

## 船舶の水中放射雑音の測定結果

土屋利雄<sup>\*1</sup> 中西俊之<sup>\*1</sup>

われわれは、通常、作業船を傭船して、海底地形調査などの海洋作業を行っている。これらの海洋作業において、音響機器を用いる機会が多い。作業船が発する水中放射雑音は、音響機器に対して妨害となり、データの品質を左右するので、雑音に対して常に留意する必要がある。ここで報告する測定結果は、海底地形調査において可搬式音響トランスポンダ航法装置を使用可能とするために、船体の各所で雑音測定用のハイドロフォンを吊下、深さを変えて測定し、雑音分布の調査を行った結果である。

### Underwater Radiated Noise Measurement from a Surface Ship

Toshio Tsuchiya<sup>\*2</sup> and Toshiyuki Nakanishi<sup>\*2</sup>

Normally, our experimental field tests such as those involving surveys of the sea floor and others, are conducted by a chartered research vessel. For such oceanographic surveys, acoustic equipment are very often employed. Careful consideration should be given to underwater noise radiation since ship noise prevents the reception of acoustic signals, and influences the reliability of the measured data. In order to carry out the operation using an underwater acoustic navigational system, the noise levels at various depths of water were measured by lowering a hydrophone from the vessel.

This report presents the contour curves of the noise levels obtained from these measurements.

---

<sup>\*1</sup> 深海開発技術部

<sup>\*2</sup> Deep-Sea Technology Department

## 1. ま え が き

われわれは作業船を傭船して、海底地形調査などの海洋作業を行っている。これらの作業で調査を行った位置を明確にすることは、調査の重要な要素であり、この測位のために可搬式の音響トランスポンダ航法装置が用いられる。

音響トランスポンダ航法装置は、海底に設置した基準点のトランスポンダに質問信号を送り、その応答信号を受信して、トランスポンダ座標上の水中物体や水上船の位置を明確にするものである<sup>1)</sup>。

この装置において、トランスポンダからの応答信号を受信する際のSN比は測位精度に影響<sup>2)</sup>する。したがって、SN比の良好な状態で受信できるようにしなければならない。

われわれが使用している音響トランスポンダ航法装置では、フィッシュと呼ばれる曳航体に送受波用トランスデューサを取付け、船上から吊下曳航して応答信号を受信する方法をとっている。そのため、最初から、このようなトランスポンダ航法を行うことを前提として建造された船舶は別として、一般の船舶を使用する場合は、船体から放射される雑音によって受信状況を悪化させる場合がある。

したがって、フィッシュは船体雑音の最も小さい場所を選定して吊下し、曳航しなければならない。

われわれは、このような目的で、傭船した作業船2隻について船舶の水中放射雑音の測定を行い、その分布について傾向を得たので、その結果を報告する。

## 2. 船 舶 の 雑 音 源<sup>3)</sup>

一般に船舶から放射される雑音の音源は、表1のように3種類に分類することができる。

この表のうち、機械雑音は船舶の機械類によって発生する総合的な雑音である。流体的雑音は、不規則な水の流れの中を船舶が通過して生じる放射雑音や、変化に富んだ流体的過程が変動することによって起こされる雑音である。われわれの調査作業における使用速力は2～4 ktであるため、この雑音を特に問題とする必要はないものと考えられる。

推進機雑音は、推進機の回転によって発生する

機械的および流体力学的雑音の両方を含んだ混成雑音である。

機械雑音は船舶内の機械的振動が原因で、この振動は船殻を伝わって海中に伝搬することがわかっている。

推進機雑音の主なものは、推進機の回転運動によって起こる雑音で、線スペクトル雑音と連続スペクトル雑音が混在する。

## 3. 雑音測定を行った船舶及び測定条件

今回、船体の放射雑音の測定を実施した船舶は、市川海事興業所属のタグボート兼用海洋調査船“さむらい”および東海サルベージ所属の“第5海工丸”である。これらの船舶の主要目を表2に示す。

測定には、主機の回転数を作業時の回転数にセットし、“さむらい”では295 rpm，“第5海工丸”では510 rpmとし、可変ピッチプロペラの翼角を0°として、船の行き足がないような条件で行った。

なお、両者の減速器による減速比は、“さむらい”は1.72，“第5海工丸”は2.476である。両者とも、2軸2機であるが、1軸1機で運転して測定を行った。

## 4. 測 定 方 法

### 4.1. 測定ポイントの選定

図1に示すように、船首右舷、中部右舷、船首右舷、中部右舷、後甲板右舷、船尾右舷の各測定点で、所定の深さにハイドロフォンを吊下して測定を行った。

これらの船首尾方向の位置は、主機や推進機等からの雑音の放射の状況を把握できるようにという配慮のもとに選定した。また、水深方向については、上述の各測定点で、水面から5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 mで測定を実施した。

### 4.2. 雑音の録音

図2は雑音を記録するための系統図である。

ハイドロフォン (ITHACO Model 610) による受波出力は、オシロスコープで波形をモニタしながら、増幅器 (ITHACO Model 451) によって、録音適正レベルに増幅して、磁気記録をする。なお、増幅器のローカットフィルタ (3 dB/oct.) で

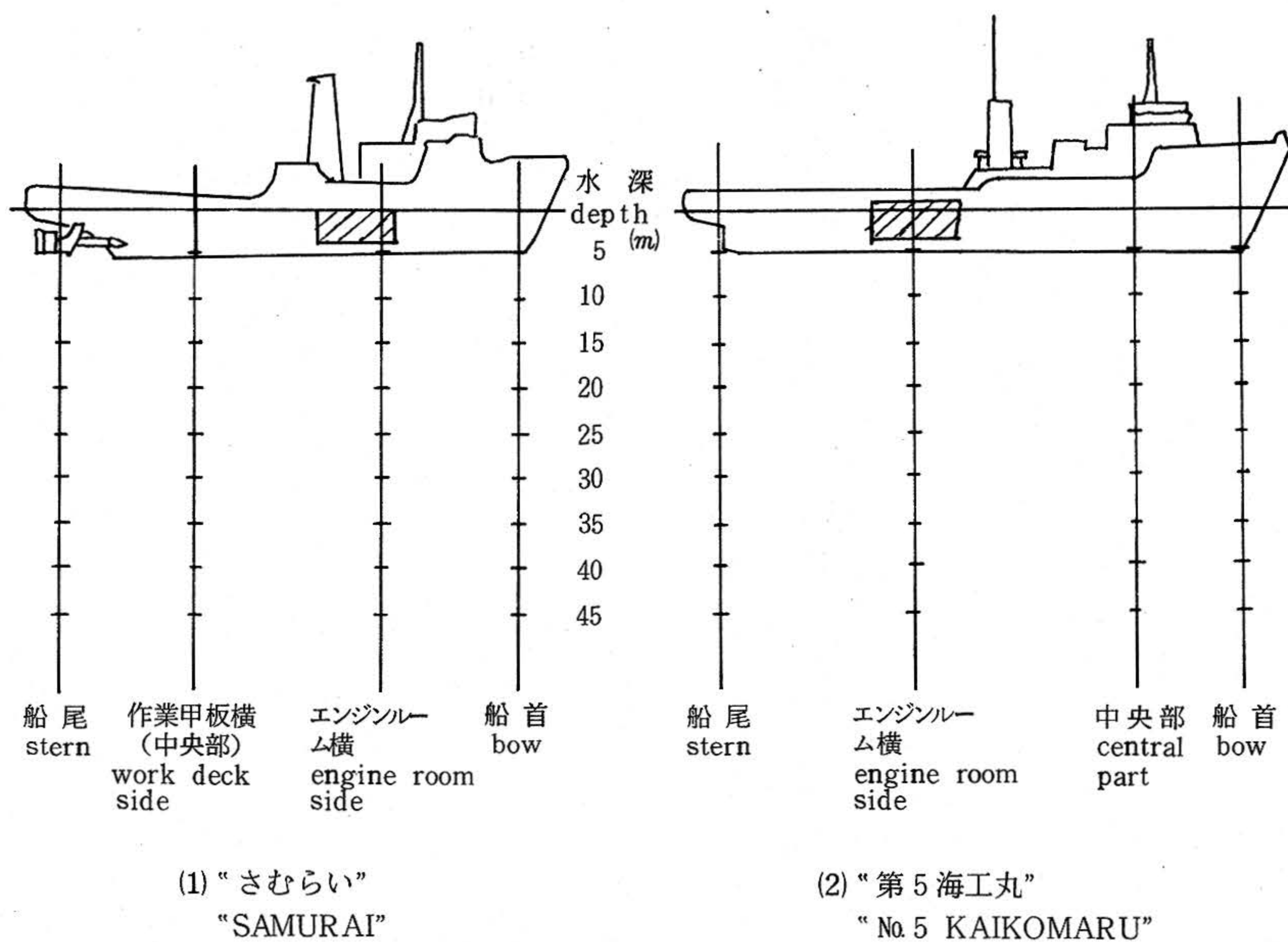
表 1 船舶の雑音源の分類  
Classification list of noise source in ship

| 雑音の分類<br>classification           | 内 容<br>contents                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 機 械 雑 音<br>machine noise      | <p>(a) プロペラ駆動機<br/>propulsion equipment<br/>〔 ディゼルエンジン, 減速機<br/>diesel engine, speed reduce 〕</p> <p>(b) 補 機<br/>auxiliary machinery<br/>〔 発電機, ポンプ, 空調設備<br/>electric generator, pump, air conditioner 〕</p>                                    |
| (2) プロペラ雑音<br>propeller noise     | <p>(a) 推進機付近のキャビテーション<br/>noise from cavitation in propeller<br/>surrounding</p> <p>(b) プロペラ回転振動による鳴音<br/>vibration noise from propeller</p>                                                                                                     |
| (3) 流体力学的雑音<br>hydrodynamic noise | <p>(a) フローノイズ<br/>flow noise</p> <p>(b) くぼみ, プレートおよび突起物による共振励起<br/>resonant noise from vibration noise of<br/>plate or, cavity and projection</p> <p>(c) 支柱や突起物によるキャビテーション<br/>noise from cavitation in prop and<br/>projection surroundings</p> |

表2 “さむらい” および “第5 海工丸” の主要目  
Specifications of “SAMURAI” and “No.5 KAIKOMARU”

| 要 目<br>item                                         | 船 名<br>ship name | さ む ら い<br>( 市 川 海 事 )<br>“ SAMURAI ”<br>( Ichikawa Kaiji Co. ) | 第 5 海 工 丸<br>( 東 海 サ ル ベ ー ジ )<br>“ No.5 KAIKOMARU ”<br>( Toukai Salvage Co. ) |
|-----------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 全 長 (m)<br>length over-all                      |                  | 61. 65                                                          | 48. 30                                                                         |
| (2) 垂 線 間 長 (m)<br>length between<br>perpendiculars |                  | 55. 00                                                          | 41. 80                                                                         |
| (3) 作 業 甲 板 長 (m)<br>length of work deck            |                  | ≒ 26                                                            | ≒ 22                                                                           |
| (4) 型 幅 (m)<br>moulded breadth                      |                  | 11. 50                                                          | 10. 00                                                                         |
| (5) 型 深 (m)<br>moulded depth                        |                  | 5. 50                                                           | 4. 60                                                                          |
| (6) 喫 水 (m)<br>draught                              |                  | 4.90 [ DLWL 設計値<br>specification ]                              | 3. 50                                                                          |
| (7) 総 ト ン 数 (t)<br>gross tonnage                    |                  | 1,000                                                           | 499. 59                                                                        |
| (8) 載 荷 重 量 (t)<br>dead weight tonnage              |                  | 1,050                                                           | 500. 00                                                                        |
| (9) 主 機<br>main engine                              |                  | 4,000 ps × 2                                                    | 2,400 ps × 2                                                                   |
| (10) 速 力 (kt)<br>speed                              |                  | 最大 13 (11)<br>max.                                              | 最大 13 (11)<br>max.                                                             |
| (11) 乗 員 ( 客 員 )<br>crew (associate member)         |                  | 35 (14)                                                         | 40 (12)                                                                        |
| (12) 船 級<br>ship's class                            |                  | NK. NS ( TUG/Salv ),<br>MNS                                     | NK, NS, MNS                                                                    |
| (13) 航 行 区 域<br>navigation area                     |                  | 遠 洋<br>ocean navigation                                         | 遠 洋<br>ocean navigation                                                        |
| (14) バウスラスタ-推力<br>bowthruster power                 |                  | 5 t ( 500 HP )                                                  | 2. 3 t                                                                         |
| (15) プロペラ型式<br>propeller type                       |                  | CPP, コルトメズル<br>Kort nozzle                                      | CPP, コルトノズル<br>Kort nozzle                                                     |

(注) DLWL = Dead Water Line, 満載喫水



エンジンルーム, engine room

図1 測定位置および深さ  
Measured places and depth

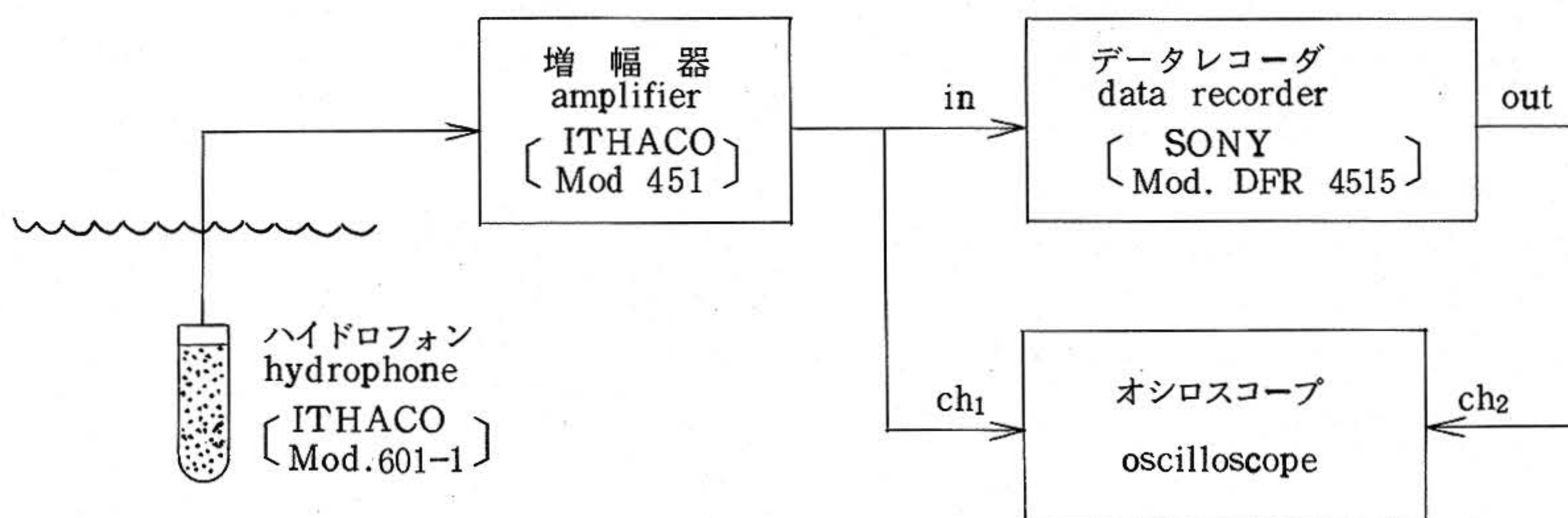


図2 雑音を録音するためのブロック図  
Blockdiagram for noise recording

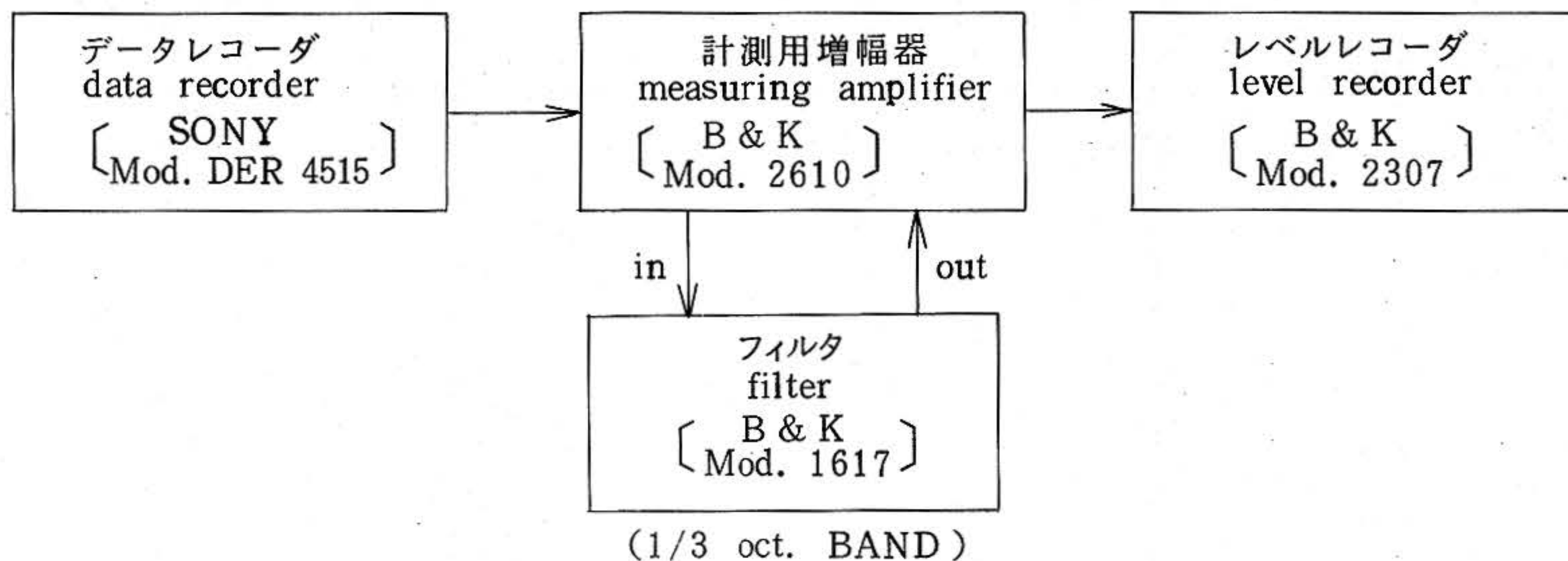


図3 雑音分析のブロック図 ( $\frac{1}{3}$  oct. バンド)  
Blockdiagram for noise analysis  
( $\frac{1}{3}$  oct. band)

1 kHz以下の成分を除いたのち、増幅し、データレコーダに記録した。同時に、必要な諸データ（測定位置、センサの深さ、増幅度等）は音声によって、別のチャンネルに録音を行った。

1kHz以下の成分を除去したのは、ここで問題とする雑音が、トランスポンダからの応答信号（7.5～15kHz）に対する雑音であり、データレコーダのダイナミックレンジと雑音の周波数対レベル分布を考慮し、必要とする周波数範囲の雑音を適正レベルで記録するための処置である。

#### 4.3. 雑音の分析

記録したデータは、帰港後、図3および図5の系統図に示す方法で分析を行った。

図3は $\frac{1}{3}$ オクターブ ( $\frac{1}{3}$  oct.) バンド分析の系統図である。分析はB & K社の周波数分析装置 ( $\frac{1}{3}$  oct. バンド フィルタ Modl 1617, 計測用増幅器 Model 2610, レベルレコーダ Model 2307) を用いて行った。同装置の $\frac{1}{3}$ オクターブフィルタ特性と中心周波数<sup>4)</sup>を図4に示す。

このフィルタ特性からわかるように、 $\frac{1}{3}$  oct. バンド分析では雑音の周波数特性を比較的広い帯域

のフィルタで分析し、その連続スペクトル雑音の傾向の調査するために行うものである。

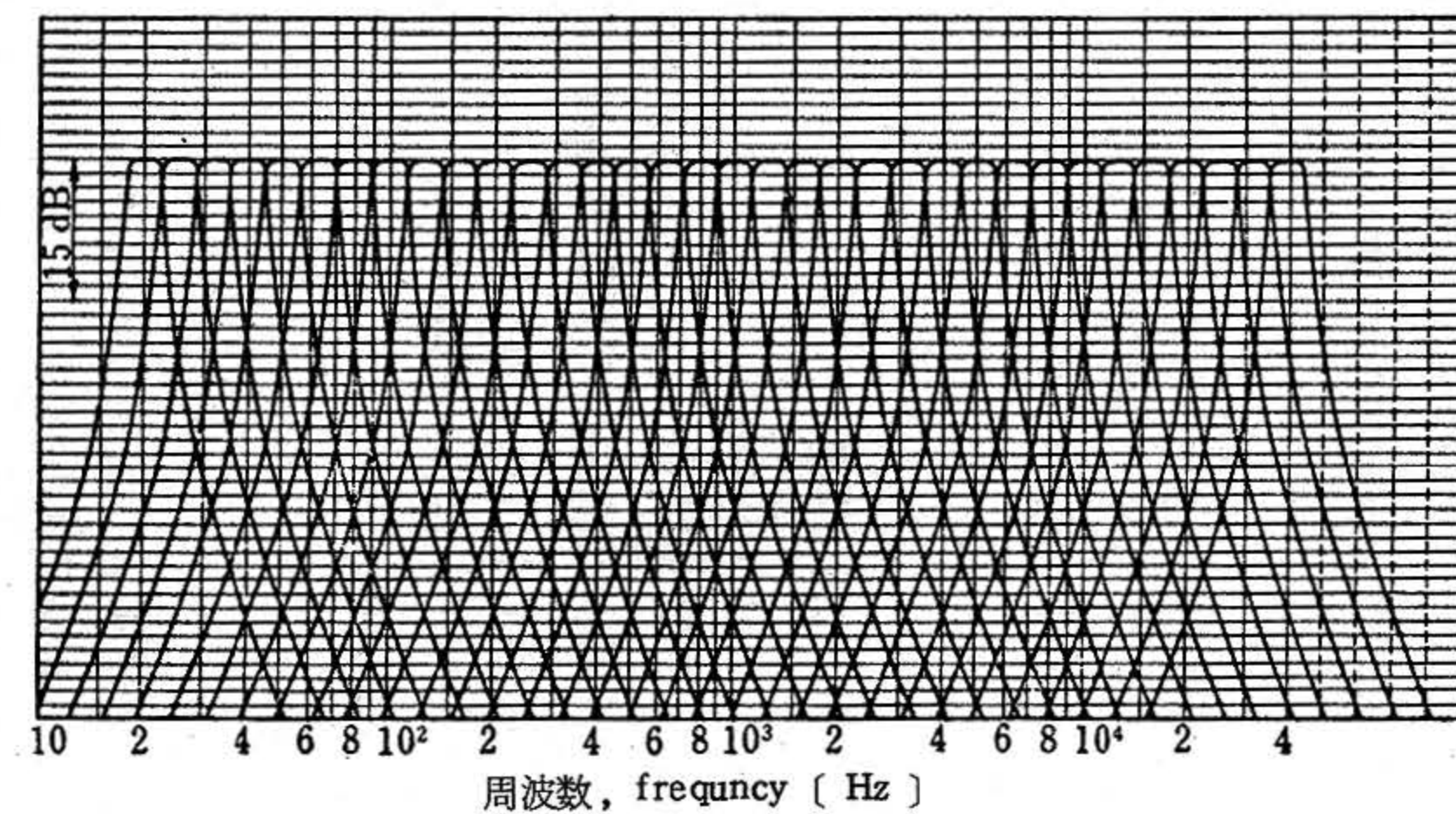
図5は狭帯域フィルタ分析の系統図である。この分析によって雑音の発生源を推定することができる。分析にはS D社製の狭帯域周波数分析器S D 345型を用いて行った。

### 5. 分析結果および考察

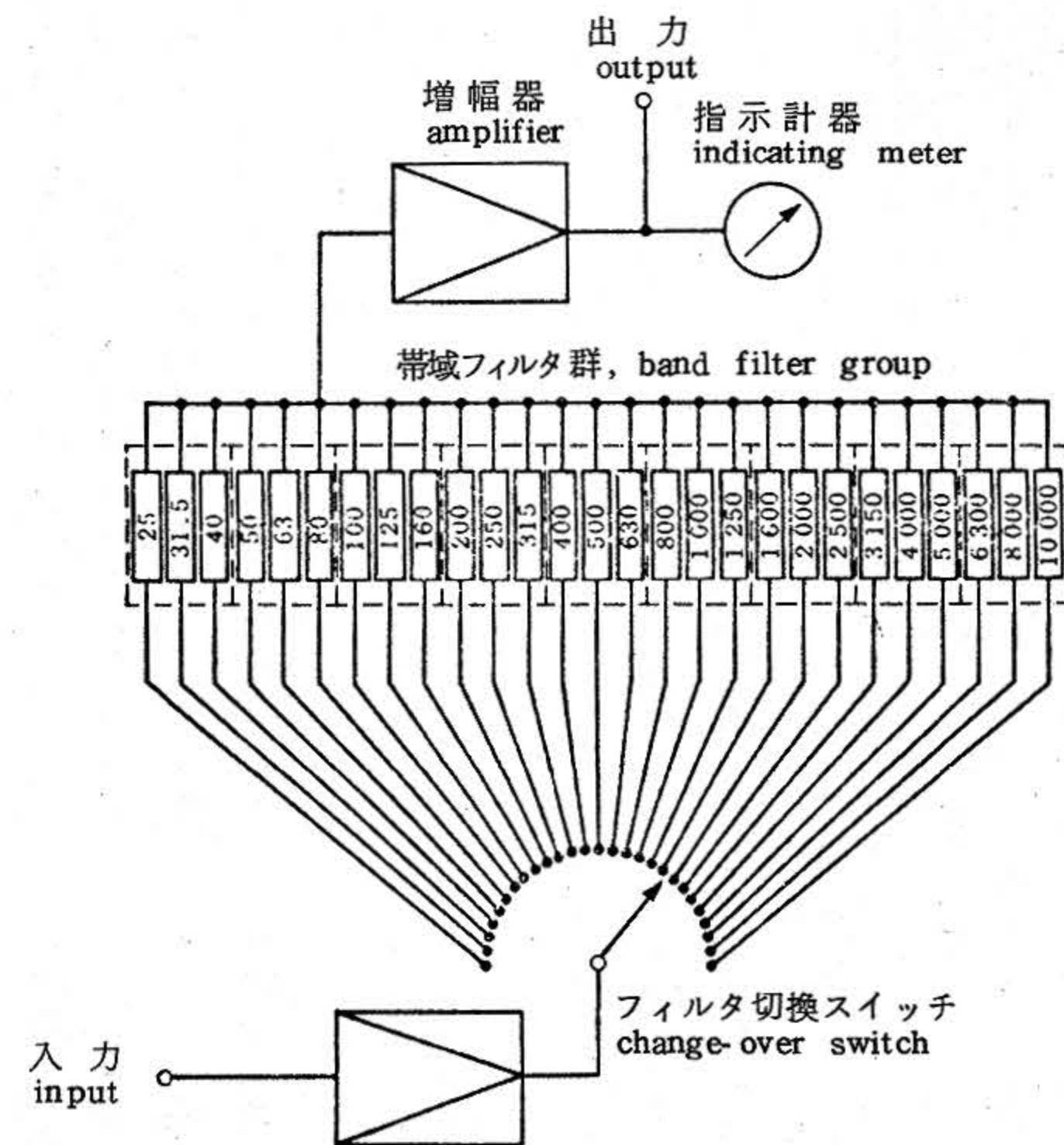
#### 5.1. “さむらい”の雑音分析結果

図6は“さむらい”の雑音測定結果を測定用ハイドロフォンの水深をパラメータとし、各部〔船首、中部（：エンジンルーム横）、作業甲板横、船尾推進機横〕ごとに雑音の周波数特性を示したものである。

この図では横軸は $\frac{1}{3}$  oct. バンドの周波数、縦軸は $\frac{1}{3}$  oct. バンドレベルを表わしている。この図によれば、船首では、水深による影響が小さく、また水深が浅いほど値が小さく、水深5mの雑音レベルの値は最も小さいことがわかる。エンジンルーム横では、低周波数帯域において、水深5mの雑音レベルが大きく、他の水深における値と特性



(1) フィルタ特性  
frequency characteristic of  $\frac{1}{3}$  oct. band filter



(2) 分析方法  
frequency analytical method

図4  $\frac{1}{3}$  oct. バンド周波数分析の原理  
Principles of  $\frac{1}{3}$  oct. band frequency analysis

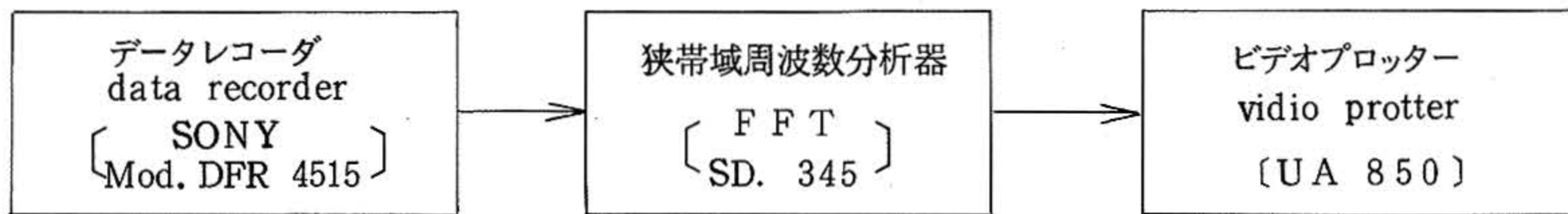


図5 雑音分析のブロック図（狭帯域分析）  
Blockdiagram for noise analysis  
(narrow band)

が異っている。作業甲板および船尾では、水深とともに、雑音レベルが減衰する傾向を示している。

図7は測定結果をならべ換え、測定各部をパラメータとし、ハイドロフォンの水深ごとに整理したもので、5、10、25および45mにおける $\frac{1}{3}$ octバンドレベルの周波数特性を表わした。

この図によれば、水深45mでは各測定位置における周波数特性および雑音レベルはほぼ一様である。しかし、測定点の深さが浅くなり、船体に近づくにつれて、各測定位置での周波数特性は異なり、レベル差が大きくなっている。

水深5mでは、船首と船尾では約20dBのレベル差が認められ、周波数特性もかなり異なる。すなわち、中部エンジンルーム横での値は、1kHzから周波数が高くなるにつれ、レベルは急激に小さくなるのに対し、船尾では10kHzまでゆるやかに減少しており、これだけで両者の音源が異なることが推定できる。

その結果、雑音分布の調査を行なった目的である音響トランスポンダ航法装置の曳航式トランスデューサを吊下する位置については、船首部では、水深を浅くすることが有利であることがわかる。

さらに音源を明確にし、水深方向の音圧分布を明らかにすれば、送受波器吊下深度を決めるのに都合がよいので、深さ方向の等音線図を作図した。

等音線図の作図にあたり、各部、雑音を狭帯域フィルタによる分析を行い、音源のスペクトルを調査した。分析器はSD社製SD345型分析器を用いた。

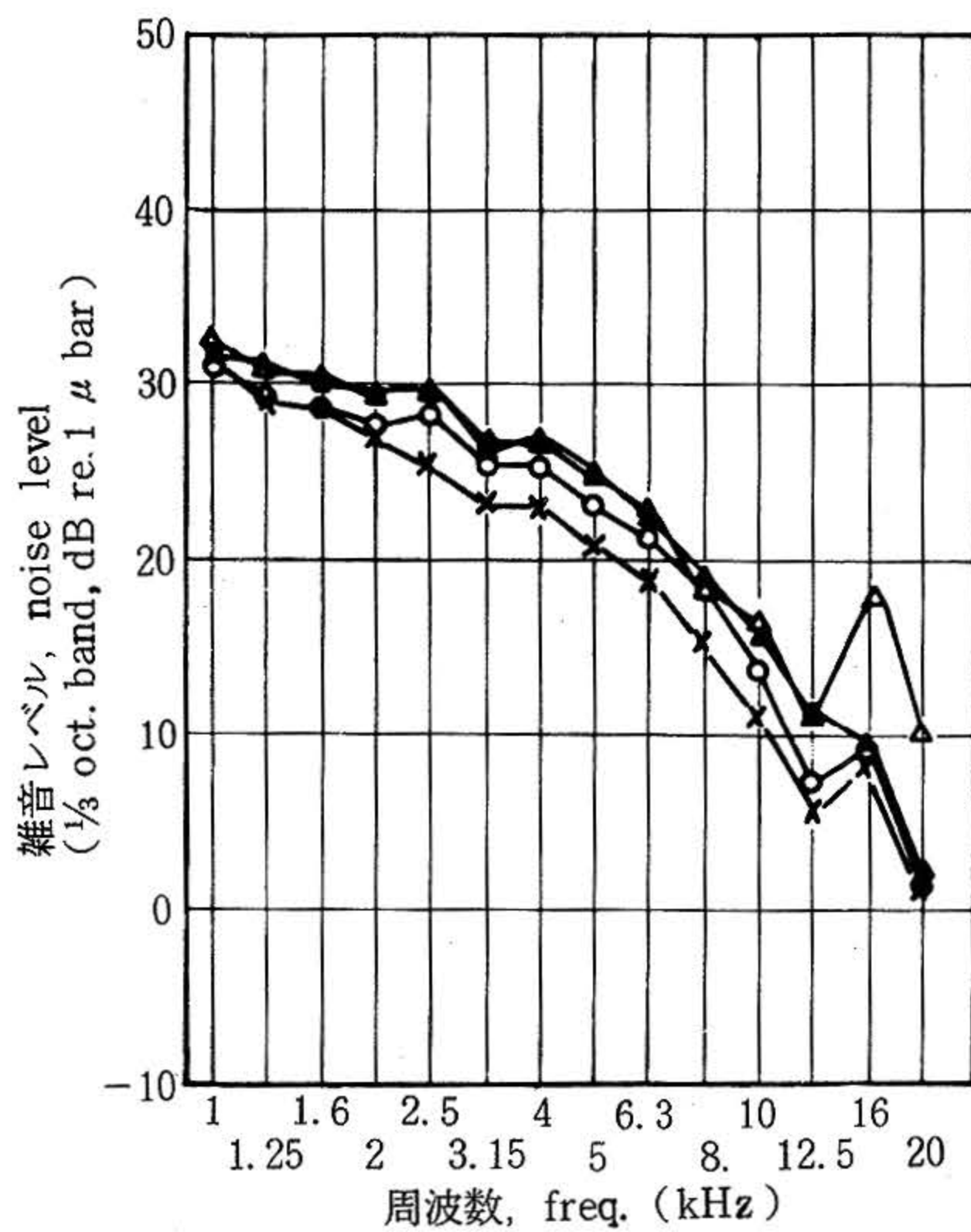
船舶の音源は前述のように、エンジン、減速機、推進機等の回転機器が主なもので、中でも、推進機およびエンジンは代表的音源とされている。また、狭帯域フィルタによる分析結果では、推進機は単位時間における推進機軸の回転数を基本とする高調波のスペクトルが検出される。ディーゼルエンジンにおいても同様に、単位時間当りの軸回転数を基本とする高調波が検出されることが知られている。これらのことを基に分析を行い、各測定点での雑音の性質を調べた。

図8～図12は0.25Hzバンド幅フィルタによる分析結果である。

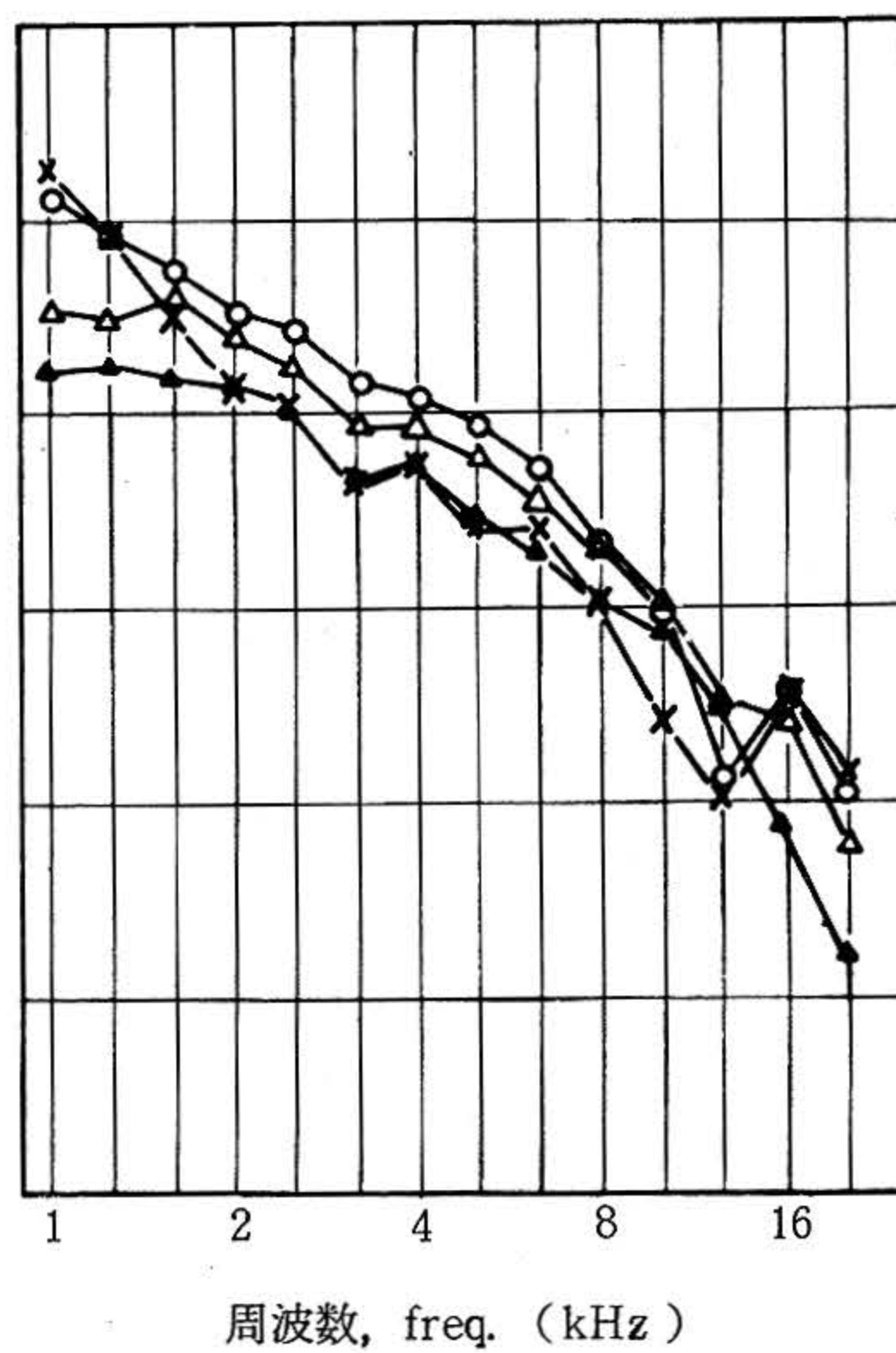
各図とも4箇所の測定位置のデータを示し、上から順に船尾、後甲板中部および船首の順に並べて示した。

図8はハイドロフォンの深さ10mで収録した雑音の分析結果で、分析した周波数帯域は1kHz中心の $\pm 50$ Hzの間にある。図9は測定水深20mで分析周波数帯は図8と同様に1kHz $\pm 50$ Hz、図10は測定水深10m分析周波数帯5kHz $\pm 50$ Hz、図11は測定水深10m分析周波数帯8kHz $\pm 50$ Hz、図12は測定水深10m分析周波数帯10kHz $\pm 50$ Hzの結果である。

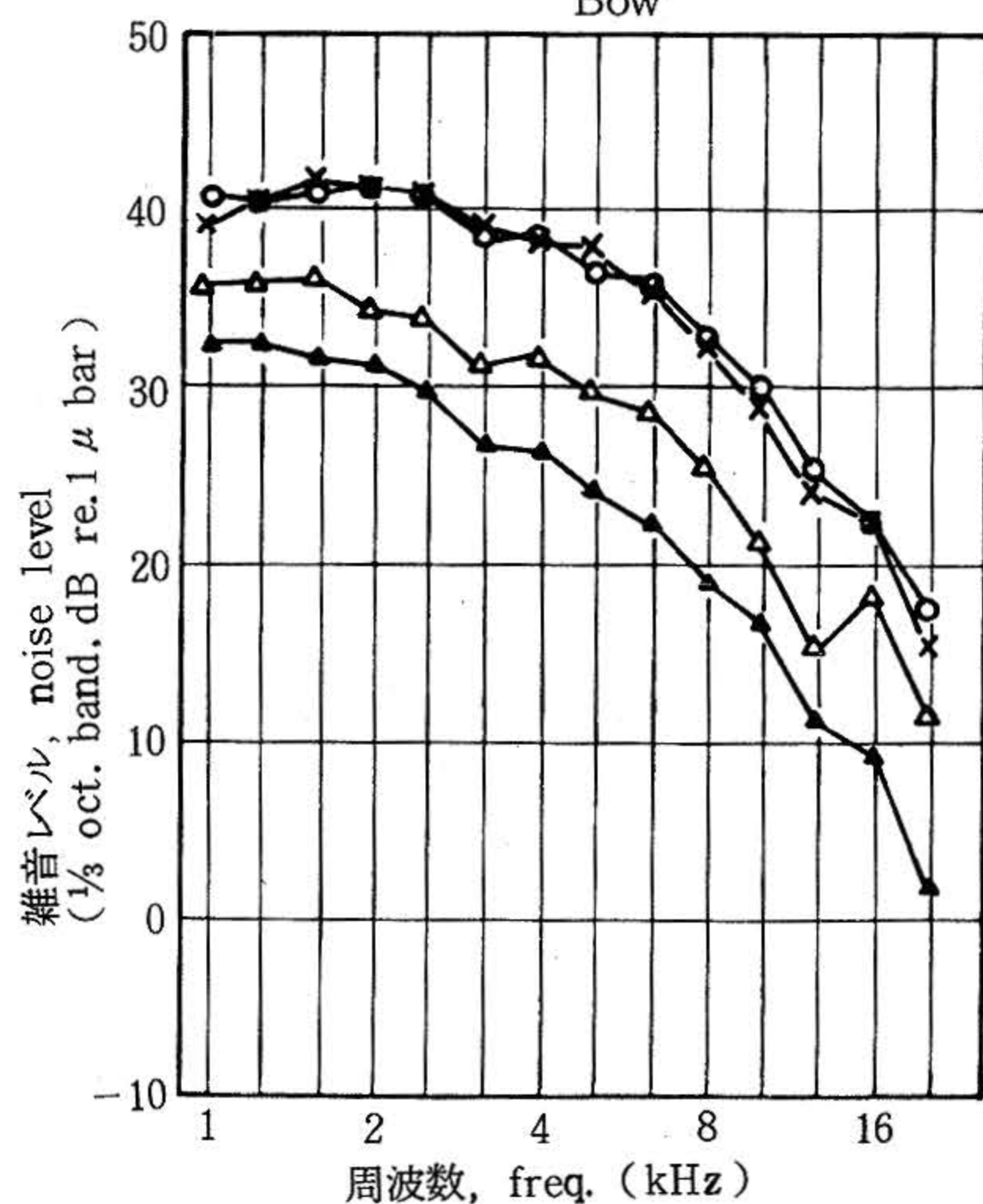
測定時のエンジン回転数は295rpmであるから、エンジンに起因するスペクトルは4.92Hz( $= 295/60$ )を基本波とし、その高調波である。また、推進機は減速比1.72の減速機を介してエンジンに接続されるので、2.86Hz( $= 295/(1.72 \times 60)$ )を基本周波数とし、その高調波が観察される。



(1) 船首  
Bow



(2) エンジンルーム横  
Engine room side



(3) 作業甲板横  
Work deck side



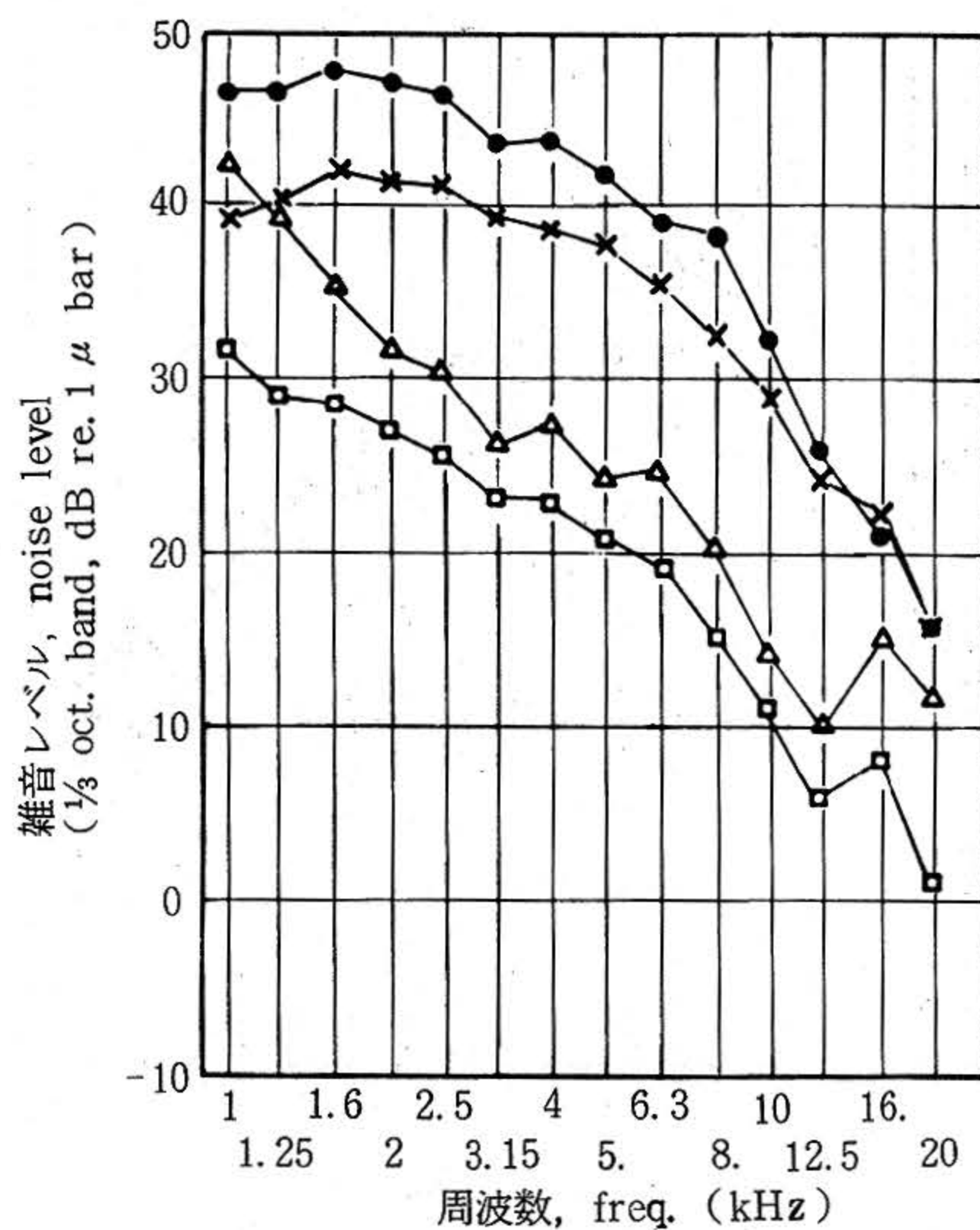
(4) 船尾, 推進機横  
Stern, propeller side

ハイドロフォンの深さ, hydrophone depth;

×—× 5 m,      ○—○ 10 m  
 △—△ 25 m,    ▲—▲ 45 m

図6 “さむらい”における各部の雑音レベル

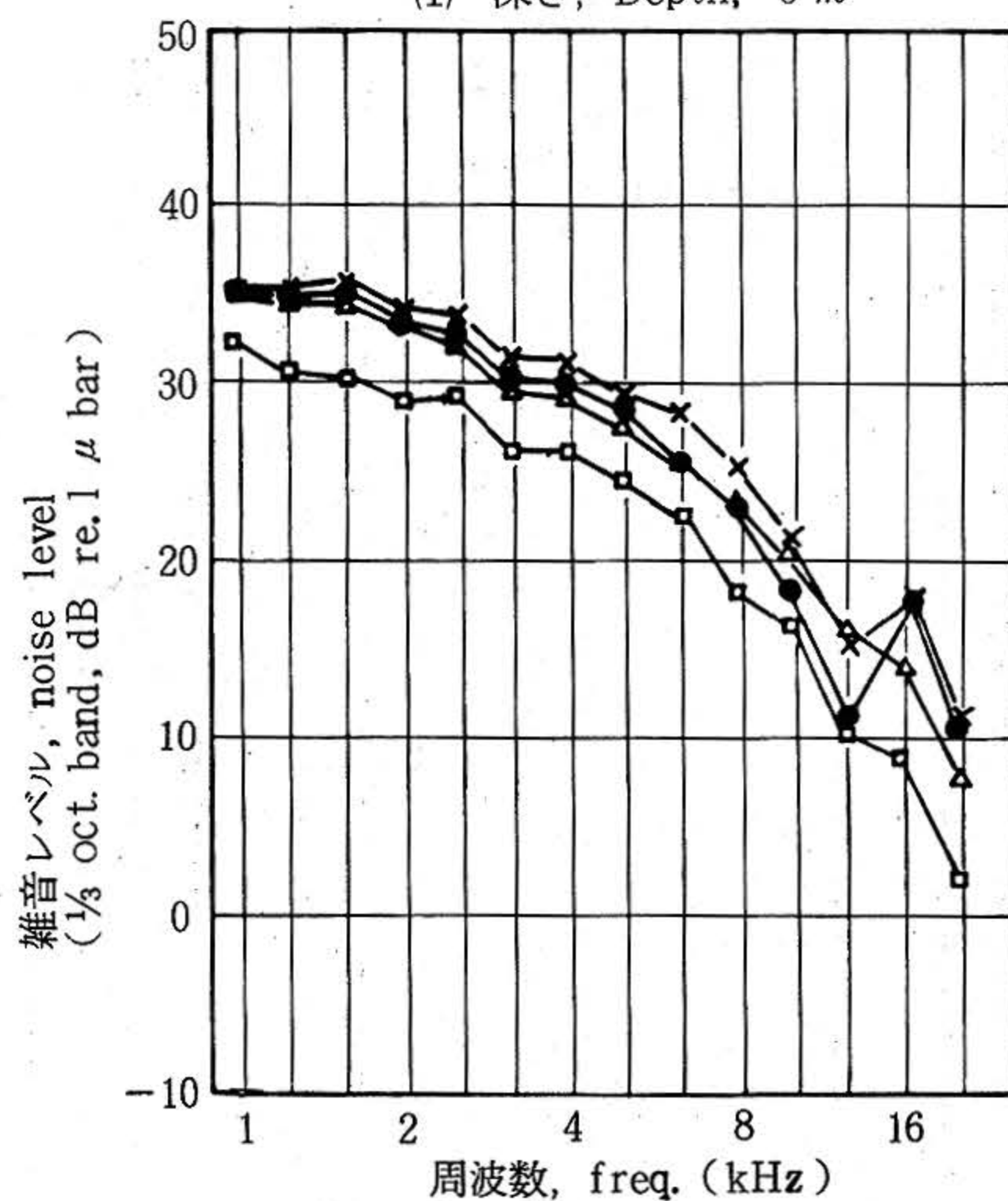
Acoustic radiation noise level of various parts of “SAMURAI”



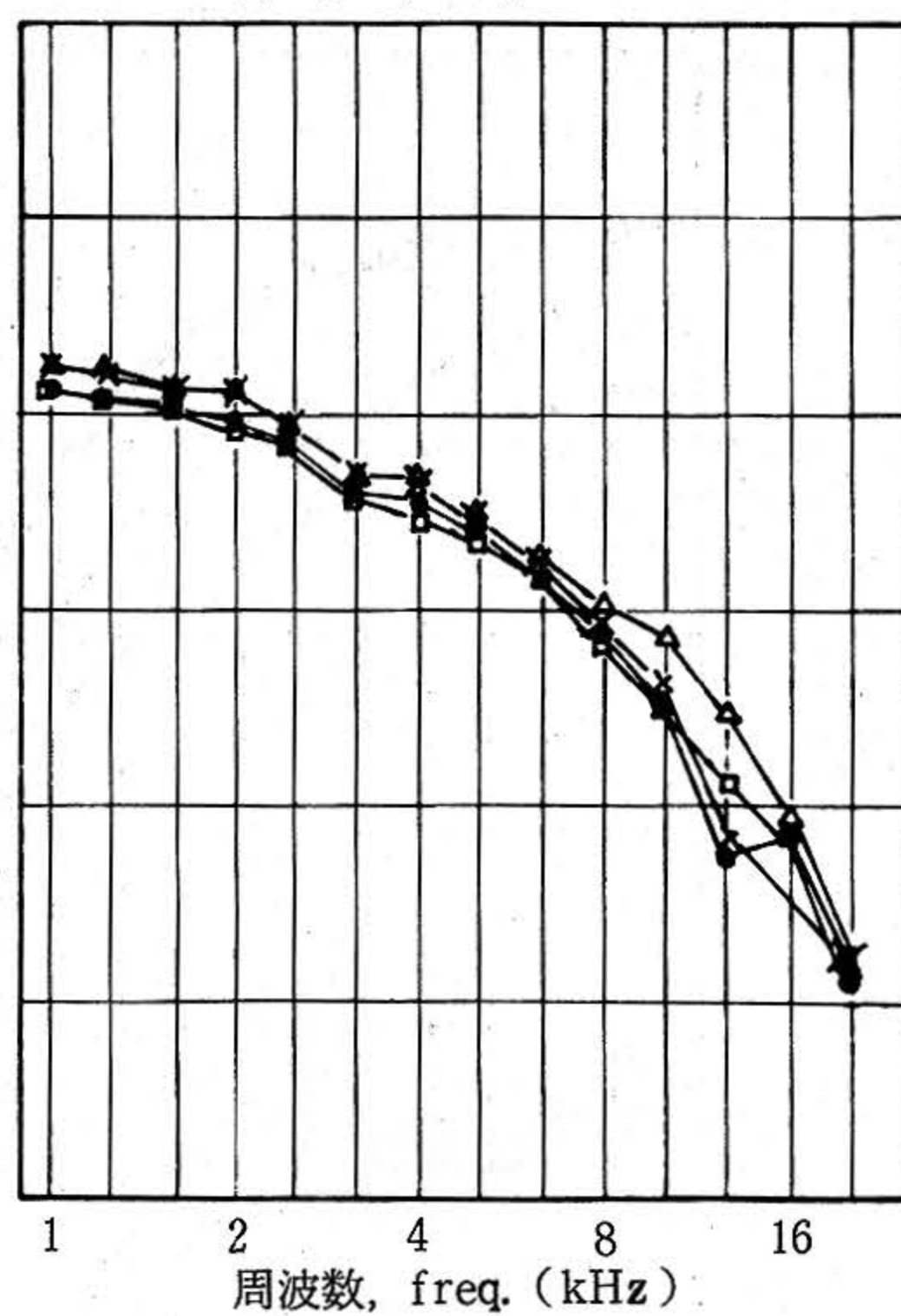
(1) 深さ, Depth, 5 m



(2) 深さ, Depth, 10 m



(3) 深さ, Depth, 25 m



(4) 深さ, Depth, 45 m

- |   |                |                                 |
|---|----------------|---------------------------------|
| □ | 船 首,           | bow                             |
| △ | 中央部(エンジンルーム横), | central part (engine room side) |
| × | 作業甲板横          | work deck side                  |
| ○ | 船 尾,           | stern                           |

図7 “さむらい”における各水深の雑音レベル

Acoustic radiation noise level of various depth at “SAMURAI”

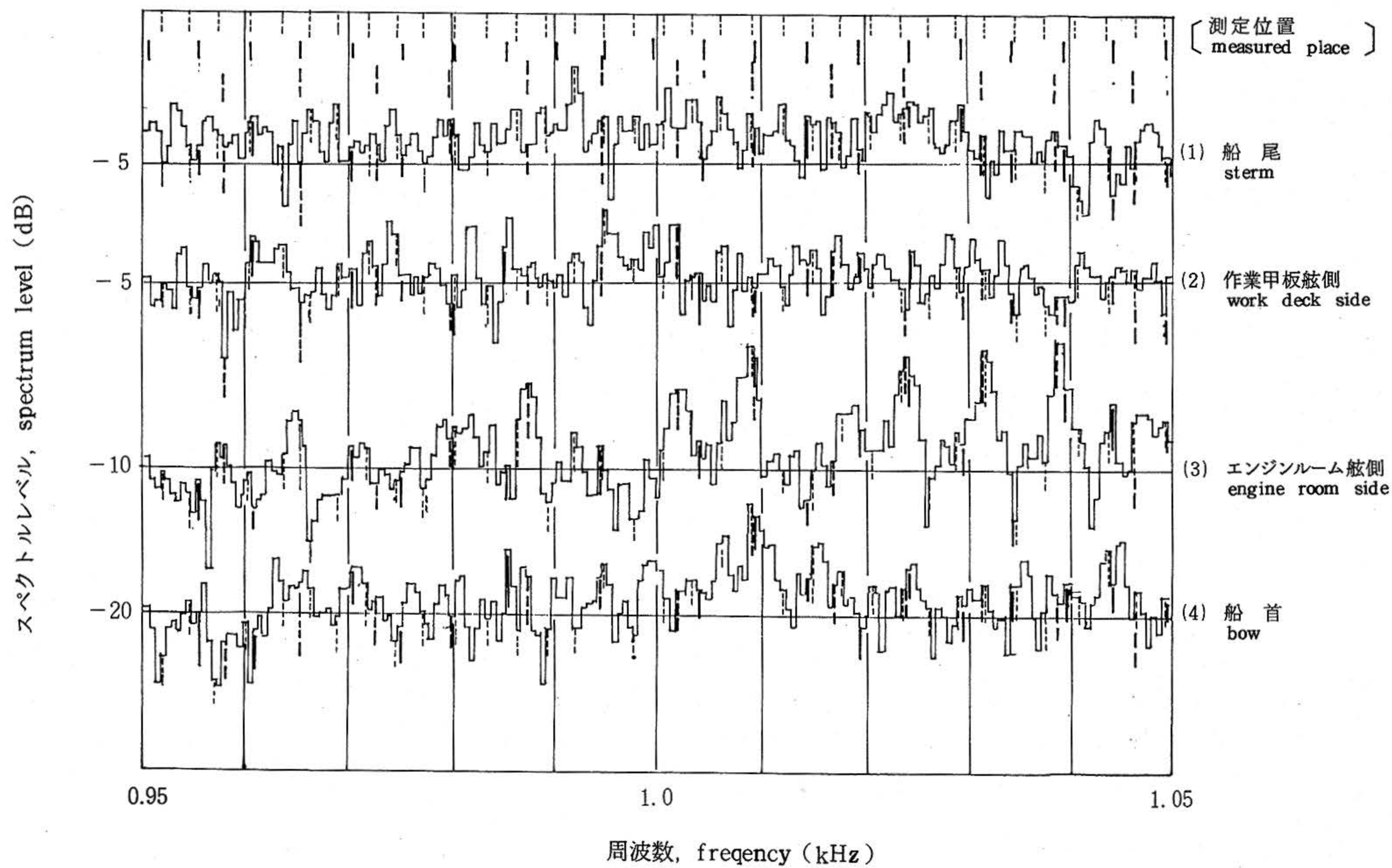


図8 “さむらい” の水中放射雑音の 0.25 Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その1)

Analyzed results of the self noise of “SAMURAI” by 0.25Hz filter (FFT) (part 1)

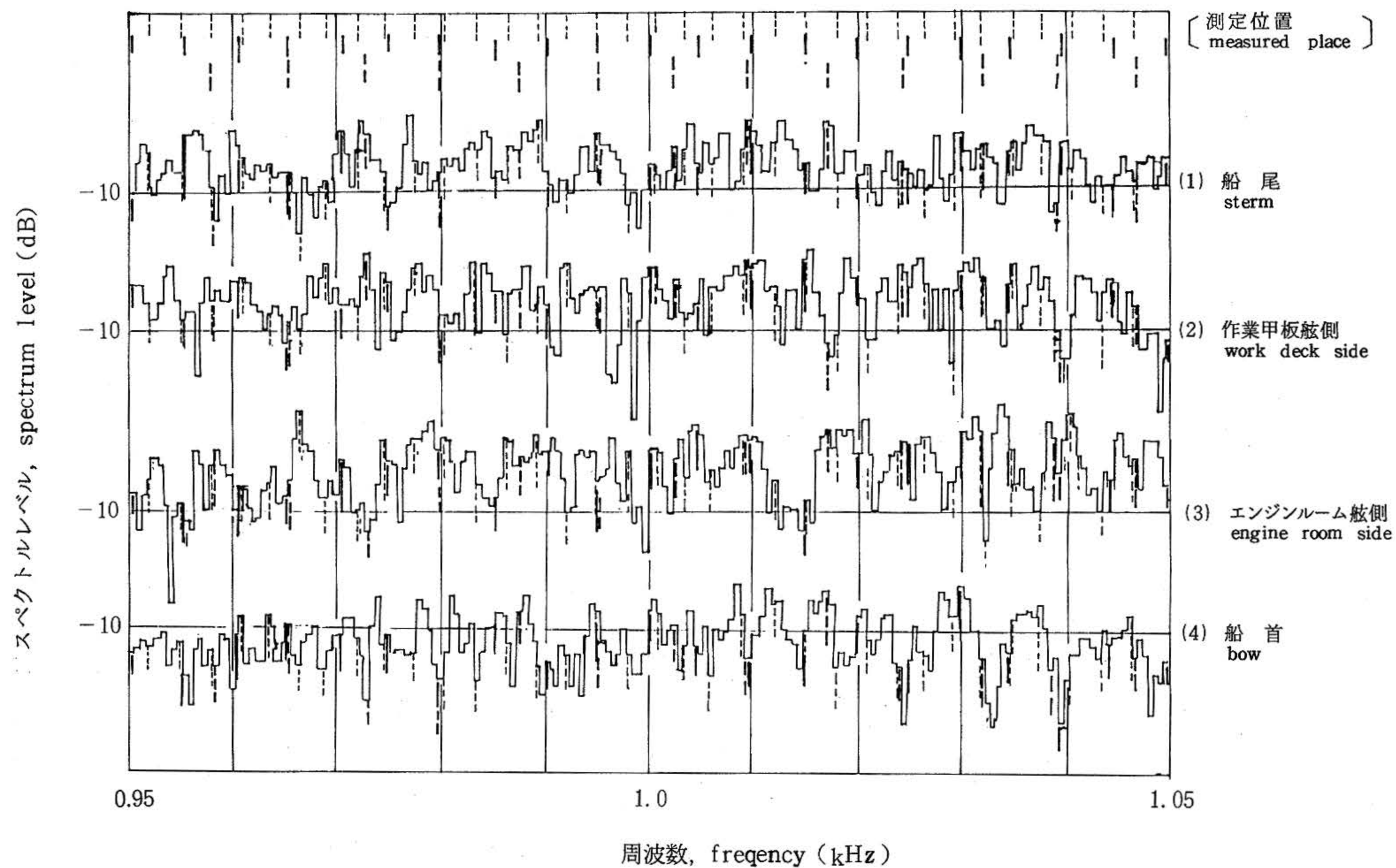


図9 “さむらい” の水中放射雑音の 0.25 Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その 2)

Analyzed results of the self noise of “SAMURAI” by 0.25 Hz filter (FFT) (part 2)

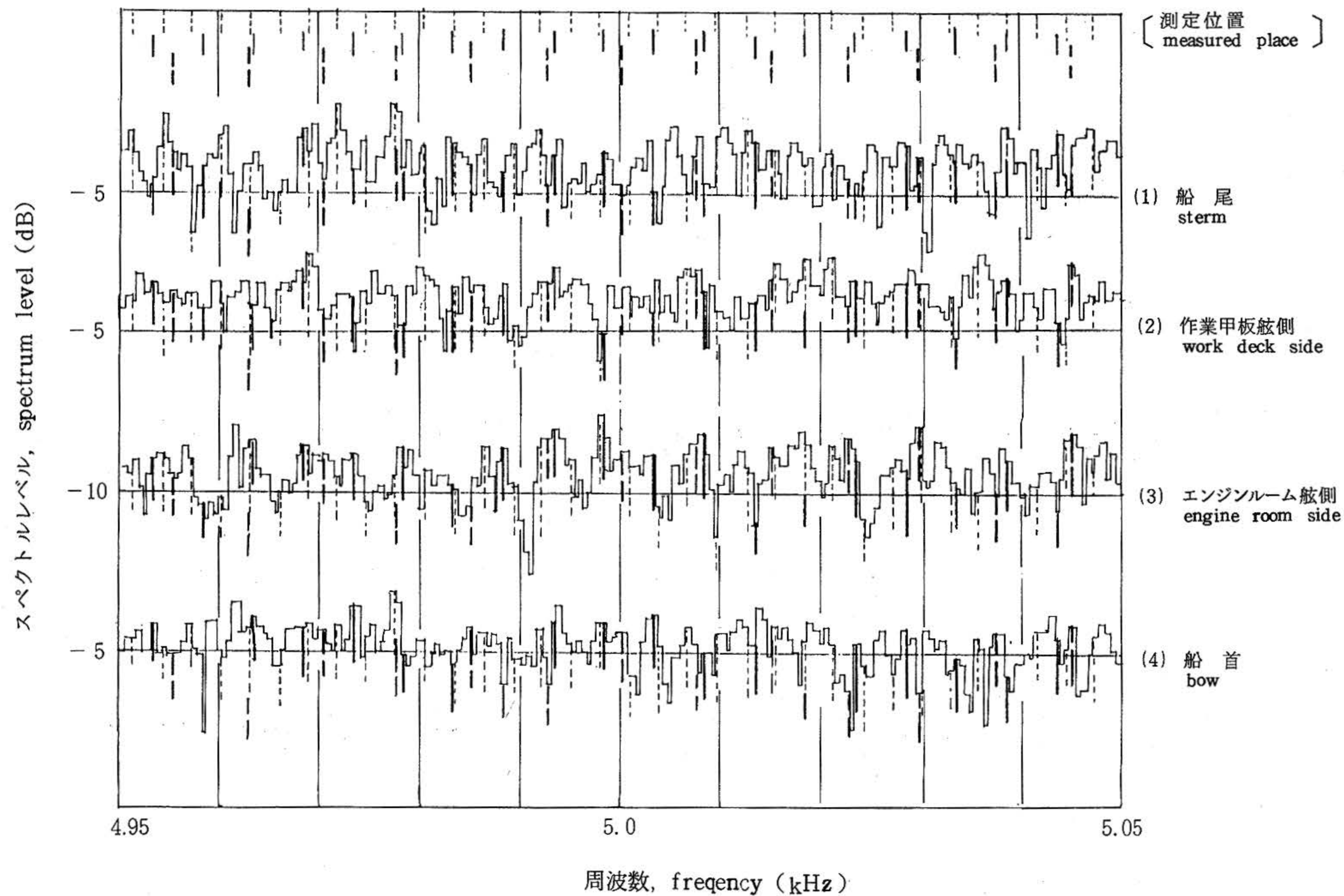


図10 “さむらい” の水中放射雑音の 0.25 Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その 3)

Analyzed results of the self noise of “SAMURAI” by 0.25 Hz filter (FFT) (part 3)

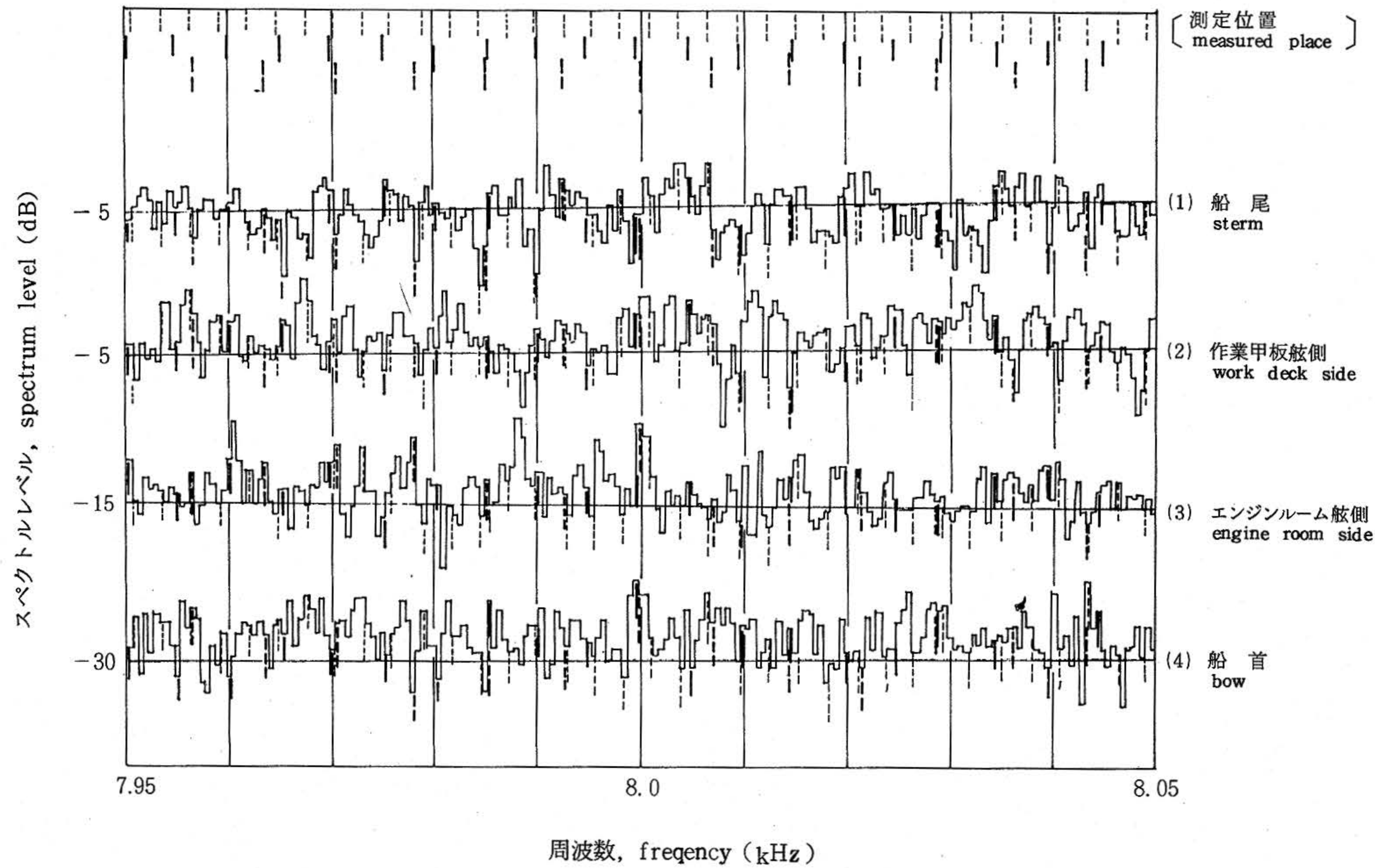


図11 “さむらい” の水中放射雑音の 0.25Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その4)

Analyzed results of the self noise of “SAMURAI” by 0.25Hz filter (FFT) (part 4)

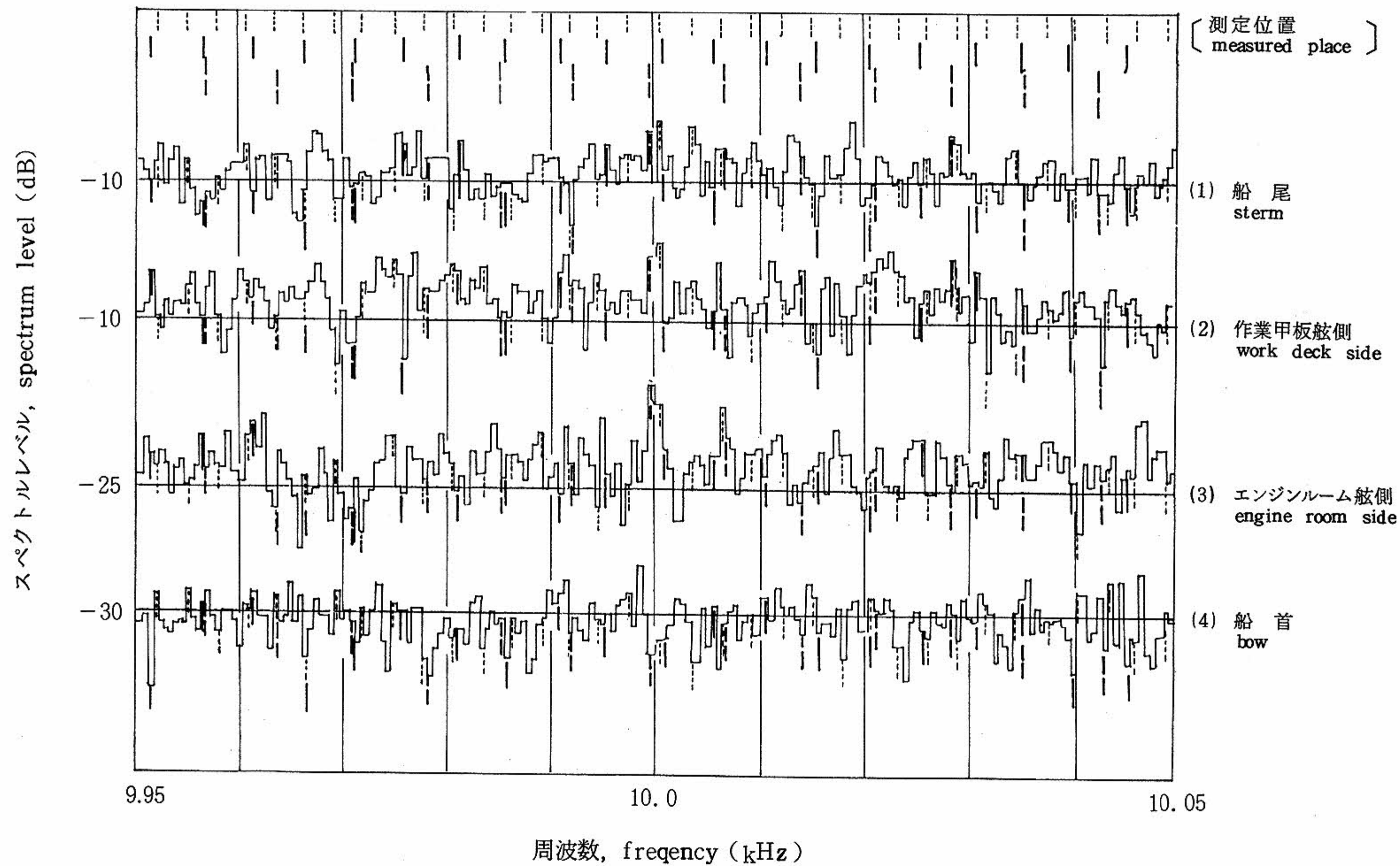


図12 “さむらい” の水中放射雑音の 0.25 Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その 5)

Analyzed results of the self noise of “SAMURAI” by 0.25 Hz filter (FFT) (part 5)

図8では後部の推進機横の雑音成分は推進機に起因するスペクトルが明瞭に検出されており、中部のエンジンルーム舷側の雑音スペクトルは、エンジンに起因するスペクトルと、この他に7.4Hz間隔の雑音スペクトルが認められる。この雑音は中部の雑音分析結果に明瞭に表示されるので、音源はエンジンルームにあるものと推定される。中部と後部で雑音のレベル差では後部の方が約5dB大きい。船首部の雑音は後部と中部からの雑音が入り混んでいるのがわかる。

図9では中部エンジンルーム舷側での測定結果にも推進機による雑音が混入しているのが認められる。図10では同様に、推進機による雑音が混入している。図11および図12ではスペクトルが不明瞭になり、雑音が白色雑音化しているように思われる。

これらの雑音スペクトルの分布を配慮して、深さ方向の雑音分布を等音線図で表わしたのが図13である。

本船の水中放射雑音は、1kHz以上では推進機音が支配的で、船首下方にむけて放射している形で現われている。したがって音響センサの吊下位置は船首部の浅い水深で吊下した方がSN比のよいデータが得られる。

## 5.2. “第5海工丸”の雑音分析結果

“第5海工丸”で採取した同船の水中放射雑音の $\frac{1}{3}$  oct. バンドパスフィルタによる分析結果を図14および図15に示す。

図14は図6と同様に測定位置ごと深さによる雑音特性の差異を比較した。“第5海工丸”は図1に示すように、エンジンルームは作業甲板中央部にある。測定は、船尾、作業甲板中央部のエンジンルーム舷側、作業甲板前部舷側および船首部で測定を行った。

図15は図7と同様に、図14の結果を並べ換え、同一深度における測定位置による雑音特性の差異を比較した。

図14及び図15を図6及び図7と比較すると、類似するところが多い。船首部の10m以上の深さにおいて雑音レベルがかわらないこと、船首部で水深が浅く船体に近いほどレベルが小さいこと、また船体各部で船首部の雑音レベルが最も小さいこと、船首部と船尾においてレベル差が20 dB 以上

あること、周波数特性などである。

次に図13と同様に、“第5海工丸”の深さ方向に対する音線図を作成し、図20に示した。

雑音源の調査のため、1, 5, 8および10kHzを中心に $\pm 50$ Hzの間を0.25Hz フィルタによって分析を行った。その結果を図16～図19に示す。

本船の場合、分析した全帯域において、推進機、またはエンジンの発生雑音から明瞭なラインスペクトルを検出することはできなかった。

しかし、等音線図の作成において、各周波数帯における雑音レベル配慮した。8kHzおよび10kHzの等音線図が複雑な形となったが、その原因を明らかにすることはできなかった。また、船首部における雑音レベルは、他の部分に比べて小さく、特に水深の浅いところのレベルが小さくなる。

## 6. 音響送受波器の吊下位置の決定

“さむらい”、“第5海工丸”において、曳航式の音響送受波器の吊下位置および最適深さを知るために行った調査である。これらの分析結果から雑音分布の一般性を見出すことを最終目的として整理している。

現在、2隻分の資料であるが、船上で送受波器を利用する機会は多いので、この2例について述べた。

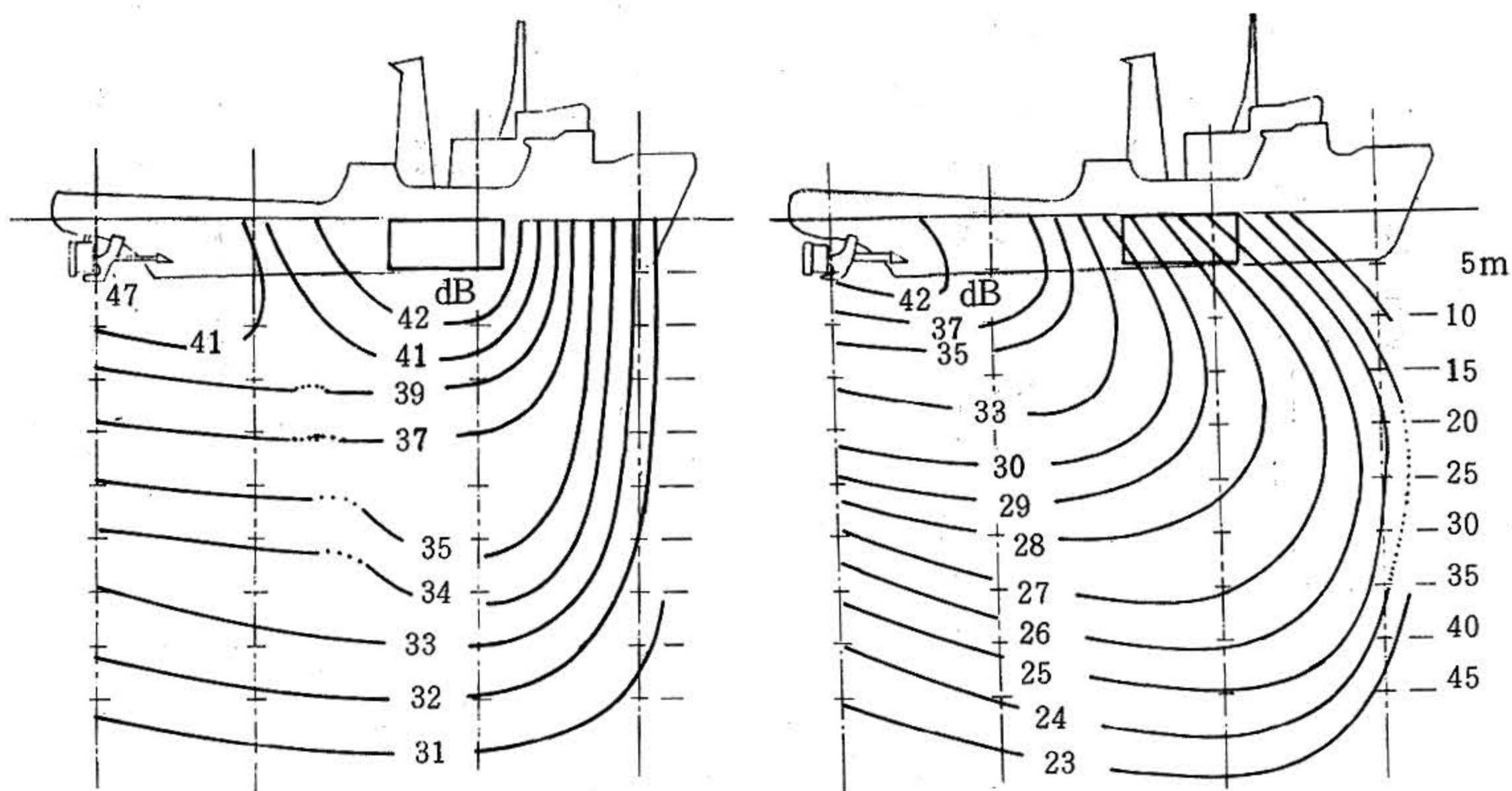
図13および図19から、次のことがわかる。

(1) 船首部は雑音レベルが小さく、特に水深が浅く、船体から近いところではレベルが小さい。

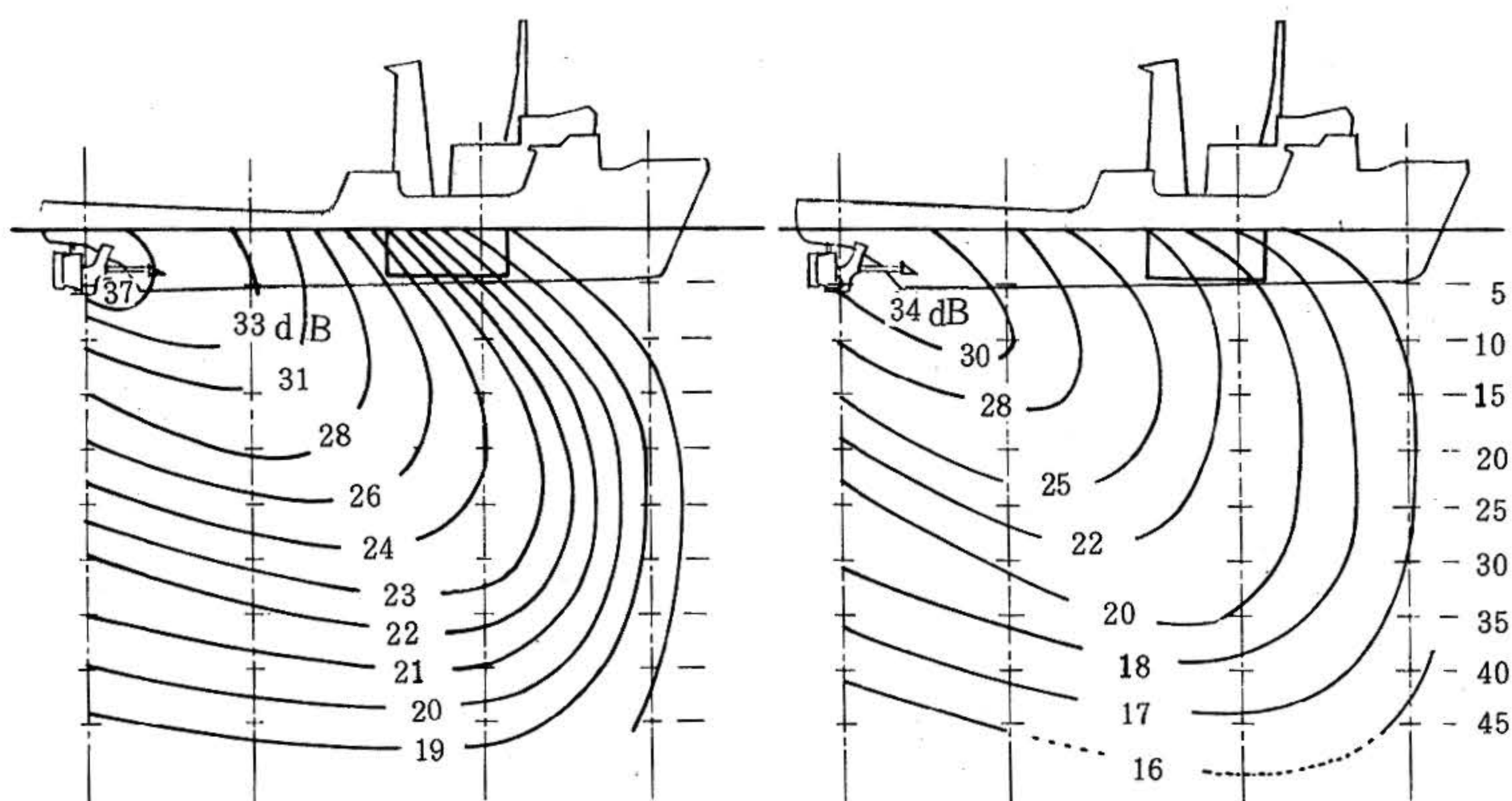
したがって送受波器の吊下は、船首の水深の浅いところで行うべきである。

(2) 1kHz, 5kHz, 8kHzおよび10kHzを中心とする $\pm 50$ Hz周波数帯の雑音を狭帯域フィルタを用いて分析したが、顕著なラインスペクトルは検出しえなかった。しかし、全般に推進機による雑音が支配的であった。

(3) 両図によれば、推進機音には指向性が認められるが、等音線図の作成を含め、さらに調査を行う予定である。



(1) 1 kHz Band ( $\frac{1}{3}$  oct.) Level Contour    (2) 5 kHz Band ( $\frac{1}{3}$  oct.) Level Contour



(3) 8 kHz Band ( $\frac{1}{3}$  oct.) Level Contour    (4) 10 kHz Band ( $\frac{1}{3}$  oct.) Level Contour

図13 “さむらい” の水中放射雑音の深さ方向に対する等音線図  
Level contour for the self noise of “SAMURAI”

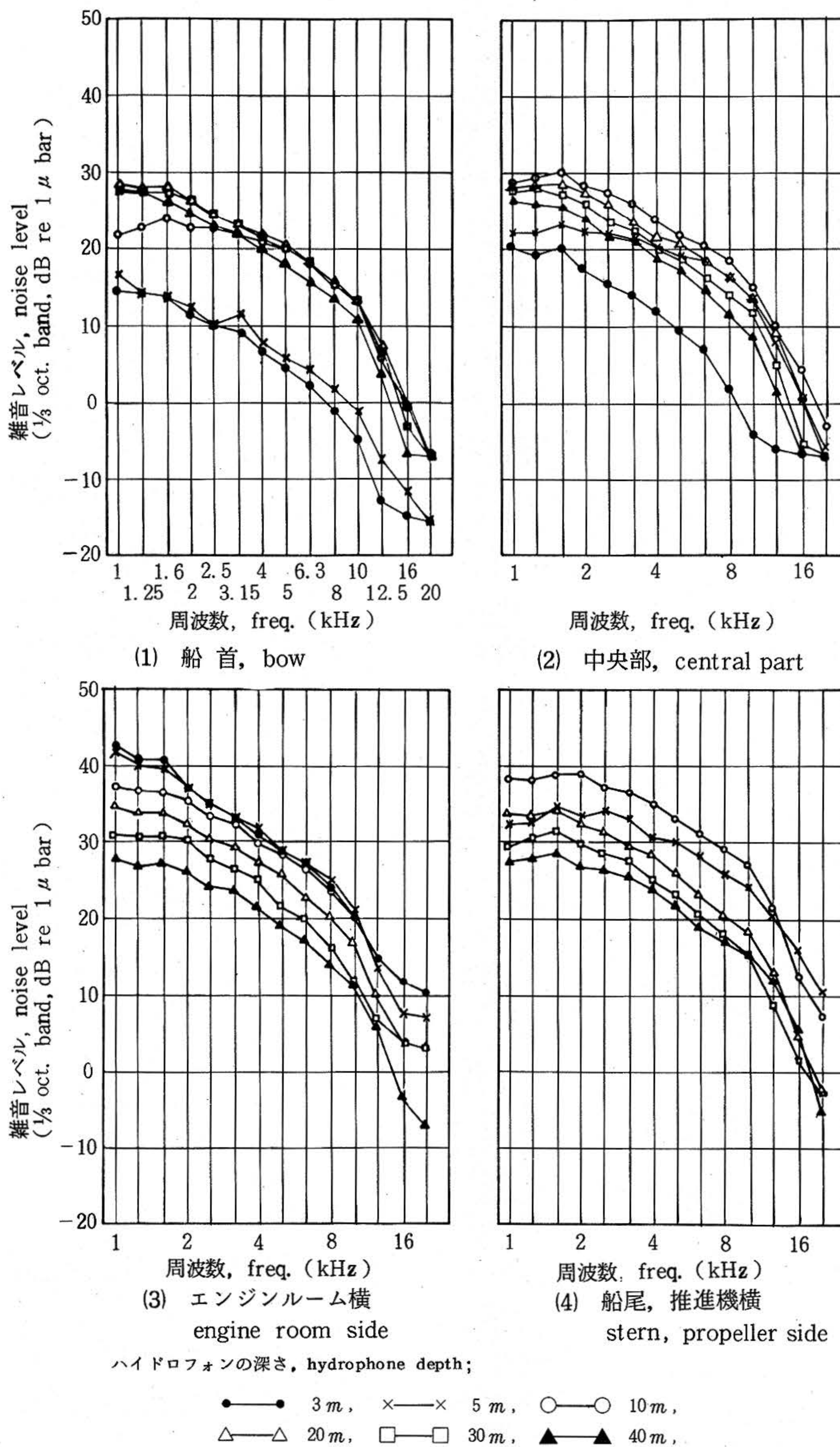


図14 “第5海工丸における各部の雑音レベル

Acoustic radiation noise level of various part of “No. 5 KAIKOMARU”

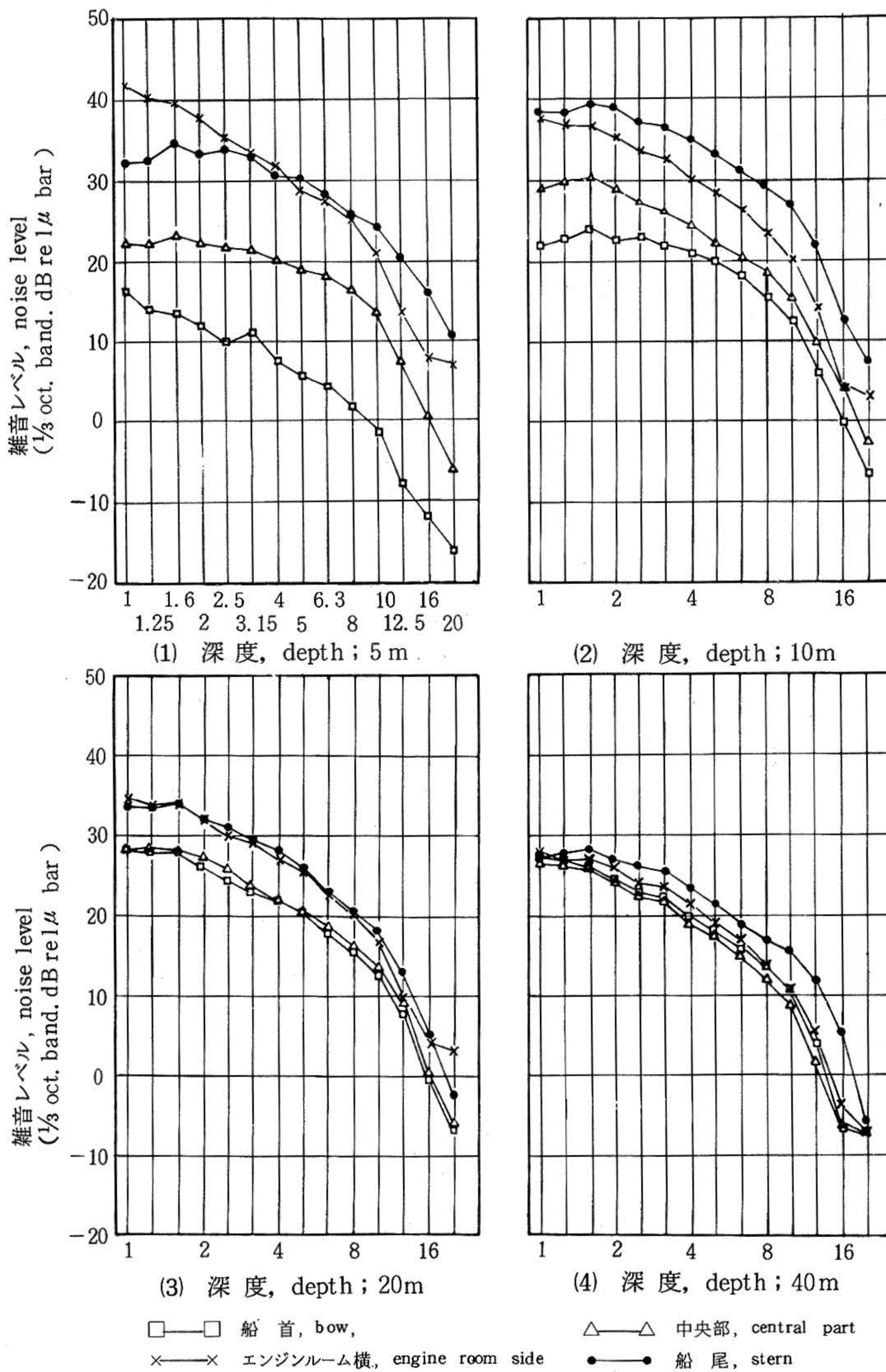


図 15 “第 5 海工丸” における各水深の雑音レベル

Acoustic radiation noise level of various depth at  
“No. 5 KAIKOMARU”

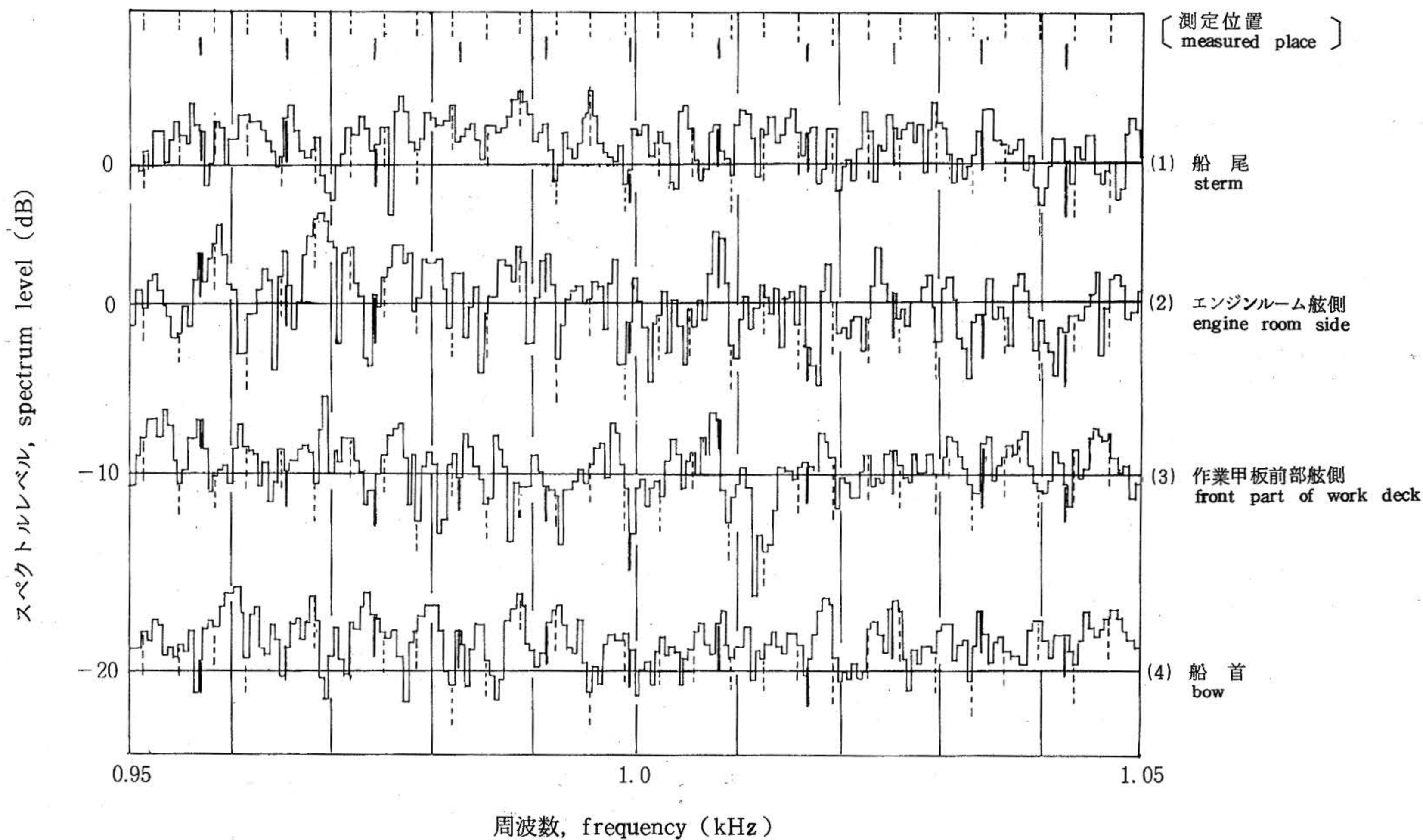


図16 “第5海工丸” の水中放射雑音の 0.25 Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その1)

Analyzed results of the self noise of “No. 5 KAIKOMARU” by 0.25 Hz filter (FFT) (part 1)

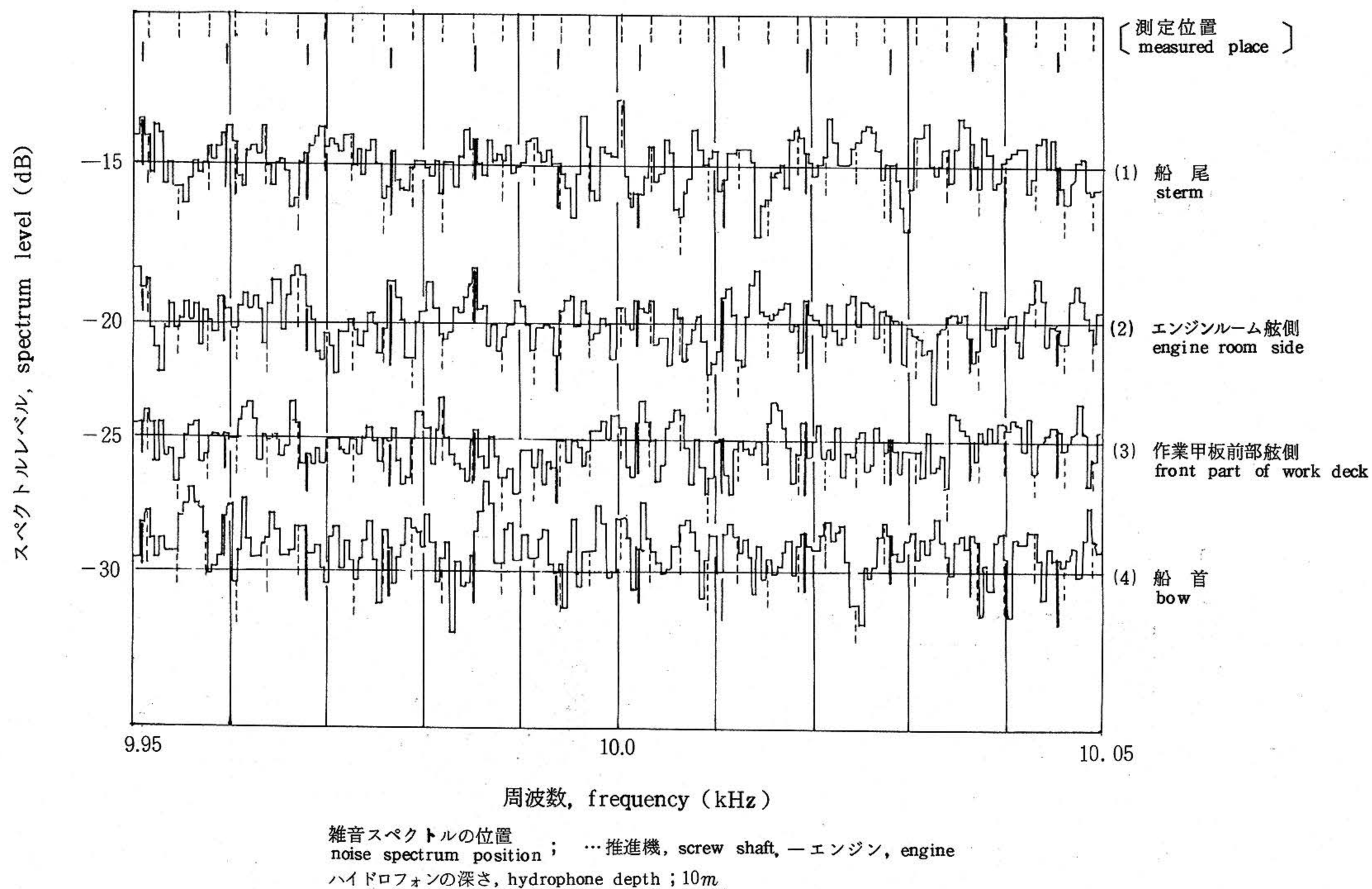
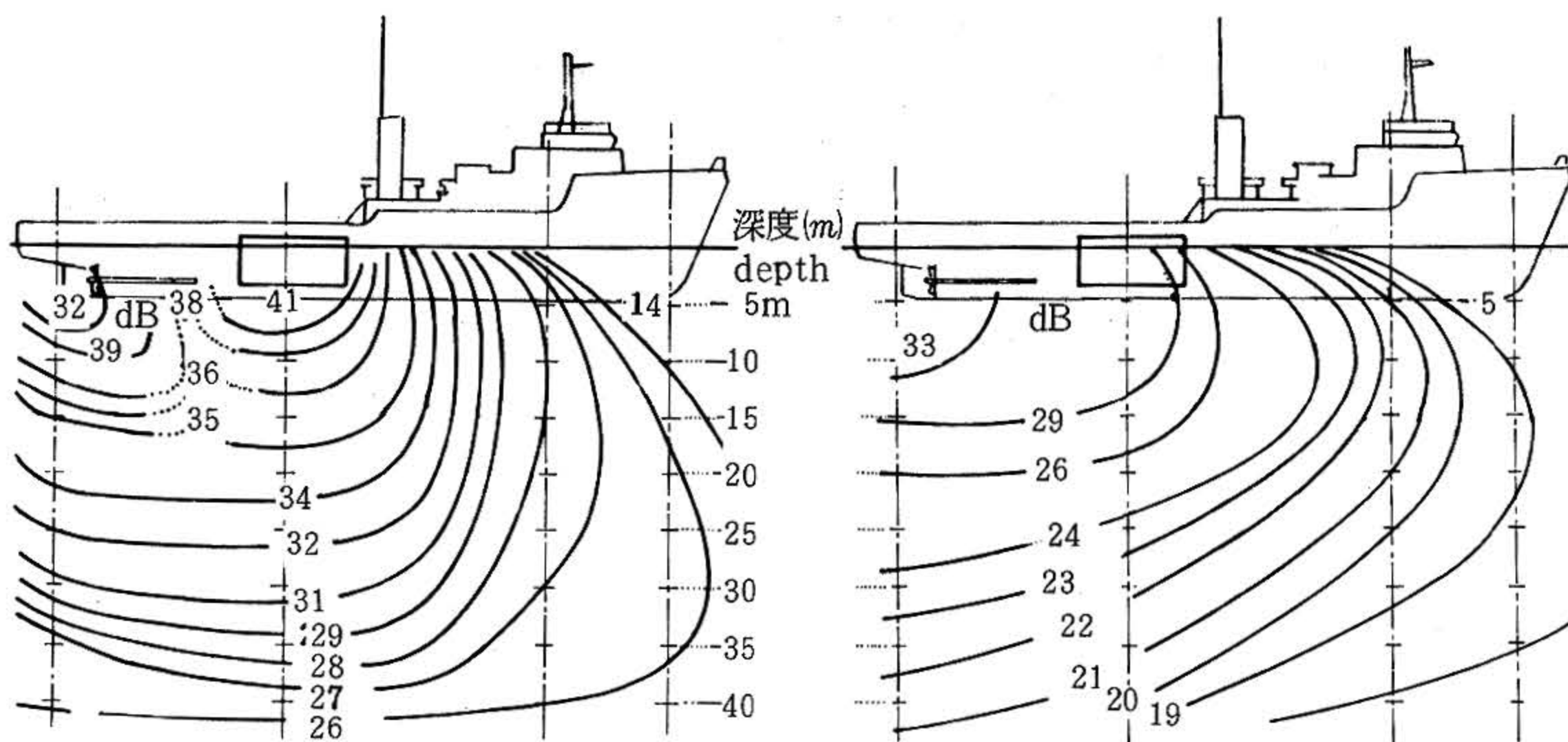
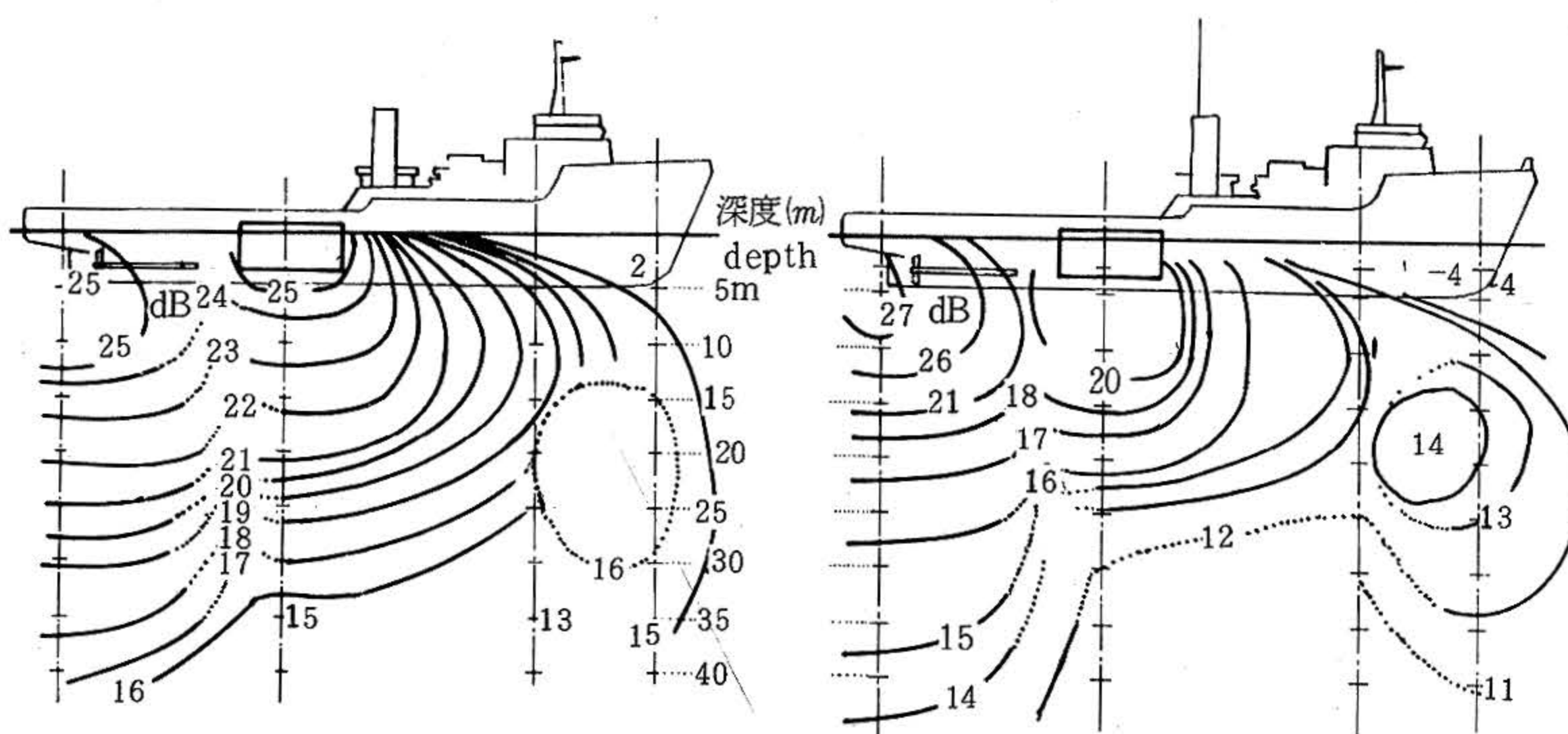


図19 “第5海工丸” の水中放射雑音の 0.25Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その4)

Analized results of the self noise of “No. 5 KAIKOMARU” by 0.25Hz filter (FFT) (part 4)



(1) 1 kHz Band ( $\frac{1}{3}$  oct. ) Level Contour      (2) 5 kHz Band ( $\frac{1}{3}$  oct. ) Level Contour



(3) 8 kHz Band ( $\frac{1}{3}$  oct. ) Level Contour      (4) 10kHz Band ( $\frac{1}{3}$  oct. ) Level Contour

図20 “第5海工丸”における等音線図

Level Contour for the self noise of “No. 5 KAIKO MARU”

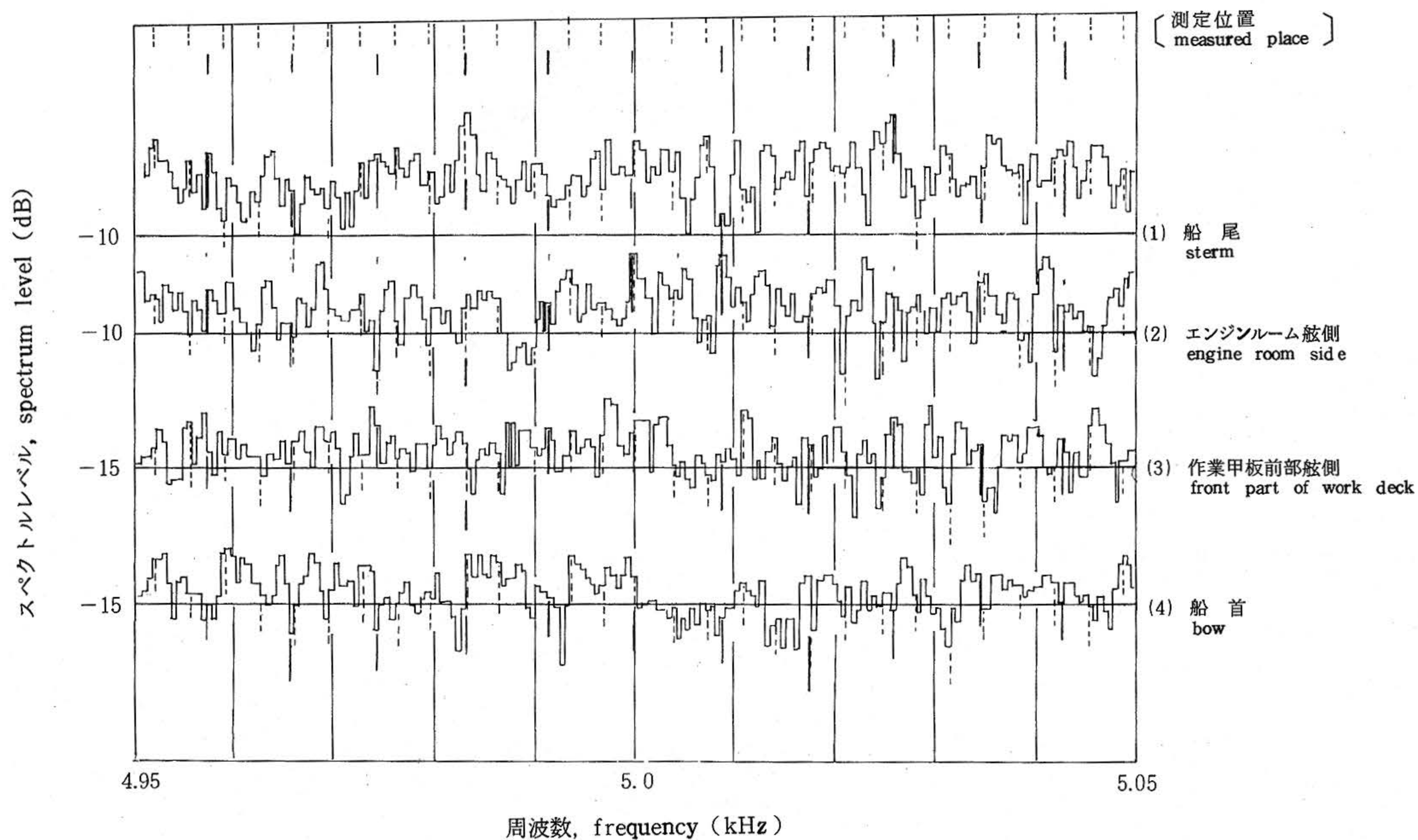


図17 “第5海工丸” の水中放射雑音の0.25Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その2)

Analyzed results of the self noise of “No. 5 KAIKOMARU” by 0.25 Hz filter (FFT) (part 2)

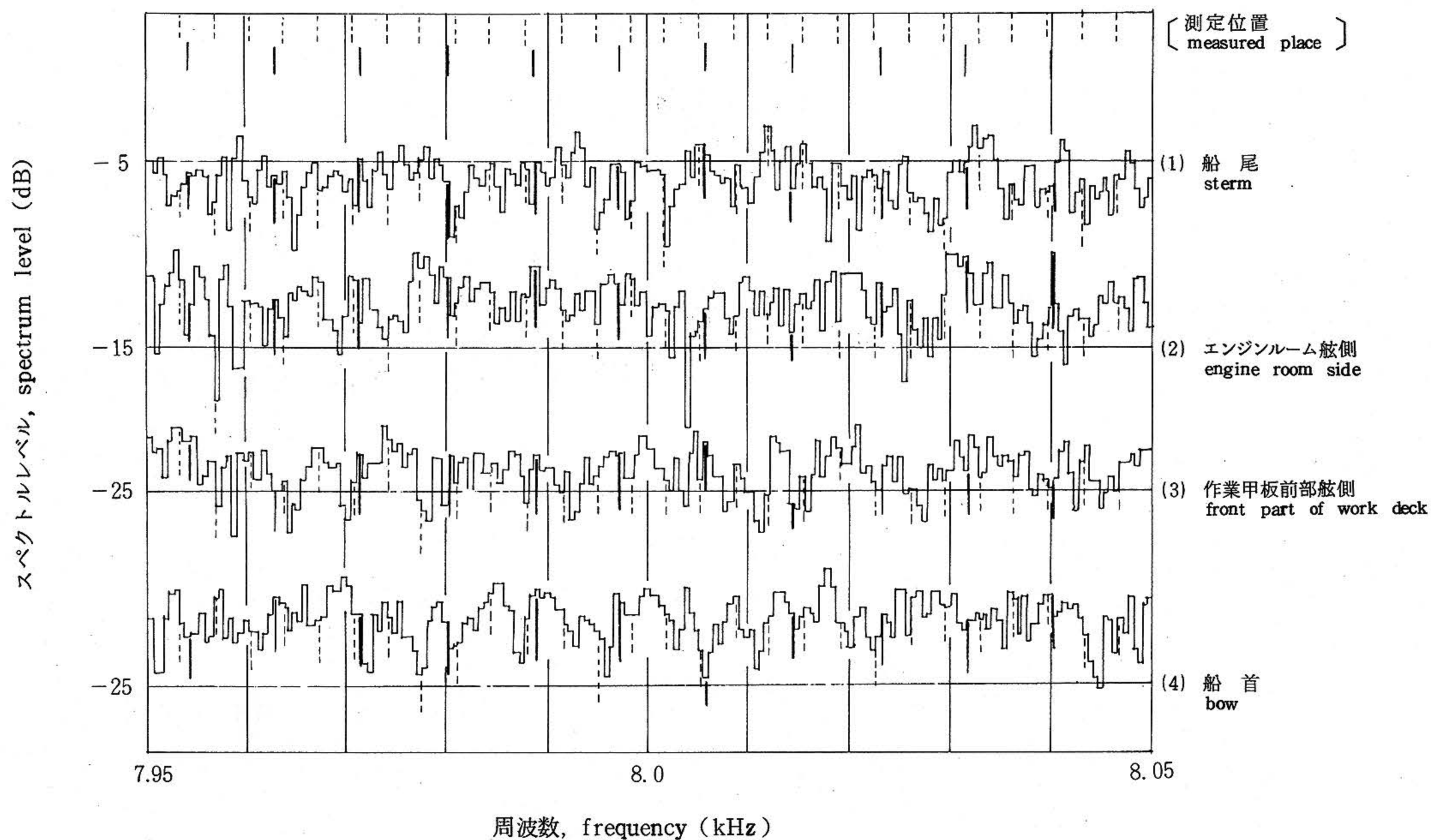


図18 “第5海工丸” の水中放射雑音の0.25Hz フィルタ (FFT) による分析結果 (その3)

Analyzed results of the self noise of “No. 5 KAIKOMARU” by 0.25Hz filter (FFT) (part 3)

## 7. あとがき

“さむらい”を庸船し、水深6,000mの海域でトランスポンダ航法を実施した際に、はじめ、フィッシュを作業甲板舷側から吊下し、トランスポンダからの応答信号を受信しようとしたが、SN比が悪く、受信できなかった。そこで、雑音レベルの調査を行い、船首の水深5mのところで吊下曳航することによって、トランスポンダ航法が実施できた。このとき、吊下位置の変更で、SN比を約10dB改善することができた(図7参照)。

図13の等音線図によれば、フィッシュの曳航索長を長くすれば、船首で曳航してもフィッシュが後方にながれ、雑音の大きい場所で受信する可能性がある。

測定前では、船体に近づける方が雑音が小さいということは考えられなかった。このあと、“第5海工丸”でも同様な結果が得られた。

海中作業で音響機器を使用する際、船体の水中放射雑音特性を把握しておくことは、作業の成否

に関係することであるので、単に2例であるが報告した。

一連の調査において、測定や測定データの分析にご助力をいただいた東海大学海洋学部研究生岩崎弥および深海研究運航室柴田桂の両氏に謝意を表します。

## 文 献

- 1) 中西俊之, ほか, “音響トランスポンダ航法装置について”(1980) 分冊1, p. 231~232 電子通信学会総合全国大会論文集
- 2) 中西俊之, 門馬大和, 大塚清, ほか, 1979, “トランスポンダ航法装置の音響的性能試験および海洋実験”, JAMSTECTR(3) 39~49
- 3) ユーリック(R. J. URICK)著 “水中音響の原理” 西村 実, 土屋 明訳(1953), 共立出版
- 4) 西山静雄, ほか “音響振動工学”, 昭和54年(1979), コロナ社