

# 鉄道トータルシステムの展開

## Development of Total Computer Systems for Rapid Transit

従来、個々のシステム主体で始まった鉄道業務の機械化も、計算機・通信技術の発達によりシステム間の協調をとったトータルシステムへと発展してきている。更に近年のマイクロコンピュータの発達により、多機能・分散化が要求されていた鉄道トータルシステムをいっそう高性能に分散処理することが可能とされる状況となった。

日立製作所は、鉄道トータルシステムの設計・製作の経験を生かし、信頼度の高い自律分散ループ伝送システムと16ビットマイクロコンピュータを中枢とした鉄道向け高性能駅制御装置を開発し、多様なシステム形態に整合のとれたトータルシステムを構成することができた。

本稿では、これらの背景で、鉄道トータルシステムの最近の動向と駅制御装置の概要、及び新たに開発されたシステムの概要について述べる。

大峽 明\* Akira Ôhazama  
 大島弘安\*\* Hiroyasu Ôshima  
 石川耕介\*\*\* Kôsuke Ishikawa  
 能見 誠\*\*\*\* Makoto Nômi

### 1 緒言

大都市での鉄道の大量輸送能力・安全性・定時性などの有効性は、我が国やヨーロッパはもちろん最近では米国でも再認識されてきている。我が国でも、昭和60年に北九州都市モノレール小倉線、横浜市・神戸市の地下鉄延伸線などが相次いで開業し、更に仙台地下鉄や各地の新都市交通システム計画をみても、その傾向がますます強まっている。

鉄道は公共性が強く、不特定多数の乗客を対象に運営を行っていることもあり、業務形態が労働集約形になりやすいが、自動化技術を導入し省力化・省エネルギー化を図ることは重要な課題である。日立製作所は早くからこの課題に取り組み、昭和46年札幌市交通局地下鉄南北線の鉄道トータルシステムとして実現し、その後更に鉄道関連業務の近代化に幅広い技術開発を推進してきた。

ここでは、鉄道トータルシステムの最近の動向を述べ、更に代表例により具体的な機能について記述したい。

### 2 鉄道トータルシステムの動向

#### 2.1 トータルシステムの現状

鉄道業務の自動化は、その運営組織に対応した業務を自動化・コンピュータ化することにより始まり、それらがサブシステムとして成長し、更にサブシステム間を有機的に結合することによってトータルシステムとして発展してきた。

鉄道の運営に必要な業務を図1に示し、合わせてそれらの業務のうち幾つかを集約して自動化対象としたサブシステムを示す。日立製作所は、鉄道トータルシステムをサブシステムの集合としてとらえ、各サブシステムが果たすべき機能レベルを高めることと、各サブシステム間を渡る情報の価値を高めることによって、トータルシステムの発展を図ってきた。各サブシステムの機能レベルは、対象とする業務の制御内容の拡充あるいは制御精度の向上と、適用業務の拡大を図りながら向上し、各サブシステムとして果たすべき機能が表1に示すように定まってきていると考えている。各サブシステム間の情報は、各々のサブシステムが果たす制御機能に関する情報の授受から始まり、更に他サブシステムを管理する扱

表1 サブシステムの機能 各サブシステムが果たすべき機能を示す。

サブシステム	主な機能
1. 運行管理システム	(1) 列車追跡, 運行表示 (2) 進路制御 (3) 案内放送, 行先表示 (4) 運転整理 (5) 対列車データ伝送
2. 電力管理システム	(1) スケジュール制御 (2) 機器監視, 表示 (3) 保守に伴う計画停送電 (4) 電力量管理 (5) 負荷制限
3. 情報伝送システム	(1) 券売, 定発データ収集 (2) 防災データ伝送, 表示 (3) 中間換気所排煙制御 (4) 通信機器故障監視, 表示 (5) 運行, 事務管理とのデータ伝送
4. 事務管理システム	(1) 情報伝送システムとのデータ伝送 (2) オンライン端末問合せ (3) バッチ処理, 経理, 営業, 運転
5. 列車自動運転システム	(1) 出発条件成立判断 (2) 加速, 定速, 減速 (3) 定位置停止 (4) 車内自動放送 (5) データ伝送, モニタリング
6. 車両検修システム	(1) 月検査 (2) 車歴管理 (3) 列車走行シミュレーション (4) 列車検査 (5) 全般, 重要部検査

い者にとって有効な情報を集約して送出することで機能の向上を図ってきている。その例として福岡市交通局トータルシステムの構成を図2示す。

次に、各サブシステムが果たす機能を実現するハードウェアについては、各サブシステムを各々1台のミニコンピュー

\* 日立製作所水戸工場 \*\* 日立製作所機電事業本部 \*\*\* 日立製作所システム事業部 \*\*\*\* 日立製作所システム開発研究所

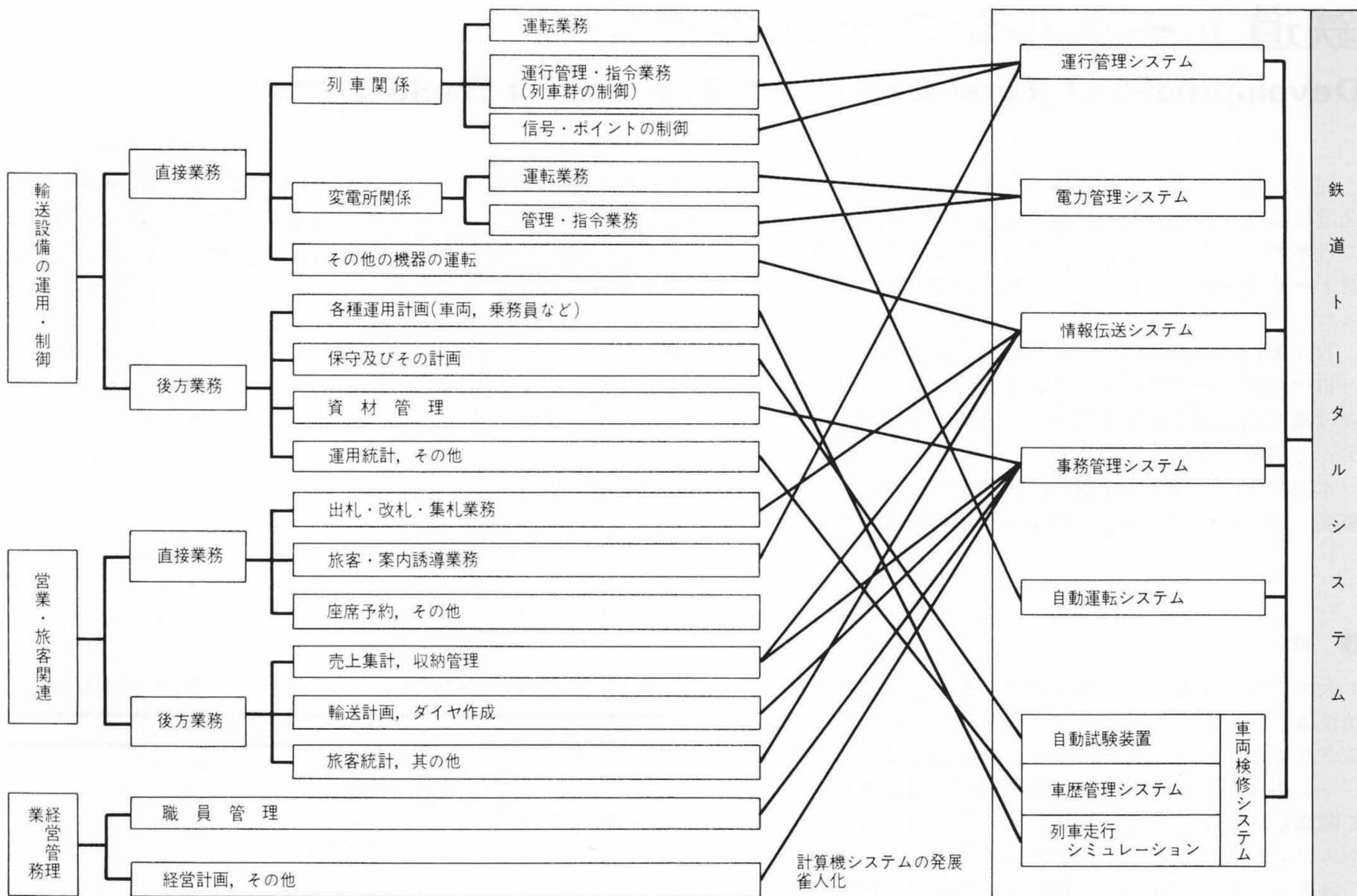


図1 鉄道トータルシステムの構成 鉄道の業務とトータルシステムを構成する個別のシステムが、複雑に絡んでいる。

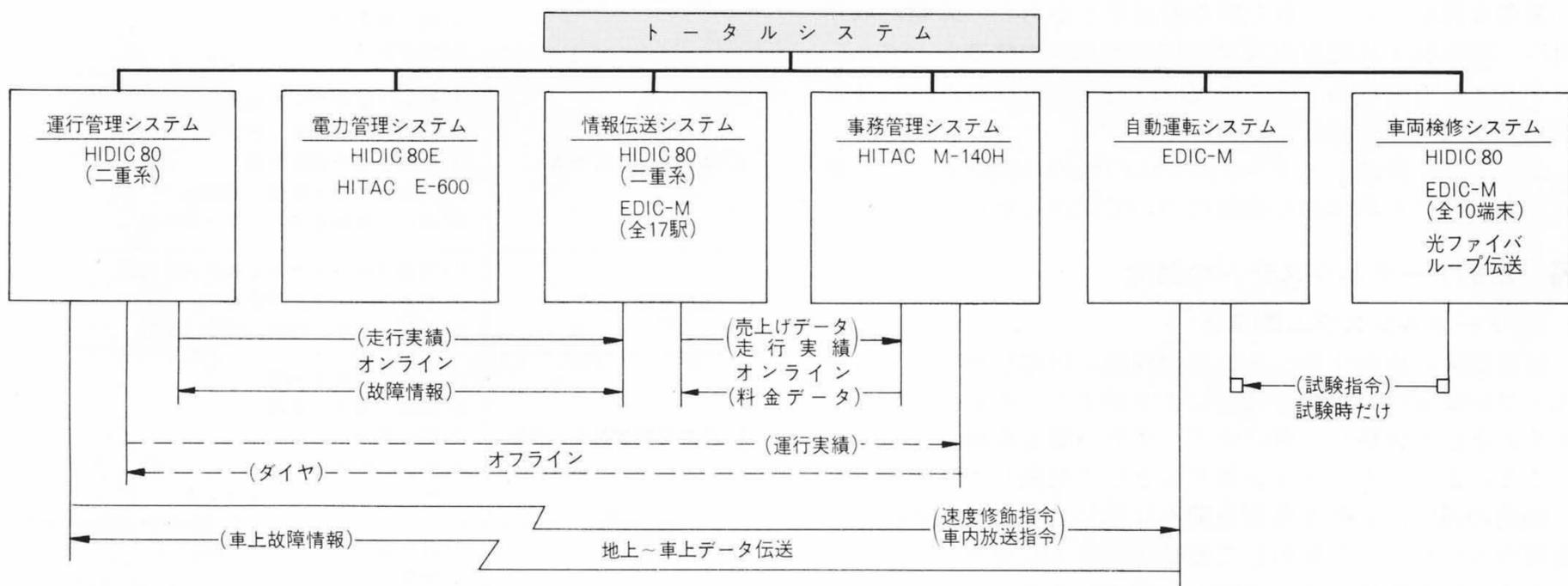


図2 福岡市交通局トータルシステム 各個別のシステムが有機的に結合されている。

タを中核として構成することから始まり、サブシステムの果たす機能拡大に伴いシステムダウン時の影響範囲が大きくなってきたことに対応しミニコンピュータの多重化構成へと発展させ、更にミニコンピュータの性能向上により複数のサブシステムを1台のミニコンピュータで果たす多機能形システムを実現するなどしてサブシステムの強化をしながら、ミニコンピュータ間の結合技術により、トータルシステムを発展させてきた。一方、昭和50年代に入ってマイクロコンピュータの発達を契機に、日立製作所は鉄道業務そのものが元来駅・

変電所・車庫・乗務区・中央などに分散されており、かつトータルシステムもサブシステムに分散されているという認識を基に、インテリジェント端末を制御される主機の近くに配置することによって、従来のサブシステム毎の端末から統合化した端末を分散配置し、それら分散配置した端末制御装置間を、制御性能を重視した自律分散伝送路を開発して接続することにより、トータルシステムとしてのコストパフォーマンスを更に向上させたものへと発展させることができた。

以上述べたように、鉄道トータルシステムは、顧客の業務

形態やサブシステムに要求される機能に適合して発展してきたのが現状の姿であると言える。

### 2.2 今後の発展性

鉄道トータルシステムの接続相手機器とのインタフェースは、電子連動装置・静止形配電盤・空調制御のシーケンサなどに見られるように、各制御盤へのマイクロコンピュータの採用が著しく、従来、並列接点渡しが主体であった各種情報がデータ量の増加ともあいまって、ビットシリアルデータの伝送で渡されるケースが多くなってきている。今後ますますこの傾向を強めていくものと考えているが、両機器間でデータ処理のためプロトコルの処理からアプリケーションまで何段ものソフトウェアが介在することになり、データの加工が多くなることによるデータの信頼性低下は、早期に解決しなければならない問題と考えている。

鉄道トータルシステムの形態について考えてみると、従来個別のシステムは、対象設備の制御・監視・状態表示・記録機能など設備を管理するために最小限必要な機能を各々にもった形で製作されてきたが、主として制御機能に重点をおいていたと言える。

上記各機能は、個々のシステム内で更にレベルアップが図られていくことは言うまでもないが、最近、OA (Office Automation) 機器・情報伝送技術が発展してきたこと、使う人がパーソナルコンピュータ的なものに慣れてきたこと、ソフトウェア技術の発展によって情報の加工がしやすくなってきたことから、今後、制御と同等以上のウエイトが監視・情報処理に置かれるようになってくると考えている。すなわち図3に示すように、指令員の指令により設備の制御を行ない設備の運転をつかさどる制御系(複数)、各設備状態・故障統計を設備の保守者と一体となつてつかさどる監視系、及び制御系・監視系からの情報を集約して、小は業務に直接必要な情報から大は経営判断に必要な情報を運用者へ提供し、その他乗客にまで情報を提供する情報系の三つの大きな系を中央に設置し、その基本データを作成する各駅の駅制御装置が、統合された伝送路で結合された構成である。

この形のシステムになると制御結果や制御状態が中央指令所だけでなく各駅でも把握でき、また中央の情報系に大きなデータベースをもつことにより、必要な情報を各所で参照で

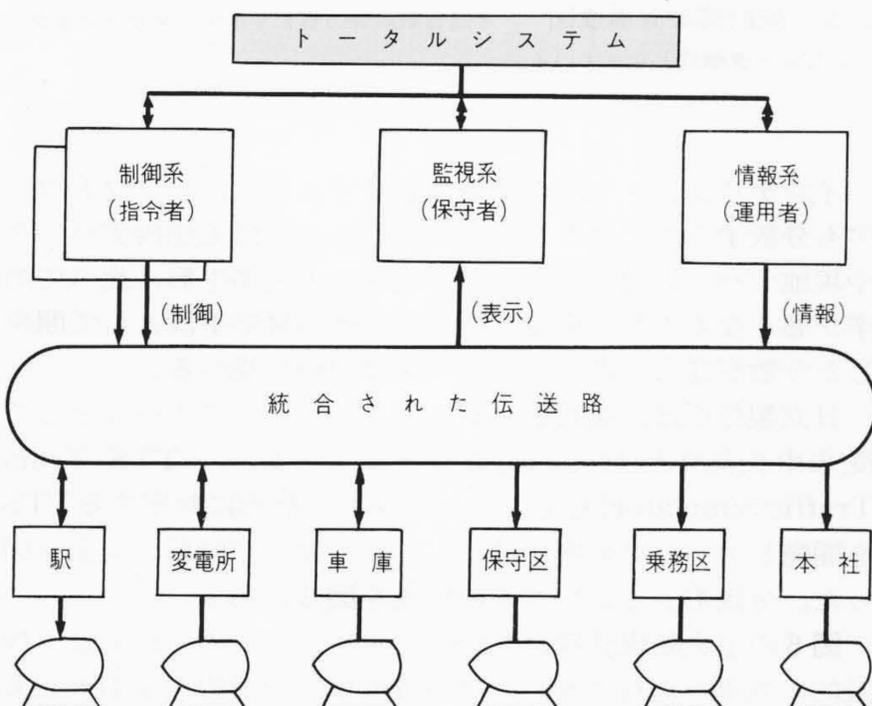


図3 新しい鉄道トータルシステムの概念 制御系・監視系・情報系の三つの系による構成で、情報の処理形態が各々で異なる。

表2 知識工学の適用分野 鉄道分野で、最も早く知識工学が適用されると考えられる項目を示す。

適用項目	具体的内容
ダイヤ作成	本線及び車庫内の列車移動ダイヤの決定
運転整理	運行管理システムで、ダイヤ乱れ発生時の復旧計画作成
故障解析	設備機器の故障現象から原因を推定する。
電力事故処理	電力設備故障時の代替運転系統復旧計画作成
乗務員運用	列車ダイヤに合わせて乗務員の運用計画作成
作業計画	保守作業の競合を避けて優先度の高い作業から日程を決定

きるようになる。更に各設備の保守に当たっては、監視系のシステムと対話しながら故障判定が行なえるなどの特徴をもつことができる。

この形のシステムを構築するには、今後更に設備からオンラインで収集する情報、オフラインで入ってくる情報の加工処理技術の向上を図った上でシステムニーズを明確にし、システムの運用形態を含めて検討していく必要がある。

次に鉄道トータルシステムへ応用すべき技術として、最近注目を集めているものに、知識工学の適用が挙げられる。知識工学はその適用がまだ緒についたばかりといえるかもしれないが、今後必ず活用の方向へ進むものと考えられる。現状で推定される適用分野を表2に示す。

### 3 自律分散駅制御装置

鉄道トータルシステムは、システムの大規模化・多機能化に対応するため、システムを構成するハードウェアにインテリジェントをもたせて分散設置するようになってきたが、それに伴い各々のハードウェアやソフトウェアの高信頼化を実現することがますます必要となってきた。

この要求を満たすものとして、日立製作所は昭和58年から鉄道システム向けに生物体を範とした独自の分散形システムである自律分散形システムを開発し製作してきた。以下、この分散形システムの主体をなす自律分散ループ伝送システムADL (Autonomous Decentralized Loop Network) と16ビットマイクロコンピュータを主体とした駅制御装置について述べる。

#### 3.1 自律分散ループ伝送システム

ADLは、分散形システムの中核的な神経系統であり、均質な伝送制御装置NCP (Network Control Processor) と二重ループ伝送路により構成されており、主要性能を表3に示す。このシステムは次のような特徴をもっている。

- (1) 二重ループは、各々逆向きの伝送方向である。
- (2) 各ループ上の伝送制御装置NCPは、ノードを構成する対のNCPとリンクポートによって結合し、障害発生時回路を構成する。
- (3) 各ホストコンピュータは、各々一対のNCPに結合する。
- (4) ネットワーク上のすべてのNCPは同一機能を持ち、親子の関係はなく対等であり、均質な構造をもつ。
- (5) NCPは、光送受信モジュールも含めて完全に1ボード化して高信頼化を図った。

#### 3.2 駅制御装置

駅制御装置は、駅に設置されている諸設備とインタフェースをとる鉄道トータルシステムのインテリジェント端末であり、マルチマイクロコンピュータ構成をとり必要に応じて二重化できるようになっている。図4に本装置の外観を、また図5にその構成図を示す。

表3 NCPの主要性能 地下鉄から都市近郊鉄道まで広く適用できる仕様となっている。

No.	項目	仕様
1	システム規模	127 ステーション/ループ
2	伝送速度	Max 1 Mbps
3	伝送距離	最大20km
4	伝送制御	自律分散伝送制御方式
5	同期方式	独立同期
6	異常処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 異常検出: CRCチェック タイムアウト</li> <li>● 異常時処理: データの再送 伝送路のう回</li> </ul>
7	RAS機能	停電検知 ウォッチドッグタイマ アドレスエラーなど

注: 略語説明 CRC(Cyclic Redundancy Check)  
RAS(Reliability, Availability, Serviceability)

本装置の主体をなすマイクロコンピュータ、ソフトウェア、RAS(Reliability, Availability, Serviceability)の概念をもつ保守機能の特徴を以下に述べる。

(1) ハードウェア

- (a) CPU(中央処理装置)に優れたアーキテクチャをもつHD 68000を採用し、処理能力を大幅に向上させている。
- (b) システムBUS構成は米国モトローラ社のVersa Busに準拠した標準BUSを採用し、システムの拡張を容易にしている。
- (c) メモリ容量は128kバイト~1 Mバイトと大容量化を図っている。なお、アプリケーションプログラム格納メモリは、すべてCMOS-RAM(Complementary Metal Oxide Semiconductor-Random Access Memory)(バッテリーバックアップ及びエラーチェック付き)化し、完全静止形とすることにより信頼性の向上を図るとともに、特殊な設置環境への対応も可能としている。
- (d) NCPインタフェースはDMA(Direct Memory Access)制御とし、高速データ転送を実現している。
- (e) CPUボードには、セルフチェック機能をもたせるとともに、各ボードのステータス表示機能を充実させており、外部からの動作チェックを容易にしている。

(2) ソフトウェア

- (a) リアルタイムOS(オペレーティングシステム)として日立製作所が開発し、処理性、応答性、拡張性に優れた高機能OSであるRMS(Realtime Monitor System)を採用している。
- (b) 使用言語は、アプリケーションソフトウェアの開発用に日立製作所が開発した高級言語S-PL/Hを使用するとともに、開発支援ツールを充実させ、特に大形事務用計算機によるクロスシステムにより、高品質のソフトウェアの開発を可能としている。

(3) 保守機能

中央から分散配置された駅制御装置の状態監視及びリモートデバッグが可能のように、リモートメンテナンス機能を強化した。以下にその内容を記す。

- (a) リモート ゼネラルリセット及びイニシャルプログラムローディング
- (b) プログラム、データファイルのリモートローディング
- (c) メモリ内容の参照、比較照合、書換え
- (d) プログラムの動作状態モニタ及び起動、停止

(4) 分散形運行管理シミュレータ

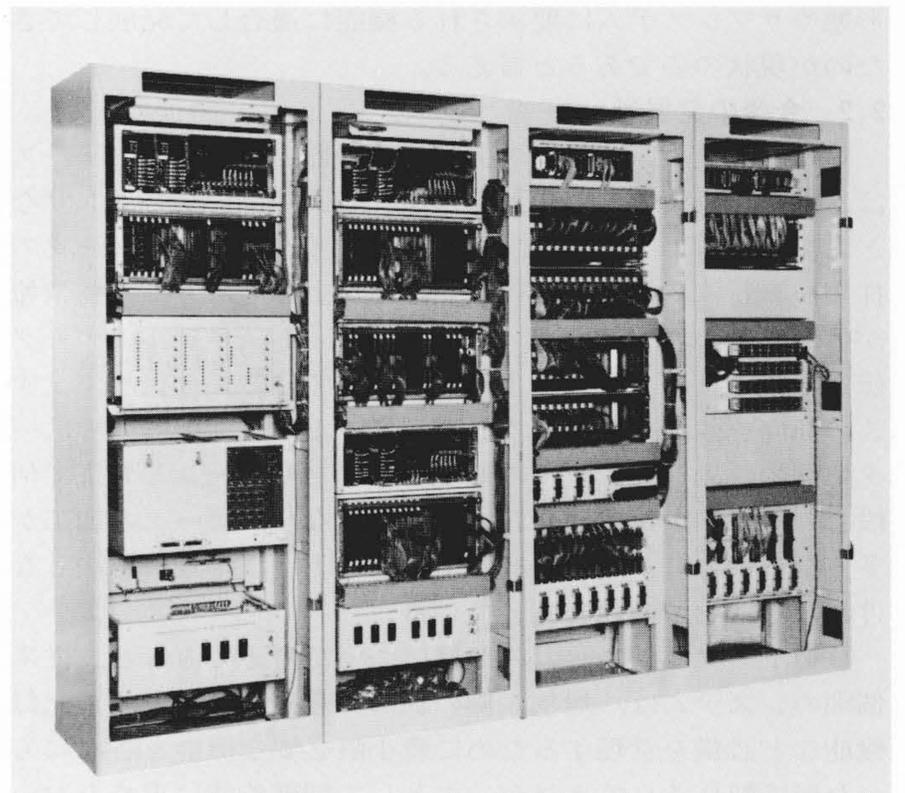
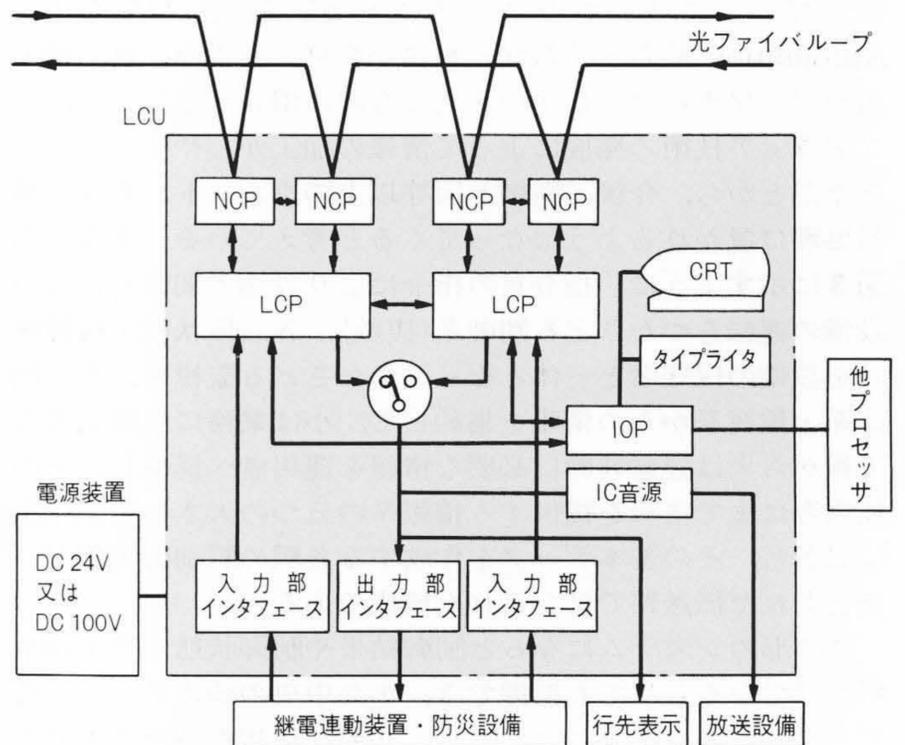


図4 駅制御装置の外観 処理装置部・入出力部に分かれている〔幅2,600×奥行600×高さ1,900(mm)〕。



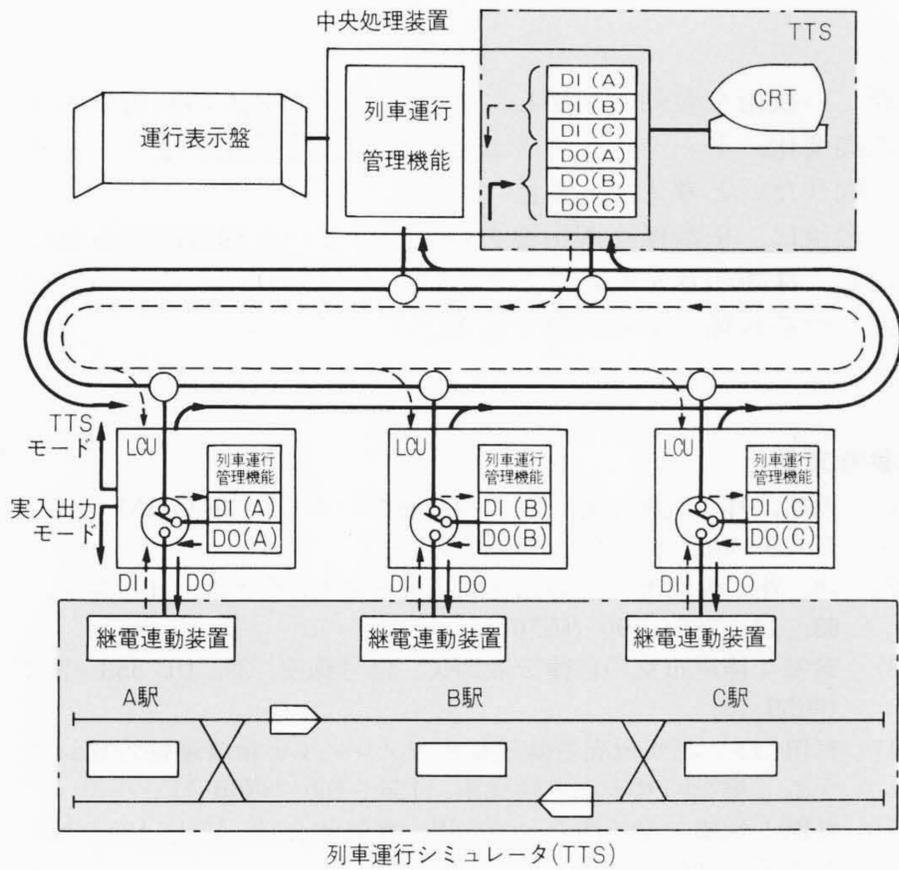
注: 略語説明 NCP(伝送制御プロセッサ), LCP(駅制御プロセッサ), IOP(入出力制御プロセッサ), LCU(駅制御装置)

図5 駅制御装置構成図 本図は駅設備の場合を示す。マルチマイクロコンピュータ構成となっている。

インテリジェント端末を分散設置することは、ソフトウェアも分散することになり、製作効率あるいは工場内デバッグや現地デバッグ効率の上でも、従来の中央集中形に比べて効率が悪くなることが推定されるが、その対応手段として開発した分散形運行管理シミュレータについて述べる。

日立製作所は、運行管理システムのデバッグツールとして従来中央集中形対応の制御対象シミュレータTTS(Train Traffic Simulator)をもっていたが、分散形に対応するTTSを開発しデバッグ効率の向上・ソフトウェア品質の向上を図った。分散形シミュレータの構成を図6に示す。

図6の中央処理装置にTTSが搭載され、このTTSにより模擬的に列車を走行させ、列車位置や信号機情報を駅制御装置に伝送する。駅制御装置は、TTSモードの際は、継電連動装置から入力する代わりに、TTSからの情報を入力情報として



注：略語説明  
TTS(Train Traffic Simulator), CRT(Cathode Ray Tube), DI(Digital Input)  
DO(Digital Output)

図6 分散形TTS構成図 特別な機器を必要とせず、ソフトウェアによりTTSを実現し、オンラインに近い形のテストを可能としている。

取り込み、列車追跡を行ない、また進路制御とか案内放送などの制御処理を行なう。実出力は継電連動装置などには行なわず、このTTSに対する出力として伝送し、これによってTTS内の模擬列車を走行させている。これにより、工場内あるいは現地にシステム据付け後も種々の状態を作りだして、実時間で機能確認を行なうことができ、ソフトウェアの品質向上に大いに有効なものとなっている。

#### 4 最近のトータルシステム事例

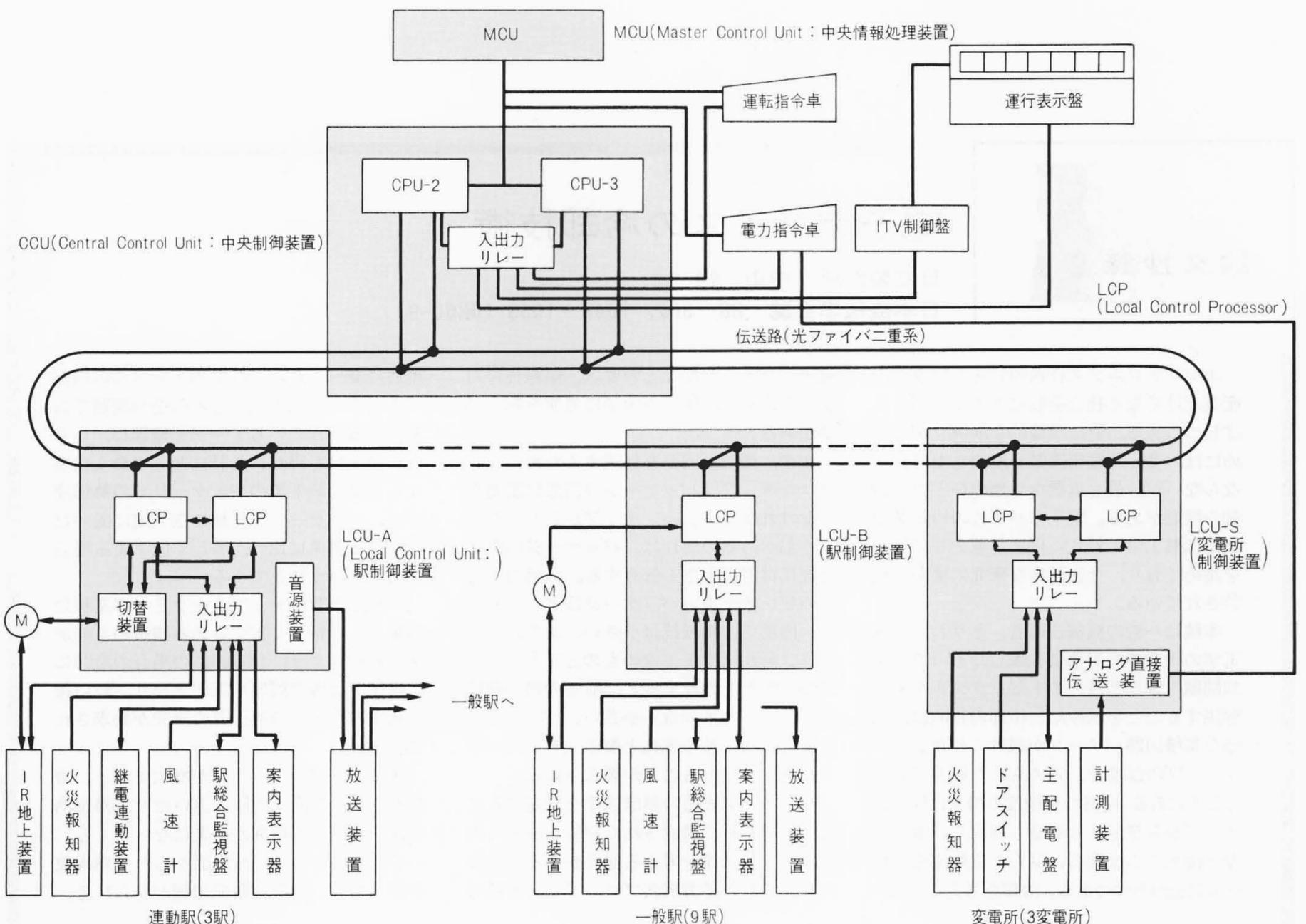
鉄道トータルシステムの最近の事例として、ユーザーの業務形態に適合し、多機能形システムの例として北九州高速鉄道小倉線運輸管理システムを取り上げ紹介する。

##### 4.1 北九州高速鉄道小倉線運輸管理システム

このシステムは、我が国初の都市モノレールとして昭和60年1月の開業に際して導入されたもので、コストパフォーマンスの向上をねらってトータルシステムを構築したものである。

このシステムの主な特徴は次のとおりである。また、ハードウェア構成図を図7に示す。

- (1) 端末同士の迅速な情報授受を実現するために、光ファイバケーブルを用いたループ伝送方式を採用している。
- (2) 運行管理・電力管理・駅設備・防災管理を一貫して効率よく行なうために、ハードウェアを共用している。
- (3) CTC(Centralized Traffic Control)・スーパーなどの個



注：略語説明 ITV(工業用テレビジョン)

図7 北九州高速鉄道小倉線運輸管理システム構成図 中央に運行表示盤、指令卓、MCU、CCUなどを設置し、各駅にLCU-A、LCU-B、駅総合監視盤を、また各変電所にLCU-Sを設置し、CCUと駅・変電所のLCU間をループ状伝送路で結合している。

- 別導入に替わり、自律分散ループ伝送システムを採用している。
- (4) システム形態として自律分散処理方式を採用し、システムの信頼性・応答性を向上させている。
- (5) 地上側システムと車上のATO(自動列車運転装置)間の運転情報や車両情報の授受により、連携のとれた運行を実現している。
- (6) 中央指令室3人、管理駅3~4人、一般駅1人と徹底した自動化・高機能化により、少人数での対応を実現している。

## 5 結 言

鉄道トータルシステムは、制御用ミニコンピュータの出現によって発展し、マイクロコンピュータ・光通信技術によって更に機能や規模が拡大されて進展しつつある。鉄道トータルシステムの目指すところは、安全性の向上・乗客サービスの向上・省力化であり、使用するハードウェア、ソフトウェアの技術の変遷によって、その形態は変わるとはいえその目的とするところは一貫している。

近年の工業技術の発展には目覚ましいものがあるが、その

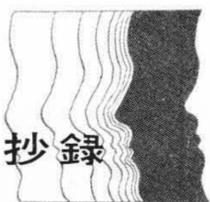
新しい技術を有効に活用し、各個別のシステムの制御レベルの高度化、トータルシステムとしての機能拡充をよりいっそう図りたいと考えている。

最後に、平素種々御指導をいただいている顧客関係各位に対し、深謝の意を表わすとともに、今後よりいっそうの御べんたつをお願いする次第である。

## 参考文献

- 1) 内田, 外: 札幌市地下鉄にみる最新システム技術OHM, 81, 7, 29~40, オーム社(昭56-7)
- 2) 角, 外: 福岡市交通局高速鉄道トータルシステム, 日立評論, 63, 11, 785~790(昭56-11)
- 3) 藁谷: 神戸市交の自律分散PRC, 信号保安, 39, 10, 553~554(昭59-10)
- 4) 杉田, 外: 北九州高速鉄道都市モノレール小倉線運輸管理システム, 第22回サイバネ論文集, 156~160(昭60-11)
- 5) 井原: 知識工学の産業への応用, 電気学会誌, Vol. 103, No. 3, 204~208(昭58-3)

## 論文抄録



# 電子デバイスの冷却技術

日立製作所 中山 恒

日本機械学会誌 88-802, 1048~1053 (昭60-9)

エレクトロニクス技術の急速な発達は、産業だけでなく社会全般に大きな影響を及ぼしつつある。更に飛躍的な展開を図るためには、多くの技術課題を解決しなければならないが、最も重要な課題のひとつに冷却の問題がある。電子デバイスの冷却問題は、伝熱工学の新しい研究対象として関心を集めており、今後活発な研究の展開が期待されている。

本稿は一般の機械技術者、とりわけ伝熱工学の研究者を対象に執筆したもので、冷却問題の背景と最近のトピックスを平易に解説することを試みた。冷却の目的は、微細な集積回路パターンが設けられたシリコンチップの温度を、定められた範囲に収めることにある。回路の集積度の増大に伴い、チップから発生する熱量も増大し、ボイラなど従来の高温機器に見られる熱流束のレベルに近づきつつある。冷却を考えるには、

電子デバイスの性能上の要求、信頼性に対する要求など、種々の因子に考慮を払う必要がある。

まず、微細な回路を保護するために、シリコンチップはパッケージの内部に密封されなければならない。チップからパッケージ外部への熱の流れは、パッケージの構造と使用材料に大きく依存する。入出力のためのピン数が多いパッケージほど、パッケージ内部での熱抵抗は小さい。また、パッケージ材がセラミックのものとプラスチックのものとを比較すると、前者の内部熱抵抗のほうが約半分近く小さい。パッケージの設計には、熱の流れと製造コストのバランスをうまくとることが要求される。

パッケージ表面の熱伝達率を推定するには、配線基板で構成された平行チャンネル内の流れと熱伝達を考える必要がある。すなわち、多数の長方形ブロックが一方側の

壁面に並べられた平行平板チャンネルの内部での、冷却空気の流れと熱伝達の問題である。公表されているデータを整理し、いくつかの知見を得た。設計にとって最も重要なことは、最下流のパッケージでの熱伝達率が、パッケージを単独で空気流に置いた際の熱伝達率に比べ、著しく低下する可能性があるという知見である。

今後は多数のチップをセラミック基板に搭載し、一括して封じ込める構造のものが用いられるようになる。この場合の冷却には接触熱伝導の問題が重要となり、軽い接触荷重のもとでの熱伝導の研究が要求されている。

更にチップの発熱密度が増大すると、冷却液をチップ面の流路に導いたり、沸騰熱伝達を利用する研究が必要になってくる。いずれの場合も微細伝熱面からの伝熱現象を伴うので、新しい研究課題が見られる。