



新幹線用試験電車*

杉山 武史**

1. まえがき

昭和44年10月で東海道新幹線が営業運転を開始してから5年を経過したことになる。その間きわめて安全で、効率の高い輸送機関であることを証明し、世界各国もこれに注目し、鉄道の高速化に対する研究が盛んになり、今まで使っている線路でさえ、200 km/h以上の運転試験を行なっており、一部は営業運転にはいっているものもある。

一方わが国では、山陽新幹線の建設が進められており、新大阪-岡山間は昭和47年4月開業をめざし、将来は博多まで延長されることになっている。この山陽新幹線の建設にあたって国鉄では、東海道新幹線建設後の技術の発展と開業後の経験、実績をもとに、つぎの時代を見越したより良い鉄道にすることで検討を進め、最高速度の目標を250 km/h程度とし、曲線半径、こう配、上下線軌間開きなどが後に手もどりにならないように考えて建設を進めている。

車両についても、国鉄では工作局、車両設計事務所が中心になり、鉄道技術研究所や、その他各方面の学識経験者により構成した高速車両研究会を作り、250 km/h運転を目標にした電車の研究を進めてきた。これらの研究途中では、各機器類個々の実験は行なってきたが、車両として構成し、走らしてみないとわからないことが多々あるので、これらの集積としての試験電車を製作し、昭和44年3月末に完成した。

2. 試験電車の特長

この試験電車は951形と称し、最少単位の2両1ユニットで製作してある。新しい試験要素を非常にたくさん持っていること、一つの機器でも一部では2種以上製作し、組込んであるものもあり、また何種類も取替えて試験することを考えているものもある。

形式図を図1に、951-1の写真を図2に、主要諸元を現量産電車と比較したものを表1に示す。

2.1 車両性能 列車の走行抵抗は速度とともに増

* 原稿受付 昭和44年5月10日。

** 正員、日本国有鉄道車両設計事務所(東京都渋谷区代々木2-2-6、国鉄設計工事センタービル)。

大する。特に高速になると空気抵抗の影響が大きく、速度の二乗に比例する値が大きくなる。このことは図3でみて1ユニット(2両)換算の抵抗が2両と12両でかなり違うことでもわかると思う。

主電動機出力はその他、加・減速度の大きさ、定格速度、こう配の大きさなどにも関係し、250 kW必要となった。この試験電車の速度-引張力特性は図3に現量産電車のそれと合わせて示す。加速度はほぼ1 km/h/sで現量産電車よりやや高めとなる。

ブレーキ性能としては高速になるほど車輪とレールの間の粘着係数が下がるので、それに合った速度ブレーキ力特性を必要とする。現量産電車ではこれを段階的に落したが、ブレーキ力として損であるので、今回図4に示すような直線のパターンを使った。常用ブレーキ(図4のNB)はほぼ実験による摩擦係数の値の1/2を使い、非常ブレーキ(図4のEB)はそれの約1.4倍とした。

ブレーキは常に発電ブレーキが優先し、ブレーキ指令に対し発電ブレーキ力が不足する場合に限り摩擦ブレーキが働く。それゆえ正常な場合はNBでは摩擦

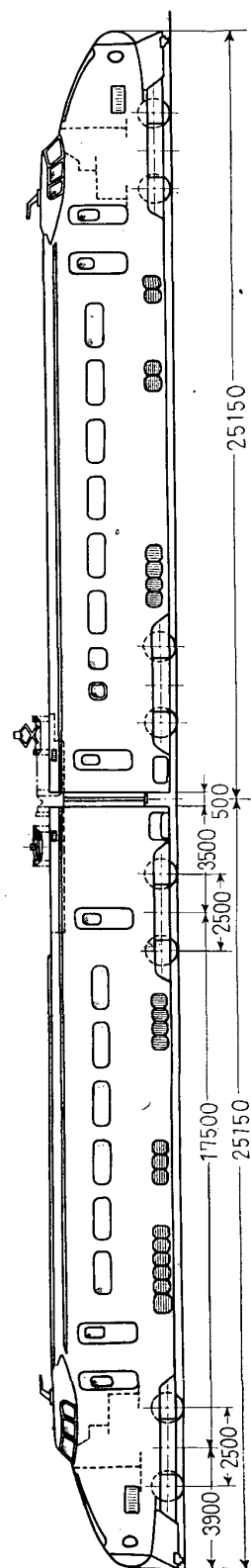


図1 新幹線試験電車

ブレーキは 50 km/h 以下の場合しか働かない。EB の場合も、NB と EB の差のみしか働かない。

以上のような性能であるが、出力の増に伴って主変圧器、主整流器などの電力機器はすべて出力増となる。軸重は東海道新幹線の 16 t/軸に押える必要がある。そのために車両全体の重量が増加するのを防ぐべく各部分の軽量化には相当に苦心した。その最も大きい例が車体構体にアルミニウム合金を使ったことである。

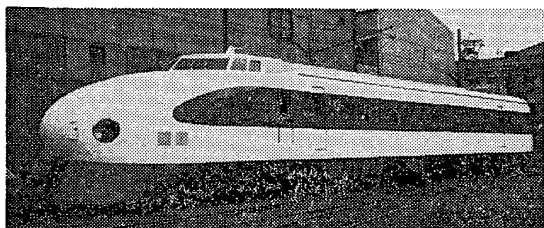
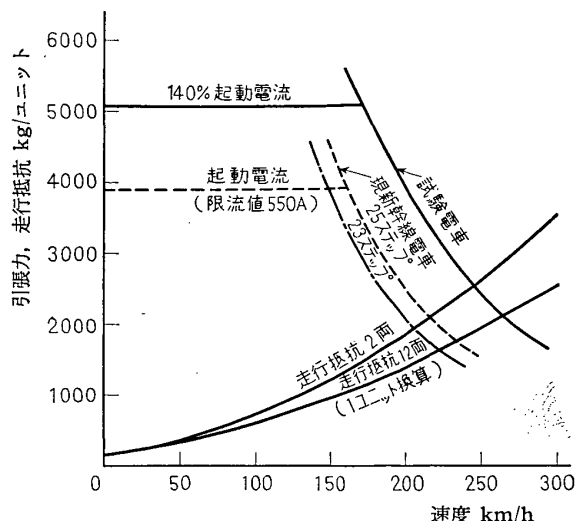


図 2 951-1



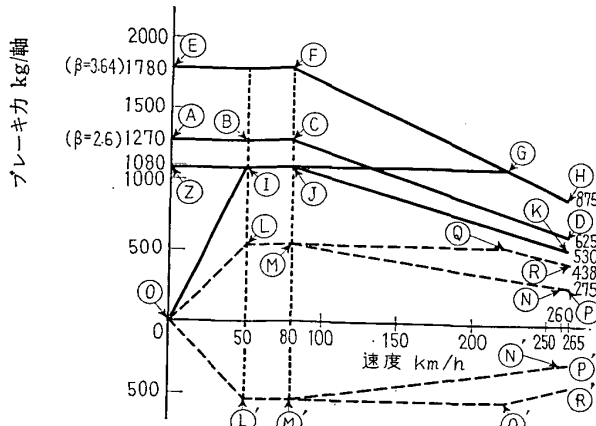
— 試験電車 64 t×2 両
 ---- 現新幹線電車 60 t×12 両 (1 ユニット当たり)
 走行抵抗計算式 $R=(1.2+0.022V)W+(0.013+0.00029V)V^2$
 パンタ点電圧 25 kVA

図 3 速度-〔引張力、走行抵抗〕特性

表 1 試験電車主要目表 (2 両 1 ユニット)

番号	項目	試験電車	現量産電車	改良点
1	電気方式	AC 25 kV 60 Hz	AC 25 kV 60 Hz	
2	性能	連続定格出力 2 000 kW (250 kW×8) 最高運転速度 250 km/h 以上	1 480 kW (185 kW×8) 210 km/h	} 現量産電車とはほぼ同じ
3	主要寸法	連結面間長 25 150 mm (1 両) 車体幅 3 386 mm パンタグラフ折たたみ高さ 4 490 mm	25 150 mm (1 両) 3 383 mm 4 490 mm	
4	車体構造	軽合金溶接構造、床下機器台わく付	鋼製溶接構造、上屋根付	
5	台車構造	空気ばね横剛性式、軸箱ばり式、うず電流式レールブレーキ付、油圧ブレーキ付 回転抵抗調整装置付	空気ばね横剛性式、IS 式軸箱支持	だ行動およびフランジ摩耗防止
6	固定軸間距離	2 500 mm	2 500 mm	
7	車輪径	1 000 mm	910 mm	輪軸強化、軸受容量増大
7	駆動装置	歯車式たわみ軸継手式その他 一段減速歯車式、強制循環給油式 歯車比 1 : 2.07	歯車式たわみ軸継手式 一段減速歯車式 歯車比 1 : 2.17	
8	主変圧器容量	2 410 kVA	1 650 kVA	
9	主整流装置	4 ユニット分割、送油風冷式 定格容量 約 2 200 kW	風冷式 定格容量 約 1 500 kW	完全無電弧、無接点化の連続制御、耐雪構造、大容量半導体素子の実用化
10	主電動機	連続定格 250 kW 2 500 rpm 接続力 行 2 個直列-4 並列 ブレーキ 2 個直列独立 4 回路	連続定格 185 kW 2 200 rpm 接続力 行 4 個直列 2 並列 ブレーキ 4 個直列独立 2 回路	新耐熱絶縁材料の実用化による重量軽減、主電動機開放単位を 2 個ずつとする。
11	力行制御	サイリスタ位相制御による連続制御	主変圧器タップ切換器による段制御	
12	発電ブレーキ制御	抵抗切換とサイリスタチョップ制御の併用方式	抵抗切換方式	
13	うず電流式レールブレーキ	発電ブレーキ電流による直流励磁式レールブレーキ	なし	非粘着ブレーキによる滑走防止
14	摩擦ブレーキ	両面摩擦形円板 電磁油圧制御弁による油圧力制御	片面摩擦形円板 空気圧力制御 空気圧力を油圧に変換	円板両面摩擦により、熱変形を防ぐ、応答性および発電ブレーキとの協調性にすぐれている。
15	ブレーキ制御	ATC および手動による 発電ブレーキ優先、うず電流式レールブレーキ併用	ATC および手動による 発電ブレーキ優先	
16	運転操作	ブレーキ力の完全連続制御 滑走再粘着後および停電時にも発電ブレーキを作用させる。 速度を設定し列車速度と設定速度との偏差に応じたトルクを各車に指令する方式で定速度自動制御が行なわれる。	ブレーキ力の段制御 滑走再粘着後および停電時には摩擦ブレーキのみとなる。 主変圧器のステップ位置を指令する方式	
17	空調装置	床下取付の集中式 トンネル通過中も換気可能	天井取付の分散式 トンネル通過中は締切り	車両重心を下げる。

2.2 車体 車体の大きさは表1にあるように現量産電車とほぼ等しいが、アルミニウム合金全溶接構造を使い、上屋根部と側スカートが強度部材になったことがおおいに変わった。



- 横軸より下はECBのみのブレーキ力を示す
- 軸重は 16 t
 - NB……常用ブレーキ
EB……非常ブレーキ
 - 折線 A④B④C④D④ は NB パターンおよび NB 摩擦ブレーキ力
折線 E④F④G④H④ は EB パターンおよび EB ブレーキ力
折線 I④J④K④L④M④ は NB 時の発電ブレーキ力
折線 O④P④Q④R④ は NB 時の ECB ブレーキ力
折線 S④T④U④V④ は EB 時の発電ブレーキ力
折線 W④X④Y④Z④ は EB 時の ECB ブレーキ力

図 4 速度-ブレーキ力特性 (ECB 50% の場合)

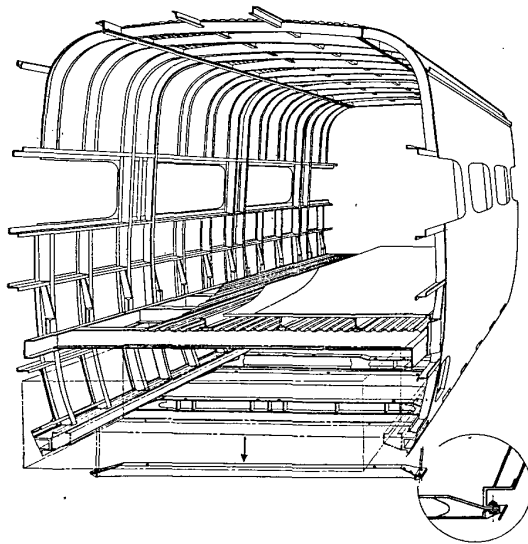


図 5 構体透視図

アルミニウムは鉄鋼より軽い、弾性係数も低い、そこで構体は軽くなるが剛性は下がる。このことは表2に付記している通勤電車での例でわかるであろう。剛性が落ちるとたわみも大きく、乗りごこちも悪くなり、寿命的にも好ましくない。軽くしながら剛性を持たすように図5に示すように車体断面をできるだけ大きく取り、屋根部も今まで空気調和装置のカバーの役だった上屋根部まで、側下部も床下機器をつつんで車体下部いっばいにスカートを選ばした。この結果表2に示すように同種の車種と比較して2t以上の軽量化をしながら、相当曲げ剛性・相当ねじり剛性を現量産電車より高く取る構体を製作した。使用した材料を表3に示す。

この構体を作り上げるまでには昭和41年度に実物の1/4の模型を作り荷重試験を行ない、さらに昭和42年度には実物大構体を作って荷重、気密などの試験を行なって側スカートの形状、送風などのための穴の大きさ、台車付近の切上げ方などの検討も十分に行なった。表2の軽合金構体はこのときのものである。

床下機器は今までの車両では車体台わくにボルトなどでつるし下げているのが普通であったが、今回図5に示すような構体構造と合わせて、側構の下辺を結ぶ機器台わくを構成し、それに乗せる形とした。各種機器も保守に手のかかる回転機を減らし、無接点化も進んで、点検回数も減らしているの、雪害、飛石、騒音の害などを考えると、やはり今後進むべき方向であろう。

2.3 換気と照明 高速でトンネルに突入し、あるいはトンネル内ですれ違うときに急激な気圧変化が起

表 3 試験電車構体使用材料表

材 料	通 称	使 用 箇 所
A2S1	52S	縦けた
A2S5	63S	雨どい
A2P7	NP5/6	外板 (t=3mm), 長けた, 窓すみ金, 台わくつなぎ金, 側柱補強
A2S7	NP5/6	側柱, 幕帯, 腰帯, たるき, 側出入口柱, 長土台
A2P8	A50S	波形床板, 屋根板
AlZnMg合金	三元合金	側ばり, 中ばり, まくらばり, 横ばり, 端ばり, 下台わく受はり, 下台わく横はり, 下台わく側はり

表 2 各種構体荷重試験特性

	951-1	951-2	試験用軽合金構体	現量産電車鋼体 (25形式)	軽合金製通勤車 301形構体	鋼製通勤車 101形構体
相当曲げ剛性 $EI_{eq} 10^{14} \text{ kg/mm}^2$	2.82	3.18	2.48	1.73	0.6	1.3
車体中央たわみ mm/荷重 t	8.14/47.0	7.56/47.2	9.1/42.0			
相当ねじり剛性 $GJ_{eq} 10^{12} \text{ kg/mm}^2$	57.9	65.5	47.7	42	21.1	47.7
曲げ固有振動数 c/s	13.2	12.8	11.2	11.3	14.1	10.0
ねじり固有振動数 c/s	11.0	13.5	8.1	5.7	5.5	6.0
試験時の構体重量 t	7.51	8.07	6.5	8.93	4.6	9.6
記 事	先頭車	先頭車	中間車	中間車		

こって、客室内でも不快な“耳つん”を感じる。東海道新幹線開業前のモデル線での測定などで現量産電車の200 km/hでは最大約400 mmAqであり、このためそれらはトンネル通過時には給排気孔を締切弁で閉じている。250 km/hともなると、その気圧差は最大625 mmAqともなる。山陽新幹線では延長16.2 kmの六甲トンネルなど長大トンネルも多く約50 kmとなり、全体の約1/3はトンネルとなる。今後進む区間では高速化のためますますトンネル区間が増す傾向となり、トンネルで給排気を締切っているのはサービス上問題となる。このためにそのくらいの気圧変動に対しては“耳つん”を感じないで給排気の続けられるファンを開発した。この給排気装置を現量産電車に取付け試験したところ、不快と感ずる圧力変化は30 mmAq/s程度以上であるが、これは最大20 mmAq/s以下、平均約10 mmAq/sであった。

空気調和装置は現量産電車では小形のものを1車当たり10個程度屋根上に配置し、暖冷房を行なっていた。今回車体重心を下げることで、部品数を少なくすること、室内温度を均一に保つなどのために大形のユニット2組を床下にそなえることにした。換気もこれと給排気装置に合わせ、天井、床、仕切壁を使って循環ダクトを形成し、新鮮空気を天井けい光燈の横から一様にだし、帰還空気は床、側壁境目の座席の下からフィルタをとおして吸うようにして、循環空気は約70 m³/min、そのうち新鮮空気は約30 m³/minとした。

室内照明は天井に埋込んだつぎ目のためたため2列の幅500 mmの亚克力板裏からけい光燈がそれぞれ2列で照らし、面光源に近いものとした。照明試験の結果、現量産電車では読書面で最大が約500 lxであるのに対しほぼ1.5倍の700 lx以上となった。

2.4 ブレーキ 250 km/hで走行するために、保安装置としてのブレーキはいちばん力を入れたものである。現量産電車ではつなぎの複雑化を防ぐために、停電の緊急ブレーキ、滑走再粘着後は発電ブレーキは使わないようにしていたが、これらを改めて常時発電ブレーキが働くようにした。80 km/h以上の高速段では発電ブレーキ故障のときか、非常ブレーキ付加分しか摩擦ブレーキは働かなくてよい。

つぎに車輪とレールの粘着にたよらなくてよいうず電流式レールブレーキを開発した。これはレールの直上にわずかなすきま(5~20 mmくらい)を保って電磁石を5~7個並べておき、ブレーキ時に励磁する。これによりレールにうず電流を生じ、ブレーキ力となる。現在試験電車ではブレーキ発電電流を流す方式で、ブレーキ力の70%も分担できる。図3に破線で

示してあるのは50%分担する場合のものである。前にも記したごとく、ブレーキ力は測定した粘着係数よりかなり低くしてはあるが、それでも雨天のときの一番列車など条件が悪いと滑走し、車輪にフラットを生じることもあるので、特に高速になるほどこのレールブレーキが効果を発揮すると思う。今までにレールをこするブレーキはあったが、すきまを保ったまうず電流によるものは世界でも例がない。

また機械式のブレーキでは電磁油圧ブレーキを採用した。現量産電車では電磁直通式で台車に装置した増圧シリンダにより油圧を使うが、空気を介している。今回の試験電車に用いた電磁油圧式ブレーキ装置は図6に示すように直接電気指令から油圧を得る。そのため応答性よく、発電ブレーキとの分担もさせやすい。油圧ユニットは各台車に装置し、油圧発生装置も、サーボ弁も持っているので、車体からは指令と、ポンプ駆動用の電線のみ接続しておけばよい。使用油圧はポンプや油圧だめで170 kg/cm²、ブレーキに使用するのは115 kg/cm²である。

円板ブレーキは発電ブレーキ故障などの場合を考えて、250 km/h以上からとまらねばならないこと、常時は80 km/h以下のブレーキの繰返して摩擦は少ないことおよび摩擦係数の高速による変化が少ないことなどの条件の下に、試験台での試験を繰返した。車輪に取付けた円板の両面をライニングではさむ方式とし、これにより熱ひずみが比較的少ないので、き裂の少ない鋼材を使うことができた。ライニングは在来形の焼給合金系とセラミック系の中間あたりのものを使っている。摩擦係数は200 km/h以上の高速ではほぼ0.2~0.25、停止寸前でも0.3前後に納まるものが出てきているがなお試験を続けている。250 km/h以上からのブレーキ試験では円板もライニングも赤熱し、700°C以上に温度は上がる。台車軸箱ばりに取付け、リンクを介さないで油圧ピストンが直接すり板を押すブレーキキャリパもこの形式独特のものである。

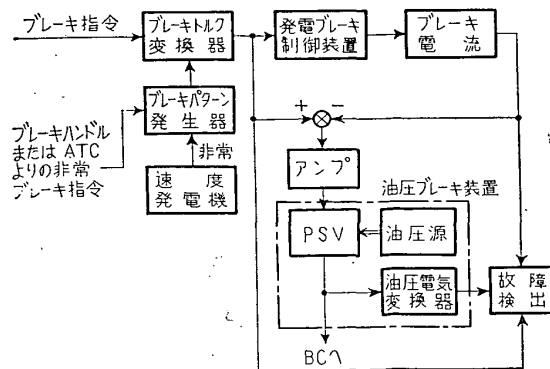


図6 油圧制御回路構成ブロック図

2.5 制御と運転 主電動機回路の制御は、従来は主変圧器のタップを順次切換え、発電ブレーキの制御も回路にそう入している抵抗器を切り入れして両方も“階段制御”している。この試験電車ではサイリスタを使って、力行時は連続位相制御、発電ブレーキ時はチョップによる連続制御を行なって、性能向上、保守簡易化をねらっている。そのあたりを図7に示す主回路つなぎでみていただきたい。

運転指令としては、在来は運転士が主幹制御器ハン

ドルを操作して力行、だ行、あるいは前記タップ位置設定を行ない、こう配、荷重、架線電圧などに合わせて走行している。試験電車では運転台には指令装置が、各車には受量装置があり、指令線がとっており、指令電流により、力行、ブレーキの制御を行なう。動作をまとめるとつぎのようになる。

- ① 主幹制御器ハンドルは速度で目盛ってある。
- ② 上記ハンドルを希望速度に設定すれば、指令装置で自車の速度と突合わせを行なって、列車速度

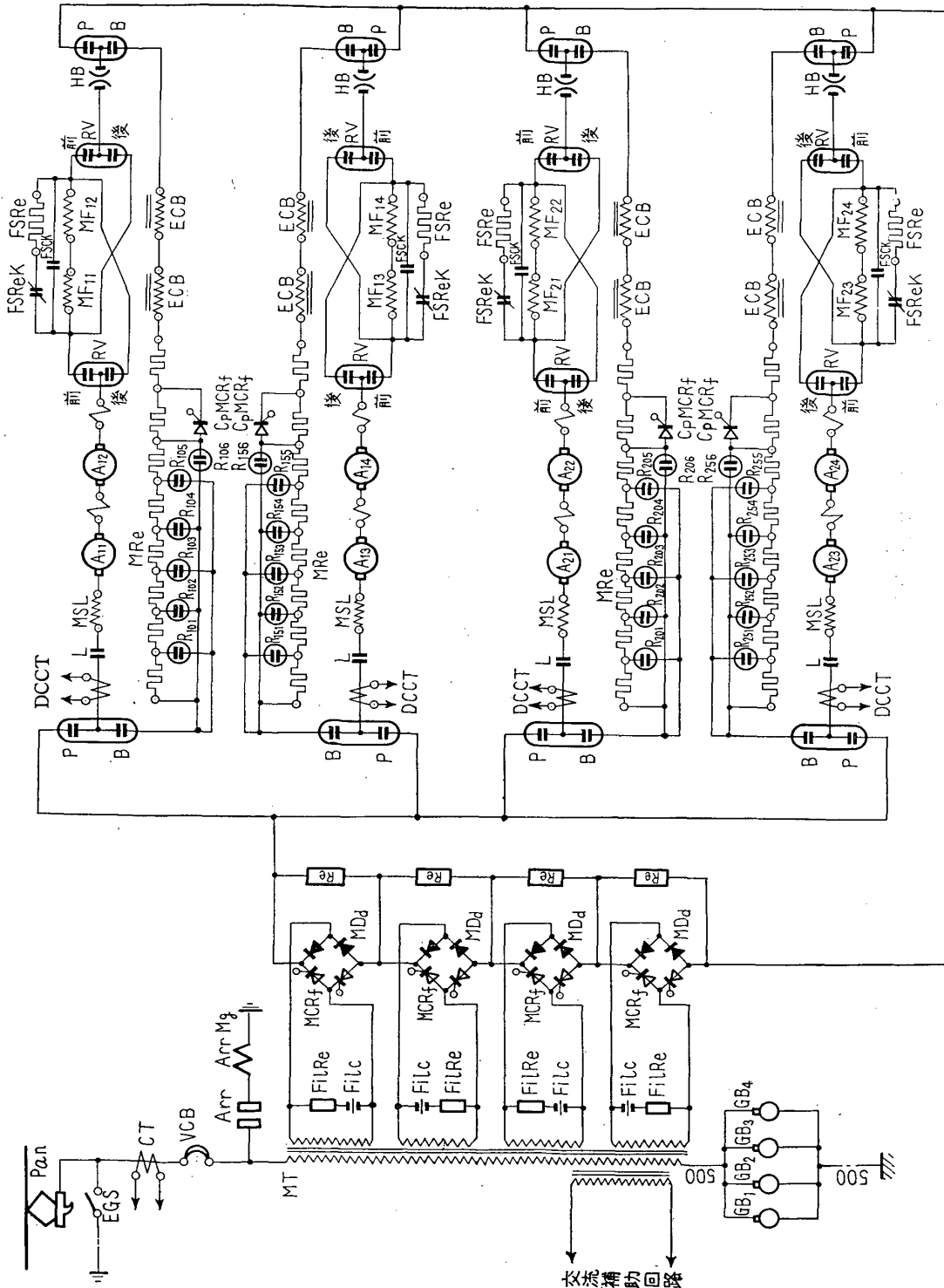


図 7 951 形試験電車用主回路つなぎ

は外乱があってもこれに追従する。

- ③ 力行制御は指令速度と車速の速度差に応じた力行トルク指令をだす。
- ④ ブレーキ制御は速度オーバに対して2段のブレーキトルク指令をだす。
- ⑤ 車両速度が ATC 信号をオーバしたときにはブレーキが作用する。
- ⑥ ブレーキ弁ハンドルを扱ったときにはハンドル角度に応じたブレーキトルクを生ずるが、④⑤項と競合した場合はブレーキトルクの大きいほうになる。

などであり、運転士の扱いとしては楽になり、自動運転に一步近づいた。

運転指令システムのブロックダイアグラムを図8に示す。

運転台には左にブレーキハンドル、右に主幹制御器ハンドルがあるほか、速度計、各種電圧計、ブレーキ圧力計、各種スイッチ、表示灯類が運転士のまわりに近く並べてある。特に951-1では運転士が座ったまま何でもできるように、運転席のまわりに機器計器類を集めた。新幹線では運転士が CTC の運転司令と電話で話す機会も多いが、受話器を持たなくてもよいよう、またメモも話を聞きながら取れるように天井からマイクロホンを下げている。その他強力にしたワイパ、電熱線入りガラスを使ったデフロスタなど新しい方式を取り入れた。

2.6 台車 250 km/h以上の速度で走行すること、およびそのために主電動機出力が増したことなどにより踏面の応力を下げ、軸受の回転数を下げるべく、車輪直径は DT 200 形の 910 mmφ に対し 1000 mmφ と大きくした。また、車軸もひとまわり太く、軸受も

内輪内径 130 mmφ を 140 mmφ と大きくした。試験電車の台車 DT 9010 形を図9、10に示す。この大きな長は、前記のうず電流式レールブレーキを取付ける構造であろう。この装置はレールとの間げき変動が大きいといけなないので、軸箱のまわりに防振ゴムをまいた形のを結んだ軸箱ばりからささえている。これで作用時と非作用時の高さは 1 mm 程度しか差がでない。

台車だ行動を防止するために、現量産電車では車体荷重により台車回転抵抗をかなり大きく保っているが、運転所構内などの急曲線でのフランジ摩耗が大きい。そこで油圧を使って荷重分担を変えたり、すり板を押付けたりする回転抵抗調整装置を開発した。直線を高速で走行するとき、構内運転するときには台車回転抵抗を変えるわけである。2種類の装置により回転抵抗の強さの割合を 0.8~1.3 t-m の範囲に変えられる。

駆動装置は 200 km/h 以上の高速では油のかきまわしによるロスが大きく温度もむしろ上がってしまうの

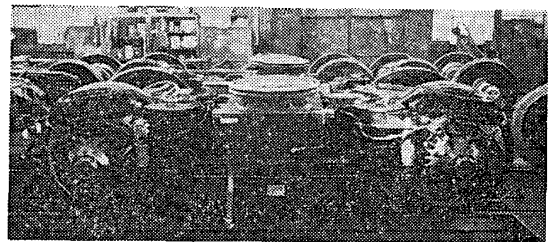


図9 DT 9010 形台車

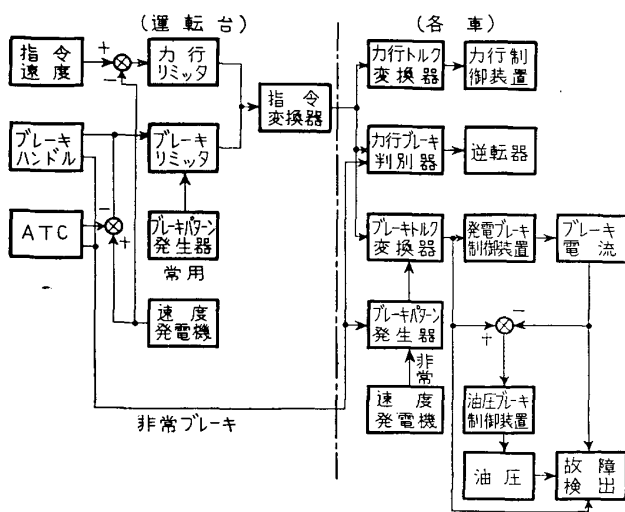


図8 運転指令システムブロックダイアグラム

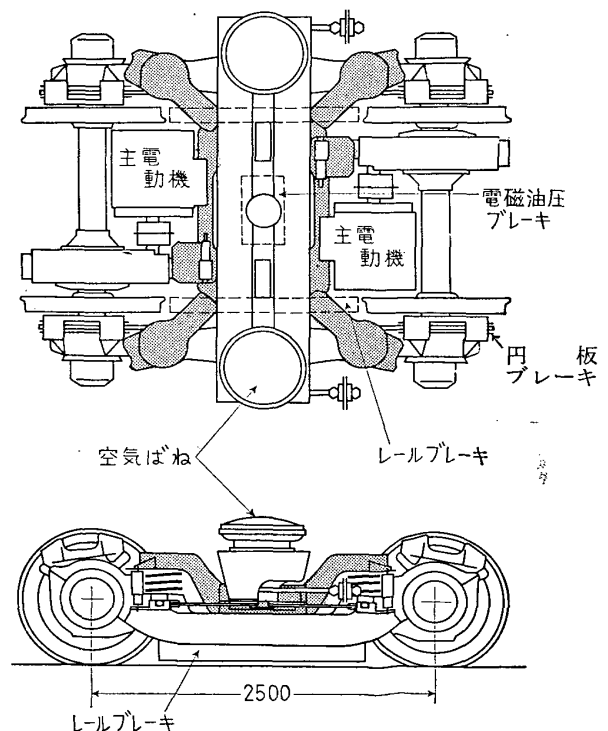


図10 DT 9010 形台車

で、潤滑ポンプを内蔵して軸受や歯車かみ合い面に給油する方式を考えた。ポンプや継手の違いにより数種類を比較試験中である。試験台上での試験結果では、ポンプのないときには 250 km/h 走行約 15 分で油温が 120°C を越えたのに対し、ポンプがあれば 250 km/h 走行では連続運転して問題なく、300 km/h 走行でも 60 分走行して油温 120°C 程度となり差は明らかとなった。

その他つぎのごとくこの台車での試験要素は多い。

(1) 補助タンクを内蔵した空気ばね 今まで一般の空気ばねは補助タンクにまくらばりなどの台車の一部を使っていたが、圧力容器として溶接など注意しなければならないなどめんどうなことが多かった。今回は空気ばねの内筒を少し大きくした程度で補助タンクを一体として組込み、取りはずしは空気ばねといっしょにした。

(2) 油圧式アンチローリング装置 左右軸ばねのオイルダンパのピストン上下の油室を交互に配管でつないで左右が同時に上下するときは普通のオイルダンパとして働き、左右が交互に上下するときは、剛く押えてローリングを防ぐダンパを取付け、試験するようにした。なおこのダンパは前後をつなげばアンチピッチングダンパになる。

(3) 駆動装置継手 現量産電車で使っている歯車式継手の他に、小歯車軸を中空にしてそこへねじり軸をおした中空ピニオン軸式継手も一部に組み込んだ。これは在来線の 101 系電車が主電動機軸を中空にしているのと同様の考え方とだけよい。

(4) 高周波焼入れや車輪座形状を試験している車軸 現量産電車では左右車輪座間を全部高周波焼入れしているが、強度上不要の中央平行部を焼入れしな

い方式を一部に採用した。また車輪座形状は車輪座の段と車輪ボス内端が一致せず、車輪ボスのほうが 8 mm であったいわゆるオーバハング方式とした。

昭和 43 年夏に鉄道研究所で行なった機器組合わせ試験のときは、1 台車を台車試験台に乗せて走行し、自分の主電動機による走行で 300 km/h まで、試験台からの駆動により 335 km/h まで回し、振動、軸受温度などに何ら問題はなかった。

2.7 その他 高速に必要なパンタグラフの改良、電気機器の雪害に対する改良、非常電源装置、シート、窓設備なども改良され、新方式をかなり採用している。

3. 試験計画

この試験電車は昭和 44 年度いっぱい各種試験を行なっている。まず 4 月始めから 6 月始めまで定置試験で、指令装置、静止機器、補機、台車回転抵抗、台車試験台上走行、気密、換気、照明などの基礎試験を行なって、6 月に定点停止装置を取付け、6 月末から走行試験を行なっている。走行試験では車両性能、台車性能などの基本からうず電流式レールブレーキ装置など新しく開発した部品まで行ない、その後 250 km/h に速度を上げる試験を行なう予定である。

4. あとがき

試験電車は現在試験中であるが、新しく開発された機器類も多く、車両性能、乗りごころ、安全性、各機器の性能など新しい貴重なデータを試験走行ごとに作っている。これらを集約して十分に検討し、今後の電車製作に役立てる。この結果を有効に使って次期モデルチェンジの試作電車を作っていきたいと考えている。