

ス テ ィ ー ル グ リ ッ ド 抵 抗 器

藤 間 孝 義* 竹 村 伸 一** 豊 田 隆 太 郎***

The Steel Grid Resistors

By Takayoshi Fujima

Hitachi Research Laboratory

Shin'ichi Takemura and Ryutarō Toyoda

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The cast iron grid resistors have been employed almost customarily as the main resistor for locomotives or general purpose large capacity resistor. This cast iron grid resistor, excelling in easiness of production and low cost, is subject to easy breakage and is weighty for the capacity. These shortcomings have led to the emergence of the steel grid resistor.

Hitachi's steel grid resistor is made from a special alloy of 90 $\mu\Omega\text{cm}$ relative resistance containing Cr and Al, and before its commercialization a long series of trial manufacture and testing had been repeated at the Hitachi Research Laboratory.

The special alloy is rolled into plate and continuously stamped out with large press to make steel grid pieces. Then those grid pieces are insulated and stacked up on the insulated bolts in the same way as the cast iron type. This new resistor features in comparison with the cast iron type far-reduced weight, freedom from breakage, uniform electric property and low variation of resistance value by the process of time which make this resistor highly suitable for the quantity production.

The writers relate in this article an outline of the trial manufactures and test results of this new resistor.

〔I〕 緒 言

従来車輛用の主抵抗器或は一般制御器用の大容量抵抗器としては鑄鉄製のグリッド抵抗器が廉価で製作も容易なので広く使用されてきたが、その欠点は重量の重いこと及び折損し易いことである。近時電氣車輛、殊に電車及びトロリーバスに使用する電氣品の軽量化が強く要望されるに到り、この広く使用されて来た鑄鉄製グリッド抵抗器も再検討の俎上に乗せられるに到つた。

重量を軽減する目的のためには従来も帯状の所謂リボン抵抗器が屢々用いられて来たが、これ等は何れも中容量以下のものに限られており、これを大容量抵抗器に使

用せんとすると勢い抵抗帯は断面積大なるものとなり、抵抗帯自体の曲げ、孔明け等の機械的加工性、或いは熔接その他による抵抗帯の接続方法、或いは抵抗帯支持用耐熱絶縁物の構造等に就いて難点が生じ未だ広く利用されるに到らず大勢は専ら鑄鉄製グリッドに依存して現在に到つている状況である。

一方抵抗体材料に就いても種々のものが発表されているが、比較的少量生産を必要とするこれ等用途のためには原料の入手が容易且つ廉価であること、製品の電氣的性質が均一であること、及び機械的加工性が良好であること等の条件が満たされるものでなければならぬ。

日立製作所に於ては早くより Fe-Cr-Al 系抵抗材料の研究を進めていたが、最近電氣的性質均一にして加工性良好な抵抗板の量産化に成功した。

* 日立製作所日立研究所

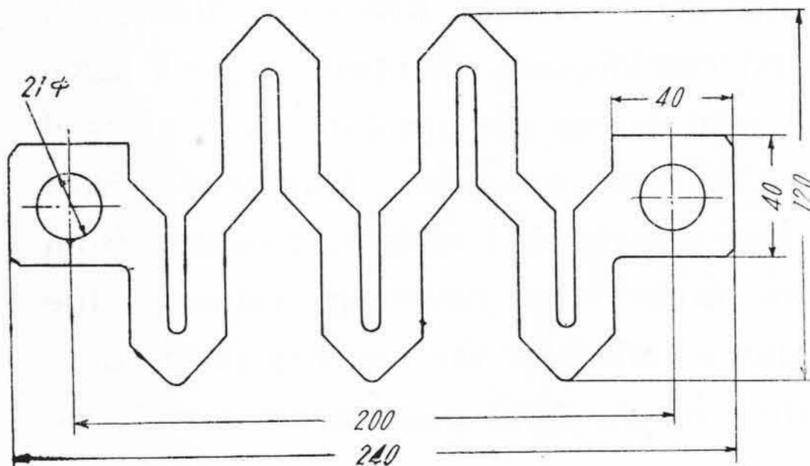
** 日立製作所日立工場

本スチールグリッド抵抗器はこの板状抵抗体を抜型により連続打抜きをして得られるスチールグリッド片を従来の鋳鉄製グリッドと同様の方法で間隔片を介して絶縁ボルト上に重ねて組立てたもので、鋳鉄製グリッドと比較して重量が大幅に軽減されること、冷却効果が特に良いこと、折損のおそれのないこと、多量生産に適すること等幾多の長所を有している。

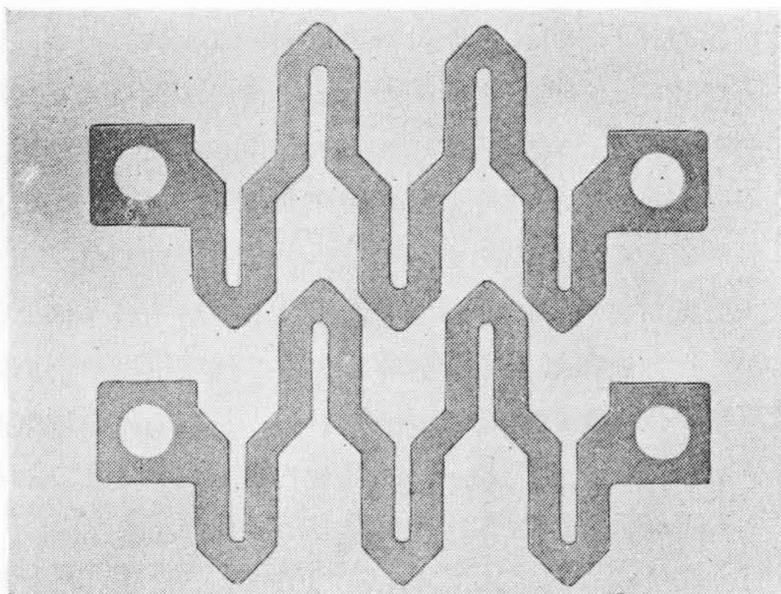
以下スチールグリッド抵抗器の概要を述べ御参考に供することとする。

〔II〕 抵 抗 器 の 試 作

従来抵抗体用合金として知られているものには、ニクロムとして有名な Ni-Cr 系のもの、Ni を含まない Fe-Cr-Al 系のもの、Fe-Cr-Al-Co 系（カンタール）のもの等があるが、何れも原料入手の点、価格の点、又は加工性の点等で大容量抵抗器用としては難点のあるものが多く、広く実用に供せられるに到っていない。日立製作所に於てはさきにニクロムの代用材として Fe-Cr-Al 系特殊鋼の研究を行い、比較的高価にして入手困難な Ni を使用せず、Cr 10~13%、Al 1.5~2.5% を含有し、加工性を高度に改善した黒熱用抵抗材料クラール⁽¹⁾



第1図 スチールグリッド抵抗片
Fig. 1. Dimensions of Steel Grid

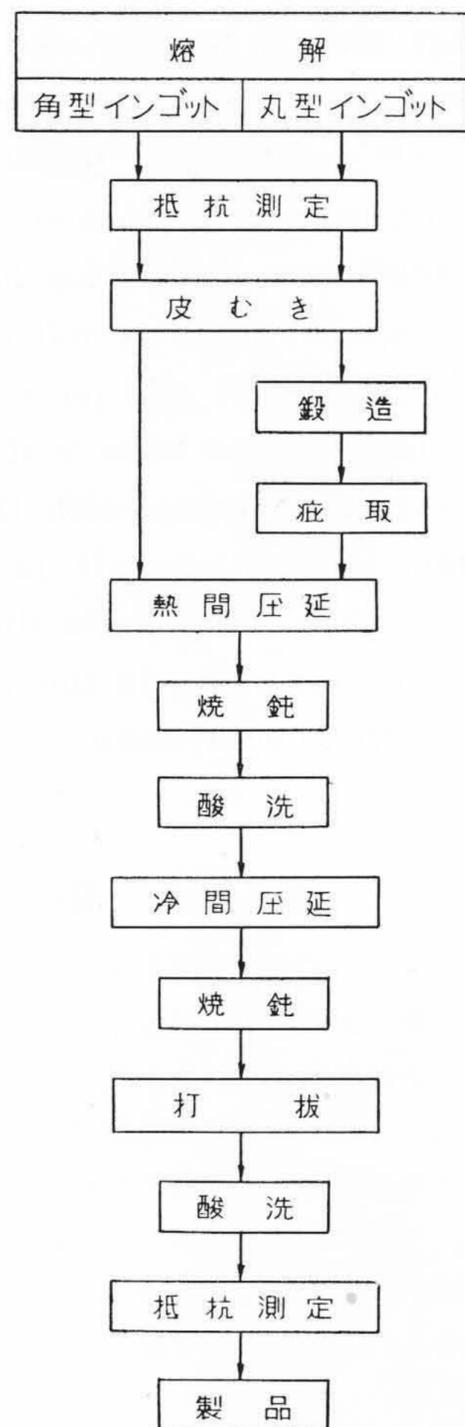


第2図 スチールグリッド抵抗片
Fig. 2. Steel Grid Resistors

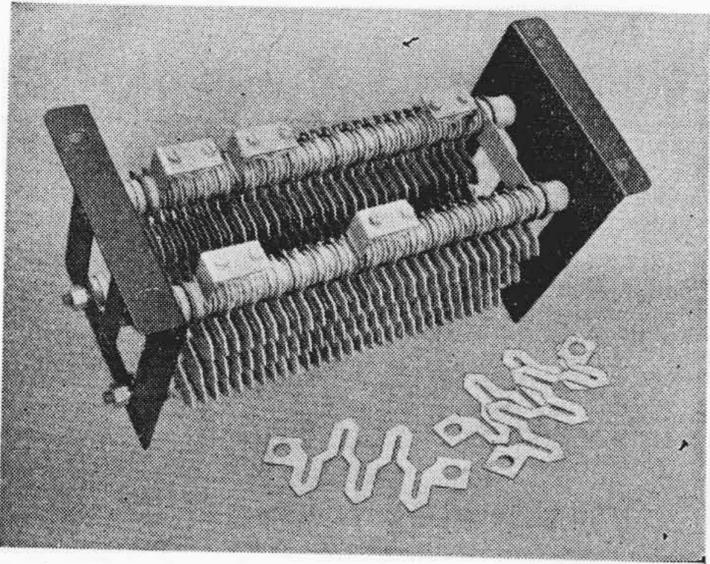
を完成した。

一般に小容量の抵抗器では比抵抗の高い材料を使用して抵抗体の断面積を大にし機械的強度を増すことが考えられるが、大容量抵抗器では比抵抗を大にするよりもむしろ機械的強度の許す範囲で断面積を小にし、断面積に対する表面積の比率を増して冷却能率を良くすると共に、重量を軽減した方が有利である。クラール抵抗体の比抵抗値はその含有する Al の量により $62 \mu\Omega\text{cm}$ より $120 \mu\Omega\text{cm}$ まで変化させることが出来るが、余り比抵抗を高くすると加工性が悪くなるので、実用上最も適当な $90 \mu\Omega\text{cm}$ を採用し、電気的性質均一で加工性も良い抵抗材料を完成した。

この抵抗材料を鍛造及び圧延により厚さ 1mm, 2mm 及び 3mm の板とし、これを大型プレスにより連続打抜きして第1図及び第2図に示す如きスチールグリッド片が出来上る。第3図はこの製造工程の大略を略図によ



第3図 スチールグリッド抵抗片製造工程
Fig. 3. Manufacturing Process of Steel Grid Resistor



第4図 スティールグリッド抵抗器
Fig. 4. Standard Bank of Steel Grid Resistor

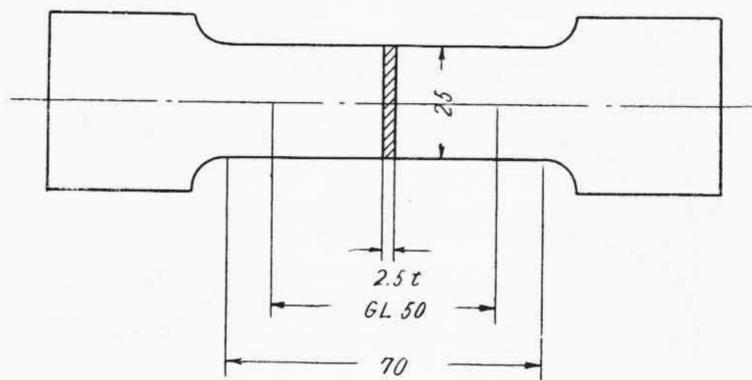
り示したものであるが、熔解に当り比抵抗の変動を少くするため、Alの偏折及び不純物の介在のないように注意し純度の高い材料を使用しなければならない。

このようにして得られたスティールグリッド片を使用目的に応じて適当に選択し、絶縁ボルト上に間隔片と共に組立てたものがスティールグリッド抵抗器で、第4図は車輛用主抵抗器として使用する場合の標準の1箱を示したものである。

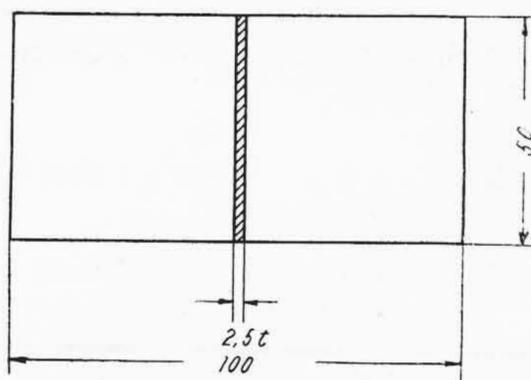
〔III〕 試 験 結 果

(1) 抵抗材料の機械的性質

第5図に示す形状の引張り試験片及び曲げ試験片を圧



引張試験片



曲げ試験片

第5図 引張り及び曲げ試験片
Fig. 5. Test Pieces for Tension and Bending Tests

第1表 スティールグリッド抵抗体の機械的性質

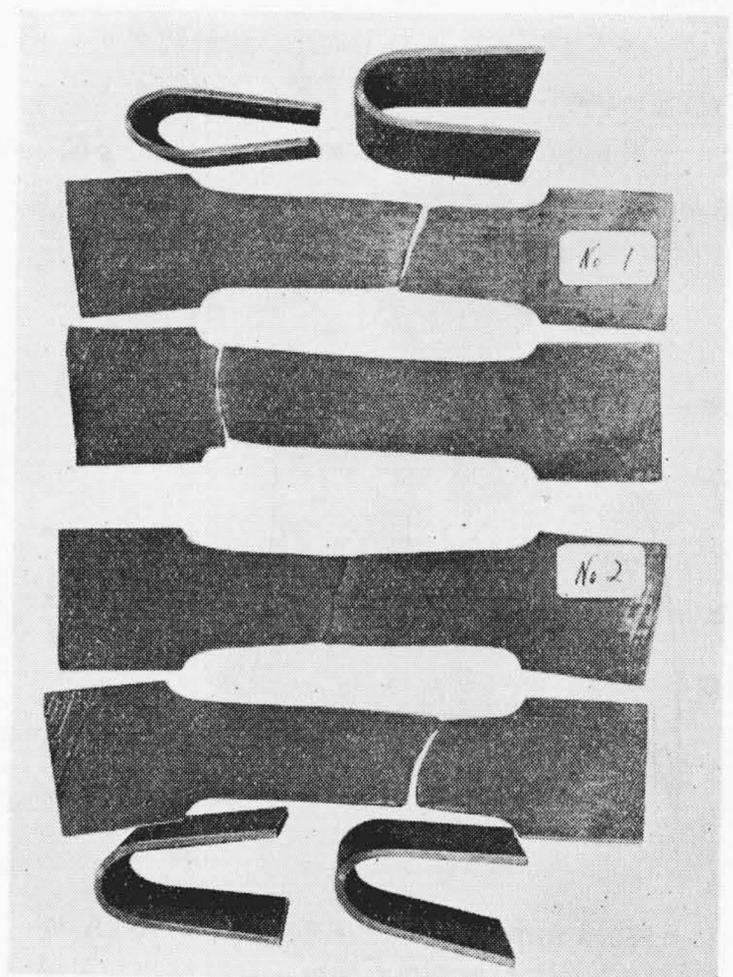
Table 1. Mechanical Properties of Steel Grid

試験片と圧延方向の関係	抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸び (%)	備考
圧延方向に直角	45.95	32.35	26.8	—
圧延方向に平行	45.8	29.55	16.4	G.L.外切断

延方向及びその直角方向より採取し、抗張力、降伏点及び伸び等の機械的性質を調べた結果は第1表に示す通りである。試験後の試験片の形状は第6図の写真に見られる如く180°の曲げ試験に於ても亀裂は生じなかつた。又抜型で打抜く場合の加工性を調べるために普通鋼板用の20φワッシャダイスで1mm、2mm及び3mmの各板に数十箇のワッシャを打抜いてみたが、バリの状況、打抜抵抗及び抜型の寿命等に関しては普通鋼板の場合と比較して大した差異は認められなかつた。又熱間及び冷間の圧延も極めて容易であつた。第7図はスティールグリッド抵抗板の顕微鏡組織である。

(2) グリッド片の抵抗値

抵抗材料の比抵抗は90±5μΩcmの誤差範囲におさまるのであるが、打抜後のグリッド片の抵抗値は比抵抗の誤差に板厚の誤差が加算されるのでその変動は更に大きくなる。併し試作品249枚に就いてその抵抗値の分布を実測した結果総枚数の94.3%は標準抵抗値の±10%以



第6図 試験後の試験片
Fig. 6. Test Pieces after Mechanical Tests



第 7 図 顕 微 鏡 組 織

Fig. 7. Microscopic Structure of Steel Grid Plate

内に収めることが出来た。第 2 表は各スチールグリッド片の抵抗値を示すものである。

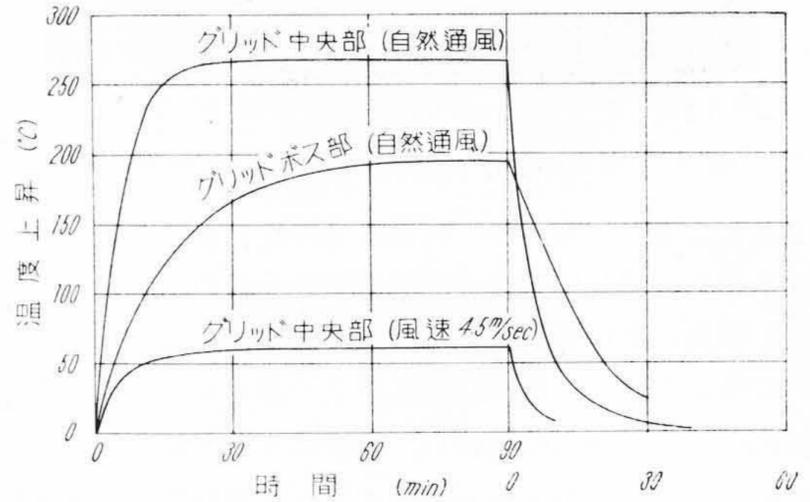
(3) 温度上昇試験

スチールグリッド片を厚さ 12 mm の間隔片を用いて 60 枚を 1 箱に組立てた車輛用標準の抵抗箱(第 4 図)に就いて無風状態及び風速 4.5 m/sec の下で連続通電して温度上昇試験を行つた。第 8 図は厚さ 1 mm のもの、第 9 図は厚さ 2 mm のもの、第 10 図は厚さ 3 mm のものに就いての温度上昇曲線の 1 例であるが、これ等の曲線より明かな如く温度時定数は極めて短く大体 5 分前後であることが判る。この試験結果より算出した各グリッドに許し得る電流は第 3 表の如くである。尙この許容電流即ち許容ワットロスがグリッド間の間隔片の厚さにより決まるもので、この両者の間には大略第 11 図に示す如き関係がある。このことはグリッドの厚さが厚いため配列のピッチを変えることの出来ない鑄鉄製グリッドには見られない特色の一つで、ピッチを適当に変えるることによつて数種類のスチールグリッドを以て多種類の鑄鉄製グリッドに匹敵せしめ得ることが出来るのである。

第 2 表 スチールグリッド抵抗片の抵抗値

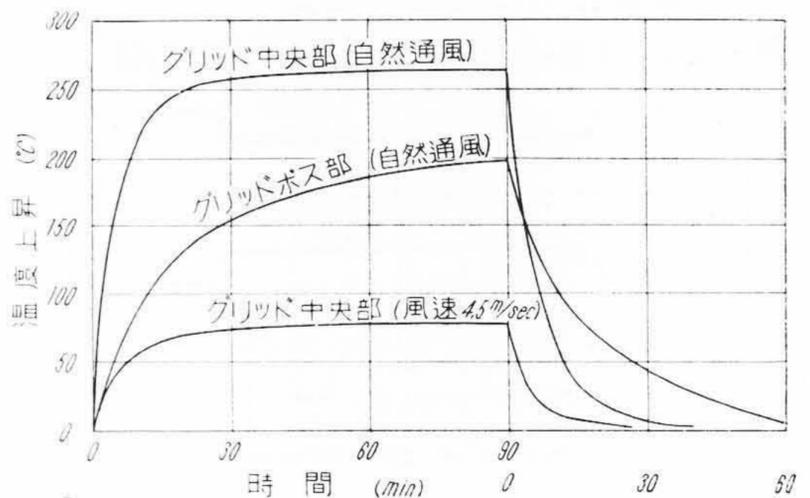
Table 2. Resistance of Steel Grids

厚 さ (mm)	抵 抗 値 (Ω)
1	0.037
2	0.020
3	0.013



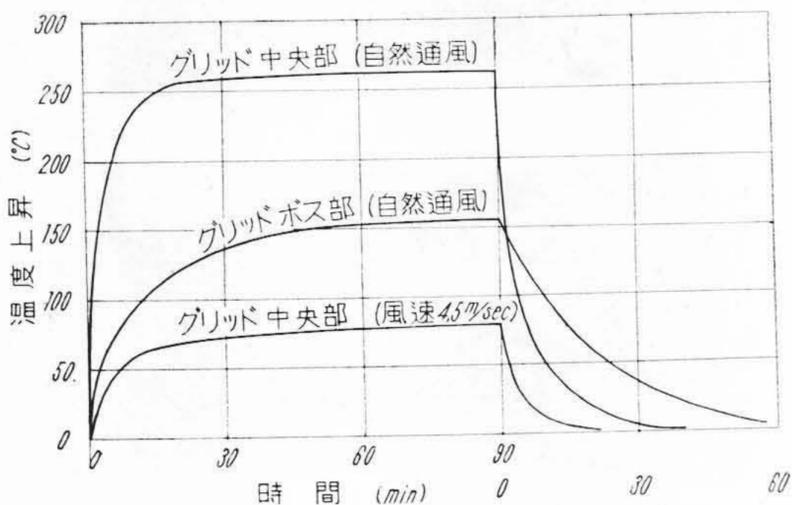
第 9 図 2mm スチールグリッドに 78 A を通電した場合の温度上昇及び冷却曲線

Fig. 9. Heating and Cooling Curves of 2mm Steel Grid Resistor (Current 78 A)



第 10 図 3mm スチールグリッドに 100 A 通電した場合の温度上昇及び冷却曲線

Fig. 10. Heating and Cooling Curves of 3mm Steel Grid Resistor (Current 100 A)



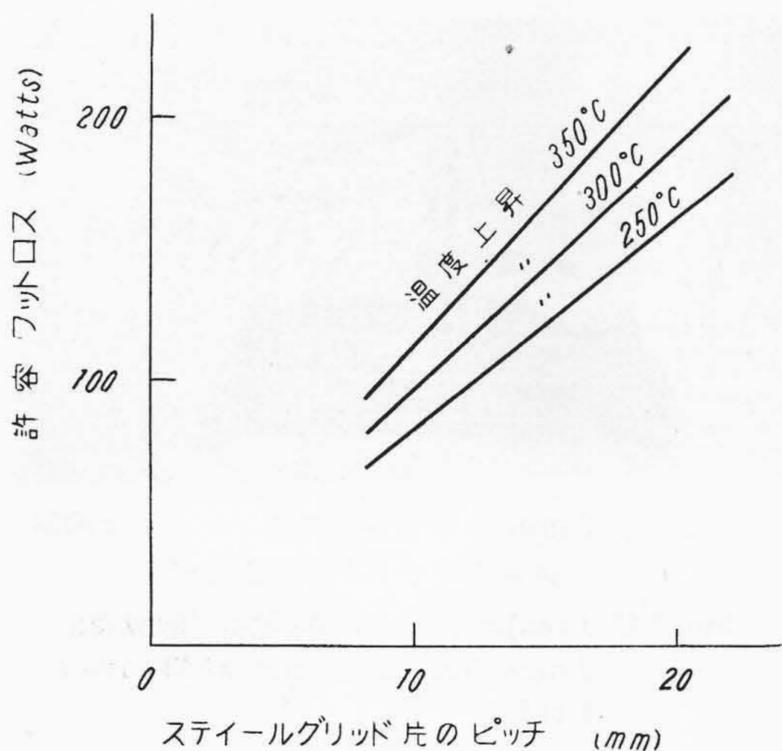
第 8 図 1 mm スチールグリッドに 56 A を通電した場合の温度上昇及び冷却曲線

Fig. 8. Heating and Cooling Curves of 1mm Steel Grid Resistor (Current 56 A)

第 3 表 スチールグリッド抵抗片の連続許容電流

Table 3. Allowable Continuous Current for Steel Grid Resistor

スチールグリッド片の厚さ	温度上昇	250°C	300°C	350°C
1 mm		55 A	60 A	65 A
2 mm		76 A	83 A	90 A
3 mm		97 A	100 A	115 A



第 11 図 スティールグリッド片のピッチと許容ワットロスの関係

Fig. 11. Relations between Pitch and Watt Losses

(4) 抵抗温度係数

材料を直径 2 mm の丸線とし 250°C~600°C 間の抵抗温度係数を電位差計法により実測した結果この間の平均温度係数は 0.0012 であつた。

実際に抵抗器として組立てたものに就いての通電加熱による抵抗値の変化は各部の温度分布が一樣ではなく、又接触抵抗の変化も加えられるので上記の抵抗温度係数より直ちに推定することは出来ない。温度上昇試験に用いた 60 枚積みの抵抗器に就いて、最高部の温度が 300°C となつた場合の抵抗変化を測定した結果、常温の場合に比べて約 14% の抵抗増加をみたのみであつた。

(5) 繰返し加熱による抵抗値の変化

実際使用状態に於て抵抗器は常に繰返し加熱を受けるものであるが、これに伴い或いは材料の組織が変化し、或いは表面酸化により断面積が変化して、その抵抗値が著しく増減するようないふことがあつてはならない。

スティールグリッド抵抗器の抵抗材料に就いて、Al の配合量を変えて材料の変態点を測定してみれば、Al を全く含まない場合には A_{c1} 変態点が 808°C, A_{r1} 変態点が 724°C であるが、Al 1.19% 以上を含むものに就いては全く変態が認められず完全な α 相となつている。スティールグリッド抵抗器の抵抗材料はこの変態点のないもので、繰返し加熱の際組織の変化がなく、成分は極めて安定しているといふことが出来る。

抵抗変化測定用の試片を大気中で 750°C 又は 450°C に 30 分間保持しその後空冷することを 50 回繰返して抵抗変化を測定した結果、750°C の場合には 10 回熱冷後約 1% の抵抗増加が認められたがその後 10~50 回

第 4 表 スティールグリッドと鑄鉄製グリッドの重量比較表

Table 4. Comparison of Weight between Steel Grids and Iron Grids

種類	抵抗値 (Ω)	重量 (kg)	重量比
スティールグリッド (1 mm)	0.037	0.075	1
鑄鉄製グリッド (#8436)	0.033	0.600	8
スティールグリッド (2 mm)	0.020	0.151	1
鑄鉄製グリッド (#8435)	0.022	0.765	5.06
スティールグリッド (3 mm)	0.013	0.230	1
鑄鉄製グリッド (#8434)	0.015	0.750	3.27

の間では抵抗値の変化は全く無く、又 450°C の場合には熱冷 50 回の間抵抗値の変化は全く認められなかつた。更に実際使用状態に近い試験を行うために、厚さ 3 mm のスティールグリッド片 30 枚と鑄鉄製グリッド (型 #8434) 30 枚とを 1 箱に組み、それぞれ 350°C になるように連続通電して 27 日間延 235 時間加熱した結果、鑄鉄製グリッドは約 5.6% の抵抗増加があつたが、スティールグリッドの方は約 1.7% の抵抗増加が認められたのみであつた。

なおスティールグリッド抵抗片は温度が約 300°C 以上になると表面が徐々に黄褐色に変色してゆくのが見られる。これは表面の Al が酸化被膜を作るためであるが、この皮膜は極めて薄く、また 800°C 以下では良く密着して剥落することなく、むしろ材料内部への酸化の進行を妨げる効果があり抵抗値に変化を与えぬことは前述の試験で明かとなつた。

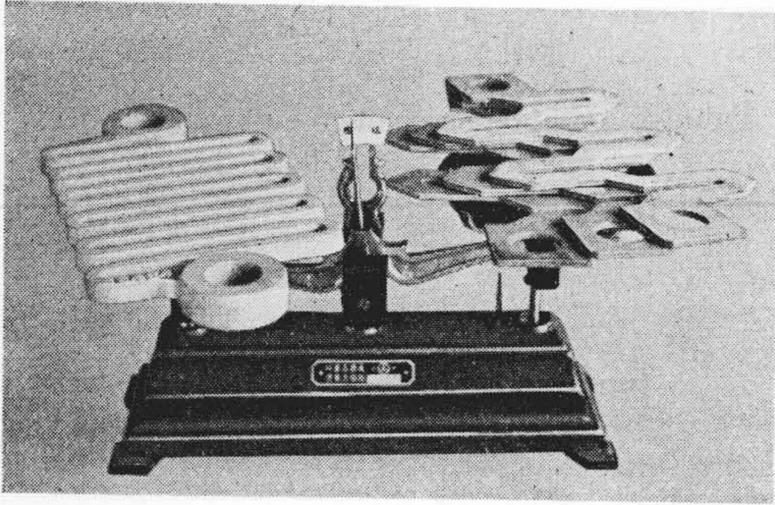
(6) 重量

試作せる 3 種類のスティールグリッド抵抗片の重量を、抵抗値及び容量がほぼ同一の鑄鉄製グリッド片と比較すれば第 4 表の如くで、第 12 図 (次頁参照) 及び第 13 図に見られる如く大略重量は 1/3~1/8 に軽減されているのが判る。然し実際に抵抗器として組立てた場合には枠及び碍子等の重量がさほど軽減されず、更に間隔片の重量が加算されるので全体として約 40%~75% 程度の重量軽減となる。尚枠及び支持装置の構造及び材質を目下検討中であるので今後組立品の重量は更に軽減し得る見透しである。

[IV] 結 言

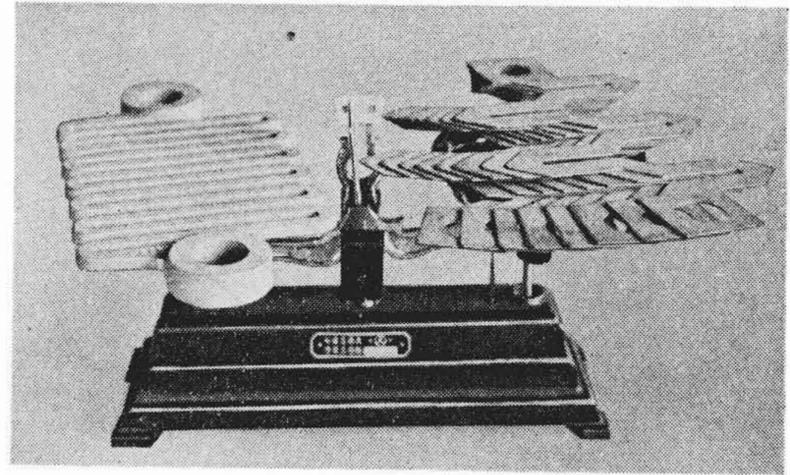
以上スティールグリッド抵抗器試作の大要とその試験結果とを簡単に述べたが、その特長を列挙してみれば次の如くである。

- (1) 鑄鉄製グリッドに比較して非常に冷却能率が良く、従つて抵抗器の重量を大幅に軽減出来る。



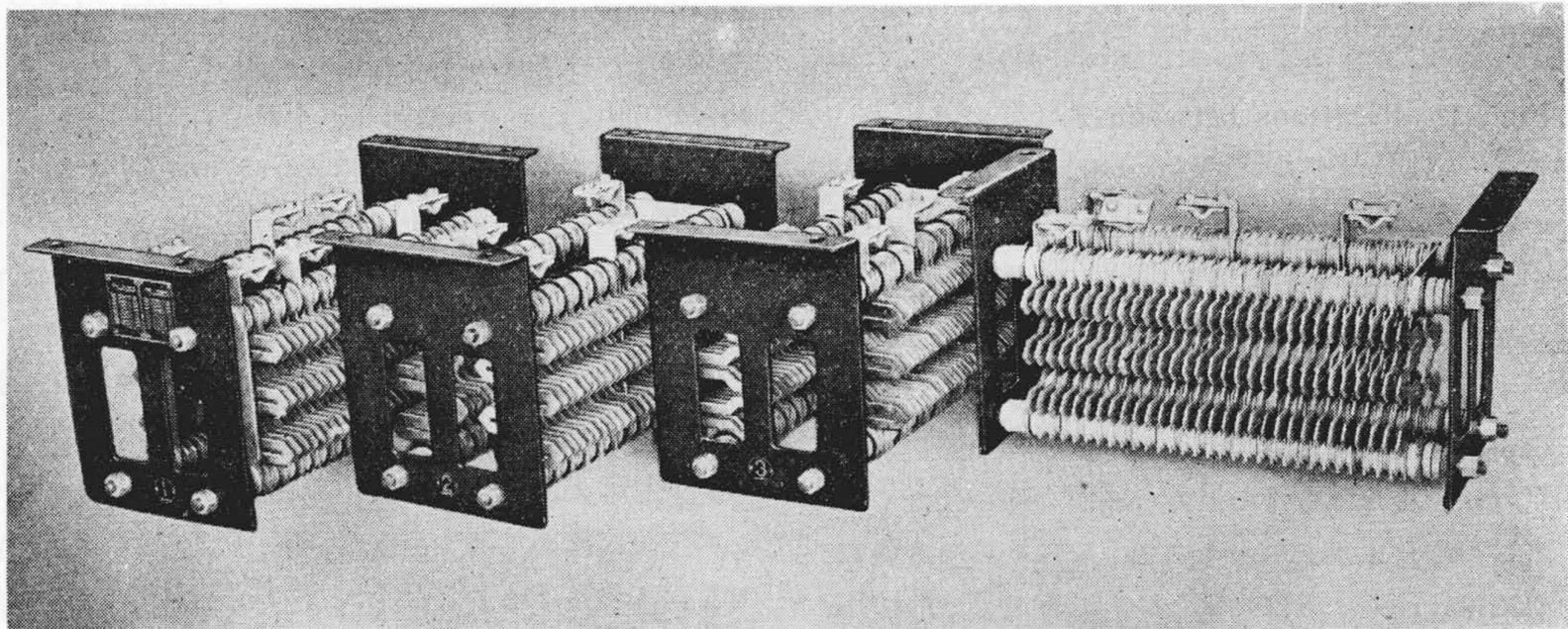
第 12 図 1 mm スティールグリッドと型 #8436 鋳鉄製グリッドとの重量比較

Fig. 12. Comparison of Weight between 1 mm Steel Grid and #8436 Iron Grid



第 13 図 3 mm スティールグリッドと型 #8434 鋳鉄製グリッドとの重量比較

Fig. 13. Comparison of Weight between 3 mm Steel Grid and #8434 Iron Grid



第 14 図 名古屋市交通局納 スティールグリッド抵抗器
Fig. 14. Steel Grid Resistors for Nagoya Transport Bureau

- (2) 鋳鉄製グリッドが運搬中或いは使用中往々にして折損し事故の原因となつたが、スティールグリッド抵抗器には全くその懸念がない。
- (3) リボン抵抗器に比して抵抗体の支持方法が簡単であり、抵抗器の組換え又は抵抗器中の一部分の取換等が容易に出来る。
- (4) 抵抗体材料は入手容易のもののみであり、又形状が板物より無駄なく連続打抜きが可能であるので多量生産に適する。
- (5) 材料の組織が安定しており又表面酸化も進行性のものでないので抵抗値の経年変化が少い。

然し一方温度上昇の時定数が小さいので抵抗器の設計に当つては実際の使用状態を知悉し、十分注意して設計しなければならない。

又抵抗体自体の電氣的及び機械的性質に就いても、抵抗器としての形状及びのりに就いても、又量産の方法及び価額の点に就いてもなお改善の余地なしとせず、引続き

今後の研究に俟つ処大である。

最近の車輛用電気品軽量化の要求に答えて新たに登場したスティールグリッド抵抗器は、既にその第 1 回製品を名古屋市交通局に納入し、2 軸ボギー電動客車用 30 kW 主電動機 4 台を制御する主抵抗器として各界注視のうちに好成績で営業運転を継続しつつあり(第 14 図)、更に続いて東京急行電鉄、土佐電鉄等への納入品も生産の途上にあり今後益々各方面への進出が期待されている状況である。

終りにのぞみ、本試作研究を遂行するにあたり終始御懇篤なる御指導を賜つた日立製作所日立研究所小野博士 日立工場牧野田部長、稲木部長、内藤課長、泉課長はじめ関係者各位に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 小山代三郎：日立評論 24, 4, 昭 16, クラール抵抗線