

マイクロコンピュータの交通制御システムへの応用

Application of Microcomputers to Railways Control Systems

近年、マイクロコンピュータはLSI技術の成果として急速な進歩を遂げ、その特長とする小形軽量、経済性、高信頼性などにより、交通制御の分野でも大きな影響を与えつつある。

我々はこのマイクロコンピュータをコンピュータというよりも、従来から我々が開発してきたような信頼度を重視したデジタル装置の部品としてとらえ、車両や交通の制御装置に調和させることを旨とし、交通制御システムへの適用を図りつつある。本稿では、マイクロコンピュータの位置づけと、自動運転装置、モニタ装置、貨車加減速制御装置、分散制御システムなど、交通制御システムへの適用例について述べる。

高岡 征* *Takaoka Tadashi*
豊田瑛一* *Toyota Eiichi*
増田郁郎** *Masuda Ikurô*

1 緒 言

マイクロコンピュータは出現以来まだ歴史は浅いが、電子工業の全分野に大きな影響を与えながら急速に普及しつつある。交通制御システムの分野でも同様であり、その持っている経済性、小形軽量、高信頼性、更には多品種少量生産品における開発期間と費用の低減など優れた特長により、既存製品の全分野を対象に強い影響を与えようとしている。マイクロコンピュータは、機能的に言えば電子式卓上計算機とミニコンピュータの間に位置するものであり、電子式卓上計算機が人間がその都度操作する電子そろばんであるのに対し、マイクロコンピュータはプログラムを内蔵した本格的なコンピュータであるので、プログラムを変更することにより各種制御に適用することが可能である。

すなわち、マイクロコンピュータはハードウェアとか外形、価格などの面からは電子式卓上計算機に近く、プログラム可能という面からはミニコンピュータに近いという双方の利点を合わせ持ったものであり、一方、コンピュータという名称がつくと複雑で難解というイメージからはかなり異なったものと言える。このような特性からマイクロコンピュータは、交通制御の全分野の制御機器に、単なる一つの部品として使われていくものと考えている。

ここでは車両用に構成されたマイクロコンピュータの概要と、この具体的な応用として、自動運転装置、モニタ装置、貨車加減速制御装置及び分散形制御システムについて、簡単にその内容を紹介する。

2 マイクロコンピュータの利点と位置づけ

2.1 制御技術の変遷

交通制御での制御技術の変遷を見ると、昭和30年代では電磁リレー及び磁気増幅器が主流であった。このためシステム構成上の重要ポイントは、必要最小限の機能に限定することであって、複雑な制御は事実上不可能であった。次いで昭和30年代後半から現在に至るまでトランジスタと集積回路(以下、ICと略す)による制御が主流となった。この時代の前半では高精度なアナログ演算が可能となり、後半ではデジタル演算が一般化し、更にはフェイルセーフ化可能な¹⁾デジタルリング演算方式の開発などが行なわれた。また40年代後

半からトランジスタとICによる制御に並行して、新しいストアードプログラム方式による制御が運行管理システムなどの地上システムより始まった。鉄道車両制御の分野でもミニコンピュータHIDIC 100などによる新幹線「ATOMIC 装置」²⁾がある。また最近では札幌市交通局納め自動運転装置の完全な自己チェック機能を持ち、フェイルセーフ化された「EDIC-102」などの例があり、今後ますます増大する情勢にある。

2.2 マイクロコンピュータ採用の利点

以上述べたように、マイクロコンピュータの出現以前は、専用のハードウェアとしてICやトランジスタを組み立て、装置を構成することが多かった。ときにはミニコンピュータが試用される場合もあったが、一部の例外を除き、多くの場合はその能力が十分すぎて、むしろ価格的に折り合わず断念することが多かった。しかし、マイクロコンピュータの出現により、今までハードウェアの論理としてその都度結線され構成した機能をプログラム化して、ソフトウェアとして持つことが可能となり、標準的なハードウェアでしかも簡易にシステムを構成することができるようになった。

以下にマイクロコンピュータ採用の利点について述べる。

- (1) ハードウェア標準化
- (2) 開発期間の短縮、開発費用の低減
- (3) 高機能化及びシステム柔軟性の向上
- (4) 小形・消費電力低減
- (5) 低価格(コストパフォーマンス比の向上)
- (6) 高信頼度

マイクロコンピュータの利点の一つはストアードプログラム方式であることに発しており、制御機能をプログラム化してRead Only Memory(以下、ROMと略す)内に収納することにより種々の制御が可能となる。このため、制御機能が変更されても変わるのはROMの内容だけであり、ハードウェアの標準化とひいては開発期間の短縮、開発費用の低減が図り得る。また高機能化とともに、仕様変更や性能改良はプログラムの変更で対処できるため、柔軟性が向上できる。一方、マイクロコンピュータの利点の他の源は大規模集積回路(以下、LSIと略す)化によるものであり、多くの部品を結線

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所日立研究所

し構成していたものを少数のチップ内に収納するため、小形化、消費電力低減、低価格が実現できる。また部品間の結線数も大幅に低減し、更に耐環境性能の向上や消費電力低減などと相まってシステムの信頼性は大幅に向上する。

3 車両用マイクロコンピュータモジュール

3.1 車両用マイクロコンピュータモジュールの概要

車両用マイクロコンピュータモジュールは比較的小規模のシステムへの適用を目的に開発されたものであり、1枚の標準プリント基板にメモリを含め処理装置(以下、CPUと略す)が収納されている。図1にこのモジュールの外観を、図2に構成図を示すが、CPUは日立製作所の8ビットマイクロプロセッサHD46800を中心に構成されている。この素子は加算時間3μsという高速動作が可能であり、車両制御で要求される大部分の機能に対処できる。また、5V単一電源で動作し、周辺LSIも豊富に準備されているため、回路の小形化が容易であり、ワンボードコンピュータの実現に貢献している。

特に、パラレル入出力用のPeripheral Interface Adapter (以下、PIAと略す)及びシリアル入出力用のAsynchronous Communications Interface Adapter (以下、ACIAと略す)をプログラマブルな入出力素子として有効に利用でき、レベル変換回路を付加するだけで制御対象と接続することができる。PIAは制御対象の状態、タイミング信号などの入出力に使用されるが、用途に応じ、各点に任意の機能を割り付けることができる。一方、ACIAは遠方へのデータの転送や相互の接続に利用されるが、データのフォーマットや転送速度の指定が可能である。

メモリとしては、プログラム記憶用とデータ用の2種類が必要である。ここでは、モジュールをコントローラ用と限定しているため、プログラムは装置の完成後に固定するのが保守の点で有利であり、また、データ用は多くの容量を必要としない。したがって、プログラム用としてはProgrammable Read Only Memory (以下、PROMと略す)を用い、これに小容量のデータ用のRandom Access Memory (以下、RAMと略す)を追加した。ただ、PROMを用いたことが、プログラム開発時の融通性の低下にならないように、次に述べる

表1 マイクロコンピュータモジュールの仕様 耐環境性能を重視した構成となっている。

項 目	仕 様	備 考
演 算 ビ ッ ト 長	8ビット	ソフトウェアにより倍長処理可能
命 令 数	72	—
命 令 実 行 時 間	2~12μs	—
記 憶 容 量	R O M	2.5k語
	R A M	128語
入出力 点数	パラレル	40点
	制 御 用	8点
	シリアル	入出力各1点
パラメータ設定入力	8点	内蔵スイッチにより指定
信 号 レ ベ ル	TTL	—
電 源	5V (単一電源)	—
サ イ ズ	縦170mm×横135mm	標準プリント基板

注：TTL=Transistor-Transistor Logic

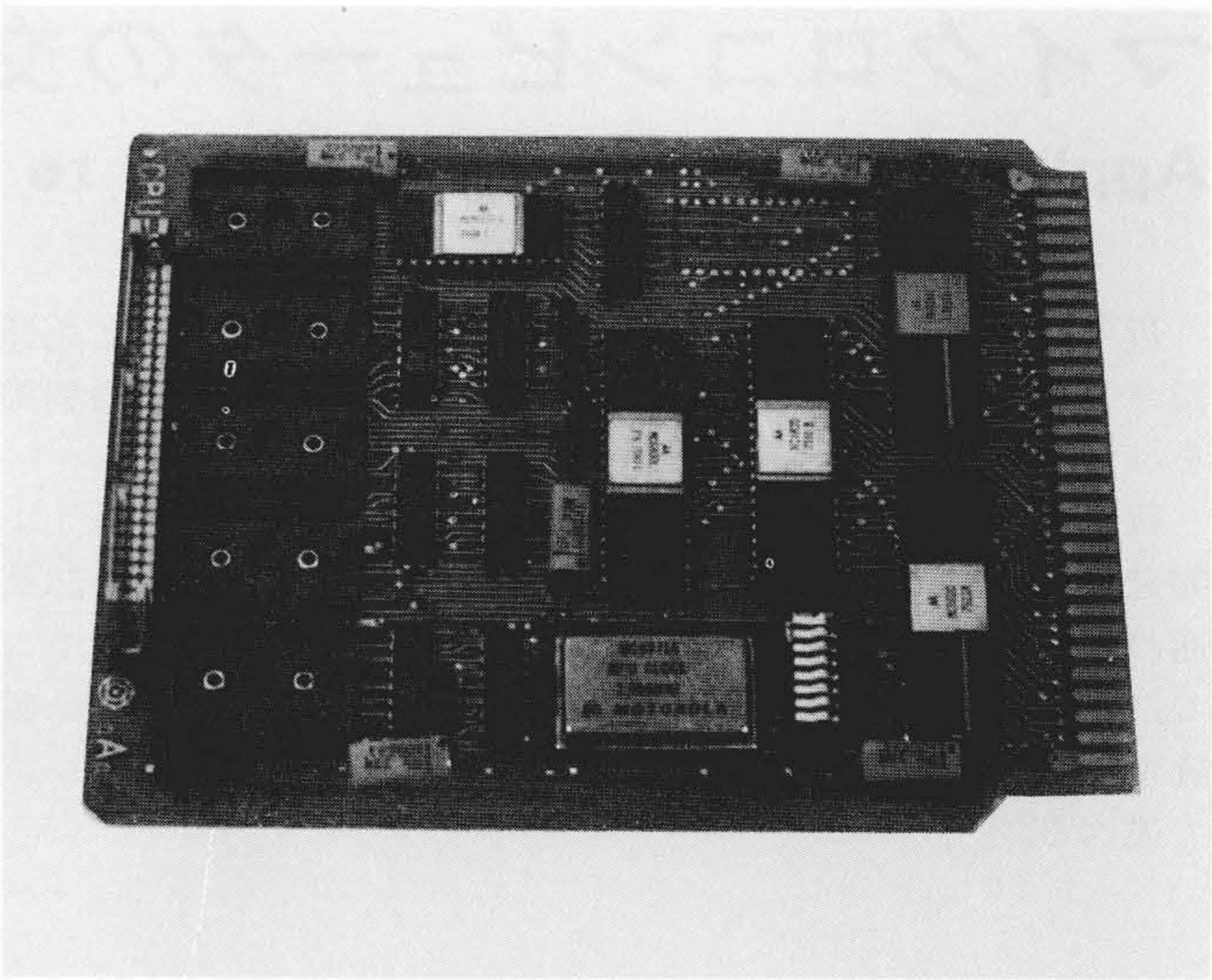


図1 モジュールプリント基板の外観 HMCS6800マイクロプロセッサモジュールは、1枚のプリント基板にRAM、ROMを含めて実装できる。

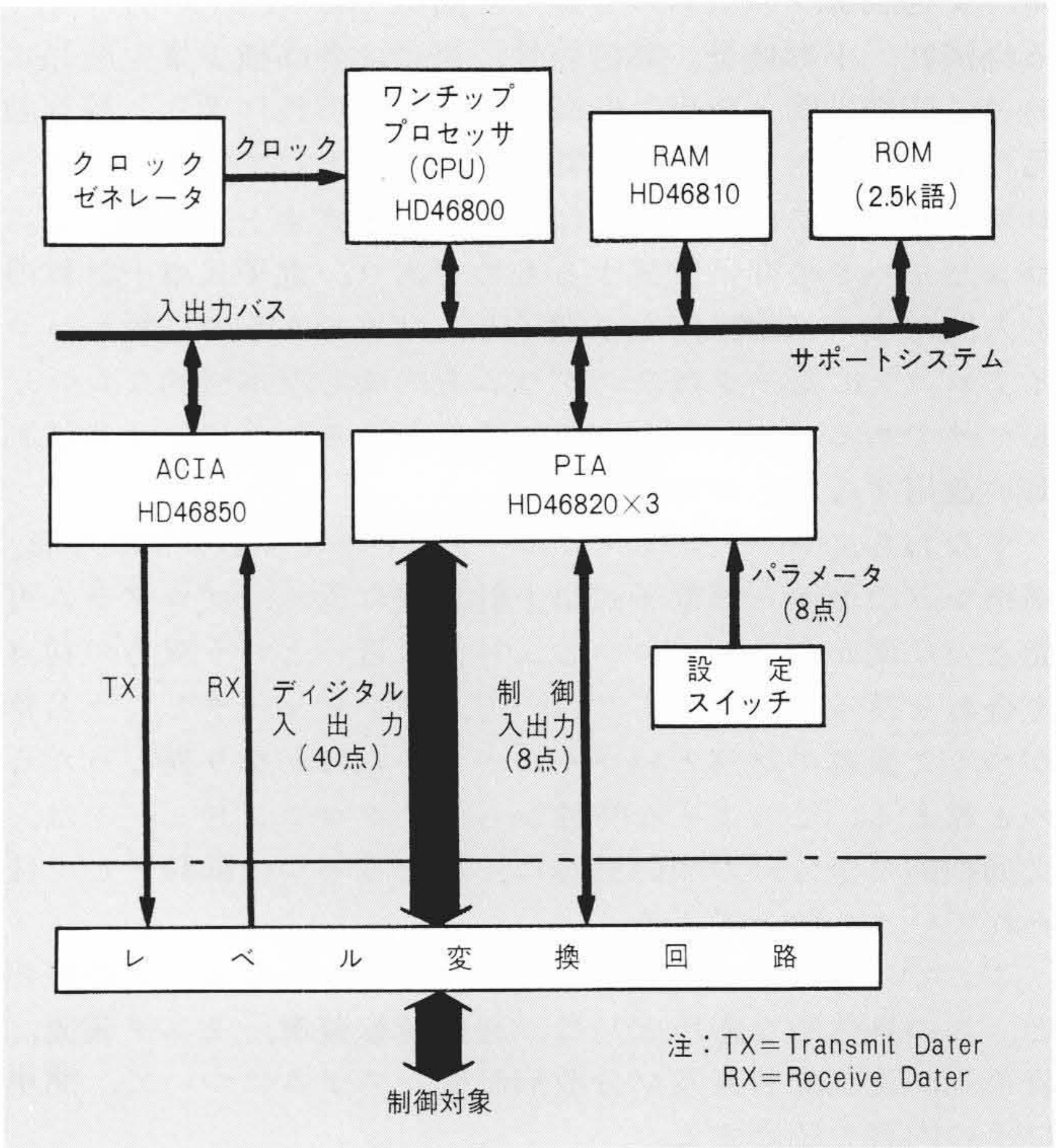


図2 モジュールの構成 モジュールは非同期型通信インタフェース(HD46850)を内蔵している。

サポートシステムでバックアップする。
表1にモジュールの仕様をまとめて示す。

3.2 モジュールのサポートシステム

モジュールに対してシステム開発時のバックアップと稼働開始後の保守のために、次に述べるようなサポートシステムを準備している。

- (1) クロスアセンブラ・シミュレータ
プログラム開発時、上位計算機により、プログラムの機械語への変換とシミュレーションテストが可能である。
- (2) 簡易コンソール

図3のような携帯可能な簡単なコンソールであり、ハード

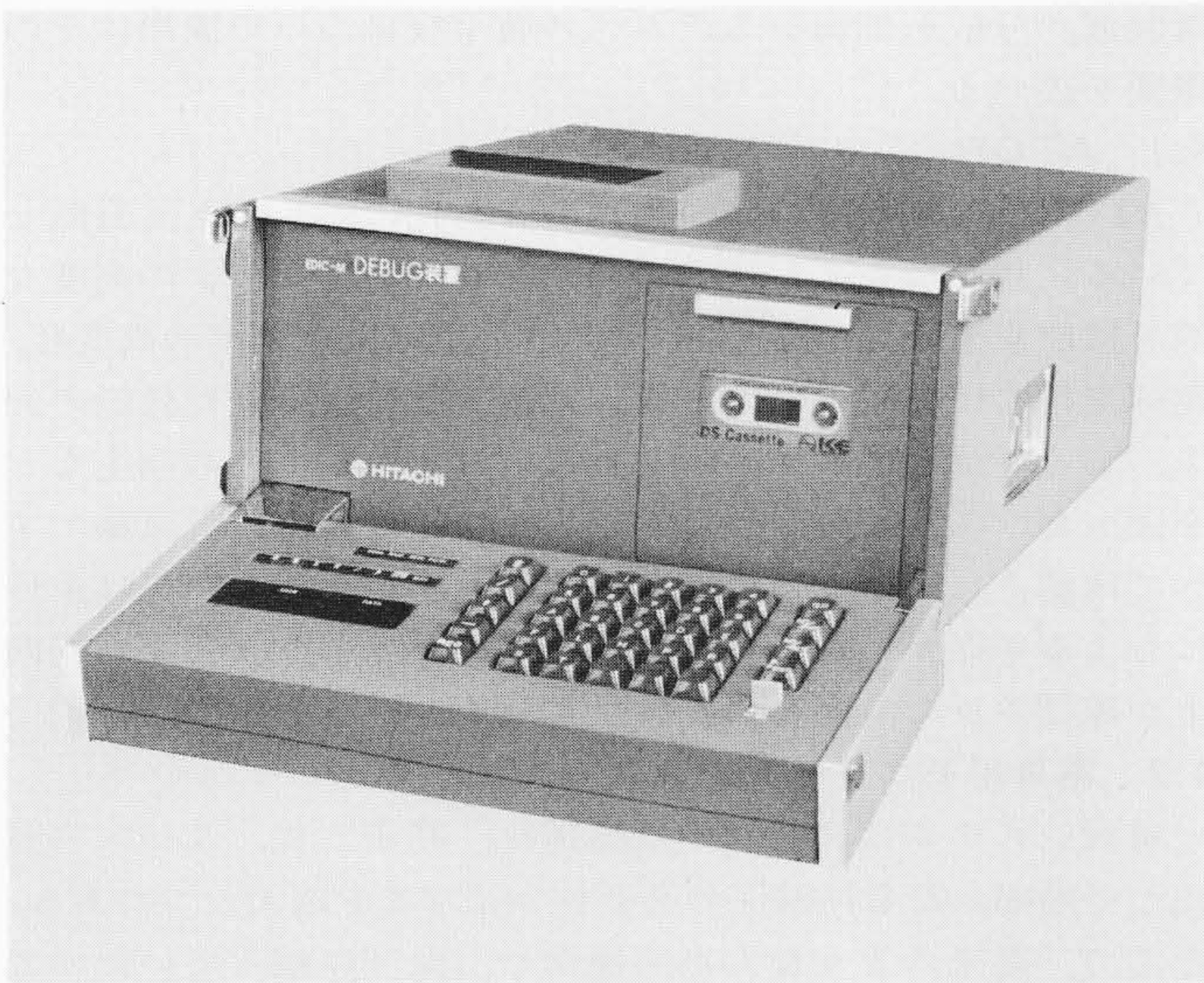


図3 デバッグ装置 この携帯用デバッグ装置により、実機でプログラムデバッグや故障修理ができる。

ウェアの単体試験に利用される。

(3) デバッグ装置

図3のような可搬形の装置であり、プログラムのオンラインデバッグに利用される。

図4はサポートシステムの相互の関連を示すブロック図である。このモジュールのように標準化されたシステムの特徴は、ハードウェアの製作とプログラムの作成が分離して進められることである。ハードウェアについては、多くの場合、必要な点数分のレベル変換回路を接続するだけで完成し、簡易コンソールで動作チェックが行なわれる。

一方、制御対象の機能に応じて作成されたプログラムは上位計算機に入力され、クロスアセンブラ・シミュレータを通して機械語に変換された後、デバッグ装置に入力される。入

力されたプログラムはモジュール内のROMと等価なデバッグ装置内のRAMに記憶され、この後、キーボード、カセット磁気テープ及びプリンタを用い、制御対象と接続した状態でオンラインデバッグが行なわれる。デバッグが終わるとデバッグ装置内のRAMの内容は実機のROMに移され装置が完成するが、この段階では、デバッグ装置は取り外される。

4 車両への応用

交通制御システムに限らず、制御装置はその時代に存在する部品や技術に応じて機能や性能が決定されており、マイクロコンピュータのような技術を得た現在、逆にマイクロコンピュータの特長を正しく認めて使い分けることがマイクロコンピュータ応用の正しい道であろう。我々はこのような見地から、マイクロコンピュータを従来から開発してきたような信頼度を重視したデジタル装置に適用し、信頼性や安全性を損うことなく、更にマイクロコンピュータの他の特長をも発揮させるべく検討を行なった。車両にマイクロコンピュータを適用する場合の主な問題点は次の2点である。

(1) 使用条件が過酷である。

すなわち、使用温度、振動、電源電圧変動、電氣的雑音など、室内設置の機器に比べ非常に使用環境が過酷である。そこでLSI自体の耐環境性能のほか、アセンブルされた装置についても十分な配慮を要する。

(2) 信頼性及び安全性の重視

信頼性の重視されない用途はないが、とりわけ交通制御では信頼性及び安全性が重視される。そこでコンピュータとしての使い方にとらわれずに、従来我々が開発してきた演算方式の一素子としてマイクロコンピュータを採用し、より高度なLSIが得られたという考え方をとっている。またメモリの使い方についても、メモリ容量を極力きりつめる努力を行ない、吟味された標準プログラムを組み合わせることを基本とした。ここでは製鉄所構内で使用される遠隔操縦式自動運転装置⁴⁾ (以下、ATORと略す)と、モニタ装置、貨車加減速制

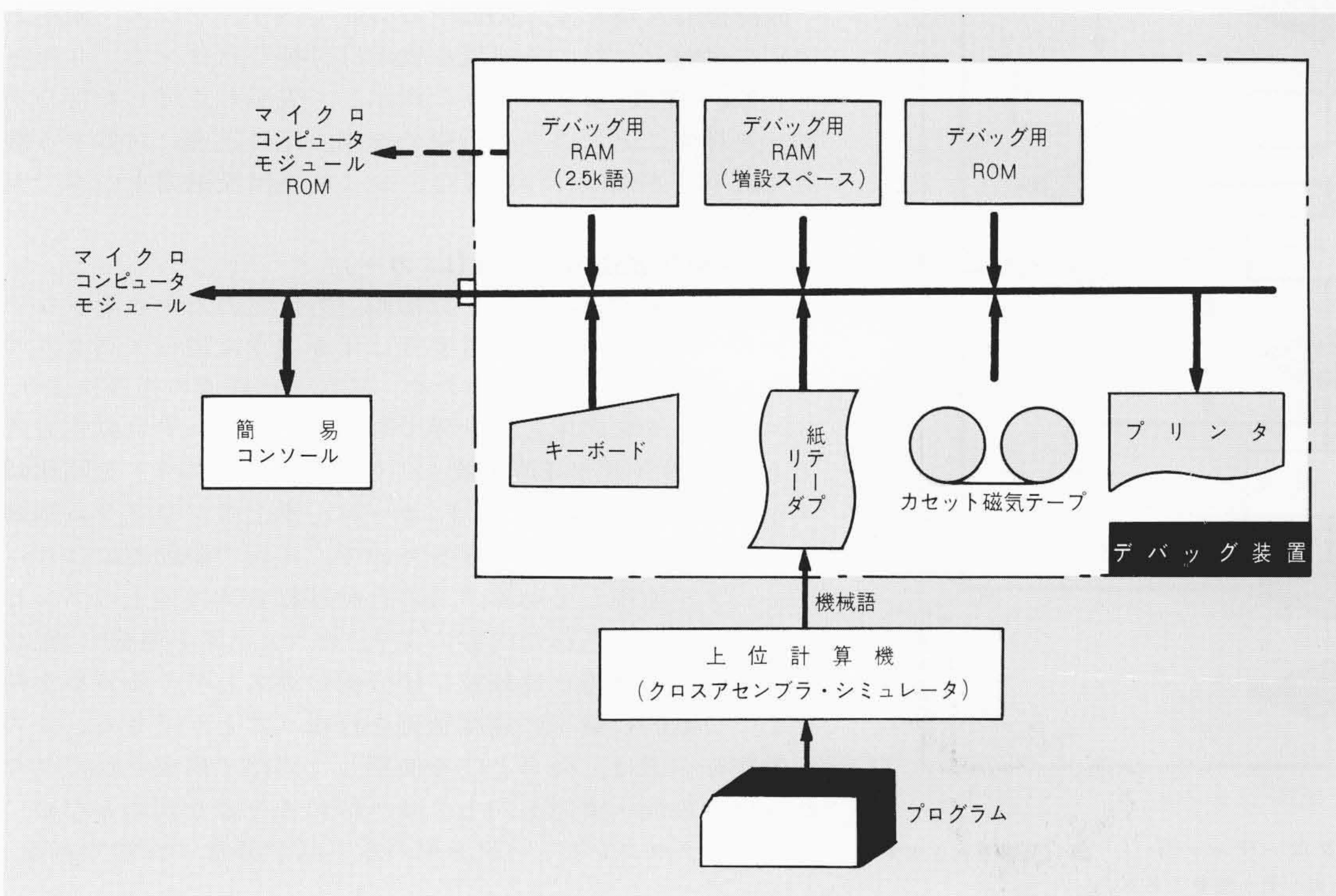


図4 マイクロコンピュータモジュールのサポートシステム サポートシステムの優劣により、ソフトウェア開発費が大幅に変化する。



図5 ATOR走行性能試験 重荷重の引出しや走行制御性能で従来装置より大幅な改善がなされた。

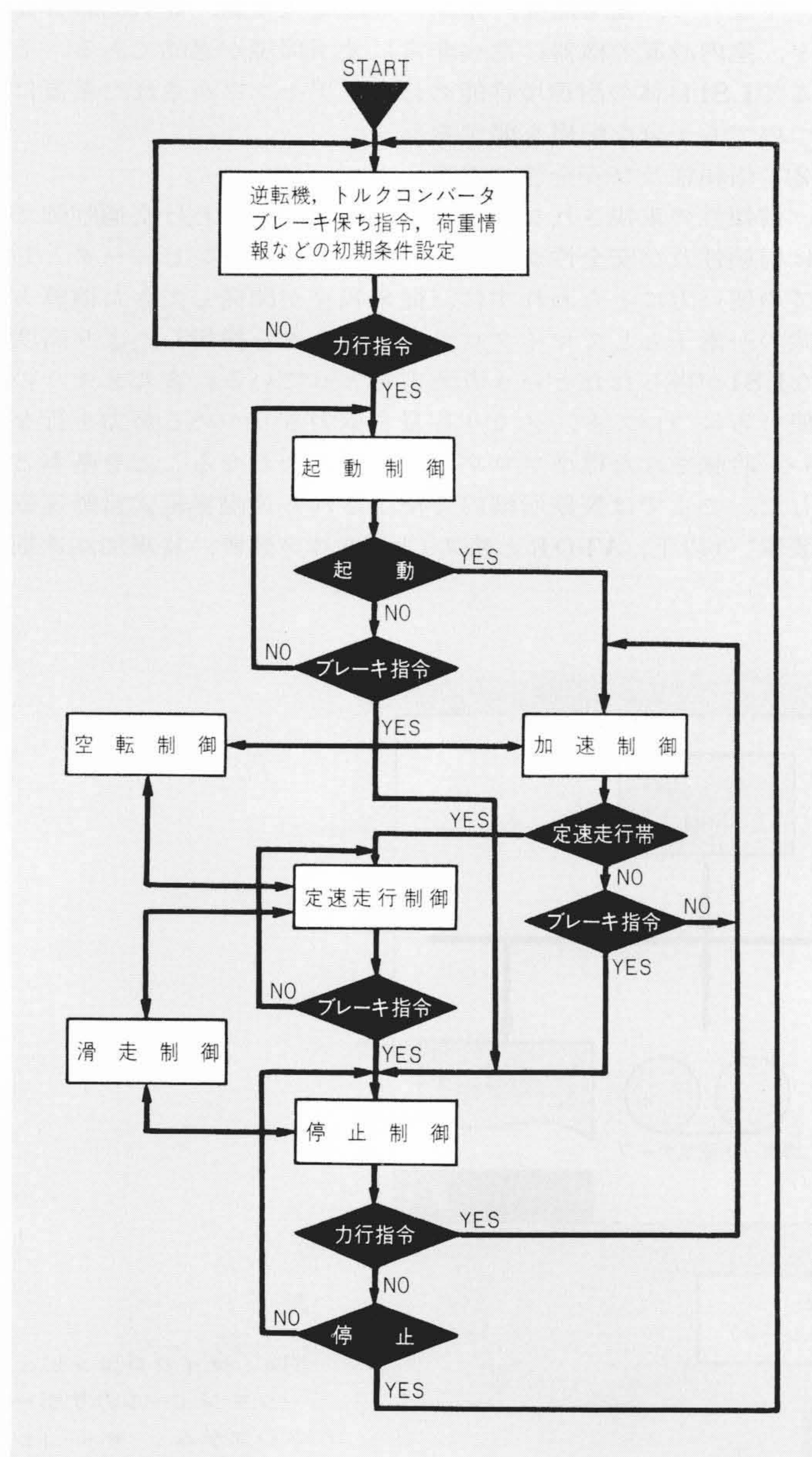


図6 ATOR制御プログラムフローチャート 重い荷重を引き出すATORでは、起動制御と空転滑走制御が最も重要である。

御装置、分散形制御システムへの適用例について簡単にその概要を述べる。

4.1 ATOR

ATORは製鉄所での構内輸送の省力化に対し大きく貢献している。我々はこのATORにマイクロコンピュータの高度な演算機能を生かし、引出性能の向上、空転滑走制御の高度化、定速走行に積分制御などを導入することによる走行性能の向上、あるいは合理性チェックの導入による安全性の向上などを図った。これらの今回目的とした性能は現車走行試験ですべて確認されたが、特に重荷重時の引出性能については条件にもよるが従来のATORより1.5倍以上という大幅な性能向上が確認された。図6に制御フローチャートを示す。

4.2 電車用モニタリング装置

車両システムは、しだいに高速化、高密度化、及び大容量化して効率、安全性確保の必要性がますます増大しつつある。そこで、従来のような人為的操作や、保守に頼っていたのでは限界が生ずる。また一方、熟練した乗務員、及び保守員の確保の問題や省力化及び安全性の確保などのためにも、モニタリングシステムの導入が必要となる。しかし、モニタリングシステムの追設により、車上装置全体が複雑化してしまっただけではあまり意味がない。そこで簡易な構成で、しかもセルフチェック機能を持ったモニタリングシステムが望ましい。このような状況よりマイクロコンピュータをモニタリングシステムに応用することは非常に適している。図7にマイクロコンピュータを用いた電車用モニタリングシステムの一例を示す。本システムの持つ主な機能は次に述べるとおりである。

(1) 機器動作状態のモニタリング

主回路電圧、主回路電流、ブレーキ圧力などのアナログデータを中央プラズマ表示盤に表示する。

(2) 故障発生時の表示と記録

故障データ数百点を運転室のプラズマ表示盤に表示するとともに、故障発生時の列車速度、時刻、力行・ブレーキノッチ、ATC(列車自動制御)信号、故障内容、故障発生ユニットなどをラインプリンタに打ち出す。

(3) 機器の遠隔操作

故障機器を運転室で開放する機能であり、プラズマ表示とは別に乗務員に対する処置を表示灯付押しボタンで「リセット」とか「開放」などのように指示し、表示の点灯した押しボタンを押すことにより走行中の車両故障に迅速に対処する機能である。本機能については、既に札幌市交通局東西線で実用化されている。

4.3 貨車加減速制御装置(L₄カー)

ヤード作業の自動化は、貨物輸送近代化のための大きなテーマの一つであり、その重要性は年を追うに従って高まりつつある。日立製作所はこのため、日本国有鉄道の指導により、リニアモータを応用した世界でも初めてのヤード自動化方式であるL₄形貨車加減速装置(以下、L₄カーと略す)を昭和43年から開発してきた。このL₄カーは、車上のプログラム制御により完全自動運転ができるもので、走行の駆動源にはリニアモータを使用している。この自動運転装置は地上のコンピュータから指令された内容により、ポケットイン運転⁵⁾、定点復帰運転、距離修正運転及び仕分線に進入してくる貨車を捕捉して自動的に貨車の速度制御を行なうことができる。この自動運転装置は、従来ICを使用した回路で構成されてきたが、更に性能・機能を向上させ、信頼性をより高めるためには、マイクロコンピュータを用いる方式が非常に有効である。

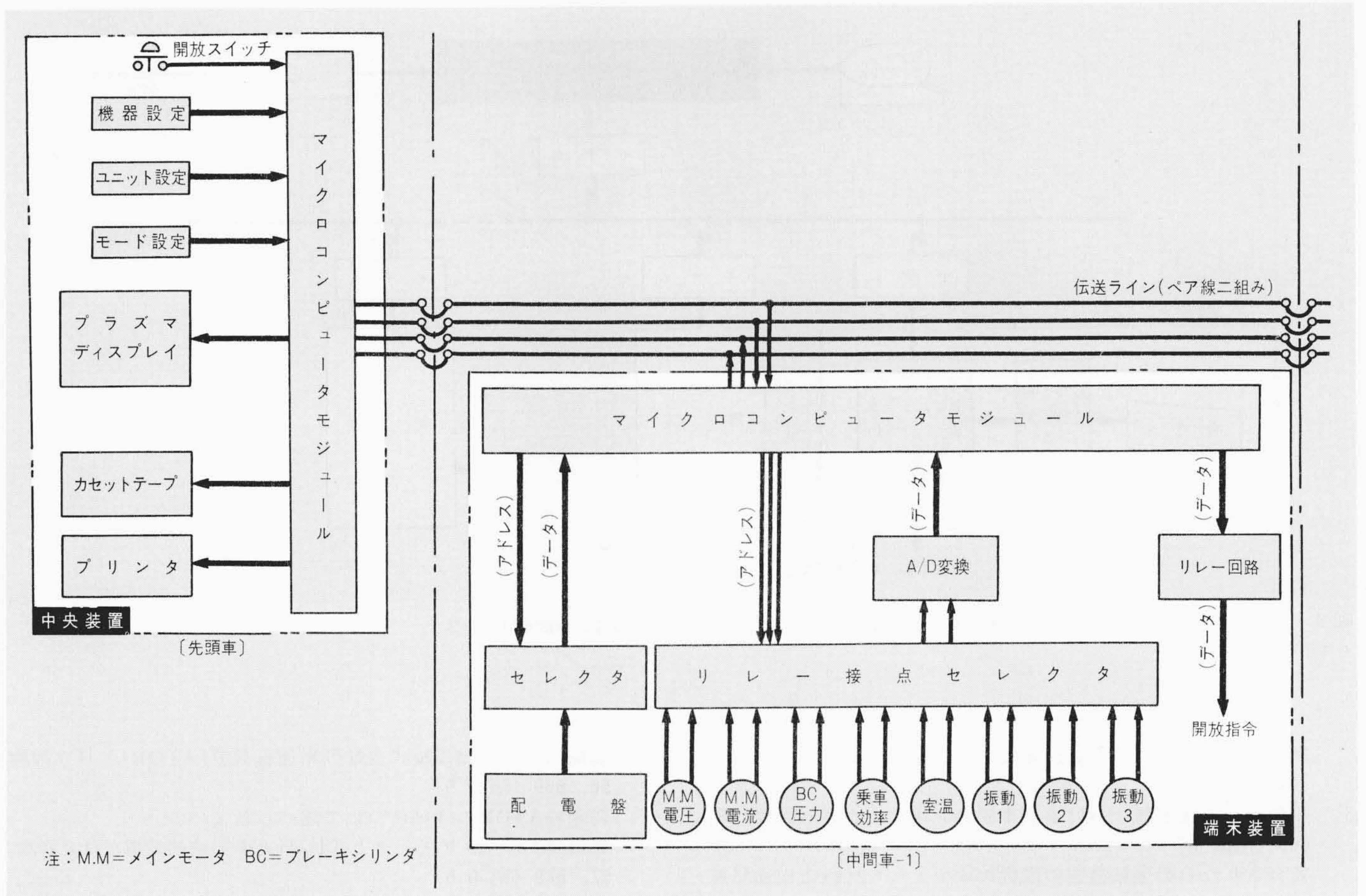


図7 モニタシステム構成図 約32k bit/sの高速伝送を行なうため、1ユニット分のデータ伝送所要時間は約0.1秒である。

4.4 分散形制御システム

鉄道の駅装置などのように、空間的に離れて存在する制御対象を互いに関連を持たせて制御する場合、中央の大形計算機で制御を集中して行なうシステムに対し、制御機能を分散させたものを分散形制御システムと言い、伝送系の負担を軽減し信頼性の向上のために危険を分散させるのが主な目的である。この場合、高機能の装置がコンパクトにまとめられるというマイクロコンピュータの特徴を生かして端末装置に利用し、これを中央の計算機で管理すると、全体として極めて機能の高いシステムが構成できる。

図8に分散形制御システムの一例として、先に述べたモジュールを用いた駅用端末の構成を示す。この例は、各駅の機器を中央の計算機で集中管理するもので、計算機は運行管理などの処理を行っており、必要に応じてモジュールに接続された機器を制御する。端末側のモジュールと計算機の間は通信回線を通してモデムで接続されるが、モデムの入出力はモジュールの中のACIAに直接加えることができる。また、表示器、放送機器などの制御対象及び操作卓は、レベル変換回路を通すだけでモジュールに接続できる。このシステムの特長は機器を操作するための高速処理のほとんどを端末側のモジュールが分担し、中央計算機の負担が大幅に低減できることである。

5 結 言

マイクロコンピュータは、これを採用することにより装置の単純化、標準化が可能となり、価格低減や小形化の効果も

大きい。交通制御の分野でも車上装置や地上システムの端末装置などに大きな変化をもたらすものと予想される。しかし、マイクロコンピュータは従来の布線論理とは異なり、プログラムで機能が決まるため、取りつきにくいという問題がある。このためには、プログラムやシステムデバッグのためのバックアップサービスが不可欠であり、このためシステムデバッグ用として実機のデバッグができる携帯可能なデバッグ装置を開発した。また、マイクロコンピュータの中心となるワンチッププロセッサも比較的小規模な制御が多い交通制御の分野に適した+5Vの単一電源で動作するHD46800シリーズを採用した。ここでは四つの応用例について述べたが、マイクロコンピュータは、更に広範な分野への応用がなされることは疑う余地がない。

終わりに、モニタ装置については日本国有鉄道車両設計事務所及び札幌市交通局、自動運転装置については住友金属工業株式会社鹿島製鉄所の関係各位から多大の御指導を仰いだ。ここに深謝するとともに、今後いっそうの御指導をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 高岡ほか：東京地下乗入れ車用ATC装置，日立評論，54，951（昭47-11）
リング演算式ATCの一例として東京地下乗入れ車用ATC装置について述べられている。
- 2) 益富ほか：制御用計算機による新幹線電車の自動制御システム，54，729（昭47-8）

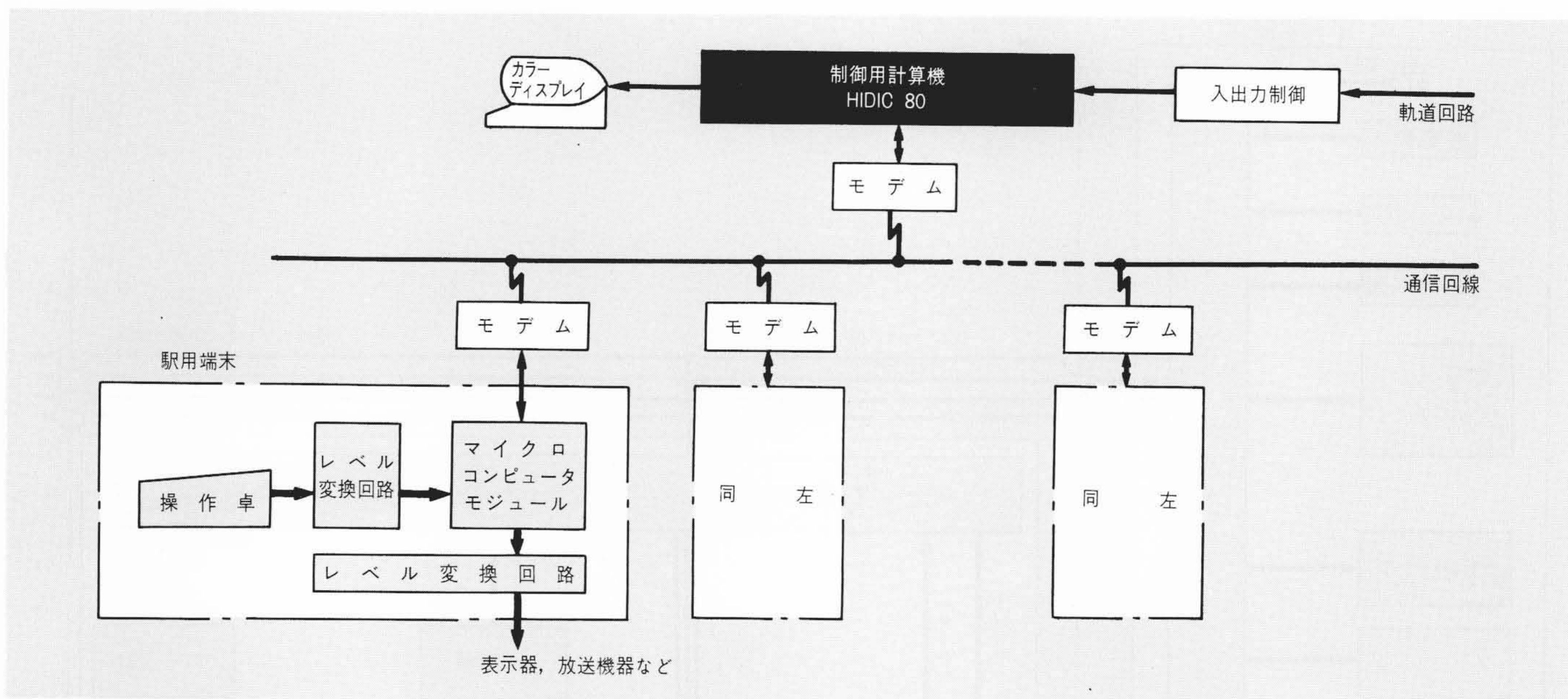


図8 分散形制御システム 駅業務の自動化や交通自動化システムの将来にとって、分散形制御システムは不可欠である。

制御用計算機による新幹線試作自動制御システムについて述べられている。

- 3) 石田ほか：地下鉄における列車制御システム，日立評論，58，609（昭51-8）

総合された自動運転装置の最近の成果として札幌市交通局東西線について述べられている。

- 4) 高岡ほか：遠隔操縦式自動列車運転装置(ATOR)，日立評論，56，859（昭49-9）

従来のATORの詳細について述べられている。

- 5) 高山ほか：リニアモータ方式L4形貨車加減速装置，日立評論，57，529（昭50-6）

リニアモータ式L4形貨車加減速装置について述べられている。



自動運転装置

後藤隆雄・高岡 征

特許 第636632号（特公昭41—70188号）

列車の自動運転に関する分野で最も基本的な技術の一つは、駅の定められた位置に乗り心地よく、しかも停止に要する時間をできるだけ短く自動的に停止させることである。このためには、高減速度で停止制御を行なう必要があるが、そのとき減速度の変化が急激に起こると乗り心地を損ねるために、これを避けねばならない。

図1は定位置停止制御の様子を示すもので、一定速度で走行している列車を減速パターンに移り移らせて、その後この減速パターンに追従させて定位置に停止させるものである。

減速パターンに追従させる方法としては、パターンによって指示される速度と実際の列車速度とを比較し、その差に比例してブレーキ力の強弱を制御する比例制御の方式が行なわれる。精度よく定位置に停止するために、比例制御係数はかなり大きくとられる。

列車が減速パターンに移り移るとき列車

の慣性が大きく、ブレーキ系の応答遅れのために加減速度が急変し、乗り心地を損ねるばかりか、車輪の滑走を誘発し停止位置を狂わせる可能性もある。これを防止するために、あらかじめ減速パターンに移り移る前に車両の慣性や制御遅れを考慮し、適当な強さのブレーキ力を与えて滑らかに乗り移らせる必要がある。

本発明は列車が図2のA点に示す減速パターンの一定速度下位に達すると比例制御器指令とは別に、一定力のブレーキ力を前もって指令し、これによって中程度の減速を行ない、次いで列車が比例制御帯に進入するとこの一定ブレーキ力を除去し、本来の比例制御に切り換えるものである。このようにすれば、図1に示す点線のように滑らかに減速パターンに移り移ることが可能であり、高減速度を達成し乗り心地も損ねずに安定な定位置停止制御を実現することができる。

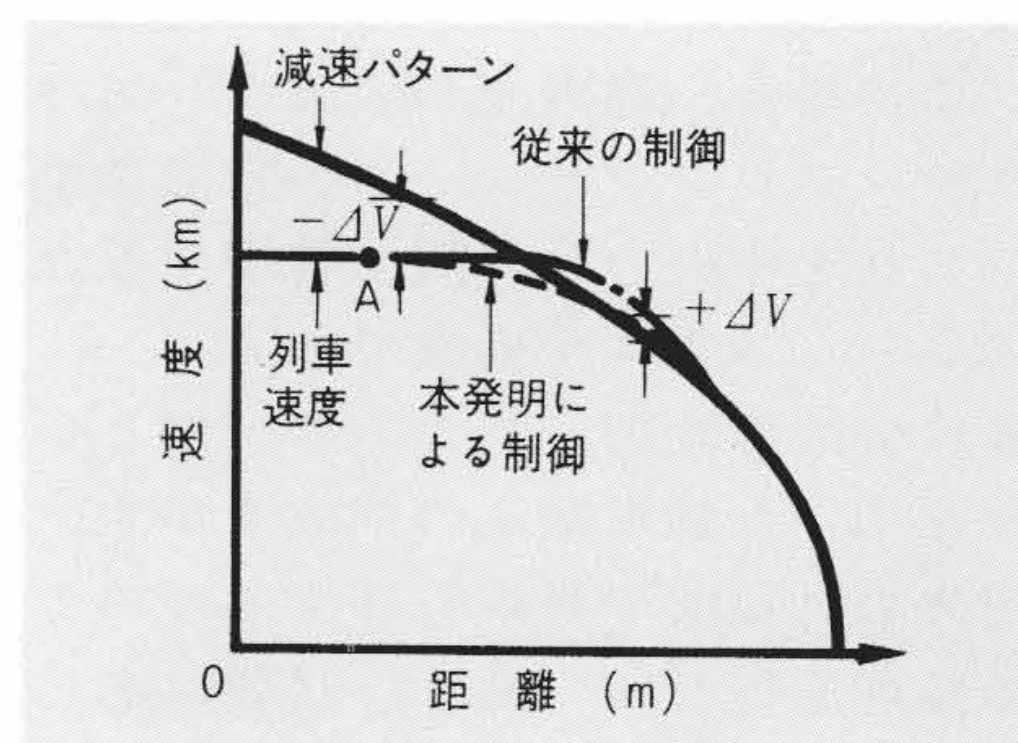


図1 定位置停止制御説明図

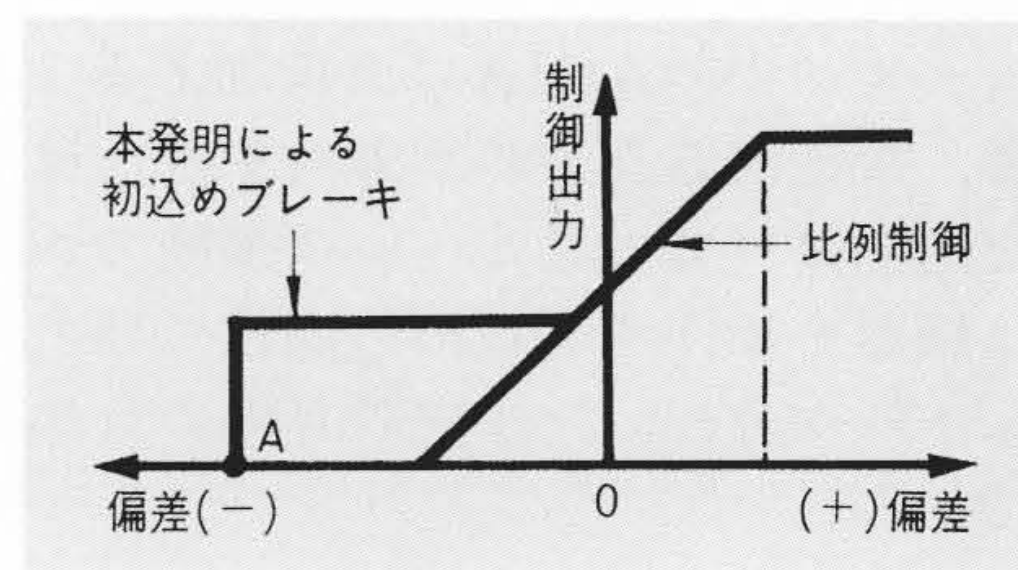


図2 比例制御説明図