U.D.C. 〔621.33＋625.1/.5＋629.423＋656.2/.5.05〕.001.7

交通システムの技術動向

Technical Trends of Transportation Systems

安波政弘* *Masahiro Yasunami*

最近の交通システムの進歩は目をみはるものがある。車両は，大容量GTO(Gate Turn Off)サイリスタ応用VVVF(Variable Voltage and Variable Frequecy)インバータ駆動による高速・軽量・高粘着車両をねらい，さらに各機器のマイクロコンピュータ化によるインテリジェント電車が開発された。地上システムは従来の個別制御から関連サブシステムを高速通信ネットワークで有機的結合した統合形自律分散運行管理システムが実用化されている。また，高品質かつ大量輸送サービスの面では，世界最大級の6,000 kWインバータ電気機関車が開発された。その他電鉄変電所の超コンパクト化，鉄道業務のOA化などが推進されてきた。

将来ますますこれらがトータルシステム化され，次世代の新しい交通システムとして急展開されていくものと考えられる。

1 緒　言

今回，「交通システムの新しい技術」と題して特集号を編集するにあたり，各鉄道システムから見たニーズの動向およびそれぞれに対応した技術動向について，どのように実現され，かつ将来どのように実用化されていくか，本稿はその概要について述べる。

2 新しい鉄道システム

近年，社会環境の変化，とりわけ大都市圏の人口集中化や広域化，さらには時間価値の上昇，高級サービス指向などの動向に対応し新しい鉄道システムの実現が要請されている。これらのニーズをまとめると次のとおりである。

(1) 高密度・高速輸送実現のための統合化された運行管理システム，無人化対応列車運転システムやインテリジェント化された診断・保守システム

(2) 総合的な事故防止のため，各サブシステム間の情報の有効利用や一元情報管理

(3) マンマシンコミュニケーション(指令員・運転員・保守員)での意思決定支援と負荷軽減

(4) 高速化に伴う安全運転を確保するため，画像認識技術を応用した踏切監視制御やプラットホーム監視

(5) 乗客への的確な情報提供のための車両情報サービスやプラットホームでの乗客案内放送・表示サービス

(6) 保守サービスや保線作業上の安全性確保のための各種設備

(7) そ の 他

新しい鉄道システム化には上記のようなニーズがあり，これらのニーズに対応するためには，従来，地上は地上，車上は車上といった緊密な連携もなしにシステムが構成されていたが，これらを見直し最近のエレクトロニクス技術，高度情報化技術，自律分散制御技術，ファジィ制御技術，AI情報制御技術などの各種技術を導入し，地上・車上それぞれのシステムを有機的に結合した次世代の鉄道トータルシステム化に向けて積極的に検討していかなければならない。

主な技術分野では次のような動きがある。

(1) 車両の面では，高速化・軽量化・低騒音化および車体のニューデザインに重点を置いた開発が進められている。

(2) 運行制御性能向上の面では，大容量GTO(Gate Turn Off)サイリスタの開発とマイクロコンピュータ(以下，マイコンと略す。)によるインテリジェント化されたVVVF(Variable Voltage and Variable Frequency)インバータの開発により，従来車に比べ高粘着性能が得られ一段と車両性能が向上し，かつ保守の省力化がなされてきた。

また，運転制御機能でも，定速度運転などの自動運転機能や自己診断による事故時の原因究明を容易にする機能などを自由かつ手軽に持たせることができる。

(3) 安全性の面では，フェールセーフなディジタルリング演

* 日立製作所 電機システム事業本部交通事業部

算やフェールセーフマイコンを使用したATC(Automatic Train Control)，ATS-P(Automatic Train Stop-Pattern)システムの導入がなされている。またATO(Automatic Train Operation)では，ファジィ制御を全面的に採用したものが実用化されている。

(4) 列車運行の高効率化の面では，集中形運行管理システムや自律分散思想を盛り込んだ分散形運行管理システムが広く実用化されている。さらに，この地上システムと車上の自動運転システムおよび情報伝送システムとの有機的結合によって，地上・車上を含めた鉄道トータルシステム化が実用化されている。

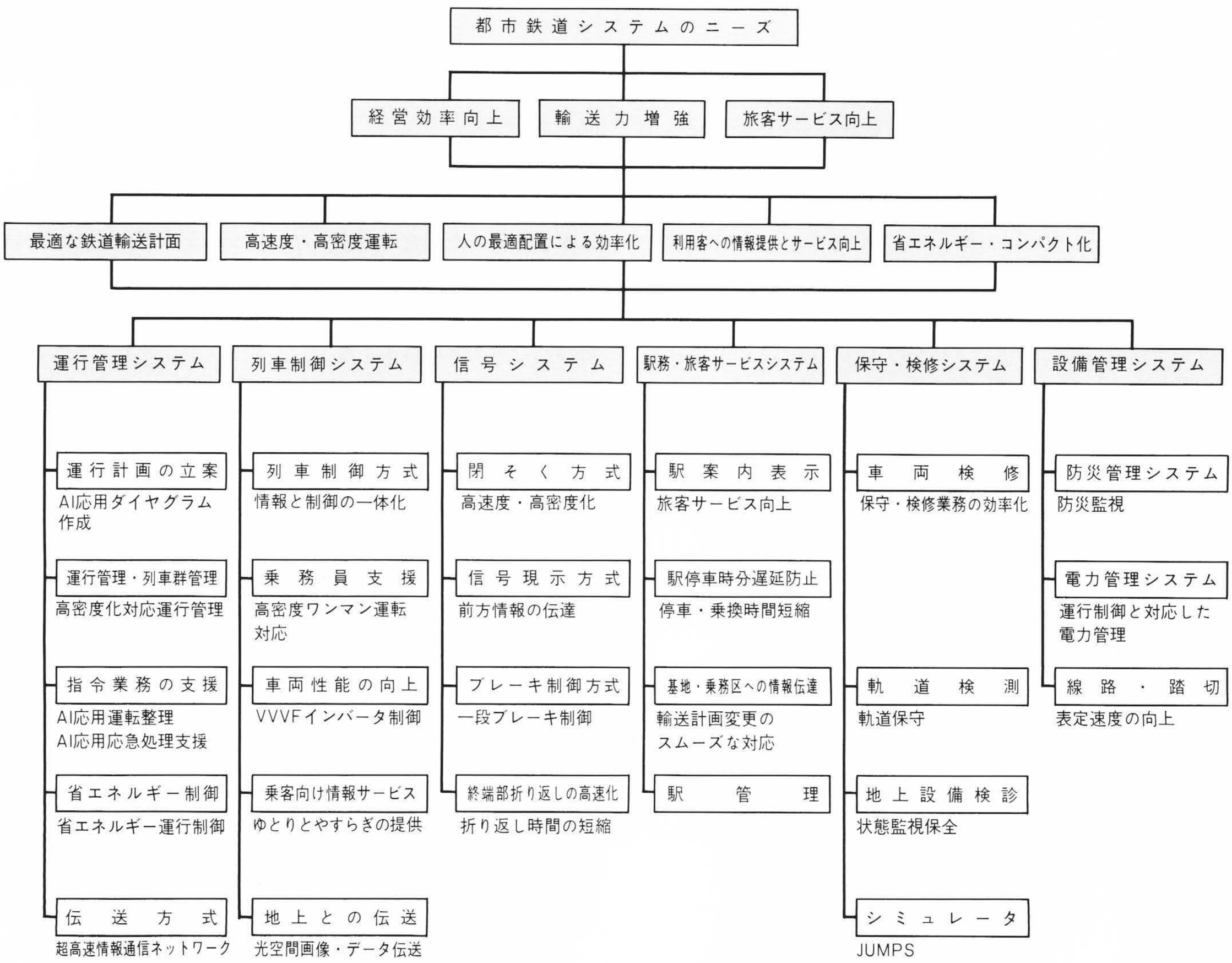
(5) 高品質かつ大量輸送の面では，just-in-timeのサービス要求にこたえて，約12年ぶりに従来のEF66形電気機関車よりもパワーアップした世界最大級の次世代高性能VVVFインバータ機関車6,000 kWが新登場し，貨物輸送サービスの世界に一大変革を成し遂げようとしている。

(6) 電鉄用変電設備およびシステムの面では，真空技術やF_6ガス応用技術の進歩，および大容量半導体の開発によって，小形かつ軽量化された各種開閉器や変圧器および電力変換器が実現し，地価高騰に対応した小スペースな都市形変電所が実現できる見通しが得られた。

また，電鉄変電所の運転コストの低減や省エネルギー化の要求に対しては，各変電所間を情報伝送路(LAN)を用いて有機的に結合し，運転管理を効率的に運用する電力管理システムが採用されてきた。

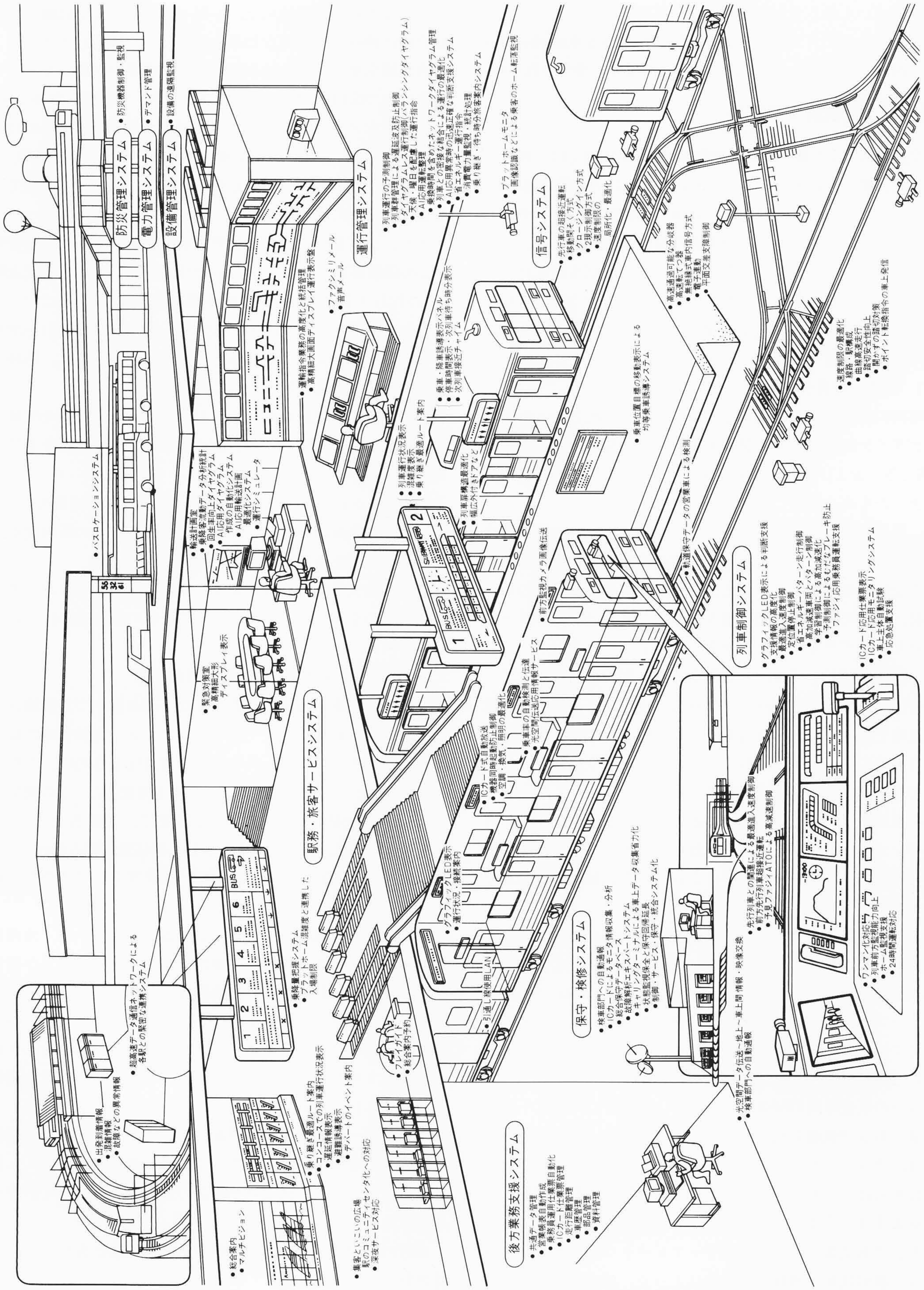
以上，各技術分野での概況や実現のための検討項目などについて述べてきたが，これらを体系的にまとめたものを**図1**に，都市鉄道システムの将来構成図の一例を**図2**に示す。

以上述べた各サブシステムが高機能化，高性能化されてきた現在では，これらを有機的に結合することによって次世代の新しい交通システムが実現していくものと考えており，これらのトータルシステム構築技術を用いてユーザーの期待に



注：略語説明 VVVF (Variable Voltage and Variable Frequency)，JUMPS (Justified Models for Practical Specification)

図1 都市鉄道システムの開発課題 都市鉄道システムを実現するための各技術分野の検討課題を示す。



注：略語説明　ATO (Automatic Train Operation), LED (Light Emitting Diode)

図2　都市鉄道システムの将来構成　　インテリジェント化された将来の都市鉄道システム完成予想図を示す。

こたえていく考えである。

以下，各サブシステムとしての新技術の概要を述べ，さらに詳細な技術内容については，本号の別論文を参照されたい。

3 特集掲載論文の概要

交通システムの新しい技術の動向として車両面では，高速・軽量化，新しい駆動制御システムおよびインバータ機関車を，運転システム面では，鉄道での高速・高密度運転システム，インテリジェントをねらった車両情報伝送制御システムおよび運行管理システムを取り上げた。そのほか都市形電鉄用のコンパクト化をねらった変電システムや各駅での指令員などの各種業務のOA化を中心に最新の技術，および今後の動向について概要を述べる。

3.1 高速・軽量化車両

車両の高速化，軽量化および低騒音化を目的とし，かつ車両デザインが沿線環境に調和するために「環境からの発想」，「美しさ」および「人への優しさ」を追求し，沿線の特質にマッチしたものを開発してきた。

(1) 高速化に対しては，空気抵抗および空力音の低減，高速・軽量ボルスタレス台車技術，高速化にふさわしい外観や室内全体を環境としてとらえ，落ち着いた色調や品格のある素材，刺激の少ない照明を組み合わせたアメニティに重点を置いた内装デザインなどを研究している。

(2) 軽量化に対しては，大形押出アルミ形材を使用したアルミ合金製構体およびビート出し外板を使用したステンレス構体技術を開発した。また台車でも，車輪の小径化(新幹線)，波打車輪の採用(在来線)およびアルミ歯車箱・軸箱の採用などで従来比30%の軽量化を達成した。

(3) 低騒音化に対しては，高速走行に伴う空力音の制御を行うパンタカバーや空調・換気機器など，すべてを床下取付として屋根上の完全平滑化などによる低騒音化技術の開発がなされた。

これらの開発成果を，最高速度270 km/h程度で走行可能なスーパーひかり300系新幹線電車や最高速度130 km/hのJR在来線用785系特急形交流電車に適用している。これらの実施例をベースに，詳細な技術内容や今後の動向について本号の別論文で述べている。

3.2 鉄道車両用小形・軽量化制御システム

最近の鉄道車両用制御システムは，大容量化とともに小形・軽量化および低騒音化に対するニーズが高まっている。今までは，チョッパやインバータ制御の開発の時代であったが，これからは，これらを広く実用化する段階にあり，前記ニーズがますます高まってきている。

そこで日立製作所では，パワーエレクトロニクスおよびマイコン制御技術の飛躍的な進歩によって，構成機器単体の改善はもとより，従来の車両用制御装置を車両駆動制御システムとしてとらえ，性能向上，小形・軽量化および低騒音化を総合的に検討し，最適な効果を出すように推進してきた。

直流電気車では，もはやインバータ電車が主流になりつつあり，かつGTOの大容量化，GTOドライブ技術，冷却技術，実装技術などハード技術や，大電流化に伴う誘導障害の問題解決を進めた。すでに8個電動機制御インバータ化も実現し，一編成の両数からシステム冗長度を考慮し，自由に選別できるような状況にまで至った。

また，大容量化に際して重要なポイントの一つである変電所との保護協調の観点から，従来のHBCB(気中式高速度遮断器)に代わり保守の軽減，遮断時間の短縮，小形化およびアークレスで防災上からも有利なVHB(高速度真空遮断器)を開発した。これは，システム全体として小形化，軽量化，低騒音化が図られる要素技術の一つになっている。

交流電気車の駆動制御システムでも，直流電気車で実績のあるPWM(Pulse Width Modulation)インバータによる誘導電動機駆動システムをベースにコンバータ・インバータシステムの開発が行われ，JR各社で開発の新幹線用300系スーパーひかりや在来線用785系スーパーホワイトアローの新形電車に適用され，現在順調に稼動中である。

本号別論文では，直流電気車，交流電気車のインバータシステムでの小形・軽量・低騒音化の最近の技術進歩について述べている。

3.3 大出力インバータ電気機関車の開発

このたび日本貨物鉄道株式会社は，高品質かつ大量輸送の面で，just-in-timeのサービス要求にこたえ，貨物列車の長大化・高速化および乗務・保守作業の省力化を目的に，次世代大出力インバータ電気機関車(EF200)を開発した。この機関車は，世界最大級の6,000 kW出力容量で，1軸当たり1,000 kWの三相交流誘導電動機を採用し，高粘着を得るためインバータによる個別制御方式を採用し，機関車として十分な高粘着が実証された。

また，従来の機関車の運転室が全面的に見直され，乗務員に対するアメニティや作業，操作などの近代化に重点が置かれてきた。このため最新の高精細10インチカラー液晶ディスプレイやICカード読取器などの情報化機器が設けられている。カラーディスプレイ上にナビゲーション情報，機器モニタ情報，応急支援情報などが表示されるような近代化された運転室が実現されている。

本インバータ機関車は，平成2年7月からJR本線上で性能確認のため各種試験が実施されており，高性能が得られる見通しもたち，今後の鉄道貨物輸送の主力機関車として活躍が期待されている。

本号の別論文では，この機関車を開発するにあたっての設計方針を述べている。

3.4　鉄道での高速・高密度運転システム

大都市圏鉄道を主体に国内外ともに鉄道の高速化・高密度化の要請が強くなってきた。今後，この要請を実現するには現在のコンピュータ制御技術や，従来の信号方式を脱却した新方式などを盛り込んだものとし，地上・車上統合システム化が必要となる。

本号の別論文では，世界の高速・高密度運転の現状について述べるとともに，国内のニーズにマッチした高密度運転方式であるATD方式(Automatic Train Deceleration System)を提案し，次いで現状の鉄道から次世代システムまでの輸送能力を4段階に区分して定量的に評価し，日立製作所が今後指向する次世代システムの概念を明確化した。

また，この実現に至る技術課題などを提起し，これらの解決法などについて考え方を述べている。

3.5　車両情報制御システム

最近，社会環境の変化，とりわけ大都市圏の人口集中傾向や広域化，さらには時間価値の上昇や高級サービス指向などの動向に対応した，新しい鉄道システムの実現が要請されるようになってきた。このため，顧客ニーズに対応した柔軟かつ多様な付加価値の高いサービスを提供する必要がある。

具体的には，車上システムと地上システムがますます有機的に各種の情報伝送路を介して結合し，的確な情報が伝送かつ処理され，タイムリーに有効な情報を顧客に伝達する必要がある。

また，最近の車両はマイコン化された高機能，高性能な各種機器が搭載されており，これらを光ファイバなどの情報伝送路で有機的に結合し，統合化されたインテリジェント電車を実現する手段として本システムが開発されてきた。

本号の別論文では，これらの開発技術を東京都営地下鉄12号線へ納入した乗務員支援システム，保守支援システム，乗客サービスシステムおよび制御指令伝送について述べている。

3.6　最近の運行管理システム

従来，運行管理システムは，個々のシステムの制御・監視機能の充実を目的に導入されてきたが，最近の社会のニーズの多様化，計算機制御技術の発展，さらには知識処理を含めた情報処理技術や高速通信ネットワーク技術の急速な発展に伴い，関連サブシステムとの統合化が行われた。これによっていっそうの効率的運営や旅客サービスの向上を目指した統合形運行管理システムが実現されてきた。

また，最近の動向として，システムのイニシャルコストおよびランニングコストを最小にすること，さらには，従来の各指令員が行っている業務の見直しによって極力自動化するといった考え方が起こってきている。これらの各種の要求に対し，各OAやFAの分野などに広く使用実績のある汎(はん)用コンピュータ技術や汎用製品(パーソナルコンピュータ，ワークステーションなど)をシステムの中に組み込み，信頼性，保安性を考慮しながらシステム構築が具体化されつつある。

さらに最近の高密度運転が行われている現状では，ますますこれらの高度な運転管理システムの導入が必要になってきた。特に，列車遅延に伴う混雑発生をミニマムに抑えることを目的としたAI応用運転整理システムや，本線上の車両故障，火災発生時の早期回復を迅速かつ的確に処理するAIを応用した指令員支援システムが開発され，一部のユーザーで実用化され効果をあげつつある。

本号の別論文では，運行管理に関連するシステムの今後の動向と最近の事例として札幌市交通局地下鉄統括指令システムをとりあげ，詳細内容などを述べている。

3.7　都市形電鉄用変電システム

大都市圏の鉄道輸送需要および輸送力の増大に対応し，電鉄変電所容量の増強や新設・追設などを実施してきた。しかし，最近の傾向は，土地価格の上昇や用地不足などの事情から，既設変電所スペース内で，今までよりも容量アップした変電所への生まれ変わりが強く要求されている。

そこで，これらの要求に対応するため，日立製作所では「都市形電鉄変電システム」の確立を図ってきた。すなわち，コンパクト化，不燃性化に重点を置いた各構成機器としてSF_6 GIS(ガス絶縁開閉装置)，不燃液冷変圧器，HSVCB(直流高速度真空遮断器)，ロータリ形断路器を使った超小形直流キュービクル，および整流器の過負荷耐量に時限協調させたH形ディジタル保護リレーを開発した。これらの新開発機器を適用することで，従来の開放形変電所の$\frac{1}{10}$のスペースで同一容量の変電所が実現できる見通しが得られた。

また，電鉄変電システムを統合制御し，高効率的に運転をつかさどる電力管理システムが製品化され広く実用されてきたが，さらに最近の新しい制御技術，例えばOA機器を使用したマンマシン高度化技術，コンピュータネットワーク，分散処理技術，ワークステーションの適用拡大による知識処理応用技術などを取り入れてきた。

また，保守，異常時の省力化を図る知識処理応用事故復旧支援システムの導入のニーズが高まっている。

本号の別論文では，これらの構成機器の開発内容，電力管理システムなどの詳細な報告および東京都交通局12号線電力管理システムの実施例をベースに，将来の動向などについて述べている。

3.8　鉄道業での現業部門システム化の動向

鉄道業では，保有路線の特性などによって多少の違いはあるが，おおむね管理部門と現業部門に大別される。管理部門の業務(人事・総務，財務会計，資材，営業統計，運輸統計，需要予測)は，経営の基本機能に関するもので，各社とも早期にシステム化が進められている。

一方，現業部門では，機械・設備管理系(列車運行，保守，制御)は，輸送力増強など社会的要請を受けて，高速化・高密

度化の技術革新，およびシステム化・自動化が優先的に進められてきた。

また，駅業務でも乗降客の増加に対する接客系のサービス改善が積極的に進められ，乗車券や定期券発行，旅客案内放送の自動化が実現している。

しかし，現業部門の現場事務・要員管理系業務は，手作業でも対応できるということで，システム化への取り組みが遅れていた。

しかし近年，コンピュータ技術の向上，OA機器の開発を契機に，この遅れた分野をシステム化し，従来システム化されている業務分野と統合化した鉄道業総合情報システムの構築を図ろうとする気運が盛んになってきた。

この鉄道業総合情報システムの目指すところは，各種事務のペーパーレス化，自動化，迅速化やサービスの向上といったことがあげられる。

本号の別論文では，ホストシステムに，HITAC M-660Eシリーズによるデュプレックス構成で処理能力と信頼性を確保している。現場用端末システムには，ワークステーション2050を用い，ホスト～端末間を高速光LANによる鉄道自営回線網で結び，自営回線網とホスト～端末システム間は9,600ビット/sの伝送路で接続した鉄道業総合情報システムの実施例を述べている。

4 結　言

本稿では，最近の交通システムでの各分野の技術開発や今後の動向などについて概要を述べた。各分野の詳細については，本号の別論文を参照いただきたい。

終わりに，この分野の発展は目覚ましいものがあり，日立製作所はさらに新技術・システムの開発に努力を続ける考えである。

参考文献

1) 高岡，外：Ⅱ列車運転・運行システム，電気学会誌，110巻，4号，pp.257～262(平2-4)
2) 渡辺，外：最近の電鉄用変電システム技術，日立評論，**70**，7，725～732(昭63-7)