

株式会社名村造船所

実船における騒音低減トライアル

佐々木 雄一郎*

Yuichiro Sasaki



森山 智樹*

Tomoki Moriyama



岩野 華織**

Kaori Iwano



小畑 英郎*

Hideo Obata



2014年7月1日以降の契約船よりIMO新騒音規則が適用されるが、万一、規制値を超過した場合には、船を引渡すことができない。従って、新騒音規則が適用される船には確実な騒音対策を実施し、磐石な状態で騒音計測に臨む必要がある。しかしながら、全ての音源及び伝達経路を考慮した予測計算法は確立できておらず、また、各種対策についても、実船での効果を正確に把握することが難しいため、仮に予測計算上で規制値をクリアできる対策を実施したとしても、実船においてクリアできないリスクを払拭することはできない。

そこで、規制値をクリアできないリスクを少しでも低減するため、騒音対策検証（騒音低減トライアル）計画の一環として、新規則非適用船に於いて、現時点で考えるあらゆる騒音対策を実施し、規制値を満足することができると検証を行った。実船検証は、Aframax tanker, 250 Ore carrier, 82 Bulk carrier の3船型（何れも10,000GT以上）で実施したが、その結果、3船型共に規制値を満足することができた。（以下、対策を実施した船をトライアル船と称する。）今回は、最初に規制値を満足することができた Aframax tanker の結果を中心に報告する。また、トライアル船での成果を今後につなげていくためには、予測計算の有用性を確認しておく必要があることから、騒音予測法の一つであるヤンセン法の予測精度や傾向についても報告する。

第1表 各種対策の効果

1. 緒言

騒音対策検証（騒音低減トライアル）計画は3年前の2014年より開始し、実船に於ける騒音の実情を検証してきた。その結果、下記の知見を得た。

- ・同船型でも同じ騒音計測結果にならない。
- ・各種対策は、船型が変われば同じ効果が得られるとは限らない。

また、各種対策については個別での検証を重ね、第1表のような知見を得ている。

今回はAframax tanker 2隻のトライアル船に、第1表に示す対策を適材適所で実施し、第2表のように規制値を満足することができた。そこで、トライアル船で得た成果と今後の課題について報告する。

対策内容	効果
主発電機関の防振支持	受音室までの距離によるが、固体伝播音に対して効果がある。
静音型ファン	空気伝播音に効果がある。
機関室ファンの給排気口向き変更	騒音の方向性及び受音室までの距離を遠ざけることで、空気伝播音に効果がある。
浮床	空気伝播音及び固体伝播音に対して共にある程度の効果がある。
制振材	浮床程ではないが、騒音低減効果が見込める。
サイレンサー 及び 消音ボックス	空調の騒音が支配的な受音室に効果がある。
アネモディフューザー	ラインディフューザーに比べ風切り音が小さい。
ペアガラス窓	ENG. CASING 側に面した窓からの空気伝播音に有効。
ミネラルウールの密度アップ	ENG. CASING に近い壁面へ適応し、空気伝播音に有効。

原稿受理日：July 21, 2017

*株式会社名村造船所 船舶海洋事業部 設計本部 艀装設計部 船装設計課

**株式会社名村造船所 船舶海洋事業部 設計本部 基本設計部 計画設計課

第2表 トライアル船の騒音計測結果

計測箇所	規制値	計測値		計測箇所	規制値	計測値	
		一隻目	二隻目			一隻目	二隻目
NAV. DECK				"B" DECK			
WHEELHOUSE	65	57	57	AB. SM (C)	55	50	49
DODGER WING (P)	70	67	67	AB. SM (B)	55	50	50
DODGER WING (S)	70	67	67	AB. SM (A)	55	50	49
"D" DECK				OIL (B)	55	51	51
CAPT DAY RM	55	48	50	OIL (A)	55	52	48
CAPT BED RM	55	49	47	NO.1 OIL	55	52	48
OFF'S SP. (A)	55	49	50	PUMP MAN	55	49	48
3/OFF.	55	51	53	ORD. SM (C)	55	51	50
2/OFF.	55	48	51	ORD. SM (B)	55	51	51
C/OFF. BED RM	55	48	55	ORD. SM (A)	55	55	50
C/OFF. DAY RM	55	50	50	RATING'S SP.	55	54	53
OFF'S SP. (B)	55	51	50	MESSMAN	55	49	49
OFF'S SP. (C)	55	48	49	WIPER	55	48	49
PILOT	90	49	51	C/COOK	55	52	49
OFF'S SP. (D)	55	49	50	"A" DECK			
"C" DECK				OFF'S LOUNGE	60	54	51
2/ENG. DAY RM	55	50	49	SHIP'S OFFICE	60	54	52
2/ENG. BED RM	55	47	49	CARGO CONT. RM	60	53	52
3/ENG.	55	48	51	CREW'S LOUNGE	60	53	52
4/ENG.	55	47	49	OFF'S MESS RM	60	60	60
OFF'S SP. (E)	55	49	47	GALLEY	75	68	69
C/ENG. BED RM	55	49	48	CREW'S MESS RM	60	57	59
C/ENG. DAY RM	55	48	49	UPP. DECK			
OFF'S SP. (F)	55	52	52	GYMNASIUM	60	55	53
OFF'S SP. (G)	55	51	51	HOSPITAL	55	52	54
OFF'S SP. (H)	55	49	50				

2. 床への対策

主機及び主発電機関からの固体伝搬音の影響が支配的である場合、受音室側では主に床への対策を行う。床への対策には様々なものがあるが、トライアル船に適用した浮床及び制振材の選定について下記に述べる。

2. 1 浮床の選定

トライアル船に於いて、主機及び主発電機関からの固体伝搬音及び空気伝搬音の影響が支配的であり、受音室側で大きな低減効果を必要とする場合は浮床を適用した。

写真1に浮床の施工状態を示す。



写真1 浮床の施工状態

浮床には、ミネラルウールと鋼板で構成されるシンプルなものから、鋼板上に制振層を施し更に鋼板やミネラルウールで構成して何層構造にもなっているもの等、様々な種類がある。防火構造上でA-60 classの床であれば、型式証

書の有無も選定材料の一つとなる。また、浮床の厚さは天井裏スペースに影響する。浮床を選定する際には、これらの制約条件を考慮しつつ騒音規制値を満足できるだけの低減効果を有するものにならなければならない。一方、浮床の低減効果は、空気伝搬音に対しては透過損失、固体伝搬音に対しては挿入損失のデータにて評価されるが、トライアル船に於いては、挿入損失のデータにて特に低周波域での性能が良いものを選定した。

2. 2 制振材の選定

空気伝搬音の影響が無く、浮床ほどの効果が不要無い場合は、制振材を適用した。制振材は一般的に制振層と拘束層で構成され、その二つの層をパッケージにしたものや、現場にてそれぞれの層を施工するもの等様々ある。浮床ほどの厚さは無いため、天井裏スペースへの影響をあまり気にする必要は無いが、それぞれの製品で施工性が変わってくることから、性能と単価が同等であれば、施工性も採用の判断材料となる。一方、肝心な性能面は損失係数で比較することができる。トライアル船に於いては、損失係数及び施工性を考慮して選定した。

3. 音源分離計測

騒音源の把握及び各種対策の検証を行うため、未対策船及びトライアル船に於いて音源分離計測を実施した。音源分離計測とは、船の主な騒音源となる機器について、可能な限りその機器のみの運転状態として騒音計測を行い、受音室での支配的な音源を見つけ出す手法である。

音源分離計測の一例として、第3表に各計測時の機器の運転状態を示す。尚、第3表は3.1で示す計測結果での機器の運転状態である。

第3表 音源分離計測時の機器運転状態

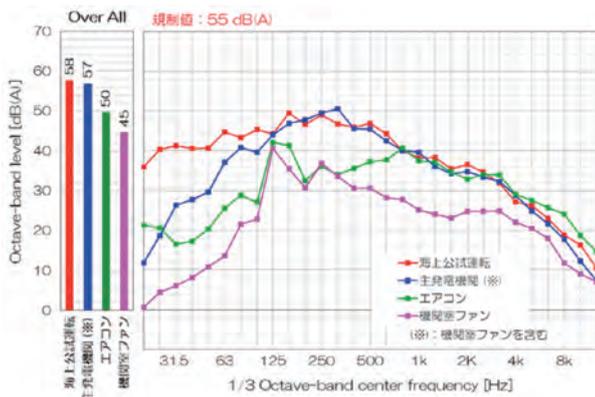
	主発電機関	エアコン	機関室ファン
主発電機関計測	●	×	●
エアコン計測	×	●	×
機関室ファン計測	×	×	●

●：運転 ×：停止

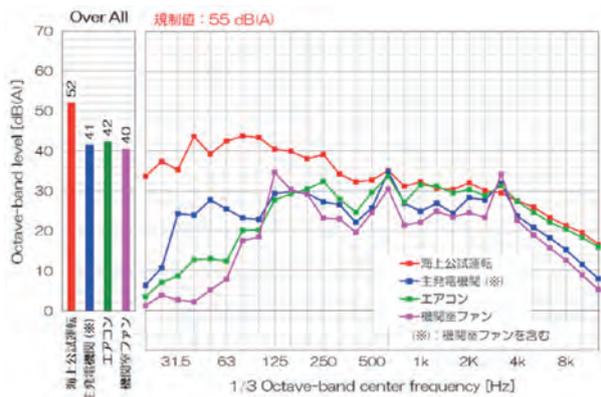
3. 1 音源分離計測結果

未対策船にて、規制値を超えた主な計測箇所及びDODGER WINGでの結果を第1図～第4図に示す。また、トライアル船一隻目と同じ計測箇所での結果を第5図～第8図に示す。

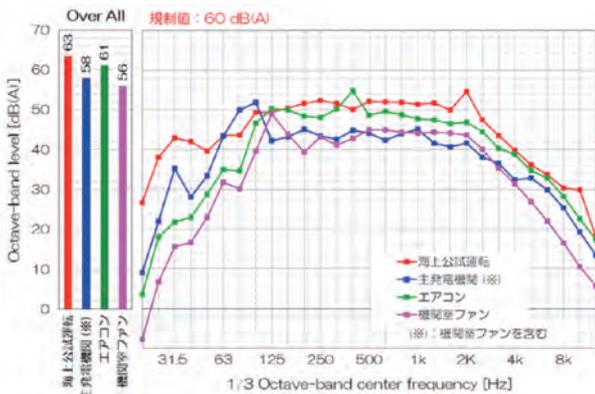
尚、トライアル船では、第1表で示した対策を適材適所で採用している。



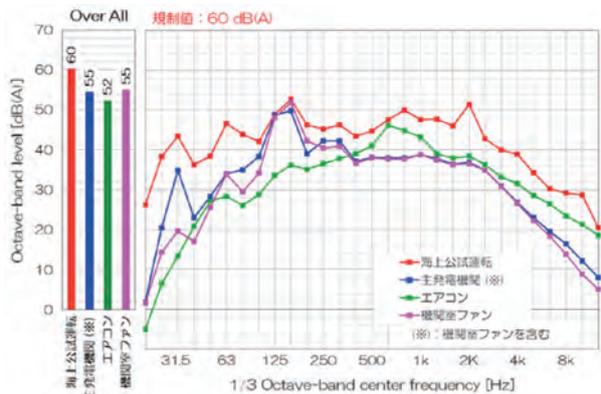
第1図 HOSPITAL (未対策船)



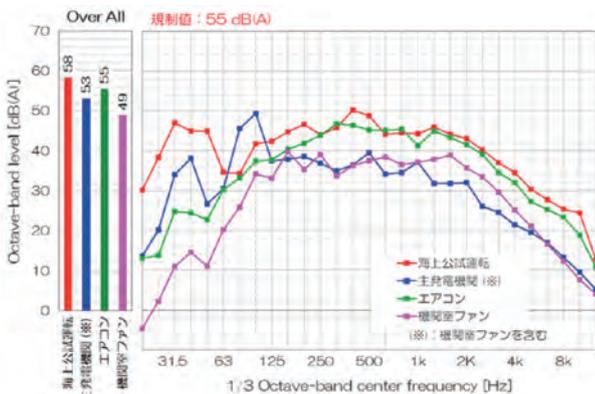
第5図 HOSPITAL (トライアル船 一隻目)



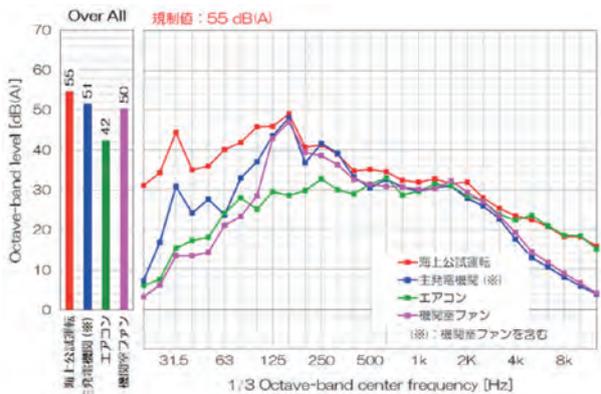
第2図 OFFS' MESS RM (未対策船)



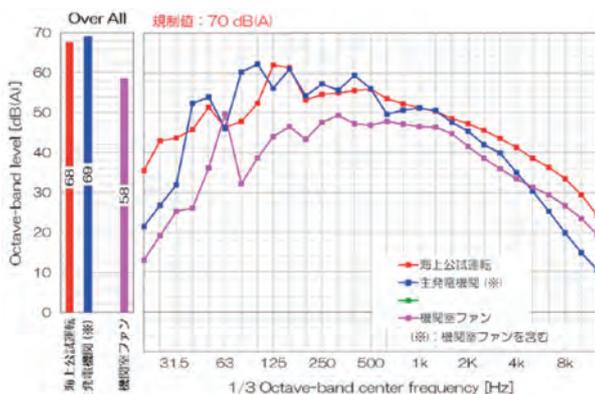
第6図 OFFS' MESS RM (トライアル船 一隻目)



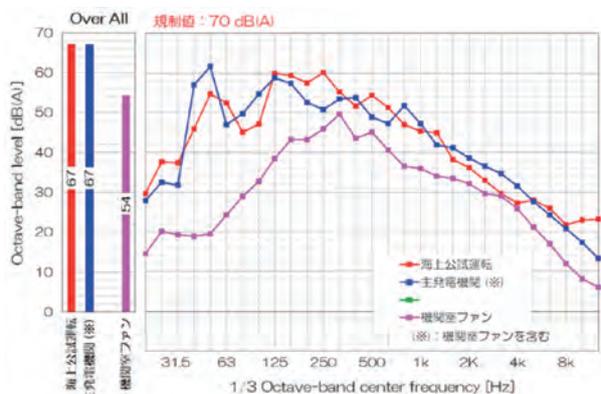
第3図 ORD. SM(A) (未対策船)



第7図 ORD. SM(A) (トライアル船 一隻目)



第4図 DODGER WING(P) (未対策船)



第8図 DODGER WING(P) (トライアル船 一隻目)

3. 2 音源分離計測結果の考察

第1図に於いて、支配的な周波数帯域で大きく影響を及ぼしていたのは、主発電機関であった。主発電機関の影響は、第2図及び第3図でも100Hz付近の帯域で影響を及ぼしていることから、固体伝播音対策として防振支持を採用することにした。その結果、第5図～第7図に示す通り主発電機関の騒音を低減することができた。

第2図及び第3図に於いては、支配的な周波数帯域でエアコンの影響が大きかった。また、第1図でのエアコンの影響は、規制値に影響を及ぼす程度と考えられた。これらの様にエアコンの騒音は、居室及び公室全般的に影響を及ぼしていたことから、規制値 -5 ~ -8dB を目標にトライアル船ではサイレンサー及び消音ボックスを採用した。その結果、第5図～第7図に示す通りエアコンの騒音を低減することができた。

機関室ファンについては、未対策船で既に静音型を採用しており、第4図に示す通りDODGER WINGでは影響が無いレベルであった。しかしながら、第6図及び第7図では160Hz付近でハンブが現れたため、機関室ファンのOver All値への影響が相対的に増してきた。

3. 3 機関室ファンの影響

トライアル船の二隻目に於いては、機関室ファンの吸排気口の向きを変更する等、更なる低減効果を目指した。未対策船及びトライアル船2隻の違いを第4表に示す。

第4表 機関室ファン関連の対策

	静音型ファン	吸排気口向き変更	OFFS' MESS RM
未対策船	●	×	対策無し
トライアル船一隻目	●	●	制振材適用
トライアル船二隻目	●	●	制振材適用及びドア設置

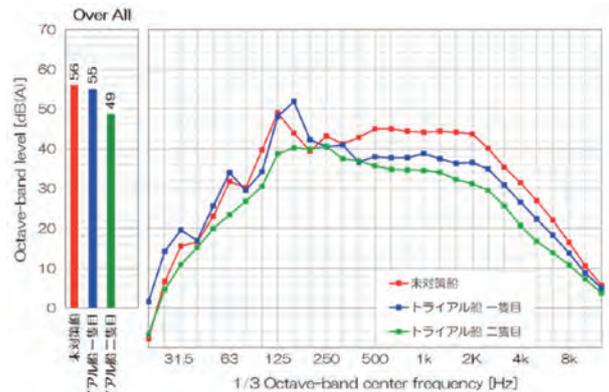
●：適用 ×：未適用

これら3隻でのOFFS' MESS RMとORD. SM(A)の音源分離計測結果（機関室ファン）を、第9図及び第10図に示す。

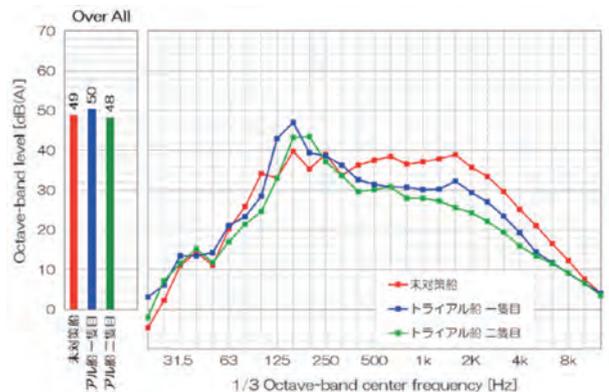
OFFS' MESS RMは、これまでの経験で隣接したPANTRYとの出入口から騒音が侵入していることを掴んでいたため、トライアル船の二隻目ではドアを設置した。その結果、125~160Hz付近も然ることながら広帯域での低減効果が確認できた。この件については、次節の音源探査でも述べる。

ORD. SM(A)では、広帯域に亘って低減効果が見受けられたが、160及び200Hzでは未対策船より高かった。機関室フ

ァンの吸排気口の位置が同じDECKになったことによるものと推察される。



第9図 OFFS' MESS RMでの機関室ファンの騒音



第10図 ORD. SM(A)での機関室ファンの騒音

4. 音源探査

受音室側に於いて、天井・壁・床のどの面からの放射音支が支配的であるかを調査するため、写真2に示す球形アレイを用いた計測を実施して、放射音を視覚的に分析した。



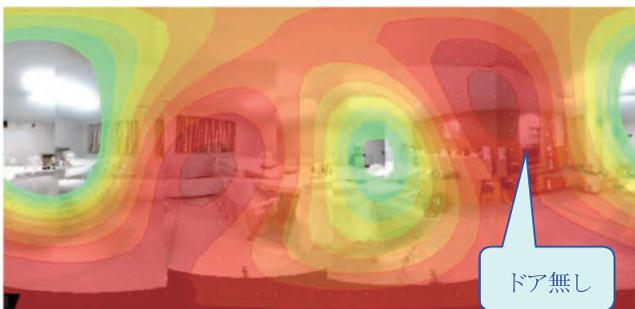
写真2 球形アレイの設置状況

今回の音源探査では、50Hz～5,000Hzの広帯域及び部分的な帯域での出力結果を得ることができた。騒音計の周波数分析結果と組み合わせながら音源探査結果を見ていくことで、支配的な周波数帯域の音がどの方向から放射されているか視覚的に分かる。そこで、トライアル船二隻の機関室ファンの影響調査に、音源探査結果を用いた。

音源分離計測の結果、OFFS' MESS RMとORD. SM(A)にて機関室ファンによる125～160Hz付近の帯域で影響があることが分かったので、音源探査結果の100～160Hzの結果に注目した。トライアル船一隻目の結果を第11図及び第12図に、二隻目の結果を第13図及び第14図に示す。尚、結果は濃い赤ほど騒音レベルが高い。



画面配置

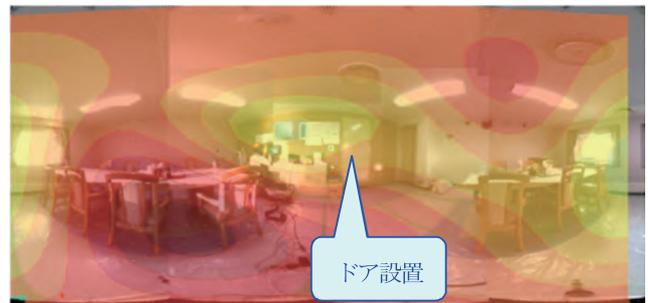


周波数域 100Hz ~ 160Hz

第11図 OFFS' MESS RM (トライアル船 一隻目)



画面配置

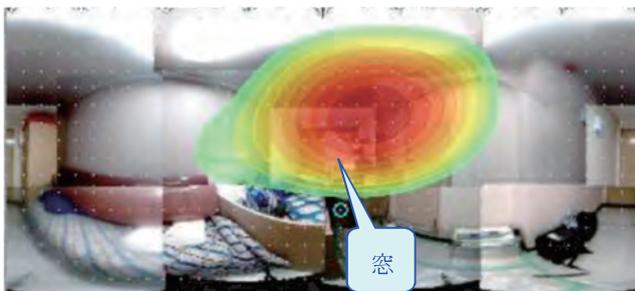


周波数域 100Hz ~ 160Hz

第13図 OFFS' MESS RM (トライアル船 二隻目)

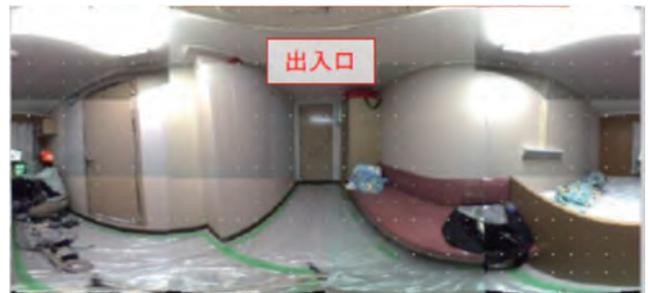


画面配置

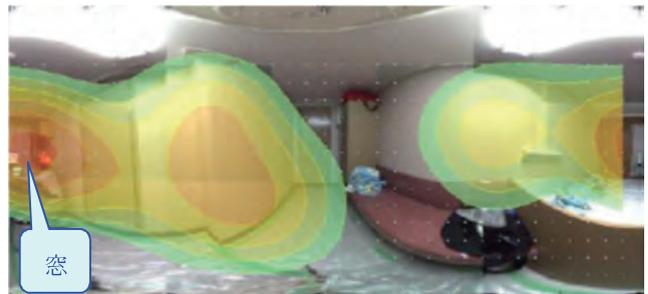


周波数域 100Hz ~ 160Hz

第12図 ORD. SM(A) (トライアル船 一隻目)



画面配置



周波数域 100Hz ~ 160Hz

第14図 ORD. SM(A) (トライアル船 二隻目)

第11図ではPANTRY 出入口付近及び窓側で放射音レベルが高い。一方、その二隻目の結果である第13図では、PANTRY 出入口付近及び窓側よりも、床側の方の放射音レベルが高くなっていった。PANTRY 出入口にドアを設置したこと及び吸排気口向き変更によって効果があったと推察される。

第12図では、窓の上部で放射音レベルが高かった。一方、その二隻目の結果である第14図では、窓の上部での放射音レベルが相対的に低下したものの、その他壁面からの放射音レベルが目立ってきた。こちらは、吸排気口向き変更によって、音の放射される位置が変わったためと推察される。

これらの結果のように、音源探査は対策の効果を視覚的に確認することについても有効であることが分かった。

5. 騒音予測

トライアル船での騒音対策は、同型船や近い船型での騒音計測結果をベースに検討し、有効な対策案と考えられるものを採用した。しかしながら、全くの新船型船や主機及び主発電機関の要目が大幅に変わった場合には、騒音がどの程度変わるのか不明であるため、規制値を確実に満足させる対策案を検討することが困難である。よって、騒音予測計算結果を用いて対策案を検討できるように準備しておく必要があるが、予測計算法には幾つかの手法が知られている。

当社ではSEA法、簡易SEA法及びヤンセン法と3つの予測計算法を用いて検証しているが、今回は比較的人力作業が容易なヤンセン法を用い、計測結果との誤差について検証した。ヤンセン法は主機及び主発電機関を音源として、鋼板等を伝わる固体伝搬音と機関室に隣接した受音室に於ける空気伝搬音を予測する手法である。その為、主機及び主発電機関以外の音源、例えば空調やファン等は別途考慮する必要がある。

5. 1 ヤンセン法の予測精度

騒音対策の必要性の検討や、対策後に規制値を満足することができるかの判断材料として予測計算結果を用いる場合には、予測精度を把握しておく必要がある。そこで予測精度の検証を行うことにしたが、ヤンセン法では、主機及び主発電機関以外の音源は別途考慮する必要があることから、未対策船のように空調の影響が大きい計測結果で検証することは容易でない。よって、空調の影響が少ないトライアル船の3船型にて、予測精度の検証を行った。その結果を第5表に示す。船型毎で予測精度は異なるが、予測点

の90%程度が±5dBの誤差範囲内に入ることが分かった。

第5表 予測精度

	予測値 - 計測値		
	±3 dB	±5 dB	±6.5 dB
Aframax tanker	86 %	95 %	98 %
250 Ore carrier	53 %	93 %	97 %
82 Bulk carrier	89 %	96 %	100 %

5. 2 予測計算結果の傾向

船型毎で予測精度は、250 Ore carrier が最も悪かったが、予測計算結果の傾向を調査するため、“B” DECK 以上の結果を第6表のように纏めた。

第6表にて“B” DECK 以上では予測結果が高めに出る傾向であることが分かり、また他の2船型も同様であった。

第6表 250 Ore carrier での予測結果の傾向

予測値 - 計測値					
-5 ~ -6.5 dB	-3 ~ -5 dB	0 ~ -3 dB	0 ~ 3 dB	3 ~ 5 dB	5 ~ 6.5 dB
0 %	0 %	13 %	48 %	39 %	0 %

予測精度を考慮して、完全に規制値を満足させようとすると過剰な対策になる区画もある。予測結果の傾向も考慮し、また、配置上の傾向も加味しながら対策を検討していく必要がある。

6. 今後の課題

今回の3船型のトライアル船では、規制値を満足することができた。しかしながら、同型船でも±3dB程度の計測誤差があることから、誤差が生じた場合の原因と対策を蓄積していく必要がある。また、各種対策も船型が変われば同程度の効果が得られない場合もあることから、各種対策の特性についても充分把握していく必要がある。

予測計算については、主機及び主発電機関のデータがデータベースに無い場合の対応について、検討していく必要がある。

謝辞

本研究を遂行するに当たっては、各種対策を施工頂いた方々や計測できる環境を作って頂いた方々、また、騒音関連のあらゆる知見を頂いた方々等、様々な方にご協力頂いた。トライアル船にて規制値を満足するという成果が出せたのは、ご協力頂いた方々無しでは成し得なかったと感謝しています。本誌上をお借りしてお礼を申し上げます。