



2021年度

貨物温度の状態監視に関する技術開発

成果報告書

2022年3月

一般社団法人 日本船用工業会

## はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、2020年度に一般社団法人日本船用工業会が実施した「貨物温度の状態監視に関する技術開発」の成果をとりまとめたものである。

本開発は、2020年度、2021年度の2年計画で、明陽電機株式会社に委託して実施しており、その最初の1年度分の報告書をここにまとめたものである。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

2022年3月  
(一社)日本船用工業会

## 目 次

### 第I部 2020年度

1. 事業の目的	1
2. 事業の目標	3
2.1 本事業の最終目標	3
2.2 2020年度の目標	3
3. 2020年度の実施内容	3
3.1 船用自動温度計測器の詳細調査	3
3.1.1 石炭運搬船の石炭の温度計測の現状	3
3.1.2 船用自動温度計測器の開発概要	4
3.1.3 実船調査の概要	4
3.1.4 実船調査項目	5
3.1.5 実船調査結果	6
3.1.6 船用自動温度計測器を設置する配管の詳細調査結果	10
3.1.7 調査結果から開発に向けて	13
3.2 計測器の船用化設計（船用多点測温ケーブル）	13
3.2.1 多点測温ケーブルの船用化構想	13
3.2.2 船用多点測温ケーブルの試設計	14
3.3 計測器の船用化設計（船用ハンディロガー）	24
3.3.1 ハンディロガーの船用化構想	24
3.3.2 船用ハンディロガーの試設計	29
3.4 計測器の試作と船用多点測温ケーブルの試験	37
3.4.1 船用多点測温ケーブルの試作と試験	37
3.4.2 船用ハンディロガーの試作と試験	42
4. 2020年度の目標の達成状況	49
5. 今後の予定	50
6. まとめ	50

## 第Ⅱ部 2021年度

7. 2021年度の実施内容	51
7.1 計測器の陸上試験	51
7.1.1 船用多点測温ケーブルの陸上試験	51
7.1.2 船用多点測温ケーブルの陸上試験のまとめ	59
7.1.3 船用ハンディロガーの陸上試験	60
7.1.4 船用ハンディロガーの陸上試験のまとめ	72
7.2 計測器の実船実験	72
7.2.1 係留時実船実験Ⅰ	73
7.2.2 係留時実船実験Ⅰのまとめ	78
7.2.3 係留時実船実験Ⅱ	78
7.2.4 係留時実船実験Ⅰ,Ⅱのまとめ	82
7.2.5 3航海(約120日)の代替試験	82
7.2.6 耐久性の検証	89
7.3 システムの性能評価	93
7.3.1 航行中の計測時の工数	93
7.3.2 計測器の操作性	94
7.3.3 グラフィック表示の有効性	94
7.3.4 日報帳票データの作成とEメール送信	95
7.3.5 LAN配線を用いた常時計測システムの予備試験	98
7.3.6 システムの性能評価のまとめ	99
8. 2021年度の目標の達成状況	100
9. 2021年度の事業実施概要	101
10. まとめ	102

# 第 I 部 2020 年度

## 1. 事業の目的

ばら積み貨物船は鉱石、石炭、穀物等を貨物室（船倉）に積載して運搬しており、国内外からの物資の輸送に関して重要な役割を担っている。その中の石炭運搬船においては、国際海上固体ばら積み貨物コード（以下、IMSBC コード）（図 1）の規定により、航海中、毎日作業員が甲板上でガラス製温度計を用いて船倉内石炭の温度測定を実施し発火防止に努めている。具体的には、甲板から船倉内部に温度計測配管が通っており、作業員は甲板上のこの配管先端からガラス製温度計を挿入し、一定時間の経過後に引き上げて温度表示を読み取り、手書きで記録をしている。（図 2）この現状では計測精度が低い上に、作業員の業務負担は大きく、時化の際には命の危険を伴う作業となっている。

本開発は、ばら積み貨物船における温度変化の傾向や各種情報を含めた詳細な状態変化を監視することが可能となるため、貨物の輸送品質向上が図られ、船主の信頼性向上にもつながる状態監視トータルシステムである。また、温度計測の自動化によって作業員の労力低減及び安全性の確保を実現することも可能となる。

今後建造される新造船については、船用多点測温ケーブル（温度センサ）から監視室までの配線を構築することにより、作業員が行っている甲板での測定作業そのものが不要となり、温度計測の負担をなくすことが実現できる。

船舶の安全性向上および運航の効率化を目的とした自動運航船の実用化は、2025 年を目標に海上物流の高度化を図ろうとしている。本開発システムはばら積み貨物船における温度計測の躍進となり、輸送に関わる社会全体に寄与することを目的とする。

（国土交通省の HP より）

IMSBC CODE 04-17 APPENDIX 1 A 告示掲載物質分 31 石炭

この貨物の全ての種類に係る一般要件

3. 以下の事項を船倉に入ることなく計測できるよう、船舶は適切に装備されており、適切な機器を船上に備えていること:

- .1 空気中のメタン濃度。
- .2 空気中の酸素濃度。
- .3 空気中の一酸化炭素濃度。
- .4 船倉ビルジ試料の pH 値。

4. これらの機器は定期的に点検・校正されていること。乗組員はそれらの機器を使用できるよう訓練されていること。ガス計測手順の詳細はこの補足の末尾にある。

5. 船倉に立ち入ることなく貨物が積載されている間及び航海中における貨物の温度計測を可能にするため、0° C~100° C の範囲で貨物の温度を計測する手段を備えることが推奨される。

図 1. IMSBC コード 規則抜粋



図2. ガラス製温度計による温度測定の様子

### 【現状の問題点】

#### 1) 作業時間

一般的な石炭運搬船には複数の船倉（6～7倉）があり、作業員2名が1船倉当たり約30分費やし、全船倉の測定に毎日2～3時間を強いられている。

その読み取った値を船舶が動揺する中、手書きで記録している。さらにそのデータをパソコンに入力し、グラフを作成するには更なる工数が必要な状況である。

#### 2) 測定

ガラス製温度計を紐に結び温度計測配管内に挿入して、ガラス製温度計を船倉深さのほぼ中央の位置に保ち一定時間経過した後に甲板へ引き上げる。そのため、引き上げる作業時間も要するため、実際の測定箇所の温度値と読み取る時点の温度計の示す値との誤差が生じることが考えられる。

また、アナログ目盛りの数値を目視で確認することから、ここでも若干の誤差が生じる恐れがある。さらに、現状の温度測定点は、船倉高さの中央の1箇所のみのため、深さ方向の温度傾向はわかっていない。

以上のとおり、現状の温度測定作業は危険で困難なものであり、作業員への負担が大きく、また測定精度にも不安がある。

### 【開発による効果】

#### 1) 作業時間

すでに就航している多数のばら積み貨物船の温度自動計測を可能とするために、甲板上で操作が容易な船用ハンディロガーと、温度計測配管に設置する船用多点測温ケーブルを開発し、トレンドグラフの自動表示を可能にすることで、作業員の負担になっている約2時間の作業時間とグラフの作成時間を大幅に減らすことが実現できる。

## 2) 測定

船用多点測温ケーブルでは、船倉内の深さ方向に4箇所の位置を同時に自動で温度測定ができる。その測定したデータを自動収録してパソコンに伝送することにより、温度データ表、深さ方向のトレンドグラフ、年月日によるトレンドグラフ、海水温度、大気温度などとの関係を示すグラフも自動で表示することが可能となる。

## 2. 事業の目標

### 2.1 本事業の最終目標

- 1) 現状深さ方向1箇所の計測から、船倉の底から天井までの4箇所同時計測を可能にする船用多点測温ケーブルおよび測温データをパソコンに取り込むための船用ハンディロガーを開発する。
- 2) 船用多点測温ケーブルおよび船用ハンディロガーの寿命を10年以上とする。
- 3) 新造船向けにLAN配線を用いた常時計測システムが可能であることを確認する。

### 2.2 2020年度の目標

#### 1) 多点測温ケーブルの船用化

一般財団法人日本海事協会（以下、NK）の鋼船規則の環境試験を満足する構造にするとともに、時化の波浪による衝撃にも耐える構造とする。具体的には、加速度±0.7Gの振動を1秒間で30回振動させ、90分以上耐えられる構造とする。

#### 2) ハンディロガーの船用化

船用ハンディロガーは防滴仕様とし、軍手着用でも操作が容易な構造とする。防滴仕様については、500mmの高さより全方向に1分間に10ℓの水の放水に対し、10分以上耐えられる防水性能を持たせる。

## 3. 2020年度の実施内容

### 3.1 船用自動温度計測器の詳細調査

#### 3.1.1 石炭運搬船の石炭の温度計測の現状

船用自動温度計測器を搭載予定の石炭運搬船は、国土交通省海事局検査速度課の指導・調査の結果、IMSBCコードの規定により、船倉内の石炭の発火防止のため、毎日作業員が甲板よりガラス製温度計を用いて石炭の温度測定を実施している。

IMSBCコードは海上における人命の安全のための国際条約（SOLAS条約）に規定された規則の強制コードとなり、2011年に発効された。

主な目的は、ある特定の固体ばら積み貨物の輸送に伴う危険性に関する情報を提供すること、および固体ばら積み貨物を輸送しようとする際にとるべき手順の指示を規定することによって、固体ばら積み貨物の積載と輸送の安全を推進することにある。

2011年以降の建造船に適用されるだけでなく、現在就航中の外航船および内航船の石炭運搬船においても適用されることとなった。

現在測定に使用しているガラス製温度計のガラス管表面に直接目盛りが刻まれて、中の感温液の位置で温度値を読み取る。感温液の種類は水銀温度計と有機液体温度計があり、アルコール温度計と呼ばれているものは、実際にはアルコールが使われていることは少なく、石油系の有機液体が使用されている。調査した結果、船主は有機液体温度計を使用している。

このガラス製温度計を用いて、甲板にある温度計測配管から1日1回定刻に作業員2名で全船倉を2～3時間かけて温度測定をしている。これは天候によらず、船体が大きく揺れている時や雨風がある中でも行っている。さらに石炭の状態によっては回数を増やし測定をしなければならない。

### 3.1.2 船用自動温度計測器の開発概要

本事業では、船主の要望により、現在就航中の石炭運搬船における、このガラス製温度計を使用した温度測定から、船用自動温度計測器に改装（以下、レトロフィット）を実施する。

船倉に温度計の感温部を露出して直接貨物と接触させて測温する方法は温度測定精度にも有利であるが、貨物の積載時にシューターと呼ばれる石炭などの積荷を吹き付ける機器を使用することやブルドーザーなどが船倉内を走ること、また爆発や火災などの安全性も考慮すると、温度計には配管などの保護が必要である。そこで現在ガラス製温度計を挿入している温度計測配管（測温管・測深管）を利用し、船用自動温度計測器の船用多点測温ケーブルを設置する。

この船用多点測温ケーブルからの信号を監視室のパソコンまで伝達する方法については、船主の指導により配線は甲板に敷設せずに、船用多点測温ケーブルからの信号をデータ収録装置である船用ハンディロガーで収録し、船用ハンディロガーと監視室のパソコンをUSBポートで接続し、収録したデータを吸出す方法とする。

船用自動温度計測器は、次の2つの機器で構成する。

- ・船用多点測温ケーブル
- ・船用ハンディロガー

### 3.1.3 実船調査の概要

開発計画では、現在就航中の石炭運搬船に訪船し詳細調査を行う計画をしたが、新型コロナウイルス感染拡大防止のため石炭運搬船を建造している造船所を訪問し調査を実施した。

訪問造船所：A社造船所とB社造船所

調査箇所：ガラス製温度計を挿入して使用する温度計測配管の寸法や仕様と、配管先端に取付いている蓋（以下、管頭）の寸法形状の調査、及びパソコン設置予定の監視室等のスペース

### 3.1.4 実船調査項目

2社の造船所の6隻の石炭運搬船について、図3の項目を調査した。

実船の温度計測配管を図4、図5に示す。

温度計測配管（測深管・測温管）の位置の表記と周囲環境を図6に示す。

測深管と測温管の調査データ (船名: _____ 建造年: _____ 年 建造造船所: _____ 造船所)																	
船倉No. Z=		甲板の厚み: t =		単位 (m)													
i	測深管 or 測温管	管頭形状	管頭メーカ / 型式	管の状態		管の寸法				管の長さ		ハッチのサイズ		管の位置		ハッチ コーディナート	
				直管 or 曲管	下地の開閉	口径	材質	厚み(t)	表面処理	立上り寸法E	倉内の長さF	C	D	A (左舷側+)	B (右舷側+)		高さ (H)
(記入例)																	
ex. 4	測温管	2	〇〇工業/AA-00	直管	開	40	STPG	3.7	メッキ	100	3000	20000	20000	-20000	10000	2000	

装備機器の仕様		
1. 主機関 / 2. 発電機関	3. プロペラ	
出力(PS) / 定格速度(/min)	翼数	
シリンダー配列 (直列 or V列)	固定翼 or 可変ピッチ翼	
サイクル数 (2 or 4)	定格速度(/min)	
シリンダー数		
メーカ型式		

**各船倉の測深管と測温管の調査目的**

- ・船倉数: Z  
設置する船用多点測温ケーブルの必要数の確認。
- ・各船倉の温度計測配管の区分(測深管/測温管)と個数  
測深管は他の計測に使用している兼用管。測温管は温度計測専用管。船用多点測温ケーブルが設置可能な配管の確認。
- ・管頭形状と管頭メーカ(図4、図5)  
船用多点測温ケーブルの設置方法検討のため。
- ・温度計測配管の材質や寸法形状、甲板上に現れる配管長さE  
船用多点測温ケーブルのケーブル長さなど仕様決定のため。
- ・温度計測配管位置: A~D(図6)

図3. 温度計測配管（測深管・測温管）の調査内容



図4. 温度計測配管形状タイプ1  
サウンディングパイプヘッド  
(甲板から上がるタイプ)



図5. 温度計測配管形状タイプ2  
デッキピース  
(甲板とフラットなタイプ)

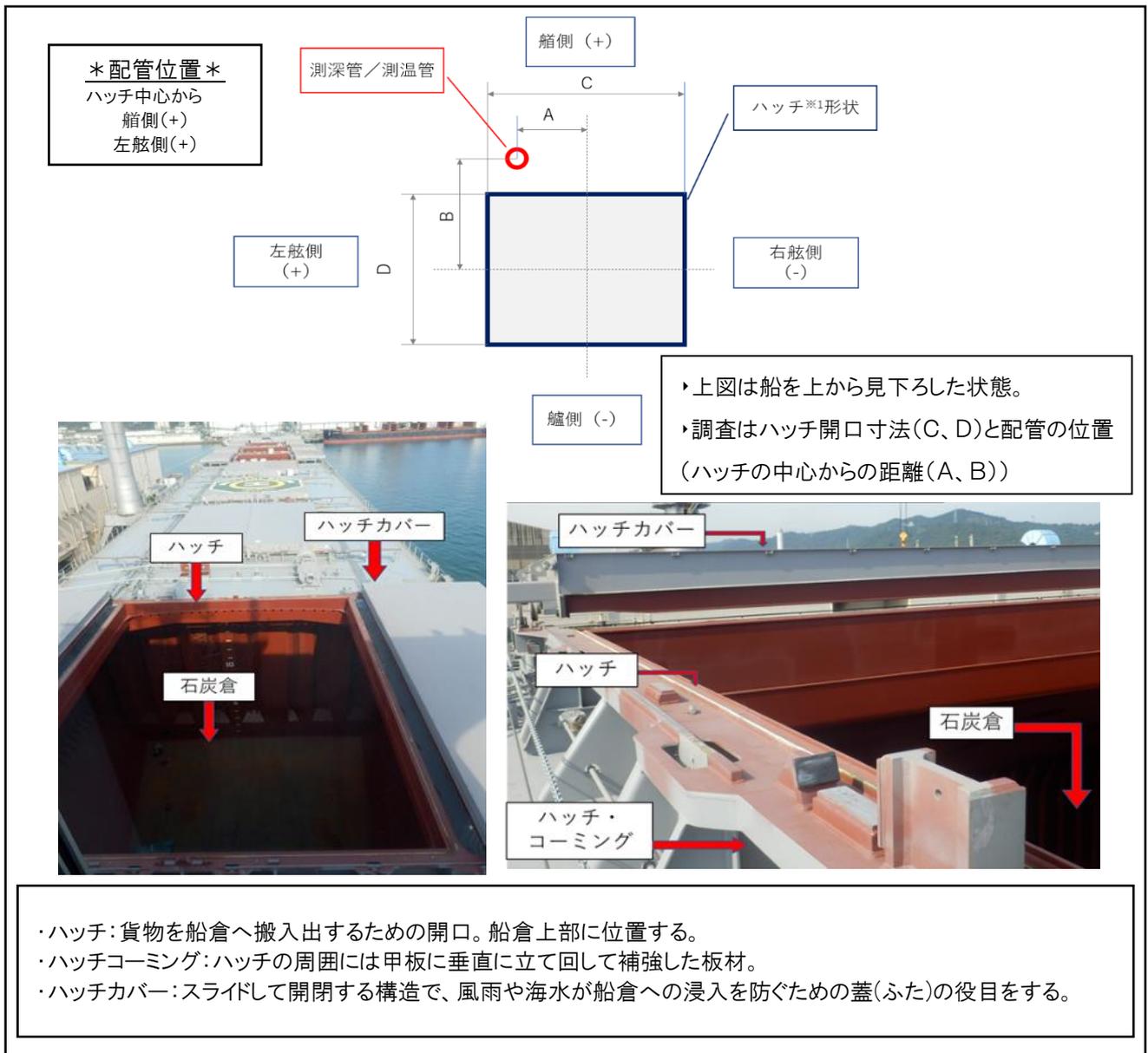


図6. 温度計測配管（測深管・測温管）の位置の表記と周囲環境

### 3.1.5 実船調査結果

A社造船所建造の2隻の就航船（A丸、B丸）とB社造船所建造の4隻の就航船（C丸、D丸、E丸、F丸）についての基本情報を表1、2に示す。また、各船の調査内容の抜粋を図7～12に示す。データを吸出すパソコンの設置場所およびスペースに関しては、監視室等の大きさは船ごとに異なるため、搭載する船舶毎に調査をする必要がある。

表 1. A社造船所の就航船基本情報

No.	Type	Status	Name	Size	Unit	Dwt	GT	Built
1	Bulk	In Service	A丸	119K	DWT	119K	64K	2012
2	Bulk	In Service	B丸	78K	DWT	78K	41K	2010

表 2. B社造船所の就航船基本情報

No.	Type	Status	Name	Size	Unit	Dwt	GT	Built
1	Bulk	In Service	C丸	106K	DWT	106K	58K	2010
2	Bulk	In Service	D丸	86K	DWT	86K	46K	2006
3	Bulk	In Service	E丸	55K	DWT	55K	31K	2015
4	Bulk	In Service	F丸	62K	DWT	62K	35K	2020

測深管と測温管の調査データ (船名: A丸 : 建造年: 2012 : 建造造船所: A造船所)													
貨物倉数: Z=7		甲板の厚み: t=0.03				単位 (m)							
船倉No.	測深管or 測温管	管頭形状 タイプ 1or2	管の形状と寸法			立上り寸法	倉内の長さ	ハッチのサイズ		管の位置		ハッチコーキング	
i	測温管		口径	材質	厚み(t)	直管or曲管	E	F	C	D	A (左舷側+)	B (船側+)	高さ(H)
3	測温管	2	40A	STPG370	SCH40	直管	0.1	19.00	17.90	20.64	7.20	-13.30	1.00
	測深兼用					斜め管	0.1	19.00	17.90	20.64	-7.20	-13.30	1.00
4	測温管					直管	0.1	13.10	18.10	20.64	2.00	13.30	1.00
	測深兼用					斜め管	0.1	19.00	18.10	20.64	7.20	-13.30	1.00
	測深兼用					斜め管	0.1	19.00	18.10	20.64	-7.20	-13.30	1.00

**装備機器の仕様**

1. 主機関		2. 発電機機関	
定格速度(/min)	110.0min <sup>-1</sup>	定格速度(/min)	900min <sup>-1</sup>
シリンダー配列 (直列 or V列)	直列	シリンダー配列 (直列 or V列)	直列
サイクル数 (2 or 4)	2サイクル	サイクル数 (2 or 4)	4サイクル
シリンダー数	7シリンダー	シリンダー数	6シリンダー

図 7. A丸/A社造船所の調査データ

**測深管と測温管の調査データ** (船名: B丸 : 建造年: 2010 : 建造造船所: A造船所)

貨物倉数: Z=7		甲板の厚み: t=0.027					単位 (m)						
船倉No.	測深管or 測温管	管頭形状 タイプ 1or2	管の形状と寸法				立上り寸法	倉内の長さ	ハッチのサイズ		管の位置		ハッチユースング
i			口径	材質	厚み(t)	直管or曲管	E	F	C	D	A (左舷側+)	B (船側+)	高さ(H)
3	測温管	2	40 A	STPG370	SCH40	直管	0.1	19.00	16.91	15.66	11.83	-11.76	1.20
	測深兼用					斜め管	0.1	19.00	16.91	15.66	-11.83	-11.76	1.20
測温管	直管					0.1	12.50	16.91	15.66	4.36	12.70	1.20	
測深兼用	斜め管					0.1	19.00	16.91	15.66	11.83	-11.76	1.20	
測深兼用	斜め管	0.1	19.00	16.91	15.66	-11.83	-11.76	1.20					

**装備機器の仕様**

1. 主機関

2. 発電機機関

定格速度(/min)	110.0min <sup>-1</sup>	定格速度(/min)	900min <sup>-1</sup>
シリンダー配列 (直列 or V列)	直列	シリンダー配列 (直列 or V列)	直列
サイクル数 (2 or 4)	2サイクル	サイクル数 (2 or 4)	4サイクル
シリンダー数	7シリンダー	シリンダー数	6シリンダー

図 8. B丸/A社造船所の調査データ

**測深管と測温管の調査データ** (船名: C丸 建造年: 2010年 建造造船所: B造船所)

貨物倉数: Z=5		甲板の厚み: t=0.027					単位 (m)						
船倉No.	測深管or 測温管	管頭形状 タイプ 1or2	管の形状と寸法				立上り寸法	倉内の長さ	ハッチのサイズ		管の位置		ハッチユースング
i			口径	材質	厚み(t)	直管or曲管	E	F	C	D	A (左舷側+)	B (船側+)	高さ(H)
3	P	1	50A	STPG370-S	SCH80	曲管	0	15.60	20.50	25.80	12.24	-15.03	1.20
	-12.24												
P	S					曲管	0	15.60	20.50	25.80	12.24	-15.03	1.20
-12.24													
5	F	測温管	1	直管	0	15.60	20.50	25.80	-7.291	15.49	1.20		
	A	2	直管	0.3	16.00	0.30			-15.07				

**装備機器の仕様**

1. 主機関

2. 発電機機関

定格速度(/min)	101.4min <sup>-1</sup>	定格速度(/min)	900min-1
シリンダー配列 (直列 or V列)	直列	シリンダー配列 (直列 or V列)	直列
サイクル数 (2 or 4)	2サイクル	サイクル数 (2 or 4)	4サイクル
シリンダー数	6シリンダー	シリンダー数	6シリンダー

図 9. C丸/B社造船所の調査データ

測深管と測温管の調査データ (船名: D丸 建造年: 2006年 建造造船所: B造船所)														
石炭倉数: Z=7			甲板の厚み: t=0.01-0.04				単位 (m)							
船倉No. i	測深管or 測温管	管頭形状 タイプ 1or2	管の形状と寸法			立上り寸法 E	倉内の長さ F	ハッチのサイズ		管の位置		ハッチヨコミダ 高さ (H)		
			口径	材質	厚み(t)			直管or曲管	C	D	A (左舷側+)		B (船側+)	
3	P	測深兼用	1	50A	STS370E	SCH80	曲管	0	20.39	19.22	21.00	15.27	-16.04	1.0
	S											-15.27		
4	P	測深兼用	1	50A	STS370E	SCH80	曲管	0	20.39	15.56	21.00	16.58	-13.07	1.0
	S											-16.58		
7	F	測温管	2	50A	STS370E	SCH80	直管	0.3	20.39	18.30	21.00	7.50	15.36	1.3
	A											-2.72		

**装備機器の仕様**

1. 主機関		2. 発電機機関	
定格速度(/min)	99.5min <sup>-1</sup>	定格速度(/min)	900min <sup>-1</sup>
シリンダー配列 (直列 or V列)	直列	シリンダー配列 (直列 or V列)	直列
サイクル数 (2 or 4)	2サイクル	サイクル数 (2 or 4)	4サイクル
シリンダー数	6シリンダー	シリンダー数	5シリンダー

図 10. D丸/B社造船所の調査データ

測深管と測温管の調査データ (船名: E丸 建造年: 2015年 建造造船所: B造船所)															
石炭倉数: Z=5			甲板の厚み: t=0.012-0.023				単位 (m)								
船倉No. i	測深管or 測温管	管頭形状 タイプ 1or2	管の形状と寸法			立上り寸法 E	倉内の長さ F	ハッチのサイズ		管の位置		ハッチヨコミダ 高さ (H)			
			口径	材質	厚み(t)			直管or曲管	C	D	A (左舷側+)		B (船側+)		
3	F	測温管	50A	STPG370E	SCH80	直管	16.77	18.05	18.6	1.577	14.545	1.2			
	A-P	測深兼用				1				曲管			0	12.277	-14.545
	A-S													-12.277	
4	F	測温管	50A	STPG370E	SCH80	曲管	16.77	21.85	18.6	-3.05	15.525	1.2			
	A-P	測深兼用				1				曲管			0	11.85	-15.475
	A-S													-11.85	
5	F	測温管	50A	STPG370E	SCH80	直管	16.854	21.85	18.6	-3.05	16.475	1.2			
	A	測温管				2				曲管			0.3	-1.13	-15.525

**装備機器の仕様**

1. 主機関		2. 発電機機関	
定格速度(/min)	91.4min <sup>-1</sup>	定格速度(/min)	900min <sup>-1</sup>
シリンダー配列 (直列 or V列)	直列	シリンダー配列 (直列 or V列)	直列
サイクル数 (2 or 4)	2サイクル	サイクル数 (2 or 4)	4サイクル
シリンダー数	6シリンダー	シリンダー数	6シリンダー

図 11. E丸/B社造船所の調査データ

測深管と測温管の調査データ (船名：F丸 建造年：2020年 建造造船所：B造船所)

石炭倉数：Z=5		甲板の厚み：t=0.013-0.027				単位 (m)								
船倉No. i	測深管or 測温管	管頭形状 タイプ1or2	管の寸法			管の状態 直管or曲管	管の長さ		ハッチのサイズ		管の位置		ハッチ コーミング 高さ (H)	
			口径	材質	厚み(t)		立上り寸法E	倉内の長さF	C	D	A (左舷側+)	B (船側+)		
3	F	測温管	2	40A	STPG370E	SCH80	直管	0.3	17.78	21.39	18.60	4.85	16.20	1.2
	A-P	測深兼用	1	50A	STPG370-S		曲管	0	17.78			11.18	-16.20	
	A-S						-11.18	-16.20						
4	F	測温管	2	40A	STPG370E	SCH80	直管	0.3	17.78	23.25	18.60	1.85	17.01	1.2
	A-P	測深兼用	1	50A	STPG370-S		曲管	0	17.78			11.92	-17.01	
	A-S						-11.92	-17.01						
5	F	測温管	2	40A	STPG370E	SCH80	直管	0.3	17.78	21.39	18.60	3.04	16.08	1.2
	A	測温管	2	40A	STPG370E		直管	0.3	17.86			2.80	-15.20	

装備機器の仕様

1. 主機関

定格速度(/min)	88.0min <sup>-1</sup>
シリンダー配列 (直列 or V列)	直列
サイクル数 (2 or 4)	2サイクル
シリンダー数	6シリンダー

2. 発電機機関

定格速度(/min)	900min <sup>-1</sup>
シリンダー配列 (直列 or V列)	直列
サイクル数 (2 or 4)	4サイクル
シリンダー数	6シリンダー

図 12. F丸/B社造船所の調査データ

3.1.6 船用自動温度計測器を設置する配管の詳細調査結果

3.1.6.1 温度計測配管について

船倉に装備される温度計測配管は、甲板上に現れる配管先端に管頭と呼ばれる金物の蓋が装備され、配管サイズは40Aもしくは50Aである。

温度計測用の配管は次の2種類に分類される。(図 13)



上段：甲板上に現れている形状  
下段：管頭部

図 13. 測深管と測温管

### 1) 測深管 (図 14、図 15)

測深管は船底に溜まっている水やオイル等の不要な液体（ビルジ）の深さを測定するための配管で、各船倉に3本前後装備されている。さらに測深管は兼用管とも呼ばれ、測深のほかにビルジの水素イオン指数（pH 値）や温度測定にも毎日使用される。現状では、この測深管にガラス製温度計を挿入して温度測定をしている船が多く、測深管しかない船倉もある。

測深管は配管の繋ぎ目にスリーブを使い連続している。配管先端が露出している甲板からアップスツール(※1)を通過し船倉に現れ、船倉内を真っ直ぐ通過して船倉下のロワースツール(※2)を通り、ビルジ溜まりまで伸びている。この船倉下部のロワースツール内では船型に沿って角度 20 度以下で配管は斜めに設置されている。船倉内で測深管を確認できる深さは、天井からロワースツールまでの約 2/3 までの位置である。

※1 アップスツール：船体内の隔壁を支える上部構造。(図 15)

※2 ロワースツール：船体内の隔壁を支える下部構造。(図 15)

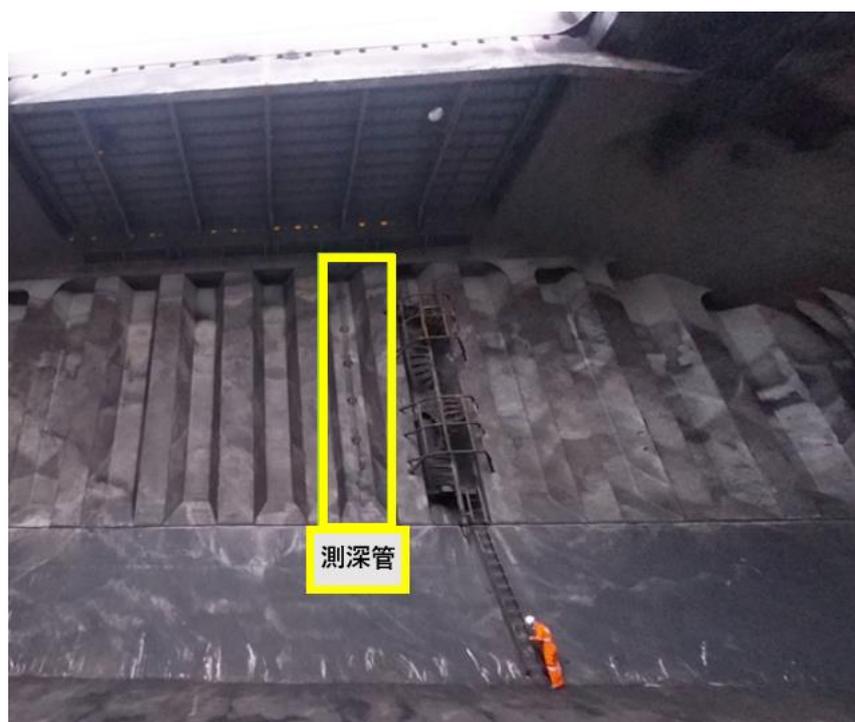


図 14. 石炭積載前の船倉の様子

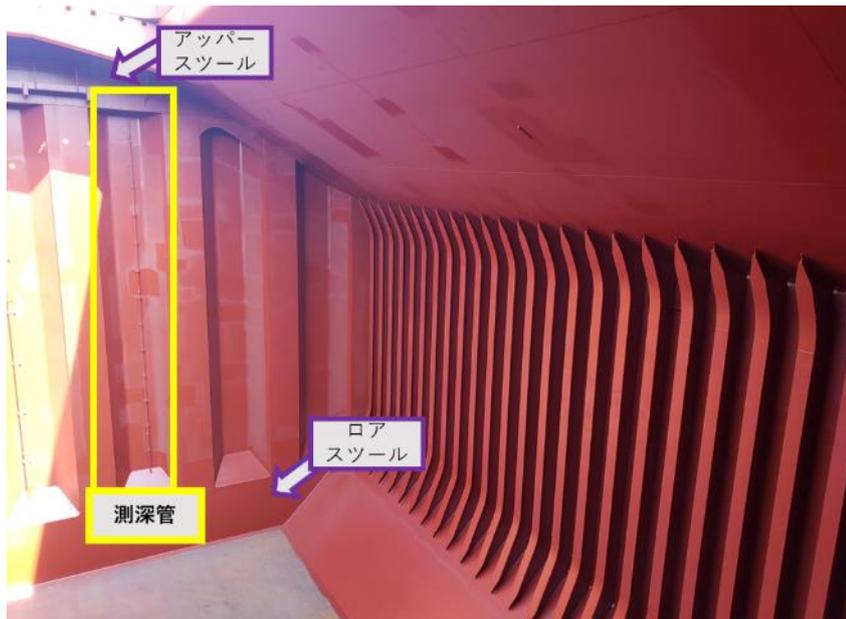


図 15. 造船中の船倉内の測深管

## 2) 測温管 (図 16)

測温管は船倉内の温度測定専用の配管である。

甲板上に現れる形状や管頭は測深管と同じで、温度測定作業も測深管の場合と同様に、ガラス製温度計を測温管に挿入して温度測定をしている。

配管下端は船倉の天井から深さ約 2/3 の位置で、ロワースツールには到達していないため、配管は直管である。

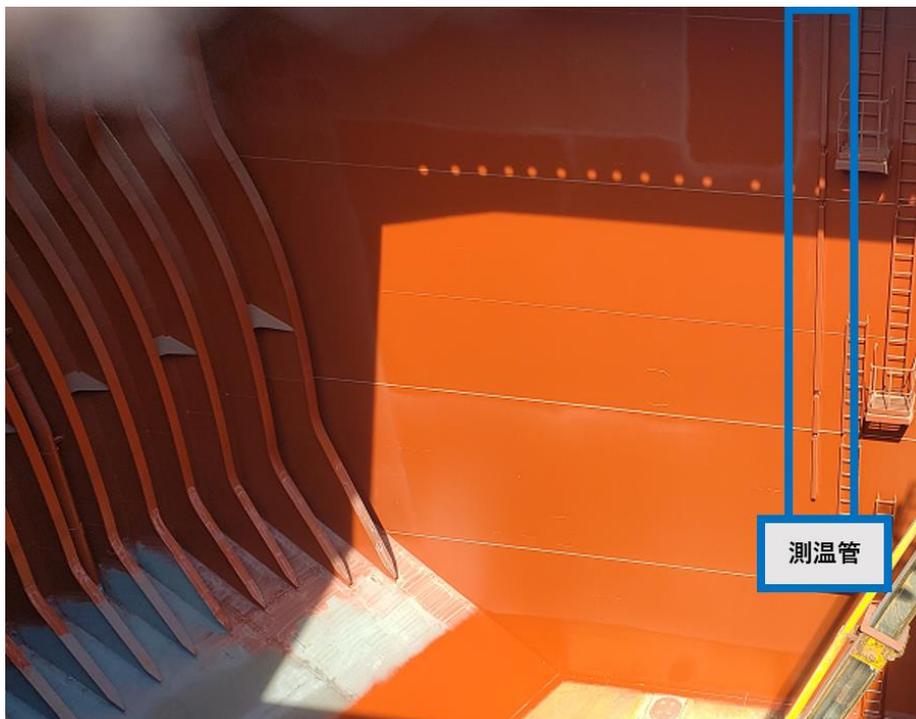


図 16. 建造中の船倉内の測温管

### 3.1.6.2 温度計測配管の先端形状の種類

温度計測配管の先端に取付く管頭形状は、次の2種類である。

#### 1) サウンディングパイプヘッド (図5)

- ・標準仕様として、甲板から立ち上がりがある配管の先端に装備する管頭である。
- ・立ち上がり部の配管長さは100 mmから300 mmほどが多く、配管にネジきりをして直接サウンディングパイプヘッドをねじ込む取付けとなる。配管サイズによってレジャーサーを用いて管頭を装備する場合もある。

#### 2) デッキピース (図6)

- ・甲板上に貨物又は通路等があり、配管を突出させることができない場合に使用する管頭である。
- ・船主の要望で設置する場合もある。
- ・甲板上が完全にフラットになるタイプと管頭のフランジ部の厚み30 mmほどが甲板から出っ張るタイプがある。

### 3.1.7 調査結果から開発に向けて

1) 現在温度測定に使用している温度計測配管は温度測定専用配管の測温管と他の測定にも使用している測深管の2種類である。レトロフィットでは温度測定専用として使用可能な測深管と測温管に開発する温度センサを設置する。

2) 測深管や測温管の管頭形状は、サウンディングパイプヘッドとデッキピースの2種類である。開発する船用多点測温ケーブルは、基本仕様である甲板から立ち上がりのある配管(サウンディングパイプヘッド)にフランジで設置する形状とする。これを基に他仕様に対応出来ると想定する。

3) 船ごとに配管の仕様が異なるため、開発の船用多点測温ケーブルを搭載する船ごとに、仕様の調査をする。

4) 調査の結果、船倉最大数は10倉であったため、最大船倉数を想定した船用ハンディロガーとする。また、船の最大船倉深さ(倉内の長さ)は約20mであったため、計測対象を最大20mとして船用多点測温ケーブルを設計する。

## 3.2 計測器の船用化設計(船用多点測温ケーブル)

### 3.2.1 多点測温ケーブルの船用化構想

船用化する多点測温ケーブルには、協力会社である株式会社チノーが有する陸用石炭サイロの温度計測技術(※3)の実績と明陽電機が培った船用機器における技術を集約した設計が求められる。

実船では温度計測配管に船用多点測温ケーブルを挿入して測定するので、陸用多点測温ケーブルのように直接石炭等と接触することがない。そのためステンレスワイヤーロープのがい装を付けない構造とした。また、主機関、補機関、プロペラなどの機器の振動や時化の揺れや衝撃による温度計測配管との衝突に耐えられる設計とする。

### ※3 陸用石炭サイロの温度計測技術（図 17）

石炭サイロ等に直接投入して深さ方向の温度分布を測定する熱電対で、がい装をステンレスワイヤーロープで保護し、内部に多対被覆熱電対を使用している。

陸用の監視システムに関しては、多点測温ケーブルと専用アプリケーションソフトを用いて一括監視を行っている。

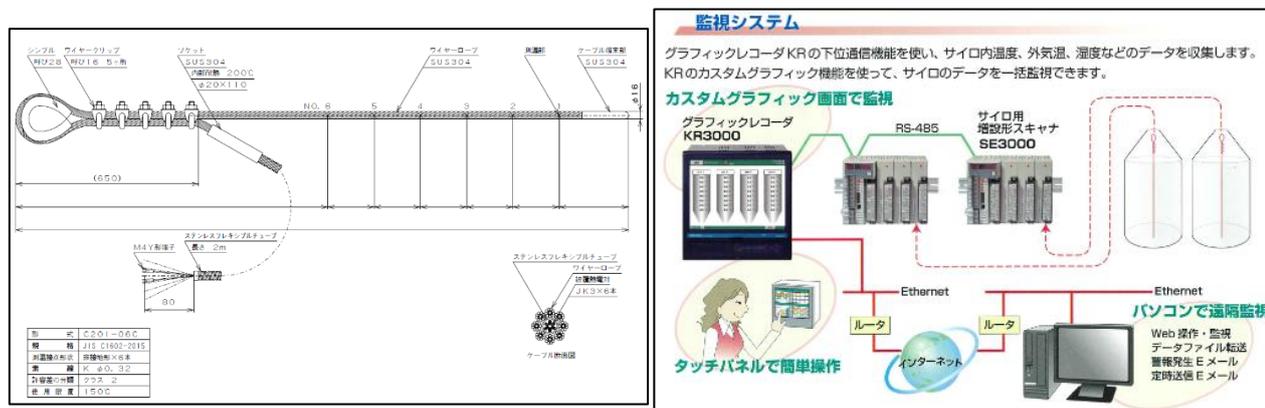


図 17. 陸用（石炭）多点測温ケーブルと監視システム

#### 3.2.2 船用多点測温ケーブルの試設計

陸用石炭サイロでは、貯炭設備の深さ方向で温度が異なる場合があるので、多点測定が一般的である。今回船用でも深さ方向に同時に4箇所測定を可能とし、耐食性と耐久性を考慮する。コネクタ接続部はケーブルの取付け、およびコネクタを保護する構造とする。また、船級協会（NK）の要求する基準に準じた試験に満足し、船舶に適用した仕様とする。

##### 3.2.2.1 ケーブル仕様

###### 1) ケーブル選定

図 18 のフロー図に基づいて4対式熱電対とするセンサ仕様を決定した。

船用多点測温ケーブルは甲板に設置することから、耐食性を考慮して腐食しやすい銅線を使用していないタイプK熱電対を選定した。耐久性を考慮し単線ではなくφ0.2mm×7本の撚り線の被覆熱電対とした。さらに耐屈曲性を考慮して外被には柔軟性特殊耐熱ビニールシース材、内部熱電対線被覆には摩擦の少ない架橋ポリエチレン絶縁被覆を採用して被覆間の摩擦を減らす構造とした。また常に測温管に設置した状態のため、機械的な強度を考慮し温度計測配管内面との接触による摩耗を防ぐため、ステンレス線編組外装を採用した。

なお、ケーブル長さは3.1.7「調査結果から開発に向けて」より最長20mとした。

# 船用多点测温ケーブル装置の仕様の選定について

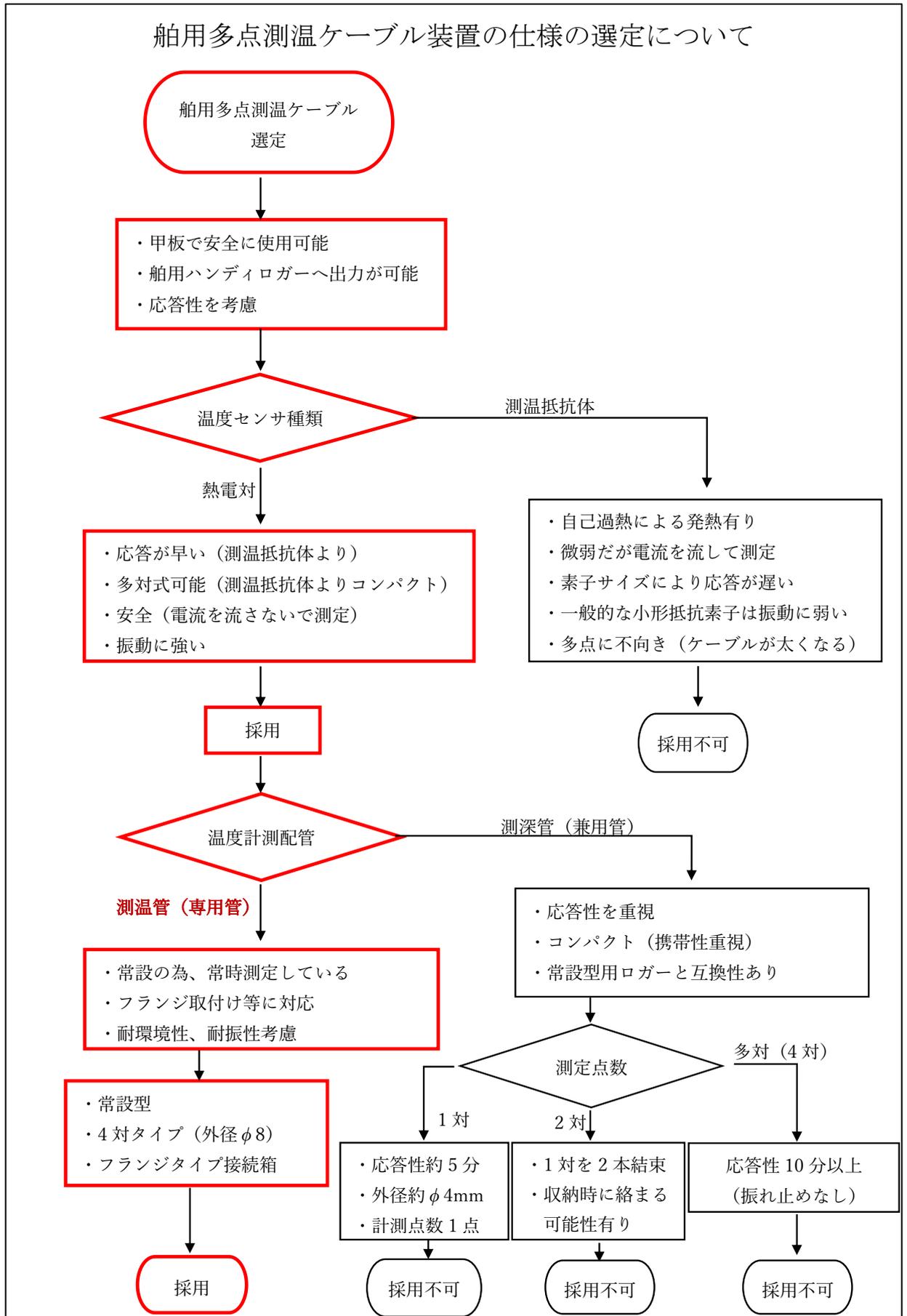


図 18. 船用多点测温ケーブルの選定フロー図

2) 許容差および誤差について

JIS で規定されている熱電対の許容差分類から、一番精度が良いクラス 1 の仕様を選定し、タイプ K 熱電対クラス 1 と船用ハンディロガーの合成誤差、およびガラス製温度計の読み値の誤差との比較を表 3 に示す。

熱電対の許容差としてクラス 1 の場合、 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  ( $-40^{\circ}\text{C}$ 以上  $375^{\circ}\text{C}$ 未満の場合)なので、船用ハンディロガーとの合成誤差は $\pm 1.9^{\circ}\text{C}$ となる。

表 3 よりガラス製温度計の読み値の誤差判断 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ であり、ガラス製温度計よりも信頼性があると判断できる。

また、熱電対を校正して補正値を船用ハンディロガーに入力することによって、さらに真値に近い計測も可能となる。

表 3. 熱電対とガラス製温度計の誤差比較

機器	許容差/誤差	測定誤差要因	使用時の誤差
熱電対 JIS C 1602- 2015	〈タイプ K クラス 1〉 -40°C以上+375°C未満 許容差 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$	・ 常時設置のため、 温度変化に追従する	合成誤差 (常温時) $\pm 1.9^{\circ}\text{C}$
船用 ハンディロガー	表示分解能 $0.1^{\circ}\text{C}$ の時 測定値の $0.1\% \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 基準点補償精度 : $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (周囲温度 $15 \sim 35^{\circ}\text{C}$ ) $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ (周囲温度 $-10 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 、 $35 \sim 50^{\circ}\text{C}$ )		
ガラス製温度計 JIS B 7414- 2018	全浸没 100 度温度計 ( $-5 \sim +105^{\circ}\text{C}$ ) 感温液: 有機液体 $1^{\circ}\text{C}$ 目盛 許容誤差: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 左記誤差要因の不確かさ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (最低目盛幅)	・ 応答性 測定時 約 5 分 ・ 環境変化の影響 ⇒ 随時変化 ・ 測定者の息、体温 の影響 ・ 日射の影響 ・ 視差	読み値の誤差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$

3) 寿命 10 年の耐久性 (許容差保証) について

機械的な損傷がない場合の熱電対使用可能時間について検討する。

旧 JISC1602-1982(熱電対)より抜粋

- ・ タイプ K 熱電対の素線径  $\phi 0.65 \text{ mm}$ は常用限度  $850^{\circ}\text{C}$
- ・ タイプ K 熱電対の連続使用時間は常用限度 10,000 時間

上記を参考に、タイプ K 熱電対の素線径 0.2 mm を選定した場合、常用限度は約 300°C と推定される。設計使用温度を 100°C にした場合、使用可能時間をアレニウス則 (10°C 2 倍則) で次のように算出できる。

$$10000 \times 2^{\{(300-100)/10\}} = 1.05E+10 [\text{時間}] = 1.20E+6 [\text{年}]$$

⇒理想値として約 100 万年使用可能である

### 3.2.2.2 コネクタ仕様

コネクタは、10 年の耐久性を考慮して測定時の抜き差し回数を算出した。

石炭船倉が最大 10 倉、測定 2 回/日として、 $10 \times 2 \times 365 \times 10 = 73,000$  回となるため、最大挿抜回数 20 万回以上 (メーカー仕様書による) のアンフェノール株式会社製 RADSOK® タイプを採用した。(図 19)

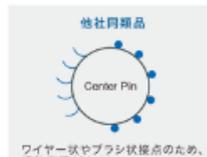
#### RADSOK®テクノロジー

RADSOK®とは、双曲線形状の格子に多くの接触点を発生させて大電流を流すことができる、ソケットコンタクトの技術です。しかも、接触面積を増大させながら、嵌合するピン全体に均等の弾性圧力を加えることで、驚くほど柔らかな挿入感と高い耐久性を実現します。

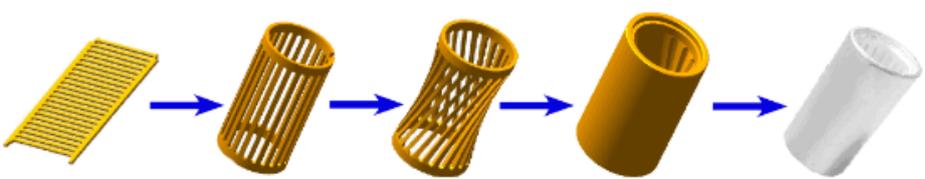
通常のソケットコンタクトはピンコンタクトとの接点が非常に少ないため接触抵抗が高くなり、接点温度が上昇します。RADSOK®は、筒状に丸めたすだれ状の板を捻ることにより、多くの接点を作ります。さらに接点は平板状になっているため、接触面積が飛躍的に増大します。結果、接触抵抗が格段に低くなることで接点温度の上昇が抑えられ、より多くの電流を流すことができるようになります。



RADSOK®  
平板状にコンタクトを包み込むため、接触面積が大きい



他社同製品  
ワイヤー状やブラシ状接点のため、接触面積が小さい



#### 利点と特長

- 通常コンタクトの1.5倍の電流を流すことが可能になり、省スペースで大電流コネクタを実現

サイズ		12AWG	8AWG	4AWG	0AWG	2/0AWG	4/0AWG
電流容量	RADSOK	35A	70A	120A	250A	350A	400A
	通常コンタクト	23A	46A	80A	150A	185A	225A

- 多点接触により、電圧降下率が抑制され、接点温度上昇が少ない
- 挿入圧力が低いため、最大挿抜回数20万回と長寿命
- 接触時に常時締付け力が働くため、振動や衝撃に強い

図 19. RADSOK®資料抜粋

### 3.2.2.3 コネクタ接続部基本構造

船用多点测温ケーブルのコネクタ接続部はキャップでコネクタを保護し、温度計測配管のフランジに接続できる構造とする。

船用多点测温ケーブルは甲板に設置するため、温度計測配管内に海水や雨水が侵入しないようにパッキンやOリングで密閉する。

### 3.2.2.4 コネクタ接続部の試設計と最適化

重量比率が大きいコネクタ接続部は固有振動数に大きく影響することから、船級協会（NK）の要求に基づく振動試験を満足するような形状を選定するため、固有振動数を算出して最適化を図った。なお、船主からの情報より、甲板から約 300 mm 立ち上がっている一般的な温度計測配管に設置した状態を想定し、目標として固有振動数は 110Hz 以上とした。

#### 1) コネクタ接続部第 1 次試設計

形状を選定するため、直径が異なる 4 種類のフランジについて、概算で固有振動数の FEM 解析を実施した。コネクタ接続部本体の直径はそれぞれのフランジの大きさに合わせた最小径とする。

共通仕様として、コネクタ接続部はキャップ開閉式を採用し、コネクタ接続部の高さは同じとする。配管取付け部は JIS 規格フランジの各サイズで検討した。

（外形図：図 20 FEM 解析図：図 21 FEM 解析結果：表 4）

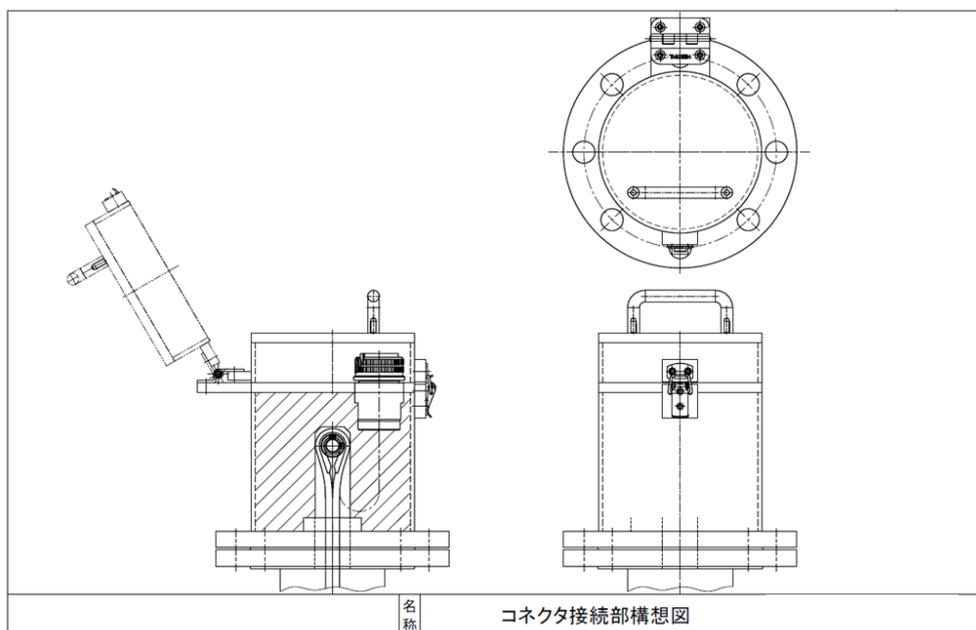


図 20. コネクタ接続部第 1 次試設計外形図

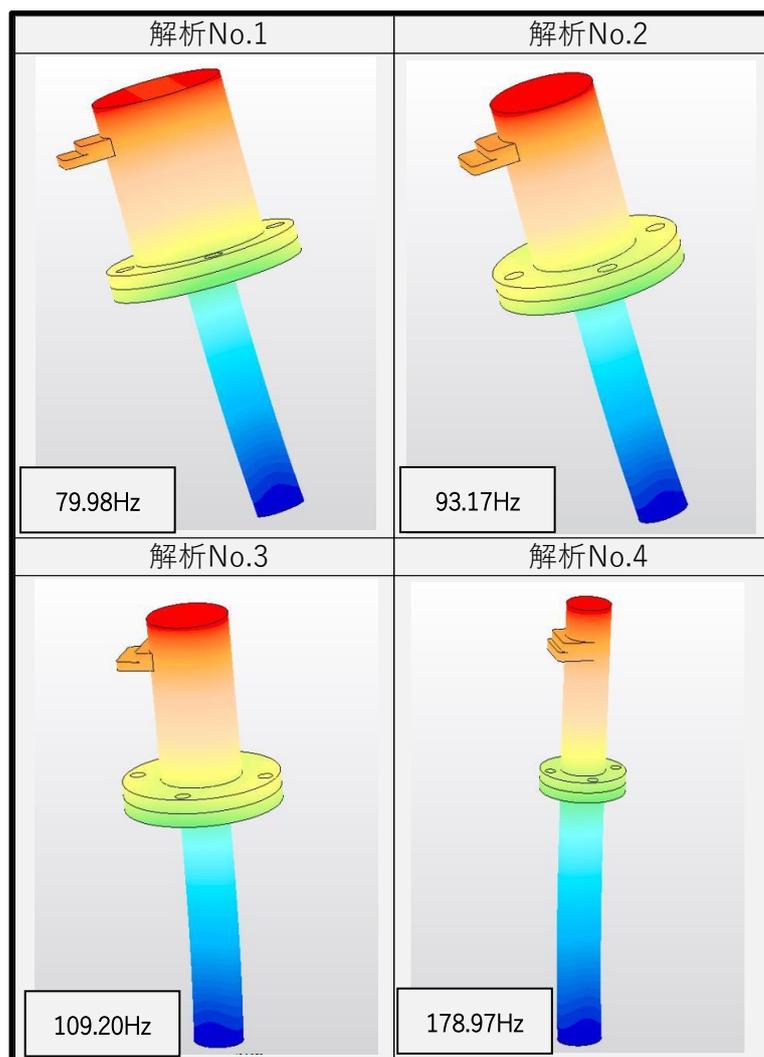


図 21. コネクタ接続部第 1 次試設計 FEM 解析結果（変位分布図）

表 4 コネクタ接続部第 1 次試設計 FEM 解析結果

仕様 (mm)		フランジ規格	固有振動数 (Hz)	110Hz 以上 ○
本体				
直径	高さ			
φ 130	115.5	JIS 5K90A	78.98	—
φ 100		JIS 5K80A	93.17	—
φ 80		JIS 5K65A	109.20	—
φ 50		JIS 5K25A	178.97	○

FEM の解析結果は、フランジサイズが一番小さい JIS 5K25A のみ固有振動数が 178.97Hz と目標値 110Hz 以上となった。フランジ及びコネクタ接続部本体の直径が小さい程重量は軽くなり、固有振動数は上がることが確認できたので、第 2 次試設計ではこの検証結果を基に詳細設計を行うこととした。

## 2) コネクタ接続部第2次試設計

コネクタ接続部第1次試設計の検証結果を基にコネクタ接続部の下記設計を行った。

キャップは開閉式からねじ込み式とし、高さは50mm、直径は $\phi 64$ mmで設計した。フランジは一般的な温度計測配管の配管サイズを考慮してJIS5K65Aを選定することとした。

(外形図：図22 FEM解析図：図23 FEM解析結果：表5)

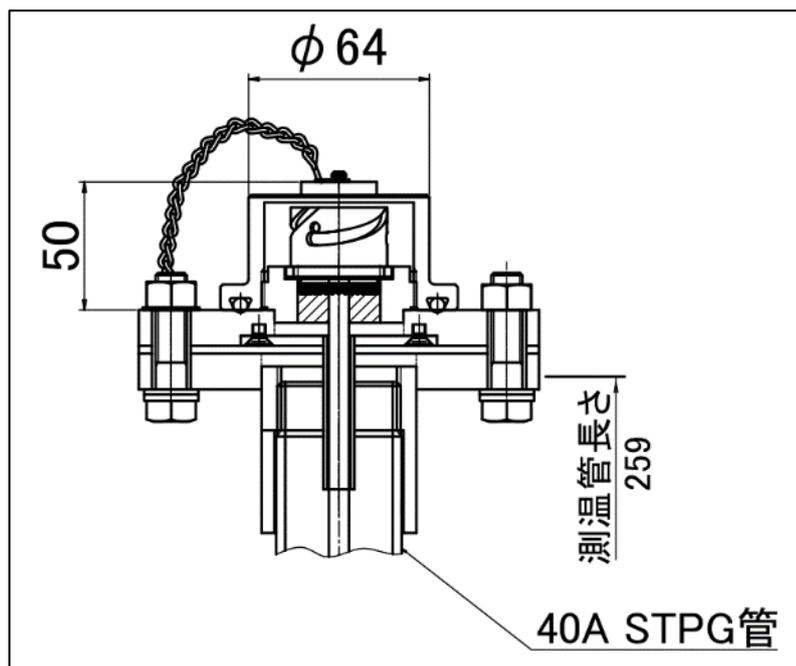


図22. コネクタ接続部第2次試設計外形図

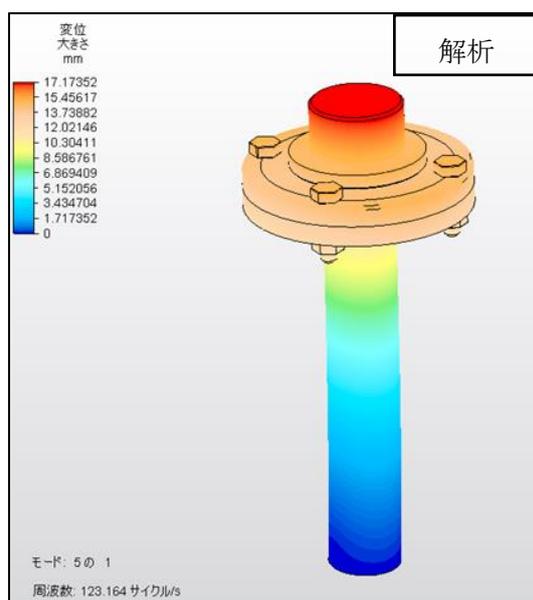


図23. コネクタ接続部第2次試設計 FEM 解析結果 (変位分布図)

表 5. コネクタ接続部第 2 次試設計 FEM 解析結果

仕様 (mm)			固有振動数 (Hz)
本体		フランジ規格	
直径	高さ		
φ 64	50	JIS5K65A	123. 16

FEM 解析結果では固有振動数 123. 16Hz となり、さらなる課題はないと判断した。

### 3) コネクタ接続部試設計のまとめ

甲板から 259mm 立ち上がっている配管に、船用で実績があるフランジ (JIS5K65A) 取付けとするコネクタ接続部を設計し FEM 解析したところ、固有振動数は 123. 16Hz となり、目標固有振動数 110Hz 以上を達成した。よって設計したコネクタ接続部は船級協会 (NK) の要求に基づく振動試験を満足できると判断し、コネクタ接続部の設計は完了した。

#### 3. 2. 2. 5 感温部基本構造

船体が揺れた際、温度計測配管内面にケーブルが接触する負荷を低減するために振れ止めを取付け、その内部に感温部を埋め込む構造とした。また温度変化を感知しやすいように、感温部は温度計測配管内面近辺の位置とした。(図 24)

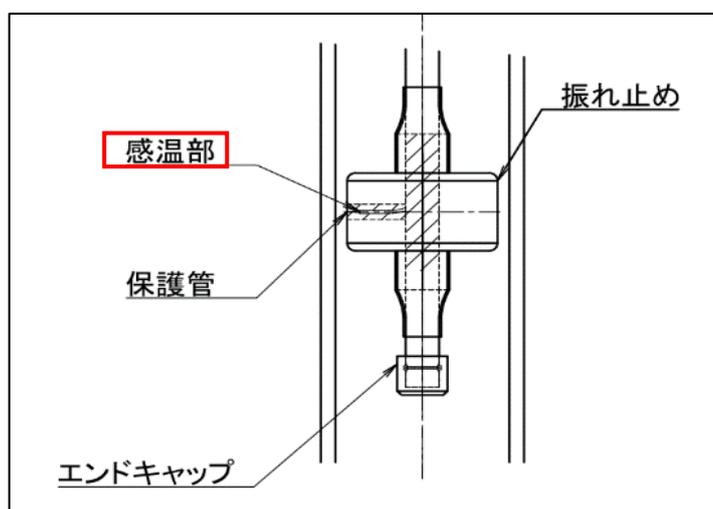


図 24. 感温部構造図

#### 3. 2. 2. 6 感温部の試設計

性能試験は沸騰水中で計測を行い、測定精度を評価する。許容差は標準とする温度計が示す温度との比較法で行い JIS クラス 1 の  $100^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}\text{C}$  以内を基準とする。絶縁抵抗試験は保護管と末端端子の間で DC500V に耐えることを基準とする。

### 1) 感温部第 1 次試設計

感温部と先端キャップ内部の充填剤はエポキシ系接着剤を使用し製作した。製造方法および試験結果を表 6 に示す。

表 6. 製造方法および試験結果

製造方法	試験結果	
	①感温部充填剤はエポキシ系接着剤を使用	性能試験
②測温接点部充填剤はエポキシ系接着剤を使用	絶縁抵抗試験	×
③ステンレス線編組外装は振れ止め内部まで挿入		

性能試験は基準を満足したが、絶縁抵抗試験は保護管と端子間で絶縁低下が発生した。

その原因は振れ止め内部および先端保護キャップ内の防水処理が不十分であったため、水が浸入し絶縁が低下したと考えられる。

この対策として感温部の外被開口部および振れ止め部分と先端保護キャップ内部の防水性を向上させる必要がある。

### 2) 感温部第 2 次試設計

防水性を向上させるため感温部の振れ止め内の充填はエポキシ系接着剤から粘着性・防水性に優れたシリコンゴムに変更した。(図 26)

製造方法および試験結果を表 7 に示す。



図 26. 対策案製作資料

表 7. 製造方法および試験結果

製造方法	試験結果	
	①感温部の外被開口部、振れ止め、先端保護キャップ内部にシリコンゴムを充填	性能試験
②測温接点を銅パイプのカシメ加工から Tig 溶接に変更し、シリコンゴムを充填し易くする	絶縁抵抗試験	×

性能試験は基準を満足したが、絶縁抵抗試験は絶縁低下が再発し基準を満足しなかった。その原因はステンレス線編組外装の末端が内部熱電対の被覆に突き刺さった

こと、およびステンレス線編組外装を伝って振れ止め内に水分が浸入したことが原因と考える。

この対策としてステンレス線編組外装の末端が内部に突き刺さらない構造とする。また、ステンレス線編組外装から振れ止め内部へ水分が浸入しないように変更する。

### 3) 感温部第3次試設計

振れ止め内部に水分が浸入しないようステンレス線編組外装は振れ止めの外部で切断した。ステンレス線編組外装末端部分の樹脂被覆に金属テープを巻き、突き刺さるのを防いだ。(図 27) 製造方法および試験の結果を表 8 に示す。

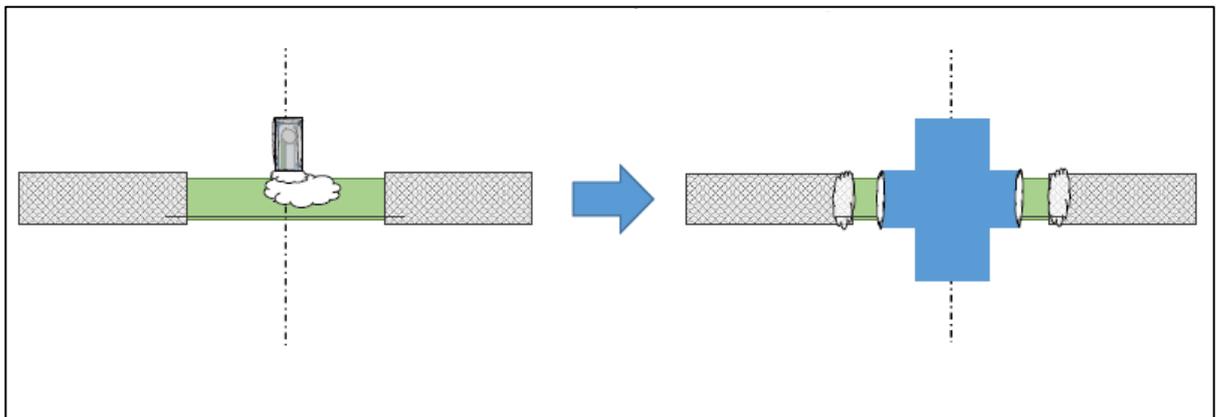


図 27. 内部構造図

表 8. 製造方法および試験結果

製造方法	試験結果	
①ステンレス線編組外装は振れ止めの外部で切断	性能試験	○
②アース用導通はステンレス線でそれぞれのステンレス線編組外装を接続しシールドからの水分浸入を防ぐ		
③ステンレス線編組外装末端部分の樹脂被覆にステンレス薄膜テープを巻いて、ステンレス線編組外装末端線が突き刺さるのを防ぐ	絶縁抵抗試験	○
④内面に接着剤が塗布されている収縮チューブを使用して防水性を向上する		

試験結果としては、防水性が改善され性能試験と絶縁抵抗試験は基準を満足することが出来た。

#### 3.2.2.7 船用多点測温ケーブルの試設計のまとめ

船用多点測温ケーブルの主要部分であるコネクタ接続部は船級協会（NK）の要求に基づく振動試験に満足する形状で試設計を行い、感温部は性能試験や絶縁抵抗試験

を満足した。以上によって、船用多点測温ケーブルの試設計は完了した。(図 25)

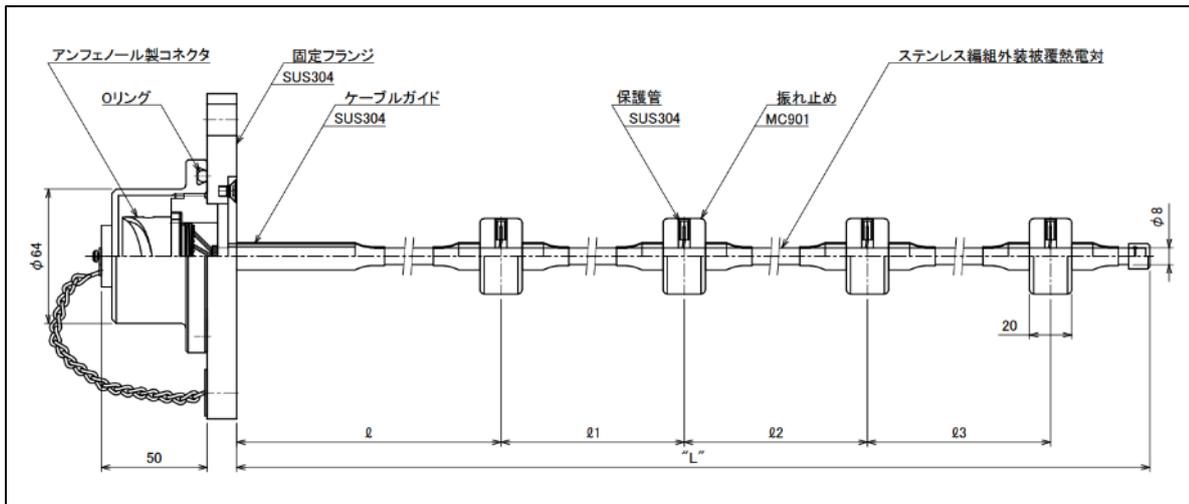


図 25. 船用多点測温ケーブルの外形図

### 3.3 計測器の船用化設計 (船用ハンディロガー)

レトロフィット船の場合、甲板上での配線ダクトなどの追加は時化を考慮すると困難である。そこで、作業員が波浪で揺れる甲板上で容易に船用多点測温ケーブルと接続可能で、軍手着用でもしっかりと掴んで操作できるハンディロガーの設計を行う。また、押し釦のサイズや配置などは人間工学的な観点を考慮した形状で、耐久性に優れ、計測システムとして防爆仕様に準ずる構造とする。

#### 3.3.1 ハンディロガーの船用化構想

多点の温度測定が可能な陸上用のハンディロガーは存在するが、船用として本事業の要件を満たす機器は存在しない。それゆえ、本事業にて開発する 4 対の船用多点測温ケーブルから温度データを収録し、船用での使用を十分に考慮した仕様とそれを実現するハンディロガーの設計を実施した。

##### 3.3.1.1 ハンディロガーに求められる要件の調査

船主と Web 会議や提供図面の相互確認を行い、船用化にあたり以下 1) ~4) の内容が求められる要件として抽出できた。

##### 1) ハンディロガー使用時の発火に対する安全性

船主への確認と、防爆に関するコンサルティングを受けた内容により、甲板上は暴露雰囲気であり、機器に関しては防爆規格適合品の使用が義務付けられているわけではないということが分かった。しかし、石炭船倉から発生するメタンガス (CH<sub>4</sub>) の影響下でも、ユーザーが安心して機器を使用できることを考慮し、本質安全防爆に準ずるレベルでの安全性が求められる。

## 2) 防塵・防滴性

防滴性については、雨天時は傘をさして作業するため、過剰な防水性能は不要とのことであった。また、内器への直径 1mm 以上の大きさのホコリ、紙クズ、砂異物などが侵入し、測定回路や操作表示に影響が生じないように、防塵・防滴性能が望まれる。

## 3) 長寿命

レトロフィット船については、常時計測設備の設置等、新たに大規模な工事を行うことは困難なため、開発した船用ハンディロガーは長期間にわたって利用されることが推測される。そのため 10 年を超える寿命を有し、長期間にわたって製品提供できるような視点での設計が必要である。

## 4) ユーザ作業の簡便性

船主へのヒアリングにて現行の作業手順を確認後、どういった内容が作業工数の削減につながるかを話し合い、以下の特長が有効であると判断した。

- ・船用ハンディロガーは、軍手着用でもしっかりと掴んで操作できるサイズで、機器操作が行い易く、押し間違いなどのミスが生じにくい配置・釦間隔であること
- ・船用多点測温ケーブルとの接続が容易で視認性も良く、測定時・データ確認の操作が簡便であること

調査により、これらの要件を実現する仕様にて試設計、試作を進めることとした。

### 3.3.1.2 試作仕様の策定

甲板および船室での想定使用・要件調査結果を基に、表9の仕様で試作を進めることとした。

表9. 船用ハンディロガーの仕様概要

センサ入力	K 熱電対
入力点数	最大4点
入力コネクタ	専用ケーブル(補償導線)との勘合
測定温度範囲	K 熱電対単レンジ(0.0~99.9℃)
表示分解能	0.1℃
測定精度	±(読取り値の0.1%+0.5℃) 基準動作条件(周囲温度 23±3℃)にて
サンプリング周期	1秒 (4ch)
データ収録 インターバル	30秒、1分、3分、5分 収録時間の最終30秒の平均値を記録
収録データ数	1航海60日以上のデータをハンディロガー内に保持 パソコンソフトによってデータ吸出し、メモリ消去
外形寸法	W70*H159*D33/突起部を除く
ディスプレイ	表示内容：別途規定 ・モノクロ FSTN LCD ・表示エリア：W43×H50 ・数値表示：7SEG ・偏光板：反射、バックライト：なし ・視覚方向：6時(作業者の現場での視認性考慮) ・駆動電圧：3.0V ・動作周囲温度：-10~60℃
操作キー釦	キー釦数：5 キーデザイン、キーサイズ：別途規定 タイプ：タクトイル SW+シリコンラバー 打鍵ライフ：10万回
防塵防滴性能	IP44
筐体材質	PA/ABS(抗菌仕様)
ラバー材質	シリコーン(防水パッキン、USB キャップ、キーラバー)、グレード：HB
使用環境	-10~50℃/10~80%RH(結露なきこと)
保存温度	-20~55℃/0~90%RH(結露なきこと)
電源	甲板上：単3乾電池(LR6)×4本 船室：USBコネクタから給電し、乾電池電力消費を抑制 RTC(時計IC)：ボタン電池(CR2032)を搭載し、電源OFF時でもカレンダー保持
通信機能	USBケーブルで接続し、仮想COMドライバで通信

### 3.3.1.3 温度測定の基本操作策定

陸用の高性能タイプハンディロガーで実績のあった操作方法と、船用を考慮した簡便な操作方法案を検討し、それぞれフロー化して船主へ確認を行った。

図 28、図 29 にその内容を示す

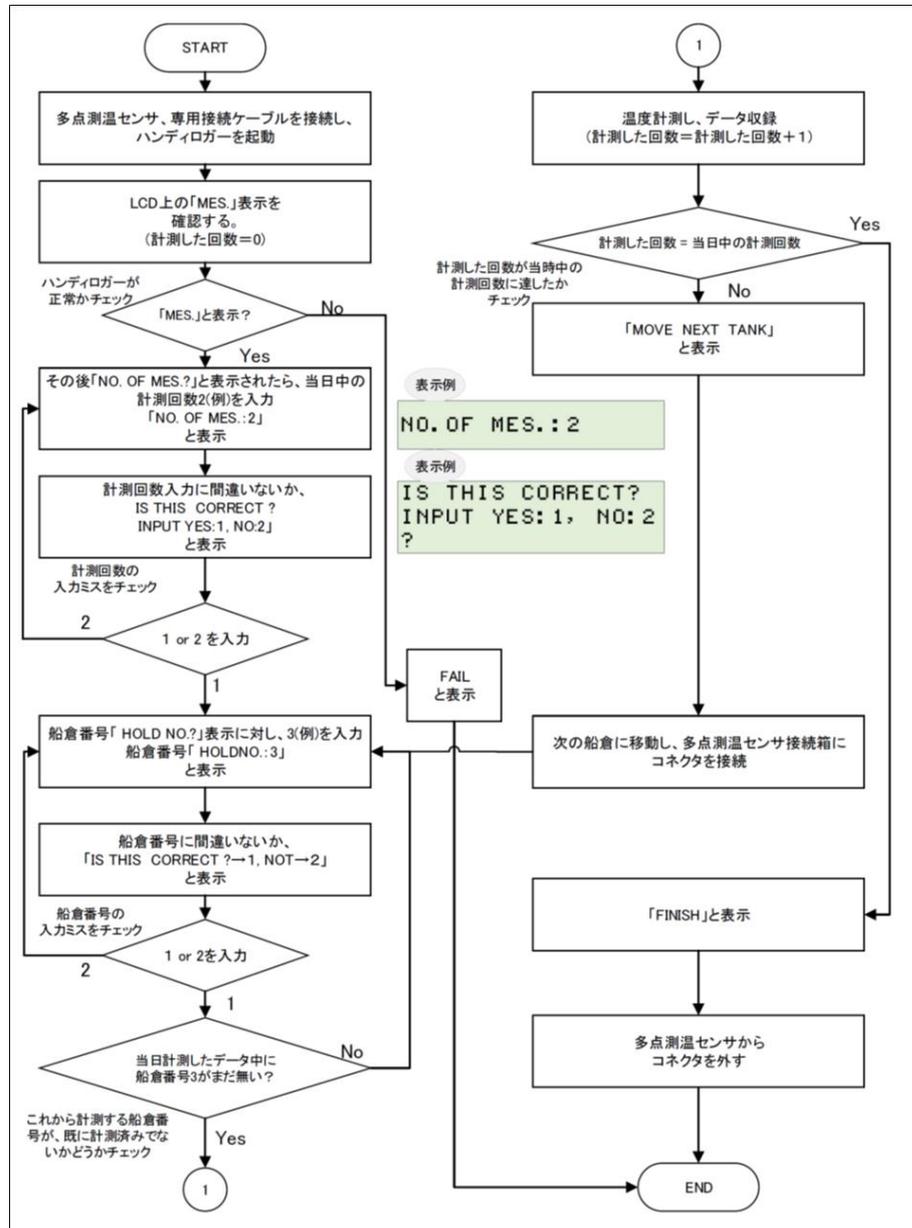


図 28. 操作案 1：ドット式 LCD を用いた対話型による操作方法

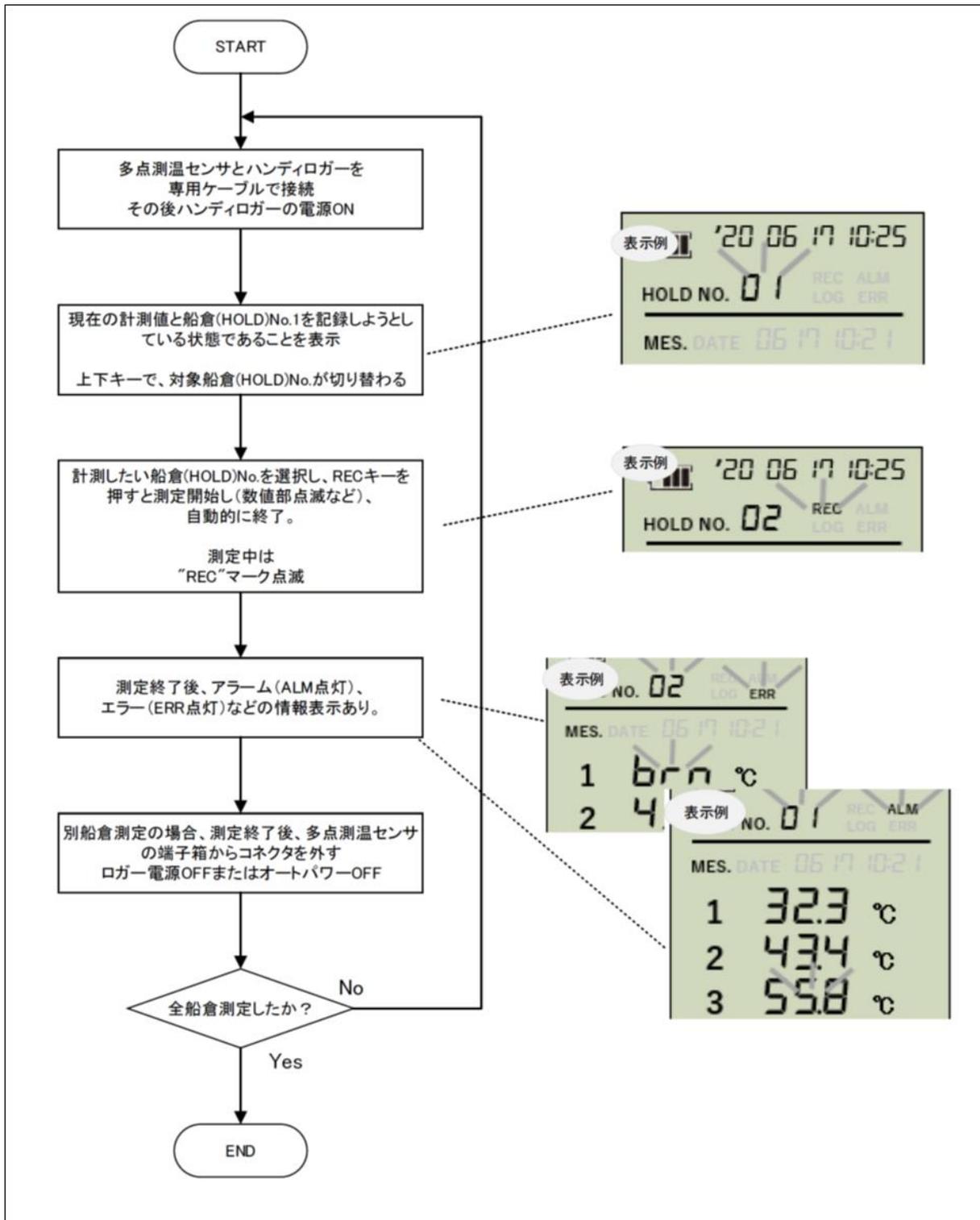


図 29. 操作案 2：固定表示のセグメントを用いた定型方式による操作方法

船主との Web 会議にて 2 案を提示し、船用として案 2 が簡便という意見を反映した上で、図 30 に示す設計コンセプトに則り試設計を進めることとした。

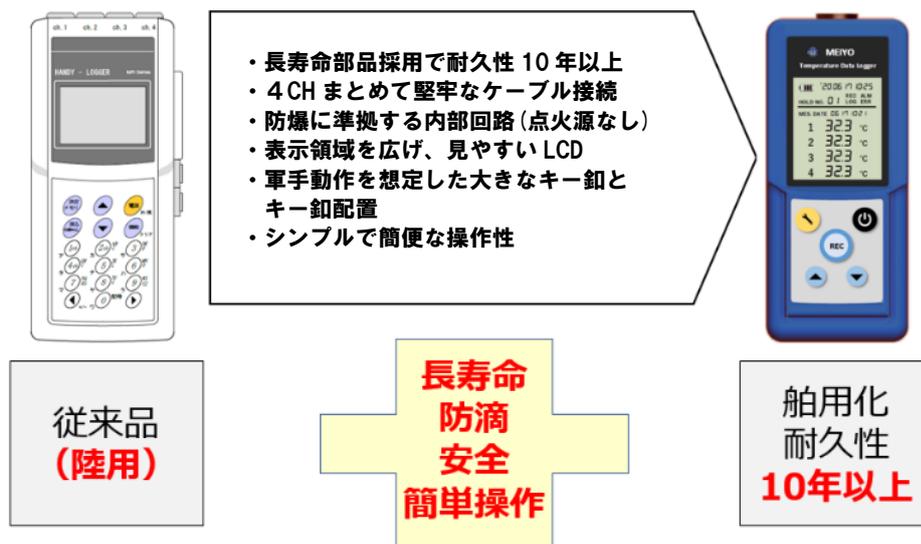


図 30. ハンディロガー試作コンセプト

### 3.3.2 船用ハンディロガーの試設計

船用化構想を基に、各要素の試設計を実施した。

#### 3.3.2.1 ケース部の試設計

ハンディ機器であることから、外形寸法については、内蔵する回路や接続コネクタ寸法、乾電池 4 本収納を考慮し、既存陸用製品のデザインを参考に試設計を行った。また交換が発生する電池部の蓋およびパソコンと接続する際の USB コネクタ部、ケース分割部にラバーパッキンを使用し、防滴性を確保する設計方針とした。(図 31)



図 31. 防滴性確保のためのラバーパッキン使用箇所

### 3.3.2.2 キー釦部の試設計

機能の実現に必要な操作キー釦と配置レイアウトを3案考案し、船主の意見を参考に、キー釦数と配置レイアウトを決定した。(図 32)

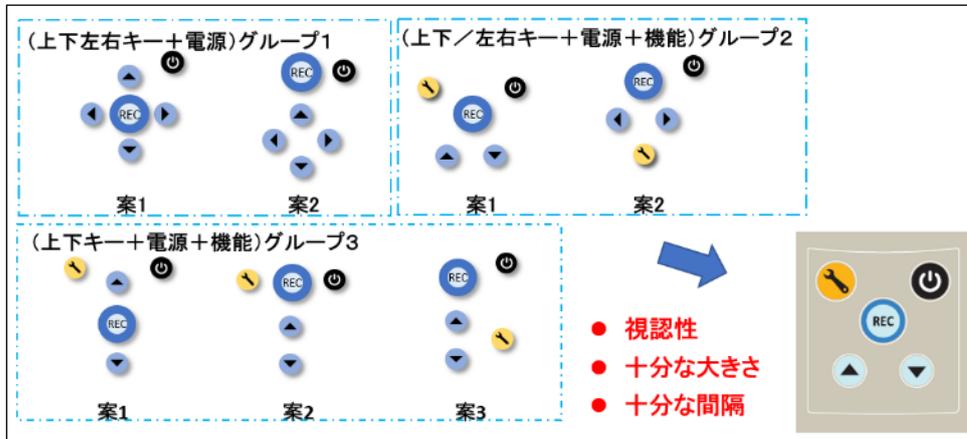


図 32. 操作キー釦部の釦数と配置

キー釦の大きさと同隔については、操作部分のシール裏面の粘着面積を考慮し、サイズと同隔を最大限大きく取れるようなレイアウトを目指した。釦径を極力大きくすることで、クリック感を向上させ、軍手着用していても押し感が分かるような設計とした。また、色合いとキートップ、配置については、取説がなくても一目でわかるようなマーク、ケース色の濃紺との補色に対し目立ちすぎないような違和感のない色をキー釦部の背景色とするなど、人間工学を意識したデザインとした。

(図 33)

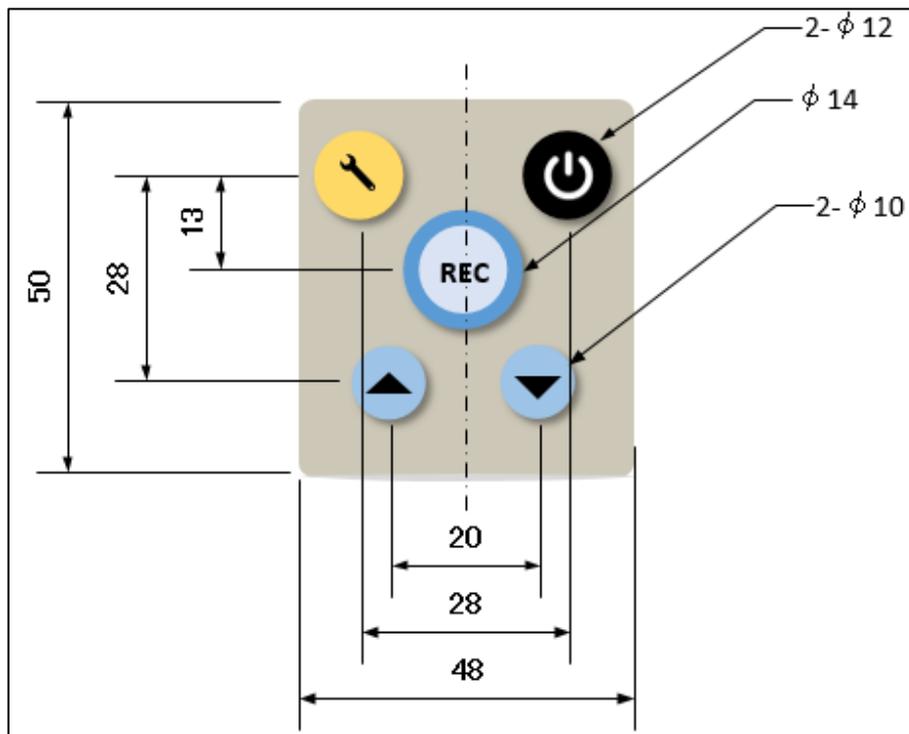


図 33. 操作キー釦部の寸法

### 3.3.2.3 表示部の試設計

表示部については、視認性と操作性を考慮し、基本操作案に基づいて専用のLCD表示部を設計するため、さらに具体化した内容を検討した。(図34)

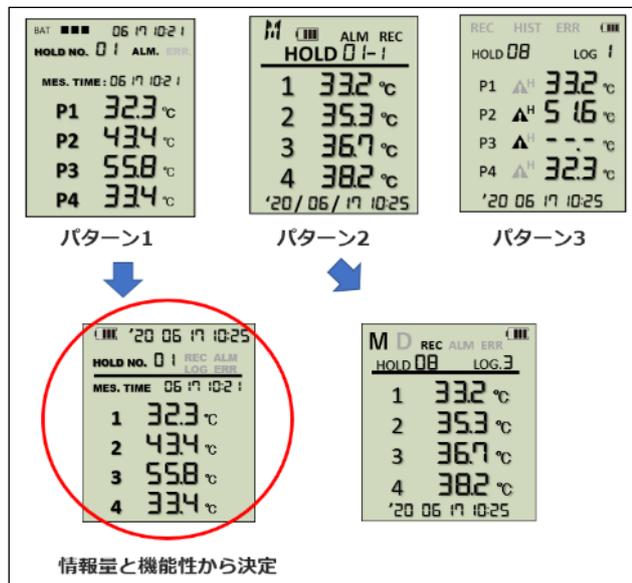


図34. LCD表示内容の決定

要望を満たす3パターンの表示レイアウトから、実際に利用する際の情報量や機能性を考慮の上、パターン1をベースとすることに決定後、キー釦の役割とLCD表示における数値・文字のセグメント部位について内容を検討し、図35として決定した。

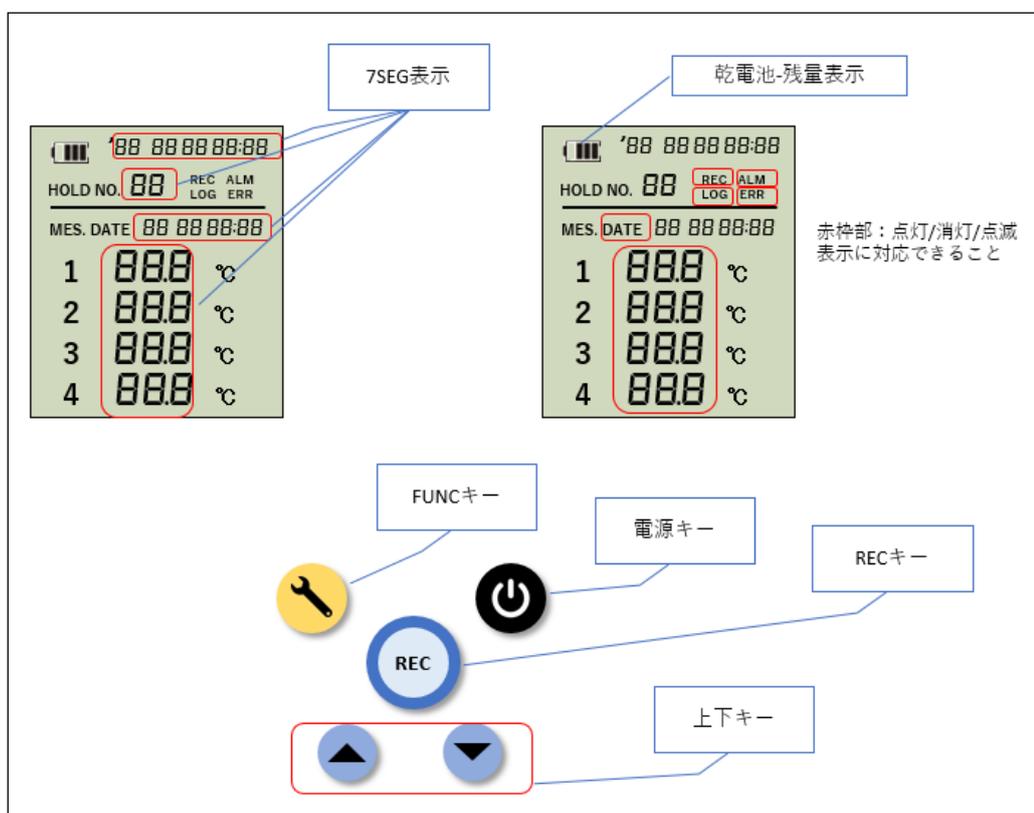


図35. LCDのセグメント表示箇所とキー釦の役割

さらに具体的な動作仕様と詳細な画面遷移について、実際のキー釦操作も含めた試験を進めた。操作と画面遷移の代表例を図 36、図 37 に挙げる。

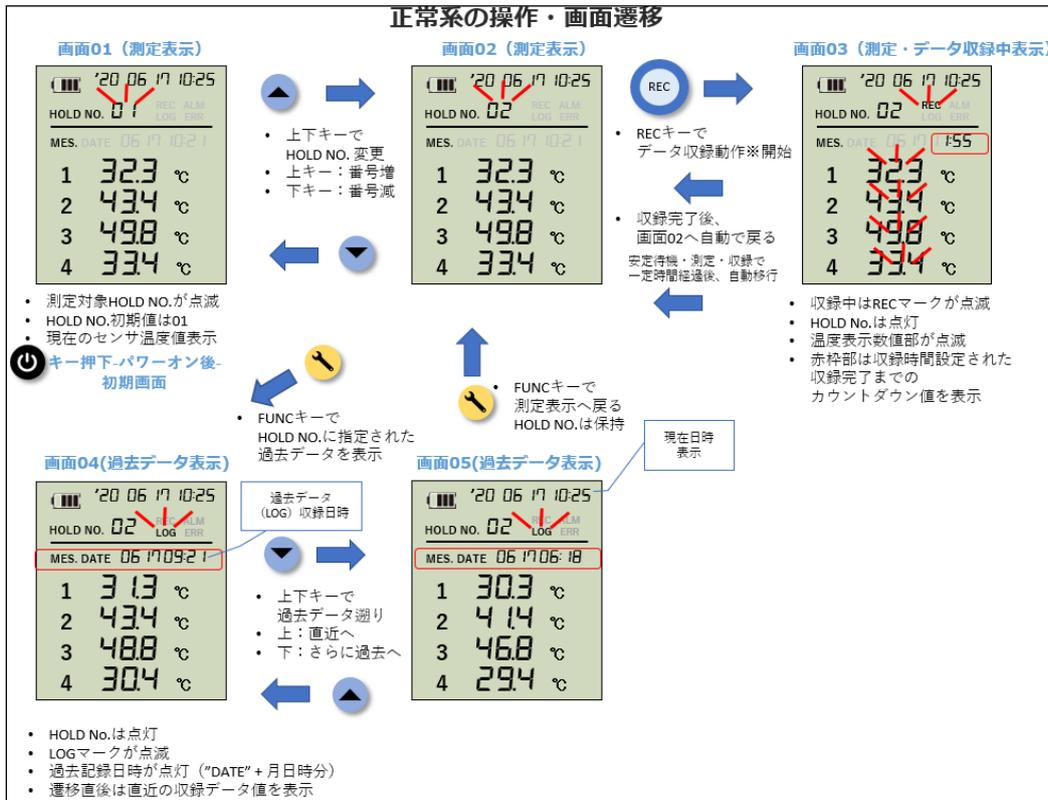


図 36. 正常状態での表示、操作内容

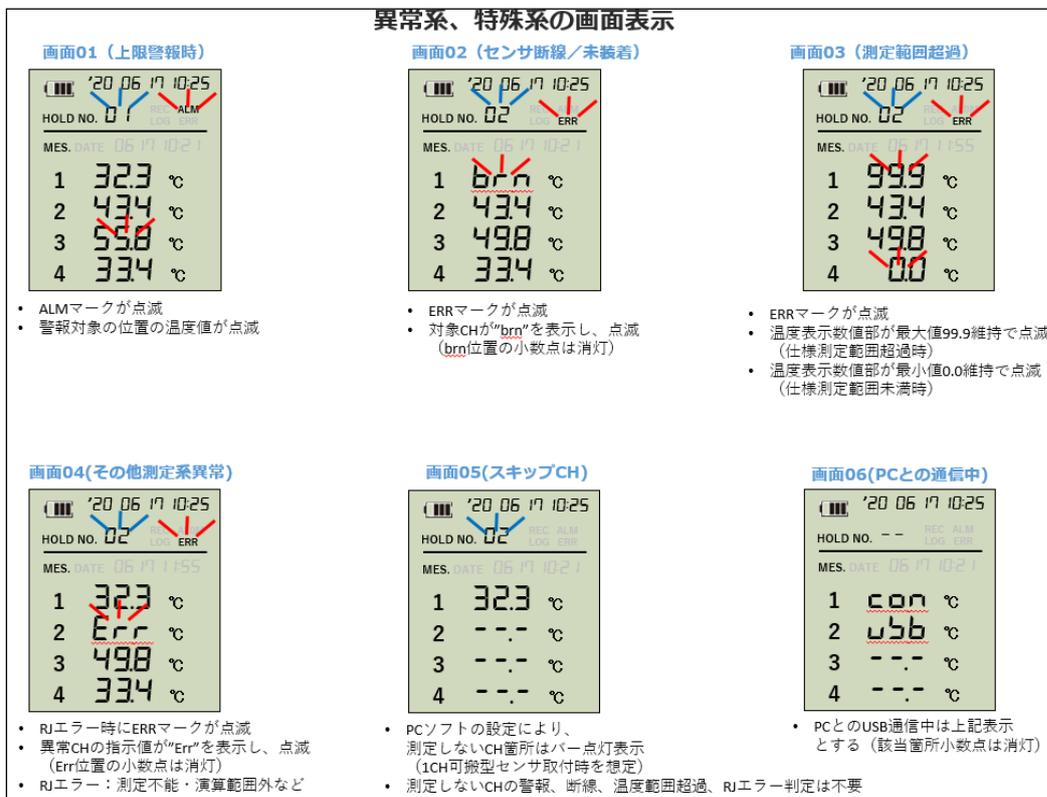


図 37. 異常、特殊状態での表示、操作内容

表示内容が定まったため、試作機で採用するカスタム LCD の試設計、試作を進めた。  
試作した LCD の概要仕様を図 38 に挙げる。

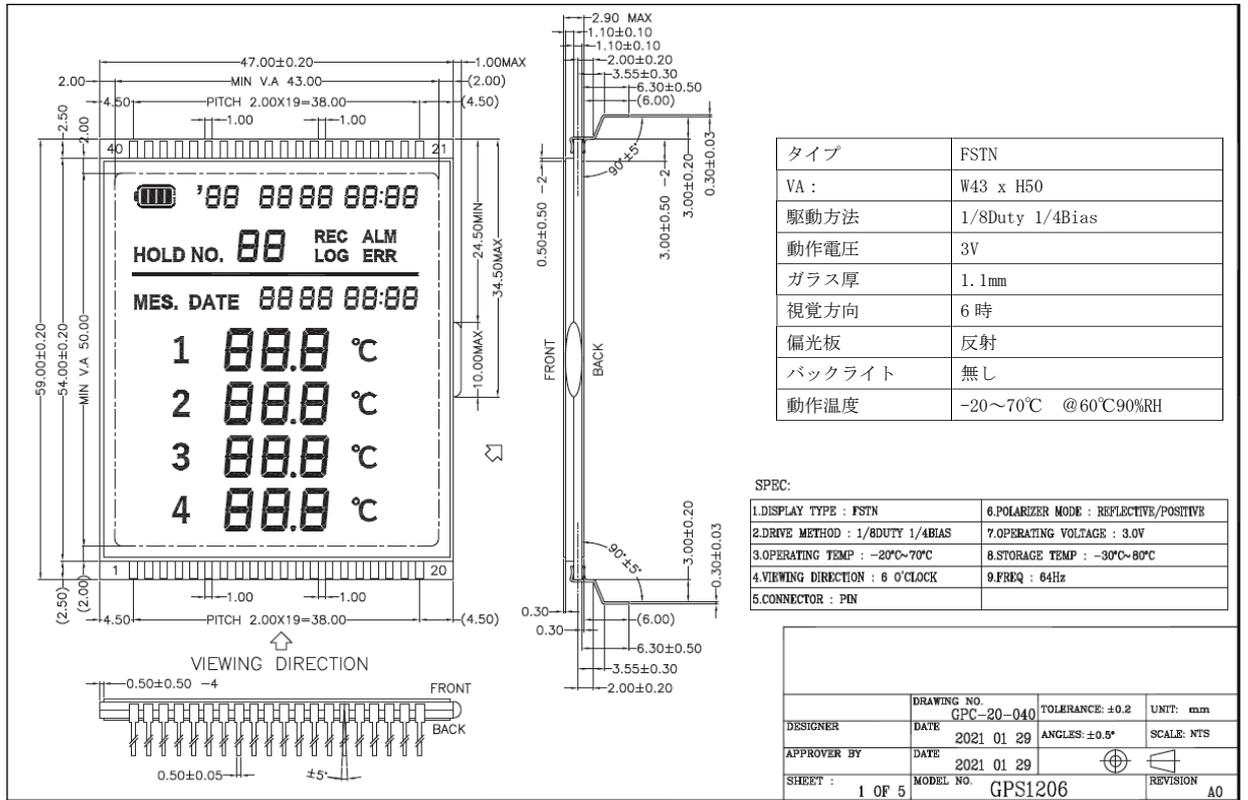


図 38. 試作機で採用するカスタム LCD の仕様概要

### 3.3.2.4 CPU回路部の試設計

最低限 2033 年 12 月まで長期供給される (PLP : Product Longevity Program 長期製品供給プログラム) ラインアップの CPU から、乾電池駆動に適した、低消費電力タイプを選定した。

また、温度データを保存する記録媒体として FRAM (Ferroelectric Random Access Memory) を採用した。記録容量はフラッシュメモリなどに対し劣るが、書き換え回数は十分余裕があり (10 兆回)、半永久的にデータの記録、消去、保持が期待できる。またデータの書き換えに際し、内部で高電圧状態にならないため、安全設計の観点からもこれを採用することとした。(図 39)

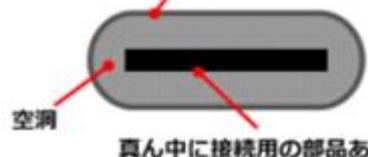
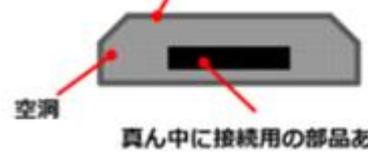
## 汎用メモリとの特長比較

項目	FRAM	EEPROM	フラッシュメモリ	SRAM
メモリタイプ	不揮発性	不揮発性	不揮発性	揮発性
データ保持用バッテリー	不要	不要	不要	必要
書換え回数	10兆回	100万回	10万回	無制限
書込み方法	重ね書き	消去+書込み	消去+書込み	重ね書き
書込み時間	150ns	5ms	10μs	55ns
昇圧回路	不要	必要	必要	不要

図 39. 測定データの保持に使用する FRAM の特長

PC との接続については、各国の無線規格に抵触せず不要な電波干渉が発生しないように有線（USB）接続とした。接続用のコネクタは表 10 の特長を比較し、USB Type-C を選択した。接続の向きによる誤挿入がなく、挟れが生じにくい構造である。

表 10. 機器に使用される代表的な USB コネクタの特長

名称	機器側で使用される USB コネクタの特長	
USB Type-C		<p>(正面)</p> <p>上下・左右が対称な形状</p>  <p>空洞</p> <p>真ん中に接続用の部品あり</p>
microUSB		<p>(正面)</p> <p>上下が非対称な形状</p>  <p>空洞</p> <p>真ん中に接続用の部品あり</p>

また、カレンダー表示や収録したデータのタイムスタンプで使用する時計 IC は、専用のコイン電池（CR1220）搭載によって、電池交換無しで 10 年以上の使用が可能な低消費電力タイプを選定した。

### 3.3.2.5 防爆に準ずる設計内容の考慮

陸上用として実績のある既存回路に対し、船用化するにあたり、専門家による安全設計に関するコンサルティングを受けた。結果の内容から、既存品の回路構成に対して対策を実施することにより、船用化に向けた本質安全防爆相当の安全化を図れると判断した。新規設計品では、あらかじめ対策内容を考慮し、以下の内容にて設計を進めることとした。

#### ① 電源部への FUSE と電流制限抵抗挿入

メイン電源となるバッテリーと監視室で使用する USB ポートの直後に図 40 の赤枠部に示す FUSE と電流制限抵抗を挿入する。これにより、電源からの瞬時供給電流を抑制し、受け側の半導体が故障しても爆発性雰囲気内で点火源とはならない。

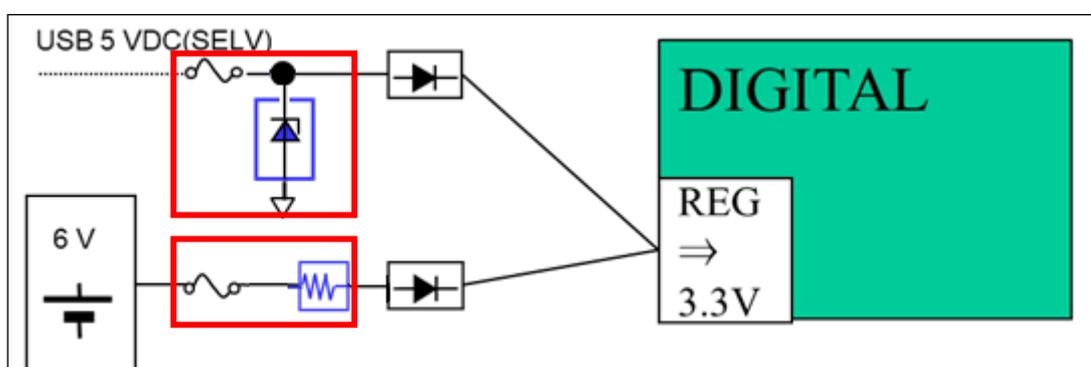


図 40. 電源供給部に対する故障時発火抑制対策

#### ② 電圧駆動のカスタム LCD モジュールを新規設計

陸上用既存器で実績のある LCD 表示器は、LCD モジュール内部で 30V の電圧を生成している。安全設計の観点から、そのまま採用する場合は電源供給口に電流抑制のためのクランプダイオードを追加する必要があったが、船用ハンディロガーにおいては、低電圧駆動 LCD をカスタム製作することで、ダイオードを追加することなく、より安全に使用できる。電圧抑制とともに、電流消費削減により、点火源とはならない設計である。(表 11)

表 11. 低電圧駆動 LCD モジュールの仕様概要抜粋

SPEC:

1.DISPLAY TYPE : FSTN	6.POLARIZER MODE : REFLECTIVE/POSITIVE
2.DRIVE METHOD : 1/8DUTY 1/4BIAS	7.OPERATING VOLTAGE : 3.0V
3.OPERATING TEMP : -20°C~70°C	8.STORAGE TEMP : -30°C~80°C
4.VIEWING DIRECTION : 6 O'CLOCK	9.FREQ : 64Hz
5.CONNECTOR : PIN	

### ③ 入力端子部への電流制限抵抗の追加

センサ入力端子部へ電流制限抵抗を挿入し、回路故障時にセンサ側へ流れる電気エネルギーが十分に抑制されるような配慮を行った。(図 41)

これにより、センサ側へ点火源となるエネルギーが供給されることはない。

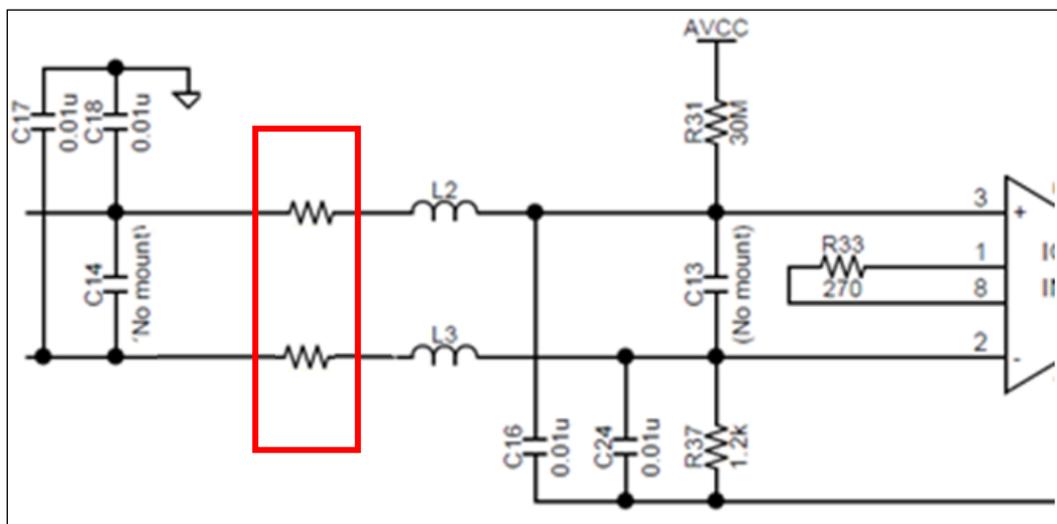


図 41. 故障時にセンサへ流れる電流の抑制

### 3.3.2.6 寿命 10 年の耐久性を得るための設計検討

長寿命化を図るための設計内容として、以下を考慮した。

#### ①スイッチ機構

タクトイルスイッチ（最低限 100 万回の機構寿命品）を採用。

1 日 5 回、最大 10 船倉測定という限界条件を想定し、1 キー釦あたり 50 回押下、余裕度を考量して 100 回押下したとすると、365 日で 36,500 回、10 年連続使用の場合でも 36.5 万回となり、十分な機構寿命であると判断した。

#### ②キー釦部の表面シート

耐久性、経年変化に強い材質で、メーカ実績として魚群探知機などのキーシートにも採用されているラバー素材（シリコーン）を採用した。

#### ③LCD

LCD には基本的に寿命という概念はない(バックライト付きの場合は LED の光量半減期等の寿命あり)。MTBF(平均故障間隔時間)の目安は 5 万時間であり、1 日 12 時間使用しても 11.4 年に相当し、十分な寿命であると判断した。

#### ④その他部品について

半導体は、定格で使用する限り液晶同様に寿命はなく、MTBF や MTF (平均故障寿命) で規定されており、寿命 10 年はクリアできていると判断した。

### 3.4 計測器の試作と船用多点測温ケーブルの試験

#### 3.4.1 船用多点測温ケーブルの試作と試験

##### 3.4.1.1 試験品の試作

3.2 項の試設計結果を基に、試験用の船用多点測温ケーブルを試作した。(図 42)

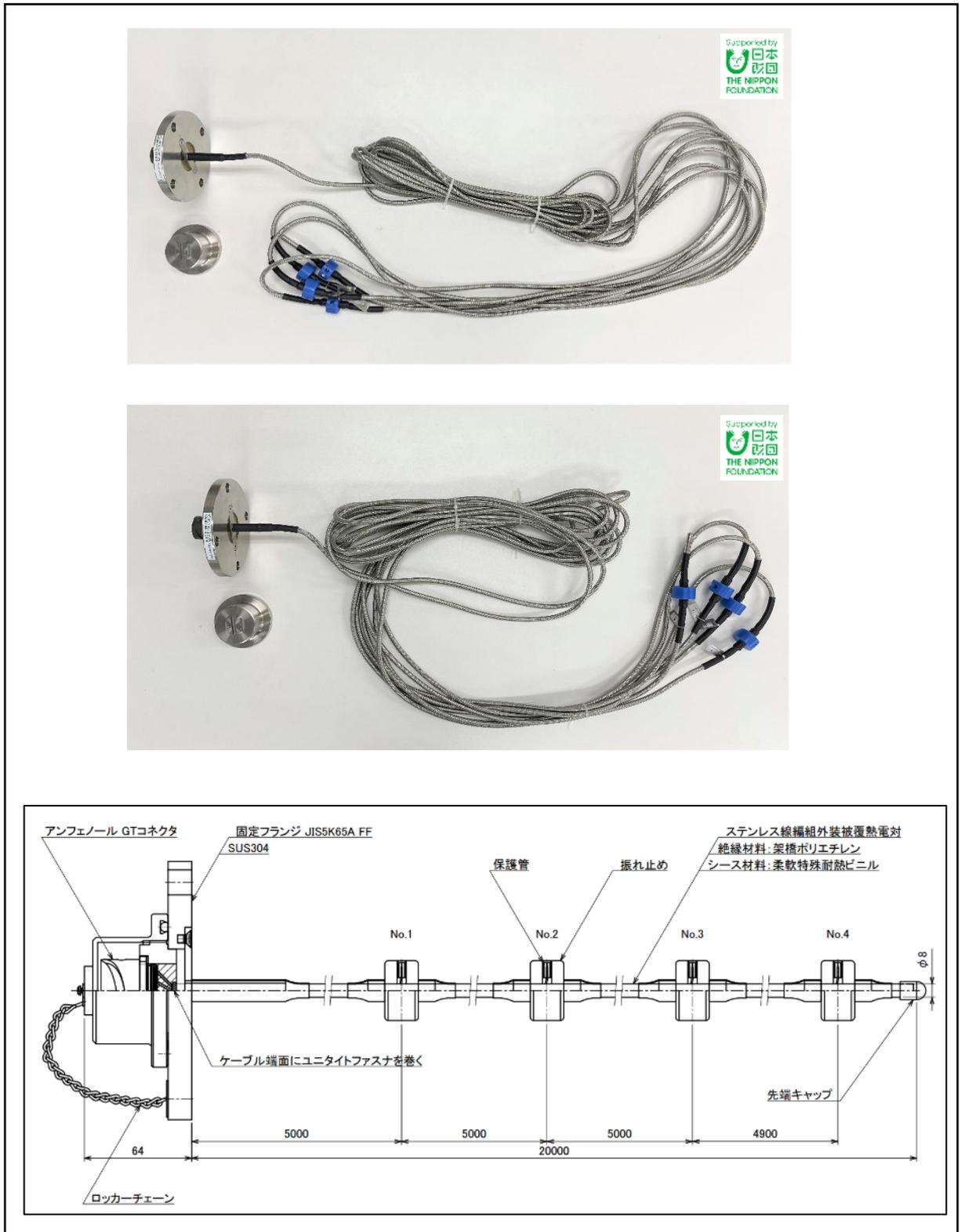


図 42. 試験品外形図および写真

### 3.4.1.2 船用化に必要な社内評価試験内容

製作した船用多点測温ケーブルは、NKの船用材料・機器等の承認および認定要領第7編1章1.3の環境試験（鋼船規則）に準じた下記試験を社内の試験設備で行った。

- 1) 外観・構造試験：IEC 60584-1
- 2) 性能試験：IEC 60584-1, JIS C1602 Class 1
- 3) 絶縁抵抗試験：IEC 61557, IEC 61010-1
- 4) コネクタ接続部の振動試験：IEC 60068-2-6（コネクタ接続部のみ加振台に固定）
  - a) 共振調査試験
  - b) 耐久性試験
- 5) 温湿度試験：IEC 60068-2-30
- 6) 乾燥高温試験：IEC 60068-2-2
- 7) 低温試験：IEC 60068-2-1
- 8) 耐電圧試験：IEC J60950-1, JIS C 6950-1

### 3.4.1.3 船用化に必要な社内評価試験結果

試験品である船用多点測温ケーブルは、全ての試験において船級協会に基づく試験基準を満足した。

試験の様子を図43、図44、試験結果を表12に示す。

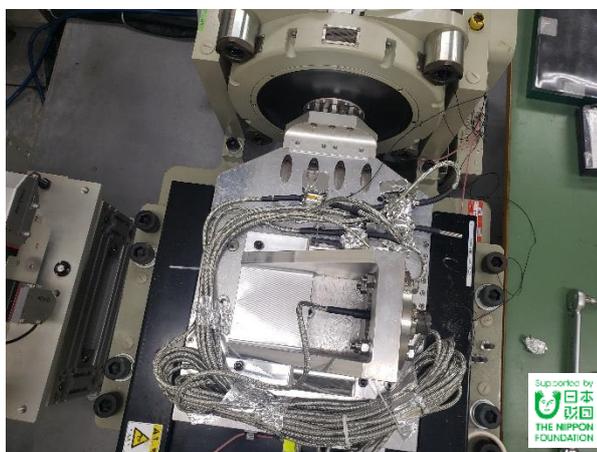


図43. 恒温恒湿槽にセットした様子 図44. 振動試験の様子（振動試験機にセット）

表 12. 社内評価試験結果

試験名	試験概略内容	判定基準	判定結果
1) 外観・構造試験	外観・構造の確認	仕様書通りである	合格
2) 性能試験	指定通り作動確認	指定された通りに作動する	合格
3) 絶縁抵抗試験	規定の試験電圧で絶縁抵抗を測定	絶縁抵抗値が規定以上である	合格
4) コネクタ接続部の振動試験 (コネクタ接続部のみ固定)	3 軸方向について、作動状態で行う a) 共振点 (増幅定数: $Q>2$ となる振動周波数) を探す掃引試験 b) 共振の有無により規定の条件で耐久試験	機器に異常がなく、指定されたとおり作動する	合格
5) 温湿度試験	温度 55℃湿度 95% 1 サイクル 24 時間×2		合格
6) 乾燥高温試験	温度 70℃で 16 時間		合格
7) 低温試験	温度-25℃で 16 時間		合格
8) 耐電圧試験	規定の電圧を 1 分間加える	機器に異常ない	合格

#### 3. 4. 1. 4 船用化に必要な第三者試験機関における評価試験内容

船用多点測温ケーブルは、NK の船用材料・機器等の承認及び認定要領第 7 編 1 章 1. 3 の環境試験 (鋼船規則) に準じ、社内で評価できない下記試験に関して、一般社団法人日本船舶品質管理協会製品安全評価センターにて評価試験を実施した。

- 1) 振動試験 : IEC 60068-2-6  
固定 : コネクタ接続部、ケーブル、振れ止め (加振条件は社内試験と同じ)
- 2) 電気機械器具の外郭による保護等級試験 : IEC 60529
- 3) 塩水噴霧試験 : IEC 60068-2-58

#### 3. 4. 1. 5 船用化に必要な第三者試験機関における評価試験結果

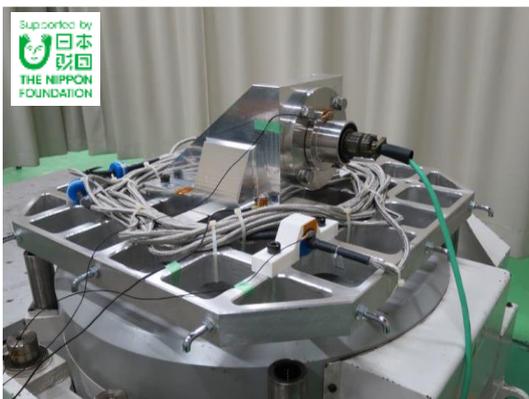
試験品である船用多点測温ケーブルは全ての試験において船級協会に基づく試験基準を満足した。

なお、振動試験は共振点がなかったため、耐久試験は周波数 30Hz (1 秒間に 30 回の振動)、加速度  $\pm 0.7G$  の振動を 90 分間加えた試験を行った。

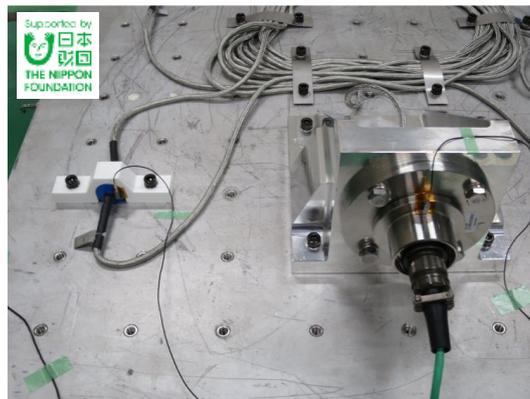
試験結果を表 13、試験実施記録を図 45、図 46、図 47 に示す。

表 13. 第三者機関の評価試験結果

試験名	試験概略内容	判定基準	判定結果	
1) 振動試験 (コネクタ 接続部、振 れ止め、ケ ーブル、を 固定)	3 軸方向について、作動状態で行う a) 共振調査試験 次に示す振幅または、加速度で掃引し共振点（増幅 定数:Q>2 となる振動周波数）を探す掃引試験行う	機器に異常 がなく、指 定されたと おり作動す る	合格	
	振動周波数			振幅または加速度
	5Hz～13.2Hz 13.2Hz～100Hz			振幅±1mm 加速度±0.7G
	b) 耐久性試験 共振点がない場合、周波数30Hz、加速度±0.7Gの振 動を90分間加える耐久試験を行う。共振点がある場 合、共振周波数で振動（振幅または加速度は共振点 検出試験と同じ）を90分間加える耐久試験を行う			
2) 電気機械 器具の外郭 による保護 等級試験 (IP66)	IP6X:①危険な箇所への接近に対する保護等級 6 の 試験(鋼線試験) ②外来固形物に対する保護等級 6 の試験 (粉じん試験) IPX6:水の浸入に対する保護等級 6 の注水試験	①鋼線・粉 塵が内部に 入らない ②水の浸入 がない	合格	
3) 塩水噴霧 試験	非動作状態で塩水溶液を 2 時間継続して噴霧後、7 日間放置するサイクルを 4 サイクル行い、各サイク ル終了時に動作を確認するとともに、試験終了後 6 時間の間に絶縁抵抗試験と性能試験を実施	機器に異常 がなく、指 定されたと おり作動す る	合格	



垂直方向



水平方向

図 45. 船用多点測温ケーブルの振動試験

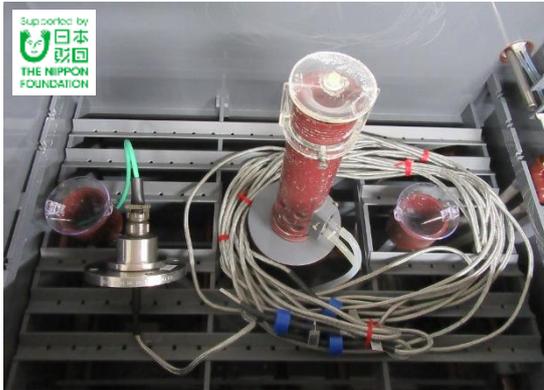


注水試験



粉じん試験

図 46. 外郭の保護等級試験



試験前



試験後

図 47. 塩水噴霧試験

#### 3. 4. 1. 6 船用多点測温ケーブルの船用化に関する評価結果

- ①NK の船用材料・機器等の承認及び認定要領第 7 編 1 章 1. 3 (鋼船規則) の環境試験に基づき自社の試験設備で試験を行った結果、試験基準を満足することができた。
- ②振動試験、電気機械器具の外郭による保護等級試験 (IP66)、塩水噴霧試験については、一般社団法人日本船舶品質管理協会製品安全評価センターにおいて、試験を行い、試験基準を満足することができた。
- ③振動試験においては、加速度±0. 7G の振動を 90 分間加えた試験を行い正常な動作を確認した。

以上のことから NK の船用材料・機器等の承認及び認定要領第 7 編 1 章 1. 3 (鋼船規則) に準じて行った試験において全て基準を満足し、波や船体からの振動に耐えられる構造であり、事業目標を達成することができた。

### 3.4.2 船用ハンディロガーの試作と試験

#### 3.4.2.1 機能評価プロトタイプ製作

機能面については、各種電気性能確認、機能確認を簡便に実施するためのプロトタイプを試作し、表示・操作、通信コマンドが動作するソフトウェアを実装後、機能デバッグを効率的に実施した。（図 48）



図 48. 機能評価プロトタイプ

ソフトウェア機能の評価においては、船用多点測温ケーブルの代わりに熱電対の素線を接続して、温度測定、記録、記録済みデータの再生機能について動作確認を行い、仕様通りの動作を実現できた。（図 49）

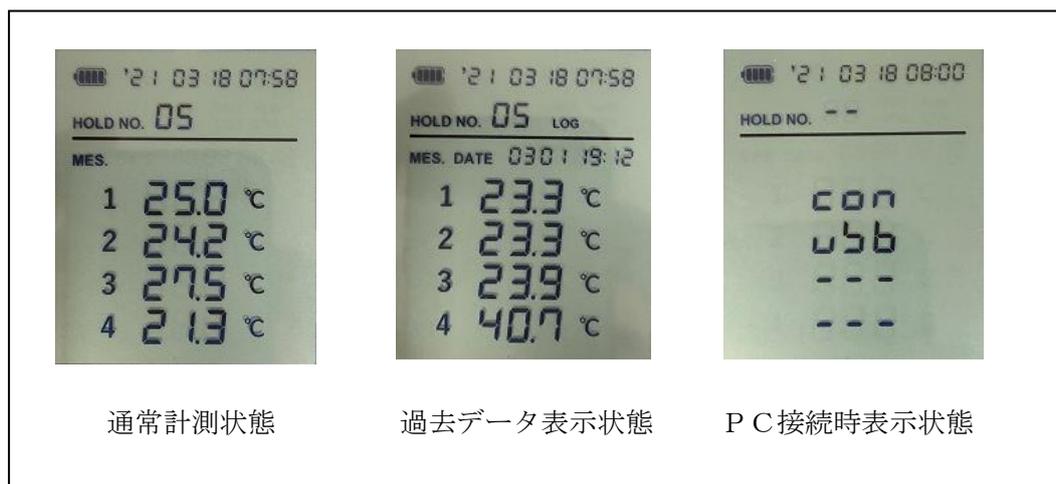


図 49. 機能評価プロトタイプでのソフトウェア動作確認

### 3.4.2.2 防滴性評価用プロトタイプ製作

ケース、操作キー釦周りの防塵・防滴性を早期に確認するため、最低限の回路（LCD 部全点灯、全消灯）を搭載し、ケース周りの試設計要素を実現した防滴性評価用のプロトタイプを製作した。（図 50）



図 50. 防滴性評価用プロトタイプ

組み上げたプロトタイプに対し、防滴性を簡易的に確認するため、水道による予備試験を実施した。（図 51）



図 51. 水道による防滴性の予備試験風景

水量の目安として、約 3.2 l/min(250ml の容器が一杯になる時間を測定：4.7 秒) になるように蛇口のバルブを調整し、約 1 分間継ぎ目となる部分へ放水後、ケース内部への水の侵入を確認した。結果として電池蓋から水の侵入が確認され、それ以外の部位からの浸水はなかった。水の侵入対策として電池蓋部のパッキンの硬度を下げ(柔らかくする)、厚みを約 0.2mm 増やした。

対策後のパッキンを装着し、同条件による再試験を実施した結果、水の侵入がなくなり、外部委託機関による評価試験にて最終確認を行うこととした。

### 3.4.2.3 船用ハンディロガーの製作と外郭の保護に対する性能評価

貨物温度の状態監視のための船用多点測温ケーブルに接続する船用ハンディロガーは、毎日甲板で測定を行うため、風雨の影響を受けることになる。そのため、それらの環境に耐えられる仕様でなくてはならない。

このことから、プロトタイプで確認した事項を組み入れ船用ハンディロガーの製作を行い、第三者試験機関である一般社団法人日本船舶品質管理協会製品安全評価センターにて、JIS C 0920「電気機械器具の外郭による保護等級 (IP コード)」に従って評価試験を実施した。

ただし散水試験においては、実際の測定時間を考慮し、規格では試験時間 5 分のところ、10 分の散水としてより厳しい試験とした。

### 3.4.2.4 試験方法

#### 1) 危険な箇所への接近および外来固形物に対する保護試験 (IP4X)

船用ハンディロガーの内部に固形物が侵入することで内部機器に悪影響を引き起こすことがないように、接近度検査用プローブ IP4X(1.0mm φ)で筐体内部への侵入の有無を確認する。

プローブでの侵入確認箇所は、上下ケース接合面、電池ケース部、コネクタ接続部および船用多点測温ケーブル接続部の各パーツ接続箇所とする。(図 52、図 53)



図 52. 鋼線による保護試験  
(上下ケース接合面)



図 53. 鋼線による保護試験  
(電池ケース部)

## 2) 水の侵入に対する保護等級試験 (IPX4)

防滴仕様である船用ハンディロガーの内部に水が侵入することで内部機器に悪影響を引き起こすことがないように、散水試験装置により以下の試験条件で全方向から散水し筐体内部への水の侵入の有無を確認する。(表 14、図 54)

表 14. 試験条件

試験時間	散水ノズルとハンディロガーの距離	流量
10min	500mm	10L/min



図 54. 水の侵入に対する保護等級試験 (散水ノズル)

### 3.4.2.5 船用ハンディロガーの保護等級試験の結果

#### 1) 危険な箇所への接近および外来固形物に対する評価

上下ケース接合面、電池ケース部、コネクタ接続部および船用多点測温ケーブル接続部の各パーツ接続箇所において、船用ハンディロガー内部への直径 1.0mm の検査用プローブが侵入する箇所はなかった。

#### 2) 水の侵入に対する評価

船用ハンディロガー内部への水の侵入は認められなかった。

(図 55、図 56、図 57)

製作した船用ハンディロガーは試験規格 (保護等級 IP44) を満足し、甲板での測定に耐える構造であり、事業目標を達成することが出来た。

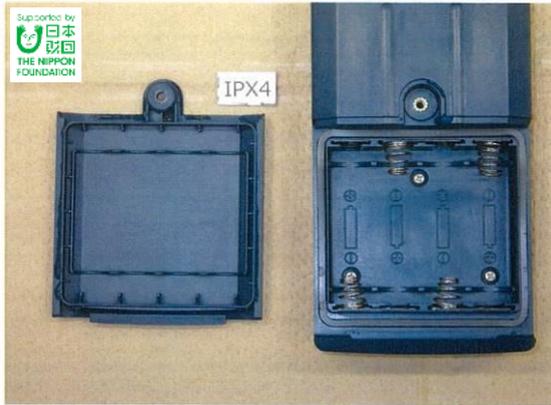


図 55. 散水ノズルによる保護等級試験  
(電池ケース部)



図 56. 散水ノズルによる保護等級試験  
(コネクタ接続部)

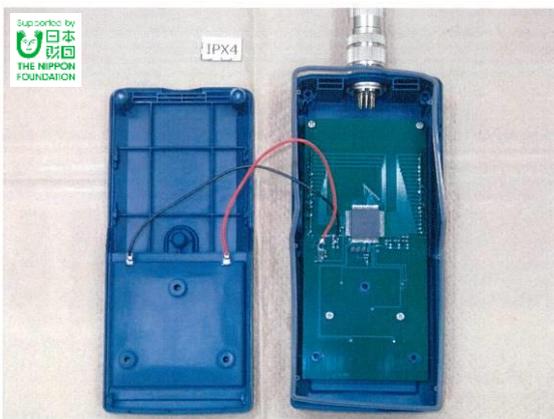


図 57. 散水ノズルによる保護等級試験  
(3 本体ケース内部)

### 3.4.2.6 製作した船用ハンディロガーの構成と外観

製作にあたっては、デジタル部、アナログ部、コネクタ部の3種類の基板構成とし、電源OFF時（CPUのスリープ状態、時計は動作）には、アナログ部分へ電源が供給されないような低消費電力化を考慮した。またデジタル部とアナログ部を分離することで、デジタル部で発生するノイズ電流が測定に影響しない構成を実現できた。（図58）

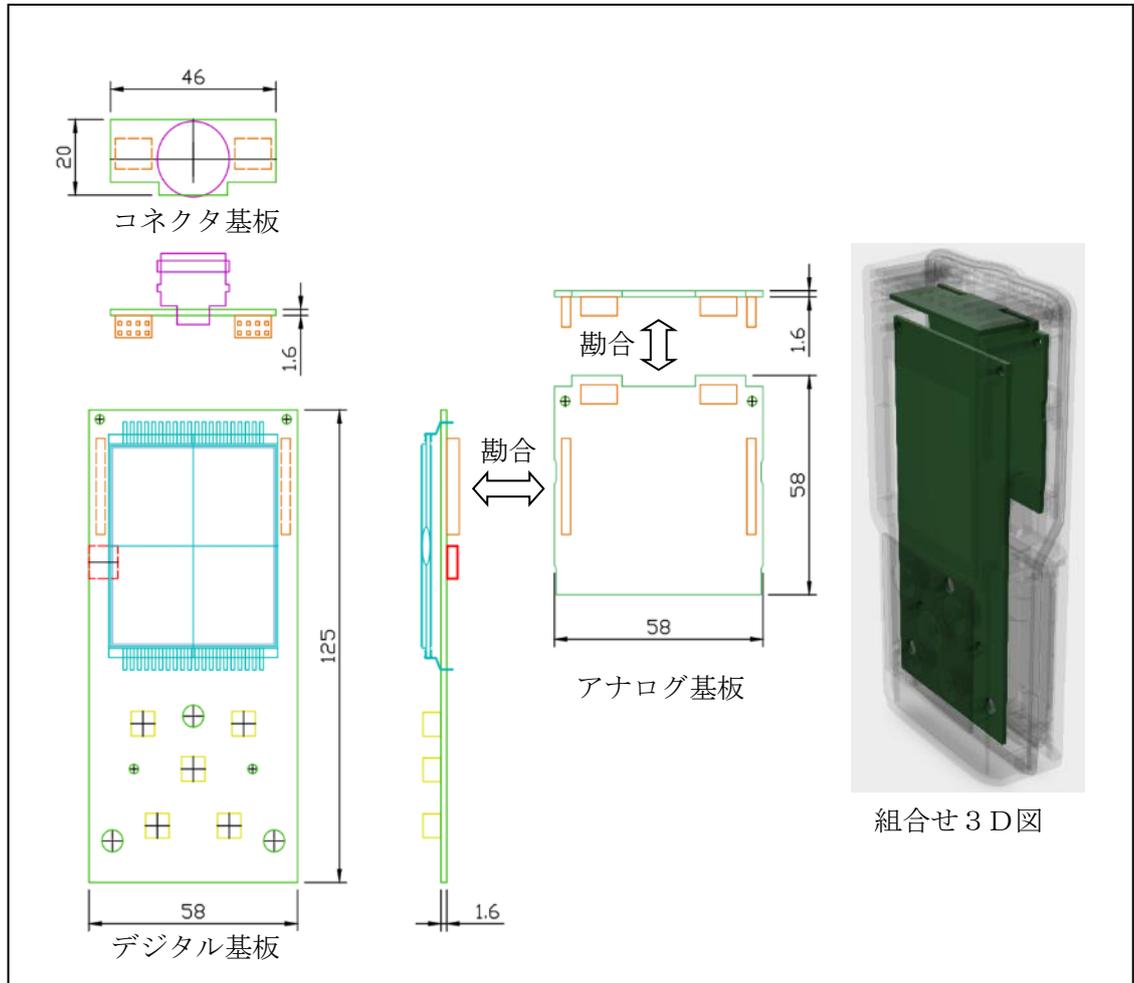


図 58. 基板の種類と構成

試作品の外形図、外観を図 59、図 60 に示す。

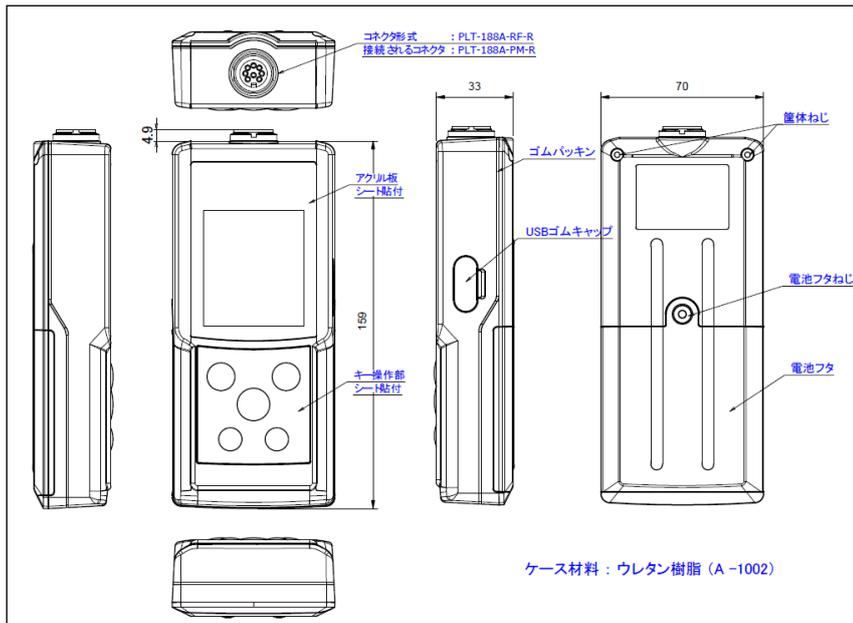


図 59. 試作品の外形図



図 60. 試作品の外観

### 3.4.2.7 船用ハンディロガーの操作、構造に関する評価結果

製作した船用ハンディロガーの操作・構造に関して、株式会社商船三井の航海士の方に、軍手着用のうえ、キー釦操作の官能評価を実施した。

- ① 軍手着用でも操作が容易な構造と思われるか
- ② 押し釦のサイズや配置など人間工学的な観点を検討した形状で、耐久性に優れていると思われるかの2点についていずれも肯定であるとの回答を書面にて得られた。

以上により「軍手着用でも操作が容易な構造」という事業目標が達成できた。

#### 4. 2020年度の目標の達成状況

2020年度の目標は次のとおりである。

##### (1) 多点測温ケーブルの舶用化

NKの鋼船規則の環境試験を満足する構造とするとともに、時化の波浪による衝撃にも耐える構造とする。具体的には、加速度±0.7Gの振動を1秒間で30回振動させ、90分以上耐えられる構造とする。

##### (2) ハンディロガーの舶用化

舶用ハンディロガーは防滴仕様とし、軍手着用でも操作が容易な構造とする。防滴仕様については、500mmの高さより全方向に1分間に10ℓの水の放水に対し、10分以上耐えられる防水性能を持たせる。

これに対し、それぞれの目標の達成状況は次のとおりである。

(1) 多点測温ケーブルの舶用化については、NKの船用材料・機器等の承認及び認定要領第7編1章1.3の環境試験（鋼船規則）に基づき自社の試験設備を活用し、外観・構造試験、性能試験、絶縁抵抗試験、コネクタ接続部の振動試験、温湿度試験、乾燥高温試験、低温試験、耐電圧試験の8項目の試験を行ったところ、すべて試験基準を満足することができた。また、自社では行えない振動試験、電気機械器具の外郭による保護等級試験（IP66）、塩水噴霧試験の3項目の試験については、一般社団法人日本船舶品質管理協会製品安全評価センターにおいて試験を行ったところ、すべて試験基準を満足することができた。特に振動試験においては、共振点がなかったため、耐久試験は周波数30Hz（1秒間に30回の振動）、加速度±0.7Gの振動を90分間加えた試験を行い、正常な動作を確認した。よって舶用多点測温ケーブルはNKの鋼船規則の環境試験に準じて行った試験において全て基準を満足し、波や船体からの振動に耐えられる構造であることを確認できた。従って、(1)の目標を達成することができた。

(2) ハンディロガーの舶用化については、軍手着用時にしっかり掴んで操作できる外形サイズで設計し、大きなキー釦の採用や配置により甲板上での操作性を確保した。また使用する各部品の耐用年数を考慮し高寿命を期待できる製品とした。さらに本質安全防爆相当の安全性を確保するため、専用の低電圧LCDの採用や電流制限抵抗の追加による回路故障時でも点火源とならないよう配慮した設計を行った。防滴仕様に関しては自社では行えないため一般社団法人日本船舶品質管理協会製品安全評価センターにおいてJIS C 0920 (IEC 60529)の規定に基づいた電気機械器具の外郭による保護等級試験（IP44）に従って、500mmの距離より全方向に1分間に10ℓの水の散水を10分間行う試験を実施し、試験項目を満足することができた。従って、(2)の目標を達成することができた。

## 5. 今後の予定

2021 年度における本事業の計画は下記の通りである。

- (1) 計測器の陸上試験
- (2) 計測器の実船実験
- (3) システムの性能評価
- (4) 報告書作成

## 6. まとめ

これまでに報告した 2020 年度の成果の通り、多点測温ケーブルおよびハンディロガーの船用化を実現できた。また、本年度実施した船用自動温度計測に関する詳細調査の結果、下記の留意点を抽出した。

- (1) 現存の石炭運搬船の各石炭船倉には、複数の温度計測配管が存在し各々の配管の用途が異なることが判明した。そのため、船用多点測温ケーブルを設置する配管は船主と相談のうえ、決定する必要がある。
- (2) 設置する温度計測配管ごとに寸法調査を実施し、船用多点測温ケーブルのケーブル長さ、振れ止め径、測定点数、測定位置を決定する必要がある。

2020 年度は、現状のガラス製温度計による温度測定方法から、将来の自動運行船に寄与できる温度計測システム構築のための詳細調査を実施し、船用多点測温ケーブルと船用ハンディロガーの設計及び試作を実施できた。

2021 年度は陸上試験を実施し、現状の石炭船倉の温度測定に適用できることを確認する。また、構造などの変更が必要な場合に修正を行い、その後、造船所にて建造中の石炭運搬船で実船実験を実施し、上述の留意点を考慮し商品化を目指した研究開発を展開していくこととする。

## 第Ⅱ部 2021年度

### 7. 2021年度の実施内容

#### 7.1 計測器の陸上試験

2020年度に試作した計測器（船用多点測温ケーブルと船用ハンディロガー）の性能試験をそれぞれ以下の通り実施した。

##### 7.1.1 船用多点測温ケーブルの陸上試験

2020年度に実施した実船調査を基に石炭船倉を小形に再現した試験装置を製作し、試作した船用多点測温ケーブルを温度計測配管（以下測温管）に設置して石炭温度変化時の追従性能を確認した。なお、船用多点測温ケーブルは必要時に実船実験用に修正を行うこととした。

また、上記試験装置で石炭船倉の温度測定に使用しているガラス製温度計の測定について検証を行った。

##### 7.1.1.1 陸上試験装置の製作

石炭船倉の測温管に常設する船用多点測温ケーブル（以下温度センサ）の石炭温度昇温時の温度追従性能を確認するため石炭船倉の測温管周辺を小形に再現した陸上試験装置を製作した。

###### 1) 陸上試験装置基本仕様

構造：石炭の温度変化を再現するため、リボンヒータで砂利を加熱する構造とした。円筒形の金属容器の中心部に測温管を固定し、金属容器の外側にリボンヒータを巻き、リボンヒータの回りには断熱材を巻いて放熱を防いだ。また、発火の危険性を考慮して石炭の代わりに砂利を金属容器に充填した。

金属容器：砂利を入れる金属容器のサイズはφ360mmとした。このサイズはヒータ熱容量等から砂利を充填した際に1サイクル/1日の試験が完了する時間を目安とした。

測温管：実船実験用船舶と同じサイズの50A sch80（外径φ89.1mm、内径φ73.9mm）を選定した。

砂利：IMSBCコードの分類(※4)を参考に、一般的な粉炭（3～13mm）と同じサイズを選定した。

※4 IMSBCコードのGroup A&B相当で石炭粒径がMax50mmで10mm以上のものが50%以上含まれる。

温度管理：リボンヒータの温度を測定して調節計で昇温時の温度管理を行った。また、昇温時に設定温度を超えないよう滑らかで安定した制御を行うために出力を0～98%の範囲で調整出来るサイリスタレギュレータを使用した。

使用計器：使用した計器を下記に示す。（図61）

- ・調節計：チノー製 DB500
- ・サイリスタレギュレータ：チノー製 JB2020
- ・記録計：チノー製 KR2S
- ・室温用温度センサ：チノー製 R030-3

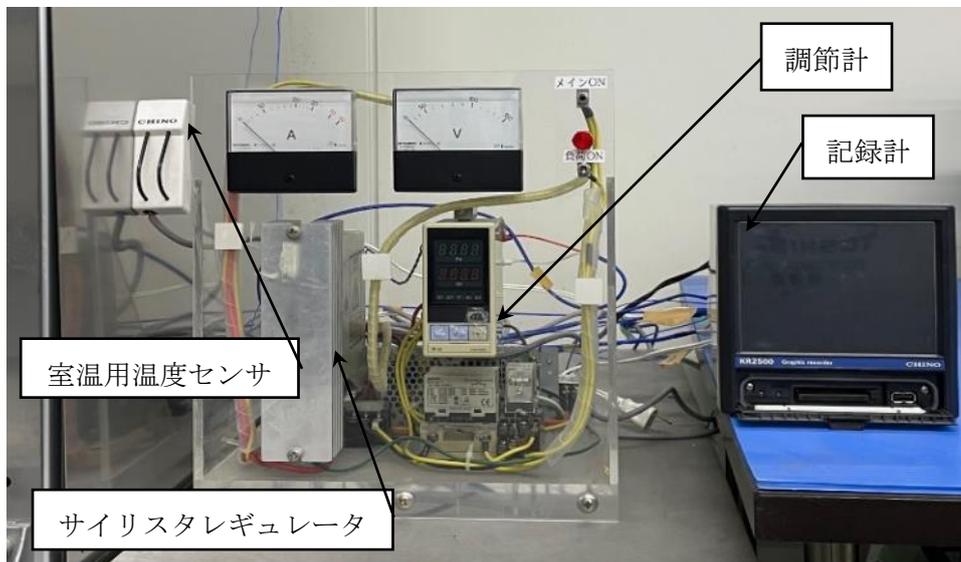


図 61. 使用計器

## 2) 陸上試験装置の製作

決定した陸上試験装置基本仕様を基に製作した陸上試験装置を図 62 に示す。

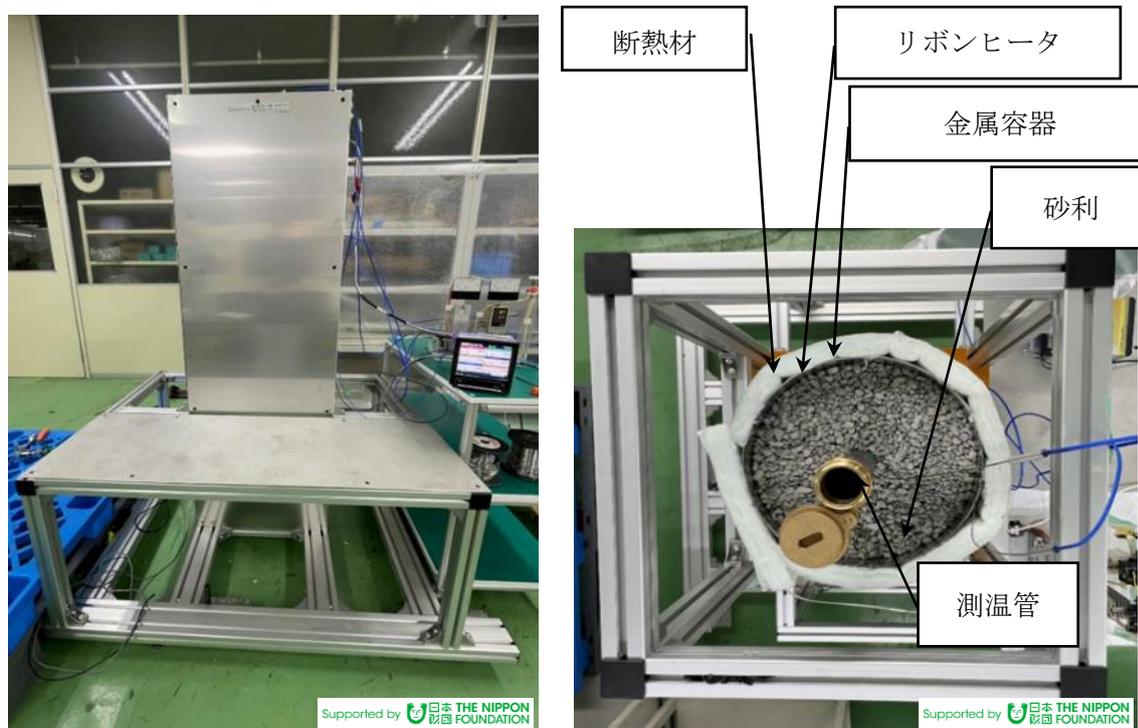


図 62. 陸上試験装置

3) 陸上試験装置の昇温確認試験

製作した陸上試験装置の測温管付近の温度が 55℃（※5）に至るまでの過程を確認するため、砂利と測温管の温度を測定する昇温確認試験を行った。

※5 IMSBC コードの特別措置に関する「自然発熱する石炭」では、石炭温度が 55℃ 以上の場合は積荷役を中止するように規定している。

4) 陸上試験装置の昇温確認試験の結果

昇温時の温度測定結果を図 63 に示す。

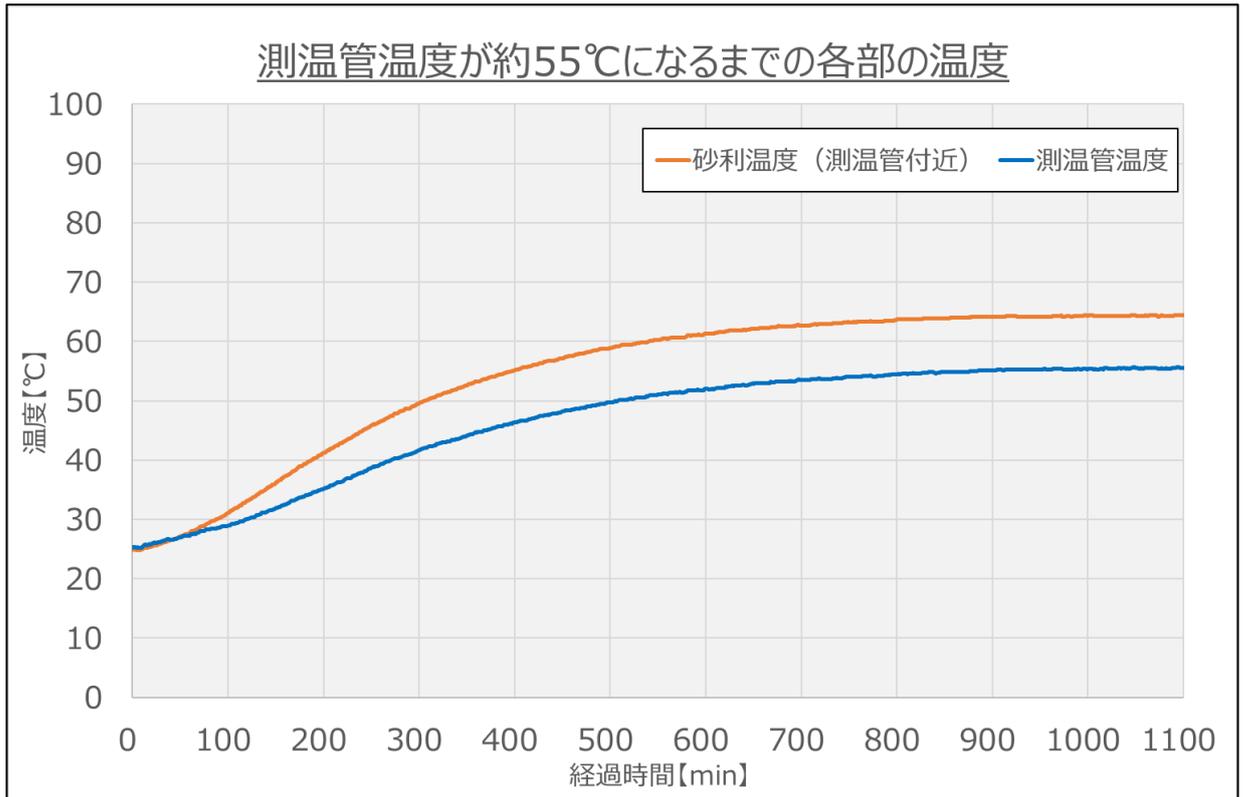


図 63. 昇温時の温度測定結果

5) 陸上試験装置の昇温確認試験のまとめ

測温管は内部が空気層のため砂利より温度が低く、900 分以降の安定した状態でも、砂利温度より低い温度で平衡状態となっていた。

積載している砂利や石炭などの粒子同士の隙間には空気層が存在するため、熱が伝わりにくい。そのため、リボンヒータによって加熱された砂利の熱が測温管に伝わるまで時間がかかり、昇温時の砂利と測温管温度に温度差が発生していた。

しかし、測温管温度は砂利温度の変化に伴って上昇していたので、測温管は砂利の温度変化を捉えていることを確認した。

### 7.1.1.2 温度センサの温度追従試験

砂利の温度変化を捉えている測温管と温度センサの昇温時の温度を測定し、温度センサの温度追従性能を確認する試験を実施した。

#### 1) 試験用温度センサの製作

陸上試験装置の測温管に設置するため、感温部が1点式の温度センサを製作した。感温部の構造は3.2.2項で設計したタイプと同じ構造とした。(図64)

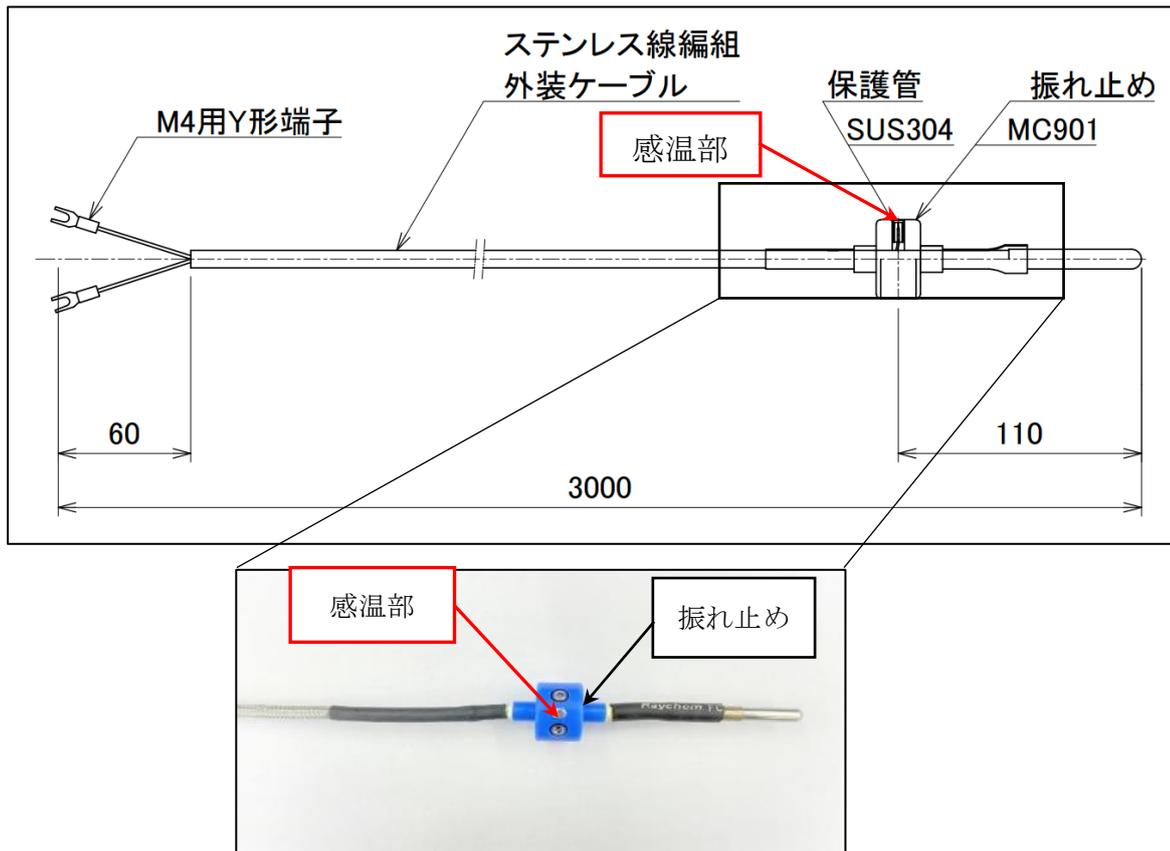


図64. 陸上試験装置用に製作したセンサ

#### 2) 温度センサの温度追従試験の試験方法

上記温度センサを陸上試験装置の測温管に設置した後、測温管温度が55°Cになるまで加熱し、昇温過程の測温管温度と温度センサの温度を測定した。

#### 3) 温度センサの温度追従試験の試験結果

昇温過程の温度センサの温度追従試験の結果を図65、60分毎の温度測定値を表15に示す。

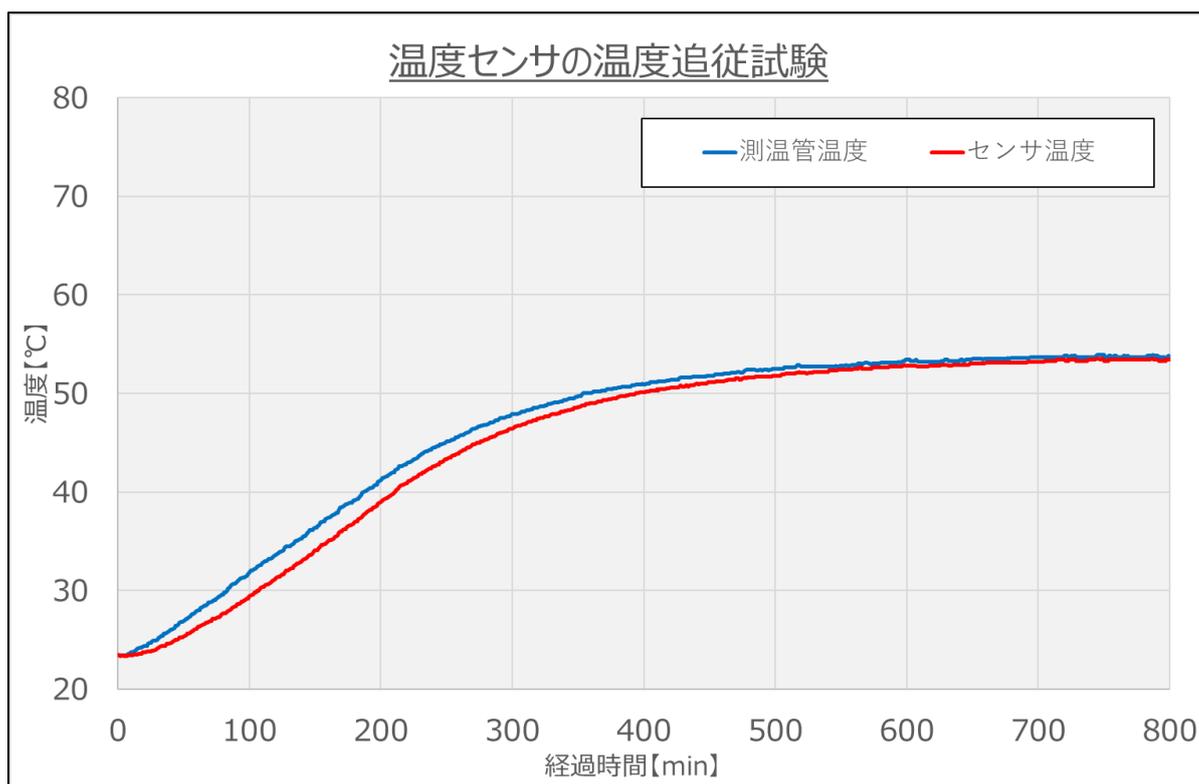


図 65. 温度センサの温度追従試験結果

表 15. 60 分毎の温度測定値

経過時間	開始時	60 分後	120 分後	180 分後	240 分後	300 分後
測温管の温度	23 °C	28 °C	35 °C	40 °C	45 °C	49 °C
温度センサの温度	23 °C	26 °C	32 °C	38 °C	43 °C	47 °C

経過時間	360 分後	420 分後	480 分後	540 分後	600 分後
測温管の温度	51 °C	53 °C	53 °C	54 °C	55 °C
温度センサの温度	50 °C	52 °C	53 °C	53 °C	54 °C

#### 4) 温度センサの温度追従試験のまとめ

試験結果より、温度センサの感温部が測温管の内面に近い構造のため、測温管の温度変化を捉えていた。また、温度センサは測温管に挿入されているため、測温管の温度変化に対して少し遅れて昇温していたが、昇温時の測温管の温度と温度センサの温度の傾きが同じことが確認できた。以上のことから、測温管温度に追従していると考えられる。

#### 7.1.1.3 ガラス製温度計による温度測定時の確認試験

石炭船倉の温度測定に使用しているガラス製温度計を検証するため、実際の測定方法を参考に再現した試験を行い、測定方法と測定環境による影響を確認した。

1) 使用するガラス製温度計の仕様

確認試験では、実際の石炭船倉の温度測定に使用しているガラス製温度計と同等品を使用した。(図 66)

ガラス製温度計の仕様について下記に示す。

種 類：棒状温度計（全浸没）  
感 温 液：有機液体（通称アルコール）  
長 さ：30cm  
公称目盛範囲：-20～105℃  
目 量：1℃  
付 属 品：金属ケース



図 66. ガラス製温度計

2) ガラス製温度計の測定方法の確認試験

石炭船倉の温度測定は測温管にガラス製温度計を挿入後 5 分で取り出して温度を確認している。今回の測定方法の確認試験では、ガラス製温度計を測温管に挿入してから 5 分後の表示温度と、測温管の温度変化との相関性を確認することとした。試験方法は、ガラス製温度計を昇温後の温度が安定している測温管の中心に挿入した後、5 分毎に取り出して素早く表示温度を確認した。なお、比較用として測温管中心温度を測定した。

① ガラス製温度計の測定方法の確認試験結果

ガラス製温度計を昇温後の温度が安定している測温管に挿入した時の温度変化グラフを図 67、測温管にガラス製温度計を挿入した時の温度変化の値を表 16 に示す。

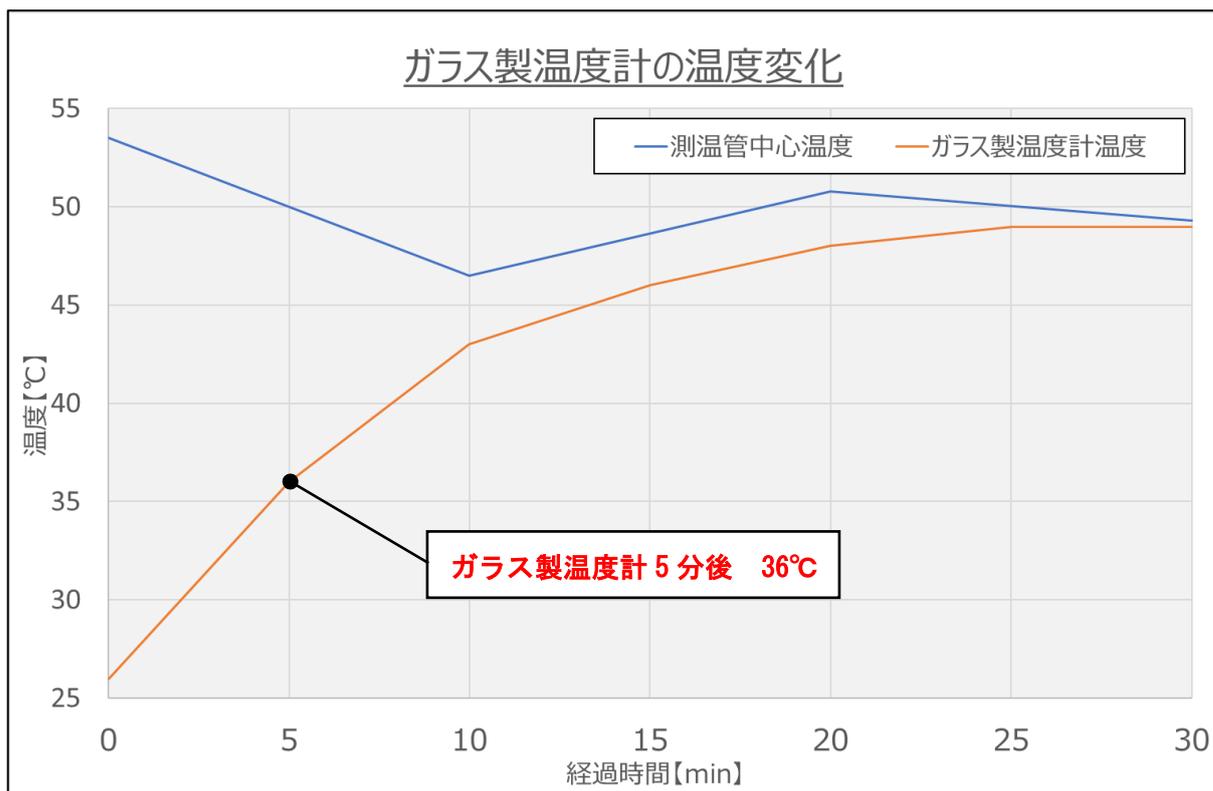


図 67. 測温管にガラス製温度計を挿入した時の温度変化

表 16. 測温管にガラス製温度計を挿入した時の温度変化の値

経過時間	開始時	5分	10分	15分	20分	25分	30分
測温管中心温度	54 °C	50 °C	46 °C	49 °C	51 °C	49 °C	49 °C
ガラス製温度計温度	26 °C	36 °C	43 °C	46 °C	48 °C	49 °C	49 °C

② ガラス製温度計の測定方法の確認試験のまとめ

石炭船倉の温度測定で行われている測温管挿入後 5 分で取り出した際のガラス製温度計温度は 36°C を示していた。

また、測温管中心温度はガラス製温度計を挿入すると温度が低下し、10 分後には 8°C 下がった。温度差があるガラス製温度計を測温管に挿入したため、測温管内の温度が低下したと考える。10 分以降は測温管中心温度とガラス製温度計温度が同じような傾きで上昇することを確認した。

3) ガラス製温度計の測定環境の確認試験

ガラス製温度計による石炭船倉の温度測定は、風がある航行中の甲板で行われている。ガラス製温度計が風に晒されている環境を再現し、そのときの温度変化を確認した。

① ガラス製温度計の測定環境の確認試験の方法

陸上試験装置の測温管から取り出したガラス製温度計が風に晒されるように工業用扇風機の位置を決めて試験を行った。(図 68)

昇温後の温度が安定している測温管内の中心に、ガラス製温度計を 30 分以上挿入した後、室温に引き抜いて各風速(3 m/s、6 m/s、0 m/s)の風に晒した。ガラス製温度計温度は 1 秒毎に写真撮影して温度変化を記録した。

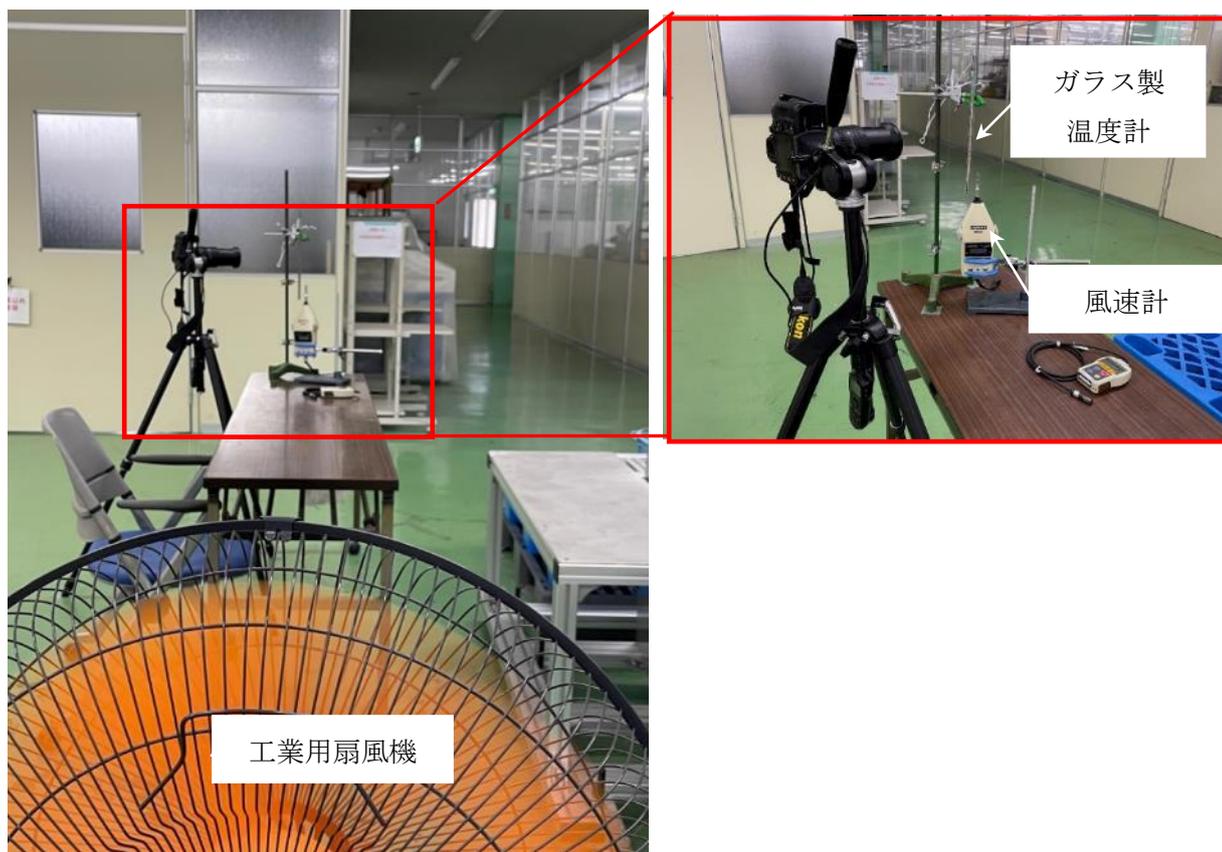


図 68. ガラス製温度計の風による温度変化の試験

② ガラス製温度計の測定環境の確認試験の結果

測温管からガラス製温度計を室温に引き抜いた時点の温度を基準として、風によるガラス製温度計の温度低下の割合グラフを図 69、風によるガラス製温度計温度低下割合の値を表 17 に示す。

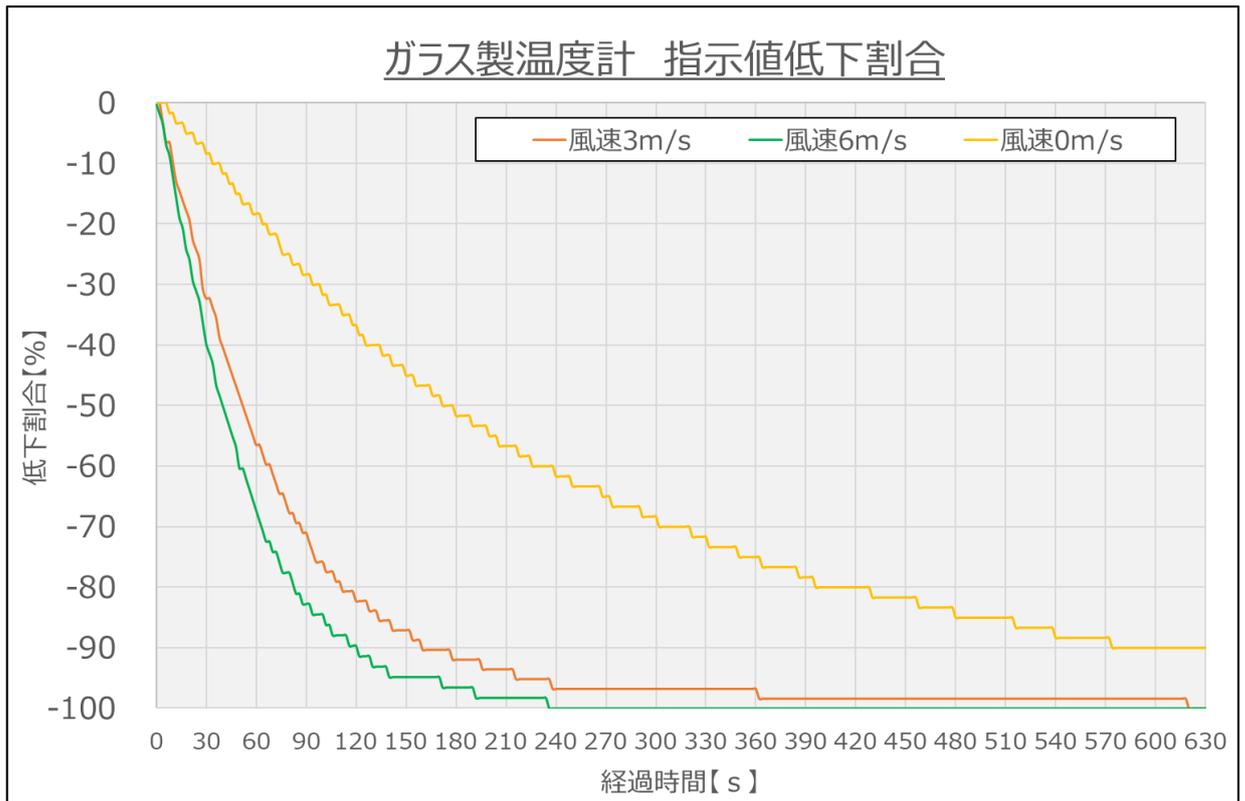


図 69. 風によるガラス製温度計の温度低下の割合

表 17. 風によるガラス製温度計の温度低下割合の値

経過時間	10 秒	20 秒	30 秒	60 秒	120 秒	180 秒	240 秒	300 秒
風速 3 m/s	10 %	19 %	32 %	56 %	82 %	92 %	97 %	97 %
風速 6 m/s	12 %	26 %	40 %	67 %	90 %	97 %	100 %	100 %
風速 0 m/s	2 %	5 %	8 %	18 %	37 %	52 %	62 %	68 %

③ ガラス製温度計の測定環境の確認試験のまとめ

風に晒した場合、開始から約 60 秒間で急激に温度が低下しているが、実船の作業時間は 20 秒程度と思われる。下記に 20 秒までの低下割合を示す。

- ・風速 3 m/s では 10 秒で 10 % (約 3 °C)、20 秒で 19 % (約 6 °C) の温度低下
  - ・風速 6 m/s では 10 秒で 12 % (約 4 °C)、20 秒で 26 % (約 8 °C) の温度低下
  - ・風速 0 m/s では 10 秒で 2 % (約 1 °C)、20 秒で 5 % (約 2 °C) の温度低下
- 風速が大きいほど、温度低下の割合が大きいことが確認できた。

7.1.2 船用多点測温ケーブル陸上試験のまとめ

試作した温度センサは、石炭の代わりに石炭船倉を小形に再現した試験装置に充填した砂利の昇温過程の温度に追従していることが確認できた。検証の結果、性能を満足していたため実船実験に向けて温度センサの修正・改造は必要ないと判断した。

ガラス製温度計に関しては、石炭船倉の測温管内温度と挿入するガラス製温度計自身の温度に差があると、測温管挿入時に測温管内の温度が変化することも考えられる。また、ガラス製温度計は風による温度低下は避けられないことが判明したので、航行中にガラス製温度計を使用する場合は細心の注意が必要と考える。

以上のように、ガラス製温度計は毎回測温管に挿入し、引上げて温度測定値の確認を行っているため、周囲環境によって温度測定値に影響が出る可能性がある。この問題は常時計測となる本システムの採用によって改善されると考える。

### 7.1.3 船用ハンディロガーの陸上試験

2020年度に試作した船用ハンディロガーを使用し、測定時の操作性が事業目標通り簡便なことを確認した。また、アプリケーションソフトを製作後、PCによるデータ吸出し、船倉内データ表示、トレンドグラフ表示等を行うため、実船実験を想定した軍手着用の測定作業が一通り行えることを確認した。

#### 7.1.3.1 船用ハンディロガーの操作性確認

試作した船用ハンディロガーの操作性を確認するにあたり、以下の1)、2)を実施した。

##### 1) 表示操作仕様の詳細検証

今後、実船実験を含めた各種試験を行うにあたり、事前に設計仕様通りの動作ができていることを確認することとした。ここでは船用ハンディロガーの測定値によって、所定の仕様状態へ遷移することを表18に従って検証した。入力値は、電圧発生器にて疑似的に温度値相当の入力電圧を印加することで測定原理上十分であると判断した。データの確認にあたっては、液晶表示画面の目視とデバッグソフト（USBケーブル経由で通信コマンドによる内部データをリアルタイムに確認できる）を別途製作して実施した。

確認中に検証表と整合しない場合は、ファームウェアの修正を実施し、最終的に検証表との整合を図った。

表 18. 表示内容の検証表

状態				測定値表示モード			データ収録モード (収録中)			過去データ表示モード			
測定・算出温度 (°C)	警報値 設定 (°C)	警報状態	数値部 表示	数値部 状態	ALM	ERR	数値部 状態	ALM	ERR	数値部 状態	数値表示 (格納値)	ALM	ERR
					マーク 状態	マーク 状態		マーク 状態	マーク 状態			マーク 状態	
-20.0未満	0	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(0.0)	非表示	点滅
-20.0~-0.1	0	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(0.0)	非表示	点滅
0.0	0	○	0.0	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	0.0	点滅	非表示
0.1~99.9	0	○	0.1~99.9	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	0.1~99.9	点滅	非表示
100.0~120.0	0	○	Err	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	Err(99.9)	点滅	点滅
120.1~断線判定前までの 入力電圧値	0	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(99.9)	非表示	点滅
断線判定値より大	0	×	brn	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	brn(99.9)	非表示	点滅
-20.0未満	50	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(0.0)	非表示	点滅
-20.0~-0.1	50	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(0.0)	非表示	点滅
0.0~49.9	50	×	0.0~49.9	点灯	非表示	非表示	点滅	非表示	非表示	点灯	0.0~49.9	非表示	非表示
50.0~99.9	50	○	50.0~99.9	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	0.1~99.9	点滅	非表示
100.0~120.0	50	○	Err	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	Err(99.9)	点滅	点滅
120.1~断線判定前までの 入力電圧値	50	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(99.9)	非表示	点滅
断線判定値より大	50	×	brn	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	brn(99.9)	非表示	点滅
-20.0未満	99	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(0.0)	非表示	点滅
-20.0~-0.1	99	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(0.0)	非表示	点滅
0.0~98.9	99	×	0.0~98.9	点灯	非表示	非表示	点滅	非表示	非表示	点灯	0.1~99.9	非表示	非表示
99.0~99.9	99	○	99.0~99.9	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	0.1~99.9	点滅	非表示
100.0~120.0	99	○	Err	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	点滅	Err(99.9)	点滅	点滅
120.1~断線判定前までの 入力電圧値	99	×	Err	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	Err(99.9)	非表示	点滅
断線判定値より大	99	×	brn	点滅	非表示	点滅	点滅	非表示	点滅	点滅	brn(99.9)	非表示	点滅

この仕様検証のポイントは以下①~③の3点である

- ① 使用温度範囲外の過小・過大温度入力の時
  - ・数値部の状態は点滅表示（注意喚起）
  - ・数値部にエラーを意味する Err を表示
  - ・画面右上に ERR マーク[エラーを意味する]表示・点滅（注意喚起と状態説明）
- ② 温度センサで測定した温度が設定された警報値と等しいか超過した時
  - ・数値部の状態は点滅表示（注意喚起）
  - ・数値表示は測定温度指示値
  - ・画面右上に ALM マーク[アラームを意味する]表示・点滅（注意喚起と状態説明）
- ③ 温度センサが接続されていないか、断線相当の温度センサ状態の時
  - ・数値部の状態は点滅表示（注意喚起）
  - ・数値部に断線を意味する文字列 brn を表示(熱電対の断線時呼称として Burn out という用語が良く使われるため)
  - ・画面右上に ERR マーク[エラーを意味する]表示・点滅（注意喚起と状態説明）

検証した結果、検証表の通りの動作となり、船用ハンディロガー使用者は現場での温度測定時に、現在の状態や異常が発生した際の要因を容易に認識できることを確認した。

## 2) 軍手着用時の操作性確認

実船実験を想定して軍手を着用し、取扱い操作仕様に沿った内容で測定作業を実施した。手の小さい被験者 A、手の大きな被験者 B の 2 名を対象に、市販の軍手を着用後、電源 ON から船倉番号の選択、データ収録、収録データの確認までの官能性評価を行った。(図 70)

具体的な操作内容を以下に挙げる。

- ・電源釦押下
- ・測定を行いたい船倉番号の選択(上下キー釦押下で選択)
- ・収録開始(REC キー釦押下後、所定時間経過により自動復帰)
- ・収録データ確認(FUNC キー釦押下後、上下キー釦押下で選択)
- ・測定状態への復帰(FUNC キー釦押下)
- ・一連の操作の中での測定状態の妥当性と表示視認性

上記の繰り返し、組合せ操作を 10 回実施。



被験者 A (女性)

被験者 B (男性)

図 70. 軍手着用時の操作性確認

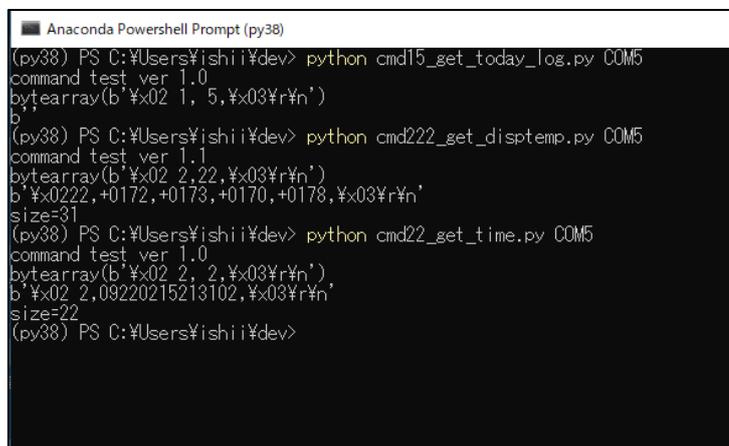
上記操作内容は、実際の作業員が甲板上で測定することを想定しており、データを収録するだけであれば、電源釦押下も含め、約 5 回程度の操作で 1 船倉分の作業が完了する。

評価試験後、被験者 2 名にヒアリングを実施し、いずれも操作上の問題はなく、軍手を着用していても簡便に操作が可能であるとの内容であった。

### 7.1.3.2 船用ハンディロガー専用 PC アプリケーションの試設計

2020 年度に試設計を行った船用ハンディロガーは、PC との接続や通信コマンド、収録データの吸出し確認等を、簡易的なデバッグソフトを製作して実施していた。

(図 71)



```
Anaconda Powershell Prompt (py38)
(py38) PS C:\Users\ishii\dev> python cmd15_get_today_log.py COM5
command test ver 1.0
bytearray(b' \x02 1, 5, \x03\r\n')
b'
(py38) PS C:\Users\ishii\dev> python cmd222_get_disptemp.py COM5
command test ver 1.1
bytearray(b' \x02 2, 22, \x03\r\n')
b' \x0222, +0172, +0173, +0170, +0178, \x03\r\n'
size=31
(py38) PS C:\Users\ishii\dev> python cmd22_get_time.py COM5
command test ver 1.0
bytearray(b' \x02 2, 2, \x03\r\n')
b' \x02 2, 09220215213102, \x03\r\n'
size=22
(py38) PS C:\Users\ishii\dev>
```

図 71. Python 言語を用いた通信コマンド開発中の状態

陸上試験を含めた以降の実船実験、システムの性能評価を実施するため、以下の機能を有した PC 側専用アプリケーションソフトの試設計を行った。

- ・ 船用ハンディロガーの収録データを USB 通信経由で簡便に吸出す
- ・ 吸い出した収録データと、環境データ（ガス濃度等）とを併せてデータ登録する
- ・ 登録されたデータに基づき、船倉状態や当日のデータをグラフィカル表示する
- ・ 蓄積したデータに関して、主要パラメータをピックアップし、トレンド表示する
- ・ 船用ハンディロガーに対し、時刻や船倉数、その他機能の設定パラメータを送信して設定を行う

以降、試設計を行った PC 側アプリケーションソフトの機能概要について記載する。

#### 1) 初回・新規航海を想定した起動時のフロー

システムの初回起動時は「船舶情報」や「航海情報」の登録を経由して起動する設計方針とした。船舶情報には、日報等の作成時に引用される情報を登録するため、必ずこの操作を行うことで、入力忘れを回避できる。情報登録以降の起動時は、すぐにメインメニュー処理で日次作業が行いやすい状態に移行する設計とした。(図 72)

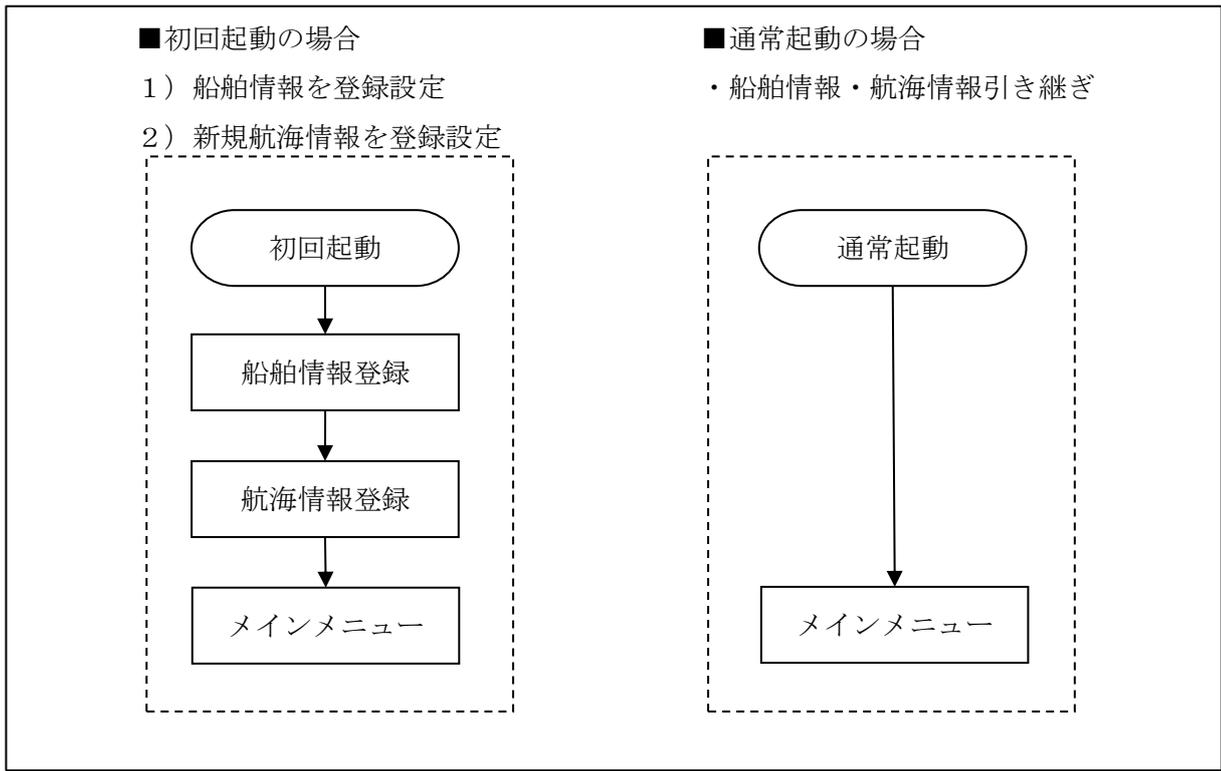


図 72. 初回起動時の船舶・航海情報登録フロー

2) 日次作業フロー

通常運用ではメインメニューを起点に活用する。メインメニュー画面（図 73）と日次作業のフロー（図 74）を以下に記載した。

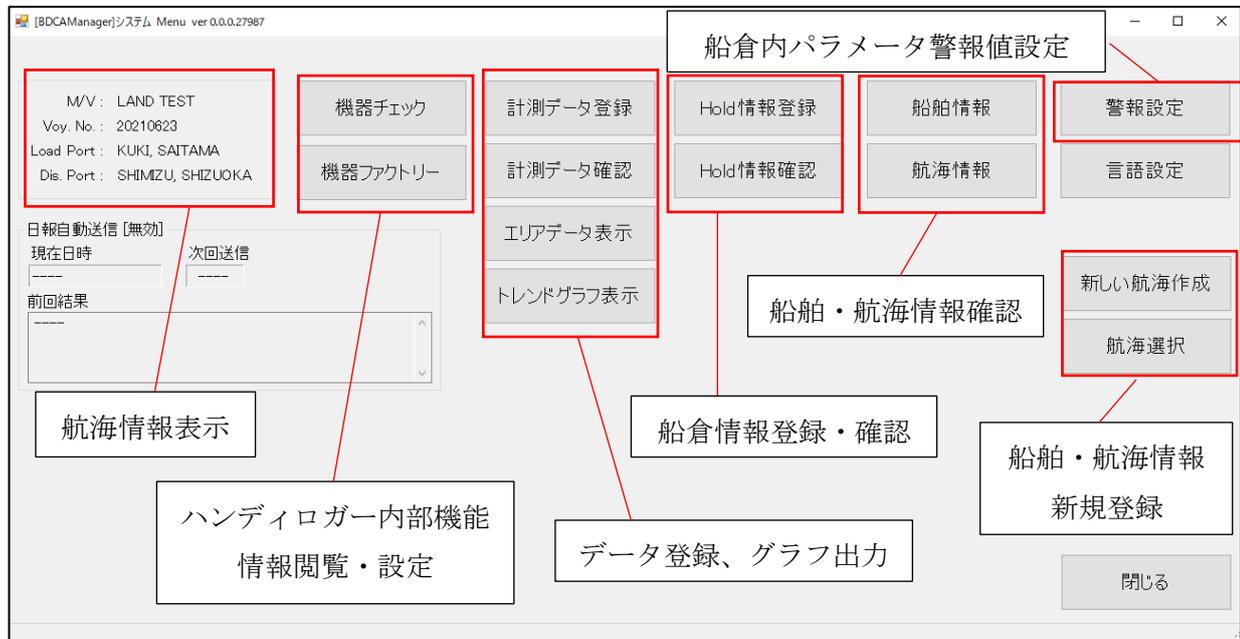


図 73. 試設計を行った PC ソフトのメインメニュー構成と機能概要

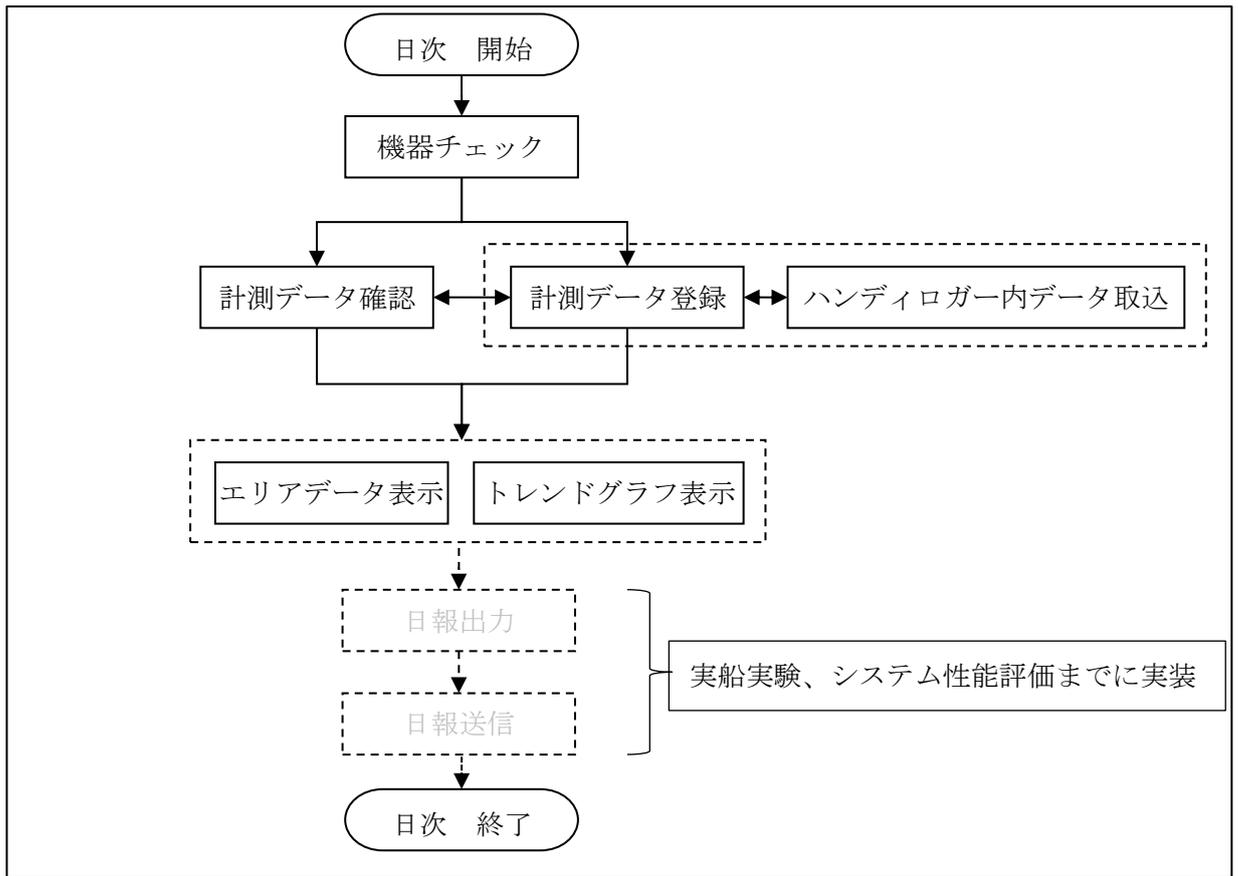


図 74. 日次作業フロー

3) 作業フローに基づいた、各機能画面の概要

日次作業フローを基に、試設計を実施したメインメニュー上の各機能の概要と代表画面を以下に列挙する。

① 航海情報登録・表示

船名や船倉数、寄港地情報などを登録・表示。(図 75)

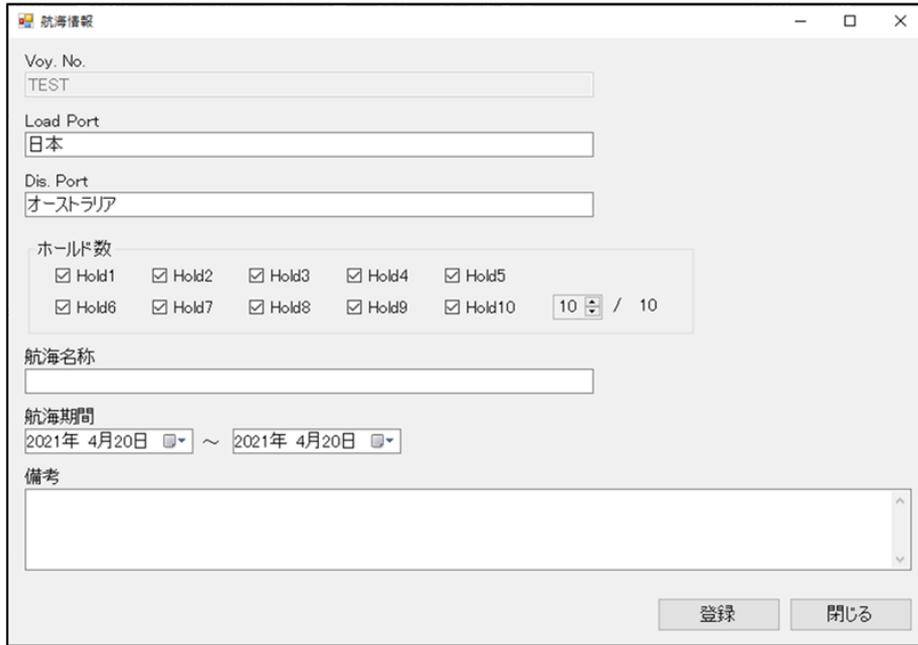


図 75. 航海情報等登録・表示画面

② 機器チェック

船用ハンディロガーからのデータ吸出しの他、ログ情報、時刻設定等実行画面。  
(図 76)

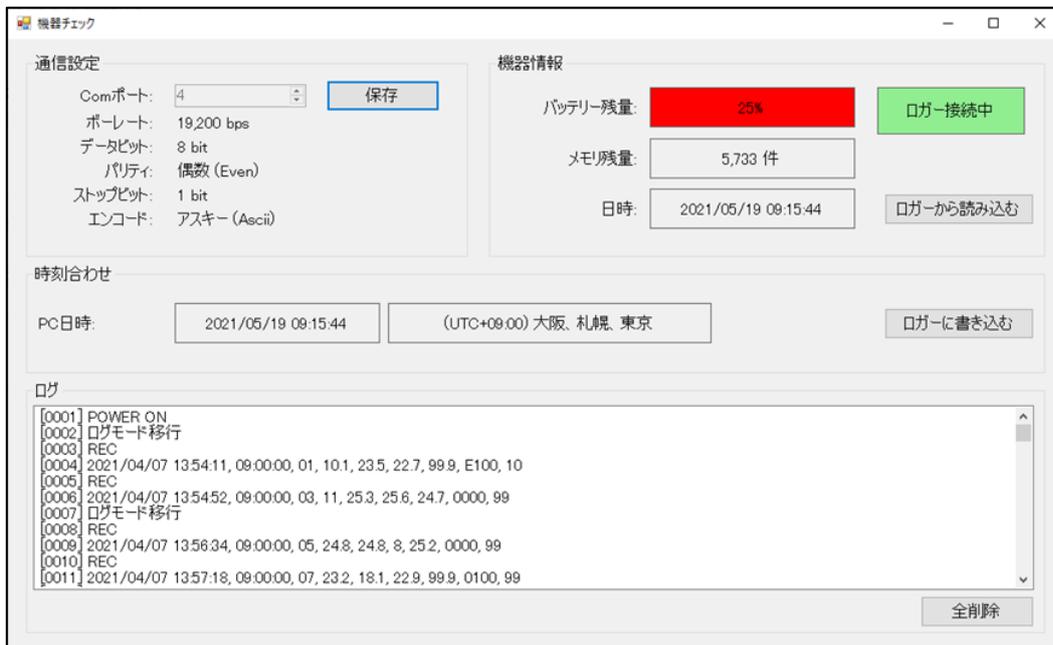


図 76. 機器チェック画面の構成

③ 機器ファクトリー

船用ハンディロガー固有の初期設定（製番・校正情報等）等実行画面。  
(パスワード要) (図 77)



図 77. 機器ファクトリー画面の構成

#### ④ 警報設定

測定・登録値の上限・下限を設定し、超過したパラメータは各種データ表示画面内に赤字で警報表示する。船用ハンディロガーで管理する閾値とは異なり、全船倉一括管理等が目的用途と想定したソフト側の設定である。(図 78)

項目	上限値	下限値
O2(%)	10.0	1.0
CH4(%)	10.0	5.0
CO(PPM)	10.0	5.0
Temp. 1	45.5	
Temp. 2	45.5	
Temp. 3	45.5	
Temp. 4	45.5	

図 78. 警報設定画面の構成

#### ⑤ Hold 情報登録・確認

船倉内石炭種や付帯情報に関する登録・確認を行い、最終的に実装予定の日報作成等の情報として保持。(図 79)

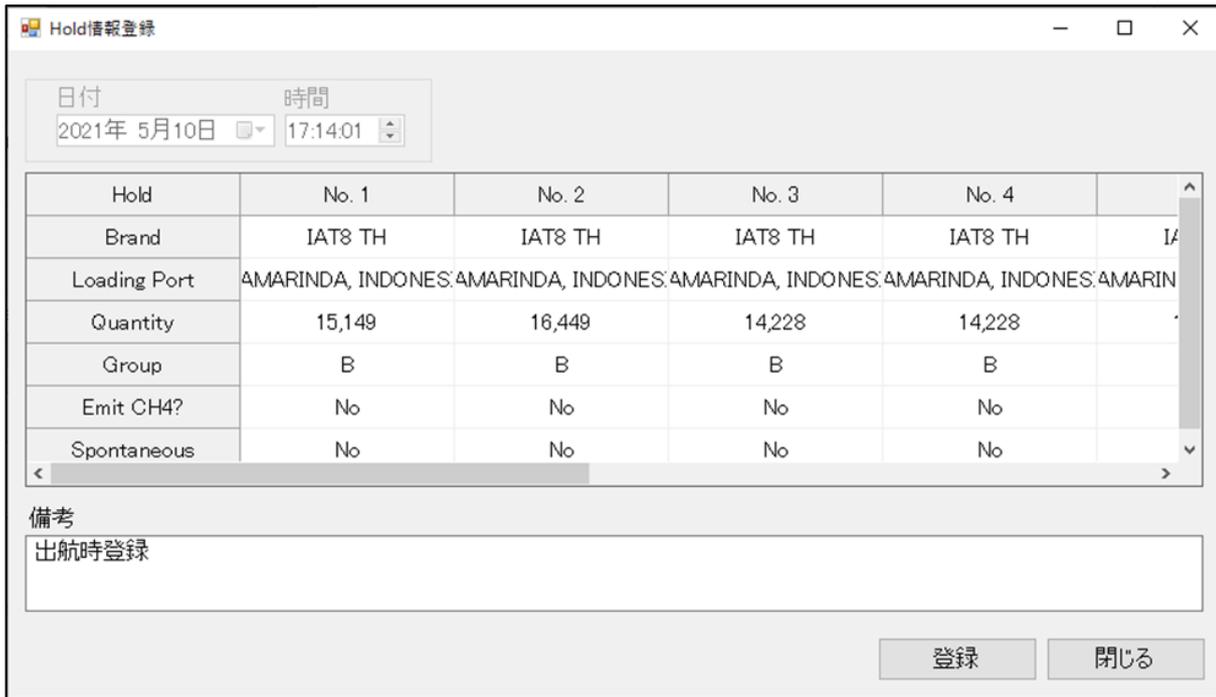


図 79. Hold 情報の登録・表示画面

⑥ 計測データ登録

船用ハンディロガーからのデータ吸出しと、これまで手書きで行っていた船倉内ガス濃度等の登録・表示を行う。(図 80)

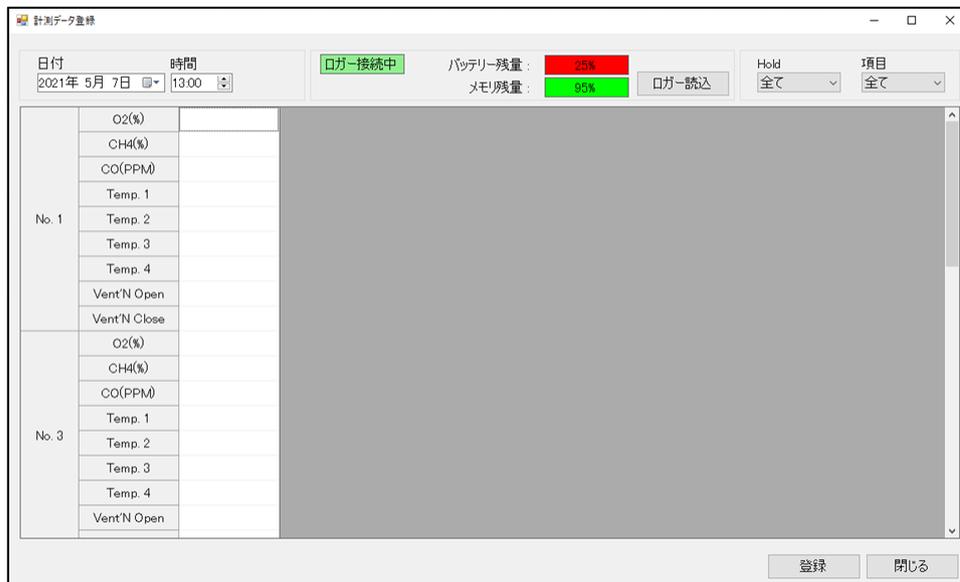


図 80. 計測データ登録画面

登録する計測データの内容に関しては、協力会社である株式会社商船三井より、現在実際に使用している帳票データを基に必要十分なパラメータが管理できるような設計とした。(表 19、表 20)

表 19. 船倉毎に保持する測定・管理項目

測定項目		単位	説明
酸素濃度	O2	%	作業者がオフラインで測定後登録
メタン濃度	CH4	%	作業者がオフラインで測定後登録
一酸化炭素濃度	CO	PPM	作業者がオフラインで測定後登録
船倉温度 1	Temp. 1	℃	船用多点測温ケーブルと船用ハンディロガーで計測した船倉の上側より 1 番目のセンサ位置温度データ
船倉温度 2	Temp. 2	℃	船用多点測温ケーブルと船用ハンディロガーで計測した船倉の上側より 2 番目のセンサ位置温度データ
船倉温度 3	Temp. 3	℃	船用多点測温ケーブルと船用ハンディロガーで計測した船倉の上側より 3 番目のセンサ位置温度データ
船倉温度 4	Temp. 4	℃	船用多点測温ケーブルと船用ハンディロガーで計測した船倉の上側より 4 番目のセンサ位置温度データ
ベントオープン	Vent'N Open	—	船倉のメタンや酸素濃度状況、温度上昇抑制等の目的で、換気（ベンチレーション）ハッチをオープンしたこと、またはその時間
ベントクローズ	Vent'N Close	—	換気（ベンチレーション）ハッチのクローズまたはその時間

表 20. 全船倉共通の測定・管理項目

測定項目		単位	説明
海水温度	Sea Temp.	℃	作業者がオフラインで測定後登録
大気温度	Air Temp.	℃	作業者がオフラインで測定後登録
備考	Remarks	—	特記事項があれば登録

⑦ 計測データの確認・変更

指定した日付範囲を対象に計測データの検索と表示を行えるような設計とした。一覧には最大 100 件の計測データを表示する。警報設定画面で設定された閾値から外れる計測値は赤字で表示する。（図 81）

抽出条件	2021年 5月 1日 ~ 2021年 5月 11日 10 days									
再表示	Hold	項目	11 件							
再表示	全て	全て								
Hold (Grade)	Date	2021/05/01	2021/05/02	2021/05/03	2021/05/04	2021/05/05	2021/05/06	2021/05/07	2021/05/08	2021/05/09
No. 1	Time(ST)	10:15	10:15	10:15	10:15	10:15	10:15	10:15	10:15	10:15
	O2(%)	5.5	16.5	27.5	38.5	49.5	60.5	71.5	82.5	93.5
	CH4(%)	15.4	26.4	37.4	48.4	59.4	70.4	81.4	92.4	2.2
	CO(PPM)	44.0	55.0	66.0	77.0	88.0	99.0	110.0	121.0	2.2
	Temp. 1	59.5	70.5	19.9	30.9	41.9	52.9	63.9	13.3	24.3
	Temp. 2	70.5	19.9	30.9	41.9	52.9	63.9	25.7	24.3	35.3
	Temp. 3	19.9	30.9	41.9	52.9	63.9	13.3	25.7	35.3	46.3
	Temp. 4	30.9	41.9	52.9	63.9	13.3	24.3	35.3	46.3	57.3
Vent'N Open	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Vent'N Close	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
No. 3	O2(%)	7.7	18.7	29.7	40.7	51.7	62.7	73.7	84.7	95.7
	CH4(%)	17.6	28.6	39.6	50.6	61.6	72.6	83.6	94.6	4.4
	CO(PPM)	46.2	57.2	68.2	79.2	90.2	101.2	112.2	123.2	4.4
	Temp. 1	61.7	11.1	22.1	33.1	44.1	55.1	23.9	15.5	26.5
	Temp. 2	11.1	22.1	33.1	44.1	55.1	66.1	23.8	26.5	37.5
	Temp. 3	22.1	33.1	44.1	55.1	66.1	15.5	23.8	37.5	48.5
	Temp. 4	33.1	44.1	55.1	66.1	15.5	26.5	37.5	48.5	59.5
	備考									

図 81. 計測データ確認・変更画面

⑧ エリアデータ表示

登録された計測データをエリアデータ（船倉毎の情報）として表示する。警報設定で設定された閾値から外れる計測値は赤字で表示し、注意を促す。（図 82）



図 82. エリアデータ表示画面

⑨ トレンドグラフ表示

登録済み計測データを検索し、トレンドグラフに表示する。折れ線グラフで指定期間の温度測定値を表示（X軸：測定日時、Y軸：測定値）し、日々の船倉内温度トレンドが即時に閲覧できる。（図 83）

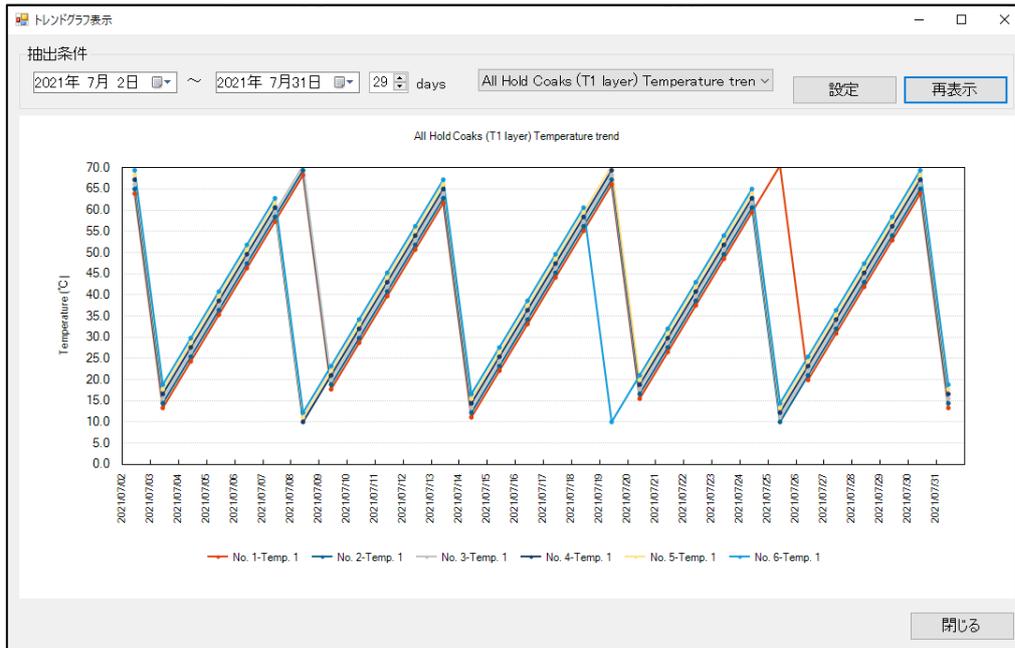


図 83. トレンドグラフ表示画面

### 7.1.3.3 専用PCアプリケーションを使った通信性能、日次作業フローの確認

陸上試験の最終段階として、温度センサを船用ハンディロガーへ接続し、試設計を行った専用PCアプリケーションを用い、日次作業フローを踏襲した総合動作確認を行った。

#### 1) 専用PCアプリケーションと船用ハンディロガーの通信性能確認

試設計で製作したアプリケーションソフトがインストールされている専用PCにUSBケーブルで船用ハンディロガーを接続し、あらかじめ収録しておいた温度データに対し、データの吸出し、登録、時刻設定等、通信コマンドによる各種機能が正常に動作することを確認した。(表 21)

表 21. 通信性能確認結果

確認項目	内容	結果
データ吸出し ロガーデータ残量	機器チェック、計測データ登録 画面で実施	合格 ・6船倉分データ吸出し ・USBポート番号自動認識 ・データ残量認識
時刻設定	機器チェック画面で実施	合格：時刻照合他可能
ログ表示	機器チェック画面で表示	合格：データ、操作ログ閲覧

#### 2) エリアデータ表示、トレンドグラフ表示機能の確認

通信で取り込んだ計測データを登録し、頻繁に使用されると推測される「エリアデータ表示」(図 84)、「トレンドグラフ表示」(図 85)機能について確認を実施した。この二つの機能確認により、計測データが正常に登録・保持されているかが容易に判定できる。(表 22)

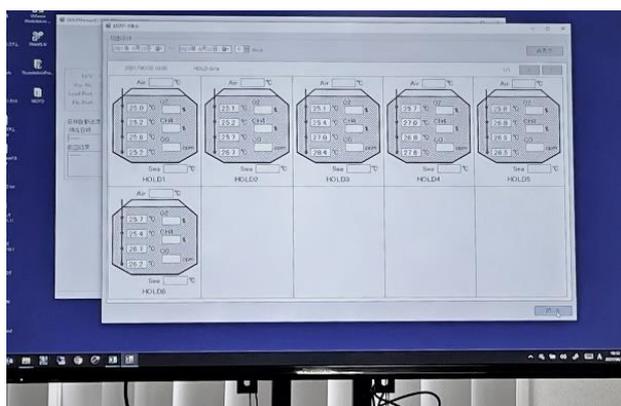


図 84. エリアデータ表示確認状態



図 85. トレンドグラフ表示確認状態

表 22. 各種データ表示確認結果

試験確認項目	内容	結果
エリアデータ表示	<ul style="list-style-type: none"> <li>・4CH 分のデータが正常位置に正しく表示されているか</li> <li>・指定日範囲のデータが表示されるか</li> </ul>	合格
トレンドデータ表示	指定日範囲で船倉内温度データがトレンド表示できるか	合格

以上により、試設計を実施した専用 PC アプリケーションと船用ハンディロガーにおいて、実船実験に十分使用できる環境が整った。

#### 7.1.4 船用ハンディロガーの陸上試験のまとめ

実船で運用する際の作業手順を想定し、軍手着用時の測定、データ収録、収録データ確認を簡便に行えること、表示操作仕様の内容が正しく実装されていることを確認できた。

また、船用ハンディロガーと収録されたデータを統合管理する専用 PC アプリケーションを USB ケーブルで接続し、通信による各種データの吸出し・登録、ロガー専用設定が手順通り正常に動作することも確認できた。船倉内エリアデータ表示、トレンド表示機能による視覚的状態監視が有効であると判断した。

以上より、手順や通信性能については目標とした内容の全てを実現できたため、実船実験で問題なく運用できると判断した。

## 7.2 計測器の実船実験

前項の陸上試験で実船実験用に修正を行った試作器を使い、協力者である株式会社商船三井に依頼し、現存の石炭運搬船で係留時実船実験を行う。その後、3航海（約 120 日）の航海時試験を予定しており、帰国の都度訪船し、乗組員からのヒアリングを行い、改良を加えていくと共に、耐久性についても確認する。

今回新型コロナウイルス感染拡大防止のため、現存の石炭運搬船での係留時実船実験および3航海（約 120 日）の航海時試験が出来なくなった。そのため下記表 23 にて代替することとした。

表 23. 代替試験の内容

計画	代替
現存の石炭運搬船での係留時実船実験	・ 建造中の船舶で係留時実船実験
3航海（約 120 日）の航海時試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海上公試運転時試験</li> <li>・ 温度センサのぶら下げ試験</li> <li>・ プレジャーボートの設置試験</li> </ul>
耐久性について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ケーブル外被の耐久試験</li> <li>・ 振れ止めの耐久性試験</li> </ul>

## 7.2.1 係留時実船実験 I

実船の使用環境で計測器が使用可能なことを確認した。

計画では石炭運搬船で実験を行う予定だったが、株式会社大島造船所で建造中のチップ運搬船にて実船実験を実施した。チップ運搬船の船倉および測温管の構造は石炭運搬船と同じため、実験可能と判断した。実施船を下記に示す。

実施船：SOUTHERN HOPE (SNo.10935) チップ運搬船

実験箇所：測温管 2 本 (船倉 No. 3、No. 5)

### 7.2.1.1 実船実験用温度センサの製作と設置

実験する船舶の測温管を調査し、実船実験用温度センサと測温管に設置するための取付け用フランジを製作し設置した。

- ・調査した測温管仕様

長さ：14.4m

測温管サイズ：50A sch80 (外径φ89.1、内径φ73.9)

測温管材質：STPG370 (炭素鋼鋼管)

#### 1) 温度センサの製作

ケーブル長さは10mとし、深さ方向の温度分布が測定できるように感温部が4点の温度センサを製作した。(図86)

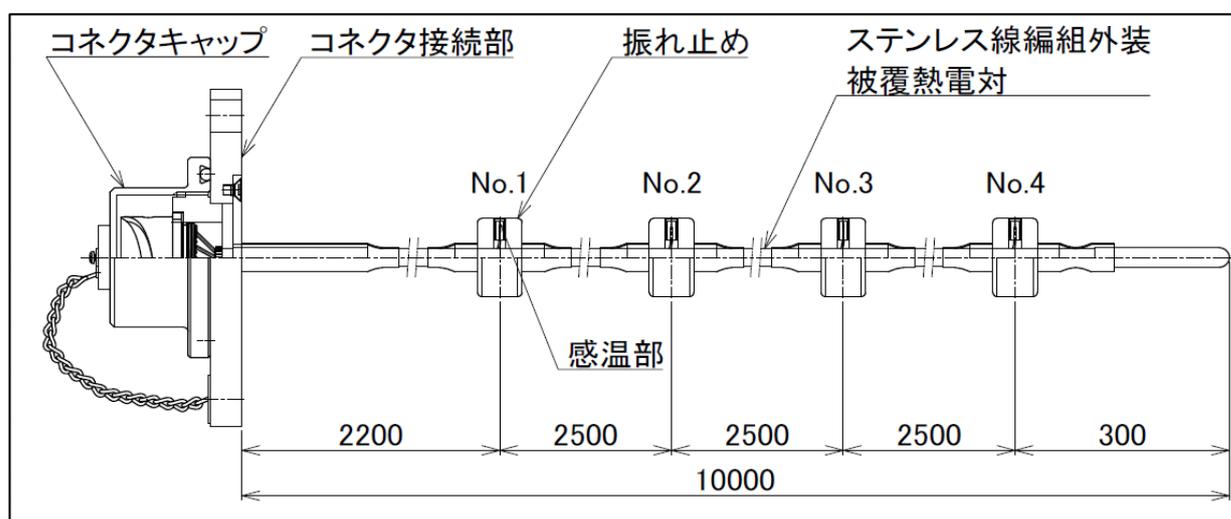


図 86. 実船実験用温度センサ

#### 2) 温度センサの設置

製作した温度センサを測温管に下記手順で設置した。(図87)

- ・測温管から管頭を外す
- ・管頭を外した測温管に取付け用フランジを固定する
- ・温度センサのケーブルを測温管に挿入する
- ・温度センサのコネクタ接続部と取付け用フランジを固定する

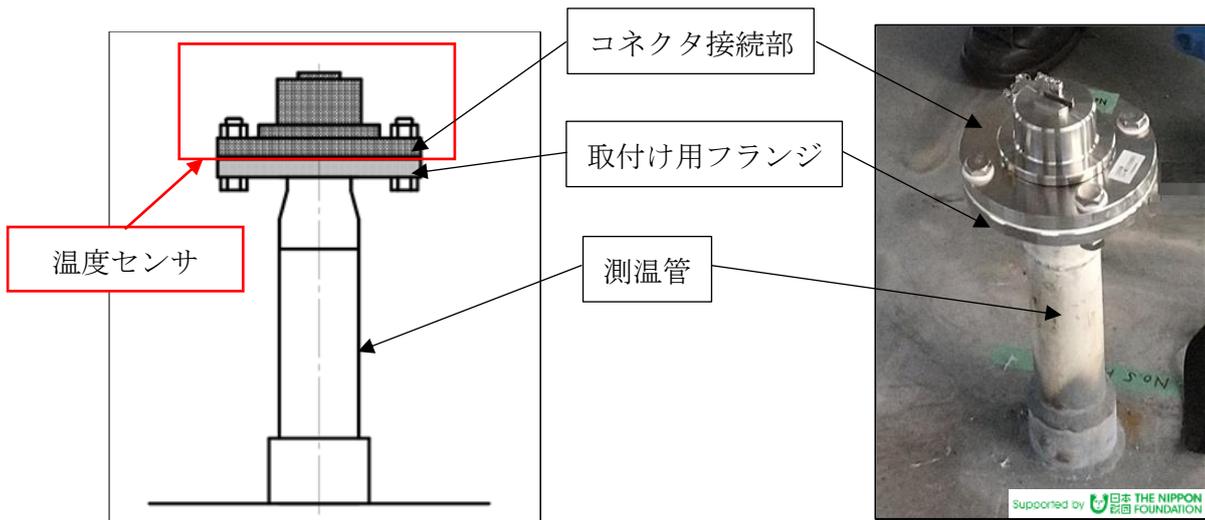


図 87. 測温管のセンサ設置

### 7.2.1.2 船用ハンディロガーと温度センサの接続試験

温度センサに船用ハンディロガーを軍手着用で接続し、作業性と船用ハンディロガーの温度表示を確認した。

#### 1) 船用ハンディロガーと温度センサの接続試験方法

- ・ 船用ハンディロガーに測定用ケーブルを接続する
  - ・ 温度センサのコネクタキャップを外す
  - ・ 測定用ケーブルのコネクタを温度センサ部のコネクタに接続する
  - ・ 船用ハンディロガーの電源を入れる
  - ・ 船用ハンディロガーの温度表示部に 4 点の温度が表示することを確認する
- 接続試験時の写真を図 88 に示す。

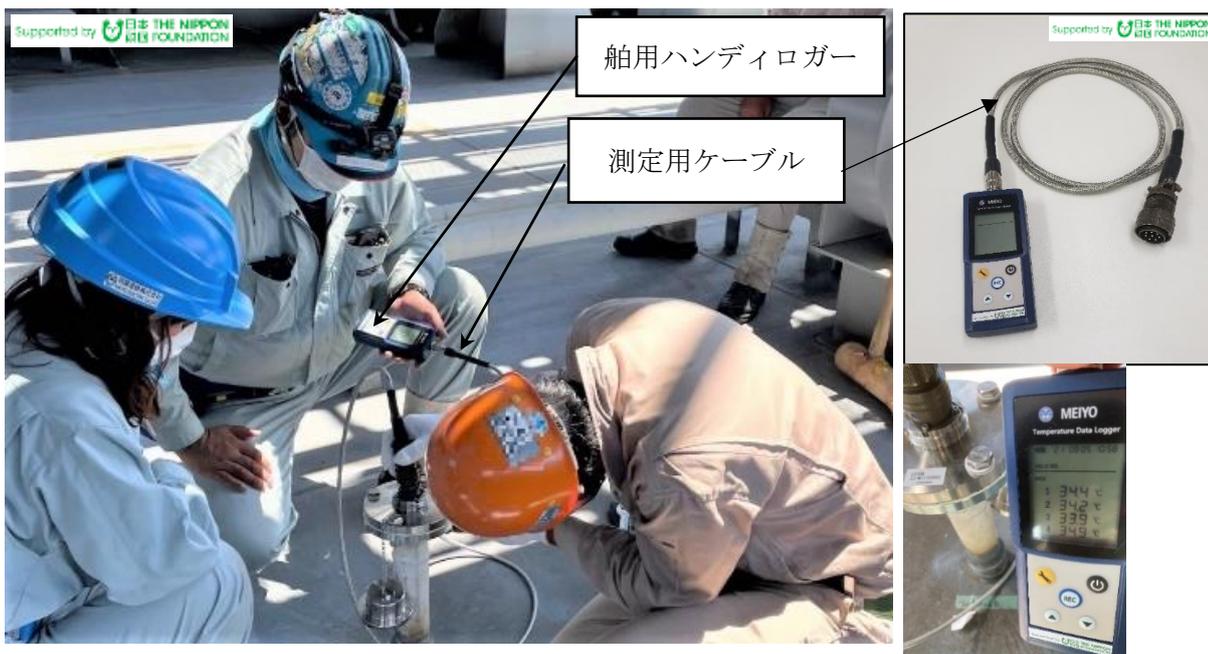


図 88. 船用ハンディロガーと温度センサの接続試験

## 2) 船用ハンディロガーと温度センサの接続試験のまとめ

造船所の作業員が軍手着用で実施した船用ハンディロガーと温度センサの接続試験の一連の作業に問題はなかった。また、4点の温度表示が確認できた。

### 7.2.1.3 温度センサのコネクタ接続部と測温管の導通確認試験

温度センサのコネクタ接続部はステンレス製で、測温管と取付け用フランジは炭素鋼製のためガルバニック腐食（※6）が発生する可能性がある。そのため、温度センサを測温管に取付け用フランジを介して固定する際、電氣的に接続しないように絶縁対策を行った。その絶縁対策の有効性を確認するため、テスターによる導通確認試験を実施した。

※6 ガルバニック腐食：異種金属が電氣的に接続されて、両者間に電位差が出来ることで生じる腐食。

#### 1) 温度センサのコネクタ接続部と測温管の導通確認試験の方法

電氣的に接続しているコネクタ接続部のフランジと取付け用フランジ間の抵抗値をテスターで測定し導通確認を行った。（図 89）



図 89. 導通確認のための抵抗値測定部分

#### 2) 温度センサのコネクタ接続部と測温管の導通確認試験の結果

温度センサのコネクタ接続部と測温管は導通していたので、ガルバニック腐食が発生する可能性があることが判明した。

#### 3) 温度センサのコネクタ接続部と測温管が導通していた原因調査

温度センサを測温管から外して導通箇所を調査した結果、温度センサケーブルのステンレス線編組外装部分が測温管内面に接触して導通している可能性があることが判明した。そのため、ステンレス線編組外装部分が測温管内面に接触しないようにケーブル外周に絶縁テープを巻く応急処置を施した。温度センサを測温管に再度取付けて導通確認試験を行った結果、コネクタ接続部と測温管に導通がないことが

確認できた。

4) 温度センサのコネクタ接続部と測温管の導通確認試験のまとめ

ステンレス線編組外装の一部が測温管内面に接触したことが導通の原因と判明したので、ステンレス線編組外装部分の絶縁対策を行う改良が必要と判断した。

7.2.1.4 温度センサを設置した測温管の固有振動数測定

測温管は温度センサを設置したことで固有振動数が低下し、破損などが起こる可能性があるため、固有振動数を測定した。

1) 温度センサを設置した測温管の固有振動数の測定方法

温度センサを設置した状態の取付け用フランジ部に振動分析計のマグネットピックアップセンサを取付け、ハンマーで測温管を加振し（ハンマリング）、生じた振動より固有振動数を計測した。（図 90）

振動分析計：リオン製[VA-12] FFT 分析機能付き

使用ハンマー：株式会社大島造船所が所有の木製ハンマー



図 90. 固有振動数の測定

2) 温度センサを設置した測温管の固有振動数の測定結果

各測温管に温度センサ設置後の固有振動数は下記となった。

- ・船倉 No. 3 : 104 Hz (分析グラフ図 91)
- ・船倉 No. 5 : 118 Hz (分析グラフ図 92)

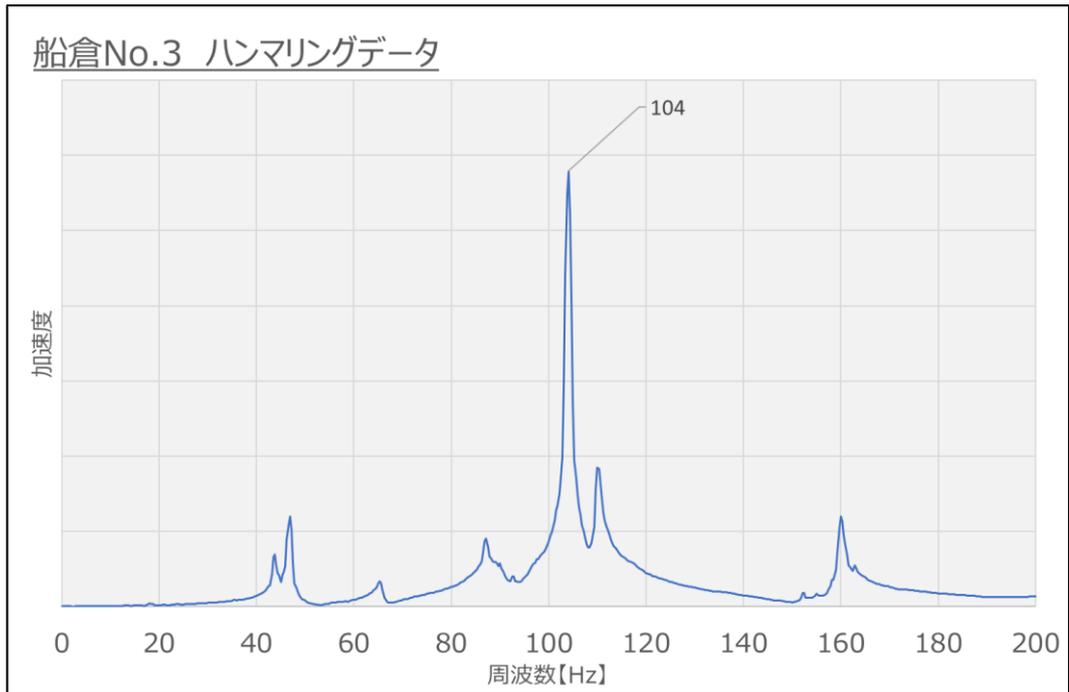


図 91. 船倉 No. 3 固有振動数分析データ

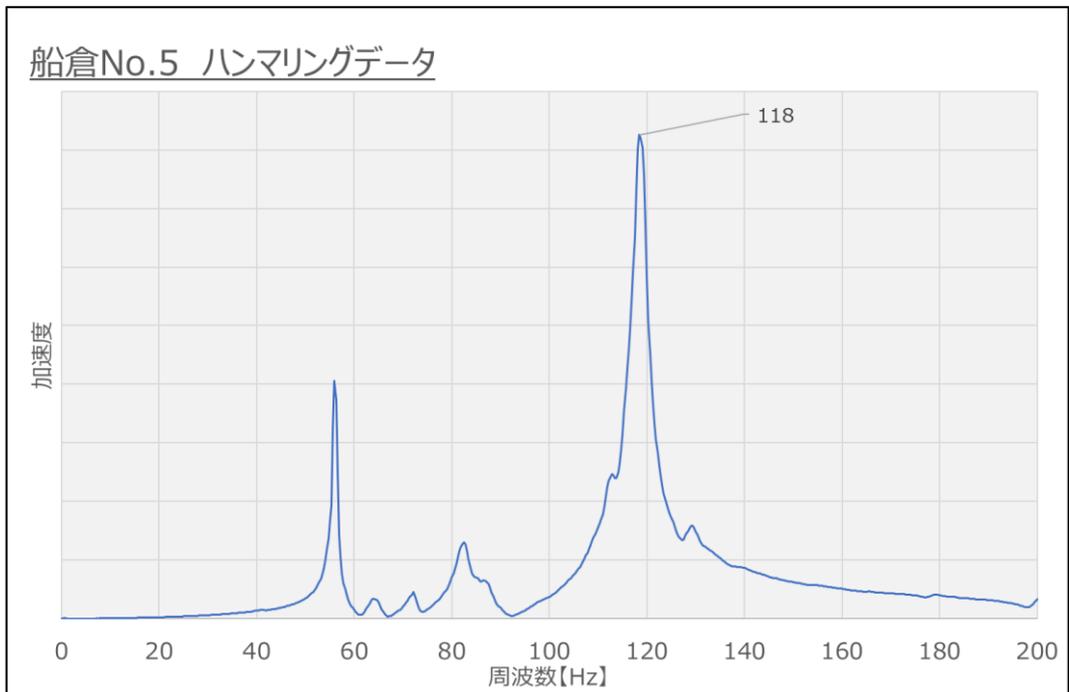


図 92. 船倉 No. 5 固有振動数分析データ

3) 温度センサを設置した測温管の固有振動数測定のみまとめ

振動分析計を用いたハンマリングによる固有振動数の測定値は、ハンマリングの技量で測定値が変動することがある。また、試験結果から温度センサを設置した2箇所の測温管の固有振動数に違いはあったが測温管の偏心や傾き、取付している甲板や防撓材などの条件の違いが固有振動数に影響したと考えられる。

船体に設置する機器は機関振動などの強制力（主に 100Hz 以内）に共振をしないことが望ましい。仮にある場合でも最小レベルに抑える必要がある。今回の試験結果では、2 箇所の測温管の固有振動数は 100Hz 以上であったため、共振による破損などの恐れは低い。しかし、結果が概算であることや測温管が船舶によって異なるため、温度センサの固有振動数を更に上げる必要があると判断した。

### 7.2.2 係留時実船実験Ⅰのまとめ

軍手着用で実施した船用ハンディロガーによる温度センサ接続試験の一連の作業に問題はなかった。また、4 点の温度表示が確認できたので、実船の甲板上に温度センサを設置して測定作業が可能であると判断した。

ステンレス線編組外装の一部が測温管内面に接触したことが導通の原因と判明したので、ステンレス線編組外装部分の絶縁対策を行う改良が必要と判断した。

測温管の仕様が船舶によって異なることや固有振動数の測定結果が概算であるため、安全性を考慮すると温度センサの固有振動数を更に上げることが望ましい。そのため、温度センサの軽量化を行う改良が必要と判断した。

以上のことから、上記絶縁対策と軽量化を行った改良形センサを製作し、再度係留時実船実験を行うこととした。

### 7.2.3 係留時実船実験Ⅱ

係留時実船実験Ⅰで温度センサの改良が必要なが判明したため、改良形温度センサを製作し実船で使用可能なことを確認した。今回の実船実験も協力者である株式会社商船三井に依頼し、株式会社大島造船所にて建造中の石炭運搬船で係留時実船実験Ⅱを実施した。

実施船を下記に示す

実施船：KUROTAKISAN MARUⅢ (SNo. 10989) 石炭運搬船

実験箇所：測温管 2 本 (船倉 No. 4、No. 7)

#### 7.2.3.1 実船実験用改良形温度センサの製作

測温管を調査して改良形温度センサを製作した。

- ・調査した測温管仕様

長さ：15.4m

測温管サイズ：50A sch80 (外径φ89.1、内径φ73.9)

測温管材質：STPG370 (炭素鋼鋼管)

#### 1) 改良実施内容

##### ① ケーブルの改良

ステンレス線編組外装の一部が測温管内面に接触し導通したことが判明したため、現状のステンレス線編組外装の外側を樹脂製の外被で覆うタイプに変更した。(図 93)

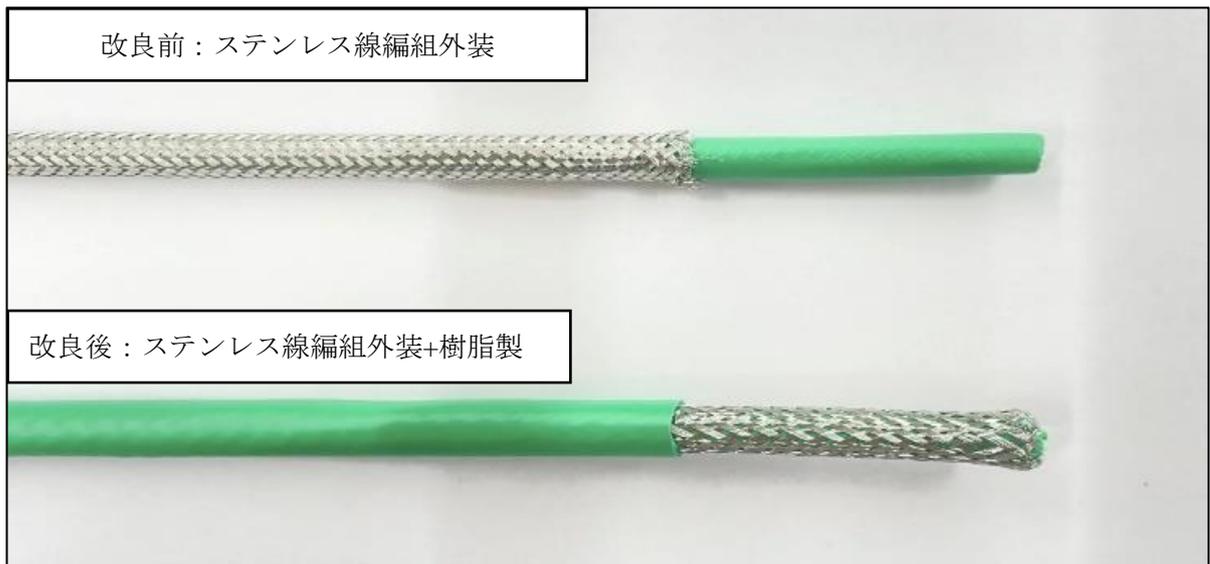


図 93. ケーブルの改良

② コネクタ接続部と取付け用フランジの軽量化

軽量化を図るため、設計の見直しをした。取付け用フランジの厚さは温度センサ部に圧力がかからないため 14mm から 7mm に変更した。コネクタ接続部のコネクタキャップの外径は  $\phi 64$ mm から  $\phi 62$ mm に変更、座の部分は 10mm から 7mm に変更した。その結果、取付け用フランジとコネクタ接続部の総重量が 2690g から 1680g となり、1010g の軽量化を実現した。(図 94)

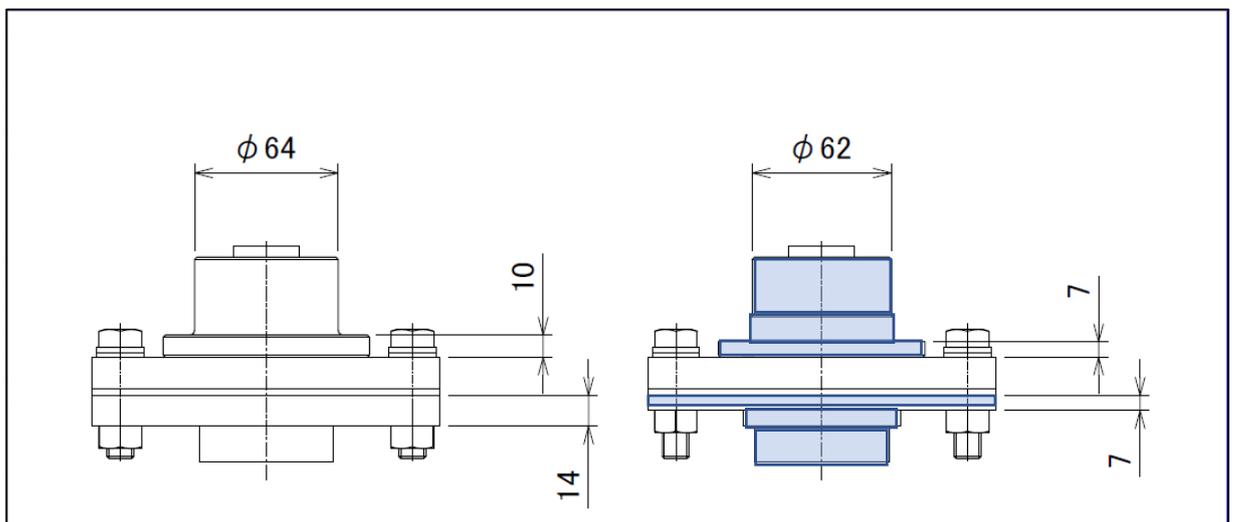


図 94. コネクタ接続部と取付け用フランジ

2) 改良形温度センサの製作

改良内容を反映した温度センサを製作した。ケーブル長は 10m とし、深さ方向の温度分布が測定できるように感温部を 4 点とした。

改良形温度センサの外形図を図 95 に示す。

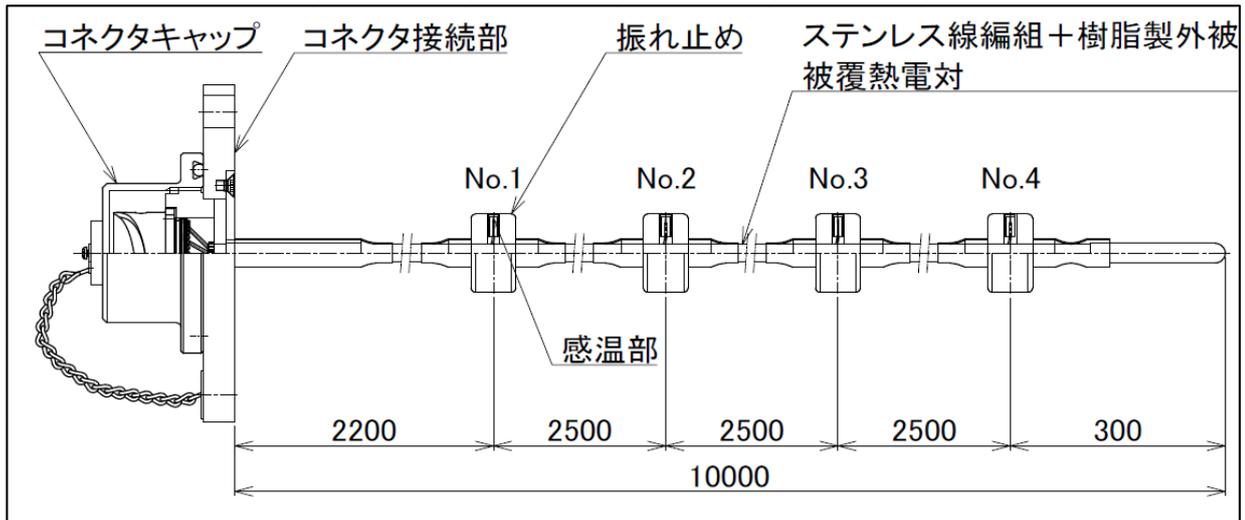


図 95. 実船実験用改良形センサ

### 7.2.3.2 改良形温度センサのコネクタ接続部と測温管の導通確認試験

改良形温度センサのガルバニック腐食対策の有効性を確認するために導通確認を行った。

#### 1) 改良形温度センサのコネクタ接続部と測温管の導通確認試験の方法

係留時実船実験 I と同様に、コネクタ接続部のフランジと取付け用フランジ間の抵抗値をテスターで測定し、導通確認を行った。(図 96)

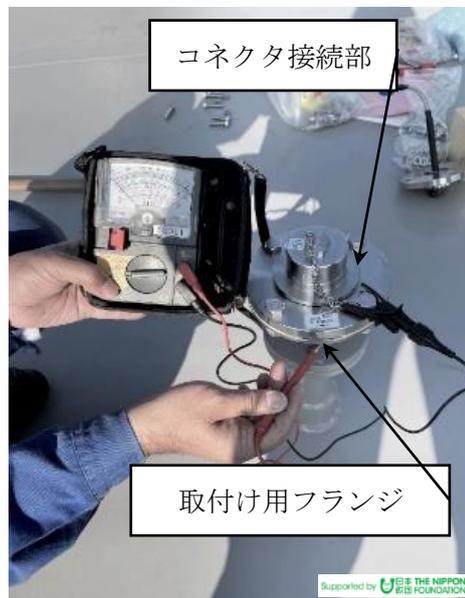


図 96. 導通確認の様子

#### 2) 改良形温度センサのコネクタ接続部と測温管の導通確認の結果

抵抗値を測定した結果、導通していないことが確認できた。改良形温度センサのガルバニック腐食対策は有効と判断した。

7.2.3.3 改良形温度センサを設置した測温管の固有振動数測定  
改良形温度センサを設置した測温管の固有振動数を測定した。

1) 改良形温度センサを設置した測温管の固有振動数の測定方法

係留時実船実験 I と同様に、改良形温度センサを設置した状態の取付け用フランジ部に振動分析計のマグネットピックアップセンサを取付け、ハンマーで測温管を加振し、生じた振動より固有振動数を計測した。(図 97)

振動分析計: リオン製[VA-12] FFT 分析機能付き  
使用ハンマー: 株式会社大島造船所所有の木製ハンマー



図 97. ハンマリング試験

2) 改良形温度センサを設置した測温管の固有振動数の測定結果

各測温管に改良形温度センサ設置後の固有振動数は下記となった。

- 船倉 No. 4 : 121.5 Hz (分析グラフ図 98)
- 船倉 No. 7 : 122Hz (分析グラフ図 99)

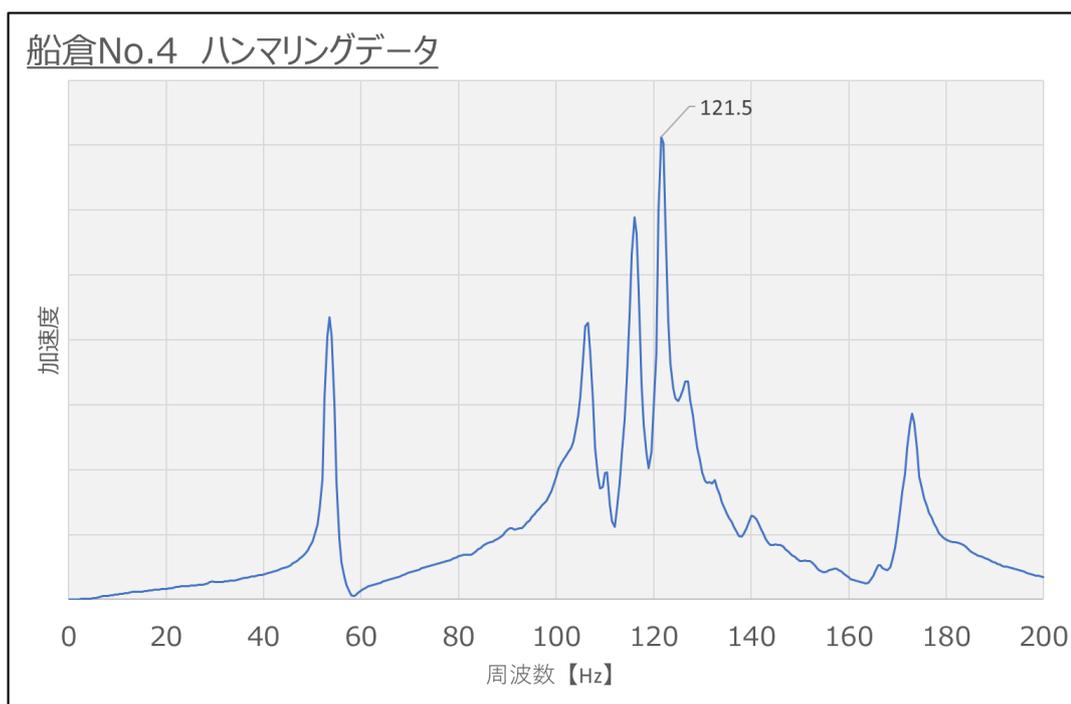


図 98. 船倉 No. 4 固有振動数分析データ

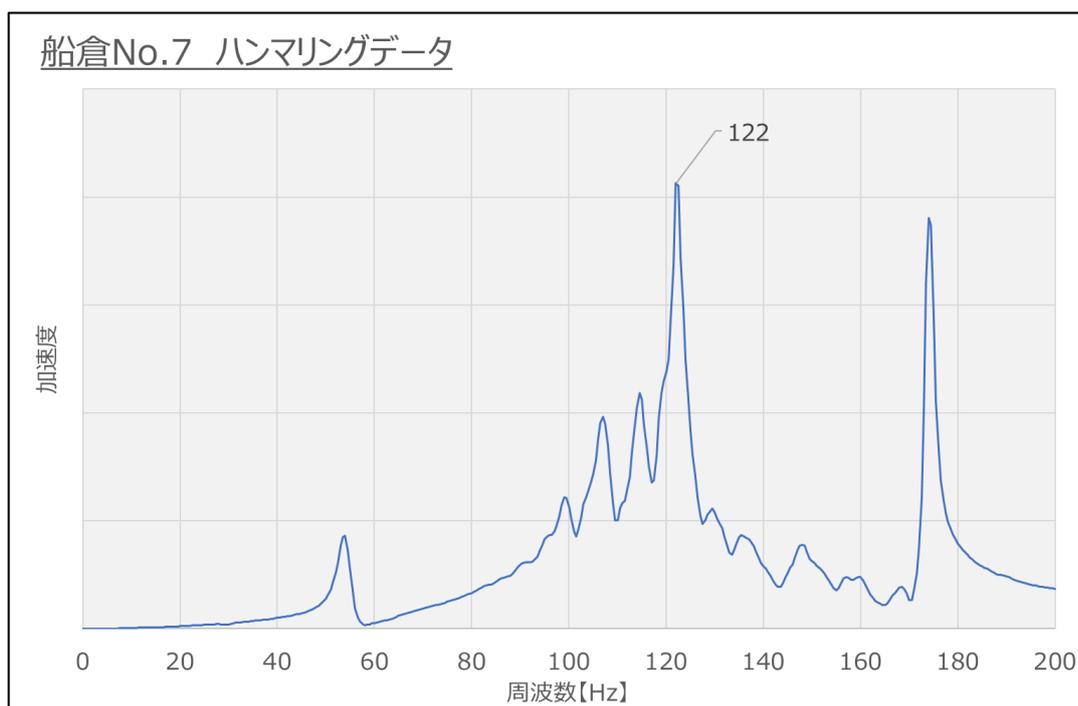


図 99. 船倉 No. 7 固有振動数分析データ

### 3) 改良形温度センサを設置した測温管の固有振動数測定のみまとめ

今回の試験結果は係留時実船実験Ⅰの結果よりも高い固有振動数であった。測温管の仕様と設置状態が前船と異なることから比較はできないが、軽量化による影響も要因であると考えられる。また、固有振動数は100Hzよりさらに大きくなったため、共振による破損などの恐れは軽減したと考える。

#### 7.2.4 係留時実船実験Ⅰ,Ⅱのみまとめ

計測器の設置と接続作業、船用ハンディロガー温度表示に問題がなかった。改良形温度センサは測温管と導通していないことから、ガルバニック腐食対策は有効と判断した。改良形温度センサを設置した測温管の固有振動数は100Hzより大きいため、共振による破損などの恐れはないと考える。

以上のことから、実船の使用環境で計測器が使用可能であると判断した。

#### 7.2.5 3航海(約120日)の代替試験

3航海(約120日)の代替試験として下記試験を実施した。

- ・海上公試運転時試験
- ・温度センサのぶら下げ試験
- ・プレジャーボートの設置試験

### 7.2.5.1 海上公試運転時試験

航海時を想定した環境で試験を行い、航行中でも使用可能なことを確認した。

場所：株式会社大島造船所から五島列島沖

実施船：KURUTAKISAN MARU III (SNO. 10989) 石炭運搬船(係留時実船実験Ⅱと同じ)

#### 1) 船用ハンディロガーと温度センサの接続試験と収録確認試験

波風の影響のある航行中にも安全に温度センサへ接続し、船用ハンディロガーに温度データを表示させて収録することが可能か確認した。

#### 2) 船用ハンディロガーと温度センサの接続試験と収録確認試験方法

測温管に設置した温度センサのコネクタキャップを外して、船用ハンディロガーに接続した測定用ケーブルコネクタを温度センサ部コネクタに接続した。

また、操作マニュアルに従い、船用ハンディロガーの温度表示を確認後、REC キー釦でデータ収録した。温度データを収録した様子を図 100 に示す。



図 100. 温度センサへ接続試験

#### 3) 船用ハンディロガーと温度センサの接続試験と収録確認試験結果

温度センサと船用ハンディロガーは航行中も安全に接続ができ、4 点の温度表示と温度データの収録ができたことを確認した。また収録した温度データは作業終了直後、2 時間後、2 日後に呼び出し、異常がなかった。

#### 4) 船用ハンディロガーと温度センサの接続試験と収録確認試験のまとめ

航海中でもコネクタキャップを外す作業から温度表示の確認までの一連の作業を行うことができた。また、温度データの収録も問題なかったことから、計測器は航海中の実船で使用可能なことが確認できた。

### 7.2.5.2 温度センサを設置した測温管の振動計測

温度センサを設置した測温管に関し、係留時実船実験Ⅱで確認した固有振動数近辺に共振するような強制振動がないことを確認するため、振動計測を実施した。

振動分析計: リオン製[VA-12] FFT 分析機能付き

#### 1) 測温管に設置した温度センサの振動計測方法

マグネットピックアップを温度センサに取付けて、FFT 分析機能付き振動分析計を用いて計測した。(図 101)

振動計測方向は、図 102, 図 103 に示す。

- ・ 船体の右舷/左舷方向が X 軸
- ・ 船体の船首/船尾方向が Z 軸
- ・ 船体の甲板/船底方向が Y 軸

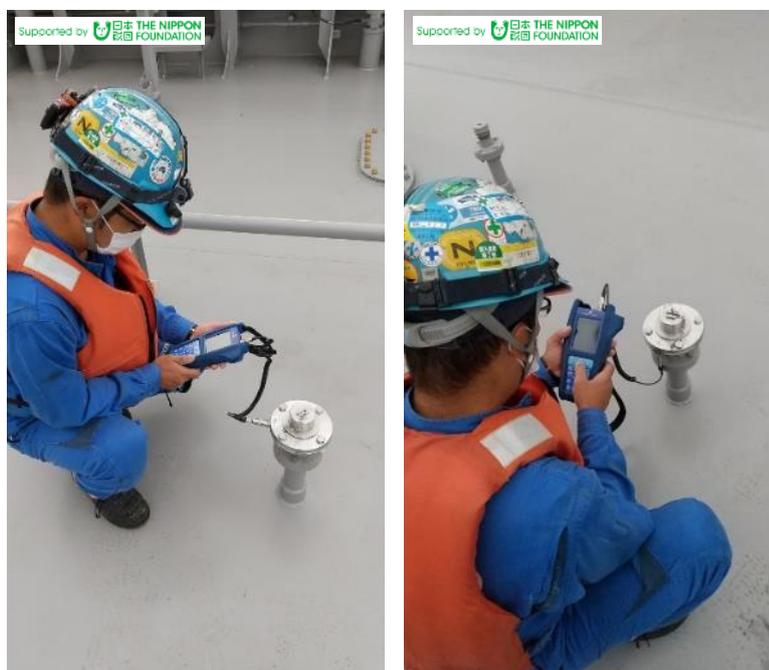


図 101. 振動計測時の写真

#### 2) 温度センサを設置した測温管の振動計測結果

温度センサを設置した船倉 No. 4 測温管の振動測定結果を図 102 に、温度センサを設置した船倉 No. 7 測温管の振動測定結果を図 103 に示す。

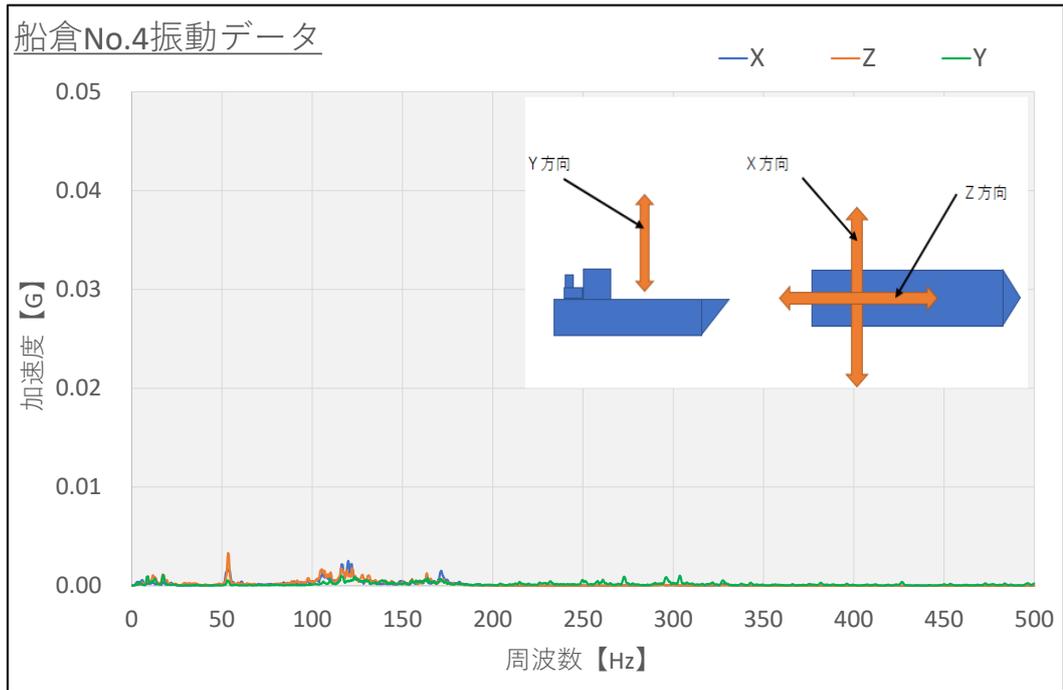


図 102. 温度センサを設置した船倉 No. 4 測温管の振動測定結果

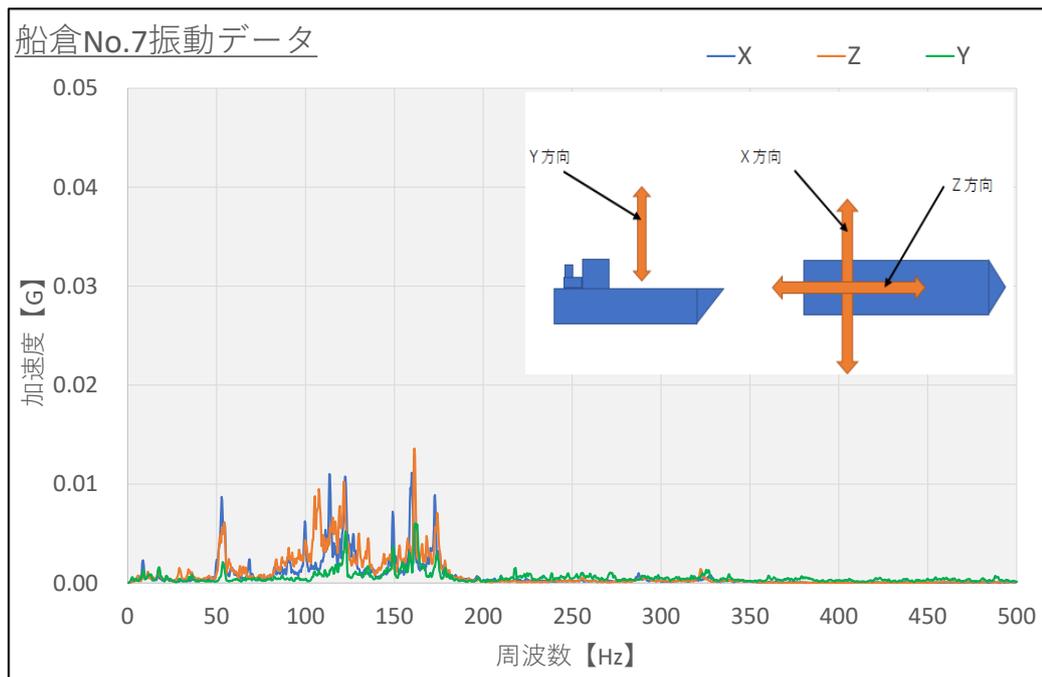


図 103. 温度センサを設置した船倉 No. 7 測温管の振動測定結果

### 3) 温度センサを設置した測温管の振動計測のまとめ

今回の振動計測から温度センサを設置した測温管の振動は、船倉 No. 4 の最大値 0.003G 程度、船倉 No. 7 で最大値 0.014G 程度であり、船級協会が規定している振動耐久試験の加速度条件 $\pm 0.7G$ より小さいことを確認できた。

また、測温管に設置した温度センサの固有振動数付近でも加振させる振動はとても小さいことから、測温管に伝わる振動では共振による影響はないと判断した。

### 7.2.5.3 温度センサのぶら下げ試験

実船の測温管に温度センサを設置した際、温度センサにケーブルの負荷がかかる。3航海使用する航海時試験の代替として、温度センサを120日間屋外にぶら下げて温度センサにケーブルの負荷をかけた。試験後の温度センサ各部に状態変化や異常がないことを確認した。

#### 1) 温度センサのぶら下げ試験場所および試験方法

実船と同じように温度センサへ負荷をかけるため、ワイヤーロープでフランジ部のみを固定して屋外にケーブルをぶら下げた。試験の様子を図104に示す。

試験では実船実験用に製作したケーブル全長10mの温度センサを使用した。

温度センサは30日ごとに外観、絶縁抵抗、船用ハンディロガーに接続して温度表示を確認した。また、120日経過後は寸法確認を実施した。



図104. 温度センサのぶら下げ試験の様子

#### 2) 温度センサのぶら下げ試験の試験結果

ケーブルの負荷がかかっている温度センサのケーブル取付け部の樹脂にクラックや剥離による隙間などの状態変化や異常はなかった。120日経過した温度センサのケーブル取付け部を図105に示す。また、外観、絶縁抵抗、船用ハンディロガーの温度表示の確認した結果を表24に、120日後の寸法確認結果を図106に示す。



図 105. 温度センサのケーブル取付け部

表 24. 120 日後の確認結果

	開始時	30 日経過	60 日経過	90 日経過	120 日経過
外 観	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
絶縁抵抗	1000MΩ 以上				
温度表示	良	良	良	良	良

絶縁抵抗：DC500V メガー絶縁抵抗器

温度表示：船用ハンディロガー

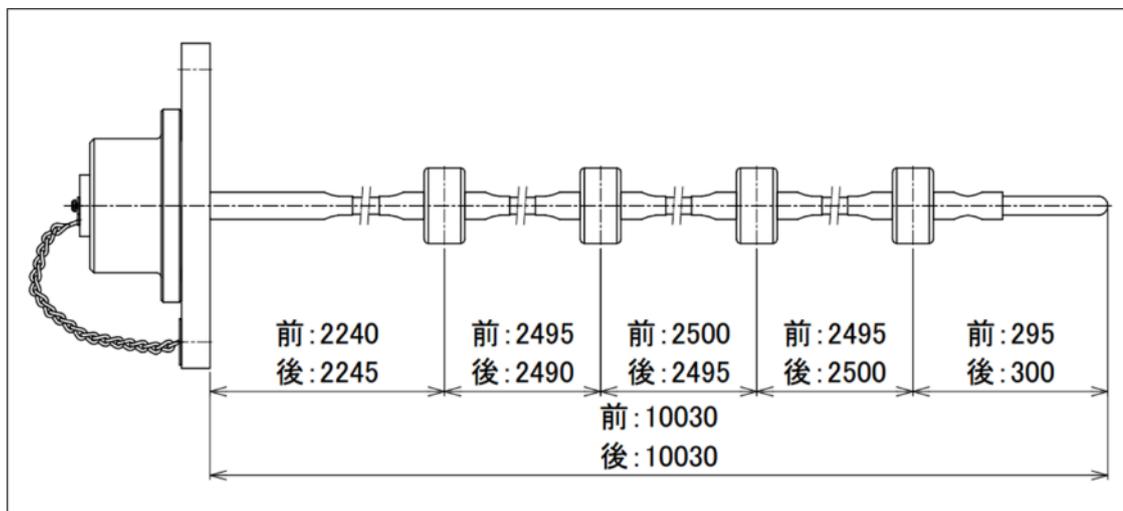


図 106. 寸法確認結果

### 3) 温度センサのぶら下げ試験のまとめ

120 日間、温度センサにケーブルの負荷をかけてもケーブル取付け部の状態変化、ケーブルの外観、絶縁抵抗、船用ハンディロガーの温度表示に異常はなかった。寸法確認結果は試験前後で感温部の間隔が最大 5 mm の差があったが測定誤差も含まれており、全長は変化がなかったことからケーブルの伸びが発生していないと判断した。

#### 7.2.5.4 プレジャーボートの設置試験

海上は陸上に比べ環境条件が厳しいことが推測される。3 航海使用する航海時試験の代替として、温度センサを 120 日間海上環境に晒さらした。試験後の温度センサに状態変化や異常がないことを確認した。

##### 1) プレジャーボートの設置試験実施場所および試験方法

実船実験時に製作した温度センサをプレジャーボートに 120 日間設置し、30 日ごとに外観、絶縁抵抗、船用ハンディロガーに接続し温度表示を確認した。

温度センサの設置場所を図 107 に示す。



図 107. 温度センサ設置場所

##### 2) プレジャーボートの設置試験の試験結果

120 日後の温度センサは状態変化や異常がなかった。

試験結果を表 25 に、120 日経過した温度センサを図 108 に示す。

表 25. 120 日後の試験結果

	開始時	30 日経過	60 日経過	90 日経過	120 日経過
外 観	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
絶縁抵抗	1000MΩ 以上				
温度表示	良	良	良	良	良

絶縁抵抗：DC500V メガー絶縁抵抗器

温度表示：船用ハンディロガー

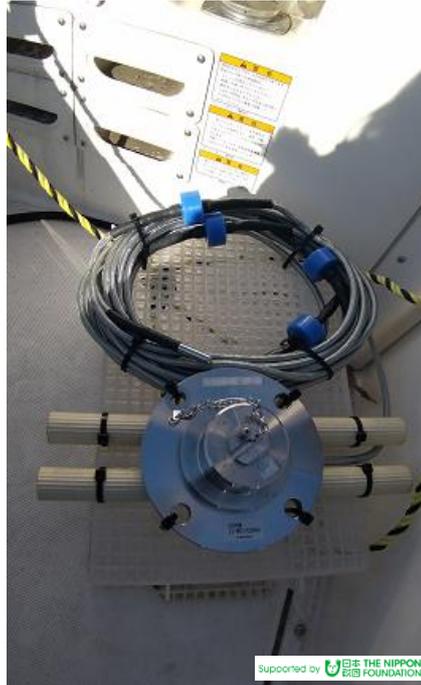


図 108. 120 日経過後の温度センサ

### 3) プレジャーボートの設置試験のまとめ

120 日間、温度センサを海上環境に晒しても腐食などの外観異常はみられなかった。また、絶縁抵抗、船用ハンディロガーの温度表示に異常はなかった。

#### 7.2.5.6 3 航海の代替試験のまとめ

事業計画当初は、実際に 3 航海にわたって作業員に船用ハンディロガーを使用して温度データを収録する作業を実施し、適宜改良を行う計画であった。しかし新型コロナウイルス感染拡大により実施が困難となり、代替試験にて実際の航行中の使用や設置について確認を行う計画に変更した。

航行中の使用に関しては、コネクタの接続から温度データの収録まで一連の作業に問題はなく、温度センサが取付いた測温管についても、伝わる振動が小さいため破損などの恐れがないことを確認した。実船の設置に関しては、温度センサにケーブルの負荷がかかる状態や温度センサを海上の環境に晒しても問題がなかった。

#### 7.2.6 耐久性の検証

##### 7.2.6.1 振れ止めの耐久性試験

測温管内に常設する温度センサケーブルの振れ止めには感温部を内蔵している。航行中において、振れ止めが測温管内面に接触することによる温度センサへの影響を確認する試験を実施した。

### 1) 振れ止めの耐久性試験方法

実船実験を行った船舶と同じ仕様の測温管（STPG370 50A-sch80）を振動加振台に固定させた。振動を加えたときの最大振幅で配管内面に振れ止めが当たる位置に温度センサケーブルを設置し、樹脂材の疲労限度繰り返し数を目安に  $10^5$  回（10 万回）以上接触させた。温度センサは常時温度を測定し、作動に異常がないことを確認した。試験の様子を図 109 に示す。

試験は実船実験時に製作した温度センサを使用し、新品の測温管と実際に就航した後の状態を再現し錆びた測温管の 2 種類で行った。

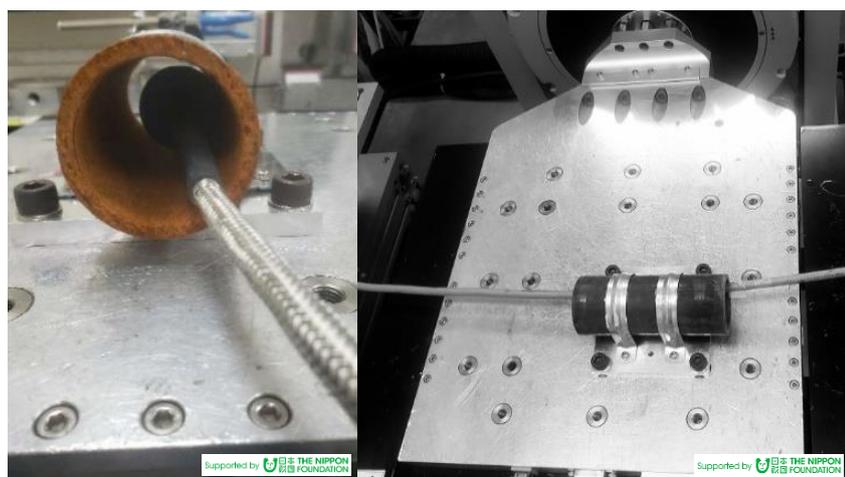


図 109. 振れ止め部の試験の様子

### 2) 振れ止めの耐久性試験結果

温度センサは試験中の作動に異常がなかった。

試験後にマイクロスコープで振れ止めの状態を確認した結果を図 110 に示す。

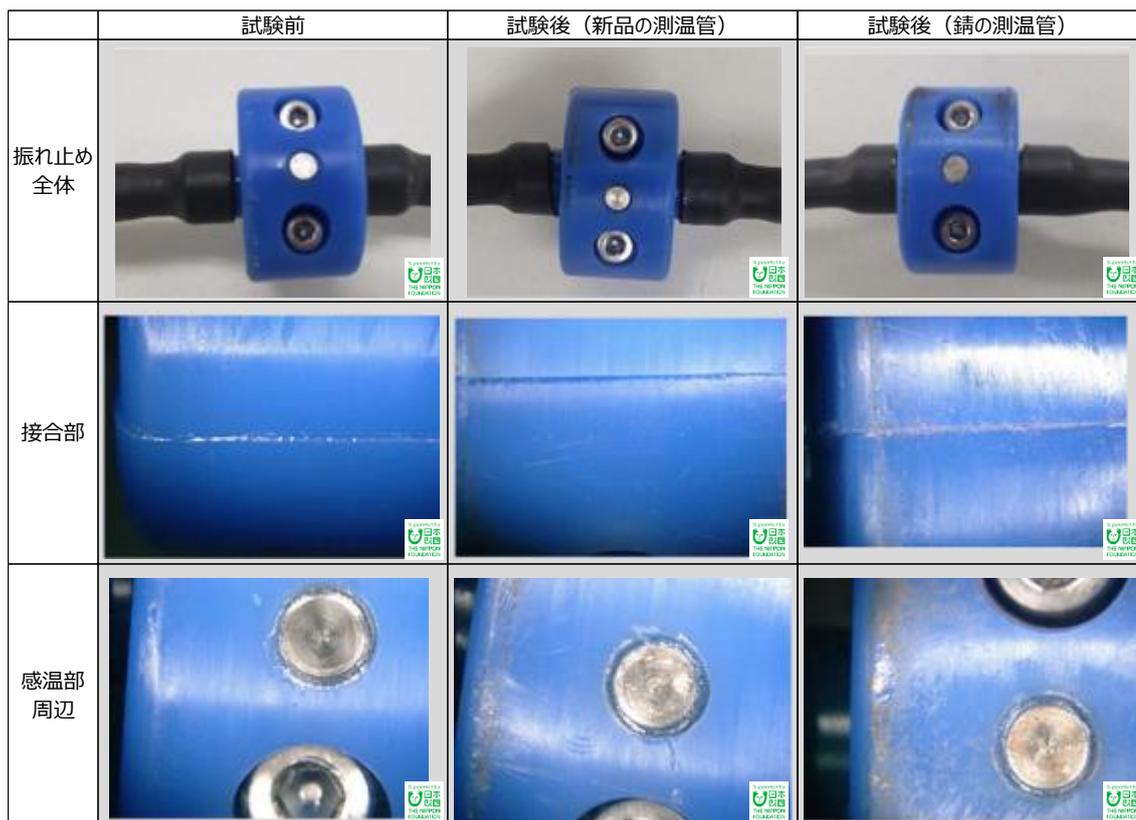


図 110. 振れ止めの耐久性試験結果

### 3) 振れ止めの耐久性試験のまとめ

新品の測温管で行った試験後の振れ止めは、測温管内面の酸化膜の黒色に移り小さな擦り傷がみられた。また錆びた測温管で行った試験後の振れ止めは、茶色い錆も付着し小さな傷と小さな凹みが多くみられた。しかし、ステンレスで保護されている感温部は、傷や凹みなどの変化が全く見られなかった。

どちらの測温管で行った振れ止めにも大きな凹みやゆがみ、接合部の剥がれなどもみられず、全体的な外観に問題はなかった。温度表示にも異常がなかったことから、振れ止めが測温管に内面に接触してもセンサ性能に影響がないと判断した。

## 7.2.6.2 ケーブル部の耐久性試験

ケーブル外被が測温管内面に接触すると擦れや剥がれなどが発生し、内側のステンレス線編組が露出することが考えられる。ステンレス線編組が露出した場合、測温管内面に接触して導通してしまうことが懸念されるため、接触による状態変化を確認する試験を実施した。

### 1) ケーブル部の耐久性試験方法

振れ止めの耐久性試験と同様に、振動を加えたときの最大振幅で配管内面に振れ止めが当たる位置にケーブルを固定し、樹脂材の疲労限度繰返し数を目安に  $10^5$  回（10 万回）以上接触させた。測温管は新品の配管と実際に就航した後の状態を再現し錆びた配管の 2 種類で行った。

## 2) ケーブル部の耐久性試験の結果

マイクロスコープでケーブルが測温管内面に接触した箇所の状態を確認した結果を図 111 に示す。

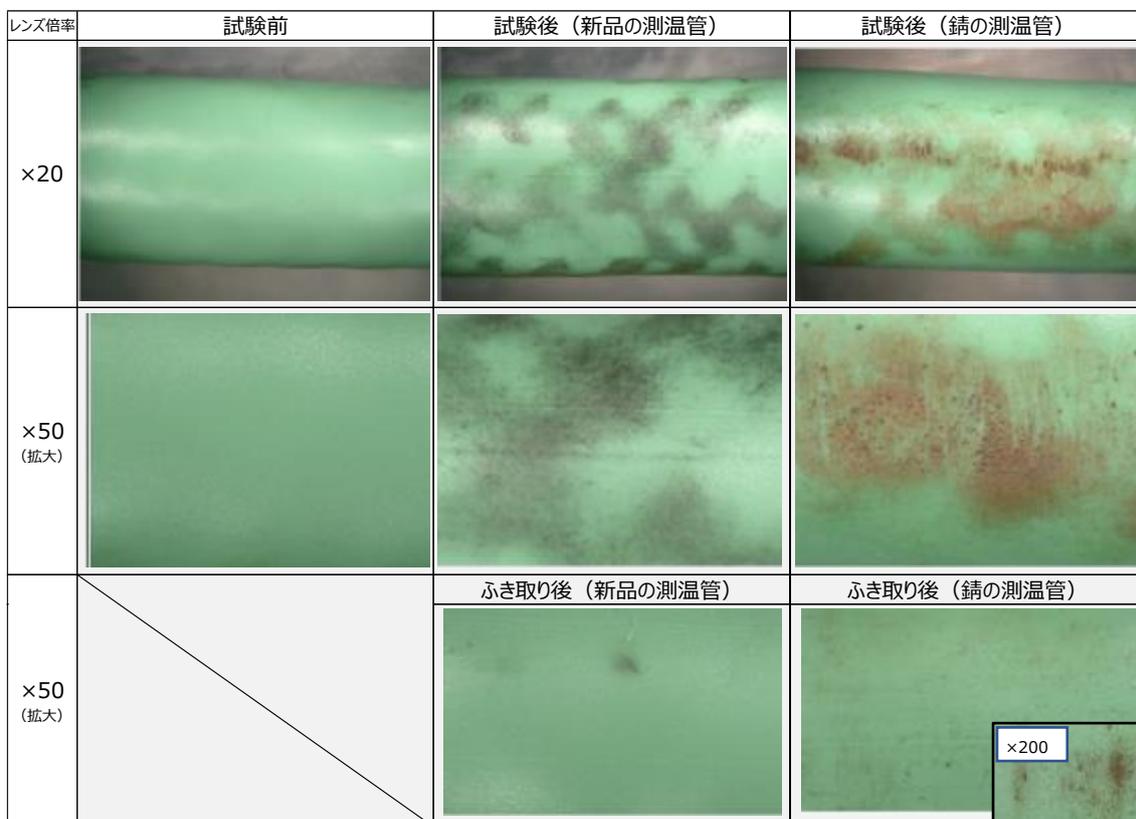


図 111. ケーブル部の耐久性試験の結果

## 3) ケーブル部の耐久性試験のまとめ

新品の測温管では内面の酸化膜の黒色が付着し汚れていた。また錆びた測温管も、測温管内面の茶色い錆が付着しかなり汚れていた。さらにウエスで汚れを拭き取って拡大鏡で確認したところ、新品の測温管で行ったケーブルは小さな傷が確認できたが、傷の数も少なく、浅い傷であった。錆びた測温管で行ったケーブルは傷の数が多く、新品で行った時より傷が深かったため、さらに拡大率を上げて確認したが、ステンレス編組は見え、外被の表面のみの傷であることを確認した。

今回行った試験条件では、採用したケーブルは測温管内面と接触がおきても外被の表面のみに傷はできるが温度センサの性能に影響を及ぼすような恐れはないと考えられる。

### 7.3 システムの性能評価

現状では、ガラス製温度計を使用した目視による温度測定と手書きによる記録を行っている。計測器とアプリケーションソフトによる本システムは船用多点測温ケーブルと船用ハンディロガーによる自動収録からグラフィック表示まで可能である。下記項目について本システムの有効性を評価した。

- 1) 航行中の計測時の工数
- 2) 計測器の操作性
- 3) グラフィック表示の有効性
- 4) メールなどによる船主へのデータ伝送

#### 7.3.1 航行中の計測時の工数

##### 1) 温度測定工数の比較試験方法

係留時実船実験Ⅰの実験船で温度測定工数の比較試験を実施した。実際の測定では測温管深さ方向の中間部分の温度を測定している。今回の測温管深さは 14.4m のため、全長 7m の紐を取付けたガラス製温度計を使用した。

ガラス製温度計の温度測定工数は測温管の管頭キャップを開けて測温管に挿入し、5分後に取り出して温度指示値を目視確認（記録）するまでとした。計測器の温度測定工数は、温度センサのコネクタキャップを外してからコネクタ接続を行い、船用ハンディロガーの表示値を収録するまでとした。（図 112）

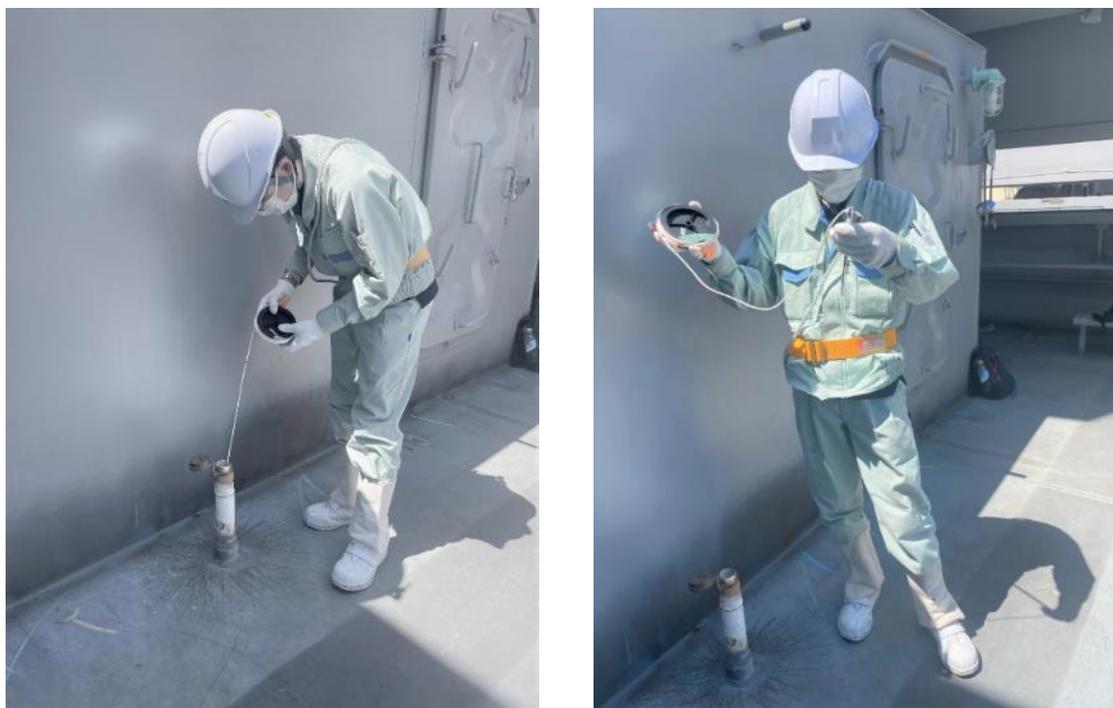


図 112. ガラス製温度計による温度測定

## 2) 温度測定工数の比較試験結果

ガラス製温度計と計測器による温度測定工数比較試験の結果を表 26 に示す。

表 26. ガラス製温度計と計測器による温度測定工数の比較

	温度測定工数
ガラス製温度計	7 分
計測器	1 分

計測器による測定は温度測定工数が 6 分短縮できた。

### 7.3.2 計測器の操作性

実船実験にて、実際に計測器の操作を行った作業員を対象に、使い勝手等の官能面での操作性について意見を求めた結果を表 27 にまとめた。

表 27. 計測器の操作性評価結果

評価内容	意見	結果／対策
コネクタキャップの取外し	<ul style="list-style-type: none"> <li>軍手着用でも可能だった</li> <li>脱落防止チェーンが付いているので良い</li> </ul>	合格
コネクタの接続	コネクタ取付け時の向きが分かりにくい	コネクタ本体にマーキング
測定用ケーブル	少し長い	希望長さで対応可能
キー釦の配置・間隔	良好	合格
軍手操作によるクリック感	良好	合格
キー釦操作手順の分かり易さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>船倉数 (HOLD No.) 選択時に上限 10 まで到達したら次に 1 へ戻って欲しい。</li> <li>その他は良好</li> </ul>	ファームウェアの修正
表示内容、視認性	良好	合格

### 7.3.3 グラフィック表示の有効性

陸上試験時において確認した船倉内温度のトレンドグラフ表示に加え、温度以外のパラメータ (O<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO 濃度) の登録データも別の縦軸で同時に表示できるような追加設計を実施した。(図 113)

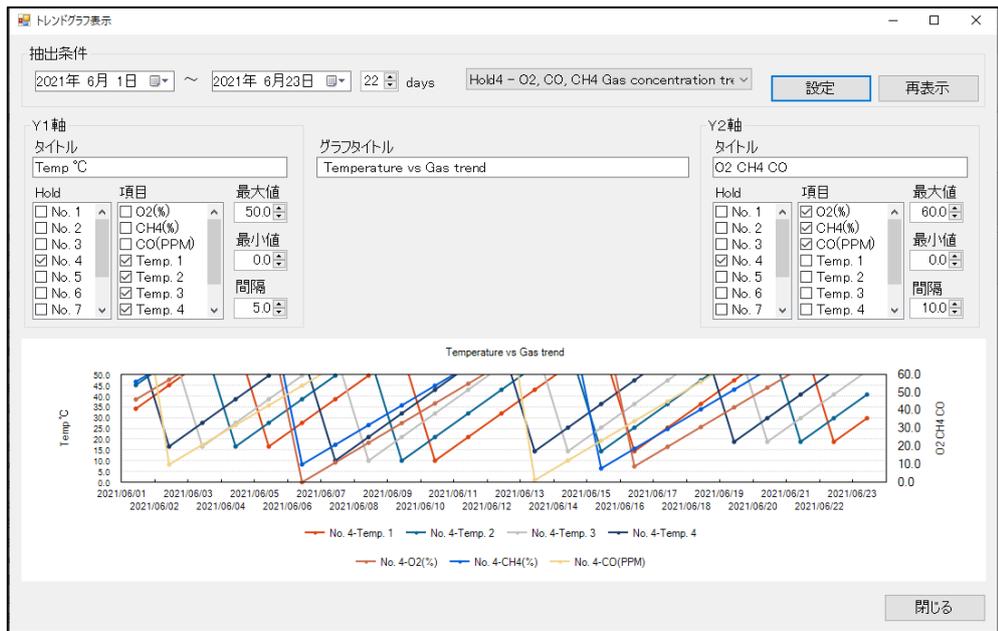


図 113. トレンドグラフの複合表示機能（追加設計分）画面

これにより、船倉内温度だけではなく、内部のガス濃度等も容易に比較を行うことが可能になり、換気（ベンチレーション）の際の目安として有効であると判断した。

#### 7.3.4 日報帳票データの作成と Eメール送信

記録された温度データ、ガス濃度等を日報帳票形式で Excel データとして出力し、船主へ Eメールで送信する機能の実装を行い、その確認試験を実施した。

日報出力はメニュー内の日次作業エリアへ配置し、Eメール設定等は一度設定を行えば航海中の変更はないため、メニュー内の設定関係エリアへコマンドボタンを配置した。（図 114）

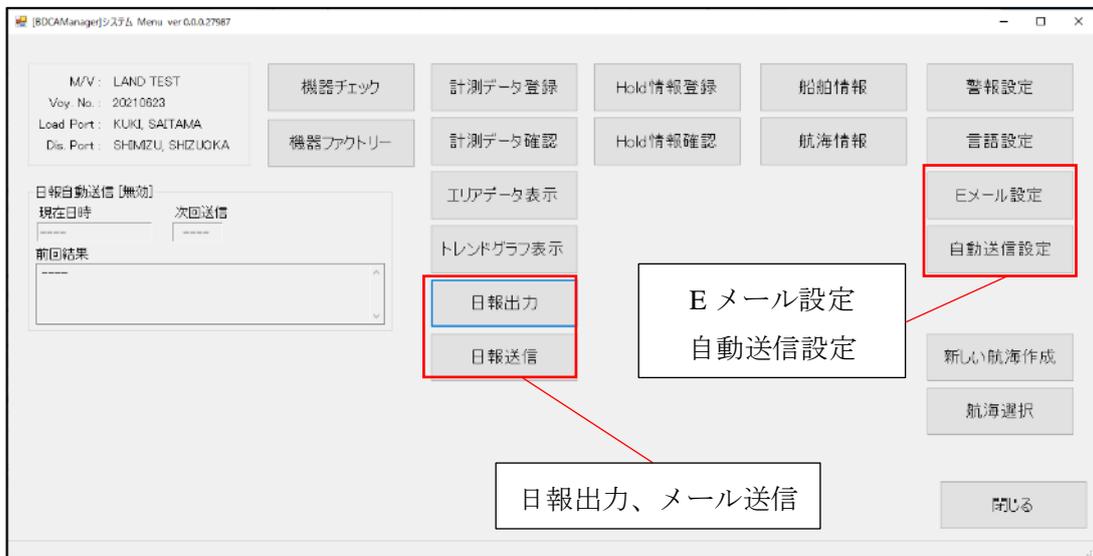


図 114. 日報出力・送信機能、Eメール設定機能（追加設計分）メニュー画面

## 11) Excel 日報の作成機能の確認

株式会社商船三井より情報提供された、実際の本船上で利用の日報形式を帳票出力することができるように、専用 PC アプリケーションを改良し、出力結果の確認を行った。(図 115)

Hold	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
Brand	IAT8 TH					
Loading Port	KUKI, SAITAMA					
Quantity	15,149	16,449	14,228	14,228	15,818	13,428
Group	B	B	B	B	B	B
Emit CH4?	No	No	No	No	No	No
Spontaneous	No	No	No	No	No	No

Hold (Grade)	Date	2021/12/03	2021/12/04	2021/12/05	2021/12/06	2021/12/07	2021/12/08	2021/12/09
No. 1	Time(ST)	10:15	10:15	10:15	10:15	10:15	10:15	10:15
	O2(%)	53.9	64.9	75.9	86.9	97.9	7.7	18.7
	CH4(%)	63.8	74.8	85.8	96.8	6.6	17.6	28.6
	CO(PPM)	83.6	94.6	105.6	116.6	127.6	8.8	19.8
	Temp. 1	33.1	44.1	55.1	66.1	15.5	26.5	37.5
	Temp. 2	44.1	55.1	66.1	15.5	26.5	37.5	48.5

図 115. 日報出力用画面

日報は PC 内の所定フォルダへ蓄積され、ファイル名は上書きされないように自動生成される。出力されたファイルを検証し、設計通りの形式・データ内容であることを確認した。

## 2) Eメール設定、日報送信機能の確認

航海中は船内のネットワーク経由でEメール送信が可能である。そのため、通常のメール送信アプリケーションと同じネットワークプロトコルで設計を行い、Eメール送信機能を実現した。(図 116、図 117)

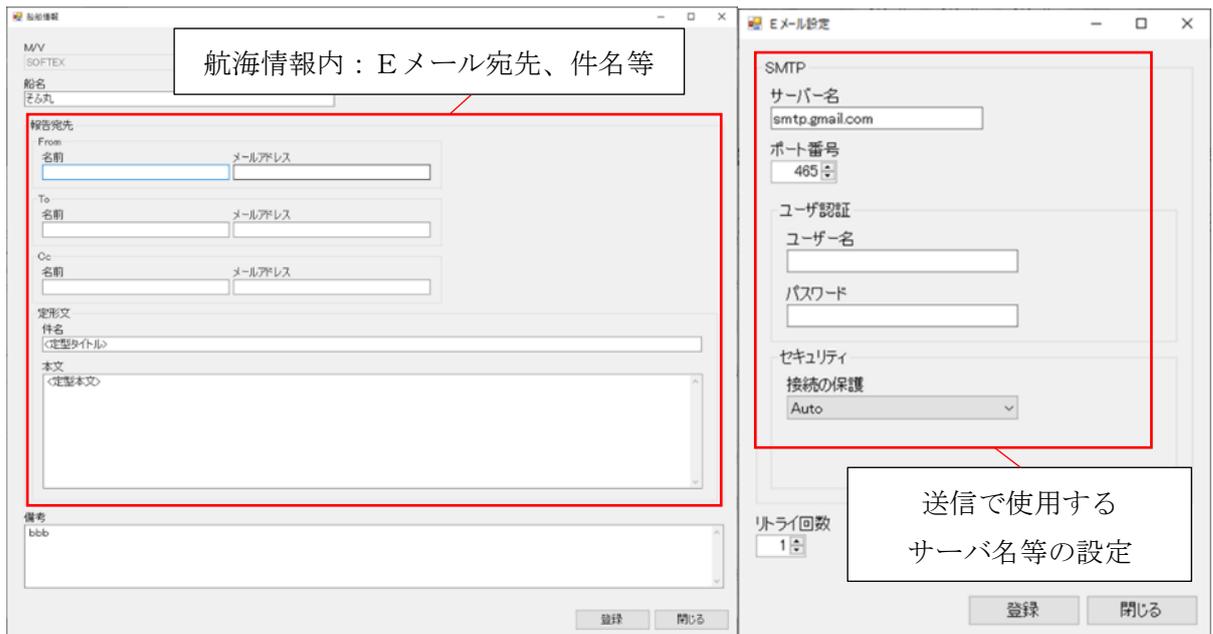


図 116. Eメール設定関連画面

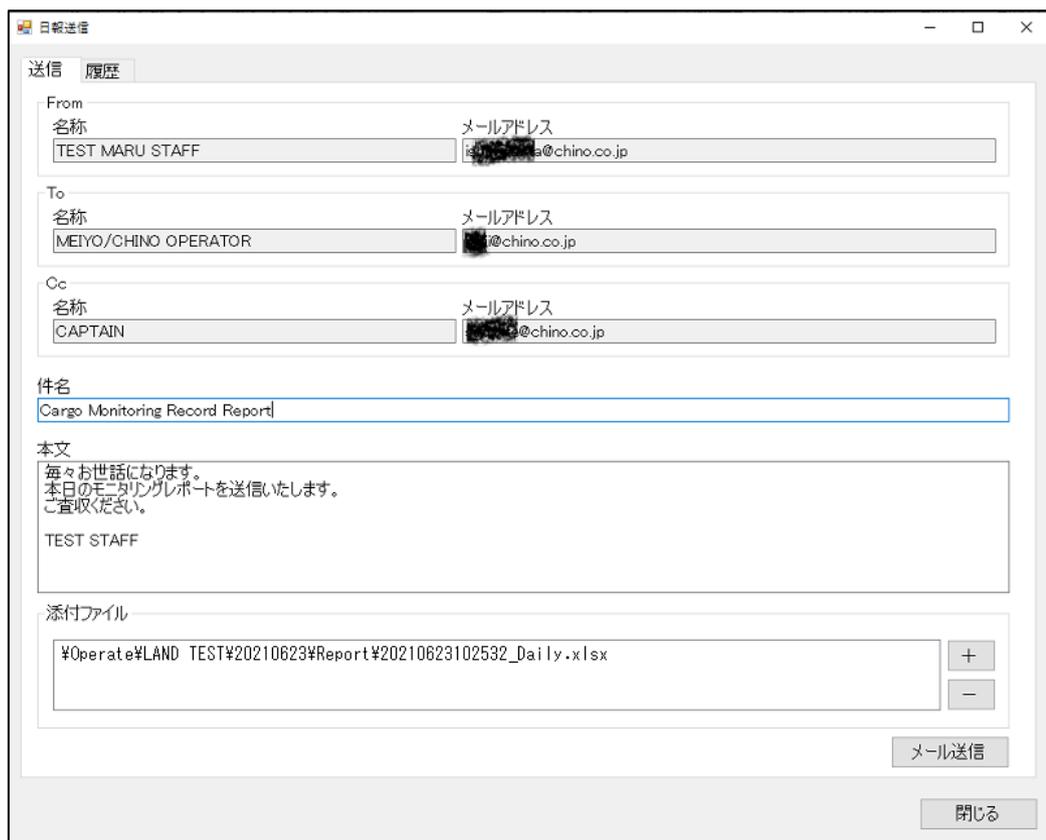


図 117. 日報送信用Eメール内容画面

日報送信機能の確認には、表 28 内容に従い、株式会社チノー、Gmail、Yahoo のメールサーバにテストアカウントを作成し、別 PC のメールソフト (Microsoft Office2016 Outlook) で実際に日報添付メールが受信できれば合格とした。

表 28. 日報送信機能確認内容

メールサーバ	送信アカウント	受信者	検証結果
チノ一社内用	被験者 A のメールアドレス	被験者 B のメールアドレス	合格
Gmail	テストアカウント①	被験者 A のメールアドレス	合格
Yahoo	テストアカウント②	被験者 A のメールアドレス	合格

3) 日報自動送信機能の検証

利便性を高めるため、日報作成から E メールへの添付、メール送信までを自動的に行う機能の実装も行った。自動送信は 1 日に 1 回、指定した時刻に行われる。(図 118)



図 118. 日報自動送信設定画面

試設計においては、指定時間に他画面を開いている場合及び指定時間にソフトが起動していない場合は、自動送信処理をキャンセルする仕様とした。この試験内容はメールサーバの違いに関連しない項目であるため、表 29 の内容で試験検証を実施した。

表 29 日報自動送信機能検証内容

自動送信時刻	条件	状態	合否
00 : 00	最前面でソフト起動	自動送信成功	合格 : 仕様通り
00 : 00	他画面起動中	自動送信キャンセル	合格 : 仕様通り
00 : 00	起動しない	自動送信キャンセル	合格 : 仕様通り
09 : 00	最前面でソフト起動	自動送信成功	合格 : 仕様通り
12 : 00	最前面でソフト起動	自動送信成功	合格 : 仕様通り
23 : 59	最前面でソフト起動	自動送信成功	合格 : 仕様通り

仕様通りの結果となり、データ登録までを行えば、自動的に日報がメール送信される機能の確認ができた。

7.3.5 LAN 配線を用いた常時計測システムの予備試験

今後、新造船において船倉内の石炭温度を常時計測するシステムを導入する場合、温度センサが最初から敷設され、計測器もハンディタイプではなく、計装盤などに収納さ

れるシステムが想定される。

新造船における石炭温度監視システムの通信媒体としては、現時点で信頼性や汎用性を考慮し、船内 LAN (Ethernet) システムの採用が有力であると判断した。Ethernet に対応した計測器に対しても、今後信頼性や使い勝手等を考慮し、船用化が必要であるが、まずは常時計測システムとして問題なく計測できることを以下の要領で予備試験を行った。予備試験では陸上用として既に製品化されているネットワーク対応グラフィック記録計 KR2000 (チノー製) と、記録計から Ethernet 経由で通信データを取得し、計測値の表示 (トレンド表示含む) ・収録機能を有する PC ソフト TRAMS (チノー製) を用いた。(図 119)

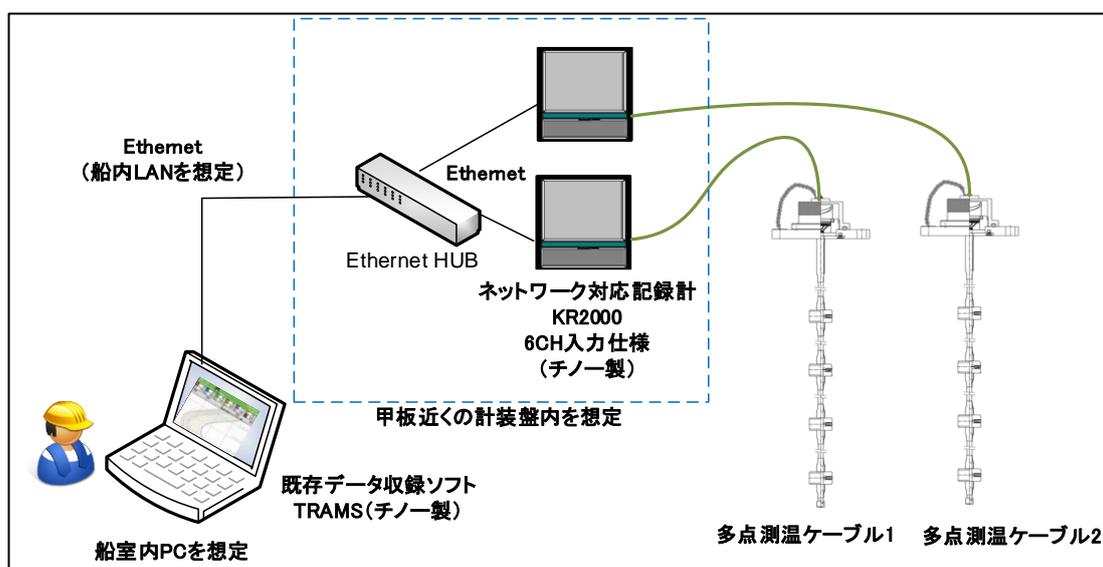


図 119. システム構成図

記録計は設定を行うことで、内蔵メモリへのローカル記録を行うほか、データ収録ソフト TRAMS との組合せにより、通信経由で常時計測データを PC から監視できる。

また今回は表示機能付きの記録計で試験を行った (作業員が監視室に戻らなくても現場で一次確認できるため) が、現場表示が不要の場合は、表示器のないデータロガー (チノー製 KE シリーズ等) を採用しても、同様なシステム構築が可能である。

以上をもって、「新造船向け LAN 配線を用いた常時計測システム」の実証とした。

### 7.3.6 システムの性能評価のまとめ

計測器とガラス製温度計の温度測定工数を比較した結果、計測器の温度測定工数はガラス製温度計より約 6 分短縮できた。

計測器の操作性に関して作業員を対象に意見を求めた結果、概ね良好であった。また、温度センサは船倉に常設して常時温度測定を行っており、船用ハンディロガーを接続して REC キー釦を操作するだけで 4 点の温度が自動で収録できる。専用アプリケーションによる船倉を模したグラフィック表示も問題なく、トレンドグラフに温度以外のパ

ラメータが入力可能であり状態監視としてグラフィックは有効であることが確認できた。また、自動メール送信機能により、船主へ日報帳票などを Excel で指定時刻に送信可能なことも確認できた。

将来の常時監視システムに向けて LAN 配線を用いた計測が可能なことを確認できたため船用向けとして有効と考えた。

以上のことから本システムは現状のガラス製温度計を使用した目視による温度測定と比較すると、作業の効率化が図れることを確認できた。

## 8. 2021年度の目標の達成状況

2021年度の最終目標は下記のとおりである。

- (1) 現状深さ方向1点の温度測定から、船倉の底から天井まで4点の同時測定を可能にする船用多点測温ケーブルおよび測温データをパソコンに取り込むための船用ハンディロガーを開発する。
- (2) 船用多点測温ケーブルおよび船用ハンディロガーの寿命を10年以上とする。
- (3) 新造船向けにLAN配線を用いた常時計測システムが可能であること確認する。

(1)に示した本事業の最終目標を達成することができた。

船用に特化した環境試験・性能試験を満足し、船倉の深さ方向4点の同時測定が可能な船用多点測温ケーブルと、実船での操作性を考慮した設計を行い、4点の温度表示や収録したデータをパソコンに取り込むことが可能な防滴仕様の船用ハンディロガーを開発できた。

(2)に示した本事業の最終目標を達成することができた。

船用多点測温ケーブルに関して、熱電対寿命（許容差保証）は、機械的な損傷がない場合の使用可能時間をアレニウス則で算出すると、 $1.20 \times 10^6$ 年（理論値として約100万年）である。コネクタは最大挿抜回数20万回以上可能なタイプを採用した。また、感温部とケーブルに関しては検証試験で $10^5$ 回（10万回）以上接触させて異常がなかった。

船用ハンディロガーに関して、機械部品は耐久性を考慮した部品を採用、電子部品はMTBFやMTTF（平均故障寿命）で規定されているので、寿命10年はクリアできると判断した。

以上のことから10年以上の耐久性を満足し、目標を達成できた。

(3)に示した本事業の最終目標を達成することができた。

開発した船用多点測温ケーブルはLAN配線を用いた常時計測システムとして検証して、問題なく計測できることが確認できた。

## 9. 2021年度の事業実施概要

### 9.1. 事業内容：

#### (1) 計測器の陸上試験

##### 1) 船用多点測温ケーブルの陸上試験

2020年度に実施した調査を基に、石炭船倉の測温管付近を小形に再現した陸上試験装置を製作し、試作した船用多点測温ケーブルの温度変化時の追従試験を行った。船用多点測温ケーブルは石炭（砂利を代用）の温度変化を捉えて測定できることを確認できた。

##### 2) 船用ハンディロガーログの陸上試験

事前に実船で運用する際の作業手順を想定し、軍手着用時も測定からデータ確認まで簡便に行えること、表示操作が正しく実装されていることを検証した。また、収録されたデータを統合管理する専用PCアプリケーションと接続し、手順通り正常に動作することを検証した。さらにPCアプリケーション内で、船倉内エリアデータ表示、トレンド表示機能による視覚的状态監視の有効性を検証し、陸上試験で目標とした内容の全てを実現できた。

#### (2) 計測器の実船実験

実船で船用多点測温ケーブルを設置後、船用ハンディロガーを接続して、一連の温度測定作業における操作性や視認性を検証し、実航海においても十分に運用できることを確認できた。また、船用多点測温ケーブルの自重による異常もなく、船用多点測温ケーブルの振れ止め部分とケーブルに関しては振動加振機による耐久性試験を実施し、 $10^5$ 回以上接触させても異常がないことを確認した。

#### (3) システムの性能評価

現在の石炭運搬船で行っている測定作業と比較し、開発したシステムの有効性について評価を行った。

##### 1) 航行中の計測時の工数

開発した計測器の測定時間は、現在行っているガラス製温度計の測定作業を再現した測定時間と比較したところ、測定時間が1/6に短縮でき、効率化が図れることを確認した。

##### 2) 計測器の操作性

実際に操作を行った被験者に官能評価を行い、操作手順の分かり易さ、操作の行い易さ、表示内容、視認性について良好との結果を得た。

##### 3) グラフィック表示の有効性

専用PCアプリケーションにおいて、船倉内温度のトレンドグラフ表示に加え、温度以外のパラメータも登録・管理可能にしたうえで、トレンドグラフ上で同時表示できるような追加設計を実施した。これにより、船倉内温度分布だけではなく、内部のガス濃度変化等も容易に比較可能となり、換気の際の目安として有効活用できるシステムとなった。

#### 4) メールなどによる船主へのデータ伝送

船倉内温度データ、ガス濃度等を日報帳票(Microsoft Excel 形式)として出力し、複数のメールアドレスやメールサーバによるEメール送信(日報データをメール添付して伝送)機能の実装と確認試験を実施した。データ登録を手順通り行えば、自動的に日報がEメール送信される機能までを実証できた。また複数のメールアドレス、メールサーバでの検証により、汎用的なEメール送信性能の確認も併せて実現できた。

#### (4) 報告書作成

2020年度と2021年度の事業内容を取り纏め最終報告書を作成した。

### 10. まとめ

実際の石炭船倉の温度測定に使用しているガラス製温度計は、周囲環境によって温度測定値に影響が出る可能性があるため、常時計測となる本システムの採用によって改善されると考える。

【貨物温度の状態監視に関する技術開発】の事業実施によって、貨物温度の測定精度の向上、作業員の労力低減につながることを実証できた。さらに船倉内の深さ方向への温度分布測定や船倉内温度以外のパラメータのトレンド表示を同時に行うことが可能となった。これにより船倉内の詳細な状態を監視することが可能となり、今までにないトータルシステムの構築が実現できた。

今回開発した船用多点測温ケーブルとLAN配線を用いた常時計測システムは、将来の無人運航船の自動計測の実現に向けた一歩であり、輸送品質の向上や船主の信頼性向上につながる有用な技術になったと考える。

今回の事業実施機会を与えて頂いた公益財団法人日本財団様、一般社団法人日本船用工業会様、そして事業実施に多大なご協力を頂いた株式会社商船三井様、株式会社大島造船所様に深く感謝を致す次第である。

「この報告書は BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

(一社)日本船用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目13番3号 (虎ノ門東洋共同ビル)

電話 : 03-3502-2041      FAX:03-3591-2206

<http://www.jsmea.or.jp>