U. D. C. 621.314.65：621.335.2

車輌用水銀整流器の諸問題
Problemes of Mercury Arc Rectifier for Traction Use

毛利銓一* 浅野弘*
Sen'ichi Mori Hiroshi Asano

内容梗概

国鉄の交流電化により水銀整流器が新しい分野で使用されるようになつた。車輌用整流器として，数多くの問題が掲示された。本報告ではタンク型式，冷却方式，結線方式の諸問題にふれ，風冷エクサイトロン整流器にて，グループ結線を使用する方式の特長を解明し，あわせて日立製作所で製作された車輌用水銀整流器について説明する。

1. 緒言

近年国鉄交流電化の進展に伴つて種々の整流器型電気機関車および電車が次々と発表されてきた。水銀整流器は従来もつぱら地上設備用として製作され，運転されてきたのであるが，動揺常なき機関車，電車に設置され動揺下に通電を行うためには特別の構造が必要である。

また交流電気機関車にて整流器型は粘着特性においてすぐれた特性を有する結果，軸重当りの機関車出力が大幅に引上げられることになつた。そのため電気品の仕様は勢い，苛酷なものとなつてきた。しかるに整流器型電気機関車にて主電気品中，熱時定数の最も短いものは水銀整流器である。

ゆえに整流器型電気機関車において，水銀整流器の形式と容量，特に過負荷容量の選定はきわめて重要なる意味を有する。これら種々の制約に応じて車輌用水銀整流器は製作されねばならない。

機関車，電車に使用される水銀整流器は周知のように，もつぱら封じ切り単極型であるが，タンク型式，冷却方式，結線方式については種々あつて，それらはそれぞれ特長がある。本文ではその比較検討を行い，近年の傾向および将来の方向について論じ，あわせて日立製作所が開発した車輌用整流器を紹介し大方の御参考の一助に供したい。

型式，方式による分類は大略下記のようである。

（1） タンク型式
　エクサイトロン型とイグナイトロン型
（2） 冷却方式
　風冷式と水冷(液冷)式
（3） 結線方式
　（i） グループ結線とユニット結線
　（ii） 単相全波結線と単相ブリッジ（グレーツ）結線

2. タンク型式

単極型整流器にはエクサイトロン型とイグナイトロン型があることは広く知られているところであるが，両型式の比較を**第1表**に示す。

両型式の本質的な差異は起動装置を含めた陰極構造にあり，陽極部，器槽部についてはなんら本質的な差はない。すなわち使用回路条件(結線方式および直流電圧，負荷電流）によつて内部構造および器槽部が決定される。

第1表に示されるように，両者の差は起動装置にある。エクサイトロン型は陰極水銀面より約20～30mmの空間を距てて点弧極があり，起動装置により水銀吹上を行つて点弧させ，補助電弧を連続通電させる。

他方イグナイトロン型では陰極水銀中に約数mmのイグナイタを突込み，各サイクルごとに尖頭電圧を印加することにより補助電弧を発生させる。

そこで構造上は，エクサイトロン型では補助電弧を連続通電させるために器槽と陰極部を絶縁することが必要となり，陰極封緘が必要となる。しかるにイグナイトロン型ではその必要がない。ゆえにタンク構造としては，エクサイトロン型がやや複雑となる。

しかし，タンク使用上エクサイトロン型は次の3点がすぐれている。

2.1 タンクの寿命

封じ切り整流器にとつて最も重要な問題に"寿命"がある。封じ切りタンクの寿命を規定するものに通常，真空不良，起動装置不良，機械的損傷，内部劣化が考えられる。真空不良および機械的損傷は封緘型式および設計上の問題に帰着するが，従来の統計ではこの種事故にてタンクの寿命が規定された例はきわめて乏しい。通常タ

第1表 エクサイトロンとイグナイトロンの比較

タンク型式	起動装置	陰極封緘	水銀動揺対策	タンク寿命の規定	補機
エクサイトロン	水銀吹上	必要	さほど必要なし	内部劣化	両者ほとんど同一
イグナイトロン	イグナイタ	不要	きわめて重要	イグナイタ	

* 日立製作所日立工場

ンク交換を余儀なくさせられる事故は内部劣化(主として絶縁不良)と起動装置不良である。

エクサイトロン型では従来とも起動装置の事故はほとんど絶無に近く，寿命が規定されるものは内部劣化である。これは長年月使用した場合には，タンク内部に黒鉛を主とせる汚物が発生し，これが内部絶縁物(碍子)の表面に付着しその機能を損するに至る事故であつて，従来の例では少なくとも10年以上の年月を要する。

これに比してイグナイトロン型では，これより先に起動装置の事故が比較的短年月(約3～5年)に発生することが予想されている。これはイグナイタが数mm陰極中に突込まれ，かつその表面が陰極水銀と濡れずに接していなければその機能を消失する構造に主原因がある。すなわち長年月にわたりイグナイタ表面が清浄であり，かつ水銀面に酸化水銀，黒鉛粉が生じてイグナイタと水銀が導電状態にならぬ(放電が行われること)ことが必要である。

そこでタンク寿命の点より，明らかにエクサイトロン型がすぐれている。

2.2 陰極水銀の動揺防止

これは構造上の問題であるが，エクサイトロン型では点弧極と水銀面が空間距離にて20～30mm存在するに対して，イグナイトロン型では水銀中に数mmイグナイタを突込む構造からみて，前者の型式が問題少ないことは明らかである。

2.3 格子制御(電圧制御)

ノッチ数の増大，回生制動の利用が考えられるに及んで，整流器のすぐれた特長たる格子制御による電圧制御が近時次第に行われるようになつてきた。この場合格子制御電力の大幅に少ないエクサイトロン型では制御装置が簡単で信頼度が高い。

3. 冷却方式

1.に述べたようにタンク型式としては「タンクの寿命に対する考え方」を別にすればエクサイトロン型とイグナイトロン型では大した差異はない。

しかし冷却方式については整流器の過負荷容量の問題が関連し，さらにそれによつてタンク構造が左右されるので，きわめて重要なる問題である。

冷却方式としては一次冷却媒質は空気であるが，風冷式では空気を直接整流タンクに吹付け，水冷式では再冷却器を設置し，整流タンクは再冷却器により冷された液体によつて冷却される。

両方式の検討は冷却装置を含めた整流器セットの重量，占床面積を基準に，その過負荷特性を考慮する必要がある。第2表に両方式の簡単な比較を示した。

第2表 風冷式と水冷式の比較

冷却	全重量	占床面積	タンク寸法	直流電圧選定	熱時定数	保守
風冷	小	小	大	高い方が有利	短い	簡単
水冷	大	大	小	低い方が有利	やや長い	面倒

3.1 タンクに対する影響

風冷式と水冷式の差は両冷却媒質の熱伝達係数が大幅に異なることにより，タンクに対してはきわめて大きい影響を及ぼす。

風冷式ではタンク温度上昇をおさえるためには数多くの冷却片を器槽に取り付ける必要がある。ゆえに水冷式タンクに比して同一電流では，タンク内径が大きくなることは避けられない。すなわちタンク寸法は大きく，タンク重量も重くなる。タンク直径が大きくなると次のことが考えられ，かつ実施されている。

(1) タンク内部の電流密度が低くなるので尖頭負荷電流に対して安全になる。

(2) 陽極および格子寸法が大きくとれるので，二重格子構造を採用して電圧特性を改善できる。

この結果風冷式タンクでは同一出力に対しては，

(1)直流電圧を高くとり，格子構造の特長をいかす。

(2)負荷電流を減らし(直流電圧上げる)タンク温度上昇を減らす。

これに対して水冷式では，陽極寸法は電流密度および陽極頭温度より制約されるので，水冷式の特長を発揮するためには格子構造を一重にする方が有利で，二重格子とするときは，タンク寸法は陽極，格子構造により決まるので，タンク寸法，重量は風冷式と差が乏しくなり，再冷却器のみ重く，かつ寸法大なるセットとなる。そこで水冷式では格子構造を一重にして電圧特性の許す範囲で使用する。すなわち直流電圧低い方が有利である。

3.2 負荷特性に対する影響

整流タンクの容量を決定するものは，タンク温度（負荷電流）と回路電圧（主として主変圧器二次電圧—直流電圧）である。

機関車用整流器の負荷について，次の3点を考慮する必要がある。

(1) 勾配起動—機関車の粘着特性を最大限に利用した場合で，通常この負荷時間は2～3分である。

(2) 勾配力行運転—勾配起動可能負荷にて勾配線区を数 km～10km 力行する場合がこれにあたり，通常この負荷時間は8～17分となる(平衡速度35km/hとす)。

(3) 連続力行運転—(1)(2)のように線区の最大勾配以外の線路条件にて運転した場合で負荷時間は時間の単位となる。

整流器の熱時定数は設計により多少の変動はあるが，通常下記のような数値となる。

風冷式タンク器槽部　3～5分
水冷式タンク器槽部　1～2分
再冷却器　6～8分

周知のように，熱時定数は熱容量と冷却能力の比で表現されるので装置の重量が軽いほど，また冷却能力が大きいほど短縮される性質をもつ。水冷式タンク器槽部では一見冷却水が熱時定数を増すように考えられるが，冷却水が十分乱流状態でタンク側面の水量がすべてタンク熱容量に寄与するとしても，その水量は高々 1～2l にて熱容量的には鉄に換算して 7.5～15kg にしか匹敵し得ない。そこで水冷式タンク器槽部は軽量なるため風冷式に比してその熱時定数が 1/3 程度となるのは当然であろう。

他方整流器の発生する損失は負荷電流にほぼ比例する。

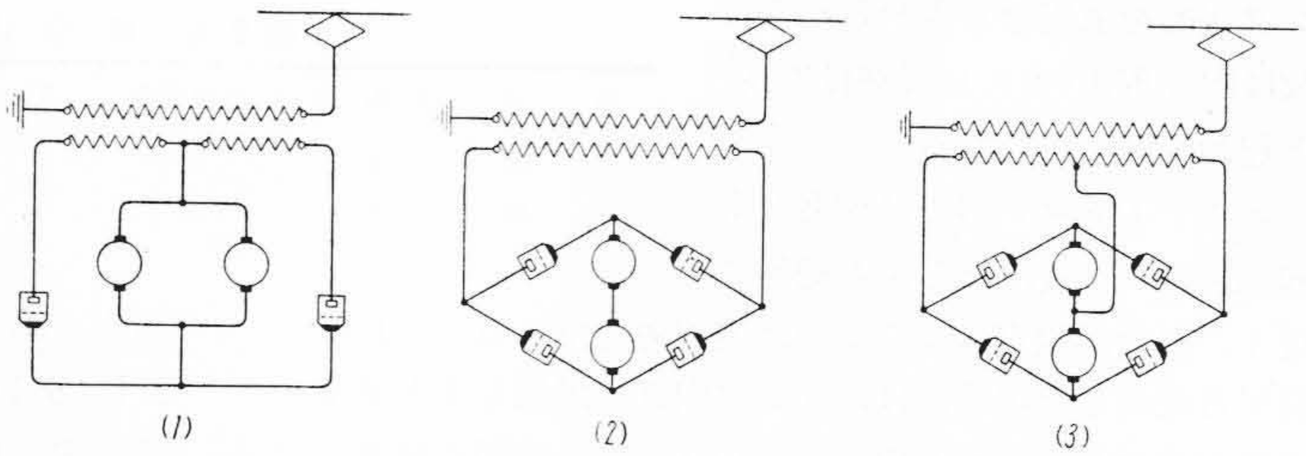
負荷側の条件を考えれば(3)は変圧器，主電動機の熱時定数によつて左右されるが整流器にとつては問題にならない。(1)の勾配起動の場合には負荷時間が2～3分であるため熱時定数を考えれば問題少なく，(2)勾配力行運転時には8～17分となるので，(2)が最も問題である。

熱時定数のみを考えれば8分くらい(約5km)の力行運転には水冷式が一見有利に考えられるのは，もつぱら再冷却器の熱時定数大なることに基因する。しかもタンク器槽部は風冷式よりかえつて熱時定数が短いので，熱時定数による有利性はもつぱら再冷却器に求められる。このことは別の見方をすれば再冷却器の重量寸法が大きいことを物語るもので，あまり強力な冷却効果を持たせる場合は水冷式に見られる熱時定数上の有利性は重い機関車となる不利益によつて相殺される。

水冷式においても，できうるかぎり直流電圧を高め直流電流を減らす方策を講ずることが，整流器のアーク損失による電力損を軽減し再冷却器を小さくすることが望ましい。かかることはタンクは二重格子構造となり，その寸法は風冷式と大差なくなることを意味する。

総合的にみると整流器セットの重量，寸法を両方式にて同一とする条件で比較すると風冷式の方が数多くの整流タンクを使用しうるので，風冷式における熱時定数の不利は解消し過負荷耐量はかえつて大となる。

整流器の過負荷—時間特性および定格については後記する。



第1図　単相全波結線と単相ブリッジ(グレーツ)結線

第3表　結線方式の比較

結線方式	MRTr容量			タンク数	MR補機電位	MR損失	MR印加電圧	粘着
	一次	二次	平均					
単相全波	100	141	120.5	2×N	1 種類	100	100	良
単相ブリッジ (1)	100	100	100	4×N	3 種類	200	50	不良
単相ブリッジ (2)	100	100	100	4×N	3 種類	200	50	良

3.3　整流器保守上の問題

両形式保守上の差は風冷式では送風機（機関車1輌当り2～3台），水冷式ではポンプ，送風機，および水関係の保守である。水冷式では水関係の保守が追加されるが，水関係で漏水，水垢付着，循環水の補給など面倒な作業が必要となる。地上設備用整流器では水冷式から風冷式に完全に移行したが，車輌用整流器でもその傾向に進むものと考えられる。

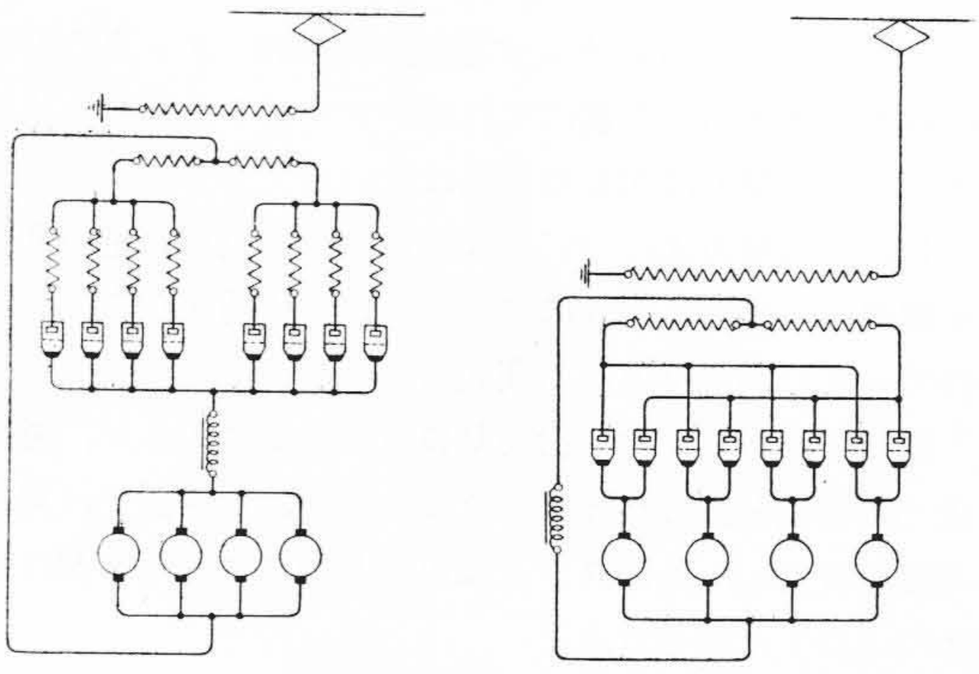
4. 結　線　方　式

整流器型機関車では主回路特に整流器回路の結線と主電動機の結線方式が問題である。

4.1　単相全波結線と単相ブリッジ(グレーツ)結線

車輌用整流器は単相交流電力を直流電力に変換するので，主変圧器の結線方式は単相全波結線と単相ブリッジ結線に分類される。第1図にはその結線図，第3表には結線方式の差異を示した。

交流機関車では変圧器二次電圧を任意にとりうるの



第2図　グループ結線とユニット結線

で，変圧器の損失よりも整流器の結線方式の得失より決まる場合が多く，通常整流器の利用率のよい単相全波結線が使用され，単相ブリッジ結線は特殊例にとどまる。

4.2 グループ結線とユニット結線

結線方式にて重要な点はグループ(共通陰極)結線とユニット(単一)結線の比較である。第2図に両結線方式を示す。結線方式に対しては次の事項が考慮されねばならない。

（1） 粘着特性の改善

（2） 主機(整流器および主電動機)故障時の運転

（3） 整流器補機

（4） 整流器逆弧時の問題

（1） 粘着特性の問題

本問題はその影響する範囲が広く，単に結線方式のみではいいきれない。しかし従来の試験結果ではノッチ間電圧および直流主回路の構成に利害得失は存するが，結線方式による本質的な差はないようである。

（2） 主機（整流器および主電動機）故障時の運転

力行運転中万一整流器が事故発生し，不良タンクを開放せざるを得ない場合はグループ結線が有利となる。

すなわち列車抵抗は周知のように列車速度に対して大幅な変動はない。そこで整流タンク事故の場合ユニット結線ではそのユニットに属する主電動機は使用し得ない。このため機関車は主電動機1台を欠いて運行することになり，健全ユニットの整流器および主電動機は過負荷状態になる。特に粘着特性を限度まで利用する機関車にて事故時勾配再起動を余儀なくさせられる場合には再起動が非常に困難となる。しかるにグループ結線では，整流器のみ過負荷となるが直流出力電圧はほとんど変らないので主電動機は正規運転となんら変らない状態となる。

また主電動機故障時は起動できれば，グループ結線では電動機のみ過負荷となるが整流器は正規状態が保たれる。しかしユニット結線では電動機整流器とも過負荷となる。ゆえにグループ結線ではタンク数を2の倍数に選定しうるが，ユニット結線では主電動機の2N倍数を選ばねばならない。そこで整流タンクの選定にとつてはグループ結線は大きな自由度を有することになる。

（3） 整流器用補機

水銀整流器用補機としては点励弧装置（あるいは点弧子付勢装置）格子制御装置が必要となるが，いずれも片側は整流タンク陰極電位となる。それゆえグループ結線では陰極電位が全タンク共通となるので補機はきわめて簡単となり部品類が少なくてよい特長を有する。

（4） 整流器逆弧時の問題

本問題は十分検討する必要がある。水銀整流器において逆弧がある確率をもつて発生することは避けられない。逆弧を発生した場合その整流タンクは弁作用を失い，陽極，陰極間短絡状態になる。そこで交流側に対しては変圧器二次短絡，直流側に対しては交流饋電を伴つた直流短絡となる。

しかも主電動機は通常整流器の生ずる脈流電流対策のため主界磁巻線に並列に分路抵抗を有し，さらに大幅な弱め界磁制御を行う。ゆえに整流器が逆弧すると逆弧極を通して主電動機より逆流（正規通電方向に流れる）を発生することになり，保護上種々の問題を含む。

保護装置としては，交流側に空気遮断器，整流器格子遮断，高速度短絡スイッチ，ユニットスイッチ，直流側に直流断流器，高速度直流遮断器などの組合せが考えられる。本問題については別の機会に詳細に述べることにして，ここでは結線方式による差異のみ論ずる。

整流器逆弧発生により主変圧器二次巻線は健全タンクと逆弧タンクを介して短絡状態になるので，交流事故電流は主変圧器，陽極リアクトルのインピーダンスにより決まり，結線方式による差はない。

直流側より発生する逆流値は直流回路側の回路常数によつて決まるが，グループ結線ではユニット結線に比してやや多くなる。しかし普通の回路構成では直流側逆流は交流側事故電流の 1/2～1/4 にすぎない。

しかも機関車用主変圧器は重量，寸法の制限より通常インピーダンスは地上用のものに比して相当大きく，事故電流は大幅に少ない値を示す。

第4表 各国整流器型機関車比較（整流器）

製作者(電気品)	国名	ロコ名称	ロコ出力(連続)(kW)	直流電圧(V)	タンク形式	整流器冷却	1輌当りタンク数	結線	ロコ重量(t)	主電動機数
日立	日本	ED—4521	1,500	650	エクサイトロン	風冷	8	グループ	60	4
三菱	日本	ED—70	1,500	570	イグナイトロン	水冷	8	ユニット	62	4
東芝	日本	ED—4511	1,100	1,500	イグナイトロン	風冷	4	グループ	60	4
S. W. H.	仏	BB—1200	2,450	675	イグナイトロン	水冷	8	ユニット	84	4
*	仏	軽量ロコ	2,160	1,500	エクサイトロン	風冷	4	グループ	59	2
*	仏	2周波ロコ	3,680	1,750	エクサイトロン	風冷	8	単相ブリッジ	84	2
A. E. G.	独		1,860	960	エクサイトロン	風冷	4	グループ	132	4
S. S. W.	独		1,860	960	エクサイトロン	水冷	4	グループ	132	4
B. B. C.	スイス		1,860	960	エクサイトロン	風冷	6	グループ	132	4
W. H.	米		3,000(HP)	600	イグナイトロン	水冷	12	ユニット	170	6

* 製作中

ゆえに整流器逆弧時には整流器，主変圧器とも割合楽な状態にあるものといいうる。

以上述べた比較検討の結果日立製作所にて試作されたED—4521 電気機関車はグループ結線方式を採用した。

5. 近来の整流器型電気機関車（整流器を主体として）

ここで近年発表され現在運行ないし製作中の整流器型機関車（主として水銀整流器）について触れ，整流器の傾向について述べる。**第4表**にその一例を示す。

一言にしていえば，米国系統の製作者は水冷イグナイトロン，ユニット結線，欧洲系統の製作者は風冷エクサイトロン，グループ結線方式である。

近来の傾向は，車輌の軽量大出力化および粘着特性の改善のため主電動機装荷は1ボギー1モータの形式が多く採用されるようになつてきた。このため主電動機は大出力を要求されるようになり，直流出力電圧は次第に高く採用されるようになつたことは明らかである。ゆえに今後機関車用整流器は次第に風冷式になつていくことが考えられる（3.1参照されたい）。

6. 車輌用整流器の定格と過負荷容量

車輌用整流器の定格および過負荷容量をどこにおくかについて考察を進めたい。

車輌が必要とする牽引力を大幅に簡略化すると周知のように次の式に表現される。

$$T=f(v)(W_1+W_2)+C_1\triangle K(W_1+W_2)+C_2\alpha(W_1+W_2) \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\mu=T/W_1 \quad \cdots\cdots (2)$$

T＝牽引力

W_1＝機関車重量（電動車重量）

$\triangle K$＝勾配（‰）

α＝加速度

$f(v)$＝列車速度による函数

C_1C_2＝比例常数

ただし（2）式は簡略のため，動力車全重量が粘着に利用されたものとする。上記にて$f(v)$は起動時（速度＝0）にて比較的大きいが速度上昇とともにいつたん低下して後上昇するもその割合は少ない。実際上は下記の分類が考えられる。

（1） 勾配少なく超重量牽引起動の場合（高加速起動も含む）

この場合は（1）式第3項が決定的な因子となり加速度の選定が問題となる。場合によつては起動加速時間が4～8分に及ぶことがある。わが国ではその例が乏しいと考えられる。しかし平衡速度になると必要牽引力は大幅に下る。電車の場合には急加速が要求されるので電車用では加速トルク→牽引力→整流器の負荷電流が決まり，勾配などは決定的要素とならない。

（2） 勾配大きく重量牽引起動の場合

このときは（1）式第2項が最も重要な因子となり，第3項は（1）の場合ほどでない。しかも平衡速度に達しても牽引力が大して低下しない点に特長がある。起動加速時間は2～3分であるが平衡速度での負荷時間は勾配距離および平衡速度より決まる。これは**3.2**（2）に述べたように8～17分連続負荷される。わが国のように勾配が20～25‰の存在する線区では（2）が最も問題である。

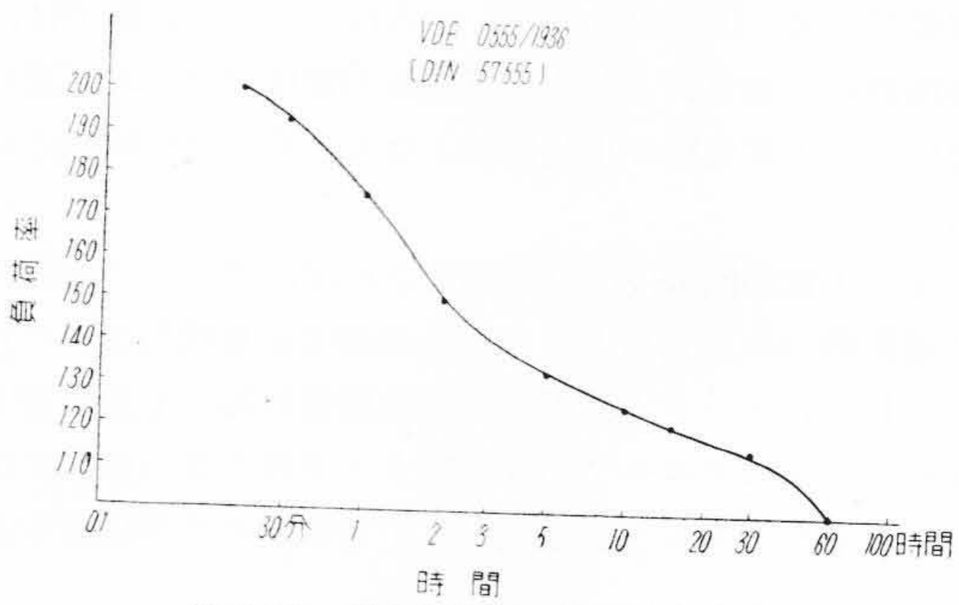
（3）牽引重量低く高速運転せる場合

この場合は（1）式第1項および第2項により牽引力が決まるが通常機関車効率向上のため，同一形式の機関車を使用する場合が多いと考えられるのでこのときは（2）の場合よりも牽引力は低くなり整流器として問題にならない。

整流器容量は一次冷却媒質たる空気温度と負荷電流およびその通電期間により決まる（主変圧器タップ電圧100％にて）。整流器の定格および過負荷容量は使用線区条件，牽引定数，運転ダイヤより決定されることになる。

御参考までに欧洲で行われている整流器過負荷容量と時間の関係を**第3図**および**第5表**に示す。

第3図はドイツ VDE 055/1936 に規定された特性で主に小型多極水冷排気型整流器を規準として制定されたもので現在も使用されている。現在の単極型では風冷式，水冷式とも印加時間2分以内ではこの規定値より上回つ

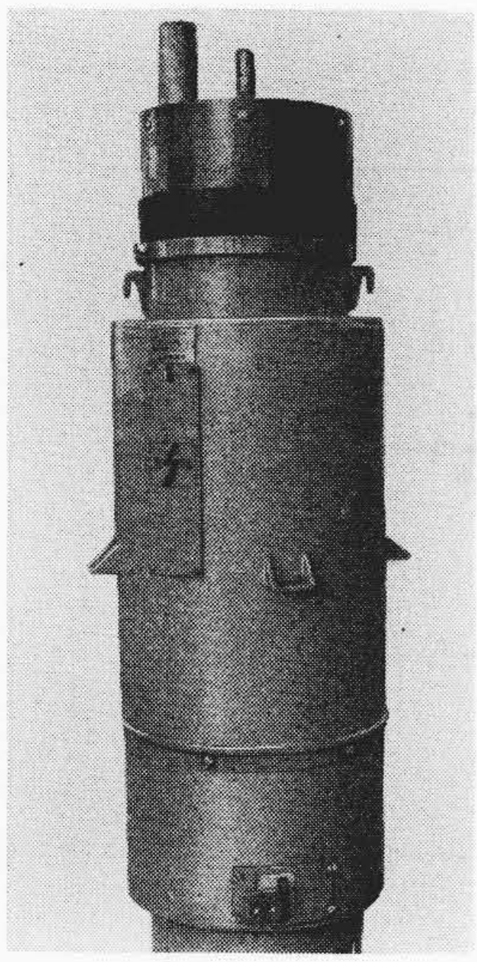


第3図　整流器過負荷一時間特性
（ドイツ VDE 055/1936 規格）

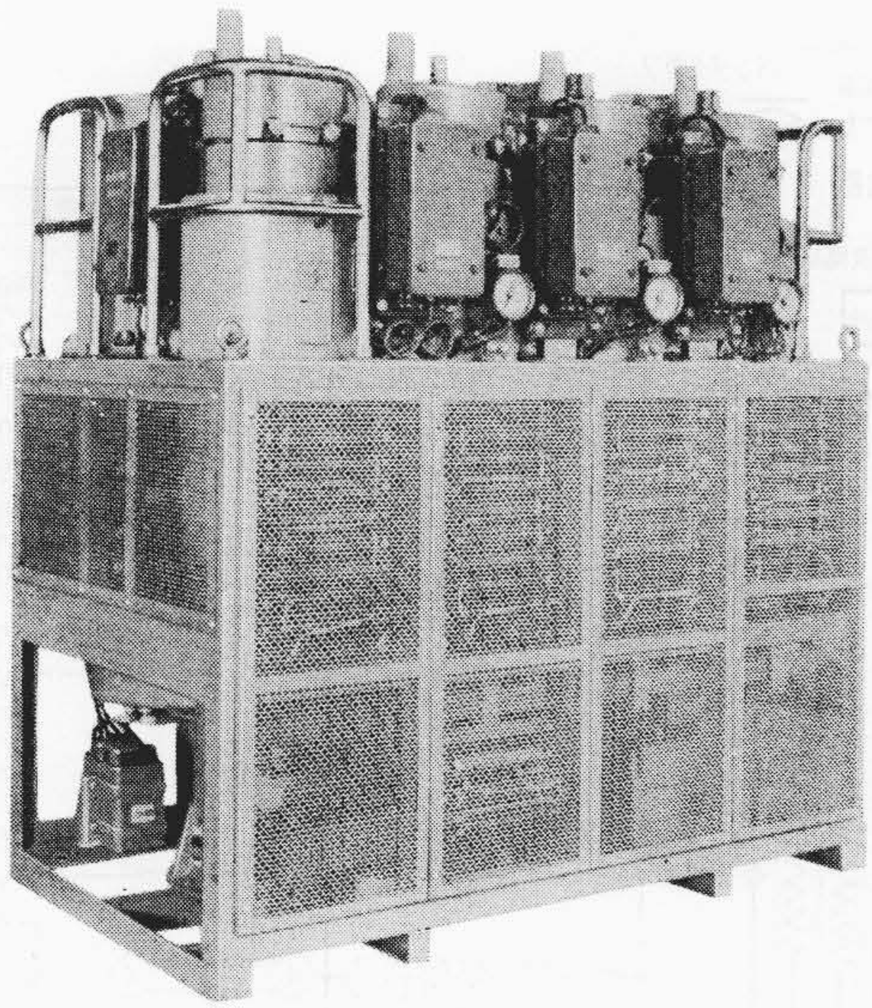
第5表　整流器過負荷特性
（フランス国鉄）

	軽量ロコ	車輌用	地上用
連続	100	100	100
2時間	—	—	150％
20分	112	—	—
10分	125	130	—
起動	150	156	*300％

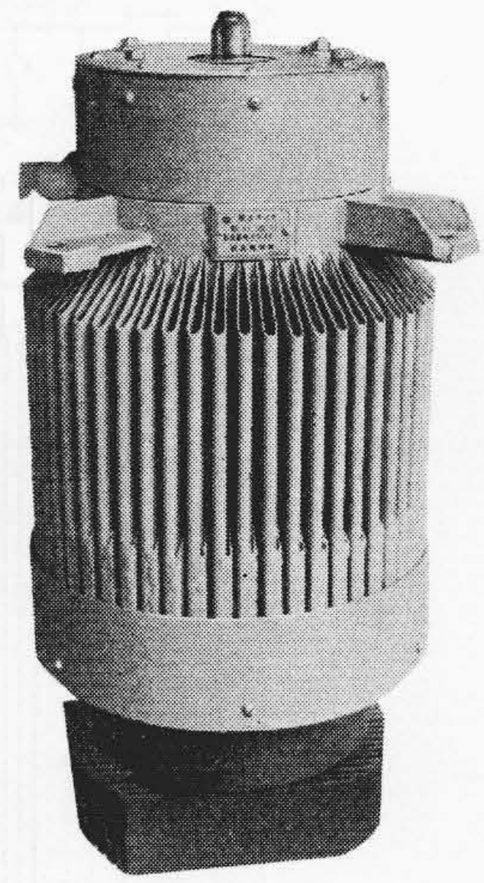
＊＝5分



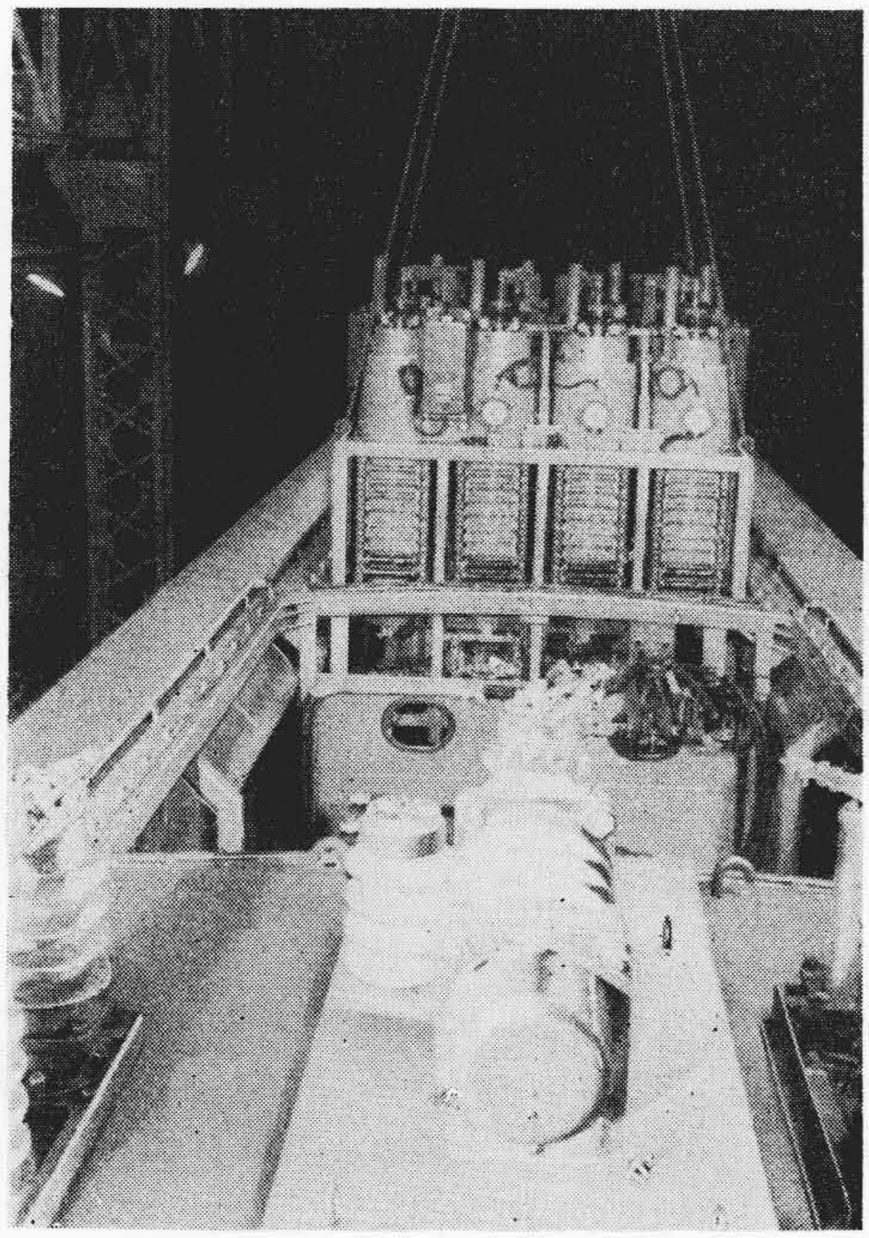
第4図　機関車用整流タンク



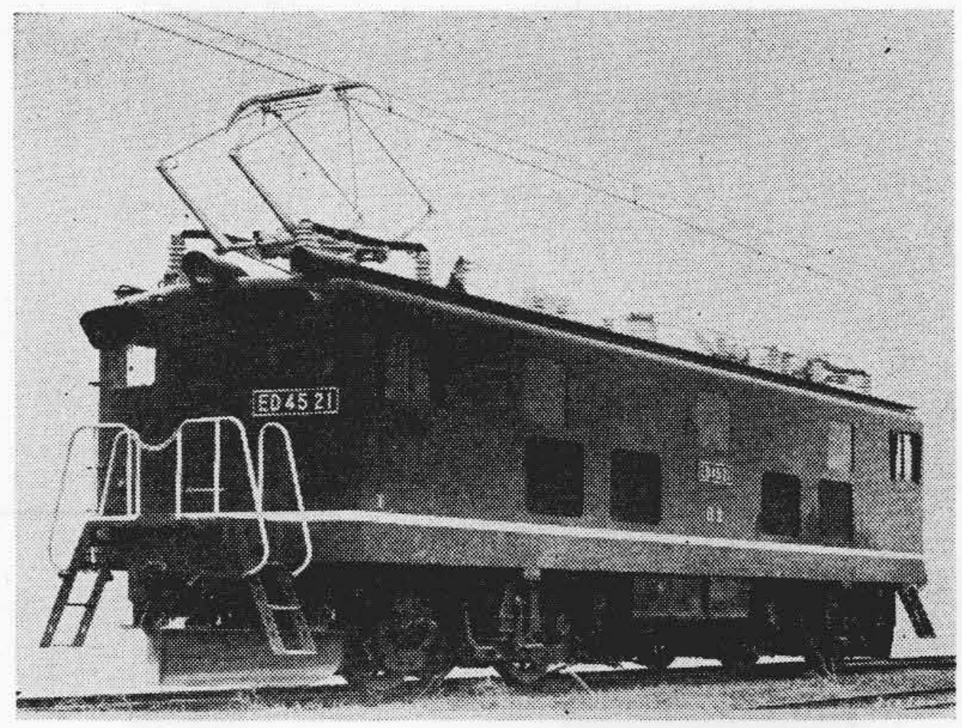
第5図　機関車用整流器セット



第6図　電車用整流タンク



第7図　機関車組込中の整流器セット



第8図　日立エクサイトロン型機関車

た過負荷容量が得られているが，大体妥当な特性と考えてさしつかえない。**第5表**はフランス国鉄にて考えている過負荷特性である。

われわれも今後さらに実験および実際運転の経験を積重ねてゆかねばならないが，短時間(2分以内)の特性を除き，VDE 規格がほぼ実状に合致しているものと考える。

ゆえに

機関車用整流器は勾配起動および勾配力行運転

電車用整流器は加速度の選定

により整流器容量を決定すべきものと考えられる。

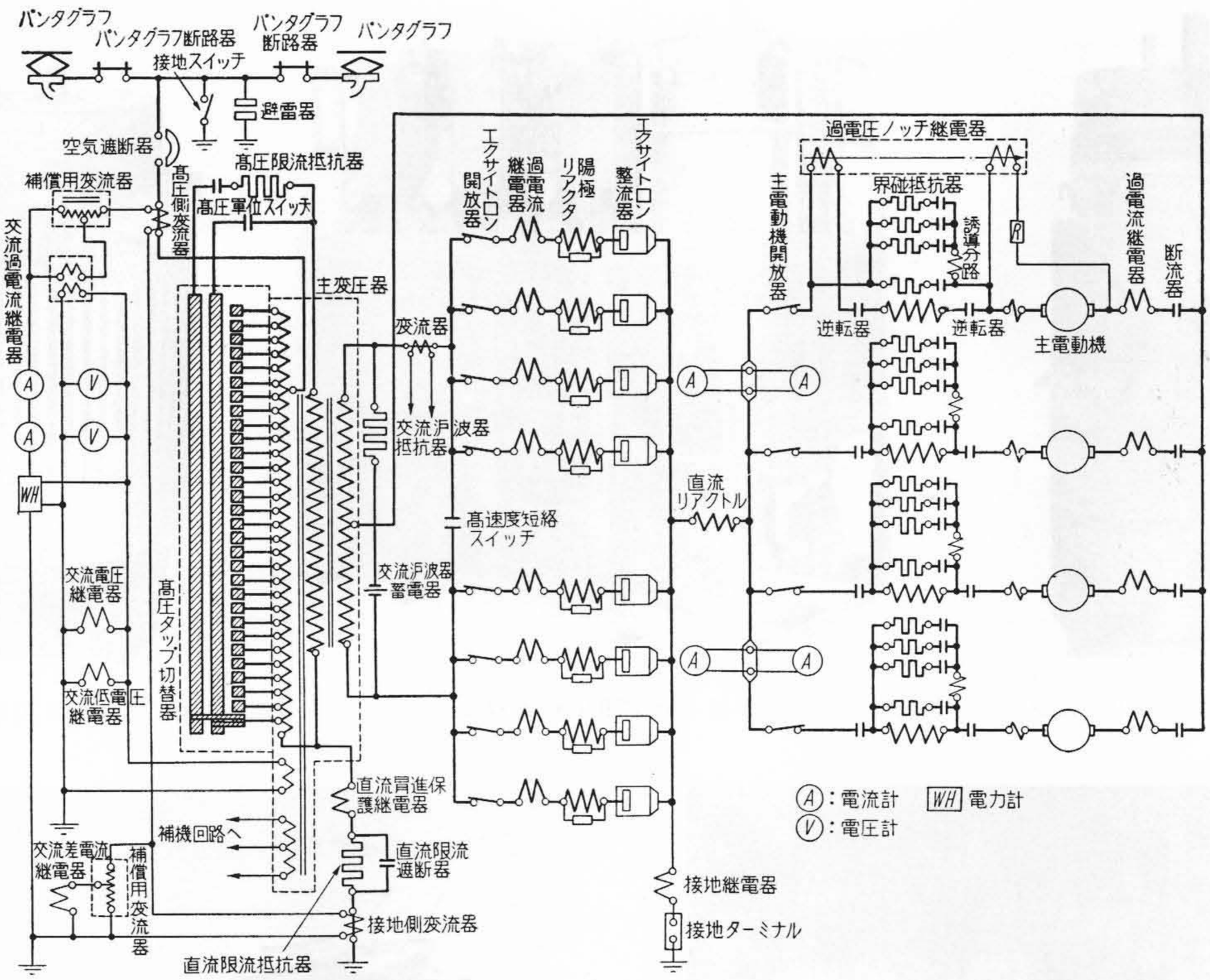
7.　日立車輌用エクサイトロン整流器

日立製作所は整流タンク形式の選定にあたり，封じ切り整流器最大の問題たる"タンクの寿命"を重視して，エクサイトロン型を採用した。

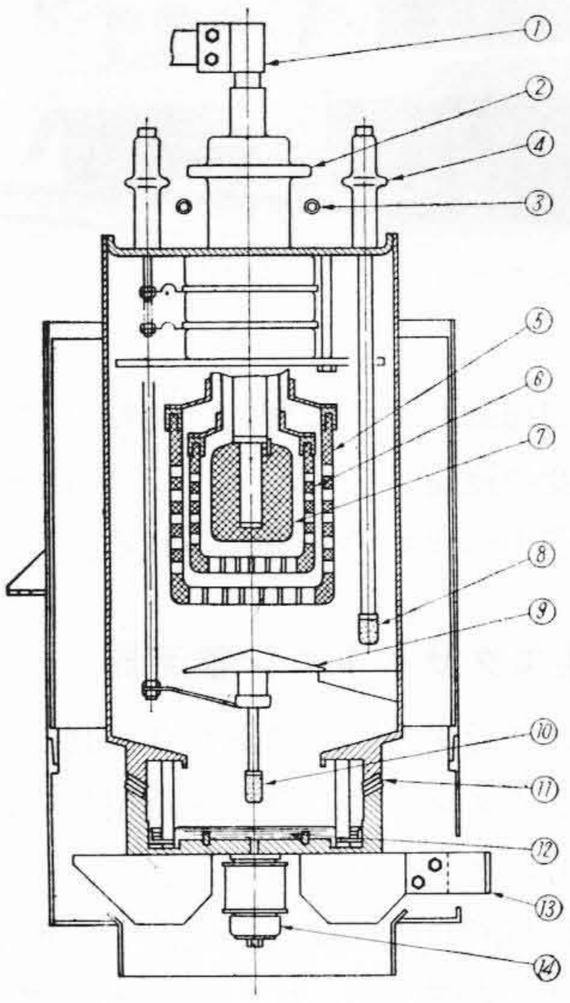
冷却方式についてはわが国のように勾配大にして重量牽引を行う線区に使用される機関車，および短時間(2分以内)の急加速を必要とする交流電車には，占床面積，重量，保守の点で有利な風冷式を採用した。

結線方式については**4.1**，**4.2**に述べたように利用率の良好な単相全波グループ結線を使用した。

第4図は機関車用整流タンク，**第5図**はその整流器セット，**第6図**は電車用整流タンク，**第7図**は機関車組込



第9図　日立エクサイトロン型機関車主回路ツナギ図



番号	名　　称
1	陽極ターミナル
2	陽極封緘
3	陽極加熱器
4	励弧極封緘
5	第1格子
6	第2格子
7	陽　極
8	励弧極
9	スプラッシュバッフル
10	点弧極
11	陰極封緘
12	陰極水銀
13	陰極ターミナル
14	起動コイル

第10図　整流タンク断面図

作業中，**第8図**には日立エクサイトロン型機関車全景，**第9図**はその主回路結線図を示す。

7.1　整流タンク

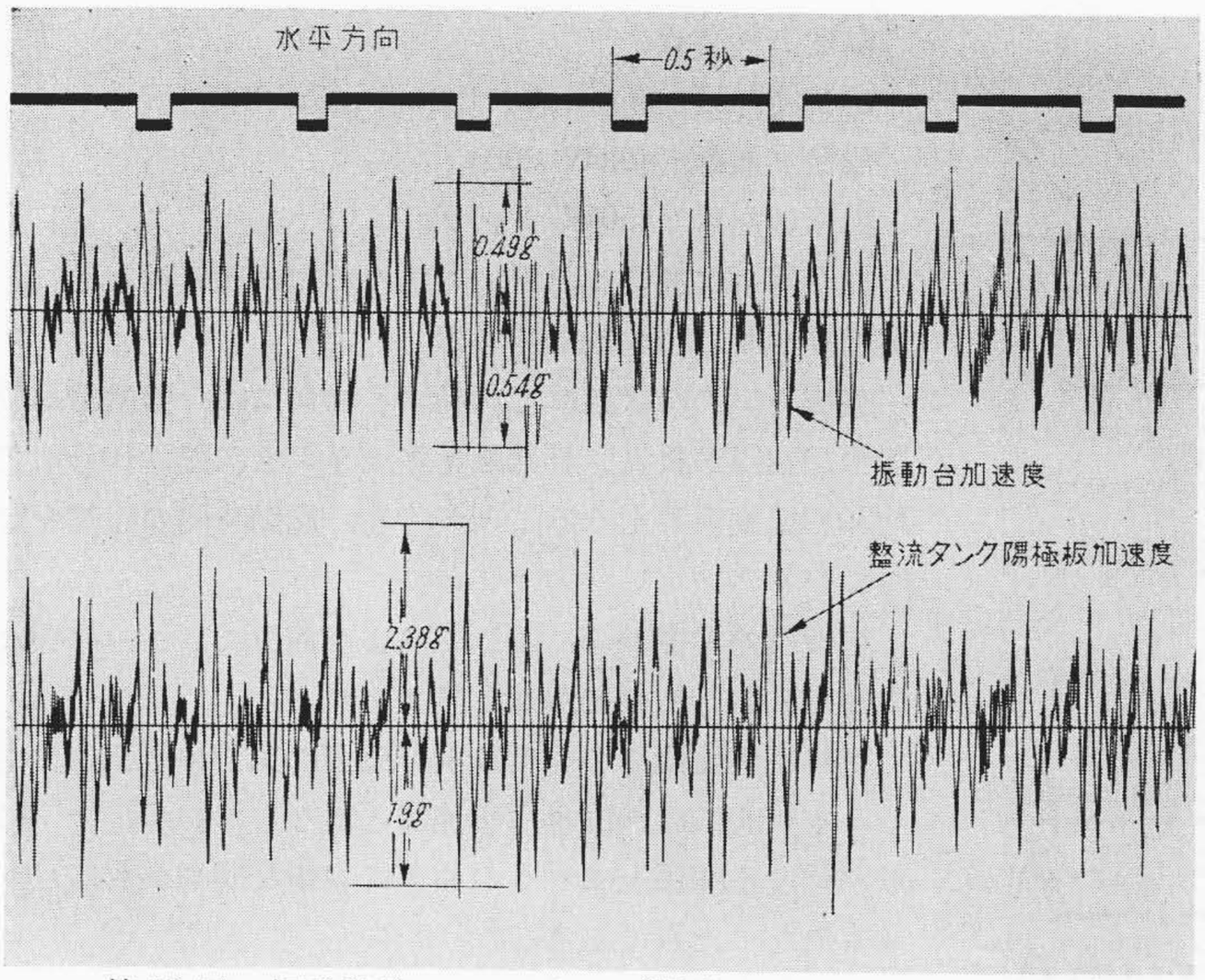
内部構造としては，地上設備用整流タンクと本質的に異なる点はない。ただ車輌に搭載するので寸法制限，耐震構造，陰極水銀動揺防止が必要となる。**第10図**には整流タンク断面図を示す。

陽極部をはじめ，各部の固有振動数を極力上げて車体より発生する振動と共振しないように考慮されていることはもちろんであるが，各部分の取付方法については長時間の振動状況下でもゆるみ，疲労破損を生じないようになつている。特に籠形格子をはじめとするグラファイト関係は特殊な取付金具を使用している。工場試験では振動試験台に整流タンクをのせ，約30日連続振動下に通電させその異常なきことを確めた。**第11図**は試験タンクに加わる加速度の状態を測定したオシログラムである。

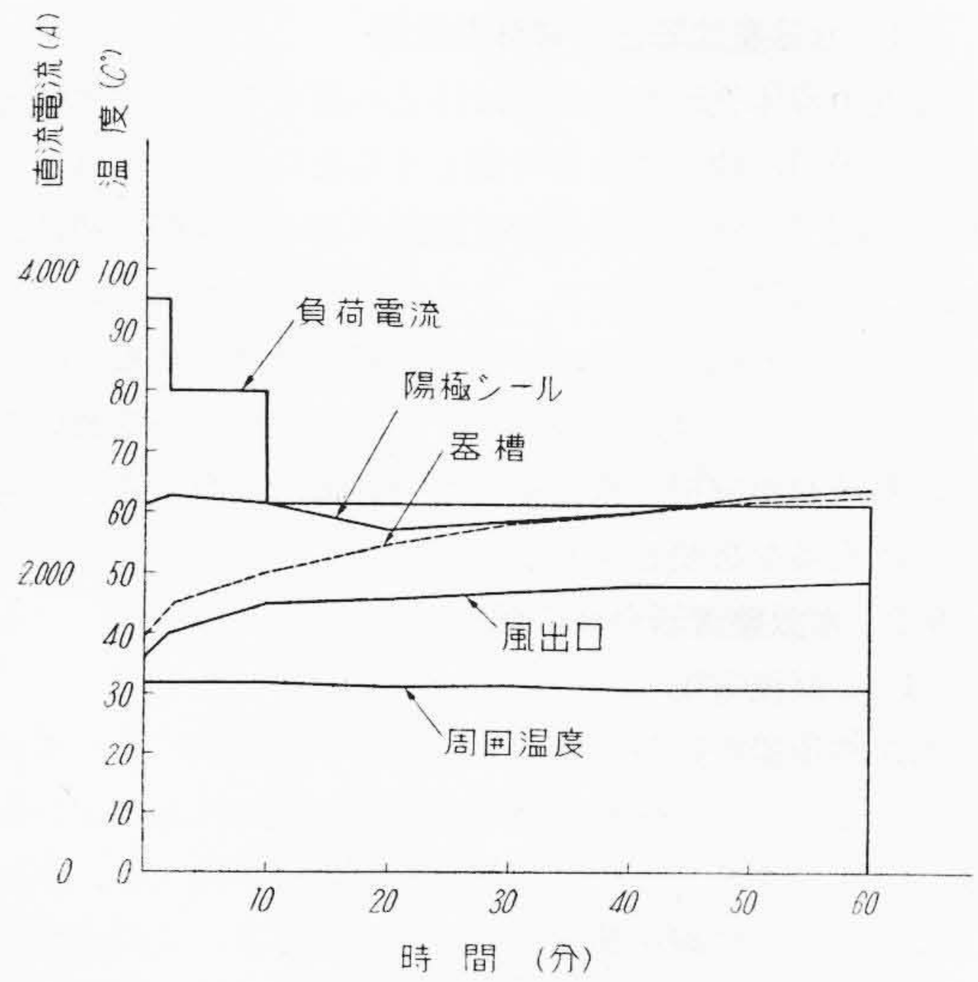
格子構造については3.1に述べたように，二重格子構造を採用し電圧特性を改善させかつ尖頭電流に対して電流密度を低くとりうる籠形格子構造を採用した。

陰極部に関してはエクサイトロン型なるため水銀の動揺に関しては，陰極面が露出しない程度のバリアーを挿入すれば良いわけであまり問題とならない。

器槽外部構造に関しては冷却能力を極度に増大させるためには多数の冷却片を器槽，陰極に取り付ける必要がある。しかも冷却片の間を冷却空気が通過せねばならな



第11図　振動試験オシログラム(整流タンクにかかる加速度)



第12図　機関車用整流タンクの負荷試験

い。このため工作上の見地と冷却能力，整流器用冷却扇の必要とする風量，風圧より設計製作される。日立製作所では冷却片材料にすべて銅を使用して冷却片熱効率を上昇させるとともに熱の移動を良好にして局部的な過熱を防止している。

第12図には機関車用タンクを使用した試験結果を示す。最初の負荷電流は25‰勾配600t牽引(勾配距離5km)を想定した負荷電流である。

封緘部にはいずれもビトリアス，エナメル封緘を使用し断面係数を大きくとり曲げモーメントに非常に強い構造上の特長を十分発揮している。

7.2　機関車用整流器セット

整流器セットはほかの機器と同様キャビネット型を採用し，付属品配線にはキャノンカプラーを使用して，組立分解に便利なようになつている。第5図はキャビネットの側板をはずした外観写真である。整流器装置一式としては整流タンク，ベース，冷却装置および補助機器一式よりなるが，4軸60t 1,500kW機関車として，寸法重量とも非常に苦しいので思いきつて重量軽減と占床寸法の低減を計つた。このため整流器セットには冷却装置はもちろん点励弧，格子用抵抗器，格子変圧器をはじめかなりの部品を組込み，点励弧キャビネット寸法を大幅に減らした。その仕様は下記のとおりである。

型　式　ISFO—8GT
定　格　1,600kW/650V/2,460A　1時間
結　線　単相全波グループ結線
冷却扇　65mmAq 120m³/min×2台

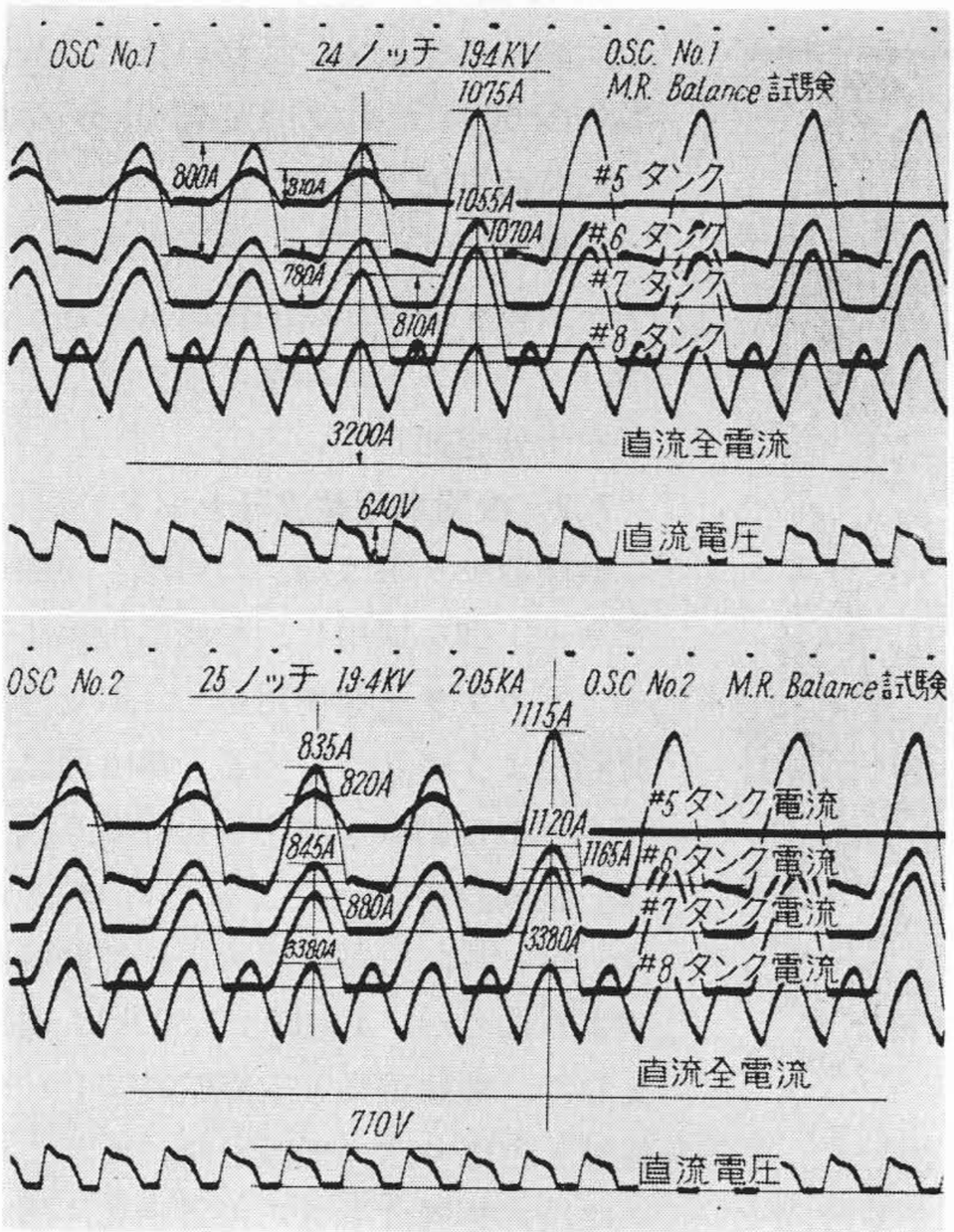
ここで風冷式と水冷式の寸法，重量の比較を行うと第6表のようになる。ただし仕様は出力1,600kW 1時間と規定し，風冷式では二重格子，直流電圧650V，水冷式では一重格子，直流電圧500V結線方式は両者ともグループ結線として比較を行つた。両者の差異が冷却装置にあることは明らかである。タンク重量—タンク寸法では明らかに水冷式タンクが小型軽量であるが，冷却装置—再冷却器，送風機，ポンプ，膨脹タンク—が水冷式では著しく重量，寸法とも大きなものとなる。

7.3　電流および風量の平衡

グループ結線なるため，同一位相に属するタンク群の電流平衡を保つために陽極リアクトルまたは陽極バランサーが使用される(変圧器二次巻線分割方式もある)。日

第6表　風冷式と水冷式の比較
(重量および寸法)

冷却方式	1タンク重量 (kg)	整流器セット重量 (kg)	冷却装置，重量 (kg)	点弧装置重量 (kg)	全重量 (kg)	比率	占床面積 (m²)	比率
風冷	125	1,810	(左に含む)	250	2,060	100	1.84	100
水冷	60	1,130	1,380	200	2,710	131	2.75	149



(1) 定常状態
(2) 温度状態
第13図　陽極リアクトルによる電流平衡

立製作所では機関車には陽極リアクトルを使用した。単極型整流器なるため，アーク電圧降下およびその変動が少なくかつ点弧特性も低いので電流平衡は容易である。

第13図(1)には直流出力電流3,200A全タンク通電中の電流平衡，(2)は試験的に1タンク消弧させた場合の過渡状態をとつたオシログラムで平衡状態および過渡状態でも，電流平衡が良く行われていることを示す。

整流器の冷却回路は1台の冷却扇により4タンクが冷却されるので4タンク風回路の平衡をとる必要がある。このため共通風洞にダンパーを挿入調整して風量の平衡をとつている。

7.4　温度制御

整流器では温度制御が必要である。整流タンクを過冷状態にて負荷するときは異常電圧の発生をみる恐れがあるので，始業前にタンクを適当な温度に上げる必要がある。また運転中は適当な温度帯で運転することが望ましい。さらに機関車としては始業前の加熱時間が短時間であることが要求される。これら諸条件を満足さすために日立エクサイトロン型機関車では下記のような温度制御装置を備えている。

温度継電器（温度は器槽温度）
低温用　30°C切り　26°C入り
高温用　70°C入り
器槽加熱器用　39°C切り　35°C入り
温度調整装置
器槽冷却扇　65mmAq　120m³/min×2台
器槽加熱器　40kW　200V
陽極加熱器　150W/タンク

温度制御は陽極加熱器，器槽冷却扇は連続投入され，器槽加熱器は自動制御される。

整流タンク冷状態にて起動する場合には，器槽冷却扇器槽加熱器が投入され熱風を整流タンクに送り10分にて約30°C温度上昇をうることができ，起動時間の短縮を計つている。

整流器の温度制御に関してはより簡単にして，確実な操作方式を計る必要ありと考えられる。

電車用整流器については別の機会に紹介する予定である。本質的には機関車用整流器と異ならないが，床下に取り付ける関係上セットの高さに大幅な制約がある点が最も異なつた点である。

8.　今後の車輌用整流器の動向

8.1　水銀整流器と半導体整流器

最近半導体整流器の進歩は注目に値する。半導体整流器が車輌用に使用される時期もまもないと考えられる。水銀整流器に対して半導体整流器の利点は制御，特に温度制御が簡単な点にあり，さらに将来使用エレメントの向上により大幅に重量，寸法の低減が見込まれる点にある。欠点としては過度の電圧，電流に対してやや弱いこと，整流器の破損（水銀整流器の逆弧に相当する）の場合には交換を必要とする点であろう。

8.2　水銀整流器今後の傾向

（1）　直流電圧

水銀整流器の特長は機器寸法が大体電流値によつてほぼ決まることから当然直流電圧は上る傾向にあるといえよう。かくすることにより整流器の効率が向上し，タンク数を減らし結線を簡素なものとなしうる。この点前述のように風冷式が有利であり，格子はどうしても二重格子構造となるであろう。

（2）　温度制御

水銀整流器運用上最大の欠点は温度制御の複雑な点にある。そこで近年試みられてきた方法として，整流タンクに稀有ガス(不活性ガス)を入れることにより寒冷時蒸気圧の不足を補うことが考えられ，欧洲メーカーでは一部実施されている。整流器の電圧特性を損うことなく上記方式が完成すれば，車輌用としては非常な利点を生ずる。すなわち回転機と同様温度制御は冷却のみとなり取り扱いが簡単となる。日立製作所も目下鋭意研究中である。

（3）　格子制御

整流器はわずかなる制御電力にて自由に格子制御—電

圧制御を実施しうるので，多段制御の一環として格子制御による列車特性の改善が行われる傾向にある。さらに整流器をインバータに使用して回生制動を行う方式も欧州で一部行われている。

格子制御を行う場合，通信誘導妨害，機器の複雑化などの問題とも関連あるが，今後この方面への研究が行われるものと考えられる。

9. 結　　言

交流電化に伴い車輛用整流器の開発が急速に行われた。車輛用としての特殊要求，なかんづく寸法重量の低減化については従来の地上設備用整流器を基準として飛躍的な改善が行われ，整流タンクをはじめとする機器の小型軽量化は目ざましいものがある。車輛用として開発された技術は今後地上設備用整流器にも大いに活用されるものと信ずる。

本報告を終了するにあたり，常に懇切なる御指導を賜つた日本国有鉄道，臨時設計事務所，運転局，仙台鉄道局作並機関区の各位に厚く御礼申上げたい。

また各種の計画，製作，試験に御指導と御援助をいただいた日立製作所水戸工場車輛部，国分工場，日立工場各位に深く謝意を述べる次第である。

特許と新案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

区別	登録番号	名称	工場別	氏名	登録年月日
実用新案	468758	竪軸水車の軸受装置	日立工場	小森谷亨 深栖俊一 佐竹豊次郎	32. 12. 2
〃	468779	横軸回転電機の固定子枠	日立工場	長尾善右ヱ門	〃
〃	468780	竪軸回転機	日立工場	滑川清	〃
〃	468781	竪軸回転電機	日立工場	菊地弥十郎 森昌夫	〃
〃	468782	回転電機の電機子	日立工場	磯部昭二	〃
〃	468783	回転電機の固定子	日立工場	高橋昭吉	〃
〃	468784	竪軸水車発電機制動装置	日立工場	北野豊 高橋昭吉	〃
〃	468785	高電圧電機子巻線	日立工場	菊地弥十郎 磯部昭二	〃
〃	468786	竪軸直流機の電機子	日立工場	坏秀雄	〃
〃	468787	ターボ発電機の回転子巻線	日立工場	磯部昭二 是井良朗	〃
〃	468788	電機子用楔	日立工場	磯部昭二	〃
〃	468789	ターボ発電機の回転子コイル敷板	日立工場	磯部昭二	〃
〃	468790	横転回転電機	日立工場	高橋昭吉 桜井久伍	〃
〃	468791	調速機用発電機	日立工場	菊地弥十郎 佐藤一夫	〃
〃	468792	フライホイール付電動機	日立工場	滑川清	〃
〃	468793	ターボ発電機の回転子	日立工場	滑川清	〃
〃	468801	電磁石	日立工場	白土忠治	〃
〃	468810	集塵電極板	日立工場	山田弘	〃
〃	468811	空気清浄装置	日立工場	山田弘	〃
〃	468814	定電圧装置	日立工場	藤木勝美	〃
〃	468817	電気集塵装置に於けるグリット支持装置	日立工場	山田弘	〃
〃	468821	電磁接触器の耐衝撃装置	日立工場	泉千吉郎 白土忠治	〃
〃	468828	電気開閉器の耐衝撃装置	日立工場	檜垣登 宮沢浄	〃
〃	468829	電磁接触器火花樋取付装置	日立工場	白土忠治	〃
〃	468841	サイクロン装置	日立工場	大野長太郎	〃
〃	468844	可逆制御器把手	日立工場	本間千代一	〃
〃	468848	圧液装置	日立工場	逸見文彦	〃

（第50頁へ続く）