

1. 潜水調査船用銀亜鉛電池の試作試験(第1報),

— 単電池 —

徳永 三伍*¹ 坂倉 勝海 萩原 右門*¹ 加藤 洋*¹

對馬 克己*¹ 黒川 武彦*² 中西 武*³

2,000 m 深海潜水調査船のエネルギー源には、酸化銀亜鉛アルカリ電池（以下銀亜鉛電池という）を採用している。電池は耐圧殻外に装備するため油漬均圧型とし、72セルを1群とし、2群装備することを計画している。電池容量に対する要求は、充放電75サイクル目で1群285Ahr以上である。

本研究では、群電池用電池製作に先立ち、使用条件、要求容量、寿命に合わせて設計された単電池を製作し、種々の条件下での試験を実施して性能を確認し、群電池用電池および主蓄池装置の設計データを得ることを目的としたものである。

電池は8個製作し、種々の耐環境試験を行ったのち、グループにわけ、種々の条件での充放電特性試験、また常圧および高圧下でのサイクル寿命試験を実施した。

試験結果は期待通りの成果が得られ、2,000 m 潜水調査船の電池として、十分使用に耐えられるものであることがわかった。

Test of an Experimental Ag-Zn Battery for a 2,000 m Deep Submergence Research Vehicle (Report I)

Sango Tokunaga*⁴, Katsumi Sakakura*⁴, Umon Hagiwara*⁴,
Hiroshi Katoh*⁴, Katsumi Tsushima*⁴, Takehiko Kurokawa*⁵,
Takeshi Nakanishi*⁶

A 2,000 m Deep Submergence Research Vehicle is designed to use Ag-Zn alkaline batteries (Ag-Zn batteries) as its energy source.

The battery system is designed to be of an oil-filled pressure compensated type and will consist of two groups of batteries, one group is made up of 72 unit cells. The capacity of this battery system is more than 285 Ahr/group at its 75th cycles of charge/discharge.

The purpose of this study is to confirm the performance of the unit cells under various conditions and to obtain data for the design of the unit cell for a battery system and main battery system.

In this study eight unit cells were manufactured and many environmental resistance tests were carried out. The charge/discharge performance tests were made under many conditions, and life cycle tests under 1 ata and hyperbaric conditions were also carried out.

The test results show that these unit cells performed as was expected, and it became clear that they can be used as a battery system of DSV-2K.

*1 深海開発技術部 *2 三菱重工業株式会社 *3 日本電池株式会社
*4 Deep-Sea Technology Department
*5 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
*6 Japan Storage Battery Co., Ltd.

1. ま え が き

2000m深海潜水調査船のエネルギーには、銀亜鉛電池（酸化銀亜鉛アルカリ電池）を採用している。銀亜鉛電池は第二次世界大戦後、工業化されわが国でも二、三のメーカーが製造しているが、通信用のように容量が小さいもの、魚雷用のように使用サイクル数が小さいものに適用され、深海潜水調査船用のように大容量で、使用サイクル数が大きく、かつ深海という周囲環境下で使えるようなものは、まだ実用化されていない。

潜水船用銀亜鉛電池は、財団法人日本船用機器開発協会 6000 m深海潜水調査船の開発研究の中にその研究が報告されており、銀亜鉛電池の基本的特性が確認され、実用化のためのデータが得られている。

本研究は 2000 m 深海潜水調査船の主蓄電池装置の設計データを得ることを目的とし、上記のデータを基に構造的および寸法的に改良を加え、2000 m 深海潜水調査船の主蓄電池としての使用条件、要求容量および寿命に合わせて設計した単電池を8個試作し、種々の条件下での試験を実施したものである。

なお、本試験にあたり、深海潜水調査船開発研究会の委員各位から適切なご助言、ご指導をいただき、深く謝意を表する次第である。

2. 2,000 m 潜水調査船の電池

2.1 本潜水調査船の電源システム

潜水船は、名前が示すとおり、長時間水中深く潜航するので、その動力源として、給気および排気が必要なディーゼルやタービンのような機

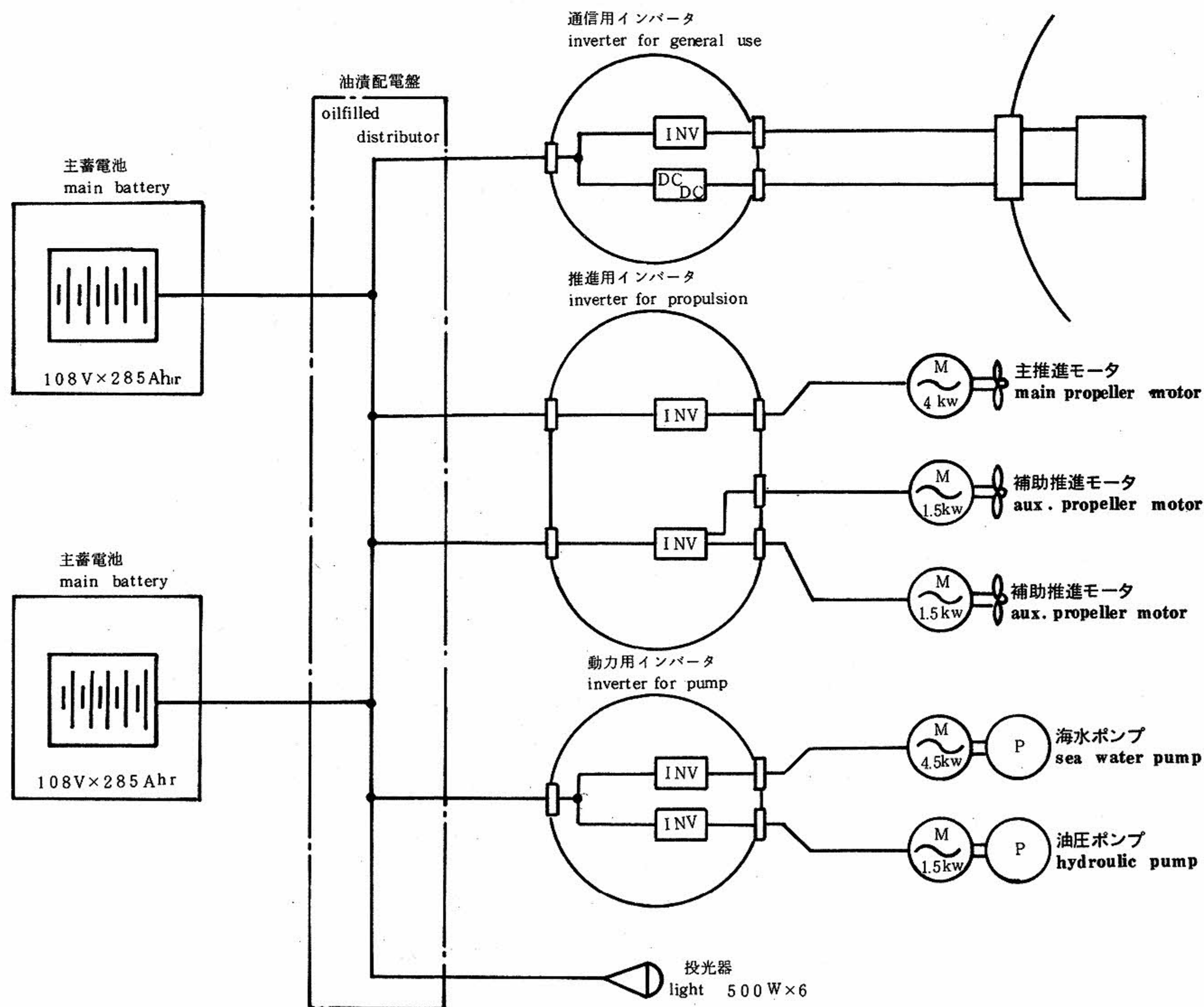


図1 2000 m 潜水調査船電源系統
Fig. 1 Power flow diagram of DSV-2K

表1 2000 m 潜水調査船所要電力調査表
Power table for DSV-2K

(108V 換算 ; 単位 A hr)

機 器	潜入前 (1 hr)	潜 入 (1.5 hr)	調査観測 (3 hr)	浮 上 (1.5 hr)	浮上後 (1 hr)	計 (8 hr)
主推進器インバータ	—	6.9	23.9	6.9	—	37.7
補助推進器インバータ	—	10.3	15.9	5.6	—	31.8
油圧ポンプインバータ	—	22.0	49.2	23.0	—	95.2
海水ポンプインバータ	—	7.7	51.5	16.2	—	75.4
通信用インバータ	20.3	34.1	64.0	33.2	20.0	171.6
投 光 器	—	6.9	41.4	—	—	48.3
ペイロード	—	—	35.0	—	—	35.0
計	20.3	88.9	280.9	84.9	20.0	495.0

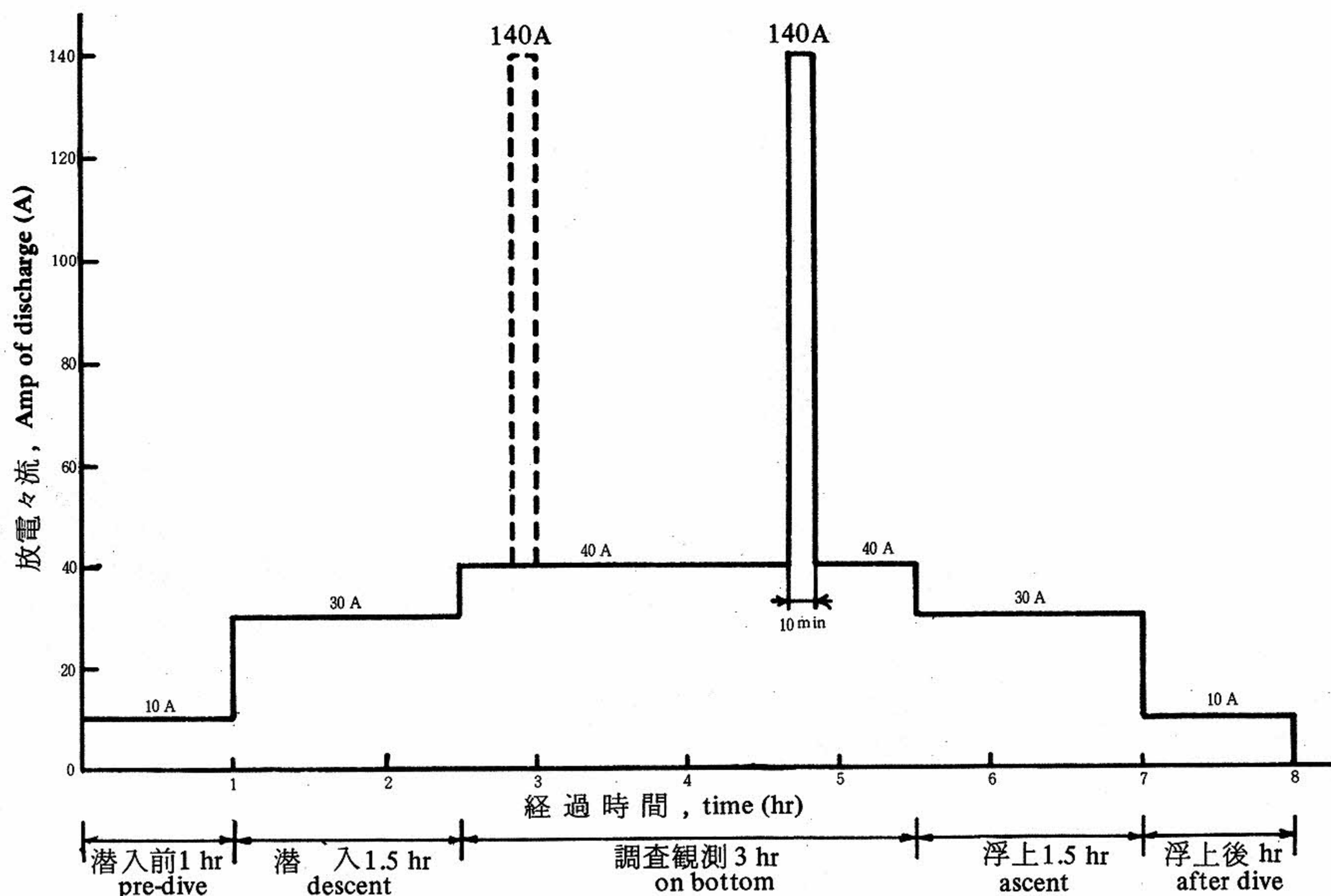


図2 2000 m 潜水調査船標準放電パターン
Typical discharge pattern of DSV-2K

表 2 潜水調査船用電池の試算比較
Batteries for the submersible

電池の種類	エネルギー密度 (W hr/kg)			寿 命		放電効率 (%)	充電時間 (hr)
	単電池	油 漬 単電池	電 池 システム	期間	サイクル		
銀 亜 鉛	112	89	50	1年	75～	95	10
ニッケル・カドミウム	29	27	18	5年	100～	85	10
鉛	45	40	25	2年	75～150	90	10

関を搭載することができず、一般に二次電池が用いられる。

本 2,000 m 潜水調査船でも主蓄電池として銀亜鉛電池を搭載し、すべての機器の動力源として、図1に示すような系統で電力を供給している。

なお、電池は電池容量を2分して2群とし、片群の電池に不具合が生じた場合はその群を切離し、片群の電池だけですべての機器を動かすことができるようにしている。

電池容量は、本船の1サイクルに対しての標準的な消費電力に15%の余裕をとり、570AHとした。

所要電力表および放電パターンを表1および図2に示す。

電池電圧は、高くすると電流を小さくすることができるが耐電圧が問題となり、低くするとその逆の問題が生じるので、100V 前後とすることとし、銀亜鉛電池の単電池平坦電圧が約1.5Vであることから、装備上の検討によって1群を72セル、標準電圧108Vとした。

なお、電池電圧の変動を考慮して、インバータへの入力電圧は、90～135V（単電池1.25～1.875V）の範囲で許容することとしている。

電池は油漬均圧型にして耐圧殻外に装備する。これによって耐圧殻を小さくすることができると共に、耐圧殻内に大容量電源を置く危険性、これに伴うガス発生危険性を防ぐことができ、かつ耐圧殻に大電流電線の貫通を避けることができる。また非耐圧構造部のスペース利用、さらに電池自身の浮力利用もでき、船全体を小さくすることができる。電池槽の外観は写真1の

ようなものであるが、詳細については後日報告することとする。

電池の寿命は、75サイクルまたは注液後1年以上と計画した。充電は、毎潜航前に行い、1航海（15回潜航で計画）ごとに電池の活性化のために完全放電を行い、1年5航海として、75航海を想定し、75サイクルとしたものである。

電池要目：

- (1) 型式；油漬均圧型酸化銀亜鉛アルカリ電池
- (2) 構成；単電池72セル×2群
- (3) 容量；285AH×2群(75サイクル目にて)
- (4) 電圧；標準108V（単電池1.5V）
- (5) 寿命；75サイクル，または注液後1年以上

2.2 銀電池の選定

2,000m潜水調査船はできうる限り小型軽量であることが必要であり、このためエネルギー源として、電池はエネルギー密度の高いもので、かつ耐圧殻外に装備される油漬型式のものが要求される。

深海潜水調査船用として使用可能と考えられる主な電池を比較すると表2のとおりである。

2,000 m 潜水調査船の場合、前述のような容量の電池装置とすると、銀亜鉛電池に比べ、ニッケル亜鉛電池および鉛酸電池は、重量で約0.8t および2.4t の増加となり、これを補償する浮力材が1 m³ および2.5 m³ 必要となり、合計重量で1.5t および4t の増加となる。

ニッケル亜鉛電池や鉛酸電池は、充電効率が悪く、充電終期に大量のガス発生が免れない。

しかし銀亜鉛電池のガス発生は、微量であるので、極板内に包含されるガス量が少なく、油漬電池の場合の均圧対策が簡単になり、信頼性

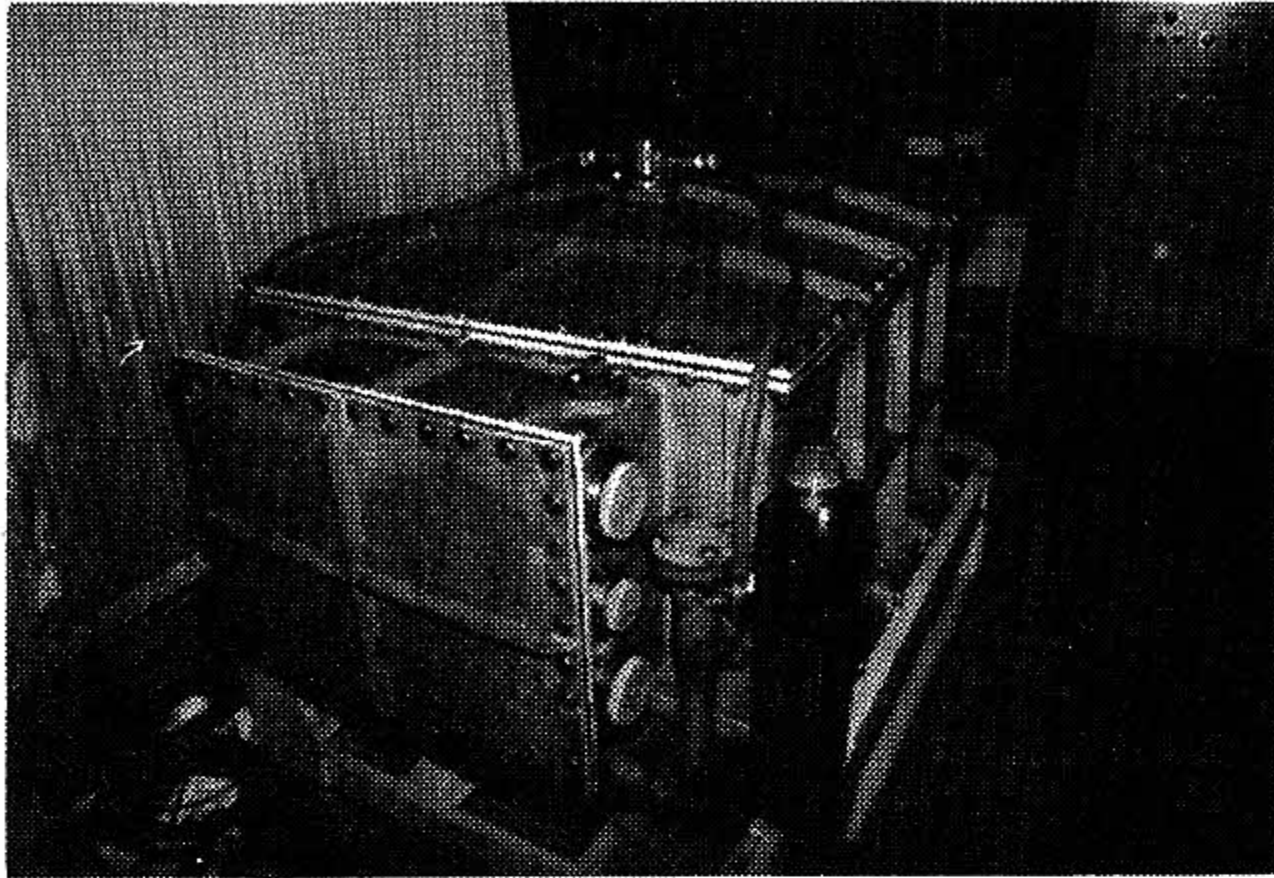
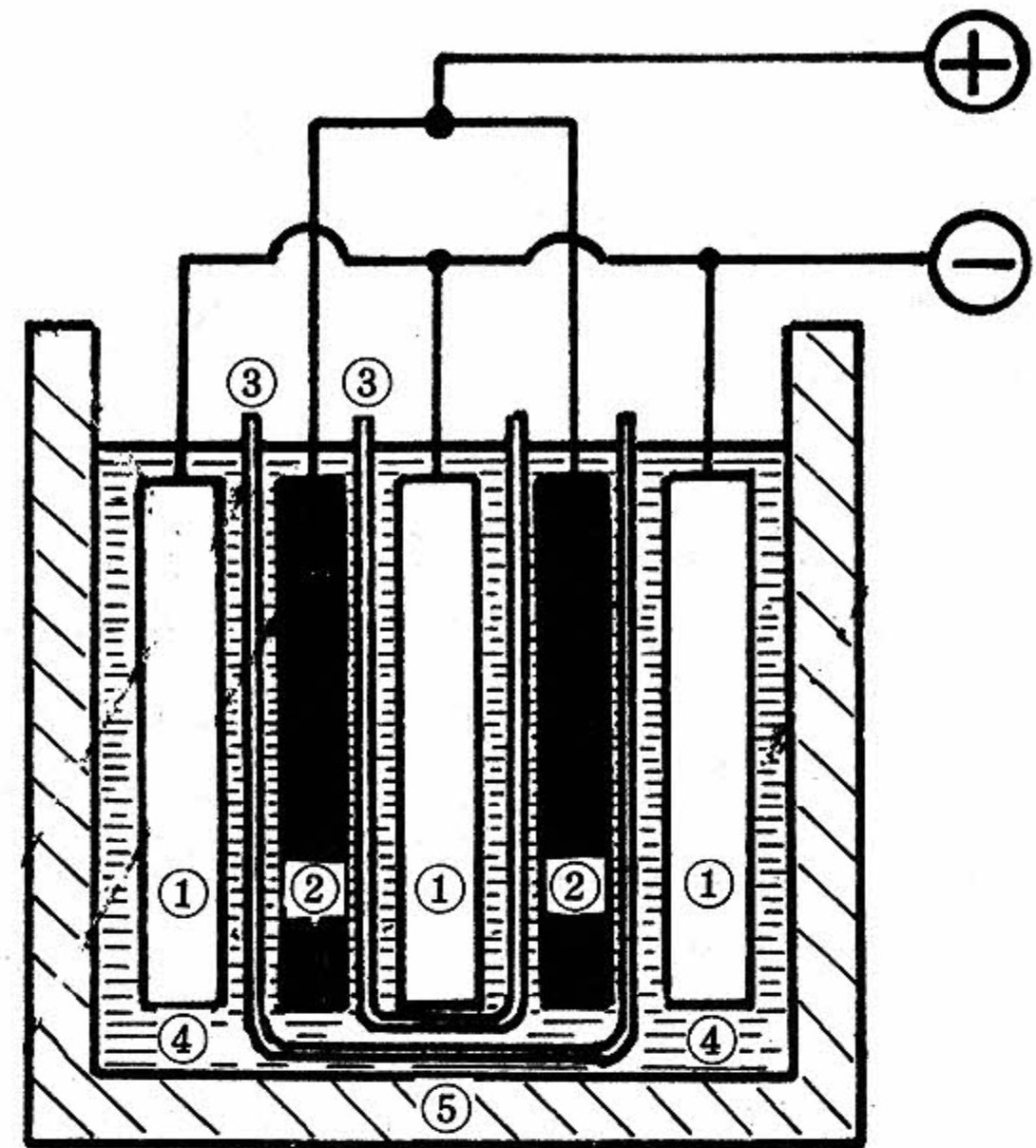
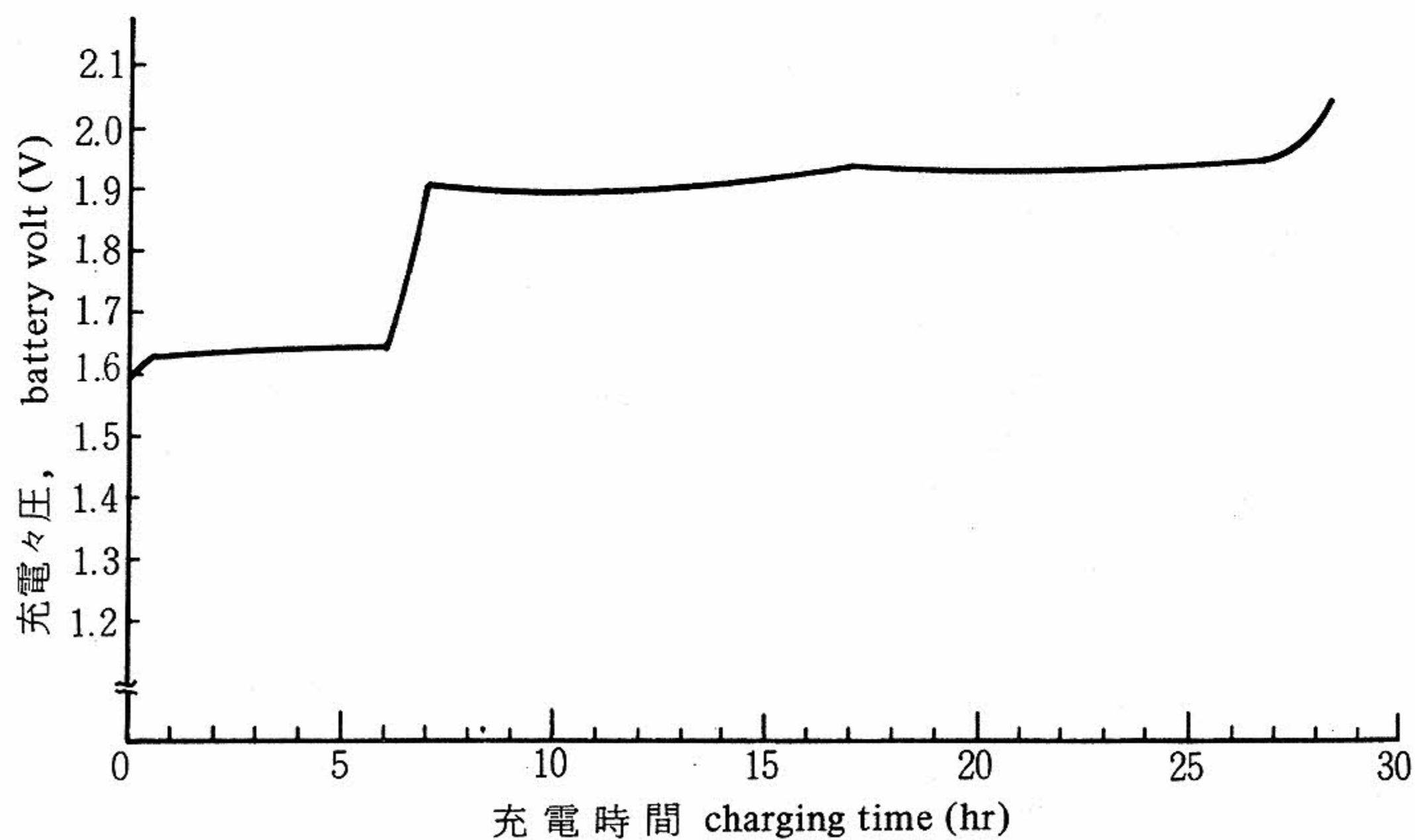


写真1 電池槽
Battery system



1. 負極, cathode (Zn)
2. 正極, anode (Ag_2O)
3. セパレータ, separator
4. 電解液, electrolyte
5. 電 槽, cell

図3 銀亜鉛電池の構成概略
Ag-Zn battery



充電々流, charging current: 22.5 A,
周囲温度, environmental temperature: 30°C

図4 充電特別例
Charging characteristics

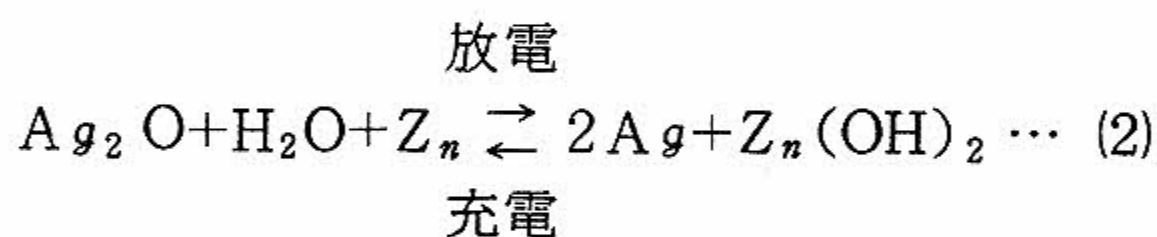
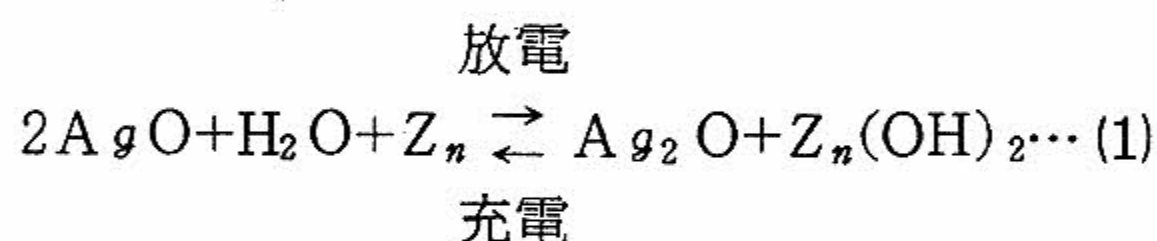
も向上する。

さらに銀亜鉛電池は、放電電圧が終期近くまで平坦であり、かつ内部抵抗が小さく、高率放電特性が良好で、大出力時を含め安定した動作が期待できる。

2.3 銀亜鉛電池の理論

銀亜鉛電池は、図3の構成のような、正極活物質に酸化銀、負極活物質に亜鉛、電解液に苛性アルカリ水溶液を使用した蓄電池である。なお、正極活物質がコロイド状銀となって負極に移動したり、亜鉛の析出が正極と短絡するのを防ぐため、正極と負極の間にセパレータが用いられる。

起電反応機構は、次式で表わされるように2段階で行われ、正極の酸化銀は充電で過酸化銀に酸化し、放電で金属銀に還元され、負極の亜鉛は放電で水酸化亜鉛に酸化し、充電で金属亜鉛に還元される。



充電は第1段階では(2)式の反応が進み、反応が終了すると電位が急激に上昇し、第2段階では(2)式の反応に移る。放電は第1段階で(1)式の反応が終了したのち、第2段階の(2)式の反応に移る。第2段階での電位はほぼ平坦であり、終了直前に急速に下降する。

図4および図5に充電特性および放電特性の一例を示す。

3. 試作試験の概要

3.1 試作電池

油漬均圧型銀亜鉛電池は、すでに(財)日本船用機器開発協会の“6,000m深海潜水調査船の開発研究¹⁾”の中で研究が述べられた、銀亜鉛電池の基本特性が確認され、実用化のためのデータが得られた。

本試験で試作した電池は、上記データを基に2,000m潜水調査船の主蓄電池としての使用条件、要求容量および寿命に合わせて設計した。

実船装備のため底面積を小さくし、背を高くすることによって装備効率の向上をはかり、また極板構造(正極:焼結式、負極:ペースト式)セパレータ(半透過性膜セロファン)、リード線等の材料に改良を加え、要求寿命を確保しながら小形化に最大の努力を払ったものである。

試作電池の概要を図6および写真2に示す。

3.2 試験要領

本試験は、群電池用電池の製作に先立って試作した単電池で、種々の条件下で試験を行って性能を確認し、群電池用電池および主蓄電池装置の設計データを得ることを目的としたものである。

試作した単電池は8セルであり、図7に示す手順で試験を行った。

4. 試験結果

4.1 耐環境性試験

単電池を未注液状態で保存することを想定し湿度試験および温湿度サイクル試験で、未注液の単電池は高湿度条件下でも温度変化に対してもなんら異常も認められず、保存性は満足できることがわかった。

また振動、衝撃に対して構造的に十分な強度をもっていることが確認され、動揺、傾斜に対して電解液の逸出はなく、電解液と絶縁油の分離も完全であり、性能上、異常のないことが確認された。

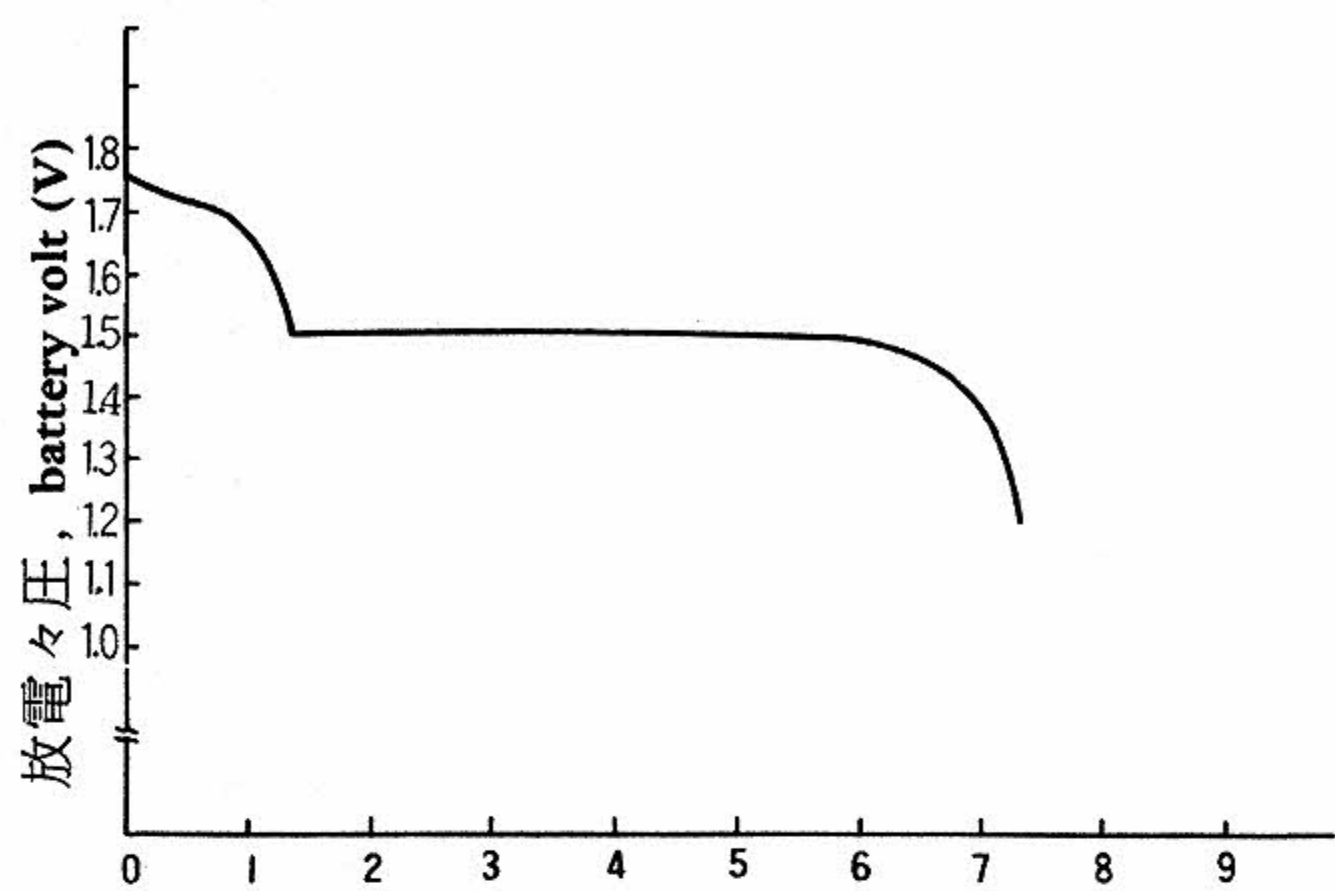
表3は耐環境性試験結果の概要を示す。

4.2 充放電特性

単電池に対する要求容量は、前述のように、充放電75サイクル目(15サイクルごとに活性化放電)で285Ahrであり、これを確保するため電池の初期容量は450Ahrで設計した。

放電は、90A定電流放電(0.2C)を標準として、電圧1.20Vまで放電し、この過程で1.40Vまでの放電量を放電容量とした。また充電は30A定電流充電を標準として、電圧2.05Vまで充電し、この過程で1.40Vからの充電量を充電容量とした。

試験は、上記条件を標準とし、充放電電流および充放電時間周囲温度を種々変えて行い、電池使用条件に対するデータを得ることができた。



放電時間, discharging time (hr)
 放電電流, discharging current: 90A
 周囲温度, environmental temperature: 25°C

図5 放電特性例
 Discharging characteristic

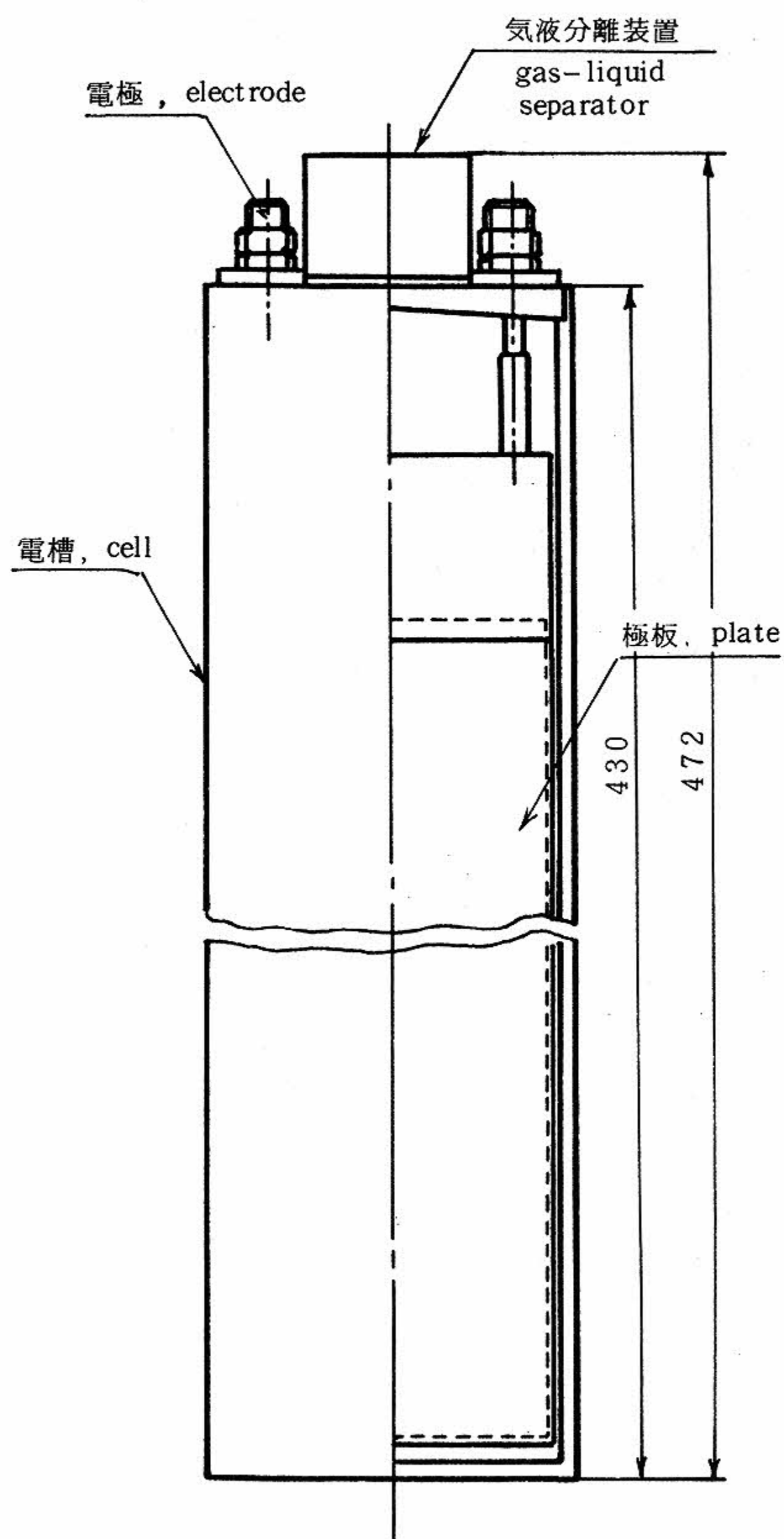
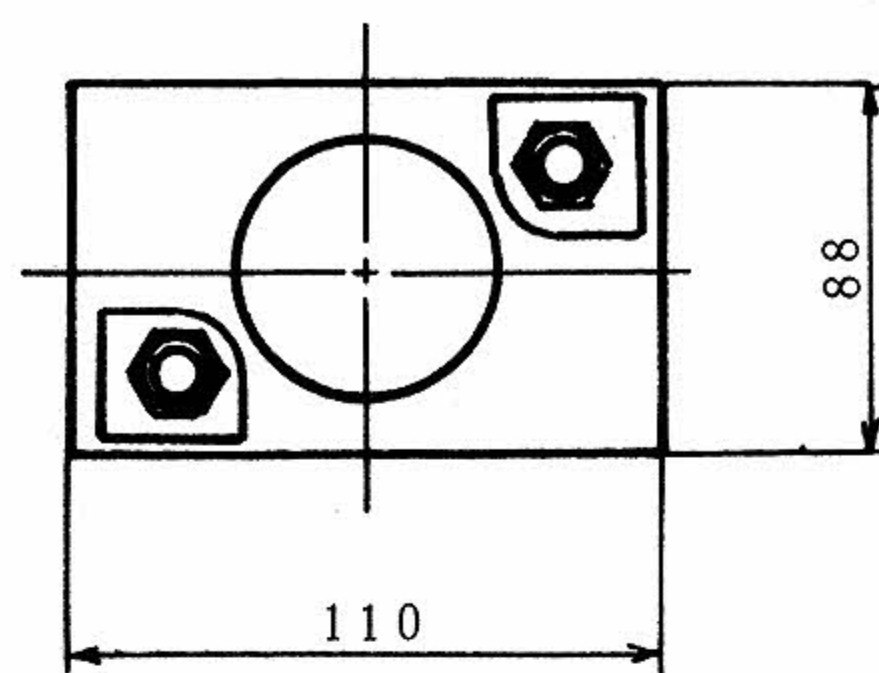


図6 試作電池外形図
 Prototype battery



写真2 単電池
 Battery unit cell

4.2.1 初期容量

単電池を常圧下，周囲温度 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ の環境下で90 Aの定電流で放電し，1.40 Vまでの容量を計測し，平均627 Ahr，バラツキ ± 40 Ahrが得られ，また平坦電圧は1.50～1.51 Vであった。特性の一例は前述の図5に示すものである。設計初期容量450 Ahrに対し，かなり大きな容量が得られているが，後述の寿命サイクル試験でみられるように，充放電の最初の数サイクルでの放電容量の下降が大きく，放電容量下降が定常になる頃の容量をやや上回る程度となる。また単電池の場合，注液後，十分な養生を行い，理想的な放電ができ，上記の容量が得られたが，群電池の場合，十分な養生ができない。数サイクルの充放電後，この養生による影響がなくなると思われるが，今後，養生の程度と初期容量の関係を調査しておく必要がある。

4.2.2 常圧下放電特性

常圧下で放電々流および周囲温度をかえた放電特性試験結果の例を図8，図9および図10に示す。

図9は図8における放電々圧の平坦部と放電々流および周囲温度の関係を示したものである。

電圧は，電流の増大と共に直線的に下降し，温度降下と共に下降する。これは電流増大および温度降下による単電池の内部抵抗の増大に起因するものである。しかし本潜水船で使用する最大電流は高々140 Aであり，周囲温度が， 0°C でも1.4 V以上の電圧が得られる。

図10は放電効率（放電量と充電量の比）と放電々流および周囲温度の関係を示す。

前述のように，本試験では1.40 Vまでの放電量を放電容量，1.40 Vからの充電量を充電容量としているが，この場合放電々流の増大また周囲温度の降下に従い，放電効率は大幅に減少し，放電々流225 A，周囲温度 0°C ではほとんど放電効率は0となってしまう。これは図7また図8に示すように，放電々流の増大と周囲温度降下によって放電平坦電圧が1.40 Vに近くなり，1.40 Vで放電終止とすると電池が持っているエネルギーの多くを残したまま放電を打切ってしまうということになる。放電終止を1.20 Vとすると，図のように放電効率は90～97%となり，放電々流や周囲温度による影響も

小さくなる。このため，電流や温度を変動させて電池特性を比較するには，放電終止を1.20 Vとして行うのが合理的である。

4.2.3 高圧下放電特性

2000 mの深海に相当する高圧油中(207 kgf/cm²)での放電試験を行った結果，常圧下放電と比較し，平坦電圧，放電容量ともに大差なく，高圧条件は放電に悪影響を及ぼさないことを確認した。むしろ高圧下の方がやや放電々圧が高い傾向にあり，これは加圧によって極板間に残留しているガスが圧縮され，極板の実作動表面積が増加することによると思われる。

また電池の実用負荷特性を調べるため，潜水調査船の潜入から浮上までの間の標準的な負荷パターンに従った放電試験を行った。

その結果を図11に示す。調査観測時に機器が集中して作動される場合でも電池電圧はさほど大きな降下はせず，安定している。

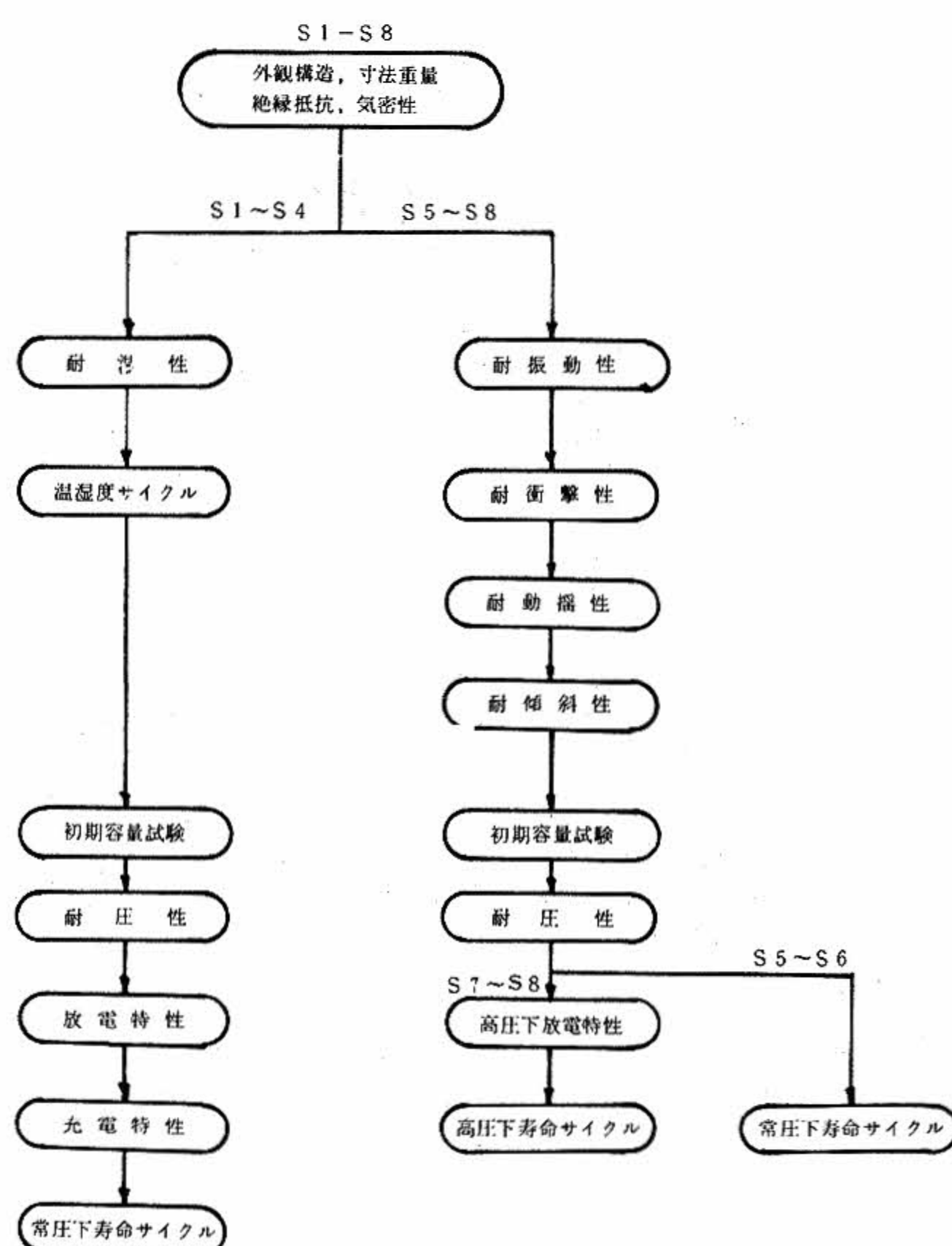


図7 単電池試験フローチャート
Flow chart for inspection of the battery

表 3 耐環境性試験結果

Results of environmental resistance tests for the battery cell

項 目	試 験 事 項
外 観 構 造	外観構造に異常のなし
寸 法, 重 量	430×110×88 (mm), ±1mm 以内にあり, 重量 9.1 kg 以下である
絶 縁 抵 抗	DC 100 V で 1 MΩ 以上である
気 密 性	0.35 kg/cm ³ 窒素ガス 5 min 印加で気密漏れなし
耐 湿 性	50℃, 90~95% RH で 240 hr 放置し, 錆・変質等なし
温湿度サイクル	50℃, 95% RH と -10℃を 24hr 3 サイクルし, 異常なし
耐 震 性	5~10 Hz (片振幅 1.5 mm), 10~60 Hz (片振幅 150/f ²) の振動を各軸に対し 2 hr 与えて, 異常なし
耐 衝 撃 性	左右, 前後, 上下に 2 G 以上の衝撃を各 3 回与えて, 異常なし
耐 動 揺 性	前後, 左右に各 60° (周期 6 S) で 1 min 動揺し, 異常なし
耐 傾 斜 性	前後に ±30°, 左右に ±15° 各々 5 min 放置し, 異常なし
耐 圧 性	常温下 311 kg f/cm ² G の圧力下に 10 min 放置し, 異常なし

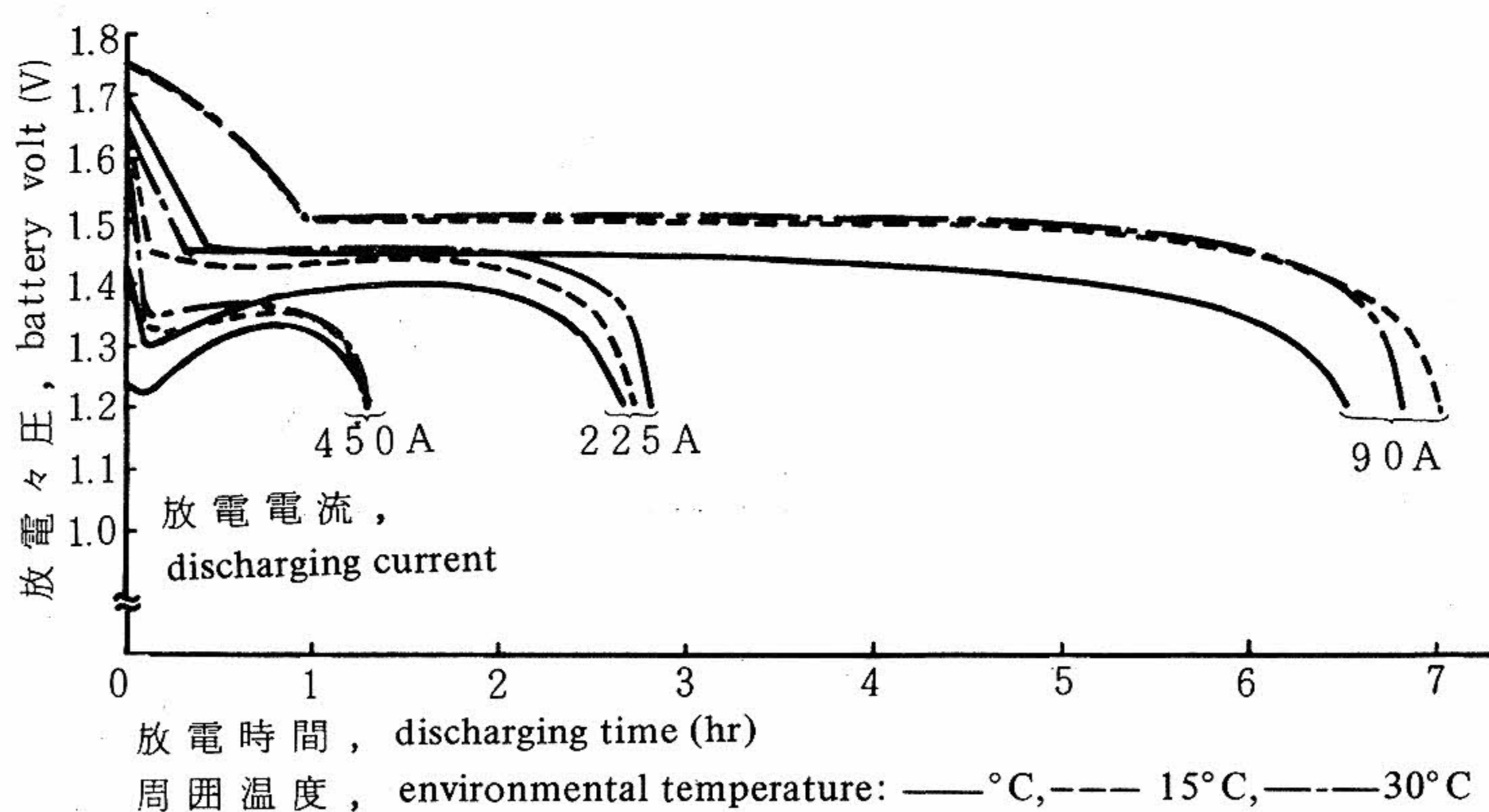
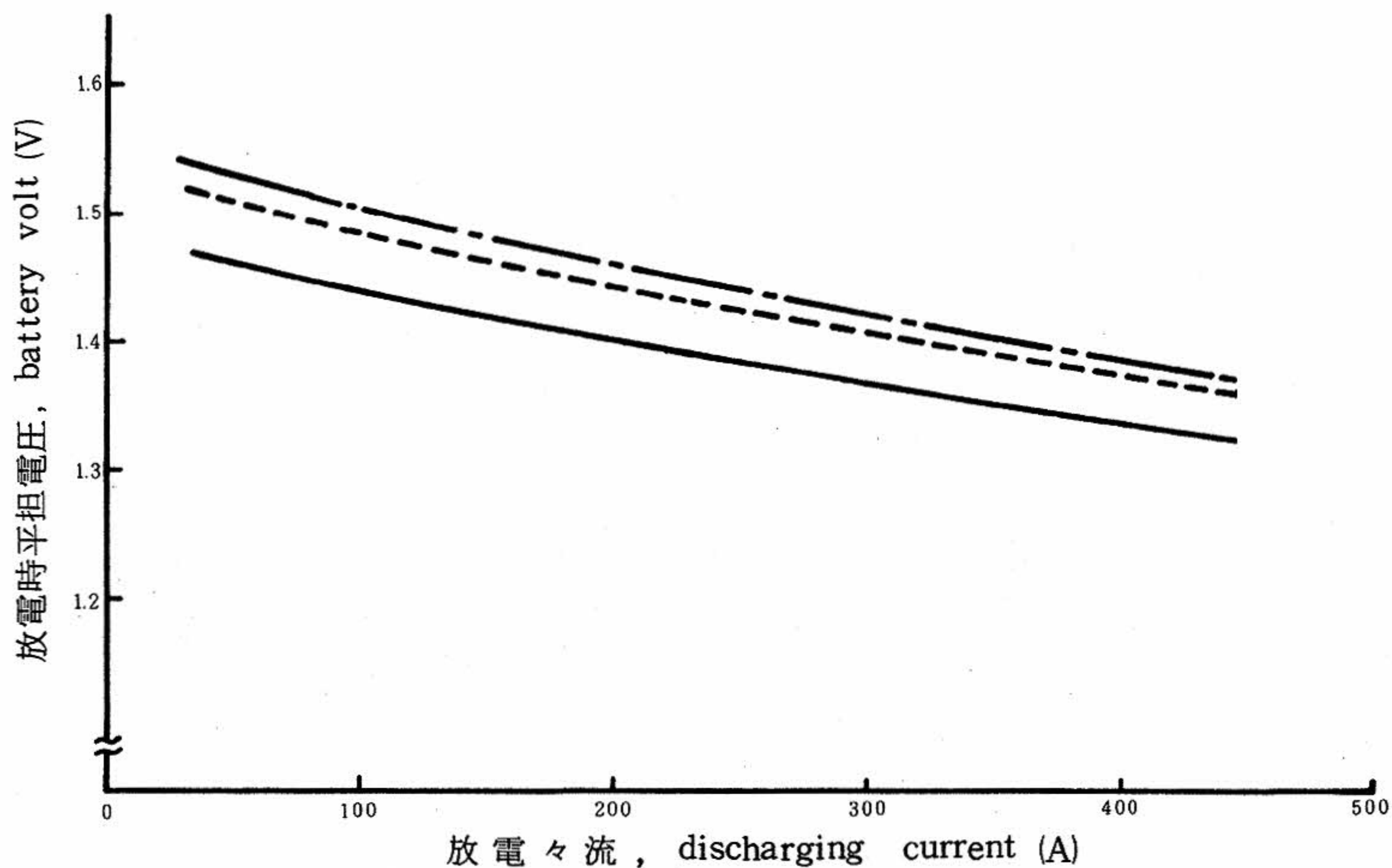
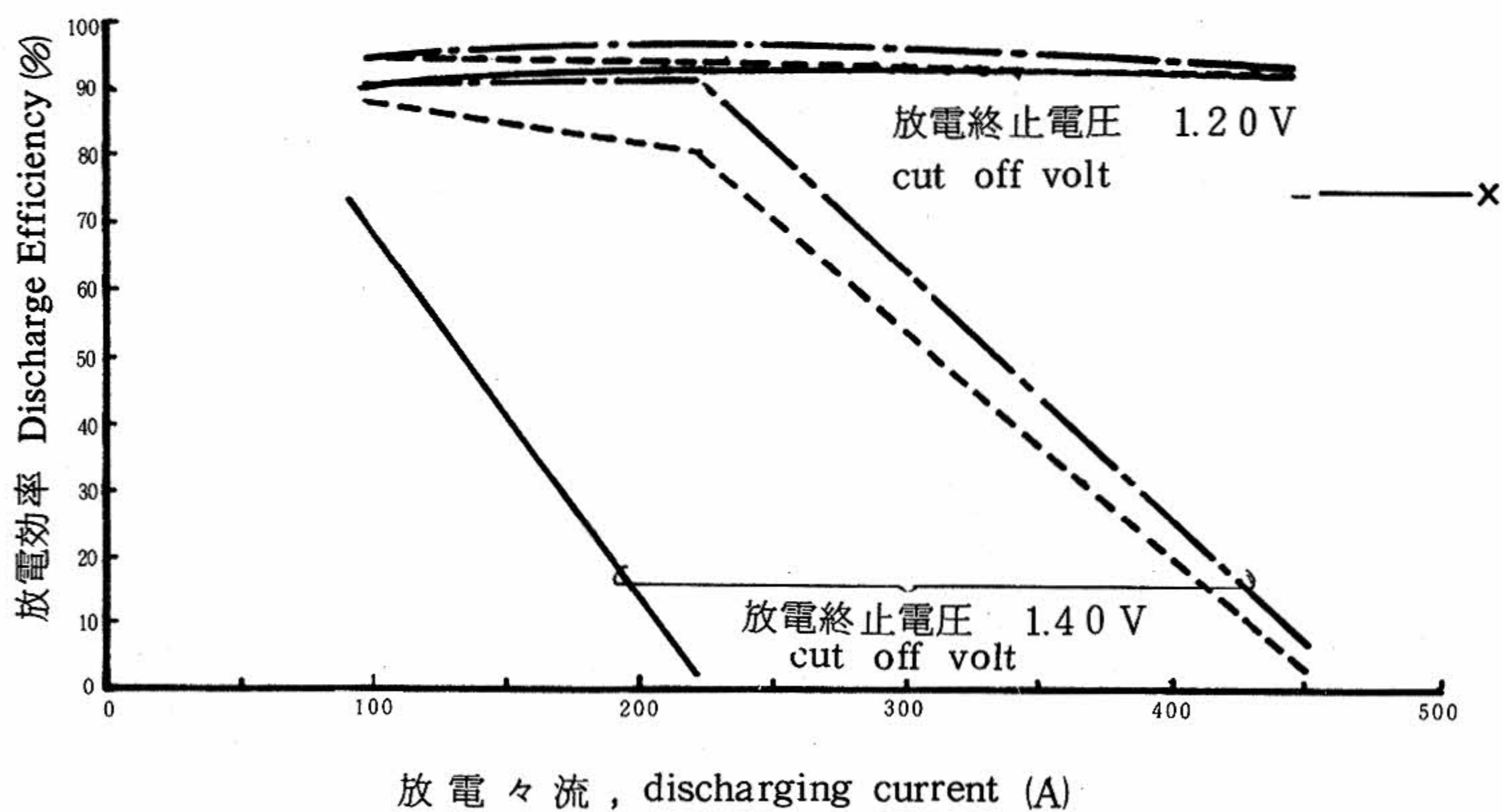


図 8 放電条件と放電特性
Discharging characteristic



周囲温度, environmental temperature: ——°C, ---- 15°C, - - - - 30°C

図9 放電条件と放電時平坦電圧
Battery volt



周囲温度, environmental temperature: ——0°C, ----15°C, - - - - 30°C

放電効率 discharging efficiency (%) = $\frac{\text{放電容量, discharging capacity} \times 100}{\text{充電容量, charging capacity}}$

図10 放電条件に対する放電効率
Discharging efficiency

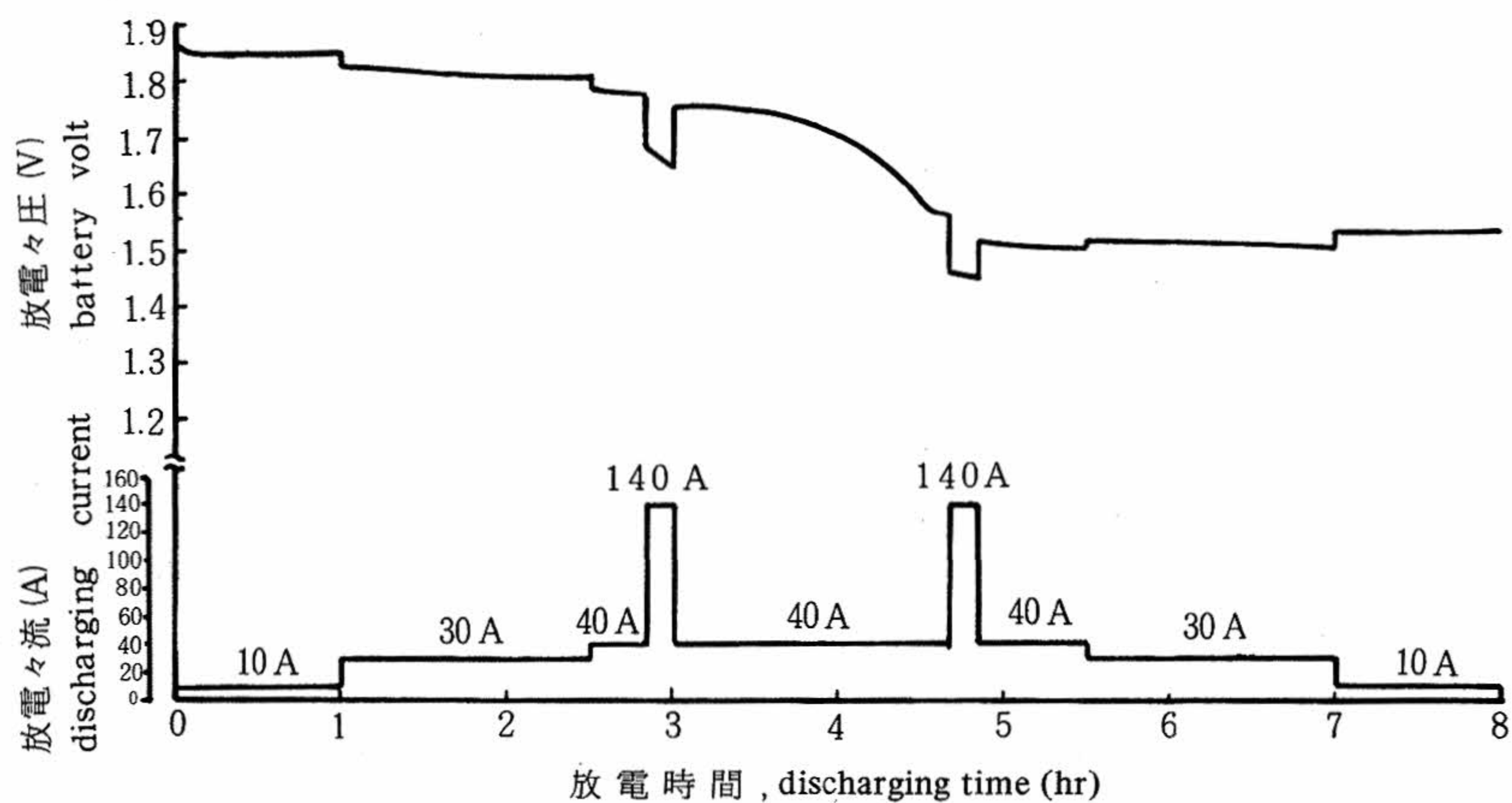
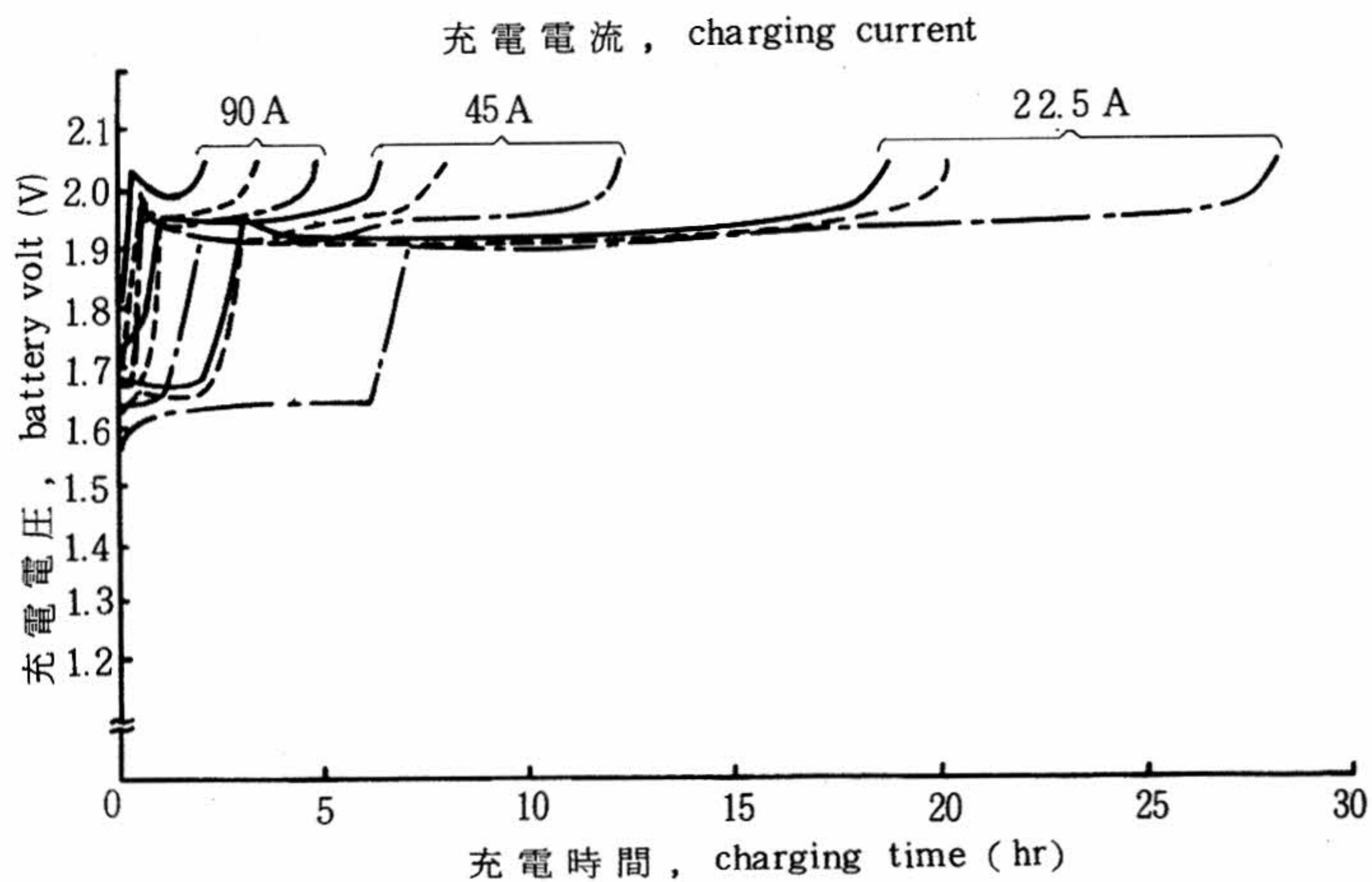


図 11 実用負荷特性
battery volt for typical discharge



周囲温度, environmental temperature: — 0°C, ---- 15°C, - - - 30°C

図 12 充電条件と充電特性
Charging characteristics

4.2.4 充電特性

常圧下で充電々流および周囲温度を変えての充電特性試験結果の例を、図12および図13に示す。

図中に示すように、充電できる量は充電々流が大きくなるほど、また同一充電々流では周囲温度が低くなるほど減少する。これは充電々流が大きい場合また充電を低温時に行う場合、充電の化学反応が極板全体で均一に進むのが困難となり、極板の表面のみで過酸化銀の皮膜生成が進むため見掛け上の充電完了となるためである。また低温の場合は内部抵抗が増加し、充電々圧が高くなり、充電々流が大きい場合には電流値の増加分だけ充電々圧が高くなるのも一因と考えられる。

さらに充電時の条件は放電できる量にも影響を及ぼす。

図14は条件をかえて充電したときの放電効率を表わしたものである。なおこの場合、充電条件が異なっても放電条件は同一とし、周囲温度25℃、放電々流90 Aで放電々圧1.40 Vまでの放電量をもとにしたものである。

このように低温時に高速充電を行うと、充電される量（充電容量）が小さくなるばかりでなく、充電した量に対して放電できる量の割合、（放電効率）も著しく悪くなる。

したがって潜水調査船の電池として充電する場合、できるだけ高温の場所で充電々流を小さくして行う必要がある。しかし充電々流を小さくすると充電時間が長くなり、潜水調査船の作

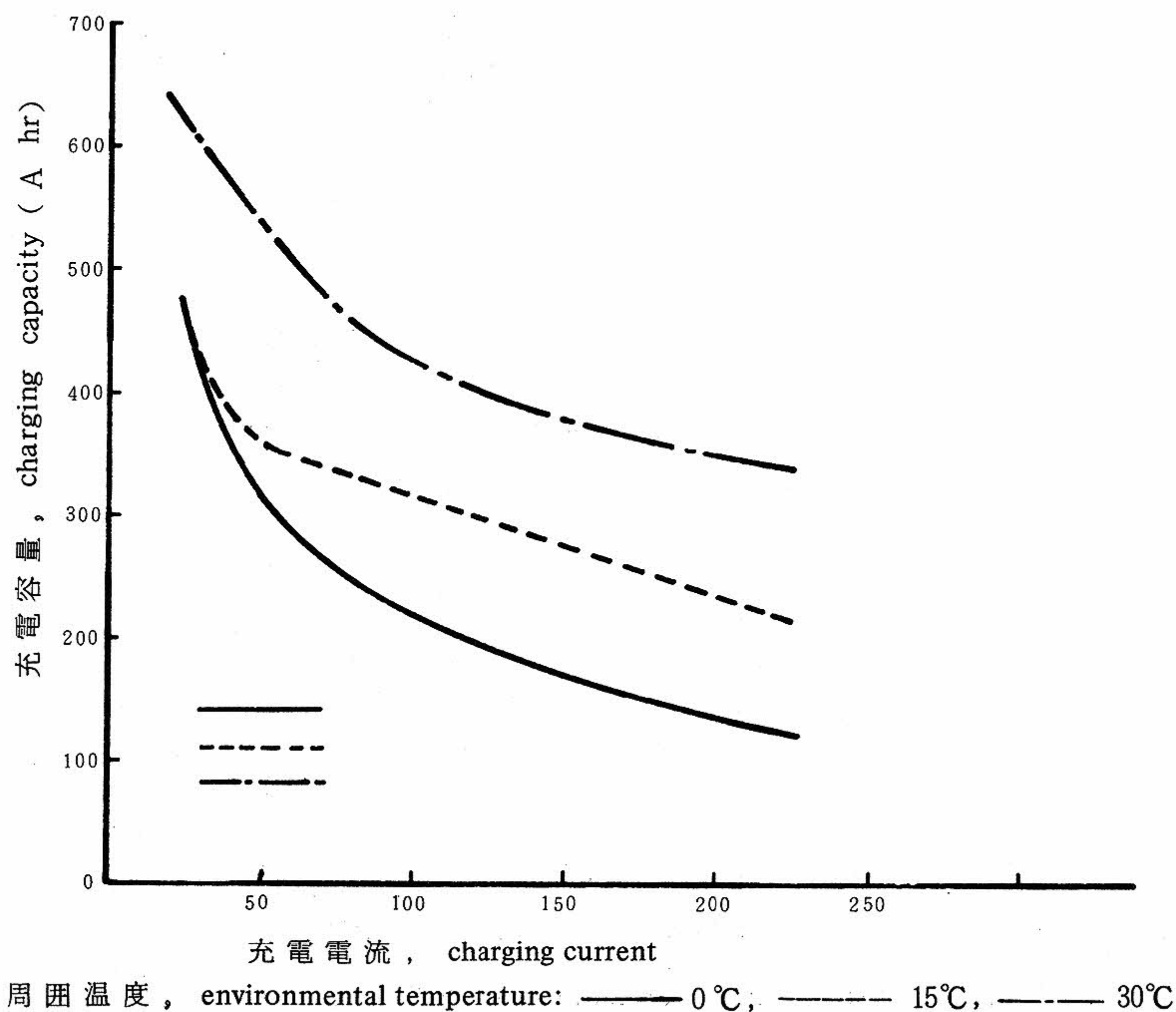


図13 充電条件と充電容量
Charging capacity

業効率を悪くする。潜水調査船の1サイクルにおける標準放電量は約250 Ahr (2群で500 Ah) であり、これに対する充電を10時間程度で行う必要がある。この場合、充電々流は25~30 Aであり、この程度であれば充電特性として特に問題はない。

4.3 寿命サイクル

電池に対する要求寿命、すなわち75サイクルで285 Ahr以上であることを確認するため、寿命サイクル試験を行った。

試験は90 A定電流で285 Ahr放電を行ったのち、30 A定電流で充電を行うサイクルを繰返した。なお電池活性化のため15サイクルごとに定抵抗放電および液面調整を行った。

活性化放電を行う前後における1.40 Vまで

の放電容量の計測結果を図15および図16に示す。

常圧下と高圧下では容量に大差はなく、いずれも75サイクル後に285 Ahrの放電容量を確保している。初期の15サイクルまでは比較的容量の減少が大きい、15サイクル以降の容量降下は少ない。また15サイクルごとに行なう活性化放電は容量回復に顕著な効果を表わしている。

5. ま と め

今回試作した銀亜鉛電池は、以上の試験によって、次のような点から2,000 m 潜水調査船の主蓄電池として十分使用に耐えられるものであることが確認された。

(1) 耐環境性；

潜水調査船に搭載して使用するための厳格な環境条件、すなわち振動、衝撃、動揺、温度お

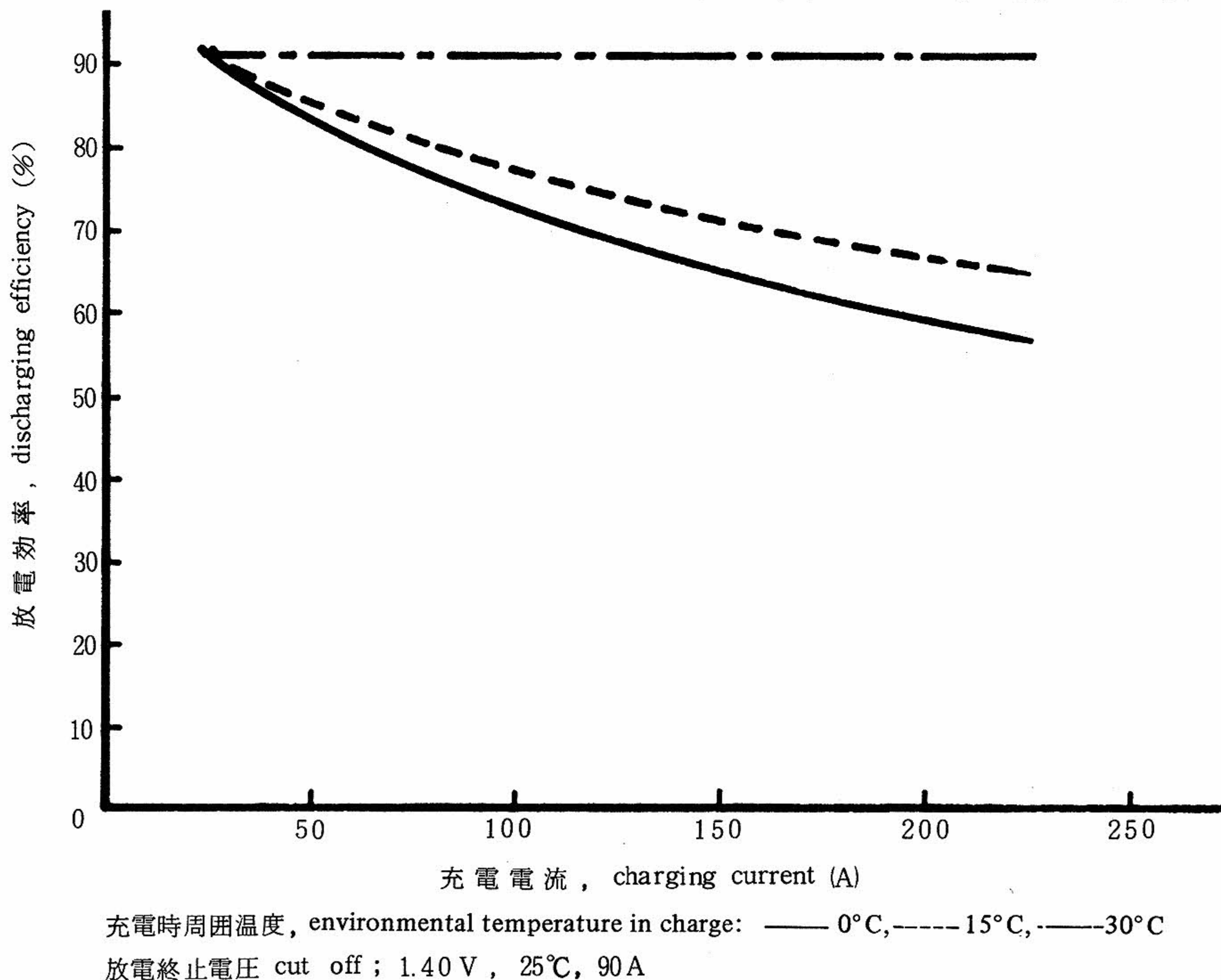


図14 充電条件と放電効率

Discharge efficiency for charging condition

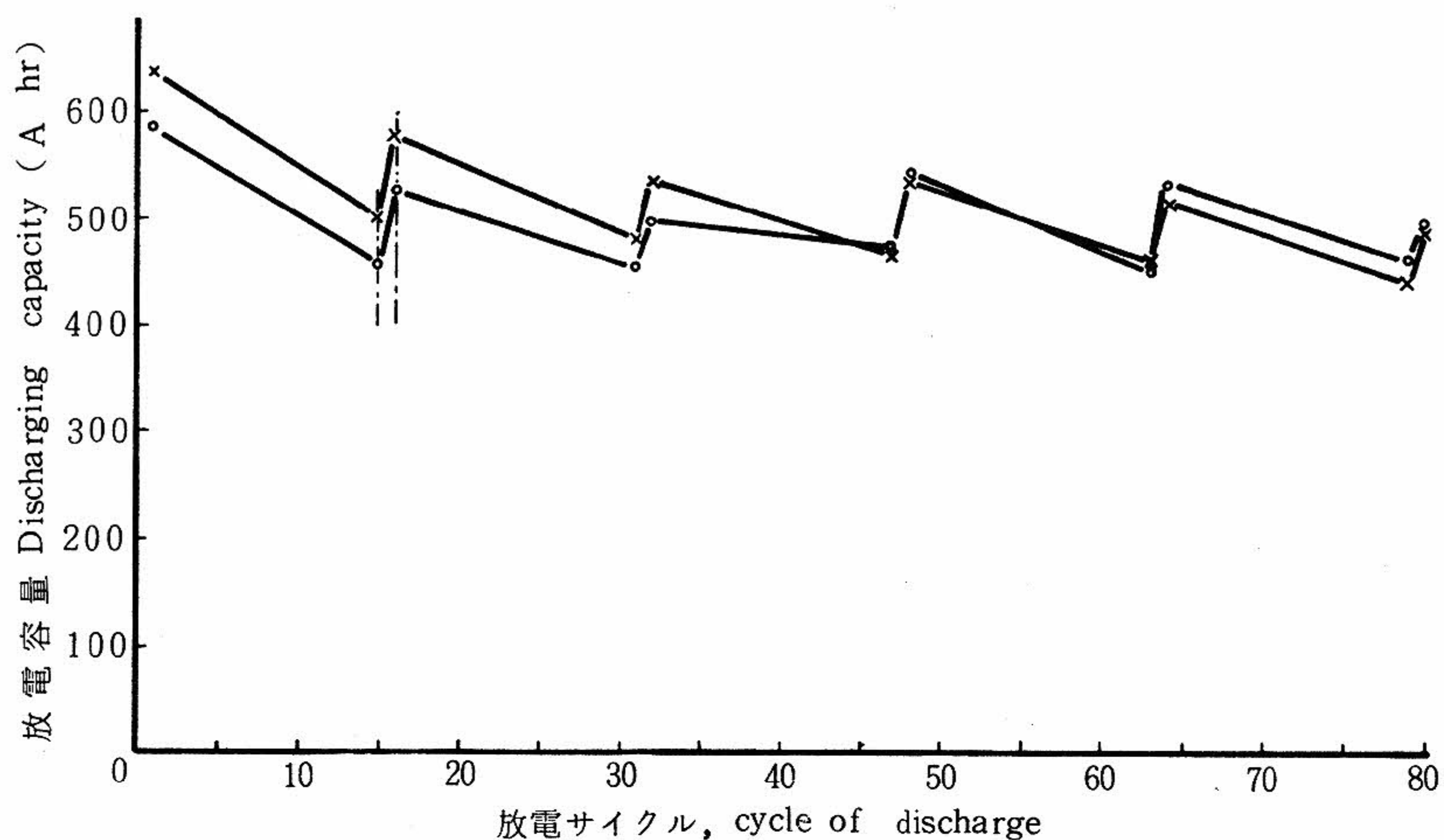


図15 常圧下寿命サイクル放電容量,
Discharging capacity for cycle under 1 ata condition

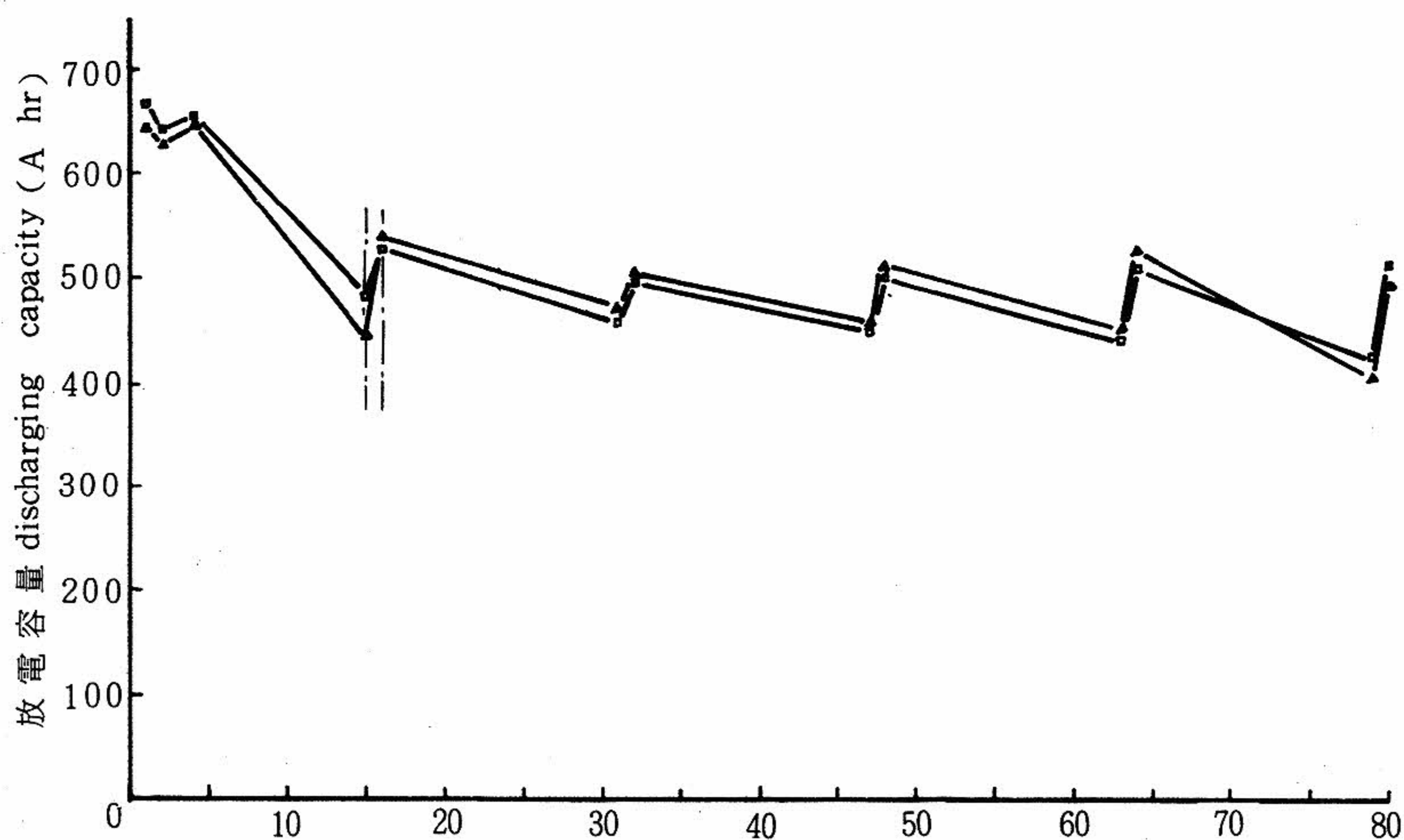


図16 高圧下寿命サイクル放電容量,
Discharging capacity for cycle under hyperbaric condition (207kgf/cm²)

よび圧力に対し、強度上、また性能上、十分な成果が得られた。

(2) 放電特性；

放電々流および周囲温度による影響は大きい
が、潜水調査船で使用する条件下では放電々圧
また放電効率とも十分なものである。また高圧
下での放電に対する悪影響は認められない。

(3) 充電特性；

充電々流および周囲温度による影響は大きく、
充電効果を良くするには充電時間を10時間程度
とする必要がある。この程度の時間であれば潜
水調査船の潜航効率を悪くすることはない。

(4) 寿命サイクル；

要求性能である75サイクル目で放電容量285
Ahr以上を十分確保した。また初期容量に対す
る容量効果も小さく、特に最初の15サイクル目
以降はほぼ安定している。

以上のように試作の単電池は、ほぼ設計通りの

性能を満足することが確認されたが、潜水調査船
の電池はこれら単電池72個を直列にして1群とし
て装備する。したがって群電池とした場合の問題
点の有無を明確にし解決するため、現在、群電池
の試作試験を実施中である。

文 献

- (1) 吉識雅夫，ほか，“6,000 m 深海潜水調査船
の開発研究事業報告” 6,000m 深海潜水船委
員会，46-37 (1972)，47-39 (1973) およ
び48-53 (1974)，
(財) 日本船用機器開発協会
- (2) 吉沢四郎，ほか，“電池ハンドブック”(19
75)，電気書院
- (3) 遠藤偷正，ほか，1976，“深海潜水船の
研究開発に関する当社の現状”，三菱重工技
報13(4)，563