

東海道新幹線試作電車の概要*

西尾源太郎**

東海道新幹線は昭和39年開業を目途に全区間にわたって建設工事が進められているが、それに先立って6両の試作電車を製作してモデル線と称する試運転線路上で試験運転および乗務員訓練を行なうこととなった(モデル線とは試運転のための別な線路ではなく、新幹線そのものであり、先行工事したもの、すなわち全線の姿のモデルであることを意味する)。試作電車の設計は昭和36年8月末に大略が決定し、国内の車両製作会社に発注が行なわれたのはその年の10月である。おおよそ半歳の期間で試作電車はほぼ完成し車両製作会社構内において試運転および手直しが行なわれた後、昭和37年5月18日～6月11日の間に鴨宮のモデル線試験基地車庫まで輸送された。6月22日以降モデル線路の竣工に応じて区間を延長しつつ試験運転が行なわれ、徐々に速度を向上して10月31日には時速200 km/hの試験に成功した。更に車両、軌道、架空電車線等すべてについての試験検討が試作電車を動かすことによって継続中である。

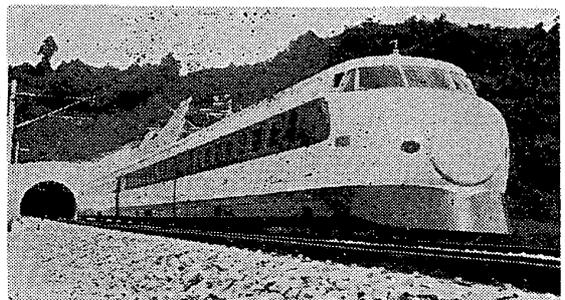
学会誌第66巻第528号(昭和38年1月)に加藤一郎が試作電車の紹介と、試作に至るまでの車両技術の進歩と高速車両に対する基礎研究について述べられたが、今回は試作電車の構造概要と、モデル線における試験運転の状況および量産設計への移行について述べる。

1. 試作電車の概要

試作電車は2両連結のA編成と4両連結のB編成の2編成(6両)が製作された。モデル線(複線)でできるだけひん繁に試運転が行なわれ、かつ高速でのすれ違い時の風圧等の測定も行なえるように最小限の両数で有効な試験・訓練をするために製作両数が決められた。形式図は学会誌第528号にあるので省略し、第1図はB編成の姿を写真で示す。

1.1 車体 在来の狭軌車両と比較すると第1表に示すように車体長さ、車体幅、台車中心間距離などがはるかに大きい値であり、一方重量は高速運転をするため特別に軽量化が要求され、鋼体構造の設計には特

別の配慮がなされた。すなわち、試作車の設計開始に先立ち、試験用の鋼体を製作し強度試験を実施し、鋼体設計数値の資料を得た。その際さらに可能な部分は軽量化し、試作車の鋼体製造過程において再度強度試験を行なって設計の確認と量産車のための資料を得ている。設計条件としてはばね上重量43t、変動荷重 $\pm 0.1g$ の垂直荷重と連結器高さにおいて、前後方向に100tの静圧縮荷重に耐えるようにしている。強度試験の結果車体剛性比較は第2表のとおりである。標準設計の鋼体では外板と側柱の約半分が1.6mmの薄鋼板、台わくは深さ220mmで3.2mmのプレス鋼を使用した部材が主体を占めている。第2図に示す4号車の鋼体はすじ違い柱構造と称し、側柱が窓の高さの部分でX字状に組合わされ、吹寄の強度、車体の剛性の増加と固有振動数の改善、座席から乗客の眼の高さにおける視野の拡大などがねらいとなっている。今回は曲げ剛性を標準設計のものと同じにして、その分だけ軽量化することを目的として外板は1.2mmの耐候性鋼板を使用し、台わく上面に張るキーストンプ



第1図 試作電車の外観(B編成)

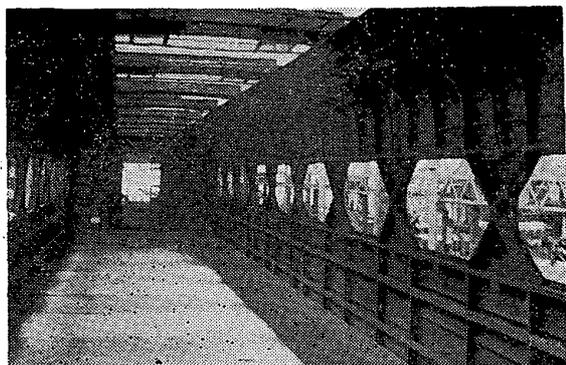
第1表 車両諸元比較

車種	車体長さ ×車体幅 mm	台車中心 間距離 mm	自重 (A)t	鋼体 重量 (B)t	B/A	備考
新幹線試作車 4号車	24500×3380	17500	約58	8.0	0.138	
新幹線試作車 5号車	24500×3380	17500	約58	8.6	0.148	
試験用鋼体	24500×3380	19000	—	8.3	—	
ナハ 10	19500×2800	14000	約24	6.7	0.28	軽量2 等客車
モハ 101	19500×2800	13800	約37	9.45	0.256	通勤形 電車
モハ 151	20000×2950	14150	約38	6.7	0.176	こだま 形電車
キハ 20	19500×2800	13800	約32	8.62	0.27	一般用 気動車
キハ 35	19500×2800	13800	約31	8.46	0.273	通勤形 気動車

* 原稿受付 昭和38年2月5日。

** 正員、日本国有鉄道多度津工場(香川県多度津町)。

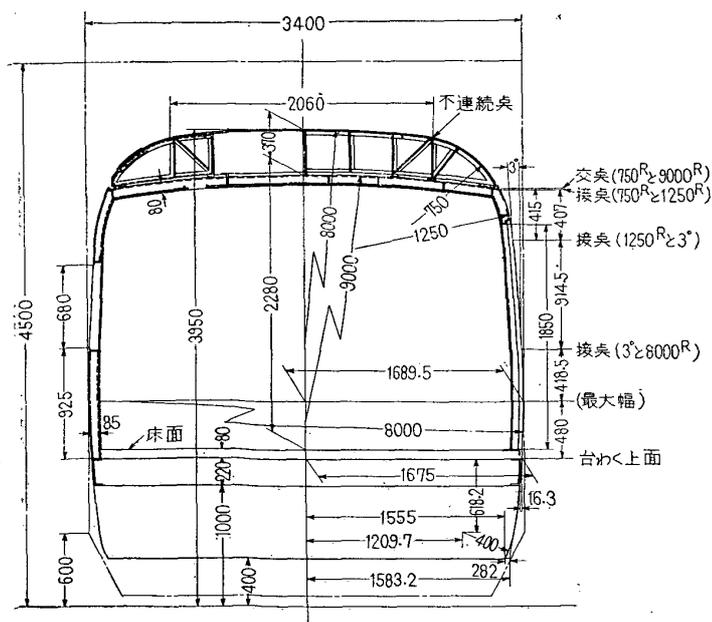
シートを1.2mmから1.0mmにするなどして鋼体としては約7%軽量化することができた(第1表参照). 第3図に車体断面形状を示す. 車体幅は最大3380mmとし側面には丸みをもたせている. 屋根は図に示すように鋼体の部分を構成する平らな下屋根の上に空気調和装置を分散配置し, その上を軽合金製の上屋根でおおう方式とした.



第2図 4号車鋼体内部(すじ違い柱構造)

第2表 車体剛性比較

車種	相当曲げ剛性 $\times 10^{14}$ kg mm ²	曲げ固有振動 数 c/s	相当ねじり剛性 $\times 10^{12}$ kg mm ²	ねじり固有振動 数 c/s
新幹線試作車 4号車	2.2	10.8	52.3	5.4
新幹線試作車 5号車	1.9	11.4	40.0	4.7
試験用鋼体	2.33	11.0	78.6	5.7
ナハ 10	1.42	14.0	57.9	6.9
モハ 101	1.26	10.0	47.7	6.0
モハ 151	0.90	12.7	39.7	5.1
キハ 20	1.75	11.7	45.0	4.7
キハ 35	1.06	12.3	37.9	5.0



第3図 車体断面

列車の端部となる車両の前頭部形状は「こだま」よりもいっそう流線形となっている. 模型による風洞実験を行なった上で, 運転席の操縦の具合なども検討して決定した. ボンネットの先端にはプラスチック製カバーのなかに20W けい光燈15本を内蔵して前方照明とする試みも行なわれた.

高速電車の乗りごちをよくするためには車室内に振動・騒音・外気温が伝わらないようにしなければならない. 床は「こだま」と同様に防振ゴムをキーストンプレーットの谷に配列してその上に耐水合板・塩化ビニル床仕上材を張ったいわゆる浮き床構造とした. 側構の腰板や吹寄せ板も今までのように鋼体骨組やつめ木に小ねじ・木ねじを用いて止めるやり方でなく, ビニルスポンジをはさんで押面で押える方式とした. さらに床・側面には硬質ポリウレタンフォームの現場発泡処理を行ない, 天井には軟質ポリウレタンフォーム接着を施すなどして防音・防振・防熱の完璧を期した. また客室の側窓は熱線吸収ガラスを用いた複層ガラスを使用した.

空気抵抗を極力少なくするため床下にはスカートをつけ, 機器の検査, 取りはずしの便のため着脱可能にしてある. また連結部のほろは内外二重として特に内ほろは軟質ポリウレタンフォームを心にしてナイロンターポリン布でくるんだ構造とし防音効果を期した.

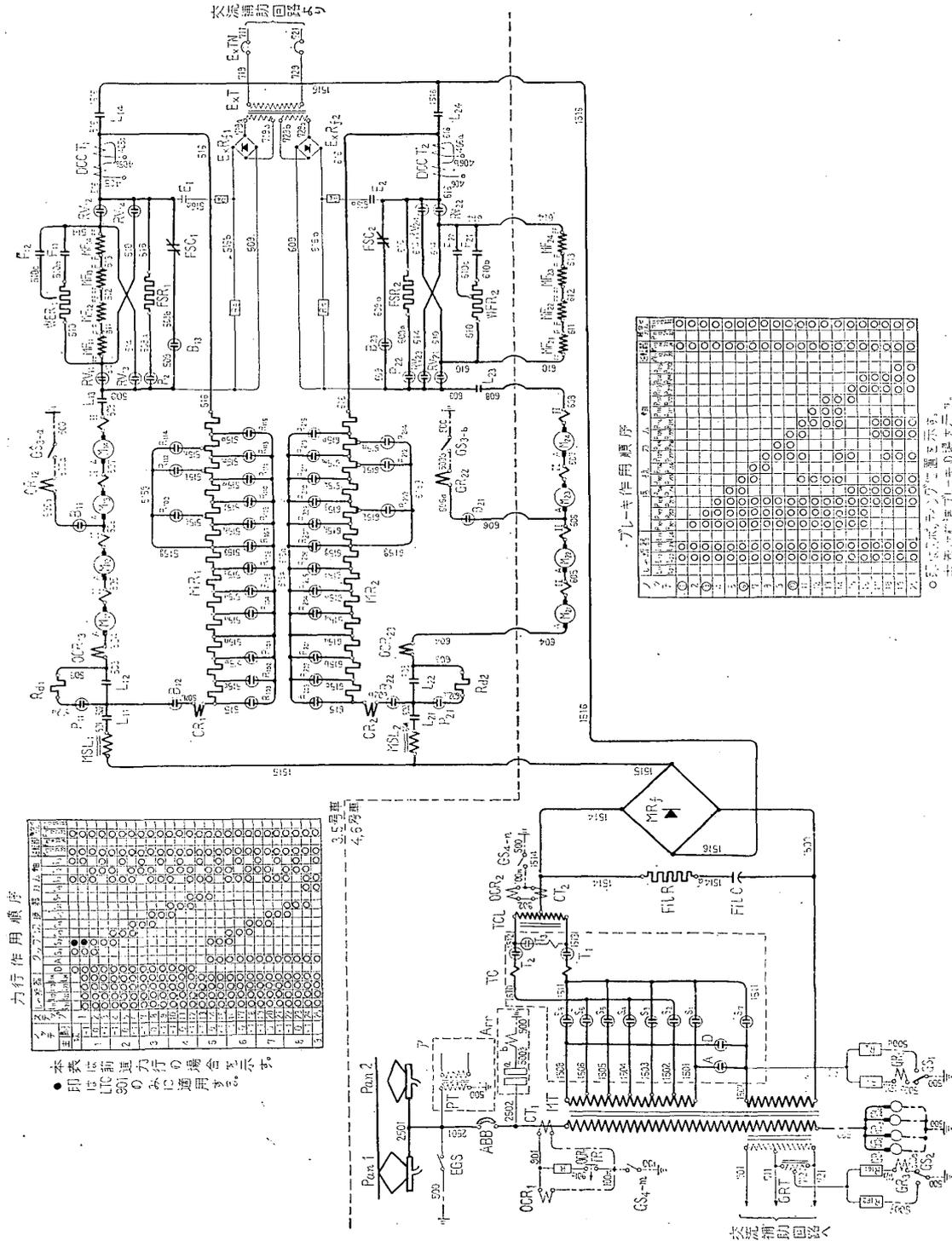
「こだま・あさかぜ」以来動揺防止に車端横ダンパは有効であり, 試作車でも車体上部を隣接車とダンパを介して結んでいる. ダンパの減衰力は連結棒の位置で10cm/sの時800kg, 25cm/sの時2000kgとなっており, 最大3tまでの能力を有する. 側入口の戸は試みに外づり引戸式とし戸袋が無く, しかもしまったときに車体外面と同一面になるようにした. 戸の材料はガラス繊維強化ポリエステル樹脂(FRP)のサンドイッチ構造とした. FRPはこのほか汚物タンクおよび6号車の腰掛体, 一部の窓ぶちにも試用した.

1.2 台車 台車の技術進歩については学会誌第528号に詳述されている. しかし200km/h程度の高速用台車は初めての経験でもあり, ここ数年来国鉄技術研究所では, 模型台車実験や車両試験台による実物台車による250km/h相当の回転試験を経て, 今回の試作電車の台車に至った. しかしさらに現車で比較検討すべき点も多く, 試作車の台車も1種類でなく車両ごとに違えてある. 構造上一番大きな違いは軸箱支持装置であるが, そのほかでも若干試作要素という意味で違っているところがある.

う簡単なものとしてすることができた。

シリコン整流器はブリッジ結線とし、2個の箱に分けてそれぞれ2アームずつ納めてある。整流器素子の数は、並列数は最も過酷な上りこう配運転の条件から、また直列枚数は避雷器の性能と、これの主変圧器二次側への移行率から算出した。素子の逆耐圧値(P IV)は1000 V, 1,200 V, 1500 Vのものを比較試用した。各箱には素子劣化検出装置、温度保護装置等を含んでいる。

シリコン整流器から出た交流分を含んだ直流、すなわち脈流は平滑リアクトル(MSL₁, MSL₂)を経て主電動機に供給される。脈流率は30%(A編成)および50%(B編成)2種を比較のため採用し、整流による高調波含有率が沿線の誘導障害に及ぼす影響を現車試験で調査した上で脈流率を決定することにした。50%脈流率の直巻電動機は整流子を保護するため、10%程度主界磁巻線と並列に分路抵抗を入れてバイパスさせるとともに、界磁鉄心を一部積層構造にした。主電



第5図 主回路つなぎ

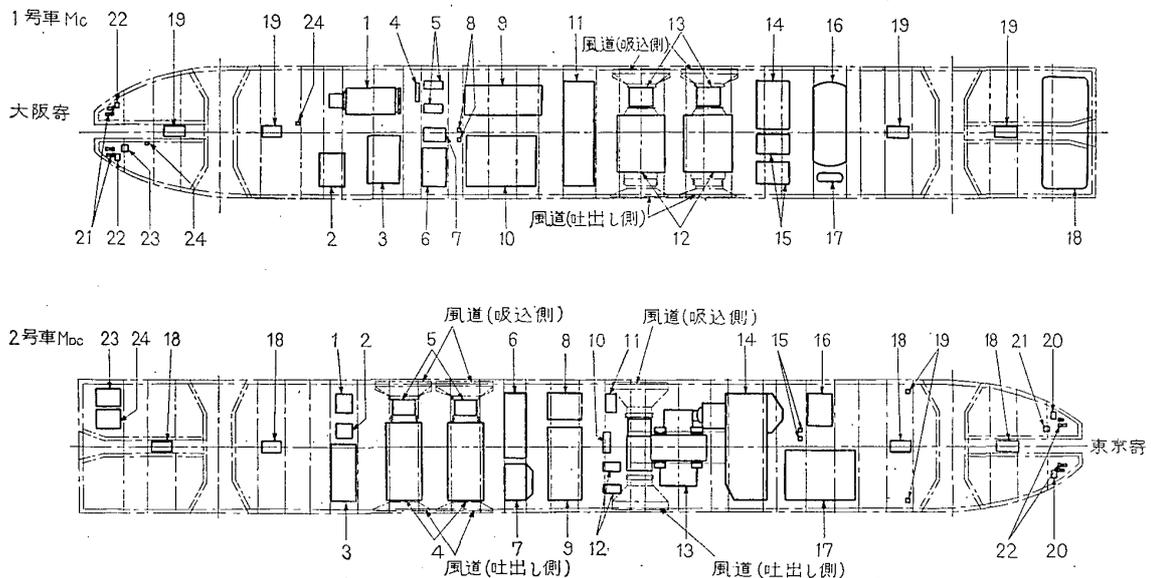
動機は連続定格出力 170 kW で、定格回転数 2200 rpm のものであるが、温度上昇に対して界磁の熱放散を良くするため主界磁、補極ともコイルと鉄心をエポキシ樹脂によって固化している。

ブレーキは 50 km/h 以上すべての速度域で発電ブレーキのみを常用するが、非常の際はさらに常用のブレーキ力の 40% を空気ブレーキで付加する。常用ブレーキはすべて粘着限界内で減速を発揮し、滑走を起さぬように試作車では 160 km/h で 1.4 km/h/s, 160 ~ 110 km/h で 1.8 km/h/s, 110 km/h 以下で 2.5 km/h/s の減速度に相当するブレーキ力を発生するように設定した。ブレーキ指令が出てから発電ブレーキの作用をできるだけ速くするため予備励磁するほか、力行、だ行中にかかわらず速度域に応じて常時抵抗器位置のスポッティングを行なうようにしている。力行の際の電圧制御および発電ブレーキの制御には電動カム軸駆動で行なわれるが、試みとして無接点制御式とした。主回路機器の配置は第 6 図のごとくであるが、ブロック的に整頓して取付け、取りはずしを容易ならしめ、修繕の便をはかった。

1.4 制御回路電気機器 制御回路は直流 100 V である。電源は蓄電池で、これには交流電源からの充電装置を持っている。制御回路は完全に総括制御ができ、将来は 16 両編成の制御ができるように考慮されている。運転室の主幹制御器は制御ドラムを横形にし

てハンドルは前後操作式とした。ノッチ刻みは 9 段にしてあるが、副ハンドルによって +・0・- の操作をすることによって 25 段の細かい制御が可能である。ただし連動機構によって各ユニットの主幹制御器および限流継電器を介して自動的にハンドルの指示ノッチ位置までタップ進段が行なわれる。すなわち平均 1.0 km/h/s の直線加速度に相当する 570 A の限流制御が自動的に行なわれる。試作電車においては 200 km/h 以上の高速も試験の課程で発揮させる必要があるので、最高ステップの 25 ステップにおいて弱め界磁を行なわせるようにしている。

ブレーキの方式としては、ATC (Automatic Train Control) による常用ブレーキおよび非常ブレーキ、手動制御によるブレーキ、その他に列車分離等の事故時に自動的にかかる緊急ブレーキが作用する。ATC によるブレーキおよび手動ブレーキは、その指令値の大きい方が優先作用する。ATC の非常ブレーキは手動ブレーキハンドルの最大角度 (125°) のブレーキ力に相当し、いずれも車両の滑走を極力避けるためブレーキ力の速度制御を 3 段に行なっている。ブレーキ装置の機構は発電ブレーキおよび円板ブレーキを有し、発電ブレーキは交流パタンで、円板ブレーキは直通管空気圧力で制御する電磁直通式である。速度 50 km/h 以上では通常発電ブレーキのみを使用し、円板はそのバックアップで速度 50 km/h 以下では円板のみとなる。



Mc
 1 電動発電機, 2 自動調整装置, 3 起動装置, 4 接地スイッチ, 5 滑走固着検知装置制御箱, 6 界磁弱め接触器箱, 7 予備励磁装置, 8 低圧ヒューズ箱, 9 ショ断器, 10 ブレーキ制御装置, 11 主制御器, 12 主抵抗器, 13 主抵抗器用送風機, 14 主平滑リアクトル, 15 界磁分流器, 16 水タンク, 17 空気だめ, 18 汚物タンク, 19 主電動機つなぎ箱, 21 空気箱, 22 ATC 用受電器, 23 受電接続箱, 24 速度発電機接続箱

MDC
 1 整流装置, 2 補助変圧器, 3 蓄電池箱, 4 シリコン整流装置, 5 シリコン整流装置用送風機, 6 交流フィルタコンデンサ箱, 7 交流フィルタ抵抗箱, 8 限流リアクトル, 9 低圧タップ切換装置, 10 接地スイッチ, 11 接触器箱, 12 滑走固着検知装置制御箱, 13 主変圧器, 14 高圧機器箱, 15 低圧ヒューズ箱, 16 空気圧縮機, 17 ブレーキ制御装置, 18 主電動機つなぎ箱, 19 速度発電機接続箱, 20 ATC 用受電器, 21 受電器接続箱, 22 空気箱, 23 交流補助つなぎ箱, 24 主回路つなぎ箱

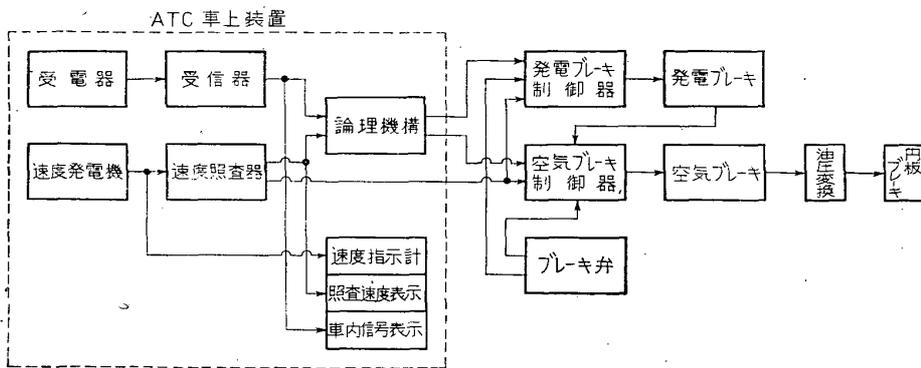
第 6 図 台わく機器配置図 (A編成)

ATC の制御はレールに流れる変調周波数軌道回路の速度信号（7種類あり、210, 160, 110, 70, 30, 無閉そくの 30<km/h>, 絶対停止から成り立つ）を車両側で受信して、速度照査器で列車の実際速度とのつき合せが行なわれ、列車が指示速度を越えているときは、たとえ力行中であっても自動的にブレーキが作用し、指示速度以下になると緩解する。ただし指示速度 30 km/h 信号では運転士が 30 km/h 以下の速度で確認ボタンを押さないとブレーキは緩まず停止してしまう。110 km/h および 70 km/h 信号は速度制限用で、原則としては駅中間では、210 km/h→160 km/h→30 km/h の順に制御される。無閉そくの 30 km/h 信号は

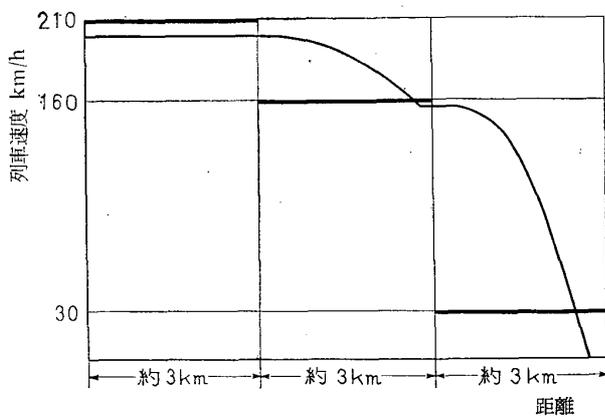
同一セクション内に列車がはいっていることを示し、運転司令の指示があるとき以外は使用しない。絶対停止信号は駅の場合または出発信号相当の箇所に設けられ過走防護をする。非常ブレーキは ATC 装置の故障または異常な信号現示の際に動作する。列車入換のときは「入換」のスイッチを入れると速度制限 30 km/h で入換運転が行なえる。第 7 図は ATC 装置のブロック線図、第 8 図は駅中間における速度制御を示す。

2. 試験運転の概況

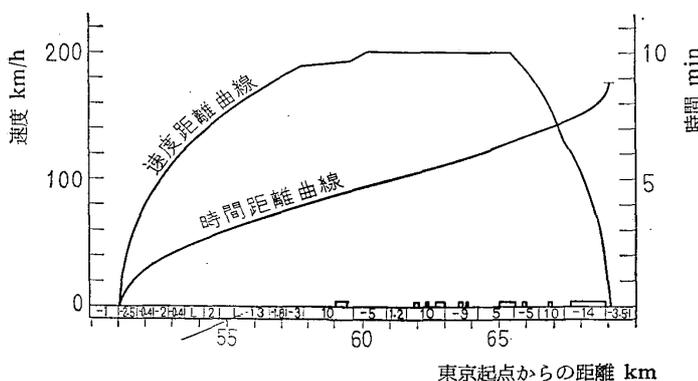
試作電車が鴨宮のモデル線試験基地に運び込まれ、6月22日から試運転が開始された。始めのうちはモデル線も鴨宮を基点として東方へ単線 10 km の区間で運転した。先の方はまだ工事中であり、上り線は工事用車両に使用させねばならなかった。当時軌道も完成したばかりであったので、まず速度 70 km/h で走り、ついで7月15日から 110 km/h まで速度を上げた。まだ先の区間の軌道工事を優先させたので、試運転は車両の慣熟運転を



第 7 図 ATC ブロック線図



第 8 図 ATC による速度制御 (速度-距離曲線)



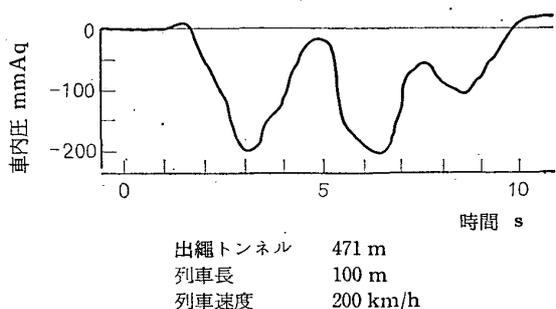
第 9 図 200 km/h テスト速度曲線

目的したものであり運転も毎日行なうわけにもゆかなかった。9月10日以後 110 km/h から 160 km/h max. までの速度向上および性能試験を実施した。速度を上げてゆくに際しては 10 km/h ずつ向上してゆき、走行安全の指標である脱線係数・横圧・上下左右前後振動加速度(床上)を測定しながら行なった。なお試験を行なう前後には必ず軌道試験車を走行させて軌道の整備状態の確認を行なった。10月10日には鴨宮から綾瀬まで約 30 km, すなわちモデル線のほぼ全区間が単線ながら整備されたので、運転区間を延ばすとともにさらに速度を上げて行なった。10月21日 170 km/h まで、27日に 190 km/h までの速度向上試験を行ない、車両、軌道、架線の状態を確認した結果、十分 200 km/h テストにはいれる見とおしを得たので、10月31日 200 km/h の速度向上試験を行なった。さらに11月にはいつからかは総合的な性能試験が 200 km/h の条件で行なわれた。200 km/h 試験運転の速度曲線は第 9 図にモデル線の線路縦断面図は第 10 図に示す。軌道は 50 T 形レールと称する新しい断面形状のレール(重量は 1 m 当り 53 kg)を使用し、溶接して 1500 m の長さまで継ぎめなしの構造としている。まくら木は PS コンクリート製で 10 m 当り 16.6 丁、道床は

動加速度は台車の形式によって多少差があるが、例として 1002 号車の上下および左右振動 (180~200 km/h) の記録を示すと第 12 図のごとくである。これは現在の「こだま」の 110 km/h 走行時とほとんど大差ないかむしろよいくらいの乗りごちである (おおむね乗りごち係数 1.5 以下のものは良好な乗りごち状態といえる)。車体無傾斜機構およびまくらばねのアンチローリング機構は、曲線部通過時に際して車体傾斜の軽減に効果が見られた。車端に設けた横ダンパは左右振動加速度の減少に役立っている。なお車両の乗りごちについては台車の車輪踏面、その他各部の摩耗状態の進行を見ながら測定を続けてゆく必要がある。現在までの経過において異常な行動と見られる状況は生じなかった。車輪とレールの相対運動は 4 台の工業用テレビカメラを装置して観測が行なわれる。

2.2 集電特性 パンタグラフの集電特性、すなわち架線に対する離線率は高速運転の可能性を支配する問題点の一つであるが、すでに国鉄では狭軌線路で 175 km/h の集電試験を行なって好成績をおさめており、200 km/h については基礎実験を十分積んだ上で架線、パンタグラフが製作、架設されているので自信をもって試験に臨んだ。離線率は従来の運転データから 3% 以下を安全範囲としているが、これを上回るようなことはなく、200 km/h でも 0.3% 程度であった。特に A 編成は架線集電測定用に供するため、パンタグラフの集電観測ドーム、測定用パンタグラフの仮設、ITV の装置などを設備した。

2.3 ブレーキ性能 ブレーキは最高 210 km/h から手動または ATC で操作して、非常も常用も誤動作なく行なわれているが、総合性能試験での測定減速度は設定値より 10~20% 低くあらわれた。すなわち常用ブレーキで 200 km/h から電気ブレーキを使用して停止に至るまでの距離は約 3300 m であり、時間は約 110 秒であった。ATC によって現在の閉そく区間 (3000 m ごと) を運転するのには何らさしかええないが、減速度が設計値より低く出た原因についてはもっか検討中である。性能試験中には発生しなかったが、使



第 13 図 トンネル通過時の車内圧変化

用中に滑走を生じて途中タイヤ削正を要したので、滑走防止対策として滑走検知器 (ブレーキを緩解して防止も行なうもの) は今後空気のみならず電気ブレーキにも配慮しなくてはならないかも知れない。200 km/h からの発電ブレーキ抵抗器温度上昇は最高 160°C 程度で問題なく、空気ブレーキに切換えられてからは約 0.5°C/s の割合で冷却している。ブレーキ円板の温度上昇も 200 km/h から常用ブレーキで直接かけて、内外側円板とも 150~180°C で異常ない。ただし多少熱き裂の発生が起りかけているが、経過を見ながら円板の寿命、保守法を考えて量産車の設計を確立すべきであろう。

2.4 トンネル通過時の車内圧変化 そのほか今までの運転中において大きな障害もなく走行状態良好で試験運転が継続されているが、160 km/h 以上の高速でトンネルを通過するとき車内空気圧力の急激な変化によって、試乗客の耳の鼓膜を圧迫して不快感を与えることが問題となっている。これは列車がトンネルに突入する際、圧縮波が前方に出てトンネル出口で反射されてきたものが、列車速度によるものと加わって車体のすきまから車内の空気を急激に吸出すことによって生ずるものであって、圧力低下の度合は第 13 図のごとく 200 km/h において 200 mmAq であった。この現象は現在の「こだま」が泉越トンネルを通過するときなどでも最大 140 mmAq 程度の圧力差を生じているが、新幹線はトンネル区間が多い上に速度も高いので車体構造の設計について量産車は改良をはかる必要がある。現在の試作車での問題となるすきまとは空気調和装置の外気取入口および下屋根との取付部分、出入口とびら、貫通引戸などであるが、これらの部分を気密にすることによって効果があることを測定した。

3. 量産設計への移行

昭和 39 年営業開始のため、まず 180 両の電車を発注することとなり、国鉄では建設工事資金の一部を世界銀行から借款した関係もあって上記の車両を国際入札に付した。量産車の仕様書は試作車両の設計・製作経験に基き昭和 37 年 6 月に製作され、12 月 12 日に入札が行なわれたが、外国業者はついに参加なく国内業者のみで受注する結果となった。もっか製作図面決定までの作業が行なわれているが、モデル線における試験結果も加味されて決定がなされる。180 両の電車の内訳は 6 両編成が 30 組で、1 等車 1 両・ビュッフェ式食堂半室と 2 等の合造車 1 両が編成のなかに含まれている。