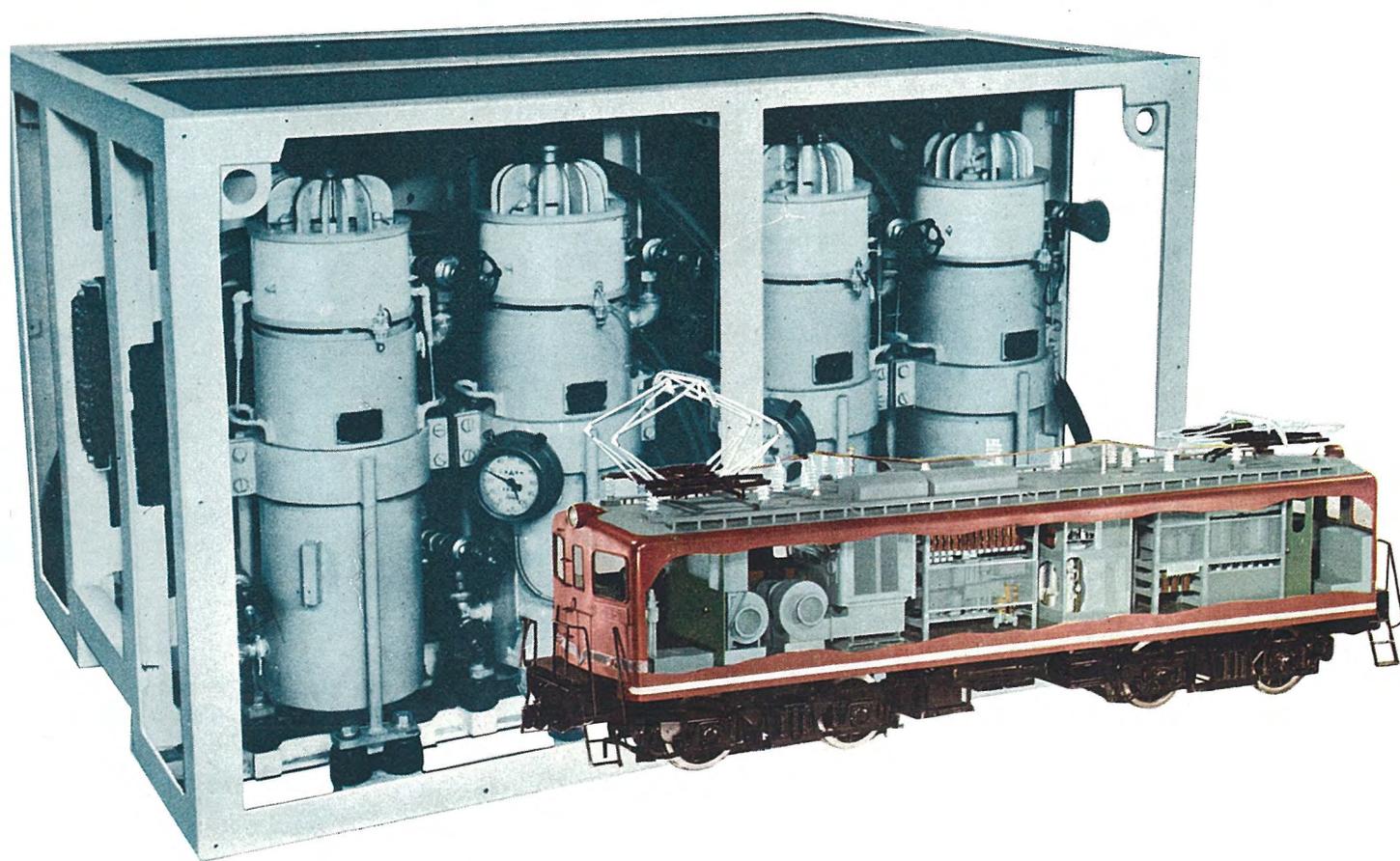


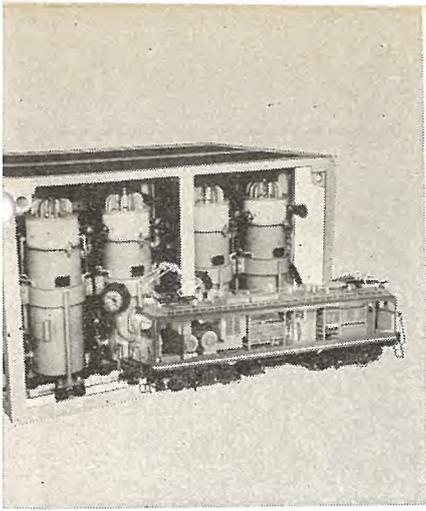
MITSUBISHI DENKI

三菱電機

交流電化特集



4
VOL30 1956



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

表紙の写真は 30 年 9 月国鉄仙山線に納入して驚異的性能を発揮した当社製イグナイトロン電気機関車の模型で大きさは実物の 15 分の 1 のものである。内部の機器配置が良く判るようにとくに片側の側板を省略して見るものの興味を惹くようにしてある。機器配置は左側の運転室から右へ制御箱、主電動機用送風機、主変圧器用送風機、主変圧器、単位スイッチ、イグナイトロンおよび制御箱、陽極バランス、蓄電器の順に並んでいる。

昭和 31 年 第 30 卷 第 4 号

(交流電化特集)

目次

鉄道の近代化と交流電化	島 秀雄	2
50 c/s 単相交流による鉄道電化	矢山康夫	3
「ED 451」イグナイトロン電気機関車性能試験	佐藤恒徳・田村文徳	16
「ED 451」イグナイトロン電気機関車を負荷とせる交流変電所の諸特性	林 正己	20
「ED 451」イグナイトロン電気機関車の通信誘導障害とイグナイトロンの運転特性	塩見幸三	23
「ED 451」イグナイトロン電気機関車走行振動試験	国枝正春	32
「ED 451」イグナイトロン電気機関車の通過試験	小林正宏	36
交流電気機関車の誕生に際して	弘田実禧	41
50 c/s 電気車の現状と将来	松田新市	42
「ED 451」イグナイトロン電気機関車	小川清一	54
「ED 451」イグナイトロン電気機関車の変圧器およびリアクトル	田村良平	60
「ED 451」イグナイトロン電気機関車用液冷式、密封型イグナイトロン整流器	加藤又彦	63
「ED 451」イグナイトロン電気機関車の通信誘導障害とその対策	己斐健三郎・阿部久康	69
「ED 451」イグナイトロン電気機関車用イグナイトロン整流器制御回路	室賀 淳	72
「ED 451」イグナイトロン電気機関車の避雷器、断路器、ヒューズ	大木正路・樺沢孝治	74
「ED 451」イグナイトロン電気機関車用 MB-3026-A 型主電動機および駆動装置	浅越泰男	76
イグナイトロン電気機関車の制御装置	待鳥 正	81
イグナイトロン電気機関車の簾装	小原太郎	84
イグナイトロン電気機関車の補助回転機	八木 勝	87
「ED 451」イグナイトロン電気機関車の台車および車体	曾根嘉年	91

三菱電機株式会社

本 社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)

(電) 和田倉 (20) 代表 1631・2331

研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水

神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町

名古屋製作所 名古屋市東区矢田町

伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水

長崎製作所 長崎市平戸小屋町

無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水

大船工場 神奈川県鎌倉市大船

世田谷工場 東京都世田谷区池尻町

郡山工場 福島県郡山市宇境橋町

福山工場 福山市仲野上町

姫路工場 兵庫県姫路市千代田町

和歌山工場 和歌山市岡町

中津川工場 岐阜県中津市駒場安森

福岡工場 福岡市今宿青木

静岡工場 静岡市小 110

札幌修理工場 札幌市北二条東 12

大阪営業所 大阪市北区堂島北町 8 番地 1

(電) 大阪 (34) 代表 5251

名古屋営業所 名古屋市中区広小路通

(電) 本局 (23) 代表 6231

福岡営業所 福岡市天神町

(電) 中 (4) 7031-7036

札幌営業所 札幌市大通り西 3 の 5

(電) 札幌 (2) 代表 7236

仙台事務所 仙台市東一番丁 63

(電) 仙台 (2) 代表 6101

富山事務所 富山市安住町 23 の 2

(電) 富山 4692・5273・2550

広島事務所 広島市袋町 6 (富国生命ビル)

(電) 中 (2) 2211~4

高松出張所 高松市紺屋町 34 番地

(電) 高松 3178・3250

小倉出張所 小倉市京町 10 丁目 (五十鈴

ビル) (電) (5) 小倉 3614

品質奉仕の三菱電機

鉄道近代化と交流電化

日本国有鉄道 技師長 島 秀 雄

いまや鉄道が国民経済の発展に欠くことのできない重要な使命を果すためには、鉄道はかつての陸上交通機関を独占していた maturity の時代と違って、新しい性格の近代交通機関に生れかわり、国民の近代的鉄道に対する要求に適応した安全確実、スピーディ、快適頻発、経済的、大量の輸送を実行することに迫られている。このため世界の鉄道は近代技術のあらゆる可能性を利用して、輸送の近代化と経営の合理化に真剣な努力を払い、徹底した鉄道の改革を行っている。なかでも電化とジーゼル化による動力方式の近代化は鉄道近代化の最有効な先駆手段として力強く推進されている。

わが国鉄もいま幹線 3,300 km 電化および非電化区間のジーゼル化を強力に実行すべく計画を進めている。この電化計画が実現されると、既電化区間を合わせて全営業料 20,000 km の $\frac{1}{4}$ に相当する 5,300 km が電化され、全輸送量の $\frac{3}{4}$ が電気牽引されることとなり、残余部分のジーゼル化と合わせて、輸送力の強化、輸送サービスの改善、経営の健全化において、国鉄は面目を一新するであろう。

この鉄道電化を経済的に正当化しようとするには、電化に要する初期投資とその後の営業費がもっとも安く提供されねばならない。この目的をもって、わが国鉄は、フランス国鉄が最近成功したもっとも経済的な電化方式である商用周波数 50 c/s による単相交流電化を精査し、また仙山線においてその実地試験を行った。試験は所期以上に満足すべき成果をおさめ、商用周波数による高電圧の利点と牽引動力として優れた性能をいかに発揮し、わが国における 50 c/s 電化に大きい自信を得た。

50 c/s 交流牽引は一般の電力網から極端に簡単な施設すなわち最小の簡易変電所と軽量架線によって機関車に直接給電し得る方式であり、地上施設に関する限り直流方式より明らかに経済的であることが確認された。交流運転における高電圧にもとづく建築限界拡大の要求も原則的には直流の場合に比して大きなものでなく、新しい絶縁材料の適用によりさらに有利になるものと考えられる。交流電化の経済性を左右すると思われた通信線に対する誘導障害も予想外に良好な大地導電率と種々の誘導軽減工夫によって問題なく有利に展開した。機関車の単相負荷により 3 相送電網に与える不平衡にも問題がない。

もっとも厳しい注視をうけたのは 50 c/s 交流機関車であった。そして 50 c/s 電化に対する疑念と不安も 50 c/s 機関車の性能と価格に集中された。しかしながら試験の結果、50 c/s 機関車はすばらしい性能を有し、地上



施設によって実現される経済評価を一層増大することが確認された。ことに整流器機関車は異常に優れた粘着のゆえに他の方式のあらゆる機関車に比べて重い列車の起動が可能であり、60 t の軽い整流器機関車は 90 t の直流機関車が行うサービスを実行し得ることは注目すべきである。水銀蒸気による整流器は将来さらに小形軽量の新しい乾式整流器にまで発展するものとも期待され、整流器機関車の将来はまことに洋々たるものがあるといえよう。

50 c/s 交流方式は、優れた粘着と高速性能のおかげで、同一目的の機関車がより小容量のもので済むこととなり、機関車の全新製費が結局的には直流式より高額にならないものと考えられる。したがって、機関車の増加は地上施設費の節減を相殺するどころか、電化に要する全投資をさらに軽減するであろうから、中程度の輸送量の線区に対してのみならず、輸送量の多い幹線の電化をも経済的に解決するであろう。残された問題は、交流区間と直流区間との機関車による接続、あるいは電車による相互乗入を技術的にも輸送的にももっとも適切な手段によってどのように解決するかということである。

このたびの試験の成功を決定的にしたものはいうまでもなく試作国産交流機関車の卓越した性能である。これは最近の技術の進歩を思う存分取入れたわが国メーカーのすぐれた創意設計によってもたらされたものであって、伝統的な優越感のうえに安座していた直流電化の飛躍に資するところが少くない。しかもこれをきわめて短時日をもってよく完成したわが工業の実力は世界に誇るべきものであり、まことに敬服のほかはない。

とくに 50 c/s と 60 c/s の両地域が併存するわが国幹線鉄道の交流電化には、この整流器機関車に期待するものがまことに大きいのであって、このたびの試験に献身されたメーカーの努力と協力に心から感謝を捧げるとともに、整流器機関車の今後における一層の進展を切に希望する次第である。

50 c/s 単相交流による鉄道電化

日本国有鉄道 調査役 矢山 康夫

Electrification of Railway by means of 50 Cycle Single Phase Power

Assistant to the President, Japanese National Railways

Yasuo YAYAMA



In spite of generally acknowledged idea that the electrification is the most advantageous to the modernization of transportation facilities and the rationalization of the management, enormous amount of capital to be invested for the purpose hinders the enterprise. A new conception of a-c electrification, reported to be successful in France, has come to the mind of engineers of the Japan National Railways, which bore the fruits after painstaking efforts by both the enterprizer and a manufacturer, Mitsubishi. Japanese engineering of railway application has now turned a new leaf in its history, the account of which is given herein.

1. ま え が き

電化が鉄道の輸送の近代化および経営の合理化にもっとも有利であることがわかっていながら、鉄道電化の進み方が遅いのは、電化には莫大な資本の投下を必要とするからである。電気機関車を新造するだけでなく、架線や変電所などの給電施設を建設せねばならない。輸送量がずば抜けて大きい東海道線を除けば、これからの電化線区では地上施設に機関車新製費より以上の資金を要する。これが電化の進展を妨げる大きな原因である。

そこで、わが国有鉄道は、フランス国鉄が最近成功した商用周波数 50 c/s の単相交流による経済的な電化方式を研究するため、交流電化調査委員会を設けて、国鉄技術の全機構を挙げ調査実験を進めた。これに基づいて昨年仙山線で行われた総合試験は驚異的な成功をおさめ、交流電化による鉄道動力の革命に強い自信を得た。

目下、交流機関車の長期試験を行っているが、近く機関車を増備のうえ、営業列車を牽引したいと計画している。また交流電車も試作試験の要がある。ときあたかも幹線電化 10 年計画の発足にあたり、交流電化の本格的採否の決は焦眉の急を要し、近く結論を得たいと思っている。交流機関車の問題点、試験成果のあらましなどをまとめてみた。

2. 交流電化の優位

いついかなる場合でもエネルギーの見地からすれば、一般電源から商用周波数 50 c/s あるいは 60 c/s の電流を機関車のパンタグラフまでできるだけ高電圧で送って、電気牽引に用いることが、いうまでもなくもっとも合理的

である。これが単相 50 c/s あるいは 60 c/s 電化である。すなわち、直流電化のように変電所で交流を直流に変換の要もなく、機関車内の変圧器で電圧を自由に変え得るから、架空電車線に 20~25 kV の高電圧を使って、架線電流を小さくできる。したがって変電所はもっとも簡単に数も少く、架線は細い電線で間に合うから、地上電化施設の初期投資が非常に少いうえに、その後の保守(年間経費)も安いことに異論はない。

しかし、50 c/s 機関車の性能と価格に対する批判はまことに厳しく、これが 50 c/s 電化に対する疑惑の中心でもあった。50 c/s 機関車は価格が高いと推定し、多数の機関車を必要とする輸送量の多い線区では、機関車費の増加のため、地上施設費の節減額は相殺されてしまう。一步譲って機関車費が等しいとしても、輸送量の増加とともに地上施設費の節減額は相対的に薄められる。したがって 50 c/s 電化は輸送量が中程度以下の線区、すなわち地上施設費が全電化費の大きな割合を占める場合に有利であると考えられた。しかしながら試験の結果はこうした見方を根底から覆してしまった。

50 c/s 交流機関車、とくに整流器機関車は性能が意外に優れているので、直流と同じサービスを行うにはひとまわり小さい機関車で充分である。それゆえ 50 c/s の機関車新製費は直流より低額となる。

したがって、50 c/s 電化は輸送量の多い幹線の電化をさらに有利にするばかりでなく、ディーゼル化が当然有利とされていた輸送量の少ない支線の電化をも可能とする。いいかえれば、幹線電化に限られていた直流に対し、50 c/s 交流は支線を含む鉄道網の電化を可能とする経済的かつ質のよい最良の電化方式である。

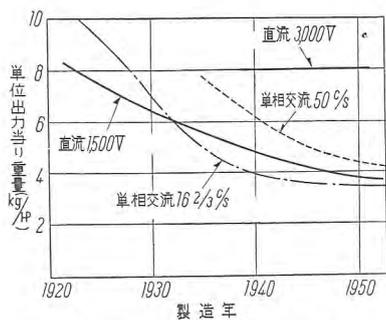
3. 5/0 c/s 電化が成功するまで

ア. 16²/₃ c/s 交流電化と直流電化

このように有利な 50 c/s 電化がなぜいままでも本格的に実施されなかったかといえば、それは、幹線電化が流行しだした 1920 年頃、これに適した機関車、とくに 50 c/s 主電動機として大きい出力のものが容易に得られなかったし、水銀整流器もなかったからである。それゆえ、幹線電化は低周波 16²/₃ c/s 交流と直流の 2 方式で発足してしまっただけで、高圧架線による安直な地上施設と良好な給電効率に主眼をおいた鉄道（スイス、ドイツなど）は交流電化を選び、市街電車の経験から直流電動機の簡単頑丈さに主眼をおいた鉄道（日本、フランスなど）は直流電化を選んだ。

大きい出力の機関車を必要としなかった当時としては直流電化は主電動機の優位を誇ったが、戦後、急速広範な幹線電化の進展と高速大出力機関車の要求に伴い、電圧の低い直流 1,500 V では、地上施設におびただしい投資を必要とし、機関車出力が 4,000 HP 以上ともなれば架線からパンタグラフによる満足な集電も容易でない。

16²/₃ c/s 電動機は、整流の問題が満足すべき方法によって解決されてからは、著しい発達を遂げて直流を凌ぐに至った（1 図）。しかも整流はあらゆる条件のもとできわめて良好で、かつての起動時における整流の敏感性は



1 図 主電動機の発達（比重量の比較）

Fig. 1. Development of traction motors.

まったく見られなくなり、まさに発達の極に達した。

このように、16²/₃ c/s は鉄道車両用として満足すべき周波数ではあるが、国家的には鉄道専用の特殊周波数という不便がある。市電のために生れた直流式は、やはり輸送密度の高い都市近郊輸送のためのものであって、機関車牽引の大きい列車単位の輸送を必要とする長距離幹線の電化に対しては、もはや経済的にも技術的にもその限界に達しつつあるものと考えられる。

イ. 50 c/s 交流電化の成功

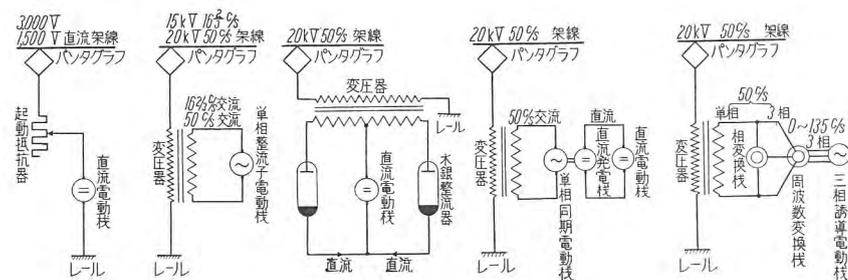
このような気運を先見したドイツ鉄道は、1935 年、50 c/s 電動機および水銀整流器による 50 c/s 電化の試験に初めて成功し、当時非常な注目を浴びたが、そのまま今次大戦となった。戦後これに目をつけたフランス国鉄は、新規貫直しをして、実地試験のうへ、東北部幹線

400km の本格的 50 c/s 電化に成功し、さらに 1,300km を 1959 年までに完成の予定である。

このフランスの成功は、直流機関車を凌駕し、まさに世界最高の水準をゆくヨーロッパ（スイス、ドイツ）の 16²/₃ c/s 技術が整流の良い大出力 50 c/s 電動機の問題を見事に解決して、大形 50 c/s 直接電動機関車を成功させたことによるものである。これと同時に、水銀整流器のめざましい進歩（フランス）は効率の良い整流器機関車の出現を可能とし、50 c/s 電化の成功に一層の拍車をかけた。そしていまではこれが主力機関車をなしている。一方電源の開発強化も戦後著しく進み、機関車の単相負荷による 3 相不平衡を問題にしなくなった。このように三拍子揃ったので、電気牽引 40 年の夢であった 50 c/s 交流電化は 1955 年ついに実を結んだのである。

これに着目して、50 c/s 電化をした鉄道にはアフリカのベルギー領コンゴ、イギリス、トルコがあり、新しく工事を進めている鉄道にはアルゼンチン、ポルトガル、ソ連などがある。日本の試作機関車は世界で 4 番目の 50 c/s 交流機関車である。ここで見逃せないことは、交流電化を採用、ないしはその意志を有する鉄道はいずれも直流電化の鉄道か、あるいは電化を新たに始めようとする後進国の鉄道である。

4. 電気機関車の動力方式



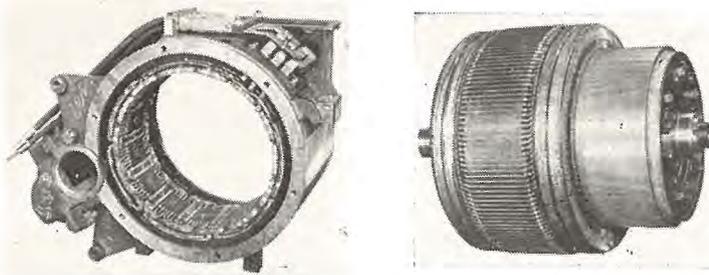
- ① 直流機関車
- ② 直接電動機関車 (16²/₃ c/s)
- ③ 直接電動機関車 (50 c/s)
- ④ 電流変換機関車 (水銀整流器)
- ⑤ 電流変換機関車 (単相、3 相)

2 図 電気機関車の動力つなぎ

Fig. 2. Connection of electric locomotive.

1 表 電気機関車の動力方式

機関車別	電流変換装置 (コンバータ)	機関車の主電動機		
		直流電動機	単相整流子電動機	3 相誘導電動機
直接電動機関車	地上変電所に	① 直流機関車 架線：直流 1,500 V 3,000 V 速度：抵抗制御	② 16 ² / ₃ c/s 交流機関車 架線：単相交流 16 ² / ₃ c/s 15 kV 速度：電圧制御	
	無し		③ 50 c/s 交流機関車 架線：単相交流 50 c/s 20~25 kV 速度：電圧制御	
電流変換 (コンバータ) 機関車	機関車上に	④ 50 c/s 交流機関車 架線：単相交流 50 c/s 20~25 kV 速度：電圧制御		⑤ 50 c/s 交流機関車 架線：単相交流 50 c/s 20~25 kV 速度：周波数制御



(a) 固定子 (stator) (b) 電機子 (armature)
1 時間定格出力 235 kW 電圧 200 V 電流 2,350 A 回転数 1,160 rpm

3 図 試作単相 50 c/s 電動機 (ED441 用, 富士電機製)
Fig. 3. Single phase 50 cycle motor built on trial.

電気機関車の動力方式については、50 c/s 電化が成功した今日、主電動機は必ずしも電力供給の面（架空電車線）と一致させなくてもよくなったので、1 表および 2 図に示す 5 つの方式がある。

直接電動機関車 (direct motor locomotive) はパンタグラフからの直流または単相交流を直接そのまま主電動機（直巻特性を有し整流子付き）に導き、これにより引張力を発揮する。50 c/s 直接電動機関車の主電動機としては単相 50 c/s 整流子直巻電動機（3 図）が用いられる。

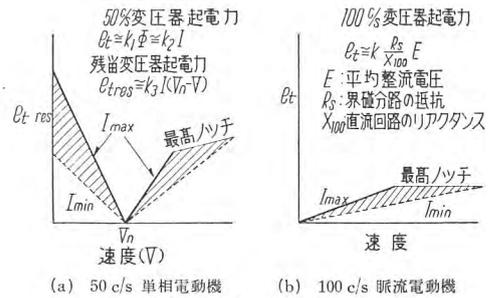
電流変換機関車 (converter locomotive) は水銀整流器または回転式変換機を機関車に設けて、架線からの 50 c/s 交流を直流または 3 相交流に変え、これを主電動機（直流電動機または 3 相誘導電動機）に導いて引張力を発生する機関車である。すなわち変電所を背負って走る機関車である。この機関車は 50 c/s の採用と機器の進歩によって、16²/₃ c/s や 25 c/s の低周波時代においては想像もつかなかったほど、軽く効率良く（変電所受電端における電力消費量が少い）、かつ安価に製作できるようになったので、変換機関車の経済的使用限界は今日の 50 c/s 電化において非常に有利になった。

5. 直接電動機関車の問題点

50 c/s 直接電動機関車は、50 c/s 電動機の整流さえ有利に解決すれば、直流機関車にも増して簡単頑丈で、経済的な機関車である。交流主電動機の出力や性能を左右する本質的な要素は変圧器起電力であって、直接電動機関車一本槍で進んできたこれまでの交流電化の発達は、厄介な変圧器起電力を征服して整流の良い大出力電動機を得る努力にあったといえよう。

わが国の鉄道は狭軌のゆえに列車速度は客貨とも割合に低いが、列車の重量は非常に重く、急勾配が多い。このような運転条件のもとで、高速性能の優れた 50 c/s 直接電動機関車を成功させるには、重貨物列車の烈しい勾配起動引張力の強化に主力を注ぐべきである。定格出力が大きいから起動引張力も大きく出せるだろうと直流機関車式に考えることは間違っている。

わが国独特の弱界磁の方法による電動機を用いて、起動引張力を強化し、さらにコンデンサ分路により低加速



4 図 変圧器起電力

Fig. 4. Transformer E. M. F.

性能を向上する手段を講ずれば、50 c/s 直接電動機関車は、低速の重貨物列車から高速列車にいたるまで、あらゆる列車の牽引に、直流機関車では到底できないすばらしい威力を発揮する。

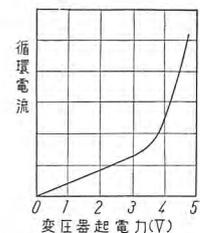
ア. 整 流

変圧器起電力は電機子の回転に無関係に存在し、かつリアクタンス電圧と 90° 位相を異にしているから、これを電機子の回転によって補償しようとする補極の方法では、たとえ分路抵抗によって補極電流の位相を調節しても、変圧器起電力とリアクタンス電圧を同時に打消して、完全無火花整流を得るのは、ある決った速度に限られる（4 図）。したがって他の速度では変圧器起電力が完全に打消されないから、整流のためブラシにより短絡された電機子コイルに循環電流が流れ、先天的に整流火花を生ずる。しかし走行中に出る火花は閃絡を起したり、整流子の寿命に害を与える悪質なものではないから、これを気にすることはない。

問題は起動時の整流子電流負担にある。起動しようとする瞬間には、補極の効果はまったくなく、変圧器起電力は補償されない。しかも、起動時には電流が大きく、磁束が大きいから、磁束のみに比例する変圧器起電力は最大値となって、過大の循環電流を流し、これに起動電流が加わる。この状態で電機子が静止していると、ブラシの下にある整流子は局部的に過熱されて、歪みを生ずる。これが甚しいときには、ブラシはパチパチ音がして赤く灼熱され、整流子には焼痕を生じて表面硬度を失い、しばらく運転している間にこれは徐々に凹みに発展して、ついには整流子を削正しなければならなくなる。

それゆえ、整流子の寿命を縮めるものは通常の走行火花ではなく、勾配起動などのため、ごくまれにおきる整流子の例外的な過負荷によるものである。それゆえ、起動時の短絡循環電流を抑制することがきわめて重要で、走行中に整流が良いか否かということ、出力が大きいかどうかということには無関係である。

この有害な循環電流を押えるのはブラシの接触抵抗と短絡回路のインピーダンスのみであるから、



5 図 起動時における循環電流

Fig. 5. Circulating current in the starting period.

2 表 交流主電動機の設計諸元

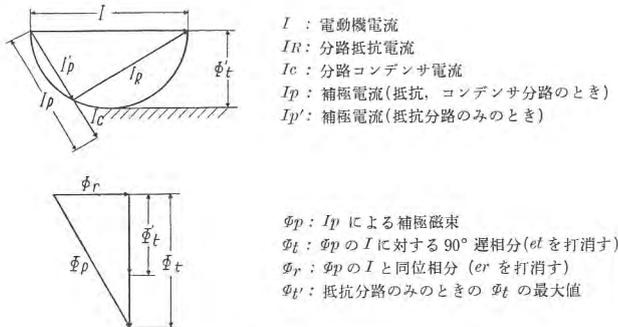
周波数	16 ² /3 c/s (軌間1,435mm)	50 c/s	
		16 ² /3c/sの流れる をくむ電動機 (軌間1,435mm)	日本 の 試作電動機 (低変圧器 起電力の方法) (軌間1,067mm)
変圧起電力 (V)	3	3	2.5~2.7
界磁磁束 (マックスウェル)	4×10 ⁶	1.35×10 ⁶	(1.15~1.2)×10 ⁶
電気装荷 (アンペア導体数/cm)	400~500	450~550	500~535
電機子最大周辺速度 (m/s)	65~70	65~70	70
整流子最大周辺速度 (m/s)	50~60	55~60	55~60
電機子鉄心長 (cm)	35~40	25~30	18~23
磁極と電機子の空隙 (mm)	2~3	3~4	5~6
磁極間隔 (cm)	15	12~15	15~17
整流子片間電圧 (V)	8~10	6~8	6~7
整流子片間隔 (mm)	4~4.5	3.8~4.5	3.9~4.2
ブラシ幅 (mm)	10~22	10~22	10~12.5
ブラシ電流密度 (A/cm ²)	12~13	13~15	12.5

特別の方法を講じない限り、変圧器起電力が3~3.5Vを越えると循環電流は急激に増大する(5図)。したがって起動時の変圧器起電力が3.5Vを越えないようにすると同時に、ブラシの材質、分割構造、厚さに工夫をこらすこと、トルク減少作用をなくすることが大切である。

イ. 起動トルク

つぎの問題は起動トルクの減少作用である。短絡コイルに循環電流が流れると、このアンペア回数は主界磁を弱めるように作用して、トルクを減少させる。循環電流の大きい起動の瞬間にトルク減少は最大となり、速度が増すにつれて、循環電流は急激に減るから、問題はなくなる。変圧器起電力が大きい極端な場合には、起動電流を大きくすればするほど、循環電流が著増して、トルク減少作用が増大するから、有効トルクは大きくならないで、整流子を過熱する。これを避けるには、主界磁アンペア回数を大きく(電機子アンペア回数の40%以上)とり、主極空隙長を拡げる(4mm以上)のがよい。

起動低速時における変圧器起電力の補償は不完全であるから、補極分路抵抗にコンデンサを並列に接続して、分路電流の位相を進ませてやれば、低速において変圧器起電力を十分に打消し(6図)、満足すべき低加速あるいは低速運転を行い得る。



6 図 コンデンサ分路のベクトル線図
Fig. 6. Vector diagram of condenser shunt.

ウ. 変圧器起電力の選択

50 c/s 電動機の定格出力増大と起動トルク強化とは相反する変圧器起電力を要求している。いずれに重点において変圧器起電力の値を選ぶかはその鉄道の運転条件により決定される。50 c/s 電動機の行き方には、変圧器起電力のとり方いかんによりつぎの4つがある。

低周波電動機の流れをくむ方法 (スイス, ドイツ, スウェーデン) 50 c/s 電動機の変圧器起電力が低周波 16²/3 c/s の場合の限度内に保たれているならば, 50 c/s は 16²/3 c/s の経験とまったく同様に取扱い得るという考えに基づくものである。すなわち, 変圧器起電力は最大起動電流においても 3.5~4V を超えてはならない。したがって定格電流では, これより低く, 3V 程度にとる。

弱界磁(低変圧器起電力)の方法 (日本) わが国では列車の起動はヨーロッパなみか, あるいはより厳しいが, 最高速度は低いから, 低周波の流れをくむ電動機を

用いると, 重貨物列車の速度が必要以上に高くなり過ぎる。そこで変圧器起電力を定格電流で 2.5V 程度として, 最大起動電流においても 3~3.5V を超えないようにする。その方法としては, 低周波の流れをくむ電動機の界磁アンペア回数をおおむねそのままとし, 空隙をわずか拡げてやれば, 変圧器起電力はわずか減少して(2表), 有害な循環電流が激減する。その結果, トルク減少作用がほとんどなくなるから, 同じ有効起動トルクを得るのに起動電流はむしろ少くてすみ, 整流子は寿命を倍加する。逆に最大循環電流, すなわち最大変圧器起電力と同じに許すならば, この電動機は低周波の流れをくむ電動機よりも起動電流を大きくでき, したがって起動トルクを強化することができる。(22図)

定格電流における変圧器起電力を小さくする結果, 定格出力は小さくなる。しかし整流子片間電圧が限度からはるかに小さいから, リアクタンス電圧および整流子周速の許容範囲において, 変圧器のタップをあげて電動機に過電圧を加えれば, さなきだに高速性能の優れた 50c/s 電動機は高速で直流電動機の弱め界磁をはるかに凌ぐ高出力と大トルクを得ることができる(23図)。

強界磁(高変圧器起電力)の方法 (エリコン社) 定格変圧器起電力を著しく高い 4V にとり, リアクタンス電圧を低くする。起動電流では 5V 近くになる。高速出力は非常に大きい, 起動トルクはあまり大きくない。

抵抗接続による方法 (ジュモン社) 整流子と電機子巻線との間に抵抗導体を挿入することによって, 起動時に変圧器起電力が大きくなっても, 循環電流を抑制して起動トルクを強化する方法である。変圧器起電力は定格電流で 4.5V 位に高くとれるので, 端子電圧は高く(400V)なり, 定格出力も大きくなる。

エ. 出力の増大

ヨーロッパでは, 軸重 20t の粘着重量をぎりぎり生かして高速運転するためには, 1 動軸当り 1,000 HP が必要である。したがって 50 c/s 電動機が嵩のものを避けて出力を増大するには, 変圧器起電力を高くしたり, 2重巻電機子か串形電動機の方法を講ずる必要がある。

わが国では, 客貨万能機関車でなければ, 軸重 15t において 1 動軸当り出力は 400 HP あれば充分であるから, 単重重巻でよい。出力の点では, 狭軌というハン

ディキャップを差引いても、ヨーロッパより楽である。

6. 水銀整流器機関車の問題点

登場間もない整流器機関車は、水銀整流器のめざましい進歩によって、一躍 50 c/s 交流機関車の寵児となった。この機関車の起動引張力は他のいかなる方式の機関車よりも強力で、高速性能も優れている。したがって、重貨物列車から高速列車にいたる変化に富んだあらゆる運転を可能とする万能機関車である。

この機関車は、自動制御変電所を背負った機関車であるだけに構造が複雑、精巧で、重量が重く、高価であり、機関車から発生する高調波は通信に雑音を生ずると非難されていたが、これらはいまや克服され、あるいは克服されようとしている。整流器装置は比較的安い標準工業製品となりつつあるから、車両用として保守を要しないほど高度の信頼性さえ確保できれば、整流器機関車は、複雑で重く高価であるどころか、きわめて優れた性能のゆえ、同じサービスを行うのに、他の方式の機関車よりもむしろ単純で軽く安い機関車となり、交流機関車の先端をいく地位を占めるものと思われる。

量産化されたイグナイトロンをあたかも真空管のように安直に手に入れるフランス国鉄が、通信雑音にもほとんど問題がないので、50 c/s 機関車の主力をイグナイトロン機関車において、50 c/s による高压電流の利点と牽引動力の優れた性能をますます正当化しているゆえんも宜なるかなである。

ア. 車両用単極封じ切り水銀整流器

点弧式によって分類されるイグナイトロンとエクサイトロンのいずれが動力車に適するか、いまなお決定的でない。イグナイトロン機関車によって成功したフランス国鉄も目下エクサイトロン機関車を製作中である。イグナイトロン方式は封じ切り、点弧子による故障電流の高速遮断、点弧の位相制御に有利である。

タンクの冷却方式については、水冷式はタンクが小形になり、冷却装置で分散できる利点があるから、動力車の限られた空間（ことに電車の床下）におさめるにはこれが有利である。しかし電気車では水を十分に使えないし、装置が複雑化すると理由から、空冷式を推奨する鉄道もある。

これを動力車に用いる場合の問題点は、車両特有の振動、衝撃に充分耐え得る構造とすることである。その弱点は真空密封部、陽極の支持、水銀の動揺などである。電流容量については、負荷が自己電動機のみであるから、変電所用よりも過負荷耐量を楽に考えてよい。

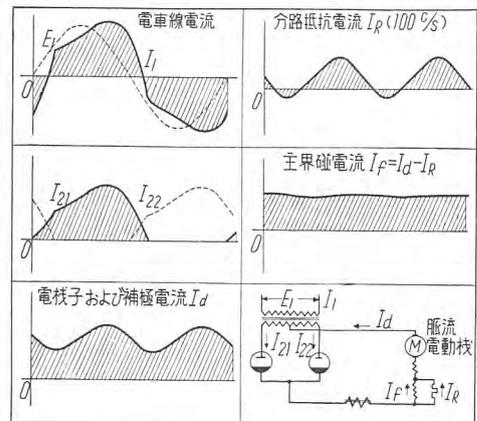
寿命を制するものは、イグナイトロンでは点弧子と真空であり、エクサイトロンでは真空である。いまだ実績がないが、寿命は最低 5~10 年といい、フランス国鉄では 20 年と称している。これの寿命の長短は機関車保守費に重大な影響を与える。

イ. 脈流電動機（整流器用直流電動機）

50 c/s 単相交流による鉄道電化・矢山

水銀整流器により全波整流された電流は、直流分のほかに偶数倍の高調波を含んだ脈流であって、第 1 高調波 100 c/s 電流を最も多く含んでいる。したがって電動機には直流のほかに 100 c/s 交流が流れ、磁束が交番するから、単相電動機の場合によく似た変圧器起電力の問題が生じてくる。この 100 c/s 変圧器起電力（4 図）は端子電圧に比例するから、起動時に脈流は最小であり、整流になんら困難を伴わない（単相電動機の 50 c/s 変圧器起電力は磁束に比例するから、これが最大となり整流が困難となるのは起動時である）。端子電圧をあげ、速度を増すにつれて 100 c/s 変圧器起電力は大きくなり、脈流が増し整流が難しくなる。したがって電圧を上げて高速性能を高めるには、整流の点から限度があるから、弱め界磁の併用が必要となる。この場合リアクタを効かせて電機子電流を充分平滑化する必要がある（通信誘導に問題を生ずる）。

そこで、界磁巻線を抵抗で分路して、100 c/s 交流を分路に流し、界磁にはほとんど直流分だけが流れるようにしてやる（7 図）。こうしても電機子と補極には有害な



7 図 整流器回路に流れる電流

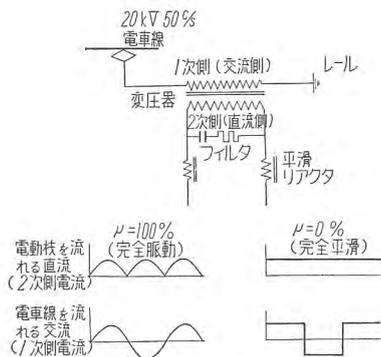
Fig. 7. Current in rectifier circuit.

100 c/s 交流が流れて、整流を悪化し、温度を上昇させるから、在来の古典的な直流電動機をもってきてすぐ間に合うというわけにはいかない。補極鉄心を成層化するか、補極磁束を電機子電流と同相にするなど、脈流に耐える構造とする。このような整流器用直流電動機をとくに脈流電動機（undulating current motor）という。単相電動機の技術を取入れて近代化された直流電動機は脈流率 20~30% の脈流に充分使用に耐える。

脈流電動機は、端子電圧を直流の場合のように架線電圧に制約されないで最も都合の良い低圧に選び、全電圧電動機とすることができるから、直流電動機よりも軽量大出力が得易く、機関車の粘着も著しく改善される利点がある。また架線の異常電圧や電圧急変から充分保護されているから、きわめて安定した電動機となり、直流機関車の欠点をすべて有利に解決する。

ウ. 整流器機関車から発生する高調波

水銀整流器から発生する高調波は交流電化においては直流変電所の場合と全く事情を異にしている。機関車の水銀整流器は単相の全波整流であり、架空電車線（変圧器の交流側）が単相不平衡回路であるため、電車線側に発



8 図 整流器機関車から発生する高調波
Fig. 8. Higher harmonics generated by ilgner loco.

生ずる高調波が近接通信線および連絡送電線に与える影響は看過できない。

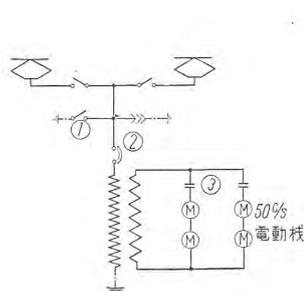
まず両極端の場合を考えてみよう(8 図)。負荷が純抵抗で、整流器の転流が遅れなしに瞬間的に行われるとすれば、直流側には完全脈流が流れ、交流側は正弦波で、電車線に高調波は現れない。逆に平滑リアクタが無限大で、直流側が完全直流の場合には、電車線電流は矩形波となって、基本波 50 c/s のほかに奇数倍の高調波(150 c/s, 250 c/s, ……)を最大量含み、整流器はあたかも高調波発電機として働く。これが機関車から発生する交流側の高調波電流である。

この問題を解決するには、変圧器の 2 次側にフィルタを並列に挿入し、これに奇数倍の高調波を分流させて電車線に流れないようにする。直流側では、脈流に耐える低インピーダンス電動機を使って、平滑リアクタをできるだけ減らす。いいかえれば、通信誘導防止と電動機出力のいずれに重点をおき、いずれを犠牲にするかに従い、許容重軸内で与えられるフィルタとリアクタの重量を最も協動的に分配する。

電車線を通れる高調波電流は通信線に雑音を生ずる。電話や耳に対する雑音の感度(S)は各高調波により異なる。機関車の雑音発生の度合は電話妨害度($T=2\pi fS$)に各高調波電流(I)をかけ、その実効値をとった IT 積($\sqrt{\Sigma(IT)^2}$)で表わす。電話の雑音は IT 積に比例して増減し、感度を考慮した雑音電圧(評価雑音)で表わされる。わが国の整流器機関車の IT 積は少くとも 4,000~5,000 以下でなければならない。音声放送回線の雑音は感度を考慮しない無評価雑音で表わされる。

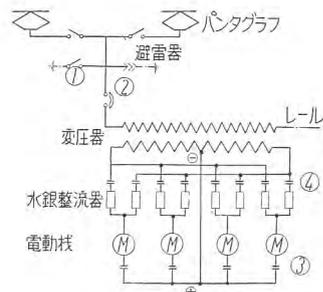
7. 交流機関車の制御

交流機関車の速度制御は変圧器を用いる電圧制御により行う。したがって直流機関車の抵抗制御のように電力損失を伴わないから、制御効率があるかに良好であるばかりでなく、任意の速度を自由に取得する。その方法としては、変圧器の 2 次側においてタップ切替を行う低圧制御と 1 次側で行う高圧制御がある。低圧制御による場合、50 c/s 直接電動機関車は 16 $\frac{2}{3}$ c/s の約 2 倍の電流



9 図 a. 主回路の構成

Fig. 9-a. Construction of main circuit.



9 図 b. 水銀整流器機関車

b. Mercury rectifier loco.

- ① 接地スイッチ
- ② 高速遮断器(空気吹付遮断器)
- ③ 断流器(主電動機過負荷用)
- ④ 断流器(逆弧用)

を取扱い、整流器機関車は 2 重の制御装置と通信誘導に好ましくない位相制御を必要とする。したがって 50 c/s 機関車では直接形も整流器形も、出力が 1,500~2,000HP 以上になると、高圧制御が有利である。

主回路の構成は 9 図に示すとおりである。保安装置には、主電動機の過負荷および整流器の逆弧保護用として低圧側に断流器があり、機関車全体の保護用として高圧側に空気吹付遮断器がある。最後の保護手段としては、接地スイッチを投入して架線を接地し、変電所の空気吹付遮断器を動作させる。

補助電動機としては、低圧の 50 c/s 3 相カゴ形誘導電動機を用い得るので、簡単頑丈で最も有利である。

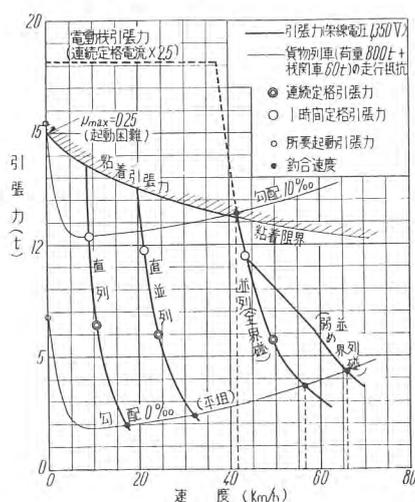
8. 交流機関車の性能

ア. 引張特性

蒸気機関車に対し強力を誇った直流機関車の優位は、これよりさらに強力な交流機関車の出現によって、全く魅力のないものになってしまいそうである。

直流機関車 直流機関車の引張特性は直流電動機の強飽和直巻特性によるものである。

したがって、電動機の起動トルクは非常に強力である。しかし電動機を 6~8 個直列に接続して起動するから、動



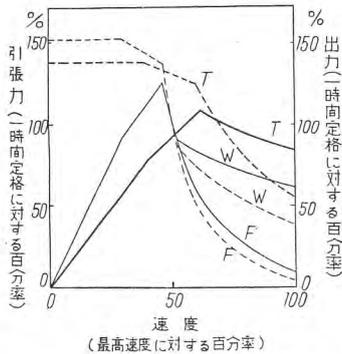
10 図 直流 1,500 V 直流機関車 (EH 10 \times $\frac{1}{2}$) の引張特性

Fig. 10. Tractive effort characteristics of d-c 1,500 V locomotive.

輪の粘着は必ずしも良好でなく(粘着係数 $\mu=0.23\sim 0.25$) 動輪が空転し易い。それゆえ強力な電動機トルク(電動機引張力)も動輪が空転しない範囲(粘着引張力の範囲)においてしか利用できない(10 図)。いいかえれば電動機引張力が粘着引張力よりいかに大きくなって、動輪を空転させるだけで、列車

の起動にはなんら役立たない。強力な電動機トルクを完全に役立たせるには、非常に大きい粘着重量が必要で、いきおい重い機関車となる。

速度が高くなると、出力も引張力も急に小さくなる。したがって全界磁 (100% 界磁) のままでは重量列車を引張って高速運転することができない。そのうえ架線の電圧降下による出力低下が加わるから、高速性能はまことに貧弱である。弱め界磁を極度に利用 (フランス国鉄直流機関車の最弱界磁は 25% 界磁) すれば、高速性能を改善して交流機関車にある程度近づける (11 図)。

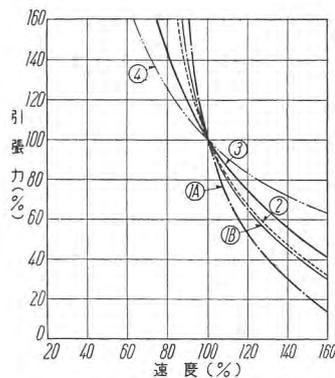


11 図 50 c/s 交流機関車と直流機関車の性能比較
Fig. 11. Comparison of performances between a-c loco. and d-c loco.

50 c/s 直接電動機機関車 50 c/s 電動機の直巻特性は弱飽和であるうえ、電動機と変圧器の高い誘導電圧降下加わるから、強飽和の直流直巻より速度トルク一定曲線、すなわち出力一定曲線 (双曲線) に近くなる (12 図) したがって、50 c/s 電動機は高速において直流電動機より約 2 倍大きいトルクと出力を与え得る。

50 c/s 直接電動機機関車の引張特性は 50 c/s 電動機の理想的な直巻特性によるものである。そのうえ変圧器により、電動機の端子電圧を定格以上にあげ得るから、高速出力および引張力が直流機関車よりはるかに大きく、重量列車を引いて高速力行することができる。

問題の起動引張力については、起動に重点をおく日本式弱界磁の方法を採用した 50 c/s 電動機のトルク (電動機引張力) はこの機関車の粘着 (粘着引張力) と丁度釣合っているから、電動機引張力は機関車の粘着重量を完全に利用して (13 図)、列車を起動させる。この機関車の粘着は、引張特



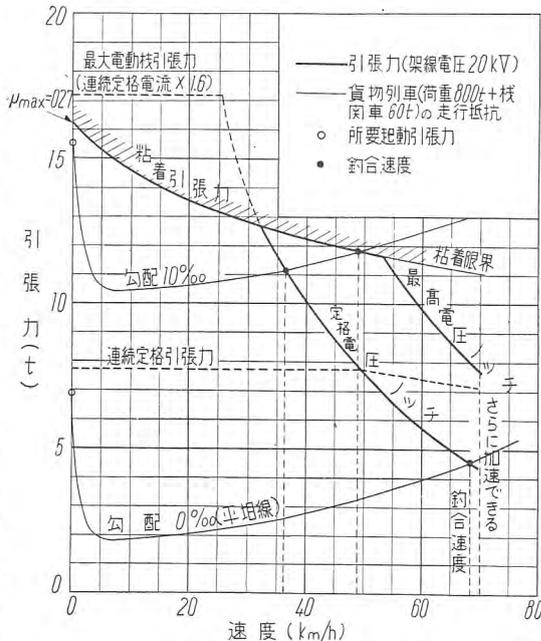
12 図 主電動機の直巻特性
Fig. 12. Series characteristics of main traction motor.

性が弱飽和直巻 (dF/dV が小さい, F : 引張力, V : 速度) ではあるが、電圧がつねに 2 個直列電動機に加えられるから、直流機関車の粘着と同じか、やや良好 ($\mu=0.27$) である。したがってこの機関車の起動引張力は直流機関車に比べてなんら遜色がない。そのうえ一旦起動すれば、その後の加速が自由である (直流機関車は一旦勾配起動してもその後の加速は起動抵抗過熱と電圧降下に悩まされる)。

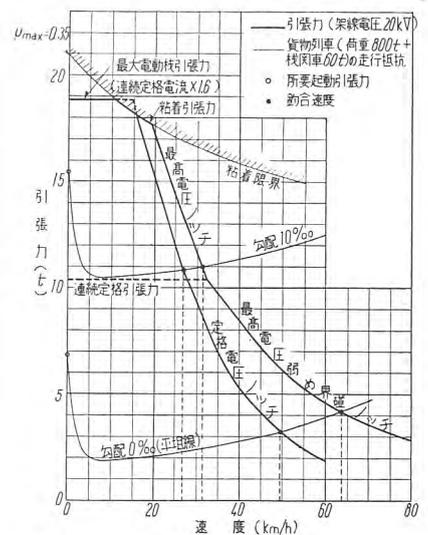
このように、直接電動機機関車は高速性能において直流機関車をはるかに凌ぎ、起動性能でも優っている。

50 c/s 水銀整流器機関車 整流器機関車の引張特性は直流電動機 (脈流電動機) の直巻特性によるものであるから、おおむね直流機関車に近い特性をもっている。特性曲線は、脈流電動機の飽和が幾分小さく、変圧器の誘導加わるから、直流機関車と 50 c/s 直接電動機機関車の特性の中間よりやや直流に近い。

整流器機関車の最大魅力は粘着が非常に優れていることであって、このゆえに機関車に“変電所”を設けることが機関車の費用を増す結果とならないのである。この優れた粘着は、機関車が強飽和直巻の引張特性 (曲線が立っている、すなわち dF/dV が大きい) を有し、電圧が起動から最高速度まで並列接続電動機 (全電圧電動機) に加えられることによるものである。起動時の粘着係数 (最大引張力と粘着重量の比) は 0.33~0.35 にも達する。したがって、この機関車の粘着引張力は非常に大きく動輪が空転し難いから、直流電動機の強大トルク (電動機引張力) を完全に発揮できる。それゆえ、整流器機関車の起動引張力は極めて強力である (14 図)。直流機関車の場合よりも約 1.5 倍だけ重い列車を起動加速させることができるし、同じ列車荷重に対しては直流機関車よりも少ない粘着重量、すなわち動軸数の



13 図 50 c/s 交流直接電動機機関車 (ED441) の引張特性
Fig. 13. Tractive effort characteristics of a-c direct operating locomotive.



14 図 50 c/s 整流器機関車 (ED451) の引張特性
Fig. 14. Tractive effort of rectifier locomotive.

少ない軽い機関車で間に合う。

高速性能を高めるには、直流機関車のような架線電圧降下による出力低下がないどころか、変圧器のタップを上げて電動機に過電圧を加え、あるいは弱め界磁を使用する。しかしこれだけでは直接電動機関車の高速性能には及ばないから、高速で高出力を得るために、連続定格出力の大きい電動機が要求される(20図)。

電動機の大出力化は高压直流の場合より比較的容易であるから、高速出力の大きい電動機をつければ(23図)、起動がすばらしい整流器機関車の性能はこれまで経験したあらゆる機関車より卓越したものとなる。各種機関車の特性および最高能力を、試作機関車について比較図示すれば、15図のとおりである。

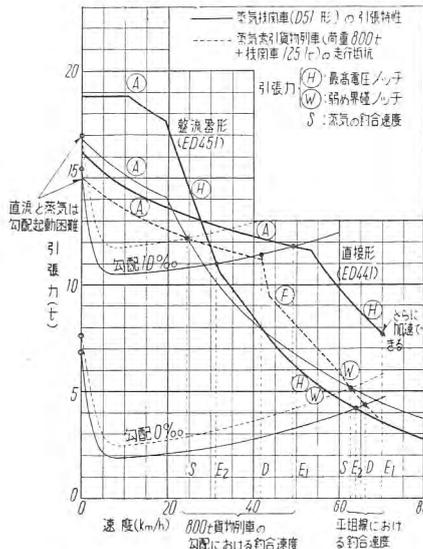
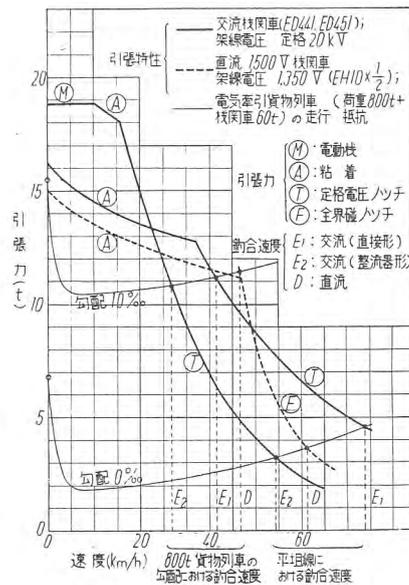
イ. 速度制御の自由性

交流機関車は、電圧制御による自由な速度制御によって、高速性能をさらに高めるばかりでなく、列車のあらゆる運転(高速、低速、経済運転)を有利にかつ安全に行う。

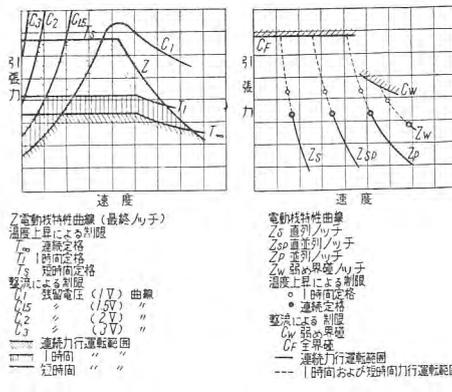
抵抗起動による直流機関車の連続力行速度は4つの線(直列、直並列、並列、弱め界磁のノッチに相当する電動機特性曲線)に限られる。これに対し交流機関車は16図に示すように、最終ノッチにおける電動機特性曲線、温度上昇の制限(連続、1時間、短時間)および整流の制限の3つの曲線に囲まれる面のなかで、ノッチ数だけの自由な連続力行速度が得られる。これが交流機関車の優れた特長である。17図は勾配の変化につれノッチを加減して最高速度で走り、到着時分を安全に短縮する一例を示す。

ウ. 定格出力

運転中、機関車の引張力は全速度範囲にわたって相当大きく変化するから、どの点を定格出力と見なすかは問題である。いわゆる定格出力は主として主電動機の熱的な温度上昇限度によって左右されるものであって、電動機の整流や機関車の粘着はもちろん、列車運転にとって大切な高速性能(電動機特性曲線の傾き)、起動引張力、速度制御の自由性、過電圧の限度、弱界磁の限度についてなら物語るものでないから、定格出力は運転中の機関車の働きを表わす



15図 各種機関車の能力比較
Fig. 15. Rated ability.



16図 速度制御の自由性
Fig. 16. Freedom of speed control.

ものではない。したがって定格出力によって速度制御の自由な交流機関車を比較することは意味がない。少くとも粘着を考慮に入れた引張特性曲線によって比較すべきである。

しかし熱的な定格でも無いでは困るから、一応つぎのように定める。運転中、最もよく使われる速度は最高速度の60~70%にあり、最終ノッチは常に使わないから、最高速度の70%の速度における熱的な出力(連続、1時間とも)をもって交流機関車の定格出力としている(このような定義に従えば近代的直流機関車の定格は最弱界磁による最高速度の40~50%の速度にある)。

9. 交流電車

機関車の出力が重量列車の高速力行に消費されるのに対して、都市近郊電車の出力は起動時に大きい加速度を出すためのものであって、この電車の機器として整流器と50c/s電動機のいずれをも選ぶことができる。

整流器電車 電車の有貨荷重面積をつぶさないで床下に整流器をおさめるには、小形の水冷却イグナイトロンが好ましい。この場合、出庫前に整流器を適当な温度に保つことは、電車においては相当の仕事量である。通信障害防止に欠くことのできないフィルタは塔載の余地がなさそうである。

直接電動電車 50c/s電動機は電車の高加速起動にはむしろ適して

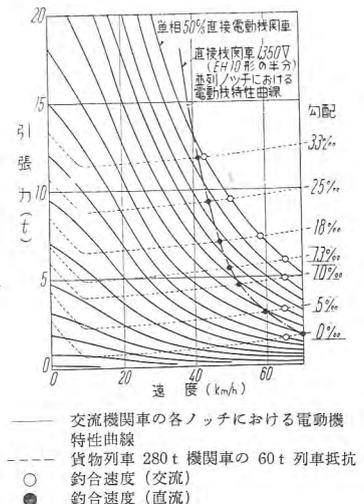
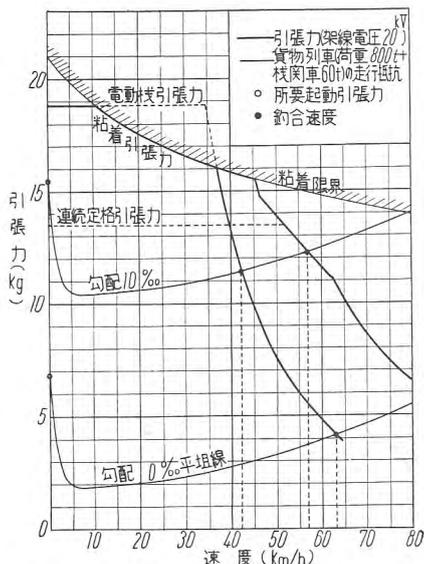
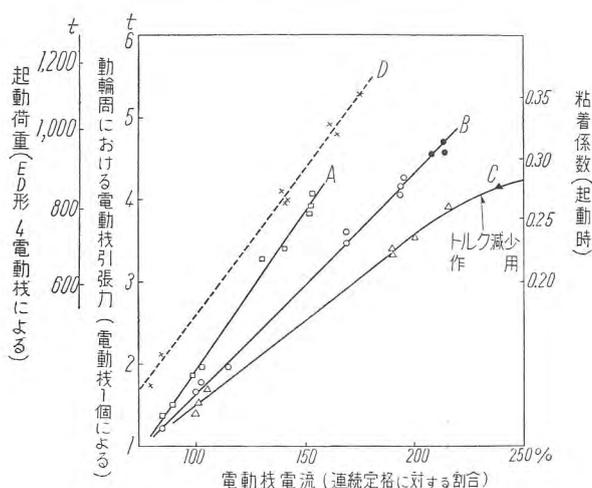


Fig. 17. High speed operation of a-c locomotive.



20 図 高出力電動機付 (連続 350 kW 以上) 整流器機関車の引張特性

Fig. 20. Traction characteristics of rectifier loco.



— 50 c/s 電動機 A, B: 弱界磁の方法 (日本式) による電動機
C: 低周波電動機の流れをくむ方法 (ヨーロッパ式) に近い
--- D: 電動機整流器機関車 (三菱)

22 図 電動機の起動特性

Fig. 22. Starting characteristics of motor.

6 表 幹線用機関車の動軸配置 (動軸数)

機関車種別	旅客用機関車		貨物用機関車	
	A	B	A	B
幹線	10	10	10	10
勾配 (%)	10	10	10	10
最高速度 (km/h)	120	110	75	75
最大引張荷重 (t)	700 (550)	600 (500)	1,200	1,000
直流機関車	BB-BB (8軸) または CC (6軸)	CC (6軸)	BB-BB (8軸)	CC (6軸)
小流機関車	CC (6軸)	BB (4軸)	CC (6軸)	CC (6軸)
直接電動形	CC (6軸)	BB (4軸)	CC (6軸)	CC (6軸)
整流器形	CC (6軸)	BB (4軸)	CC (6軸)	BB (4軸)

機関車の動軸重は 15 t とする。() 内荷重は常用荷重 (t)

転, 曲線路出入において乗心地が良い。機関車の振動は優秀客車なみに良好であった。

直接電動形 ED441 (21 図) 日立, 東洋電機および富士電機の試作 50 c/s 電動機 2 個を用いて性能試験を行った。荷重 120~180 t 牽引による走行試験の結果は所期の加速度 (0.3~0.4 km/h/s) が得られ, 電動機の整流



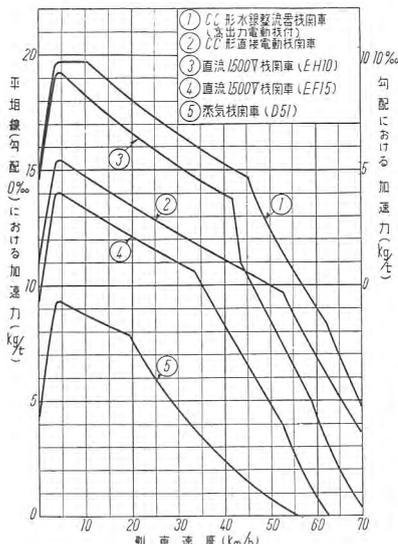
21 図 50 c/s 交流機関車 ED441 (直接電動形)

Fig. 21. ED441 50 cycle a-c loco.

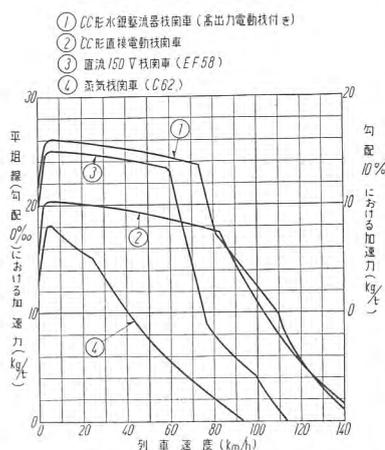
5 表 50 c/s 直接電動機関車の起動荷重 (貨物列車)

機関車動軸配置	試験	仙山線 (仙台-山形)		幹線	
		BB (ED441)	BB (ED441)	CC	CC
機関車重量 (t)		60	60	90	
電動機数	2	4	4	6	
勾配 (%)	25	25	33	10	10
最大起動可能荷重 (t)	210	420 (320)	330 (直流 280)	820	1,240 (1,000*)

() 内荷重は現行最大牽引荷重, * EH10 形による場合は 1,200 t



(a) 1,200 t 貨物列車牽引の場合



(b) 500 t 旅客列車牽引の場合

23 図 幹線用機関車の加速度曲線

Fig. 23. Acceleration curve of loco. used for main line.

火花は意外に少く問題にならなかった。25% 勾配において荷重 210 t (貨車 180 t+機関車死重 30 t) の繰返し起動に成功し, 整流子にはなんらの異常も認められなかった。これを幹線運転に換算すれば (5 表) 10% 勾配で BB 形は 820 t (13 図), CC 形は 1,240 t の起動が可能で, 直流機関車 EF 15 形より強力である。機関車の起動は整流器形と同じ苛酷な条件で行った。この場合の電動機の起動特性を示せば 22 図のとおりであって, 日本式弱界磁による起動力強化の効果が十分に現れている (15 図)。

幹線用交流機関車

わが国の将来を充分考慮した運転条件から要求される 50 c/s 交流機関車は, 以上の性能試験の結果に基けば, 6 表に示すとおりであって, 直流機関車よりひとまわり小さい (整流器形は仕業によっては直接形よりさらに小さい) 機関車でむしろ優れたサービスができることは注目すべきである。

ただし, この場合, 1 動軸当り連続定格出力を直接電動形は試作品と同じ 280 kW, 整流器形は 375 kW (試作品は 250 kW) とし, 直流機関車は現行どおり (約 220 kW) と考えた。

いまこれらの機関車の列車加速度および引張荷重, 釣合速度を比較すれば 23 図および 24 図, 機関車の熱容量

について試算した結果の一例を示せば 25 図のとおりであって、いずれも交流機関車が優れている。

イ. 通信線に対する誘導障害

単相交流電化の電気回路は、帰電流の大半がレールか

ら大地に漏洩する(26 図)ような 1 線接地の不平衡回路であるから、電車線に近接した通信線に、静電誘導(静電的に誘起される)と電磁誘導(電車線とレールを流れる電流の不平衡によって電磁的に誘起される)の 2 つの作用によって危険電圧と雑音が誘起される。

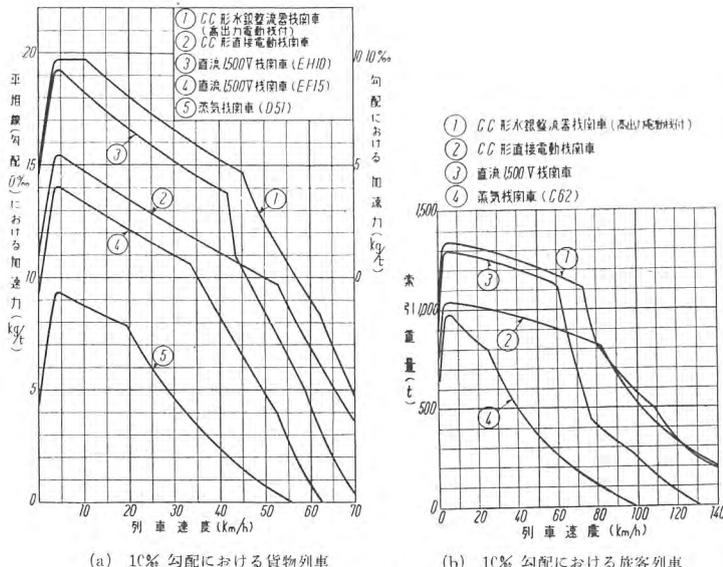
第 1 期試験(2~3 月)においては、20 kV 架空電車線(100 A 通電)が試験用架空裸通信線および地中ケーブル通信線に与える誘導の影響を試験した。その結果、大地導電率が良いと通信誘導障害が軽微であり、さらに誘導を人為的に軽減するには吸上変圧器(booster transformer)を適用して、大地漏洩電流を吸上げてやれば効果が大きいことが確認された。

第 2 期試験(9~10 月)においては、交流機関車を運転して、電々公社および国鉄の通信線に対する誘導の影響を試験した。その結果(7 表)、仙山線は大地導電率が非常によい(1.7×10^{-12} e.m.u.)ので、架空電車線に吸上変圧器(4 km 間隔)および負饋電線を設ければ、通信線への誘起電圧は最悪の場合でも国鉄裸通信線を地中ケーブル化すれば、他に支障がない。通信線への雑音は、国鉄の裸通信線を地中ケーブル化すれば、直接電動機関車は問題ないし、整流器機関車もフィルタを設ければ仙台一作並間の機関車 2 両運転も差支えない。

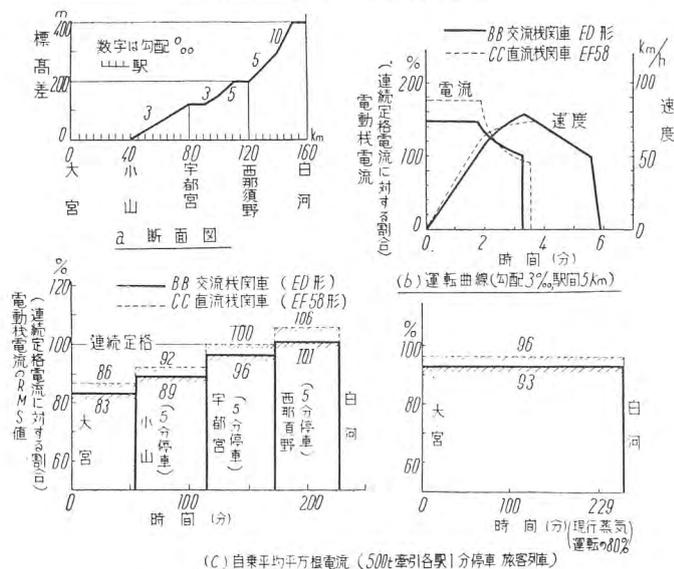
幹線交流電化の場合における通信誘導については、青森から熊本に至る幹線近傍の大地導電率が測定の結果極めて良好(おおむね 10^{-12} 以上)であったから、事故時の危険電圧に対しては吸上変圧器の飽和に注意し、雑音に対しては整流器機関車に適切なフィルタを設備すれば、国鉄の裸通信線を地中ケーブル化する以外にはたいして通信改修を要しないものと考えられる(7 表)。これによって、交流電化の経済性を大きく左右する通信障害の見通しが非常に明るくなった。

ウ. 給電設備

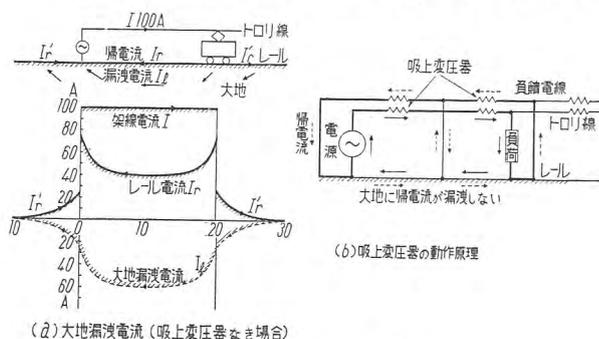
変圧所は屋外形とし、集中遠方制御する。変圧器の容量は複線区間 5,000 kVA、単線区間 3,500 kVA を単位とし、変電所間隔は 40~50 km と



24 図 引張荷重曲線
Fig. 24. Tractive load curve.



25 図 幹線用機関車の熱容量比較
Fig. 25. Comparison of thermal capacity of main line loco.



26 図 大地漏洩電流
Fig. 26. Ground leakage current.

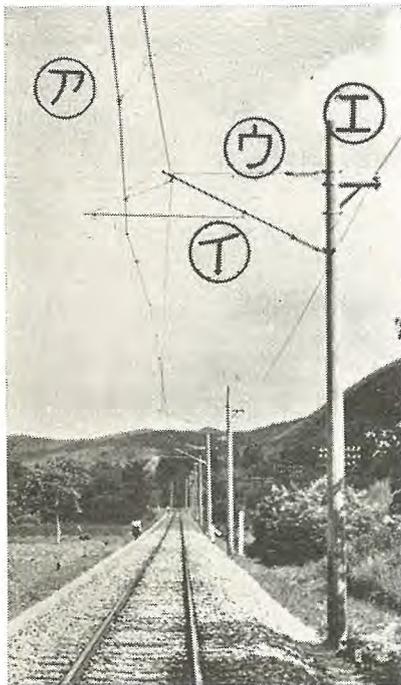
7 表 通信誘導障害

通信線の種別	誘起電圧 (電磁誘導による)		雑音電圧			
	事故電流が流れた場合 (V)	平常運転時 (V)	直接電動機運転時の最大値	整流器機関車運転時の最大値	整流器機関車運転時の最大値	
国鉄 ケーブル線	190	8.2	7.7	0.1 mV	0.1 mV	0.8 mV
	510	9.5(500)	9.5(500)	*15	30	70
電々 ケーブル線	130	5	3	0.16 mV	0.16 mV	0.38 mV
	240	5 (12.2)	6.3(12.4)	*0.6	0.8	2.6
				-70db	-70db	-70db

通信障害の制限値
誘起電圧(電磁誘導による危険電圧) 事故時 300V, 平常運転時 60 V.
雑音電圧(評価雑音) ケーブル 1 mV, 裸線 2.5 mV; 音声放送回線の雑音(無評価雑音) -55 db
機関車の負荷電流; 最大 50~80 A
誘起電圧の()内は静電誘導電圧(静電誘導の制限 300 V)
* の数字は本試験において制限値を超過した
* の数字は幹線運転において制限値を超えるおそれがある
* 機関車以外の原因(試験当日の電源波形の歪など)による雑音が大部分を占める

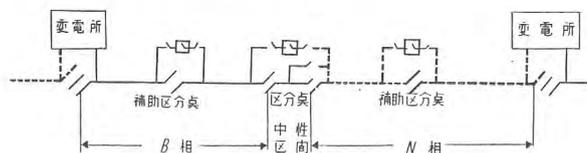
する。

交流電化特有の軽量架線については、3 様式（直線用振止付、直線用振止なし、曲線用）の傾斜カタナリ（27 図）を試験し、いずれも所期の成績をあげた。その結果、幹線の架空電車線路は、径間 60 m の垂直または傾斜カタナリとし、吊架線には 70 または 55 mm² 青銅燃線、電車線には 110 または 85 mm² 硬銅線、支持柱には可撓ブラケット付きコンクリート柱を用い、必要に応じてコンデンサを直列に挿入する構造が有利であることが確認された。



㊦ 20 kV 架空電車線
 ㊧ 可撓ブラケット
 ㊨ 20 kW 長幹碍子
 ㊩ 負饋電線

27 図 交流 20kV 傾斜カタナリ
 (仙山線試験区間)
 Fig. 27. A-C 20kV inclined catenary.



28 図 給電方式
 Fig. 28. Power feeder system.

車両の絶縁負担をできるだけ少くするため、架空電車線は車両に協調して絶縁レベルを決めた。すなわち、交流耐圧は車両 50 kV、電車線碍子 66 kV とし、加圧部分の最小対地間隔は車両 250 mm、電車線 300 mm とした。電車線の標準高さはレール面上 5,200mm (最低 4,450 mm) とし、建築限界および車両限界は直流の場合と同じにした。

幹線の給電方式としては、架空電車線を変電所およびその中間において区分し、これらの各セクションに 3 相送電線からスコット変圧器をとおして異なる相を給電する (28 図)。電圧降下は、直列コンデンサを挿入すれば、給電電圧 22 kV の場合に、変電所中間で最大負荷に対し 20 kV、最悪の場合 (1 変電所運転休止) でも 18 kV になるものと考えられている。

機関車の単相負荷が 3 相送電網に与える不平衡を測定した結果、変電所における電圧不平衡率は 0.4% (最大 0.5%) 程度であって、常時の許容限度 5% に比べて大きい余裕がある。人工故障時における電圧不平衡率は 6.7% であるが、この瞬時現象は電源にとって実用上ほとんど問題とならない。

エ. 信号および交直接続設備

50 c/s 電化に対する信号軌道回路方式として 83.3 c/s 式、直流単軌条式、直流コード式および交流コード式を試験した結果、その実用性を確認した。これらのうち、直流コード式は 6 km の軌道回路の構成が可能で、経済性が高いものと考えられる。

交流と直流機関車の相互乗入試験は、すでに直流電化されていた作並駅において、架空電車線を直流 1,500 V と交流 20 kV に切替える方法により実施中である。本切替設備は電気連動装置により信号軌道回路と遠方操作による電源切替スイッチより成る。機関車の進路が開通し、かつ架線電圧が正当である場合のみ、信号機および入替標識は進行を現示し、機関車はこれに案内されて前途に進入する日本独特の方法である。

オ. 安全性 (人工故障試験)

20 kV 架線をレール、電柱、道床および客車屋根に人工的に接地する試験を行った。この場合の事故電流はおおむね 600~1,000 A であって、これを 1/5~1/7 秒以内に確実に遮断した。交流は電弧遮断が本質的に容易なこと、架線電流が少いことからの理由から、事故電流の選択高速遮断が確実であり、50 c/s 電化は架線および車両の事故に対し絶対安全であることが確認された。

カ. 経済性

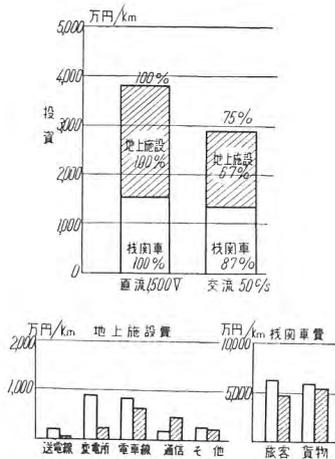
50 c/s 交流および直流 1,500 V 式による電気牽引効率はそれぞれ 76~81% および 73~76% であって (8 表) 交流が有利である。いま火力発電の熱効率 26%、送電効率 98% とすれば、火力電気による鉄道の列車索引 (動輪周における) 熱効率は 50 c/s 交流式が 19.5~20.5%、直流 1,500 V 式が 18.5~19.5% であって、熱エネルギーの有効利用においても 50 c/s 電化は有利である。(他の動力車の熱効率は蒸気機関車 4~5%、ディーゼル電気機関車 23~28%、ガス・タービン電気機関車 12~15%)。

投資の最も大きい軽減は、送電線と変電所が直流の僅か 20~30% ですみ、架空電車線も 60~80% になることにある。結局、地上施設費全体としては直流式の 60~70% (通信近代化の経費を含む) ですむ。機関車の新製費

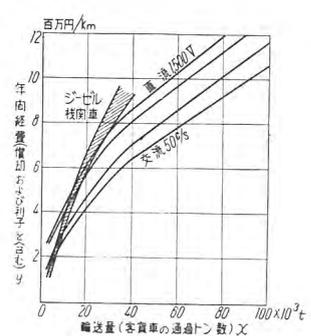
8 表 電気牽引効率

電化方式		単相交流 50 c/s, 20 kV	直 1,500 V 流
効 率	地上施設	95 (95.5)	85.5 (86.5)
	機関車	80 (85)	85 (88)
%	総 合	76 (81)	73 (76)

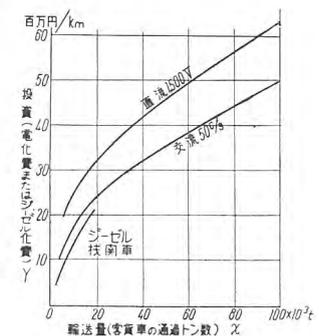
1. () 内はヨーロッパ (交流は 50 c/s, 25 kV; 直流は分布変電所) の実例
 2. 直流は電圧降下 10% の最良の場合



(a) 幹線（単線区間）の電化費



(b) 電化費と輸送量の関係



(c) 電気運転経費と輸送量の関係

29 図 交流、直流の電化費比較（1 km 当り）

Fig. 29. Comparison of electrification costs between a-c and d-c.

を直流の 80~90% とすれば、50 c/s 交流電化の全電化費は直流 1,500 V 電化に比べ、幹線 75% (29 図)、支線 65% という驚くべき低額ですみそうである。そのうえ、電化後の年間経費は、電化固定施設および機関車の保守費ならびにその償却費についてみれば、直流の 70~80% 程度になるものと思われる。まことに注目すべき節減である。

11. む す び

直流電化一本槍で交流電化に全く経験のないわが国において、直流から一足飛びに 50 c/s 交流に行くことは容易でないと思われたが、幾多の難関を克服して行われた試験の成果は 50 c/s 交流方式の優れた地位を明らか

にすることができた。試験の成功を決定的にしたものは 50 c/s 機関車の優れた性能である。1 年前までは 50 c/s に疑念をいだいていた人も今日はその優秀性を心から認めるほどすばらしい性能である。この性能こそは機関車の試作に挺身されたメーカーの卓越した技術と努力の結晶によって築かれたものであることを忘れてはならない。

生れたばかりの若い 50 c/s 技術はこれからの進歩こそ大いに期待すべきものがある。必ずや最良の鉄道電化方式は 50 c/s 方式になり、原子力によって開かれようとする新しいエネルギーの時代への鉄道動力の革命をなすものと信ずる。国内だけでなく、後進国鉄道の 50c/s 電化に対する海外進出にも明るい希望をもち、50 c/s 技術のさらに大きい発展を切に希望してむすびとしたい。

「ED451」イグナイトロン電気機関車

性能試験と特殊停止試験

国鉄鉄道技術研究所 佐藤恒徳*・田村文徳**

Performance Test of ED451 Ignitron Electric Locomotives

Railway Engineering Laboratory Tsunenori SATO・Buntoku TAMURA

On the Senzan line of the National Railways running tests were conducted with respect to the newly built ED 451 locomotive. Tractive effort was tested as well on 25% upgrade, revealing satisfactory performances of the novel design.

1. ま え が き

仙山線で実施した ED451 機関車の走行試験および 25% 上り勾配における引出試験の成績と機関車性能について記す。

この試験においてイグナイトロン機関車 (ED451) の性能を測定すると同時に、直接電動形交流機関車 (ED 441) との性能比較もこの試験の目的であるので 2 個モータ (No. 1, No. 2 モータ) で運転した。

注. 直接電動形交流機関車は 3 社がおのおの 2 個の交流整流子電動機を作製し、その 2 個で牽引試験を行い併せて 3 社のモータの比較を行った。ED451 もこ

れら交流モータ付機関車と性能比較をするために 2 個モータで運転した。

2. 試験要領

ア. 試験日程

試験日程、牽引荷重、試験種別および区間等を 1 表に示す。

イ. 試験列車運転時刻表

試験列車運転時刻表を 2 表に示す。

ウ. 試験列車の編成

試験列車の牽引荷重別編成を 3 表に示す。

エ. 試験要領

(1) 各牽引荷重に対し定格電圧運転 (30ノッチ) および過電圧弱め界磁運転 (35ノッチ) の試験を行う。

(2) 引出試験は試験位置に停止後機関車動輪に歯止めをかけ、全列車のブレーキを緩めて自動連結器が完全に引張状態になった状態で行う。

3. 性能

ア. 運転特性 2~5 図

(1) 2~3 図に見るとおり電動機電流は各荷重に対して大部分定格値を下回る値を示しており、また 4 表に示すとおり R.M.S. 電流はいずれも 550 A 以下でなお相当の余裕を残している。6~7 図参照。

(2) 4 図に示すパンタグラフ消費電力の駅付近における値 40 kW は補機およびイグナイトロン制御回路消費電力ならびに主変圧器損失の総和である。

1 表 試験日程

試験期日	牽引荷重	列車番号	試験種別	区 間
30-11-9	150 t	1053, 1055	一般走行	落合より熊ヶ根まで
30-11-10	180 t	1057	一般走行	落合より白沢まで
30-11-11	210 t	1057	引出試験	白沢熊ヶ根間

注. 1. 1053, 1055 列車はそれぞれ 30 ノッチ、35 ノッチで運転する。
2. 引出試験は白沢・熊ヶ根間 25% 勾配で行う。

2 表 試験列車運転時刻

列 車 駅 名	1053			1055			1057		
	発	着	着	発	着	着	発	着	着
陸前落合	9.06			10.48			12.36		
愛子		11. ³⁰			53			41	
		12. ³⁰			54			42	
陸前白沢		21		11.02. ³⁰			50. ³⁰		
		22		03. ³⁰			51. ³⁰		
熊ヶ根	9.28			11.10			13.30		

3 表 試験列車編成

荷重	編 成			←仙台方
150 t	マス34 (3両)	マヤ381	ED451	
180 t	マス34 (4両)	マヤ381	ED451	
210 t	マス34 (4両)	オロ36	マヤ381	ED451

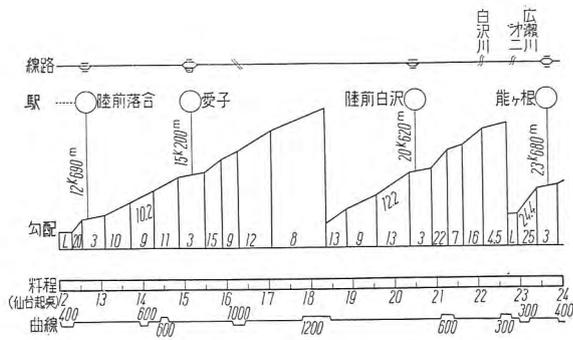
注. 1. マヤ 381 (鉄研所属車両試験車) 整備重量 46.5 t。
マス 34 (暖房車) 空車重量 32.2 t 缶水 3 m³ 木槽 7 m³。
オロ 36 (普通 2 等客車) 整備重量 34.0 t。
2. 荷重の調整は暖房車の水槽の水の加減による。

4 表 主電動機電流

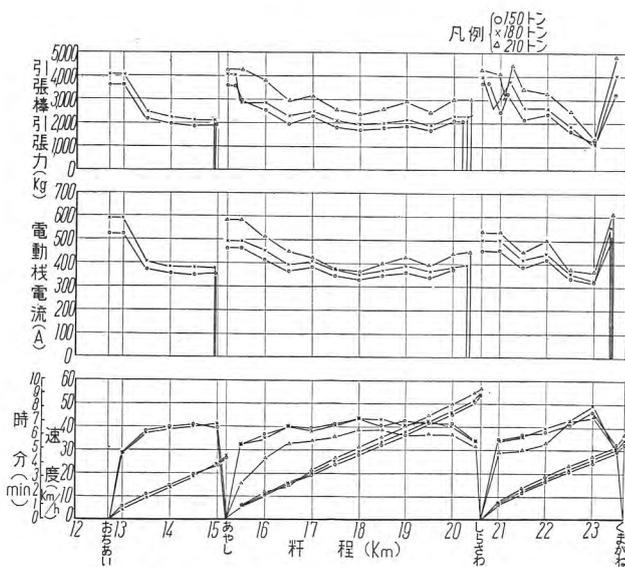
ノッチ 荷 重	30 ノ ッ チ		35 ノ ッ チ	
	R.M.S. (A)	力行平均 (A)	R.M.S. (A)	力行平均 (A)
150 t	394	412	462	505
180 t	433	448	509	547
210 t	466	478	518	563

現車試験で測定の結果、イグナイトロン制御回路消費電力は 9.4kW、補機消費能力は全負荷で 41.4kW、圧縮機休止中は 25.0kW であった。

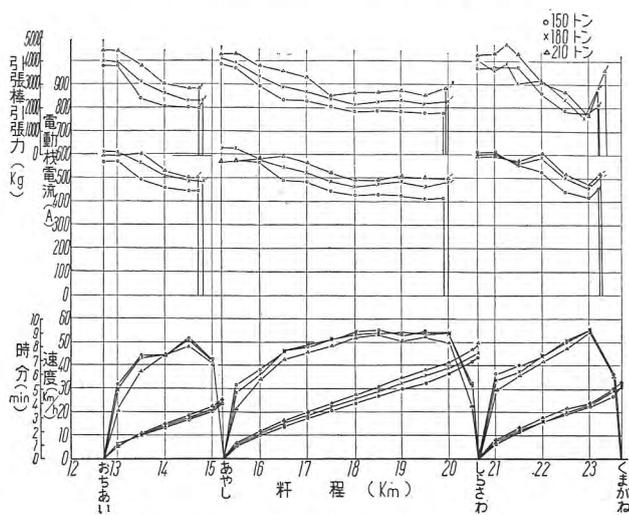
(3) 1 次力率は 30 ノッチ運転では、荷重の変化に



1 図 仙山線線路図
Fig. 1. Track of Senzan line.



2 図 ED451 運転特性 (30 ノッチ)
Fig. 2. Operating characteristics (at 30 notch)



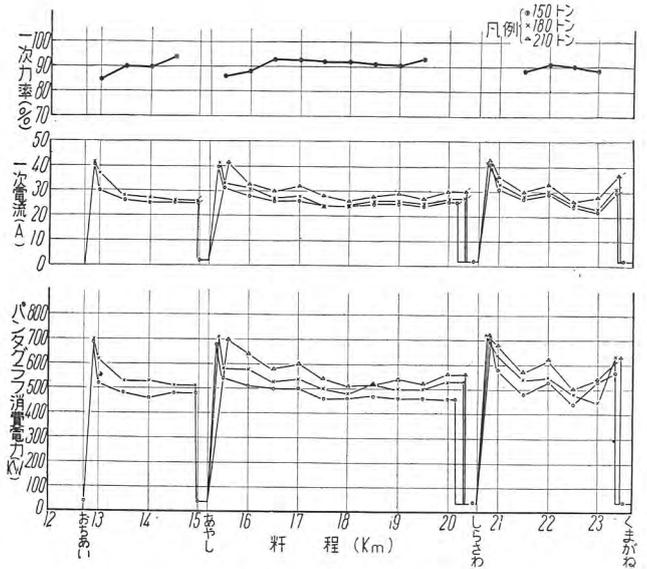
3 図 ED451 運転特性 (35 ノッチ)
Fig. 3. Operating characteristics (at 35 notch).

対しほとんど差異が認められず約 90% の高い値を示していた。また 35 ノッチ運転の場合も力行中の力率は良好である。

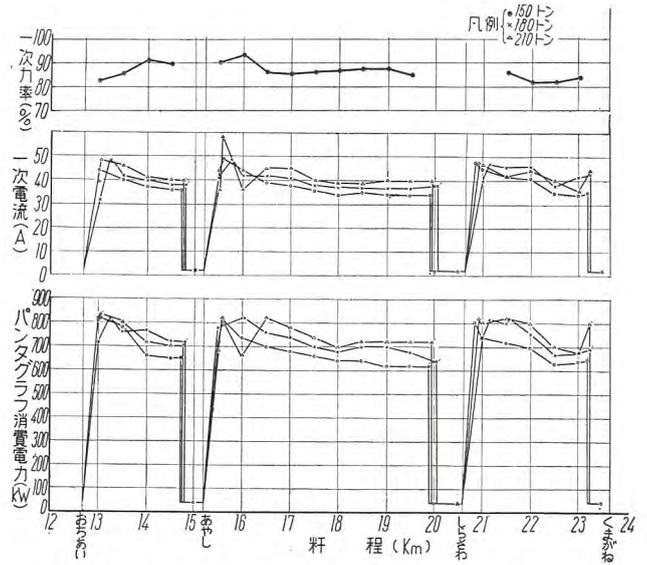
(4) 電車線電圧および電動機端子電圧を 5 表に掲げる。

イ. 勾配における均衡速度

各勾配における電動機電流と均衡速度との関係を 6 表



4 図 ED451 運転特性 (30 ノッチ)
Fig. 4. Operating characteristics (at 30 notch).



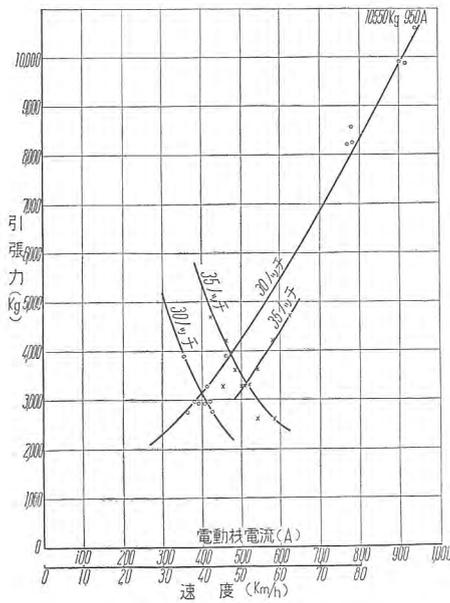
5 図 運転特性 (35 ノッチ)
Fig. 5. Operating characteristics (at 35 notch)

5 表 電圧 (電車線電圧, 電動機端子電圧)

	30 ノッチ			電動機端子電圧 (V)	35 ノッチ			電動機端子電圧 (V)
	電車線電圧 (kV)				電車線電圧 (kV)			
	最高	最低	平均		最高	最低	平均	
150 t	21.2	20.1	20.64	506	21.4	20.1	20.50	551
180 t	21.6	20.5	20.99	504	21.8	20.2	20.91	545
210 t	—	—	21.10	—	21.5	20.1	20.61	531

6表 均衡状態表

ノッチ	荷重 (t)	勾配 (%)	引張力 (kg)	速度 (km/h)	電動機		記事
					電流 (A)	端子電圧 (V)	
30	150	11	1,910	42.2	359	517	一部 600R 減速のみ
30	150	12	2,060	41.8	381	522	
30	180	9	2,220	40.6	388	513	
30	180	12	2,370	41.0	412	513	
30	210	12	2,990	37.8	460	—	
35	150	16	2,670	48.6	540	522	
35	150	9	1,850	58.5	541	532	
35	180	11	2,440	52.0	504	536	
35	180	11	2,440	45.0	502	542	
35	210	12	3,300	45.8	581	540	
35	210	16	3,580	42.6	626	532	



6 図 ED451 速度—引張力曲線
電動機電流—引張力曲線

Fig. 6. Speed-tractive force curve
traction motor current
tractive force curve.

に示す。これから速度・引張力曲線を求めた結果を図6に示す。

ウ. 引出試験

2 動軸の駆動による引出試験は予想以上の好成績を示した。(6 図 主電動機、電流牽引力線図参照)。

(1) 150 t 引出試験では牽引力が 8,350 kg で、起動 20 秒後に 0.12 km/h/s の加速度が得られ、主電動機電流は定格の 142% で、28% の粘着係数がらくに得られた。

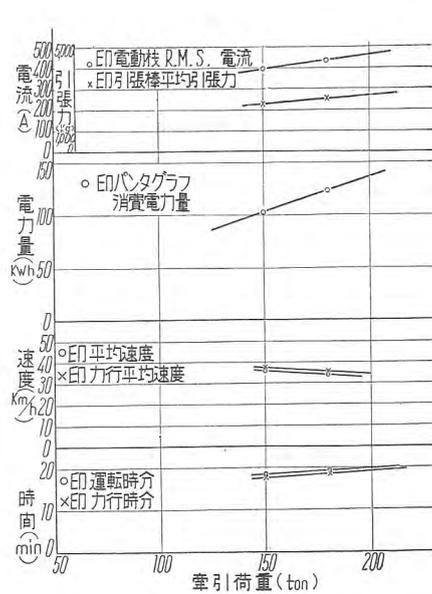
(2) 180 t の場合には牽引力が 9,900 kg で起動しこのときの主電動機電流は定格の 165% であったが、起動加速度は 0.11 km/h/s で粘着係数が 33% を示し、この機関車の性能に対する自信を深めた。

(3) 最後にもっとも現車試験で注目された牽引重量 210 t による引出試験では、起動しながら微小なる空転が断続的に認められた程度で、この機関車の永久並列による駆動方式の長所がいかに発揮され、急勾配における引出試験に大なる成功をおさめた。

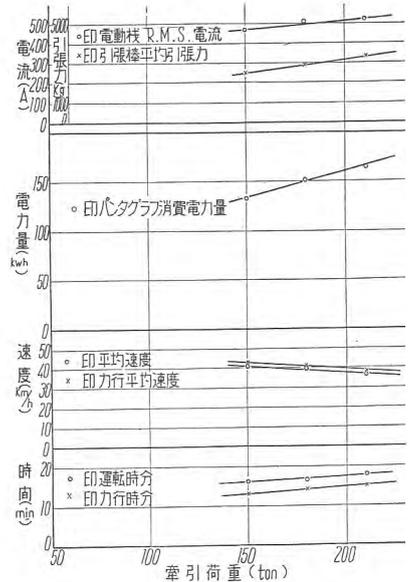
すなわち、このときの牽引力は 10,550 kg で粘着係数が 35% を示すにいたり、主電動機電流も定格の 173% 程度で、起動 10 秒後における加速度も、0.095 km/h/s という成果を収めることができたわけである。

したがって以上の試験結果から、この機関車の全動軸による最大牽引力は、粘着係数が 35% まで確実に期待できることから、21,000 kg は十分に発揮できるわけであり、いま、この性能をもって 10% 勾配における引出状態を 1,000 t の牽引重量について推察すると、0.1 km/h/s の加速度が得られて、らくに起動できるばかりでなく、主電動機の負荷状態も十分に余裕のある状態になるものと思われる。

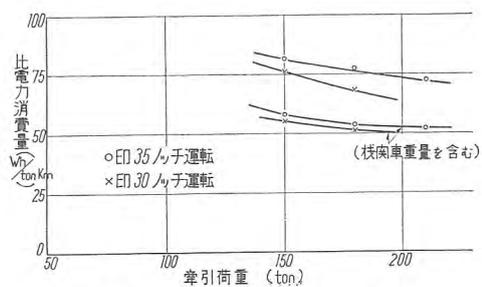
エ. 牽引荷重特性



7 図 ED451 30 ノッチ運転
Fig. 7. 30 notch operation.



8 図 ED451 35 ノッチ運転
Fig. 8. 35 notch operation.



9 図 ED451 比電力消費量
Fig. 9. Relative electric power consumption.

牽引荷重の変化に対する比較を 7, 8 図に示す。

オ. 比電力消費量

牽引荷重の種類が少く十分なデータが得られなかったが、9 図に示す。

全般的に高い値を示しているのは 1 図に示す通り試験区間は初めから終りまで上り勾配の連続であるため、直接電動形交流機関車の比電力消費量と比較すると、一様に低い値を示している。

4. ED 451 の特殊停止試験

この交流電気機関車は励磁電流に対してはパンタグラフがスイッチの役を代行しているので、パンタグラフを上げ下げして励磁電流の投入時および遮断時の現象を調査した。

試験場所はいろいろの事情から変電所から約 23 km 離れた作並機関区の車庫において行った。

機関車関係の条件は下記の通りに決めて行った。

- (1) パンタグラフは 1 ケのみ使用する。
- (2) 主変圧器 2 次回路は開放しておく。
- (3) 補機は接続しない。
- (4) 避雷器は接続状態とする。
- (5) 低圧側接地継電器の接点は短絡して中性点を接地する。
- (6) パンタグラフ圧力は規定値に保持する。
- (7) 圧搾空気圧力は規定値に保持する。

架線条件としてはパンタグラフ折畳位置より電車線迄の高さを次のように変えた。

- (1) 励磁電流投入時
この場合は 1,260 mm の 1 種類のみ。
- (2) 励磁電流遮断時
この場合は電弧が長く伸びるので隧道内での操作を考慮して 1260, 400, 300 mm の 3 種類について行う。

大気の状態は車庫内で無風状態で行う。

調査結果の概要

パンタグラフが上昇して電車線に接触して励磁電流が流れ始める時は小さい火花が認められるがこの時間は非

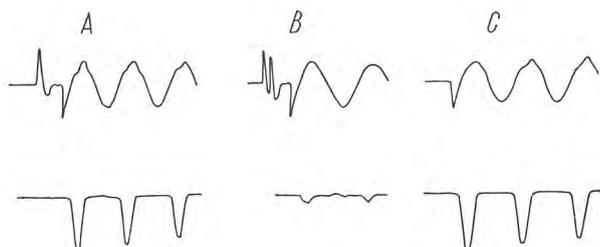
7 表 励磁電流投入時の主変圧器 2 次側異常電圧比と 1 次 rush current

回	2ry V	1ry cm
1	1.27倍	1.9A
2	1.72	36
3	1.62	17
4	1.62	12.5
5	1.47	16
6	1.52	1
7	1.67	4.7
8	1.67	14.8
9	1.62	4.7
10	1.60	32
11	1.7	37
12	1.67	32.5
13	1.58	28

(注) 電車線高さはパンタグラフ折畳み位置より電車線迄の距離をいう。

8 表 励磁電流遮断時の主変圧器 2 次側電圧比と遮断時間

電車線高さ	回	2ry V	遮断時間
1,260 mm	1	一倍	0.688S
	2	1.42	0.692
	3	1.6	0.63
	4	—	0.452
	5	1.17	0.57
	6	1.43	0.668
	7	—	失
	8	1.25	0.65
	9	1.40	0.608
	10	—	0.65
	11	1.5	0.666
	12	1.4	0.62
	13	1.27	0.622
400	1	1.42	0.604
	2	—	0.648
	3	1.17	失
	4	1.42	”
	5	1.33	”
300	1	1.42	0.6
	2	1.37	0.66
	3	1.08	0.604
	4	1.54	0.686
	5	1.54	0.626
	6	1.25	0.656
	7	1.42	0.64



10 図 投入時における 2 次側異常電圧 (上段) 1 次側 rush current (下段)

Fig. 10. Secondary side abnormal voltage at the closing (upper one), Primary side rush current (lower side.)



11 図 遮断時における 2 次側の異常電圧

Fig. 11. Abnormal current on the secondary side at the interruption.

常に短くまた主変圧器の 1 次側には正規電圧より大きい電圧は発生しないが、2 次側 (電線番号 516) には短時間ではあるが 13 回の測定中毎回 1.27~1.72 倍の電圧が発生している。(7 表および 10 図参照)

励磁電流の流れ始める時の rush current は思いのほか小さく最大 37A であるが、減衰の時定数は相当に大きい。

パンタグラフを降下させて励磁電流を切る時は主変圧器 1 次側には正規電圧より大きい電圧は発生しないが、2 次側には 1.17~1.54 倍の電圧が発生している。(8 表および 11 図参照) ただし、この異常電圧の発生は測定回数 13 回中 9 回で、励磁電流投入時に比し頻度は少ない。(注一以上は電車線高さがパンタグラフ折畳み高さより 1,260mm 高い時について比較した割合であって、600mm, 300mm の場合には毎回 1.33 倍前後の異常電圧を発生している。)

次にパンタグラフが降下し始めて電流が消える迄の時間は多少の例外はあるが電車線の高さにかかわらず 0.6~0.7 s の範囲にある。一方パンタグラフの降下完了迄の時間は、400 mm の時に 0.75 s, 300 mm の時に 0.68 s 程度を要するので、300 mm という値はパンタグラフで励磁電流を遮断し得る最小限度の値のように考えられる。したがって 300 mm という悪条件の場所で励磁電流を切らなければならない時には、風が吹いていれば切れ易いがそうでない時には走行中にパンタグラフを引き下げて切るという注意が必要になってくるであろう。

付 記

- (1) 電気機関車の走行中離線により異常電圧が発生するや否やを調査したが筆者の測定中には全く異常電圧を認めなかった。
- (2) 電気機関車の力行中変電所で遮断および再開路を行った場合についてはなお充分調査しなければならない問題であるから今回は割愛する。

「ED451」イグナイトロン電気機関車を 負荷とせる交流変電所の諸特性

国鉄鉄道技術研究所電力機械研究室 林 正 己*

Characteristics of A-C Substation for the Operation of Ignitron Electric Locomotive

Railway Engineering Laboratory Masami HAYASHI

With the operation of the ED 451 ignitron locomotive on the Senzan line—as a trial of a-c electrification, tests were conducted at North Sendai substation to have the measurements of various electric characteristics by means of oscillographs. V.H.F. radio communication was made use of between the running loco and the substation. Thus very extensive tests were available on the novel features.

1. ま え が き

仙山線交流電化の一部としてイグナイトロン機関車（三菱電機製 ED 451）につき電力特性を北仙台変電所において測定したのでその結果につき報告する。

この試験においては北仙台変電所ならびに車両上にオシロを装置し 20kV 電圧、電流、電力、力率等の瞬時値を測定し、ノッチアップ、ノッチダウン、走行、牽出時の様相を観測した。なお変電所との組合せ試験として走行中の機関車と変電所とを短波無線（V.H.F.）により連絡同期し走行中適当な時期に車両上より変電所遮断器を遮断、0.4秒後再開路せしめる試験も併せ行った。これらの試験によりイグナイトロンより発生する高調波の程度も或る程度明らかになった。

2. 試験期日および種別

試験日程、試験種別、測定箇所等を1表に示す。

3. 電源系統

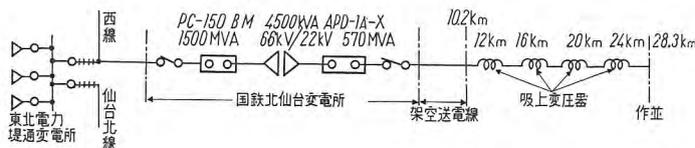
東北電力仙台変電所 60kV 母線より川内線、川内変電所を経て西線、提通入口より T ブランチして国鉄北仙台変電所に至る。

北仙台変電所においては東芝製 SPC-150 BM, 60kV 用交流遮断器を経て 4,500 kVA 3相主変圧器に至り、

1表 試験種別

日 程	種 別	変電所測定	車 両 測 定
11月9日	150t 走行試験	○	
11月10日	180t 走行試験	○	○
11月11日	210t 牽引試験	○	○
11月13日	走行中変電所再開路試験	○	○

20kV 単相に変圧せられ東芝製 APD-1A-X 20kV 交流遮断器 (A.B.C.B), 断路器を経て架空送電線により 20kV 単相として送電し仙台起点 10.2km の地点にて電車線に饋電し作並に至る。なお饋電区間中には 4km 置きに 4 個の吸上変圧器が設備されている。これらを 1 図に示す。



1 図 給電系統図

Fig. 1. Power feeding system.

4. 電流、電力、力率、インピーダンス特性

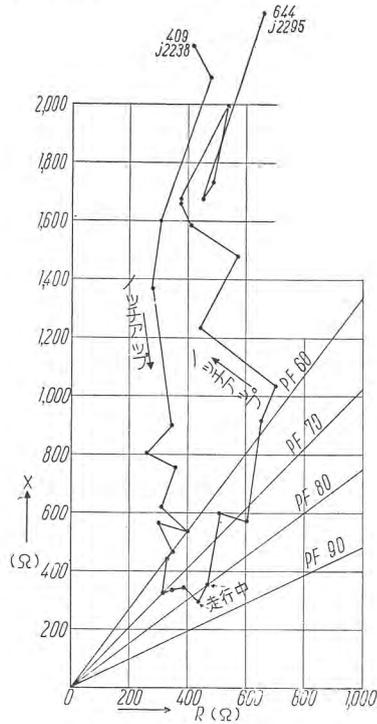
変電所、車両に六素子電磁オシロを設置しそれぞれの電圧、電流、電力を主として 20kV 側につき測定したのであるが、電流値が 20A 以上 (210t 走行試験では起動後約 10秒) に増大すると電流中の高調波含有量も増大し電力波形に歪を生ずる。各試験時のオシログラムは数 m に及ぶ長い記録でこの紙上に掲げることにはできないが代表的な例として 210t 走行試験時のオシログラム記録整理値を 2表に示す。またノッチアップ、走行、ノッチダウン時の変電所から見たインピーダンスを 2 図に示す。この結果によれば

(1) ノッチ off 時約 30~40kW 消費しているがこれは補機および主変圧器無負荷損失の総和と思われる。

(2) 機関車のノッチアップ時に変電所、車両共直流分が認められることもあるが、これはノッチアップ瞬時の電圧位相によるものと思われる。直流分の値は発生

機会によって異なるが 210 t 牽引の走行試験では 4~5 A 程度で約 4~5 c/s で減衰している。

(3) 運転電流中の高調波分は各ノッチの階段により交互に位相が異なる。したがってロングカメラで測定した



2 図 整流器型機関車走行試験牽引負荷 210 t

Fig. 2. Tracting load at the running test of the loco.

オシログラムでは同じ実効値の電流でも含有する高調波の位相によって振幅に差異を生ずるため 2 表中の電流値は多少精度を欠くと思われる。

(4) ノッチダウンの過程において 2 表に示す如く低ノッチ付近では電流、電力の変化が不規則に増加しているノッチもある。これは高調波位相の不規則な転位のため波形振幅が増大しているものと思われる。

電流波形には第 3 高調波 24.1%, 基本波よりの遅れ 18°, 第 5 高調波 12.2%, 基本波よりの遅れ 117° になっている。電圧と電流の基本波間の位相差は A の場合 34°, B の場合 34° を示している。第 3 高調波の位相は A, B とも最高ノッチ付近の場合の測定結果であって、ノッチが 1 段進む毎に高調波の位相は変位している。

6. 牽出試験について

牽出試験結果の代表的な例として 210 t 牽出の車両のオシログラムを 4 図に示す。縮小した写真であるので細い現象は不明瞭であるがノッチ増加に従って電流増加、直流分の発生、各ノッチによる電流波形の変化の様相、機関車電動機電流増加の現象が認められる。車両が起動し低速加速中に主電動機電流 870 A が 7~8 c/s 間に減少して 550 A 程度になり直ちにまた増加して 7~8 c/s 間に 850 A 程度に復帰している現象が見られる。これは前輪のスリップと思われるが今後さらに検討したい。

7. 再閉路試験について

ア. 突進電流

再閉路後の突進電流は投入の機会によって異なるが、14 回の試験の内で最高値は 180 A であった。

イ. 残留電圧

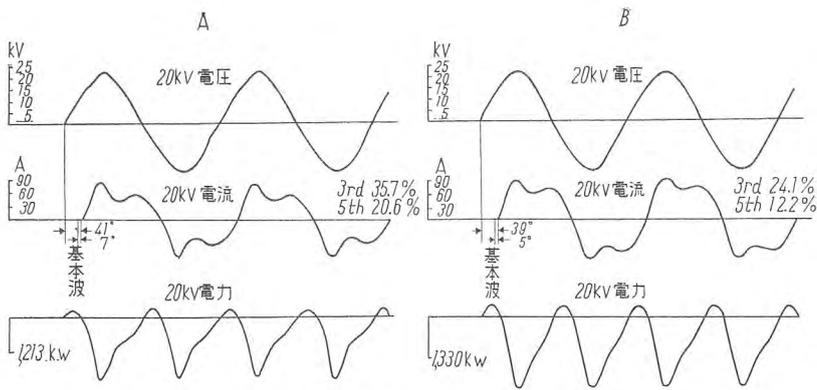
今回の試験において MR 型機関車では各回とも残留電圧が認められ、短い場合には遮断後約 5 c/s, 長い場合には再閉路されるまで続いている。一例を挙げれば試 9

5. 高調波分について

変電所において測定した電圧、電流波形を 3 図に示す。A, B 共に最高ノッチ付近で測定したものであるが走行の場所、時刻がちがうので電流、電力共多少の差がある。波形分析の結果、A の電流波形には第 3 高調波 35.7%, 基本波よりの遅れ 30°, 第 5 高調波 20.6%, 基本波よりの遅れ 68° となっており、B の

2 表 整流器型機関車走行試験オシログラム記録牽引負荷 210 t 昭和 30 年 11 月 11 日 第 1 運行

時刻	ノッチ	変電所 20 kV 側							車両		備考	
		電圧	電流	皮相電力	電力	インピーダンス	力率	R	jX	電圧		電流
分 秒		(kV)	(A)	(kVA)	(kW)	1Z1Ω		(Ω)	(Ω)	(kV)	(A)	
1.0	0	21.7	7.9	207	37	2275	0.18	409	2238	21.05	4.1	
2.0	1	"	9.2	219	49	2150	0.22	473	2097	20.80	4.9	
5.5	↑	21.8	12.6	292	55	1628	0.19	309	1598	20.2	9.1	
6.5	↑	21.6	18.5	334	65	1397	0.2	279	1369	19.9	14.1	
11.7	↑	21.5	19.5	480	172	963	0.36	347	898	20.3	15.7	
15.4	↑	21.3	25.6	538	166	843	0.31	261	802	20.1	20.6	
18.8	↑	"	22.2	542	234	837	0.43	360	756	20.4	17.4	
27.6	↑	21.6	29.0	678	308	688	0.45	310	614	20.6	26.1	
35.1	↑	22.3	32.8	745	450	668	0.6	401	534	21.7	28.5	
42.1	↑	22.2	34.8	770	364	640	0.47	301	565	21.4	29.4	
49.2	↑	22.4	41.0	860	516	583	0.6	350	466	21.8	35.0	
58.5	↑	"	39.0	910	542	551	"	331	441	"	35.3	
1分 5.7	↑	"	50.7	1110	775	452	0.7	316	323	21.9	45.6	
1分 12.0	↑	22.6	49.0	1055	756	484	0.72	348	336	"	43.3	
32.0	↑	"	45.4	965	720	519	0.75	389	343	22.05	41.5	
2分 2.0	↑	21.8	43.3	900	755	528	0.83	438	294	22.3	42.2	この間最高ノッチで力行
9分 32.0	↑	22.4	40.5	850	687	590	0.80	472	354	21.9	35.6	
33.0	↑	22.2	27.0	628	407	785	0.65	510	597	21.5	23.1	
33.4	↑	"	25.9	592	431	833	0.73	608	569	22.2	20.6	
33.9	↑	22.3	20.6	443	258	1123	0.58	651	915	21.8	16.2	
34.1	↑	22.2	16.4	394	222	1251	0.56	701	1036	"	12.4	
34.4	↑	22.0	18.0	370	123	1308	0.34	445	1230	21.6	"	
34.6	↑	22.1	10.6	308	111	1586	0.36	571	1480	21.7	6.0	
34.8	↑	22.0	14.3	296	74	1635	0.25	409	1583	21.6	8.8	
35.0	↑	22.1	16.4	284	61.8	1720	0.22	378	1678	21.45	11.2	
35.1	↑	22.0	13.7	"	"	1704	"	375	1662	21.4	7.7	
35.4	↑	"	10.8	234	"	2068	0.26	538	1997	21.45	5.0	ノッチダウン中であるが電流の増減あり、波形には変化なし
35.7	↑	22.1	13.0	271	74	1802	0.27	487	1735	21.5	5.6	
35.8	↑	22.2	15.8	284	"	1735	0.26	451	1675	21.4	5.5	
36.0	↑	22.0	13.0	203	55.5	2384	0.27	644	2295	"	8.0	
36.2	↑	"	9.5	154	30.8	3143	0.2	629	3080	"	4.1	



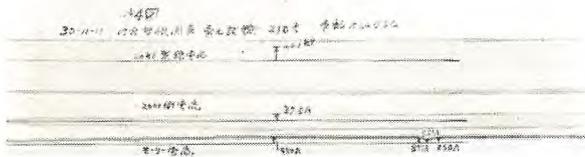
3 図 整流器型機関車電圧電流波形 (変電所における測定)
昭和 30.11.11 走行試験 210 t

Fig. 3. Voltage and current wave form of the loco.

機関車の電動機電流は残留電圧がある場合には、再閉路後約 2 c/s 目位より負荷をとり始め、6 c/s 目位で定常値に達する。残留電圧がない場合には電動機電流は水銀整流器が直ちに点弧しないためかオシログラムには変圧器の励磁電流のみが認められ、定常値に達するまでにはいささか時間的遅れがあるのでオシロ上では電動機電流は認められなかった。なお残留電圧発生の原因は、機関車の補機の残留磁気によるものと思われるがなお検討したい。

ウ. 高周波振動

架線電流は遮断器の投入および遮断に伴って高周波振動が認められる。変電所においては遮断時には振動が認められず、投入の場合だけ振動する。車両においては逆に投入の場合は振動が認められず、遮断の場合に認められる。この振動は約 1,000 c/s である。これは架線の静電容量による影響と思われるが、このため変電所および車両の過渡期における同時刻の電流波形が異なる原因とも思われる。



4 図 MR 型機関車牽出試験 210 t 車両オシログラム

Fig. 4. Tractive effort test of MR type loco.

では遮断直後において約 10,600 V であり遮断後約 5 c/s で消滅している。そのさい周波数は 30.6 c/s に低下している。つぎに試 6 では電圧は遮断直後と再閉路直前にはそれぞれ約 14,000 V と 6,200 V であった。電圧の減少に伴って周波数も変化し再閉路直前には 37.3 c/s になっている。

8. む す び

膨大な試験記録であるので検討すべき幾多の点を残しているが、各試験について代表的な結果を報告した。

電力関係として整流器型機関車を負荷とする場合 (1) 30%程度も含有する第 3 高調波電流の回路、機器、継電器に及ぼす影響、(2) 車両インピーダンス特性と変電所保護方式の問題、(3) 再閉路の場合、車両機器と変電所機器の特性の協調、リクローズする時間の問題、等について今後さらに研究しなければならない。

「ED451」イグナイトロン電気機関車の 通信誘導障害とイグナイトロンの運転特性

国鉄鉄道技術研究所電力機械研究室 塩 見 幸 三*

Inductive Disturbance to Communication by ED451 Ignitron Electric Locomotive and Operating Characteristics of Ignitron

Railway Engineering Laboratory Kozo SHIOMI

Induction disturbance to communication lines along the track accompanied by the a-c electrification of railway is caused by induced voltage and current of the same cycle with those applied on the trolley line. It is, in general, roughly divided into two kinds; the one is an induced voltage of commercial frequency appeared between the communication line and the ground, and the other is an induced voltage of communication frequency between the communication line. Both are injurious and need proper cares for prevention.

1. ま え が き

今回行われた ED451 の実用試験において、通信線に対する誘導障害と、水銀整流器の安全運転について試験を行った。これらの試験に関する詳細な報告は別途国鉄部内で計画されているが、ここには取敢えずその概要についてのべることにする。

2. 交流電化に伴う通信の障害について

交流電化に伴う通信の障害は、電車線に加えられた電圧および電車線に流れる電流によって、鉄道沿線に布設された通信線に同一周波数の誘導電圧および電流を生ずるために起るもので、その周波数に応じて一般に2種類に大別される。その1つは通信線と大地間に現われる商用周波数の誘導電圧で、他は通信線の線間に表われる通信周波数の誘導電圧である。

前者は非常に高い対地電圧を生じ、通信機器または通信ケーブルの絶縁破壊事故、その他の障害になり、さらには通信保守者および取扱者等に危険を与えるからこれを一般に危険電圧という。後者は電圧は低いが通信回線の雑音として通信の品質を悪くし、甚だしい場合には通信を不能にするもので、これを雑音電圧という。

これら危険電圧および雑音電圧の発生はその原因によって、電車線に加圧される電圧によって静電的に誘導する静電誘導と、電車線を流れる電流によって電磁的に誘導する電磁誘導と分けられる。

ア. 静電誘導

電車線路（メッセンジャー、トロリー線、ハンガー等を含む）に電圧を加えると、周囲に電界を生ずるが、これは電車線の構造および周囲の地勢ならびに構造物によって定まり、この電界は周囲が平坦で金属物体のないと

きは簡単に計算で求められる。通常 20 kV のトロリー線に平行して絶縁された架空裸線はその離隔距離が 10 m 程度ならば 1,000 V 以上の電圧を誘導する。すると電話器に取付けられた直流 300 V の放電電圧の避雷器は放電し続けるし、またこの線路の平行距離が 10 km 以上もあれば、手をふれるとその放電電流によって人体に危険を及ぼす恐れがある。しかし離隔が大になると、この値は急激に減少し 40 m も離れば誘導電圧は 150 V 程度となり、危険はなくなる。

このような通信線の危険電圧は排流線輪または排流中継線輪を使用すると、容易に $\frac{1}{300} \sim \frac{1}{1,000}$ に減少するしまた裸線をケーブルにかえて、鉛被を接地すれば問題は完全に解消する。このようなケーブル化による静電誘導の除去は雑音電圧についてもあてはまり、電車線に近接する通信線ではもっとも有効な対策である。

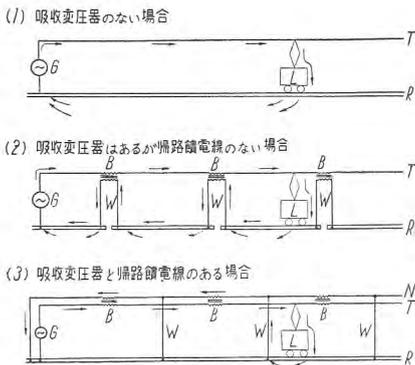
イ. 電磁誘導

静電誘導に反して電車の負荷電流による電磁誘導は影響する要素が多く、計算も複雑であるが、次の公式が一般に用いられる。

$$V = \omega M I \cdot k_r \cdot k_c \cdot k_m \dots\dots\dots(1)$$

- ω : 電車線電流の角周波数
- M : 電車線と通信線との単位長当りの相互インダクタンス
- l : 平行距離
- I : 電 流
- k_r : 帰路電流による補償を考慮した係数
- k_c : 通信線が金属ケース、ケーブル内にあるときのみ用いる係数
- k_m : 近接の導体に流れる誘導電流の補償を考慮した係数

* 技師



- G. 電源
- B. 吸上変圧器
- T. トロリー線
- R. 軌条
- N. 負饋電線
- W. 吸上線

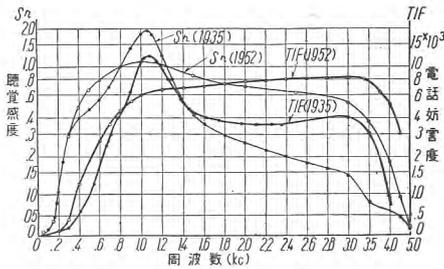
1 図 吸上変圧器の原理

Fig. 1. Principle of booster transformer.

ここで相互インダクタンス M は非常に複雑な常数で、その値は起誘導線と被誘導線との間の距離 a 、大地の導電率 σ および電流の角周波数 ω に関係し、 $M=f(a\sqrt{\sigma\omega})$ の形で現わされる。この函数形は多くの人々によって計算されたが、その中 Carson および Pollaczek 両氏の発表した公式がもっともよく実測に一致するので、これが C.C.I.F. (国際電話諮問委員会) で採択されている。 M がこのような函数であるので、(1) で表わされる e は離隔距離が大になっても余り減少せず離隔距離が 10 m から 100 m になっても、1/2 程度にしかならない。また e は ω に比例するように見えるが、実際にはそうとはならない。

次に係数 k_r は軌条を流れる電流によって定まるので軌条のインピーダンスおよび大地導電率に関係してくるが、50 c/s の場合には、0.65~0.45 程度である。このような帰路電流による軽減効果を向上させるのに用いるのが吸上変圧器 (Booster) で、1 図に示すように、機関車に流れる電車線電流と機関車からの帰路電流をできるだけ接近させて通るようにし、帰路電流が大地の深部を通らないようにしたものである。(a) の場合は帰路電流は電車線電流に余り近ずきえないから、(b) のように電車線に近く負饋電線を張った方が軽減効果は大となる。(b) の場合、機関車が吸上線の位置にあるときは軽減効果が最大で、吸上変圧器の位置にあるときには帰路電流が軌条を通して帰る距離が最大となるので、軽減効果が最小である。

またこの現象と全く同様な理論で、もしケーブルの両端を接地すると、大地に漏洩した電流が鉛被に集まって流れるようになり、その流れる方向が電車線電流と反対方向であるから、実質的に遮蔽効果を生じる、この遮蔽係数 k_c は鉛被の抵抗を R 、その自己インダクタンスを



2 図 聴覚感度 (S_n) 曲線と電話妨害度 (TIF) 曲線

Fig. 2. Audible sensitiveness (S_n) curve and telephone influence factor (TIF) curve.

L とすれば

$$k_c \doteq \frac{R}{R+j\omega L} \dots\dots\dots(2)$$

である。したがって $R \ll \omega L$ のときには (1) で表わされる誘導電圧 e は ω にほとんど関係せず、ほぼ電車電流に比例する。

ウ. 危険電圧と雑音電圧; 聴覚感度と電話妨害度

人体および機器に損傷を与える程度は主として誘導電圧の実効値によってきまるので、危険電圧は実効値で示される。それに対して

雑音電圧は人間の耳および電話受話器の感度特性によってきまるもので、C.C.I.F. によって制定された 3 号 (旧型) 受話器に対する 1935 年のものと、4 号 (新型) 受話器に対する 1952 年のものがある。2 図はその特性曲線で、これを聴覚感度 (S_n) 曲線といい、この特性を自蔵した増幅器を測音 3 号および測音 4 号雑音電圧測定器という。多くの成分をもった雑音ではこの特性の異なった測定器で測定しても、10% 程度の指示の差しかない。

ケーブルでは (1), (2) で示されるように、誘導結合量がほぼ ω に無関係であるから、角周波数 ω_n の電流 I_n によって誘起する雑音電圧 e_n は

$$e_n = S_n V_n \propto S_n I_n \dots\dots\dots(3)$$

であるが、裸線では結合量が $\omega_n M_n$ (M_n は ω_n に関係する) に比例するので

$$e_n = S_n V_n \propto \omega_n S_n M_n I_n \dots\dots\dots(4)$$

である。そこで $\omega_n S_n$ に M_n を考慮した常数を求め、これを電話妨害度 (Telephone Influence Factor 略称 TIF) というが、この値も 2 図に並記してある。

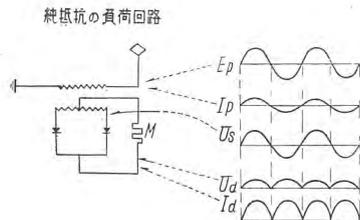
以上のべたように通信線は 2 種類の原因を異にする誘導をうけるわけであるが C.C.I.F. では危険電圧に対して故障時 430 V (実効値) 以下、常時 60 V (実効値) 以下、雑音電圧に対しては線間 2.5m V 以下であるようにと推奨している。そうすると国鉄の通信線の場合には危険電圧の面からいっても、雑音電圧の面からいっても裸線の使用は絶望で、埋設ケーブルを使用する必要がある。接地ケーブルでは静電誘導は完全に除去されるが電磁誘導は一部残るので、線路に近く埋設されているケーブルでも遮蔽係数の高い特殊遮蔽ケーブルを用いるが、吸上変圧器を設ける必要がある。

また鉄道線路からかなり離れた電々公社の線に対しては主として電磁誘導による誘導を考慮すればよく、とくに線路に接近したり、横断したりする場合にのみ裸線のうける静電誘導をさらに考慮すればよい。

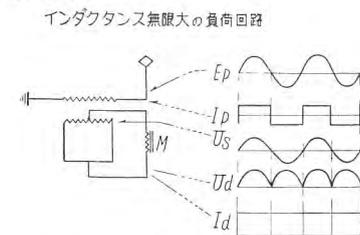
3. 整流器形電気車の誘導障害

50 c/s 交流電化に際して整流器形機関車では商用周波の危険電圧の他に、整流器によって発生する高調波が重

(a) ケース1



(b) ケース2



3 図 交流電気機関車の整流回路
 Fig. 3. Rectifier circuit of a-c locomotive.

大きな問題となるが、これについても本邦では初めての経験で、しかも外国文献が到って少ない。これは先進国では通信線のケーブル化が進行している上に、交流・直流をとわず電化に先立って近接した裸線はすべて通信の近代化のために悉くケーブル化され、通信障害がほとんど問題とならないためである。

そこで現地試験を行う前につきのような事柄につき、調査した。

- (1) 整流器形機関車によって生ずる高調波の特性：
その発生状態ならびに伝播特性
- (2) これらの高調波によって生じる妨害の性質：
分類ならびに相対的重要度

ア. 高調波の特性；発生および伝播

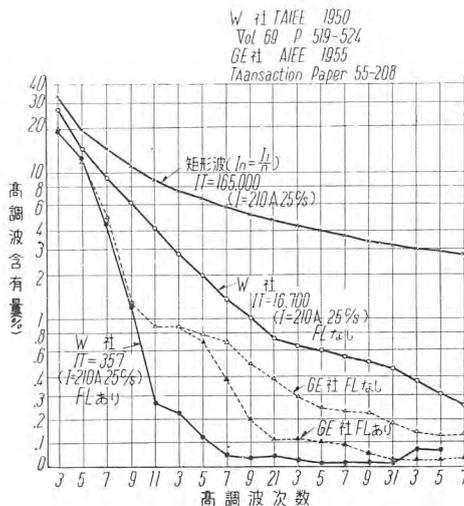
- (1) 高調波電流（機関車から架空線に、さらに全給電系統に伝播する 50 c/s の倍調波電流）

交流電気車で用いられる回路は一般に 2 個の単極整流器を用いた単相全波回路で、負荷 M に給電する。ここで実在はしないが理想的な 2 つの両極端を考えてみよう。(3 図参照)

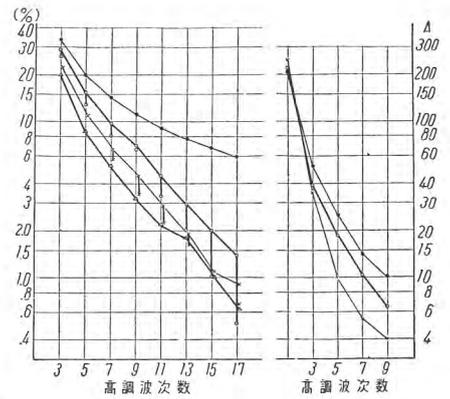
第 1 のケースでは、負荷回路が純抵抗で各半サイクルで整流器は遅れなしに転流すると仮定すれば、整流電圧 E_a および整流電流 I_a は純正弦波の半波の連続である。そうすると整流器用変圧器 1 次側の電流 I_p は完全に正弦波で、整流器で給電する高压系統には高調波電流も高調波電圧も存在しない。

第 2 のケースでは負荷回路のリアクタンスが無限大であると仮定した場合で、整流電流 I_a は完全に直流で脈動分を含まない。それ故 1 次側の電流 I_a は矩形波の連続で、これを周波数分析すれば 50 c/s の基本波とその奇数次高調波とからなり、その振幅は次数に逆比例して減少する。

実際には負荷回路は純抵抗でもなく、リアクタンスも無限大ではない。すなわち負荷回路には変圧器の 2 次巻線の半分の漏洩リアクタンス、陽極リアクトルのリアク



4 図 整流器形機関車の交流側高調波電流
 Fig. 4. Higher harmonics on a-c side of ignition locomotive.



5 図 50 c/s 整流器形機関車の高調波電流
 Fig. 5. Higher harmonic current of 50% rectifier locomotive.

タンス、駆動用モータのリアクタンスの他に、モータの整流を容易にするため整流電流中の脈動分を減少する大きな平滑用チョーク（直流リアクトル）があり、さらにモータの逆起電力がある。これらを完全に考慮して計算するのはめんどろであるが、直流電流が平滑であった場合が三菱電機阿部氏によって行われ、その概要は已斐、阿部氏の論文に記されている。

この機関車が運行する前に入手した整流器形交流電気車の高調波電流の分析結果は Westinghouse 社⁽¹⁾、General Electric 社⁽²⁾ および Metropolitan Vickers 社⁽³⁾、フランス国鉄⁽⁴⁾ のもので、前二者は 25 c/s、後二者は 50 c/s 電化に対するものであった。これらの測定値および矩形波に対する値を 4 図および 5 図に示す。

このようにして発生した高調波電流はまず饋電線路を流れ、電磁誘導によって近接通信線路に妨害をおよぼす。次に高压送電系統を通して主発電機にもどるが、その一部は系統中のどこかで短絡される。(たとえば第 3 高調波およびその倍数は変圧器の Δ 結線短絡される)。したがって主発電機に帰還する他の高調波電流は、大きな送電系統に流れるにしたがって、その含有率が減少する。このような高調波電流によって送電線および変圧器に余分のロスを生じるが、これは問題とならない。これに反して交流機では高調波電流は不平衡負荷の影響に加算され、許容限度を超過するかもしれない。

- (2) 高調波電圧（理論上は正弦波電圧波形である系統に重畳して、これを歪ませる 50 c/s の倍調波電圧）

いま発電機 A から正弦波電圧 \vec{E} が送電線を通して負荷に電流 \vec{I}_1 を給電すると、 AR 間の任意の点 B の電圧 \vec{U} は、 AB 間の 50 c/s に対するインピーダンスを \vec{Z}_1 とすれば $\vec{U} = \vec{E} - \vec{Z}_1 \vec{I}_1$ である。そこでその電流が高調波 $\vec{I}_3, \vec{I}_5, \dots$ を含有すれば、 $\vec{Z}_3 \vec{I}_3, \vec{Z}_5 \vec{I}_5, \dots$ の電圧降下を生じ、正弦波電圧はその電圧だけ変歪を生じる。この変歪は高調波電流の

量によってもきまるが、機関車の走っている電化区間に饋電する送電系統の特性に依存する。したがって一般に次のことがいえる。

- a. 高調波電圧のレベルは運転電力をとる点における系統の短絡容量が大であると低下する。
- b. 高調波電圧のレベルは、運転用および送電用変圧器を通ると線路インピーダンスが急激に減少するから、低下してくる。
- c. またこのレベルは高調波電流を短絡するような点で低下する。
- d. このレベルは発電所に近づくにつれて減少し、その発電機自体のインピーダンスで定まる低い値になる。

したがって大きい送電系統に連繫しているときは、電鉄用変電所から発電所までの間では送電線は3相平衡回路であるから、静電誘導によって通信線に妨害を及ぼすことはほとんどなく、またこの系統に接続された他の機器を損傷することはない。それよりはむしろ送電系統に含まれる他の高調波源から生じる電圧、電流が単相不平衡回路である電鉄用饋電線に流れて、これから誘導を及ぼす場合が多いと思われる。このことは後にのべる現地試験で実際に起ったことで注意すべきことである。

イ. 高調波の妨害；分類と重要度

整流器形機関車によって生じる妨害は次の3種である。

(1) 電話回線に対する妨害

この妨害はもっとも重要で、今回の現地試験でもつばらこの妨害の除去について行われたが、適当な対策によって実用上差支えのない雑音レベルまで下げることができた。

(2) ラジオおよびテレビに対する妨害

この種の妨害は主として饋電系統からの輻射電磁界によって生じるが、集電に伴うトロリーとパンタグラフの間のスパーク、電車モータの整流火花（この点では整流器形は直接形よりも好成績であろう）等の他種の妨害源があって、整流器自体の妨害は単にそれらに付加されるにすぎない。これらに関する測定は鉄道技研無線研究室および放送技研等によって行われ、集電による雑音は同所がまだ蒸気運転であるためことに激げしいので、直流区間とほぼ同程度である。

(3) 給電系統に対する妨害

この種の妨害は高調波電流の循環によって起るもので、単相全波整流器によって生じる交流電圧の変歪は6相整流器によるそれよりやや多い程度であるから、電鉄用変電所が大容量の1次変電所に接続されている限りは、この間の短かい高圧送電線を別にすれば問題とならない。

4. 三菱電機研究所における模擬回路試験

ならびに高調波の解析

先に調査したものは主に25c/sに対する値であるし、

一方50c/sのものでは誘導障害に関係ある500~2,500c/s付近の高調波の値を示さないで、そのまま適用するわけにはいかない。しかるに通信側で現地走行試験を行う前に通信回線に適当な対策を行っておく必要がある。国鉄では一応試験区間にある現用裸線を新設した埋設ケーブルに全部切換え、旧裸線を試験線とするので問題は無いが、電々公社ではそうはいかないし、とくに仙台—山形間の放送用中継線がとくに雑音に対して問題となるので、早急に整流器形電気機関車の発生する雑音量の推定値をだす必要にせまられた。

そこで三菱電機では研究所の阿部氏がサイラトロンを用いて実際の整流装置全体を模擬したモデル・セットを組立て実験を行い、直流リアクトル、制御角、交流フィルタの常数を变化した場合の高調波の測定を行った。この測定結果の一部は已斐、阿部氏の論文に示されている。

続いて次項にのべるような工場試験が行われ、その結果も模擬回路による結果を比較するために、阿部氏によって単相全波整流回路によって発生する高調波の解析が交流フィルタの無い場合とある場合について行われた。これに関する詳細はここではのべないが、最初に遭遇した未知の問題に対する解答はすべて求められたのである。

5. 交流側波形歪の工場試験（30年7月28日—29日）

30年7月になってED451の電気部品がほぼ完成したので、車体に取付ける前に行う工場内の試験に際して波形歪に関する測定を行った。ただしこの際には水銀整流器およびモータ関係は1組のみを用いることになった。

測定に当っては波形分析の関係は鉄研で、この他は三菱電機が担当した。三菱電機で担当した項目および電磁オシログラフによる各部電圧・電流の波形については加藤氏の水銀整流器に関する論文の11—13図に示されている。またこの測定については已斐、阿部両氏の論文にも一部言及されている。

試験に際して三菱電機伊丹製作所に設備された50c/s交流発電機に整流器用変圧器を接続し、その1次側にCTを挿入した。このCTの2次側に交流電流計と直列に1Ωの純抵抗を接続し、その電圧降下を測定器に接続した。測定器としては周波数分析を行うために目黒電波製自動記録式周波数分析器を、通信障害の程度を知るために安藤電気製測音3号雑音電圧測定器を用いた。

第2節でのべたように通信ケーブルに誘導する高周波電圧 E_n は電車線電流に含まれる高調波電流 I_n にほぼ比例するので、電車線電流による電圧降下を雑音電圧測定器で測定すれば、電磁誘導によるケーブル回線の妨害度を知ることができる。それに対して裸線に対する妨害度はさらに周波数も関係するので、雑音電圧測定器に ω に比例する周波数特性をもったTIF（Telephone

Influence Factor) 結合器を付加して測定する必要があるから測定の都合上実施しなかった。

つぎに測定結果についてその概要をのべよう。

(1) CR フィルタのコンデンサの影響 (6 図および加藤氏論文 11 図参照)

交流フィルタ使用によって高次高調波成分は減少するが、 C が少ないときには低次高調波はかえって増加する。図の下欄にはフィルタの高調波に対する有効率を示してあるが、ここで

$$\text{フィルタの有効率} = \frac{\text{フィルタのない場合の高調波}}{\text{フィルタのある場合の高調波}}$$

で、 $C < 150 \mu F$ のときには低次高調波の有効率が 1 以下となる。したがってフィルタとしては $28 \mu F$ のものが 6 個程度必要である。

(2) モータの負荷電流の影響 (7 図および己斐および阿部氏論文 3 図参照)

モータの負荷電流が大となれば、重なり角が大となるので、高調波成分の%が減少することが示されている。

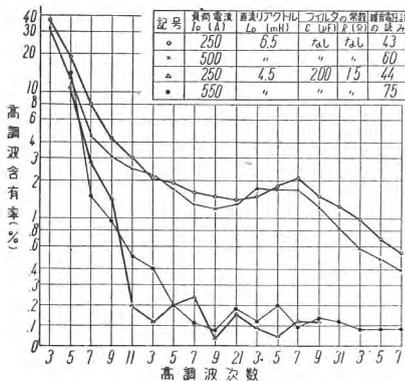
(3) 直流リアクトルの影響 (8 図参照)

直流リアクトル L の mH が増加すれば直流側の波形が良くなり、モータの整流からいえば L が大であるほど良いが、交流側の波形歪は大となる。この試験では 3.0 mH と 4.5 mH とはほぼ通信線の妨害度が等しいが、6.5 mH になると相当大となるから、整流が許せば 4.5 mH とすることが望ましい。

(4) 水銀整流器の制御角の影響 (9 図および加藤氏論文 13 図参照)

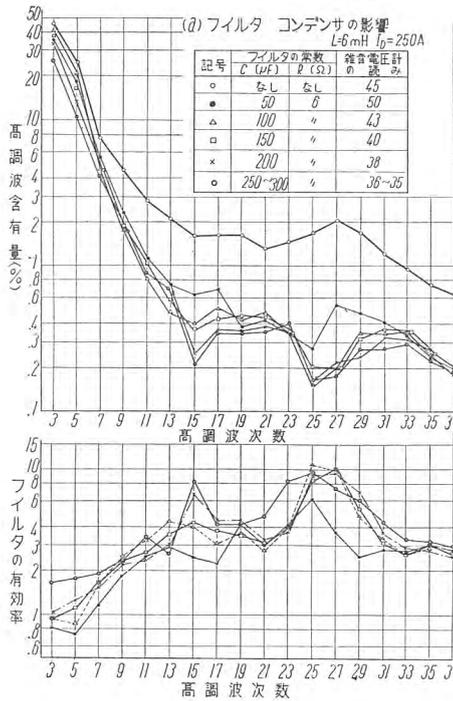
制御角が 10° までは波形歪には影響なく、 30° 以上で

b モータ負荷電流の影響



7 図 測定結果 2

Fig. 7. Measured result 2.



6 図 単相全波水銀整流器の通信障害に対する工場試験 (測定結果 1)

Fig. 6. Factory test on disturbance to communication line by mercury rectifier.

したる通信障害は、前記のべたように電源側の状況に著しく支配されるので、現地試験にまつ必要があるということになった。

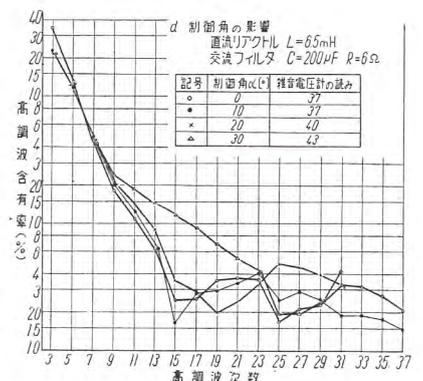
6. ED 451 の通信線に対する誘導障害の現地試験

30 年 10 月の通信線に対する誘導障害の現地試験では電気機関車および北仙台変電所における妨害電圧・電流は鉄道技研電力機械研究室によって、国鉄通信線の誘導は同じく有線通信研究室によって、電々公社通信線の誘導については電々公社保全局・技師長室その他によって測定された。



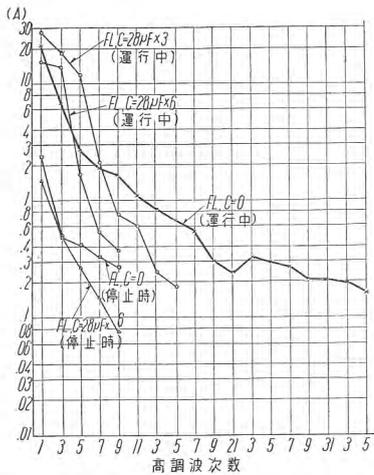
8 図 測定結果 3

Fig. 8. Measured result 3.



9 図 測定結果 4

Fig. 9. Measured result 4.



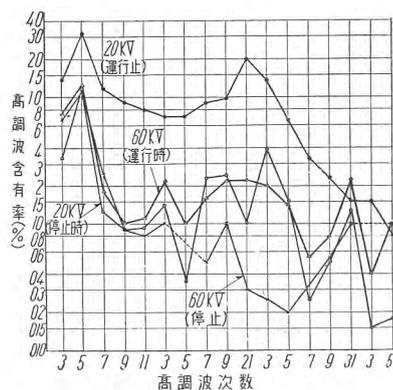
10 図 ED451 動的試験における高調波電流
於車面上 30. 10. 24-25
20 kV CT 2 次側の波形分析

Fig. 10. Higher harmonic current in dynamic test of ED451.

ア. 車面上における測定 (10月24日~25日)

ED451 では整流器変圧器の 1 次側に挿入された CT の 2 次側に工場試験の場合と同様に 1 Ω の純抵抗を接続し、その電圧降下を周波数分析器、雑音電圧測定器および東芝製 75 mm ブラウン管オシログラフとカメラを用いて受電電流の高調波分析、妨害電流の自記および波形の撮影を行った。

車上で行った周波数分析結果を 10 図に、電流波形を 11 図に、雑音電圧計の自記記録を 19 図-21 図に示すが、車上では車両の振動に基づく記録電流計のペンの微動とモータ電流による誘導のため高次の周波数成分は測定できなかった。しかし交流フィルタが使用される時には低次高調波は増加し、高次高調波は減少して無負荷時の値に近付くことがわかる。なおこの結果は変電所の分析結果を参照すると興味深い。

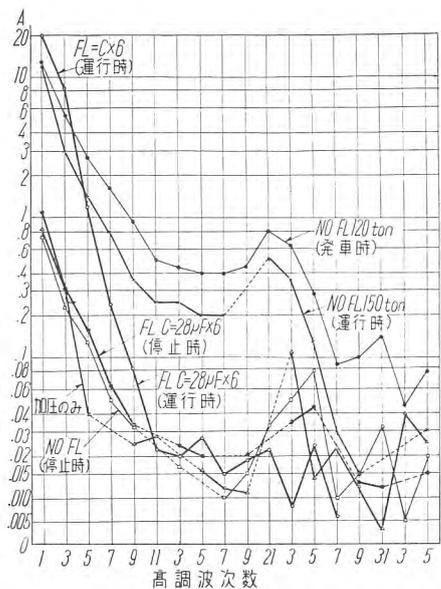


13 図 ED451 誘導試験における高調波電圧
於北仙台変電所 30. 10. 27
20 kV 60 kV PT 2 次側の波形分析 (ED 451 FL なし)

Fig. 13. Higher harmonic voltage in induction test.

モータ	No. 1-4 4個使用	No. 1及び4 2個使用	No. 1及び4 2個使用
交流フィルタ	あり C=20μF x 6 R=6Ω	あり C=20μF x 3 R=6Ω	なし
力行中 (約35A)			
停止時 (0A)			
	増巾 20	増巾 20	増巾 20
	増巾 60	増巾 65	増巾 80

11 図 ED451 走行時の 20 kV 受電電流波形 (20 kV CT, 2 次側)
30. 12. 24-25 (於仙山線落合一熊ヶ根間)
Fig. 11. Wave form of 20 kV current when the loco is running.



12 図 ED451 動的試験における高調波電流
於北仙台変電所 30. 10. 26-27
20 kV CT 2 次側の波形分析 (数回の波形分析の最高値 rms)
Fig. 12. Higher harmonic current in dynamic test of the loco.

イ. 北仙台変電所における測定 (10月26日~27日)

北仙台変電所でも車上と同様な測定を行ったが、この他に電圧波形の歪を見るため、20 kV および 60 kV の回路に挿入された PT の 2 次電圧の波形分析および撮影と雑音電圧測定器による自記記録を行った。これらの測定を 12-15 図に示す。この図から

- (1) 電源には雑音に関係するようかなりの高調波が含有されていること。
- (2) フィルタを使用しない時、1,000 c/s 程度の転流に基づく高調波が異常に大きいこと。
- (3) フィルタを使用した時は低次の高調波は大きくなるが、高次の高調波はノッチを切っている時とほぼ同程度に減少すること。

- (4) 20 kV 側の電圧波形は負荷時にかかなり歪むが 60 kV 側

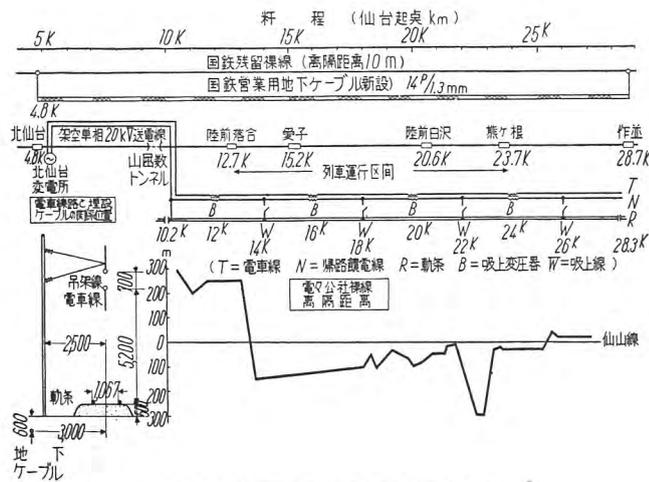
交流フィルタあり C=20μF x 6 R=15Ω	交流フィルタなし
負荷電流 なし(増巾100)	負荷電流 なし(増巾100)
負荷電流 33A(増巾50)	負荷電流 12A(増巾50)
負荷電流 44A(増巾50)	負荷電流 40A(増巾50)

14 図 ED451 走行時の北仙台変電所
20 kV 負荷電流波形 (20 kV CT 2 次側) 30. 10. 26 (於北仙台変電所)
Fig. 14. Senhoku substation.

20 kV 電源電圧 電車線負荷電流なし	60 kV 電源電圧 電車線負荷電流なし
電車線負荷電流 36A	電車線負荷電流 26A

15 図 ED451 走行試験時における 20 kV および 60 kV 電源電圧波形 (20 kV および 60 kV PT 2 次側) (FL なし) 於北仙台変電所

Fig. 15. Source voltage wave forms at 20 and 60 kV in the running test.



16 図 仙山線における通信線路図
Fig. 16. Communication line.

の電圧波形の歪は割合小であることがわかる。

以上の測定から予想以上に電源側に含まれる 1,000 c/s 付近の微小な高調波の妨害が多く、フィルタを使用した時には雑音に關係する高調波はほとんどすべてこの電源中の高調波にマスクされてしまう。したがって通信側の誘導状況によっては変電所の出口にもフィルタを設置する必要が生じよう。

ウ. 国鉄および電々公社による通信線の雑音測定

仙山線の運行試験を行った線路付近における主要な通信線路の状況を 16 図に示す。

国鉄では仙台、作並およびその中間において誘導電圧測定器、雑音電圧測定器、周波数分析器およびブラウン管オシログラフを用いて危険電圧、対地雑音電圧の自記録録、誘導電圧の周波数分析および波形の撮影等を行った。この測定では主として電磁誘導によって起る対

状態	裸線	ケーブル
加圧のみ		
走行中フィルタあり C=28μF×8 R=1.5Ω		
走行中フィルタなし		

17 図 ED451 走行試験における国鉄通信線の対地誘導電圧
Fig. 17. Induced voltage to ground.

地電圧について行われたので、通信線の遠端に設けられた中継線輪の中性点は一般に 23 図のように接地され、測定器は近端の一線、大地間に接続された。必要に応じて遠端の接地を開放して静電誘導による効果を測定し、また線間雑音を測定するため

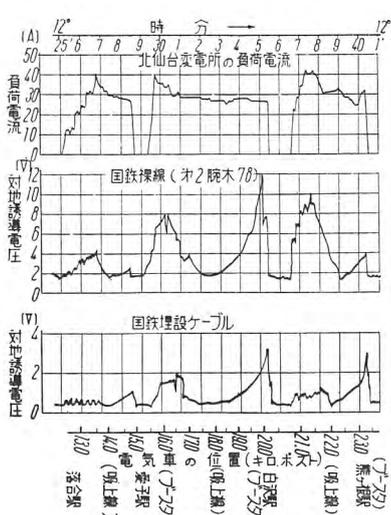
に、測定器を中継線輪の 2 次側に接続した。

また電々公社では実用回線に対し危険電圧および線間雑音電圧の測定を実施し、波形の撮影を行い、誘導電圧の波形分析はテープレコーダの録音結果について行われた。

(1) 危険電圧

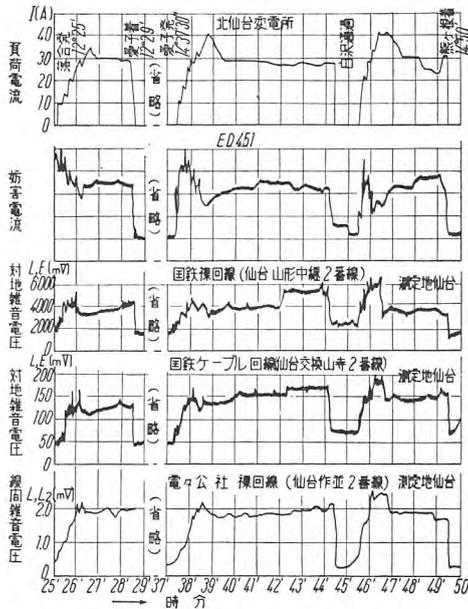
すでにのべたように電磁誘導によって生じる危険電圧は、機関車の負荷電流、通信線の暴露長および吸収変圧器の軽減効果等によって定まるが、国鉄通信線（裸線および埋設ケーブル）に誘導した電圧（実効値）は 18 図の通りである。図は独立に測定したデータを 1 つにまとめたものであるから時間的に多少のずれがあるが、容易にわかるように誘導電圧は吸収変圧器位置で極大となり、吸上線位置で極小となっている。

この通信線の先端接地を開放すると、裸線では仙台試



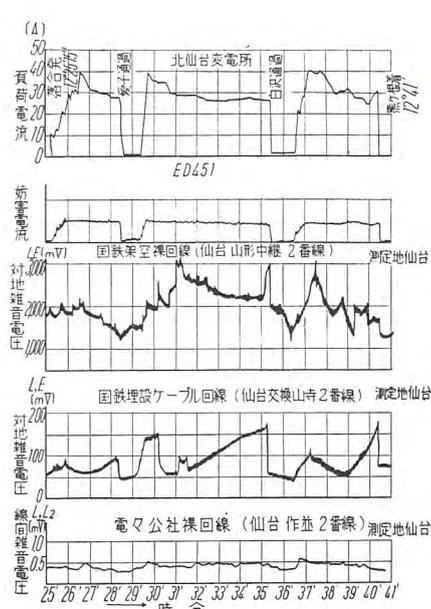
18 図 ED 451 走行試験時における危険電圧
10 月 24 日第 II 走行フィルタ C=3×28 μF 測定箇所仙台試験室通信線先端接地

Fig. 18. Dangerous voltage in the running test.



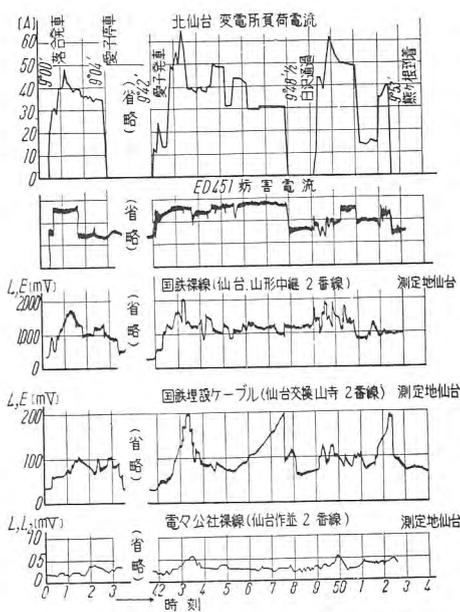
19 図 ED451 走行試験における通信回線の誘導雑音 (1) FL なし

Fig. 19. Induced noises on communication line.



20 図 左同じ (2)
FL あり, C=28 μF×3

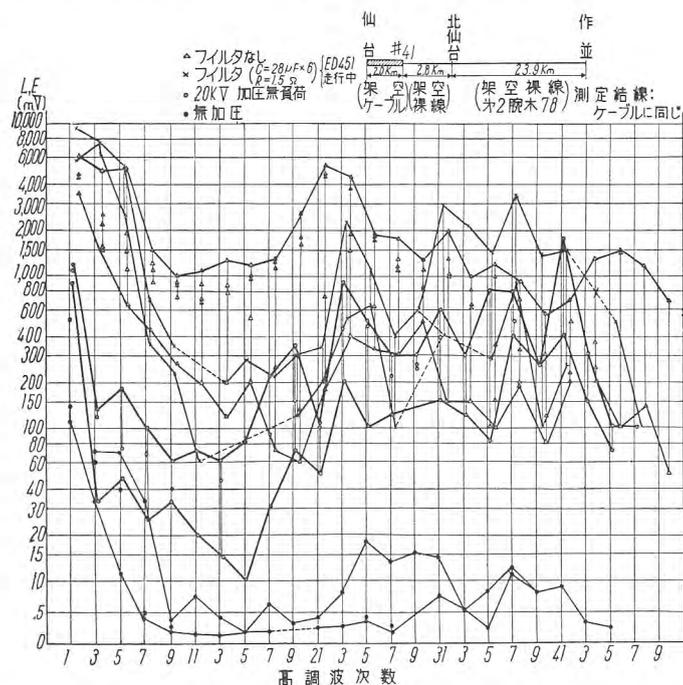
Fig. 20. Ditto to Fig. 19.



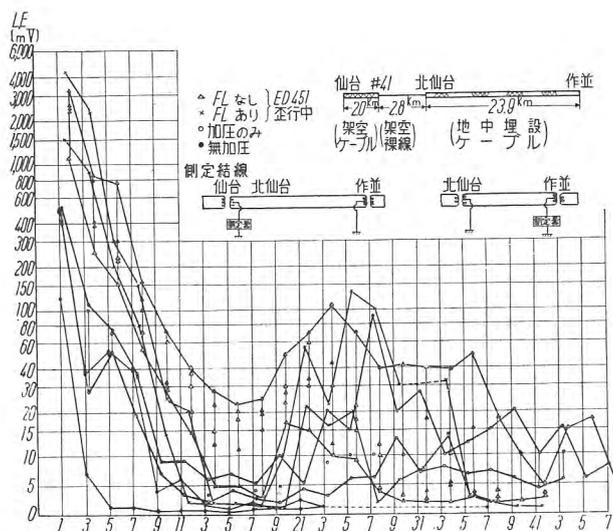
21 図 ED451 走行試験における通信回線の誘導雑音 (3) FL あり, C=28 μ F \times 6
Fig. 21. Induced noises on communication line.

測定月日	測定地	先端接地	先端開放	備考
10月21日	仙台	6.3 V	15.8 V	仙台の測定は真空管電圧計の動作が不安定であった。
23日, 25日	作並	2.8 V	11.8 V	

験の測定では 155 V, 作並の測定では 240 V に上昇し, 接近した通信線では誘導がいかに大であるかがわかる。



22 図 ED451 走行試験時における国鉄裸回線 (仙台, 山形中継 2 番線) の対地誘導電圧の高調波分析
測定年月日 30. 10. 24-27 測定場所 仙台試験室作並駅
Fig. 22. Analysis of higher harmonics of induced voltage to ground.



23 図 ED451 現地試験における国鉄ケーブルの高調波測定回線 埋設ケーブル (仙台交換山寺 2 番線) 対地電圧
測定月日 30 年 10 月 24 日-27 日
測定場所 仙台試験室作並駅
Fig. 23. Higher harmonics on cable in the test.

また電々公社の通信線では裸線の対地誘導電圧の最高値は表の通りで, 最大 16 V 以下であるし, ケーブル心線では最大約 3 V で, いずれも C.C.I.F. の規定値以下である。

(2) 雑音電圧
次に 19 図-20 図に ED

451 で (a) 交流フィルタを使用しないとき, (b) コンデンサを 3 個 (半数) 使用した時, および (c) コンデンサを 6 個 (全部) 使用したときに通信線におよぼす影響を示し, 22 図および 23 図には裸線およびケーブルの誘導電圧の高調波分析を示す。フィルタの効果はコンデンサ 3 個のときは $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ に, 6 個のときには $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ に減少する。またフィルタを使用しないときの雑音電圧の変化は機関車のだす妨害電流と相似の変化をし, フィルタを使用したときのケーブルの雑音電圧は吸上変圧器の効果をも明瞭に現わしている。これはフィルタを使用したときには起誘導側の高調波が減少している上にケーブル鉛被の遮蔽効果によって, 高次高調波がさらに除去されたので, 吸上変圧器が危険電圧と同様な効果を示したためである。

この高調波分析と車両および変電所における分析結果を比較して容易にわかることは, 裸線の誘導係数が高調波の周波数にほぼ比例し, ケーブルのそれはほぼ一定し, すでにのべた公式が適用されることがわかる。

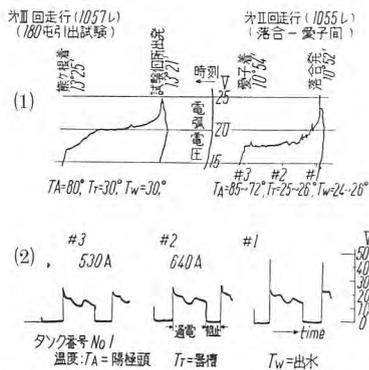
この測定によって国鉄通信線では

(イ) 裸線の線間雑音は加圧によって 15~20 mV となり, フィルタを使用しても列車の運行時には 20~30 mV となり, 使用できない。

(ロ) 全線ケーブル化すればフィルタなしでは雑音は制限値以下となるが, ケーブルを誘導量の高い裸線に 1 回線でも接続すれば 2 次誘導のため, 周囲の回線は雑音に悩まされる。

また電々公社の通信線では雨天による平衡度の低下および電車線電流の増加を考慮したとき, 裸線の線間雑音は

平常加圧時 0.2~0.4 mV;
フィルタ 全部使用 1.2 mV



24 図 イグナイトロン整流器の電弧電圧
(1) 電弧電圧の絶対値の変化(電弧電圧測定器+記録電流計)
(2) 電弧電圧の波形の変化(電弧電圧測定器+ブラウン管オシログラフ)
Fig. 24. Arc voltage of ignitron.

7. 水銀整流器の運転特性に関する現車試験

(11月9日—11日)

水銀整流器はわが国では大正年代から用いられ、地上変電所では現在電動発電機、回転変流機等の他種の直流変換装置を完全に圧倒して使用されている。しかし水銀整流器はアーク放電を利用しているため、その本質に付随して逆弧、異常電圧等の事故に悩まされ続けている。

しかし地上電鉄変電所では負荷が点在し、その変動が極めて不規則で、時として異常に大きい連続負荷または尖端負荷をとり逆弧または異常電圧を生じることがあるが、車両用整流器は負荷としては一定のモータに饋電するのみであるから、逆弧または異常電圧は適当な整流タンクを選定し、使用温度を誤らなければ発生することはない。

それに反して地上変電所は固定しているため、機械的な妨害をうけることはないが、車両用整流器は常に振動および衝撃をうけるので、この点では地上用に比して格段に不利な条件にあるといわねばならない。

さらに車両上に載せた封じ切りイグナイトロン整流器に対して問題となるのは、整流器の空気洩れを生じる封じ切り部の故障とイグナイタの連続失弧に伴う整流器の逆弧である。

そこでメーカーに対しては振動ならびに衝撃に耐えうるかどうかの基礎試験を行うように指示したが、その結果は加藤氏の論文に見られる通りである。

鉄研では現地試験に際してイグナイタの失弧の有無を点検すると共に、整流器の運転状況を判定するために、運転時におけるイグナイトロンの電弧電圧および格子電流を測定した。

電弧電圧の測定に用いた装置は当研究室で試作した整流形の電弧電圧測定器で、イグナイトロンの陽極陰極間に接続して逆電圧を阻止し、正電圧を増幅して記録電流計に自記させ、またその波形を同時にブラウン管オシログラフで監視および撮影できるようにしたものである。

したがってイグナイタが失弧して整流器が通電しない

フィルタ半分使用
1.3mV;

フィルタなし

5.0mV

程度になるものと予想され、フィルタを使用すれば規格以内となる。またケーブルに対して雑音は問題とはならない。

ときには、陽極・陰極間にはトランスの相電圧がそのまま現われるから、記録計およびブラウン管オシログラフの振れは急増して失弧を検出することができる。

ただしスタート直後の位相制御を行うときには、記録計の振れはやや増大し、ブラウン管上の波形は変るが、これは容易に失弧と区別することができる。24 図には記録計による自記記録とブラウン管による波形撮影の代表的なものを示した。この試験を行ったときにはモータは No. 1 および 2 の 2 台運転であったが、全行程中で失弧を検出したことは 1 回もなかった。なお失弧時には陽極リアクトルに衝撃音を生じるが 10 月に行った通信障害の試験に際して No. 1 および 4 のモータを使用するとき、この衝撃音を聞いた人があるが、その回数は極めて少く、現状では実用上差支えがないといえる。

また格子電流の測定は格子回路に 5Ω 程度の純抵抗を接続し、その電圧降下をブラウン管オシログラフに現わして測定したが、このイグナイトロンの格子に加えられる電圧には負バイアスが加えられていないため、他の測定に用いられる種々のリード線からの誘導に患わされて、格子消イオン状況が判然とせず、管内の状態を判定することはできなかったが、このタンクはまだ電流量に余裕がありそうに思われる。

8. む す び

以上は整流器形電気車による通信線の誘導障害と、車両に積載されたイグナイトロン整流器の特性を試験した結果の概要を報告したものである。

50 c/s 交流電化方式は独仏以外に経験はなく、整流器形機関車の成功の鍵は整流器の安全運転と、50 c/s 商用周波数による通信線の危険電圧および整流器の発生する高調波電流・電圧による通信線の雑音電圧の軽減にあった。

幸い関係者各位の努力によってここに記したような好成績が得られ、近々の中に実用運転を実施しうる域に達したのは誠に喜ばしいことである。本試験に当って種々の便宜と助力を与えられた三菱電機の当事者および鉄道通信協会内誘導予測委員会委員諸氏ならびに測定を担当された電々公社・国鉄の当事者に深く感謝して擱筆する。

参 考 文 献

- (1) Hibbard, Whittaker, & Ames; Rectifier-Type Motive Power for Railroad Electrification
T. AIEE, Vol. 69 p. 519-524 (1950)
King, Gordon & Hibbard; Rectifier Motive Power—Inductive Co-ordination Considerations
T. AIEE, Vol. 73 p. 107-118 (1954)
Brown; Some Application Phases of the Ignitron Rectifier Locomotives on the Pennsylvania Railroad
T. AIEE, Vol. 73 p. 128-135 (1954)
- (2) Ogden; Considerations in the Development of a High-Power Rectifier Locomotion
Transaction Paper No. 55-208 AIEE, Feb. 1955.
- (3) Mandle; Single-Phase 50 c/s A.C. Traction using a Rectifier P. I. E. E. Vol. 69 (1950) p. 339-348
- (4) フランス国鉄ルール会議資料 23

「ED451」イグナイトロン電気機関車走行振動試験

国鉄鉄道技術研究所車両運動研究室 国 枝 正 春*

Running Vibration Tests of ED451 Ignitron Electric Locomotive

Railway Engineering Laboratory Masaharu KUNIEDA

As a part of the extensive performance tests on the ignitron locomotive, the vibration was particularly examined to find its cause according to the same process as tried on other representative locomotives now running on Tokaido Trunk lines.

1. ま え が き

今回試作された交流電気機関車の現地仙山線における性能試験の一環として走行中の振動性能調査が交流電化調査委員会において企画され、副総裁よりの依頼試験として鉄研車両運動研究室に依頼された。

当研究室は長年にわたり国鉄部内外の車両の振動試験を担当しており、電気機関車についてもすでに数種の試験を行い、とくに最近東海道本線において現在の代表的機関車であるEH10型の試験成績をも得ているので、交流機関車に対してもほぼ同様な方法によって試験を行った。

以下、行われた試験の概要と成績のうちとくにイグナイトロン型機関車ED451に関するもの、ならびにこれに対する考察について述べる。

2. 試 験 内 容

ア. 試 験 目 的

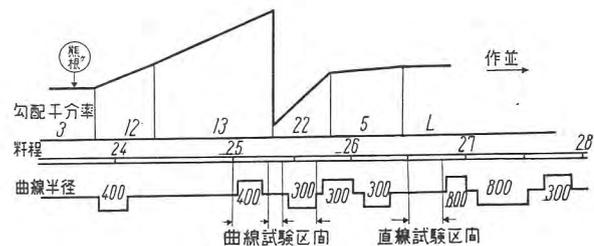
ED451につき走行中の振動状態を測定して振動性能に対する調査を行うとともに、最近の一般電気機関車の振動性能と比較して機関車設計検討の資料とする。

イ. 試 験 期 日、試 験 区 間 お よ び 速 度

期日、区間および速度は1表のとおりである。試験区間付近の線路図を1図に示す。

1 表 試験期日、区間および速度

試験期日	試験場所	計画速度 km/h とくに記したものを以外はすべて力行
昭和30年10月30日	直線区間 仙山線熊ヶ谷、作並間 26 K 500-800	35, 45, 55, 65
11月2日	曲線区間 半径 300 m 25 K 400-700	30, 40, 50, 50 (隋行) 60, 60 (隋行), 65, 65 (隋行)
11月3日	曲線区間 半径 400 m 25 K 000-300	35, 45, 55, 55 (隋行), 60, 60 (隋行), 70

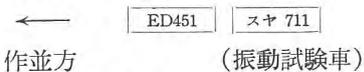


1 図 試験線区線路図

Fig. 1. Track where the tests were made.

ウ. 試 験 車 の 編 成

編成は下記の如くである。



エ. 測 定 項 目 と 使 用 計 器

測定項目と使用計器は2表に示される。

2表中DV3型振動加速度計は左右、上下、前後の振動加速度を同時に記録する機械式の加速度計でその要目の大要はつぎの如くである。

測定範囲； 振幅 ± 0.4 g 振動数 0~10 c/s

倍率； 記録紙上の振れ約 40 mm が 1 g に相当する。

振子の固有振動数； 約 10 c/s

減衰器； 空気式、減衰比約 0.1

総重量； 約 15 kg

2 表 測定項目と使用計器

測定箇所	測定項目	使用計器
運転室床面	左右、上下、前後振動加速度	DV-3型 加速度計
車室内中央床面	左右(11月2日) 上下(10月30日) 振動加速度	電子管式 加速度計
車室内中央天井	左右(11月2日) 上下(10月30日) 前後(11月3日) 振動加速度	
台車枠	左右(11月2, 3日) 上下(10月30日, 11月3日) 振動加速度	
主電動機枠	左右(11月2日) 上下(10月30日) 振動加速度	
運転室床面	上下(11月3日) 振動加速度	

寸 度； 160×300×230 mm

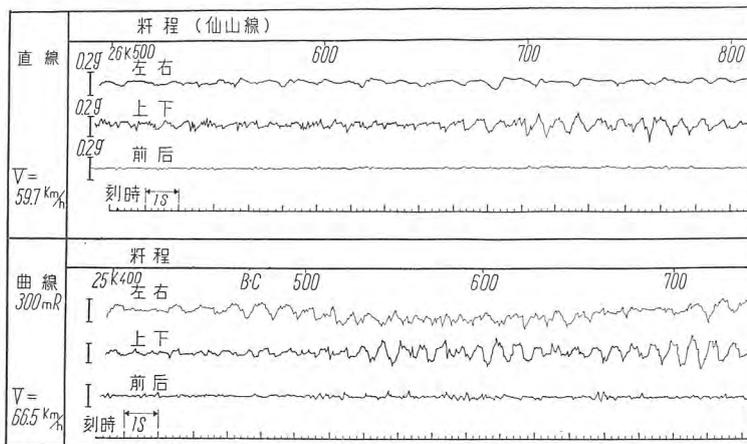
また、電子管式加速度計とは3極真空管 RCA5734 の陽極に角変化を変えると真空管の内部抵抗、したがって出力電圧が変化する性質を利用したもので、陽極に棒と重錘をつけ、重錘の取付位置によって陽極の固有振動数、したがって計器の感度を調節するようにしてある。減衰力はこの棒の先につけたストップ兼用の油の入った筒の長さを変えて調節する。感度は測定場所によって異なり、台車、主電機枠関係のものは固有振動数約 360 c/s、車体用のものは約 160 c/s のものを使った。今回使用の計器は減衰油もれのためやや減衰不足であったから、測定値は必ずしも完全に正確ではなかったように思われる。

3. 試験成績の概要

ア. 車体振動加速度波形

2 図は直線区間および半径 300 m の曲線区間の試験最高速度時における運転室床面の振動加速度の波形例を示したものである。

直線左右動について見ると、波長約 20 m を示す動揺



2 図 ED451 車体(運転室床面)振動加速度波形 30-10-30~11-3
Fig. 2. Vibration acceleration wave form of cab.

がわずかに現われているだけで振動数の高いビビリ振動はほとんどない。また上下動については波長約 10 m の動揺とわずかにビビリが加わっている。前後動は起動、制動時以外にはほとんど起らない。

つぎに曲線については左右動では波長約 13 m を示す動揺に約 10 c/s のビビリが加わり、上下動では波長 10 m の動揺と同じく 10 c/s のビビリが現われている。前後動では 5 c/s 程度のビビリ振動がわずかに起っている。

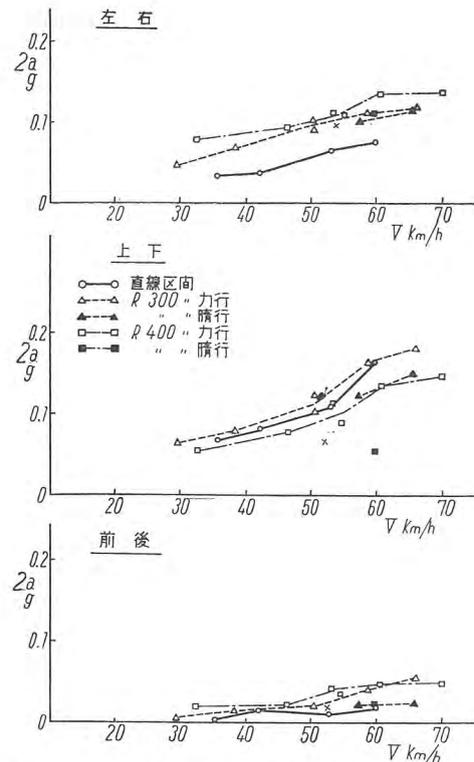
直、曲線を通じ波形は大体きれいで振幅も小さく乗心地の良好なことを示している。

イ. 車体振動加速度

3 図に直、曲線試験区間における振動加速度の平均値を示した。ここに示す平均値とは試験区間中の 50 m ごとに現われた振動加速度の最大値を試験区間全長について平均した値である。

まず直線左右動については振動はきわめて小さく、同

「ED451」イグナイトロン電気機関車走行振動試験・国枝



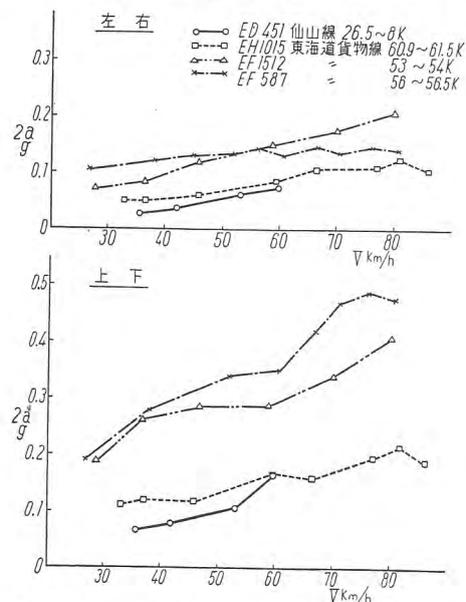
3 図 車体振動加速度

Fig. 3. Cab vibration acceleration.

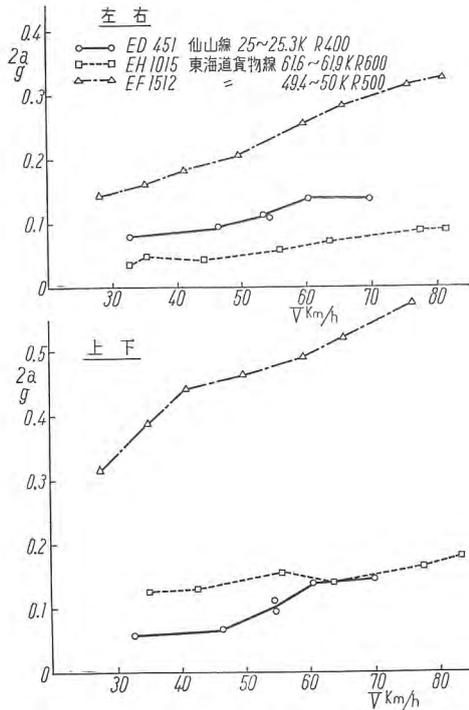
時に牽引走行したサヤ 711 の振動より小さい。上下動でも振幅は小さいがサヤよりは大きくなる。曲線についても傾向は直線の場合と同様であるが、一般に振幅が大きくなる。力行時の方が随行時よりも振幅は大きい。

ウ. 各機関車との振動の比較

4, 5 図は現在の各電気機関車に対する振動性能の比較を行ったものである。5 図曲線区間においてのみ ED45 は EH10 より振動が大きいのが、これはむしろ線路状態の差と見るべきもの



4 図 各種電気機関車車体振動比較(直線区間)
Fig. 4. Vibrations of various locos compared with (on straight rack)

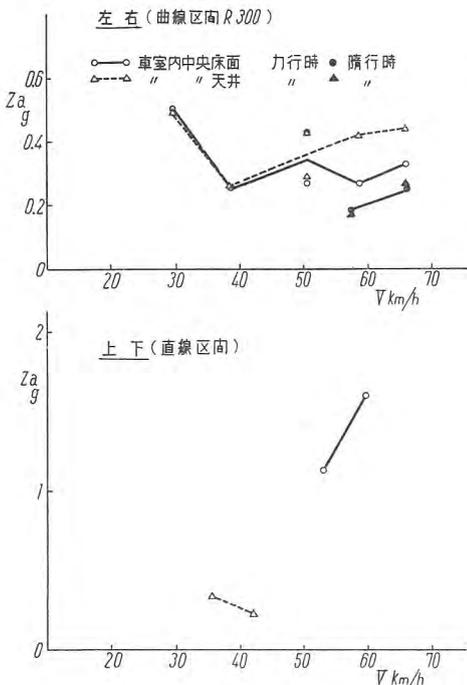


5 図 各種電気機関車車体振動比較 (曲線区間)
Fig. 5. Vibrations of various locos compared with. (curved track.)

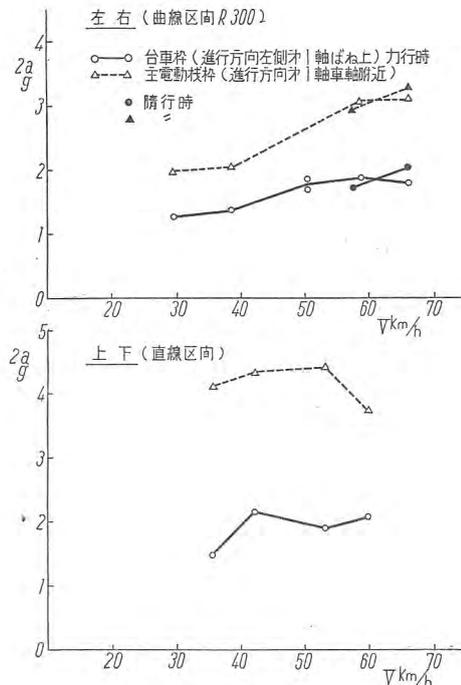
であって、同一線路で比較すれば振動性能は同等もしくは ED45 の方が幾分すぐれているであろう。EF58, 15 等と比較すればはるかにすぐれている。

エ. 線路状態の良否の比較

試験車サヤ 711 が各線路を走った時の前心皿上床面の振動加速度をほぼ同一速度 (50 km/h) について比較す



6 図 車両各部振動加速度比較 (その 1)
Fig. 6. Vibration acceleration of various parts compared with. (1)



7 図 車両各部振動加速度比較 (その 2)
Fig. 7. Vibration acceleration of various parts compared with. (2)

3 表 線路状態良否の比較

試験線区および測定期日	左右振動加速度 平均値 2a (g)	上下振動加速度 平均値 2a (g)
高崎線 (甲) 91.5K 附近 29 年 11 月	0.107	0.092
成田線 (乙) 7.0K 附近 29 年 11 月	0.078	0.269
長野原線 (丙) 39.5 K 附近 29 年 11 月	0.142	0.370
仙山線 26.5 k 附近 30 年 11 月	0.104	0.079

ると 3 表の如くなる。同表より見ると仙山線の線路状態は車両振動に関してはすぐれていて、甲線である高崎線に匹敵する。ただし曲線路は半径の小さいため、必ずしも良好でない場合が多かった。

オ. 供試機関車の振動原因

車体の振動加速度波形を解析して固有振動数と振動源とを求めた。左右方向については固有振動数は 1.5 c/s と 9 c/s とにある。前者は下心のローリング後者は車体の横曲げ弾性振動と思われる。振動源としては波長約 20 m の 1 軸としてのだ行動が認められる。曲線に入ると弾性振動がやや大きくなるとともに、だ行動波長が短くなる。前述のように曲線区間は直線に比べ線路状態がやや悪いようである。上下方向については約 10 c/s の曲げ弾性振動が認められる。振動源としては軸距を波長とするもの、およびレールつぎ目によるものが現われている。前後方向には 5 c/s の振動があるが、これは台車枠のピッチングによるものと思われる。

カ. 車両各部の振動

6 図は車体中央床面と天井の上下、左右振動加速度を示したもので主として局部的な弾性振動によるものである。加速度の値は 3.1 項と同様な平均値を示す。

7 図は主電動機枠と台車枠の上下、左右振動加速度を示したものである。電動機枠の方が台車枠より振動が大きいのは電機子の回転振動が加わるためと、重い主電動機が台車に装架されているためその固有振動が現われるためと思われる。いずれにしても電機子付近の振動が 4~5 g であることは従来の釣掛式 (約 20 g 程度) に比べればはるかに少なく主電動機の台車装架の効果を示している。

8 図は運転室上下、車体中央天井前後、および曲線路における台車枠の上下、左右振動加速度を比較したものであるが、計器不調のため充分の信頼はできない。

4. む す び

以上の試験成績をまとめて結論を述べると以下の各項の如くなる。

(1) ED45 の走行中の振動性能はきわめて良好で EH10 と同程度であり、従来の EF15, 58 の振動と比較すれば左右、上下振動とも $1/2$ 以下となっていて客車とも匹敵する。

(2) 振動は一般に振動数の高いビビリ振動が少ないので運転室の乗心地もよい。

(3) 車体の動揺もかなりよい。振動力として軌道の負担に影響するのはこれらの動揺が主であると考えられるから、軌道に対する影響も良好なものと推定される。

(4) 車体動揺の振動源としては左右動は波長約20m の1軸だ行動、上下動は波長 10 m のレールつぎ目が現

われている。

(5) 車両各部の振動に関し、ビビリ振動も車体のすべての部分において ED45 は他機関車より少なく、補機類に好影響を及ぼすと考えられる。また主電動機の電機子軸付近の振動も釣掛式より少なく主電動機の台車装架の効果を示している。

(6) 本試験を行った線区(仙山線熊ヶ根、作並間)の軌道状態は大体良好で直線区間では甲線である高崎線に匹敵する。ただし曲線部分はこれよりは悪い。

5. 振動性能に関し車両設計に関する所見

上記の成績に示されるように ED45 の振動性能が良好であった原因と考えられるものはつぎの如くである。

すなわち、まずボギー台車型式であることが最大の原因であるが、さらに上下振動に対しては、

(1) 軸ばね、枕ばねともコイルばねであって、摩擦が少なく、かつ比較的やわらかく、オイルダンパの減衰力が適切であること。

(2) 枕ばね、軸ばねのばね常数比は本車の場合 $68.4 \div 93.3$ (軸箱あたり) = 0.73 であって、防振の理論から考えて大体適していること。

(3) 側受支持であって、防振ゴムが挿入されていること。

(4) 主電動機が台車装架されているため、ばね下質量が比較的小さいこと。

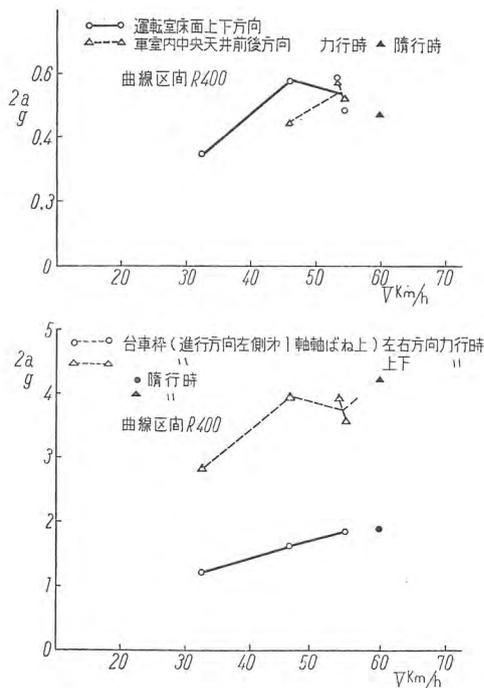
(5) 車体が比較的堅ろうで弾性振動が少ないこと。つぎに、左右振動に対しては、

(1) 揺枕が外釣りであって枕ばねの左右間隔が大きいこと。

(2) 側受支持の荷重分配が良好($1/3$ ずつ)と考えられること。

(3) 側受間隔と軸距の比は $1600 \div 2300 = 0.7$ であって、この値は大体適当と思われること。

以上のように多くの設計上の長所があげられるが、さらに軌道に与える影響を減少させるために車軸の横方向の動きに対し適当な弾性および減衰を与えることができれば一層完全なものとする事ができると思われる。



8 図 車両各部振動加速度比較 (その 3)

Fig. 8. Vibration acceleration of various parts compared with. (3)

「ED 451」イグナイトロン電気機関車の通過試験

国鉄鉄道技術研究所軌道研究室

小林 正 宏*

Tests on Effects given to Tracks by ED451 Ignition Electric Locomotive

Railway Engineering Laboratory

Masahiro KOBAYASHI

Tests were conducted on the tracks to find what effects were made to by various locomotives. A d-c electric locomotive ED 14 and a steam locomotive D 51 were selected as well as the ED 451 ignitron locomotive to make comparison.

1. ま え が き

交流電気機関車 ED441 および ED451 の新造に伴い、これらの機関車が軌道に及ぼす影響を与えるかを調査するため、比較機関車として直流電気機関車 ED14 および蒸気機関車 D51 を選んで試験を行った。

2. 試 験 条 件

期 日 昭和 30 年 10 月 31 日～11 月 4 日

軌道状態 軌道一般状態は 1 図に示す。

A 直線 30kg/m-20m 枕木 15 丁 道床厚 150mm

B 半径 300m 30kg/m-10m 16 丁 150mm 22/1000

C 半径 400m 30kg/m-10m 16 丁 150mm 13/1000

試験機関車

ED441, ED451, ED141 および D51 にそれぞれスヤおよびマスをつなげて試験区間を 30~65 k/h の試験速度で力行運転を行った。

3. 試 験 方 法

機関車各車輪の横圧、垂直圧を知るためにレール底部両側にワイヤーステンゲージを貼り、レールの上下の曲げ応力から垂直圧を、また横曲げ応力から横圧を求める方法を用いた。測点は直線区間においては片側レールで約 5m 間隔で 8 側点、曲線区間においては内外軌レールで約 3m 間隔で各 5 側点を選んだ。また中央の側点においては横圧と同時に垂直圧も測定した。

4. 試 験 結 果

ア. 輪 重

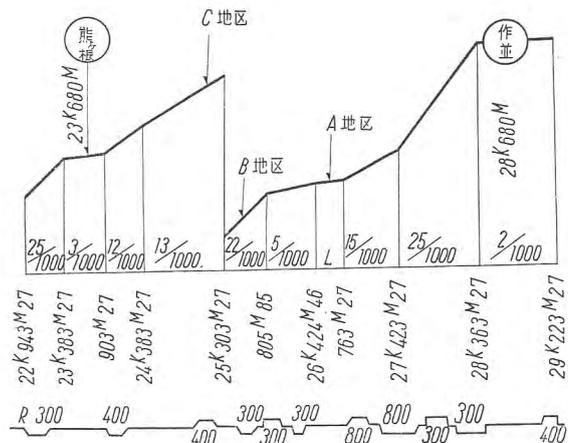
試験区間において左右レールに作用する各輪重をレール 2~4 図の鉛直曲げ応力から比較すると、2~4 図のようになる。

(1) ED451 の各輪重は大体一様であつてとくにアンバランスはない。これに比べて ED441 は各車輪の輪重がややアンバランスのようである。とくに直線部において速度の増加による変化が著しいように思われる。

(2) 曲線部において速度が上ると共に外軌の輪重が大となるが、その割合は大体遠心力によるものが各車輪に均分されて現われていると思われる程度である。

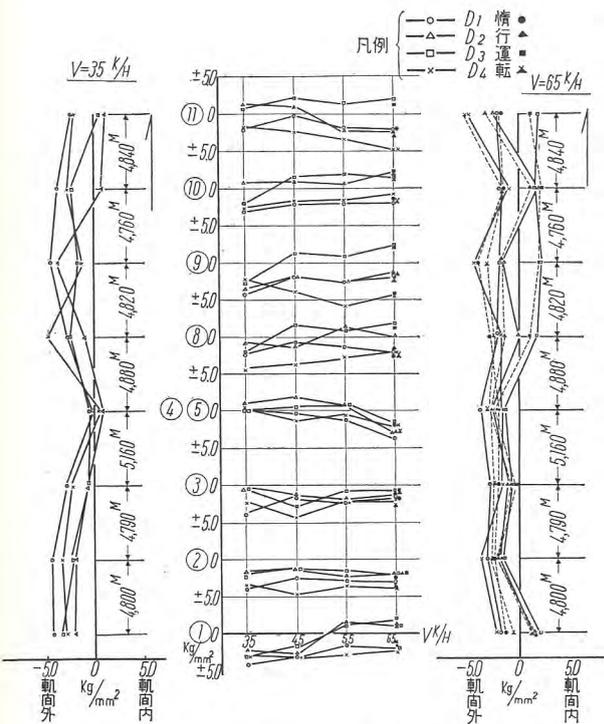
(3) D51 の輪重は各車輪のアンバランスが著しい。

(4) 軌道に与える垂直方向の影響は ED441 は ED141 と同程度であり、ついで ED451, D51 が一番小さい。



1 図 軌道一般状態

Fig. 1. General condition of tracks.



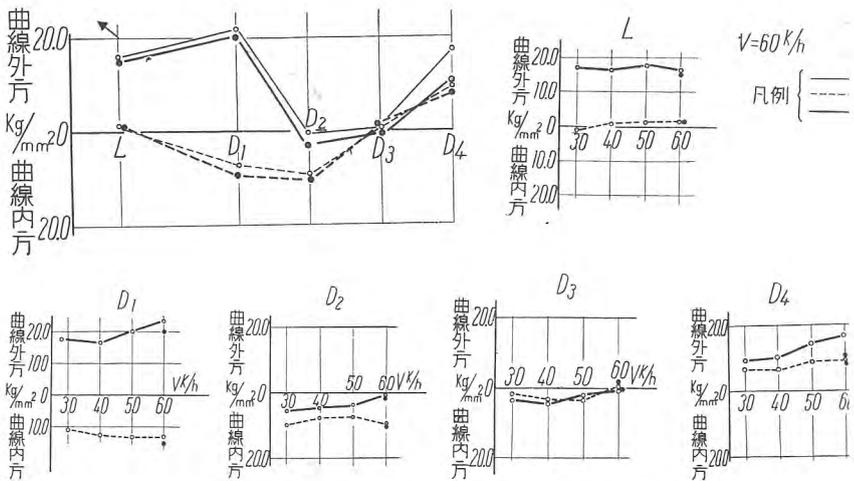
6 直線部における横圧 (ED441 横圧 A 地区)

Fig. 6. Side pressure at a straight portion.

イ. 車輪横圧

(1) 直線部における各車輪の示す横圧を各側点についてレールの横曲げ応力から求めると 5~6 図のようになる。左右の図は各試験の最低、最高速度における各車輪の進行状態を示したものであり、中央の図は各車輪横圧の速度に対する変化を示したものである。これから

a. 低速度においては各車輪共に大体同一経路を通



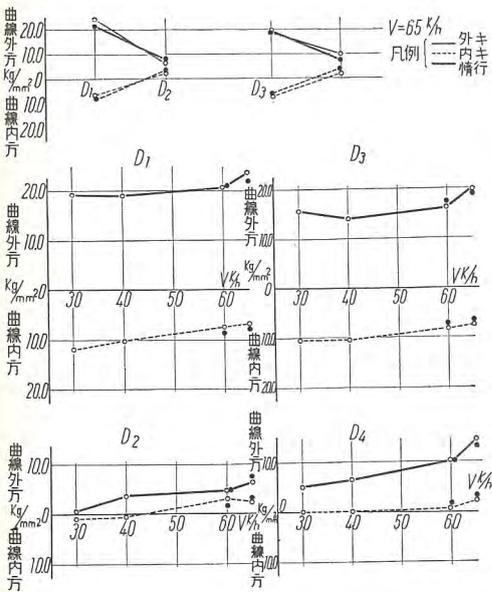
10 図 D51 横圧平均 (B 地区, D51692)
Fig. 10. Average side pressure of D-51

ていると思われる。

- b. 高速度となると各車輪の横圧値のバラツキが大となる。
- c. 速度の増加による横圧力の増加は測点によって多少の相違はあるが、顕著ではない。
- d. 軌道に対する影響は D51 が最も大きく、ED141 ED441 の順で ED451 が最も小さい。

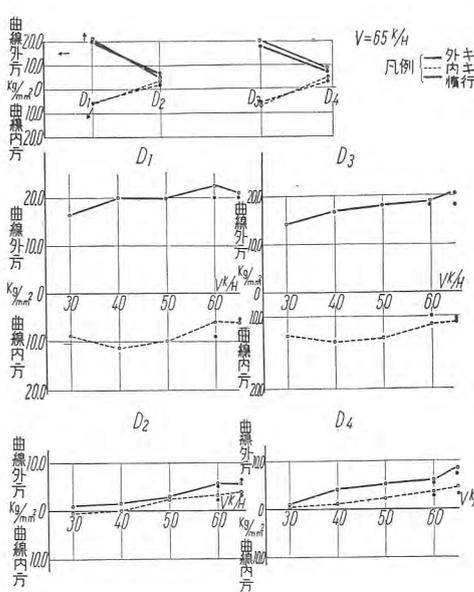
(2) 半径 300 m 曲線路における各車輪の示す横圧をレールの横曲げ応力から求めると、7~10 のようになる。上部の図は各試験の最高速度における各車輪の横圧の状態を示したものであり、その他の図は各車輪横圧の速度に対する変化を示したものである。これから

- a. ED441, ED451 および ED141 では各ボギー台車の前軸は左右の車輪が軌間を拡大する方向に横圧



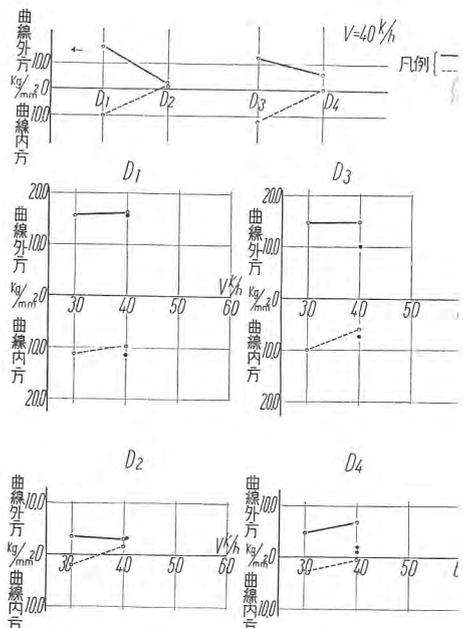
7 曲線における横圧 (ED441 横圧平均 B 地区)

Fig. 7. Side pressure at a curved portion



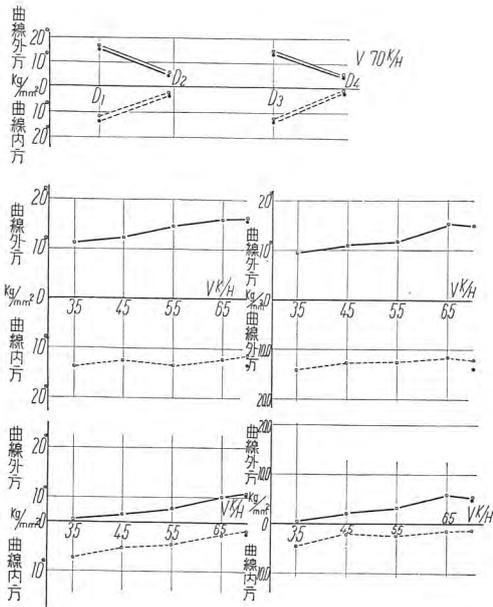
8 曲線路における横圧 (ED451 横圧平均 B 地区)

Fig. 8. Side pressure at a curved portion.



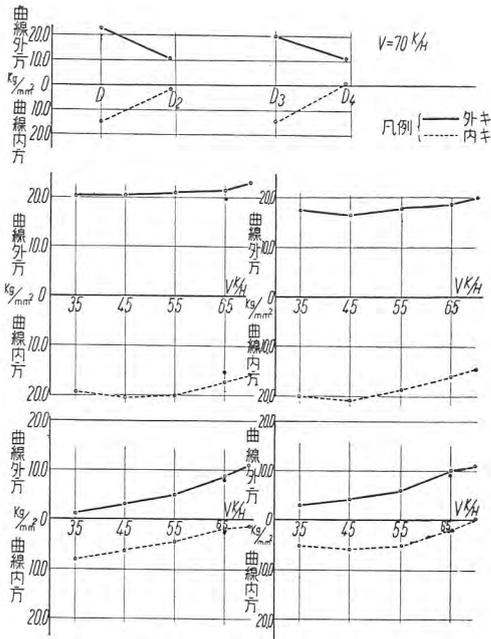
9 ED-141 横圧平均 (B 地区)

Fig. 9. Average side pressure.



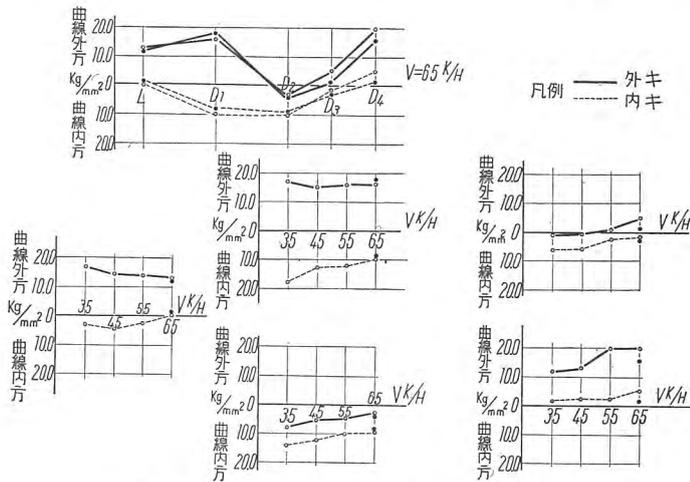
11 図 曲線路における横圧 (ED 451 横圧平均, C 地区)

Fig. 11. Side pressure at a curved portion



12 図 曲線路における横圧 (ED 441 横圧平均, C 地区)

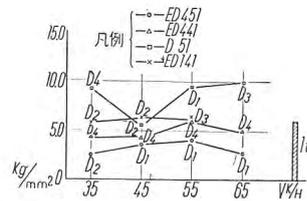
Fig. 12. Side pressure at a curved portion.



13 図 (a) D51 横圧平均 (C 地区, D51457)

Fig. 13. (a) Average side pressure.

- を示し、後軸の横圧は小さい。
- D51 は前記3つの機関車と傾向を異にし、先輪は左右車輪共に曲線外方に、第1動輪は軌間を拡大する方向に横圧を示し、第2動輪、第4動輪は左右車輪共にそれぞれ曲線内方、曲線外方に横圧を示し、第3動輪の横圧値は小さい。
 - 速度に対する変化は、外軌に作用する横圧は速度と共にやや増加の傾向を示し、内軌に作用する横圧は速度と共に減少する。これは遠心力によるものと思われ、速度による特別の変化は認められない。
 - 曲線中の横圧は、直線部に比較して曲線通過のための転向の横圧が大部分であり、低速度でも大きく直線部の約3倍の値を示している。



13 図 (b) 軌間拡大に作用する横圧最大値比較 (A 地区)

Fig. 13. (b) Max. side pressure working to expand the gauge compend.

5. 考 察

従来軌道にあたえられる車両の判定については K 荷重による垂直力を問題としていたが、車輪によって軌道にあたえられる横圧いかがより重要であって、これが或る限度を超えると直接に軌道に破壊をもたらす恐れがある。

ゆえに各試験機関車を比較するため、各試験現場について、各試験車の軌道にあたえる最大横曲げモーメントを求めて見ると 14~15 図のようになり、これを横圧に換算して示すと、1~2 表のようになる。

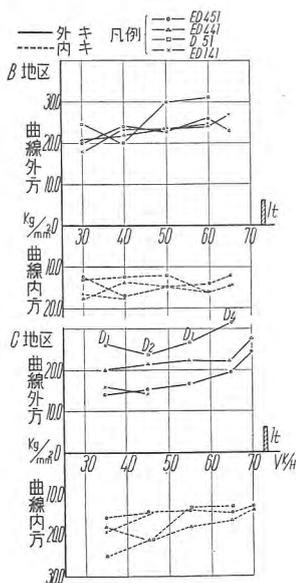
- 軌道に対する影響は D51 がもっとも大きく ED451, ED 441 および ED141 はほとんど変わらない。

(3) 半径 400 m 曲線路における各車輪の示す横圧をレールの横曲げ応力から求め、前と同様に整理すると 11~13 図のようになる。これから見ると

- 横圧の傾向は半径 300 m 曲線と相違はない。
- 横圧の値は半径 300 m 曲線に比較して ED451 は相当小さくなっているが ED441 および D51 の値はやや小さい程度である。
- 速度に対する

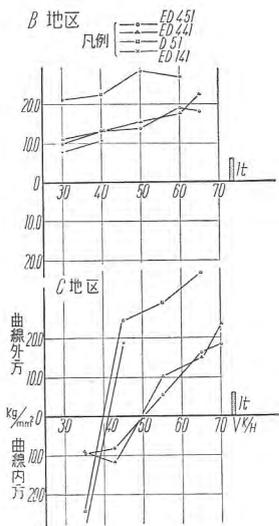
横圧の変化も前と大差は認められない。

- 軌道に対する影響は D51 がもっとも大きく、ED441 がこれに次ぎ ED451 がもっとも小さい。



14 図 軌間拡大に作用する最大横圧比較

Fig. 14. Max. side pressure to expand the gauge compared.



15 図 通り狂いに作用する最大横圧比較

Fig. 15. Max. side pressure to expand the gauge compared.

1 表 軌間拡大に対する各種機関車の最大横圧比較

A 地区								
速度	横 圧 (ton)				横 圧 比			
	ED451	ED441	ED141	D51	ED451	ED441	ED141	D51
35 k/h	26 kg/mm ² 0.43 t	45 kg/mm ² 0.75 t	60 kg/mm ² 1.0 t	93 kg/mm ² 1.6 t	1	174	232	372
45 k/h	36 kg/mm ² 0.6 t	43 kg/mm ² 0.7 t	65 kg/mm ² 1.1 t	54 kg/mm ² 0.9 t	1	116	183	15
55 k/h	41 kg/mm ² 0.68 t	60 kg/mm ² 1.0 t	63 kg/mm ² 1.05 t	95 kg/mm ² 1.6 t	1	147	154	235
65 k/h	27 kg/mm ² 0.45 t	50 kg/mm ² 0.83 t		100 kg/mm ² 1.7 t	1	184		377

B 地区								
速度	横 圧 (ton)				横 圧 比			
	ED451	ED441	ED141	D51	ED451	ED441	ED141	D51
30 k/h	202 kg/mm ² 3.4 t	207 kg/mm ² 3.5 t	180 kg/mm ² 3.0 t	246 kg/mm ² 4.1 t	1	10	0.88	1.20
40 k/h	239 kg/mm ² 4.0 t	207 kg/mm ² 3.5 t	238 kg/mm ² 4.0 t	200 kg/mm ² 3.3 t	1	0.88	10	0.83
50 k/h	230 kg/mm ² 3.8 t	235 kg/mm ² 3.9 t		300 kg/mm ² 5.0 t	1	1.02		1.31
60 k/h	263 kg/mm ² 4.4 t	244 kg/mm ² 4.1 t		310 kg/mm ² 5.2 t	1	0.93		1.18
65 k/h	230 kg/mm ² 3.8 t	272 kg/mm ² 4.5 t			1	1.18		

C 地区								
速度	横 圧 (ton)				横 圧 比			
	ED451	ED441	ED141	D51	ED451	ED441	ED141	D51
35 k/h	145 kg/mm ² 2.4 t	198 kg/mm ² 3.3 t	156 kg/mm ² 2.6 t	267 kg/mm ² 4.4 t	1	1.38	108	1.83
45 k/h	152 kg/mm ² 2.6 t	214 kg/mm ² 3.6 t	145 kg/mm ² 2.4 t	240 kg/mm ² 4.0 t	1	1.38	0.92	1.54
55 k/h	167 kg/mm ² 2.8 t	225 kg/mm ² 3.8 t		267 kg/mm ² 4.5 t	1	1.36		1.61
65 k/h	194 kg/mm ² 3.2 t	224 kg/mm ² 3.7 t		306 kg/mm ² 5.1 t	1	1.16		1.59
70 k/h	244 kg/mm ² 4.1 t	276 kg/mm ² 4.6 t			1	1.12		

これらの表から見ると、軌間拡大に対して

(1) 直線部においては ED451 が最も小さく、ED441 は約 1.5 倍、ED141 は約 2 倍、D51 は約 2.5 倍の横圧を示している。

(2) 曲線部においては半径 300 m においては ED 451, ED441, ED141 はほとんど相違は認められず、D51 は約 1.2 倍の横圧を示している。半径 400 m においては

2 表 通り狂いに対する最大横圧比較

B 地区								
速度	横 圧 (ton)				横 圧 比			
	ED451	ED441	ED141	D51	ED451	ED441	ED141	D51
30 k/h	100 kg/mm ² 1.7 t	112 kg/mm ² 1.9 t	80 kg/mm ² 1.3 t	212 kg/mm ² 3.5 t	1	11	0.8	2.1
40 k/h	132 kg/mm ² 2.2 t	132 kg/mm ² 2.2 t	108 kg/mm ² 1.8 t	225 kg/mm ² 3.8 t	1	10	0.8	1.8
50 k/h	140 kg/mm ² 2.3 t	155 kg/mm ² 2.6 t		284 kg/mm ² 4.7 t	1	11		2.0
60 k/h	193 kg/mm ² 3.2 t	179 kg/mm ² 3.0 t		268 kg/mm ² 4.5 t	1	10		1.4
65 k/h	180 kg/mm ² 3.0 t	225 kg/mm ² 3.8 t			1	13		

C 地区								
速度	横 圧 (ton)				横 圧 比			
	ED451	ED441	ED141	D51	ED451	ED441	ED141	D51
35 k/h	93 kg/mm ² 1.6 t	90 kg/mm ² 1.5 t	280 kg/mm ² 4.7 t	243 kg/mm ² 4.1 t	1	10	3.0	2.5
45 k/h	81 kg/mm ² 1.4 t	115 kg/mm ² 1.9 t	190 kg/mm ² 3.2 t	290 kg/mm ² 4.9 t	1	14	2.3	3.5
55 k/h	55 kg/mm ² 0.9 t	102 kg/mm ² 1.7 t		290 kg/mm ² 4.8 t	1	20		5.3
65 k/h	160 kg/mm ² 2.7 t	158 kg/mm ² 2.5 t		368 kg/mm ² 6.1 t	1	29		2.3
70 k/h	188 kg/mm ² 3.5 t	234 kg/mm ² 3.9 t			1	11		

ED451, ED141 はほとんど相違は認められず、ED441 は約 1.3 倍、D51 は約 1.6 倍の横圧を示している。

つぎに通りに狂いに対しては

(3) 半径 300 m においては ED451, ED441, ED141 はほとんど相違は認められず、D51 は約 2 倍の値を示している。

(4) 半径 400 m においては ED451 がもっとも小さく、ED441 は約 1.5 倍、ED141 は約 2.5 倍、D51 は約 3 倍以上の値を示している。

6. む す び

以上の試験結果から見て

(1) 輪重は大体設計輪重の順序で D51 がもっとも小さく、続いて ED451, ED441 および ED141 の順序である。しかし ED451 は他の機関車に比較して左右車輪のバランスがもっとも良いので、軌道に与える影響は良好と思われる。

(2) 横圧は各試験現場を通じて、ED 451 がもっとも小さく、ED441, ED141 の順序で D51 は他の機関車に比較して相当に大である。

(3) 在来の機関車に比較すると、交流電気機関車 ED451 は EH10 型機関車と同程度の横圧を軌道に与えていると思われる。

つぎに軌道破壊の面から考えると

(4) 直線部においては各機関車共に横圧の値は問題にならない程度である。

(5) 曲線部においては、交流電気機関車 ED451, ED441 とともに、通り狂いに対しては限度以下であるが、軌間拡大に対しては、半径 400 m においては最高速度 70 k/h で、半径 300 m においては 40~50 k/h 以上となると横圧の限度または限度以上の値を示している。

(6) これから考えると、交流電気機関車の運転は、軌道破壊の面から見ると、乙線規格 (37 kg レール、急曲線のタイプレート敷設、枕木本数の増設) 以上の線路が必要と思われる。

交流電気機関車の誕生に際して

常務取締役 弘 田 実 禧

交通機関の発達いかんが一国文化のバロメータであることは否めない事実である。ことにこれが主力を受持つ鉄道輸送の合理化は国家経済の上からも緊急事でありわが国においても近年、鉄道電化問題が積極的に取上げられ重要国策としてこれが推進に敢然努力を続けられていることは誠に欣慶に堪えない処である。

従来、世界における幹線電化は直流方式においては 1,500 V ないし 3,000 V、交流方式では $16\frac{2}{3}$ ~25 c/s, 11~15 kV で行われるのを通例とした。しかるに最近の技術の進歩は商用周波数、25 kV の電化を可能とし、この方式の技術的経済的利点が認識せられるに至り、いまやフランスを始め世界各国はこの研究に最大の努力を傾注しつつある。

アメリカその他、世界各国の鉄道経営者は、すでに蒸気機関車の時代は去り電化の時代に移行しつつあることをよく認識しているが、彼等の鉄道電化の意欲を阻んだものは、電化費とくに初期電化費に高額な投資を必要とすることであった。アメリカの鉄道電化の進展が数年来足踏みし、もっぱら蒸気機関車をジーゼル電気機関車に置き換えてつつあることも、鉄道事業を経済的に運営せんとする目的からにはほかならない。

直流電化はもちろん、交流電化においても在来のヨーロッパにおける $16\frac{2}{3}$ c/s 方式およびアメリカの 25 c/s 方式では商用周波の交流から直流へ変換する変電所、あるいは $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ 商用周波に変換する変電所、ないしは特別の発電所を必要とする。今もし、商用周波による電気車の運転が可能ならば、これらの発電所を省略でき頭上を縦横に走る工業用送電網から直接豊かかつ安直な電力を無限に利用することができる。これが 50 c/s 方式の第 1 の経済的利点である。

電気車の出力増大の要求と電動機を収める空間の制限とにより、主電動機はますます小形大出力に設計されねばならないが、しかもなお、運転の信頼度と保守の容易のためには主電動機その他の車両用機器は低電圧であることが望ましい。反面、架線電圧がかくの如く低い値では饋電電流が大きくなり電圧降下ならびに饋電損失の増大を生ずる。これを防ぐには架線と饋電線の断面を大きくすると共に高価な変電所を多数区間に設ける必要があるが、すこぶる不経済となることは免がれない。これに対し一層の高圧饋電を行えば地上設備は簡単となり電化方式としてはきわめて有利となる。この目的のためには直流方式は不向きであり、車内変圧器で交流高圧を交流低圧に簡単自由に降圧し得る交流方式が適当である。また車両用機器を小形軽量にするためには、 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 商用周波よりも周波数の高い 50 c/s そのままだが有利である。これが 50 c/s 方式の第 2 の経済的利点である。

さらに直流方式における電気車の速度制御は、電動機の直並組立合せと抵抗制御とによるのが普通であるが、これは急峻であるべき電動機本来の引張力/速度特性をことさら平坦化し粘着特性を悪くするばかりでなく、抵抗器中の電力損失も大きい。交流方式では、変圧器タップによる電圧調整によって速度



制御が可能なることと、電動機の全並列接続によってすぐれた粘着特性が得られるばかりでなく、変圧器のオーバタップの利用という直流方式では考えられない利点もある。これが 50 c/s 方式の第 1 の技術的利点である。

日本においても電気鉄道が今日の隆盛をみるまで、すべて直流方式が用いられてきたが、これは直流直巻電動機が列車運転に好都合な定出力可変速度特性を有しているためである。一方、電化の経済のためには交流高圧饋電が望ましい。この相反する要求を充たすために交流から直流へ変換する車両用整流器が必要になってくるが、これも単極密封型イグナイトロン整流器の出現によって交流饋電、直流駆動という理想が達成され、直流直巻電動機の本来の良好な運転性能の真価を遺憾なく発揮できることとなった。これがこの方式の第 2 の技術的利点である。

国鉄においてはすでに 50 c/s 電化に着目せられて交流電化委員会を結成し、この研究を推進して仙山線に 50 c/s 20 kV の試験線を設け、試作機関車による静的、動的各種試験を実施されることとなっていた。

当社は、わが国最初のイグナイトロン電気機関車の試作を命ぜられたが、この光栄あるご下命に対しては社を挙げて感激し、思い切った新技術を大胆に織りこんで、一意専心、設計製作に精進、昨秋完成、国鉄に納入した。

幸い試験の結果が予想以上の好成績を示しつつあることは、ひとり当社のみならず、交流電化の将来のために誠に喜ばしく、さらにまた、従来傍観のほかなかったこの種の電気機関車の海外需要に対しても、今次の開発実績により自信をもって進出することが可能となり今後輸出面においてもわが国経済の上に乗与するところ大なることを念願し期待する次第である。

50 c/s 電化が、以上の優れた利点を有するにもかかわらず今日まで実用化に至らなかった所以は、整流の良好な単相直巻整流子電動機の設計が困難であったことと、車両に好都合な整流器が得られなかったためであった。今日の技術の進歩は、ようやくこれらを解決しつつあるが 50 c/s 電化の問題点は、ひとり電気車のみならず、相不平衡、通信誘導障害等、今後の研究にまつことがすこぶる多い。

当社も整流子電動機の研究開発、シリコン、ゲルマニウム等、よりよい整流器の開発等について引き続き研究努力を致し、ご期待に沿いたき所存である。

50 c/s 電気車の現状と将来

伊丹製作所 松田新市*

Present State and Future of 50 cycle Electric Locomotive

Itami Works Shinichi MATSUDA

Railway engineers all over the world are watching with wide eyed amazement the outcome of 50 cycle single phase a-c electrification of French National Railways. Why this novel design has come into being and how it differs from the conventional system in techniques and economy are expounded as well as its forecast by the writer who has gathered first hand information during his tour in Europe.

1. ま え が き

ここ数年来、世界中の鉄道関係の技術者は、フランス国鉄総裁 Armand 氏を総帥とし研究部長 Garreau 氏を技術指導者として着々と実施しつつある、フランス国鉄 50 c/s 単相交流電化の推移に驚異と注目の眼を集中している。

フランス国鉄は 16²/₃ c/s 電化の多いヨーロッパ諸国にありながら、直流 1,500 V 方式を広く採用し、すでに 4,000 km をこの直流方式で完成している有名な直流電化国であったが、Paris—Lyon 間の電化を最後として 1950 年より 50 c/s 電化方式に転換し、現在非常な勢いでこの方式の電化を進行させている。1953 年筆者はヨーロッパ諸国の鉄道電化視察旅行をして各国の技術者の意見を聞く機会に恵まれたのであるが、英国鉄の或る責任ある技術者は“輸送量の小さい線区には 50 c/s 方式が経済的であるが、フランスが輸送量の大きい線区にも 50 c/s 方式の電化を強行していることは無謀である”と評していた。50 c/s にとりつかれたとも見え、あるいは無謀とも見える交流電化にフランス国鉄をして取り組ませるに至った動機は 1936 年世界で初めて 50 c/s 電化を実施したドイツの山岳鉄道 Höllental 線を第 2 次大戦後フランスが管理運営してこれを復活せしめたとき 50 c/s 電化の将来性と技術的経済的利点に着目したからにほかならない。

1950 年フランス国鉄は (Aix-Les-Baris)-(La Roche-sur-Foron) の 88 km の区間に 50 c/s 25 kV の試験線を作り、4 両の電気機関車と 5 両の電車を試作して試験を開始したが、この試験が好結果を得たためにフランス国鉄は決心してつぎの如き 50 c/s 電化の 5 カ年計画を樹立した。

- 第 1 次計画 Valencines-Thionville 350 km
- 第 2 次計画 Strasbourg 方面
- 第 3 次計画 Chaumont 方面

これらの大工事は目下進行中であり 1958 年にその完成が予定されている。英国はフランスの 50 c/s 電化に刺激されて 1953 年 8 月以来 Lancaster-Heysham 線 9.5 哩を 50 c/s 6.6 kV に改造して試験中であり、米国では今後の電化は 60 c/s 24 kV とすべきことを委員会で推奨しているし、南米のアルゼンチンは 50 c/s 27 kV の電化に着手、第 1 次計画は今年に完成が予定されている。その他トルコ、ベルギー領コンゴ等は 1952 年頃以来 50 c/s 25 kV で営業運転を開始しているし、印度は目下この方式の電化を計画中である等、世界中の幹線鉄道の電化はこの商用周波数方式に研究を集中し、これらの研究論文は毎号の技術雑誌ににぎわしている。

日本においては 1 昨年来 50 c/s 電化の研究が国鉄を中心にその総技術力を結集して進められ、仙山線(仙台—山形)の一部に 20 kV の試験線が作られて、イグナイトロン形機関車と単相整流子電動機形機関車各 1 両により各種の試験が施行されつつある。

当社は B-B 形 60 t 1,000 kW のイグナイトロン機関車の試作を国鉄より命ぜられ、鋭意設計製作中であつたが昨年 9 月ようやく完成して納入、昨年末、仙山線における各種試験を好成績に終了することを得た。この機会に 50 c/s 交流電気車の欧米各国の現状に対する概要と、この方式の技術的諸問題ならびに将来に対する私見を申し述べてご参考に供したいと思う。

2. 50 c/s 電化の各国の現状

ア. ド イ ツ

(1) 国鉄 Höllental 線 (1 表)

1936 年世界で初めて Freiburg-Neustadt Titisee-Seeburg 間、約 55 km 最大勾配 55% の山岳鉄道の単相 50 c/s 20 kV の電化を行い、当時 A. E. G. B. B. C. S. S. W. および Krupp の 4 社に独自の設計を行わせて各 1 両ずつの 85 t 電気機関車を試作して営業運転を開始した。さらに 1950 年に A. E. G. の 80 t 電気機関車

1 表 ドイツ Höllental 線 50 c/s 電気車

運転開始年度	1936				1950	
	A.E.G.	B.B.C.	S.S.W.	KRUPP	A.E.G.	S.S.W.
メーカー	A.E.G.	B.B.C.	S.S.W.	KRUPP	A.E.G.	S.S.W.
形式	電気機関車 244.01	同左 244.11	同左 244.21	同左 244.31	同左 244.22	電車 255.01
最高速度 km/h	85	85	85	85	80	90
車輪径 mm	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,050
重量 t	85	84.6	84.85	83	84	
全長 m	14.32	15.29	16.44	15.08	15.29	43,625
軸配置	B-B	B-B	B-B	B-B	B-B	
主電動機方式	D-C	D-C	50 c/s 整流子型	1φ 誘導機型	3φ 誘導機型	50 c/s 整流子型
主電動機数	4	4	8	4	4	同左
主電動機重量 kg	3,220	3,620	2,500	2,600	1,700	3,600
極数	4	8	14	6	4	12
回転数 (最大) rpm	1,650	1,340	2,200	1,000	1,500	1,665
歯車比	1:4.5	1:3.59	1:5.867	1:3.8	1:4.07	1:4.722
主電動機端子電圧 V	1,700	800	270	800	800	575/2
主電動機容量 (1時間) kW	500	560	492/2	530	505	550
同上 (連続) kW	430	530		490	480	510
機関車出力 kW	2,000	2,240	1,968	2,020		2,200
最大引張力 t	24	24	24	24	26	16.3
補機電圧 V	200	220	220	200	220	220
	D-C	D-C	A-C(1φ)	A-C(3φ)	A-C(3φ)	A-C(3φ)

1両 S.S.W. の電車 2両, 1編成を増車して現在に至っているが, さらに 60 km の延長線が予定されている。

(a) A.E.G. 製機関車 E24401 (1936年) (1 図)

ポンプ付 水冷多陽極形水銀整流器機関車であって機関車の速度制御は

整流器の格子制御

主電動機の直並列切換

主電動機の弱界磁

の組合せによっている。

(b) B.B.C. 製機関車 E24411 (1936年) (2 図)

ポンプ付 水冷多陽極形水銀整流器機関車であるが主電動機は永久並列接続である。

(c) S.S.W. 製機関車 E24421 (1936年) (3 図)

246 kW の整流子電動機が 1 動軸に 2 台ずつ釣掛けられているのが特長であるが, 整流子電動機の成績は不良である。

この機関車は前後 2 台の台車をトライアングルカップリング方式で連結し, 台車の左右動と前後動とを防ぎながら索引している。

(d) Krupp 製機関車 E24431 (1936年) (4 図)

4 極の単相誘導電動機と, 6 極の 3 相誘導電動機の極数の組合せと, 水抵抗器により速度制限をする複雑な方式であって, Schön 博士の考案になるものであるが, 複雑過ぎて取扱いが面倒であるのが欠点である。現場保守員の不評を買っている。

(e) A.E.G. 製機関車 E24422 (1950年) (5 図, 7 図)

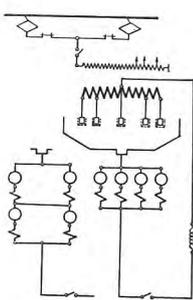
第 2 次大戦後に新製された整流子電動機形機関車であって成績は良好である。

(f) S.S.W. 製電車 ET25501 (6 図)

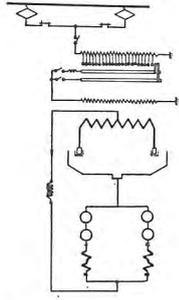
第 2 次大戦後に新製された電車で, 主変圧器は台車上に積まれている。整流子電動機形電車であって, 355 kW の電動機は 2 台永久直列している。

(2) ドイツ国鉄の将来の電化方針

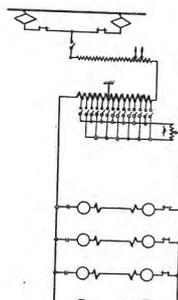
ドイツは 50 c/s 方式が技術的に可能であることを Höllental 線で立証したが, 従来 16²/₃ c/s 方式で国鉄は電化されているので, 既設線の電化の延長はすべて 16²/₃ c/s に統一される予定である。現在 Frankfurt—Basel 間が 16²/₃ c/s で電化建設中であり, 次は Düsseldorf—Böchem—Essen の工業地帯が 16²/₃ c/s で電化予定されている。すなわちドイツは 50 c/s 電化のバイ



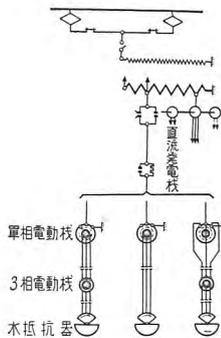
1 図 A.E.G. 製 E 24401 機関車
Fig. 1. A.E.G. Loco.



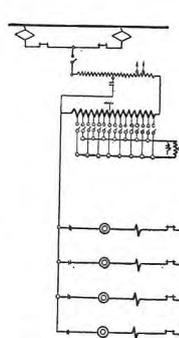
2 図 B.B.C. 製 E 24411 機関車
Fig. 2. B.B.C. Loco.



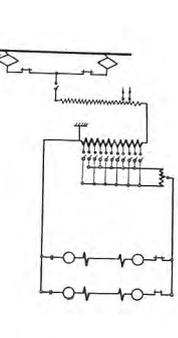
3 図 S.S.W. 製 E 24421 機関車
Fig. 3. S.S.W. Loco.



4 図 Krupp 製 E 24431 機関車
Fig. 4. Krupp Loco.



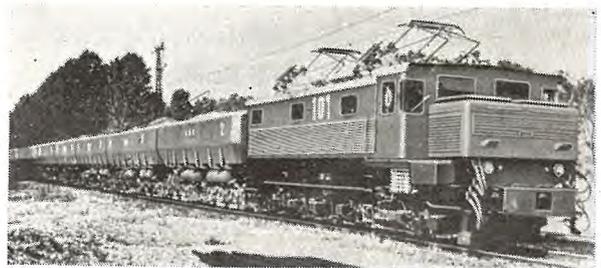
5 図 A.E.G. 製 E 24422 機関車
Fig. 5. A.E.G. Loco.



6 図 S.S.W. 製電車
Fig. 6. S.S.W. Loco.



7 図 A.E.G. 製 E 24422 機関車用
タンデム形主電動機
Fig. 7. A.E.G. loco
tandem motors.



8 図 Rhein A.G. 電気機関車
Fig. 8. Rhein A.G. loco.

2表 Rhein A.G. 電気機関車性能

機関車種類	整流器機関車	電動発電機
用途	貨	貨
軸配置	B-B	B-B
製作会社	B. B. C.	S.S.W. B.B.C.
製造年	1954	1955
全重量 t	120	120
動輪直径 mm	1,120	1,120
ゲージ mm	1,435	1,435
最高速度 km/h	70	70
最大起動引張力 t	38	38
出力(1時間定格) HP	2,000	2,360
速度(") km/h	24.4	—
引張力(") t	21.6	—
種類	直流電動機	直流電動機
出力(1時間定格) HP	500	500
電圧(") V	760	800
電流(") A	—	—
回転数(") rpm	680	—
電機制動	回生制動	回生制動

4表 フランス国鉄試作電車

電車種類	整流子電動機	整流子電動機	整流子電動機	水銀整流器
形式	#z9051	z9052	z9053-9054	z9055
編成	MT	MT	—	MT
製作会社	Oerlikon	B. B. C.	Jeumont	Schnelder Westinghouse
自重 t	118	—	—	114
出力(連続) HP	1,700	1,444	—	760
最高速度 km/h	80	—	—	80
主出力(連続) HP	425	386	345	—
電圧 V	250	230	266	—
電流 A	1,580	1,620	1,240	—
回転数 rpm	1,350	1,345	1,440	—



9図 フランス国鉄 BB 形整流子電動機機関車
Fig. 9. French National Railways BB pattern loco.

オニヤでありながら、現在はフランスの 50 c/s 電化の推移を静観している状況である。

(3) 炭坑鉄道 Rhein A.G.⁽¹⁾

50 c/s 6 kV にて電化され、1952 年、120 t の電動発電機形機関車と整流器形機関車合計 56 両がドイツのメーカーに発注された。いずれも重量列車運転に都合の良い直流直巻電動機で駆動するのが特長である。(2表, 8図)

イ. フランス

(1) 50 c/s 電化の試験

1950 年フランス国鉄が 88 km の区間に 50 c/s 20 kV の試験線を作り試験を開始したことは前述のとおりであるが、このときの試作機関車および試作電車は 3表, 4表のとおりである。この試作車について興味のある点はいずれも電動機を台車装荷とし可焼式動力伝達装置を採用していることである。

これらの試験結果について、1951 年 10 月 12 日より 15 日まで試験線の中心地 Annecy に世界中の識者約 250 名を招待して、論文を発表し検討したことはあまりにも有名である。

3表 フランス国鉄試作機関車

機関車種類	整流子電動機	整流子電動機	電動発電機	水銀整流器
形式	#6051	#6052	#6053	#8051
軸配置	C-C	C-C	B-B-B	B-B
製作会社	Oerlikon S.L.M.	Alsthom	Le Materiel de Traction Elcee	Alsthom
製造年	1950	1951	1955	1951
全重量 t	104	118	114	79
動輪直径 mm	1,400	1,250	1,100	1,250
最高速度 km/h	100	100	100	100
出力(連続) HP	4,140	3,660	3,150	2,700
速度(") km/h	68	69.5	—	60
引張力(") t	16	14	—	12
歯車比	4.19	4.83	—	4.375
出力(連続) HP	690	610	—	675
電圧 V	250	2×218	750	675
電流 A	2,640	1,400	—	800
回転数 rpm	1,110	1,460	—	1,130
備考		双子形電動機		6 陽極整流器 2 台並列

5表 フランス国鉄第1次発注機関車

形式	BB13000		BB12000	CC14100	CC14000
	B-B		C-C	C-C	
重量 t	80		120	120	
最高速度 km/h	105		60	60	
車輪直径 mm	1,250		1,100	1,100	
全長 m	16		18.89	18.89	
再生ブレーキ	なし		あり	あり	
主電機方式	50 c/s 整流子電動機	イグナイトロ ン→D-C	M-G→D-C	M-G→3φ 誘導電動機	20
製作機関車数	15	6	65	20	
製作会社	Jeumont	Westinghouse	Alsthom	Oerlikon	
機関車出力(連続)	2724 HP 53 km/h	3120 HP 47 km/h	2490 HP 27.9 km/h	3590 HP 39.2 km/h	
引張力(連続) t	13.5	17.6	23.2	24	
最大引張力 t	24.5	24.5	42	40	
効率	0.75	0.86	0.74	0.74	
主電動機端子電圧 V	250	675	600	930	
主電動機電流(連続) A	3,200	950	550	333	

6表 フランス国鉄機関車発注両数

形式	第1次注 発注両数	現在注 発注両数	1955年 5月現在 入手両数	1955年度 発注予定 両数	合計
BB 12000 イグナイトロン形	5	52	4	100	152
BB 13000 直巻形	15	53	5	—	53
CC 14100 電動発電機形	65	102	16	—	102
CC 14000 周波数変換機形	20	20	2	—	20

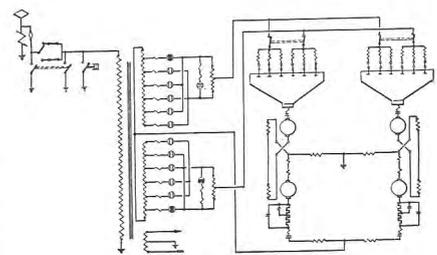
さらに追加発注もあって昨年までの第1次計画の北部幹線用電気機関車の両数は6表のとおりである。

ウ. イギリス

イギリスの電化委員会は 1948 年に将来のイギリスの電化は直流 1,500 V 方式にすべきことを決定したのであるが、フランス国鉄の 50 c/s 電化に刺激されて、かつて 25 c/s で運営したことのある当時休止中の Lancaster—Heysham 線 9.5 マイルを 50 c/s, 6.6 kV の試験用に模様変えし、1953 年 8 月以来、M. T. T. 3 両編成、3 列車の電車で試験中である。⁽²⁾ 電機品は English Electric で製作され、古い電車の床上にこれらの電機品を積込ん

7表 イギリス試験用電車性能

架線電圧 kV	6.6
周波数 c/s	50
出力(1時間定格) HP	860
引張力(") lbs	11,500
平均起動引張力 lbs	17,900
車輪直径	42"
歯車比	65/16
最高速度 m. p. h.	75
ゲージ mm	1,435



10図 イギリス試験用電車ツナギ
Fig. 10. Connection of test car in England.

でいる整流器形電車であるが、整流器は多極風冷、密封形である。別にゲルマニウム整流器を使用して同じく試験中であることは注目に値する。

この試験が成功して、イギリス鉄道の近代化計画に50 c/s 方式が採用されることになると、25 kV にせよ6 kV にせよ、既存のトンネル、橋梁等の築造物に対する遊隙が問題となり、これらの築造物の改造を必要とするので、この面の問題も大きいとされている。(7表, 10 図)

エ. アメリカ

アメリカでは、1938 年以来、ジーゼル電気機関車の採用によって鉄道電化はほとんど進展しなかった。既設の25 c/s, 11 kV の電化線はもっぱら整流子電動機形の機関車と電車で運転されてきた。1950 年 Pennsylvania 鉄道にウエスティングハウスによる水冷式密封形イグナイトロン電車が試作試用され、ついで 1952 年 2×(B-B) ならびに 2×(C-C) 形 6,000 HP、イグナイトロン電気機関車が作られた。さらに 1954 年 New Haven 鉄道に同じくウエスティングハウスにより 4×100 HP のイグナイトロン電車が 100 両作られたが、これは交流区間と直流区間との両用である点が特長である。その他 New Haven 鉄道には G. E. 製の 10 両の 4,000 HP イグナイトロン機関車も運転が始められた。かくの如くアメリカでは 25 c/s ながらイグナイトロンの成功によって交流饋電、直流駆動の姿に転換しつつある。

また一方今後 10 年以内に再び鉄道電化が発展するようになるといわれ、それには 60 c/s, 24 kV 以上の高圧は採用すべきことを Batelle 委員会が推奨している。またこの委員会は現在の 25 c/s の幹線から商用周波数への転用が可能であることも進言し、この商用周波数採用の利益についてはつぎのように附言している。(3)

- ① 2 業用送電線から直接カテナリーへ電力を導きるので、鉄道自身送電線を持つ必要がない。
- ② 軽いカテナリーが用い得られる。
- ③ 支持物が軽量化される。
- ④ 変電所あるいは開閉所の相互の間隔を大きくすることができる。
- ⑤ 商用周波数の採用で変電所の一部または全部を省略することができる。
- ⑥ 変電所の機器の電流定格を下げるができる。
- ⑦ 周波数変換装置が不要。
- ⑧ 変電所に整流器や回轉變流器が不要。

⑨ ジーゼル電気機関車はジーゼルエンジンと直流発電機を整流器または電動発電機に置きかえて転換が可能であり、この場合主電動機はそのままで良い。

なお Batelle 委員会の専門家たちの意見では、将来の24 kV, 60 c/s 電化を Paris—Lyon 間の輸送密度の2倍の密度まで対照として推奨していることは注目してよい。

オ. トルコ (4)

昨年来、トルコ国鉄は M. T. M. 3 両編成の電車、18 編成を Sirkeci—Soguksu 間 16.75 マイルの 25 kV, 50 c/s の新電化線に投入、運転を始めんとしている。これらはフランスのメーカ、Alstom Jeumont Schneider-Westinghouse 等により製作されたものである。(8表)

カ. ベルギー領、コンゴ

1952 年、1067 mm ゲージのベルギー領コンゴにフランスのメーカ Jeumont によって双子形 420 HP の整流子電動機を備えた機関車が製作され運転されている。(9表)

キ. アルゼンチン (5)

アルゼンチンはメータ、ゲージの Transandine 線、125 マイルの電化を決定し、50 c/s, 27 kV の採用を決定した。これは、北米、南米を通じて最初の 50 c/s、方式の電化であり、第1次計画は今年に完成が予定され、全線の電化の完成は 1957~58 年とされている。

ク. 日本

仙山線における 50 c/s, 20 kV の試験用に整流器形機関車と整流子電動機形機関車が1両ずつ製作され昨年秋以降、現地において試験中である。メーカならびに主要諸元は 10 表のとおりである。

3. 鉄道電化方式の比較

ア. 在来の鉄道電化の諸方式と適用分野

直流方式の利点は列車運転に好都合な特性を持つ直流直巻電動機が使用できる点にある。しかしながら速度制

8 表 トルコ国鉄電車

電動車全長	72 ft 2 in
車輪径	3 ft 7 ¹ / ₄ in
連続定格出力	1,160 HP
定格速度(連続定格)	38 mph
最高速度	56 mph
主出力(連続定格)	325 HP
電圧(")	240 V
電機電流(")	1,320 A
制御装置	カム軸
ノッチ数	28

9 表 コンゴ機関車

製作会社	Jeumont
製造年	1952
主電動機	整流子電動機
極数	2×12 (双子型)
1 時間定格 HP	420
電圧 V	2×240
電流 A	850
回転数 rpm	1580
電動機装荷法	台車

10 表 国鉄試作機関車

三 菱		日 立	
ED45 形水銀整流器機関車		ED44 形直接電動機機関車	
電気方式	20 kV, 50 c/s 単相交流	電気方式	20 kV, 50 c/s 単相交流
最大寸法	14,000 mm(長)×2,800 mm(幅)×4,100 mm(高)	最大寸法	13,500 mm(長)×2,800 mm(幅)×4,100 mm(高)
運転整備重量	60 t	運転整備重量	60 t
軸配置	B-B (4 動軸)	軸配置	B-B (4 動軸)
動輪直径	1,070 mm	動輪直径	1,250 mm
主電動機	直流直巻電動機、連続定格 250 kW, 500 V, 550 A	主電動機	単相交流整流子電動機、連続定格 250 kW, 200V, 1900A
主電動機支持方式	台車装荷式	主電動機支持方式	釣掛式
制御方式	主変圧器の低圧側タップ切換および位相制御ノッチ数33	制御方式	主変圧器の低圧側タップ切換方式、ノッチ数 16
補機駆動方式	相変換機により単相を3相にかえ、3 相交流誘導電動機を駆動する。電圧3相 400 V	補機駆動方式	相変換機により単相を3相にかえ、3 相交流誘導電動機を駆動する。電圧3相 200 V
ブレーキ装置	空気ブレーキおよび手ブレーキ	ブレーキ装置	空気ブレーキおよび手ブレーキ
保護装置	高圧側 電力ヒューズ、接地スイッチ 低圧側 過電流継電器、低電圧継電器	保護装置	高圧側 空気吹消遮断器、接地スイッチ、交流電圧継電器、過電流継電器 低圧側 過電流継電器、接地継電器
水銀整流器	液冷、密封型、イグナイトロン 8 in (750 V, 300 A) 8 本		
連続定格出力	1,000 kW	連続定格出力	1,000 kW
連続定格引張力	10,600 kg	連続定格引張力	10,680 kg
連続定格速度	35 km/h	連続定格速度	33.5 km/h
最大安全速度	85 km/h	最大安全速度	65 km/h

御のために抵抗器に電力を消費せねばならぬことと、1,500 V、あるいは3,000 V という電車線電圧は主電動機には高過ぎるし、電力輸送には低過ぎるという相反する条件に対する折衷電圧であること等のために変電所間隔が大きくとれないこと、電車線が太くなること等、地上施設費が高価となる。単相 16²/₃ c/s あるいは 25 c/s 方式は以上の直流方式の欠点を回避できるがそれでもなお直流直巻電動機のすぐれた特性には打ち勝てない。したがってたとえ、主電動機馬力に考慮を払ってもなおドイツやスイスの 16²/₃ c/s 電気機関車はヨーロッパにおけるもっとも軽量の列車を牽引している。電化方式を効果的列車牽引を主眼として選択すれば直流低圧方式が良く、経済的地上施設を主眼として選択すれば交流高圧方式が良い。かくして直流方式と交流方式とがおのおの相反する長所を持ちながらも決定的な両方式の長所を併有し得ないまま現在に至った。したがって各国各様の輸送条件、地理的条件にもっとも適合する電化方式としてあるいは

11 表 各国近郊電車電化方式一覧表 (1953 年)

国名	電車線電圧	ルート 哩 A	トラック 哩 B	平均トラ ック数 B/A
英国, 国鉄 (南部)	660 V.d.c.	715	1,782	2.5
〃, リバプール	630	37	93	2.5
〃, ロンドン地下鉄	630	241	653	2.7
パリ地下鉄	650	54	112	2.1
アメリカ, ロングアイランド	650	141	449	3.2
〃, ニューヨーク	650	70	441	6.3
ドイツ, ベルリン	800	181	430	2.4
オーストリア, ウィーン	800	17	37	2.2
アルゼンチン, ベノス・アイレス	800	70	202	2.9
ハンガリー, ブダペスト	1,000	91	178	2.0
ソ連, モスコ	1,500	112	275	2.5
〃, レニングラード	1,500	44	105	2.4
インドネシア, バタヴィア	1,500	50	145	2.9
オーストラリア, シドニー	1,500	110	316	2.9
〃, メルボルン	1,500	173	439	2.5
ニュージーランド, ウェリントン	1,500	53	126	2.4
南阿, ケープ・タウン	1,500	49	102	2.1
デンマーク, コペンハーゲン	1,500	33	75	2.3
オランダ, 国鉄	1,500	798	1,881	2.4
スエーデン, ストックホルム	1,500	53	80	0.5
日本, (東京)	1,500	509	929	1.8
〃, (大阪)	1,500	129	240	1.9
カナダ, モントリオール	2,400	31	87	2.8
ベルギー, ブラッセル	3,000	104	282	2.7
ポーランド, ワルソー	3,000	65	158	2.4

12 表 各国幹線鉄道電化方式一覧表 (1953 年)

国名	電車線電圧	ルート 哩 A	トラック 哩 B	平均トラ ック数 B/A	
米国, イリノイ鉄道	650 V.d.c.	431	488	1.1	
キューバ	1,200	54	110	2.0	
フランス	1,500	2,355	4,507	1.9	
スペイン	1,500	518	971	1.9	
インド	1,500	236	566	2.4	
米国	3,000	744	1,113	1.5	
ソ連	3,000	828	1,100	1.3	
アルゼリア	3,000	167	211	1.3	
ブラジル	3,000	569	862	1.5	
チリ	3,000	165	269	1.6	
メキシコ	3,000	64	81	1.3	
モロッコ	3,000	471	602	1.3	
南阿	3,000	633	1,275	2.0	
イタリー	3,000	2,338	4,731	2.0	
米国	11kV, 25C	1,210	3,619	3.0	
スイス, レティシュ鉄道	11	16	330	1.2	
スイス国鉄	15	16	2,166	4,064	1.9
スエーデン	16	16	3,706	3,626	1.5
オーストリア	15	16	680	1,487	2.2
ドイツ	15	16	1,555	4,252	2.7
ノルウェー	15	16	633	842	1.3
コスタリカ	15	20	86	100	1.2
ハンガリー	15	50	117	404	3.5
フランス, アンシー線	20	50	40	48	1.0
ドイツ, ヘレンタル線	20	50	35	57	1.6

直流方式を、あるいは交流方式をそれぞれの立場から選択したというのが現在までの姿である。11, 12表⁽⁶⁾は各国電化方式を示す。

この表から一般的に 2 つの大きな特色が見出される。

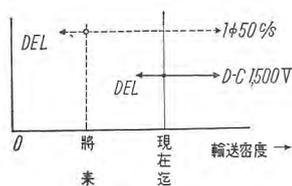
- ① 大都市および大都市周辺の電化は直流方式の 1,500 V 以下であり、長距離幹線は直流方式の 1,500 V あるいは 3,000 V か交流式の 11 kV 以上である。
- ② 大都市および大都市周辺の平均トラック数は 2 以上であり、長距離幹線は 2 以下である。
- ③ 平均トラック数が輸送密度に比例すると考え得るから、① 項の関係はまた輸送密度との関係となり、輸送密度の高い周辺は 1,500 V 以下であり輸送密度の低い長距離幹線は直流 1,500 V、3,000 V または交流 11 kV 以上である。

イ. 50 c/s 方式の経済性

50 c/s 方式の経済性について、フランスの Valenciennes—Thionville 線の例をとると、225 ルートマイル

13 表 経済比較

	50c/s 25kV	D-C 1,500V
変電所数	6	23
饋電線長	7 mile	211 mile
電車線断面	0.238 in ²	0.744 in ²

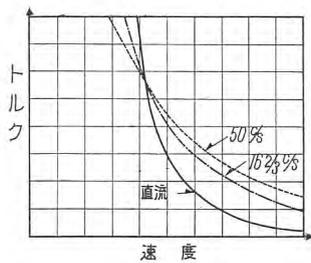


11 図 50 c/s 方式の適用分野
Fig. 11. Application sphere of 50 cycle system.

について 13 表のとおりとなる。⁽⁷⁾ この表で明らかのように 50 c/s 方式の変電所数は直流 1,500 V 方式の約 1/4 であるばかりでなく、変電所の内容は 50 c/s が単に変圧器と遮断器のみであるに對して直流方式はこのほかに電流変換装置を必要とすることを思えば遙かに高価なものとなる。結局地上施設費は、直流 1,500 V 方式に比し 40% で足りたと報告している。さらに 1955 年 5 月のリール会議資料によれば、車両費ならびに地上施設費等の電化の初期投資額は 50 c/s 方式を 100% とすると、他の方式は 120% と報告されている。また年間運転経費は各方式ともほぼ同額となっている。

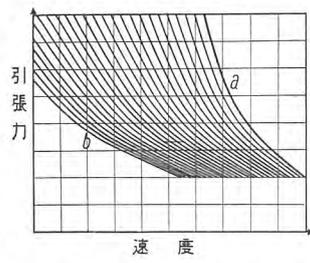
ウ. 50 c/s 方式の適用分野の将来

50 c/s 方式には未だ幾多の技術的問題点もあるが、近き将来必ず解決され、経済的利点と技術的利点が評価されて、3・ア項の在来の適用分野を大きく変更することとなる。大都市および大都市周辺の輸送密度の高い地点の電化が直流 600 V のトロリーバスあるいは電車であり、近距離都市間の電化が直流 1,500 V 方式であることには将来も変りがないと信ずるが、中および長距離幹線には 50 c/s 方式が広範囲に採用せられることとなり、直流 1,500 V あるいは 3,000 V の分野に進出することが予想される。これについてフランス国鉄の Tissier 氏は将来の中、長距離幹線の適用分野に対する筆者の質問に對して 11 図のように回答した。



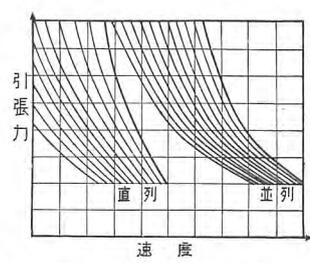
12 図 主電動機のトルク/速度曲線

Fig. 12. Torque-speed curve of main traction motors.



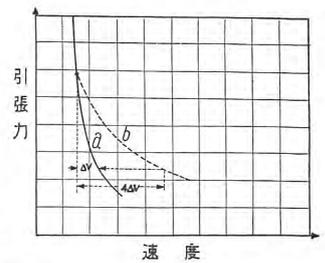
13 図 引張力/速度 曲線

Fig. 13. Traction force-speed curve.



14 図 引張力/速度 曲線

Fig. 14. Traction force-speed curve.



15 図 引張力/速度 曲線の転移

Fig. 15. Changes of traction force-speed curve.

4. 50 c/s 方式の技術的諸問題

ア. 粘着特性

1つの車軸の車輪の回転速度が他の車軸の車輪のそれよりわずかでも増加すると、これがスリップの現象となる。いまもしこのわずかの回転速度の増加が直ちにその車輪の引張力の減少を伴えばその車輪は再び元の良好な粘着状態に復帰してスリップの現象は現われない。この関係は引張力/速度特性が急峻である程スリップ発生の確率は減少する。引張力/速度特性は直流直巻電動機がもっとも急峻ですぐれていて、50 c/s 整流子電動機がもっとも悪い。すなわち直流直巻電動機は各種電動機のうちで本質的にもっとも粘着特性がすぐれていて高い引張力が許し得ることとなる。(12 図)

イ. 粘着特性による各方式の比較⁽⁸⁾

(1) 直流方式

直流機関車の速度制御は電動機組合せによる直列、直並列の2段階制御と抵抗制御によるのが普通である。各組合せの段階においては、しかるべきステップの抵抗を挿入して速度をあげて行く。この状況を引張力/速度曲線であらわすと13, 14 図のとおりである。

13 図は抵抗制御が引張力/速度特性に影響する関係を1個の電動機につき示す。a 曲線は抵抗を全部短絡した状態における特性であるが、これに抵抗を直列に挿入すると次第に曲線は平坦になり、全抵抗を挿入したb 曲線の第1ステップにおいては曲線はもっとも平坦となる。これは抵抗による電圧降下のため速度/電流曲線が急峻となり逆に引張力/速度曲線が平坦化するためである。すなわち起動抵抗制御は直流電動機の引張力/速度特性を平坦化し粘着特性を悪くする。14 図は直並列2段階制御の場合の関係を示す。たとえば4個の主電動機が全直列に接続された場合を考えると、電動機は架線電圧の $\frac{1}{4}$ の電圧を印加されている。いまこのうち1組の車輪がスリップを始めると回転数が急昇して逆起電力が増大しこの電動機の端子電圧も増大して全架線電圧がこのスリップ電動機に印加されるに至り、遂にこの電動機の引張力/速度曲線はaよりbに転移してこの曲線の傾斜は $\frac{1}{4}$ に落ちることとなる。(15 図)

すなわち直流方式において、数個の主電動機を直並列50 c/s 電気車の現状と将来・松田

制御する場合、

1個の電動機がスリップを始めると引張力/速度曲線は15 図のように平坦化されます。さらに抵抗制御方式はこの傾向を助成する。この点が直流方式の欠点である。

(2) 交流方式

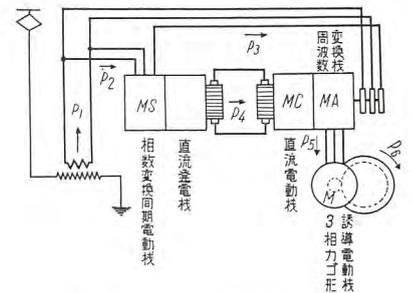
電動機速度制御を可変電圧方式によると上記の直並列ならびに抵抗制御の欠点が除かれる。直流方式でも車上に電動発電機をおき発電機の励磁を制御すれば可変直流電圧を得ることはできるが機関車が重くなる欠点がある。交流方式の場合には変圧器のタップ制御により電圧調整が容易にできるので、全電動機を永久並列にしたままこれを直接交流電動機に供給するか、または整流器を通じて直流電動機に供給すればよい。かくの如く、可変電圧が容易に得られることが交流方式の直流方式にまさる大きな利点である。

a. 電動発電機機関車

交流方式でも機関車重量は増大するが単相/直流 または単相/3相の電動発電機によって直流直巻電動機または、3相誘導電動機のすぐれた粘着特性を利用することを得策とする場合もある。前者の例はフランスのCC-14100形機関車であり、後者の例はCC-14000形機関車であつていずれも重量列車牽引用である。(5 表参照)

CC-14100形機関車は3,000 V, 2,900 HPの単相同期電動機に直結された2組の975 kW 差動複巻式直流発電機の電圧を制御する方式であつて6個の直流複巻電動機に供給される。

CC-14000形機関車は16 図の如く単相/3相の相数変換用同期電動機MSと周波数変換機MAからなり、MAを駆動する直流電動機MCの励磁を制御すればMAの電圧と周波数が広範囲に変化して3相カゴ形誘



16 図 CC14000 形機関車主回路と入力経路

Fig. 16. CC 14000 pattern main circuit and input route.

導電動機に供給され、機関車の速度制御が達せられる。誘導電動機を主電動機として使用することは引張力/速度の曲線が急峻であるため前述のとおり粘着特性が良好であるほか各動軸を周波数によって電氣的に結合したこととなり、スリップを防ぐ効果がある。また、同期電動機は送電網の力率改善に役立って電力消費を助ける効果もあるほか、同期電動機をわずかに過励磁しておくこと架線の誘導抵抗を打消して電圧降下を減少するばかりでなく、電圧降下を一定にする効果もある。

b. 直接形機関車

単相整流子電動機の粘着特性が悪いため、一般に 50 c/s 電動機は重量列車の牽引には適さない。与えられた引張力で最大の重量列車を引き出すためにはできる限り低加速度にて起動すべきであるが、加速度が低いことはそれだけ起動時間が長いこととなるので低速度において整流の極度に悪い本質を持つ整流子電動機は激しい火花を発生し刷子下のセグメントが加熱されて整流子を破壊するに至る。この点が起動特性のすぐれた直流直巻電動機とは大きな性能上の相異のある点であって、一般に許し得る最小加速度は、直流直巻電動機にあっては、 0.07 ft/sec^2 であり、50 c/s 電動機にあっては、 0.3 ft/sec^2 とされている。⁽⁹⁾ 50 c/s 電動機の最低加速度が直流電動機の4倍であることは、50 c/s 電動機が直流に比べ4倍の起動牽引力を必要とすることを意味する。しかしながら反面 50 c/s 電動機の高速度性能はすぐれているので、この点から直接形機関車は高速軽量列車の牽引には適する利点がある。

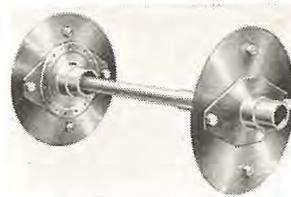
c. 整流器機関車

整流器機関車は直流直巻電動機が使用できるために粘着特性は良好である。整流器機関車は1936年にドイツのHöllental線において水冷式多陽極形で走ったのが最初であるが、車両の振動による事故が多く、真空の保持、冷却装置等、保守、ならびに取扱いが厄介のためその後は整流器機関車は見捨てられた状態であった。1950年アメリカのPennsylvania鉄道がイグナイトロン電車をW社により試作して成功し、1952年、W社製の6,000 HPのイグナイトロン機関車の運転を始めさらに1954年、New York New Haven & Hartford鉄道がG. E. 製4,000 HPイグナイトロン機関車を、11両およびW社製の400 HPのイグナイトロン電車100両の運転を始めた。フランス国鉄がイグナイトロン機関車を使用し、また大量に発注中であることは前述のとおりであるが、このことは密封型イグナイトロン方式が良好な成績を示した結果である。イグナイトロン機関車の長所としてはつぎの点があげられる。

- ① 直流電動機本来の良好な粘着特性が得られること。
- ② 直流電動機を永久並列に接続して可変電圧速度制御方式とするため、上記の粘着特性を充分活用できること。
- ③ イグナイトロンが過負荷に耐え得ることのため、重量列車牽引の場合の最低加速度起動が可能であること。

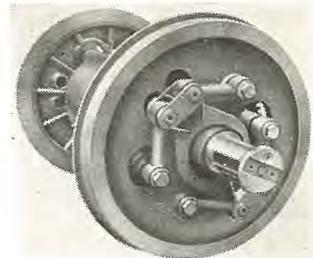
ウ. 動力伝達方式

最近の電気車用主電動機の最も著るしい傾向は主電動



17 図 B.B.C. ディスク・ドライブ

Fig. 17. B.B.C. Disc drive.



18 図 Alsthom クイル・ドライブ

Fig. 18. Alsthom quill drive.

機を高速、小形軽量化して台車装荷とし大歯車比の許せる可撓式駆動装置によって動力伝達を行うことである。従来の主電動機が低速大形であったのはすべて釣掛式のためでありフラッシュオーバ、刷子欠損、バインド線切れ巻線事故、歯車、軸受の破損等の故障はすべて車軸から受ける激烈な衝撃のためであった。主電動機を台車負荷として車軸からの衝撃に対し開放することは主電動機の軽量化、スペース減少による台車重量の減少となるばかりでなく電氣的ならびに機械的に充分安定した設計が可能となって性能を向上し信頼度を増大する。実測の結果は釣掛式における電動機の振動衝撃は時速120 kmのとき20~30 gであるが台車装荷になると、これが1 g程度に減少する。

このことは50 c/s電化方式に対してはとくに必要であって単相整流子電動機も直流電動機もトルクの脈動が避け得られないので、この脈動を吸収するためにも、また、脈流による影響を緩和して整流を良くするためにも必要である。フランス国鉄の50 c/s機関車、電車が例外なくそれぞれのメーカー独自の可撓式動力伝達方式を採用していることは以上の点を裏書きしている。(17 図, 18 図)

当社製イグナイトロン機関車では電動機を台車に装荷し、駆動装置としては、ばね入り歯車固定中空軸式の三菱スプリング・ドライブを採用したが、これによって整流の改善を見ただけでなく、軌条に与える衝撃を緩和し乗心地を良くすることができた。

エ. 主電動機

50 c/s電化用の主電動機として、フランス国鉄は整流子電動機、3相誘導電動機および直流直巻電動機を選択したが、3相誘導電動機は機関車重量が増大すると速度制御が複雑であるという欠点があるので、50 c/s用主電動機としては、整流子電動機と直流電動機とが採りあげられて、将来ともこの両者の上に幾多の改良が試みられるであろう。

(1) 整流子電動機

単相整流子電動機は1904年、スイスの技術者、Behn-Eshenburgによってその整流の困難を克服して実用化されたがこれは15 c/sであった。その後1918年16²/₃ c/sとしてスイス国鉄により広く採用されスイス全土の電化はこの整流子電動機によったのである。50 c/s

14 表 整流子電動機の比重量の推移

周波数 c/s	製 年	70% V max に おける連続 重量 kg/kW	70% V max に おける連続 kW 当 り重量 kg/kW
16 ² / ₃	1935/39	6.6-7.0	
16 ² / ₃	1943/46	4.6-4.8	
50	1949/50	6.85	

電動機の初期の設計はこの低周波の設計を踏襲したため、大形、大重量とならざるを得なかったが最近では設計の進歩により小形化するに至っている。(14表)

50 c/s 電動機の設計上困難な点は主として1極当りの磁束の制限にある。その理由は界磁磁束が交番するため刷子により短絡されて整流を受けている電機子線輪に誘起する変圧器起電力が大きい短絡電流を生じて激しい火花を発生するのでこの変圧器起電力を適当な値に制限する必要があるためである。

$$\phi = \frac{e_t}{4.44 f T \frac{p}{a}} \times 10^8 \text{ [maxwell]} \dots\dots\dots (1)$$

e_t = セグメント間の変圧器起電力

f = 電源周波数 50 c/s

T = 素線の巻数

p = 磁極の対数

a = 並列回路の対数

ϕ = 1 極当りの磁束

e_t が制限されると1極当りの最大磁束がきまり、電機子装荷と周速の制限を考慮すると1極当りの出力が決定される。起動時における e_t を 3~4 V に制限すると毎極最大磁束 ϕ は $(1.3 \sim 1.8) \times 10^6$ maxwell となるがこの値は直流直巻電動機の場合の約 $1/10$ にしか当たらない。端子電圧は

$$E_r = \frac{1}{\pi} \times \frac{e_t}{f} + \frac{V_r}{\tau_r} \text{ [V]} \dots\dots\dots (2)$$

V_r = 整流子周速 mm/sec

τ_r = 整流子片間隔 mm

(2) 式の関係から整流子周速の最大値を 55 mm/sec、整流子片ピッチの最小値 4mm をとった設計とした場合端子電圧は内部電圧降下を加えても 200 V 程度しかならないので出力を大きくするには勢い大電流とせざるを得なくなる。この関係が整流子電動機が弱界磁、強電機子、低電圧、大電流とせざるを得ない所以であっていずれも e_t の制限が大きく影響している。刷子によって短絡された電機子線輪にはリアクタンス電圧とこれと 90° の位相差をもつ変圧器起電力との合成起電力によって大きな循環電流が流れるので整流を良くするためには補極に分路抵抗を用いて上記の合成起電力と補極電流が同相になる如く、分路抵抗値を調整して合成起電力を打消す必要がある。しかしこの関係はリアクタンス電圧が速度によって変化するので、ただ1点の速度においてのみ完全整流が期待できるだけである。

変圧器起電力として選定すべき数値は各メーカーの間で論争的となっていて最近の設計では定格速度において、3~3.5 V あるいは 4 V 以上にとっている例もあるが最適の数値はその電動機の使用される運転条件によって選択すべきである。整流中の巻線に発生した変圧器起電力による短絡電流を制限する方法も有効であって電機子巻線に直列に抵抗リードを接続する。しかしながらこの変圧器起電力による整流の困難さはこの電動機の宿命的欠点であって未だに完全なる解決策はない。当社もこの点について試作電動機により研究中である。

(2) 直流直巻電動機

最近の電気車用直流直巻電動機の進歩は素晴らしい。

15 表 機関車用直流電動機の進歩

型名	MB-3026-A	MB-320-AVR	MT. 42, 43
1 時間定格容量	—	160kW, 690rpm	225kW, 800rpm
連続定格容量	250kW, 1000rpm	130kW, 730rpm	320kW, 920rpm
重量 (電動機) kg	1,730	1,775	3,540
HP/rpm/kg 比 (1 時間)	—	1.14	1
" (続連)	1.98	1.49	1
スピード・レシオ	2.6	3.15	2
弱界率 %	50	50	60
電動機支持法	台車	釣掛	釣掛
設計年度	昭和 30 年	昭和 27 年	昭和 25 年
使用機種	ED451	DD50	EF15, EF58, EH10

設計、工作ならびに材料(金属材料および絶縁材料を含めて)の進歩が電動機の比重量 HP/kg を増大しているがこの比重量をさらに大幅に改善したものは電動機の台車装荷方式である。電動機を台車装荷することによって高速度電動機の採用が可能となり、小形軽量となってさらに台車装荷に適するという一連の因果関係となる。定格回転数を増大すれば電動機重量は減少して比重量は増大するが、定格回転数をいかに選ぶかは駆動装置の許し得る最大歯車比と運転条件とを考慮して最も経済的な回転数を選定すべきである。したがって HP/rpm/kg 比をもって比較してみるの方が電動機進歩の尺度となろう。最近の進歩の比較を 15 表に示す。

電動機を台車装荷とすることの他の利益はスピードレシオの増大である衝撃に対する閃絡の危険からまぬがれることとなったので弱め界磁の範囲が拡大され 40~50% の界磁まで弱めることが可能となった。したがって電動機の定格回転数に対する最大回転数のレシオが大きくなり電動機の性能範囲が拡大されたのである。すなわち歯車比を大きくとって加速度を増加する低速特性と弱め界磁率を高くとって釣合速度を上げる高速性能とを併せ保有することができることとなった。

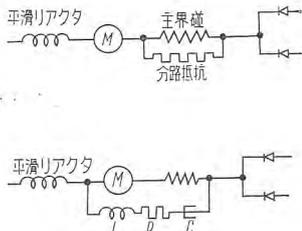
(3) 端子電圧選択の自由

主電動機の接続を全並列として変圧器のタップ制御によって可変電圧を主電動機に加えることが電気車の粘着性能を向上させることは前述のとおりであるがこの可変電圧であることは地面、電動機の設計上、端子電圧の選択が自由であるだけに直流電化方式では味わえない交流電化方式の妙味であり利点である。すなわち直流方式では架線電圧によって電動機端子電圧が自らきまってくるので、高速特性は弱め界磁方式のみに頼らざるを得ないのである。電動機の端子電圧は閃絡防止のためにも低くして、巻線方式は重巻きにして、片間電圧をなるべく下げることが望ましい。重巻きにするための最も経済的な定格端子電圧を主電動機の出力に応じて選択すれば片間電圧は直流方式波巻きの場合の $1/2$ 以下に下げることができる。さらに電気車の高速性能は変圧器オーバタップと弱め界磁の併用によって釣合速度をあげて運転することができる。今回の ED451 形機関車においては電動機端子電圧を 500 V とし変圧器タップ電圧は最高 840 V とした。

(4) 脈流の影響

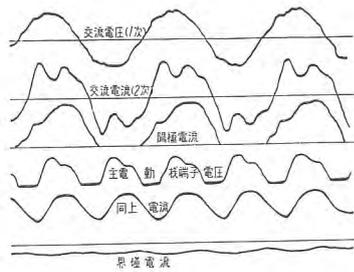
イグナイトロン電気機関車においては主電動機は単相全波整流によって脈流運転されるので、この脈流が主電動機の性能にある程度の悪影響を与える。

① 主界磁コイルに脈流が流れると磁束が変動して渦



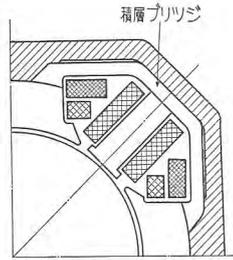
19 図 脈流防止法

Fig. 19. Preventing of pulsating current.



20 図 界磁分路法による脈流防止の効果

Fig. 20. Effect of preventing pulsating current.



21 図 主電動機の補極積層ブリッジ

Fig. 21. Commutation pole laminated bridge.

流損が増大すると共に電機子に変圧器起電力を生じて整流を害する。

- ② 補極の脈流による補極磁束の変動が鉄部分の渦流のために電機子リアクタンス電圧の変動に追従せず整流を害する。
- ③ 渦流損ならびに脈流実効値による銅損増大のために温度上昇が大きくなる。
- ④ トルクの変動を生ずる。

したがってイグナイトロン回路に直列に平滑リアクタを挿入するほか電動機主極に分路抵抗を挿入して交流分を分路するか電機子と主極に L-R-C の共振フィルタを並列に接続して交流分をフィルタに流す必要がある。前者はヨーロッパにおいて採用されている方法であって脈流防止装置が小型である割に主電動機整流、温度上昇、通信誘導障害等にかんがりの効果がある。後者はアメリカで採用されている方法であって上記諸障害の抑圧には最も効果があるが、この脈流防止装置は大形となる欠点がある。(19 図)

このアメリカとヨーロッパとの脈流防止装置の考えかたの相異はヨーロッパが電動機をイグナイトロン用に特殊の設計をして脈流の影響を軽減する方法であるのに対し、アメリカでは主電動機はジーゼル電気機関車または直流電気車用の標準主電動機をそのまま流用する立前であるからである。

一般に脈流電動機の整流は直流方式における直流電動機の整流とは多少趣を異にしているがさほど有害でない。すなわち刷子の電流密度が脈流によって絶えず変化して一定でないので交流整流子電動機の整流火花と性質が類似している。したがって脈流電動機の場合の脈流はある程度、許し得るものと考えてよく、大体 30% 程度の脈流値は許して良い。20 図は脈流値 30% の場合のオシログラムである。ヨーロッパ方式の場合は補極の電流は電機子のそれと同じであるため、補極鉄心は積層する必要のあることはもちろんである。また交流整流子電動機の設計に準じて電動機ヨークと並列に、積層鉄心を設けて 100 c/s の補極磁束の通路を設けることも 1 つの案として提案されている。(21 図)

オ. 整流器

(1) 単極密封型

重い液体の水銀を陰極とし破損し易いグラファイトを陽極とする水銀整流器は、本来が静止器であり、地上施設用として発達したものだけにこれを走行する車両用に

使用することについては振動上の強度、重量ならびに大きさの制限、真空、温度等に対する保守、誘導障害、および信頼度等の問題のため最近まで深い考慮が払われなかったというのが実情であった。Pennsylvania 鉄道においてウエスチングハウスの単極水冷密封型イグナイトロンを試用成功して以来、アメリカ、フラン

ス、ドイツ等、車両用整流器は単極密封型である。据付場所、スペースの制限のためには多極型よりは単極が良く付属装置の簡素化、保守の簡易化からも密封型が有利であり、従来故障の大きい割合を占めていた真空装置関係を除去できる点でも密封型は利点である。ただ問題は有効寿命と経済性の点であって、密封型整流器については寿命がきたときの対策がその経済性をきめることとなるから再生を可能とする構造に最初から考慮を払っておく必要がある。

(2) イグナイトロンかエキサイトロンか

イグナイトロンは点弧子に点弧用衝撃電流を加える時点を調整して制御格子と同様に直流出力を調整できると共に故障電流の急速遮断ができる。陰極点は毎サイクル成生され阻止期間中に電離源がないから耐電圧を高くとり易い。同時に陰極部は絶縁を要せず内套と同一電位でよいなどの大きな特長がある。格子は大電流のもののみが必要で電車用には不要であるし、バイアスがない等構造も簡単である。

これに対してエキサイトロンは陰極点を常時保持しているから、点弧のバラツキや点弧子の寿命による故障がないが点弧極と励弧極が必要であり、さらに格子が必要である。点弧極は可動方式か水銀ふきあげ式かによっているが、点弧極の失弧にはリレーを必要とし、失弧に際し、リレーによって再点弧させる。水銀の動揺は陰極点をタンク壁へはいがらせる確率を増して電弧の安定性に欠ける。格子にはバイアスを印加して電圧制御を実施する必要もあり励弧極には大きいリアクトルを直列に入れる必要がある。タンク壁または陽極板、陰極板を貫通するリード挿入口の数が多いので真空漏洩の機会も多いといえる。

以上両者とも大同小異であるが、イグナイトロンは上述のように陰極の絶縁を要しない点が製作上、構造上最大の強味であり、点弧子の寿命よりもむしろ真空度の寿命を問題にすべきであってこの点からも再生可能の考慮が必要である。

イグナイトロンにせよエキサイトロンにせよ保守上の眼目は温度と真空であって、局所的な過冷は水銀の凝結、アーク放電の不安定をきたして逆弧の原因となるので厳にいましめられる点である。このことは冷却よりも保温加熱を意味し夏期と冬期では冷却の実施内容が正反対となる。この点が整流器保守の難点であるので、この動作温度範囲の拡張が今後の研究課題であろう。

(3) シリコンおよびゲルマニウム整流器

最近非常に注目を浴び研究の努力が払われているものにシリコンおよびこれと同族のゲルマニウムを整流素子に使った逆耐電圧の高い半導体整流器がある。P型半導体と、n型半導体とを密に接合して整流素子としたもので、近き将来電力用、電動機駆動用に使われる可能性が大きい。ゲルマニウム整流器は現在でもかなり有力なものができており、125 V 800 A あるいは 65 V、16,000 A などが実用に供されているし、これ以上の高い電圧のものも直列枚数を増すことにより製作可能と思われる。この種の半導体整流器を使えばつぎの利点がある。

- ① 整流器自体が水銀のような液体を使用しない故、動揺に対しての強度が機械的強度という点に限定される。
- ② 整流器自体が小形軽量となる。
- ③ 制御回路を必要としないが、一方電圧制御ができないので電圧制御用リアクタを必要とするか、誘導電圧調整器を必要とすることになる。
- ④ 冷却条件は上限をおさえられて、下限は液体の凍結が関係するのみであるから、保守条件が簡単となる。
- ⑤ これによって変圧器の kVA が $1/\sqrt{2}$ となって小形軽量となる。

シリコン半導体は温度特性の点で 200°C 近い温度まで許されるので 65°C 程度におさえることを必要とするゲルマニウムより有利である。したがって風冷式の冷却方式となり、一層簡易化される可能性があるが、現在のところ大電流のものが製作できないので実現はゲルマニウムよりも遅れるものと思われる。すでにゲルマニウム整流器を備えた試作機関車がイギリスの Morecambe-Heysam 線で試験中であり⁽¹¹⁾ 成功したとも報じられている。

カ. 通信誘導障害

50 c/s、20 kV 方式の重要な問題は、鉄道に平行する通信設備に対する誘導障害である。この影響を未然に防ぐために国際電信電話諮問委員会 (C.C.I.F.) は防護施設の目標としてつぎのような規定を作っている。

- ① 人体および施設に危険をおよぼす誘導電圧は常時 60 V、異常時 430 V である。
- ② 通信に妨害となる雑音電圧は裸線で 5 mV、ケーブルで 2 mV である。

とくに①項の危険電圧発生については各国ともこれを重視し鉄道に近接する通信線路はすべてケーブル化しており裸線では少くとも 100 m~300 m を鉄道より隔離する必要があるということである。

50 c/s 電気車のうちでも整流器形の高調波に対する誘導障害対策は最も検討を要する点である。直流リアクトル等により整流器の整流波形を平滑にすることは直流電動機の整流を良好にするので非常に好ましいことではあるが、その反面交流側の波形歪は直流波形を平滑にする

程大きくなってこれが電車線および交流送電網に波及する。これが近接通信線に誘導され通信の雑音障害の原因となる。すなわち直流電動機の整流におよぼす影響と通信におよぼす影響とが利害相反するので両者に対してどの程度の歪を許容するかが重要となってくる。つぎに整流器の転流時の重り角を大きくすれば、すなわち転流期間を長くすれば高調波電流が相当低減するので、誘導障害防止に効果があるが、反面主変圧器は漏洩リアクタンスが増大するので、電圧降下の増大のため主変圧器の kVA が大となり、また力率を低下させるので、これも限度がある。

今回試作のイグナイトロン電気機関車では誘導障害防止対策として簡単で有効な RC フィルタによる方法を採用し、陽極リアクタによって重り角を適当に大とするほか、主電動機には 30% の脈流率を許す如き直流リアクタのインダクタンスを選定して、これらの常数を実験的に決定した。仙山線における実測の結果では、通信線に対する誘導障害は予想外に少いことが実証され、むしろ電源側からの高調波の影響が大きいとのことであった。

一般にこれらの誘導障害対策としては機関車と変電所とにフィルタを取付けて高調波を吸収するのであるが、機関車は重量列車を牽引して走行することが本来の任務であるので誘導防止のために貴重なスペースと重量とを割くことはできる限り取止めてこのスペースと重量とを機関車本来の牽引特性の向上に振向けるべきである。したがって高調波の吸収は変電所と電車線とが主として分担すべきが至当と考える。これは勾配が多く狭軌の上に軸重 15 t と制限された日本の鉄道の電気車の宿命的特殊事情からとくに考慮を要する問題である。

キ. 主変圧器

(1) 材料の進歩

a. 鉄心材料

交流電気車に主変圧器の占める重量と容積の割合は大きく、とくに床下に置かざるを得ない電車の場合においては、この点が問題となる。変圧器においては重量、容積に対し磁心材の占める率が大きいのであるが、最近の珪素鋼板の進歩はめざましく、導磁率、鉄損失等において電氣的性能の著るしく良好な冷間圧延による方向性珪素鋼板の良質のものが生産されるに至った。この冷間圧延方向性珪素鋼板の導磁率の向上は従来の 13,000~14,000 ガウスという設計上の磁束密度の制約から開放され 17,000 ガウス程度が許容されることとなるので 30% 程度の重量の軽減が見込まれる。

b. 絶縁材料

高圧機器の絶縁には繊維質と油を使用するのが常識とされていたが、最近の化学合成品の進歩は珪素樹脂による H 種乾式絶縁、フォルマール絶縁被覆、または樹脂性特殊コンパウンドおよび合成絶縁油の出現等となった。したがって今後は電圧階級、使用状態に応じて、これらの絶縁材料を適宜採用して、その性能

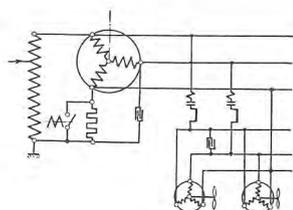
に則した設計が可能となる。また欧米において真剣に研究されているものに気体絶縁と蒸発冷却とがある。前者は六弗化硫黄を高圧で封じて絶縁材とするものであり後者は蒸発潜熱を冷却作用に利用するものであって気体と液体との混合絶縁材というべきものである。これらの新構想も車両用の如き特殊用途に採用されることになる。

(2) 電圧調整方式

電気車の速度制御のための主変圧器のタップ切換えは、本質的には2次電圧を調整するのであるから2次切換えで良い訳であるが、電流が大となると切換器の製作が難点となる。したがって1次切換えとしてタップ変圧器をおく方法等が総合的に見て有利となることも考えられるが、これも出力電圧に応じて検討すべき問題であって今後の研究課題である。

ク. 補助回転機

50 c/s 電気車の大きな利点は補助回転機に標準3相カゴ形誘導電動機が使用できる点である。価格も安く、構造も簡単堅ろうで保守費もかからない等、経済的電化の主旨に充分沿い得る。単相から3相に変換するため、相変換機を必要とするが、ヨーロッパでは例外なく Arno-Converter によっている。⁽¹²⁾ (22図)



22 図 Arno-Converter.
Fig. 22. Arno-Converter.

この場合誘導電動機を相変換器として使用すれば変換された3相間に相の不平衡をまぬがれない。相平衡化のためには静電蓄電器等、補助インピーダンスを使用する必要があるが、これはスペースおよび重量等が問題になる。

る。

今回試作の ED451 形は標準の3相カゴ形誘導電動機を用いだけで上記補助インピーダンスは省略した。したがって相互の不平衡はまぬがれないが、相互の電動機的设计を適当にすれば、各電動機相互のインピーダンスの関係によって一群の電動機の中の数台に相変換作用を分担させることができ好結果を得た。アメリカでは補助回転機はいずれも起動巻線をつけた単相誘導電動機によっている場合が多いが、これは特殊な電動機となるので価格も安くない。相変換機を設けないアメリカ方式と相変換機を設けるヨーロッパの方式といずれが経済的であるかは、それぞれの場合において使用する補助回転機の数を考慮しながら経済比較の上で決定すべきものと考ええる。

ケ. 保護方式

交流電気車では直流電気車に比べて変圧器、イグナイトロ装置、および各種の補助回転機が増加するので故障に対する充分な保護装置を必要とする。

まず、2次側の故障について考えると、主電動機回路

の過負荷閃絡およびイグナイトロンの逆弧に対してはそれぞれの過負荷継電器を動作させ、ついで点弧継電器を働かせイグナイトロンを消弧する方式をとれば今回の試作機関車の試験結果でも判明するように約2c/sで回路の遮断ができる。したがって変電所の遮断器をこれより遅く動作するよう調整しておけば車両で故障の処理ができる。つぎに接地事故の場合には2次側は非接地であるから1点接地では運転に故障がないが、この際力行時は直流接地継電器、その他のときは交流接地継電器が動作して、接地を表示し主回路を開くので対策がたてられる。このようにして2次側の故障は車両内ですべて処理できる。直接形電気機関車では主回路の過電流に対しては過負荷継電器と断流器による必要があるので遮断完了まで6~7c/sを要し、かつ遮断容量の大きい断流器を必要とする点が不利である。

1次側の故障については機具としては主変圧器であり、他は導体、碍子等の接地事故が考えられる。前者については空気遮断器、主ヒューズまたは保護継電器により接地開閉器を動作させ変電所を飛ばす方法などが考えられる。変電所容量が大きくないときは空気遮断器によって回路を開くこともよいが、変圧器の接地は稀であることおよびその故障は変圧器を解体しなければ除去し得ないこと等を考えれば、空気遮断器よりスペースを要しない主ヒューズによっても充分目的を達せられる。主ヒューズによる場合は常時変圧器の励磁電流をパンタグラフで遮断するが、試験の結果では励磁電流と補機回路の電流はパンタグラフで遮断しても差支えないことが判明している。変電所容量が大となり短絡電流が増大すると空気遮断器は大形となり甚だ稀れな故障のためにデッドスペースを費いやすので経済的ではないから、アメリカで見られるように保護継電器により接地開閉器を動作させる方式を採用の方が有利である。この方式によれば保護継電器の構造により変圧器の短絡なども検出できると同時に2次側故障のバックアップも兼ねさせ得る。導体碍子の接地に対してはこれを変電所に頼ることはもちろんである。この際変電所が20c/sで動作するとすればそれ以後に車両のパンタグラフを自動的に降下する方法を採用すれば変電所は再閉路して直ちに送電し得るから回路の停電は免れる。したがって、保護方式に対する車両と変電所との責務の分担は2次側は車両とし、1次側は変電所に頼るのが望ましい。

コ. 幹線用イグナイトロン電気機関車

今回試作した B-B 形 ED451 イグナイトロン電気機関車はつぎのような国鉄指示の条件を満足するよう設計したものである。

- ① 33% 勾配で 280t の列車を牽引して起動可能なること。すなわち仙山線の運転に適していること。
- ② 性能は従来の直流 ED 形機関車と同一またはそれ以上であること。
- ③ 軸重は 15t 以下であること。すなわち機関車全

重量 60 t を超えざること。

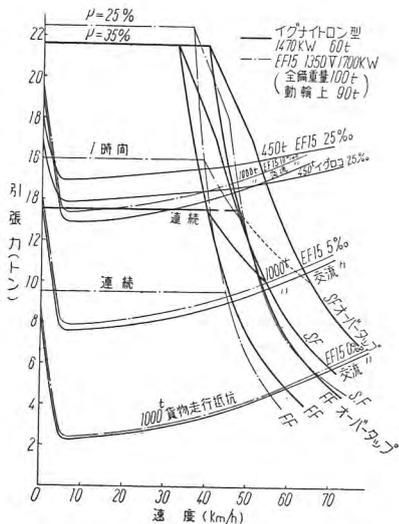
これらの条件を充たすべく設計した結果はつぎの如き性能となった。

全備重量	60 t
連続定格出力	1,000 kW (250 kW×4)
連続定格引張力	10,600 kg
連続定格速度	35 km/h
最大安全速度	85 km/h

この機関車による昨年 11 月の仙山線における引出し試験結果は 35.6% の最大粘着係数が立証された。この数字は、 $60\text{ t} \times 35.6\% = 21\text{ t}$ の起動引張力である。これは C-C 形の EF 級直流機関車の起動引張力に匹敵する。したがって電動機容量さえ適当であれば B-B 形イグナイトロン電気機関車は幹線用機関車として C-C 形の EF 級直流機関車なみの実力を有することとなる。今回の試作の経験と仙山線における実測のデータを基礎として国鉄幹線用としての運転条件に適する機関車の設計を当社において試みた結果はつぎのとおりである。

16 表は幹線貨物用機関車の運転性能であり、23 図は EF15 形直流機関車と比較した速度—引張力曲線を示す。17 表は幹線旅客用機関車の運転性能であり、24 図は EF58 形直流機関車と比較した速度—引張力曲線を示す。

標準ゲージのヨーロッパでは客貨万能機関車として軸重 20 t の粘着重量



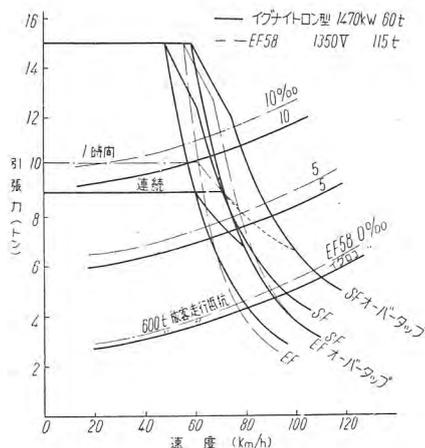
23 図 (貨物用機関車)速度—引張力曲線
Fig. 23. Speed-traction force curve.

16 表 幹線貨物用イグナイトロン機関車

貨物用機関車	
動軸配置	B-B
重量	60 t
車輪径	1,070 mm
機関車出力(連続定格)	1,470 kW
最高速度	80 km/h
起動引張力(勾配 10%)	19 t (引張荷重 1,000 t)
起動引張力(勾配 25%)	17 t (引張荷重 450 t)
鈎合引張力(平坦線)	6.5 t (引張荷重 1,000 t)
鈎合速度(平坦線)	80 km/h
最大引張力	21.6 t

17 表 幹線旅客用イグナイトロン機関車

旅客用機関車	
動軸配置	B-B
重量	60 t
車輪径	1,070 mm
機関車出力(連続定格)	1,470 kW
最大引張力	15 t
最高鈎合速度(平坦線)	110 km/h (引張荷重 600 t)
最高鈎合速度(勾配 5%)	90 km/h (引張荷重 600 t)
最高鈎合速度(勾配 10%)	78 km/h (引張荷重 600 t)



24 図 (旅客用機関車)速度—引張力曲線
Fig. 24. Speed-traction force curve.

を活かし、最高速度 140~160 km/h, 1 軸当り 1,000 HP 程度の電動機を取付けているが、日本では狭軌であることと軸重 15 t の制約から B-B 形で EF58 および EF15 形に相当する客貨万能機関車は無理である。よって客貨それぞれの歯車比は異なるが、C-C 形に相当する運転性能が B-B 形で得られることは明らかとなった。

5. むすび

50 c/s 電化に対する技術的問題点は単相整流子電動機はもちろん、軽量小形の半導体整流器、通信誘導障害対策、保護方式、絶縁協調、交直乗入れおよび相不平衡の問題等、今後の研究に残された点が多い。商用周波数が 50 c/s 地区と 60 c/s 地区とあることも、狭軌で勾配が

多くて、軸重の制約のあることも日本の特殊事情として考慮が必要である。25 kV が良いか 20 kV が良いかあるいはそれ以下の電圧が好都合かということも検討の余地がある。50 c/s 電車となれば電気機関車よりもさらに問題はむつかしくなる。50 c/s 方式が技術的にも経済的にも従来の直流方式よりも、すぐれていることは前述のとおりであるが、問題点が多いだけに充分研究の必要があり、技術者にとっては楽しい仕事である。世界をあげて鉄道電化の研究の対照はまさに 50 c/s に集中しているが、当社も単相整流子電動機の研究開発はもちろん、以上の問題点をとらえて着々研究努力を致している。

参考文献

- (1) Elektrische Bahnen, Heft. 8, 1955
- (2) Railway Gazette, Oct. 14, 1955
- (3) Railway Age, Jan. 3, 1955
- (4) Railway Gazette Sept. 30, 1955
- (5) Railway Gazette Sept. 30, 1955
- (6) Railway Gazette July, 10, 1953
- (7.8.9) P. I. E. E. Sept. 1954
- (10) Journal I. E. E. Aug. 1955
Direct Current Sept. 1955
- (11) Railway Gazette Oct. 28, 1955
- (12) Revue Generale des Chemins de Fer Mans. 1953.

「ED451」イグナイトロン電気機関車

伊丹製作所 小川清一*

ED451 Ignitron Electric Locomotive

Itami Works Seiichi OGAWA

Destined to run on graded, narrow gauge tracks, a single phase 50 cycle 20 kV 60 ton electric locomotive was in the lime light of the world. Success in this record product by Mitsubishi is a manifestation of its technique in level with the contemporary highest rank. Here is an account of the procedure from the design to the completion.

1. ま え が き

日本で最初であり世界でも注目的になっている単相 50 c/s, 20 kV, 60 t 電気機関車の試作を命ぜられて、計画、設計、製作を行い昨年 9 月末に納入し 11 月にはその現車性能試験も終わったのでここに報告する。

単相 50 c/s による電化の問題はドイツにおいて 1936 年試験が成功し、戦後これに注目したフランス国鉄が大規模な実地試験をした上で本格的に採用し、イギリスにおいても工事を進めてきた。日本においては国鉄においてこの問題が取上げられ従来の直流式に対する得失が委員会において討議され、仙山線に試験線を作って各種試験を実施して比較検討されることになった。そこで当社には整流機形電気機関車を試作することを命ぜられたのである。

この機関車は単相交流 50 c/s, 20 kV を受電して主変圧器を経て、イグナイトロン整流器で直流に整流し、直直巻電動機を駆動する方式である。ここでは交流電化の問題、交流電気動力車の各種方式についての比較検討については省略し、当社の試作した機関車の計画、設計、製作、試験について全般的に述べる。

2. 計 画

国鉄において交流電化の声が起ったのと前後して海外の文献と当社の経験を考慮に入れて交流電気機関車の方式について検討を開始した。アメリカの Pennsylvania 鉄道の 3,000 HP のイグナイトロン電気機関車、ドイツの Höllental 線の試験車、フランス国鉄の各種試作車についてその性能を比較検討した結果と当社の機器に対する実績からつぎの結論に達した。

交流電気機関車の方式としては常識的には交流整流子

電動機を使用するのが最も機器が簡単で価格も安いと考えられる。しかしこの方式は大容量の整流子電動機の製作経験がないこと、高速性能は別として勾配が多く重量けん引を要求されるわが国においては勾配起動引張力と低速性能を要求するのに起動けん引力が整流子率の点で充分発揮し得ないこと、電動機の整流子、刷子その他の構造が複雑で比較的保守が煩わしいこと、機関車の低速における力率が悪いので消費電力が多くなることなどの欠点がある。一方整流器と直流電動機を使用する方式は機器が複雑になって重量、価格の点でも不利であると考えられたがこの方式では変圧器の鉄心容量が大で重くなり、また整流器と付属装置と平滑リアクトルなどのために重くなると考えたが、この重量増加よりも整流子電動機を使ったときの電動機それに関連した台車の重量増加も現状では相当大きいので整流子電動機方式と大差のない重量でできる見通しがあった。主電動機は従来直流方



1 図 ED451 形交流電気機関車
Fig. 1. Type ED451 a-c locomotive.

式で充分実績のある直流直巻電動機であり、脈流について若干の考慮を要するが電圧制御ができるので起動大電流のときに脈流が小さいこと、サージと電圧の急変が少いから一般直流電動機より楽な点もあり、性能保守上心配がない。整流器として使用するイグナイトロンも米国においては好成績をあげており、当社でも変電所用として実績があるので、耐振性を除いては使用機器としては設計・工作・使用について確実性がある。最後に大切なことである勻配起動と勻配速度の向上については特性上起動けん引力が充分発揮できて低速性能のよい直流電動機がもっともよい。以上の検討をして当社としては最初に試作するものとしては整流器形電気機関車が容易で確実であるとの結論を得た。

そこで整流機関車としての主回路補助回路の問題、国鉄の直流電気機関車と同等以上の性能を有するものについて構想をまとめることを進めた。

3. 設 計

国鉄の交流電化委員会において種々検討された結果、国内において直接形電気機関車と整流器形電気機関車を各1両試作する方針が決まり、後者は当社において単独製作の指名を受けた。昭和29年秋より国鉄と打合せ会を開き設計が具体化したのである。

ア. 条 件

この機関車の製作に際し国鉄より指示を受けた条件はつぎのとおりであった。

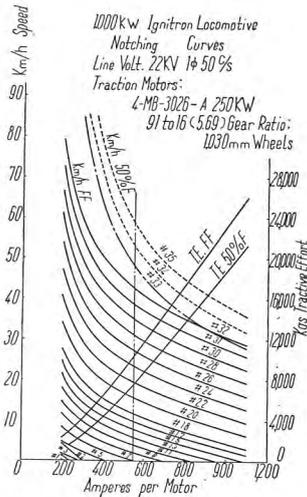
- (1) 電車線電圧は単相 50 c/s, 20 kV とする。
- (2) 33%勻配で 280 t の列車をけん引して起動可能なこと。(仙山線の運転に適していること)
- (3) 性能は従来の直流 ED 形機関車と同等またはそれ以上であること。
- (4) 軸重は 15 t 以下であること。
- (5) 車輪径は国鉄標準寸法であること。

イ. 問 題 点

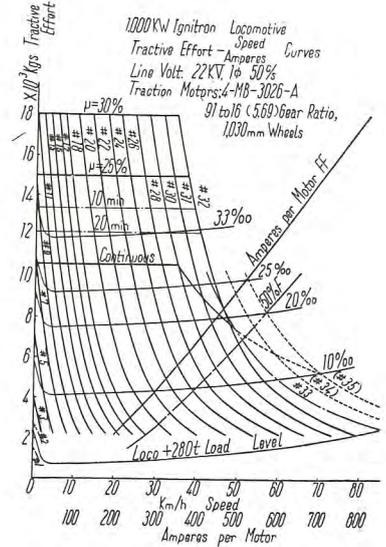
前項の条件を満足するために設計上問題になった点はつぎのとおりであった。

- (1) 性能を従来の電気機関車と同等またはそれ以上にすること。
- (2) 軸重は 15 t 以下であること。したがって D 形とすれば 60 t 以下とすること。
- (3) 車両用に経験のない器具を機関車に載せるのに
 - a. 重量、容積の制限があること。
 - b. 振動、衝撃に耐えるものであること。
 - c. 油などは燃焼、爆発のおそれのないこと。
 - d. 操作が1人で容易にできること。
- (4) 電圧制御の方式
- (5) イグナイトロン冷却方式
- (6) 主電動機の整流電流中の支流分

「ED451」イグナイトロン電気機関車・小川



2 図 機関車性能曲線
Fig. 2. Performance curves of locomotive.



3 図 けん引力曲線
Fig. 3. Tractive effort curves.

- (7) 補助回転機的方式
- (8) 絶縁協調の問題
- (9) 保護装置
- (10) 誘導障害対策

以上性能については重量の許す範囲で最高をねらい、重量については(4)~(7)はすべて性能と比較して重量の軽いものをとるようにし、(8)~(10)は線路、変電所も考慮に入れて設計した。

ウ. 性 能

日本における電気機関車は狭軌であり軸重も制限されるという不利な条件があり、その上重量けん引で勻配運転に耐えてある程度的高速性能を要求されるので外国に比して設計が困難となる。設計にあたって性能は重量、容積の許す範囲で低速けん引力が大であって平坦高速でも可能なようにした。そのために電動機を例にとれば小型軽量にするために台車装荷としたり、変圧器のタップ制御とあわせて短時間出力をあげ勻配速度の増大をはかり、構造を頑丈にして速度比を大にして平坦運転速度を出せるようにした。1表、2図にその性能を示す。この場合連続定格は30ノッチで、20分短時間定格は変圧器のタップ電圧をあげ、10分短時間定格はその上電流を増加した値である。

1 表 機関車性能

項 目	連続定格	短 時 間	
		20 分	10 分
出 力	1,000 kW	1,340 kW	1,420 kW
速 度	35 km/h	40.5 km/h	39 km/h
けん引力	10,600 kg	12,200 kg	13,400 kg

車輪径 1,030 mm (平均の場合)
 最大けん引力 $\mu=25\%$ 15,000 kg
 $\mu=30\%$ 18,000 kg
 最大安全速度 85 km/h

(1) 勾配起動

この機関車は 33% で 280 t の列車をけん引して起動するには 3 図で判明するようにけん引力が 15,000 kg あれば 0.1 km/h/s の加速度が得られて、粘着係数が 25% である。粘着係数が 30% とれば加速度は 20% 増大できる。主電動機電流は 15,000 kg のけん引力の場合に定格の 125% で余裕がある。

(2) 勾配における釣合速度

この機関車が 280 t の列車をけん引して各勾配を登る時の釣合速度と電流の関係は 3 図、2 表のとおりである。ここで常用ノッチは 30 ノッチで、短時間使用の 31~35 ノッチを使用すると釣合速度を増加して回復運転などに便利である。これは変圧器のタップ電圧を上げて、さらに弱界磁を併用するもので直流電気機関車で行えない妙味がある。すなわち 10% では 60 km/h が 70 km/h に、20% では 47 km/h が 57 km/h に、約 10 km/h の釣合速度増加が得られる。

2 表 勾配釣合速度

勾配		ノッチ (タップ)			
		#26 (#5)	#30 (#6)	#32 (#7)	#33 (#6)
10 %	速度 km/h	39	48	56.8	60
	電流 A	305	312	320	422
	“ %	55.5	56.8	58.2	76.8
20 %	速度 km/h	31.2	39.3	47.2	47.5
	電流 A	440	445	450	560
	“ %	80	81	82	102
25 %	速度 km/h	28.8	36.5	44.2	—
	電流 A	505	510	515	—
	“ %	91.8	92.8	93.8	—
33 %	速度 km/h	25.6	33	40.3	—
	電流 A	605	610	615	—
	“ %	110	111	112	—

けん引荷重 280 t
#33 は主電動機弱界磁, % は連続定格電流に対する割合を表わす。

(3) 仙山線における容量の検討

この機関車が 280 t の列車をけん引して仙山線を運転する場合の容量は 3 表に示すとおりで、全区間で考えれば RMS 電流は相当小さく (250~300A 程度) なるが、作並一山寺間の 33% 連続勾配区間で主電動機の熱容量により制限を受けることになる。仙台一作並間では 350~380 t のけん引を行っても心配はない。

(4) 各種機関車との性能比較

この機関車と他の機関車の性能を比較するために、重量のほぼ同じものとして ED17 形、最新形として EH10 形、直接形として ED44 形を選び 4 表にまとめた。ED17 とは重量がほぼ同じで出力が 20% 大であり速度の 25% 増加となっている。EH10 とは連続定格出力は重量あたり 10% の増加で引張力の増加となり、速度比は EH10 の 1.7 に対して ED45 は 2.0 となっている。こ

3 表 仙山線における主電動機 RMS 電流の概略値

a. 仙台 → 山形

区間	距離 (km)	所要時間 (分)	RMS電流 (A)
仙台 → 作並	29	約 45	370
作並 → トンネル入口	8	約 15	520

以後山形までは力行は少いから RMS 電流は問題ない

b. 山形 → 仙台

区間	距離 (km)	所要時間 (分)	RMS電流 (A)
山形 → 山寺	15	約 30	380
山寺 → トンネル入口	6	約 21	610*

以後仙台までは力行は少いから RMS 電流は問題ない

* 車輪径は 1,070 mm のときは 630 A となる。
車輪径 1,030 mm のとき 280 t けん引。

4 表 各種機関車性能

項目	形式	ED45	ED17	EH10	ED44
		重量 (kg)	60,675	61,320	118,400
定格	出力 (kW)	1,000	820	2,500	920 (1,140)
	速度 (km/h)	36	29	49	47 (49)
格	引張力 (kg)	10,600	10,300	18,400	6,900 (8,400)
	最大運転速度 (km/h)	70	65	83	70

定格は ED45 と ED44 は連続, ED17, EH10, ED44 のかつこ内は 1 時間。

の速度比の大きいことが弱め界磁 50% 使用と共に引張力を大にして運転速度を上げ得る良性能を実現し、これにより機関車の経済性を増すので設計上もっとも力を入れた点である。フランスの国鉄の例を見ても定格速度、機関車重量を同じにとった BO-BO 形機関車で引張力は整流器形が直接形より 25% 大であるという結果が出ている。これは現在のところ直流電動機が整流子電動機より性能的に数段まさることに由来する。

エ. 重量

このたびの機関車は軸重 15 t 以下という条件があるので BO-BO の軸配置にすれば 60 t 以内にする必要があるのである。また直流の機関車より著しく重くなることは交流電化の前述を不利にするので、設計上重量軽減は大問題であった。

最初の計画では直流機関車と比較して主抵抗器が減少し、変圧器、リアクトル類、蓄電器とイグナイトロン装置が加わるので、車体長 13,400 mm、心皿荷重 18 t として 5 表の A のとおり 76 t になり 16 t の重量減を計

5 表 ED451 重量表 (kg 単位)

	A (在来式)	B (29-10-29)	C (29-11-22)	D (最終計算値)	E (実測値)
全重量	76,000	63,000	58,000	60,716	59,220
車体	20,000	12,000	13,000	14,100	13,916
台車	22,000	14,000	13,400	13,400	13,285
電気品	33,000	36,100	30,700	32,446	31,483
空気部品	1,000	900	900	770	536
変圧器リアクトル	12,900	12,080	8,860	9,178	8,945
蓄電器	1,910	4,140	2,690	1,205	1,161
イグナイトロン関係	2,180	3,200	3,060	3,395	3,363
主電動機	10,000	10,000	10,000	10,226	10,257

らなければならなかった。そこで車体台車各 8t 減を目標としたが電機品を合計すると、蓄電器イグナイトロン装置の重量増のため 3t 増加になり、結局 5 表 B のとおり 63t となった。

(1) 電気品の重量軽減

重量が 3t 超過しており従来の経験によると試作車の完成重量は計算重量の 2~3t を超過するので、改めて各部品を詳細検討した。

a. 主変圧器

主変圧器は 2 次側タップ方式、1 次側タップ方式について重量を比較した結果 6 表のとおりとなり、重量ならびに製作上から有利な 2 次側タップ方式とした。なお温度上昇限度を上げてさらに重量の軽減をはかった。

b. リアクトル類

直流リアクトル交流リアクトルの容量を検討して重量を約 30% 減少して 5 表 C となった。その後直流フィルタ回路を廃止し約 450kg が軽減され 5 表 D となった。

c. 蓄電器類

蓄電器は構造的に検討して重量を約 1,500kg 減少して 5 表 C となった。その後直流フィルタ回路を廃止して 500kg 軽減し交流フィルタの容量を減少して 5 表 D となった。

d. イグナイトロン装置

イグナイトロン装置はこれを風冷式と液冷式について

6 表 重量比較表

	2 次タップ	1 次タップ	単巻変圧器
主変圧器	100%	160%	95%
タップ切換	100%	145%	140%

て重量を検討し 7 表のとおりとなった。重量において大差がないので信頼性の高い液冷式とした。その後枠組再冷器タンクの板を軽くして 5 表 C となった。

e. 補助回転機

補助回転機の方式については単相交流電動機で 3 相交流発電機を回転し 3 相誘導電動機を使用する方法は、変換機が大きくなり全体として重くなるのでやめた。また単相誘導電動機を起動機をつけて使用するのでは各電動機が大きくなるので、回路は簡単になるが採用しなかった。そこで単相 3 相のアルノ変換機式のものを使った場合に相不平衡のまま変換機を大きくして蓄電器を入れて相を平衡させたものについて重量を比較すると 8 表のとおりになった。平衡 3 相の方が電動機と相変換機を合せて 350kg 位重くなり、全体として約 600kg 重くなるのでこの方式をすてた。

f. 主電動機

主電動機は台車装荷、絶縁方式その他最新の技術を取り入れて 9 表のとおり大いに重量は軽減された。す

7 表 重量比較表

	液冷式	風冷式
本体	400 kg	1,400 kg
付属品	1,000 "	120 "
計	1,400 "	1,520 "

8 表 重量比較表

	蓄電器なし	蓄電器あり
電動機	1,480 kg	1,510 kg
蓄電器	—	600 "
計	1,480 "	2,110 "

9 表 重量比較表

		MT43	*MB-3026B
連続定格 (kW)		220	250
1 時間定格 (kW)		325	—
重量 (kg)	電動機本体	3,540	1,730
	駆動装置	676	834
	計	4,216	2,564

なわち MT43 に比し 63% の重量となったがこの台車装荷主電動機の採用は小車輪径ならびに台車の軽量化を可能にして重量軽減に役立った。

(2) 車体台車の重量軽減

車体台車の重量については他の稿で詳細に述べられるが、車体は床と廊下の重複を避け電線樋は床の一部を利用し全体の組み方を工夫したことにより、台車は電動機が台車装荷で小型になったことと高張力鋼を使用したことにより、甚だしく重量を軽減した。

オ. 器具

この機関車にのせる器具の中には従来変電所などに用いられたものもあり、前述のように重量において大いに軽減を計ってバランスをとった。また振動衝撃に対してはイグナイトロンなどを実際車両に積んで東海道線を往復させ実地試験をした。またリレー類も耐震形を選択した。その他構造配線にも以上の注意をして製作したほか、油などによる火災爆発があっては危険であるので変圧器蓄電器には不燃性油を使用しその他は乾式とした。以下各器具の特色について述べる。

- (1) 主変圧器は外鉄型フォームフィット式構造で耐震性ありまた軽量である。絶縁は不燃性油を使用。
- (2) リアクトル類は内鉄形乾式で強固に縮つけてある。
- (3) イグナイトロンは密封液冷式として振動状態で使用しても満足に動作する構造をとり、また操作と保守は手のかからぬようにしてある。
- (4) 主電動機はけん引特性のよい直流直巻電動機で脈流に対して整流不良温度上昇の問題を検討して設計してあり、小型軽量とするため台車装荷として平行可撓軸駆動とした。

カ. 電圧制御の方式

電圧制御については 1 次側タップ制御、2 次側タップ制御と単巻変圧器制御の 3 種を検討した。単巻変圧器制御は変圧化が大きいので能率重量の点で難色がある。1 次側タップ制御は制御器の容積が主として電圧で定まるの

で出力の大きなものに有利であるが小出力になっても小さくならない。2次側タップ制御は制御器の容積が主として電流で定まるので出力の大きなものでは不利であるが小出力になると小容積ですむ。この機関車の出力ではやや2次側タップが有利であるのでこれを採用した。

キ. イグナイトロン冷却方式

イグナイトロンの冷却方式は液冷式と風冷式が考えられる。風冷式は冷却装置が簡単で冷却液の心配がないが、停電等で冷却ファンが停止すると温度が急激に上昇することと運転中騒音があることで運転と確実性で難点がある。液冷式では冷却液の循環装置が複雑になるが上記の欠点がないので保守の容易な騒音のないこの方式を採用した。

ク. 主電動機の脈流電流

主電動機には単相全波整流の脈流が流れて整流温度上昇トルクの変化の難点があるので、これを回路と電動機両方面から検討した。調査と試験の結果界磁に脈流を流さなければ整流とその温度上昇がおさえられることが判ったのでこれを無誘導抵抗で分流する方法をとり、電機子の脈流はトルクの変化に差支えない程度に最小限の直流利アクタを直列に入れた。

ケ. 補助回転機の方式

補助回転機の方式としては単相誘導電動機に起動巻線をつけたのと、3相交流の変換機をつけて3相誘導電動機を使用するのと、アルノ式の変換機をもって3相誘導電動機を駆動する方式とについて検討した。使用補助回転機の数が多いときは単相誘導電動機を使用の方が軽くなる。使用補助回転機の数が多いときは変換機で3相120 c/sの交流にすれば変換機が大きくなって各電動機が小さくなるので得である。この機関車ではその中間であるのでアルノ式の変換方式をとり電動機の大サイズのバランスを取った方が重量が最も軽いので採用した。

コ. 絶縁協調の問題

この機関車の絶縁レベルをいかにするかというのは他の委員会でも線路避雷器と関連して種々検討された。サージとして線路からは最大250 kVが車両に侵入するとして、避雷器は許容端子電圧26 kVとして制限電圧を1,500 Aで80 kV以下、5,000 Aで90 kV以下、放電開始電圧を基準サージで90 kV以下、1,000 c/sのサージで80 kV以下の性能を持たせることにした。これを基準として変圧器は交流50 kVサージ全波120 kV遮断波135 kVとし、碍子ブッシング類は交流60 kVサージ120 kVとして屋外は注水屋内は乾燥でこのレベルを保つようにし、高圧側の絶縁協調をとった。なお車両には250 kVのサージを加えて車両全体として絶縁が完全であることも試験することにした。

サ. 保護装置

この機関車は直流電気機関車に比較して変圧器、イグナイトロン装置、各種の補助回転機が増加しているため故障に対しては十分な保護装置をつけて、故障箇所を運

転台に表示すると共に、大切な箇所は自動的に回路を開くようにしてある。

サージに対しては屋上に避雷器をつけて侵入サージを90 kV以下にして車両を充分保護する。

主変圧器の短絡に対しては主ヒューズが溶断して低電圧継電器を動作し、低電圧表示燈を点燈する。

主変圧器の油流が停止すると油流継電器により、温度上昇過度のときは温度継電器により、共に補助継電器を働かせて表示燈をつけると共に主回路を開く。

イグナイトロンは適度範囲で運転する必要があるため温度が上ると再冷却のファンを自動的に投入し、下ると電熱器を入れる。その範囲よりさらに上下すると温度継電器が動作して補助継電器により主回路を開くと共に表示燈を点燈する。

主電動機の過負荷、イグナイトロンの逆弧に対しては過電流継電器と点弧開放継電器が働き2c/s強で主回路を開き、表示燈を点燈する。

接地すると直流接地継電器または交流接地継電器が動作し主回路補助回路を開き表示燈を点燈する。

送風機故障で風を送らないときは風圧継電器により表示燈を点燈し、補助回路の短絡過負荷にはノーヒューズブレーカが各回路に入れてある。

シ. 誘導障害

整流器を使用した回路の交流側には高調波が含まれこれが通信線無線に誘導障害をおこす。これの対策としては交流濾波装置をつけ、直流回路のインダクタンスも最小限度になるようにした。

ス. 操 作

この機関車は直流電気機関車で抵抗を制御する代りに変圧器のタップによる電圧制御、イグナイトロンの位相制御などがあるが、このために運転操作を複雑にすることは機関手の過労を招き高い熟練度を要求するので好ましくない。したがって直流電気機関車と同じく主幹制御器のハンドル1本でノッチをつぎつぎ刻めばよいようにし、ノッチもスイッチの数を少なくしても35ノッチあるのでショックのない運転ができる。故障に対しては前述の保護装置と表示燈により安心して運転ができるようにした。

以上のような設計でできた機関車の外形は1図のとおりで性能要目を10表に示す。

4. 工 作 試 験

設計検討がすんで製作に移ってからでも試作品であるので種々検討された。

イグナイトロンは耐振性と寿命を要求されるので綿密な工作と耐振の試験を行い、変圧器は不燃性油を用いたもので組立には充分注意をし、主電動機と駆動装置の工作も入念に行った。

試験についていえば、パンタグラフの電流遮断についての予備試験、主回路と主電動機の整流温度上昇にたい

10 表 性能要目

機関車形式名称	Bo-Bo 形	ED451
機関車重量		
運転整備重量	60,568 kg	
空車重量	60,170 "	
内訳台車	13,285 "	
車体	13,566 "	
空制品	536 "	
電気品	32,783 "	
性能		
電気方式	単相交流	50 c/s 20 kV
連続定格出力	1,000 kW	
連続定格引張力	10,600 kg	
連続定格速度	35 km/h	
最大安全速度	85 km/h	
主変圧器		
形式	外鉄形送油風冷式	
定格容量	連続励磁1時間定格	1,510 kVA
個数	1	
イグナイトロン整流器		
形式	密封形風冷式(液冷)	
定格容量	直流 750 V, 300 A (8in)	
個数	8	
主電動機		
形式	直流, 直巻 弱界磁	50%
定格容量	連続	250 kW×4
動力伝達方式		
1段歯車減速	平行軸可撓式	
歯車比	91:16	
車輪径	1,070 mm	
制御方式		
非重連	永久並列接続弱界磁制御(主変圧器2次側制御)	
制御装置		
電磁空気単位スイッチ式		
制御回路電圧	48 V	
ブレーキ装置		

する検討試験, 単位スイッチの遮断状況検討試験, 補助回転機の予備試験, 誘導障害に対する模擬回路による測定など設計中に数多くのチェックをした。器具が完了して個々の器具の試験は別として主回路を工場に結線をして主電動機の整流温度上昇, イグナイトロンの各種特性, 関連器具の温度上昇と遮断性能, 回路の電圧変動率など総合試験を行った。また補機も総合結線をし起動運転状況を試験した。工場試験では主電動機の整流, 補機の起動特性も予想以上に良好であり, 最後の 250 kV の耐圧試験をすませ仕上げをして 9 月 26 日所内展示して現地作並に 9 月末日回送した。

作並回着以来好成绩で運転して種々な試験も行われたが, 2 個電動機で 25% の勾配で 207 t けん引で起動したことは各方面から驚異の眼を持って見られ, また誘導障害に対してはケーブル化すれば車両に蓄電器があまり大きくなっても大丈夫だという結果も出た。

5. む す び

今回試作したイグナイトロン電気機関車は計画より完成まで多数の動員と努力によって成功したが, そのけん引性能が現在までの機関車を遥かにしのぎ, 重量が従来に比べて軽くできたこと, その他数々の新機軸が成功したことは, 国鉄の計画, 設計の当局の方々のご指導, 現地作並機関区の方々のご好意, ならびに当社の各製作所にわたる関係者の一致協力のたまものであると感激に堪えない。

「ED451」イグナイトロン電気機関車の 変圧器およびリアクトル

伊丹製作所 田村良平*

Transformers and Reactors of ED-451 Ignitron Electric Locomotive

Itami Works Ryohei TAMURA

An ED-451 ignitron electric locomotive requires a transformer mounted on them and used for stepping down a trolley voltage of 20 kV to an appropriate voltage convertible to direct current. In designing it, the weight is not a sole limitation and the size is also to be studied carefully not to exceed restricted dimensions. The Form-fit design with unflammable insulation oil has been proved unrivalled in such requisition. The insulation level of high voltage machines is under discussion nowadays and the transformer is to stand in the test a-c 50 kV, impulse full voltage of 120 kV and chopped wave of 135 kV. In this design, however, 150 kV BIL is taken into consideration, with an ample factor of safety, as not much difficulty is expected in the case of oil immersed units.

1. まえがき

架線電圧 20 kV から適当な直流電圧を得るために、主変圧器が積載されるが、これは単に整流器用変圧器であるだけでなく特別に車両用としての制約と条件を要求される。その事項は

- ① 重量の軽減
- ② 外形寸法の縮少
- ③ 耐震動性
- ④ 不(難)燃性
- ⑤ 安全無事故、保守簡易

である。①②③が重要な問題であることは論をまたないが、④および⑤は電気機関車の構成一要素となる静止機器であるから、一般の電力用変圧器等とはその性質を異にし、保守上全く注意の外においても差支えなくしかも絶対安全感のもてるものであることが要望される。

これらの要求事項を満たすためには結局優れた変圧器の製作技術を総合的に必要とするもので、小容量ながら当社独特の Form-Fit 構造を採用し、その特長を最大限に活用發揮することができた。以下にこの項目を中心にして今回の試作機関車の主変圧器およびリアクトルを説明する。

2. 仕様要目

ア. 主変圧器 (1 台)

型式 外鉄型 Form-Fit 式 窒素封入密封型
送油風冷式 不燃性油(ダイヤクロール)使用
定格 1,510 kVA 連続励磁1時間定格
单相 50 c/s (2次全波整流)
1次 20 kV 20号段絶縁
2次 736—627—518—419—300—191—82 V
(中性点間電圧)

(負荷時タップ切換)

総重量 5,605 kg (補助単巻変圧器2台を含む)
油量 950 l

イ. 補助単巻変圧器 (2 台)

内鉄型 乾式 (主変圧器外箱取付け)
186 kVA (1時間定格) 1,550 A 50 c/s
重量 490 kg

ウ. 直流リアクトル (4 台)

6 mH 550 A (1時間定格) 600 V (d-c)
乾式 重量 620 kg

エ. 陽極リアクトル (4 台)

29.2 kVA (1時間定格) 389 A 50 c/s
乾式 重量 215 kg

3. 電圧変換, 定格容量, 絶縁

ア. 電圧変換

電動機の制御にその直流電圧の大幅で細かい変換を行うが、このため変圧器には多数のタップを出して負荷時タップ切換により2次交流電圧を変化させる。変圧比が小さいときは単巻式タップ変圧器を採用して有利であるが、この場合は変圧比が大きくまた2次が整流回路である点から2巻線式とした。変換タップはその電圧と電流量によるタップ切換器自体の製作の難易性に左右されて1次2次いずれの側につけるか問題となるが、電圧の変化する側に付する方が本質的に得策であるので本器は2次側切換とした。2次側はいわゆる2相全波整流回路でタップ数が倍数要るが両者を1タップずらして使用することによりノッチ数を倍にする利点を生かした。

整流器用変圧器は2次側に複数個の巻線を有しその短絡機械的強度を増大する点に留意しなければならぬが、広範囲のタップが出ることは根本的に困難を増す。外鉄型変圧器は機械的強度が大でタップを出す上では容易で

あり、とくに2相コイルを並列巻回することにより完全対称巻線として機械力の発生を極小にしている。

負荷状態で電圧変換するために補助単巻変圧器（限流リアクトル）を回路に挿入するが、タップ間橋絡時にも使用状態に採りノッチ数を倍にしている。2次回路は整流回路であるからこれのリアクタンスには特別の考慮を必要とする。

イ. 定格容量

電動機出力に対応して変圧器容量を決めるが、これは直接に重量寸法に影響するもので、これの合理的決定を計る要がある。電動機の熱特性と主変圧器のそれとが相違することが問題である。電動機の定格電流・入力に対して整流回路をへた変圧器のkVAを定め(交流側1,510kVA, 直流側2,510kVA)、変圧器の温度時定数が大きいから機関車の負荷状況を考へて、時間定格を連続励磁の1時間定格とし温度上昇を變圧器一般規定(JEC-120)以内にした。その温度上昇を高くとるとか、絶縁基準を下げて重量減を計ることは、變圧器の安全度を低下させることになるから定格表示は上記根拠によるのがもつとも妥当と考へる。

ウ. 絶縁

高圧回路に入る主変圧器は油入変圧器（不燃性）とし基準絶縁階級20号で設計した。段絶縁にして重量軽減の一助としたが、これも外鉄型設計である故に合理的、かつ効果的である。乾式変圧器とせず油入機器を採用したことによりその絶縁上の安全率は高い。低圧回路のリアクトルは絶縁の心配が少いから乾式B種絶縁とした。

4. 構造

ア. フォームフィット (Form-Fit)

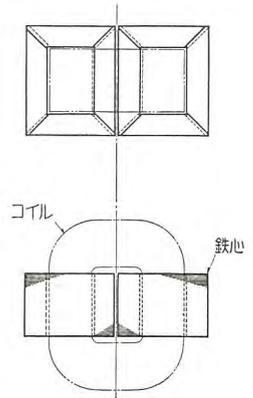
外鉄型変圧器は高電圧大容量の変圧器に採用して好適であるが、またこのような特殊用の場合にその特長を活用することができる。前節にても2,3その利点にふれたが、Form-Fitにして(1)重量の軽減、寸法の縮小

(2)特殊形態の設計(3)油量の減少、油洩れを防ぐとともに(4)震動に強い構造になる。

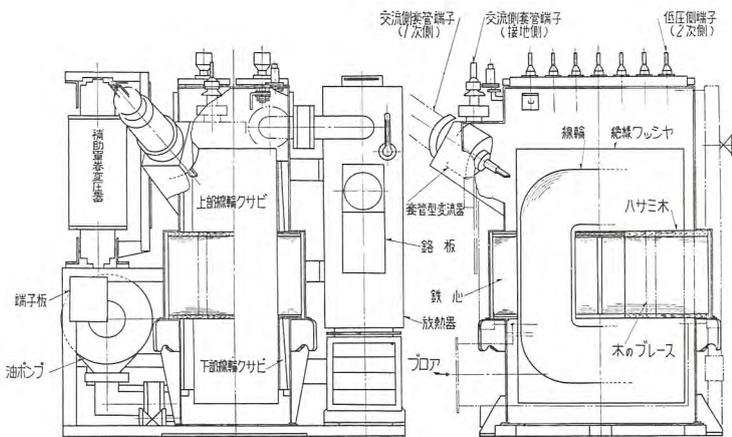
1図は主変圧器の構造を示す図面である。線輪は絶縁物で包まれて下部タンクの中に直立され、その外周に下部タンクの上縁の上に鉄心が包圍して積層される。中身に合致した寸法の上部タンクがその上から被ぶされ鉄心を締付けるとともに線輪も強固に締上げている。すなわち中身(鉄心および線輪)のFormにFitしたタンクが中身と作りつけになっているのである。これは実に外鉄型変圧器でこそできる方法で前記要件を具現していることも自ら判るであろう。上部タンクは下部タンク上縁で溶接され、ガスケットをできるだけ用いない。

イ. 額縁形鉄心

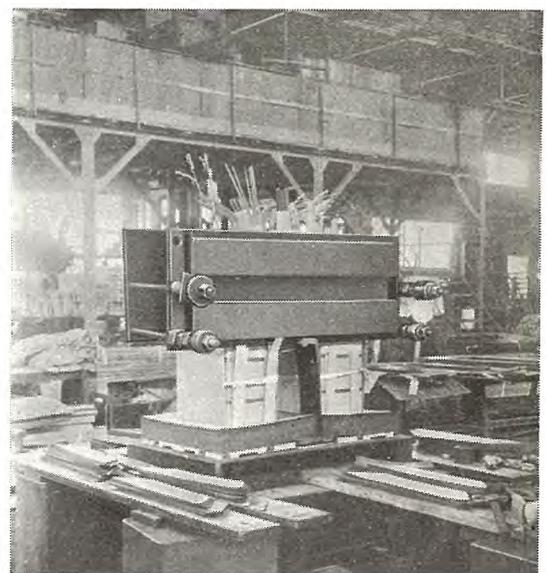
最近変圧器鉄心用珪素鋼板の進歩は顕著で冷間圧延の方向性珪素鋼板が生産されるようになった。方向性珪素鋼板はその鉄損失が少いとともに導磁率が高く高磁束密度で使用することができる。しかしながら方向性が著しいのでその横目方向に磁束を通さないようにすることがとくに必要である。このため脚部と継鉄部の重ね継目部分を2図、3図に示すように額縁形に切断したパンチングとすることによってこの稜隅部において磁束が横目に通ることを防ぎ得る。主変圧器は額縁形鉄心を採用し磁束密度を17,000 Gaussにして重量を大幅に減少することができた。後述の送油風冷式にしたことなどにより重量はこの容量の普通の変圧器に比し約1/2になっている。



2図 額縁形鉄心
Fig. 2. D punching cores.



1図 主変圧器構造説明図
Fig. 1. Sectional view of the main transformer.



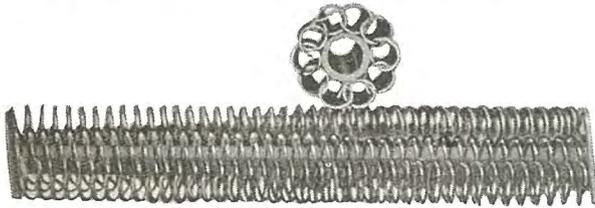
3図 鉄心積み途中の主変圧器中身
Fig. 3. Core and coils assembly.

ウ. U フィン管式送油風冷却器

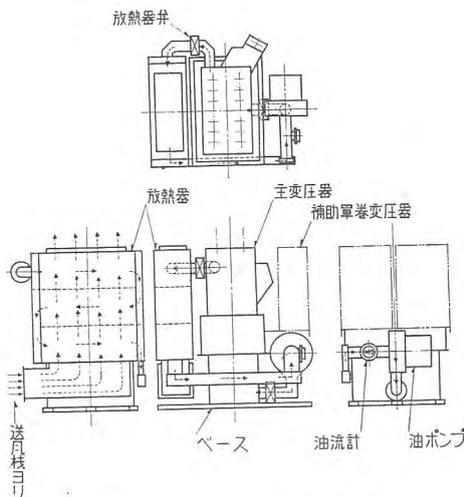
冷却方式を送油風冷式にして寸法の縮小，油量の減少を計った。(1図参照)絶縁冷却油は3HPの電動油泵によって主変圧器本体の下部に圧入され，コイル内を通過して熱吸収を行ったのちタンク上部から放熱器に入る。油ポンプは電動機と油ポンプが一体となって溶接ケーシングの中に入っている特殊構造のものである。放熱器はUフィン管(4図)を用いており送風機より送り込まれる風に対し素通りがなくまた熱気の渋滞がなく最小の寸法で最大冷却効果をあげ得る。5図は冷却油および冷却風の径路を示す図であるが，なお外鉄型変圧器はコイルすなわち油道が垂直に立っており，またForm-Fit構造は油が大部分コイル内を通過せねばならぬようになっているから(1図参照)送油循環に適しており局部的温度上昇の心配がない点は特記すべきことである。送油風冷式とForm-Fit構造が相まって絶縁油を950lという僅小の値にすることができた。

エ. 密封構造

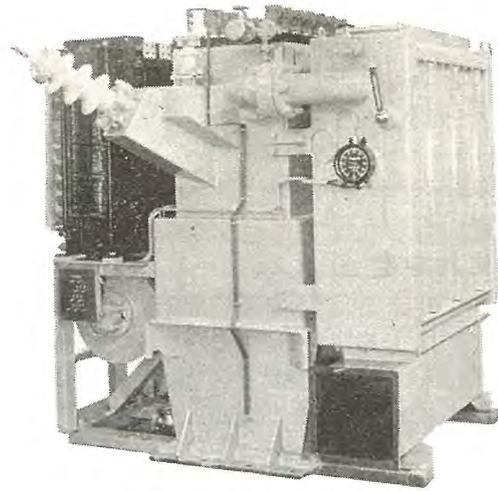
絶縁油を用いて絶縁上の安全度を高くしたが，万一の火災をなくするために不燃性の合成絶縁油を採用したので，絶縁油の取扱いがいささか厄介である。よって油の



4図 Uフィン管式放熱器
Fig. 4. U-fin the tube radiators.



5図 絶縁油循環径路図
Fig. 5. Schematic diagram of oil circulation system.



6図 主変圧器 総外観
Fig. 6. Full view of the main transformer.

保守を不要とするために変圧器は窒素封入完全密閉型とした。すなわち車内の余白空間を利用して油量の20%程度の窒素ガス箱を接続し，変圧器の呼吸を止めて油および絶縁物の劣化を防ぎ寿命を半恒久的なものとした。なお万一の事故による噴油は放圧弁から台車下に導かれるようになっている。

5. リアクトル

リアクトル類は乾式自冷式で鉄心入内鉄型構造を採りB種絶縁とした。重量寸法の減少に留意したことはもちろんである。コイルはすべて円形線輪とし機械的に堅牢な構造とした。口出しリード線等の保持方法，鉄心の締付等は振動を考慮して緩みのないようにできている。

6. むすび

主として主変圧器についてその特殊性と構造を述べた。電気機関車に乗せて走行する変圧器はわが国としては始めて製作されたのであるが，この種変圧器にForm-Fit構造を採用し不燃性油を用いたことは大きな成功であったと考えている。高圧機器の絶縁レベルについては種々討議されており，変圧器はA-C 50 kV 衝撃電圧全波 120 kV 截断波 135 kV の試験電圧とされたが，油入変圧器とすれば困難な点は全くなく，設計は150 kV BILとして充分の安全率を見込んだ。

しかし架線電圧が違った場合には主変圧器もあるいは乾式が有利になり，または単巻変圧器が採用できることになり，電圧変換方式も自ら考え方を換えねばならぬようになる。この点は饋電方式等とあわせて総合的に今後の研究問題の1つとなるであろう。

「ED451」イグナイトロン電気機関車用 液冷式、密封型イグナイトロン整流器

伊丹製作所 加藤又彦*

Liquid Cooled Sealed Type Ignitron Rectifier for ED 451 Electric Locomotive

Itami Works Matahiko KATO

In the wake of the completion of a mobile substation trucks mounted with an ignitron rectifier and other components, Mitsubishi built an ignitron electric locomotive as a record product in Japan. Unlike the former, the rectifier serves as an indispensable element of the running vehicle, innovating the old conception of a stationary apparatus. It is operating on a single phase a-c power and is in direct connection with d-c motors. It must possess all features required for locomotive operation as well as rectifier function. Vibration is the worst condition that must be overcome in the design of the rectifier construction and its mounting aside from a good many other points.

1. ま え が き

先般南海電鉄へ移動変電所として 1,500 kW, 600 V, 風冷式、密封型イグナイトロン整流器を納入した。これは静止器としてのイグナイトロンが移動用車両に積載された最初の直流変換装置であった。しかしこの変換装置は交流受電機より直流機器にいたるものをすべて2両の電気車に分割設置したものであって在来の地上直流変電所機器に機動性を与えたものに過ぎなかった。

今回製作完成したイグナイトロン電気機関車直流変換装置は直流電動機と直結された直流発生電源であり、イグナイトロン自体が静止器としての従来の概念を一新して電気機関車用電気品としての性格をもったものであって、日本の記録品であるばかりでなく、イグナイトロンの定格容量とその外形寸法、重量の諸点で一大進展を実証したものである。それだけにこれが完成と基礎研究には重点的努力が払われ、さきに納入した南海電鉄向移動変電所の経験を活かし、また関係各位から多大のご支援をいただいて完成し得たものである。

本文は今回完成したイグナイトロン電気機関車のイグナイトロン整流器、ならびに関係回路の諸特性、設計内容および工場試験結果を報告しようとするものである。

仙山線にイグナイトロン電気機関車を回行し、一定の負荷条件のもとで現地運転試験を行った。これについては別の報告を参照願いたい。

2. イグナイトロン主回路構成上の条件

今般製作したイグナイトロン主回路は電気機関車用としての特性と利点をもつことを主眼としたもので直流電動機の制御が安全かつ確実に実施できることが目的であった。また今回は地上変電所と異なり単相受電でありその饋電線電圧が 22 kV の交流電圧である点も特異なることがらである。したがって主回路は単相全波整流回路となり、制御と保護上の要望条件をすべて満足せしめ

うる構成であることが必要となった。主回路の諸条件を列挙すればつぎのとおりである。

- (1) 電気機関車としての起動、停止が簡易であるように直流電動機に印加される直流電圧が一定範囲内で連続して変えうること。
- (2) イグナイトロンにより整流された直流電圧、電流波形の脈動が直流電動機の性能を満足せしめうる回路であること。
- (3) イグナイトロンが整流機能を失った時の故障電流が一定値以内におさえられうること。
- (4) 故障が発生したときには故障電流の除去が敏速に実施され、運転制御上信頼度のたかいものであること。
- (5) イグナイトロン電気機関車の外部回路に障害をおよぼさないような考慮を払うこと。

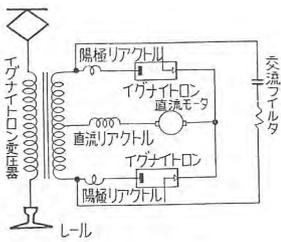
以上の要望条件を満足せしめるべく、イグナイトロン用変圧器には2次側にタップを設けて負荷時中に切換えを実施しうる方法とイグナイトタによる位相制御を併用して起動時の直流電圧を制御している。各直流電動機の回路には直列リアクトルを挿入して脈動電流をおさえ、また故障電流の突進率を低減せしめている。故障電流の遮断には陽極側遮断器(断流器)を使用するとともにイグナイトタ消弧を併用している。

外部回路への誘導障害の防止策として A-C フィルタを挿入している。

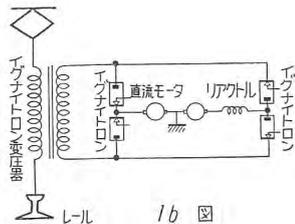
以上の主回路の各要素はイグナイトロン整流器の電流定格と過負荷耐量を勘案してすべて協調せしめている。

整流回路には2種類が考えられるが今回採用したものは1a図に示すような変圧器に中性点付の単相全波整流回路であり、イグナイトロンの各陽極にそれぞれ1個の陽極リアクトルと陰極側に共通の直列リアクトルを挿入して整流器の責務の軽減化をはかり、保護と保安上の問題に安定性を賦与した。転流リアクトルの選定は安定運

* 技術部



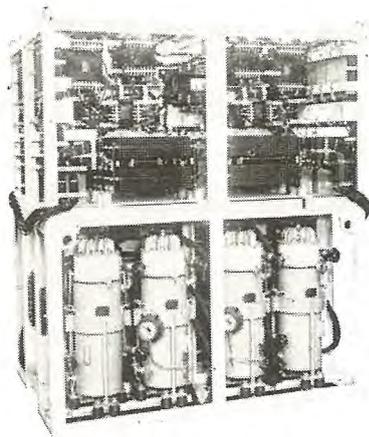
1a 図



1b 図

1 図 主回路結線方式

Fig. 1. Main circuit wiring.



2 図 イグナイトロン整流タンク取付方法ならびに配列を示す。

Fig. 2. Mounting method of ignitron rectifier.

転の鍵をにぎるものであってこれに関しては数式と実測結果を後述する予定である。

3. イグナイトロン整流タンクの構造と設計

整流タンクの内部構造とこれが配列ならびに整流タンクの取付方法は電気機関車用整流タンクであるという点で種々検討をなし、基礎的研究が行われた。しかし電気機関車の1つの電気品である限り大小程度の差こそあれ、動揺することはさげられない。それは電鉄の軌条の問題でもあり、衝撃、加速度の変化もあり、また上り坂、下り坂もあることであって常に水平の静止の状態を保持するという事は望むべくしてできない事柄である。それ故に根本対策としては整流タンク自体において耐動揺性を持った内部構造と取付方法と特性が賦与されなくてはならないという結論に達したのである。(2 図参照)

また運転、保守の見地からは電気機関車用整流タンクは水冷式とすべきか風冷式とすべきかの比較検討を必要とした。この比較内容について詳細記述する紙面を許されていないため割愛するが要するに風冷式のときは大きさ、重量の点と冷媒としての空気温度が約 35°C の範囲にわたって変化し、その冷媒自体の温度が1 年を通じてその大部分が 20°C 以下であるため、この温度変化に順応すべく人為的加熱と冷却条件の制御が仙台地方という地理的制限を考慮すれば大きな負担となるという結論となり、今回は液冷式(水冷式でない)冷却方法を採用して小型軽量とし、他方整流タンクの内部設計に新概念を導入して過負荷耐量をもたせることに成功したものである。

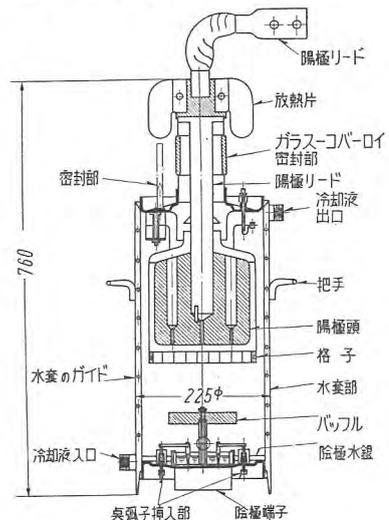
以下整流タンクの特長を列記すればつぎのとおりである。

- (1) 整流タンクは液冷式、密封型の小型のイグナイトロン整流器であり、点弧子を2本並列に使用して動揺時の失弧を完全に防止しており、点弧子の点弧位相を制御して電圧制御を行う。格子は皿型構造として陽極電位傾度の分割と消イオン作用を行い、負バイアスは印加されていない。3 図は断面図である。

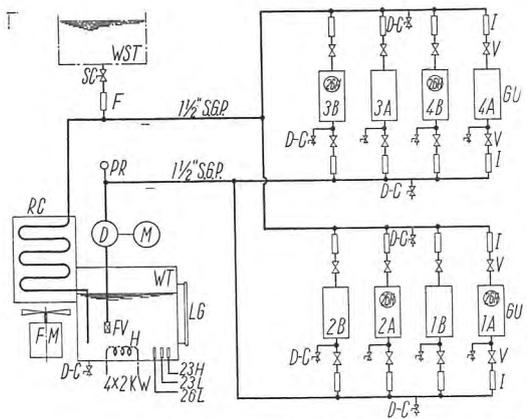
- (2) 陰極—タンク間は絶縁をする必要がないため陰極水銀の動揺が電弧の安定性を阻害することがない。また陰極部は直接冷却せず、密封型イグナイトロンの特性を發揮せしめる構造とした。点弧子と補助極はすべて陰極板を貫通して挿入されており、その貫通部は熱的遮蔽と水銀滴防止壁をもっている。
- (3) 格子は皿型構造の1重格子であって消イオン作用を行う。格子—陰極間の距離を長くして傘型バッフルを中間に挿入しアークの通路を変曲せしめ整流タンク壁の冷却効果を顕著にしている。
- (4) 陽極上部のガラス—カバーロイ密封部は陽極加熱器をまた水套の温度傾度の保持には水タンク加熱器を挿入して温度調整を自動的にしている。
- (5) 動力車の車体の振動はイグナイトロン整流タンクの把手部にて直接受けるが整流タンクは 0.5 g までの加速度に対してはすべて安全であるような設計になっている。
- (6) 冷媒としてエチレングリコール液を使い -15°C になるも冷媒が凍結しないように配慮した。また液体温度が -5°C になったとき冷媒の温度を 20°C まであたためるのに 20 分以内の時間であるような設計を行った。これが冷却水系ならびに加熱所要時間は 4 図および 5 図に示してある。
- (7) 故障電流の突進率ならびに最高値を一定値に制限するために陽極リアクトル、陽極遮断器を配置し、イグナイタ消弧とあいまって消弧、再投入を簡易化し、運転信頼度を向上するよう各機器およびイグナイトロンの定格容量を協調せしめた。

電気機関車用イグナイトロン整流タンクの定格容量が直流電動機の容量に対していかなる関係にあるべきかという問題は運転経験の少ない現在では結論を出し難いが冷却条件いかにという課題が整流タンクの定格を左右し大さ寸法は2次的の意義しかもたない特性がある整流器では原則として直流電動機と同一容量でよいことになる。また地上変電所の整流器の容量という概念は電気機関車用のもにおいては少なからず変更する必要があることは回路条件よりみて明らかである。

1 表は今回イグナイトロン電気機関車に使ったイグ



3 図 イグナイトロン整流器内部構造 Fig. 3. Internal construction of ignitron rectifier.



4 図 イグナイトロン電気機関車用イグナイトロン装置冷却系統図 1A, 1B が 1 モータを駆動する。

Fig. 4. Cooling system of ignitron rectifier on the locomotive.

1 表

450 kW, 750 V 550 A 2 タンク, 液冷式 密封型 イグナイトロン整流器	
過負荷耐量	200% 負荷...1,100 A...1 分間
回路方式	単相全波整流方式
タンク数	2 タンク
1 整流タンクの縦長	760 mm (陽極リードを含めて約1,000 mm)
" " 直径	225 mm
" " 重量	45 kg
8 整流タンクを一つのキュービクルに挿入したキュービクルの外形寸法は下記のとおりである	
縦長	1,203 mm
横長	1,650 "
高さ	1,000 "
全重量	1,085 kg
イグナイトロン全容量 (8 整流タンク)	1,800 kW, 750 V, 2,200 A (連続)

ナイトロン整流器の仕様一覧表である。また 6 図は陽極加熱器を装着した整流タンクの外観写真である。

4. イグナイトロン整流器負荷試験

イグナイトロン整流タンクの負荷試験は伊丹工場における基礎試験, 組合せ試験, および特殊試験と仙山線にてイグナイトロン電気機関車を運転したときの現地試験とに区分される。

本文は前者の工場試験のみを記述することにする。

この試験は整流タンク 2 本と特殊変圧器およびリアクトル数を適宜回路に挿入して特定の条件下に行った試験である。よってイグナイトロン変圧器の 1 次側電圧, 電流の波形などは工場の設備電源(主として周波数の関係)の関係にて一断面を表示した結果になった。したがってこの結果から直に結論をひき出すことは無理であるが傾向は充分知ることができる。

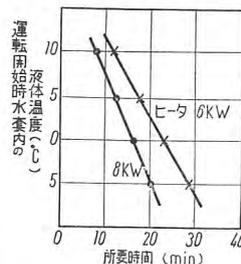
ア. 整流タンクの加速負荷試験

○ 試験条件

- 熱化成にて製作した整流タンク 2 本を使い, 2 重星形結線の変圧器の 2 次巻線中 180° の位相関係にある 2 相を使った。直流電圧 550 V。
- 水抵抗負荷で 10 分間宛一定負荷電流値を流し, 逆弧発生の有無を確認した。
- 各相には陽極リアクトルを, 陰極には直列リアクトルを挿入して冷却条件を 20°C 一定と 50°C 一定の 2 種類についてそれぞれ実測した。

「ED451」イグナイトロン電気機関車用液冷式, 密封型イグナイトロン整流器・加藤

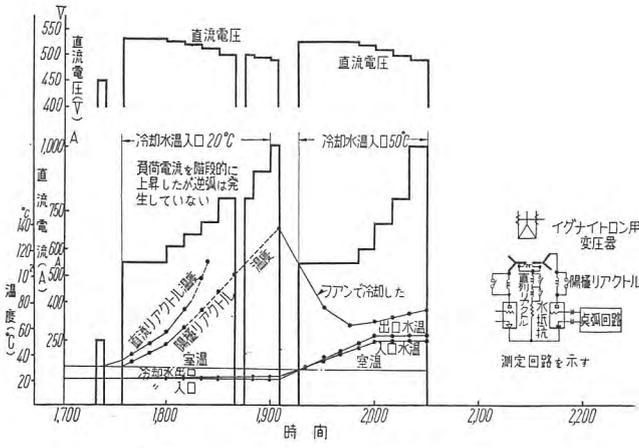
符号	説明
GU	イグナイトロン整流器
RC	風冷式再冷却機
FM	送風機
WV	水槽計
LG	水面計
H	加熱器
FV	フートバルブ
PM	循環水ポンプ及電動機器
PR	圧力継電器
WST	給水槽
SC	給水コック
F	ゴムホース
I	絶縁ゴムス
V	バルブ 3/4"
DC	排水コック
26H	温度継電器
23H	"
23L	"



5 図 冬季イグナイトロン水套内液体温度を 20°C まで上昇せしめるに要する時間



6 図 陽極加熱器の取付方法を示した整流タンクの外観



7 図 イグナイトロン用イグナイトロン

○ 測定結果

7 図に示したように 550 A より 1,000 A まで試験したが冷却水入口水温 20°C および 50°C のとき, とともに逆弧の発生なく, 変圧器の電流容量の制限のため中止した。その間直流リアクトル, 陽極リアクトルはともに電流容量を超過したため冷却扇を使って冷却している。

これにより 1,000 A/2 タンク; 500 V 10 分間の過負荷耐量が 20°C より 50°C の温度領域においてあることを確認した。

負荷試験前と後とで陽極一格子間交流耐圧試験を行って整流タンク内の真空度の変化を確認した。その結果は低下していないことが実証された。7 図上部の説明文参照のこと。

イ. アーク降下の測定

○ 試験条件

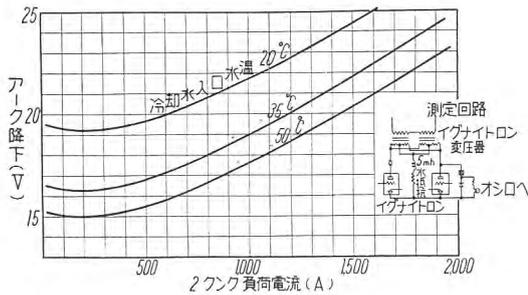
- 化成電圧にて単相全波整流回路にて行った。
- 冷却条件を 20°C, 30°C, 50°C と変化させて行った。負荷としては水抵抗負荷に直列に 5 mH のリアクトルを挿入している。

○ 測定結果

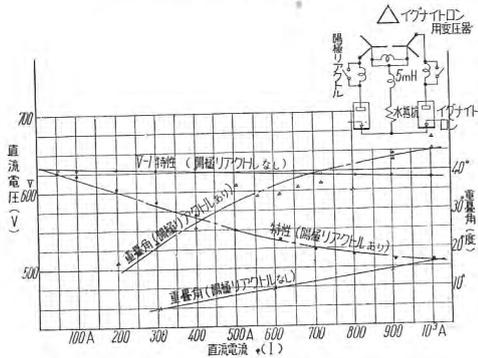
負荷電流を 300 A, 500 A, 1,000 A, 1,500 A と変化したところ 8 図のような数値をえた。冷却水入口水温が 20°C と 50°C では約 4 V の差がある。

ウ. 電圧変動率と重畳角の実測

○ 試験条件



8 図 イグナイトロン用イグナイトロンのアーク降下 (GU-8 型)
Fig. 8. Arc drop of ignitron.



9 図 電圧変動率および重畳角曲線 (試験用変圧器による V-1 特性)
Fig. 9. Curve of voltage regulation and overlapping angle.

a. イグナイトロン用変圧器には試験用 2 重星形結線の変圧器を単相全波整流回路に使い、陽極リアクトル、直流リアクトル (5mH) をそれぞれ挿入したときとしないときをオシログラフにより電圧、電流波形を測定した。

b. 冷却条件を一定としておいて直流電流を 200 A より 1,000 A まで変化して直流電圧—電流曲線と重畳角を実測した。

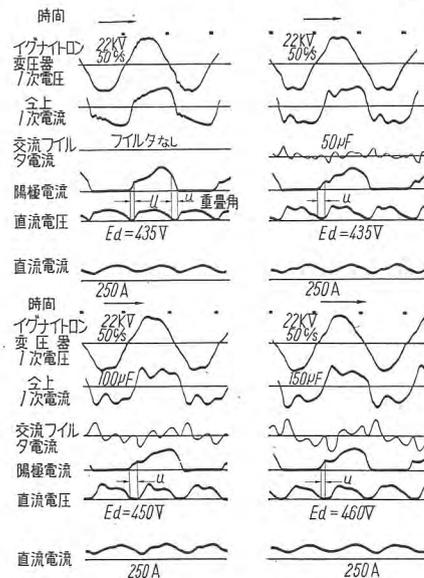
○ 測定結果

陽極リアクトルを挿入すると 550 A の定格負荷では直流電圧は 75 V の差がある。その時の重畳角は 25° の差がある。負荷電流を変えたときは 9 図のように直流電圧、および重畳角が変化する。

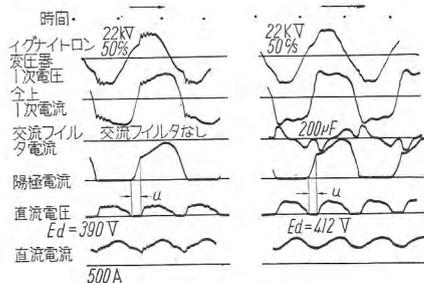
また直流電動機を負荷とし、納入すべき変圧器を使い交流フィルタとして 100 μF を挿入したときの直流電圧—電流曲線を測定したものが 10 図である。

交流フィルタを挿入したものは電圧変動率は約 31% である。

エ. イグナイトロン整流時の各部の電圧、電流波形と交流



11 図 直流リアクトル 3mH を挿入して交流フィルタの常数を変化させた時の各部の波形
Fig. 11. Wave forms at various parts.



12 図 直流リアクトル 6mH, 交流フィルタのある、なしの 500 A 負荷時の各部波形の比較
Fig. 12. Comparison of wave forms.

フィルタとの関係実測

○ 試験条件

a. 22 kV, 50 c/s, 3,000 kVA の発電機を電源として 3 相中の 2 相を使い、直流電動機 1 台を負荷として運転したときの各部の電圧、電流波形を測定した。冷却条件はできる限り一定とした。

b. 交流フィルタおよび直流リアクトルをそれぞれ入れ変えて測定した。

○ 測定結果

11 図は直流リアクトル 3 mH で交流フィルタの蓄電器を 50 μF, 100 μF, 150 μF と変化し、250 A 負荷で位相制御しないときの波形を示した。

12 図は直流リアクトルを 6 mH とし交流フィルタを 200 μF としたときと 0 μF としたときの波形の差を示したものである。

13 図は直流リアクトルを 6 mH として 200 μF の蓄電器を挿入し、250 A 負荷で位相制御を $\alpha=10^\circ$, 20° , 30° としたときの波形を示したものである。波形に対する分析は後日発表する予定である。

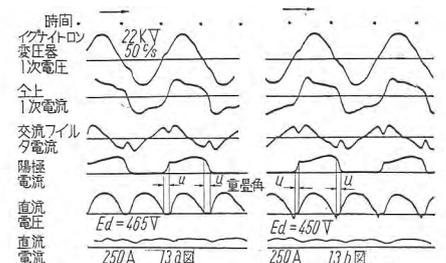
オ. 特殊試験

○ イグナイトロン整流タンクの振動ならびに傾斜による失弧の有無を試験した。

(1) 整流タンクを傾斜せしめたときの点弧特性

○ 試験条件

a. イグナイトロン整流タンクを特定の床板に水平に取付け、一定方向



13 図 直流リアクトル 6mH, 交流フィルタあり、(200 μF 挿入) 負荷電流 250 A 時の位相制御時の各部の波形を示す
13a 図は $\alpha=10^\circ$
13b 図は $\alpha=20^\circ$
13c 図は $\alpha=30^\circ$

Fig. 13. Wave forms at various parts.

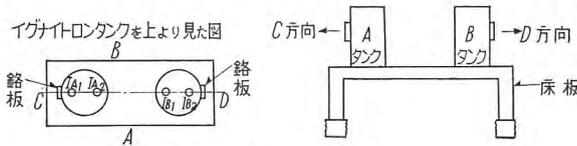
に 5°, 10° と傾斜せしめて失弧の有無を調査した。

b. 点弧回路のみ作動せしめ、主回路は開放の状態にある。

○ 試験結果

2 表は傾斜した角度と失弧状況を示す。これにより静的に 10° 傾斜しても失弧はほとんどないことを確認した。

イグナイトロン試験結果
§ イグナイトロン整流タンク傾斜時の静的点弧特性
イグナイトロン番号 ... # 20001 # 20003
〃 点弧回路は納入品使用



2 表

傾斜せしめた方向	角度	IA ₁ 単独	IA ₁ 並列 IA ₂ 接続	
	0°	120~160V 0 回	120~140V 0 回	←点弧電圧を示す ←1 分間の失弧回数を示す ←A 方向を 5° 上げたことを示す
A	5°	130~180V 0 回	130~150V 0 回	
A	10°	150~200V 0 回	120~150V 0 回	
C	5°	160~220V 0 回	120~140V 0 回	←B 方向では 5°, 10° のとき全て 零回である
C	10°	130~220V 0 回	120~150V 3 回	
D	5°	100~150V 0 回	100~160V 0 回	
D	10°	100~150V 7 回	100~150V 46 回	

(2) 整流タンク振動試験

○ 試験条件

特設の振動台上に整流タンクを取付けて 2 本のイグナイタの軸方向 (#1) と軸に垂角の方向 (#2) に 12 mm, 25 mm, 50 mm の振幅で 100 c/s から 260 c/s の間振動を行い、失弧の有無を測定した。

○ 試験結果

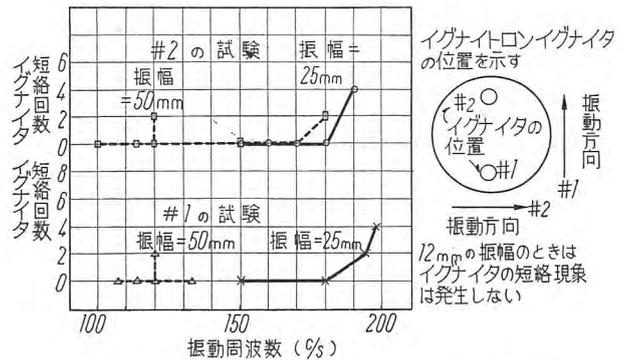
振幅 12 mm では 100 c/s より 260 c/s の間は失弧は全くない。振幅 25, 50 mm のときに振動方向により 14 図に示したようにごく僅かながら水銀滴による短絡があるが問題でない。この試験による最大加速度は $\frac{\omega^2 \cdot l^2}{980} = 0.5 g$ である。

(3) 仙山線における整流タンク振動測定

当社研究所にて試作した電磁型加速度計を整流タンク 1 本に取付け、電気機関車の速度が 35, 45, 55, 60, 70 km/h のときに種々の線路条件のもとに加速度の測定を行ったが $R=400 m$ のとき $+0.45 g$; $-0.3 g$ が最大で他は全てそれ以下であった。上記の試験中は全く失弧の発生をみなかった。この加速度は(2)項の工場における基礎研究の 0.5 g の数値より安全側にある。

5. 試験結果に対する考察

上述したようにイグナイトロン電気機関車用密封型、液冷式イグナイトロン整流器の負荷試験と特殊試験は無事終了したのであるがこれが製作にあたって設計者が設計基準とした方針を測定結果よりいま 1 度検討してみよう。



14 図 振動台上に整流タンクをのせた時の振動周波数—イグナイタ短絡回数関係。

Fig. 14. Vibration frequency when the rectifier tank is mounted on a vibration stand.

液冷式イグナイトロン整流器の選定は運転、保守、大きさ、重量および過負荷耐量の自由度の確保から現在の整流タンクの形態が選定されたが実測と運転状況からみて期待を裏切らなかつたことは実によろこばしい限りである。とくにイグナイトロンの信頼度の問題を重視し、4 季の気温の変化と冷却条件の適正化と電気車用整流タンクとしての内部構造の合理化は電気機関車用なるが故に最も留意したところである。信頼性と寿命との問題は共に今後にのこされた研究課題であって現在においては一概に断定できない。冷却条件により整流タンクの電流、電圧定格は変化するが仙台地方の冬季の気温下において 10°C 程度の冷却条件で 550 A/2 タンク の定格を有するようにすることの妥当性は目下研究されつつあるため後日試験結果と共に報告する予定である。

主回路方式の選定は整流タンクの責務を考慮して決定すべきものであり、位相制御の度合、変圧器タップの変換の必要性は整流タンクの安定運転を左右する。換言すれば転流リアクトルの適切なる選定は保護方式と保守上の課題を解決する鍵となっている。

転流リアクトルは整流器の転流に関与し、変圧器の 2 次巻線が短絡状況にある間に反覆される過渡現象である。数式で示せば転流の条件は次式 (1) で示される。

$$e_u \leq e_2 - e_a - e_w \dots \dots \dots (1)$$

位相制御というのは転流の時期を意識的に制御することである。したがって (1) 式の条件を満足せしめる時期に到達しても転流を所要時間遅らせることである。

e_u = 直流電圧; e_2 = 転流する相の相電圧

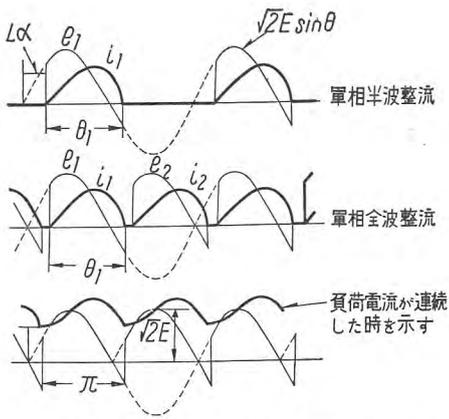
e_a = アーク降下; e_w = リアクタンス降下

15 図は誘導負荷で単相整流の 3 つの場合を示しており 13 図は 10°, 20°, 30° の位相制御したときのオシログラムに相当した波形を示したものである。

直流電圧、重畳角、電圧変動率はともに転流リアクトルに左右される。16 図の結線の記号によれば、転流リアクトル (X_c) は次式で示される関係にある。

$$X_c = \frac{X_c'}{100} \times \frac{E_1}{I_1} \times \frac{1}{k^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$= \frac{X_c'}{100} \times \frac{4E_2}{I_2} \dots \dots \dots (3)$$



15 図 誘導負荷単相整流時の電圧電流波形を示したものであり $\angle\alpha$ だけ位相制御されたときを示す。

Fig. 15. Voltage and current wave forms of rectifier with single phase inductive load.

$X'_c = \%$ リーケージリアクタンス

$k =$ 変圧比

$E_1 =$ 変圧器 1 次電圧 $E_2 =$ 変圧器 2 次電圧

$I_1 =$ " " 電流 $I_2 =$ " " 電流

(3) 式はイグナイトロン用変圧器の各タップによって X'_c の数値がそれぞれかわることを示している。

また饋電線のリアクタンス ($=X_w$) をも考慮に入れば (2) 式同様に次式がえられる。

$$X_w = \frac{X'_w}{100} \times \frac{E_1}{I_1} \times \frac{1}{k^2} \dots\dots\dots (4)$$

$X'_w =$ 定格負荷パーセントインピーダンスである。

(4) 式は変電所よりの距離によって種々変化することを示している。

また重畳角 (u) は

$$\sin \frac{u}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{X'_c \cdot I_2}{2E_2}} \dots\dots\dots (5)$$

(3) 式を代入して $= \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{X'_c}{100}\right)} \dots\dots\dots (6)$

今 $X'_c = 15\%$ とすれば $\sin \frac{u}{2} = \sqrt{\left(\frac{3}{20\sqrt{2}}\right)} = 0.325$
 $\therefore u = 38^\circ$

この値は 550 A 電流値のパーセントリアクタンスと $\angle u$ の値と大体一致する。9 図, 11 図および 12 図参照のこと。

§ 転流による電圧降下

15 図に記したように直流電圧は両整流タンクが通電中は零電圧となる。すなわち 12 図のオシロを参照のこと。

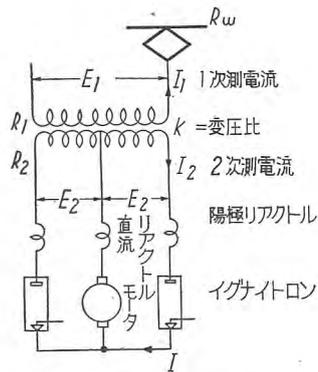
1 整流タンク当りの電圧降下 $= \Delta E$ は次式で表わされる。

$$\Delta E = \frac{X'_c}{2} \cdot \frac{I}{\pi} \dots\dots\dots (7)$$

(3) 式を代入すれば

$$\frac{\Delta E}{E_2} = \frac{X'_c}{100} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{I}{I_2} \dots\dots\dots (8)$$

上式によって X'_c の値によって $\Delta E/E_2$ の数値が正比例して変化することがわかる。9 図の $V-I$ 特性はこれを証明している。



16 図 主回路結線
Fig. 16. Main circuit connection.

この他主回路の抵抗値により電圧降下を生ずる。すなわち

$$\text{抵抗降下 } \Delta E_R = I \left(\frac{R_1 + R_w}{4k^2} - R_2 \right) \dots\dots (9)$$

$R_1 =$ 変圧器 1 次巻線の抵抗値

$R_w =$ 饋電線の抵抗値; $R_2 =$ 変圧器 2 次巻線の抵抗値; $I =$ 直流電流

以上の数式を総合して直流電圧—電流の関係曲線は次式となる。

$$E_a = \text{直流電圧} \\ = \sqrt{2} E \frac{2}{\pi} - \frac{X'_c}{100} \times \frac{2}{\pi} \times E_2 \times \frac{I}{I_2} \\ - I \left(\frac{R_1 + R_w}{4k^2} - R_2 \right) - e_a \dots\dots (10)$$

直流モータ端子に印加される電圧は (10) 式より直流リアクトルの抵抗降下だけ低いことは明らかである。

(10) 式の結果は測定結果と必ずしも一致する結果となっていない。また (10) 式は (11) 式のように簡略化することもできる。

$$E_a = \sqrt{2} E \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \cos^2 \frac{u}{2} \dots\dots\dots (11)$$

また負荷電流が断続する場合の位相制御したときの直流電圧の一般式は (12) のようになる。15 図参照。

$$E_{a1} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} E}{\pi} [\cos \alpha - \cos (\alpha + \theta_1)] \dots\dots\dots (12)$$

負荷電流が連続する場合は (13) 式となる。

$$E_{a2} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot E \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots (13)$$

6. む す び

以上はイグナイトロン電気機関車用イグナイトロン整流器および同主回路についての日本最初の負荷試験の成果をご報告したものである。

交流電化方式は完成して日なお浅く、動力車用イグナイトロン整流器としての信頼性についての経験は少なく、これが将来性については未知数の要素が介在している。しかし完成した今日、製作打合せ当時のことを回顧すると今回のイグナイトロン電気機関車の試作は国鉄関係各位の理解あるご指導とご援助によってはじめて実用化しえたものであって日本の製作技術の将来に 1 つの光明をかかげ、新分野を開拓した点で誠に慶賀にたえない。

750 V, 1,800 kW の変流装置一式を動力車 1 両におさめ、それが所望の能力を発揮しえたこと自体が整流器製作技術面の一大躍進であり、ひいては密封型イグナイトロンが理想型体にちがづきつつある証左となった。かかる進展を示す結果となったことは国鉄関係各位のご尽力のおかげであり、あらためて本稿をかりてお礼申上げる次第である。

また本試験は夏季の酷暑の間に関係各位のご尽力によって完行されたものでここに本稿をかりて厚くお礼申上げるとともに今後とも携まぬ研究と技術の研鑽に関係者一同整流器界へのご奉公を誓って擲筆する次第である。

「ED 451」イグナイトロン電気機関車の 通信誘導障害とその対策

伊丹製作所 己斐健三郎*
研究所 阿部久康**

Inductive Disturbance to Communication Lines by ED 451 Ignitron Locomotive and Its Countermeasure

Itami Works Kensaburo KOHI · Hisayasu ABE

Inductive disturbance to communication lines in the alternating current electrification of the railway, one of the most outstanding problems calling for careful investigation, was proved to be prevented by the use of simple filter to the pleasant surprise to examiners in the field.

1. ま え が き

今回の新しい交流電化に際し、通信線に対する誘導障害は1つの重要な問題として取上げられ検討された。そして現地試験の結果は予想以上に良好で簡単な濾波器を使用することによってその障害を防止しうることが実証された。

一般に通信誘導障害の対策としては、通信線に施す対策、電力線に施す対策および障害発生源に施す対策の3つが考えられる。通信線、電力線に対する今回の対策としては、通信線のケーブル化、あるいはブースタ変圧器を使用した負饋電線の設置などが国鉄側で研究検討せられ大規模な実測試験も実施されたが、これらについては別に報告せられる筈であるからここでは今回の整流型電気機関車自体に施した誘導障害防止対策とこれについて行った試験結果について簡単にのべてみたい。

導障害が問題となる。(a)および(b)は両極端の場合で実際の回路では電動機の整流特性が許し得る程度の脈動が直流電流には含まれており、交流側高調波を軽減するとともに直流リアクトルを極力小とする。

2 図(b) の場合の交流電流の高調波を計算より求めることは比較的簡単で結果のみを記すと次のとおりである。
第 n 次高調波電流の最大値

$$(I_n)_{\max} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} = \frac{4}{\pi} \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{n(n^2 - 1) \{ \cos \alpha - \cos(\alpha + u) \}} \dots \dots \dots (1)$$

基本波電流の最大値

$$(I_1)_{\max} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} = \frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{C^2 + D^2}}{\cos \alpha - \cos(\alpha + u)} \dots \dots \dots (2)$$

ただし

$$A = n \sin(\alpha + u) \sin nu + \cos(\alpha + u) \cos nu - \cos \alpha$$

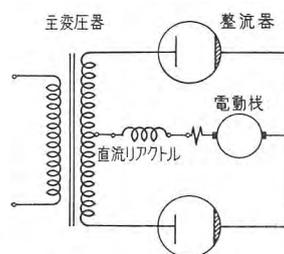
$$B = n \sin(\alpha + u) \cos nu - \cos(\alpha + u) \sin nu - n \sin \alpha$$

$$C = -3 \cos(\alpha + u) \cos u - \sin(\alpha + u) \sin u + 3 \cos \alpha + 2u \sin \alpha$$

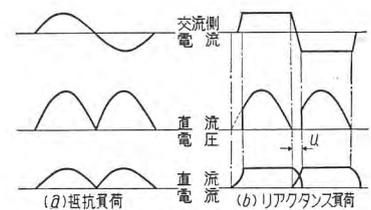
2. 整流型電気機関車の交流側高調波

整流型機関車は1 図に示すような単相全波回路であるため、その電圧電流波形は2 図のようになる。

直流側負荷回路が純抵抗であれば同図(a)に示すように直流電流は直流電圧と相似となり交流側電流も正弦波となる。しかし負荷電動機にはインダクタンスがあり、かつ直流電流の脈動を軽減するために1 図の如く平滑用のリアクトルが付加されるのが普通である。これらのインダクタンスが抵抗に比して非常に大である場合は、直流電流は平滑化し2 図(b)に示すように交流側電流は矩形波状となり、かなりの奇数次高調波を含み高次高調波電流による誘

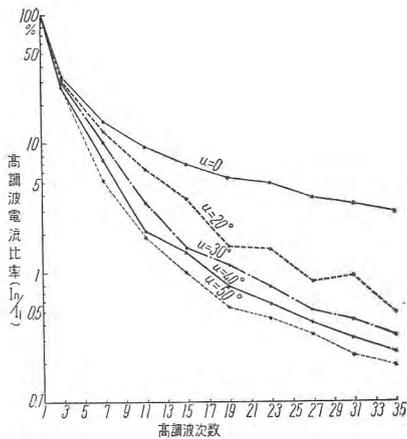


1 図 整流型電気機関車概略結線図
Fig. 1. Brief connection diagram of ignitron electric loco.



2 図 単相全波回路における電圧電流
Fig. 2. Voltage and current on single phase full wave circuit.

*技術部 **電気第1研究室



3 図 重り角にある高調波電流の変化
Fig. 3. Change of higher harmonic current due to overlapping angles.

$D = 3\cos(\alpha + u)\sin u - \sin(\alpha + u)\cos u + \sin\alpha - 2u\cos\alpha$
 α : 位相制御角, u : 転流時の重り角

上式より基本波に対する高調波比率は

$$I_n/I_1 = 4 \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{n(n^2 - 1)\sqrt{C^2 + D^2}} \dots\dots\dots(3)$$

上式の結果は直流電流が平滑であると仮定した場合のものであるが、後述の試験結果(6 図)と極めてよく一致し、これによって高調波の程度を知ることができる。

上式によって重り角 u が変化した場合の影響を求めてみると 3 図のようになり u の増大により高調波は相当低減することが判る。図は横軸に高調波次数をとり縦軸に I_n/I_1 の比をとったものである。また位相制御角 α が増大すると高調波は減少するが一般に電流一定ならば α 角の増大とともに u 角が減少するから実運転においては α 角の影響は問題とならないであろう。

これらの高調波による誘導障害の程度を総合的に表わすためには次式に示すいわゆる IT 積が用いられる。

$$IT \text{ 積} = \sqrt{\sum (w_n s_n i_n)^2} \dots\dots\dots(2)$$

ここに w_n : n 次高調波の角周波数

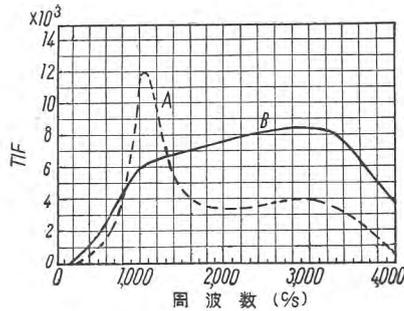
s_n : n 次高調波の聴覚感度(受話器感度を含む)

i_n : n 次高調波の電流値 (A)

$w_n s_n$ の積は TIF (電話妨害度の重み) といわれ 4 図のような分布を示す。同図 A 曲線は 1935 年に、B 曲線は 1952 年に制定されたものである。4 号電話器に対しては B 曲線が適合される。

3. 誘導障害防止対策

前節において平滑用直流リアクトルを小にし、また重り角を増大することによって交流側高調波を低減しうることを示したがこれらには限度がある。重り角の増大は転流リアクタンスの増大、すなわち整流器用主変圧器の漏洩リアクタンスを大とするが、別に陽極リアクトルを付加することによって得られるが、電圧降下の増大のた



4 図 TIF 曲線
Fig. 4. TIF curve.

め主変圧器の kVA が大となり、また力率を低下させるからある程度で抑えねばならない。

つぎに欧米において実施検討されている防止対策を簡単にのべてみる。

ア. RC 型 洩波器

高調波に対して低インピーダンスであるコンデンサを低抵抗と共に変圧器 2 次側に 5 図 (a) に示すように挿入し高次高調波を短絡吸収する方法で、後述するように比較的簡単に有効な方法であり、力率の改善にも役立つ。

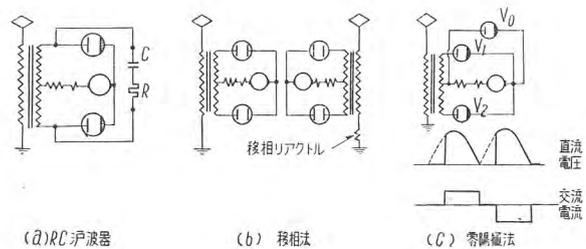
1 表は米国の Pennsylvania 鉄道の 6,000 HP 整流型機関車 (25 N, 11 kV) に対する試験成績で⁽¹⁾ コンデンサ (1 個 23.5 μ F) を変化した場合の IT 積の減少を示している。

イ. 移相法

5 図 (b) に示すように電動機回路が 2 個以上ある場合にその電流位相をリアクトルを挿入してずらす方法⁽¹⁾⁽²⁾ で、移相度はもっとも妨害度の大きな高調波の位相において 180° (3 回路の場合は 120°) ずらせばよい。1 表中にこの移相リアクタを使用した場合も併記してある。

ウ. 零陽極法⁽³⁾

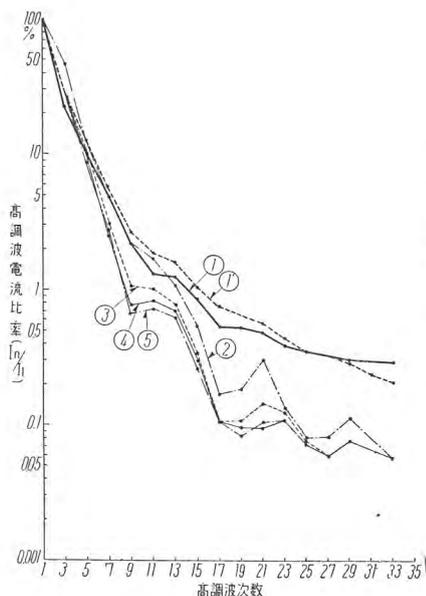
5 図 (c) に示すように主整流管 V_1, V_2 の他に零陽極 V_0 を設け位相制御により V_1, V_2 の点弧を 60° 遅らせると交流電流波形は同図に示すようになる。これは通常の地上用電鉄変電所における 6 相整流器の場合と同一で高調波次数は $6n \pm 1$ (n は正の整数) となり IT 積も低減する。しかしこの方法は (1), (2) に比して装置が相当複雑となる嫌いがある。



5 図 誘導障害防止対策
Fig. 5. Countermeasure of inductive disturbance

1 表 Pennsylvania 鉄道における試験成績

RC 洩波器	移相リアクタ	IT 積
なし	なし	24,000
なし	あり	12,150
23.5 μ F \times 10	あり	2,160
23.5 μ F \times 10	なし	3,405
23.5 μ F \times 5	なし	4,000
23.5 μ F \times 3	なし	6,500
23.5 μ F \times 1	なし	14,500

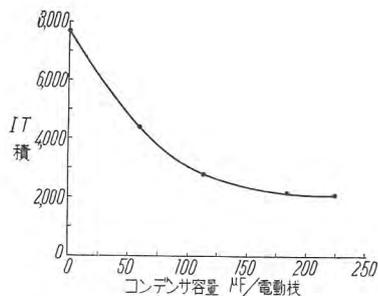


6 図 模擬回路による試験成績
Fig. 6 Tests result by analogous circuit.

以上の各方式中今回の ED451 形電関には (1) の RC 濾波器による方式を採用し、コンデンサは $28\mu\text{F}$ のものを各電動機回路に最大 6 個付した。なお陽極リアクトルを付し重り角を適当に大とし、また直流リアクトルにはタップ (6.5 mH, 4.5 mH, 3 mH) を付し整流特性に応じて最小値をとらしうる如くした。

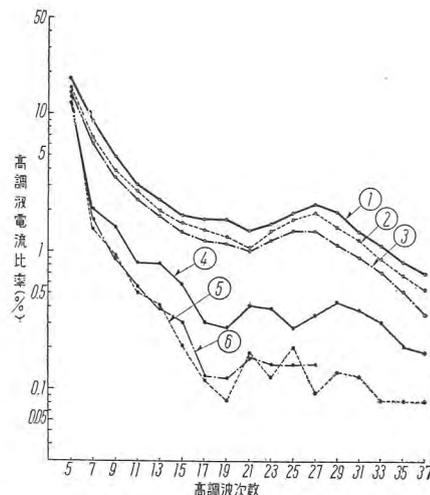
4. 試験結果

前述のように今回は RC 濾波器を採用したがこの常数決定にあたり、サイクロンを使用した模擬回路を作り



7 図 コンデンサ容量と IT 積
Fig. 7. Condenser capacity and IT product.

機関車の実回路を忠実に模擬せしめ濾波器の効果を検討した。測定は変圧器 1 次側電流を CT で取出し日本電子測器製 NA-2 型騒音分析器でこれを分析した。この結果によると濾波器の直列抵抗はある程度大なる方が有効であったのでこれを 6Ω 一定としてコンデンサを変化せしめた。この場合の高調波の大きさが 6 図に示してある。図より RC 濾波器の使用によって高調波は著しく低減することが確認された。この曲線より実回路の定格 68.6 A の場合の IT 積を求めると 7 図のようになる。これはコンデンサ容量を横軸にとってある。この曲線より濾波器の使用によって IT 積は 30~35%



8 図 工場試験成績
Fig. 8. Factory test result.

	濾波器	直流リアクトル	IT 積
①	なし	6 mH	26800
②	"	4.5 mH	22400
③	"	3 mH	18500
④	C=200 μF R=1.5 Ω	6 mH	4000
⑤	C=200 μF R=1.5 Ω	4.5 mH	2700
⑥	C=200 μF R=1.5 Ω	3 mH	2750

注 電動機 1 台使用、直流電流 250A ただし ④ は 500 A IT 積は 1 次定格電流 68.6 A に対するもの。

に減少すること。またある程度以上コンデンサを増大しても無意味であることが判然とする。

なお 6 図には前記 (3) 式による計算値を併記した。

以上によって濾波器常数を一応決定し、さらに機装前に実際の機器を使用して工場試験を行った。本測定は鉄道技術研究所塩見氏にお願いしたもので、この結果については別稿に記載されることと思われるがそのデータの一部を再録すると 8 図のとおりである。濾波器のない場合と、コンデンサ $200\mu\text{F}$ の濾波器を使用した場合のもので直流リアクトルの影響も示されている。この結果は 6 図の場合に比し濾波器なしの時は非常に大となっているが、これはこの測定が電動機 1 台のみを使用し、しかも $1/2$ の軽負荷であるため重り角が著しく小となっていることおよび 50 c/s 電源として当所 3 相 3,000 kVA の MG を用いこれより単相負荷をとったため波形歪が増大したことに原因していると考えられる。しかし濾波器を使用した場合の結果は高調波が著しく低減し模擬回路による 6 図の結果とよく一致している。

これらの結果より濾波器の使用によって IT 積は 2,000 ~ 3,000 に低減することが予想されたが、これはその後現地における実測によって確認された。実測結果の概要はイグナイトロン型電気機関車のケーブル通信線に対する誘導障害は予想以上に少く濾波器コンデンサは 3 個程度で充分でなら通信障害を来さないとのことであった。

5. むすび

以上 ED451 形イグナイトロン電気機関車について、交流側高調波、通信障害対策、および試験結果について簡単にのべた。終りにあたりご指導を賜った国鉄関係者の方々に厚くお礼申上げる次第である。

参考文献

- (1) AIEE Technical Paper 54-116, 54-110.
- (2) Transactions Paper 55-208.
- (3) ETZ-A, H 23, Dezember, 1954.

「ED451」イグナイトロン電気機関車用 イグナイトロン整流器制御回路

伊丹製作所 室 賀 淳*

Ignitron Rectifier Control Circuit of ED451 Ignitron Electric Locomotive

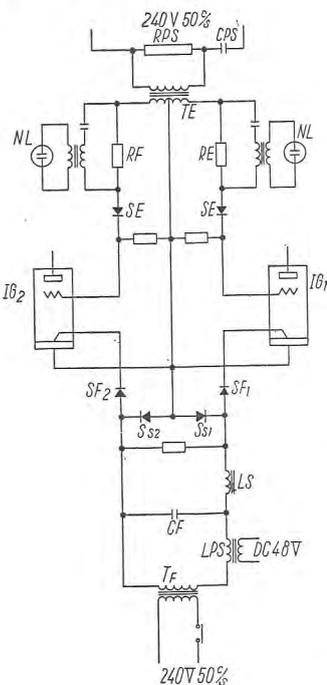
Itami Works Jun MUROGA

The rectifier ignitron circuit must possess stable characteristics against the fluctuation of power source voltage, which is larger than that of the ordinary substation, in comparison with the conventional design. In addition it is required to be of large output, compact construction and light weight. The one developed by the company proved very satisfactory, free from no liability to extinct the arc in spite of the car vibration.

1. ま え が き

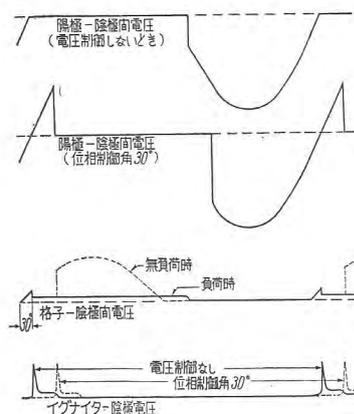
イグナイトロン電気機関車の整流器点弧回路は通常の電鉄用変電所に使用する点弧回路に比し、大出力で小型軽量とししかも通常の変電所よりも大きい電源電圧の変動に対し安定な特性を有することが必要である。以下整流器の制御回路につき説明する。

2. 点 弧 回 路



1 図 点弧回路および格子回路接続図
Fig. 1. Connection diagram of ignitron circuit and grid circuit.

周知のようにイグナイトロン整流器はイグナイトタにより毎サイクル点弧を行って陽極電流を通流せしめ、陽極電流の通流しない間は



2 図 イグナイトロン電圧波形
Fig. 2. Ignitron voltage wave.

陰極点が存在しないことが他の水銀整流器に比し優れた特長である。1 図に点弧回路および後述する格子回路の接続を示し、2 図に各回路の電圧、電流の位相関係を示す。

点弧回路は点弧変圧器 T_F 、移相リアクトル L_{PS} 、点弧用蓄電器 C_F 、可飽和リアクトル L_S 、およびセレン整流器より構成されており、この接続は従来の電鉄用変電所の点弧回路と同様である。

点弧変圧器の2次電圧により点弧用蓄電器が移相リアクトルを経て充電され、この蓄電器の端子電圧が充分上昇すれば可飽和リアクトルが飽和し、尖頭放電々流をイグナイトタに供給し陰極水銀上に陰極点を発生せしめる。

点弧回路とイグナイトタは1 図に示すように点弧用セレン整流器 S_F と短絡用セレン整流器 S_S によって接続されており、イグナイトロン I_{G1} を点弧するときは I_{G2} のイグナイトタ回路はセレン整流器 S_{S2} によって短絡されている。このような接続を行うことによって1 組の点弧回路で陽極電圧の位相が180度異なる2本のイグナイトロンを点弧させることができる。

イグナイトロン整流器の電圧制御はイグナイトタの点弧位相を陽極電圧に対し遅らせることにより行われる。このイグナイトタ制御は点弧回路の移相リアクトル L_{PS} の直流励磁により行われ、電圧制御率25%までの電圧制御を行うことができる。

整流器主回路に故障電流が流れて過負荷継電器が作動すれば、点弧回路および格子回路を開き点弧遮断により故障電流を遮断している。

3. 格 子 回 路

今回の電気機関車に用いたイグナイトロンは1重格子イグナイトロンであって、この格子を励磁

極として使用している。すなわち1図に示すように励弧変圧器は蓄電器 C_{PS} と抵抗 R_{PS} より成る移相回路に接続されており、励弧変圧器の2次電圧は2図に示すように陽極電圧より約30度進んだ位相にある。よってイグナイトに尖頭波電流が流れて陰極点が発生すると格子がアークをピックアップし、半サイクルの間だけ励弧電流が流れアークを確実に保持せしめている。

この際励弧抵抗の端子間に現れる電圧を利用し、ネオンランプを用いた点弧表示回路を設けてある。

4. 構造

上述の点弧回路、格子回路および陽極ヒータ絶縁変圧

器はすべて整流器箱上部の枠組にとりつけてあり、機器の取付は点検の容易なようにその配置を考慮し、また熱や振動により損傷を受けないよう留意してある。

なお点弧回路に使用する変圧器ならびにリアクトルは小型とするためすべてH種絶縁を用いてある。

5. むすび

以上イグナイトロン整流器の点弧回路ならびに励弧回路の概要について述べたが、要は点弧回路の出力特性が電源電圧の変動に対し安定なことが肝要である。この点弧回路は現車試験においても失弧は全然認められず、引続き運転中である。

正 誤 表

Vol. 30 No. 3「船用平複巻発電機の並列運転」のうち誤を下記のように訂正いたします。

頁	行	誤	正
26	上から3行目	万谷 弘・森谷貞夫	万谷 廣・森屋貞夫
27	左下図面	1 a 図	1 図
"		1 b 図	1 a 図
		Fig. 1b.	Fig. 1a
"		1 c 図	1 b 図
		Fig. 1c.	Fig. 1b.
32	右上	21 図 170 kW 発電機公試時の結線図 Fig. 21. Connection diagram of 170 kW generator under official test run.	22 図 170 kW 発電機により並列運転に関する実験を行ったときの結線図 Fig. 22. Connection diagram of 170 kW generator employed for test of parallel operation.
"	右中	22 図 170 kW 発電機により並列運転に関する実験を行ったときの結線図 Fig. 22. Connection diagram of 170 kW generator employed for test of parallel operation.	21 図 170 kW 発電機公試時の結線図 Fig. 21. Connection diagram of 170 kW generator under official test run.
33	下から17行	$Se_2 \cdot Se_3$ を仮結線し...	$SF_2 \cdot SF_3$ を仮結線し...
"	" 9行	$Se_2 \cdot Se_3$ の現場で.....	$SF_2 \cdot SF_3$ の現場で.....

「ED451」イグナイトロン電気機関車の 避雷器, 断路器, ヒューズ

伊丹製作所 大木正路*・樺沢孝治*

Lightning Arresters, Disconnecting Switches and Fuses of ED451 Ignitron Locomotive

Itami Works Masamichi OHKI・Takaji KABASAWA

Design features of the ignitron locomotive call for varied restriction to the equipment. The lightning arrester is to be installed in a limited space with much heavier duty than that of the ordinary power circuit. Disconnecting switches and fuses are no exception, each meeting special requirements. The report accounts for their particulars.

1. 避雷器

避雷器は機関車屋上の限られた空間内に据え付け得るように特別の設計が加えられた。1 図は避雷器の外観ならびに機関車屋上における実際の据付状況を示すものである。

この避雷器はつぎのような特長を有している。

(1) 車両限界の点から避雷器の高さを切りつめて設計してあるにもかかわらず、発電機用避雷器と同等以上の性能を有する。

(2) 衝撃大電流の放電耐量のみならず、継続時間 2ms, 波高値 200 A の長時間継続サージに対しても充分耐える放電耐量を有する。

(3) 開閉サージに対しても絶縁協調を保つことが要求されるため、1,000 c/s の周波数の電圧波と同じ波頭長を有する緩波頭サージに対しても 80 kV 以下で放電を開始するように調整されている。

(4) 車両用であるためとくに耐震構造に留意し、避雷器に常時加わる振動および水平荷重に対して考慮が払われている。

以上のごとき点を加味して仕様はつぎのように決定された。

使用回路最高電圧(交流単相) 22 kV r.m.s.
許容端子電圧.....23 kV r.m.s.
衝撃放電開始電圧.....90 kV 以下
緩波頭サージ放電開始電圧...80 kV 以下
(1,000 c/s 相当)
制限電圧 1,500 A において...80 kV 以下
5,000 A において...90 kV 以下
放電耐量 衝撃電流.....20,000 A 以上
長時間継続サージ...2ms, 200 A 10 回

この他に密封構造等 JEC-131 の規格に適する性能を具備している。

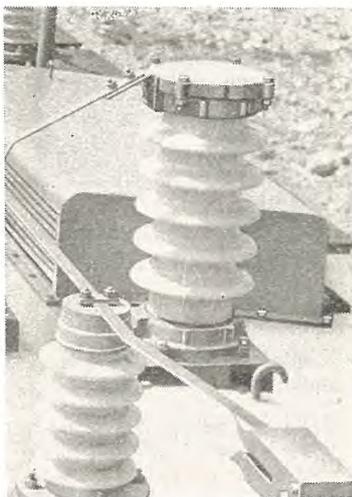
一線が接地された交流単相回路であるため、

避雷器が動作すれば常に許容端子電圧に近い回路電圧に対して続流遮断を行う必要があり、通常の電力回路におけるより責務は重くなる。許容端子電圧は 26 kV であるが、制限電圧も JEC-131 より低くなっているため、両者の関係は発電機用の場合と同じであり、前述のごとき特殊な要求を満たすために、避雷器としてはかなり苛酷な使用状態におかれている。この点からも使用中の汚損、氷雪に対し、できる限り避雷器碍管表面を良好な状態に保持するように保守の面で注意が払われることが望ましい。

2. パンタグラフ断路器

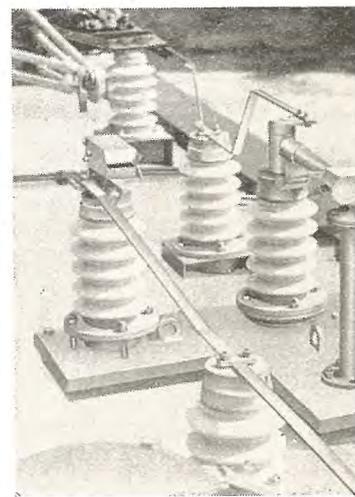
定格 23 kV, 200 A 単極双投式と各パンタグラフ回路に 1 台宛屋上に設け、屋根を貫通したハンドルによって車内で開閉操作される。回路を開いた位置では接地される構造である。

クリップ側接触部は負荷側、接地側ともにフィンガ接



1 図 交流電気機関車用 SV-A₃ 型オートバルブ避雷器

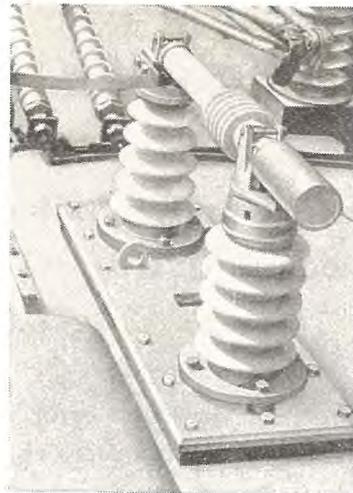
Fig. 1. Autovalve arrester for a-c locomotive.



2 図 パンタグラフ断路器

Fig. 2. Pantograph disconnecting switch.

触式であって、投入するブレードの上下の変位に対して可撓的な、いわゆるセルフライニング作用をなし、良好な接触を保つ。ヒンジ側接触部は独特なスライジング方式をとり操作時端子部分との摩擦抵抗を軽減してある。操作用ハンドルは軸受を介して車体屋根を貫通し、この部分の回転部はオイルレスベアリングを使用している。また貫通部は完全に防水されている。



3 図 BA-200 V 型イグロコ用電力ヒューズ外観

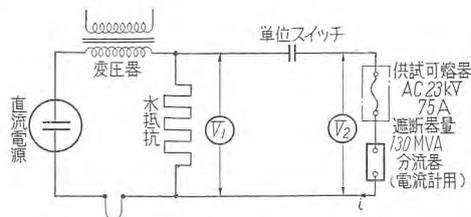
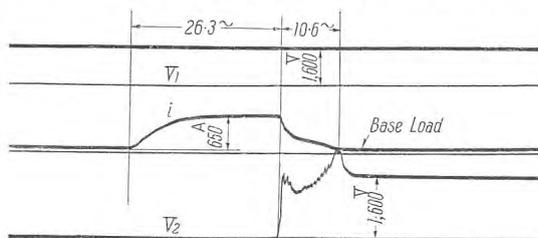
Fig. 3. Power fuse for ignitron loco.

パンタグラフ断路器によって電流の投入および遮断はできない。必ず無電圧状態にしてから操作することが不可欠である。ハンドルの操作は途中で放置することなく必ず施錠位置まで操作し、付属のピンおよび錠でロックすることを要する。断路器には信号用補助スイッチが取付けられ連動的に動作する。2 図はパンタグラフ断路器の外観および取付状況を示すものである。

3. BA-200 V 型電力ヒューズ

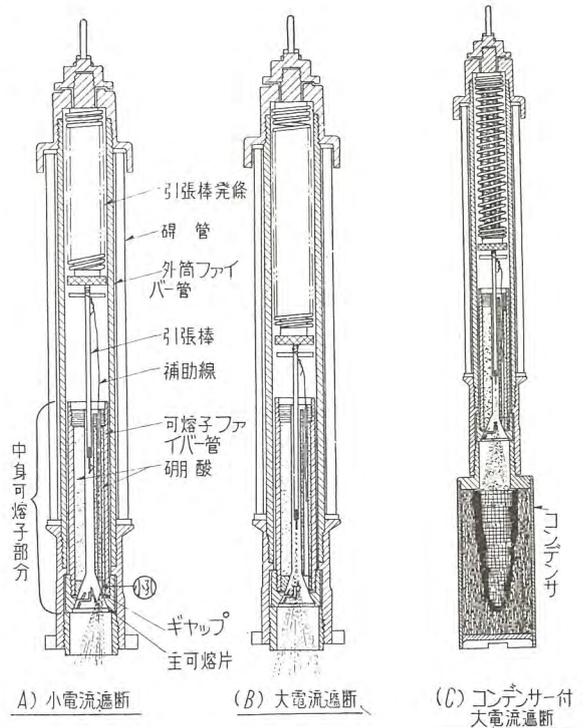
変圧器の高圧側短絡故障を急速に遮断して他車への事故拡大を防ぐため車両屋上に設置されている。本器の定格は電圧 23kV 電流 75 A 遮断容量交流単相 130 MVA で 3 図に外観を 4 図に外筒部の内部構造および動作を示す。

消弧原理は発条の電弧引延し作用と、硼酸の僅少熱量により多量の低温水蒸気を発生する脱水機構との組合せによったもので、可溶片の溶断によって生じた電弧を発条で固形硼酸孔中に引込み、その電弧熱により爆発的に多量に発生した水蒸気を強力に電弧に吹付けて冷却す



5 図 直流遮断オシログラムと試験回路
直流電源 1,600 V (水銀整流器)
変圧器 1,000 kVA 20,000/3,000 V
水銀整流器を電源としたため水抵抗を使用し約 100 A をベースロードとした回路の投入は単位スイッチを使用した

Fig. 5. D-C interruption oscillogram and test circuit.



4 図 BA 型可溶外筒構造動作説明図

Fig. 4. Principle of the operation of cartridge for fuse.

る。水蒸気は有機ガスよりもイオン化され難いので電弧通路は温度降下と共に絶縁耐力が高まり、交流電流は零時において消弧する。さらに本器の特色は直流電流をも遮断できることであって直流 1,500V、インダクタンス 20 mH の場合、5,000 A の遮断能力を有しており発弧と共に漸次電弧電圧を高め消弧する。このためもし車両が誤って直流回線に突入しても安全に遮断し、変圧器を保護する。5 図に直流遮断オシログラムおよび試験回路を示す。消弧時の火焰ガスの放出および音響を防ぐため冷却筒を備えた閉鎖構造としている。4 図 (C) にこの冷却筒付ヒューズの遮断状況を示す。小電流遮断用の中心穴に並列に小穴があり、大、小電流共異状電圧の発生なく確実に遮断する。

このヒューズは中身取替式で動作後可溶子のみを新品と替えればよくその取替も付属工具で簡単にできる。

本器はまた車両屋上用としてその構造を考慮しており

1. 冷却器を付して密閉型とし、取付空間を節約した。
2. 可溶器接触部は固定締付型の耐震構造とした。
3. 碍子は屋根貫碍管を併用して、ヒューズの負荷側端子は、車内に対し変圧器 1 次側に接続される。
4. さらに計器用変圧器に対する端子を設けて計器用変圧器保護にも兼用している。

機関車用ヒューズの最大使命は短絡故障の急速遮断であるがその電流時間特性が車内低圧側リレーおよび変電所遮断器と協調していなければしばしば停車すなわち停車を惹起するので適当な特性を持つよう電流定格を選定せねばならない。

「ED 451」イグナイトロン電気機関車用 MB-3026-A 型主電動機および駆動装置

伊丹製作所 浅越泰男*

Type MB-3026-A Traction Motors and Flexible Drive of ED 451 Ignitron Electric Locomotive

Itami Works Yasuo ASAGOE

Traction motors developed and equipped to the Type ED451 experimental ignitron locomotive for the a-c electrification of the Japan National Railways are epoch making not only of their large units built compact and light, but also of truck mounted and flexible drive. Various shop tests proved their ability to withstand adverse conditions of operation on ripple current supplied from a single phase full wave rectification ignitron, besides other marked performances.

1. ま え が き

交流電気機関車におけるイグナイトロン整流方式が米国およびフランスにおいて大きくクローズアップされた理由の1つとして、引張力特性の最も優れた直流直巻式主電動機を使用していることがあげられている。交流機関車の理想の姿は構造の簡単な直接型になるものと考えられているが、現状においてはこれに使用する商用周波数交流整流子電動機は整流、力率の面で問題点があり、運転上種々制約を受け、高速性能はとも角、引張性能においてはイグナイトロン整流方式に大きく一步を譲る状況にある。イグナイトロン電気機関車用主電動機は根本的には一般直流機関車用直巻電動機と異なる点はないが、単相全波整流電源により脈流運転されることによる悪影響を防ぐためにある程度の考慮を必要とし、また今回試作のものはとくに軽量化を要求されたため、最新の技術を十二分にとり入れて極めて斬新な設計を行った。すなわち主要な点は

- (1) 特殊の中空軸式動力伝達方式を採用して、主電動機を台車装架とし、高速化した。
 - (2) 特殊の絶縁物、絶縁方式を採用して、強制通風による冷却効果を大幅に増大して軽量化を計った。
- 等で、機関車用主電動機としてわが国で始めて採用した新機軸である。

2. イグナイトロン電気機関車用主電動機の考え方

ア. 脈流運転に対する保護方式

イグナイトロン電気機関車用主電動機は単相全波整流電源により脈流運転され、これが主電動機の性能に相当の悪影響を与えるので、これに対して保護対策を講じなければならない。脈流の悪影響についてはつぎの如きも

のがあげられる。

- (1) 主界磁コイルに脈流が流れると磁束が変動して電機子に変圧器起電力を生じて整流を害するとともに、ヨーク、鉄心にうず電流を生ずる。
- (2) 補強コイル脈流による補極磁束の変動が、これによって補極鉄心およびヨークに生ずるうず電流のために電機子リアクタンス電圧の脈動に追随せず、したがって瞬間的に過または不足整流となり火花を生ずる。
- (3) 脈流実効値による各コイルの銅損増大、および前記のうず電流損のために温度上昇が大きくなる。
- (4) 主電動機のトルクが変動する。

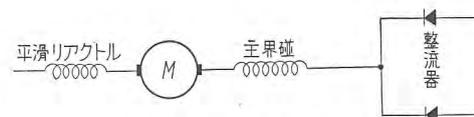
機関車用大容量電動機を直接単相全波整流電源に接続することは以上の影響があまりにも大きくて、ほとんど運転は不可能であり、脈流を制限して主電動機の安全運転を確保するために種々の回路方式が実用に供されている。

a. 平滑リアクトルのみによる方法 (1 図)

この方法は最も簡単な方法で平滑リアクトルおよび主界磁コイルのインダクタンスにより 100 c/s (電源 50 c/s の場合) の脈流を相当平滑にする。(交流分 15% 程度) しかし主磁束の変動はある程度避けられないのでこれによる悪影響は大きく、また回路のインダクタンスは相当大きくなるので交流側電流波形の歪大で通信線誘導障害も大きくなるものと考えられる。

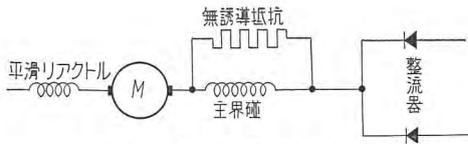
b. 主界磁分流による方法 (2 図)

平滑リアクトルにより脈流を電機子、補極が心配ない



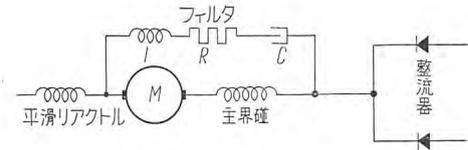
1 図 平滑リアクトル法

Fig. 1. Smoothing reactor method.



2 図 主界磁分流法

Fig. 2. Main field shunt method.



3 図 直流フィルタ法

Fig. 3. D-C filter method.

1 表 各種脈流防止法の比較

方式	(a) 平滑リアクトル法	(b) 界磁分流法	(c) 直流フィルタ法
主電動機整流	悪	良	最良
温度上昇	大	中	小
通信線誘導障害	大	小	小
機器重量, スペース	小	中	大

(注) 主電動機は一般の直巻電動機を使用したものとして比較したもので、特別な構造としたものは考えない。

程度に平滑にし(約 30%) インダクタンスの大きい主界磁コイルを無誘導抵抗によって 10~20% 分流することによって交流分を分路し、主界磁電流をほとんど平滑にして主磁束変動による悪影響を排除する。この方法は主電動機のリアクタンス電圧脈動に対して補極設計に注意を要するが、回路としては比較的簡単で電源に与える歪も少い。

(c) 直流フィルタによる方法 (3 図)

この方法は原理的には最も完全な方法で、主電動機回路に L-R-C 100 c/s 共振フィルタを並列接続し、平滑リアクトルである程度平滑化した脈流の交流分をフィルタに流し、主電動機電流はほとんど直流に近くなる。しかしこの方法はフィルタ機器の重量増大し、また周波数の変動や直流波形歪大の場合にはフィルタとしての動作不完全となる欠点がある。

以上の3者を実地使用の面から比較を行うと 1 表のようになる。

結局 (a) 法は機器重量は小となるがあらゆる面で性能が悪く、(c) 法は性能は良いが機器重量大かつ複雑となり、わが国のように電源周波数の変動大なる所では問題であるので、今回の試作機関車においては重量、スペースが極端にきりつめられている点、誘導障害が整流器型機関車の根本的な問題である点も考慮して、種々工場試験を行い (b) の界磁分流法を採用し、平滑リアクトルも試験によって許し得る最小の値を選ぶこととした。

イ. 主電動機の仕様の決定

試作機関車の主電動機はつぎの諸点を要求された。

(1) 定格出力 250 kW で、4 台で 10,500~11,000

「ED451」イグナイトロン電気機関車用 MB-3026-A 型主電動機および駆動装置・浅越

kg の大なる引張力を必要とする。

.....国鉄指示の運転条件を満足させるため、

(2) でき得る限り小型軽量化する。

.....車体に変圧器、各種リアクトル類、イグナイトロン等の重量物を載せる関係上、主電動機、台車のスペース、重量はきわめて制限された。

(3) 過電圧に耐えるとともに、大幅の弱界磁が活用できること。

.....高速性能の良い交流整流子電動機と対抗するために、変圧器のタップを上げて定格電圧以上で走行し、それに加えて弱界磁によってさらにスピードアップを計る必要がある。

(4) 良好な整流特性、耐脈流性をもつこと。

(5) トルクの変動が引張特性に悪影響を与えないこと。

これらに対する設計上の回答としてわれわれが採択したのはつぎのような新構想である。

a. 大減速比のとれる特殊中空軸式可撓駆動装置を採用し、主電動機を台車装架(ばね上)として高速化する。

1. 同じ引張力を出すための主電動機の重量は軽減する。

2. 軌条よりの衝撃による整流不良、刷子等のトラブルは激減し、弱界磁、過電圧の使用が楽になる。

3. トルクの変動を軌条面に伝えず、粘着が増加する。

4. ばね下重量軽減の効果大である。

ただし大引張力を必要とするので、回転数の大幅の上昇は望めず、減速比 5.69 に対し定格回転数は 1,000 rpm とした。(車輪径 1,070 mm)

b. 主電動機端子電圧、電流は使用イグナイトロンの許し得る容量の範囲で、設計、工作上もっとも有利な値を選んだ。すなわち比較的低压、大電流(500 V, 550 A)とし、電機子巻線は重巻を採用して片間電圧を低下し整流の安定を計ることとする。

c. 軽量化のために強制通風による冷却効果を大幅に増大することを考慮する。しかし冷却効果増大による小型化は逆に熱容量低下を来すので、定格は従来の 1 時間を止めて連続とし、しかも絶縁物は充分注意して予想される短時間過熱に充分耐えうるものとする。

以上の諸点よりわが国では初めての種々のバラエティに富んだ大容量軽量主電動機が出現することになったわけである。

3. 主電動機、および駆動装置の概要

ア. 要 目

(1) 主電動機 (4 図, 5 図参照)

型 名 MB-3026-A 型

形 式 直流直巻, 4 極丸形枠, 強制通風式,

台車装架
 連続定格 250 kW, 500 V, 550 A, 1,000 rpm
 (主界磁を常時 15% 分路)
 完全 B 種結縁 (H 種材料併用)
 温度上昇限度 AIEE 11 (1943) Class B
 を適用
 通風量 60 m³/min
 入口静風圧 100 mm 水柱
 最大回転数 2,600 rpm
 弱界磁率 50% (57.5% 分路に相当する).

重量 全備.....1,730 kg 電機子.....480 kg

(2) 駆動装置 (6 図, 7 図参照)

形式 ばね入歯車, 固定中空軸式三菱スプリング・ドライブ

歯車比 16:91=1=5.69 (M=9)

重量 830 kg (歯車箱を含む)

イ. 主電動機の構造および特長

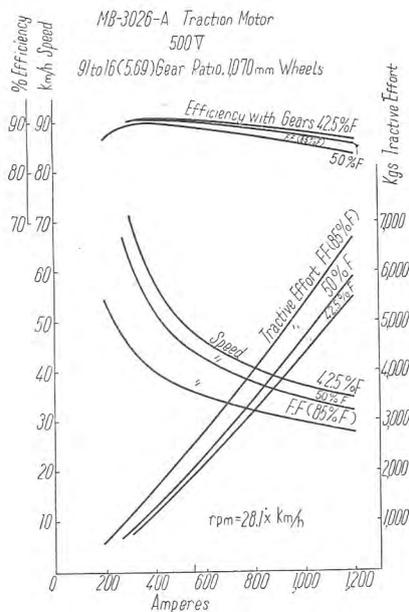
(1) 機関車用としてわが国で製作したものではありません。初めての台車装架式で、台車横はりに 2 ヲ所、端ばりに 1 ヲ所、3 点支持で完全に固定される。

(2) オープンフェース型の界磁コイル等特殊の絶縁方式の採用で通風による冷却効果を大幅に上げることができ、台車装架による高速化と相まって、極めて小型軽量となった。これがひいては台車の軽量化に大いに役立っている。

(3) 熱容量の低下は温度上昇限度が B 種なるにもかかわらず、H 種絶縁材料を豊富に使



4 図 MB-3026-B 型主電動機
 Fig. 4. Type MB-3026-B traction motor.

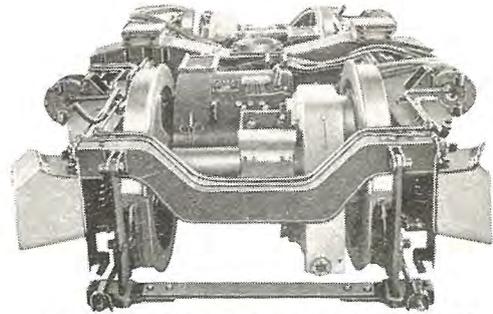


5 図 主電動機特性曲線

Fig. 5. Traction motor characteristic curve.



6 図 可撓歯車装置
 Fig. 6. Flexible gearing



7 図 台車に装備した主電動機および駆動装置
 Fig. 7. Traction motor and flexible drive.

用して補い、短時間過負荷過熱に備えた。

(4) つぎの各項により大容量、高速機として極めて安定した良い整流特性、耐脈流性を得ることができた。

- a. 重巻電機子による片間電圧低下
- b. トレップン巻線方式の採用
- c. 積層補極鉄心の使用
- d. 高温、高速でも絶対変形、ハイパーの心配のないスプリングワッシャタイプの整流子の使用
- e. 優秀な材質のスプリットブラシの使用
- f. 台車装架により衝撃に対しフリーとなった

(5) 上記のように整流の面でなんら心配がないので弱界磁、変圧器オーバertap を充分活用して、大引張力を発揮し得るとともに高速性能も良好ならしめている。

ウ. 駆動装置の構造および特長

(1) 主電動機ヨークに固定した中空軸にコロ軸受を介してつる巻ばね入り大歯車がとりつけられ、ピニオンと一定中心距離でかみ合っている。大歯車と車軸の間の動力伝達は車軸にとりつけたスパイダの腕と前記ばねとの間で可撓的に行っている。

(2) 固定中空軸の占めるスペースは従来の回転中空軸に比し相当小さいため、歯車中心距離を釣掛式同様に短縮することができ、小さい車輪径に収容可能である。

(3) 従来の釣掛式、中空軸式と異り、大歯車がコロ軸受を介して主電動機に固定された形となるので、大小歯車の中心距離はいかなる場合も一定で常に円滑な噛合が確保される。これに動力伝達ばねの緩衝作用が手伝ってギヤモジュールを大幅に小さくすることが可能となり、大歯車比が小車輪径で難なくとれることができる。

(4) 可撓伝達部分はとくに摩耗の少ない材料を使用しておりしかも従来の中空軸式と異りこの部分はギヤケース内に内蔵されているので、ギヤオイルによって充分潤滑され従来中空軸式でと角の問題となっていた部品摩耗

の問題は大幅に改善され、高速運転にも充分耐えられる。

e. 本駆動方式は軸方向のスペースは在来釣掛式の歯車部分に比しわずかに大きくなる程度で、狭軌機関車用として最適と考えている。

4. 主電動機の試験結果

主電動機完成後現車に使用する変圧器、イグナイトロン、リアクトル類をそのまま使用して各種の試験を施行し、これによって脈流運転の諸現象を実測し、本主電動機の耐脈流性を確認し得たことは大きな収穫であった。なお通信線誘導障害の面から直流リアクトル（平滑用）のインダクタンスはなるべく小さくすることが望ましいので、今回のものはとくに 6, 4.5, 3 mH の 3 種のタップを設けておいたので、本試験によって $L=4.5$ mH 迄はなんら不安のないことを確認し、現車のリアクトルのタップは 4.5 mH を使用することに決定した。

ア. 温度上昇

電圧 500 V, 電流 550 A (界磁電流 420 A) における連続温度上昇試験の結果は 2 表の如くである。

2 表 連続温度上昇比較表

測定……抵抗法、温度上昇 °C, 通風量 60m³/min

直流リアクトル	直 流	6 mH	4.5 mH	規格限度
脈 流 率	0	30%	36%	
負 荷 法	返還負荷	実 負 荷	実 負 荷	
温度 上 昇	電機子コイル	113	92.5	120
	主極コイル	111	123.5	130
	補極コイル	98	118.5	130

電機子コイル……脈流の場合実負荷法によったため、電流遮断後停止迄約 1.5 分を要し、即時停止可能な直流返還負荷法の場合に比し低い値を示し、正確に比較することはできなかった。

主極コイル……界磁電流はほとんど平滑となっているので、損失の増大はほとんどない筈であるが、補極コイルの温度上昇にひきずられて直流に比し約 10°C の増大となっている。6 mH に比し 4.5 mH の時の方が低いのはどちらかの測定誤差と考えられる。

補極コイル……脈流および電流損の影響を受けて、直流に比し 20~26° の増大となっている。

平滑リアクトル 4.5 mH と 6 mH の場合の差はそれ程あらわれておらず、いずれも規格限度以下であるので問題はない。

イ. 熱 容 量

本電動機は通風の冷却効果に大幅に依存しているため熱容量は従来のものに比し相当小さくなっている。負荷と、温度上昇が規定に達する迄の時間を試験データより図示すれば 8 図のようになる。

本図によって明らかなようにもはや 1 時間定格なるものは意味のないものとなるが、短時間過負荷耐量もこの程度なら実際運転上心配ないものと考えている。

ウ. 整 流 状 態

直流リアクトルの値を変化して試験を行ったが、6 mH と 4.5 mH の場合の火花の号数は 3 表の如くでほとんど差は認められなかった。

全負荷~軽負荷では直流の場合に比し少し悪くなる程度で問題はない。過負荷になると直流リアクトルの L の値が減少するので火花が大きくなって来るが、脈流の火花は間接的で整流子面の荒損を来すことはなく実際運転では全電圧、過負荷の状態はほとんど稀であるのでこの程度でなんら差支えないと考えている。

3 表 脈流運転時の火花号数

L	全界磁 (15% 分路) の場合			弱界磁 の 場 合		
	軽負荷 (60%)	全負荷	過負荷 (160%)	軽負荷 (70%)	全負荷	過負荷 (150%)
6 mH	#1	#1~#2	#3~#5	#1	#1~#2	#3~#5
4.5 mH	#1	#1~#2	#3~#4	#1	#1~#3	#3

エ. オシロによる波形観測

(1) 定 常 状 態

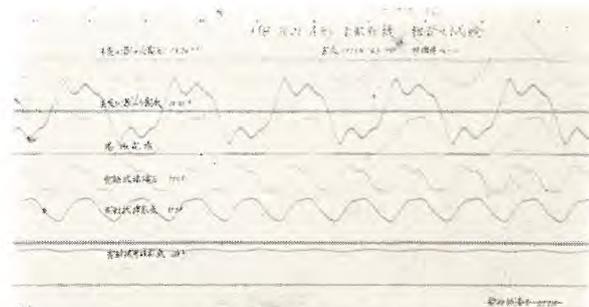
電動機をほぼ定格点にて運転中の各回路の電圧、電流波形の電磁オシロ写真を 9 図に示す。

界磁分流の効果により、線電流脈流率 34.5% なるにもかかわらず界磁電流はほとんど平滑になっている。

(2) 電圧急昇の場合

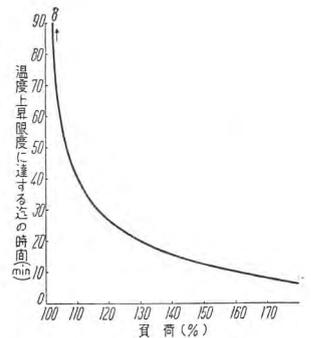
主電動機を弱界磁（無誘導分路）にて 80% 電圧 (400 V), 550 A にて運転中、一旦回路を遮断し、完全に逆起電力消失後、電圧を 110% (555 V) に上昇して投入した場合のオシロ写真を 10 図に示す。

投入時の突入電流は相当大であり、整流火花も閉絡の危険はないが相当大きな火花を発生した。本オシロで判明するように、パンタグラフの瞬間の離線については逆起電力がある時間残っているので心配はないが、停電の場合は確実に回路を遮断するような考慮が望ましい。



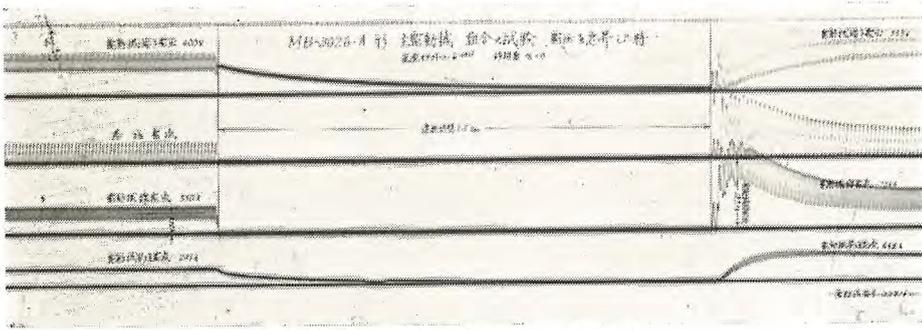
9 図 定常状態オシログラム

Fig. 9. Normal state oscillogram.



8 図 MB-3026-A 型主電動機熱容量曲線 (直流 500 V の場合)

Fig. 8. Traction motor thermal capacity curve.



10 図 電圧急昇オシログラム
Fig. 10. Sudden voltage rise oscillogram.

5. む す び

以上試作イグナイトロン機関車用主電動機の工場試験に至る迄の概要を述べたが本機関車は国鉄試験線の仙山線において走行試験を行った際、勾配線において予想もしなかった重量列車をスリップすることなく引出すことに成功し、主電動機全並列接続、可撓式動力伝達装置の

威力を充分発揮することができた。このことはこの種イグナイトロン機関車の粘着引張特性の優秀性を示すもので、今後の交流電化の考え方に大きな光を投じたものといえよう。これによって実際の幹線運転を考えるならば、1 軸当りの引張力および出力を今回試作のものよりさらに大にすることが要望されるであろう

が、当社としては今回得た貴重な経験、データによって、すでに外形、重量をほとんど変えることなく、引張力で30%、出力で50%を増大した主電動機が可能であるとの結論を得ている。とも角今回実現した機関車用主電動機の小型軽量化の方向はわが国では名実ともに飛躍的なものであり、先進欧米諸国に比しても決して劣るものではないことを確信している。

正 誤 表

Vol. 30 No. 2「正面切削法による超硬バイトの寿命試験」のうち誤を下記のように訂正いたします。

頁	行	誤	正
66	右側上から 11 行目	$\frac{W_1 - A_1}{W_2 - A_2} = \frac{R_{01}^{n+1} - R_{11}^{n+1}}{R_{02}^{n+1} - R_{12}^{n+1}} \dots \dots \dots (10)$	$\frac{W_1 - A_1}{W_2 - A_2} = \frac{R_{01}^{n+1} - R_{11}^{n+1}}{R_{02}^{n+1} - R_{12}^{n+1}} \dots \dots \dots (11)$
"	" 15 行	$\frac{\log(W_1) - \log(W_2)}{\log N_1 - \log N_2} = n - 1$	$\frac{\log(W_1) - \log(W_2)}{\log N_1 - \log N_2} \dots \dots \dots (12)$
68	右側上から 22 行 (注) の欄	……n を求め (9) (10) 式より	……n を求め (8) 式より
"	" 26 行	(10) 式より $C_K = 6.18 \dots \dots$	(8) 式より $C_K = 6.15 \dots \dots$

イグナイトロン電気機関車の制御装置

伊丹製作所 待鳥正*

Control Equipment of Ignitron Electric Locomotive

Itami Works Tadashi MACHIDORI

The control equipment of the ignitron electric locomotive, somewhat different from that of d-c apparatus, consists of a main circuit, control circuit, auxiliary circuit and protective circuit. This report describes about them as a trail mark, with which successors may walk an easier path in the design of novel apparatus.

制御装置

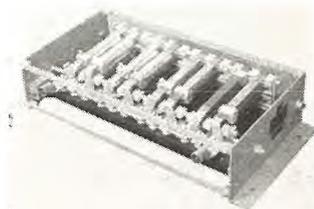
直流方式の電気機関車の制御装置とは趣を異にするが、制御装置を主回路、制御回路、補助回路に分けて略述する。ただしイグナイトロン制御回路は本項には含まれない。

1. 主回路

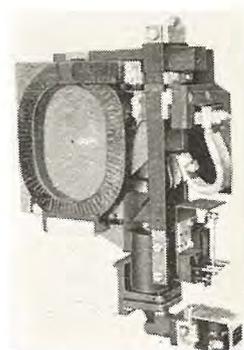
1 図に主回路ツナギを示す。変圧器2次側タップ切替方式を採用し、4個の主電動機は常時並列に接続される。各回路には2個のイグナイトロンを備え、全波整流されて主電動機が駆動される。

2 次側主回路にはタップ切替用単位スイッチ、限流リアクトル、断流器、陽極バランス、直流リアクトル、逆転器、界磁分流抵抗器、交流ロハ器等が含まれる。

いわゆる制御器具と称するもののうち、単位スイッチ



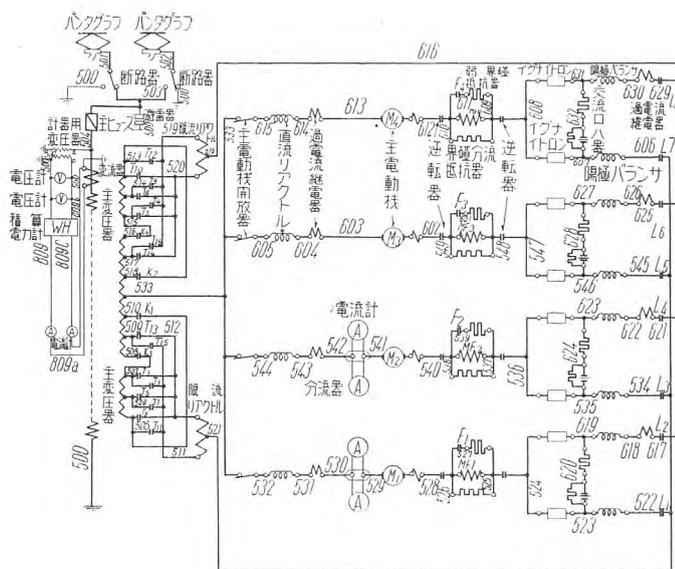
2 図 RB-71-4 形界磁分流抵抗器
Fig. 2. Field shunting resistor.



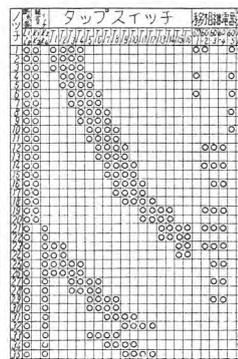
3 図 UP-88 形単位スイッチ
Fig. 3. UP 88 Unit switch.

1 表 単位スイッチの種類

型名	定 格	制御電源	重 量	使用区分	個数/両
UP-87	D-C 900 V, 400 A	D-C 48 V	26.5 kg	タップ切替用	16
UP-87A	D-C 900 V, 400 A	D-C 48 V	29.0 kg	断流器用	8
UP-88	D-C 900 V, 800 A	D-C 48 V	35.0 kg	組合せスイッチ用	4



1 図 主回路ツナギ
Fig. 1. Main circuit schematic diagram.



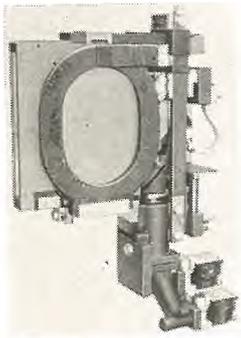
について説明する。単位スイッチの種類を1表に示す。

単位スイッチの構造は従来の直流電気機関車用のものと若干異なり、吹消コイルは空気でアークボックスの両側に取りつけられ、鉄心や磁鉄板を使用していない。

したがって交流磁界による鉄部の加熱振動はなく、交流遮断の際も電弧はその電流値に応じた磁束により電弧吹消力を与えられ、その磁束密度は電流値に比例し、飽和しないため、大電流の遮断時には電弧吹消力はきわめて大きくなる。

軽合金を使用し得る部分にはできる限りこれを使用して、重

* 技術部



4 図 UP-87A 型断流器
Fig. 4. UP-87A Line breaker.

2 表 UP-87A 型断流器遮断時間
(遮断オシログラムより)

電源電圧 D-C, V	誘導負荷 mH	遮断電流 A	電弧電圧 V	t ₁ m sec	t ₂ m sec
1,500	20	500	2,000	62	46
	80	100	1,600	63	54
600	5	3,000	1,600	57	42
	5	2,000	1,600	62	29
	10	1,000	1,500	60	30
	20	500	1,800	53	23
	80	100	1,300	53	37.5

t₁—電磁弁コイル消磁から主接触子開き始めまでの時間
t₂—遮断時間

量の軽減をはかり、鉄金属を使用して漏洩磁束の増すことを極力避けている。

電磁弁も小型軽量とし、その重量は VM1Z 電磁弁の 30% に相当する。この電磁弁は空気弁にゴムを使用し、空気洩れなく、保守、取扱いはきわめて簡易である。

断流器用 UP-87A 型単位スイッチは電磁弁 2 個を使用し、うち 1 個は排気用であって、とくに遮断動作の迅速な構造としている。遮断時間実測値を 2 表に示す。

上述のように本単位スイッチは通電容量が大きいにもかかわらず重量は現用単位スイッチ SR 107 型の 36 kg, SR 106 型の 60 kg に比較してかなり軽減されている。

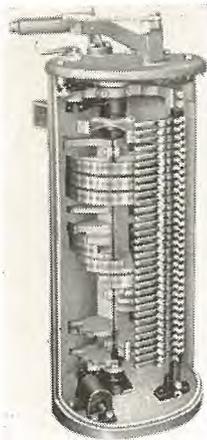
2. 制御回路

主幹制御器逆転ハンドルによって逆転器を電磁空気式に操作し、主幹制御器主ハンドルによって断流器その他の単位スイッチを操作することは、従来の電気機関車と同様であるが、変圧器タップの途中ノッチにおいて、移相制御ノッチを設けて有効ノッチを増している。ノッチ数は弱め界磁ノッチを含み 35 段である。

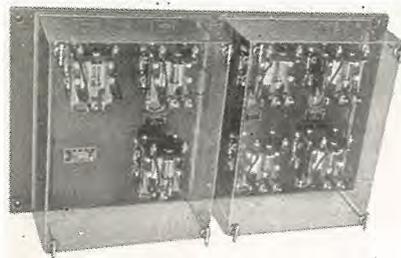
単位スイッチの動作順序は主幹制御器によって決定されるが、さらに動作ならびにノッチ間渡りの正確を期するため各単位スイッチは連動接触により連動されている。

主電動機開放は簡単に 1 個単位まで行うことができる。過電流継電器その他の保護装置は別に一括して記述する。

小型の継電器類は数個ずつまとめ、透明な防塵カバーを施している。



5 図 主幹制御器
Fig. 5. Master controller.



6 図 UGP-556-15 型継電器盤
Fig. 6. Relay panel.

3. 補助回路

各種補助回転機、加熱器、電燈、表示燈およびそれらの制御回路を総称するが、その中のいくつかについて説明する。

ア. 補助回転機起動回路

小型起動電動機で主変圧器用送風電動機を起動し、所定回転数に達すれば遠心スイッチにより起動電動機を切り離し、送風電動機は単相交流電源から、運転される。この 3 相誘導電動機の第 3 の相はつきつぎの補機の第 3 相と接続されてあって、補機は順次に起動することができる。

停電等によって補機が停止すれば上述の方法によって再び順序起動が繰返さなければならない。パンタグラフのジャンプ等で起る短時間の停電毎の頻発する起動操作の繁雑を避けるために、限時継電器を設け、低電圧継電器の落下後 3 秒間は補機回路は切れない方法を取り、この時間では再び架線が生きた場合の補機の駆動にはなんら支障ないことが確認された。

イ. 蓄電池充電回路

蓄電池は日本電池製 2KHC-8D 型、5 時間放電率 60 AH, 公称電圧 50 V, 36 セルのアルカリ電池を使用し、冬期 -15°C においても循環水ポンプ電動機を 15~20 分間運転し得るような容量を選定している。

充電用の発電機は主変圧器用送風電動機に直結され、その電圧は負荷によって垂下する特性を有し、蓄電池を浮動充電する。逆流継電器を備え、発電機への逆流があれば充電回路は開かれる。

4. 保護回路

保護装置としては避雷器、主ヒューズ等もあるが、制御回路に関係する保護装置について記述する。

ア. 過電流継電器

主電動機回路に過負荷電流が流れた時、およびイグナイトロンが逆弧したとき動作し、連動によってイグナイトロン点弧回路を開くと共に表示燈を点燈する。

主回路の断流器も同時に開かれる。過電流調整値を超してから断流器が開き始めるまでの時間は約 85 m sec であって、点弧回路を開くまでの時間が約 45 m sec であるから、断流器で電流遮断する機会は非常に少ないことになる。

イ. 温度圧力継電器

イグナイトロンの冷却水用の流水継電器、高温継電器、低温継電器の動作によって働く交流継電器である。動作すれば主回路を開くと共に表示燈を点燈する。

ウ. 交流低電圧継電器

停電時には交流低電圧継電器が落下して、主回路を開くと同時に表示燈を点燈する。

なお、この継電器は前述したように補器起動回路とも連動している。

エ. 交流接地継電器

主変圧器2次側と大地間に単巻変圧器を介して接続し、力行運転以外の時に接地事故が起ると動作して、主回路、水加熱器回路、補機回路を開き、表示燈を点燈する。

オ. 直流接地継電器

イグナイトロンの陰極と大地間に接続し、力行運転中、接地事故が起ると動作して主回路を開放すると共に表示燈を点燈する。

5. パンタグラフ

ア. 概要

従来わが国の国鉄で直流式電気機関車に用いられているものと、今回当社で製作した交流式電気機関車のものと比較すると3表のとおりである。

3表 パンタグラフ比較一覧表

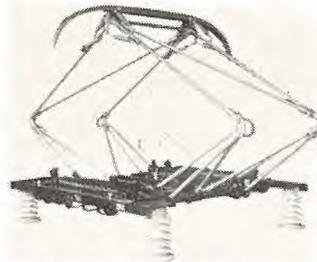
大別	項目	直流式	交流式	備考
電気機関車	電気方式	1,500 V	単相 50 c/s 20 kV	
	形式	EF 15 形	ED 45 形	
出力	1時間定格	1,700 kW	連続定格 1,000 kW	
	所要集電電流	1,500 A	70 A	
所要台数	所要集電電流	1,500 A	70 A	
	所要台数	2	1	
集電部	集電部	2舟, 焼結銅合金 (25幅) 2×4 列	1舟, 銅(30幅) または 焼結銅合金 (25幅) 1×2 列	
	方式	空気上昇, 自重下降式	※ばね上昇, 空気下降式	
標準押し上げ力	標準押し上げ力	5.5 kg	3.0 kg	
	押し上げ力・下げの差	<1.0 kg	※ <0.3 kg	
有効作用高さ	有効作用高さ	490~1,990 mm	700~2,200 mm	絶縁取付下面より
	重量	449 kg	229 kg	
絶縁	絶縁取付部	乾燥耐電圧 8,000 V 1分 注水耐電圧 7,000 V 1分	注水耐電圧 60 kV 10秒 注水衝撃耐電圧 120 kV	
	絶縁空気管	ゴム・ホース, 12時間浸水後の耐電圧 8,000 V 1分	※ 碍管, 内面は湯気を通し外面は注水して上記と同試験値	
操作	絶縁空間	>75 mm	>250 mm	
	操作方式	空気制御弁	※ 電磁弁	
	操作空気圧	6.0~8.5 kg/cm ²	5.0 kg/cm ²	

※ 印についてはとくに独自の設計を行った。

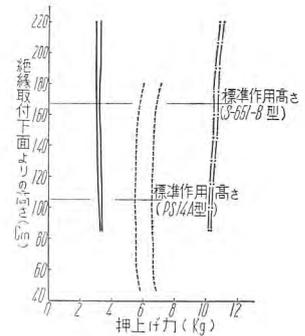
イ. 特長

- (1) 静的性能 標準押し上げ力を直流式電気機関車用の約1/2として細い電車線に対応させるとともに、上げと下げの押し上げ力差を極度に小さくして応動性をよくしている。
- (2) 動的性能 可動作部で上下枠組・集電舟および同部ササエ部の質量をできるだけ小さくしたことと、集電舟ササエ部に倒れ枠支持構造を用いることにより細い電車線に与える衝撃を軽減させるとともに、集電舟保持ばねを用いて集電面が完全に全面接触を保つようにしてある。
- (3) 操作時の緩衝作用 上昇時の緩衝的立ち上りと急速に離線した後の折りたたみ緩衝は1個の空気シリンダのみにより簡単確実に行われる。
- (4) 軽量簡素化と絶縁強化 集電電流が小さいので集電舟は1個となり、台枠装備品も簡単で小型になって

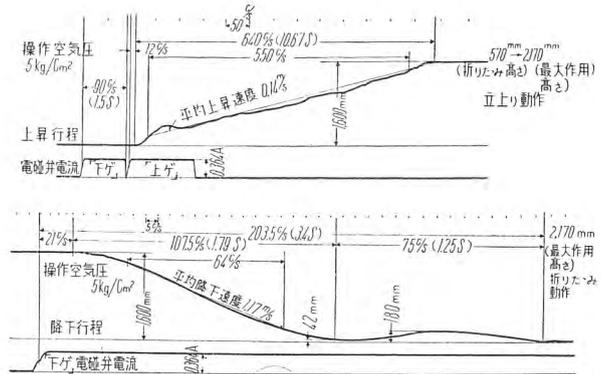
イグナイトロン電気機関車の制御装置・待鳥



7 図 S-651-B 型パンタグラフ
Fig. 7. S-651-B Pantograph.



8 図 パンタグラフの押し上げ力特性比較
Fig. 8. Characteristic curves for pantographs.



9 図 パンタグラフ操作時の動作特性
Fig. 9. Test records of pantograph operated up or down.

いるため全体的に重量は軽減されている。一方高電圧であるため空間絶縁距離を大きくとり、空気管には碍管を用いている。

ウ. 操作

- (1) 操作空気源のないときは小型電動空気圧縮機でもって制御空気溜を 5 kg/cm² に定める。
- (2) パンタ「上げ」のときは、連動型操作スイッチを「下」「上」と押すことにより、パンタの主シリンダに緩衝用空気が込められてから掛金がはずれるため、直ちに空気緩衝が作用しパンタは緩かに立上って電車線に衝撃を与えることなく静かに接線する。
- (3) パンタ「下げ」のときはスイッチの「下」を押せば、直ちに主シリンダに給気されるのでパンタは急速に離線し下降するが、同時に2室構造の補助室側に絞られて給気されるために折りたたみ位置直前で空気緩衝が作用したのち掛金がかかる。

エ. 工場試験成績

- (1) 押し上げ力特性 直流式電気機関車に用いられている PS-14A 型の上げと下げとの差が約 1.0 kg であるのに対して 0.3~0.2 kg であり、押し上げ力を 10 kg 程度に調整してもその差は同じである。
- (2) 遮断試験 無負荷時励磁電流(実効値)は約 1.3 A で、補機回転時は約 7 A であるが、それに対して 370, 450, 530 mm の短い遮断行程で試験したところ確実に遮断できることが確認された。

イグナイトロン電気機関車の艤装

伊丹製作所 小原太郎*

Apparatus and Circuit Layout of Ignitron Locomotive

Itami Works Taro OHARA

One of the problems with an ignitron locomotive recently completed for the Japan National Railways was the limitation of weight to be mounted on it. With the ignitron rectifier and other components at extra-high voltage, the locomotive was to be completed within 60 tons of the weight besides the space restriction. To meet the requirements, a good number of novel design features are taken up in the apparatus layouts and wirings from the viewpoint of easy and safe operation and proper distribution of the weight.

1. ま え が き

イグナイトロン電気機関車は、直流式電気機関車や、電気式ジーゼル機関車と違って、いままで静止機器と考えられていた変圧器、イグナイトロン整流器、リアクトル等の交流電機品を取付ける関係上、機関車の装備は自ら既成概念を離れた新し趣きがある。

以下、これらの内容について詳述する。

2. 機 器 配 置

ア. 設計上留意した点

機関車の機器配置は、屋上装置、車内装置、床下装置に大別できるが、これらの設計に際し、留意した事項はつぎのとおりである。

- (1) 機関車重量を 60 t に納めるため、車の大きさにも限度がある上、種々な電機品を絶縁、温度上昇、取扱等すべての面で支障のないように装備すること。
- (2) 特別高圧機器の操作が最も安全であること。
- (3) 主変圧器や、リアクトル等の重量物を積載するため、機関車全体の重量配分、すなわち、軸重の均等化を図ること。
- (4) イグナイトロン整流器や同用制御装置の防振方法。
- (5) 車内の通風をよくする一方、防塵を完全にすること。

イ. 屋 上 装 置

機関車屋上には、2 台のパンタグラフのほか、断路器や主ヒューズ、避雷器、計器用変圧器等の特別高圧機器を取付け、車内の安全度を高めてある。

パンタグラフは、交流機関車の特性上、1 台で集電容量が充分であるから、運転中は進行方向に対しつねに、後部のパンタグラフを上昇させる方式となっている。

このため、走行中万一、パンタグラフが破損しても、他の機器に損傷を与えることなく、他の 1 台で運転を続けることができる。またパンタグラフ操作用圧縮空気は 1 図のように、碍子型絶縁空気管によって、車内の空気管と連絡してある。

断路器は、かならず無電圧状態で操作するよう、パンタグラフとの連動装置のほか、車内の操作場所には低電圧表示燈を設け、誤操作のないようにしてある。

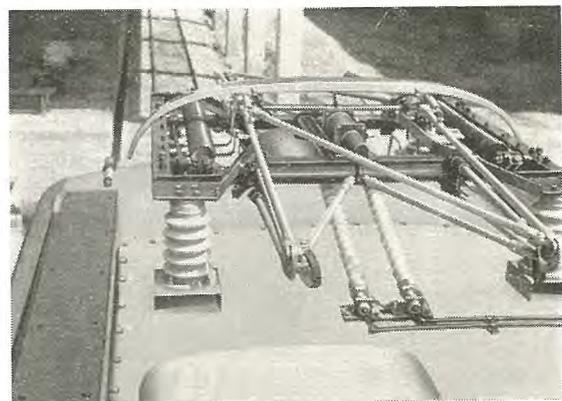
これ等、特別高圧機器間の配線導帯は要所を支持碍子で保持し、主ヒューズと一体になった屋根貫き碍子を経て、車内の主変圧器 1 次側ブッシングに接続してある。

なお、特別高圧機器と大地間の絶縁空間距離は、平均 300 mm、最小 250 mm である。

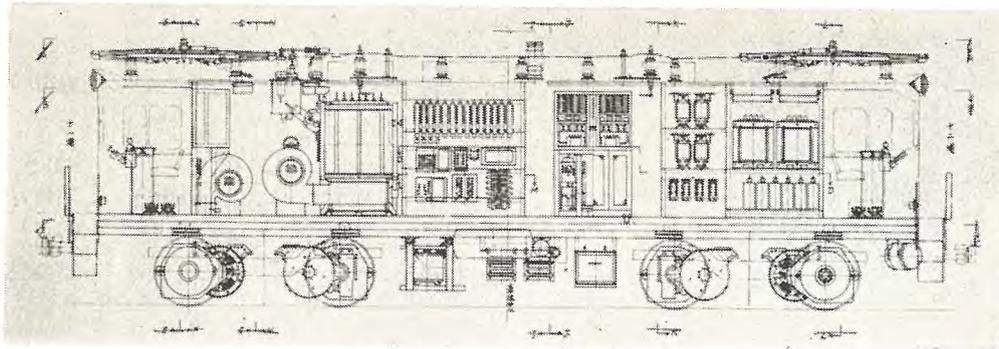
ウ. 車 内 装 置

車内は 2 図のように、両端を運転室、その中間を機械室としてある。

車内において、部品が占める床面積を EH10 形車や



1 図 屋上のパンタグラフと同用絶縁空気管碍子
Fig. 1. Pantagraph and insulated air pipe.



2 図 車 内 装 置 図

Fig. 2. Interior arrangement of the locomotive.

1 表 床面積比較表

項目	機種	ED45	EH10	DD50	ED (60 t EL)
総床面積	A	35.2 m ²	59.5 m ²	30.8 m ²	32.2 m ²
占有床面積	B	17 m ²	26 m ²	15 m ²	13.5 m ²
占有比率 (B/A × 100)		約 48%	約 44%	約 49%	約 42%
備考		イグナイトロン機関車	2車体永久接続	電気ジエゼル機関車	八幡製鉄納

DD50 形車あるいは、直流式 ED 形車と比較すると 1 表のとおりで、部品の大いさや数量を併せ考えると立体的空間の利用度が頗る大であるといえることができる。

(1) 運転室

運転室の前方中央に出入口用開戸を、左側に機関士席、右側と助手席を設け、各席とも前後に移動でき、前方の視野も充分とってある。機関士席の左前方には空気ブレーキ弁、右前方に主幹制御器を配置し、前面は傾斜テーブルとして諸計器や事故表示燈を埋込んである。

計器は広角度型で計器燈を備え、夜間でも容易に計測しうる。そのほか、運転に直接必要な器具を便利な位置に設けてあるから操作も簡単である。

助手席も前面をテーブルとし、手用工具のほか、パンタグラフ用小型電動空気圧縮機や調圧器を納めてある。

3 図、運転席の様態を示している。

(2) 機械室

機械室の長さは 9,700 mm で両側を通路とし、第 1 端側運転室仕切壁には制御箱を埋込み式に取付け、その下



3 図 運 転 席

Fig. 3. Operator's seat.

イグナイトロン電気機関車の機装・小原

部には主電動機用電動送風機を設け、それより順に主変圧器および同用電動送風機、制御機器(4図)、イグナイトロン整流器と同用制御箱イグナイトロン再冷器、陽極および直流リアクトルが取付けてある。

制御箱は 5 図のようにコンパクトな構造で、運転室に面した前部には各回路用ノーヒューズ遮断器を、背部には起動電動機および加熱器用電磁接触器や、低電圧、交流接地継電器等を収めてある。なお、継電器にはアクリライト製防塵カバーを付してある。

制御機器を取付けた第 1 機器室は、中廊下を設けた構造で、両側柱構の上部には断流器、タップ切換スイッチ、下部に逆転器、接触器、移相継電器等を取付け、継電器類には制御箱と同様、アクリライト製カバーを付してある。

イグナイトロン整流器とその制御箱は 2 段に積み重ねて、ほぼ車体の中央に設け、整流器自体の取付けを防振構造にしてある。

イグナイトロン再冷器は水槽付で、その上部に冷却液循環用電動ポンプを、下部に冷却用電動送風機を取付けた一体構造で、整流器とは冷却管をもって連絡するほか、屋上より補液もできる構造である。

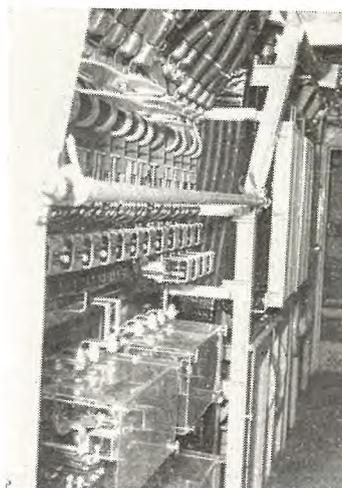
陽極リアクトルは上下 2 段に取付け、その下部に主電動機用開放器を、直流リアクトルの下部は誘導障害防止用の蓄電器を、天井には界磁分流抵抗等を取付けてある。これらの機器は、取外し屋根や側面のフィルタを開くことによって簡単に取外することができる。

なお、主変圧器 1 次側ブッシング部分や通路に面した電機品取付部には、保護金網や手摺を設け危険防止を図ってある。

(3) 床下装置

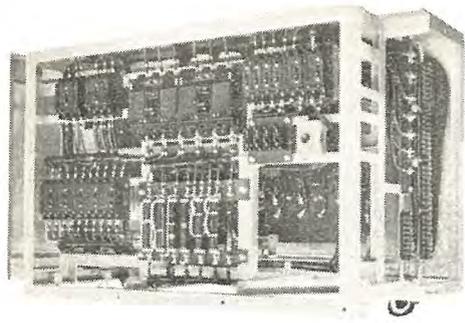
車体床には風道を設け、タワミ風道を介して各台車に取付けた主電動機に通風するようになっている。また床面には主電動機用点検蓋がある。

車体中央の床下に



4 図 制 御 機 器 取 付 部 分

Fig. 4. Control equipment.



5 図 制 御 箱
Fig. 5. Control box.

は蓄電池や、交流ロハ器用抵抗器および電動空気圧縮機等の制御部品を取付け、有効に利用してある。これらの機器は床下であるためいずれも鋼板製ケースに納め、とくに電動空気圧縮機は全閉構造としてある。

オ. 重量配分

このような配置によって、機関車の重量配分を均等化することができ、実測の結果、各軸重は $14.8t \pm 0.12\%$ であった。

3. 配 線

特別高圧機器間は $6\text{mm} \times 25\text{mm}$ 半硬平銅を用い、主変圧器 2 次側とタップ切換スイッチ間は、 $6\text{mm} \times 50\text{mm}$ 半硬平銅にマイカラップおよび綾テープで絶縁緊縛し、さらにワニス絶縁処理を施した導帯を用い、要所を絶縁碍子で支持してある。

他の機器間の配線は十分な電流量を有する ($2 \sim 3\text{A/mm}^2$) 車両用合成ゴムシース電線を用い、塩化ビニール電線管や、機械室廊下を利用した当社独特の配線方式で重量の軽減と構造の簡素化を図っている。

これら、電線端子のうち数量の多い 3.5mm^2 , 5mm^2 用は圧着端子を用い、それ以上は一般銅管端子に MF コンパウンド処理を施して端子と電線を一体にしてある。

いずれも絶縁性の向上と作業の合理化を図った新構想のものである。

4. 塗 装

機関車外部は暗紅色 ($\text{マンセル記号 } 5R \frac{2.5}{8}$) で、裾部周囲はクロームメッキ製の帯をめぐらし、台車および床下部品は黒色で、車内の天井や側壁は緑色 ($2.5G \frac{6.5}{1.5}$)、電機品は濃緑色 ($2.5BG \frac{4.5}{1.5}$) とし、交流電気機関車としての特色とカラーコンデショニングを施した明るい塗色である。

5. む す び

既に述べたとおり、イグナイトロン電気機関車は車両用として初めての交流電機品や 20kV の特別高圧機器を積載するため、これらを安全にしかもコンパクトにして、運転上支障のない装備とすることに重点をおいた。

一方、運転整備時重量 60t という制約をうけながらも、各機器をコンパクトにまとめることができ、粘着重量に大きな影響を及ぼす軸重も所定値に納めることができたのは幸いであった。

イグナイトロン電気機関車の補助回転機

名古屋製作所 八 木 勝*

Auxiliary Rotating Machines of ED451 Ignitron Electric Locomotive

Nagoya Works Masaru YAGI

Electrification of one branch line by a-c power in the Japan National Railways has brought forth a new problem in the driving of a-c auxiliary rotating machines. A-c single phase power supplied from the overhead line is used to produce a 3 phase circuit through the phase converting action of one of 3 phase squirrel cage induction motors, which enables the whole a-c motors to run as such.

This is a novel design worthy of mention.

1. ま え が き

電気鉄道の交流電化の問題が、このたび国鉄当局によって取上げられるようになったことは、従来ほとんど直流に限定せられていたかの感あるこの分野へ、交流電動機が新しく進出する機会を与えられることになり、これらの電動機の製作に関係するものにとっては、誠に興味深い問題が提供されたといえることができる。

交流電動機なかならず3相誘導電動機は、今日においては大規模な重工業の生産分野に、またあるいは山間へき地の小規模な家内工業の分野にまで発展浸透し、「保守運転が容易であること」「構造が簡単で使用上の事故が非常に少ないこと」「製作が容易で価格が低廉なること」等の長所と相まって今後ますますその発展の見通しは明るい。ことに直流機が絶対優位にあった船舶工業においてさえ、近時交流船の建造が増大されてきたことを思うときに、今日交流電化の一翼をになって3相誘導電動機が電鉄の分野にまで進出できるようになってきたことは、なにか必然性がそこに存するように考えられる。

このたび国鉄当局において交流電化の研究計画が具体化せられ、仙台一作並間の仙山線において交流電気機関車の実用試験が行われることになり、当社において試作したイグナイトロン方式の電気機関車に搭載された補機関係の駆動用3相誘導電動機について以下纏めてゆこうと思う。もちろん当社としては初めての試みであり、電動機それ自体の設計に多少の問題はあるとしても、むしろ単相電源より3相回路を得る相変換の回路方式について、なお今後に残された研究課題が多々あるものと思う。

2. 補機駆動用3相誘導電動機の仕様

1. 主変圧器放熱器冷却用送風機 直流発電機駆動用 1台

16 HP 410 V 50 c/s 4 P 1,500 rpm 連続定格
カゴ形回転子 MK O 型

2. 主電動機冷却用通風機駆動用 1台
17 HP 410 V 50 c/s 4 P 1,500 rpm 連続定格
カゴ形回転子 MK O 型

3. 主変圧器油循環ポンプ駆動用 1台
3 HP 410 V 50 c/s 6 P 1,000 rpm 連続定格
カゴ形回転子 MK TE 型

4. 空気圧縮機駆動用 1台
15 HP 410 V 50 c/s 6 P 1,000 rpm $1/2$ 時間定格
カゴ形回転子 MK TE 型

5. イグナイトロン再冷却器冷却用通風機駆動用 1台
7.5 HP 410 V 50 c/s 4 P 1,500 rpm 連続定格
カゴ形回転子 MK O 型

3. 補機回路

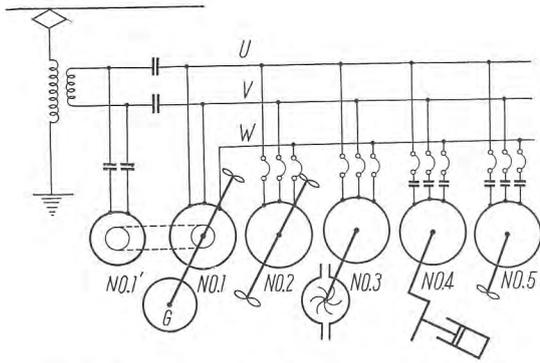
前項に記載した補機駆動用電動機が単相電源より、相変換機を経て3相回路に接続されている状態は、1図に示す。

4. 相変換理論

今回試作されたイグナイトロン方式の交流電気機関車の補機回路は、1図に示すように単相電源より3相カゴ形誘導電動機の相変換作用を利用し3相回路をつくり、3相誘導電動機を運転する方式を採用している。いまこれらの回路について、いかにして相変換作用が行われるかを理論的な立場より解析してみよう。

1図に示すように負荷電動機を並列運転するとき、何台の電動機が運転される場合でも、おのおのの電動機の正相インピーダンス Z_p 、および逆相インピーダンス Z_n を考えそれぞれが並列回路をなしているとして、全体の等価インピーダンス $Z_p Z_n$ を求めてゆけば、回路の解

* 技術部



- NO. 1' 2 HP SC 型起動用電動機
- NO. 1 16 HP 主変圧器放熱器冷却用通風機直交電機駆動用
- NO. 2 17 HP 主電動機冷却用通風機駆動用
- NO. 3 3 HP 主変圧器油循環ポンプ駆動用
- NO. 4 15 HP 空気圧縮機駆動用
- NO. 5 7.5 HP イグナイトロン再冷器冷却用通風機駆動用

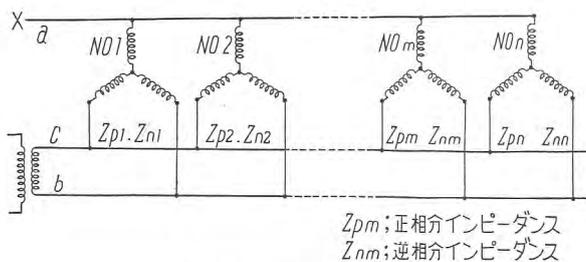
1 図 補機電動機回路図
Fig. 1. Auxiliary motor circuit.

析は可能である。(2 図)

2 図に示すように電源は単相である故、NO. 1 の電動機を相変換機とすれば、NO. 2 以下の電動機が運転可能な状態すなわち 3 相回路ができるためには、No. 1 の電動機は、単相電源によってなんらかの方法によって起動し、定常状態で運転されていなければならぬ。しかるときには abc 各線間には電位差を生じ、それらの相間電圧の平衡、不平衡の問題はあるとしても、一応 3 相回路を生じ No. 2 以下の電動機は自ら起動可能な状態となり、順次運転状態に入れることができる。全部の電動機が運転状態になれば 3 線に接続される状態は各電動機いずれも等しくなり、いずれの電動機が相変換作用を受持っているかは、各電動機の回路常数すなわちインピーダンスによって決定されるので、相変換作用をいずれか特定の電動機に受持たせるためには、すなわち相変換機となる電動機的设计は、とくにこの点を考慮に入れて行わなければならない。

いま系全体の正相分インピーダンスを Z_p とし、No. m 番目の電動機の正相分インピーダンスを Z_{pm} No. N 番目のものを Z_{pn} とすれば下記の式が成立する。

$$Z_p = \frac{1}{\frac{1}{Z_{p1}} + \frac{1}{Z_{p2}} + \dots + \frac{1}{Z_{pm}} + \dots + \frac{1}{Z_{pn}}} = \frac{1}{\sum_{s=1}^n \frac{1}{Z_{ps}}} \dots (1)$$



2 図 不平衡 3 相回路図
Fig. 2. Unbalanced 3 phase circuit.

逆相分インピーダンスは同様にして

$$Z_n = \frac{1}{\frac{1}{Z_{n1}} + \frac{1}{Z_{n2}} + \dots + \frac{1}{Z_{nm}} + \dots + \frac{1}{Z_{nn}}} = \frac{1}{\sum_{s=1}^n \frac{1}{Z_{ns}}} \dots (2)$$

したがって正相分電圧 \dot{V}_1 は下記のようになる。すなわち

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_n} \left(\frac{j}{\sqrt{3}} \dot{V}_{bc} \right) \dots (3)$$

同様にして逆相分電圧は

$$\dot{V}_2 = \frac{-\dot{Z}_n}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_n} \left(\frac{j}{\sqrt{3}} \dot{V}_{bc} \right) \dots (4)$$

したがって任意の電動機 No. m に流れる正相分電流は

$$\dot{I}_{1m} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{Z}_{pm}} = \frac{1}{\dot{Z}_{pm}} \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_n} \left(\frac{j}{\sqrt{3}} \dot{V}_{bc} \right) \dots (5)$$

また逆相分電流は

$$\dot{I}_{2m} = \frac{\dot{V}_2}{\dot{Z}_{nm}} = -\frac{1}{\dot{Z}_{nm}} \frac{\dot{Z}_n}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_n} \left(\frac{j}{\sqrt{3}} \dot{V}_{bc} \right) \dots (6)$$

したがって No. m 電動機の a 相電流は

$$\dot{I}_{am} = \dot{I}_{1m} + \dot{I}_{2m} = \left(\frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_{pm}} - \frac{\dot{Z}_n}{\dot{Z}_{nm}} \right) \left(\frac{j}{\sqrt{3}} \frac{\dot{V}_{bc}}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_n} \right) \dots (7)$$

よって (7) 式より明らかなように

$$\frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_{pm}} = \frac{\dot{Z}_n}{\dot{Z}_{nm}} \text{ なるときは } \dot{I}_{am} = 0 \text{ となりこの電動機は}$$

単相運転を行うことになり

$$\frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_{pm}} - \frac{\dot{Z}_n}{\dot{Z}_{nm}} = a + jb \text{ として } a < 0, b < 0 \text{ なるときは,}$$

逆相分電流の方が、正相分電流より大となって、相変換的作用をすることになる⁽¹⁾。

5. 最初に相変換作用を行う電動機の起動方法

3 相誘導電動機を使用して相変換作用を行わしめ単相電源より 3 相回路を得るためには、まず単相電源によって起動させなければならぬ。このために一般にはコンデンサが使用されているが、この場合にはコンデンサ起動方式の単相誘導電動機を起動用電動機としている。

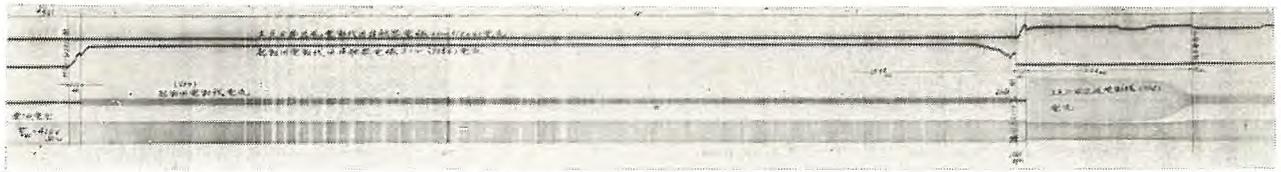
この電動機の仕様は下記の如し

- 2 HP 410 V 50 c/s 4 P
- 1,500 rpm カゴ形回転子
- SC-A 型コンデンサ (80 μ F
- ペーパーコンデンサ) 起動



3 図 起動用電動機
Fig. 3. Starting motor.

この電動機は相変換機となる電動機上に取付けられてい



4 図 オシログラム写真

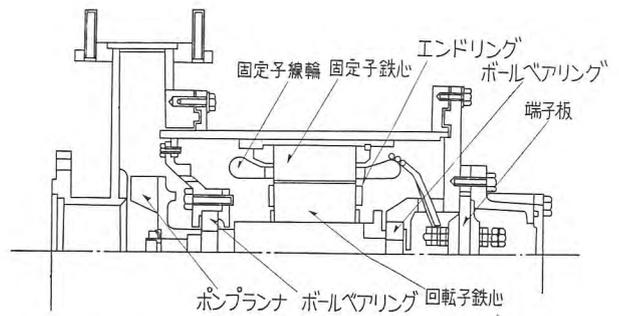
Fig. 4. Oscillogram.

て V ベルト，プリーによって駆動するように設計されている。(3 図参照)

まず電源を投入して起動をはじめ十分に速度を上昇せしめた後，電動機軸にとりつけられている遠心力スイッチの作動により，起動電動機は電源から開放せられ，これと同時に相変換機となる電動機の電源が入り，この電動機は単相運転の状態で，直流発電機，主変圧器放熱器冷却用通風機を駆動してさらに速度上昇してやがて運転状態に達する。この状態は 4 図に示されている。4 図写真中の接触器電磁コイル電流の変化によって，単相電動機が回路より開放せられて，3 相電動機が電源に接続される状態が判る。

6. 3 相不平衡回路

1 図の補機回転機の接続状況図に示されているようにこの回路の状態は平衡 3 相電源に対して並列に各電動機が接続され運転されている状態から，1 相断線したまま並列に単相運転を行っている状態と全く同じである。この場合先述のように各電動機の回路常数，負荷状況に応じて中には相変換作用をも併せ行っているものも存する訳である。もちろんかような回路では 3 相誘導電動機は不平衡運転されることになり，正相回転力に対してまた逆相回転力をも生じ，通常の電動機の設計では当然特性の低下，あるいは過電流による線輪の過熱等は避け得られない。これらの電動機の設計に際して最も重点をおいたのは，この特性の低下の補償ということであった。もちろんコンデンサを使用することによって逆相分を打ち消し，各相差角を $\frac{2\pi}{3}$ に整定することによって電動機が特性が補償されるのであるが，並列運転される電動機の中には，補機の種類に応じては空気圧縮機のように間歇的な運転をされるものがあり，イグナイトロン再冷却器冷却用通風機のように温度によって運転停止が行われるものがあり回路の状態は絶えず一定状態を持続することができない。また不平衡回路において起動特性を補償す



5 図 主変圧器循環ポンプおよび電動機断面図

Fig. 5. Cross section of a main transformer circulating pump and motor.

るコンデンサの容量と，定常状態における特性を補償するのに必要なコンデンサの容量とはかなりの相違があることなどのために，コンデンサ容量を変化させる操作が必要になってくる。コンデンサの容量を回路の条件に応じて変化させることは，制御上の複雑さを増すこととなり，またその容量もかなりのものを要することを考慮して，最も単純ではあるが特性の補償は電動機の設計に見込んで，コンデンサを使用しない方式を採用した。すなわち不平衡に基因する特性の低下，相変換作用による電流の増加，電源電圧周波数の変動等を充分考慮に入れて設計を行っている。かくすることによって当然各電動機の寸法重量は増大するのであるが，機関車の総重量に比してごくわずかのものであり，現状においては実状に即した安定性が保証できるものと考えている。回路の不平衡の状態を 1 表に示す。

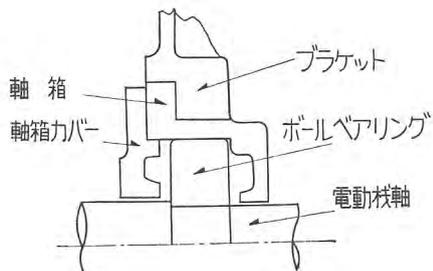
7. 3 相誘導電動機について

ア. 保護型式 通風方式

(1) 主変圧器放熱器冷却用通風機駆動用，主電動機冷却用通風機駆動用およびイグナイトロン再冷却器冷却用通風機駆動用電動機はいずれも MK-O 型すなわち当社標準の開放型を採用し，負荷側および遊び側両ブラケッ

1 表 定常状態における補機電動機運転状況

No.	主 回 路								No. 1 16HP			No. 2 17HP			No. 3 3HP			No. 4 15HP			No. 5 7.5HP			
	電 圧				周波数	電力		電流	力率	電 流			電 流			電 流			電 流					
	U-V	U-W	V-W	不平衡率		サイ	キ			アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	
	ボルト	ボルト	ボルト	%	クル	ワット	ペア	%	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	アン	
1	410	330	377		50	43.28	139.2	75.9	44.8	44.6	6.64	33.2	33.2	1.36	6.5	6.5	0.69	37.1	38.2	9.56	15.2	15.2	1.31	
2	410	341	382		50	23.8	78.4	74.0	41.0	40.6	2.46	30.4	30.4	1.40	5.8	6.12	1.08	休	止	休	止	止	止	
3	300	240	283		45	21.6	89.6	80.2	40.0	39.0	1.2	39.0	28.6	1.76	5.6	5.88	0.945	休	止	休	止	12.8	13.1	0.22



6 図 軸受部分構造図
Fig. 6. Construction of bearing.

ト開孔部より自己ファンにより冷却風を吸い込み、フレームの開孔部より排気する方式にしている。

(2) 主変圧器油循環ポンプ駆動用電動機は特殊な全閉型式で、変圧器油が機体内部に浸入するような構造で回転子は油中で回転するようになっている。したがって発生した熱損失は、機体表面より自然に放熱されることになる。(5 図)

(3) 空気圧縮機用電動機は時間定格は $1/2$ 時間であり車体床下部に取付けられる関係上 MK-TE 型すなわち当社標準の全閉型を採用している。

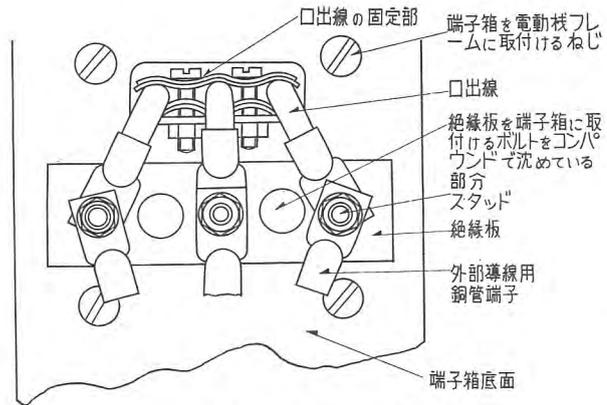
イ. 軸受部構造

主変圧器油循環ポンプ駆動用電動機(5 図)を除いて他の電動機はいずれもカートリッジ型の軸箱構造を採用して、ボールベアリングを使用しグリース潤滑を行っている。この構造ではブラケットを取はずしても、ボールベアリングはなお保護されたまま残るような構造になっている。(6 図)

ウ. 固定子線輪 回転子導体

固定子線輪用電線は、一般に丸線は PVF 絶縁電線を平角銅線は 2 重縮巻線を使用している。主変圧器油循環ポンプ駆動用電動機は、変圧器油が機体内部に充満して運転されるために、とくに丸線でも 2 重縮巻線を使用している。とくに線輪の絶縁は、電気的にも機械的にも充分耐力を有する材料を使用し、車体の振動する中で運転されても、また塵や油湿気に対しても充分な耐力を有するように入念なワニス処理を施している。

回転子導体は一般用途の電動機と同じく深溝カゴ形にして、回転子棒エンドリング材料はいずれも銅を使用している。



7 図 端子部分構造図
Fig. 7. Construction of terminal.

エ. 端子構造

端子構造は国鉄指定の方式を採用しており、7 図に示す。すなわち 600 V ネオブレンシース口出線を使用し、マイカルタ絶縁板を端子箱に固定し、これに取付けられたスタッドによって口出線と外部導線とを接続する方式を採用している。外部導線は端子箱出口において抑え金で固定できるような構造にしている。空気圧縮機駆動用電動機は、車体床下に取付けられる関係上、とくに風雨にさらされても支障なく運転できるように防水型の端子箱を使用している。

8. むすび

以上述べた処によってイグナイトロン方式交流電気機関車に搭載された補機回転機についての説明を行ったのであるが、何分にも最初の試みであり今後検討改良の余地が多分に残されているように思っている。すなわち相変換機として最初に単相運転せしめられる電動機の起動、3 相回路の不均衡補償、また各補機電動機の設計特性、起動順序等、なお今後に残された問題は多々あり、これらについてさらに検討を加えさらにに優良な製品の完成を期したいものと思っている。

参考文献

- (1) 白田, 梶谷「カゴ形誘導電動機の相変換作用」三菱電機 昭和 30 年 12 月

「ED 451」 イグナイトロン電気機関車の 台車および車体

新三菱重工業株式会社三原製作所 曾根嘉年*

Truck and Car Body of ED451 Ignitron Electric Locomotive

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited Mihara Engineering Works Yoshitoshi SONE

In building an ignitron electric locomotive of novel design, it was a primary requisite to limit its weight within 60 tons in total including all machines equipped and to prevent vibration at both low and high speed, because of the installation of the ignitron on it, besides an aim of manufacturing a locomotive no worse than a foreign make to be imported in future. That is, building light, vibration proof truck and car-body is taken into account.

1. ま え が き

ED451 イグナイトロン電気機関車の製作に当り、とくに問題となった技術上の事項と、それらをいかに解決したかという点について台車、車体に関し述べる。本機関車試作と同時に国鉄は外国より輸入機関車を考えているから、われわれの製作した機関車が外国製のものに見劣りのしないものを作らねばならぬという高い目標を置くと同時に、機関車全重量 60 t という制限とイグナイトロンを搭載するため低速高速共に動揺しないことが必須の条件であった。

すなわち防振と軽量化とが必須の要件であり、幸にして好首尾に目的を果したことは慶賀に堪えない。

2. 防 振

フランスの直流電気機関車で直線路瞬間時速300km/h以上のレコードを持った Alsthom 台車とか、スイスにはシュリーレン台車、S. L. M. 台車とか、ドイツにはミンデン台車その他軸梁形式の台車等、先進諸外国には種々優秀な台車があり、一応誰でもそれら台車の模倣をすれば、よい振動特性を得るであろうと想像するのであるが、日本には終戦後とくに車両の振動学が発展し、当三原製作所も斯界の指導的地位を確保してきていた。ED 451の台車も純日本的に振動学の教えるままに設計を進めた、というのは外国の模倣台車が必ずしも日本においては好成績を納めるとは限らないことを、実例および理論的にわれわれが知っていたからであった。

ア. 側受におのおの心皿荷重の 20% 程度の荷重を掛けた。

これは台車したがって車体のヨーイングを防止し、上揺枕を軽量にすることが可能である。

イ. 揺枕釣の長さを適当に長くし、枕ばねを台車枠の

外側に装備した。

これは普通の構造を用いて、いわゆる非連成振動に近づける早道である。非連成振動とは車体の回転振動と純横振動とが分離された状態にあり、いわゆるローリングが生じ難い構造である。スイスなどの短い揺枕釣方式はこの点感心できない。

ウ. 枕ばねにオイルダンパを用いた全コイルばね式台車とした。

これは従来の機関車用台車には採用されたことはなかったが、上下左右振動共に適当に軟らかな乗心地を与えるもので、いま計画されている東海道超特急用機関車 EH50 には採用されている。

エ. 枕ばね軸ばね比は上下振動加速度を最少とする最適比を採用した。スイス、ドイツ式のものとは板ばねを使用しており感心できない。

オ. 防振ゴムの採用

各ばね座、揺枕と横梁間等に採用して防振効果を助けた。

カ. 電動機が台車装架であること。

これは車輪の軌条に与える倒圧を減少し、動揺軽減にも役立っている。

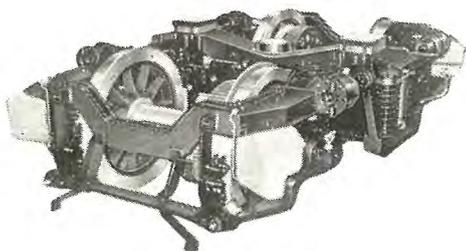
キ. 心皿を低くし、横梁と揺枕の当り面を極端に低くした。

これは台車のピッチングより生ずる車体への前後動を防止するに役立つと共に、イグナイトロン機関車の一大特色である引出し時の粘着引張力が大きいことを、助長している。

上記の如く別段特殊構造を採用せずに振動学の命ずるままに設計したことにより、従来の機関車や電動車が達せられなかった程度にまで振動の防止ができた。

来年末東海道の超特急機関車として現われんとしている EH50 の台車にも本台車のやり方がほとんどそのまま

*技術部



1 図 台車の外観
Fig. 1. View of truck.



2 図 台 枠
Fig. 2. Frame.

採用されている。

台車の外観を1図に、台枠を2図に示す。

3. 軽 量 化

軽量化の要点は各部材を剛性の大きな構造とし、余肉を省き、重複を避け、簡易な構造とすることである。これがためには各部に掛る外力を充分研究調査し、それより生ずる応力を適正に選ぶことであり、実験等によっても究明できるが、解析力の及ぶ限りは労を厭わず計算することである。すなわち解析力の勝れていること、構想に富んでいることが要件である。

ア. 車 体

床構においては

従来の機関車が強度を荷負う床構の上に機器配置用の床部を一段高くしているため、床面が重複して、随分の重量増加となっている。本機関車においては、床構中央部は強度を荷負う床構上面を床とし、廊下は1段下げて軽く付け足した。

また従来機関車においては電線樋が廊下に別付けとなっていたが、本機関車では電線樋の蓋以外は床の一部を利用した。

なお車端衝撃荷重を自重程度と考え、その時の応力を 13 kg/mm^2 に押えた。

構造は最も丈夫な箱形とし、枕梁より外側は高張力鋼を使用することにした。

連結器は現在最も軽い EH10 用のものと共通とした。

柱構においては

単位スイッチなどの機器取付はL型鋼が便利であるからそれを使用した。その他は全部ハットプロファイルのものを使用し、軽量化した。

デッキ式としたこと

これは他の理由にもよるが、運転室のスペースが節約できるから、側入式のものと同様に、天井および側面の外板と柱の分の重量が節約できる。

車体の軽量化した程度は下表のとおり

	EH10	DD50	ED45
車体重量 (電気品、制御部品を除く) (t)	16,000	13,000	13,916
車体長さ (車体台枠端梁間) (mm)	10,650	11,100	13,400
車体 1 m 当り重量 (t/m)	1.5	1.17	1.04

すなわち相当軽く設計された EH10 より 31% 重量軽減したことになる。

イ. 台 車

(1) 一 般

台車の軽量化に役立った要素は3つある。

a. 主電動機が台車装架となり小型となったこと。

これは台車の軸距を 2,300mm にまで切詰めることを可能とした。従来のモータを以てすれば同一出力に対して、最少限 3,000mm の軸距を要したであろう。

b. 高抗張力の材料を使用したこと。

台車台枠に使用する鋼板は高抗張力鋼板を使用した。これがため各部の応力は2割程度高く設計できた。

また蔓巻ばねの材料を Cr-Mn 鋼を使用したため、台車の重量として相当部分を占めるばねの重量を軽くできた。

c. 各部強度を詳細に検討して余肉を取り各部均等にしたこと。

(2) 台枠の強度計算

従来の台枠の強度計算は主として側梁部分に主力を置き、横梁端梁の荷重分担状態を解析せず、大体の感で寸法を決定していた。よって使用後亀裂が起ってから補強するというようなことがよくあった。

そのような弱点を除くためには、強目強目に設計していた。そのためややもすれば重くできるか、軽くすれば亀裂を生ずるのがつねであった。

これらの点を改めるため、時間と労力を厭わず、従来より理論的、実験的に適切と思われる外力を仮定して、各部の接目を剛接として (一体溶接台枠であるから) ラーメン計算を徹底的に実施した。しかして最後の判定は各種応力の複合して起ってくるものに対して疲労安全率を算定して後安否を決定した。

結果より見るとつぎのことがいえる。

a. 端梁は一般に強くする。付根はとくに強くする。
b. 横梁は一般に強くしなくてもよい。ただし付根はとくに強くすること。

c. 側梁は単純な計算で判定してもほぼよい。

なお外力として考えたものはつぎに記するものおよびそれらの複合するものである。

a. 自重およびそれらの振動割増。
b. 主電動機回転力によるもの。
c. 走行中大歯車中心と車軸中心が偏心することにより大歯車内のばねより台枠に与える力。
d. 制動の場合起る力。
e. 軌条面不整により、台枠を対角線に対して振る力。
f. 揺枕吊が台枠側梁と作用点が偏心していることにより起る振り力。

- g. 水平横力を受けることにより台枠に加わる力.
- h. 曲線路を通過するとき車軸は平行を乱そうとすることが台枠を歪ます力. その際側受にて心皿荷重を担っていることにより横梁を歪まそうとする力.
- i. 車端衝撃を受けた場合の力.

上記の荷重により振りモーメント, 横曲げ, 縦曲げがそれぞれ相伴う場合がある.

(3) 重量軽減の比較

	EH10	DD50	ED45
a. 1 台車重量 (t)	9.300	7.000	6.650
b. 軸 距 (mm)	3,100	2,300	2,300
c. 心 皿 荷 重 (t)	11.400	18.300	18.300
d. 2 個モータの連続出力(kW)	440	260	500
e. 1 台車重量/心皿荷重 (t/t)	0.815	0.383	0.363
f. 1 台車重量/心皿荷重×軸距 (t/tm)	0.263	0.166	0.158

上記中 (e) より見ると心皿荷重に対し台車重量は EH10 の 44.5% に当る. これは電氣的機械的に見た重量軽減の傾向を示すものである. (f) より判ることは機械的に見た重量軽減の傾向を示すものであり EH10 の 60% となっている.

すなわち機械設計的に見て 60% に重量軽減したものを, モータの形状が小さかったためにさらに 74% 程度軽減できたため, 結局 EH10 に比し 44.5% という半分以下の重量軽減率を納めることができたわけである.

4. 艤 装

従来と異った部分を述べると

ア. フィルタ

従来の鑑窓は雨雪, 塵埃が車体内に滲入し易かったが, フィルタを使用することにより, この欠点を除ける.

イ. 取外屋根

従来の電気機関車はほんの少ししか取外屋根がなかったが, 本機関車はほとんど屋根は取外しが可能で, 内部の電機品もキャビネット式のものが多く, 艤装が合理化されている.

ウ. 空気圧縮床下吊

空気圧縮機は振動騒音が多い機器であるのと, 車体内

に余地がないので床下に吊ったが, 電車式のゴムで支えることにより防振効果をあげている. なお分配弁も車体内の余地がないので床下に固着したが, 雪その他寒さよけの被を施している.

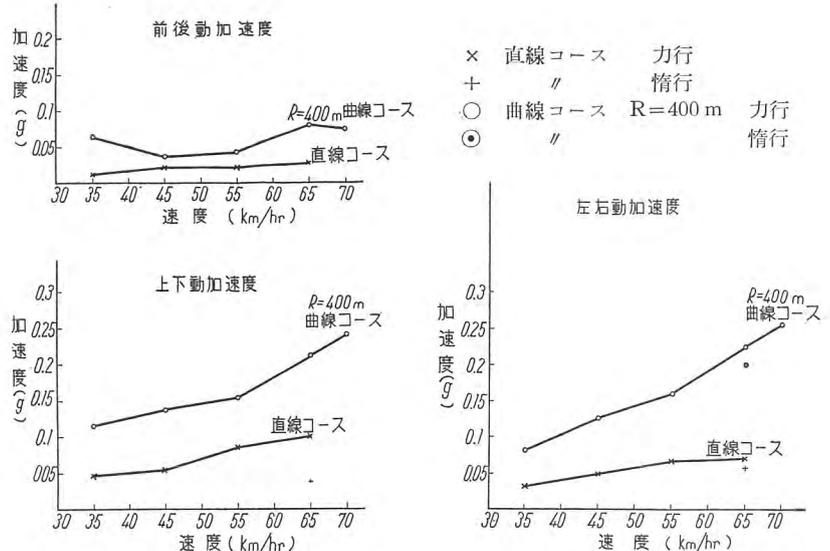
5. 走行性能

この機関車を三菱電機研究所で車体の振動を測定したが, これによると従来の機関車に比較して格段によい.

この測定に使用した加速度計は重錘の振動を検出用リアクタの鉄心空隙を変化せしめるピックアップと電子管装置, ペン書きオシロからなっている.

イグナイトロン装置と陽極リアクトルの間の通路の床に前後, 左右, 上下の各加速度計ヘッドを取付けて, 暖房車 2 両を連結して仙台基点 26.5km の直線路と 25km 付近の 400m の曲線路で速度 35~60km/h で測定した.

3 図に示すとおり前後動は直線で 0.03 g 以下曲線でも



3 図 速度最高加速度曲線
Fig. 3. Speed vs. maximum acceleration curve.

0.1 g に達しない. 上下動は直線で 0.1 g 以下曲線で 0.1~0.25 g の間にある. 左右動は直線で 0.07 g 以下曲線で 0.08~0.26 g である. 直線路では速度が増加してもそう増加しないが, 曲線路では速度増加と共に増加する. オシログラムによるとノッチの切替レールの継目で瞬間的に変化する. いずれにしても従来の機関車に比べて車体の加速度は遥かに小さく台車装荷の電動機を含めた台車の振動に対する設計がこの好成績を生んだことを物語っている.

ニクス フラッシュ

“大容量、風冷式、密封型 2,000 kW, 600 V イグナイトロン整流器運転開始”

南海電鉄、今宮変電所納入、2,000 kW, 600 V, 3,334 A 超重負荷公称定格、風冷式、密封型イグナイトロン整流器。

今宮変電所の概況

当変電所には 2,000 kW, 600 V の回転変流機が設備されていたが電車負荷の激増により、2,000 kW, 600 V の風冷式イグナイトロン整流器が新設され電車運行の重責をになりにいった。

受電線 22 kV, 3 相, 60 c/s, 2 回線受電。
遮断器 M.C.B. 22 kV, 600 A, 遮断容量 1,000 MVA
1 台

イグナイトロン用変圧器 1 台

1 次電圧 22-21-20 kV 60 c/s

2 次電圧 560 V (直流 600 V に相当)

結線方式 1 次三角; 2 次相間リアクトル付 2 重星型結線 3 相/6 相

1 次容量 2,280 kVA

2 次容量 3,230 kVA

イグナイトロン整流器 1 台

2,000 kW, 600 V, 3,334 A 超重負荷公称定格

高速度遮断器 5,000 A, 600 V 1 台

本設備は 600 V, 直流変電所としては単器最大容量の密封型水銀整流器変電所であり、風冷式、密封型イグナイトロン、12 タンク方式の最大電流容量の記録品である。当変電所は南海電鉄の発起点である難波駅に近く電車の運行頻度が最大であり、ためにイグナイトロン整流器は 2,000 kW, 定格一杯負荷され、ラッシュ時には 150% (5,000 A) 2 時間の過負荷耐量を応々負荷され、また尖頭過負荷としては 6,000 A (200%) ~ 8,000 A が短時間ながら 1 時間に数回負荷される状況にある。

風冷式、密封型 2,000 kW, 600 V イグナイトロン整流器設備の特長を挙げればつぎのとおりである。

(1) 密封型、イグナイトロン整流タンク、12 本をキュービ

クル内に設置したが取外しの便をはかって各整流タンクに車輪をもうけてある。

(2) キュービクルは大地電位であり、その上、下部には風洞を設け、冷却扇よりの騒音を遮蔽すると共に四季の温度調整を容易に実施できる構造とした。したがって騒音は著しく少ない。

(3) 操作方式は全機器とも自動、手動両方式であり、冷却扇および陰極加熱器は全て自動制御方式であって保守の便をはかってある。

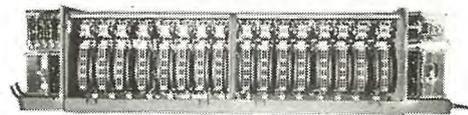
(4) イグナイトロン整流器の仕様

型式	風冷式、密封型イグナイトロン整流器
タンク数	12 タンク
定格容量	2,000 kW, 600 V, 3,334 A 連続。 5,000 A (150%) 2 時間; 10,000 A (300%) 1 分間を 5 分間間隔に 10 回印加しうる。
制御率	10%
冷却扇方式	オードナンスファン 2 HP 6 台/12 タンク

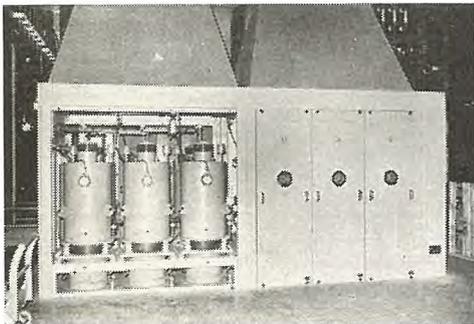
名古屋鉄道の新車に取りつけられた 新型主制御器と断流器

MU-16-212 型主制御器

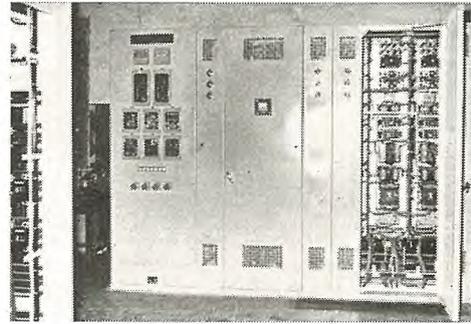
- 線電圧 1,500 V, D-C 340 V, 75 kW 電動機 8 個すなわち 2 電動車を 1 組の制御装置で制御する。
- 制御段数は力行 25 段、制動 23 段。力行時は弱界磁起動減流遮断を行い、制動時は弱界磁遮断を行うため円滑な運転が行われる。



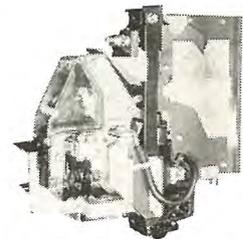
MU-16-212 型主制御器



風冷式、密封型イグナイトロン整流器 2,000 kW
600 V, 3,334 A, 12 タンク重負荷公称定格



イグナイトロン制御盤



HB-451 型高速度減流器

- 電空併用ブレーキ方式で、とくに非常ブレーキ効果を大きくしてある。
- 自動ノッチ進めは単位スイッチの連動接点と限流リレーの組合せによって行うため、再ノッチや電気ブレーキの立上りが早い方式である。

HB-4R-451 型遮断器

- 通電容量 1,500 V 500 A
遮断能力 誘導負荷 20 mH の時 6,000 A
- 重量は 200 kg で一般品の約 1/2 ですむ。
- 保持電磁石の接極部を透明カバーでおおい可動レバー部は良質の皮で塵埃の侵入を防ぐ構造になっているから、可動部がそのまま点検できて、完全に防塵される。

当社製直流高速度遮断器 わが国最大の大電流遮断試験に成功

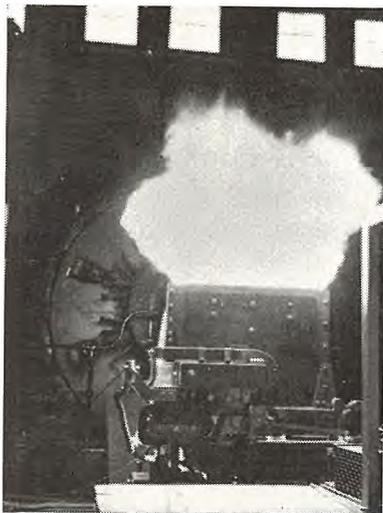
HP-30B型逆性高速度遮断器 定格電圧 D-C 1,500V
定格電流 3,000A

最近国鉄では電化の大規模化に伴って電鉄変電所の容量は増大する一方で、その母線事故・水銀整流器の逆弧時の電流が著しく大きくなったので、大電流遮断のための高速度遮断器の遮断性能を再検討しつつあった。

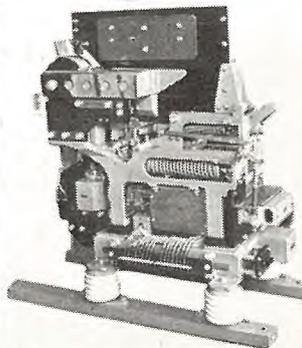
従来の高速度遮断器の遮断試験は、推定短絡電流 10,000 A から 20,000 A 程度で行われていたが、今回推定短絡電流 60,000 A (電動変流機 D-C 1,500 V 2,000 kW 4 台) の試験設備を持つ、国鉄二宮直流遮断実験場が完成を見たので、ここで電機メーカー各社の、高速度遮断器の大電流遮断試験が行われることになった。

当社では、逸早く HP-30B 型高速度遮断器を、同実験場最初つまりわが国最初の大電流試験供試品としてテストすることになったが、去る 1 月 18 日から 21 日にかけての実験で、推定短絡電流 10,000 A~5,000 A L=0.5 mH~8 mH にわたる各種合計では 31 回の遮断試験で、いずれも極めて好成绩を取ることができた。

[写真は、HP-30B 型高速度遮断器が推定短絡電流 50,000 A (L=0.73 mH) を遮断した瞬間]



推定短絡電流 50,000 A を遮断した瞬間



HP-30B 型逆性高速度遮断器 D-C1,500 V, 3,000 A

EG-102-EZ 型車両用小型戸閉機械

最近の車両用装備機器は、確実な性能・便利な点検・経済的な保守という要求を充たしているとともに、小型軽量であることが絶対条件となってきたが、車両の引戸自動開閉装置に用いる戸閉機械についても引戸案内構造が改善されて軽快になってきたので、その所要開閉力などの再検討を行った結果、性能・保守の点でも従来品よりもすぐれている小型軽量の新製品を開発することができた。この戸閉機械は電磁空気式で、当社もその審議に参加し昭和 27 年 6 月 21 日に制定された JIS・E6501「車両用戸閉機械」に合致したものであり、電鉄関係各納入先の好況を得て約 500 台を納入し、引続いて受注している。

EG-102-EZ 型戸閉機械

概要

主要諸元・性能・構造の大略につき、従来一般に用いられている TK-4 型と比較するとつぎのとおりである。

	EG-102-EZ 型	TK-4 型
ア. 型式	差動式歯車型	同 左
イ. 据付空間	190×300×500 (高さ×巾×長さ)	274×310×650 (同 左)
ウ. 重量	約 23 kg (コロ付開閉腕は含まず)	約 34+約 4.4 kg (同左本体部+電磁弁部)
エ. 大・小シリンダ径	100φ : 72φ	100φ : 70φ
オ. 開閉腕最大動作角度 (使用上の最適範囲)	130 度 (110~125 度 開閉腕長さ < 690)	102 度 (85~95 度)
カ. 開閉有効回転トルク (p=5kg/cm ² のとき)	182~170・p kgcm (910~850 kgcm)	302~290・p kgcm (1,510~1,450 kgcm)
キ. 開閉動作調整台	大・小両シリンダ上方で前方に 30 度傾斜し各 1 個	大・小両シリンダ上方で垂直方向に各 1 個
ク. 回転主軸受部	油だめ付割りメタル	割り型鑄鉄のまま
ケ. 電磁弁部	本体に付設 小型の VM-200 型 (オン型)	取付台を用いて別設 一般の VM-2Z 型
コ. 空気消費量 (1 開閉当り)	約 0.8 l	約 1.4 l



工場に並んだ小型戸閉機

当社研究所交流計算盤の活躍

研究所に設置せられた交流計算盤は発電機単位6を主体とする1表に示すような内容のもので、1図に示すように電子管式アナログコンピュータと併設され、最大の計算能力を上げるようにしてある。

交流計算盤はすでに30年9月より稼働を開始し、社内外の要求に応じている。交流計算盤の応用を示せば2表のようであるが、当社の交流計算盤素子はとくにその周波数特性が良好であるので同期スイッチとの組合せによる過渡現象の解析に用いて便である。

現在までにわれわれが取扱った問題の一端を示せば下記の如くである。

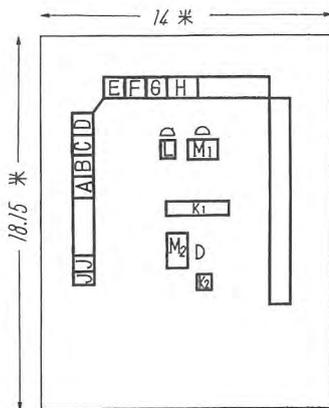
1. 電力潮流の問題として「四国電力のQの配分の計算」
2. 短絡問題として「国鉄仙山線の故障電流分布の計算」
3. 安定度問題として「誘導発電機の電力動揺」
4. 機器の特性計算として「リアクトル制御の誘動電動機のトルクの計算」
5. 過渡現象の計算として「超高压アレスタの過渡電流の解析」

また、われわれの交流計算盤は電子管式アナコムと併設されているので Economic Load Dispatch の問題も容易に解析することができる。交流計算盤は将来発電機単位を現在の3倍の18機に増加の予定である。

1表 交流計算盤

名 称	単位数	性 能
発 電 機 単 位	6	電圧 0~400%, 位相 0~360° 連続
発 電 機 単 位	3	1kVA 1φ 60c/s 変圧器
線 路 単 位	40	R...0~159.8%, X...0~159.8%
特 殊 単 位	20	High Q のリアクタ 1.4H, 0.01H Step
負 荷 単 位	10	R...2998%, X...2398%
負 荷 調 整 単 位	10	300 VA, ±14%, 1% Step
キャパシテイ単位	60	4.1μF, 0.01μF Step
単巻変圧器単位	10	300 VA, ±20%, 0.5% Step
相互結合単位	20	1:1...10ヶ 1:2, 1:√3 各5ヶ 600VA
同期スイッチ	2	機械式 10 channel, 電子管式 6 channel
プラグボード	2	
計 測 機	2	
記 録 機	1	

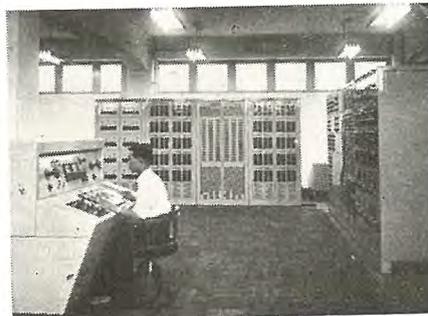
Base V 100 V, Base VA 100 VA, Base Z 100 Ω



- A 特殊単位
B 線路単位
C プラグボード
D 線路単位
E 負荷・負荷調整単位
F 単巻変圧器単位
G プラグボード
H 発電機単位
J 電子管式アナコム
K 同期スイッチ
L 記録機
M 計測機
 (1) 計算盤用
 (2) アナコム用

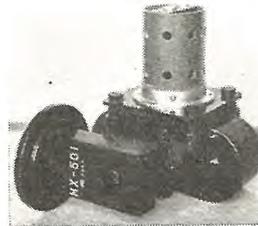
2表 交流計算盤の応用

1. 電力潮流	4. 機器の特性計算
2. 短絡問題	5. 電力系統過渡現象
3. 安定度問題	6. 熱系・機械系の解析



5,300 Mc 帯レーダ用 マグネトロン MX-501

5,300 Mc 帯レーダに使用されるマグネトロンは尖頭出力 300kW を要求されるが当所で製作したマグネトロン MX-501 はパッケージ型を採用し、小型であり、規格尖頭出力は 300kW であるが、最大尖頭出力 400kW におよび、当社が東京中央気象台に納入した、気象用レーダの送信管として使用されている。



5,300 Mc 帯レーダ用マグネトロン MX-501

特性は概略下記のとおりである。

線 条 電 圧	6.3 V
線 条 電 流	4.0 A
陽極尖頭電圧	25 kV (max)
陽極尖頭電流	60 A (max)
尖 頭 出 力	300 kW
総 重 量	5 kg

SB 型 水分計

電氣的絶縁材料と見なされるあらゆる物質たとえば綿・絹・糸布・スフ・紙・パルプ類などに含まれている含水率をその物質の電気常数の1つである誘電率の変化を測定して求めるものである。

SB-I 型 水分計

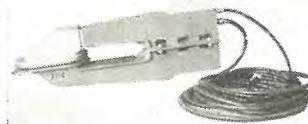
円筒電極部と本体とよりなりスフ・糸などの被測定物の一定量を電極部に挿入し、含水率の大小は本体の主調整ダイヤルの目盛差により求める。

SB-II 型 水分自動制御装置

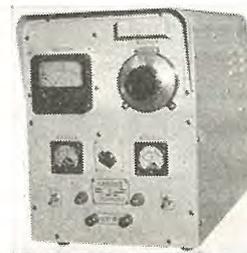
布・紙などの繊維製品の含水率をその流れ作業工程において連続的に測定し、指示・記録せしめ予め調整された範囲に製品の含水率を自動的に制御する装置で平板電極部と本体とよりなる。自動制御範囲は規定含水率±1%以内であり、とくに電源変動・室温の変化に対して安定なる如く考慮されている。

SB-III 型 水分計

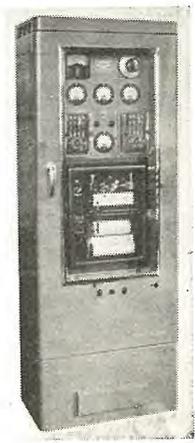
SB-II 型の記録計・自動制御部を除いた流れ作業工程において製品の含水率を連続的に指示せしめる装置で連続使用に対して安定性をとくに考慮しており、また自動制御を行わしめる出力端子も備えている。



SB-II, III 型電極部



SB-III 型本体



SB-II 型本体

無人変電所用機器展示会催さる

当社は小容量変電所向として土佐電気鉄道株式会社よりのご注文により 500 kW 無人発電所用機器を鋭意製作していましたが、好成績をもって工場試験を完了したので当社がかねてより研鑽を重ねていた簡易変電所の試作品と共に去る 2 月 21 日伊丹製作所において展示説明会を催した。

1. 500 kW 無人変電所機器の特長
 - a. 整流器は 500 kW 600 V 834 A 6φ 6 T 風冷式密封イグナイトロン整流器でタンクは 8 in の小型軽量のものを開発した。
 - b. 運転はタイムスイッチ起動による全自動方式である。
 - c. 故障は重故障、軽故障に分けて故障表示器に表示すると共に最寄駅警報盤に警報する。
 - d. 軽故障に対しては一定時限後鎖錠復帰用閉閉器により再起動する。
 - e. 饋電線再開路方式は抵抗測定再開路方式
 - f. 故障表示を 2 重表示式にした。
2. 500 kW 簡易変電所
 - a. 整流器は 500 kW 600 V 水冷式密封イグナイトロン整流器にてタンクは 6 in のものである。
 - b. 床面積は 1,100×1,900×2,350 (H) のキュービクルの中にイグナイトロン、冷却装置、保護装置、開閉器、継電器類一切を収納している。
 - c. 整流器用変圧器、遮断器および饋電設備を加えれば直ちに送電できる。

自家発電用タービン発電機 4 台受注

昨年末より今春に至るまでの約 3 ヶ月間に自家発電用火力タービン発電機 4 台を下記のとおり受注した。

1. 富士写真フイルム足柄工場向 2,500 kW タービン発電機
 - 1 台 3,125 kVA 3 相交流同期発電機 3,300 V 50 c/s 2 極 3,000 rpm
 - 1 式 同上用配電盤
 - 1 式 2,500 kW タービン補機用電動機
 - 1 式 35 T,H ボイラ補機用電動機
2. 日東紡績富久山工場向 2,000 kW タービン発電機
 - 1 台 2,500 kVA 3 相交流同期発電機 3,300 V 50 c/s
 - 2 極 3,000 rpm
 - 1 式 同上用配電盤 (メタルクラッド型)
 - 1 式 2,000 kW タービン補機用電動機
 - 1 式 30 T,H ボイラ補機用電動機
3. 北越製紙パルプ工場向 3,200 kW タービン発電機
 - 1 台 4,000 kVA 3 相交流同期発電機 3,300 V 60 c/s
 - 2 極 3,600 rpm
 - 1 式 同上用配電盤 (ベンチボード型)
 - 1 式 3,200 kW タービン補機用電動機
 - 1 式 130 T,Day J.M.W. ボイラ補機用電動機
4. 東邦レーヨン徳島工場 6,000 kW トップタービン発電機
 - 1 台 7,500 kVA 3 相交流同期発電機 3,300 V 60 c/s

- 2 極 3,600 rpm
- 1 式 同上用配電盤
- 1 式 6,000 kW タービン補機用電動機

抄紙機用セクショナルドライブ 電機品受注

中越ハルフ工業株式会社が富山県高岡市郊外に新設中であった礪波 (トナミ) 製紙向 140 吋 1,300 呎/分 抄紙機 (新聞紙) 用セクショナルドライブおよび下記電機品を受注した。

- 1 式 新聞紙用 142 吋抄紙機用セクショナルドライブ電機品
 - 1 式 66 kV 2×5,000 kVA 特高受電設備
- 約 150 台 250 HP MS IM その他誘導電動機

新型蛍光燈器具 FH-46

40 W 1 燈用工場照明用蛍光燈器具として FH-41 は今日までに多くの売上を見たが、その後各方面の種々の要望に応じ FH-46 型を生産することになった。主な改良点を挙げると

1. 各種工場において、まぶしさを避けるためのランプの保護角は余り重要視されることがないので反射がさを FH-41 よりも浅くし配光を拡げると共に、スマートな外観とした。
2. 各部分を充分研究して設計および工作をきわめて合理的に改良したため、販売価格を FH-41 より相当引下げることができた。
3. ソケットは従来とどうよう、スプリング突き合せ式であるが、小型で体裁のよい W-11B ソケットとした。



屋外用高圧水銀燈器具

高天井の工場や広大な室内の照明の他に、屋外の工場敷地内、駅前広場、公園、運動場などに当社の蛍光水銀燈の需要はますます多くなっている。ここに紹介する 2 種の器具は最近開発されたものである。

左方はガラスグローブでランプを包圍して屋外燈の標準的な形をした器具。右方はアルミニウム製の広い反射かきを持った近代的なデザインで、側面カバーはひだ付の透明アクリライトを使用し安定器はボールに接続する首部に収納されているのが特長である。

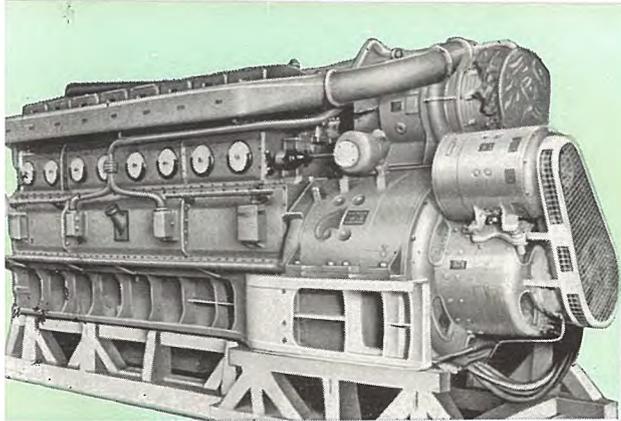


最近における当社の社外寄稿一覧

寄稿先	掲載号	題名	執筆者	所属
工場管理	30年12月号	工場照明改善の着眼点 工場照明の最近の実施例	小堀 富次雄	本社
電気工学年報	31年度	タービン発電機	志岐 守哉	長崎
〃	〃	船川直流機	平野 敏也	長崎
産業能率	31年1月号	JIS	前田 幸夫	本社
生産と電気	1月号	生産工場における電気技術者の色々	木村 久雄	本社
機械学会誌	2月号	補強した矩形板の撓みについて	中尾 伊三郎	福岡
工場管理	2月号	社内規格の作り方	松尾 準一	本社
電気計算	2月号	既設発電電所の照明施設の改善	小堀 富次雄	本社
生産と電気	3月号	生産工場における電気技術者のあり方について	木村 久男	本社
照明学会誌	3月号(年報)	工場, 発電電所の照明施設	小堀 富次男	本社
〃	〃	紫外線の応用	伊吹 順章	研究所
〃	〃	光電効果とその応用	〃	〃
オーム	自働発電月号	関西電力神戸港ユニットリブステーション	横浜 博繁	神戸
〃	〃	電鉄川無人変電所の実施例	小滝 喜久二	神戸
〃	〃	自働水力発電所の実施例	松尾 潔	神戸
電気計算	4月号	超高压遮断器について	新井 正元	伊丹
電気車の科学	4月号	ED451 形イグナイトロン電気機関車	松田 新市	伊丹
照明学会誌	4月号	銀座ショールームの照明と照明器具	小堀 富次雄	本社
生産と電気	特別号	アメリカにおける「今日の電動機」	松尾 又一	本社

最近における当社の社外講演一覧

講演月日	主催	演題	講演者	所属
30年10月18日	日本テレビ放送	明るい家庭(照明の話)	小堀 富次雄	本社
10月26日	北陸電力, 中部電力 照明技術講習会 於 福井, 武蔵, 敦賀, 小浜, 関, 名古屋, 松坂	商店照明と臨店指導	〃	本社
11月28日				
11月10日	火力研究会 四国支部	タービン発電機軸の破壊試験	進藤 貞和	長崎
11月11日	電気三学会 九州支部 連合講演会	水素冷却発電機の軸封装置に関する3つの方式の得失	今北 孝次	長崎
12月6日	中部産業連盟 標準化講習会	社内標準化のあり方, 進め方	前田 幸夫	本社
12月7日	鎌倉理科クラブ	学校照明について	小堀 富次雄	本社
12月15日	日本能率協会 MAPI講演会	設備の保全修理における MAPI の応用	堀 直昌	本社
31年1月21日	日刊工業新聞 原稿講習会	発電用原子炉の諸形式について	横須賀 正寿	研究所
1月24日	中部産業連盟 品質管理講習会	品質管理職班長教育用マニュアルについて	八巻 直躬	名古屋



高性能を誇る

1,000HPジーゼル電気機関車

日本国有鉄道においては本形式と同様のものを

DD50形として採用され、現在北陸線の隧道の多

い区間に6両運転中で好評を博している。

主要諸元はつぎのとおり。

運転整備重量	60 t
軌間	1,067 mm
軸配置	B—B
動輪直径	1,000 mm
車体全長	11,800 mm
車体幅	2,800 mm
定格速度	29 km/h
最高安全速度	90 km/h
定格牽引力	6,500 kg
最大牽引力	15,000 kg
主機関	1,000 HP
主発電機	580 kW×1
主電動機	130 kW×4



昭和31年4月8日印刷 昭和31年4月10日発行

「禁無断転載」 定価1部金60円(送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長 大久保 謙
 副委員長 石川辰雄
 委員 浅井徳次郎 荒井 潔 石橋英樹 市吉惟浩
 伊東祐義 大久保夙郎 岡屋精二 菅野正雄
 木村武雄 小林治一郎 小堀富次雄 進藤貞和
 田宮利彦 津村 隆 成富公一 中野光雄
 每熊秀雄 松田新市 松尾又一 松尾米太郎
 宗村 平 横須賀正寿
 幹事 市村宗明 前田幸夫 (以上50音順)

編集兼発行人 東京都千代田区丸の内2丁目3番地 市村宗明
 印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社
 印刷者 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 長久保慶一
 発行所 三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部
 電話 和田倉 (20) 1631
 日本出版協会会員番号 213013
 発売元 東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店
 電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018