

太陽電池のロクーン実験

高橋 健一

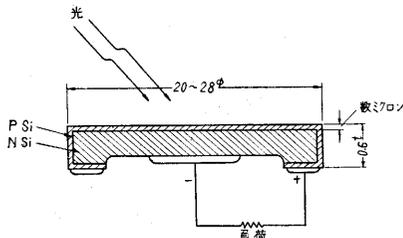
1. ま え が き

昭和 34 年 7 月および 9 月のロクーン実験において太陽電池をロクーンに搭載し、その高空における出力特性および温度変化等をテレメータによって計測した。実験の結果、高度が増加することによって出力が大きく上昇することが明らかになったが、この太陽電池の概要と実験に関して以下に述べる。

2. 太陽電池ユニットとその予備試験

(1) 太陽電池の概要

太陽エネルギーから直接電気エネルギーに変換するものとして現在最も変換効率の高いものはシリコン太陽電池であって、セレン光電池の $\eta=0.6\%$ に対して NEC シリコンは $\eta=6\sim 8\%$ と 10 倍以上も飛躍的に上昇し動力源として注目されてきた。なお最近の人工衛星のものは $\eta=13\sim 15\%$ といわれている。



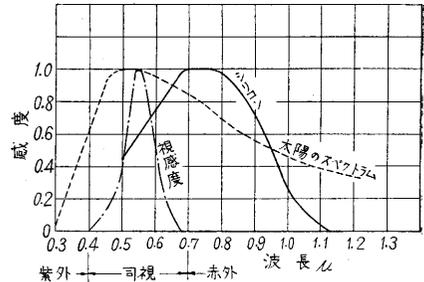
第 1 図 太陽電池の構造

この構造は第 1 図に示すように N 型シリコンの薄い単結晶板に、表面から高温で P 型不純物硼素を拡散させて数ミクロンの P 型層を形成し、裏面に PN 端子を取り出したものであって、この表面に光が照射されると光の波長に応じたエネルギーは半導体中で結晶格子に吸収されて電子と正孔の対を作る。そして接合部付近では電界により P 層の電子は N 側へ、N 層の正孔は P 側に移って P 側に +、N 側に - の起電力を生じる。

一般的な特性では直射日光、すなわち地上での太陽の輻射エネルギー (100mW/cm²) の下で、太陽電池の開放電圧 $V_{oc}=0.4V$ および短絡電流 $I_{sc}=30mA/cm^2$ となり、また、波長感度特性は第 2 図に示すようになっている。

(図中可視は可視の誤り) 波長感度特性から得られる効率は $\eta=23\%$ となるが、実際の効率が $\eta=15\%$ とすればその間の差は反射損失、内部抵抗損失 (I^2R) および再結合等によるものである。出力特性は次式で示されるがその特性は第 3 図のようになる。

$$I = I_0 (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) - I_{sc}$$



第 2 図 シリコン太陽電池

ただし V : 光が照射された時の出力電圧

I : 出力電流

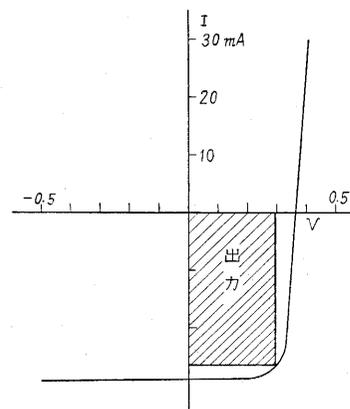
I_{sc} : 出力短絡電流

I_0 : 飽和電流

q : 電荷

k : ボルツマン常数

T : 絶対温度

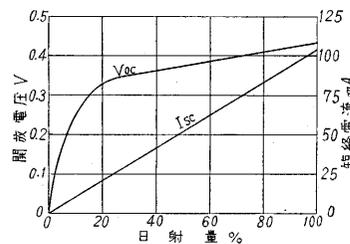


第 3 図 太陽電池の電圧電流特性

第 3 図の斜線で示した矩形の面積が電力としてとり出される。

太陽光の快晴時の照度はセレン照度計で 120,000 ルクスとなったが、その日射量の変化に対する開放電圧および短絡電流の特性は第 4 図のよう

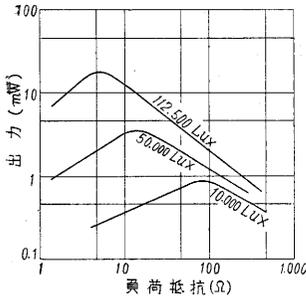
に、また、負荷抵抗および照度の変化に対する出力の変化の関係は第 5 図のようになる。第 5 図で注意すべきことは光量の減少によって出力が減少することは当然として、同時に最大出力を与える負荷抵抗の値は増加していることである。



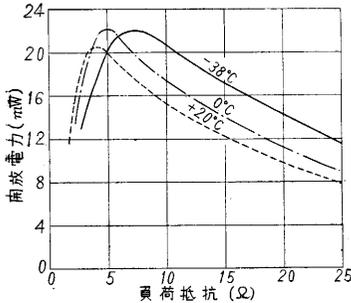
第 4 図 日射量と開放および短絡電流

同時に最大出力を与える負荷抵抗の値は増加していることである。

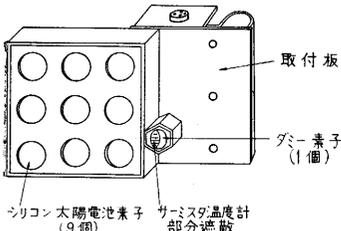
出力の温度特性は第 6 図に示すように温度上昇で出力は低下するがこれもまた注意すべき特性である。温度上



第5図 負荷抵抗および照度を変化した時の太陽電池の出力の関係 (太陽電池直径 28φ)



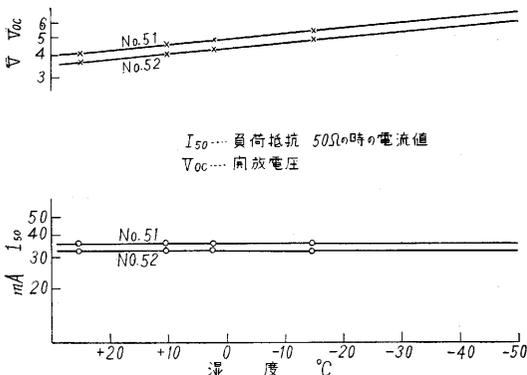
第6図 出力の温度特性



第7図 太陽電池ユニット

であり 22φ エレメントの最大出力時の電圧は大体 0.3V であるから、9 個直列としてちょうど測定範囲の中心 2.5V 近くになる。

2) 温度試験: 地上における太陽光の照度 120000 ル



第8図 太陽電池温度特性

昇に対する常数の変化は大体次のようになる。

短絡電流 I_{sc} = 一定
開放電圧

$$V_{oc} = -0.0028V/^\circ C$$

出力

$$P = -0.26\%/^\circ C$$

(2) 実験に使った太陽電池ユニットとその特性試験

実験に先だってロクーンの搭載量、取付け法およびデータ出力等を考慮してユニットを選定し、以下に述べるような予備試験を行なった。

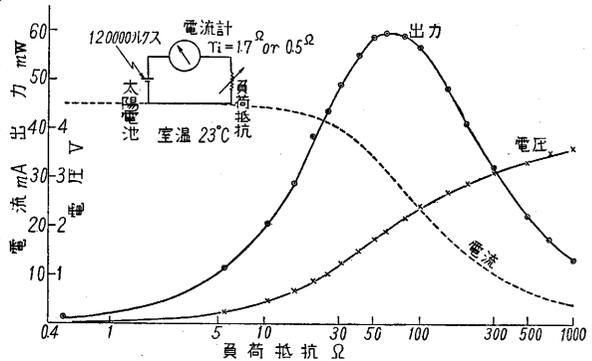
1) 太陽電池ユニット: 太陽電池

ユニットは 22φ エレメントを直列に 9 個接続しアクリル樹脂ケースに密封して平面に並べた第7図のようなものである。これに対してテレメータ送信機の信号入力電圧は 0~5V

クスで較正した較正太陽電池により明るさを一定に保った白熱球を光源に使い、恒温槽で温度試験 (特に低温) を行なった。第8図がそのデータで V_{oc} は開放電圧、 I_{50} は 50Ω 固定抵抗を負荷としたときの電流である。 V_{oc} は温度低下とともに対数的に増加し、 I_{50} はほとんど一定であった。また構造的にはアクリルの光入射面の透明度が低温において異常のないことを確かめた。

3) 気圧試験: 高度 20000m に達する時の気圧は地上の約 1/10 に低下するため密閉したアクリル容器の強度が危ぶまれたので試験したが、水銀柱 76% 以上で容器その他構造的に異常のないことを認めた。なおアクリルの透明度は 88~92% で紫外線や水分に対しても安定で、温度に対しても -60~90°C の範囲は強度的にも安全である。

4) 負荷抵抗と出力の特性: ロクーン実験に際しては太陽電池の最大出力を得る負荷抵抗を接いだ状態で行なうため、負荷抵抗を変化して出力特性をとり抵抗値を決めた。120000 ルクス較正の白熱球直射のもとにユニットをおいてその負荷抵抗を変化させ、電流値を測定し、電圧および出力を計算したデータを第9図に示す。

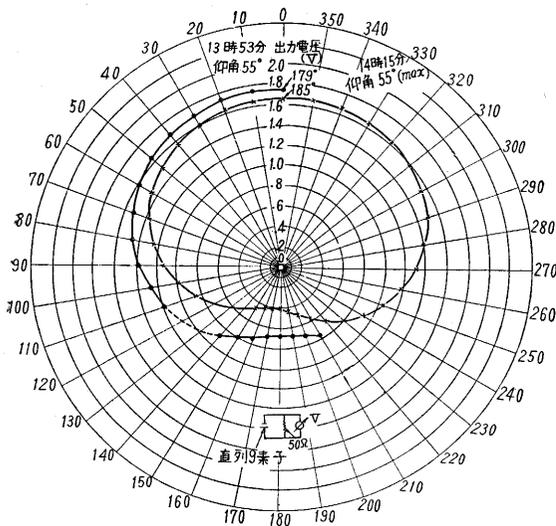


第9図 太陽電池出力特性

試験した 2 個のユニットについて最大出力時の抵抗値は大体 60Ω と 100Ω の近辺にある。負荷抵抗を決めるにあたって、前に温度試験データをとった時の負荷抵抗が 50Ω であったことと、第9図の上で 50Ω 負荷の出力が最大出力と大差ないことをもって負荷抵抗は 50Ω と決めた。50Ω 負荷の点で出力が約 58.5mW、電圧約 1.7V であった。

5) 太陽入射光に対する指向特性: ロクーン搭載の太陽電池がスピンによって出力電圧の変化がいかに現われるかを試すため地上で指向特性をとった。太陽方向に正対する仰角を一定として平面に一周した時の出力電圧の変化を第10図に示す。地上では周囲物体または雲等の反射があって最大最小の差は比較的少なく、その比は 1.66V/0.41V=4/1 になった。

3. ロクーン実験

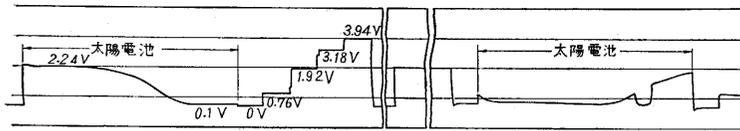


第 10 図 太陽電池指向特性

太陽電池のロクーン実験は、7月および9月の快晴の日に行なわれた。7月はロクーン用テレメータによってスイッチ切換えの断続したデータを取り、また9月はカップロケット用テレメータによって連続変化としてのデータを取った。

(1) 実験方法

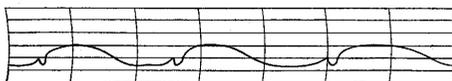
太陽電池ユニットを長さ2mの計器吊下げ桿の一端において飛ばし中途中に太陽入射光に直角に対面する角度をもって取り付け付けた。太陽電池の出力電圧は50Ω抵抗負荷の端子電圧としてケーブルで取り出しテレメータ送信機の信号入力とした。7月実験においてはダミーエレメント温度測定用のサーミスタ端子からサーミスタ電源を通して信号入力を別にとった。



第 11 図 ロクーンテレメータ記録 (7月)

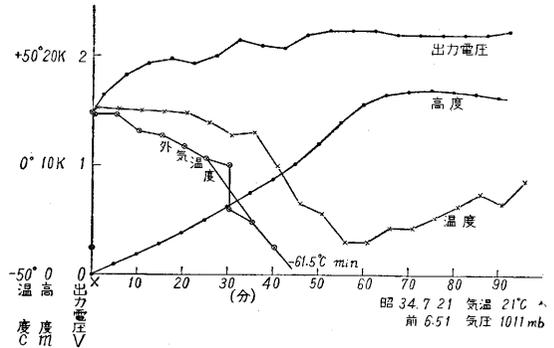
(2) テレメータ記録

第 11 図は7月実験のテレメータ記録の1部を写し書きしたもので太陽電池の出力電圧データは矢印の範囲で示してある。測定は40~50秒間に1回、12~15秒間記録し、他の区間は較正電圧および他の計測データを記録している。



第 12 図 ロクーンテレメータ記録 (9月)

第 12 図は9月実験のテレメータによる連続記録の写し書きである。両者ともゆるい傾斜で上下しているのは



第 13 図 太陽電池の出力電圧変化

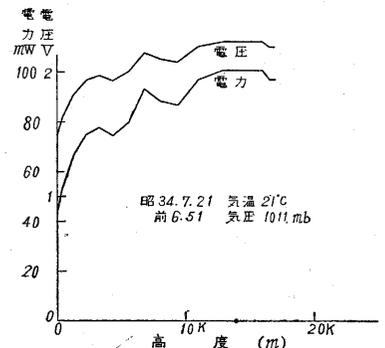
ロクーンのスピンのによる出力電圧の変化で、急に落ちこんだところは光線がロケットの影になったために生じたものである。

(3) 記録データの解析

太陽電池の出力電圧、ダミーエレメントの温度および外気温度をその前後の較正電圧によって較正した値で求め、高度をレーウィンゾンデから得て放球後の時間に対してプロットした7月実験のデータを第 13 図に示す。

1) 出力電圧記録：出力電圧はスピンによってレベルが変化しているが一区間の記録の最高のレベルを測定値とした。したがってスピンの仕方によっては最高レベルに達しないものがある。放球時の地上における出力電圧は1.48Vで気球上昇とともに増加し高度13km付近で最大値2.24Vに達して飽和状態となった。さらに高度を増して16.5kmから僅か下がり2.2Vになった。出力電圧の50Ω負荷に与える電力を計算して高度に対してとったデータは第 14 図のようになる。ここで高度13~16kmにおける出力は地上の約2.3倍となった。

2) 温度記録：ダミーエレメントの温度はアクリル容



第 14 図 太陽電池の高度に対する出力電圧および出力電圧の変化

器内に密閉した太陽電池エレメントの表面温度と等しいと考えられる。第 13 図の温度記録データにおいてダミーエレメントと外気の温度を比較して示している。ここで地上における温度から変化した温度下降は約60°Cで温度係数による出力増加率は $0.26 \times 60 = 15.6\%$ となる。この増加分は前記第 14 図の出力増加分130%の内に含まれている。

3) スピン特性: スピンによる太陽電池の出力電圧の変化は第 13 図において出力電圧最小値(◎印点)と出力電圧の特性曲線と比較される。最大値と最小値との比率は高度に対して次のようになる。

高度 (km)	比率
0	6.16
3.8	9.85
15.6	22.4

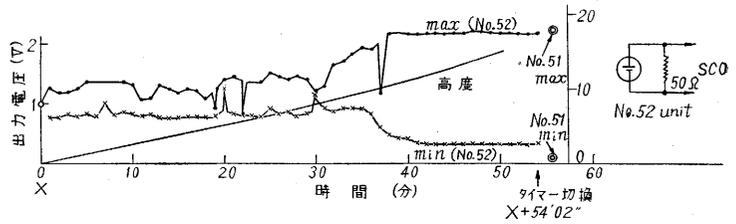
太陽電池を太陽光に直面するよう水平より上向きに取り付けたため、上空に上がるにしたがって地上物体および雲等の反射が少なくなり太陽方向の裏側での出力電圧が低下し、その最大、最小の比率が著しくなったわけである。

第 15 図は 9 月実験の結果をまとめた図で上記の結果を確認することができる。連続記録であるためスピンによる変化も明瞭であった。max および min の両曲線はスピンによる出力電圧記録の頂点と谷点とを一定区間ごとに時間に対してプロットしたものである。高度 10000 m 以上において最大、最小が飽和状態となったが周囲の雲等の反射の影響がなくなったことが認められる。

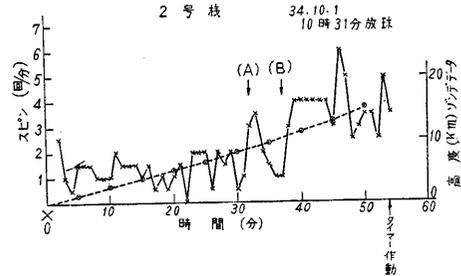
第 16 図のスピンドータは放球後の時間に対するロクーンの毎分スピン回数と高度の比較データである。太陽電池ユニットは一方だけしかついていないためそのスピンの方向はわからないが、気球の上昇にともないスピン運動がはげしくなる傾向がわかる。ただし第 12 図でわかるように曲線の山の肩にくぼみがあるためスピンの方向の変化はわかる。第 16 図の (A) 点以後は周囲の反射が少なくなってスピンが判然としている。また (B 点) 以後は高度 10000m 以上となって影がはっきり記録に現われるためスピンの方向の変化が判然としてきた。

4. あとがき

2 回にわたる太陽電池のロクーン実験によって得た主な結果は、記録データの解析で述べたように、第 1 に高



第 15 図 太陽電池出力電圧



(A) 以後スピンが判然とする
(B) 以後スピンの方向が判然とする
第 16 図 太陽電池のスピンドータ

い高度において出力が約 2 倍以上にもなったことでこれは空気の鮮明度が増したことが主な原因と認められる。また 3 章 (3). 2 から温度の影響も含まれている。次に上空においてユニットが太陽に正対した時と裏面を向いた時との出力の比率が地上の約 6 倍から高度 15km の約 22 倍に変化したことは、周囲の反射による影響がいかに大きいかを示した。

以上の実験結果は太陽電池の飛しょう体に用いる補助電源またはスピンメータ等の応用、その他について考えるために若干の資料になったと思う。

この実験に関して東大生研の斎藤教授、野村助教および実験班の方々、ならびに日本電気研究所の石川室長、林主住および佐々木氏に多くのご指導、ご援助をいただいたことを深謝する。(1960. 1. 23)

文献 シリコン太陽電池 林一雄
NEC No. 41

(100ページよりつづく)

三沢の高層観測資料と天気図の提供を受ける。また随時に電話連絡により気象情報を求めるなどの協力を得ることになった。

以上のような打ち合わせを行ない実験当日を迎えたが、15号台風の影響で実験は 3 回実験延期を告示し、その間高潮襲来のため実験器材の避難などを実施し、結局 10 月 1 日 2 機飛揚となった。海上は時化と遭難船救助で、巡視船は一時に二面作戦の形勢となり、困難な任務とたたかわねばならなかった。その結果についての検討は 11 月 26 日、八戸海上保安部で関係者参集の上行ない、二管区の外一管区の勢力を借りること、現地気象の研究、海岸局の設置、落下点の連絡方法等次回のための

改善策についていろいろ意見を交換した。

以上ロクーン実験については、34 年度に至ってようやく固定化しようとする段階を迎え、海上警備は、2 回の実験で、問題点が分ったというところである。陸上警備は、立地条件や地元との協議によって定めるところが多く、青森実験場の場合、34 年度のように実験が放球点のみにとどまる場合は、上述の方法でほぼ基本は定まったと思うが、もし観測点を遠隔地点に張り出すことでもなれば、通信連絡は、秋田なみに無線連絡電話の架設などが必要になってくるであろう。将来への記録のためには、設置事項にも触れるべきだが紙面の都合で割愛した。

(1960. 1. 23)