

動力車の発達

Development of Powered Rolling Stocks

平 田 憲 一*
Ken'ichi Hirata

内 容 梗 概

世界における動力車発達の跡をたどると、蒸気機関車は 1820 年、電気機関車および電車は 1880 年、ディーゼル機関車は 1920 年ころよりそれぞれ実用に耐えるものができたようである。

本文においてはまず電気およびディーゼル動力車の誕生以来今日に至るまで、それぞれいかなる過程を経て発達してきたかについて概説し、過去 50 年間に於ける電車線電圧、動力車出力および比重量ならびに比出力の変遷を図示した。

次に日立製作所の電気機関車、電車、ディーゼル電気機関車、液圧式ディーゼル機関車、ディーゼル動車および蒸気機関車製作上への寄与、特に記録的製品の開発について概説してある。

1. 緒 言

第二次大戦後、世界各国の鉄道は、いずれも経営合理化のため、動力方式の近代化を積極的に推進した。ガスタービン機関車は現在一般的にはまだ経済性に問題があり、広く採用されるに至っていないが、将来は発展するものと思われる。また原子力機関車については、各国において研究に着手されてはいるが、現状においては安全性および重量に難点があり、発電所における原子力発電以外、車輛動力に応用することは当分は困難と考えられている。現在世界各国の鉄道動力近代化方式として特に顕著なものは、フランスを中心として発達した商用周波数交流電化と、米国および西ドイツによって推進されたディーゼル化とをあげることができる。この傾向はわが国においてもまったく同様で、数年来、従来の直流電化と平行して、商用周波数交流電化およびディーゼル化が目ざましく進展しつつある。

本文においては動力車の世界各国における歴史的発達とその動向および日立製作所の今日に至るまでの動力車製作上への寄与について概説する。

2. 世界各国における電気車輛の発達

鉄道の起源は 1576 年英国の炭坑で、木製軌条を使用したのが最初であるといわれる。初期の鉄道車輛の動力としては人力について馬力が用いられたが、1776 年、Watt の蒸気機関の発明があり、1815 年 George Stephenson は実用的蒸気機関車を製作し、1825 年 Stockton—Darlington 間に最初の営業用蒸気機関車を運転した。

一方 1831 年 Faraday は電磁誘導の法則を発見して強電流工学の基礎を確立し、1834 年米人 Thomas Davenport は電磁石の極性転換による “Electro-motor”

を用いて蓄電池を電源として模型電車を運転した。その後 1870 年、仏人 Gramme は最初の実用的直流発電機を製作し、ついで 1873 年 Hyppolyte-Fontaine は偶然の機会に発電機と電動機の可逆性を発見し、ついに 1879 年 5 月 31 日、ドイツ人 Siemens および Halske は Berlin 工業博覧会において、発電機を電源として 0.954 t, 3 HP の小形電気機関車を運転した。これが発電機の発生電力によって運転された最初の電気鉄道で、この日をもって電気鉄道誕生の日としている。

2.1 1880—1920

電気鉄道は 1880—1900 年、まず市街鉄道として実用の時代に入り、主電動機および駆動方式、制御方式、集電方式など、いずれも次第に進歩して、初期の原始的形態より脱却し、おのおのその基本方式が確立された。

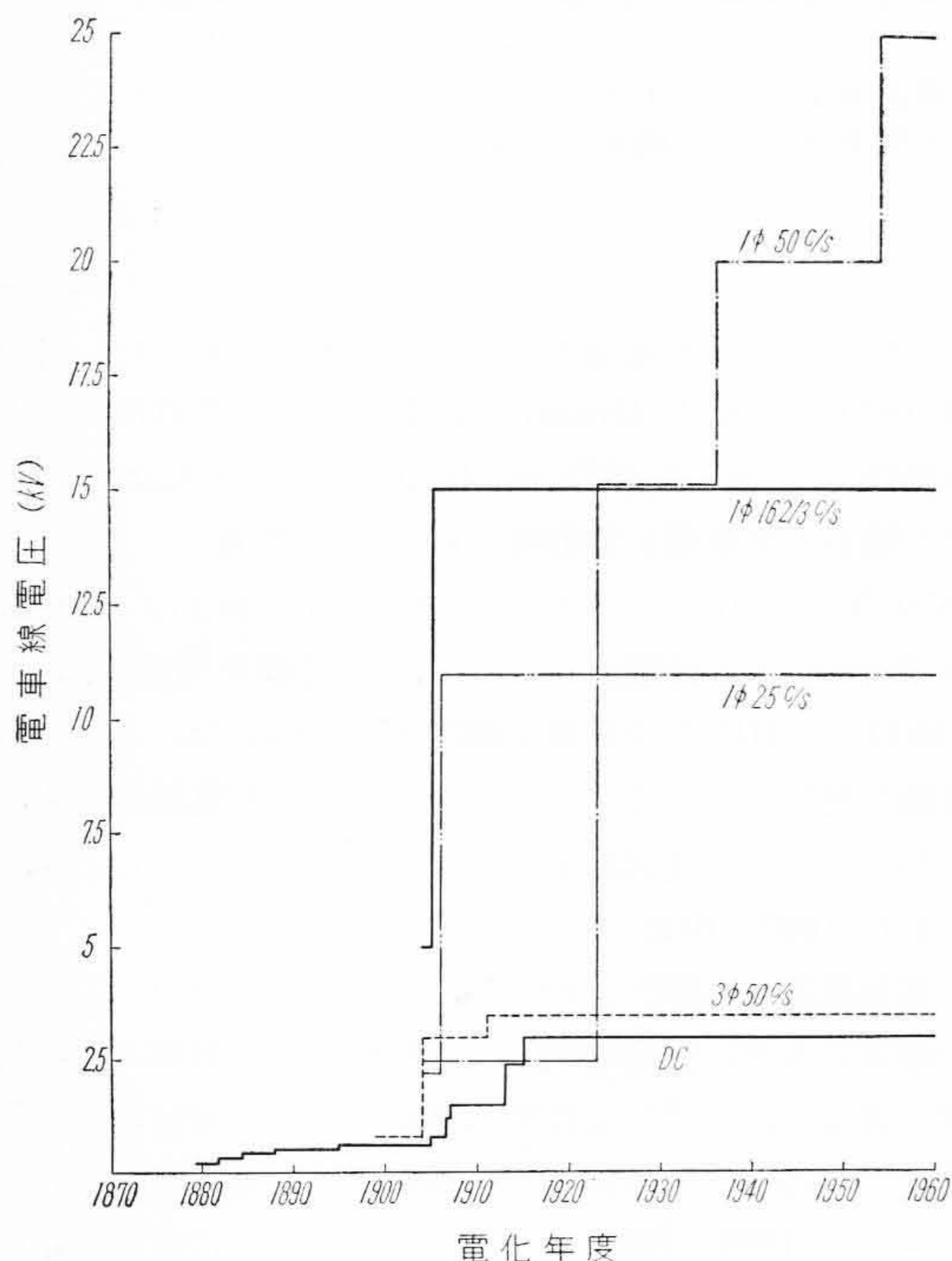
さらに 1890—1900 年間に、水力ならびに火力発電所はその発展の緒につき、変圧器および三相交流方式の発明によって 10—16 kV の長距離高圧送電が行われ、一方回転変流機および水銀整流器の発明があった。また 1895—1900 年間には、主電動機に関しては補極の発明、マイカ絶縁、波巻巻線、整流子のアンダ・カットおよびカーボン・ブラシなどの開発があり、また制御器関係では吹消コイル付直並列制御器、電空式単位スイッチの完成および F. J. Sprague 氏の総括制御方式の発明があり、故障が激減するとともに運転の確実性を増加し、鉄道電化が活発に行われるようになった。

かくのごとくして電気機関車の容量は急激に増大し、1895 年には Baltimore & Ohio R. R. に BB, 85t, 1,040 HP 電気機関車が出現した。これが世界最初の幹線電化であるといわれる。かくて鉄道電化の進展に伴い、電車線電圧の上昇が要望されるに至ったが、当時はまだ補極の発明は一般的には実施されるに至らず、主電動機整流の制限により、電車線電圧は 600 V 以下に限定されていた。しかるに 1903 年、補極付主電動機が出現する

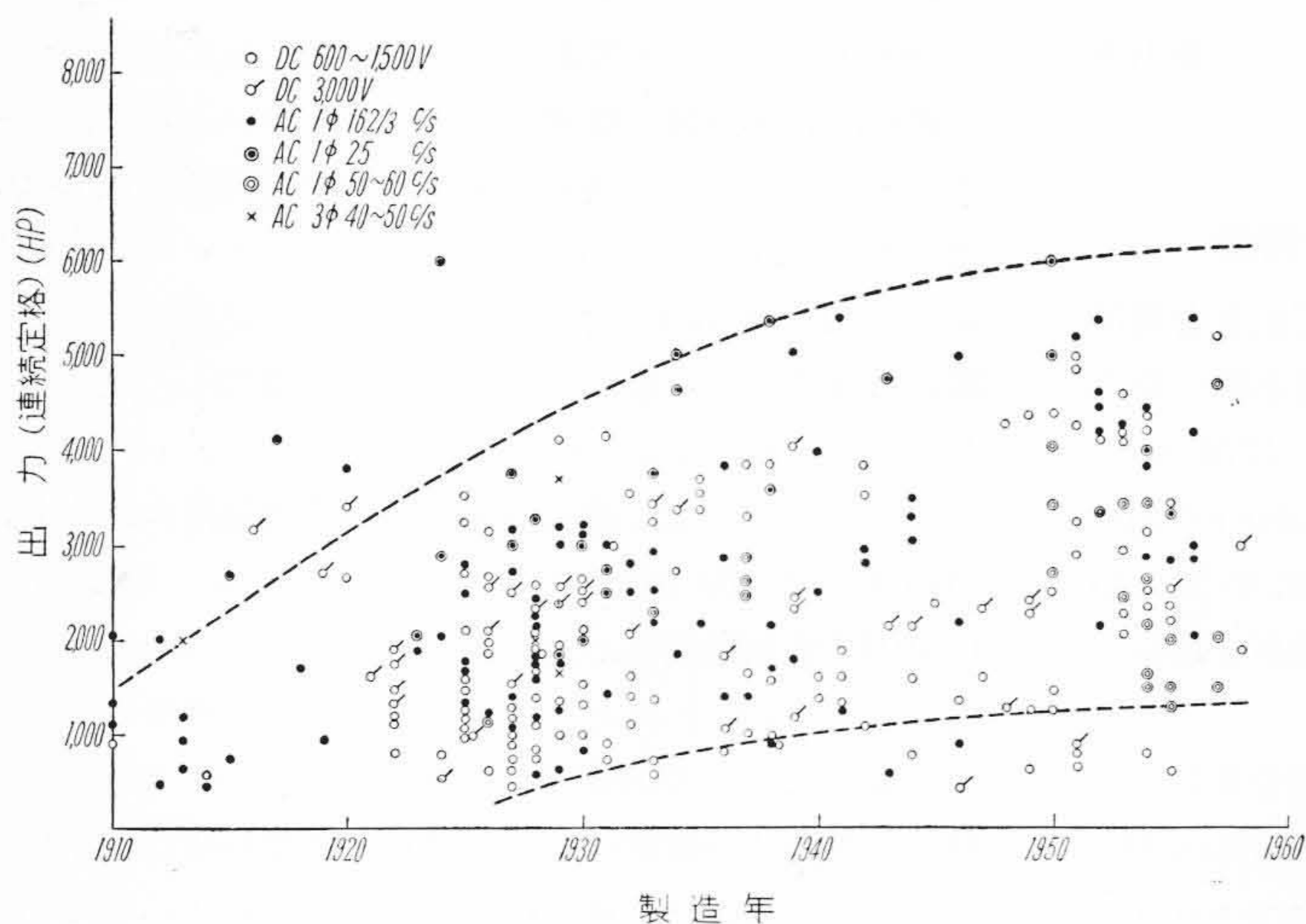
* 日立製作所日立研究所 工博

に及んで、整流に一大進歩がみられ、電車線電圧は次第に上昇して、1915 年には C. M. & St. P. 鉄道が DC 3,000V で電化され、2 BB+BB 2, 260 t, 3,600 HP 回生ブレーキ付電気機関車が出現した。

一方これに先立ち、1899 年、スイスの Burgdorf-Thun 鉄道に B, 29.6 t, 300 HP の世界最初の三相交流式幹線用電気機関車が出現し、後イタリアにおいても三相交流方式がかなり採用されたが、架線および集電装置に難点



第1図 電車線電圧の変遷



第2図 電気機関車出力の変遷

があり、また速度制御特性不良のため、次第に使用されなくなった。

しかるに一方 1902~1904 年、B. G. Lamme および Behn-Eschenburg 両氏はそれぞれ独立して実用的単相整流子電動機を発明し、単相交流電化が急激に発展した。すなわち 1904 年、MFO は BB, 43 t, 350 HP 交流整流子電動機式機関車を製作した。これが世界最初の単相交流電気機関車であるといわれる。かくして単相交流電化方式が発達し、欧州においては 15 kV, 16 $\frac{2}{3}$ c/s, 米国においては 11 kV, 25 c/s が標準となり、1915 年、米国では Pennsylvania R. R. に 1 C+C 1, 215 t, 4,800 HP, またスイスでは 1919 年、SBB に、1 BB 1, 106 t, 4,500 HP, ジャック軸側棒式電気機関車が出現した。

またこの間日本国鉄は 1912 年、信越線横川、軽井沢間を DC 600 V で電化し、AEG 製 42 t, 700 HP ジャック軸側棒式電気機関車 12 輛の運転を開始した。これがわが国における幹線電化の最初である。

世界各国の鉄道電化はかくのごとくして発展の緒についた。直流および交流電車線電圧の変遷を第1図に示す。

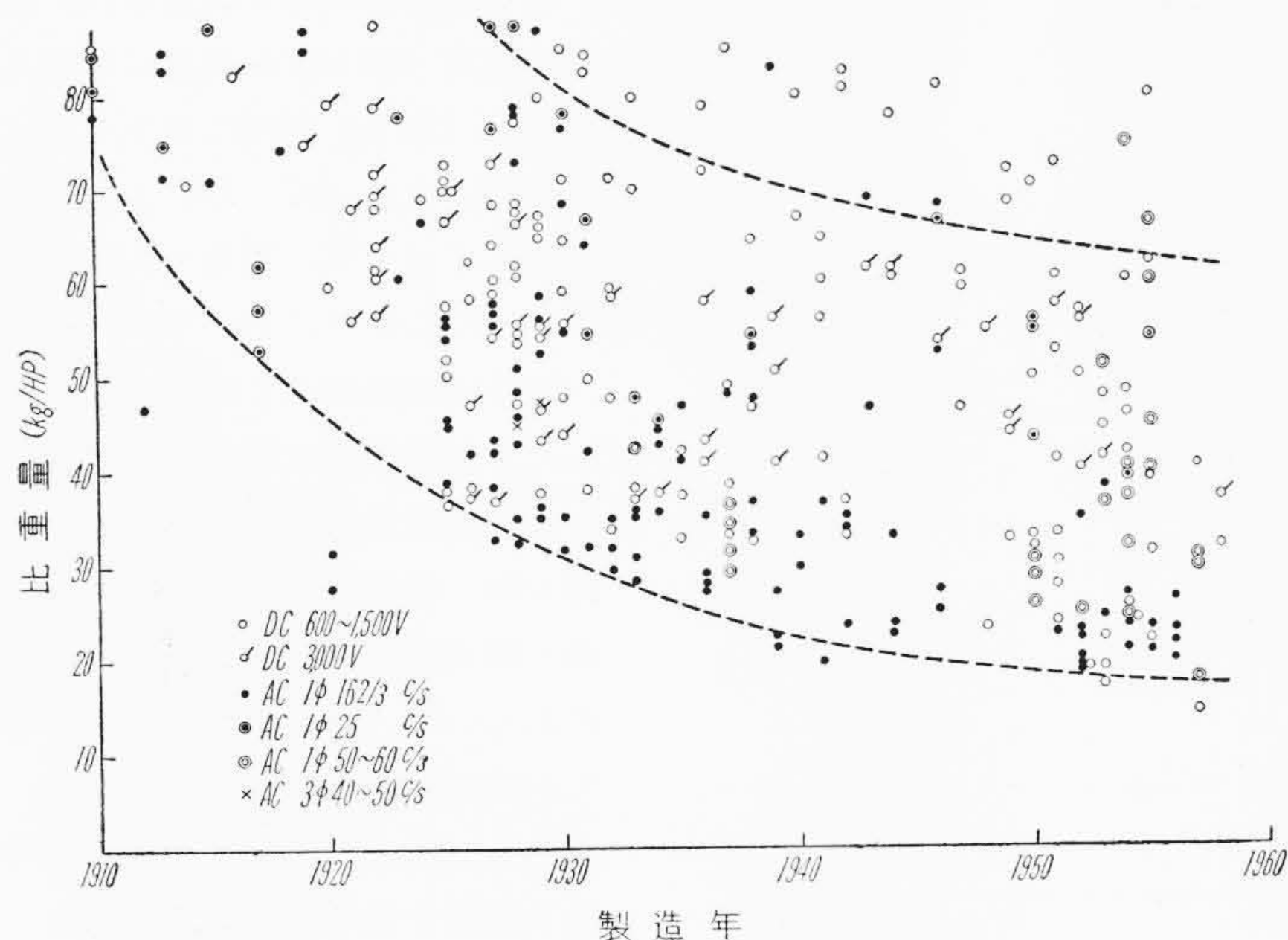
一方この間高速電車も次第に発達した。まず 1898 年 F. J. Sprague 氏の発明した総括制御方式が米国において Chicago & South Side Elevated R. R. に実施せられ、長大電動列車の運転が可能となり、1910 年には米国においてすでに 10 輛編成の電動列車が運転せられ、1915 年には営業用最高速度 100 km/h を超過するものが出現し、鋼製車が使用されるに至った。また 1915 年以降各種の自動加速式制御装置および空気ブレーキ装置が進歩して、起動加速度は 1.5~2.5 km/h/s, 制動減速度は 3.2~4.8 km/h/s のものが出現するに至った。

2.2 1920—1940

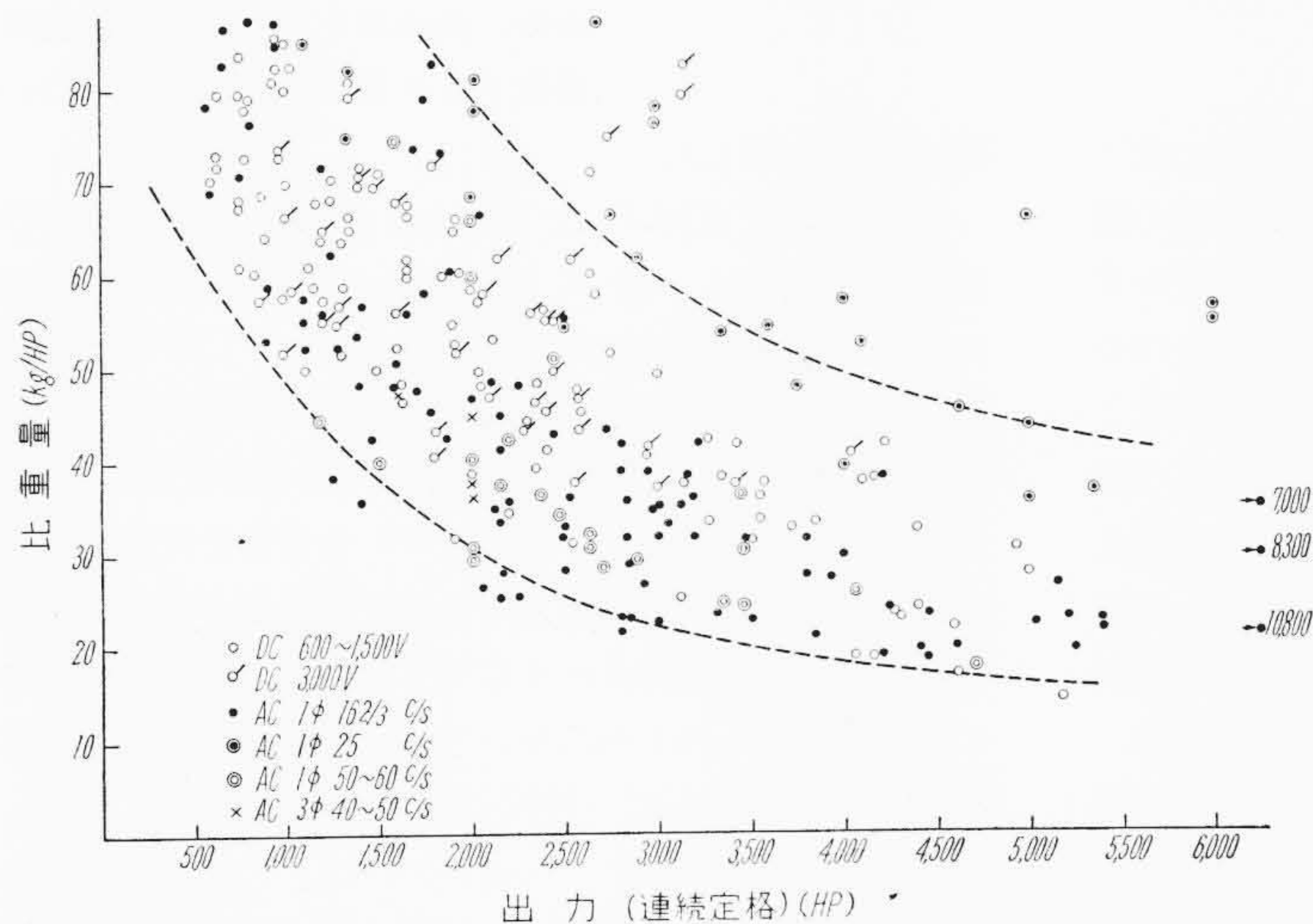
電気機関車は次第に大容量軽量高性能となり（第2図）、比重量は 80~40 kg/HP より 40~20 kg/HP に低下した（第3、4図）。大容量のものとしては 1939 年、SBB に 1B1B1+1B1B1, 235.7 t, 12,000 HP（連続 10,800 HP）のように 2 輛連結して使用するものが出現した。最高速度も次第に上昇し、1938 年にはドイツ国鉄 E 19 形 1D1, 114 t, 5,400 HP 急行用電気機関車は 180 km/h に達し、空気ブレーキの速度制御が実施された。

車体、台車は 1935 年以降溶接が多く使用され、軽量化された。

主電動機は次第に高速化して、特に 1935 年以降、溶接構造の採用、絶縁物の進歩と相まって急速に軽量化し、比



第3図 電気機関車比重量の変遷



第4図 電気機関車の出力と比重量

重量は交流直流とも 10~5 kg/kW 程度に低下した (第5図)。

駆動装置としては側桿式は保守に手数を要するため、次第に使用されなくなり、釣掛式のほか 1925 年以降、Buchli 式、Winterthur 式、WH-AEG バネ・カップ・クイル式など多くの可撓駆動方式が出現した。

また 1930 年以降、起動時の粘着特性改善のため、軸重移動補償装置が早くもドイツ、スイスおよびフランスなどに出現し、一方 Feinregler 式多段式制御方式を併用して、起動特性を改善する方式も行われた。

制御方式としては交流直流とも電空単位スイッチ式、電動カム軸式が多く、交流式では低圧制御のほか、1929~1930 年、スイスにおいて BBC が高圧制御方式を開発し

た。また 1930 年以降、回路遮断器が発達し、直流では高速度遮断器が、交流では空気遮断器が開発された。また欧州においては直流交流とも発電および回生ブレーキを使用するものが多くなった。

またこの時代に入るや各国において経済的電化方式について研究が行われ、スウェーデンは 1926 年以降、周波数変換機による 1φ, 16 2/3 c/s AC 方式採用に移行し、イタリアは 1925 年、3φ AC 方式を捨て、DC 3,000 V 方式の採用を決定し、また日本は 1925 年、東海道線東京、国府津間および横須賀線を DC 1,500V で電化した。

さらに 1932 年、本格的商用周波数交流電化の魁として、ハンガリー国鉄はその一部を 16kV, 50 c/s で電化し、相数変換機式電気機関車を運転した。また 1936 年、ドイツ国鉄は Höllental 線を 20 kV, 50 c/s で電化し、4 種の試作電気機関車を運転した。

この間電車関係においても大なる進歩がみられた。まず路面電車に各種の可撓駆動方式が開発せられ、特に 1936 年には P. C. C. Car が出現して、その構想は路面電車のみならず、高速電車にも採り入れられ、次第に軽量高性能電車が製作されるようになった。

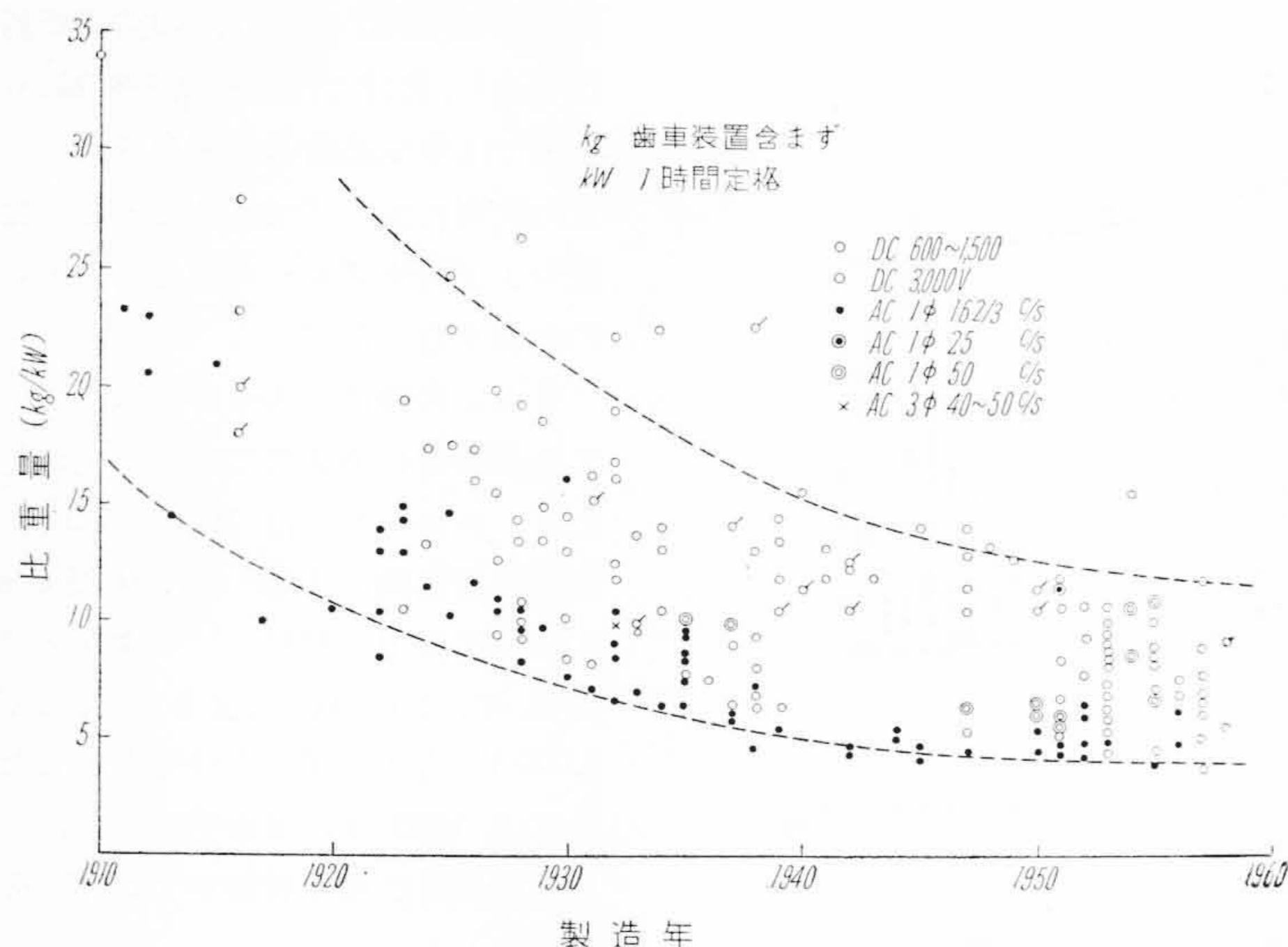
まず主電動機は高速化して小形軽量となり、カルダン軸式およびクイ

ル式など各種の可撓駆動方式が発達し、最高速度は 1937~38 年には 160~180 km/h に達した。また 1936 年以降、各種の多段式制御方式が発達し、3.5~4.5 km/h/s 程度の高加速、高減速が採用されるようになった。

車輛全体としては特に 1935 年以降、軽量化の研究が進み、いわゆる張殻構造の車体および軽量高速台車が登場して振動、騒音は減少し、乗心地は大いに改善された。また一方通風方式が進歩して、冷房装置を設備したものも出現した。

2.3 1940—1958

第二次大戦以後世界の電気機関車は長足の進歩をとげた。特に欧州において然りとする。すなわち車体台車に溶接が多く採用されたほか、機械部分および電気部分と



第 5 図 電気機関車および電車用主電動機比重量の変遷

も著しく軽量化し、比重量は 20~15 kg/HP 程度に低下した (第 3, 4 図)。すなわち 1940 年以降主電動機の軽量化は各種の駆動方式の発達と相まってバネ下重量を著しく減少し、走行特性は急激に向上した。その結果 1945 年以降大容量高速電気機関車においても従来の先軸および従軸を省略し、2 軸または 3 軸ボギーを使用する BB または BBB および CC 形が多く出現した。また揺動支持方式の台車を採用するものが多くなった。これらの電気機関車の多くは心皿位置低下のほか、各種の電磁空気式軸重移動補償装置、牽引力調整装置、空転防止装置、Feinregler または Vernier 式多段式制御方式あるいは水銀整流器式の場合は格子制御を併用して起動特性を改善した。また 1953 年フランス SNCF に出現した BB, 80 t, 4,800 HP 電気機関車のごとく、1 台車 1 電動機中間歯車連結式駆動方式を採用して軽量化と同時に粘着特性を改善したものもある。

駆動方式としてはバネ・クイル式、ゴム・クイル式のほか、摩耗部分のない BBC のディスク式、Sécheron のブレード式、SSW のゴム・リング可撓釣掛クイル式などが現われた。主電動機が比較的軽量で、かつ最高速度が 100 km/h 程度以下の場合には釣掛式もかなり用いられた。

主電動機は電機子周速の増大、絶縁物の進歩、通風の改善とともにさらに軽量化され、交流直流とも 6~4 kg/kW 程度に低下した (第 5 図)。

変圧器は欧州においては Radial core 式のものが出現し、また高圧制御が多く採用されるようになり、ともに軽量化に役だった。米国においてはシリコンの発達とともにふたたび乾式風冷式が出現した。

空気遮断器は年々改良され、遮断容量は 250 MVA 程度に増大し重量は 150 kg 程度に低下した。

制御方式は AC, DC とも電空単位スイッチ式、電動カム軸式が多く、特に欧州においては AC に “Stufenschalter” が多く用いられた。制御段数は粘着特性改善のため、交流整流子電動機の場合は 20~30, 直流直巻電動機の場合は 30~50 程度に増大し、Feinregler 式あるいは Vernier 式を併用して中間制御段数を増大したもの、水銀整流器式の場合は起動低速時格子制御を併用したものもある。また直流直巻電動機の場合、補償巻線を設けて界磁を 25% 程度に弱め、高速度をうると同時に連続運転ノッチ数を増大したものが

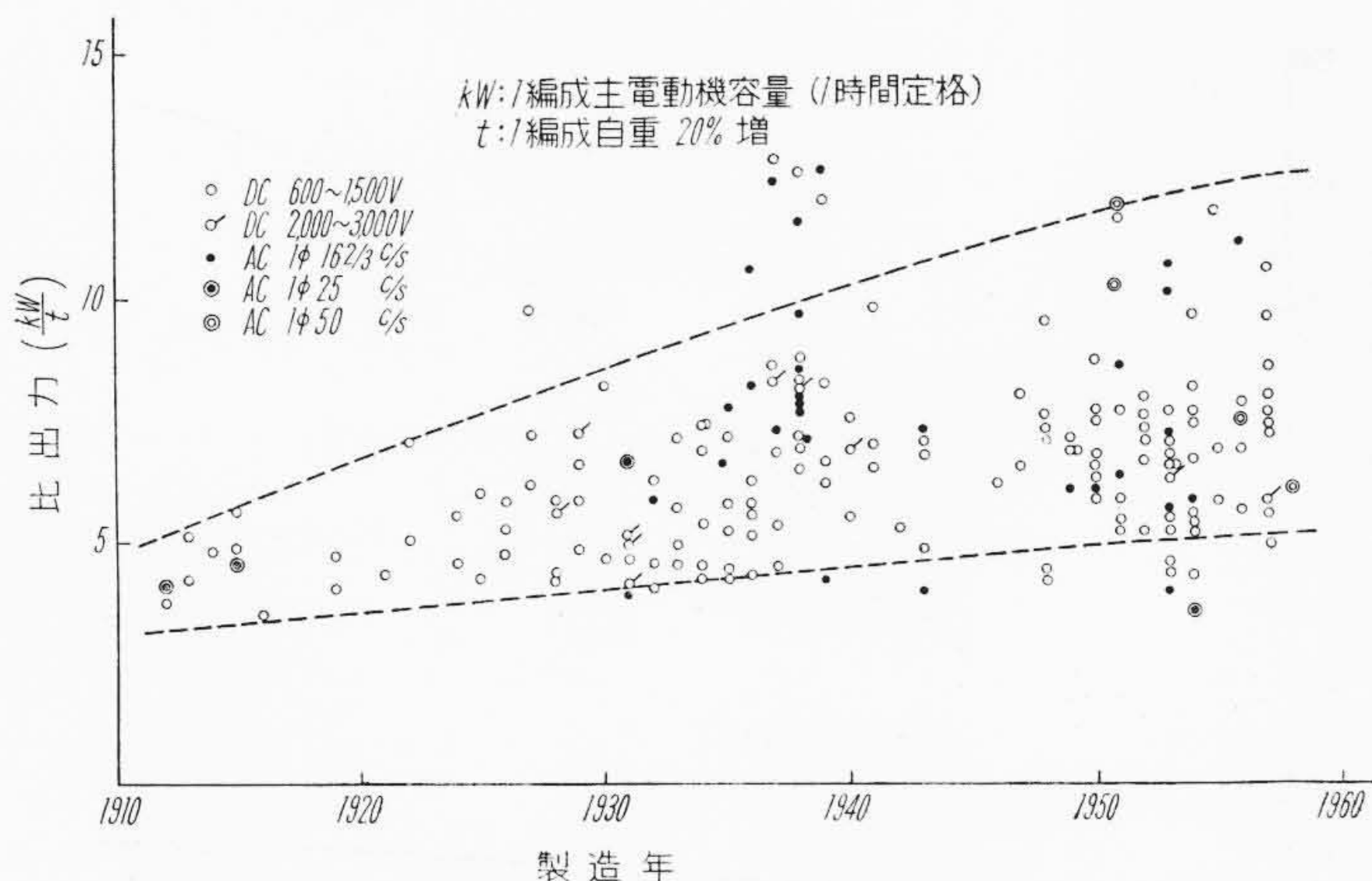
SNCF に出現した。

1955 年 3 月 SNCF は CC および BB 電気機関車の高速試験を行い、相ついで 331 km/h の記録を樹立した。一方 SNCF は前述の Höllental 線の 1 φ, 50 c/s 電気運転の実績より商用周波数交流電化の経済性に着目し 1950 年数種の試作機関車を運転した結果好成績を収め、以来本格的に 25 kV, 1 φ, 50 c/s の電化を推進した。かくして商用周波数交流方式は経済的電化方式として認められ、各国で実施されるに至り、営業料は約 2,000 km に達している。わが国においても 1955 年仙山線の一部を 20 kV, 50 c/s で、1957 年北陸線の一部を 20 kV, 60 c/s で電化した。

ドイツにおいては 1956 年 6 kV, 50 c/s, BB, 132 t, 1,860 kW 回生ブレーキ付エクサイترون式電気機関車が出現し、イギリスにおいては同年 6.6 kV, 50 c/s, ゲルマニウム式電車の運転を開始した。また西ドイツにおいては 800 kW シリコン整流器式電気機関車がすでに 1 年以上無事故で運転されているといわれる。今後はシリコン整流器式電気機関車および電車の発展が期待される。

一方、フランスにおいては交流電化後、特に電気機関車の粘着特性改善の研究が行われ、1955 年 BB, 85 t, イグナイトロン式電気機関車の牽引試験において $\mu_{\max} = 48.3\%$ に達したといわれている。また特殊レール撒布材の研究も行われている。

かくて各国とも次第に BB 形軽量電気機関車を採用する傾向となり、ドイツでは 1956 年 E 10' 形 BB, 84 t, 3,240 kW, 最高速度 150 km/h および E 41 形 BB, 66 t,



第6図 高速電車比出力の変遷

2,200 kW, 最高速度 120 km/h (1φ, 16 2/3 c/s), またフランスにおいては 1957 年 BB, 77.3 t, 3,850 kW, 最高速度 160 km/h (DC) などが出現した。

高速電車も電気機関車に平行して発達した。注目すべき新方式としては、1957 年、西ドイツ Köln 市近郊に ALWEG 式モノレールが運転を開始し、一方常用速度 150 km/h 程度の Talgo 式および関節式軽量高速電車が欧米各国に多数採用された。フランスにおいては、ゴム・タイヤの電車が実用せられ、押ボタン式自動制御方式を採用して運転速度の自動制御も行われている。また一般に空気バネの採用が多くなった。

主電動機はますます高速化し、1955 年には最高許容回転数は 6,500 rpm に達し、比重量は直流交流とも 6~4 kg/kW 程度に低下した。また重ね巻および分割刷子の採用により整流を改善し、さらに補償巻線を施して広範囲の界磁制御を行うものが次第に多くなった。

駆動方式としてはベベルならびにハイポイド・ギヤ・カルダン軸式、ギヤ・カップリング式および各種のクイル式のほか 1944 年以降各種の中空電機子軸式およびゴム・クイル式が発達した。

制御装置関係では電空併用ブレーキ式多段式制御器が発達し、1947 年 New York 地下鉄において“Spotting”を行うものが出現した。また高加速、高減速をさらに推進するため、各種の空転防止装置が出現した。

一方商用周波数交流電化の発達に伴い、高速電車関係においても 1951 年フランスおよび西ドイツにおいて 25 kV, 50 c/s 整流子電動機式高速電車が運転を開始し、1956 年、イギリスにおいて 6.6 kV, 50 c/s, ゲルマニウム整流器式電車の運転が行われた。アメリカにおいては 1954 年以来、11 kV, 25 c/s 水銀整流器式電車が運転されている。1958 年、日本国鉄は仙山線に交直両用電

車を運転した。

最近 50 年間の高速電車の比出力の変遷を第 6 図に示す。

3. 世界各国におけるディーゼル車輛の発達

世界最初の内燃機関車は、1891 年に出現した Daimler の 4 HP ガソリン機関を搭載した小形 4 軸機関車であるといわれる。ついで 1892 年 Rudolf Diesel は彼の新構想に基く熱機関の特許を得て試作研究の結果、1897 年単気筒 25HP の最初の実用的“Diesel”機関を完成した。しかし車輛への適用はやや遅れ、1913 年 Sulzer によって 75 HP 二行程式の最初の幹線用ディーゼル機関車が製作されたが、直接式動力伝達方式を採用したため失敗に終わった。

3.1 1920—1940

GE は 1912 年、50 t のガソリン電気機関車を製作して電気式動力伝達方式の研究を行い、1924 年 60 t, 300 HP の最初のディーゼル電気機関車を製作して実用に供した。

同年ソ連人 G. V. Lomonosoff は MAN の 1,200 HP, 450 rpm のディーゼル機関を搭載した 4 種の試作機関車を製作した。このうち電気式と機械式は成功したが、液圧式は失敗した。

かくのごとく初期のディーゼル機関車においては、動力伝達装置に種々の問題があり、多大の努力が傾注されたが、比較的容量の大なるものに対しては電気式が好成績を収め、次第に発達した。まず 1914 年、GE の H. Lemp は前記 Sulzer の直接駆動式ディーゼル機関車の失敗の跡を調査研究の後、電気式動力伝達方式を開発して特許を得た。すなわちディーゼル機関ガバナ連動自動調整器により、燃料噴射量および主発電機の界磁電流を調整して、ディーゼル機関に要求される出力が変化しても、ディーゼル機関の速度を適当な値に保持せしめんとするもので、“Speed control”方式と称した。

さらに 1924 年 Lemp は彼の思想を発展させて差動界磁方式を開発し、主発電機固有の特性により、広い速度範囲において、主発電機に定出力を保持せしめるようにした。

上記 Lemp の二つの特許は、今日広く使用されているディーゼル電気機関車制御方式の根幹をなすもので、これによって運転操作は非常に簡易化されたのである。

差動界磁式は 1924 年、300 HP ディーゼル電気機関車に初めて実施されたが、本方式は簡単で、かなり好成績

を収めた。Speed control 方式はやや遅れ、1931年に至って初めて800 HP 入換用機関車に実施された。

また1932年 BBC は本方式を発展させて“Servo-field regulator”方式を開発して、PLM の入換機関車に適用した。さらに1934年 GM は本方式の改良形を Burlington-Zephyr の流線形列車に実施した。また Alco-GE は差動式を発展させて Split-pole exciter 方式を開発した。

かくのごとくしてディーゼル機関の容量が次第に増大し、1,000~1,500 HP になるに及んで、上記 Lemp の二つの特許、すなわち差動界磁式と Speed control 式の二方式を組合わせて使用するようになった。

一方ディーゼル機関本体については1930~1940年の間、欧米の製造者は車輛用高速軽量ディーゼル機関の開発に努力し、その間 Bosch の燃料噴射方式が開発された。ディーゼル機関は発展の初期においては定速度において運転されたが、後軽負荷においては低速度で運転されるようになり、実際の場合には回転力制御と速度制御とがともに行われ、ディーゼル機関を広範囲の出力に対して好適なる運転状態におくようにした。

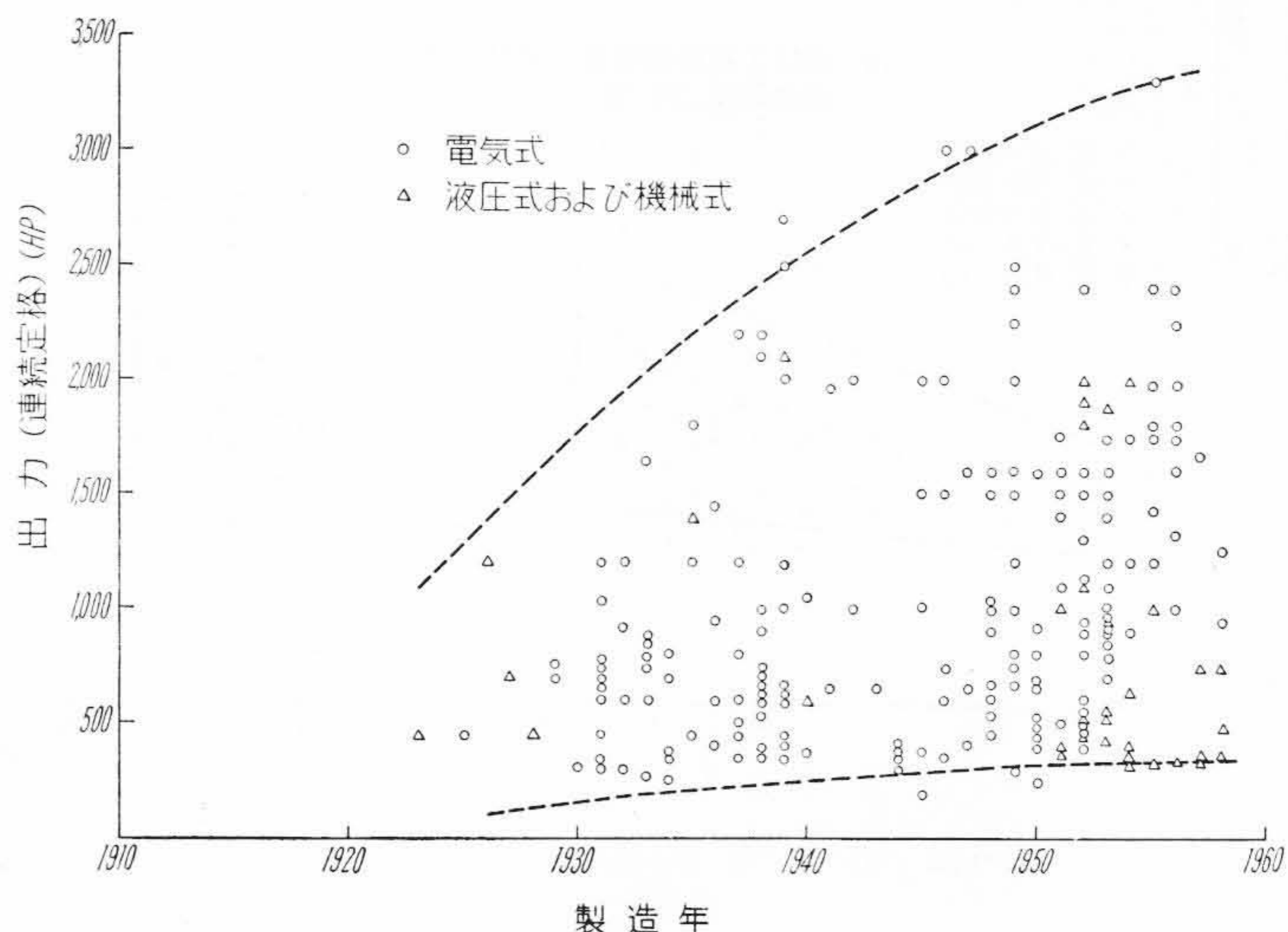
かくのごとくして次第に大容量のディーゼル電気機関車が製作されるに至り、1937年にはフランス SNCF において 2 C 2+2 C 2, 227.5t, 4,400

HP, 1938年ルーマニア国鉄に 2 D 1+1 D 2, 218t, 4,400 HP が出現した。いずれも過給機付 2,200 HP ディーゼル機関2台を有し、Servo-field regulator 方式を採用しており、ディーゼル機関の速度は4段に制御される。

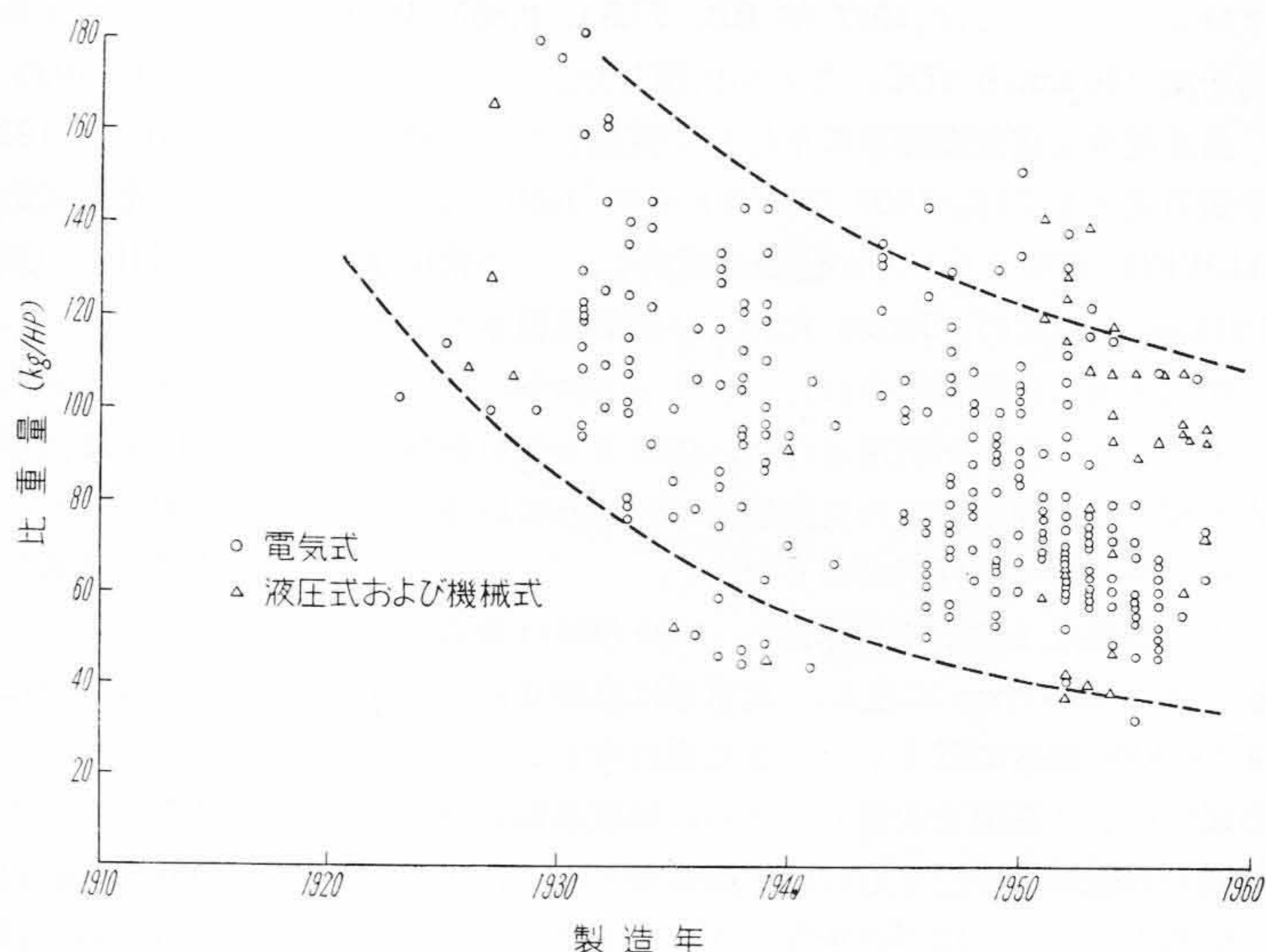
わが国のディーゼル機関車は、1929年国鉄に納入された 1 C 1, 58.5t, 600HP Esslingen 製電気式および1931年国鉄に納入された 1 C 1, 65.5 t, 600 HP Krupp 製機械式が最初で、その後国産として1934年満鉄納 A 1 A-A 1 A, 106 t, 750 HP, 1936年国鉄納 A 1 A-A 1 A, 71 t, 500 HP などのディーゼル電気機関車が製作された。

3.2 1940—1958

1945年以降、欧米特に米国においてディーゼル電気機

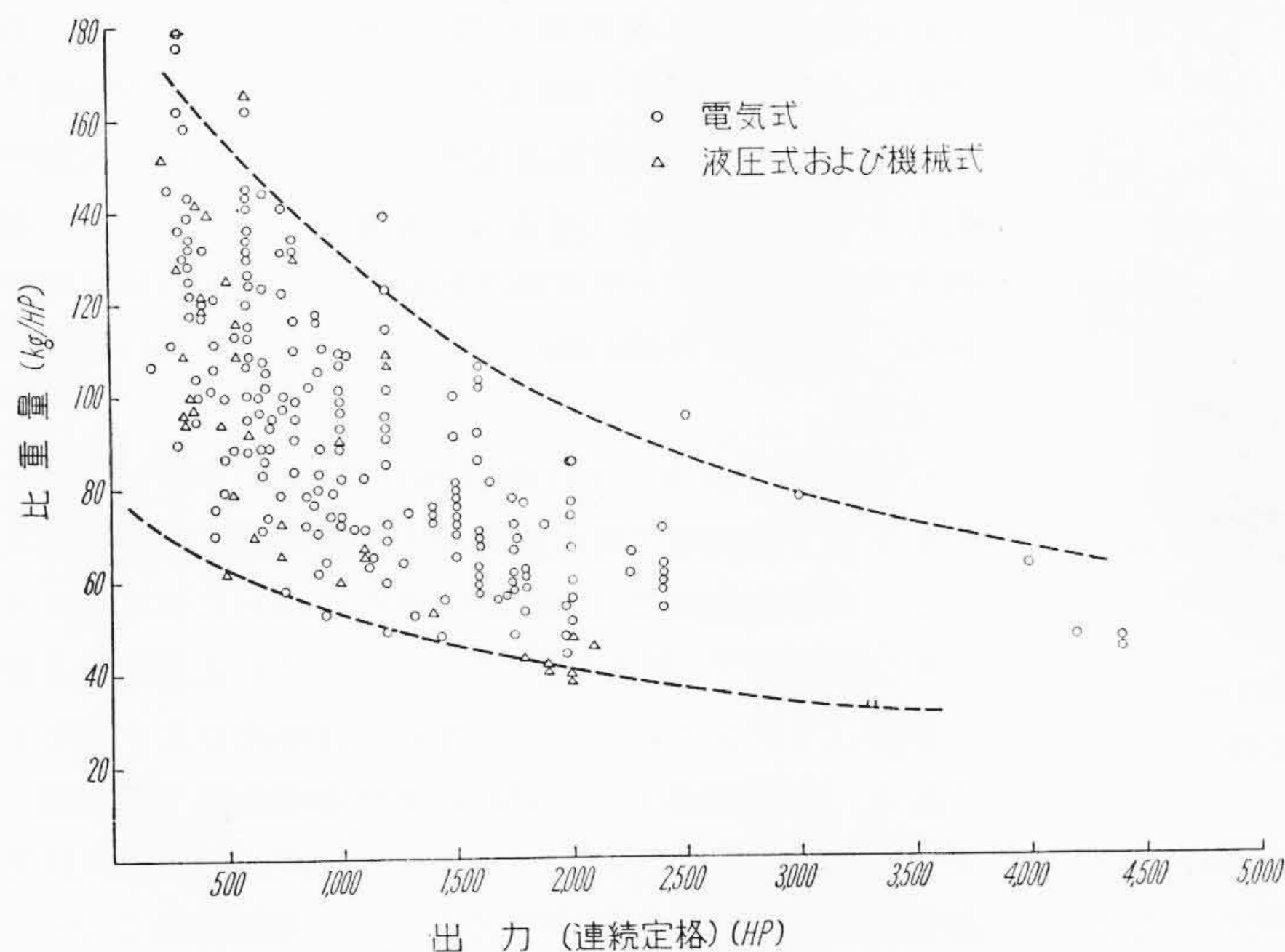


第7図 ディーゼル機関車出力の変遷



第8図 ディーゼル機関車比重量の変遷

関車が急激に発達した(第7図)。先軸および従軸を省略したBBまたはBBBおよびCC形の2,000~3,000 HP級のものが多い。米国では本線用に1,500~2,000 HPのものを3~4輛連結した6,000 HP, 入換用には1,000 HP程度が多い。車輛用ディーゼル機関も次第に高速化し、1,000 HPでは1,500 rpm, 2,000 HPでは1,000 rpmが多く、2,000 HP, 1,500 rpmのものも出現した。同時に過給機が著しく進歩してディーゼル機関の比出力は急激に増大した。一方これと平行して主発電機およびその他の電気装置も大いに軽量化された。その結果機関車全体としての比重量は120~60 kg/HPより80~40 kg/HPに低下した(第8図および第9図)。



第9図 ディーゼル機関車の出力と比重量

特に 1955 年イギリスに出現した CC, 108 t, 3,300 HP ディーゼル電気機関車は, 1,650 HP, 1,500 rpm 対向三角形ディーゼル機関を 2 台有し, 最高速度 145 km/h, 比重量はわずかに 32.7 kg/HP にすぎない。

電気式動力伝達方式としては, 機関車の全速度範囲において, 負荷および外界状況ならびに発電機温度上昇の変化に対し, 機関の全出力を有効に利用するため, 各種の特殊励磁機とガバナ連動燃料および界磁自動調整方式が併用されており, 磁気増幅器を採用したものもある。

日本国鉄においても 1950 年以来主要幹線の電化と平行して, 亜幹線および支線のディーゼル化を推進し, 1953 年 DD 50 形, BB, 63.4 t, 1,000 HP, 1956 年 DF 40 形, CC, 75 t, 1,200 HP, 1957 年 DF 90 形, CC, 94.5 t, 1,900 HP および DF 50 形, BBB, 81 t, 1,400 HP など多くのディーゼル電気機関車が出現した。

上述のように大容量機関車に対しては, 電気式が好適と考えられ多数採用されたが, 小容量機およびレール・バスには機械式および液圧式が開発せられ, 戦後 Lysholm-Smith, Voith-Sinclair などの方式が発達した。さらに西ドイツにおいては 1951 年, Hydro-mechanical drive が開発されるに及んで, 大容量のディーゼル機関車にももっぱら液圧式を採用する方針を決定した。すなわち 1951 年 V 80 形, BB, 64 t, 1,000 HP ディーゼル機関車に適用されたのにつづいて, 1952 年 V200 形 BB, 76 t, 2,000 HP 液圧式機関車が製作された。一例として Krauss-Maffei 製のものは 1,000 HP, 1,500 rpm 過給機付 Maybach ディーゼル機関 2 台を塔載し, Mekydro 式動力伝達方式を採用し, 1,800 HP が牽引用に伝達される。比重量は 39 kg/HP でかなり低い。トルク・コ

ンバータと歯車変換との組合せにより, 広範囲の速度において能率は良好である。

また注目すべきものとして 1957 年夏に出現した欧州大陸横断国際急行列車 “TEE” がある。このうちオランダとスイス共同製作のものは 1,000 HP, 1,400 rpm のディーゼル機関 2 台を有する動力車を含む 4 輛編成のディーゼル電気列車で, 全長 97 m, 自重 225 t, 座席定員 146 人, またドイツで製作されたものは 1,100 HP, 1,500 rpm のディーゼル機関 1 台を有する液圧式動車 2 輛を含む 7 輛編成のディーゼル列車で, 全長 130 m, 自重 211 t, 座席定員 168 人, いずれも最高速度 140 km/h, 冷房装置付である。種々の電化方式が行われている国々を通過する国際直通

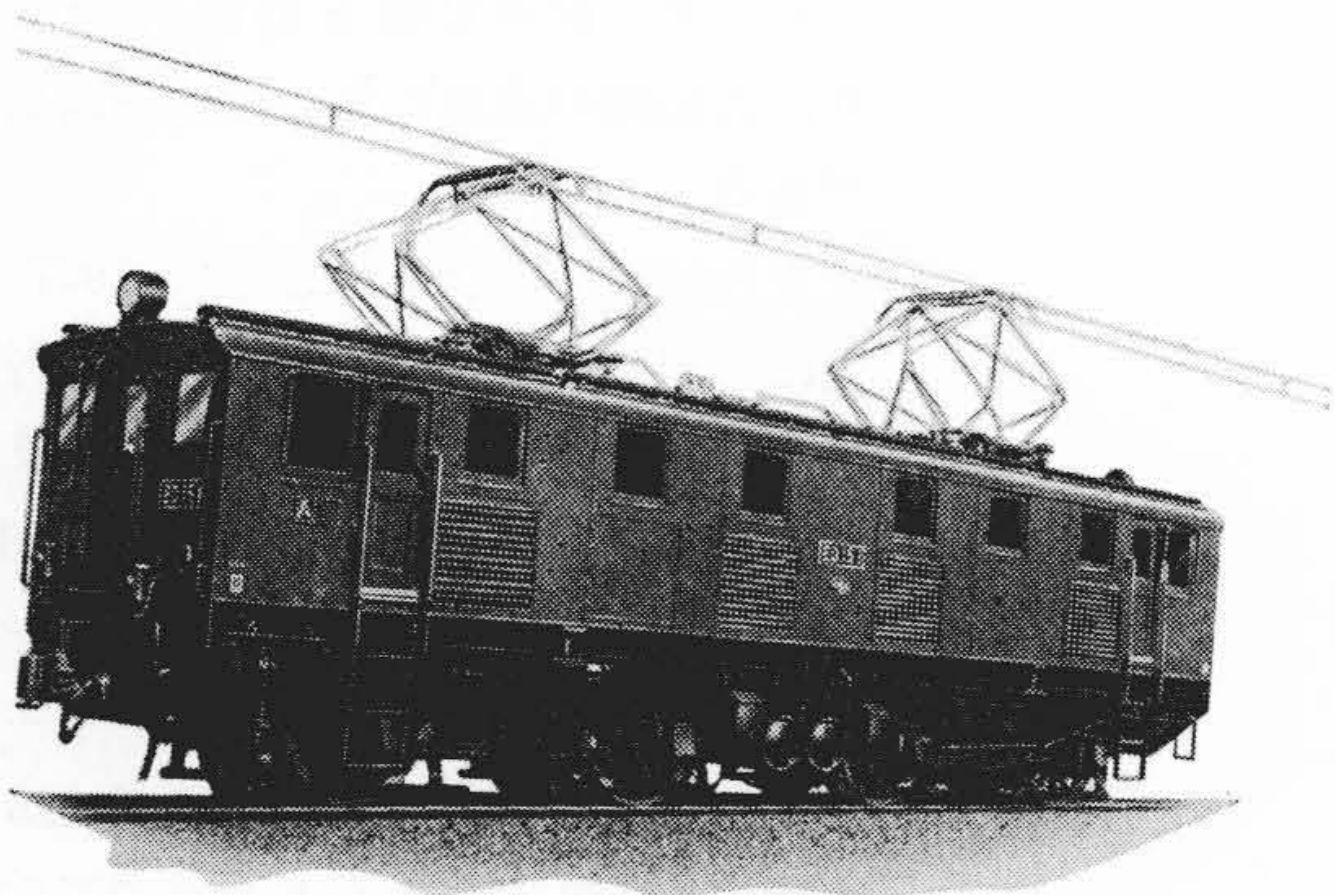
列車として好適なものと思われる。

米国においても欧州の液圧式の発達に刺激され, 1957 年 New York Central R. R. に BB, 85 t, 1,000 HP 液圧式ディーゼル機関車が出現した。そのほか, 英国および日本においても液圧式が次第に大容量機関車に採用される傾向にある。特に 1951 年以降の日本国鉄のディーゼル動車化は世界的にも注目すべきものである。160 HP の標準形ディーゼル機関とトルク・コンバータを 1 輛に 1 組または 2 組装備し, 総括制御を行うもので, 支線区の合理化のほか, 市間高速連絡用にも用いられており, すでに 1,200 輛に達している。

4. 日立製作所の動力車製作上への寄与

4.1 電気機関車および電車

わが国の電気鉄道は 1895 年 (明治 28 年) 京都市に敷設されたものを嚆矢とする。当初は車輛の重要部分, 特に電気機器はすべて輸入品が使用された。日立製作所は 1910 年 (明治 43 年) 創業以来, 電気機器の国産化に努力し, 車輛関係においても 1911 年, 1.5 t 電気機関車, つづいて 1915 年, 6 t 電気機関車を製作し, 1922 ~ 23 年にはすでに高速電車用 150 HP 主電動機⁽¹⁾⁽²⁾ および電空カム軸式 PR 制御器⁽¹⁾⁽²⁾を製作完成していた。1923 年東海道線の 1,500 V 電化計画に呼応して, 卒先大形電気機関車の設計に着手し, 翌 1924 年, BB, 59 t, 1,100 HP 電気機関車⁽²⁾⁽³⁾ (第 10 図)を完成した。1925 年 1 月, 東京―蒲田間において 600 t 牽引試験が行われ, 好成績を収めた。これがわが国における 1,500 V 幹線用国産大形電気機関車の第 1 号である。本機は計 3 輛完成, 国鉄に納入せられ, 後 ED 15 形と呼称された。275 HP

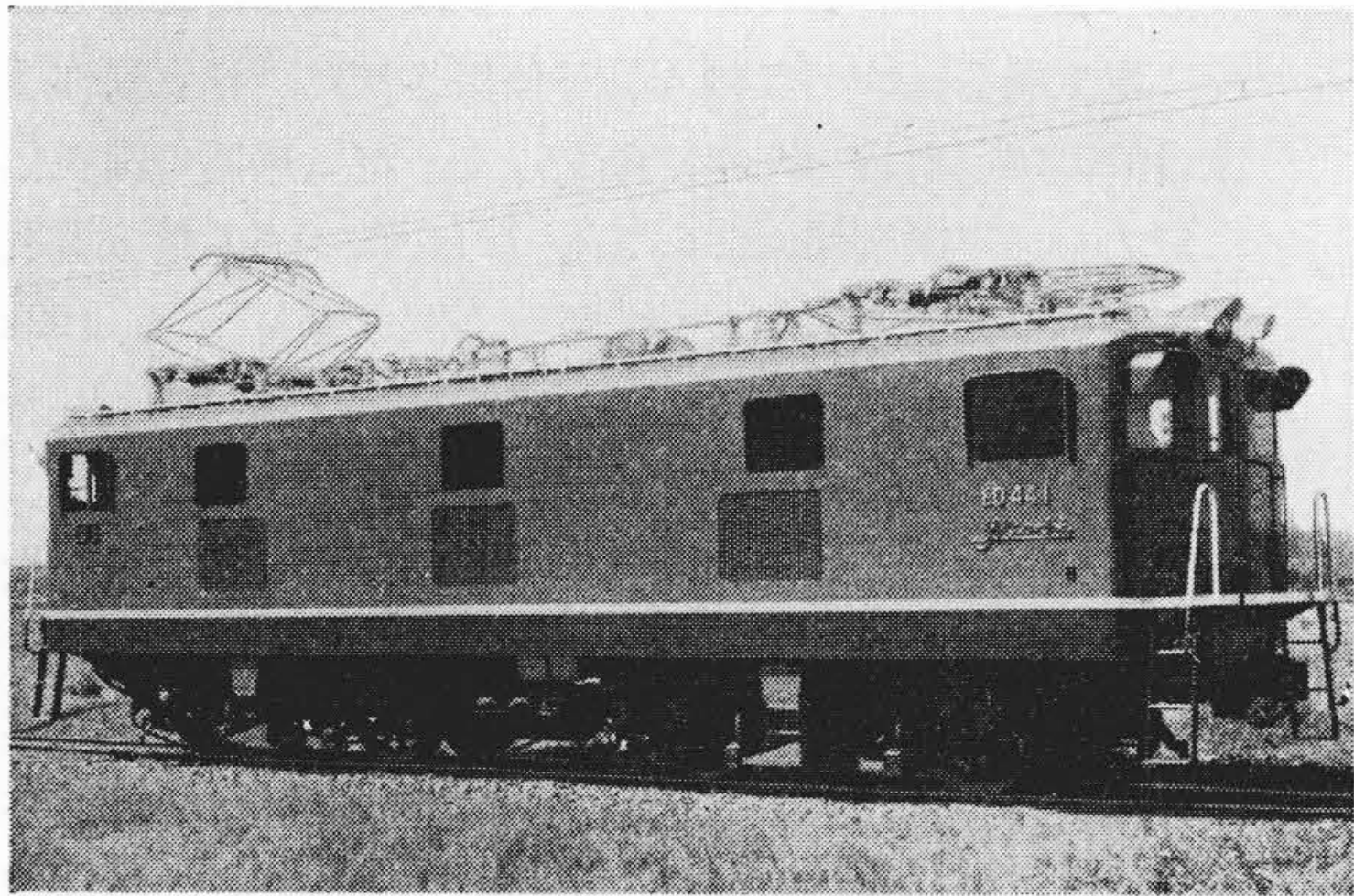


わが国における 1,500V 幹線用国産大形電気機関車第 1 号
第 10 図 ED 15 形 電 気 機 関 車 (1924 年)

主電動機⁽⁴⁾ 4 台を有し、駆動方式は釣掛式、制御方式⁽⁵⁾ は単位スイッチ式でわが国の電気機関車国産化に大なる貢献をした。

以来今日に至るまで、国鉄ならびに私鉄へ大形および中形電気機関車を約 300 輛製作納入した。日本国鉄へは上記 ED 15 のほか、1928 年国鉄とわが国主要製作者との共同設計になる EF 52 形電気機関車を納入したのを初めとして、以来 30 年間に約 200 輛の旅客用および貨物用電気機関車を納入した。特に製作輛数の多かったのは 1952 年以降の旅客用 EF 58 形と、貨物用 EF 15 形で、また最も強力なものは 1954 年以降の EH 10 形である。これらはいずれも国鉄標準形で、325 kW 主電動機 6 台または 8 台を有し、駆動方式は釣掛式、制御方式は単位スイッチ式である。

わが国の電気鉄道は 1912 年以來一貫して直流式として発達してきたのであるが、1950 年以降フランスを中心とする商用周波数交流電化が成功を収めるに及んで、わが国鉄においても本方式の研究が開始された。日立製作所はまず 1955 年、ED 441 BB, 60 t, 1,200 kW 整流子電動機式電気機関車⁽⁶⁾ (第 11 図) を製作納入した。本機

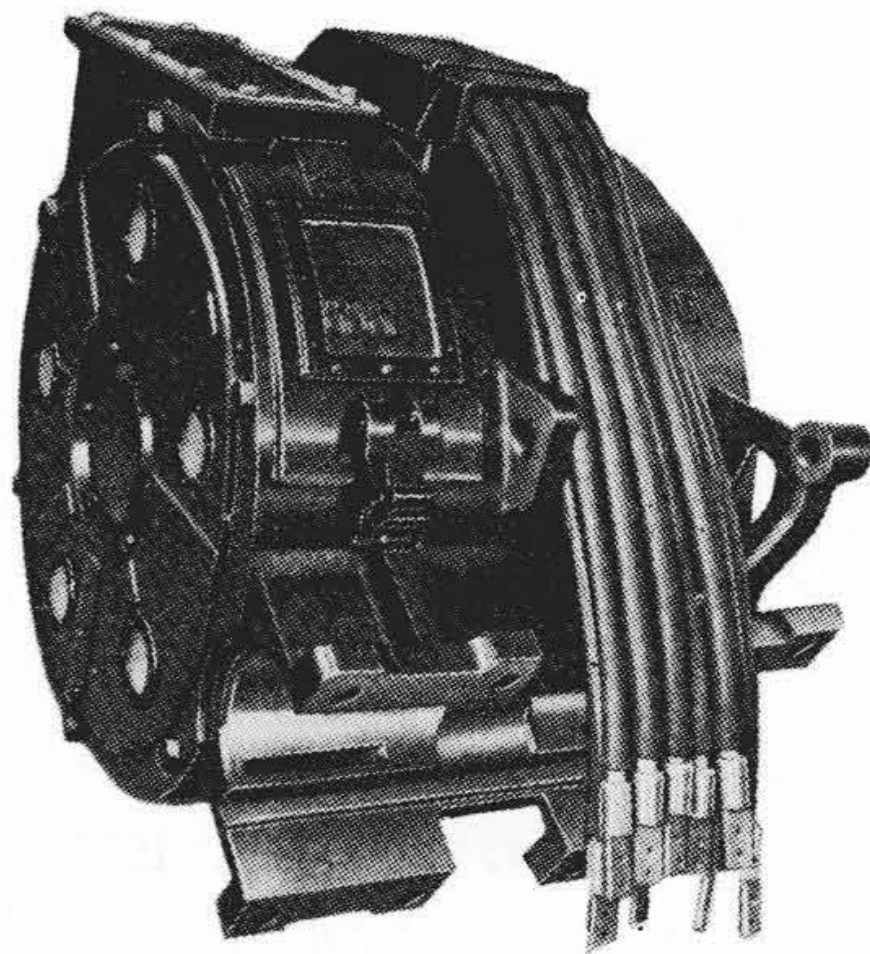


わが国における商用周波数交流電気機関車第 1 号
第 11 図 ED 441 整流子電動機式交流電気機関車 (1955 年)

はわが国における商用周波数交流電気機関車の第 1 号である。主電動機は 300 kW 単相交流整流子電動機⁽⁷⁾ (第 12 図) 4 台で、変圧器起電力は定格 2.5 V, 起動時最大 3~3.5 V 程度としてある。駆動方式は釣掛式で、制御方式は単位スイッチ式低圧制御方式、制御段数は 16 である。1955 年 8 月仙山線において試運転が行われ好成績を示した。

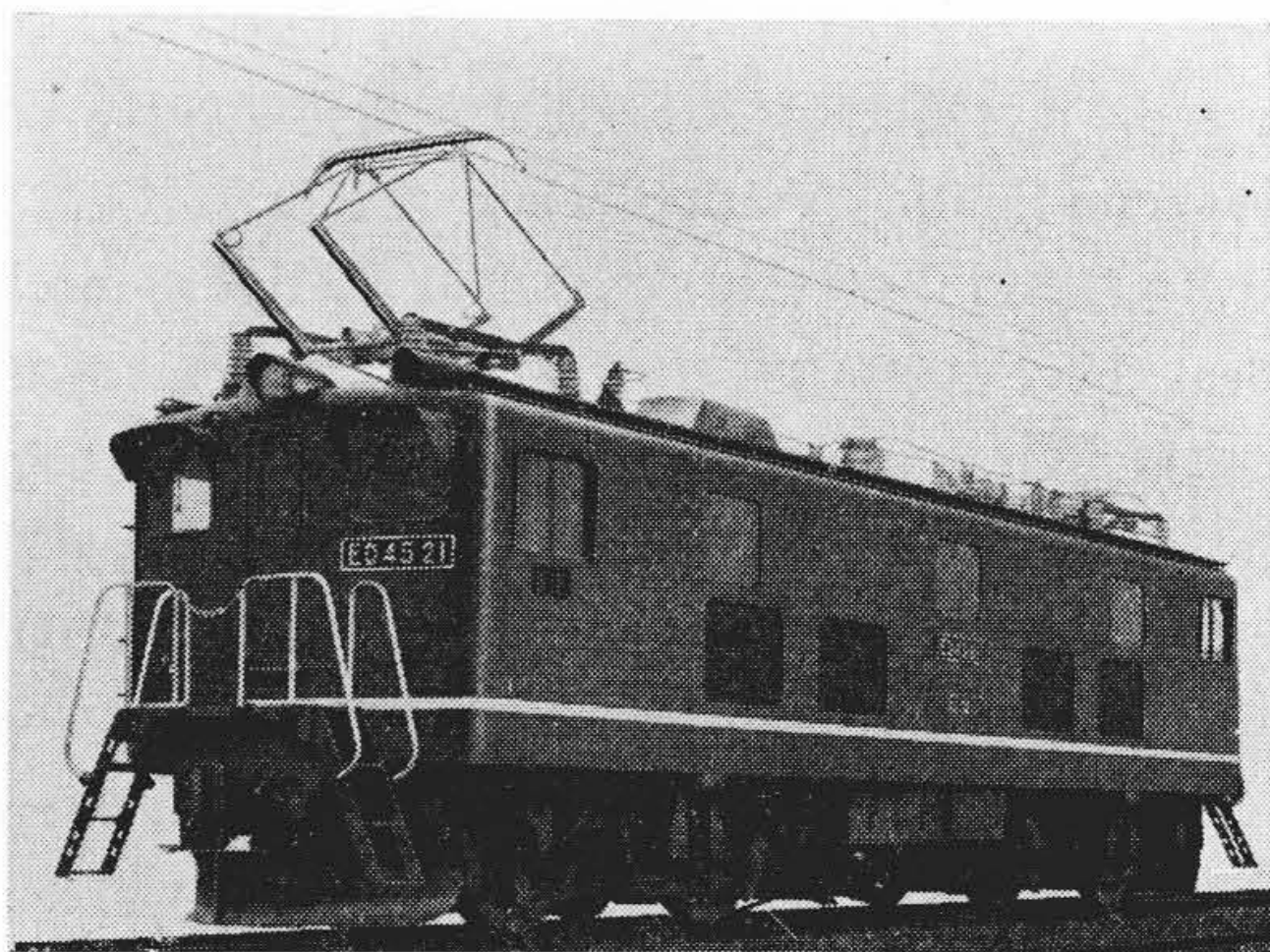
つづいて 1957 年、ED 4521 BB, 60 t, 1,500 kW エクサイترون整流器式電気機関車⁽⁸⁾ (第 13 図) を完成納入した。水銀整流器は 1,500 kW 単極風冷封じ切エクサイترون整流器⁽⁹⁾ (第 14 図) で、8 タンクを正逆両相 2 群に分け、4 タンク並列とした単相全波整流方式を採用してある。主電動機は 375 kW 直流直巻電動機 (第 15 図) 4 台を有し、駆動方式はバネ・クイル式、制御方式は電動機操作摺動接触式高圧制御方式で、制御段数は 30 である。高速運転のために、弱界磁のほか、主変圧器に過電圧タップを設けてある。第 16 図に 2,307/3,177 kVA 高圧タップ切換器付主変圧器を示す。

また直流式としては 1958 年、ED 61 形 BB, 61 t,

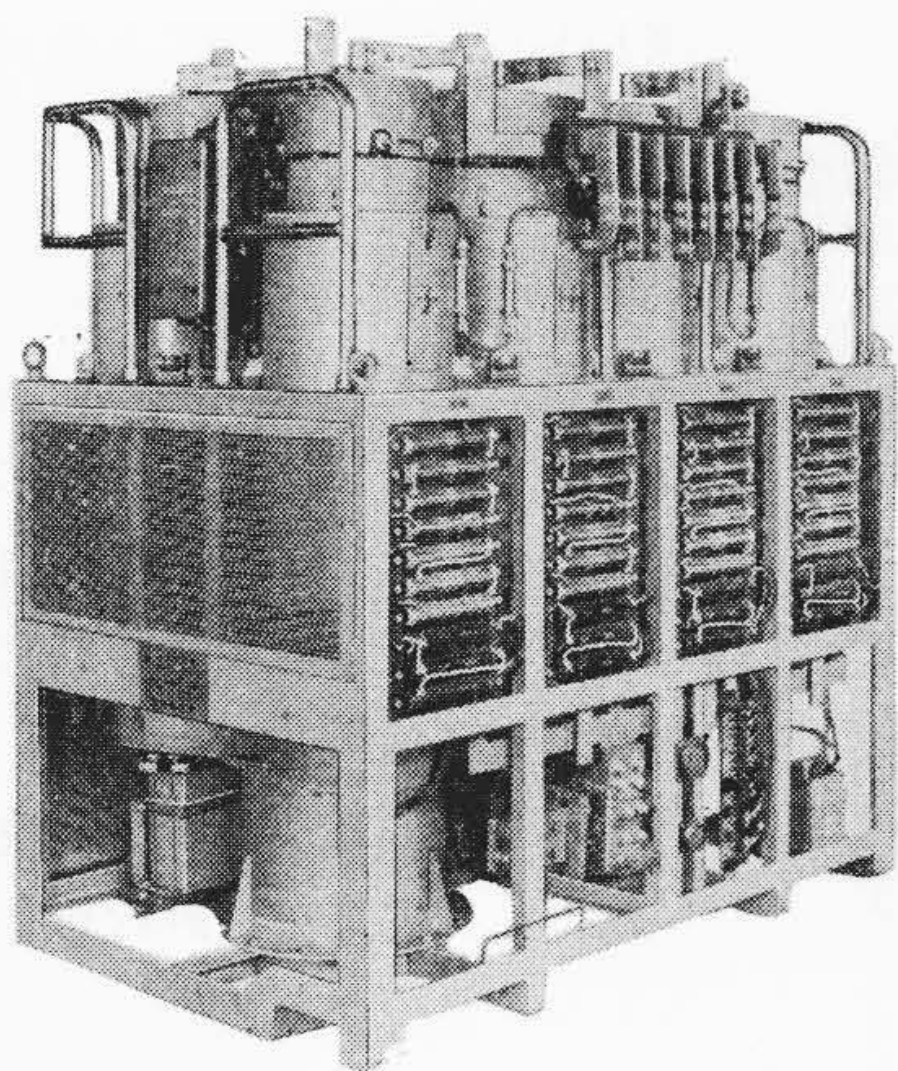


(ED 441 整流子電動機式電気機関車用)

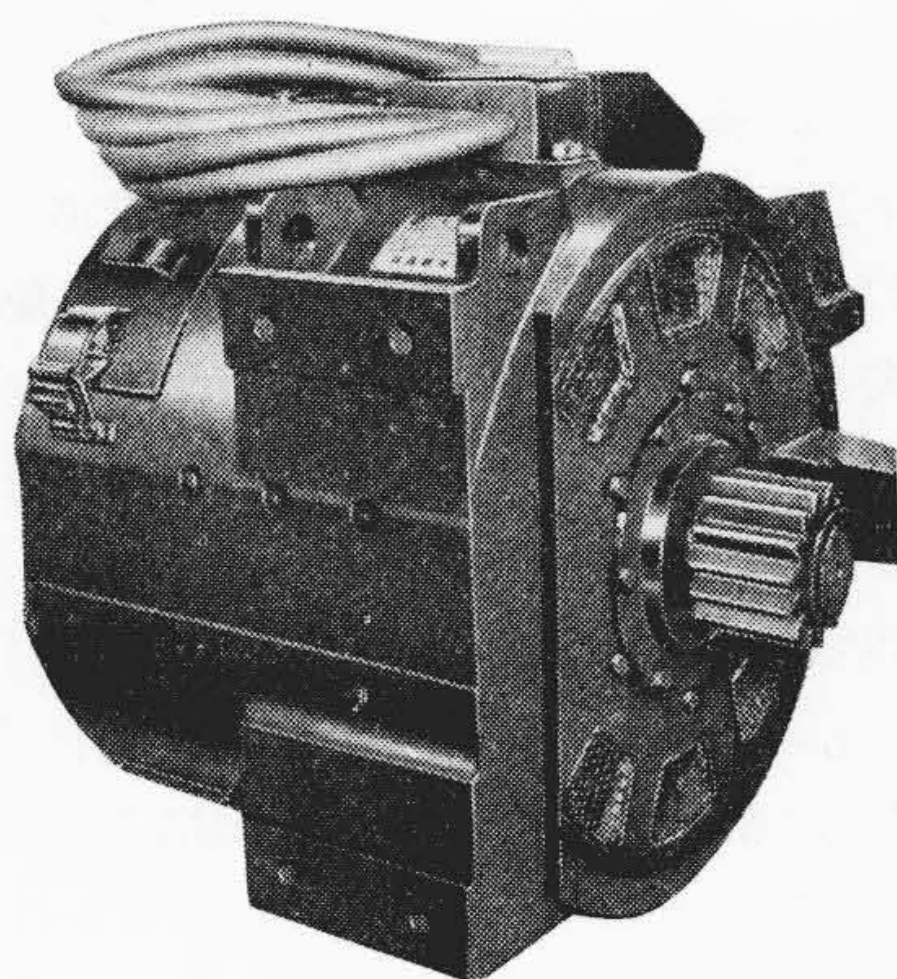
第 12 図 300 kW 単相交流整流子電動機



第 13 図 ED 4521 エクサイترون整流器式交流電気機関車 (1957 年)

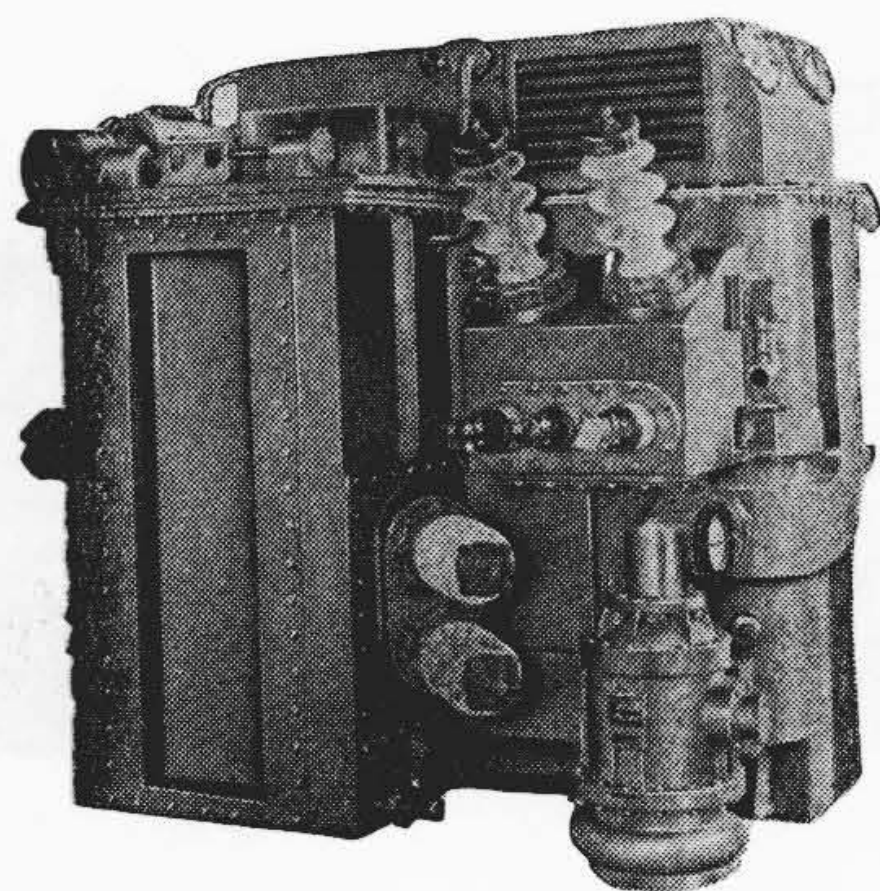


第14図 1,600 kW 単極風冷封じ切エキサイトロン整流器



(ED4521 エキサイトロン整流器式交流電気機関車用)

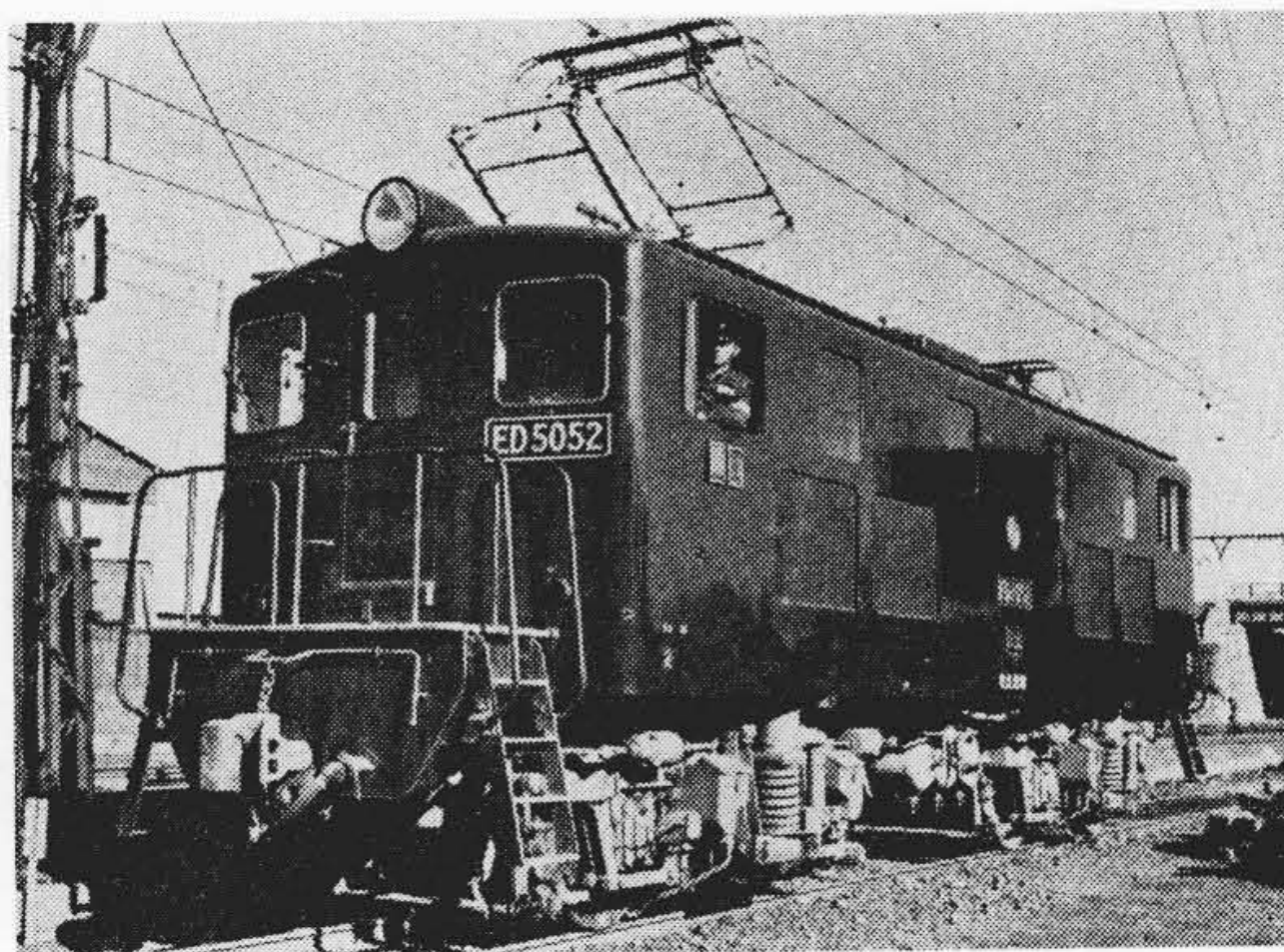
第15図 375 kW 主電動機



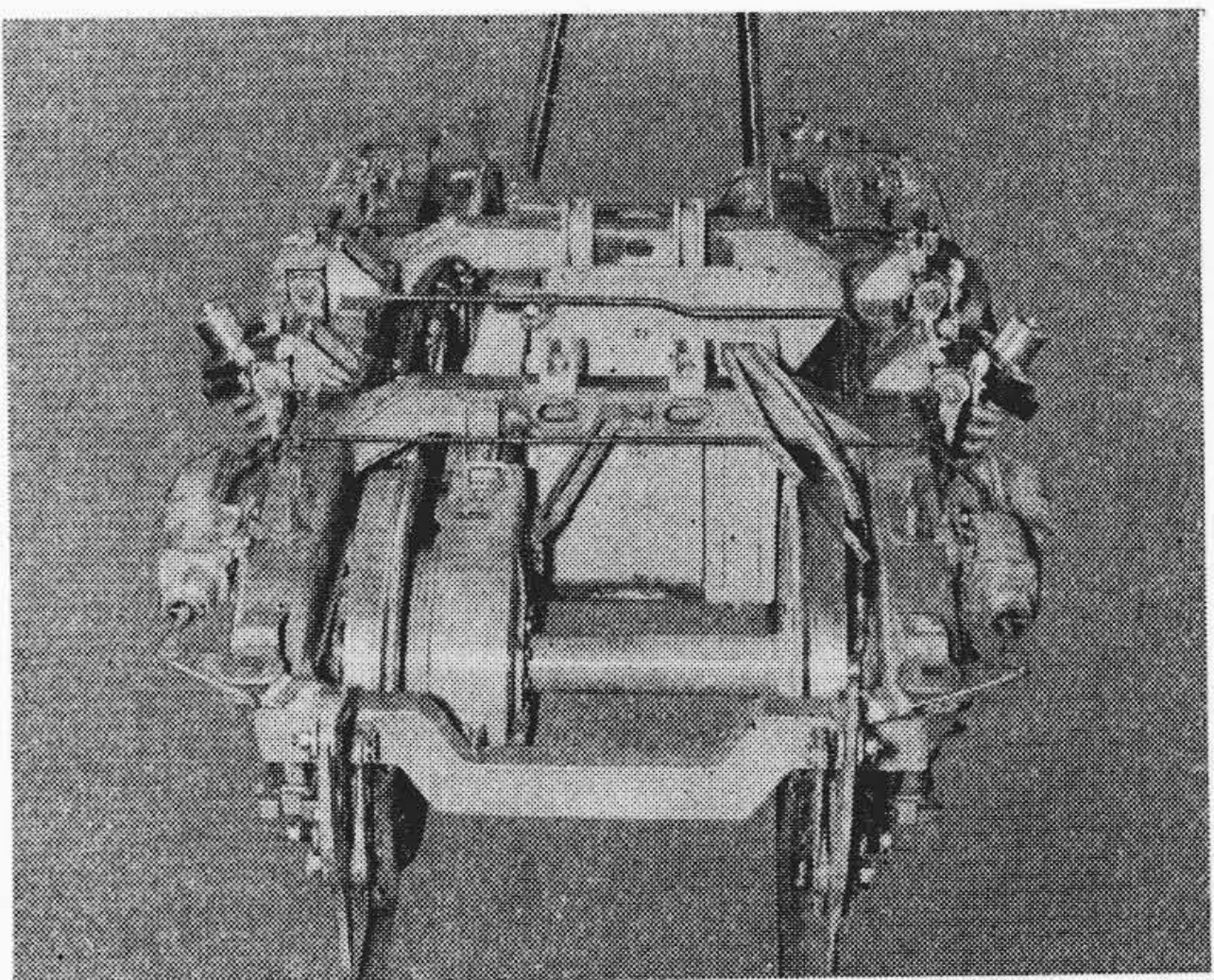
第16図 2,307/3,177 kVA 高圧タップ切替器付主変圧器

1,600 kW 新形電気機関車を完成した。

次に私鉄関係としては、40～50 t 級電気機関車を多数製作納入したが、そのうち特長あるものとしては1957年東武鉄道へ納入した BB, 42 t 完全粘着式電気機関車⁽¹⁰⁾ (第17図) がある。各台車に 330 kW, 1,500 V の主電



第17図 BB 42 t 完全粘着式電気機関車 (1957年)



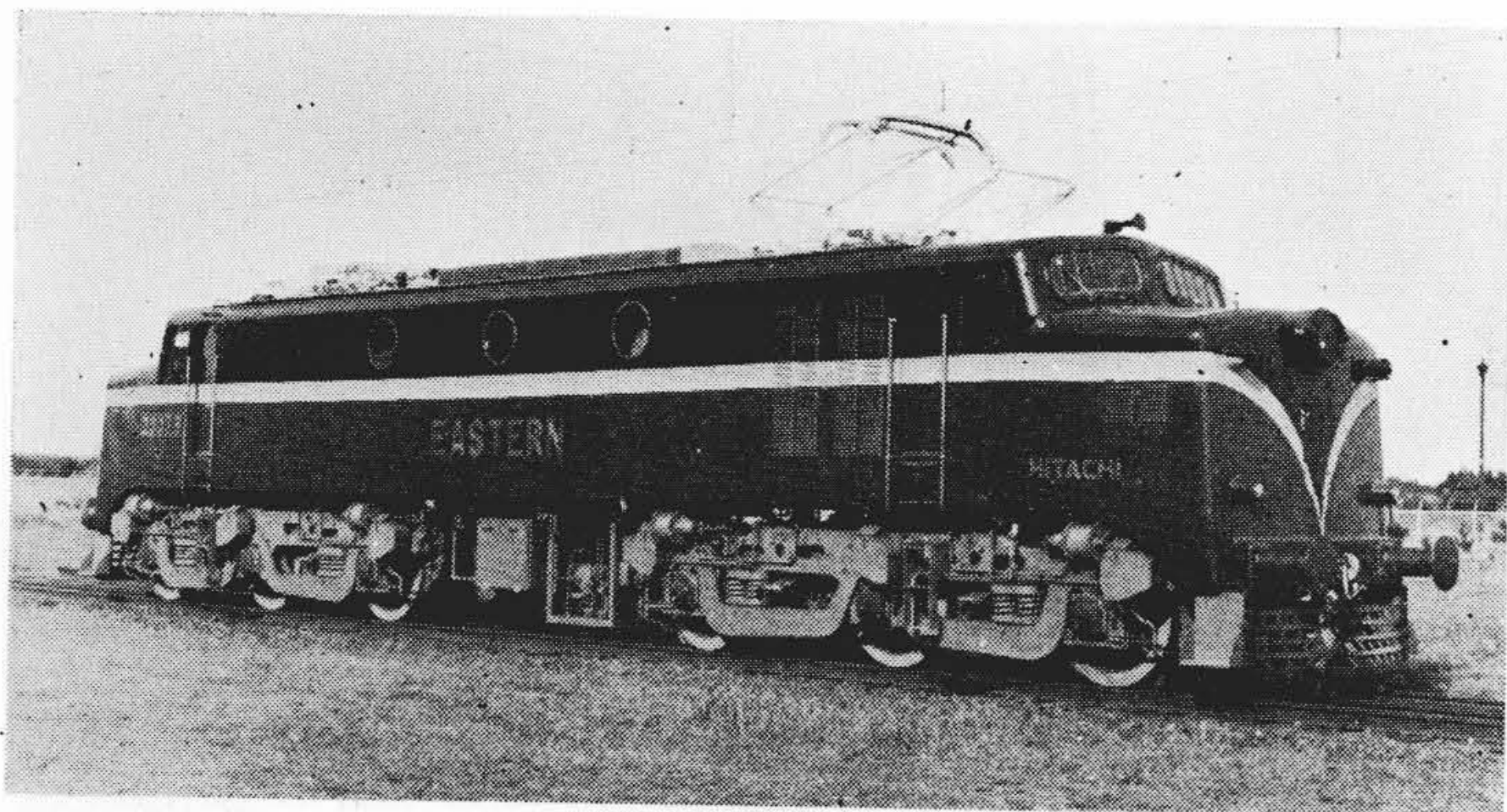
第18図 中間歯車連結式台車

動機1台を装架したいわゆる1台車1電動機式で、各台車の前後両軸は中間歯車によって連結されているので、1軸空転を防止することができ、起動時の粘着特性は著しく改善される。第18図に中間歯車連結式台車の外観を示す。

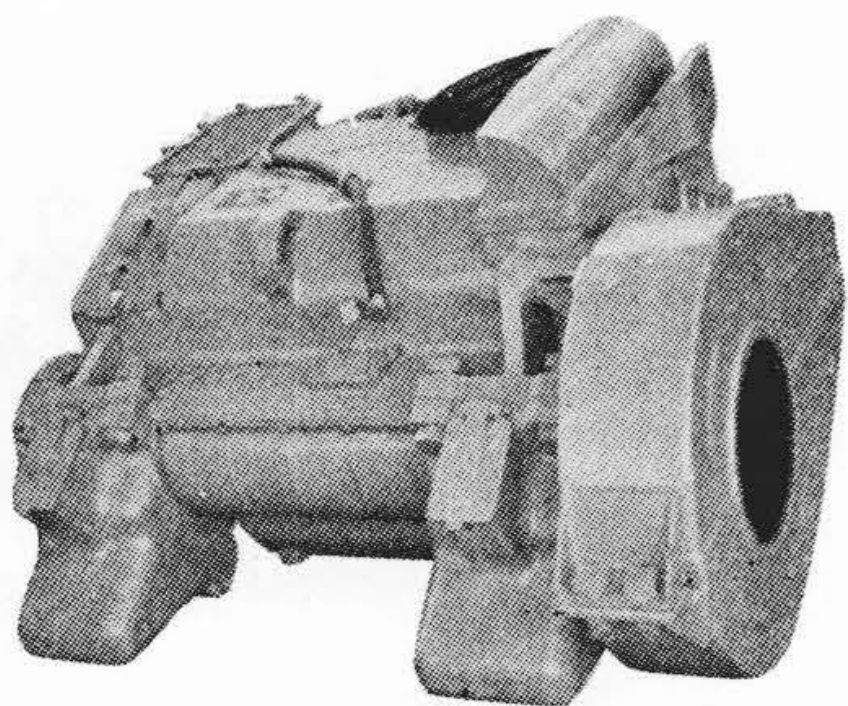
輸出関係としては、1929年満鉄へ BB, 80 t, 1,300 HP 発電ブレーキ付電気機関車^{(11)~(13)} を納入したのをはじめとして、満鉄、本溪湖、昭和製鋼などへ60～85 t⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾, 1,000～1,300 HP 電気機関車を多数納入した。

さらに1943～44年には鮮鉄へ“デロニ”形DC3,000V, 1C+C1, 135 t, 2,100 kW 回生ブレーキ付電気機関車⁽¹⁶⁾ を4輛納入した。本機は当時において、わが国で製作された DC 3,000 V 大容量電気機関車として画期的なものであり、350 kW 主電動機⁽¹⁷⁾ 6台を有し、駆動方式は釣掛式、制御方式⁽¹⁸⁾ は単位スイッチ式で、当時の京元線高山、福溪間の電化区間に使用されていたものである。

また1949年ソ連へ BB, 85 t, 1,200 kW 発電ブレーキ付電気機関車を3輛納入した。本機はわが国としてソ連へ輸出した電気機関車の第1号である。5'6" 広軌用で、構造は前記満鉄納85 t 電気機関車とほぼ同様である。

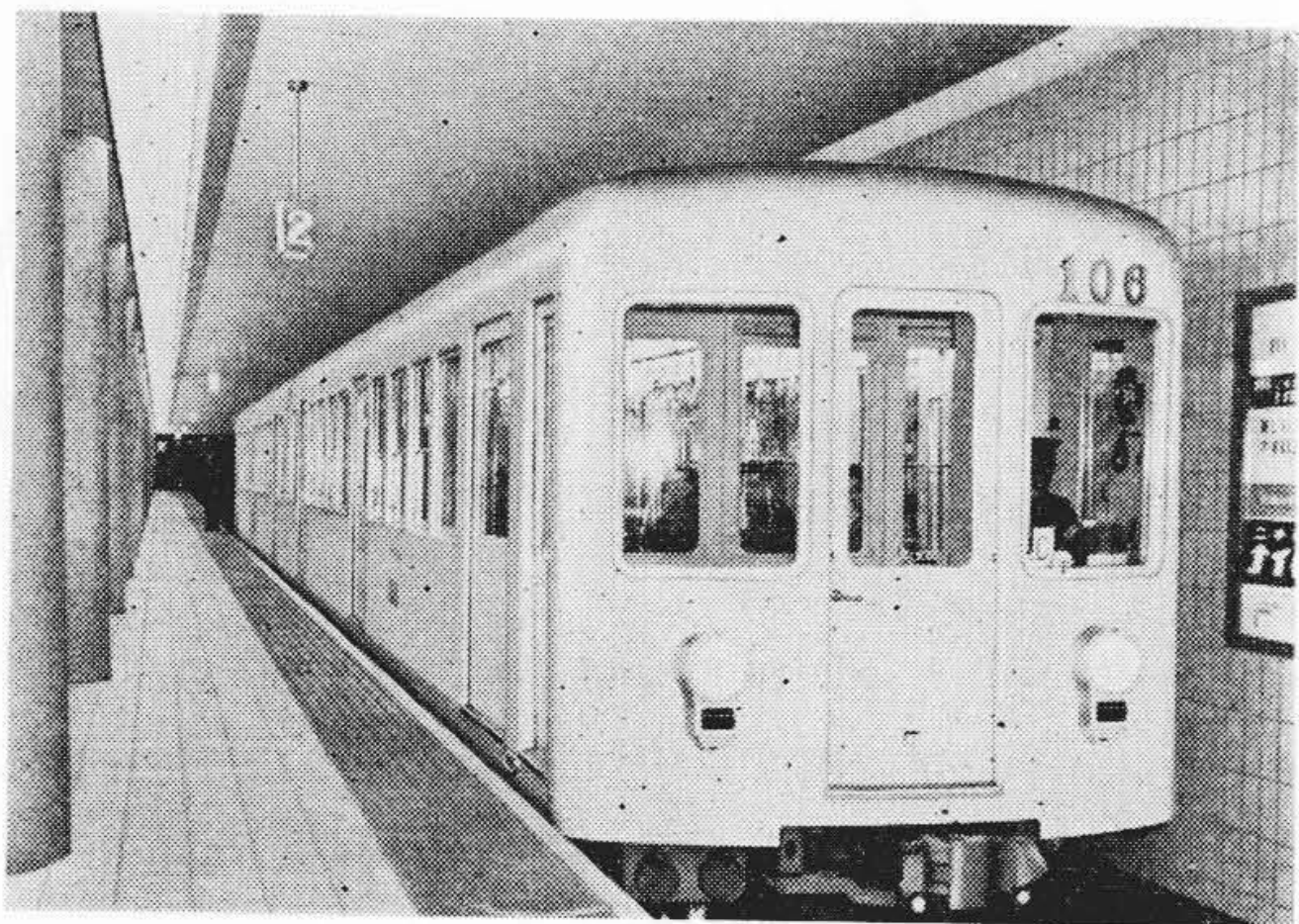


第 19 図 インド国鉄納 DC 3,000V, CC, 110 t, 3,600 HP
電気機関車 (1958年)



(インド国鉄 DC 3,000V, 3,600HP 電気機関車用)

第 20 図 600 HP 主電動機



第 21 図 名古屋市交通局地下鉄高速電車

1958年インド国鉄 Eastern Railway へ DC 3,000V, CC, 112 t, 3,600 HP 電気機関車⁽¹⁹⁾ (第 19 図) を 3 輛納入した。Calcutta 地区の DC 3,000 V 電化区間に使用されるもので 5' 6" 広軌用, 最高速度 120 km/h である。本機は日本としてのインド向輸出電気機関車の第 1 号であり, 同時に国産最大容量のものである。特に高温多湿の現地立地条件を考慮して設計製作せられている。主電動機(第 20 図)は 600 HP, 1,450V, 800 rpm で, 車輛用電動機としては国産最大容量のものであり, BSS 規格の B 種に準拠し, かつインド国鉄仕様書に示された周囲温

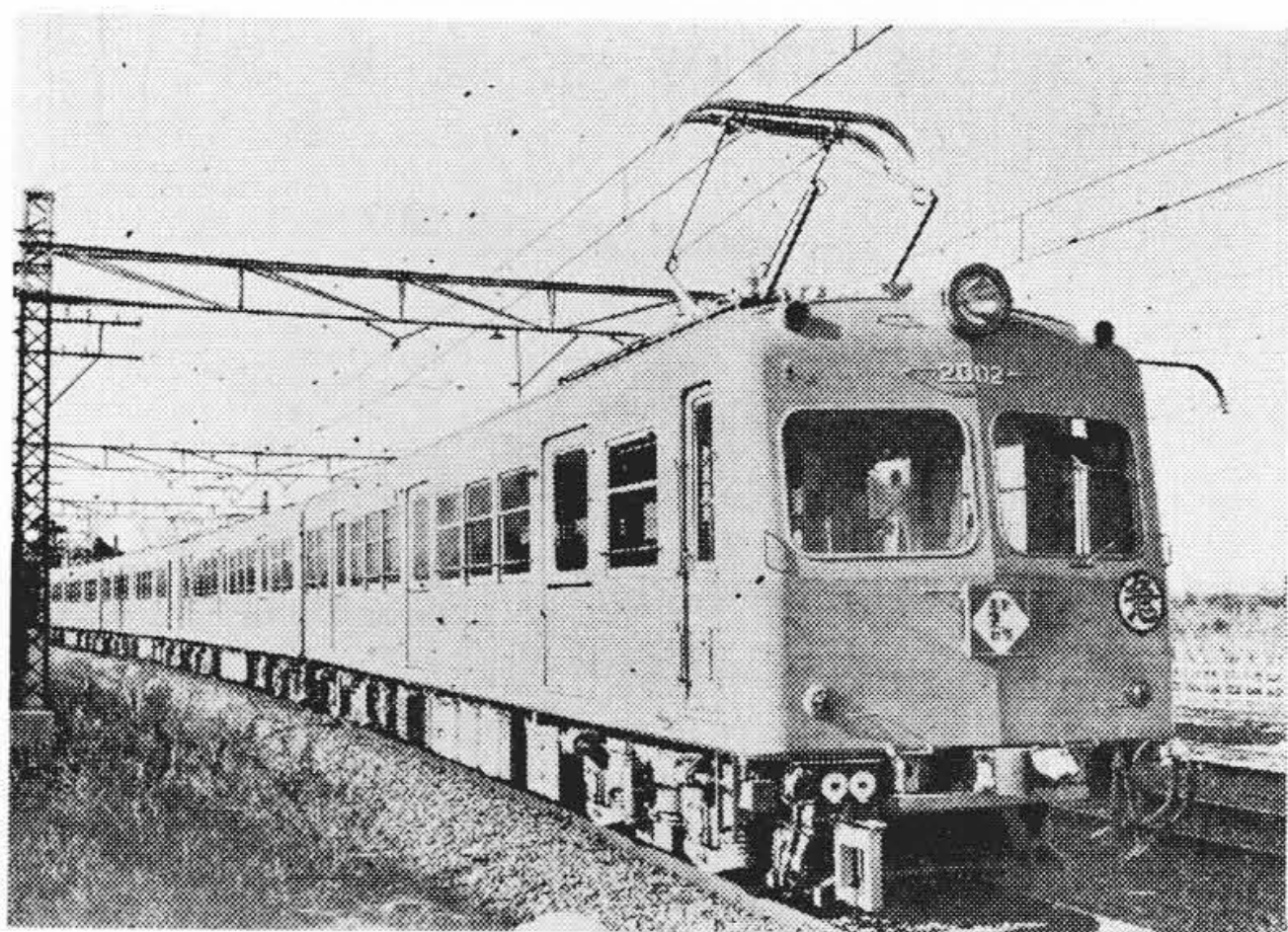
度 45°C の条件においても所定の運転条件を満足しうよう, 特に耐熱性に考慮が払われている。制御方式は単位スイッチ式, 主抵抗器は特殊鋼板製, 強制通風式である。車体内の通路はいわゆる Z 形で, 高圧機器室はすべて遮閉されているとともに, 機械的連動装置を設けて取り扱いに安全を期してある。

また電車に関しては 1938 年以来, 各都市の路面電車および国鉄ならびに私鉄の高速電車を合計約 600 輛製作納入した。そのうち特長あるものとしては, まず 1957 年名古屋地下鉄へ納入

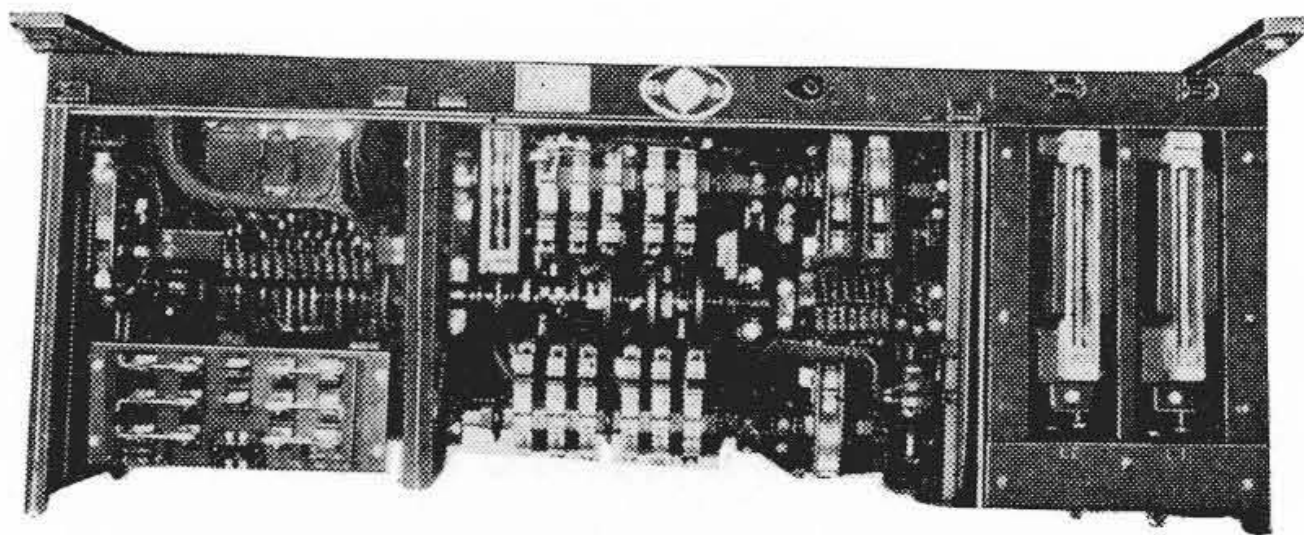
したボディ・マウント式高速電車⁽²⁰⁾ (第 21 図) がある。主電動機は 40 kW 4 台, 駆動方式は直角カルダン軸式, 電空併用ブレーキ式で, 地下鉄用として特に振動騒音を減少するため, 弾性車輪を採用してある。

また同年京王帝都電鉄へ納入した高速電車 (第 22 図) は自重 32 t, 主電動機容量 100 kW 4 台で, 駆動方式は台車装架式とし, 特に将来の沿線発展に対応せしむべく主電動機比出力を増大した。制御方式は電空併用ブレーキ付 MMC 型多段式制御方式である。

MMC 型多段式制御器⁽²¹⁾⁽²²⁾ は 1939 年, 日立製作所が開発したもので, わが国における高速電車用多段式制御器の第 1 号 (第 23 図) であった。MMC 制御器の特長とするところは, カム軸は 1 方向 1 回転または 2 回転式



第 22 図 京王帝都電鉄高性能高速電車



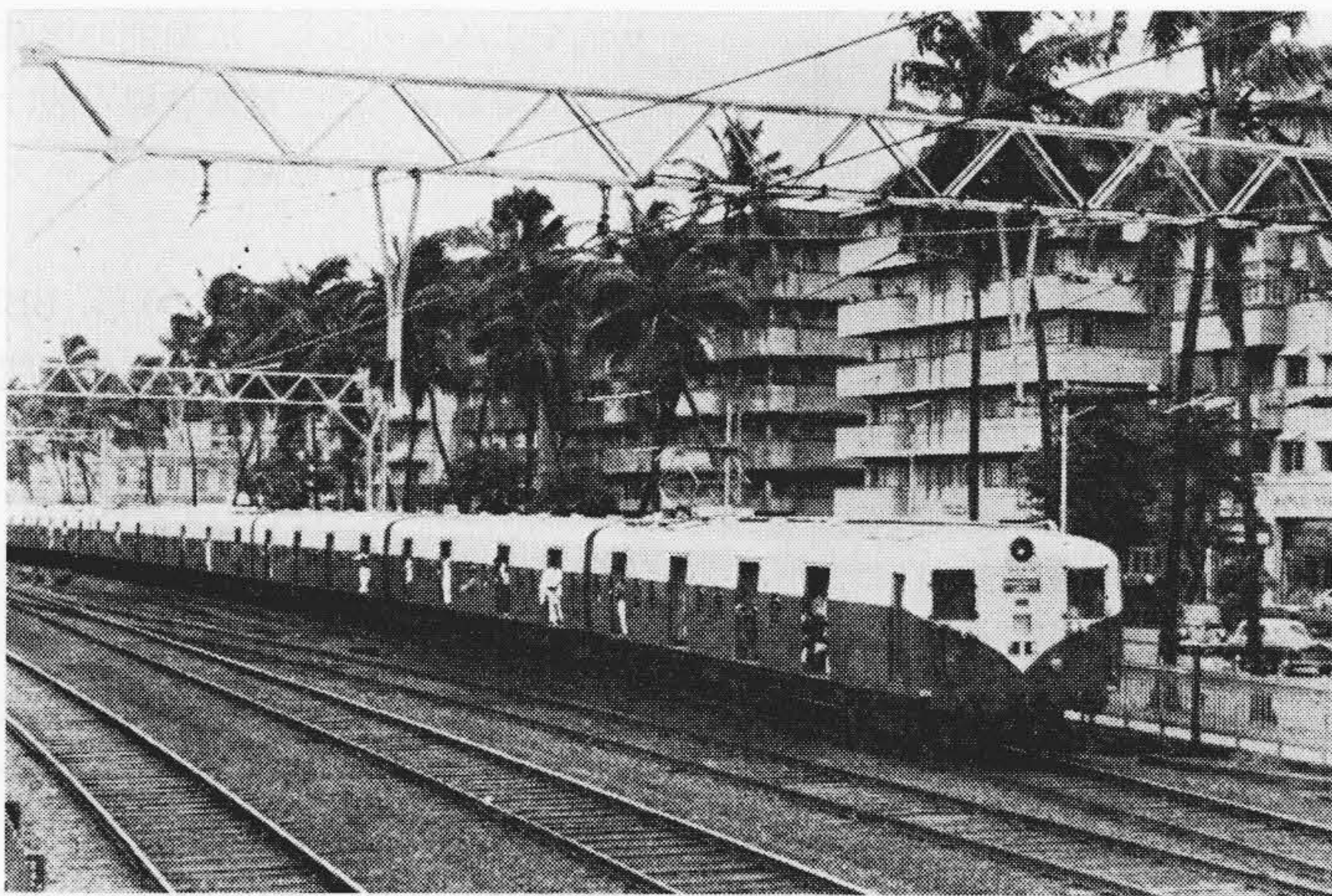
わが国における高速電車用多段式制御器の第 1 号
第 23 図 MMC 制御器 (1939年)

で、ともにノッチ・オフの場合カム軸は逆転することなく、ノッチ進めと同一方向に回転して切位置に復帰し、前者は1回転で、後者は2回転で直並列制御を行うこと、橋絡式渡り方式を採用したこと、カム接触器はカム軸を中心として上下2段に配列されていること、バランス形限流継電器を採用したことなどで、これらの改良により軽量高性能多段式制御器を得ることができた。これらの諸方式は20年後の今日ではいずれもほとんど標準形として各製造者とも広く採用しており、最近の国鉄高性能電車用CS12形主制御器にも根本方式として採用されている。

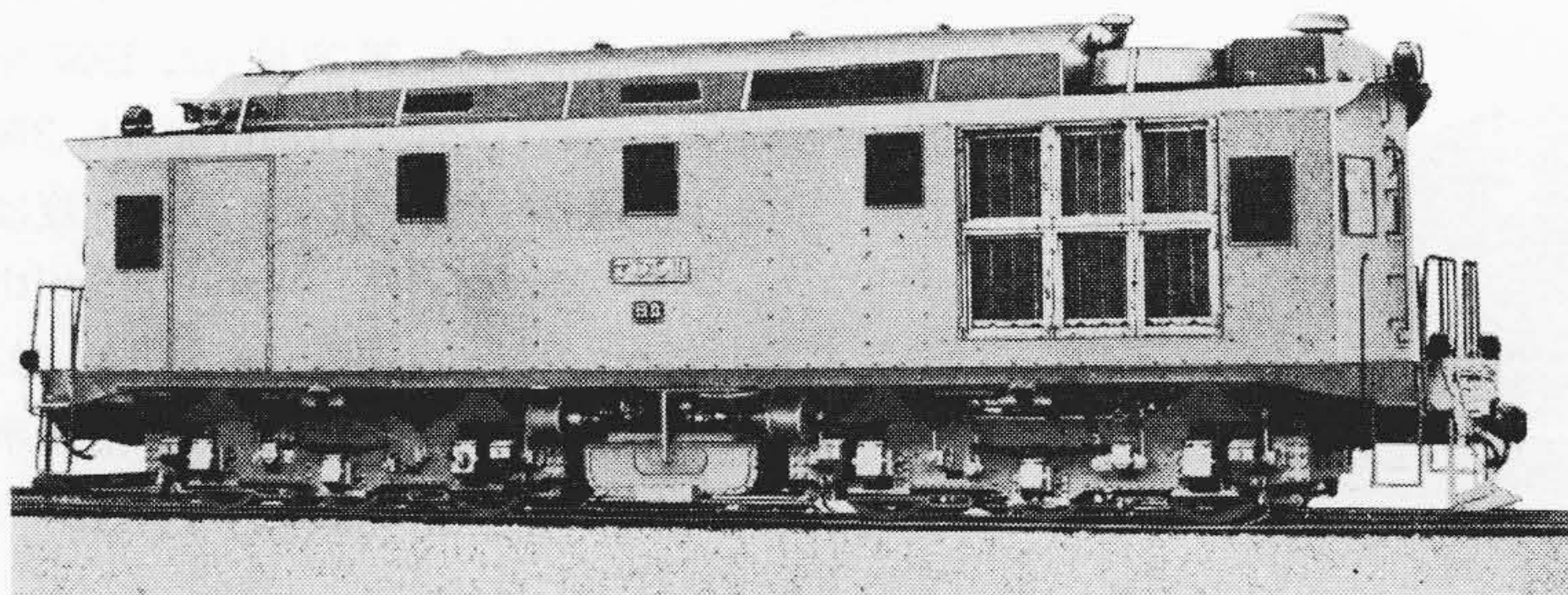
また輸出関係としては、1957年インドBombay地区用としてMTTM電動列車⁽²³⁾(第24図)6編成を納入した。自重は174t、主電動機容量は175HP8台、現地の特殊条件としてレール面上8"の洪水に際しても8km/hの速度で走行しうるよう考慮されており、主電動機、電動発電機および空気圧縮機など床下機器は防水形とし、制御機器はすべて車内の高圧室内に納めてある。

4.2 ディーゼル機関車および動車

日立製作所における最初のディーゼル機関車は、1931年成田鉄道へ納入したB、20t、150HP機械式ディーゼ



第24図 インド国鉄納ボンベイ地区用MTTM電動列車



第25図 旧満鉄750HPディーゼル電気機関車(1934年)

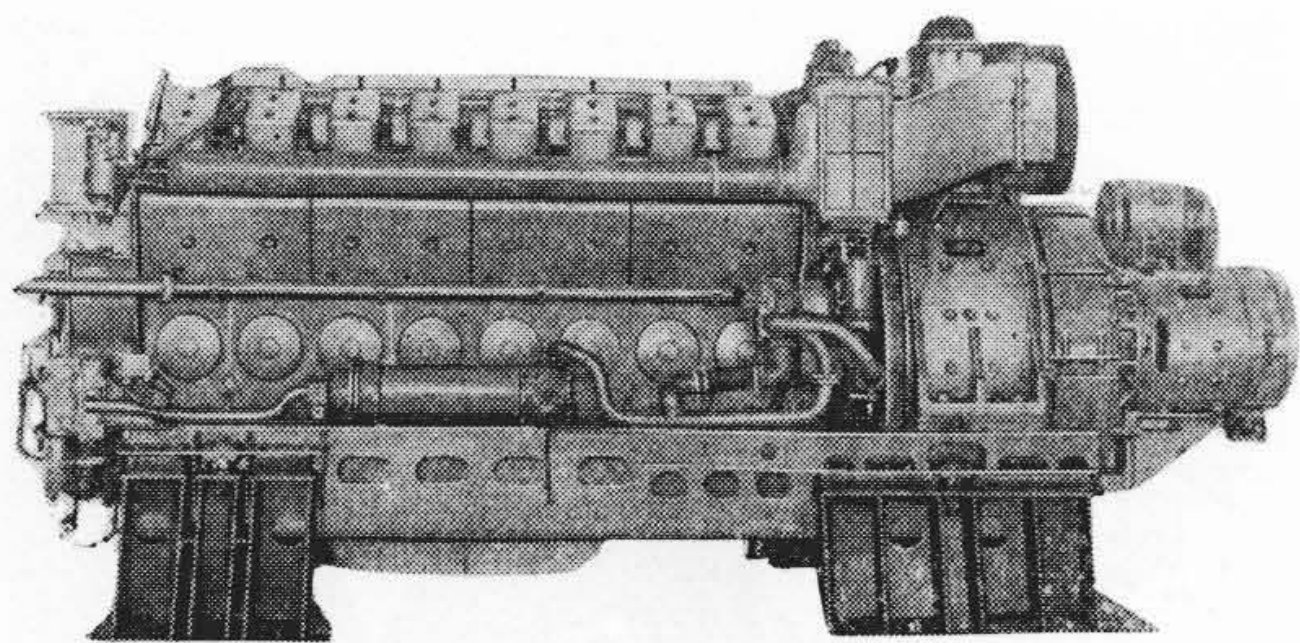


第26図 DF90形1,900HPディーゼル電気機関車(1957年)

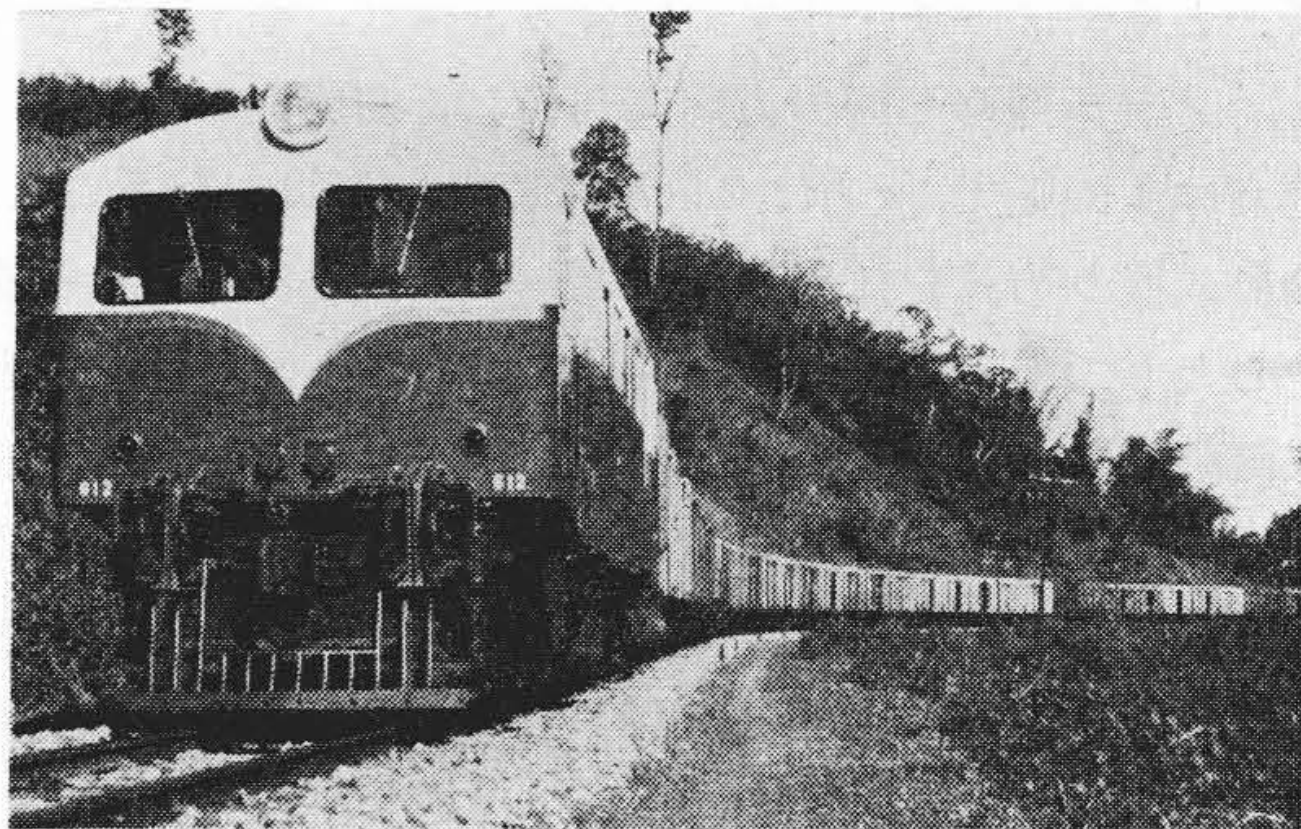
ル機関車⁽²⁴⁾で、これにつづいて1934年、満鉄にA1A-A1A、106t、750HP貨物用ディーゼル電気機関車⁽²⁵⁾(第25図)を納入した。本機は当時における記録的製品で、最高速度は65km/h、ディーゼル機関はアイドリングのほかは速度制御を行わず、一定速度運転方式で、主発電機はレンプ式差動複巻方式、4台の主電動機を直並列制御した。移動発電所として使用しうるように車外送電設備を有していた。

その後1935年、満鉄ジテ形500HPディーゼル電動列車電気装置⁽²⁶⁾、1936年、国鉄DD10形、500HPディーゼル電気機関車電気装置⁽²⁷⁾、1937年国鉄480HPディーゼル電動列車電気装置⁽²⁸⁾などを製作した。

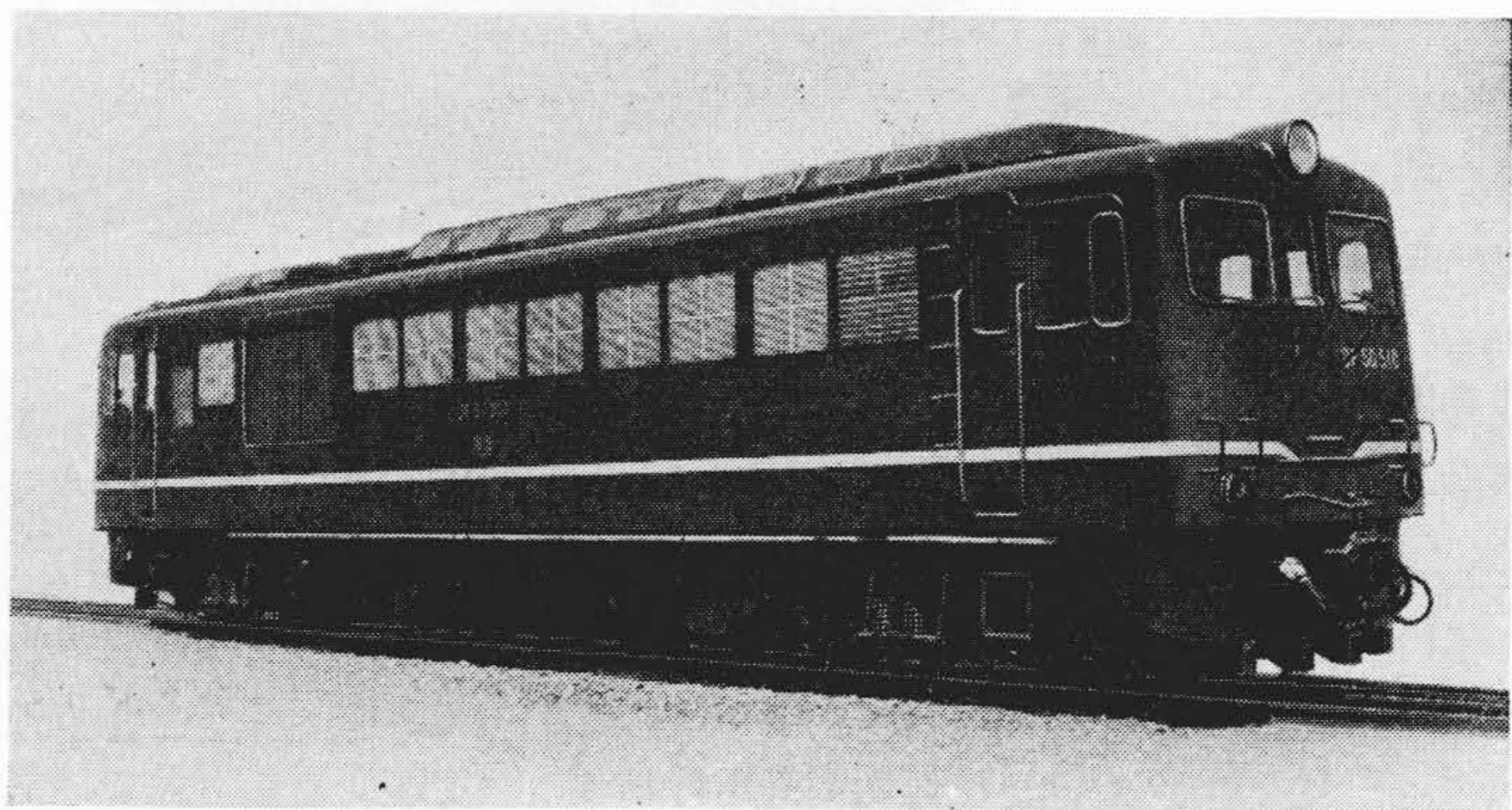
戦後電気式動力伝達方式の新方式を開発し、まず1953年、富士製鉄納入換用BB35t、260HPディーゼル電気機関車⁽²⁹⁾に適用した。ついで1957年、西独MANと技術提携し、同年日本国鉄納DF90形、CC、94.5t、1,900HP電気機関車⁽³⁰⁾(第26図)を完成した。本線客貨両用で、連続出力1,680HPのディーゼル機関を塔載しており、狭軌用としては世界最大級のものである。ディーゼル機関速度制御は電動機操作式、主発電機は1,100kW、500Vで、1.5kW



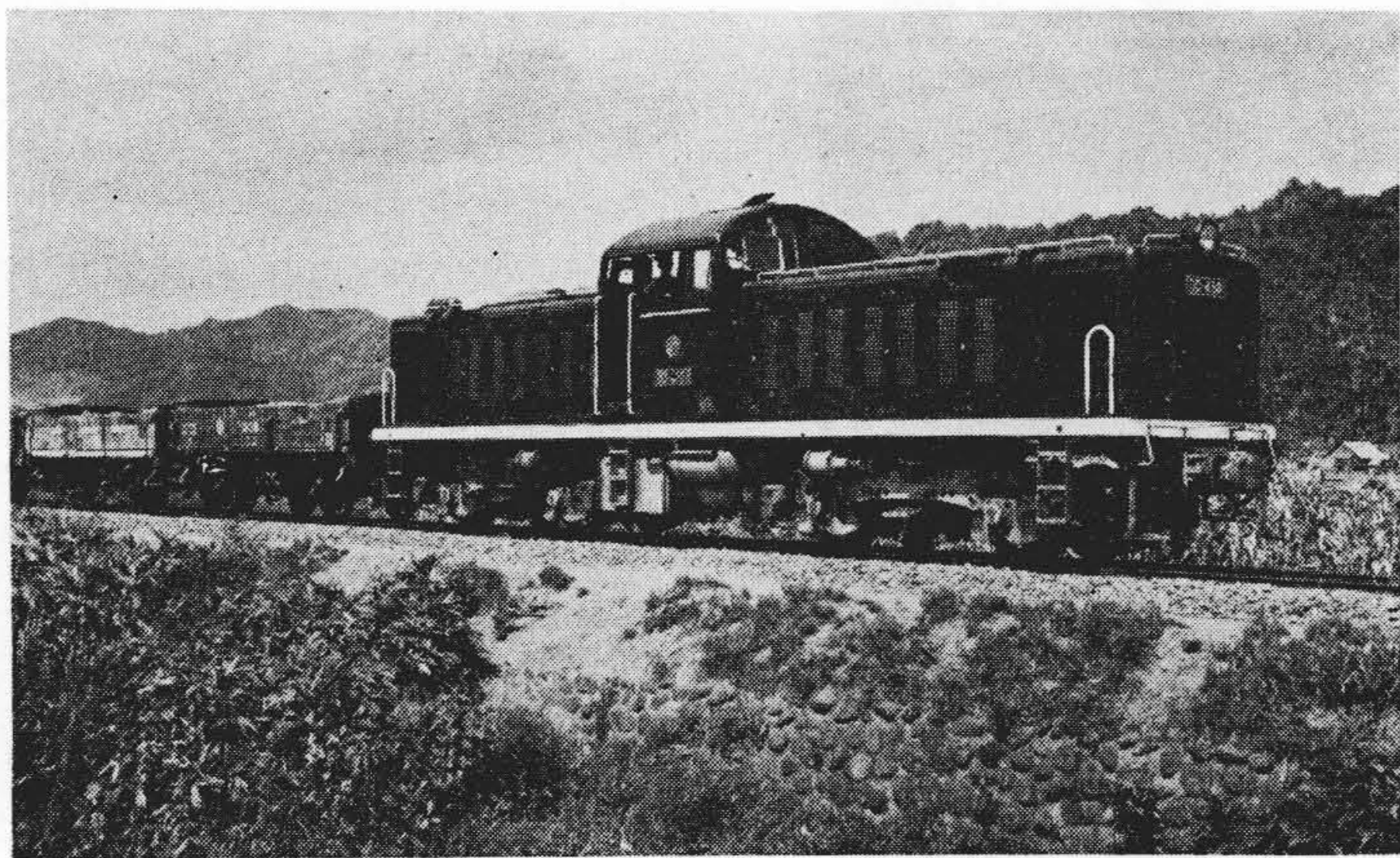
第27図 1,900 HP ディーゼル機関直結 1,100 kW 主発電機 (1957年)



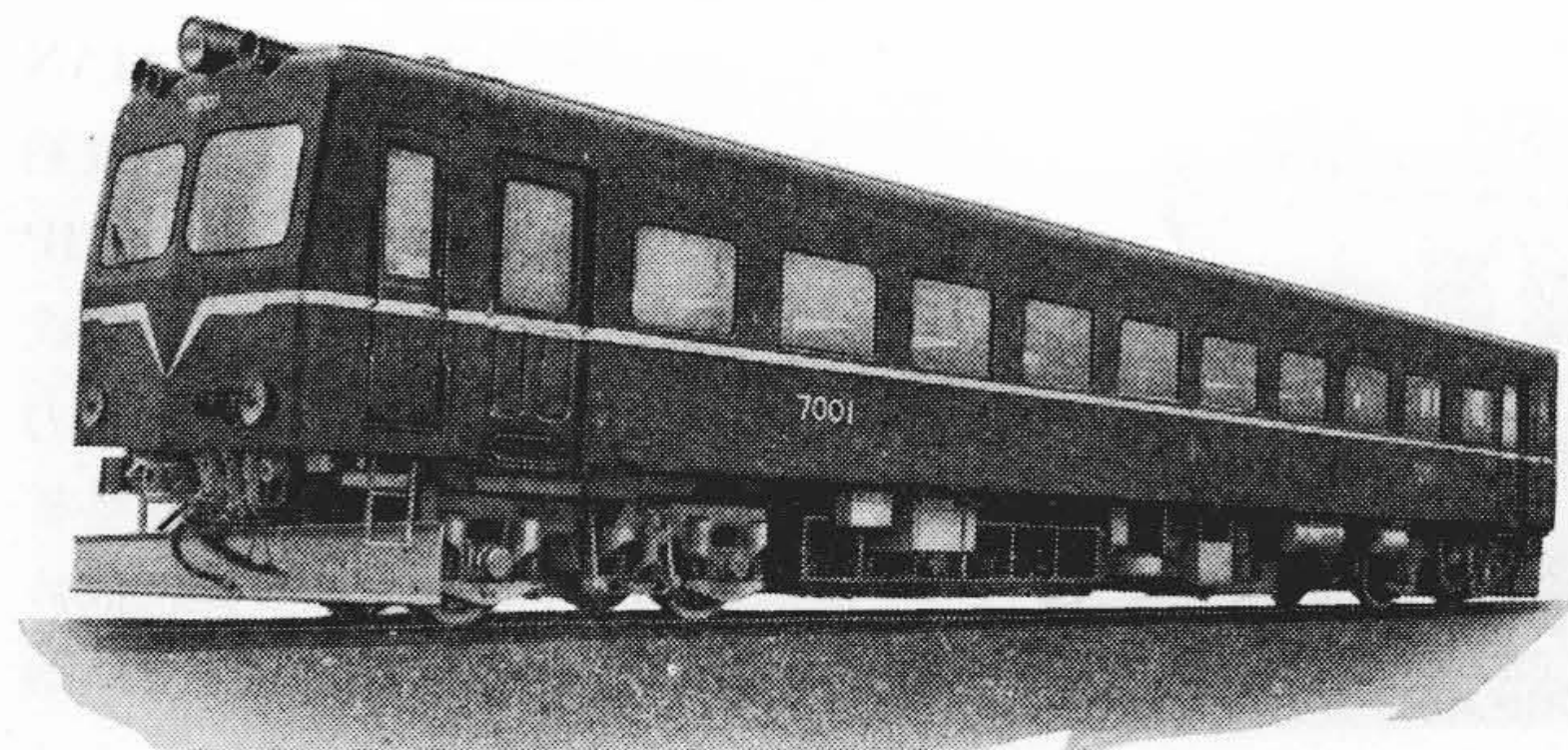
第31図 タイ国鉄納CC, 72t, 950HP ディーゼル電気機関車



第28図 DF 50 形, 1,400 HP ディーゼル電気機関車



第29図 定山溪鉄道納 740 HP 液圧式ディーゼル機関車



第30図 定山溪鉄道納 160 HP 液圧式ディーゼル動車

特殊励磁機によって定出力特性を与えるごとくし、さらにディーゼル機関ガバナ連動の燃料噴射量制御機構および電気式自動界磁調整装置により、ディーゼル機関および主発電機の出力を制御して、ディーゼル機関を広範囲の出力に対し、良好な状態に置くようにしてある。第27図にディーゼル機関直結主発電機を示す。主電動機は 165kW 6 台を永久並列とし、広範囲の機関車速度に対応すべく、補償巻線を設けて 50 および 30% の界磁制御を行っている。

また 1958 年国鉄納 DF 50 形, BBB, 81 t, 1,400 HP ディーゼル電気機関車(第28図)を完成した。亜幹線における客貨車牽引用で、最高速度 90 km/h, 主発電機は 780 kW で、2 kW 特殊励磁機付である。主電動機は 112 kW 6 個で、2 個直列にしたものを 3 組永久並列としてあり、50 および 30% の界磁制御を行う。

私鉄向としては 1952 年以降、25～45 t, 160～740 HP 液圧式ディーゼル機関車を多数製作納入した。このうち 740 HP 液圧ディーゼル機関車⁽³¹⁾(第29図)は、1957 年定山溪鉄道に納入されたもので、自重 45t, 370 HP ディーゼル機関 2 台を有し、最高速度は 65 km/h, 2 台の機関出力は Lysholm-Smith 液圧式トルク・コンバータにより、中央の逆転装置に集め、2 本のプロペラ軸により、各台車の減速装置に伝達され全軸駆動を行う。制御方式は電磁空気式である。

また 1952 年以降、国鉄および私鉄に 30～34t,

160HP液圧式ディーゼル動車(第30図)を多数納入した。

輸出向としては1957年アルゼンチン海軍省向として25t, 180HP液圧式ディーゼル機関車を輸出した。本機は南米に輸出された初の日本製ディーゼル機関車でトルク・コンバータはTwin Disc製, 高低速2段切換装置を設けてある。

さらに1958年タイ国鉄納CC, 72t, 950HPディーゼル電気機関車⁽³²⁾(第31図)を完成した。1m狭軌用で, 許容軸重12t, 最高速度70km/h, 本線客貨車用で高温多湿の周囲条件を考慮して主回転機の絶縁はすべてF種にしてある。主発電機は550kW, その電気方式は前述のDF90と同様である。主電動機は80kW6個で, 直並列制御される。

4.3 蒸気機関車

上述のように, 鉄道動力近代化のため, 電気機関車, 電車, ディーゼル機関車および動車が発達し, 従来の蒸気機関車は次第に衰頹の一途をたどることになった。しかし日立製作所における車輛の発達には蒸気機関車は重要な役割を努めたものであるから, ここにその変遷を略述する。

1918年(大正7年)2月, 日立製作所笠戸工場が創設せられ, 1920年6月, 最初の機関車として12tタンク機関車を完成した。つづいて10月, 日本国有鉄道納入の8620形テンダ機関車を完成した。本機は当時高速旅客列車牽引用として第一線に活躍した形式である。後1929年改良されてC50形となり, 1931年まで継続製作された。一方貨物列車牽引用は1925年, 9900形が初めて製作せられ, 1929年以降この改良形であるD50形が製作された。その後, 経済界の不況のため機関車の新製はほとんどなかったが経済界の回復とともに機関車の新造も活発になり, 1935年にはC55形流線形機関車および支線の長距離軽量輸送に適したC56形テンダ機関車が製作された。1937年に至って貨物列車用D51形テン

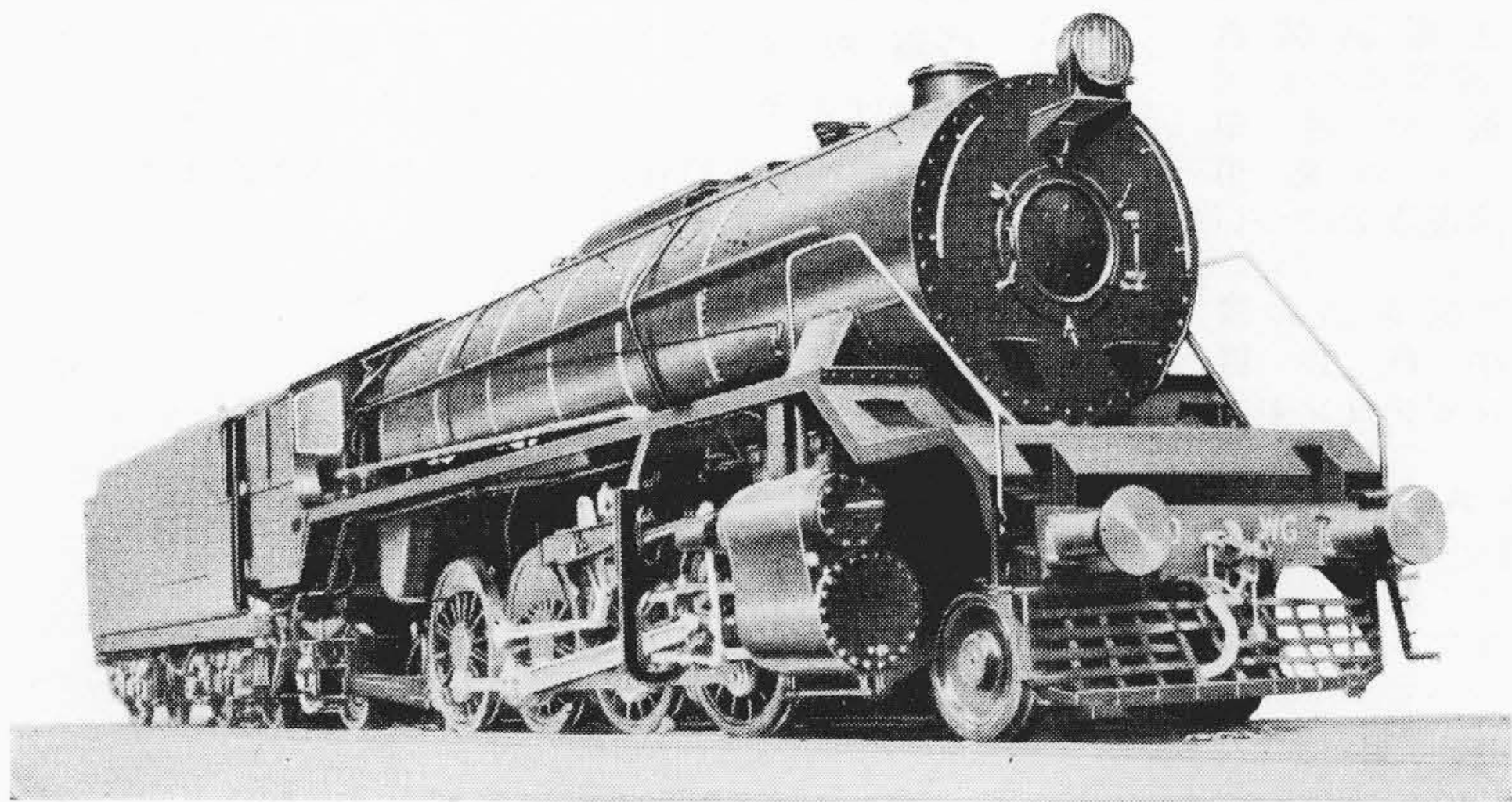
ダ機関車が製作開発せられ, 性能優秀なため1944年までに213輛製作された。この形式は現在でも主要幹線で使用されており, 笠戸工場の機関車製作技術はこの機関車によって確立したといえる。しかし戦時輸送力強化の点から1944年さらに強力なD52形56輛が製作された。本機関車は狭軌用としては限度に近いものである。一方旅客列車用はC55形以後はC56, C57に続いてC59形が製作され, 1942~43年に22輛, 戦後1946~47年に41輛製作された。この機関車は強力でしかも最も使いやすい優秀な設計で, 現在主要幹線で広く使用されている。ついで1948年, C62形がD52形のボイラを使用して21輛製作された。この機関車は狭軌用旅客機関車としては世界最大といえるもので, 運転整備重量は約145t, 自動給炭機を有している。この機関車を最後として国鉄蒸気機関車の新製は終止符を打たれた。

次に海外向としては, 1927~44年間に旧台湾総督府鉄道局, 旧樺太鉄道局, 旧朝鮮総督府鉄道局, 旧南満州鉄道株式会社などに多数の蒸気機関車を納入したが, このうち, 1936年旧南満州鉄道株式会社に納入したマテイ形テンダ機関車は運転整備重量約211tで, 笠戸工場で作した最大最重のものである。

1936年タイ国にミカド形テンダ機関車を2輛納入したが, これは外国へ輸出した最初のものである。つづいて中国の同浦鉄道にデカ形5動軸テンダ機関車を3輛納入した。

戦後は1946年以降1953年までに, 朝鮮, タイ国, 台湾, ソ連に, ミカド形, C57形, D51形を合計54輛納入した。その後インド国有鉄道よりWG形デンダ機関車(第32図)の大量受注あり, 1954~56年間に計100輛納入した。つづいてYL形を受注し, 1957年までに63輛納入した。また1957年末南米ボリビヤよりミカド形テンダ機関車12輛を受注し, 現在製作中である。この機関車は1,000mm軌間用としては最大級のもので, 原油を燃料とすること, 急曲線通過可能であること, 漸新な機器を具備していることなどの諸点において記録に残るものである。

最後にタンク機関車については前述のとおり, 1920年6月笠戸工場製第1号として12tタンク機関車が製作され, 1923年40t程度, 1924年58t過熱タンクと逐年大形のものが製作されたが, その後は用途の性質上40t以下が大部分を占めた。戦後はディーゼル機関車の長足の進歩に伴い, 1953年北海道庁納入を最後として製作に終



第32図 インド国鉄納WG形テンダ機関車

止符が打たれた。かくして笠戸工場はディーゼル機関車工場に転換したのである。

5. 結 言

以上世界各国における動力車の歴史的発達と、日立製作所の車輛製作上への寄与について概説した。

鉄道動力方式は、国家の動力資源、輸送状態および地理的条件によって決定さるべきものである。豊富な電力に恵まれている場合、特に輸送量の大きな場合また勾配線の多い場合は、電化が有利なることは申すまでもない。電化方式は個々の場合について検討の上決定さるべきであるが、将来は市内および都市近郊用には直流方式、長距離用には商用周波数単相高圧交流方式が発達するであろう。一方列車回数の少ない、あるいは輸送量の比較的少ない線区および入換用などには、ディーゼル化が推進されるであろう。

いわゆる東京—大阪間広軌新幹線も近く実現されんとし、わが国の車輛技術は世界最高水準に飛躍する好機に恵まれている。日立製作所は上述のように幾多の記録的製品を完成した歴史を有しており、今後さらに車輛技術の発展に寄与したきものと念願する次第である。

参 考 文 献

(1) 朝倉：日立評論 9, 1 (大 15-1)

- (2) 馬場：日立評論 8, 53 (大 13-2)
- (3) 三井田：日立評論 7, 438 (大 13-10)
- (4) 襟立：日立評論 7, 447 (大 13-10)
- (5) 横井：日立評論 7, 478 (大 13-10)
- (6) 山崎，河合ほか：日立評論別冊 20, 4 (昭 32)
- (7) 一木，河合ほか：日立評論 38, 75 (昭 31-9)
- (8) 山崎，河合ほか：日立評論別冊 20, 4 (昭 32)
- (9) 毛利，浅野：日立評論 40, 352 (昭 33-3)
- (10) 森脇，高橋：日立評論 39, 1429 (昭 32-12)
- (11) 上山：日立評論 12, 637 (昭 4-10)
- (12) 襟立：日立評論 12, 641 (昭 4-10)
- (13) 江間：日立評論 12, 647 (昭 4-10)
- (14) 上山：日立評論 14, 625 (昭 6-10)
- (15) 牧野田：日立評論 14, 631 (昭 6-10)
- (16) 小栗：日立評論 27, 6 (昭 19-1)
- (17) 牧野田，内藤：日立評論 27, 11 (昭 19-1)
- (18) 河合，佐藤：日立評論 27, 17 (昭 19-1)
- (19) 水越，立川ほか：日立評論 40, 832 (昭 33-7)
- (20) 中村：日立評論 39, 1286 (昭 32-11)
- (21) 平田：日立評論 20, 761 (昭 12-12)
- (22) 平田：日立評論 22, 423 (昭 14-7)
- (23) 大橋，立川ほか：日立評論 40, 242 (昭 33-2)
- (24) 徳田：日立機械評論 No. 5, 15 (昭 6-4)
- (25) 牧野田：日立評論 17, 105 (昭 9-2)
- (26) 牧野田，平尾：日立評論 18, 479 (昭 10-8)
- (27) 内藤：日立評論 19, 379 (昭 11-6)
- (28) 稲木，平尾：日立評論 20, 769 (昭 12-12)
- (29) 牧野田：日立評論 35, 793 (昭 28-5)
- (30) 竹村，小泉ほか：日立評論 39, 707 (昭 32-6)
- (31) 浜原，竹田ほか：日立評論別冊 20, 39 (昭 32)
- (32) 小泉，古川ほか：日立評論 40, 709 (昭 33-6)

日立評論 別冊第27号

通信機器特集号 第3集

昭和33年11月30日発行予定

- ◎C2形自動交換機の實用化
- ◎C-2形クロスバ電話交換装置について
- ◎ストロージャ式電話交換方式と併用するデレクタの機能
- ◎ワイヤスプリングリレーの振動特性
- ◎クロスバ機器の試験
- ◎トランジスタ通信線搬送電話装置
- ◎通信用トランジスタならびに整流器について
- ◎日立アナログ計算機の展望
- ◎サーボメカニズムとその応用
- ◎デジタル計算機 HIPAK 1 の論理設計について
- ◎最近の超短波周波数変調無線電話装置
- ◎6,000 Mc 広帯域信号中継装置
- ◎12,000 Mc マイクロ波可搬形テレビジョン中継装置
- ◎極超短波測定装置とパルス発生装置
- ◎受信管の信頼性
- ◎マイクロ波管
- ◎通信機工場におけるインダストリアルエンジニアリングと品質管理

発行所 日立評論社
取次店 株式会社オーム社書店

日立造船技報

Vol. 19

No. 3

目 次

- ◎組立盤木のボルトに働く力について
- ◎電気炉における酸素製鋼の応用に対する研究 (第1報)
- ◎MG鋼，窒化鋼の被削性の検討
- ◎新船舶照度基準案の概要について
- ◎鋼板運搬装置の改良について
- ◎鋼けた製作における基準穴集成法について
- ◎耐酸れんがの強さ上必要な全溶接木がま本体の剛性に関する研究
- ◎特許・新案紹介
- ◎製品紹介

本誌につきましての御照会は下記発行所へ
御願いたします。

日立造船株式会社技術研究所

大阪市此花区桜島北之町60