硫化銀抵抗素子を用いた直列点灯方式

専門会員 阪口 忠雄* 専門会員 野口 透** 専門会員 西村 肇祐***
正 会 員 加賀山 明*** 渡辺 耕造***

Series Operating Circuit of Lamps Using Silver Sulphide Resistor

Tadao Sakaguchi (Fellow Member), Toru Noguchi (Fellow Member)
(Kyoto University)

Keisuke Nishimura (Fellow Member), Akira Kagayama (Member) and Kozo Watanabe
(Seiwa Electric Machine Co. Ltd.)

ABSTRACT

Silver sulphide (Ag_2S) is an ionic bond crystal with phase transition temperature of 179°C . At this temperature, the resistivity of Ag_2S changes discontinuously to an extent as large as 10^3 . In β phase ($<179^\circ\text{C}$), Ag_2S behaves as a semiconductor just like the conventional thermistor. In α phase ($>179^\circ\text{C}$), the conduction of Ag_2S is metallic, and its resistivity is very low.

The silver sulphide resistor can be applied to a device for shorting out a faulty lamp of series operating circuit by taking advantage of the resistance change at the phase transition.

In this paper, this characteristics of series circuit using this device are described.

The merits of this circuit are as follows:

- (1) This circuit is available for discharge lamps as well as incandescent lamps.
- (2) The constant current regulator is not required in this circuit.
- (3) The silver sulphide resistor can be used for a fail shorting device repeatedly.

1. 緒 言

道路照明あるいは飛行場照明などにおいて、多数の電球または放電灯を長区間にわたって点灯する場合に、直列点灯方式が採用されることがあるが、この方式の最大の欠点は回路中の1灯が故障して消灯すると、その回路の全灯が消えてしまうため、保安上重大な支障をきたすことである。この欠点を防ぐために、従来フィルムカットアウトを各ランプに並列に入れる方法や、一次側を直列接続した絶縁トランスを介して各ランプを点灯する方法などによって、故障ランプ以外のランプの点灯を維持

する方式が考えられている¹⁾。

筆者らは、これらの方式とは異なった新しい方式として、きわめて大きな負の抵抗温度係数を有する硫化銀抵抗素子を用い、これによって故障ランプに流れるべき電流の肩代わりをさせる直列点灯方式について、基礎的な研究を行なったので、これを報告する。

2. 硫化銀抵抗素子の電気的特性

硫化銀は 179°C に変態点を有し、この温度以上では $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ 、この温度以下では $\beta\text{-Ag}_2\text{S}$ となり、その結晶構造は $\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$ が体心立方晶系（格子常数： $a=4.88\text{\AA}$ ）、 $\beta\text{-Ag}_2\text{S}$ が単斜晶系（格子常数： $a_0=4.32\text{\AA}$ 、 $b_0=6.93\text{\AA}$ 、 $c_0=7.86\text{\AA}$ 、 $\beta=99.61^\circ$ ）であることが知られている²⁾。

* 京都大学工学部
** 京都大学工学研究所
*** 星和電機轉

硫化銀はこの変態点を境にして、結晶構造が変化すると同時にその電気的特性も大きく変化する。すなわち β - Ag_2S は一般の半導体の抵抗温度特性と同様に、負の抵抗温度係数を有する特性を示し、しかもその温度係数は金属酸化物系のサーミスタよりも大きいという特徴を有している。それに対し、 α - Ag_2S は金属的な特性を有し、変態点を境にして、抵抗率の値そのものが急激に約3桁低下して、きわめて低い抵抗率値になるとともにその抵抗温度係数も正の小さな値となる。

2.1 Ag_2S の抵抗—温度特性

硫化銀抵抗素子の代表的な抵抗—温度特性を図1に示す。変態温度以下の β 相では、半導体特有の負の抵抗

図1 Ag_2S 抵抗素子の抵抗—温度特性

温度係数を有し、その値は室温付近で約 $1 \times 10^{-1}/^{\circ}\text{C}$ となり、普通のサーミスタの数倍の温度係数を有している。さらに変態温度において抵抗値は不連続的に約3桁減少し、それ以上の温度領域では α - Ag_2S となって、 $10^{-3}\Omega \cdot \text{cm}$ 程度のきわめて低い抵抗率と小さな正の温度係数を有する金属的な伝導を示すようになる³⁾。

以上の特性から明らかなように、硫化銀抵抗素子は温度変化に対する感度が普通のサーミスタよりも大きいばかりでなく、変態温度以上の α - Ag_2S においては、金属材料に近い高導電度を有するため、低温状態ではほとんど電流が流れないが、変態温度以上の高温になると、導通状態になるという特殊な目的に使用することが可能になる。

ただし、硫化銀抵抗素子の利用に際し注意しなければならないことは、 β - Ag_2S の導電機構がイオン伝導であるため、直流で使用すると分極を生じ、その特性が不安定となるということである。したがって硫化銀抵抗素子は交流回路においてだけ使用することができる。

2.2 Ag_2S の電圧—電流特性

Ag_2S に通電した場合、電流密度が小さい間は抵抗値は変化しないが、電流が大きくなるにつれて、ジュール熱により素子自体の温度が上昇し、それにつれて抵抗値が下がるため、普通のサーミスタの場合と同様、図2に

図2 Ag_2S 抵抗素子の電圧—電流特性

示すような独特な電圧—電流特性を示し、特性曲線はピーク値を過ぎて負のこう配となる。

この特性は素子自体の温度が関係しているので、周囲温度や放熱板の影響を受ける。図2の実線で示した曲線は周囲温度をいろいろ変えた場合の直径6mm、長さ30mmの円筒形の Ag_2S 抵抗素子の電圧—電流特性を示したもので、当然のことながら、周囲温度が低いほど、特性曲線のピークは高くなる。また図2の点線で示した曲線は上の素子を八つに切断し、それぞれの切断素子の間に、25mm平方の正方形の銅板より成る放熱板7枚をはさんで組み立てた放熱板付きの Ag_2S 抵抗素子の電圧—電流特性を示したものである。これより明かなように、電流密度の小さな間は、放熱板の影響はないが、電流密度が大きくなり、ジュール熱による Ag_2S の自己発熱が生じ、温度が上昇するようになると、放熱板の効果が現われ、特性曲線のピークは放熱板のない場合に比べると高くなる⁴⁾。

図2は両対数目盛で表わされているので、この図で右上がりの45°の直線を引けば抵抗一定の線となり、右下がりの45°の直線をひけば消費電力一定の線となる。図には、それぞれの直線に対応する抵抗値およびワット数が併記されている。この図より明らかなように、放熱板をつけたもののほうが、電力容量を数倍大きくすることができる。

2.3 温度サイクルによる硫化銀抵抗素子の変形

Ag_2S は変態の際に結晶構造が変化するため、変態温度の上下に多数回加熱、冷却をくり返すとしだいに変形する。たとえば真空溶製法により作製した多結晶質の純粋の Ag_2S より成る抵抗素子を、20～230°Cの温度範囲で1,000回程度加熱・冷却をくり返すと、ほとんど原形

をとどめないほど変形する。このように変形が大きいことはその電気的特性を変化させたり、リード線の脱落を生じさせたりするので、 Ag_2S の応用上きわめて大きな障害となり、これをなんらかの方法で押えないかぎり、 Ag_2S の電気的特性がいかにすぐれていても、その実用化は不可能といわなければならない。

そこで筆者らは、 Ag_2S の変形を押える一つの方法として、 Ag_2S と二相合金を形成することができる金属、あるいは金属間化合物で、かつ Ag_2S 抵抗素子の使用温度範囲で変態点をもたない材料、たとえば Sb_2S_3 や Bi_2S_3 などを適当量添加し、二相合金として Ag_2S 中に分散させる方法を考案した。これら添加物は相転移を行わないため、ほとんど変形しないから、これが二相合金全体の変形を押える役目を果たすことになる。したがってこのような二相合金の Ag_2S 抵抗素子では、たとえば 10,000 回程度の加熱・冷却のサイクルをくり返しても、その形状にはほとんど変形が認められないことが、実験的にも明らかになっている。

このように Ag_2S と二相合金を形成する添加物を Ag_2S に混合すると変形を押えることができるが、添加物の影響により抵抗素子全体の電気的特性は、純粋の Ag_2S の

図 3 純 Ag_2S と $(\text{Ag}_2\text{S})_{0.9}(\text{Sb}_2\text{S}_3)_{0.1}$ 二相合金の抵抗-温度特性

それに比べると多少変化する。図 3 はその一例として、純粋の Ag_2S と $(\text{Ag}_2\text{S})_{0.9}(\text{Sb}_2\text{S}_3)_{0.1}$ の二相合金との抵抗温度特性を示したものである。この図より明らかなように、 Ag_2S に添加物として 10% 程度の Sb_2S_3 を添加した場合には、抵抗-温度特性は添加物の影響により抵抗率の値そのものは多少変わるが、特性曲線の形そのものは本質的には純 Ag_2S の場合とそれほど差異はなく、かつ熱サイクルによる変形も押えることができるので、実用上きわめて有効であるといえることができる。

ただし、添加物の量をあまり多くすると、添加物のもつ電気的特性の影響が大きくなり、図 1 あるいは図 3 のような Ag_2S 本来の特性が隠されることがあるので、添加量については十分注意する必要がある。

3. 硫化銀抵抗素子を用いた白熱電球の直列点灯

3.1 従来の直列点灯方式

直列点灯方式はランプを直列に接続して、これに定電流電源により電流を流してランプを点灯する方式で、従来広く用いられていた直列点灯方式は大別すると、フィルムカットアウトを用いる方式と、絶縁トランスを用いる方式とである。

図 4 フィルムカットアウトを用いる直列点灯回路

フィルムカットアウトを用いる直列点灯方式の回路図は図 4 に示すとおりで、定電流電源を通して直列に接続された各ランプに、それぞれ並列にフィルムカットアウトを接続したものである。このフィルムカットアウトの働きは、もし点灯中のランプの 1 灯が消えた場合、瞬間的にその故障ランプに並列にそう入されたフィルムカットアウトに高圧が印加され、これが絶縁破壊して短路するため回路がしゃ断されず、残りのランプが点灯状態を持続できるようにすることである。

この方式は簡単であるが、次のような欠点をもっている。フィルムカットアウトは一度動作すると再使用できないため、そのたびごとに取り替える必要があるし、またランプが白熱電球の場合は確実に動作するが、放電灯の場合は、フィルムカットアウトが動作する前に残りの放電灯が消灯してしまうと、フィルムカットアウトに高圧が印加されなくなるため、フィルムカットアウトが働かない場合が出てくる。さらにこの方式ではランプに直接高圧がかかるため、ランプおよび照明器具の絶縁に注意を要するとともに保安も危険である。

絶縁トランスを用いる方式は図 5 に示すようにに、絶

図 5 絶縁トランスを用いる直列点灯回路

緑トランスの一次側を直列に接続し、その二次側にランプを接続する方式である。この方式では絶縁トランスの二次側は低圧となり、照明器具も一般用のものがそのまま使えるし、保守も安全である。また故障ランプができた場合も、トランスの一次側が直列に接続されているため、残りのランプの点灯にはなんら支障がなく、放電灯の直列点灯にも利用できる。しかしその反面、1灯ごとに絶縁トランスを必要とするため、一般的に経費が高くなる欠点がある。

3.2 Ag₂S 抵抗素子を用いた白熱電球の直列点灯

Ag₂S は自己発熱により、図2に示したような電圧—電流特性をもつことはすでに説明したとおりであるが、この特性を利用して、直列点灯されたランプの1灯が故障して消灯したとき、その故障ランプの肩代わりを Ag₂S 抵抗素子にやらせることにより、残りのランプの

図6 Ag₂S 抵抗素子を用いた白熱電球の直列点灯回路

点灯を維持することができる。図6はこの方式による白熱電球の直列点灯回路の回路図で、直列に接続された電球のおおのこに、適当な特性をもった Ag₂S 抵抗素子が並列に接続されている。

筆者らは、この回路の基本的な動作特性を検討するために、100 V、100 W の電球4灯を電源電圧400 V で直列点灯した場合について実験した。図7はこの実験に

図7 Ag₂S 抵抗素子を用いた白熱電球直列点灯回路の動作特性

基づく動作原理の説明図である。曲線 V_L は電球1灯分の電圧—電流特性、 V_L' は電源電圧を一定にして おいて、回路中の電灯1灯(故障電球に相当する電球)を可

変抵抗に置換した場合の可変抵抗の両端にかかる電圧と回路を流れる電流との関係を表わす特性曲線、 V_R は Ag₂S 抵抗素子の電圧—電流特性を示している。なおこの場合、Ag₂S 抵抗素子の特性曲線は同図点 a で示されるように電球の定格電流値 I_0 において、特性曲線 V_R 、 V_L 、 V_L' が交わるように設計されていることが必要である。

回路中のすべての電球が正常に点灯している場合には、各電球には定格電圧 V_0 がかかり、定格電流 I_0 が流れている。また各電流に並列に接続されている Ag₂S 抵抗素子にも当然電圧 V_0 がかかるから、電球が正常に点灯している間は、Ag₂S 抵抗素子に流れる電流は図の点 b に相当する電流値 I_0' であって、この値はきわめて小さく、これによる電力損失はほとんど無視できる程度である。

次に回路中の電球が1灯断線した場合を考える。断線の瞬間、その電球に並列に接続された Ag₂S 抵抗素子には、その瞬間の Ag₂S の抵抗値に対応して図7の V_0' という電圧が印加される。この電圧は図の V_R 曲線に比べて高いため、Ag₂S の加熱に有効に働き、Ag₂S 抵抗素子は急速に自己発熱を行ない、その抵抗値を変化しながら、曲線 V_R と V_L' との交点 a まで急速に動作点が移動し、a 点に至って安定状態に達する。その結果、断線した電球の代わりに Ag₂S 抵抗素子が置き代わって動作し、残りの健全な電球に正常時の定格電流を流すようになる。この間の移行時間はきわめて短く、電球が1灯断線し、Ag₂S 抵抗素子が動作を開始してから、残りの電球が正常の点灯状態に復帰するまでに要する時間は、0.01~0.05 秒程度である。

以上が Ag₂S 抵抗素子を用いた新しい直列点灯方式の動作原理であるが、この方式の特徴は次のとおりである。

- (1) Ag₂S 抵抗素子が完全に故障電球の肩代わりをするため、定電流電源を用いなくても、故障時においても回路には定格電流が流れる。
- (2) 故障電球を交換すると、Ag₂S 抵抗素子は自動的に正常動作状態に復帰するため、何回でもくり返し使用することができる。
- (3) フィルムカットアウトと違い、放電灯に対しても確実に作動させることができる。
- (4) フィルムカットアウト方式と同様、ランプに直接高圧がかかる欠点があるため、ランプおよび照明器具の絶縁ならびに保安に注意を要する。

4. 硫化銀抵抗素子を用いた放電灯の直列点灯

4.1 けい光灯の直列点灯⁶⁾

けい光灯の直列点灯回路においても、白熱電球の直列

図 8 Ag_2S 抵抗素子を用いたけい光灯の直列点灯回路

図 9 Ag_2S 抵抗素子を用いたけい光灯直列点灯回路の動作特性

点灯回路の場合と同様、 Ag_2S 抵抗素子によって故障ランプの補償をさせることが可能である。40 W けい光ランプ 3 灯を電源電圧 1,000 V で、実験的に直列点灯した場合の点灯回路を 図 8 に、その動作特性曲線を 図 9 に示す。

図 9 の各特性曲線の付号は図 7 の場合と同様で、曲線 V_L はけい光ランプ 1 灯分の電流—電圧特性、 V_L' は電源電圧を一定にしておいて、回路中のけい光ランプ 1 灯を可変抵抗で置換したときの可変抵抗の電流—電圧特性、 V_R は Ag_2S 抵抗素子の電流—電圧特性を示している。図 7 と異なる点は、けい光ランプの電流—電圧特性が白熱電球の電流—電圧特性と異なるため、動作特性が多少複雑になることである。すなわち曲線 V_L' が電流値の少ない領域で、電流の減少時と増大時とで、たどる曲線が違ってくる。この原因は電流の減少時はアーク放電のままでけい光ランプが消灯するまで電流が減少するが、増大時にはグロー放電の形で始動した後、アーク放電に移行するためである。

けい光ランプが 1 灯故障して点灯しなくなった場合の Ag_2S 抵抗素子の動作原理は、白熱電球の直列点灯の場合と同じであるが、けい光ランプが 1 灯消灯した瞬間に、それに並列にそう入した Ag_2S 抵抗素子にかかる電圧が、残りのけい光ランプがいったん全部消灯してしまうか、あるいは消灯するまでには至らないかによって、図 9 の電圧 V_0' または V_0'' の値になる点が、白熱電球

の場合と多少異なっている。しかし、いずれの値の電圧がかかったにしても、それ以後は白熱電球の場合と同様、 Ag_2S 抵抗素子の自己発熱による抵抗変化のため、回路電流は漸次増大して定格電流 I_0 に落ち着く。ただ V_0' がかかるか V_0'' がかかるかによって違う点は、それにより Ag_2S 抵抗素子の自己発熱量が異なるため、けい光ランプが故障後、定常状態を回復するまでの時間が多少違うということだけである。

次にこの故障ランプ補償用に使用する抵抗素子は、必ずしも全部を Ag_2S にする必要はなく、場合によっては、 Ag_2S 抵抗素子とニクロム線のような通常の抵抗材料を直列に接続したものであってもさしつかえない。上

図 10 Ag_2S とニクロム線との直列接続の合成抵抗素子の電流—電圧特性

記実験に使用した抵抗素子も、 Ag_2S とニクロム線とを直列接続したもので、そのおのおのの電流—電圧特性は 図 10 に示すとおりで、要するにその合成した特性が定格電流値において、けい光ランプの定格ランプ電圧に一致するように設計されておればよい。これにより Ag_2S の使用量を節約することができ、経済的な見地より有効な手段と考えられる。

4.2 水銀灯の直列点灯⁷⁾

けい光灯の直列点灯の場合は、けい光ランプが 1 灯故障したために、残りの全灯がいったん消灯したとしても、直ちに再点灯し、 Ag_2S 抵抗素子の働きにより故障ランプ以外は定常状態が回復されるから問題はないが、水銀灯の場合には、定常状態で点灯している水銀ランプがいったん消灯すると、発光管内の水銀蒸気圧が高圧であるため、ランプが冷却されて低温に戻るまで再始動しない。したがって水銀灯の直列点灯回路においては、1 灯が故障して消灯したとき、残りの水銀ランプが消弧しない間に Ag_2S 抵抗素子が動作して、故障ランプの肩代わりをして定常状態を回復することが必要である。ところが一方、水銀ランプが消弧する電流値はけい光ランプなどの場合に比べると、かなり大きな値であるため、水銀灯直列点灯回路に対しては、故障ランプ補償素子を多少工夫する必要がある。図 11 は実験的に 40 W 水銀ラ

図 11 Ag_2S 抵抗素子を用いた水銀灯点灯回路

図 12 Ag_2S 抵抗素子を用いた水銀灯直列点灯回路の動作特性

ランプ 4 灯を電源電圧 800 V で直列点灯した場合の回路を、図 12 はそのときの動作特性を示している。図 11 の抵抗 R_0 が水銀ランプの消弧を防ぐためにそう入した固定抵抗である。次にその働きを述べる。

図 12 の特性曲線 V_L , V_L' , V_R は図 9 の場合と同じ意味をもったものであるが、故障ランプの代わりに可変抵抗を置換した場合の特性曲線 V_L' が、点 A で消失していることがけい光ランプの場合と違っている。この点が水銀ランプが 1 灯故障したとき、残りのランプの電流が減少して、消弧するに至る限界の電流値を与える点である。したがって水銀ランプ 1 灯が故障した瞬間に、これに並列に接続した補償用の Ag_2S 抵抗素子に流れる電流が、点 A に対応する電流よりも大きくなければならない。この条件を図 12 で具体的に説明すると、水銀ランプが 1 灯消灯した瞬間に Ag_2S 抵抗素子に流れる電流と、その両端にかかる電圧とは、図で Ob を延長した直線と特性曲線 V_L' との交点に対応する電流・電圧で与えられる。したがって、直線 Ob と特性曲線 V_L' とが交点をもつことが、残りの水銀ランプを消弧させないための条件である。

もし直線 Ob が、図で点 A より左にきて交点をもたない場合には、残りの水銀ランプはいったん消弧してしまうので、直線 Ob をもっと寝かせて特性曲線 V_L' と交点をもつようにする必要がある。その働きをするものが並列に入れた固定抵抗 R_0 である。すなわち電流の少ない

領域では固定抵抗 R_0 の抵抗値がきいて、 Ag_2S と R_0 との合成抵抗値は下がり、直線 Ob は寝てくるが、電流の多い領域では Ag_2S の抵抗が非常に小さくなり、並列に入れられた固定抵抗 R_0 の影響はほとんど無視できるようになる。図 12 の特性曲線 V_R はこの Ag_2S 抵抗素子と固定抵抗 R_0 との並列回路の合成抵抗の電流—電圧特性を示している。

なおここでは、 Ag_2S 抵抗素子の低電流領域での特性曲線を寝かせるために、固定抵抗 R_0 を用いる場合につき説明したが、固定抵抗の代わりに適当な値のインダクタンスやコンデンサを用いても同様な効果が得られる。

以上のような工夫をすることにより、水銀灯の直列点灯回路においても容易に、かつ確実に故障ランプの補償を行なうことができる。なお不幸にして Ag_2S 抵抗素子が瞬間的に故障ランプの肩代わりをするに失敗して、残りの全ランプが消弧した場合でも、これらの水銀ランプが冷えて再始動が可能な状態にまで達すれば、自動的に再始動し、故障ランプに並列にそう入した Ag_2S 抵抗素子も自動的に動作して、補償の役目を果たすことはいうまでもないことである。

5. 結 言

以上は故障ランプの補償用として、きわめて大きな負の抵抗温度係数をもつ硫化銀抵抗素子を用いた新しい直列点灯方式について、基礎的な実験を行なった結果を報告したものであるが、硫化銀抵抗素子の特徴として、変態温度以下では高抵抗であるが、変態温度以上になると金属に近い導電性を有するようになるという特性を利用して、白熱電球、けい光灯、水銀灯などの直列点灯回路において、故障ランプが生じた場合、硫化銀抵抗素子が自動的に動作して、残りのランプが消灯するのを防ぐようにした回路であって、フィルムカットアウトや絶縁トランスを用いる従来の直列点灯方式に比べると、次の諸点が特に違っている。

- (1) 白熱電球はもちろんのこと、けい光灯、水銀灯などの放電灯の直列点灯回路にも利用できる。
- (2) 硫化銀抵抗素子が完全に故障ランプの肩代わりをするので、定電流電源を使用しなくても故障時にも回路に定格電流が流れる。
- (3) 硫化銀抵抗素子の自己発熱による抵抗—温度特性を利用しているので、何回でもくり返し使用が可能で、故障ランプを交換すれば、硫化銀抵抗素子は自動的に正常動作状態に復帰する。

なおこの実験では、この新しい直列点灯方式の基本的な特性を求めるために、比較的実験しやすい小容量のランプを数灯直列に点灯した場合について実験したが、もちろんさらに高電圧の回路で、大容量のランプを多数

直列点灯する実用的な点灯回路に適用することが，十分可能であることはいうまでもないことである。

最後に本研究に使用した硫化銀抵抗素子は，京都大学工学部冶金学教室村上陽太郎教授の研究室と，筆者らの協同研究の成果によるものであることを付記し，深謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

(1) M.E. Robertson: Illum. Engng **55** (1960) 87
(2) ASTM Cards: **11**—688 (1961) 735

(3) 阪口ほか：第10回応物連大（昭38）259
(4) 野口，渡辺，阪口：電気四学会連大（昭40）1712
(5) T. Sakaguchi and T. Noguchi: Tech. Reports of Eng. Res. Inst. Kyoto Univ., Report No. 119 (1965)
(6) 野口，渡辺，加賀山，西村，阪口：電気関係学会関西支部連大（昭39）199
(7) 阪口，野口，渡辺：電気関係学会関西支部連大，（昭40）127

（受付1969年5月16日，再受付同年8月5日）

正 表 誤

巻	号	ページ	行	誤	正
53	6	288	16	$F_3 = \alpha \rho^2 \rho_1 \rho_2 F [1 - k(1 - \rho_2)] + (1 - \alpha) \rho^2 \rho_1 F [1$	$F_3 = \alpha \rho^2 \rho_1 \rho_2 F [1 - k(1 - \rho_2)] + (1 - \alpha) \rho^2 \rho_1 F [1$
		288	20	$f_3 = \tau \alpha \rho^2 \rho_1 F [1 - k(1 - \rho_2)] [1 - \alpha(1 - \rho_2)]$	$f_3 = \tau \alpha \rho^2 \rho_1 F [1 - k(1 - \rho_2)] [1 - \alpha(1 - \rho_2)]$
		290	6	$A_3 = \frac{(E/E_0)}{(\rho_1/\rho_2)} - 1 = \dots\dots\dots$	$A_3 = \frac{(E/E_0)}{(\rho_1/\rho_0)} - 1 = \dots\dots\dots$
		290	図 8	ε (deqs.)	ε (degs.)
		291	14 (式(7))	$\dots\dots\dots + [1 + K(i,i)] E_i +$	$\dots\dots\dots + [1 + K(i,i)] E_i + \dots\dots\dots$
		291	下 3	$\xi = n \times 10^\circ$	$\zeta = n \times 10^\circ$
		292	下 5	(July. 1, 1968)	(July 1, 1968)