

衛星用完全密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池

後川 昭雄・高橋 慶治・石川 俊夫*
柳本 章司*・藤田 清*

The Hermetically Sealed Nickel Cadmium Batteries for Satellite

By

Akio USHIKAWA, Keiji TAKAHASHI, Toshio ISHIKAWA, Syōji YANAMOTO
and Kiyoshi FUJITA

Abstract: The first Japanese scientific satellite, namely "SHINSEI" which was launched and put into orbit by the Institute of Space and Aeronautical Science, University of Tokyo, has been transmitting data back to the earth for more than two years. In this regard, we are pleased to announce the brief summary of hermetically sealed Ni-Cd rechargeable battery used for the first and second satellites, "SHINSEI" and "DENPA".

Since 1965, developmental work of our homemade battery has been continued. As a result of actual use, the battery has been proved to be high reliable as the power source of satellite.

Each of the two satellites has two pairs of 15 cells which consist of 2 Ah and 1.2 Ah capacities, provided with a power control unit. Especially, SHINSEI cells are still working satisfactorily now in the surface temperature range from -11°C to $+58^{\circ}\text{C}$.

概 要

東京大学宇宙航空研究所の第1号科学衛星「しんせい」は、すでに2年余にわたって作動し、観測データを送りつづけている。そこで「しんせい」および第2号衛星「でんぱ」に積載した完全密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池の概況について報告したい。この蓄電池は1965年からトリプルシール方式の技術を始め、すべて国産により宇宙用として製作、衛星用電源としての適格性について、各種環境下で確認したものである。1号および2号科学衛星には、公称容量2.0および1.2 Ahの蓄電池を用い、過充電防止用の電力制御装置(P. C. U.)も積載した。「しんせい」の軌道中の確認しえた範囲の最低温度は -11°C 、最高温度は $+58^{\circ}\text{C}$ であったが、電気特性は良好であり、貴重な宇宙での使用実績が得られた。

* 古河電池株式会社技術部

1. 緒 言

衛星用電源としては密閉形のニッケル・カドミウム蓄電池、銀・亜鉛蓄電池および銀・カドミウム蓄電池が主に使用され、多くの発表がなされている [1]。わが国では「おおすみ」、「たんせい」の銀・亜鉛電池 [2] と「しんせい」、「でんぱ」のニッケル・カドミウム蓄電池がすでに実績をもった。後者の密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池の開発は、1964 年に当研究所の衛星研究班で始まり、高木昇前所長のご配慮を得て 1965、67 年度の宇宙開発推進本部の委託研究も受けたが、トリプルシール方式を始めとした国産技術により完成したものである。

2. 蓄電池の構造

2.1 蓄電池の構成

ニッケル・カドミウム蓄電池は、カーボニル・ニッケル粉末を高温雰囲気炉にて焼結を行なった多孔性ニッケル薄形基板（多孔度が 80~88% のもの）に、陽極活物質として硝酸ニッケルを含浸し、次に電着・水洗・乾燥を行なう工程を数サイクル繰り返したのち、カセイカリ水溶液にて、化成を通して活性化させた水酸化ニッケルの帯状陽極と、同じく多孔性ニッケル薄形基板に、活物質として硝酸カドミウムを含浸し、陽極と同じ工程で活性化させた水酸化カドミウムの帯状陰極を、耐アルカリ性を有する合成樹脂の薄いマット状のセパレータを介して、うずまき状に巻いた極板群より構成される。なお極板は耐衝撃性をもたせるため、極板の端部はテープ加工を施し、絶縁を行ない、短絡防止をはかった。この極板群を円筒状金属缶にそう入したのち、極板群の可動防止および極板間の加圧を目的として、缶にサイドスコアを施した。次にこの円筒状金属缶にふたを装着し、不活性ガス溶接法によりふたを缶に完全に融着させた。電解液は、32 g/l の水酸化リチウムを含む比重 1.30 の水酸化カリウム水溶液を使用し、注入量は完全密閉化に必要なガス吸収反応を良好に行なうことができる量を、ふたにもうけられたフィルターチューブから注入すると同時に、ヘリウムガスを

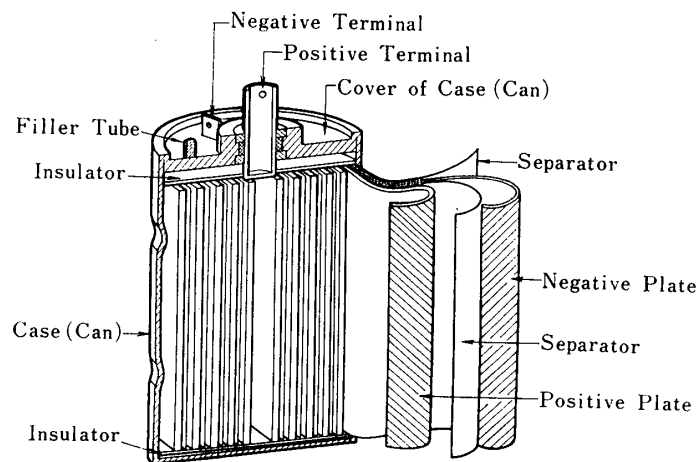


図 1 完全密閉形 Ni-Cd 蓄電池の構造断面

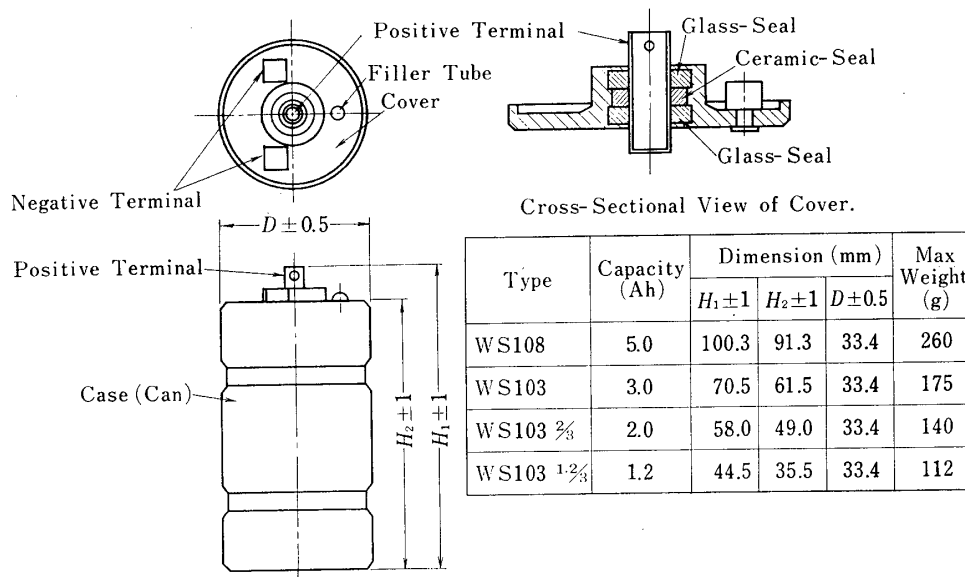


図 2 ガラス・セラミック・メタルのトリプルシール蓋と蓄電池の種類

導入させた。フィラーチューブをネジ止したのち溶接を行ない完全密閉化した。ヘリウムガスは、蓄電池溶接部およびふたのセラミック部の気密度をヘリウムガス・リークディテクタにて測定するために封入した。蓄電池の構造断面を図 1 に示す。

2.2 完全密閉化の構造

衛星用蓄電池は、その使用環境が高真空の大気圏外であるため、通常の使用状態では問題とならないような小さなピンホールでも、ガスもれ、液もれの原因となり、その結果寿命が短縮する。したがって完全な気密性が要求されるため、特殊な封口方式を採用しなければならない。封口方式にはセラミック・シール[3]、ガラス・シール、セラミック・ガラス併用シール[4]、ジェグラー・シール[5]などの耐真空性のある特殊なふたを使用している。ガラス・シール方式は、良く金属に融着させることができ、簡単にシーリングを行なうことができるが、融着金属との熱膨脹係数が異なるため、熱衝撃または打上げ時の機械的衝撃などにより亀裂が発生し、気密が不完全になるおそれがある。またセラミック・シール方式は、セラミックの材質の選定により、融着金属との熱膨脹係数の調整が可能であり、耐振動性、耐衝撃性による亀裂発生防止が可能である。しかし耐濃アルカリ性に難点がある。上記シーリング方式の問題点の改良を行なったものが、セラミックとガラスを併用したガラス・セラミック・メタルのトリプル・シール方式である。その方式を採用したふたを図 2 に示す。すなわち陽極端子および陰極端子との密着性を良好にするため、端子側面およびセラミックの側面をメタライジングし、癒着金属として金リングをもちい、次いでセラミック・リングをはめ込み、癒着後、セラミック層の上下面に耐アルカリ性の高いガラス・ビードを融着、保護層を形成したものである。この方式の特徴は耐振動性、耐衝撃性および耐薬品性を有し、蓄電池の気密を長寿命化できる点である。なお陽極端子と陰極端子間の絶縁抵抗値は $10 \text{ M}\Omega$ 以上である。またヘリウム・リーク量は $1 \times 10^{-10} \text{ atm}\cdot\text{cc}/\text{sec}$ 以下である。

以上のようなシーリング方式により完全密閉化された蓄電池は，宇宙環境に支配されることなく良好な特性が得られ，たとえ蓄電池の内圧が上昇しても，本構造の蓄電池は 150 kg/cm^2 の圧力に耐えられるように設計され，確認も行なわれている．なお図 2 には本方式による蓄電池の種類の詳細も示した．図 3 はこれらの実物の写真で，写真の右から左に WS 103^{1.2/3}，WS 103^{2/3}，WS 103 および WS 108 の順にならべてある．

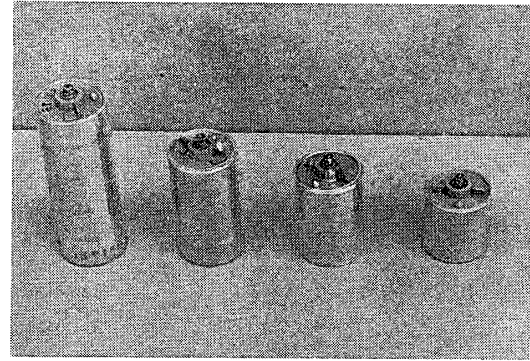
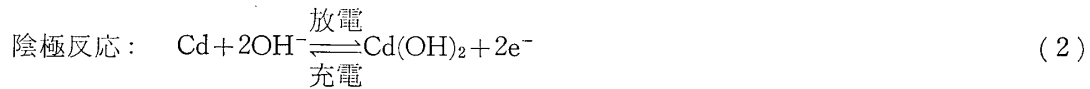
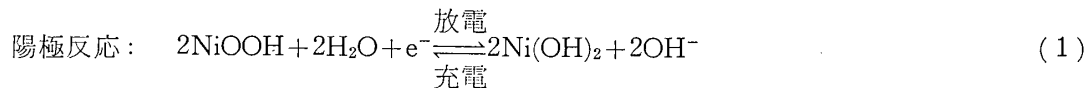


図 3 完全密閉形 Ni-Cd 蓄電池の種類

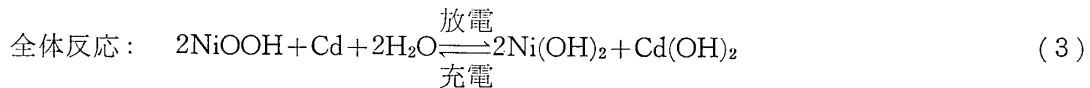
3. 蓄電池の反応

3.1 起電力反応

ニッケル・カドミウム蓄電池の充・放電時における陽，陰極の反応は，



と考えられており [6]，蓄電池全体としては次の反応が起っている．



$$E_{\text{rev}} = E^0 - 0.059 \log a(\text{H}_2\text{O}) \quad (4)$$

ここに

E^0 : 標準起電力

$\log a$: 水の活量

であって， 25°C のとき起電力 E_{rev} は 1.255 V [7] となる．

3.2 ガス吸収反応

蓄電池の充・放電反応は(3)式のとおりであるが，過充電における反応は水分解と同じ反応であり，陽極より酸素ガス，陰極より水素ガスが発生する．これらのガスが電池内部に蓄積すれば，内圧が上昇し電池が破損することになる．そこで過充電に耐える電池とするためには，発生するガスを吸収する必要がある．完全密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池の場合には，陽極活物質量に対して陰極活物質量は $1.6 \sim 1.8$ 倍を極板に充填している．したがってこの電池は充電をすれば必ず陽極が先に充電され，過充電領域になれば酸素ガスが発生する．一方，陰極は未充電部分があるため，過充電領域には入らない．この状態において電池内部に発生した酸素ガスは，次の(7)，(8)式の反応により陰極にて吸収する機構をとっている [8]．

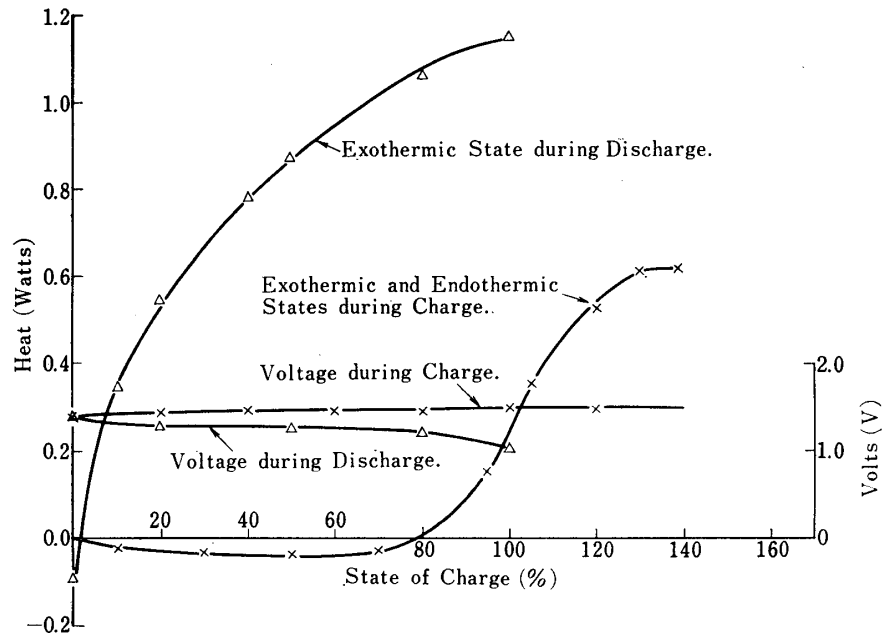
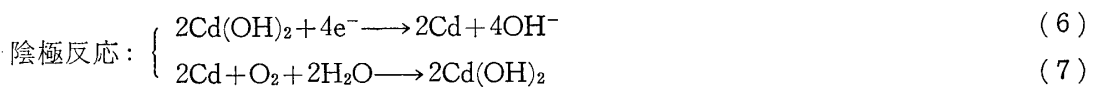
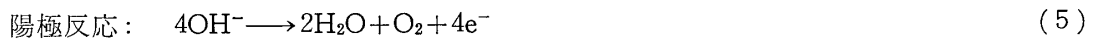
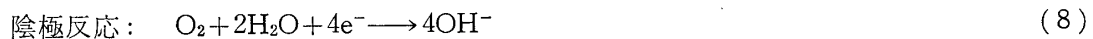


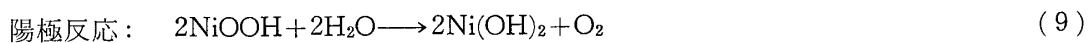
図 4 充・放電中および過充電中の吸・発熱特性



または



このため、温度および過充電電流が一定ならば、陽極から発生する酸素ガスと、陰極において吸収される酸素ガスが過充電後すぐに平衡状態となり、蓄電池の内圧上昇を起こすことはない。過充電以外に充・放電中および放置時において、陽極活物質が次の(9)式により分解して酸素ガスを発生する。温度が高いとその割合は増加するが、この酸素ガスも(7)、(8)式によって吸収される。



蓄電池の吸・発熱現象はすでに確認している[9]。この実験によれば、放電中は発熱、充電中は吸熱、過充電中は発熱となり、過充電中の発熱量は印加全電力に等しいことを確認した。その特性を図4に示す。したがって過充電を続ければ、熱放散の悪い真空中では蓄電池の温度が上昇する。このため、過大な過充電にならないように配慮する必要がある。ガス吸収反応は温度の依存性が高く、温度が低くなるとガス吸収速度が減少する。このため、低温においての過充電は、蓄電池の内圧が上昇する傾向にある。この蓄電池としては、 -10°C において過充電電流は $1/5\text{C}$ を限度と考えたい。

4. 衛星用蓄電池としての特性評価

4.1 蓄電池基本特性

4.1.1 充・放電特性

充電時における電流と温度の関係、および放電時における電流と温度の関係を図5に示す。充電時および放電時の温度が影響するため、充・放電は同一温度で実験した。また別の実験において充・放電効率を測定した。これは、充電量に対する放電量の関係で、充電は放電量に対して 120%、放電と充電は同一電流で実施した。その特性を図6に示す。温度が高かつ充電電流が小さいと、その効率は減少する。したがって、比較的低温状態 (0~25°C) で使用する方が容量は増大する。

4.1.2 充・放電中および過充電中のガス圧特性

充・放電サイクル中および過充電中のガス圧挙動を測定するため、蓄電池ケースの底部に圧力測定装置を取り付け、温度 0°C において充放電サイクル (充電 600 mA×60 分、放電 720 mA×30 分) を行なった。また同温度において、1/5C (600 mA) の過充電試験を実施した。その特性を図7に示す。これによれば、ガス圧も電圧と同じように蓄電池内部において、サイクルを繰り返していることが認められ、放電中においてガス圧は低下することが確認された。また過充電中ではガス圧は平衡状態を保っている。

4.2 東大宇宙研における蓄電池認定試験

衛星用蓄電池の特性は周知の宇宙環境において、長期間安定に維持されなければならない

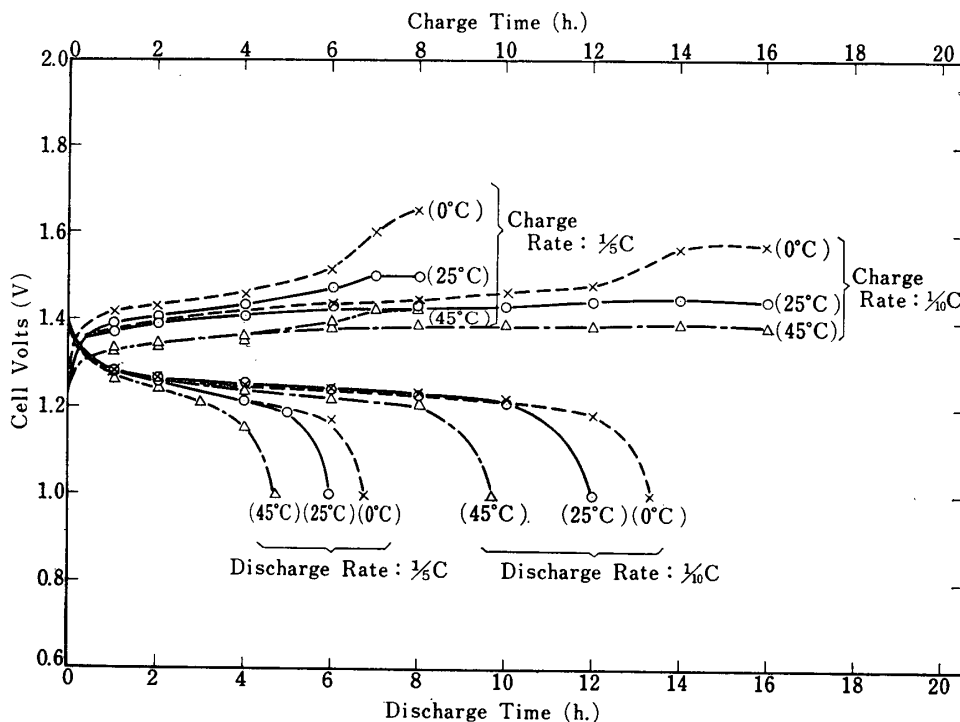


図5 蓄電池の充・放電特性

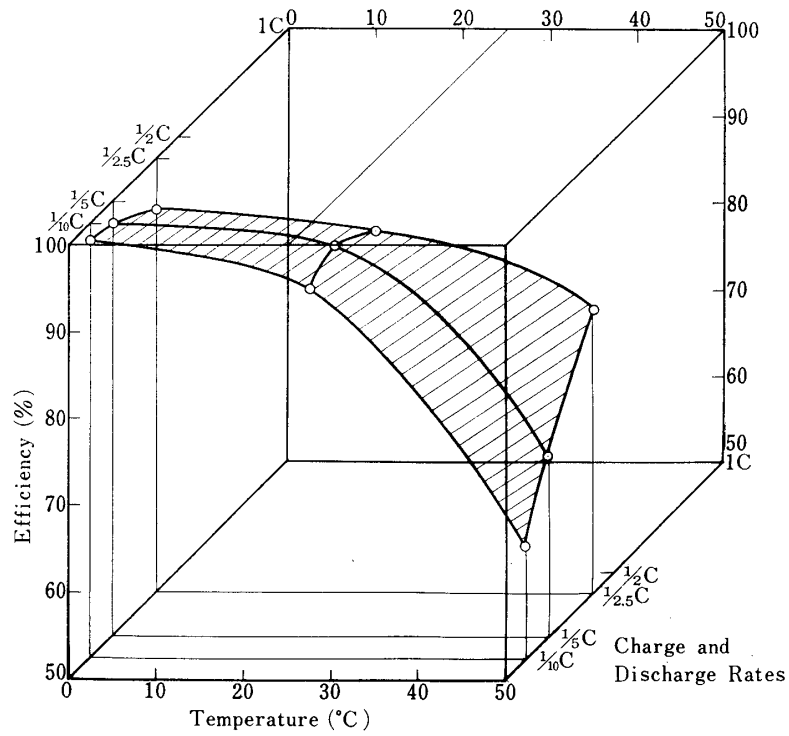


図 6 充放電効率特性

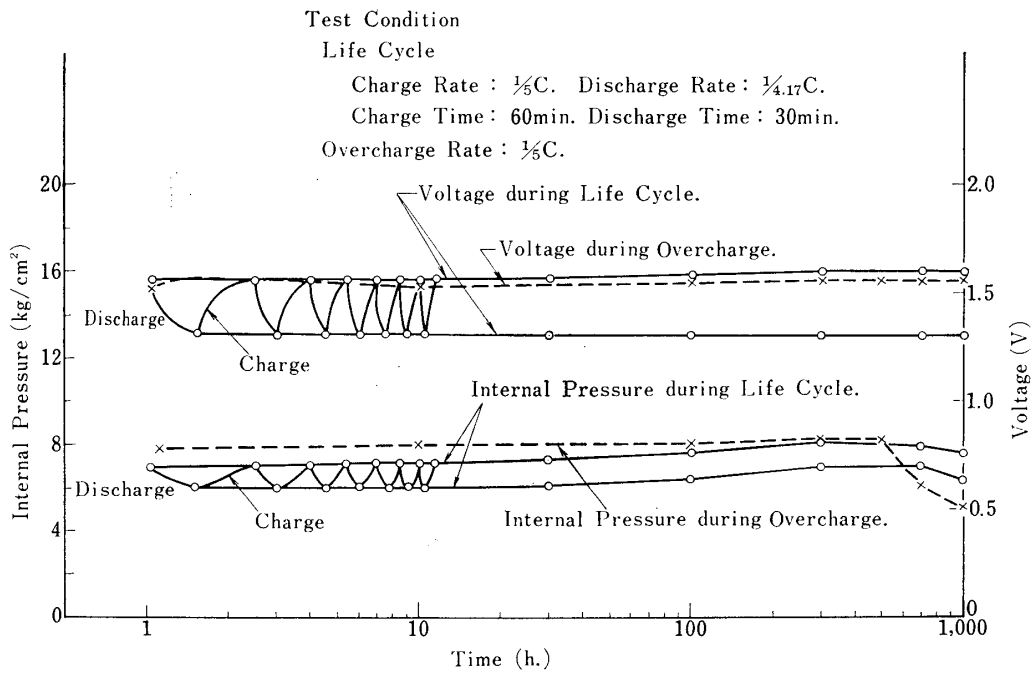


図 7 充放電サイクルおよび過充電中の内圧特性

い。そこで NASA [10], BELL 研[3], SONOTONE (現 MARATHON) 社の宇宙用電池の試験法も参考として、東大宇宙研蓄電池認定試験法 [11] を確立した。その試験項目、試験方法および要求事項を表 1-1, 1-2, に示す。この蓄電池試験法に基づき試験を実施した。試験の主目的は認定試験に合格していることの確認が中心となり、機械的特性試験[12] およびサイクル寿命については特にどこまでの性能を有するかを確認するため、資格試験において認定レベル以上の値で実施した。以下試験結果について紹介する。

表 1-1 受入試験 (Acceptance Test)

種 別	試 験 項 目	試 験 方 法	要 求 事 項
(1) 製 品 検 査	外 観	図面に規定された外形寸法重量を測定し外観および液漏れの有無を検査する。	図面に適合しなければならない。
	気 密	密封溶接加工時に予め電池空間にヘリウムガスを封入しておき、真空度 1×10^{-5} Torr の試験装置内でセラミック・シール部、溶接部等よりのヘリウム・ガス漏れを検出し、気密度を測定する。完全充電後フェノール・フタレン 1% アルコール溶液指示薬をセラミック・シール部および溶接部に塗布し、呈色の有無を検査する。	ヘリウムリーク量は 1×10^{-8} atm·cc/sec 以下でなければならない。 赤色に呈色してはならない。
	X 線	X線照射による写真撮影を行ない、電池内部不具合事項即ち極板群の乱れ、接触片のねじれ、溶接個所の不良等を検査する。	図面に適合しなければならない。
(2) 電 気 特 性 試 験	容 量 試 験	25°C 中で 1/10C の電流にて 15 ± 1 時間充電を行なったのち、1/5C の電流にて電圧 1.0V になるまで放電を行ない、その放電量を測定する。この試験を 3 回繰返す。	電池の容量は規定値以上でなければならない。
	パ ル ス 試 験	25°C 中で 1/10C の電流にて 15 ± 1 時間充電を行なったのち、6C の電流にて 9 秒間放電し、9 秒目の電圧を測定する。	9 秒目の電圧は 0.75V 以上でなければならない。
	短 絡 試 験	1/5C の電流で 1.0V まで放電した電池を 3 時間完全に短絡させて後、1/10C の電流で 15 分間充電を行ない、その後 15 ± 1 時間開路状態に放置し 15 ± 1 時間目の電圧を測定する。	電池は 1.15V 以上でなければならない。
	過 充 電 試 験	25°C 中で 1/10C の電流で 120 時間連続に充電を行ない、120 時間目の電圧を測定する。	電池は 1.48V 以下でなければならない。

表 1-2 資格試験 (Qualification Test)

種 別	試 験 項 目	試 験 方 法	要 求 事 項	
(1) 機械的特性試験	端子強度試験	陰極端子の溶接強度として電池軸方向の引張り強度を測定する。	端子の強度は 10 kg/cm ² 以上でなければならない。	
	衝撃試験	充電状態の電池を積載時の状態に固定し、60 G, 5 msec の衝撃を 2 回加える。この衝撃の前後を通じて 1/5 C の電流で 1.0 V まで放電を行なう。	電池は放電の期間の 70 % の間は 1.20 V 以下になってはならない。また衝撃による電圧のずれが 0.05 V 以上あってはならない。	
	振動試験	電池を振動盤にしっかりと固定する。電池の軸方向と横方向に下表の振動を加える。	振動数	振動レベル 軸方向 横方向 時間
			5~35 Hz	1.5 mm 0.5 mm 各往復
			35~200	7.5 G 2.5 G 3分
			200~2,000	15 G 5 G
共振点にて		2分	電池は振動試験後、容量試験を 4 回繰返し 4 回目の容量試験において規定値を満足しなければならない。	
振動試験後容量試験を 4 回繰り返す。				
スピン試験	積載状態に固定した電池を 3 時間 250 r. p. m で回転する。電池は回転盤の中心から 33±2.5 cm のところに置く。回転中電池は充放電サイクルを続ける。	電池は充・放電中において電圧の寸断があつてはならない。		
加速度試験	積載状態に固定した電池を下表の条件で加速度を加える。加速度試験終了後 1/5 C の電流で 1.0 V まで放電を行ない容量を確認する。	方 向	加速度レベル 時間 回数	
		軸	50 G 3分 1回	
		横	50 G 3分 1回	
(2) 環境試験	運搬・高度・温度試験	運搬箱に入れた電池を -30°C, 15km に相当する圧力の中で 4 時間開路状態で放置する。その後 25°C 中で 1/5 C の電流で 1.0 V まで放電を行なう。	電池は容量試験において容量は規定値を満足しなければならない。	
	低温容量試験	25°C 中で 1/10 C の電流で 15±1 時間充電を行なった電池を 10°C 中に 1 時間放置したのち 1/5 C の電流で 1.0 V まで放電を行なう。この試験を 2 回繰り返す。	電池の放電容量は規定値の 80% 以上を満足しなければならない。	

表 1-2 資 格 試 験 (つづき)

種 別	試 験 項 目	試 験 方 法	要 求 事 項																			
(3) 環 境 試 験	高 温 容 量 試 験	25°C 中 で 1/10C の 電 流 に て 15±1 時 間 充 電 を 行 な っ た 電 池 を 45°C 中 に 1 時 間 放 置 し た の ち 1/5C の 電 流 で 1.0V ま で 放 電 を 行 な う . こ の 試 験 を 2 回 繰 り 返 す .	電 池 の 放 電 容 量 は 規 定 値 の 90% 以 上 を 満 足 し な け れ ば な ら ない .																			
	高 温 過 充 電 試 験	45°C 中 で 1/10C の 電 流 に て 96 時 間 充 電 を 行 な い , こ の 期 間 の 最 後 に 38°C に 下 げ 30 日 間 連 続 充 電 を 行 な う . そ の 後 25°C 中 で 1/5C の 電 流 に て 1.0V ま で 放 電 を 行 な う .	電 池 の 放 電 容 量 は , 規 定 値 を 満 足 し な け れ ば な ら ない .																			
	低 温 過 充 電 試 験	-10°C 中 で 1/10C の 電 流 に て 96 時 間 充 電 を 行 な い , こ の 期 間 の 最 後 に 0°C に 上 げ 30 日 間 連 続 充 電 を 行 な う . そ の 後 25°C 中 で 1/5C の 電 流 に て 1.0V ま で 放 電 を 行 な う .	電 池 の 放 電 容 量 は 規 定 値 を 満 足 し な け れ ば な ら ない .																			
(4) 電 気 特 性 試 験	急 放 電 試 験	25°C 中 で 1/10C の 電 流 に て 15±1 時 間 充 電 を 行 な い , 1 時 間 放 置 し た の ち 1.9C の 電 流 に て 1.0V ま で 放 電 を 行 な う .	電 池 の 放 電 容 量 は 規 定 値 の 50% 以 上 を 満 足 し な け れ ば な ら ない .																			
	充 電 保 持 試 験	25°C 中 で 1/10C の 電 流 に て 15±1 時 間 充 電 を 行 な い , 開 路 状 態 で 30 日 間 放 置 す る . そ の 後 1/5C の 電 流 で 1.0V ま で 放 電 す る .	電 池 の 放 電 容 量 は 規 定 値 の 73% 以 上 を 満 足 し な け れ ば な ら ない .																			
(5) 寿 命 試 験	室 内 寿 命 試 験	0, 25, 45°C 中 で 先 ず 適 正 充 ・ 放 電 を 行 な っ た 後 に , 各 衛 星 の ミ ッ シ ョ ン に 応 じ て サ イ ク ル 寿 命 試 験 を 行 な う .																				
	真 空 内 寿 命 試 験	<p>1×10⁻⁴ Torr 以 上 の 高 真 空 中 で 下 記 サ イ ク ル 試 験 を 行 な う . 周 囲 温 度 の 変 化 率 は 3°C/分 と す る .</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>サイクル数</th> <th>充 放 電 条 件</th> <th>電 流</th> <th>時 間</th> <th>周 囲 温 度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1~5</td> <td>充 電 放 電</td> <td>1/10C 1/5 C</td> <td>16 (1.0V ま で)</td> <td>25°C 25</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>充 電 放 電</td> <td>1/10C 1/5 C</td> <td>167 1</td> <td>45 -5</td> </tr> <tr> <td>7~50</td> <td>充 電 放 電</td> <td>1/10C 1/5 C</td> <td>5 1</td> <td>25 25</td> </tr> </tbody> </table> <p>上 記 の 1~50 サ イ ク ル を 4 回 繰 り 返 し , 合 計 200 サ イ ク ル を 行 な う . 最 終 (200) サ イ ク ル 目 に お い て 1.0V ま で 放 電 す る .</p>	サイクル数	充 放 電 条 件	電 流	時 間	周 囲 温 度	1~5	充 電 放 電	1/10C 1/5 C	16 (1.0V ま で)	25°C 25	6	充 電 放 電	1/10C 1/5 C	167 1	45 -5	7~50	充 電 放 電	1/10C 1/5 C	5 1	25 25
サイクル数	充 放 電 条 件	電 流	時 間	周 囲 温 度																		
1~5	充 電 放 電	1/10C 1/5 C	16 (1.0V ま で)	25°C 25																		
6	充 電 放 電	1/10C 1/5 C	167 1	45 -5																		
7~50	充 電 放 電	1/10C 1/5 C	5 1	25 25																		

4.2.1 受入試験

(1) 製品検査

(i) 外観検査

公称容量 5, 3, 2, および 1.2 Ah の蓄電池の検査結果を表 2 に示す。

(ii) 気密試験

(a) 全数ヘリウム・リーク量は 1×10^{-8} atm・cc/sec 以下であった。

表 2 受入試験結果

種別	項目	形式		WS 108		WS 103		WS 103 2/3		WS 103 1.2/3									
		容量		5.0 Ah		3.0 Ah		2.0 Ah		1.2 Ah									
製品	外観	寸法 (mm)		重量 (g)	寸法 (mm)		重量 (g)	寸法 (mm)		重量 (g)	寸法 (mm)		重量 (g)						
		H ₁	H ₂		D	H ₁		H ₂	D		H ₁	H ₂		D	H ₁	H ₂	D		
			\bar{X}	100.5	92.0	33.7	250	70.4	61.4	33.2	157	58.0	49.0	33.6	127	44.6	35.6	33.4	90
			R	0.6	0.5	0.2	6	0.8	0.3	0.2	6	0.3	0.2	0.2	5	0.5	0.4	0.2	3
	規定値	100.3 ± 1	91.3 ± 1	33.4 ± 0.5		70.5 ± 1	61.5 ± 1	33.4 ± 0.5		58 ± 1	49 ± 1	33.4 ± 0.5		44.5 ± 1	35.5 ± 1	33.4 ± 0.5			
検査	気密	ヘリウムリーク量	1×10^{-8} atm・cc/sec以下				1×10^{-8} atm・cc/sec以下				1×10^{-8} atm・cc/sec以下				1×10^{-8} atm・cc/sec以下				
		フェノールフタレン反応	呈色なし				呈色なし				呈色なし				呈色なし				
	X線	不具合事項なし				不具合事項なし				不具合事項なし				不具合事項なし					
電気特性試験	容量試験	\bar{X}	5.60 Ah				3.58 Ah				2.75 Ah				1.61 Ah				
		R	0.28 Ah				0.23 Ah				0.18 Ah				0.18 Ah				
		規定値	5.0 Ah以上				3.0 Ah以上				2.0 Ah以上				1.2 Ah以上				
	パルス試験	\bar{X}	1.10 V				1.10 V				1.13 V				1.16 V				
		R	0.01 V				0.02 V				0.05 V				0.01 V				
		規定値	0.75 V以上				0.75 V以上				0.75 V以上				0.75 V以上				
	短絡試験	\bar{X}	1.25 V				1.24 V				1.27 V				1.27 V				
		R	0.02 V				0.01 V				0.02 V				0.02 V				
		規定値	1.15 V以上				1.15 V以上				1.15 V以上				1.15 V以上				
過充電試験	\bar{X}	1.43 V				1.43 V				1.43 V				1.42 V					
	R	0.02 V				0.01 V				0.01 V				0.01 V					
	規定値	1.48 V以下				1.48 V以下				1.48 V以下				1.48 V以下					

(b) 全数フェノール・フタレンによる呈色は認められなかった。

(iii) X線試験

極板群の乱れ、接触片のねじれ、溶接個所の不良など蓄電池の内部不具合事項は認められなかった。図8にX線透視の一例を示す。

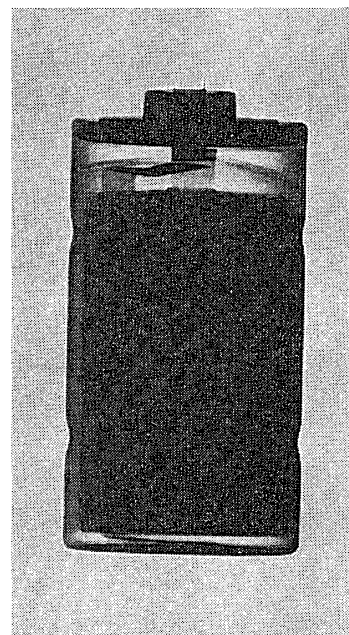


図8 X線透視写真

(2) 電気特性試験

(i) 容量試験

全数規定値を満たした。測定値を表2に示す。

(ii) パルス試験

全数規定値を満足した。測定値を表2に示す。

(iii) 短絡試験

全数規定値を満足した。測定値を表2に示す。

(iv) 過充電試験

全数規定値を満足した。測定値を表2に示す。

4.2.2 資格試験

資格試験の供試蓄電池は 4.2.1 項の受入試験を実施し、その後資格試験を行なった。受入試験結果は前記した結果と略同一のため記載を省略する。また品種別に試験を実施したが、公称容量 3 Ah の蓄電池について紹介する。

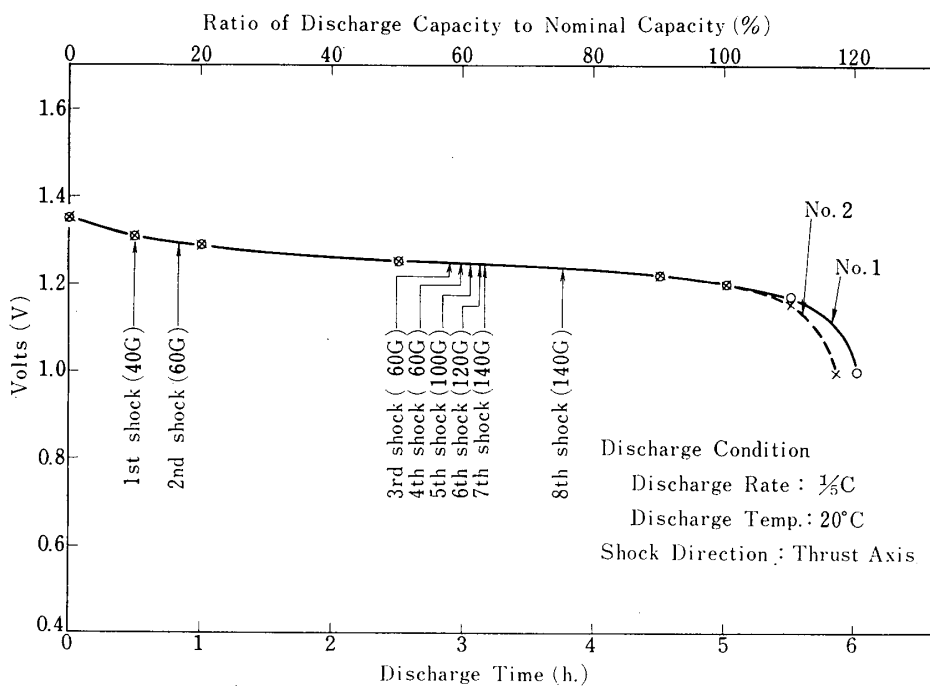


図9 衝撃試験特性

(1) 機械的特性試験

(i) 陰極端子強度試験

供試蓄電池 4 セルについて、引張り強度試験を実施した結果、30 kg 以上であることを確認した。

(ii) 衝撃試験

鉛球衝撃試験装置 (LB-10 型, 伊藤精機製) に供試蓄電池 2 セルを搭載状態に固定し、1/5C の電流で放電しながら衝撃を 40~140 G (7.2 msec) 加えた。衝撃時間は試験装置の仕様上 7.2 msec を採用した。また衝撃強度 60 G 以上の衝撃は、参考までに実施したものである。その特性を図 9 に示す。蓄電池電圧の不連続および、変動は認められず、放電電圧も放電深度 70% までは 1.20 V 以上を保った。

(iii) 振動試験

完全に充電した蓄電池を、動電形加振装置 (ASE-81 型, 明石製) に固定し、振動を与えた。振動を加えながら蓄電池の開路電圧を測定したが、いずれの振動条件に対しても電圧の変動は認められなかった。この振動後 1/5C の放電試験を 4 回行ない、放電電圧および容量を確認した所規定値 3 Ah 以上を満足した。この振動条件では蓄電池に与える影響はほとんどないことが判った。

(iv) スピン試験

回転円盤装置にて円盤の中心から 330 ± 25 mm の個所に蓄電池を積載状態 (軸方向) に固定し、衛星の周期に応じた充・放電 (充電 350 mA×57 分, 放電 500 mA×33 分) を実施し、250 および 310 r. p. m のスピンについて静止時と比較した。310 r. p. m は規定条件以外であるが、参考までに実施した。スピン試験中の特性を図 10 に示す。この結果 310 r. p. m では充電電圧が若干高くなるが、放電電圧にはほとんど影響がなく、スピン特性としては良好であると判断される。

(v) 加速度試験

加速度試験は、スピン試験の回転円盤装置を使用し、円盤の中心から 700 mm の所に軸方向および横方向に蓄電池を固定し、250 r. p. m (50 G) で各方向共 3 分間実施した。加速度試験中の蓄電池電圧を測定したが、各方向共電圧の変化は認められず良好であった。加速度試験終了後、蓄電池は 1/5C の電流で放電を実施したが、加速度による影響はなく特性は良好であった。

(2) 環境試験

(i) 運搬・高度・温度試験

供試蓄電池 2 セルを減圧装置に入れ、 -30°C の低温内に放置し、装置内の温度が -30°C に達してから、真空ポンプ

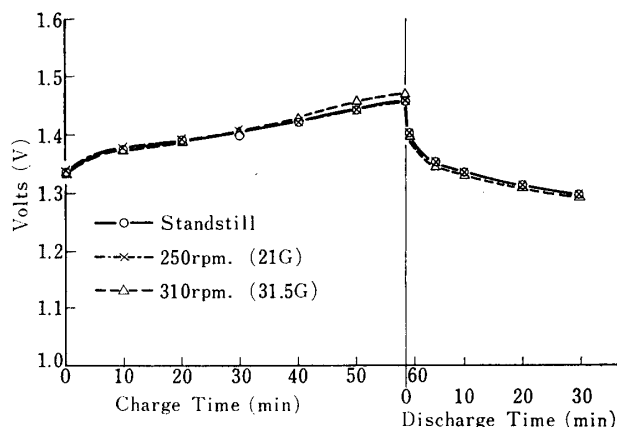


図 10 スピン試験特性

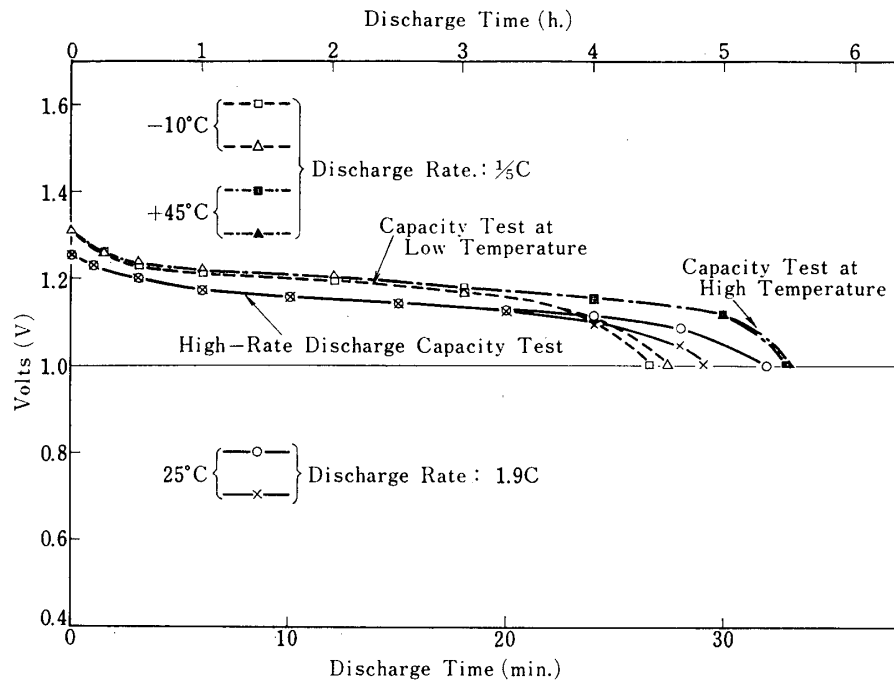


図 11 低温および高温における容量試験と急放電試験特性

表 3 資格試験結果

試験項目	測定項目	3.0 Ah 電池の結果			
		No. 1 電池		No. 2 電池	
低温過充電試験	試験前容量	3.28 Ah		3.33 Ah	
	-10°C 過充電中電圧	1.62 V		1.65 V	
	0°C 過充電中電圧	1.50 V		1.51 V	
	過充電後容量	4.15 Ah		4.23 Ah	
高温過充電試験	試験前容量	3.27 Ah		3.35 Ah	
	45°C 過充電中電圧	1.36 V		1.36 V	
	38°C 過充電中電圧	1.39 V		1.39 V	
	過充電後容量	3.07 Ah		3.03 Ah	
充電保持試験		容量	比率	容量	比率
	充電直後容量	3.25 Ah	100%	3.32 Ah	100%
	30日放置後容量	2.40 Ah	74%	2.55 Ah	77%

で減圧装置内の圧力を 55 mmHg (高度 15 km では 87 mmHg) まで減圧した。その状態で 4 時間放置してから、室内に取り出し 25°C 中で容量試験を 1 回実施した結果、試験による影響は認められず特性は良好であった。

(ii) 低温容量試験

供試蓄電池 2 セルを完全に充電したのち、-10°C の低温槽内に 1 時間放置してから、1/5 C の電流で終止電圧 1.0 V まで放電を行なった。その結果を図 11 に示す。規定値 2.4 Ah 以上を満足した。

(iii) 高温容量試験

供試蓄電池 2 セルを完全に充電したのち、45°C の恒温槽内に 1 時間放置してから 1/5 C の電流で終止電圧 1.0 V まで放電を行なった。その結果を図 11 に示す。規定値 2.7 Ah 以上を満足した。

(iv) 低温過充電試験

供試蓄電池 2 セルを、-10°C の低温槽内で 1/10 C の電流で 96 時間過充電を行ない、次に温度を 0°C に上げて、引き続き 30 日間連続過充電を行なった。過充電終了後、25°C で 1/5 C の電流にて容量試験を実施した。過充電中の蓄電池電圧、過充電後の容量試験結果を表 3 に示す。また過充電後の外観検査では液もれ、変形などは認められなかった。蓄電池過充電中のガス吸収は低温になると吸収速度が減少することは前記したとおりであり、その限界値を求める実験を行なった。-10°C において過充電電流 1/10 C に対して 1.3, 2, 3, 4 倍とり、連続過充電を実施した結果、3 倍の電流より蓄電池ケースの底部に若干の膨れが認められた。しかし電気的特性においてはなんら不具合はなかった。したがって -10°C より高い温度においては過充電電流が 1/10 C の 2 倍まで安全圏内と思われる。

(v) 高温過充電試験

供試蓄電池 2 セルを、+45°C の恒温槽内で 1/10 C の電流で 96 時間過充電を行ない、次に温度を 38°C に下げ、引き続き 30 日間連続過充電を行なった。過充電終了後、25°C で 1/5 C の電流にて容量試験を行なった。過充電中の電池電圧、過充電後の容量試験結果を表 3 に示す。また過充電後の外観検査では液もれ、変形などは認められなかった。

(3) 電気特性試験

(i) 急放電試験

供試蓄電池 2 セルを完全充電したのち、1 時間放置し 1.9 C の電流にて電圧 1.0 V まで放電した。その結果を図 11 に示す。規定値 1.5 Ah 以上を満足している。

(ii) 充電保持試験

供試蓄電池 2 セルを完全充電したのち、25°C において 30 日間放置した。その後 1/5 C の電流にて電圧 1.0 V まで放電を行ない、充電直後の容量と比較した。結果は表 3 に示すとおりで、放置後の容量は規定値 2.19 Ah 以上を満足している。

(4) 寿命試験

(i) 室内寿命試験

0, 25, 40°C の各温度において、放電深度 8, 12, 20, 40% で 90 分周期のサイクル寿命試験を実施した。充電は 60 分、放電は 30 分とし、放電深度に応じて放電電流を定めた。充電

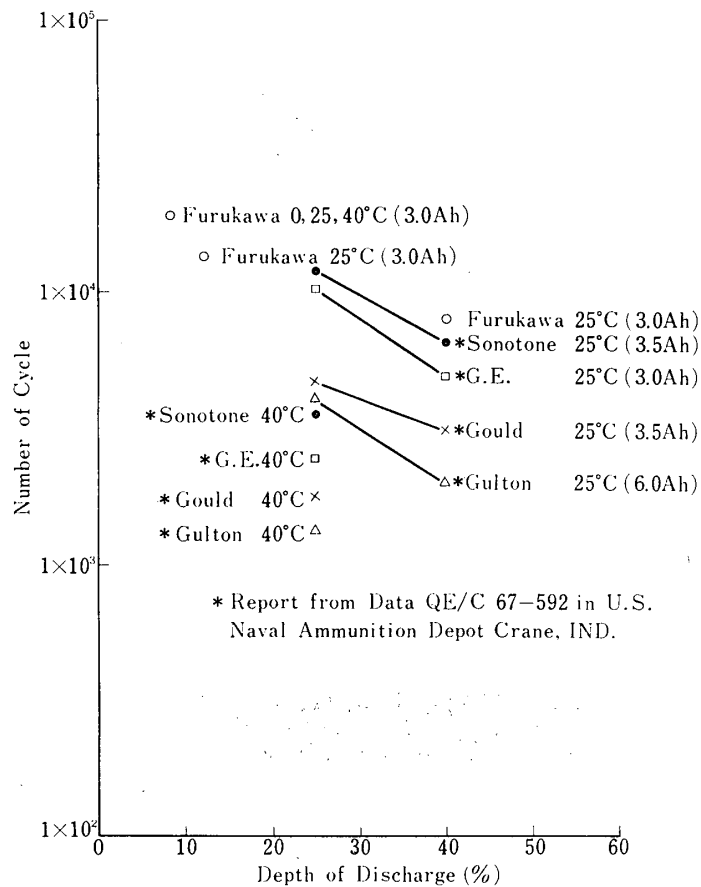


図 12 サイクル寿命特性

は放電量の 120% を採用した。その結果を図 12 に示す。このサイクル寿命は、放電深度の影響が認められる。なお NAD [13] (Navel Ammunition Depot) から発表されている米国メーカーのサイクル寿命を同図に示した。

(iii) 真空内寿命試験 [14]

仕様書の試験法は装置の関係で未実施であるが、この特性の評価は別に NHK 総合研究所で実施された。すなわち 1×10^{-6} Torr の高真空内で、放電深度 17% (90 分周期) および 50% (12 時間周期) のサイクル寿命試験を実施したが、これによれば 90 分周期に対して 2,800 サイクル、12 時間周期に対して 350 サイクルまで確認したが、蓄電池容量の低下は、90 分周期は初期容量に対して 10%、12 時間周期は 12% と報告されている。その結果を図 13 に示す。真空環境において充・放電サイクルを行なうと、大気中に比較して温度が高くなる。その分だけ周囲温度を高くすれば大気中でもほぼ等価的な試験が可能と結論づけられている。

4.2.3 特殊試験

(1) 放射線試験

放電状態の蓄電池に速中性子線照射 (照射条件: $100 \text{ kW} \times 6 \text{ 分間} = 3 \times 10^{13} \text{ Neutrons/cm}^2$) を行なった。蓄電池への影響を調査するため照射前後の特性を確認した結果、容量は 4.9%

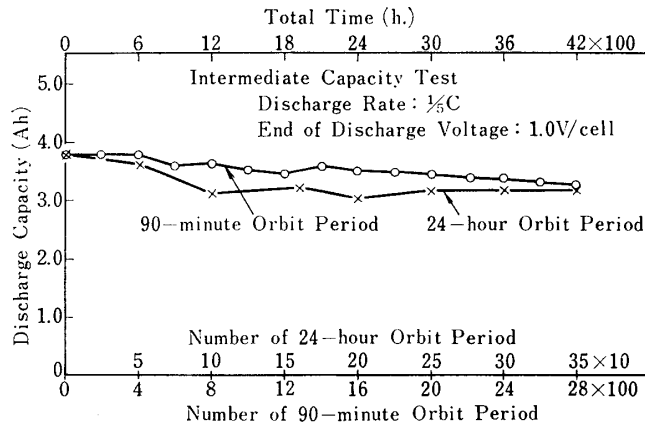


図 13 真空内サイクル寿命特性

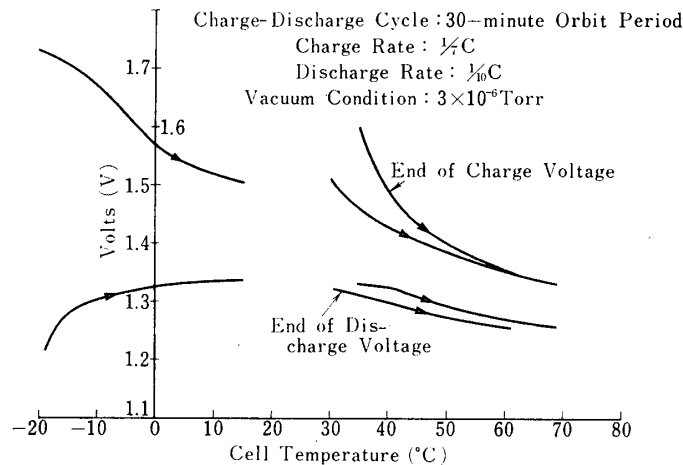


図 14 真空内における充・放電終期電圧特性

低下しているが、放電電圧は低下がなく照射による影響はわずかであり、実用上問題ないものと判断される。

(2) 消磁試験

蓄電池はその製造工程でスポット溶接が行なわれるため、磁化される。このため出荷前に消磁（ヘルムホルツコイルを用い、その中に蓄電池を軸および横方向に置き 50 Hz 約 100 Oe 印加した後徐々に減じる。）を行なっている。また充電時の漏洩磁界分布を測定した。その結果では充電による漏洩磁界の増加は認められなかった。

(3) 熱・真空環境特性試験

真空中において、30 分周期で放電電流 300 mA、充電電流 420 mA を繰り返した場合の特性を図 14 に示す。蓄電池はホルダの中に熱的に一定の結合になるように取り付け、これをスペース・チェンバの中に入れ真空中で冷却、加熱を組合せてホルダの温度制御を行なった。真空中における充電完了電圧は、大気中におけるよりも温度低下に伴う上昇の割合が大きい。すなわち真空中では、大気中におけるよりも蓄電池側面に沿っての熱伝導が減少する

ので、蓄電池温度は大気中における許容範囲より狭い範囲に設計されなければならない。衛星の設計にあたっては充・放電時における吸・発熱の問題を考慮した熱設計が必要である [15]。

5. 衛星積載電池の過充電制御方法

蓄電池を衛星に積載するためには、温度環境条件および太陽電池との組合せにおいて必要となる過充電制御回路などを検討しなければならない。温度環境条件においては、軌道上における衛星の姿勢や、日陰率による熱設計が行なわれる。太陽電池との組合せによる過充電の制御は、蓄電池のみで解決することは非常に困難であり、過充電電流が大きいと熱の蓄積が生じ、このため蓄電池の寿命は著しく短くなる。したがって、外部回路による制御が必要になる。その制御方式としては 1) 蓄電池電圧検出方式 [16], 2) 発熱検出方式, 3) 第三電極方式 [17][18], 4) クーロ・メータ方式 [19], 5) ガス圧検出方式 [20], 6) スタビスタ方式 [21] などが検討されているが、信頼性の観点から「しんせい」、「でんぱ」は 1) と 2) の方式を併用した。この制御方式の設計資料は、温度・電流による蓄電池の電圧変化の関係から求めた。この資料は簡易容量判定として使用した。

6. 「しんせい」と「でんぱ」の蓄電池の特性

6.1 積載条件および電力制御装置

「しんせい」(1971 年 9 月 28 日打上げ) と「でんぱ」(1972 年 8 月 19 日打上げ) に積載した蓄電池は、各衛星共正負 2 系統の電源系をもち、⊕系統では公称容量 2 Ah および⊖系統では 1.2 Ah の蓄電池がそれぞれ 15 セル直列に使用された。これらはアルミ合金製のケースに収納され、発泡ポッテング材によって固定された。その例を図 15 の上部に示す。左のパネルデッキと組合せたのが同図の下の写真である。それぞれの蓄電池には、電力制御装置作動の電圧および温度の検出素子取り付けられた。衛星電源系のブロック図 [22] を図 16 に示す。

日照時において蓄電池電圧が充電完了レベル (22.0 V) に達するまで、太陽電池から $1/7 \sim 1/4$ C の充電電流で蓄電池が充電され、充電完了レベルに達すると、電力制御装置によって $1/30 \sim 1/10$ C のトリクル充電電流に切り換り、余分の電流はシャント回路に流れ、蓄電池の過大充電状態を防止することができる。充電要求モードへの復帰は、日陰時において蓄電池が放電さ

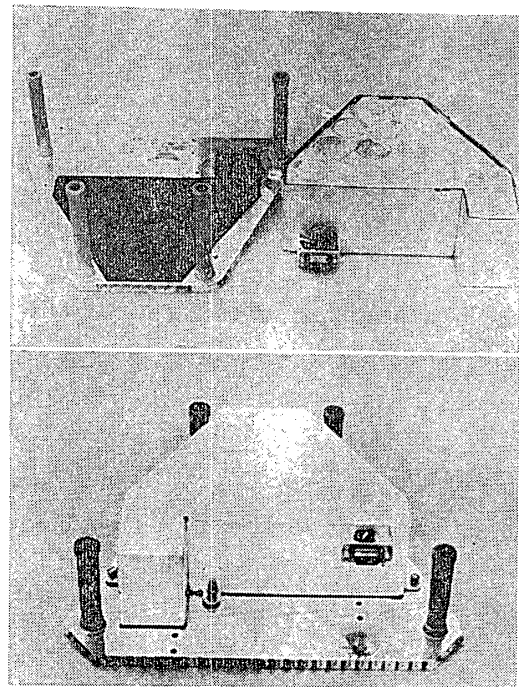


図 15 「しんせい」に積載した蓄電池サブアセンブリー

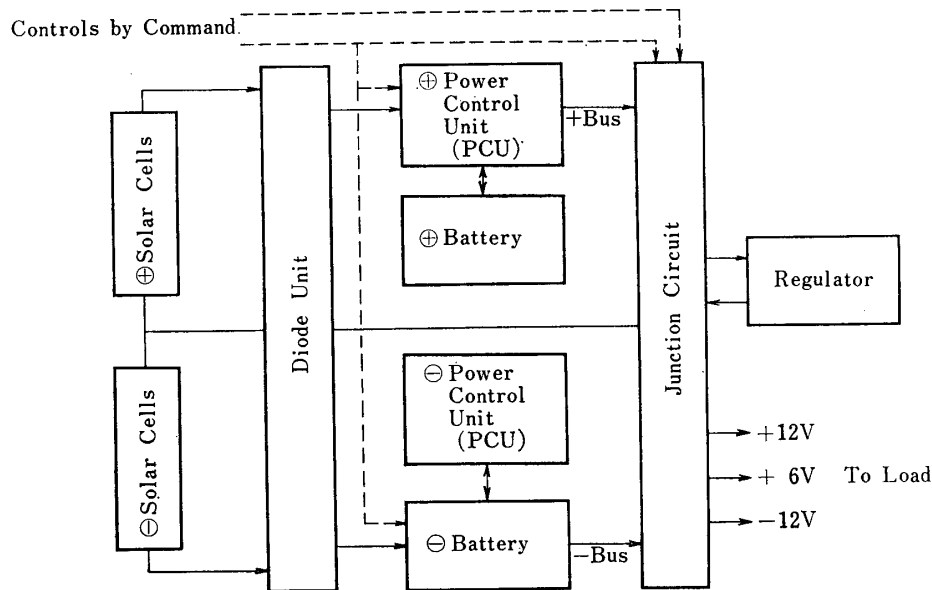


図 16 「しんせい」の電源系ブロック図

れ、一定の電圧 (19.8 V) を検出することによって達成される (図 17 参照). 以上が電圧による制御であり, 温度による場合も一定のレベルに温度が達すると, 充電完了および充電要求の制御を行なう. 「しんせい」, 「でんぱ」共上記の電圧・温度制御を装備し, 蓄電池を過充電から防止する方法が取られたほか, 地上からのコマンド操作によって, 充電完了, 充電要求モードに切り換えることができる.

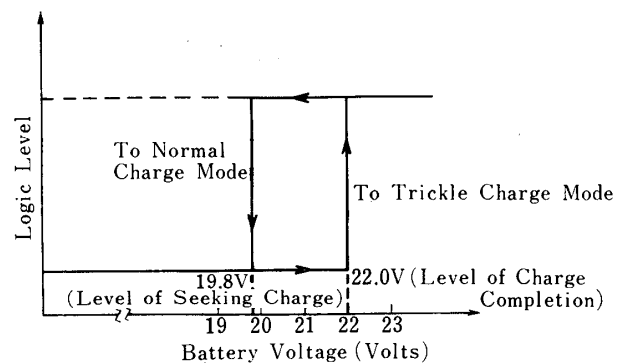


図 17 蓄電池の過充電制御のための PCU の検出レベル

蓄電池公称容量に対して 120% 充電を行なったときの充電電流と端子電圧の関係は, 温度をパラメータに取ったとき図 18 のとおりとなる. 端子電圧は, 充電電流に対して勾配をもったほぼ直線となる. 次に充電電圧と蓄電池容量の関係 [23] は, 温度と充電電流をパラメータに取ったとき, 図 19 のとおりとなる. これによれば充電電流が $1/3C$ の場合, 充電完了レベルを 1.475 V/セルに設定した場合 25°C においては公称容量の 100%, 0°C においては 80% の容量が得られる. 温度が高くなるに従って, 1.475V/セルの充電完了レベルまで, 蓄電池電圧が上昇できず制御ができなくなる. このため, 蓄電池は過充電状態となり, 図 4 に示すとおり発熱が起こり温度が上昇する. 温度が一定値まで上昇すれば温度による制御が作動する. これらの関係から求められた「しんせい」, 「でんぱ」の充電時の制御方法と設定レベルを表 4 に示す. 「しんせい」の場合は, 電圧による制御レベルは 1 種類とし, その値は 22.0 V (1.475 V/セル) を採用した. 蓄電池温度が上昇した場合は, 過充電状態

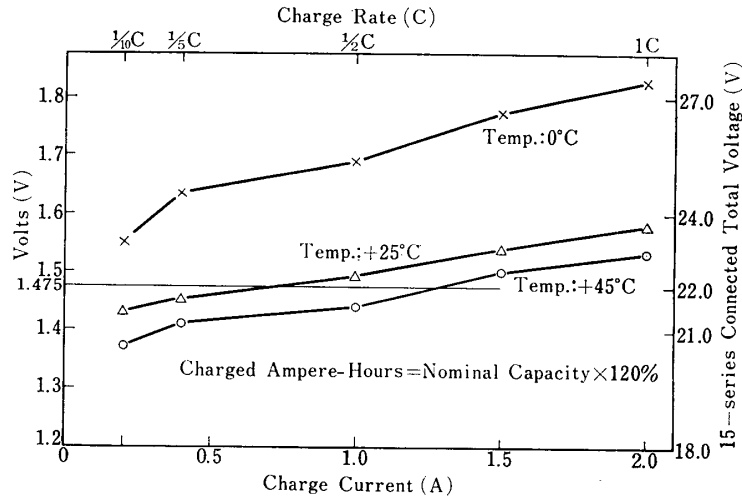


図 18 充電電流と充電終了時の電圧の関係

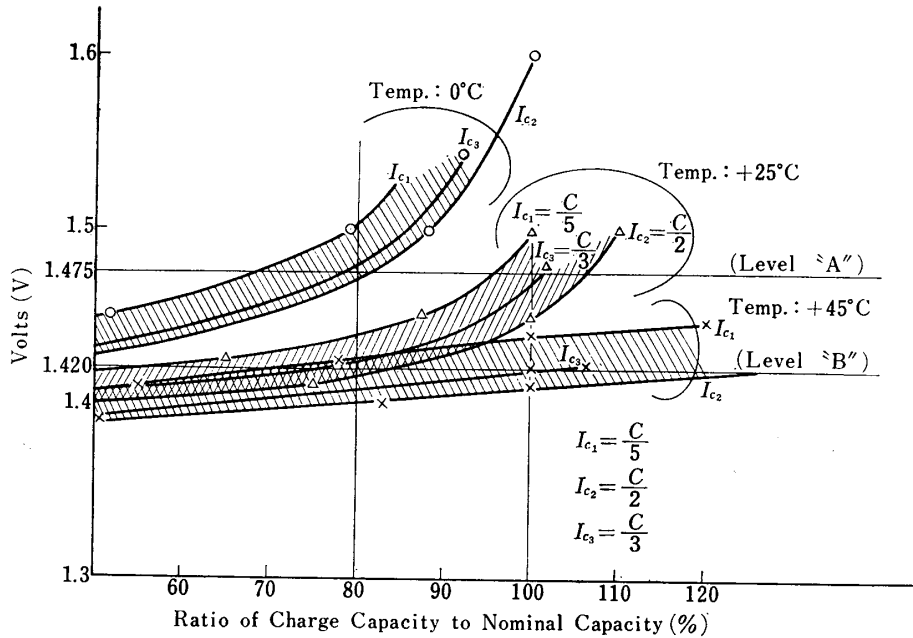


図 19 充電終了時の電圧と容量の関係

においこむ方法が取られ、温度の制御は +45°C で作動するように設計された。「しんせい」の総合試験の結果、太陽電池の出力電流から、各積載機器の消費電流を差し引いた量が、蓄電池の充電電流となり、平均的な衛星運用モードの場合は、⊕系統は 290mA (1/6.9C), ⊖系統は 289 mA (1/4.3C) となった。⊖系統では、33°C までこの電流において充電完了レベルに電圧が達することができたが、⊕系統は、27°C 以上では充電完了レベルに電圧が達せず、過充電状態となり、発熱することが予想された。このことは、「しんせい」飛しょう初期において、電源系の地上コマンド操作を多用する結果となった [24]。

6.2 「しんせい」, 「でんぱ」の飛しょう初期特性

「しんせい」, 「でんぱ」の打上げ時における蓄電池容量は、80~90% の充電状態になる

表 4 制御方法と設定レベル

制 御 方 法		し ん せ い	で ん ば
電	充電完了検出電圧	レベル "A"	22.0V (1.475V/セル)
		レベル "B"	—
圧	充電要求検出電圧	レベル "A"	約19.8V (1.320V/セル)
		レベル "B"	—
温	充電完了検出温度	45.0°C	40.0°C
度	充電要求検出温度	約43.5°C	約37.0°C

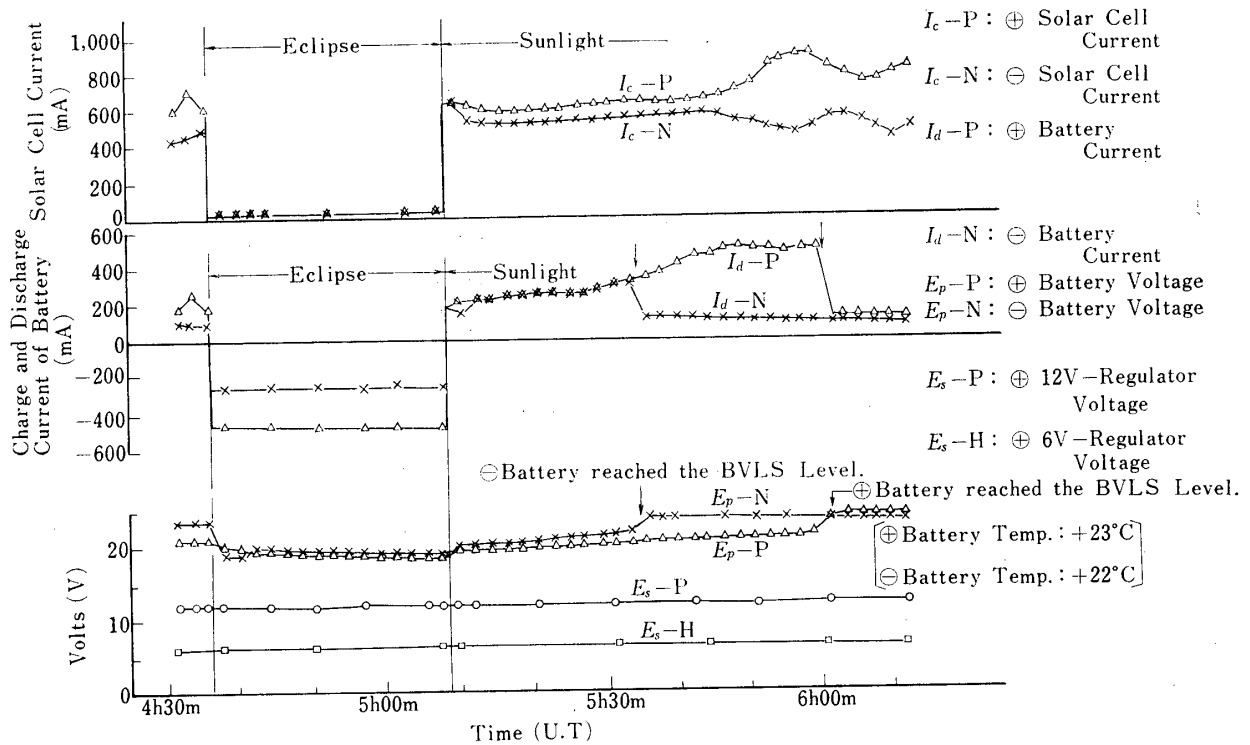


図 20 「しんせい」 1 周目における電源データ

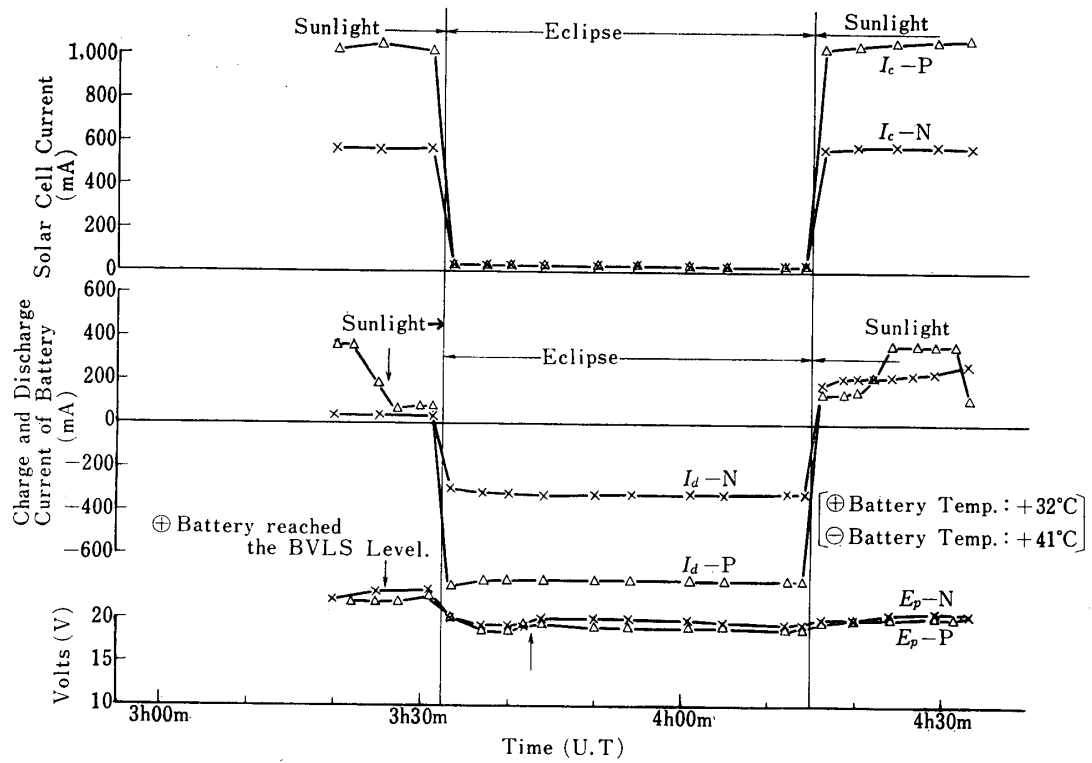


図 21 「でんぱ」 1 周目における電源データ

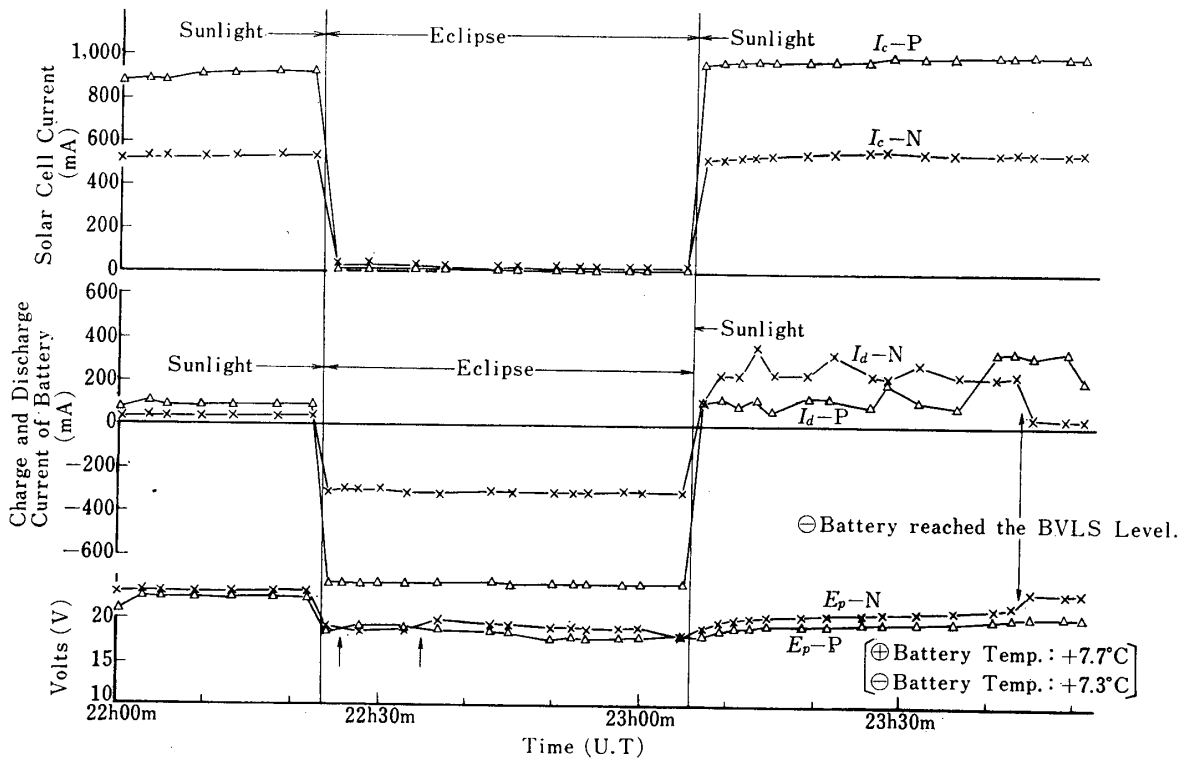


図 22 「でんぱ」 26 周目における電源データ

表 5 軌道周回時の蓄電池作動状況

項目		衛星	しんせい(10周目)		でんぱ(1周目)	
		電源系	⊕系電池	⊖系電池	⊕系電池	⊖系電池
充 電 要 素	平常充電々流		280 mA	280 mA	340 mA	220 mA
	トリクル充電々流		80 mA	80 mA	100 mA	24 mA
	平常充電の充電率		1/7.1C	1/4.3C	1/5.9C	1/5.5C
	太陽電池出力		770 mA	570 mA	1040 mA	550 mA
放 電 要 素	放電々流(負荷)		490 mA	290 mA	750 mA	330 mA
	放電深度		12.5%	12.4%	24.5%	17.9%
軌 道 条 件	周 期		113.1分		160.5分	
	日 陰 率		27%		24.4%	
	日 照 時 間		82.5分		121.3分	
	日 陰 時 間		30.6分		39.2分	
	太 陽 角		111°		85~90°	
	遠 地 点 距 離		1,870.5km		6,563.4km	
	近 地 点 距 離		873.8km		249.6km	
電 池 温 度			⊕系 26.5°C ⊖系 24.5°C		⊕系 27.0°C ⊖系 32.0°C	
			(クリスタル 20.0°C)		(クリスタル 22.5°C)	

ように調整した。打上げ5分前から衛星内部電源(蓄電池)に切り換え、発射後開頭によって太陽電池の出力が生じ、蓄電池は充電された。飛しょう中のデータは、衛星内部環境計測装置(HK)によって測定され、テレメータにより地上で受信されたものである。そのうち内之浦での可視範囲以外の測定は、HKを経てデータレコーダに録音され内之浦上空において再生、受信されたものである。

軌道1周目における各衛星の電源データを、図20および図21に示す。「しんせい」の場合は日照になってから、⊖系統は43分後に、⊕系統は86分後(推定値)に充電完了レベルに蓄電池電圧が達し、トリクル充電モードになった。このときの温度は⊖系統は22°C、⊕系統は23°C、充電電流は両系統とも250~300mAであった。一方「でんぱ」の場合は、日照になってから⊖系統は38分後に、⊕系統は78分後(推定値)に充電完了レベルに蓄電池電圧が達し、トリクル充電モードになった。このときの温度は⊖系統27°C、⊕系統32°C、充電電流は⊖系統200~280mA、⊕系統300~350mAであった。表5に軌道周回時に得られた条件を示す。

「でんぱ」の場合は27周目において衛星に故障が起こり、その後のデータは得られなく

なった。故障前の 26 周目の電源データは図 22 に示すとおりである。⊕, ⊖系統共蓄電池は充電完了レベルに電圧が達しトリクル充電モードになっている。充電による発熱現象もなく、良好な作動が行なわれていることがわかった。これに対して「しんせい」は15周目から充電電流が小さいこと、および図 18 および図 19 から明らかなように、温度が上昇すると蓄電池電圧が 22.0 V (1.475 V/セル) の充電完了レベルに達せず、蓄電池は過充電状態となり、日照、日陰のサイクルごとに温度が上昇した。52~60 周では最高 44°C まで温度が上昇した。蓄電池の寿命は温度と放電深度の影響をうけるため、⊕系蓄電池は完全充電状態一杯まで充電を行なわない方法を取り、周回時の蓄電池容量を考慮して地上からコマンド操作により、トリクル充電モードに設定し衛星電源の運用を行なった。その模様を、48 周から 65 周におけるコマンド操作による⊕系統の蓄電池の作動状況として図 23 に示す。

48周目において、コマンドを CHARGE ON することによって、50 周目より蓄電池の電圧が回復すると、同じように蓄電池の温度が上昇した。60 周目で CHARGE OFF を行なうと、温度は低下することが認められた。なお日照時および日陰時の最終電圧は、日照から日陰および日陰から日照に出る直前の電圧をデータレコーダの再生データから読み取ったものである。これに対して⊖系統の蓄電池は図 24 に示すように日照ごとに電圧が充電完了レベルに達して、トリクル充電モードとなり、蓄電池の発熱もなく良好であった。これは充電電流が大きいため、蓄電池の容量が 100% 近くなると電圧が充電完了レベルに達し、トリクル充電モードになる。トリクル充電では、蓄電池に充電される電流が小さくなるため、発熱が押えられるからである。⊖系統の蓄電池は、電力制御装置の電圧設定レベルが、充電電流に対し適切な設計であったことが証明された。さらにその後の軌道周回時における日陰・日照時の最終電圧変化を示した図 25 によっても、日照時においては、⊖系統は常に充電完了状態となるため（充電完了レベルに達すると回路上蓄電池電圧は約 23.2V の Bus Line 電圧に変る）、日陰時の放電電圧は一定であり、温度も衛星の温度と同様な変化を示している。⊕系統では前記したとおりコマンド操作を行なったため、日陰時の電圧が低い周回がある。すなわち放電が深くなっている。

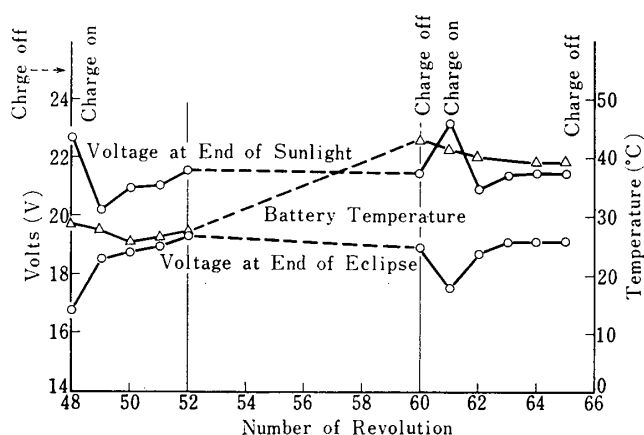


図 23 +系蓄電池へのコマンド操作による蓄電池温度と電圧の変化

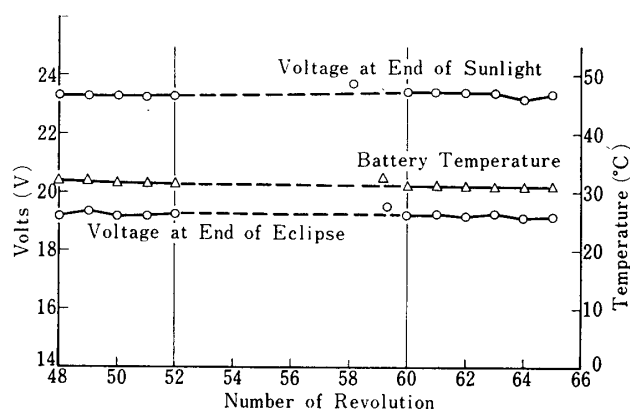


図 24 -系蓄電池の温度と電圧の変化

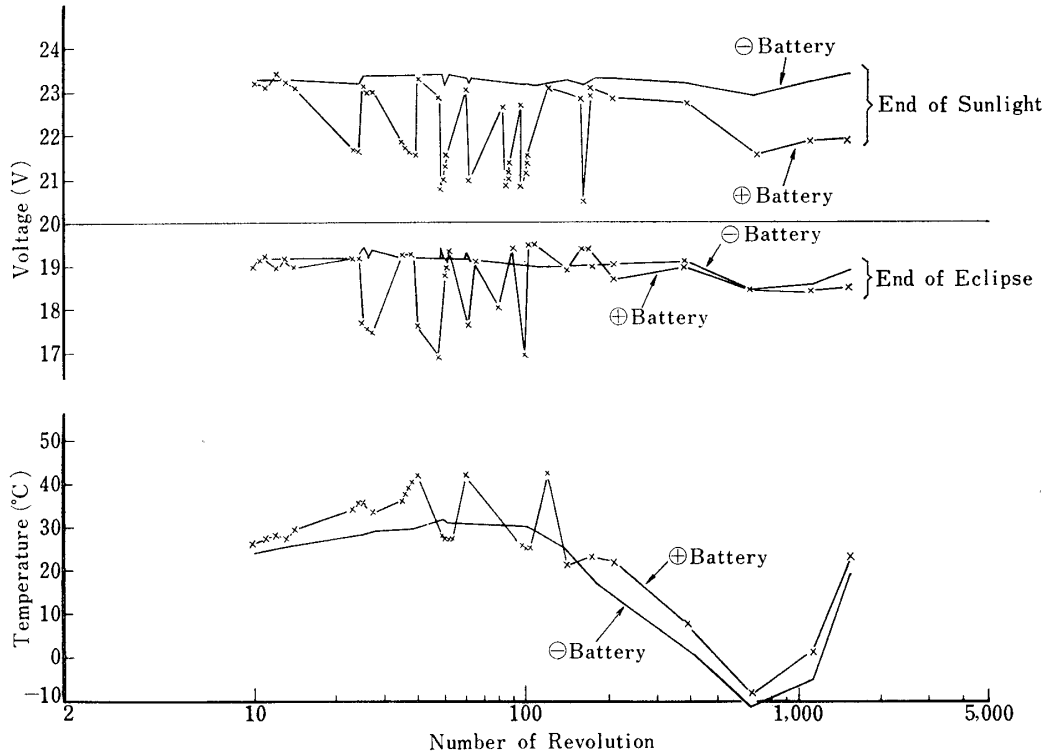


図 25 日照と日陰時の最終電圧特性

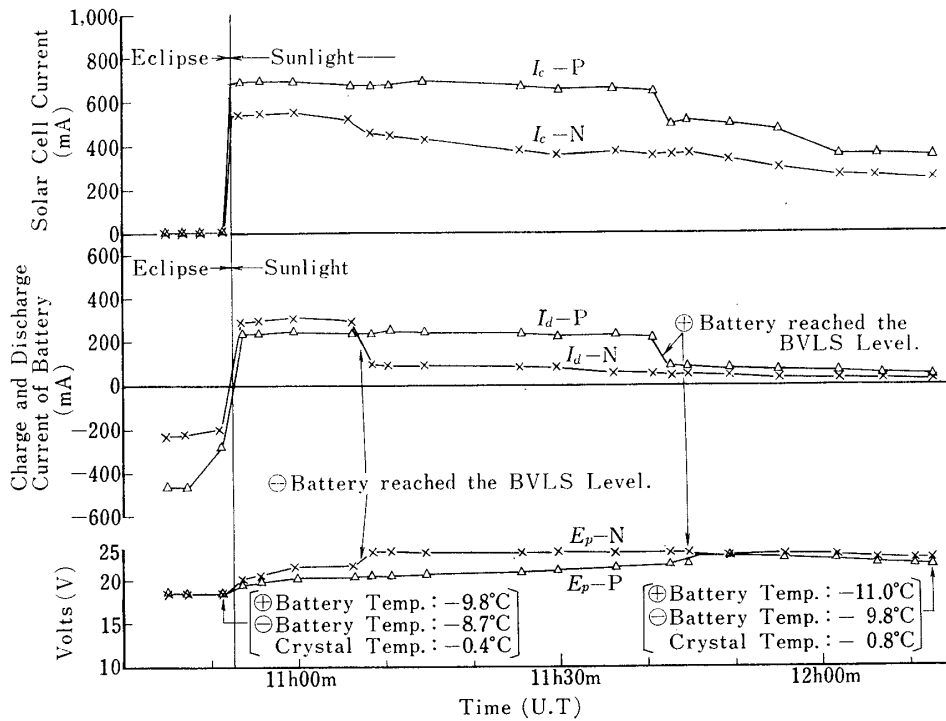


図 26 「しんせい」 731 周目における電源データ

6.3 「しんせい」の長期間にわたる飛しょう特性

長期間にわたる軌道上での衛星の姿勢変化，軌道の摂動による日陰率変化に伴う蓄電池の放電深度の増減および衛星温度に伴う温度変化を経緯して，1973 年 6 月 28 日に 8,145 周に達した．以下に観測されたデータからピックアップして紹介する．

731 周目においては，8,145 周までの確認した範囲では，最低温度を記録した．その周における電源データを図 26 に示す．衛星内部の代表的温度は原発振器の温度であり，その温度は日陰最後において -0.4°C であった．これに対して， \oplus 系電池は -9.8°C ， \ominus 系電池は -8.7°C であった．日照における充電電流は正常であり， \oplus 系統電池は 50 分， \ominus 系電池は 15 分で充電完了モードになっていることが確認された．一方温度は日照に入ってから徐々に低下し 80 分後においては， \oplus 系電池が -11°C ， \ominus 系電池は -9.8°C また Xtal が -0.8°C を記録した．日陰の最後の電池電圧は両系統共 18.4 V で 5 章で述べた簡易容量判定によると約 60% の容量を保有していることが確認された．

1,543 周目の電源データを図 27 に示す．この周はデータ・レコーダが正常に作動して得られた最後のデータである．この特性では，温度は \oplus 系電池は 34°C ， \ominus 系電池は 29°C であった． \ominus 系統の蓄電池は充電完了モードは確認されたが \oplus 系統の蓄電池は確認されず過充電傾向にあった．日陰時における放電特性は良好である．

この周以降はリアル・タイムによって観測が行なわれ，1,809 周においては確認した 8,145 周までの周回中最高温度を記録した．その周における電源データを図 28 に示す．可視時間

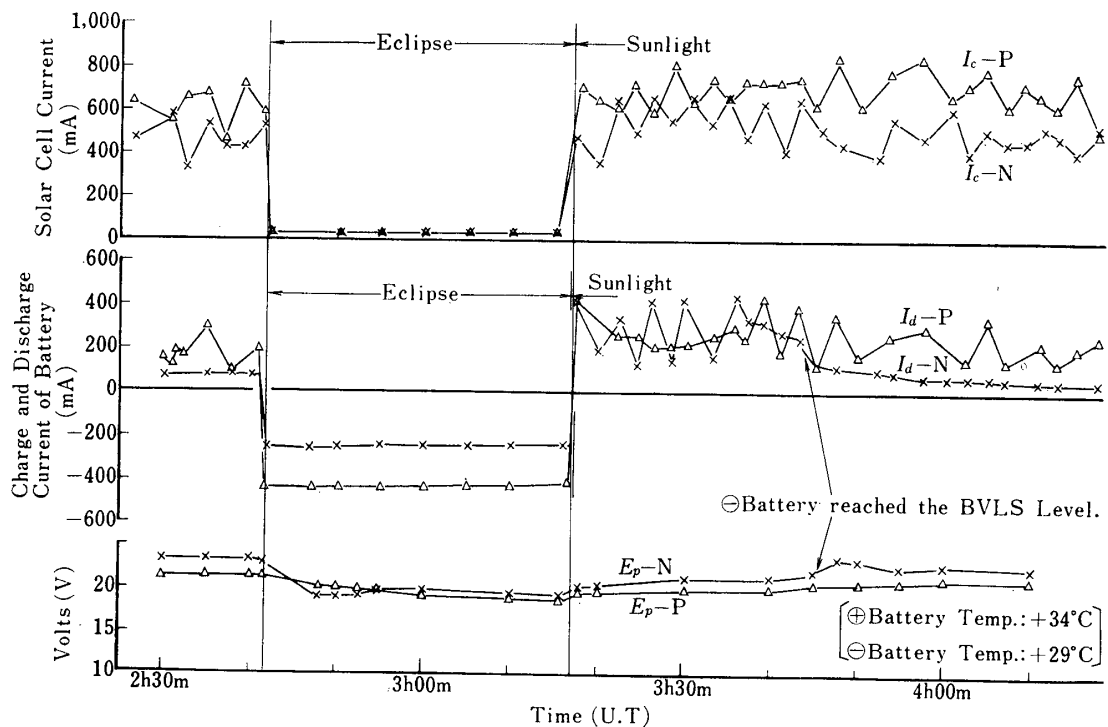


図 27 「しんせい」1,543 周目における電源データ

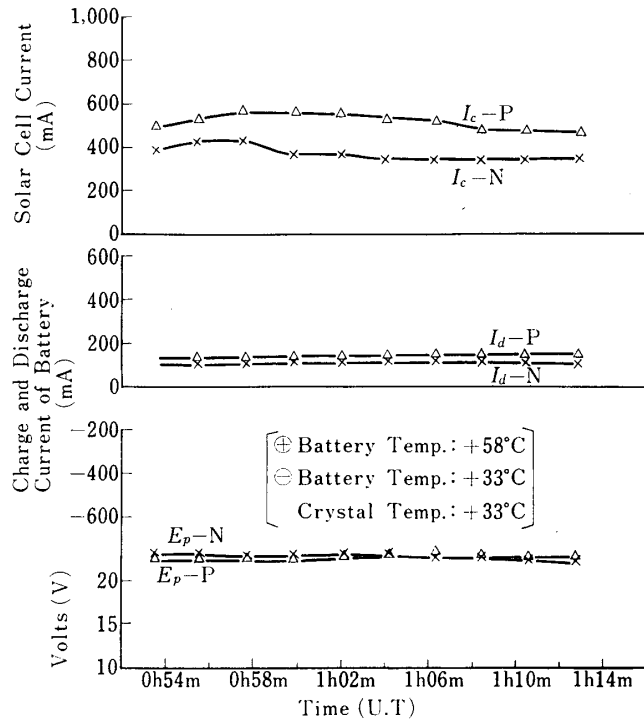


図 28 「しんせい」 1,809 周目における電源データ

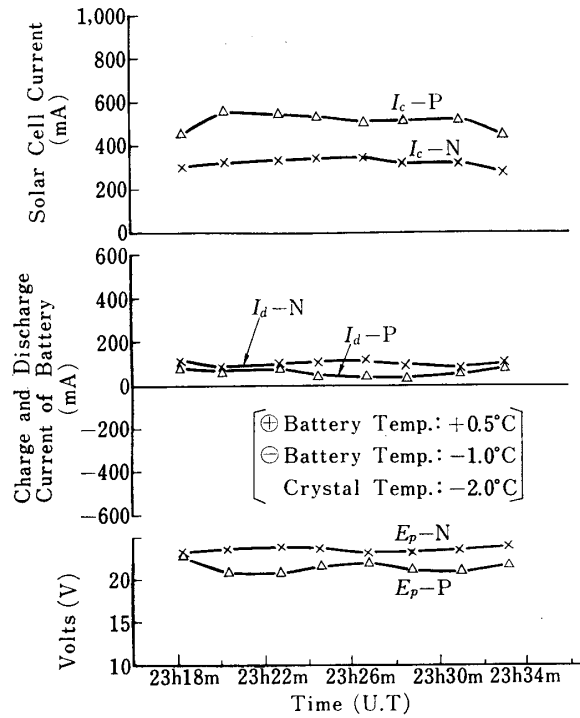


図 29 「しんせい」 8,145 周目における電源データ

は 18 分程度であり，⊕系電池は +58°C，⊖系電池は +33°C，原発振器は +33°C であった。⊕系電池は過充電によって温度上昇したことが推定される。また温度制御レベルは45°C であるから，⊕系電池は充電完了モードになっていることが充電電流から確認された。⊕系電池は温度が低下しないかぎり，充電要求とならず，この周回近傍のデータを解析すると温度の低下がゆっくりなため，蓄電池はトリクル充電状態がつづき放電深度が増加していることが考えられる。しかし特性は良好であり，異常は認められなかった。

最後に 8,145 周のリアル・タイムの電源データとほぼ 2 年目にあたる 9,284 周と 1 万周のリアル・タイムの HK データシートを図 29 と 30 に示す。いずれも日照に入っており(但し 1 万周の F₀ が 4 では日陰)，充電途中であるが特性は良好である。

図 30.1 「しんせい」9,284 周目における HK データシート

DATA NO.
DATE S. 48. 9. 25
TIME 15^H 46^M 39^S (JST)
F₀ 51

DATA NO.
DATE S. 48. 9. 25
TIME
F₀

F		DECIMAL	DATA		
0	CAL-A	216	217		
1	CAL-B	43	45		
2	CAL-C	0	2		
3	Es-H	213	6.10	V	
4	Ep-P	179	20.7	V	
5	Es-P	209	12.10	V	
6	Ep-N	67	-21.9	V	
7	Es-N	46	-12.10	V	
8	Ic-N	82	328	mA	
9	Id-N	114	64	mA	
10	Ic-P	128	504	mA	
11	Id-P	155	116	mA	
12	TL-1	119	2.5	°C	-5
13	2	197	39.5	°C	-5
14	3	187	40.0	°C	+6
15	4	173	27.0	°C	-8
16	5	155	22.5	°C	
17	6	156	23.0	°C	
18	7	156	23.0	°C	
19	8	169	31.0	°C	+7
20	9	151	20.5	°C	
21	10	159	24.5	°C	
22	11	188	38.0	°C	
23	12	214	49.0	°C	
24	13	155	22.5	°C	
25	TH-1	111	-32	°C	
26	2	125	-8	°C	
27	3	154	42	°C	
28	4	155	44	°C	
29	5	151	36	°C	
30	6	119	-18	°C	
31	7	43	-14	°C	

F		DECIMAL	DATA		
0	CAL-A		217		
1	CAL-B		45		
2	CAL-C		2		
3	Es-H			V	
4	Ep-P			V	
5	Es-P			V	
6	Ep-N			V	
7	Es-N			V	
8	Ic-N			mA	
9	Id-N			mA	
10	Ic-P			mA	
11	Id-P			mA	
12	STR-U			°C	-5
13	STR-L			°C	-5
14	+BAT			°C	+6
15	-BAT			°C	-8
16	Xtal			°C	
17	ENC			°C	
18	DR			°C	
19	CR			°C	+7
20	ID (Sep)			°C	
21	GA			°C	
22	+12 REG			°C	
23	Coupler			°C	
24	RN Hot			°C	
25	8-U			°C	
26	-M			°C	
27	-L			°C	
28	-12 REG			°C	
29	+6 REG			°C	
30	RN cold			°C	
31	Head Panel			°C	

AOS: 15^H 32^M 10^S
LOS: 16^H 00^M 05^S

Tokyo University

図 30.2 「しんせい」 10,000 周目における HK データシート

DATA NO.
DATE S. 48. 11. 20
TIME 19^H 15^M 39^S (JST)
F₀ 60

DATA NO.
DATE S. 48. 11. 20
TIME 19^H 32^M 48^S (JST)
F₀ 4

F		DECIMAL	DATA		
0	CAL-A	215	217		
1	CAL-B	42	45		
2	CAL-C	0	2		
3	Es-H	213	6.13	V	
4	Ep-P	201	23.3	V	
5	Es-P	209	12.15	V	
6	Ep-N	55	-23.2	V	
7	Es-N	45	-12.10	V	
8	Ic-N	99	398	mA	
9	Id-N	103	100	mA	
10	Ic-P	130	492	mA	
11	Id-P	145	80	mA	
12	TL-1	148	17.5	°C	-5
13	2	127	7.0	°C	-5
14	3	144	20.5	°C	+6
15	4	132	8.0	°C	-8
16	5	125	8.5	°C	
17	6	135	13.5	°C	
18	7	117	4.5	°C	
19	8	109	4.0	°C	+7
20	9	131	11.5	°C	
21	10	133	12.5	°C	
22	11	167	28.5	°C	
23	12	127	9.5	°C	
24	13	126	9.0	°C	
25	TH-1	135	10	°C	
26	2	138	15	°C	
27	3	129	0	°C	
28	4	147	30	°C	
29	5	143	24	°C	
30	6	123	-10	°C	
31	7	67	32	°C	

F		DECIMAL	DATA		
0	CAL-A		217		
1	CAL-B	42	45		
2	CAL-C	0	2		
3	Es-H	213	6.13	V	
4	Ep-P	159	18.7	V	
5	Es-P	208	12.10	V	
6	Ep-N	97	-18.4	V	
7	Es-N	46	-12.05	V	
8	Ic-N		8	mA	
9	Id-N	198	-268	mA	
10	Ic-P	253	0	mA	
11	Id-P	1	-480	mA	
12	TL-1	145	16.0	°C	-5
13	2	124	5.5	°C	-5
14	3	144	20.5	°C	+6
15	4	131	7.5	°C	-8
16	5	125	8.5	°C	
17	6	136	14.0	°C	
18	7	119	5.5	°C	
19	8	110	4.5	°C	+7
20	9	132	12.0	°C	
21	10	134	13.0	°C	
22	11	168	29.0	°C	
23	12	116	4.0	°C	
24	13	127	9.5	°C	
25	TH-1	120	-15	°C	
26	2	119	-16	°C	
27	3	116	-22	°C	
28	4	147	30	°C	
29	5	143	24	°C	
30	6	117	-20	°C	
31	7	61	22	°C	

AOS: 19^H 12^M 40^S

LOS: 19^H 38^M 44^S

Max. EL.: 30.9°

Tokyo University

「しんせい」は以上の状態を経て現在でも飛しょう中であり、蓄電池としての機能を十分に発揮し宇宙用蓄電池としての実用実績が得られた。

6. 結 言

1965 年からすべて国産により製作した完全密閉形ニッケル・カドミウム蓄電池は、1971 年 9 月 28 日打上げた第 1 号科学衛星「しんせい」、1972 年 8 月 19 日打上げた第 2 号衛星「でんぱ」の電源として積載され、宇宙での実績が得られた。特に「しんせい」の蓄電池は確認できた範囲内で最高温度 +58°C、最低温度 -11°C の熱・真空環境を経てほぼ 2 年に当る 1973 年 9 月 25 日現在 9,284 周まで良好に作動していることを確認した。製造に当

っては、工程・品質管理を徹底して高信頼性を維持し、実用にあたっては、電力制御装置の設定レベルおよび放電深度、温度環境条件などをさらに向上させ実績を累積して行きたい。

7. 謝 辞

終りにご指導ご鞭撻をいただいた高木昇前所長、齊藤教授、野村教授はじめ諸先生、データ処理を行なって頂いた河端・山本両氏並びに日本電気(株)宇宙開発本部の関係各位、本蓄電池の開発推進にご協力頂いた古河電池(株)の田川専務、清水部長はじめ関係各位、また文献を参照させて頂いた各著者に対して心から感謝致します。

1973 年 12 月 5 日 新設部(工学)

参 考 文 献

- [1] P. Bauer: NASA SP-172 (Batteries for Space Power Systems), (1968)
- [2] 斎藤他: 電子通信学会誌 54 卷 12 号 (1971)
- [3] D. C. Bomberger: The Bell System Technical Journal, Vol. 42, No. 4 (1963)
- [4] 田川他: 電気化学, 38 卷 3 号 (1970)
- [5] E. J. McHenry: J. Electrochem. Soc. Vol. 119, No. 5, p 564 (1972)
- [6] K. Pehmelt and H. V. onPohren: Proc. Ann. Power Sources Conf., 13 (1959)
- [7] S. U. Falk: J. Electrochem. Soc. Vol. 107, No. 8 (1960)
- [8] E. G. Baars: Proc. Ann. Power Sources Conf., 12 (1958)
- [9] 中村他: 日本航空宇宙学会誌 16 卷 177 号 (1968)
- [10] H. T. Francis: NASA SP-5004 (Technology Handbook) (1963)
- [11] 後川他: 科学衛星専委, REXS プロトタイプ報告書 (1969)
- [12] 後川他: 第 1 回スペース・エレクトロニクス・シンポジウム (1969)
- [13] J. R. Kent: QEL-USNADC (Analysis and Evaluation of Spacecraft Battery Life Test Data) QE/C 67-592 (1967)
- [14] 鳥居: NHK 技研月報 12 卷 10 号 (1969)
- [15] 大島他: 東大宇宙航研報告, 4 卷 2 号 (1968)
- [16] J. Baoher: IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 4, No. 5 (1968)
- [17] F. E. Ford: Proc. of 26th Ann. Power Sources Conf., p 43 (1972)
- [18] P. F. Grieger: Proc. of 20th Ann. Power Sources Conf. (1966)
- [19] R. L. Haines: Proc. of 20th Ann. Power Sources Conf., p 109 (1966)
- [20] A. M. Wilson: Proc. of 23th Ann. Power Sources Conf., p 123 (1969)
- [21] R. E. Amsterdam: Proc. of 20th Ann. Power Sources Conf. (1966)
- [22] 水島他: OHM 誌, 60 卷 1 号 (1973)
- [23] 林他: 昭和 47 年度電子通信学会全国大会 S 6-8 (1972)
- [24] 後川他: 昭和 47 年度電子通信学会全国大会 S 6-10 (1972)