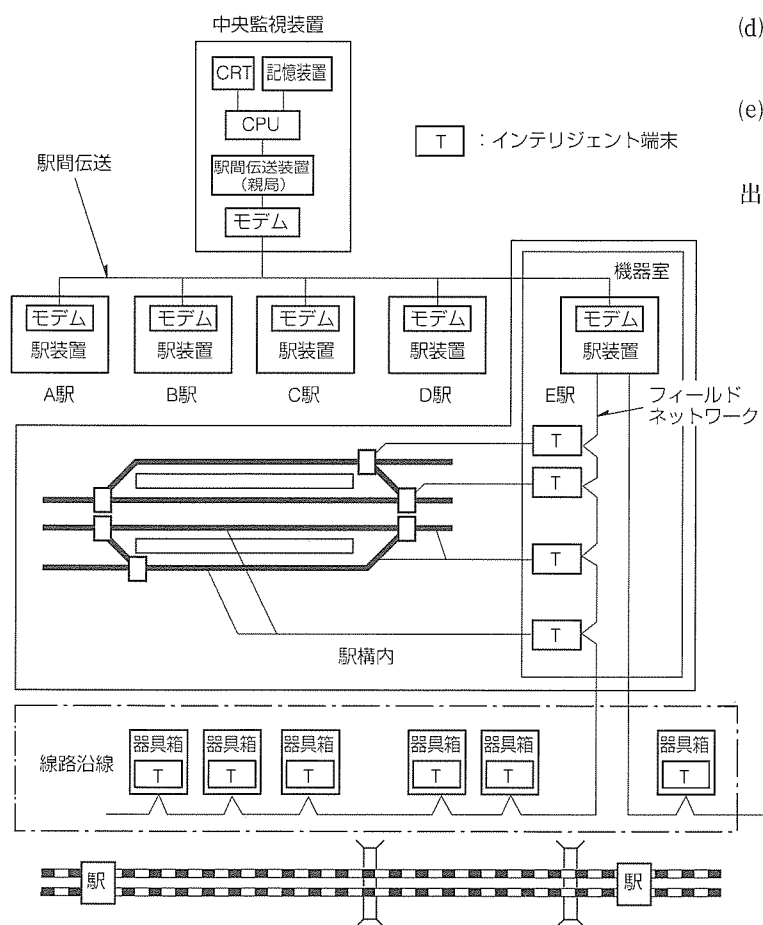


図1. 信号設備保全システム構成

沿線の器具箱や各駅の機器室に監視用端末とセンサを設置し、信号設備の運用状態を中央監視装置で集中監視し、記録し、帳票作成するものである。

監視対象としては、駅構内設備として電気転てつ機、軌道回路があり、その他沿線設備として踏切保安装置関係（踏切故障検出器警報、踏切制御リレー動作、障害物検知や報知用装置故障）及び閉そく信号関係（軌道回路）がある。

各信号設備の計測項目と監視内容⁽¹⁾を、以下に示す。

(1) 電気転てつ機

(a) モータ動作電力

通電時間からモータの動作時間を算出し、転換時間を監視する。

(b) モータ動作電圧

動作状態を監視する。

(c) 制御リレー電流

転換方向の検出を行う。

(2) 軌道回路

(a) 送信電流

設定したしきい値から電流異常を検出する。

(b) 送信電圧

動作状態を監視する。

(c) 軌道リレー電圧

設定したしきい値から電圧異常を検出する。

(d) 局部電圧

動作状態の監視を行う。

(e) 位相

しきい値から軌道リレー電圧－局部電圧間の位相を算出し、異常を検出する。

(3) 踏切保安装置

故障又は状態監視用接点から、以下の故障を把握することができる。

(a) 踏切故障検出器の故障接点

接点動作によって中央監視装置に警報表示する。

(b) 踏切制御用リレー接点

リレーの動作から動作順序や動作時間が基準と合致しているかをチェックする。

2.2 システム構成

図1及び表1にシステム構成及び機器設置

表1. 機器設置場所

機 器	設置場所	
インテリジェント 端末	駅構内軌道回路用	駅機器室
	転てつ機用	駅機器室
	閉そく信号用	沿線器具箱
	踏切保安設備用	沿線器具箱
駅 装 置	駅機器室	
中央監視装置	指令又は区	

場所を示す。

(1) 信号設備用インテリジェント端末

各対象設備に固有な監視機能とフィールドネットワークとのインタフェースを内蔵したインテリジェント端末を使用している。図2にインテリジェント端末の外観を、図3に軌道回路の監視回路構成を示す。

インテリジェント端末の特長を以下に示す。

- (a) ゲートアレーの採用により、小型、経済的な機器とした。
- (b) 警報・異常判断のためのしきい値が、中央監視装置から伝送によってこの端末にダウンロードされる。端末側での操作による表示及び設定も可能である。
- (c) 最大アナログ4量の電流又は電圧の計測を行う。入力信号設備は電流センサ又は計器用変圧器によって監視対象設備と絶縁されており、端末の故障時に設備への影響がないようにしている。
- (d) 各アナログ要素に対して2種類のしきい値を持っており、その値から2段階(軽/重故障)の故障検出を行う。

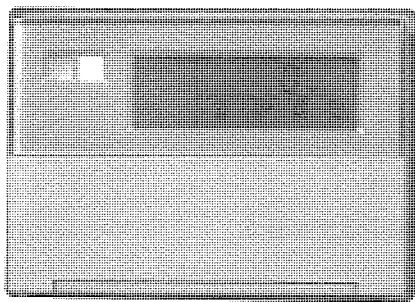


図2. インテリジェント端末の外観

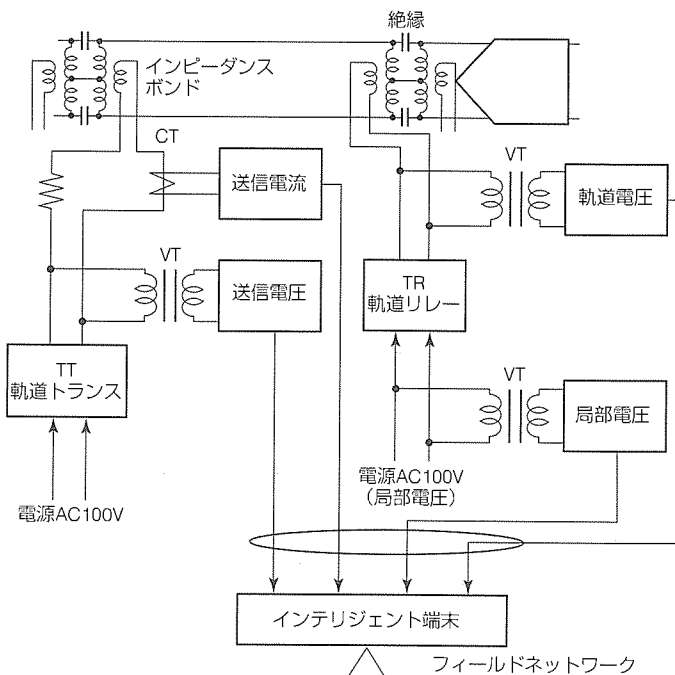


図3. 軌道回路の監視回路構成

(e) 設備故障時のトレース機能として、設定されたタイミング(故障発生前, 故障発生前後, 故障発生後)のアナログデータをサンプリング(周期0.1~1.0s, 0.1s単位で設定可)し、収集できる。

(2) 駅装置

駅装置は、中央-インテリジェント端末間のデータを中継するとともに、インテリジェント端末のデータをバックアップする。

(3) 信号伝送

中央監視装置-各駅間の信号は、既設ローカルエリアネットワーク(LAN)又は既設通信ケーブルを使用したモデムによって伝送される。駅構内及び沿線設備の信号伝送は、専用線によるフィールドネットワークによって行う。伝送仕様を表2、表3に示す。

2.3 システムの特長

(1) 設備保全の省力化

集中監視と管理帳票の自動作成によって設備保全業務を大幅に省力化できる。

(2) 設備故障の未然防止と故障の早期復旧

アナログデータの収集及び記録を行うことにより、傾向管理を実現でき、故障の未然防止が図れる。

一定サンプリング周期又は状態変化時(列車通過時又は電気転つ機転換時)の各アナログ値を中央又は区でオンラインでモニタすることができ、警報発生時の状態を容易に確認することができる。これにより、故障原因を現場に行かずに迅速に特定できる。

(3) アナログデータの多重表示による故障原因特定

インテリジェント端末は、同一タイミングですべての

表2. 駅間伝送仕様

項目	仕様
伝送方式	V.29準拠
通信速度	9,600bps
同期方式	調歩同期
変調方式	直交振幅変調
適用回線	専用回線(マルチドロップ)
通信方式	2線式半二重通信
ビットエラーレート	平均ビット誤り率: 10^{-6} 以下

表3. フィールドネットワーク通信仕様

項目	仕様
伝送方式	時分割多重
対向方式	1:Nマルチドロップ方式
同期方式	調歩同期
制御手順	CSMA/CD/ACKとポーリングの併用
誤り検定	パリティチェックとFCCの併用
伝送速度	9,600bps
伝送距離	最大10km
最大交信局数	64局

ナログデータを収集している。中央監視装置で各データを多重グラフ表示し、相関関係を確認することにより、故障原因を特定できる。図4に故障時のアナログデータのグラフ表示を示す。

(4) 列車の簡易追跡による軌道回路の異常検出

軌道回路監視用インテリジェント端末からの列車検出信号により、隣接軌道回路の連続性を監視し、不正短絡及び短絡不良を検出する。

3. 変電・受配電設備保全システム

3.1 システムの機能

変電設備や駅舎の受配電設備は、ガス絶縁開閉装置(GIS)、変圧器、整流器、高圧配電盤などの電力機器で構成される。これらの機器は、従来、巡視点検や定期点検によって保守されているが、主として以下の3点をポイントに遠隔自動監視を実施することによって点検周期を延長できる。さらに試験の自動化によって点検時間を短縮できる。

(1) 絶縁監視

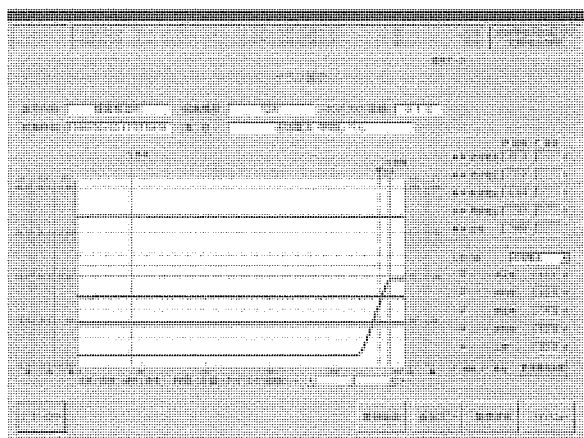


図4. 軌道回路の計測値グラフ表示

表4. 受配電・変電所保全システム監視項目⁽²⁾⁽³⁾

対象機器	項目	内容・用途・効果
遮断器 断路器など	機器開閉表示	電力系統図で運転状態の表示
	機器動作回数	次回点検時期の計画立案
	開閉極動作時間	機構不良の監視
アレスタ	アレスタ動作回数	次回点検時期の計画立案
ガス絶縁 開閉装置	ガス圧力	ガス圧力低下監視
	部分放電	絶縁異常監視
	ガス温度	温度監視
変圧器	変圧器温度	温度監視
	油中ガス分析	局部加熱・部分放電の早期発見
整流器	整流器温度	温度監視
配電系統	各回線高調波発生量	高調波監視
遮断器	遮断器トリップコイル 断線検出	遮断器故障の早期発見
配電系統	事故時波形記録	事故原因解析

各装置について以下の手法で遠隔から活線絶縁監視を行う。

- ①ガス絶縁開閉装置は盤内の異常によって部分放電が発生する。この部分放電によって発生した電磁波をアンテナで検出する。
- ②低圧は微小漏えい(洩)電流を監視する。
- ③高圧スイッチギヤは主回路ケーブル絶縁を監視(後述4章)する。
- ④変圧器は油中ガス分析によって診断する。

(2) 温度・圧力監視

高圧盤内の導体接続部の温度を非接触式温度センサで、また、整流器、変圧器の油温度は測温抵抗体温度センサで計測する。また、ガス絶縁開閉装置のガス温度と圧力を計測し遠隔から常時監視する。

(3) 機構部動作監視

遮断器の開閉極時間や、遮断器、保護継電器の動作シーケンスを自動的に監視する。

これらの監視機能を表4に示す⁽²⁾⁽³⁾。

3.2 システム構成と主要機器

図5にシステム構成を示す⁽⁴⁾。基本構成は信号設備保全システムと同一であるが、フィールドネットワークは変電所や電気室内でのみ適用される。

主なインテリジェント端末や装置について以下に示す。

(1) 油中ガス分析装置(インテリジェント端末)

変圧器の絶縁油中の可燃ガス総量(TCG)⁽³⁾を測定し、局部加熱や部分放電を早期に発見するとともに、異常検出後の進展を追跡監視する。

(2) 電気量集中監視装置(インテリジェント端末)(図6)

各種電気量(電流、電圧、電力、電力量、位相、高周波)、遮断器開閉極時間の計測監視と信号伝送を行う。

(3) 自動検測装置

定期点検時の保護連動試験などを自動化する装置である。保護連動試験では、保護継電器を実際に動作させ、保護連動による遮断器の開/閉を確認する。動作時間判定は、配電盤内の端末によって1ms単位で計測される。系統保護協調が実動作で確認可能となる。

停復電連動試験、操作連動試験も同様に実際のシーケン

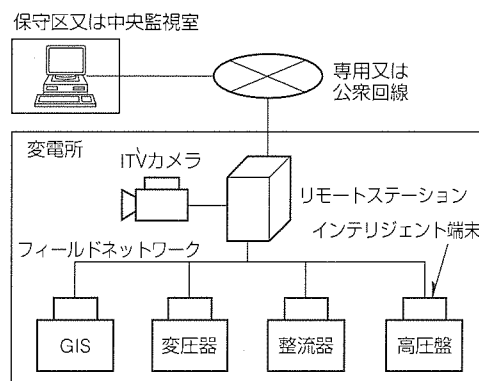


図5. 変電・受配電設備保全システム構成⁽⁴⁾

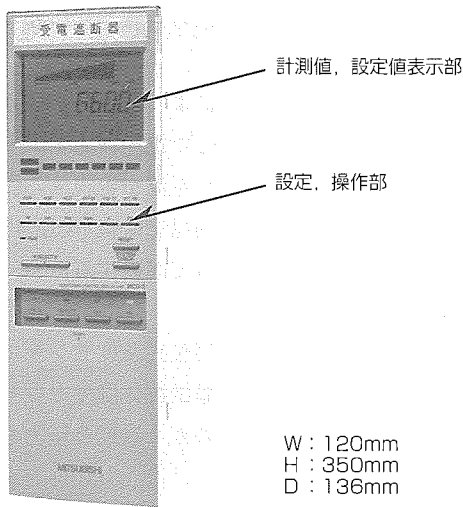


図6. 電気量集中監視装置の外観

スに従って機器を動作させ、その動作時間を測定し、判定を行う。

4. 沿線電気設備保全システム

この章では、トンネルにおける電気設備の保全に適用した場合について述べる。

数kmに及ぶトンネル内設備の巡視点検及び保守作業は、環境及び時間帯の制約から大きな労力を要する。このシステムは、この保全業務の軽減をねらったものである。構成を図7に示す。

トンネル内マンホールにインテリジェント端末を設置し、既設備からのアナログ信号(電流、電圧、電力、温度等)及び接点信号(遮断器の開閉状態、絶縁診断結果等)を入力する。この信号をマンホール間及び変電所まではフィールドネットワークで、中央監視装置がある保守区等へは専用又は公衆回線等を利用して伝送する。電気量などのアナログデータの計測・監視のほかに以下の特長機能がある。

(1) 活線絶縁監視装置

トンネル内の設備は、湿度による高低圧回路の絶縁劣化が問題となる。低圧回路は、微小漏洩電流(数mA)を常時計測し、しきい値による監視を行う。高圧回路は、ケーブル内に発生する水トリーの進行によって増加する脈動電流(数nA)を計測し、しきい値による監視を行う(図8)。これにより、回路の絶縁状態の劣化を事故発生前に知ることができる。

(2) 波形記録装置

列車通過による振動で電力ヒューズが切れる事故が発生する。この場合原因が過電流によるものなのか振動によるものなのかの判断が難しく、復旧に時間を要する。そのため、このシステムでは、ヒューズ断信号をトリガーとし、

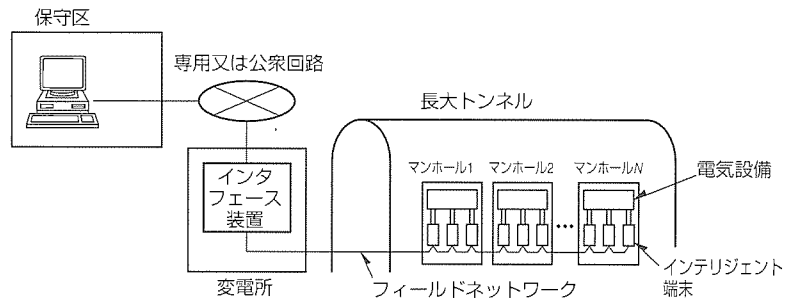


図7. トンネル電気設備保全システム構成

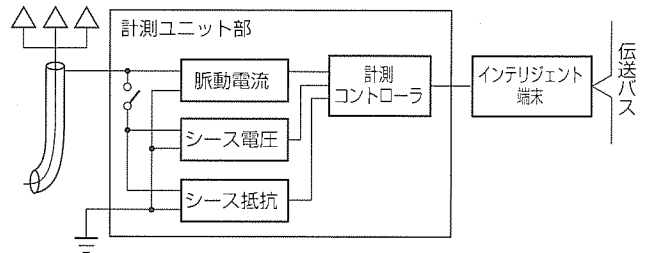


図8. 高圧ケーブル活線絶縁監視装置ブロック図

波形を記録する装置を採用した。また、この装置は、受配電設備の事故発生前後の電流・電圧波形、及び遮断器の動作順序を記録することにより、波及した事故の早期復旧、再発防止や、継電器不要動作の原因調査に役立つ。

5. む す び

本稿では、鉄道分野における電気・信号設備の保全システムについて述べた。保全に従事する技術者が年々減少していく中で更なる旅客サービスの向上を図るため、保全システムの近代化に対するニーズは強くなるものと考えられる。

これらのニーズに寄与するため、今後とも効果的で経済的なシステムの構築やセンシング技術の開発にまい(邁)進していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 信号・踏切設備, 電力設備保守マニュアル(改訂版), 日本鉄道電気技術協会 (1996-5)
- (2) 早丸秀吉, 酒井道雄: 受変電用開閉機器の診断技術, 三菱電機技報, 66, No.12, 1189~1195 (1992)
- (3) 工場電気設備管理技術の実態と最新技術動向, 電気学会技術報告, No.644 (1997)
- (4) 佐々木文夫, 酒井道雄, 安部克茂, 篠原秀雄, 宇野正嘉: 受配電設備の保全システム, 三菱電機技報, 69, No.9, 849~851 (1995)

九州旅客鉄道(株)納め作業計画管理システム

村山 聡*
小佐野賢治*
松原啓介**

要 旨

鉄道事業において列車の安全運行を確保するために、これを支える保線・電力・信号通信など各種設備の保守は極めて重要といえる。これらの設備保守業務は、作業の主体となる現業区とこれを統括する指令が中心となって計画され、実施される。しかしながら、その間には多くの手続きや調整を必要とし、申請書・帳票類の作成や転記、FAXや電話による関係各所との調整など、そのほとんどを人手に頼ってきた。特に指令においては、多くの現業区から申請される作業申込みの調整業務が集中し、負担となってきた。

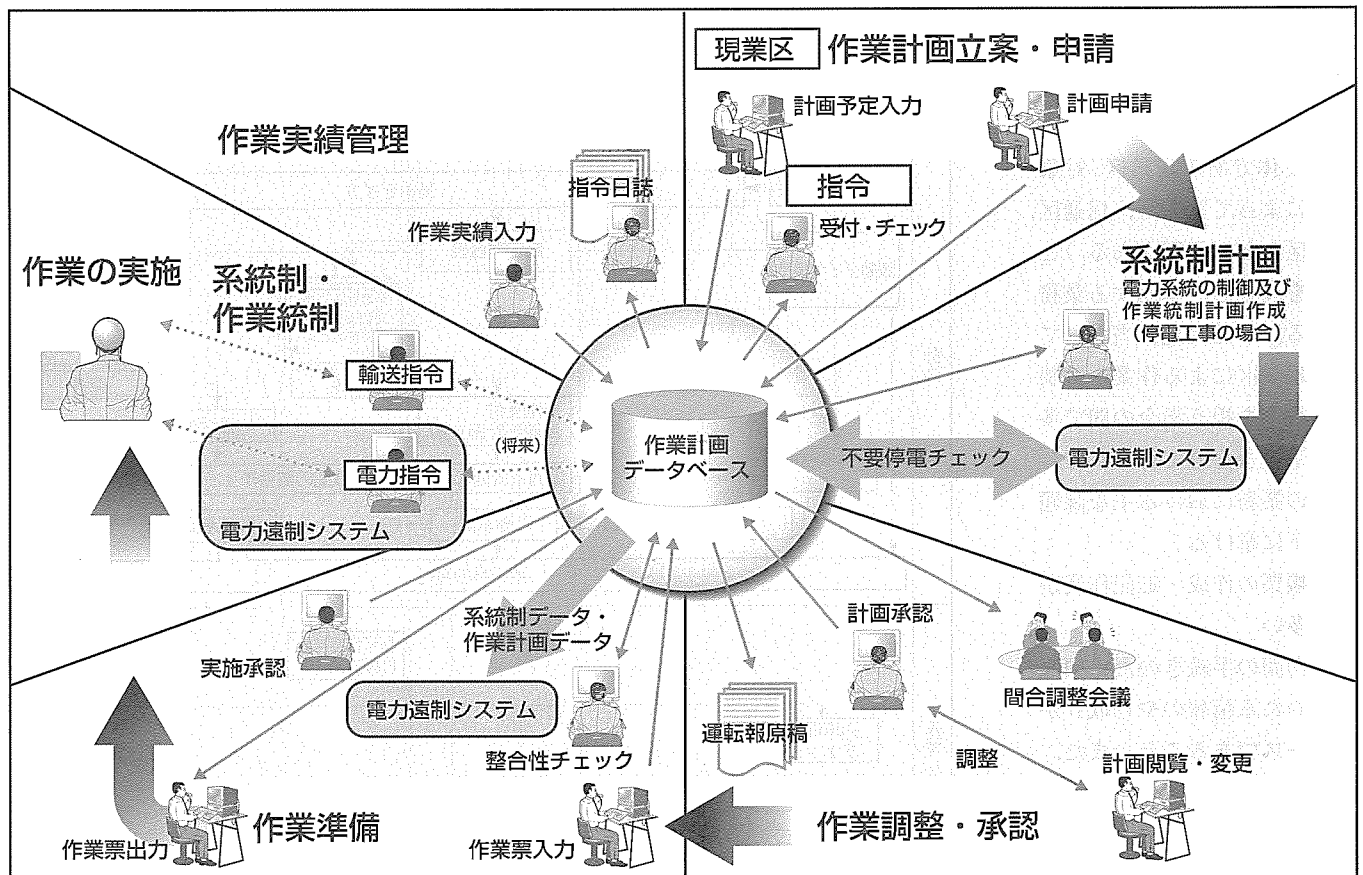
九州旅客鉄道(株)では、従来の地域ごとの指令を1か所に統合した総合指令体制へ移行するに当たり、これらの業務

効率化が大きな課題となった。

作業計画管理システムは、この課題を解決する目的で計画されたシステムであり、

- (1) 保守計画情報の一元管理と共有化により、指令と現業区など関係部門間での情報交換と調整を支援
- (2) 指令に集中する大量の作業申込みの集計、チェック、調整業務を支援
- (3) 作業の計画から実施に至る情報の一元化を目指し、電力系統と保守作業実施の統制を行う電力遠制システムとも連携

などにより、保守作業の計画立案から実施に至る保守作業計画業務のトータルな効率化を目指している。



作業計画管理システムによる作業計画情報の共有

作業の計画、調整、承認といった部門間をまたがる業務に対して、それらにかかわる情報を作業計画データベースに一元管理し、共有を可能としている。また、作業計画に基づく電力系統の統制業務を行う電力遠制システムへもこの情報を提供している。

1. ま え が き

鉄道事業において列車の安全運行を確保するために、その運行設備、とりわけ線路設備の保守は極めて重要といえる。線路設備は、保線・電力・信号通信等の設備が鉄道沿線に広範囲に設置されており、その保守は現業部門によって計画され、実施されている。保守作業の実施に当たっては、作業間合の確保やそのための関係箇所との事前打合せ、及び作業情報の交換等、種々の手続きが必要となるが、従来、その多くは人手で実施されてきた。また、特に作業間合の確保のために行われる多くの連絡・打合せや作業間の競合の判断等が、指令業務の負担となってきた。

九州旅客鉄道㈱では、運行管理部門と設備管理部門の総合指令化に当たり、前述のような保守作業計画業務の効率化が移行への大きな課題となった。そこで、従来の人手に頼る作業計画業務の在り方を見直して、計画の策定から施工までの人手による部分を支援し、省力化・効率化を実現するシステムの導入が計画された。

本稿では、このねらいを実現するため九州旅客鉄道㈱向けに構築した作業計画管理システムについて紹介する。

2. システム構築の目的と要件

2.1 解決すべき業務課題

図1に示すように、作業計画業務は、計画立案と作業実施の主体である現業区(対象設備によって電力区、信通区、保線区などの種別がある。)と計画を調整し、承認する業務である。また実施に当たっては、現業区による作業を統制する役割を担う指令の間で多くの手続きを経て行われる。従来の業務における主な課題を以下に挙げる。

(1) 帳票の作成・転記作業が多い

部門間の手続きのため頻繁に行われる情報のやり取りが紙ベースであること、また、現業区、指令の各場所によって手続き上管理する項目が異なることにより、各部門で転記や集計作業が多く発生する。

(2) 計画の変更・中止に伴う対応が多い

現業区で行われる計画立案

時、他の現業区との調整が行われるが、隣接する現業区の数が多い上、情報交換の手段が乏しく、調整漏れが発生しやすい。また、現業区から申請された大量の作業申込みを指令でも人手でチェックするため、チェックミスやチェック漏れが発生する。この結果、計画の変更・中止による部門間の再調整が多くなり、全体として業務の効率を落としている。

(3) 電話・FAXでの確認作業が多い

関連する各場所間で扱われる情報が一元化されておらず、また共有する手段に乏しいため、電話やFAXでその都度確認することになる。

これら従来業務の課題は、地区ごとの指令体制においてもあったものであり、総合指令体制への移行によって指令の管理範囲が広域化した結果、更に深刻となることが想定された。

2.2 システムの要件

以上の業務課題を解決するために設定したシステム要件を以下に挙げる。

(1) 関連部門間の計画情報の一元管理・共有化

現業区で立案される計画情報は立案時点からデータベース上一元管理し、指令間、隣接する現業区間など広域ネットワークを介して相互に作業計画情報を共有できるようにする。

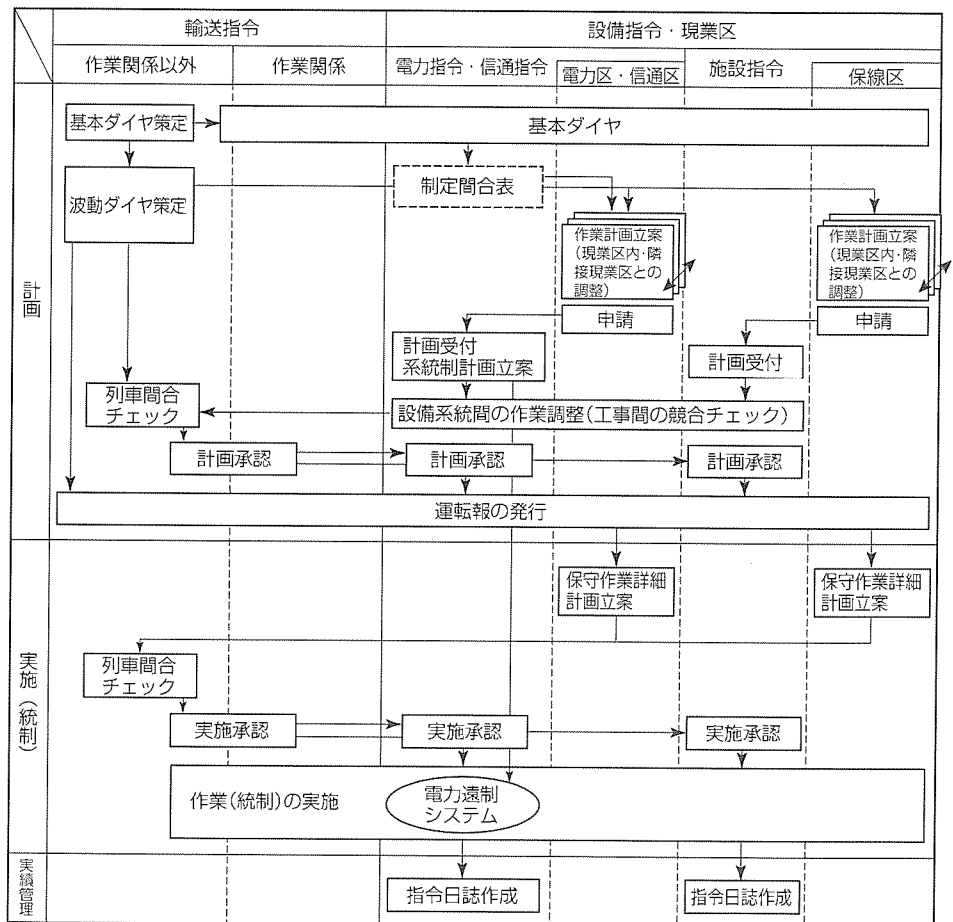


図1. 作業計画業務の流れ

にする。これにより、情報交換のための負荷を軽減でき、また、受け渡しされる情報の正確さが向上することで、作業計画業務全体の精度向上が期待できる。

(2) 各種管理帳票作成の自動化
一元化したデータベース上の作業計画情報から、申請、調整、伝達、実績管理など、各部門で手続きの段

階に応じて必要となる管理帳票が自動作成できるようにする。特に指令では、転記や集計作業の大幅な軽減と調整の迅速化が期待できる。

(3) 作業間・設備系統間の競合チェックの支援

指令部門において、各現業区から受け付けた大量の作業申込みの競合チェックをシステムで支援する。電力・信通・保線の各設備系統に関する作業計画のチェックを横断的に行うことにより、各指令間の調整作業の効率化・迅速化が図れる。

(4) 統制業務(電力遠制システム)への情報提供

作業計画情報は、作業の実施段階における指令での統制業務にも必要になる。停電すなわち電力設備の制御を伴う工事については、これまで個別に行われてきた作業の統制計画と電力設備の制御計画とを一元化することにより、計画から実施への準備作業の効率化と統制業務の正確化が期待できる。これをねらい、作業計画管理システムでは、作業計画を基に電力設備の制御計画を作成し、統制業務を行う電力遠制システムに提供する。

3. システムの概要

3.1 システムの構成

図2にシステムの全体構成を、図3にソフトウェア構成を示す。

(1) 作業計画管理サーバ

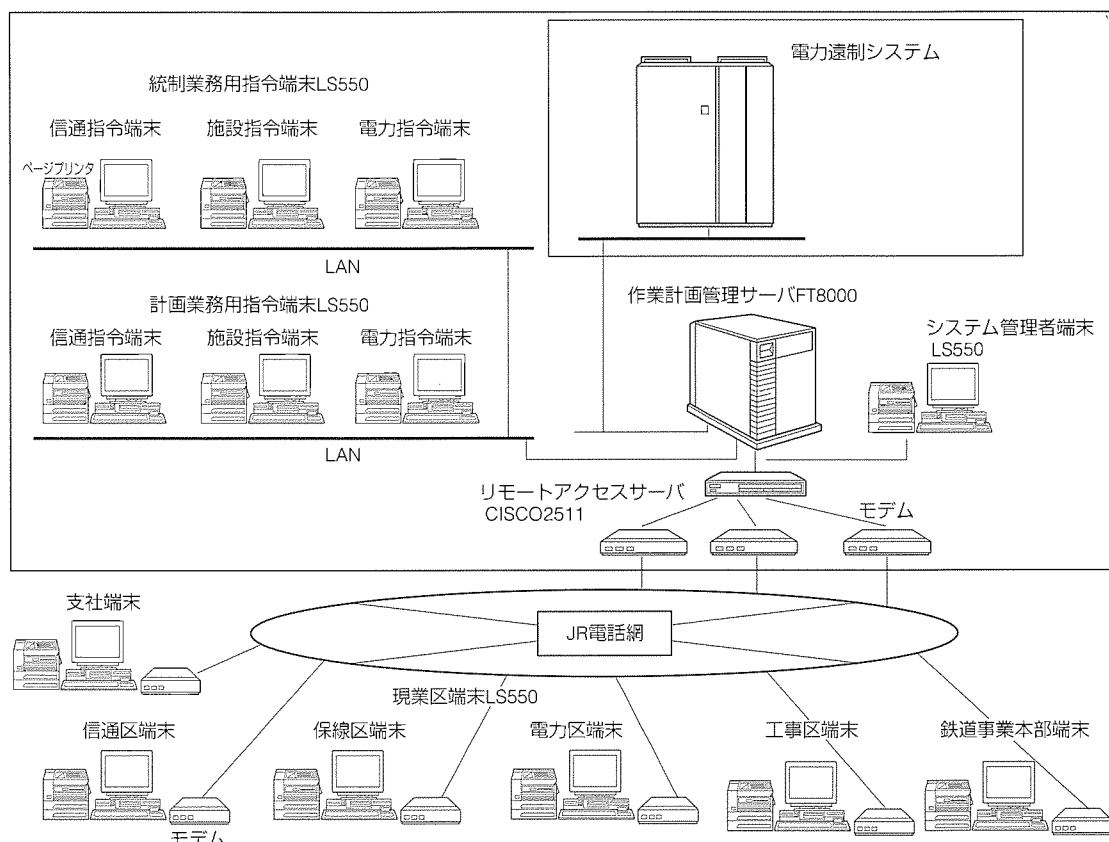


図2. システムの全体構成

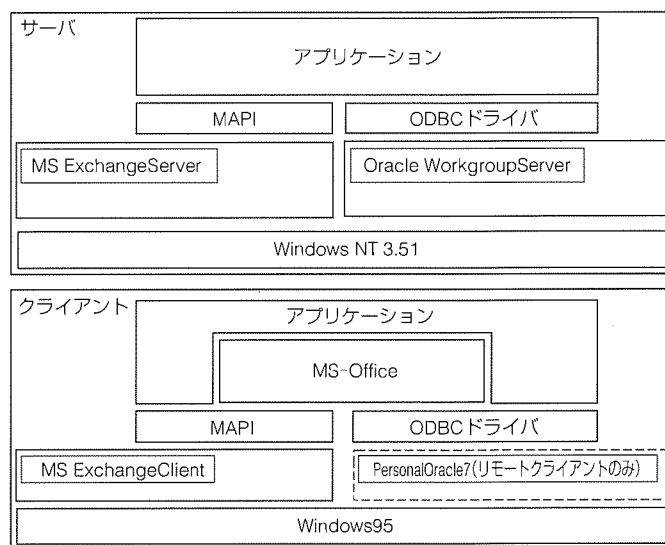


図3. ソフトウェア構成

総合指令内に設置し、システムの中核として機能するサーバである。ハードウェアはapricotFT8000モデル400を採用し、大量の作業申込みの競合チェックをバッチ処理で行うため、PentiumPro200MHz^(注1)2台によるマルチプロセッサ構成としている。またデータベースの信頼性確保のため、データ領域のディスクドライブは、RAID (Redundant Array of Inexpensive Disks) 5構成とした。

(注1) "Pentium" "PentiumPro"は、米国Intel Corp.の商標である。

オペレーティングシステムはWindows NT3.51^(注2)を採用し、データベースサーバとしてOracle WorkgroupServer^(注3)、メールサーバとしてMS ExchangeServer^(注2)を搭載している。ネットワークは、総合指令内はLANで指令端末や電力遠方制御システムと接続し、現業区端末とは、JR電話を介してリモートアクセスサーバ、モデムを使用して接続する。

(2) 指令端末

総合指令内の電力・保線・信号通信の各指令ごとに設置され、指令の計画業務と統制業務に使用される端末である。LS550を採用しており、管轄下の現業区から送られた作業申込みの受付、競合チェック、承認、管理帳票の出力などを行う。オペレーティングシステムはWindows95^(注2)を採用し、MS ExchangeClient、ODBC^(注2)ドライバを使用してLAN上の作業計画管理サーバのデータベースと接続している。

(3) 現業区端末

電力区、信通区、保線区などの現業区(本区及びその派出、管理室)に設置され、作業申込みの入力・申請、管理帳票の出力などを行う端末である。ソフトウェア構成は指令端末とほぼ同じであるが、作業計画管理サーバのデータ

(注2) "Windows""Windows NT""Windows95""Office""Exchange Server""MAPI""ODBC"は、米国Microsoft Corp.の商標である。

(注3) "Oracle""WorkgroupServer""PersonalOracle7"は、米国Oracle Corp.の商標である。

ベースを直接アクセスする代わりに端末上にローカルなデータベースを持つ点が異なっている。

(4) システム管理者端末

指令部門に設置されマスタデータのメンテナンスなどのシステム管理業務に使用するとともに、作業計画管理サーバのハードウェア監視を行う端末である。

3.2 システムの特長

このシステムでは、センターである総合指令の各指令部門と九州全域に分散する多数の現業区を接続する広域ネットワークの構築が実現方式上のポイントになった。作業に関する大量の計画情報を広域ネットワークを介してリアルタイムに共有しようとする既存のデータ回線の容量では不足するし、そのための設備増強には相当のコストがかかる。そこで、最新のインターネット技術、特にモバイルコンピューティングの分野で行われるような非同期レプリケーションの技術を用いて、JR電話回線のような細い広域ネットワークでの情報共有の仕組みを実現した。

図4にその処理方式の概念を示す。作業計画に関するすべての情報をセンターのデータベースで一元管理するが、データの配置をセンター集中とせず、広域ネットワークの外側に配置されるリモートクライアント上に参照用データを分散して持たせた。リモートクライアントでのデータ参照は、その都度サーバ上のデータを参照するのではなく、この参照用データを格納したローカルデータベース(以下「レプリカデータベース」という。)を参照する。サーバは電子メールを用いてデータベースの更新情報をクライアントに送付し、クライアントはこれを受け取ったタイミングでレプリカデータベースを更新する。電子メールによって更新を行うため、データの内容はサーバのデータベースに対して遅れが生じる(非同期である)が、以下のようなメリットがある。

(1) 電話回線上のトラフィック量軽減
ユーザーはレプリカデータベースを用いて業務が可能であり、毎回サーバをア

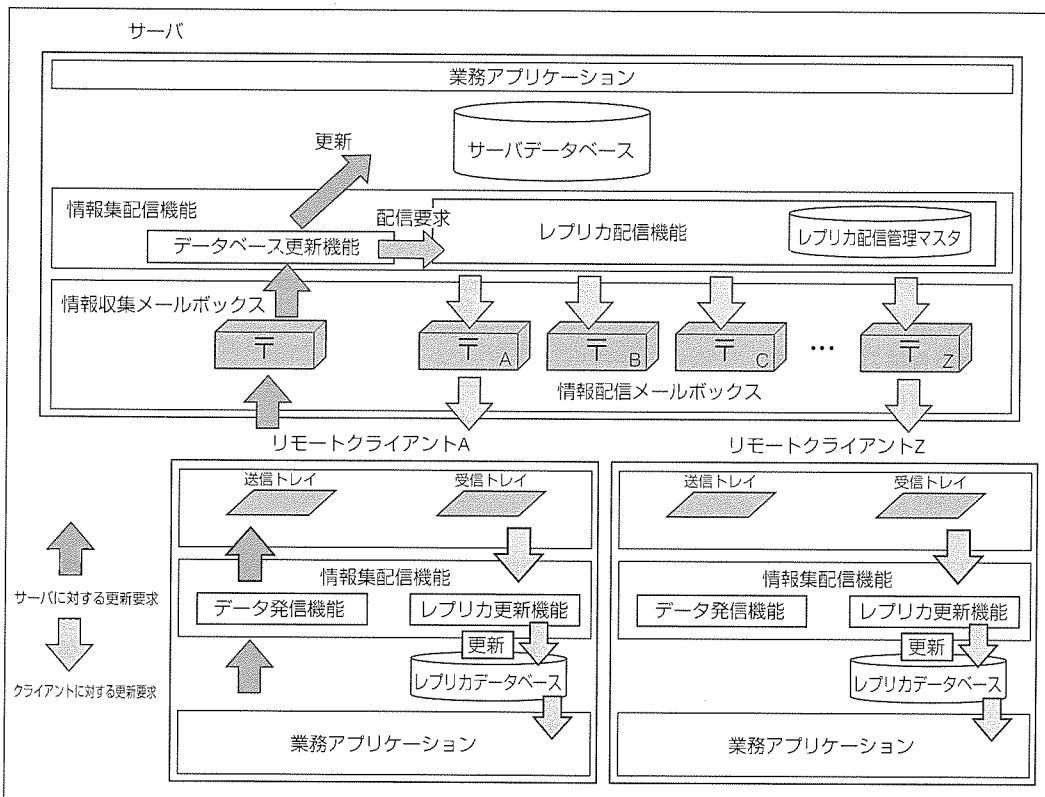


図4. 非同期レプリケーションによる処理方式

クセスする必要がない。電話回線上のトラフィックはサーバデータベースの更新差分のみとなり、リアルタイムで参照する方式に比べて大幅に軽減できる。

(2) システム管理の容易さ

申込み元と参照先となる各部門間の関係は、電子メールのメールアドレスで一元的に管理できる。これにより、組織変更などによるクライアントの増減に容易に対処できる。

(3) 非定型情報処理への対応

電子メールにワープロ文書など非定型情報を添付できるため、部門間の情報交換手段としても活用できる。また、レプリカデータベースがあることにより、蓄積された保守計画情報に対する統計・分析などの非定型処理も市販のソフトウェアを用いて自由に行うことができる。

4. システムの機能

4.1 工事計画予定入力・予定表出力機能

作業の計画を立案する現業区(派出, 管理室を含む。)において、作業申込みの入力・変更や、入力した申込みの一覧表の出力を行う機能である。図5にき電停止の申込み画面を示す。これらの申込み入力画面では、作業の条件に関する入力項目が非常に多いため、マスタファイルによる選択入力化を図っている。特に停電工事では、申込み可能な区間や時間などの条件を定義した制定間合マスタにより、大幅な入力操作の効率化と入力データの正確化を実現している。また、入力に際し、レプリカデータベースに蓄積した過去の申込みを引用することも可能となっている。

4.2 工事計画予定閲覧機能

工事計画立案や変更のために、隣接する他の現業区の工事や作業の計画を閲覧する機能である。画面例を図6に示す。この機能により、従来電話やFAX等で確認しあっていた計画を現業区独自で事前に確認することができ、作業の調整を効率的に行うことができるようになった。

4.3 区内確定・区間確定入力機能

自現業区内の他の工事や作業との調整、隣接する他の現業区の工事や作業との調整を行い、それぞれの段階で調整が完了した(確定した)ことを入力する機能である。

この機能により、作業の調整状況を隣接する現業区や指令が知ることができる。指令では、この状況を踏まえて現業区との作業調整を行うことができるようになった。

4.4 申請入力・申請書出力機能

現業区で確定した計画を、指令に対して申請する機能である。指令の承認が必要な線路閉鎖, 保守用車使用, き電停止, 配電停止, 変電所等機器使用停止, 駅構内停電といった計画工事が申請の対象となる。指令への申請に当たっては本区の担当者が各派出の申込みを集計して申請することになっているが、この機能によって本区と派出の間で作業計画が共有できるようになり、転記作業が不要になった。

4.5 作業票入力・出力機能

申込み・申請された工事や作業に対して指令の統制下で作業を実施するために必要な詳細情報を、現業区において付与する機能である。図7に画面例を示す。



図5. き電停止工事の申込み画面

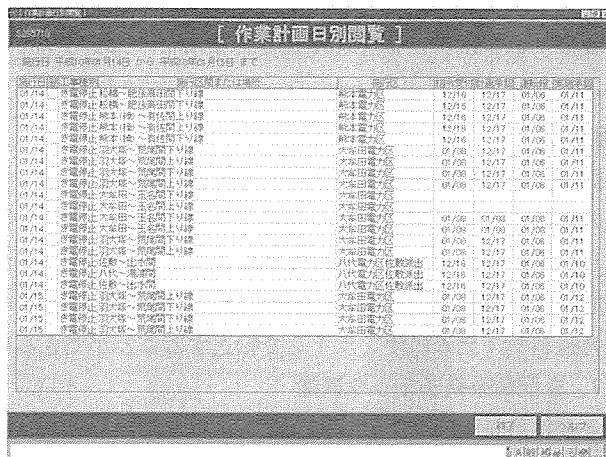


図6. 作業計画日別閲覧画面

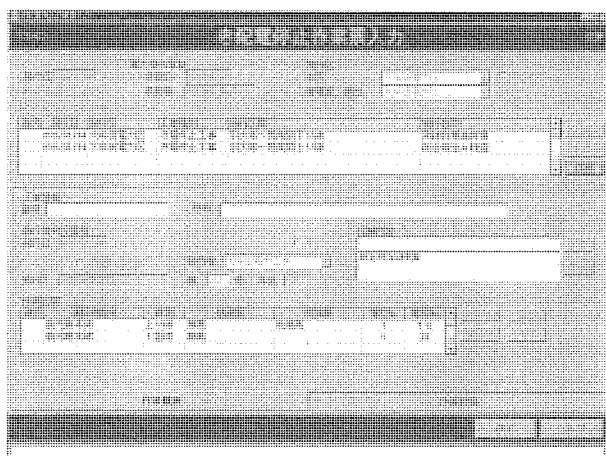


図7. 作業票入力画面

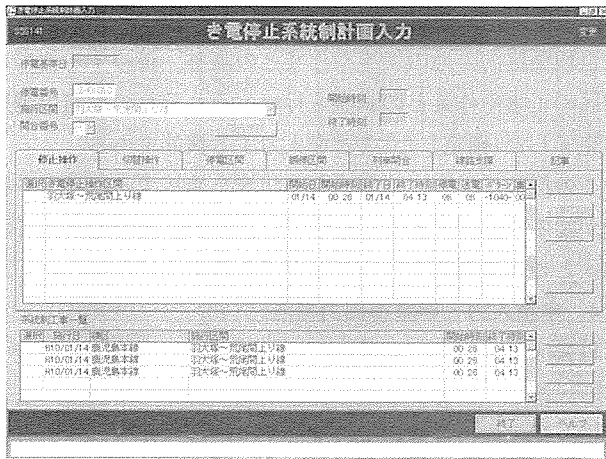


図 8. 系統制計画の入力画面

4.6 系統制計画入力機能

系統制とは、日々の列車運行に必要な電力を確実に供給するために、他部門と協調しながら電力系統を制御する指令の業務を言う。停電操作などの系統制は停電を必要とする保守の作業計画に基づいて行われるものであり、保守作業の計画と系統制の計画は一体のものとして扱われる必要がある。この機能は、現業区から申請された停電工事(き電停止、配電停止、変電所等機器使用停止、駅構内停電)の申込みを基に、電力系統の制御計画の立案を支援する(図 8)。

従来、作業の計画から系統制の計画を立案するには、多くの集計・転記などにより、効率が悪く、また、誤りも発生しやすかった。今回、この機能によって改善され、また、作成された系統制の計画と作業の計画は一体のものとして電力遠制システムにオンラインで転送することができる。

4.7 き配電系統チェック機能

き配電系統チェックは、作成した系統制計画をチェックする機能である。系統の切換え操作等に特に注意を払う必要があるき電停止や配電停止の工事について、各々の申込みによって求められた操作が組み合わされた場合に、申請された区間・時間で正しく停電の制御が行われることと、その際に不要な停電が発生しないかを、電力遠制システムが持つシミュレーション機能に問い合わせる。この機能により、今まで人手に頼っていた確認作業の大幅な効率化と確実化が図れるようになった。

4.8 整合性チェック機能

整合性チェック機能は、作業申込みが同一区間、同一時間に複数個計画されていないか、すなわち競合をチェックする機能である。この機能は、き配電系統チェックを行っ

た停電に関する工事とその他の保線関係や信通関係の作業との間で同時に実施できない作業をチェックし、不適切な作業をエラーリストで出力する。これにより、電力・保線・信通の異なる設備系統間の作業調整を早期に実施することが可能となった。

4.9 運転報原稿出力機能

運転報とは計画工事を全社に通達する社報であり、指令で承認された計画が掲載される。このシステムでは、保守作業の範囲で、計画工事のデータから運転報の原稿を出力する。従来は指令において現業区からの申込みをワープロで転記していたが、この機能によってこの作業は不要となった。

4.10 停電工事データ転送機能

作業計画管理システム上で作業計画が確定後、一定期間の停電工事の計画データ(系統制の計画と作業の計画)を電力遠制システムに転送する機能である。

4.11 実施承認入力

計画業務の最終段階として、指令が現業区に対して最終的に作業実施の承認を行う機能である。従来は、指令員が作業を行う現業区担当者と電話連絡によって承認を伝えなければならなかったが、この機能によって画面を通じて行うことが可能となった。

4.12 指令日誌入力・出力機能

作業実施後、その結果を記入する指令日誌への実績入力及びその出力を行う機能である。従来手作業で作成していたが、この機能によってシステムから出力できるようになった。

5. む す び

以上述べた作業計画管理システムは、現在第一期工事の範囲で熊本、大分地区に展開され、1998年2月から運用中である。この結果、期待した成果が上がった反面、共有する情報の内容、管理方法について更なる向上が必要との指摘も受けている。また、現行のシステム化対象範囲を輸送系との連携等に拡張していくことも今後の展開として計画されている。

インターネット技術を中心にした情報通信技術の発展が目覚ましい中、更に新たな技術のキャッチアップに努力し、今後の工事での開発を通じてこのシステムの完成度を高めていく所存である。

最後に、九州旅客鉄道(株)総合指令プロジェクトを始め、このシステムの開発に当たってご指導、ご協力を賜った関係各位に深く感謝する次第である。

鉄道広域情報システム

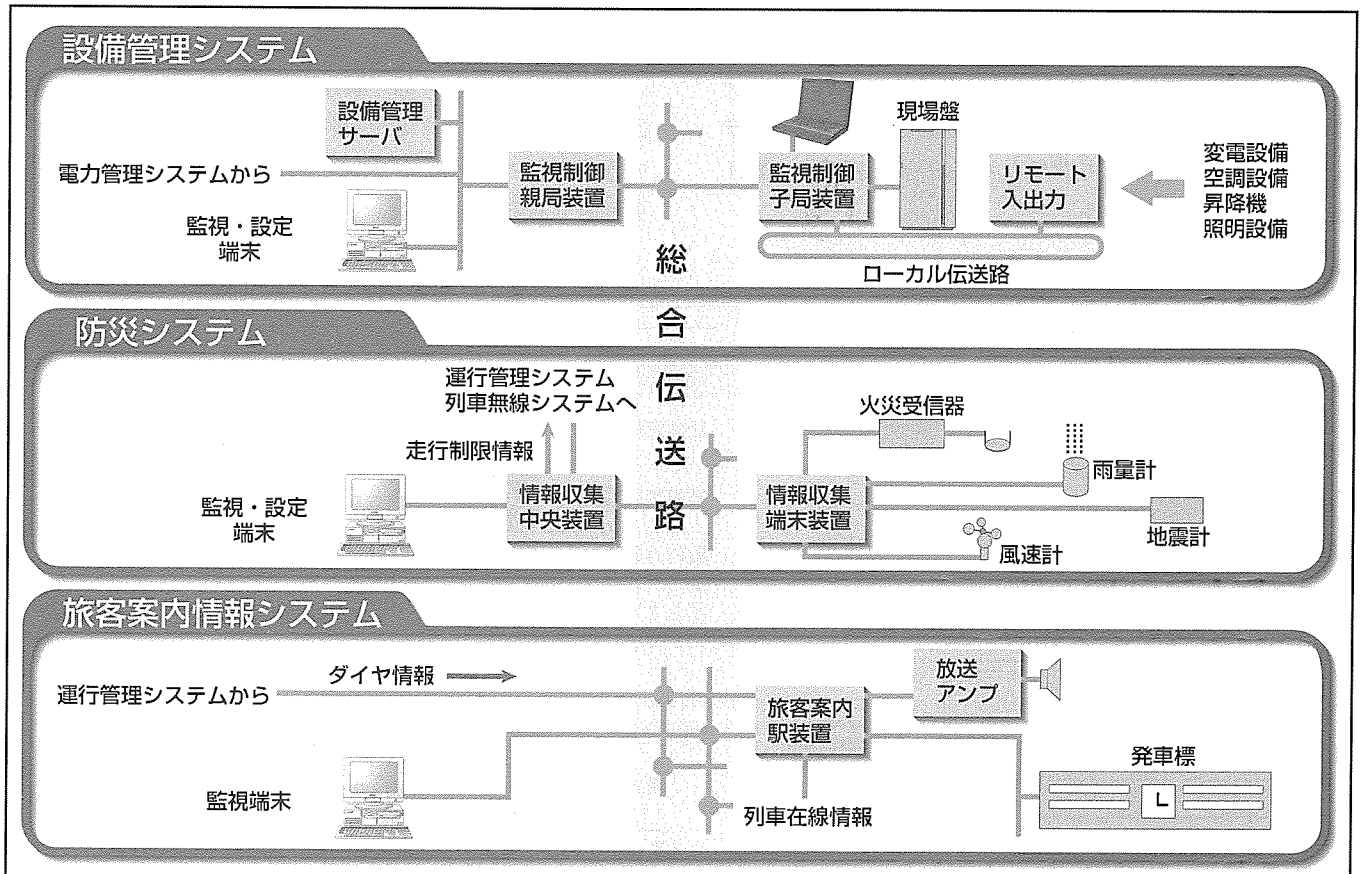
岩根真一* 森 勝*
 福井 毅* 芝 直樹*
 柴田文夫*

要 旨

鉄道は、線路沿線に沿って広範囲に配置された多種多様の設備で構成されている。したがって、これらを安全かつ効率的に運用するためには、計算機とデータ伝送をベースとした情報処理システムが必要不可欠となっている。これらのシステムは、計算機のダウンサイジング化とあいまって、目的によって細分化されることが通常である。これにより、各目的に最適なシステムの構成が可能となり、各システムごとのグレードアップも容易となる。代表的なシステムには運行管理システムや電力管理システムがあるが、そのほかにも、設備管理・保守安全システムや作業計画システム、防災システム、旅客案内情報システムといったものがある。

最近のこれらシステムでは、運用者の負荷を軽減するため、より高度な自動化処理を実現しているとともに、運用者の介在が必要な場合では、直感的に分かりやすく、操作のしやすいヒューマンインタフェースを備えたものになっていることも特長である。

これらの計算機システムが目的に応じて細分化されているのとは逆に、データ伝送装置では、計算機インタフェースの標準化、オープン化と伝送路の大容量化により、幾つかの標準的なインタフェースを備えた統一の伝送路すなわち総合伝送路として構築されるケースが増えている。今後は更にこの傾向が強まるものと考えられる。



鉄道広域情報システム

鉄道関連設備を支える情報処理システムの例として、設備管理システム、防災システム、旅客案内情報システムのイメージを示す。これらを始めとする各サブシステムにはデータ伝送装置が不可欠であり、近年では、大容量の総合伝送路を用いることが多い。

1. ま え が き

鉄道関連設備にはそれを支える多くの情報処理システムがある。本稿では、それらのうちの幾つかを納入例を基に紹介する。一つは、鉄道設備を構成する多くの設備を効率的に管理・運営する目的で設置される“設備管理システム”である。本稿では、その納入例として山梨リニア実験線納めの設備管理システムを紹介する。

一方、普段目立つことはないものの、鉄道の運行において非常に重要な設備が“防災システム”である。防災システムには、トンネル等の施設内での火災を対象としたものと、沿線の自然災害を対象としたものがある。本稿では、後者の例として、西日本旅客鉄道(株)に納入した在来線地震情報早期伝達システムを、二つ目のシステム例として紹介する。

三つ目に紹介するシステムは、前二つとは異なり、直接利用客の目にとまり常時利用されている“旅客案内情報システム”である。本稿では、この納入例として、東海旅客鉄道(株)納め新幹線駅旅客案内情報システムを紹介する。

以上の情報処理システム及びこの特集の他の論文で紹介されている多くのシステムは、データ伝送設備をインフラとして利用している。従来は個々のサブシステムごとに伝送装置を設置することが普通であったが、最近ではインタフェースの標準化・オープン化と光ファイバを用いた伝送装置の大容量化に伴い、総合伝送路を設けるケースが増えている。そこで最後に、鉄道分野を始めとした産業システムの基幹伝送路用として開発した光総合伝送装置(MELNET R155)の紹介を行う。

2. 鉄道広域情報システムの例

2.1 山梨リニア実験線納め設備管理システム

2.1.1 システムの目的

山梨実験線では、時速500km/hの超高速鉄道システムの実用化に向けて走行試験が実施されている。この設備管理システムは、実験センターの監視制御装置及び通信制御装置等を用いて、実験

線の運行管理・駆動制御設備や散水装置等の沿線設備とオンライン接続し、総合的な管理を行うことで、これら設備を効率的に運用することを目的としたものである。

このシステムの構成を図1に、システムの諸元を表1に示す。

2.1.2 機能概要

(1) 車両走行制御設備管理機能

運行管理、保安制御、駆動制御等の車両走行制御設備の走行モード(北線・南線1列車走行、北線1列車走行など)に従った動作区分、及び設備運用時間帯の管理を行う。

(2) 電力供給設備監視制御機能

受電・高配・き電・変換器等の電力供給設備の状態監視及び遠隔制御により、実験線各設備へ電力の安定供給を行う。

(3) 実験線沿線設備管理機能

走行に支障を及ぼすガイドウェイのひずみ、乗降装置や分岐装置等の故障監視と、散水装置やトンネル内照明装置等の制御によって安全確保を行う。

図2、図3に、上記機能の監視制御装置の画面例を示す。

2.1.3 システムの特長

(1) 設備故障情報の統一的管理

各設備の故障の拡大、故障復旧に要する時間、運転に与える影響度等を速やかに把握するため、設備の故障情報を設備故障区分(動作可能/動作不能の2段階)と、運転支障区分(走行影響なし/走行制限/走行不能の3段階)に分けて管理を行っている。この区分はCRT画面から容易に変更可能である。

表1. 設備管理システムの諸元

項目	諸元	
設備管理台数	1,000台	
設備管理点数	監視項目	12,000点
	制御項目	1,000点
監視制御装置	画面枚数	25枚
	帳票枚数	4枚
監視対象システム間インタフェース	変電所系	HDLC-ABM手順, 2チャンネル
	沿線系	HDLC無手順, 2チャンネル(1:5, 1:6対向)
	センター系	調歩同期式無手順, 9チャンネル

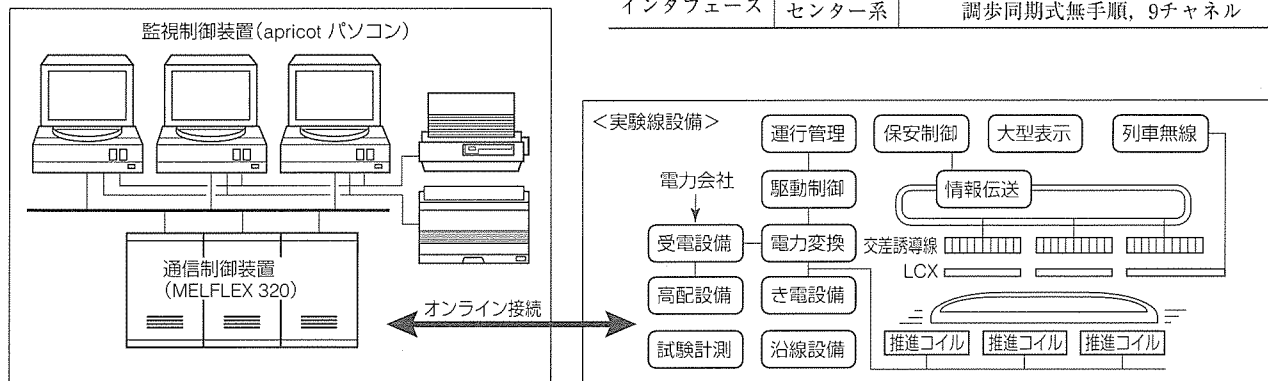


図1. 設備管理システムの構成

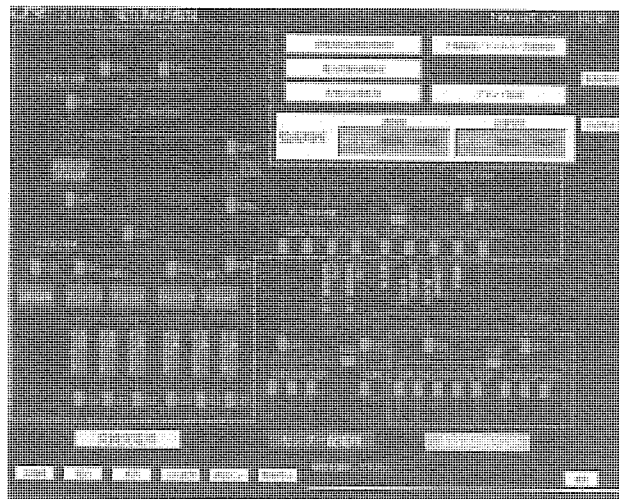


図 2. 電力供給設備監視制御画面

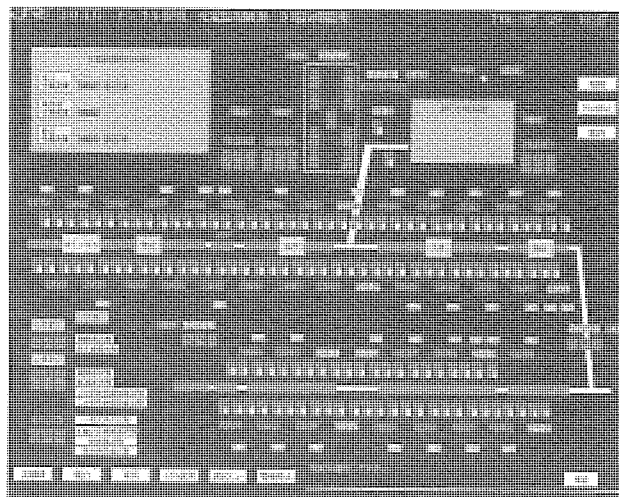


図 3. 実験線沿線設備監視画面

この情報を線別(北線・南線)及び設備種別ごとに集約表示することにより、走行の可否と不可の要因が一目で確認できる。

(2) 設備間の連携動作管理

走行制御設備間で共通認識が必要な走行モードと、走行に支障を及ぼす沿線設備の異常を伝達することにより、設備間の連携動作を管理している。

(3) 信頼性・操作性に優れたヒューマンインタフェース

監視制御装置にはパソコンを使用し、信頼性確保のためUNIX系のマルチタスクリアルタイムOSを採用した。また、異常時の継続運用を考慮し、3台の並列構成としている。21インチの高解像度(SVGA)画面に設備稼働状況をグラフィカルに表示し、マウスのみによる簡易な操作とした。故障発生時には、この監視画面を1回の操作で表示できる等の配慮を行っている。

2.2 西日本旅客鉄道(株)納め

在来線地震情報早期伝達システム

2.2.1 システムの目的

このシステムは、沿線に設置された地震計からの地震発生情報を基に、自動的に警報発生区域を判断し、防護発報基地局や列車無線中央装置を介し、当該区域の列車へ速やかに地震発生警報通知を行うことで、事故発生を未然防止することを目的として構築されたものである。

このシステムの構成と構成機器を図4と表2に示す。

2.2.2 機能概要

(1) 出力選択処理機能

地震計から地震発生情報を受信した場合、地震の影響の

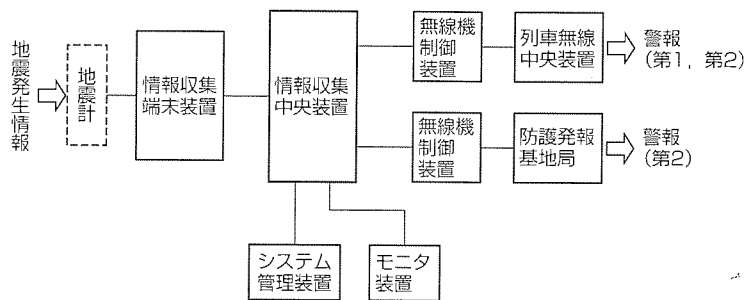


図 4. 在来線地震情報早期伝達システムの構成

表 2. 在来線地震情報早期伝達システムの構成機器

情報系統	機器名称 (製品名)	数量	機能
情報収集系	情報収集 端末装置 (MELFLEX320)	16台	地震計からの地震発生情報を情報収集中央装置へ送出する。
中央処理系	情報収集 中央装置 (MELFLEX340)	1台	情報収集端末装置からの地震発生情報を基に各種判定処理を行い、無線機制御装置へ警報出力情報を送出する。
警報出力系	無線機制御装置 (防護無線) (MELFLEX320)	13台	情報収集中央装置からの警報出力情報を基に、防護発報基地局へ警報出力を行う。
	無線機制御装置 (列車無線) (MELFLEX320)	5台	情報収集中央装置からの警報出力情報を基に、列車無線中央装置へ警報出力を行う。
表示系	システム管理装置 (apricot パソコン)	1台	システムの監視、設定情報の変更を行う。
	モニタ装置 (apricot パソコン)	3台	システムの監視を行う。

ある区域をあらかじめ登録してある“発報無線機設定情報”を参照することで自動判定し、該当する防護発報基地局及び列車無線エリアに対して警報出力制御を行う。

(2) システム機器監視機能

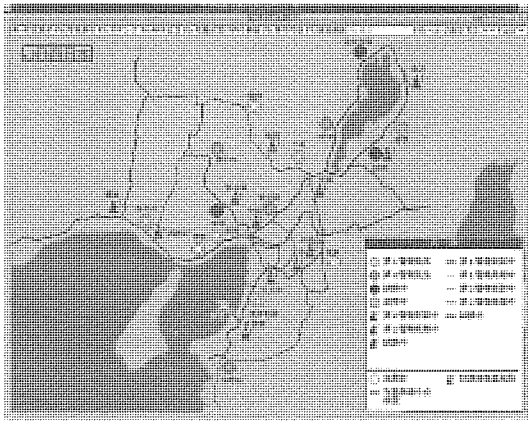


図5. 全体状況表示画面

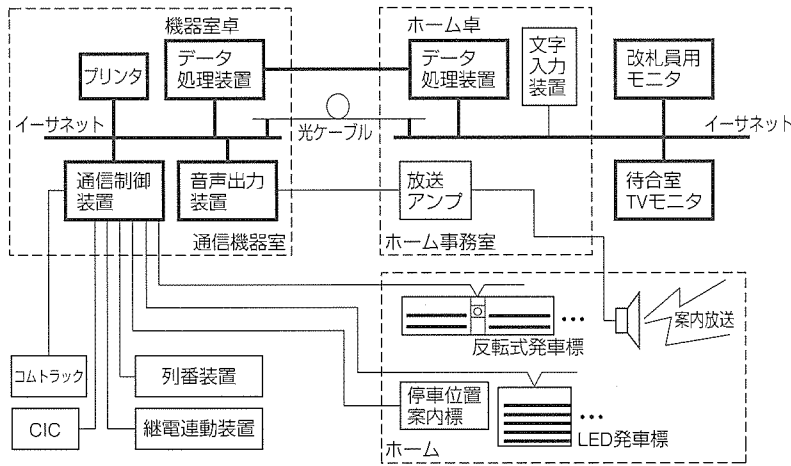


図6. PICシステムの構成

システム構成機器の状態を常時監視し、異常発生時は、無線機の警報出力制御状況等を表示装置に表示するとともに、ブザーを鳴動させる。

システム機器状態表示画面の一例として、全体状況表示画面を図5に示す。

(3) 重故障・試験判定処理機能

地震計が重故障中や試験中の場合、警報出力制御を無効にする。

(4) 隣接地震計判定処理機能

地震計から地震発生情報(第2警報:250Gal)を受信した場合、誤発報を防止する目的で、ある一定時間以内に隣接する地震計から地震発生情報(第1警報:40Gal以上)を受信した場合に限り警報出力制御を有効にする。

(5) 情報格納処理機能

システムで発生したイベントを格納し、表示装置に表示するとともに、期間を指定してプリンタに印字する。

(6) 無線機試験機能

無線機の警報出力試験を行う機能である。なお、試験は1日1回自動で全無線機の試験を行うモードと、無線機を個別に指定して行うモードがあり、その試験結果を表示装

表3. PICシステムの構成機器

機器名称 (製品名)	機能
機器室卓 (兼データ処理装置) (ME/R EWS)	駅近くの機器室に設置され、主に運用の保守を行う場合に使用する。また、このシステムの各種処理を行う。
ホーム卓 (兼データ処理装置) (ME/R EWS)	駅のホーム事務室に設置され、主に発車標の訂正操作を行う場合に使用する。また、このシステムの各種処理を行う。
通信制御装置 (MELFLEX340)	機器室に設置され、外部設備からの情報の取り込み、及び情報の出力制御を行う。
音声出力装置 (MELFLEX323)	機器室に設置され、データ処理装置から受信した放送情報を音声信号に変換し、放送アンプに出力する。同時に6系統、6回線の出力が可能である。

置に表示する。

(7) 設定変更処理機能

回線構成や上記(1)と(4)に使用する設定値等を、表示装置の画面から変更する。

2.2.3 システムの特長

(1) 発報所要時間の短縮化

地震発生から列車への警報伝達には、これまでは駅員による電話連絡などによって20~30秒を要していた。このシステムではこれを極力短縮するため、情報収集系回線及び警報出力系回線の通信制御手順をHDLCをベースとした専用手順とすることで通信効率を向上させるとともに、情報収集中央装置を32ビット分散プロセッサ構成とし、処理能力の向上を図った。これにより、警報伝達時間は約3秒を実現している。

(2) 二重ループ回線の採用

地震計の地震発生情報を収集する情報収集系回線及び無線機に警報出力する警報出力系回線は、ループ状に二重化された通信回線を使用し、相互バックアップ方式を採用している。このため、回線障害時においても系切換えやループバック等の制御が不要であり、通信は途切れることなく正常に継続させることができる。

(3) 操作員訓練機能の採用

操作員による地震発生時の状況確認の訓練が可能なよう、地震計からの地震発生情報を模擬的に設定し、その内容に従った地震発生時の状況が表示装置に表示されるようにしている。

2.3 東海旅客鉄道(株)納め

新幹線駅旅客案内情報システム(PIC)

2.3.1 システムの目的

このPIC(Passenger Information Controller)システムは、駅に接近する列車を追跡し、ホーム、コンコースへの案内放送と発車標の表示制御を自動的に行うことで、駅業務の効率化と旅客サービスの向上を目的としたものである。

このシステムの構成と構成機器を図6と表3に、システ

ムの諸元を表4に示す。

2.3.2 機能概要

(1) 列車追跡機能

自駅の列番受信軌道回路から進出先軌道回路までの間を走行中の全列車を追跡する。

(2) 案内制御機能

追跡中の列車位置と、信号及び発車ベルに合わせてダイヤを参照し、接近・到着・発車放送を実施する。また、発車標の繰り上げ、表示変更等の制御もできる。

(3) ダイヤ管理機能

コムトラックから基本情報を受信し、1日分のダイヤ管理を実施する機能である。また、列車の運用変更時には変更情報を受信し、ダイヤの書換えを行っている。

(4) 操作卓機能

ホーム卓、及び機器室卓から掲示情報(列車情報)を手動で訂正する機能である。

(5) 試験機能

卓からの入力により、自動又は手動で模擬的な列車走行を実現する機能である。これにより、システム単体での試

験が可能となる。

(6) 訓練機能

卓を訓練卓に切り換えることで、システム運用中での操作訓練を実現する。

2.3.3 システムの特長

(1) データ処理装置の二重化

機器室卓とホーム卓をデータ処理装置と兼用させることで、システムのダウンサイジング化を図るとともに、データ処理装置を二重化し、システムの信頼性向上を実現した。

(2) 列車追跡方式の改良

従来、不連続な“地点”単位に実施していた列車追跡を、連続した軌道回路単位に行うことにより、ダイヤ混乱時等においても正常な列車追跡が可能となった。

(3) 発車標の直接制御

従来、発車標制御はPICからの列車情報に対応した制御コード出力のみで行い、これを信号変換盤が複数の反転式発車標の羽根番号又はLED式発車標のドットパターン番号に変換していた。このPICでは、この信号変換盤の機能を包含し、発車標を直接制御することで、ダイヤ改正時のメンテナンス性の向上を実現した。

(4) 各種設定データのユーザーによる変更に対応

ダイヤ改正時に必要な基本データや、システム変更に伴う環境データのメンテナンスがユーザーで可能となった。

(5) ヒューマンインタフェースの向上

画面を図7及び図8に示すようなグラフィカルなものとするとともに、マウスとタッチパネルを併用し、ほとんどの操作をメニュー選択方式とすることで、操作性を向上させた。

表4. PICシステムの諸元

項目	諸元
処理ダイヤ本数	800列車/日
発車標制御	ホーム系発車標：8系統、15号機/系統 改札系発車標：4系統、15号機/系統 通路系発車標：4系統、15号機/系統
案内放送	6系統、6多重(回線)
コムトラック情報取得	1回線
ローカル情報取り込み	64軌道回路/駅 128地点/駅 接近列番 3系統(上り, 下り, 引上げ各列番)/駅、 8列車/系統 ホーム列番 8系統/駅
ロギング格納日数	7日
外部アラーム出力	20情報

3. 光総合伝送装置(MELNET R155)

3.1 背景

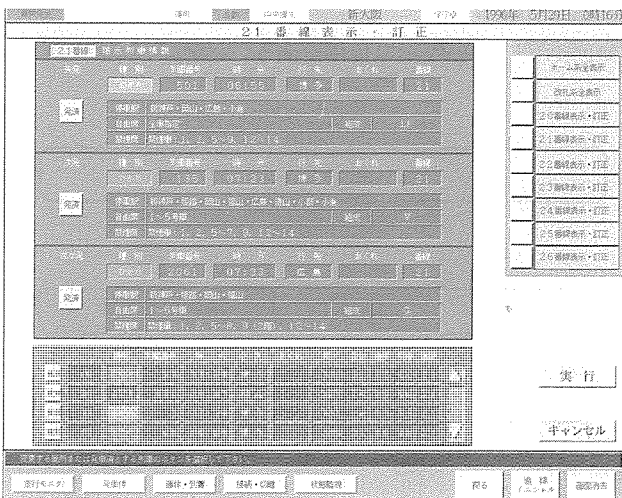


図7. 発車標表示/訂正画面

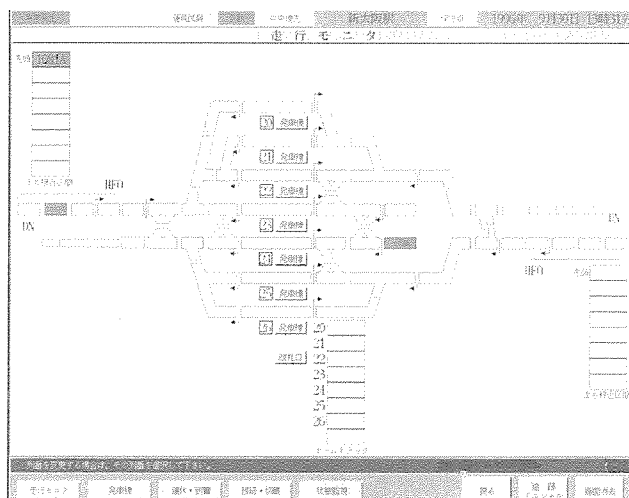


図8. 走行モニタ画面

近年、鉄道事業者においては、通信インフラとして大容量の光通信ネットワークが導入される傾向にある。光通信ネットワークは、数本の光ファイバケーブルにより、高品質かつ大容量の情報伝送が行える。これによって制御系やOA系の各種データ伝送が行えるとともに、列車無線、業務用電話などの音声伝送、さらに改札、ホーム、コンコース監視などの画像伝送も同時に可能となり、鉄道事業者のあらゆる情報を効率的に伝送することができる。こうした光総合伝送装置は、当然その重要性から極めて高い信頼性が要求され、かつ広範囲に設置されることもあり、保守に優れたものでなければならない。こうした背景の中、従来より、各種産業システムに適用するため、MELNETシリーズの拡充を行っている。

以下に、鉄道用光総合伝送装置として最適な155Mリング型光総合伝送装置“MELNET R155”について紹介する。

3.2 特長

(1) 豊富な端末インタフェース

RS-232C低速データやイーサネットの接続、さらに電話等の音声回線や動画データの接続が可能である。

(2) 低速回線の直接収容

従来低速端末を接続する場合に必要であった多重化装置を必要とせず、端末インタフェースの速度に関係なく直接接続ができる。

(3) イーサネットの効率的収容

汎用LANであるイーサネットの接続においては、その

情報量に応じて155Mbpsリング上の利用帯域を段階的に割り当てることが可能である。

(4) 他のネットワークとの接続

他の幹線系及び支線系伝送路と接続することにより、より拡張性の高い階層的なトータルネットワークを構築することができる。また、他のネットワークとの間でクロックの網同期が可能である。

(5) 長距離伝送

シングルモード光ファイバにより、ノード間距離40kmの長距離伝送を実現できる。

(6) 高い回線障害耐性

ノード装置の自律リング再構成制御機能により、伝送路障害発生時でも極めて短時間でリング再構成が行われ、端末間通信への影響がほとんどない。

(7) 高い信頼性

各ノード装置の記憶媒体には信頼性低下の要因となるディスク装置を使用せず、また、電源部、CPU、多重分離部等の共通部は二重化することで、高い信頼性を実現している。

(8) 高い保守性

任意のノード装置に接続可能な管理装置により、リング及びノード装置の集中監視・制御が可能である。これにより、ネットワークの運用状態監視や障害発生時の原因特定を始め、端末インタフェースの増設・変更も容易に行うことができる。

また、ノード装置はMELNETシリーズ、MELFLEXシリーズで蓄積した熱設計技術をベースにファンレス化を行い、ファン交換を不要とするとともに、じんあい(塵埃)吸い込みに対する清掃の必要性を低減させている。さらに、保存データの記憶には不揮発性メモリを使用することでメモリバックアップ用バッテリーを不要とし、メンテナンスの省力化を図っている。

3.3 仕様, その他

(1) 主な仕様

MELNET R155の基本仕様を表5に示す。

表5. MELNET R155の基本仕様

項目	仕様
ネットワーク形態	二重化ループ構成
伝送速度	155.52bps
アクセス方式	SDH飛び越し多重+トークンバッシング
通信形態	1:1, 1:N, N:N, イーサネット
ノード数	最大 64ノード
ノード間距離	40km (SM1.31μm)
伝送媒体	SM1.31μm
回線収容能力	2,016ch (64kbps換算)
RAS機能	ループバック 電源二重化 クロックマスタ局自動切換え 活栓挿抜 ノード共通部の自己診断 端末インタフェースの折り返し試験ほか
管理機能	リング構成状態の監視・表示 リモート再構成制御 ノード装置の監視・表示 ノード内端末インタフェース部の設定 ノード内端末インタフェース部の監視・表示 障害履歴の記録・表示
網同期方式	外部従属同期, 伝送路従属同期
電源電圧	DC-48V, -24V, 110V, AC100V
冷却方式	自然空冷方式
環境条件	温度: 0~40℃ 湿度: 40~85%

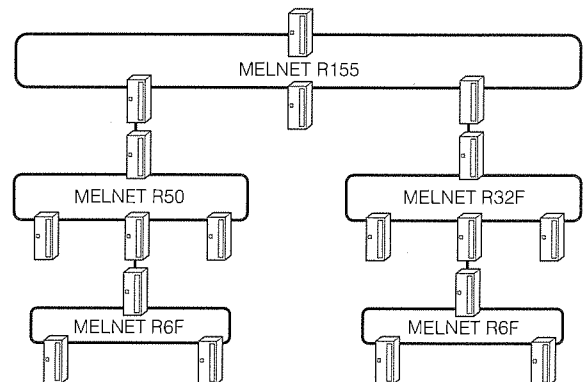


図9. MELNETシリーズ

表 6. MELNET R155 端末インタフェース

インタフェース種別	仕 様	
音声4W (モデム回線など)	PCM方式	CCITT G.711 (μ-law), G.712準拠
	音声周波数帯域	0.3~3.4kHz
	通信形態	1:1 全二重 1:N マルチドロップ
音声2W (電話機, 交換機)	PCM方式	CCITT G.711 (μ-law), G.712準拠
	音声周波数帯域	0.3~3.4kHz
	リピータなし	4W→2W変換機能あり
	リピータあり	磁石式電話機, 共電式電話機 自動電話機, 自動交換機
低速データ (RS-232C)	伝送速度	同期/非同期 9,600bps以下
	端末インタフェース規格	CCITT V.24/V.28準拠
	通信形態	1:1 全二重又は半二重 1:N マルチドロップ
DCE接続 (DSU)	伝送速度	ベアラ信号速度 64kbps
	伝送符号	AMI符号
デジタル1.5M (MPEG1, TDM, ルータ)	伝送速度	1.544Mbps
	伝送符号	B8ZS符号
	通信形態	●多重化モード 64kbps信号最大24chの1.5Mbpsへの多重 分離 ●中継モード 64kbps 24chの一括中継
デジタル2M (交換機中継ほか)	伝送速度	2.048Mbps
	伝送符号	CMI符号
	通信形態	64kbps 30chの一括中継
デジタル6.3M (MPEG2ほか)	伝送速度	6.3122Mbps
	伝送符号	B8ZS符号
	通信形態	64kbps 96chの一括中継
LAN (イーサネット)	伝送符号	ディファレンシャルマンチェスターコード
	アクセス方式	CSMA/CD
	伝送方式	ベースバンド
	伝送路形状	バス型
	伝送距離	最大500m/セグメント
	中継方式	簡易ブリッジ(アドレス学習機能あり) 155Mbpsリング内はトークンパッシング 方式で中継

(2) 端末インタフェース

MELNET R155の豊富な端末インタフェース仕様を表6に示す。

(3) MELNET光伝送装置シリーズ

多種多様なシステムで活躍するMELNET光伝送装置は、図9に示す階層構成が可能なシリーズとなっている。

4. む す び

鉄道運用を支える情報処理システムの最近の納入例と、これらシステムのインフラの役割を担う光総合伝送装置について紹介した。

鉄道システムにおけるこれら計算機技術と伝送技術の役割は大きく、今後さらに求められる一層の高度化へ向けて、システムのレベルアップを推し進めていく必要がある。

今後とも、ユーザーニーズを的確にとらえると同時に、最新技術を取り入れたより良いシステムが提供できるよう取り組んでいく所存である。

最近の車両基地管理・電力管理システム

小山 優* 村上正春*
内本章二*
水谷次雄*

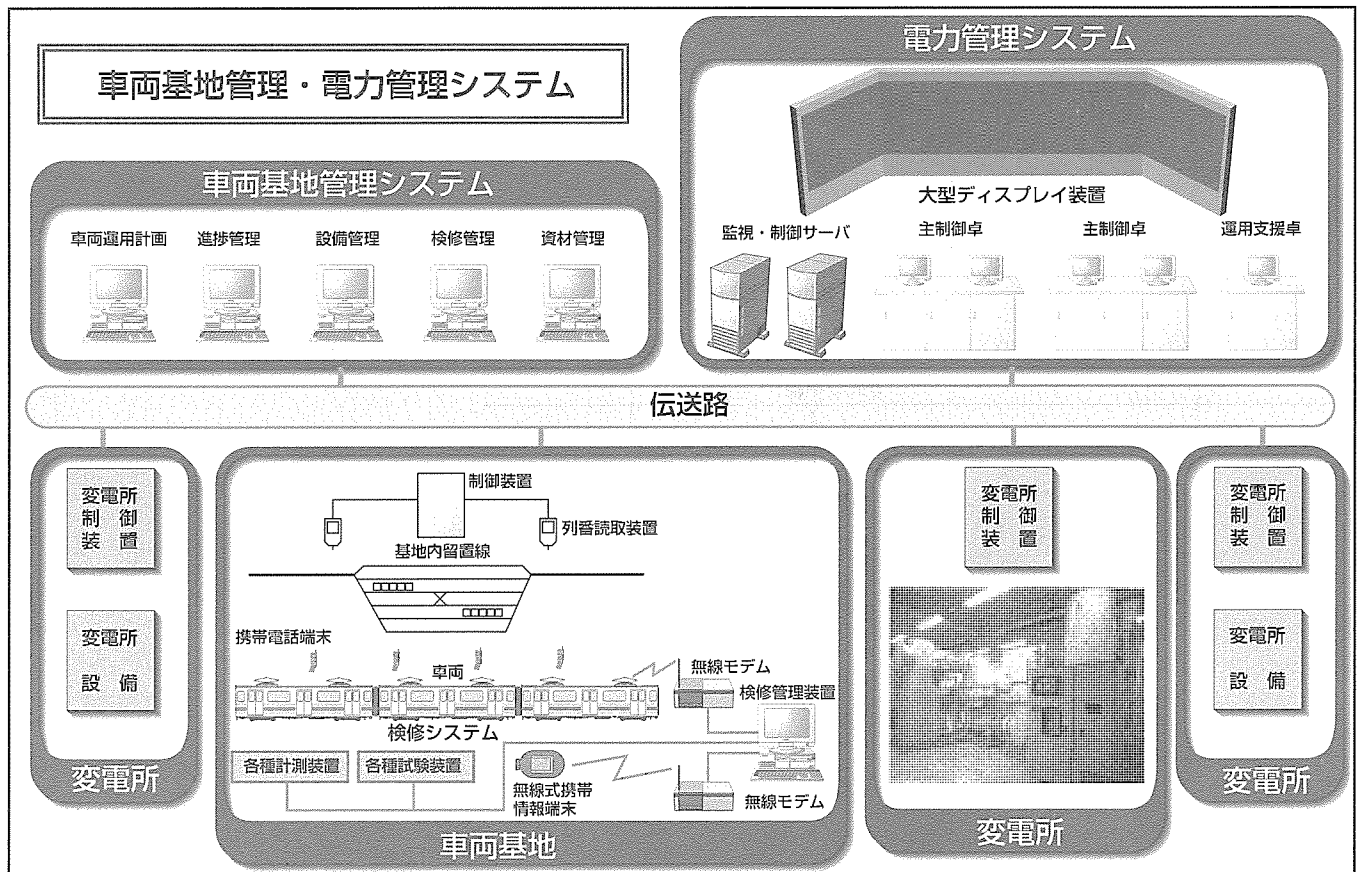
要 旨

車両基地では、乗客の安全を確保するため、定期的な保守・点検業務として、仕業検査、交番検査、全般検査等の車両検査を日夜行っている。車両基地の業務には、これらの車両検査業務に加えて、本線への車両充当計画、基地内の車両留置計画を行う運用計画業務、基地内の設備を管理する設備管理業務、検査修繕で使用する補修部品などを計画発注して作業現場に充当する資材管理業務等がある。基地管理システムは、これらの業務全般を対象としてシステム化することにより、車両基地の安定稼働を実現する。

電力指令所では、列車の安全で確実な運行を確保するため電力設備の監視・制御・記録業務等を行っている。数km間隔に設置されている車両用電力供給変電所、信号設

備、エレベーター、エスカレーター、空調、照明等に電力を供給する変電設備等は、多数の遮断器、変圧器、整流器等で構成されている。電力指令所では、営業運行時間帯の指令業務はもちろんのこと、人の寝静まった深夜には、設備の保守点検、改造工事等の作業が安全に行えるように作業区間の停電制御を行い、作業終了後には、始発電車が支障なく走行できるように送電制御を行っている。

近年、エレクトロニクス技術の急速な進歩により、車両基地の検修業務、鉄道変電所の電力指令業務は、社会的変化の影響を受けて大きく変化をしようとしている。本稿では、最近の車両基地管理・電力管理システムの基本となる技術、及び今後の技術動向について述べる。



車両基地管理システム・電力管理システム

車両基地管理システムは、車両運用計画、進捗(抄)管理、設備管理、携帯電話端末やモバイルコンピュータ等の入出力装置からなる検修管理、資材管理、各種車両試験装置等で構成される。

電力管理システムは、多数の変電所制御装置、電力指令所の監視・制御サーバ、主制御卓、運用支援卓、大型ディスプレイ装置等で構成される。

1. ま え が き

車両基地における車両検修業務の近代化のため専用の車両試験装置が導入されて既に50年を経過している。この車両試験装置は手動式の試験機として導入されたが、東海道新幹線の開業時に工業用計算機を制御装置とした自動試験装置が登場し、検修作業の省力化が一気に進んだ。

近年、社会的な傾向であるが、高齢化や現場における3K等の問題がクローズアップされるようになり、車両検修業務だけでなく、基地業務全般を対象とした近代化が要求されている。このため、車両基地全般の業務をトータルシステム化した運用計画、検修業務、転線業務等の基地統合管理システムを導入して、より一層業務の高度化や省力化を進めるようになった。

一方、電力管理システムに計算機が導入されてからほぼ30年になろうとしている。当初は、操作、故障記録、電力量記録等のデータロガーのみの機能であったが、最近では、電力系統の監視、制御、記録といった定型業務だけでなく、事故発生時の復旧支援、保守作業における作業計画支援といった非定型な業務処理が求められている。

最近、両システムでは、信頼性、安全性に加えて“人に優しい”“使い勝手の良い”“低コスト”“コンパクト”が重要視されている。他方、ダウンサイジング、クライアント／サーバ、オープン化技術、ネットワーク技術、音声処理技術、移动通信技術等が急速な勢いで発展しており、当社で

はこれらの先端技術を積極的に取り入れた車両基地管理・電力管理システムを開発し納入しているので、以下に概要を紹介する。

2. 車両基地管理システム

車両基地管理システムは、図1の車両基地管理システム全体構成に示すように、鉄道車両基地全般の業務を各サブシステムで分担し、さらにサブシステム間をLANで接続し、独立していた基地の業務を統合管理するシステムである。システムは以下に示すサブシステムで構成され、車両基地の業務全般について作業支援を行い、車両の安全確保、業務の効率化、基地の安定稼働を実現している。

- 車両運用計画管理システム
- 進捗管理システム
- 基地内進路制御システム
- 車歴管理システム
- 設備管理システム
- 交検支援システム
- 検修管理システム
- 在線表示システム
- 勤務管理システム
(検修係員、転線係員、庶務係員勤務計画)
- 資材管理システム

ここでは、この基地業務の中で中心となる検修管理システムについて紹介する。

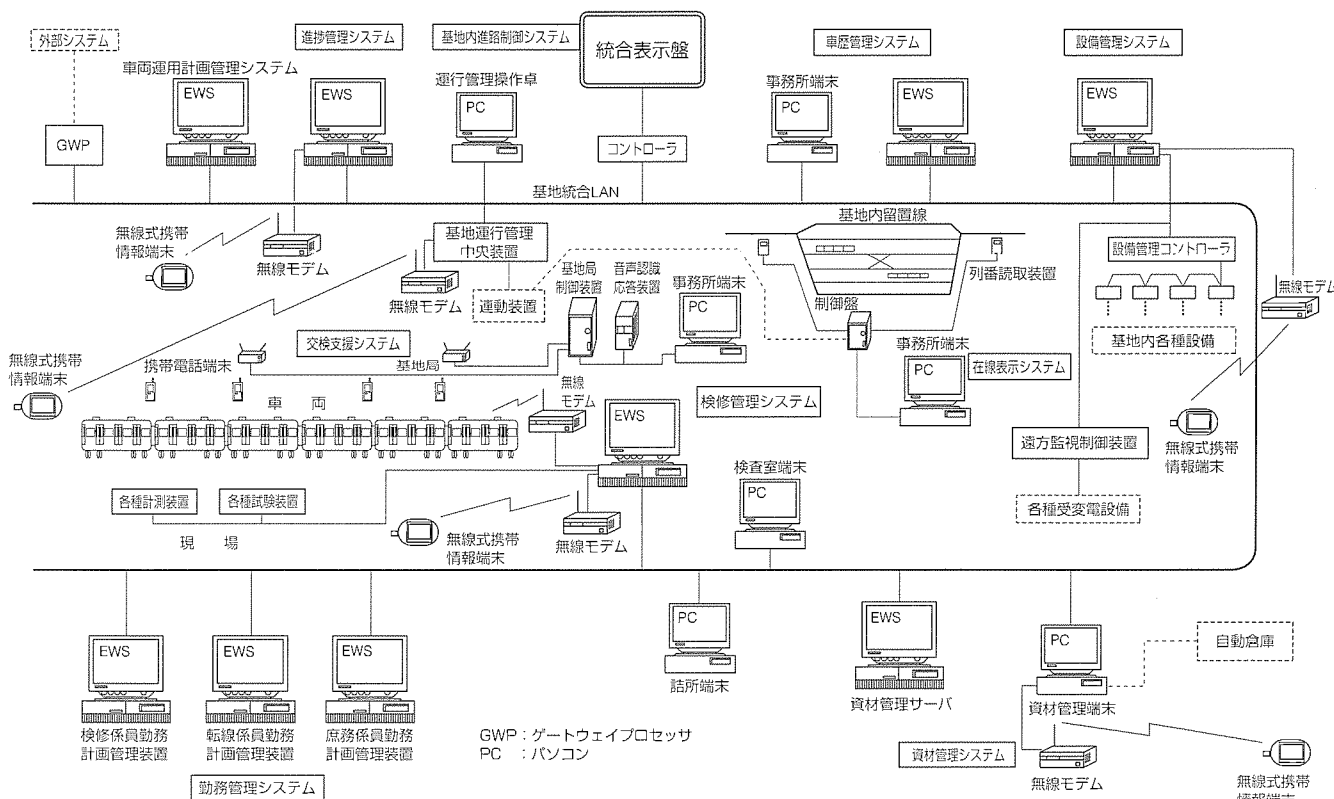


図1. 車両基地管理システムの全体構成

2.1 検修管理システム

検修管理システムは、従来の定型的な保全から車両個々の特性に応じた近代的な予防保全への転換の実現を目標として、車両個々の検修データや検査記録などをカルテの形態で一元管理している。その個々の車両の実績データを分析することによって個々の車両の状態を正確に把握し、車両の状況に応じた保全を実現するためのシステムである。

2.2 車両検修の変遷

車両基地の検修は、単体試験機による手動の検修から始まって、以下に示すように、工業用計算機による自動式、パソコンによるダウンサイジング化、LANによるシステム化を経て、検修データ管理機能を持つ検修システムへと進化してきた。

- (1) 1950年代は、機器の検修作業に必要な信号発生、計測、表示機能を備えた専用の試験機を導入し、作業の省力化が進められた。
- (2) '60年代は、工業用計算機を使った検修試験の自動化及び試験結果の帳票作成の自動化が行われた。
- (3) '80年代は、パソコンの処理能力の向上により、試験装置のダウンサイジング化が行われた。
- (4) '90年代は、LANによる試験装置の機能分散化・ダウンサイジング化、及びデータ管理装置による検修データ管理が行われた。
- (5) '90年代後半は、検修管理システムによって工場・区所の検修データを一元管理し、基地業務をシステム化する検修データの統合管理化が進められている。

2.3 検修管理システムの構成

1工場1区所とした場合の検修管理システムの構成を図2に示す。検修管理システムは、検修管理装置(サーバ)を

中心としたクライアント/サーバで構成されている。検修データは事務所端末や無線式携帯情報端末から入力することができるとともに、必要なデータを直接検索することができる。また、公衆電話回線を介して他工場や区所と接続し、検修管理に必要な対象車両の全データを一元管理している。

検修データは、検修の現場において、モバイルコンピュータ、構内デジタル電話システムや音声入力システムを利用した無線式携帯情報端末装置を使って各種試験装置や検修作業の結果を直接入力したものであり、検修管理装置に登録し、一元管理している。

登録されたデータは各編成・各種装置ごとにデータ管理を行い、事務所端末でダウンロードし、データ分析を行うとともに報告書・帳票類を作成する。

(1) 検修管理装置、事務所端末

サーバはシステムのパフォーマンスを考慮してパソコンサーバとし、事務所端末はデスクトップパソコンとしている。

(2) 無線式携帯情報端末装置(構内電話システム)

標準的なPHSタイプの電話機を使い、携帯情報端末側はピアF/I/Fカードを使用し、32kbpsのデータ伝送を可能とし、電話回線制御装置を介して直接LANに接続できるシステムとしている。

(3) 携帯情報端末装置

携帯情報端末装置はモバイルコンピュータ(AMITY VP)を使用し、データ入力は基本的にペン入力で行っている。現場作業者が入力することを考慮して、入力画面にはリストボックスによる簡易入力手段等を採用することにより、操作性の優れた作業性の良いマンマシンインタフェースを

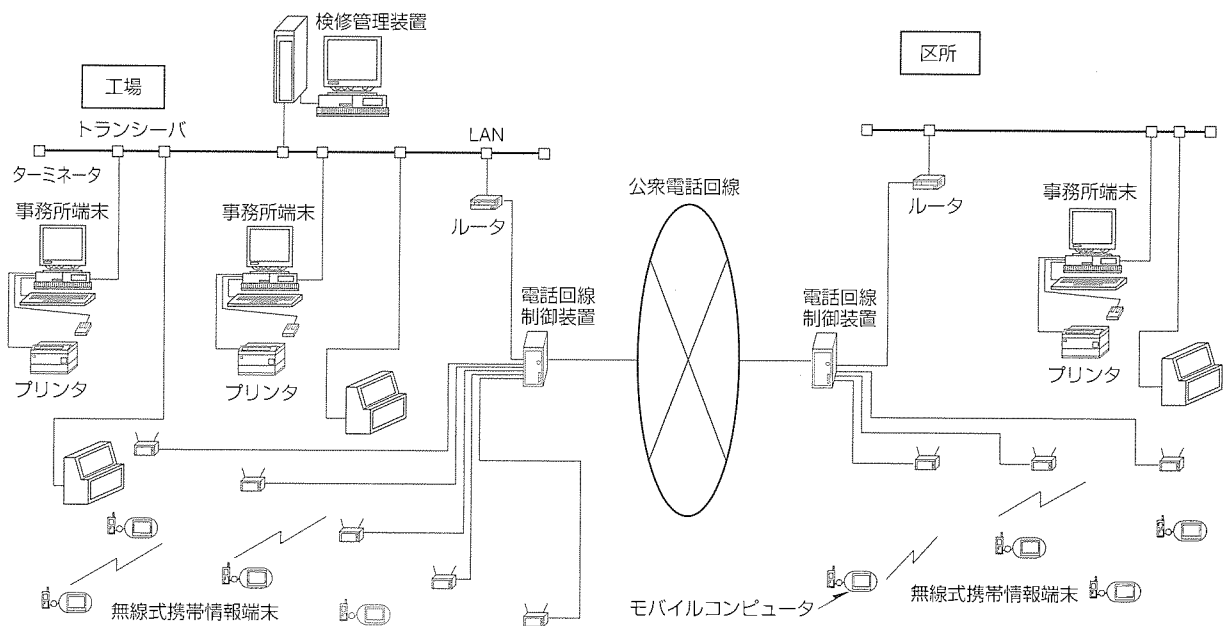


図2. 検修管理システムの構成

実現している。

2.4 システムの機能

(1) 管理対象

管理対象とする車両数は基地の車両総数から2,000両、各車両について管理対象とする機器は450台程度とし、これらの検修データは15年間保存することとしている。

(2) 検修データ管理機能

携帯情報端末等のネットワークシステムを用いて、各種試験装置や検修作業の結果を、検修管理装置のサーバに検修現場から直接登録する。この登録されたデータを事務所端末や携帯情報端末で検索表示する機能や、車両の状態を判別する分析のために調査目的に応じた実績データを検索する機能を備えている。

(3) データ出力機能

定型的な報告書・帳票類を自動出力する機能と、日常的な管理に必要な分析を行うが、その結果を一定様式で印字出力する機能を備えている。また、非定型的な分析を行うために検索したデータを一般の表計算ソフトウェアのファイル形式で出力する機能も備えている。

3. 電力管理システム

3.1 電力管理システムの動向

3.1.1 システム構成の変遷

電力管理システムのシステム構成の変遷を図3に示す。

'70年代前半の電力管理システムはデータロガー用に計算機が導入された。'70年代後半に入ると、変電所の集中制

御化とあいまって、記録のみならず、制御、監視、故障処理、指定制御、定時停送電制御、作業停送電制御など大幅な自動化機能が導入された。この当時は工業用計算機を用いた集中型システムで構成されていた。

'90年代に入ると、伝送装置とインタフェースを行う前置計算機(FEP)と主計算機(HOST)を中核とし、複数台のCRT制御装置(OPCP)をLANで接続したマンマシン分散型システムを業界に先駆けて開発し、多数のユーザーに納入した。HOST及びFEPは当社独自のオペレーティングシステムを搭載した工業用計算機を用い、OPCPはEWS(Engineering Work Station)でシステムを構成したマンマシン分散型のシステムであった。

現在のシステムは、監視・制御サーバ、支援サーバ、CRT制御装置にEWSを適用し、LANで接続したオープン分散型システムを開発し、納入している。

3.1.2 オープン分散型システムの特長

(1) システムの構成機器はいずれも同じUNIXアーキテクチャをベースにしたWSを採用している。監視・制御サーバ及びCRT制御装置は処理能力が高く外部インタフェース回線の充実しているMLシリーズを採用し、支援サーバは処理能力が高く、外部インタフェース回線が少なく、かつコストパフォーマンスの良いMSシリーズを採用している。

(2) 各機能をそれぞれのEWSで機能分散、負荷分担し、かつ、LAN回線は制御LANとマンマシンLANに機能分散することにより、各種処理の集中化を避け、高速処理を実

電力管理システムの歴史	'70年代前半	'70年代後半	'80年代前半	'80年代後半	'90年代前半	'90年代後半
主要技術の変遷	<ul style="list-style-type: none"> 監視機能自動化(監視、データ収集、記録) CASC方式 一重系 データロガー 	<ul style="list-style-type: none"> 集中型(監視、操作、記録、自動操作) CBSC方式 一重系 二重系 	<ul style="list-style-type: none"> マンマシン型分散(監視、操作、記録、自動操作、作業統制) CBSC方式 一重系 二重系 	<ul style="list-style-type: none"> オープン分散型(監視、操作、記録、自動操作、作業統制、事故復旧支援、保守支援) CBSC方式 二重系 		
	<ul style="list-style-type: none"> M350/5(32Kワード) 磁気ドラム 	<ul style="list-style-type: none"> M350/50(48~128Kワード) キャラクタCRT 磁気ディスク 	<ul style="list-style-type: none"> M350/60(1~6M/バイト) グラフィックCRT(専用機) 磁気ディスク 	<ul style="list-style-type: none"> M350/60(8~16M/バイト) グラフィックCRT(EWS) 磁気ディスク 	<ul style="list-style-type: none"> UNIXマシン(256M/バイト) グラフィックCRT(EWS) 磁気ディスク 	

CASC : Computer Aided Supervisory & Control

CBSC : Computer Based Supervisory & Control

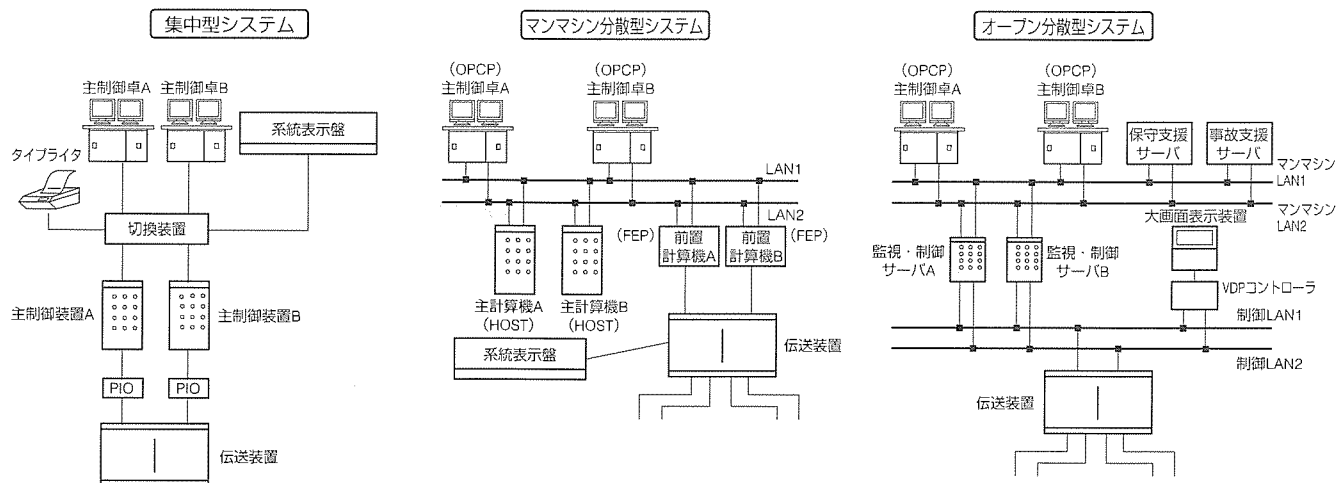


図3. 電力管理システム構成の変遷

現し、処理性能を改善している。図4に各EWSの構成制御機能分担を示す。

- (3) 各EWSには、エマージェンシ出力機能、ウォッチドグタイム機能を持つフェールセーフパネルと、電源切断時にシャットダウンを可能とするUPSを搭載し、電力管理システムとしての信頼性を確保している。
- (4) ディスクのクロスコール、コモンメモリ等、従来システムの弱点であった2系列の共通部を廃止し、系間を疎結合にすることにより、高信頼性の確保とシステム稼働率の向上を図っている。
- (5) UNIX^(注1)、TCP/IP^(注2)等世界標準のインフラを採用したことにより、普及している第三者ソフトウェアの活用ができるとともに、運行管理、設備管理システム等、他のシステムとの接続も容易になり、各種システムの統合化を可能としている。
- (6) X Window^(注3)、Motif^(注4)等のGUIを採用し、高度で使いやすいマンマシンインタフェースを実現し、視認性・操作性の向上を図っている。

3.2 最近の電力管理システム

電力設備の指令センターにおける電力管理システムの役割は、電力系統が拡大し複雑化する中、ますます重要になってきている。また、システムへの要求機能も高度化・多様化する一方であり、従来の集中型システムでは要求機能の実現が困難になってきたことから、最近ではオープン分散型システムが採用されるようになった。

図5に、南海電気鉄道(株)に最近納入した電力指令システムの指令室を示す。

電力管理システムの技術動向と特長を以下に述べる。

- (注1) “UNIX”は、X/Open Co. Ltd. がライセンスしている米国及び他の国における登録商標である。
- (注2) “TCP/IP”は、米国Texas Instruments Inc.の商標である。
- (注3) “X Window”は、米国Massachusetts Institute of Technology (MIT)の商標である。
- (注4) “Motif”は、Open Software Foundation. Inc.の商標である。

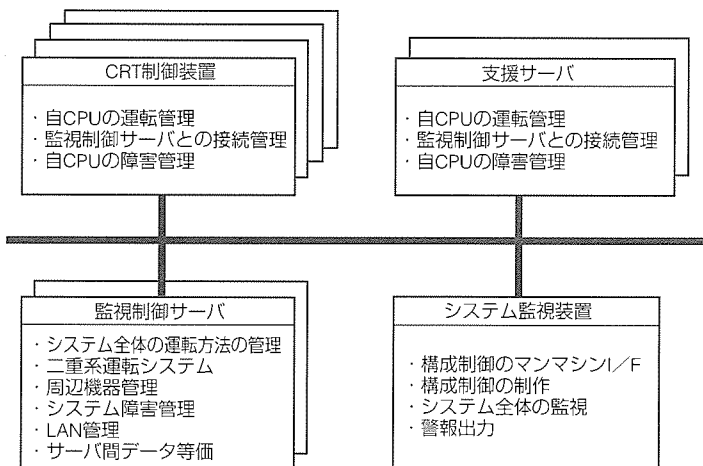


図4. 各EWSの構成制御機能分担

(1) 応答性能の向上

機能をサーバごとに分散させた機能分散型システム構成を採用し、高負荷時におけるシステムのスループットを大幅に向上させている。

(2) マンマシン性能の向上

マンマシン装置にEWSを採用し、最新のグラフィカルユーザーインタフェース機能を組み込むことにより、マルチウィンドウ表示、スクロールバー表示、拡大、縮小、スクロール等の機能を実現し、視認性・操作性を高め、使いやすく、人に優しいマンマシンインタフェースを実現している。

(3) 支援機能による業務の高度化と省力化

近年の情報化技術の急速な発展により、従来困難であった高度な業務の機械化が可能となり、柔軟で高度な系統運用を支援できるようになった。以下に支援機能の例を示す。

(a) 事故復旧支援機能

事故発生時の事故状況の把握、復旧操作、関係箇所への連絡、事故報告書の自動作成等の支援を行う。

(b) 作業計画支援機能

保守作業における計画・調整・承認といった各現業区及び指令間にまたがる業務を自動化し、保守作業計画業務のトータルの効率化を行う。

(c) 保守支援機能

変電所機器の巡視点検・保守点検を自動化し、機器の故障発生の兆候を予測し、事前に機器修理や系統変更を行うなど、機器故障による電力供給障害を未然に防ぐ予知保全の支援を行う。

(4) システムのメンテナンス性向上

ユーザーメンテナンスを可能にする会話型データメンテナンス機能の採用により、ユーザーによるメンテナンス性を大幅に向上させる。

オープン分散型を採用した電力管理システムの構成例を図6に、ソフトウェアの構成を図7に示す。

4. 今後の動向

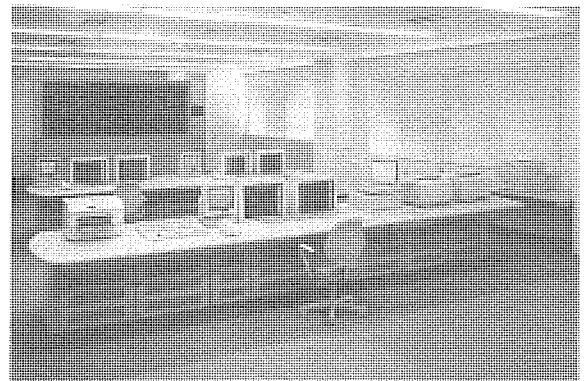


図5. 電力指令システムの指令室

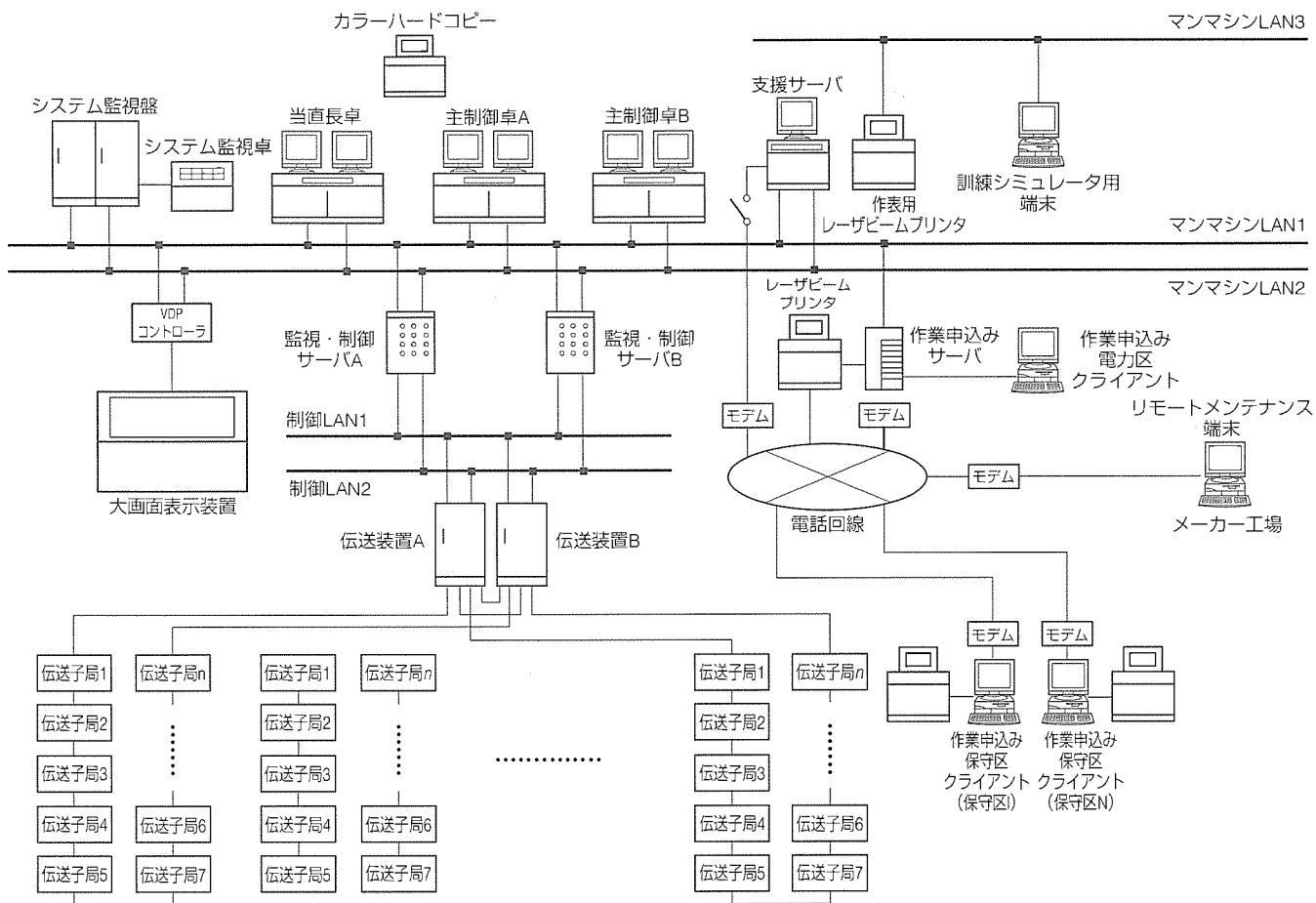


図 6. 電力管理システムの構成例

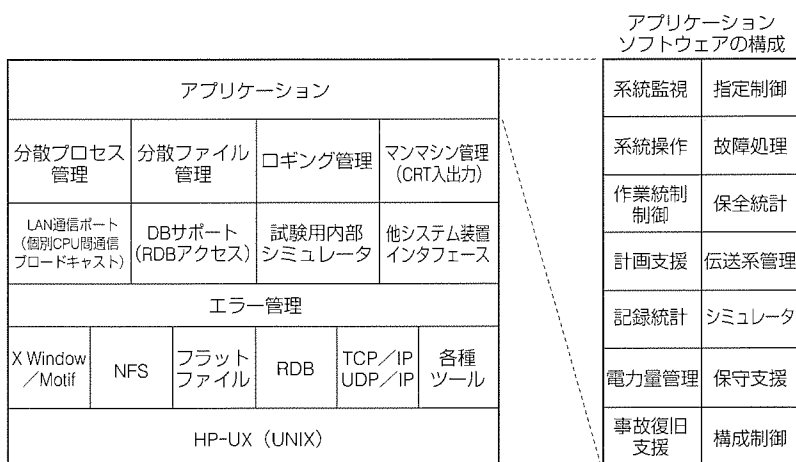


図 7. ソフトウェアの構成

鉄道分野の管理システムは、各業務間の連携が不可欠となり、以下に述べる要求を満たす必要がある。

- (1) 西暦2000年を迎えると人口動態に見られるように高齢化社会が急速に進むため、指令員の絶対数の不足はもとより、熟練指令員が不足することから、少人数の指令員で指令業務が実施できる統合化システムが要求される。
- (2) 人員不足に伴って夜間作業も限られてくるため、昼間

作業を可能にし、高度な操作の技術レベルを必要としない指令システムが求められる。(3) 魅力ある車両基地管理・電力管理システムを実現するには、ネットワーク化、オープン化、マルチメディア化、広域化の要素技術が必要である。現在、各要素技術の研究開発が進んでおり、実用化段階に入ったと考える。

5. むすび

以上、鉄道システムにおける計算機システムとして、最近の車両基地管理・電力管理システムについて、その基本となる技術と今後の動向について述べた。監視制御

系では、リアルタイムデータを扱うため、信頼性・保守性等の確保が重要である。オープン化・ネットワーク化が進んでいくと、その管理面、運用面、セキュリティ面を含めたシステムの検討が重要になってくる。

今後も先端技術を積極的に取り入れ、人に優しい、安全で高機能な、魅力ある鉄道システムを目指して開発を進めていく所存である。

山梨リニア実験線用 超電導磁石及び地上コイル

地蔵吉洋* 沖 雅雄* 五十嵐基仁**
板橋好文* 山口 孝* 土島秀雄***
赤木秀成* 寺井元昭**

要 旨

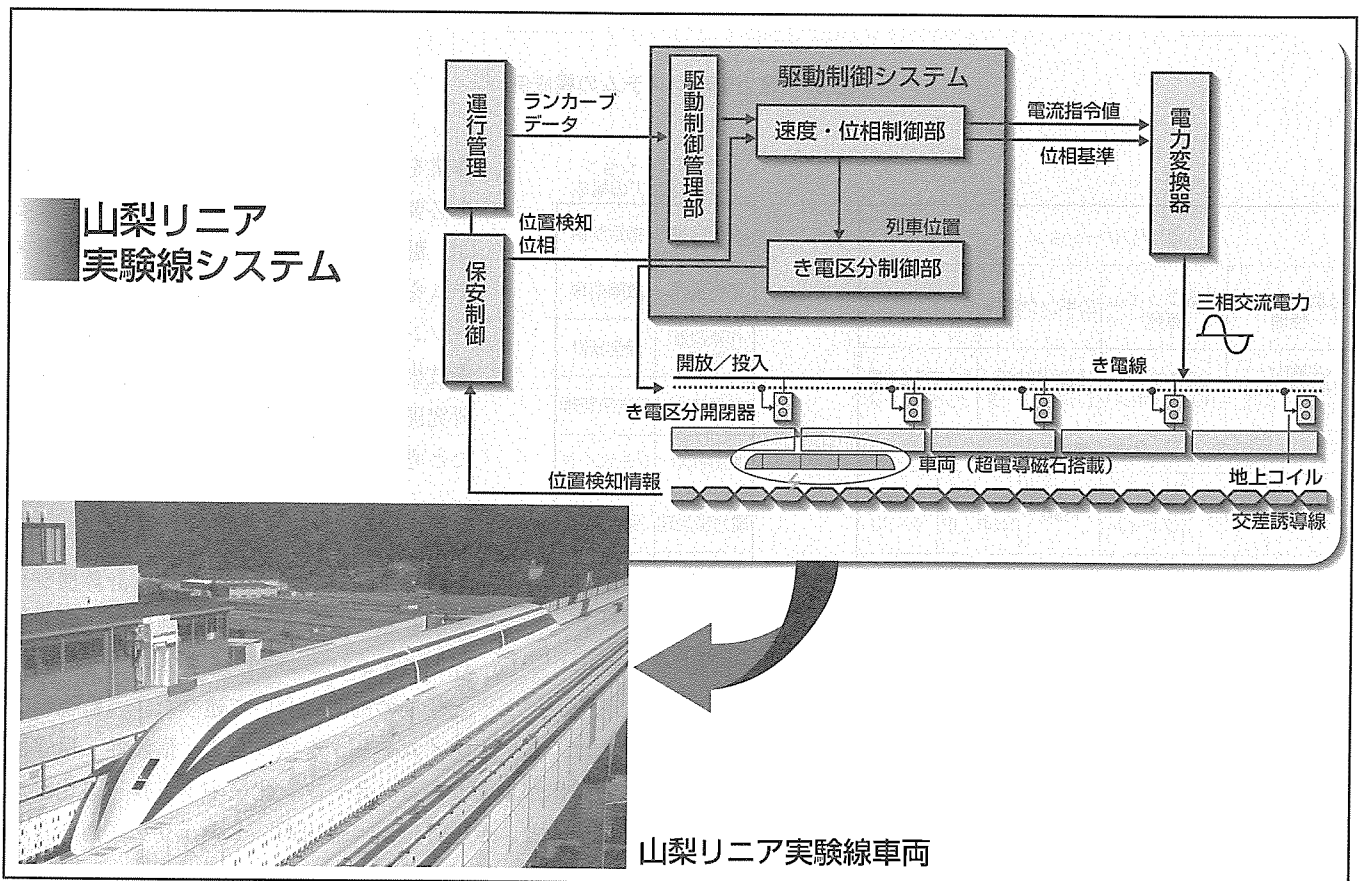
超電導磁石の作る強力な磁場を利用して高速で浮上走行する超電導磁気浮上式鉄道(リニアモーターカーマグレブとも呼ばれる。)は、21世紀に向けた日本の均衡ある国上の発展に寄与する、高速かつ環境にやさしい大量輸送機関の1候補として、実用化を目指した開発が行われている。実用化技術検証のために、山梨リニア実験線が山梨県に建設され、1997年4月から走行試験が開始されている。そして同年12月には、鉄道としての速度世界記録である550km/hを樹立した。2000年3月までの今後2年間で、鉄道としての実用性が検証され、評価される計画である。

三菱電機は、山梨リニア実験線における磁気浮上及び推進制御システムの主要機器である超電導磁石、地上コイル、駆動制御装置、列車駆動用電力変換器、車上電源システム

としての誘導集電装置(誘導集電用超電導磁石、集電コイル装置、集電用PWM(Pulse-Width Modulation)コンバータ)などを開発し、製作し、納入した。

本稿では、磁気浮上式鉄道実現のためのキーコンポーネントである超電導磁石と地上コイルに関し、山梨リニア実験線に向けての技術開発成果について述べるとともに、山梨での走行実績について紹介する。また、リニア車両の車上電源を非接触で集電するための誘導集電システム用超電導磁石及び集電コイル装置について紹介する。

超電導磁石、地上コイル共に550km/h達成まで極めて順調に稼働している。今後も、種々の実験データを積み重ねていき、さらに、実用化に向けた性能向上を図っていく。



山梨リニア実験線システム及び山梨リニア実験線車両

リニア車両は、第一編成3両、第二編成4両構成で、第二編成東京方先頭車にはリニア用車上電源とし、開発された誘導集電装置が搭載されている。車上の超電導磁石と軌道に敷設された推進用地上コイルでリニアシンクロモータを構成し、駆動制御装置からの指令に従って電力変換器が推進電流を地上コイルに給電し、車両は推進される。同時に、浮上案内用地上コイルに誘導される電流と超電導磁石の反発力によって浮上する。

1. ま え が き

三菱電機(以下“当社”という。)は、(財)鉄道総合技術研究所及び東海旅客鉄道(株)によって進められてきたリニア開発⁽¹⁾に当初から参画し、主要電機システムを開発してきた。山梨実験線車両用としては、宮崎実験線以来の経験とコンピュータシミュレーション等の新しい技術を融合して、高性能・高信頼度の超電導磁石及び地上コイルシステムを納入するとともに、車上電源である誘導集電システムを新たに開発し、納入した。

本稿では、山梨リニア用超電導磁石、地上コイル、及び誘導集電システム用超電導磁石と集電コイルの技術開発成果を中心に、現在の状況と今後の計画について述べる。

2. 山梨リニア用超電導磁石(SCM)システム

リニア用SCM(Super Conducting Magnet)は、超電導技術を駆使したリニア車両のキーコンポーネントであり、山梨リニア開発においても、その高性能化は最重要課題となっていた。当社も当初から開発に参画し、宮崎実験線で問題となったクエンチ現象(超電導コイルが常電導化して発生磁界が失われる現象)の克服など諸課題を解決し、山梨リニア用として3台車+誘導集電装置対応の計8台のSCMを納入稼働させている。

ここでは、山梨リニア用SCMシステムの概要及び技術開発成果と今後の計画について述べる。

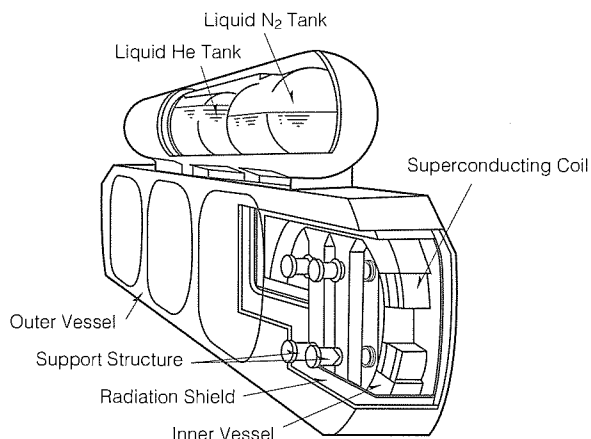


図1. SCMの構造

表1. SMCシステムの主要諸元

項目	仕様
SCM寸法(長さ×高さ)	5.4m×1.17m
質量	1,400kg以下
起磁力	700kA
浮上力(1台車当たり, SCM2台分)	231kN
走行模擬時最大熱侵入量	8 W
車載冷凍機液化能力(ヘリウム系)	8 W以上(at 4.5K)

2.1 山梨リニア用SCMシステムの概要

SCMは、超電導技術によって安定して強力な磁界を維持することにより、リニア車両と地上コイルとの間に、推進・浮上・案内する電磁力を発生させる最も重要な機能を持つ装置である。

SCMの構造を図1に示す。超電導コイルは、NbTi超電導線材を使用しており、液体Heとともにステンレス鋼製の内槽容器に収納されている。内槽は、室温からのふく(幅)射熱を液体窒素温度で吸収するシールド板で覆われ、さらに、空気による対流熱を防止するための真空容器(外槽)に収納されている。コイルに作用した推進・浮上力は、低熱伝導・高強度材であるFRP(繊維強化プラスチック)製の荷重支持材を介して、車両に伝えられる。上部には冷媒(液体He及び液体N₂)補給用のタンクが備えられている。

表1にSCMシステムの主要諸元を、図2にSCMの外観を示す。SCMは、1台車に2台搭載され、車両1両分の浮上力231kNを発生する。SCMの侵入熱や内部発熱によって蒸発したHeを再液化するための車載冷凍機がSCMに接続されており、長期間液体Heを無補給で運用することを可能にしている(Heに加えN₂の両者についても液化を可能とする冷凍システムについては、東海旅客鉄道(株)及びアイシン精機(株)と共同で開発し、4章で述べる誘導集電システムとして、第2編成車両に搭載している。)

2.2 SCMの性能向上⁽²⁾

リニア用SCMの技術的な課題は、走行中の電磁機械的外乱に対して安定に稼働させることにある。宮崎実験線や開発当初には、電磁機械的外乱に伴って超電導コイルがクエンチしたり、液体Heの蒸発量が冷凍機液化能力を上回るなどの技術的課題があった。当社は、(財)鉄道総合技術研究所、東海旅客鉄道(株)と共同で、電磁加振装置(走行時の外乱を模擬して負荷する装置)を始めとする評価試験装置を用いた試作試験とコンピュータシミュレーションを駆使してこれらの課題を解決し、山梨リニア向けSCMの仕様を達成することができた。

2.2.1 クエンチ現象の克服

走行中のSCMには地上コイルからの変動磁場が作用し、外槽に渦電流が流れ、超電導コイルの磁束との相互作用によって電磁加振力が働く(図3)。超電導コイルのクエンチは、加振力の周波数が内槽の共振周波数に一致したりして

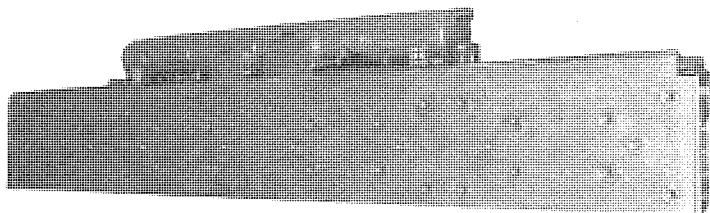


図2. 山梨用SCMの外観

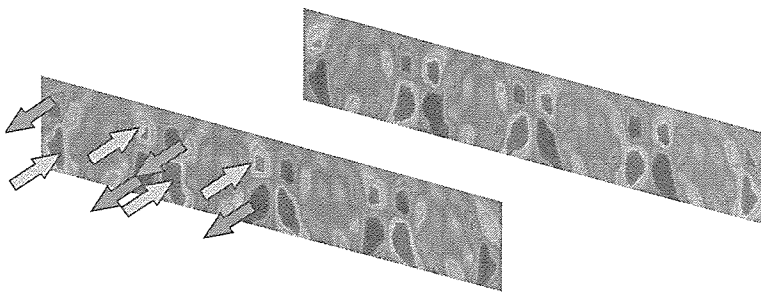


図3. 浮上コイルによる加振力分布(三次元渦電流解析による)

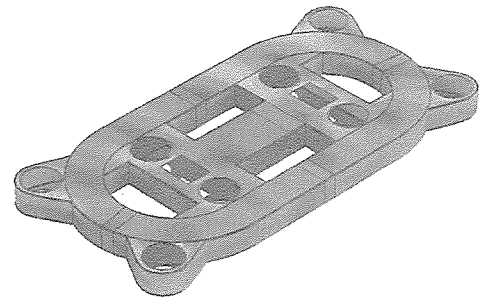


図5. 浮上走行時の内槽渦電流発熱分布

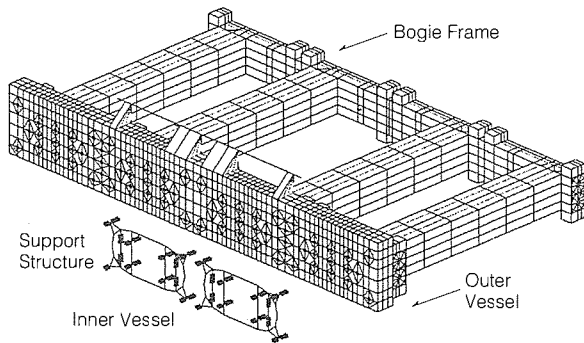


図4. 山梨SCMの電磁加振試験時の振動解析モデル

内槽の振動が大きくなった場合に、コイルと内槽間に生じる機械的滑りによる摩擦発熱が原因と推定された。

このような現象に対し、局所発熱によるコイルの温度上昇現象シミュレーションや内槽単体の曲げ加振試験による試作試験等により、以下のような解決策を見いだした。

- コイル内周部にすき(隙)間を設け、摩擦発熱を防止する。
 - 内槽に支持されるコイル最外周にダミー線を設ける。
- これらの対策により、走行時に発生すると想定される振動の8倍以上の耐振性を持つことが確認された。

2.2.2 液体He蒸発量の低減⁽³⁾

リニア用SCMでは、発熱や侵入熱によるHe蒸発量を冷凍機能力以下に抑制することにより、冷媒を無補給で運用することが要求される。走行中の液体He蒸発の要因には以下のものが挙げられる。

- 荷重支持材等の支持系からの熱伝導等の静置熱侵入
- 電磁加振に伴う内槽系振動による機械的発熱
- 車両運動等に伴う低周波数の変動磁場が外槽やシールド板で遮蔽されず、内槽に達して発生する渦電流発熱
- 超電導コイル磁界中における外槽やシールド板の振動で発生する渦電流の反作用磁界によって内槽に発生する渦電流発熱
- 超電導コイルの励消磁に伴う磁界変動による渦電流発熱

山梨リニア用SCM開発では、コンピュータによる振動

及び渦電流解析シミュレーションを駆使し、振動及び渦電流発熱を低減するための最適設計を実施した。

(1) 振動解析シミュレーションによる構造の最適化

SCMの振動、特に内槽の振動変形の抑制が重要となる。質量や定置熱侵入量が制限されるリニア用SCMでは、制約条件下での内槽の支持、外槽剛性、台車枠との結合等の最適な設計が必要とされる。当社では、電磁加振試験における振動と液体He蒸発量の関係を詳細に分析するとともに、試験時又は走行時のSCM振動を解析的にシミュレートし、内槽振動や液体He蒸発量に対する各パラメータの効果を評価して設計に反映している。図4に山梨SCMの電磁加振時の振動解析モデルを示す。

山梨SCMでは、シミュレーション及び試作試験の成果を取り入れ、以下のような方策によって内槽振動や液体He蒸発量の抑制を達成した。

- (a) 内槽レストラックの外周部に荷重支持材を設置することによる曲げねじり変形の抑制
- (b) 超電導コイルと永久電流回路を構成する永久電流スイッチを内槽中心に配置することによる変形モードの対称化
- (c) 台車側外槽を軽量高剛性のハニカム構造化することによるSCM全体変形に対する剛性強化

(2) 渦電流解析シミュレーションによる渦電流発熱の低減

内槽に発生する渦電流は、励消磁、走行速度、車両運動などその要因によって周波数や分布モードが異なる。渦電流発熱を抑制するためには、これらの複雑な渦電流を把握し、発熱を低減できる構造や材質を選択する必要がある。

当社では、三次元渦電流解析により、各要因に伴う渦電流発熱をシミュレートし、渦電流発熱を低減できる構造・材質を選定して設計に反映した。図5に浮上走行時の内槽の渦電流発熱密度分布の解析例を示す。

山梨SCMに適用した主要な渦電流発熱抑制策は以下のようものである。

- 内槽表面を低抵抗化(Cuめっき)
(内槽におけるジュール発熱を低減)
- シールド板を高抵抗化(CFRP)
(シールド板の振動時の渦電流発生を抑制)

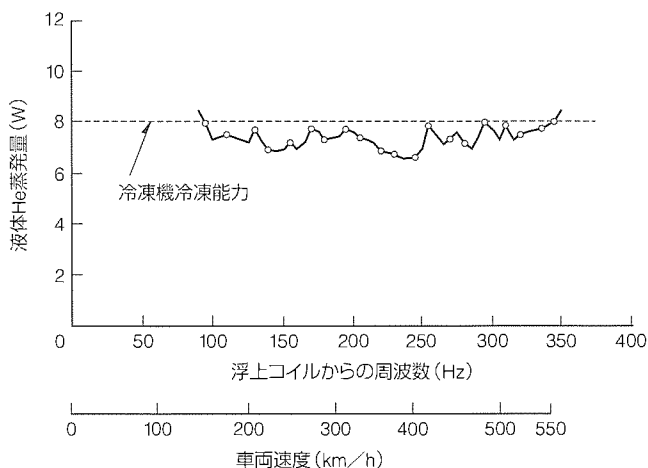


図 6. 走行模擬電磁加振時のHe蒸発量特性

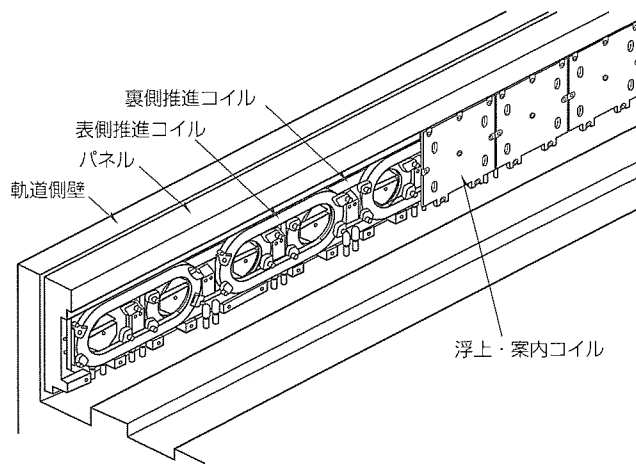


図 7. 地上コイルの取付構造

● 励消磁時には渦電流パスを遮断し発熱を抑制する機能と、走行時の渦電流発熱を低抵抗化によって抑制する機能を併せ持つ構造の採用

なお、図 3 の電磁力分布についても三次元渦電流解析で求めている。

(3) 山梨用SCMの液体He蒸発量の性能

図 6 に山梨用SCMの走行模擬電磁加振時のHe蒸発量特性を示す。上記(1)(2)で述べた方策により、開発初期の蒸発量の約 1/20 の蒸発量を達成し、走行時における冷凍機とのバランス運転が可能なものとなっている。

2.3 今後の計画

開発したSCMシステムは、現在実験線車両に搭載され、550km/h の速度域まで順調に稼働している。今後は、これらのフィールドデータを収集し、現状の性能評価及び高精度シミュレーション技術の開発に取り組むとともに、実用化へ向けての信頼性向上と低コスト化に取り組む計画である。

3. 山梨リニア用地上コイルシステム

山梨リニア実験線用地上コイルについては、当社は、推進コイル、浮上・案内コイル各々約 2 万個を約 2 年間で製作して納入し、1997年 3 月までに現地軌道への取付けを行った。

ここでは、山梨リニア用地上コイルシステムの概要、及び技術開発の成果と今後の課題について述べる。

3.1 地上コイルシステムの概要

リニアモータは従来のモータを直線状に引き伸ばしたもので、車両に搭載されている超電導磁石が回転子に、地上に設置される推進コイルが固定子に相当し、推進コイルに

表 2. 推進コイルの主要諸元

項目	仕様
使用電圧	22kV(北線)
最大電流	960A
導体中心間寸法	1.42m×0.6m
コイル厚さ	46mm
導体材質	電気用アルミニウム
モールド材	エポキシ樹脂

表 3. 浮上コイルの主要諸元

項目	仕様
使用電圧	600V(誘起電圧)
導体中心間寸法	0.35m×0.34m
コイル厚さ	50mm
導体材質	電気用アルミニウム
モールド材	SMC

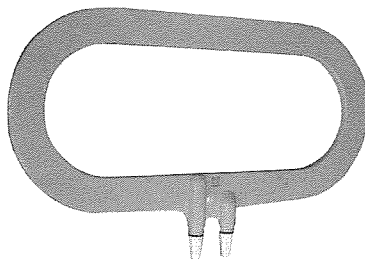


図 8. 推進コイルの外観

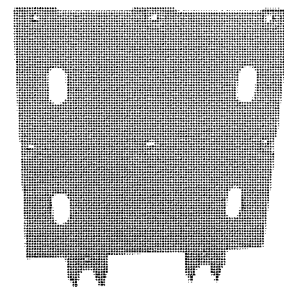


図 9. 浮上コイルの外観

地上側から電流を流すことによって推力を発生する地上一次のシステムである。

推進コイルは、超電導磁石に与える振動の影響を小さくするために、コイルを 2 層に重ねて並べる“2 層配置”となっており、軌道の側壁に取り付けられている。

また、鉄道のレールに相当するのが浮上・案内コイル(以下“浮上コイル”という。)であり、車両を浮上させるとともに車両を常に中央に保つための案内機能も併せ持ち、軌道の側壁に推進コイルを被う形で取り付けられている。

地上コイルの軌道への取付方式には 3 種類の方式があり、山梨リニア実験線では、それぞれの取付方式について実験・検証を行う計画となっている。

この 3 種類の取付方式のうち、当社は、推進コイルの進行方向の両端面をくさび状のFRP製スペーサで押し付け(面支持構造)、そのスペーサを軌道側壁にボルトで固定する部分スペーサ方式を採用している。図 7 に地上コイルの

軌道への取付構造を示す。

3.2 山梨リニア用地上コイルの開発

地上コイルの主要諸元を表2と表3に、外観を図8と図9に示す。また、開発及び製作における技術的課題を表4に示す。

3.2.1 推進コイル

推進コイルへは地上電源から電ケーブルを介して通電され、推進力が得られる。この際の作用電圧は、線間で22kV(実効値)であり特別高圧に相当する。

推進コイルは特に高電圧で使用されるので、電気絶縁特性に優れ、電力機器等の絶縁かつ構造材料として長年の使用実績のあるエポキシ樹脂で層間及び対地も絶縁するエポキシ一体注型絶縁構造を採用し、量産性と品質特性(特に部分放電特性：使用電圧でのコロナフリー)に優れた真空注型加圧ゲル化法を開発し製作した。

3.2.2 浮上コイル

浮上コイルは、車両が通る際に発生する誘導電流を利用して浮上力を得る。誘起される電圧は低いが車体の質量を支持するため、機械的特性に優れていることが要求される。

このため、機械的強度に優れたガラス繊維強化構造とし、

表4. 地上コイルの技術的課題

推進コイル	浮上コイル
(1) 高耐圧化 ● 22kV(宮崎実験線は6.6kV) ● 対地絶縁層の薄肉化 ● インバータ電源波形の影響 (2) 耐候性 ● 屋外使用 ● 耐コンクリート性 (3) 量産化技術	(1) 側壁取付け ● 側壁浮上・案内方式(宮崎実験線は対向浮上方式) ● コイルの支持・取付方式(浮上力の背面突起支持) ● コイルの機械強度 (2) 耐候性 ● 屋外使用(耐紫外線性など)

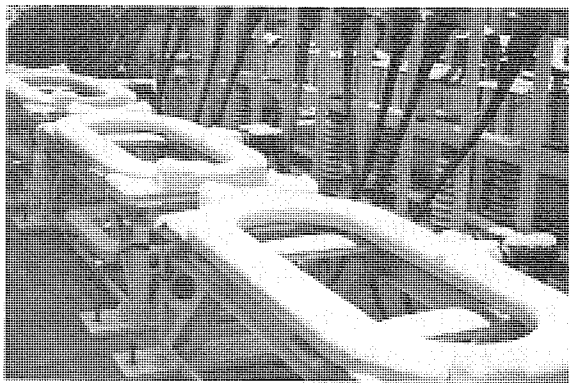


図10. 屋外暴露長期課電試験状況

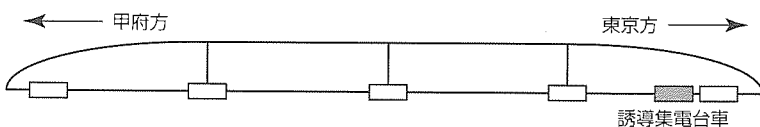


図11. 山梨リニア第2編成車両台車編成(集中型誘導集電方式)

SMC(Sheet Molding Compound：ガラス繊維強化不飽和ポリエステル樹脂)でモールドした。

3.2.3 試験・検証

地上コイルの開発・製作に際し、コイルの注成形性能、電気絶縁特性、機械強度特性及び取付け等に関する種々の検討と検証を実施した。主な項目について以下に示す。

(1) 機械強度試験

軌道取付け時の強度を確認する段差取付試験、電磁力作用時の強度と挙動を確認する荷重載荷試験及び疲労試験等を行い、十分な強度を持つことを確認した。

(2) 電気絶縁破壊試験

コイルの層間、端子間、対地の絶縁破壊試験(交流電圧、衝撃電圧)を行い、十分な絶縁強度を持つことを確認した。

(3) 屋外暴露長期課電試験

インバータ電圧模擬波形(商用周波数に高周波を重畳。使用電圧の1.2倍の試験電圧)で推進コイル(段差取付け状態)を30年相当課電し、試験前後での電気特性に変化はなく、十分な信頼性があることを確認した。試験状況を図10に示す。

(4) パネル取付け・通電環境試験

コンクリートパネルへコイルを取り付けた実機模擬状態で通電環境試験を実施し、温度上昇、発生ひずみに問題はなく、試験前後でコイルに異常がないことを確認した。

3.3 今後の課題

将来の営業線に向けた課題としては、以下の項目が挙げられる。

- (1) 山梨実験線での走行試験による基本性能の確認
- (2) 耐久性検証, 長期信頼性の確保
- (3) 経済性の追求

4. 山梨リニア用誘導集電装置⁽⁴⁾⁽⁵⁾

4.1 誘導集電装置の概要

浮上式鉄道車両の車上電源方式として、走行時の浮上コイル電流が作る磁界の高調波成分を利用する誘導集電方式の開発が進められてきた。この方式は非接触で行う集電方式であり、パンタグラフや燃料等を使用しないため低騒音・低公害であり、環境に優しい集電方式である。

当社は、誘導集電を行う専用の台車によって電力を集中的に集電する集中型誘導集電方式を東海旅客鉄道(株)とともに開発を進め、このたび、山梨リニア第2編成車両に搭載される誘導集電装置を製作した。

図11に山梨リニア第2編成車両の台車構成を示す。集中型誘導集電方式では、図に示すように、誘導集電台車は車両の東京方先頭車に配置される。山梨リニア用誘導集電装置の概略構成を図12に示す。

誘導集電用SCMは浮上案内用SCコイル、

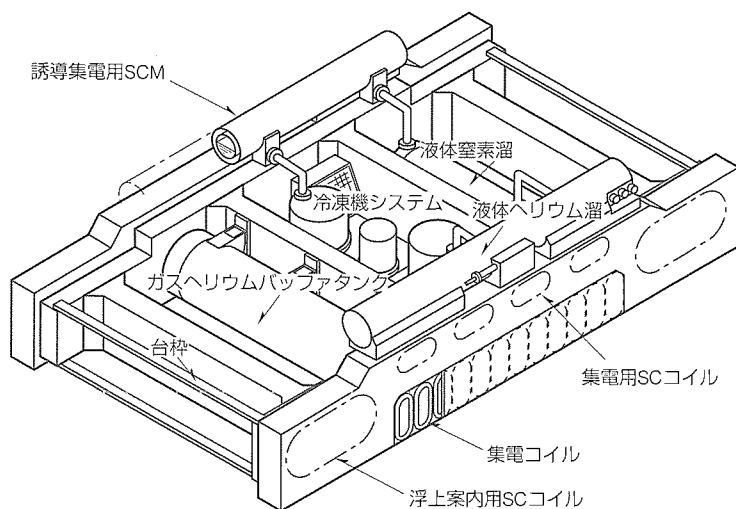


図12. 山梨リニア用誘導集電装置の概略構成

表5. 山梨リニア用誘導集電装置の性能

主要装置構成	(1) 誘導集電用SCM：2台 (浮上案内用SCコイル2個+集電用SCコイル4個)×2台
	(2) 集電コイル装置：2組 (4コイル/相×3相×2台：3相Y結線)
集電装置	(3) SCM用冷凍機ユニット(窒素冷凍兼用)：1組 (冷凍機2台, 圧縮機1台)
	(4) PWMコンバータ装置：1組
175kW/台車 at 350km/h以上(負担荷重11t)	

集電用SCコイル、液体ヘリウムだめ(溜)で構成され、誘導集電台車枠に取り付けられる。台車枠内部には液体窒素溜、ヘリウムバッファタンク及び冷凍機システムが配置される。集電コイル装置は、集電用SCコイルの下部に配置される。

表5に山梨リニア用誘導集電装置の性能を示す。

4.2 誘導集電用SCM

4.2.1 誘導集電用SCMの特長

誘導集電用SCMの特長を以下に示す。

- (1) 誘導集電用SCMは、4極の集電用SCコイルを挟んでSCM両端部に2極の浮上案内用SCコイルを配置しており、この浮上案内用SCコイルによって誘導集電台車自身の浮上案内を行い、台車の走行安定性を確保している。
- (2) 集電用SCコイルを8字状の浮上案内用地上コイルの上側コイルに、集電コイル装置を下側コイルに対向して配置することにより、各コイル間の磁氣的結合を大きくするとともに、SCM外槽での磁気シールド効果を最小化して大きな集電電力を得る構成となっている。
- (3) パワーリード等の低温配管類の走行時の振動による摩擦発熱を低減するため、低温配管類は、走行時に振動の小さい液体ヘリウム溜部に移設している。
- (4) 冷凍システムには、従来の液体ヘリウムの冷凍機能に加え、シールド板を冷却する液体窒素の再凝縮機能を付加した冷凍システムを採用している。液体ヘリウム及び液体

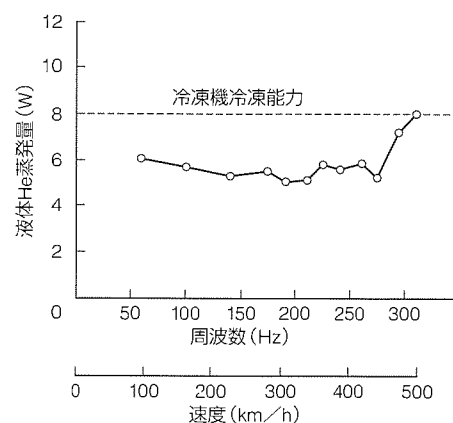


図13. 走行模擬電磁加振時のHe蒸発量特性 (誘導集電用SCM)

窒素の完全無補給運用を目指した。

4.2.2 誘導集電用SCM発熱検証

誘導集電SCMも、浮上推進用SCMと同様、走行時の地上コイルからの変動磁界による内槽での発熱を冷凍機の冷凍能力以下に低減することが、冷凍機とのバランス運転を行うためには必ず(須)の項目である。

図13に、SCMが走行時に受ける電磁力を模擬して定置でSCMに加えた場合の、内槽での発熱によるヘリウムの蒸発量特性を示す。500km/h以下の速度域において、ヘリウムの蒸発量に顕著なピークは見られず、冷凍機のヘリウム冷凍能力以下に低減できた。

ヘリウム/窒素の冷凍機能を持つ冷凍システムとSCMとの熱負荷バランス試験においては、ヘリウム/窒素ともバランス運転が可能であることが検証され、将来の営業線における液体ヘリウム/液体窒素の無補給運用の見通しが得られた。

4.3 集電コイル装置

4.3.1 集電電力の向上

集電コイル装置は、走行時の浮上コイル電流によって作られる磁界を車上側にピックアップする装置であり、集電用SCコイルの下部に配置される。集電コイルは、台車枠下部から取り入れられるラムエアによって冷却される。

350km/h以上の速度で175kW/台車の集電性能を確保するために、以下に示す方策を実施した。

- (1) 集電コイルは、交流損失の小さい線材を用いることにより、集電性能の向上と集電時のコイル温度上昇の低減を図っている。
- (2) 装置構成部材には高強度・非導電性材料を使用し、渦電流の発生を抑制するとともに、軽量化を図っている。
- (3) 浮上コイルとの磁氣的結合を大きくするため、集電コイルは可能な限り浮上コイル側に配置している。

4.3.2 集電電力特性

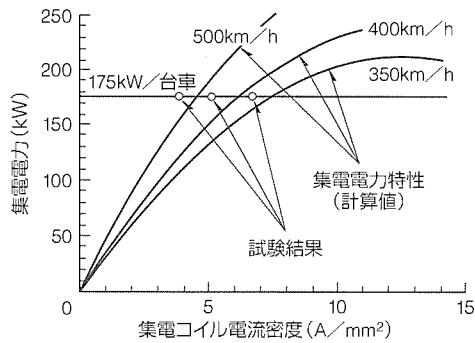


図14. 集電コイル装置の集電電力特性

実機走行時の地上コイルの変動磁場を模擬して集電コイル装置単体に試験的に与え、PWMコンバータで力率1に制御して集電性能を測定した結果を図14に示す。

いずれの速度に対応する周波数においても175kW/台車の集電が確認できた。山梨実験線における実走行試験でも350km/h以上で175kWの集電が可能と期待される。

4.4 今後の計画

集中型誘導集電方式について、山梨実験線で以下の項目の検証を行う。

- (1) 350km/h以上で175kWの集電ができることの確認
- (2) 誘導集電台車の走行安定性の確認
- (3) 集電コイルのラムエアによる冷却特性の検証
- (4) PWMコンバータの制御安定性の確認

5. むすび

山梨リニア実験線では、1997年12月に550km/hが達成

され、引き続き実用化に向けての性能検証が実施される。三菱電機としても、山梨実験線における走行データを反映して、より高い信頼性を持ったSCM及び地上コイルの開発を継続していく。

参考文献

- (1) 土井利明, 鶴賀仁史: 超電導磁気浮上式鉄道開発の現状, 低温工学会雑誌, 28, No.10, 561~568 (1993)
- (2) 超電導リニアドライブ応用技術調査専門委員会編: 超電導リニアドライブ応用技術の展望と課題, 電気学会技術報告 582, (1996-4)
- (3) 地蔵吉洋, 赤木秀成, 山口 孝, 寺井元昭, 忍正壽: 単コイル内蔵型超電導磁石を用いた熱負荷特性の把握と対策試行, 低温工学会雑誌, 29, No.10, 516~523 (1994)
- (4) 赤木秀成, 地蔵吉洋, 澤野英二, 佐々木拓二: 専門超電導磁石を使用した誘導集電方式について, 電気学会リニアドライブ研究会, LD-90-75, 51~60 (1990-11)
- (5) 池下浩司, 地蔵吉洋, 澤野英二, 佐々木拓二: Inductive Power Collection System for Maglev Vehicles, The International Conferemce on Speedup Technology for Railway and Maglev Vehicles, 186~191 (1993-11)

山梨リニア実験線の 駆動・推進制御システム及び車上電源システム

粉原秀樹*
糺 芳信**
田上吉洋**

要 旨

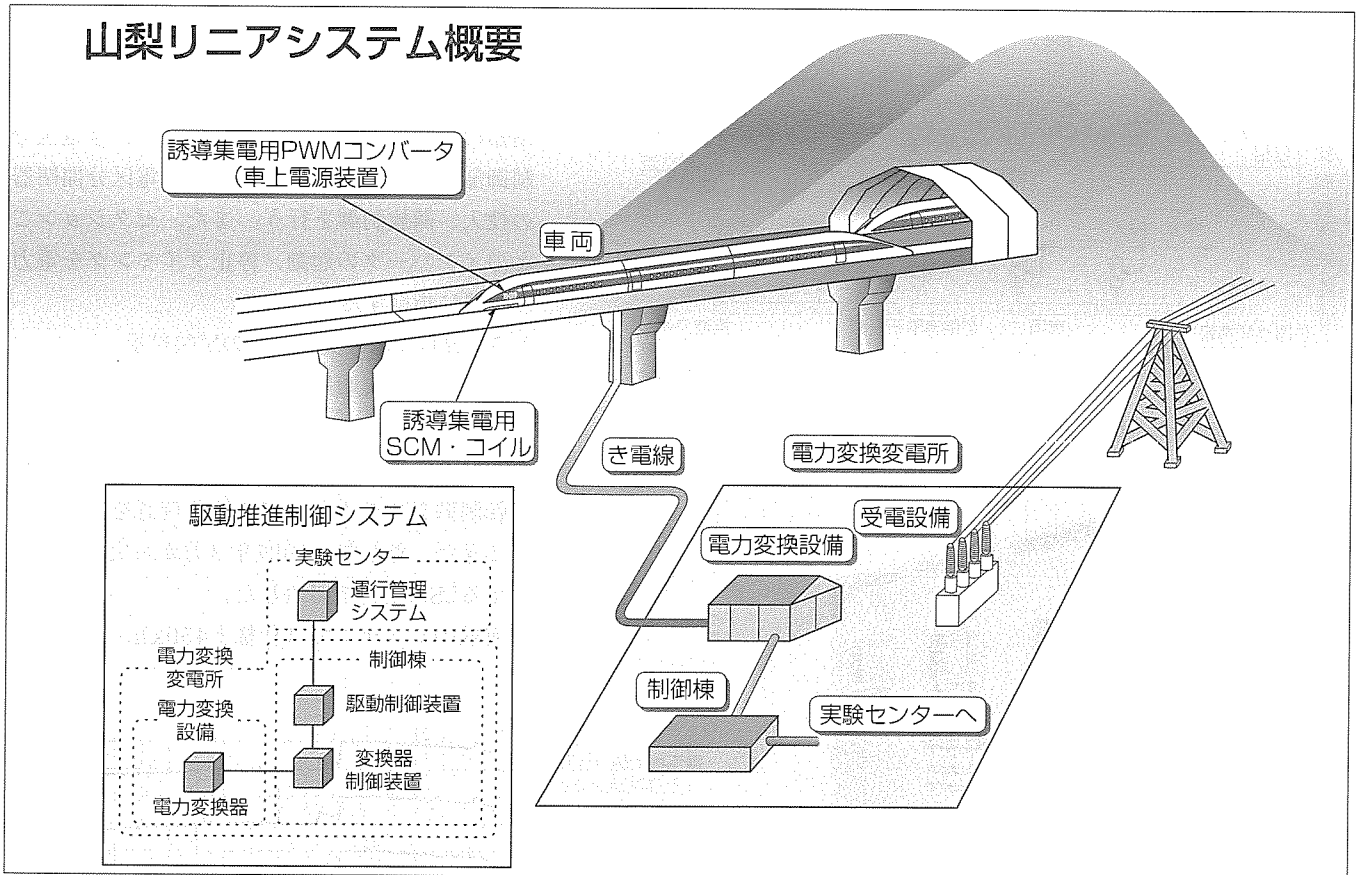
超電導磁気浮上式鉄道(リニアモーター)は21世紀における実用化を目指して開発が進められており、将来の大量輸送の軸になることが期待されている。

実用化検証を目的として建設された山梨リニア実験線では地上1次形LSM(Linear Synchronous Motor)が採用されている。LSMとは、同期電動機を直線上に切り開いたもので、車上に界磁に当たる超電導磁石が、地上に電機子に当たる推進コイルが設置されている。この推進コイルに交流電力を与えることにより、車両を駆動させることができる。地上1次とは列車を駆動させる制御装置や電力変換装置が地上にあるシステムを呼んでおり、従来の列車における駆動装置が制御装置及び電力変換装置である。制御装置と電力変換装置は、電力変換変電所に設置され、列車制

御の核となる。ここでは、三菱電機が制作し納入した列車制御装置の中の駆動制御装置と、電力変換装置について述べる。

また、車両内のサービス機器(空調・蛍光灯など)や車上の制御用電気機器への電源供給については、今日の目覚ましい技術革新により、超電導磁気浮上の特長を生かし、クリーンで低騒音な非接触集電方法である誘導集電方式の技術開発が進んでおり、ほぼ実用レベルに達したことから、山梨実験線第2編成車両に採用されることになった。

今回、この誘導集電装置に使用する電力変換装置として、175kW電力集電が行えるPWMコンバータ装置を製作したので、これについても述べる。



山梨リニア実験線の駆動・推進制御システム及び車上電源システム

山梨実験線では、地上1次形LSMが採用され、駆動推進制御システムが車両駆動を行う。駆動推進制御システムは、上位システムである運行管理システム、駆動制御装置、変換器制御装置、電力変換器と階層的に構成される。一方、車両内のサービス機器用電源としては誘導集電用PWMコンバータ装置が使用される。

1. ま え が き

山梨リニア実験線のシステムのうち、本稿では、①列車の速度制御や推進コイルへの給電切換制御を行う駆動制御装置、②推進コイルに交流電力を与え車両を駆動させる電力変換装置、③車両内のサービス機器や制御用電気機器への電源供給を行う誘導集電用PWMコンバータについて述べる。

2. 南線駆動制御装置

2.1 概 要

図1に、駆動制御装置を中心とした山梨リニア実験線のシステム構成を示す。駆動制御装置は、列車運転制御システムの一部を構成し、駆動制御管理部、速度・位相制御部、き電区分制御部が含まれる。この中で、速度・位相制御部は列車の速度制御を、き電区分制御部は推進コイルへの給電切換制御を行う。山梨リニア実験線は北線と南線で構成されるが、当社は南線駆動制御装置の速度・位相制御部と

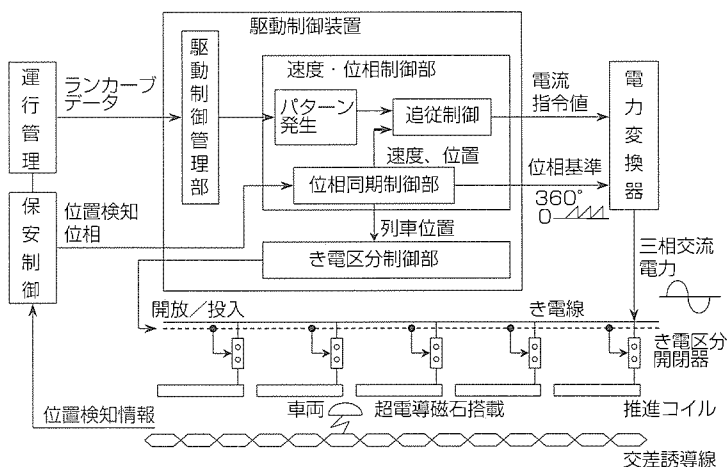


図1. 山梨リニア実験線のシステム構成

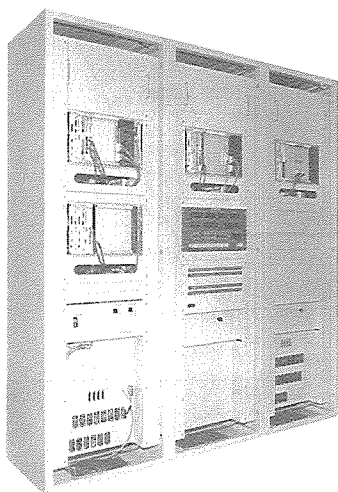


図2. 速度・位相制御部の外観

き電区分制御部を納入し、現在稼働中である。

2.2 装置の構成

駆動制御装置のハードウェアは、32ビットマイコンを収納した計算機架で構成し、各種インタフェース回路を介して周辺システムと接続している。装置は、山梨リニア実験線都留変電所の制御棟内に設置されている。

図2に速度・位相制御部の外観を示す。

2.3 速度・位相制御部

速度・位相制御部は、運行管理から指令されたランカーブを基に、列車位置情報に従って列車の速度制御を行う。

次に処理機能を示す。

(1) パターン発生

運行管理から指令されたランカーブデータに基づき、乗り心地を考慮した速度パターンを発生する。

(2) 追従制御

列車速度が速度パターンに一致するように電流指令値を演算し、電力変換器に指令する。

(3) 位相同期制御

保安制御から入力された位相信号から、推進コイルに通電する電流の位相、周波数を決定する位相基準を作成する。

2.4 き電区分制御部

推進コイルへの給電は、給電効率を確保するため、列車の在線するセクションのき電区分閉器のみを投入する方式としている。き電区分制御部は、列車位置に応じて、き電区分閉器の投入/開放制御を行う。また、セクションごとのインバータの起動/停止タイミングを電力変換器に指令する。

2.5 山梨リニア実験線での試験結果

山梨リニア実験線では駆動制御装置と運行管理、保安制御、変換器制御の各システムと組み合わせたシミュレーション試験を実施し、列車運転制御システムとしての機能確認を着実に進めてきた。そして、1997年3月から実車両を駆動するLSM走行を開始した。

南線のシステムでは仕様上450km/h走行ま

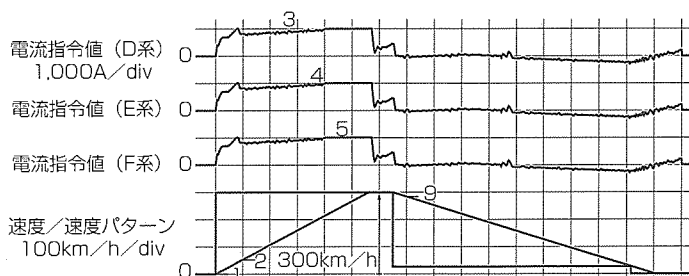


図3. 走行試験結果

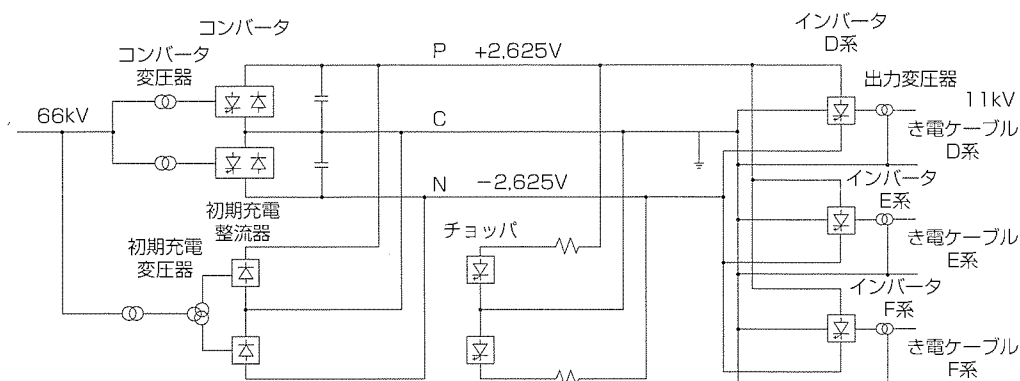


図4. 電力変換装置の主回路構成

表1. コンバータの定格

方式	高力率電圧形 PWMコンバータ
変換器容量	33MW
直流電圧	±2.625V
直流電流	6,290A
変換器構成	三相4段×2組
アーム構成	4.5kV 4kA GTO 2S1P4A/ブリッジ
キャリア周波数	同期350Hz(7パルス)

で可能であり、'97年度は350km/hまでの走行確認を実施した。

図3に300km/h走行時の試験結果を示す。速度パターンに従った追従制御が行われ、起動から停止まで円滑に制御できている。

2.6 今後の計画

'98年度からは実験車両が2編成になり、2列車続行試験、待避、追越し試験等を行う。また、北線・南線変換所間を列車が渡る、渡り制御性能についても確認する。

南線駆動制御システムでは、将来の営業線を考慮した各種の制御機能を準備している。今後、定点停止制御、インテグレーション等の性能向上を行うほか、交差誘導線からの位置検知信号を使用しない、速度起電力位相による走行制御についても確認していく予定である。

3. 南線電力変換装置

3.1 概要

山梨リニア実験線は複線で建設されており、2列車の同時運転が可能なシステムとなっている。列車の制御は地上の変電所から直接行われるため、2列車の運転には二つの電力変換装置が必要となる。電力変換装置は、受電した電力を列車の駆動に必要な電圧と周波数の交流に変換し、き電ケーブルを介してガイドウェイに設置された推進コイルに供給する機能を持っている。二つの電力変換装置をそれぞれ北線電力変換装置、南線電力変換装置と呼んでいる。

当社は、山梨リニア実験線において、南線電力変換装置を担当している。

北線電力変換装置が速度向上を目的としているのに対し、南線電力変換装置は、将来の営業運転を見据えた高機能設備となっており、高力率コンバータの採用、電力回生動作、三次高調波の重畳による電圧利用率向上の機能などを持っている。また、北線での変電所渡り試験と複数列車制御のため、南線電力変換装置から北線に電力を供給することができる装置となっている。

3.2 主回路構成

南線電力変換装置の主回路構成を図4に示す。電力会社からの受電電圧は66kVに変換され、コンバータ変圧器に接続される。コンバータは、三相入力のPWMコンバータで、直流回路P-C間、C-N間にそれぞれ1組設置されている。インバータは、三相出力のPWMインバータで、3系のき電系に対応し、各き電系に対して1台設置されている。各き電系はD系、E系、F系と呼ばれて区別される。インバータから出力された交流電力は、出力変圧器を介してき電ケーブルに供給される。このほかに、コンバータ起動時に直流コンデンサを充電する初期充電整流器、回生電力吸収用のチョッパで構成されている。

3.3 コンバータ

コンバータは、高力率PWMコンバータで、力率1制御、電力電源回生を行う。素子には4.5kV 4,000AのGTOを使用して、スナバコンデンサの容量を3,000A素子の場合に比較して2/3とし、スナバ損失を低減している。

コンバータは、大容量のため単相ブリッジをユニットとして、コンバータ変圧器で4段多重とする構成にしている。単相ブリッジは、GTO素子を2直列としたアーム4組で構成している。単相コンバータを3組使用して三相を構成し、これを正側負側の2組構成としている。コンバータの定格を表1に示す。

力率1制御を実施することによって電源側の調相設備やフィルタを省略でき、三次高調波の重畳によって電圧利用率を向上し、多重段数の低減を可能とし、装置のコンパクト

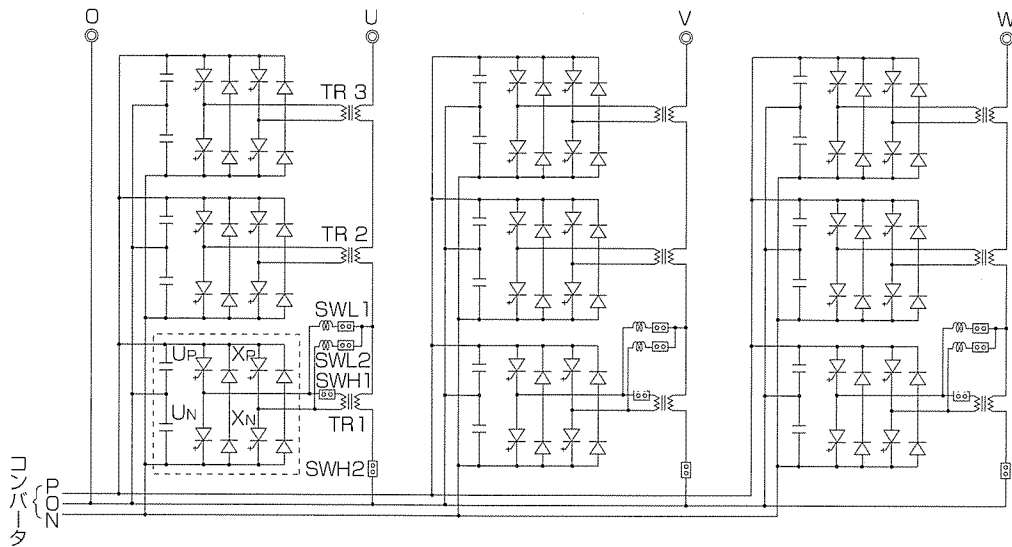


図5. インバータの構成 (1系)

表2. インバータの定格 (1系)

方式	電圧形VVVF PWMインバータ
変換器容量	20MVA
出力電圧	11kV
出力電流	1,015A
直流電圧	5,250V
出力周波数	0~46.3Hz
変換器構成	三相3段
アーム構成	4.5kV 4kA GTO 3S1P4A/ブリッジ
キャリア周波数	270~330Hz 非同期

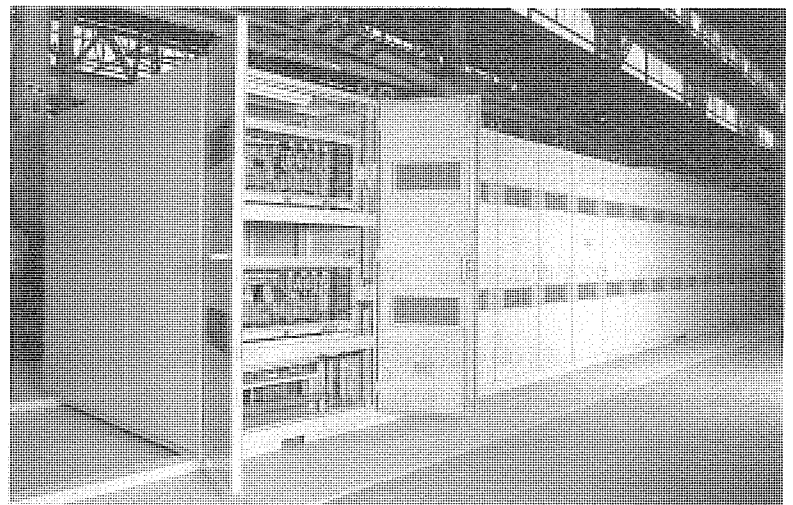


図6. インバータ主回路の外観

ト化を図っている。

電力変換装置起動後一定時間列車の運転がなくインバータが動作しない場合は、コンバータの発振を停止し装置損失の低減を図る省エネルギーシステムとなっている。

3.4 インバータ⁽¹⁾

山梨リニア実験線はLSM駆動であり出力周波数と列車の速度が比例するため、電力変換装置は、列車起動時の直流を含む広い範囲の周波数を出力する必要がある。このため、列車速度によってハーフブリッジとフルブリッジの主回路構成切換えを行っている。

図5に1系当たりのインバータの構成を示す。低速度域では、トランスの偏磁を避けるためにSWLを閉じSWHを開き、1段目のインバータをハーフブリッジの2台並列運転とし、出力変圧器なしで直接出力する。2台並列運転としているのは、列車起動時の直流電流確保のためである。高速度域では、出力波形のひずみを小さくするために、SWLを開きSWHを閉じ、全段フルブリッジで1段目も出力変圧器を使用する。山梨リニア実験線は三重き電方式を

採用しており、き電系は3系準備されている。列車駆動のためには2系のき電系に電力を供給する必要がある、同一時点では2系のインバータが運転されている。1系は冗長であり、このインバータは1走行の間で順次入れ替わる。低速度域と高速度域の主回路構成の切換えは1系が休止期間中に行う。この時間は列車速度によって変化し、最短の切換え時間は300msである。1アームはGTO素子を3直列とし、素子は4.5kV 4,000AのGTOを使用し、コンバータと同様スナバ損失の低減を実現している。インバータは低速度域、高速度域とも単相インバータ3組で三相インバータを構成している。インバータの1系当たりの定格を表2に示す。

インバータ主回路の外観を図6に示す。1面にはフルブリッジ一つが収納されており、1系のインバータは9面の列盤で構成される。1面は上下2モジュールからなり、1モジュールは2アームからなっている。モジュール単位の

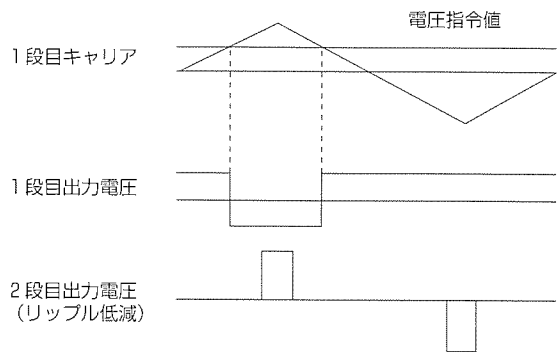


図 7. リップル低減制御

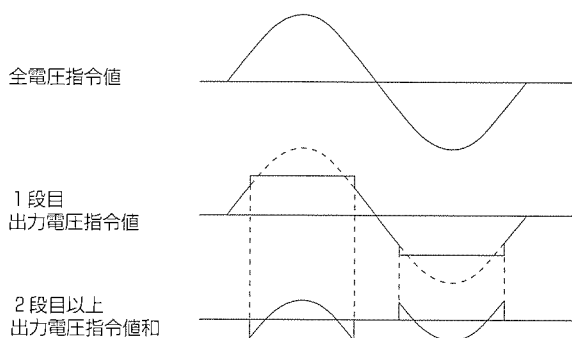


図 8. 電圧分担制御

表 3. PWMコンバータの仕様

主回路方式	3レベルPWMコンバータ +分圧2相チョッパ
制御回路方式	力率=1制御方式
主回路素子	IGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)
冷却方式	強制風冷方式
装置容量	1,500kVA
コンバータ入力 電圧定格	1,050Vrms
コンバータ入力 電流定格	800Arms
周波数	216~309Hz
出力定格電圧	DC600V (±DC300V)
定格出力	175kW

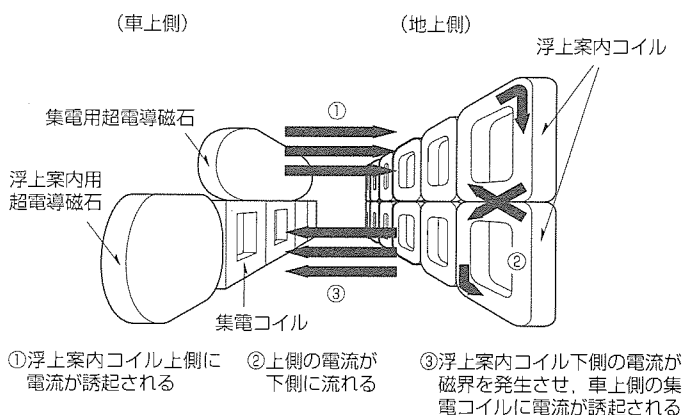


図 9. 誘導集電の原理

交換が可能となっており、作業時間の短縮を図っている。

インバータの列盤上に直流ブスを設置し、コンバータの列盤上に設置された直流バスと最短距離で接続することにより、直流回路の抵抗とリアクタンスの低減を図っている。

3.5 チョッパ

チョッパは3並列で、正側負側の2組構成となっている。容量は8.1MWの短時間定格となっている。

列車走行時に電源停電やコンバータの故障によってコンバータによる正常な回生ができない場合、チョッパによって回生し、列車の安全を確保する重要な役割がある。常時コンバータとともに直流電圧を安定させるように働いており、コンバータの回生が不能となったときにもシーケンス的な切換えなしにチョッパが動作するような、コンバータとの協調制御を採用している。

3.6 制御装置

電力変換装置の制御装置は、上位駆動制御盤から位相と電流指令値を受け取り、き電線に電流指令値どおりの電流を流すようなゲートパルスを作成し、主回路のGTOに出力する。また、電力変換装置の状態を上位のシステムに送信する機能を持っている。GTOへのゲートパルスは制御装置から光ファイバで送信され、信頼性を高めている。また、主回路盤での故障信号も光ファイバで制御装置に送られるため、光ファイバは双方向性のものを採用している。

インバータは前に述べたとおり低速域では1段目がハーフブリッジとなるため、電流リップルは増大する。これを避けるために、1段目のハーフブリッジで発生する電圧リップルをキャンセルさせるパルスで2段目で出力し、かつ2段目の平均発生電圧を零とするようにゲートパルスを制御して電流リップルを小さくするリップル低減制御方式⁽²⁾を採用している。リップル低減制御時の各段の電圧波形を図7に示す。

低速領域では、1段目が変圧器を介さないために出力電圧の分担を3段均等にすることはなく、1段目の電圧分担を最大にすることにより、2段目3段目の変圧器の電圧時間積を最小にすることが可能である。このような電圧分担制御⁽³⁾を採用することにより、変圧器磁束を低減し、装置のコンパクト化を図っている。電圧分担制御時の各段の電圧指令値を図8に示す。

3.7 補機

電力変換装置の素子の冷却は、冷却効率の高い純水循環水冷方式としている。冷却装置では、冷却水温度による冷却ファンの台数制御、散水ポンプの制御を実施し、節電を図っている。また、純水の凍結防止運転の機能を持っている。

3.8 今後の計画

今後は、第二編成を利用した複数列車走行によるすれ違

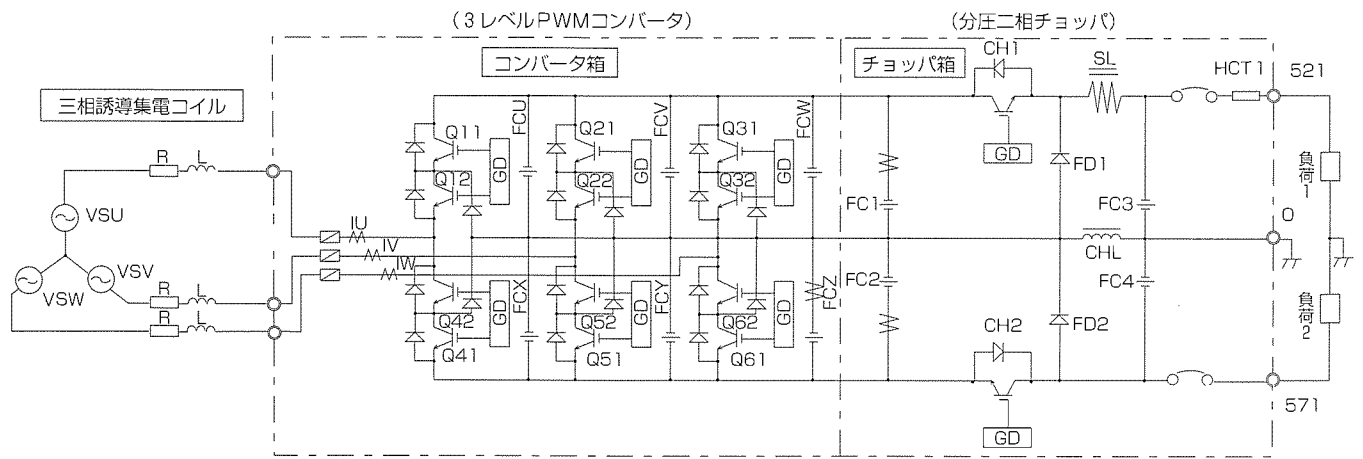


図10. PWMコンバータの回路構成

い走行、待避・追越しなどの営業線に向けた試験が実施される予定である。営業線に向けた課題としては、次の項目が挙げられる。

- 性能・信頼性の確保
- 大容量化
- 更なるコンパクト化及び省エネルギー化

4. 誘導集電用PWMコンバータ (車上電源装置)

4.1 開発の背景

リニア車両における車上電源装置の最も有望な方式として、誘導集電による車上電源システムが検討されている。従来、リニア車両の車上電源としてはバッテリーとガスタービン発電機が併用されてきたが、これらに比べて静かでクリーンな非接触車上電源システムとして注目されている。

今回、山梨リニア実験線第2編成車両の車上電源用として1,500kVAのIGBT方式PWMコンバータを設計し、製作した。

4.2 誘導集電の原理

誘導集電の原理を図9に示す。

車両が地上の浮上コイルの前を通過する際に、車上に設けた集電用超電導磁石により、地上側の8の字形浮上コイルの上部に発生する誘導電流が下部にも流れ、それに対向した車上の集電コイルに電流が発生して集電を行う。この誘導集電装置を先頭車に搭載し、列車編成の電力をまとめて集電する。

4.3 PWMコンバータの仕様と回路構成

以上のように誘導集電は、超電導リニアの特長を生かし、非接触でクリーンな車上電源システムとして最も有望な方式であるが、集電コイルの内部インダクタンスが大きく($\%X = 300 \sim 500\%$)、通常のダイオード整流器では必要な電力が集電できないという問題があった⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

必要な集電電力を得るためには、集電コイルで発生する集電電力の数倍の無効電力を補償できる変換器が必要であ

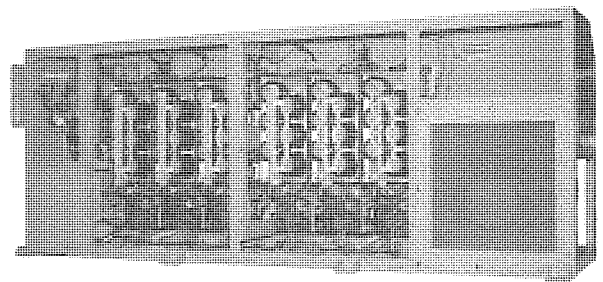


図11. コンバータ箱の外観

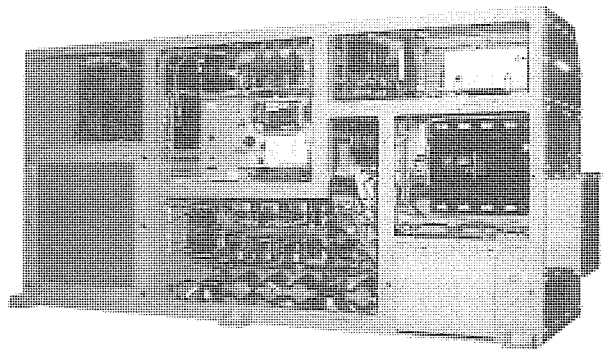


図12. チョッパ箱の外観

り、今回製作したようなPWMコンバータが必要である。表3に今回製作したPWMコンバータの仕様を、図10に回路構成を示す。

今回、速度350km/hからの集電を想定し、車上の空調・照明・冷凍機等の175kW電力を賄うために必要な1,500kVAのPWMコンバータを設計し、製作した。

図11、図12に、それぞれコンバータ箱及びチョッパ箱の外観を示す。

4.4 試験結果

今回、定置にて同じ第2編成に搭載される集電コイルとの組合せ試験を実施し、速度350km/h以上の走行状態と

同一の試験条件で所望の175kW集電が行えることを確認した。

また、実車を想定した電圧変動試験・負荷変動試験等も実施し、良好であることを確認した。

4.5 今後の計画

今回、山梨リニア実験線第2編成車両用として1,500kVAのIGBT方式PWMコンバータの設計・製作を行い、定置試験で良好な結果を得た。

この装置は、現在、第2編成東京方ダブルカスプ形先頭車に搭載され、山梨リニア車両基地で走行試験待ちの状態にある。今後、走行試験において、実車におけるデータ採取を行う予定である。

また今後の課題としては、更に低速度域からの集電方法について検討することとしている。

5. む す び

現在は各装置の基本性能試験が行われているが、今後は、更に高度な試験内容へ移っていくこととなる。

参考文献

- (1) 関 秋生, 細川靖彦, 北野淳一, 池田春男, 加賀重夫, 松浦敏明, 田中 実, 伊地知俊昭: 山梨リニア実験線用20MVA VVVF PWMインバータ, 平成4年電気学会産業応用部門全国大会, 11~14 (1992)
- (2) 森島直樹, 細川靖彦, 米畑 譲: 浮上式鉄道用PWM多重インバータの波形改善, 第26回鉄道サイバネ, 646~650 (1990-2)
- (3) 細川靖彦, 岡嶋達也, 北野淳一, 森島直樹, 田中実, 米畑 譲: LSM駆動用PWM多重インバータの制御方式, 平成2年電気学会産業応用部門全国大会, 1~6 (1990)
- (4) 澤野英二, 稲玉 哲, 松浦敏明, 糀 芳信: 磁気浮上列車の誘導集電用PWMコンバータ装置, 平成5年電気学会半導体電力変換研究会論文, SPC-93-5, 37~45 (1993)
- (5) 池田和郎: 超高速磁気浮上鉄道におけるパワーエレクトロニクス装置の最新技術と動向, 平成9年電気学会全国大会, S.13-17~20 (1997)

DLP方式マルチプロジェクタ “LVP-DM1”

杉山和幸* 川本直紀*
竹内 茂* 小田切健介*
米岡 勲*

要 旨

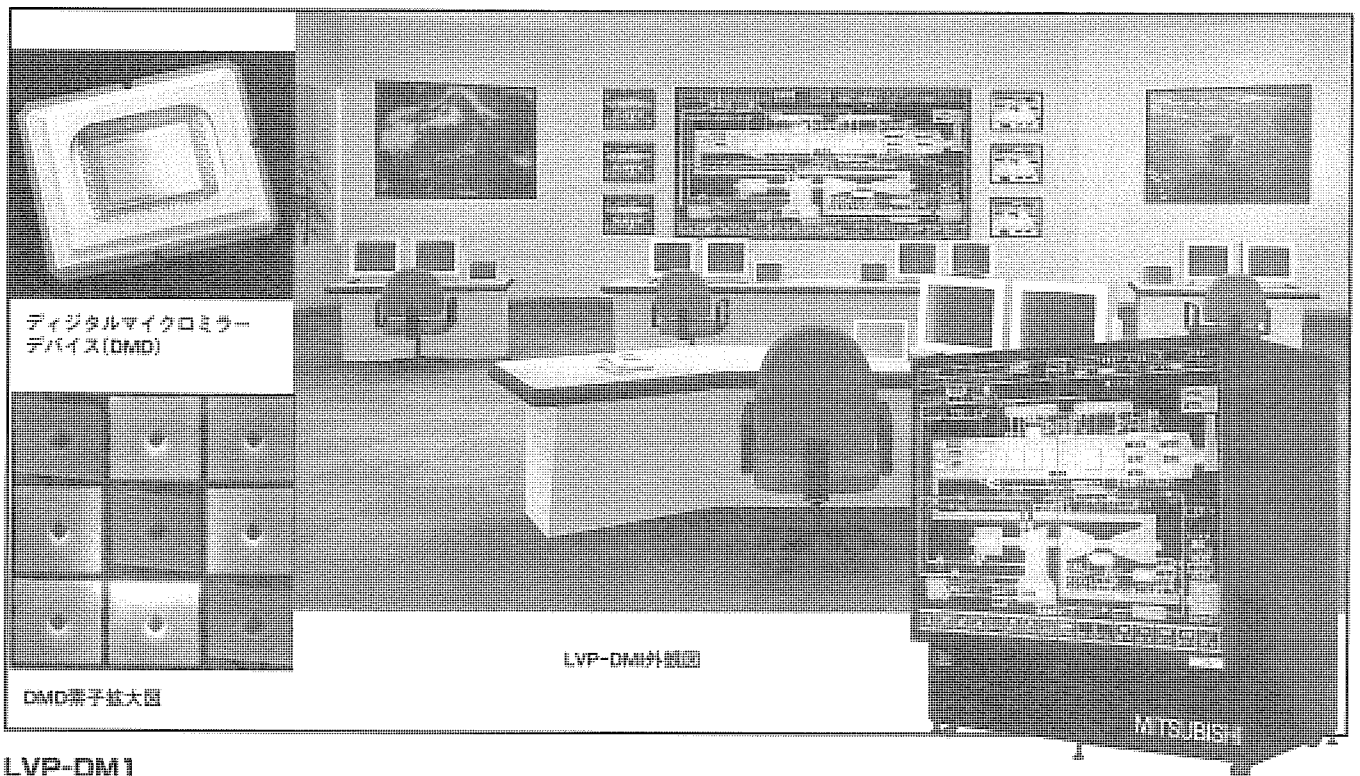
発電所・上下水道施設等の監視システム、警察・消防等の指揮司令システム、通信設備のネットワーク監視等のディスプレイ装置として、様々なニーズに対応したDLP (Digital Light Processing)^(注)方式監視制御用高精細大画面マルチディスプレイシステムを開発したのでここに紹介する。監視制御に求められる機能は、プラント全体の概要を把握するマクロ監視と、設備の詳細を把握するミクロ監視の二つに大別することができる。従来は、マクロ監視用にグラフィックパネルが用いられ、ミクロ監視用として主に単画面小型CRT表示装置が用いられてきた。

近年、グラフィックパネルに代わり、ソフトウェアの変更だけで簡単に最新のシステムに変更することのできるCRT方式やLCD方式による大画面マルチシステムが導入され、マクロとミクロの二つの監視を同時に表示、さらにマクロとミクロを双方向で情報を共有する新しいシステムが導入されつつある。しかし、これらシステム用の大画面ディスプレイに求められる条件として、CRT方式では、奥行き寸法、焼き付き、メンテナンス性、ランニングコス

ト、CG映像の視認性等の問題があり、また、LCD方式は、色再現性、全画面内外の輝度・色の均一性の点でマルチ方式には不適當で、かつ、監視カメラやVTR、LD等の動画の表現力が乏しいので、客先要求を十分に満たしていないのが現状であった。

そこで、これらの欠点を原理的に大幅に改善可能なDLP方式を採用し、長寿命高圧水銀ランプ、三菱オリジナル開発のカラースペースコントロール、デジタルグラデーション補正、デジタルγ補正等のI/F回路、マルチ用に特に色収差、わい(歪)曲、MTF等を重視した新開発の投射レンズと組み合わせ、さらに、目地幅を1mm以下に抑えたシームレススクリーンやキャビネット背面にメンテナンススペースが不要なフロントメンテナンス方式キャビネットの採用など、顧客のニーズをより満足することのできるDLP方式監視制御用高精細大画面マルチディスプレイシステムを開発した。

(注) DLP方式とは、DMD (Digital Micromirror Device) 素子を用いたプロジェクションシステムの方式であり、DLPTM、DMDTMは、米国Texas Instruments Inc.の登録商標である。



LVP-DM1

次世代監視用大型表示システムとして、DLP方式の採用により、高輝度、長寿命、焼き付きレス、高い視認性と色再現性、画面内外の高い均一性を再現した。

1. ま え が き

監視制御分野では従来のグラフィックパネルに代わる大画面マルチ表示システムへのニーズが高まっており、高い視認性、マルチでありながら一体感ある画面均一性、さらに、信頼性、メンテナンス性に優れた表示装置が必要となる。LVP-DM1は、これら条件を満たす新表示デバイスDMDを採用し、さらにマルチ画面へのニーズに対してデジタル技術を核として様々な新技術でこたえた。以下にその概要を述べる。

2. DLP方式

DMD素子を用いた投射ディスプレイ方式をDLP方式と呼ぶ。DMD素子は、CMOSとSRAM技術を用いて製造される反射型ディスプレイデバイスで、シリコンウエーハ上に1μm間隔で16μm四方の半導体プロセスによるミラーを多数配列して画素を構成し、各ミラーの向きを静電界作用で±10°傾け、入射光の反射方向をデジタル的にスイッチして光量をコントロールする(図1)。スイッチング速度は10μsと高速であり、光の階調はフレーム間のミラーがONする時間密度を制御するPWM(パルス幅変調)方式で実現する。

液晶方式に見られる偏向板等による光のロスがない上に、各画素間のばらつきが少なく、画面均一性に優れ、PWM方式の採用で階調再現特性(リニアリティ)が良い。また、反射型デバイスの特性として、画素間のすき(隙)間が画素サイズに対して極小であり、光の利用効率を高くできるとともに、画素間のつながりの良い自然な映像が得られる。以上の構造から、高い視認性を要求される文字表示と映像表現が求められる動画映像の双方に高い適性がある。また、DMD素子は、高い信頼性と寿命を持っており、素子単体で10万時間に及ぶMTBFを確保している。これに加えて、CRT方式に見られるような焼き付きが原理的に発生しない(表1)。

表1. 各方式の性能比較

	DMD	液晶	CRT
光効率(ランプ光利用効率)	◎	○	○
解像度(絵の細かさ)	○	○	◎
鮮鋭度(絵のシャープ感)	◎	◎	○
応答性(動画ではけない)	○	△	○
明るさ/色の均一性	◎	△	○
ランプなどの交換性	◎	◎	△
焼き付き現象(起きない)	◎	◎	△
コントラスト比	○	○	◎
光源の寿命	○	○	◎
ランニングコスト	○	○	△
色再現性	◎	○	◎

3. LVP-DM1の仕様と特長

DLP方式マルチプロジェクタLVP-DM1の主な製品仕様を表2に示す。また、DLP方式を採用したほか、以下の特長がある。

(1) 高効率・長寿命の高圧水銀ランプ採用

DLP方式による高効率光学系と併せて、高効率・長寿命の高圧水銀ランプを採用し、わずか100Wの電力で300lm以上の光出力を実現した。寿命に至る直前までわずかな輝度劣化で約5,000時間の長寿命を確保した。

(2) LVDSデジタル入力装備

従来のアナログRGB入力に加え、LVDS(Low Voltage Differential Signaling)採用のデジタルI/Fを装備した。DMD素子そのものがデジタル素子であることから、入力から出力まですべてデジタルで構成するフルデジタル映像システムが実現できる。また、デジタルI/F装備の専用拡大器“VC-MK1000”と組み合わせることでデジタル伝送システムを構築できる。

(3) カラースペースコントロール回路内蔵のカラーキャリ

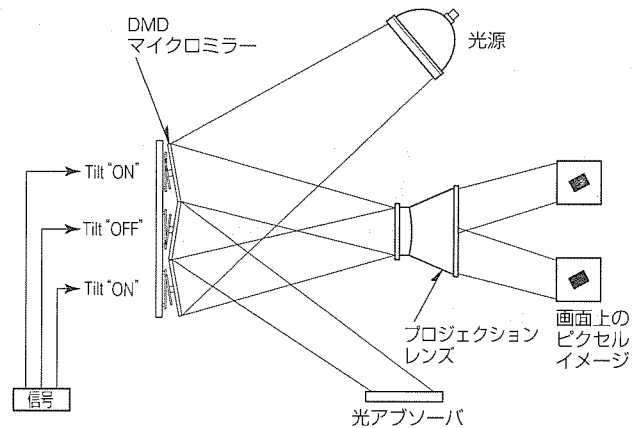


図1. DLP方式の動作原理

表2. LVP-DM1の製品仕様

投写方式	リアマルチ専用投写		
表示方式	DLP方式 (DMD 2枚)		
視野角	水平: 120° 垂直: 56° (レンチ+フレネル)		
走査周波数	水平: 15~100kHz 垂直: 40~120Hz (拡大器VC-MK1000使用時)		
画像 インタフェース	アナログ	RGB	5線式 1系統
	デジタル	LVDS	I/F (MDR26ピン) 1系統
解像度	800×600ドット		
輝度	250cd/m ² 以上 (標準スクリーン)		
最大表示色数	1,677万色		
保守スペース	背面 0mm(プロジェクタ内が保守スペース) 側面 600mm以上		
画面サイズ	50インチ×1面		
概算質量	107kg/面		
消費電力	200W		

プレーション方式採用

DLP方式を採用しても、光源となるランプやランプ光をRGBの3原色に分ける色分解フィルタのばらつきによって画面間の色の違いは存在する。LVP-DM1では、従来のホワイバランスでは合わせることでできなかった広い色域での色の合致性を実現する、カラースペースコントロール回路を内蔵したカラーキャリプレーション方式を実現した。

(4) デジタルグラデーション補正回路内蔵

DMD素子そのものは均一性に優れた表示デバイスであるが、光学系によって若干の画面内の色や輝度の不均一性が発生する。これを補正する機能として、デジタルグラデーション補正回路を内蔵し、全画面を3×3の9画素単位、RGB独立にゲインを制御することで均一な画面を実現する。

(5) センサフィードバック回路搭載

ランプの経時変化による輝度劣化を検出し、一定の輝度に自動補正するセンサフィードバック回路を内蔵している。

(6) 高精細低ひずみ率短焦点投射レンズの採用

マルチ構成時の画面間の画素ずれを極少に保つ新開発高精細・画像ひずみレンズを採用し、しかも短焦点距離化を図り、直接投写で1.3mの奥行きを実現した。

(7) 6軸調整器搭載

投射映像の画像ひずみ補正をレンズとスクリーン間の相対的な機械的位置関係(前、後、左、右、X軸回転、Y軸回転)の6通りの微調整ができる6軸調整器を採用した。

(8) 高剛性スクリーン採用

平面度の高いスクリーン構造の採用により、投射映像のひずみをなくした。

(9) 新マルチフレーム採用

寸法精度が高いパネル組立方式の採用により、大幅な軽

量化、輸送性、設置性の改善を図った。

(10) フロントメンテナンスキャビネット方式の採用

直接投写方式によって生まれるスクリーンと投写エンジン間の空間をメンテナンススペースに利用するフロントメンテナンス方式を採用した。キャビネット背面にスペースを設ける必要がなくなり、省スペース化が図れる。

4. 電気回路の構成

図2にLVP-DM1のブロック図を示す。

今回は特に、当社の特長のあるDMD素子駆動回路以前の構成について説明する。

入力端子は、アナログRGB入力1系統とデジタルLVDS入力1系統を備えており、デジタル出力を搭載した拡大器VC-MK1000をシステムとして組み合わせることでRGB各色8ビットのデジタル伝送が可能となる。LVP-DM1本体への入力信号は、SVGA(800×600ドット、ドットクロック40MHz以下)に、拡大器との組合せ時は水平15~100kHz、垂直40~120Hzの幅広いスキャン周波数に対応する。

マルチ画面を構成する上で課題となる色合わせ回路としては、画面間の色合わせを目的としたカラースペースコントロール回路と、画面内の色と輝度の均一性を補正するデジタルグラデーション補正回路を搭載している。カラースペースコントロール回路は3×3のマトリックス演算回路で構成され、マルチを構成するすべてのプロジェクタの再現色空間を均一化する。デジタルグラデーション補正回路は3×3画素単位で、R・G・Bのゲインを独立して制御している。また、4種類のカーブが選択可能なデジタル補正回路、ランプの経時変化に対応するため輝度を検出してフィードバックするセンサ回路を備えている。外部からのシステムコントロールはRS-232Cで可能であり、

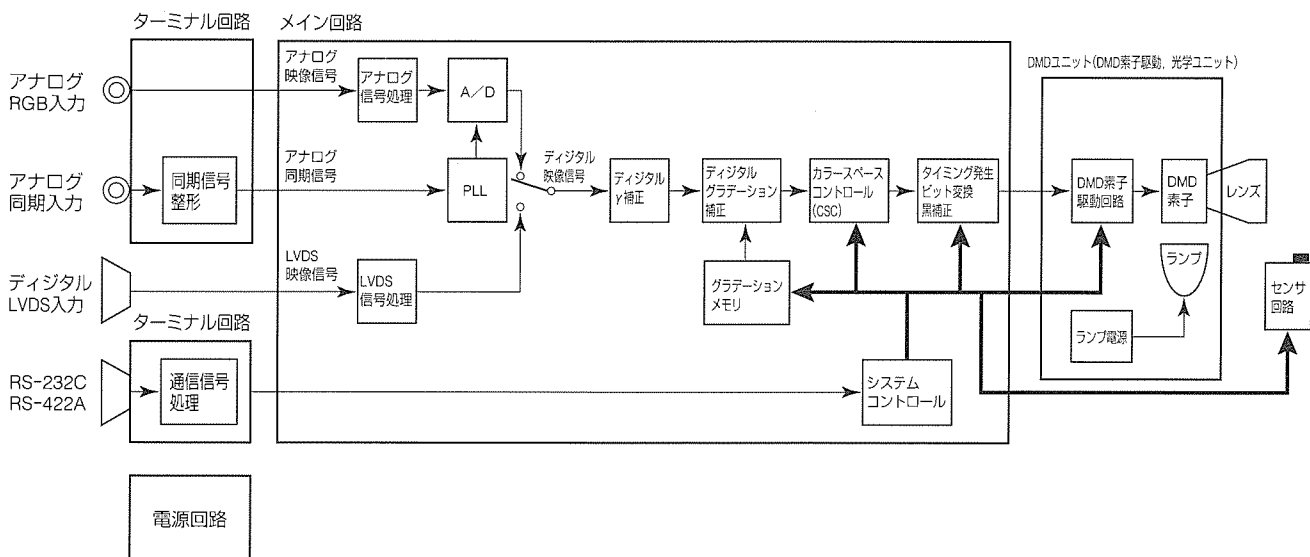


図2. 全体ブロック図

各プロジェクト間をRS-422Aでカスケード接続することでマルチ画面一斉制御及び各単画面制御が可能で、自動運転システムなど幅広く対応できる。

以下に、個々の回路の詳細について述べる。

4.1 カラースペースコントロール回路

DLP方式を用いても、ランプ光そのもの又はランプ光をRGB 3原色に分ける色分解フィルタのばらつきによるマルチ画面間の色の違いは発生する。マルチ方式で一体感のある映像を得るには、この画面間の色の違いを補正する必要がある。

一方で、DLP方式には①階調リニアリティに優れている(図3)、②加法混色性が成立する(図4)といった特長があり、これにより、下記のような利点がある。

- 中間調レベルでも色の正確さを保てる。
- 3色の線形合成で正確な色が作れる。

このDLP方式の特長を最大限活用し各画面の色域を一致させるのが、カラースペースコントロール回路(以下“CSC補正回路”という。)である。

LVP-DM1では、RGB各単色の色度座標点を結ぶ三角形よりも内側の色域であれば、RGB 3色のレベルを変化させて合成することで、任意の色度点を作ることができる。例えば図5で、プロジェクトaのRGB色度点が $R_aG_aB_a$ 、プ

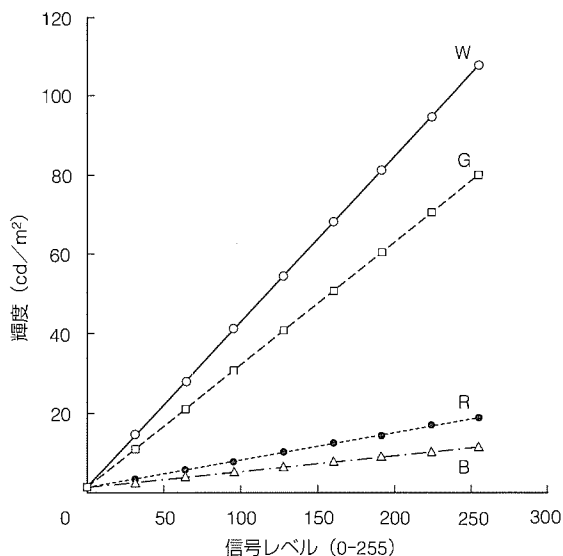


図3. 階調リニアリティ特性

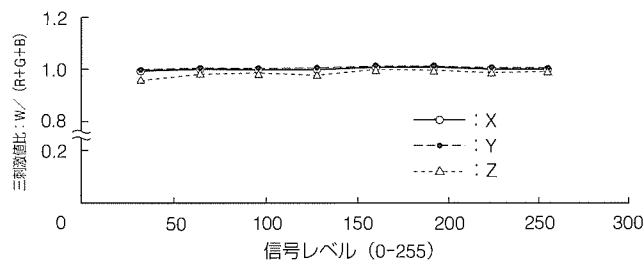


図4. 加法混色特性

プロジェクトbのRGB色度点が $R_bG_bB_b$ であったとすると、この二つの三角形の共通領域である三角形 $R_cG_cB_c$ は、a, bいずれのプロジェクトからも作り出すことができる。

CSC補正は加法混色性が成り立つことを利用し、下式に示すように、9個の係数を持つマトリクス演算で構成される。

$$\text{例えば、 } R_c = k_{11}R_a + k_{12}G_a + k_{13}B_a$$

つまり R_a に若干 G_a と B_a を加えて R_c を作り出す。このように、CSC補正によって各画面の共通色域に色度点を変換することで、各画面の色度特性を一致させるカラーキャリブレーション方式を実現できる。

4.2 デジタルグラデーション補正回路

上記のCSC補正機能により、各画面中央間の輝度と色度を一致させることができる。しかし、全画面各エリアの色度と輝度を合わせ、マルチ画面でも一体感ある映像画面を得るには、CSC補正に加えて、各画面内ごとに発生する若干の輝度むらと色むらを補正する必要がある。これは、照明系、レンズ、スクリーン等の光学特性によって発生し、これらを電気的に補正するのがデジタルグラデーション補正回路である。これは、画面内の各エリアごとにRGB独立に入力から出力輝度までのトータルゲインを均一化させる補正を行う。具体的には、補正関数の組合せによる合成波形を信号波形に乗算して補正を行う。補正関数では、上、下、左、右、4コーナーを独立に補正可能で、補正カーブは実際の輝度むらに則したデータテーブルを使用している。補正量は 3×3 ドット単位のエリアごとに与えられ、RGBの絶対値を増減して輝度むらを補正する。また、RGBの配合比を画面内の各エリアごとに一定にする方向に制御することで色むらも補正できる(図6)。

4.3 センサ回路

ランプには寿命直前まで輝度劣化の少ない高圧水銀ランプを採用しているが、ランプは経時的に若干輝度劣化を生じ、また、ランプによっては輝度劣化量が異なる。センサ回路は、スクリーン裏側周辺部に配置される輝度センサにより、スクリーンに照射される光の強さを検出する。さらに初期調整時のセンサによる読み取り値を各セットがメモ

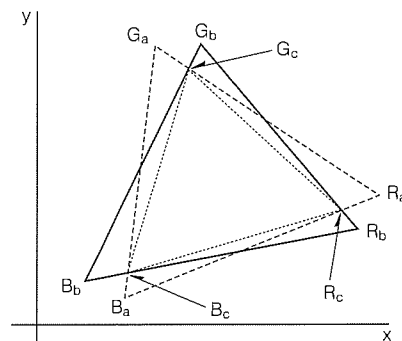


図5. 共通色度特性例

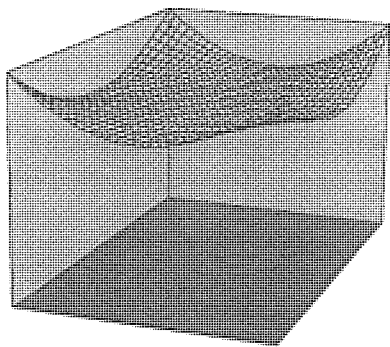


図6. グラデーション補正二次元特性例

りし、時間を経ても輝度が変化しないように輝度のトータルゲインをコントロールする。センサによるフィードバック指示は、マニュアルでも外部制御でも行うことができるが、さらに使用開始後一定時間を経過した時点での電源OFF時に自動的にフィードバック動作が行われる。

4.4 デジタル γ 補正回路

デジタル γ 補正回路では、DMD素子の階調リニアリティに優れているという特長を生かすため、CSC等のデジタル信号処理を行う前に、あらかじめ逆 γ 補正を施されている入力映像信号をデジタル変換テーブルを用いてリニア特性に変換する。 γ 補正特性は、デジタル値で4種類持ち、様々な信号ソースに対応している。

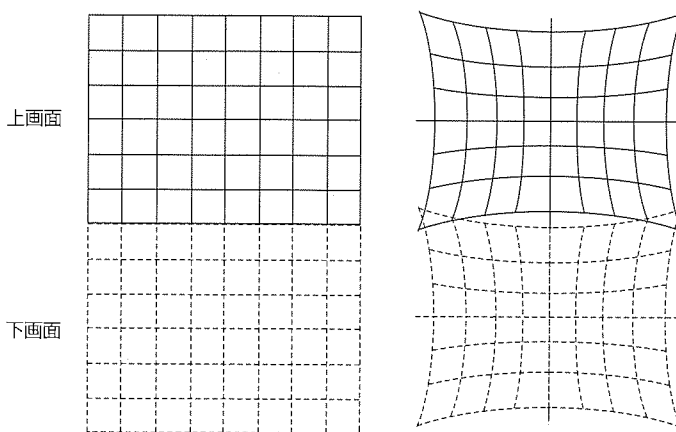
5. 高精細低ひずみ率短焦点投写レンズ

DLP方式では、DMDチップ上での各画素の位置関係が固定されているため、光学系で映像の形が変形する画像ひずみをCRT方式のように電気的に補正して元の形に戻すことができない。画像ひずみの中でも画面が台形にひずむ台形ひずみや、画面の上下左右のずれ、画面のサイズ等は、スクリーンとレンズとの位置関係を機械的に最適化する6軸調整器で補正できる。しかし、ピンクッションひずみ等のより複雑な画像ひずみは、レンズとの位置関係では補正不可能である。

これらのひずみは、投写レンズの光学性能そのものを高め、低ひずみ率特性を実現することで始めて改善される。

(1) 歪曲精度の向上

プロジェクタの映像は、一般的に、投写レンズの持つ歪曲収差により、格子状のものがひずんで写るといった性質がある。原画像の形状をコントロールしてレンズによる投写映像のひずみを補正できるCRT方式プロジェクタと異なり、DLPでは原画像がドットマトリックスで決まっておき、レンズによるひずみがそのまま投写映像に反映される。その上、マルチプロジェクタでは、画面のつながりが重視される。この投射レンズでは、歪曲収差を徹底的に補正し、ひずみのない映像を実現し、画面間つながり精度の向上を



(a) 歪曲が補正された映像 (b) 星形歪曲が発生した映像

図7. マルチスクリーンでの画面つながり精度

実現した(図7)。

(2) 倍率色収差の徹底補正

投写レンズの持つ色収差によって白色が色付いて見える性質があり、映像上では、コンバージェンスずれのようにRGB3色が若干離れて見える。これを補正するため、RGBの波長に対して倍率色収差の補正を行い、色ずれの少ない映像を実現した。

(3) 画面周辺解像度の向上

画面中央から周辺まではほぼ均一な解像度があり、ワークステーション用ディスプレイとして十分な性能を実現した。

(4) 短焦点化の実現

レンズ設計上、短焦点化とその他の光学性能を両立させることは極めて困難である。今回、14枚オールガラスレンズの採用により、上記光学特性を満足した上で、各画面サイズ50インチでレンズ投写距離810mmの超短焦点化を達成し、トータル奥行きも直接投写方式で1,300mmを実現した。

6. 6軸調整器

前述のとおり、従来のCRT方式のビデオプロジェクタでは投射映像のひずみを映像源の形状をコントロールすることによって行っているが、DLP方式では、液晶プロジェクタと同様に映像源がドットマトリックスであるため、投射映像のひずみを補正するにはスクリーンとレンズ間の相対位置と角度を調整する機構が必要になる。LVP-DM1では、DMDエンジン下部に6軸調整器を設置し、X、Y、Z軸方向の並進及び回転の6自由度の調整を行うことで投射映像のひずみを補正している。

6軸調整器による投射映像の動作を図8に示す。

7. 高剛性スクリーン

DLP方式のビデオプロジェクタでは、ピンひずみ等の画像ひずみは原理的に補正不可能であるためレンズの光学

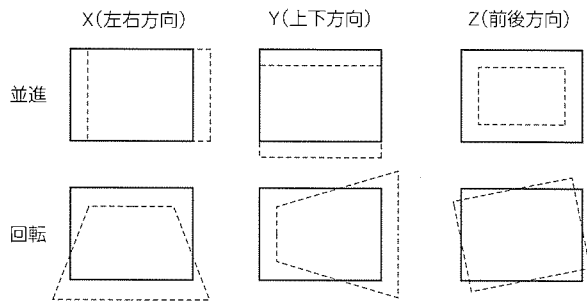


図8. 6軸調整器による投射映像の動作

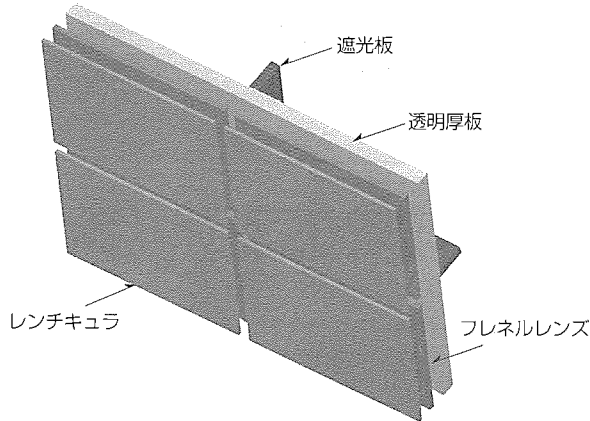


図9. 高剛性スクリーン構成(50インチ, 2×2面の例)

ひずみ特性を高めているが、同時に、スクリーンのたわ(撓)みによって投射画像のひずみが生じないように、スクリーンに高い平面度が要求される。従来のCRT方式マルチビジョンのスクリーン構成は、フレネルレンズとレンチキュラをワイヤ等で縫い合わせた構成であり、剛性が低く撓みが生じやすかった。LVP-DM1では、図9に示すように、補強用の透明厚板を追加した3枚構成とし、撓みを最小限に抑えてある。

また、画面構成によってシームレスタイプ(目地幅1mm以下)と目地レスタイプ(目地幅2mm以下)を設定し、画面間のつながりの良い一体感のある映像を実現している。フレネルレンズは焦点距離を最適化し、斜め方向から見たときでも、スクリーン境界における画面間輝度差を最小限に抑えてある。このため、広視野で目地部における映像がスムーズにつながって見える。

8. 新マルチフレーム

多面マルチビジョン用フレームとして、従来は角形鋼管を溶接したフレームを採用していたが、アルミ引抜き材によるジョイント方式を新規に採用した。図10に示すように、アルミダイキャスト製のジョイントにより、各コーナーでアルミ引抜き材が連結された構成を採っている。

新マルチフレームの利点として、以下の項目が挙げられ

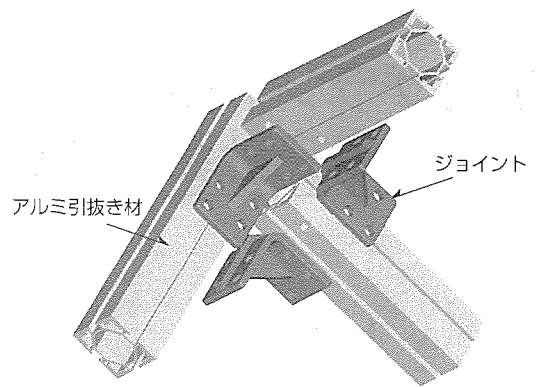


図10. 新マルチフレームの構成

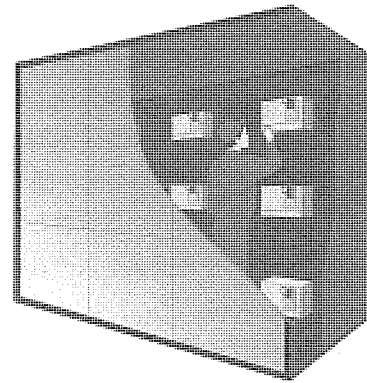


図11. フロントメンテナンス方式

る。

- (1) 軽量化(約20%減)
- (2) 溶接ひずみ等が生じないため、寸法精度が向上
- (3) 棒材1本の状態まで分割が可能であり、搬入経路を選ばない
- (4) 大幅なコスト低減(従来の溶接フレームよりも50%減)
- (5) インチサイズ、架台高さ等が異なるシリーズ化が容易

9. フロントメンテナンス方式

鏡を使用しない直接投射方式によって生じたプロジェクト本体とスクリーンの間をメンテナンススペースに使用するフロントメンテナンス方式を採用している。このため、背面のメンテナンススペースが不要となり、トータルとしての省スペース化が図られている(図11)。

10. むすび

以上、大画面マルチシステム“LVP-DM1”の概要について述べた。この機種は従来のマルチプロジェクトにない数々の特長を持っているため、システム提案活動や展示会等でも好評を博している。今後は、この機種を核に、更に周辺機器を含めたシステム展開性での訴求力を高め、監視表示システム分野での地位を確固たるものとしていく所存である。

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

今瀬正博*
岡本浩希*

1. ま え が き

原子力発電所は、中央制御室においてプラント情報を集中管理し、これらの情報により、運転員が的確な判断・意志決定・対応操作を行えるものとしている。このため、プラントの運転を司る中央計装システムは、原子力プラントの安定運転と安全性確保に重要な設備であるとの見地から、従来より運転員の負担軽減、運転信頼性向上に向けての開発を継続してきている。これまでの加圧水型原子力プラント(PWR)中央計装システムの技術変遷を図1に示す。次期プラントに向けては、第四世代の制御盤として、ソフトオペレーション主体の新型中央計装システムの基本技術開発を1991年度に完了している⁽¹⁾⁽²⁾。

この新型中央計装システムをプラントへ適用するにあたっては、基本技術開発完了後の継続した新技術の開発成果を反映すること、更に電力殿の運転知見を反映し、標準化に向けた完成度の高い実機仕様の確立が必要とされている。このため、関西電力(株)、北海道電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株)の各電力殿、及び三菱重工(株)と協力し、継続した改良、高度化検討を行っている。

本報では、こうした最近の開発概況を紹介する。

2. 開 発 経 緯

2.1 新型中央計装システムの構成

図2に示すとおり、新型中央計装システムは、主に①大型表示装置、②運転コンソール、③運転指令コンソールから構成される。以下に、各構成要素の概略を述べる。

① 大型表示装置

プラント全体の状態を運転クルーの共通認識情報として提供するため、系統画面上に常時監視すべき監視パラメータ、及び代表警報を配置する。

② 運転コンソール

集約的な監視操作を可能とするため、従来の中央制御盤各盤を統合したコンパクトなコンソールとし、監視操作用CRT、安全系操作FDP(Flat Display Panel)、警報用CRT、及びハード機器を配列する。

③ 運転指令コンソール

当直長業務である運転クルーの指揮・監督を行うため、運転員と同一の情報を監視できるように運転員コンソールと同一のCRT画面を表示する。

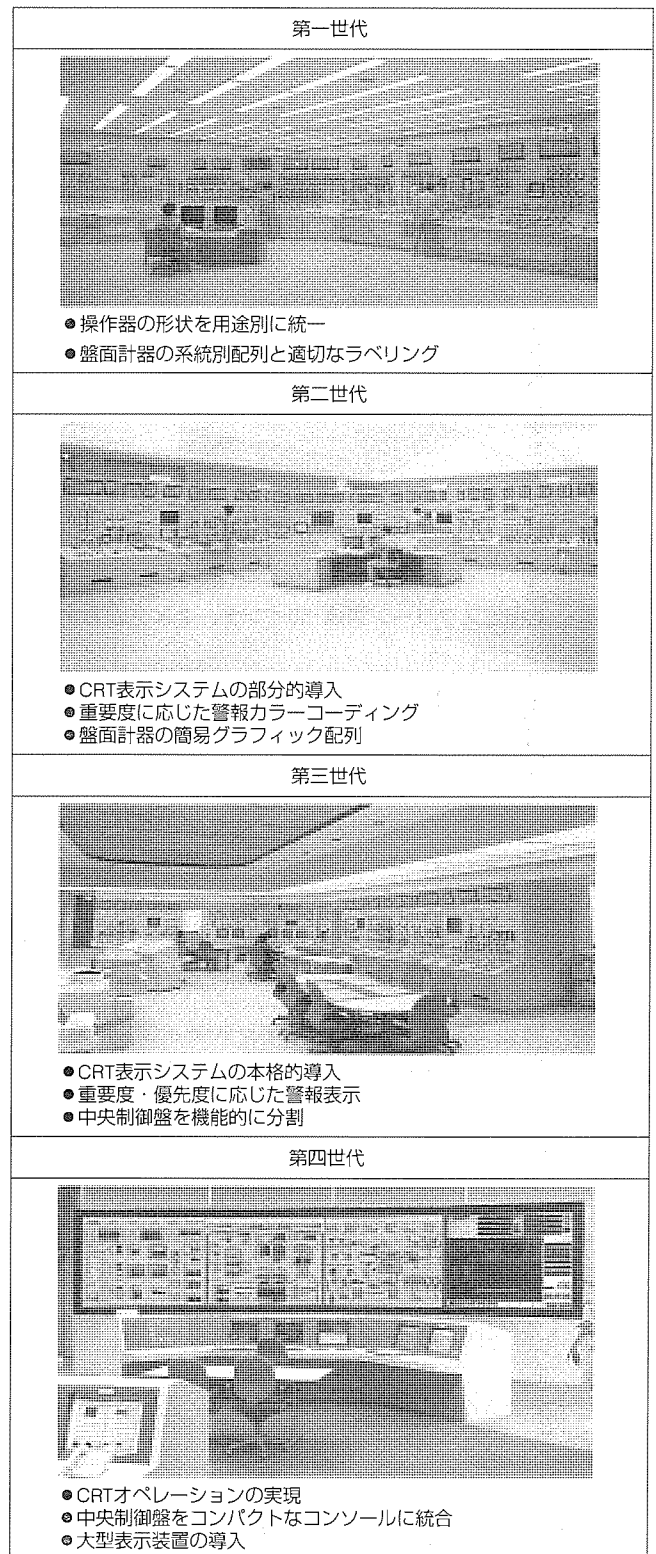


図1. PWR中央計装システムの技術変遷

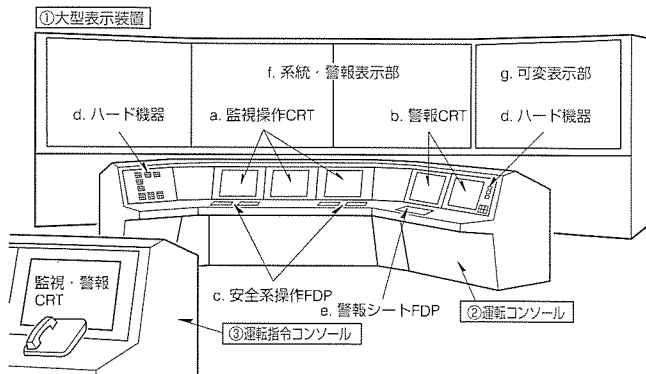


図2. 新型中央計装システムの構成

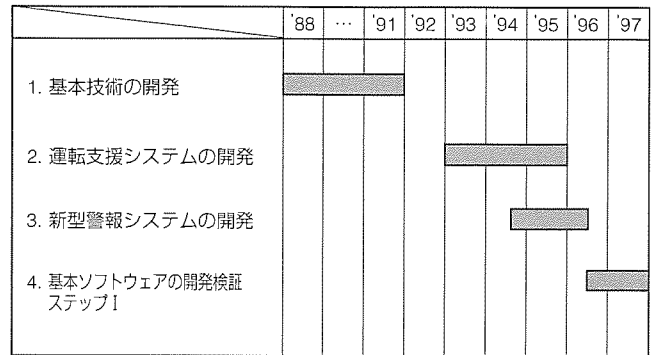


図3. 新型中央計装システムの開発スケジュール

2.2 新型中央計装システムの基本技術開発

第四世代の新型中央計装システムについては、開発着手から図3に示すスケジュールにて開発を進めてきている。91年度までに、基本技術の開発を実施しており、以下の基本仕様を設定している。

- 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制御盤(安全系の監視操作を含む、フルタッチオペレーション)
- 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

これらにより、従来型の制御盤と比較し、運転員の肉体的・精神的ワークロード、及び潜在的ヒューマンエラー率について低減する見込みを得るとともに、模擬制御盤による運転検証を実施し、基本仕様の妥当性を確認している⁽⁴⁾。

2.3 運転支援システムの開発

運転支援システムは、通産省補助事業「原子力プラントマンマシンシステムの開発」において開発したプラント異常時の診断・対応操作ガイド技術などの要素技術開発をもとに、実プラントへの適用開発を実施したものであり、1993～95年度の開発期間に、実機適用仕様を設定するとともに、運転訓練センターにおける1年間に及ぶ長期かつ多くの運転員による検証により高い有効性を確認した。

基本機能に関しては、前記補助事業にて開発した原子力プラントマンマシンシステム⁽¹⁾の事故時支援機能(プラントの異常診断、及び操作ガイダンスなどにより、運転員の判断行為を支援する機能)をベースに、プラントの安全機能確保を操作目標とする徴候ベースの操作マニュアルに対応するように支援範囲の拡大を行うとともに、画面表示などに関して、運転員検証で抽出された課題に対する改善を実施した。

また、支援機能の有効性評価にあたっては、事象が発生してから、これを検知するまでの時間の短縮効果(実測による定量評価)、仕様の妥当性に関するアンケート評価にとどまらず、事故時対応操作時の心理的なストレスの低減効果の評価も試み、良好な結果が得られた。運転支援シス

テムの代表的な画面例を、各々図4、図5に示す。画面上部にプラントの安全機能の動作状態と診断メッセージ、画面右部には事象ベースの対応操作を表示している。図4は事故時に確認が必要な画面を自動的に選択し表示した画面であり、図5は徴候ベースの対応操作をフローチャート形式で表示した支援画面である。

2.4 新型警報システムの開発

これまでに、従来型盤に対しては改良型警報システムの開発・実機適用を進め、動的な警報重要度分類機能(プラ

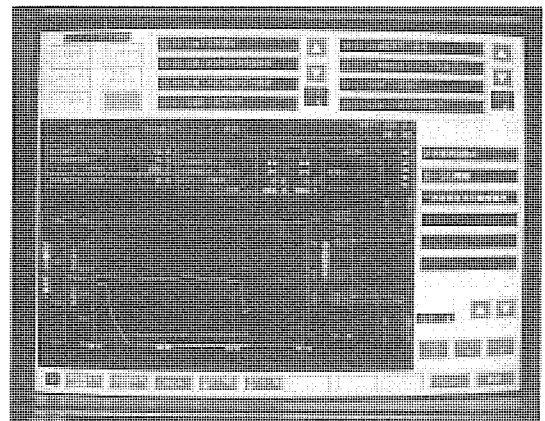


図4. 運転支援システム 画面例1

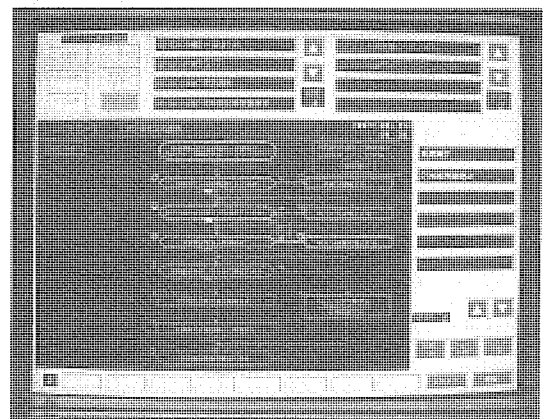


図5. 運転支援システム 画面例2

ント状態の進展に合わせて警報の重要度を赤・黄・緑の3色に分類変化させることにより、重要な警報の見落としを防止する機能)などを先がけて適用し、良好な稼働実績を誇っているが、更にソフトオペレーション制御盤に適した警報システムの仕様を確立すべく、新型警報システムの開発を実施した。

警報窓の配列を工夫したり、重要度別に色分類を行うといった、従来の警報システムの設計思想を踏襲し、更に警報の重要度分類及び系統毎のグループ化の改善、警報発信時の対応操作に必要な監視操作情報、警報処置手順書等の警報関連情報へのアクセス容易化などを実現し、運転検証により、仕様の妥当性と支援機能の有効性を確認した。

また、電子化した運転要領書による警報処置の支援機能については既設プラントにも適用している⁽²⁾。従来プラントでは運転員の対応操作時に盤面移動を伴うことから、当直長支援主体に導入していたのに対し、新型中央計装システムでは支援対象を運転員にも広げ、警報発信時の運転操作に直接的な支援効果のある事も実証した。

代表的な警報画面及び、警報手順書提示画面(警報シート)を、各々図6、図7に示す。この画面は、運転コンソールでは図2のb、eの位置に専用画面で常時表示される。

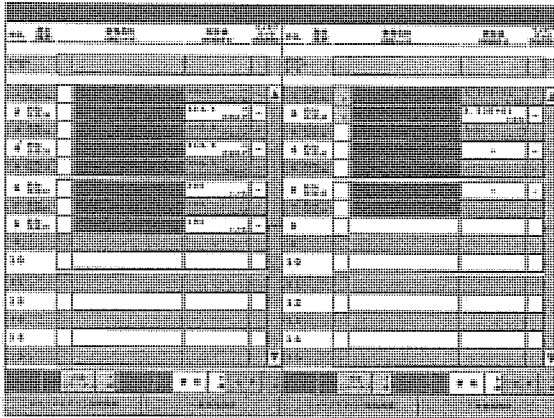


図6. 新型警報システム 警報画面例



図7. 新型警報システム 警報手順書提示画面例

2.5 完成度の高い新型中央盤実機仕様の確立

上記経緯を踏まえ、新型中央盤の開発仕様をベースに、運転支援機能、及び新型警報機能等の新技術開発成果を集成し、かつ電力殿運転知見を結集した実機中央計装システムの仕様の検討に着手した。

3. 実機仕様の検討

2.5節に示す開発では、新型中央計装システムを今後のプラントへ適用する上で、以下の課題を解決することを目標としている。

① 最新技術仕様の確立

最新の要素技術開発成果(運転支援システム、新型警報システム)の統合化と最新技術の導入

② 実機仕様としての完成度向上

従来、実機設計段階で、個別プラント毎にフルスケールの静的モデルにて実施していた検証を、5電力殿と共通で実施することによる、標準化に向けた完成度の高い仕様の確立

上記の課題解決のため、机上検討と、以下に示す運転員検証を実施した。

● 国内PWR5電力殿と共同での運転員検証

● フルスケールの制御盤モデルによる検証

各電力殿ニーズを段階的に反映しつつ仕様を改善していく必要があること、更に開発検証時と異なり検証範囲を拡大し、全CRT画面の検証を行う必要があることから、段階的に検討を進める必要がある。このため、長期的には動的設備による徹底した運転検証を行う計画とし、現段階(ステップI、1996~97年度)の取組みとして、机上での設計検討、及び一部動的なタッチオペレーションを可能としたフルスケールの静的モデル(図1の第四世代の写真)を用いた5電力殿運転員による静的検証を実施した。

以下では、現段階での検討状況の概要を紹介する。

4. 検討内容

新型中央計装システムの基本的な設計要件である下記項目を網羅した設計基準と実機仕様確立に向けた検討を実施した。

① 監視操作画面基本仕様

- 監視操作画面全体の体系
- 個々の画面基本仕様
- 各画面に共通の情報表現仕様

② コンソール仕様

- 安全系監視操作方式(要素検討)
- 盤面器具レイアウト

③ 中央制御盤レイアウト(コンソール配置)

③項の中央制御盤レイアウトなど、中央制御室外の要因(建屋設計など)で差異が生じる可能性のある設計要件につ

いては、設計としての許容範囲を示し、基準化を図ることとした。なお、上記設計要件のうち、①項の画面設計における画面表示基準、②項のコンソール仕様における安全系監視操作方式については、これまでの開発段階の仕様から、更に一層の監視操作性向上、ヒューマンエラー防止の徹底を図るべく、重点的に要素検討を実施した。以下では標準仕様検討の観点から全体の概要を、また要素検討を実施した上記2項目について、詳細な検討内容を紹介する。

4.1 監視操作画面基本仕様

4.1.1 画面体系と各画面基本仕様

実機仕様確立を図るためのベースとなる画面体系、画面基本仕様については、以下の分析に基づいて設定した。

- プラントの機能階層分析による画面体系の構築
- 運転員の監視操作タスク分析による各画面の操作器と監視パラメータのグルーピングの妥当性確認
- 画面の仕様差分析による運転経験の反映

(既設プラントで運用実績のある監視画面については、各プラントにおける運用経験により仕様差を生じている。その要因となる運用経験を分析し、ノウハウの共有の観点で価値の高いものについては、基本仕様に反映することで、画面体系の確立を図る。)

上記プロセスで各画面の基本仕様案を作成し、静的検証では、画面仕様書をレビューする形で、5電力運転員殿の知見を反映することとした。

4.1.2 画面表現仕様

画面表現仕様は、画面内の情報のレイアウト、色彩、シンボルなど画面表現に関わる設計基準をまとめたものである。既設プラントにおいても、監視画面については画面構成の基準化を図っているが、本開発では、ソフトオペレーションにおけるヒューマンエラー防止、及び監視操作性向上の観点から、監視操作シーケンスを詳細に分析し、潜在的なヒューマンエラー要素となる部分を抽出して対策を施す等の更なる改善を実施した。

- ヒューマンエラー防止の徹底

監視エリアと操作エリアの識別性向上、操作器同士の識別性向上など

- 安全系監視操作方式の設計進捗反映

安全系と常用系の識別、及び安全系を構成する各トレンの識別性向上など

本開発では、これらに対して中間色、ポジ表示等を効果的に適用することによる改善仕様を設定した後、人間工学関連の設計基準への適合性評価を行い、改善方針の妥当性を確認した。代表的な監視操作画面のサンプルを図8に示す。

4.2 コンソール仕様

図2②に示す運転コンソールについては、まず要素検討として基本的な監視操作方式を定め、これを踏まえて全体

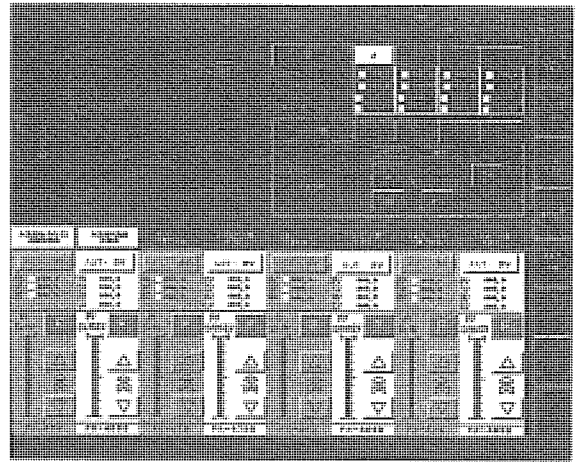


図8. 監視操作画面例

の設計を行った。

4.2.1 安全系監視操作方式

安全系設備に対する監視操作方式は、原子力の中央制御盤をソフトオペレーション化する上で、運転操作性を左右する重要な検討項目である。

原子力プラントでは安全系システムに対して、多重性と、片事故時の影響が他系に及ばないように、電気的・物理的な分離独立性を確保することが厳しく要求される。一方、マンマシン性の観点からは、安全系、常用系を含む一連の監視操作をスムーズに行うため、常用系・安全系の監視操作エリア統合、操作性統一の要求がある。この両者の要求を両立させることが設計上重要であり、更に安全系ソフトウェアのV&V(Verification & Validation)と併せて考慮すべき課題である。

このため、安全系監視操作方式の実現案を検討し、運転操作性、信頼性(安全系設備としての分離独立性含む)、経済性等の観点から比較評価した結果、安全系監視操作方式(基本セット)として図9に示す方式を選定した。

この方式は、常用系CRT 1台と、安全系操作用FDP 2

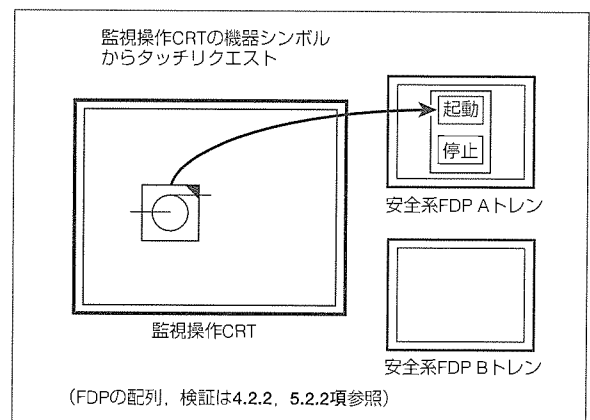


図9. 安全系の監視操作方式

台（各トレン毎に1台）が基本セットとなり、常用系CRTから、各FDPへ操作器をリクエストする方式である。監視機能は常用系CRTに統合し、操作機能は各トレン毎に分離した小型FDPで実現し、常用系CRTに近接した位置に配置する。本方式は、常用系、安全系の監視操作統合を図り、V&Vの対象範囲を限定するメリットもある（但し、一部の重要な監視情報については別途バックアップ機能を設ける。）。

また、パネルのレイアウトの設定のみならず、操作器リクエストの操作シーケンス、及び常用系CRT画面上のトレン区分表示等を工夫することで、本方式において十分な操作性を確保可能な見込みを得た。

4.2.2 盤面レイアウト

新型中央計装システムの主たる構成設備である大型表示装置、運転員コンソール、運転指令コンソールについて、盤面レイアウトの仕様を設定した。

(1) 大型表示装置(図2①)

大型表示装置の役割、機能を具体化し(系統図上への代表警報表示による発信警報確認の容易化、プラント異常時・事故時の状況把握など)、それと対応する表示情報の選定基準を明確化することにより、大型表示装置の基本仕様を設定した。図2f.系統・警報表示部のレイアウトを図10に示す。

(2) 運転コンソール(図2②)

設置するデバイスは、プラントの監視操作CRT/FDP、警報表示CRT、システムレベルスイッチ類(例外的にハードウェアとする原子炉トリップ等のスイッチ)等である。

このうち、コンソールの盤面器具レイアウトに大きな影響のある監視操作CRT/FDPのレイアウトに関しては、安全系監視操作方式の検討結果を踏まえ、更に適用するデバイスを最適配置する観点より、CRTに近接配置する安全系FDPをCRTの下側(デスク面)に配置する(図2)か、CRTの右横(パネル面)に配置する(図9)かを評価した。これを踏まえ、コンソールの器具レイアウトの仕様を設定した。

4.3 中央制御盤レイアウト(コンソール配置)

中央制御室のコンソール配置については、運転クルー間のコミュニケーション性、大型表示装置の監視性等を考慮して決定する必要がある。一方、プラントの設計、及び運用に応じて、建屋設計上の要求、ミーティングスペースの採否などに差異が生じるため、各コンソール間の距離について、許容できる範囲(最大値、最小値)を定めることにより基準化を図った。

5. 静的検証

設定した設計基準、及び基本仕様の妥当性を確認するため、静的な検証設備(ただし、図2a.監視操作CRT1台とc.安全系FDP1組は動的な設備)を用いた運転員検証を実施し、アンケート結果に基づく定性評価を行い、設計として評価の上、反映方針を定めた。その結果の概要を以下にまとめる。

5.1 監視操作画面基本仕様

画面体系、各画面の基本仕様については、画面仕様書をベースとした5電力運転員殿によるレビューを行い、この結果を反映した基本仕様を設定した。

画面表現仕様については、静的なサンプル画面で妥当性を確認した。この結果、いずれも高い評価を得、妥当性を確認した。例えば、図8に示す画面のように、監視エリアと操作エリアの識別性を確保するため、操作器エリアにポジ表示(明るい背景色に暗い文字色)を適用する等の情報表示基準を設定し、改善効果を確認した。

5.2 コンソール仕様

5.2.1 安全系監視操作方式

静的検証では、CRT1台と、これに安全系各トレンの操作FDP1組(2台)を近接配置した、監視操作の基本セット1式を動的設備で構築し、安全系各トレン、及び、常用系に監視操作がまたがる事象にて操作性を確認した。この結果、操作性に関するアンケートの評価も極めて良好であり、新型中央制御盤の基本技術開発時⁽¹⁾から、更に一層の操作性改善を狙った安全系の監視操作方式について、大

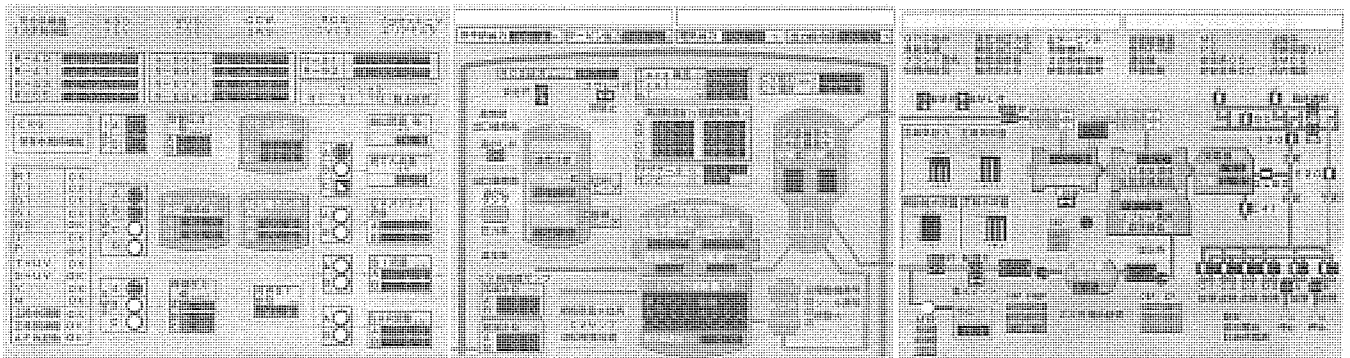


図10. 大型表示装置画面例

幅な改善効果を確認することができた。この結果、本方式を採用し、コンソール設計を行う方針とした。

但し、今回の検証では、一部のタスクに限定して動的な確認を実施しており、実機適用に向けては、継続して総合的な運転検証を実施することが必要である。

5.2.2 盤面レイアウト

(1) 大型表示装置(図2①)

大型表示装置については、警報発信時、トリップ直後等の各種のプラント状態を模擬したサンプル画面により、大型表示装置の有効性、及び仕様の妥当性を検証した。この結果、本設備の機能、役割分担、及び表示情報の選定基準について、いずれも高い評価を得た。改善要望としては、検証時の仕様では、計算機によるプラントインターロック動作のチェック結果を、警報と近接して表示していたのに対し、この表示エリアの区分をより明確にすることなどのコメントが得られたため、設計としての再評価後、基本仕様を設定した。

(2) 運転コンソール(図2②)

安全系FDPのレイアウトについては、パネル面に設置するケースとデスク面に設置するケースで比較評価を行った。この結果、当直長からの運転管理面(安全系の運転操作の様子が把握できる)、全体的な運転操作の流れを考慮すると、水平方向の視線移動の方が垂直方向の視線移動より負担が少ない、などの評価が得られたため、パネル面へ配置する案を採用する方針とした。

この検討結果を踏まえて、他の設置デバイスを含むコンソール器具レイアウト基準及び、基本仕様案を設定した。

5.3 中央制御盤レイアウト(コンソール配置)

フルスケールの制御盤モデルにより、各コンソールと大型表示装置間の最大距離と最小距離について基準を導出した。また、心理的な面のコメント、例えば、大型表示装置と運転指令コンソールの最大距離は、離れすぎるとクルー

としての一体感が削がれ、見学者の視点に近くなる等が抽出されたため、これらも考慮した適正値を基準として設定した。

6. む す び

次期プラントへ適用予定の新型中央計装システムにつき、要素技術を継続的に開発してきた。更に完成度の高い実機仕様確立のため、設計検討、及び5電力運転員殿の協力による静的検証を実施した。

この中で、原子力特有の厳しい要求である安全系設備の分離基準と運転操作性を両立する安全系監視操作方式の改善などの検討を行い、監視操作性の向上の目途を得た。

これらの検討により、新設計項目の多い新型中央制御盤においても、5電力運転員殿の運転知見を結集した実機基本仕様の検討を進めることができた。但し、現時点での検討では、静的な中央盤モデルによる評価に留まっているため、今後は、動的な中央盤モデルにより実機運用知見の先取り反映に相当する徹底した運転員検証を実施するとともに、これによる5電力標準化仕様の確立が望まれる。

このため、フルスケールの動的な模擬中央制御盤を構築して充実した運転検証を実施することにより、更なるソフトオペレーション用監視操作画面の完成度向上と、これによる標準仕様確立への取り組みを継続して計画、提案していく。

参 考 文 献

- (1) 谷 衛, 小橋秀一, 伊藤 徹, 今瀬正博, 小笠原誠 : 新型中央計装システム, 三菱電機技報, 66 No.12, 1143~1148 (1992)
- (2) 湯上邦夫, 伊藤 徹, 今瀬正博, 北村雅司, 大井 忠 : 中央計装システムの信頼性向上, 三菱電機技報, 69, No.9, 796~800 (1995)

スポットライト

換気空清機クリーンロスナイ 壁埋込30cm角穴取付タイプ

近年、建材などから発生する有害汚染物質がクローズアップされる中、生活者の“快適・健康・清潔な暮らし”への意識は一層強くなってきております。特に“タバコの煙”などの不快な汚染空気を早く除去したいという切実なニーズがある一方、換気で取り入れる外気についても、花粉や車の排ガスなどによる汚染が深刻化しているため、外気を清浄して取り入れる(給気する)ことも望まれています。

三菱電機では、従来から“換気による室内空気環境の改善”をねらって“換気空清機クリーンロスナイ”を販売してきましたが、今回、“壁埋込30cm角穴取付タイプ”について、排気機能、給気清浄機能、使い勝手、外気侵入防止機能を中心に改良を進めた新製品を発売いたしました。

特長

1. 排気機能を強化

30cm角穴取付タイプの中では業界最大の排気風量(200m³/h)となる“急速”換気モードで、タバコの煙などの室内汚染物質を従来品よりも素早く排出します。

2. 給気清浄強化タイプをラインアップ

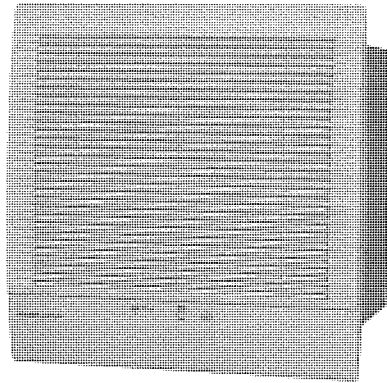
窒素酸化物(NO_x)、粒子(花粉、ホコリ)を捕集するWきれいフィルタ搭載タイプをラインアップしました。

3. ワイヤレスリモコン付きをラインアップ

ワイヤレスリモコンタイプとすることにより、配線工事の簡略化とともに、使い勝手を向上させました。

4. 全機種電気式気密シャッター搭載

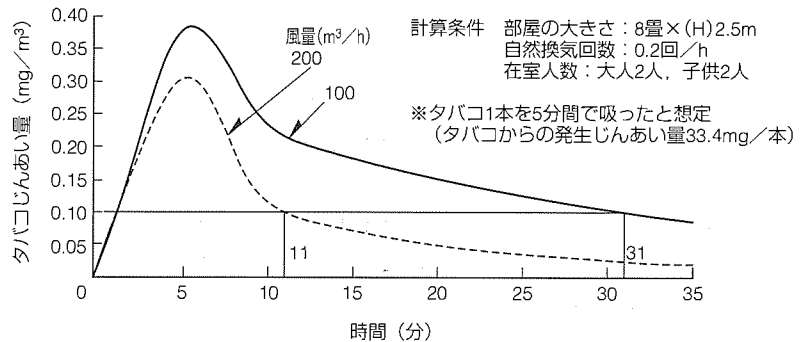
外気侵入防止用の電気式気密シャッターを搭載することにより、外気侵入量を従来品対比で約1/2(室内外差圧60Pa時)に抑えました。



VL-200RK



ワイヤレスリモコン
(同梱)



当社従来品(100m³/hの排気能力)に比べ、タバコの煙を約1/3の時間で排出します。

たばこの煙排出効果

特性*

50Hz/60Hz

	タイプ	形名	消費電力 (W)	風量(m ³ /h)		温度交換効率 (%)	騒音 (dB)	質量 (kg)
				排気	給気			
排気機能強化タイプ	ワイヤレス	VL-200RK(-BE)	47/50	200/200	120/120	—*2	43/43	4.5
	壁スイッチ	VL-200EK(-BE)	47/50	200/200	120/120	—	43/43	4.5
	Wきれいフィルタ・ワイヤレス	VL-200RK(-BE)	47/50	200/200	115/115	—	43/43	5
	Wきれいフィルタ・自動運転	VL-200KAF(-BE)	48/51	200/200	115/115	—	43/43	5
	高性能除じんフィルタ・ワイヤレス	VL-200RK(-BE)	47/50	200/200	120/120	—	43/43	4.5
	高性能除じんフィルタ・壁スイッチ	VL-200EK(-BE)	47/50	200/200	120/120	—	43/43	4.5
標準	引きひも	VL-100K	30/34	100/100	100/100	55/55	39/39	4.5
	壁スイッチ	VL-100EK	30/34	100/100	100/100	55/55	39/39	4.5
	壁スイッチ(インテリアパネル)	VL-100EKX	30/34	105/105	100/100	55/55	38/38	5
寒冷地仕様	引きひも(インテリアパネル)	VL-100PKX	30/34	105/105	100/100	55/55	38/38	5
	ワイヤレス(インテリアパネル)	VL-100RPKX	30/34	105/105	100/100	55/55	38/38	5
	自動運転(インテリアパネル)	VL-100PKAX	31/35	105/105	100/100	55/55	38/38	5

*1：表中の値は“急速(又は強)”モード時の値を示します。

*2：VL-200Kタイプの場合、“急速”モード時は、熱交換なしで換気運転します。



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

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

車両用走行情報表示装置 (特許第2041895号、特公平6-40011号)

発明者 魚田耕作

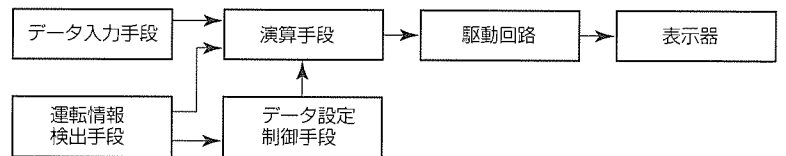
この発明は、車両の目的地までの残距離を表示したり、目的地の方位を表示したりして、車両の道先案内に利用する車両用走行情報表示装置の改良に関するものである。

従来の装置では、走行中でも目的地までの距離などのデータを使用者が設定可能であり、運転に支障を来し、安全上問題があった。また、走行中の誤データ入力は、表示データが壊れて正しい表示ができない欠点があった。

この発明は、従来装置の欠点を解消するためになされたものである。図に全体構成を示す。データ入力手段に入力された車両の走行情報に必要な初期データと、運転情報検出手段からの信号に基づいて、演算手段で走行情報(目的地までの残距離等)を演算する。表示器は、駆動

回路によって駆動され、演算手段によって演算された走行情報を表示する。データ設定制御手段では、車両が停止中であるかを判断し、停車中の場合のみデータ入力手段からの初期データを演算手段に設定可能にする。

以上のように、この発明では、初期データを車両が停止中のみ設定可能にしたので、誤設定による表示データが壊れるのを防止するとともに、運転中に他の作業を行わないことによって車両の安全性を高めることができる。



2分割形垂直探触子 (特許第2127178号、特公平8-23551号)

発明者 田中洋次

この発明は、板材、管材、棒材等の内部欠陥を非破壊で検査する超音波探傷装置に関するものである。

従来の超音波探傷装置の送信用振動子は、近距離音場限界距離に近付くに連れて有効ビーム幅は狭くなるので、未探傷領域をなくすために2分割形垂直探触子の数量を増やさねばならず、コスト高になる問題があった。

この発明は、この問題を解決するためになされたものである。図1に、この発明による2分割形垂直探触子の断面図と探傷波形図を、図2に、斜視図を示す。2分割形垂直探触子は、送信用曲面振動子(1)と受信用曲面振動子(2)が試験体(7)に対し凸形状となるように、シールド板(5)に沿って湾曲している。このため、振動子から放射されるビームは広がりながら試験体(7)を伝搬し、近距離から遠距離まで幅広い有効ビームを確保できる。また、振動子の背面に比重の高い金属からなる高密度ダンパー(15)が設けられているため、

振動子の自由振動が急激に抑圧され、振動波数が短くなるので、距離分解能が向上する。底面に近接した欠陥(9)のエコー(F2)でも底面エコー(B)と十分に分離させることができる。

この発明による超音波探傷装置は、経済的、検査効率的であるだけでなく、検査の信頼性も向上させることができる。

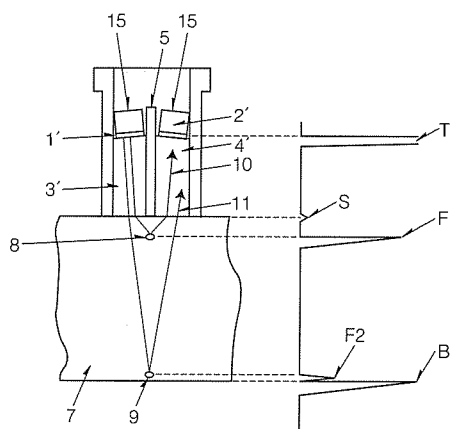


図1

- 1' : 送信用曲面振動子
- 2' : 受信用曲面振動子
- 3' : 凸レンズ付き送信用くさび
- 4' : 凸レンズ付き受信用くさび
- 15 : ダンパー

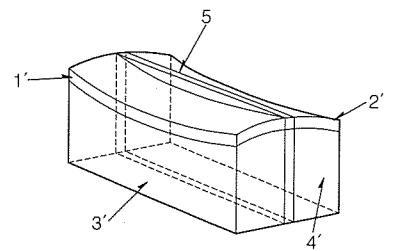


図2



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

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

指紋判別装置 (特許第1918759号, 特公平6-44284号)

発明者 鈴木 修

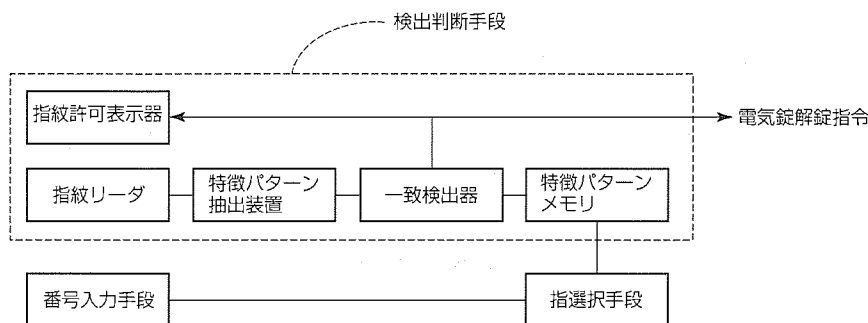
この発明は、個人識別を指紋で行う指紋判別装置の改良に関するものである。

従来この種の装置では、特定の一本の指について判別する構成であることから、特定の指をけが(怪我)した場合、登録済みの人であっても識別できない問題点があった。

この発明は、上記の問題点を解消するためになされたものである。図は、この発明による実施例の全体回路ブロック図である。検出判断手段によって被検出者の複数の指紋を指紋リーダで読み取り、特徴パターン抽出装置によって指紋の特徴を抽出して数値化する。通行制御区域の出入りに際し、被検出者はあらかじめ付与された番号を番号入力手段に入力する。その番号に基づいて、指選択手段によって被検出者の複数の指の中で特定の指を選択し、検出判断手段に選択信号を送出する。特

徴パターンメモリでは、あらかじめ登録された指紋の特徴パターンを格納しており、選択信号で特定されるパターンを出力する。一致検出器で特徴抽出装置から出力されるパターンと特徴パターンメモリから出力されるパターンとを登録された順番に比較し、一致を判別する。

この発明の装置では、被検出者の指の1本以上の指紋が一致と判別されたとき同一人と識別する構成としたので、特定の指を怪我したような場合にも識別できる。



<次号予定> 三菱電機技報 Vol.72 No.7 特集“受配電システム”

特集論文

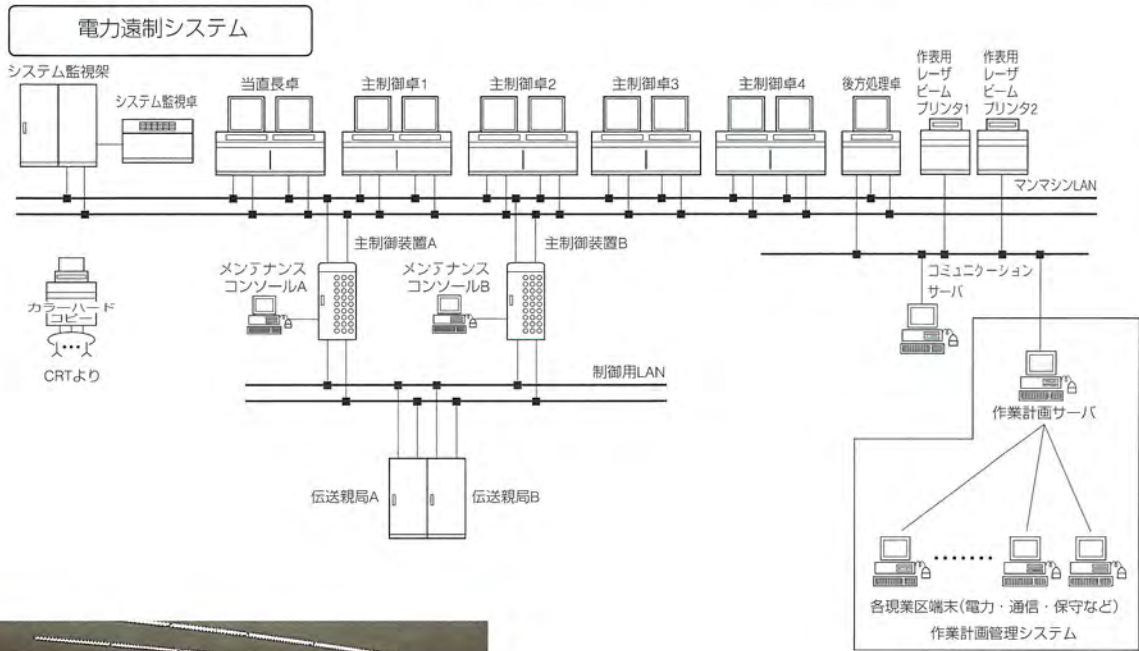
- 受配電システム特集に寄せて
- 受配電システムの現状と展望
- 電力の信頼性と品質～高調波対策(アクティブフィルタ)
- 電力の信頼性と品質～無停電電源システム
- 電力の信頼性と品質～耐震技術
- 電力の効率運用～コージェネレーションシステム
- 電力の効率運用～氷蓄熱空調システム
- 省人システム～受配電設備運転システム/統合型自動検針システム

- 省人システム～受配電保全支援システム
- 省人システム～保守省力化機器
- 省エネルギー～エネルギー監視制御システム
- 省エネルギー～MDUブレーカを使った回路監視
- 省エネルギー～アクティブコンデンサ
- サポート技術～伝送技術
- サポート技術～デジタル技術
- サポート技術～ガス絶縁機器
- サポート技術～最新機器・最新技術

<p>三菱電機技報編集委員 委員長 鈴木 新 委員 永田 譲 蔵 井上 誠 也 宇治 資 正 河内 浩 明 植木 恵 介 内藤 明 彦 門田 光 司 石川 孝 治 小林 保 雄 前田 信 吾 畑谷 正 雄 才田 敏 和 野沢 俊 治 猪熊 章 幹事 鈴木 隆 二 6月号特集担当 加我 敦</p>	<p>三菱電機技報 72巻6号 1998年6月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 1998年6月25日 発行</p> <p>編集人 鈴木 新 発行人 鈴木 隆 二 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 ドキュメント事業部 〒105-0004 東京都港区新橋六丁目4番地9号 北海ビル新橋 電話 (03) 3437局2692</p> <p>印刷所 菱電印刷株式会社 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735円(本体700円) 送料別</p> <p>お問い合わせ先 giho@hon.melco.co.jp</p>
--	---

スポットライト

九州旅客鉄道(株)納め 電力遠制システム



電力遠制システムの指令室

三菱電機は、より安全でより確実な列車輸送のため電力の安定供給を目指す先進の電力遠制システムを、九州旅客鉄道(株)に納入しました。このシステムは、日豊本線、鹿児島本線、長崎本線、佐世保線の九州全域の鉄道網の変電所設備を一括して集中監視制御するシステムです。

このシステムの主な特長は次のとおりです。

システムの特長

- 計算機システムは、九州全域を網羅した大規模システムに最適なオープン分散方式を採用しています。
- 伝送装置はHDLC方式の二重化ループ構成とし、より高速で信頼性の高いシステム構築としています。
- マンマシンシステムには最新のグラフィカルユーザーインターフェース(GUI)機能を採用し、見やすく使いやすいインターフェースを提供しています。
- 作業計画管理システムとLAN結合し、作業申込みから送停電制御までの業務の大幅な自動化をしています。



遠制装置構成図

