

# CVSスーパーウェイ計算機制御システム

## Computer-Controlled Vehicle System for Selected Routes

Under the guidance of the Ministry of International Trade and Industry, the Japan Society for the Promotion of Machine Industry has been conducting experimental research in an effort to develop a computer-controlled vehicle system (CVS), believed to be the most effective urban transport system for both the present and the future. The system is expected to solve traffic problems in large cities, a major issue today, in which various factors are complicatedly linked together: traffic jams, air pollution from exhaust fumes, traffic accidents, lack of parking lots, increases in traffic-related costs, etc. This article describes the application of the CVS to selected routes in the city and the results of an actual scale experiment carried out on the Higashimurayama CVS Test Course.

石井 威望\* *Takemochi Ishii*  
 井原 広一\*\* *Hirokazu Ihara*  
 四宮 文人\*\* *Fumito Shinomiya*  
 刈谷 志津郎\*\*\* *Shizuo Kariya*  
 深畑 晋作\*\*\*\* *Shinsaku Fukahata*

### 1 緒 言

現在、大都市における交通は、急速な都市化による交通需要の増大の大部分を自動車による輸送に大きく依存し、しかも自動車が本来人間の欲求に最も合致した交通手段であることによって、加速度的に増大した。しかし、その便利さの反面、不利益な面を無視することができなくなってきた。

交通事故の増大、騒音・排気ガスによる公害、交通渋滞、交通コストの増加など相互に関連しあって、大きな社会問題を引き起こしてきた。これらに対する種々な施策は、各方面で行なわれてそれなりの成果を挙げているが、従来からある交通手段を見直し、その利用を制限するという方法が大部分である。

交通に対する需要を根本から考えなおし、都市生活を快適に、万人が平等に享受できるようにしようとして新都市交通システムが世界各国で提案され、実用化されつつある。

Computer Controlled Vehicle System (以下、CVSと略す)は、これらのシステムのうち、最も理想的な都市内交通物流システムの一つとして、通商産業省の指導のもとにシステムの管理制御をすべてコンピュータにより行なわせる新交通システムとして、民間8社が参加して財団法人機械振興協会が開発中のものである。

CVSの研究は昭和45年に開始され、まず都市内交通の現状分析及び車両、ガイドウェイの縮尺模型の製作、大形コンピュータによるシミュレーションを行ない、その基本仕様を確立した。

昭和46年度には、銀座周辺300m<sup>2</sup>の1/20都市模型に同縮尺のCVS車両約60台を製作し、制御用コンピュータHIDIC 100により制御を行なう模型実験を第18回東京モーターショー会場で公開した。昭和46年後半より実規模実験計画に入り、昭和48年には東村山市に実験場を建設し、本格的総合実験を開始した。

この実験は昭和50年に完了予定で、現在推進中である。

### 2 CVS

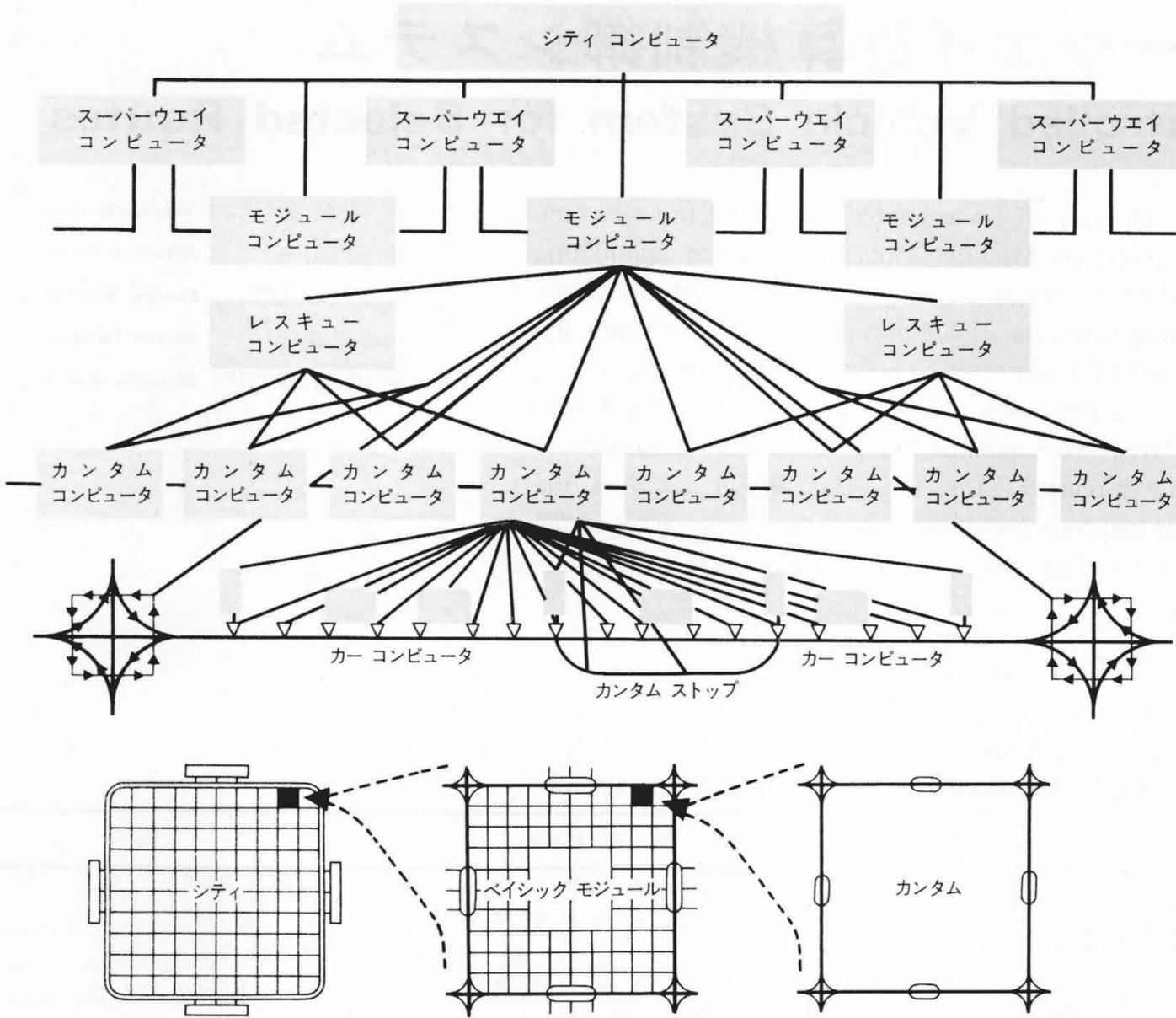
CVSは都市内に網目状に張られた専用ウェイ上をコンピュータにより制御されて走るタクシーのような個別輸送の新

表1 CVS仕様 CVSの主要仕様を一覧表で示す。

Table 1 Specifications of CVS

項目区分		仕 様	
運 行	システム運行	最大車線容量	約15,000人/h
		最小車頭間隔	約1秒
		巡行速度	40.60km/h
		常用加減速度	0.2G
		緊急時最大加減速度	2G
性 能	区 分	ワゴン	パーソナルカー
		オフラインストップ	
	乗降方式	自動荷役	—
	出改札	自 動	自 動
	最大乗車容量	—	12人/分
	最大降車容量	—	"
	最大待ち時間	—	—
ガイドウェイ	最小駅間隔	100m	100m
	最大こう配	10%	
	最大カント	"	
	最小回転半径	5m	
	標準スパン	20~30m	
	標準支柱径	600~1,500m	
	標準けた高さ	700mm	
車 両	寸 法	長さ3,000×幅1,600×高さ1,850 (mm)	
	自 重	約1t	
	定 員	4人/両	
	推 進	直流電気駆動	
	電 源	AC 200V	
	誘 導	中央案内溝方式	
	分岐方式	車上選択	
制 御	車体支持	空気入りゴムタイヤ	
	車間速度制御	ムービングターゲット方式によるコンピュータ制御	
	衝突防止方式	ムービングロック方式	
通 信	配 車	ターゲット予約方式	
	車両制御用	誘導無線方式, 1,200ボート全二重移動無線電話	
メ ン テ ナ ンス	乗客サービス用	一般電話	
	車 両	自動メンテナンス	
	通 信	コンピュータによる自動検査	

\* 東京大学工学部教授 工学博士 \*\* 日立製作所大みか工場 \*\*\* 日立製作所システム技術本部 \*\*\*\* 日立製作所計算制御技術本部



注:

1. カンタム コンピュータ  
小形で、バス及びストップでの車両の流れを制御する。
2. レスキュー コンピュータ  
中形で、異常の発生した車両の処置を専門に行なう。
3. モジュール コンピュータ  
大形であり、モジュール内のカンタム コンピュータ群とモジュール ゲートでの車両の出入を制御する。
4. スーパー ウェイ コンピュータ  
スーパー ウェイの車両の流れを制御する。
5. シティ コンピュータ  
システム シティ全体を制御する。

図1 CVSコントロール系統図 CVSのコンピュータ構成を示す。

Fig. 1 Computer Architecture of CVS

交通システムであって、純粋なネットワーク交通を目指して研究開発されつつある。CVSの制御機能においては、図1に示すように多数のコンピュータが主役を演じ、従来の交通機関と全く異なった労働集約形を排した、新時代の交通物流システムということができる。

CVSの特徴は、次に述べるとおりである。

- (1) 車両の走行制御から駅業務に至るまですべてコンピュータで直接制御される。
- (2) 個別輸送を目的とし、いつでも、だれでも乗れるプライベートな乗物である。目的地まで直行しDoor to Doorのサービスが可能である。
- (3) 車両は、専用ガイドウェイ上を走行し、ガイドウェイは都市内に網目状に張られている。スーパーウェイと称する高速路(最高速度60km/hで立体交差)と、バスと称する低速路(最高速度40km/hで平面交差)とから構成されており、既存の都市にも容易に導入可能で、しかも美観を損わないデザインをもっている。
- (4) CVS車両には物流用ワゴンもあり、専用コンテナによる個別集配が可能であるとともに自動倉庫、塵芥処理場などと直結することにより、いっそうの効果が発揮できる。
- (5) 車両はゴムタイヤが使用されており、電気駆動であるので無公害である。

表1はCVSの仕様を示すものである。

またCVSを利用する際の手順は、利用者が駅の乗車券自動販売機で目的地のボタンを押して切符を購入し、その切符を切符読取機に挿入して車両の到着を待つ。車両が到着しド

アが開いたら車内へ乗り込み、ドアが閉まると発進ボタンを押す。それ以後、異常が起こらない限り利用者は居住性の良い車室内でくつろいだ状態で、目的地に到着する。途中で目的地を変更したい場合は、キャンセルボタンを押すと最寄り駅で停車し、下車が可能となる。到着数十秒前にチャイムが鳴り到着を予告し、到着するとドアが自動的に開き、降車可能となる。また定期券の利用や電話による予約も可能である。荷物用ワゴンを利用する場合、発送人は、クレジットカードを読取機に挿入して配車を要求し、コンテナを荷受台に置く。車両が到着すると、コンテナが自動的に積み込まれた後発車し、目的地に到着しコンテナがプラットフォームに降ろされる。受取人はクレジットカードを読取機に挿入し、シークレット番号をキーインすると正しい受取人の場合、荷受台にコンテナが移され荷物が引き渡される。

### 3 車両制御方式

CVSの車両運行制御方式として、ムービング ターゲット法と呼ばれる方式が採用されている。この方式は、実際のガイドウェイに等価なウェイをコンピュータ内に想定し、その上をターゲットと呼ばれる点を移動させ、その点と実際の車両の走行が一致するように制御するものである。

ムービング ターゲット方式により、車両の運行制御を行なう場合、制御としては指定されたターゲットに車両を追従させるターゲット追従制御と、発車時及び分岐、合流点、ウェイユニットの始点を通過する際、車両同士が衝突しないようにターゲット及びルートの指定を行なうターゲット割当制御

の二つに大別される。一般道路に相当するパス、高速道路に相当するスーパーウェイとも制御は、上述のムービング ターゲット方式であり、以下、スーパーウェイについて説明する。

スーパーウェイ コンピュータと車両間の結合については、誘導無線方式の全二重ポーリング方式を採用し、1,200 bit/s のデータ通信を行なっている。ポーリング時には車両の位置が0.5m、2.0mの精度で分かる位置検出器が地上に設置されている。この位置情報を基に、スーパーウェイ コンピュータ内でターゲット追従制御に必要な速度指令値を計算し、伝送回線を通して車両を制御する。

車両はコンピュータから速度指令を受信すると、その指令速度を推持するように制御する速度追従系を構成している。従って、コンピュータは車両をムービング ターゲットに追従させるために、位置偏差を考慮し速度指令を出している。

車両制御系は、図2に示すとおりである。

誘導無線の誘導線は車両の走行路に沿って張られているが、車両に対する通信がシーケンシャルに行なわれるため、誘導線に通信区間を設け、一つの通信区間の長さを制限してコンピュータと車両間のリンクを密とし、きめの細かい制御を行なっている。

3.1 車両通信制御

車両との通信は、情報の内容や優先度により次に述べる7種のポーリングを行なう。

- (1) 全車緊急停止用ポーリング
- (2) 車上タイムアウト車発見用ポーリング
- (3) 位置データ取込用ポーリング
- (4) 制御データ送信用ポーリング
- (5) ポーリング番号の初期設定用ポーリング
- (6) ポーリング番号変更用ポーリング
- (7) サービスデータ送信用ポーリング

コンピュータは一定周期で各車両に上記7種のポーリング

のいずれかの通信を行なう。ポーリング周期は、制御対象車両の一通信区間内での最大台数及び最小車両間隔により決定される。所定の時間以上経過してもポーリングがない場合には車両側で検出し、車両は緊急停止する。また、(4)~(7)のポーリングに関しては、反転2連送により通信を行ないデータの信頼性の向上を図っている。

3.2 車両走行制御

車両をムービング ターゲットに沿って追従走行させるため、車両の位置を正確に認識し、ターゲットとの偏差を小さくするようにオンライン リアルタイムに速度指令を出す。このため、位置データ取込用ポーリングと、制御データ(速度指令)送信用ポーリングを一对にして送受信を行なう。車両走行制御の状態遷移は、図3に示すとおりである。

指令速度の計算は、次式により行なわれる。

$$V_c = V_p + K_s \cdot (S_p - S) + K_a \cdot \alpha_p \dots\dots\dots(1)$$

- ここに、 $V_c$ ：指令速度
- $V_p$ ：ターゲットの速度
- $S_p$ ：ターゲットの位置
- $S$ ：実位置
- $\alpha_p$ ：ターゲットの加速度
- $K_s, K_a$ ：比例定数

3.3 駅発車停車制御

駅より発車する場合は、特別な発車パターンを作成し、高速路本線上のターゲットに空きがあることを確認し、該当ターゲットと同期するように制御する。駅に停車する場合は、停止パターンを作成し、停止すべき定点の手前一定間隔に設置された車両通過検知器(2~3台)よりの割込信号により、車両の速度、減速度及びブレーキをかけるタイミングを計算してブレーキ指令を出す。

3.4 車両操舵制御

ガイドウェイの中央には車両誘導溝があり、この中に車両

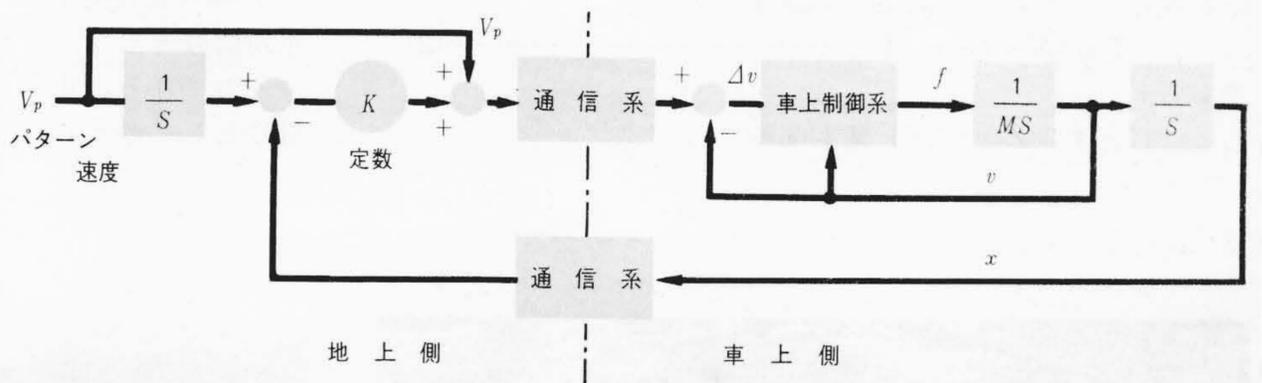


図2 CVSスーパーウェイ車両制御系 CVSスーパーウェイ車両の地上及び車上を含めた制御系を示す。

Fig. 2 Control System of CVS Car for the Superway

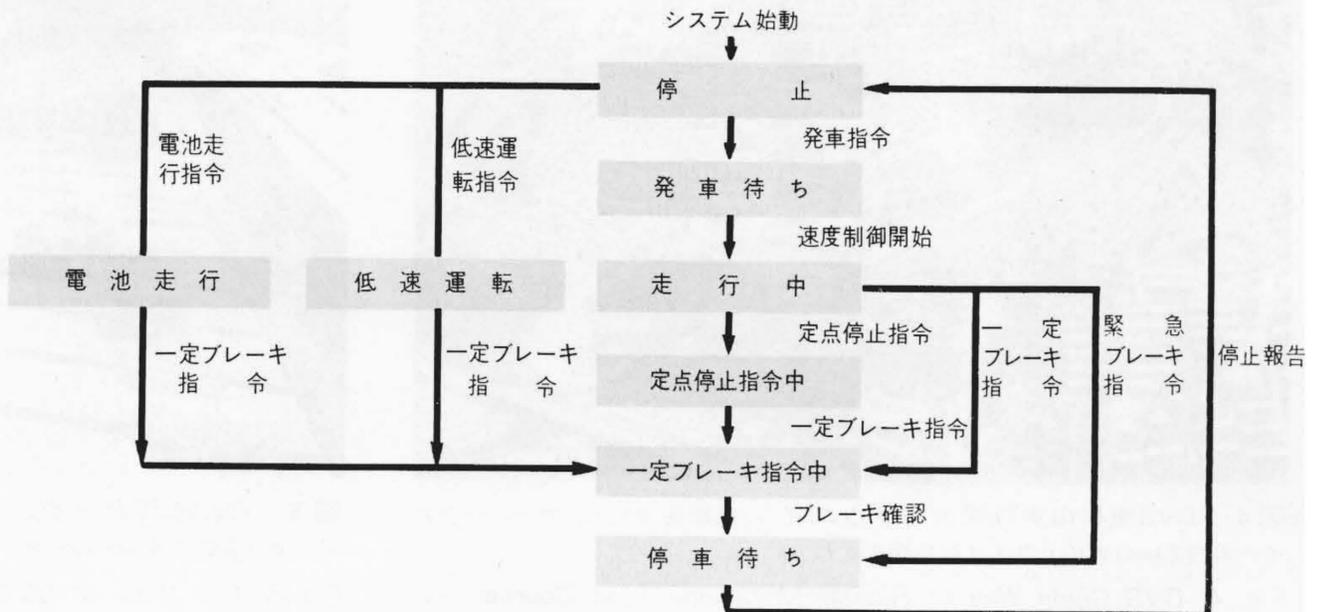


図3 車両走行制御状態の遷移図 CVS車両に対する走行制御の制御シーケンスを示す。

Fig. 3 Status Movement of CVS Cars for Control

の前輪操舵機構に接続した水平誘導輪が挿入されている。ガイドウェイ分岐上での左・右折はこの誘導輪を左右に押しつけることにより行なう。操舵指令は制御データ送信用ポーリングで出されるが、出力タイミングは、分岐合流点の手前の通過検知器から割込信号が入ったとき、又はポーリングによる車両位置が所定の区間にある場合に出力される。また、操舵指令を出力した直後に必ず操舵確認処理を行なって、誤動作を監視する。

3.5 通信区間の境界通過制御

誘導無線の誘導線は通信区間に分けて車両に対するポーリング周期の短縮を図っているが、異なる通信区間の境界を車両が通過する場合は、境界手前に設けられたチェック区間に車両が入ったことにより特別の割込みポーリングを行ない、次の通信区間でのポーリングを受けるための準備をする。

3.6 車両サービス制御

車両に対する制御には、縦方向の制御である速度・ブレーキ指令や横方向の制御である操舵指令があるが、これ以外にサービス指令と呼ばれる車両に対する発車準備指令、ドアの開閉指令及び照明指令などがある。

3.7 本線停・発車制御

車両が正常に走行している限り、高速路本線上に停車することはないが、異常事態発生時には直ちに本線上で停車させ、回復後は本線上から発車させる必要がある。この場合、多数の車両を互いに衝突させることなく発車させねばならない。このような場合には、時間軸変換により元の時間-位置パターンから変形パターンを作り出し、これに各車両を追従させる方式を開発した。

3.8 ムービング ターゲット 指定方式

実際のガイドウェイに等価なコンピュータ内のウェイは、ウェイ ユニットという単位に分割しており、このウェイ ユニットの始点をターゲットが通過する時刻でターゲットを指定する。これには、ターゲット発生時刻とターゲット番号で指定する。例えば、ターゲット発生基準時刻  $T$  でターゲット番号  $N$  のターゲットが始点に現われる時刻は、

$$T \text{分}(N \cdot \tau + t_m) \text{秒} \dots \dots \dots (2)$$

である。  
ここに、 $\tau$ : ターゲット発生間隔

$t_m$ : ターゲット修正時間

$\tau$  は全システムにわたり一定であるが、 $t_m$  はウェイ ユニットごとに決定される定数である。上位コンピュータとスーパーウェイ コンピュータ間では、 $T$  と  $N$  を送受信し合ってターゲットの指定及び報告を行なう。スーパーウェイ コンピュータは、指定されたターゲットに追従するよう車両を制御する。

4 スーパーウェイ計算機制御システム

このシステムは、東村山実験場の総延長 4.5 km のウェイにおいて総合実車走行実験を進めているが、ウェイの構成は図 4 に示すように、一周約 2 km の外周部に相当する部分がスーパーウェイであり、電話の受話器の形をした部分がメンテナンス エリアである。また、スーパーウェイとメンテナンス エリア間の部分が前述したパスである。最高速度はスーパーウェイが 60 km/h、パスが 40 km/h、メンテナンス エリアが 20 km/h である。

スーパーウェイ計算機制御システムは、昭和 48 年 8 月より東村山実験場において実車による実験を開始した。まずメンテナンス エリアで低速走行実験を行ない、車両走行制御の基本機能を確認するとともに車両特性の測定を行なった後、昭和 49 年 1 月よりスーパーウェイでの高速走行実験を行なっている。

図 5 は、車両とメンテナンス エリア付近の状況を示すものである。

4.1 ハードウェア構成

スーパーウェイ計算機制御システム構成は、図 6 に示すとおりである。

補助記憶装置は、実験データの収集及びコンピュータの処理記録、車両通信記録、上位通信記録など異常発生時のトラブル シューティング用に用いられている。

上位コンピュータとは、プロセス入出力装置を介して接続し、また車両とは通信制御装置を介し 6 チャンネルの誘導無線地上局と接続されている。

車両の位置検出は、誘導無線地上局の車両位置検出器より並列信号として、プロセス入出力装置を介してコンピュータに入力される。車両通過検知信号は、無線ではなく直接割込信号として与えられる。



図 4 CVS東村山実験場ガイドウェイ 総延長 4.5km, スーパーウェイ一周約 2 km のガイドウェイから構成されている。

Fig. 4 CVS Guide Way of Higashi-Murayama Test Course



図 5 CVS車両とメンテナンス エリア付近の状況 東村山実験場におけるCVS車両外観とメンテナンス エリア付近のガイドウェイがわかる。

Fig. 5 Out View of CVS Car and Higashi-Murayama Guide Way

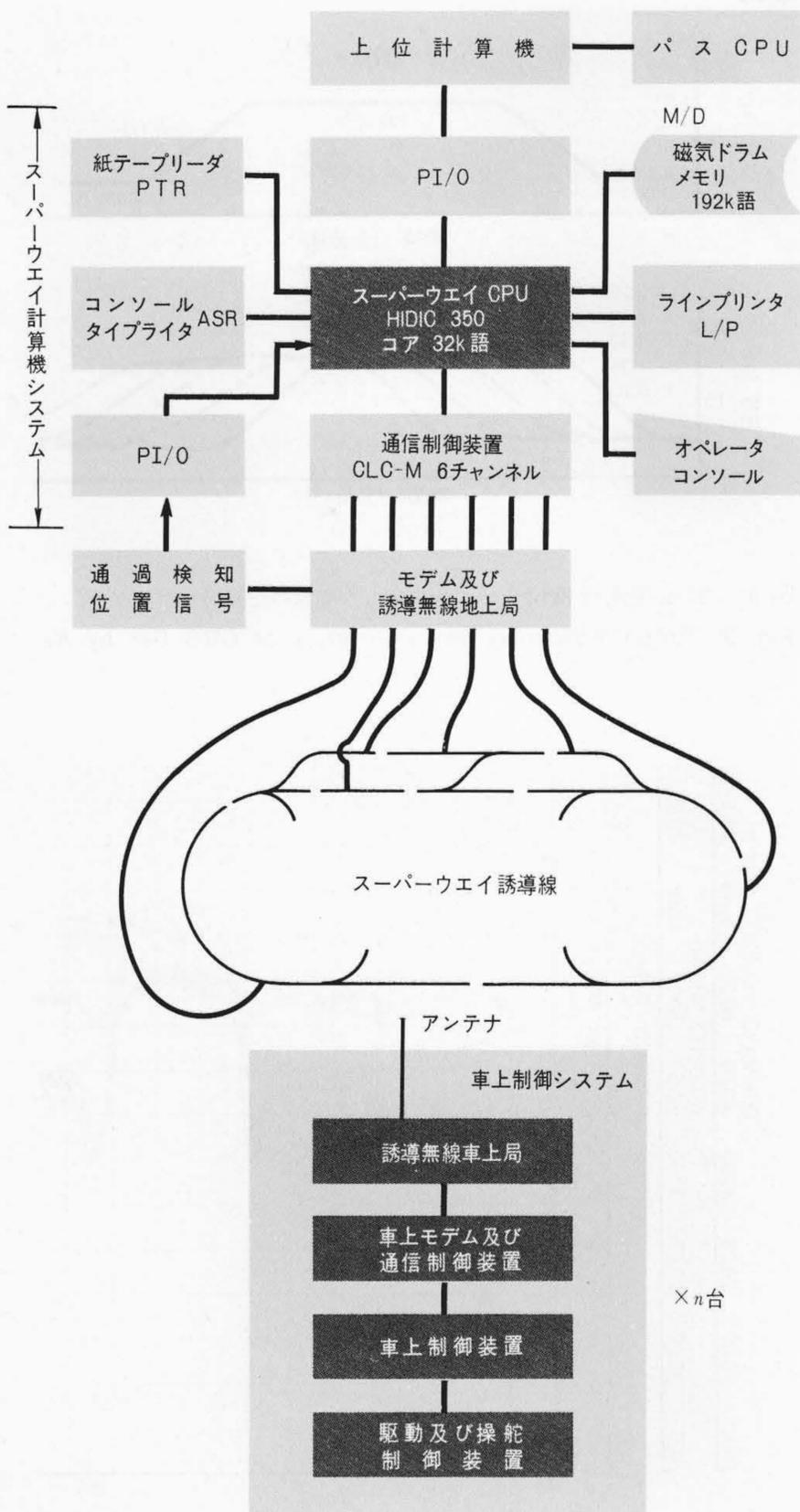


図6 CVSスーパーウェイ計算機制御システム図 CVSスーパーウェイ計算機制御システムのハードウェア構成を示す。

Fig. 6 Block Diagram of CVS Hardware for Superway

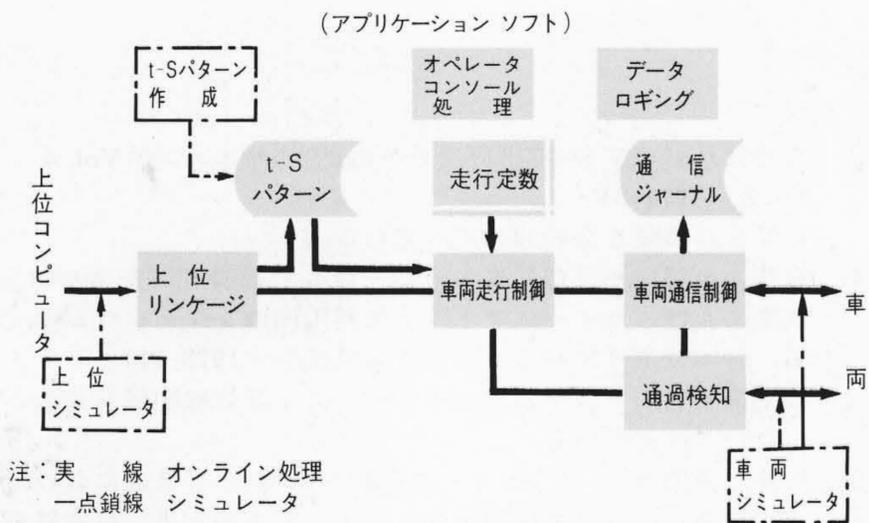


図7 CVSスーパーウェイコンピュータソフトウェア構成図 CVSスーパーウェイ計算機制御システムのアプリケーションソフトウェア構成を示す。

Fig. 7 Architecture of CVS Software

#### 4.2 ソフトウェア

ソフトウェア構成は、図7に示すとおりである。これらのプログラムは、HIDIC 350 PMS (プロセスモニタシステム) の管理のもとに動作する。

実線で示した車両走行制御、車両通信、通過検知及び上位リンクエージのプログラムは、オンラインリアルタイムで高速処理されている。

シミュレータは、上位又は車両が接続されていない状態でのテストに用いられるものである。t-Sパターンとは、ムービングターゲットの時間-位置の関係を示す基準パターンであり、車両の速度、加減速度、乗り心地及びターゲットの同期などの制限条件のもとに作られたものである。

#### 4.3 上位コンピュータとのリンクエージ方式

上位のコンピュータとスーパーウェイコンピュータは、プロセス入出力装置 (PI/O) を介して接続し、送受信データは48ビットの並列伝送方式をとっている。送受信のタイミングは互いに割込信号で与え合っており、データの区分は4ビットのフラグで識別され、上位から送信されるデータには、全車2G (Gは重力の加速度) 停止、個別停止、通常走行、即時ターゲット乗換、駅進入、駅発車、サービス指令、車両ステータス送信要求、実験終了、操舵信号などがある。また上位への送信データは、車両の走行報告が主であり、非常事態発生、車両ステータス、チェックポイント通過、駅停止、2Gブレーキ動作中、車両存在数、車位置、異常位置ずれ、停止、コンピュータ状態、整理データなどである。

上位コンピュータと時刻の同期をとるために、上位から0.2秒ごとにタイムデータを受信し、タイマを合わせている。

#### 4.4 低速走行実験結果

定速及び加減速時のターゲット追従性とコンピュータ内制御パラメータとの関係は、メンテナンスエリアでの低速 (最高速度20km/h) 実車実験で確認された。

実験項目として、ステップ応答テストとランプ応答テストでCVS車両の基本特性を測定し、ターゲット追従制御実験では、定速走行及び加減速走行テストで制御パラメータの影響を測定した。また併せて定点停止実験も行なった。

##### 4.4.1 ステップ応答

ステップ応答特性は、図8に示すとおりである。実験結果の分析により、表2に示す諸特性を得た。

##### 4.4.2 ランプ応答

加速度をパラメータとして車両の応答特性はランプ応答特

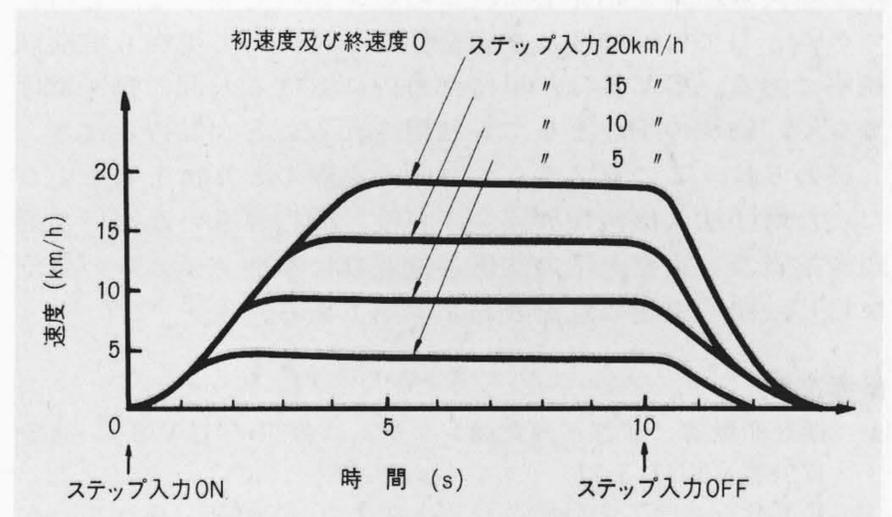


図8 ステップ応答特性 ステップ状の指令に対する車両の応答特性を示す。

Fig. 8 Step-Response Characteristics of CVS

表2 CVS車両の諸特性値 実験結果から得られた車両制御系の各種特性値を示す。

Table 2 The Characteristics of CVS Cars

項目	特性値
むだ時間	0.35s
オーバーシュート	0.45km/h
アンダーシュート	1.35km/h
オフセット	1.25km/h
加速度	0.13G
減速度	0.11/0.21G
速度維持精度	±0.35km/h

性であるが、この実験の結果より加減速は±0.1G以下とすることとした。

4.4.3 ターゲット追従制御

ターゲット追従制御における速度指令は、前述の(1)式で与えられるが、定速走行実験より $K_s$ が0.63のとき最も外乱の影響を受けないことが分かった。また、加減速走行実験で $K_a$ の影響を測定し、図9に示す結果を得た。

4.5 高速走行実験結果

スーパーウェイの制限速度は、直線部が60km/h、曲線部、分岐合流が横加速度が0.1G以下となる約40km/hである。

高速走行実験では、最高速度60km/hにおける追従特性、複数台走行、追越し、レーンチェンジ、駅停止精度などの測定を行なうとともに、スーパーウェイにおける安定走行のテストを行なった。

図10は、高速走行時の追従特性の一例を示すものである。また、最高速度50km/hのパターンでターゲット追従を±4m以内とすることができた。

駅停止精度は、物流用ワゴン車で±0.03m以内、セダン車で±0.10m以内とすることができた。

5 結 言

都市内交通の改善を目指した新都市交通システムは、各社で研究開発が進められ、その幾つかは実規模実験に入りつつある。そのなかで、CVSは個別輸送システムとして世界で最もユニークなものである。既に東村山CVS実験場での実規模実験において大きな成果を挙げつつある。本稿では、日立製作所が担当しているスーパーウェイコンピュータとそれによる実験結果を紹介した。このCVSに対しては、更にシステムとしての信頼性及び安全性などについて現在も実験継続中である。CVSは、単に都市内における人間の輸送だけでなく、物流の手段としても利用されることが期待される。

終わりに、このシステムの計画、実験のとりまとめをいただいた財団法人機械振興協会の各位、御指導をいただいた通商産業省及び東京大学の関係各位並びに参加メーカーの各位に対し、深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

(1) 通商産業省「新都市内交通システムの幕明け-CVS」通産省公報(昭47-3-21)  
CVSシステムの計画及び将来性について詳細に述べている。  
(2) 財団法人機械振興協会「新しい都市内交通システムの研究開発」機械工業経済研究報告書45-7(昭46-8)  
新交通システムの一つとして、CVSの内容と将来の構想を詳細に述べている。

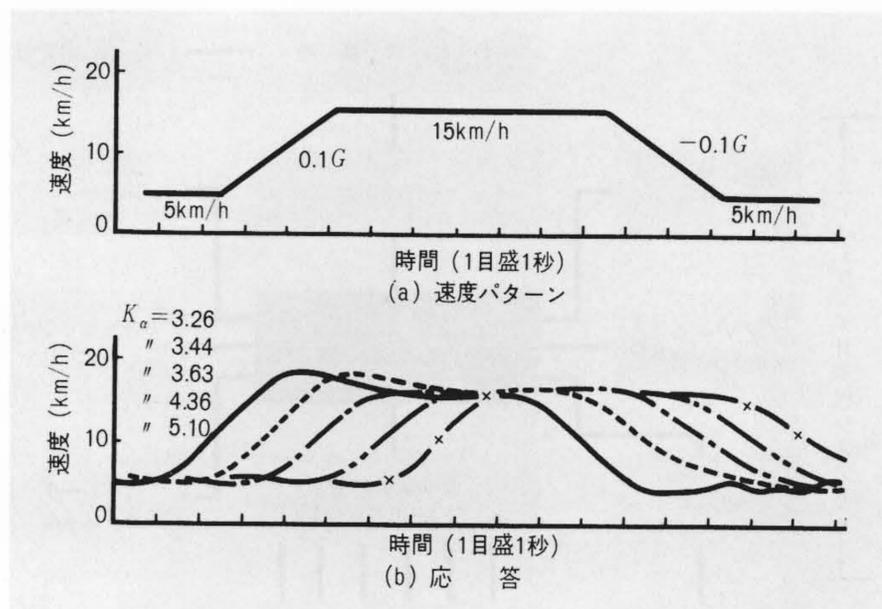


図9 加減速走行特性  $K_a$ を変化した場合の応答特性が分かる。  
Fig. 9 Target Following Characteristics of CVS Car by  $K_a$

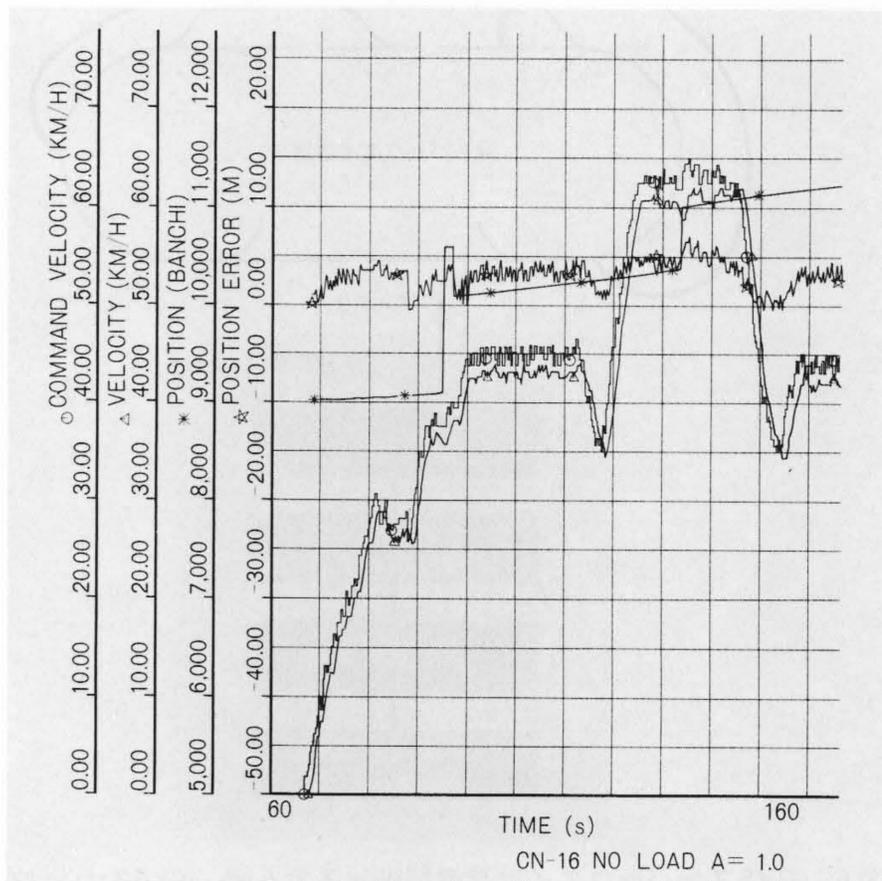


図10 スーパーウェイ高速追従特性 CVS車両の最高速度60km/hでのターゲット追従特性を示す。  
Fig. 10 High Speed Target Following Characteristics of CVS Car on Superway

(3) 石井ほか「CVS-都市交通の革命児」サイエンスVol. 4 No. 8 (1974-8)  
CVSの概要を全般的に述べている。  
(4) 石井、金間ほか「CVSスーパーウェイ計算制御システム」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論文集 日本鉄道サイバネティックス協議会(1973-11)  
CVS東村山システムのスーパーウェイ計算制御システムについて述べている。  
(5) 石井、金間ほか「CVSカーの走行制御特性」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論文集 日本鉄道サイバネティックス協議会(1974-11)  
東村山実験場における低速走行実験結果について述べている。  
(6) 竹村 新都市交通システムへのシステムズ・アプローチ システムと制御 16, 10, p.749~758 (昭47-10)