

Volume 9  
Number 2

# 造船研究

昭和43年2月

社団法人 日本造船研究協会

The Shipbuilding Research Association of Japan

## 目 次

### 資 料

第96研究部会「防食防汚に関する研究」昭和41年度研究成果中間報告……………1

アブログ記載事項の解析による鉄鉱石船の運航実績について……………研究部 北 島 泰 蔵 ……25

### 行 事 表

(昭和42年11月～12月) ……………48

# 資 料

## 第 96 研究部会「防食防汚に関する研究」

### 昭和 41 年度研究成果中間報告

#### 委 員 名 簿 (五十音順)

部 会 長	土 井 由 之 (昭和海運)		
幹 事	入 江 公 三 (東亜ペイント)	大 申 順 (日本ペイント)	
	賀 田 秀 夫 (東京商船大)	加 藤 寛 (船舶技研)	
	榮 幸 雄 (三菱重工業)	佐 藤 信 夫 (日本油脂)	
	佐 野 隆 一 (関西ペイント)	重 松 満 (カナエ塗料)	
	諏訪部 伝 司 (神東塗料)	瀬 尾 正 雄 (船舶技研)	
	武 田 智 則 (石川島播磨重工)	能 勢 義 雄 (中国塗料)	
	花 田 政 明 (日本防食)	福 谷 英 二 (中川防食)	
	藤 井 政 夫 (三井造船)	馬 渡 静 夫 (資源科学研)	
	南 義 夫 (横浜国大)	南 稔 (川崎重工)	
	吉 井 徹 (三菱重工業)	伊 丹 慶 輔 (大日本塗料)	
委 員	井 村 隆 (三菱重工)	大 野 章 (富士製鉄)	
	小 川 一比古 (呉造船)	笠 原 宏 (作業船協会)	
	金 井 一十三 (昭和海運)	木 村 弘 (三保造船)	
	久津間 裕 良 (運輸省)	佐 武 二 郎 (住友金属)	
	芝 田 功 (大阪造船)	嶋 田 光 明 (船主協会)	
	田 中 忠 (八幡製鉄)	塚 本 周 吉 (函館ドック)	
	長 尾 実 三 (名村造船)	野 村 純 一 (日本製鋼)	
	浜 田 外次郎 (日本鋼管)	広 渡 智 雪 (日立造船)	
	福 井 三 郎 (三菱重工)	松 宮 熙 (商船三井)	
	三 沢 敏 夫 (浦賀重工)	大 井 浩 (原船団)	
	山 下 重 之 (東京計器)	山 田 洗 三 (藤永田造船)	
	山 中 康 市 (佐世保重工)		

#### 目 次

研究の目的および概要

#### 第 1 編 塗料の性能改善の研究

1. 各種生物に対する防汚毒物の所要濃度に関する研究
2. 防汚塗料の溶出性能の研究
3. 防汚塗料開発の研究
  - 3.1 高性能塗料の浸漬試験
  - 3.2 農薬を主体とした防汚塗料の浸漬試験
4. 塗膜性能におよぼす電気防食の影響の調査
5. アルミリッチプライマとジンクリッチプライマの性能比較試験
6. 溶接シーム部分の防食法の研究

#### 第 2 編 電気防食法の研究

1. 流電陽極の適正形状の研究
2. 外部電源法の研究

## 研究の目的および概要

船舶は経済性を向上させるため大型化の一途をたどっており、20万トン以上の巨大船の建造も盛んとなってきた。大型船の入渠はドックに制限されるばかりでなく、入渠費、入渠工事が著しく高価になるから、入渠間隔を延長する必要がある。本研究はこのため適切な防食・防汚対策を樹立することを目的として実施した。

船底の防汚は、現在では塗料によるのが最も有効で確実な方法とされており、防食は電気防食のみでも可能であるが、塗料の併用が最も有効であると考えられている。

船舶の塗料はプラスチック系塗料の進歩ならびに有機

毒物系塗料の開発により性能が著しく向上し、また電気防食の効果を認められているが、さらに塗料の性能向上について基礎研究として、生物試験を含む各種の試験を行ない、また塗装条件が塗料の性能におよぼす影響および電気防食併用による効果等について研究を実施した。

また、電気防食については、一般に $300 \times 150 \times 30$  mmの大きさの亜鉛板が使用されているが、2年以上の長期間の防食に対して適当な材質、大きさ、形状、個数および配置等について検討を行ない、また大型船で著しく有利になる外部電源法については、その性能向上を図るとともに流電陽極との比較検討を行なった。

# 第 1 編 塗料の性能改善の研究

## 1. 各種生物に対する防汚毒物の所要濃度に関する研究

### 1.1 供試生物

昭和41年7月より清水市の東京商船大学臨海実験所において飼育した生物は台風のため10月に資源科学研究所に移し、現在飼育中のものはタテジマフジツボ *Balanus* ナギサコケムシ *Bugala California*, ムラサキイガイ *Mytilus edulis*, シオダマリミジンコ *Tigriopus japonicus*, ブラインシュリンプ *Artemia salina* である。

### 1.2 各種農薬の致死濃度の研究

各濃薬メーカーより提供を受けた農薬供試品は表1.1のとおりであるが、上記生物の飼育の進捗とにらみ合わせ、まずシオダマリミジンコを用いて行ない、ついでブラインシュリンプを用いた。

試験は一定溶剤に溶かした溶液を原液とし、1, 10, 50, および 100ppm の濃度に調合し、5分, 15分, 30分,

表1.1

農薬メーカー	原品の種類および量	番号
T社	F-501 (乳剤 粉剤の4%) 25ml	1
	F-500 " " " " 2	2
V社	HAF-101 水和剤 50% 5g	3
	HAF-102 " " " " 4	4
	HAF-103 " " " " 5	5
	HAF-104 " " " " 6	6
	HAF-105 " " " " 7	7
	HAF-201 乳剤 5% 50ml	8
	HAF-202 " 10% 25ml	9
HAF-203 " " " " 10	10	
X社	TBP-16 粉剤 50g	11
	TBP-17 " 50g	12
	TBP-18 " 40g	13
	TBP-19 " 50g	14
	TBP-20 " 50g	15
	TBP-21 " 50g	16
	TBP-22 " 40g	17
	TBP-23 " 50g	18
	TBP-24 " 40g	19
	TBP-25 " 50g	20
TBP-31 " 25g	21	
TBP-32 " 25g	22	
Y社	IST-1 乳剤 (3%) 25ml	23
	IST-3 " (20%) 25ml	24

表1.2 ブラインシュリンプによる試験結果

提供先	生物	濃度 (ppm)	個体数	薬 触 時 間 (分)												百 分 率 (%)										
				5		15		30		60		120		180		5		15		30		60		120		180
				死	生	死	生	死	生	死	生	死	生	死	生	死	生	死	生	死	生	死	生	死	生	
T社	○ F-500	1	57	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	1.7	1.7	1.7				
		10	45	0	0	2	0	20	0	22	0	29	0							2.2	2.2	2.42	5.22			
		50	76	15	0	75	1	74	2	72	4	54	22							9.8	50.6	51.3	52.6	64.4		
		100	78	16	62	7	71		78											89.7	95.5	100				
T社	○ F-501	1	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		10	56	0	0	14	0	20	0	45	0	52	0							0	12.5	17.8	40.1	46.4		
		50	47	45	2	44	3	34	13	33	14	18	29							52.1	53.1	63.8	64.8	80.8		
		100	44	53	11		0	44												62.5	100					
V社	○ NO2	1	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		10	54	0	0	6	0	18	0	24	0	26	0	26	0	26	0	0	0	5.5	16.6	22.2	24.0	24.0		
		50	41	0	0	12	0	22	0	38	0	41	0	38	5	0	0	0	0	14.6	26.8	46.3	50.0	53.6		
		100	21	7	0	16	0	6	14	4	17	0	21							16.6	38.0	80.9	90.4	100		
V社	○ HAF-205	1	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5	
		10	52	2	0	3	0	20	0	39	0	44	0	49	0	1.9	2.8	19.2	37.5	42.3	42.3	47.0			47.0	
		50	82	16	0	19	0	68	0	61	21	4	78	0	82	0	9.7	11.5	41.4	62.8	97.5	100			100	
		100	73	47	0	54	3	53	20	0	73									32.1	41.0	63.7	100			
X社	○ TBP-19	1	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		10	34	0	0	0	0	3	0	8	0	8	0	8	0	0	0	0	4.4	5.8	5.8	5.8			5.8	
		50	33	1	0	2	0	4	0	4	0	4	0	22	0	1.5	3.03	6.06	6.06	21.2	21.2	33.3			33.3	
		100	18	1	0	4	0	13	0	16	0	12	4	11	7	2.7	11.1	39.4	44.4	55.5	69.4				69.4	
X社	○ TBP-32	1	28	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	3	0	0	0	0	0	5.3	5.3	5.3			5.3	
		10	34	0	0	0	0	8	0	12	0	12	0	12	0	0	0	0	11.7	17.6	17.6	17.6			17.6	
		50	20	2	0	2	0	2	0	6	0	16	0	18	0	5.0	5.0	5.0	15.0	40.0	40.0	45.0			45.0	
		100	13	2	0	5	0	6	0	13	0	11	2	0	13	7.6	19.2	23.0	50.0	57.6	100				100	
Y社	○ IST-1 (3%)	1	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		10	70	0	0	0	0	0	0	4	0	8	0							0	0	0	2.8		5.7	
		50	62	0	0	9	0	9	2	18	2	51	4							0	2.2	10.4	17.7	51.4		
		100	32	52	0	52	0	1	51	0	32									50	50	92.4	100			
Y社	○ IST-3 (20%)	1	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		10	33	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.2		21.2
		50	26	0	0	3	1	5	2	7	2	14	6							0	9.6	17.5	21.1	50		
		100	28	24	4															57	100					



60分, 120分, 180分の各経時に供試生物の死亡個体および遊泳停止個体の数の変化を測定した。

死亡個体には1を乗じ, 遊泳停止個体には0.5を乗じ, 毒物効果を各経時ごとに百分率に換算した。これらの測定値および百分率を表1.2, 1.3に示す。なおこの表には農薬提供会社の供試薬品のうち効果良好なものから順に2種だけを掲げることにした。また, 表1.2, 1.3の毒物欄中○印を附したのものについて, 時間と致死率の関係を図1.1~1.4に図示した。

## 2. 防汚塗料の溶出性能の研究

### 2.1 実験方法

#### 2.1.1 供試塗料

- (a) 油性船底1号塗料, 油性船底2号塗料
- (b) ビニール船底1号塗料, ビニール船底2号塗料
- (c) 長曝型ウォッシュプライマ
- (d) ジンクリッチ型ショッププライマ

#### 2.1.2 試験片

- (a) 試験片の寸法: 120×120×0.8%
- (b) 試験片の材質: 軟鋼板 SS41
- (c) 下地処理: サンドブラストによりミルスケールおよびその他の異物を除去した。
- (d) 下地処理後の表面粗度: 平均粗度 17±3ミクロン, Hmax 32±4ミクロン
- (e) 塗装方法: サンドブラスト後, ただちに供試塗料(c)および(d)をスプレー法でそれぞれ0.8および0.5ミル(平均膜厚)塗装し, 約1か月間屋外曝露

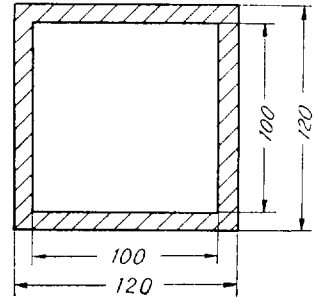


図2.1 試験片(%)

後, 供試塗料(a)および(b)を, はけで表2.1に示した膜厚になるよう塗装した。試験片のエッジは, 図2.1の斜線の部分に示したようにれき青質シール材でシールした。

#### (f) 塗装間隔:

- ショッププライマ ↔ 1号塗料: 60日
- 1号塗料 ↔ 1号塗料: 1日
- 1号塗料 ↔ 2号塗料: 7日
- 2号塗料 ↔ 2号塗料: 1日
- 2号塗料 ↔ 海水浸漬: 2日

#### (g) 塗装環境: 温度 10~18°C, 湿度 58~67% RH

#### 2.1.3 海水循環装置

塗装された試験片は 図2.2 に示した水槽中に浸漬し, 10日後, 30日後, 60日後, 90日後および150日後にLeaching Rate (省略してL.R.)を測定した。

表2.1 供試塗料の塗装回数および塗装膜厚

供試塗料	回数→	塗装回数および膜厚 (ミクロン)						
		0	1	2	3	4	5	6
ショッププライマ	W/P	—	2.0	—	—	—	—	—
	Z/E	—	1.3	—	—	—	—	—
油性船底塗料	1号	0	3.5	—	10.5	—	17.5	—
	2号	—	4.3	8.6	12.9	—	—	—
ビニール船底塗料	1号	0	—	5.0	—	10.0	—	15.0
	2号	—	3.0	6.0	9.0	—	—	—

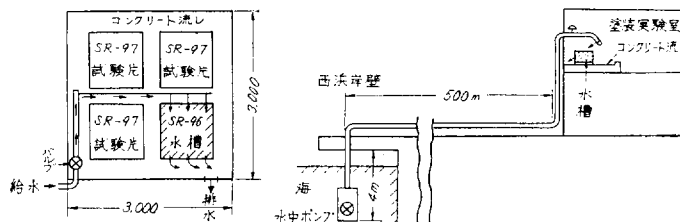
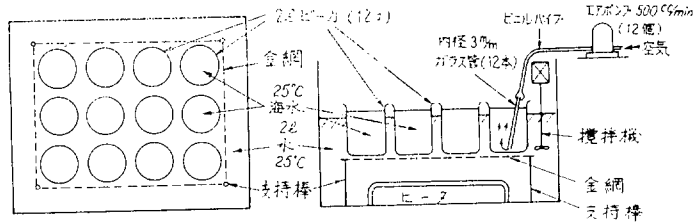


図2.2 海水循環装置

2.1.4 銅のL.R.の測定



恒温水槽 同左断面図

図2.3 サンプルング装置

(a) サンプルング:

海水温度: 25 ± 0.2°C

海水 pH: 8.0

空気攪拌: 500 cc/min 連続 2時間

サンプルング時間: 2時間

使用海水量: 2l (新鮮な海水)

2号塗膜露出面積: 100cm × 2 (両面)

2号露出面積/海水量 = 1/10

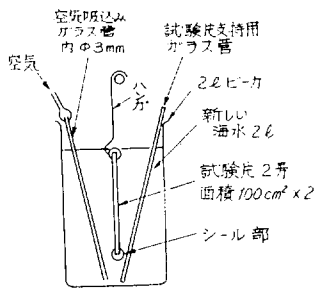


図2.4 サンプルング部

図2.3 および 図2.4 に示されたような装置で2時間サンプルングを行ない、銅濃度測定用試料を各試験片ごとに採取した。なお水槽浸漬期間中試験片にはスライムが付着したが、サンプルングを行なう30分前にはけでしずかに除去した。

(b) 分析方法: JIS K 0101 にもとずき吸光光度法により分析した。

(c) 吸光度の測定: ベックマン DK-2A 型分光光度計を用い、波長 440mμ における吸光度を測定した。

(d) Leaching Rate (L.R.); 分析値を、式(2.1) によってL.R.に換算した。

$$L.R. = \text{分析値}(j/cc) \times \frac{\text{使用海水量}(cm^3) \times 24}{\text{塗膜面積}(cm^2) \times \text{測定時間}(hrs)}$$

$$= \mu g/cm^2/day = r/cm^2/day \dots \dots \dots (2.1)$$

2.2 実験結果

表2.2 塗料の種類、水準と記号の関係

記号	内容	水準				
A	シロッププライマの塩漬	A1: 長頸型ウロソッププライマ		A2: ジンクリッチプライマ		
B	1号塗料の塗膜回数	B1: 油性ビニル 0回	B2: 油性ビニル 1回	B3: 油性ビニル 2回	B4: 油性ビニル 3回	B5: 油性ビニル 4回
C	2号塗料の塗膜回数	C1: 油性ビニル 1回	C2: 油性ビニル 2回	C3: 油性ビニル 3回		
D	浸漬期間	D1: 10日	D2: 30日	D3: 60日	D4: 90日	D5: 150日

各塗料の膜厚は表2.1を参照表

表2.3 油性型船底塗料の銅のL.R. (r/cm<sup>2</sup>/day)

			D 1	D 2	D 3	D 4	D 5
A 1	B 1	C 1	1.9.2	1.6.8	1.2.0	1.3.2	9.6
		C 2	2.8.8	1.6.8	1.3.2	1.2.0	1.0.8
		C 3	2.6.4	1.9.2	1.3.2	1.4.4	1.0.8
	B 2	C 1	2.6.4	1.4.4	1.4.4	1.0.8	1.2.0
		C 2	2.6.4	2.4.0	1.4.4	1.5.6	1.3.2
C 3		2.8.8	2.1.6	1.3.2	1.3.2	1.9.2	
B 3	C 1	2.4.0	1.4.4	1.0.8	1.3.2	1.3.2	
	C 2	3.1.2	1.6.8	1.2.0	1.3.2	9.6	
	C 3	2.1.6	1.6.8	1.2.0	1.3.2	1.0.8	
B 4	C 1	2.1.6	1.4.4	1.0.8	1.3.2	1.2.0	
	C 2	3.1.2	1.9.2	1.0.8	1.4.4	1.2.0	
	C 3	2.8.8	1.2.0	1.5.6	1.4.4	1.0.8	
A 2	B 1	C 1	2.5.5	1.4.4	1.2.0	1.3.2	1.0.8
		C 2	3.3.6	1.4.4	1.3.2	1.3.2	1.4.4
		C 3	6.0.0	2.1.6	1.4.4	1.3.2	1.5.6
	B 2	C 1	4.1.6	3.3.6	1.0.8	1.0.8	1.2.0
		C 2	3.1.2	2.1.6	1.3.2	1.4.4	9.6
B 3	C 3	3.1.2	1.9.2	1.4.4	1.3.2	1.3.2	
	C 1	2.6.4	1.9.2	1.2.0	1.3.2	1.4.4	
	C 2	2.8.8	1.6.8	1.5.6	1.3.2	1.3.2	
B 4	C 3	3.1.2	1.4.4	1.3.2	1.3.2	1.0.8	
	C 1	2.1.6	1.2.0	9.6	9.6	8.4	
	C 2	3.1.2	1.6.8	1.3.2	1.3.2	9.6	
		C 3	3.3.6	1.4.4	1.4.4	1.2.0	8.4

表2.4 ビニル型船底塗料の銅のL.R. (γ/cm<sup>2</sup>/day)

			D 1	D 2	D 3	D 4	D 5
A 1	B 1	C 1	15.60	4.80	2.5.2	1.3.2	9.6
		C 2	14.40	4.0.8	2.5.2	1.4.4	8.4
		C 3	15.00	4.80	2.5.2	2.1.6	8.4
	B 2	C 1	19.20	5.0.3	2.6.4	1.5.6	1.3.2
		C 2	2.100	5.0.3	5.0.0	1.9.2	9.6
		C 3	19.20	4.8.0	2.4.0	1.9.2	1.0.8
	B 3	C 1	16.80	5.0.3	2.2.8	2.0.4	1.0.8
		C 2	19.20	4.8.0	1.4.4	2.0.4	0.4
		C 3	9.60	4.8.0	2.1.6	2.2.8	1.0.8
	B 4	C 1	10.80	6.0.0	2.4.0	2.0.4	1.0.8
		C 2	9.60	4.8.0	2.7.6	2.1.6	8.4
		C 3	11.40	5.0.3	2.7.6	2.1.6	9.6
A 2	B 1	C 1	12.60	3.3.5	3.1.2	2.0.4	8.4
		C 2	10.20	3.3.5	2.6.4	1.6.8	1.0.8
		C 3	12.00	3.3.5	2.7.6	2.0.4	1.2.0
	B 2	C 1	13.20	3.3.5	3.0.0	1.9.2	7.2
		C 2	12.60	3.3.5	2.8.8	2.0.4	9.6
		C 3	10.80	2.8.8	2.6.4	1.6.8	9.6
	B 3	C 1	13.80	3.6.0	3.0.0	1.4.4	7.2
		C 2	11.40	3.1.1	2.5.2	1.8.0	9.6
		C 3	10.20	2.8.8	2.2.8	1.8.0	1.0.8
	B 4	C 1	10.80	3.1.1	2.7.6	1.9.2	8.4
		C 2	10.20	3.1.1	3.0.0	2.1.6	7.2
		C 3	10.80	2.8.8	2.6.4	1.6.8	1.2.0

各試験片の、海水浸漬10、30、60、90および150日後におけるL.R.は表2.3 および表2.4 に示した。各表の記号の内容は、表2.2 に示したとおりである。

2.3 実験結果の解析

2.3.1 A、B、C.の分散分析結果

浸漬期間ごとにA、B、Cについて3元配置法で分散分析し、有意な因子について寄与率を求め、表2.5 に示した。

2.3.2 船底塗装系からの銅の溶出量経時変化

一般的にみて、2号塗膜からの銅の溶出量L.R.は図2.5 に示したような経時変化を示した。すなわち、油性船底塗装系の銅のL.R.は浸漬開始後30日間の経時変化が大きく(L.R.の低下率が大きい)、60日後はほぼ一定の値(定常溶出状態)を示すようになる。またビニル船底塗装系では、初期銅溶出量が油性系よりさらに大きく、定常溶出状態に至るまでにかなりの日数を要する。

なお図2.5 に示した各塗装系の銅の溶出量は、浸漬期間ごとに得られた24の銅溶出量の平均値である。

表2.5 船底塗装系因子のL.R.に対する浸漬期間別寄与率(%)一覽表

塗膜系	因子	浸 漬 期 間				
		10日	30日	60日	90日	150日
油性	A	16.5*			5.7*	
	B					
	C			51.9*	22.7**	
船底	AB					23.7*
	AC					
塗装系	BC				29.2*	
	ABC					
ビニル	A	26.2**	86.8**	18.3**		
	B	50.2**		27.7**		
	C					6.4*
船底	AB	14.3*			17.9*	6.1*
	AC					30.9**
	BC					
塗装系	ABC					

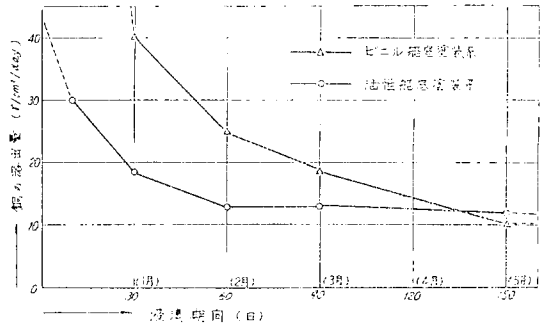


図2.5 船底塗装系2号塗膜からの銅の溶出量経時変化

2.4 油性船底塗装系の銅溶出量に対する考察

2.4.1 ショッププライマの効果

船底塗装系のなかで、ショッププライマの種類が銅溶出量におよぼす影響は、図2.6 に示したとおり、浸漬初期において差がある。(油性系の場合ショッププライマの種類が、ジंकリッチエポキシ型である方が銅の溶出量は大きい)しかし浸漬30日以後、150日まではショッププライマの種類は、銅の溶出量にほとんど効果をおよぼさない。

2.4.2 1号塗料の効果

表2.5 に示したとおり、油性型船底塗装系では、浸漬期間が150日までは、銅の溶出量に対し1号塗膜は効果をおよぼさない。

2.4.3 2号塗料の効果

浸漬30日後までは、表2.5 に示したとおり、2号塗膜の効果がない。しかし浸漬60日、90日後には 図2.7

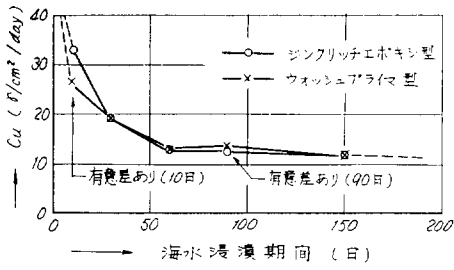


図2.6 ショッププライマの種類と油性2号塗膜からの銅の溶出

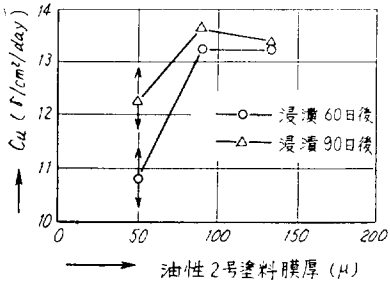


図2.7 油性2号塗膜の膜厚と銅の溶出量の関係

に示したように、ある程度2号塗膜の膜厚効果をうけるようになった。

#### 2.4.4 各因子間の交互作用について

表2.5によれば、浸漬90日後および150日後にBC, ABの交互作用が認められている。これらの関係については、内容が非常に複雑であり、現時点では考察する段階ではないと思われるのでさらに実験を継続し、確認した上でとりあげたい。

### 2.5 ビニル船底塗装系の銅溶出量に対する考察

#### 2.5.1 ショッププライマの効果

船底塗装系のなかで、ショッププライマの種類が銅溶出量におよぼす影響は、図2.8に示したように、浸漬期間が60日までで、それ以後全く効果が認められなかった。特に浸漬初期には、油性型船底塗装系とは逆にウォッシュプライマ型の方が銅の溶出量が大きい。浸漬60日後にはその傾向が逆転した。しかし90日後では、ショッププライマの種類は銅の溶出量に対し効果をおよぼさないようになる。

#### 2.5.2 1号塗料の効果

ビニル船底塗装系では、図2.5に示したように浸漬60日まで、銅の溶出量経時変化が大きい。従って1号塗膜の膜厚が銅溶出量に対し有意な因子として検出されているが、浸漬期間によって内容が変化してお

り、この間の効果を説明することは、非常にむづかしい。浸漬90日以後では1号塗膜の単独効果がなくなりショッププライマの種類との交互作用として検出されている。

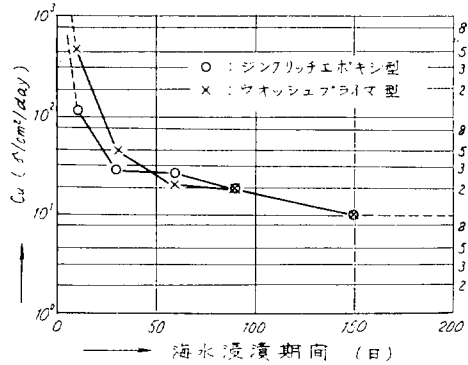


図2.8 ショッププライマの種類とビニル2号塗膜からの銅の溶出

#### 2.5.3 2号塗料の効果

ビニル船底塗装系では、銅の溶出量は2号塗料の膜厚による影響をほとんど受けない。浸漬150日後に至り、ようやく図2.9に示したような影響があらわれたが、差は非常にわずかである。

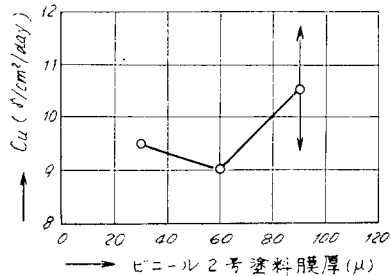


図2.9 ビニル船底塗装系における2号塗料の膜厚と銅の溶出量の関係。浸漬150日後の結果

#### 2.5.4 各因子の交互作用について

##### (i) ABの交互作用

ABの交互作用は、浸漬初期、浸漬90日以後にそれぞれ認められたが、浸漬期間によって内容が異なった。しかし図10に示したとおり、浸漬期間が長くなるにつれて、銅の溶出量におよぼす効果は減少した。

##### (ii) ACの交互作用

ACの交互作用は、浸漬90日までは全く認められなかったが、150日後に図2.11に示したような効果があらわれた。この図からビニル船底塗装系

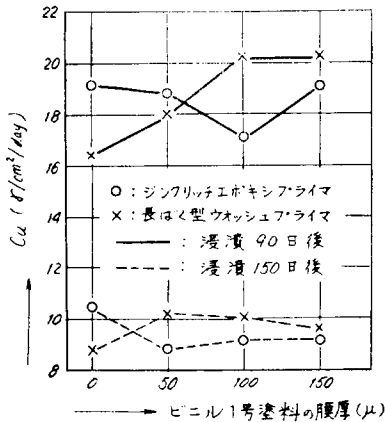


図2.10 ビニル船底塗装系における1号塗料の膜厚と、2号塗膜からの銅の溶出量の関係

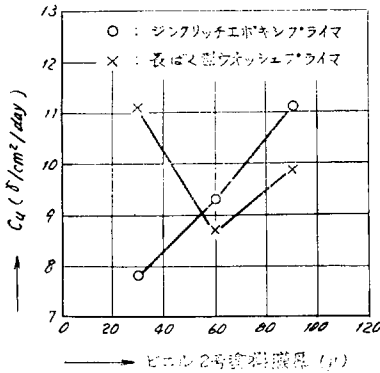


図2.11 ビニル船底塗装系における2号塗料の膜厚と銅の溶出量の関係。浸漬150日後の結果。ショッププライマとの交互作用。

における2号塗膜からの銅溶出量は、ショッププライマがジンクリッチエポキシ型の場合2号塗膜の膜厚に比例するが、長ばく型ウオッシュプライマの場合は、2号塗膜の膜厚効果を受けないようである。

## 2.6 総括

### 2.6.1 油性船底塗装系と銅の溶出量の関係

油性船底塗装系における2号塗膜からの銅の溶出量は、分析するための試料をサンプリングした時期によって、塗装系因子——銅溶出量の効果の内容が異なる場合もあったが、現時点ではつぎのように考えるのが妥当であろう。

#### (i) ショッププライマの種類と銅溶出量

浸漬初期において、銅の溶出量に影響を与えるが期間的に短かく、従って2号塗膜の防汚性能には大した影響がない。

#### (ii) 1号塗料の膜厚と銅溶出量

1号塗料の膜厚と銅溶出量には、ほとんど関係がなく、ショッププライマと同様2号塗膜の防汚性能には大した影響がない。

#### (iii) 2号塗料の膜厚と銅溶出量

銅溶出量に対して2号塗膜の膜厚効果があらわれるのは、浸漬約2か月後からである。銅溶出量は2号塗料の塗装回数が1回の場合特に少ないが、2回以上になるとあまり差はない。しかし測定値の大半は防汚臨界銅溶出量 ( $107^2 \text{cm}^2/\text{day}$ ) を上まわっているので、海水浸漬5か月程度では、海洋生物に対する防汚性能に差はないと推定される。

### 2.6.2 ビニル船底塗装系と銅の溶出量の関係

ビニル船底塗装系における2号塗膜からの銅の溶出量は、1号塗料の膜厚とショッププライマの間に複雑な交互作用があり、サンプリングの時期によってその内容もかわるが、現時点ではつぎのように考えるのが妥当であろう。

#### (i) ショッププライマの種類と銅溶出量

油性船底塗装系の場合と内容的には逆であるが、やはり浸漬初期において銅溶出量に差が認められたしかしこの傾向は浸漬期間が長くなるにつれて認められなくなり、定常銅溶出状態では差がないと考えられる。

#### (ii) 1号塗料の膜厚と銅溶出量

1号塗料の膜厚と銅溶出量の関係は、特にショッププライマとの交互作用を含めて複雑であり、内容的には説明しがたいが、浸漬期間が長くなり定常銅溶出状態になれば、膜厚の効果が次第に減少するような傾向がある。従って、2号塗膜の防汚性能にはあまり大きな影響はないように思われる。

#### (iii) 2号塗料の膜厚と銅溶出量

ビニル船底塗装系における銅の溶出量は、浸漬期間がか5月程度であれば、2号塗料の膜厚効果はほとんどないものと考えてよい。

## 3. 防汚塗料開発の研究

### 3.1 高性能塗料の浸漬試験

塗料メーカーより提出された現状において最高性能を発揮すると考えられる新しいタイプの防汚塗料25種類について浸漬試験を実施した。

浸漬場所は館山港、神戸港、宇野港のか3か所である。

#### 3.1.1 館山湾浸漬分

塗装仕様および塗付量は表3.1に示すとおりである。

試験板 300×300×3mm 軟鋼板  
(処理, サンドペーパー脱脂)

浸漬場所 館山港内 (S R 筏)

浸漬月日 S. 41. 9. 28

浸漬後2~3ヶ月ごとに観察を行ってきたが、  
S. 42. 6. 3 (約8ヶ月)の結果は表3.2に示すとおり  
で、ほとんどの試験板がスライム付着のみで良好であ  
った。

表3.2

生物付着状況	試験板
スライムの付着も少なく 非常に良好なもの	C-1, F-2, F-3,
スライム付着のみで他の 付着物もなく良好なもの	A-1, A-2, A-3, B-1, B-2, B-3, C-2, C-3, D-1, D-2, D-3, E-2, F-1, G-1, G-2, H-3,
ふじつば、あかき等 むだかに付着しているもの	E-1, E-3, H-1,
全上のほかふじつば等約 1/2 付着しているもの	H-2,
全面に、ふじつば、あかき等付着し ているもの	G-3, I-1, ブランク

表3.1 高性能塗料浸漬試験塗装仕様

No	塗料別試験板 記号	塗付量 (g/m <sup>2</sup> ) × 浸漬回数			備 考
		プライマー	A/O	A/P	
1	A-1	2.7×1	2.5×6	3.4×3	
2	2	2.7×1	2.5×4	3.2×5	
3	3	2.7×1	4.4×2	3.1×3	
4	B-1	2.5×1	3.1×4	3.3×3	
5	2	2.5×1	2.9×6	3.4×3	
6	3	2.5×1	3.4×4	3.4×3	
7	C-1	3.1×1	2.1×5	2.7×3	
8	2	3.1×1	3.1×4	2.7×3	
9	3	3.1×1	3.3×3	2.7×3	
10	D-1	3.2×1	2.7×4	3.6×3	
11	2	3.2×1	3.7×3	3.7×3	
12	3	3.2×1	3.7×3	3.3×3	
13	E-1	2.9×1	4.4×2	2.7×2	
14	2	1.7×1	2.1×4	3.0×3	
15	3	1.8×1	2.1×4	2.5×2	
16	F-1	1.5×1	2.9×5	2.6×4	
17	2	1.6×1	2.5×5	2.1×4	
18	3	1.5×1	2.6×5	2.1×4	
19	G-1	4.3×1	3.2×3	2.4×2	
20	2	4.3×1	2.6×3	3.1×3	
21	3	4.3×1	2.3×3	2.6×3	
22	H-1	2.1×1	2.7×3	1.9×2	
23	2	1.4×1	1.5×4	2.2×2	
24	3	3.4×1	2.4×3	2.0×2	
25	I-1		2.0×2	1.1×3	追加分
26	ブランク	1.7×1	1.6×4		

表3.3 浸漬7か月後の性能結果

試験型	腐 蝕 状 況					得 点 (50点満)			付着生物名称	
	生物付着		さび		剥離	腐蝕	平均			
	表	裏	表	裏						
A-1	2.5	2.0					3.75	4.0	3.65	1~2種ふじつば
2	2.5	2.5					3.75	3.75	3.75	"
3	0	0					5.0	5.0	5.0	
B-1	0	0					5.0	5.0	5.0	
2	0	0					5.0	5.0	5.0	
3	0	0					5.0	5.0	5.0	
C-1	0	0					5.0	5.0	5.0	
2	0	0					5.0	5.0	5.0	
3	0	0					5.0	5.0	5.0	
D-1	0	0					5.0	5.0	5.0	
2	0	0					5.0	5.0	5.0	
3	0	0					5.0	5.0	5.0	
E-1	0	0					5.0	5.0	5.0	
2	5	5					4.75	4.75	4.75	ふじつば
3	1.0	1.0					4.5	4.5	4.5	ふじつば
F-1	0	0					5.0	5.0	5.0	
2	1.0	1.0					4.5	4.5	4.5	ふじつば
3	0	0					5.0	5.0	5.0	
G-1	0	0					5.0	5.0	5.0	
2	1.0	1.0					4.5	4.5	4.5	ふじつば
3	5.0	5.0				MC-A/P 2.0	1.5	1.5	1.5	あかき
H-1	7.0	7.0				MC-A/P 3.0	1.5	1.5	1.5	あかき
2	0	0				MC-A/P 5.0	5.0	5.0	5.0	
3	0	0				MC-A/P 7.0	1.5	1.5	1.5	

### 3.1.2 神戸港浸漬分

試験片、供試塗料、および塗回数は表3.1と同じであるが、塗付量は若干異なる。

浸漬月日はS.41.11.18で、浸漬期間中2か月に1回づつ海洋生物の付着面積、塗膜の欠陥発生面積などを測定した。海洋生物の付着は、浸漬開始後6か月までは認められなかったが、浸漬7か月に至り、表3.3に示したように、A-1、A-2、E-2、E-3、F-2、G-2、G-3、H-1、H-3の各試験片に海洋生物が付着した。またG-3、H-1、H-3の各試験片では1号塗膜と2号塗膜間に剝離が発生した。その他の塗装系はいずれも異常が認められなかった。

### 3.1.3 宇野港浸漬分

試験片、供試塗料、および塗回数は表3.1と同様であり、浸漬月日はS.41.9.7で、浸漬後11か月目のS.

42.8.7の観察結果は表3.4に示すとおりである。

### 3.2 農薬を主体とした防汚塗料の浸漬試験(第1.2次)

農薬メーカ(6社)より提出された薬材について、これを塗料メーカの協力を得てそれぞれビニル系A/F塗料に調整し浸漬試験を実施した。

試験は第1次と第2次に分けた。供試薬材および記号とそれぞれ表3.5の(a)(b)に示した。また塗装仕様等は下記のとおりでである。

塗装仕様 W/P 1回、A/C ビニル4回、A/F ビニル2回

試験板 100×300×1mm 軟鋼板、処理サンドペーパー脱脂

浸漬場所 館山港内、宇野港内

浸漬月日 第1次 S.41.8.12(館山)

表3.4 浸漬11か月後の性能結果

試験板	汚損状態						得点50点満点			備考
	生物付着物		目視観察		塩分		天	異	平均	
	表	裏	表	裏	表	裏				
A-1	0	0	2	0	0	0	4.9	5.0	4.9.5	A/F 腐蝕あり
2	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	—
5	0	0	5	0	0	0	4.7.5	5.0	4.6.8	A/F 腐蝕あり
H-1	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	水中ナローキング大
2	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	〃
3	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	〃
G-1	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	—
2	0	0	5	0	0	0	4.7.5	5.0	4.6.8	A/F 腐蝕あり
3	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	—
H-1	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	水中ナローキング大
2	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	〃
3	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	〃
E-1	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	〃
2	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	—
3	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	水中ナローキング大
F-1	0	0	1.0	5	0	0	4.5	4.7.5	4.6.3	A/F 腐蝕および剥離
2	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	—
3	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	黒色ニトロム(薬)全脱離中20%
G-1	0	0	0	1.0	0	0	5.0	4.5	4.7.5	水中ナローキング大剥離、A/F剥離
2	0	0	0	0	0	0	5.0	5.0	5.0	—
3	6.0	5.0	0	0	0	0	2.0	2.5	2.2.5	剥離、腐蝕、剥離
H-1	5.5	7.5	0	0	0	0	2.2.5	1.2.5	1.7.5	〃
2	0	1.5	1.0	5	0	0	4.5	4.0	4.2.5	剥離、腐蝕
3	0	0	1.5	1.0	0	0	4.2.5	4.5	4.3.8	剥離、腐蝕
ブランク	10.0	10.0	0	0	0	0	0	0	0	腐蝕、剥離

第2次 S.41.3.7 (館山)

第2次 S.42.3.2 (宇野)

第1次試験の結果は、S.42.3.7 (約7か月後) 観察を行なったところ、生物の付着がまったく見られなかったもの1種類 (T. Y. ともNo.22), スライムのみで良好と思われるもの3種類 (T. Y. とも No. 21.24.26)

で、その他は多少の差はあるがほとんど全面に生物が付着していた。その結果T. Y. 合せて良好と思われるもの計12枚 (2枠) を残し、第2次試験と併せて観察を行なってきたが、S.42.6.3 (館山, 第1次, 第2次) S.42.6.1 (宇野, 第2次) の観察結果は表3.6および表3.7に示すとおりである。

表3.5 (a) 供試農薬記号表 (第1次)

No.	農薬記号	農薬メーカ記号	調査メーカ	
			日油 No.	東亜 No.
1	T-1	F-500	Y-1	T-1
2	U-1	SF-6610	Y-2	T-2
3	2	6620	3	3
4	3	6630	4	4
5	4	6631	5	5
6	5	6632	6	6
7	V-1	HAF-101	Y-7	T-7
8	2	102	8	8
9	3	103	9	9
10	4	104	10	10
11	5	105	11	11
12	W-1	H-8171	Y-12	T-12
13	2	8172	13	13
14	3	8173	14	14
15	4	8174	15	15
16	5	5171	16	16
17	X-1	TBP-1	Y-17	T-17
18	2	2	18	18
19	3	3	19	19
20	4	4	20	20
21	5	5	21	21
22	Y-1	IST-1	Y-22	T-22
23	2	2	23	23
24	3	3	24	24
25	4	4	25	25
26	5	5	26	26

注 1. 塗料の色は日油の場合グリーン、東亜の場合赤錆色である。  
 2. 毒物(量)は塗料中20%含まれる。  
 3. 供試塗料の塗膜状態は、T-7、T-20は乾燥が悪い。T-10は塗膜にブツがあり、T-15は凝集、T-17は塗膜に白色のハンテンがある。

表3.5 (b) 供試農薬記号表 (第2次)

No.	農薬記号	農薬メーカ記号	調査メーカ		
			東亜 No.	日油 No.	関 No.
1	T-2	F-500	T-1	N-1	K-1
2	V-1	HAF-201	T-2	同左	同左
3	2	202	T-3	#	#
4	3	203	T-4	#	#
5	4	204	T-5	#	#
6	5	205	/	N-6	K-6
7	W-1	H-8175	T-7	同左	同左
8	2	8176	T-8	#	#
9	3	8177	T-9	#	#
10	4	8178	T-10	#	#
11	5	8179	T-11	#	#
12	X-1	TBP-11	T-12		
13	2	12	T-13		
14	3	13	T-14		
15	4	14	T-15		
16	5	15	T-16		
17	Y-1	IST-6	T-17		
18	2	7	T-18		
19	3	8	T-19		
20	4	9	T-20		
21	5	10	T-21		

注 1. 塗料の色はすべて赤錆色である。  
 2. 毒物(量)は塗料中20%含まれる。

表3.6 第1次試験観察結果 (約10か月後)

No.	生物付着状況	No.	生物付着状況
Y-3	ふきとけむし 5、ふじつ狸 10	S-T	ほとんど変化なし
Y-21	蟹のり 1、その他 0.5	T-21	#
Y-22	ほとんど変化なし	T-22	#
Y-23	ふきとけむし ふじつ狸等 4	T-23	ふきとけむし 2、ふじつ狸 10
Y-24	あかさ 3	T-24	ふきとけむし 4
Y-26	ふきとけむし 2.5	T-26	ほとんど変化なし

数値は全面付着を5とし、付着面積の割合を示す。

表3.7 第 2 次 試 験 結 果 (約 3 か 月 後)

No.	日 本		関 東		東 亜		
	宇 野	館 山	宇 野	館 山	宇 野	館 山	
1	緑草、楊草 3	ふさこけむし、ふさこけむし等 3	楊草、ふじつば 2	ふさこけむし、セルゾラ、ふじつば 3	楊草、黒色スライム 2	ふじつば 約 20 コ	
2		スライムの他なし	スライムの他なし	スライムの他なし	スライムの他なし	スライムの他なし	
3	緑草、楊草	#	#	#	#	#	
4	わずか	#	#	#	#	#	
5		#	#	#	#	#	
6	スライムの他なし	ふさこけむしわずか	#	ふさこけむしわずか	/	/	
7	#	スライムの他なし	#	スライムの他なし	スライムの他なし	スライムの他なし	
8	#	#	#	#	#	#	
9	#	#	#	#	#	#	
10	#	#	#	#	#	#	
11	#	#	#	#	#	#	
12	楊草	ふさこけむし、セルゾラ等 2~3	黒色スライム 2~5	ふさこけむし、セルゾラ 2.5	黒色スライム 2~4	ふさこけむし、ふじつば、セルゾラ 3	
13	3		緑草 4、ほや少々、セルゾラ	楊草 2~3	ふさこけむし、セルゾラ 5~10 コ 緑草 4	ふじつば 1~3	全上・緑草 緑草 4、緑草 4、その他ほや少々
14	黒色スライム						
15	緑草						
16	3~5						
16	3~5						
17		スライムの他なし	スライムの他なし	スライムの他なし	スライムの他なし	スライムの他なし	
18	スライムの他なし	#	#	#	#	#	
19	A/C なくれ 1~2	# (なくれ)	# (A/C なくれ)	#	# (A/C なくれ)	# (なくれ)	
20		#	#	#	# ( )	#	
21		#	#	#	#	#	
22		#	楊草、黒色スライム 4	ふさこけむし、ほや、緑草 4	全面付着 5	全面付着 5	
24	楊草 4	全面付着 5	/	/	/	/	

注 1: 数字は全面付着を 5 とし、付着面積の割合を示す。  
 1. 表 2 2~表 2 4 は各社の S.T. およびブランドである。

4. 塗膜性能におよぼす電気防食の影響

電気防食を併用した場合の塗膜の劣化および塗料の性能におよぼす影響について調査するため、ビニール、タールエポキシ、特殊油性、塩化ゴムの 4 種類の塗装系 (A/C) について浸漬試験を実施した。試験板は同一塗装系について 3 枚作り、1 組を A 1 陽極に、他の 1 組を Z n 陽極に、それぞれ接続し、残りの 1 組は電気防食を併用しないものとした。なお、電気防食を併用した試験板の裏面にスクラッチを入れた。各塗装系の塗付量および塗回数は表 4.1 のとおりである。

表 4.1

No.	塗装系 (A/C)	記号	S/P	A/C	A/F
1	ビニール	F-1	1.6 9 × 1	1.7 9 × 5	2.5 9 × 4
2	タールエポキシ	D-3	2.3 × 1	3.6 × 3	3.7 × 3
3	特殊油性	D-1	2.3 × 1	1.7 × 4	2.6 × 3
4	塩化ゴム	O-1	5.1 × 1	1.9 × 3	2.2 × 3

試験板 300×300×3 mm 軟鋼板  
 処理 サンドペーパー、脱脂

汚漬場外 館山港内  
 浸漬月日 S.41.10.17

その後 S.42.1.27 観察したところ通電リード線が荒天と生物付着のために切断されていた。このためスクラッチの一部に発錆を認めたが、再接続して試験を継続した。

S.42.6.3 (約 7.5 か月) 観察の結果は各試験板とも生物付着はスライムのみで、また一般塗膜面の状況も変化なかった。しかし裏面のスクラッチ部については、A 1, Z n を接続した。すなわち通電試験板においてビニール系塗装のものと、Z n 通電による塩化ゴム系の試験板にスクラッチの両側に 2 ~ 10mm φ のふくれを生じた。なお試験板の電位は計測できなかったが、それぞれ接続陽極の電位に等しい値を示しているものと考えられる。

## 5. アルミリッチプライマとジンクリッチプライマの性能比較試験

ショッププライマ7種類、その上塗り塗料A/C4種類(A/FはそれぞれA/Cに合わせて)を選定し、それぞれを組合せた28種類の試験板を作り、浸漬試験を実施した。

塗装仕様および塗回数等は表5.1に示すとおりである。

試験板 100×300×0.8mm 軟鋼板

処理, サンドペーパー, 脱脂

浸漬場所 館山港内

浸漬月日 S.42.3.7

S.42.6.3(約3ヶ月後)の結果は各試験板とも生物付着状況, 塗膜面の状況とも変化がなかった。

表5.2

試験液	第1回(27日)	第2回(42日)	備考
Zn 1.7 A4	—	0.017	数値は腐食量(μF)を示す。
# 0.9 #	—	0.015	
AZ 1.7 #	0.239	0.516	軟鋼板は50×60×1mmで重量は約1.2〜1.5μFであった。
# 0.9 #	0.206	0.411	
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> H / 10	0.012	0.002	
ブランク(人工海水)	0.157	0.233	

その他実験室試験として A1, Zn の電解液について、それぞれ軟鋼板による腐食試験を実施したところ、Zn液に比べA1液はかなり高い腐食性を示した。しかし測定値にバラツキが多く再調査を行なう予定である。試験の結果は表5.2に示す。

表5.1 アルミリッチプライマとジンクリッチプライマの性能比較試験塗装仕様

No.	O/F		A/C		A/F	
	塗	回数	塗	回数	塗	回数
1	アルミニウムエポキシ	1	タールエポキシ	2	油性 A/P YD	2
2	#	#	ビニール	4	ビニール	2
3	#	#	油性	3	油性 A/P YD	2
4	#	#	塩化ゴム	3	塩化ゴム	2
5	ジンクリッチエポキシ	#	タールエポキシ	2		
6	#	#	ビニール	4	(以下)	
7	#	#	油性	3	全	
8	#	#	塩化ゴム	3	じ	
9	ジンクリッチエポキシ	#	タールエポキシ	2		
10	#	#	ビニール	4		
11	#	#	油性	3		
12	#	#	塩化ゴム	3		
13	ウオツシユンプライマ 2液	#	タールエポキシ	2		
14	#	#	ビニール	4		
15	#	#	油性	3		
16	#	#	塩化ゴム	3		
17	ウオツシユンプライマ 1液	#	タールエポキシ	2		
18	#	#	ビニール	4		
19	#	#	油性	3		
20	#	#	塩化ゴム	3		
21	アルミリッチ(日防)	#	タールエポキシ	2		
22	#	#	ビニール	4		
23	#	#	油性	3		
24	#	#	塩化ゴム	3		
25	ジンクリッチ(日防)	#	タールエポキシ	2		
26	#	#	ビニール	4		
27	#	#	油性	3		
28	#	#	塩化ゴム	3		
29	アルミニウムエポキシ	#	ビニール	4		
30	#	#	油性	3		

## 6. 溶接シーム部分の防食法の研究

船舶および陸上建造物の溶接部の塗装において、溶接ビード上の塗膜劣化は、他の一般部分に比較して問題が多く、特に、外板およびタンク内面における溶接ビードとその近傍の防食については、必ずしも満足した手法により、防食管理が行なわれていない。

溶接ビードにおける腐食現象は、溶着金属と、母材の材質が異なる場合には、両者の電位差による。そこで、現在鋼板下地処理方法として用いられている機械的、化

学的処理法と防食塗装系の組み合わせで、最良な密着性、防錆力を有する防食方法を見出し、船舶建造物の溶接部に対して、適切な防錆処置を講じるために各種の下地処理法と防食塗装系の組み合わせについて、大気曝露、海水浸漬条件下で比較実験を行なった。

### 6.1 実験要領

溶接部の防食法に関しては、溶接方法、溶接棒型式、溶接前処理、溶接あと処理等の諸条件を考慮した上で実験を進めなければならないが、今回はユニオンメルト溶接平板突き合せ溶接に限定し、溶接ビードおよびその周

辺、熱影響部の溶接あとと処理法に主眼点を置き、実験を行なったものである。

#### 6.1.1 試験片

材料；軟鋼板（SM-41）

前処理；ショットブラスト

塗装；中濃度ジンクリッチペイント

溶接；ユニオンメルト法

寸法；150×80×12mm

溶接後の表面状態；ビード巾 16~20mm，肉盛厚さ 1~2mm，Zinc 焼損巾 ビード周辺 2~3mm（両面），試験片端部 5mm（ガス切断面）

#### 6.1.2 溶接部の素地調査

本実験は、溶接ビード上、および焼損部分を対象としたため、地上でのブロック組立後、あるいは、一部（船台搭載後）に溶接部の下地処理を行ない塗装をする必要があるため、作業員が比較的簡単に船台上でも処理操作ができる様な次の手法を用いた。

機械的方法；ワイヤブラシ処理（注 パワーブラシのこと）、ディスクサンダ処理、サンドブラスト処理

化学的方法；溶接部への射水とワイヤブラシ併用、磷酸塩処理とワイヤブラシ併用

素地調整の程度；有処理に対しては極めて入念（ホワイトメタル程度）と実用程度（コマーシャル程度）、無処理に対しては無処理板の場合は溶接後そのまま、塗装前に溶接部をシンナーを含ませた布で拭く、赤さび板の場合は、大気中で時折水を散布しながら約3週間放置し赤さびを発生させる。

素地調整後の試験片表面状態；

試験片の表面状態は次のとおり。

- |                  |          |
|------------------|----------|
| (1)ワイヤホイール完全     | (1')同不完全 |
| (2)ディスクサンダ完全     | (2')同不完全 |
| (3)サンドブラスト完全     | (3')同不完全 |
| (4)水洗（ワイヤ併用）     |          |
| (5)磷酸塩処理（ワイヤ併用）  |          |
| (6)溶接後そのまま（さびなし） |          |
| (7)溶接後そのまま（さびあり） |          |

#### 6.1.3 供試塗料

ショッププライマ（4種）；無機ジンクリッチプライマ、高濃度有機ジンクリッチプライマ、長曝型ウオッシュプライマ（以上国産）、外国無機ジンクリッチプライマ

プライマ（6種）；油性船底1号塗料、塩化ゴムさび塗料、肉厚型塩化ゴムさび止塗料、一般プライマ（LZプライマ）、肉厚型エポキシ塗料、タールエポキシ塗料（以上国産）

#### 6.1.4 塗装法および塗装間隔

塗装方法；ショッププライマ塗装はエアレススプレー、プライマ塗装ははけによる。

塗装間隔；ショッププライマとプライマ間のインターバルは7~10日、プライマとプライマ間のインターバルは One day one coat とした。

#### 6.1.5 試験項目

大気曝露条件下、および海水浸漬条件下で評価を行なった。

大気曝露場所；三井造船、玉野研究所三階屋上

海水浸漬場所；5×6×6mの大型タンク。（海水約150tonsを満し、隔日に午前8時~午後6時の間200l/minの割合で海水を入れかえた。）

#### 6.1.6 実験

次の組合せについて試験を行なった。

ショッププライマとプライマの組合せ、試験条件と塗装系の組合せ、下地処理と塗装系の組合せ

### 6.2 3か月後の試験結果の解析（省略）

### 6.3 12か月後の実験結果

大気曝露、海水浸漬条件下について、12か月後の結果の解析を行なったが、各条件下とも3、6、12か月を経て、試験板劣化が進み、下地処理、塗装系の要因水準の影響がかなり明確になってきた。

#### 6.3.1 大気曝露条件下における防食

3か月後において不十分な下地処理（磷酸塩処理-ワイヤブラシ併用、無処理さび有、無）の場合の有機ジンクリッチ単独による防食に問題があったが、6、12か月を経てその傾向がさらに顕著になってきた。また同時に「水洗-ワイヤブラシ併用」、「サンドブラスト不完全」の場合の有機ジンクリッチ系にもかなりの錆の成長が認められてきた。

また、12か月では、ジンクリッチ以外にも、下地処理の影響がかなり認められ、「無処理さび有面」では全塗装系にわたり溶接部、非溶接部ともに錆、ふくれの進捗が著しく、溶接面では、ほとんど使用に耐えない程度に塗膜が劣化している。

#### (i) 下地処理の影響

(a) 下地処理を行なわなかった溶接部の発錆面に、どのような防食塗装系を適用しても防食塗装の効果はなかった。これは塗装面に点錆が発生すると同時に塗装前のスケールが腐食により成長して、防食塗膜を内部から持ち上げ、ふくれる状態となっている。

此の結果から、曝露条件下の実船防食塗装系を考慮するならば、このような面の下地処理は不可

欠であることがいえる。

- (b) 溶接部を燐酸で除錆する方法は、防食塗装系が有機ジンクリッチ単独の場合には特に不適当である。これは、残存燐酸（酸性燐酸塩）が、塗料中の Zn と反応し、本来の Zn 末による防食機能を低下させたためであろう。実際には、此のような下地処理は行なわれないが、たとえば、溶接部のアルカリを燐酸塩で中和する場合、中和後短期間で有機ジンクリッチペイントを塗装することは注意する必要がある。
- (c) 「サンドブラスト」を施行した塗装系は「ワイヤブラシ」、「ディスクサンダ、完全、不完全」に比較して若干悪い結果が出ている。これはある程度の厚膜型防食塗装系（100 $\mu$ 以上の塗膜厚）を適用しなければ、機械処理のうちサンドブラストのような、凹凸の多いものでは点錆が生じやすいことがいえる。下地処理としての、「サンドブラスト」は経済性、作業性の面で問題があるので、曝露条件下では現在の新造船防食塗装で行なわれている「ディスクサンダ」、「ワイヤブラシ」等による下地処理が最適であろうと考えられる。

(ii) 塗装系について

- (a) 有機ジンクリッチ単独塗装系では、前述したごとくその防食性に若干問題点がある。これは塗膜が他の防食系に比べ多孔質であるため外部から侵入する腐食成分を防止できないのと、長期間曝露されるにつれ、単独皮膜の垂鉛量では Zn の電気防食とか Zn 塩による防食が十分に期待できないためと考えられる。
- (b) 防食塗装系の影響差は、6 か月経過時より認められるようになり、1 か年ではさらにその傾向が強くなってきた。

ショッププライマとして、有機ジンクリッチを含む塗装系は極めて良好な防食状態を示しているが、LZ プライマ 1 回塗りのような厚膜型塗装系ではジンクリッチペイントより劣っている。

- (c) ショッププライマ無塗装の場合、LZ 系プライマは、エポキシ、塩化ゴム A/C $\times$ 2 系に比較して非常に悪くなっている。此の場合、下地処理面に直接 LZ 系プライマを 1 回塗りするだけでは不十分であり、必ず 2 回以上塗装する必要があると考えられる。

6.3.2 海水浸漬条件下における防食

浸漬 3 か月では、下地処理の影響も認められたが、それより塗装系の影響が顕著に認められていた。6、12 か

月を経過するに従いその傾向は、さらに明白になってきたが、これと同時に、下地処理の差、溶接部、非溶接部の差が、個々の塗装系において認められてきている。

- (a) 有機ジンクリッチを下塗りした塗装系は浸漬 1 年後においても、全体として W/P の下塗り、S/P 無塗装に比較してすぐれた結果を示している。しかし、防食塗装系が比較的多孔質でかつ正規の膜厚が得られなかった塩化ゴム（厚膜型）、エポキシ（厚膜型）はフクレの影響著しく、特に塩化ゴム（厚膜型）はフクレの先端が割れ、錆の発生が多く問題があった。
- (b) 長曝型を下塗りした塩化ゴム A/C 系は 6 か月では、有機ジンクリッチ系とほとんど同じ程度であったが、1 年後では同じ下地処理（サンドブラスト）に差が生じ、有機ジンクリッチの有意性があらわれている。
- (c) エポキシ型防食塗装系を直接試験板に塗装したものは、下地処理の良否にかかわらず 3 か月でほとんどふくれが生じ、エポキシ単独塗装は危険であることがわかった。またその後の浸漬（6～12 か月）でふくれ部分からの錆の発生が著るしいことが認められている。
- (d) タールエポキシについては、3 か月では塗装系による差はあまり認められなかったが、6、12 か月と経過するに従い有機ジンクリッチペイントを塗装したものと、ショッププライマ無塗装のものに、多少の差が認められてきているが、実用的には問題無く、良好である。

(i) 下地処理の影響について

- (a) 機械的下地処理としては「サンドブラスト」が最もすぐれている。
- (b) 化学処理と機械的処理を比較しても、当然のことながら「サンドブラスト」、「ディスクサンダ」が良好である。
- (c) 「ディスクサンダ」と「ワイヤブラシ」の差は顕著でないが、前者が若干すぐれている。

有機ジンクリッチを下塗りした両者のうち、タールエポキシ、油性 A/C 塗装系を比較しても、前者が幾分良い結果を示している。

- (d) 「水洗ーワイヤブラシ併用」は良結果を期待していたが、「ワイヤブラシ」と同程度である。
- (e) 「燐酸塩ーワイヤブラシ併用」は「ワイヤブラシ」、「ディスクサンダ処理」に比較して、無機、有機ジンクリッチ塗装面では実用に耐えぬほど、悪い結果を示している。しかし、「ショップ

プライマ」，「無」，あるいは下塗りとしてタッチアップ用塩化ゴム A/C を塗装した磷酸塩処理の溶接部は，比較的良い結果を示している。

- (f) 無処理（錆，有無）についてはすべての塗装系にふくれを生じており，実際施行に当っては防食塗装系がタールエポキシのようなすぐれた塗料でも，何らかの下地処理が必要である。
- (g) 個々の塗装系の差を無視して下地処理法による順位をつければ，

（良）サンドブラスト ディスクサンダー ワイヤブラシ

磷酸塩－ワイヤ併用  
水 洗－ワイヤ併用 > 無処理（不良）

といえる。

(ii) 塗装系について

(a) ショッププライマの差

- ・ ショッププライマとしての有機ジンクリッチペイント，ウォッシュプライマ，タッチアップ用塩化ゴム A/C ，を比較すると有機ジンクリッチペイントに優位性が認められる。特に下地処理の良い場合では，それが顕著である。

タッチアップ用塩化ゴム A/C ，および長曝型 W/P は非溶接部で酸性ふくれの傾向が見られた。

- ・ 有機ジンクリッチペイント上の油性 A/C は「サンドブラスト処理」以外はふくれの傾向を示し，特に溶接部のふくれが著しく耐アルカリ性の無いことを示している。しかし，タッチアップ用塩化ゴム A/C のような耐アルカリ性塗装系を下塗りした油性 A/C 系は溶接部が良好で，非溶接部にふくれが著しいなど，ショッププライマによる差が出てきている。

- ・ ショッププライマの有無についての評価は，エポキシ（厚膜）型とタールエポキシ型で行なっているが，エポキシ塗料の直接塗装の結果が早期に悪くなったことと，下塗りを行なわなかったタールエポキシ塗料の1年後のふくれの程度から考え，ショッププライマ，タッチアップの効果はあるといえる。

(b) ジンクリッチペイント単独による防食について

- ・ 無機ジンクリッチペイントでは，3～6か月の期間で溶接部，非溶接部共にかんりの発錆が見られたが，その後の進展は少ない。また，ふくれは，ほとんど見られなかった。これは塗膜が多孔質のためである。要するに此の種の防食

塗料は電気防食を中心としたものであり，面積効果は無視してはならないし，実績 Data を重要視すべきであると考えられる。

Na シリケート系よりエチルシリケート系の方が若干すぐれており，恐らくこれは被膜形成の差によるものと考えられる。

- ・ 有機ジンクリッチペイントでは，その逆に発錆は無いがふくれが著しい。水の溜る所（たとえば Behind Lining など）への単独防食には不適當であろう。

- ・ 「磷酸塩－ワイヤブラシ併用」の場合には無機，有機ともふくれの傾向が著しく見られるが，これは前述したごとく磷酸と亜鉛の反応による影響と考えられる。

(c) 塩化ゴム厚膜による防食

有機ジンクリッチペイントを下塗りした面についてのみテストを行なっているが，下地処理に関係なくふくれが認められる。溶接面と非溶接面を比較すると，3か月，6か月経過までは，溶接面の方が良好な傾向を示していたが，1年後ではほとんど同じで，亜鉛化合物が塗膜面に析出していた。試験片の塗膜厚が2回塗としては極めて薄かったため（目標 120 $\mu$  に対し 70 $\mu$ ）か，比較的ピンホールの多いこの種の塗料のみで完全な防食を求めることは困難であり，下塗りとして Sealer Coat または，Impermeable Finish Coat の必要性があると考えられる。

(d) エポキシ（厚膜）による防食

「サンドブラスト」後に有機ジンクリッチペイントを下塗りしたものと，「磷酸塩」で処理したものは良い結果を示している。その他の条件ではすべてふくれ，錆が生じ問題がある。

ショッププライマとの関係を示せば，次のことがいえる。

（良）有機ジンクリッチ > 長曝型 W/P > ショッププライマ無し（不良）

本実験に用いたエポキシは1回塗で，膜厚が薄かったため（目標 100 $\mu$  以上に対して 50～70 $\mu$ ）に此のような結果になったのかも知れないので，プライマの膜厚の影響，エポキシ塗料の「タイプ」についてさらに実験を行なう必要があると考えられる。

また，ふくれの形状が「サンドブラスト」では円型であったのに，他の下地処理条件では無定型になっている。

これは「サンドブラスト」面へのこの塗膜の密着性がすぐれていることを示すものとして、特記すべきであり、適正塗膜厚での「サンドブラスト」面へのエポキシ塗装は良い結果を与えるものと期待できる。

#### (e) タールエポキシによる防食

他の塗装系に比べ、下地処理の影響も少なく、良い結果を示し、海水浸漬条件下の塗料としては最もすぐれていることが明確になった。しかし、無処理「錆有り」面では、有機ジンクリッチペイントを下塗りした系もふくれを生じ、少なくとも「ワイヤブラシ」「ディスクサンダ」程度の下地処理を行なう必要がある。

また、ジンクリッチペイントを下塗りした面とジョッププライマ無塗装を比べた場合、ジンクリッチペイントを下塗りしたものがすべての下地処理を通じて良い結果を示していることから、タールエポキシのようなすぐれた塗料であっても、下地処理が不十分な場合は、ジンクリッチペイントをタッチアップした方が、良好な結果を得るであろう。

#### (f) 油性 A/C の場合

有機ジンクリッチ面への油性 A/C の塗装は、ふくれが認められ、有機ジンクリッチ面への油性 A/C (耐アルカリ性の弱い) の塗装には問題があることを示している。(塗膜はかなり脆化しているものと考えられる。)

また塩化ゴムタッチアップ用 A/C との組み合わせも、酸性ふくれが認められ万全とはいえない。

#### (g) 塩化ゴム A/C の場合

有機ジンクリッチペイントと組み合わせた塗装系(実船に適用)は実用上問題ない状態であり、サンドブラストした場合の結果は抜群である。これに比べて長曝型 W/P をタッチアップした場合はやや劣っている。また、防食塗膜厚が大きいタッチアップ用塩化ゴム A/C でタッチアップする方法も実用的である。

### 6.4 総括

#### 6.4.1 大気曝露条件下

大気曝露条件下では、次の諸点が、かなり明確に確認された。すなわち下地処理については、(i)無処理で発錆している面に対しては、どのような塗装系を適用しても何らかの下地処理をしたものに比べ結果が悪い、(ii)磷酸塩除錆はジンクリッチペイントのような反

応性プライマの下地処理としては危険である、(iii)良い下地処理をしても、防食塗装系の膜厚が薄ければ成績が悪くなる、との結果が得られた。

塗装系については、(i)有機ジンクリッチペイントのみによる防食は下地処理に関係なく点錆が発生する。(ii)防食塗膜厚が厚いものについてはほとんど問題は無いが、薄いものについてはジョッププライマによるタッチアップが必要である、などのことが判明した。

要するに経済性と性能の両面を考慮するならば、ディスクサンダ、ワイヤブラシによる除錆後、有機ジンクリッチペイントでタッチアップし、次いで正規防食塗装を行なうのが溶接面および非溶接面に対する良い防食法といえるであろう。

#### 6.4.2 海水浸漬条件下

海水浸漬条件下での腐食の形態としては、無機ジンクリッチペイントのような多孔質塗料を除けば、一般にふくれが発生し、それが破壊されて発錆となるものが多い。従って、解析に当たってもふくれを重点的に注目することにした。6か月後のデータに比べ9~12か月と経過するに従い腐食作用の激しい海水中の浸漬であるだけに、下地処理—塗装系の個々の組み合わせについてさらに詳細な傾向が見られるようになった。すなわち下地処理(ジョッププライマも含む)については、サンドブラストが抜群の結果を与え、万全の防食性を期するならば溶接部に対するヴァキュームサンドブラストなどの除錆機の実用化の必要性を示した。

塗装系としては、(i)無機ジンクリッチペイントは6か月以降は著しい発錆の傾向はなく、電気防食機能の点で面積効果を考慮し実用の結果を注目すべきであろう。(ii)有機ジンクリッチペイント単独では、ふくれが出やすい、(iii)塩化ゴム厚膜型並びにエポキシ厚膜型は試験片の調整(塗膜厚管理)に問題があり、明確な防食基準が得られなかったので、再テストの必要が生じた、(iv)タールエポキシは極めてすぐれており、ディスクサンダ、ワイヤブラシ処理後塗装する現行の方法で問題ない、(v)塩化ゴムは機械処理後有機ジンクリッチを下塗りすれば実用上問題がない、(vi)油性 A/C は余り良くない、特に有機ジンクリッチペイントに対しては不安がある、などがわかった。

最後に、本実験ではタッチアップされたジョッププライマと上塗り A/C 間のインターバルを7~10日間としたが、最短塗装可能時間を見出す実験を行なうことも必要であろう。

(注、本報告には多くの表および写真が添えられていたが省略した。)

## 第2編 電気防食法の研究

### 1. 流電陽極の適正形状の研究

船体外板用流電陽極の形状としては150×300mmの平板型が広く標準型として普及しているが、これは近代的防食技術が開発される以前からの慣行によるものであって、標準化による利点は極めて大きいはずしも最善の形状とはいえない。また2年以上の寿命は期待できない。

よって入渠間隔2～4年を想定する巨大船に対する合理的な陽極の形状と配列は新しい観点に立って検討を加える必要がある。しかし問題が流電陽極材料の性能、外板塗装の種類と質の良否、時間経過に伴う劣化程度、海水温度船の運行状況、など極めて複雑不確かな多数の因子に支配されるものであるから明快な結論を出すことはまづ不可能である。

本考察はできるだけ問題点を単純化し焦点を絞るため現状において妥当と思われるいくつかの設定の下に試算を行ない、努めて普遍性のあるように定量的検討を加えたものである。

#### 1.1 設定した諸条件

1.1.1 海水の比抵抗； $\rho = 25\Omega \text{ cm}$ とする

1.1.2 陽極1l当りの発生電流量

現行の流電陽極にはMg, Al, Znの3系統の合金があるが、海水中で長期使用するにはAl系とZn系が適している。

Al系の理論発生電流量2920 A-hr/kg, 比重2.76, 発生電流効率0.87とすると、1l当りの発生電流量は0.8A-yrとなる。

Zn系の理論発生電流量820A-hr/kg, 比重7.1, 発生電流効率0.96とすると、1l当りの発生電流量は0.64A-yrとなり、Alの場合の80%に当たる。

よって試算は0.8A-yr/lとして進めることとする。

1.1.3 有効電位差

通電の初期と末期、航行中と停泊中、陽極の種類などによっても異なるが、妥当に設計された場合は年間を通じての平均値は過去の実績から0.15V前後と考えられるので0.15Vとする。

1.1.4 所要防食電流密度

塗装の種類と質、その劣化程度、船の運行状況など

によって大きく変動するが過去の実績から年間の平均値として次の値を設定する。

6 mA/m<sup>2</sup>………重塗装の船体外板

8 mA/m<sup>2</sup>………ビニル塗装の船体外板

10mA/m<sup>2</sup>………油性塗装の船体外板

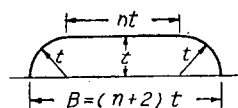
400mA/m<sup>2</sup>………プロペラその他の銅合金露出面

#### 1.1.5 流電陽極の形状と配列

(a) 断面一様の細長いものを船体の流線に添うて適當数一列にならべたものを1群とし、5～12群程度を外板のビルジキール上またはその延長線上に両舷おのおの飛び飛びの1列に配置する。

流線に添うて同一断面のものをならべた場合は1群を一体の陽極として計算できる。またこの配列が最も流体抵抗が少ないはずである。洋梨形などは個々の流体抵抗は少ないが、多数配置したときは本案に比べると当然不利になるはずである。取付作業も数群にまとまった方が散在するものより容易である。電流分布も有効電位差が0.15V程度であれば、個々に分散させる必要はなく、両舷に各1列線状に配置したものであれば、かなり長くとも分布は良好であり、発生電流は若干絞られるが、寿命はそれだけ延長される。

(b) 断面の形状



左の図に示すように、厚さ $t$ em, 幅 $B$ cm, 両端は半径 $t$ の半円状とし、幅 $B = (n+2)t$ , 頂面の平面部の幅 $= nt$ と

する。従って $n=0$ なら、半径 $t$ の半円状、 $n=\infty$ なら薄板、この中間の形状は適當な $n$ の値で示され実用範囲として $n=0\sim 4$ 位が考えられるから、これについて試算する。

角型断面のものも少し消耗すると隅がまづ消耗するからこの形状に近くなる。たいていの実用的形状は近似的にこの式で示すことができ、次のような統一された数値的表現が可能となる。

$$\text{外周の長さ} = (\pi + n) t$$

$$\text{従って、等値の半径, } r_1 = \left( \frac{\pi + n}{\mu} \right) t$$

$$\text{底面の幅, } B = (2 + n) t$$

$$\text{長さ1m当りの体積 } V = \left( \frac{\pi}{2} + n \right) \frac{i^2}{10} \quad (1)$$

### 1.1.6 陽極の海中抵抗 (R オーム)

花田の算式を使用して次のとおりとする。

$$R = \frac{\rho}{L} \cdot f_{1L} \cdot f_3$$

ただし、海水の比抵抗、 $\rho=25\Omega\text{cm}$

1群の全長 = 2 L cm

$f_3$  の値;  $\Omega_3/\Omega_1=1.7$  のときの値

### 1.1.7 陽極の発生電流 (i Amp) と寿命 (yr)

陽極 1m 当りの発生電流 i は次のとおりである。

$$i = \frac{0.3}{f_{1L} \cdot f_3}$$

全長 2 L の陽極群の発生電流を I とすると、

$$i = \frac{I}{2L} \times 100 = \frac{E}{R} \times \frac{100}{2L} = \frac{E}{\rho} \times \frac{L}{f_{1L} \cdot f_3} \times \frac{100}{2L} = \frac{0.15}{25} \times \frac{50}{f_{1L} \cdot f_3} = 0.3/f_{1L} \cdot f_3$$

陽極の寿命 (yr) は、

$$yr = \frac{V \times 0.8}{i}$$

ただし、V は長さ 1m 当りの体積 V (l)

## 1.2 試算の結果

### 1.2.1 陽極に関する試算

- (i)  $t=2, 3, 4 \dots 10\text{cm}$ ,  $n=0, 1, 2, 3, 4$ , に対する B の値,  $\Omega_1$  の値, V の値
- (ii)  $\Omega_1=2, 3, 4 \dots 2L=100, 200, 400, 800$ , に対する  $L/\Omega_1$  の値,  $f_{1L} \cdot f_3$  の値,  $i=0.3/f_{1L} \cdot f_3$  の値
- (iii) 図1.1 は、横軸に  $\Omega_1$ , 縦軸に i の値をとり 1群の長さ 1m, 2m, 4m, 8m, 16m, 32m に対する(ii)で計算した  $\Omega_1$  と i の値との関係を示す曲線である。
- (iv) 図1.1と試算(i)の  $\Omega_1$  の値から求めた  $t=2, 3, 4 \dots$ ,  $n=0, 1, 2, 3, 4$  に対する i の値と寿命 yr の値
- (v) 図1.2は、横軸に寿命 yr, 縦軸に i の値をとり、(iv)の計算結果を図示したものである。

### 1.2.2 実用範囲の i の値

図1.2 から陽極 1m 当りの発生電流はこの実用範囲の厚さや幅では 1群の長さの影響を強く受けて、全長 8m を越えるものでは、ほぼ 1本の曲線で示されること、寿命を 2~4年に限定すると、その t と B の組合せでは  $\Omega_1$  の値は 4~8に納まることからわかる。

図1.3 は対数目盛で横軸に陽極群の全長 (2 L), 縦軸に i をとり、 $\Omega_1=4, 6, 8$  の線を示したもので、

2 L=8, 16, 32 に対し  $i=1.35, 1.20, 1.1$  の線と大差はない。よって  $i=1.2$  として試算を進める。

$i=1.2\text{A}$ , 防食電流密度 =  $6\text{mA}/\text{m}^2$ ,  $10\text{mA}/\text{m}^2$  とすると、陽極 1m の防食し得る面積は  $200\text{m}^2$ ,  $120\text{m}^2$  である。

### 1.2.3 陽極群の配列法

満載排水量 =  $\Delta\text{ton}$ , 垂線間長 =  $L_{pp}\text{m}$ , 浸水面積 =  $A\text{m}^2$  とする巨大船の実績および図1.4から

$$A = 6 \times \Delta^{2/3}, \quad A/L_{pp} = 1.15 \times \Delta^{1/3},$$

$$L_{pp} = 5 \times \Delta^{1/3}, \quad \frac{B}{2} + d = 0.7 \times \Delta^{1/3}$$

などの近似式がほぼ成立つことがわかる。この設定で  $i=1.2\text{A}$  とすると次の計算が成立つ。

$\Delta$ (ton)	6,400.0	9,000.0	125,000	164,000	216,000
$\Delta^{1/3}$	40	45	50	55	60
$\Delta^{2/3}$	1,600	2,025	25,000	33,000	43,200
A	9,600	12,000	150,000	198,000	264,000
$L_{pp}$	300	225	250	275	300
陽極の長さ	4.8m	6.0	7.5	9.0	10.8
陽極群	6群	6群	8群	8群	10群
群の長さ	8m	10m	10m	11m	11m
陽極全長	80m	100m	125m	150m	180m
適当な群と	6群	8群	10群	12群	14群
1群の長さ	13.5m	12.5m	12.5m	12.5m	13m

ただし最近の新造船では  $10\text{mA}/\text{m}^2$  の必要はまずない。

つまり、陽極 1群の長さ 8~14m 程度とし両舷に一列にビルジキール線附近に配置すると片舷 3~5群 (重塗装の場合), または 3~7群 (油性塗装の場合) で間に合う。

### 1.2.4 陽極断面の形状

前にも記したように 8m を越える陽極群の 1m 当りの発生電流 i は実用範囲では  $1.3\text{A} \sim 1.2\text{A}$  程度であって、断面の形状にはあまり左右されない。寿命を主として多少のゆとりをみて 1m 当りの体積 V を求めると、

$$\begin{aligned} \text{寿命 2年 } & 1.4\text{A} \text{ として } 2.8\text{A}\cdot\text{yr} \dots 3.5\text{l}/\text{m} \\ \text{3年 } & 1.3\text{A} \quad \text{〃} \quad 3.9\text{A}\cdot\text{yr} \dots 4.9\text{l}/\text{m} \\ \text{4年 } & 1.25\text{A} \quad \text{〃} \quad 5.0\text{A}\cdot\text{yr} \dots 6.25\text{l}/\text{m} \end{aligned}$$

ローリングで横から押されることなどを考えるとあまり高いものは好ましくない。今、 $B=4\text{t}$  の場合と、 $B=15.0\text{cm}$  (従来の標準型と同一幅) の場合を計算すると、

$v = (\ell/m)$		3.5	4.9	6.25
B = 4 t のとき	t (cm)	3.15	3.77	4.19
	B (cm)	12.5	15.0	16.7
B = 15cm のとき	t (cm)	2.7	3.77	4.6
	B (cm)	15.0	15.0	15.0

	v 1m当り体積 (ℓ)	1m当り容量 (A-hr)	0.8m当り容量 (A-hr)	同重量 (kg)	r <sub>1</sub> の値
t = 3	4.11	3.28	2.64	約 9	5.9
t = 5	6.44	5.14	4.10	約 11.6	6.6

を 3cm, 5cm にしたものを連続にならべたことにも当り, ただ便宜上2.7個に相等する長さを1個としたことになる。

### 1.2.5 プロペラ附近の防食

1.2.4 に記した船体防食用と同一の陽極を使用するものとして概算を行うと次のようになる。

プロペラの直径 (m)	6 m	7 m	8 m
表面積 (= D <sup>2</sup> として)	36 m <sup>2</sup>	49 m <sup>2</sup>	64 m <sup>2</sup>
所要電流 (400 mA/m <sup>2</sup> として)	14,400	19,600	25,600
所要数 (1個 1Ampとして)	15個	20個	26個

所要数は1個 1Ampの出力とした。寿命は2年用は t = 3cm, 4年用は t = 5cm を用いればよいことになる。

この数は船体防食用の数に比べると, 少なくないものである。従来プロペラを囲むように流線を考慮しないで取付けているが, 次の配慮が必要である。図1.5の(i)のようにプロペラを囲んでほぼ等距離に流線に関係なく配置するのは合理的でない。

陽極の発生電流が不足するときは距離の差が消耗に関係したり船体の腐食を招くことはあるが, 十分な取付量のあるときは, (ii) のように流線に添って6~8群 (片舷3~4群) を配置すれば十分目的は達し得る。

また (iii) のように船体防食用の船尾に近いものとつき合せて1群とする配列も考えられる。

プロペラを囲む群は個数が少ないので自然発生電流も 1.4~1.6 Amp 程度に大きくなるはずであるが, 自己調節作用があるのと, 船体用に比べて絶対量が少ないので船体用に準ずる計算を行なった。

Zn 陽極の場合は, 同容積の容量が少ないからそれだけ肉厚のものを使用する必要がある。重量の点でも価格の点でも Al 陽極に比し不利となるので, 将来はよほ

敷値を丸めて B=15cm, t=3cm と t=5cm に統一し, 1個の長さを取扱いの便宜も考慮に入れて80cmとすると次のとおりになる。

この2種類を適当に組合せて実用上の目的はほぼ達し得るであろう。

面白いことに将来の標準型 150mm × 300mm 厚さ

と特殊な事情がない限り Al 陽極を使用すべきであろう。

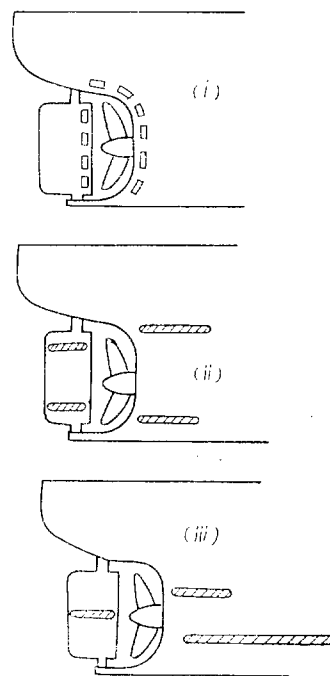


図1.5

### 1.3 まとめ

以上記した試算の結果と考察を総合すると完全防食を目標とし2~4年の寿命を想定した巨大船に適当な流電陽極の形状と配列は, 次のとおりである。

- (1) 流電陽極の材質はよほど特殊な事情がない限り Al 合金系が適当である。
- (2) 陽極の形状は船体防食用もプロペラ附近の防食用も共通の形状でよい。
- (3) 陽極は数群にまとめて両舷のビルジキールとその

延長線上の流線に添った1列(両舷で2列)の配列で十分である。

- (4) (3)の配列の場合陽極の断面形状の影響はあまり大きくない。ほぼ1m当り1.2Amp前後の出力となるから、これと寿命から1m当りの容積が決まり自然断面積も決まる。1案を示せば、幅150mm長さ800mm厚さは30mmと50mmの2種に統一も可能である。幅50mmと全長800mmを統一し、厚さは寿命の要求に応じて30~70mm位まで認めれば、設計上は基準化されることの利点は大きい。
- (5) 塗装の質と種類の差によって所要防食電流密度が

異なる場合も、群数と1群の受持つ面積の調節によって陽極の形状を変更せずに適切な設計が可能である。

極端な例を挙げると油性塗料で1年以上経過した場合30mA/m<sup>2</sup>を必要とすることもあるが、この場合でも1群の長さを3倍にすれば間の合うはずである。自動調節式外部電源方式の研究が進めばこれらの確実な資料も与えられることになるであろう。

- (6) プロペラ附近の防食にプロペラを囲んでほぼ等距離に流線に関係なく陽極を配列する従来の慣習は改める必要がある。

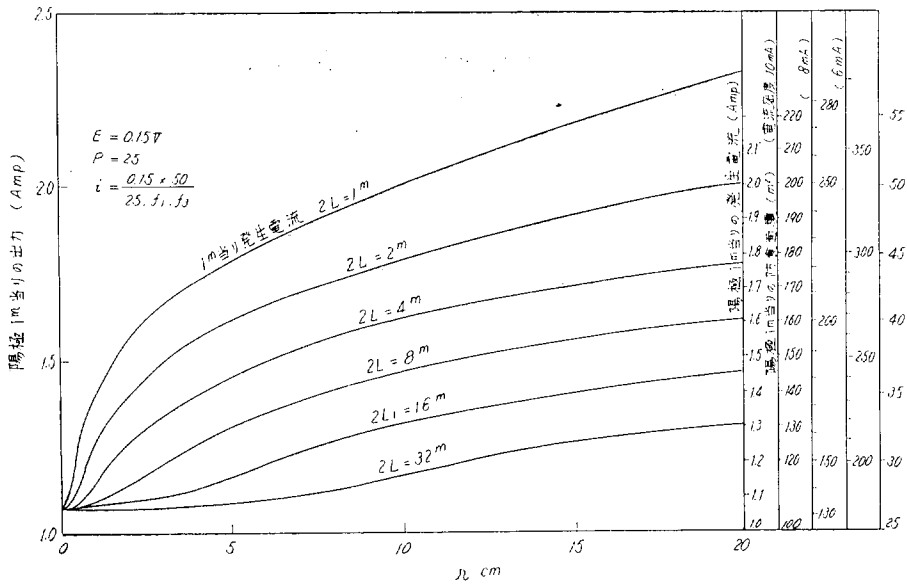


図1.1

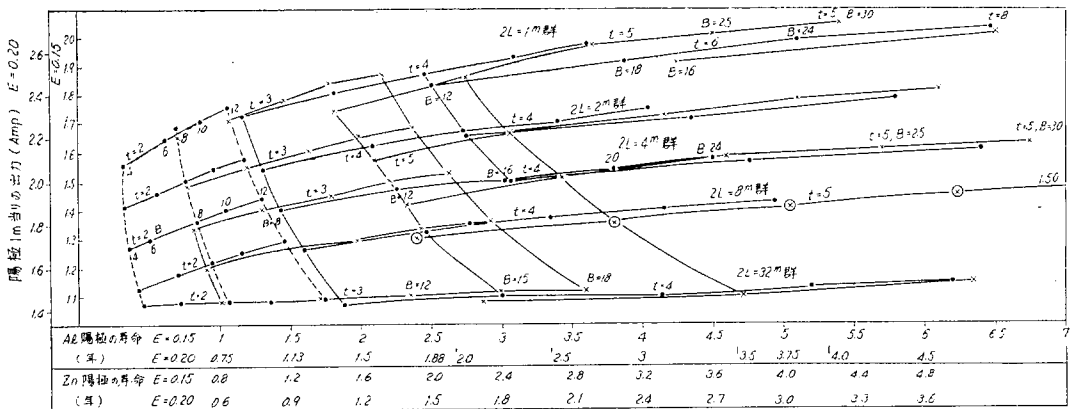


図1.2

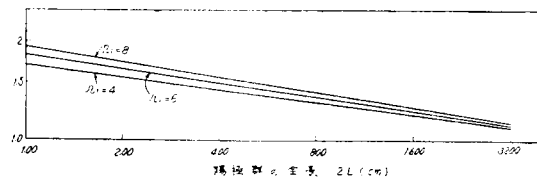


図1.3 i と 2L との関係

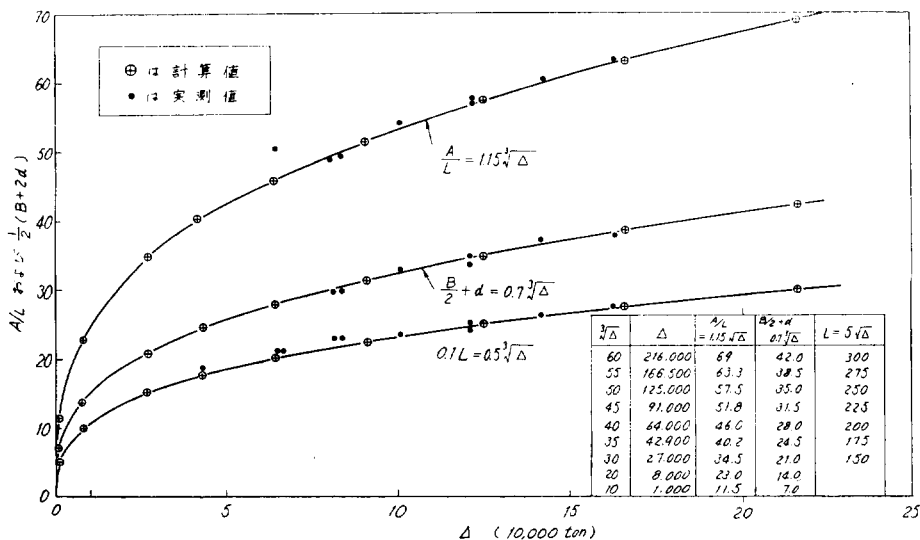


図1.4

## 2. 外部の電源法研究

船舶外板の海水による腐食を防止するため、従来より塗装、および流電陽極法による電気防食が適用されてきたが、船舶が大型化するとともに外部電源法による防食法が有望視されるようになった。外部電源法による船舶外板の防食は塗装との併用であるので、外板の対海水電位が常に安全域にあるような自動制御防食装置が必要である。本報告はこれらを構成する各部分について行なった調査に関するものである。

### 2.1 照合電柱の調査

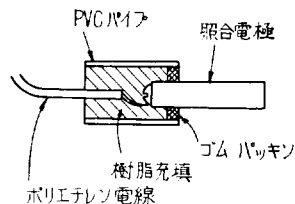
#### 2.1.1 概要

自動制御防食装置は、船体電位を検出して、設定電位（防食電位）との差を制御量として増幅し、不溶性陽極より海水中へて船舶外板に防食電流を流し、船体電位を設定電位に自動的に近づけるようにする装置である。

金属電位を測定する検出極としては、一般には飽和  $\text{KCl}$ -汞球電極や、人工海水-塩化銀電極が使用されているが、船舶外板の自動制御用照合電極としては、機械的強度や電解液の変化に対しても長期間安定した電位を示すことが要求される。

この調査では上記の要求に従い、無液栓型の構造を有する照合電極の特性について調査した。

#### 2.1.2 実験装置



(a) 実験に用いた照合電極の種類および構造

種類	成分(%)	有効表面積(cm <sup>2</sup> )
1. 純亜鉛	99.99以上	10
2. 合金亜鉛	Al 0.2Cd 0.05残 Zn	〃
3. 純銅	99.9	〃
4. 純銀	99.9	〃
5. 塩化銀	※	〃

注1. 上記1～4は使用の都度、エメリーペーパーにて研磨して用いた。

2. ※ 0.75 N, HCl 中で 5 mA/cm<sup>2</sup> の電流密度で陽極として化成したものを使用し、測定のとど蒸留水で洗滌して用いた。

(b) 測定法

種類の電解質中の試験用照合電極の電位は、飽和 KCl 甘汞電極を基準として用い、塩橋、真空管電圧計で測定した。

2.1.3 実験結果および考察

(a) 汚染海水の水質調査

大阪(尼崎港, 堺) 鶴見, 東京(晴海, 九州(戸畑, 広島港, 八戸港)の各地より採取した汚染海水の水質分析, および腐食性の調査を行なった。

表2.1 に水質分析表で示す。また陰分極特性, RGY特性, 港研式上壊腐蝕計による腐蝕度測定も行なったが, その結果の例を図2.1 に示す。

(b) 汚染海水中の電位経日変化

(a)の汚染海水を使用して各種試験照合電極の経時変化を測定した。

その結果によると純亜鉛, 亜鉛合金は,  $-1050 \text{ mV} \pm 20 \text{ mV}$  の電位を示すが, 浸漬後20時間以上経過しないと安定した電位を示さない。銀は安定した電位になるまでに長時間(100時間以上)を要し, 不適と考える。銅は短期間中の電位は, 比較的安定しており,  $-200 \text{ mV} \pm 15 \text{ mV}$  を示し, 塩化銀は  $0 \text{ mV} \pm 5 \text{ mV}$  程度で, 最も安定した電位を示した。

(c) 各種比抵抗を有する人工海水中の電位変化

人工海水を純水により稀釈し, 5:1 (34 $\Omega$  cm) 2:1 (40 $\Omega$  cm) 1:1 (55 $\Omega$  cm) 1:2 (75 $\Omega$  cm) 1:5 (138 $\Omega$  cm) の液中での各試験照合電極の電位変化を測定した。その結果によると, 純亜鉛および亜鉛合金は稀釈された人工海水中でも電位変化は小さく, 銀, 銅, 塩化銀は, 比抵抗が大きくなるに従い, 貴の方向に電位が移行し, 140 $\Omega$  cm

の液ではそれぞれ 50mv 程度, 純海水中の電位より貴の値が測定された。

(d) 各種 pH を有する人工海水中の電位変化

人工海水を塩酸または可溶性ソーダを用い pH-6 ~ pH-10にそれぞれ調整し各照合電極の電位経時変化を測定した。その結果によると各電極とも pH-6 ~ pH-10 の間の人工海水に対しては, 一定の傾向が見られず目立った電位変化は測定されなかつた。

(e) 液温による電位変化

人工海水を液温 10°C~50°C に変化し, その間の各種試験用照合電極の電位変化を測定したその結果によれば純亜鉛, 亜鉛合金, 銅では液温の変化に対して明瞭な傾向はなく, 銀, 塩化銀は 40°C の温度変化に対し 10mv 程度貴の方向に電位が移行する。

(f) 光による電位変化

人工海水中の各種照合電極に対し暗室, 室内, 太陽直射の明るさの変化を与え, 電位の変化を測定したが, その結果, 亜鉛は明るさの影響は認められない。

また銀, 銅では太陽直射により電位は貴の方向に移行することがわかった。

(g) 流速による電位変化

照合電極を管状とし, 管の中に一定流速を有する人工海水を通水し, 電極の電位変化を測定した。本試験は電極を特殊構造に加工したため亜鉛についてのみしか調査できなかった。測定結果によると, 流速が大きくなるに従い電位は貴の方向に移行し, 静止中に比べ 5 m/Sec の流速では 50mv 程度貴の電位が測定された。

(h) 溶存酸素による電位変化

人工海水中に酸素ガスまたは窒素ガスを吹込み, 液中の各種照合電極の電位変化を測定した。その結果によると, 銅, 銀は溶存酸素の影響を受けやすく, 70~100mv 貴の電位に移行する。塩化銀は溶存酸素の影響をほとんど受けない。

(i) 通電による電位変化

検出電極として制御電流を取り出した場合を考慮して, 人工海水における各種照合電極の陰分極特性, 陽分極特性について調査した。その結果, 亜鉛, 塩化銀, 銅, 銀の順に電位変化は大きくなることわかった。

2.1.4 結論

上記, 短期間中の実験室実験の結果では, 無液栓型でも塩化銀電極が最も安定した電位を示した。しかし

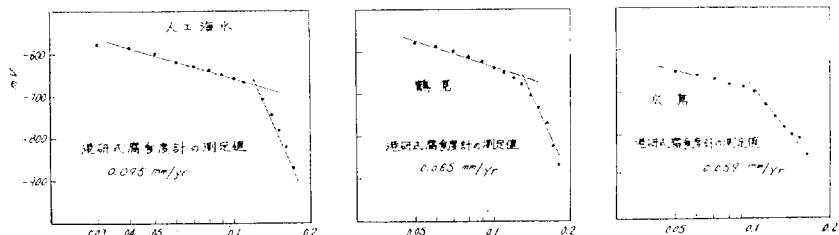
表2.1 水質分析表

試験項目	海水の種類 ( )内計量値	大阪No.1	大阪No.2	鶴見	開港	比叺	六島	八戸	測定法
濃度 (度)	1	3.6	4.8	7.0	10	8	8	9	一般法
pH	7.6	7.0	6.7	7.2	7.0	7.2	7.3	7.4	PH計
比抵抗率 14°C (Ωcm)	29.3	27.7	572.8	33.8	35.8	29.5	29.3	30.2	交流ブリッジ
アンモニウム (PPM)	129	109	62	102	96	107	104	111	PH4.8セル法
フッ素 (ppm)	—	—	—	—	—	—	—	—	PH9.0
リン酸塩 (ppm)	1.6	1.0	4	10	10	14	12	14	PH9.0電極
硝酸塩 (ppm)	—	—	—	—	—	—	—	—	PH4.8
全鉄量 (ppm)	6396(6517)	5744	488	5376	4724	5908	5620	5948	EDTA法
マンガン濃度 (ppm)	811(1049)	767	86	778	681	919	811	897	*
クロム濃度 (ppm)	5585(5468)	4977	402	4598	4043	4989	4809	5051	*
硝酸性窒素濃度 (ppm)	36256(35989)	30612	1488	32052	28152	32320	34612	36260	硝酸5C
亜鉛イオン (ppm)	19630(21056)	19266	873	16580	14830	17740	17590	17740	硝酸銀法
銅イオン (ppm)	2633(1785)	2147	120	2245	2004	2441	2347	2450	重量法
カルシウムイオン (ppm)	324(420)	307	34	311	272	368	324	315	EDTA法
マグネシウムイオン (ppm)	1357(1329)	1209	98	1117	982	1212	1169	1227	*
採取日時および 採取状況		411.12.11時 尼崎港モービル 石油大阪油槽所 横橋	411.1.30 13時 堺共同火力大和川 河口より2R地点	411.1.8 11時30分 東電鶴見取水口	411.1.8 12時30分 開港埠頭	411.1.29 15時 高島町若戸大橋 戸畑側	411.1.22 比叺港内	411.1.10 17時 八戸港	

長期間中では塩化銀の被膜が剥離することもありうる  
ので、銀と塩化銀の電位差、あるいは銀の電位不安定  
さ等よりさらに長期の試験が必要と考えられる。  
塩化銀について亜鉛の電位が安定しており、電位を変

化さず各種要因を検討した結果、自動制御方式の陰極  
電位の検出回路に用いる照合電極としては十分実用に  
供し得ると考える。  
銅、銀は、無栓型照合電極には不向である。

陰分極特性および港研式腐食計測定値



R<sub>ct</sub>特性

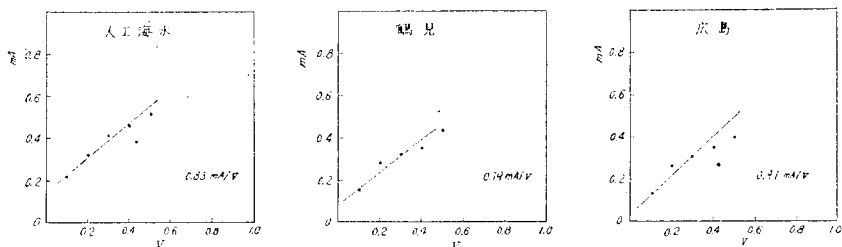


図 2.1

## 2.2 不溶性陽極の調査

### 2.2.1 概要

船舶外板を外部電源法により電気防食を行なう場合  
は、外板に取りつけた不溶性陽極により防食電流を海  
中に流出させる必要がある。

一般構築物を外部電源法にて防食する場合は構築物

より離して不溶性陽極を設置するので、一般の場合と  
船舶外板用では絶建材の構造が大きく異なるととも  
に、不溶性陽極体自身の材質、構造も変る。本調査で  
は、船舶外板に取付ける形状を想定し、絶縁材質、陽  
極材質について調査を行った。

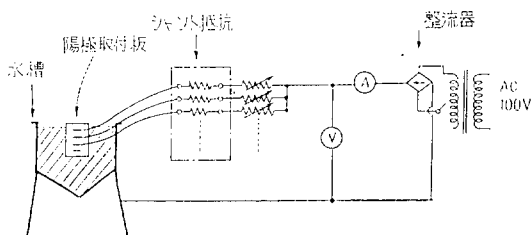
### 2.2.1 実験装置

水 槽：約1 ton の人工海水が入る鉄槽  
 不溶性陽極：  
 電 解 液：人工海水  
 電 源：セレン整流器

### 2.2.3 試験結果

No.	絶縁材	陽極材	No.	絶縁材	陽極材
1	PVC	白金-チタン	10	ポリエチレン	鉛 銀
2	"	白金-タンタル	11	テフロン	白金-チタン
3	"	鉛 銀	12	"	"
4	"	"	13	"	白金-タンタル
5	"	"	14	"	"
6	ポリエチレン	白金-チタン	15	"	鉛 銀
7	"	"	16	ポリエチレン	白金-タンタル
8	"	白金-タンタル	17	テフロン	"
9	"	"			

No.	平均 通電電流	陽 極		絶 縁 材	
		材 質	表 面 状 況	材 質	表 面 状 況
1	2.5 A/dm <sup>2</sup>	Pt-Ti	変化なし	PVC	変化なし
2	1.0	Pt-Ta	"	"	"
3	5.0	Pb-Ag	大豆大の瘤が全面に生じ、易碎物上迄過酸化鉛の被膜がおり	"	"
4	5	"	"	"	"
5	2.0	"	"	"	"
6	8	Pt-Ti	変化なし	ポリエチレン	"
7	1.3	"	"	"	"
8	1.0	Pt-Ta	"	"	"
9	1.2	"	"	"	"
10	5	Pb-Ag	米粒状凸部 2点程度	"	"
11	5	Pt-Ti	変化なし	テフロン	"
12	1.4	"	"	"	"
13	7	Pt-Ta	"	"	"
14	1.5	"	"	"	"
15	4	Pb-Ag	米粒状凸部 4点程度	"	"
16	8	Pt-Ti	変化なし	ポリエチレン	"
17	7	"	"	テフロン	"



### 2.2.2 通電状況 (1月26日より3月31日に至る65日間通電)

No.	材質	平均通電電流 (A/dm <sup>2</sup> )			
		1/26開始	2/13測定	3/10測定	3/31終了
1	Pt-Ti	2.7	4.0	2.0	2.3
2	Pt-Ta	5.0	1.3	1.0	9.3
3	Pb-Ag	28.6	5.07	3.1	3.15
4	"	2.7	5.6	4.3	5.0
5	"	2.05	1.78	1.93	2.17
6	Pt-Ti	7.3	7.4	7.7	8.3
7	"	1.23	1.7	1.27	1.34
8	Pt-Ta	9.6	9.4	9.6	10.7
9	"	1.23	1.13	1.23	1.3
10	Pb-Ag	5.0	5.3	4.3	4.0
11	Pt-Ti	7.5	8.3	8.3	9.0
12	"	14.6	13.3	13.3	15.0
13	Pt-Ta	7.0	6.7	5.7	7.4
14	"	15.3	14.0	14.0	16.0
15	Pb-Ag	2.6	4.3	2.7	2.2
16	Pt-Ti	8.5	8.0	8.6	9.0
17	"	7.8	7.35	7.35	7.6

### 2.2.4 考 察

白金-チタン, 白金-タンタルの陽極は通電電流の変化も少なく, 視察による表面状況も通電前と全く変化が認められず良好である。

鉛銀合金陽極には銀2%陽極を用いたが, 陽極表面は異色の過酸化鉛被膜でおおわれ, 電流密度の大きいものはところどころカサブタ状の凸部ができた。また, 生成した過酸化鉛の一部が絶縁材表面にまで生長したものがあリ, 近くに陰極がある場合の静止液中での使用には短絡する危険があり, 設計上注意を要する。

絶縁材としてはポリエチレン, テフロンが優秀で全く変質が認められず, 十分実用に供し得るものと考えられる。

# アブログ記載事項の解析による鉄鉱石船の 運航実績について

研究部 北 島 泰 蔵

## 目 次

- |               |    |                    |
|---------------|----|--------------------|
| は し が き       | 3. | 調査の結果とそれに対する考察     |
| 1. 調査対象船      | 4. | 北太平洋定期貨物船の運航性能の再解析 |
| 2. 調査項目と調査の方法 |    | む す び              |

## は し が き

船舶の運航性能が建造後の日数経過とともに低下することはいうまでもなく、速度および回転数の低下、あるいは燃料消費量の増加となってあらわれてくる。これらの原因としては船底外板の汚損と劣化、プロペラ性能の低下、機関性能の低下が考えられ、別の分類をすると船底汚損と経年変化となる。船底汚損の影響については、調査研究の実務から長年遠ざかっている筆者には、昭和初期の出淵博士の文献<sup>(1)</sup>、山県博士の船型学<sup>(2)</sup>の記憶があるのみで、最近の文献としては石井信夫氏の文献<sup>(3)</sup>が目につく程度である。

造船研究協会では昭和39年度以降3か年計画で日本船舶振興会の補助事業として「シーマージンに関する調査」および「海象気象と船体性能との関連に関する調査」の課題のもとに、第80研究部会および第91-1研究部会を設けてシーマージン、船底汚損の影響、経年変化について、アブログ記載のデータを基にして解析調査を試みたが、筆者はやむを得ない理由のためその実務の一部を実施した。これらの結果は、それぞれ調査または研究資料<sup>(4)(5)(6)</sup>として刊行済みであるが、各年度別の調査概要は次のとおりである。

- ・ 39年度 シーマージンの性格および内容を調査し、併せて特定の船舶についてログブック記載の風および波をベースにした解析を行なった。
  - ・ 40年度 39年度とは別の観点から解析を試み、北太平洋定期貨物船の冬期のアブログ記載データから長期的シーマージンと船体汚損の影響を求めた。
  - ・ 41年度 40年度と同一の方法で、南米、北米の多数の鉄鉱石船を中心にして、長期的シーマージン、船底汚損の影響、および経年変化を求めた。
- しかし41年度の調査は、42年3月中に報告書をまとめ

る必要があったために解析に必要な時間が十分でなく、そのため収集したデータのすべてを解析しきれなかったこと、これらの解析はすべて第91-1研究部会の前年度からの方針に従って行なわれたことなどから、筆者はその後これに残された資料を解析し、さらに新しいデータを加えて速度、回転数、燃料消費量について同研究部会とは別の考え方で再解析して、その結果をまとめたので、ここに報告する。従ってすでに刊行されている報告書<sup>(6)</sup>の数値とは若干異なった結論が得られていることをお断わりしておく。

## 1. 調査対象船

調査対象船としては北米および南米航路に就航中の昭和35年以降に建造された鉄鉱石船を採った。これらの鉄鉱石船を対象とした理由は、北太平洋航路の定期貨物船については40年度に調査を行ない<sup>(5)</sup>、またアラビヤ航路のタンカについては38年度に運輸省委託事業として行なった高経済性油送船試設計の際にシーマージンの検討<sup>(7)</sup>が行なわれたためであるが、特に南米航路の鉄鉱石船でファウリングの影響が極めて大きいことが一般に指摘されていたことも理由の1つである。これらの船舶は表-1に示す14隻で、長さは160m~215m、すべてディーゼル1軸船で、CBが一部を除き0.80前後という肥大型船である。なお当初は南米航路を主とし、これに北米航路を加えた船舶についてデータを集める予定であったが、実際に集まったデータの中にはインド・マレー方面に主として配船されたもの、ときどき配船されたものもあったので、これらについては、最も多く配船されていた航路をとることとし、この航路以外に就航した場合のデータは無視することにした。これらの船舶は表-1中のN-6、W-1、W-2で、結果的にはわずか2隻ではあるが、インド・マレー航路も調査の対象とな

表-1 調査対象船一覧表（鉄鉱石船）

航路	船名	L D P (m)	B mld (m)	D mld (m)	D.T.	満載状態			主機関		推進器		建造年月日	備考
						d(m)	△(mm)	kg	種類×数	排気×数 (理論最大)	翼数×数	直径×長さ(m)		
北米	N-1	214.00	30.80	15.70	508.51	11.657	64.165	0.816	D×1	15,000×124	5翼1体式×1	5,800×3,900	S37.9.1	
	N-2	210.00	31.00	15.80	297.59	11.402	64.796	0.810	D×1	15,000×118	〃	6,000×4,25	S37.9.30	
	N-3	170.00	26.00	13.15	122.84	9.825	55.245	0.790	D×1	15,000×120	4翼1体式×1	6,200×4,216	S37.6.20	
	N-4	170.00	25.00	13.15	120.74	9.812	55.198	0.790	D×1	2,600×119	4翼組立式×1	6,000×3,960	S37.11.26	カナダ航路
	N-5	168.00	24.00	13.16	160.77	9.318	52.550	0.80	D×1	2,600×135	4翼組立式×1	5,100×3,490	S37.4.21	カナダ航路
	N-6	176.00	25.20	13.20	121.07	9.777	55.278	0.795	D×1	12,600×110	5翼1体式×1	6,100×4,750	S35.10.11	カナダ航路
南米	S-1	212.00	31.50	17.05	534.17	11.822	65.559	0.812	D×1	15,800×119	〃	5,800×4,510	S38.1.19	
	S-2	215.00	31.60	17.10	540.01	11.861	65.279	0.809	D×1	15,000×124	〃	5,800×4,150	S38.12.7	
	S-3	204.00	30.00	13.05	295.98	11.546	58.767	0.810	D×1	15,500×119	5翼1体式×1	6,050×4,565	S37.5.9	
	S-4	204.00	30.00	13.50	226.04	11.529	58.654	0.810	D×1	15,500×118	〃	6,050×4,560	S38.9.9	
	S-5	192.00	27.50	14.99	227.26	11.057	46.665	0.776	D×1	12,000×120	5翼1体式×1	5,800×4,15	S35.7.28	
	S-6	192.00	27.50	14.90	227.50	11.057	46.665	0.776	D×1	12,000×120	〃	〃	S35.1.25	
インド	W-1	162.00	22.80	12.50	137.28	9.188	27.935	0.801	D×1	2,700×135	5翼1体式×1	5,000×3,511	S36.10.24	
マレー	W-2	160.00	22.80	12.40	132.25	9.274	26.805	0.799	D×1	6,400×135	4翼1体式×1	5,050×3,240	S37.1.31	

った。なおカナダ航路の船舶があったが、これらは一括して北米航路の中に含めて取り扱った。

2. 調査項目と調査の方法

運航実績すなわち建造後の船舶の運航性能が日数の経過とともにどのように変わるかを、船底汚損の影響と経年変化とに分けて考えることとし、次の項目について調査した。

- (i) 船底汚損による性能の低下
- (ii) 船底汚損による速度、回転数の低下
- (iii) 経年変化にもとづく性能の低下
- (iv) 経年変化にもとづく速度、回転数の低下
- (v) 航路別の上記各項目の比較

なお、経年変化としては、船体の変形および表面劣化、プロペラ性能の低下、機関性能の低下の影響が主として考えられる。

次に調査の方法を順を追って説明しよう。

2.1 アログ記載データの整理

アログには船舶の運航に関連のある多くのデータが記載されているが、この中から本調査に関連あるデータとして次のものを転写した。

- 航路
- 航海中の吃水およびトリム（出港時および入港時）
- 航海中の排水量（出港時および入港時）
- 航海年月日
- 航海中の各日の以下に示す値
- 速度

推進器回転数

燃料消費量

風（風向および風力）

うねり

建造年月日

出港年月日

これらの値については、たとえば、速度ではサルログにより測定された1日間の平均値と Noon to noon の位置およびその間の実時間から計算したもの(O.G.)の2種が、推進器回転数には1日間の積算回転数を実時間で割った平均値があって、いずれも正確に1hr当りの値となっているが、燃料消費量については Noon to noon の1日間の消費量が記されているため、これを24hr当りの値と考え1hr当りに換算すると往航と復航とで若干の差があるなどのちがいがあがるが、これらの相違については全く考慮しなかった。また風およびうねりの記録はすべて観測値で、観測者の主観の入った値であることはいうまでもない。

以上の値を各航海ごとにまとめて、運航一覧表を作成し、この表から基礎的数値を次のように決めた。

1 航海中の平均排水量：出港時と入港時との平均値をとった。調査対象船がすべて専用船であるため往航すなわちバラスト状態では荒天に際し船首部バルブのふくらみを水面附近に置かないようにバラストを調節することがあり、また積荷港のローダーの高さの関係などから、入港時に特にバラストを多くする場合もあるようであるが、それらについては記録上明らかでないのですので無視した。

建造後の経過年数：航海中の船舶の性能はいずれも、

1 航海を単位として考え、各航海の中央の日をとってその航海を代表させることにし、これにもとづいて経過年数を計算した。

出渠日：各出渠日は建造日からの経過年数として計算し、また出渠後の経過年数はこの日と各航海の中央の日とに基づいて計算した。

## 2.2 運航性能比較のための尺度

運航性能を比較するためのデータとしては、上記3種の数値のほか、

- 速度；V (kt)
- 推進器回転数；RPM
- 燃料消費量；FC (kg/day)

をとったが（出入港日および航海中主機をストップした日は除いた）、これらの値はそれぞれの船について考えてみても、航海ごとに排水量が異なり（往航または復航別ではもちろん異なる）、また同一航海においてもそれぞれの日あるいは時刻ごとに、風、うねりなどの海象条件が異なり、また操舵状況も変わっており、同一環境条件で航海する場合は絶無である。従って、これらの相異はすべて V, RPM, FC に直接影響することが明らかであるが、性能をあらわす尺度としてはアドミ係数の  $HP'$  の代りに FC を用いた次の値をとった。

$$Cadm' = \frac{\Delta^{2/3} V^3}{FC} \quad (\Delta \cdots \text{kg ton})$$

本来なれば  $HP'$  を使ったアドミ係数を採り、機関の経年的性能劣化を含まない値で比較することがベターであるが、通常航海では  $HP'$  を測定していないので、やむを得ず FC により計算した。

この係数を用いると、この中には排水量、速度の項が入っているため、これらの相異はある程度修正されているものと考えてよいが、V, RPM については修正の方法がないので、全く修正を行なわなかった。また、うねり、風についても適当な修正の方法が見当たらないので、特に考慮しなかった。

## 2.3 1 航海に対する運航性能をあらわす値

上の式により計算した毎日の  $Cadm'$  の値および RPM を各航海ごとに V の横軸上に図示した。その1例が図-1 である。この図によると RPM はほぼ一定におさえられているが、 $Cadm'$  の値は著しく相異し、V の増加とともにほぼ整齊曲線で増加している。図中の点にはそれぞれの日の海象条件を記入していないが、 $Cadm'$  の最高値は少なくともその航海中で環境条件、操舵の状況などが最良の状態に近く、また最低値の場合はそれらが最悪の状態に近かったものと常識的には考え

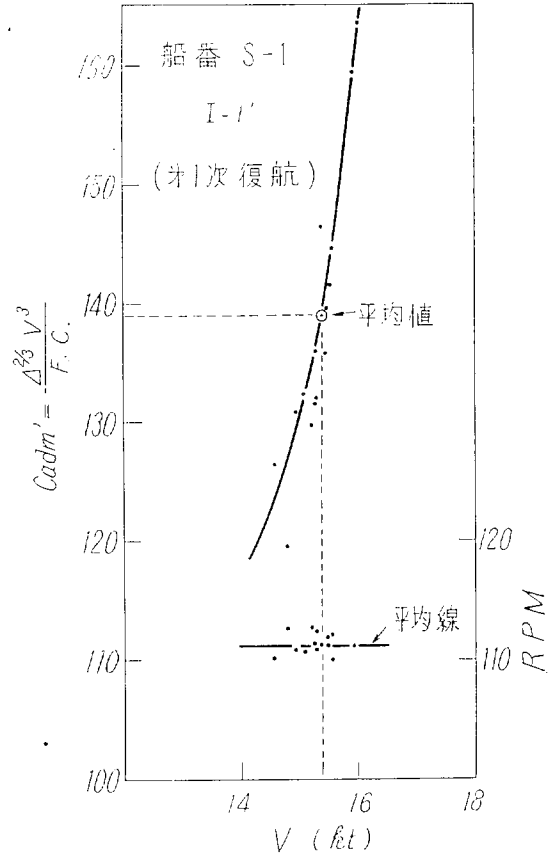


図-1

られるが、全体を通覧してみても、記録上うねりが大きく向い風の強い場合に必ずしも V および  $Cadm'$  が低く、またうねりが少なく強い追い風の場合に必ずしも V および  $Cadm'$  が高くなっていなかった。しかし、どの場合も1本の曲線にのるようであったので、この曲線について  $Cadm'$  の算術的平均値（図-1中の◎印）を求め、この平均値に対する曲線上の V を読み、また RPM の算術的平均値を求めて、これらを1航海中のそれぞれの値の平均値とした。またこの図について1航海中の最大および最小値をとり、これらの  $Cadm'$ 、V、RPM の最大値、平均値および最小値をもってその航海に対する運航性能をあらわすこととした。このようにして求めた各船の運航性能をあらわす値の表の1例を表-2に示す。

## 2.4 各船の運航性能曲線図

表-2 に示したような運航性能をあらわす値の表をすべての船舶について作成し、この表の  $Cadm'$ 、V、

表-2 船番S-1

(建造年月日 S. 38.10.19)

航路	航海番号	航路	航海日程 (中央日)	最近出帆日	排水量 (ton)	建造後の 経過年数	V (Kt)		Cad m'		R P M		
							最高 最低	平均	最高 最低	平均	最高 最低	平均	
往	I-1	1	神戸 → フアスコ	S. 39.4.1~4.26 (S. 39.4.13)	S. 39.3.30	3,400	5月24日 (0.48年)	15.52 13.98	15.11	94.2 66.2	8.125	112.0 108.8	110.4
		2	和歌山 → グアヤカン	S. 39.5.31~6.26 (S. 39.6.12)		3,350	7月23日 (0.65年)	16.2 13.97	15.11	103.25 65.75	8.45	111.0 108.6	110.9
		3	和歌山 → フアスコ	S. 39.7.26~8.22 (S. 39.8. 8)		3,490	9月19日 (0.80年)	14.85 13.25	14.5	81.75 58.7	7.44	110.5 107.4	109.1
		4	和歌山 → グアヤカン	S. 39.9.28~10.19 (S. 39.9. 8)		3,450	11月19日 (0.99年)	15.85 14.38	15.25	91.9 70.75	8.18	110.5 108.5	109.5
		5	和歌山 → フアスコ	S. 39.11.21~12.18 (S. 39.12.4)		3,495	1年 1月15日 (1.13年)	16.28 14.2	14.92	106.0 69.5	8.06	110.8 108.7	109.7
		6	和歌山 → フアスコ	S. 40.1.26~2.23 (S. 40.2. 8)									
	I-2	7	神戸 → フアスコ	S. 40.4.17~5.12 (S. 40.4.29)	S. 40.4.13	3,215	1年 6月10日 (1.53年)	15.59 14.45	14.89	89.5 66.6	7.20	112.3 109.8	111.1
		8	戸畑 → フアスコ	S. 40.6.19~7.17 (S. 40.7. 2)		3,545	1年 8月13日 (1.70年)	16.5 14.4	15.34	110.3 70.8	8.85	111.2 109.5	109.6
		9	戸畑 → フアスコ	S. 40.8.24~9.23 (S. 40.9. 8)			1年10月19日 (1.89年)						
		10	和歌山 → グアヤカン	S. 40.10.30~11.26 (S. 40.11.12)		3,650	2年 0月23日 (2.06年)	14.94 11.95	14.34	89.25 47.25	7.85	107.3 104.0	106.9
復	I-1	1	フアスコ → 和歌山	S. 39.4.29~5.26 (S. 39.5.12)	S. 39.3.30	6,575	6月23日 (0.56年)	16.02 14.79	15.4	163.5 119.6	13.92	112.7 110.2	111.0
		2	グアヤカン → 和歌山	S. 39.6.28~7.24 (S. 39.7.12)		6,400	8月22日 (0.72年)	16.35 14.5	15.1	157.75 107.6	12.10	111.6 110.0	110.9
		3	フアスコ → 和歌山	S. 39.8.29~9.26 (S. 39.9.11)		6,545	10月22日 (0.89年)	15.86 13.8	14.7	138.75 93.3	10.97	111.4 109.7	110.3
		4	グアヤカン → 和歌山	S. 39.10.24~11.9 (S. 39.11.1)		6,350	1年 0月20日 (1.06年)	15.3 12.85	13.8	132.0 81.0	10.08	110.2 98.4	101.0
		5	フアスコ → 和歌山	S. 39.12.25~ S. 40.1.24 (S. 40.1. 9)		6,540	1年 2月19日 (1.22年)	14.05 11.82	13.0	98.0 59.7	7.95	109.5 105.9	108.0
		6	フアスコ → 和歌山	S. 40.2.24~									
	I-2	7	フアスコ → 戸畑	S. 40.5.19~6.18 (S. 40.6. 2)	S. 40.4.13	6,600	1年 7月13日 (1.32年)	15.3 13.98	14.9	128.75 101.25	11.57	111.3 109.9	110.9
		8	フアスコ → 戸畑	S. 40.7.23~8.22 (S. 40.8. 7)		6,560	1年 9月17日 (1.80年)	14.95 13.85	14.8	117.5 90.75	11.15	111.3 99.7	108.9
		9	フアスコ → 戸畑	S. 40.9.26~10.26 (S. 40.10.10)		3,520	1年11月21日 (1.98年)						
		10	グアヤカン → 和歌山	S. 40.11.26~12.15 (S. 40.12.6)		6,330	2年 1月16日 (2.13年)	13.55 12.2	12.9	92.0 63.75	7.55	109.3 93.4	104.6

RPM の 1 航海に対する平均値を○印で、最大値、最小値をそれぞれ↑印および↓印で示し、経過年数の横軸上に、各船ごとに往航、復航別に示したものが次の表に示す図である。

船 番	図面番号
N-1	図-2
N-2	〃-3
N-3	〃-4
N-4	〃-5
N-5	〃-6
N-6	〃-7
S-1	図-8
S-2	〃-9
S-3	〃-10
S-4	〃-11
S-5	〃-12
S-6	〃-13
W-1	図-14
W-2	〃-15

なお、これらの図には建造年月日を記入して、出渠日をマークし、建造日または出渠日から次の出渠日までの間を 1 単位と考え、これを Interval と呼び、それぞれの Interval について、往航の場合は I-1, I-2, ……復航の場合は I-1', I-2' ……の記号をつけて区別した。

## 2.5 運航性能曲線図に対する考察

図 2～図 15 をみると次のことが考えられる。

- (i) これらの船舶はすべて専用船であるので、往航と復航とで載貨状態は相当異なっている。すなわち調査結果(6)によれば、北米および南米航路の場合、満載排水量に対して

	往 航	復 航
北米航路	51～58% (平均54%)	97.9～100% (99.6%)
南米航路	54～57% (平均55%)	100.2～101.1% (100.7%)

となっているので、同一船舶の場合でも往航と復航とでは Cadm', V, RPM の値は相当ちがっている。

る。

なお、この表によれば往航および復航での積荷状態は大体において似ており一定と考えられるので、各船舶ごとに往航または復航別に Cadm', V, RPM の値の比較を行なう場合は問題ないものと考えられる。インド・マレー航路についても同様に考えた。

- (ii) これらの図によれば 1 航海中の Cadm' その他の値は相当広い範囲にひろがっており、Cadm' では±50%, V では ±3kt, RPM で-15～+5回の範囲に及んでいる。これはその航海中の還境条件の変化をそのまま示しているものといえよう。
- (iii) 建造直後の第 1 Interval においては運航性能が著るしく悪かったと考えられるものがある。例えば、図-5, 図-7 のようなもので、特に図-5 の場合は、最初の Interval の間に、十分な性能を出せるよう順次に運航を調整したのではないかと想像される。
- (iv) これらの図について各 Interval ごとに平均値を示す点をとる線を引き、前述のとおり、1 航海中における Cadm' などの値については還境条件その他のために相当の幅で変化しているの、しいて平均値を示す点を通る線を引き、それぞれの変化の幅すなわち最高値と最低値の間を通過していればよいという荒っぽい考え方で平均線を引き、

これらの平均線は大体において各 Interval ごとに右下りの単純な曲線となっているが、中には著るしく波打っているものがある。これは N-4, N-6 (図-5, 図-7), すなわちカナダ航路について、はなはだしく、各図に示した建造年月日からみて、特に季節に関連があるものとも思われぬ。

なお、これに関連して文献(9)があり、これでは数隻の貨物船とタンカを対象にして数種の塗装系について外板塗り換え後の燃料消費量が次の塗り換えまでどのように変るかを示しているが、資料の中から 4,750, 10,900, 10,950 G. T. の貨物船および 50,000 D. W. T. のタンカをとり出し、その各航海に対する平均燃料消費量 (ton/mile, ただし Cadm により、各航海の△および V の相違に対する修正を行なった値) を航海数の基線上に置点した曲線を見ると、燃料消費量を示す点は著しくばらついており、出渠直後にかえって高くなり図-5, 図-7 のような傾向のものもあるが、大体において右下りの傾向が認められる。

- (v) これらの図によれば 2.3 の例外があるが、Cadm', V, RPM の曲線はほとんど平行な形で変

化してあり、 $Cadm'$  の変動の大きい航海はその他の値 ( $V$ ,  $RPM$ ) も変動が大きく、また平均曲線から外れた点はほとんど同方向に外れており、これらの基礎データが相当の信頼性をもつことが認められる。

なお、 $RPM$  については選境条件の変化に応じて変えている場合と、1 航海中にはほぼ一定に保っている場合とがあることが認められた。

## 2.6 船底汚損の影響をあらわす図

次に船底汚損の影響をみるために図-2～図-15から、各 Interval について、建造または出渠直後（各 Interval の始点）とその後との性能の比較を、 $Cadm'$  の場合は比率の形で、 $V$  の場合は差の形で求め、各船ごとに建造または出渠後の経過年数の横軸上に往航と復航とに区別して図示した。これらの図は次のとおりで、 $RPM$  については変化の量が少ないので、各船舶について下限、上限の値を示す線および平均線だけを図示した。これらは各船ごとにまとめたもので、 $Cadm'$  は $\Delta$ 、 $V$  の相違に対し、一応の修正を施した値であるが、 $V$  および  $RPM$  については、 $\Delta$  の相違に対する修正を施していない。

船 番	図 面 番 号
N-1～N-6	図-16
S-1～S-6	〃-17
W-1～W-2	〃-18

これらの図によれば、各 Interval に対する曲線群が比較的まとまっているものと、相当ばらついているものがあるが、出渠後の性能低下すなわち  $Cadm'$  の低下と  $V$  および  $RPM$  の大体の傾向を示しているの、それぞれについて平均線（—・—・—）を引いた。

次に各船舶による差異を求めるために、これら平均線を1枚の図にまとめて図示したものが図-19である。なお、これらの船舶は長さおよび  $CB$  が相当違っているので（表-1参照）、これに対する修正を行わなければならないが、適当な修正の方法がないので、そのまま直接比較図示することにした。

## 2.7 経年変化をあらわす図

図-2～図-15は建造後の経過年数を横軸にして  $Cadm'$ 、 $V$ 、 $RPM$  の変化状況を示しているの、これらの図について出渠直後あるいは出渠後適当日数経過後のそれぞれの値を結ぶ平均線を画きその傾斜を求めれば、それぞれの時点における経年変化の量が求められる。しかし

図-16～図-18に明らかなように、各 Interval における船底汚損の影響は経過年数に対して一様でないの、どの時点で引くかによって経年変化を示す線の傾向は相当異なったものとなり、平行線とにならないことが明らかである。そこで船体表面および推進器翼表面がともに清浄に復し、また機関にも補修・手入れが行なわれ、船の状態としてその時点においてほぼ理想的と考えられる出渠直後の値について経年変化を求めることとした。すなわち、図-2～図-15において引いた  $Cadm'$ 、 $V$ 、 $RPM$  の平均線を出渠時点までで延長して各 Interval の始点との交点を求め（・印で示す）、これらの点を直線（—・—・—）で結び、この線の平均傾斜を求めた。この線はいずれも右下りとなり、この傾斜が経年変化の量を示している。

## 3. 調査の結果とそれに対する考察

本調査の対象とした14隻の船舶に対する出渠後の船底汚損にもとづく  $Cadm'$  の低下率、 $V$ 、 $RPM$  の低下量は図-16～18に、これらの平均線だけを1枚の図表にまとめたものは図-19に示すとおりで、また経年変化の量を図-2～図-15の平均線から求めたものは表-3に示すとおりで、これらの図および表から次のことがわかる。

### 3.1 建造または出渠から次の入渠までの期間 (Interval) における運航成績の変化について

(i) 運航性能をあらわす値として、アドミ係数の  $HP$

$$\text{の代りに } FC \text{ をとったもの、すなわち } \frac{\Delta^{2/3} V^3}{FC}$$

を採用したが、この値は運航性能をあらわす数値としては適当なようである。

(ii) 一般に  $Cadm'$ 、 $V$ 、 $RPM$  は建造または出渠後の月日の経過とともに低下する。しかし入渠して外板の塗装、推進器表面の磨き、機関の補修、手入れを行なえば、これらの値は良くなるが、建造または前回出渠時の値までは回復しない。

(iii) しかし中には例外として出渠時よりも月日の経過とともに高くなるものがあった。これらはカナダ航路の場合で、例えば N-4 のように一度高くなってから低下するもの、また N-6 のように一度低くなってから高くなり曲線が波打っているものがある。これらの理由については今後検討を要するものとする。

### 3.2 船底汚損の影響について

(i) 図-16、図-17、図-18は各船舶の船底汚損の影響を示す図である。ただし、ここでは  $HP$  の代りに  $FC$  を

表-3 2年間の経年変化(鉄鉱石船)

航路	船番	Cadm'の比 (%)		Vの低下 (Rt)		RPMの低下		備考
		往航	復航	往航	復航	往航	復航	
阿波航路	S-1	0.89	0.88	0.7	0.9	2	3	
	S-2	0.88	0.92	0.6	0.6	3.5	3	
	S-3	0.87	0.85	0.7	0.7	3.5	2.5	
	S-4	0.67	0.58	0.8	0.7	2	3	
	S-5	0.95	0.95	0.5	0.6	2.5	2.5	
	S-6	0.85	0.85	0.8	0.65	2.5	2	
	平均	0.88	0.89	0.7	0.7	2.7	2.7	
		0.89		0.7		2.7		
北米航路	N-1	0.96	0.95	0.6	0.4	1	2	※ Cadm'などの曲線は極めて不規則である。
	N-2	0.94	0.945	0.45	0.5	3	3	
	N-3	0.955	0.94	0.55	0.6	1.5	2.5	
	N-4※	0.89	0.92	0.6	0.6	3.5	3.5	
	N-5※	0.92	0.90	0.5	0.4	3	4	
	N-6※	0.96	0.97	0.2	0.35	1	1	
	平均	0.94	0.94	0.45	0.48	2	2.5	
		0.94		0.47		2.3		
インド・マレー航路	W-1	0.93	0.93	0.6	0.5	2.5	2.5	
	W-2	0.91	0.92	0.5	0.4	2.5	2.5	
	平均		0.92		0.5		2.5	

表-4 船底汚損による Cadm', V, RPM の低下

航路	船番	Cadm'の出渠直後の値との比 (%)		Vの低下 (Rt)		RPMの低下	
		0.4年経過後	0.8年経過後	0.4年経過後	0.8年経過後	0.4年経過後	0.8年経過後
阿波	往航	0.88 (0.82)	0.90 (0.78)	0.59 (0.6)	0.69 (0.7)	2.2 (1.4)	1.9 (2)
	復航	0.87 (0.85)	0.90 (0.74)	0.65 (0.6)	0.69 (0.5)	2.2 (1.8)	2.0 (2)
	平均	0.90	0.89		0.7	2.0	2
北米	往航	0.84 (0.84)	0.89 (0.88)	0.70 (0.7)	0.79 (0.7)	2.7 (1.4)	1.1 (1)
	復航	0.87 (0.85)	0.91 (0.91)	0.75 (0.82)	0.82 (0.8)	2.5 (1.7)	1.1 (1)
	平均	0.90	0.81		0.6	1.1	1
インド・マレー	往航	0.92 (0.89)	0.91 (0.74)	0.74 (0.74)	0.74 (0.74)	1.3 (1.7)	1.5 (1)
	復航	0.87 (0.86)	0.92 (0.86)	0.72 (0.86)	0.79 (0.7)	0.2 (0.6)	1.1 (1)
	平均	0.91	0.77		0.5	1.3	1

とっているもので、推進器および、機関の性能低下などのすべての影響をも含んだ値であることに留意してほしい。

これら図では曲線がほとんど一致しているものと相当の幅で変化しているものがある。特にN-4, N-6のように各 Interval に対する曲線がそれぞれバラバラの傾向を持つものがある。N-4を除い

ては大体において平均線が引けるので、今後はこの平均線について傾向をみることにする。

(ii) 船底汚損の影響による Cadm', V の低下は建造または出渠直後はゆるやかであるが、その後は概括的に南米およびインド・マレー航路では幾分大きくなり、北米航路では逆にやや小さくなる。また RPM の低下は南米およびインド・マレー航路で

は相当はっきりしているが、北米航路ではそれほどではない。

(iii) 図-19 により建造および出渠後 0.4 年および 0.8 年目における  $Cadm'$ ,  $V$ ,  $RPM$  の低下(最大値, 最小値および平均値)を求めると,表-4 のとおりになる。この表から次のことがわかる。

- (a)  $Cadm'$  の比率,  $V$ ,  $RPM$  の低下量とも往航と復航とであまり変わらない。
- (b)  $Cadm'$  の比率すなわち低下率は 0.4 年経過後では各航路ともほとんど差がなく約 9% であるが, 0.8 年経過後では南米航路が最も大きく約 30% 低下となり, 北米航路がもっとも小さく約 20% である。これは最近南米航路の船舶でファウリングの影響がはなはだしいといわれていることを裏付けている。
- (c)  $V$  の低下は 0.4 年経過後では南米航路が最も大きく (0.7kt), ついで北米 (0.6kt), インド・マレー航路 (0.5kt) の順となっており, 0.8 年経過後では南米航路が最も大きく, 約 2kt となっており, 北米航路が最も小さく 1.1kt である。
- (d)  $RPM$  の低下については南米航路が常に大きく, 0.8 年経過後で 6 rpm 低下となっているが, 他の航路では南米航路の約  $\frac{1}{2}$  で, ほぼ同程度である

### 3.3 経年変化について

経年変化の量は表-3 をみれば明らかである。すなわち

- (i) 個々の船についてみれば往航と復航とで若干の差はあるが, それぞれの航路の船舶全体の平均をとると, 往航と復航とでは,  $Cadm'$ ,  $V$ ,  $RPM$  の低下量はほとんど同じである。
  - (ii)  $Cadm'$  の比率により低下量をみると, 南米航路が最も大きく, 2 年間で約 11% 低下となり, 次いでインド・マレー航路 (約 8%), 北米航路 (約 6%) の順となっている。
  - (iii)  $V$  の低下も南米航路で最も大きく, 2 年間で 0.7kt で, その他の航路は約 0.5kt となっている。
  - (iv)  $RPM$  の低下は 2 年間で南米航路がやや大きく 2.7rpm となっているが, 航路によって大きな差異がなく, 北米航路で 2.3rpm, インド・マレー航路で 2.5rpm となっている。なお北米航路, 特にカナダ航路の船舶の場合は個々の船で相当違っているようで, これは船底汚損の影響を示す曲線が著しくばらついていることと関連がある。
- 丸山氏<sup>(9)</sup>は 41,273 D.W.T. タンカについて,

建造より 2 年経過後の現状の  $RPM$  と試運転時の値との比較を行なって低下量は 11~6 rpm となったと述べているが, この値は上記の 2.5rpm に表-4 の船底汚損にもとづく低下量をプラスした値に相当するもので, 本調査の値よりは若干大きい。

(v) また前田氏<sup>(10)</sup> は, アドミ係数の  $\Delta$  および  $HP$  の代りに, それぞれ平均吃水( $d$ )および  $FC$  をとり,

$$\frac{d^{2/3} v^3}{FC}$$

を計算して, この値を船令の横軸上に置点して, 船底汚損を含む経年変化の様相を示しているが, 出渠時期が明らかでないため本報告に示したような傾向はあまり明らかに認められていない。

### 4. 北太平洋定期貨物船の運航性能の再解析

40 年度には北太平洋定期貨物船について上記とほぼ同じ方法で解析を行ない, その結果を報告していることは前にも述べたが<sup>(6)</sup>, この解析に使用したアブログ記載のデータは他の目的のために集められたものを流用したため, 冬期の復航に限られており, かつ解析結果の検討もデータの数が少ないために十分とはいえなかった。そこでこれらについて前記の同一の方法により再検討を行なってみた。

40 年度に解析の対象とした船舶は 11 隻であったが, 各 Interval における船底汚損の影響の傾向をみるためには, 各船について 2 つ以上のデータのある Interval が少なくとも 1 つ以上あることが必要であるので, この面から本解析の対象船は 7 隻とした。これらの船舶はいずれも長さ 145m 前後のもので, その要目を表-5 に示した。

これらの船舶のアブログ記載のデータから,  $Cadm'$ ,  $V$ ,  $RPM$  の各航海における最大, 最小および平均値を求め, これらを建造後の経過年数の基線上に置点し, 各 Interval における  $Cadm'$ ,  $V$ ,  $RPM$  の曲線を図-2~図-15 にならって引いたものが図-20~図-26 である。これらの図では各 Interval 内のデータ数が少ないため, 船底汚損の影響を正確に求めることは困難であるが, 各船舶の 1, 2 の Interval について船底汚損を表わす線を, 図-2~図-15 の右下りの整齊線にならって決め, この線を基準にして他の Interval の推定線を引き, 各出渠日における  $Cadm'$ ,  $V$ ,  $RPM$  の値を求め (・印で示す), これらを結んで図のような経年変化を表わす線を引いた。この場合データ数が極めて少なく, かつ点のばらつきが著しいので, 平均線はあくまでも見当を示しただけであるが, これによって 2 年間の経

表-5 調査対象船一覧表  
(北太平洋定期貨物船)

航路	船番	LPP (m)	Bmid (m)	Dmid (m)	G. T.	満載状態			主機関		Cruising		建造年月	備考	
						d (m)	△ (ton)	CB	種類×数	PS	RPM	PS			V (kt)
北米	N-7	145.00	195.0	123.0		8,825	17,041	0.666	D×1	12,000	1135	11,618	20.50	30.4	40年度SHIP No. 1
	N-8	145.00	195.0	123.0		8,825	17,041	0.666	D×1	12,000	1141	10,531	20.15	31.5	No. 2
	N-9	145.00	195.0	123.0		8,825	17,041	0.666	D×1	12,000	1126	10,075	19.87	32.5	No. 3
	N-10	145.08	195.0	123.0		9,025	17,511	0.669	D×1	12,000	1123	10,069	20.04	33.6	No. 4
	N-11	145.00	195.0	123.0		8,825	17,044	0.666	D×1	12,000	1163	10,557	20.26	31.5	No. 7
	N-12	145.10	195.0	123.0		9,023	17,565	0.672	D×1	12,000	1185	10,251	20.24	33.4	No. 9
	N-13	145.10	195.0	123.0		9,023	17,565	0.672	D×1	12,000	1195	10,257	20.00	33.10	No. 10

年変化を求めると、表-6のとおりになる。

表-6 2年間の経年変化(太平洋定期貨物船)

航路	船番	復航		
		Cadm'の比率(%)	Vの低下(kt)	RPMの低下
北米航路	N-7	0.955	0.3	1.5
	N-8	0.945	0.4	1.3
	N-9	0.94	0.6	2
	N-10	0.95	0.5	1.5
	N-11	0.96	0.3	1
	N-12	0.925	0.6	2
	N-13	0.935	0.4	2
平 長		0.945	0.45	1.6

この表は鉄鉱石船の場合の表-3の北米航路、復航に対応するものである。定期貨物船と鉄鉱石船とでは表-1、および表-5で明らかのように、Lpp, CB, 船型などが著しく相異なるので、厳密な比較はできないが、表-3と表-6とを比較すると、Cadm'の低下率とVの低下はほぼ同程度であるが、RPMの低下は、定期貨物船の方が若干少ない。このことは最近建造される船舶で建造後何年か経過した場合推進器回転数の低下が著るしく、推進器の設計点をどこに置かかが問題となっていることを裏付けており、検討の必要がある。

## むすび

昭和35年以降に建造された比較的新らしい長さ160～215mの鉄鉱石船14隻のアブログ記載のデータをもとにして、北米および南米航路を主とし、インド・マレー航路に対する船底汚損と経年変化による性能低下の概要、すなわち Cadm', V, RPM の低下量を求めることができた。アブログ記載データの精度を考え、また船の長さ、船型の相異に対する修正を全く考えなかったことからみると、案外まとまった結果が得られ、一応の概念を捕えることができた。しかしここで得られた数字は馬力をもとにしたものではなく、燃料消費量にもとづいているので、船体、推進器の経年の性能低下以外に機関の性能低下の影響も含んでいることに留意していただきたい。インド・マレー航路については対象船の数が少なく、航海数も少なかったが、1つの参考値が得られたものとする。結果の概要をまとめるとつぎのとおりになる。

### (i) 船底汚損の影響

- Cadm' の低下率は0.4年経過後では各航路とも大差なく約9%であるが、0.8年経過後では南米航路が最も大きく約30%となり、北米航路が最も小さく約20%である。
- Vの低下は0.4年経過後では南米航路が最も大きく、ついで南米、インド・マレー航路の順で(平均約0.6kt)、0.8年経過後では南米航路が最も大きく約2ktとなっており、北米航路が最小で1.1ktである。
- RPMの低下については南米航路が常に大きく、0.8年経過後で6rpm、他の航路では3rpm

となっている。

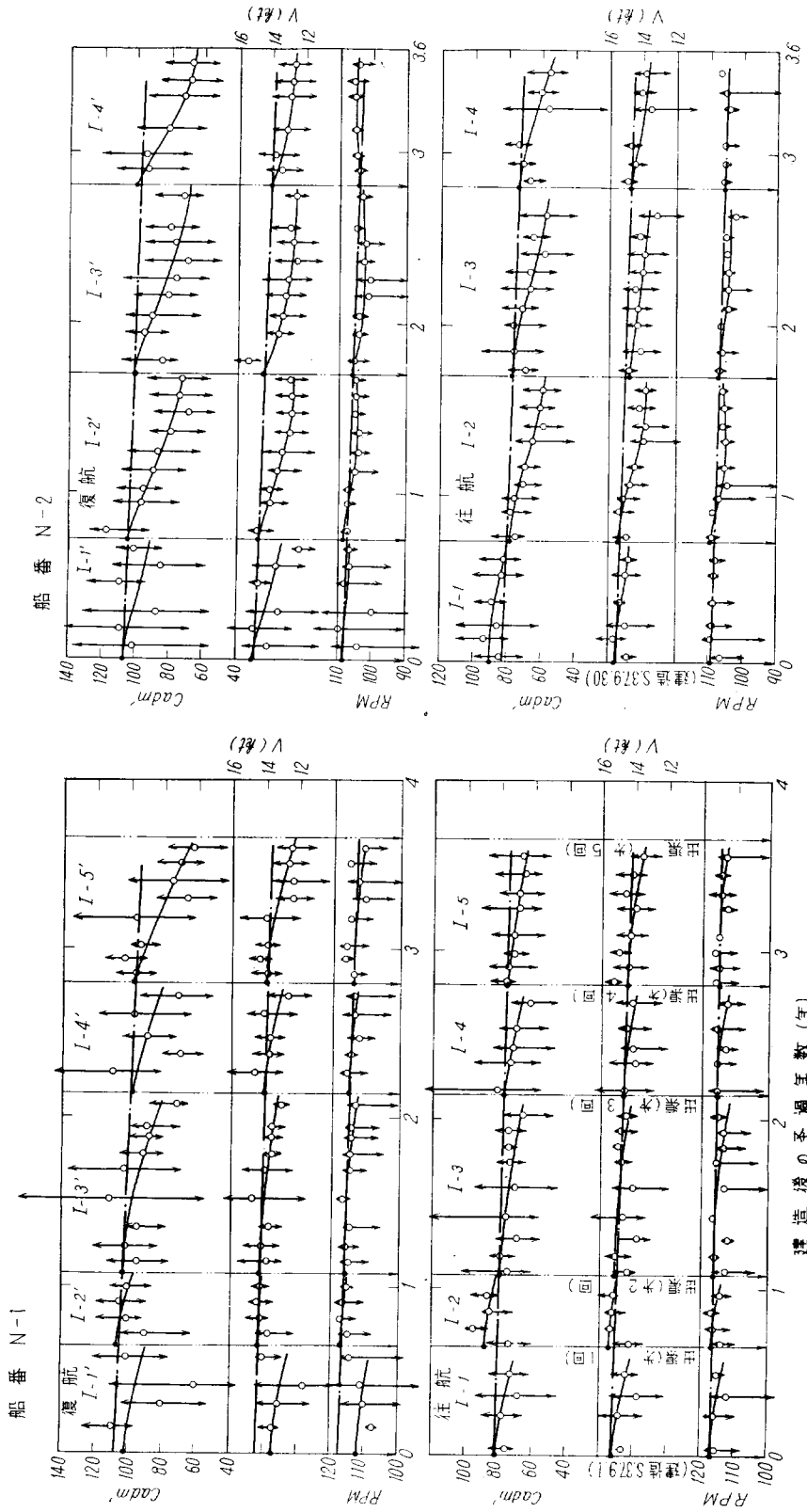
- (ii) 経年変化(直線的に変化すると考えた場合の2年間での平均値)
- (a)  $Cadm'$  の低下は南米航路が最も大きく、約11%で、次いでインド・マレー(約8%)、北米航路(約6%)となっている。
- (b)  $V$  の低下は南米航路が最も大きくて0.7kt、その他の航路は約0.5ktとなっている。
- (c)  $RPM$  の低下は南米航路がやや大きく、インド・マレー航路、北米航路の順となっているが、大した差はなく、平均約2.5rpmである。
- (iii) 北大西洋定期貨物船のデータを再解析した結果によると、船底汚損の影響は明らかでないが、経年変化の概略値は鉄鉱石船の場合に比べて、 $RPM$  の低下が若干少ないだけで、 $Cadm'$ 、 $V$  の低下はほぼ同程度のものである。

以上の結果は極めて大まかな巨視的解析により求めた値であるが、アログデータの1利用法と、船底汚損、経年変化に対する概略値を示したもので、特に最近問題となっている推進器回転数の経年時の低下と推進器ピッチの決定点<sup>(9)</sup>に対する資料となれば幸甚である。しかし、さらに多くのデータを追加して、これらの数値を詳細に検討し、本報告においては修正を無視した多くの要素の影響を洗い出し、精度を上げる必要があるこというまでもない。

最後に本解析に際しご指導ご教示をいただいた造船研究協会第80および91—1研究部会の山内部会長、矢崎、岩田、竹沢の諸幹事に深くお礼申し上げるとともに、貴重なアログ資料の提供を快諾された大阪商船三井船舶、新和海運、ジャパンライン、昭和海運、日本郵船、山下新日本汽船、三菱鉱石輸送の各海運会社に深甚の謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) 出 渕 巽 船底の汚れによる船体抵抗の増加、造船協会会報55号、昭和9年12月
- (2) 山 県 昌 夫 船型学(上巻)抵抗篇、25ページ、天然社、昭和16年8月
- (3) 石 井 信 夫 球状船首付楕型船型「山城丸」と普通型船型「山梨丸」運航実績比較、造船協会会報118号、昭和40年12月
- (4) 造船研究協会 調査資料 No37 昭和40年3月
- (5) " 調査資料 No46 昭和41年3月
- (6) " 研究資料 No57-1 昭和42年3月
- (7) 造船研究協会 高経済性油送船第1次分担設計報告書、昭和38年9月26日
- (8) Mrs. Drs. H. J. LAGEVEEN-VAN KUYK, Cost Relations of the Treatments of Ship Hulls and the Fuel Consumption of Ships, TNO Report No 93C, March 1967
- (9) 丸 山 勇二郎 経済性の向上を目的としたプロペラピッチ決定または改造について 船舶、昭和42年2月号
- (10) 前 田 宗 雄 専用船運航実績(機関部関係)比較の2, 3の例について、日本船用機関学会第1回講演会前刷



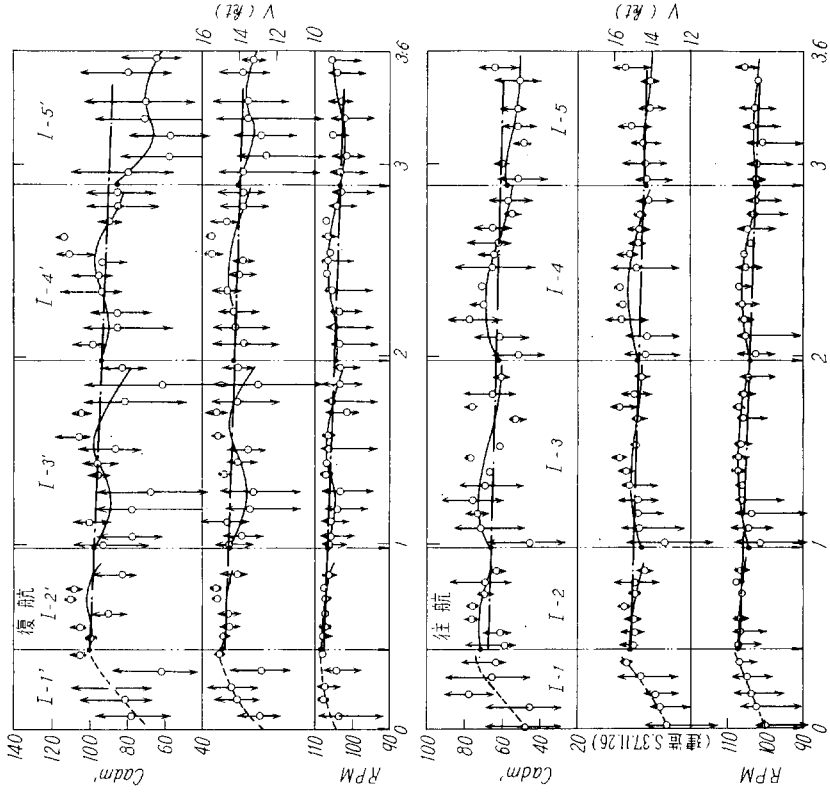
建造後の経過年数(年)

図-2

建造後の経過年数(年)

図-3

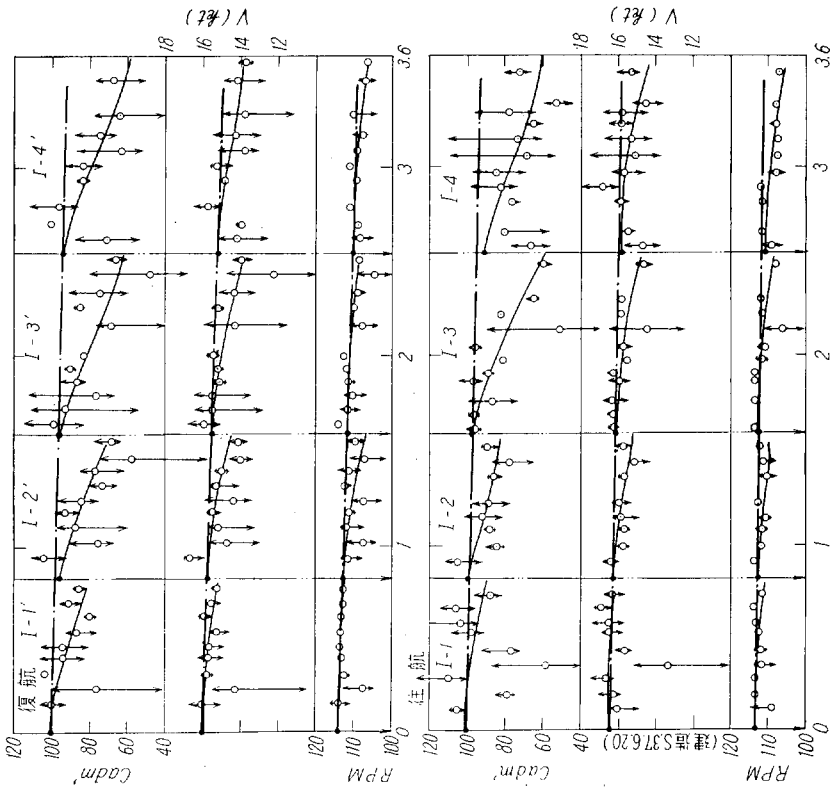
船番 N-4



建造後の経過年数 (年)

図-5

船番 N-3



建造後の経過年数 (年)

図-4

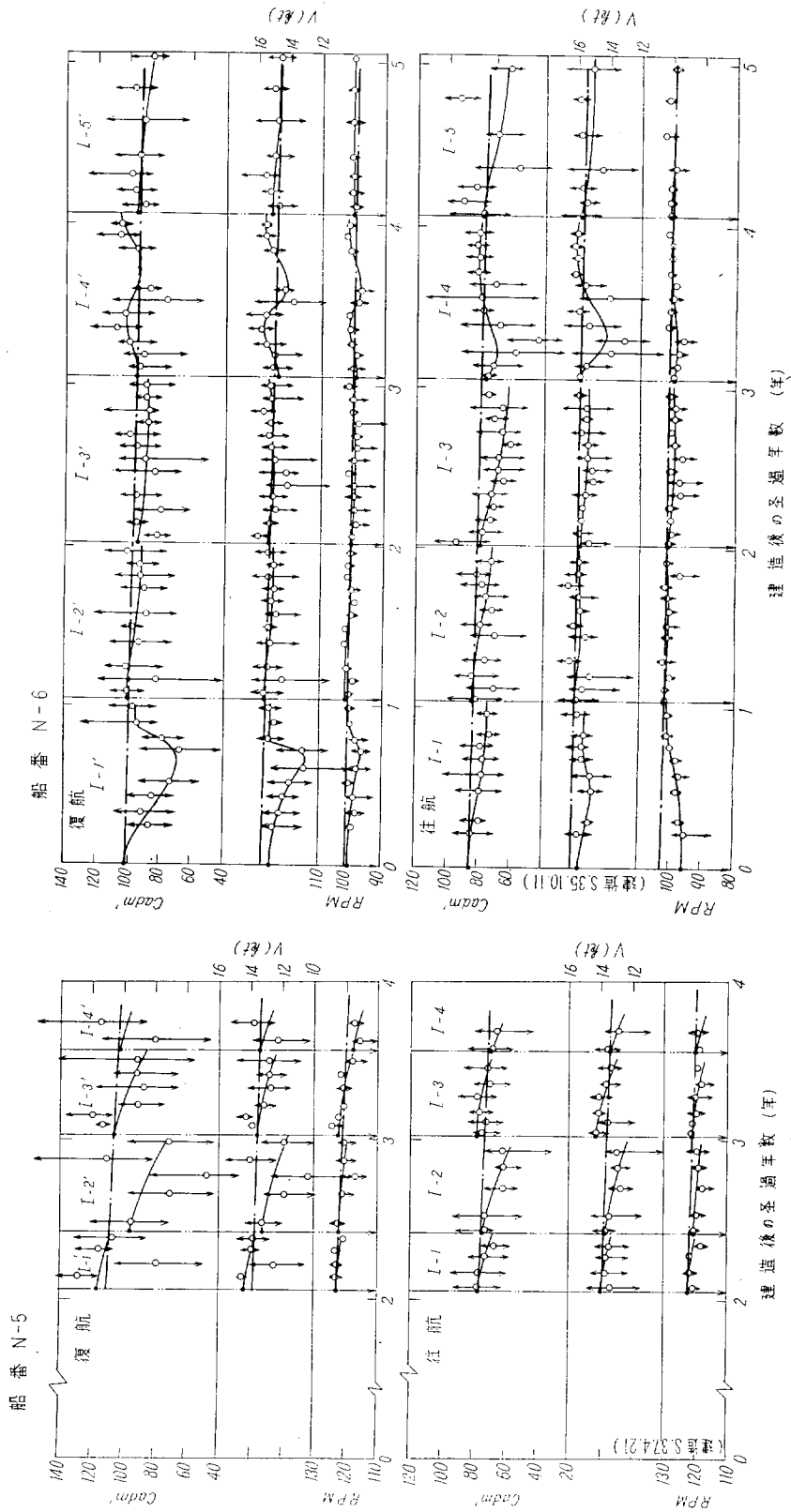


図-6

図-7

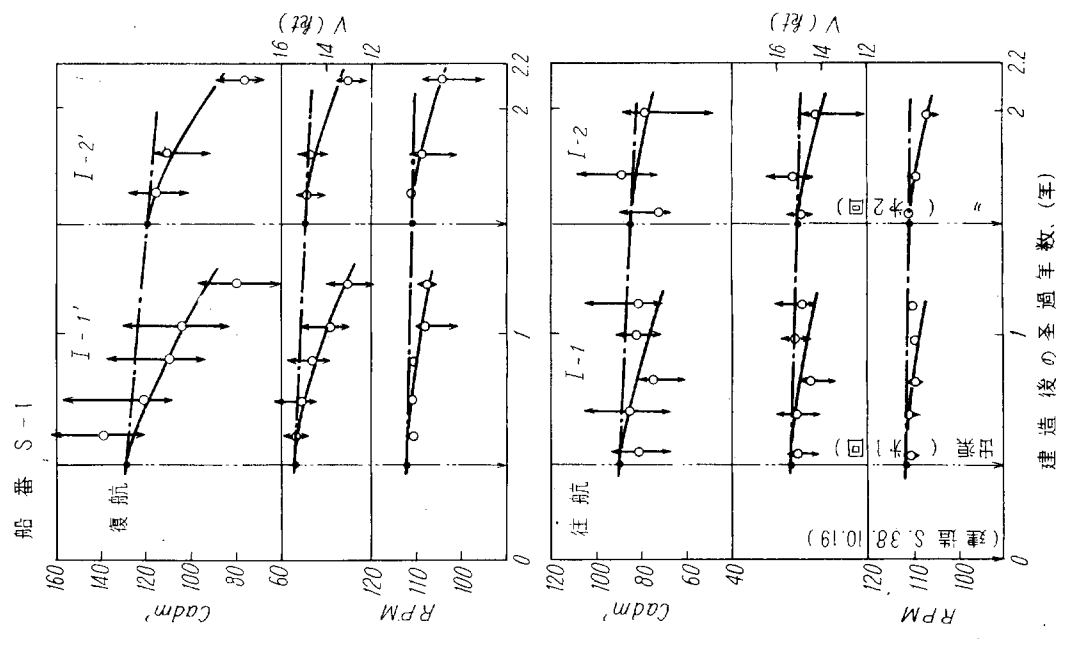


図-8

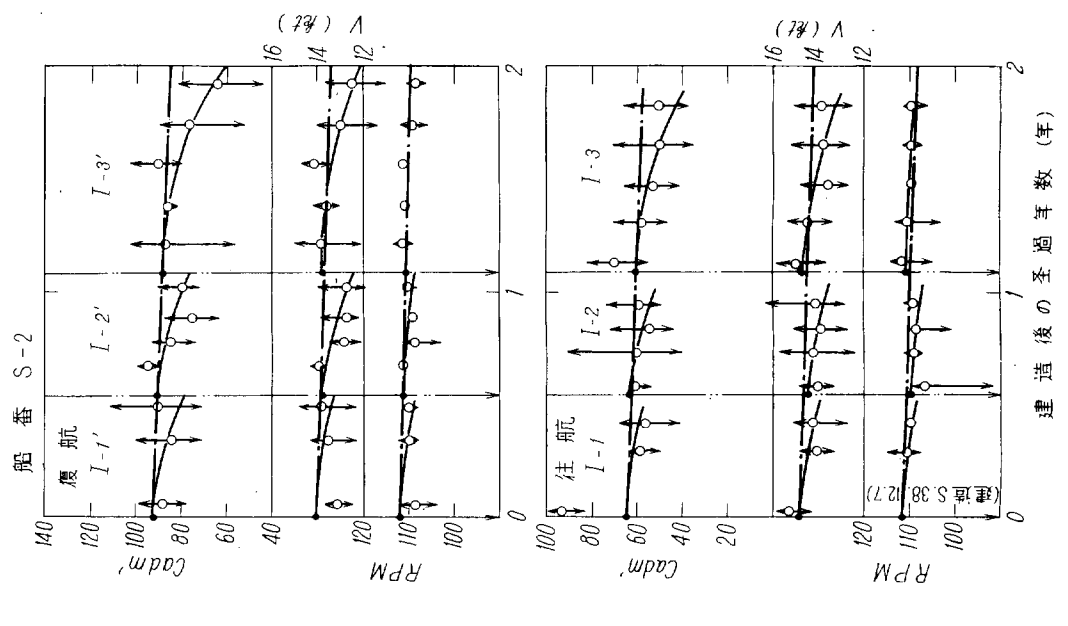


図-9

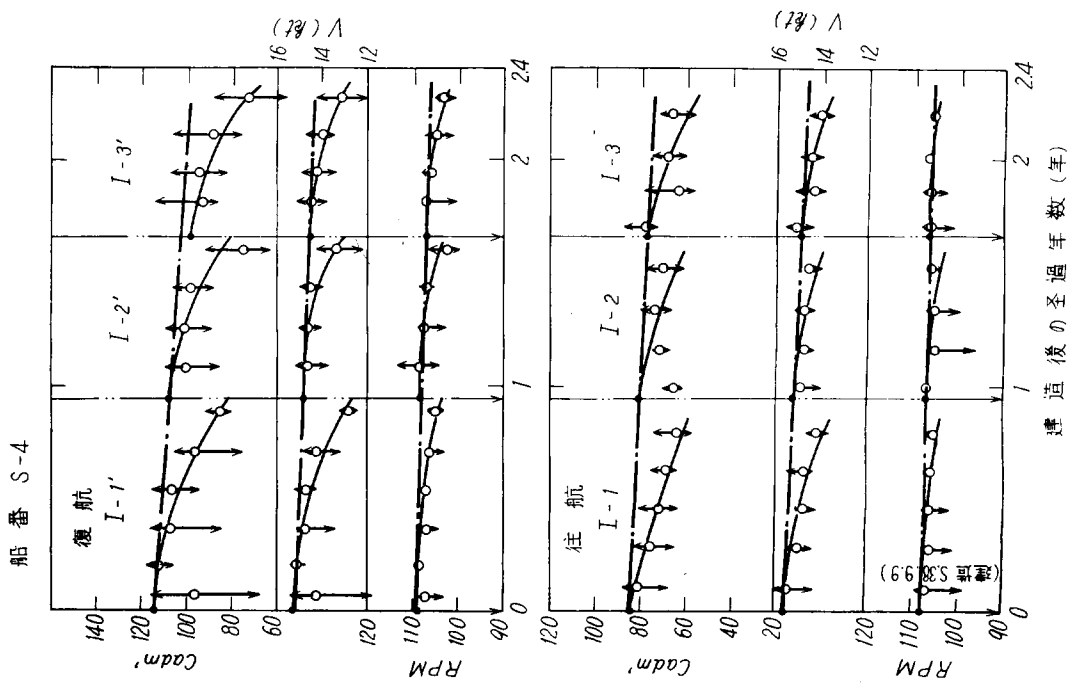


図-10

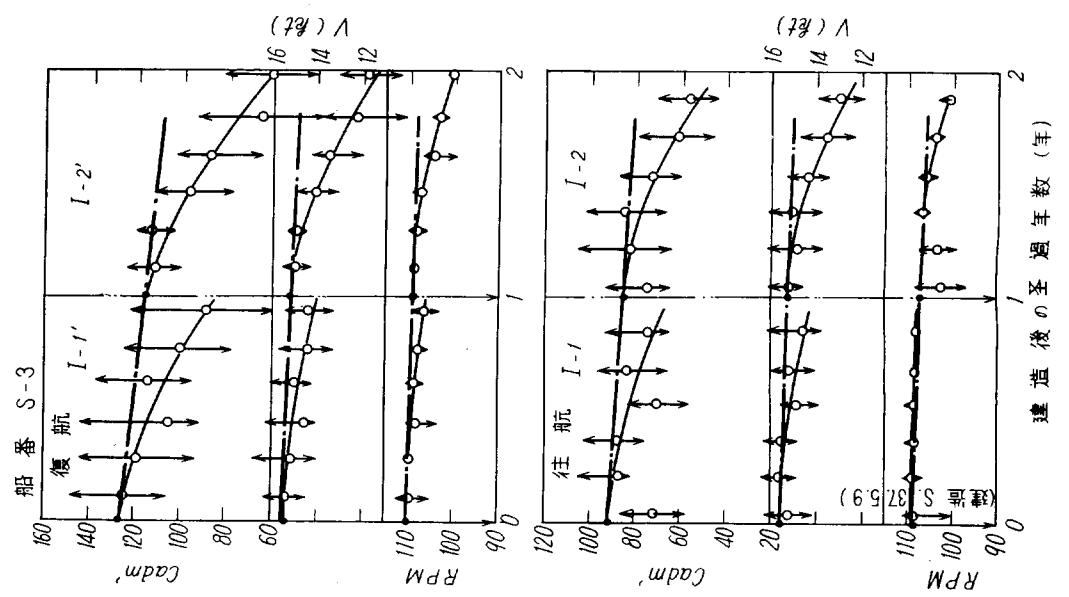
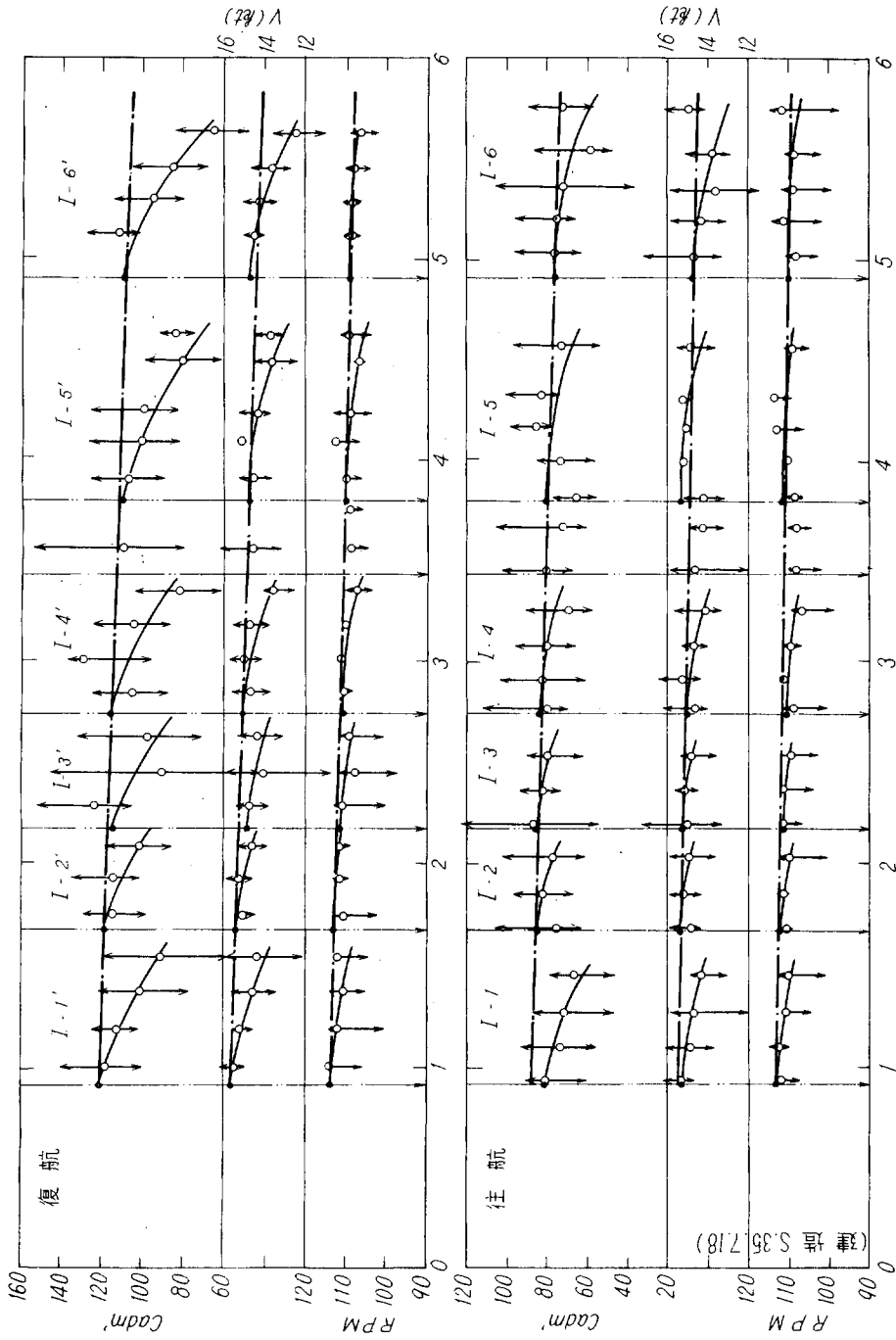


図-11

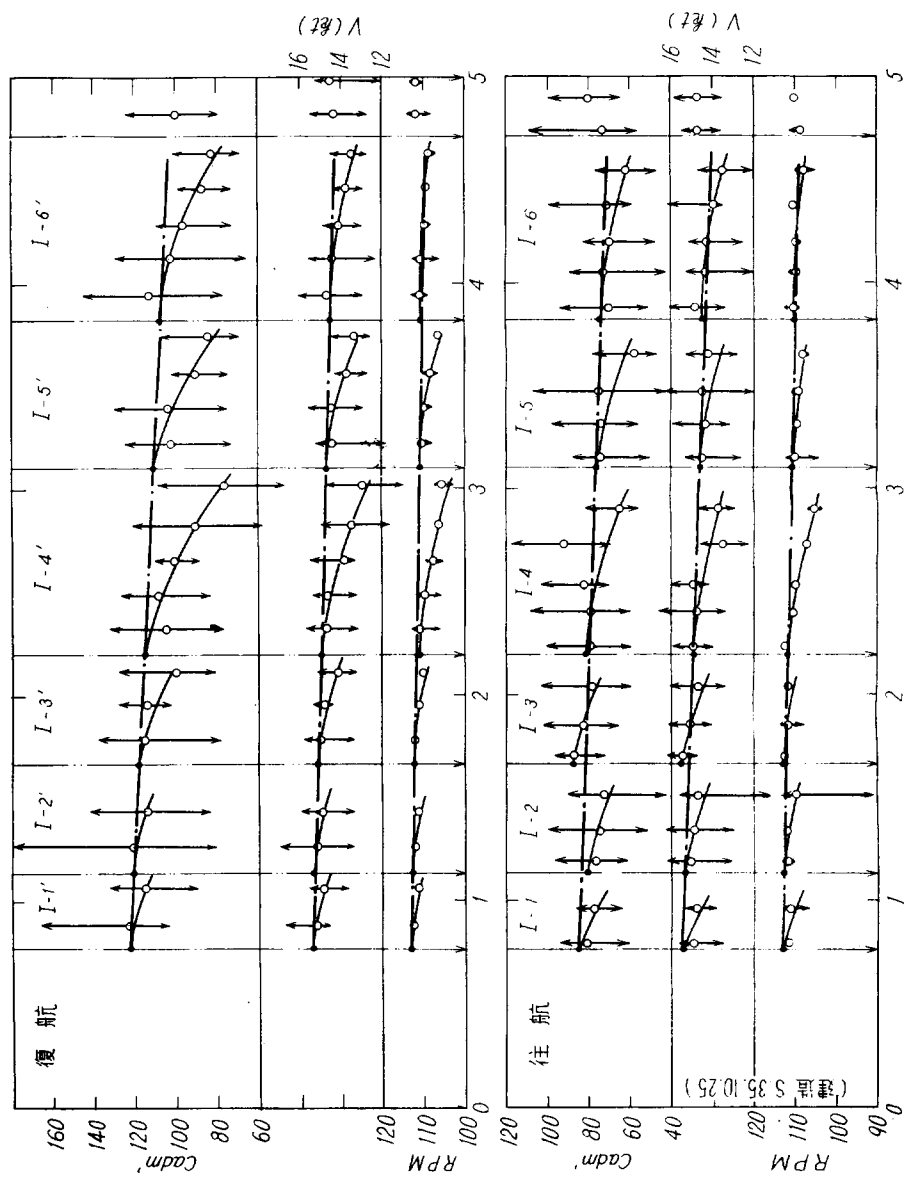
船番 S-5



建造後の経過年数 (年)

図-12

船番 S-6



建造後の経過年数(年)

図-13

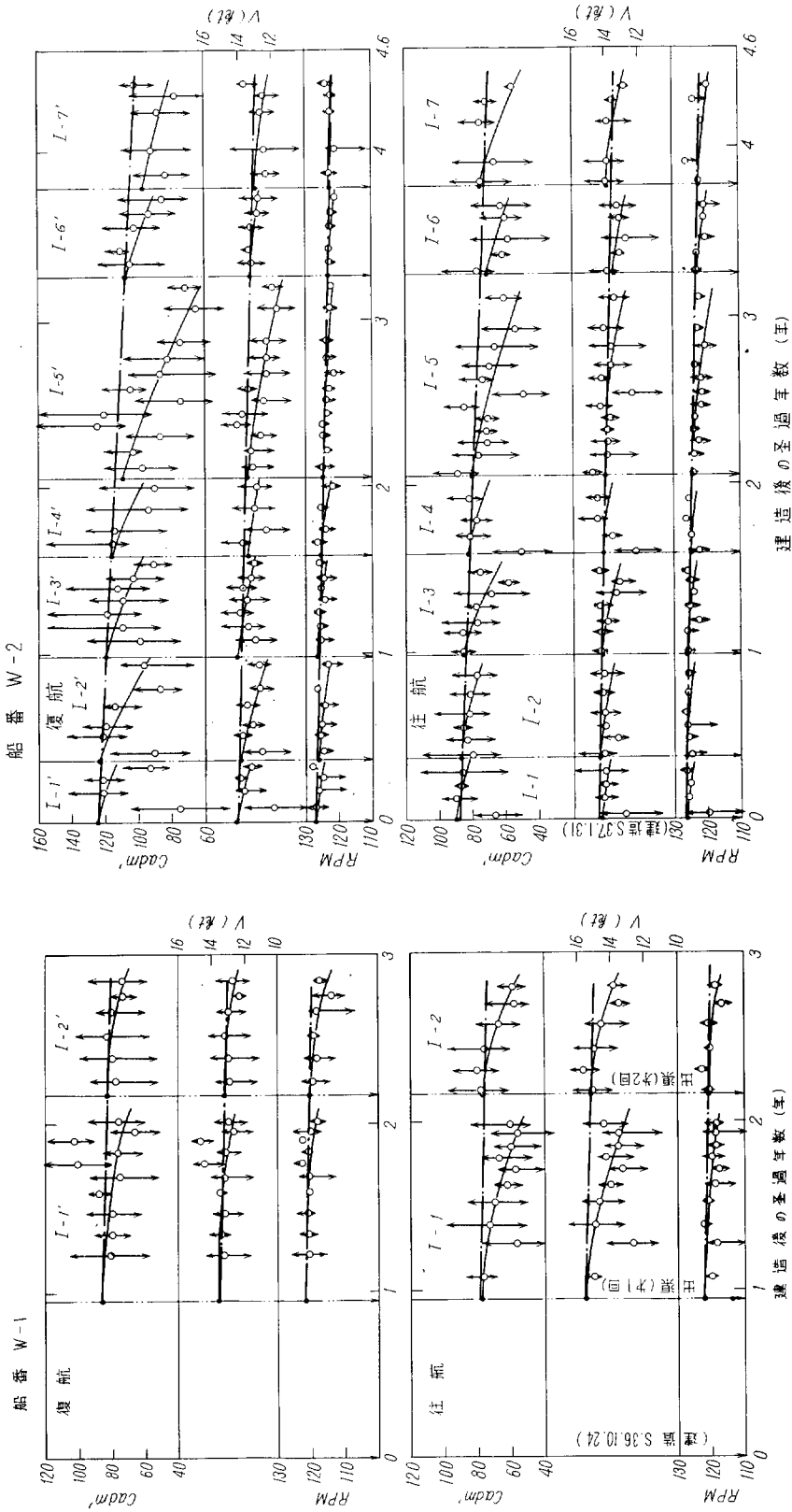
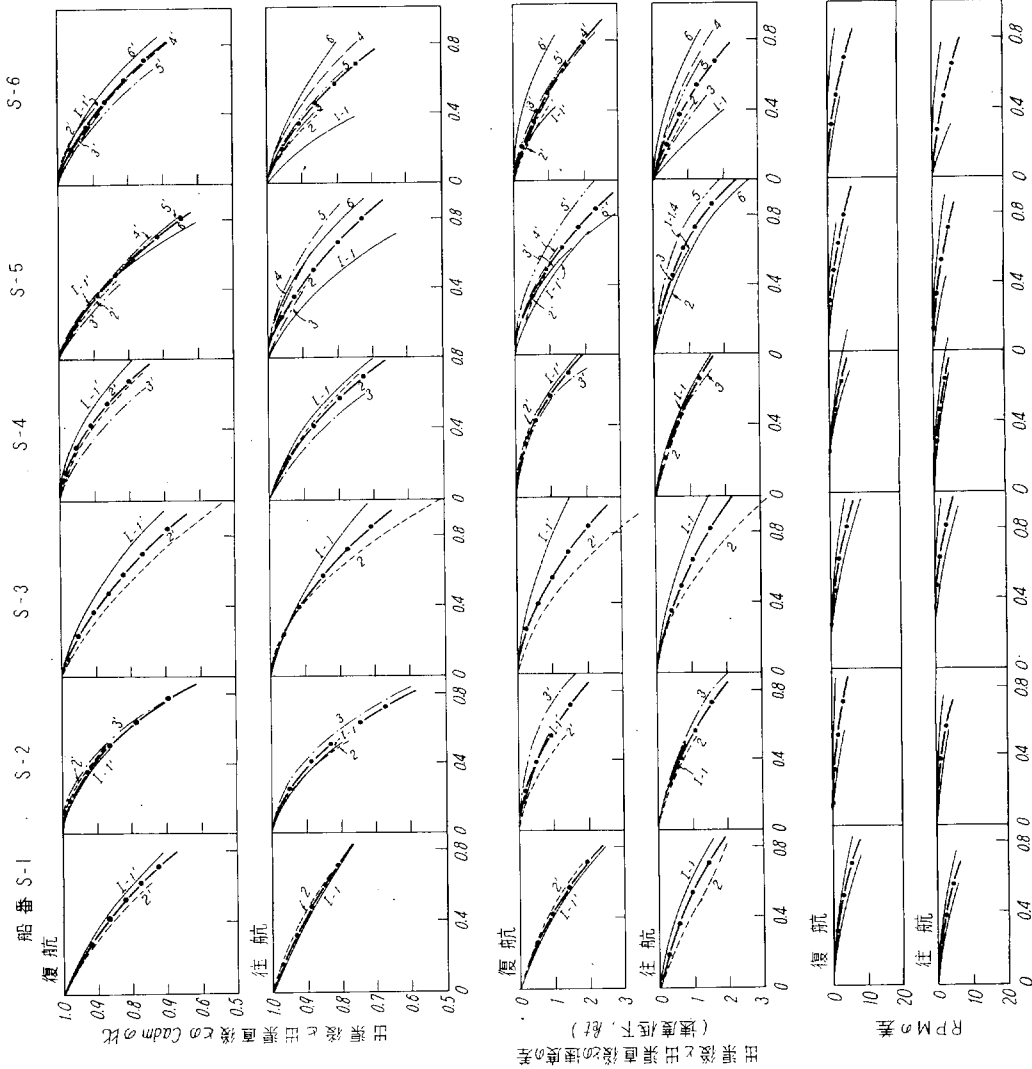


図-14

図-15





出帆後の経過年数(年) ———— 平均線

図-17

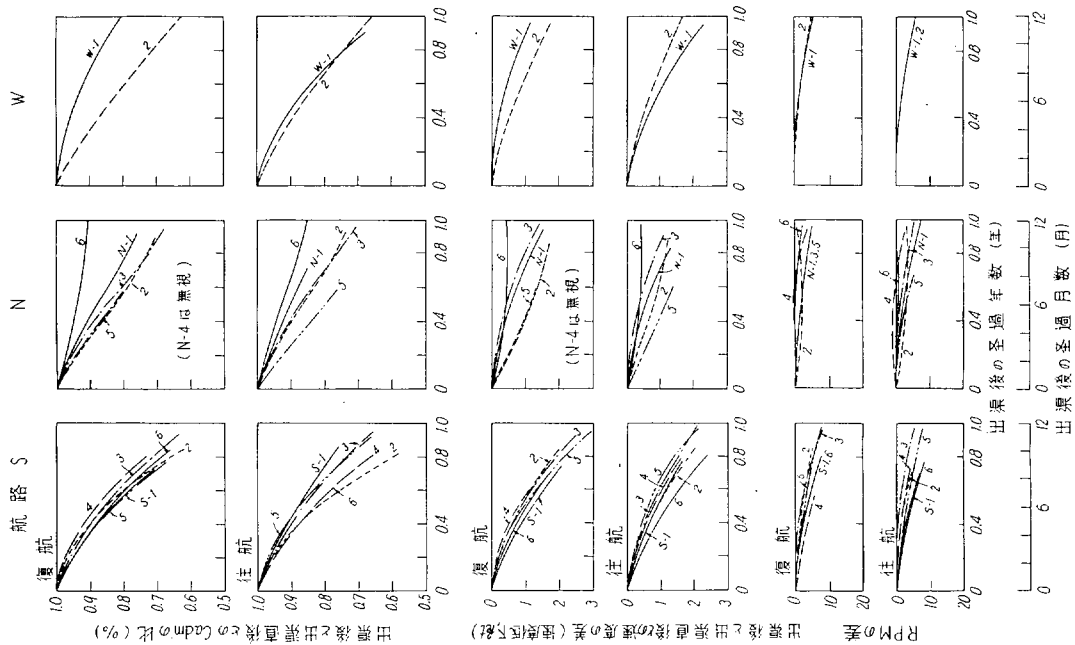


図-18

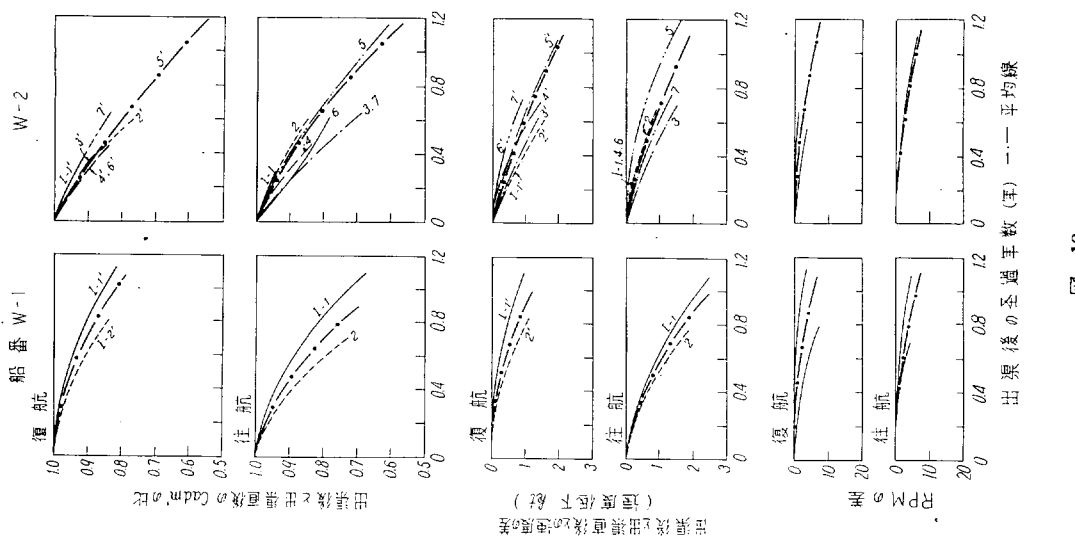


図-19

船番 N-7  
復航

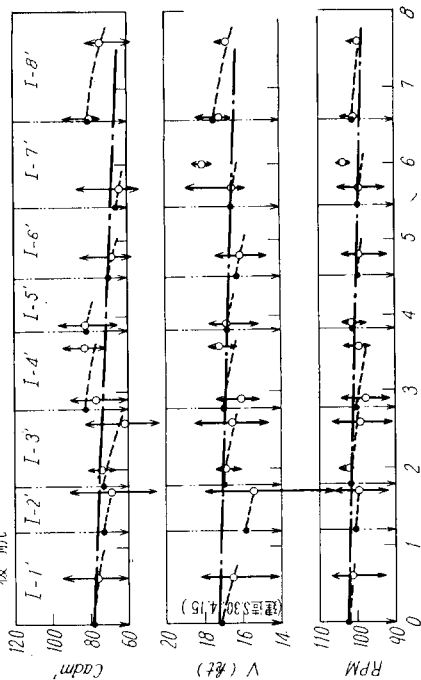


図-20

建造後の経過年数 (年)

船番 N-9  
復航

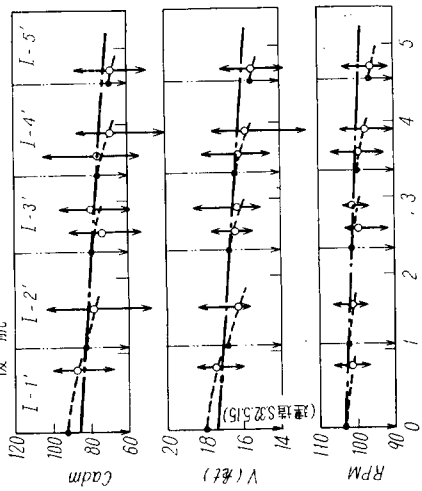


図-22

建造後の経過年数 (年)

船番 N-8  
復航

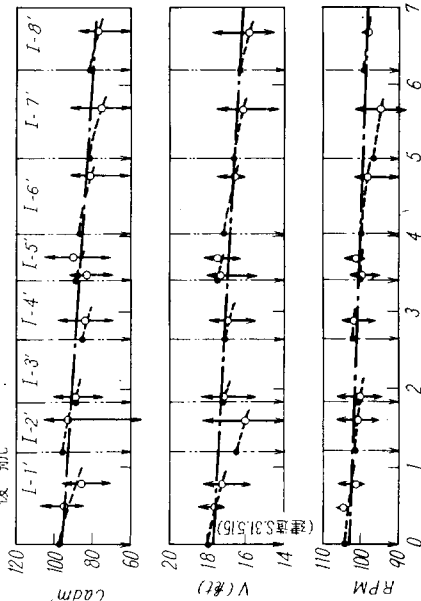


図-21

建造後の経過年数 (年)

船番 N-10  
復航

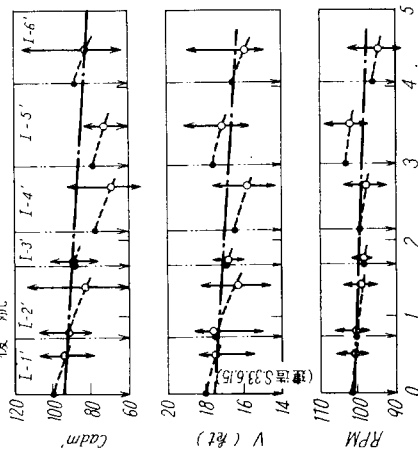


図-23

建造後の経過年数 (年)

船番 N-11

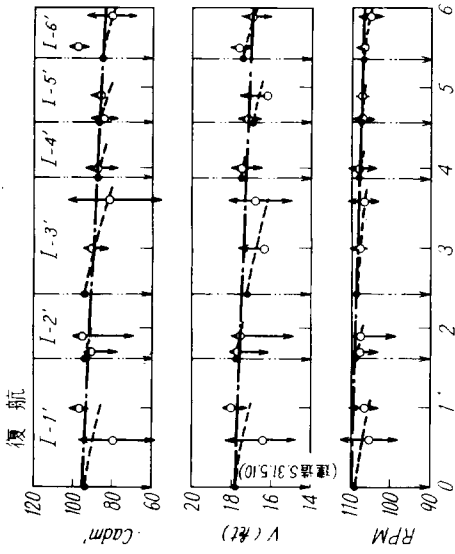


図-24

船番 N-12

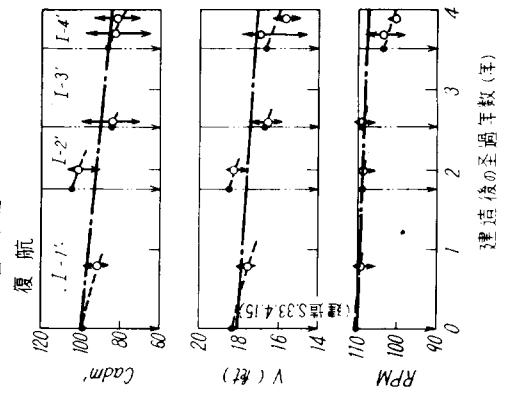


図-25

船番 N-13

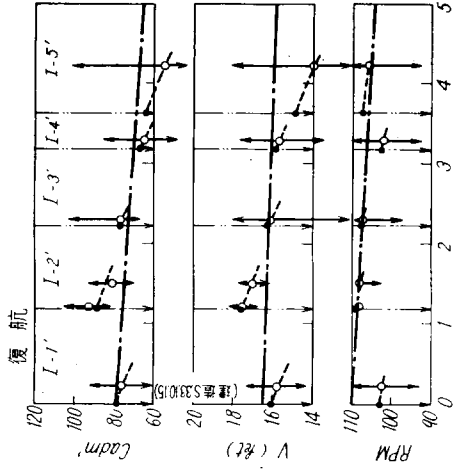


図-26

行事表 (昭和42年11月～12月)

◎ 略語説明

S R……………研究部会

N S R…………原子力船研究部会

昭和42年

- 11月1日 S R 102 第3回委員会
- S R 304 第2回第2分科会委員会
- 2日 S R 96 農薬塗料打合せ会
- 6日 S R 85 自動化打合せ会
- 7日 S R 94 第14回船体分科会
- 9日 「船舶の高度集中制御方式の研究」準備会
- 10日 S R 90 第6回幹事会
- 13日 S R 94 機関分科会, 第4回シミュレーション小委員会
- N S R 5 第2回第1分科会
- S R 303 打合せ会
- 16日 S R 83 第24回 T. R. W. G 打合せ会
- S R 105 第2回委員会
- 18日 S R 100 第7回幹事会 (I)
- 19日 N S R 5 第2回第2分科会
- 20日 S R 100 第7回幹事会 (II)
- 21日 S R 97 第5回幹事会
- S R 99 第9回幹事会
- 「船舶の高度集中制御方式の研究」航行およびコンピュータに関する打合せ会
- 24日 S R 63 第13回報告とりまとめ幹事会
- S R 303 第6回委員会
- 27日 S R 304 第3分科会機装小委員会打合せ会
- 第7回企画調整部会

- 28日 S R 304 第2回第1分科会
- N S R 3 第10回委員会
- 29日 S R 304 第3回第2分科会
- 12月1日 S R 102 第5回 W. G. 委員会
- S R 301 第28回委員会
- 2日 N S R 5 第2分科会打合せ会
- 4日 S R 304 第3分科会船体小委員会(第2回)
- 4日 } S R 93 合同分科会(第4回第1分科会)
- 5日 } (第2回第2分科会)
- (第6回第3分科会)
- 6日 「船舶の高度集中制御方式の研究」第2回準備会
- 8日 S R 304 第3分科会機装小委員会
- N S R 4 第2回幹事会
- 11日 S R 94 第15回船体分科会
- 「高度集中制御方式の研究」計画に関する打合せ会
- 12日 研究委員会 (第20回), 調査部会 (第4回) 合同委員会
- 13日 S R 304 第3分科会機関小委員会
- 14日 S R 85 調査小委員会
- 15日 S R 98 第9回委員会
- N S R 4 第2回委員会
- 16日 S R 103 第4回幹事会
- 20日 S R 303 第7回委員会
- 22日 S R 85 第1回計器小委員会
- 26日 S R 83 第25回 T. R. W. G. 打合せ会
- S R 95 幹事会

昭和43年2月25日 印刷  
昭和43年2月29日 発行

造船研究  
Vol. 9, No. 2

発行所 社団法人日本造船研究協会  
発行人 菅 四 郎  
東京都港区芝琴平町35  
「船舶振興ビル」8階  
電話(502)2371~80  
内線(421~426)

印刷所 株式会社 青 光 社  
電話(441)0006・2020・4444