

自動車自動運転装置の計算機制御

Computer Control of Automatic Vehicle Operation Test System

The safety and air pollution problem came up to social concern in progress of the motorization. For these demands, many kinds of Vehicle Test systems are installed in manufacturing process.

Among these systems, there exists the automatic vehicle operation test system to simulate the real operation mode. Computer control method was applied to this system, using HIDIC 100 process control computer, and it can be called Direct Computer Control. Computer outputs the signal of opening ratio of accelerator pedal, braking signal and gets the feedback signal of vehicle speed. That is, computer is set up to realize the closed-loop control system contained itself in. On the point of control systems theory, the transfer function of vehicle engine element is examined by the step by step wise input and is found to have linear response with certain dead time. Control software includes this experimental data and primary trend-estimation control logic.

根本 邦雄* *Kunio Nemoto*
 石川真佐男** *Masao Ishikawa*
 山中 邦夫** *Kunio Yamanaka*
 八田 俊一*** *Shunichi Hatsuta*

1 緒 言

自動車の普及が進むにつれ、自動車の安全、公害問題が大きな社会問題として取り上げられるようになり、種々の保安基準、検査基準が定められている。このような社会的背景の下で、排気ガス対策をはじめとする安全、公害に対する諸対策の努力が着実に積み上げられてきている。また同時に、こ

れら諸対策の検査システムをいかに完備するかも重要なテーマとなっており、走行試験のシミュレータとして、ある走行パターンに沿って自動車を走らせるための自動運転装置が必要となる。車速制御の方法は種々あるが、自動運転装置自体で閉ループを作り、ローカルな制御によって走行パターンに沿った車速制御を行なうことが一般に考えられる。別の観点に立てば、排気ガス測定用として制御用計算機を導入するのであれば、計算機を車速制御に積極的に利用する考え方がある。すなわち、閉ループのフィードバックループを大きくして、計算機に車速を帰還し、計算機の中で、目標車速と実車速の比較を行ない、速度誤差に応じた信号を自動運転装置のアクセル操作器に与えるという方法である。本報告では後者の計算機を含む閉ループ制御によって車速制御を行なうという自動運転実験システムに関する内容を扱っている。

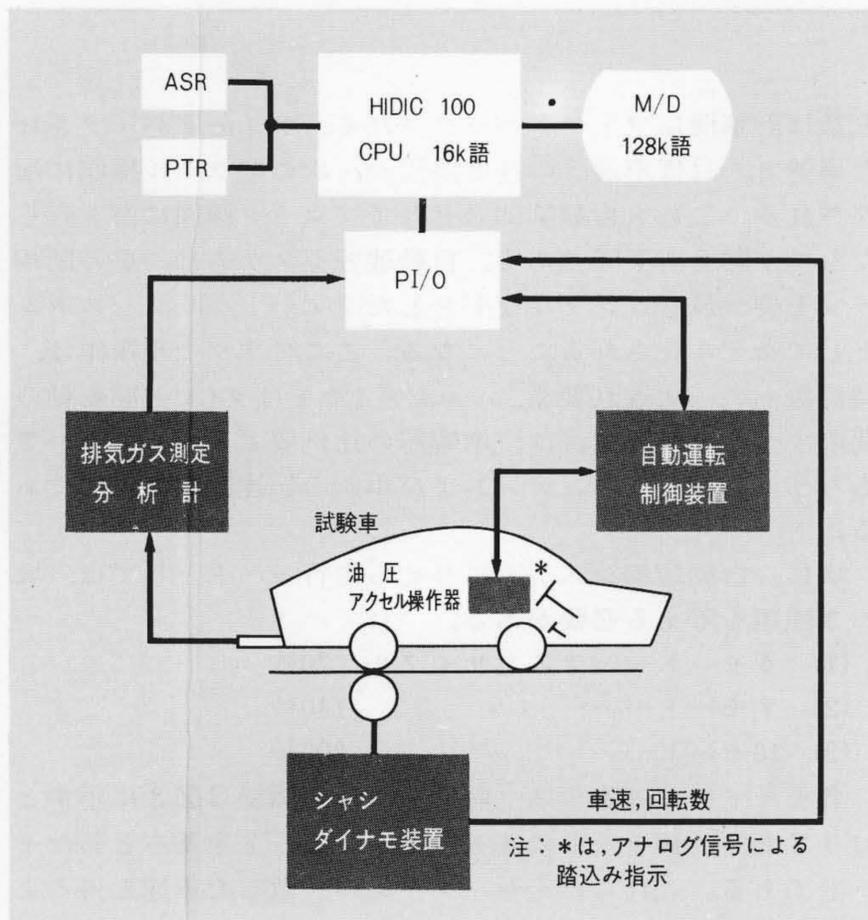


図1 自動運転・排気ガス測定システムブロック図 自動制御系と見た場合のブロック図を示す。

Fig. 1 System Block Diagram of Automatic Test-Run & Exhaust Gas Measurement System

2 システム構成と自動運転

全体システムの構成は図1に示すように、中央処理装置としてHIDIC 100制御用計算機(コア16k語)を用い、補助メモリとして128k語の磁気ドラム(M/D)、外部の自動運転・排気ガス測定システムとの入出力に、プロセス入出力装置(PI/O)およびコンソール入出力装置としてコンソールタイプライタ(ASR)と紙テープ読取装置(PTR)とを備えた計算機システムにより、自動運転装置、シャシダイナモ装置、排気ガス分析計を制御している。おのおのの制御対象との入出力内訳は表1および表2に示されている。信号としてはデジタル入出力、アナログ入出力と割込入力がある。以下、自動運転装置の車速制御に焦点を絞って説明する。

3 自動運転システム

自動運転システムは図2の上図に示すように、自動車の目標車速に応じたアクセル開度を与えるようなアナログ信号が自動運転装置のアクセル操作器に与えられ、アクセル操作器

* 日産車体株式会社

** 日立製作所大みか工場

*** 日立エンジニアリング株式会社

表1 プロセス入出力点数一覧表(1) 自動運転装置と計算機とのインタフェース上のPI/O点数

Table 1 List of Process Input/Output Signals (1)

入出力区分	信号名	相手機器	仕様	
デジタル出力	ブレーキ A	自動運転装置	ブレーキきき強さ最大	
	" B		ブレーキ強さ中程度	
	" C		中程度 B>C	
	" D		ブレーキ強さ最小	
	クラッチ踏み			
	クラッチもどしA		0%位置までのもどし	
	" B		ステップ状のもどし	
	T/Mバルブ		クラッチ N ₁ , N ₂ , 1, 2, 3, 4 の切換え	
	"			
	"			
	"			
			計算機準備完了	-
			自動運転エンド	-
			キャンセル	-
	ブザー A	-		
	" B	-		
アナログ出力	アクセル制御		0 ~ 5V / 0 ~ 100%	
アナログ入力	車 速	シャシダイナモ	0 ~ 5V / 0 ~ 200km/h	
	回 転 数		0 ~ 5V / 0 ~ 10,000rpm	
	CO	排 気 ガ ス 分 析 計	4 ~ 20mA / 0 ~ 12%	
	CO ₂		4 ~ 20mA / 0 ~ 16%	
	HC (L)		4 ~ 20mA / 0 ~ 1,000ppm	
	HC (H)		"	
	NO		4 ~ 20mA / 0 ~ 4,000ppm	
	NO ₂		4 ~ 20mA / 0 ~ 200ppm	

表2 プロセス入出力点数一覧表(2) 自動運転装置と計算機とのインタフェース上のPI/O点数

Table 2 List of Process Input/Output Signals (2)

入出力区分	信号名	相手機器	仕様
デジタル入力	T/M位置 (N ₁)	自動運転装置	トランスミッションニュートラル1
	" (N ₂)		" 2
	" (1)		トランスミッション 1段
	" (2)		" 2段
	" (3)		" 3段
	" (4)		" 4段
	アクセル位置 0%		アクセル OFF 位置
	" 100%		アクセルいっぱい位置
	クラッチ位置 0%		
	" 50%		クラッチ 50%踏み
	" 100%		クラッチ 100% "
	ブレーキ位置 0%		-
	自動運転スタート		-
	自動運転キャンセル		-
	異常		-
	準備完了		-
	トルクコンバータ		トルクコンバータ車
	マニュアル		マニュアルクラッチ車
	モード 1		4 モード
	" 2		7 "
" 3	10 "		
" 4	18山モード		
" 5	23山 "		
車系 1	-		
車系 2	-		

で、自動車のアクセルに対して指定されたアクセル開度となるよう油圧機構によりアクセルを操作する。アクセルが踏み込まれたことにより、車のエンジン回転数が上がり車速がスピードアップする。車速はアウトプットとなるが、後輪がシャシダイナモ上にあるので、シャシダイナモによって車速、回

転数は計算機にフィードバックされる。フィードバックされた車速と、目標車速との速度誤差が、次のアクセル操作に反映される。これを自動制御系としてブロック線図に書き直したものが図2の下図である。自動運転システムは一重の閉ループを持つ最もシンプルな形をしたフィードバックシステムとしてモデル化されることになる。ここでアクセル操作は、時定数 τ_1 の一次遅れ要素、シャシダイナモはタイヤと回転軸の間のすべりを無視すれば、増幅器の比例要素と考えてよいであろう。しかし、エンジンおよび車両の伝達関数は未知である。

次に、自動運転システムに与える走行モードとしては、次の3種類を考える必要がある。

- (1) 4モード……テストサイクル 70秒
- (2) 7モード…… " 140秒
- (3) 10モード…… " 200秒

各モードにおけるテスト時間-車速の関係は図3に示すとおりである。10モードは4モード+7モードを基本としたモードである。これらの走行パターンに一致した車速を得るように車速制御する必要がある。

4 自動車の速度特性

図2で、自動制御系として自動運転システムをとらえたとき、アクセル操作器、シャシダイナモの伝達関数をおのおの一次遅れ要素、比例要素と合理的に仮定することができたが、系全体の伝達関数を知るためには、エンジンの伝達関数を調べる必要がある。そのために、アクセル操作を種々のパター

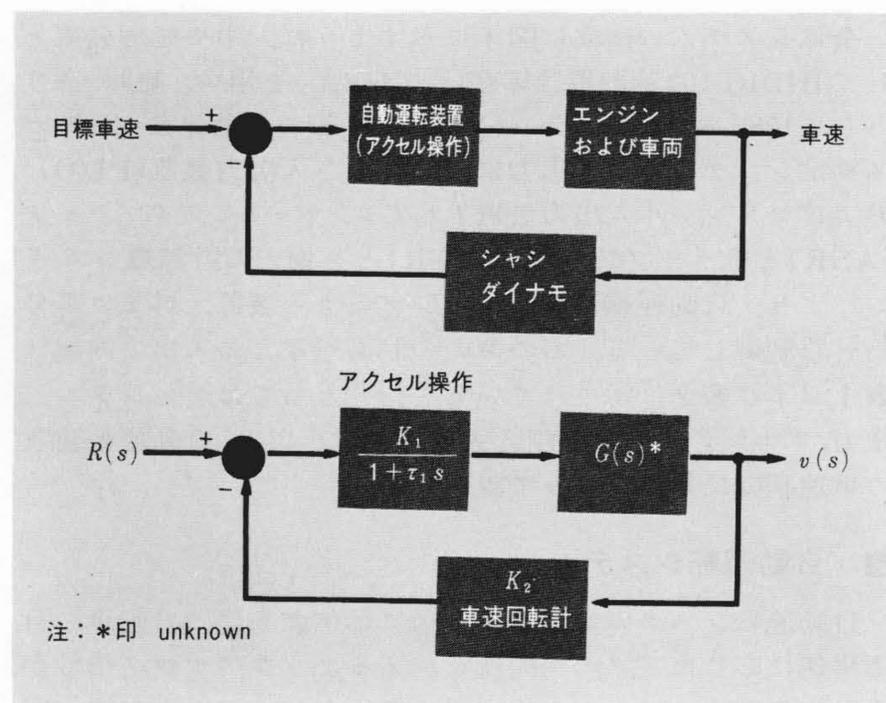


図2 自動運転システムのブロック線図と伝達関数 自動制御系として見た場合のブロック線図を示す。

Fig. 2 Block Diagram of Automatic Test-Run System & Transfer Function

ンで行なった結果、車速がどのような応答を示すかを実験してみる必要がある。エンジンの伝達関数を調べる有力な手段として、次の二とおりの入力に対する応答を調べた。

- (1) レベル形状のアクセル操作 → ゆるい曲線立上り
- (2) 階段状にアクセル開度をふやす操作 → きれいな線形の立上り

図4に示すように、25%のアクセル開度ステップ入力に対する車速応答は、ゆるい曲線立上りである。それに対して(2)の階段入力では、応答は時間遅れを除けばきれいな線形の立上

りを見せている。これによりアクセル開度の階段状増加率を種々変化させても、傾斜角は変わるが、同じ線形特性を示すことが明らかとなった(図5参照)。

このことから、エンジンおよび車両の持つ伝達関数を像空間 s 上で求めることができる。図2に示すように、目標車速を $R(s)$ 、実速を $v(s)$ 、エンジンおよび車両の伝達関数を $G(s)$ とすれば、 $v(s)$ と $R(s)$ との間には次の関係がある。

$$\frac{v(s)}{R(s)} = \frac{K_1 G(s)}{1 + \tau_1 s + K_1 K_2 G(s)} \dots\dots\dots(1)$$

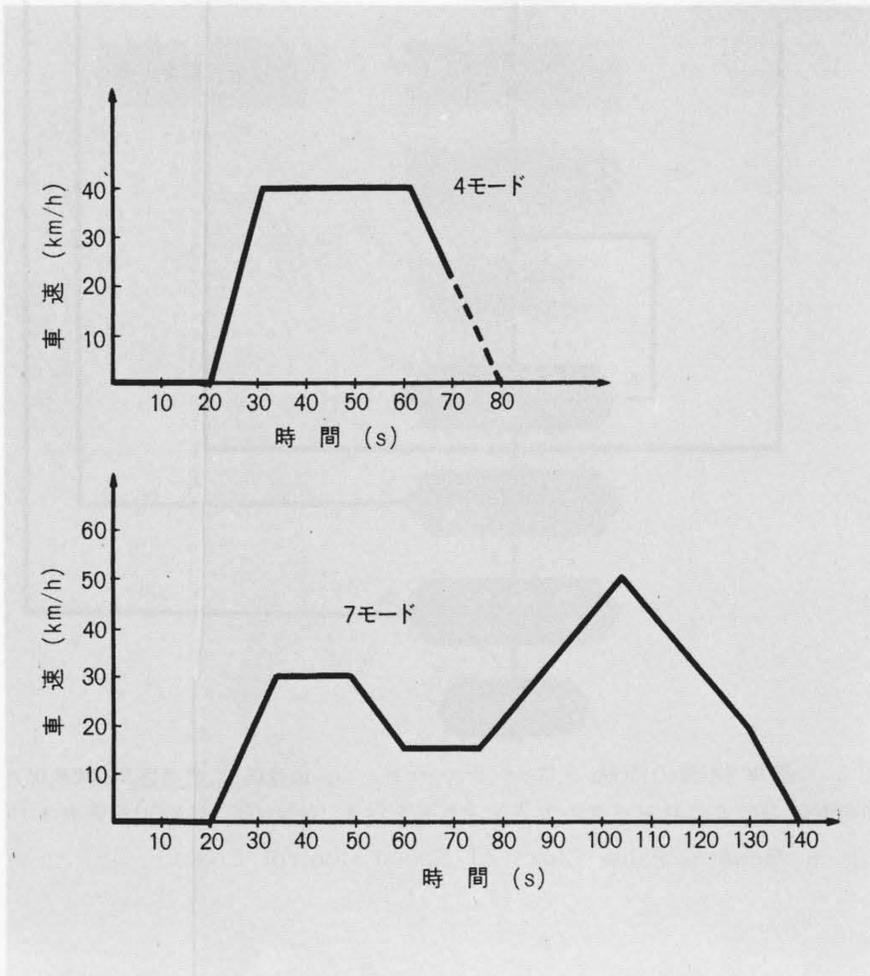


図3 走行モード図 4モード, 7モード, 10モード, うちの代表的速度パターンを示す。

Fig. 3 Operation Run Mode Patterns

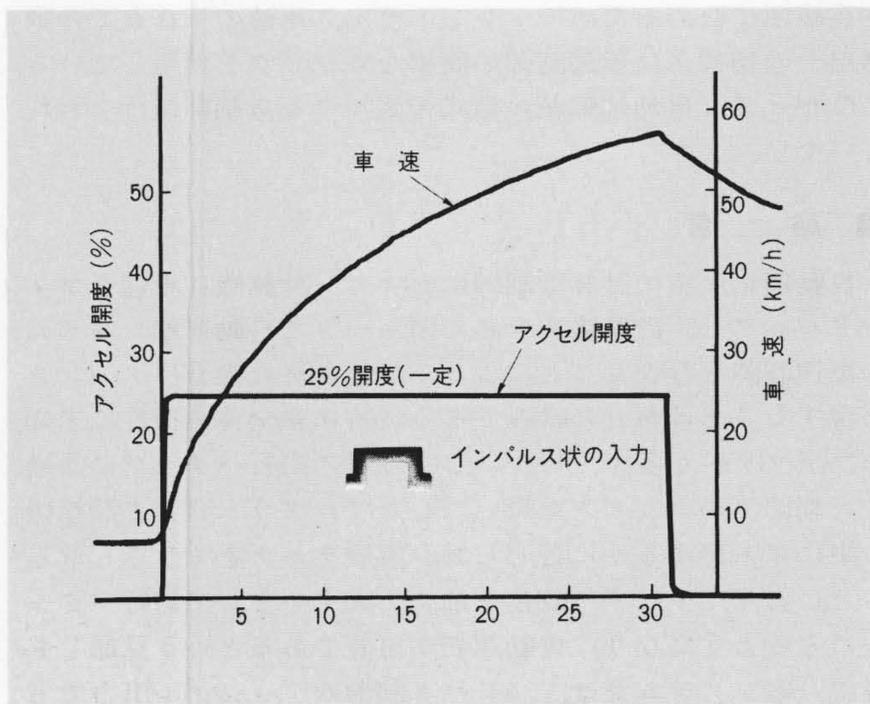


図4 車速のアクセル ステップ応答特性 アクセル開度を25%, 30秒間ステップ状に入力したときの車速応答を示す。

Fig. 4 Characteristic Response Curve of Vehicle Speed Against Impulsive Accelerator Pedal Input

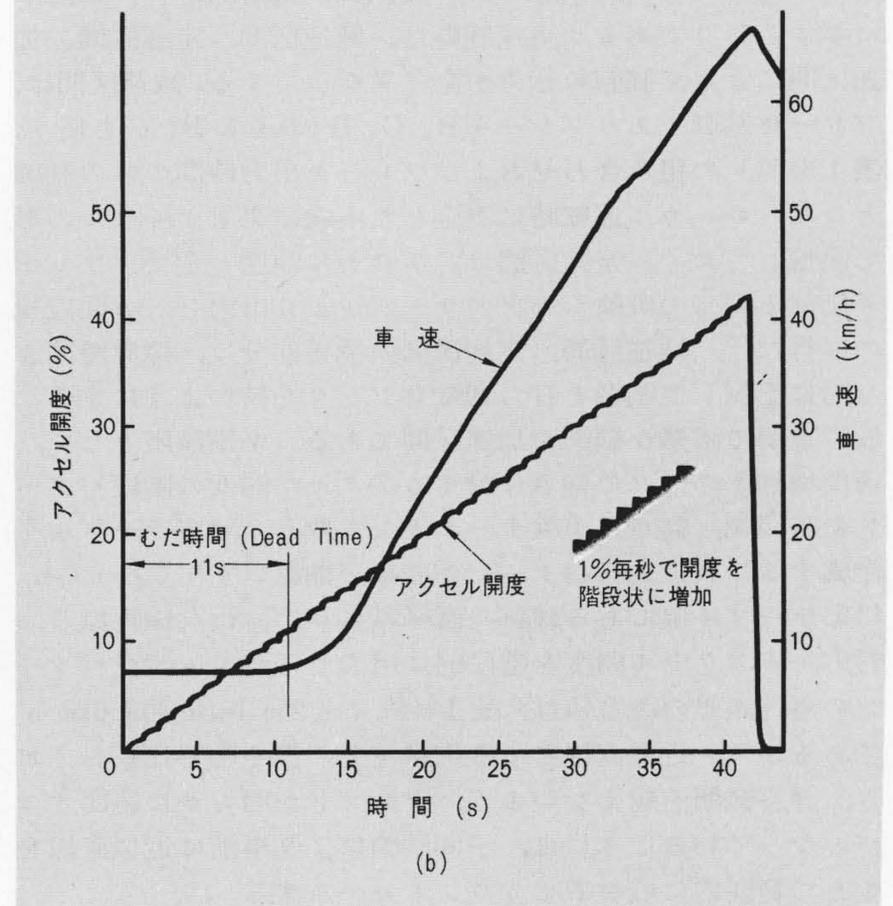
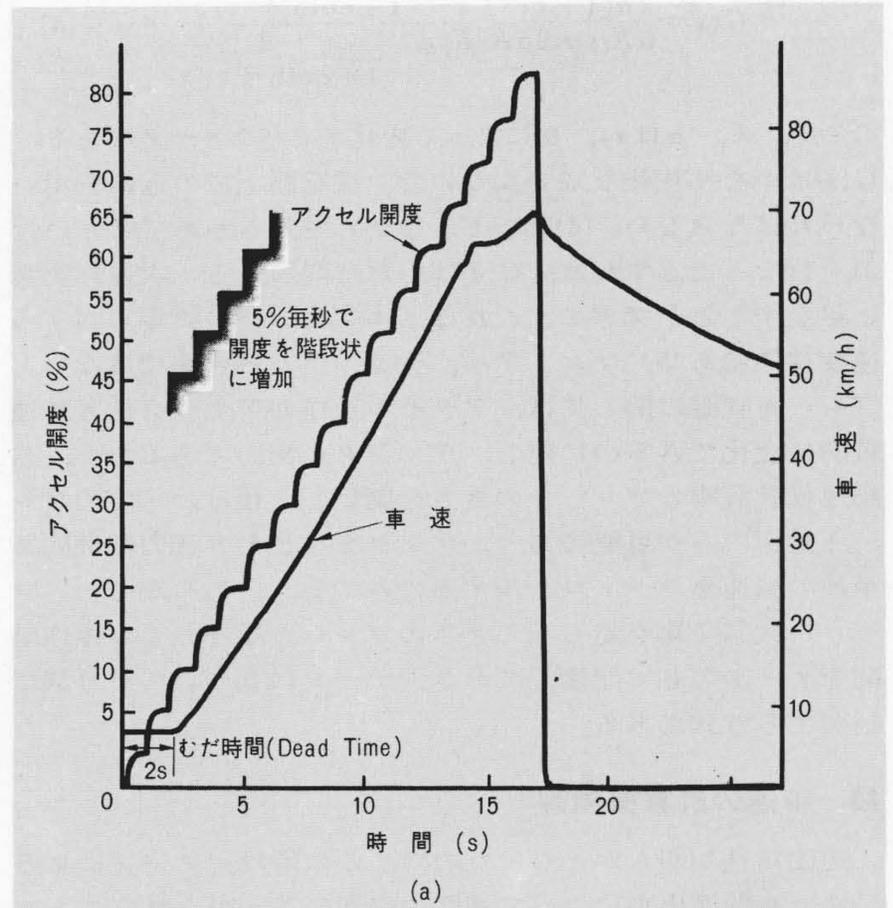


図5 車速のアクセル ステップアップ応答特性 アクセル開度を5%毎秒で上げていくときの車速の応答を示す。

Fig. 5 Characteristic Speed-Response Curve vs. Stepwise Input

次に、階段状入力に対する $R(s)$ は、時間の単位ステップ幅を τ_2 、車速増加の単位幅を a とすると、

$$R(s) = \frac{a}{2s} (1 + \coth \frac{1}{2} \tau_2 s) \dots\dots\dots(2)$$

実車速 $v(s)$ は、むだ時間の時間ずれを除き完全に線形であるとする、むだ時間を λ とし、直線の傾きを α とすると、

$$v(s) = F(\lambda + \alpha t) = e^{-\lambda s} \frac{\alpha}{s^2} \dots\dots\dots(3)$$

(2), (3)式を(1)式に代入すれば、 $G(s)$ を求めることができる。

$$G(s) = \frac{2\alpha(1 + \tau_1 s) e^{-\lambda s} \frac{1}{1 + \coth \frac{1}{2} \tau_2 s}}{a K_1 s - 2\alpha K_1 K_2 e^{-\lambda s} \frac{1}{1 + \coth \frac{1}{2} \tau_2 s}} \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 λ 、 α は τ_2 、 a によって変化するパラメータである。 $G(s)$ はかなり複雑な式となるので、像空間上での近似を用いなければならない。(4)式をよくながめて、きわめてあいまいな近似を行なったとすれば、 $G(s)$ はむだ時間のある一次遅れ要素と見なすことができる。これはトルクコンバータ車に対する速度特性であり、マニュアル、クラッチ方式の車ではない。ブレーキ制御に関しては、アクセル操作がアナログ信号で連続的に変化できるのに対し、デジタル出力であるため、自動運転装置側のブレーキのききを調整した後は、一定のブレーキ動作のみが可能であり、デジタル出力の出力時間幅で車速の減速をコントロールするのみであり、あらかじめ、ローカル状態で車を走らせたときのブレーキ操作および操作時間をデータとして記憶しておき、データに基づいて計算機で制御する方式である。

5 車速の計算機制御

速度特性が明らかとなったので、この階段パターンによるアクセル開度出力によって速度の線形応答が得られることを積極的に利用する制御ロジックを計算機の中のソフトウェアで持つようにした。車速の計算機制御の概念的フローは図6に示すとおりである。車速制御は、減速区間、定速区間、加速区間によって制御の仕方が全く異なってくる。減速区間は、ブレーキ制御でありブレーキB、C、D(おもにB、Cを使う。表1参照)の組み合わせおよびブレーキ出力時間のみの制御となり、ローカル運転時に測定した実験結果をテーブルの形で記憶しておく。定速区間は、アクセル開度一定で、ブレーキ制御と同じく実験データのテーブルより出力し、時間監視のみ行なう。減速区間、定速区間の境界部分は、境界時間より前に予測して制御を打ち切るロジックを持つようにする。最も重要で困難な制御が加速区間である。準備段階として、速度増加率の種々の傾きに対するアクセル開度の階段パターンの時間幅、高さを実験データとして取り、対応テーブルを作成する。次に走行パターンが直線、曲線いずれであっても、対応テーブル中にある傾斜の直線によって、折れ線近似し、対応するアクセル開度を段階的に出力して行く。走行パターンの車速誤差の許容値は、 ± 1 秒間に ± 2 mile/h(約3.6km/h)であるから、近似直線による実車速との差を常時比較しておき、許容範囲を越えないよう、トレンドが明らかに範囲オーバーとなっているときには、予測制御により事前に近似直線を変えて範囲内に収まるようコントロールする。

許容範囲に対しては、上限をきびしくし、上限を絶対に越えないような予測制御を行なっている。エンジンにはむだ時間があるため、予測制御は不可欠であり、変化率が不連続に変わる点ではオーバーシュート、アンダシュートとなる可能性

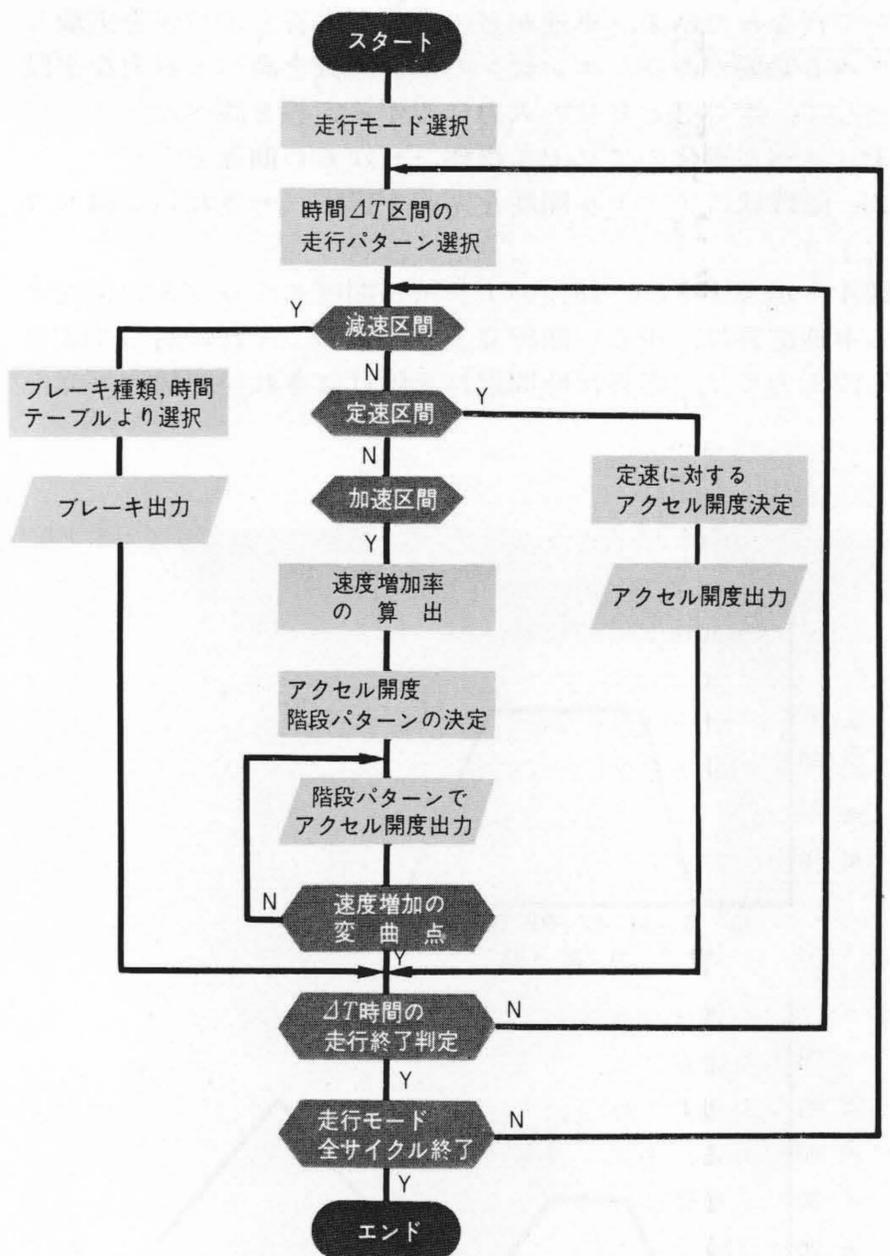


図6 速度制御の概略フローチャート 加速区間,定速区間,減速区間のおおのでのロジックの大きな流れ図を示す。(NはNO, YはYESを表わす)
Fig. 6 General Flow Chart of Speed Control Logic

がある。それゆえ、折れ点の手前で、アクセル開度を落とすよう予測制御している。

今回の車速制御では、ローカルな実験データを積み重ね、実験データに基づくテーブルによる制御を主体とし、車速を許容範囲に収めるためのトレンド算出、車速の折れ点での制御出力の切替えに予測制御の簡単なロジックを使用している。したがって、自動制御系の数式モデルによる制御は行なわれていない。

6 結 言

自動運転装置の計算機制御において、計算機に車速をフィードバックし、計算機を含めた閉ループで自動運転システムの車速制御を行なうことにより、与えられた走行パターンを実現することは新しい試みである。特に系全体の特性に未知のファクターが多く、いかにして種々の走行パターンに共通した制御アルゴリズムを見だし、プログラム化して計算機の中にストアするかに苦心した。実験データをくり返し取ることにより、少しずつ改良を加え、大すじとして走行パターンに入るようになり、自動運転が可能であるという見通しを得た。本システムでは、ブレーキ制御がデジタル出力であるため、減速区間での制御があらくなりやすく、エンジンブレーキでの減速では追いつかない程度に短い減速区間、あるいは減速後の急な立上りなどで、走行パターンへの追従遅れが多少発生する点改善の余地がある。