

日本船舶振興会昭和43年度補助事業  
“船舶の経済性向上に関する調査研究”

研究資料No.94

## 第 97 研 究 部 会

### 超音波による船底防汚に関する研究

#### 報 告 書

昭 和 44 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

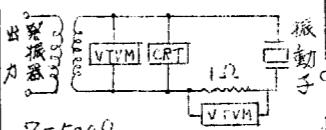
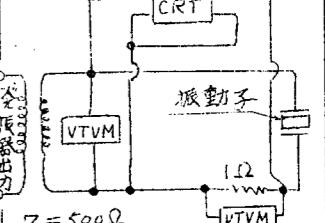
ページ	行	誤	正
11	付表1中	浸漬用水槽による試験 ○ A/F塗膜からの毒物溶出挙動 ○ 海水の流动条件と塗膜の損耗 ○ 100KC附近における振巾の測定	(全文削除)
12	付表2最右欄下段図中	1.2 m 発信機 注) 図中  部は試験塗装部、↓印は加振点	1.8 m 発振綫 パワの増大を右舷(F38-F59)
13	最右欄(2)項左から2番目の欄		

超音波による船底防汚に関する研究（研究資料 No. 94）

### 正 誤 表

ページ	行	誤	正
第1部 2	下13ほか本文 図中全部	KC MC	k Hz MHz
9	上13	50 mb	50 mbar
15	表1.3	"	"
"	表1.3 死亡率	42%, 130, 100, 111, 18.6, 8.6	4, 1, 10, 11, 19, 9
16	上1	50 mb	50 mbar
"	上4	4.2%, 130%	4%, 1%
"	上5	11.1%, 10.0%	11%, 10%
"	表1.4 見出し	50 mb	50 mbar
"	表1.4	12.1, 14.7, 16.1	12, 15, 16
"	下7	50 mb	50 mbar
18	表1.5	ロラン	ロテン
19	下8, 4)	50 mb	50 mbar
20	上1 §2	説標船	設標船
26	下11	図中×方向	図中X方向
28	図2.8 右側	→船尾	→船首
"	上6	機械抵抗 $r_L$	機械抵抗 $R_L$
"	上7 式中	$r_L$	$R_L$
"	"	$Z_{mo}$	$Z_{mo_1}$
"	"	$Z_{moo}$	$Z_{mo_2}$

ページ	行	誤	正
28	上 9	$Z_{mo_0}$	$Z_{mo_2}$
"	"	$Z_{mo_0}$	$Z_{mo_1}$
"	下 3 式中	"	"
"	下 2	"	"
29	上 14	表 4	表 2.4
"	上 17	機械抵抗 $r_L$	機械抵抗 $R_L$
"	上 18 式中	$r_L$	$R_L$
31	図 2.9 左端	ムカデ	L-L型
32	図 2.10 左端	"	"
33	図 2.11 右端	"	"
35	図 2.14 中	○ (1) ⊗ ○ (2) ⊗ ○ (3) ⊗ ○ (4) ⊗	● .....(1)..... ● .....(2)..... ● .....(3)..... ● .....(4).....
42	図 2.21	反射ブロック	反射ブロック
42	下 9	水銀付近	水線付近
46	図 2.23 上 2段	全面密性	全面密生
52	上 4	第 3 次	第 3 年度
53	下 13	ポルード	ポルト

ページ	行	誤	正
53	下 5	ランジバン振動子	ランジバン型振動子
54	図 3.4 動アドミタンス測定回路		
54	下 1	15 エステッド	15 エルステッド
57	図 3.7 中央下	治具の駆動点	L-L型治具の駆動点
58	図 3.8 中央下	ムカデ型	L-L型
59	上 4	とくに分布の測定はた とえできたとしても時 間的に分布が	とくに時間的に分布が
59	図 3.9 左端	28.54 kHz	28.54 kHz
第 2 部 1	下 1	防汚効果があらわれる	防汚効果が期待される
11	付表 1 中	有機系毒物（農薬 を含む）との併用	有機系毒物（農薬 を含む）との併用

## はしがき

本研究は昭和41年度から3カ年計画で開始され、最初の2カ年は運輸省補助事業として、また、3年目の本年度は日本船舶振興会補助事業として第97研究部会において実施された。

本報告書は第1部に昭和43年度研究の内容と成果を、第2部に昭和41～43年度研究の成果を中心としたまとめてある。昭和41年度の研究については造船研究Vo1.9 No.1に、昭和42年度の研究については研究資料No.74にそれぞれ詳しく報告されているので、興味ある方はこれらの報告書を参照されたい。

### 第97研究部会委員名簿（五十音順、敬称略）

部会長	重満通彌（中華民国航業発展中心）	
幹事	奥島基良（東京工業大学）	榮幸雄（三菱重工業）
	鈴木裕（東京水産大学）	森稔（川崎重工業）
	森栄司（東京工業大学）	安田力（東京工業大学）
	山口富夫（三菱重工業）	
委員	芦田耕一（三井造船）	岩沢信夫（日本郵船）
	池上雄次（石川島播磨重工業）	岡種比古（三菱重工業）
	大井浩（日本原子力船開発事業団）	笠原宏（日本作業船協会）
	賀田秀夫（東京商船大学）	金井一十三（昭和海運）
	久津間裕良（運輸省）	小島喜七郎（浦賀重工業）
	桜木幹夫（航海訓練所）	佐藤信夫（日本油脂）
	飾磨淳吉（三菱重工業）	真田良（日本船主協会）
	瀬尾正雄（船舶技術研究所）	妹尾次郎（東京水産大学）
	高木又男（日立造船）	塚本周吉（函館ドック）
	徳永陽一郎（海上保安庁）	長尾実三（名村造船）
	能勢義雄（中国塗料）	能本乙彦（防衛大学校）
	橋本富寿（芝浦工業大学）	浜田外次郎（日本鋼管）
	藤井政雄（三井造船）	馬渡静夫（資料科学研究所）
	南義夫（横浜国立大学）	山中康市（佐世保重工業）

### 委員以外の討議参加者名簿（五十音順、敬称略）

石原綱夫（三菱重工業）	伊藤勝彦（東京工業大学）
奥山孝志（海上保安庁）	大野檀（三菱重工業）
小林健二（東京工業大学）	塩田省次郎（三菱重工業）
西川彰夫（三菱重工業）	林善雄（東京工業大学）
本岡誠一（東京工業大学）	

第 1 部

超音波による船底防汚に関する研究

昭和43年度報告書

## 目 次

まえがき .....	1
§ 1 生物実験 .....	2
1. 研究目的 .....	2
2. 持続波、パルス波超音波の生物付着におよぼす影響 .....	2
3. 毒物と超音波との併用効果 .....	12
4. 実験結果の概要 .....	19
§ 2 250トン及胴設標船による実船適用試験 .....	20
1. 研究目的 .....	20
2. 供試船 .....	20
3. 実験日程 .....	21
4. 防汚実験装置 .....	22
5. 実験方法 .....	25
6. 駆動点インピーダンスの測定 .....	28
7. 振動加速度と放射音圧の測定 .....	30
8. 第1次実験条件とその結果 .....	41
9. 第2次実験条件とその結果 .....	45
10. 防汚装置の作動状況 .....	49
11. 実験結果の概要 .....	51
§ 3 関連する基礎的調査事項 .....	52
1. 斜角対称駆動方式の入射角度の検討 .....	52
2. ボルト締めランジバン形振動子の駆動実験 .....	53
3. 振動分布測定用圧電型カートリッジの感度校正 .....	59

## まえがき

船底における海中生物の付着は船体摩擦抵抗の増大となることは周知の事実であり、近年特に運航の高能率化が要請され2カ年以上入渠なしの運航条件を確立することが急務とされている。

このために長期防食防汚塗料の開発、電気防食法の長期持続性能の向上などの研究が継意行なわれている。

本研究は超音波による振動を船体外板に与えて防汚効果をあげることを目的とし3カ年計画で実施したもので、まず昭和41、42年度に基礎実験ならびに一部実船への適用試験を行ない船底防汚に必要な基礎的諸元を明らかにし、昭和43年度はさらに実船防汚設計法および工事施工技術を確立するため実船試験を中心とした諸研究を行なつたものである。

## § 1. 生 物 実 験

### 1. 研究目的

超音波による船底防汚に関する研究の第3年次、生物実験の部では、船底への付着生物に対する持続波およびパルス波超音波の防汚効果について、つきの研究を実施する。

- (1) 持続波、パルス波超音波の生物付着におよぼす影響
- (2) 毒物と超音波との併用効果

第1の問題は昨年度において若干の試験を実施し、概略の結果を得たが、今年は更に詳細な実験を行ない、超音波防汚に最適の条件を見出すことを目的とした。

第2の問題は超音波防汚を実施する場合、塗料を併用すべきかどうかに関する解答を得ることを一応の目的とし、それらに関する基礎的研究を実施することとした。

### 2. 持続波、パルス波超音波の生物付着におよぼす影響

#### 2.1 実験用付着生物の採集と幼生の飼育

付着生物として今年度もタテジマフジツボとムラサキイガイを選定した。これらはいずれも付着力が強大で、船に対する被害が大きいことと採集し易いためである。タテジマフジツボは夏季、千葉県館山湾、木更津で採集し、ムラサキイガイは冬季、千葉県館山湾、久里浜湾、横須賀港内等で採集した。採集した成貝は、縦、横、高さ  $60 \times 30 \times 36\text{cm}$  のガラス水槽に入れ、タテジマフジツボに対してはスケレトネマ・コスタタム、ムラサキイガイに対してはキートセラス・シンプレツクスを毎日少量づつ投餌して飼育した。これらの植物性プランクトンは、須藤の人工培養液により、人工光による光合成で繁殖させ、原種は冷蔵庫に保管し、時々原種の植え替えを行なつた。

タテジマフジツボの母貝からは人工的に幼生を摘出し、これを試料とし、ムラサキイガイは成貝を解剖し、卵巣精巢のうち成熟度のよいものを選び、湿導法によつて助精し幼生トロコフォアを得、これを試料とした。

#### 2.2 実験装置および方法

##### (1) 超音波発振器

持続波発振には 500W型広帯域超音波発振器を使用した。本器は 10 KC ~ 1 MC の超音波振動を発振し、この間の周波数をもつ振動子を接続されば、その周波数の超音波を発生させることができる。また出力調整器によつて 0 ~ 500W 間の出力を得ることができる。

パルス波発振については（昭和43年3月造研第97部会報告書 P. 2）パルス波発振制御装置を使用した。これは広帯域超音波発振器に接続して、その発振を間けつ的にする装置で、発振のパルス幅を  $1, \sqrt{10}, 10, 10\sqrt{10} - 100\text{ ms}$ 、パルス間隔を 0.2, 0.5, 1 秒のうち任意の組合せを得ることができるよう構成した装置である。

##### (2) その他の補助装置および生物関係装置

###### (a) 超音波の音圧測定装置

今年度は昨年度使用した進行波型ソノデテクタを修理調整して使用した。電圧の読み取りは高感度真空管電圧計による。

###### (b) 生物飼育装置

水槽 ( $60 \times 30 \times 36\text{cm}$ ) 8ヶ…… 温度自動調節、濾過装置付

タテジマフジツボおよびムラサキイガイを入れ、毎日一回づつ空気中にさらす。それぞれ培養した植物性プランクトンを与える。

- (c) 高温低温生物飼育槽（ムラサキイガイの受精卵用）
- (d) 冷却水循環装置（フジツボおよび同幼生飼育用）
- (e) ガラス水槽、大型バス（フジツボの幼生飼育用）
- (f) 顕微鏡（普通型、立体式双眼、撮影装置付）
- (g) その他解剖用具等

### (3) 超音波照射実験装置と方法

試料に超音波をあてるには、周波数が 14, 20, 28 KCにおいては、アクリル製の角型水槽（400 mm × 300 mm × 350 mm）、50 KC～1000 KC の周波数では、内径 240 mm、深さ 110 mm、中央部の深さ 105 mm のガラスバットを利用した。いずれの場合も超音波振動子をその中央部に置き、上方へ向けて超音波を発射させた。

振動子から上方にある水面の反射を極力抑制させるために、振動子上方の水の深さは、使用波長を考慮して波の節に当るように調整した。内のり 30 × 30 mm または 20 × 20 mm のアクリル樹脂製第1の角筒を振動子上に載せ、その上に同一寸法の角筒の下部に厚さ 0.03 mm のポリエチレン膜を貼り付けた第2の角筒を載せ、この中に試料を入れた。

表 1.1 角筒の寸法

周 波 数 (KC)	波 長 (mm)	振動子上の水面の高さ		第1角筒の高さ (mm)
		波長単位	H (mm)	
1.4	105.0	1/4	26.3	20
2.0	73.5	3/4	55.1	50
2.8	52.5	7/4	91.9	87
5.0	29.5	5/4	36.8	32
100	14.7	9/4	33.1	28
200	7.4	17/4	31.2	26
400	3.7	35/4	32.2	27
600	2.5	49/4	30.1	25
1000	1.5	85/4	31.2	26

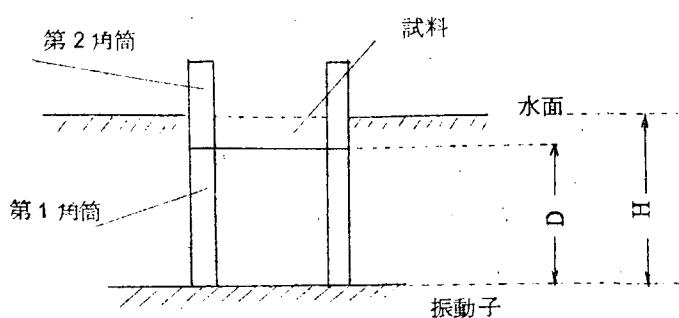


図 1.1 角筒の据付け

試料は第2角筒に入れるが、内りが $20 \times 20\text{mm}$ の場合、 $2\text{mL}$ の通過海水中に30～50個体の試料が入るよう考慮した。この場合、第2角筒内の深さは5mmとなり、前記のように水面の反射は比較的少なくなるものと考えられる。超音波の音圧は、第2角筒内を数ヶ所測定し、平均値が所定値になるよう出力を調整してから実験を行なつた。

### 2.3 実験結果と考察

#### 2.3.1 超音波照射時間の影響

超音波をあてて生物の付着を防止するためには、昨年度の研究によつて、加速度100 $\text{\AA}$ から付着量が減少し、300 $\text{\AA}$ 程度で付着が完全に防止し得る（東京水産大）し、更に詳細な研究によれば200 $\text{\AA}$ 程度から付着防止できる（三菱重工業）ことが判明した。

一応、付着防止の限界を加速度200 $\text{\AA}$ とすれば、図1.2タテジマフジツボのノープリウスに対する超音波照射時間の影響において、14KCの超音波で205 $\text{\AA}$ を20秒～160秒程度あてると45～50%の死亡率が得られる。ただし、超音波によつて単に麻痺したもののみの数%，更に駆逐のものは $\frac{1}{4}$ 死亡したものとして加算するものとする。28KCの超音波で350 $\text{\AA}$ を与えると20～160秒で65～90%の死亡率が得られている。

これらを代表して、便宜上、実験室で、50%のノープリウスが死亡するような超音波を防汚の最低限というように考えることにする。このようにすることは、昨年度の海中浸漬実験が三菱重工業の実験が17KCの持続波であるからである。

照射時間の影響について、図1.3に50KC～200KCの例をあげる。この場合は個体の破壊が多いので概には言えないが、図1.2、図1.3のいずれの場合も照射時間の増加によって死亡率は増加するが、死亡率は照射時間の $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{4}$ 乗程度である。

図1.4はムラサキイガイのトロコフオアおよびタテジマフジツボのノープリウスに対する周波数28KC持続波超音波の照射時間の死亡率に及ぼす影響を示す。図1.5は同じく照射時間の影響を示すが100KCの場合である。照射時間40秒以上は死亡率の増加は少ない。この場合、50%死亡率は約30秒の照射で可能だが、粒子加速度は420 $\text{\AA}$ あることで、単に加速度のみで防汚効果を表わしてもいかどうか議論の余地がある。

図1.6はブラインシュリンプに対する影響を示す。実験の誤差を考えても、死亡率は照射時間の $\frac{1}{2}$ 乗程度で一致していると見てよい。

図1.7は、ノープリウスに対する1MC持続波超音波の影響を示す。この場合も照射時間40秒からは $\frac{1}{4}$ 乗程度の増加しか認められない。

以上を総合して照射時間は長いほど効果は認められるが、40秒を超えるとその効果の増し分は減ずるから、40秒程度がもつとも経済的に有効だといえる。

#### 2.3.2 超音波の周波数の影響

昨年度までの基礎研究によつて、周波数は200KCまでは大きいほど効果があることが判明している。今年度は、更に1MCの実験を追加し、図1.8を得た。

この結果をみて、明らかに周波数は大きいほどその効果が大である。50%の線が仮に防汚の限界であるとすれば、音圧0.3(0.27～0.35)bar, 20秒照射の場合を考えれば、周波数は

※ 第97研究部会：超音波による船底防汚に関する研究報告書、昭43.3, P.65

※※ 同 上 P.87

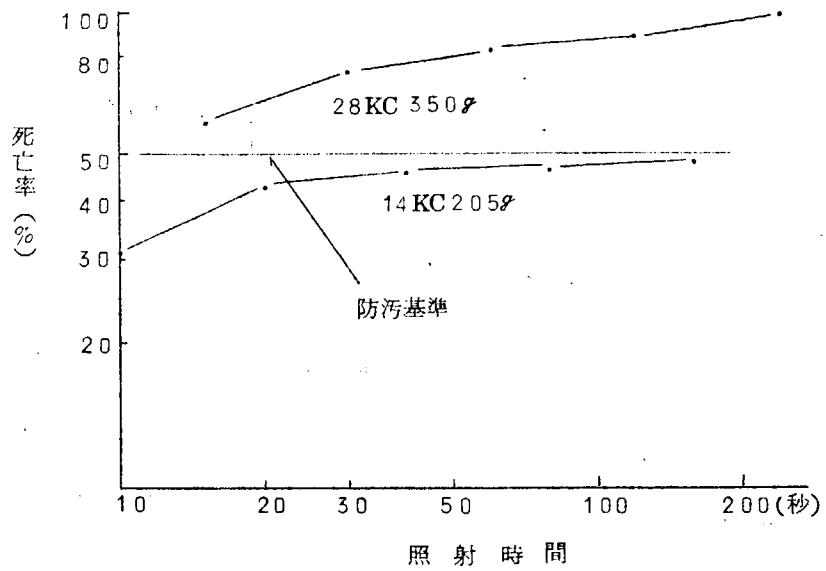


図1.2 タテジマフジツボのノープリウスに対する  
超音波照射時間の影響(1)

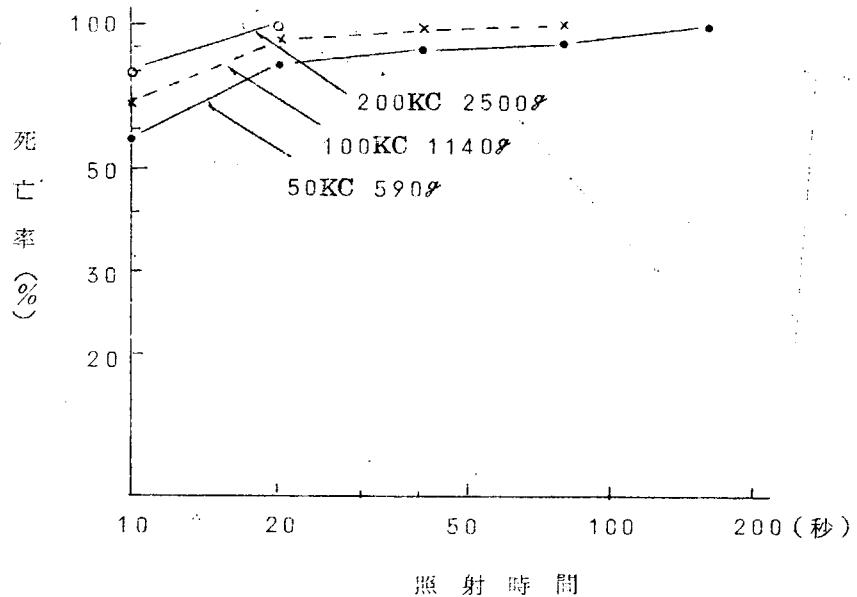


図1.3 タテジマフジツボのノープリウスに対する  
超音波照射時間の影響(2)

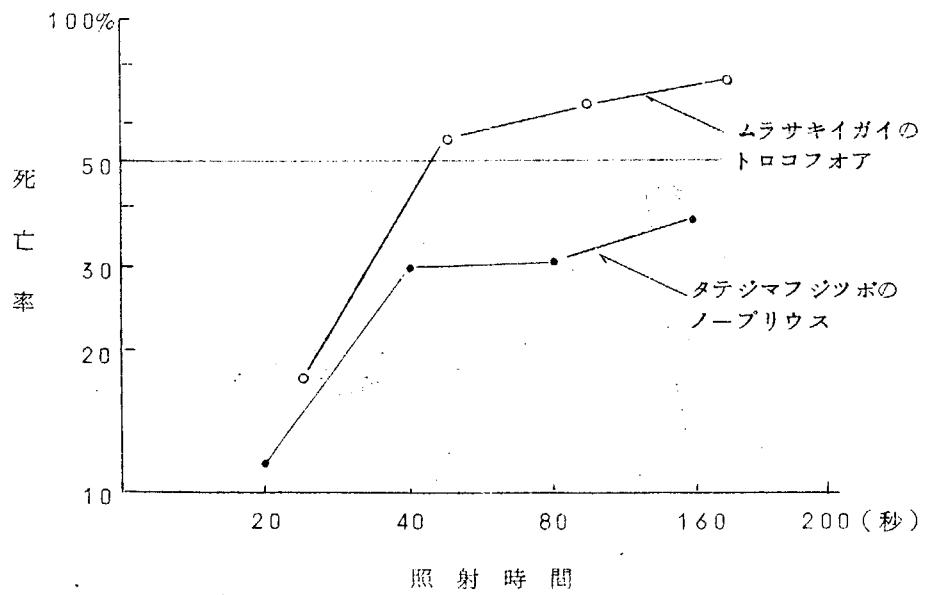


図 1.4 持続波超音波の照射時間の影響

2.8 KC, 0.1 bar (115g)

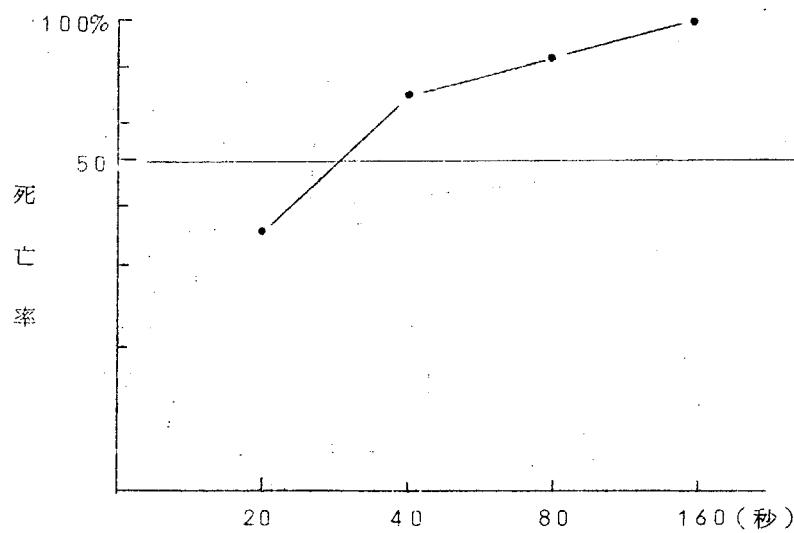


図 1.5 タテジマフジツボのノーブリウスに

対する超音波照射時間の影響

100KC 0.1 bar (420g)

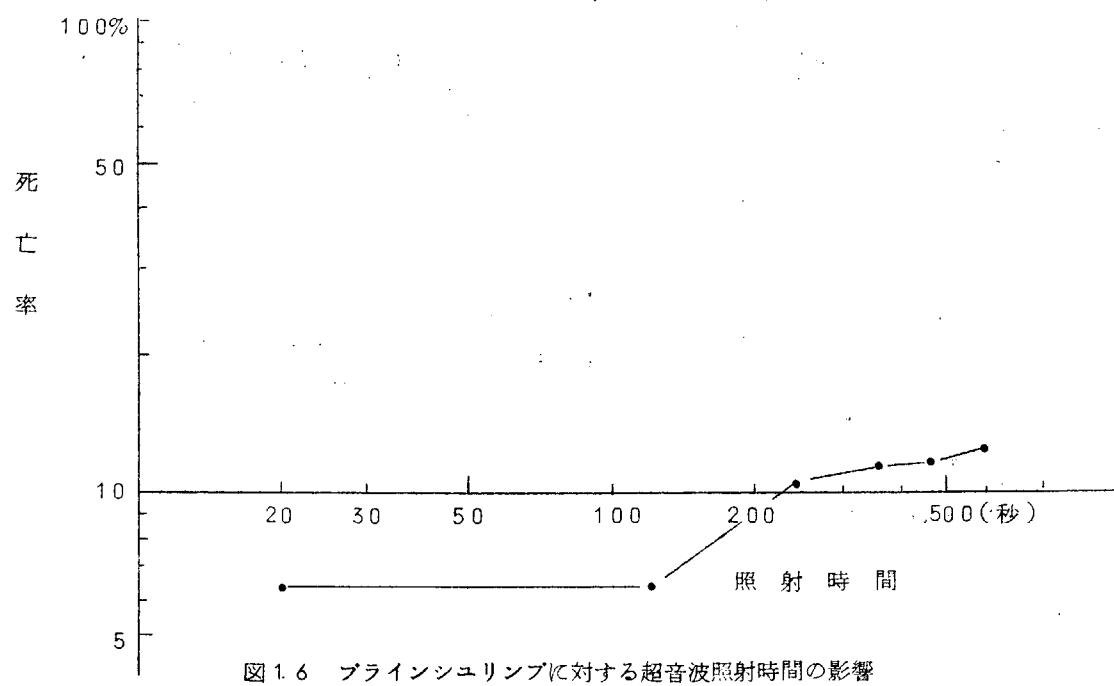


図 1.6 ブラインシュリンプに対する超音波照射時間の影響

CW, 28KC 0.1bar (115%)

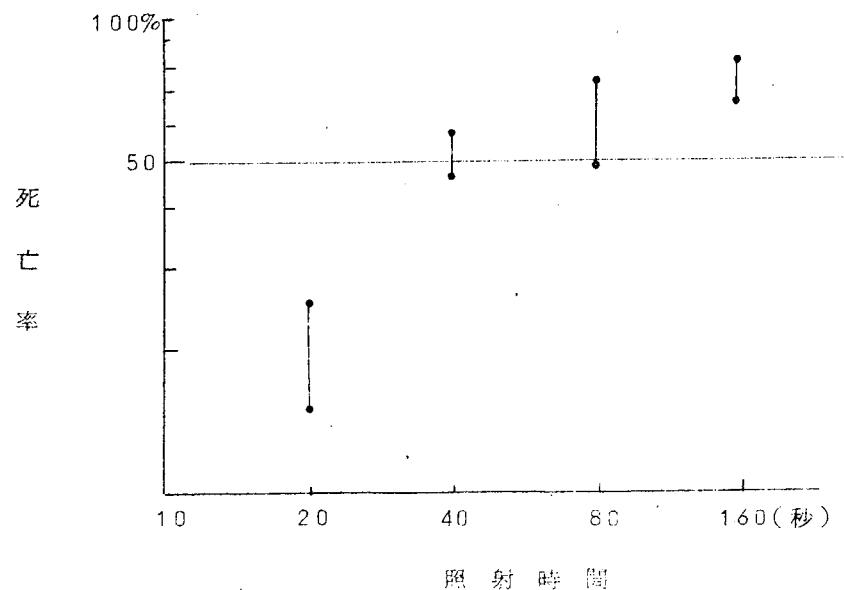


図 1.7 ノープリウスに対する 1MC 超音波の

照射時間の影響

CW, 1MC, 0.1bar (420.0%)

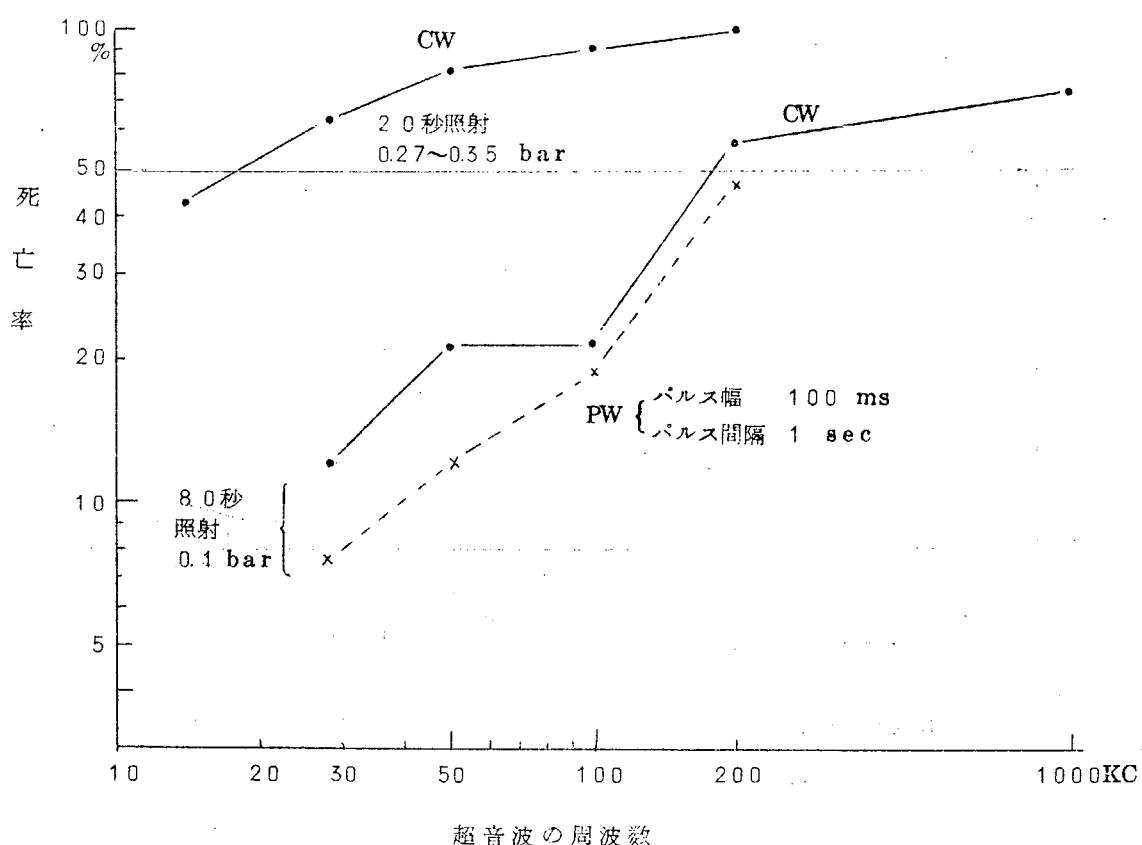


図1.8 ノーブリウスに対する超音波周波数の影響

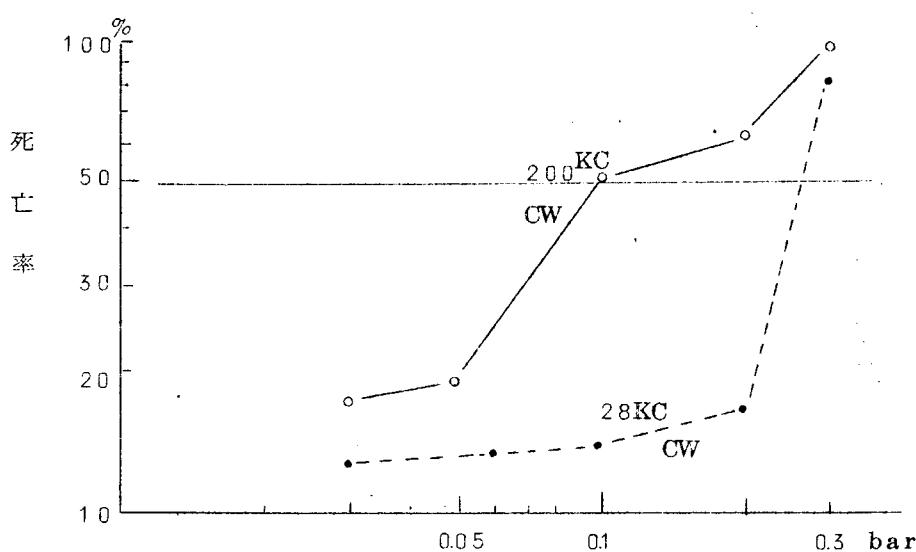


図1.9 ノーブリウスに対する超音波音圧の影響(8.0秒照射)

18 KC でよいことがわかる。音圧が 0.1 bar と小さい場合、80 秒照射では 200 KC 以上の周波数が必要であろう。もしも、パルス幅 100 ms、パルス間隔 1 sec のパルスとしても周波数は 200 KC 以上を必要とする。実際にこのような超音波を船体に付与することは技術上の難点があり、低い周波数を使用しなければならないとすれば、いきおい強力な超音波が必要となってくる。低い周波数で実施する場合、その持続時間（照射時間）は、前に述べたように、40 秒以上に延ばすことは得策ではあるまい。これらはいくつかの振動子を一台の発振器で駆動する場合、一つの振動子に与うべき駆動時間を決定する資料ともなる。

### 2.3.3 超音波の音圧の影響（強度）

音圧の影響については、昨年度、詳細な実験を行ない、結果を得ている。図 1.9 は、昨年度の結果に 1 点を追加したもので、200 KC, CW, 28 KC, CW を 80 秒照射した際のノーブリウスの 50% 死亡率は 200 KC で 0.1 bar (83.0%), 28 KC で概略 0.25 bar 程度となるが、これでは 290 g の粒子加速度となり、やや大きめかも知れない。実験値の中央部を結べばより、適正な値が得られると思う。昨年度の結果によつても 0.05 bar = 50 m b 近くから死亡率が急増していることからも、あまり大きくない音圧で防汚は可能であろう。

### 2.3.4 超音波パルス幅の影響

昨年度の実験結果によるとタテジマフジツボのノーブリウスの死亡率は、パルス幅が 1 秒 (28 KC と 200 KC, 音圧 0.1 bar パルス間隔 1 秒、照射時間 80 秒において) から 100 ms,  $10\sqrt{10}$ ,  $10$ ,  $\sqrt{10}$ , 1 ms と短くなり、 $1/1000$  の長さになつても 4~5 分の 1 にしかならなかつた。換言すればこの場合ノーブリウスの死亡率はパルス幅の約  $\sqrt{5}$  乗に比例して増加するだけである。この傾向はパルス幅が広くなつて遂に持続波になるまで成立することが確かめられている。

今年度は、更にムラサキイガイのトロコフオアに対する結果を図 1.10 に示す。この結果は昨年度のタテジマフジツボのノーブリウスに対する影響と全く同一傾向にあることがわかる。

すなわち、パルス幅の増加に伴つてトロコフオアの死亡率は増加するがその傾向はわずかであり、概略  $\sqrt{5}$  乗程度である。

図 1.12 は 1 MC 超音波パルスのパルス幅の影響をタテジマフジツボのノーブリウスについて調べた結果を示す。この場合 100 ms から 1 ms までパルス幅が短縮されても、死亡率は 1.2% から 3.3% にしか下らない。換言すれば、パルスを使用する場合、パルス幅は短かくても効果の減少は少ないといふことがどんな周波数 (28 KC ~ 1000 KC) においても言い得ることになる。

### 2.3.5 超音波パルス間隔の影響

図 1.11 は昨年度（破線）の研究結果と今年度の結果とを同時に記入したもので、パルス間隔の影響はタテジマフジツボのノーブリウスに対する周波数 200 KC, パルス間隔 2 秒の点を除けば、すべてパルス間隔の増加に伴ない、わずかに死亡率の減少が見られる程度である。これは、パルス幅の影響と異なり、一定照射時間内に当たられるパルスの数の影響と見ることもできる。しかし、この影響は余り大きくなつものと見て良いであろう。

図 1.13 はタテジマフジツボのノーブリウスに対する 1 MC 超音波パルスのパルス間隔の影響を示す。ここでも間隔が延びるとわずかに死亡率の低減が見られる。

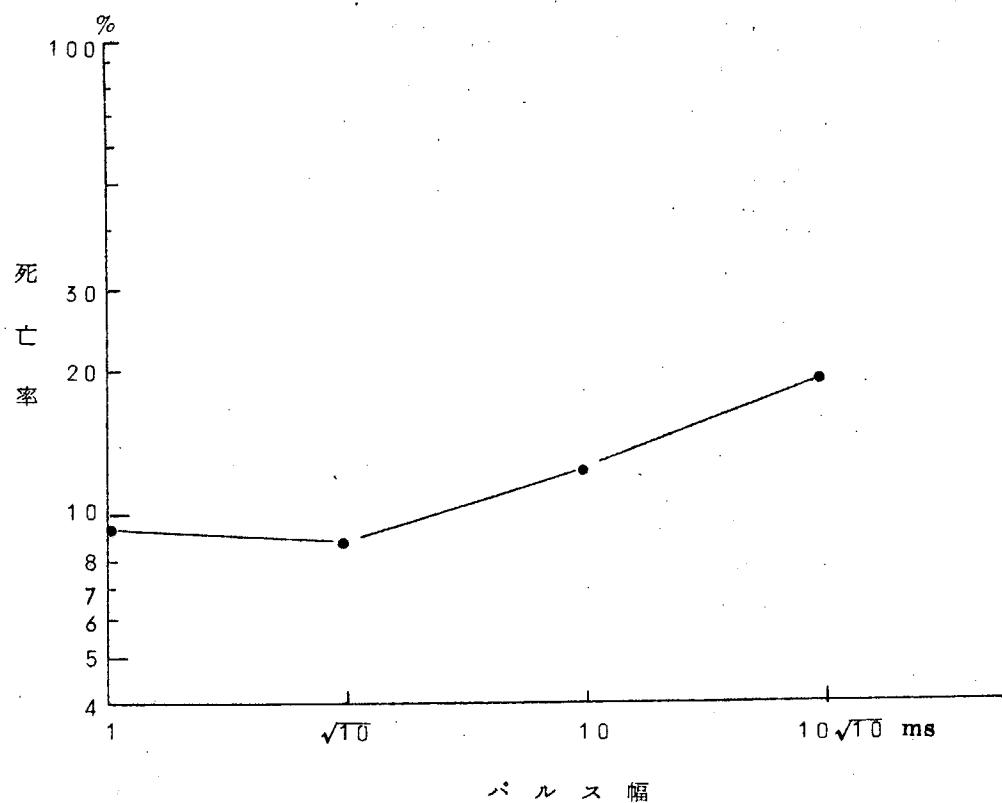


図 1.1.0 ムラサキイガイのトロコフォアに対する超音波  
パルス幅の影響 (周波数 200 KC, 音圧 0.1 bar, (840g)  
照射時間 80 秒, 水温 18.5°C, パルス間隔 1 秒)

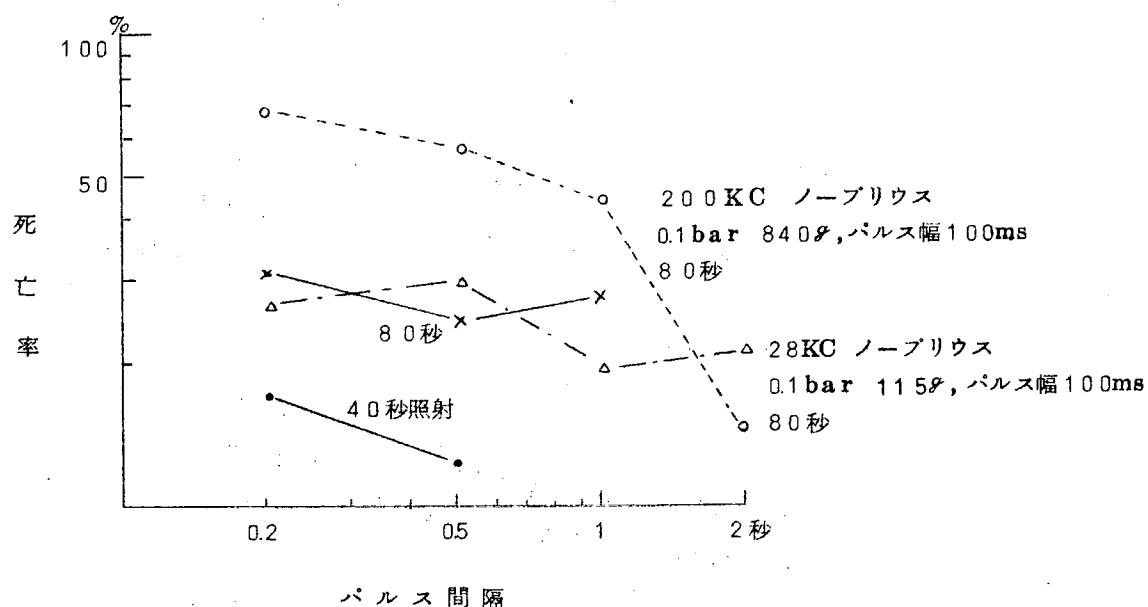


図 1.1.1 ムラサキイガイのトロコフォアに対する  
超音波パルス間隔の影響  
(周波数 28 KC, 音圧 0.1 bar (115g)  
(水温 18.8°C, パルス幅 100 ms)

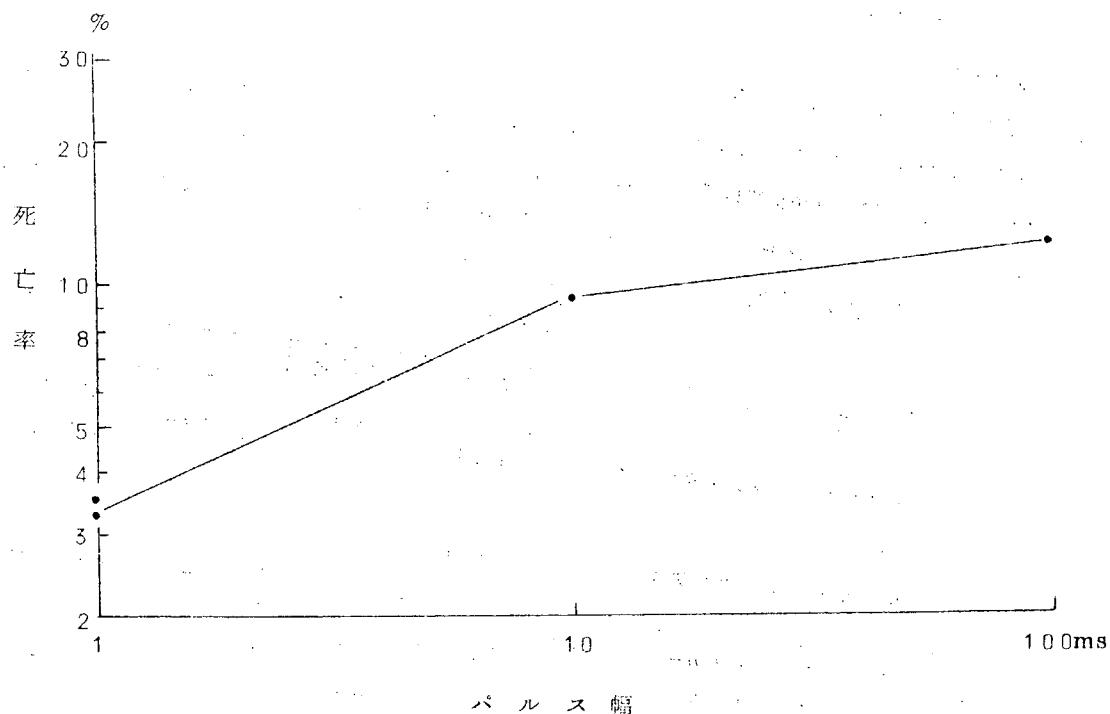


図1.1.2 タテジマフジツボのノープリウスに対するIMC超音波パルス幅の影響  
(音圧0.1bar,(4200Hz),40秒照射)

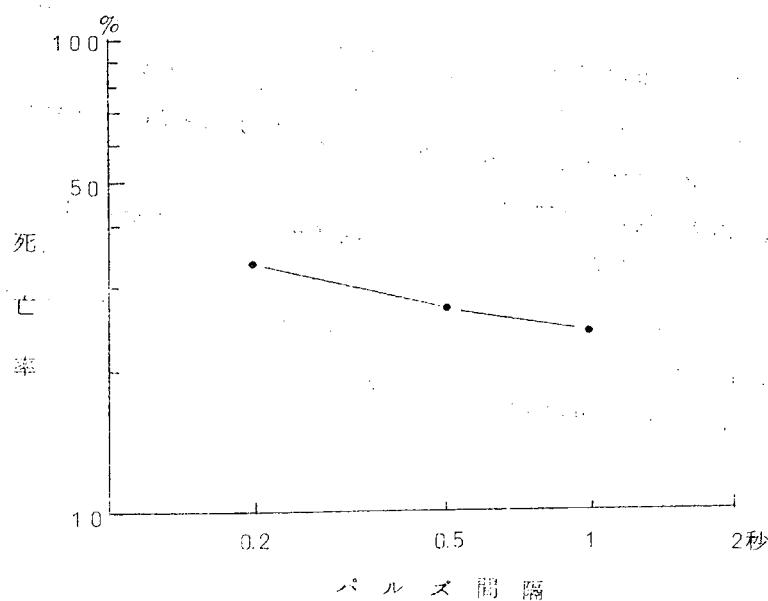


図1.1.3 タテジマフジツボのノープリウスに対するIMC超音波パルス間隔の影響  
(音圧0.1bar,パルス幅100ms,4.0秒照射)

### 3. 毒物と超音波との併用効果

超音波による船底防汚を実施する場合、船底塗料を使用すべきかどうか。昨年度は銅イオンの影響を調べ併用した方が超音波防汚の効果が上るものと推定した。今年は更に別の毒物について実験的に研究を実施したので、その結果を報告する。

#### 3.1 毒物の選定（主として有機系）

粉煙草、除虫菊、ナフタリン、樟脑、エノール、ロテノン、デフェニルアミン、六塩化エタン、チニトロクレゾール、硫酸ニコチン等は亜酸化銅併用の場合は効果があるが単独では防汚効果に乏しいことが知られている。デフェニルアミンモノクロルアルシンは水銀及び銅と同等の効果あり、亜酸化銅を併用すれば効果あり。今回は新規開発中のつぎの毒物について実験を行なつた。

表 1. 2

化 学 名	略 号	原液濃度	備 考
トリフェナルサジン・クロライド	T P C	2 <sup>wt%</sup>	乳化不安定 一部実用 海草に効果大
フェナルサジン・オキサイド	P O	1	乳化良好
10(ジメチルチオカーバモイルチオ) 5ヒドロフェナルサジン	I T - 6 7	3	〃

別に「ブランク」すなわち原薬を含まない乳剤だけのものを準備した。

#### 3.2 毒物の付着生物に及ぼす影響

図1.14は毒物T P C (トリフェナルサジン・クロライド) 0.1 p.p.m. をタテジマフジツボのノープリウスに加えてから、その死亡率を調べた結果を示す。試料は30～50個体をとり、所定時刻(2分後)から計数を始めた。この場合、T P C ブランク、すなわち毒物の溶剤だけの影響は1～3%であつたが、これに比して毒物の効果が大きいことを示す。

図1.15はT P C 1 p.p.m. の濃度のものを加えた結果を示す。N.1, 2分後26%が5分後に24%と減少したのは、はじめ麻痺していたものが再び活動てきて、生個体数に入つたためである。N.2は同一条件で再度繰返した場合の結果を示す。図1.16は、これに対する溶剤T P C Blank 1 p.p.m. のみの結果を示す。N.1, N.2は実験番号である。

図1.17は別の毒物I T - 6 7 (10(ジメチルチオカーバモイルチオ) 5ヒドロフェナルサジン) のノープリウスに及ぼす影響を示す。

1 p.p.m. では経過時間2～20分について3.5%から70%まで死亡率が変化し、10 p.p.m. では42～100%，100 p.p.m. では2分後に100%の死亡率を示す。I T - 6 7は海草の付着防止に効果がある。

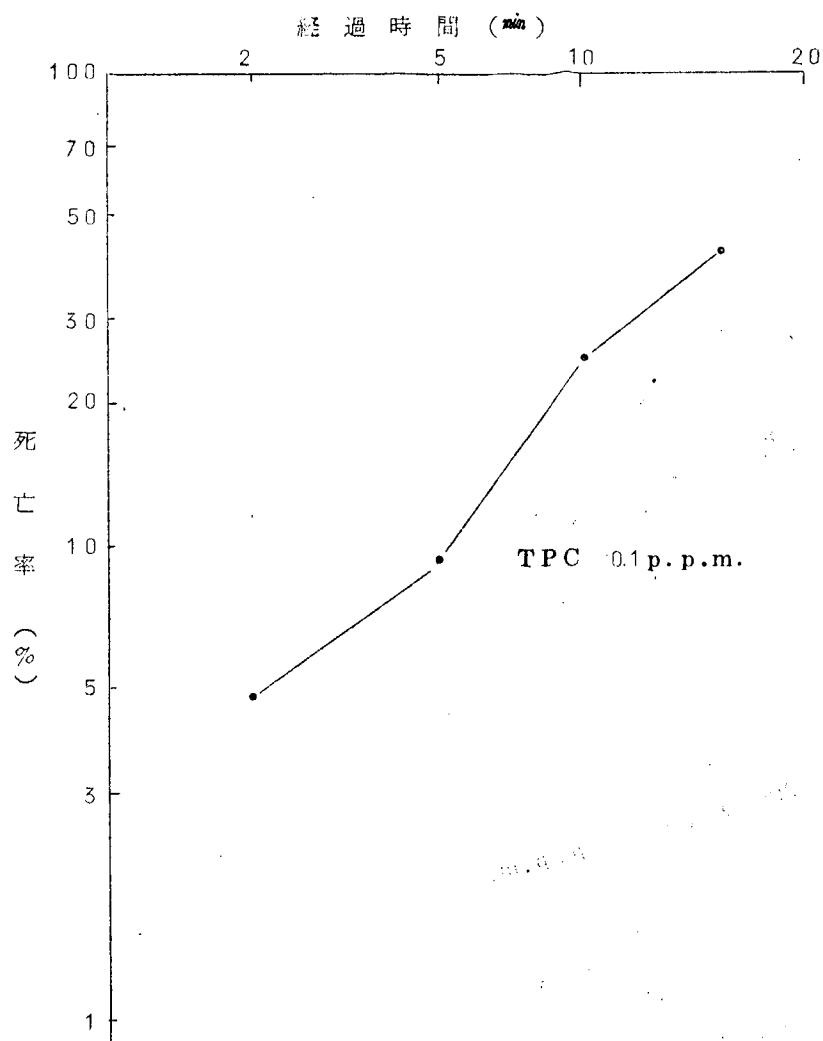


図1.1.4 ノーブリウスにおよぼす毒物の影響 (0.1 p.p.m.)

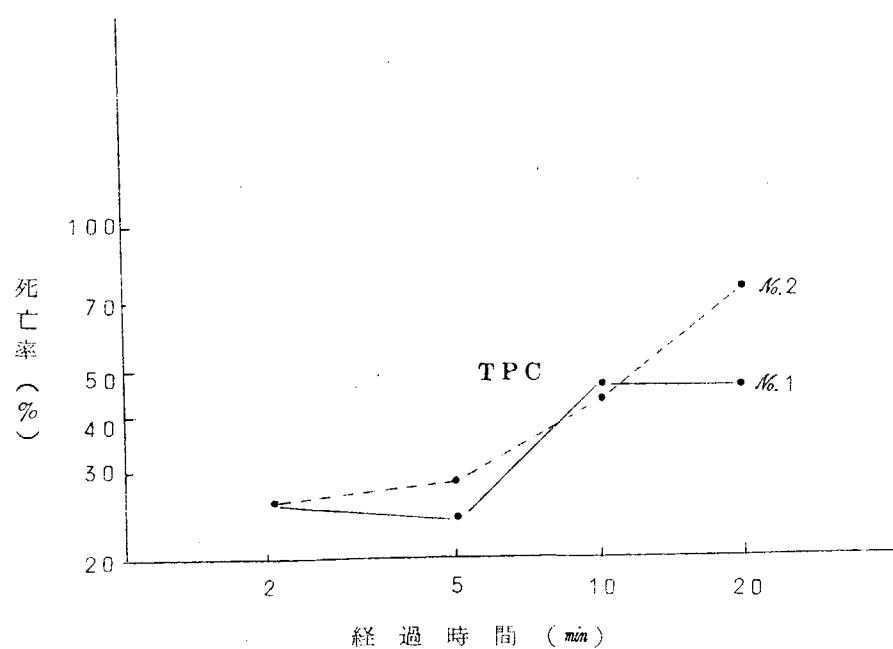


図1.1.5 ノーブリウスにおよぼす毒物の影響 (1 p.p.m.)

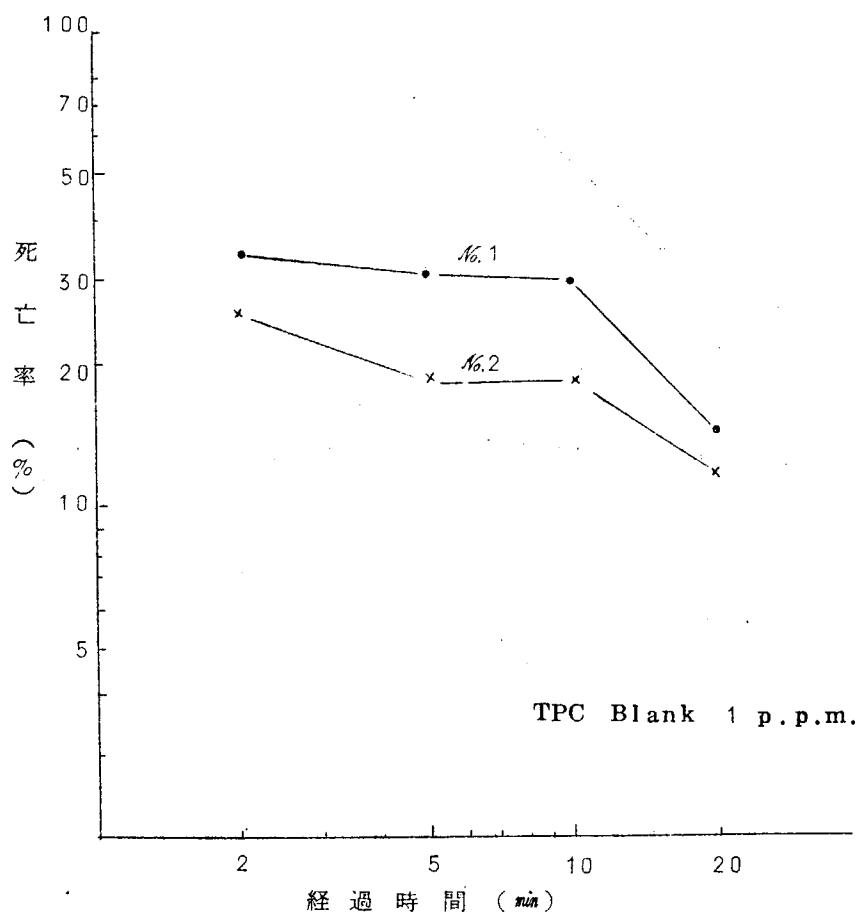


図1.16 ノープリウスにおよぼす毒物溶剤の影響

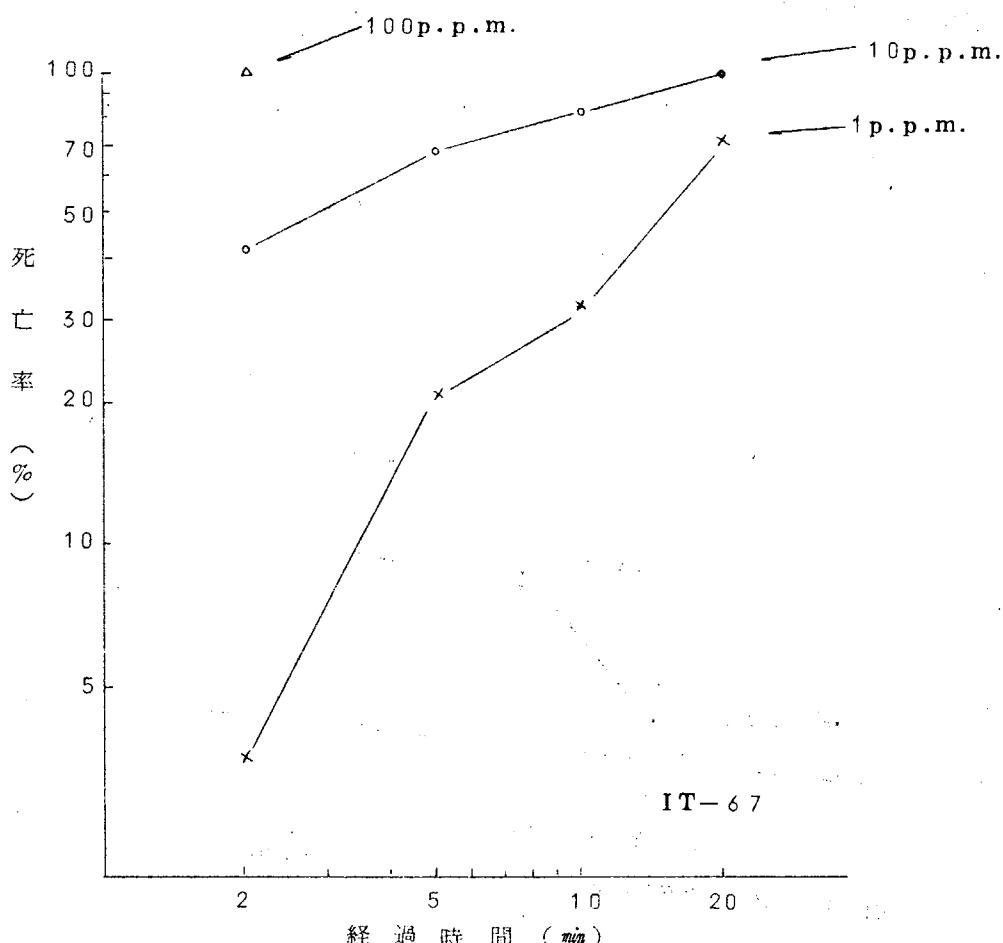


図1.17 ノープリウスにおよぼす毒物の影響

図1.1.8はノーブリウスに対する毒物PO(フェナルサシンオキサイド)の影響を示す。毒物投入後の経過時間2分から20分までに、ノーブリウスの死亡率は毒物濃度0.1 p.p.m.で31~90%，1 p.p.m.で6.8~99%，10 p.p.m. 50~100%となる。投入後2分では0.1 p.p.m.のものが、もつとも低いが、1 p.p.m.と10 p.p.m.では逆になつてゐる。5分以後は1 p.p.m.と10 p.p.m.は近似して大きな死亡率を示している。

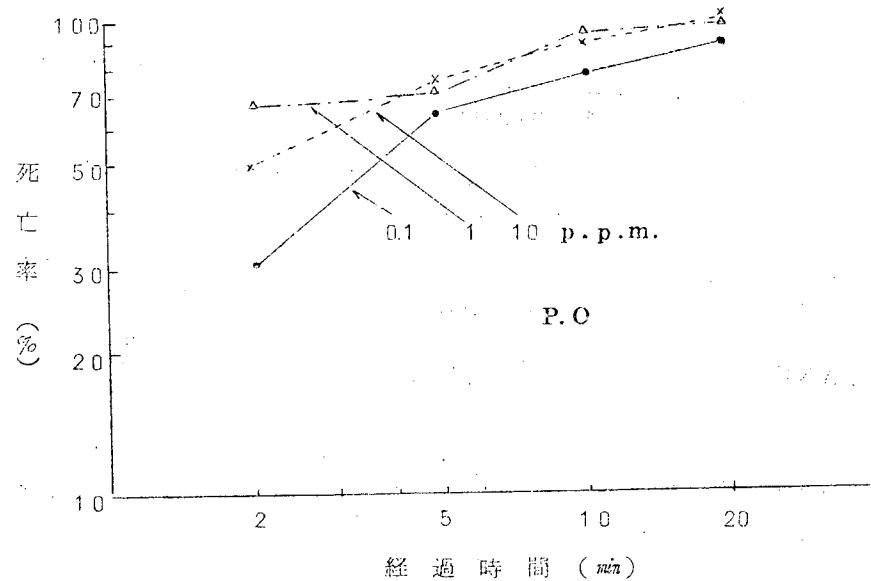


図1.1.8 ノーブリウスにおける毒物の影響

### 3.3 超音波と毒物の併用効果

表1.3 28 KC, CW, 5.0 m b, 20 sec

毒物の種類	なし	IT-67 BLANK	IT-67 BLANK	PO BLANK	P O BLANK	TPC BLANK	TPC BLANK
濃度	-	p.p.m. 10	✓	1	1	1	1
死亡個体数	始終	0 0	0 2	0 0	0 0	0 1	0 1
麻痺個体数	始終	0 3	0 6	1 3	0 4	0 7	0 4
総個体数	始終	36 36	23 23	58 57.5	20 20	18 18	22 21.5
死亡相当個体数		1.5	5	1	2	2	4
死亡率		4.2%	21	1.30	10.0	11.1	13.6
							[ノーブリウス]

表1.3は28KC, CW, 音圧50mbの超音波を照射するとき所定の毒物および溶剤だけを注入して、20秒照射後2分経過直後から計数した結果を示す。

最左欄は毒物、溶剤を使用していない場合、すなわち超音波だけの影響を示す。ノーブリウスに対して超音波だけで4.2%, IT-67 BLANK 1.30%これに対してIT-67は21%と大分大きな値がでている。POについては11.1%と10.0%と変化が少なく、TPCではその差が10%になつた。いずれも超音波だけの場合より、超音波と毒物を併用した場合の方が大きい死亡率を示している。

表1.4 200KC, CW, 50mb, 40 sec, ノーブリウス

毒物の種類	濃度	死亡率
なし	—	3~5.3~9%
IT-67	10 p.p.m.	12.1
IT-67 BLANK	〃	14.7
PO	1 p.p.m.	8.2
PO BLANK	〃	16.1
TPC	1 p.p.m.	6.4~9.8
TPC BLANK	〃	23~25

表1.4は200KC, CW, 50mbの超音波を40秒間ノーブリウスに照射した結果を示す。超音波だけでは3~9%の死亡率を示したもののが毒物、溶剤の注入により、大分増加している。しかし、この場合、毒物の入っている場合の方が溶剤よりも小さくなつて簡単に理解できない結果になつた。

### 3.4 水銀イオンの影響

塩化第2水銀( $HgCl_2$ )中の水銀イオンは防汚効果が大であるといわれている。ここではムラサキイガイのトロコフオアに対して周波数28KCの持続波超音波を照射した場合と、水銀による毒物を加えながら超音波を照射した場合の死亡率の差を求めた。

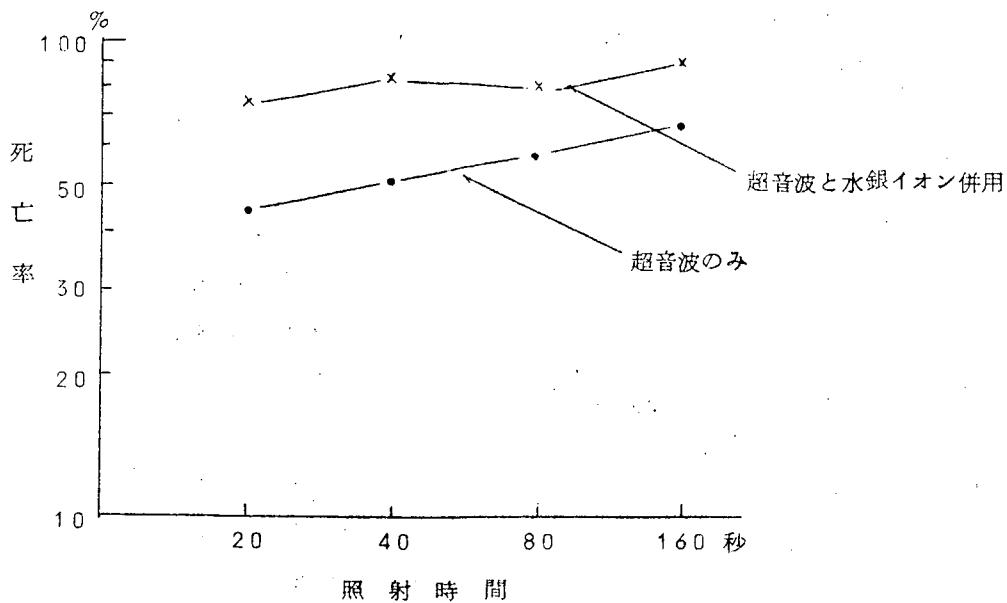


図1.19 ムラサキイガイのトロコフオアに対する  
水銀イオンと超音波との併用効果(1)  
超音波 28KC CW 音圧 0.1 bar 115g  
20~160秒照射  
水銀イオン  $HgCl_2$  による  $Hg^{++} 0.1 mg/l$

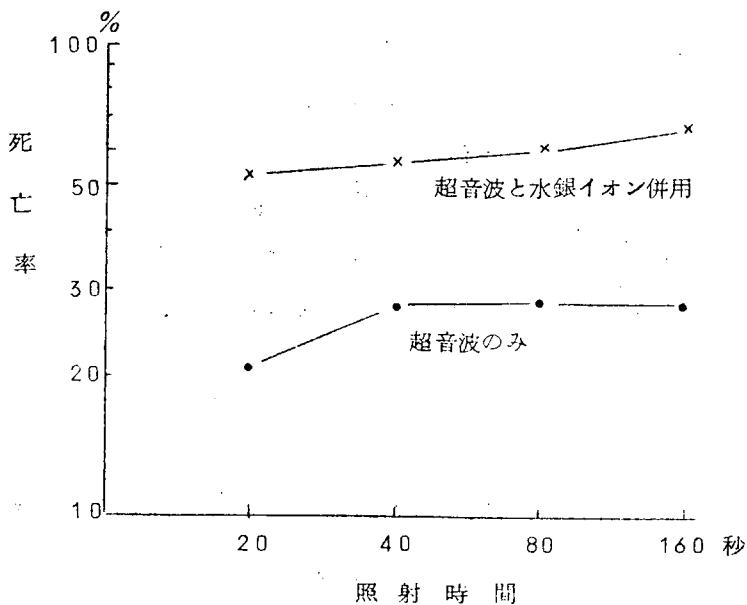


図1.20 ムラサキイガイのトロコフオアに対する  
水銀イオンと超音波との併用効果(2)  
超音波 28KC CW 0.1 bar, 115g  
20~160秒照射  
水銀イオン  $HgCl_2$  による  $Hg^{++} 0.1 mg/l$

図1.19、図1.20はこの結果を示す。いずれも併用の場合には30~160%の死亡率の増大が見られた。

### 3.5 プラインシユリンプに対する毒物と超音波との併用効果

発生後5日のArtemia salina プラインシユリンプに農薬の中でも防汚効果が大きく塗料に利用可能なものを使用しながら超音波の影響を調べた。

表1.5 プラインシユリンプに対する超音波と農薬の併用効果（死亡率%）

超音波 周波数200KC

音圧 0.3 bar, 345°

照射時間 20秒

農薬名	濃度	超音波单独	併用	備考
マラソン	1 p.p.m.	25	22	ジメチルジカルベトキシ
		11.4	14.0	エチルジチオホスフエート50%
		16.4	16.0	乳化剤有機溶剤 50%
デリス	1 p.p.m.	23	26	ロラン2%, デリス樹脂 乳化剤, 有機溶剤98%
アカール	1 p.p.m.	16	28	4.4ジクロールベンジル酸 エチルエステル22%, 乳化剤 溶剤78%

表1.5によるとアカールを除いて超音波の併用効果はないと言つてよいであろう。

表1.6はプラインシユリンプに対する毒物と超音波の併用効果を死亡率で示している。

表1.6 プラインシユリンプに対する毒物と超音波の併用効果

超音波 周波数200KC, 音圧0.3bar, 345° 照射時間20秒

毒物の種類	濃度 p.p.m.	毒物のみによる死亡率		毒物と超音波の併用時の死亡率(2分後)
		2分後	5分後	
IT-67	0.1	2.6%	2.6%	—
	1	3.0	2.0	19.6
	10	10.4	8.3	22
	100	1.5※	4.4※	56
超音波のみ				17.6
PO	0.1	0	0	—
	1	0	0	24
	10	7.1	—	33
	100	100	—	—
超音波のみ				3.8~7.0 ***
TPC	0.1	0	0	10.0
	1	0	0	30

IT-67を見ると、まず、毒物のみによる死亡率は、濃度が0.1~1.0 p.p.m.では投入後2分後の死亡率が漸次増加し、「5分後」では「2分後」と等しいか、やや減少している。これは毒物で一たび麻痺した個体が生を復活するものがあるからである。よつて計測はすべて前と同様に毒物投入後2分より始めることにしたものである。※印は数値が少しあが個体差の偶然であろう。超音波单独では17.6%の値を示し、毒物と併用した場合の死亡率は単独の場合より、きわめて大きい値を示している。PO, TPCについても同様の傾向が顕著である。

パルス波超音波まで考えた実験結果は表1.7に示す。

表1.7 乳剤、毒物、超音波(CW)、パルスの併用

[ 200 KC 0.3 bar 20秒照射, P.L. 100 ms, P.I. 0.2 s ]

	乳剤のみ	超音波と乳剤	毒物のみ	超音波と毒物	パルスと乳剤
PO 1 ppm	8.3%	14.5	5.9	11.7	10.9
IT-67 1 ppm	10.1%	14.0	5.1	5.9	3.0

表1.7のとおり、この場合乳剤の効果も大きいがIT-67の場合の超音波と毒物との併用効果は表1.6の値とともに極めて大であるといえる。

#### 4. 実験結果の概要

##### (1) 持続波・パルス波超音波の生物付着におよぼす影響

- 1) タテジマフジツボのノーブリウスの死亡率が50%であるという基準を設定して防汚効果を推定できる段階まで生物実験の資料が整った。
- 2) 14 KC~1 MC間の周波数について照射時間に対する効果が判明した。照射時間は長いほど効果はあるが40秒が適当であると考えられる。
- 3) 超音波の周波数については、持続波、パルス波とも大なるほど効果的であり、その関係が判明した。
- 4) 超音波の音圧も大きいほど効果があるが、50mbぐらいから急に効果が大となる。
- 5) 超音波パルス幅、パルス間隔による効果が判明した。

##### (2) 毒物と超音波との併用効果

- 6) フエナルサジン系の3種の毒物は、0.1~1.0 p.p.m.程度で単独でも効果がある。(付着生物による)
- 7) 上記毒物は、超音波と併用すれば、その効果は著しく増大する。IT-67は特に効果が大である。
- 8) 農薬マラソン、デリス、アカールの中で超音波と併用して効果の増大するのはアカールだけである。(ブラインシユリンブによる)
- 9) 水銀イオンを超音波と併用しても、単独で使用する場合より効果が増加する。
- 10) 超音波防汚には毒物を含有する塗料を使用すれば、その効果は著しく増大すると考えられるようになつた。

## § 2. 250トン双胴設標船による実船適用試験

### 1. 研究目的

本研究は過去2年間の研究成果をもとに実船防汚設計および工作技術の確立を計るため海上保安庁の御協力を得て第六管区海上保安本部に配属されている設標船“みようじょう”を供試船として実船適用試験を行なうものである。

### 2. 供 試 船

本船は主として瀬戸内海において航路の安全を守るために海の道しるべともいべき浮標（ブイ）の設置、交換および位置修整などの、いわゆる浮標作業に從事する目的で建造されたもので、最新の設標船である。表2.1に供試船の概要を、写真2.1に本船の外観を示す。

表 2.1

船名	みようじょう
種別	250トン型 双胴設標船
所属	海上保安庁（第6管区配属）
建造	昭和42年2月27日進水（日本鋼管）
垂線間長	24.00m
最大幅	12.00m
胴中心間距離	8.00m
单胴幅	4.00m
深さ	3.91m
常備吃水	2.58m
満載吃水	2.67m
総トン数	253.22トン
主機械	ディーゼル300Ps×2基
速力	約10.7Kt
外板厚	7mm
フレーム間隔	550mm

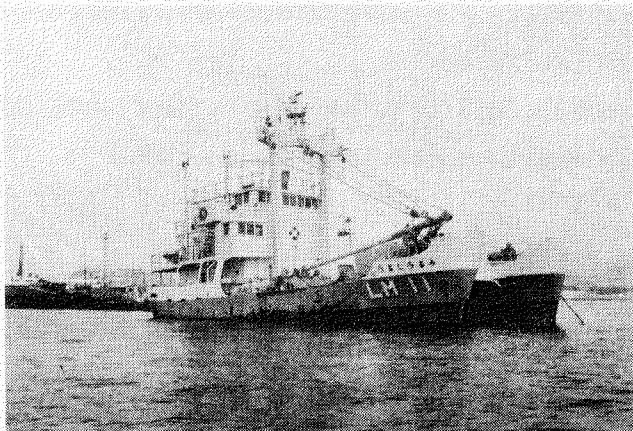


写真2.1 宇品基地における“みようじょう”

( 44.1.17撮影 )

### 3. 実験日誌

実験は第1次(4.3.3.22～4.3.9.2)および第2次(4.3.9.4～4.4.3.4)にわけて実施した。その間の詳細を表2.2に示す。

表 2.2

項目	年月	昭和43年										昭和44年			
		3月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1月	2	3	
本船行動日程	入渠 26 日本钢管 浅野ドック (横浜)	特記期間以外は第六管区海域にて行動	入渠 24 五管海域 常石ドック(天慶)	入渠 18 五管海域 (天慶)	入渠 10 五管海域 (大阪)							入渠 24 四国下汐 (高松)			
		5/2										3/4			
												3/5			

## 4. 防汚実験装置

今回の実験に用いた装置の概要を以下に、装置を写真 2.2 に示す。

### (1) 発振機

第1装置に用いた出力 300W の広帯域型は実船試験用として新しく製作したものである。第2装置用の発振機は一般用の発振機で特に実船用として作られたものではないが小型で高出力が得られる。

### (2) 振動子

従来より使用していたニッケル振動子に加へ新しくフェライト振動子を採用。

### (3) 冷却装置

ニッケル振動子用冷却水循環装置は貯水タンクをステンレス製にするとともに小型化を図った。

### (4) 振動検出型自動追尾回路

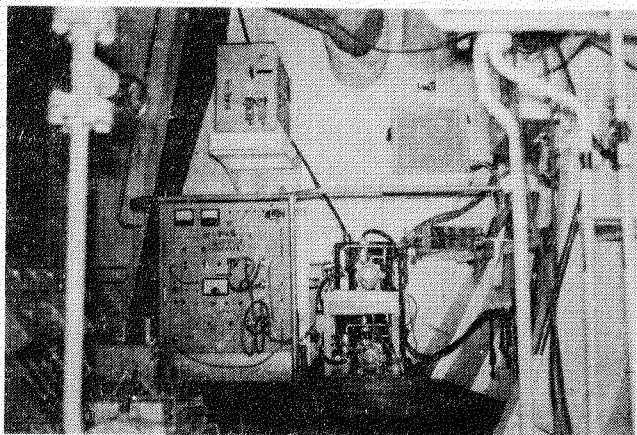
第1次実験の途中において新しく附加したもので第1装置フェライト振動子の加速度レベルを向上し、安定させるに役立つている。

### (5) 多点記録計

防汚実験装置の動作状態を常時記録するための 12ch 打点式記録計である。測定要素は次の通りでいずれも記録計入力に合せて直流 0 ~ 10 mV に変換してある。

番号 色 検定要素

- ② ア カ 周波数制御電圧
- ③ ミ ド リ ニッケル振動子付近加速度
- ④ ア イ フェライト振動子付近加速度
- ⑤ チ ャ タ
- ⑥ ク ロ 第1発振機出力電力
- ⑧ モ モ 第1発振機陽極電流
- ⑩ キ 第2発振機陽極電流
- ⑫ ダイダイ 電源電圧



### (6) 加速度監視装置

写真 2.2 左舷機関室後部に設置した防汚装置

簡易型加速度ピックアップを加振点付近の比較的振動の安定した位置に常設し加速度のモニタリングを行うもので、出力は直流電圧に変換し記録計入力としてある。フェライト振動子用に 2 台、ニッケル振動子用に 1 台設けてある。

### (7) スタビライザ

電圧変動が著しく第1発振機と記録計におよぼす影響が大きいため 5/27 に設けた。

表 2.3 に各機器の要目と図 2.1 に全装置の系統図を示す。

表 2.3

	第 1 装 置	第 2 装 置
発 振 機	型 式 UE-300V-6A 高周波出力 0~300W 周波数範囲 15~220 kHz 出力インピーダンス 20~250Ω 実船用として諸種の自動装置を備えている。	型 式 UE-1000N28-1A 高周波出力 600W 周波数範囲 25~29 kHz 出力インピーダンス 約75Ω
振動子取付治具	L-L型治具	斜角対称型治具
振動子	28 kHz, フエライト振動子 300W(π型 Vibrox)	27 kHz, ニッケル振動子 300W型×4基
冷却装置	強制空冷方式 SanAce FAN 109-005型 3100 RPM	冷却水循環方式 貯水タンク容量 100ℓ モータポンプ 2基
付属装置	振動検出形自動追尾回路	なし
共通装置	<p>◎多点記録計 形式 ER-12-30-23 YEW製打点式記録計</p> <p>◎加速度監視装置 3台 加速度ピックアップおよび加速度一直流電圧変換器</p> <p>◎スタビライザ 形式 AR-2000 出力 AC 100V, 2KVA</p>	

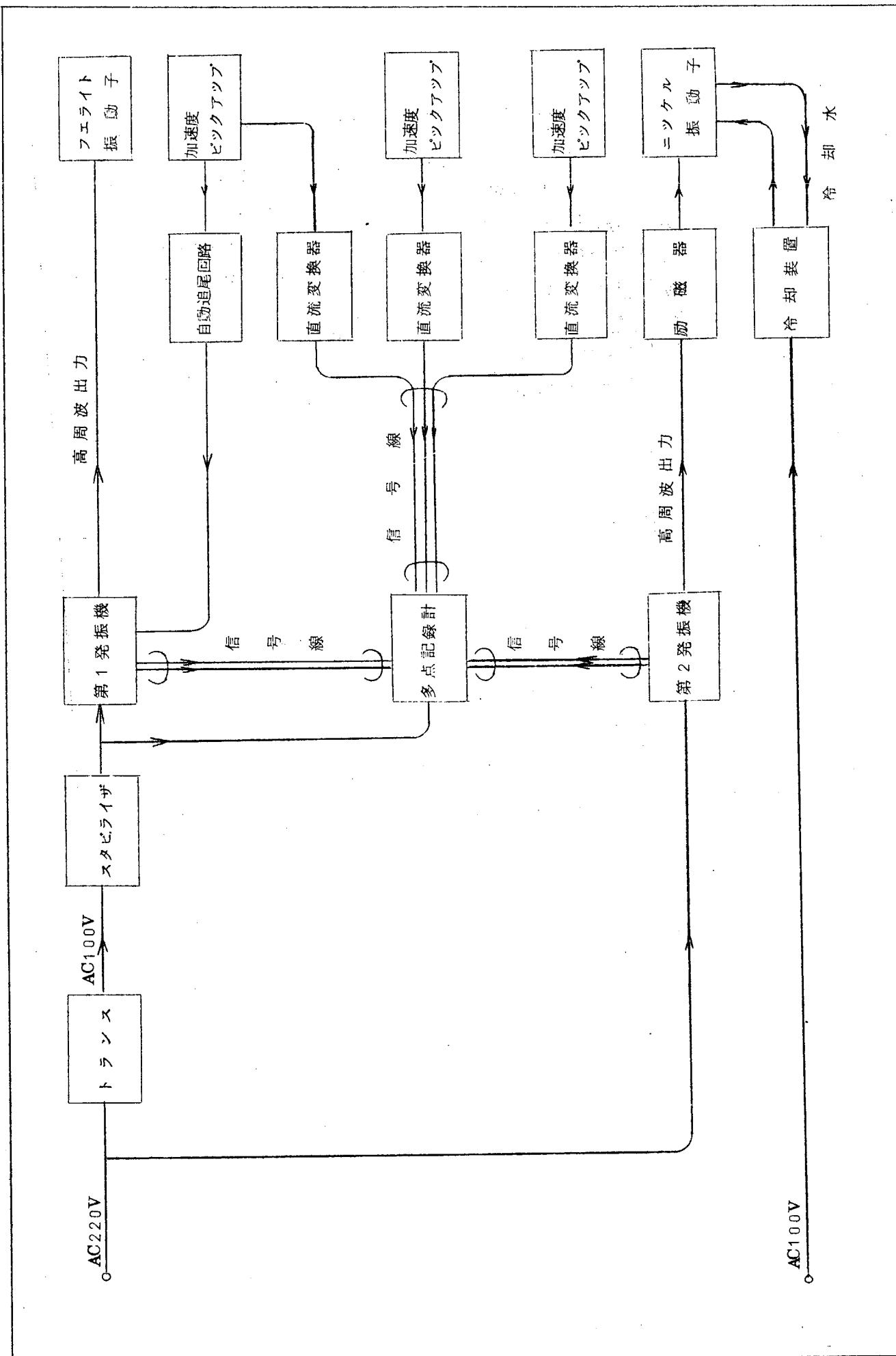


図2.1 超音波防汚実験装置系統図

## 5. 実験方法

図2.2に示すように本船の左舷艇機関室内に超音波防汚実験装置を取付け実験期間中連続運転をして、左舷外板の防汚を行なうものである。

また、防汚効果の判定を行なうため加振点付近の外板は試験部としてA/Fを塗装せずA/C塗装のみとし生物の付着状況を調査するものである。

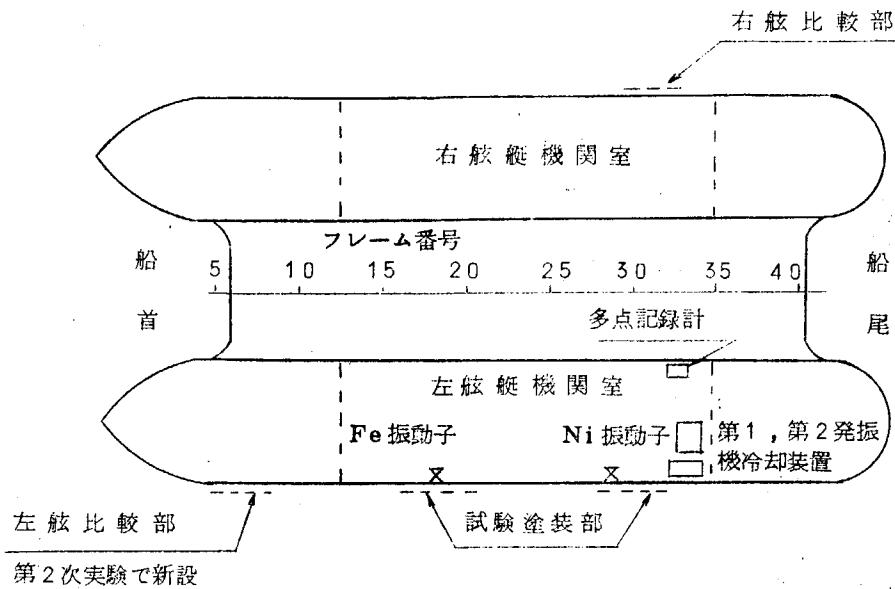


図2.2 実験装置の配置と外板試験部

### 5.1 加振方法について

昭和41, 42年度の研究成果から船体外板の加振方法は面にそつた振動モードであることが必須条件とされている。このため本実験では進徳丸実験で実績のある斜角対称型治具によるタテ波駆動方式と、新しく設計試作したL-L型治具によるせん断波駆動方式の2種類の異った方式を採用した。

また、船体外板の海面上に露出した部分など、振動を与える必要のない部分への振動伝播を防ぎ、必要部分の振動振幅を高める目的で、振動反射プロックの使用が試みられた。

さらに、電源電圧の変動や温度変化があつても、常に振動系の共振周波数を追尾して安定に駆動するために、加速度ピックアップからの検出電圧によつて駆動周波数を制御する装置の使用が試みられた。

### 5.2 斜角対称型治具によるタテ波駆動

船側板面に沿つた振動を与えることを目的としたもので船側板に対し45度の角度で対称に、かつ逆位相で駆動することにより垂直成分が打ち消され板に平行な成分の振動が取り出されるものである。図2.4は励振方法で振動は上下方向に発生する。振動子はニッケル振動子で進徳丸実験に用いたものと同型であるが今回は加速度レベルを上げるために2基1対のものを2組、合計4基の振動子で構成した。

写真2.3に外観写真を示す。

機関室内における取付位置および反射プロックの配置を図2.5に示す。

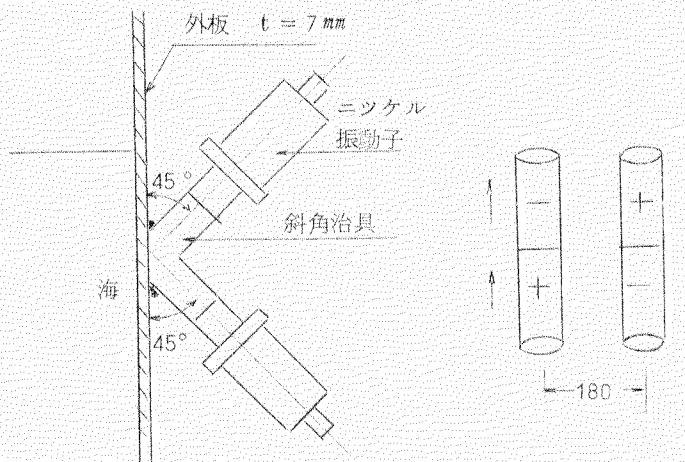


図 2.4 励振方法

図 2.5 取付方法

図においてF 3.1 フレームとF 3.2 フレームの間に+印をした位置が治具の中心位置である。

なお、F 3.2-F 3.4間に新しい方式として考案したバチ型治具を溶接し駆動実験を行なつたが負荷がかかり過ぎて整合が取れなかつた。

### 5.3 L-L型駆動治具

L-L型駆動治具は図2.6に示すように2波長で共振する角棒(図中X方向)の各々振動節部に半波長共振の角棒(図中Y方向)の振動節部を90度の角度で各々結合した形のものである。L-L型振動系の駆動振動子から船側板への振動伝達方法は、8ヶ所に分散配置したフェライト振動子(合計16個)の振動を、2波長の角棒に

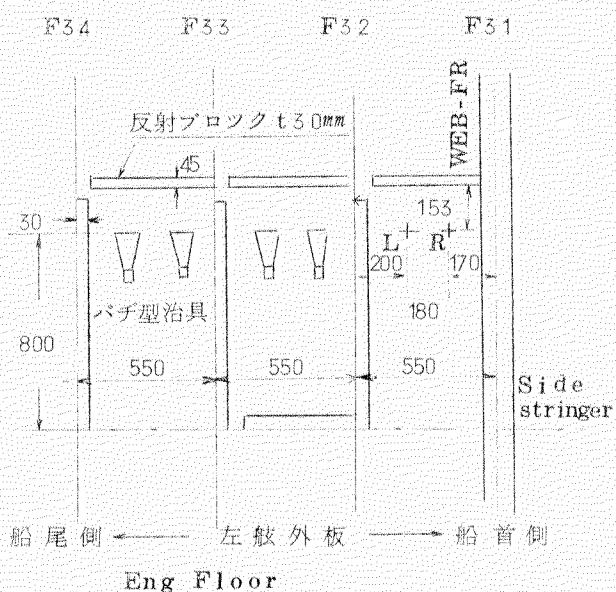


図 2.5 機関室内における取付位置

集中させ、同位相の振動部分(中央および両端の3カ所)で船側板と接合し、面に沿つた振動を与えるものである。振動子の駆動方法は図2.7の如く全部直列とし、マグネットを差替へて左右隣り合せの振動子は逆相、対応する上下の振動子は同相としてある。写真2.4に装着後の外観写真を示す。

図2.8に機関室内におけるフェライト振動子取付位置を示す。

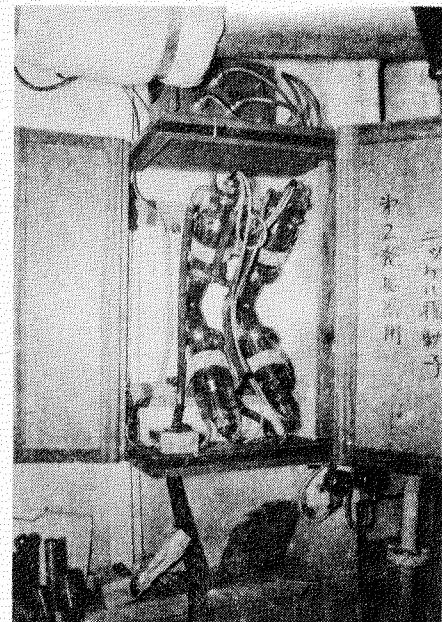


写真 2.3 外 観 写 真

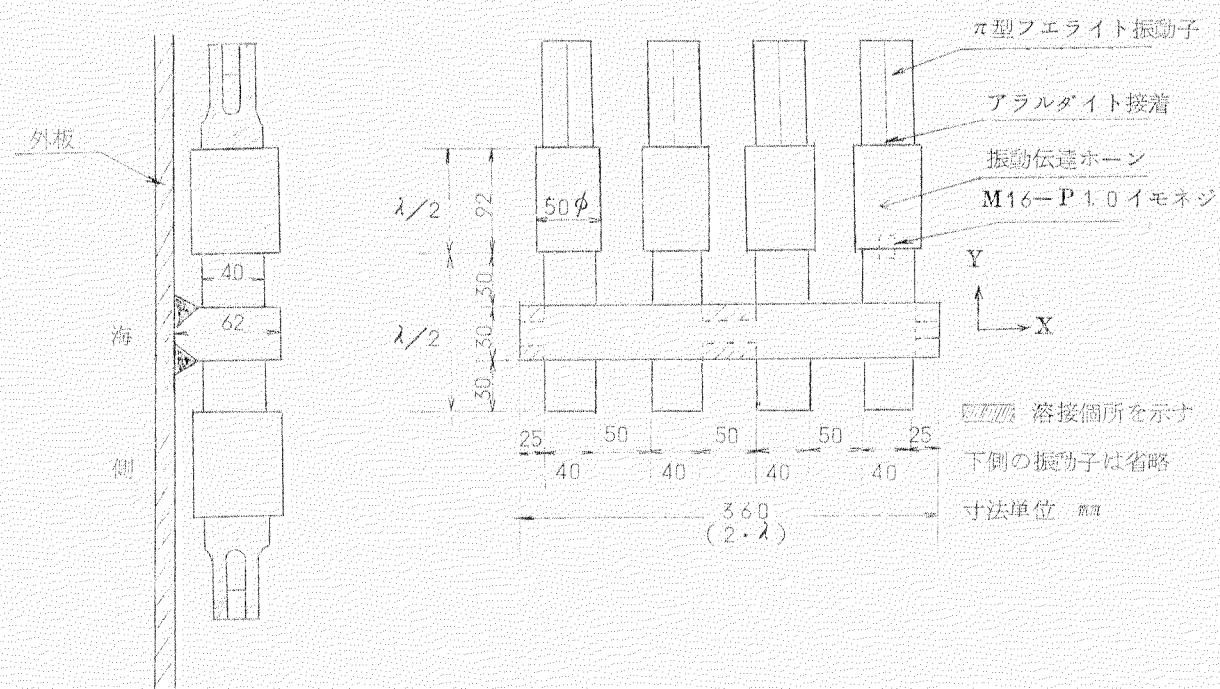


図2.6 L-L型治具とフェライト振動子の装着方法

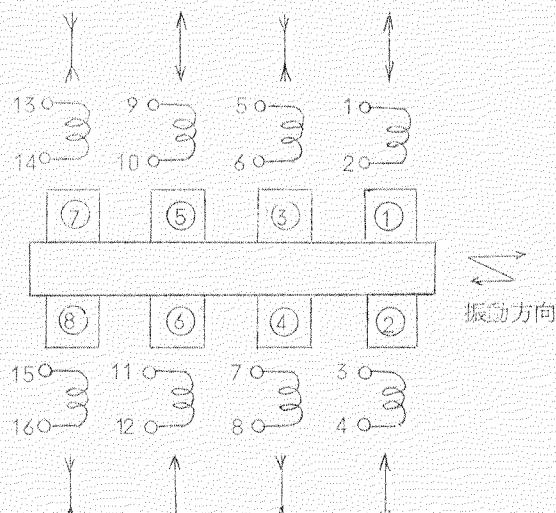


図2.7 驅動方法

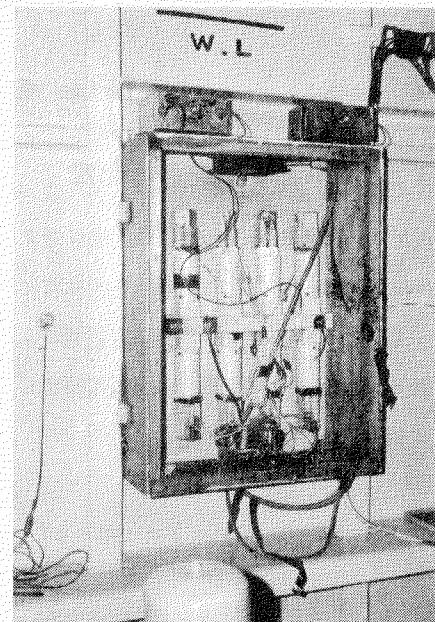


写真2.4 フェライト振動子

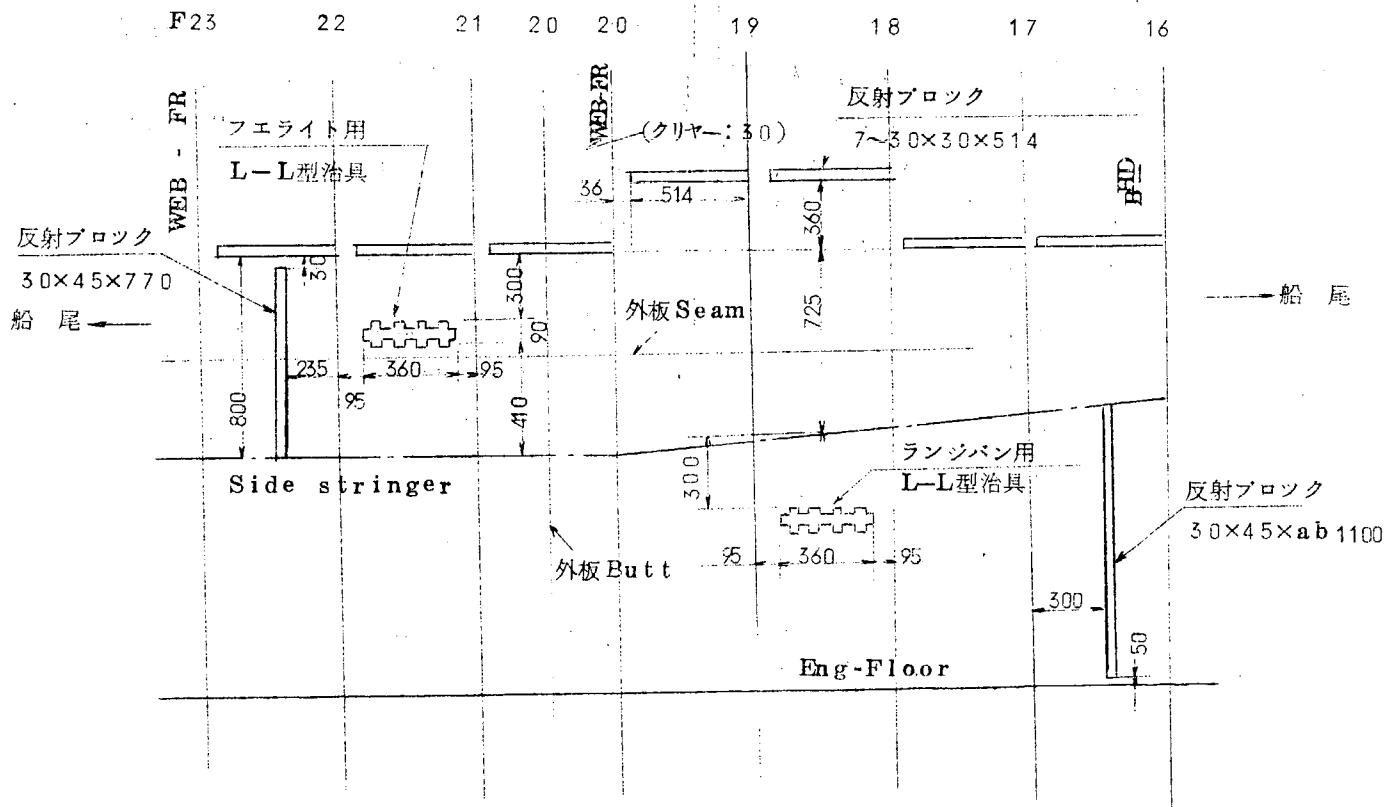


図2.8 機関室内部より見た取付図

## 6. 駆動点インピーダンスの測定

外板に取付けた振動子の最高駆動条件を求めるため動作特性を測定した。

動作特性の測定方法は振動治具を船側板に取り付ける前と、取り付けてからの自由インピーダンス軌跡を直記式振動子電気インピーダンス軌跡測定装置（安藤電気製D R Z - 10 C型）を使用して測定し、両軌跡から各々の場合の動インピーダンス直徑、船側板に接合しないときの振動系の象限周波数差などを求めて次式によつて駆動点負荷機械抵抗  $R_L$  が算出できる。

$$R_L = 2\pi \cdot m \cdot \delta f \left( 1 - \frac{Z_{m000}}{Z_{m0000}} \right)$$

ここで  $m$  は振動系の等価質量（振動子と治具との等価質量から算出）、 $\delta f$  は振動系を船側板に接合しないときの振動系象限周波数差、 $Z_{m0000}$  および  $Z_{m000}$  は振動系を船側板に取り付ける前と取り付けてからの各動インピーダンスの直徑。

船がドック内（外板は空気）にいるときと、接岸（外板は海水）しているときの動インピーダンスの直徑から、船側板へ伝搬した振動エネルギーと、それにともなつて生ずる音響放射エネルギーとの割合  $\eta_{ma}$  を算出すると、

$$\eta_{ma} = \left( 1 - \frac{Z_{m00}}{Z_{m000}} \right) \times 100 (\%)$$

となる。ここで、 $Z_{m000}$  および  $Z_{m00}$  は船体がドック内にいるときと接岸しているときとの各動インピーダンスの直徑である。

## 6.1 斜角駆動系の測定結果と考察

斜角駆動治具を船側板に取り付ける前は、時間および取り付け工程等から測定が不可能であつた。このため斜角駆動治具の駆動点負荷機械抵抗は算出できなかつた。表2.4の条件1および2は治具を船側板の(図2.5参照)R側およびL側に取り付け、ドック内でドライアップしているときのもの、条件3および4は接岸しているときの各々自由インピーダンス軌跡の測定の結果を示した。

これらの測定結果から、斜角駆動治具によつて船側板へ伝搬した振動エネルギーに対する音響放射エネルギーの割合は

$$R\text{側で } \eta_{ma} = 54.5\%$$

$$L\text{側で } \eta_{ma} = 16.6\%$$

である。このように音響放射エネルギーの大きいことは、斜角治具は加振部では面に沿つた振動モードが励振されるが、加振部から離れるとモード変換をして、船側板に高次の曲げ振動が同時に励振されることを示している。

## 6.2 L-L型駆動治具の測定結果と考察

表4の条件5はL-L型駆動治具の予備を使用して治具の船側板に取り付ける前の状態を、条件6は治具を船側板に取り付けてからのドック内(外板は空気)での状態を、条件7は治具を船側板に取り付けてからの接岸時の状態を各々自由インピーダンス軌跡測定の結果を示した。

これらの測定結果から、駆動部負荷機械抵抗 $r_L$ を算出した結果を示すと、

$$r_L = 2.33 \times 10^6 \text{ dyne/cm/sec}$$

となる。

船側板へ伝搬した振動エネルギーに対する音響放射エネルギーの割合は

$$\eta_{ma} = -16.3\%$$

である。このことは接岸しているときの方がドック内に置かれているときよりも、船側板の面に垂直な方向の振動の拘束が大きいためと考えられ、したがつてかなり有効に面に沿つた振動モードが励振されていると思われる。

L-L型振動系で消費される電気エネルギーに対する船側板へ伝搬する振動エネルギーの割合 $\eta_{em}$ を算出すると、

$$\eta_{em} = 8.0\%$$

表2.4

駆動治具	条件	取り付け位置	外板の条件	$f_0$ (kHz)	Q	$Z_{mo}$ (Ω)
斜角型	1	R側	ドック内	26.5	4.8	2.2
	2	L側	ドック内	26.6	4.2	1.5
	3	R側	接岸時	26.5	4.1	1.0
	4	L側	接岸時	26.6	3.5	1.2.5
L-L型	5		治具取り付け前	27.8	7.95	2.70
	6		ドック内	27.9	1.07	4.3
	7		接岸時	27.9	1.49	5.6

となる。これらの結果から、L-L型駆動治具は船側板の面に沿つた振動モードを与えるものとして、かなりすぐれていることがわかる。

## 7. 振動加速度と放射音圧の測定

外板における加速度レベルが防汚能力を決定する重要な要素であるため加振点付近の振動分布を測定した。なお、今回の測定は 28 kHz 程度の高い周波数帯であることの他振動モードにはタテ波、ヨコ波、さらにせん断波が含まれており、また、振動加速度レベルが数千  $\text{g}$  であることなどの理由から振動ピックアップの開発を含めた高度な測定技術が必要であつた。

### 7.1 振動加速度の測定

防汚装置の取付け工事が完了した後インピーダンス整合、駆動周波数の調整などを行ない連続運転を開始する前に第1回目の計測をした。振動ピックアップはB & K社製ピックアップに10ミリ角プロックを取付けたものとモノラル型クリスタルピックアップを使用した。測定結果を図2.9、図2.10、図2.11に示した。測定した振動方向は側板に向つて船首船尾方向で、加速度の値は $\text{g}$ （重力の加速度）を単位にとり片振幅で示してある。図2.9、図2.10はL-L型治具の中央部の点を外板の向つて上下に測定を行なつた。また図2.11はL-L型治具の長手方向の左端面から船尾側に測定を行なつたものである。反射プロックの効果がみられると同じに縦通材でも同様の効果のあることが判る。加速度のレベルが不規則に変化しているように見えるがこれは駆動方式によるものと思われる。すなわち振動系に入る電気入力が最大になるように発振板がある周波数の幅を掃引しながらその中心周波数が自動追尾するために振動が不安定になるものと考えられる。

斜角対称型駆動部付近の加速度を測定したがピックアップを接着固定して測定したる所約1000  $\text{g}$  の加速度が検出されたが数十秒後に不良となつた。このため正確な値は測定し得なかつたが反射プロック内においては1000  $\text{g}$  以上の加速度であることが推定される。

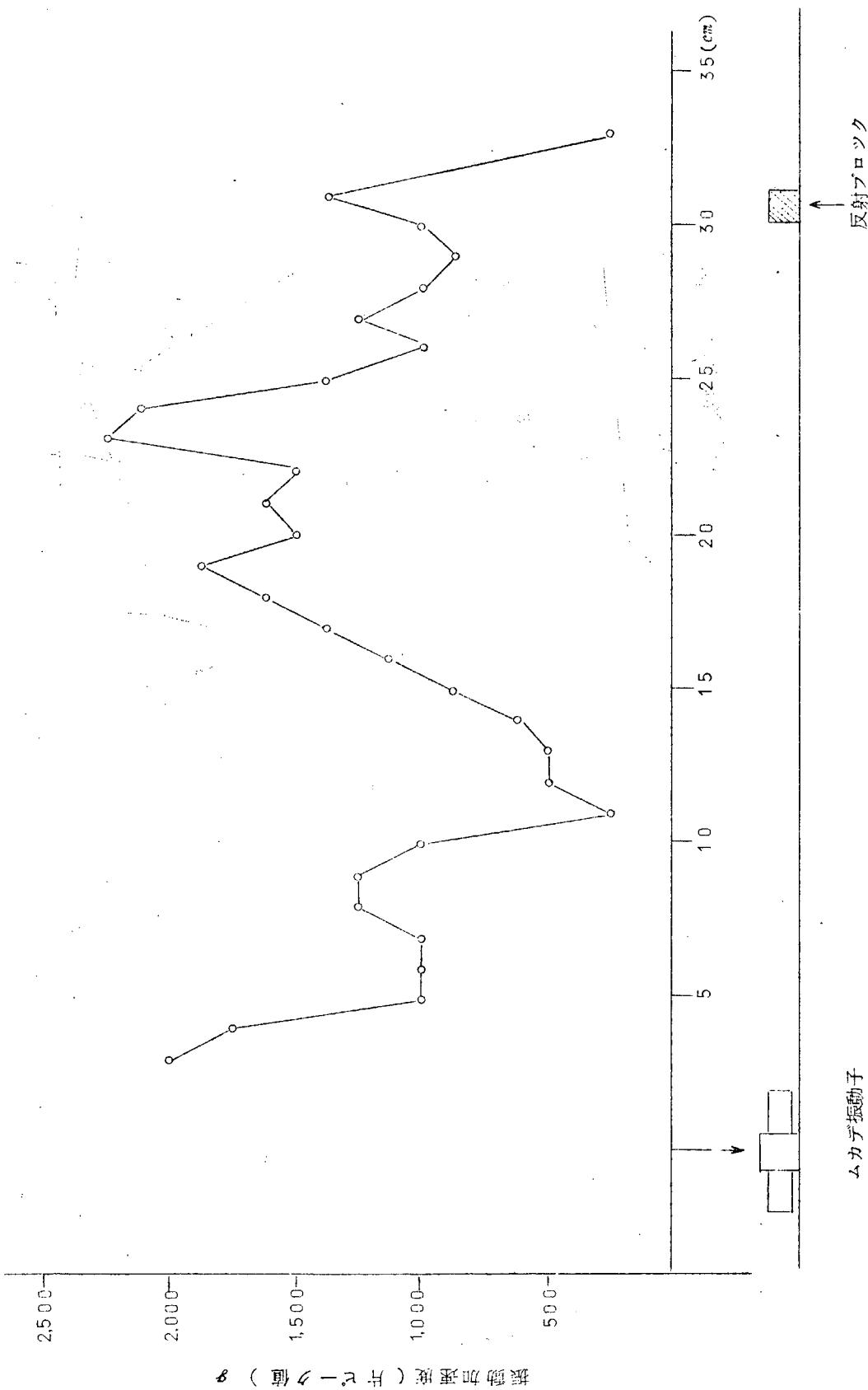


図 2.9 振動子上方の振動分布(振動子中央の上方)

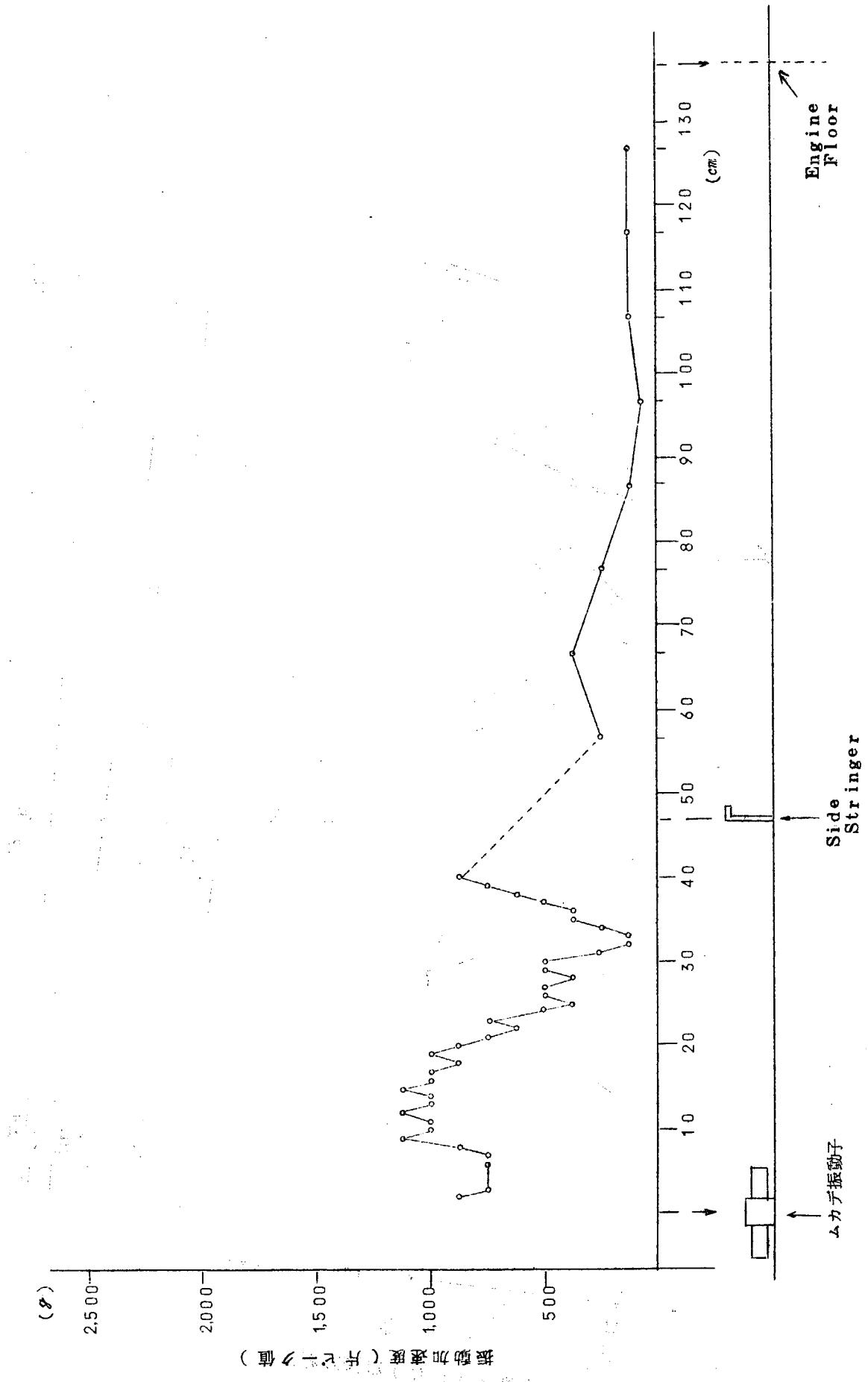


図2.10 振動子下方の振動分布(振動子中央の下方)

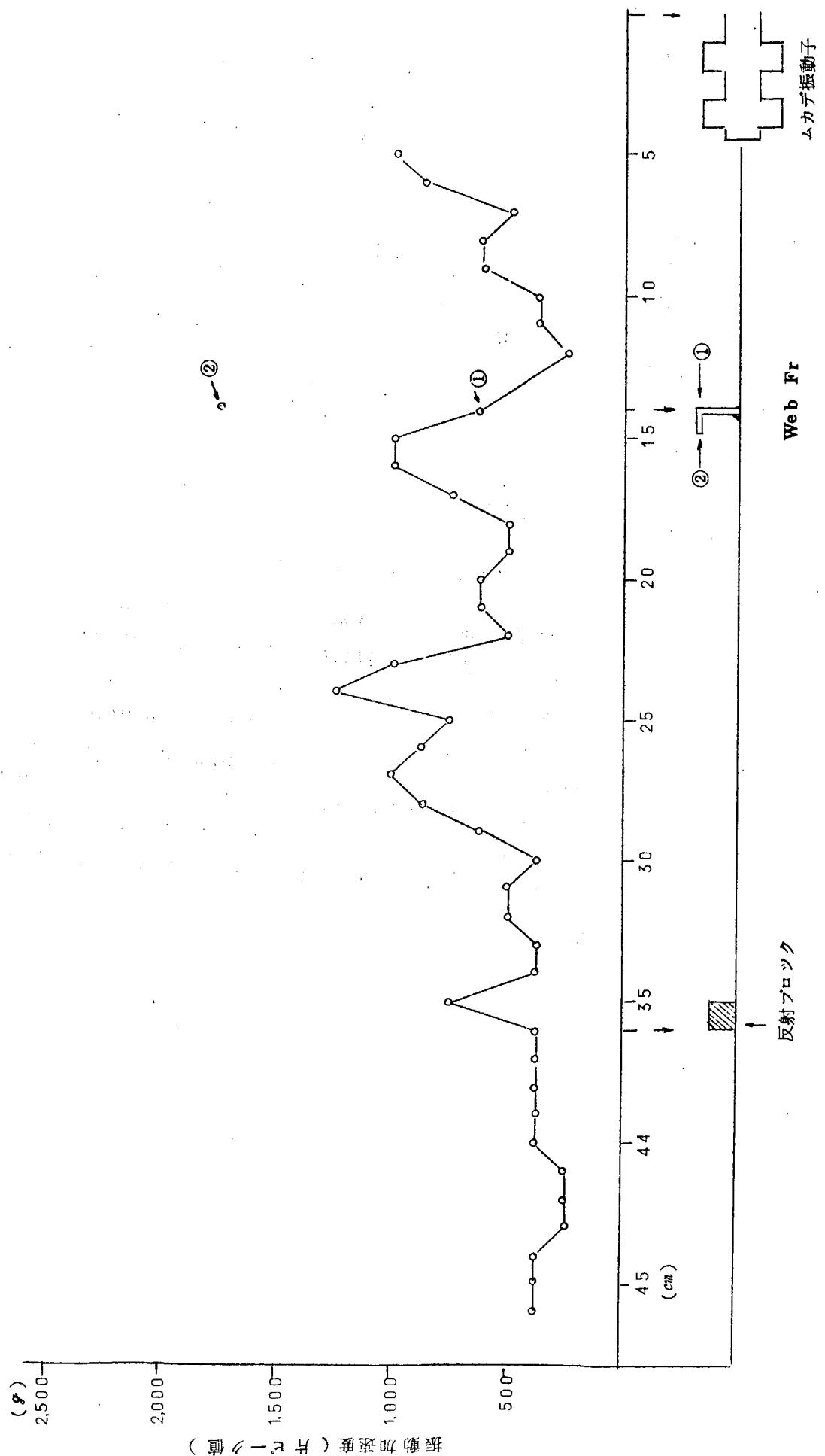


図 2.11 振動子左方の振動分布

加速度の測定はその後も必要に応じ隨時実施し実船における振動の伝播について解明を行なつた。

(i) 追尾方式の改良による効果

L-L型駆動部を中心として、反射プロック内で、面に沿つた振動変位分布を圧電型のカートリッジを用いて、フレーム 22 と 23との間で、L-L型駆動部から向つて船尾、上下の 2 方向について測定を行なつた。なお、測定位置の概略図を図 2.1.2 に、測定プロック図を図 2.1.3 にそれぞれ示す。

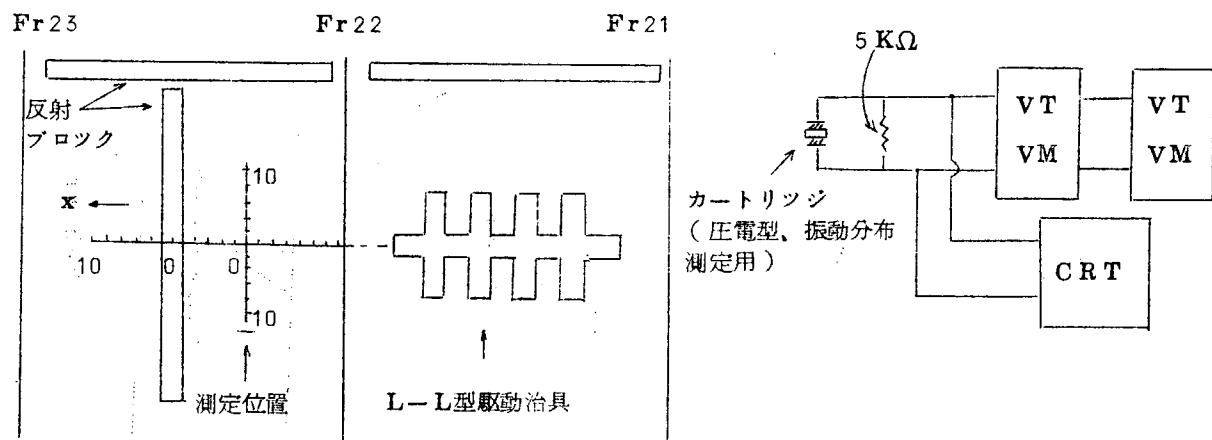


図 2.1.2 振動変位分布測定位置概略図

図 2.1.3 測定プロック図

振動変位分布測定結果を図 2.1.4、図 2.1.5 に示す。各図で、 $\times$ 印の点を連ねた曲線は振動系の駆動用振動子に入る電気入力パワーが最大になるように駆動周波数を自動追尾する方式の場合の振動分布である。また $\triangle$ 印を連ねた曲線は振動系の共振周波数を振動体の上に接着した圧電磁器により発生する振動速度に比例した電圧を增幅器に帰還する方式で自動追尾した場合の振動変位分布を示す。

測定結果によると、前者 ( $\times$ 印) の追尾方式の欠点は振動系に入る電気入力パワーが最大になるように発振機がある周波数の巾を掃引しながらその中心周波数が自動追尾するために振動が不安定である。その欠点を改良するために、後者 ( $\triangle$ 印) の自動追尾方式を用いた結果、安定した振動レベルを保つことができた。また、全体の振動レベルも平均して 1.3 倍レベルアップされており、後者の自動追尾方式の妥当性が明らかとなつた。

発振器調整前の振動加速度 (8月10日)  
 発振器調整後の振動加速度 (8月11日)  
 外板塗膜上の振動加速度 (9月3日)  
 外板塗膜剥離後の振動加速度 ( )  
 ◎ 値は○値に比べ4.2.4%に減衰  
 □印 △印 □印 △印  
 □印 △印 □印 △印  
 ◎印 (1)→△印 (2)→△印 (3)→△印 (4)→△印  
 ◎印 (1)→□印 (2)→□印 (3)→□印 (4)→□印

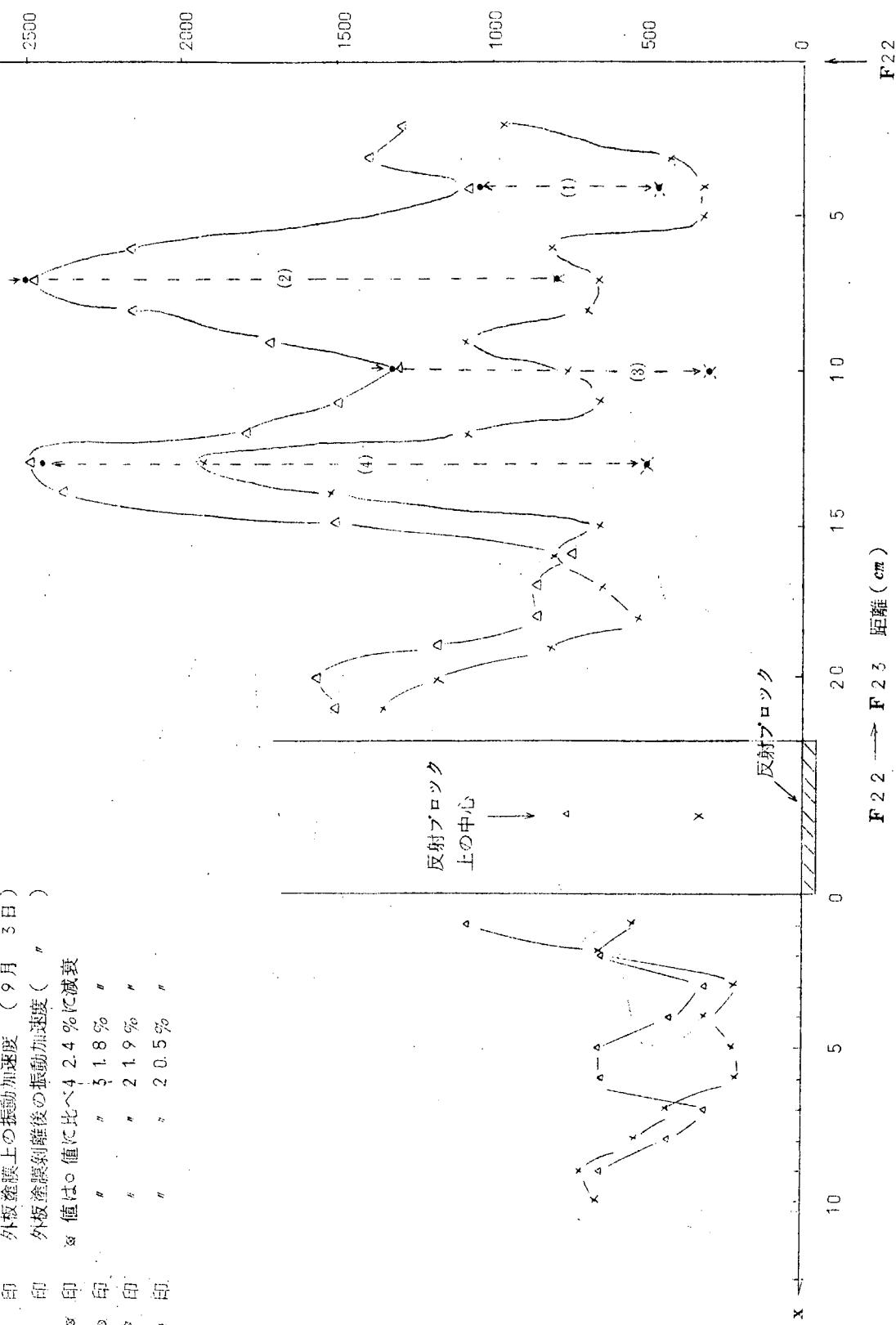


図2.14 x方向の振動分布と塗膜上より測定した振動分布

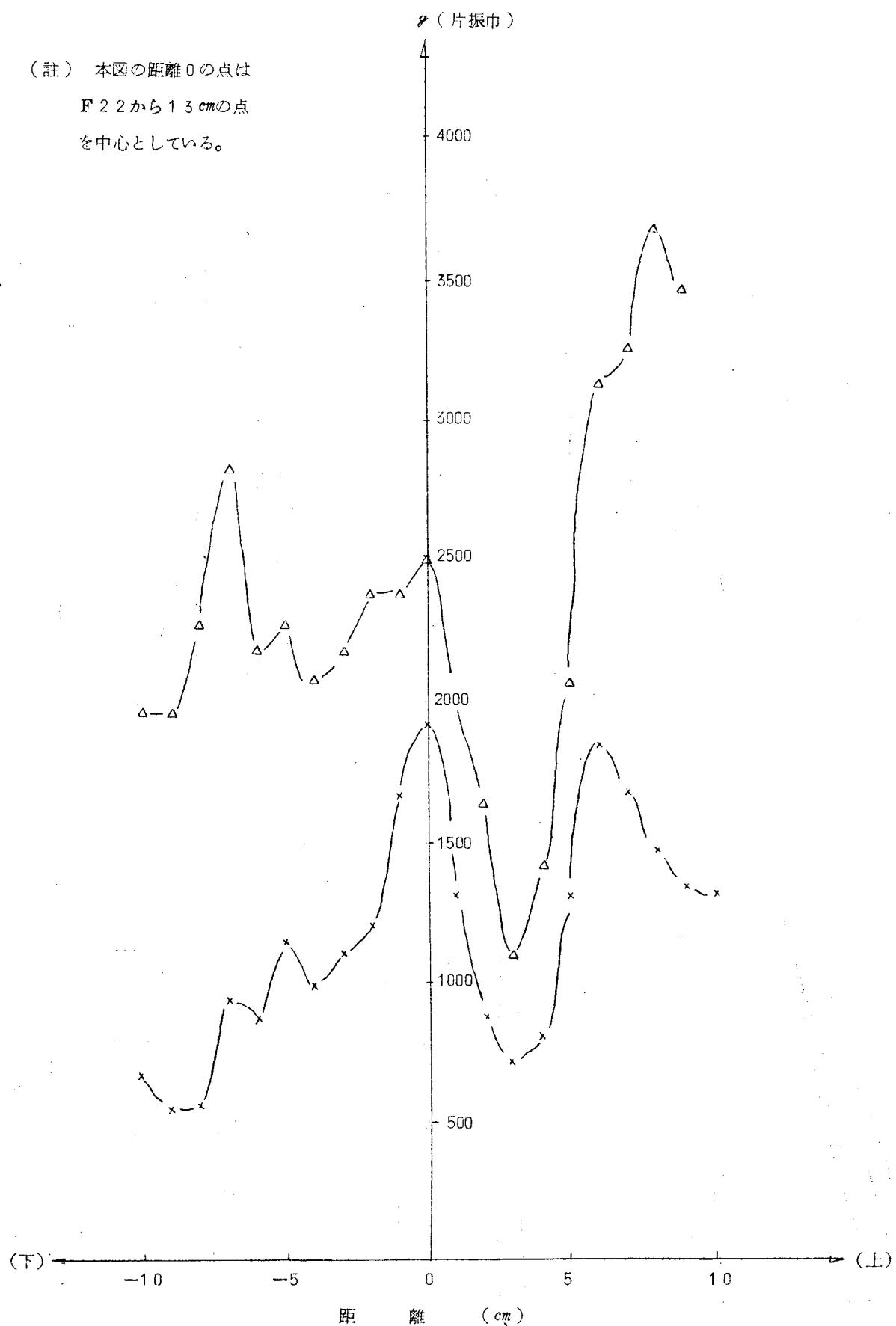


図 2.1.5 上下方向の振動分布

### (ii) 実船における塗料膜による振動の減衰の測定

実船には必ずしも、防蝕塗料および防汚塗料が塗布してあるため、鉄板を面に沿つて振動させると、船側板内側と外板の塗料膜上とでは(1)塗料膜と鉄板との密着性が弱いことによる振動の減衰、(2)塗料膜厚内の振動の減衰(塗料の剪断変形による減衰)等の理由により、振動変位の大きさが異なることが考えられる。従来、防汚の議論は、船側板内側の振動変位の大きさを測定した値で行なつて来たため、塗料膜の表面に海中生物が付着することを防止するために必要な塗料膜表面での振動変位の大きさが明確でなかつた。すなわち、鉄板に振動を付与するための駆動用振動系の設計が不十分であつた。そこで、我々は9月常石ドックでみようじょうをドライアップした時、図2.1.2に示した測定位置内の代表点4ヶ所について、塗料膜上の振動変位を測定した値と、塗料膜を剥いた外板の振動変位を測定した値とを対比し、結果を図2.1.4に・……×印で示した。結果は図より明らかのように、塗料膜上の振動振幅は塗料のない鉄板面に対して55～80%も少なくなつており、予想外に塗料膜と鉄板との間で、振動振幅の減衰が大きい事がわかるとともに、駆動用振動系の設計に重要な資料を得ることができた。今後、超音波振動を利用して能率良く船底防汚を行なうためには、鉄板に対し、密着性のすぐれた塗料の開発、塗装方法の改良等も残された大きな問題である。

### (iii) 反射プロックによるエネルギー封じ込め効果

実船において1点で駆動する場合は振動が拡散して減衰し、防汚面積が非常に小さくなると考えられる。これに対し、駆動点をある程度分散し、しかも反射材を外板に密接して、反射材に囲まれた範囲内に振動エネルギーを封じ込めることができれば、その範囲内での振動分布はほぼ一様となつて、比較的少ない超音波のパワーで防汚できると考えられる。そこで、L-L型駆動用治具の長手方向で船尾側にその端面から $\frac{1}{4}$ の奇数倍( $\lambda$ ;たて波の波長)の位置に、また、横方向で海面側にも $\frac{1}{4}$ の奇数倍( $\lambda$ ;剪断波の波長)の位置にそれぞれ反射材を取り付け、振動エネルギーを閉じ込める範囲を限定して、その効果を確かめた。その結果、図2.1.4、図2.1.5に示す如く、反射プロック内での振動変位分布はほぼ一様になつている。また、振動レベルを見ると、反射プロック内での最大振動加速度値は反射プロックの外側の最大振動加速度値に比べて、6dB以上の値を示している。以上の結果より、反射プロックによるエネルギー封じ込めの効果を利用するれば、駆動する超音波パワーの面で、かなり有利であることが明らかとなつた。

## 7.2 放射音圧の測定

左舷艇左舷に装置してあるL-L型および斜角型駆動治具近傍の放射音圧を調べることにある。そこで、放射音圧最大のところを基準として、船首、船尾方向(横方向)と上下方向にHydrophoneを移動させ、左舷艇左舷での放射音圧の分布を測定した。図2.1.6に測定プロック図を示す。図2.1.7、図2.1.8に測定結果を示す。図中、原点(O点)は振動子の中央部前面で放射音圧最大のところである。

測定結果はL-L型駆動部前面の最大放射音圧値は1.5mbar、斜角駆動部前面の最大放射音圧値は3.0mbarであつたが、L-L型駆動による方が、斜角駆動によるよりも距離による放射音圧の減衰の程度が少なく、振動が音

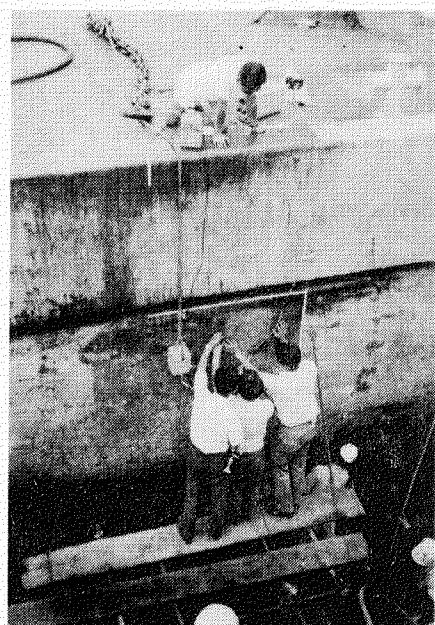
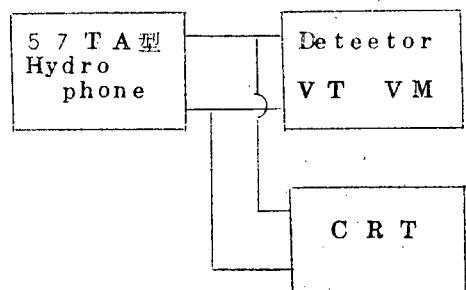


写真2.5 外板塗膜上の加速度測定状況

源から遠くまで伝わっていることを裏書きする結果が得られた。



(注)

5.7 TA型 Hydrophone は、沖電気KK 製で、受波感度は 5 kHz ~ 30 kHz で  $-104 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$ , 28 kHz では  $-103.5 \text{ dB}$  である。

図 2.16 放射音圧測定プロック図

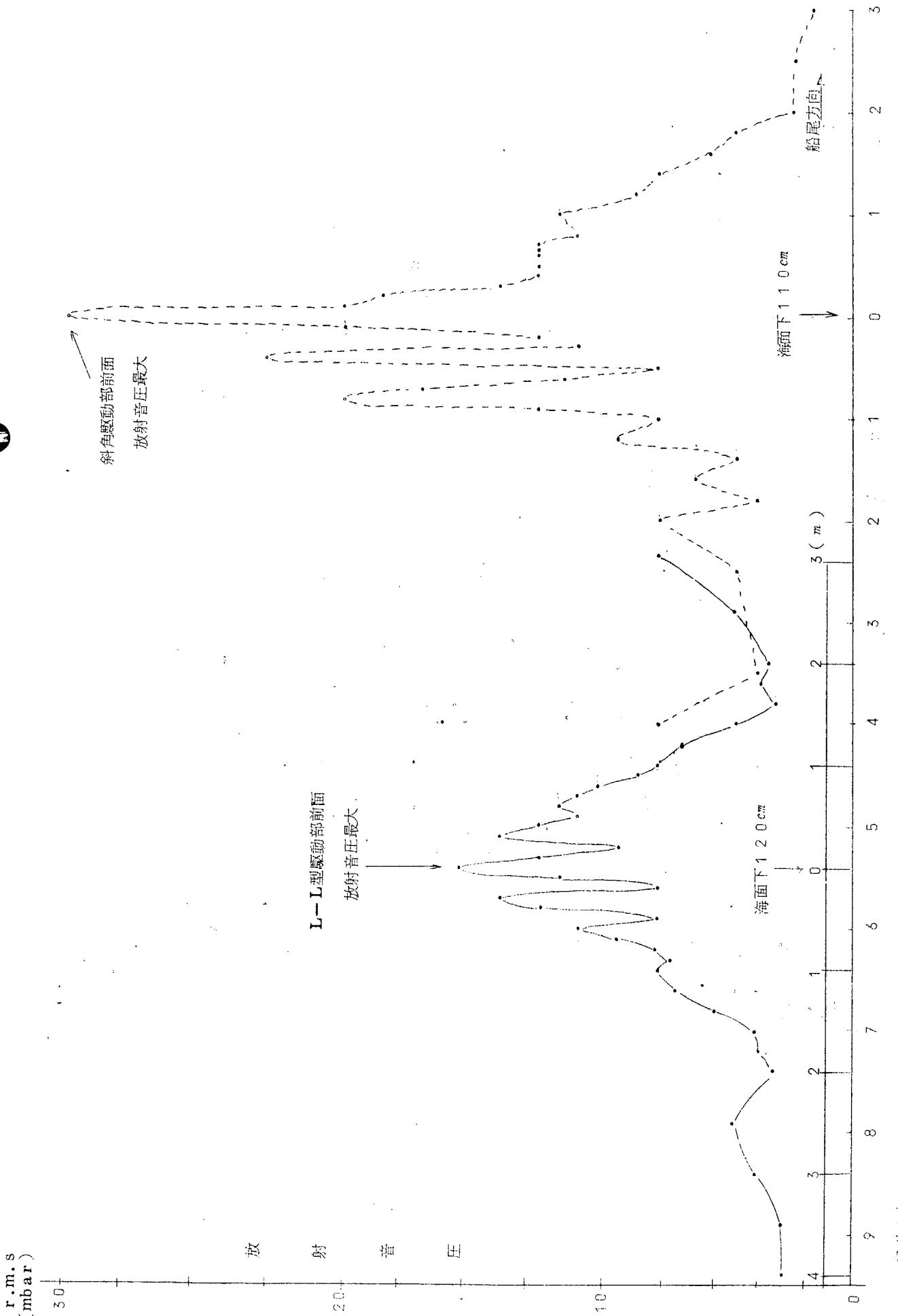


図2.17 船首，船尾方向(横方向)の放射音圧分布  
Hydrophone 移動距離(横方向) (m)

船首方向

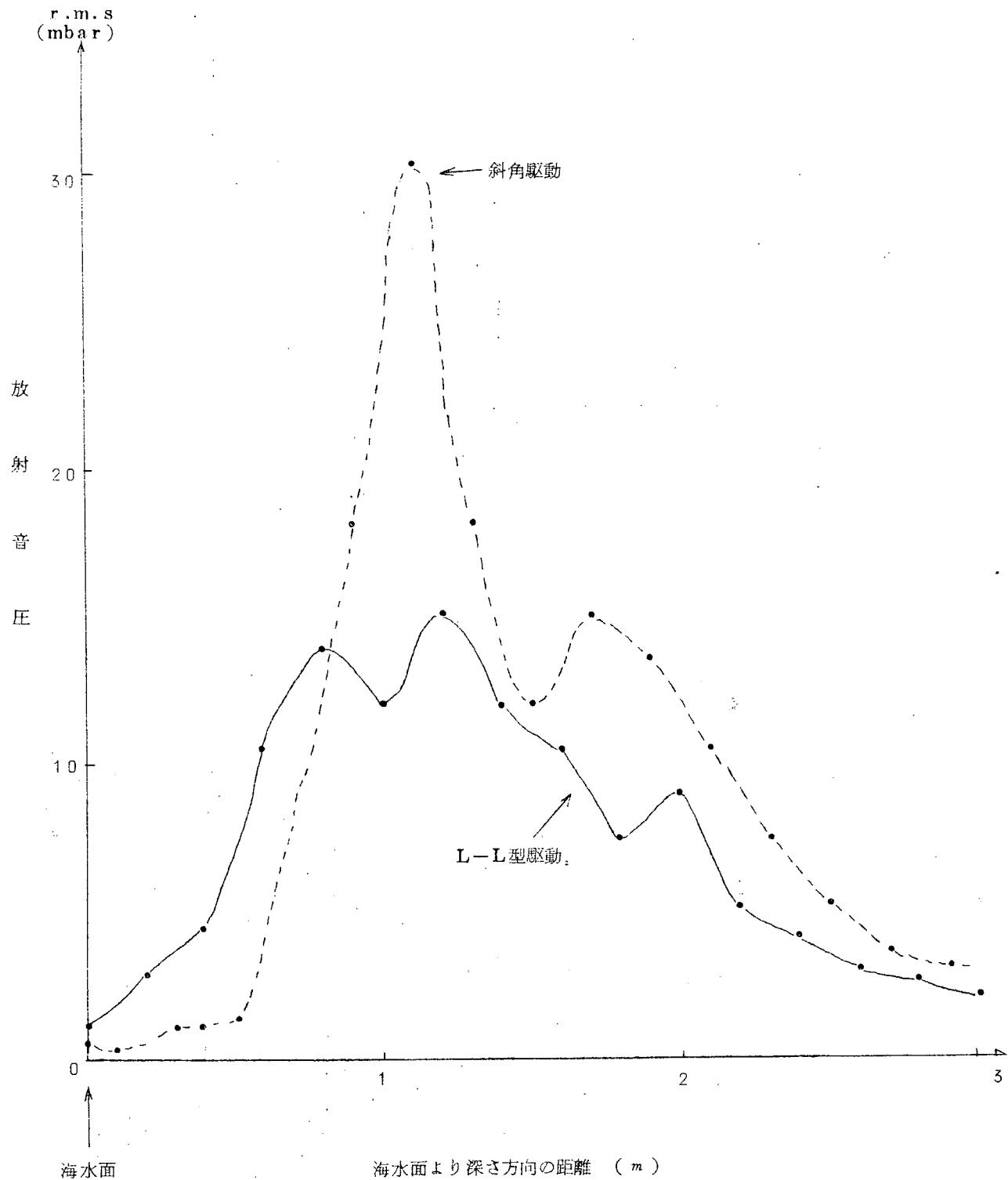


図2.18 深さ方向(たて方向)の放射音圧分布

## 8. 第1次実験条件とその結果

### 8.1 実験条件

- (1) 実験期間 164日(4月3日～9月2日)
- (2) 停泊期間 142日(8月5日～8月29日)
- (3) 海水温度 最低 10°C 最高 29°C
- (4) 行動海域 広島を基地とし第6管区海域
- (5) 超音波条件 ニッケル振動子 26.7 kHz 550 W  
フェライト振動子 27.7 kHz 250 W
- (6) 外板試験塗装 図2.22に示す。

### 8.2 船体外板の汚損調査

#### 8.2.1 定期調査

実験期間中毎月1回防汚装置の動作状況調査をかねて外板の汚損状況を観察した。観察は停泊中の本船の周囲を伝馬船で周回し箱メガネなどを使つて行なつたもので、2ヶ月後の調査ではアオノリ以外の付着は認められず、3ヶ月後の調査でイガイ、フジツボなどの付着が観察された。

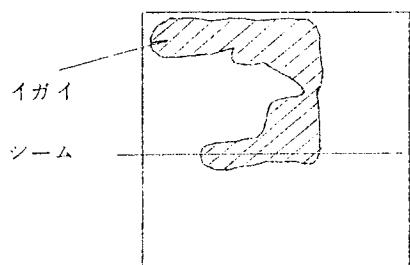
#### 8.2.2 入渠調査

4月9日本船を常石ドック(広島県沼隈町)に入渠させて外板試験部の調査を実施した。写真2.6～写真2.9は実験終了後の外板状況である。

##### (1) 一般A/F部

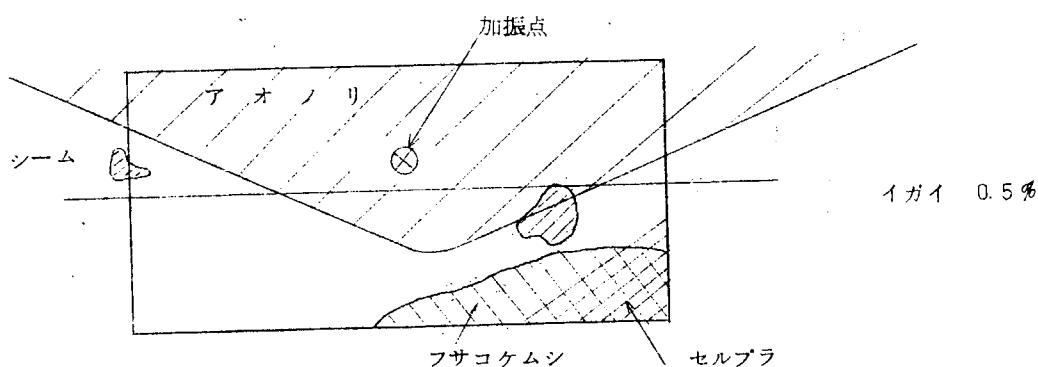
- ① 水線付近およびシームに生物付着
- ② 右舷では船尾部の、左舷では試験部付近の水線部約100mm幅にアオノリがとくに目立つて付着。
- ③ 付着生物はアオノリ(max, 100mm長)のほか、フジツボ(max, 10mmφ), セルプラ(max, 20mm長), フサコケムシ(max, 15mm長)で、Ni振動子試験部付近(船首側)にイガイ(max, 20mm長)の群着も認められた。

##### (2) 右舷比較部(図2.19)



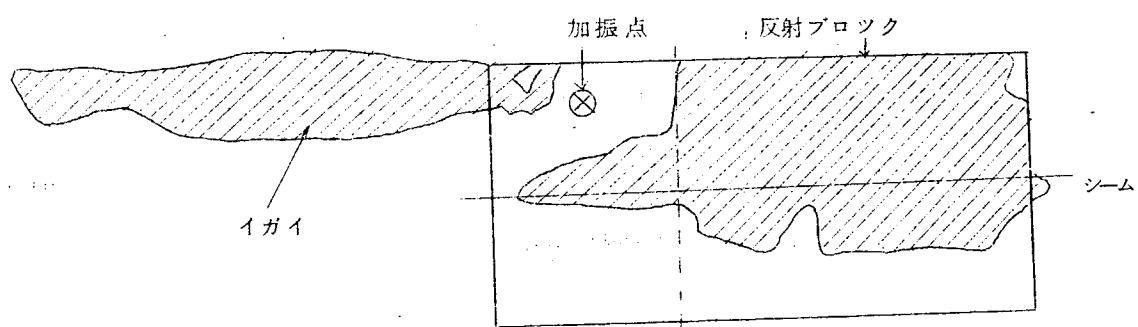
イガイ	20%
セルプラ	3
チゴケムシ	3
フサコケムシ	1
フジツボ	1

(3) フエライト振動子部(図2.20)



シーム以下にセルプラ、フサコケムシが点在、下方船尾側(図示)に集中的に付着

(4) ニツケル振動子部(図2.21)



① 付近のA/F部も含めてイガイが集中的に(厚さ約6mm)付着

② アオノリは水銀付近に付着

③ シーム以下にセルプラ、フサコケムシ、チゴケムシが付着

イガイ	50%
セルプラ	2
フサコケムシ	2
チゴケムシ	1

④ 相当広範囲にわたってスライムがマダラに付着

なお、点線で示した部分より船尾側は反射ブロックで超音波エネルギーが遮蔽されているためイガイが多く付着したものと推定される。

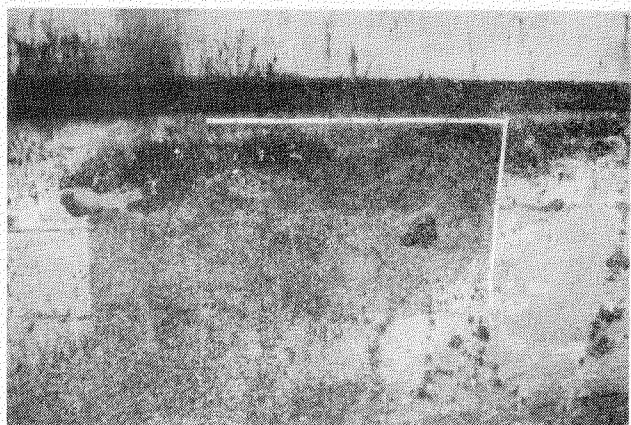


写真2.6 フェライト振動子試験部



写真2.7 ニッケル振動子試験部

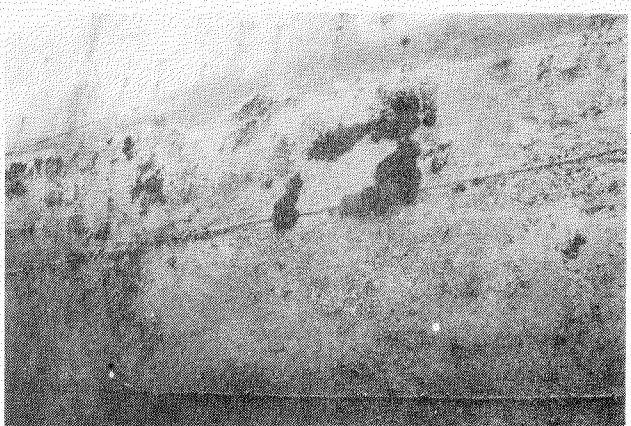


写真2.8 右翼根比較部

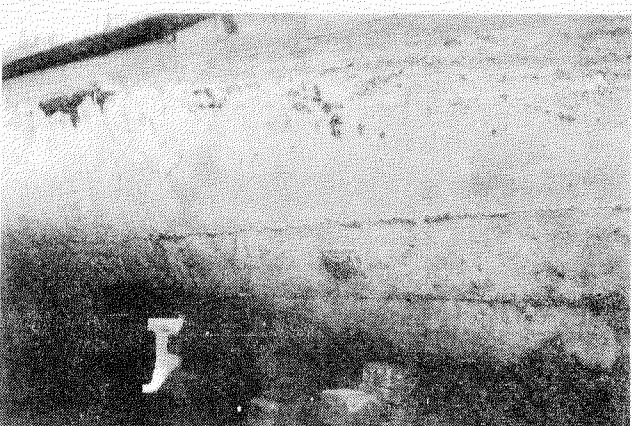
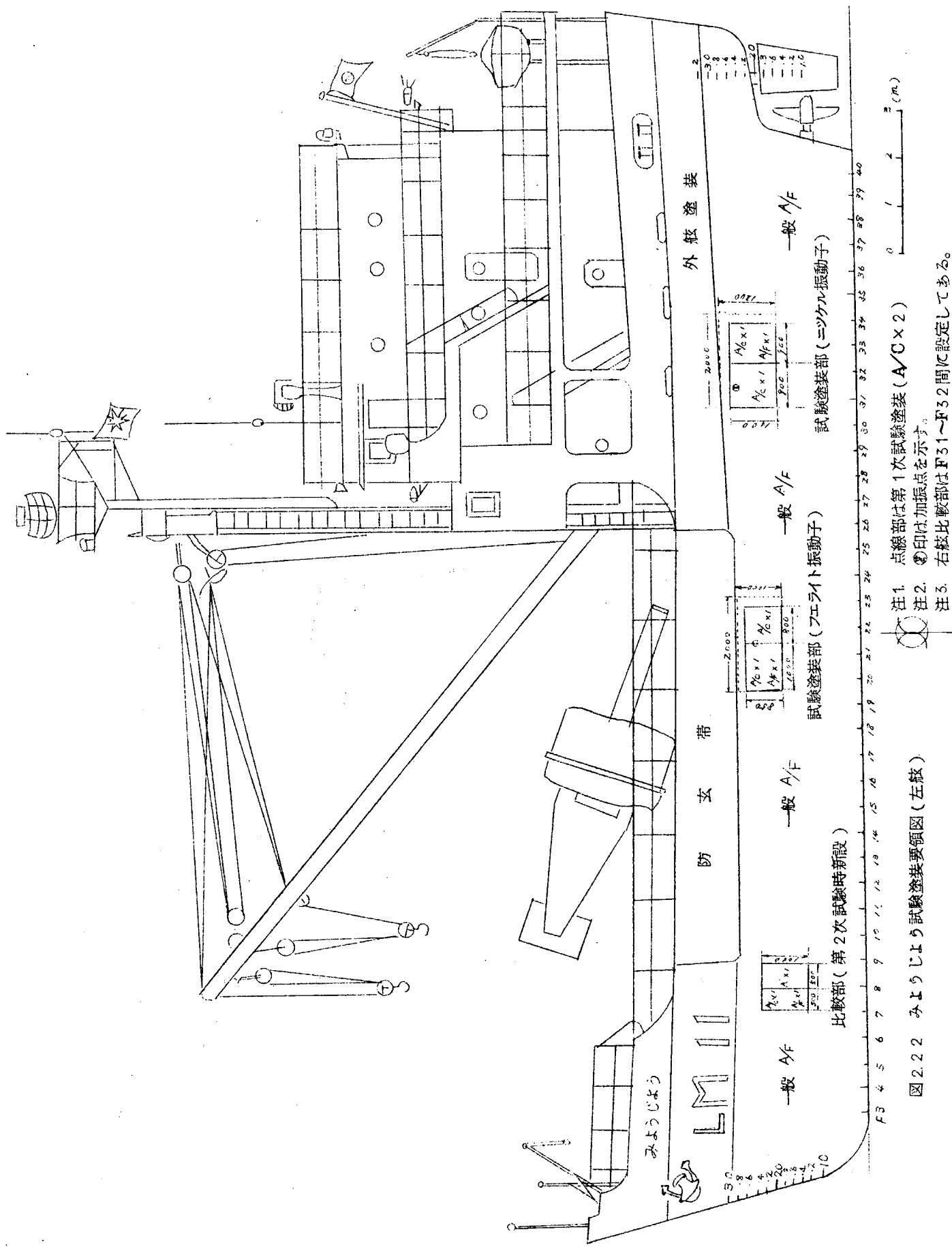


写真2.9 右翼一般 A/F 部



## 9. 第2次実験条件とその結果

第1次実験結果の調査に引き続き外板を再塗装し試験部の位置を若干変更するとともに新しく左舷にも比較部を設けた。また、A/F 塗膜との併用効果を調べるために試験部にはA/F塗料(耐アオサ塗料、商品名アルガ；有機系毒物を含有)を塗りわけている。

### 9.1 実験条件

- (1) 実験期間 181日9時間(43.9.4~44.3.4)
- (2) 停泊期間 159日22時間25分(88%)
- (3) 海水温度 最低9°C, 最高28°C
- (4) 行動海域 約50日間第5管区海域(大阪桜島基地)に派遣されたほかは広島を基地として第6管区海域
- (5) 超音波条件 ニッケル振動子 26.7 kHz 550W  
フェライト振動子 27.7 kHz 250W
- (6) 外板試験塗装 図2.2.2に示す。

### 9.2 船体外板の汚損調査

#### 9.2.1 定期調査

第1次実験と同じ要領で毎月1回定期調査を実施した。その概要を図2.2.3に示す。また第9, 10回調査時には試験部の水中写真撮影も試みた。

なお、第9回(112日後)の調査でフジツボ、セルプラなど動物性生物の付着が認められた。

9月3日 試験塗装 於、常石 ドック	<p>左舷比較部      フエライト振動子部 加振点      ニッケル振動子部 加振点      右舷比較部</p>			
	<p>25日後 9月29日 大阪桜島 岸壁より 観察した。</p> <p>斜線部：アオノリが付着している。</p>			
第6回調査  43日後 10月17日 広島宇品 伝馬船より 観察	<p>シマ状に付着</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>付着生物はすべてアオノリ</li> <li>加振点付近はシマ状に付着している</li> <li>フジツボなど動物性生物は認められず</li> </ul> <p>接岸時は岸壁側となることが多いためか生育が悪いようである。</p>			
第8回調査  73日後 11月16日 大阪桜島 海面状況悪く観察不良				
第9回調査  112日後 12月25日 広島宇品	<p>11月17日 広島宇品</p>			
第10回調査  135日後 1月17日 広島宇品				

図2.2.3

## 9.2.2 入渠調査

4.4.3.4 本船が四国ドック（高松市）に入渠したので外板試験部の汚損調査を実施した。その結果を表2.5に示す。

生物の付着状況について考察すると、アオノリに対してはあまり超音波の効果はないようである。比較部にくらべ逆に多く付着しているようであるが比較部は左舷、右舷とも船体彎曲部であつたことと、左舷の方は吃水線の低下により一時露出したためと推定される。フジツボに対する超音波の効果は顕著で比較部では直徑10ミリ程度のものがほぼ全面に付着しているのにくらべフェライト振動子部では8ミリ以下のものが点在、不調であつたニッケル振動子部でも8ミリ以下のものが若干付着している程度である。セルプラは寸法が小さく付着量も少かつたので比較は出来なかつた。

なおA/Fとの併用効果について調べるため試験塗装を行なつたアルガA/F部には比較部、超音波付与部ともアオノリ以外の生物の付着が認められず明確な判定は出来なかつた。

試験前の外板を写真2.10に試験終了後の外板状況を写真2.11～写真2.15に示す。

表2.5 A/C塗装部における生物付着状況

付着生物\試験部	左舷比較部	フェライト 振動子部	ニッケル 振動子部	右舷比較部	一般A/F部
アオノリ	下部	全面	ほぼ全面	上半分	水線付近散見
フジツボ	~10φ大 100個/dm <sup>2</sup>	~8φ大 3~6個/dm <sup>2</sup>	~8φ大 3~25個/dm <sup>2</sup>	~10φ大 多量	max 10φ大 散見
セルプラ	20mm長 下部に若干	20mm長 下部に若干	20mm長 下部に若干	20mm長 若干	max 20mm長 散見
チゴケムシ	20φ大 15個/0.5dm <sup>2</sup>	—	—	—	—
付着生物の重量 採取面積400×400mm (0.16m <sup>2</sup> )	上部, — 下部, 165g	上部, 30g 下部, 65g	上部, 130g 下部, 105g	上部, 150g 下部, 630g	1g以下

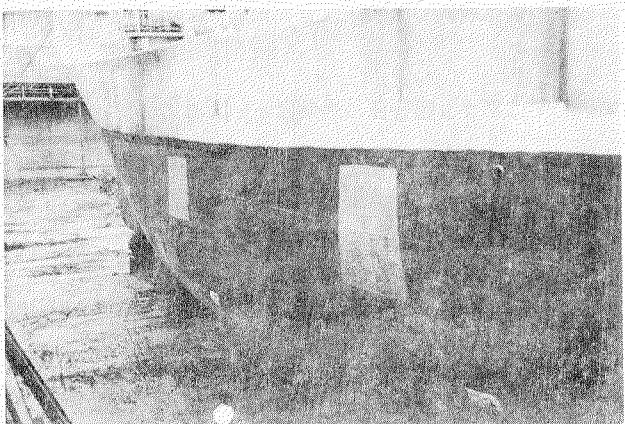


写真 2.1.0 試験塗装状況

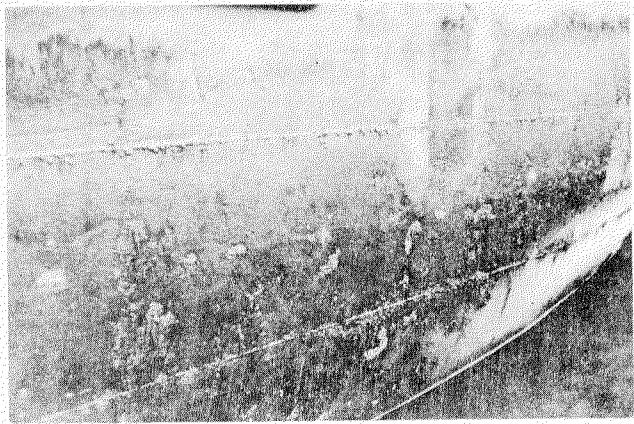


写真 2.1.1 試験後の一般 A/F 部（左舷）

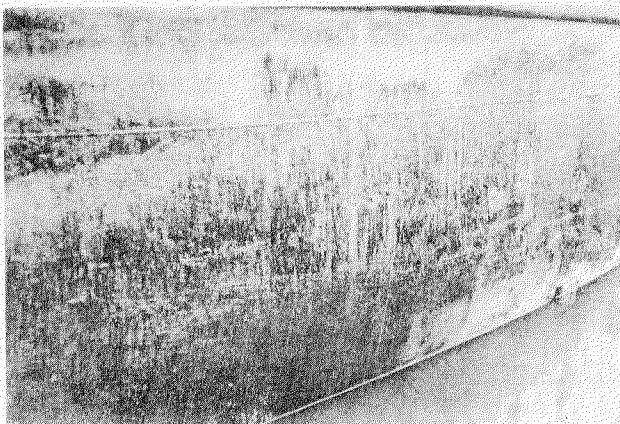


写真 2.1.2 試験後のフェライト振動子部

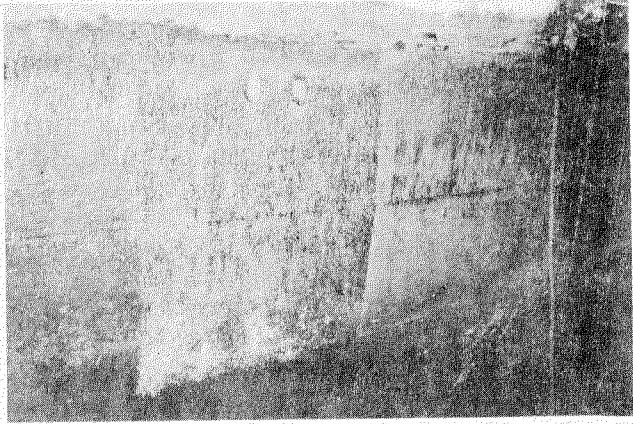


写真 2.1.3 試験後のニッケル振動子部

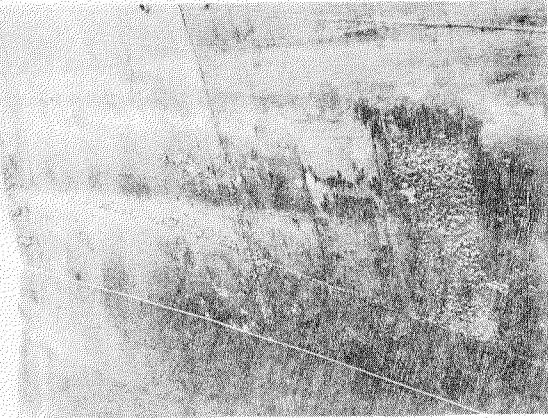


写真 2.1.4 試験後の左舷比較部

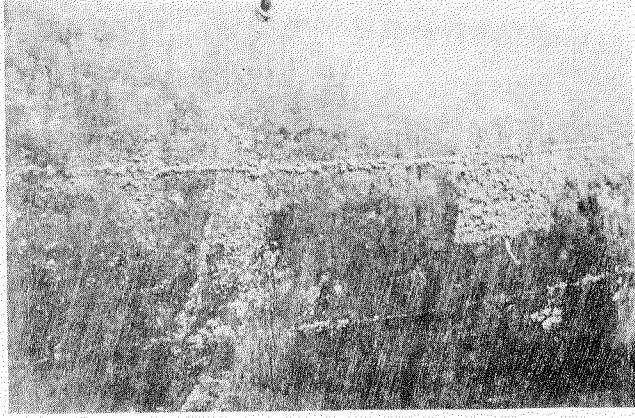


写真 2.1.5 試験後の右舷比較部

## 10. 防汚装置の作動状況

実験期間中における防汚装置の作動状況はつきの通りである。

### (1) 第1装置( フエライト振動子 )

設置当初においては電源電圧の変動( 船内発電機 = 225 Volt, 陸上電源 = 190 ~ 200 Volt )が激しく発振が不安定であった。これに対して 5/27 電源にスタビライザを入れ以後電圧変動による故障は生じなくなった。しかし、この間約 50 日において生物の付着はまぬがれなかつた。

7/17 の調査結果、従来行なつていた出力最大点を自動追尾する方式では最大加速度が得られてないことがわかつたので新しい追尾装置を 8/12 に取付けた。すなわち L - L 型治具の上に接着した圧電磁器によつて発生した振動速度に比例した電圧を増幅器に帰還させる方式である。この方式を採用することによつて加速度が約 30 % 上昇した。その他、第1次実験期間中には大した故障もなく作動していた。第2次実験中においては自動復帰回路の故障、本船の工事停電などにより延 133 時間程度の発振停止があつた他、順調に作動していた。

フエライト振動子はまつたく異常がなかつた。

### (2) 第2装置( ニッケル振動子 )

自動追尾方式でないため外部条件の変動によつて共振点がズレる恐れがあつたが装置自体は第1次実験中はほぼ順調に作動していた。しかし、第2次実験に入つてからは故障が生じ易くなり、抵抗の焼損などにより延 38 日程度発振が停止した。やはり一般用の発振機では長期間連続運転は無理なようである。

なお、ニッケル振動子、冷却装置共に全く異常はなかつた。

### (3) 多点記録計

設置当初、零点の変動、指示の不安定により満足すべき記録が得られなかつた。定期調査のごとに原因を追求した結果、機械的な故障と判明し、第2次実験以後は正常に動作した。

なお、測定要素として発振周波数をも記録するべく変換器を用意していたが、温度、電圧などでも指示に変動を生じたため記録を中止した。変換方式を改良する必要がある。

### (4) 加速度監視装置

電源に水銀電池を使用していたが高温、多湿のため予想以上に電池の消耗が大であつた。このため AC アダプターと取替へ以後安定に動作。

なお参考までに実験装置の動作状態を記録したものの 1 部を表 2.6 に示す。

表 2.6 超音波防汚装置動作状態記録

調査回数		第8回調査	第9回調査	第10回調査	第11回調査	第12回調査
調査日		43.1.1.16	43.1.2.25	44.1.17	44.2.21	44.3.4
試験開始日からの日数		73	112	135	170	181
動作時間(hr)		1750	2679	3234	4074	4309
項目	測定時刻	17:45	09:40	10:00	13:00	—
第一発振機 三〇〇W (フエライト振動子)	電源電圧(V)	212	202	222	200	—
	使用電源	陸電	陸電	陸電	陸電	—
	Input Voltage(V)	102	103	102	102	—
	Frequency(kHz)	—	—	—	—	—
	Power(W)	280	290	285	245	—
	Plate Voltage(KV)	1.9	1.9	1.9	1.9	—
	Cathode Current(mA)	320	360	350	380	—
第二発振機 六振子 W	Temp.(C)	22	21	20	15	—
	Frequency Range	B黒82	B黒82	B黒82	B黒82	—
	Power Range	300	300	300	300	—
	Feed Back Range	9.2	9.2	9.2	9.2	—
	Modulation Range	1.5	1.5	1.5	1.5	—
	Matching Range	.5	5	5	5	—
六振子 W	Tuning Mode	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO	—
	Frequency (kHz)	—	—	—	—	—
	Power (W)	—	—	—	—	—
	Plate Current(mA)	640	600	700	800	—
	Temp. (C)	25	36	38	40	—
冷却水タンク温度(C)		28	40	36	32	—
六振子 W	Frequency Dial	5.5	5.5	5.5	5.5	—
	Power Dial	9.8	9.8	9.8	9.8	—

## 1.1 実験結果の概要

超音波による船底外板の汚損防止実験を実船に適用して行なつた。その結果、直ちに実船に装備し全面的に防汚効果を発揮するまでには至らなかつたが、多くの問題点を解明することができた。

今回の実験によつて少くとも部分的な防汚は可能であると考えるのでその特長を生かし将来は例えば海洋開発関係の施設など海中構造物への適用を検討したい。

本研究によつて得られた成果の概要は次の通りである。

- (1) 超音波による防汚効果は充分認められるがそのためには200g以上 の加速度が必要である。
- (2) 実船において外板を加振点とした場合、塗膜による加速度の減衰は大きく本船の場合においても70%程度あり、したがつて鋼板には1000g以上の加速度を与える必要がある。
- (3) 船体構造上、1000g程度の加速度を広範囲に伝搬させることは困難であるが、外板の薄い本船の場合では直径1m程度であつた。
- (4) 振動モードは面に直角な波(ヨコ波)でも面にそつた波(タテ波、せん断波)でも防汚効果には大差がないが、実船では減衰の少い面にそつた波を用いる方が有利である。
- (5) 防汚実験装置としては長期間船載可能な無人運転機器の試作に成功しており、本技術適用上有効な基礎技術を得た。
- (6) 防汚装置用の振動子はニッケル振動子よりフェライト振動子またはボルト締めランジバン形振動子など空冷式の振動子のほうが良い。

### § 3. 関連する基礎的調査事項

#### 1. 斜角対称駆動方式の入射角度の検討

##### (1) 実験の目的

第3次実船試験(於、みようじょう 250 ton)に際しての参考データを得るため、過去において実績のある斜角対称型治具についてその角度による検討を行なつた。

##### (2) 実験方法

超音波入射角度が $45^\circ$ ,  $30^\circ$ , および $20^\circ$ の3種の治具(図3.1)を作り、厚さ $9 \times 200 \times 1300$  mmの鋼板中央部に接着剤で固着させ $28\text{kHz}$   $\pi$ 型エラライト振動子で対称駆動を行ない整合条件、加速度分布などを検討した。(図3.2)

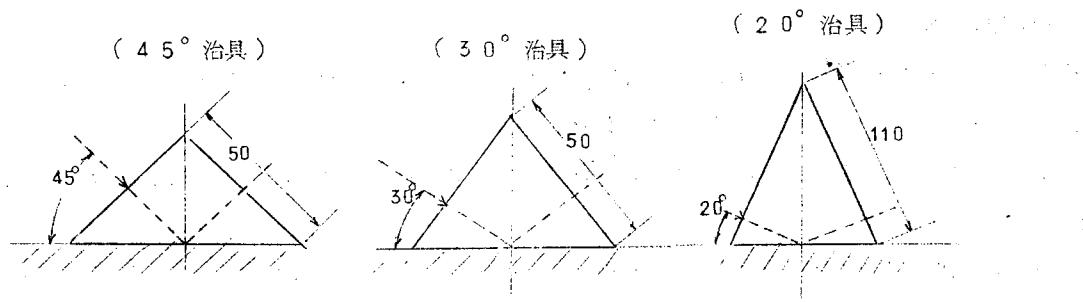
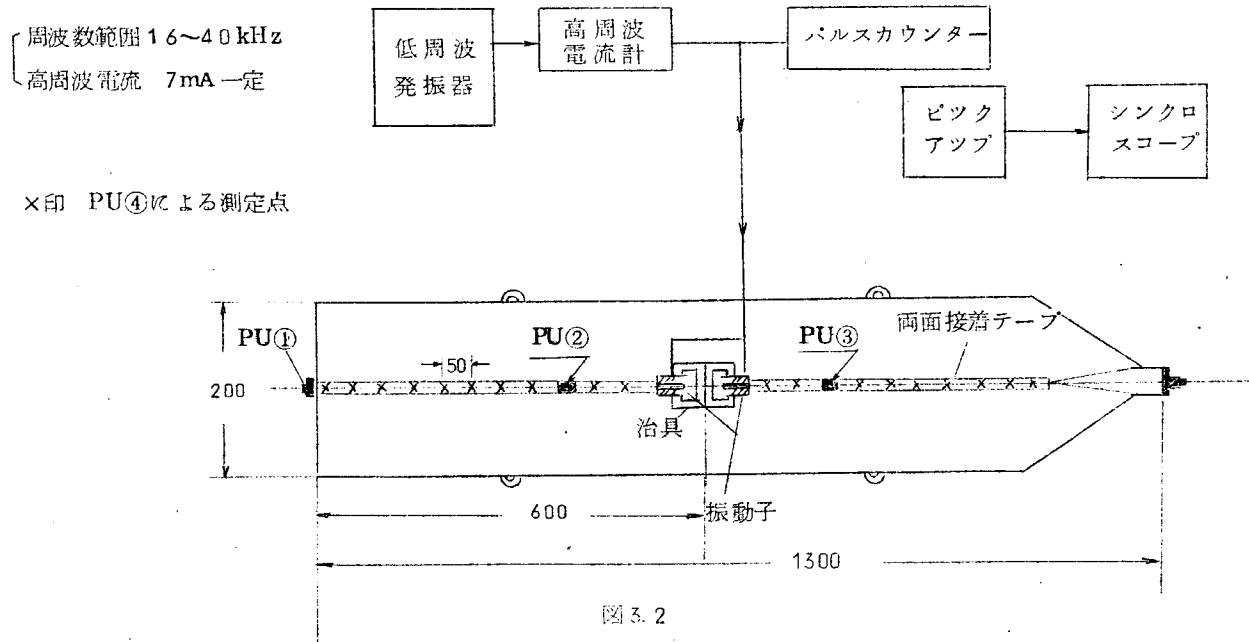
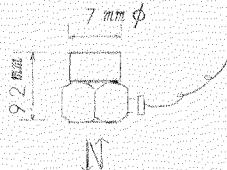


図3.1



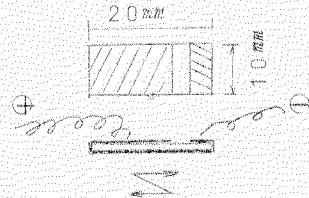
鋼板上の加速度検出に用いたピックアップは次の2種を用いた。

P U(1), P U(4)  
B & K 社製（デンマーク）  
加速度型振動ピックアップ  
T Y P E 4 3 3 6



感度約 4 mV/g

P U(2), P U(3)  
東工大製（国産）  
厚みすべり振動ピックアップ  
平行成分検出用



感度約 0.4 mV/g

P U(1), P U(2), および P U(3)は図 3.2 に示す位置に接着固定し振動の平行成分を測定した。  
P U(4)は振動の垂直成分の分布を測定するため両面接着テープを用いて図 3.2 の X 印点を移動して測定した。

なお、振動子、およびピックアップの接着はすべてシアノアクリレート系の瞬間接着剤を用いた。

写真 3.1 に実験装置を示す。

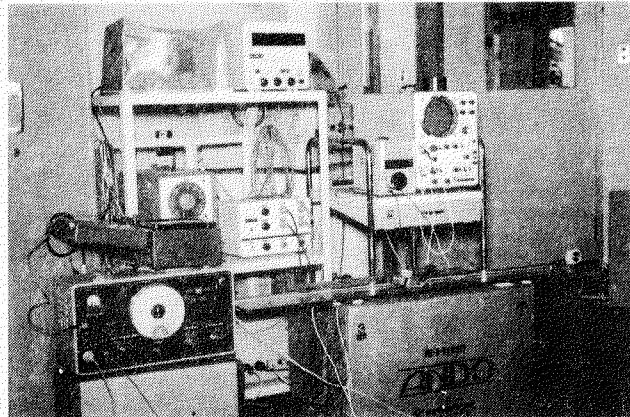


写真 3.1

### (3) 実験結果

- ① 入射角と平行成分の関係は理論的（大きさが等しく点駆動の時）には  $2 \cos \theta$  であり角度が小さくなるほど平行成分は多くなる。実際に測定してみると  $0^\circ$  治具が最もよかつた。 $20^\circ$  治具があまり良くないのは治具自体が大きすぎたため（ $30^\circ$  治具の約 4 倍の重量）と思われる。しかし  $1.6 \text{ kHz} \sim 4.0 \text{ kHz}$  の周波数域においては  $45^\circ$  治具より平行成分が多いので、いずれにしても角度を小さくする方がよいと推定出来た。
- ② 対称駆動の効果を定性的に調べるため、片側の振動子だけを動作させてみると加速度が減少することがわかった。

## 2. ポルト締めランジバン形振動子の駆動実験

従来、防汚実験には機械的強度が大なニッケル磁気ひずみ振動子を主として使用してきたが、ニッケル振動子はうす電圧損が大きく電気音響変換能率が悪い、大きなパワーと多数の振動子を必要とする防汚装置では能率の良さが特に重要な問題である。このためニッケル以外の振動子で防汚に好適で、しかも能率が良くて価格が安い振動子という事でフェライト磁気ひずみ振動子を第 3 年度の実船試験に採用し好結果を得ているが、さらに最近研究段階をはなれて実用化され始めたポルト締めランジバン形振動子について防汚目的への適用性を検討した。この振動子の特長は表 3.1、表 3.2 に示すようにニッケル振動子にくらべ性能がよいことがわかる。

4.3.9.5 広島宇品基地に停泊中のみようじょうにおいてポルト締めランジバン形振動子の駆動実験を実施した。図 3.3 にポルト締めランジバン振動子の断面図を示す。この振動子を本船左舷機関室 F18-F19 間の L-L 型治具（図 2.1.2 参照）に装着し船体との整合実験ならびに振動の分布を測定した。

### (1) 整合実験

図 3.4 に示すように振動子を並列に接続し駆動時の動アドミタンスの測定を行ない船体外板との整合条件を求めた。

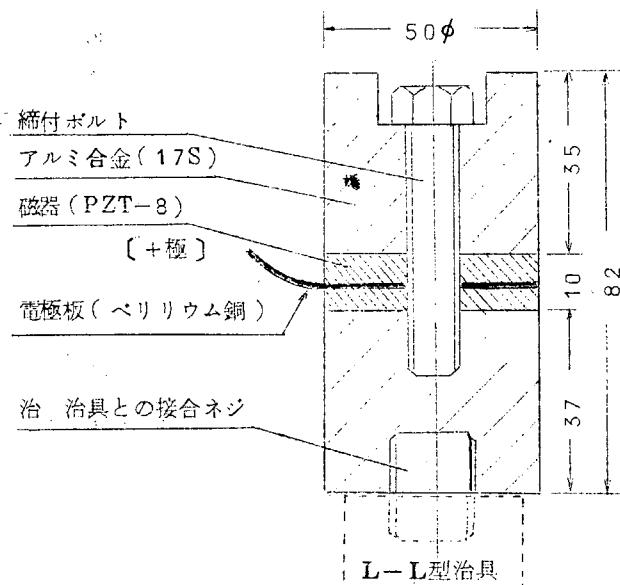
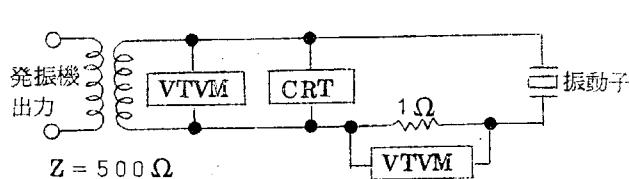
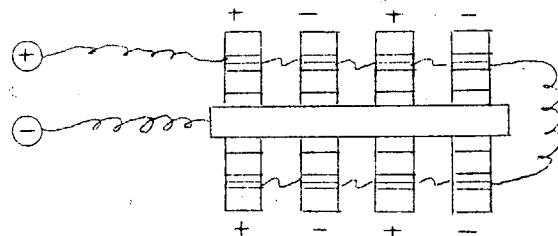


図 3.3



動アドミタンス測定回路



振動子の接続方法

図 3.4

表 3.1 振動子の性能表

振動子の種類	端面積 Sv (cm <sup>2</sup> )	$\dot{V}_F$ (実効値) (cm/sec)	$\dot{T}_s = \dot{F}_s / Sv$ (実効値) (dynes/cm <sup>2</sup> )	$W_{ms} / Sv$ (実効値) (Watt/cm <sup>2</sup> )	$r_{v} / Sv$ (dyne/cm/ sec/cm <sup>2</sup> )	最大全能率 $\eta_{ec}$ (%)
ニッケル振動子	9	7.4	$1.5 \times 10^6$	111	$1.35 \times 10^6$	40
フェライトπ形振動子	8	6.0	$7.9 \times 10^6$	47	$4.6 \times 10^6$	70~80
ランジバン形振動子	7	8.8	$7.9 \times 10^6$	69.5	$0.96 \times 10^6$	80以上

註;① ニッケル振動子は角形振動子で、脚の断面積係数が 0.5 (したがつて脚の断面積 4.5 cm<sup>2</sup>), 直流励磁磁

界が 1.5 エルステッドの場合の測定値。

② 全能率は電気・音響変換能率をあらわし、振動子の電気入力パワーが振動子から音波となつて出てゆくパワーの割合をあらわす。この値が大きな程振動子としては優秀である。

③ ランジバン形の最大駆動応力  $\dot{T}_s$  は電極間に 500 V 印加した時の値で、まだ駆動力は限界に達していない。ただ、実験的に使用した装置に問題があつてこれ以上の電圧が印加できなかつたのである。したがつて  $\dot{T}_s$  および  $W_{ms} / Sv$  の値はさらに大きなものであることは確かである。

なお、ニッケル、フェライトは与えた直流バイアス(ともに 1.5 エルステッド)における限界値を示して

ある。

表3.2 振動子の得失表

項目 種類	強度	治具との接合	冷却方式	価格比
ニッケル振動子	金属製のため 最も強い	銀ろう	水冷	100
フェライト振動子	廃物のため 衝撃に弱い	接着剤	空冷または 強性空冷	10
ランジバン形振動子	銅合金で保護 かなり強い	ボルト	空冷または 強性空冷	20

### ② 振動分布の測定

図3.5のF19~18の位置にランジュバン振動子(P.Z.T.)を取りつけて超音波振動を付与し、その振動の分布の様子を測定した。ビックアップはカートリッジを用い、外板に向つて水平方向即ちx軸方向の振動を計測した。図3.6は振動子の中央下方に測定位位置を変えて測定し、図3.7は振動子の下方、振動子から1.5cmの所を水平に位置を変えて測定したもので、図3.8は振動子下方3.3cmの所を水平に図3.7と同様な測定を行なつたものである。

騒動条件は入力が18.0W、周波数は2.8kHzで加振点より3.0~3.5cm離れた点で1000%以上の加速度を検出出来た。写真3.2に測定状況を示す。

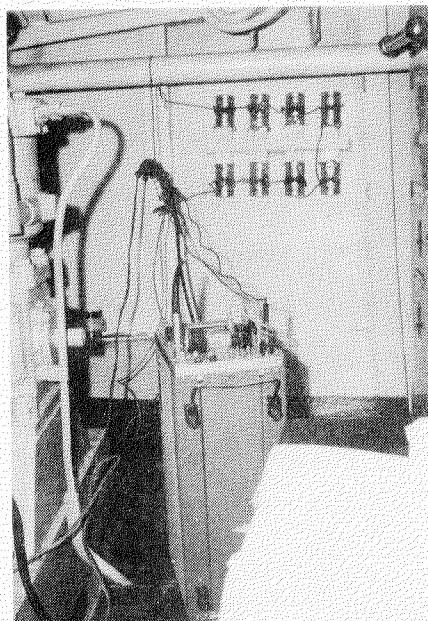
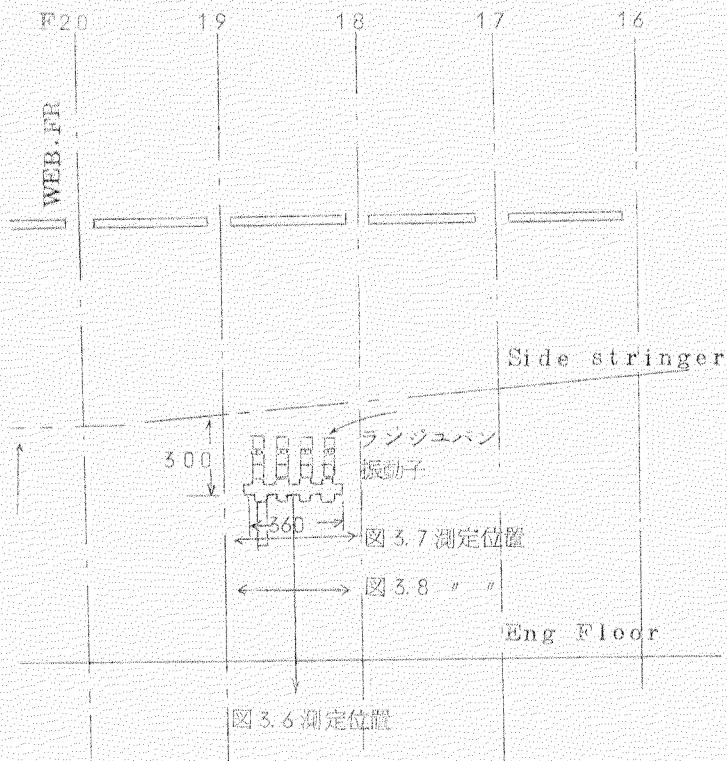


写真3.2

測定条件：カートリッジ（感度 6.5 mV—1000 g）  
により外板に向つて水平の方向の振動も同様  
な測定

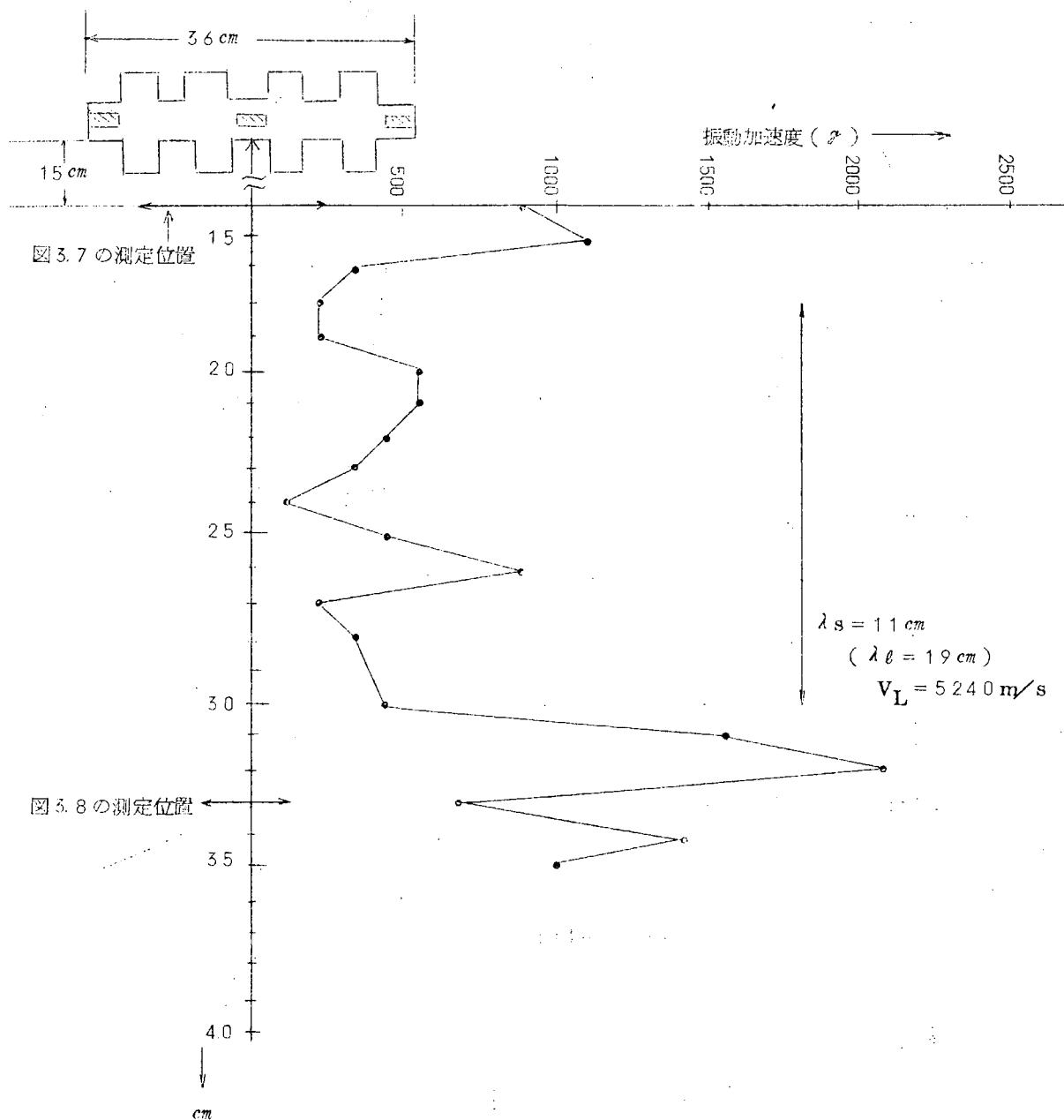


図 3.6 ランシュバン振動子 (L-L型)による騒動加速レベル

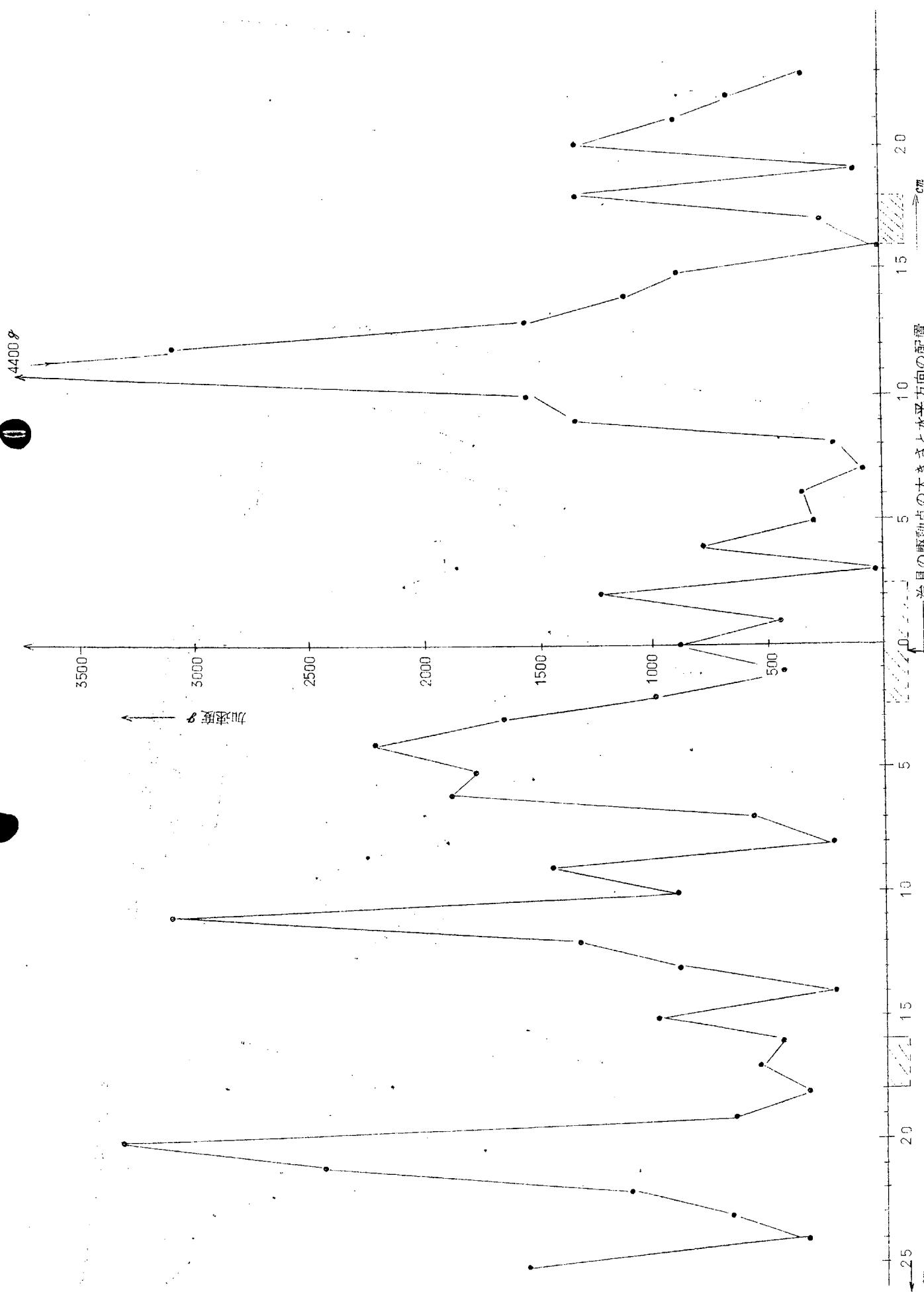
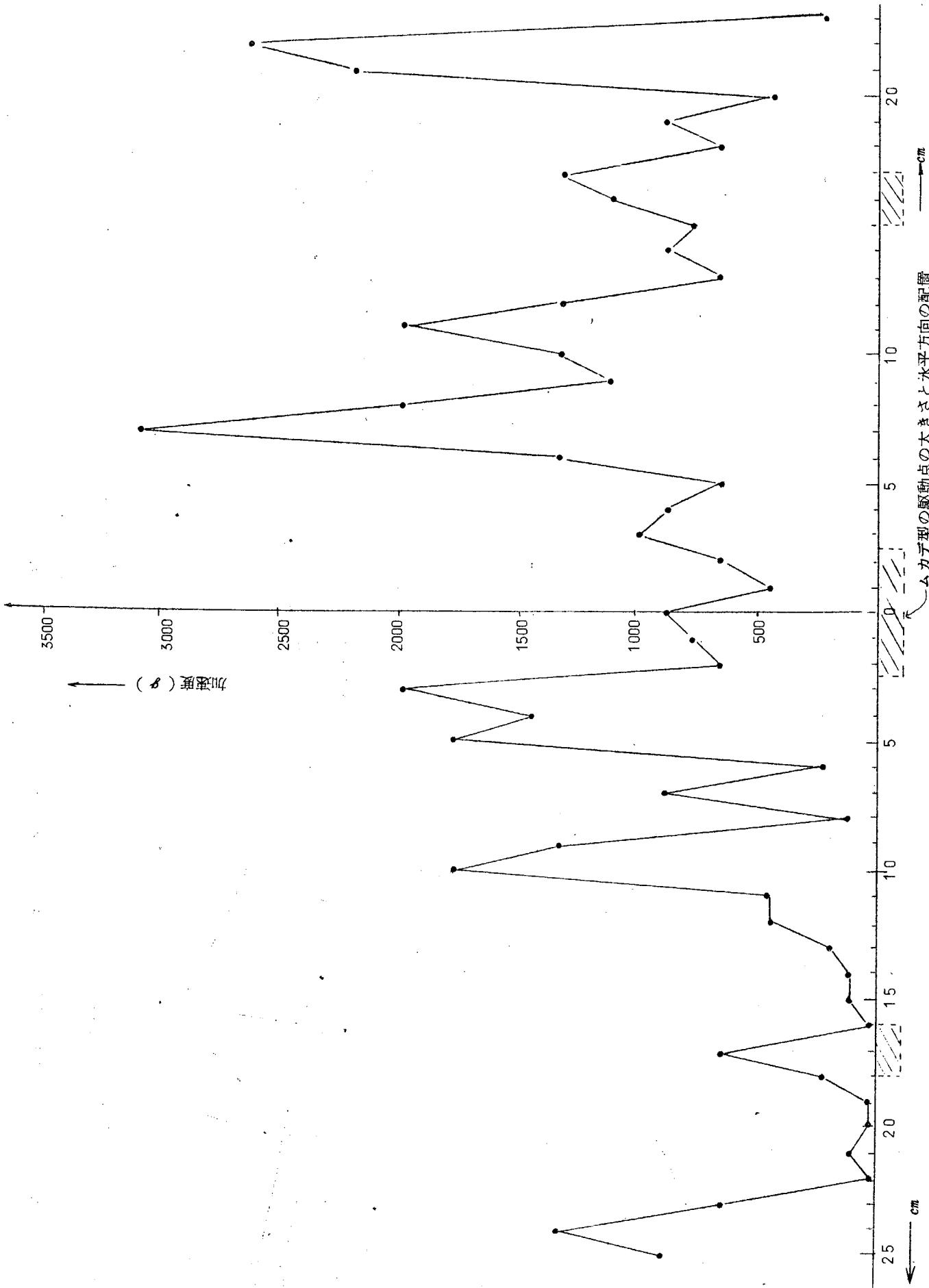


図 3.7 ランシュバン振動子騒動による振動が速度レベル(振動子に垂直で下方 1 cm の水平方向の位置)



### 3. 振動分布測定用圧電型カートリッジの感度校正

振動変位(加速度)の測定は加速度ピックアップを用いて振動面に理想的なかたちで固定(接着剤としてアロンアルファを用い)したときは精緻な計測を行なうことができるが、実船の現場で時間的な制約のもとに接着面を整えて多くの測定点について測定することは困難である。とくに分布の測定はたとえできたとしても時間的に分布が変動することも考えられるので不可能に近い。そこで本年度は主に圧電型カートリッジを用いることにした。測定に用いた圧電型カートリッジの感度校正是振動子端面に接触して感度の既知の加速度ピックアップ(Bruel Kaejer 社製Type 4336)( $4.6 \text{ mV/g}$ )と比較することによって行なつた。測定プロツク図を図3.9に、その結果を図3.10に示した。

圧電型カートリッジ

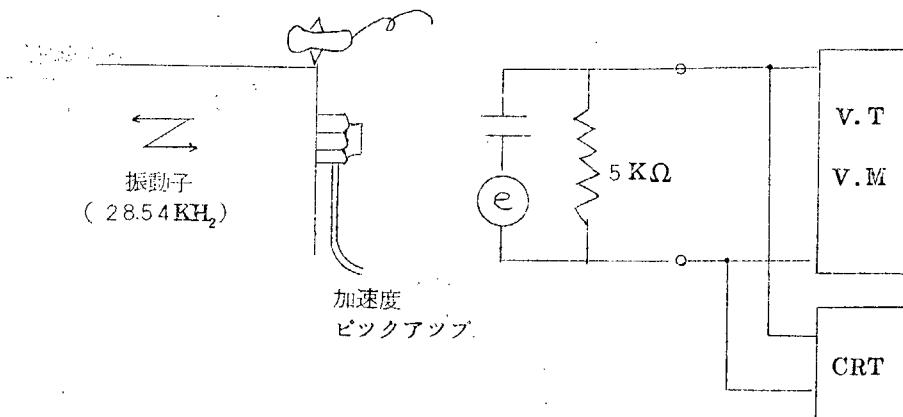
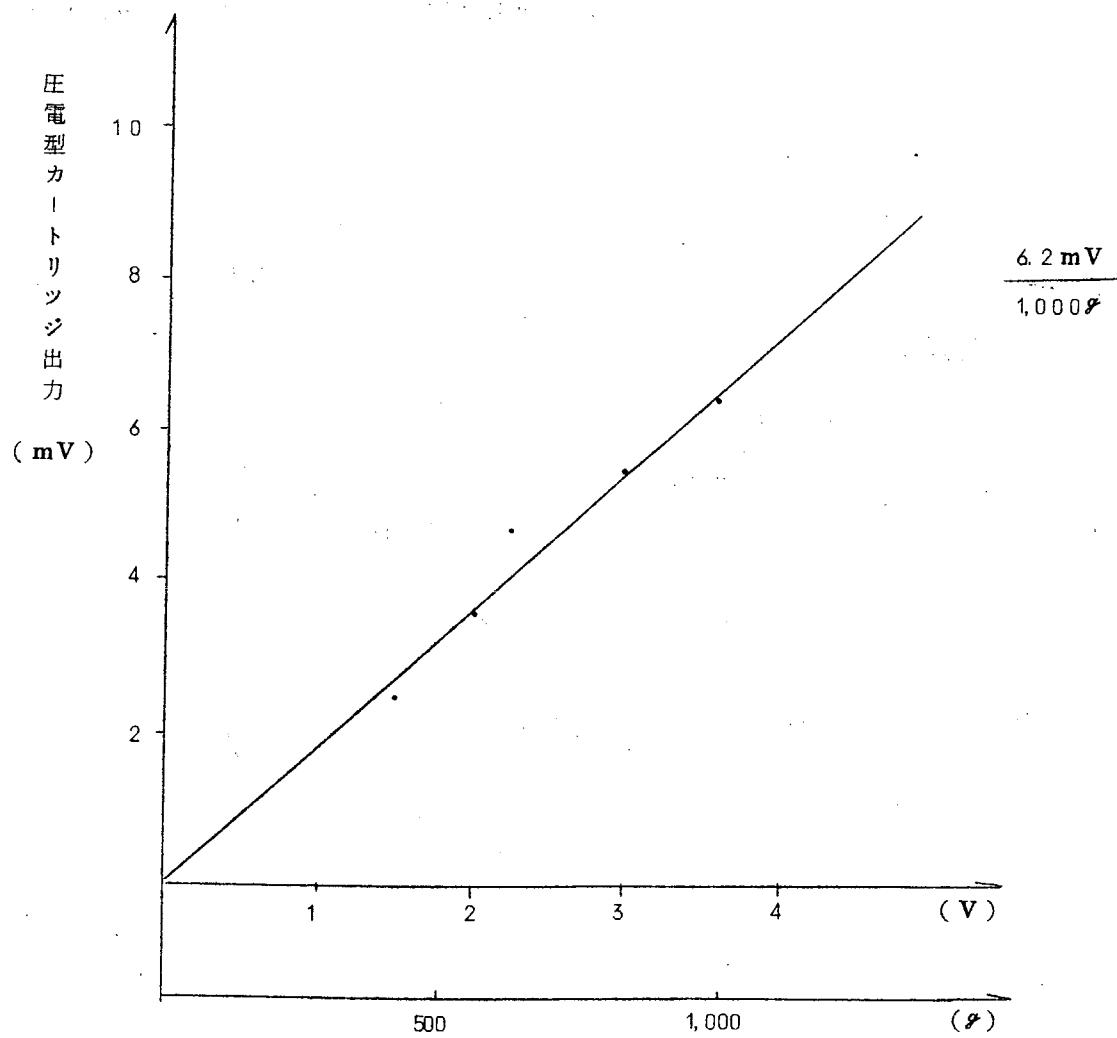


図3.9 感度校正のプロツク図

圧電型カートリッジでもつて実船における振動分布を測定し好結果を得ることが出来た。

Frequency 28.54 kHz



加速度 pick up output

図 3.1.0 圧電型振動分布測定用カートリッジの感度校正

## あとがき

昭和43年度の研究成果をとりまとめたが、超音波による船底の防汚に関し3年間の研究を通じ、このように系統的に多方面の角度から行なわれた研究例は諸外国にも全くその例を見ない独自の研究であり、多くの有用なデータを得、当初困難視された多数の技術的問題も大部分明らかにすることができた。

とくに船体のような大構造物に対する超音波振動の伝播について理論解析ならびに実船試験を通じて、鋼面に沿つたタテ波加振法を確立し、その振動子駆動方法について清新な手法を生み出すことができたのは、部会研究の貴重な所産として今後の実用化に明るい見透しを与えるものであろう。

また基礎研究としての生物実験、臨海浸漬実験により、防汚に必要な超音波振動の加速度限界値を明らかにし得、さらに鋼面からの音圧輻射のないタテ波でもヨコ波とほとんど同様の防汚効果を有することが明らかとなり、実船での防汚設計の指針を確立することができた。

この他実船での問題点として提起されたタテ波の拡散減衰の解明とその対策、面に平行な振動成分をとり出すピックアップの試作、パルス波振動の有効性、長時間無人運転可能の超音波防汚装置の完成など幾多の技術的課題を達成し、ほぼ実用段階での諸問題は解決し得たと云えよう。

しかし一方において、防汚に必要な振動加速度が200 $\times$ 以上であること、さらには実船での船体塗膜上での減衰効果が70%近くもあり、そのため鋼面上での加速度は1000 $\times$ 程度所要なことなど、超音波のエネルギーレベルの点で今直ちに大型船に採用するには経済的な立場での難点も多いことが指摘されよう。

したがつて、当面は強力防汚を必要とする特殊艦船、塗料による防汚が困難な海底構造物などへの適用を推進し、この間において実績の集積と部分的改良を加えつつ、大型船への適用推進を計つてゆくべきであろうと考える。

第 2 部

超音波による船底防汚に関する研究

昭和 41 ~ 43 年度研究成果報告書

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. 昭和 4 1 年度研究 .....	1
2. 1 生物実験 .....	1
2. 2 A/F 塗膜の毒物溶出速度との関係 .....	1
2. 3 超音波の鋼板腐食におよぼす影響 .....	2
2. 4 超音波振動の船体への付与方法 .....	2
2. 4. 1 振動子加振治具の構造と加振力 .....	2
2. 4. 2 ボンツーンにおける実験 .....	2
2. 4. 3 振動子のパルス駆動実験 .....	3
2. 4. 4 無人運転可能な発振装置の試作 .....	3
2. 5 神鷹丸による予備実験 .....	3
2. 6 駆動点インピーダンスおよび振動伝搬に関する理論的研究 .....	3
3. 昭和 4 2 年度研究 .....	4
3. 1 生物実験 .....	4
3. 2 海中生物付着防止実験 .....	4
3. 2. 1 パルス波超音波の防汚効果 .....	4
3. 2. 2 ヨコ波による防汚実験 .....	5
3. 2. 3 タテ波による防汚実験 .....	5
3. 3 ホーンの形状検討 .....	5
3. 3. 1 伝搬特性の解析と測定 .....	5
3. 3. 2 タテ波付与に関する基礎実験 .....	6
3. 3. 3 実船縮少模型による波の伝搬状況の測定 .....	6
3. 4 進徳丸による実船適用試験 .....	6
3. 4. 1 第 1 次実験 .....	6
3. 4. 2 第 2 次実験 .....	6
3. 4. 3 第 3 次実験 .....	6
3. 5 船体摩擦抵抗の基礎試験 .....	7
4. 昭和 4 3 年度研究 .....	7
4. 1 生物実験 .....	7
4. 2 250トン双胴設標船による試験 .....	7
4. 3 関連する基礎的調査事項 .....	9
5. むすび .....	9
付表 1 超音波による船底防汚に関する研究マスタースケジュール .....	11
付表 2 超音波防汚実船試験概要 .....	12
付図 1 タテ波加振方式の各種 .....	14

## 1. まえがき

船底における海中生物の付着は船体摩擦抵抗の増大となることは周知の事実であり、近年特に運航の高能率化が要請され 2 カ年以上入渠なしの運航条件を確立することが急務とされている。

このため長期防食防汚塗料の開発、電気防食法の長期持続性能の向上などの研究が銳意行なわれている。

本研究は超音波による振動を船体外板に与えて防汚効果をあげることを目的とした 3 カ年計画で実施したもので、まず昭和 41、42 年度に基礎実験ならびに一部実船への適用試験を行ない船底防汚に必要な基礎的諸元を明らかにし、昭和 43 年度はさらに実船防汚設計法および工作施工技術を確立するため実船試験を中心とした諸研究を行なつたものである。

以下に各年度の研究実施項目と研究成果の概要を述べる。

なお、部会研究項目と実施年度のマスタースケジュールを付表 1 に、また数次にわたる実船試験の概要を付表 2、本部会で開発したタテ波加振の諸方式を付図 1 にそれぞれ示した。

## 2. 昭和 41 年度研究

### 2.1 生物実験

超音波防汚法を確立するための基礎研究の一つとして、超音波の生物 Activity への影響を実験的に研究した。そのため必要な付着生物の採取、タテジマフジツボ、ムラサキイガイの幼生の採取ならびにそれらの飼育を行ない、生物の付着時期に近い幼生に対する超音波の効果を調べることとした。

超音波は試作した広帯域強力超音波発振器で発振させ、照射用水槽内で幼生に照射した。今年度は持续波超音波の影響を調べ概略つきの成果を得た。

- 1) 船底付着生物に対する超音波の効果を研究するため、季節的、地域的要因の多いフジツボ、イガイの飼育がほぼ確立され、両者によつてほとんど間年実験が可能となつた。
- 2) 持続波超音波については周波数、強度、照射時間などを任意に選定できる装置が完成した。
- 3) 生物の浮游生活期の幼生に対する超音波照射装置、水槽内の音圧分布などが判明した。
- 4) タテジマフジツボのノープリウスに対しては周波数が高いほど破壊、斃死の効果がある。
- 5) 音圧は 0.3 bar 程度あれば十分だが、0.1 bar 位から死亡個体が観察される。
- 6) 照射時間は長いほど効果が大きいが、3 分程度で十分の効果がある。
- 7) シプリス幼生も超音波に対して比較的強く、嫌悪性は明らかでない。
- 8) 超音波の振動により幼生は一時的に活動が鈍るが、振動が停止するとふたたびもとの状態となる。
- 9) ムラサキイガイのトロコフオアに対して 20 kHz, 100 kHz の超音波を照射した場合、破壊、斃死、麻痺、活動(生)と分けて考えるとき、照射時間、超音波の音圧別に限界値が判明した。

今年度は、持続波超音波の船底付着生物に対する影響を調べたが、タテジマフジツボおよびムラサキイガイの幼生は想像以上の耐性があることが判明した。

### 2.2 A/F 塗膜の毒物溶出速度との関係

超音波の実船への適用に際しては、現時点では一層 A/F 塗料を併用する思想である。この場合、超音波の拡散効果により A/F 塗膜中の毒物溶出速度は相当加速され、通常では A/F としての機能を果さない低毒物含有量の塗膜でも防汚効果があらわれる所以本実験を実施した。

軟鋼板(8t × 900mm角)に油性およびビニール系塗装を施したものを試験片とし、周波数1.9kHz、出力20Wおよび100Wの超音波を付与して各種塗膜からの毒物溶出速度を測定した。

その結果、音圧数10ミリバール、振巾0.1～0.3μ程度の条件下では、毒物溶出速度におよぼす超音波の影響は殆んど認められないが、超音波出力を増大すると、若干溶出速度増加の傾向に向うことが判つた。

### 2.3 超音波の鋼板腐食におよぼす影響

金属の腐食は超音波により加速されることが認められているが、船体外板については常時流動する海水と接しているので一種の機械的かくはん下で超音波付与した場合の影響を調べる必要がある。なお、実際には塗膜により防護されているので何らの悪影響もないことが英國文献にも明記されている。

しかしながら超音波付与条件、振動子取付方法などによつては部分的に塗膜損傷部などで影響が出る事も考えられるので、一応これらの問題点について確認し、実船施工上不安のない方式を確立するために実験を行なつたものである。

実験には磁歪キャビテーション試験装置を使用して振巾0, 0.1, 0.4, 0.8μの4条件で塗装鋼板、軟鋼、高張力鋼などの腐食速度を測定した。

その結果超音波防汚の実船適用段階では振巾は1μ以下と考えられるのでこの程度の条件下では、金属素材の腐食、塗膜損傷の両面にわたつてほとんど影響なく、航走中の海水のかくはん流動とほど同程度の環境と認められる。

### 2.4 超音波振動の船体への付与方法

従来の研究では超音波による防汚効果は傾向的には確認されているが実船に適用するためにはさらに、最適周波数、有効出力および超音波の伝達方法などの細部についてなお研究を要するところが多い。

ここではこれら諸元のうち、超音波振動の船体への付与方法について研究を行なつた。

#### 2.4.1 振動子加振治具の構造と加振力

従来、船体のような大型構造物に対して超音波をエネルギーとして伝達した例はないので、まず最初に造船用鋼板を供試体として空中および片面接水状態で実験を行なつた。

振動子は1.7kHz・300W型ニッケル振動子を行い、振動伝達治具は平治具斜角治具など数種を製作し、実験に供した。一方、治具と鋼板との接合には溶接、ボルト締め、圧接、および接着などの方法を用いた。

実験の結果、鋼板との接合は溶接またはボルト締めで完全に固定することが望ましい事がわかつたが振動伝達治具の形状については結論が出ず第2年度研究としてホーンの形状を検討することになつた。

その他本実験にて解明出来た事項は、鋼板中における超音波の挙動および加速度型振動ピックアップ、水中マイクロホンなどによる超音波振動の検出、測定技術などがある。

#### 2.4.2 ボンツーンにおける実験

さらにスケールアップした実験を行なうため比較的単純な形状の海中構造物としてボンツーンを供試体に選び実験を行なつた。

供試体としたボンツーンは神戸造船所構内にあり、長さ22m、巾4.6m、高さ1.4mのく形体で重量は49トンである。

本実験では特に振動伝達治具の形状選定を主目的とし併せて加振点の検討と振動の分布測定も実施した。

実験の結果、振動子の共振周波数は構造物に取付ける事によつて通常高い方に移動するが治具の長さ

を調整する事によりある程度補正出来ることがわかつた。

直角治具を用いて鋼板を垂直に加振する場合は振動子と負荷の整合が容易であり、また加振点付近の海水中における音圧が大きい。一方、振動の伝搬様式はたわみ波（ヨコ波）が主体であり急速に減衰する。

斜角治具を用いて鋼板にある角度で音波を入射した場合、整合はやや困難であるが、鋼板を伝搬する振動は減衰の少いタテ波成分が多くなる。

タテ波成分をさらに多くすることを目的として鋼板を平行に加振する治具で実験を行なつたが、振動子と負荷鋼板との整合が困難であり以後の研究課題となる。

#### 2.4.3 振動子のパルス駆動実験

超音波防汚方法が実用化された場合、経済性を高めるために1台の発振機出力を数基の振動子に順次切換えて供給し振動子を断続的に駆動する方法がある。この場合における振動の伝搬状態などについて後述する神鷹丸における予備実験にて検討を行なつた。

#### 2.4.4 無人運転可能な発振装置の試作

実船適用試験においては長期間無人にて安定した発振を行うことが必須条件であり、今回試作した超音波発生装置も実験機として出力、周波数、出力インピーダンスが自由に設定出来るほか、各種の自動制御回路、警報回路が組込まれており一応無人運転が可能な装置とした。

主な自動制御回路は次のようなものがある。

- ① 動作中絶えず最適周波数に追尾する周波数自動追尾回路。
- ② 出力の低減または停止、あるいは電源、振動子、冷却装置など主要機構に異常を生じた時は直ちに発振を止め警報を発し、異常点を表示する装置。
- ③ 停電の際は警報を発し給電後直ちに自動復帰し発振を続ける装置。

なお、本装置は実船適用試験に使用しその性能を検討した。

#### 2.5 神鷹丸による予備実験

本実験は実際の船体において超音波振動がどのように伝搬されるかを知るため、東京水産大学所属の練習船神鷹丸（380 ton）を供試船として各種の実験を行なつた。

本実験は、次の段階に予定されている実船試験を実施するための予備実験でもあり、振動子の取付方法、振動振巾および音圧の計測技術ならびに超音波発生装置の性能試験など技術的な面からの検討も行なつた。

実験の結果、さきに実施した鋼板での加振実験にくらべると加振点付近における加速度の大きさは負荷の増大にもかかわらずあまり低下しない。しかし、加振点より数m離れると加速度は急激に減衰することが判明した。

また、駆動方式については単独駆動方式と複数駆動方式と両者について検討し、経済性の点ですぐれている複数振動子の切替駆動方式が十分実用しうることを確認した。

なお、超音波振動が航海計器におよぼす影響を調べたがほとんど影響のないことがわかつた。

#### 2.6 駆動点インピーダンスおよび振動伝搬に関する理論的研究

無限大平板を面に垂直に超音波駆動する場合の駆動点インピーダンスを理論的に求めた。また、平板を伝搬する曲げ振動・すべり振動・継振動の減衰が、海水中への音波の放射のみによつて起こると仮定して計算した結果、板面に垂直方向に振動する曲げ振動では減衰定数が非常に大であるのに対し、板面に平行方向に振動するすべり振動・継振動では減衰定数が小さく、船体外板の広範囲に超音波振動を伝達できる可能性を見いだした。

### 3. 昭和42年度研究

#### 3.1 生物実験

耐性の強い付着生物に対しては、強力でかつ経済的方法を見出さねばならないという観点から、第2年度はパルス波の影響を調べ、更に船底防汚塗料に使用される毒物との併用効果も研究実施することにした。このため、昨年度製作した超音波発振器に接続してその発振を間接的に制御するパルス波発信制御装置を製作し、持続波超音波とパルス波超音波の効果の比較を行ない、概略、つきの成果を得た。

- 1) 船底付着生物の採取、実験室における飼育およびその幼生の採取、その飼育は順調であった。
- 2) ブラインシューリングに対して周波数 50 kHz, 音圧 0.1 bar の持続波超音波を照射すると、照射時間が 20 ~ 160 秒間で死亡率が 3 ~ 13% となり、パルス幅 10 ms, パルス間隔 1 秒のパルスでは 1 ~ 12% となり、照射時間が延びればパルス波でも効果があることがわかつた。
- 3) タテジマフジツボのノープリウスについては、パルス波超音波の持続波超音波（同一音圧）に対する効果は、周波数が大なるほど、また照射時間が長いほど大となる。
- 4) ノープリウスについて、パルス波超音波のパルス幅の影響は 1/1000 になつても 1/5 にしかならない。この関係は周波数が 28 kHz でも 200 kHz でも大差ない。
- 5) ノープリウスについてパルス間隔が 10 倍に延びると 28 kHz では大差なく、200 kHz では効果が 1/5 程度になる。
- 6) ノープリウスに対する超音波音圧の影響は持続波において 28 kHz で明らかでなく、200 kHz で著しい。パルス波では 28 kHz も 200 kHz も共に著しい影響を示す。
- 7) ノープリウスに対する超音波周波数は持続波パルス波にかかわらず、大きいほど大きな効果がある。
- 8) ムラサキイガイのトロコフオアについて、音圧の影響はあまり明確でない。（持続波、パルス波とも）
- 9) トロコフオアに対するパルス幅の影響もあまり明瞭でない。
- 10) パルス波と持続波の効果を比較すると、28 kHz, 200 kHz ともパルス幅 10 ms, パルス間隔 1 秒程度のパルス超音波の効果が持続波の効果に相当する。
- 11) ブラインシューリングに銅イオンと超音波を併用すると死亡率が付加される。
- 12) ノープリウスについて 0.1 mg Cu/l の硫酸銅液中で持続波超音波を併用すると照射時間が長くなれば更に効果が増加する。200 kHz のパルス波を照射すれば銅イオンを添加した場合の方がやや効果が大きい。
- 13) トロコフオアについて銅イオンと超音波を併用すれば持続波よりもパルス波の方がその効果の増加が大きい。

#### 3.2 海中生物付着防止実験

防汚効果を発揮するために必要な超音波強度を求めて実船適用条件を設定するため、数種の臨海浸漬実験を行なつた。

##### 3.2.1 パルス波超音波の防汚効果

42.7.4 ~ 8.10 の間、諸磯湾真珠養殖場の筏を利用して、500 × 500 × 6 mm 試験板 (W/P × 1, A/C × 1 回塗装し、試験板中央部に振動子を接着、50 kHz, 28 kHz にてパルス波（パルス巾 2 ms, パルス繰返周波数 4.16 回/秒）を与えた結果、下記の成果が得られた。

- ① フジツボの付着防止については 28 kHz, 500~125W (300%~100%) の間において大差なく有効
- ② アオノリについてはあまり効果が認められなかつた。アオノリの付着防止にはさらに強力超音波が必要である。
- ③ 50 kHz と 28 kHz の差は明らかでなかつた。
- ④ フジツボ類の付着限界はおよそ 100% 以上の加速度が必要で 300% もあれば全く付着しない。

### 3.2.2 ヨコ波による防汚実験

A/C × 2 回塗装の鋼板 ( $6\text{t} \times 1600\text{mm} \times 200\text{W} \times 600\text{W/mm}$  梯形板) を神戸造船所構内海中に浸漬し、昭和 42.7.26~8.16 の間、17 kHz, 100W, 100~400% の超音波を付与し、主として曲げ振動下における防汚効果を調べた。

実験により得られた結論は次のようである。

- ① 超音波の防汚効果は振動加速度が支配的である。
- ② 振動加速度を 200% 以上にすれば防汚効果が大となる。
- ③ しかし振動の節部 (node) への生物付着は防止出来ないので周波数を sweep するなどの方法で全面防汚を計る必要がある。
- ④ 振動加速度が大きくなりすぎると防食塗膜が消耗ハクリする傾向を示す。

### 3.2.3 タテ波による防汚実験

- ① 端面駆動によりタテ波を与えた試験体 ( $16\text{t} \times 76\text{W} \times 1050\text{mm}$ ) を神戸造船所構内の浸漬試験場に浸漬し、昭和 42.8.7~8.27 の間、16.5 kHz, 140% および 400% の超音波条件で生物付着防止実験を行なつた結果、海中への音圧放射のないタテ波でも、ヨコ波の場合とほとんど同様の防汚効果を発揮することが確認でき、必要な加速度として 200~300% 以上という値が得られた。
- ② 諸磯湾においても同様のタテ波加振による防止実験を行なつた。すなわち 28 kHz で端面駆動した  $30\text{t} \times 184\text{mm}$  (タテ波の 1 波長分の長さに当る) の鋼棒 4 本について昭和 42.7.4~8.10 の間海中に浸漬した結果、前項同様タテ波の有効性を確認でき、振動変位  $0.7\mu$ 、振動加速度 2000% のような条件では node の所にも全くなんの生物も付着しないことが判つた。

## 3.3 ホーンの形状検討

超音波振動モードとして、当初は曲げ振動 (ヨコ波) を用いていたが鋼板中の振動伝搬特性に関する理論解析の結果、曲げ振動は接水面において水中への音圧輻射による損失が極めて大で振動の到達距離が短く実用性に劣ることが明らかになつた。

したがつて水中への音圧輻射が少く到達距離の大きいタテ波を用いることが実験目標となり本実験においては、つぎの項目を検討し解明した。

### 3.3.1 伝搬特性の解析と測定

板面に沿つて振動の計測用ピックアップは市販されていないので、新たに考案したピックアップの試作を行ない、十分実船に使用しうる感度であることを確認した。

またタテ波減衰の測定および巾の広い板上で拡散減衰の測定ならびに理論解析を行なつた結果、巾の広い鋼板面ではタテ波加振の場合もタテ振動とともに曲げ振動を伴なつた高次の振動モードが発生し、拡散減衰を生ずるので、実船適用の場合は、適当な拘束板を設置して曲げ振動を抑制する必要のあることが判つた。

### 3.3.2 タテ波付与に関する基礎実験

小型試験体へのタテ波付与とその防汚実験に成功したので、つづいて平板へのタテ波付与実験を行なつた。

曲げを伴なわないタテ波の付与方法は、非常に多くの技術的困難を有しており、とくに船体のような大構造物に対しては至難とも思われる。しかし曲げ振動の減衰性の大きさを考えた場合、超音波防汚の実用化にいかにしてもタテ波の付与技術を確立する必要があり、ここではその基礎的資料を求めるための諸実験を行なつた。（タテ波付与法については付図1④⑤記載の方法を用いた）

実験の結果はなお不明確な点も多く実船適用上のポイントを把握するに至つてないが、一応二、三の実例について振動モード、加速度分布の実態を知ることが出来た。

### 3.3.3 実船縮少模型による波の伝搬状況の測定

長さ1.8m、巾1m、厚さ4.5mmおよび2mmで周辺部分に吸音材を接着し面上にステイフナー等を配置した鋼板の片面に、多数の振動ピックアップを接着し、フェライト振動子で1.00kHzのパルス波でタテ波駆動して、振動分布の測定を行なつた（残響法による）。

その結果を第3年度実船試験予定の“みようじょう”でタテ波加振する場合に適用して考察すると、ステイフナーなしの減衰定数はおよそ0.2dB/m、ステイフナーによる減衰0.3dB/m 今計0.5dB/m程度の減衰定数となり、また出力当りの防汚可能範囲としては反射プロツクで振動エネルギーを閉じこめた場合には $4.8\text{W}/\text{m}^2$ （100W振動子で約2.0m<sup>2</sup>）で30%以上の加速度が得られる有効範囲であることが求められた。

## 3.4 進徳丸による実船適用試験

中型船における超音波の伝搬効果および海中生物による船底汚損に対する防汚効果について調査研究を行なうため、運輸省航海訓練所の御協力を得て練習船進徳丸（3000ton）を供試船として実験を行なつた。

### 3.4.1 第1次実験（4.2.6.27～4.2.9.26）

加振点より1m離れた点における加速度の大きさは3～6%程度しか得られず、試験部外板を潜水調査した結果も所期の防汚効果が得られてないことがわかつた。

### 3.4.2 第2次実験（4.2.9.26～4.3.1.27）

第1次実験の結果を考慮し、左舷側にはタテ波成分を多くするため斜角対称型振動子を採用した。その結果加速度を20%以上にすることが出来た。右舷側も取付治具を改良し約20%の加速度を与えることが出来た。しかし防汚効果の方は一般A/F部にも相当量の海中生物が付着するような苛酷な条件（例えば第2次実験期間中では実験期間123日中、停泊98日）であつたため、試験部外板を完全に防汚することが出来なかつた。

### 3.4.3 第3次実験（4.3.1.29～4.3.6.21）

実験期間が生物繁殖期でなかつたためか船底は全般に清浄で試験塗装部にも生物の付着は認められなかつた。

なお防汚装置は全期間連続無人運転を行なつたが全く異常が認められず、船舶搭載に適することを確認した。

また本船は試験期間中、アカブルコ（メキシコ）へ遠洋航海を行なつており Echo Sounder など航海計器に対する影響もなかつたようである。

### 3.5 船体摩擦抵抗の基礎試験

超音波によつて船底外板を振動させた場合、境界層の流速分布が変化して非ニュートン流体と同じような状態となり摩擦抵抗も変化する可能性が考えられる。本実験はこの点について実験的に究明を行ない、超音波による船体抵抗への影響を明らかにした。

その結果、17 kHz 26.6 kHz の周波数帯では摩擦抵抗に変化はない。また加速度は10 g～18 gであつたが加速度の大きさによる影響もさほどないと予想される。

## 4. 昭和43年度研究

### 4.1 生物実験

前の2年度に実施した持続波およびパルス波超音波の付着生物への影響を更に発展させ、1 MHzまで周波数を増加して実験を行ない、超音波の照射時間、周波数、音圧（強度）、パルスの場合のパルス幅、パルス間隔等と付着生物との関係を詳細に実験し、概略つきの結果を得、更に毒物と超音波との併用効果についても成果を得た。

#### 4.1.2 持続波・パルス波超音波の生物付着における影響

- ① タテジマフジツボのノープリウスの死亡率が50%であるという基準を設定して防汚効果を推定できる段階まで生物実験の資料が整つた。
- ② 1.4 kHz～1 MHz 間の周波数について照射時間に対する効果が判明した。照射時間は長いほど効果はあるが、40秒程度が適当であると考えられる。
- ③ 超音波の周波数については持続波、パルス波とも大なるほど効果的であり、その関係が判明した。
- ④ 超音波の音圧も大きいほど効果があるが、50 mbぐらいから急に効果が大となる。
- ⑤ 超音波のパルス幅、パルス間隔による効果が判明した。

#### 4.1.2 毒物と超音波との併用効果

- ① フェナルサシン系の3種の毒物は、0.1～10 ppm程度で単独でも効果がある。（付着生物）
- ② 上記毒物は、超音波と併用すれば、その効果は著しく増大する。IT-67(10(ジメチルチオカーバモイルチオ)5ヒドロフェナルサシン)は特に効果が大である。
- ③ 農薬マラソン、デリス、アカールの中で超音波と併用して効果の増大するのはアカールだけである。（ブラインシュリンプによる）
- ④ 水銀イオンを超音波と併用しても、単独で使用する場合より効果が増加する。
- ⑤ 超音波防汚には毒物を含有する塗料を使用すれば、その効果が著しく増加するものがあることが判明した。

以上述べたように、この3年間の研究によつて、超音波防汚に関する生物物理的基礎問題が多く解明され、超音波防汚に対する重要な基礎資料をうることができた。

### 4.2 250トン双胴設標船による試験

昭和41、42年度の研究結果により、超音波による防汚を行なうには、下記の点が必要であることが判つた。

- 1) 外板加振方式としては、面に垂直な加振方法では（ヨコ波）減衰大で局部的な防汚効果しか得られないため、減衰の少ないタテ波（面に平行加振）駆動が必要である。

- 2) タテ波の場合は水中への音圧照射は少ないと、臨海試験の結果により生物付着防止効果はむしろ外板駆動の加速度の大小により決るものでタテ波もヨコ波もその防汚効果に差異のないことが確認された。
- 3) 防汚に必要な加速度の値は、真夏の臨海試験の結果では200～300g程度必要であることが判つた。この値は実船の就航条件下では若干少ない値でも有効かとも思われ、また、季節による相違、A/F塗装との関連なども考慮の余地があるが、一応実船の適用上の基準となる数値を得た。
- なお、適用周波数については100～200kHz程度の高周波の方が有効であることも基礎実験の結果認められたが、この点については現在の振動子製作技術上の点から、チタバリ、PZT振動子などでは高出力が得がたいので、今回はフェライト振動子、ニッケル振動子(27kHz)を中心として実施した。
- 4) タテ波付与の加振方式については二、三の方式について実施の目途を得つつあるので、今回の実船試験によりこれを確認したい。
- 5) 振動子出力の外板への伝達効率については船体負荷に対するmatchingの問題とともに、振動子の溶接取付技術が非常に影響するが、この点については神鷹丸(水産大学練習船)、進徳丸(航海訓練所)による数次の実験および基礎実験により改良することが出来た。
- 供試船は海上保安庁の協力を得て設標船みようじょう(253ton)を供試船とし左舷機関室に防汚装置を取りつけ次の項目について実験を行なつた。
- 1) 駆動点の動インピーダンスの測定と解析  
各種励振方法における整合度と伝達効率を解析するため動インピーダンス
  - 2) 振動振巾(加速度)および音圧測定  
超音波の伝搬状況、外板振動状況把握のため振動ピックアップを取り付け加速度(g)の測定を行ない、また、同時に水中での音圧強度の測定を行なう。
  - 3) 防汚装置の動作状態の記録  
超音波発振装置の動作状態を監視するため、自記記録装置を取り付け、諸元を自動記録させる。
  - 4) 防汚効果の調査  
生物付着状況を調査記録する。  
防汚実験装置としては2set搭載し、いずれも伝搬減衰の少ない外板にそつた振動を発生させた。また、防汚効果の判定を行なうため加振点付近は試験部としてA/F塗装をせずに生物の付着状況を調査した。
    - ◎第1装置 フェライト振動子 L-L型治具 周波数27.7kHz 250W
    - ◎第2装置 ニッケル振動子 斜角対称型治具 周波数26.7kHz 550Wその他実験的にボルト締めランジバン形振動子の駆動実験も実施した。  
実験は第1次実験(43.3.22～43.9.2)および第2次実験(43.9.4～44.3.4)にわけて実施したがその成果の概要はつきの通りである。
    - 1) 超音波による防汚効果は充分認められるがそのためには200g以上の加速度が必要である。
    - 2) 実船において塗膜による加速度の減衰は大きく本船の場合も70%程度あり、したがつて鋼板には約1000gの加速度を与える必要がある。
    - 3) 船体構造上、1000g程度の加速度を広範囲に伝搬させることは困難であるが、外板の薄い本船(7mm)の場合でも直径1m程度の範囲なら可能であつた。
    - 4) 振動モードは面に直角な波(ヨコ波)でも面にそつた波(タテ波、せん断波)でも防汚効果には大差はないが、実船試験では伝搬減衰の少い面にそつた振動モードの方が有利であつた。
    - 5) 防汚実験装置としては長期間船載可能な無人連続運転機器の試作に成功しており、本技術適用上有効な基礎技術を得た。

6) ニッケル振動子より空冷式のフェライト振動子およびボルト締めランジバン振動子の方が防汚装置には適当である。

#### 4.3 関連する基礎的調査事項

##### 4.3.1 斜角対称駆動方式の入射角度の検討

実験は厚さ 9 mm, 幅 200 × 長さ 1300 の鋼板中央部に入射角度を変えた治具を装着し 28 kHz π 型フェライト振動子で対称駆動を行ない整合条件、加速度分布などを測定した。その結果、

- ① 対称駆動の効果を定性的に調べるため片側の振動子だけを動作させた場合は加速度が減少し対称駆動の効果が確認出来た。
- ② 入射角度は 20°, 30°, 45° の内 30° がもつとも良かった。理論的には入射角度と力の平行成分との関係は  $2 \cos \theta$  で角度が小さくなる程平行成分が多くなる。

今回の実験で 20° が良くなかったのは低角度になるため治具の形状、重量の影響が出たものと思われる。

##### 4.3.2 ボルト締めランジバン形振動子の駆動実験

今までの防汚実験には主としてニッケル磁気ひずみ振動子を使用してきたがニッケル振動子は機械的強度などの点で優れているがうす電流損が大きく電気音響変換能率が悪い。大きなパワーと多くの振動子を必要とする防汚装置では能率の良さが特に重要な問題でこのため最近研究段階を離れて実用され始めたボルト締めランジバン形振動子(ニッケル振動子の 2 倍以上の能率があり小型軽量で低価格などの特長を有すが経時変化特性が不明である)を 4.3.5 "みようじょう" に取付け駆動実験を行ない防汚の目的への適用性を検討した。

その結果、駆動条件として入力は 180 W 程度であったが 30 ~ 35 cm 離れた点で 1000 g/s 以上の加速度を検出出来たので充分加振力もあり将来、この種振動子の活用が期待される。

##### 4.3.3 振動分布測定用圧電型カートリッジの感度校正

振動変位(加速度)の測定は加速度ピックアップを振動面に理想的な形で固定すれば精密な計測値が得られるが実船の現場で時間的な制約のもとに接着面を整え多くの点を測定することは困難で、とくに時間的に分布が変動することを考えると不可能に近い。このため本年度は圧電型カートリッジを使用することを考えその特性を検討するとともに感度校正を行ない、実船での分布測定に好結果を得た。

## 5. むすび

以上、3年間にわたる研究の成果を概括したが、超音波による船底の防汚に関してこのように系統的に多方面の角度から行なわれた研究例は諸外国にも全くその例を見ない独自の研究であり、多くの有用なデータを得、当初困難視された多数の技術的问题も大部分明らかにすることことができた。

とくに船体のような大構造物に対する超音波振動の伝播について理論解析ならびに実船試験を通じて、鋼面に沿つたタテ波加振法を確立し、その振動子駆動方法について斬新な手法を生み出すことができたのは、部会研究の貴重な所産として今後の実用化に明るい見透しを与えるものであろう。

また基礎研究としての生物実験、臨海浸漬実験により、防汚に必要な超音波振動の加速度限界を明らかにし得、さらに鋼面からの音圧輻射のないタテ波でもヨコ波ほとんど同様の防汚効果を有することが明らかとなり、実船での防汚設計の指針を確立することができた。

この他、実船での問題点として提起されたタテ波の拡散減衰の解明とその対策、面に平行な振動成分をとり出すピックアップの試作、パルス波振動の有効性、長時間無人運転可能の超音波防汚装置の完成など幾多の技術的課題を達成し、ほぼ実用段階での諸問題は解決し得たと云えよう。

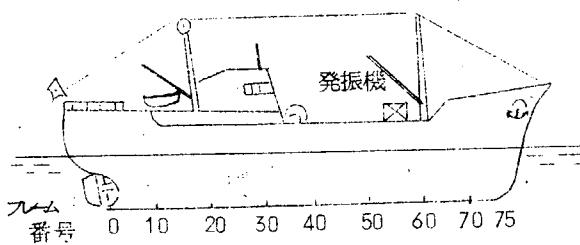
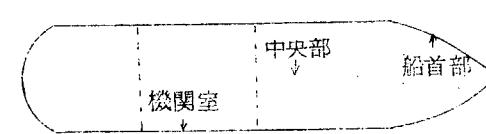
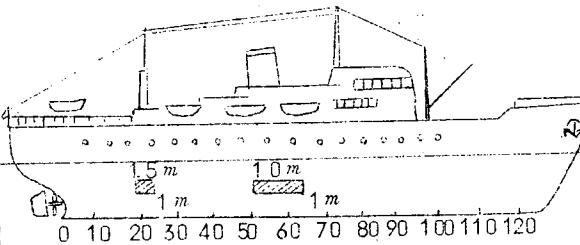
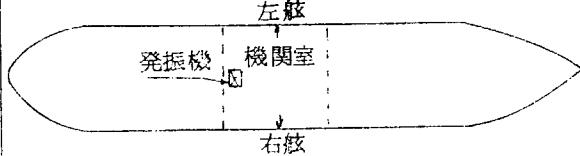
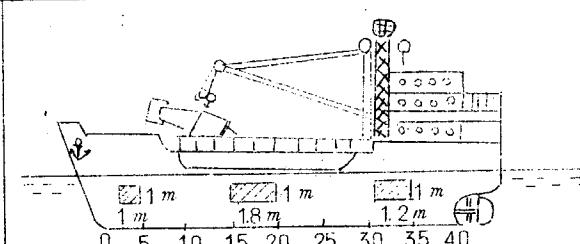
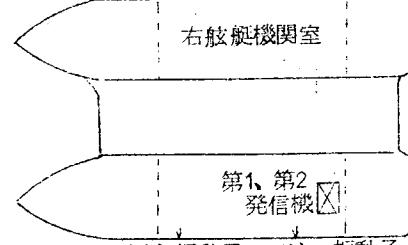
しかし一方において、防汚に必要な振動加速度が200g以上であること、さらには実船での船体塗膜上での減衰効果が70%近くもあり、そのため鋼面上での加速度は1000g程度所要なことなど、超音波のエネルギーレベルの点で今直ちに大型船に採用するには経済的な立場での難点も多いことが指摘されよう。

したがつて、当面は強力防汚を必要とする特殊艦船、塗料による防汚が困難な海底構造物などへの適用を推進し、この間において実績の集積と部分的改良を加えつつ、大型船への適用推進を計つてゆくべきであろうと考える。

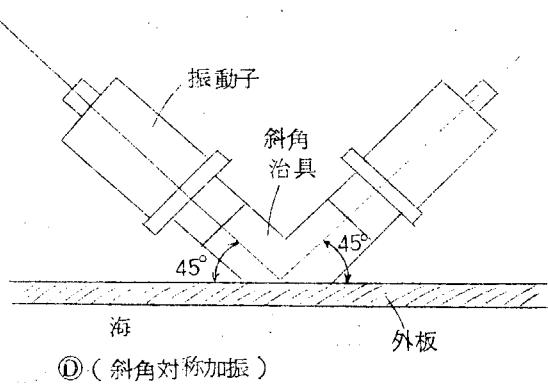
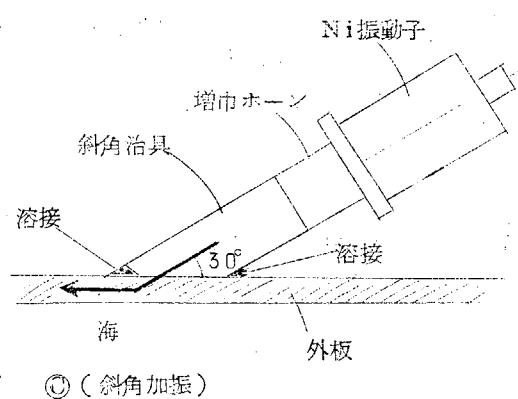
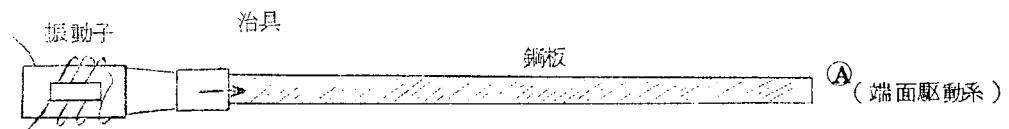
付表 1 超音波による船底防汚に関する研究  
マスター・スケジュール

項目	日	昭和 41 年度	昭和 42 年度	昭和 43 年度
生物実験(実験 結果論)	a) 持続度超音波 ○Activity	○フジツボ、フサコムシ、イガイ、アオノリ ○タテマツフジツボと照射時間との関係 ○" 幼生の嫌忌性 ○生物飼育水槽内の音圧分布測定	○フジツボ、イガイ、ノリの Activity 生物附着に及ぼす影響 周波数、強度、照射時間、パルス幅、 パルス間隔について	
	b) パルス度超音 波			
	c) 魚物と超音波 との併用効果		フジツボ、イガイ、ノリの Activity 無機系毒物(銅イオン)との併用	
A/F塗膜の毒物 溶出速度との関 係	海中浸漬試験		持続波とパルス波による防汚試験 A/C, A/F を塗り分けた試験片を海中に 浸漬して行なう。 ○超音波附耳条件と生物附着状況 ○" と音圧との関係	
	塗装基材試験		浸漬用海水による試験 ○ A/F 塗膜から毒物溶出挙動 ○海水の流動条件と塗膜の損耗 ○ 100 KC 附近における振巾の測定	
	超音波の鋼板震食に及ぼす影響	実験室にて試験		
超音波振動の船体への附着方法		○振動子ハウジングの構造と加振力 ○ボンツーンにおける試験 ○振動子パルス駆動実験 ○無人運転可能な発振装置の製作	○厚板による綿度駆動実験 ○伝播特性の解析と測定 ○駆動点動インピーダンスの測定と解析 ○振動系のパワー設計、材料、形状の選定	
実船適用試験		神奈丸による実験 ○振動子ハウジング取付位置と伝播性の計測 ○振動子ハウジングによる予備実験	神奈丸による実験 ○停泊中の超音波による船体の振巾分布 海水中的音圧分布 ○ Echo Sounder などに対する影響調査 ○乗組員の居住性調査 ○防汚効果の判定	250トン双胴船模型による試験 ○駆動点の動インピーダンスの測定 ○振動振巾および音圧の測定 ○防汚装置の作動状況調査 ○防汚効果の判定
船体摩擦抵抗の基礎試験				パイプの試験

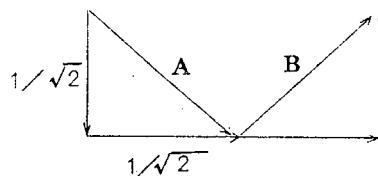
付表2 超音波防汚実船試験概要

実施時期	供試船要目	研究目的	実験装置の配置と試験塗装要領
昭和41年10月 ( 昭和41年11月	神鷹丸 382ton 東京水産大学所属 練習船 外板板厚 8mm フレーム間隔 540mm	1. 実船における振動 伝搬解析 2. 振動子取付技術習得 3. 振動、音圧、測定 技術習得 4. 超音波防汚装置性能試験	  <p>防汚テストはしないので試験塗装部は設けてない</p>
昭和42年6月 ( 昭和43年6月	進徳丸 3000ton 運輸省航海訓練所 練習船 外板板厚 12mm フレーム間隔 750mm	1. 中型船における振動伝搬解析 2. 超音波による防汚効果の確認 3. 船体との整合実験	 
昭和43年3月 ( 昭和44年3月	みょうじょう 250ton 海上保安庁 第六管区配属 双胴設標船 外板板厚 7mm フレーム間隔 550mm	1. 実船防汚設計、工 作技術確立 2. 超音波による防汚 効果の確認 3. タテ振動による加 振技術 4. 防汚装置自動運転 性能向上	 

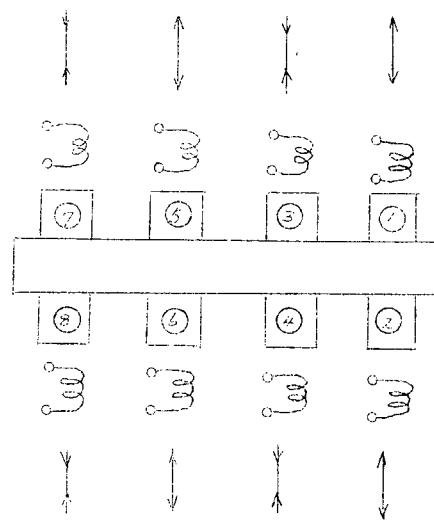
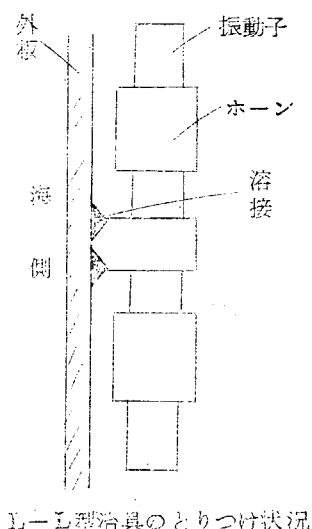
実験条件					就航条件	研究成果
	加振点	取付治具	振動子	超音波出力		
	中央部 (F37-F38)	平治具 斜角治具	17kHz ニッケル	250W, 500W	実験期間 4.1.10.20~4.1.1.11 実験中當時水産岸壁に接岸 (東京都中央区豊海町)	(1) 超音波振動は加振点より遠ざかるにつれて急速に減衰する。 (2) 取付治具は点密接でなく完全密接し直通するパワーの増えを図ること。
	機関室 (F22-F24)	ボルト治具	50kHz フェライト	250W		(3) 超音波振動が航海計器に及ぼす影響はほとんどない
	船首 (F71-F72)	(接着)	100kHz P.Z.T.	250W	実験条件は各条件を組合せて行なつた。	
第1次 実験	左舷 (F55-F56)	斜角型 (30°)	17kHz ニッケル	250W	実験期間 4.2.6.27~4.2.9.26 (90日) 停泊期間 49日(主として 羽田沖) 航海状況: アカブルコ(メキシコ)にて遠洋航海	(1) 防汚装置の長期間無人運転に成功 (2) 振動子と船体の整合技術
	右舷 (F58-F59)	直角型 (平治具)	17kHz ニッケル	220W		
第2次 実験	左舷 (F55-F56)	斜角対称 (45°)	27kHz ニッケル×2	410W	実験期間 4.2.9.26~4.3.1.27 (123日) 停泊期間 98日(主として 羽田沖) 航海状況: 日本周囲	(3) タテ波の効果を確認した (4) 加速度レベルが低く充分な防汚効果は得られなかつた
	右舷 (F58-F59)	直角型 (1/2ボーン)	27kHz ニッケル	280W		
第3次 実験	左舷 (F55-F56)	斜角対称 (45°)	27kHz ニッケル×2	500W	実験期間 4.3.1.29~4.3.6.21 (144日) 停泊期間 80日 航海状況: アカブルコにて遠洋航海	
第1次 実験	左舷機関室 (F18-F19)	L-L型治具 船首寄	28kHz フェライト ×8	250W	実験期間 4.3.3.22~4.3.9.2 (164日) 停泊期間 142日 航海状況: 広島を基地として 第6管区海域を行動	(1) 200g以上の加速度があれば防汚効果が得られる (2) 実船では塗膜による減衰が大きく塗膜上で200gを得るために鋼板には1000g前後の振動加速度を与える必要がある。
	左舷機関室 (F31-F32)	斜角対称 (45°) 2基並列	27kHz ニッケル×4	550W		(3) タテ波加振方法の実用化の目途を得た。
第2次 実験	第1次と同条件				実験期間 4.3.9.4~4.4.3.4 (181日) 停泊期間 160日 航海状況: 約50日間第5管区海域(大阪桜島基地)にて派遣されたほかは1次と同じ	



③ (斜角加振)



④ (斜角対称加振の原理)



L-L型治具のとりつけ状況

L-L型剪断波駆動方法

⑤

付図 1 タテ波加振方式の各種