

6500m潜水調査船支援母船「よこすか」 のプロペラ雑音低減対策について

佐野 正^{*1} 中西 俊之^{*1} 高川 真一^{*1}
野並 健二^{*1} 山本 三夫^{*2} 野沢 和男^{*2}
高須 順三^{*2}

プロペラ雑音は船舶の水中放射雑音の主要因の1つであり、これを低減することが“よこすか”建造に際して非常に重要な課題となる。

著者らは“よこすか”のプロペラ雑音低減対策を検討するにあたり、同種船である“なつしま”で系統的なプロペラ雑音計測を実施し、雑音低減のための有効な手段を明らかにしてきた。(センター試験研究報告第19号)

“よこすか”ではこの成果をふまえ以下に示す種々の対策を実施し、本船の雑音低減目標レベルをほぼ満足する見通しを得た。

- ① プロペラ雑音低減のためのプロペラ等の設計
- ② プロペラ雑音特性を確認するためのキャビテーション試験
- ③ プロペラ雑音特性上最適な推進制御システム(回転数と翼角の組合わせ制御)の採用

本論文では、本船のこれらプロペラ雑音低減対策について報告する。

キーワード：水中放射雑音，プロペラ雑音，プロペラキャビテーション

Countermeasures for Propeller Noise Reduction for the New Support Vessel “YOKOSUKA”

Tadashi SANO^{*3} Toshiyuki NAKANISHI^{*3}
Shin-ichi TAKAGAWA^{*3} Kenji NONAMI^{*3}
Mitsuo YAMAMOTO^{*4} Kazuo NOZAWA^{*4}
Junzoh TAKASU^{*4}

Propeller noise is one of the principal underwater radiated noise sources, so it is the very important technical item that propeller noise reduction for the new support vessel “YOKOSUKA” is achieved drastically.

We, in the past, measured systematically propeller noise of “NATSUSHIMA”

*1 深海開発技術部

*2 川崎重工業(株)

*3 Deep Sea Technology Department

*4 Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

, which is similar in CPP to "YOKOSUKA", and as the result of the measurement, the effective countermeasures for propeller noise reduction have been made clear. (JAMSTECTR 19)

On the results of them, the various countermeasures (they are shown as follows) for propeller noise reduction for "YOKOSUKA" have been enforced, and consequently it has been estimated that the propeller noise could satisfy the required noise level.

(1) Design for propeller to restrain and control cavitation, which is the primary factor of its noise.

(2) Propeller cavitation test to comprehend the characteristics of propeller noise.

(3) Application of the most suitable propulsion control system, considering combination of propeller rotation and blade angle to achieve a noise minimum.

Key word: underwater radiated noise, propeller noise, propeller cavitation

1. ま え が き

昭和62年度から建造に着手している6500m潜水調査船支援母船“よこすか”(以下“よこすか”または“本船”)というは、潜水調査船“しんかい6500”(以下“しんかい6500”)という)や将来搭載予定の10,000m級無人探査機(以下“ROV10K”)という)に対する測位、水中通話及び精密測深等、音響機器の有効使用という観点から、同種船である2000m潜水調査船“しんかい2000”の支援母船“なつしま”よりそれぞれの潜航深度が増大する分、更に厳しい低雑音化が要求される。

特に、プロペラ雑音は水中放射雑音の主要因の一つとなり、雑音レベルは後述するように、プロペラ翼角と回転数によって変化し、出力に対して雑音レベルを小さくする最適な翼角と回転数が存在する。“よこすか”の場合、“しんかい6500”の潜航支援、“ROV10K”の曳航/自航、マルチナロービーム音響測深装置による海底地形調査等、様々な運航モードが考えられ、それぞれのモードでプロペラ負荷状態が異なる。従って、“よこすか”に搭載される音響機器が、それぞれの運航モードで十分機能を発揮できるよう低雑音化対策(低雑音プロペラの設計、低雑音オペレーション等)を実施する必要がある。

ところで、著者らは“よこすか”のプロペラ雑音予測及びプロペラ雑音低減化の方法をさぐるため、同種船である“なつしま”を用いて、プロペ

ラ雑音計測を系統的に実施し、下記に示す主な成果を得た。^{1), 2)}

- ① 可変ピッチプロペラ(CPP)船では、プロペラ回転数と翼角の組み合わせの選定によりプロペラ雑音を低減することができる。すなわち、プロペラ雑音は主としてキャビテーションに基づくものであり、この発生を抑制するためには、比較的高馬力の場合(荒天時の潜航支援、無人探査機の曳航等)、翼角小/プロペラ回転数大という組み合わせの方がバックキャビテーションの発生を抑制でき、比較的低馬力の場合(海上平穏時の潜航支援等)、翼角大/プロペラ回転数小という組み合わせの方がフェースキャビテーションの発生を抑制することができる。
 - ② プロペラ雑音は、船体周囲でもほぼ球面拡散による減衰がみられる。
 - ③ 音響機器の受波器に指向性を持たせることにより、プロペラ雑音等受波器の真横からくる雑音入力レベルを低下させることができる。
- これらの成果をふまえ、“よこすか”の低雑音プロペラ設計及び模型プロペラによるキャビテーション試験を実施し、これらにより雑音低減上最適な推進制御システムの検討を行った。本論文ではこれら“よこすか”のプロペラ雑音低減対策について報告する。

2. 低雑音化のためのプロペラ等の設計

“よこすか”におけるプロペラ雑音低減のためのフローチャートを図1に示し、以下に主な対策事項を示す。また、表1に“よこすか”の主要目を示す。

2.1 低雑音プロペラの設計

“よこすか”での低雑音オペレーションは“し

んかい6500”の潜航支援のほか、“ROV10K”の曳航/自航モード、マルチナロービーム音響測深装置による海底地形調査等種々のモードがあり、また各モードについても海上平穏時から所要馬力が増大する荒天時（潜航支援はシーステート4までの海象を想定）までの状況が考えられるため、低雑音オペレーション時の馬力は、中立翼角によ

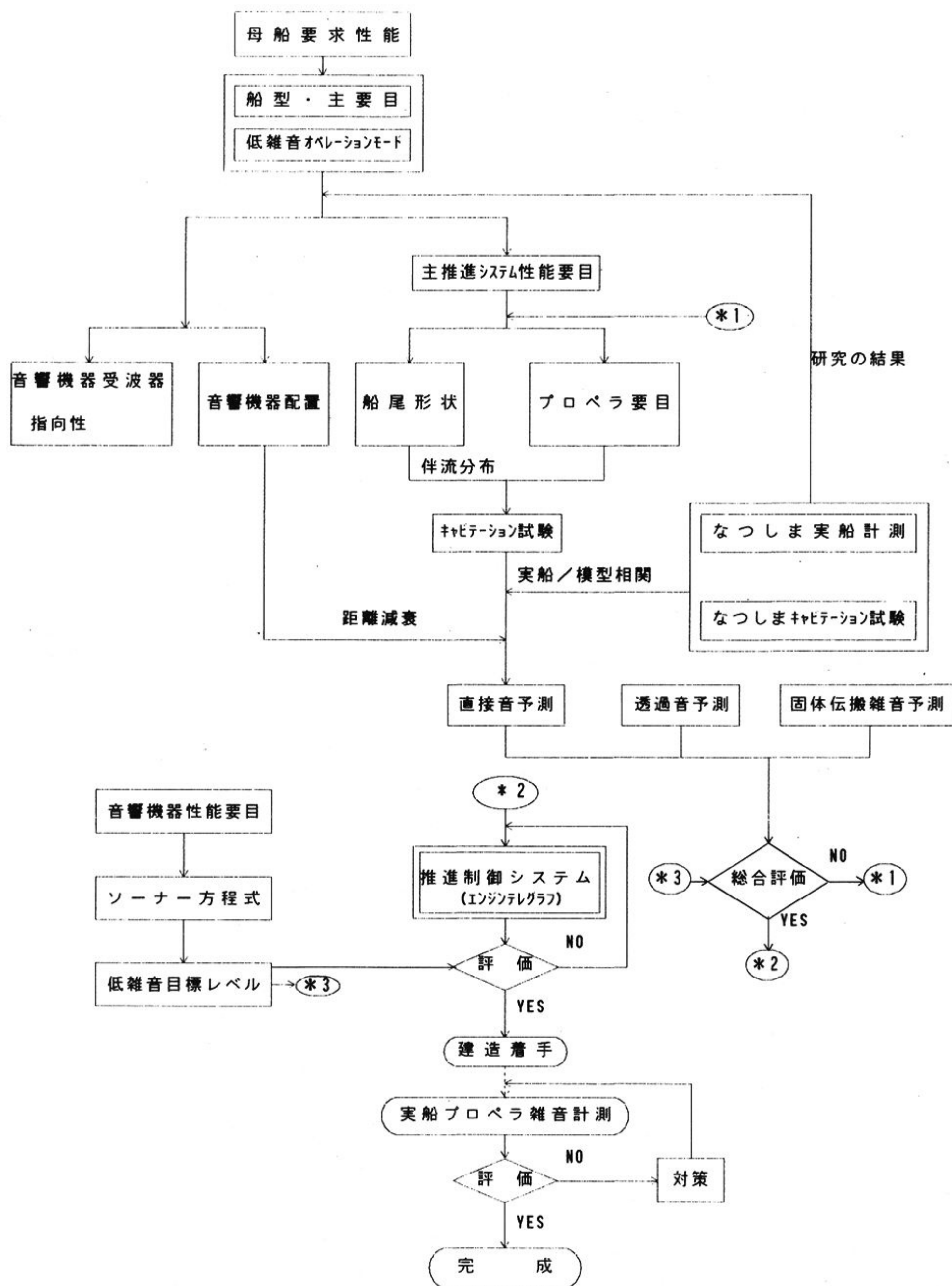


図1 プロペラ雑音低減対策フローチャート

Fig. 1 Flow chart of propeller noise reduction

表1 “よこすか”の主要目
Table 1. Principal particular of
“YOKOSUKA”

船舶 項目	よこすか	なつしま (参考)
垂線間長	95 m	60 m
型 幅	16 m	13 m
型 深	7.3 m	6.3 m
喫 水	4.5 m	3.55 m
総トン数	約4,500トン	約1,500トン
航海速力	16ノット	12ノット
航続距離	約9,000マイル	約10,800マイル
行動日数	40日 (航海10日, 調査30日)	30日 (航海10日, 調査20日)
乗 員 数	乗組員 27名 運航要員 18名 研究員 12名 合 計 57名	乗組員 30名 運航要員 19名 研究員 6名 合 計 55名
主 機 関	ディーゼル 3,000PS×600RPM×2	ディーゼル 850PS×900RPM×2
主発電機	ディーゼル 740kW×3	ディーゼル 400kW×2 200kW×1
プロペラ ハスラスター	可変ピッチ式 3mφ×2 推力 8トン×1	可変ピッチ式2.3mφ×2 推力 4トン×1

る停船状態から1,000馬力前後まで広範囲に考慮しておく必要がある。

上記を前提として、プロペラの形状設計に当たっては、最大馬力、通常航海速力（16ノット）等基本条件をもとに、主として低雑音オペレーション時のキャビテーション発生を抑制するという観点から、“なつしま”に比べて下記の対策／改善を行った。

- ① 翼荷重を低減するために多翼化，大径化，低回転化を計った。
- ② 低雑音オペレーション時のプロペラ推力の範囲が，“なつしま”に比べて広いことから，高馬力時の雑音の原因となるバックキャビテーションの発生を低く抑えるため，高馬力時に極端な increase pitch にならないようなピッチ分布とした。

〔 逆に低馬力時に発生するフェースキャビテーションに対しては翼角を大きくとり，回転数を下げてこれを回避するシステムとすることを前提とする。 〕

- ③ 更に，低雑音オペレーションでは通常航海

時に比べプロペラ荷重度が小さく，キャビテーションの発生が翼端（Tip）に限定されると考えられることから，適度なスキューと Tip unload により特に翼先端の荷重を下げるようその形状を選定した。

上記の考えに基づくプロペラ設計を種々行い，プロペラ揚力面理論に基づくキャビテーション予測計算を行った上で，最適プロペラの詳細要目を決定した。

表2に“よこすか”用プロペラの要目を“なつしま”用と比較して示す。また，本船にプロペラを装備した状況を写真1に示す。

表2 “よこすか”用プロペラの主要目
Table 2. Particular of “YOKOSUKA”
propeller

船舶 項目	よこすか	なつしま (参考)
型 式	C P P	C P P
翼 数	5	4
直 径	3,000	2,300
ボス比	0.333	0.235
展開面積比	0.565	0.439
翼 型	NSMB型	MAU型
ス キ ュ ー	スキュー付(40%)	スキュー無
強度設計点	3,000 ^{PS} ×185 ^{rpm}	850 ^{PS} ×220 ^{rpm}
規 則	NK (ボスのアイスクラス準用)	NK

2.2 その他の対策事項

(1) 船尾伴流分布

プロペラに流入する不均一流場の改善がキャビテーションの抑制に寄与するため，船尾形状及びプロペラ軸を船外で支えるシャフトブラケットの形状を，曳航水槽において模型船による伴流分布計測結果を基に検討を行い，特に，プロペラ Tip の周方向の伴流分布ができるだけ一様になるよう考慮した。

“よこすか”の模型船を用いて曳航水槽で船尾

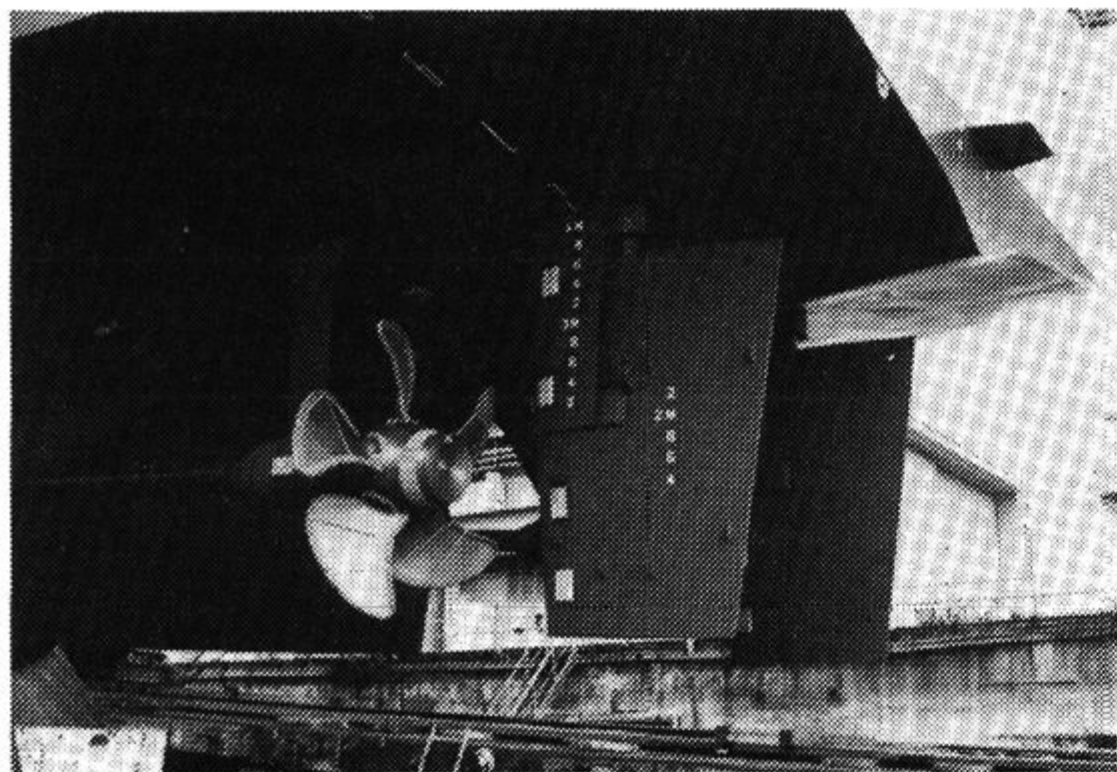


写真1 “よこすか” にプロペラを装備した状況
 Photo 1 Propeller fitted to “YOKOSUKA”

伴流分布を計測した結果を図2に示す。

(2) 音響機器配置

プロペラ雑音の船体周囲における伝搬損失はほぼ球面拡散によることが“なつしま”での実船計測により明らかになった。¹⁾ 従って、音響機器受波器の配置はプロペラからできるだけ遠ざけた方がプロペラ雑音の入力レベルが小さくなる。この観点から本船の場合も、図3に示すように音響機器をできるだけ船首部に配置した。

(3) 音響機器受波器の指向性

プロペラ雑音のように、音響機器受波器に対し真横から伝搬してくる雑音に対しては、受波器の

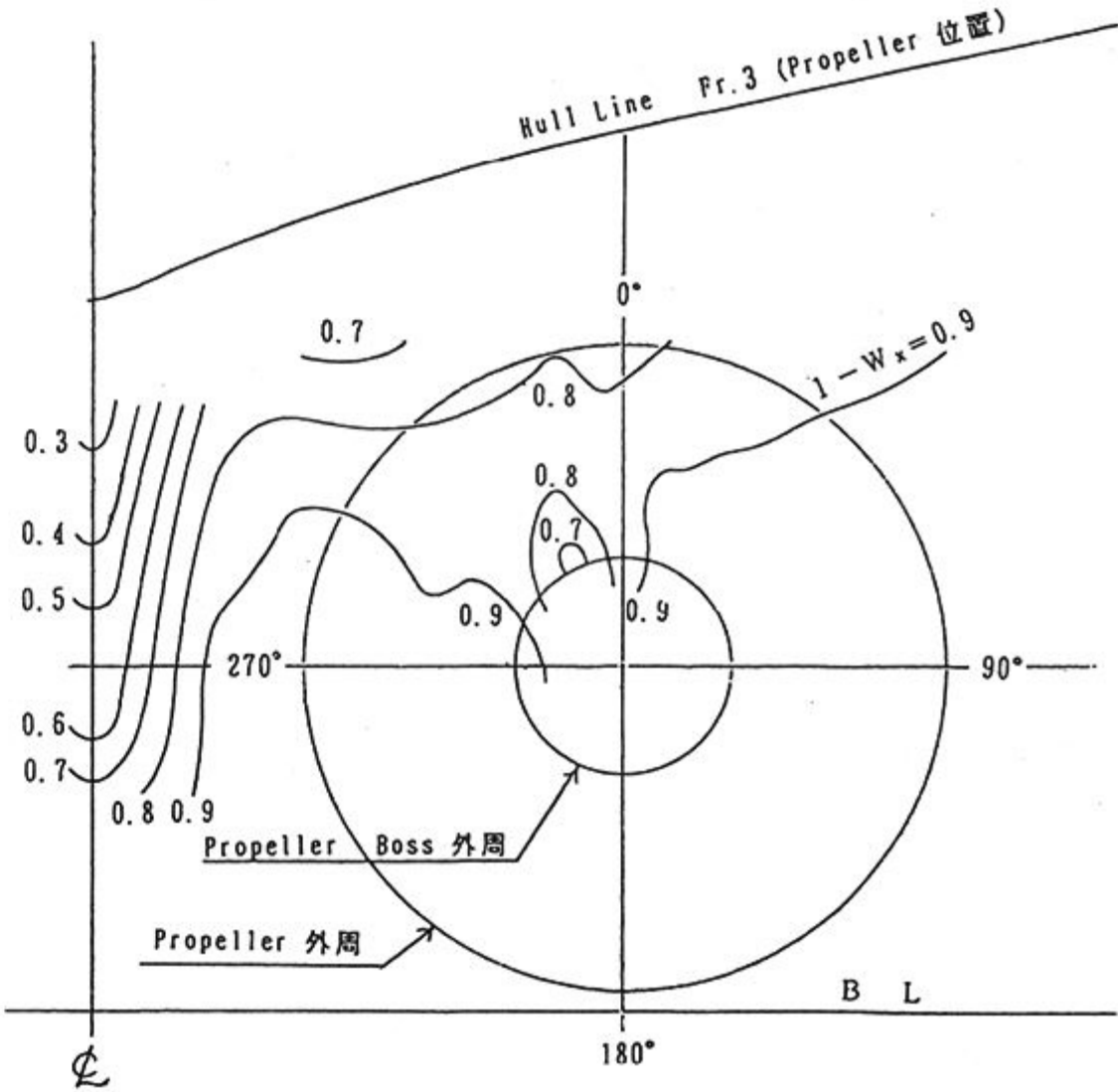


図2 “よこすか” 船尾伴流分布
 Fig. 2 Stern wake distribution of “YOKOSUKA”

指向性が入力雑音レベル低減に寄与する。¹⁾ 本船の場合も、このような観点から、運用上その機能を満たす範囲外では指向性を持たせ、入力雑音レベルの低減化を計った。図4にその一例として、音響航法装置受波器の指向性を示す。

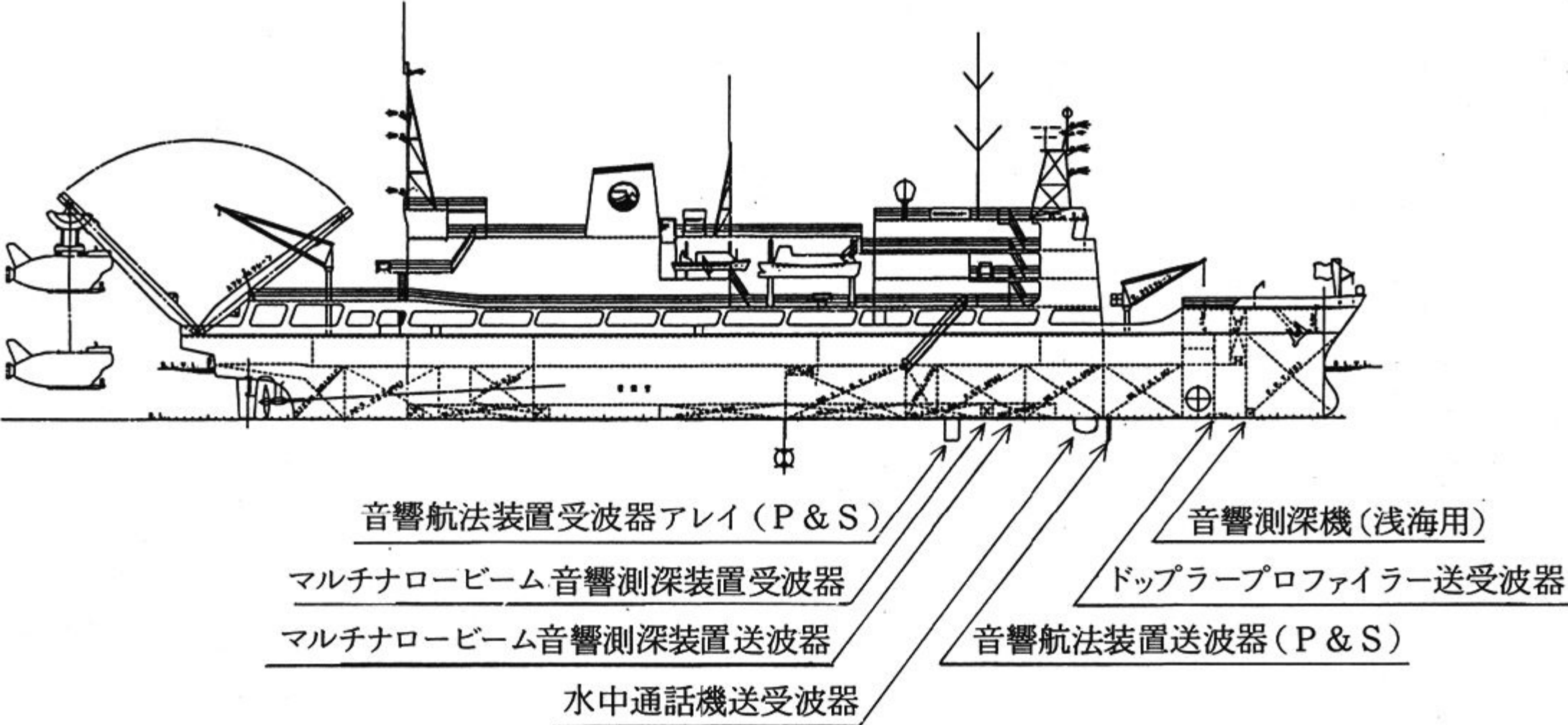


図3 “よこすか” 音響機器配置
 Fig. 3 Arrangement of acoustic equipments

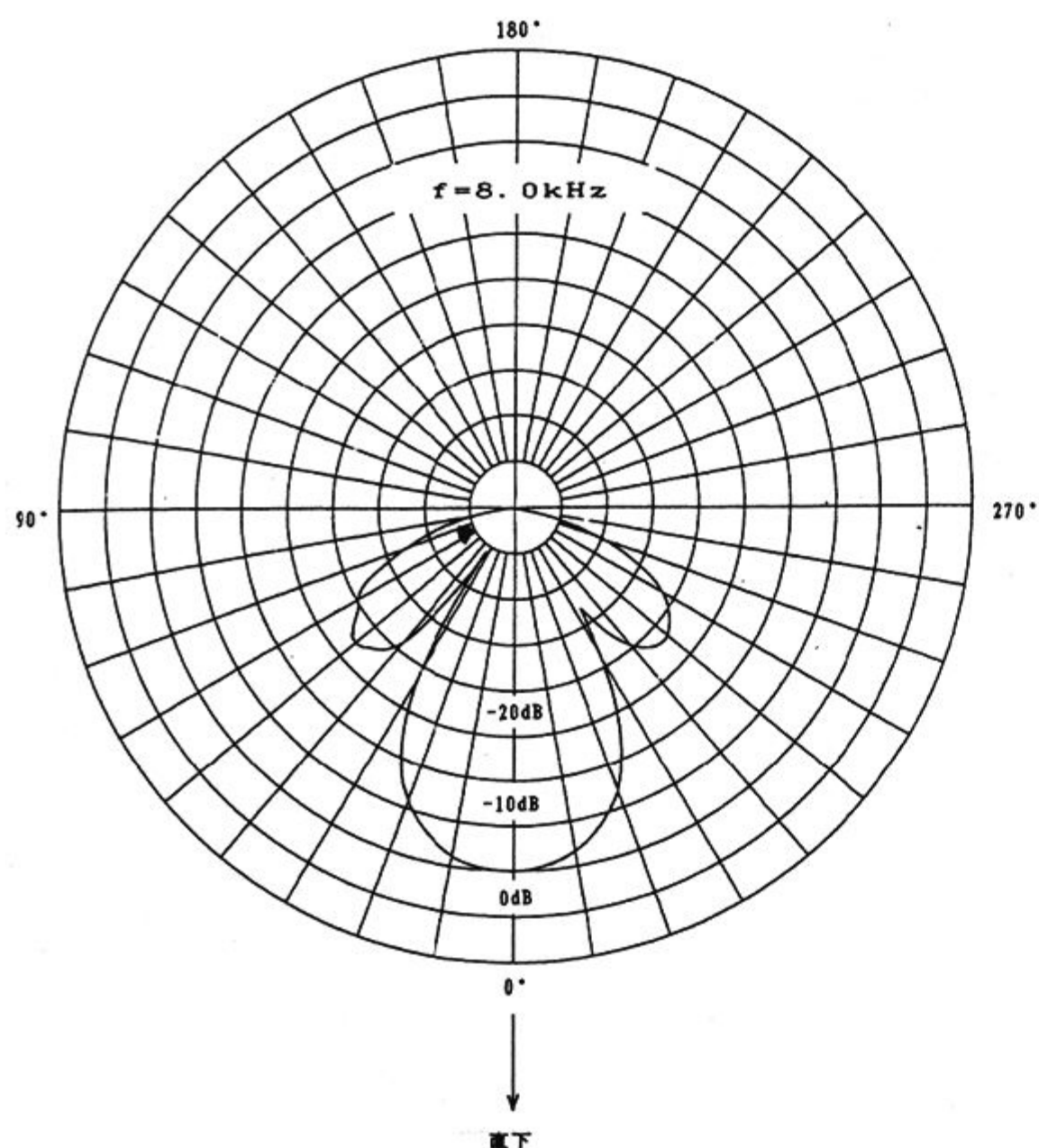


図4 “よこすか”音響航法装置受波器の指向性
Fig.4 Receiver directivity (example of acoustic navigation system)

3. 模型プロペラによるキャビテーション試験

3.1 目的

“よこすか”用に設計した模型プロペラを用いて、キャビテーション試験を下記の目的で実施した。

- ① キャビテーション対策に主眼をおいて設計された“よこすか”用低雑音プロペラの評価を行う。
- ② 低雑音オペレーション時の各船速毎に、翼角と回転数の組み合わせを種々変えて雑音計測を行い、これを最適推進制御システム（エンジンテレグラフ等）の設計に適用する。
- ③ “なつしま”に関して実施した実船プロペラ雑音計測¹⁾と模型プロペラによるキャビテーション試験²⁾の相関をもとに、“よこすか”用模型プロペラキャビテーション試験から実船のプロペラ雑音レベルを予測する。

3.2 試験要領

(1) 使用設備

キャビテーション試験は、東京大学船舶工学科の船用プロペラキャビテーションタンネル³⁾を使

用して行った。

キャビテーションタンネルにおけるプロペラ雑音の計測に関しては、①キャビテーションタンネルの側壁による反射など残響レベルの高い胴内での雑音計測値の評価、②キャビテーションとその気泡群の発生、発達、消滅のミクロ的相似性、③雑音の相似則、といった基礎的課題が残されている。^{2), 4)} 本試験では、“なつしま”の模型プロペラキャビテーション試験と基本的条件を一致させて行い、“なつしま”で得られた相関が本船に適用できるように同一試験で実施することにした。

(2) 相似則

試験は下記項目を相似にして実施した。

- ① プロペラ形状；直径220mm縮尺1/13.64の模型プロペラを使用した。
- ② 伴流分布；曳航水槽で模型船により計測した伴流分布（図2）をワイヤーメッシュによりシミュレートして実施した。
- ③ キャビテーション数とプロペラ荷重度；
キャビテーション試験は実船と模型でのキャビテーションに関する相似則が満たされるように、下記無次元数を合わせて実施した。

・キャビテーション数；

$$\sigma_n = \frac{P_{atm} + I r_s - P_{vs}}{\frac{1}{2} \rho_s (\pi n_s D_{ps})^2}$$

・プロペラ荷重度；

$$K_t / J^2 = \frac{T_s}{\rho_s v_a^2 D_{ps}^2}$$

ただし、

P_{atm}	； 大気圧
I	； プロペラ没水深度
ρ_s	； 海水密度
r_s	； 比重量 (ρg)
P_v	； 海水の飽和蒸気圧
T_s	； プロペラ推力
n_s	； プロペラ回転数 (rps)
v_a	； プロペラ流入速度

$$\left\{ \begin{array}{l} v_a = v_s (1 - w) \\ v_s \quad ; \text{船速} \\ 1 - w \quad ; \text{伴流} \\ D_{ps} \quad ; \text{プロペラ直径} \\ K_t \quad ; \text{推力定数} \\ K_t = T_s / \rho_s n_s^2 D_{ps}^4 \\ J \quad ; \text{プロペラ前進率} \\ J = v_a / n_s D_{ps} \\ \text{suffix s は実船の場合を示す。} \end{array} \right.$$

なお実船と模型との周波数相関は下記の Levkovskii の相似則⁵⁾に従い、実船の対象周波数範囲(5kHz～15kHz)から計測周波数範囲を設定した。

$$\frac{f_m}{f_s} = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\sigma_s}{\sigma_m} \right]^{1/2} \frac{v_s}{v_m}$$

本試験の場合

$$f_s = 0.135 f_m$$

ただし、 f_s ; 実船の周波数
 f_m ; 模型の周波数 となる。

(3) 試験ケース

“よこすか”での主要な低雑音オペレーションである“しんかい6500”及び将来搭載予定の“ROV10K”の潜航支援を想定した中立翼角及び低速航走時(約4ノット以下)、マルチナロービーム音響測深装置による海底地形調査を想定した中速自由航走時(約10ノット)を対象に、それぞれ船速(馬力)一定としてプロペラ翼角と回転数の組み合わせを種々変化させて、キャビテーション試験を実施した。更に参考として通常航海時のプロペラ雑音レベルを把握するため、MCO(Maximum Continuous Output)である6,000ps相当での試験も実施した。

なお潜航支援時の低速航走では特に船速一定でも、海象条件により所要馬力が大きく異なり、プロペラ荷重度も大きく変化するため、想定される海象条件の下限と上限である Sea State 0(海上平穏時)及び Sea State 4(有義波高2.5m, 風速12.5m/sを想定)の所要馬力で試験を実施した。

表3に試験ケースを示す。

(4) 計測系統

プロペラ雑音はタンネル内のプロペラ側方に固定したハイドロフォンで計測を行い、バンドパス

運用モード			海象条件	船速	所要馬力
1.	停船	中立翼角	--	0	約150Ps 約1200Ps
2.	低速域	しんかい6500潜航支援	SS0	約4ノット	
3.		ROV10K潜航支援	SS0	約4ノット	
4.		しんかい6500潜航支援	SS4	約4ノット	
5.		ROV10K潜航支援	SS4	約4ノット	
6.	中速域	海底地形調査 (マルチナロービーム音響測深装置)	---	約10ノット	約1200Ps
7.	高速域	試運転計画最大速力	---	約17ノット	約6000Ps

(注) 番号1は翼角0で回転数を変化させて実施
 “ 2～6は翼角と回転数を種々組合せて実施
 “ 7はMCOでの翼角、回転数の組合せて実施

表3 キャビテーション試験ケース
 Table3. Cavitation test cases

フィルターにより各1/3オクターブバンドの音圧レベルをデジタルマルチメータにてA/D変換後パソコンに取り込み記録した。

ハイドロフォン配置及び試験系統図を図5に示す。

3.3 計測結果

(1) 中立翼角及び低速航走時のプロペラ雑音

プロペラ荷重度を一定として、プロペラ翼角と回転数の組み合わせを変化させた場合のプロペラ雑音レベルの変化を、音圧の実効値に換算して“円”の大きさで比較したもの(以下“バブルダイヤグラム”という)を図6に示す。

なお参考として“なつしま”での実船及び模型プロペラによるプロペラ雑音計測結果をバブルダイヤグラムで表したものを図7及び図8に示す。これらの図から以下のことが考察できる。

- ① 中立翼角時では、プロペラ回転数が約150rpm以上の高回転域では翼端でのフェースキャビテーションが顕著となるため雑音レベルが急激に増加し、それ以下の低回転域では雑音レベルがかなり小さい。従って中立翼角で潜航支援を行うような場合は、低雑音化の見地からプロペラ回転数をかなり低く設定しておくことが望ましいことがわかる。
- ② “しんかい6500”又は“ROV10K”の潜航支援で海象条件が平穏な場合(Sea State 0)

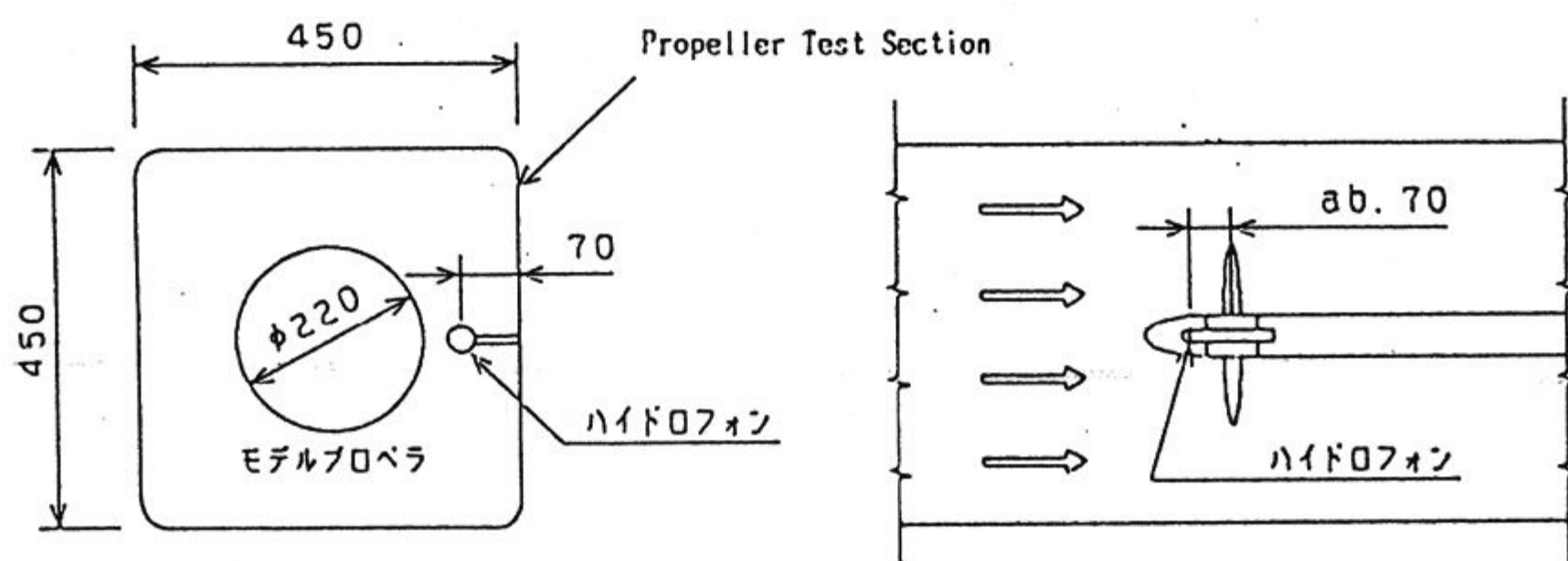
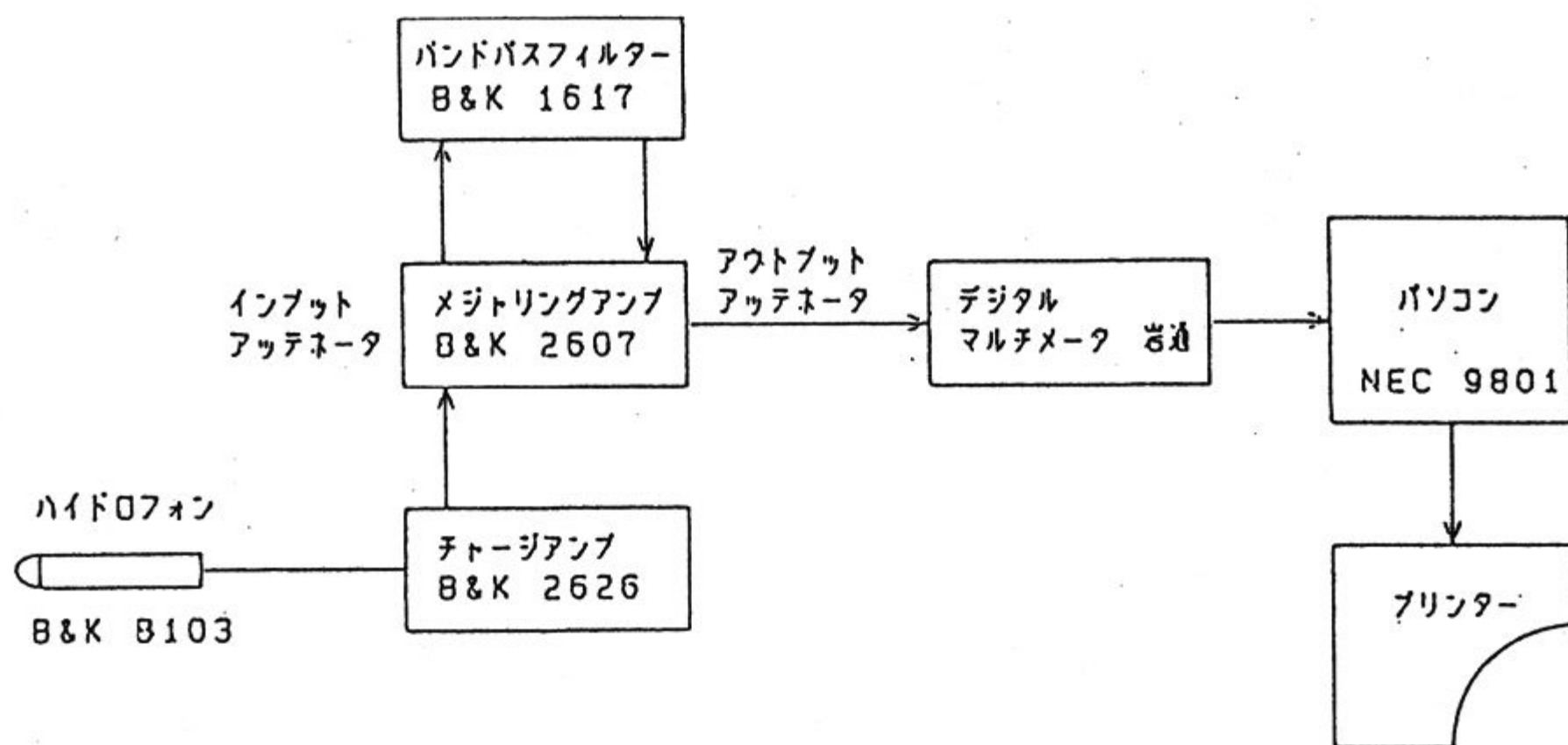


図5 キャビテーション試験系統図

Fig. 5 System diagram of cavitation test

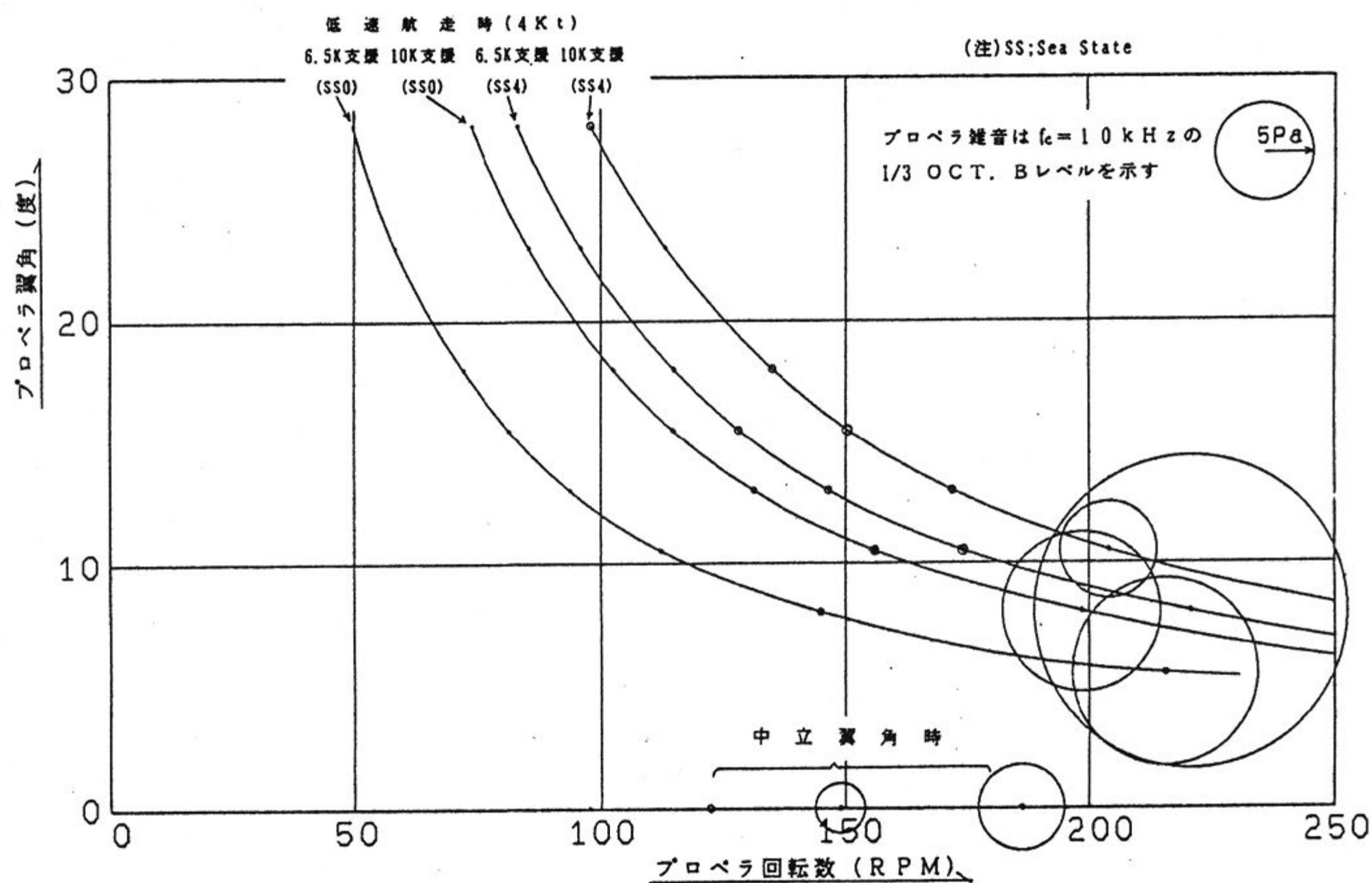


図6 “よこすか” キャビテーション試験結果 (低速航走時)

Fig. 6 Cavitation test result of “YOKOSUKA” (low speed condition)

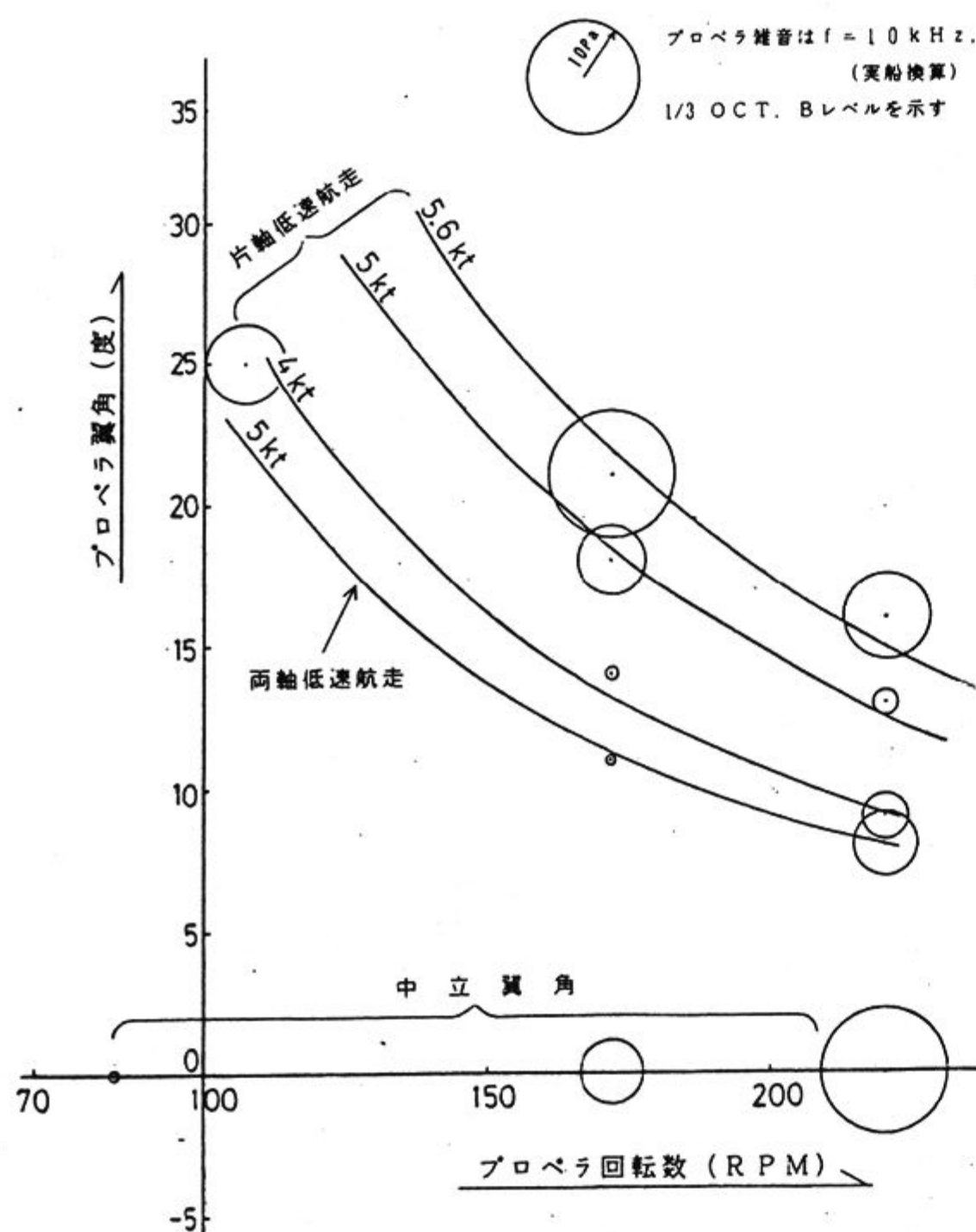


図7 “なつしま” プロペラ雑音計測結果
Fig.7 Result of propeller noise measurement of “NATSUSHIMA”

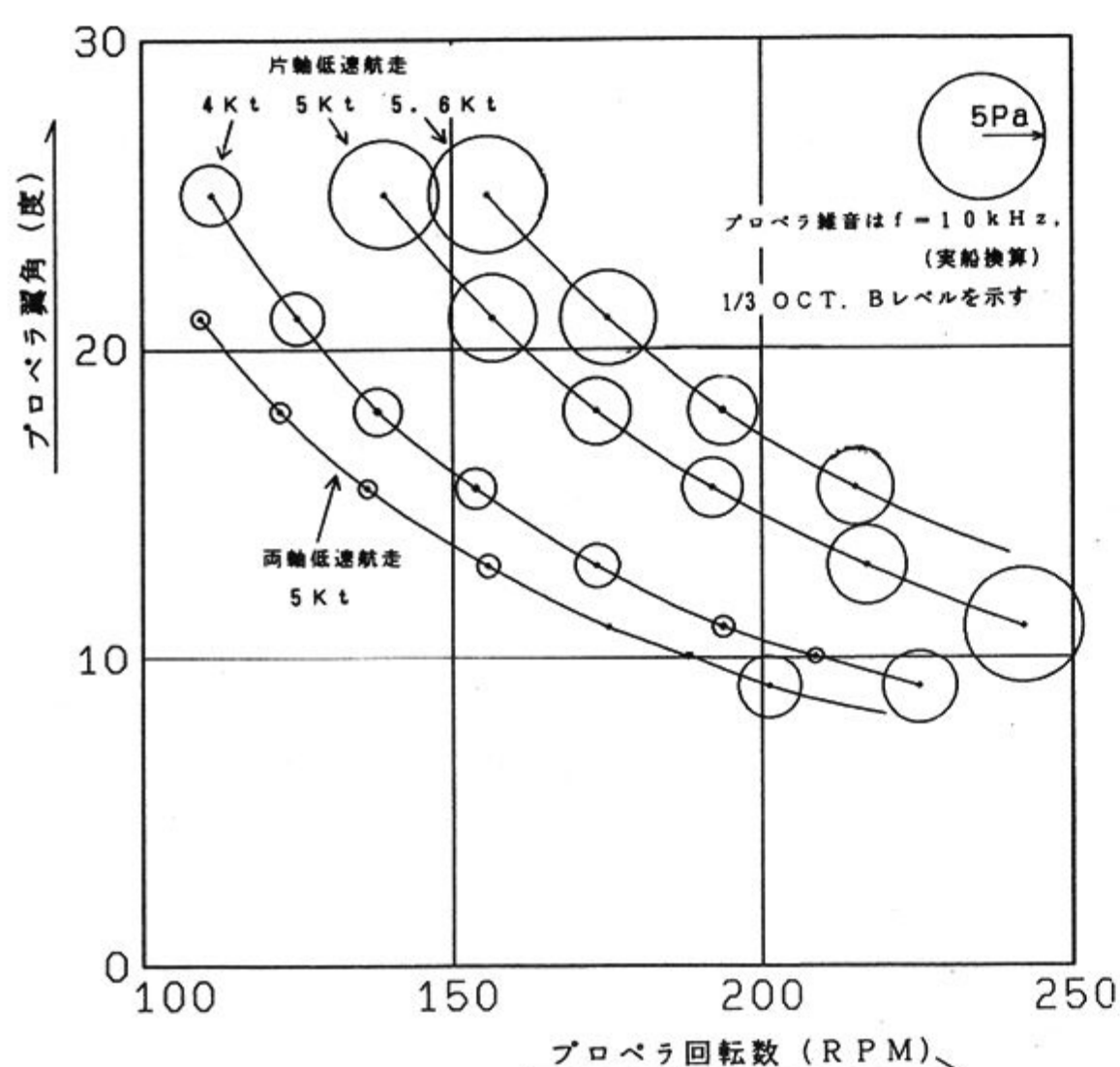


図8 “なつしま” 模型プロペラキャビテーション試験結果

Fig. 8 Cavitation test result of “NATSUSHIMA”

についても荒天時 (Sea State 4) についても、それぞれプロペラ荷重度が異なるにもかかわらず全体的に翼角を大きくとり、回転数を低くするとプロペラ雑音が減少しており、逆に翼角を小さくとると (回転数大) フェースキャビテーションの発生により雑音レベルが増加する。

- ③ “なつしま” では低速域でもプロペラ推力が大きくなると翼角大/プロペラ回転数小の領域でバックキャビテーションが発生しプロペラ雑音が大きくなったが、“よこすか” 用プロペラにはそれが見られない。
- ④ これはプロペラ形状の改善及びプロペラ付近の伴流分布の改善により、バックキャビテーションの発生に基づく雑音レベルの急増が更に高荷重度側に押し上げられ、潜航支援という実用上のプロペラ推力の範囲ではバックキャビテーションの発生が抑制されているからである。
- ⑤ 従って、“よこすか” での“しんかい6500” 又は“ROV10K” の潜航支援を中心とした低速域の低雑音オペレーションでは、プロペラ回転数を低くしておきプロペラ推力の変化を翼角で操作することが望ましいことがわかる。

なおフェースキャビテーション発生時 (BA = 8°, N = 220rpm) の状況を写真2に示す。



写真2 フェースキャビテーションの発生 (BA=8°, N=220rpm)

Photo 2 Face cavitation at cavitation test (BA=8°, N=220rpm)

(2) 中速自由航走時のプロペラ雑音

プロペラ翼角と回転数の組み合わせとプロペラ雑音との関係を見るために、プロペラ回転数を $N=148, 167.4, 186\text{rpm}$ の三種類選び、プロペラ雑音を計測した結果のバブルダイヤグラムを図9に示す。この図から下記のことことがわかる。

- ① マルチナロビーム音響測深装置による海底地形調査等中速域での自由航走時は、低速域と同様プロペラ翼角を小さくとり回転数を大きくとると ($BA=6.5^\circ, N=186\text{rpm}$) 雑音レベルが急増する。これは、フェースキャビテーションの発生が顕著になるためである。
- ② 逆にプロペラ翼角を大きくとり回転数を下げると ($BA=16.5^\circ, N=148\text{rpm}$ 及び $BA=9^\circ, N=167.4\text{rpm}$) プロペラ雑音は低下する。
- ③ 従って、中速域のオペレーションにおいても回転数を下げ、できるだけ翼角を大きくとる操作が必要であることがわかる。

(3) 通常航海時のプロペラ雑音

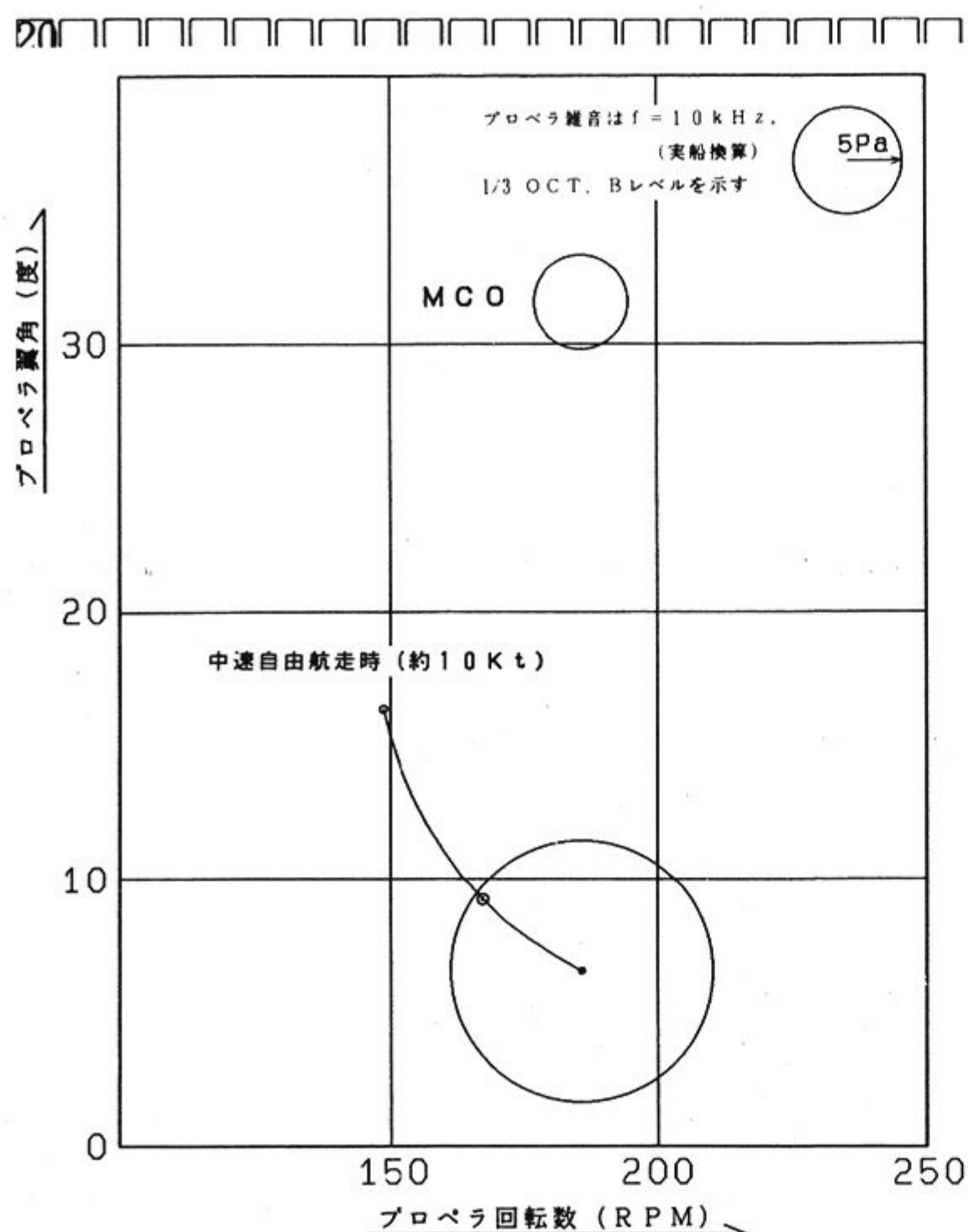


図9 “よこすか” キャビテーション試験結果 (中高速航走時)

Fig.9 Cavitation test result of “YOKOSUKA” (median speed condition)

図9にMCO (6,000ps相当)におけるプロペラ雑音を併記する。

これによれば、MCOではバックキャビテーションが安定して発生しており、中立翼角時や、中速自由航走時に翼角小/回転数大と組み合わせでフェースキャビテーションが発生した場合よりもむしろ雑音レベルが低いことがわかる。

なお、MCOでのバックキャビテーション発生状況を写真3に示す。



写真3 バックキャビテーションの発生 (MCO)

Photo3 Back cavitation at cavitation test

4. “よこすか” のプロペラ雑音予測

4.1 プロペラ位置での雑音予測

“よこすか” のプロペラ雑音予測は3項の模型プロペラによるキャビテーション試験結果を基に下記を考慮して行った。

- ① Levkovskii の相似則
- ② “なつしま” の実船プロペラ雑音計測結果¹⁾ と模型プロペラによるキャビテーション試験²⁾ との相関

なお周波数の相似則は3.2項に示す Levkovskii の相似則によった。

“よこすか” のプロペラ雑音予測を行った結果の一例として、図10に4ノットに低速域での低雑音オペレーション時のプロペラ翼角と回転数の組み合わせによる等雑音曲線図を示す。

今回の予測によれば、本船の音響機器使用周波数範囲 (約5kHz～約15kHz) のどの周波数帯にお

いても、図10と同様に図の左上から右下に添ってプロペラ雑音が高くなっていることがわかった。またこの傾向は周波数が高くなる程顕著である。すなわち、本船の場合、フェースキャビテーションが発生する右下の領域（翼角小/回転数大）を避け翼角大/回転数小の領域で運用することが望ましいことがわかる。

4.2 音響機器受波器位置でのプロペラ雑音予測

音響機器受波器位置でのプロペラ雑音予測は、次の仮定のもとにプロペラ音響機器受波器位置までの距離減衰を考慮して行った。

- ① プロペラ雑音は主に Tip 付近のキャビテーションとみなし、円環状に分散した位相ランダムな音源の集合体と仮定する。
- ② この円環状音源は指向性がなく球面拡散する。
- ③ プロペラ雑音の伝搬損失は球面拡散による

距離減衰のみとする。
すなわち、文献1) で導出した式を利用する。

$$SPL = PWL + 10 \log (1/2R) - 10 \log (\xi^2 + 1) \dots\dots (1)$$

ここに、 SPL ; 任意点の音圧レベル
 PWL ; 音源のパワーレベル
 R ; プロペラ半径
 ξ ; x/R x ; プロペラから受波器までの前方距離

本船の場合、 $R=1.5m$ 、代表的な受波器位置として最もプロペラに近い音響航法装置受波器をとりあげ、 $x=60.2m$ ($\xi=40.1$) を(1)に代入して受波器位置でのプロペラ雑音を計算すると、 $SPL = PWL + 10 \log (1/2R) - 32.1 (dB)$ となる。
 一方、本船の雑音低減目標レベルは搭載する音響機器の性能・要目等からソーナー方程式により、各受波器の入力雑音レベルの大きさとして表され

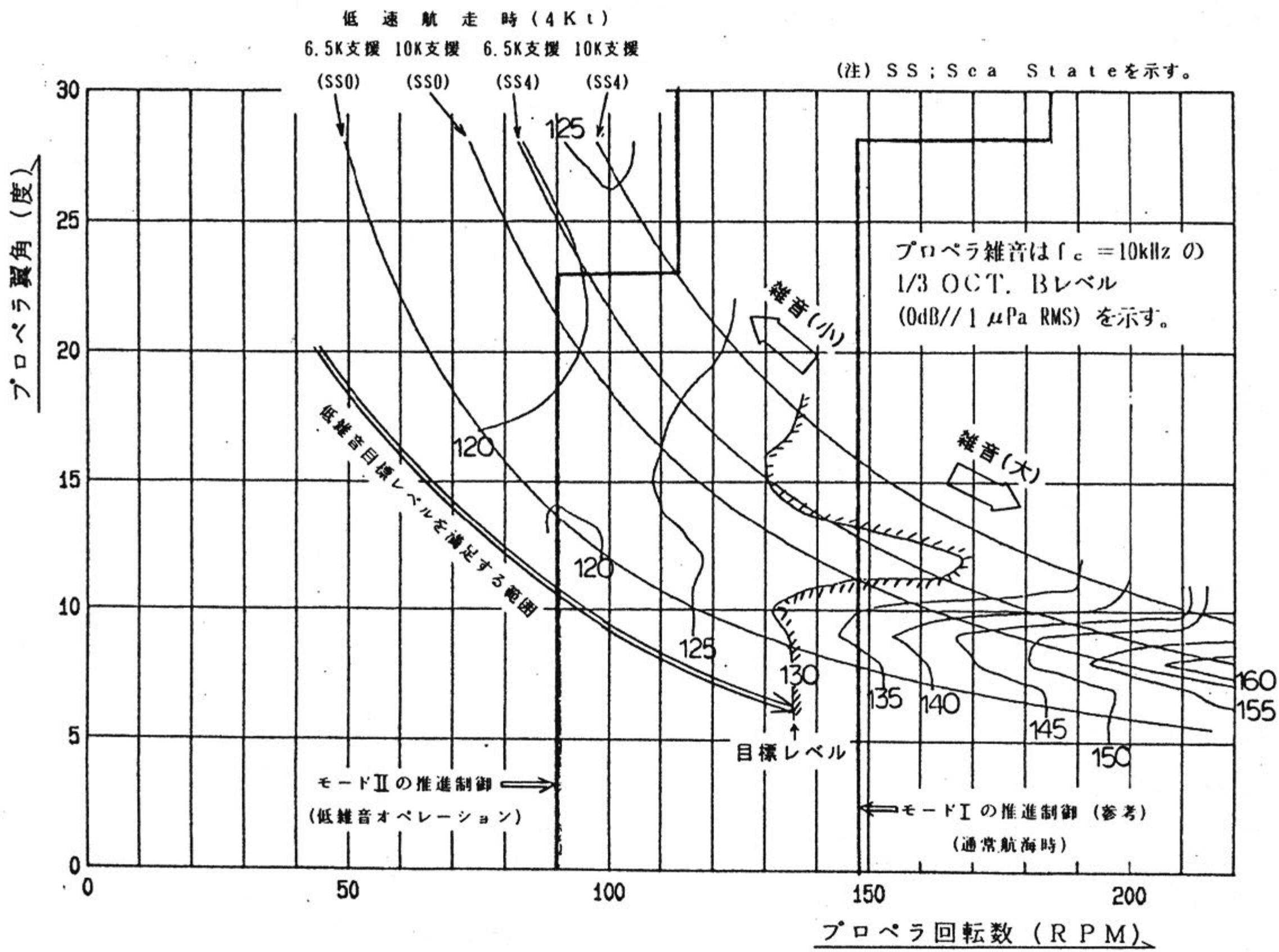


図10 「よこすか」のプロペラ雑音 等雑音曲線
 Fig.10 Propeller noise contour of "YOKOSUKA"

る。これによれば，“よこすか”の場合“なつしま”に比べ約10dBの雑音低減が必要である。

船舶の水中放射雑音の主要因は、プロペラ雑音の他に固体伝搬雑音、透過音等もあり、また、本船の音響機器受波器には、図4に1例を示すように指向性を持たせ、プロペラ雑音のように真横からくる雑音に対し有利になるよう設計されている。このため、上記の受波器位置でのプロペラ雑音予測値を雑音低減目標レベルと単純に比較・評価することはできない。ここではその目安として、音響機器受波器を無指向性とし、また水中放射雑音がプロペラ雑音のみであると仮定した場合に、雑音低減目標レベルを満たすプロペラ位置での雑音レベルを逆算して図10に併記する。

これによれば、低雑音オペレーションにおいてプロペラ翼角と回転数の組み合わせの選定により、雑音低減目標レベルを満足する場合と、満足しない場合が存在することが明確になり、適切なプロペラ翼角と回転数の組み合わせを選定してオペレーションすることが不可欠であることがわかった。

5. 低雑音オペレーションシステム

本船の主推進機関は2段変速の減速機付（4サイクル中速）ディーゼル機関であり、これにより2基（軸）のCPPを回転させることにより推進力を得ている。プロペラ回転数は低速ギア90.5～113rpm、高速ギア148～185rpmの範囲（主機はいずれのギアでも480～600rpm）で制御可能である。

本船の低雑音オペレーションシステムは、模型プロペラによるキャビテーション試験結果及び“なつしま”での実績を基に次のように計画した。

- ① 減速機を2段変速とし、一方は低雑音オペレーション用（低減ギア側、モードⅡ）、一方は通常航海用（高速ギア側、モードⅠ）として使用する。
- ② 低速ギアにおけるプロペラ回転数は、主機関及び減速機を防振支持する防振ゴムの周波数特性上可能な範囲で低回転化を計る。
- ③ エンジンテレグラフによる推進制御は、最適な翼角と回転数の組合せが得られるよう翼角と回転数とのコンビネーションコントロールとする。

④ エンジンテレグラフの分画は、図10に示す模型プロペラによるキャビテーション試験で得られた等雑音曲線図を基に、制御可能な範囲でノイズミニマムとなるよう下記のように設定する。

モードⅡ（低雑音オペレーション）

低雑音オペレーションのモードⅡでは中立翼角（船速0）で最低回転数となるようにし、馬力増加に伴い最低回転数を保ったまま翼角を大きくしていく。翼角が23°になったところで等雑音曲線上有利な、翼角を一定（BA=23°）に保ったまま回転数を増加させる制御を行う。更に馬力が増加して低速ギアの最大回転数に達したら、再び翼角を増加させる。

モードⅠ（通常航海時）

マルチナロービーム音響測深装置による海底地形調査は、その効率的な運用のため、できるだけ高船速で実施するほうがよい。このため、低雑音オペレーションであるモードⅡ

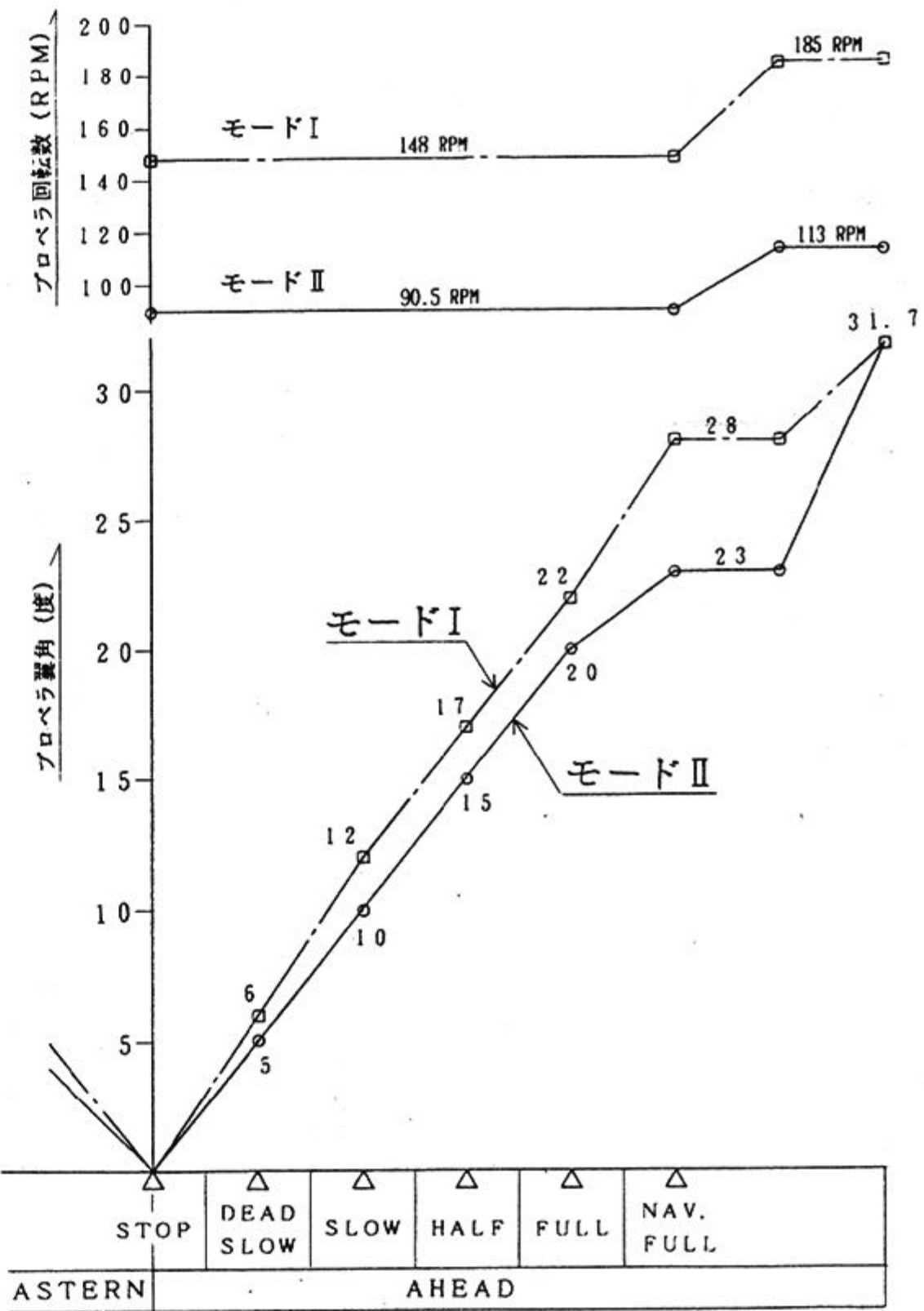


図11 “よこすか”エンジンテレグラフ分画図
Fig.11 Engine telegraph of “YOKOSUKA”

で馬力一杯になったあと、モードⅠに切り換えてもできる限り低雑音化が計れるようモードⅠのエンジンテレグラフ分画を考えた。すなわち、モードⅠにおいてもできるだけ低回転で操船し翼角の操作により馬力の増加に対応できるようにした。

図10に示したプロペラ翼角と回転数の組み合わせに基づく本船のエンジンテレグラフ分画の翼角及び回転数の制御図を図11に示す。

なお、エンジンテレグラフによる推進制御プログラムは、今後本船の公試運転及びその後の運用の結果を基にして多少の変更は可能としている。

6. 結 論

本船のプロペラ雑音低減対策として実施した項目を要約すると下記の通りである。

① 低雑音プロペラ設計

プロペラ雑音の主要因であるキャビテーションの制御が基本方針であるが、本船では、特に低雑音オペレーションの特徴である比較的低速高馬力（例えば、海象条件が悪い状態での“しんかい6500”や“ROV10K”の潜航支援等）でのキャビテーションの発生を抑制することに主眼をおいた。

主な実施要目は、多翼化、大径化、低回転化、適度なスキュー、Tip unload 等である。

② 船尾伴流分布の改善

特にプロペラ外周で、伴流分布ができるだけ一定となるような船尾形状、プロペラシャフトブラケット形状とした。

③ 音響機器配置

プロペラからできるだけ遠ざけるため、音響機器は船首船底に配置した。

④ 音響機器の指向性

音響機器の各受波器に真横からくる雑音レベルを下げるため指向性を持たせた。

⑤ 最適低雑音オペレーション（推進）システムの設計

実船相似の模型プログラムによるキャビテーション試験の結果を基に、低雑音オペレーションの各状態で最適な翼角と回転数を選定して推進できるシステムとした。

以上の結果、低速高馬力におけるバックキャビテーションの発生が、より高荷重度側にずれ、低雑音オペレーションの実用的な範囲で抑制できることがキャビテーション試験により確認された。従って、本船の低雑音オペレーション推進システムにおいては、翼角小/回転数大によるフェースキャビテーションの発生を抑制することに主眼をおき、できるだけ回転数を落とし、翼角の操作による操船を行うことにした。

7. あとがき

“よこすか”は潜水調査船“しんかい6500”と共に今後の海洋/深海調査を担う最新鋭の調査船システムであり、これらが十分に機能を発揮することができかどうかは、“よこすか”の低雑音化にかかっているといっても過言ではない。特に水中放射雑音の主要音源であるプロペラ雑音低減対策については、本論文で述べたように同種船である“なつしま”でのプロペラ雑音計測、“なつしま”用及び本船用模型プロペラによるキャビテーション試験等多方面から検討を行った結果を基に低雑音化対策を実施してきた。

所定の機能を十分に発揮して今後本船が活躍することを、また同種船の設計指針の一助となることを期待するものである。

最後に、キャビテーション試験の実施に関して、東京大学工学部船舶工学科加藤洋治教授の御指導を頂いたことをここに記し、感謝する次第であります。

参 考 文 献

- 1) 佐野正，中西俊之，高川真一，網谷泰孝，野沢和男，高須順三：「なつしま」のプロペラ雑音計測結果及び新母船への適用，JAMSTECTR-19（1988）
- 2) 野沢和男，高須順三，中西俊之，佐野正：プロペラ水中雑音の研究，日本造船学会論文集第164号（1988）
- 3) 加藤洋治，渡辺弥幸，小村隆士，前田正二，宮永 大：東京大学の新船用プロペラキャビテーションタンネルの設計思想と特徴 —特に水の空気含有量の基準について—，日本造船学会論文集，第150号（1981）

- 4) Report of the Cavitation Committee, Proceedings of the 18th International Towing Tank Conference, (1987)
- 5) Levkovskii Yu. I. : Modeling of Cavitation Noise, Soviet Physics-Acoustics Vol.13 No.3 (1968)

(原稿受理：1988年11月9日)