

鉄道の高効率化を支援する 新しい車両情報制御システム(ATC・ATO・ATI)

On-board Train Control and Communication Systems for High-Efficiency Railway System

高岡 征*
田代維史**

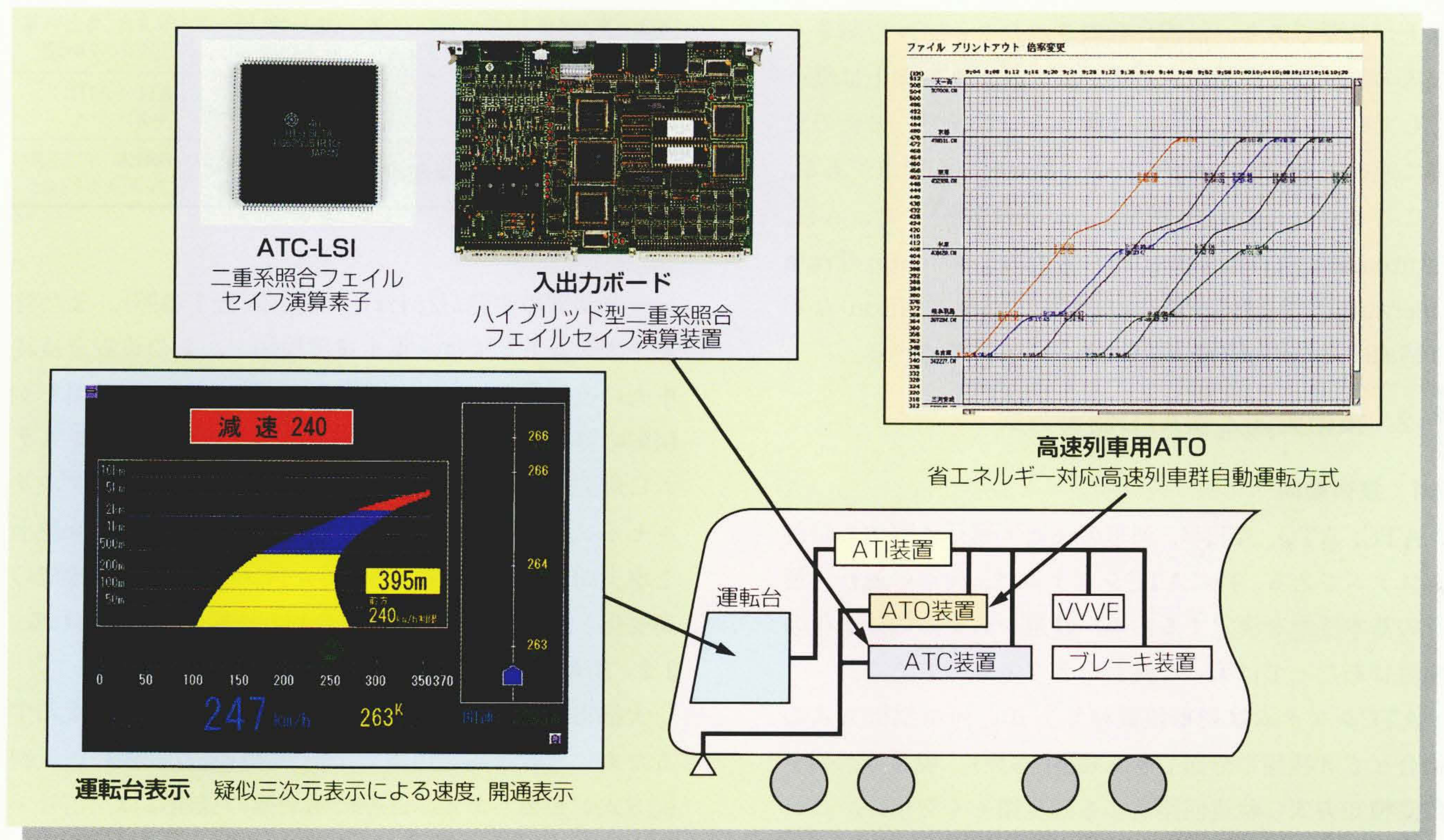
Tadashi Takaoka
Korefumi Tashiro

川端 敦***
佐々木敏郎****

Atsushi Kawabata
Toshirô Sasaki

内村年秀*****

Toshihide Uchimura



注：略語説明 ATC(Automatic Train Control), ATO(Automatic Train Operation), VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)
ATI(Autonomous Train Integration)

新しい車両情報システム

ATC・ATO・ATIなどの車上システムをよりインテリジェント化するとともに、これらを有機的に結合し、地上と密接な連携を図った新しい列車制御システムを開発した。

鉄道システムに対して、輸送力増強、ライフサイクルコスト低減、安全性の向上などが強く求められている。このような要求にこたえるためには、鉄道システムの運転・運行の枠組みを決めている保安システムを変革し、従来の目標速度制御を目標距離制御に、地上位置検知(固定閉そく)を車上位置検知にそれぞれ移行させることが必要である。そのためには、ATC・ATO・ATIなどの車上サブシステムをよりインテリジェント化するとともに、これらを有機的に結合し、地上と緊密な連携を図った新しい列車制御システムを確立する必要がある。

日立製作所は、これまでに数多くの装置を設計、製作、納入してきた実績を基に、一段ブレーキ制御と駅間制御機能を組み合わせた高密度運転システム[新ATD(Automatic Train Deceleration)システム]や、高信頼・高安全なハイブリッド型二重系照合フェイルセーフ演算装置、さらにはフェイルセーフな運転指令も列車内に伝送できる二重系車上LANなどを開発した。これらの技術の一部は京都市交通局東西線の車両情報制御装置に適用されて実用化が進んでいる。

*日立製作所 水戸工場 工学博士、技術士(電気・電子部門) **日立製作所 水戸工場 日立研究所 ***日立製作所 日立研究所 ****日立製作所 システム開発研究所
*****日立製作所 交通事業部

1. はじめに

鉄道システムに対して、輸送力の増強、ライフサイクルコストの低減、安全性の向上などが求められている。輸送力の増強のためには、運転時隔の短縮や表定速度の向上が必要である。ライフサイクルコストの低減のためには、メンテナンス費用を含めたトータルの経済性の向上が必要であり、沿線に敷設されたケーブルや閉そく装置の削減などが議論されている。安全性の向上は鉄道として必須の条件であり、比較的古い設備で、最新の設備に近い安全性を低価格で実現したいとする要求がある。

ここでは、これらの要求にこたえて開発した、ATC (Automatic Train Control), ATO (Automatic Train Operation), ATI (Autonomous Train Integration) など構成する車両情報制御システムについて述べる。

2. 技術動向と新ATD制御方式

2.1 技術動向

ATC, ATO, ATIは、列車の運転・運行に関する制御システムである。特にATCシステムは、列車の運転・運行の基本性能を決定するため、鉄道システムの効率化の検討にあたっては第一に検討を要するものである。

ATCシステムは列車位置検知方式と列車制御方式の組合せて3種類に分類できる(図1参照)。現状は、列車位置検知方式に軌道回路による固定閉そくを用い、これに目標速度制御を組み合わせた速度段制御方式が一般的である。次期実用システムとしては、安全性が確認されている固定閉そくと目標距離制御を組み合わせた一段ブ

表1 ATCシステムと要素技術

一段ブレーキ制御は、実績豊富な列車位置の地上検知と目標距離制御を組み合わせた実用的な制御方式である。

項 目	速度段制御	一段ブレーキ制御	移動閉そく制御
列車位置検知	地上検知 (軌道回路)	地上検知 (軌道回路)	車上検知
列車速度制御	目標速度制御	目標距離制御	目標距離制御
地上・車上通信	軌道回路使用 (地上⇒車上)一方 向アナログ伝送	軌道回路使用 (地上⇒車上)一方 向デジタル伝送	無線使用 双方向(地上⇄車 上)デジタル伝送
制御に使用する サブシステム	ATC	ATC+ATO	ATC+ATO +ATI
特 徴	豊富な実用実績	移動閉そくに近い 運転時隔の短縮	時隔短縮、コスト低減、 フレキシビリティ向上

レーキ制御の開発が行われつつある(表1参照)。また将来システムとしては、車上位置検知と、その位置を後続車両に連続的に伝送して目標距離制御を行う移動閉そく制御の導入が考えられている。このような今後のシステムに対応するためには、(1)安全に情報処理を行うフェイルセーフ演算技術、(2)確実な車上位置検知技術、(3)地上と車上間の双方向伝送技術、(4)ATC・ATO・ATIの機能の高度化とこれらの有機的な結合制御技術が必要とされる。

2.2 新ATD制御方式

大都市圏の都市高速鉄道では、通勤ラッシュを緩和するために運転時隔を短縮し、かつ運行乱れに強い運転制御方式が必要である。運転時隔短縮の課題には、信号システムや車両性能など計画上の仕様による「静的な運転時隔性能」と、実際の運転方法によって生ずる「動的な運転時隔性能」があると考えられる。従来は、「静的な運転時隔性能」に重点を置いて検討されてきたが、遅れが生じてもダイヤが乱れにくいなどの「動的な運転時隔性能」を向上させることもあわせた研究が行われている¹⁾。

この研究では、「静的な運転時隔短縮」のために一段ブレーキ制御を使用した。一段ブレーキ制御はNB(常用ブレーキ)パターンを使用し、自動減速制御の効率的な運転によって静的な運転時隔の短縮を図る(図2参照)。また、「動的な運転時隔短縮」のために駅間制御を導入し、運転時隔性能の向上を図る(図3参照)。

このシステムの列車制御は、列車制御パターンへの自動追従制御によって減速する。何らかの理由で列車速度が列車制御パターンを超えた場合には、NBパターンで常用最大ブレーキを指令して安全に停車させる。この2種類の制御パターンを発生するために、地上から25 m(または50 m)ごとに5~10 km/hピッチの信号を送出

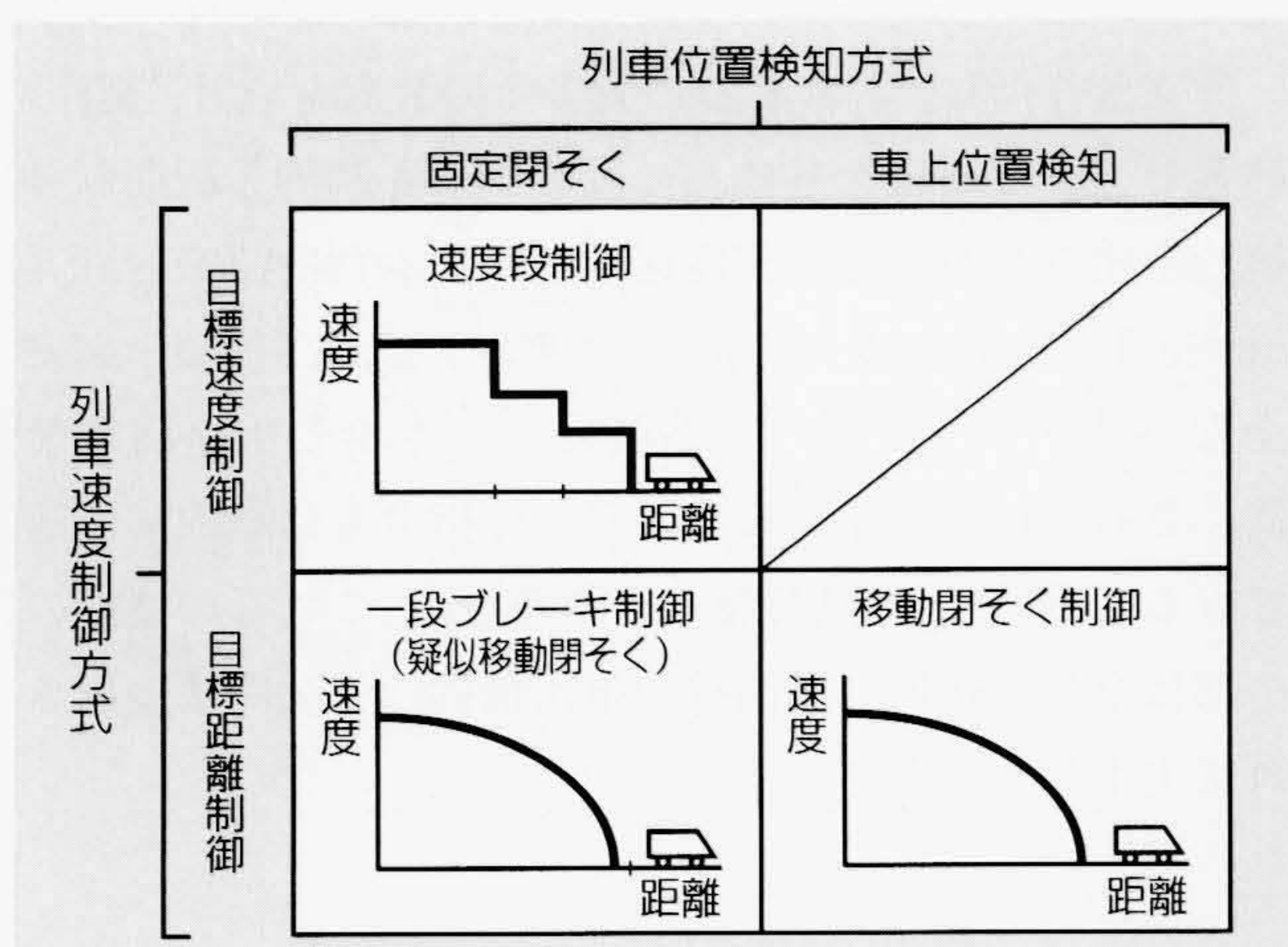
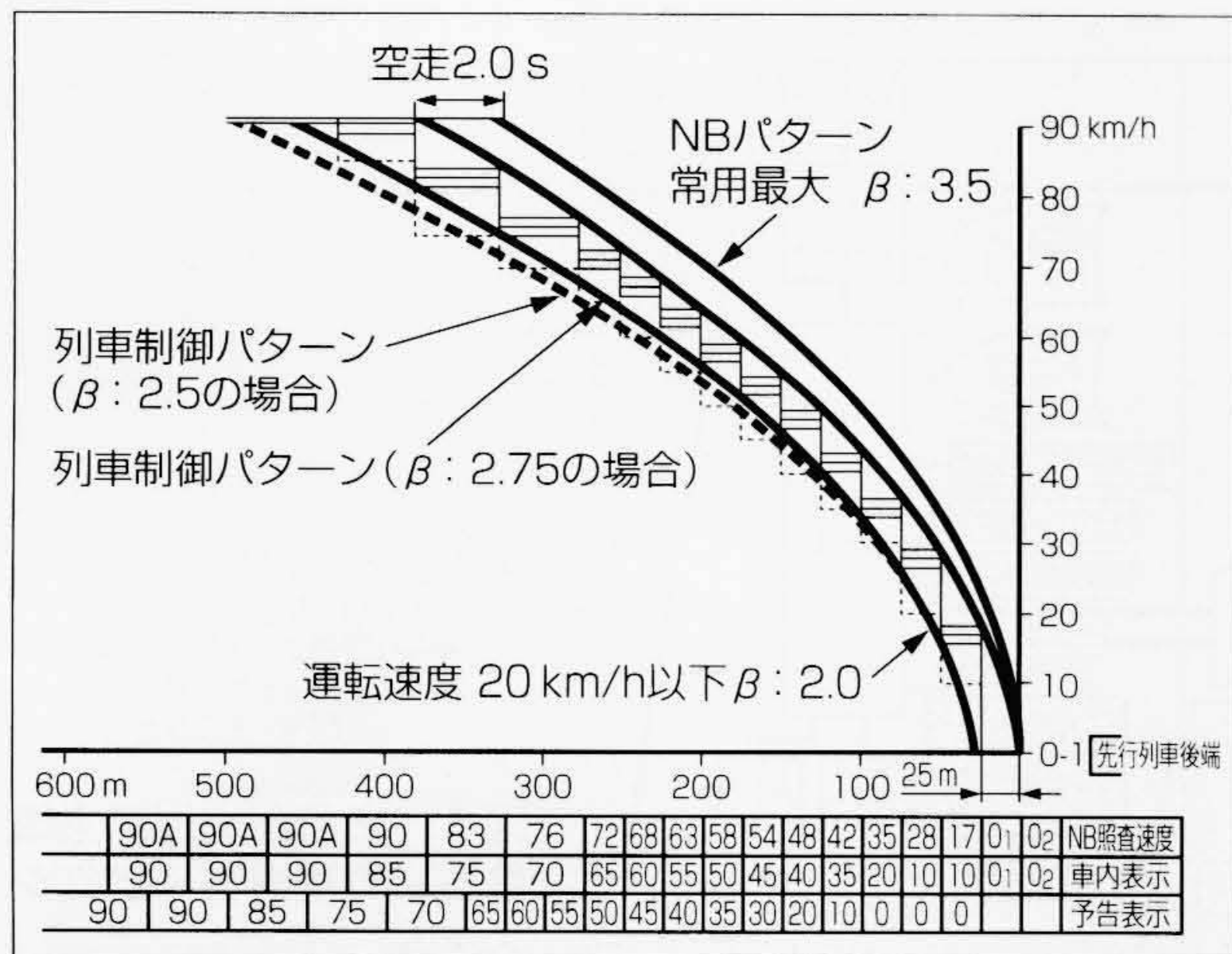


図1 ATCシステムの分類

ATCシステムは、列車位置検知方式と列車速度制御方式で3種類に分類できる。



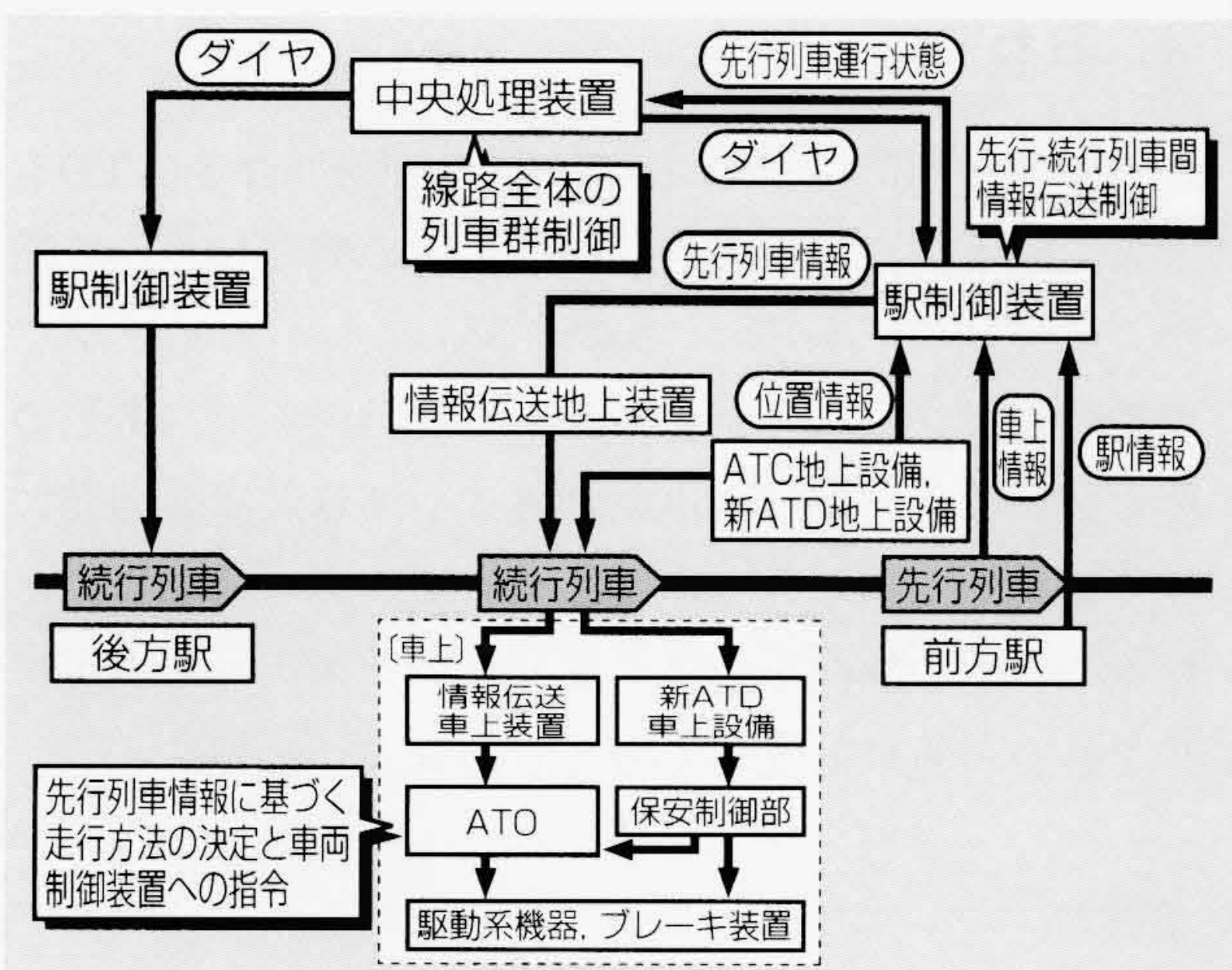
注：略語説明 NB(常用ブレーキ)

図2 新ATD制御における一段ブレーキ制御

静的な運転時隔はATCとATOを結合して制御する一段ブレーキ制御で短縮する。

し、車上でこれを受信して多段階のパターンを車上で作成する。これにより、列車長200 m、駅進入速度90 km/hの場合、従来のATC方式では最小発着時隔が115秒であったが、新ATD(Automatic Train Deceleration)制御では101秒となり、静的な時隔が14秒短縮できる。

また駅間制御では、先行列車の駅出発が遅れて後続列車が追いつき、だんご運転になることに乱れが起因することに着目した。具体的には、先行列車の出発に先立って生ずる発車ベルなどのイベントが、発生予定時刻を過ぎても発生しなかった場合に、先行列車の発車がある程



注：略語説明 ダイヤ(ダイヤグラム)
ATD(Automatic Train Deceleration)

図3 新ATD制御における駅間制御

動的な運転時隔は先行列車の状況を後続列車に伝達し、機外停止を防止する駅間制御によって短縮する。

度遅延するものと想定して一定の「予測遅延時分」を設定し、後続列車の運転曲線を調整する。その後、先行列車の実際の出発イベントが発生したときに最終的な運転曲線を決定して、効率よく次駅へ進入させる。これにより、後続列車に対する乱れの拡大の防止や回復能力の向上などの動的な運転時隔性能の向上を図った。

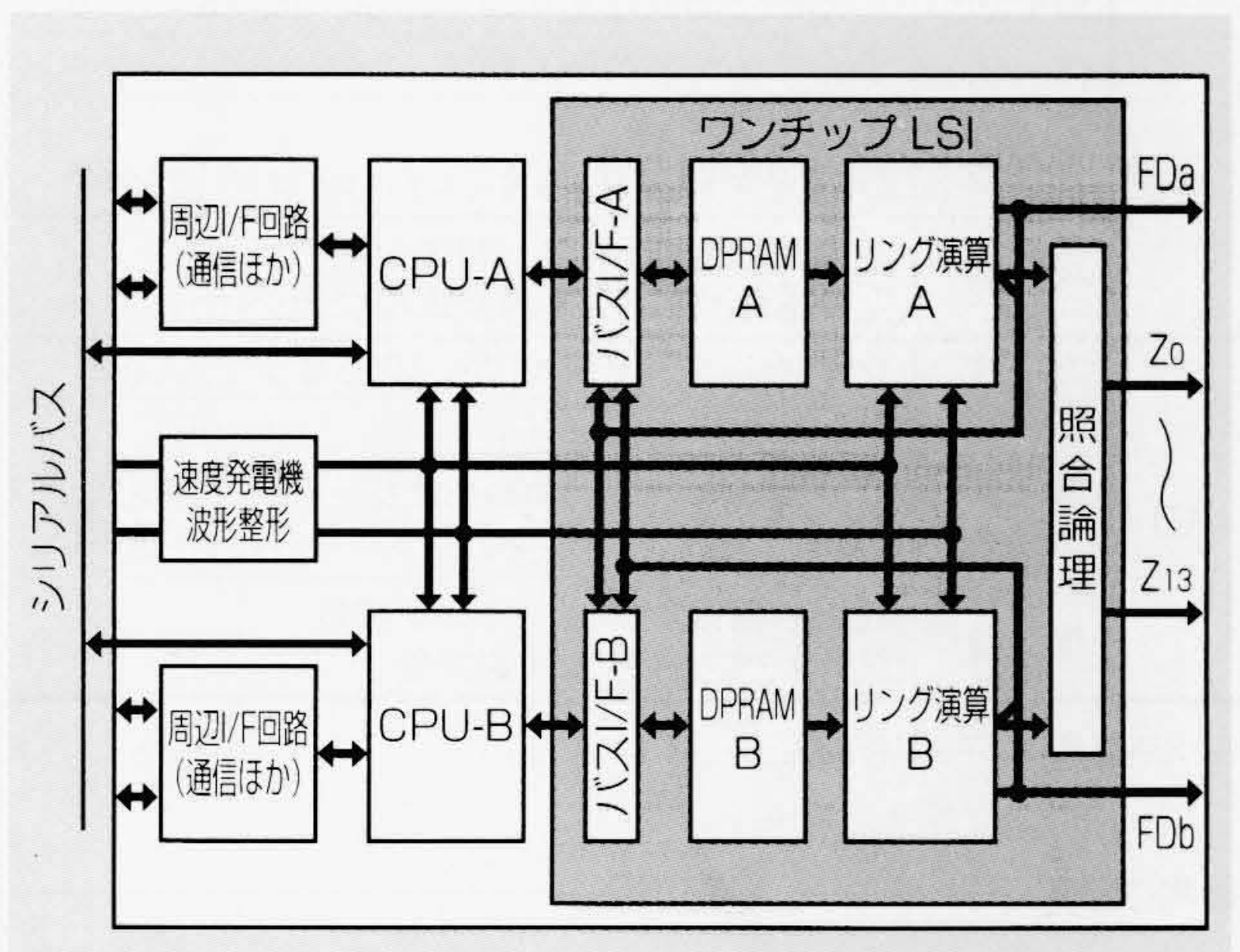
結論として、伝送系が連続的な場合は12秒の、また離散的情報伝送手段では約5秒の、それぞれ動的な発着時隔短縮効果があった。

2.3 高信頼・高安全演算処理技術の開発

前述したように、車両情報制御装置はバイタルな情報処理のウェイトがますます増加する傾向にある。例えば、一段ブレーキ制御では、目標距離制御が安全にかかわるバイタル制御であり、さらに移動閉そく制御では地上のこう配データなども車上で記憶させて速度制御を行うことになる。このようにバイタルのデータ処理を高安全・高信頼に行うためには、高い安全性を持ったフェイルセーフ基本演算装置が必要になる(図4参照)。

マイコン(マイクロコンピュータ)自体はフェイルセーフ性能を持たないため、リング演算とマイコンを組み合わせ、リング演算に相当するフェイルセーフ性能とマイコンの演算機能をあわせ持つフェイルセーフマイコンの実現を図った。マイコンのフェイルセーフ化のために、以下に示すリング演算とマイコンの相互チェックや自己診断を行っている³⁾。

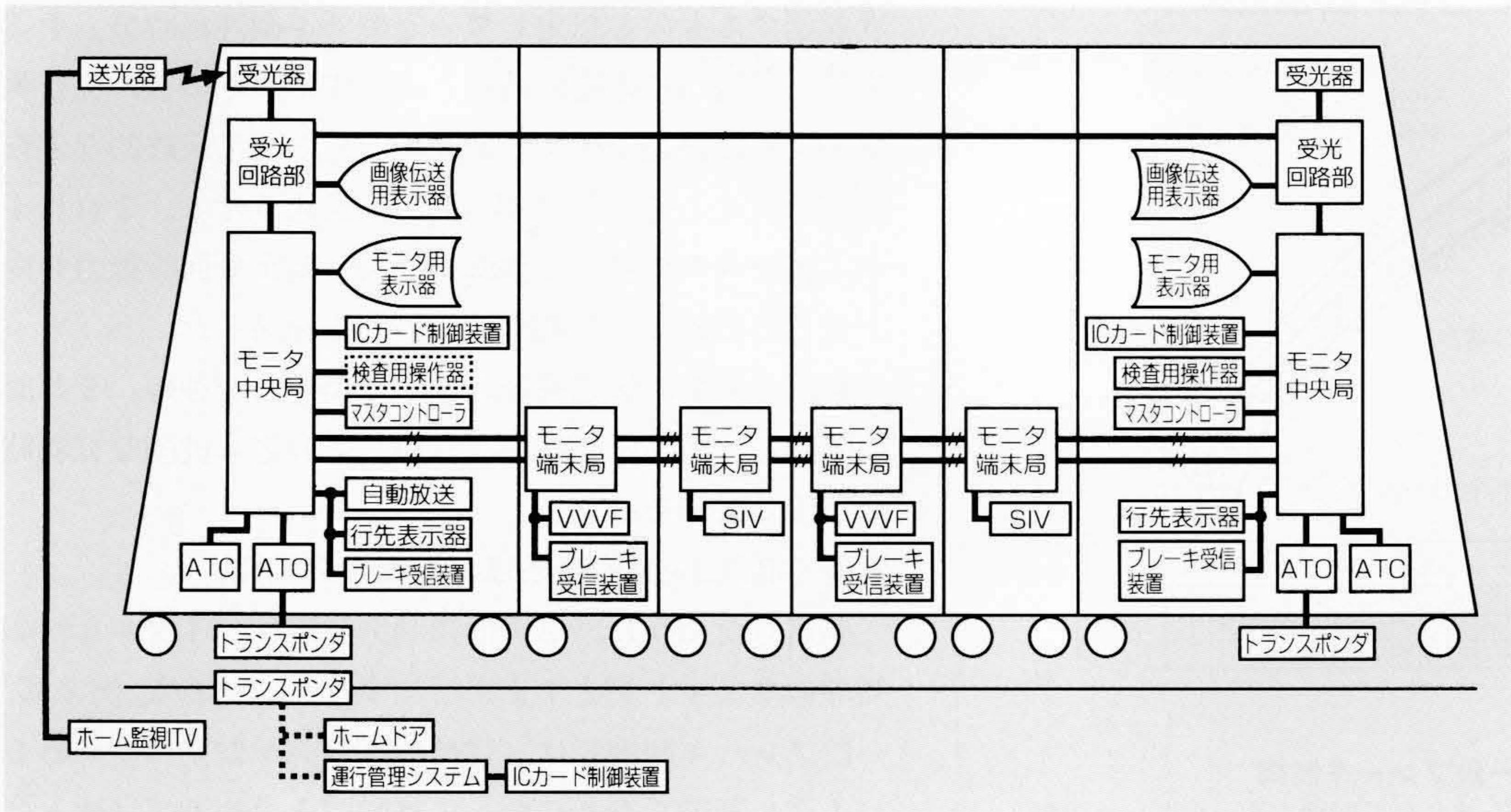
(1) マイコンによるCRC(Cyclic Redundancy Check)



注：略語説明 I/F(Interface)
CPU(Central Processing Unit)

図4 ハイブリッド型二重系照合フェイルセーフ演算装置

マイコンとリング演算を組み合わせたフェイルセーフな演算回路によってデータ処理の高信頼化を図った。



注：略語説明ほか
ITV (Industrial Television)
— (同軸ケーブル(映像信号))
— (ツイストペア線
(制御・モニタ信号))

図5 京都市交通局東西線納めの車両情報制御システム
ATC, ATO, ATIが有機的に結合されて車両情報制御システムを構成する。

- 計算，故障検知制御
- (2) LSIによるマイコン演算結果のチェック
 - (3) 速度照査のソフトウェア重複処理と相互チェック
 - (4) LSI出力のマイコンフィードバック監視

表2 ATC, ATO, ATI装置の概要
各装置はハイブリッド型二重系照合フェイルセーフマイコンを使用し，高信頼・高安全なシステムを構成している。

装置名	内 容	
ATC	方 式	固定閉そく，階段制御方式
	構 成	並列二重系 ハイブリッド型二重系照合フェイルセーフマイコン使用
	信号現示	前方予告機能付き 6 段 (75, 60, 45, 25, 15, 0)
ATO	方 式	予見ファジィ制御方式
	構 成	待機二重系 ハイブリッド型二重系照合フェイルセーフマイコン使用
	機 能	定速運転機能 (平常，回復運転モード) 定位置停止機能 (目標停止精度 ± 35 cm)
ATI	方 式	ツイストペア線使用 FSK 100 kビット/s 伝送
	構 成	運転制御指令伝送：待機二重系 モニタ情報伝送：常時両系伝送線を使用，片系異常時は縮退モード ハイブリッド型二重系照合フェイルセーフマイコンによる相互監視
	機 能	運転制御指令伝送，モニタ機能 試運転機能，車上検査機能

注：略語説明 FSK (Frequency Shift Keying)

参考文献

- 1) 日本鉄道電気技術協会：鉄道における短時隔運転制御に関する基礎的研究報告書(1995-3)
- 2) 高岡：逐次拡大チェック方式によるフェイルセーフなデジタル演算方式の開発，電子情報通信学会論文誌A，Vol.J75-A，No.6，1080～1089(1992-6)
- 3) 能見，外：フェイルセーフ基本演算装置，電気学会交通・電気鉄道研究会，TER-95-39(1995-9)
- 4) 近江，外：東西線50系保安装置，鉄道におけるサイバネティックス利用国内シンポジウム第33回(1996)

- (5) 上下限パターン(車速±α)で挟み込みチェック
- (6) マイコンの自己診断〔メモリW/R(Write/Read)チェック，ROM(Read-Only Memory)サムチェック〕

3. 京都市交通局東西線50系電車で
車両情報制御装置

京都市交通局東西線は，京都市内を東西に走る12.7 km，13駅の新線である。東西線用50系車両の車両情報制御装置はATC・ATO・ATI装置(表2 参照)とホーム(プラットフォーム)画像伝送装置で構成し，ホームドアを設置したワンマン運転に対応する。システムの全体構成を図5に示す。

4. おわりに

ここでは車両情報制御システムの技術動向，新ATDシステム，および京都市東西線システムの概要について述べた。
次期の一段ブレーキ制御や将来の移動閉そく制御での主要な要素技術となる列車制御方式や演算装置の開発に向けて研究を開始した。今後もユーザーのニーズにこたえたシステムの開発を進め，より良いシステムの実現によって社会に貢献していく考えである。