

車両実験所と最近の研究成果概要

Outline of Hitachi Rolling Stock Laboratory and Its Recent Achievements

平 田 憲 一*
Ken'ichi Hirata

内 容 梗 概

日立製作所は1959年、電気車両に関する開発研究の推進を目的として日立研究所水戸分室として車両実験所を開設した。主要研究設備としては、電車等価実験装置、電動台車実験装置および電車自動運転実験装置などを有し、現車運転に近い実負荷状態において、各種の実験研究を行なうことができる。本文においてはまずこれら研究設備の概要を紹介し、次に最近の研究中、シリコン整流器式電気車両の無電弧連続制御、直流および交流電車の自動運転、電気車両の粘着特性改善などの開発研究の状況について概説する。

1. 緒 言

電気鉄道は誕生以来80余年、科学技術の発達とともに長足の進歩を遂げた⁽¹⁾。その間、自動車、航空機の発展による影響を受ける面もあったが、「安全にして快適なる大量高速輸送」という比類ない特長のゆえに、特にわが国のように人口稠密な都市の多い国々においては今後とも電気鉄道が重要な交通機関として発展することは疑いないものと期待される。

日立製作所は1910年創業以来、わが国電気鉄道の発達とともに歩み⁽¹⁾、1924年にはわが国の直流1,500V幹線用国産大形電気機関車第1号としてED15形電気機関車を⁽²⁾⁽³⁾、また1955年にはわが国の20kV、1φ、50c/s交流電気機関車第1号としてED901形交流整流子電動機式電気機関車⁽⁴⁾を完成したという輝かしい歴史を有しているが、電気車両の技術水準をさらに飛躍的に向上するため、1959年、日立研究所水戸分室として車両実験所(第1図)を開設した。以来その整備拡充につとめつつあったが、最近第1期計画分を完成して車両実験所としての一応の形態を整えるに至った。すなわち電車等価実験設備、電動台車実験設備、交流・直流車両実験用電源設備、列車自動制御実験設備など主要研究設備を相ついで完成するとともに、研究陣容をも次第に拡充強化し、これによって各種の交流・直流電気車両電気方式および電気装置に関する研究、台車および駆動方式に関する研究、列車自動制御に関する研究などを、実験室内において、現車運転に近い実負荷状態において行なうことが可能となった。その結果研究効率は飛躍的に向上し、シリコン整流器式電気車両の無電弧連続制御、交流および直流電気車両の自動運転など、各種新方式の開発研究は著しく促進された。本文においてはこの機会に、当実験所の主要研究設備および研究成果の概要について略述し、読者各位のご批判を仰ぎたいと思う。

2. 主要研究設備

車両実験所を計画するに当たり、まず世界各国における電気動力車発達の過程およびその動向⁽¹⁾を調査研究し、今後の進むべき方向を判断して、さしあたり研究の重点を下記三点におくこととした。

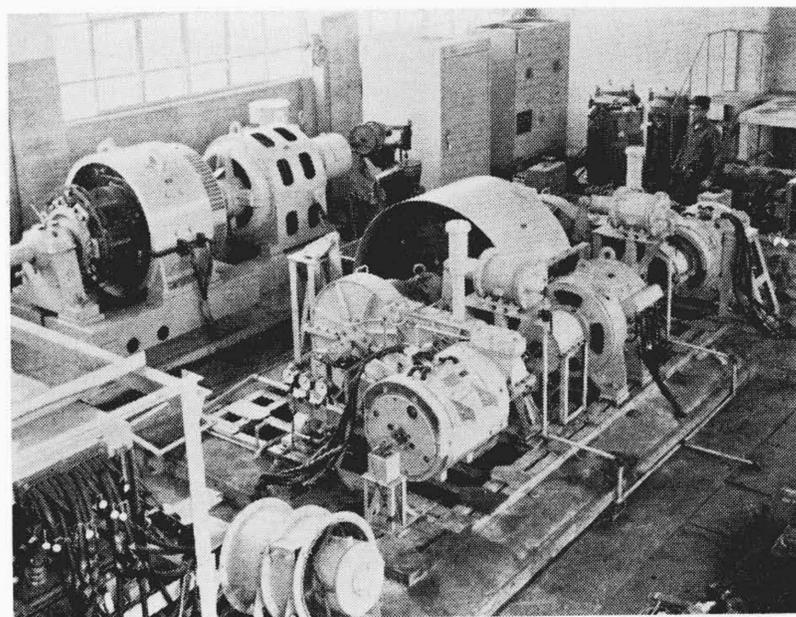
- (1) 軽量高性能電気車両に関する研究
- (2) 交流車両電気方式に関する研究
- (3) 列車自動制御に関する研究

電気車両の開発研究においては、最終的には現車試験が必要であるが、研究の段階において各種の実験を営業線上でひん繁に行なうためには多くの制約があり、特に最近のように輸送量が激増して線路容量が問題となる場合にはかなりの困難がある。したがって当実験所においては、上記いずれの開発研究においても、基礎研究のみ

* 日立製作所日立研究所水戸分室 工博



第1図 車 両 実 験 所



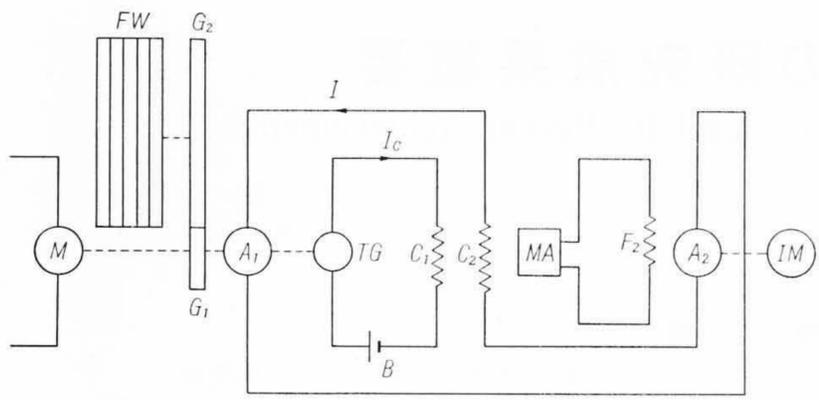
第2図 電 車 等 価 実 験 装 置

ならず、現車と同様の電氣的ならびに機械的全荷重を加え、現車運転に近い状態において実験ができるよう計画した。以上の方針に基づき、第1期計画として下記主要研究設備を設置した。

2.1 電車等価実験設備

まず電車等価実験設備を設置して、運転中の電気車両の起動・制動特性および電気機器の研究を定置状態で行ない得るようにした。電車等価実験装置⁽⁵⁾は列車重量および列車抵抗を、それぞれフライホイールの慣性モーメントおよび列車抵抗発電機の負荷で置換するように配置し、これを電車で用主電動機で駆動するようにしたもので、最近の高速電車に相当する電車重量および速度においてこれと等価的な試験が可能になっている。

本装置の外観は第2図のとおりであって、フライホール装置、駆



M: 主電動機
 G₁: 小歯車
 G₂: 大歯車
 FW: フライホイール
 A₁: 列車抵抗発電機
 TG: 速度発電機
 B: 直流電源
 MA: 磁気増幅器
 C₁C₂: 制御巻線
 A₂: 直流発電機
 F₂: 界磁巻線
 IM: 誘導電動機

第3図 電車等価実験装置主回路結線図

動装置，列車抵抗用発電機およびブレーキ装置などより成っており，列車抵抗用発電機のトルクを制御することにより，平坦線はもちろんこう配線における実験も可能である。フライホイールは鉄板組立式であって，電車重量に応じて枚数を加減し得るようにしてある。第3図は本装置の主回路結線図で，直流電源Bの電圧の大きさおよび極性を制御することにより，磁気増幅器MAを通して直流発電機A₂すなわち，列車抵抗発電機A₁の電機子電流Iを制御して列車抵抗を調整する方式である。第4図は本装置の列車抵抗の特性で，かなり広範囲に列車抵抗を調整し得ることを示している。等価実験室に隣接して制御計測室を設け，等価実験装置の運転状況を観察しながら制御計測し得るようにしてある。

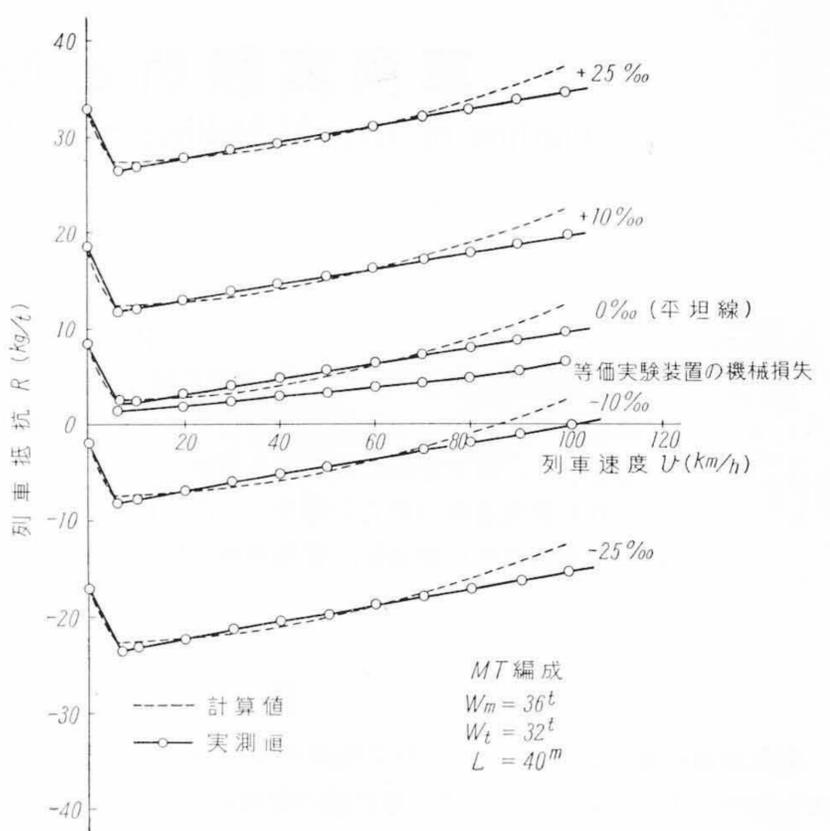
電車等価実験設備の電源として直流電動発電機のほか，特殊設計の多目的電源設備を設置した。電源用主変圧器の電圧制御方式は高圧制御・低圧制御両用とし，低圧コイルは4分割し，これを切り換えてシリコン整流器式，水銀整流器式および交流整流子電動機式のいずれにも使用できるようにしてある。

上記電車等価実験設備および多目的電源設備によって，現在世界各国において行なわれている直流および50c/s商用周波数交流方式のほとんどすべての電気車両電気方式に対して等価実験が可能となった。現在のところこのような設備は国の内外を通じて未だ発表されたのを見ない。本設備によって次のような各種の実験を行なうことができる。

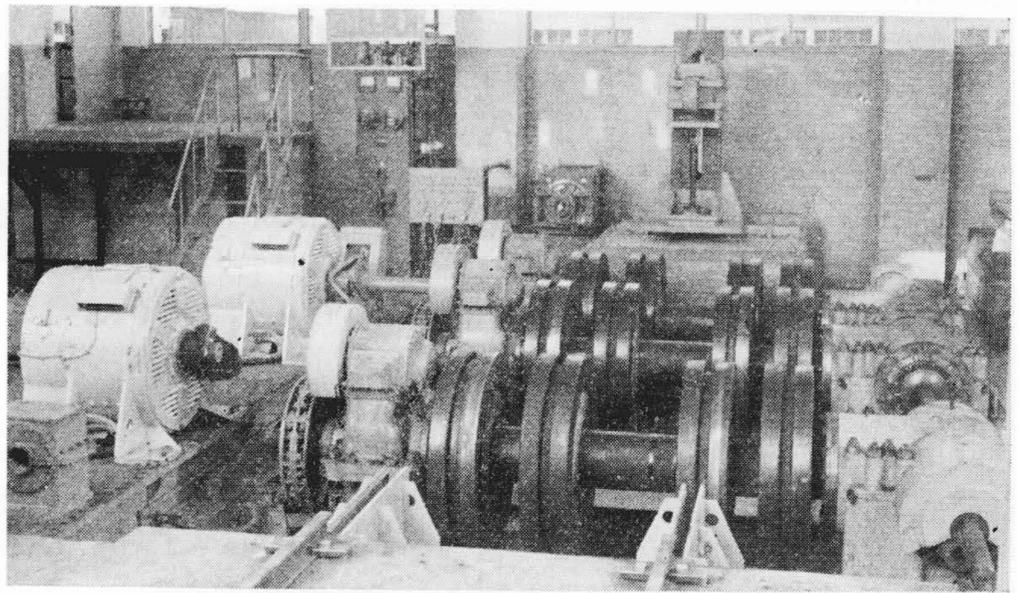
- (1) 直流・交流電車の運転特性
- (2) 直流・交流電車の起動および発電・回生制動特性
- (3) 直流・交流電車の電空併用制動特性
- (4) シリコン整流器式電気車両の制御方式
- (5) 水銀整流器式電気車両の制御方式
- (6) 交流整流子電動機式電気車両の制御方式
- (7) 電気車両用主変圧器高圧制御方式
- (8) 電気車両用主変圧器低圧制御方式
- (9) シリコン整流器および水銀整流器式電気車両の無電弧連続制御方式
- (10) 列車自動運転，列車自動速度制御および定位置停車
- (11) 直流・交流主電動機の起動・制動時の整流特性
- (12) 直流・交流主電動機の温度特性

2.2 電動台車実験設備

次に電動台車実験設備を増設して，運転中の電動台車，駆動装置および主電動機に関する研究，粘着特性改善に関する研究などを定置状態で行なえるようにした。電動台車実験装置は本設備の主体を



第4図 電車等価実験装置の列車抵抗特性



第5図 電動台車実験装置

なすもので，その外観は第5図に示すとおりである。本装置は連結軸によって連結された3軸の軌条輪，駆動用電動機，動力吸収用発電機，けん引力測定装置，つかみ装置およびブレーキ装置を主体とし，実験台車を軌条輪の上に載せて電氣的ならびに機械的に実負荷をかけて運転するようにしたもので，軌間1,000-1,067-1,435 mm，1動軸出力600 kWの2軸および3軸台車を，最高速度250 km/hで運転することができ，また偏心軌条輪で使用して振動状態での実験をも行なうことができる。この装置はさきに日立製作所亀有工場で作製し，国鉄技術研究所へ納入した車両試験台⁶⁾とともに国内屈指の台車研究設備であるが，特に本装置は，2軸のみならず，3軸台車の研究もできるようにしたこと，動力吸収装置を電気式とし，動力吸収発電機と駆動電動機とを共用にしたこと，保守点検が容易な構造にしたこと，および直流車両のほか，各種交流車両の実験も行なえるようにしたこと，さらに電車等価実験装置と電氣的に接続することによって列車抵抗を加減し得ることなどの諸点において大なる特長があり，世界的にも類例のないものとする。台車実験室においてもこれと隣接して制御計測室を設け，電動台車実験装置の運転状況を監視しながら制御計測できるようになっている。

本装置の電源は前述の電車等価実験設備と共用にしてある。上記電動台車実験設備，電車等価実験設備および多目的電源設備を併用

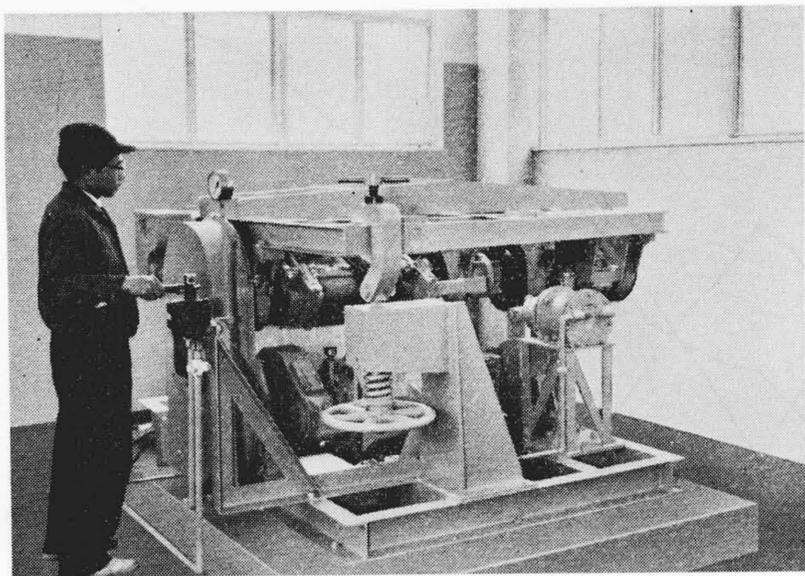
することにより、直流および50c/s商用周波数交流方式のほとんどすべての方式に対し、次のような各種の実験を行なうことができる。

- (1) 台車の振動特性
- (2) 台車の動的応力
- (3) 台車の走行抵抗
- (4) 台車の性能
- (5) 台車の粘着特性および空転検知
- (6) 電源、主電動機、台車、駆動装置および制御装置を総合した粘着特性改善
- (7) 運転中の駆動装置の特性
- (8) 走行中の振動が主電動機整流に及ぼす影響
- (9) 電動台車実験装置と電車等価実験装置との併用による現車運転に近い状態における列車自動運転および各種起動・制動制御

電動台車実験装置の付属装置として、粘着試験機(第6図)および駆動装置試験機(第7図)を設置した。前者は種々の軸重、速度、接触面の状態に対する静的ならびに動的粘着係数および空転特性などの基礎研究用として設置したもので、最大軸重5t、最高速度40km/h、動輪および軌条輪直径500mm、駆動電動機および動力吸収発電機はそれぞれ25kW、電空併用制動式である。後者は駆動装置のほか、歯車のかみあい、歯車箱内の油の挙動などの研究用として設置したもので、駆動電動機および動力吸収用発電機はともに100kWである。

2.3 列車自動制御実験設備

前述の電車等価実験設備および電動台車実験設備を組み合わせ、列車自動制御に関する各種の実験を行なうために、自動運転実験設備と信号用電源設備とを設置した。主体となる列車自動運転実験装置(HITATO-101)は、さん孔テープ式車上プログラム方式であっ



第6図 粘 着 試 験 機



第7図 駆 動 装 置 試 験 機

て、列車の走行位置における速度および時間を、それぞれの基準値と比較して自動制御し、所定の運転ダイヤどおりに駅間自動運転や定位置停車を行なうもので、地上信号に連動して自動速度制限を行なうこともできる。第8図はHITATO-101の外観を示す。信号用高周波電源としては、400c/s~60kc/sの高周波発電機およびトランススタ発振器など各種電源装置を設備してある。

列車自動制御の実験は、普通は上記の自動運転実験設備と、前記の電車等価実験設備とを組み合わせを行なうのであるが、必要な場合にはさらに前述の電動台車実験設備を併用することにより、動輪の空転、列車抵抗の変化、振動などを考慮に入れて、現車運転に近い状態において、各種列車自動制御の実験を行なうことができる。これも当実験所の大きな特長の一つである。これらの実験設備によって直流および交流電車に対し次のような各種の実験を行なうことができる。

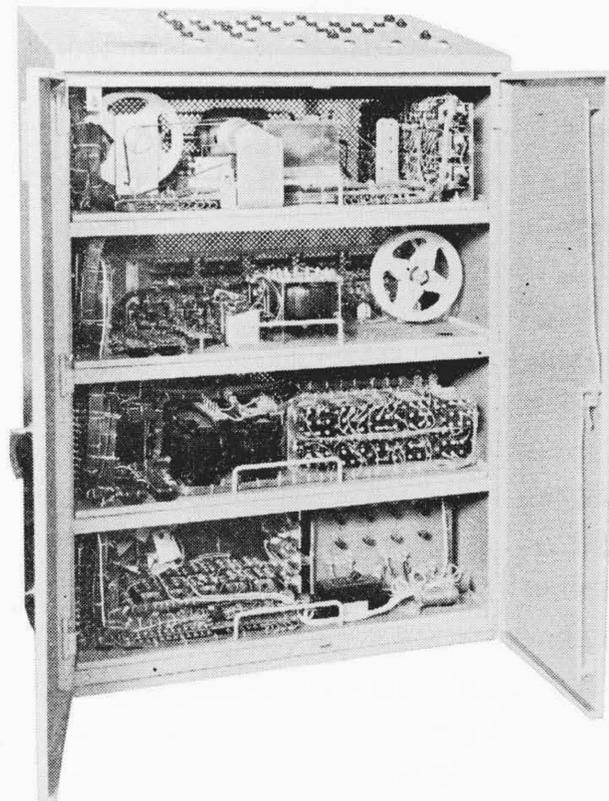
- (1) 車上プログラムによる駅間自動運転
- (2) 地上信号に連動した自動速度制限
- (3) 定 位 置 停 車
- (4) 列 車 自 動 停 止
- (5) 電空併用ブレーキの自動制御
- (6) 地上プログラムによる駅間自動運転
- (7) 給電線を利用した連続式列車自動制御
- (8) 移 動 閉 そ く

3. 主要研究成果

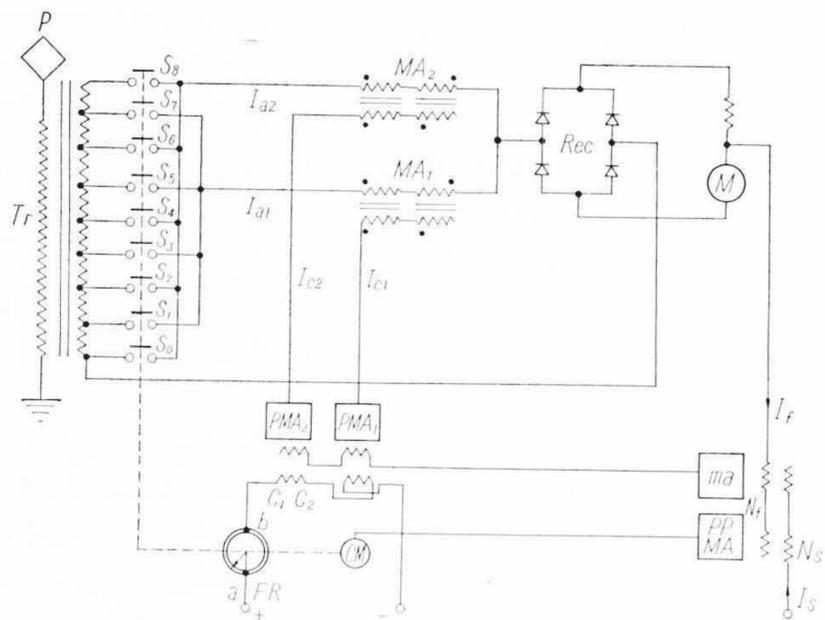
車両実験所は開設せられて以来日はなお浅いが、関係工場の協力を得て電気車両の開発研究を強力に推進し、多くの注目すべき成果をあげることができた。以下最近における主要研究の二、三について概説する。

3.1 可飽和リアクトルによるシリコン整流器式電気車両の無電弧連続制御方式の研究

交流車両の制御方式としては古くから高圧制御・低圧制御の両方式が行なわれてきたが⁽¹⁾、それぞれ一長一短がある。すなわち高圧制御においては、制御段数を多くとることができるが、電圧変動率が大きく、特に絶縁に関して種々問題があり、一方低圧制御においては、電圧変動率は小さいが制御段数が少なく、特に大電流開閉に



第8図 さん孔テープ式列車自動運転実験装置
HITATO-101

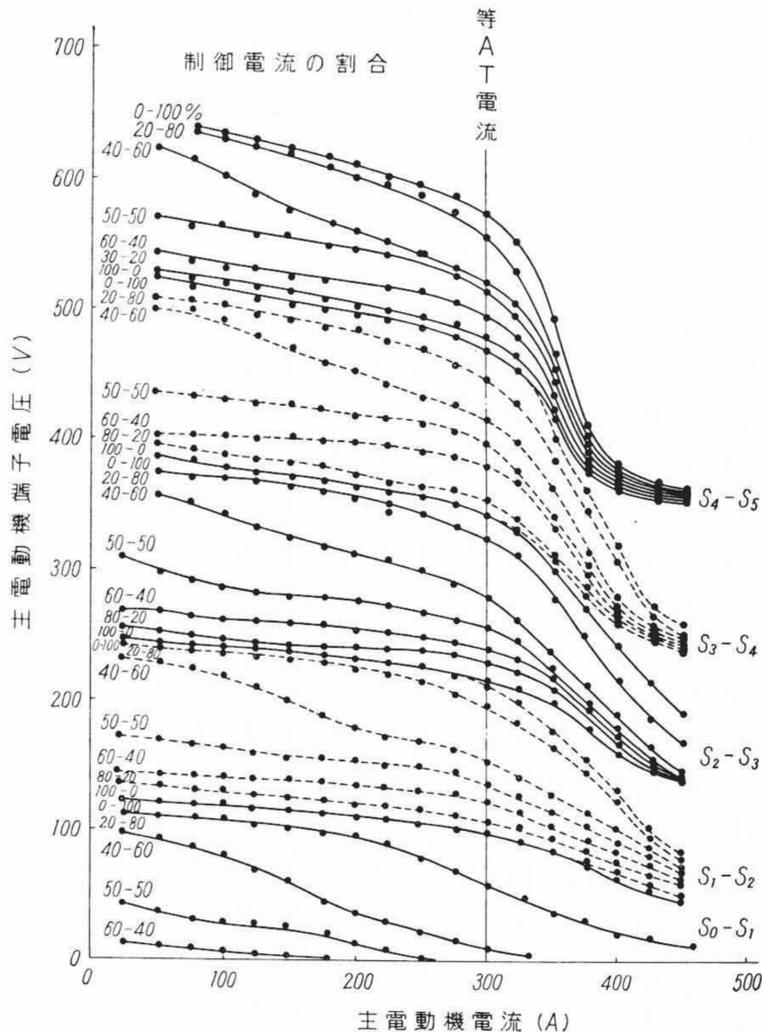


- P: パンタグラフ
- Tr: 主変圧器
- S₀~S₈: カム接触器
- MA₁, MA₂: 可飽和リアクトル
- PMA₁, PMA₂: 前段磁気増幅器
- ma: 電圧調整用磁気増幅器
- PPMA: プッシュプル磁気増幅器
- CM: カム電動機
- FR: しゅう動抵抗器
- Rec: シリコン整流器
- M: 主電動機

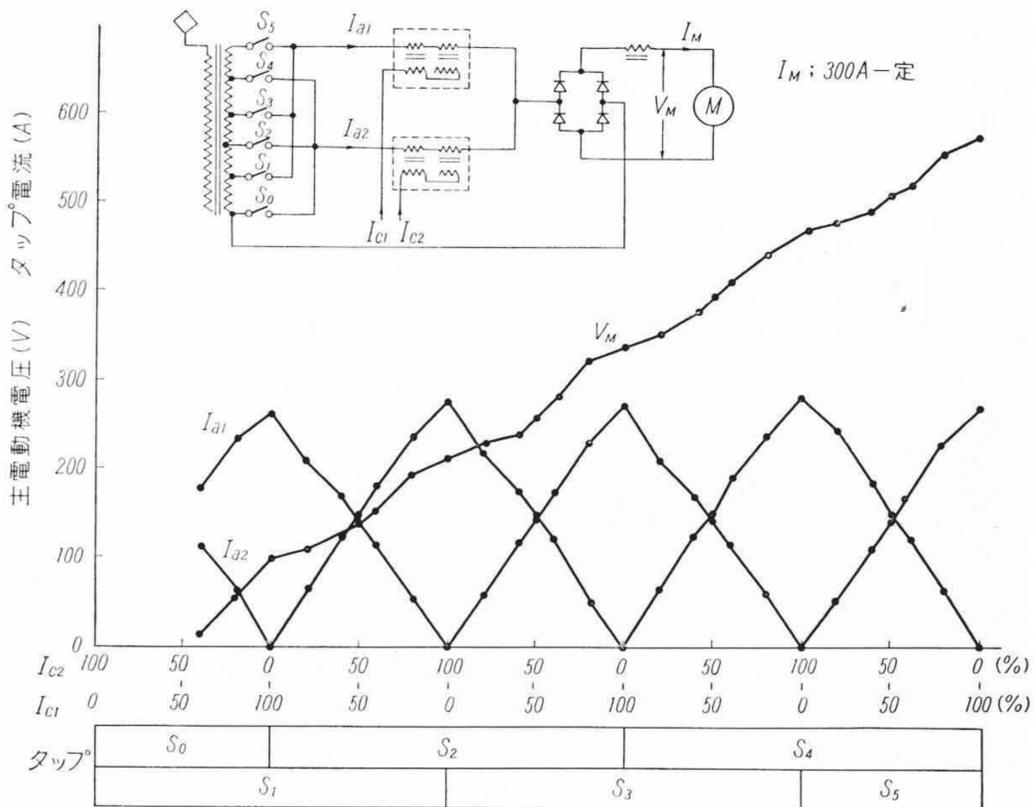
第 9 図 無電弧連続制御方式説明図

伴う問題があって、いずれの方式においてもそれぞれ改善のために多くの努力が傾注された。もし低圧制御方式において無電弧連続制御が可能になれば、高粘着性能を得るため電圧変動率の小さい連続制御を必要とするシリコン式電気機関車、自動運転を採用するため高ひん度の主回路開閉および連続速度制御を必要とするシリコン式高速電車で好適な、保守点検を要することの少ない優秀な交流車両制御方式が得られる。このような見地より当車両実験所においては、1961年可飽和リアクトルを使用した無電弧連続制御方式⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾の研究に着手し、基礎実験に成功した。

第 9 図は本方式の説明図である。主変圧器二次側のタップとシリコン整流器との間に 2 組の可飽和リアクトル MA₁, MA₂ を接続し、その制御電流を連続制御して飽和度を交互に増減することにより、主電動機電流を交互に分担するようにし、これによって主変圧器の無電弧タップ切換および主電動機電圧の連続制御が行なわれる方式である。可飽和リアクトル MA₁, MA₂ の制御電流はそれぞれ前段磁気増幅器 PMA₁, PMA₂ によって制御せられ、PMA₁, PMA₂ の制御電流は、カム軸に連動されたしゅう動抵抗 FR によって制御される。カム軸の最初の位置においては S₀ および S₁ スイッチがはいり、MA₁ は非飽和、MA₂ は飽和となっているので、主電動機 M には電流は流れない。カム軸が回転すると MA₁ は飽和、MA₂ は非飽和となり、S₁ より MA₁ を通じて主電動機に電流が供給される。この位置において S₀ が切れ S₂ が入るが、MA₂ は非飽和であるからほとんど電流は流れない。さらにカム軸が回転すると MA₁ は非飽和、MA₂ は飽和となり、MA₁ の電流は MA₂ に移行し、主電動機電流はほとんどすべて S₂-MA₂ を通じて供給されることとなり、S₁-MA₁ にはわずかな励磁電流が流れるのみである。この状態で S₁ が開くので、S₁ はほとんど電流を切ることはなく、無電弧切換が行なわれる。以下同様にして S₃ 入 S₂ 切、S₄ 入 S₃ 切と進み、S₈ に至って主電動機に最高電圧が加えられる。以上はノッチ進めの場合であるが、ノッチ戻しの場合も同様である。このようにして無電弧連続制御が行なわれる。

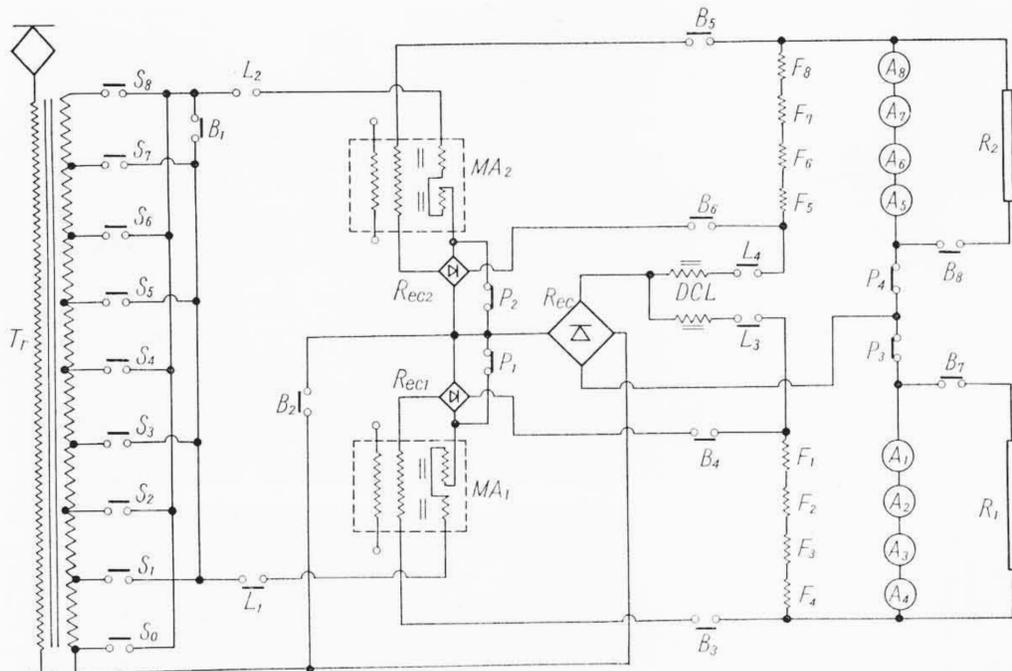


第 10 図 電圧電流特性



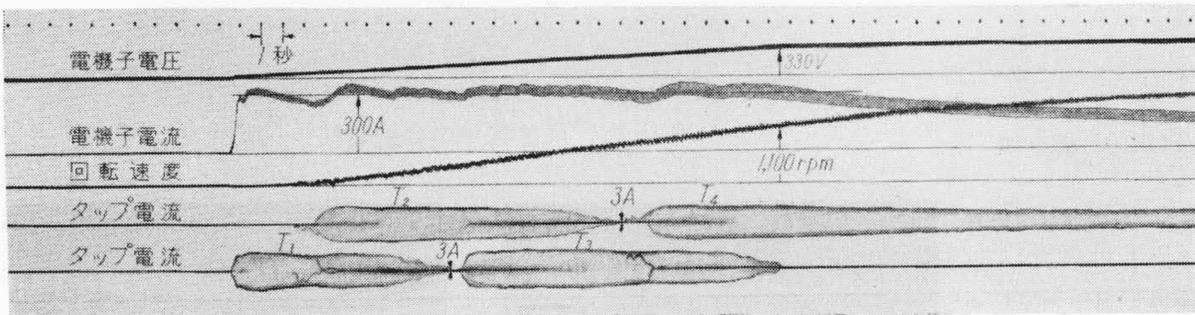
第 11 図 制御電流比率とタップ電流および電動機電圧との関係

第 10 図は 700 V, 5 タップの主変圧器と、200 V, 500 A の可飽和リアクトルを用いて実験した場合の電圧電流特性で、主電動機最大電流を等アンペア・ターン電流以下に設定しておけば、制御電流比率を連続的に変化することにより、電動機端子電圧を連続的に制御し得ること、および電圧変動率が小さく、特に低ノッチにおける電圧降下は従来の高圧制御方式に比して著しく小であり、粘着特性改善に有利なことを示している。また同時に等アンペア・ターン電流以上の過負荷電流に対しては、可飽和リアクトルが電流制限作用を有しており、この点においてもシリコン整流器式電気車両に好適なことを示している。第 11 図は制御電流比率とタップ電流、電動

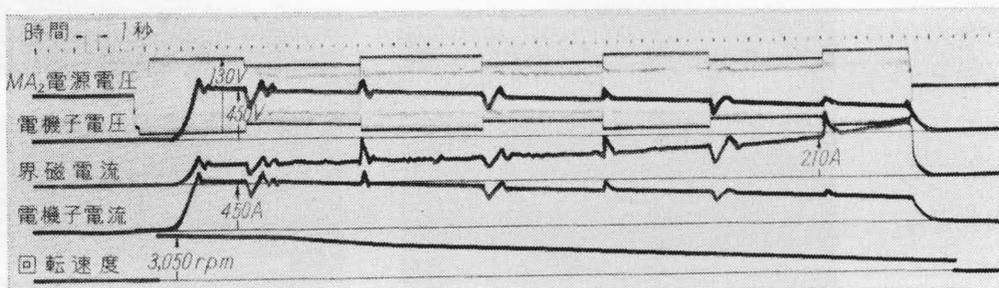


Tr: 主変圧器
 MA₁, MA₂: 磁気増幅器
 Rec₁, Rec₂: 帰還整流器
 Rec: 主整流器
 DCL: 直流リアクトル
 A₁~A₈: 主電動機電機子
 F₁~F₈: 同上界磁巻線
 R₁, R₂: 制動抵抗
 L₁~L₄: 断流器
 S₀~S₈: タップ開閉器
 P₁~P₄: 力行用開閉器
 B₁~B₈: 制動用開閉器

第12図 無電弧低圧タップ切換起動・界磁制御発電制動主回路結線図



第13図 無電弧連続制御による起動オシログラム



第14図 発電制動オシログラム

機電圧の関係を示す実験結果で、タップ電流がほとんど零の状態
 で、すなわち無電弧でタップ切り換えが行なわれていること、および
 主電動機端子電圧が連続的に制御されていることを示している。

また発電制動を採用する場合には、第12図のように、起動時に
 使用した可飽和リアクトル MA₁, MA₂ を大容量磁気増幅器として
 使用し、これによって主電動機の界磁を励磁して制動力一定の自動
 制御⁽⁵⁾を行なうことも可能である。

上述の無電弧連続制御方式を採用した電動機操作式カム軸制御
 器を試作し、100 kW, 375 V, 300 A, 1,300 rpm の主電動機および前
 述の電車等価実験装置を使用して起動および発電制動試験を行な
 った場合のオシログラムを第13図および第14図に示す。起動時に
 おいては、前段磁気増幅器 PMA₁, PMA₂ の制御電流を無接点限流継
 電器 PPMA とカム軸制御器とによって制御し、主電動機を停止状
 態から定格速度まで一定起動電流で自動加速した。切換時のタップ
 電流はオシログラムに示すように 3 A 以下で、確実に無電弧タップ
 切り換えが行なわれている。また制動時においては、3,000 rpm から
 800 rpm まで自動制御により設定値どおりの一定制動トルクで減速
 することができた。第14図は設定値を急変した場合のオシログラ
 ムで、制動電流は1秒以内で安定に変化している。

なお起動時、動輪が空転した場合は、第
 9図のように磁気増幅器 ma および PPMA
 により主電動機の電機子電圧の上昇を抑止
 するように自動制御して空転速度を微小空
 転の範囲に制限し、確実に再粘着させるこ
 とによって、さらに粘着特性を改善するこ
 とができる。これについては後述する。

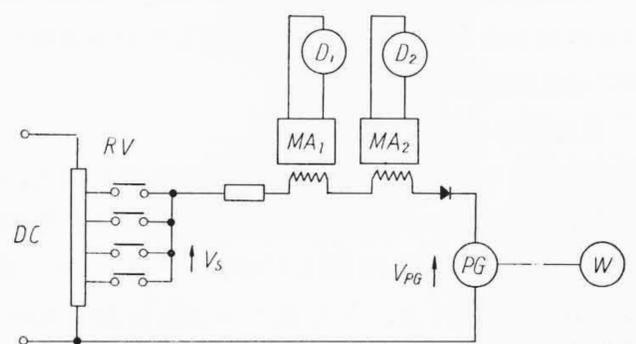
上述のように本方式を採用することによ
 り、シリコン電気機関車および電車の無電
 弧連続制御が可能となり、優秀な起動およ
 び制動特性をうるとともに、保守費の減少
 を期待することができる。

3.2 車上演習式列車自動運転方 式の研究

列車自動制御は1923年アメリカにおい
 て連続誘導式が開発されて以来、主として
 地上信号に連動した速度制御装置、すなわ
 ち ATC 装置として発達したが、1950 年以
 降運転の安全性のみならず、輸送効率の向
 上を目的とした自動運転方式⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ の研究
 が行なわれるようになった。しかるに列車
 自動運転においては、電車線電圧の変動、
 気象および荷重の変化など運転条件が絶え
 ず変動するにもかかわらず、列車ダイヤど
 おりの定時運転が要求され、一方電気鉄道
 特有のサージ電圧、振動にも十分耐える高
 信頼性のものとする必要があるため、現在
 のところ世界的にもまだ研究の段階で、実
 用されるに至っていないようである。

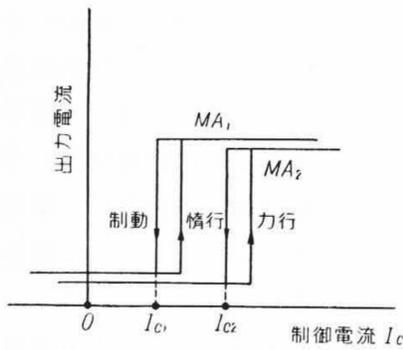
日立製作所日立研究所車両実験所におい
 ては、簡単確実で信頼性が高いことに重点
 をおいて、1960 年から磁気増幅器式速度比
 較方式を採用した新しい方式⁽¹²⁾ の開発研
 究を推進し、定位置停車を含むテープ式車
 上演習式自動運転方式⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾ を開発
 し、電車等価実験装置による実験に成功し
 た。

第15図は磁気増幅器速度比較式列車自動制御方式の原理を示す
 ものであって、基準速度電圧と列車速度電圧とを、跳躍特性をも
 った磁気増幅器によって比較し、自動制御する方式である。磁気増
 幅器 MA₁, MA₂ の特性は第16図のように調整されている。それゆえ
 列車速度が基準速度より低いときは、MA₁, MA₂ の制御電流 I_c は I_{c2}
 より大となり、MA₁, MA₂ はともに出力を出すので、継電器 D₁, D₂
 はともに励磁され列車は力行する。列車速度が上昇すると I_c は減少

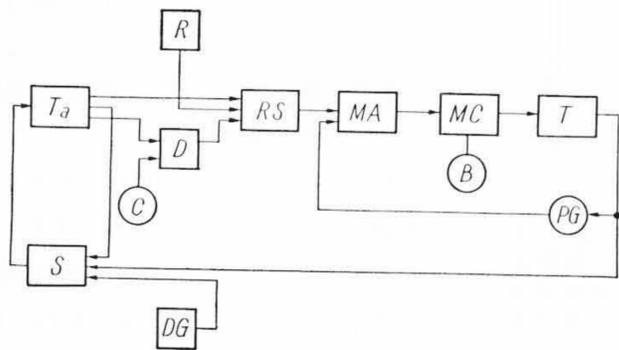


DC: 直流電源
 RV: 基準電圧発生装置
 Vs: 基準電圧
 MA₁, MA₂: 磁気増幅器
 D₁, D₂: 継電器
 W: 車輪
 PG: パイロット発電機
 VPG: 列車速度電圧

第15図 磁気式列車自動制御の原理



第 16 図 磁気増幅器の特性



- | | | |
|-------------------------|-----------|---|
| T _a : さん孔テープ | T: 列車 | 車 |
| R: 車内信号受信装置 | PG: 速度発電機 | 機 |
| RS: 基準速度発生装置 | S: 伝達部 | |
| MA: 速度比較磁気増幅器 | C: 時計 | |
| MC: 主制御器 | D: 検出部 | |
| B: 制動装置 | DG: 地上検出部 | |

第 17 図 列車自動運転実験装置 HITATO-101 構成図

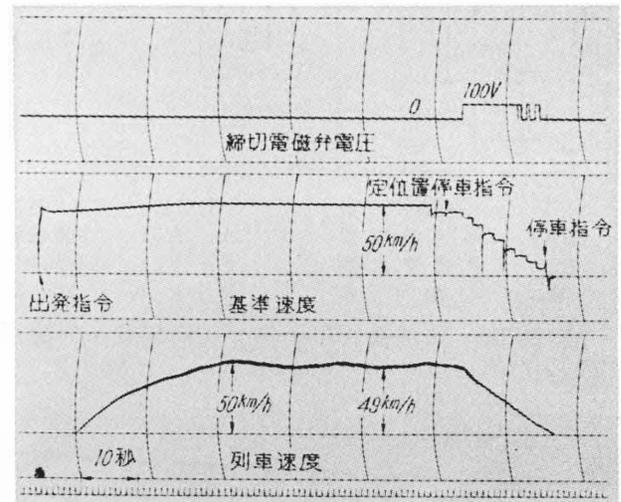
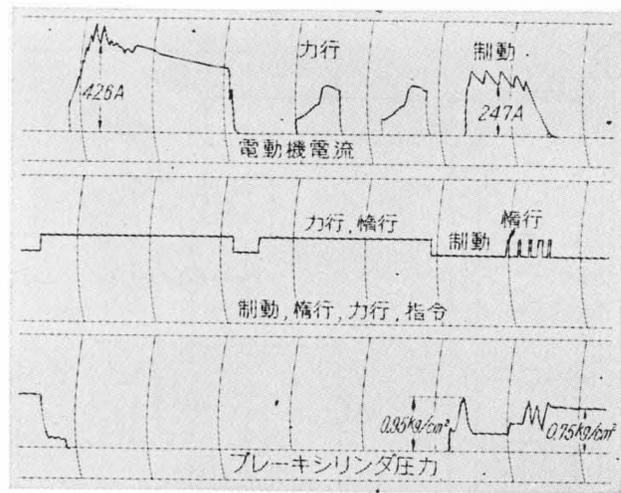
し、 I_{c2} に達すると MA_2 の出力はほとんど零となり、 D_1 は消磁され列車は惰行する。ある速度まで減速すると I_c は増大し再び力行となる。惰行のとき列車速度が基準速度に比して高くなると、 I_c は減少して I_{c1} に達し、 MA_1, MA_2 の出力はともに零となり、 D_1, D_2 ともに消磁されて制動がかかる。

第 17 図は運輸省の試験研究補助金を得て試作したさん孔テープ式列車自動運転実験装置 HITATO-101 の構成図で、上述の磁気増幅器速度比較方式が採用されている。基準速度はさん孔テープにより、制限速度は車内信号によって与えられる。信号現示が進行の際は、テープ指令どおりの自動運転を行ない、定位置停車の指令によってあらかじめ設定された減速曲線に従い発電制動および空気制動が自動制御せられて減速し、定位置に停車する。

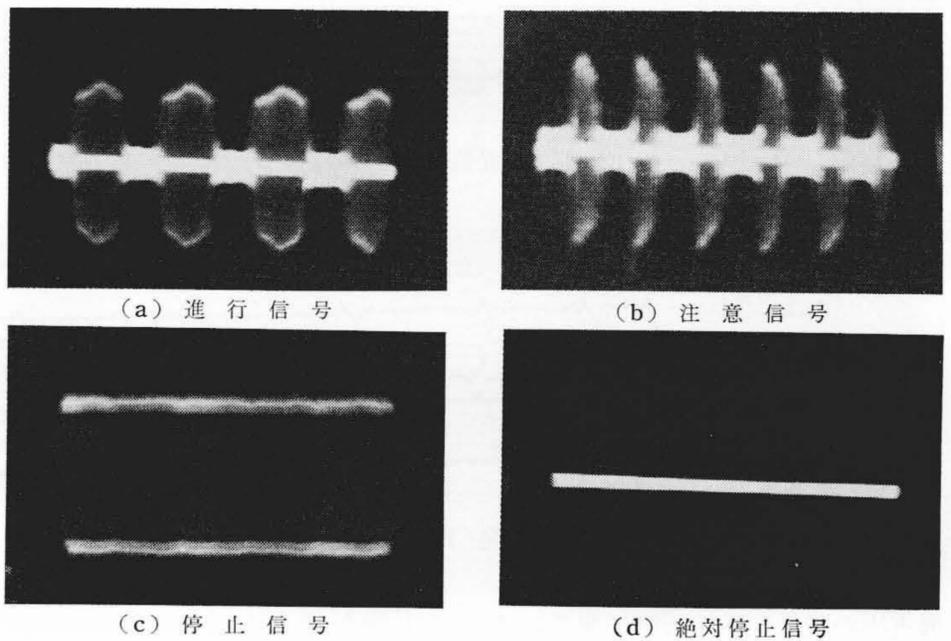
テープリーダの駆動軸はシンクロ送受信機を介して車軸から回転されるようになっているが、車輪径の誤差や車輪の空転などによって生ずるテープ送りの誤差を補正する必要がある。このため閉そく区間の入口である時間テープ送りを停止し、その時間内において距離を補正する方式の距離補正装置を開発した。また電車線電圧の変動、気象および荷重の変化など運転条件の変化のため、時間的にプログラムからはずれることがあるので、プログラムによる列車走行予定時間と時計による実際の経過時間とを比較し、その差の大小によって基準速度を加減して列車速度を調整する方式の時間補正装置を開発した。

3.2.1 直流電車の自動運転

上記試作装置を電車等価実験装置と組み合わせて、駅間距離 1 km、最高速度 65 km/h、加減速度 3 km/h/s として列車自動運転の実験を行なった。第 18 図はそのオシログラムの一例である。発車の押ボタンを押すと、さん孔テープから 50 km/h の基準速度の指令が与えられ、列車は加速して 50 km/h に達した後、50~49km/h の間において力行、惰行を反覆し、列車速度がほぼ 50km/h 一定に保持されている。列車が駅に近づいてテープから定位置停車の指令を受けると、基準速度は予定の制動曲線に沿って次第



第 18 図 直流電車の自動運転オシログラム

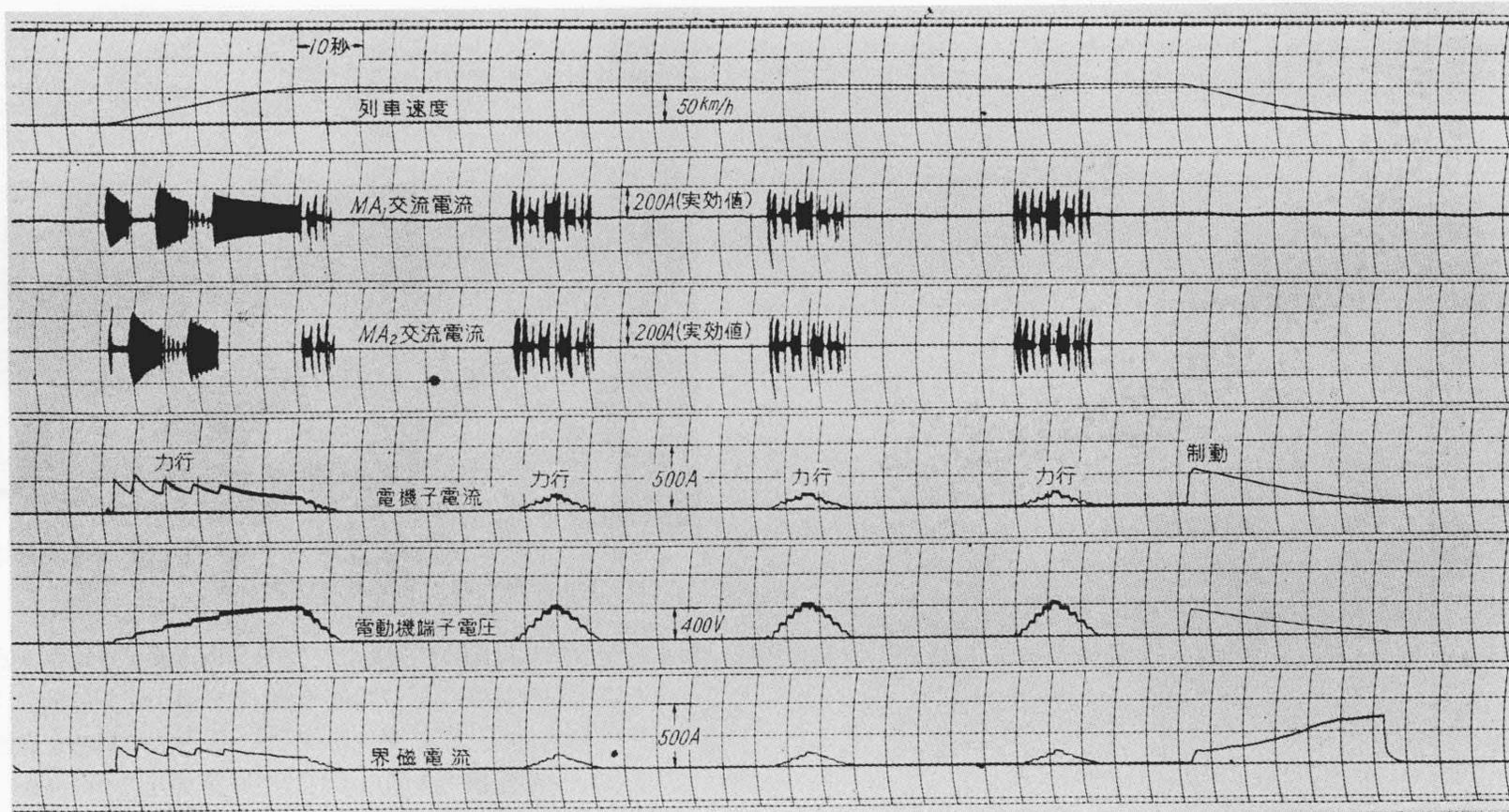


第 19 図 磁気変調器振幅変調出力波形

に低下し、電気ブレーキ、ついで空気ブレーキの自動制御が行なわれ、定位置に停車する⁽¹⁵⁾。空気ブレーキの自動制御にはかなり苦心したのであるが、停車位置のバラツキは ± 0.5 m 以内で、良好な成績を修めることができた。

このオシログラムは運転中信号現示が進行信号の場合であるが、もし信号現示がたとえば注意信号に変わると、それに相当した速度まで自動的にブレーキがかかり速度が制限される。すなわちいかなる場合においても信号現示が優先し、その許容速度範囲内において自動プログラム運転が行なわれるようになっている。

車内信号方式としては、軌道に信号電流を送りこれを車上で受信するいわゆる連続誘導式が多く使用せられているが、われわれはその送信機として磁気変調器を使用する方式⁽¹⁶⁾を開発した。本器は搬送周波電源を交流電源とし、変調周波電源を制御電流とした可飽和リアクトルであるから信頼性はきわめて高く、1種類の変調周波電源により合計 4 種類の信号を得ることができる。第 19 図はこの送信機の出力波形を示すものである。



第20図 無電弧連続制御式シリコン電車の自動運転オシログラム

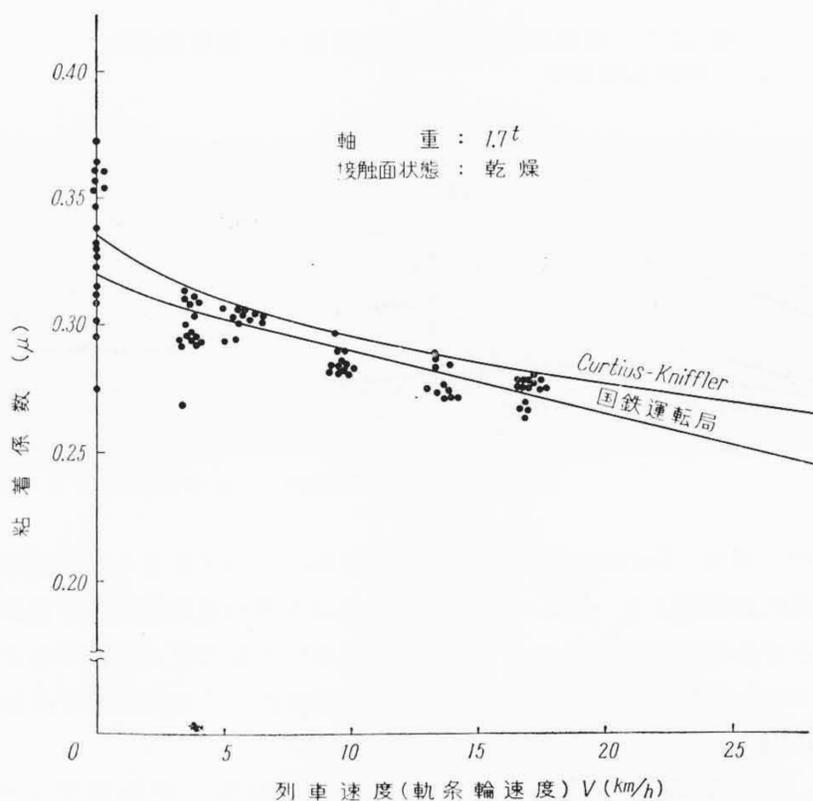
3.2.2 無電弧連続制御方式を採用した交流電車の自動運転

前述の無電弧連続制御を採用したシリコン整流器式交流電車に対しても同様に自動運転方式を適用することができる。これによって主変圧器低圧タップ切換用のスイッチのみならず、断流器も微小電流を遮断するのみとなり、主接触子の電弧による損傷は著しく減少するので、保守に手数を要することの少ない自動運転方式を得ることができる。

第20図は電車等価実験装置による無電弧連続制御シリコン整流器式電車の自動運転のオシログラムの一例である。50 km/hの基準速度が与えられると無電弧連続制御によって自動起動し、速度が上昇して基準速度に達するとノッチ戻しが行なわれ、速度がやや低下すると再びノッチが進み、これを反覆して速度はほぼ50 km/h一定に保持されている。この間タップ切り換えおよび主回路遮断はすべてほとんど無電弧に近い小電流で行なわれている。制動の指令が与えられると主回路は磁気増幅器励磁式発電制動に切り換えられて減速する。定位置停車に関しては直流電車の場合と同様である。

3.3 電気車両の粘着特性改善の研究

電気車両の性能において粘着特性は重要なものの一つであって、特に最近の軽量高性能電気機関車の日ざましい発達には粘着性能の発達と見ることもできる⁽¹⁾。すなわち発達の初期1900年頃における電気機関車比重量(自重を連続定格で除したものは80 kg/HP以上もあったものが、技術の進歩に伴い次第に低下して1960年頃には20 kg/HP程度となった。したがってこの間粘着性能の改善、すなわちいかにすれば軽い自重において大なるけん引力を発生させることができるかについて早くから研究が行なわれ、1930年頃には早くも欧州において空気式軸重移動補償方式、続いてFein reglerなどの多段階制御方式による電気式粘着特性改善方式が出現した。1950年以降になって歯車連結駆動方式を採用した1台車電動機式⁽¹⁷⁾などの機械的改善方式も開発されたが、特に自動制御の発達に伴い電気式に大なる進歩が見られたのである。また高速電車においても、最近ではM-T編成に対しても高加減速度が要求されるため粘着特性が問題となって、各種の多段階制御方式⁽¹⁸⁾が行なわれるに至り、さらに優秀な方式の出現が待望されている。



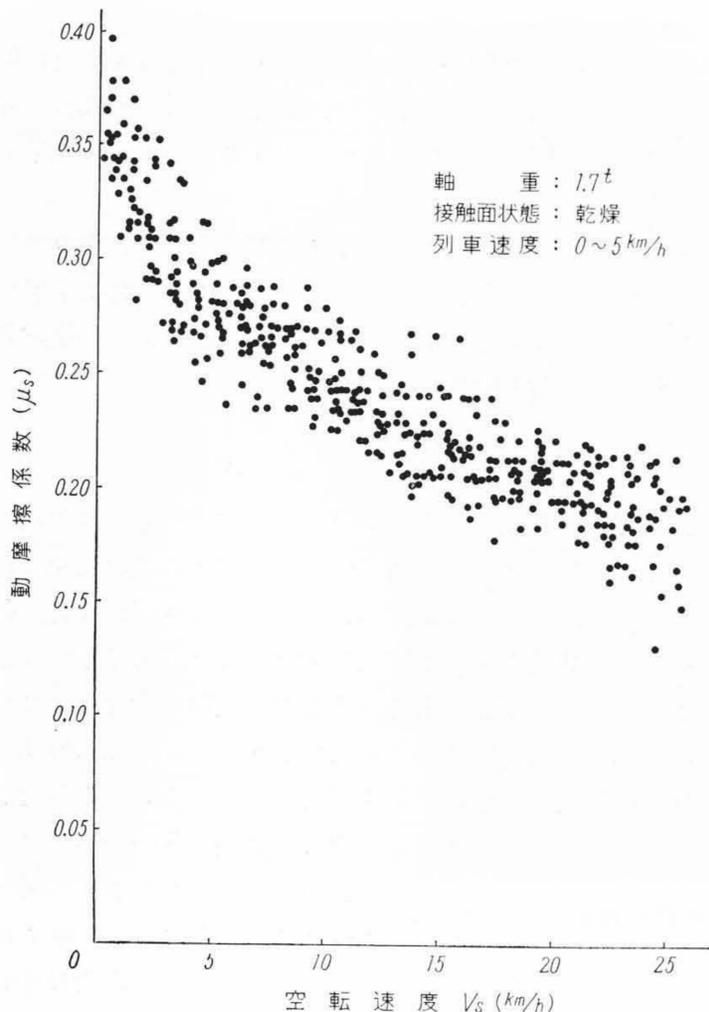
第21図 粘着試験機による列車速度(軌条輪速度) —粘着係数特性実験結果

かかる現状にかんがみ、わが国においても最近粘着特性改善の研究が各方面において採り上げられるに至った⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。当実験所においては粘着現象に関する基礎研究のみならず、電気機関車および高速電車用電動台車を含む実用機による粘着特性改善の研究を強力に推進しつつある。

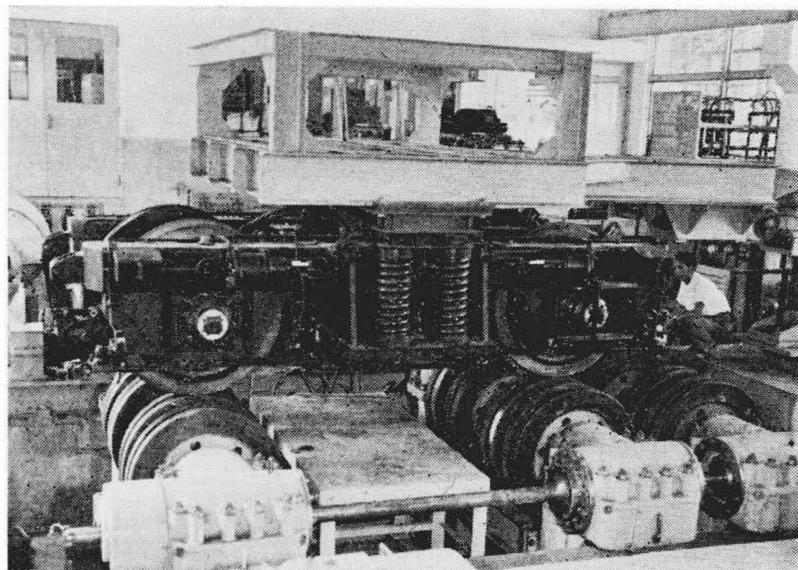
3.3.1 粘着試験機による基礎研究

粘着性能の改善をはかるためには、まず基礎研究として粘着現象、特に微小空転より大空転への発展過程および再粘着の機構について研究することの必要なことはいうまでもない。当実験所においてはこれらの目的に対し、まず粘着試験機を設置して基礎実験を開始した。

第21図は軸重1.7t、接触面乾燥状態、速度0~17 km/hにおける列車速度(軌条輪速度)と粘着係数との関係を示す実験結果



第 22 図 粘着試験機による空転速度—動摩擦係数特性実験結果



第 24 図 電動台車実験装置による ED 71 形電気機関車用 DT 114 A 形台車の粘着特性実験状況

形水銀整流器式機関車に対して、主電動機電機子電圧を一定に制御する電圧制御装置によって空転速度を微小空転に制限する方式⁽²⁰⁾⁽²¹⁾を開発し、好結果を取めた。今回この構想を発展させて、シリコン整流器式機関車に対して好適な方式の開発研究を行ない、前述の無電弧連続制御方式に AVR を付加した方式を適用することによって、これまた優秀な成果を取めうる見透しを得た。

無電弧連続制御方式は前述のように、特に起動低速時、すなわち低タップにおける電圧変動率が小さく、同時に主電動機端子電

圧を連続的に制御し得るために、空転時再粘着に対してきわめて有利であるという大きな特長を有しているが、さらにこれに AVR を併用して空転時可飽和リアクトルを制御して、主電動機端子電圧の上昇を抑制することにより、確実に自動的に再粘着せしめることが可能となり、粘着特性を著しく向上することができた。

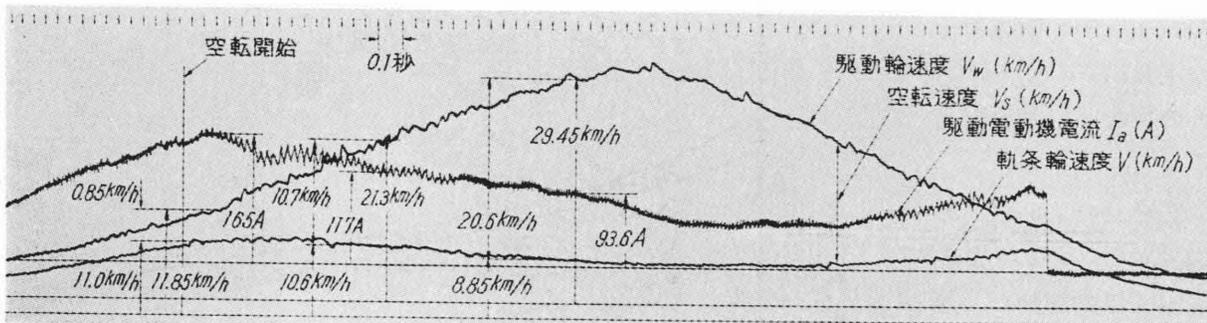
以下低圧タップ切換無電弧連続制御方式と高圧タップ切換制御方式とによる空転特性を、同一条件で比較した実験結果について述べる。

試験条件

- | | |
|----------|---------------------------|
| (1) 供試台車 | ED 71 形電気機関車用 DT 114 A 台車 |
| (2) 実験設備 | 日立研究所車両実験所電動台車実験設備 |
| (3) 軸重 | 約 8 t |
| (4) 主電動機 | 1 台分最大電流 約 850 A |
| (5) 電源機器 | 1,000 kVA 高圧制御・低圧制御両用変圧器 |
| | 300 kW シリコン整流器 |
| | 3.4 mH, 510 A 平滑リアクトル |
| | 200 V, 500 A 可飽和リアクトル |

第 24 図は粘着特性実験状況を示すもので、ED 71 用 DT 114 A 台車を前述の電動台車実験装置に載せ、高圧制御・低圧制御両用の多目的変圧器と、シリコン整流器を電源とし、軌条輪をロックして主電動機電流を次第に増大して空転を生ぜしめ、空転時の主電動機電流、端子電圧、速度を記録した。この場合、空転による軌条輪の損傷を最小限度に止めるため軸重は約 8 t として実験した。

第 25 図は低圧無電弧連続制御（等価電圧降下率 6%）の場合の動輪の空転速度および主電動機電流を示すオシログラムの一例である。空転発生時、主電動機端子電圧が上昇しようとする時、前述の第 12 図に示した磁気増幅器 ma がただちに前段磁気増幅器



第 23 図 粘着試験機による空転特性オシログラム

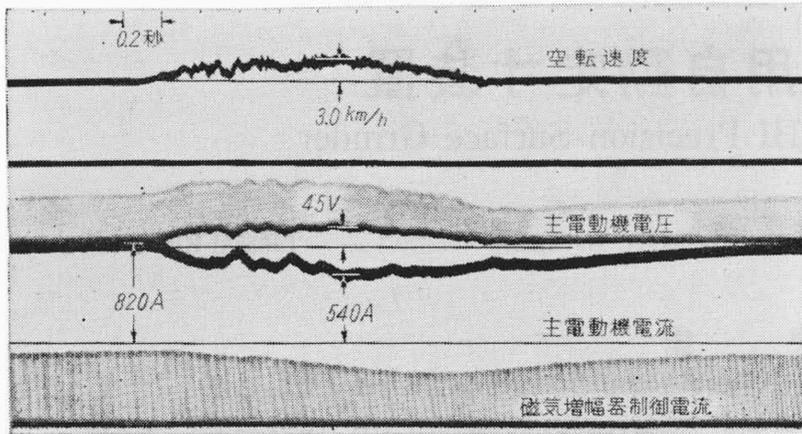
の一例で、Curtius-Kniffler, 国鉄運輸局によって与えられた実験式に比較的よく一致している。軌条輪は専用の電動発電機を電源とする他励電動機によって、各列車速度に対して定速運転するようにし、動輪は直巻電動機によって駆動され、その回転力を次第に増大して空転を生ぜしめたものである。

また第 22 図は低速時 0~5 km/h において、空転速度 0~25 km/h とした場合の空転速度と動摩擦係数との関係を示す実験結果である。

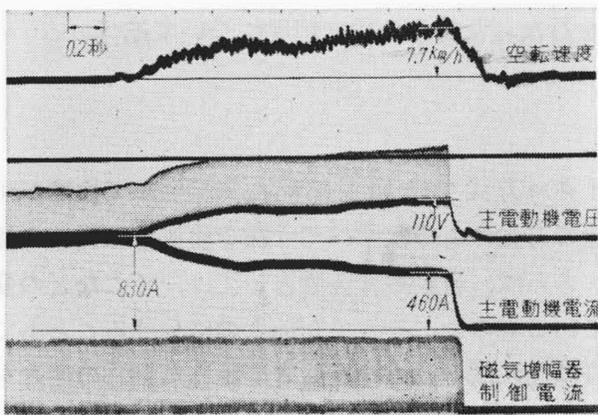
第 23 図は運転時において、微小空転より大空転に発展する過程を示すオシログラムの一例である。すなわち約 10 km/h にて運転中動輪駆動電動機の電流を次第に高め回転力を増大すると微小空転が次第に増大し、空転速度が約 1 km/h に達するまでは主電動機電流すなわち引張力は次第に増大するが、空転速度が約 1 km/h 以上になると引張力が減少し始める。この臨界空転速度ともいべき引張力の減少し始める速度は個々の場合において相異なるものと思われるが、いずれにしても粘着性能向上のためには、空転速度を微小空転の範囲内に止むべきことを示している。

3.3.2 シリコン整流器式電気機関車の粘着特性改善方式

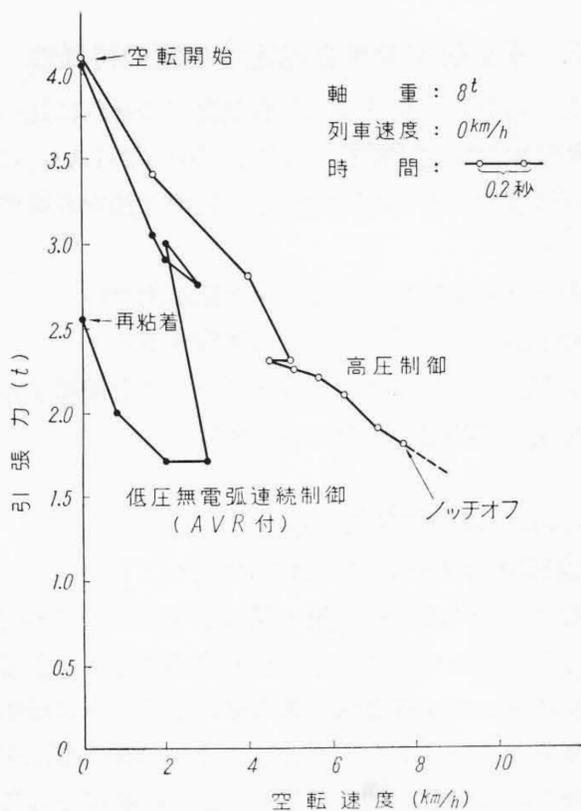
整流器式機関車において主電動機を並列接続してこれを電圧制御することにより、粘着特性改善に有利な、速度変化に対する引張力変化の大なる速度—引張力特性が得られることは周知であるが、われわれはその性能をさらに改善するために、さきに ED 71



第25図 低圧無電弧連続制御による粘着特性



第26図 高圧制御による粘着特性



第27図 電動台車実験装置による空転速度—引張力特性実験結果

PMA₁, PMA₂ の出力を減少し、主電動機の電圧上昇を抑止するので、2秒以内に完全に再粘着し、最大空転速度は3 km/h程度以下に制限されている。この際ノッチを放置しておくとも小空転と再粘着とを自動的に反覆した。これに対し高圧制御（電圧降下率24%）の場合のオンプログラムは第26図のとおりで、制御段ごとの電圧上昇を20Vとしても、空転速度は2秒以内に約8 km/hに増大し、さらに漸増する傾向を示したので電源を遮断した。

第27図は空転試験の結果より、引張力と空転速度との関係を求め、これを曲線に描いたもので、低圧無電弧連続制御の場合は閉ループを描き取れんしているが、高圧制御の場合は発散している。

以上の実験により、低圧無電弧連続制御方式は、シリコン整流器式電気機関車の粘着特性改善にきわめて優秀な性能を有することが知られた。なお近く現車試験によってさらにこの実験結果を確認したいと考えている。

4. 結 言

以上日立製作所日立研究所車両実験所の概要と、最近における二、三の主要研究成果について述べた。わが国の車両工業は最近急速な発展を遂げ、特に電気車両およびディーゼル車両など、動力車の輸出が次第に活況を呈してきたことはまことに喜ばしいことである。しかしこれに対する欧米各国の攻勢も次第に活発となりつつあり、今後の輸出は楽観を許さない状況にある。これに対処するためには、輸出促進政策ももちろん必要であるが、さらに重要なことは研究開発によって独特の技術確立し、国際競争力を強化することである。われわれの車両実験所はこの目的に対して貢献し得ることを確信し、今後とも各種の電気車両新方式の開発研究を強力に推進したいものと念願している。終わりに臨み、日立製作所日立研究所車両実験所の完成に対して与えられた日立製作所本社ならびに関係事業所各位の絶大なるご支援、ご協力に対して厚くお礼申し上げるとともに、各種の開発研究を推進した車両実験所の小野田博士をはじめとする研究グループ諸君の労を多とする次第である。

参 考 文 献

- (1) 平田：日立評論，40，1329（昭33-11）
- (2) 馬場：日立評論，8，53（大13-2）
- (3) 三井田：日立評論，7，438（大13-10）
- (4) 山崎，河合ほか：日立評論別-20，4（昭32）
- (5) 平田，坪井：日立評論，44，617（昭37-4）
- (6) ——：日立評論，42，155（昭35-1）
- (7) 坪井：電気学会昭和36年東京支部大会，講演番号306（昭36）
- (8) 坪井，平田：電気学会昭和37年電気四学会連合大会，講演番号739（昭37）
- (9) 坪井：電気学会昭和37年東京支部大会，講演番号324（昭37）
- (10) 和田，飛永ほか：日立評論別-39，67（昭36）
- (11) 竹村，刈谷ほか：日立評論別-40，99（昭36）
- (12) 木脇，小野田ほか：電気学会昭和36年電気四学会連合大会講演番号734（昭36）
- (13) 小野田，山崎：電気学会昭和36年東京支部大会，講演番号293（昭36）
- (14) 木脇，小野田：電気学会昭和36年東京支部大会，講演番号292（昭36）
- (15) 木脇：電気学会昭和37年電気四学会連合大会，講演番号760（昭37）
- (16) 小野田：電気学会昭和37年電気四学会連合大会，講演番号758（昭37）
- (17) 森脇，高橋：日立評論，39（昭32-12）
- (18) 古山，今泉ほか：日立評論別-40，83（昭36）
- (19) 関，関川：電学誌，80，606（昭35-5）
- (20) 小野田：日立評論，43，749（昭36-6）
- (21) 小野田，杉本ほか：日立評論，43，2176（昭36-12）