



国土交通省近畿地方整備局

Kinki Regional Development Bureau

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

国土交通省 近畿地方整備局	配布 日時	平成 29 年 6 月 30 日 14 時 00 分
記者発表		

件名	「和歌山GPS波浪計事故調査・安全対策検討委員会」 中間とりまとめの公表について
----	---

概要	<p>● 平成 29 年 2 月 21 日に発生した和歌山下津港におけるGPS波浪計の調査中の爆発事故について、「和歌山GPS波浪計事故調査・安全対策検討委員会」（委員長：高山知司京都大学名誉教授）を設置し、事故原因の究明と再発防止に向けた検討が進められて参りました。</p> <p>この度、同委員会による「和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故についての調査・検討に関する中間とりまとめ」が公表されましたので、お知らせします。</p> <p>資料 1：和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故についての調査・検討に関する中間とりまとめ概要</p> <p>※本資料は、本文とともに近畿地方整備局港湾空港部ホームページにも掲載されます。</p>
----	--

取扱い	—
-----	---

配布場所	神戸海運記者クラブ 神戸民放記者クラブ みなと記者クラブ 和歌山県政記者クラブ 和歌山県政放送記者クラブ 和歌山地方新聞記者クラブ
------	---

問合せ先	■国土交通省 近畿地方整備局 港湾空港部 港湾空港企画官 平井 洋次 電話：078-391-4214 海洋環境・技術課 課長 津田 行男（内線6470） 電話：078-391-3103
------	---

# 和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故についての調査・検討に関する中間とりまとめ概要①

## 中間とりまとめの目次

### 1. 委員会の調査・検討経過

- 1-1 委員会の設置
- 1-2 委員会の実施概要

### 2. GPS波浪計の概要

- 2-1 全国のGPS波浪計の設置状況
- 2-2 和歌山南西沖GPS波浪計の諸元

### 3. 和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故の概要

- 3-1 爆発事故の概要
- 3-2 事故発生までの流れ

### 4. 現時点で想定される爆発要因

- 4-1 爆発物の推測
- 4-2 爆発に至る可燃性ガスの発生
- 4-3 鉛蓄電池からの水素ガスの発生
- 4-4 着火の要因
- 4-5 爆発要因のまとめ

### 5. 事故の再発防止に向けて

- 5-1 水密性と換気性の両方を備えた構造設計への転換
- 5-2 現在設置しているGPS波浪計の緊急点検・緊急改造
- 5-3 今後のGPS波浪計の保守・点検、更新時の留意事項

### 6. より一層の安全・技術の向上に向けて

## 爆発事故の概要

- 発生日時:平成29年2月21日(火)14時45分頃
- 発生場所:和歌山下津港 西浜ヤード
- 事故概要:  
近畿地方整備局が、和歌山県白浜沖の沖合約17kmの海上に設置していたブイ式のGPS波浪計に不具合(電圧低下による機器の停止)が生じたため、平成28年12月18日に引き揚げ、和歌山下津港 西浜ヤードに保管。  
製造メーカーである日立造船(株)は、現地にて平成29年2月21日から調査を実施。現場作業員がブイ本体内部にてバッテリー室に入ろうとしたところ爆発が発生、1名死亡、1名負傷。



事故発生後の現場状況

## 委員会の設置

### ■委員会の概要

事故原因の究明及び再発防止に向けた検討を行うため、有識者で構成する「和歌山GPS波浪計事故調査・安全対策検討委員会」をGPS波浪計の設置・管理者である国土交通省近畿地方整備局が平成29年3月16日に設置。

(委員長)高山 知司  
河合 弘泰

田村 裕之

山口 義彰

京都大学 名誉教授  
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所  
港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域長  
総務省 消防庁 消防大学校 消防研究センター  
大規模火災研究室長  
一般社団法人 電池工業会 二次電池部会技術委員会 委員

### ■検討経緯

- 第1回委員会(平成29年3月16日(木))
  - ・委員会規約の確認
  - ・和歌山南西沖GPS波浪計の概要
  - ・和歌山下津港における爆発事故の概要
  - ・和歌山GPS波浪計の保守・点検の実施状況
  - ・事故原因の究明に向けた調査の視点
  - ・今後の委員会開催スケジュール

- 現地調査(平成29年4月6日(木)、7日(金))
  - ・回収された蓄電池の破損状況確認。
  - ・波浪計の損傷状況、内部構造の状況確認。
  - ・作業服等の帯電のしやすさを計測。

- 第2回委員会(平成29年6月7日(水))
  - ・事故原因の検討、再発防止策の検討
  - ・中間とりまとめ(案)の検討

# 和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故についての調査・検討に関する中間とりまとめ概要②

**事故発生までの流れ** ※事故当日の記載内容については、関係者からの聞き取りから推定・整理したもの

## 【平成29年2月21日の作業内容】

・ブイ内部の換気 ・ブイの外観調査

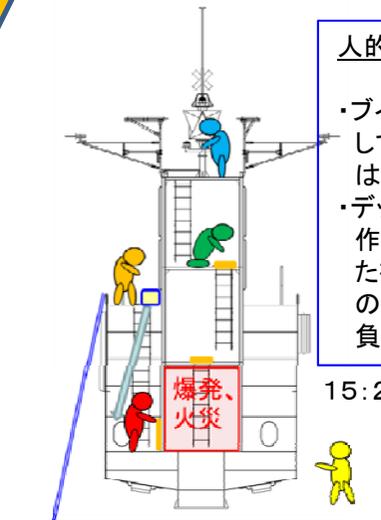
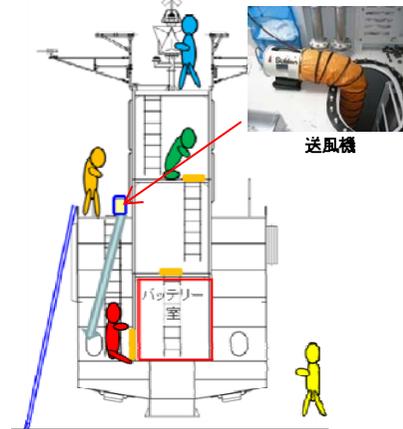
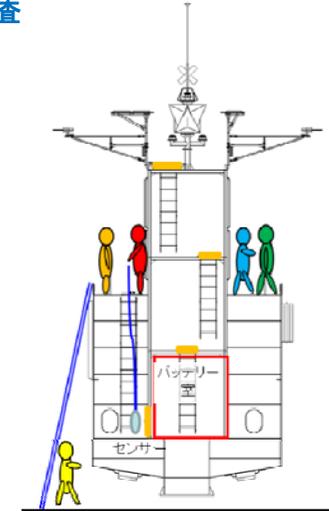
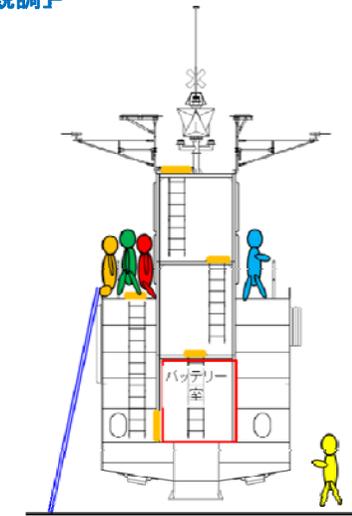
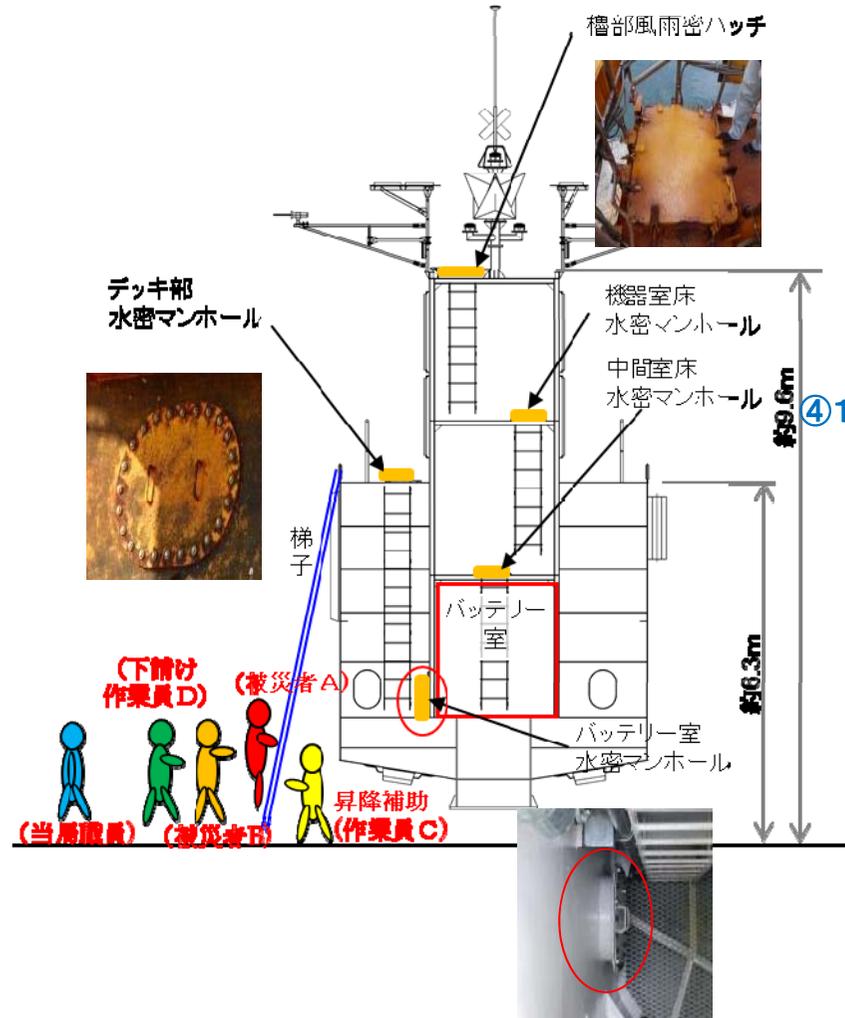
- ①13:30(調査開始)
- ・はしごでデッキにのぼる
  - ・工具の搬入

- ②13:50
- ・デッキ部水密マンホール開放作業
  - ・外観調査

- ③14:25
- ・酸素濃度の確認後、送風機による換気
  - ・櫓部風雨密ハッチ開放作業
  - ・外観調査

- ④14:30
- ・バッテリー室水密マンホール開放作業
  - ・機器室床水密マンホール開放作業
  - ・外観調査

- ⑤14:45
- ・バッテリー室から爆発・火災



**人的被害状況**

- ・ブイ内部で作業をしていた被災者Aは死亡
- ・デッキ上で内部の作業を監視していた被災者Bはブイの外へ飛ばされ負傷

15:20消防により鎮火

# 和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故についての調査・検討に関する中間とりまとめ概要③

## 爆発要因のまとめ

### 爆発要因の推測

- 蓄電池から発生した水素ガスがバッテリー室内に滞留し、何らかの原因で着火、爆発が発生したものと推測される。
- 着火原因は特定できないが、作業中に作業員の装備品等に帯電した静電気が放電し、水素ガスに着火したことが原因の一つとして考えられる。

### 水素ガス発生要因の推測

- 平成23年以降過去3回、バッテリー室を開放して点検を実施しているが、その際、異常な水素ガスの発生は確認されていない。このことから、一部の蓄電池で劣化が進んでいたものの最後にバッテリー室を開放した平成28年3月までは、爆発に至るほどの水素ガスが発生するような状況には至っていなかったものと推測される。(図-1参照)
- 平成28年6月以降、経年劣化等の何らかの要因で蓄電池が急速に劣化し、その結果、正常な蓄電池に過充電が生じ、制御弁式据置鉛蓄電池\*のガス吸収能力を超えて多量の水素ガスが発生、バッテリー室に滞留したと考えられる。

※制御弁式据置鉛蓄電池：電池内で発生したガスを内部吸収し、電解液が減らないよう密閉化した蓄電池

【爆発の原因となった水素ガスが発生・滞留した可能性のある期間の出来事】

- ・H28.3.17 バッテリー室の点検  
(事故前、最後のバッテリー室開放)
- ・H28.6.23 システム電圧が低下
- ・H28.8.9 システム電圧が回復せず観測停止。  
GPS波浪計の陸揚げ手続き開始
- ・H28.9.9 システム電圧さらに低下  
(電圧等の監視制御機能喪失)
- ・H28.12.18~19 ブイ揚収
- ・H28.12.26 DCコンバーター盤内のスイッチ切断  
(蓄電池への充電を停止)
- ・H29.2.21 爆発事故発生

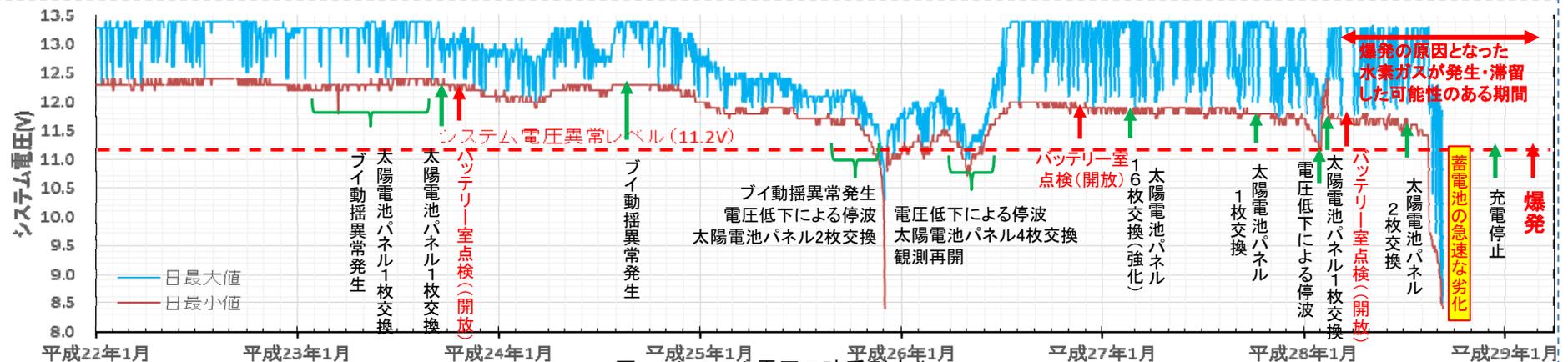


図-1 システム電圧の時系列変化

# 和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故についての調査・検討に関する中間とりまとめ概要④

## 事故の再発防止に向けて

### 現在設置しているGPS波浪計の緊急点検・緊急改造

#### 【換気口の確保】

■ 現在設置されている他のGPS波浪計についても和歌山南西沖GPS波浪計と同様の構造であり、GPS波浪計内部に水素ガスが溜まっている可能性は否定できない。そのため、点検に先立ち換気口を設け、水素ガスを放出する。

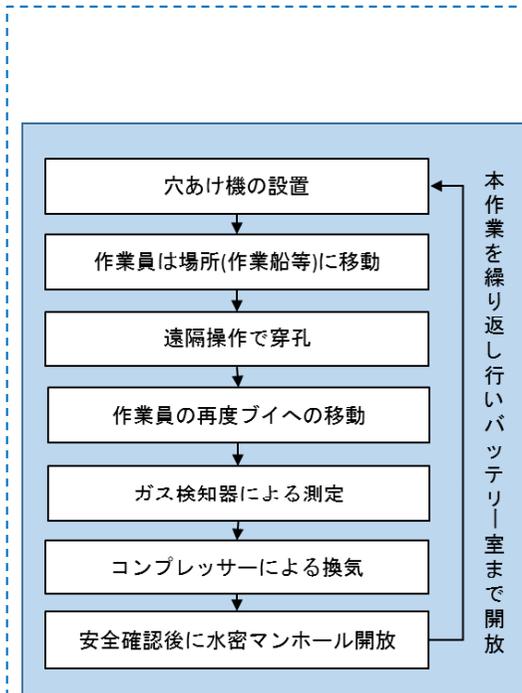


図-2 換気口穿孔工事手順イメージ

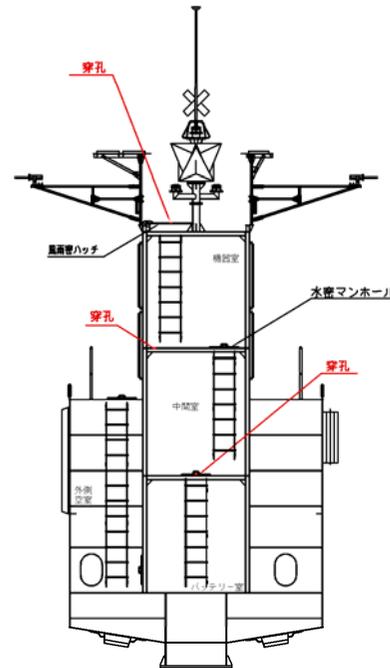


図-3 換気口設置イメージ

#### 【換気設備の設置】

■ 水素ガスが滞留していないことを確認した後、ブイ本体の水密性を確保しつつ、自然換気を行うための設備を設置する。

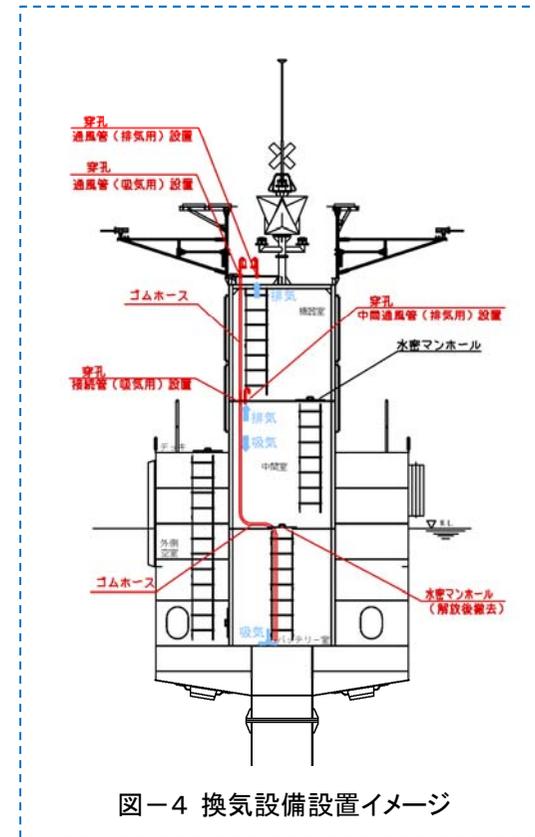


図-4 換気設備設置イメージ

### 保守・点検時の留意事項

■ 保守・点検時に、水素ガス測定、コンプレッサーによる換気、帯電防止仕様の装備の着用等を行う、また、蓄電池の健全度評価手法等を保守点検マニュアルに追記するなど、きめ細かな安全対策を講じた保守点検に取り組む。

和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故についての  
調査・検討に関する中間とりまとめ

平成29年6月30日

和歌山GPS波浪計事故調査・安全対策検討委員会

## 目 次

1. 委員会の調査・検討経過	2
1-1 委員会の設置	2
1-2 委員会の実施概要	2
2. GPS波浪計の概要	4
2-1 全国のGPS波浪計の設置状況	4
2-2 和歌山南西沖GPS波浪計の諸元	5
3. 和歌山南西沖GPS波浪計爆発事故の概要	8
3-1 爆発事故の概要	8
3-2 事故発生までの流れ	9
4. 現時点で想定される爆発要因	14
4-1 爆発物の推測	14
4-2 爆発に至る可燃性ガスの発生	20
4-3 鉛蓄電池からの水素ガスの発生	22
4-4 着火の要因	29
4-5 爆発要因のまとめ	35
5. 事故の再発防止に向けて	37
5-1 水密性と換気性の両方を備えた構造設計への転換	37
5-2 現在設置しているGPS波浪計の緊急点検・緊急改造	38
5-3 今後のGPS波浪計の保守・点検、更新時の留意事項	40
6. より一層の安全・技術の向上に向けて	41

はじめに

平成 29 年 2 月 21 日、陸上に引き揚げられ保管されていた和歌山南西沖 G P S 波浪計の不具合調査をブイ本体内部で実施中、バッテリー室において爆発が発生した。バッテリー室の水密マンホールの開放作業をしていた作業員 1 名が死亡し、デッキ上でブイ本体内部の作業を監視していた 1 名が負傷した。

この事故発生を受け、事故の原因究明及び再発防止に向けた検討を行うことを目的に、「和歌山 G P S 波浪計事故調査・安全対策検討委員会」を平成 29 年 3 月 16 日に設置した。

委員は 4 名の有識者からなり、これまで 2 回の委員会と 1 回の現地調査を行った。委員会では、関係者から提供された資料をもとに、G P S 波浪計の構造や事故発生時の作業状況を把握した上で、現地において、G P S 波浪計や蓄電池の状況を確認し、爆発事故の原因の検討を行ってきた。さらに、その検討をもとに、事故の再発防止、保守・点検時の安全対策を検討した。

本報告は、本委員会として本件事故に関して現時点までに得られた情報を分析・検討した結果を「中間とりまとめ」としてまとめ、全国の G P S 波浪計での保守・点検時等の安全対策に資するものである。

## 1. 委員会の調査・検討経過

### 1-1 委員会の設置

事故原因の究明及び再発防止に向けた検討を行うため、有識者で構成する「和歌山GPS波浪計事故調査・安全対策検討委員会」を平成29年3月16日に設置した。

#### 【委員名簿】

委員長	高山 知司	京都大学 名誉教授
委員	河合 弘泰	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域長
	田村 裕之	総務省 消防庁 消防大学校 消防研究センター 大規模火災研究室長
	山口 義彰	一般社団法人 電池工業会 二次電池部会 技術委員会 委員
事務局	国土交通省 近畿地方整備局 港湾空港部	

### 1-2 委員会の実施概要

(1) 第1回委員会（平成29年3月16日（木） 14:00～16:00）

#### ○ 議事

- 1) 委員会規約の確認
- 2) 和歌山南西沖GPS波浪計の概要
- 3) 和歌山下津港における爆発事故の概要
- 4) 和歌山GPS波浪計の保守・点検の実施状況
- 5) 事故原因の究明に向けた調査の視点
- 6) 今後の委員会開催スケジュール

#### ○ 議事概要

- ・「和歌山GPS波浪計事故調査・安全対策検討委員会」規約（案）を了承した。
- ・「GPS波浪計の概要」と「爆発事故の概要」、「保守・点検の実施状況」を事務局から説明後、質疑応答を行った。
- ・事故原因の究明に向けて、可燃性ガスの発生要因、発火要因に対する調査の視点を整理した。
- ・2ヶ月後を目処に中間とりまとめを行うことが了承された。
- ・各委員が出した意見については、次回委員会までに事務局が対応することとなった。

(2) 現地調査（平成 29 年 4 月 6 日（木）、平成 29 年 4 月 7 日（金））

- 三重県名張市内のバッテリー工場において、回収された蓄電池の破損状況を確認した。
- 和歌山下津港において、波浪計の損傷状況、内部構造の状況を確認。また、作業で使用した同規格の作業服等の漏洩抵抗を計測し、帯電のしやすさを調べた。

(3) 第 2 回委員会（平成 29 年 6 月 7 日（水） 14：00～ 16：00）

○ 議事

- 1) 第 1 回委員会及び現地調査時における意見への対応について
- 2) 爆発事故の原因について
- 3) 保守・点検時の安全対策について
- 4) 中間とりまとめ（案）について

○ 議事概要

- ・ 第 1 回委員会の委員からの意見等に対し、事務局が回答を行った。
- ・ 現地視察等の結果を踏まえ、爆発の原因として、蓄電池から放出された水素ガスへの着火の可能性について審議した。
- ・ 現在稼働中の 17 基の GPS 波浪計の緊急点検、緊急改造の方法について審議した。
- ・ 爆発の原因等についての中間とりまとめを、6 月末を目途に公表することとした。
- ・ 第 2 回委員会における委員の指摘、意見等の中間とりまとめへの反映については、委員長に一任された。

## 2. GPS波浪計の概要

### 2-1 全国のGPS波浪計の設置状況

GPS波浪計とは、GPS衛星を用いて沖合に浮かべたブイの上下動を計測し、波浪や潮汐等の海面変動を直接観測する海象観測機器である。

国土交通省港湾局では、効率的な港湾整備に必要な沖合情報を取得するため、このGPS波浪計を平成28年12月時点で全国に18カ所設置（図2-1）していた。

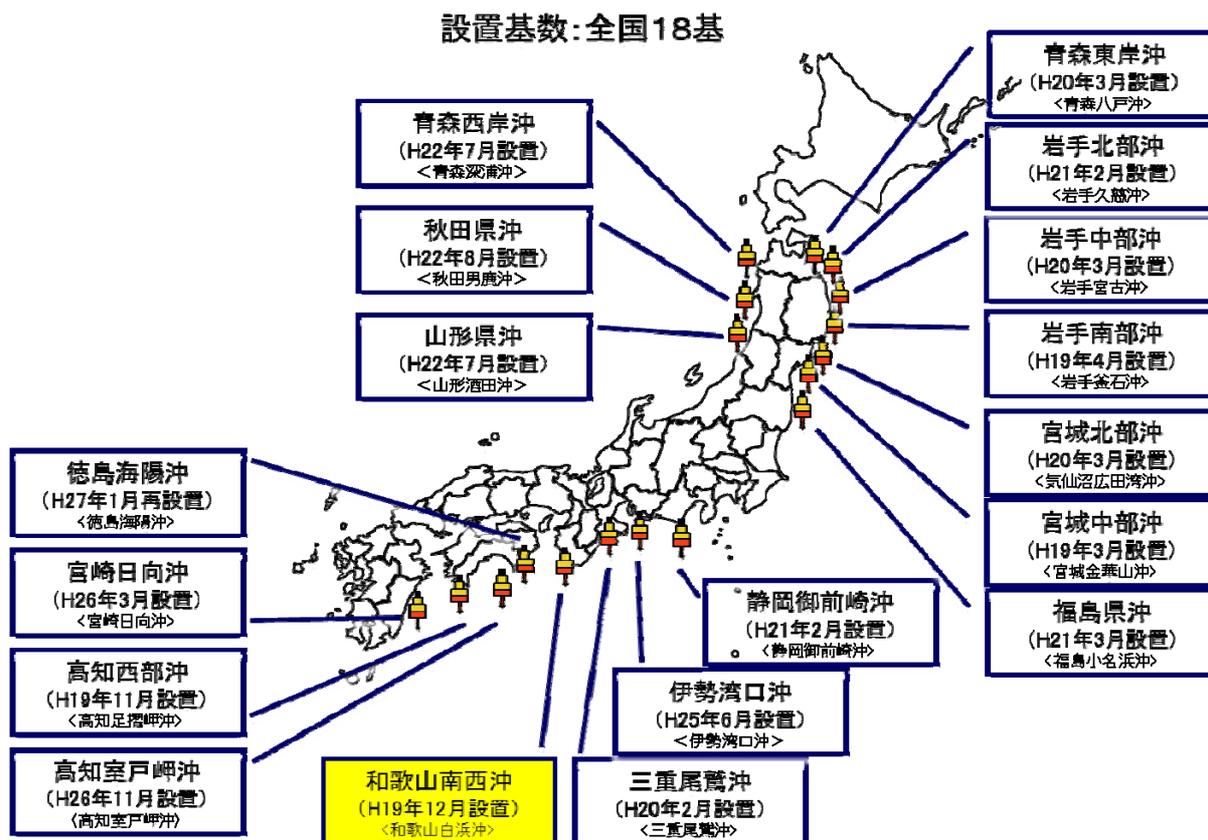


図2-1 GPS波浪計設置状況（平成28年12月現在）

GPS波浪計は地震発生時には津波の観測も可能であることから、観測データは気象庁に提供されており、沿岸域での防災対策にも広く活用されている。東日本大震災では、東北地方太平洋に設置している複数の波浪計で、沿岸に到達する約10分前に6mを超える津波を沖合で観測し、気象庁において津波警報の切り替えに活用された。

また、リアルタイムナウファス<sup>1</sup>において全国の波浪観測情報をリアルタイムで提供している。

<sup>1</sup> リアルタイムナウファスとは、ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網：NOWPHAS：Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS：国土交通省港湾局・各地方整備局・北海道開発局・沖縄総合事務局・国土技術政策総合研究所および港湾空港技術研究所の相互協力のもとに構築・運営されている我が国沿岸の波浪情報網）で観測された波浪や潮位を表示するウェブサイトであり、一般に公開されている。

## 2-2 和歌山南西沖 GPS 波浪計の諸元

GPS 波浪計の諸元と主な構成部材の規格を表 2-1 に示し、各構成部材の名称を図 2-2 に示す。

表 2-1 GPS 波浪計の諸元

名称	規格・形状	重量	備考
ブイ本体	直径 5.0m × 高さ 16.4m (アンテナ除く)	45.9t	機器類含む
係留索 (全長 389m)	係留環接続部 (φ122) × 3.0m φ76mm チェーン (G3) × 55m φ73mm チェーン (G3) × 56m φ70mm チェーン (G3) × 56m φ108mm チェーン (G3) × 72m φ84mm チェーン (G3) × 147m	65.6t	
アンカー	ダンフォース型	19.0t	

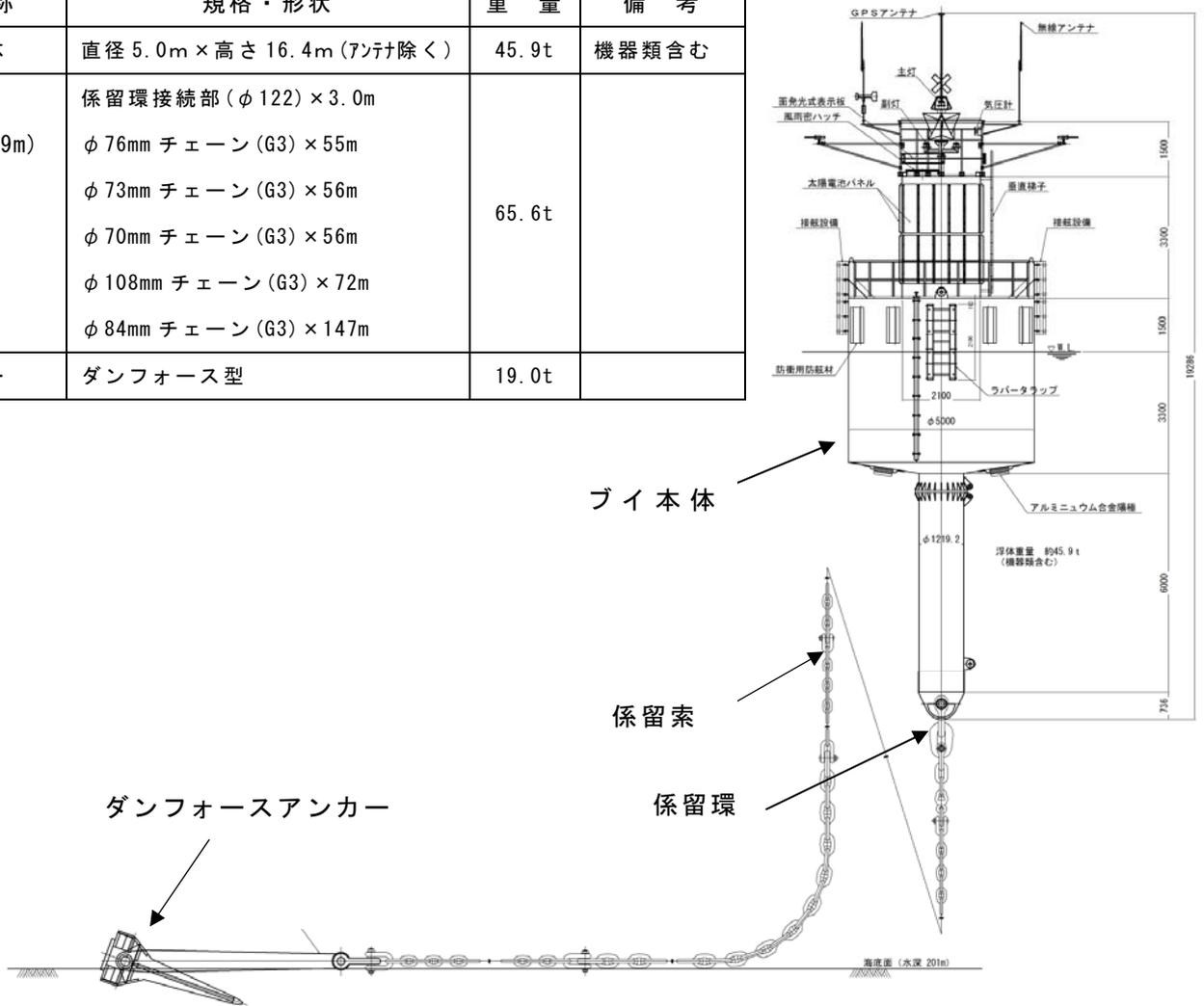


図 2-2 GPS 波浪計の構成部材名称

図 2-3 に構造断面図を示す。

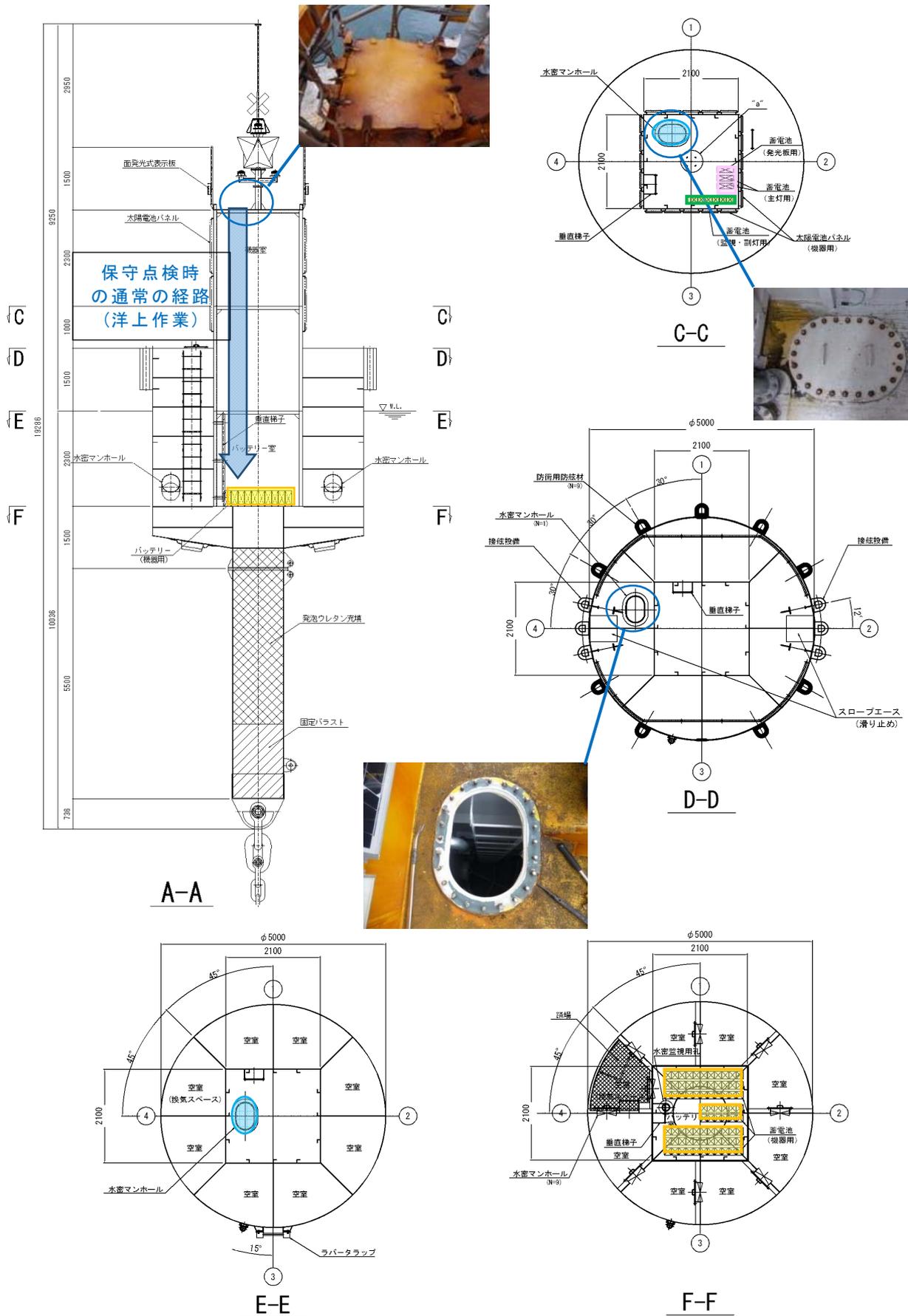


図 2 - 3 GPS 波浪計の構造断面図

G P S 波浪計に搭載されていた主な機器類の諸元を表 2 - 2 に、蓄電池の詳細を図 2 - 4 に示す。

表 2 - 2 G P S 波浪計の主な搭載機器

機器名称	規格・形状	
太陽電池 パネル	システム用	HT136-MRN/ND/B (通常) 出力 55W 5 枚×2 段×4 面=40 枚 HT136-T6-XF-MRN (強化型)
	主灯用	ZK-36M530B 1 枚
	監視機器、副灯用	ZK-36M530B 3 枚
	面発光式表示灯	ZK-36M260B 1 枚
蓄電池	システム用	MSJ-300 6 直列×13 並列=78 個 (バッテリー室)
	主灯用	MSJ-50-12 2 並列=2 個 (機器室)
	監視機器、副灯用	MSJ-300 6 直列=6 個 (機器室)
	面発光式表示板用	MSJ-50-12 1 個 (機器室)
アンテナ	G P S 用アンテナ	TrimbleZEPHYR 1 本
	無線アンテナ	VM-230-21P 2 本

**MSJシリーズ 長寿命タイプ制御弁式据置鉛蓄電池 (日立化成株式会社)**



写真はイメージです  
Hitachi Chemical

**MSJ-50-12**  
箱高さ 19cm  
長さ 36.3cm  
幅 12.8cm  
質量 約22kg  
電圧 12V



**MSJ-300**  
箱高さ 33cm  
長さ 15cm  
幅 17cm  
質量 約21kg  
電圧 2V

日立バッテリー販売サービスより  
<http://www.hitachi-bss.co.jp/product/battery/deferred/>

図 2 - 4 搭載されていた蓄電池

取替時期の目安	蓄電池温度	25°C 以下	13~15 年
(MSJ-300)	30°C		9.1~10.5 年
	35°C		6.5~7.5 年
	40°C		4.6~5.3 年

上記の取替時期の目安は、満充電に近い状態を保ちながら、停電時などの非常時に使用するスタンバイユースの場合である。充電と放電を繰り返すサイクルユースの場合は、一般に上記の取替時期の目安よりも蓄電池の寿命は短くなる。

### 3. 和歌山南西沖 GPS 波浪計爆発事故の概要

#### 3-1 爆発事故の概要

近畿地方整備局は、和歌山県白浜沖の沖合約 17km の海上に設置していたブイ式の GPS 波浪計に不具合（電圧低下による機器の停止）が生じたため、平成 28 年 12 月 18 日に引き揚げ、和歌山下津港 西浜ヤード（図 3-1 参照）に保管していた。

製造メーカーである日立造船（株）は、現地にて平成 29 年 2 月 21 日から調査を実施し、作業員がブイ本体内部にてバッテリー室の水密マンホールの開放作業をしていたところ爆発が発生し、1 名が死亡、1 名が負傷した。

○発生日時：平成 29 年 2 月 21 日（火）14 時 45 分頃

○発生場所：和歌山下津港 西浜ヤード



図 3-1 事故発生箇所（西浜ヤード）位置図

事故発生後の現場状況写真を写真 3-1 に示す。



写真 3-1 事故発生後の現場状況

### 3-2 事故発生までの流れ

#### (1) 事故当日の調査概要

和歌山下津港に陸揚げされていたGPS波浪計は、電源システムの故障により遠隔監視できなくなったことから、灯火異常・波浪計流出などに起因する船舶衝突事故を防止するために緊急的に引き揚げられたものである。

調査は、この電源システム故障の原因究明及び波浪計の現状把握を行うことを目的に行う計画であった。調査計画の概要は以下のとおりである。

#### 【調査内容】

##### ○ブイ本体

- ・ 外観確認（目視による凹み、キズ、腐食、その他の確認）
- ・ 内観確認（目視による凹み、キズ、腐食、その他の確認）
- ・ 塗膜厚計測（専用計測機器を用いて計測）
- ・ 鋼板厚計測（専用計測機器を用いて計測）
- ・ 寸法計測（アルミニウム合金陽極、係留環の寸法計測）
- ・ 重量計測（アルミニウム合金陽極の重量を計測）

##### ○係留設備

- ・ 外観確認（目視によるチェーン、アンカーの腐食、キズ等の確認）
- ・ 寸法計測（専用計測機器を用いて、チェーン、アンカーの寸法計測）
- ・ 残存強度試験（引張試験による切断時の荷重計測）
- ・ 断面観察（チェーンを切断し、切断面を観察）

##### ○機器類

- ・ ブイ外部機器確認（目視による外部機器の腐食、キズ等の確認）
- ・ ブイ内部機器確認（目視による内部機器の腐食、キズ等の確認）
- ・ 電圧計測（電圧計による太陽電池パネルの電圧計測）
- ・ 蓄電池調査（放電試験等）

(2) 事故発生までの流れ

爆発事故が発生した平成29年2月21日の作業の流れは以下のとおりである。

(気象条件(13時時点): 天気/晴れ、気温/7℃、湿度/40%)

※事故当日の記載内容については、関係者からの聞き取りから推定・整理したもの

- 【当日の作業内容】
- ・ブイ内の換気
  - ・外観調査

① 13:30 (調査開始)

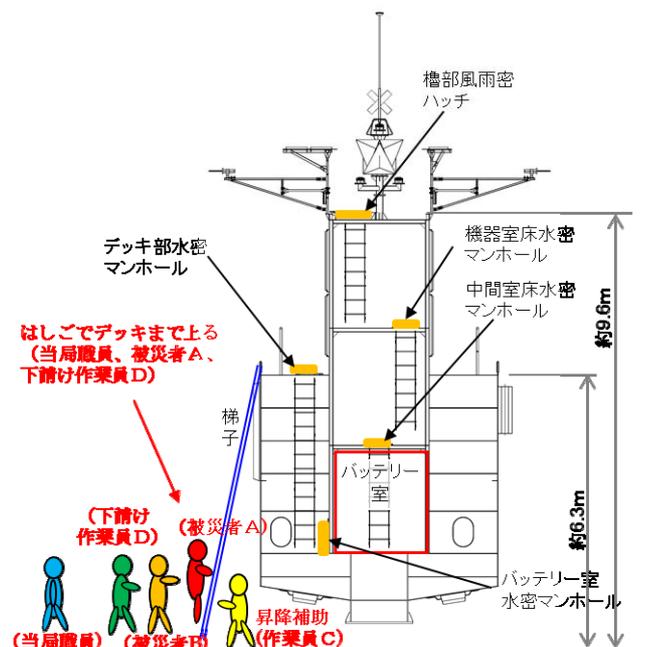


図3-2(1) 作業内容(調査開始)

② 13:40 (工具搬入)

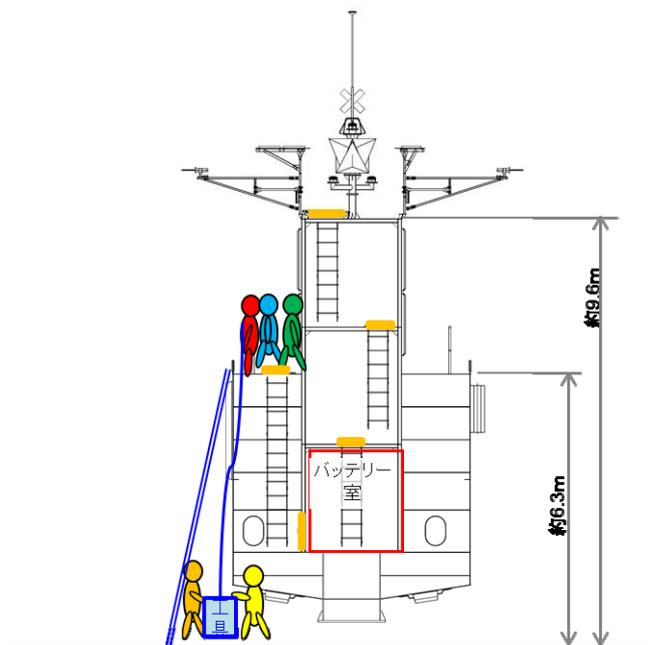


図3-2(2) 作業内容(工具搬入)

③ 13:50 (デッキ部水密マンホール開放作業)

保守・点検時の通常の経路とは異なるデッキ部水密マンホールより入室

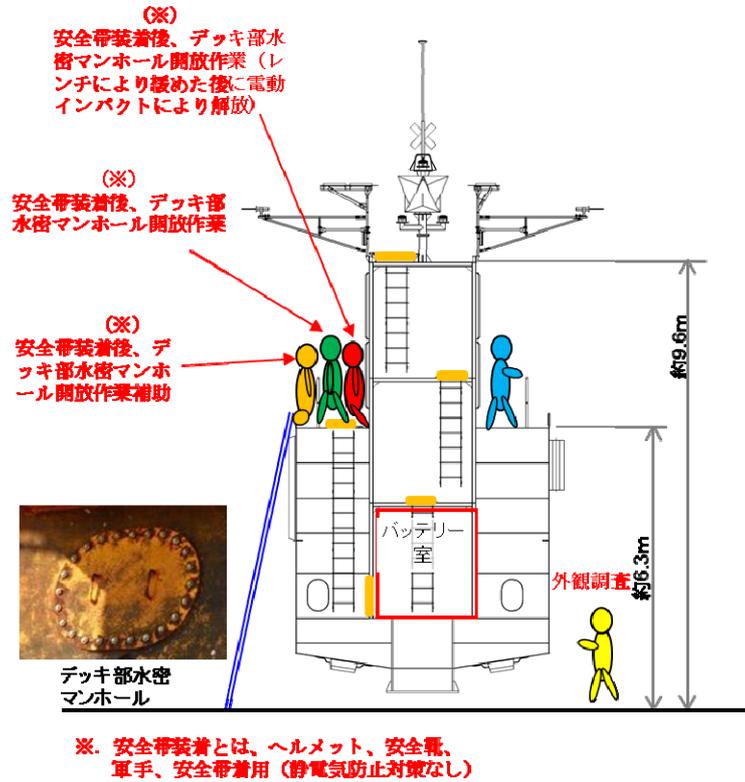


図 3 - 2 ( 3 ) 作業内容 (デッキ部水密マンホール開放作業)

④ 14:25 (酸素濃度確認)

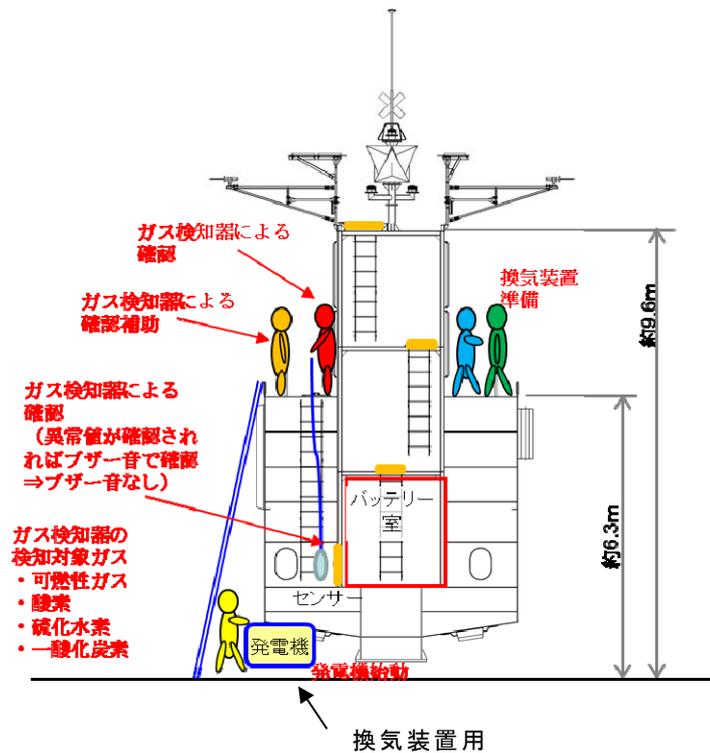


図 3 - 2 ( 4 ) 作業内容 (酸素濃度確認)

⑤ 14 : 25 (換気)

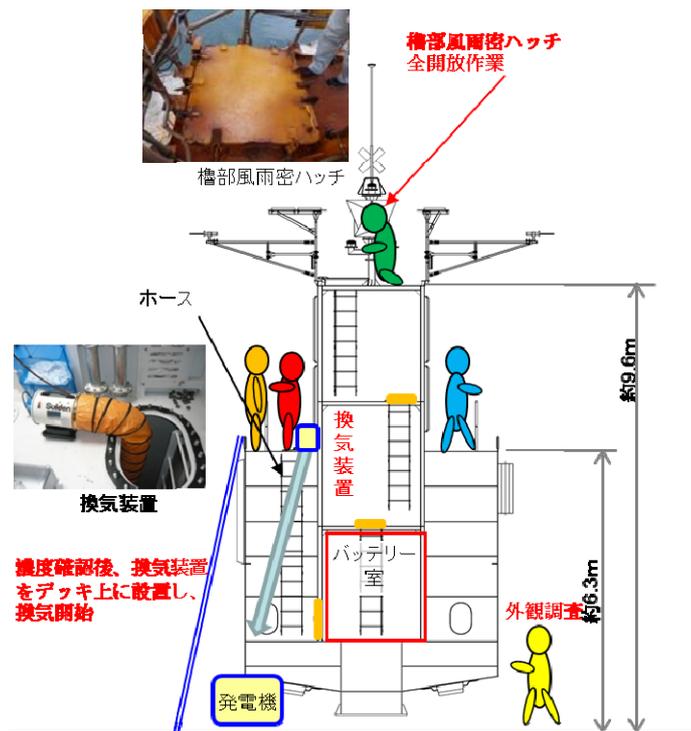


図 3 - 2 ( 5 ) 作業内容 (換気)

⑥ 14 : 30 (バッテリー室水密マンホール開放作業)

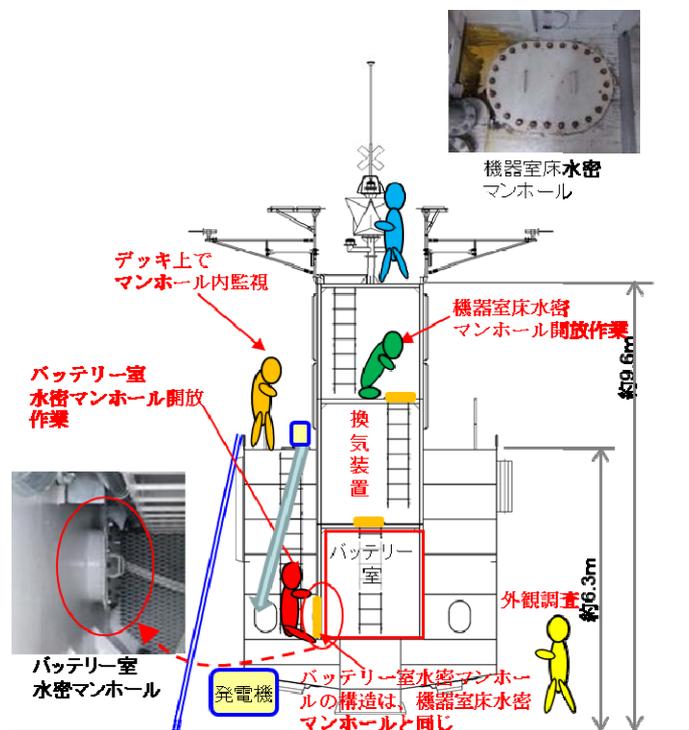


図 3 - 2 ( 6 ) 作業内容 (バッテリー室水密マンホール開放作業)

⑦ 14:45 ごろ（事故発生：バッテリー室から爆発・火災）

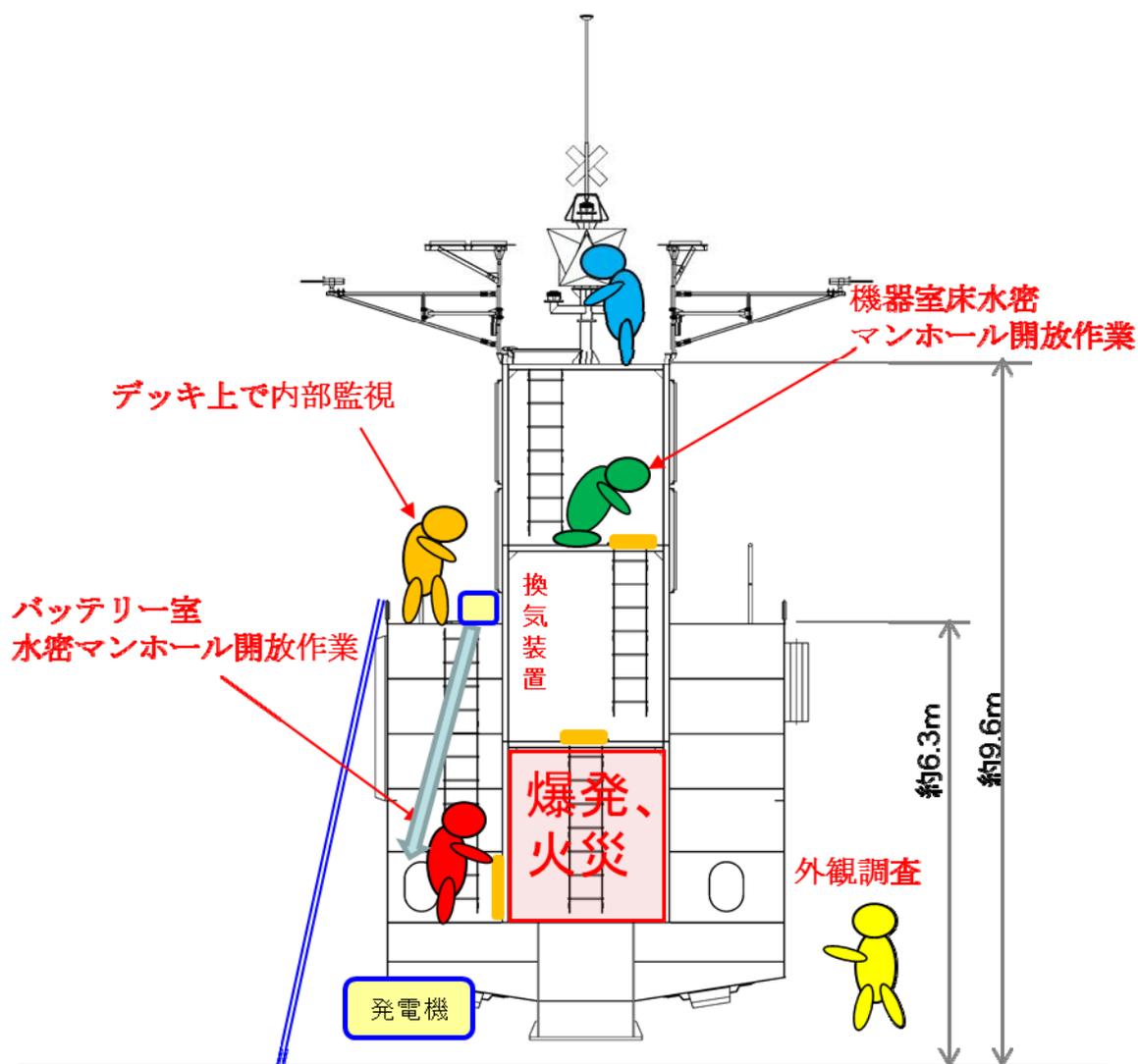


図 3 - 2 ( 7 ) 作業内容（事故発生）

⑧ 15:20（消防による鎮火）

⑨ 15:22（消防による被災者 A の死亡を確認）

【人的被害状況】

ブイ内部で作業をしていた被災者 A は死亡（外傷性ショック）を消防により確認。デッキ上で内部の作業を監視していた被災者 B はブイの外へ飛ばされ負傷（顔面挫傷、両前腕打撲、右下腿打撲、左角膜炎）救急搬送された。

また、デッキ上で作業していた被災者 B は安全帯を使用していたため、爆風で飛ばされたがデッキ上の手すりに安全帯でつながっており、地上には落下しなかった。

## 4. 現時点で想定される爆発要因

### 4-1 爆発物の推測

#### (1) バッテリー室の設備

バッテリー室は、図4-1に示すブイ本体の3層構造の最下層に位置している。また、バッテリー室は、ブイの外壁とは空室により隔てられた構造になっている（ダブルハル構造）。

同じく、蓄電池の配置も図4-1に示すとおりであり、バッテリー室内には、蓄電池以外の機器は設置していない。

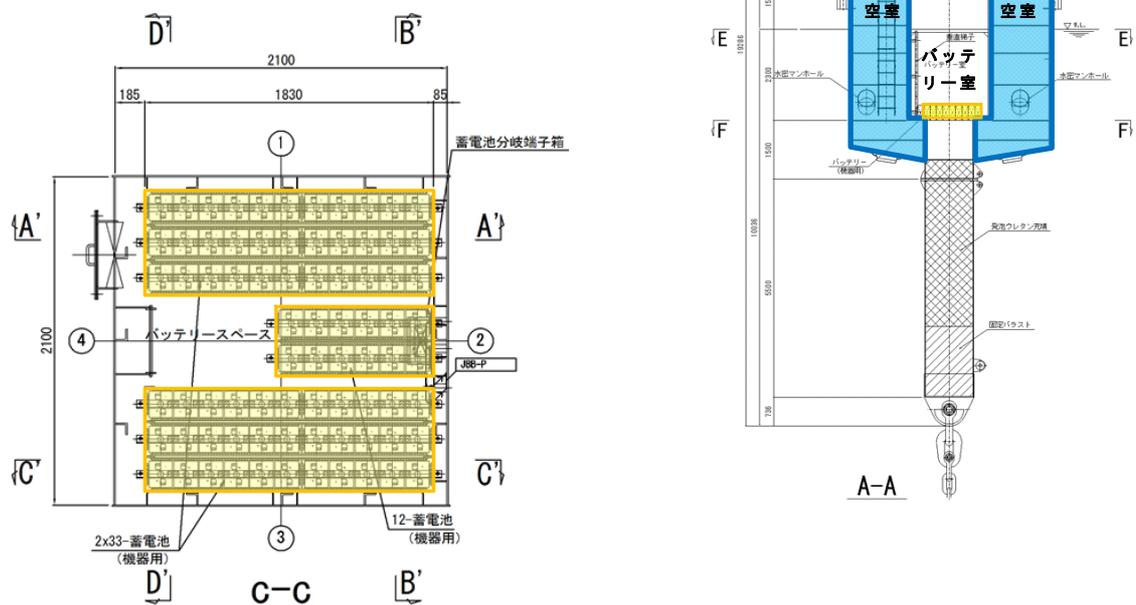


図4-1 バッテリー室と蓄電池の配置

#### (2) 鉛蓄電池からの可燃性ガス発生の可能性

##### ① 鉛蓄電池の基本的な作動原理

バッテリー室に設置していた鉛蓄電池の放電や充電は、その内部にある正極板（二酸化鉛）と負極板（金属鉛）及び電解液（希硫酸）の間で電子を移動させることで行われる。その作動の仕組みを図4-2に模式化して示す。

##### 【放電反応】

正極板と負極板は図のように希硫酸（水、硫酸イオン、水素イオン）に浸されている。その起電力は1セル当たり約2.1Vであり、以下の反応によって放電が生じる。

[負極] 金属鉛 (Pb) と硫酸イオン ( $SO_4^{2-}$ ) が反応して、硫酸鉛 ( $PbSO_4$ ) が生成し、その時にできた電子が機器を通過して正極側へ移動する。

[正極] 負極から移動してきた電子と二酸化鉛 ( $PbO_2$ ) 及び硫酸イオン ( $SO_4^{2-}$ ) が反応して、硫酸鉛 ( $PbSO_4$ ) が生成する。その際、二酸化鉛中にあった酸素イオンと電解液中の水素イオンが反応して、水が生成する。

## 【充電反応】

充電を行う場合は、充電装置の正極と負極を、それぞれ鉛蓄電池の正極と負極の端子に接続してから電流を流すことで充電反応が開始する。鉛蓄電池の充電反応は前記放電反応の真逆の反応であり、負極では硫酸鉛が金属鉛と硫酸イオンに、正極では硫酸鉛が二酸化鉛と硫酸イオンに変化する。なお、この充電を行う際の充電装置の電圧は、鉛蓄電池の起電力より少し高い、1セル当り 2.2~2.4V 程度とするのが一般的である。

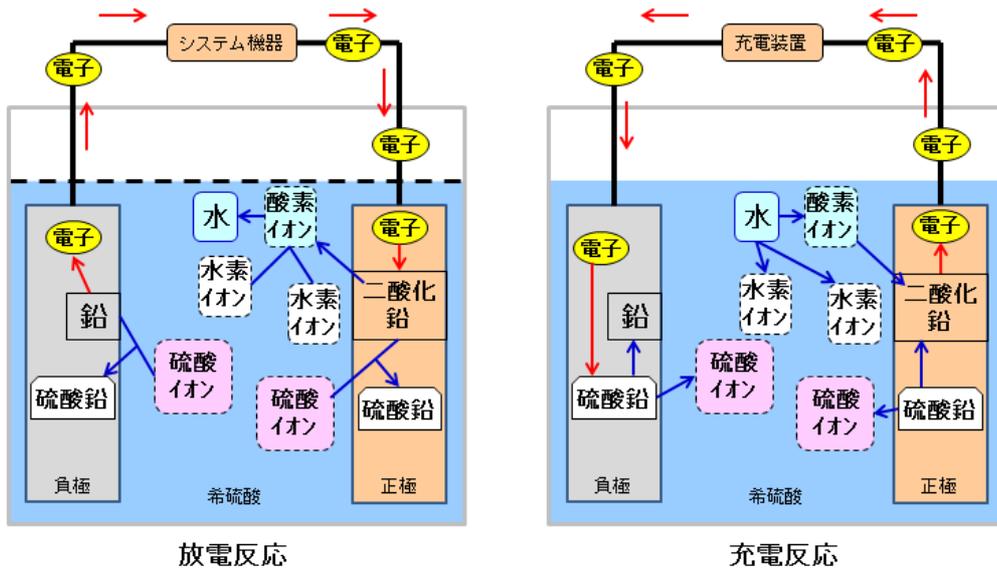


図 4-2 鉛蓄電池の放電・充電の仕組み

## ② 充電時における可燃性ガス発生と制御弁式鉛蓄電池の原理

鉛蓄電池は、希硫酸を電解液としているため、正極及び負極の充電が完了する頃から水の電気分解がその副反応として起こり、正極板から酸素ガスが負極板から水素ガスが発生する。この鉛蓄電池で生じるガス発生の反応を、図 4-3 の左側に模式化して示している。このように、一般的な鉛蓄電池において過剰な充電が行われた際には、電解液中の水が分解されて、酸素ガスと水素ガスが発生し電解液が減少する。

一方、バッテリー室に設置していた鉛蓄電池は、鉛蓄電池のうちガス発生を抑える仕組みを有する、「制御弁式鉛蓄電池」を採用している。そのガス発生抑制の原理を模式化したものを図 4-3 の右側に、具体的な構造を図 4-4 に示している。

制御弁式鉛蓄電池では、正極と負極を隔てるセパレータ(隔離板)に微細ガラスマット(図 4-4 ではリテーナと称している)を用い、電解液をその微細ガラスマットに保持させている。この微細ガラスマット中には細かい空隙が多数有るため、過充電時に正極で発生した酸素(図 4-3 の右図①~②: 以下同様)がその空隙を通過して負極に移動することができる(②~③)。負極表面まで移動した酸素は、金属鉛と即座に反応して酸化鉛となり負極板に吸収される(③)。生成した酸化鉛は、電解液中の硫酸イオンと反応して硫酸鉛に変化する(④)と同時に、酸化鉛中の酸素イオンは水素イオンと反応して水に戻る(⑤)。なお、④でできた硫酸鉛は通常の充電と同じ反応によって金属鉛と硫酸イオンに戻る(⑥)。このように、制御弁式鉛蓄電池では、正極で発生した酸素ガスが負極において再度水に戻

るため、原理上ではガスの発生が無く、電解液（水）の減少も生じない。

しかしながら、これらは化学的な反応を利用しているため、その反応効率は必ずしも100%とはならず、通常の使用においても僅かではあるが酸素ガスや水素ガスが発生することがある。また、蓄電池の能力を超えるような大きな電流で充電された場合や、電池内部に何らかの故障があった場合には、その内部で大量の酸素ガス、水素ガスが発生する可能性がある。このような場合、内部の圧力が上昇して蓄電池自身が破損するのを防止するため、制御（安全）弁が作動しガスが蓄電池外部へ放出される。

今回の爆発事故においては、制御弁から水素ガスが放出されていた可能性が考えられる。

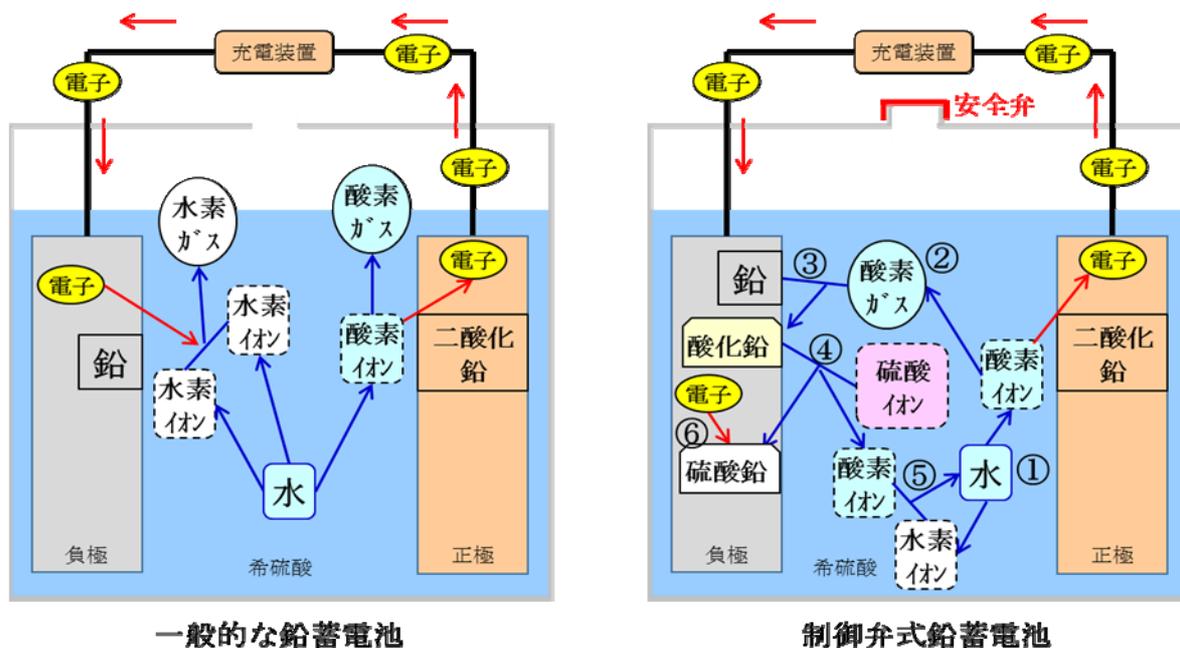


図 4 - 3 一般的な鉛蓄電池と制御弁式鉛蓄電池の充電時の原理

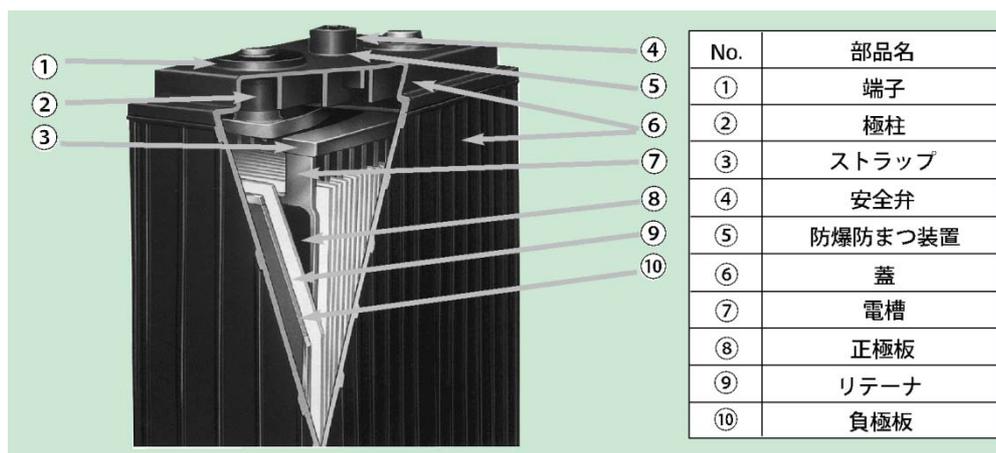


図 4 - 4 蓄電池の構造（制御弁式鉛蓄電池）

（出典：新神戸テクニカルレポート No.14(2004-2)より）

（3） 電解液と金属との反応による可燃性ガス発生の可能性

鉛蓄電池の電解液には希硫酸を使用している。今回のGPS波浪計で使用していた制御

弁式鉛蓄電池は、正極と負極を隔てる微細ガラスマットセパレータに電解液を保持する方式をとった構造のものである。そのため、蓄電池自体に何らかの異常（衝撃、劣化等）が発生しても、電解液が大量に外部に流れ出すことは考えにくい。電解液が少量外部に漏れ出し、ブイ本体の金属との反応により可燃性ガスとなる水素ガスが放出された可能性が考えられる。

前記の可能性について検証するため、現地の状況を以下のとおり整理する。

#### ① 制御弁式鉛蓄電池の固定状況

制御弁式鉛蓄電池は写真に示すようにバッテリー室の床に固定されている状況（写真4-1参照）であった。蓄電池は、波浪計の設置時及び高波浪時の動揺を想定し、確実に固定されていたことから、蓄電池の転倒などにより破損が発生した可能性は極めて低い。



写真4-1 制御弁式鉛蓄電池の固定状況（H28.3撮影）

#### ② バッテリー室及び回収した制御弁式鉛蓄電池の状況

爆発事故後、バッテリー室内の床を確認したところ、汚れはあるものの腐食は見られなかった。（写真4-2参照）



写真4-2 バッテリー室及び回収した制御弁式鉛蓄電池の状況

また、蓄電池 78 個（6 直列×13 並列）中 21 個に、側面に割れまたはスジが見られた。  
（写真 4－3 参照）

本来、正常な鉛蓄電池は内部が負圧（電池内部の気圧<外気圧）の状態である。そのため、割れまたはスジの程度については、制御弁の状態により負圧の有無を確認している。その結果、蓄電池番号 7-4、10-6、12-5、13-1、13-6 は負圧になっていないことから、蓄電池側面の割れが貫通していると考えられる。それ以外は負圧になっており、割れは貫通していないと考えられる。（図 4－5 参照）

なお、割れまたはスジは、水素爆発による外部空間の圧力上昇が原因で、蓄電池外部から内部方向に向かって応力が加わり生じたものと考えられる。



写真 4－3 回収した蓄電池側面の割れ状況

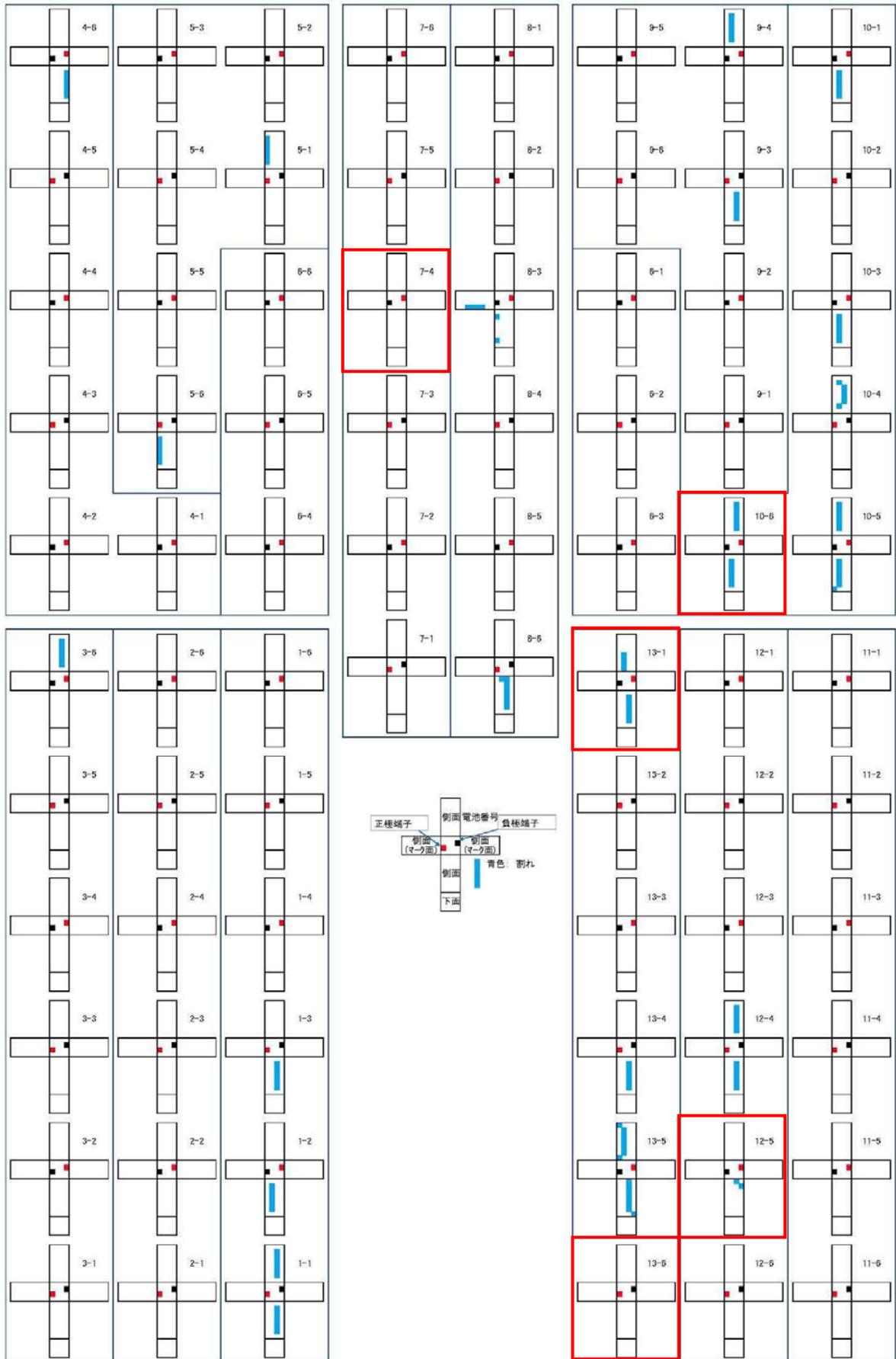


図 4 - 5 バッテリー損傷状況位置図

さらに、制御弁式鉛蓄電池の制御弁部分について、電解液の放出がなかったかを確認するためpH値を測定した。

蓄電池頂部のシミを pH 試験紙で確認したところ、試験紙の色は緑色（pH 値 7）で中性に近い状態であった。電解液が付着していた場合はオレンジ色（酸性）に変色する。よって、制御弁から電解液の噴出はなかったと考えられる。



写真4-4 pH試験紙での試験

以上より、バッテリー室の腐食、蓄電池からの電解液の放出が確認されなかった現場状況等から判断して、電解液の外部漏出に伴う金属の腐食という現象が発生していたとは考えにくい。換言すれば、今回の爆発事故においては、電解液と金属との反応による水素ガスが発生した可能性はないと推測される。

#### 4-2 爆発に至る可燃性ガスの発生

##### (1) 可燃性ガスの爆発限界

可燃性ガスである水素はもっとも小さい分子で、大気中に排出されてもすぐに拡散する。また、毒性も臭いもなく、水素単体では引火性も発火性もない物質である。

水素を酸素と混合した場合、着火により燃焼し爆発を引き起こすが、その爆発限界となる濃度は4%~75%であり、水素濃度が体積当たり4%を超えない限り燃焼も爆発もしない。バッテリー室の容積及び濃度4%となる水素発生量は以下のとおり試算できる。

<バッテリー室寸法>

$$2.1\text{m} \times 2.1\text{m} \times 2.3\text{m} = 10.143\text{ m}^3 \quad \dots \quad 4\% \text{の体積} = \text{約} 0.4\text{ m}^3 \rightarrow \text{約} 400\text{L}$$

(2) 可燃性ガスの発生量の試算

事故後の蓄電池重量より、発生した水素の体積を試算した。

G P S 波浪計を設置した平成 19 年当時の蓄電池の総重量 1,623.18kg (=20.810kg/個 × 78 個) と爆発事故後の蓄電池との重量差から、電解液の推定減液量を推計した。

その結果、蓄電池全体では、減液量は 35.622kg と推計された。この減液量がすべてガスに変わったと仮定した場合、

水 (H<sub>2</sub>O) 1mol は 18g であることから、35.622kg=1,979mol。

反応式 (2H<sub>2</sub>O→2H<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>) より、水 2mol から水素ガス 2mol が発生する。よって、水 1,979mol から水素ガス 1,979mol が発生する。

25℃、1 気圧とすると気体 1mol の体積は 24.5L であることから、1,979mol だと、48,490L となり、最大で 48,490L の水素ガスが発生したと推計できる。この体積はバッテリー室の容積 (10,143L) の 4 倍程度に相当する。

なお、蓄電池は爆発事故時点まで電解液の補充は行われず、また平成 23 年以降、3 度バッテリー室を開放していることから、事故当日にバッテリー室に滞留していた水素ガスの量は、上記の数値以下であるとしても具体的な発生量を推定することは困難である。

### 4-3 鉛蓄電池からの水素ガスの発生

#### (1) 鉛蓄電池の設置環境

鉛蓄電池の寿命は、温度変化により左右されると言われている。ここでは、鉛蓄電池の設置環境として、室内の温度変化について整理する。実際には、バッテリー室内の温度は計測していないため、機器室内の室温及び海水温から推測する。機器室内の温度、海水温の変化を図4-6に示す。夏場は機器室内の最高気温は30℃以上の高温が続いており、冬場は最低室温が5℃を下回るような時もある。一方、海水温については夏場、昼夜問わず25~30℃で、冬場は15~20℃で安定して推移している。バッテリー室は機器室より下層で海面付近若しくは海面下となることから、機器室内の室温よりは海水温に近い温度で安定していたと考えられる。つまり、温度面からは鉛蓄電池の設置環境に問題はなかったと推測される。

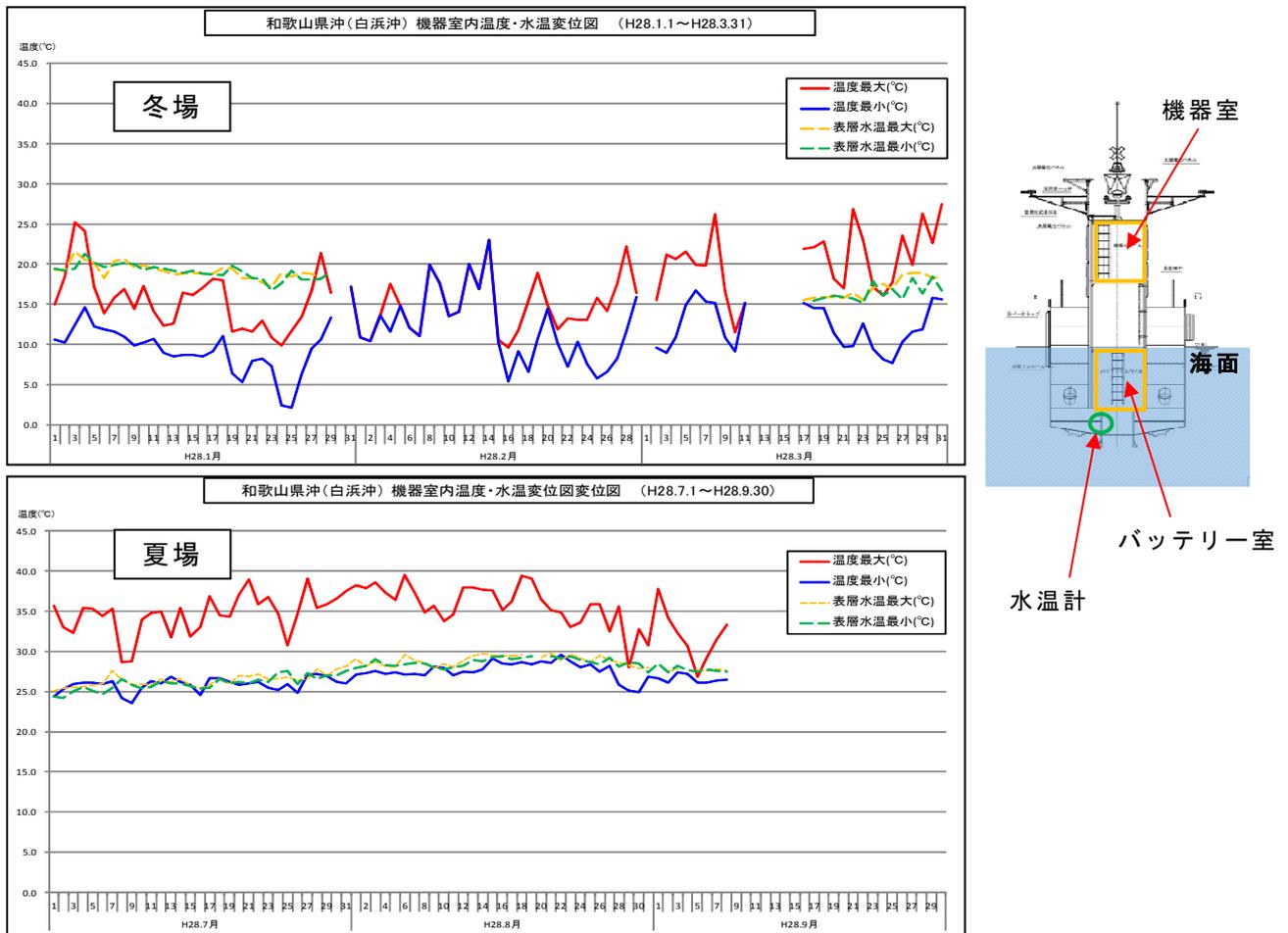


図4-6 機器室内温度・海水温の時系列変化  
(冬場：H28.1~H28.3、夏場：H28.7~H28.9)

#### (2) 鉛蓄電池の劣化

##### ① 解体調査による確認

今回の鉛蓄電池は設置から9年が経過しており、充放電を繰り返すサイクルユースでの使用等様々な要因により、一部の鉛蓄電池の劣化等が進行し、機能喪失していた可能性が

ある。

中間とりまとめ時点において、鉛蓄電池 2 個を解体調査したところ、正極板の伸びが著しく寿命超過の状態であることが確認された。

また、デンドライトショート<sup>2</sup>、熱逸走<sup>3</sup>の痕跡は認められなかった。したがって、鉛蓄電池の機能喪失は劣化による寿命超過であり、内部損傷・故障による水素ガス漏洩の可能性は低いと考えられる。

## ② システム電圧による確認

図 4-7 に平成 22 年 1 月以降のシステム電圧の変化を時系列で示す。

G P S 波浪計の運用が開始された平成 19 年 12 月から平成 23 年前半まではシステム電圧に大きな異常は見られない。

平成 23 年前半にブイの異常動揺（ブイの上下振動が頭打ちとなっているように見られる現象）、太陽電池パネルの損傷が確認されており、これ以降、合計 8 回の太陽電池パネルの交換を行っている。

平成 25 年に入ってから最低電圧が 12V 以下の状態が継続しており、充電量が放電量を下回る過放電状態が生じていた可能性がある。このシステム電圧は、上記太陽電池パネルの交換等により、平成 26 年後半から回復の傾向が見られるが、平成 28 年 6 月以降何らかの要因で急激に下がり、同年 8 月に観測停止の状態となった。このため直ちに陸揚げ手続きを開始し、同年 12 月にブイの引き揚げを行い、充電を停止した。

---

<sup>2</sup> デンドライトショートとは、電極板の材質（鉛、亜鉛等）が化学反応によって、針状の結晶を生成し、正極と負極を隔離するセパレータを貫通し、ショートを引き起こすこと。

<sup>3</sup> 熱逸走とは、低電圧充電などで設定電圧が高すぎたり、電池温度が非常に高くなったりした場合に充電電流が増加し、それに応じて温度がますます上昇する悪循環が生じること。最悪の場合には高温のため電池が破損する。

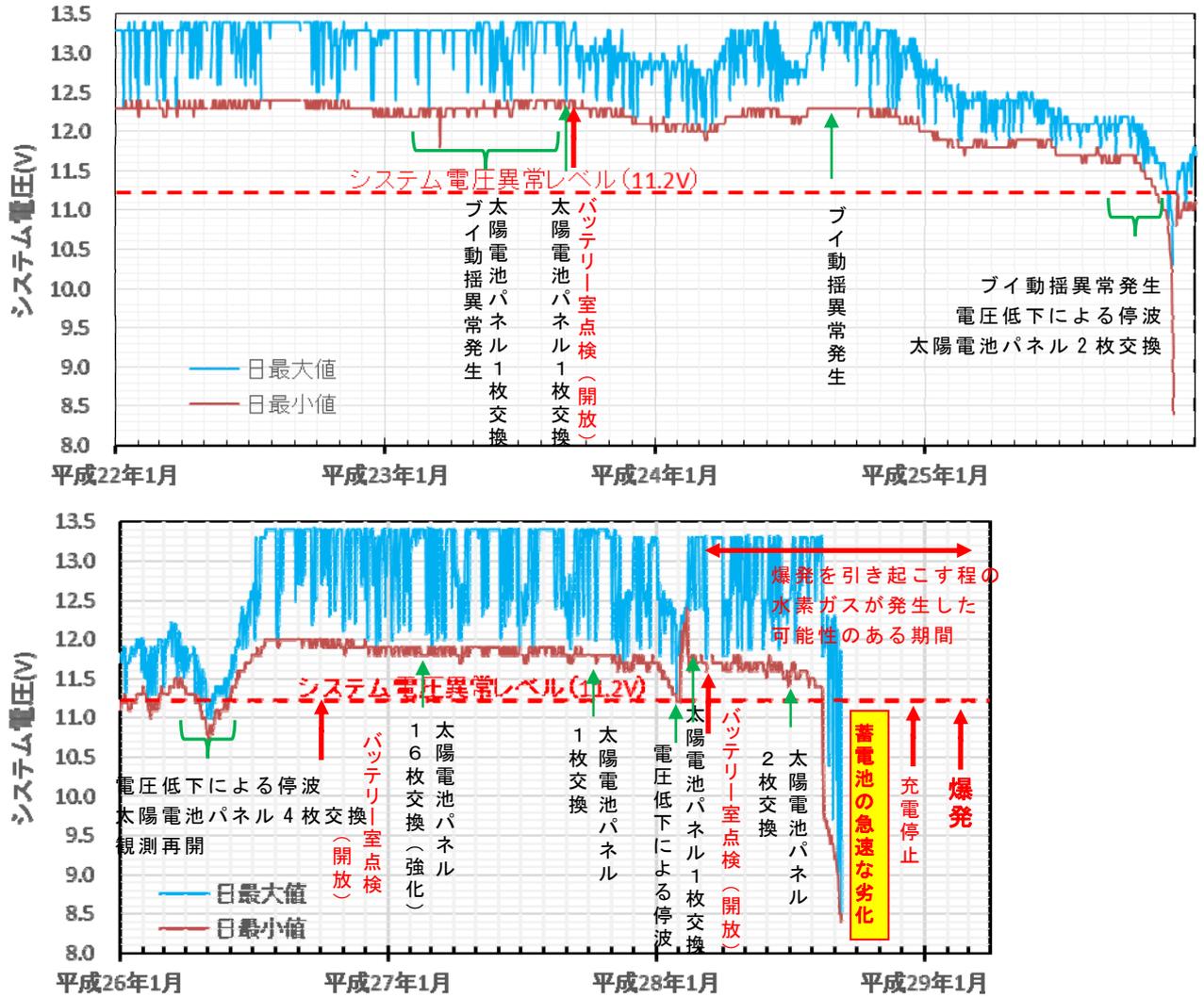


図4-7 システム電圧の時系列変化(平成22年~)

表 4 - 1 太陽電池パネルの修理・交換履歴

年月日	イベント・状況
H19.12～ H23.06	システム電圧に異常なし
H23.06.30	太陽電池パネル 1 枚交換
H23.10.04	太陽電池パネル 1 枚交換 鉛蓄電池の点検（バッテリー室の開放）
H25.11.12	システム電圧低下
H25.12.06	太陽電池パネル 2 枚交換、1 枚補修
H26.05.30	太陽電池パネル 4 枚交換
H26.09.19	鉛蓄電池の点検（バッテリー室の開放）
H27.03.17	太陽電池パネル 16 枚交換（強化：ガラス厚を 3.2mm →6mm に変更）
H27.10.05	太陽電池パネル 1 枚交換
H28.02.04	太陽電池パネル 1 枚交換
H28.03.17	鉛蓄電池の点検（バッテリー室の開放）
H28.06.03	太陽電池パネル 2 枚交換

### （3）水素ガスの発生

今回のシステムにおいては、6セルを直列接続（13並列）して12V系として使用され、充電の電圧は13.4Vに設定されていた。この場合、蓄電池1セル当たりの充電電圧は $13.4V/6 \text{セル} = 2.23V/\text{セル}$ と一般的な充電電圧である。

しかしながら、仮に直列接続された電池の内1セルがその機能を失った場合には、5セルの直列接続に13.4Vの電圧が掛かることになるため、蓄電池1セル当たりの充電電圧は $13.4V/5 \text{セル} = 2.68V/\text{セル}$ と一般的な充電電圧を上回る事となる。このような場合、充電器は2.68V/セルになるまで、その出力を高めて蓄電池への充電を続けるため、それまで機能を失っていなかった正常な蓄電池が過充電状態となる。

水素ガスの放出は、一部の蓄電池が機能低下した結果、正常な蓄電池が過充電状態となって発生した可能性がある。

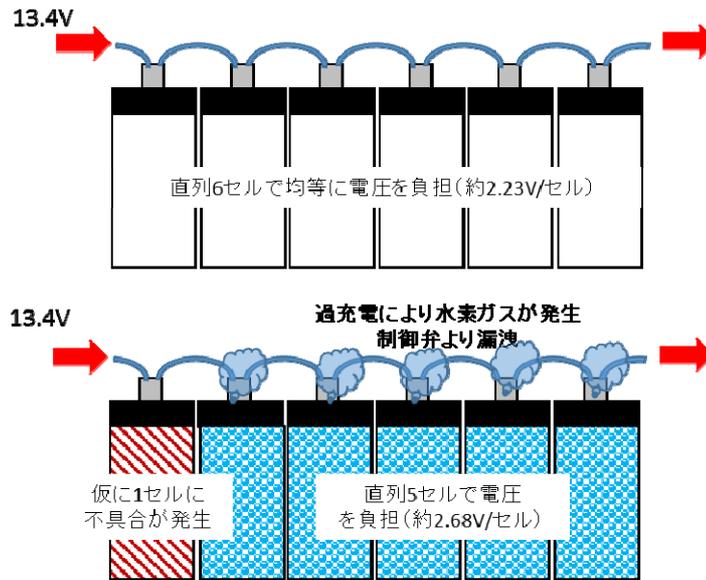


図 4 - 8 直列配置による一部劣化による過充電のイメージ

なお、平成 23 年以降 3 回（平成 23 年 10 月 4 日、平成 26 年 9 月 19 日、平成 28 年 3 月 17 日）、バッテリー室を開放して蓄電池の点検を実施しているが、その際、異常な水素ガスの発生は確認されていない。このことから、一部の蓄電池で劣化が進んでいたものの最後にバッテリー室を開放した平成 28 年 3 月までは、爆発に至るほどの水素ガスが発生するような状況には至っていなかったものと推測される。

#### （４） 水素ガスの滞留

平成 28 年 8 月以降、経年劣化等の何らかの要因で蓄電池が急速に劣化し、その結果、正常な蓄電池に過充電が生じ、制御弁式鉛蓄電池のガス吸収能力を超える多量の水素ガスが発生、バッテリー室に滞留したと考えられる。

ブイの陸揚げ後、平成 28 年 12 月 19 日にシステム電源をオフにして電力消費を止め、12 月 26 日にコンバータのスイッチをオフにして太陽電池パネルから蓄電池への充電をストップしている。この一週間は電力消費が行われなまま蓄電池への充電が継続して行われていた状態であったことから、過充電による水素ガスの発生が促進された可能性がある。

なお、システムの設計において、蓄電量が「0」になった際の満充電になるまでに要する日数は、5 日間（日照時間 8 時間/日）であり、ブイの陸揚げ後、コンバータのスイッチをオフにするまでの間に満充電の 8 割を充電できる日照時間であった。また、この一週間の現地の最高気温は、21.5℃であり、蓄電池に負荷をあたえる状況ではなかったと考えられる。（表 4 - 2 参照）

表 4 - 2 和歌山観測所天気概況 (2016/12/19~12/26)

2016 年	降水量 (mm)	気温(°C)		湿度(%)	日照時間 (h)	天気概況
		最高	最低	平均		昼(06:00-18:00)
12月19日	--	15.6	3.6	67	8.3	晴一時薄曇
12月20日	0	15.8	7.5	72	0.5	曇一時雨後晴
12月21日	--	18.4	6.8	76	7.6	晴一時薄曇
12月22日	18	21.5	11.9	74	0.1	曇時々雨
12月23日	0	15.8	8.7	60	1.5	曇時々晴一時雨
12月24日	0	11.3	7.2	62	5.8	曇一時晴
12月25日	--	12.8	5.8	62	8.8	晴
12月26日	0	17.3	5.1	65	0.5	曇一時雨
8日間(12月19日~26日)の日照時間					33.1	

【参考】 太陽電池パネル、充電制御装置の状況確認

事故後に太陽電池パネルの充電電圧も測定した。

測定結果から事故後も太陽電池パネルと充電制御装置はともに正常に機能しており、蓄電池側の電圧は 13.4V (設計値) であることが確認できた。

【調査概要】

実施日時：平成 29 年 4 月 13 日(木) 10:00~14:00 (快晴)

計測条件：計測周期 10 分毎  
太陽電池パネル全数 (40 枚) 接続  
状態での電圧測定  
計測箇所 (図 4 - 9 参照)



写真 4 - 5 電圧測定状況

【計測結果】

CH1 (DC コンバータ内：発電電圧) 96.00~ 99.75 V (設計値 86V)  
CH2 (充電制御装置) 13.437~13.463 V (設計値 13.4V)

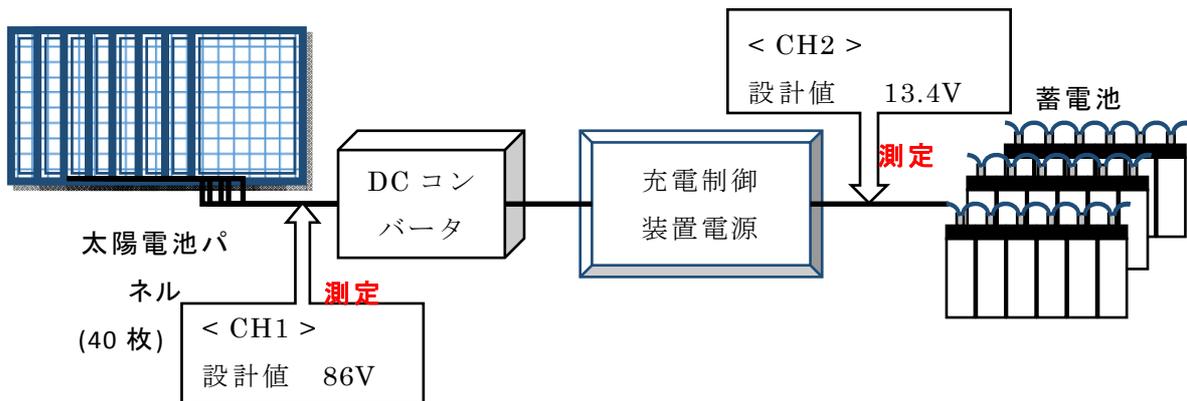


図 4 - 9 DC コンバーター、充電制御装置電圧計測箇所

#### 4-4 着火の要因

##### (1) 事故当時の状況

###### ① 当日の気象条件

事故発生当時（平成29年2月21日13時）の気象条件（表4-3参照）は以下のとおりである。気温はほぼ平年並み、晴天で比較的乾燥した状態（40%以下が乾燥）であった。また、風も比較的強く吹いていた。

表4-3 当日の気象条件（H29.2.21：和歌山地方气象台）

時	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (°C)	湿度 (%)	風向・風速(m/s)		日照 時間 (h)	天気
	現地	海面				風速	風向		
1	1015.4	1017.7	--	5.1	62	6.9	北北西		
2	1016.2	1018.5	0	4.4	62	8.3	北西		
3	1017.4	1019.7	--	3.8	63	7	北西		① 晴
4	1018	1020.3	--	3.8	60	7.5	北北西		
5	1019.1	1021.4	--	3.8	61	6.3	北北西		
6	1020.3	1022.6	--	3.9	64	8.2	北西		
7	1021.9	1024.2	0	4.1	63	6	北北西	0	
8	1023.1	1025.4	0	4.2	62	5.4	北北西	0	
9	1024.1	1026.4	--	4.5	61	5	北	0	☉ 曇
10	1024	1026.3	--	5.3	56	6.6	北	0.3	
11	1024.5	1026.8	--	5.4	54	6.5	北北西	0.4	
12	1024.1	1026.4	--	5.9	50	5.8	北	0.1	
13	1024.2	1026.5	--	7	40	9.4	北	0.7	
14	1024.5	1026.8	--	7.4	40	9.5	北	0.9	
15	1024.3	1026.6	--	7.1	40	6.9	北	0.6	① 晴
16	1025.2	1027.5	--	6.9	43	6.2	北	0.9	
17	1026.5	1028.8	--	6.4	44	7.4	北	0.8	
18	1026.7	1029	--	5.3	47	6.2	北	0.3	
19	1026.9	1029.2	--	4.9	47	6.5	北北東		
20	1027	1029.3	--	4.6	46	5.8	北		
21	1027.7	1030	--	4.2	47	4.6	北		○ 快晴
22	1027.5	1029.8	--	4.1	48	5.2	北北東		
23	1027.6	1029.9	--	3.6	53	3.2	北東		
24	1027.1	1029.4	--	3	57	2.4	東北東		

調査作業  
時間帯

###### ② 作業員の装備

作業員の当日の装備は以下のとおりである。（写真4-6参照）

【装備】 作業服、安全靴、軍手、ヘルメット、安全帯（ロープ）、  
工具（レンチ）、電動インパクトレンチ、ガス検知器

着火の可能性としては、装備品等による静電気、金属同士の火花、電動インパクトレンチによる可能性が考えられる。事故当時の作業員の話によると、バッテリー室の水密マンホールのナットを電動インパクトレンチで緩め、取り外した後、ゴムパッキンにより密着したままの水密マンホールを引っ張って外した時に爆発が発生したとのことである。このことから、電動インパクトレンチが爆発の直接の原因とは考えにくい。

ライトについても電池式懐中電灯、コンセント式ライトを用意していたが、爆発時に使用していたかは不明とのことである。



写真 4－6 作業員の装備（当時着用していたものと同種）

## （２） 漏洩抵抗測定と帯電測定

### 【漏洩抵抗測定】

静電気は、物体を接触・分離させる（接触帯電）、物体を擦り合わせる（摩擦帯電）、または密着していたものを引き剥がす（剥離帯電）ときに発生する。

当日着用していた装備品等について帯電のしやすさを把握するため漏洩抵抗調査を行った。測定には絶縁抵抗計とアルミシート電極を用いた。絶縁抵抗計の測定範囲は 4,000 M $\Omega$  で、印加電圧<sup>4</sup>を 1,000 V とした。アルミシート電極は、幅 5 cm の带状である。

現地調査時と事故当時では湿度が 40% と 80% で大きく違いがある。したがって、あくまで現地調査時の値は参考値でしかないが、安全靴の漏洩抵抗は 1,000 M $\Omega$  を超えており、事故当日の気象条件を踏まえても、安全靴の漏洩抵抗が軍手や作業着より大きく、人体や水密マンホールのフタが帯電しやすい状態であった。

また、軍手、作業服、水密マンホールのゴムパッキンについては、安全靴に比べて漏洩抵抗は 2 桁小さかった。

### 【帯電測定】

ゴムパッキンの剥離帯電や摩擦帯電が生じたと仮定した場合について、新品のゴムパッキンに対し軍手や金属棒でこすり、帯電するかどうかを確かめる帯電測定を実施した。測定には、非接触型の表面電位計を用いた。結果としては、表 4－4 のように、帯電はほとんど起こらなかった。測定状況を写真 4－7 に示す。

<sup>4</sup> 印加電圧とは、電気回路に電源や別の回路から電圧や信号を与えて生じる電圧のこと



写真 4-7 漏洩抵抗測定と帯電測定の状態

表 4-4 帯電量調査結果 (参考値)

日時	平成 29 年 4 月 7 日 (金) 10:00~10:30
天気	くもり
気温	19.5℃
湿度	81%
場所	和歌山県和歌山市西浜 (西浜ヤード)

○ 絶縁抵抗計による計測結果

	計測結果(MΩ)			
	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
軍手	39.2	90.4	—	—
安全靴	1353	1293	1051	1320
作業服	19.0	22.6	—	—
ゴムパッキン(表-裏)	41.3	32.4	—	—
ゴムパッキン(表-表)	66.7	60.5	—	—

○ 表面電位計よるに計測結果

	測定方法	計測結果(MΩ)
ゴムパッキン	何もしない場合 (通常)	0.12
	軍手でこすった場合	0.13
	金属でこすった場合	0.15

### (3) 作業時を想定したゴムパッキン表面帯電量調査

水密マンホールの金属フタを人が開けたときの剥離帯電による放電エネルギーを推定するため、水密マンホールを開放する時の表面電位と静電容量を計測した。調査状況を写真4-8、調査位置を図4-10、及び調査結果を表4-5、図4-11に示す。

調査員はテフロンシート(50×50cm)の上に乗れり、金属フタを引きはがし、金属フタとゴムパッキンの表面電位を表面電位計でそれぞれ測定する。測定値は、データロガーで1ミリ秒ごとに記録した。なお、テフロンシートに乗るのは、剥離帯電の測定中、人体から静電気が漏洩しないようにするためである。



写真4-8 ゴムパッキン表面帯電量の調査状況

表4-5に示すように水密マンホール①～③においては、金属フタとゴムパッキンとの剥離帯電による人体及びゴムパッキンの表面電位変化はとらえられなかった。これは、事故後、人の出入りが激しく、ゴムパッキンについても新品または、事故当時とは別の箇所の水密マンホールに設置されていた旧品を使用したためと推測される。また、水密マンホールをはずしたときの感触も、ナットをはずした時から水密マンホールがブイ本体から浮いている様であり、密着が弱くすぐにはずれたとの感想を調査員が述べている。

水密マンホール④においては、表面電位の変化が確認できた(位置は図4-10参照)。これは、一旦、水密マンホールは開放されているが、事故当時と同じ水密マンホールのゴムパッキンを締め込んだため、事故当時と同様な状態が再現されたためと推測される。また、ナットをはずしても水密マンホールは密着しており、水密マンホールをはずす際には、ベリベリという音がでるほどであったとの感想を調査員が述べている。そのため、設置後9年間も開放せずに、爆発事故時に初めて開放した水密マンホールの状況に近いのは、水密マンホール④であり、実際はもっと密着していたと思われる。

金属フタからブイのボルトに放電したと仮定した場合の水密マンホール④時の放電エネルギーを計算すると、

人体+金属フタの表面電位変化の最大値は 1.014 kV

(人体+金属フタ)と(ブイ本体)との間の静電容量は、爆発事故現場で測定したところ約300pFとなり、

放電エネルギー(J) =  $1/2 \times \text{静電容量 (F)} \times \text{電位 (V)}^2$

$$= 1 / 2 \times 300 \times 10^{-12} \times (1.014 \times 10^3)^2$$

$$= 0.000154 \text{ J} = 0.154 \text{ mJ} > 0.016 \text{ mJ} (\text{水素の最小着火エネルギー})$$

(静電気安全指針 2007 労働安全衛生総合研究所)

したがって、放電エネルギーが最小着火エネルギーを超えているので、着火の可能性はあるものと考えられる。

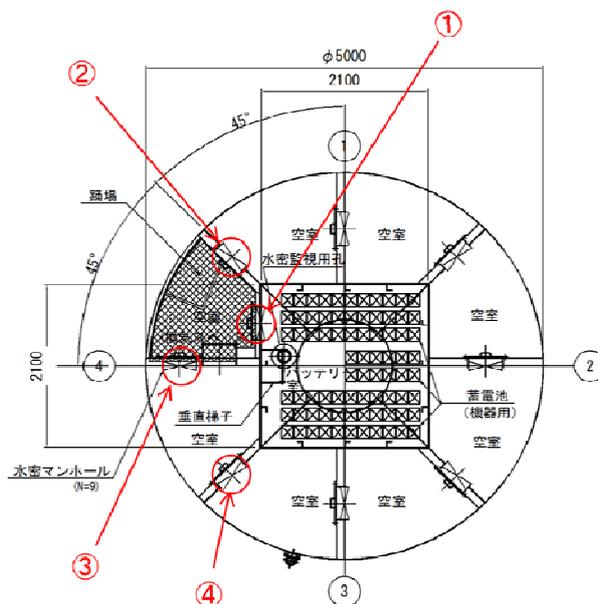
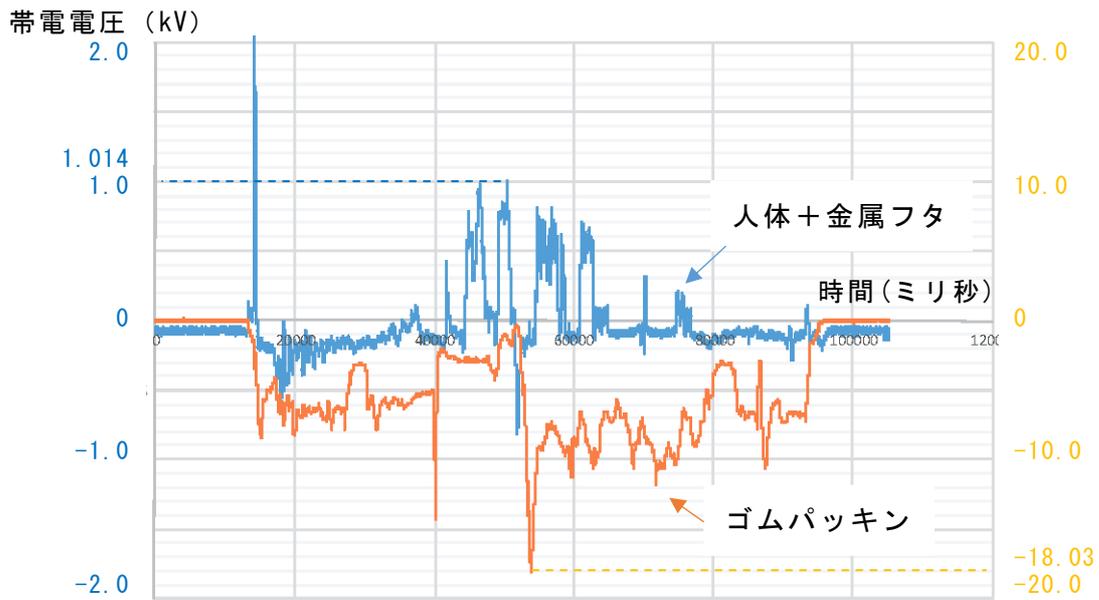


図 4 - 1 0 表面帯電量調査位置図

表 4 - 5 表面帯電量調査結果 (参考値)

日時	平成 29 年 5 月 11 日 (木) 14:00~16:00
天気	晴れ
気温	23.6℃
湿度	54%
場所	和歌山県和歌山市西浜 (西浜ヤード)

	① (事故のマンホール)	②	③	④
気温/湿度	26.2℃/54.1%	26.4℃/52.3%	26.3℃/49.7%	27.1℃/52.3%
再設置したゴムパッキン	新品	新品	旧品 (別の箇所の物)	旧品 (同じ箇所の物)
ゴムパッキンの設置期間	2 日	2 日	15 日	15 日
蓋 (kV)	0	0	0	1.014
パッキン (kV)	0	0	0	-18.03
静電容量 (pF)	300	-	-	-



人体+金属フタは金属フタの表面を測定時間中、位置を変えながら測定。同様に、ゴムパッキンは水密マンホール側に残ったゴムパッキンの表面を測定時間中、位置を変えながら測定。そのため、測定値の変動が大きい。

図 4 - 1 1 人体+金属フタとゴムパッキンの電位変化

このことから、漏洩抵抗の高い安全靴を履いた状態で、人がマンホールを持ちブイから剥がしたときに帯電が起こり、漏洩抵抗が大きいため、電圧がしばらく残り、その間に水密マンホールとボルトの間で放電が生じ、水素ガスに着火したとの一つの仮説が考えられる。

#### 4-5 爆発要因のまとめ

##### (1) 爆発物の推測

鉛蓄電池から放出した水素ガスが滞留し、何らかの着火要因により爆発に至ったと考えられる。

##### (2) 爆発に至る可燃性ガスの発生

制御弁式鉛蓄電池は、通常充電中に水の電気分解が起こっても、発生した水素ガスと酸素ガスをもう一度水に戻す機構となっている。しかし、蓄電池のガス吸収能力を超える過充電が発生したため、蓄電池内に過剰な水素ガスが発生し蓄電池内の圧力が増加したことから制御弁より水素ガスが蓄電池外部へ放出されたと考えられる。

##### (3) 鉛蓄電池からの水素ガスの発生

###### ① 過充電の発生

一部の鉛蓄電池が十分機能しない状態が生じたまま、太陽電池パネルからの電力供給が行われた。GPS波浪計に設置している充電制御装置は、直列接続された6セルからなる鉛蓄電池を定電圧で制御するものであり、一部の鉛蓄電池が十分機能していない中、残りの正常な鉛蓄電池に対し充電するよう機能したため、正常な鉛蓄電池に大きな負荷をかけ過充電状態に陥ったと考えられる。

###### ② 水素ガスの滞留

平成23年以降3回バッテリー一室を開放し点検を実施しているが、その時点で爆発等の事故が発生していないことから、爆発を引き起こす程の水素ガスが発生する状態となったのは、これ以降であったと推定される。

平成28年3月17日（最後のバッテリー一室開放）から同年12月26日（鉛蓄電池への充電停止）までの間、太陽電池パネルの発電は正常に行われている中、鉛蓄電池の機能喪失が急速に進行し、正常な鉛蓄電池への過充電が進んだ結果、水素ガスの放出、室内への滞留が生じたと推測される。

また、GPS波浪計の陸揚げ時に、観測機器等への電力供給は停止されたが、太陽電池パネルから蓄電池への充電のみが1週間行われていた状態であったことも、過充電状態に追い打ちをかけた可能性がある。しかし、蓄電池の急速な劣化、水素ガスの発生した時期について、特定することは困難である。

###### ③ 蓄電池の機能喪失の要因

中間とりまとめ時点において、鉛蓄電池2個を解体調査したところ、正極板の伸びが著しく寿命超過であったことが判明している。この結果、鉛蓄電池の機能喪失自体は劣化によるものと考えられる。

また、鉛蓄電池設置後9年経過していること、太陽電池パネルの破損に伴う蓄電池の過放電が生じていることなどの要因が重なって蓄電池の劣化が早く進んでいたと考えられる。

が、劣化が早く進行した原因を特定できる結果は得られなかった。

#### (4) 着火の要因

バッテリー室に水素ガスが充満した状態でバッテリー室の水密マンホールを開放したときに、何らかの装備品等に帯電していた静電気の放電により、充満していた水素ガスに着火し爆発したものと考えられる。今回の調査では、いずれの装備品が原因となったか判断できる結果は得られなかった。

## 5. 事故の再発防止に向けて

今回事故が発生したものと同様の構造のGPS波浪計が、現在も全国で17基稼働中である。今回の調査結果からそれらのGPS波浪計においても水素ガスが滞留している可能性は否定できないことから、緊急的な対応が必要となっている。

本章では、本委員会での検討を踏まえ、稼働中のGPS波浪計における事故の再発防止、GPS波浪計の保守・点検作業時の安全対策に関する事項とともに、今後のGPS波浪計の更新時の基本的な考え方について述べる。

なお、これらは、現時点で得られた情報を基にしたものであり、今後新たな情報等が判明すれば、追加、変更の検討が必要となるものである。

### 5-1 水密性と換気性の両方を備えた構造設計への転換

#### (1) 既存GPS波浪計の設計の考え方

海象条件の厳しい沖合の波浪観測を目的とするGPS波浪計は、設置海域の気象・海象条件に対して十分安全な構造とするとともに、メンテナンス費用を極力低減することを考慮した設計とする必要がある。そのため、これまでのGPS波浪計は、ブイ運動の安定性を確保する等の観点から、蓄電池を設置し、重量の大きいバッテリー室を最下層（海面下）に設けるとともに、浮力体の内部は水密隔壁を設けたダブルハル構造とし、蓄電池等の機器への浸水を防ぐことを基本としていた。

和歌山南西沖GPS波浪計も上記の思想に基づき設計され、バッテリーの温度上昇が起きづらい海面下にバッテリー室を設け、かつ水素ガス等の発生を抑制するタイプの制御弁式据置鉛蓄電池を使用することで、総合的な判断により水密性の高い密閉構造を採用した。

#### (2) 水密性と換気性の同時確保

一方、今回の爆発事故を受け、高い水密性が求められるバッテリー室に浸水の恐れがある換気設備を設けることは一定のリスクを伴うものの、今回の爆発事故を踏まえた水素ガスの発生に対応するためには、密閉構造を回避するための対策を講じるべきである。そのため、既存のGPS波浪計の改造を早急に実施し、換気設備を設けるとともに、新たなGPS波浪計の開発にあたっては、バッテリー室の水密性と換気性の両方を兼ね備えた構造とするべきである。

## 5-2 現在設置しているGPS波浪計の緊急点検・緊急改造

### (1) 換気口の確保

現在設置されている他のGPS波浪計についても和歌山南西沖GPS波浪計と同様にバッテリー室は密閉空間であり、GPS波浪計内部に水素ガスが滞留している可能性は否定できない。そのため、点検に先立ち換気口を設け、水素ガスを放出する。換気口の設置にあたっては、遠隔操作による方法が考えられるが、十分な安全を確保した上で実施する必要がある。(図5-1、図5-2参照)

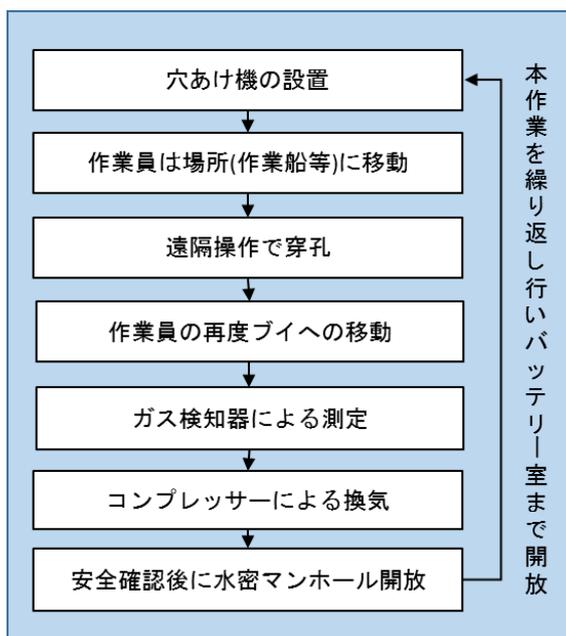


図5-1 換気口穿孔工事手順イメージ

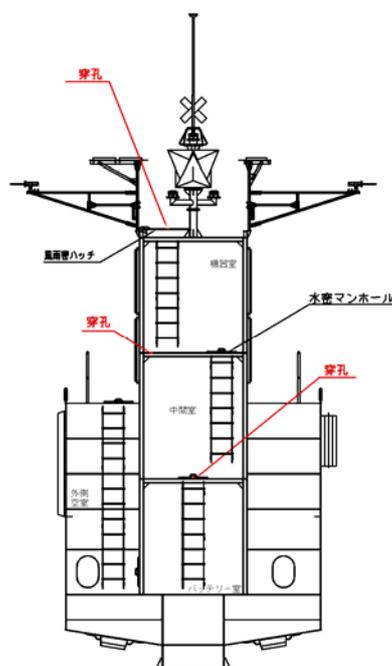


図5-2 換気口設置イメージ

### (2) 換気設備の設置

水素ガスが滞留していないことを確認した後、ブイ本体の水密性を確保しつつ、自然換気を行うための設備を設置する。具体的には、ブイ最上部に雨水の浸入を極力防ぐ構造の通風管（吸気用、排気用）を設置し、吸気管からゴムホースを使ってバッテリー室下部に外気を直接取り入れ、内部の気圧の増加によって排気管から自然排気する仕組みとする方法が考えられる。(図5-3参照)

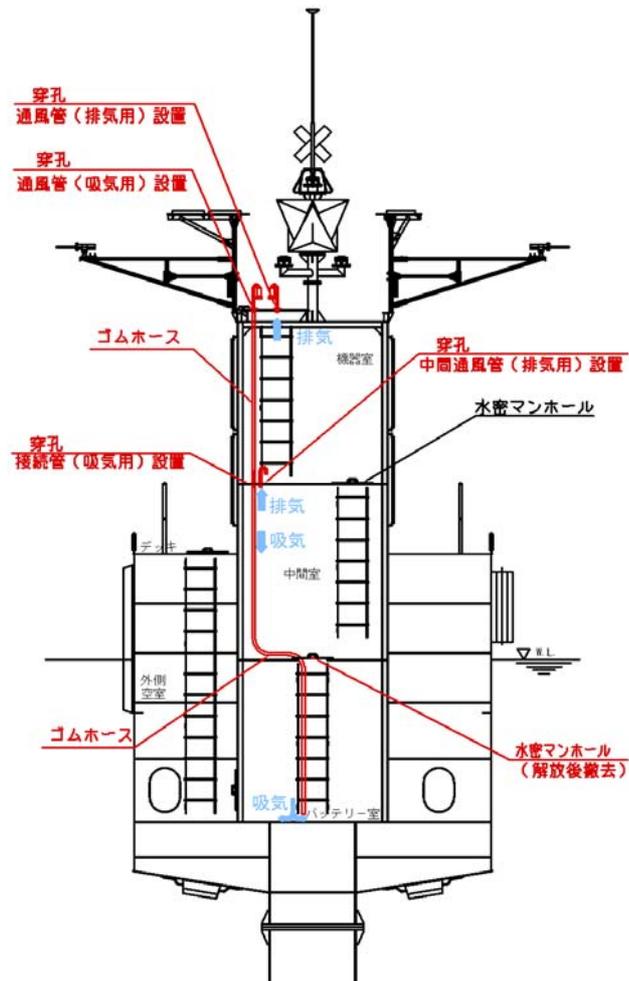


図 5 - 3 換気設備設置イメージ

### 5-3 今後のGPS波浪計の保守・点検、更新時の留意事項

洋上で実施するGPS波浪計の保守・点検作業は、波浪や潮流等の影響を受けやすく、静穏時であっても揺れ動く海上での作業を余儀なくされるという特徴があり、陸上での保守・点検作業より困難かつ制約が多い。

そうした中でも、作業員の安全を確保するためには、安全な作業環境の確保、保守・点検手順の明確化が必要不可欠である。また、GPS波浪計の機器の更新を容易にするとともに、故障を少なくするための工夫や担当職員の教育を行う必要がある。

そのため、今後のGPS波浪計の保守・点検、更新に際しての留意事項を、以下の通り提案する。

#### <保守・点検時の留意事項>

- GPS波浪計ブイには作業員の他に監視員をおき、船上の監視員と連絡を取り合い、緊急時の対応に備えること
- 帯電防止仕様の作業服、手袋、安全靴とヘルメット等を着用すること
- 外部より各室の酸素濃度、可燃性ガス（水素ガスを含む）を確認し、エアーコンプレッサーによる換気を行った後、安全を確認してから入室すること

#### <更新に際しての留意事項>

- 機器室、バッテリー室の温度、湿度、ガス濃度等を室外から確認できる状況にすること
- 観測機器等の省電力化を図り、蓄電池への負荷を減らすこと
- 蓄電池の健全度を定期的に調査するとともに、交換基準を明確化すること
- 蓄電池の交換作業が容易となるような構造を検討するとともに、その実施体制を整えること
- 日常監視により、劣化等による水素ガス発生を予測する方法を検討すること
- 電気系統などから発火の可能性を排除するため、静電気防止策や電源オンオフによる火花が発生しないような設備を検討すること
- 過充電・過放電制御機能の高度化を検討すること
- バッテリー室に換気設備を設け、万一の水素ガス発生に備えること
- 太陽電池パネルの破損を減らす措置を講じること

#### <その他>

- 今回の教訓を踏まえ、「GPS波浪計保守・点検マニュアル」を見直すこと
- 蓄電池の取扱いなど、GPS波浪計に関する定期的な研修を実施すること

## 6. より一層の安全・技術の向上に向けて

今回の事故が発生したGPS波浪計では、陸から20km程度沖合に設置している無人のブイで保守・点検作業が実施されることから、海象条件に左右される厳しい条件のもとで行われてきた。また、GPS波浪計自体の機能についても、新技術に基づく特殊な装備を有している設備であることや、観測される情報の重要性などから、他に例のない特殊な条件のもとに管理が行われてきた。

今回の事故は、陸上に引き揚げられてから発生したが、洋上における保守・点検においても発生する可能性が十分に考えられることから、全国に設置している他のGPS波浪計に対しても緊急的な対応が求められている。

このような事故は、ひとたび発生すると甚大な被害を与える可能性がある。また、観測機器としての重要性を踏まえれば、緊急かつ確実な対応が必要である。

今回のような事故は、あってはならないものであり、その被害を受ける個人及びその家族に計り知れない悲哀をもたらし、社会的にも多大な損害を及ぼす。

本委員会としては、厳しい環境下で実施される今後のGPS波浪計の保守・点検、更新において、このような事故が二度と起きないように、この中間取りまとめを参考にして、十分な安全を確保することを期待するものである。