

高速電車の発達と比出力

Historical Development of Rapid Transit Electric Trains and Specific Output

平 田 憲 一*
Ken'ichi Hirata

内 容 梗 概

まず世界各国における高速電車の発達を回顧し、主としてその電気装置がいかなる過程を経て発達してきたかについて述べ、過去50年間に於ける高速電車の比出力 $\frac{\text{kW}}{t}$ の変遷を図示して最近10~12程度に増大し、今後さらに上昇する傾向にあることを示した。

次に筆者提案の経済的比出力の一計算法について述べた。すなわち与えられた駅間距離と表定速度に対し、単位重量当り年間運転用電力費および車輛ならびに地上施設年間利子償却保守費の合計を最小ならしめる起動加速度制動減速度および力行係数（仮称）を決定し、ペンダー氏法を変形した計算結果と組合わせることによつて、経済的比出力および定格速度を求めることができる。最後に計算例を示した。

〔I〕 緒 言

最近数年間におけるわが国の高速電車の発達は、実に目ざましいものがあり、すでに世界の水準に達しているものと認められる。特に比出力、すなわち単位重量当り主電動機容量 $\frac{\text{kW}}{t}$ の大なる軽量高性能優秀車が多数出現し、最高速度および起動加速度ならびに制動減速度は著しく上昇した。

本文においてはこの機会に、高速電車発達の歴史を回顧して比出力 $\frac{\text{kW}}{t}$ の趨勢を示し、次に筆者提案の経済的 $\frac{\text{kW}}{t}$ の一計算法について述べ、読者の御参考に供したい。

〔II〕 世界各国における高速電車の発達

1890~1910 世界における郊外または市間電車の最初は、1891年米人 Charles L. Henry 氏が Anderson とその郊外に敷設し、後に Alexandria まで延長した鉄道に運転されたものであるといわれる。“Interurban”という語は同氏の創製したものであつた。これにつづいて1893年 Liverpool, 1895年 Chicago の高架鉄道が電化された。補極はすでに1887年 F. J. Sprague 氏によつて着想せられ、また磁気吹消装置は1883年 E. Thomson 氏によつて発明せられていたが、当時としては両発明はともに実用されるに至らず、電気装置の故障に苦しんだ。

しかるに1895~1900年には、マイカ絶縁の開発によつて電機子および界磁コイルならびに刷子保持器の絶縁は大いに改良せられ、また整流子のアンダカットも行われるに至り、故障が減少した結果、従来の割型に代つて箱枠型電動機の出現をみた。さらに1903年に補極付主電動機の誕生を見るに及んでその性能は格段に改善されたのである。

また一方1893~5年には磁気吹消コイル付直並列制御器および電空式単位スイッチが完成され、さらに1897年には Sprague 氏は画期的な総括制御方式を発明して、翌1898年これを始めて Chicago & South Side Elevated Railroad に実施した。これによつて長大電動列車の運転が可能となり、大都市近郊の鉄道電化が著しく促進された。

さらに1902~4年には B. G. Lamme および Hans Behn-Eschenburg 両氏はそれぞれ独立して実用的単相整流子電動機を発明し、単相交流電化が行われるに至つた。またこの間無歯車式三相誘導電動機を用いた高速電車が Berlin—Zossen 間の高速試験において 210 km/h の記録を樹立し、高速運転に対する自信を与えた。

このようにして1891年以降多くの高速電気鉄道が建設せられ、線路は次第に長くなり、容量は次第に大きくなつて、1910年までにはすでに10輛編成の電動列車が運転せられ、陸上交通機関として重要な地歩を確立するに至つたのである。

1910~1920 1903年に補極付主電動機が出現して以来、その発達は目ざましいものがあり、電車線電圧は次第に上昇して、1905年 750V, 1907年 1,500V, 1913年 2,400V, そして1915年にはついに 3,000V に達した。また整流特性が改善された結果、界磁制御が実用されるようになった。交流式においてはもつぱら単相整流子電動機が発達し、1905~8年以来、欧州においては 1φ-15kV-16²/₃ %/s, 米国においては 1φ-11kV-25 %/s が標準となつた。高速電車用主電動機としては、交流直流とも 200 HP 以上のものが出現し、営業用最高速度は1915年米国においてすでに 100 km/h を超過するものが出現し、鋼製車が使用されるに至つた。

制御方式としては自動式が多く、電磁スイッチ式、電空円筒式、電空単位スイッチ式のほか、1915年には電空カム軸式およびこれにつづいて電動機操作カム軸式が

* 日立製作所水戸工場 工博

出現した。制御段数は交直とも 9~10 程度で、起動加速度は 1.5~2.0 km/h/s であつたが、Hamburg 高架鉄道では 1913 年当時としては高加速なる 2.5 km/h/s を採用していた。また 1912 年すでに New York 高架鉄道においては可変荷重機構により、起動加速度を自動制御する方式が出現し AMUE 式電磁空気ブレーキを採用して、常用減速度は 3.2 km/h/s、非常減速度は 4.8 km/h/s に達していた。

1920~1930 早くも高速電車の経済運転の問題が採り上げられ、軽量化、保守費および電力消費量低減が論ぜられ、また一方振動および騒音防止の研究が行われた。1924~7 年には米国において輸送力増大の経済的一方法として、自重 34~53 t、60~200 HP×4 の連節式電車が出現し、また欧州においては 1925 年 Berlin 高架鉄道に、当時における高性能軽量電動列車が出現した。8 輦編成、車体には珪素鋼が使用され、自重 248 t、全電動車全軸駆動式で、主電動機は 90kW 1 輦 4 個、第三軌条電圧 750V に対して、主電動機端子電圧は 375V とし、2 個直列としたものを 2 組、直並列制御した。これが 300~375V 主電動機 2 個直列方式の最初であると考えられる。その目的とするところは主電動機の整流改善および保守費通減にあつた。この時代に入るや主電動機も次第に軽量化し、比重量は直流で 15~17 kg/kW、交流で 8~10 kg/kW 程度に低下した。

駆動方式については路面電車においてはすでに 1921 年、Berlin 市電、1923 年 Paris 市電にベベル・ギヤー・カルダン軸式、また 1926~7 年には米国においてウォーム・ギヤー・カルダン軸式およびいわゆる WN 式が実用されていたが、高速電車においては特殊の場合を除きもつぱら釣掛式が用いられ、最高速度は 110 km/h 程度であつた。

制御方式としては各種の電磁空気および電動機操作カム軸式が開発され、制御段数は 10~12、起動加速度は 1.5~2.5 km/h/s であつた。空気ブレーキについては 1925~7 年 New York 地下鉄および Berlin 高架鉄道に可変荷重式が出現した。

1930~1940 この時代は高速電車性能の一大飛躍期であつた。1929 年暮米国において Electric Railway Presidents' Conference Committee が結成され、18 箇月にわたつて今後の路面電車のあり方について研究し、1932 年 9 月 C. F. Hirshfeld 教授はその結果を要約して Chicago の AERA において発表した。その要点は軽量化、高加速、高減速、台車装架式主電動機駆動方式および防振台車の採用であつた。この根本方針は路面電車のみならず、高速電車の設計にもとり入れられ、近代高性能電車発展の端緒となつたのである。

まず主電動機回転数は従来の 800~1,000 rpm より、

1,300~1,800 rpm に上昇して次第に軽量化した。また 1934 年 New York 地下鉄において高速電車としてはじめていわゆる WN 駆動方式を含む台車装架式可撓駆動方式が採用されたのにつづいて、1935 年以降、欧州ではスイス、ドイツ、イタリアなどにおいて、BBC、MFO、Sécheron、AEG そのほか各種のクイル式が開発され、最高速度は著しく上昇して 1937~8 年には 150~160 km/h、さらに 180km/h が出現した。

制御方式としては 1934 年以降多段式制御方式と電空併用ブレーキ方式が開発され、制御段数は直流交流とも次第に増大し、特に 1934 年 New York 地下鉄に整流子型、および 1937 年スイス国鉄高速電車に Gleittransformator 型の超多段式制御器が出現したほか、1936 年以降 18~22 ノッチ限流式および 42~57 ノッチ半限流式多段式制御器が発達し、またメタダイナ制御が一部に採用された。

わが国最初の高速電車用多段式制御器は、日立製作所が 1939 年、東京急行電鉄へ納入した 1 方向 2 回転式 MMC 型 (21 ノッチ) で、世界的に見ても早い方であつた。多段式制御器の多くは電動機操作カム軸式であるが、電磁空気式あるいは油圧式またはこれらの併用式もあつた。起動加速度は 3~3.5 km/h/s に上昇し、特に New York 地下鉄の 4.8 km/h/s が最高であつた。また 1936 年頃より特に高減速度を得るために、速度によつて空気ブレーキの気圧を制御する方式、あるいは減速制御器を使用する方式が採用されるに至り、さらに非常用として高速電車にも電磁軌条ブレーキが出現した。

車輛全体としては特に 1935 年以降軽量化の研究が進み、特殊鋼、軽合金が使用せられ、いわゆる張殻構造の車体が出現した。また台車の軽量化が行われ、ゴムを多く使用したほか、側受支持方式、オイル・ダンパの採用と相まつて、振動、騒音を減少し、乗心地は大いに改善された。一方通風方式が進歩して、冷房装置を設備したものも出現した。また試作的なものとしては、1939 年フランスでゴム・タイヤの電車 Micheline 136 型の試験が行われた。

1940~1957 第二次大戦で一時進歩は中絶したが戦後主電動機、駆動方式、制御方式、制動方式、高速台車、通風方式および照明方式に大なる進歩がみられた。

特に注目すべきは高速電動機の発達である。すなわち材料、設計および工作の進歩により、1 時間定格回転数は 1,600~2,000 rpm に上昇し、最高許容回転数は 1955 年には 6,500 rpm に達するものも出現、電機子周辺速度は著しく上昇した。また高級絶縁物の発達により、許容温度上昇は大となり、一方通風が強大となりかつ改善された。その結果主電動機は著しく小型軽量となり、比重量は直流交流とも 4~6 kg/kW に低下した。日立製作所の実例

では、京王納 100kW-375V-300A-2,000rpm は重量 600kg、比重量 6kg/kW である。また高速度より発電ブレーキを常用するため、重ね巻を採用して整流子片間電圧を低下させ、さらに整流を改善するため分割ブラシを用い、1955 年にはドイツにおいては 50kW 程度の路面電車用主電動機にも補償巻線を採用したものが出現した。また通風を特に強大ならしめるため、個々の主電動機に電動送風機をつける方式も行われている。

駆動方式としてはベベルおよびハイボイド・ギヤー・カルダン軸式、WN 式および各種のクイル式のほか、1944 年 BBC の中空電機子軸撓み円板接手カルダン軸式、つづいて Sécheron の撓み薄板接手カルダン軸式が出現し、新方式としては 1948 年スウェーデン国鉄にゴム式クイル方式が出現した。

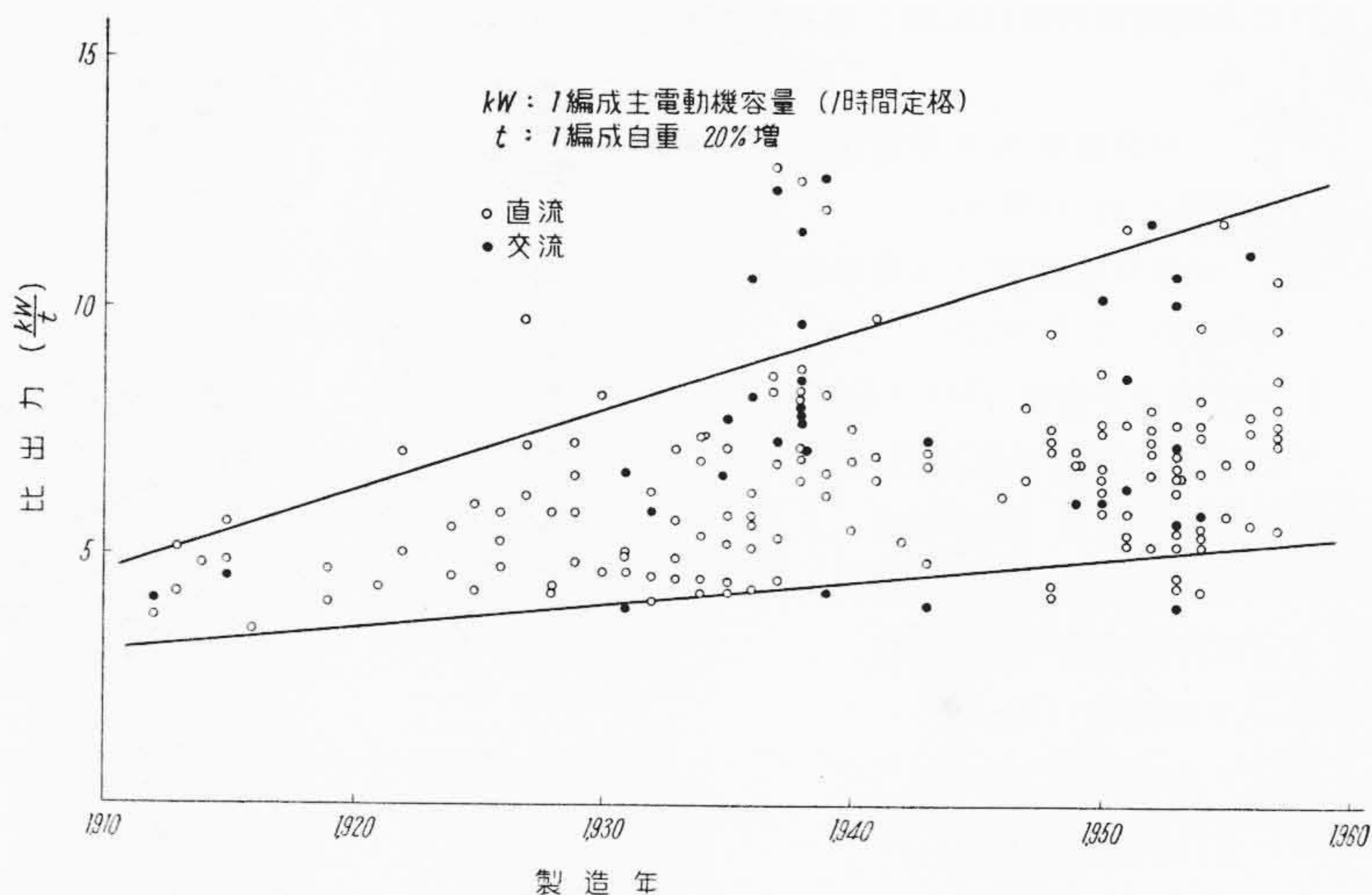
制御装置関係では電空併用ブレーキ式多段式制御器の採用は一般的となり、発電ブレーキ力立上りの性能を向上するため、1947 年 New York 地下鉄において「Spotting」を行うものが出現した。操作方式は電動機操作カム軸式が多い。また粘着制限近くまで加減速度を上昇するため、各種の滑動防止装置が出現した。蛍光灯が多く用いられるようになり、通風方式にもさらに改善が加えられた。

わが国の高速電車は 1952 年以来技術面において急激なる発展を見るに至り、国鉄ならびに私鉄において前記欧米の技術水準をゆく多数の優秀な高性能電車が実現された。

一方商用周波数交流電化の経済性が注目を浴びるに至り、1951 年フランス、1952 年西ドイツにおいて、25kV-50c/s 整流子電動機式高速電車が運転を開始し、1956 年イギリスにおいて、6.6kV-50c/s ゲルマニウム整流器式電車の試験が行われた。また米国においては、1954 年以来 11kV-25c/s 水銀整流器式電車が運転されている。日立製作所においても交流式高速電車を製作中である。このように 1950 年以降高速電車の新電気方式が多く出現するに至つたのである。

〔III〕 最近 50 年間にける高速電車 比出力 $\frac{\text{kW}}{t}$ の趨勢

最近の高速電車発達の歴史は大略上述のとおりである。今その発達の跡を一つの面より眺めることにして、最近 50 年間はにおける世界各国の直流および交流高速電



第 1 図 世界各国における高速電車比出力の変遷

車について比出力 $\frac{\text{kW}}{t}$ の判明したものを打点すれば第 1 図のようになる。ただし主電動機容量としては 1 編成の 1 時間定格をとり、また 2 重量としては定員不明のものもあるので、便宜上 1 編成自重の 20% 増をとることにした。

第 1 図を見るに $\frac{\text{kW}}{t}$ は 1910~1920 年の 4~5 より、1920~1930 年の 5~7、1930~1940 年の 7~9 と増大し、試作車としては 12 を超過するものも出現した。その後 1940~1950 年は第二次大戦の影響にて一時低下したかに見えたが、1950 年以後徐々に回復し、ふたたび 10 以上に達し、さらに上昇する勢にある。わが国最近の高性能電車は 7~9 程度のものが大部分で、日立製作所の実例としては京王電鉄納 100 kW 主電動機 4 個付高性能電車の場合のように 10.4 に達しているものもある。

後述するように、 $\frac{\text{kW}}{t}$ の値は、ある駅間距離と表定速度とに対し、定格速度(または力行係数)と起動加速度ならびに制動減速度とによつて決定するものである。したがつて駅間距離と表定速度とが与えられた場合、経済的定格速度(または力行係数)と起動加速度ならびに制動減速度を選定することにより、経済的 $\frac{\text{kW}}{t}$ の値を求め得る筈である。筆者はこの見地より、年間運転用電力費および車輛、変電所ならびに電車線の年間利子償却保守費を総合的に考慮して、高速電車の経済的 $\frac{\text{kW}}{t}$ を求める一方法を与えた。以下本方法について述べる。

〔IV〕 高速電車の経済的比出力 $\frac{\text{kW}}{t}$ の 計算法⁽¹⁾

筆者がここに提案する方法は、高速電車の経済的 $\frac{\text{kW}}{t}$ と同時に、経済的定格速度および加減速度⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾を簡単な計算により与えんとするもので、電気鉄道の計画あ

るいは高速電車の設計に際し便利であると思ふ。今

$\frac{\text{kW}_e}{t}$ = 単位重量当り主電動機二乗平均平方根出力 (kW/t)

$\frac{\text{kW}_0}{t}$ = 単位重量当り主電動機直線加速時平均出力 (kW/t)

U = 比電力消費量 (Wh/t-km)

V_0 = 直線加速時最高速度 (km/h)

a = 起動加速度 (km/h/s)

b = 制動減速度 (km/h/s)

c = 惰行減速度 (km/h/s)

V_a = 平均速度 (km/h)

V_{sch} = 表定速度 (km/h)

x = 力行係数 (仮称)

L = 駅間距離 (km)

T = 走行時間 (s)

η = 主電動機能率 (歯車装置含む)

とすれば、ペンダー計算法を变形することにより、次式を導くことができる。

$$\frac{\text{kW}_e}{t} = \frac{a i V_0}{1,000 \sqrt{X}} \quad (\text{kW/t}) \quad \dots (1)$$

$$\frac{\text{kW}_0}{t} = \frac{84.4(a+c)V_0}{1,000} \quad (\text{kW/t}) \quad \dots (2)$$

$$U = \frac{u V_0^2}{L \eta} \quad (\text{Wh/t-km}) \quad \dots (3)$$

$$V_0 = \frac{V_a}{J + \sqrt{m(H-J^2)}} \quad (\text{km/h}) \quad \dots (4)$$

$$\text{ここに } J = \frac{x + \beta y}{q}, \quad \beta = \frac{a}{c}, \quad q = \frac{a(1+m)}{A}$$

$$m = \frac{2A(b-c)}{b c}, \quad A = \frac{V_a}{T}, \quad V_a = \frac{L}{T}$$

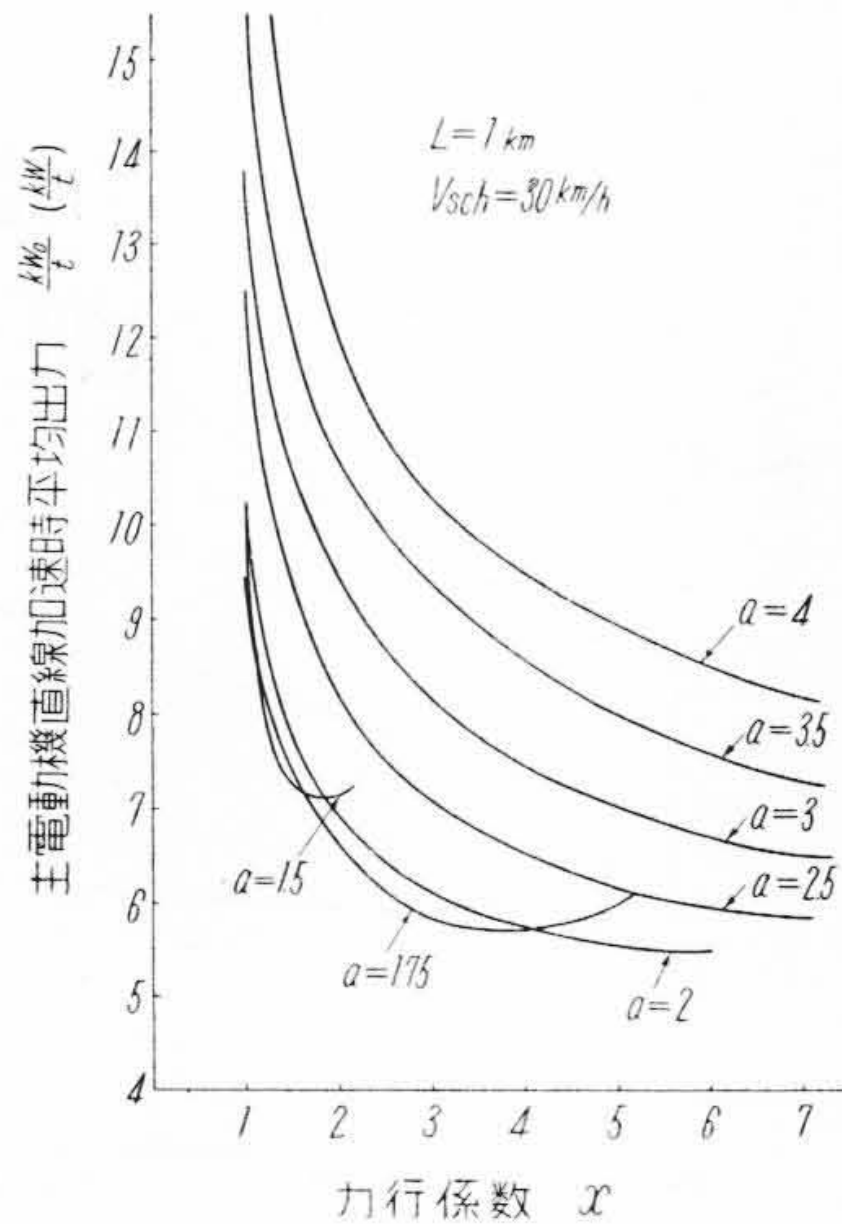
$$H = \frac{\lambda + \beta y^2}{2q}, \quad X = \frac{aT}{V_0}$$

y, λ, i および u はそれぞれ β をパラメータとせる x の函数として数値表より与えられる。

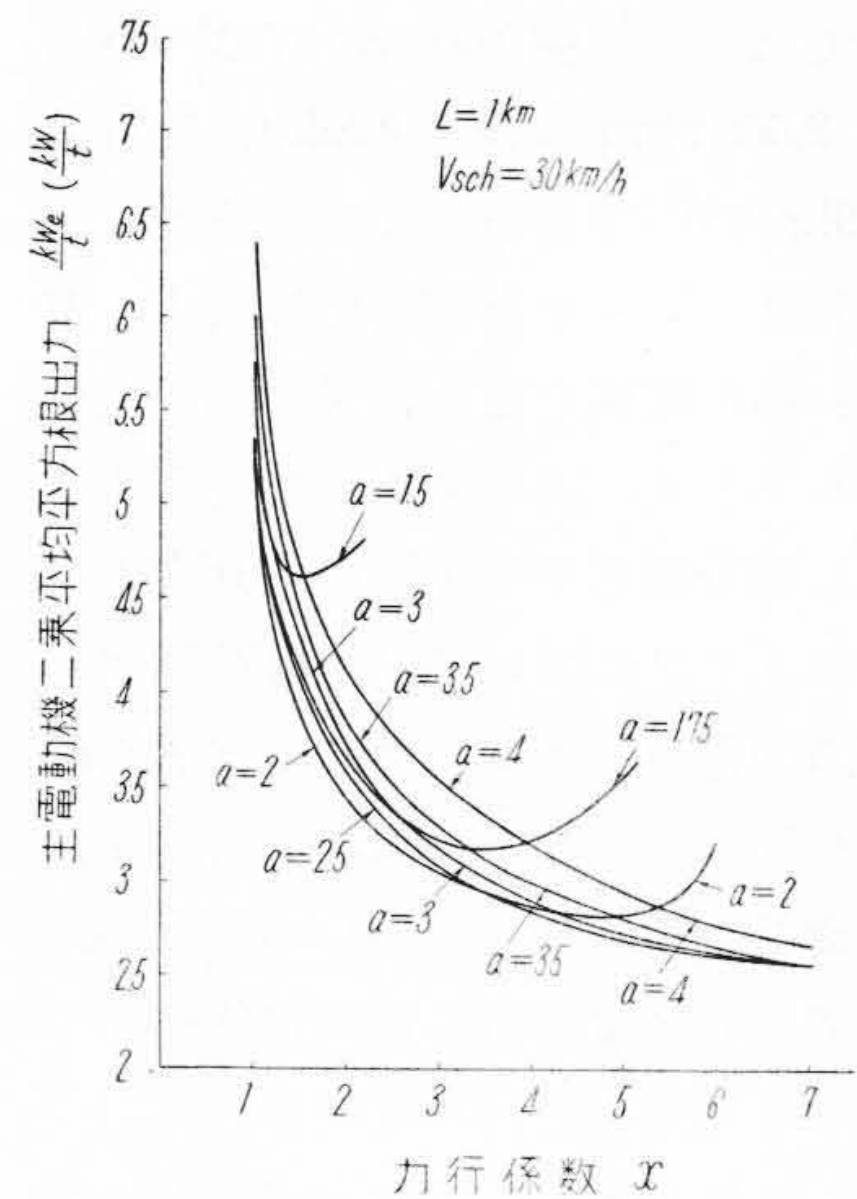
(1) および (2) 式より、加速度 a および減速度 b を変化した場合の $\frac{\text{kW}_e}{t}$ および $\frac{\text{kW}_0}{t}$ と力行係数 x との関係を求めることができる。一例として $L=1\text{km}$, $V_{sch}=30\text{km/h}$ の場合の計算結果を第2～3図に示す。ただし計算を簡単にするために、加速度と減速度とはひとしいものとしてある。本図より、主電動機熱容量および整流容量の点より見て、経済的設計をするためには、経済的加減速度 a および力行係数 x を選定する必要があることがわかる。 a および x の選定法については後述することとし、 a および x が決定したものとすれば、第2, 3図より $\frac{\text{kW}_e}{t}$ および $\frac{\text{kW}_0}{t}$ はただちに求められる。今

$\frac{\text{kW}_{1e}}{t}$ = 熱容量より見た単位重量当り主電動機

1時間定格出力



第2図 主電動機二乗平均平方根出力と力行係数との関係



第3図 主電動機直線加速時平均出力と力行係数との関係

$\frac{\text{kW}_{10}}{t}$ = 整流容量より見た単位重量当り主電動機1時間定格出力 (kW/t)

とすれば次式が成立する。

$$\frac{\text{kW}_{1e}}{t} = \frac{1}{m} \left(\frac{\text{kW}_e}{t} \right) \quad \dots (5)$$

$$\frac{\text{kW}_{10}}{t} = \frac{1}{n} \left(\frac{\text{kW}_0}{t} \right) \quad \dots (6)$$

ここに m および n は設計により決定する定数で、 $m=0.7\sim 0.9$, $n=1.4\sim 1.68^{(5)}$ ここでは自己通風型高速電動機 F 種絶縁の場合を考え、 $m=0.85$ とする。また最大起動電流を1時間定格電流の180%まで許すものとし、21ノッチの多段式制御器を用いるものとして、 $n=1.63$ とする。これらの値を(5)および(6)式に代入して $\frac{\text{kW}_{1e}}{t}$, $\frac{\text{kW}_{10}}{t}$ を求め、そのうち大なる方をとれば経済的比出力 $\frac{\text{kW}_1}{t}$ が求まる。しかして $\frac{\text{kW}_{1e}}{t} \geq \frac{\text{kW}_{10}}{t}$ により、主電動機容量は熱容量または整流容量によつて決定することとなる。

上述のように、経済的比出力 $\frac{\text{kW}}{t}$ を求めるためには、経済的加減速度 a および力行係数 x を決定することが必要である⁽⁶⁾。代表区間につき表定速度を一定とする場合を考えるものとすれば、経済比較は、運転用電力費、車輜利子償却保守費および固定施設利子償却保守費について行えばよい。今

P = 単位重量当り年間運転用電力費 (千円)

p = 1 kWh 当り交流側電力費 (円)

U = 比電力消費量 (Wh/t-km)

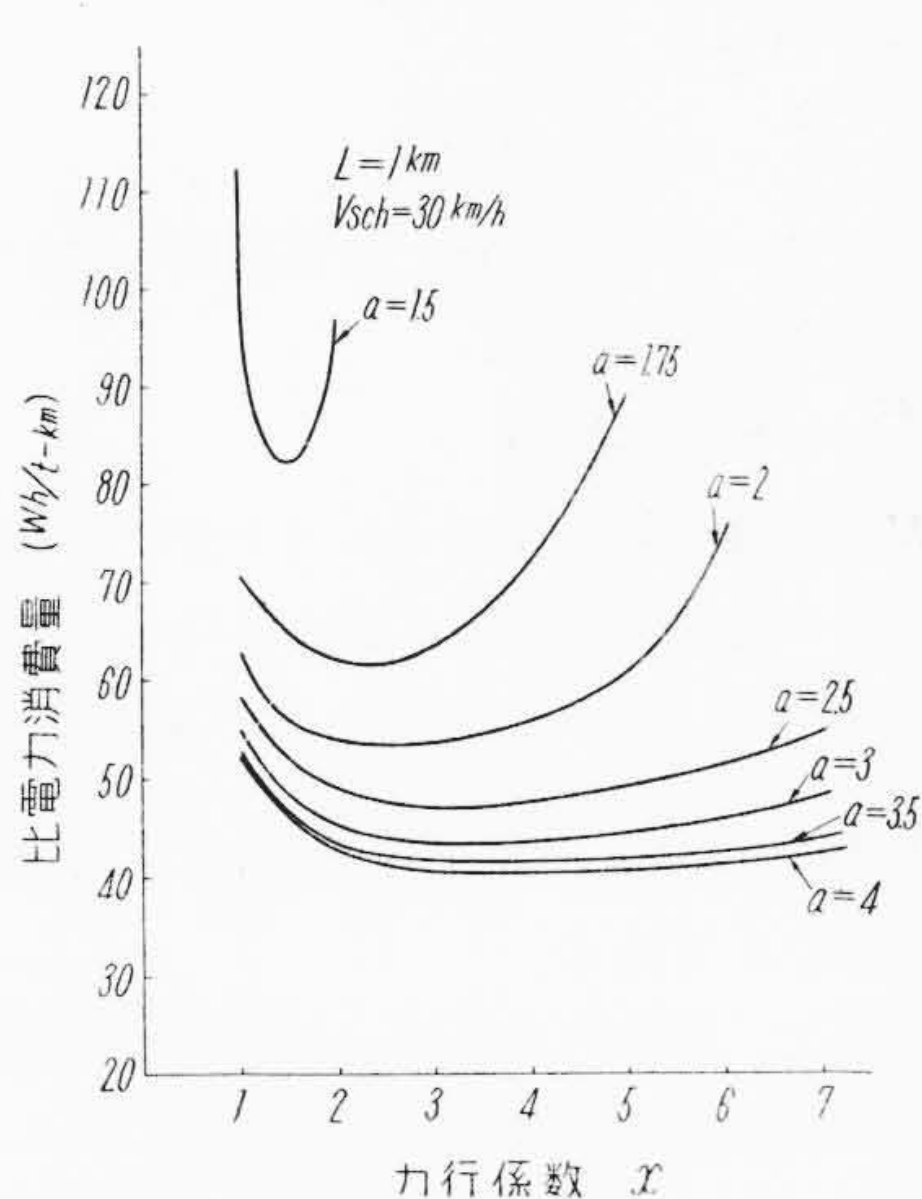
η = 主電動機能率 (歯車装置含む)

η_s = 変電所能率

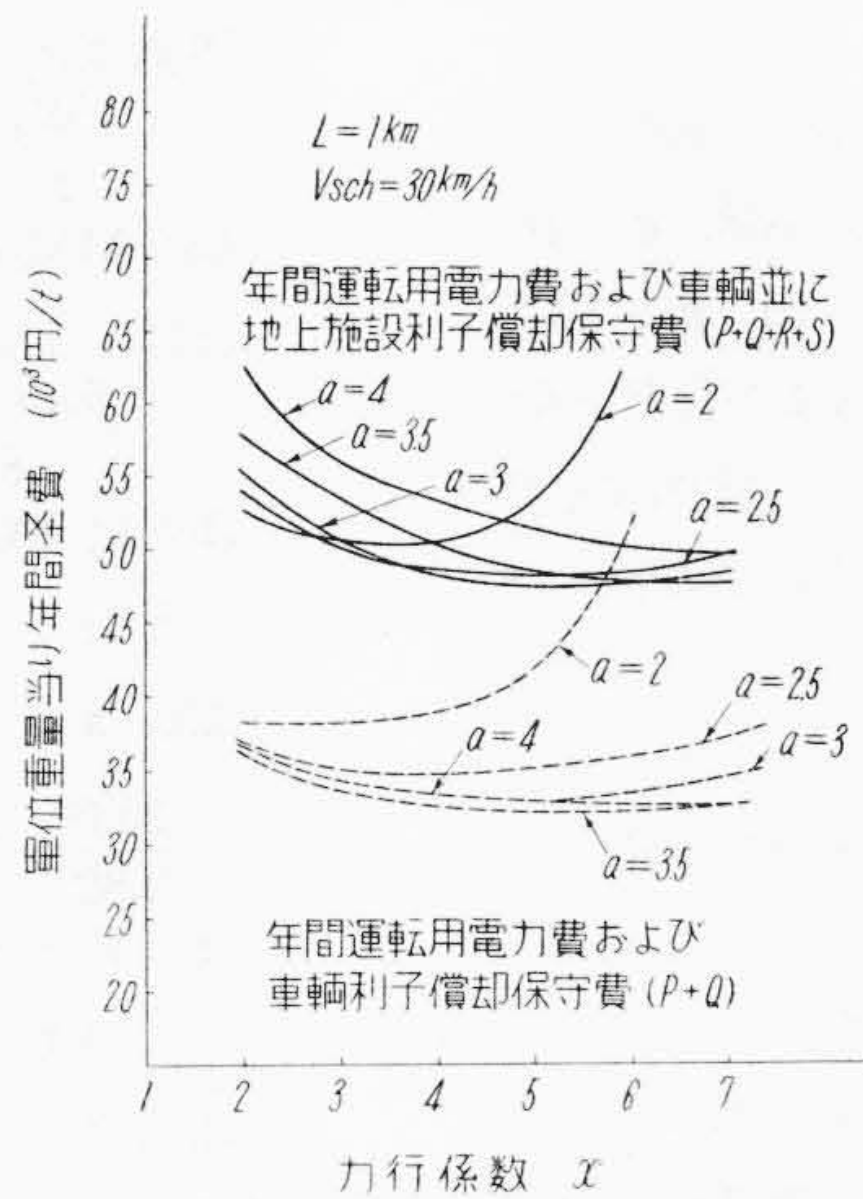
η_t = 電車線能率

D = 1車1日走行料 (km)

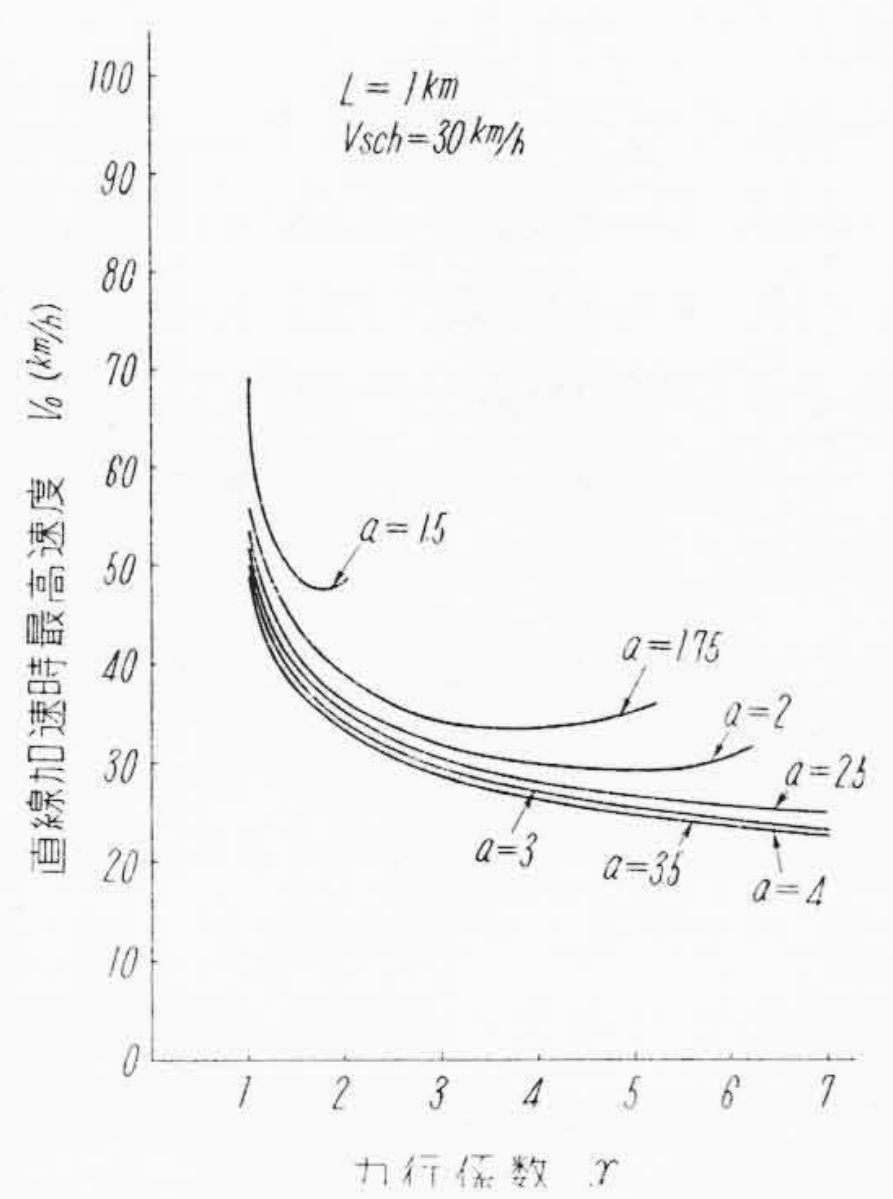
とすれば



第 4 図 比電力消費量と力行係数との関係



第 5 図 単位重量当り年間経費と力行係数との関係



第 6 図 直線加速時最高速度と力行係数との関係

$$P = 0.000365 \frac{p U D}{\eta \eta_s \eta_t} \dots\dots\dots (7)$$

まず (3) 式によつて比電力消費量 U と力行係数 x との関係を求め、これを第 4 図に示す。本図より各 a に対して x を変化した場合の U を求め、 U , p , D , η , η_s , η_t の値を (7) 式に代入すれば単位重量当り年間電力費 P と力行係数 x との関係を求めることができる。また Q = 単位重量当り主電動機に対する年間利子償却保守費 (千円)

q = 主電動機 1 kW 当りの価格 (千円)
 $\frac{\text{kW}_1}{t}$ 単位重量当り主電動機 1 時間定格出力 (kW/t)
 p_m = 主電動機年間利子償却保守費比率 (%)

とすれば

$$Q = q \left(\frac{\text{kW}_1}{t} \right) \left(\frac{p_m}{100} \right) \dots\dots\dots (8)$$

第 2 ~ 3 図より、前節のようにして各 a に対し x を変化した場合の $\frac{\text{kW}_1}{t}$ を求め、 $\frac{\text{kW}_1}{t}$, q , p_m の値を (8) 式に代入すれば、単位重量当り主電動機年間利子償却保守費 Q と力行係数 x との関係を求めることができる。また

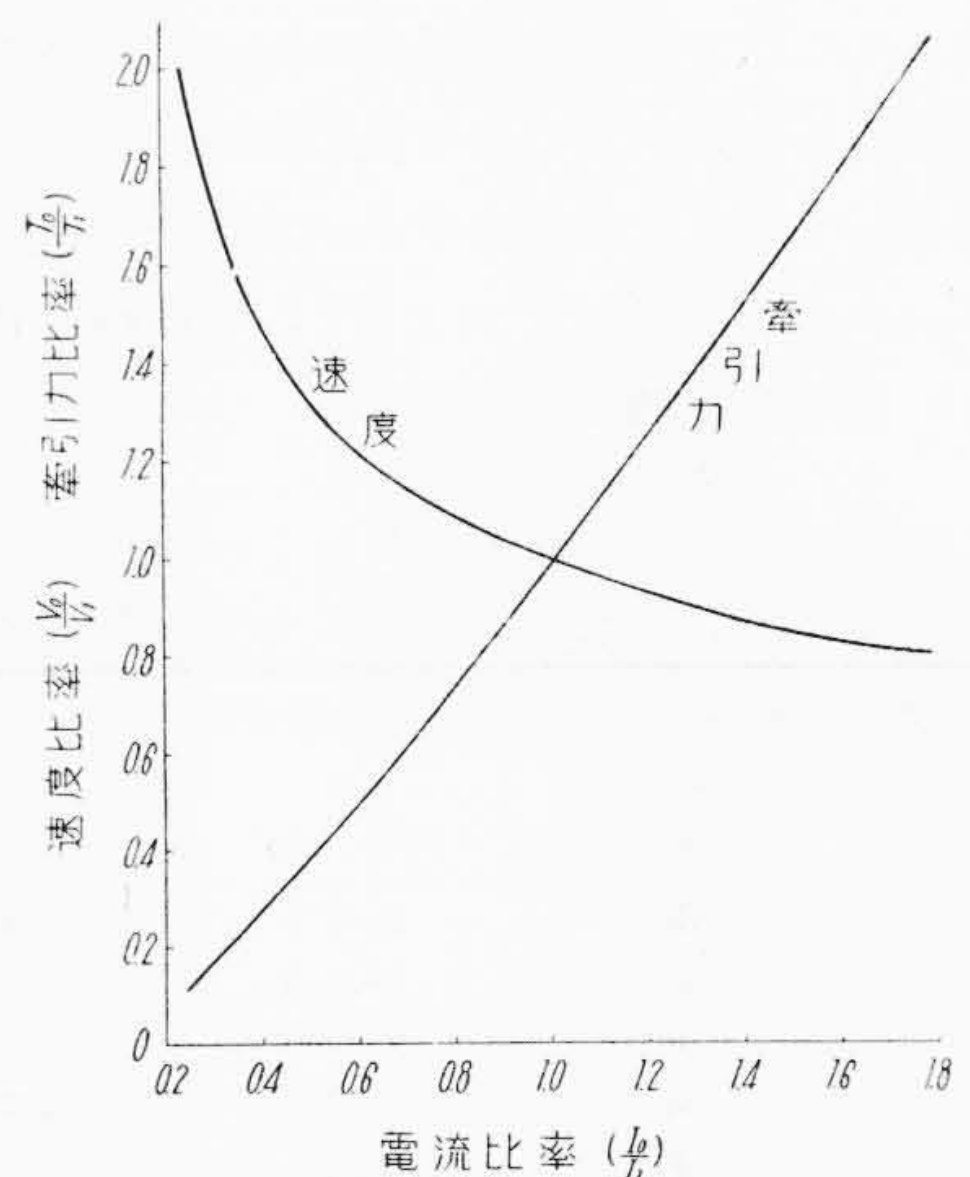
R = 単位重量当り変電所に対する年間利子償却保守費 (千円)

S = 単位重量当り電車線に対する年間利子償却保守費 (千円)

r = 変電所 1 kW 当りの価格 (千円/kW)

s = 定格負荷における電車線の電圧降下を約 10% とした場合における変電所 1 kW 当り電車線の価格 (実例によればある電車線電圧に対しては銅の部分のみを考えるとほぼ一定と見なしうる) (千円)

h = 変電所設備容量と主電動機容量との比 (主電動機容量としては発電制動を使用しないものとしての容量をとるものとする)。



第 7 図 主電動機比率特性曲線

p_s = 変電所年間利子償却保守費比率 (%)

p_t = 電車線年間利子償却保守費比率 (%)

とすれば

$$R = r h \left(\frac{\text{kW}_1}{t} \right) \left(\frac{p_s}{100} \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$S = s h \left(\frac{\text{kW}_1}{t} \right) \left(\frac{p_t}{100} \right) \dots\dots\dots (10)$$

前節同様にして第 2 および 3 図より、各 a に対して x を変化した場合の $\frac{\text{kW}_1}{t}$ を求め、 $\frac{\text{kW}_1}{t}$, r , h , p_s , S , p_t の値を (9) および (10) 式に代入すれば単位重量当り変電所および電車線年間利子償却保守費が求められる。

このようにして、単位重量当り年間経費 ($P+Q+R+S$) と力行係数 x との関係を求めることができる。もし変電所および電車線の容量にかなり余裕があり、定格速度および加減速度が変化しても、これに関係なく一定と考えられる場合は年間経費としては ($P+Q$) を考えれ

ばよい。

一例として $L = 1 \text{ km}$, $V_{sch} = 30 \text{ km/h}$ の場合
 $p = 3.55$, $D = 350$, $\eta = 0.88$, $\eta_s = 0.9$, $\eta_t = 0.88$, $q = 10$,
 $p_m = 15$, $r = 30$, $h = 0.5$, $p_s = 15$, $S = 15$, $p_t = 15$ と
 したときの年間経費 $(P + Q + R + S)$ および $(P + Q)$
 と、力行係数 x との関係を第5図に示す。本図より年
 間経費最小の点を求めることにより、経済的加減速度
 $a = 3 \sim 3.5 \text{ km/h/s}$ および力行係数 $x = 4 \sim 5$ を求める
 ことができる。

また力行係数 x は次のようにして定格速度に換算す
 ることができる。すなわちまず(4)式より、加減速度
 a を変化した場合の直線加速時最高速度 V_0 と力行係
 数 x との関係を求め、これを第6図に示す。本図より上
 記経済的 a および x に対する V_0 を求め、第7図の比率
 特性曲線において $\frac{I_0}{I_1} = n = 1.63$ とすれば、 $\frac{V_0}{V_1} = 0.82$
 となる。ゆえに $V_1 = \frac{V_0}{0.82}$ となつて、 V_1 は求められる。

上記のようにして種々なる条件に対する経済的加減速
 度と力行係数とを求め、これを表に作成しておく。ここ
 には一例として、 $L = 1 \text{ km} - V_{sch} = 30 \sim 40 \text{ km/h}$, $L =$
 $2 \text{ km} - V_{sch} = 40 \sim 50 \text{ km/h}$ および $L = 5 \text{ km} - V_{sch} = 50$
 $\sim 65 \text{ km/h}$ の場合を第1表に示す。

第1表 与えられた駅間距離および表定速度に
 対する経済的加速度減速度と力行係数

駅 間 距 離 L (km)	表 定 速 度 V_{sch} (km/h)	経済的加減速度 a (km/h/s)	経済的力行係数 x
1	30	3~3.5	4~5
1	40	4~4.5	3~4
2	40	2~2.5	5~6
2	50	3~3.5	4.5~5.5
5	50	1.5~2	6~7
5	65	2~2.5	5~6

〔V〕 計 算 例

(1) $L = 1 \text{ km}$ の市内高速電車において、 $V_{sch} =$
 30 km/h なる場合の経済的比出力 $\frac{\text{kW}}{t}$ を求めるに
 は、第1表より $a = 3.5 \text{ km/h/s}$, $x = 5$ とする。ゆえ
 に第1図より $\frac{\text{kW}_e}{t} = 2.78$ 発電ブレーキを常用する
 ものとして25%増とし、これを(5)式に代入すれ
 ば、

$$\frac{\text{kW}_{1e}}{t} = \frac{2.78 \times 1.25}{0.85} = 4.1 \text{ (kW/t)}$$

また第2図より $\frac{\text{kW}_0}{t} = 8$ となる。これを(6)式に
 代入して

$$\frac{\text{kW}_{10}}{t} = \frac{8}{1.63} = 4.9 \text{ (kW/t)}$$

ゆえにこの場合は比出力あるいは主電動機容量は整
 流容量によつて決定されることとなる。平均電車線
 電圧降下を10%とすれば、定格電圧においては比

出力は次のようになる。

$$\frac{\text{kW}_1}{t} = \frac{4.9}{0.9} = 5.45 \text{ (kW/t)}$$

この場合MM編成、 $W = 29^t \times 2 = 58^t$ 、主電動機8個とす
 れば、主電動機1個の容量は、

$$\frac{5.45 \times 58}{8} = 39.6 \text{ (kW)}$$

ゆえに40kWの主電動機を採用すれば十分である。

またこの場合の定格速度は第3図において、 $a =$
 3.5 , $x = 5$ とすれば、 $V_0 = 24.6$, ゆえに $V_1 = \frac{V_0}{0.82}$
 $= \frac{24.6}{0.82} = 30$ すなわち定格電圧における定格速度
 は、 $V_1 = 33.4 \text{ km/h}$ となる。

このようにして、経済的比出力、主電動機容量、
 加減速度および定格速度を決定することができる。

(2) $L = 1 \text{ km}$ の場合、特に表定速度を上昇して、
 $V_{sch} = 40 \text{ km/h}$ とする場合は、第1表より、 $a = 4.5$,
 $x = 4$ を選定し、 $V_{sch} = 30 \text{ km/h}$ の場合と同様の
 方法により、

$$\frac{\text{kW}_{1e}}{t} = \frac{6.85 \times 1.25}{0.85} = 10.1 \text{ (kW/t)}$$

$$\frac{\text{kW}_{10}}{t} = \frac{15.55}{1.63} = 9.5 \text{ (kW/t)}$$

ゆえにこの場合は比出力あるいは主電動機容量は、
 熱容量によつて決定されることとなり、定格電圧に
 においては、

$$\frac{\text{kW}_1}{t} = \frac{10.1}{0.9} = 11.2 \text{ (kW/t)}$$

したがつてMM編成、 $W = 35^t \times 2 = 70^t$ とすれば、
 $\frac{11.2 \times 70}{8} = 98 \text{ kW}$

ゆえに100kWの主電動機を採用すれば十分である。

この場合の定格速度は、 $L = 1 \text{ km}$, $V_{sch} = 40 \text{ km/h}$,
 $a = 4.5 \text{ km/h/s}$, $x = 4$ とすれば、 $V_{sch} = 30 \text{ km/h}$
 の場合と同様にして、 $V_0 = 39.5$ ゆえに
 $V_1 = \frac{39.5}{0.82} = 48 \text{ km/h}$ すなわち定格電圧における定
 格速度は、 $V_1 = 53.4 \text{ km/h}$ となる。

〔VI〕 結 言

わが国の電気鉄道は最近に至るまで、直流方式に限定
 せられ、かつ1940年以来約10年間の空白時代があり、
 進歩は一時中絶していた。しかし1950年以来急速に発
 展し、直流式高速電車においてはすでに本文に述べた欧
 米の水準に到達し得た。交流式においてもその日の近い
 ことを確信する。

高速電車の発達とともに、その比出力 $\frac{\text{kW}}{t}$ は今後と
 も上昇をつづけるであろう。しかしその選定に当つては
 年間運転用電力費および車輜ならびに地上施設の年間経
 費を総合的に考慮して、最も経済的なように決定する必
 要がある。筆者はこの見地より、高速電車の経済的 $\frac{\text{kW}}{t}$
 の一計算法を与えた。本文中の計算は、直流電動機の界

磁制御をしない場合に対するものであつて、界磁制御をする場合および単相交流整流子電動機の場合は若干の修正を加える必要がある。またいくつかの仮定を前提としているので、検討を要する点も多くあるが、高速電車計画に際し、大体の見当をつける目的に対しては役立つと思う。読者の御批判を御願い申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 平田：電気協会雑誌 236 (昭31-第394号)
- (2) 平田：日立評論 34, 361 (昭27-2)
- (3) 平田：日立評論 33, 523 (昭26-7)
- (4) 平田：日立評論 34, 1291 (昭27-11)
- (5) 平田：日立評論 36, 877 (昭29-5)
- (6) 平田：車輛技術 31 (昭31-1)



特 許 の 紹 介



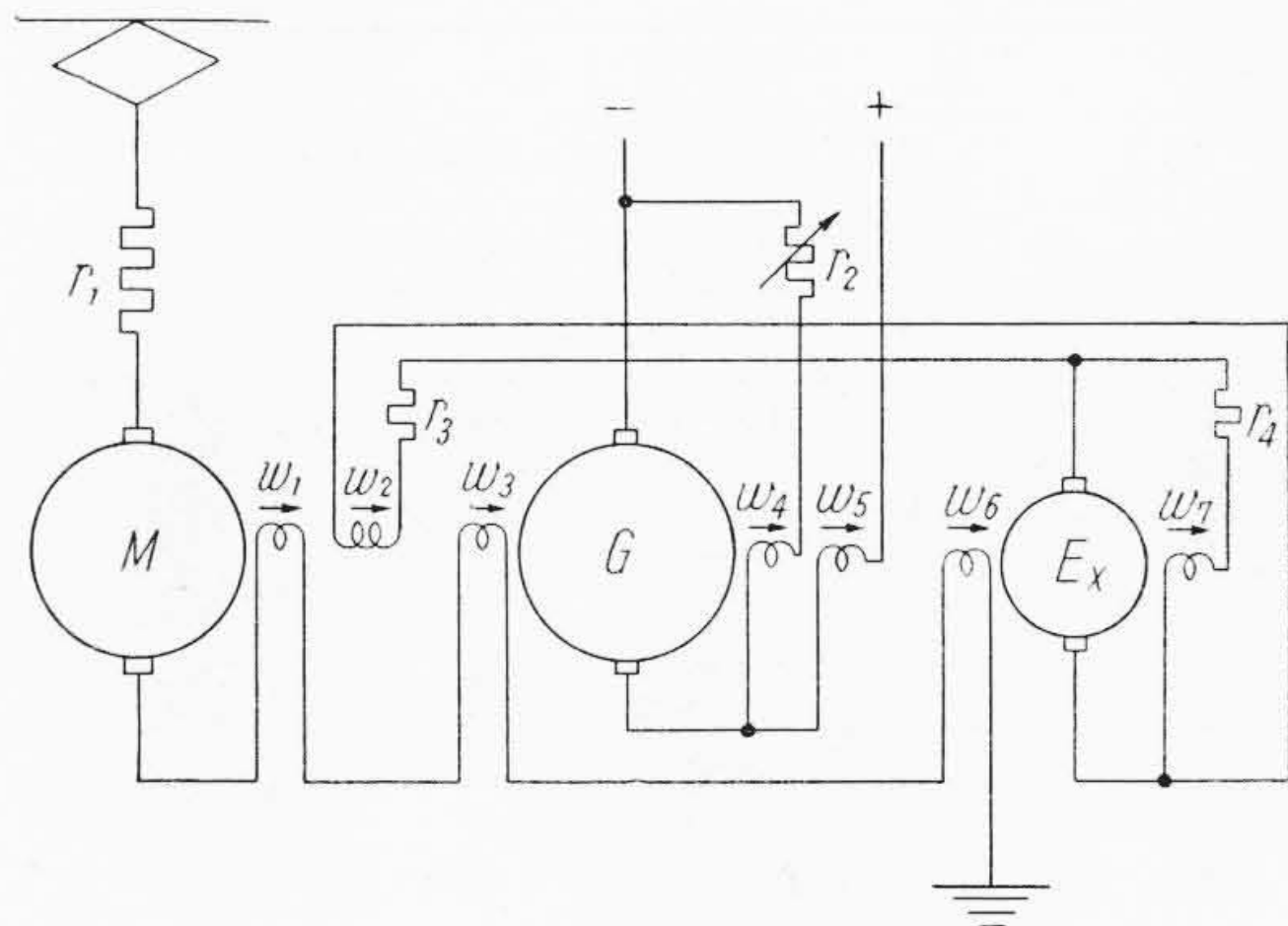
特 許 第 222473 号

石 坂 靈 巖

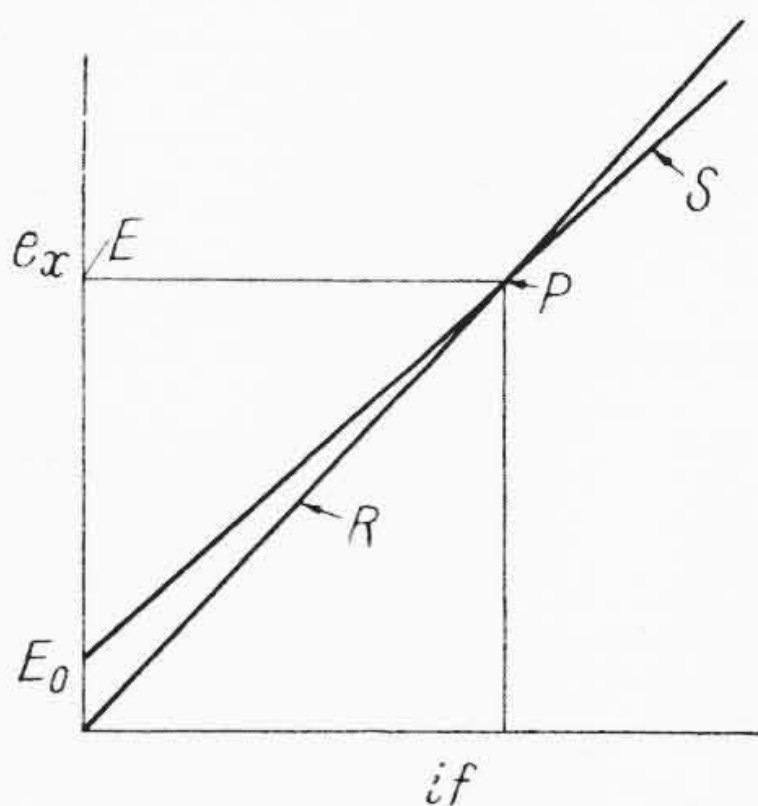
電 動 発 電 機 の 定 速 度 運 転 装 置

この発明は電気車用電動発電機の自動定速度運転を一層精密に行わせる改良装置に関するもので、励磁機の特性改善に重点をおいたものである。第1図は従来一般に用いられるこの種の装置の結線図、第2図は同装置における励磁機の電圧特性曲線図である。この図でMは電動機、Gは発電機、 E_x は励磁機でそれぞれ界磁 W_1 および W_2 , W_3 , W_4 および W_5 , W_6 および W_7 を具備し図に示すような相互関係に接続される。また r_1 はMの起動抵抗、 r_2 はGの分巻界磁抵抗、 r_3 は W_2 の直列抵抗で、 r_4 は E_x の分巻界磁抵抗でいわゆる分巻発電機としての E_x の同期抵抗である。周知のように励磁機 E_x の励磁電流 if 対発生電圧 e_x の関係は第2図のとおりで、抵抗線Rと飽和曲線Sとの交点Pによつて出力電圧Eは確定される。曲線Sは回転速度の低下に応じて前のめりになるのでP点は下に移りEを低下して W_2 の励磁度を弱めるから電動機速度は自動的に上昇回復するし、またその反対の作用をもととなつて速度は一応一定に保たれるのである。しかしこれを仔細に点検すると特性曲線Sには E_x 界磁の残留磁気による電圧 E_0 が存し、また E_x 界磁はなるべく不飽和に設計するがSの直線部分はおもむく直線とはいいいにくく、これらのことから速度変化を電圧によつて検出する感度はなお一段と改良の余地を残していたのであつた。第3図における r_5 はたとえばセレン整流器要素のような非直線性抵抗で同期抵抗 r_4 と直列に接続せられてこれが本発明の特長をなしている。このようにすれば界磁電流 if に対する r_5 の両端電圧の変化する態様は第4図の R_i に見るようで、これと同期抵抗Rとの合成は同図 R_0 に見るようである。この R_0 を見ると第2図のSにおける E_0 の影響がほとんど抹殺されており、なおまた R_5 の選びよういかんによつては R_0 の直線部分をSのそれにある程度一致せしめることも可能である。このようにして R_0 とSとを十分一致せしめた場合には電動機Mの速度は一定で、それは電動機に加わる電圧および発電機の負荷に無関係となるものである。

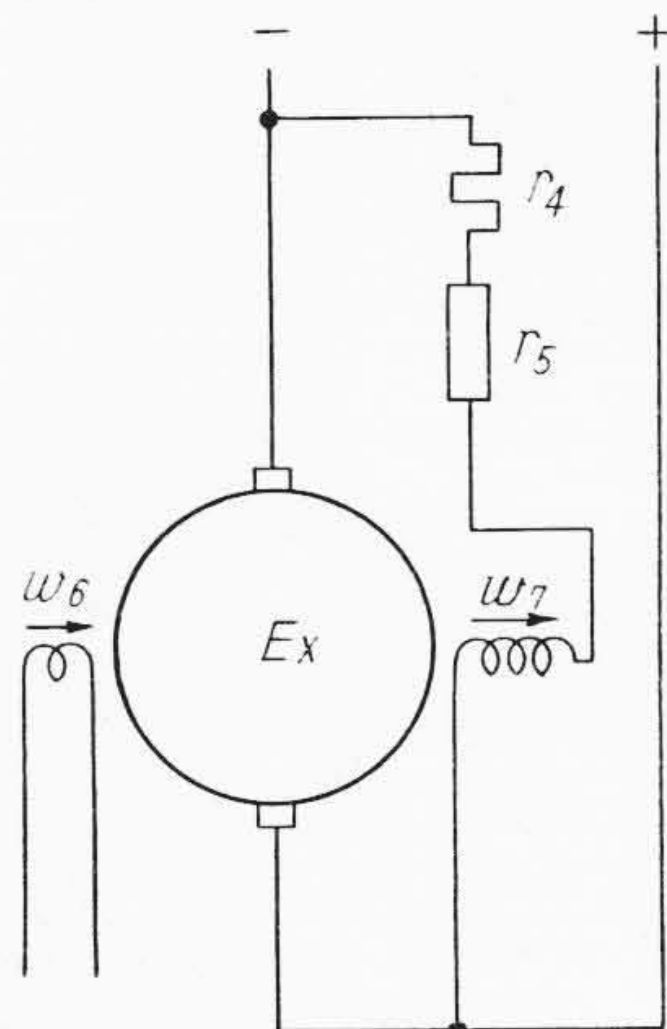
(宮崎)



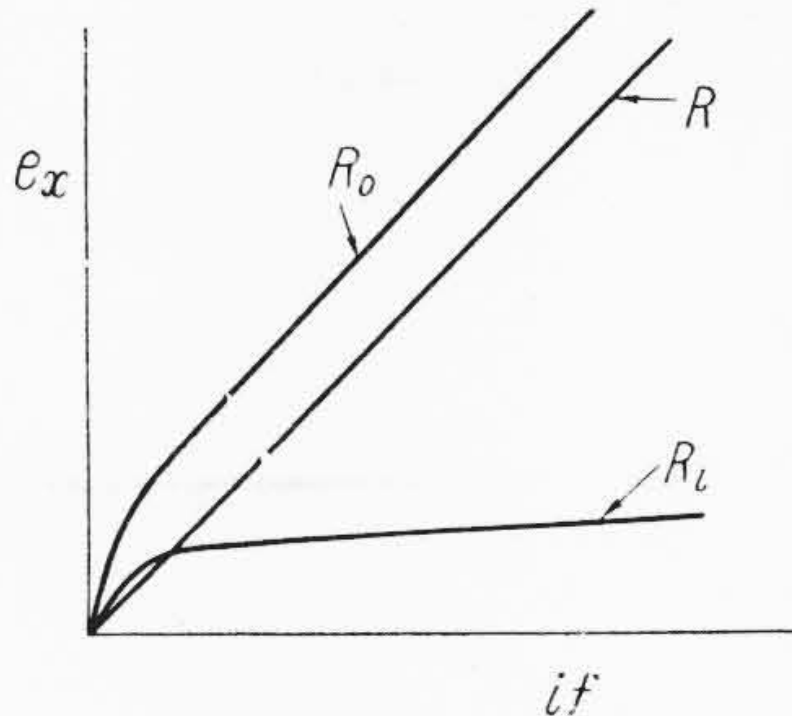
第1図



第2図



第3図



第4図

車輦内張り用 日立メラミン
プラスチック化粧板ヒッターライト

車輦内張り用 日立メラミンプラスチック化粧板，“ヒッターライト”は、昭和29年に日立製作所が、ビルマ国有鉄道に納入して好評を博したもので、その後昭和32年には、印度政府ボンベイ郊外電車一、三等客車内張り用として使用され、関係方面より絶讃を博している。

国内向車輦でも、信貴山ケーブルカー、京王電車などに使用されていて、今後ますますこの方面に需要の増加

第2表 ヒッターライトの一般特性

項 目	単 位	性 能	備 考
物理的性質	密 度	g/cm ³	1.38~1.42
	吸 水 量	mg/100 cm ²	100~200
	吸 水 率	%	0.6~1.2
	熱膨脹係数	層に平行 (縦)	10 ⁻⁶ /°C 20~30 温度範囲 0~70°Cで測定
		層に平行 (横)	10 ⁻⁶ /°C 25~35 温度範囲 0~70°Cで測定
		厚 さ 方 向	10 ⁻⁶ /°C 110~140 温度範囲 0~70°Cで測定
	熱 伝 導 率	cal/cm/S°C	50~80×10 ⁻⁵ 温度範囲 0~70°Cで測定
	比 熱	cal/°C/g	0.32~0.42 温度範囲 0~70°Cで測定
	耐 熱 性		120°C, 2時間 OK
	硬 さ	ロックウェル Bスケール	25~47
		スワード ロッカー	55~80
機械的性質	引張り強さ (縦)	kg/mm ²	7~10
	引張り強さ (横)	kg/mm ²	5~8
	曲げ強さ (縦)	kg/mm ²	11~15
	曲げ強さ (横)	kg/mm ²	8~11
	圧縮強さ (層に垂直)	kg/mm ²	20~30
電氣的性質	貫層耐電圧	kV/mm	14<
	沿層耐電圧	kV/15mm	25<
	絶縁抵抗	常 態	MΩ 6.5×10 ² ~6.5×10 ⁵
		煮 沸	MΩ 1~50
	体積固有抵抗	MΩ-cm	10 ⁴ ~10 ⁶
	表面固有抵抗	MΩ	10 ⁴ ~10 ⁶

注 (1) 試験は、JIS K-6707 (1952) に準拠して行つた。
(2) 電氣的性質は、使用着色剤によつて大幅に変動するもので、本表の値は、電氣的特性のすぐれた着色剤を使用した場合の代表的数値である。

第1表 ヒッターライトの標準品種

記 号	模 様	色 相	記 号	模 様	色 相
H-01	無	地	H-00352	大 理 石	緑
H-11	無	地	H-00332	大 理 石	褐
H-20	無	地	H-00381	大 理 石	灰
H-31	無	地	H-00230	チーク木目	チーク
H-40	無	地	H-00132	ラウン木目	褐
H-53	無	地	H-00181	ラウン木目	灰
H-55	無	地	H-00552	布	緑
H-62	無	地	H-00532	布	褐
H-80	無	地	H-00582	布	灰
H-90	無	地		布	灰

が期待される。

車輦用化粧板の特長は、外観が美麗でタバコそのほかマッチ火などによる損傷がほとんどなく、経日外観変化が少ないなどのほかに、水雑巾で拭くだけで簡単に清掃できることなど、維持管理の容易なことも大きな利点となつている。

またすぐれた防黴、防虫害性を有することも大きな利点で、東南アジア向け輸出車輦用として、外国仕様書にも指定されるほどである。

現在、ヒッターライトの標準品種は第1表に示すように、下記19品種で、厚さは1.5mmあるいは1/16inを標準とし、定尺寸法は、1,220×2,440mm で第2,3表に示す特性を有している。

第3表 ヒッターライト試験規格と成績

項 目	試 験 方 法 の 概 要	試 験 成 績
熱湯試験	100°Cの熱湯を毎分 100 cc の割合で 20 分間化粧面に注ぐ。	表面欠陥を生じない。
耐熱試験	180°C のワックス入り金属性平底容器を化粧面に 20 分間のせる。	表面欠陥を生じない。
耐燃試験	乾燥した巻煙草 1 本に火をつけて化粧面に 2 分間のせる。	表面欠陥を生じない。
汚損試験	化粧面にサンドペーパーをかけて粗面にし12種の薬品*中に 16時間浸漬する。	表面欠陥を生じない。
褪色試験	ギバー式褪色試験機で 30~50°C で 2 時間照射する。	変色、ムラなど表面欠陥を生じない。
吸水試験	原厚の 25mm 角試験片を 30°C の水中に 24 時間浸漬する。	吸水率 <1.5% 寸法変化率 0.3~0.5%

注 12 種の薬品は次のとおりである。

- | | |
|------------------|-----------------|
| (1) ガソリンまたはナフサ | (7) コーヒー |
| (2) 酢酸アミル | (8) 尿 素 (6.6%) |
| (3) アセトン | (9) 砂 糖 液 |
| (4) 四塩化炭素 | (10) 酢 |
| (5) アンモニア水 (10%) | (11) ヨードチンキ |
| (6) クエン酸溶液 (10%) | (12) 石 炭 酸 (5%) |