

# ポンプ無し鉄製水銀整流器

技術部整流器課 甲 斐 弘 道

## Pumpless Steel Tank Mercury Rectifier

By Hiromichi Kai

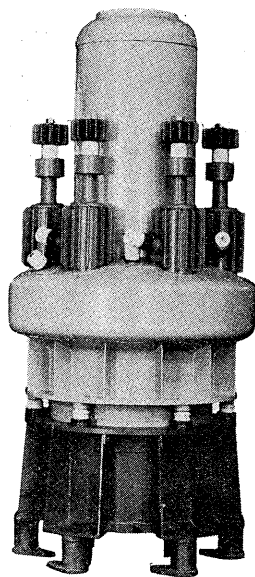
(Rect. Div., Eng'g Dep't)

### Synopsis

Having completed the first home-made mercury arc rectifier of pumpless steel tank recently, the nominal rating being 1,500 V 1,000 kW, we introduce its technical details in this paper.

Employing multi-anode air-cooling, no using the igniter, treatment of anode graphite, anode stem sealing system, construction of cathode etc. are explained. And it is remarked that three standard types of 1,250 A, 650 A and 300 A are being manufactured as "Pumpless MR".

先般当社ではポンプ無し封じ切り型の公称定格 1,500 V 1,000 kW の多陽極風冷式鉄製水銀整流器を完成した。当社がポンプ無し封じ切り型の研究に着手したのは戦前の昭和16~17年頃で、昭和12~13年頃欧州において先ず英国の English Electric が之を製作し次いで S. S. W., A. E. G. 等が引続いて製作を開始したことに刺戟されたことによる。その後戦争の渦中に入って軽金属用大電流整流器の製作が多忙を極めたため研究が一時中断の状態であったが、終戦後再び研究を再開し、昭和26年、27年、両年度においては運輸省より研究助成金を受けて研究を続けていたものである。完成を機会に簡単にこれを紹介した。

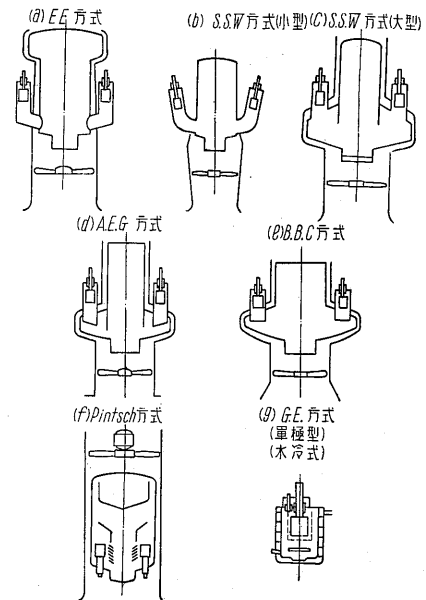


第1図 封じ切り整流器 (1,250 A型)  
公称定格 1,500 V, 1,000 kW  
600 V, 500 kW

Fig. 1. Permanently sealed rectifier  
(1250 A type)

### I. 世界における発達の沿革と現状

前述のように英国 English Electric が昭和12~13年頃 200~300 A 程度のものの封じ切り型を初めて製作したのがポンプ無し鉄製水銀整流器の世界における最初の



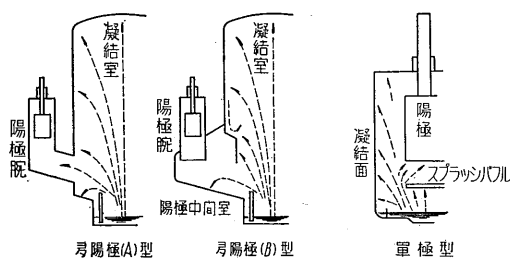
第2図 ポンプ無し整流器の各種

Fig. 2. Several forms of pumpless rectifiers

製品である。これは多陽極風冷式で第2図(a)のような硝子整流器に非常に似た恰好をしていた。その後直ちに、S. S. W., A. E. G., Pintsch 等の独逸各社が製作を開始し次第に容量も大となって来た。現在においては欧州では1,000 A乃至1,200 A程度のもの迄水銀整流器はすべてポンプ無し封じ切り型となっており、その形状は各社各特徴があって第2図(a)乃至(f)に示すようである。各社製品に共通した点は同一鉄槽内に各陽極を収

めた所謂多陽極型であることと、冷却方式が風冷式であることとである。

第一の点は封じ切りということと本質的に関係はないが、整流器の耐逆弧性、格子制御特性に重大な関係がある。多陽極型は上記各社の形状を見られればわかるように水銀陰極の真上の部分は水銀蒸気の凝結を司る凝結室或は陰極室と謂われる部屋である。耐逆弧性或は格子制御特性に直接的な影響を持つのは陽極近傍の状態であるが、多陽極型では陽極の存在する陽極室は上記凝結室の外周にこれと隔離して準備されている。このような構造



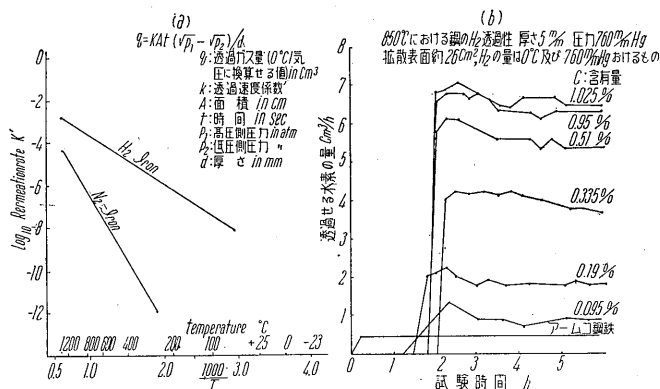
第3図 整流器の構造比較

Fig. 3. Comparison of rectifier construction

では整流器は相当の大電流が流れる場合でも、陰極から蒸発した水銀蒸気流は大部分上昇気流となって凝結室に至ってここで凝結するから、陽極室へは微少な気流がその狭い開口部から浸入するだけで陽極近傍の蒸気密度は大流範囲迄殆ど一定に保たれ、かつ陽極室への流入蒸気流に乗って来る余剰イオンの浸入も殆どない。この点から多陽極型のうちでも器に陰極室から陽極腕を突出させた第3図A型よりも、陰極室から流入した蒸気流を一度陽極中間室に入れ、ここに陽極腕が開口しているB型の方が優れているわけで、S.S.W.の大電流型 A.E.G., B.B.C. 各社の最近の構造がすべてこれを採用しているのが有力にこれを裏書していると言える。単極型は構造上陰極真上に陽極が存在するので、陰極からの水銀蒸気流が直接陽極面に当るのを避ける為にスプラッシュバフルを設けるが、それでも陽極近傍の蒸気密度イオン密度が蒸気流によって大幅に影響されるのを防ぐことが困難で、耐逆弧性格子制御特性の上に問題がある。

第二の点は封じ切りということに本質的に関係がある。過去においては水冷式整流器が全盛であったが、水冷式では水冷冷却面において漏洩電流による電気分解が行われ発生の単原子水素が多量に存在しこれが強い化学作用のため鉄板と結合し鉄板を通過して内部に滲透することは避けられない。この事は一寸奇異に感ぜられるかも知れないが拾数年前に Dällenbach が指摘して以来最

近では常識となっていることがらである。普通鋼板ではこの鉄板を通しての拡散が大で極軟鋼、特別極軟鋼、アームコ鋼と炭素含有量の少い鉄板程この拡散が減少するが、アームコ鋼でも猶整流器の真空中に影響する程度の拡散がある。整流器を風冷式にすることは水冷式の冷却設備の準備、並に保守の煩しさを除去した点に実用上の利点があるが、一方本質的には上記の拡散を防いだ意味で封じ切り型への飛躍の前提であったといえる。鉄板中の各種瓦斯の拡散の一例を第4図に示した。水素に比較して他の瓦斯は問題にならない。大気中の水素の含有量は微少であって短時日のうちに整流器の真空中に影響を与えることはない。この図の数値は一例であって鉄板の種類によって大巾に変化することに留意されたい。



第4図 鉄板中のガスの拡散

Fig. 4. Diffusion of gases in iron plate

その後不銹鋼であれば水冷式でも鉄板を通しての拡散が無いことから、不銹鋼を用いた水冷式整流器の封じ切りが研究され米国で小容量のものにこの適用を見ている。S.S.W. あたりでは鋼板に特殊処理を行って水素の拡散を防ぐ方法も研究している模様である。

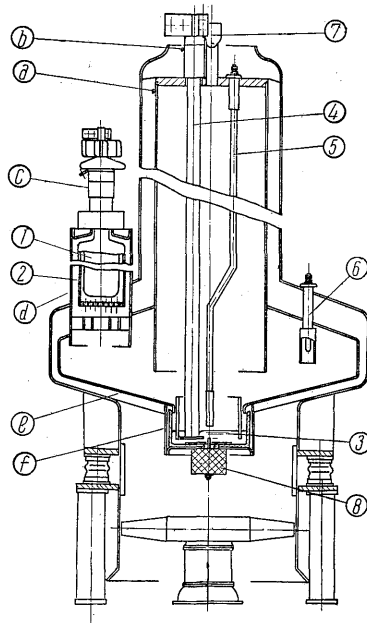
米国においては拾数年前から単極型の整流器が製作されていることは周知の通りであるが終戦後 G.E. が 400 A の封じ切りイグナイトロンを発表した。これは前記のように不銹鋼を使用して水冷式を採用したために水冷式の煩しさはまぬがれないが、小型にはできている。構造は第1図 (g) に示した通りである。点弧子を使用しているのでこれによって寿命が限定されるので大容量のものには難点がある。

## II. 富士電機ポンプ無しの技術的特徴

当社で製作しているポンプ無し整流器の技術的特徴というべきものを項目を追って簡単に説明する。

(a) 一般 上記のように多陽極型が単陽極型に比較

し優れた特性を有するので陽極中間室を持った多陽極型風冷方式を採用した陰極部絶縁封緘に最も信頼性のある封緘硝子焼嵌方式を採用するために陰極導体を凝縮筒頂部に引出したのが従来の整流器と特に相違している点で、構造断面は第5図に示す通りである。単陽極型にしてイグナイトロンとすれば陰極絶縁を省略することも一応可能であるが、槽壁電流の点も問題であり、又点弧子の寿命が2~3年ということによって整流器全体の寿命が限定されることはポンプ無し整流器として重大な缺点と考えるので採用しなかった。真空槽に使用した鉄板は前記のように瓦斯の浸入程度にも関係するので特に炭素含有量の少い特殊鋼板を用いてある。



第5図 富士電機ポンプ無し整流器の構造

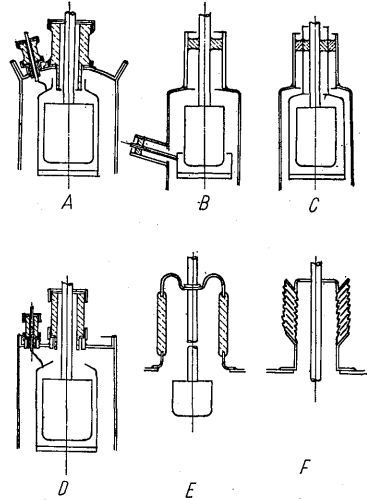
- |        |          |            |
|--------|----------|------------|
| 1. 陽 極 | 4. 陰極リード | 7. 排 気 口   |
| 2. 格 子 | 5. 点 弧 極 | 8. 点 弧 線 輪 |
| 3. 陰 極 | 6. 励 弧 極 |            |

Fig. 5. Construction of Fuji Denki's pumpless rectifier

- |                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| 1. Anode        | 5. Ignition electrode   |
| 2. Grid         | 6. Excitation electrode |
| 3. Cathode      | 7. Exhaust sole         |
| 4. Cathode lead | 8. Ignition coil        |

陽極その他に使用する黒鉛電極は完全に脱瓦斯すること及び遊離炭素を除去することは極めて困難である。従来の排気型整流器では普通 1,000°C 内外の真空炉で黒鉛電極の予備焼成を行っているが、予備試験の過程においてこの程度の処理では瓦斯の残留が認められたので新しく特殊真空炉を製作して、さらに高温において処理する方式を採用することにして此の問題を解決した。

(b) 陽極封緘部構造 第6図に現在ポンプ無し鉄製整流器に使用されている各種電極部封緘方式を比較図示した。Aは S. S. W. 及び富士が風冷式整流器に使用した硝子に白金被膜を焼付け之と鉄板を軟鐵で付ける方式、



第6図 陽極封緘部構造

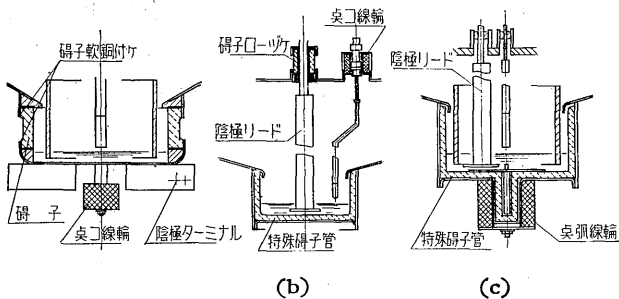
Fig. 6. Construction of anode sealing

Bは S. S. W. 及び富士がポンプ無し整流器に採用している方式で、電極導体に特殊鋼を使用しこれを同心的に包む真空槽壁円筒鋼管の中央に置きその間を特殊封緘硝子で封緘する構造である。外側鋼管、封緘硝子、導体特殊鋼の順序に熱膨脹係数が小となるように選んで置き、高温状態で硝子を熔融封着するもので、一種の焼嵌状態となり極めて信頼性の高いものである。電気絶縁性も極めて良い、ポンプ無し整流器の研究において最も時間を要したのはこの硝子の研究であって数百種類の組成の硝子をしらみつぶしに試験して最良の組成を決定したのである、製品についてはすべて7,000V A. C. 1分間の絶縁試験に温度試験として常温から300°Cへの熱冷を30分毎に5回繰返して後、圧力試験真空試験を行って嚴重な検査を行っている、特殊試験として短絡電流を流した後の真空試験をも行ったが何等異常を認めない。又機械力の試験としてアムスラー試験器で引張り試験を行ったが10 tonの荷重をかけて初めて破壊した。常時硝子にかかる陽極部或は陰極導体の重さは20 kg程度であるから全然問題はない。1 tonの荷重を繰返しかけた後真空試験を行ったが全然異状がない。第6図cは更に進んで格子導体を円筒形として陽極封緘部に組合せた方式で陽極と格子の組立作業の上からも利点が多いので現在この方式に切換中である。Dは A. E. G. の採用している方式で硝子硬鐵付、Eは G. E. で採用している方式、Fは中

付硝子封緘方式である。Eは同じく硝子を使用しているが両方の金属板を薄くして熱膨脹を逃がした方式である。

従来のゴムパッキンが真空漏洩があり老化するので、使用出来ないのはいうまでもないがマイカレックスも電気絶縁性の点並に老化の点において問題があるように思われる。

(c) 陰極部構造 陰極部の絶縁封緘方式として S. S. W. は第7図aのように碇子軟鐵付を採用し点弧は陰極部に点弧線輪を置いて水銀を吹上げている、B. B. C. もこれと似たような構造と想像される。A. E. G. は第7図bのように陰極水銀を特殊碇子の槽に入れ、陰極導体は上部から引出す構造としこの部分の封緘は陽極部と同じである。点弧は上部から点弧極を上下せしめる方式である。第7図cが今回当社が採用した方式で前記のように絶縁封緘として最も信頼性の高い硝子焼嵌方式を用いるため、A. E. G. のように陰極導体を上部カバーを貫通する構造としたが点弧極を上下するのは過去において破損した経験があるから点弧線輪を陰極下部に置いて水銀を吹上げる方式としている、従って陰極水銀を入れる特殊碇子の構造が複雑となるが苦心の結果これを完成した。



第7図 陰極構造  
Fig. 7. Construction of cathode

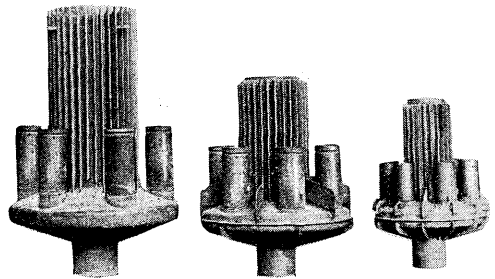
(a) 封じ切り方式

欧州における封じ切り型整流器はすべて排気管を直接封じ切る方式を採用した。米国において真空栓を常備して真空低下の場合にこれを用いて排気するような構造を見受けるが、二重栓にしても必ず真空漏洩が考えられ真空栓のために完全な封じ切りが不可能となる欠点がありこれを採用しなかった。

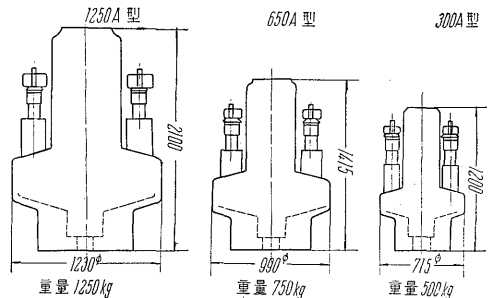
(e) 温度調整方式

風冷式であるので整流器を運転適温に保つために器槽温度に応じて送風扇の制御を行う必要があるが、このために陽槽中間室底部に水銀管式サーモスタットを設けこれによって自動制御を行う。真空極内水銀蒸気密度の平衡状態を維持するために送風扇停止の時は陽極加熱器が

投入されるように同時制御する。また過冷状態を避けるため陰極加熱器を設けてある。陰極加熱器を開放あるいは投入するのは約 35°C、送風扇が投入されるのが約 50°C、送風扇が停止されるのが約 40°C である。今回製作した1,250 A 器 (1,500V 1,000 kW 600 V 500 kW) において送風扇 4 HP、陽極加熱器各極 280W、陰極加熱器 4.7kW である。



第8図 ポンプ無し標準型各種  
Fig. 8. Several types of standard pumpless



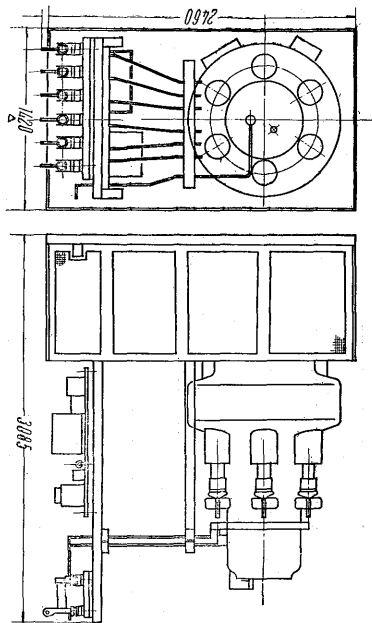
第9図 ポンプ無し整流器本体寸法及び重量  
Fig. 9. Body and weight of pumpless rectifier

(f) 外形寸法その他

第8図、第9図に今回製作した1,250 A 型並にポンプ無し標準型として引続き製作進行中650 A 型、300 A 型の真空構写真及び本体寸法図を示したが、従来の整流器に比較して極めて小型になっており、多陽極型の小型軽量という利点を発揮している。なお附属の点励弧、格子制御、温度調整に必要な装置を一体として組込んだキュービクルの寸法の一例として1,250 A 器について第10図に示した。猶陽極回路に短絡保護用の可熔器を計畫しており、これもこのキュービクルの内に収めることになっている。

(g) 試験結果一例

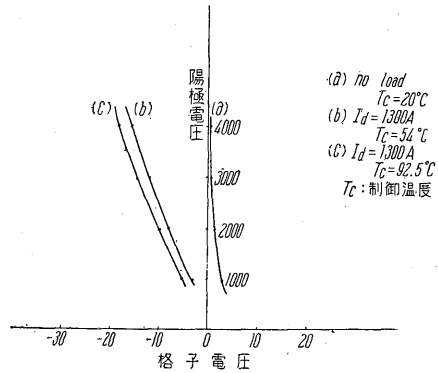
今回の1,250 A 器については1,800 A 迄の温度試験を行い負荷試験も長期間にわたって行った。結果の一例として第11図に各部温度上昇、第12図にアーク電圧測定結果、第13図に陽極点弧特性(無負荷並びに負荷時)を示した。アーク電圧が若干高く出ているがこれは第1図製



第 10 図 1,500 V, 1,000 kW 用整流器装置

Fig. 10. Equipment of 1,500 V 1,000 kW rectifier

品の陽極が小であったためでこれより 2 V 低いのが普通である。

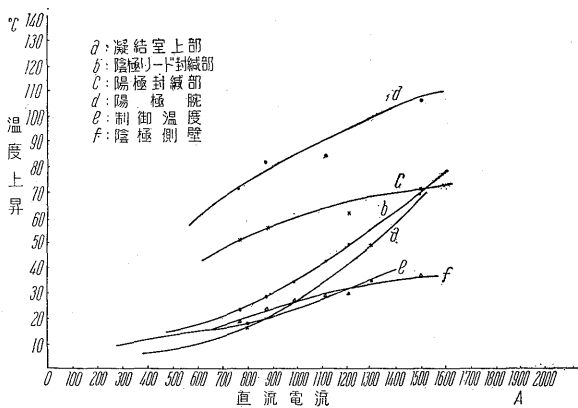


第 13 図 陽極点弧特性

Fig. 13. Anode ignition characteristic

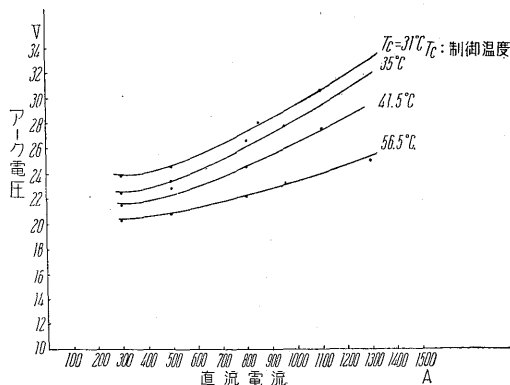
### III. 壽 命

ポンプ無し整流器について最も問題となるのは寿命である。硝子整流器が最近 1~2 年位の平均寿命を有するようになっているので、これより価格の高い鉄製整流器はこれに比較して相当長い期間の運転に耐えなければ実用上問題である。日本においては完成したばかりであるから実際運転の経験はこれからである。われわれは工場試験の結果に照して確信を持っているし欧州におけるポンプ無し整流器の実績から見ても 10 年は大丈夫と考えられる。参考までに S.S.W. 社のポンプ無し整流器の型録から納入実績を拾ったのが第 1 表である。1936 年から数えれば既に 18 年を経ている。440 台中外国向が 65 ある。外国に輸出するということはポンプ無し整流器が寿命の点で非常に信頼出来ることを裏書している。型録中にはフィンランドへ輸出した製品が 1940 年 10 月 23 日運転を開始して以来既に 13 年間無事故で運転し非常な好評を博していると述べている。外国の例で恐縮だが、真空処理方式が S.S.W. 社と同じ方式を採用している当社のもので寿命も之から推察出来る。S.S.W. 社のみならず、先年印度へ出張した当社員の話によると、E.E. 或は B.B.C. の製品が印度の僻地において長年月満足の運転を続けているということである。



第 11 図 各部の温度上昇

Fig. 11. Temperature rise at various parts



第 12 図 アーク電圧

Fig. 12. Arc voltage

### IV. 使用分野

電気鉄道用の整流変電所は次第に遠隔制御方式となり無人変電所となりつつある。封じ切り整流器はこの目的に最適であり、さらに進んで屋外変電所も十分可能である。欧州方面では多数のポンプ無し整流器が一般動力直流電源、静止レオナード制御方面に使用されており、上記第 1 表もこれを裏書しているが、日本においても真空

ポンプ無し鉄製水銀整流器

ポンプが無く、保守殆ど不用という利点から一般動力用に古河鋳業公称定格 550 V 300 kW 2 台、京王電鉄公称に大いに用いられる日が来るものと考え。当社では既 定格 1,500 V 1,000 kW 3 台を製作した。 (終)

第1表 S.S.W. 社ポンプ無し整流器納入実績

	電 鉄 用*					鋳 業 用				一 般 工 業 用				其 他				各 年 度 製作台数
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1936	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	1	—	—	—	2
1937	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	9	—	—	1	—	—	—	11
1938	1	1	2	—	—	1	12	4	—	2	6	9	—	6	—	—	—	44
1939	—	9	6	—	—	—	2	5	—	2	7	10	—	—	—	—	—	41
1940	—	—	12	—	—	—	—	2	—	—	1	8	—	—	—	—	—	23
1941	—	—	16	—	—	—	4	3	—	—	—	20	—	—	1	—	—	44
1942	—	1	22	—	—	—	—	2	—	—	2	18	—	—	—	—	—	45
1943	—	6	5	—	—	—	4	3	2	—	1	4	—	—	2	—	—	27
1944	—	2	6	—	—	—	—	9	4	—	—	1	2	—	—	—	—	24
1945	—	—	—	—	—	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7
1946	—	—	9	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	2	—	13
1947	—	—	4	—	—	—	4	5	—	—	—	—	—	—	—	2	—	15
1948	—	3	12	2	—	—	—	8	—	—	—	2	—	—	—	—	—	27
1949	—	—	16	—	—	—	2	2	—	—	—	10	—	—	—	—	—	30
1950	—	—	12	—	—	—	2	2	2	—	—	—	—	—	—	—	1	19
1951	—	—	8	4	—	—	—	1	2	—	—	2	—	—	—	—	1	18
1952	—	—	18	4	2	—	1	2	4	—	5	4	—	—	—	—	1	41
1953	—	—	5	—	—	—	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9
記	1	22	153	10	2	1	40	52	14	5	32	88	2	8	3	4	3	440

記 号	電 流 値	製 作 台 数
A	200 A	15
B	400 A	97
C	600 A	297
D	1,000 A	29
E	1,200 A	2
製 作 総 台 数		440 台

\* 註) 電鉄用の内には鋳山及び工場用電鉄は含まず。



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。