

潜水調査船用銀亜鉛電池の試作試験 (第2報)

— 主蓄電池装置 —

徳永 三伍*¹ 萩原 右門*¹ 加藤 洋*¹
対馬 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、1群として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 285 Ahr以上である。

本研究は、実機の主蓄電池装置の製作に先立って、使用条件、要求容量、寿命に合わせて設計された装置を試作し、種々の条件下で試験を実施し、実機的设计データを得ることを目的としたものである。

第1報では単電池を試作試験し、期待通りの成果が得られたことを報告し、今回はこの成果を基に実機と同等の主蓄電池装置を試作し、常圧下および高圧下での充放電試験を実施し、その結果、2,000 m 深海潜水調査船の電池として十分使用できるという、結論を得たことを述べる。

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

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

The 2,000 m Deep Submergence Research Vehicle (DSV-2K) is designed to use silver-oxide zinc 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. Each group is made up of 72 unit cells. The capacity of this battery system is greater than 285 A hr/group at its 75th cycle of charge/discharge.

The purpose of this study is to confirm the performance of the battery system under various conditions, and to obtain data for the design of a battery system for actual use.

*1 深海開発技術部

*2 三菱重工業株式会社神戸造船所

*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.

In the last paper, test results of the unit cells were reported showing satisfactory performance. In this study, on the basis of the test results of the unit cells, the same battery system as that for actual use was manufactured, and charge/discharge performance tests were carried out under conditions of 1 ata and hyperbaric environment.

Test results show that this battery system performed as was expected, and it became clear that this system can be used for DSV-2K.

1. ま え が き

“潜水調査船用銀亜鉛電池の試作試験（第1報）—単電池”では、2,000 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8箇を試作し、種々の条件での実験を実施し、耐環境性、充放電特性、寿命サイクル特性等を明らかにし、ほぼ設計通りの性能であったことを報告した。

潜水調査船の主蓄電池装置（以下電池装置という）は、この単電池72個を直列につないで1群とし、油漬状態で耐圧殻外に装備する。このため、電池装置は海水に直接接すると共に、急激な圧力変動および温度変化を受ける。

このようなことから装置とした場合の問題点を明確にし、解決するため、電池を試作し、種々の調査実験を実施した。すなわち、第1報の結果をふまえて製作した72箇の単電池を用い、電池装置を試作し、最適な電池実装方法を確立し、充放電試験で電気的特性の確認を行うと共に、耐圧性、ガス発生、絶縁抵抗劣化、温度上昇等を調査計測した。

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. 試作主蓄電池装置

2.1 電池装置の概要

電池装置に組込む単電池の要目、構造、形状を表1、図1、および写真1に示す。

単電池の形状は装備効率を良好にし、船の動揺等による電解液の流出や極板の露出を防止するため、底面積を小さくし、背を高くするよう設計した。

表1 単電池要目

Specification of battery unit cell

型 式 ; 酸化銀亜鉛アルカリ電池
Type Ag-Zn battery
容 量 ; 1.5 V × 285 A hr (充放電75回目)
Capacity (at 75 cycle)
寸 法 ; 長さ88mm 幅110mm 高さ430mm(電池槽)
Dimension length breadth height battery
重 量 ; 9 kg (電解液, 絶縁油を含む)
Weight includ electrolyte and oil

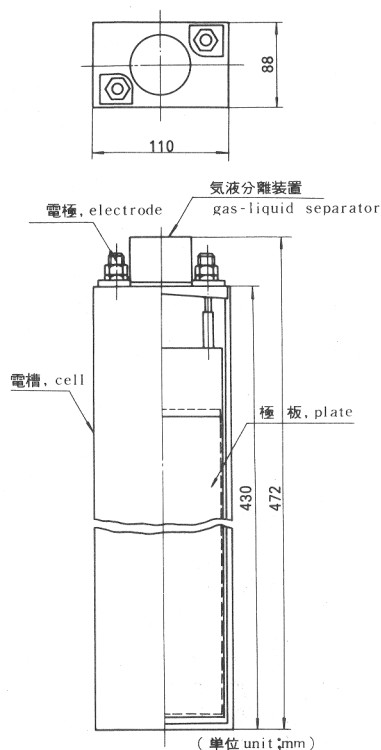


図1 単電池の構造

Prototype battery



写真1 単電池
Battery unitcell

電池装置は、この単電池72箇を直列に接続し、油漬均圧型とし、電池槽、均圧装置、およびコネクターボックスから構成される。

電池装置の要目、構造、形状を表2、図2および写真2に示す。

電池槽内は単電池を8列9行に配列し、絶縁油で満たされている。電池槽はチタン製で、発生ガス放出のため、上部を寄棟型とし、その頂部にガス抜弁を設けた。

電池槽下部にはゴムブラダ式の均圧装置を設け、電池槽内の絶縁油や発生ガスの膨脹、収縮による容積変化を調整し、電池槽内外の均圧をはかった。

電池槽側部にはコネクターボックスを設け、電池充放電回路、制御回路、および各種センサー回路のコネクターをまとめ、電池槽本体から分離し、電池絶縁維持また保守管理の便宜をはかった。

表2 主蓄電池装置要目

Specification of battery system

方式	密閉型油漬均圧方式
Type	oil-filled pressure compensated type
単電池	72セル直列
Unitcell	72 cell series connection
容量	108V×285Ahr(充放電75回目)
capacity	at 75 cycles
寿命	充放電75回、または1年
Life	75 cycle or 1 year
寸法	長さ1253mm、幅1,000mm、高さ1,224mm(均圧装置、コネクターボックス、ガス板弁を含む)
Dimension	length breadth height
重量	1,140kg(電解液、絶縁油を含む)
Weight	includ electrolyte and oil
潜航深度	2,000m(207kg/cm ²)
Diving Depth	
傾斜角度	横方向±15° 縦方向±30°
Angle of Incline	heel trim
動揺角度	前後、左右共±60°
Angle of Rolling	pitch and roll

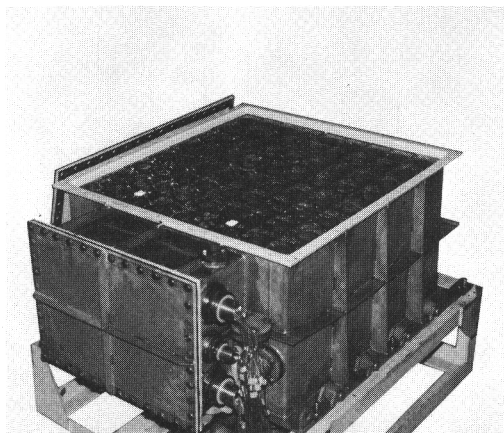
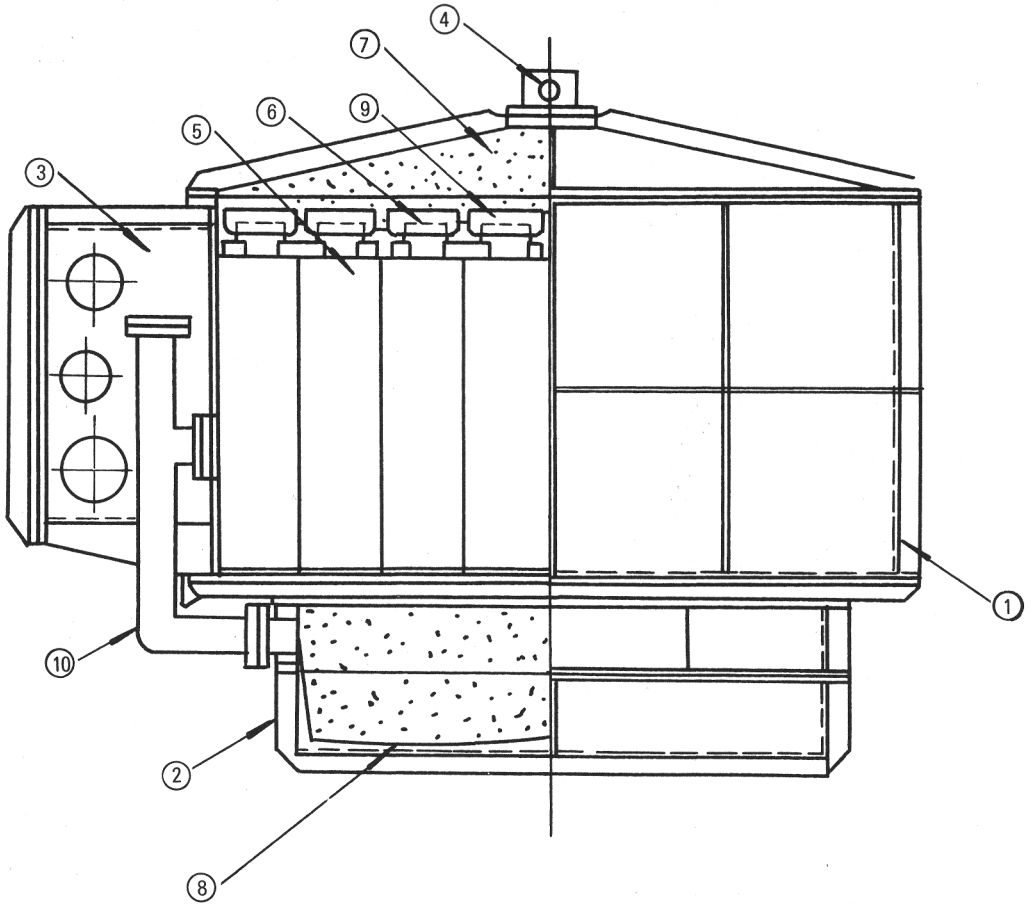


写真2 群電池
Battery system



- | | |
|---------------------------|--------------------------------|
| ①電池槽
tank | ⑥気液分離装置
gas liquid isolator |
| ②均圧装置
compensator | ⑦絶縁油
insulating oil |
| ③コネクタボックス
conneter box | ⑧均圧装置ブラダ
bladder |
| ④ガス抜弁
gasflow valve | ⑨電解液溜
electrolyte tank |
| ⑤銀電池
battery cell | ⑩均圧管
compensate pipe |

図2 主蓄電池装置
Battery system

2.2 試作における対策

2.2.1 耐圧に対する考慮

電池槽およびコネクタボックスは、絶縁維持のため、槽内に海水が浸入しないように、絶縁油を満たした密閉構造であり、重量軽減のため軽構造とした。

電池槽内には、ガス、電解液および絶縁油が

多量にあり、これらは圧力や温度によって容積が大幅に変動する。この変動による内圧と外部海水圧を均圧させ、電池槽を保持するため、均圧装置を設けた。

すなわち、潜水船の潜入時には、外部海水圧が急激に大きくなり、均圧装置に圧力が加わり、ガス等の圧縮量に相当する量の絶縁油を電池槽

内に押し込み、潜水船の浮上時には、外部海水圧が急激に小さくなり、ガス等の膨張による力が均圧装置に加わり、絶縁油は均圧装置へ押出される。

したがって、均圧装置は、これらの容積変化量を補うのに必要な容積をもたねばならず、圧力変化量、温度変化量、滞留ガス量等を考慮して決めた。

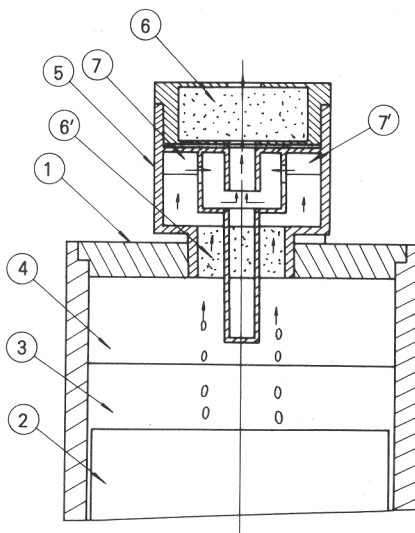
2.2.2 ガス発生に対する考慮

銀亜鉛電池は、他の電池に比べ、ガス発生量はきわめて小さいが、充放電時のガス発生は免れない。

電池槽内に滞留したガスは、潜水船が浮上し、外部海水圧が小さくなると膨脹するので、電池槽外に放出する必要がある。この際、気泡と共に、電解液を流出したり、海水が浸入すると、電池の絶縁が維持できないので、次のような対策を取った。

(1) 気液分離装置；

発生ガスによる電解液の流出を防止するた



- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| ① 単電池ケース
Battery cell | ⑤ 気液分離装置
gas-liquid isolator |
| ② 極板
electrode | ⑥ フィルタ
filter |
| ③ 電解液
electrolyte | ⑦ ガス室
gas chamber |
| ④ 絶縁油
insulating oil | |

図3 気液分離装置

Gas-liquid isolator

め、単電池槽上部に、図3に示すような気液分離装置を設けた。

電解液の付着したガス気泡は、ガス室で破裂し、ガスと電解液に分離され、電解液は単電池槽内に戻り、ガスは矢印に沿って放出される。未分離の電解液は電解液吸液性フィルタで除去される。

(2) ガス抜弁；

発生ガスで電池槽の内圧が、一定の圧力以上になると、ガスはガス抜弁を通して外部に放出される。ガス抜弁は一方向弁であり、この弁と外部海水との間にはガス層を形成させ、ガス層によって電池装置内部と外部海水とを遮断し、海水が電池装置内に浸入しないようになっている。

2.2.3 絶縁抵抗劣化に対する考慮

電池装置外部の海水と単電池内の電解液との間には絶縁油が介在し、かつ前述のように電池装置は密閉型となっており、海水と電解液とは直接接することがない構造となっている。また絶縁抵抗の信頼性をあげるため、次のようなことを実施した。

- (1) 電解液と絶縁油が混り合わないよう、絶縁油には軽比重のものをを選び、動揺傾斜試験で分離性が十分であることを確認¹⁾した。
- (2) 単電池槽から電解液が流出しないよう、単電池の高さを十分に保たせ、動揺傾斜試験¹⁾で確認した。
- (3) 発生ガスによる電解液の持出し防止のため、性能の良い気液分離装置を設けた。なお、この装置が除去できなかった電解液が、単電池上面や電池槽底面に沈積しないよう、気液分離装置の回りに覆いを設け、電解液溜とした。
- (4) ガス抜弁は一方向弁とし、ガス放出時を除き、電池装置内部は海水を遮断できる構造とした。
- (5) 電池槽内を外部海水から絶縁するため、電池槽内面にエポキシでライニングを施した。また、極柱、接続杆、計測用導線等、電池内の導電部はエポキシ系樹脂でモールドし、さらにコネクターボックスを電池槽本体から分離した。

2.2.4 温度上昇に対する考慮

他の電池と同じように、銀亜鉛電池は充放電

特性は温度による影響が大きいことをすでに報告¹⁾した。

すなわち、充電容量、放電容量、放電効率、放電々圧等は、低温になるほど減少する。したがって、電池槽内の72個の単電池をできるだけ均一な温度とする必要がある。しかるに電池は充電時また放電時に発熱し、潜水船潜入時には、海水で冷却され、電池内の温度は中央部が高く、周辺部になるほど低くなり、各単電池の性能にバラツキができる。

このようなバラツキを小さくするため、絶縁油の自然対流で電池内の温度をできるだけ均一にするように、単電池の周囲にできるだけ空間を設けるようにした。

2.2.5 保守管理に対する考慮

潜水船から頻りに電池を取り出すことが困難な場合が多く、また電池槽内は絶縁油が満たされているので、電池槽の蓋を開ける作業が繁雑である。

このため、電池の状態を遠隔監視でき、充電

や活性化放電の操作が自動化できるようにした。電池内監視のセンサーとして、単電池温度(3個)、電解液液面(2個)、絶縁(2個)、浸水(5個)を設け、電圧計測が総電圧のほか、単電池2セルごとの電圧が計測できるようにした。これらをコネクタボックスに集め、コネクタ接続で母船上に設置の電池管理装置で集中管理し、絶縁および浸水のセンサーは潜水船の警報システムに接続した。

3. 電池試験結果

3.1 充放電特性試験

電池は、電解液を注液後、絶縁油を注油し、化成充放電後、表3に示すような順序で、充放電を実施した。

充電特性(大気中、充電々流25A)および放電特性(大気中、放電々流90A)を図4および図5に示す。この図に示すように、充放電回数によって特性にはほとんど差はない。

容量については、単電池の試験¹⁾の場合、充

表3 充放電試験手順
Summary of test condition

回数	充電		放電		備考
	状態	電流(A)	状態	電流(A)	
1		25		45	
2	大気中	25	大気中	90	
3	in air	25	in air	90	
4		25		45	
5		25		90	
6	常圧水中	25	水中207kg/cm ³	10~140	実用負荷
7~17	in water	25	in water	90	285Ahr繰返し充放電
18		25		90	
19		25		90	活性化放電液
20		45		90	
21		25		90~300	高率放電試験
22	大気中	25	大気中	10~140	実用負荷
23~31	in air	25	in air	90	285Ahr繰返し充放電
32		25		90	
33		25		90	活性化放電液

放電回数が少ないときは大きく、回数が増加するに従い、容量が減少していたが、今回は19回目の充放電容量よりも2回目の充放電容量が小さくなっている。これは単電池の場合には電解液注液後、最初の充放電前に電解液中に含まれている空気等を十分に排除することができるが、群電池の場合、単電池の時ほど十分な排除をすることが困難であり、このため、容量が若干減少するためと思われる。しかしこれは充放電また船の潜入浮上(電池の加圧減圧)を繰返すうちに排除され、容量も元に戻り、特に問題ない。

図6には単電池の寿命サイクル試験結果の upper に、今回の群電池の放電容量計測結果を記入し

たものを示す。この図のように、単電池の計測結果と良く一致している。なお単電池の場合の容量は、充電々圧2.05Vまで、放電々圧1.40Vまでの量をとった。群電池の場合には単電池にバラツキがあり、過充電、過放電の恐れがあるので、いずれか2セルの単電池が充電々圧4.05V、放電々圧2.0Vになった時までの量を容量とした。

図7は大気中と207kg/cm²加圧下の放電特性を比較したものである。この図では特性にはほとんど差は見られない。

電池の実用負荷特性を調べるため、潜水船の潜入から浮上までの間の標準的な負荷パターン

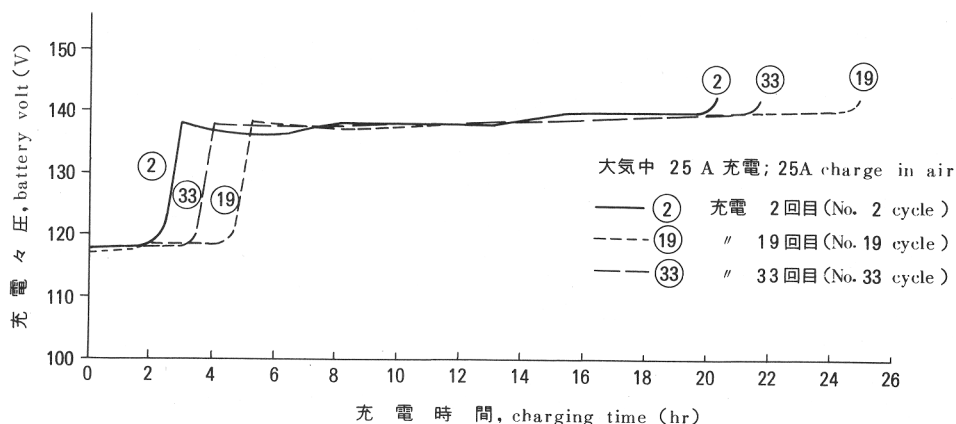


図4 充電特性
Charging characteristics

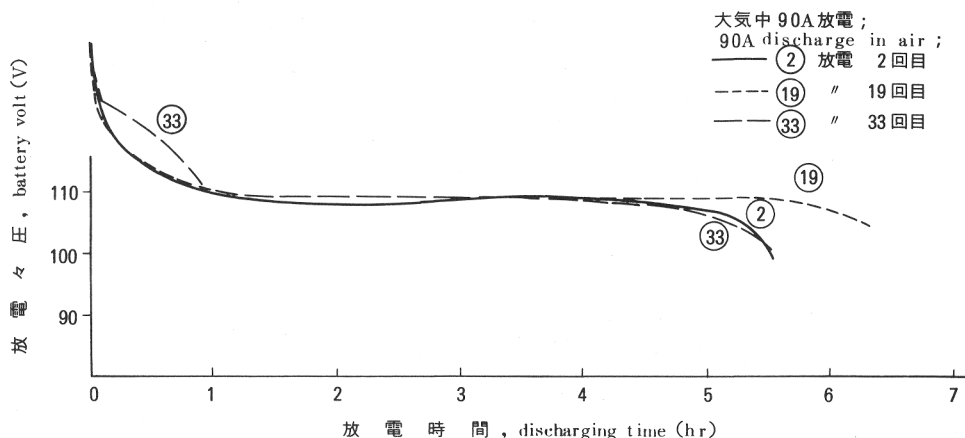


図5 放電特性
Discharging characteristics

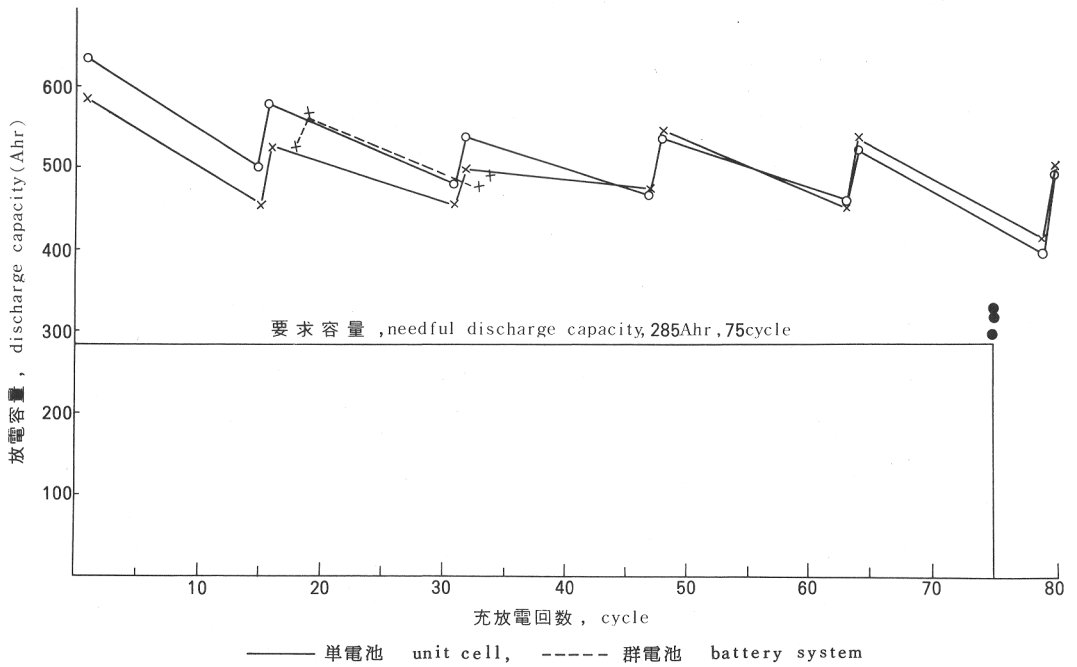


図6 充放電サイクルに対する放電容量
Discharge capacity for cycle

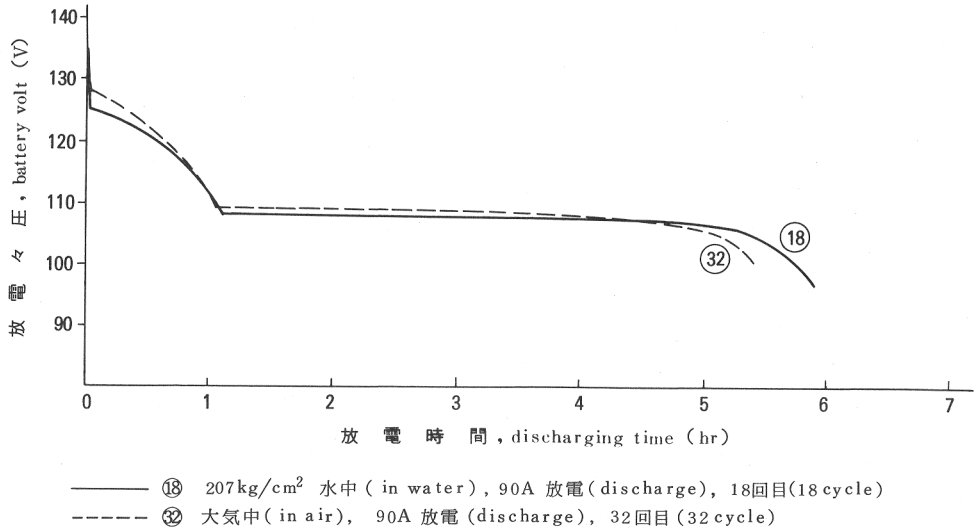


図7 大気中と高圧下の放電特性
Discharge characteristics in air and in water of 207kg/cm² pressure

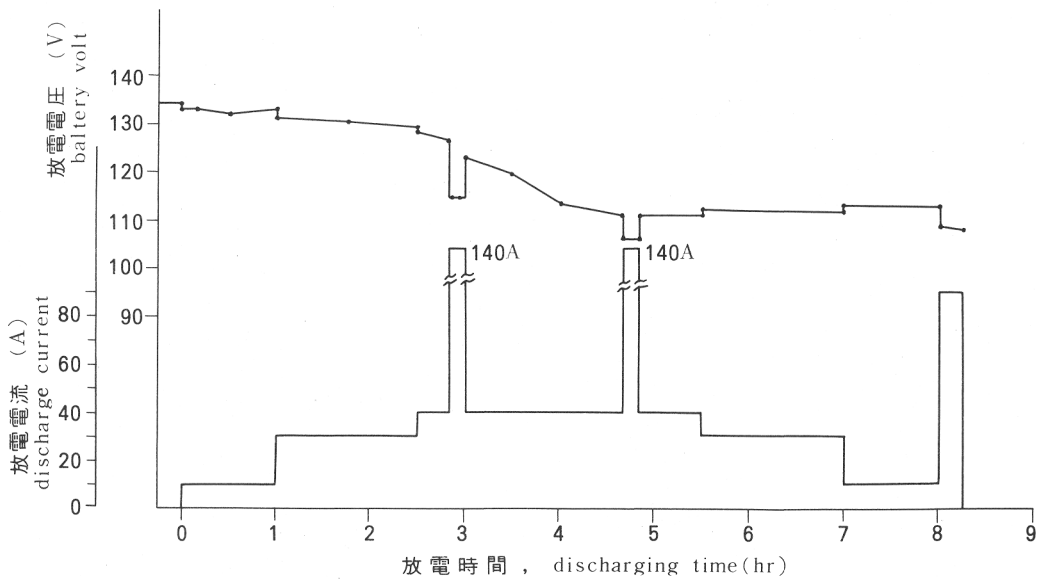


図8 実用負荷における放電特性
Discharge characteristic for typical pattern

に従った放電試験を行った。その結果、図8に示すように、調査観測時に機器が集中し、作動する場合でも電池電圧はさほど大きな低下はなく、安定している。

3.2 電池状態の調査

3.2.1 耐圧性

電池の加圧下、放電試験は、207kg/cm²(2,000

m深度相当)の圧力下で行ない、加減圧速度は潜水船の潜入浮上速度以上で実施した。

その結果、電池に全く異常はなく、耐圧性や均圧性が良好であることが確認できた。また、ガス抜弁やパッキング気密部からの浸水に対して、試験中浸水計の警報はなく、試験終了後の目視検査でも浸水は認められなかった。

表4 充放電時ガス発生量
Generated gas volume

充放電条件	実験回数 number of times	ガス発生量(cc) gas volume		
		平均 average	最高 maximum	最低 minimum
大気中充電;全充電 in air 285Ahr 充電	7	12,630	25,520	6,160
	11	6,950	10,610	2,800
水中充電;全充電 in water 285Ahr 充電	2	1,770	2,400	1,150
	9	750	1,200	0
大気中放電;全放電 in air 285Ahr 放電	6	5,300	6,490	3,460
	11	4,460	5,590	1,230
高压水中放電;全放電 285Ahr 放電	3	1,640	3,280	100
	12	290	1,200	0

3.3.2 ガス発生

充放電時のガス発生量を表4に示す。

充電時のガス量は、単電池試験時の1/3～1/2である。これはいずれかの2セルの単電池の電圧が4.05Vとなったときに充電終止とし、すべての電池が充電終止電圧まで充電されていないためである。常圧下放電時のガス量は充電時よりも少なく、単電池試験時とほぼ同等である。また高圧下放電時ではさらに少ない。その結果、銀亜鉛電池の発生するガス量はきわめて少ないことがわかった。

3.2.3 絶縁抵抗

全試験を通じて、電池内の絶縁はきわめて良

好であり、単電池間のリーク電流もほぼゼロであった。また、試験終了後、電池内各部の電解液分を調査した結果、電解液は単電池外には全く検出されず、気液分離装置の有効性が確認された。なお、絶縁油についても、表5に示すように、ほとんど変質していないことが明らかとなった。

3.2.4 温度上昇

充放電時の電池内温度変化の例を図9および図10に示す。

温度は前述の電池管理用温度センサーで計測したものである。500Ahr充放電時の温度上昇は、

表5 絶縁油の充放電試験後の性能変化

Quality change of insulating oil after test

項目 item	使用前 before use	充放電試験(6箇月)後 after 6 months discharge test
絶縁抵抗(Ω cm) insulation resistance	2.03×10^{14}	$1.96 \sim 8.00 \times 10^{12}$
比重 specific gravity	0.880	0.881 ~ 0.882
引火点(℃) flash point	146	148
粘度(cSt) viscosity	12.4	12.2 ~ 12.4
全酸化(mgKOH/g) perfect oxidation	0.014	0.014 ~ 0.020
水分(ppm) water	66	61 ~ 77

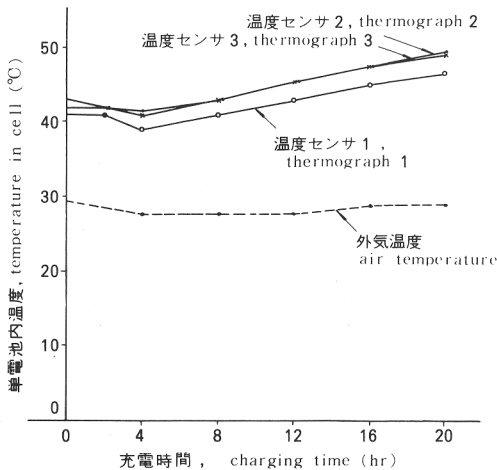


図9 25A 充電時の単電池内温度
Temperature of cells during
charge of battery at 25 A

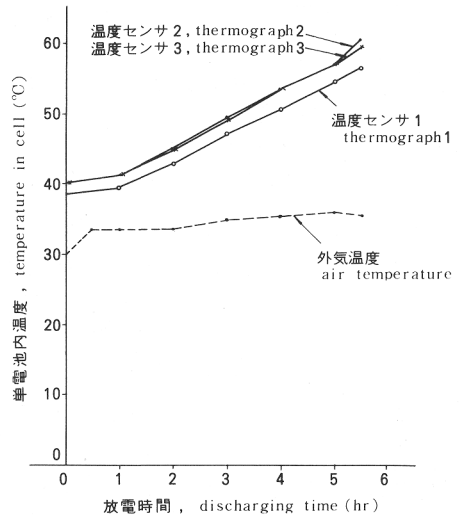


図10 90A 放電時の単電池内温度
Temperature of cells during
charge of battery at 90 A

充電時10℃、放電時20℃程度であり、最外位置の単電池と中央部に位置するものとの温度差はきわめて小さい。

放電時の温度上昇について、放電々流および放電量との関係を図11に示す。

潜水船での放電々流は30~40Aであり、放電量は標準 285Ahr としているので、放電時の温度上昇はきわめて小さい。

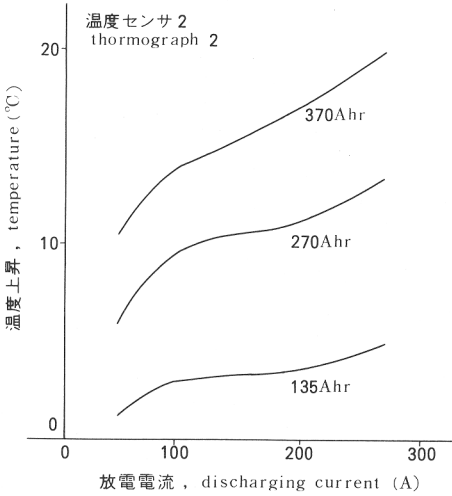


図11 放電電流と放電前後の温度上昇の関係
Relations between discharging currents and temperature of cells during discharge

単電池の位置による温度が小さいことは前に述べたが、さらに電池内の単電池温度の分布を調査するため、充電後および放電後の各単電池の温度を測定した。平均温度からの温度差を図12および図13に示す。

電池中央部とコネクタボックスに接している部分の単電池は、平均温度よりも高く、コネクタボックスのない、その他の外周囲に接している電池は平均温度よりも低い。これらの温度差は小さく、電池内温度の均一性が確認された。

3. 2. 5 保守管理；

充電および活性化放電は、電池総電圧および2セルごとの電圧を管理し、支障なく制御できることが確認できた。

本電池は、補液、注油、換油、活性化放電などの保守作業を15回充放電ごとに行うという計

画に對し、約6箇月にわたって高圧下放電を含め、33回の充放電を行ったにもかかわらず、全試験を終えるまで活性化放電を除き、全く無保守であった。

コネクタボックス connector box	①	-1.3	-1.1		-0.8	-1.8
					+0.2	
	+0.5	+1.2		+0.7	-0.3	
				+0.7		
	+0.5	+1.7	+1.5	③	+1.2	-0.5
				+1.2		
	+0.2	+1.5		②	+1.5	-0.8
	-2.3	-1.3		-0.8	-2.3	

(注) 番号①~③は温度センサーの番号を示す。
①~③ are thermograph numbers

図12 単電池の配置と25A、25時間充電後の温度分布(平均温度を0とする)

Cell arrangement and temperature distribution after charging at 25A in 25 hours.
(average temperature as zero)

コネクタボックス connector box	-1.9	-0.9		-0.9	-2.4
					-0.4
	+1.1	+1.1		+1.1	-0.4
				+1.1	
	+0.1	+2.1	+1.1	+1.1	-0.4
				+1.1	
	+0.1	+2.1		+2.1	-0.9
	-2.9	-0.9		-0.9	-1.9

図13 単電池の配置と90A、5.5時間放電後の温度分布(平均温度を0とする)

Cell arrangement and temperature distribution after discharging at 90A in about 5.5 hours.
(average temperature as zero)

4. おわりに

2,000 m 深海潜水調査船のエネルギー源に、高エネルギー密度ということから銀亜鉛電池を採用し、実用規模の電池の試作試験を実施した。

まず、第一報で報告したように、単電池の試作試験で、ほぼ、設計通りの性能を確認した上、今回、主蓄電池装置の試作試験を実施し、従来、フィールドデータのない、銀亜鉛電池のデータを収集した。

その結果、充放電特性のほか、均圧性、ガス発生、絶縁抵抗、温度上昇、保守管理等のデータを

得ると共に、この装置が 2,000 m 深海潜水調査船の電池として十分なものであることが確認でき、この成果を十分活用すれば、信頼性の高い電池の製作が期待できることを確信した。

文 献

- 1) 徳永三伍(ほか)；1980，“潜水調査船用銀亜鉛電池の試作試験(第1報)―単電池―”，JAMSTECTR (4) 1～16