

海中作業実験船「かいよう」の水中放射雑音 の低減 (第2報)

網谷泰孝*¹ 土屋利雄*¹ 中西俊之*¹
安藤久司*¹ 三橋邦宏*² 野尻武生*²
末 芳樹*²

海中作業実験船「かいよう」は各種音響機器を搭載しており、これらの性能を十分発揮させるために、船体から放射される水中雑音の低減を行った。

前報では、水中放射雑音の予測計算及び陸上試験を行い、水中放射雑音を十分低減しうる見通しを得たことについて報告した。

本報では、その後造船所岸壁にて行った岸壁試験及び海上にて行った航走試験について述べるとともに、本船の水中放射雑音が十分低減され、音響機器が良好に作動したことについて述べる。

Study for Reduction of Underwater Noises Radiated from "KAIYO" (Part 2)

Yasutaka Amitani*³, Toshio Tsuchiya*³, Toshiyuki Nakanishi*³,
Hisashi Ando*³, Kunihiro Mitsuhashi*⁴, Takeo Nojiri*⁴, Yoshiki Suye*⁴

The underwater work test vessel "KAIYO" of JAMSTEC has underwater acoustic equipments which need low ambient noise. So the authors managed to reduce underwater noise radiated from the vessel.

In the previous paper, it was described that the prospects of reducing underwater noise to low level is gained from prediction and shop test.

Here the authors report the results of dock side test and open sea test were satisfactory.

*¹ 深海開発技術部

*² 三井造船 (株)

*³ Deep Sea Technology Department

*⁴ Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.

1. はじめに

海中作業実験船「かいよう」は音響測位装置及びシービームを搭載している。これらの水中音響機器の性能を十分発揮させるためには、船体から海中へ放射させる雑音を低減して十分なS/N比を確保する必要がある。そこで、前報(JAMSTECTR 14)で述べた「水中放射雑音低減化の全体フロー」に沿って水中放射雑音の低減化を図ることとした。

前報では、防振防音対策、簡易SEA法による水中放射雑音予測計算および陸上試験の結果について述べた。本報では、それ以後の試験結果等について述べる。

なお、「かいよう」は本年6月に無事就航し、現在、様々な調査研究活動に活躍している。

2. 岸壁試験

陸上試験ではメーカー工場において、定盤上に行える限り実際の装備と近い状態で設置し、機器の振動レベルおよび騒音レベルを測定して、その実測値を予測計算に適用した。その結果、水中雑音レベルを許容レベル以下に抑えるめどがついた。

しかしながら、機器から発生した振動および騒音は、複雑な船体構造を伝搬して没水部の外板振動となり水中雑音として水中に放射されるため、この間の伝搬状況の予測計算は必ずしも十分とは言えない。そこで、この点を建造の早い段階で明確にし、必要に応じて対策を立てるために、造船所岸壁において艤装工事中に、据え付けが終了した機器から順次単独運転を行い、機器および船体各部の振動を測定した。

2.1 試験方法

図1に示すように、機器台板、機器設置区画の床、没水部外板などに加速度ピックアップを接着剤で取り付けて、各部の振動を測定した。また、岸壁の水深が7.5mと浅いため音場としてはあまり良くないが参考のために、船体中央部にあるセンターウェルから水面下2mに水中マイクロホン（Hydrophone）を吊り下げて水中雑音を測定した。

測定対象機器は、岸壁の影響を避けるために岸壁とは反対舷に装備されているものとし、原則として陸上電源による単独運転とした。ただし、主推進電動機およびスラスト電動機は大電力が必要

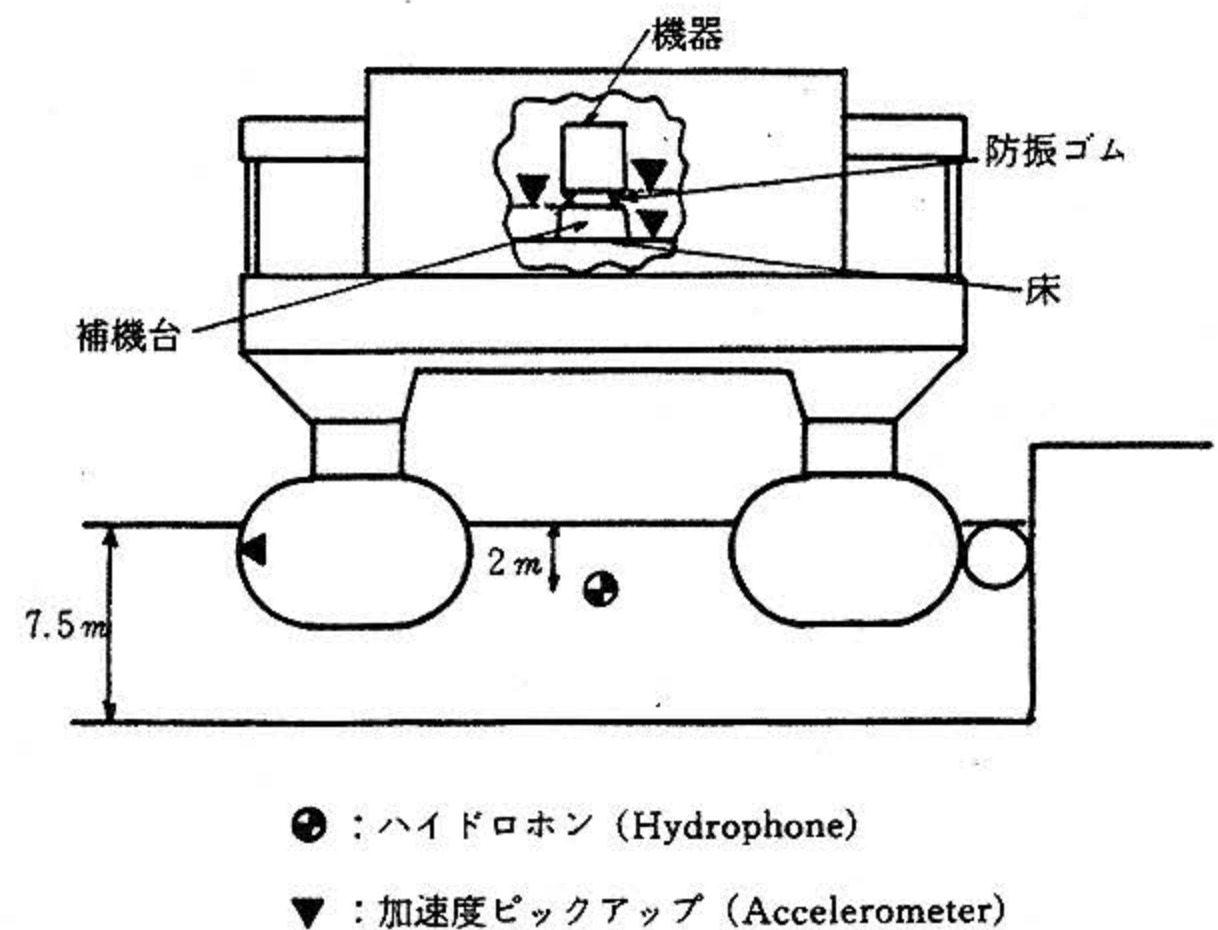


図1 岸壁試験の概要

Dock Side Test Arrangement

なため主発電機より給電した。また、その他の運転上必要な補機類は同時運転した。そして、これらの影響は、それぞれの単独運転測定結果を基にして除去した。

機器の運転状態は極力実際の使用状態としたが、主発電機、補助発電機、主推進電動機、スラスト電動機は負荷がかけられないため、負荷補正、台数補正を行うこととした。

なお、測定は外部の振動、騒音の影響を極力抑えるために夜間に実施した。

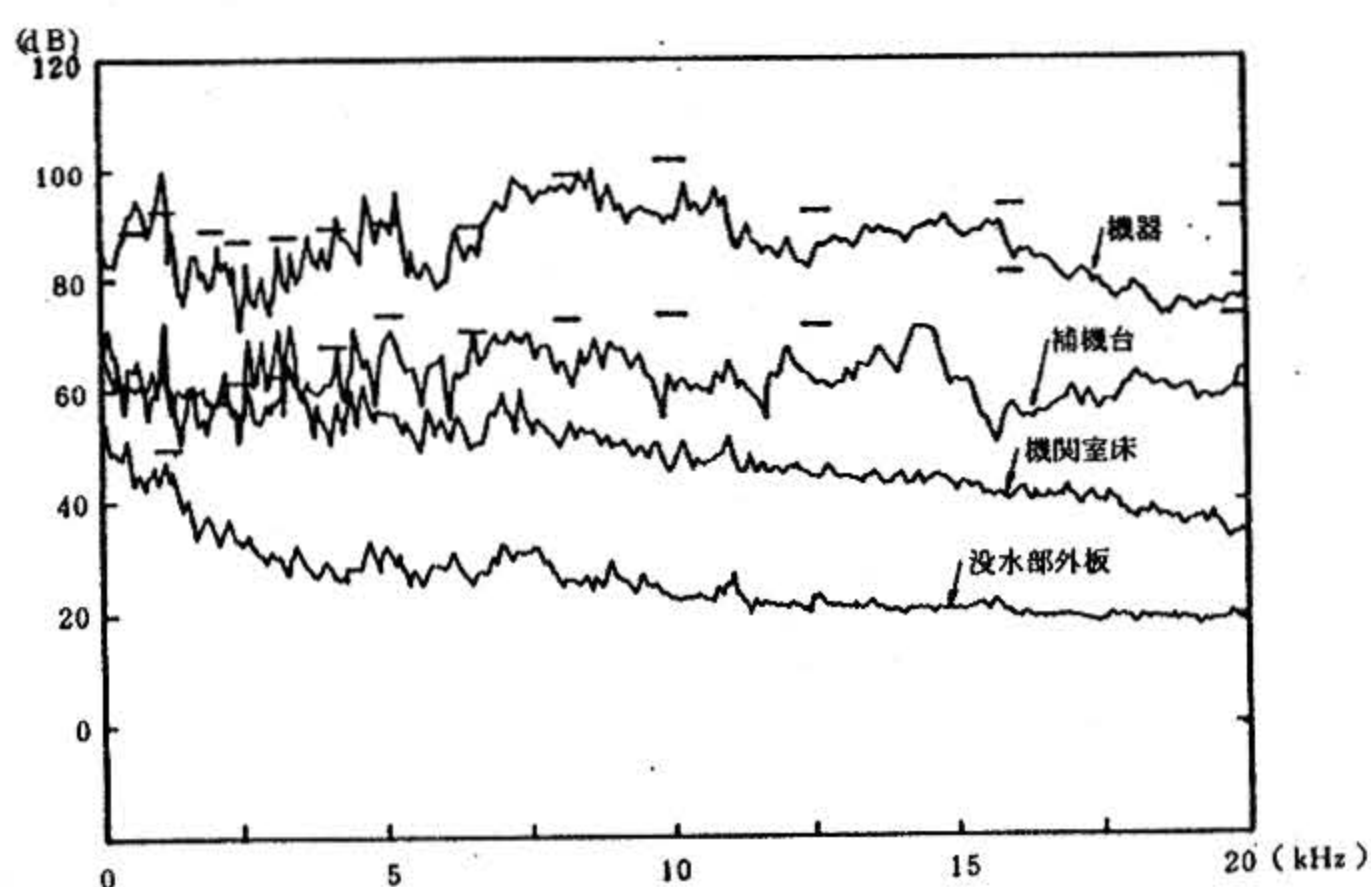
2.2 試験結果

(1) 振動測定結果

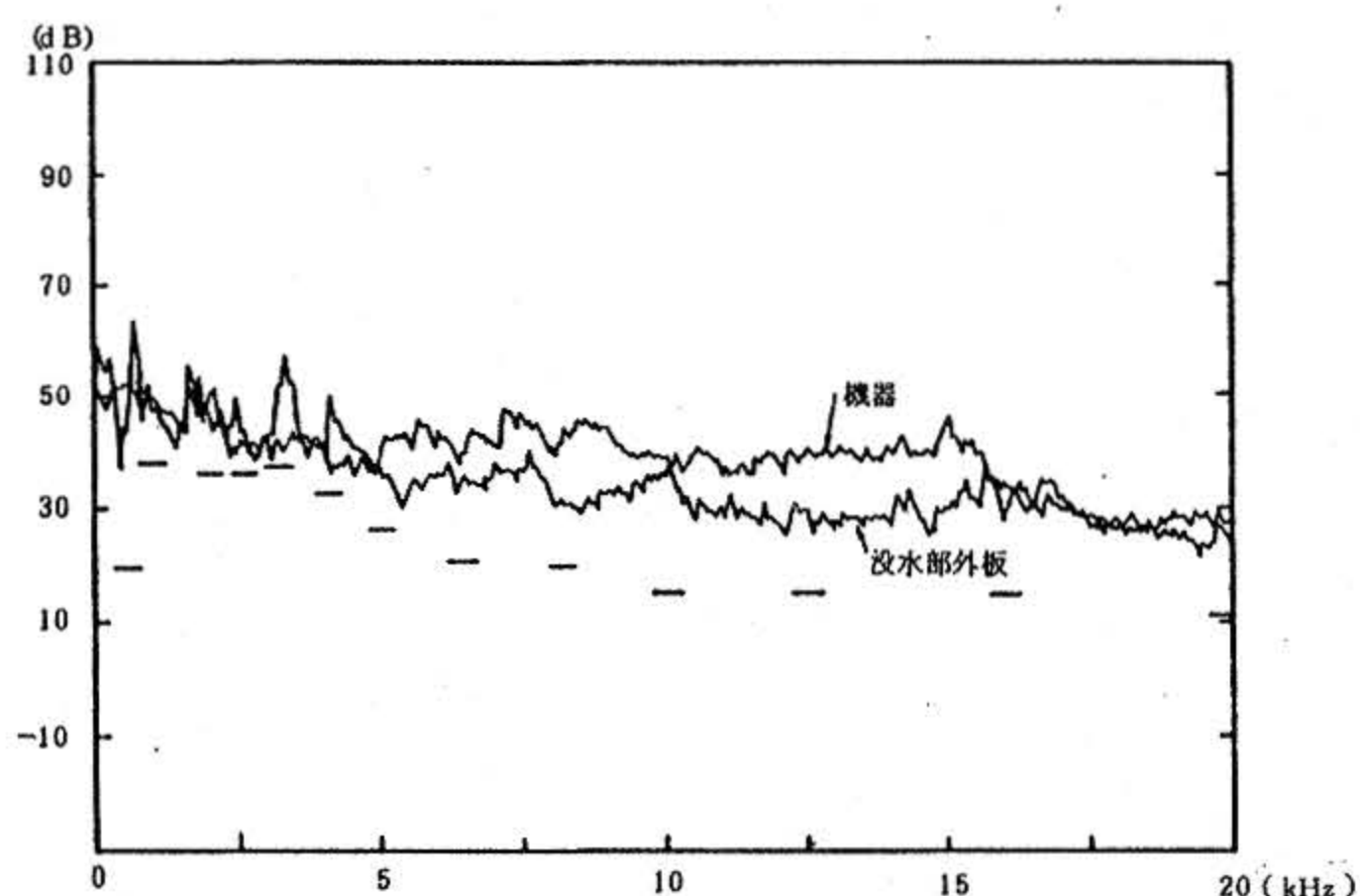
図2に振動測定結果を示す。図中短い横線は陸上試験における機器および補機台の振動レベル($1/3$ オクターブバンドレベルをスペクトルレベルに換算した値)である。ただし、主発電機、主推進電動機及び減速機の負荷は、陸上試験と岸壁試験とは異っている。また、電動機以外の機器は防振ゴムで支持されており、機器および補機台の振動は、それぞれ防振ゴムの上側および下側の振動である。

この結果から、補機台の振動は陸上試験と岸壁試験とで差のあるものが多いことがわかるが、これはメーカー工場の定盤と本船の補機台の剛性が異なるためと考えられる。

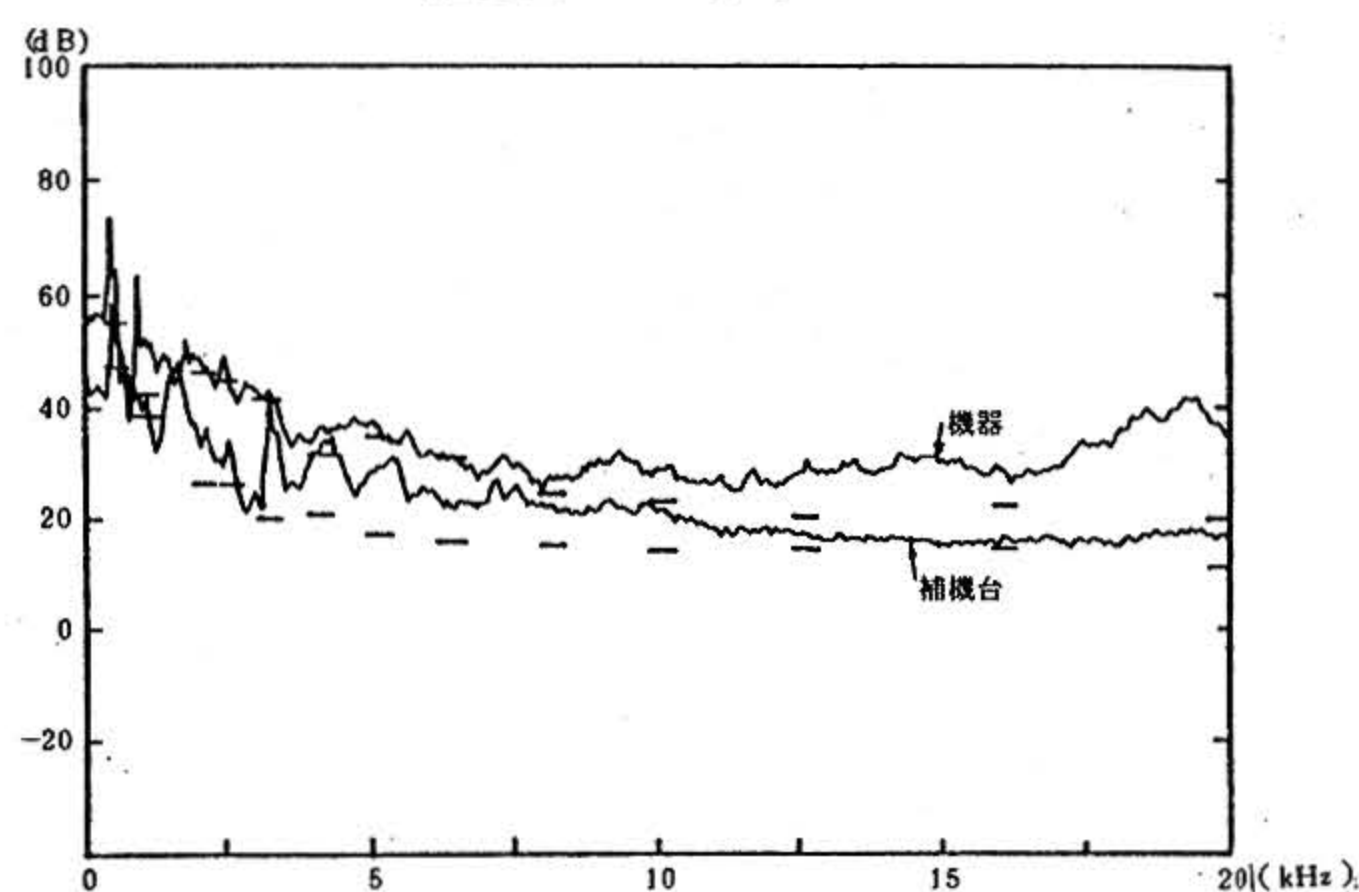
また10kHz以上の振動は機器、補機台、設置区画の床、没水部外板と伝搬・減衰する過程で、その機器固有の周波数特性を持たなくなり、なだらかな周波数特性を示すようになる傾向が見られる。



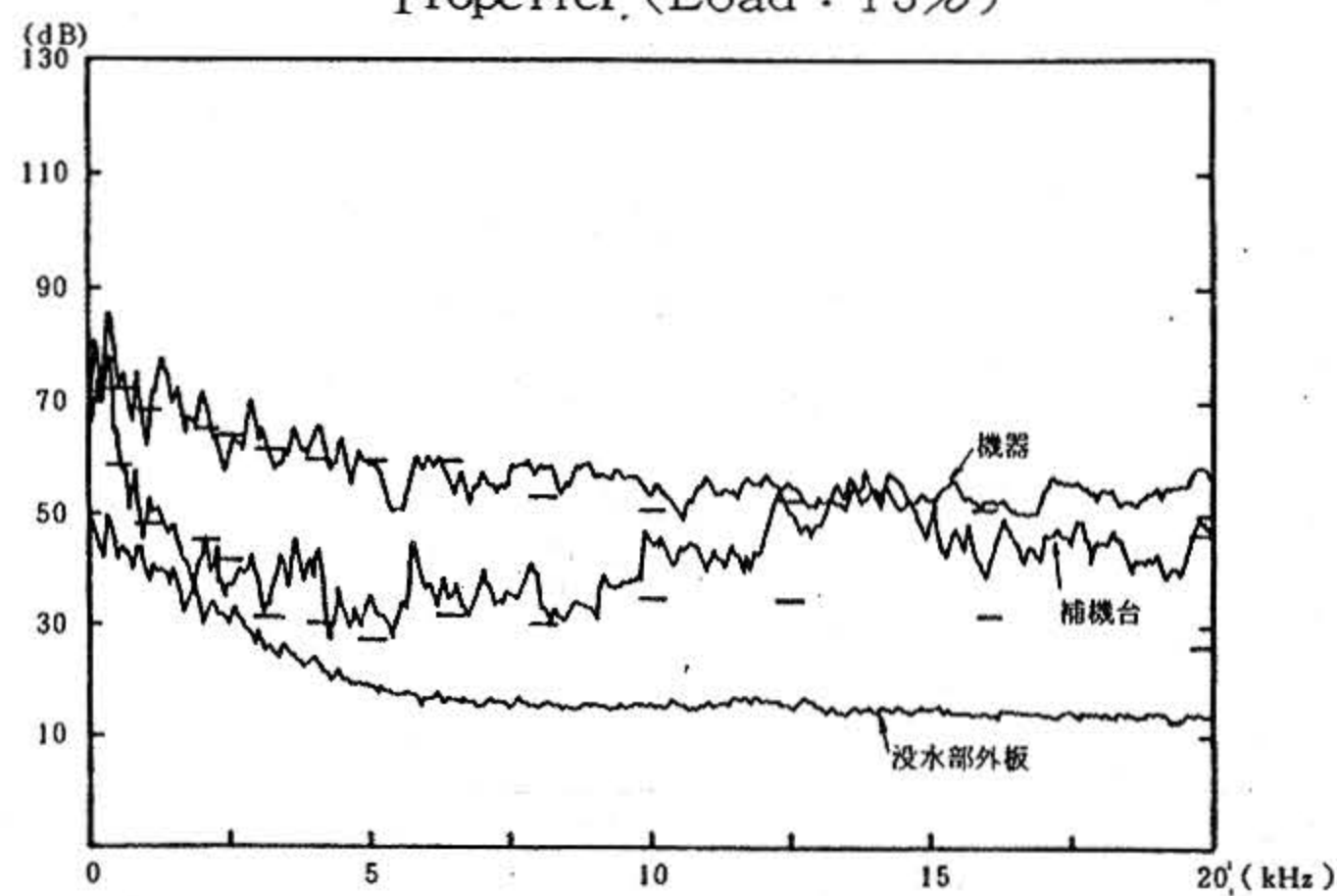
2.1 主発電機 (負荷: 1.6%)
Main Diesel Generator
(Load: 1.6%)



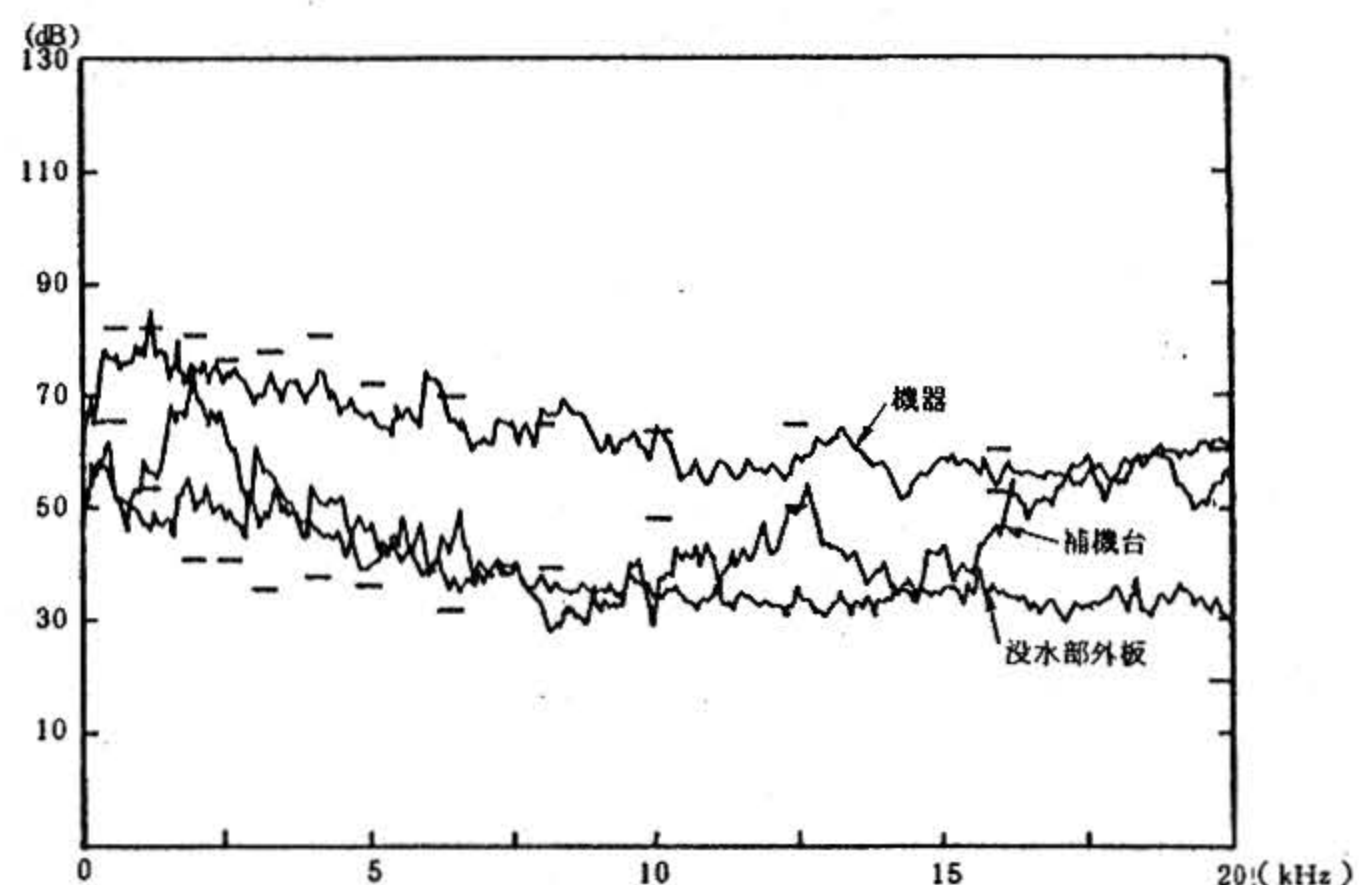
2.2 主推進電動機 (負荷: 13%)
Electric Motor for Main
Propeller (Load: 13%)



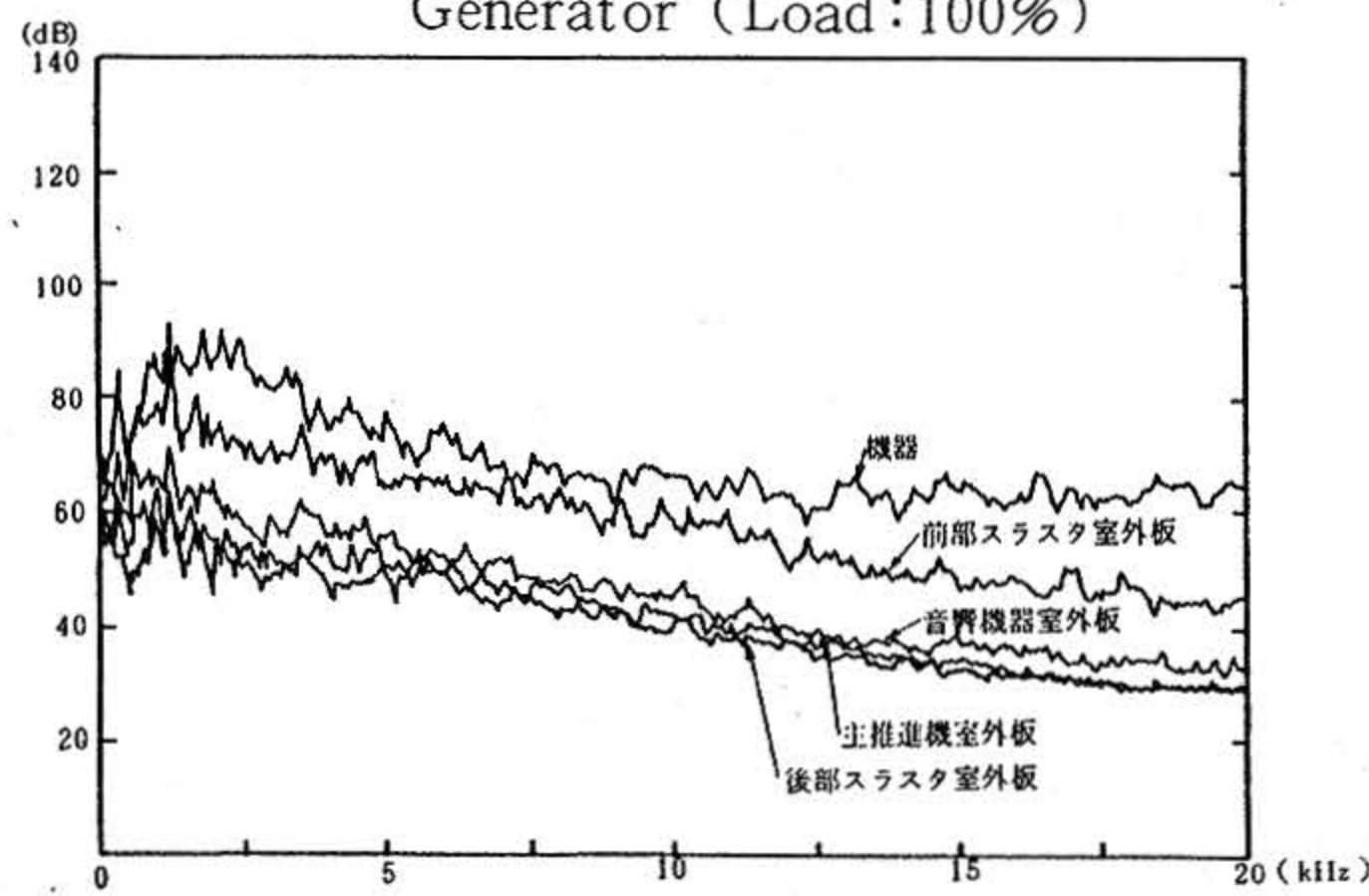
2.3 減速機 (負荷: 9.3%)
Reduction Gear (Load: 9.3%)



2.4 発電機械冷却海水ポンプ
(負荷: 100%)
Sea Water Pump for Diesel
Generator (Load: 100%)



2.5 消防ビルジ兼バラストポンプ
(負荷: 100%)
Ballast Pump (Load: 100%)



2.6 バウスラスト電動機 (負荷: 19%)
Electric Motor for Bow Thruster
(Load: 19%)

図2 船体振動 (岸壁試験)

Hull's Vibration (Dock Side Test)

dB re $10^{-5} \text{ m/sec}^2/\sqrt{\text{Hz}}$

—: 陸上試験結果, Result of Shop Test

(2)水中雑音測定結果

図3にセンターウェルから吊り下げた水中マイクロホンによる水中雑音測定結果を示す。この結果からも、上述のように10kHz以上の周波数では、伝搬過程において、その機器固有の周波数特性がなくなっていることがわかる。

(3)水中放射雑音の予測

次に、振動及び水中雑音の測定結果から、本船の代表的な運転状態における音響測位装置受波器位置での水中雑音レベルの予測を行った。その結果を表1に示す。

ただし、没水部外板の振動を用いた予測には次式を用いた。

$$\langle P^2 \rangle = \rho^2 \cdot C^2 \cdot \frac{S}{A} \cdot \sigma \cdot \frac{\langle a^2 \rangle}{w^2}$$

ここで、P：音圧、 ρ ：海水密度、C：海中の音速、S：没水部の外板面積、A：Sより放射された音が通過する面積、 σ ：外板の放射率、a：外板の振動加速度、w：外板の振動角速度である。

また、負荷補正及び台数補正は次式によった。

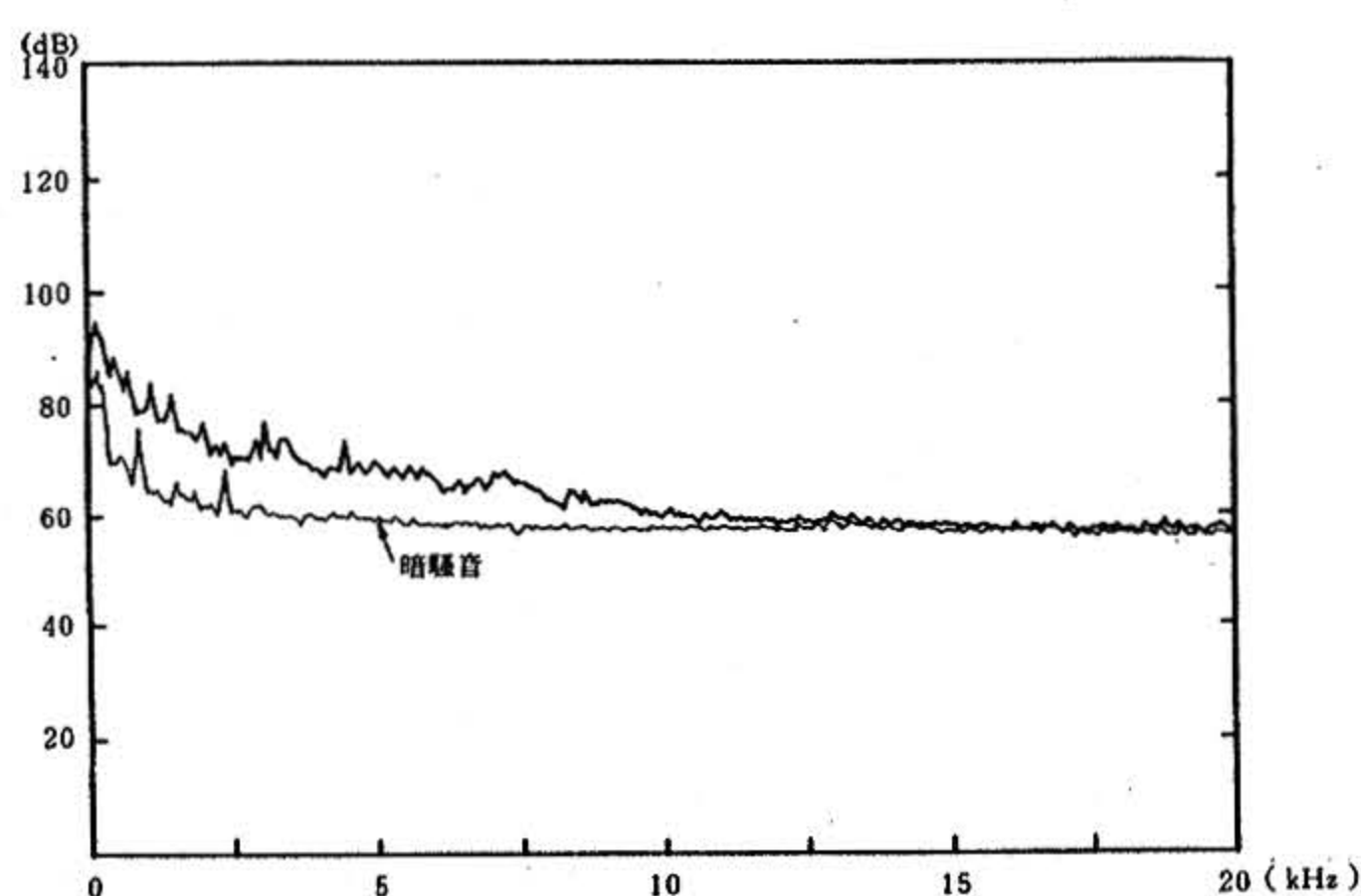
$$NL = NL' + \log \frac{\text{運転状態 (台数} \times \text{出力)}}{\text{測定状態 (台数} \times \text{出力)}}$$

ここで、NL：水中雑音レベル（運転状態）NL'：水中雑音レベル（測定状態）である。

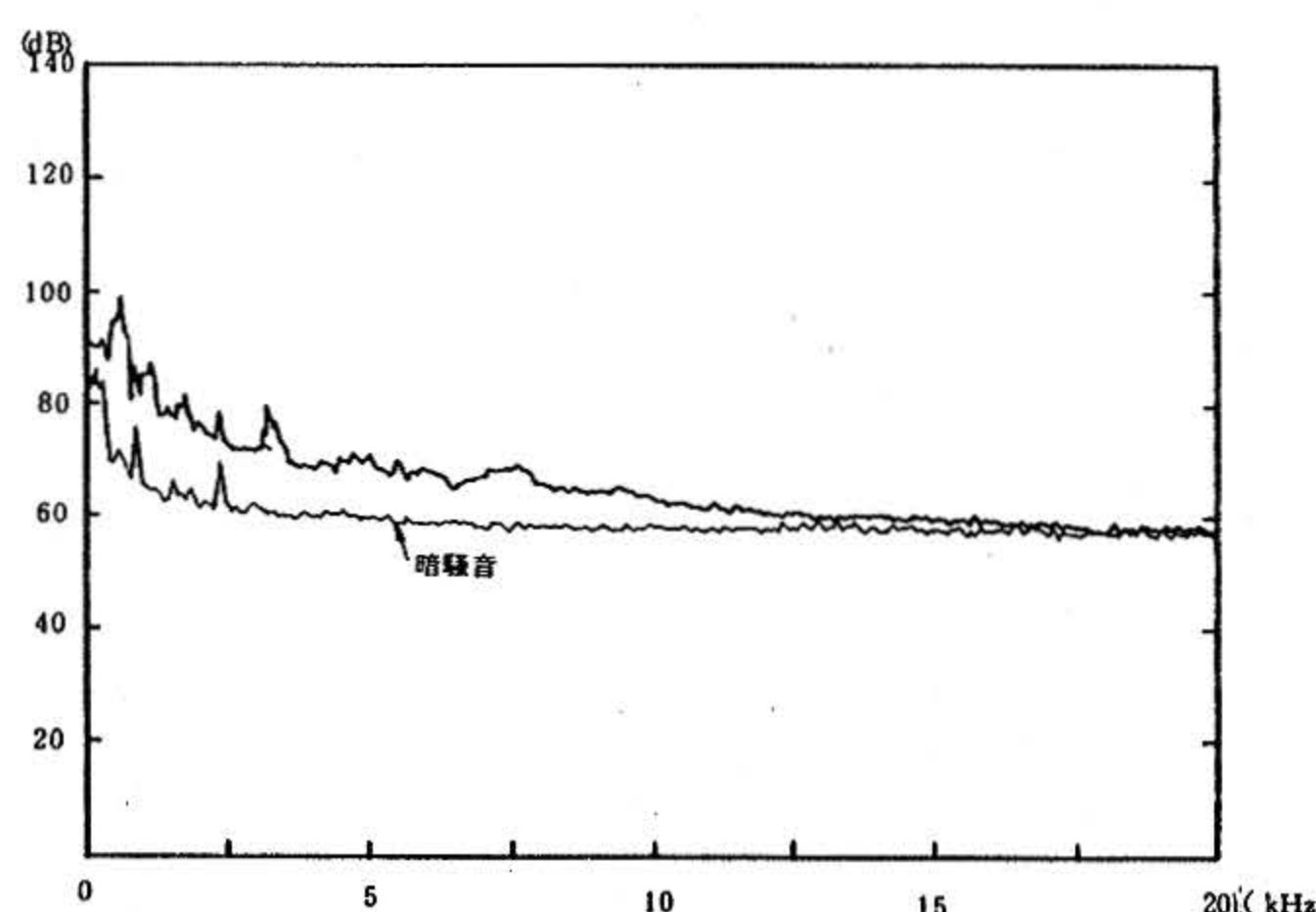
なお、表中——は、その運転状態で使用しない機器を……は測定時にSN比がとれなかった機器を示しており、⑦は没水部外板の振動測定結果から、⑩はセンターウェルの水中雑音測定結果から求めた値である。

この表では⑦も⑩も水中雑音レベルを許容レベル以下に抑えられることを示しているが、その内容は全く異っている。その原因としては、次のような事が考えられる。

- ⑦では、外板振動と水中放射雑音の間に前述の式の間係を仮定している。
- ⑦では、測定点数が少なく特異な点を測定していた可能性がある。
- ⑩では、岸壁での測定ということで、音場があまり良くなかった。



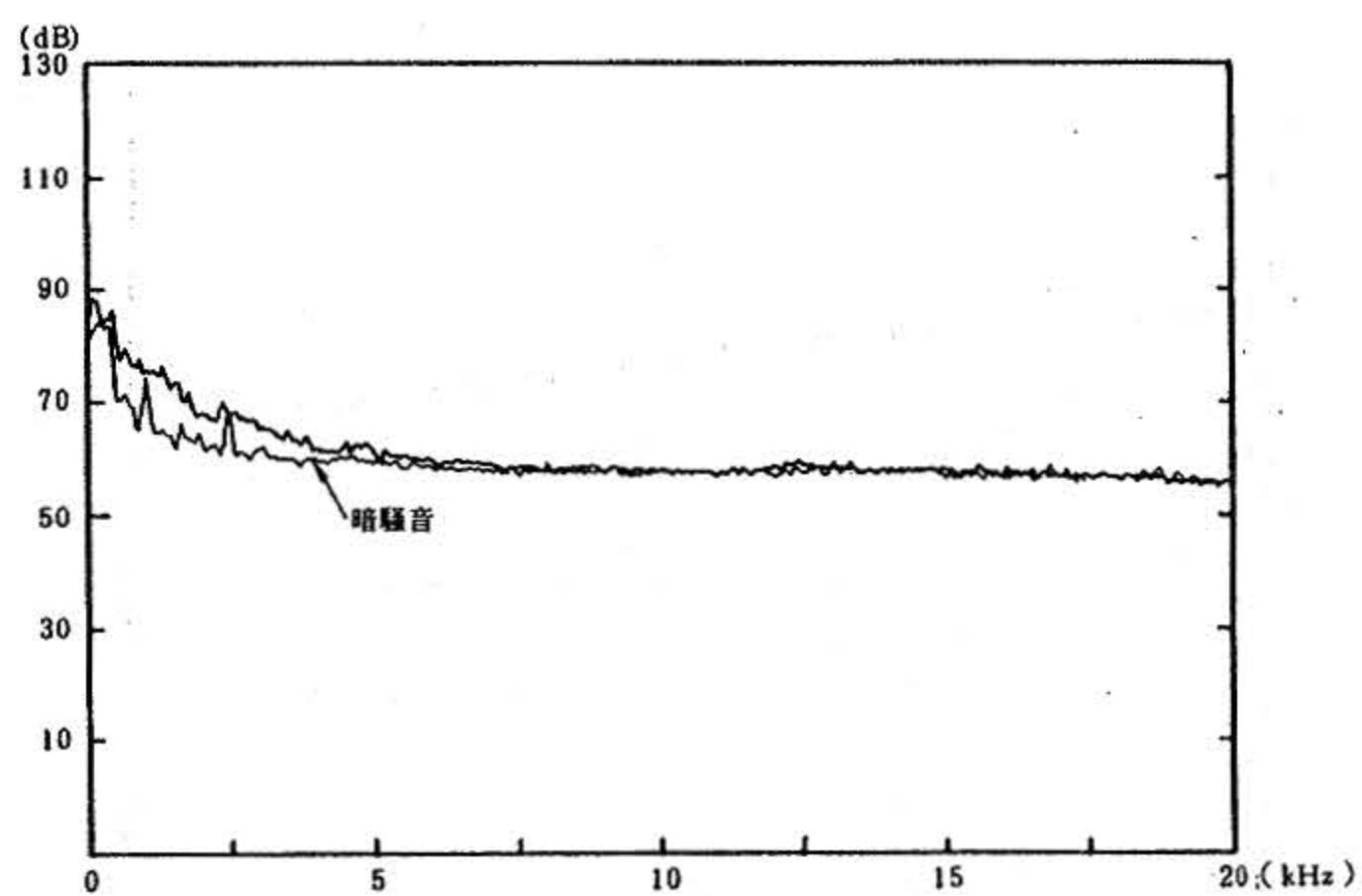
3.1 主発電機（負荷：1.6%）
Main Diesel Generator
(Load : 1.6%)



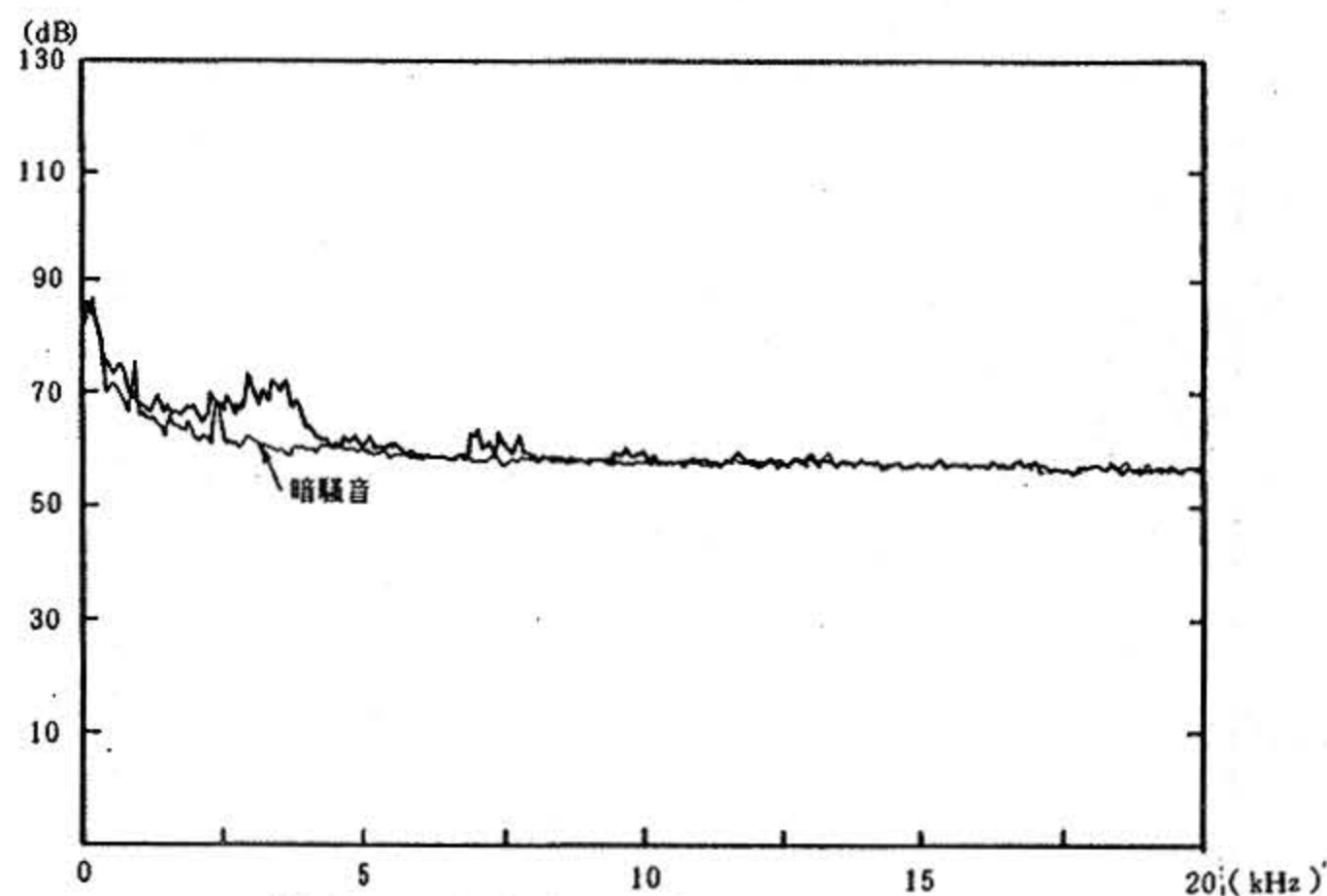
3.2 主推進電動機及び減速機
(負荷：13%)
Electric Motor and Reduction
Gear for Main Propeller
(Load : 13%)

図3 水中雑音（岸壁試験）
Underwater Noise (Dock Side Test)

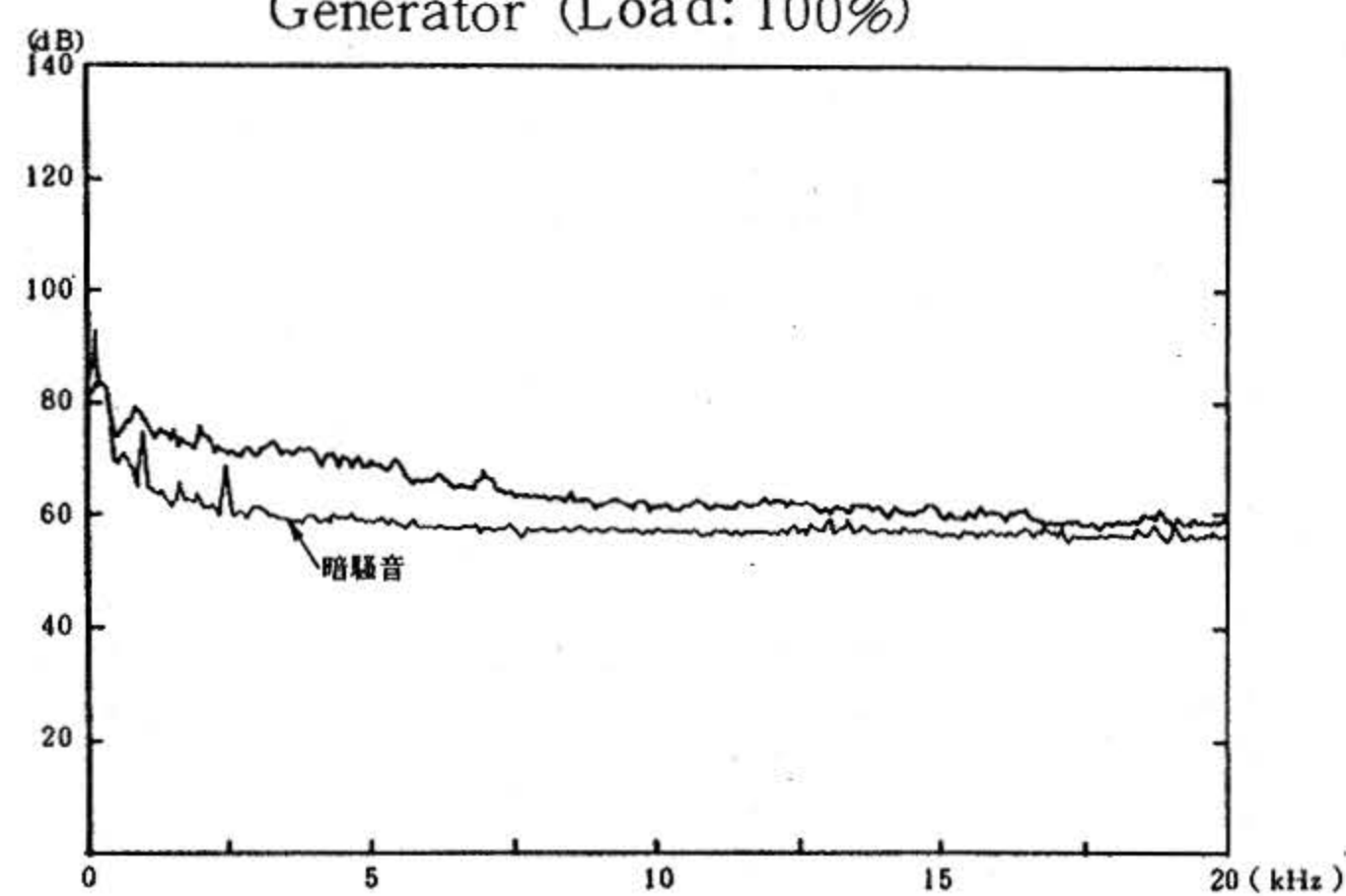
(dB re $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$)
細線：暗騒音, Hair Line:
Background Noise



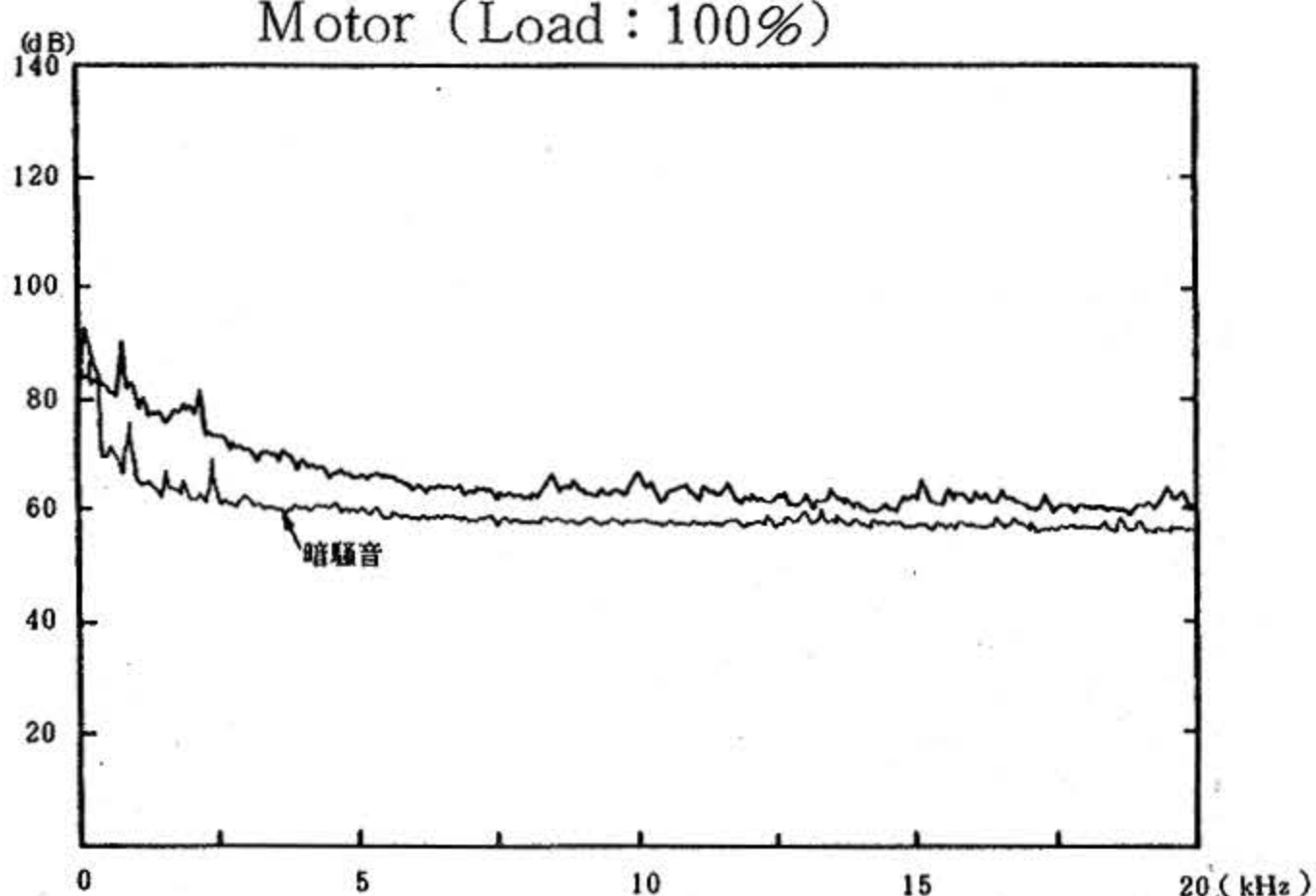
3.3 発電機械冷却海水ポンプ(負荷:100%)
Sea Water Pump for Diesel
Generator (Load: 100%)



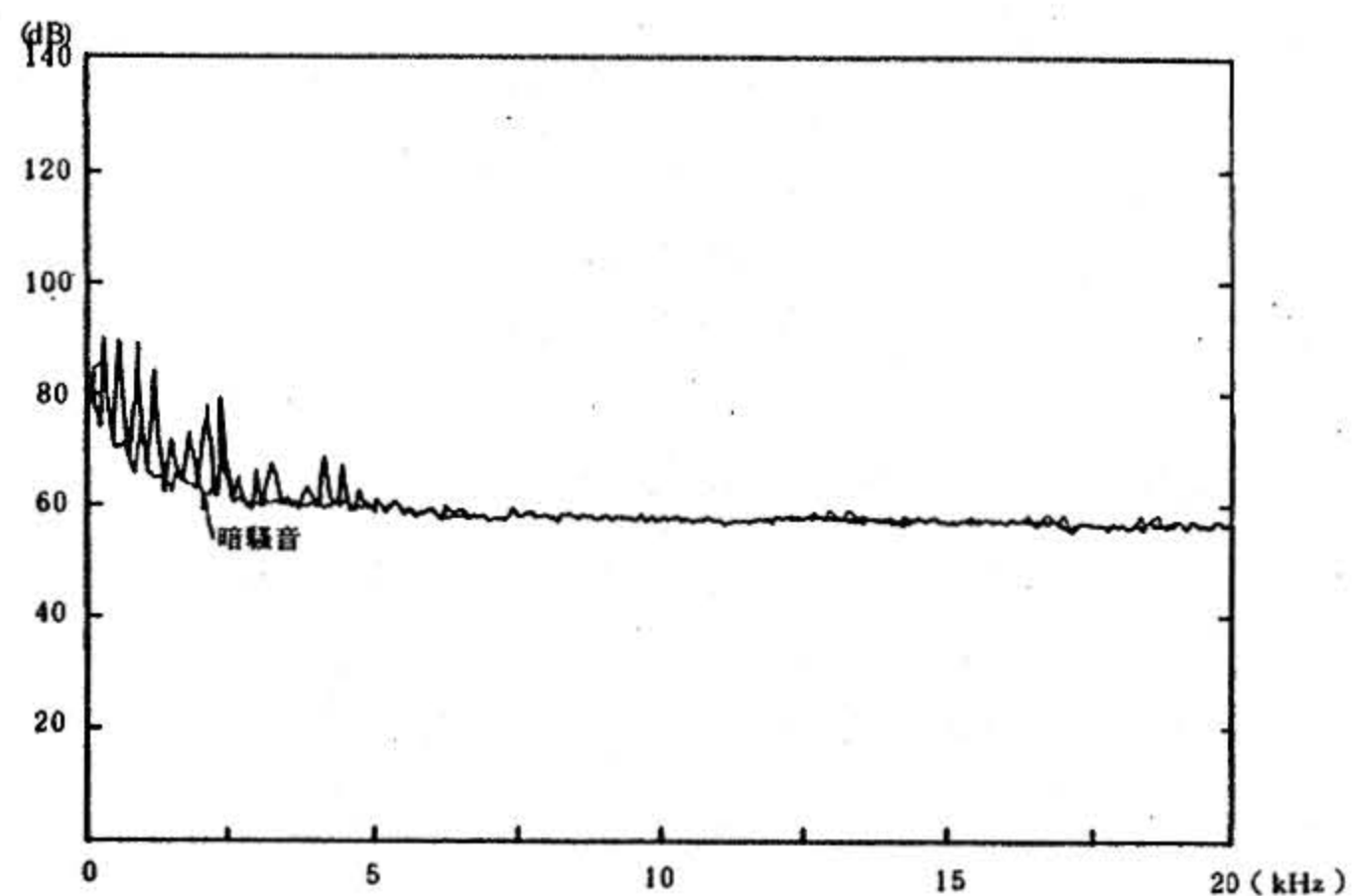
3.4 推進機械冷却海水ポンプ(負荷:100%)
Sea Water Pump for Propulsion
Motor (Load: 100%)



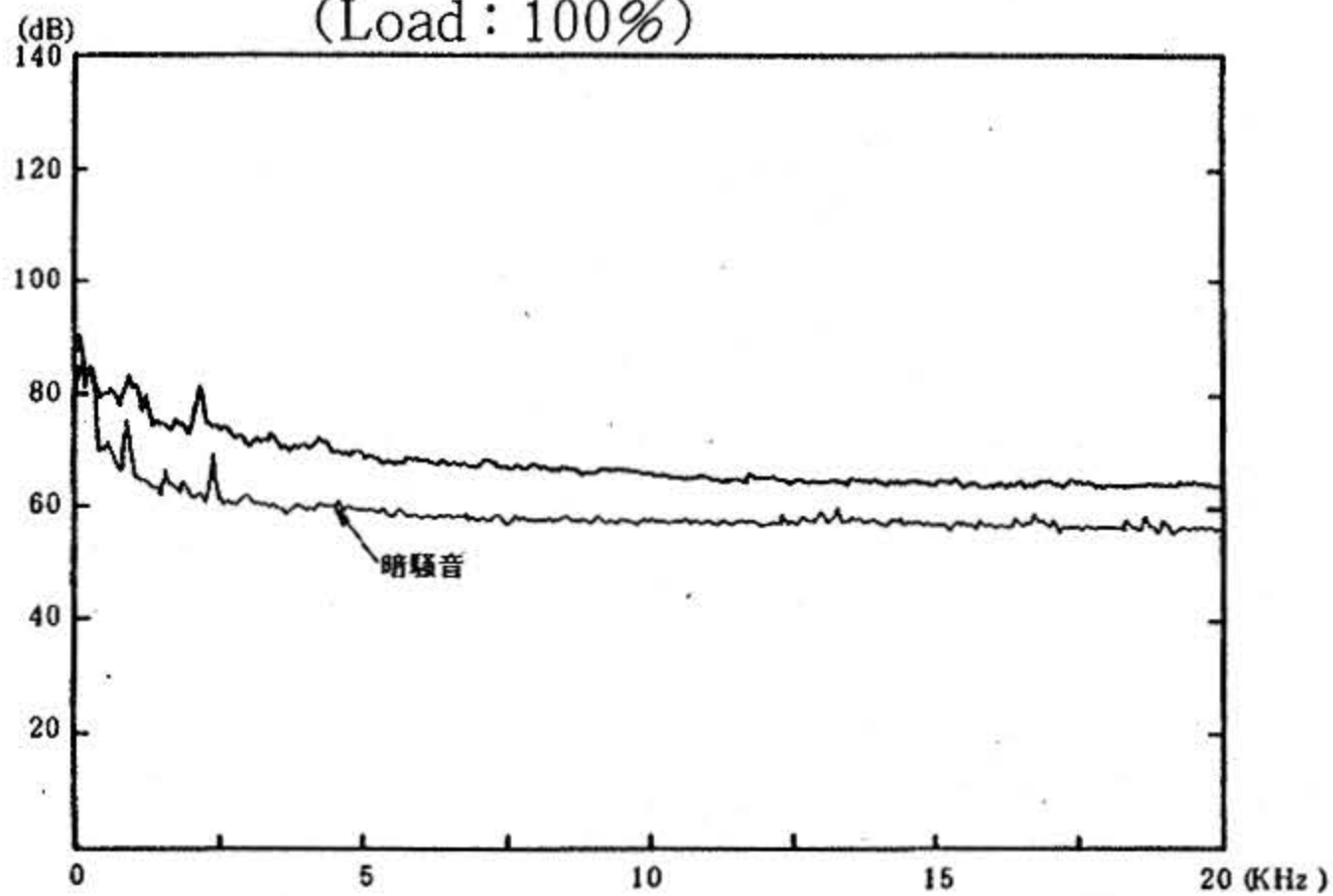
3.5 潜水サービスポンプ (負荷: 100%)
Sea Water Pump for Diving
Gears (Load: 100%)



3.6 冷房冷凍機冷却海水ポンプ
(負荷: 100%)
Sea Water Pump for Airconditionor
(Load: 100%)



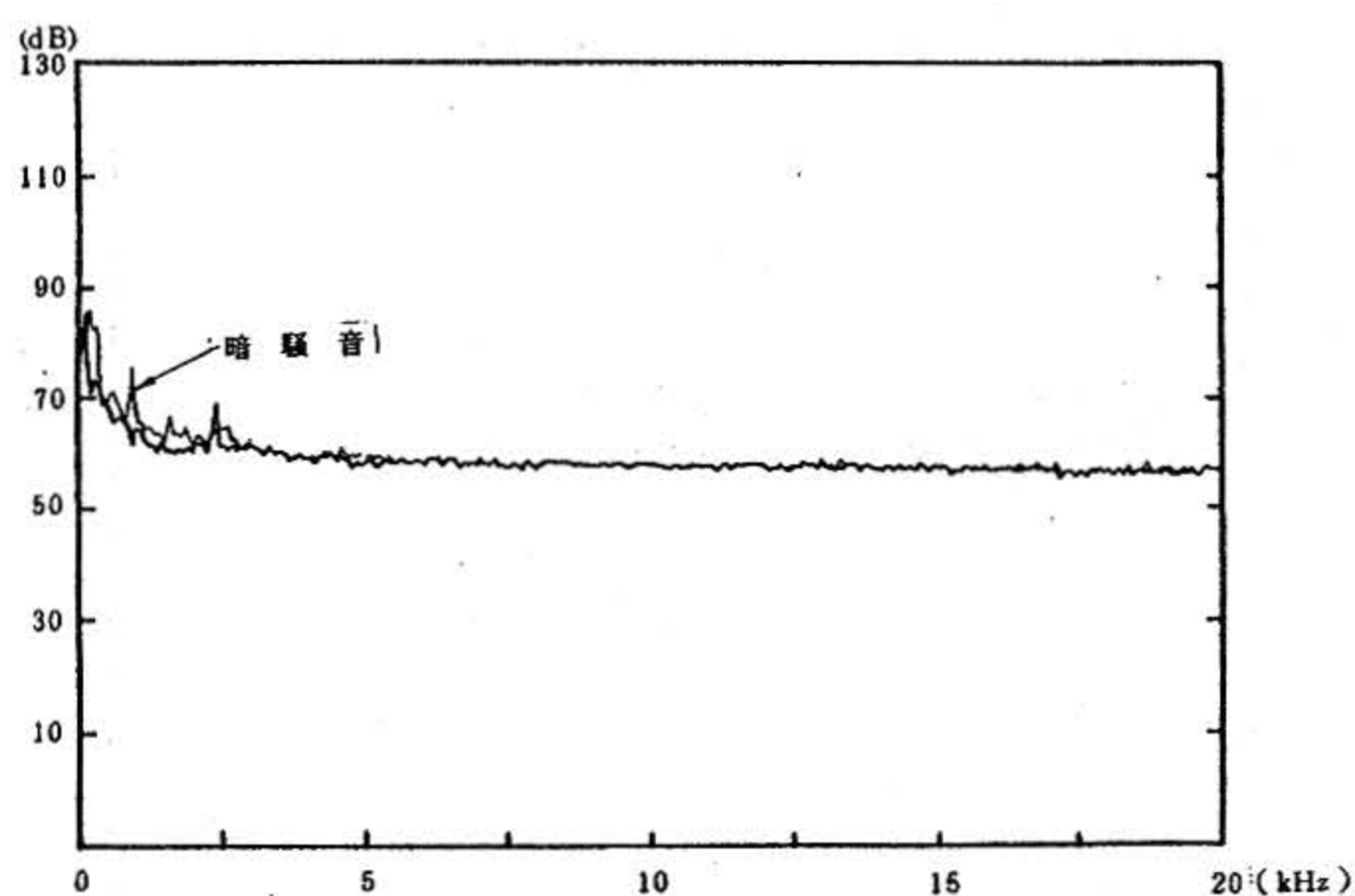
3.7 CPPポンプユニット (負荷: 100%)
CPP Hydraulic Pump Unit
(Load: 100%)



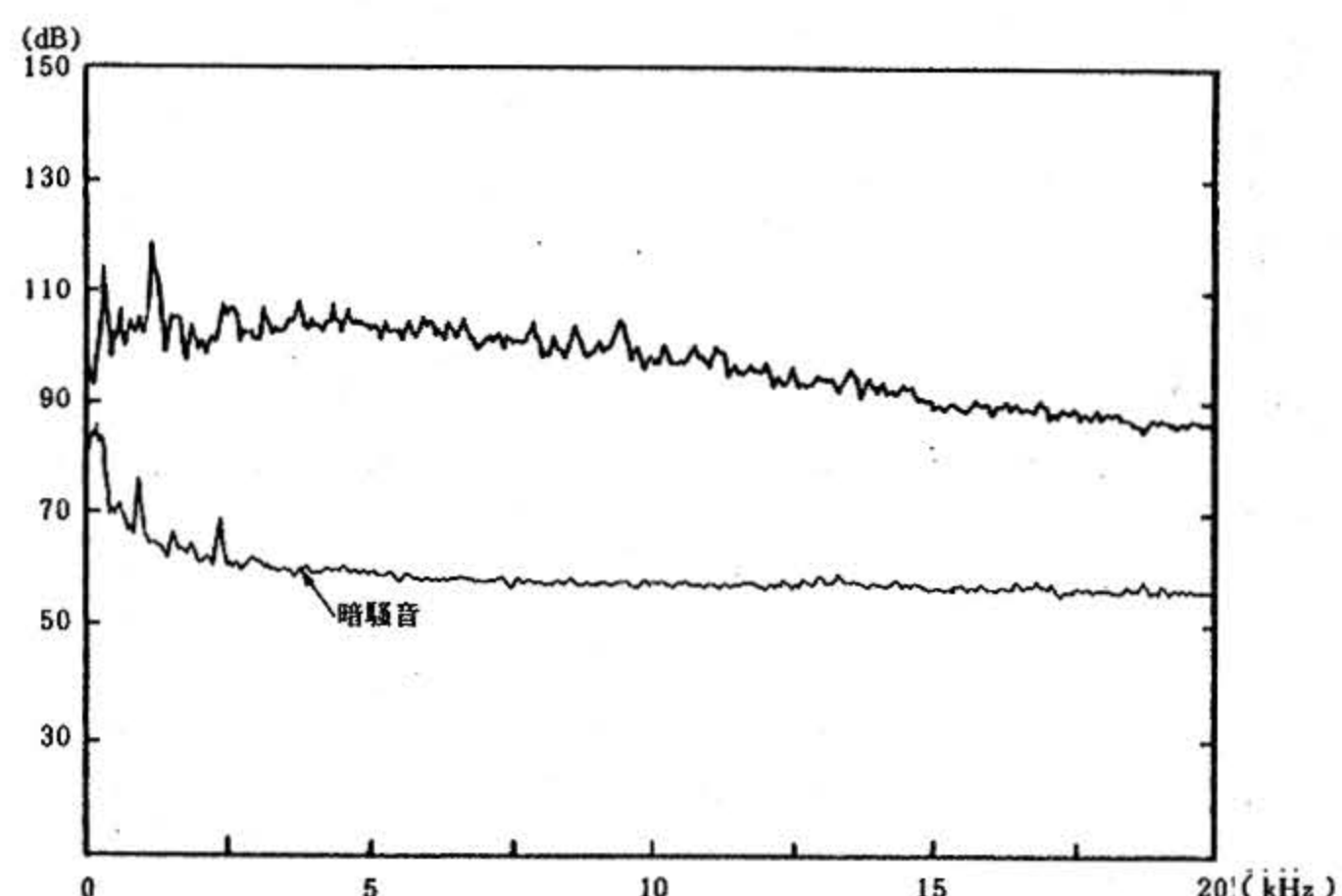
3.8 バウスラスト油圧ユニット
(負荷: 100%)
Bow Thruster Hydraulic
Pump Unit (Load: 100%)

図3 水中雑音 (岸壁試験)
Underwater Noise (Dock Side Test)

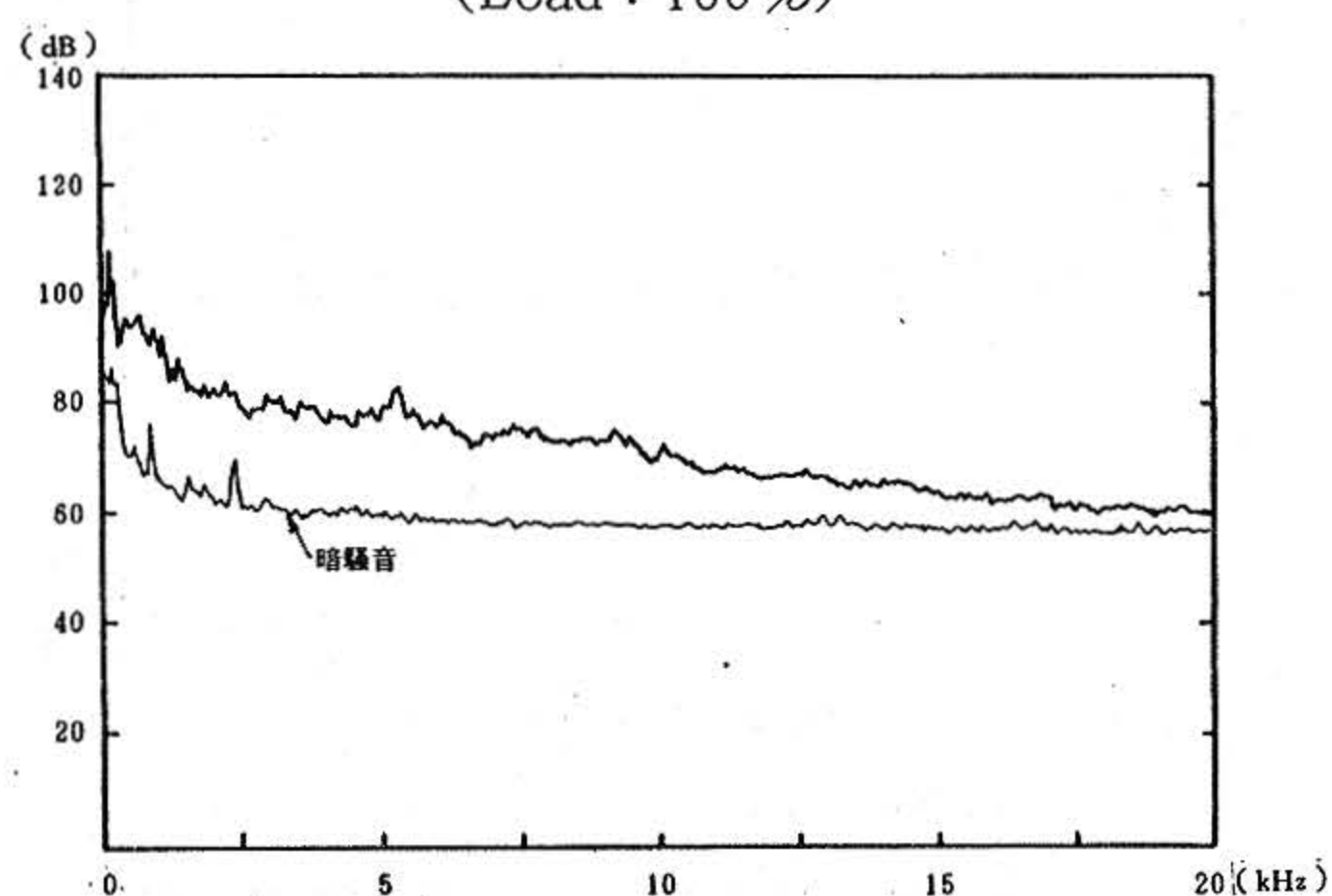
(dB re $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$
細線: 暗騒音, Hair Line:
Background Noise)



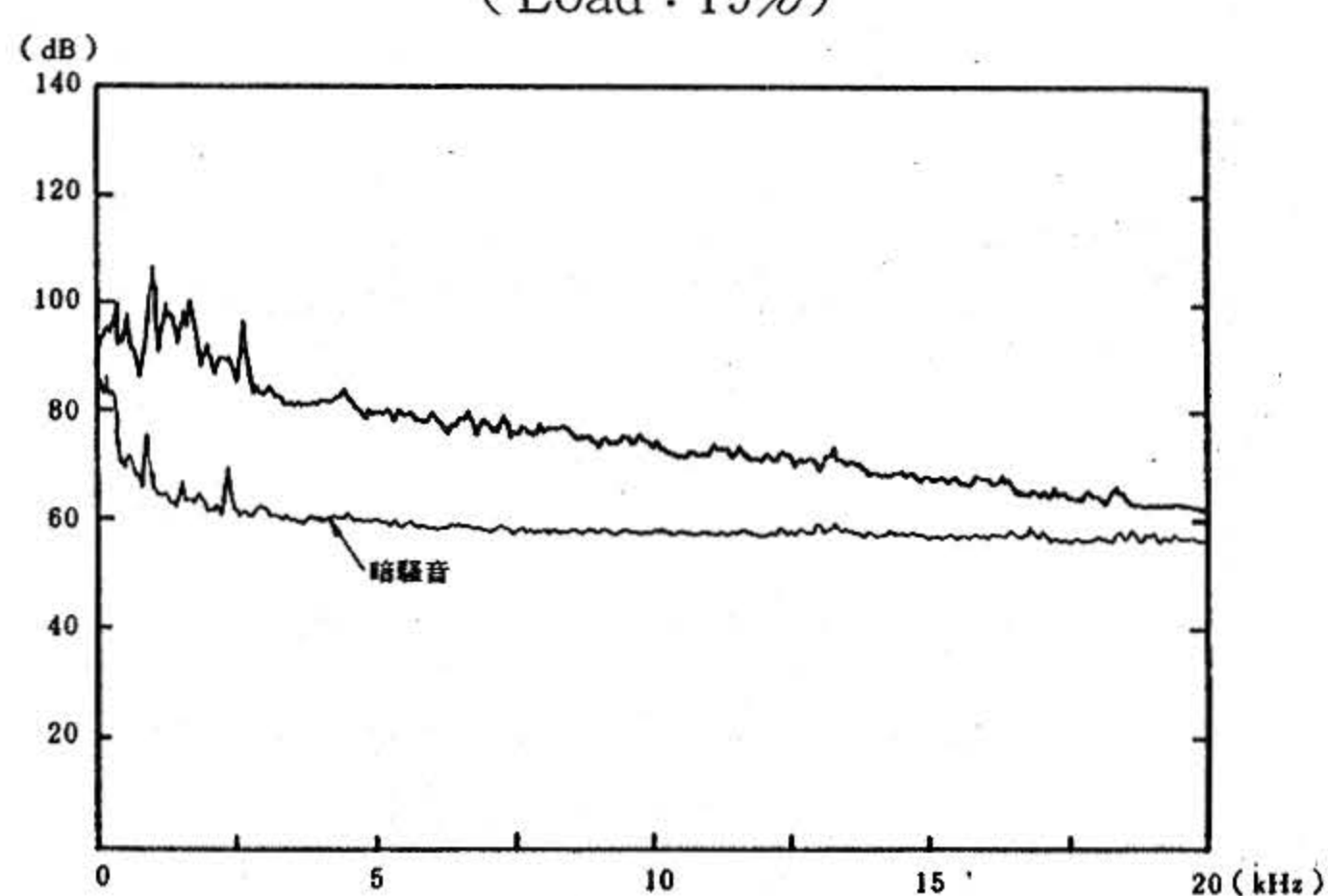
3.9 スタンスラスト油圧ユニット
(負荷: 100%)
Stern Thruster Hydraulic
Pump Unit
(Load: 100%)



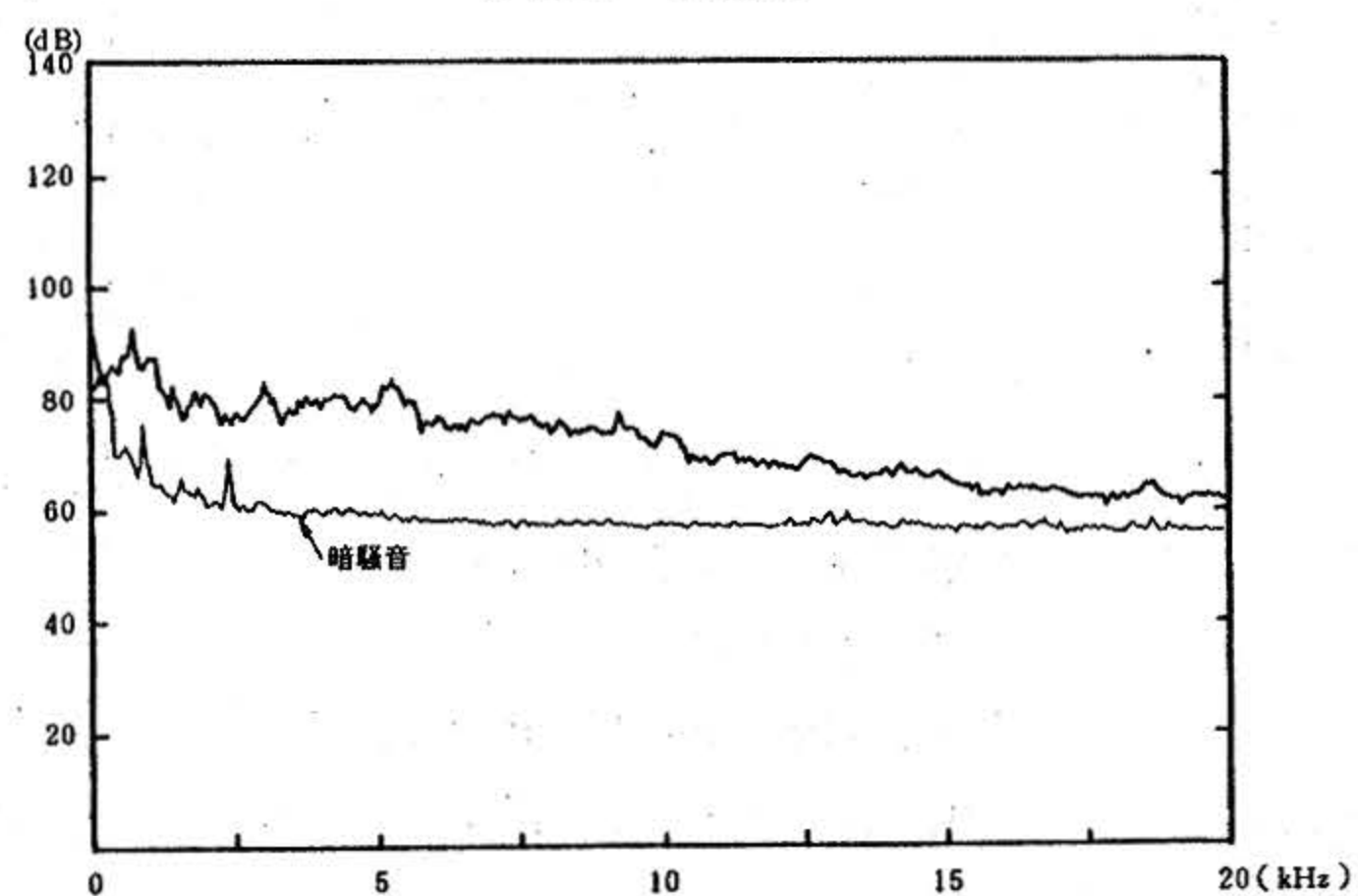
3.10 バウスラスト及び電動機
(負荷: 19%)
Bow Thruster and its
Electric Motor
(Load: 19%)



3.11 スタンスラスト及び電動機
(負荷: 30%)
Stern Thruster and its
Electric Motor
(Load: 30%)



3.12 甲板機械用油圧ユニット
(負荷: 100%)
General Use Hydraulic
Power Unit
(Load: 100%)



3.13 He 圧縮機(負荷: 100%)
He Compressor (Load: 100%)

図3 水中雑音 (岸壁試験)
Underwater Noise (Dock Side Test)
dB re $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$
(細線: 暗騒音, Hair Line:
Background Noise)

表1 音響測位装置受波器位置での水中雑音レベル予測（岸壁試験）

機 器 名	低 運 航 走		深 海 DPS		D P S	
	㊦	㊧	㊦	㊧	㊦	㊧
主 発 電 機	70	...	70	...	74	...
空 機	50	...	50	...	50	...
DDC 給 水 ユ ニ ッ ト	—	—	—	—	52	...
C M U	—	—	—	—	60	71
He 圧 縮 機	—	—	—	—	58	68
潜 水 用 空 気 圧 縮 機	—	—	—	—	57	68
不 純 He 圧 縮 機	—	—	—	—	57	68
甲板機械用油圧ユニット	57	66	57	66	57	66
スタンスラスト用油圧ユニット	—	—	...	...	...	...
主推進電動機及び減速機	59	69	59	69	59	69
発電機械冷却海水ポンプ	49	...	49	...	49	...
推進機械冷却海水ポンプ	49	...	49	...	49	...
冷房冷凍機冷却海水ポンプ	56	63	56	63	56	63
海 水 サ ー ビ ス ポ ン プ	48	62	48	62	48	62
潜 水 サ ー ビ ス ポ ン プ	—	—	—	—	48	62
C P P ポ ン プ ユ ニ ッ ト	49	...	49	...	49	...
バ ウ ス ラ ス タ	—	—	85	93	94	102
ス タ ン ス ラ ス タ	—	—	72	80	77	85
バウスラスト用油圧ユニット	—	—	48	66	51	69
合 計	70.8	71.9	85.4	93.3	94.1	102.1
許 容 レ ベ ル	75.0		94.5		103.0	

(dB re 1 μ Pa/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 12kHz)

3. 航 走 試 験

岸壁試験で水中雑音は一応許容レベル以下になりそうだという結果を得たが、前述したような問題点のほかにも、岸壁係留状態であるため主推進電動機やスラストなどに十分な負荷をかけられなかったことなどの問題もあるため、船体艤装が完了した後に、実際の運転状態で水中雑音が十分低減され許容値以下に抑えられていることを確認するために、海上において航走試験を実施した。

3.1 試験方法

本試験では図4に示すように測定船を用いての測定に加えて、音響測位装置受波器位置に固縛し

た水中マイクロホンや、音響測位装置受波器を用いての測定も行った。

3.2 試験結果

(1)低速航走時の水中雑音

図5および図6に測定船による測定の一例として、本船が速力5ノットで航走した時の水中雑音レベル及び船体外板振動を示す。水中雑音レベルの測定にはカットオフ周波数2kHzのハイパスフィルタを使用している。この測定結果では水中雑音は約-6dB/oct.の傾きを示している。

また、図7に船速と水中雑音レベルの関係を示す。図中黒丸は測定船による測定値を音響測位装

置受波器位置に距離補正したものであり、白丸は音響測位装置受波器を用いて測定したものである。これによると、船速3ノットで最小値となっているが、これは主音源が可変ピッチの主推進器であるためと考えられる。可変ピッチプロペラでは必ずしもピッチ0で雑音レベルが最小とならないという現象が、「なつしま」においても生じたが、これに付合する。また、白丸と黒丸とは約8dBの差があるが、これは黒丸が本船の後部が測定船前方を通過した時の測定値であるためと思われる。

(2)DPS時の水中雑音レベル

図8にDPS時の水中雑音測定結果の一例を、図9にスラストのピッチ角と水中雑音の関係を示す。どちらも音響測位装置受波器位置に固縛した水中マイクロホンによる測定値である。また図10に外板振動測定結果を示す。

図8では水中雑音レベルが約-6dB/oct.の傾きを示している。また、図9では前述の可変ピッチプロペラの特徴を示している。

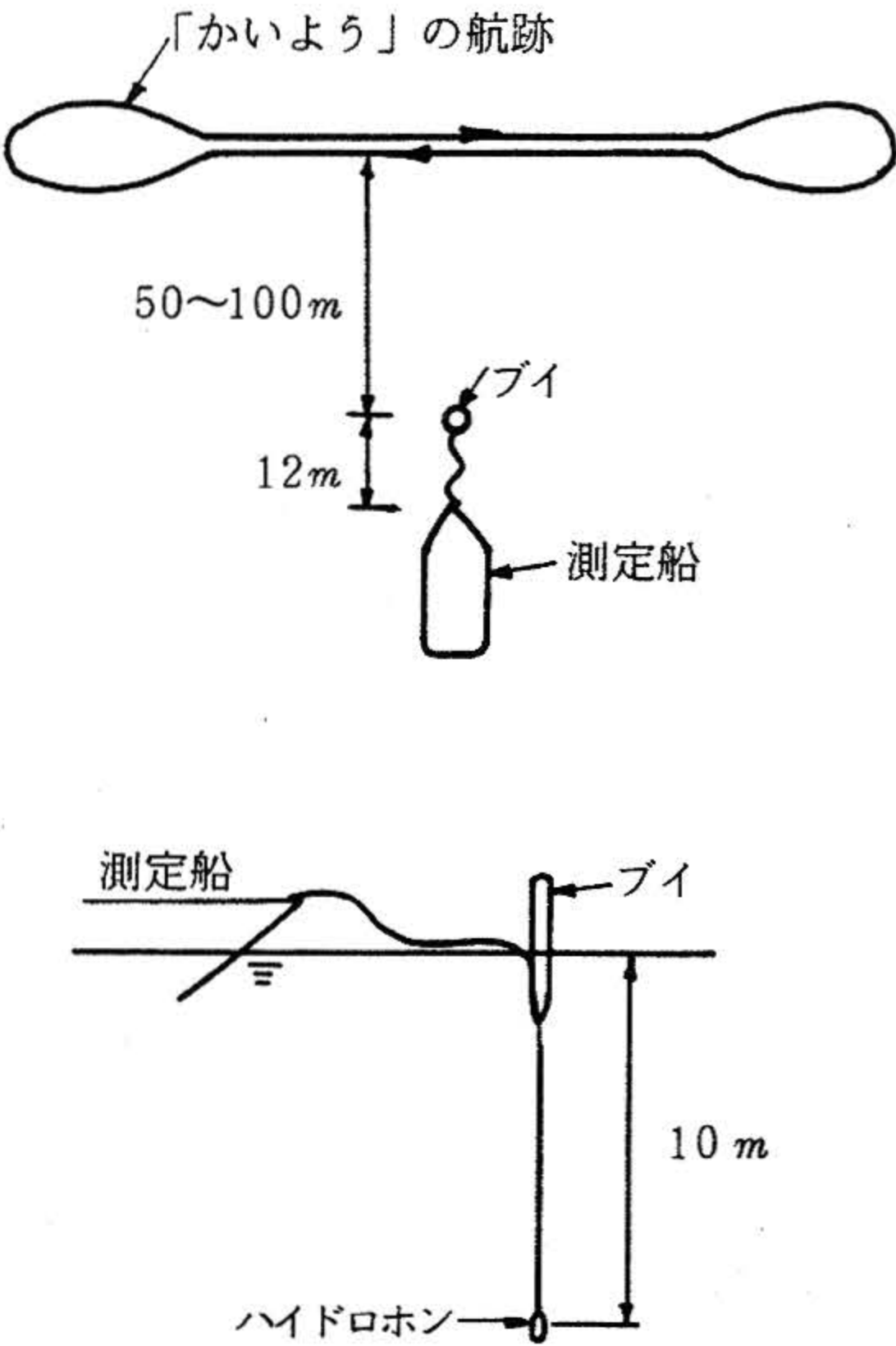


図4 海上試験の概要
Open Sea Test Arrangement

(3)許容レベルとの比較

本船の水中雑音は、低速航走、深海DPS、およびDPSの全ての状態において許容レベルを下まわり、水中雑音が十分低減できていることがわかった。

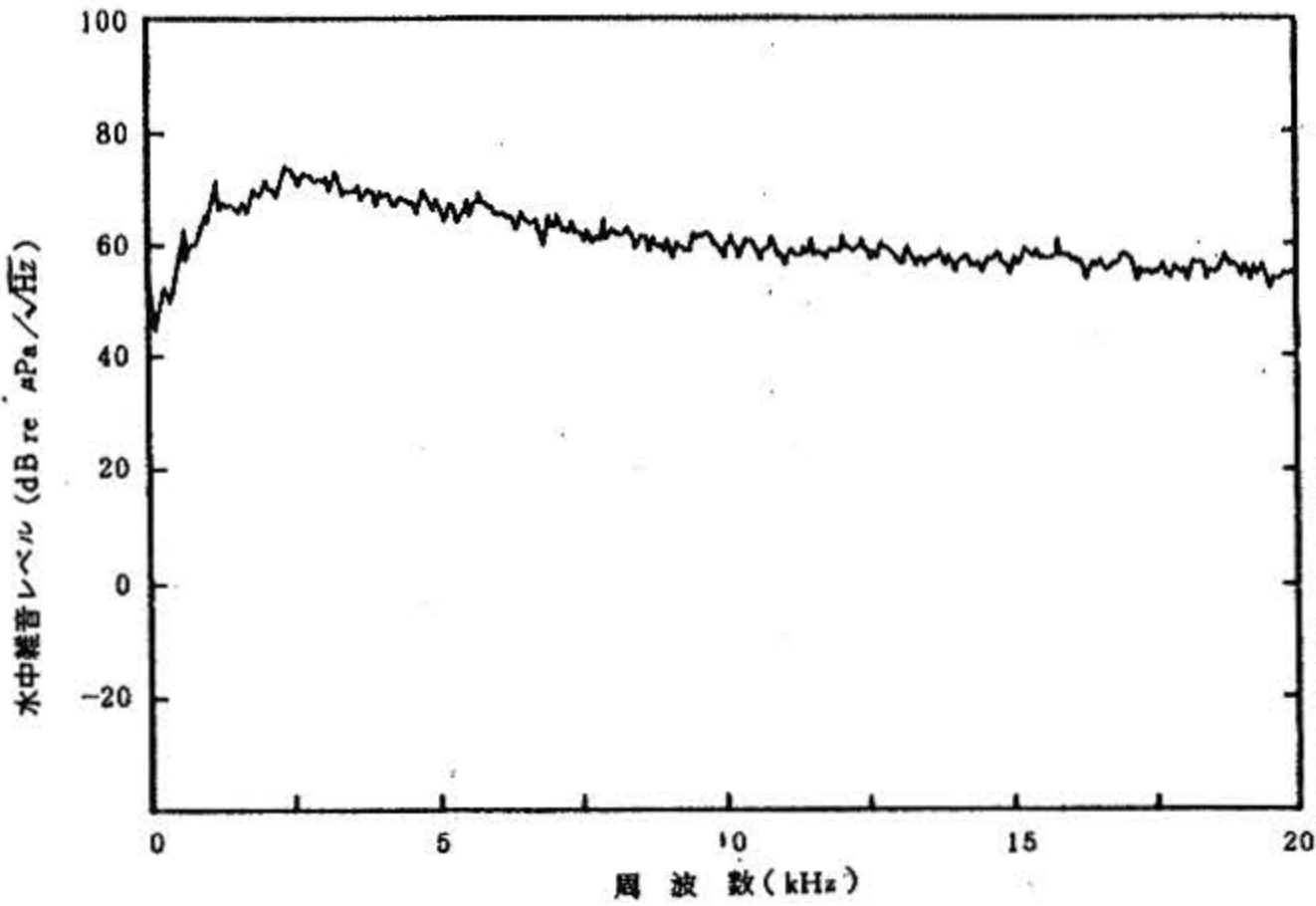


図5 低速航走時の水中雑音(5ノット)
Underwater Noise at Low Speed Cruising (5knots.)
(2kHz のハイパスフィルタ使用)
(Using 2kHz High Pass Filter)

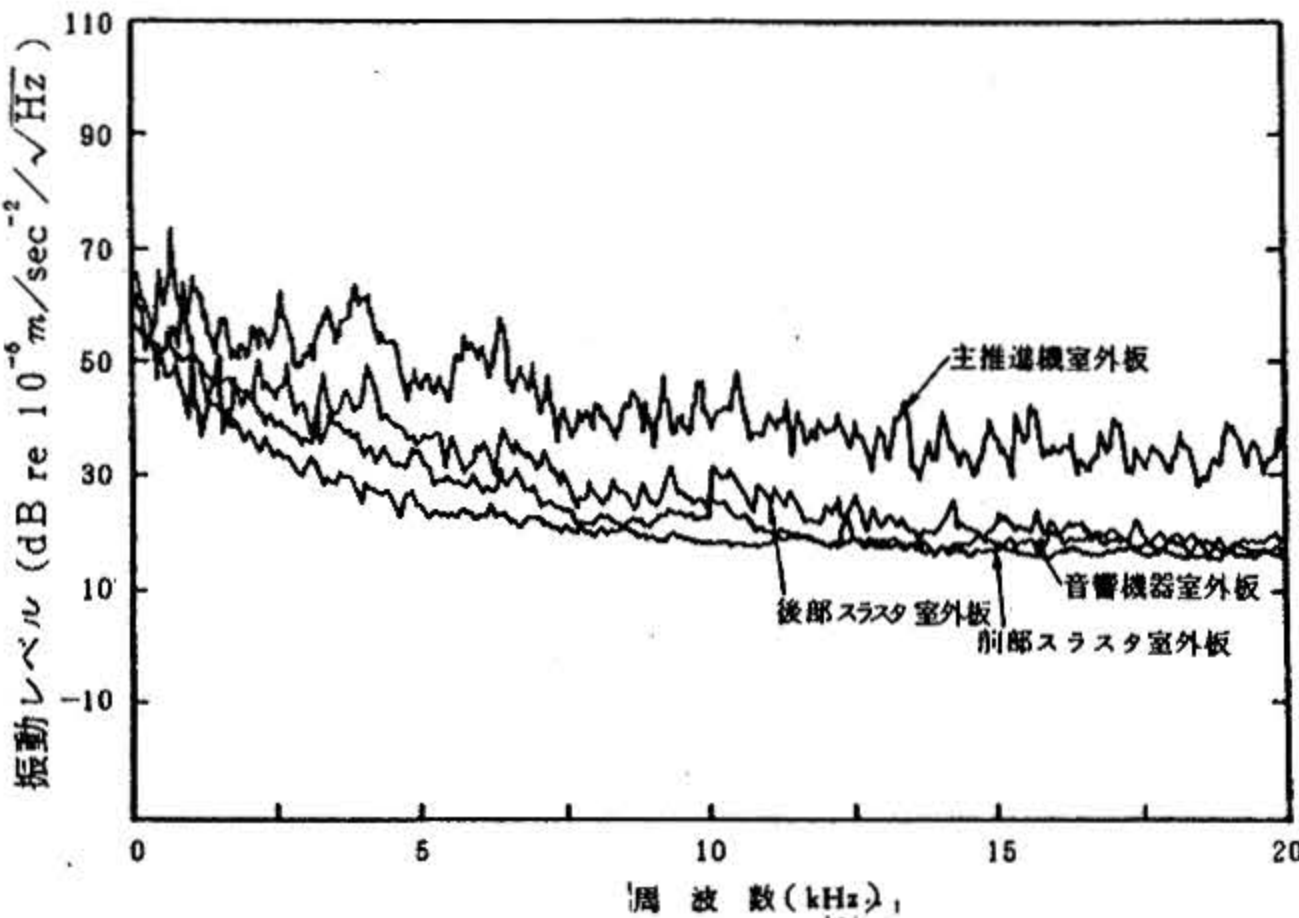


図6 低速航走時の外板振動(5ノット)
Hull's Vibration at Low Speed Cruising (5knots)

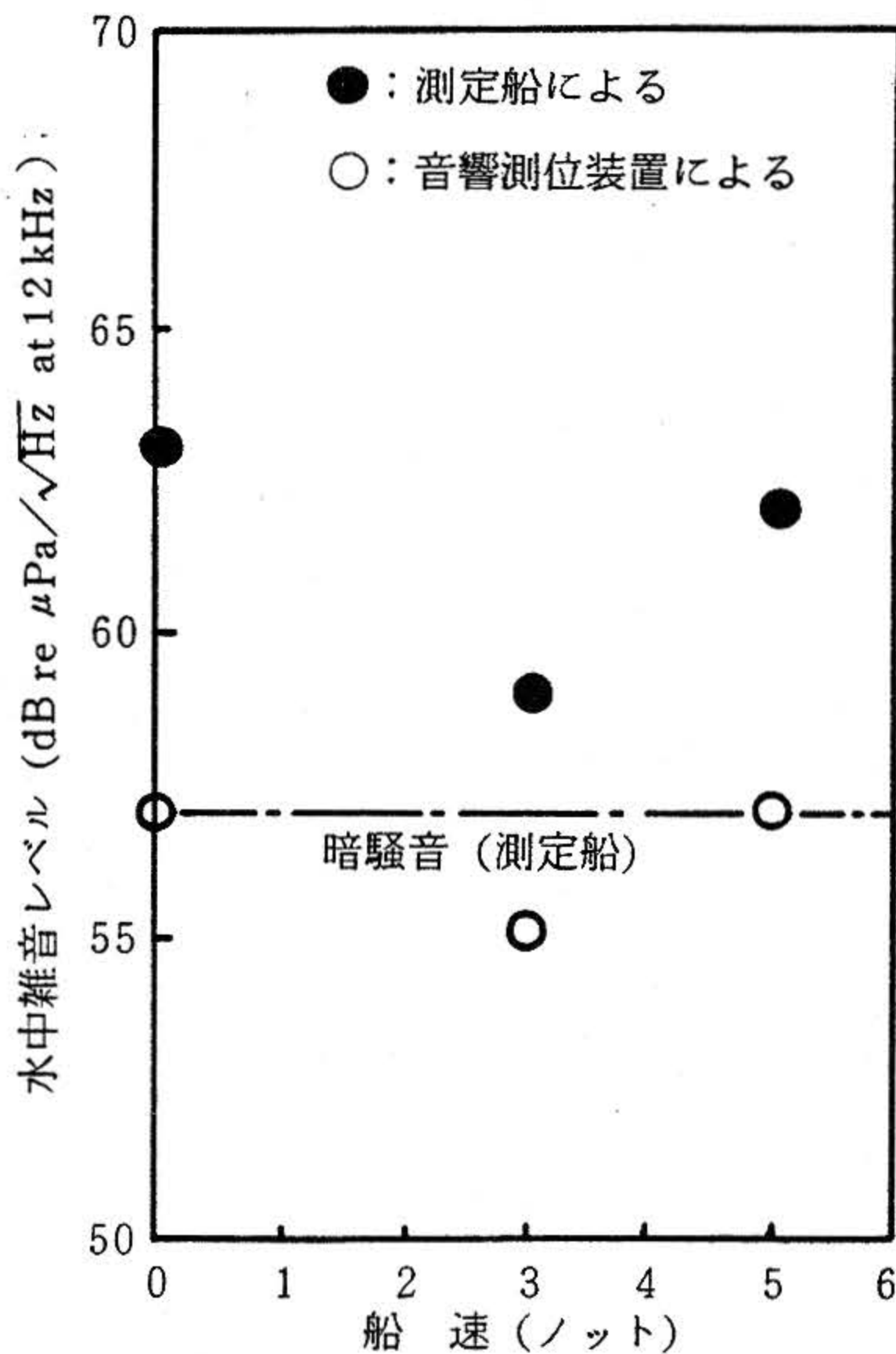


図7 船速と水中雑音の関係
Ship Speed - Underwater Noise

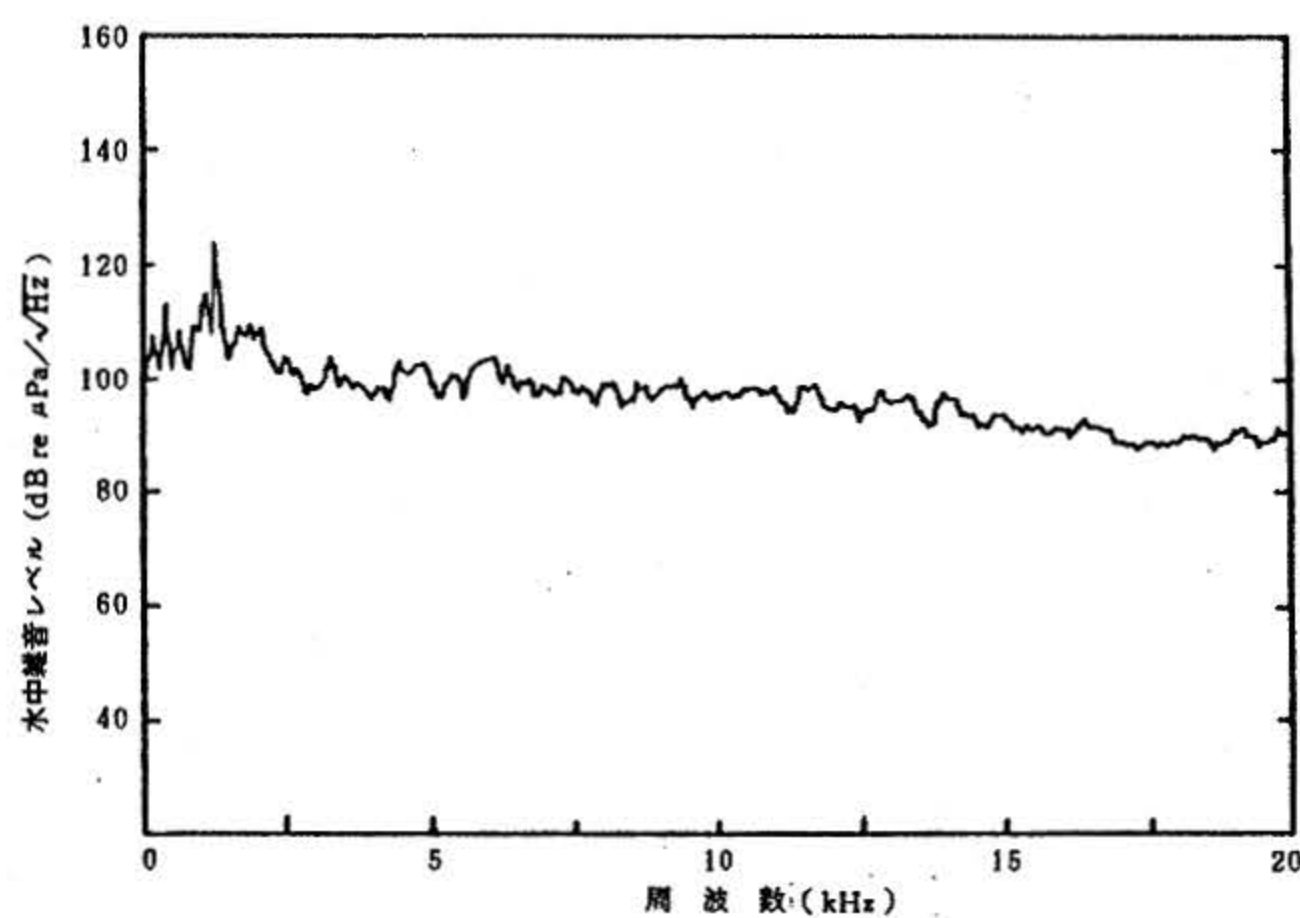


図8 DPS時の水中雑音
Underwater Noise at DPS

4. おわりに

「かいよう」の水中放射雑音は前述のように十分低減され、音響測位装置、DPS およびシービームの海上公試も無事終了して音響機器がその性能を十分発揮していることが確認された。

しかしながら、予測計算と各試験結果とを比較

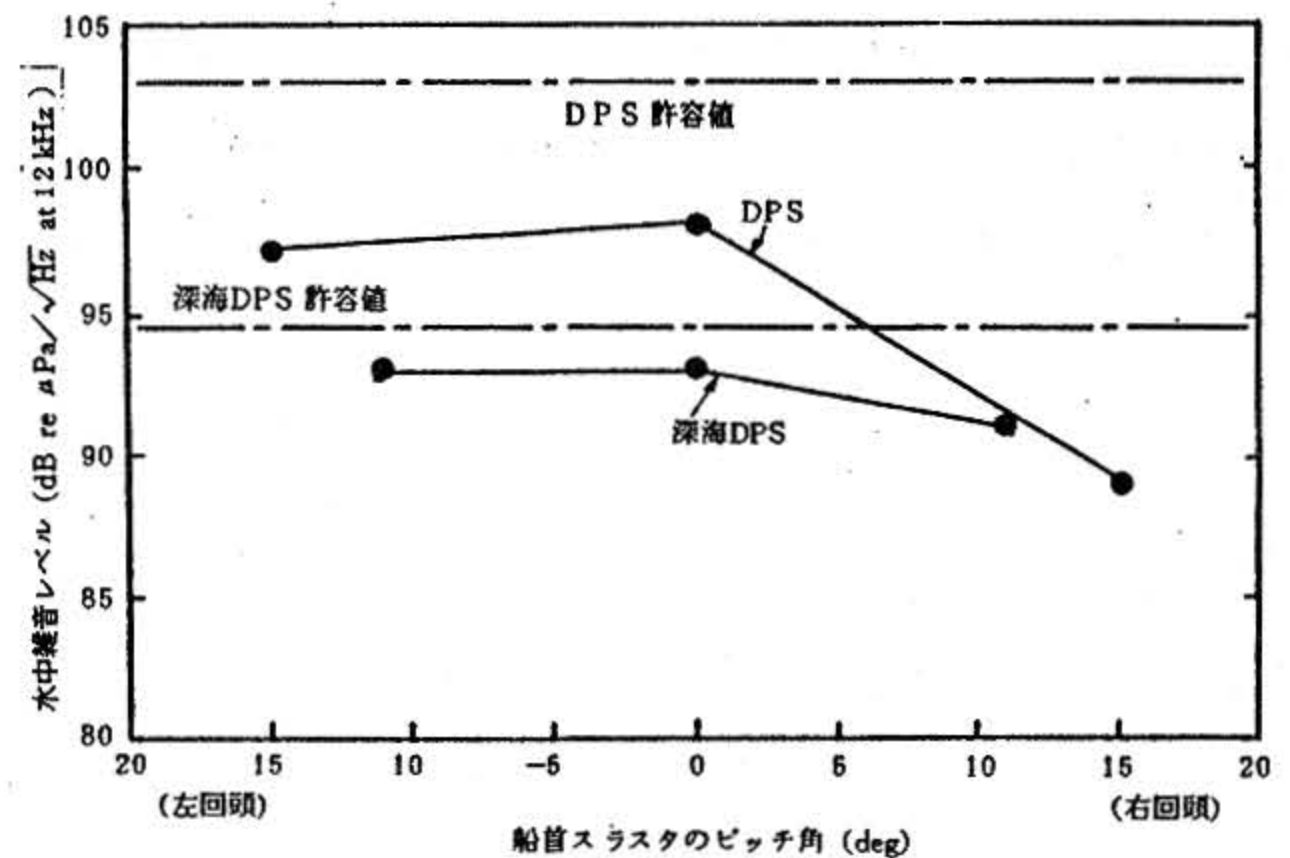


図9 船首スラストのピッチ角と水中雑音の関係
Bow Thruster's Pitch - Underwater Noise

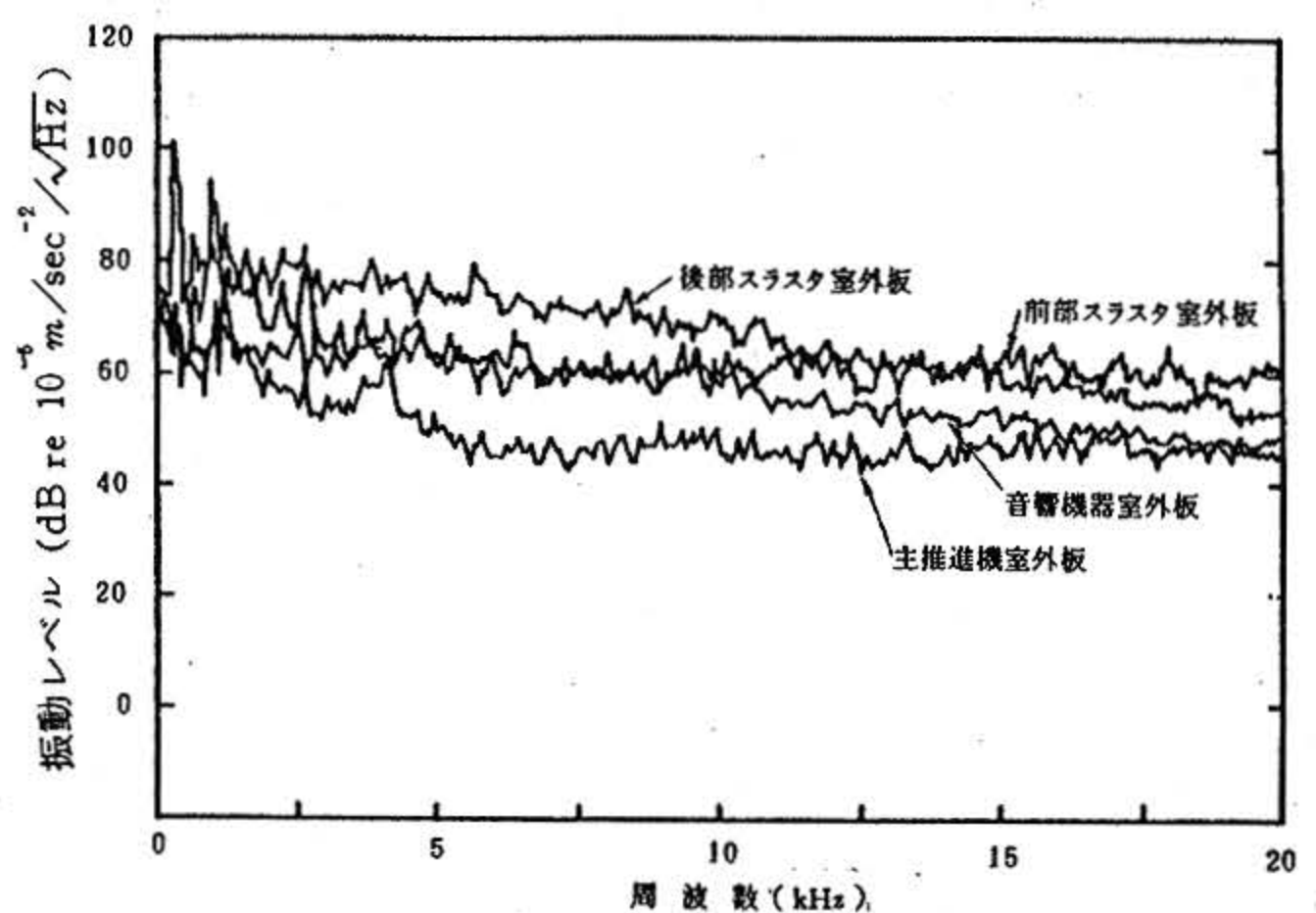


図10 DPS時の外板振動
Hull's Vibration at DPS

してみると、その内容は掛け離れたものとなっており、船舶の水中放射雑音を低減していくうえで解決しなければならない多くの問題を提起する結果となった。今後の研究の進捗に期待したい。

最後に、本船の水中放射雑音低減についてご指導願った海中作業実験船検討委員会音響専門部会（部会長：東海大学 楡井清教授）の方々に謝意を表する。

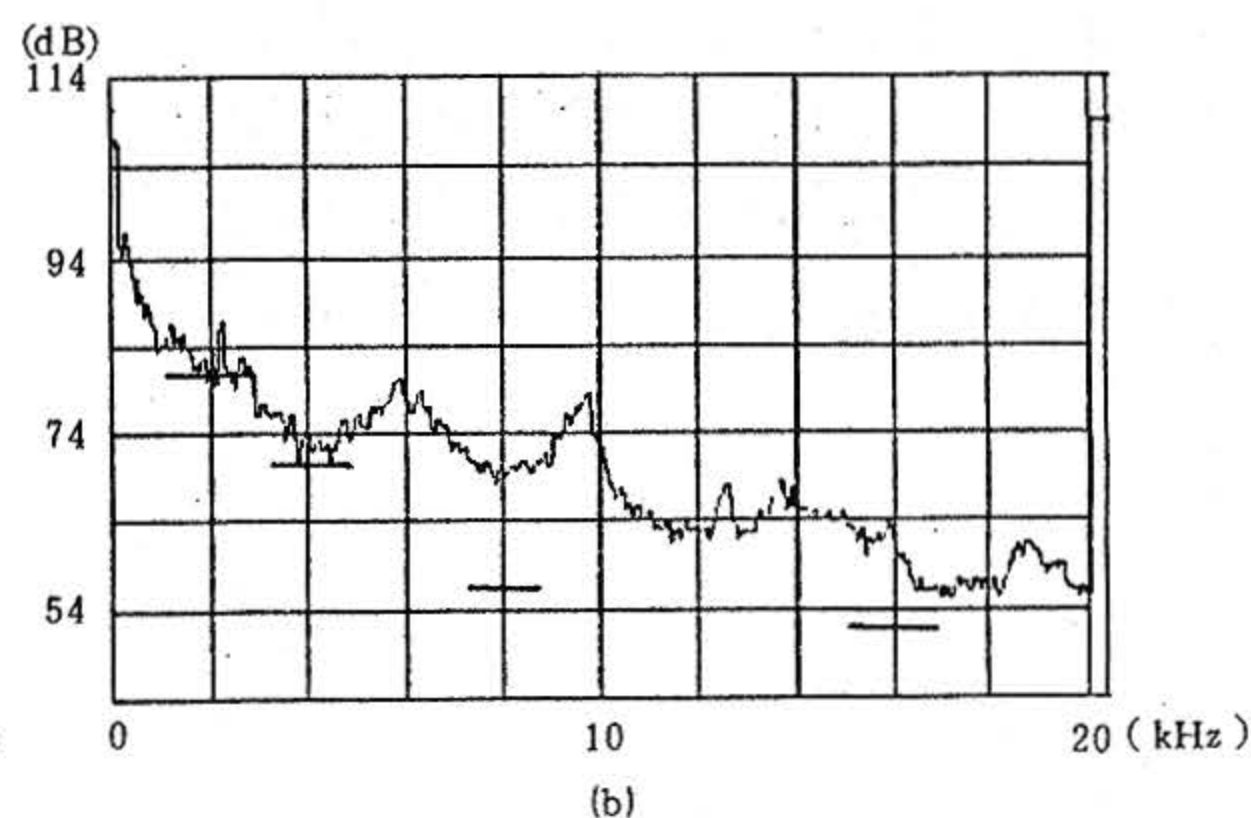
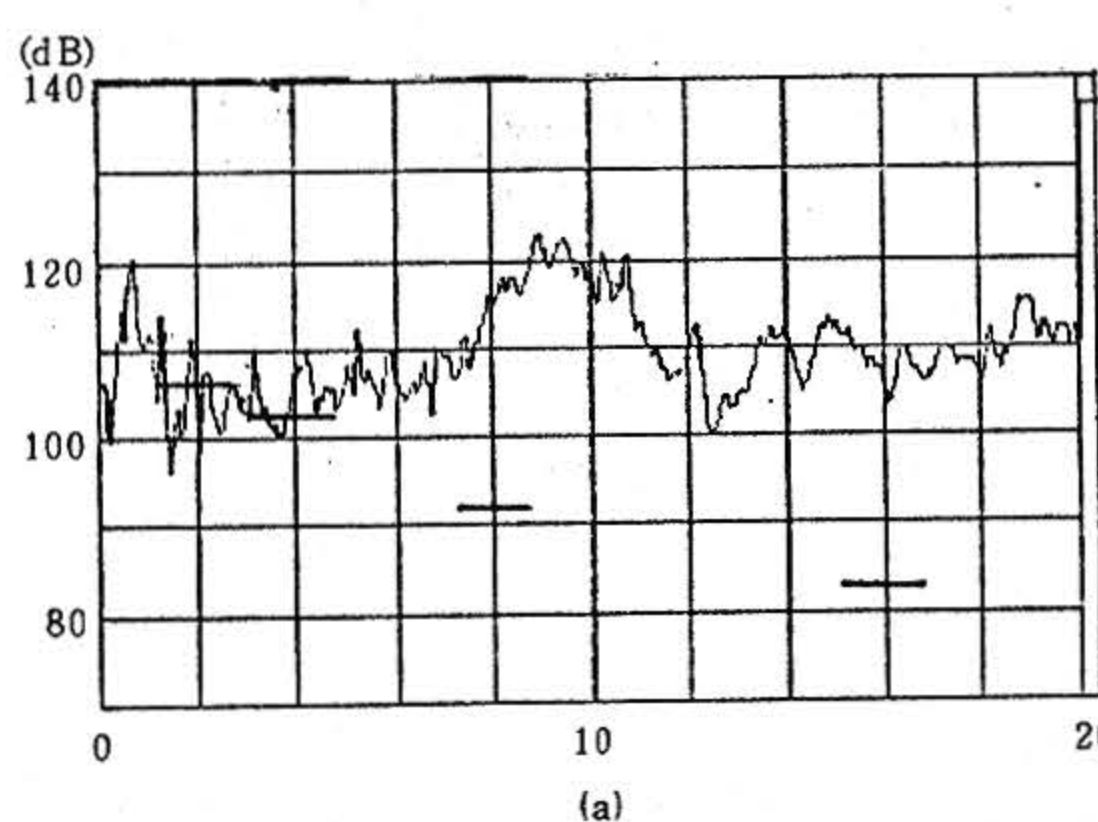
文 献

- 1) 濱田幸信ほか, 1984, “海中作業実験船の自動船位保持装置”, JAMSTECTR (13), 1-14
- 2) 中西俊之ほか, 1981, “「なつしま」の水中放射雑音低減対策とその実測結果について”, 海洋音響研究会報 8(4), 155-166

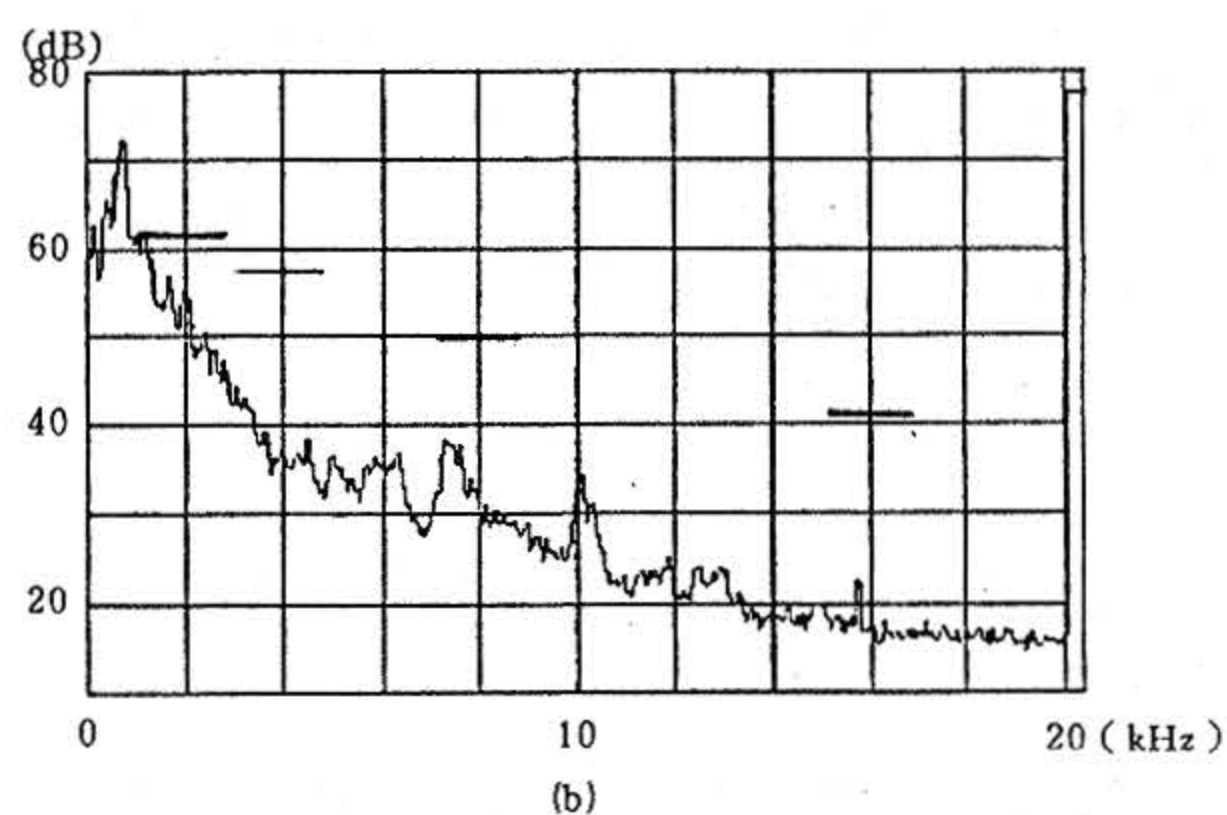
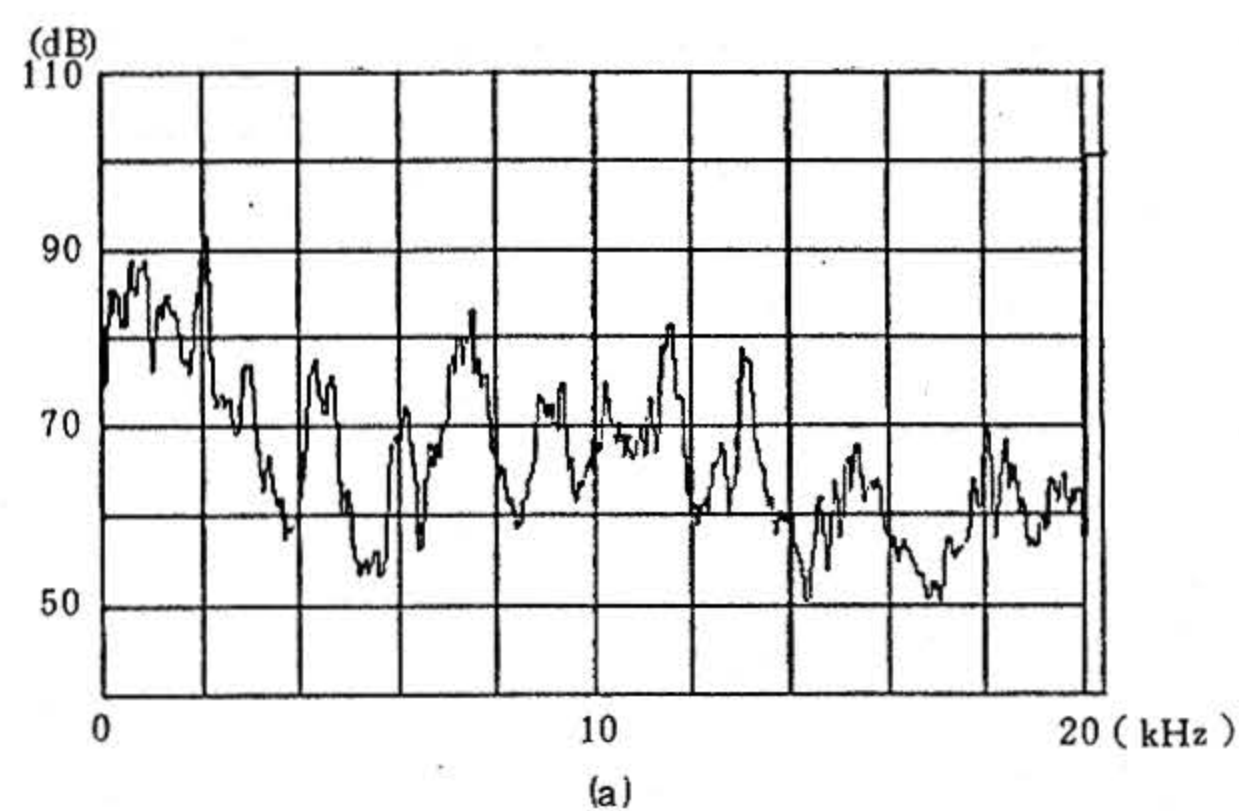
- 3) 日本産業機械工業会, 1982, “低水中雑音スラストの調査研究報告書, 第6章音響測位から見た許容雑音レベル
- 4) USCG, “Handbook for Shipboard Airborne Noise Control”, Coast Guard Technical Publication 073-0100, Contract No DOT-CG-20756A
- 5) J. E. Manning, P. J. Remington, “Statistical Energy Method”, Contract No. NASS-21020, BBN Report No. 2064, 1971
- 6) 三橋邦宏ほか, 1982, “半没水型双胴船の水中雑音特性について”, 三井造船技報(114), 35-43
- 7) 三橋邦宏, 1979, “船舶における騒音・振動とその対策”, 日本機械学会第479回講演会教材, 99-113
- 8) 三橋邦宏, 1980, “船内固体音伝達損失の簡略計算法”, 日本音響学会騒音研究会資料, N-8003, 6-11
- 9) 横倉雄太郎, 1978, “SEA法による大形構造物の固体音伝搬計算”, 石川島播磨技報 18(5), 397-404
- 10) 網谷泰孝ほか, 1985, “海中作業実験船「かいよう」の水中放射雑音の低減”, JAMSTECTR (14), 1-23

原稿受理：1985年10月29日

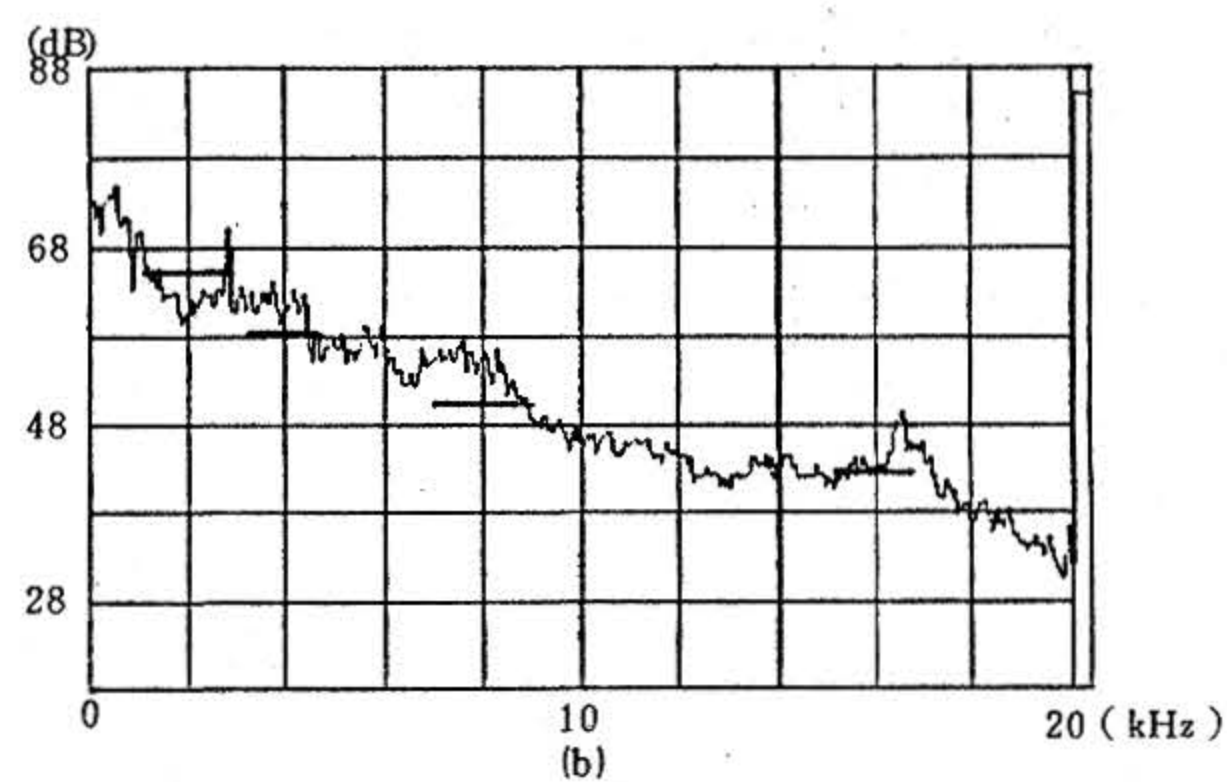
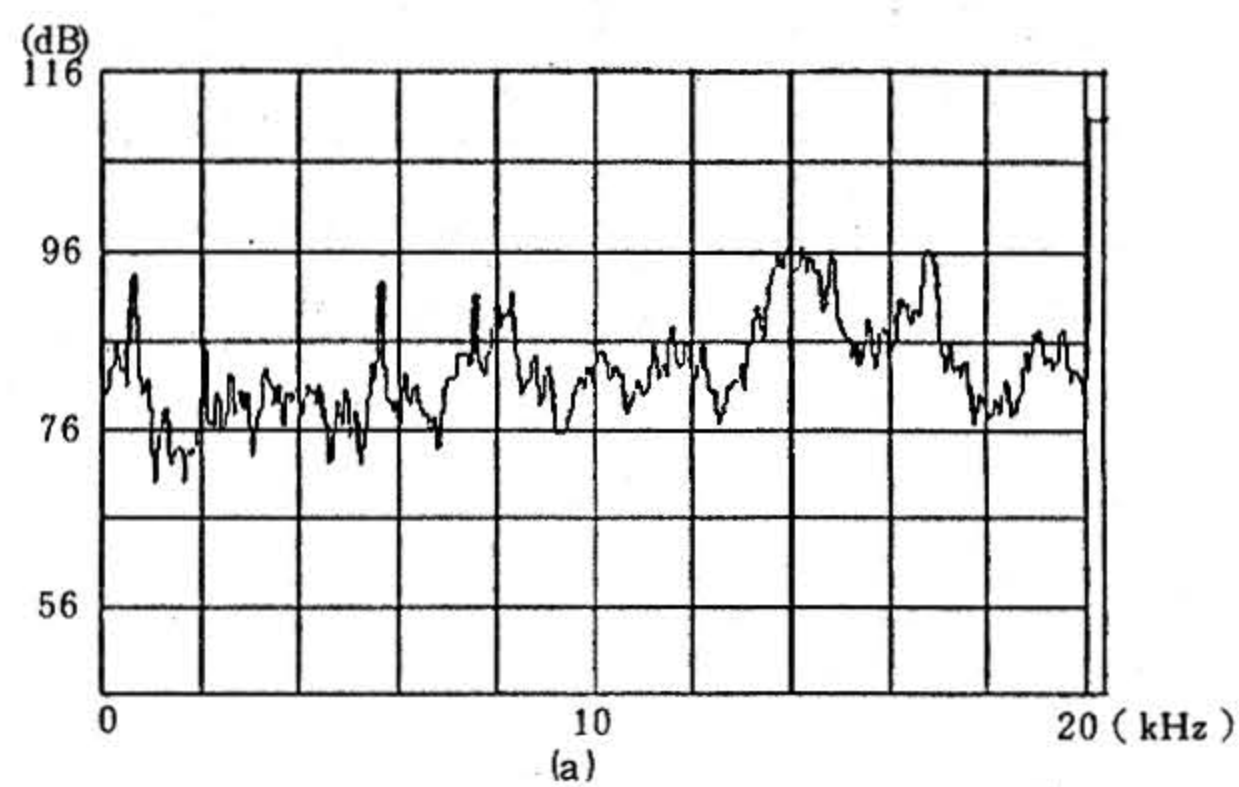
補追：前報 海中作業実験船「かいよう」の水中放射雑音の低減”
JAMSTECTR(14)において図8に、かなりの誤植があったので訂正する。



8.1 主発電機
Main Diesel Generator



8.2 DDC 給水ユニット
DDC Water Supply Unit



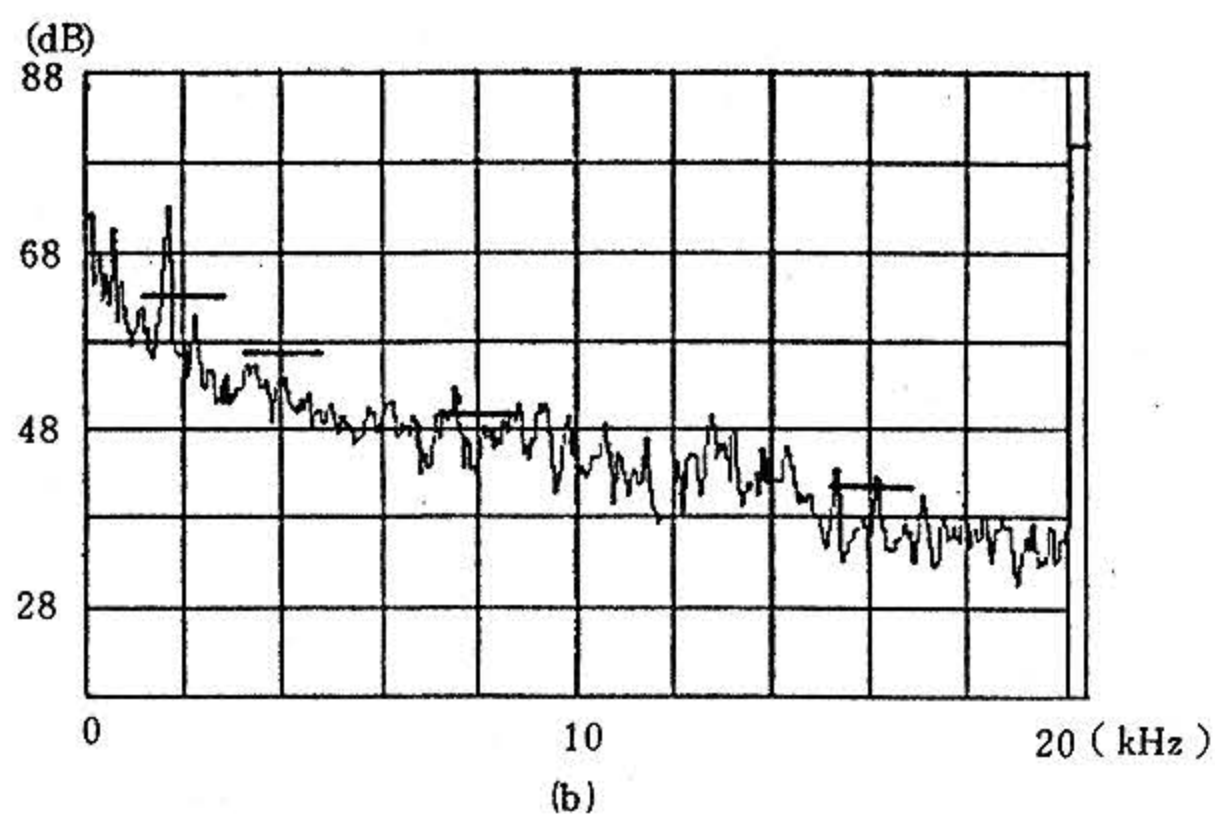
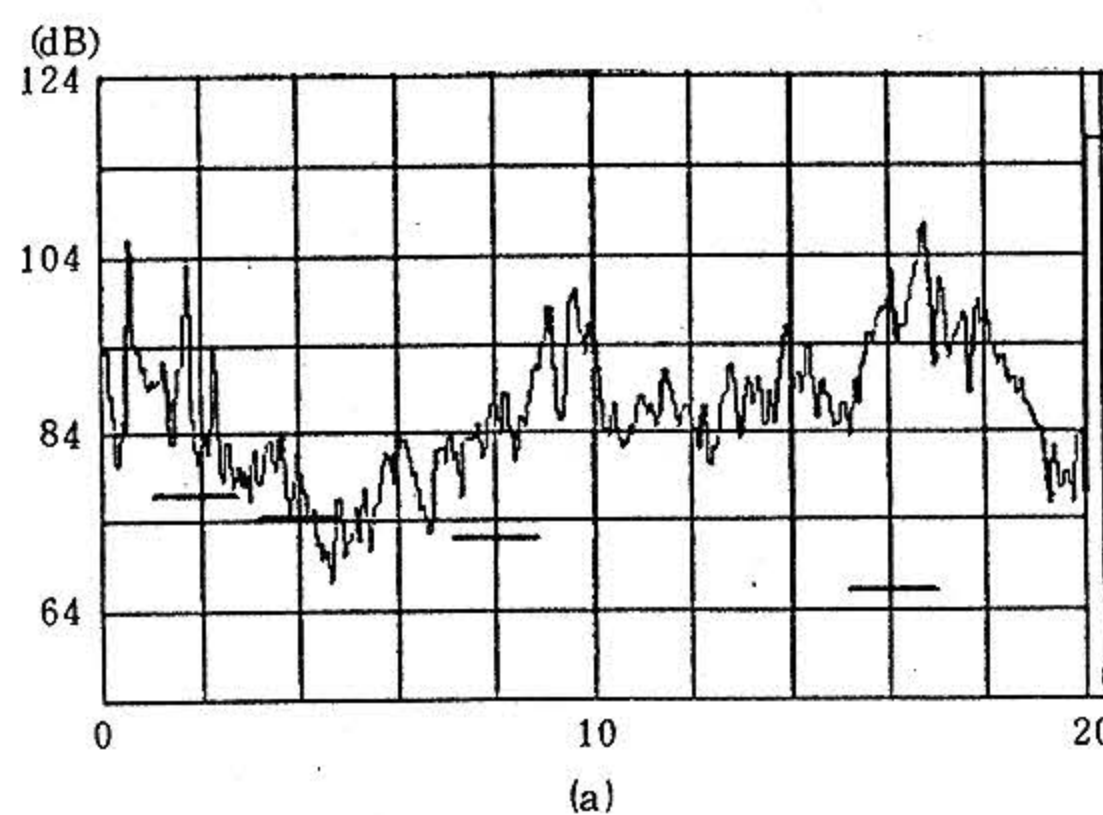
8.3 C M U

補追 図8 陸上試験結果 Result of Shop Test

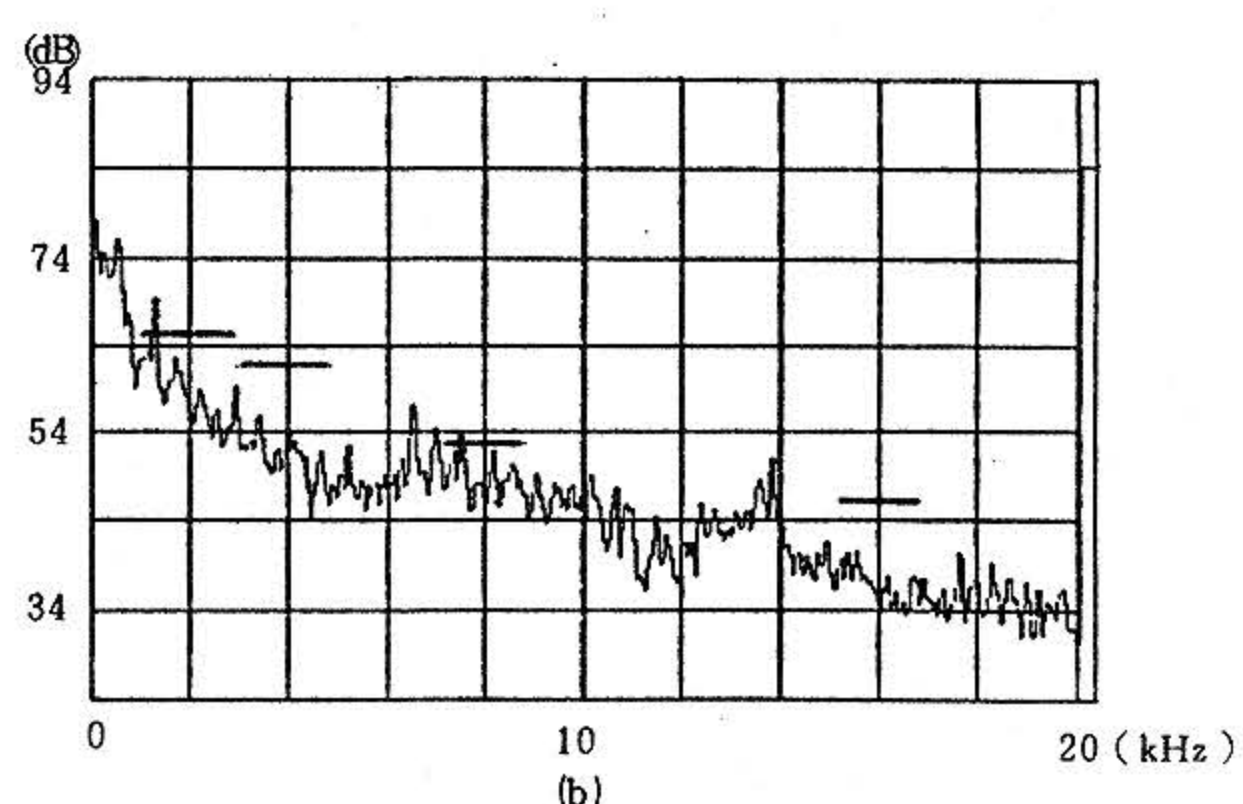
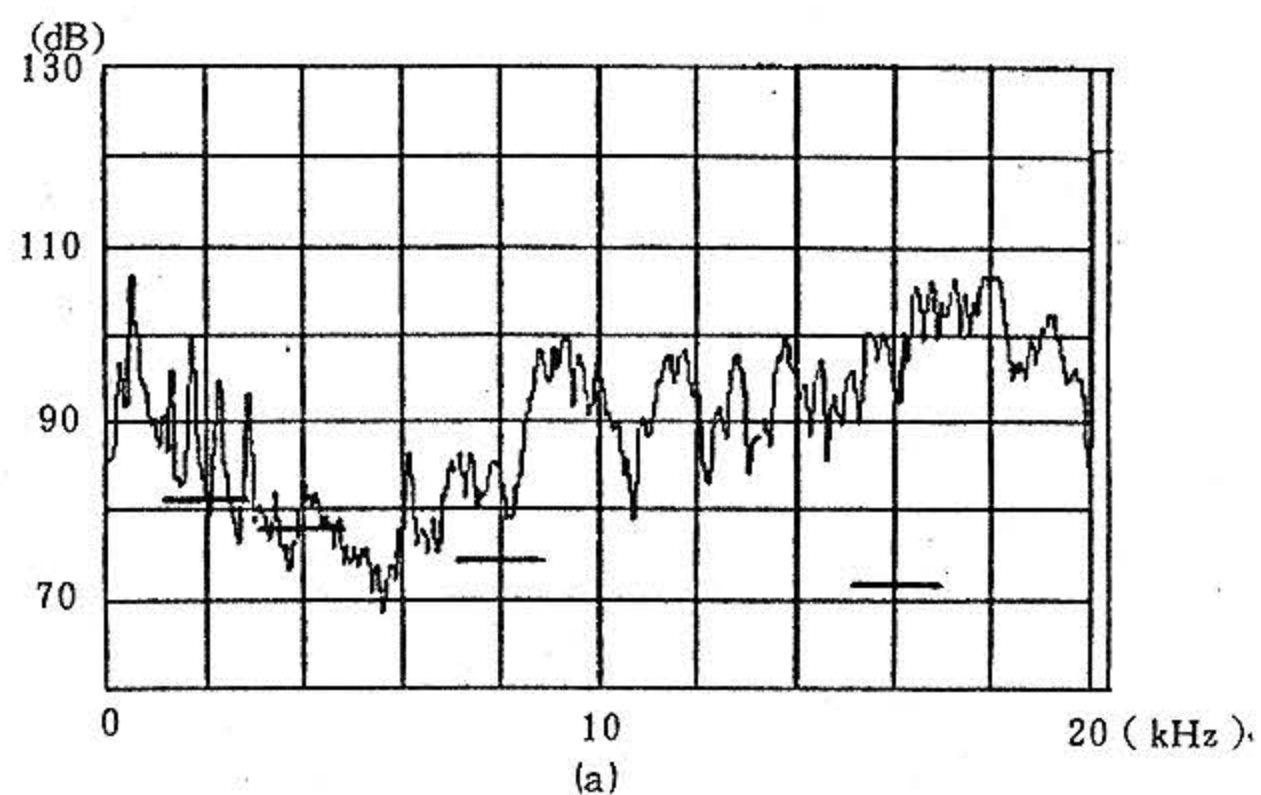
(a) 振動：50Hzバンドレベル, dB re 10^{-5} m/sec^2
Vibration

(b) 騒音：50Hzバンドレベル, dB re $2 \times 10^{-4} \mu \text{ bar}$
Noise

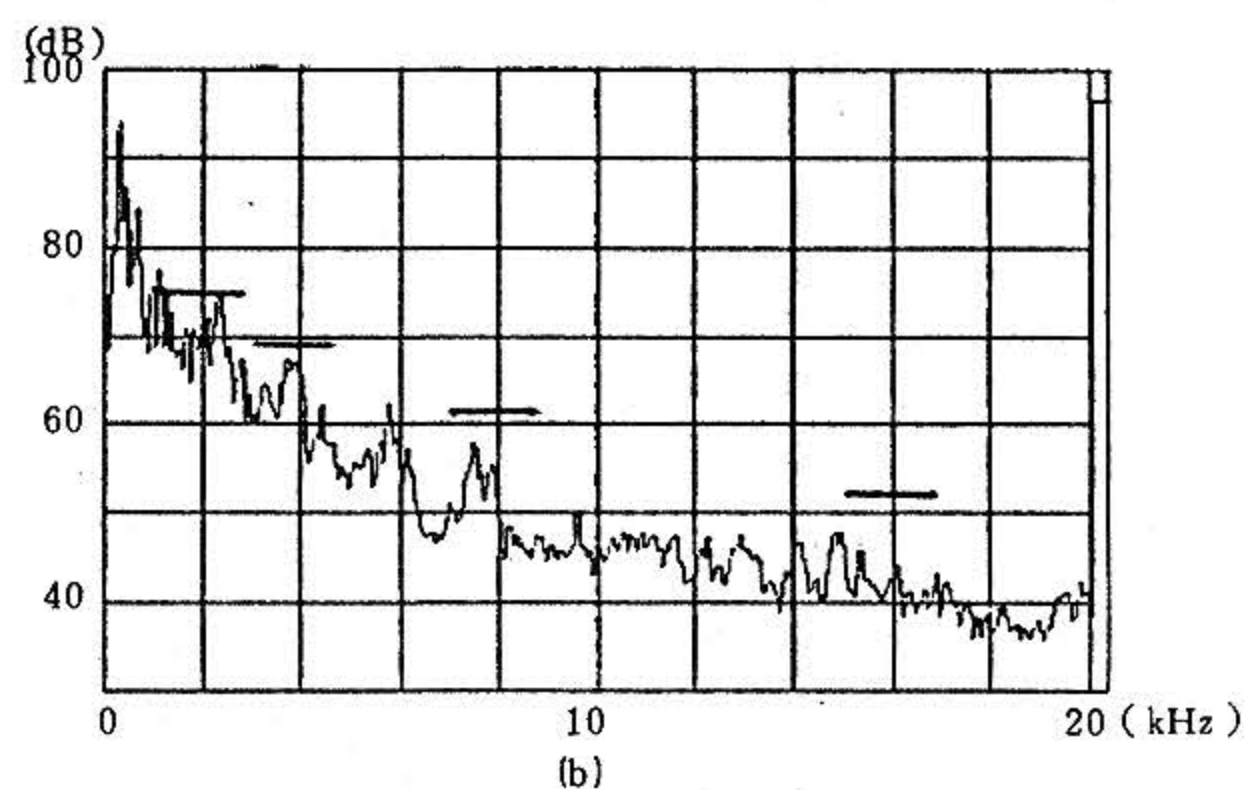
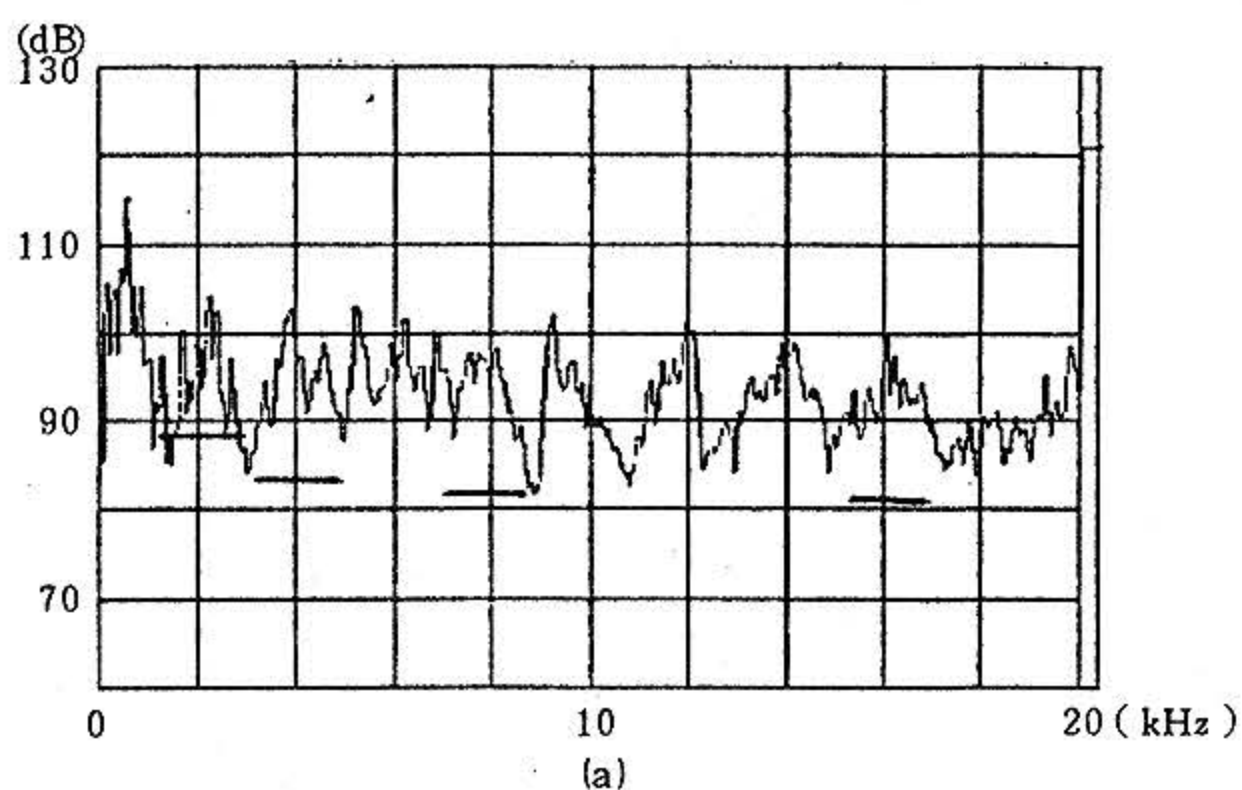
— : 予測値 Estimated level



8.4 He 圧縮機
He Compressor



8.5 不純 He 圧縮機
Contaminated He Compressor



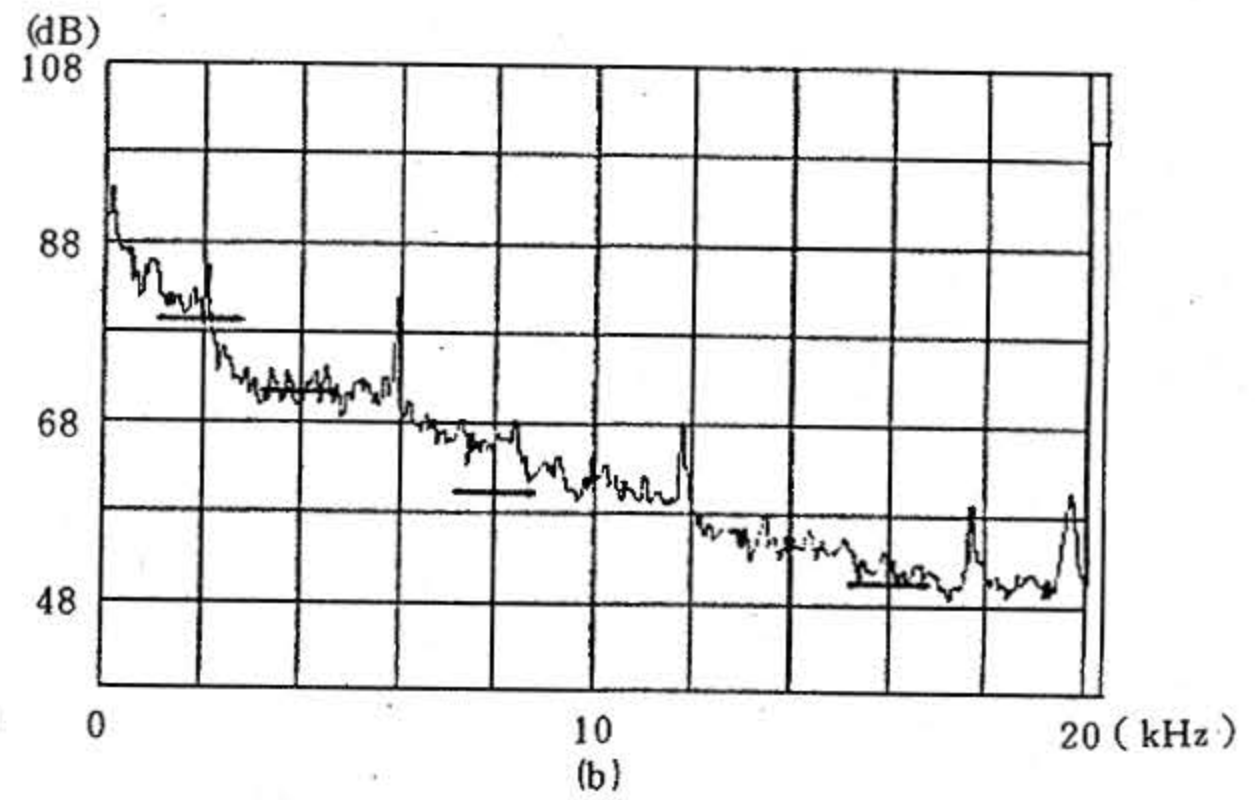
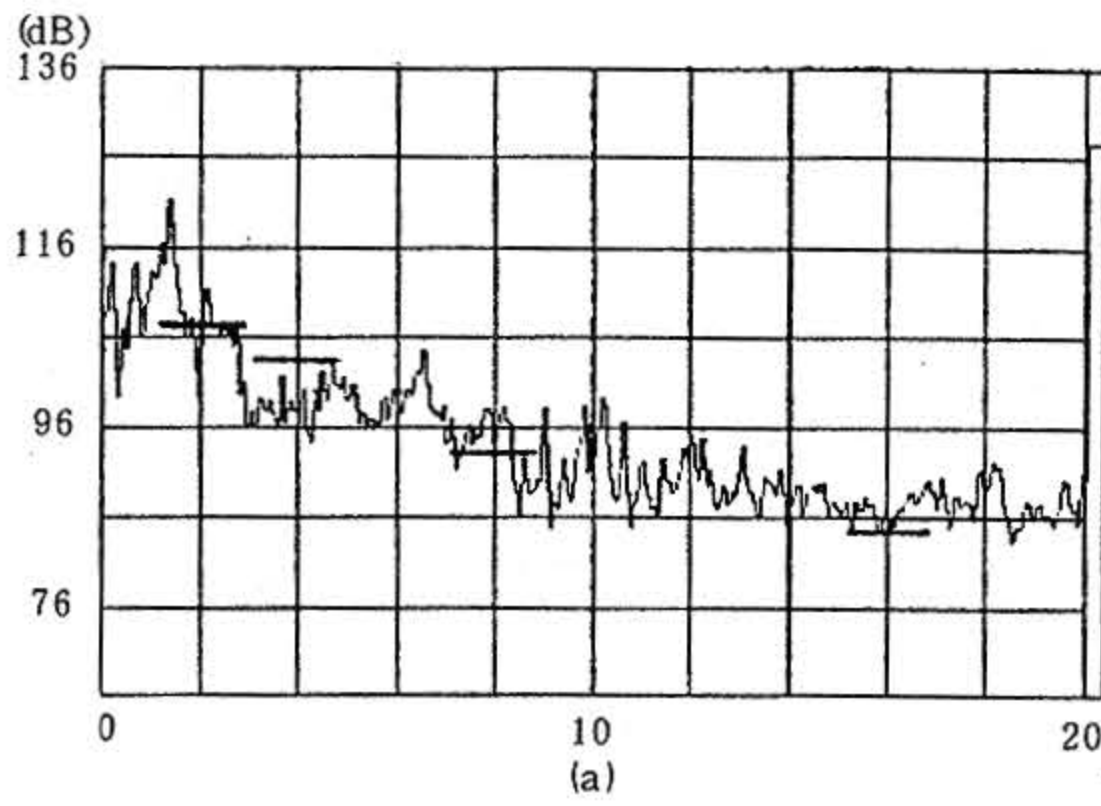
8.6 甲板機械ポンプユニット
General Use Hydraulic Pump Unit

補追 図8 陸上試験結果 Result of Shop Test

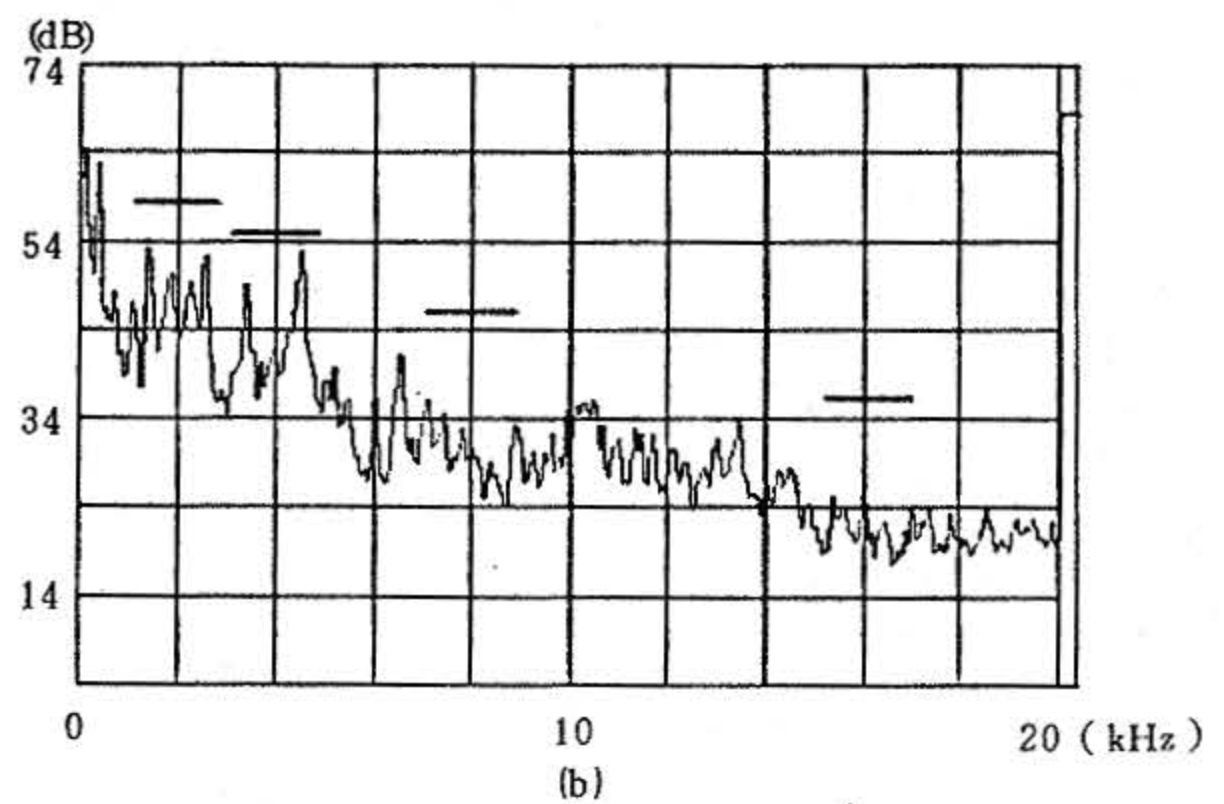
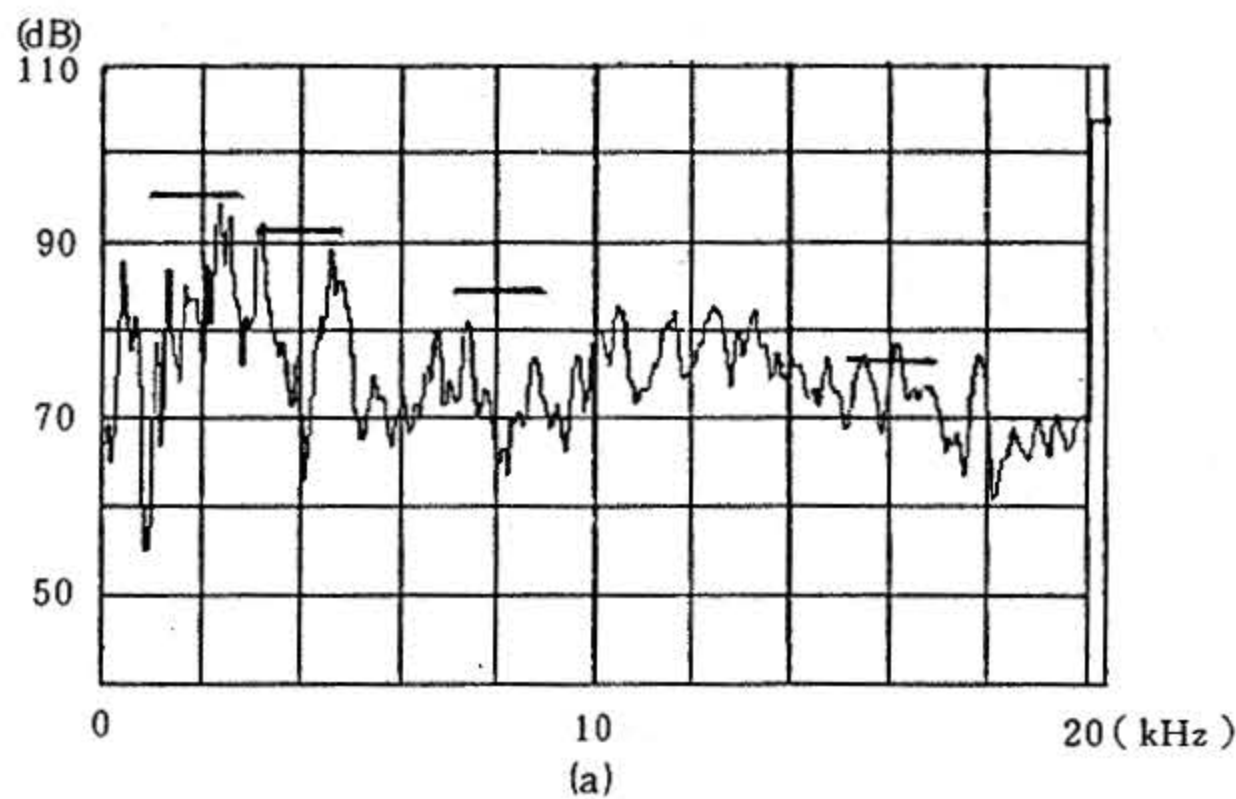
(a) 振動：50Hzバンドレベル, dB re 10^{-5} m/sec^2
Vibration

(b) 騒音：50Hzバンドレベル, dB re $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$
Noise

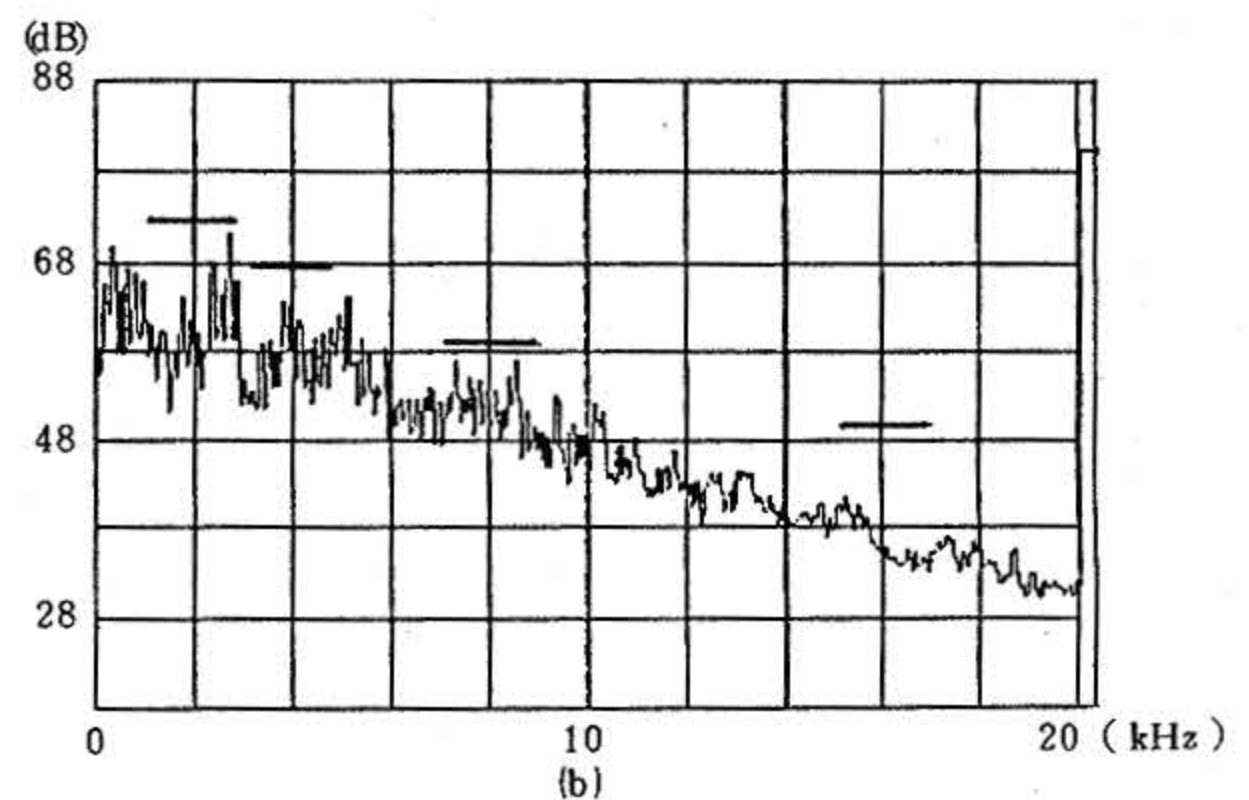
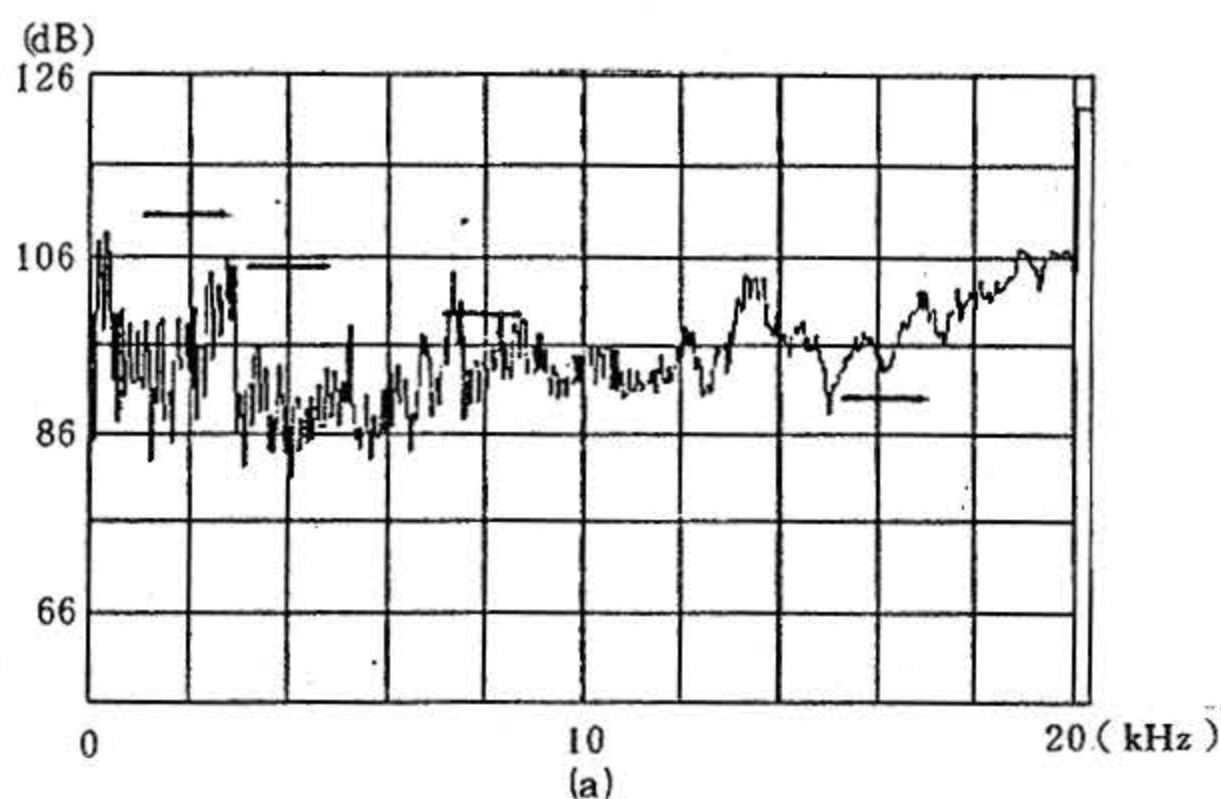
— : 予測値 Estimated level



8.7 補助発電機
Auxiliary Diesel Generator



8.8. スタンスラスト油圧ユニット
Stern Thruster Hydraulic Pump Unit



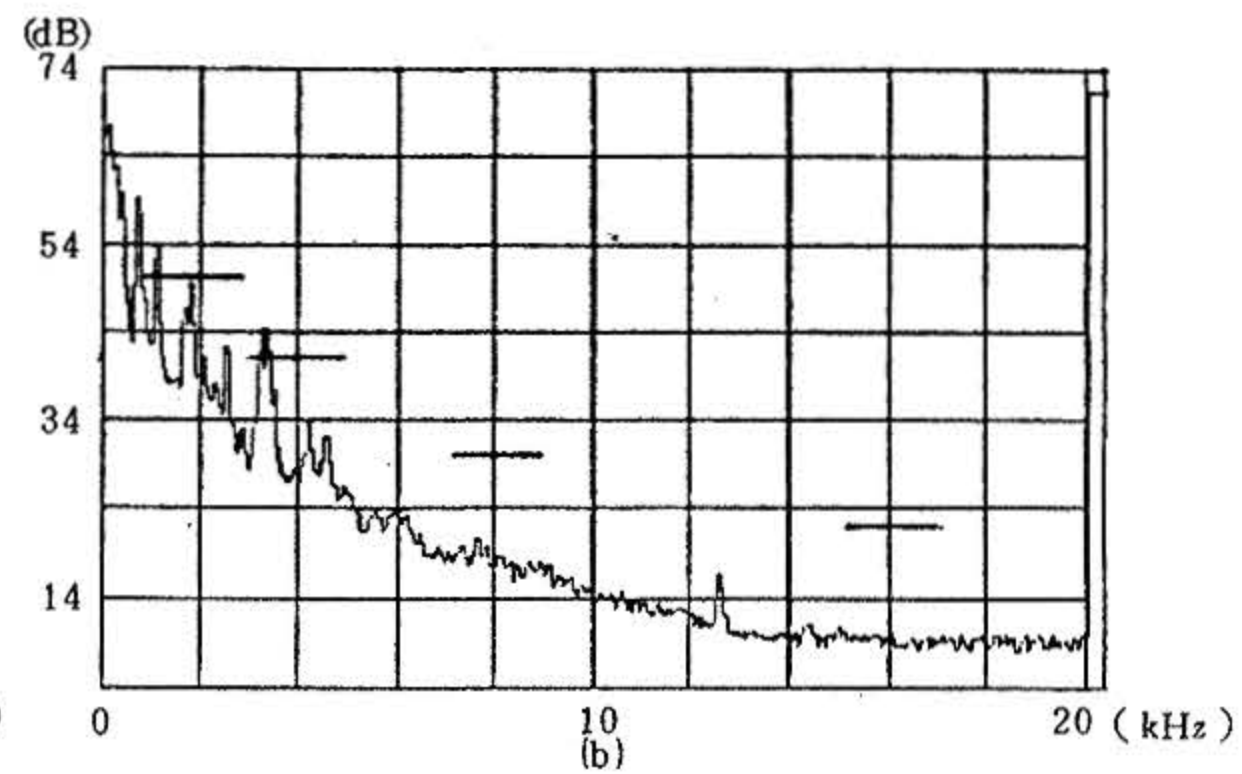
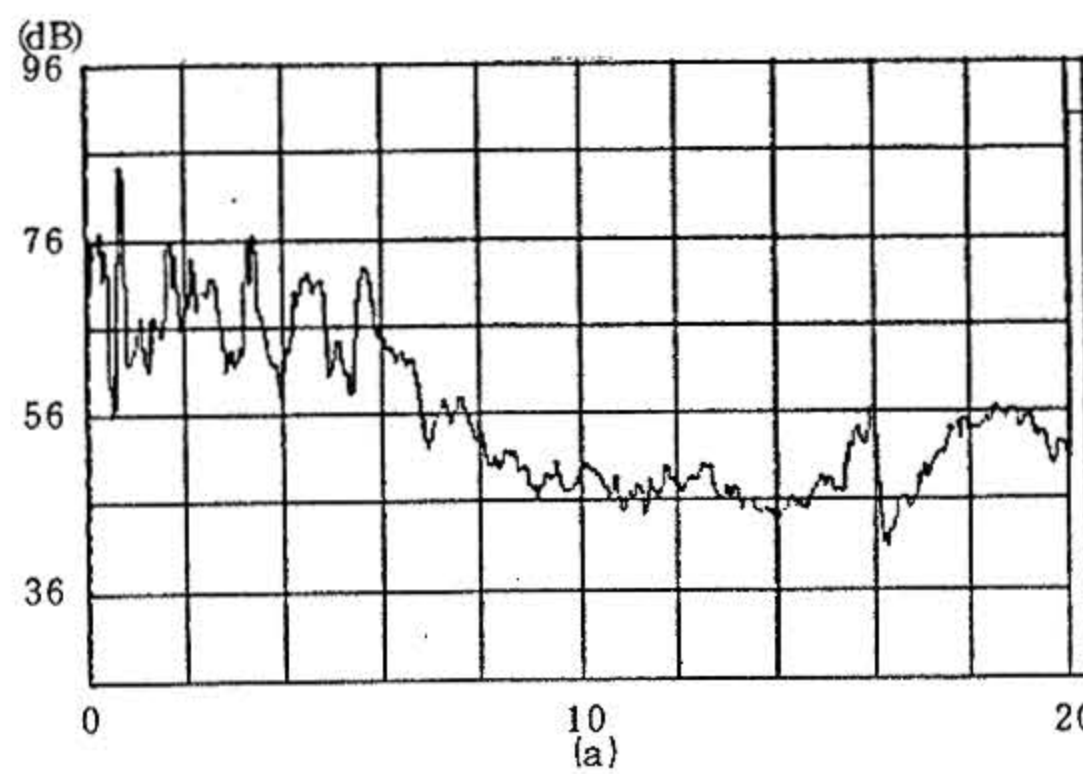
8.9 甲板機械タンクユニット
General Use Hydraulic Tank Unit

補追 図8 陸上試験結果 Result of Shop Test

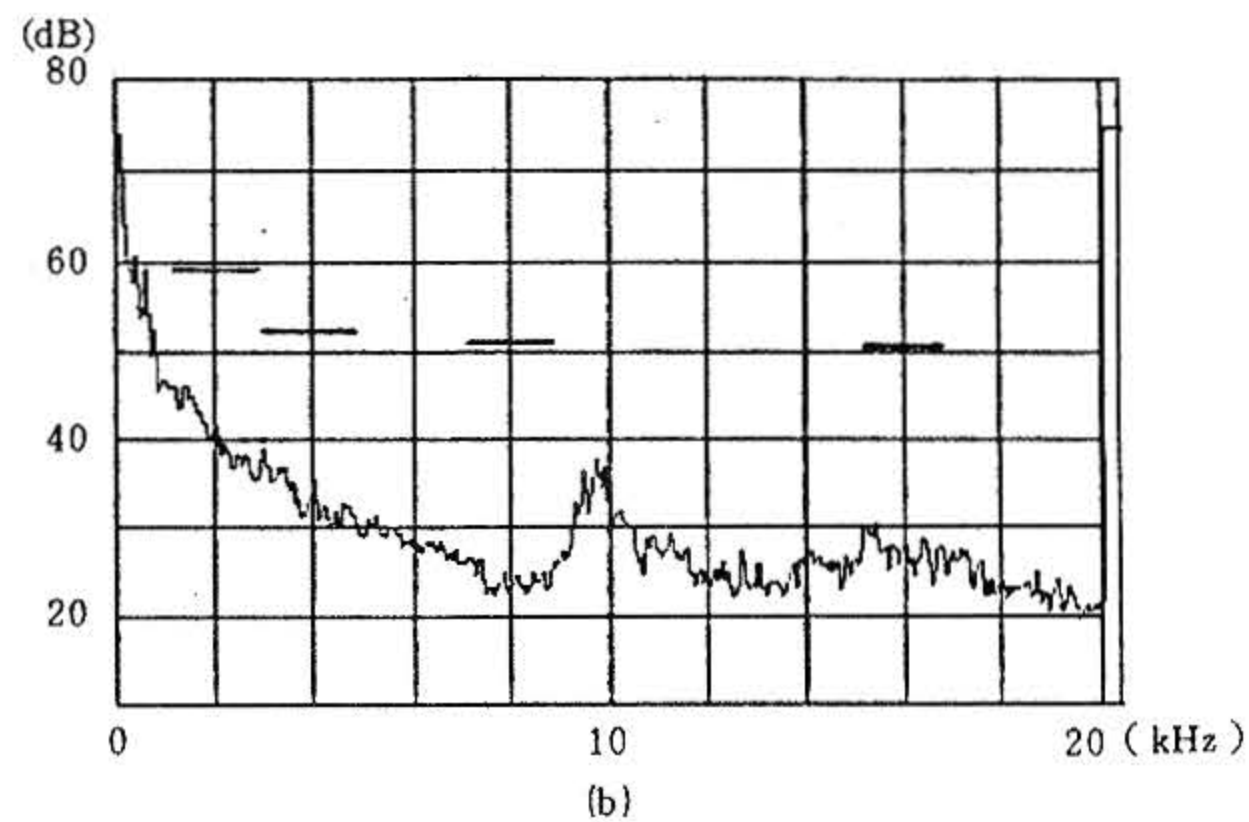
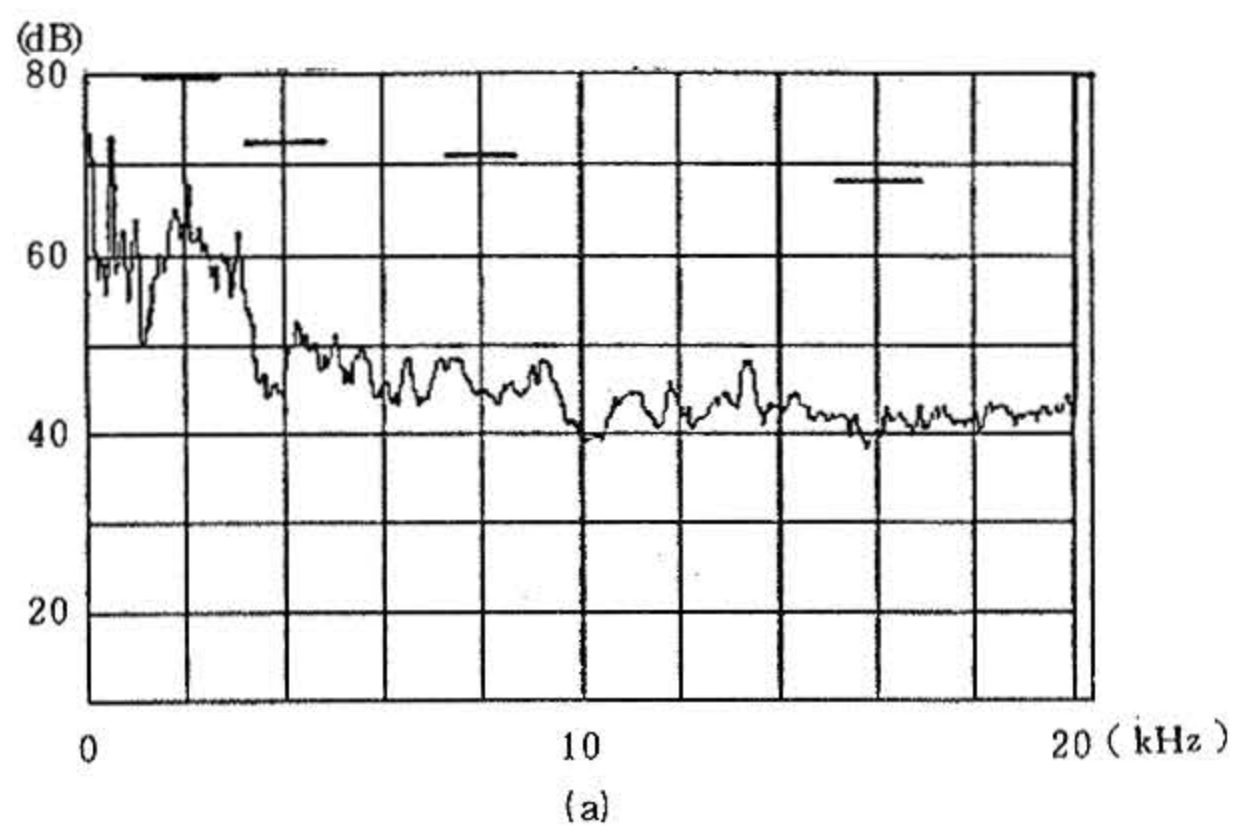
(a) 振動：50Hzバンドレベル, dB re 10^{-5} m/sec^2
Vibration

(b) 騒音：50Hzバンドレベル, dB re $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$
Noise

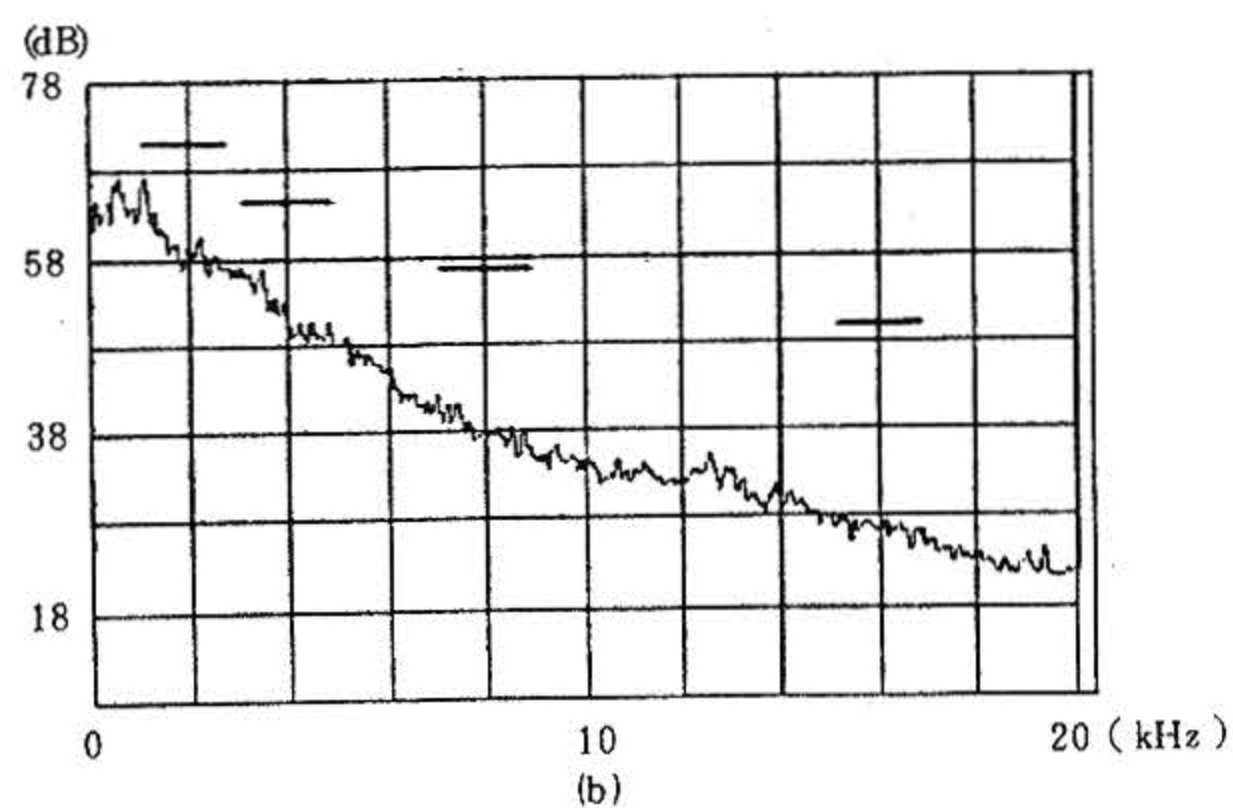
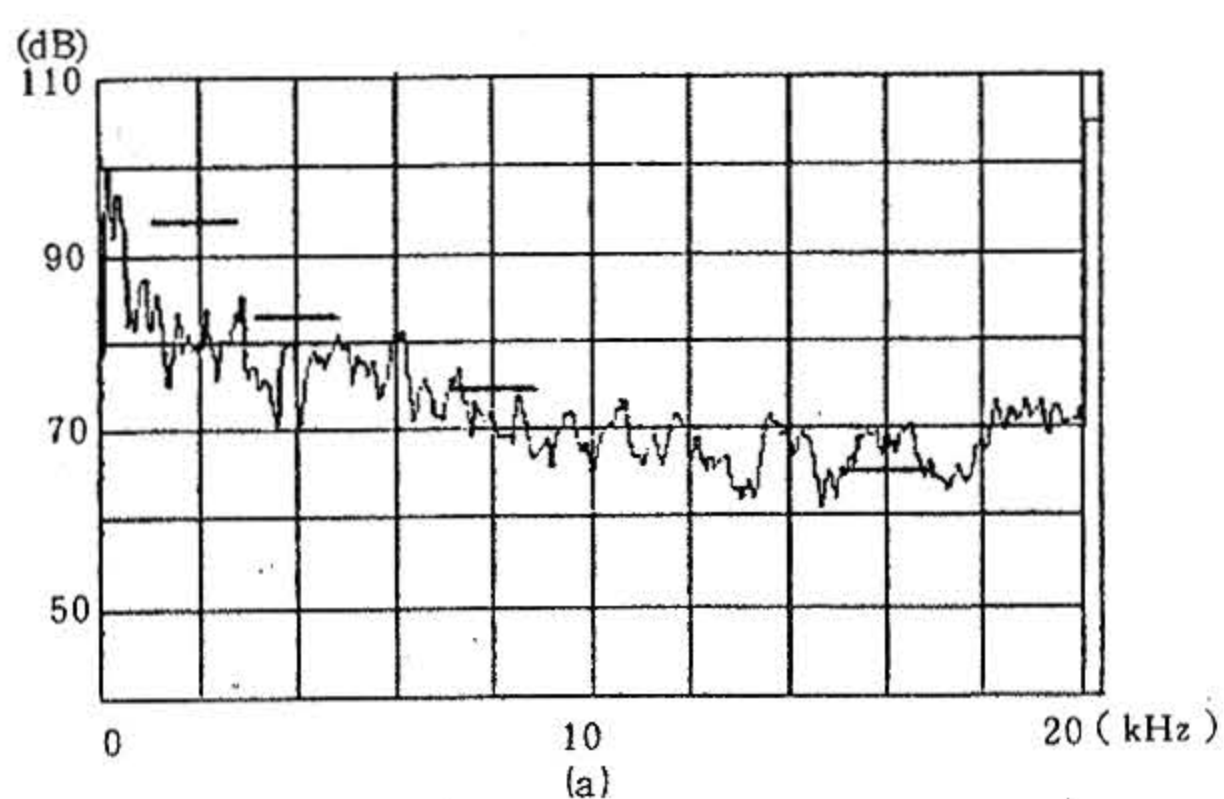
— : 予測値 Estimated level



8.10 主推進電動機
Electric Motor for Main Propeller



8.11 減速機
Reduction Gear



8.12 発電機械冷却海水ポンプ
Sea Water Pump for Diesel Generator

補追 図8 陸上試験結果 Result of Shop Test

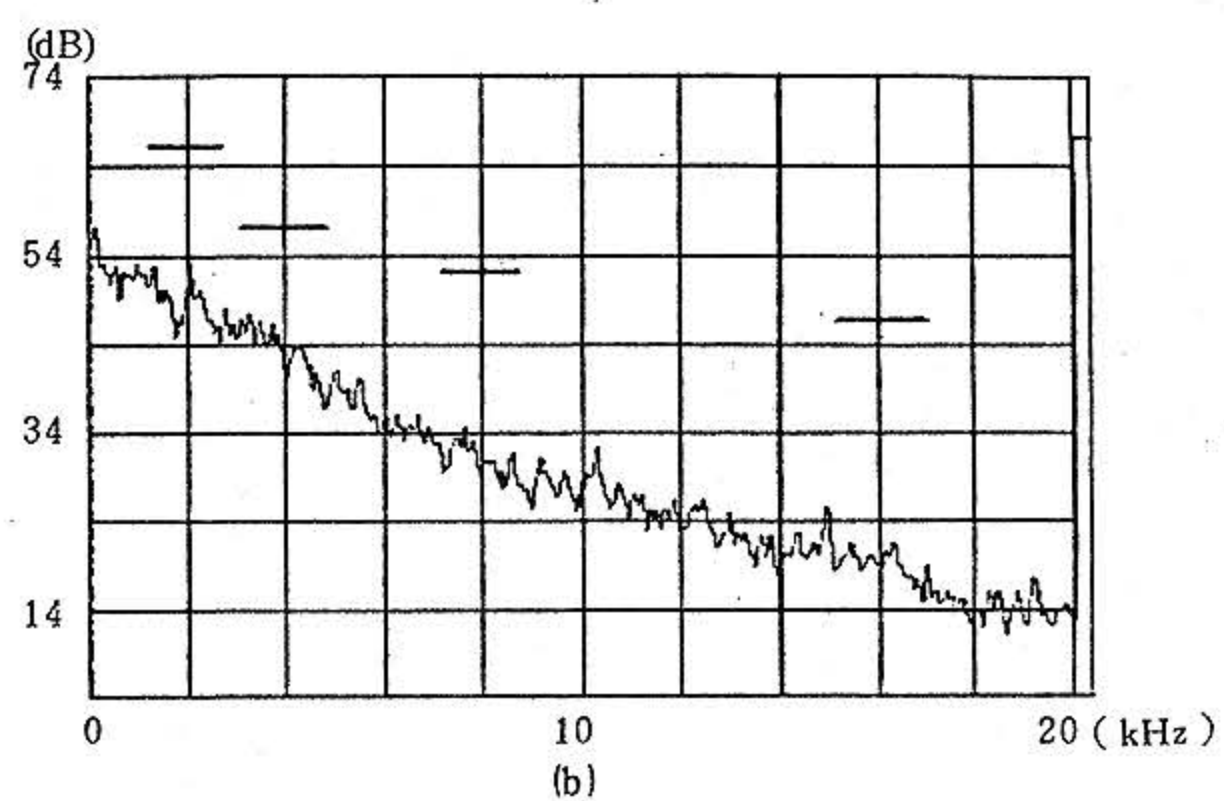
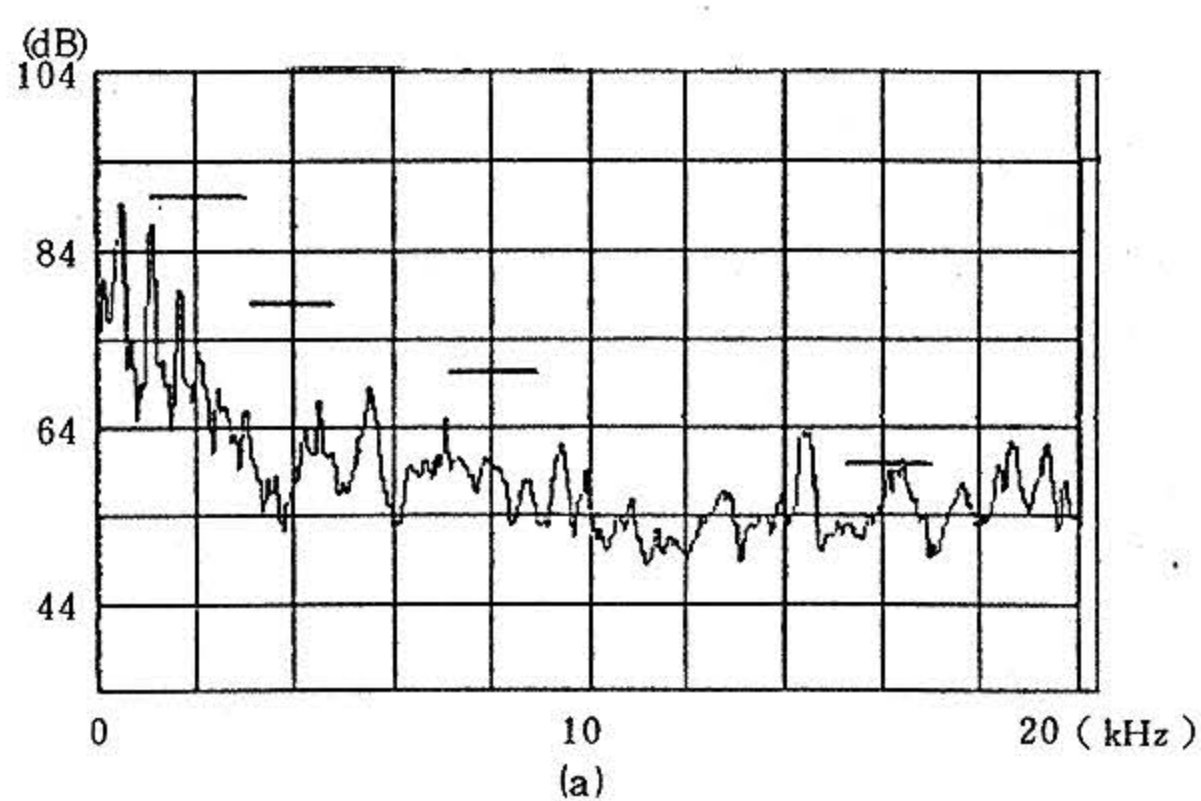
(a) 振動：50Hzバンドレベル, dB re 10^{-5} m/sec^2

Vibration

(b) 騒音：50Hzバンドレベル, dB re $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$

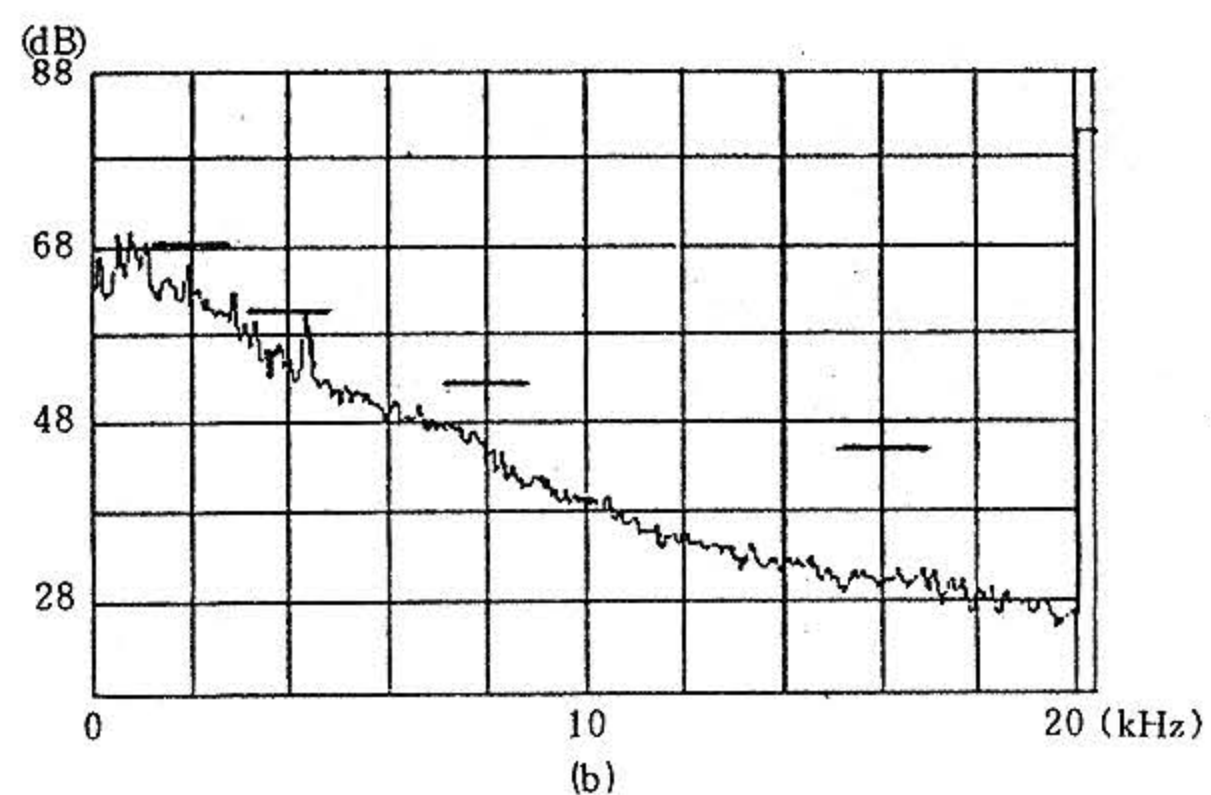
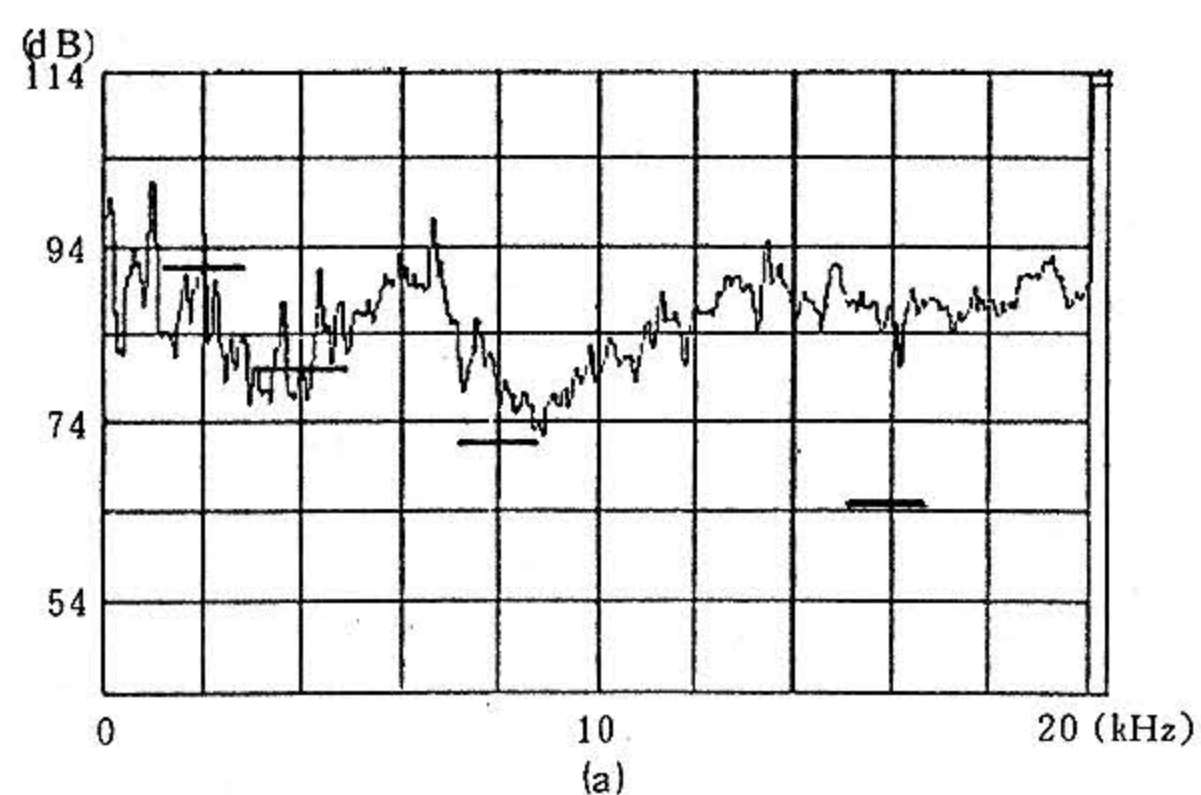
Noise

— : 予測値 Estimated level



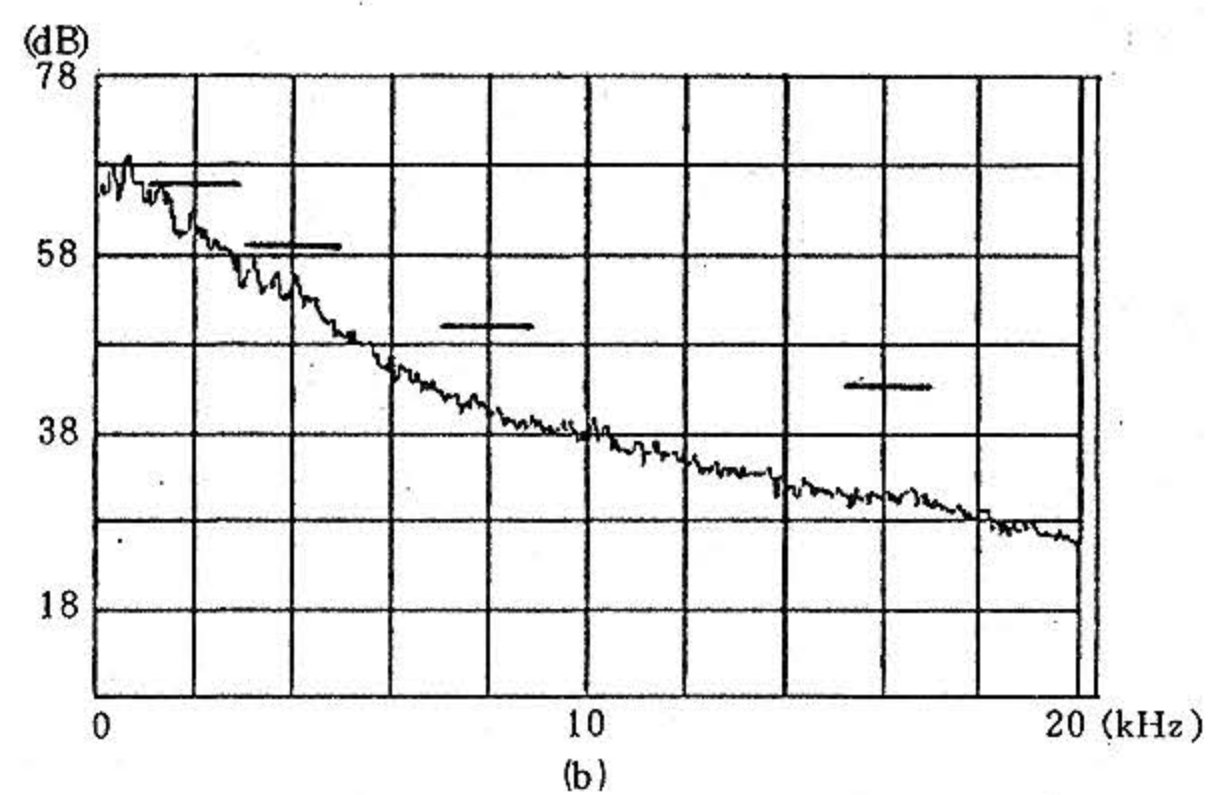
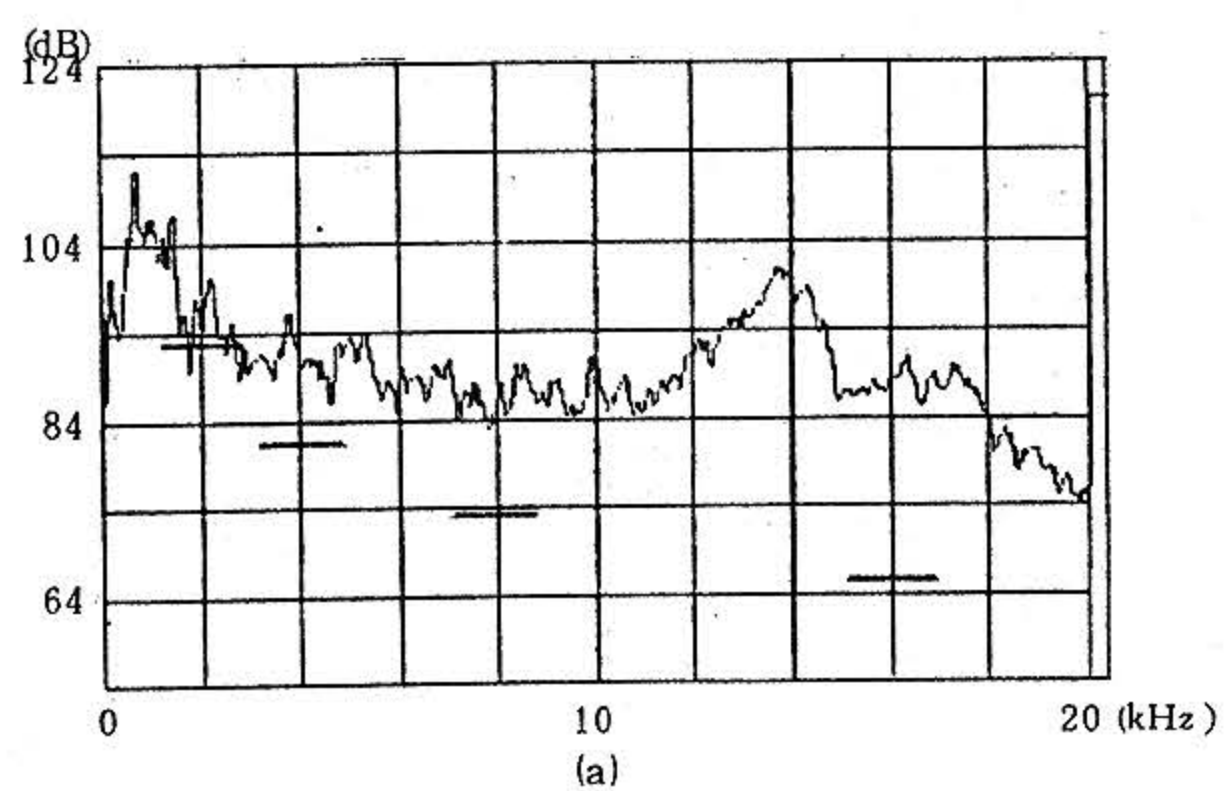
8.13 推進機械冷却海水ポンプ

Sea Water Pump for Propulsion Motor



8.14 冷房冷凍機冷却海水ポンプ

Sea Water Pump for Airconditionor



8.15 消防ビルジ兼バラストポンプ

Ballast Pump

補追 図8 陸上試験結果 Result of Shop Test

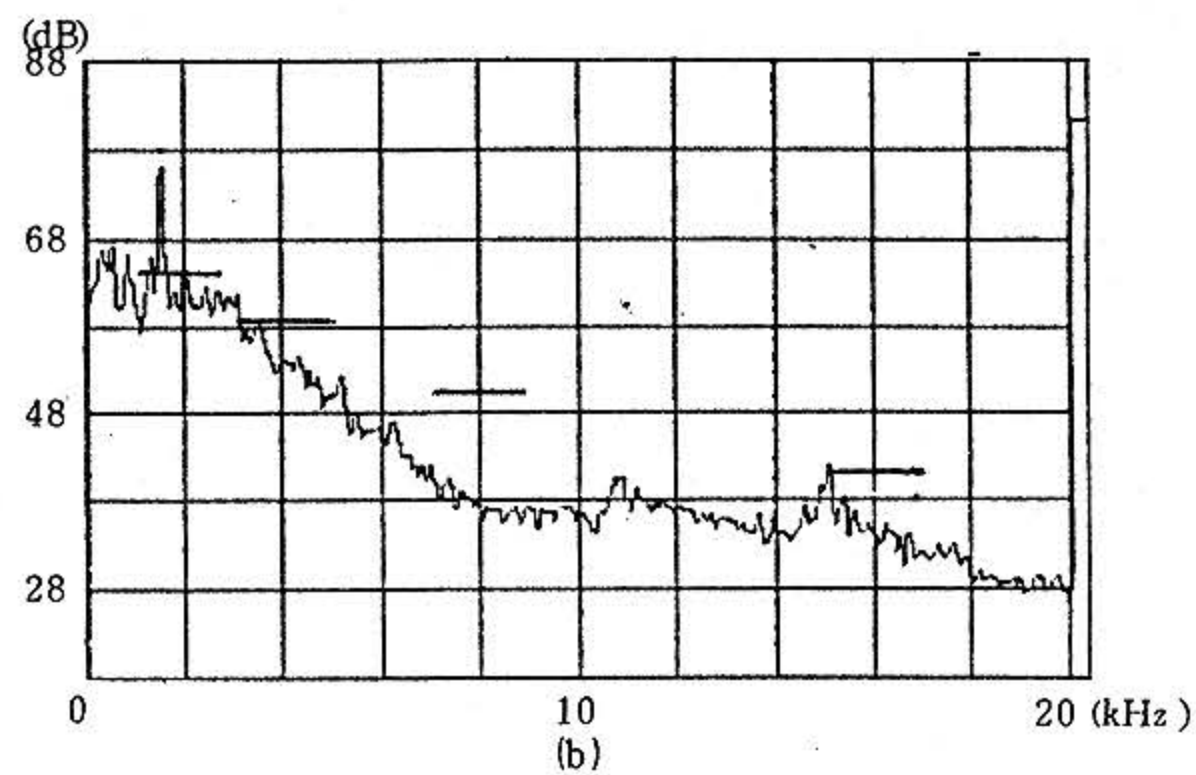
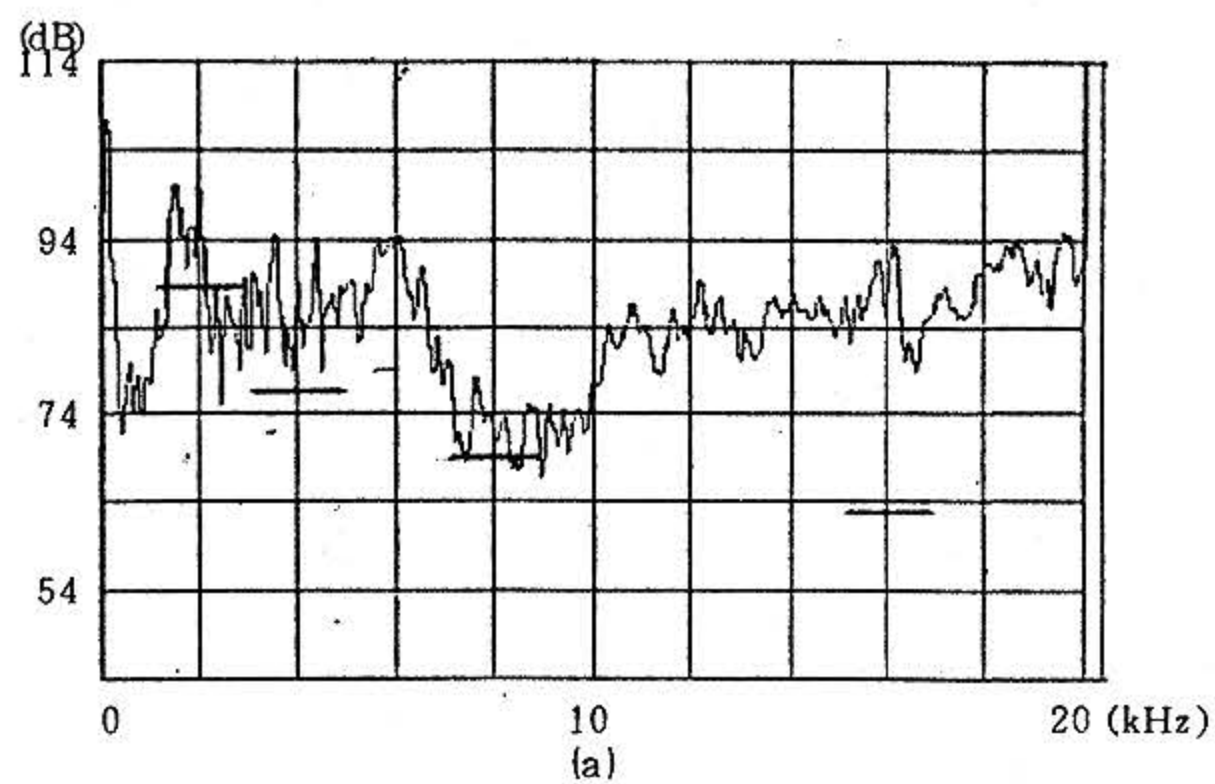
(a) 振動：50Hzバンドレベル, dB re 10^{-5} m/sec^2

Vibration

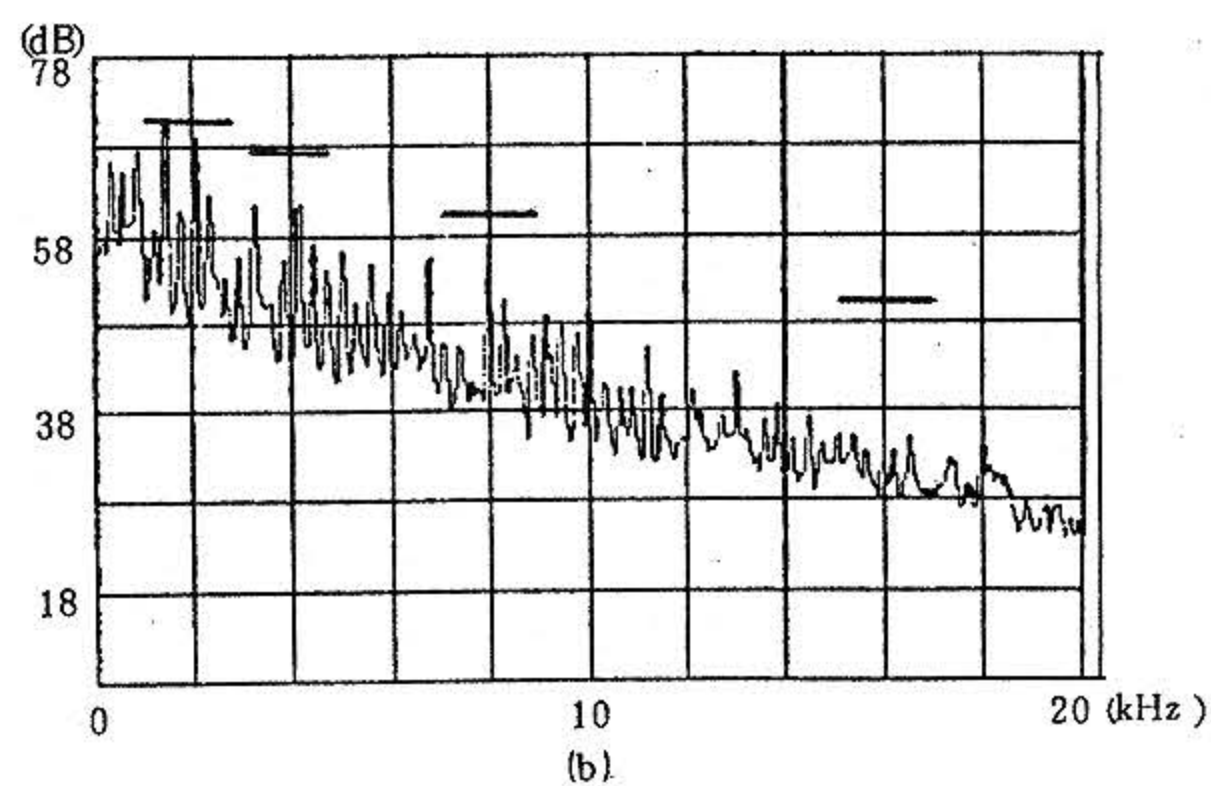
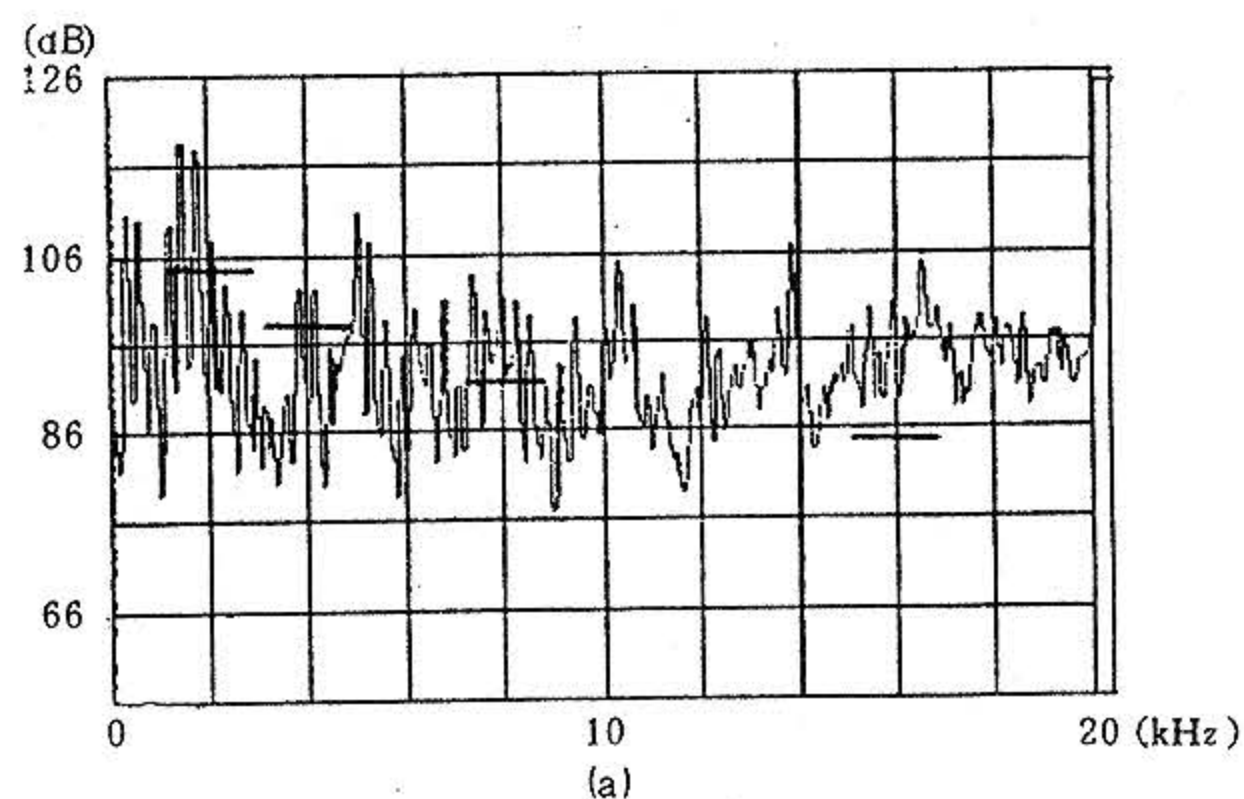
(b) 騒音：50Hzバンドレベル, dB re $2 \times 10^{-4} \mu \text{ bar}$

Noise

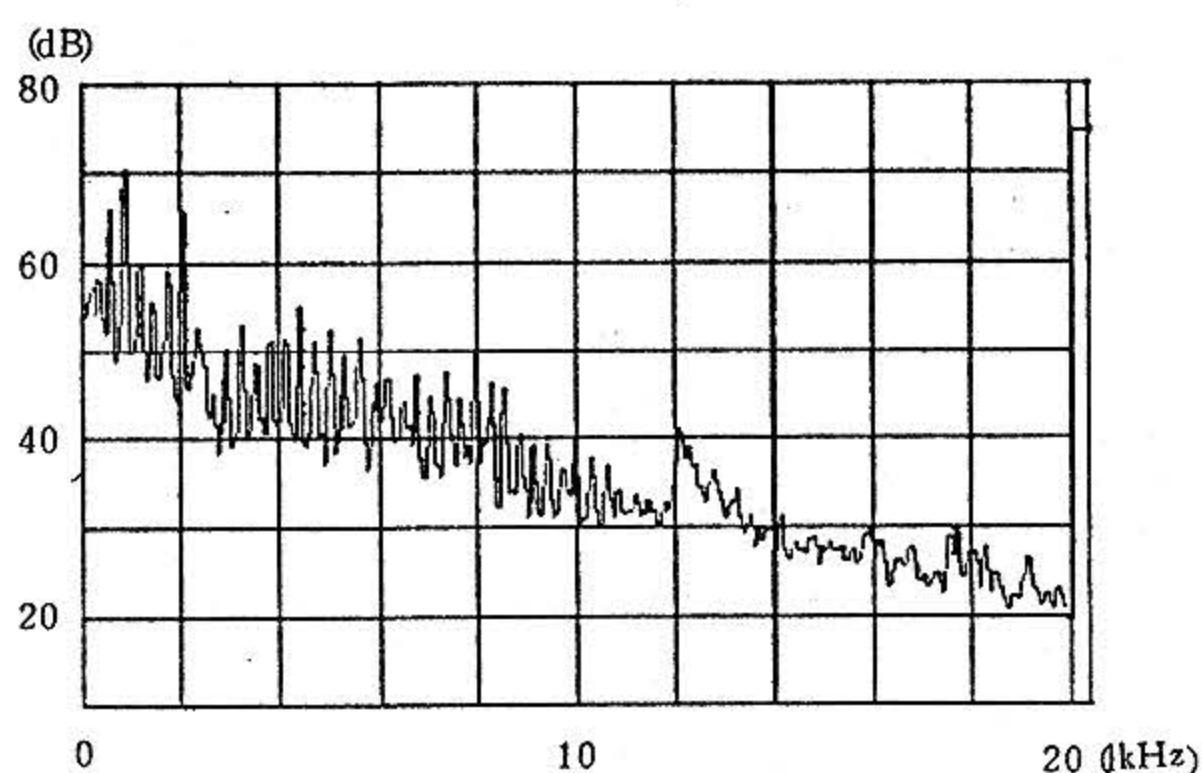
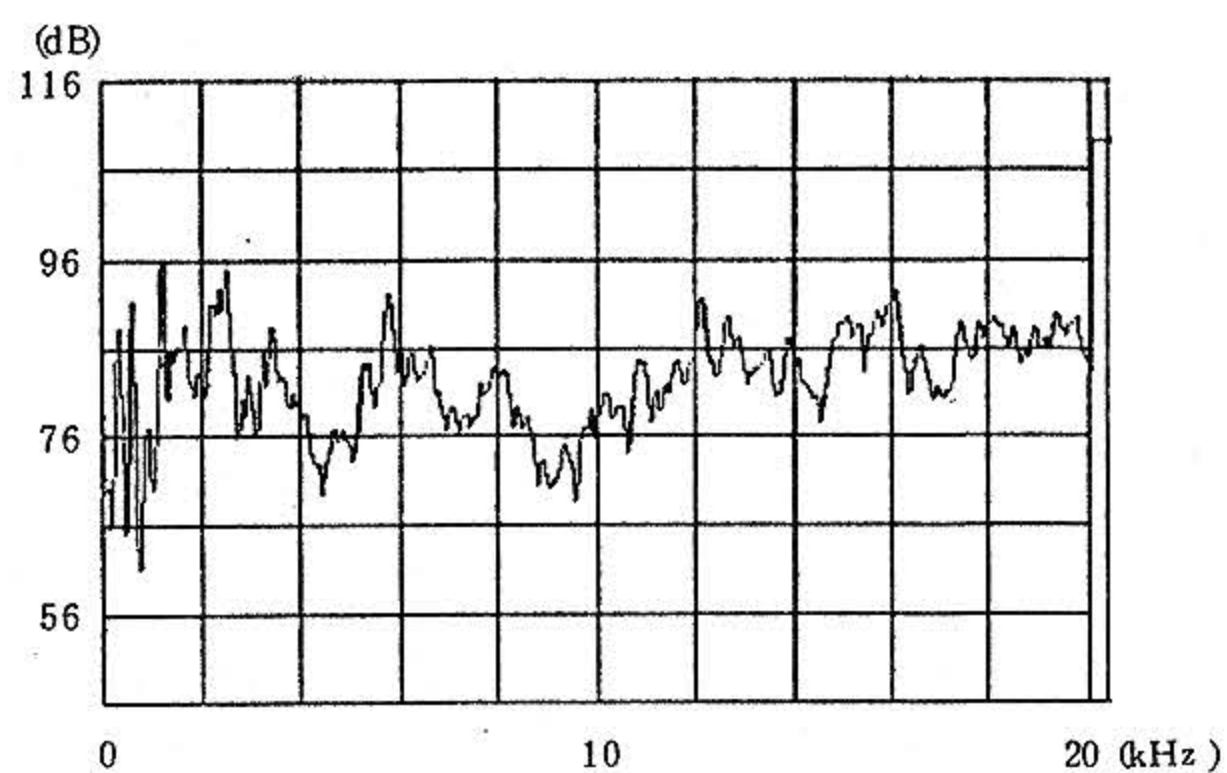
— : 予測値 Estimated level



8.16 潜水サービスポンプ
Sea Water Pump for Diving Gears



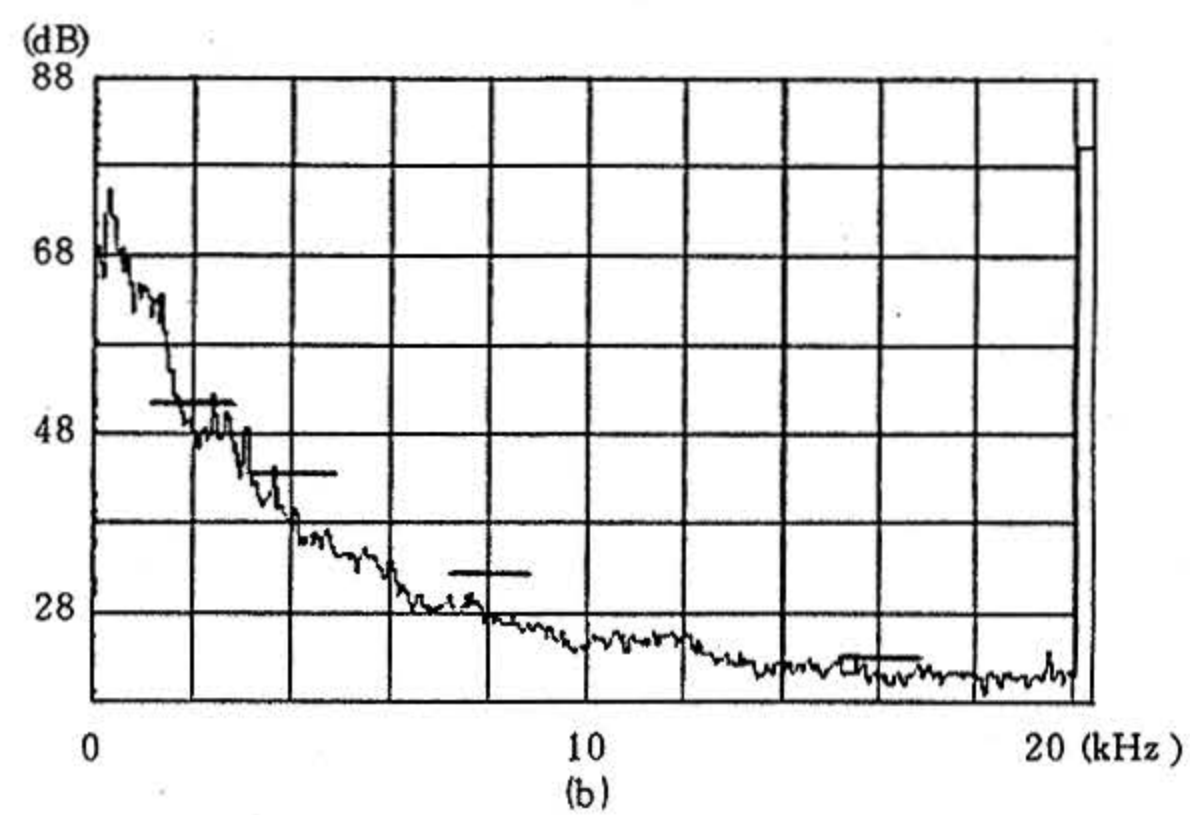
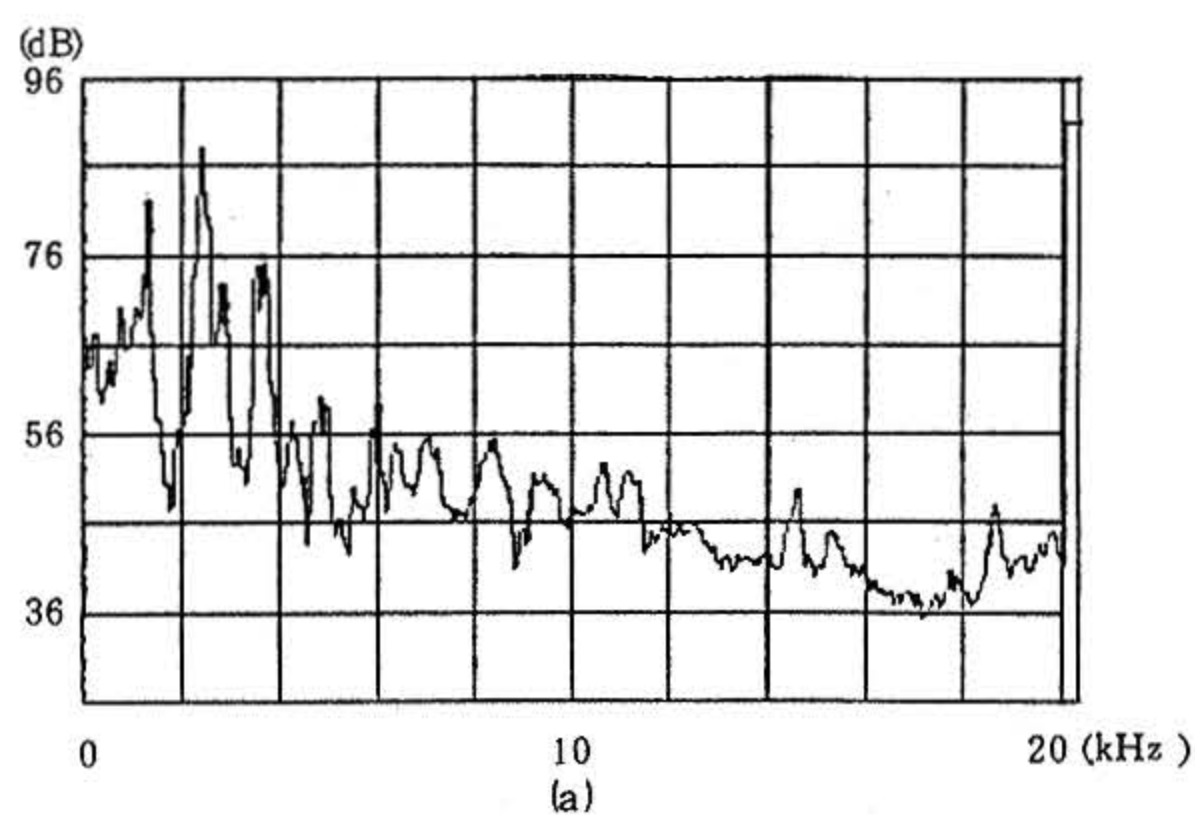
8.17 CCP ポンプユニット
CCP Hydraulic Pump Unit



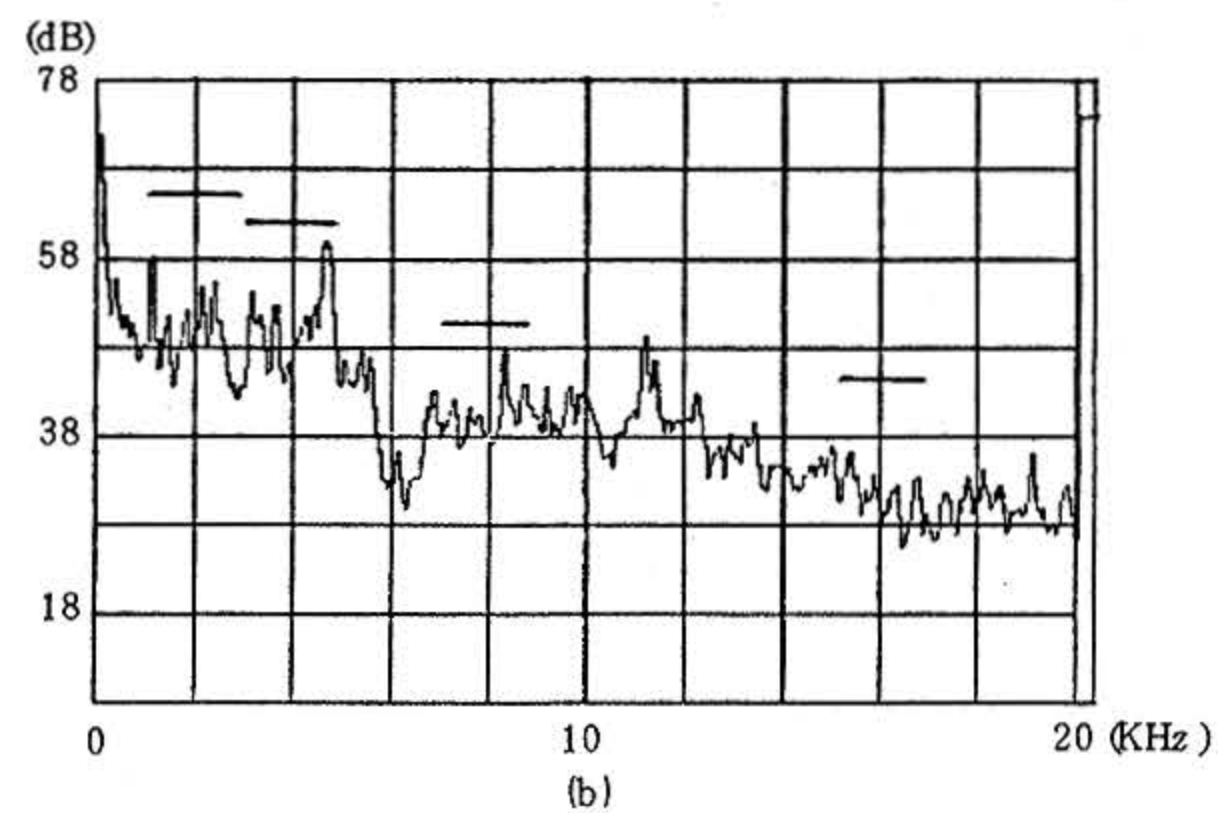
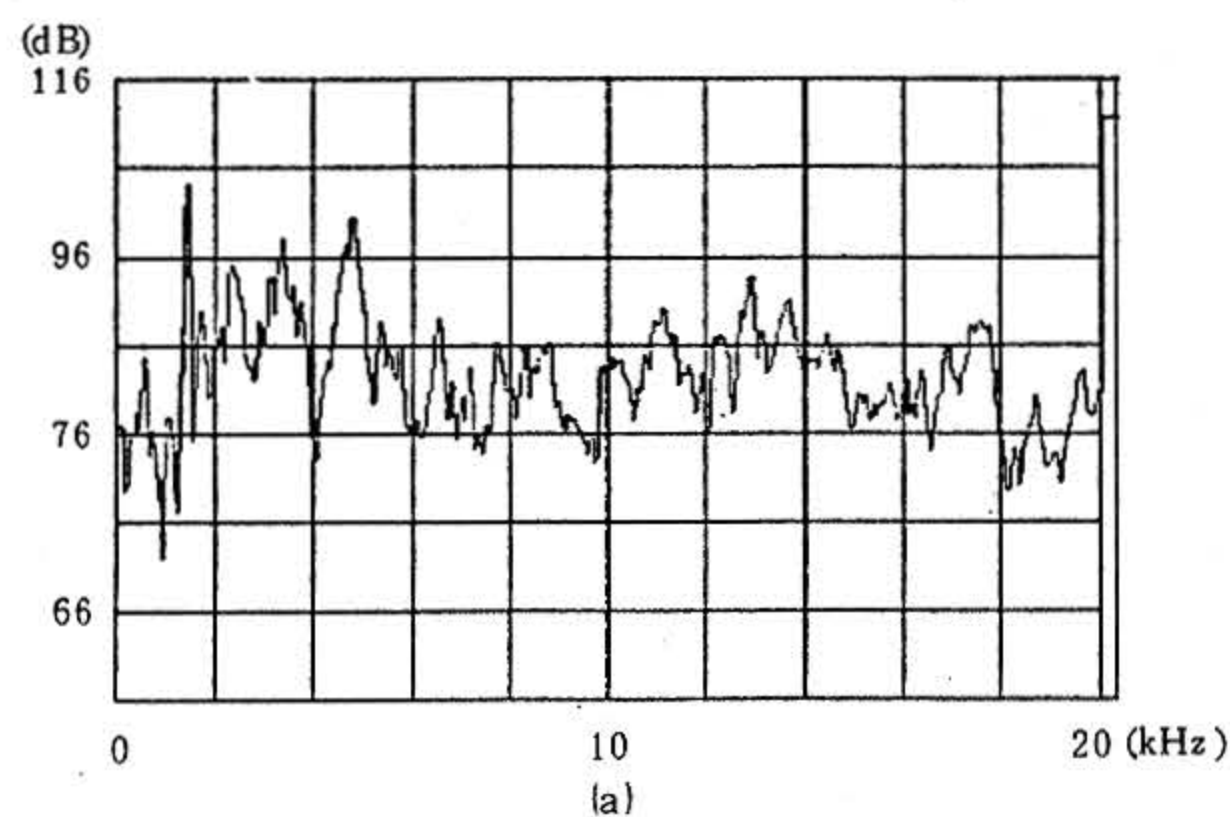
8.18 CCP バルブユニット
CCP Valve Unit

補追 図8 陸上試験結果 Result of Shop Test

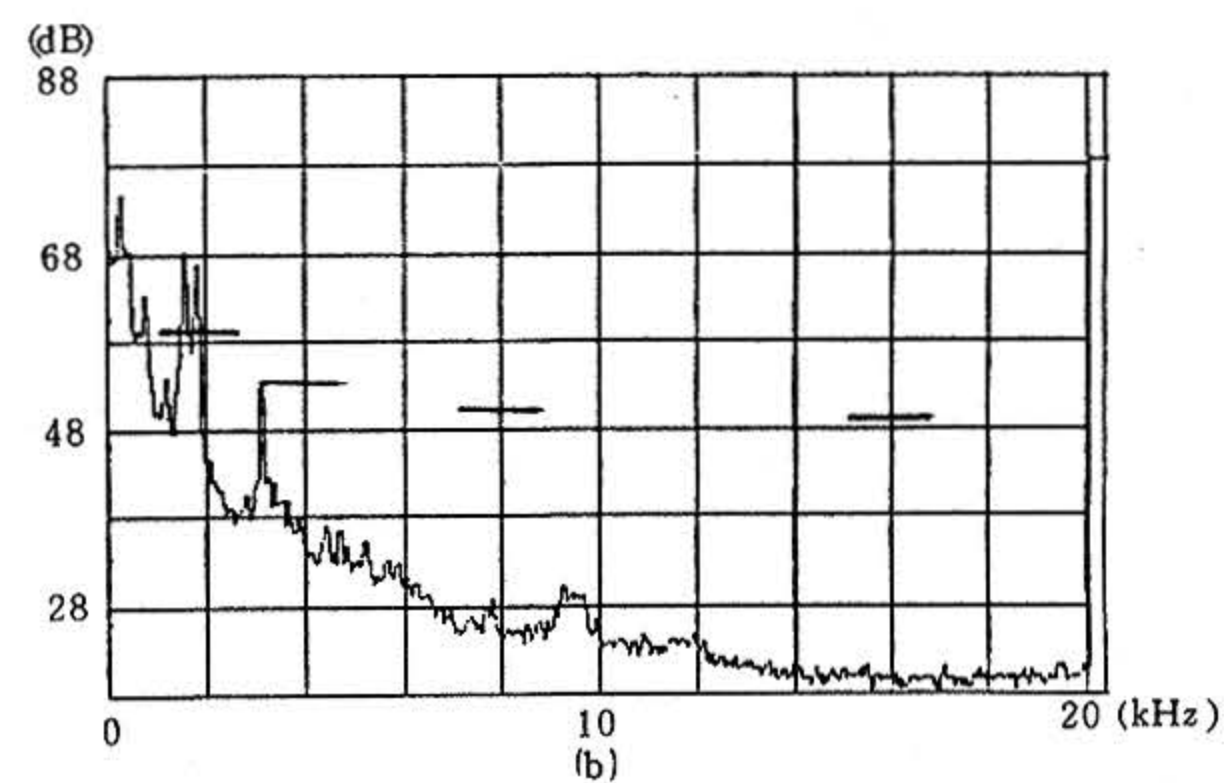
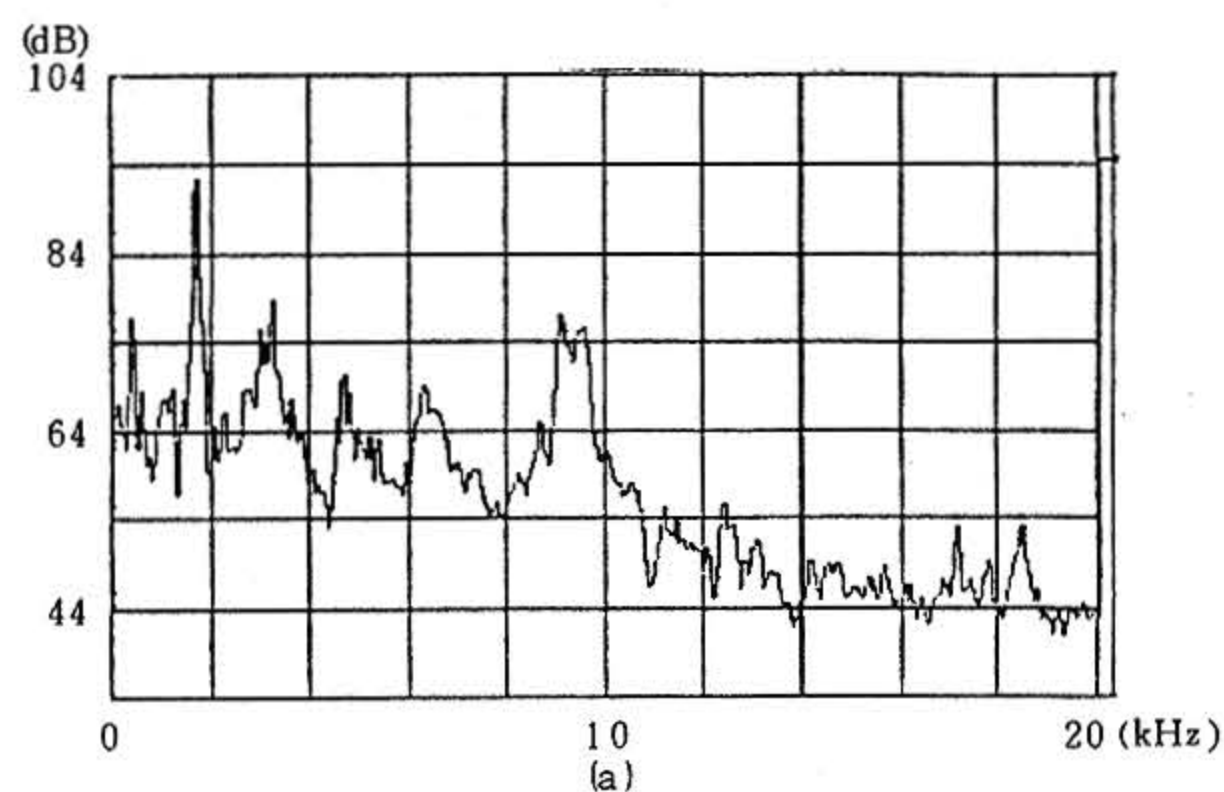
- (a) 振動：50Hzバンドレベル, dB re 10^{-5}m/sec^2
Vibration
(b) 騒音：50Hzバンドレベル, dB re $2 \times 10^{-4} \mu \text{bar}$
Noise
— : 予測値 Estimated level



8.19 スタンスラスト電動機
Electric Motor for Stern Thruster



8.20 バウスラスト油圧ユニット
Bow Thruster Hydraulic Pump Unit



8.21 バウスラスト電動機
Electric Motor for Bow Thruster

補追 図8 陸上試験結果 Result of Shop Test

(a) 振動：50Hzバンドレベル, dB re 10^{-5} m/sec^2
Vibration

(b) 騒音：50Hzバンドレベル, dB re $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$
Noise

— : 予測値 Estimated level