

図 6 指向曲線 (120 mm 径ベル BL-D-1)

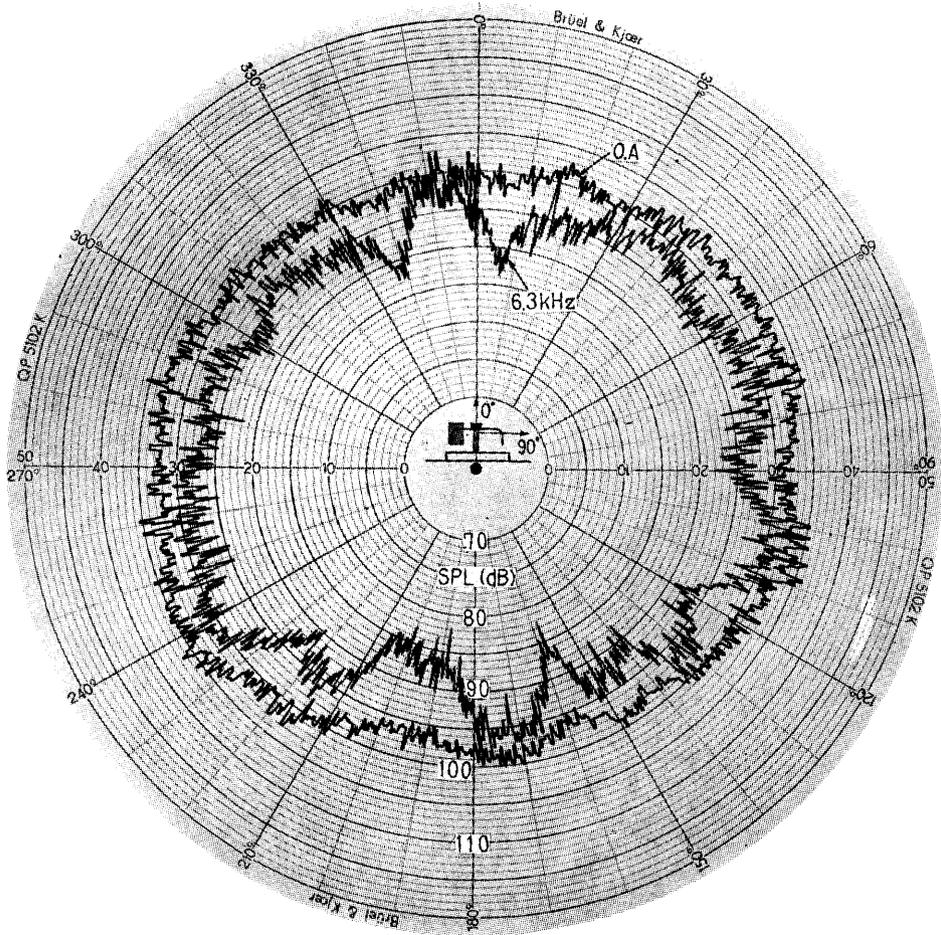


図 7 指向曲線 (200 mm 径ベル BL-D-2)

4. 警報音の船内伝搬試験

4.1 試験方法

試験機器のうち表 3 に示す12個を用いて下記の7個所で試験を行った。各計測点を図 8~11 に示す図中●印は、警報機器を取り付けた個所で、機器の種類は下記のとおりである。

- (1) 操舵室：電子ブザー，F形ブザー
- (2) BOAT DECK 曝露甲板：S T形ブザー，S T形ホーンブザー
- (3) AWNING DECK 通路：120 mm 径ベル，S T形ブザー
- (4) MAIN DECK 通路：S T形ブザー
- (5) 機関室：船用電子ブザー，S T形ブザー，

120 mm 径ベル，300 mm 径ベル

- (6) 機関制御室：電子ブザー，F形ブザー，120mm 径ベル
- (7) 舵機室：船用電子ブザー，200 mm 径ベル，300 mm 径ベル

上記、場所において2種類以上の機器を用いた場合は、それぞれ機器を交互に設置して試験を行った。ただし、操舵室では航海中はF形ブザーのみに用い、BOAT DECK 曝露甲板では、停泊時のみ試験を行い、AWNING DECK 通路では、S T形ブザーを図 9 に示してあるB点に、次にA，C点に、最後にA，B，C三点に取り付けて停泊時のみ試験した。また、MAIN DECK 通路では、停泊時にS T形ブザーのみをまず図 9 のB点に、次いで、A，B二点に取り付けて試験

表 3 実船試験用機器一覧表

品名	定格電圧 (V)	主なる周波数 (Hz)	PWL (dB)	Test No.
120 mm 径ベル	AC-100	5000	116	BL-A-1
"	AC-110	5000	112	BL-A-5
"	AC-110	5000	112	BL-A-6
200 mm 径ベル	AC-100	6300	112	BL-A-2
300 mm 径ベル	AC-100	3150	113	BL-A-7
F形ブザー	AC-110	2000	98	Bz-A-1
S T形ブザー	AC-110	2500	104	Bz-A-3
"	AC-110	2500	100	Bz-A-5
"	AC-110	2500	101	Bz-A-6
S T形+特ホーンブザー	AC-110	800	114	Bz-A-4
電子ブザー	DC-24	630	88	Ez-D-1
船用電子ブザー	DC-24	1200	118	Ez-D-3

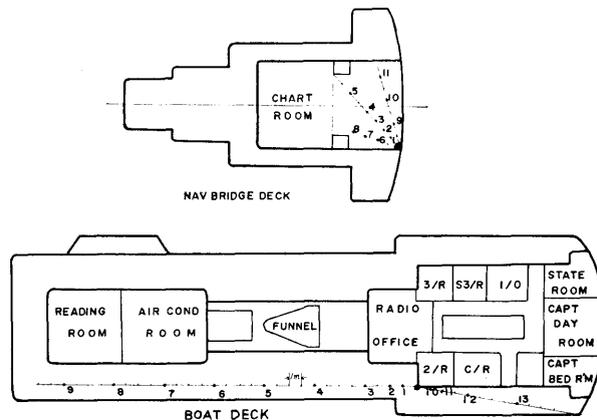


図 8 計測点一覧図

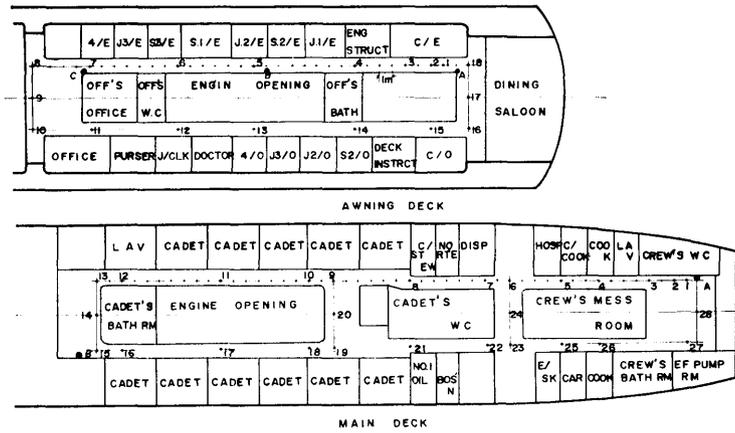


図 9 計測点一覧図

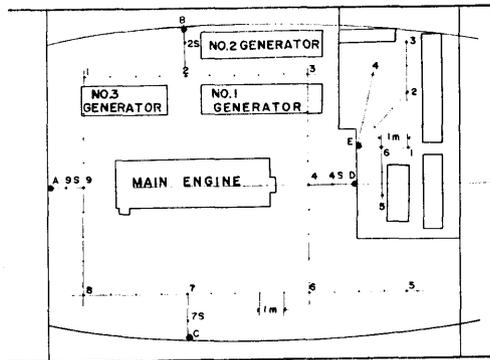


図 10 計測点一覧図 (機関室および制御室)

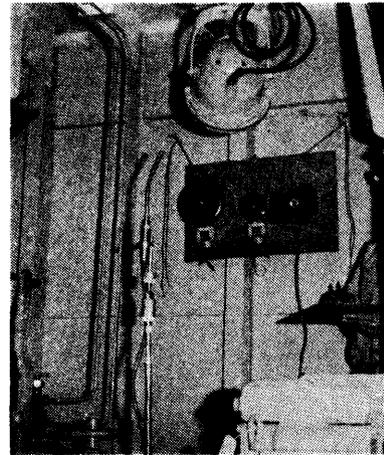


写真 3 実船試験における機器の取り付け状態

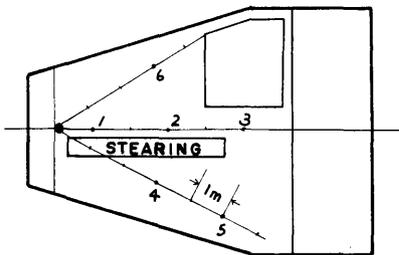


図 11 計測点一覧図 (舵機室)

した。航海中は、A点のみに設置して試験した。機関室では、停泊時および航海中とも各機器を図10のA点に取り付けて行ったが、120mm径ベルのみはA～Dの4点に取り付けて同時に作動して試験した。

機関制御室では、航海中はF形ブザーのみを用いて試験を行った。

舵機室では、航海中は120mm径ベルを除いた各機

器を取り付けて試験した。実船試験時の機器の取り付け状態の一例を写真3に示す。

各機器からの信号音ならびに各計測点の環境騒音は、コンデンサーマイクロホンと周波数分析器を用いて自動分析記録した。通路内各点での測定時には、通路に接する各室の扉を閉じて測定した。また、図8～11に示した各室において、室内騒音と警報音を指示騒音計と1オクターブバンド分析器により測定した。

4.2 試験結果

室内に音源が一つある場合の室内音圧分布は、室の形、壁、天井、床等の内装面および室内調度品の吸音特性ならびに音源の周波数、位置等によって定まる。船舶では、一般に次の二種類に分けられる。

4.2.1 普通の寸法比をもつ室内の音圧レベル

室の長さ、幅、高さの三辺の最大、最小寸法比が、3～5程度の場合には、室内の1個所から音を発すると、室内の壁などからの反射音によって、室内の音圧レベルは、ある程度の距離以上ではほぼ一定となる。

室内に W の音源がある時、室内任意の位置での SPL は次式で算出し得る。

$$SPL = PWL + 10 \log_{10}(Q/4\pi r^2 + 4/R) \quad (1)$$

ただし、

$$PWL = 10 \log_{10}(W/W_0), \quad W_0 = 10^{-12} \text{ (watt)}$$

指向係数 Q は音源の位置により定まり、室の中央では 1、面では 2、稜線中央部では 4、室隅付近では 8 である。

4.2.2.1 室の一边が他の一边より著しく大きい場合の室内音圧レベル

通路のように一方向の長さが非常に大きい室の場合には(1)式では算出できない。このような室に対しては、無限音源からの伝搬に関する文献 1) がある。

文献 1) の式の $\alpha_f, \alpha_o, \alpha_i$ を平均吸音率 $\bar{\alpha}$ に置き換えて式の簡素化を計り次式を導いた。

$$SPL = PWL - 11 + 10 \log_{10} \left[\frac{1}{r^2} + \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4(1-\bar{\alpha})^{2(m+n+1)}}{r^2 + (2n+1)^2 H^2 + (2m+1)^2 B^2} + \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(1-\bar{\alpha})^{2m+2n+1}}{r^2 + (2n)^2 H^2 + (2m+1)^2 B^2} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4(1-\bar{\alpha})^{2m+2n+1}}{r^2 + (2n+1)^2 H^2 + (2m)^2 B^2} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(1-\bar{\alpha})^{2(m+n)}}{r^2 + (2n)^2 H^2 + (2m)^2 B^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(1-\bar{\alpha})^{2n}}{r^2 + (2n)^2 H^2} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2(1-\bar{\alpha})^{2n+1}}{r^2 + (2n+1)^2 H^2} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2(1-\bar{\alpha})^{2m}}{r^2 + (2m)^2 B^2} + \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2(1-\bar{\alpha})^{2m+1}}{r^2 + (2m+1)^2 B^2} \right] \quad (2)$$

(2)式で計算した値の確認を当部音響試験室に設置した船内通路の約 1/2 模型で試験を行ったのち、(1)および(2)式に実際に計測する7個所の実寸法を入れて、電子計算機 FACOM 230-10 を用いて計算した。

その結果は、図 12～14 に滑らかな曲線で示した。各機器の PWL が求められているので、それらを船内各部に取り付け実験した結果と計算曲線との対比ができる。以下、各場所毎に検討を加える。

4.2.3 操 舵 室

本船の停泊時および航海中の室内騒音はそれぞれ

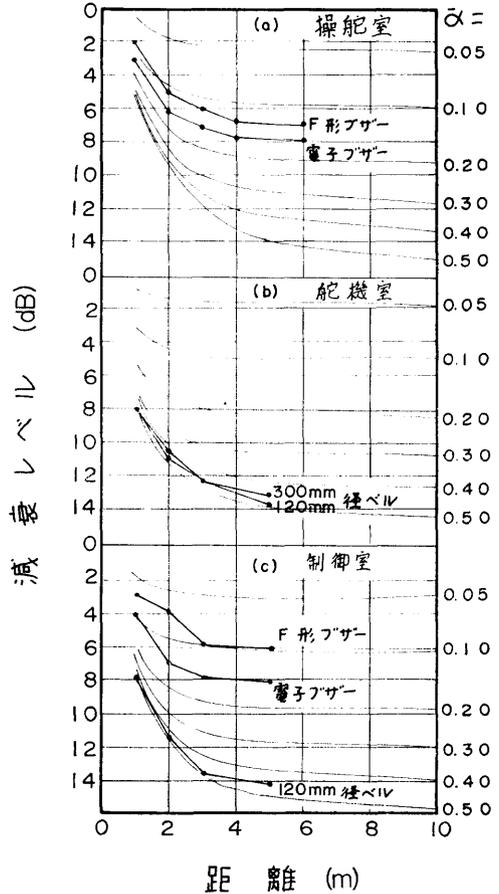


図 12 音圧分布曲線

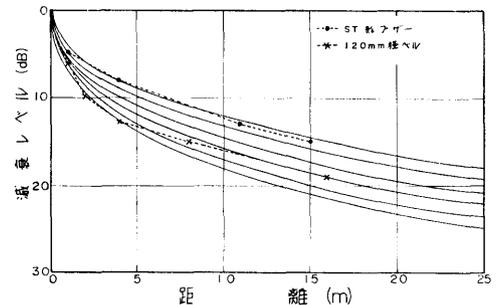


図 13 通路内音圧分布曲線

70 dB, 88 dB であり、その構成周波数成分はほとんどが 500 Hz 以下であったので、ブザーは、航海中においても充分聴取することができた。室のほぼ中央の計測点、図 8 の③点における室内騒音と、警報音の航海中ならびに停泊時の音響スペクトルを図 15 に示した。

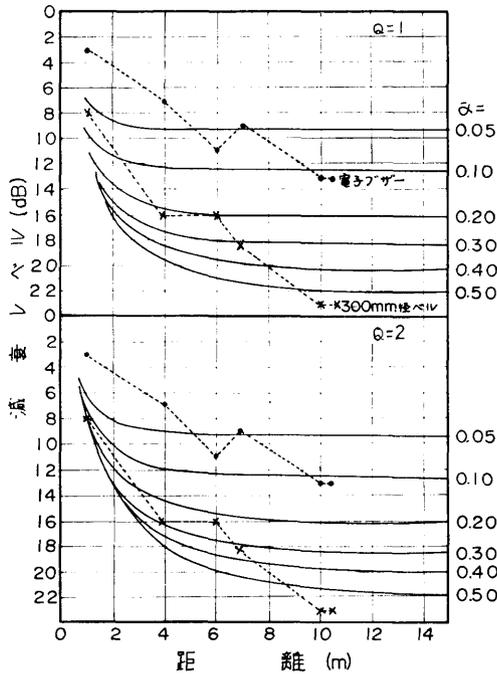


図 14 機関室内音圧分布曲線

室内の音圧レベルの減衰曲線は、図 12(a) に示した。この結果から室の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ は約 0.15 と見做される。この値は、文献 2), 3) に述べられている値にはほぼ等しい。したがって、室内平均吸音率 $\bar{\alpha}$ が定まれば、室内の音圧レベル分布は(1)式で計算して良い。室内の環境騒音のレベルが小さいことから、現用のベルおよびブザー等より小さい音圧レベルをもつ機器が望まれる。

4.2.4 BOAT DECK 曝露甲板

BOAT DECK 曝露甲板における試験は、各種の警報音が甲板上に必要な場所で充分聴取し得るかを確認する目的で行った。その結果、警報音のレベルは距離が 2 倍になる毎に 6 dB ずつ減衰し、点音源拡散減衰

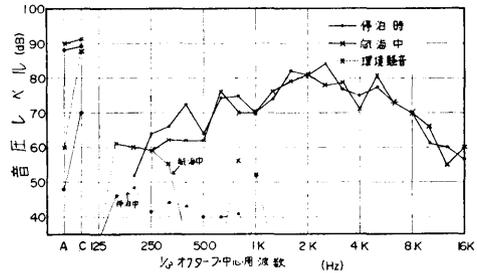


図 15 操舵室内音響スペクトル

と見做し得ることが明らかとなった。

4.2.5 通路

試験を行った船には、全長 30 m と 50 m の通路があったので、両通路において音響伝搬試験を実施した。全長 30 m の通路をもつ AWNING DECK で S T 形ブザーの個数を変化させて行った試験結果を図 16 に示す。環境騒音との対比からこの程度の長さの通路では、ブザー 1 個で充分であること、また、通路に隣接する室においても、その警報音を判別して聴取することが可能であることが明らかとなった。

全長 50 m 以上の MAIN DECK 通路での音圧分布を図 17 に示す。停泊時には 30 m の距離まで明瞭に警報音を聴取することができた。

航海中には 10 m 以上で環境騒音と同等の音圧レベルとなったが、耳による聴取試験では 15 m 以内の距

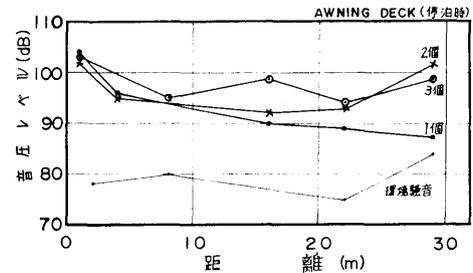


図 16 通路内音圧レベル分布曲線

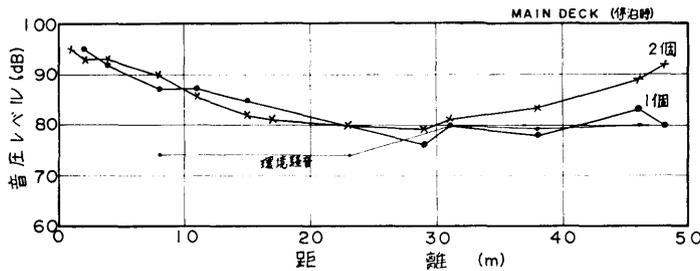


図 17 通路内音圧レベル分布曲線

離で聴取し得ることが確認された。15m 以上になるとかすかに警報音が聞こえる程度で判別はむずかしい。

停泊時に左右舷に機器を1個ずつ取り付け付けた試験では、機関室騒音の大きい中央付近に聞こえない個所が生じた。この結果、50m 以上の長さの通路では、中央にさらに機器を1個増設する必要があることが明らかとなった。

航海中は船内騒音が大きくなるため、ENGINE OPENING の付近にさらに数個の機器を増設する必要がある。停泊時の試験に際し、同時に隣接する室内において警報音の測定および聴取試験を行った結果、20m 以上離れたとほとんど判別できないことが確認された。通路と隣接する室内との遮音度は、平均約 20dB であった。通路内での音圧レベル減衰曲線は、図 13 に示したとおりであるが、S T 形ブザーの場合は、 $\bar{\alpha}=0.05$ 、120mm 径ベルの場合は $\bar{\alpha}=0.20$ の計算曲線に近似している。これは、警報音の主成分である周波数の差異ならびに通路天井の各種配管系の影響と考えられる。

4.2.6 機関室

機関室船尾中央付近高さ約 1.5m の位置（図 10 の A 点）に機器を取り付け、その警報音の室内各点における音圧レベルを測定した結果を図 18 に示す。

計測時の聴取試験によると S T 形ブザーは停泊時

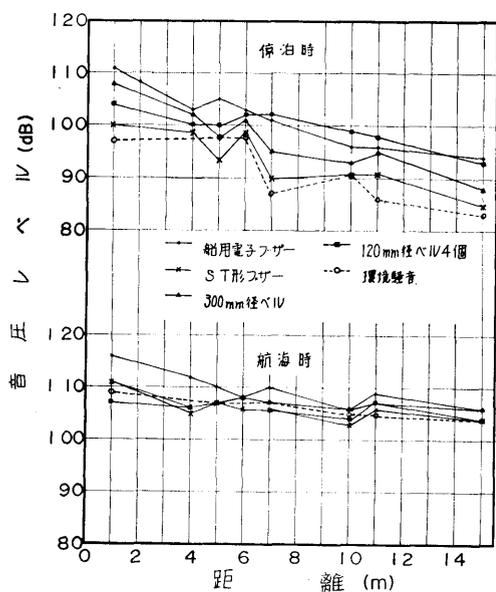


図 18 機関室内音圧レベル減衰曲線

に、機器より 5m、航海中では、3m の距離においてすら聴取できない場所があった。これは、機関室内の騒音が大きいためと、機器自体の PWL が小さかったためである。他のベル、ブザーは停泊時に各計測点で聴取できたが、航海中には、船用電子ブザーおよび 120mm 径ベル 4 個使用時以外は、聴取不能な個所があった。

以上の結果、機器 1 個で機関室全域をカバーし得るのは、船用電子ブザーのみであり、他のベル、ブザーの場合は、複数個の機器が必要とされることが明らかとなった。

発電機近傍の計測点 ② と主機船首側（音源と反対側）の計測点 ④ の音響スペクトルを、図 19、20 に示した。

室内の音圧レベル減衰曲線は、図 14 に計算曲線とともに示した。実測の減衰曲線は、計算曲線とは一致しない。これは、機関室内の種々の大きな構造物によって、音の陰影帯が生じたためと考えられる。

4.2.7 機関制御室

停泊時および航海中とも室内の環境騒音は低周波音が主成分であったため、小形の F 形ブザーでも、室内各計測点で警報音を明瞭に聞くことができた。代表的な音響スペクトルを図 21 に示す。高周波成分が主で

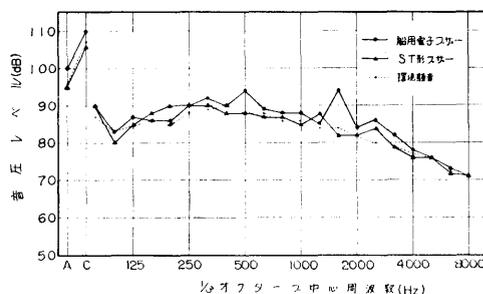


図 19 機関室内音響スペクトル

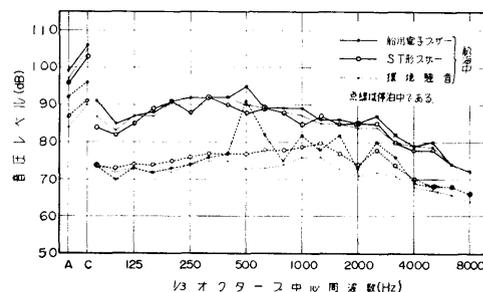


図 20 機関室内音響スペクトル

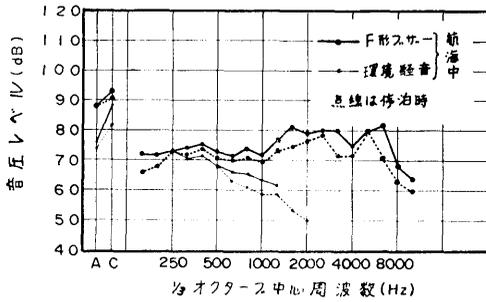


図 21 制御室音響スペクトル

ある 120 mm 径ベルも、また同様に良く聴取できた。室内の音圧レベル減衰曲線は 図 12(c) に示したが、機器の音響特性に合った $\bar{\alpha}$ の値を選定すれば、(1)式による計算が可能である。

4.2.8 舵機室

室内の騒音は、航海中に約 100 dB もあったが、警報音は十分に聴取できた。

室内の音圧レベル減衰曲線は、図 12(b) のとおりであるが平均吸音率 $\bar{\alpha}$ が大きすぎる。これは、室内右舷側に設置されていた棚および雑品による吸音力の増大のためと考えられる。

以上、各室、通路の個々について検討を加えた。警報音が船内環境騒音下において充分に聞こえ、かつ、確実に情報が把握できる必要から船内の各場所に適応し

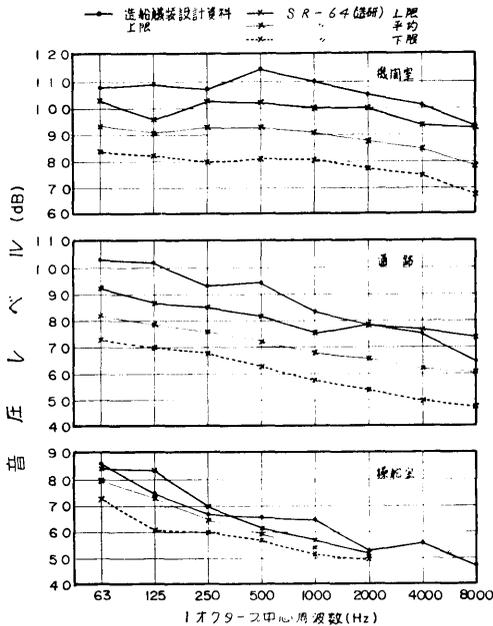


図 22 船内騒音スペクトル

た警報機器を選出して設置すべきである。文献 2), 4) から引用した一般的な船舶の機関室、通路、操舵室の騒音スペクトルを 図 22 に示した。

これらの船内騒音の資料から L_{ps} (1 Hz 当たりの音圧レベル) を次式によって求め、

$$L_{ps} = L_w - 10 \log_{10} w \quad (3)$$

図 23 の *Masking* 曲線上に L_{ps} の値を周波数ごとに入れれば、各周波数に対する騒音の *Masking* 量が得られる。この *Masking* 量は、最小可聴レベルを上昇させるレベルとなる。最小可聴値の曲線は、図 24 に示す I.S.O. (ROBINSON & DADSON) の等感曲線の 4 ホンの曲線である。したがって、騒音下の最小可聴値は、この曲線のレベルに *Masking* レベルを加えたものである。機関室内の騒音によって可聴限界値がどのようになるかを示したのが 図 25 である。この図の (a) は *Masking* 曲線であり、(b) は、可聴限界曲線である。この結果、機関室内では、図 25 の曲線以上警報音のレベルがないと聴取できないことになる。

実験の結果、音源から 1 m の距離の音圧レベルに対し、距離 5 m では約 10 dB 減衰するから、距離 5 m での聴取を基準にすれば、機器より 1 m の点における所要音圧レベルは、最小可聴レベルに 10 dB 加えたレベルとなり、1,000 Hz の周波数で 113 dB 以上の音圧レベルが必要条件となる。

等感度曲線は他に、FLETCHER & MUNSON の曲線もあり、また、われわれ日本人の音に対する感度の相違も若干あるように考えられるところから、可聴距離の設定に対してはさらに人間工学的な追求が必要である。

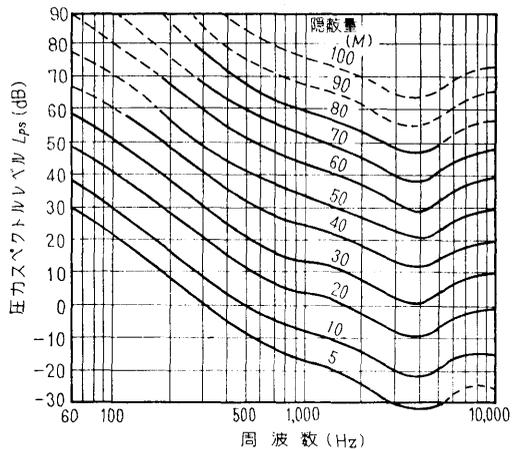


図 23 マスキング曲線

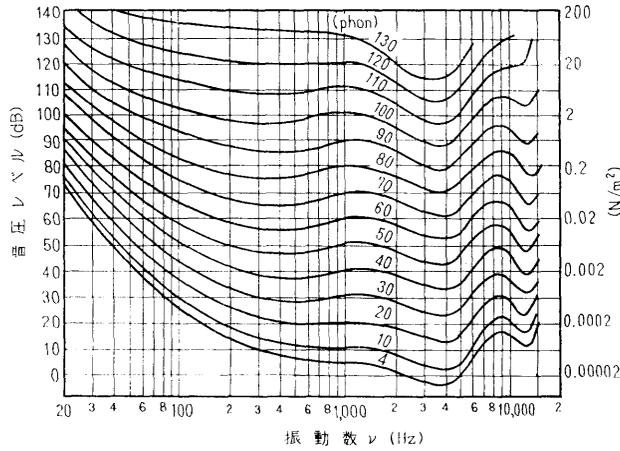


図 24 自由音場内の純音に対する両耳等感度曲線

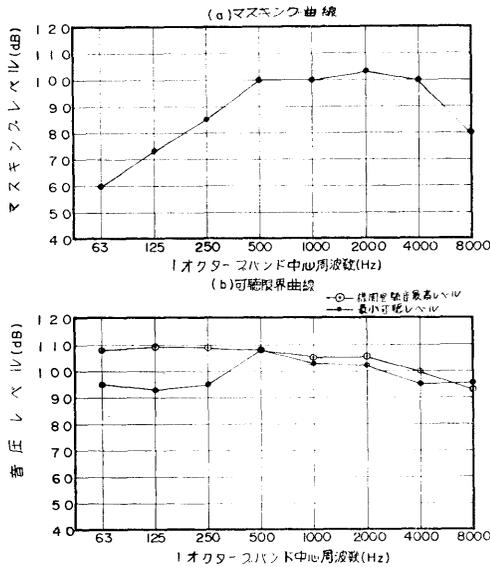


図 25 機関室マスキング，可聴限界曲線

5. 結 び

船内各部に設置されている警報用音響機器の音響特性と船内伝搬特性について報告した。

一般に船舶で使用されているベル、ブザーは、機関室のように騒音が大きな所では複数個用いないと充分その機能が発揮できないこと、騒音の小さな室内の時はさらに小さな音圧レベルの機器でも良いことが明らかとなった。機関室のように室内に大きな構造物があ

る場合には機器の配置に留意するとともに、機器自体の音響出力レベルのより大きいものが望まれる。

室内の音圧レベルの減衰曲線は、機関室と舵機室を除けば、適当な平均吸音率 $\bar{\alpha}$ を用いての計算曲線に一致したので、室内の音響的要素である平均吸音率 $\bar{\alpha}$ 等を測定して得られれば、室内の警報音の音圧分布も求められるので騒音下の室内に適する警報機器の所要 *PWL* が得られよう。また、電子式音響機器は信号要件によって周波数，変調回数，音圧レベル等を任意に設定し得るのでボイスアラームの前段階として各種センサーと結合して自動的に異なった信号音を発し得るようにすれば，非常に有効な信号用機器となろう。

終りに試験機器を提供していただいた各製造会社，ならびに航海訓練所練習船「進徳丸」の関係各位に厚く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山本照二：廊下に沿っての音圧分布，NHK技術研究 Vol. 14, No. 2, 1962. p. 124
- 2) 日本造船研究協会報告，第64号，昭和43年
- 3) 小黑英男，他：船内騒音の現状調査ならびに実船および模型船室における各種の音響実験について運輸技研資料，No. 26, 昭和35年
- 4) 船舶居住区における防音設計指針，日本造船学会，昭和43年
- 5) 神田寛，小黑英男：海上労働科学研究会報，No. 64, 昭和44年
- 6) 騒音対策ハンドブック，技報社，昭和41年