

万国博モノレール

Monorail of EXPO '70

庄山佳彦*	川喜田効*	石川正和*
Yoshihiko Shôyama	Isao Kawakita	Masakazu Ishikawa
永弘太郎**	小橋正人**	八ヶ代修**
Tarô Nagahiro	Masato Kobashi	Osamu Yagashiro
後藤隆雄***	加藤勲***	
Takao Gotô	Isao Katô	

Abstract

This monorail system, which is the only means of rapid mass transportation available on the Expo '70 fair grounds, is operating satisfactorily carrying capacity passengers averaging 200,000 a day. Safe and comfortable riding is guaranteed by the high precision in rail manufacture and the flat floors of the cars, each of which is mounted on two bogies with two axles each. The monorail system is capable of serving as a means of urban mass transport. The monorail service adopts a fully automatic train operation (ATO) system including a device that enables the trains to stop exactly at the specified points. This paper describes the specifications and test results for the monorail system, with emphasis on improvements over conventional systems.

1. 緒言

“人類の進歩と調和”をテーマとして、アジアで初めて開催された日本万国博覧会は連日 30 万人を越す大観衆によって盛況をきわめている。会期中の入場者の推計は 5 千万人と見込まれ、この膨大な観客をいかに円滑に輸送するかが、万国博成功の重大なかぎとなっている。

この会場内の交通機関として大量輸送が可能で、しかもこれからの新しい都市交通機関と目される跨(こ)座式モノレールが採用されたが、万国博協会会場内輸送委員会に線路、車両、輸送の 3 小委員会が設けられ、会場外周約 4.3 km に 6 編成を投入し、運転は自動運転、運転間隔 2 分 30 秒、1 周所要時分 15 分、駅停車時分 40 秒、停車場 7 箇所として 1 時間片道あたり約 25,000 人の輸送が計画された。このモノレールは運輸省が昭和 42 年度に社団法人日本モノレール協会に委託して研究された「日本跨座式都市交通用モノレール」の応用製品で、随所に在来に比べ改良が施されているが、万国博モノレールの長をあげれば次のとおりである。

- (1) 車両にはゴムタイヤ車輪の 2 軸 4 輪ボギー台車を採用して騒音をなくし、乗りごこちを快適にすると同時に 60mR の急カーブの走行も可能とした。
- (2) 車両の床面はフラットであって、普通鉄道・地下鉄なみに大量の乗客を乗せることができるようにした。
- (3) 全線・全列車は中央電子制御による自動運転を行ない、保安度および信頼性の向上を図り、かつ運転要員の合理化を図った。
- (4) 軌道けたの製作精度を向上し、一方、小形で短時分操作の分岐器を開発した。
- (5) 剛体複線式の銅とアルミニウムの電車線を開発し、従来見られた鉄さびによるけた汚損をなくした。

万国博開会式当日は、天皇、皇后両陛下をはじめ多勢の招待者がこのモノレールで会場内をご覧になられたが、以来毎日 20 万人を越

* 日立製作所交通事業部
** 日立製作所笠戸工場
*** 日立製作所水戸工場

す観客を安全快適に輸送している。

以下、本モノレールの主体をなす、軌道、車両、自動運転装置について、その仕様を述べ、現地試験結果の一部について記述する。

2. 軌道施設

2.1 線路概要

2.1.1 線路計画

路線は会場内の各パビリオンを取りまく環状路線とし、視野を妨げず展望をよくするため、特別の制限を受ける区間(検修場、東口駅、西口駅、北口駅付近など)を除き極力高架部分を多くすることにした。路線は図 1, 2 に示すように延長 4 k 274 m 435, 単線片方向運転で(反時計まわり)会場内を一周している。

途中駅は 7 箇所ゲート相互間あるいはゲートとパビリオン間の観客輸送をスムーズにし、装置道路(動く歩道)および各サービス道路と連絡してその目的をじゅうぶんに発揮できるようにした。

2.1.2 線路概要

- | | | |
|--------------------|--|---------------|
| (1) 線路延長 | 4 k 274 m 435 | 単線環状線 |
| | ほかに検修線 | 220 m |
| | 内訳 高架 | 2 k 925 m 943 |
| | 地平 | 1 k 348 m 492 |
| | なお、地平部は線路周囲に高さ 1.8 m の安全防護さくを設けた。 | |
| (2) 最小曲線半径および曲線の種類 | | |
| 最小曲線半径 | 60 m | |
| 曲線の種類 | 60 m, 100 m, 120 m, 125 m, 150 m, 200 m, 247 m, 300 m, 320 m, 500 m, 1,000 m | |
| (3) 最急こう配 | 55/1,000 | |
| (4) 縦曲線半径 | 1,000 m | |
| (5) おもな施設 | | |
| (i) 停留場および停車場 | 7 箇所 | ホーム長 64.8 m |
| | 東口駅 | 幅 7.2 m 片面ホーム |
| | エキスポランド駅 | 幅 5.4 m 片面ホーム |

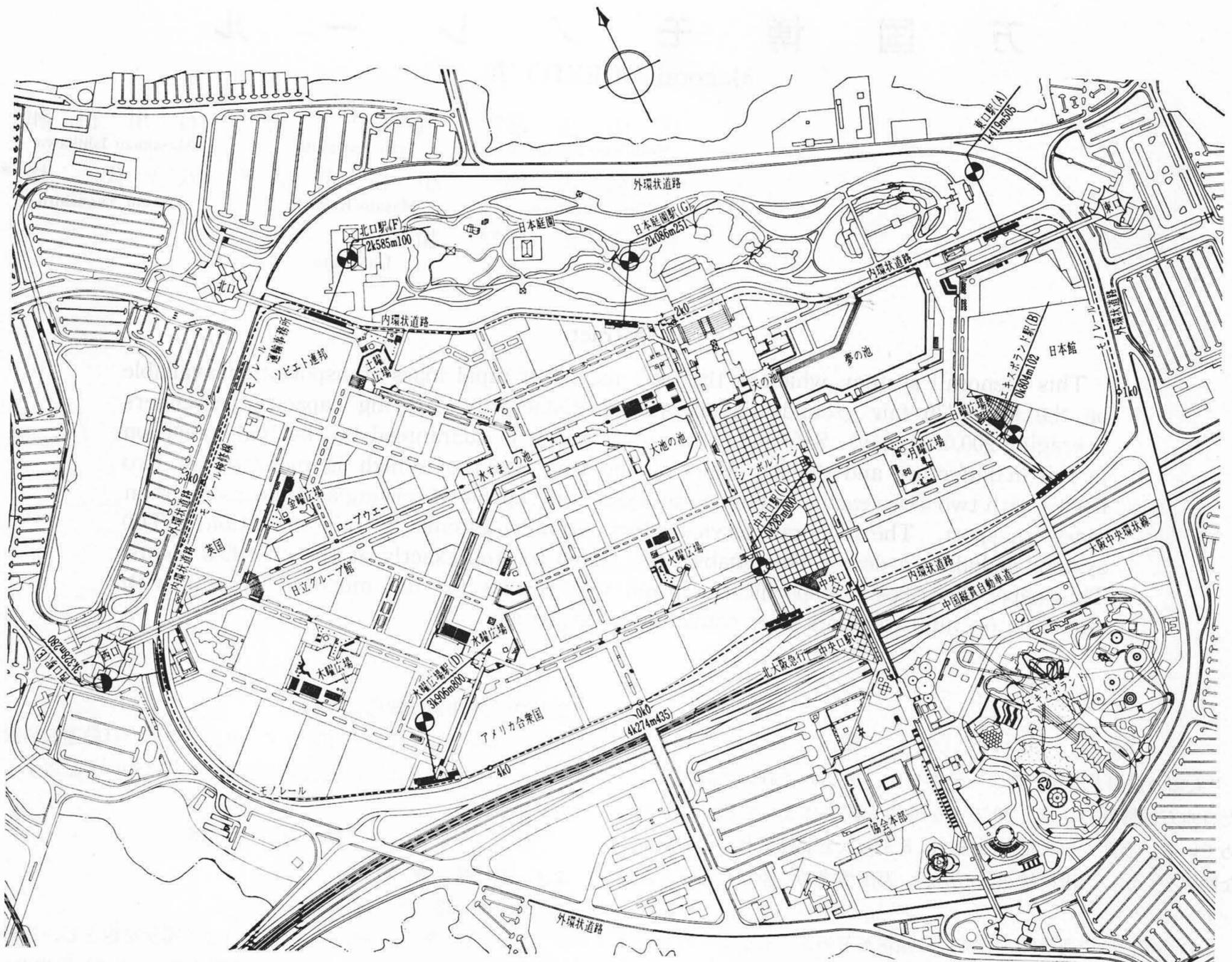


図1 線路平面図

Fig. 1. Plan of Route

中央口駅	幅 6.0 m	両面ホーム (乗降分離)
水曜広場駅	幅 5.4 m	片面ホーム
西口駅(停車場)	幅乗車側 5.4 m	両面ホーム 降車側 5.8 m (乗降分離)
北口駅	幅 6.8 m	片面ホーム
日本庭園駅	幅 5.4 m	片面ホーム

(ii) 検修場

- (イ) 運輸事務所 9 m×55 m 一部2階建 1個所
変電用機器, 信号機器を収納するとともに運輸司令室, 運輸事務室, 宿直室を設ける。
- (ロ) 修繕上屋 9 m×1.5 m 1個所
- (ハ) 検査室 1.8 m×3.6 m 1個所
- (ニ) 自動洗浄機 1台
- (ホ) 点検台および洗浄台 1式

2.2 構造物の設計と工事概要

2.2.1 設計基準

- (1) 線形
 - 曲線半径 最小 60 m
 - 緩和曲線 クロソイド曲線
 - 緩和曲線の必要最小長 L

$$L = \frac{V^3}{14R}$$

ただし, L : 緩和曲線長 (m)
 V : 列車の速度 (km/h)
 R : 曲線半径 (m)

最大カントは $\tan\theta=0.1$ とし, (θ : 軌道けたの上面が水平となす傾斜角) カント不足の最大値を 0.03 とした。また最高速度は 55 km/h とした。

縦曲線半径 1,000 m

(2) 構造物

(i) 荷重の種類と大きさ

死荷重	(軌道けた自重)	1.8 t/m
	(給電軌条その他付加荷重)	0.06 t/m
活荷重	(列車荷重)	10.5 t/軸

荷重配置を図3に示す。
 衝撃荷重 活荷重に次式の衝撃係数 i を乗じたものとする。

$$i = 10/25 + l \quad \text{ただし } l = \text{支間 (m)}$$

横荷重 一軸重の 20% の集中移動荷重が車両の重心位置 (軌道けた走行面上 1.3 m) に水平に, 軌道けた縦軸に直角に作用するものとする。

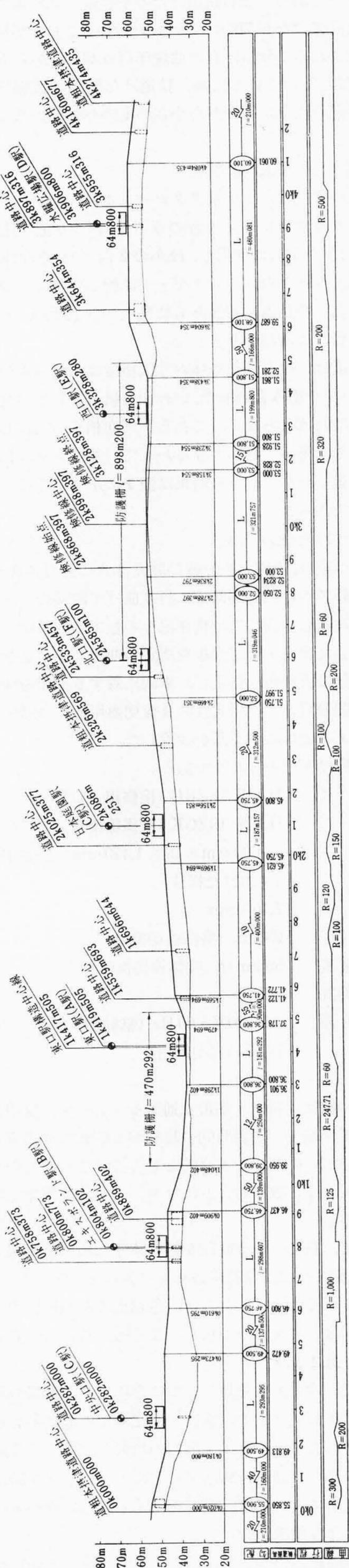
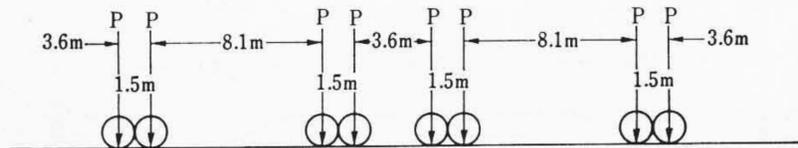


図2 線路縦断面
Fig. 2. Profile of Route



P=10.5t(連行荷重)
重心高さ=1.30m(けた上面)

図3 荷重配置図
Fig. 3. Load Arrangement

表1 材料許容応力度
Table 1. Allowable Stress of Materials

選別	名称	項目	許容応力度	記事
コンクリート	設計基準強度	$\sigma_{ck}=300$	kg/cm ²	躯体 基礎 軌道けた
		$\sigma_{ck}=240$	kg/cm ²	
		$\sigma_{ck}=450$	kg/cm ²	
	許容曲げ圧縮応力度	$\frac{\sigma_{ck}}{3}=100$	kg/cm ²	躯体
		$\frac{\sigma_{ck}}{3}=80$	kg/cm ²	基礎
	許容せん断応力度	$\tau_a=7$	kg/cm ²	躯体 基礎
許容付着応力度	$\tau_{ca}=8$	kg/cm ²	丸鋼	
			異形	
鉄筋	許容引張応力度	$\frac{\sigma_{ck}}{3.5}=86$	kg/cm ²	躯体
		$\frac{\sigma_{ck}}{3.5}=68$	kg/cm ²	基礎
P C 鋼線	破断強度	$\sigma_{sa}=1,600$	kg/cm ²	SD 30
		$\sigma_{sa}=1,400$	kg/cm ²	SR 24
	降伏点強度	$\sigma_{pu}=155$	kg/mm ²	$\phi 8$ mm
		$\sigma_{py}=135$	kg/mm ²	$\phi 8$ mm

遠心荷重 下記の式で示される遠心力 F_c が各軸の車両重心位置に水平に作用するものとする。

$$F_c = \frac{V^2}{127R} P \quad (t)$$

ただし、
V=列車速度 (km/h)
R=曲線半径 (m)
P=1軸重 (10.5 t)

風荷重 活荷重載荷時：軌道けた上面より列車最上面までの高さの投影面積に 80 kg/m² が軌道けた走行面上 1.85 m に水平に作用するものとする。
活荷重無載荷時：軌道けたおよび支柱の鉛直投影面に 300 kg/m² が作用するものとする。

地震荷重 $k_H=0.2g$, $k_V=0.1g$

始動および制動荷重 活荷重の 15% が作用するものとする。

(ii) 材料の許容応力度

コンクリートおよび鉄筋の許容応力度は表 1 に示すとおりである。

(3) 建築限界

建築定規および車両定規図は図 4 に示すとおりである。

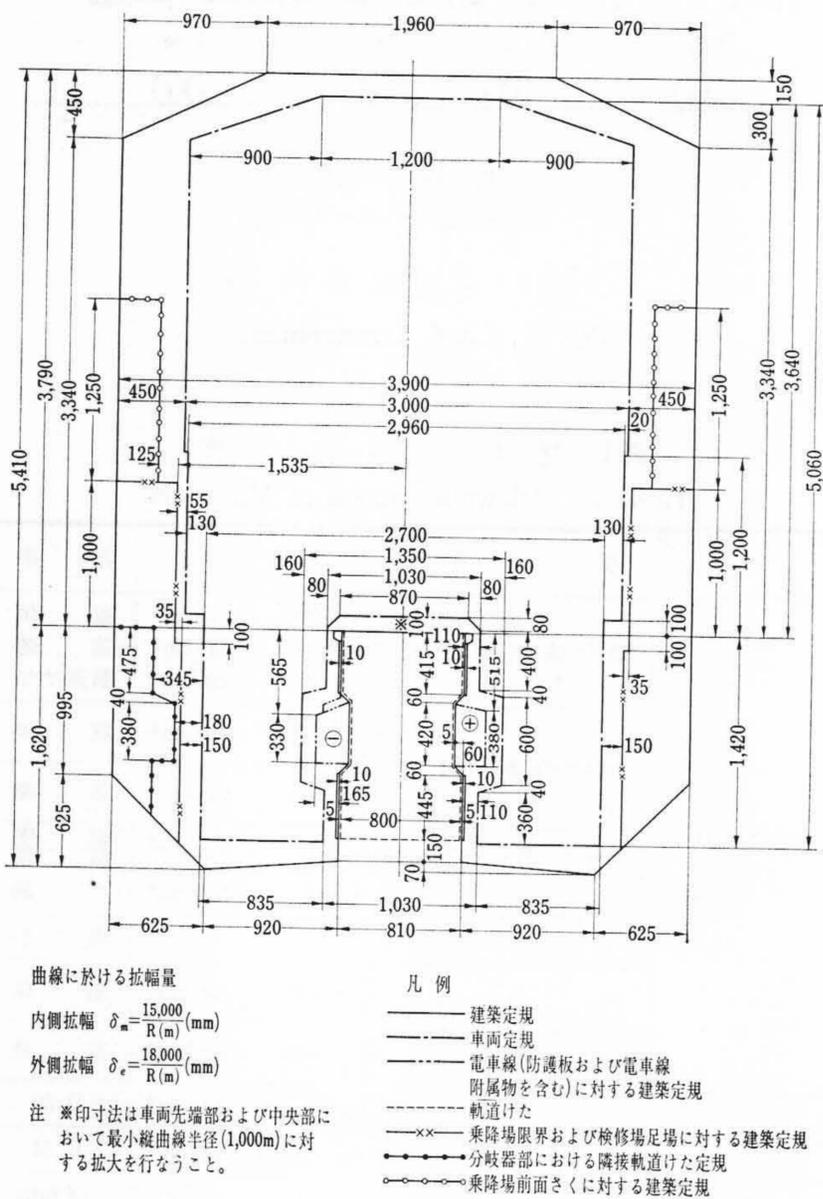


図4 建築定規および車両定規図

Fig. 4. Construction and Rolling Stock Gauge

2.2.2 設計

(1) 基礎

基礎の設計にあたっては、線路沿いに15箇所のボーリング調査を行なった結果、当路線の地質はその大半が大阪層群とよばれる地層で占められていることがわかった。大阪層群は大阪平野周辺部の丘陵地を構成している地層の総称で、沖積層の下に地下広く分布しているものでその岩層は粘土、シルト、砂、砂れきよりなりその間にいく層かの火山灰層をはさんでいる。したがって基礎の支持地盤をこの岩層とし基礎杭には直径300mmの鉄筋コンクリート杭を採用し、杭の許容支持力は杭の支持力試験から1本あたり35tと決定した。会場内の地盤は起伏に富んでいるため、杭の長さも4mから19mまでのばらつきがあった。なお法面に建植される支柱および道路横断部の特殊形支柱には、直径2,000mmから2,600mmの深礎杭27本を採用した。

(2) 支柱

図5および図6に示すように場内施設と美観上の調和を図り軽快な感じを出すためできるだけ細い鉄筋コンクリートによる円形断面の支柱とし、強度上高さ7mまでは直径1,000mmの断面とし、高さ8m以上はテーパつき(首の部分を直径1,000mmに押えた)の円形断面支柱とした。

(3) 軌道けた

全延長約4.3kmのうち分岐部(転てつめた部)40m(20m×2箇所)を除きすべてPCけたを採用した。軌道けたの断面は図7

に示すとおりである。なお軌道けたの全数量は229本で、その内容は完全な直線けたが78本でそのほかすべて曲線が複合されている。またこれらの軌道けたの曲線半径は60mから1,000mに至る11種類となっているため、軌道けた製作は直線けたより製作し曲線半径の大きいものから小さいものへの順で施工することにした。

(4) 軌道けたの架設、調整

軌道けたの架設は、トラッククレーン4台、トレーラ2台を1組とし、トラッククレーン4台のうち2台(つり上げ能力60tもしくは100t)を架設に使用し、ほかの2台(つり上げ能力35tもしくは60t)をけたのストックヤードに配してトレーラへの積込みに使用した。積込み、架設とも特殊なつり上げわくを使用し、クレーン2台による相づりとした。

軌道の性能は、軌道けた単体の寸法精度はもちろんのことではあるが、これらを組み合わせた、いわゆる軌道としての全体的な精度が良くなければならぬ。これらが両面相まってはじめて快適な乗りごちを得ることができるわけで、モノレールにおける最も重要な作業の一つで、その結果は表2に示すように、ほぼ満足できるものであった。

(5) 転てつめた(転てつ機)

この転てつ機は、本線と検修線の渡り部分に使用されるもので、4連の鋼製転てつめたを関節式に折り曲げて隣接のコンクリート軌道けたと連結し、同時に、検修線への転てつ時には、転てつめたより独立した案内・安定面板を所定の曲線に湾曲させることにより継目部分の折れ角を修正し、車両に対する衝撃を少なくする構造とした関節可とう併用式直曲2線切換用転てつ機で、検修線への入口および出口に各1基を設置した。

おもな仕様は下記のとおりである。

形 式	HAW-18ZKG (検修線入口) HAW-19ZGK (検修線出口)
けた 寸法	幅800mm×高さ1,420mm×長さ19,825mm (4本けた構成)
転てつ幅	2,100mm
曲線半径	93.2m (検修線切換時)
車両制限速度	35km/h (検修線切換時)
転てつ所要時間	約9秒
使用電源	AC 220V・60Hz (駆動用) DC 24V (制御用)
総重量	約42t

この転てつ機は、将来、都市交通形モノレールに採用されることを考慮して、転てつ所要時間の短縮および転てつ占有スペース(転てつめた長さ)の減少を主目的として設計されたもので、既納のものと比較すると表3のようになり、大幅な成果を上げていることがわかる。

したがって、転てつ所要時間を短縮するために駆動用モータの馬力アップ、転てつ位置保持用のロック装置をエアシリンダとし、迅速な動作をするようにしたこと、急制動のため制動力の増加および吸収すべきエネルギーの増加による緩衝器の容量アップなどの設計変更が施されている。

また、転てつめた長さを短くしたことにより、転てつ時の転てつめた相互の折れ角の増大、案内・安定面板の曲げ半径の減少、すなわち曲げによるイニシャル応力の増大が設計上の問題となったが、前者については、特殊なフィンガープレートを製作することにより、後者については、板厚を薄くしさらに支持スパンを短くすることにより解決した。

なお、機能の確認については、主として、案内・安定面板の静

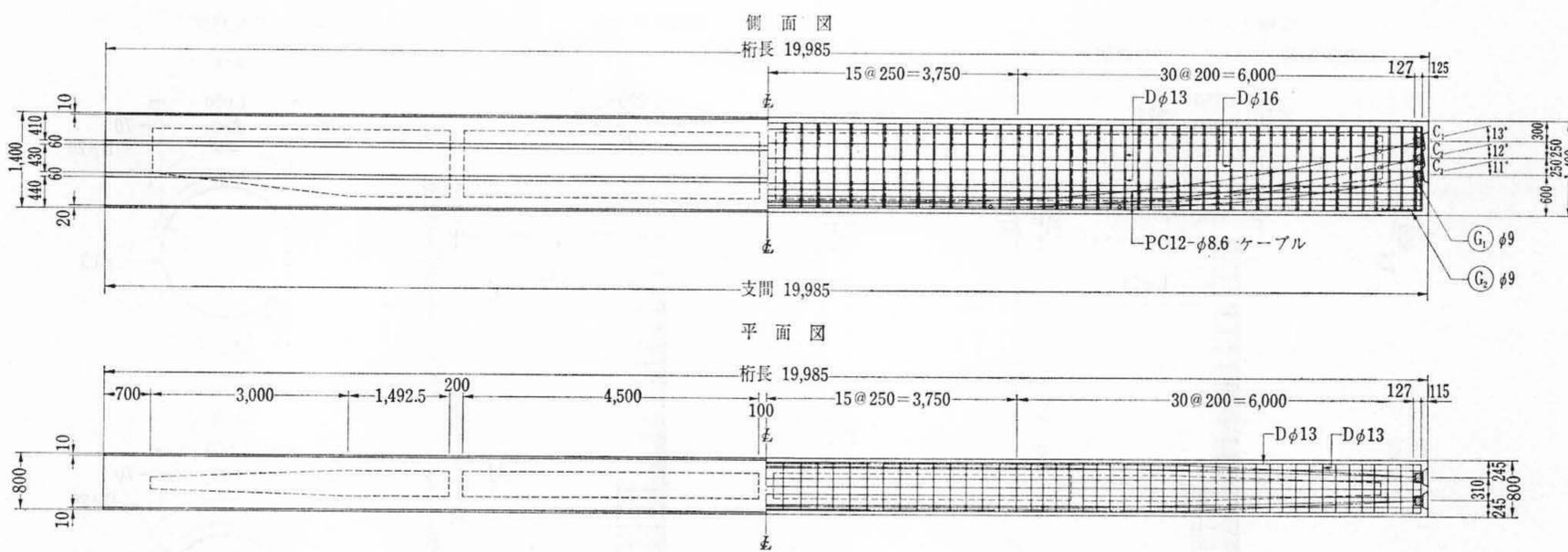


図7 標準軌道けた設計図

Fig. 7. Plan of Standard Track Beam

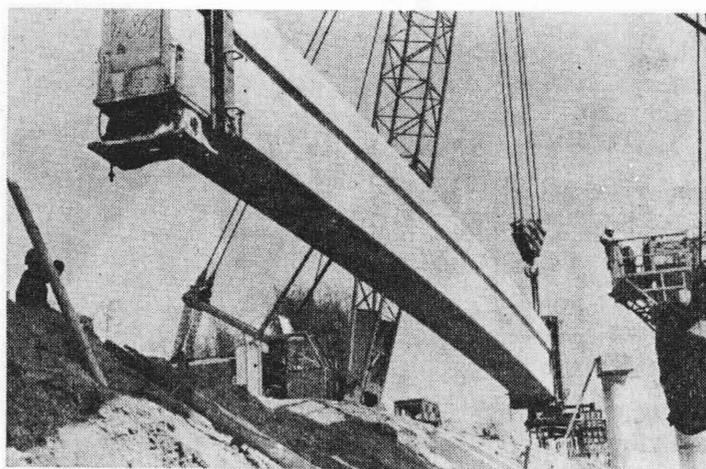
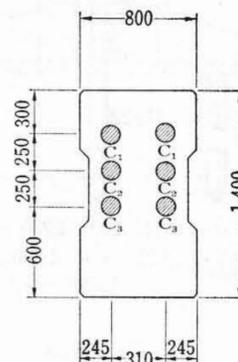


図8 軌道けた架設

Fig. 8. Installation of Track Beam

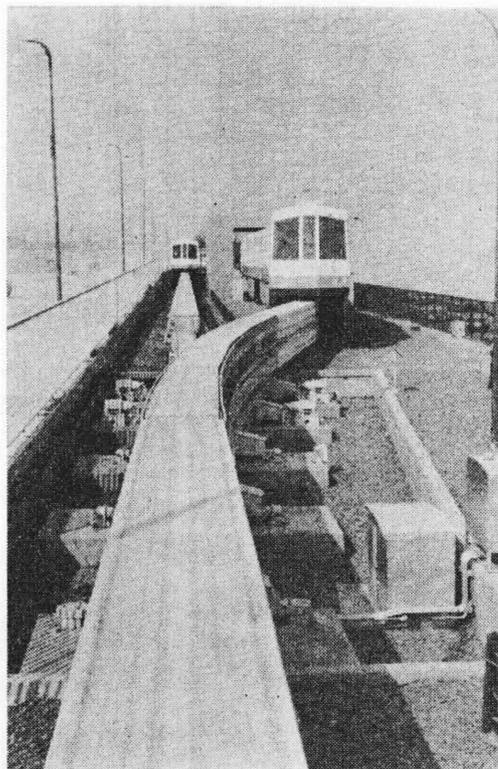


図9 転てつ機 (回転側より見る)

Fig. 9. Switch

表2 軌道の精度

Table 2 Allowable Error of Track

項目	軌道の狂い量 (公差)		目標値 以内のもの	目標値を こえるもの
	基礎値	目標値		
部分的とおり(案内面)	9/1,000 ラジアン	4/1,000 ラジアン	420点	10点
部分的とおり(安定面)	9/1,000 ラジアン	4/1,000 ラジアン	423点	7点
部分的高低	9/1,000 ラジアン	4/1,000 ラジアン	396点	34点
継目部の水準	10/1,000	5/1,000	427点	3点
継目部の段付	3 mm	2 mm	856点	4点
遊間	15 ± 10 mm	15 ± 10 mm	178点	41点

表3 転てつ所要時間と転てつけた長さの比較

Table 3. Comparison of Required Time with Beam Length of Switch

納入先	転てつ機種類	納入年	転てつ所要時間 (s)	転てつけた長さ (mm)
東京モノレール	可とう式	39	15	45,000
東京モノレール	関節式	39	15	33,640
東京モノレール	関節式	39	15	45,000
読売モノレール	関節可とう式	39	30	30,000
万国博モノレール	関節可とう式	45	9	19,825

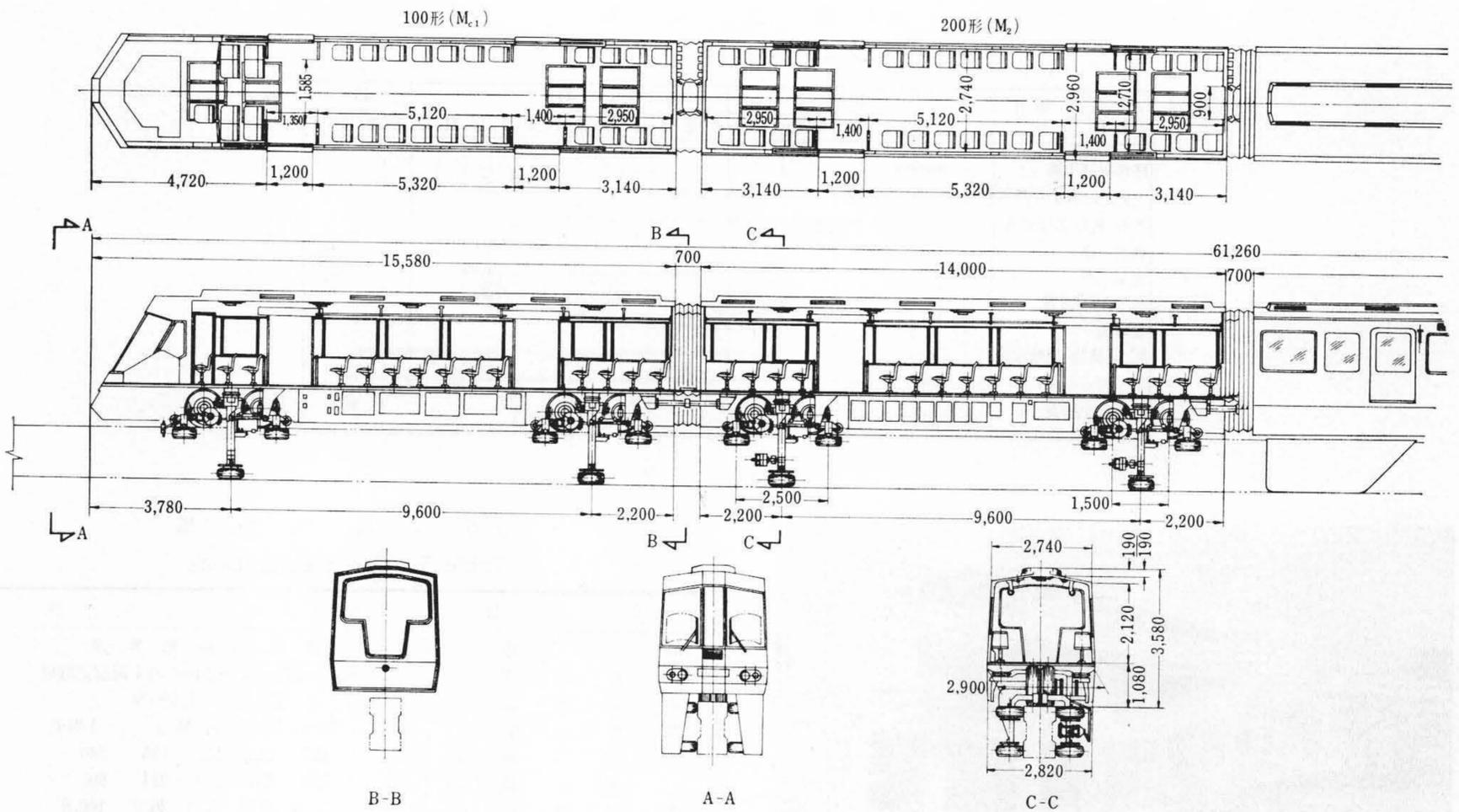


図11 車両形式図

Fig. 11. General Arrangement of Monorail Cars

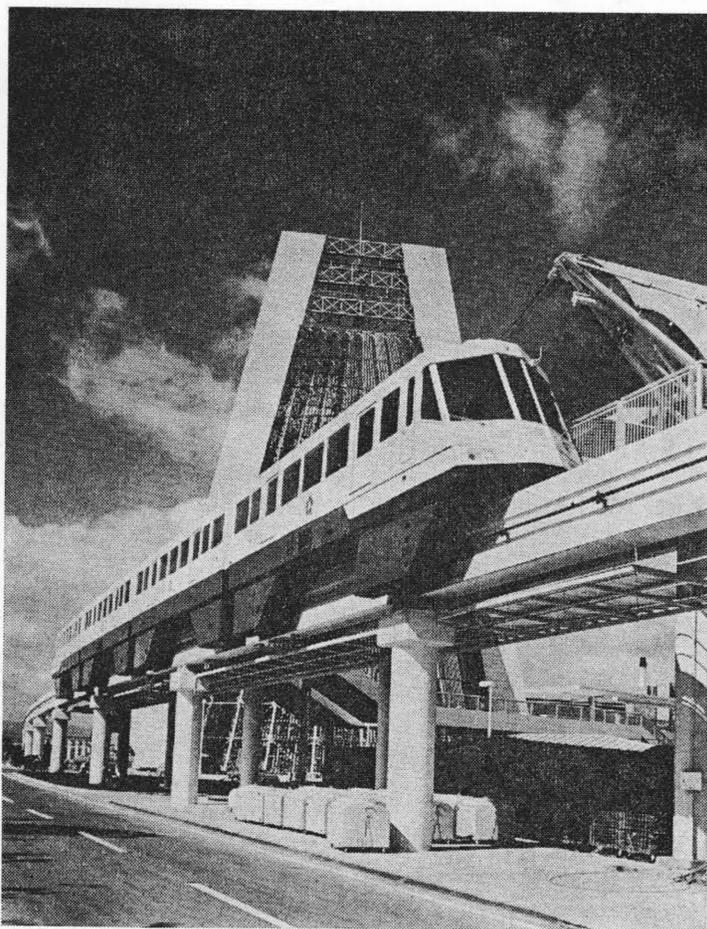


図12 車両の外観

Fig. 12. Monorail Car Running EXPO '70 Fair Grounds

本車両の満員乗客数は、立席面積/満員立席数=0.11 m²/人より算出して967人/編成と決められたが、計画時の自重100.6 t/編成は設計段階で軽量化に努めた結果、実測重量で93.41 t/編成になったため、許容軸重の10 tまで乗車を許せば1編成に1,210人乗れることになる。このときの立席面積/満員立席数=0.077 m²/人となり、国鉄中央線のラッシュ並み以上の輸送能力を有していることになる。

さらに、自動運転の特別仕様を除いたり、車体を軽合金製にすれば、冷房装置をつけても輸送能力は増大できる見通しである。

3.2 現地試験の結果と考察

車両の完成試験としては空車状態と満員時相当荷重積み込み状態の二とおりにおいて、おのおの、加速性能、制動性能、主抵抗器排風温度、騒音、車体振動、走行抵抗、台車わく応力、ブレーキシュー温度、主抵抗器素子温度、パンタグラフ離線率、タイヤ温度などの測定が行なわれ、それぞれ仕様および性能と安全性を満足していることが確認された。ここでは紙面の都合で、満員状態での制動試験、騒音試験、振動試験の結果について述べる。

電気ブレーキ時および空気ブレーキ時の空走時間を除いた平均実減速度をブレーキ初速度別にプロットして、それぞれ図13および図14に示した。図13の電制の特性をみると、制動初速に対してほぼフラットな減速度となっておりブレーキ力の安定性を示している。一方、図14の空制のほうは中高の傾向を示しており、高速域で若干ブレーキライニングの摩擦係数が低下気味で、高ノッチになるほどその傾向が大きくなるのはライニングの面圧の増大による摩擦係数の低下特性が現われているものと思われる。

図15は車内外の騒音を示すもので、車内騒音は車両中央床上1.5 mの位置で、外車騒音は軌道けた側面より20 mの位置で、それぞれAスケールで測定したものである。車内騒音は力行中と惰行中で相当な差があり、この差は主として駆動装置のギヤ音および主電動機のコミテータならびにファンからの音である。

モノレールカーでは空気タイヤを使用しているため、軌道との間で発生する音が鉄道のそれと比べて非常に低い。したがって、この力行中の音が騒音レベルを支配することになるが、全体の騒音レベルは一般鉄道車両に比べると非常に小さい。しかし、力行中の騒音レベルを現在以下に低下させ空気タイヤを使用したモノレールカーの特長をさらに生かす余地があることを示しており、またこのことは技術的には可能なことである。車外騒音も一般鉄道に比べると相当低く、モノレールの特長がよく現われている。

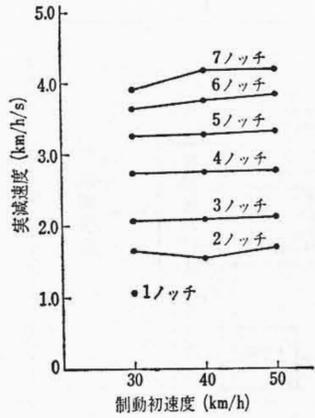


図13 電気ブレーキ性能
Fig. 13. Characteristics of Dynamic Brake

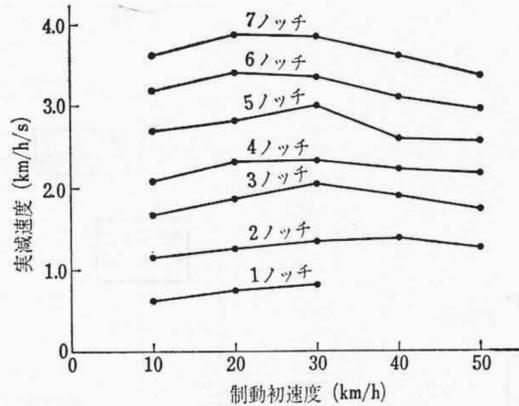


図14 空気ブレーキ性能
Fig. 14. Characteristics of Air Brake

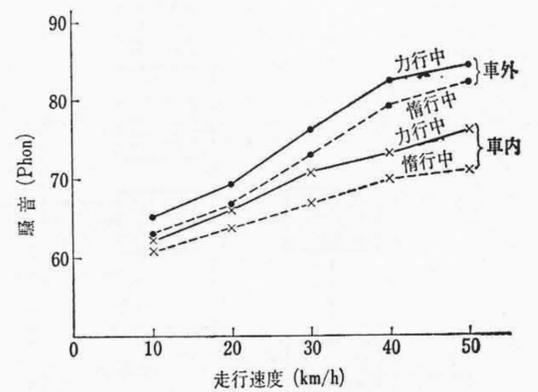


図15 車内外騒音
Fig. 15. Inside and Outside Noises of Car

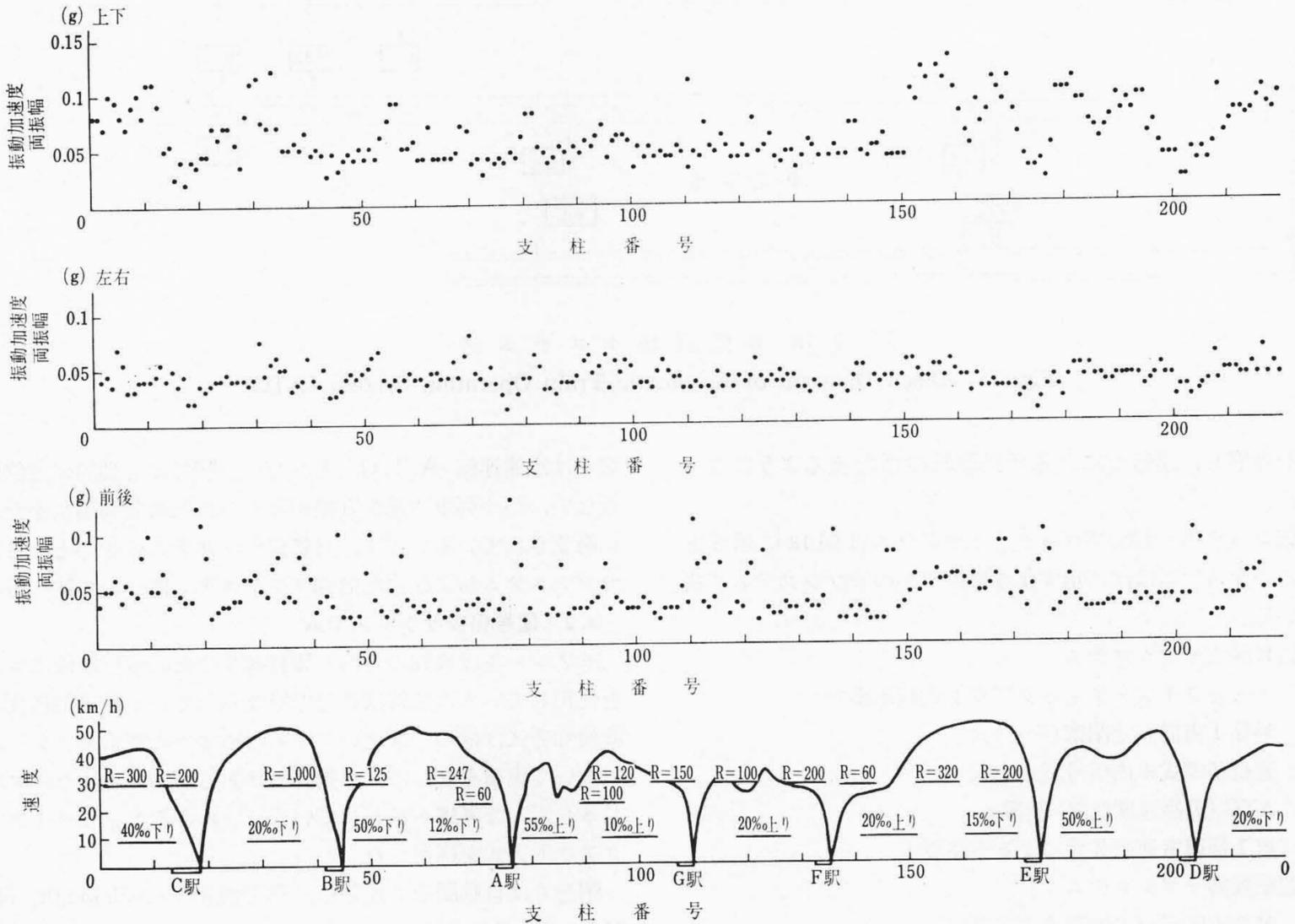


図16 車体の振動加速度 (全線)
Fig. 16. Acceleration of Car Oscillation

図16は車体振動の測定結果で、軌道の支柱間(標準スパン20m)の振動加速度の両振幅の最大値を、上下方向、左右方向、前後方向についてプロットしたもので、車速も併記してある。これらの点のうち前後方向のノッチ切り入れ時のショックを除いて速度別に平均して整理したものが図17である。これらの結果は羽田線500形モノレールカーの試験⁽¹⁾によって予想していた以上の乗りごちであって、軌道製作精度の向上を物語っており、現在の鉄道、モノレール、自動車を含めた陸上交通機関としての最高水準に達したことを示している。

4. 自動運転装置

4.1 自動運転のシステム

このモノレールの運転は自動運転であって、列車の前方に1名の乗務員が乗車し、ドア開閉および出発ボタン操作のみを行ない、以後列車は自動的に運転する方式である。このほか、夜間列車回送用

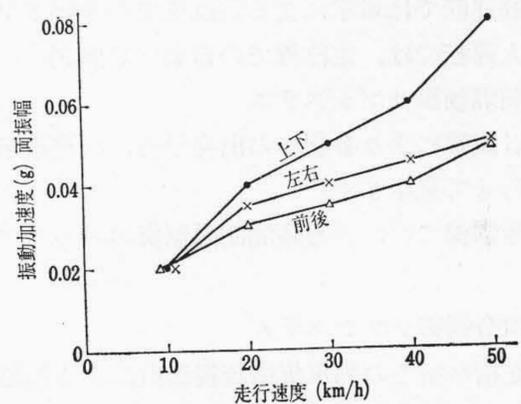


図17 速度別の車体振動加速度
Fig. 17. Acceleration of Car Oscillation by Speed

(毎日列車点検時)には無人運転を行ない、すべての運転を自動的に行なっている。また、入換用および自動制御系の機器が故障したと

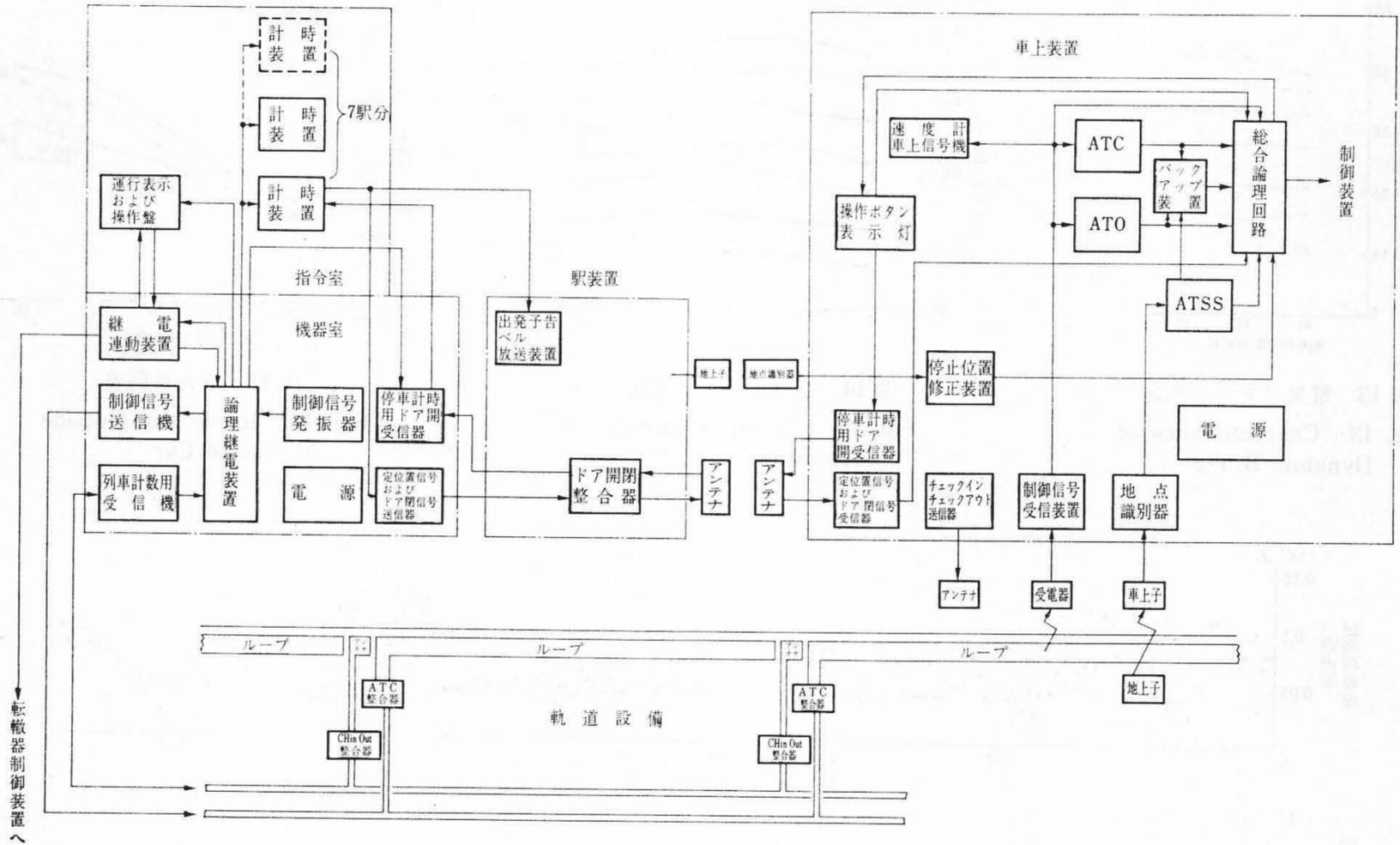


図18 自動運転システム図

Fig. 18. Block Diagram of Automatic Train Operation System (ATO)

きのことを考慮し、運転士による手動運転が行なえるようになっている。

自動運転システムの制御ブロックダイヤグラムは図18に示すとおりで、このシステムは次に示すように幾つかのサブシステムで構成されている。

(1) 信号保安サブシステム

- (a) チェックイン・チェックアウト式列車検知
- (b) 単線1方向固定閉塞(そく)式
- (c) 連続誘導式車内信号現示方式
- (d) ATC (最高速度制限) 装置
- (e) 第1種継電連動装置による進路設定

(2) 運転制御サブシステム

- (a) 可変速度バンド制御式定速運転
- (b) 車上パターン追従式定位置停止
- (c) 自動運転のほかに無人運転を可能とする機能

(3) ドア開閉制御サブシステム

- (a) 自動運転では車掌による定位置での手動ドア開閉
- (b) 無人運転では、定位置での自動ドア開閉

(4) 時間間隔制御サブシステム

- (a) 計時装置により各駅への出発予告、出発指示を列車数に合わせて発生する。
- (b) 信号制御による時間間隔制御のバックアップシステム

(5) 運転指令制御サブシステム

- (a) 運転指令室での列車集中監視装置による運転監視
- (b) 運転指令室での進路てこ扱い
- (c) 運転指令室での緊急処理扱いおよび指令
- (d) 運転指令室でのITVによる各駅ホーム上の乗客動態の監視

すなわち、自動運転を安全に遂行するために、信頼度の高い信号保安装置が前提として存在し、その信号によるATCのもとで、駅

間では定速運転(A.T.O.)を行ない、駅では自動的に定位置停止を行ない、かつ列車の運転間隔が与えられた時間間隔に保たれるように構成されている。以下、自動運転システムの中心となる信号保安サブシステムおよび運転制御サブシステムについて述べる。

4.2 信号保安サブシステム

モノレールは衆知のとおり騒音減少のため走行車輪にゴムタイヤを使用しているため普通鉄道で行なわれている軌道短絡式の列車位置検知方式は採用できない。このためすでに東京モノレール羽田線において実績を有し⁽²⁾、点制御ではあるがフェイルセーフについてじゅうぶんな考慮が払われている、いわゆるチェックイン・チェックアウト方式を採用した。

閉そくは自動閉そく式とし、信号現示には50 km/h、38 km/h、31 km/h、入換(25 km/h)および停止(0 km/h)の5段階を設け、入換信号機以外はウェイサイドシグナルは設置せず、車内に信号現示している。

ATCの情報伝送はコンクリートけたに沿って張られたATCループ線により行なわれるようにしてある。この方式では列車の専有する閉そく区間の後方1区間を停止情報とすることにより後続列車に対する防護を行なっている。停止情報は制限速度0 km/hであり、手動運転でATC開放運転を行なわないかぎり列車の進行を許さない。

4.3 運転制御サブシステム

4.3.1 可変速度バンド制御式定速運転

速度制御は速度バンド制御式であってATC信号を利用し、それを速度バンドに読み替えてその範囲内でのON、OFF運転を行なう方式である。そして、ATC信号に応じ、速度バンドレベルが変化するようにしてある。速度バンド制御の一例は図19に示すとおりである。

バンド幅およびレベルは線路状況に合わせて決定する必要があり、特に万国博の路線は曲線や起伏が多く、速度制限が各所で起こること、さらに前述の運転計画を実現させることおよび乗りごこ

表6 信号の種別とATC, ATOの制御内容
Table 6. Signal Aspects Vs. ATC, ATO, etc.

信号	信号呼称	A T C		A T O				力行制御	適用ブレーキ
		制限速度 (km/h)	適用ブレーキ	力行 ON レベル (km/h)	ブレーキ OFF レベル (km/h)	力行 OFF レベル (km/h)	ブレーキ OFF レベル (km/h)		
F 1	50	55	常用	43	45	47	50	直並列	弱ブレーキ
F 2	38	43	常用	28	30	35	38	直並列	弱ブレーキ
F 3	31	37	常用	25	27	29	31	直列	弱ブレーキ
F 4	0	0	常用	0	0	0	0	cut out	常用
F 5	出発	—	—	—	—	—	—		
F 6	入換	25	常用	—	—	—	—	cut out	

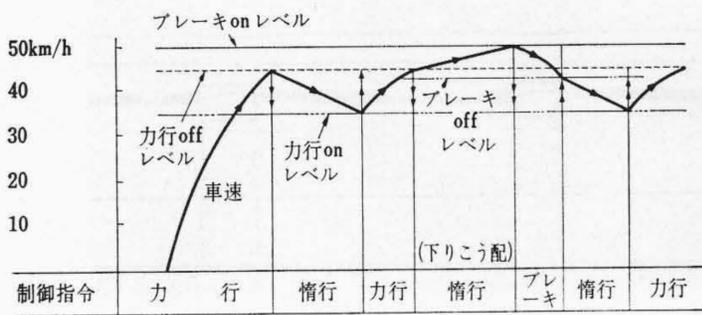


図19 速度バンド制御の一例
Fig. 19. Constant Speed Operation by Speed Band System

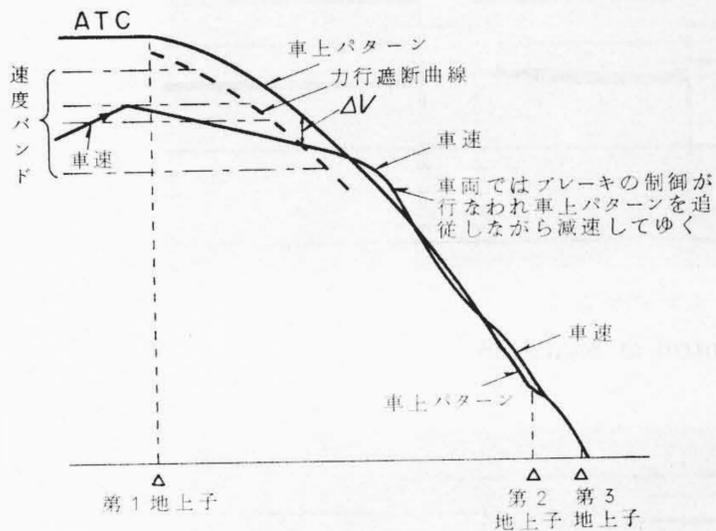


図20 定位置停止制御
Fig. 20. Automatic Train Station Stop Control (ATSS)

ちをよくすることなどを考慮しなければならないから数回にわたる運転曲線の試行のうえで各信号別ATO速度レベルを決定した。その結果を示したのが表6である。

なお、31信号では、線路状況(おもに60 m R)から来るATCの制限速度が低いため、速度バンドは低速側に設定される。この信号に対して主制御器を並列ノッチまで進めたのでは主電動機の均衡速度が高速となり、力行-惰行の繰り返しが多くなるから、乗りごこち上よろしくない。このため31信号では主電動機直列制御とした。

全線を通じブレーキを作用させる場合がいくつかあるが、低位信号に切り換わったときは安全のためATCによる常用ブレーキで3.5 km/h/sの減速度にし、速度バンドにおいてブレーキONレベルを越えたときは電気ブレーキによる弱ブレーキで、減速度2 km/h/s相当に落とし乗りごこちを害さないように計画されている。

4.3.2 車上パターン追従式定位置停止

定位置停止装置の停車精度は±35 cmを目標としている。これを実現するための制御条件をシミュレーションおよび等価試験より求め、最高速度55 km/hから車上パターンを発生し、それと車速とを比較してその差速度に応じてブレーキ力を制御するいわゆる車上パターン式の比例制御方式を採用した。

駅の停止予定点の手前約160 mにおいて、車上の地点検知器が地上の第1地上子を検知した動作信号により2.8 km/h/sの距離-速度曲線、すなわち車上パターンを発生する。車上パターンと車速が一定速度差に近づくまで、定速運転の出力に制御され、一定速度差より小さくなれば力行をしゃ断し、次いで電気ブレーキ指令が出て減速を開始し、以後速度差に応じて限流値を増減しつつパターンに沿って減速制御される。

車上パターンは停止予定点近くになると第2地上子の検知によ

り1.25 km/h/sの減速度に変更し、空気ブレーキにより追従制御を行なわせる。さらに第3地上子により、乗客に不快を感じさせないようにブレーキ力を作用させ確実に停止させる方式である。

これらの制御状態を示したのが図20である。

モノレールにおける速度検知は車輪がゴムタイヤであるため荷重、タイヤの内圧、走行状態などによりかなり変動することが予想される。今回この自動運転システムの精度をあげ、性能上の信頼性を高めるために、荷重負担タイヤからの速度検知をやめ、走行車輪とは別に測定用車輪を設け、その車軸に速度発電機を取り付け、その発生周波数により距離の計測を行ない、かつ速度の検出を行なうようにした。

4.4 現車試験結果

4.4.1 速度制限装置(ATC)

ATCの制限速度は、前記の表6に示されているが、その試験結果は以下に示すとおりである。

本システムにおいては通常、自動運転の走行はATC制限速度以下で行なわれるため、速度がATC制限速度を越えることはない。特に本試験では手動運転で行なっている。

現車試験の一例を示すとオシログラム図21~23のようになる。

各オシログラムにおいて、ブレーキの作用点と緩解点の速度が異なるのは、ATCの照査器にヒステリシスを持たせているためであり、約2 km/hの幅となっている。

図23は、前方閉そく条件によってATC信号が0信号に変化した場合のブレーキ作用による減速を示したものである。また表7はATC照査速度をまとめて示したものである。これらの結果から、各信号における照査速度は仕様を満足し、ばらつきもなく、精度は満足すべき結果を得た。

4.4.2 定速運転装置(ATO)

ATOは、ATC信号に基づいた一定幅の速度バンド内で走行する制御を行なっている。

自動運転中に信号を変化させ、ATOの速度制御状態を示したのが、図24、図25である。表8はそれらの結果を含めて各制御リレーの動作速度を示したものである。

表6に示したように、ブレーキリレー(OBR)のOFF点は、力行リレー(OPR)のON点より高めに設定してあり、OPRのOFFで惰行、OBRのONで弱い電気ブレーキをかけて減速させOBRのOFFで惰行としている。図24では、B駅(エキスポランド)からA駅(東口)に走行する状態を示したものであるが、この間、弱ブレーキにより均衡して下りこう配50%と続いて下り12%を走行して行く様相がわかる。

図25は、曲線部の多い平たん線のG駅(日本庭園)からF駅(北口)に走行するときの状態を示しているが、約26 km/hで再力行指令(OPRがON)が出て減速し続け、しばらくしてから速度が上昇することがみられる。これは、主回路の制御において惰行

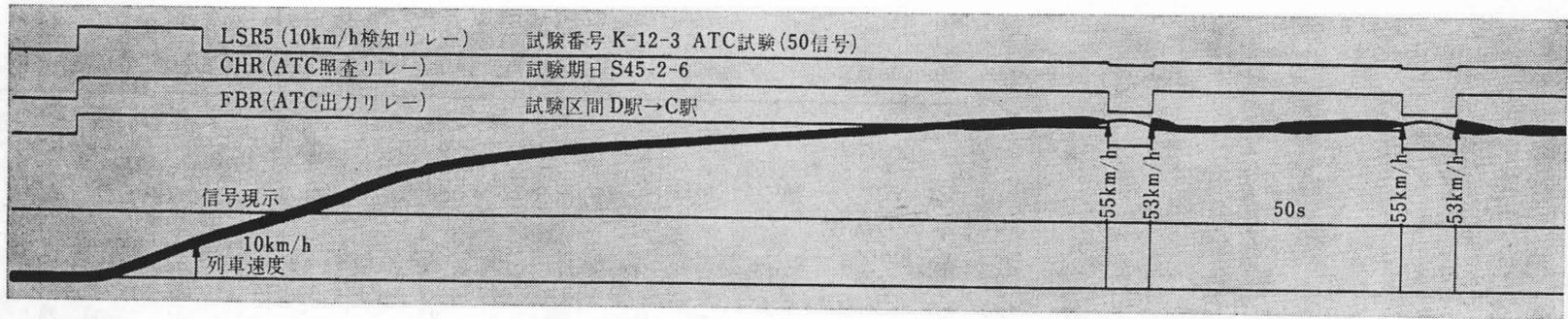


図 21 50 信号時 ATC 照査オシログラム
Fig. 21. Oscillogram of ATC Control at Signal 50

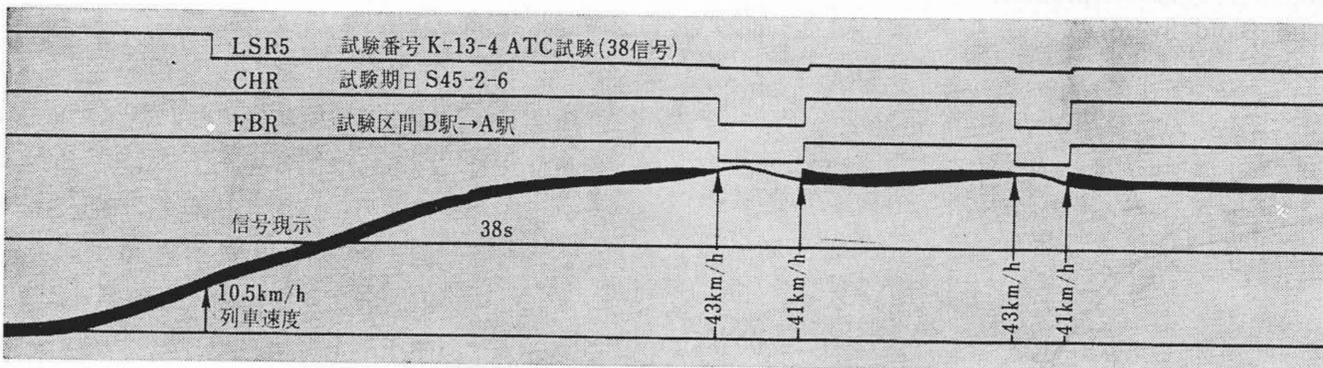


図 22 38 信号時 ATC 照査オシログラム
Fig. 22. Oscillogram of ATC Control at Signal 38

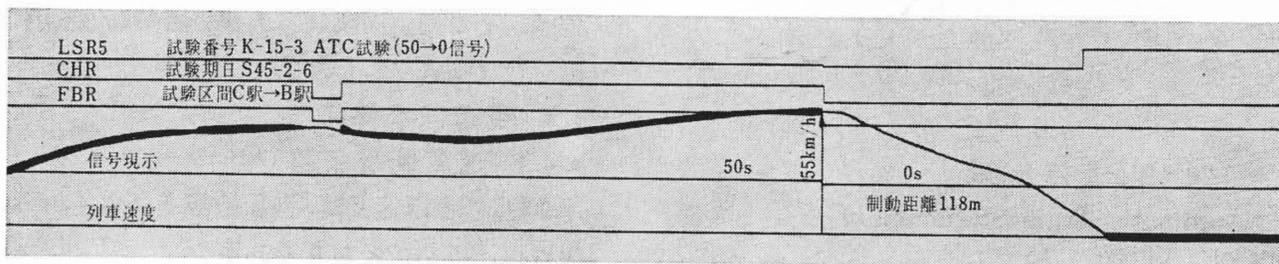


図 23 50 信号→0 信号時の ATC ブレーキオシログラム
Fig. 23. Oscillogram of ATC Braking Control at Signal 50 to 0

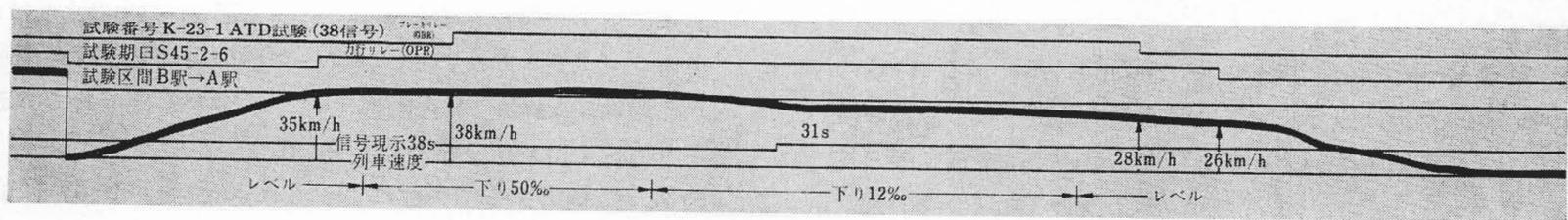


図 24 38 信号時 ATO 照査オシログラム
Fig. 24. Oscillogram of ATO Control at Signal 38

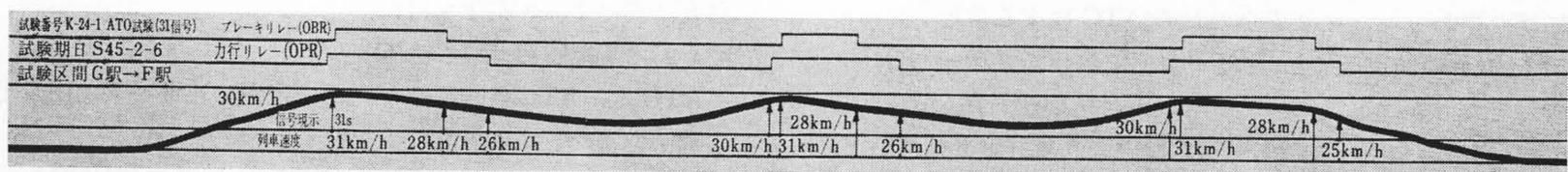


図 25 31 信号時 ATO 照査オシログラム
Fig. 25. Oscillogram of ATO Control at Signal 31

表 7 ATC 照査

Table 7. Speed Setting Points of ATC

項	試験番号	信号種別	試験区(駅)	CHRリレー (km/h) (ATC照査リレー)		備考
				OFF	ON	
1	K-12-3	50	D-C	55	53	図 21
2	K-13-4	38	B-A	43	41	図 22
3	K-14-3	31	G-F	37	35.5	
4	K-16-2	25	F-F	25	22	
5	K-15-3	50→0	C-B	55	—	図 23
6	K-17, 18	31	F-E	—	—	

表 8 ATO 照査

Table 8. Speed Setting Points of ATO

項	試験番号	信号種別	試験区(駅)	OPRリレー (km/h) (力行リレー)		OBRリレー (km/h) (ブレーキリレー)		備考
				OFF	ON	OFF	ON	
1	K-22-1	50	D-C	47	44	50	46	
2	K-23-1	38	B-A	35	—	38	—	図 24
3	K-24-1	31	G-F	30	26	31	28	図 25

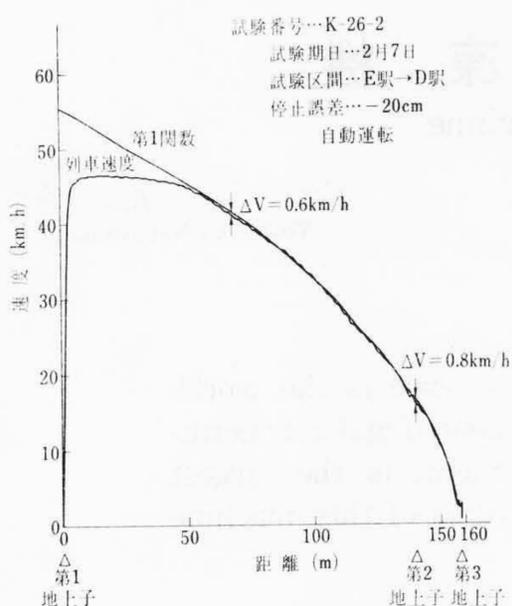


図 26 定位置停止装置の試験結果 (その一)

Fig. 26. Test Result of ATSS (Part 1)

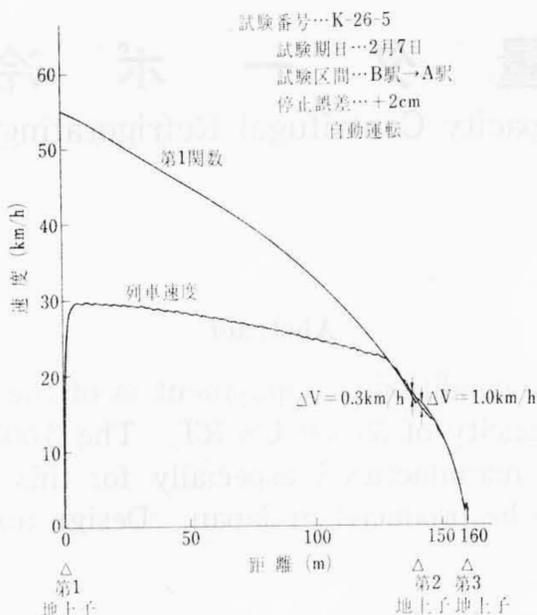


図 27 定位置停止装置の試験結果 (その二)

Fig. 27. Test Result of ATSS (Part 2)

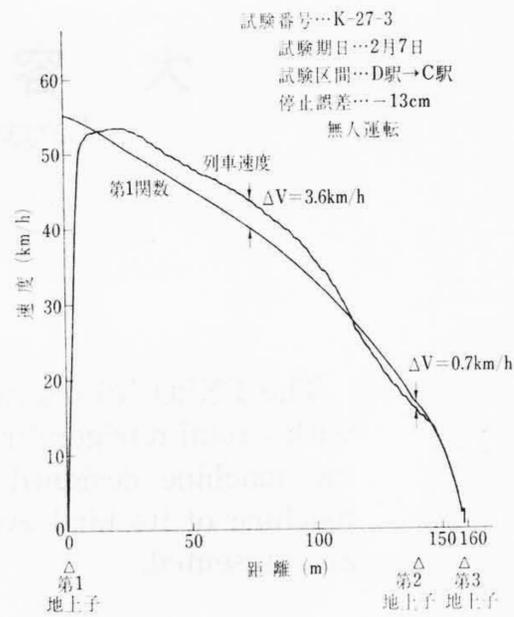


図 28 定位置停止装置の試験結果 (その三)

Fig. 28. Test Result of ATSS (Part 3)

になるとスポッティングさせるためブレーキ回路を形成させているので、再力行指令が出て、カム軸1ノッチまでの戻り時間、制動転換器の動作時間などのため、力行電流の立上りまでに数秒の遅れを生じているためである。

ATCの場合と同様に、ATOの速度照査精度は、表8に見られるように、前掲の仕様に比べきわめて高いことが確認された。

4.4.3 定位置停止装置 (ATSS)

ATSSは、定められた駅の停止位置に停車させるよう、理想的な停止パターンと車両の速度を比較し、その差速度に応じてブレーキ力を連続的に制御する装置である。

ATSSの試験結果でX-Yレコーダに記録したものを示したものが図26~28である。

さらに、ATSSの最終結果として表わされる停止位置の誤差は表9に示すとおりである。

図26はE駅(西口)から出発し、D駅(水曜広場)へ停車するときの制御状態を示したものであるが、第1関数と列車速度の偏差は0.6 km/hと少なく理想的な制御状態が見られる。図27はB駅(エキスポランド)からA駅(東口)へ停車するときを示したもので、かなり低速で進入するが、これも良い制御を示している。図28は、D駅(水曜広場)からC駅(中央口)へ停車するときを示したものであるが、かなりのオーバーシュートが見られる。この付近は、下り40%のこう配で進入することから、ブレーキ力が完全に立上り有効になるまでに差速度が広がってしまうためであるが、途中から0%に変化し、完全に追従しうる状態になることを示している。

いずれも、定位置停止装置としての制御機能がじゅうぶん発揮できることが確認され、かつ停止精度も仕様の±35 cmを満足する精度となることがわかった。

このように、良好な追従を行ないうることは次のような理由によるものである。すなわち

- (1) 電気ブレーキの立上りを良くするため、予備励磁ならびにスポッティングを行なっていること。
 - (2) 空気ブレーキを応答の速い電気指令式としたこと。
- などである。

5. 結 言

以上、万国博場内大量輸送用モノレールの主体をなす軌道、車両

表9 ATSS X-Yレコーダによる記録例

Table 9. Sample Data of ATSS

項	試 験 番 号	試 験 区 間 (験)	進 入 速 度		速 度 備 差		停 止 誤 差 (cm)
			第1関数 (km/h)	第2関数 (km/h)	第1関数 追従時 (km/h)	第2関数 発生時 (km/h)	
1	K-25-1	F→E	39.2	18.0	1.0	1.2	-30
2	K-26-1	F→E	40.5	17.0	1.1	0.9	-20
3	K-27-1	F→E	40.7	17.5	1.0	0.8	-30
4	K-25-2	F→D	46.5	18.0	1.0	1.5	+25
5	K-26-2	F→D	46.3	17.4	0.6	0.8	-20
6	K-27-2	F→D	47.0	17.5	1.0	0.5	-15
7	K-25-3	D→C	51.6	17.5	3.2	1.0	+17.5
8	K-26-3	D→C	52.2	16.8	3.2	0.8	-13
9	K-27-3	D→C	53.5	16.3	3.6	0.7	-13
10	K-25-4	C→B	44.8	16.7	1.2	1.1	-18
11	K-26-4	C→B	45.5	17.0	1.2	0.8	-15
12	K-27-4	C→B	46.0	16.7	1.7	0.2	-20
13	K-25-5	B→A	29.0	17.3	1.0	0.4	-5
14	K-26-5	B→A	29.3	16.7	0.3	1.0	+2
15	K-27-5	B→A	30.3	16.7	1.0	1.2	-23
16	K-25-6	A→G	33.3	17.1	0.3	1.0	+5
17	K-26-6	A→G	33.2	18.6	2.0	1.3	-5
18	K-27-6	A→G	34.3	17.7	1.6	1.1	+12
19	K-25-7	G→F	17.0	16.4	1.0	1.3	-6
20	K-26-7	G→F	22.8	16.9	0.2	1.2	-20
21	K-27-7	G→F	23.5	17.5	0	0.8	+20

注：1. 第1および第2関数の進入速度は地上子を通じたときの列車速度である。
2. 速度偏差は第1パターンに追従ようになってから第2パターンにはいるまでの間パターンに対する列車速度の最大偏差を示す。

自動運転装置について報告したが、今回完成をみたモノレールは、従来一般に言われていたモノレールの欠点を一掃するもので、これを機会にモノレールが都市交通機関として飛躍的に発展し、交通問題解決に大いに寄与することを念願するものである。

このモノレールは日本跨座式グループの日立製作所(軌道けた、転てつ器、車体、台車、制御装置、ATO)、東京芝浦電気株式会社(回転機、変電所)、日本信号株式会社(信号)などの共同製作に成るものであるが、システム全体の設計、取りまとめは日立製作所が担当した。

終わりに、本モノレールの建設に際し、種々ご指導を賜った日本万国博覧会協会、運輸省、日本国有鉄道、東京急行電鉄株式会社の各位およびご意見を頂いた関係各位に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 永弘：日立評論 51, 1011 (昭44-11)
- (2) 後藤：日立評論 47, 112 (昭40-4)