

羽田線モノレールカー

Electric Motor Car Delivered to Haneda Monorail Line

永 弘 太 郎* 齋 藤 節 夫*
Tarô Nagahiro Setsuo Saitô

内 容 梗 概

本格的輸送機関として注目のうちに完成された羽田線モノレールは、西ドイツのアルウェーグ社との技術提携のもとに、日立製作所が、施設、車両その他をまとめて受注、建設したもので、今後のモノレール発展の試金石となるものである。ここではそのうちの車両に関して、問題点、構造について述べ、試験結果の一部にも触れた。

1. 緒 言

昭和39年9月開業を目標にして、各種施設、車両、要員など着々整備された羽田空港地下より浜松町駅間のモノレールは、その性能、規模とも画期的なものであって、近代モノレールに対する評価がこれで決定されると思われるものである。東京都の交通事情は、高速道路の整備によって、着々その面目を一新しつつあるが、大量旅客輸送や安全の面において、モノレールの都市交通機関に占める位置は、高速道路とは別に重要な意義をもつものと思う。

日立製作所が、西ドイツのアルウェーグ社との技術提携のもとに、完成したこの羽田線モノレールは、全長13kmあまりを15分で結び、羽田空港の地下から出発して、東京湾の埋立地や海上を走行するもので、その景観や規模は、モノレールの真価を世に問うにふさわしいものである。

以下、車両にその観点をしぼって、計画設計に際しての問題点とその対策、おもなる仕様、試験結果の一部について紹介する。

2. 主 問 題 点

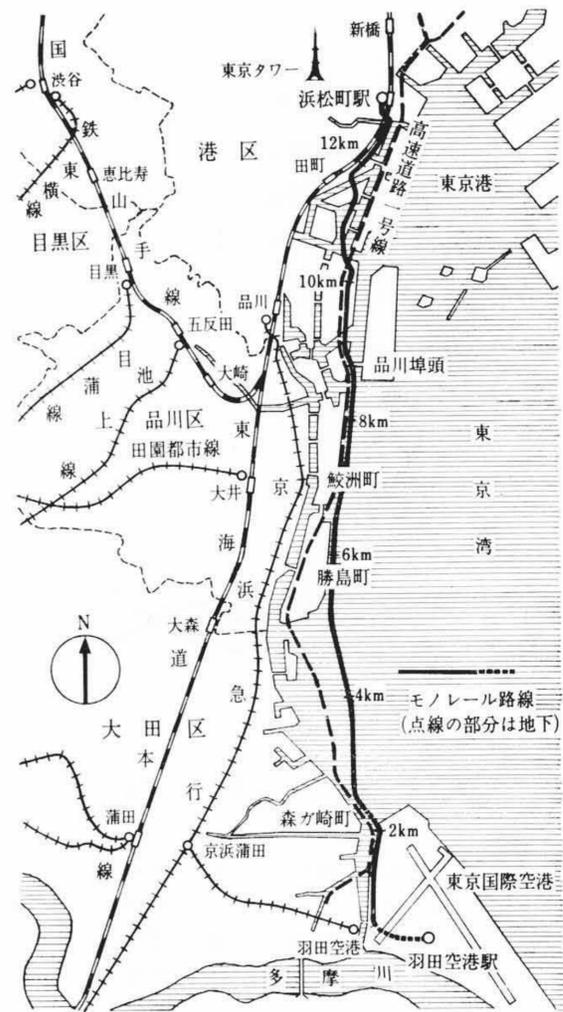
(1) 塩害について

羽田線モノレールは、第1図に線路図を示すように、埋立地または東京湾内に多くの支柱が立ち並び、常時海上を走行し、保守点検が行なわれる車庫も埋立地内にある。このことから、車両その他に対する塩害については、計画当初から問題点として取りあげられ、種々の検討が加えられてきた。塩害は、塗粧の劣化、電気品絶縁の低下およびリーク電流、金属の発錆などをひきおこし、車両の保守や保安の面から見て重大な問題である。またこれに関連して給電軌条の電圧をどう選ぶかが問題で、犬山モノレールでは1,500Vを採用したのに対して、海上を走ること、がいの絶縁低下などを考慮して、750Vを選定した。

絶縁材料、金属材料、抵抗器材料、塗料、メッキなどに関しては、多くの材料、工作方法の中から、工場内における塩水噴霧試験や、品川火力発電所構内における標本の長期にわたる暴露試験によって、もっとも被害の少なかったものを採用している。

(2) 車両構造について

モノレールカーにおいて、普通の郊外電車などと比較対照されるものの一つに乗客数の問題がある。走行車輪が空気タイヤである関係上、満員における軸重に制限があると同時に、跨座式(こざしき)モノレールでは走行車輪が客室内にはり出して客室の腰掛配置に制限をうける。さらに高速なるため、主電動機をはじめ、電気品の重量も大きくならざるをえず、車両の軽量化については、とくに慎重な考慮が必要であった。



第1図 羽田線線路図

最高速度100km/hと軸重10t(1タイヤ当たり5tの負荷)、さらに余裕を含めて羽田空港—浜松町間12分30秒のスケジュールに耐える空気タイヤが必要であり、トリノやフェーリングンで使用実績のある、ミシエリン製の13.00-20×を使用した。

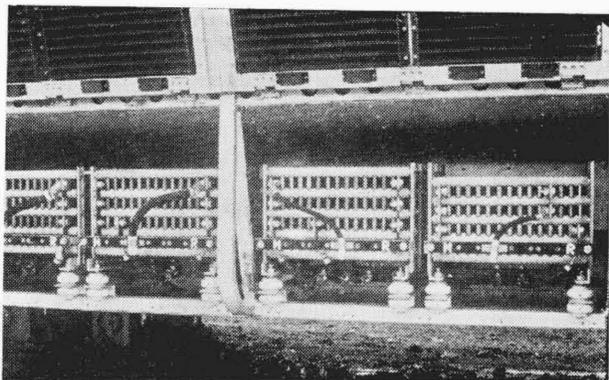
走行車輪はそれを駆動する駆動装置や、ディスクブレーキとともに、どうしても客室内にその一部がはいり込む構造となる。設計計画側としては、はり出した部分の構造を、できるだけ乗客のじゃまにならぬよう、また体裁がよくなるよう考慮する必要がある。このモノレールカーでは、床面高さを軌道面上600mmまで上げ、車輪および駆動装置の上当たる部分には腰掛をもうけて、床面の有効利用をはかっている。第2図に客室内部の状況を示す。床下の減速機その他の騒音源からの防音については、発泡ウレタンの吹付けや、一部スプレーアスベストを使用して、室内騒音の減少をはかっている。

重量軽減のためには、車体、走り装置のほか、各機器についても極端なまでに設計上、製作上の管理を行なって、計画どおりの重量におさまるようにした。また各軸重が満員時にほぼ等しくな

* 日立製作所笠戸工場



第2図 客室内部



第3図 主抵抗器

るようにすることが必要であって、床下機器配置もその目的を達するため、慎重な計画のもとに設計を進め、また設計途中において先頭車の車長を縮めるなどの変更を強行して、ほぼ満足な軸重配置にすることができた。

(3) 走行車輪の粘着について

空気タイヤは、普通鉄道車両に使用される鉄車輪に比べて、一般に粘着係数が大きい。これはけたの表面あらさによっても、大きな差がある。表面あらさが小さい場合は、乾燥状態では粘着係数は比較的大きいが、雨天における乗用車のスリップ事故が多いことを見てもわかるように、湿潤時になると大幅に粘着係数が下がる傾向にある。しかし、実験の結果、けた面あらさがある程度より大きければ、湿潤状態でも粘着係数は大幅には下がらないことがわかったので、救援などのための他車けん引に際しても、支障なく走行が可能であるようにするために、けた面をある程度あらくするようにしている。

一方積雪や結氷によって粘着係数は下がるが、積雪の場合のため、回転ブラシを用いた除雪装置を、救援または、特殊作業のために別に車庫に常設している内燃機関車で押して除雪するようにしている。これにより各区間の信号に連動した自動列車停止装置と相まって、運転の正常を維持することができる。

(4) 主抵抗器の冷却について

犬山ラインパークモノレールの場合、ファンによる強制通風によって主抵抗器の冷却を行なったが、羽田線モノレールカーにおいては、重量軽減、原価低減およびぎ装配置の関係から、自然通風方式を採用することにした。この場合、第3図に示すように抵抗器箱は車両のスカート下部に配列し、下部より風を取り入れて側面に出す方式とした。

主抵抗器、車体および排気の過大な温度上昇は、各機器の耐熱

容量、アルミ部材の強度、塗粧の変色およびはく離、ゴムパッキンの変質などに悪影響を及ぼすため、各部の温度上昇をモックアップにより実験を行ない、車体の構造と各部上昇温度との関係を求めた。なお全線走行時における各部温度を測定してその温度が予定値以内であることを確かめた。

(5) 安全に対する処置

新しい交通機関を採用するに際しては、乗客その他の安全に対して、条件のゆるす範囲で万全の方策をとる必要がある。このモノレールで採用している種々の設備、考え方は、将来この種交通機関の基本となるものと考えられるので、ここで簡単に紹介しておく。

(a) 車上信号装置

トンネル部分を除いては全線が高架方式であるため、地上信号ができないので、車上信号機を設けている。閉そく方式は地上記憶装置による、チェックイン、チェックアウト方式として、軌道けたにはられたループ線に流れる信号電流を連続的に受信し、車上信号機に信号を現示する。これは、地上に設けられた記憶装置を車上に設けた発振器の出力によって動作させるもので、列車が一閉そく区間に進入するときに記憶され、進出するときに復帰する。装置は故障、停電などのときは安全側に作用するようになっている。全設備はトランジスタ化されていて、モノレールとしては世界最初のもので、従来の地上信号とはまったく異なった画期的なものである。

(b) 自動列車停止装置

車上信号機と連動させて、停車場または転てつ器に近接する区域の閉そく区間の適当な地点において列車の速度を照査し、その速度が規定速度をこえる場合には、自動的に列車に非常ブレーキを作用させ過走防止を行なうものである。

(c) 列車無線電話装置

地上と車上との間で通話できる片通話方式400 Mc帯、列車無線電話を使用している。羽田寄りの基地局は出力20 Wの無人式であって、運転指令によって遠隔制御ができる。

(d) 火災、感電など

車両の火災に対しては十分な注意をはらい、集電器や断流器の周辺にはアスベスト布をはり付けて対アーク処置をとり、室内ぎ装関係の材料についても極力不燃性または難燃性の材料を使用するとともに、消火器を1編成に4個設備している。

乗客の感電防止のため、停車場で車体の電荷を大地におとす接地装置を保有している。

(e) 乗客の救出

非常の場合、後続列車または、対向線路の車両に移乗、停電時、内燃機関車による救出、部分的には橋側歩道による救出、海上においては救助艇による救出を考慮しており、高所よりの車外脱出のため、スローダン(緩降器)を1両につき1個車内に常置している。

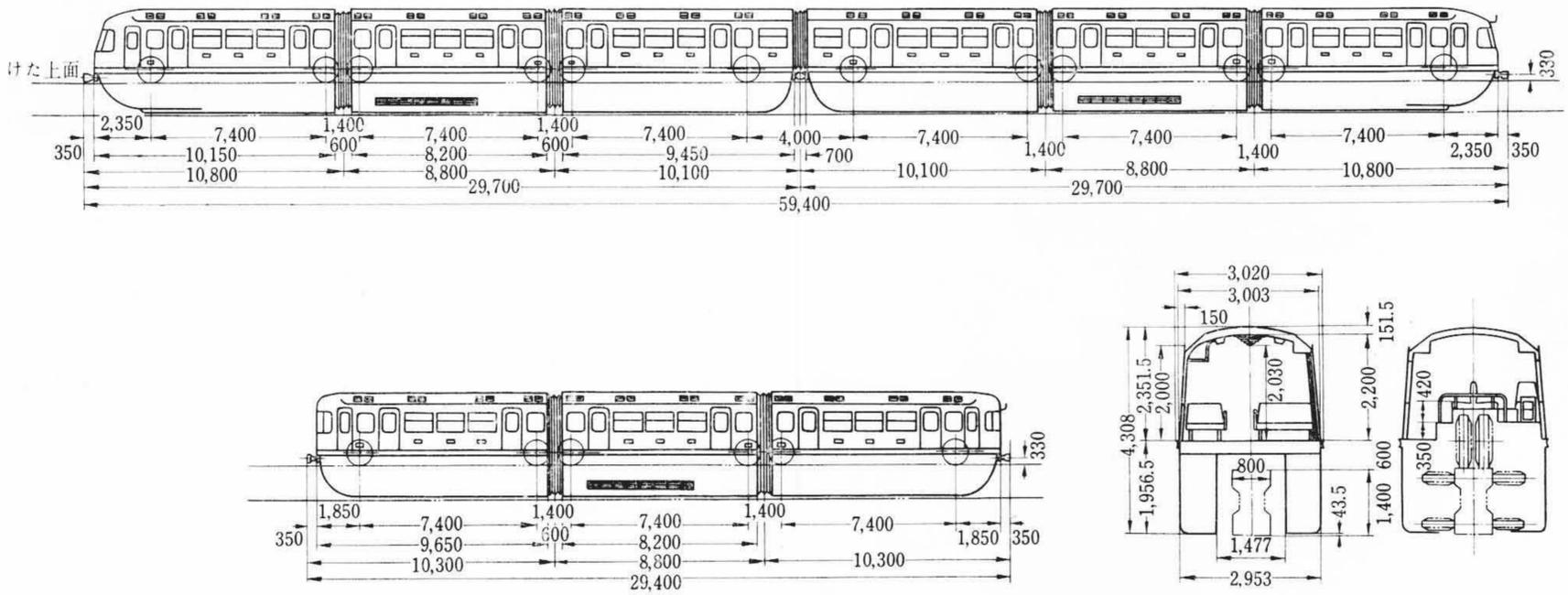
(f) そのほかの設備

屋根上に設けた航空障害灯、乗客への案内または乗務員間連絡用としての車内放送、客室より乗務員室への連絡用押ボタンスイッチ、車外に物をすてるのを防止する網戸、ブレーキ部品に対する凍結防止用ヒータ、タイヤおよび空気パネのパンク警報装置など、細かい所まで気をくばって安全に対処している。

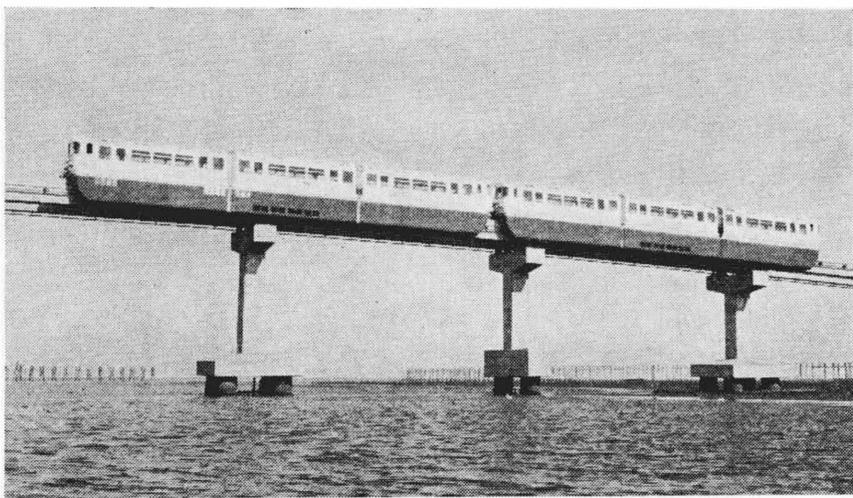
3. 車両の仕様

3.1 車両の主要諸元

車両は3両固定編成と6両固定編成の2種あり、6両固定編成車はその両端を流線形とし、第3、第4両目の車両に簡易運転台をも



第4図 車両形式図



第5図 編成車外観

うけている。第4図にその形式図、第5図に外形を示し、第1表に一般仕様および列車性能を示す。

3.2 車両構造

(1) 車体各部構造

構体は耐食アルミ合金第7種の押出型材および板材によって溶接組立された、ボデー、台わく、下わく、スカートなどをリベットによって結合した構造であって、3両固定編成の間には妻板がなく、3両の客室が1両のように広い感じの室を形成する。

断熱、防音材としては、側、屋根には20mm厚グラスウール、戸袋部と側窓上部にアンダーシール、床板下面には40mm厚の硬質ウレタンフォームを使用しており、内張りはアルミヒッターである。色は天井がアイボリー色無地、内張りはアイボリー色に茶色横じまを入れている。

側窓は外ばめ式ユニット構造で下半固定、上半下降とし、下降と連動して網戸が降りてくる。腰掛は軽合金製フレームの2人掛および3人掛の背すり転換式で、蹴込み部にヒーターを内蔵している。天井には1両につき40cm径の4個の循環形ファンデリヤを備えている。

編成端では車輪室より前方が乗務員室になっており、左側が運転室、右側が車掌室であって、運転室は縁なしアクリル板の低い仕切りによってかこまれている。

車体外部は上部から順にクリーム色、薄青色、濃青色の3色に塗り分けられ、塗料には塩害に強いアクリル樹脂塗料を使用している。

(2) 走り装置および駆動装置

走り装置は第6図に示すように、荷重負担空気タイヤ2輪と案

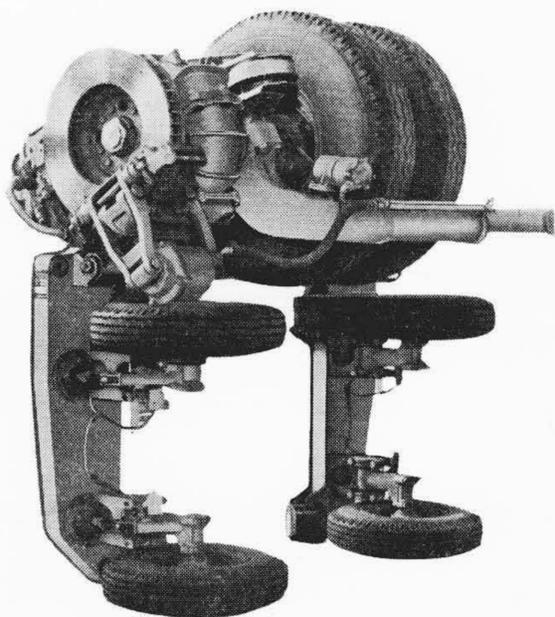
第1表 一般仕様および性能

	3両固定	6両固定
形 式	全金属製1軸固定走り装置付電動客車	
電 気 方 式	直 流 750 V	
列 車 性 能	直線加速度	2.7 km/h/s (空~満)
	直線減速度	常用 1.4~4.5 km/h/s (空~満) 非常 4.5 km/h/s (空~満)
	最高速度	100 km/h/s (750V, 満車時)
	浜松町~羽田空港間	約 15 分
定 員 / 編 成	240名 (座席140, 立席136)	498名 (座席274, 立席284)
最大乗客 / 編 成	317名	660名
自 重	約 40 t	約 80 t
最大寸法長さ	29.4 m	59.4 m
幅	3.02 m	
高さ	4.308 m	
走 り 装 置	空気バネ式単軸固定、ねじりわく付軸りょう方式	
駆 動 装 置	2段減速直角カルダン	
主電動機仕様	直流直巻補極および補償巻線付1時間定格	
主電動機 / 編 成	130 kW×4	130 kW×8
制 御 装 置	総括制御、自動加減速多段式、電動機操作カム軸式電空連動ブレーキ式	
補 助 電 源 装 置	電動発電機およびアルカリ蓄電池浮動充電式	
戸 閉 装 置	電磁空気式自動開閉式、片側2箇所/両	
暖 房 装 置	電 熱 器 式	
換 気 装 置	ファンデリヤ4台/両	
連 結 装 置	乗務員室および簡易運転台側	自動密着連結器(ゴム緩衝器)乗務員室のない側
ブ レ ー キ 装 置	電磁直通式、電空連動および荷重検知装置付	
通 信 装 置	FM式列車無線装置	
保 安 装 置	車内信号装置、自動列車停止装置付、過速検知装置付	
速 度 計 装 置	電気式速度計	
集 電 装 置	給電軌条下面接触式、集電靴方式	
車 内 放 送 装 置	スピーカ2個/両	
非 常 脱 出 装 置	スローダン1個/両	

内用空気タイヤ、安定用空気タイヤ4輪で中空長方形断面の軌道けたにまたがって走行する構造となっていて、上下には空気タイヤの弾性とダイヤフラム形空気バネによって緩衝される。

主わくは高張力鋼板溶接組立構造で、その一部は空気バネの補助タンクに兼用され、車体と6本のボルトによって簡単に取り付け、取りはずしができる。

3両固定編成に6個の走り装置が取り付けられ、中間4個の走



第6図 走 り 装 置

第2表 走り装置および駆動装置仕様

走り装置形式	HAF-12形
最大負担荷重	軸重 10t 約 1.5t
台車わく	高抗張力鋼板溶接構造
荷重負担車輪	タイヤ 13.00-20×複輪 リム 9.00V×20 相当
案内車輪	タイヤ 7.00-15-12 PR 単輪 リム 5.50F×15
安定車輪	タイヤ 6.50-15-12 PR 単輪 リム 5.50F×15
空気バネ	240φ ダイヤフラム形, 2個/1空気バネ
空気バネ制御弁	LV3形連続制御方式
案内安定輪押付装置	特殊ゴムバネ
補助車輪	荷重負担用 径265φ 幅240 ソリッドゴムタイヤ 案内, 安定輪用 径200φ 幅115 ソリッドゴムタイヤ
停留用ブレーキ	内拡カム式 ドラムブレーキ
駆動装置減速比	8.355
使用歯車	スパイラルベベルギヤとヘリカルギヤの2段減速
プロペラ軸	ニードルベアリングタイプ
常用空気ブレーキ	ディスクブレーキ

り装置の荷重負担輪が主電動機によって駆動される。駆動装置はヘリカルギヤとスパイラルベベルギヤの2段減速である。

基礎ブレーキは、全走り装置の荷重負担輪軸に直接取り付けられたブレーキディスクを、空気シリンダで締めつける方式で、ブレーキライニングには焼結合金製のものが使用されている。第2表はその仕様を示す。

(3) ぎ 装 品

電気品、ブレーキ部品などは車両のスカート部に収納されるので、小形軽量であるとともに点検は外側からのみでよいように作られている。また機器のカバーはできるだけやめて車体の点検ふたで兼用している。以下に各機器について簡単に記す。

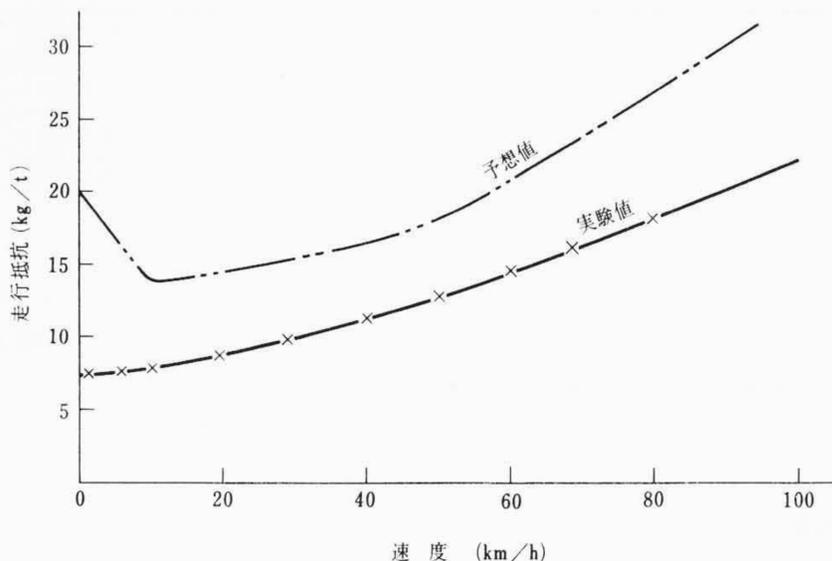
(a) 制 動 装 置

ブレーキ方式は HSC-D 電空連動空気ブレーキで、1編成6軸の全軸に作用する。ブレーキ制御装置は1ユニットとして1編成のうちの1車のみに設けられている。荷重の大小による空気バネの圧力を検知し、常に一定の減速度がえられる応荷重装置を備えている。

またこれとは別に駐車用として、バネによる内拡式ドラムブレーキを備えている。

(b) 主 電 動 機

主電動機の界磁には無溶剤エポキシ樹脂による絶縁、電機子には通常のF種絶縁を行なっている。容量は130kWで、1編成車に4個使用される。



第7図 走 行 抵 抗 曲 線

第3表 回転ドラムによるタイヤころがり抵抗 (kg/kg)

速 度 km/h	13.00-20×(荷重 5t)	7.50-15-12PR(荷重 1t)
30	0.0068	0.0049
50	0.0070	0.0070
80	0.0071	0.0081

(c) 制 御 装 置

総括制御、自動加減速多段式、電動機操作カム軸式、電空連動ブレーキ式であって130kW (375V, 390A)の主電動機を4台制御する。

(d) 補 助 電 源 装 置

電動発電機と、それによって常に浮動充電されている焼結アルカリ蓄電池を設けている。電動発電機は6.5kVAである。

(e) 集 電 装 置

100km/hの高速においても常に良好な追従特性がえられるように、バネ押し式であって、⊕, ⊖それぞれ2個/編成設けており、⊕側は山側、⊖側は海側である。

4. 試 験 お よ び 検 討

車両は日立製作所笠戸工場内の試験線において、静止および低速における各種試験、検査のうえ、羽田モノレール線の全長600mおよび2kmの試運転線において試験し、その性能を確認した。また車両完成前においては、その構体、走り装置主わく、中空車軸などについて強度試験を実施している。

現地試運転線においては、起動加速性能、制動性能、走行抵抗、台車わく応力、案内および安定輪押付け力、車両振動、車内騒音、走行輪のリーディングなどを測定したが、ここではそのうちの走行抵抗、振動、騒音測定結果について簡単に報告する。

4.1 走行抵抗について

走行抵抗は直線平坦な軌道において追風4m/sの外的条件のもとで、惰行法で測定された。整理に当たっては、荷重負担、案内、安定各車輪および動力関係の全回転部換算質量を、定員時全質量の14%とし、4m/sの追風は静止状態に換算された。

第7図にその結果を示す。第7図の2点鎖線は犬山モノレールの実績および外国のデータをもとにして、電気品の計画に当たって予想した走行抵抗の曲線であるが、実験値はこれより小さく、車両性能上予想した曲線より安全側にあったわけである。

回転ドラムによって、タイヤのころがり抵抗を測定した結果は、第3表のとおりである。定員時の荷重負担輪にかかる荷重は平均4.4t、案内、安定輪にかかる荷重は平均400,300kg程度であるこ

第4表 走行抵抗計算値 (kg/kg)

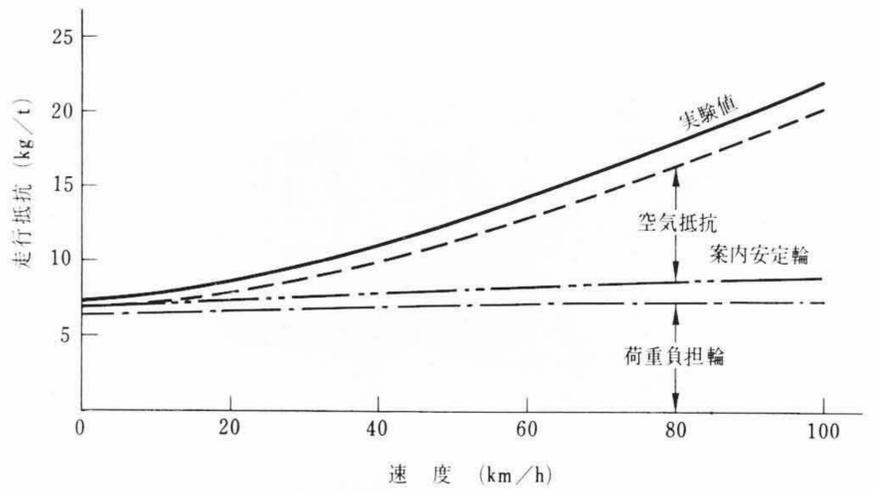
速度 (km/h)	荷重負担輪	案内, 安定輪	空気抵抗	合計
30	0.0068	0.0008	0.0011	0.0087
50	0.0070	0.0011	0.0030	0.0111
80	0.0071	0.0013	0.0076	0.0160

と、および実際の案内, 安定タイヤは、前述のとおり 7.50-15-12 PR と異なっているが、ころがり抵抗は大差ないと思われるので、第3表の数値をそのまま使用して走行抵抗を計算すると第4表のようになる。また空気抵抗は形状係数を 1.0, 前面面積を $4.3 \times 3.02 \text{ m}$ として計算し、これらの合計を求めると、第4表の右欄のようになる。第8図はそれぞれのグラフである。合計したものは、ほぼ実験値とあっているが、全般にやや小さい。これはドラムと実際の軌道の表面の差、あるいは振動による、タイヤのコーナリングフォースなどの影響がはいっているためと考えられる。

4.2 振動および乗心地

試験は車庫付近より海側線を浜松町に向って走行し、左曲線(400 mR)部分全長 280 m と、それに続く直線平坦部全長 400 m を試験区間として実施した。測定位置は、先頭部走り装置後方の床面上であって、床面上の上下, 左右, 前後の三方向の振動加速度と、上下方向の乗心地を測定した。試験は区間試験の方法により、上記試験区間を一定速度で走行し、そのとき発生した振動と乗心地の波形を電磁オシログラフによって記録した。

振動加速度, 乗心地係数の整理結果を、第9, 10図に示す。第9図は直線路, 第10図は曲線路のものである。整理方法は、けた継ぎめにより 40m ごとにくぎり、その 40 m 区間にあらわれた振動加速



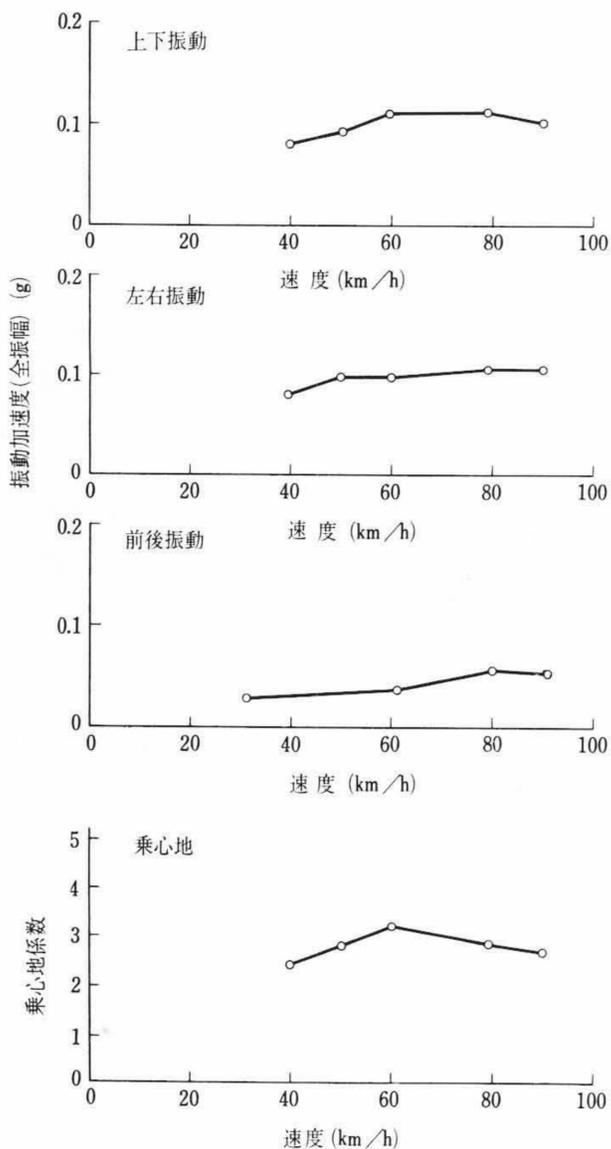
第8図 走行抵抗の内訳

度, 乗心地の波形から、最大全振幅を読み取って平均した。ただし波形は計測器の特性を考慮して、10 c/s 以下の振動を対象にして、それ以上の波形は除いて整理した。

振動加速度の平均値は、上下, 左右, 前後とも、直線路, 曲線路の間にとくに顕著な差はない。一般に振動加速度は速度とともに増しているが、直線路では、上下振動は 60 km/h 付近で、左右振動は 50 km/h 付近でやや大きくなる傾向がある。曲線路については、上下振動は、50~60 km/h で、左右振動は、60 km/h 付近で、前後振動は、80 km/h 付近で加速度がやや大きくなる傾向を示している。乗心地係数は 60 km/h 付近で最も大きくなり、平均値で約 3 となっているが、これは良好の範囲にある。

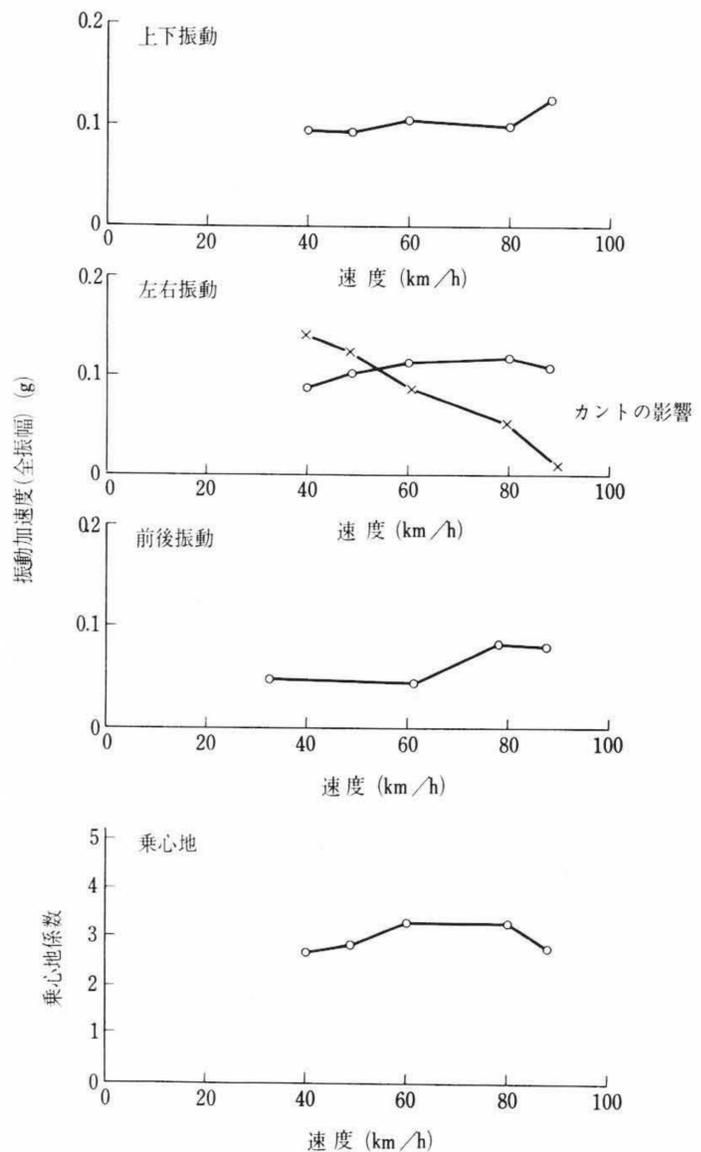
曲線通過時に車両に生ずる左右方向加速度の平均値は、通過速度によって変化したが、曲線路の左右振動の結果におけるカントの影響として示すように、カント設定速度である 90 km/h で零となっ

直線路



第9図 直線路振動, 乗心地

曲線路



第10図 曲線路振動, 乗心地

第5表 車内騒音

静止騒音			
窓	ファンデリヤ	測定値	
全開	停止	59.0	
全閉	停止	69.0	
全開	運転	61.5	
全閉	運転	71.5	
夏形〔窓全開, ファンデリヤ運転〕走行時			
速度 (km/h)	力行時	惰行時	
30	77.0	76.5	
40	79.5	78.0	
50	81.0	80.0	
60	83.0	82.0	
70	83.2	83.5	
80	84.0	83.7	
90	85.0	84.5	
冬形〔窓全閉, ファンデリヤ停止〕走行時			
速度 (km/h)	力行時	惰行時	
30	82.0	81.0	
40	84.5	84.0	
50	84.2	84.0	
60	84.5	84.2	
70	85.0	84.5	
80	86.0	84.8	
90	87.2	87.0	

ている。

4.3 車内騒音

騒音は、電動発電機を設置している300形偶数車の中央床面上1.5

mの位置にマイクロフォンを取り付けて、Cスケールで測定した。測定結果を第5表に示す。

車両静止時の騒音として、窓およびファンデリヤの状態をかえて測定したが、ファンデリヤ運転によって、約2ホーンほど騒音が大きくなる。力行時と惰行時は平均0.5ホーン程度の差であり、客室中央であるためか、主電動機や駆動装置の影響は比較的少ない。窓を全開したほうが全閉より騒音が相当下がり、騒音エネルギーが外部に放散されている。

跨座式モノレールカーの場合、床下の騒音源をスカートが包んでいることは、騒音のエネルギーを外部に逃がすことが少なく、車内騒音が大きくなる一因となっている。しかし都市内交通機関としては、車外の騒音をへらすことが必要で、その意味では、スカートの効果は大きいと考えている。

5. 結 言

東京モノレール株式会社納羽田線モノレールカーに関して、その問題点、構造および試験結果の一部について報告した。モノレールは都市交通機関としても、また観光用乗物としても、まだ発展途上にあるので、われわれは今後の改良、改善に努力していく考えである。

終わりに、本モノレールの完成に際しては、顧客側、監督官庁側から、長期にわたって詳細なご指導を賜わった。ここに関係各位に厚く感謝の意を表する次第である。

第27巻 目 次 第4号

- | | |
|---------------------------------------|--|
| • 電力変換の小さな魔女
——日立SCR素子とその応用分野—— | • 氷の海を切り開く
——新南極観測船用シャフト—— |
| • インド国鉄WAG2形交流電気機関車 | • 成果のかげに
——250 MVA 短絡発電機設備—— |
| • 金属加工に新時代か
——期待を集める電解加工機—— | • 明日への道標「アメリカ・サンルイス発電所納51,400kW
ポンプ水車」 |
| • パッケージ形エアコンディショナーのいろいろ | • 日立ハイライト「パッケージ形エアコンディショナー
でさわやかな“第2の大気口”を」 |
| • 本格的な自動販売機時代きたる | • 電線百話第51話 電線の頭寒足熱 |
| • 自動車の発電機ACジェネレータ | • 日立だよ |
| • 冷凍食品もガッチリ引き受けた!
——理想の冷蔵庫ハイフリーズ—— | • 読者の声「国際水準の日立磁気録音テープ」 |
| • 日立139形は化学者のテスター
——分光光度計—— | |

発行所 日立評論社

取次店 株式会社オーム社書店

東京都千代田区丸の内1丁目4番地

振替口座 東京71824番

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地

振替口座 東京20018番