

## 電離層観測衛星「うめ」の不具合の調査報告

宇宙開発事業団

### 1. 経緯

「うめ」は去る2月29日所定の軌道に投入された後第448周回(4月2日)までの間、電離層観測等のミッション機器には異常が認められなかったが、次の第449周回において地上との交信を絶ち今日に至っている。

宇宙開発事業団においては、「うめ」の軌道は正常に維持されているにもかかわらず、衛星自体に何らかの不具合が発生したため交信不能に陥ったものと判断し、毎可視周回について電波追跡を実施するとともに、直ちに不具合の調査を開始した。

その後、東京天文台に依頼した光学観測の結果予報通りの軌道(第787周回)で「うめ」の光影を捕捉したとの報告を受け、「うめ」は所定の軌道を周回していることが確認されている。

「うめ」の不具合の調査は、その1カ月余にわたるフライト・データ及び運用記録をもとに、設計資料、地上試験結果等を参考として進められてきた。現在までの調査結果から、「うめ」の機能が停止するに至った過程をまとめると概ね次のとおりである。

軌道上における日陰率の減少(3月29日約18%, 4月1日0%＝全日照)に伴い衛星全体への熱入力が増加するとともに、太陽電池の発生電力及びそのうちバッテリーに供給(充電)される割合が増大し、衛星及びバッテリー素子の温度は次第に上昇した。特に第429周回(3月31日)に

おいて、バッテリー素子温度は約52℃の異常値となり、予想以上に上昇の傾向を示したため、非常措置としてリコンディショニングの機能を作動させ、バッテリー素子の温度に対するその低減効果に期待した。

その結果、第435周回以降第444周回(4月1日)までの間に、全日照に入ったにもかかわらず、バッテリーの温度上昇傾向を抑止し、若干の低下傾向を認めることができた。

しかし、リコンディショニング時の放電によりバッテリー電圧が大幅に低下したため、下限電圧制御回路(UVC)が作動し、可視域外にある第445～第447周回において、バッテリーは強充電のまま経過することとなった。このため、バッテリーは間もなく過充電の状態となり、高温時におけるバッテリー容量の低下特性と相まって急激な温度上昇を招くこととなり、第448周回では約88℃に達し、次の第449周回までの間に更に上昇して遂に機能停止に至ったものと考えられる。

このようにバッテリー温度が全日照時を直前にして異常値を示すに至った際、リコンディショニングの状態を継続し、太陽電池電源のみによる運用を行うか、あるいはリコンディショニング作動後、適切な時点で弱充電への切換を指令しその後の状況を監視して処置を決定することが可能であったとも考えられる。

しかし、前記のバッテリー温度の一時的抑制効果は緊急事態からの脱出とも見られ、その間高温時におけるミッション機器の機能も正常であったため、特に緊急体制をとるに至らないまま、第448周回を迎えた。同周回の観測においては不幸にして受信開始直前に停電事故が発生し、データ監視及び伝送用計算機システムが一時作動を停止したため、「うめ」の送信データの実時間処理ができず、緊急措置を講ずる最後の機会を逸する結果

となった。

以上の機能停止に至る経過，フライト・データに基づく信頼性設計の見直し結果及びバッテリー素子故障モードの再現実験の結果によれば，現在「うめ」はバッテリー素子が短絡しているか，素子の破壊により電極がバッテリーシャーシ内部に飛び出して電源回路を短絡しているものと推定される。

「うめ」の異常な温度上昇にかかわる要因の解明については，不具合の発生以来慎重な調査検討を行ってきたが，この程その要因が推定されたので，今後の改善対策を含めて報告する。

## 2. 不具合推定要因

### (1) 電源回路設計関係

弱充電時の充電電流の設定値は約0.2 Aで，バッテリー素子の設計上の標準値 $0.11 \pm 0.01$  Aに比してかなり大きかった。これはバッテリーの蓄電量を所定の量に保つことを目的としたものであるが，結果的にはバッテリーの素子とシャーシ間の温度差が予期以上に大きくなった。

また，UV機能のうちバス電圧の低下に伴い強充電指令を発する機能はバッテリー素子温度の加速度的な急上昇を招く要因となった。

### (2) 熱設計関係

バッテリーサブシステムに係る熱設計が適切でなかった。すなわち，バッテリー素子とバッテリーシャーシの間に設計値を上回る温度差が生じ，またバッテリーシャーシ温度も設計値を上回ったため，バッテリー素子の温度が大幅に上昇する結果となった。

### (3) 運用関係

UVが作動して強充電状態になった後，適切な時点で地上からの指

令により弱充電状態とするか，またはリコンディショニングの機能を利用し，バッテリーを放電状態にしておけば，少なくともバッテリー温度の加速度的な上昇を防止できたと考えられる。

これらの処置ができなかったのは，異常・緊急事態に即応できる運用体制が万全でなかったことによるものである。

## 3. 今後の対策

「うめ」不具合要因の調査・検討結果に基づき，宇宙開発事業団は，予備機について下記の対策を実施するとともに，改善実施に係わる設計及び試験結果の審査をより一層入念に行うこととする。

### (1) 電源回路設計関係

(i) 弱充電電流値を約0.1 Aとする。

(ii) UV機能のうち強充電機能は廃止する。なお，不測の事態に対処するため，バッテリー切離し機能を持たせる。

### (2) 熱設計関係

(i) バッテリー素子とシャーシ間の温度差を減少させるため，バッテリー素子の装着方法を改善する。

(ii) バッテリーシャーシの熱放散を高め，温度を低減させるため，バッテリー収納箱の塗装を改善する。

### (3) 運用関係

(i) バッテリー温度，蓄電量等の予測が可能な監視システムの整備を検討する。

(ii) 手順書の整備，要員の訓練等に一層努めるとともに，緊急事態に即応できるように協議方法，判断基準等をより明確にする。また，地上

局での停電等予期せぬ事態に対処できる措置（例えば2局による運用等）を講ずる。

#### 4. むすび

「うめ」は全日照時において衛星の機能を保全することに対して、電源回路設計、熱設計及び運用体制が万全でなかった。このため打上げ1カ月にして今回の事態を招いたことはまことに遺憾である。

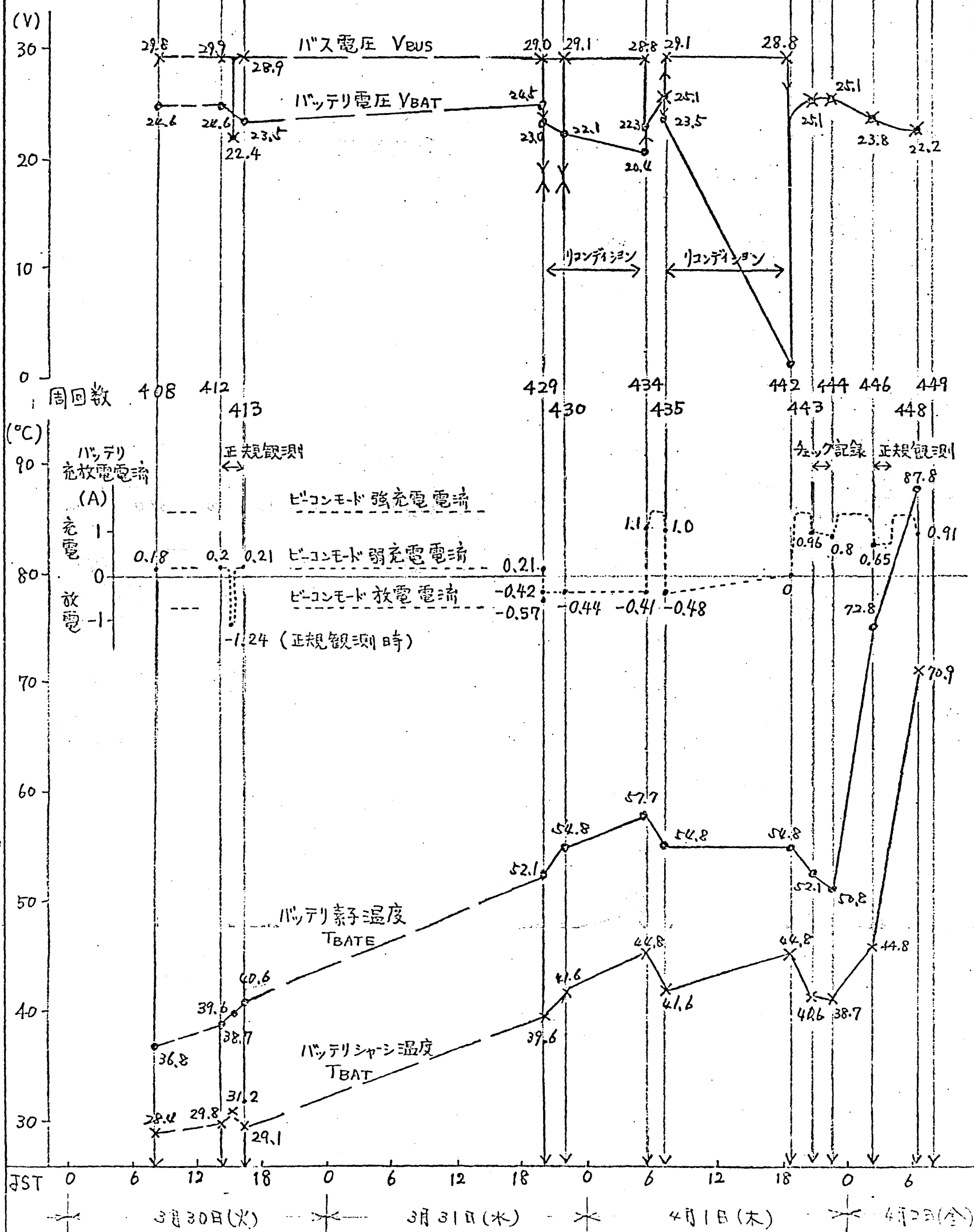
よって、予備機については改善対策を実施したバッテリーサブシステムを新規に製作し、軌道上の環境を考慮した試験によってバッテリーサブシステムを含む衛星全体について十分な評価を行い、打上げに備えるとともに打上げ後の運用に万全を期することとしたい。

なお、今後に打上げが予定されている衛星の開発についても、「うめ」の経験をじゅうぶんに反映させることとしたい。

「うめ」 バッテリーの温度及び電圧変化

790 →

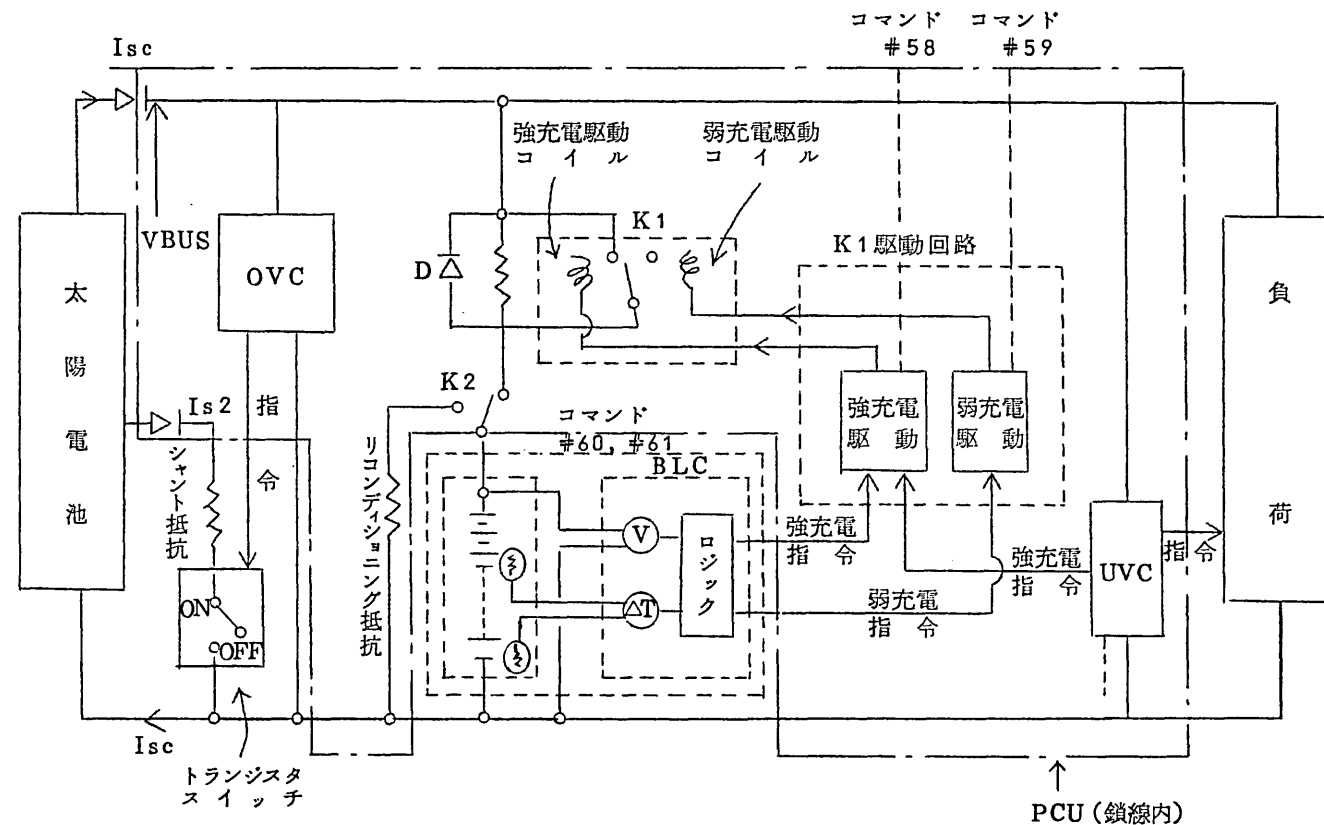
5%



## 電源制御回路の機能

電源系の構成をブロック図で示すと図1のようになる。同図中に示されている各ユニットについての構成機能等を要約すると次の通りである。

図1 電源系の構成図



Ⓥ : バッテリ端子電圧

⓪ΔT : 温度差 ( バッテリ素子温度 (RT) と バッテリシャーシ温度 (TH) の差 )

BLC : バッテリ充放電の強, 弱制御回路

UVC : バス電圧の下限電圧制御回路

OVC : バス電圧の上限電圧制御回路

PCU : 電力制御器

K1 : 充放電モード切換器

K2 : リコンディショニング用切換器

D : 放電用ダイオード

注 : 図中の指令制御は電氣的信号パルスで行う。

### (a) BLCの動作

表 2.1 に示すようにBLCはバッテリー電圧V及び温度差 $\Delta T$  ( バッテリ素子とバッテリーシャーシ間の温度差 ) のいずれか一方が矢印の方向に変化して設定値を越した瞬間にK1駆動回路にパルスの指令を発する。

表 2.1 充放電モード切換器 K 1 の作動

| ケース | バッテリー電圧<br>V      | バッテリー温度差<br>$\Delta T$ | K 1 駆動回路<br>に対する指令 |
|-----|-------------------|------------------------|--------------------|
| A   | 低 $\rightarrow$ 高 | 小                      | 強充電から弱充電へ          |
| B   | 低 $\rightarrow$ 高 | 大                      | 変化せず (弱充電)         |
| C   | 低                 | 小 $\rightarrow$ 大      | 強充電から弱充電へ          |
| D   | 高                 | 小 $\rightarrow$ 大      | 変化せず (弱充電)         |
| E   | 高                 | 大 $\rightarrow$ 小      | 変化せず (弱充電)         |
| F   | 低                 | 大 $\rightarrow$ 小      | 弱充電から強充電へ          |
| G   | 高 $\rightarrow$ 低 | 大                      | 変化せず (弱充電)         |
| H   | 高 $\rightarrow$ 低 | 小                      | 弱充電から強充電へ          |

(b) U V C の動作

バス電圧 (負荷電圧) が下限設定値 (19 V) 以下になると 60ms 間電圧低下を確認してから K 1 駆動回路に強充電 (強放電) の指令をパルス的に出す。その後, 200ms 経ってもバス電圧が回復しない場合はミッション機器用電源回路 (EXC) を断にする。バス電圧がそれ以後に設定値以上に回復しても K 1 駆動回路に対して何らの指令も発しない。

(c) K 1 駆動回路の動作

K 1 はラッチングリレーで指令信号 (1 パルス) によって作動し, 反転

を指令する次のパルスが入るまでその状態を保持する。

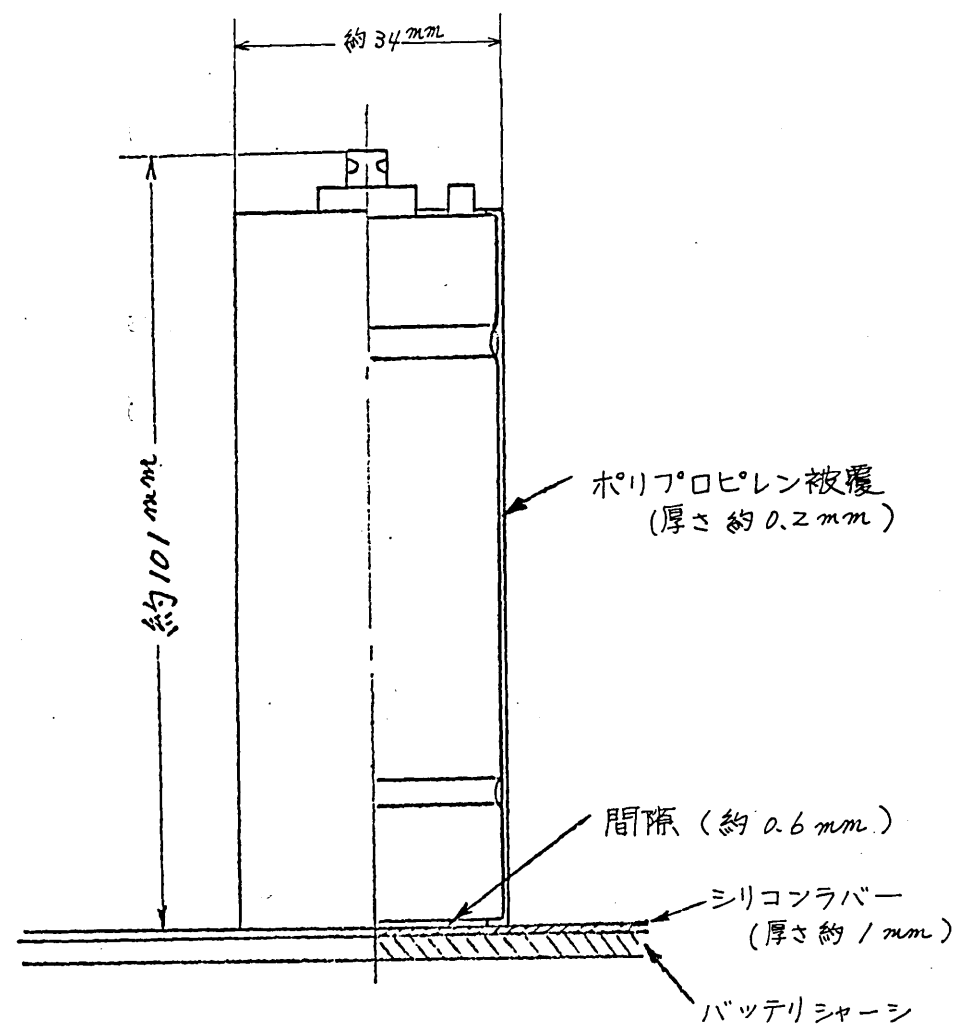
K 1 駆動回路は B L C, U V C 及び地上からの指令信号のいずれかによって作動する。動作の 1 例を示すと次のとおりである。

例えば,  $\Delta T$  の増加によって K 1 が弱充電状態になっているとき何らかの理由によって U V C が動作すると K 1 が強充電側に切換わる。この場合  $\Delta T$  が従前通りの値を維持していると B L C は弱充電の指令を発することはできない。B L C が再度弱充電の指令を発するためには, 一度反転状態 ( $\Delta T$  及び V が共に設定値以下になることにより強充電の指令を発した状態) になっている必要がある。ただし, この場合 K 1 に既に強充電側になっているので K 1 の状態変化は起らない。次に,  $\Delta T$  または V のいずれかがある設定値以上になると K 1 は弱充電状態に復帰する。

(d) O V C の動作

バス電圧が上限設定値 (30 V) 以上になると (軽負荷時) 太陽電池の余剰電力をシャント抵抗に供給することによりバス電圧が 30 V を超えないようにする。

別紙 3. バッテリ素子とシャーシとの接触状態



|      |                         |
|------|-------------------------|
| 種 類  | 密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池        |
| 容 量  | 5.0 AH 以上 (25°C)        |
| 充電効率 | 80% 以上 (25°C, 充放電電流 1A) |
| 重 量  | 約 260g (素子 1 個)         |
| 構 成  | 18 個直列                  |

## 別紙々

### バッテリー素子の故障モードの再現実験

#### (1) 実験の目的

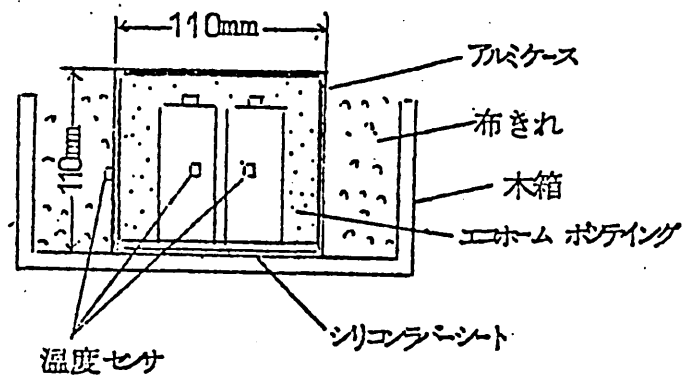
この実験は、「うめ」のバッテリー（素子を含んだサブシステム）の温度が急上昇し、最終的に破壊的故障に至つたと推定されるので、どのような故障形態になつているかを確認することを目的とする。

#### (2) 実験要領

##### (a) 供試素子

「うめ」用として製造し、保証された素子2個

##### (b) 供試バッテリーの組上げ



##### (c) 実装

恒温槽に上図の供試品を入れ、温度センサ及び各素子リード線を計測器及び電源に接続して、端子電圧及び温度を測

定する。

#### (d) 条件

温度：約40℃から実験を開始し、槽の温度を上昇させる。

電流：充電電流は0.8 Aとする。

#### (3) 実験結果

バッテリー素子温度が205℃で破壊／短絡を起した。

2個の素子のうち、1個はケース上部で破壊し、内部電極等が外に飛び出した。また、残りの1個は内部短絡を生じた。

その後分解した結果、絶縁材が溶けてなくなつていた。