

制御用計算機による 新幹線電車の自動制御システム(ATOMIC)

Automatic Train Control System Using mini-Computer

A new automatic train control system "ATOMIC" has been developed for use with JNR's super-express electric cars. It incorporates a HIDIC 100 system for controlling and is capable of on-time operation control, constant speed operation control and stopping-position control at stations.

Field tests intended for the perfection of both software and hardware arrangements of this system indicated that the system satisfied the imposed accuracy requirements and paved the way for its application for actual train service.

In this article, the hardware and software for this system and the results of field tests are discussed.

益富文男* *Fumio Masutomi*

鈴木俊宏* *Toshihiro Suzuki*

鳥山久雄** *Hisao Toriyama*

1 緒言

東海道新幹線は昭和39年開業以来、高速かつ大量輸送機関として活躍している。ここに用いられている新幹線電車には210km/hという高速運転での安全性、快適性を確保するため各種の高度な制御技術が採用されているが、運転操作の面から見た場合、まだかなりの部分が乗務員の経験と訓練による判断に任されている。現在山陽新幹線をはじめ全国新幹線網の計画が具体化しつつあり、この電車は最高速度250km/hの運転が予定されているため、従来のままの運転操作方法では乗務員に対する責務がますます重くなる。このため日本国有鉄道では250km/h運転に適した新しい電車の制御システムを開発するため、昭和44年に新幹線試験電車(過日286km/hの電車による世界最高速度を記録)を試作し各種の研究を行ってきた。この中には乗務員が指示する速度で定速度運転を行なうための定速運転指令装置、停車駅の目標位置に自動的に停車させるための定位置停止装置などが含まれ、現車試験の結果一応の成果を得ている。しかしながら、このように新しい制御機能を追加するごとにそれぞれの機能を専用を持った単能機を開発するという方法ではシステム全体としての効率が良くないことはいなめない。

他方、最近における制御用電子計算機の進歩は著しく、高信頼化・小形化・廉価化が実現しており、各方面で広く応用されるようになってきた。このような背景のもとに従来個々の専用機で達成していた新幹線電車の各種制御機能を1台の制御用電子計算機HIDIC 100で実現するシステムを、日本国有鉄道車両設計事務所、鉄道技術研究所と共同で開発した。このシステムはATOMIC (Automatic Train Operation by Mini Computer) と名づけられ従来専用機方式で試験されてきた定速運転、定位置停止制御のほかに定時運転機能を有している。これまでにATOMICは新幹線試験電車用の1号機、東海道新幹線電気試験車用の2号機として納入しそれぞれ現車試験を行なった結果所期の成果を得た。以下、1、2号機を含めてATOMICのソフトウェア、ハードウェア、現車試験結果について述べる。

2 自動運転システム

2.1 概要

本システムは、大別すると次の三つの自動運転用サブシステムにより構成されている。

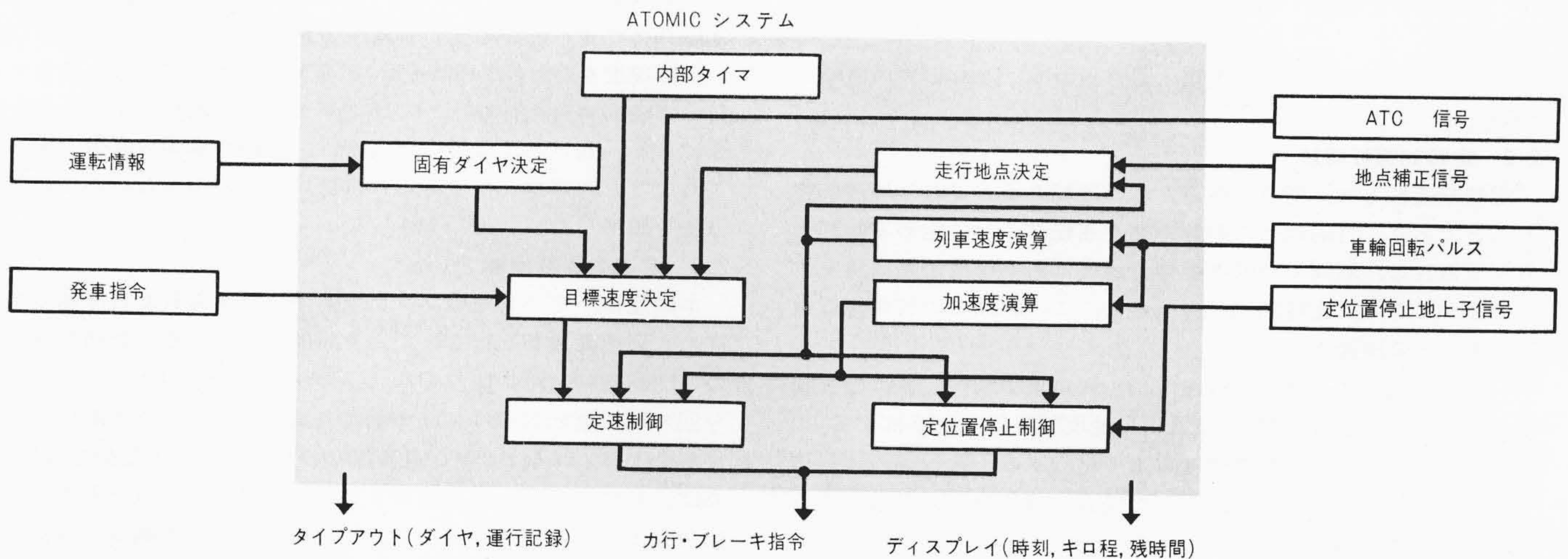


図1 ATOMICシステムブロック図 ATOMICシステムの入・出力情報を示す。入力情報はATC信号、車輪回転パルスなどであり、これらの情報をもとにして種々演算、処理を行なって力行あるいはブレーキのノッチ指令を出力し、定時刻運転、定速度運転、定位置停止などの制御を行なう。

Fig.1 Block Diagram of ATOMIC System

* 日立製作所水戸工場 ** 日立製作所日立研究所

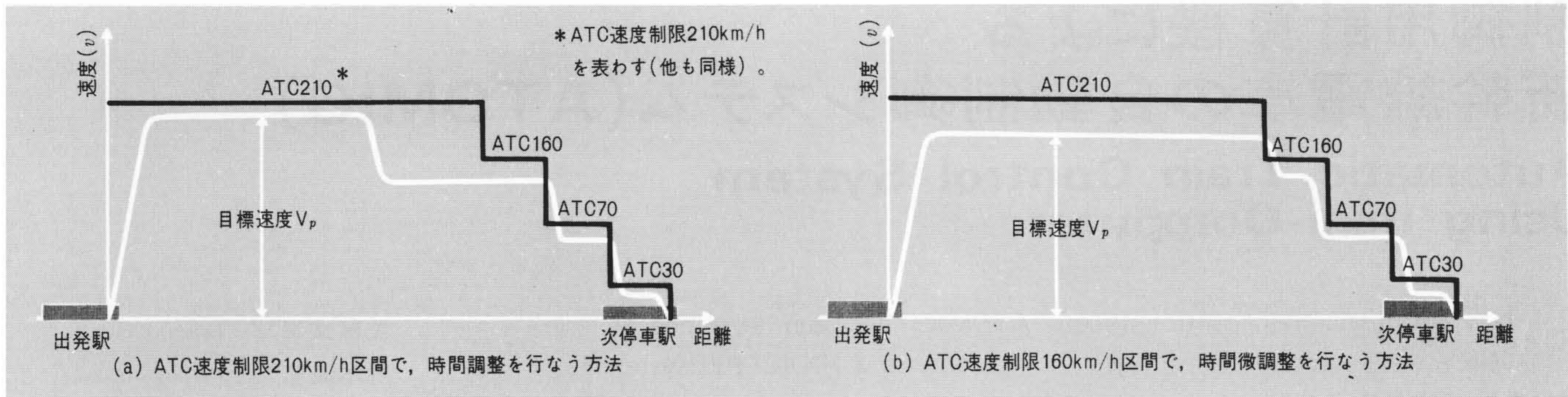


図2 定時刻運転方法 定時刻運転の2種類の方法を示す。(a)は駅出発後ATC速度制限いっぱいまで走行し時間の余裕が生じたら徐行運転などにより信号よりも低い速度で走行する。(b)は駅出発後、運行状況、次駅までの徐行などによる遅れを加味して、次駅に定時刻に到着するために必要な速度を計算しこの一定速度で走る。車上、線路などの疲労、乗りこちなどを考慮すれば、最高速度を低くとれる(b)の方法がすぐれている。

Fig.2 Method of On-time Operation Control

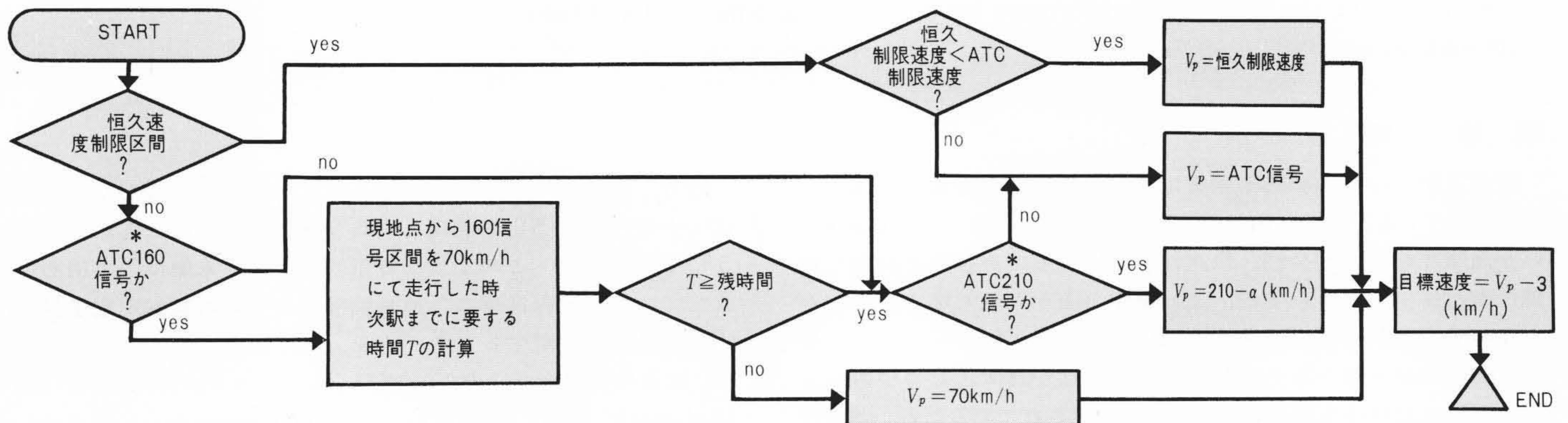


図3 目標速度決定プログラムフローチャート 定時刻運転制御の基本になる目標速度の決定方法を示す。ATC信号が210km/hの間では運行状況、徐行などによる遅れを加味して、必要な速度を計算しこれを目標速度とする。ATC信号が210km/h以外のは原則としてATC信号そのものを目標速度とするが、次駅到着直前には到着時刻の微調整をするため、これよりも低い速度を目標速度とすることもある。

Fig.3 Flow Chart for Target Speed Determining Program

- (1) 定時刻運転機能：運転ダイヤに定められた時刻どおりに駅に到着、出発するよう制御する機能
- (2) 定速度運転機能：指定された目標速度に追従して一定速度で運転する機能
- (3) 定位置停止機能：停車駅の定められた停止目標位置に停止する機能

以下、これらの各機能を実現するためのソフトウェアの概略について述べる。

2.2 定時刻運転機能

定時刻運転とは、列車を指定された運転ダイヤどおりに運転することであり、目的地への到着時刻が運転ダイヤに定める時刻どおりであれば、駅間での列車の走行速度はある程度任意に決定することができる。定時刻運転機能とは、この駅間での目標走行速度を決定する機能となる。

一方、駅間での列車の走行速度は、列車集中制御装置の中央制御室からの速度制限信号(以下ATC速度制限信号と略称する)で決められ、列車はこの制限速度以下で走行する。新幹線の運転ダイヤはこの制限速度に沿って走った場合、目的地には早着になるよう若干余裕を持って作られている。以上のことから、駅間での列車の走行目標速度の決定には図2に示す二つの方法が考えられる。図2(a)の方法は、駅出発直後はATC速度制限信号いっぱいまで走行し、停止駅近くになったら時間調整のためATC速度制限信号よりもかなり低い速度で運転する方法である。(b)の方法は、ATC速度制限信号が210km/hの区間においてあらい時間制御を行ない、

駅の手前(ATC速度制限信号160km/h区間)で細かい時間制御に切り換える方法である。すなわち駅発車時、次の停車駅までの間の臨時速度制限の有無、運転ダイヤ上の余裕時分などから目標速度を計算し、定速度運転プログラムに制御を渡す。次の停止駅の手前に到着しATC速度制限信号160km/h区間に入ると、この区間を70km/hにて走行して予定の到着する地点を計算し、この地点以前の目標速度をたとえば155km/hに設定し、以後を65km/hに設定することで時間調整を行なう。このプログラムの流れを示したのが図3である。列車の走行速度は安全性、線路や車両の疲労、乗りこちなどを考慮すればできるだけ低いことが望ましいので後者の方法を採用した。

2.3 定速度運転機能

本機能は、定時刻運転プログラムから与えられた目標速度に追従した定速度運転を行なうことを目的としている。現新幹線電車の速度制御(力行)にはタップチェンジャ方式を採用しているため、今回の定速運転制御はノッチ制御方式とした。ノッチ制御には接点部分が含まれることから定速運転のためにノッチ変動を頻繁(ひんばん)に行なうことは好ましくない。こうした点を考慮し、目標速度と列車速度の速度差と、加速度からノッチ制御を行なう積分制御方式と、速度差からノッチ制御を行なう比例制御方式を混合したノッチ制御方式を採用した。

2.4 定位置停止機能

指定された位置へ列車を停止させることを目的とした定位置停止制御に対しては、すでに専用機も開発されているが、車上の自

動運転機能の集約を目的として、本機能も計算機に持たせることとした。定位置停止の制御方式は停止駅手前645m地点に設けられた第1地上子により減速パターンを発生する。この減速パターンと列車速度、列車位置から所要の減速度を計算し、ブレーキノッチを決定し、定位置停止制御を行なうものである。さらに停止点手前25m地点に設けられた第2地上子により第2パターンを発生し、誤差の修正を行ないながら定位置停止制御を完了する。

3 ハードウェアシステム

3.1 ATOMICハードウェアの特徴

一般的には地上の計算機室など環境条件の良い場所に設置される計算機システムを新幹線電車に搭載(とうさい)するため、ATOMICのハードウェアには以下に述べる考慮が払われている。

(1) 小形、軽量化

新幹線電車に搭載するため特に小形化に留意し、このため中央処理装置(CPU)、プロセス入出力装置(PI/O)用の電源装置を別箱に分離する、PI/Oを必要最少限にしぼるためプラグイン配置を一部変更するなどの考慮を払っている。さらに電車内に搬入するときには箱全体を2分割することができるようになっている。

(2) 振動に対する考慮

電車走行時の振動に耐えるよう部品の固定法、布線の方法などを考慮している。

(3) 外来ノイズに対する考慮

電車の主回路、制御回路などから発生するノイズによってメモリ内容が破壊されたり、システムが誤動作することがないように入出力回路にノイズフィルタを設けるなど、外来ノイズに対する保護を厳重に施している。また走行する電車上では完全なアースが取れないので接地の方法にも工夫がしてある。

(4) 入力電源の変動に対する考慮

電車の電動発電機から供給される電源は、架線電圧、負荷の変動などにより電圧、周波数が変動するので、これによりシステムが誤動作することがないように考慮してある。

(5) 入力電源瞬断対策の強化

電車線には給電区分のため約20~60km間隔でセクションが設けられているため、電車が通過するとき0.2~0.3秒の停電がある。この瞬断停電によりメモリ内容が破壊されたりすることがないように保護回路を設けている。

3.2 ATOMICハードウェアの構成

ATOMICのハードウェアの全体構成は図4に示すとおりである。以下に装置別に概略の仕様を説明する。

(1) ATOMIC本体

- (i) CPU: HIDIC 100 コアメモリ容量 8kW
- (ii) PI/O: 外部接点割込み 32点(4レベル8要因)

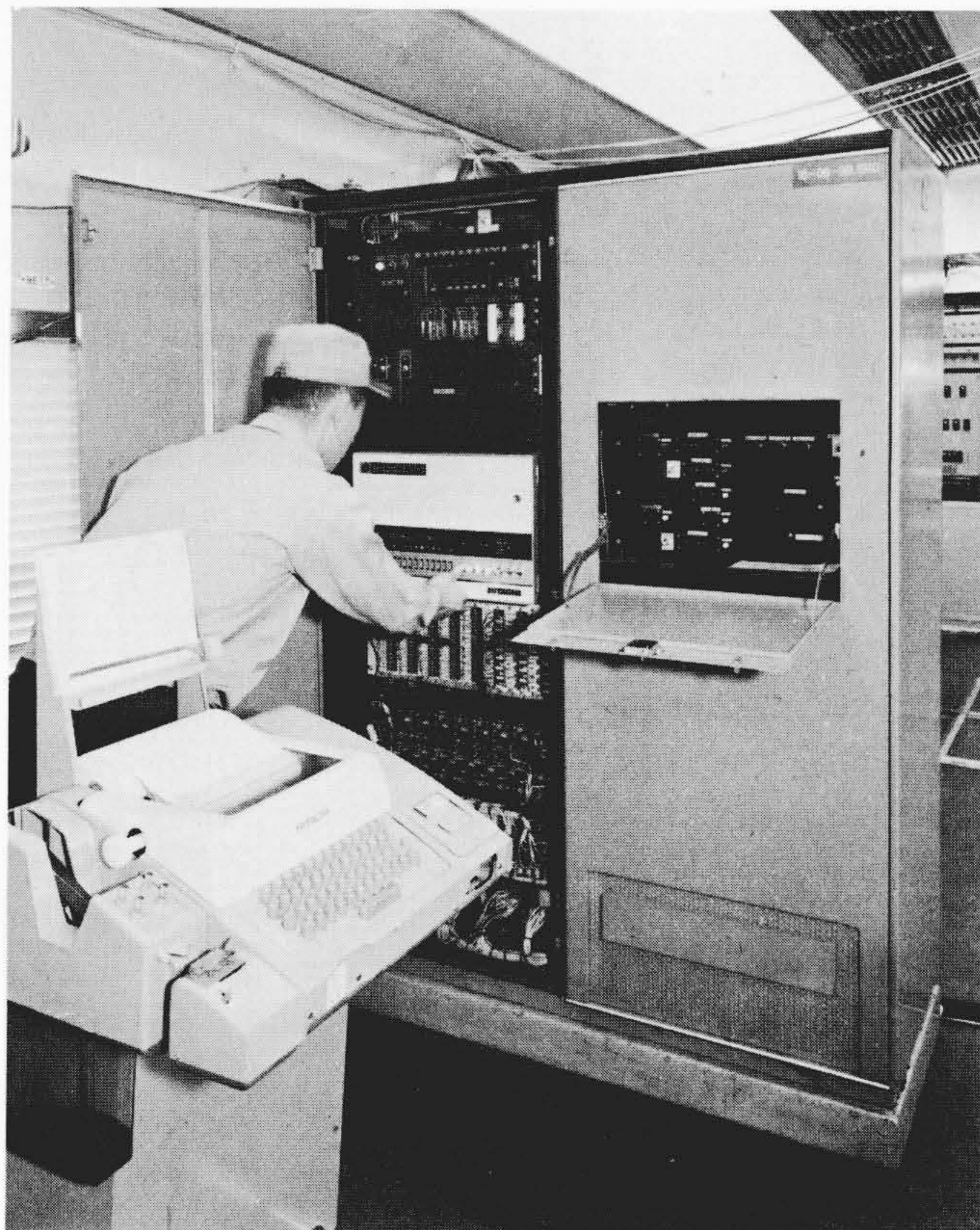


図5 ATOMICシステム現車試験状況 山陽新幹線試験電車(951電車)に搭載して試験中のATOMIC(本体とデータタイプライタ)
Fig. 5 ATOMIC System Under Field Test

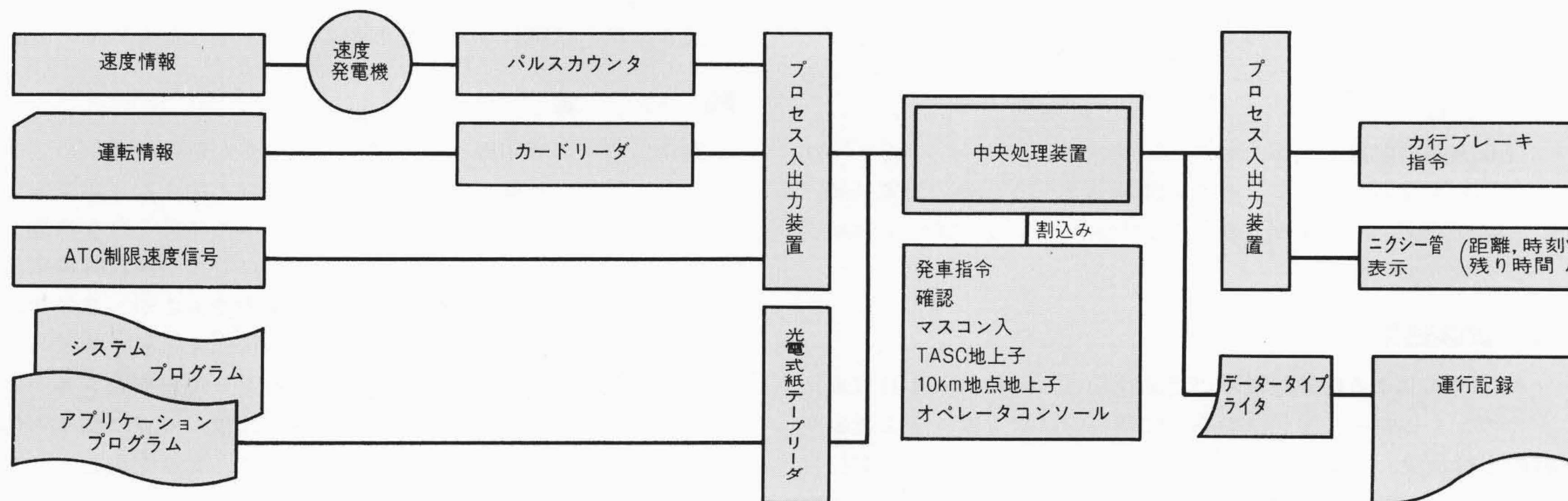


図4 ATOMICシステムハードウェアブロック図 ATOMICのハードウェアシステムは、コアメモリ容量8kWのCPUを中心にして、運転、速度、ATC速度制限などの各情報を入力したり、運転に必要な力行、ブレーキのノッチ指令、ディスプレイ装置の表示などを出力するためのプロセス入出力装置、データタイプライタ、光電式紙テープリーダーから成る。

Fig. 4 Block Diagram of ATOMIC System Hardware

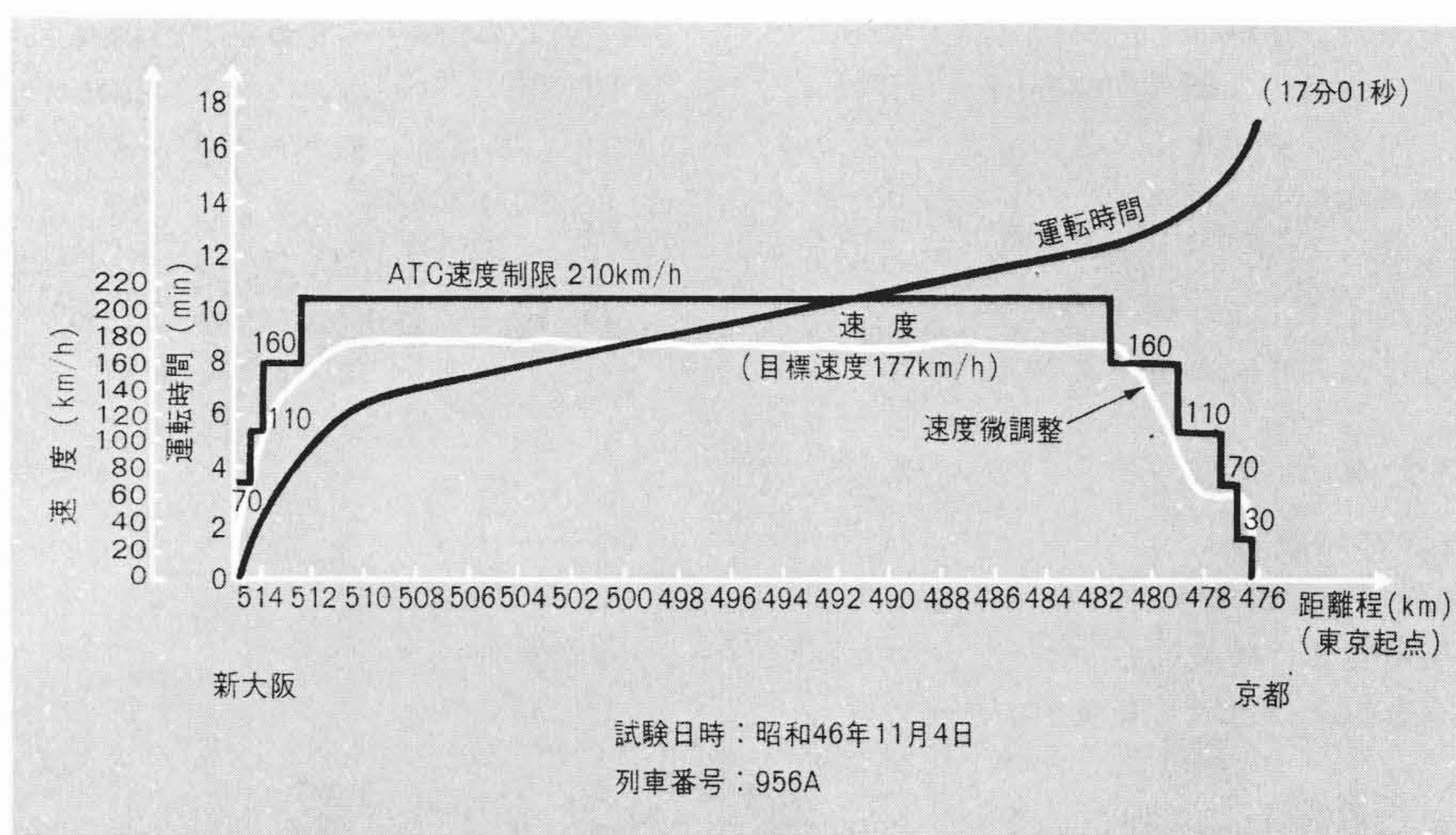


図6 現車試験結果例(新大阪～京都間) ATOMICの現車試験結果の一例である。新大阪駅を定時刻に発車したので目標速度は177km/hと計算された。定速運転の性能は目標速度177km/hに対して速度変動幅が±2km/hであった。定時刻運転の性能は京都駅到着時刻の誤差は1秒(遅れ)であった。また京都駅における定位置停止制御は停止誤差14cm(手前)、最大ブレーキショックは0.07gであった。

Fig.6 Results of a Field Test

デジタル入力(バス方式接点入力) 512点
 デジタル出力(リレー駆動) 32点
 デジタル出力(ニクシー管駆動) 24けた
 パルスカウンタ(プリセット) 1点

- (iii) オペレータコンソール: ATOMICでは乗務員のコンピュータ操作を極力簡単にするため列車番号、徐行情報などの運転情報は、これを1枚の標準80欄カードにパンチしておき、コンピュータに読み込ませる方式としてある。このためのカードリーダーおよび現在時刻、ダイヤシフト量をセットするためのデジタルスイッチ、割込み用押しボタンスイッチ、表示灯から成る。
- (iv) 入力用バッファリレーおよびノイズフィルタ回路
- (v) 入出力コネクタ回路

(2) 電源装置

CPUおよびPI/O用電源装置、入力電源電圧、周波数異常検出回路などを内蔵する。

(3) 中継リレー盤

ATOMICからの出力信号を電車の制御に必要なパワーに増幅するための大形リレー。

(4) ディスプレイ装置

電車運転中の地点、時刻、残り時間などを乗務員に表示するため両運転台に1台ずつニクシー管ディスプレイ装置を設けている。

(5) その他

運転実績の記録をとるためのデータタイプライタ、紙テープのプログラムをコンピュータに読み込ませるための光電式紙テープリーダー、プログラムの地上シミュレーション試験用試験装置を設けている。

4 試験結果

ATOMICによる新幹線電車の自動運転は、昭和45年4月以来地上でのシミュレーション試験を経て新幹線試験電車による運転所構内走行試験、本線での試運転を積み重ねた結果、昭和46年11月に行なわれた新大阪～東京間の試運転でほぼ完成した。以下この最終試験の結果について述べる。図5に山陽新幹線試験電車に搭載して現車試験を行なっている状況を示す。

4.1 定時運転制御

新幹線電車の列車ダイヤは15秒単位で作られており、ATOMIC

による定時運転の精度は次駅到着時刻をダイヤ±15秒とした。駅発車後に臨時徐行が発生したため、その後回復運転を行なっても遅れを取り戻せない区間もあったが、その他の区間では目標精度を十分満足した。

4.2 定速運転制御

列車の走行速度は車両保守の面からも、乗客に与える乗りごこの面からも一定であることが望ましいが、力行、ブレーキ操作を意識的に行なわなければ、電車線電圧の変動、線路こう配などの変化により一定速度は保てない。特に新幹線試験電車は2両編成であるのでこう配変化の影響を受けやすいにもかかわらず、目標速度に対して実速度の変動幅は±2km/h以内という試験結果を得た。

4.3 定位置停止制御

駅における列車の停止操作は、停止精度を上げ、ブレーキショックを小さくするなど高度の技術を必要とする。したがってATOMICによる定位置停止制御は停止位置の精度だけでなく、乗りごこの点にも留意した。現車試験の結果、停止精度は大部分が目標位置に対して±50cm以内に入り、実用上必要な精度を確保することができた。また停止ブレーキによる減速中の最大減速度は、最大でも0.1g以下であり、良好な乗りごこちであった。

図6は現車試験による運転曲線の一例を示したものである。

5 結 言

従来、個々の専用機により行なわれてきた新幹線電車の定速運転、定位置停止制御に定時運転制御の機能を加えた自動運転システムATOMICを開発し、現車試験を行なった結果十分な性能を有することが確認された。この実績をもとにして全国新幹線用試作電車(961電車)のATOMIC3号機を製作中であるが、3号機には上記自動運転機能のほかに電車各機器の状態を監視するモニタリングシステム、電車の検査を自動的に行なう電車検査システム、カラーディスプレイ装置によって運転、監視、検査に関する情報を乗務員に表示するシステムなどを加えて、より充実したシステムを完成させる予定である。

終わりに、本システムの完成に、絶大なるご指導をいただいた日本国有鉄道車両設計事務所、鉄道技術研究所をはじめ関係各位に深く感謝する次第である。