資料５

内航船舶技術支援セミナー

内航船の騒音対策

国立研究開発法人　海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所

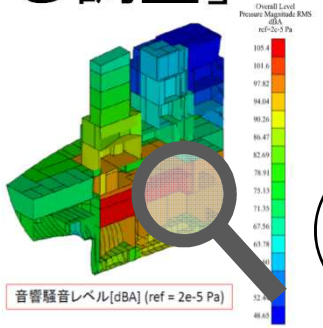
平方　勝

目　　次

1. はじめに
2. 騒音対策最適化
3. 騒音コード非適用船に対する検討
4. まとめ

はじめに (1)

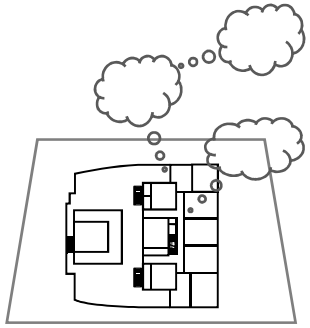
H26年度
「内航船における船内騒音の低減対策に関する調査」



分析
評価

H27年度
「内航船における船内騒音の予測手法及び
対策指針に関する調査」

対策
指針



最適設計
総合
評価

H28年度
「騒音最適化船（6,500kl積みタンカー）の設計調査」
「騒音規制非適用内航船における船内騒音対策に関する調査」

はじめに (2)

2012年、IMOにおいて騒音コードが**強制コード**として採択された

(適用)

国際航海に従事する総トン数が1,600GT以上の新造船であって次のいずれかに該当するものに適用

1. 2014年7月1日以降に建造契約が行われる船舶
2. 建造契約が無い場合には、2015年1月1日以降に起工又は同等段階にある船舶
3. 2018年7月1日以降に引渡しが行われる船舶

内航船にも適用.

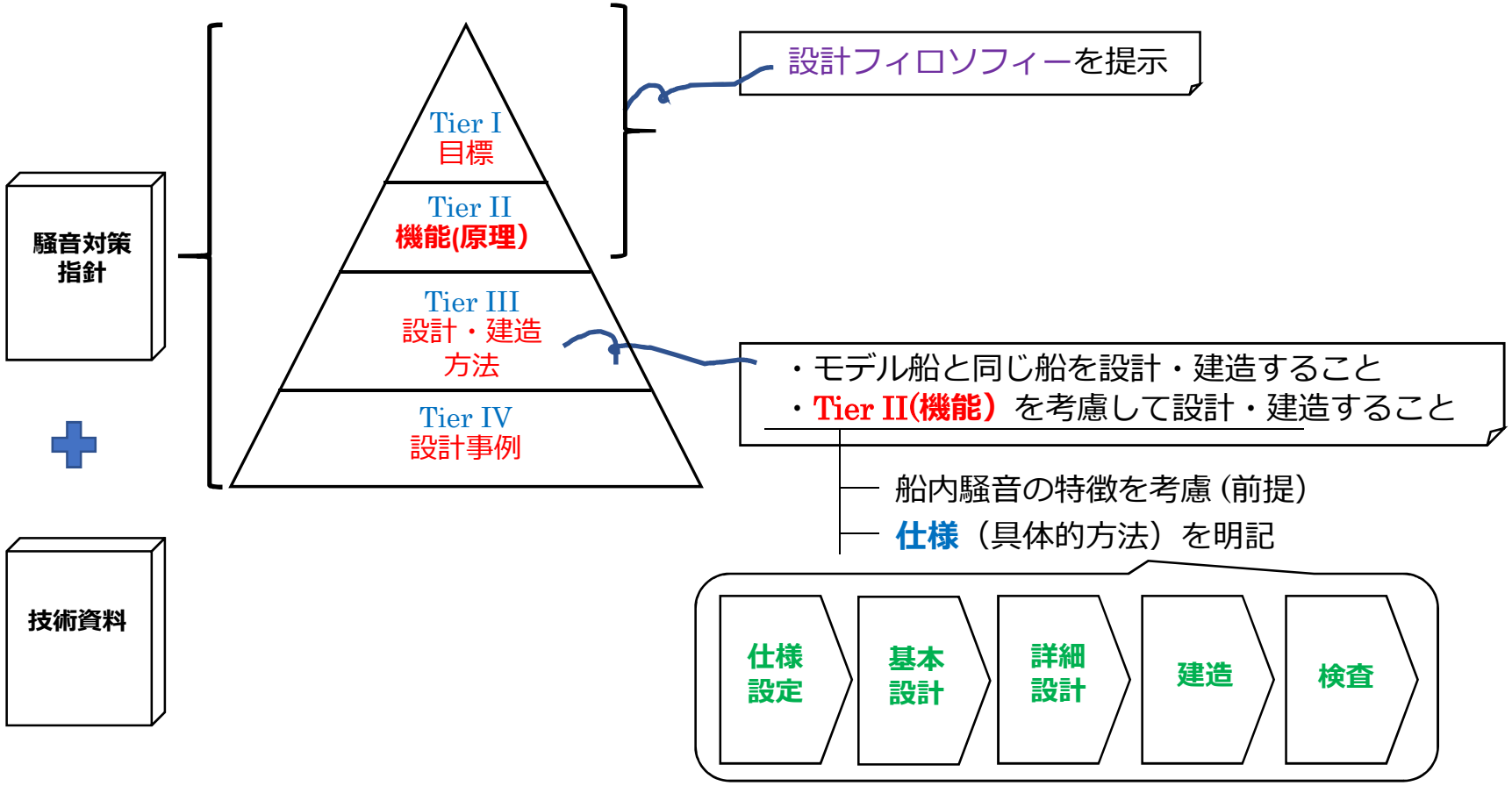
ただし，**騒音レベルの規制値**についてのみ，**3年間適用が延期**される.

(騒音規制値)

単位：dB(A)

区域及び区画	1,600GT以上 10,000GT未満	10,000GT以上
1．作業区域		
機関区域	110	
機関制御室	75	
機関区域外の工作室	85	
特定されない作業区域	85	
2．航海業務に充当する区域		
船橋及び海図室	65	
船橋ウィング及び窓を含む監視場所	70	
無線室	60	
レーダー室	65	
3．居住区域		
居室及び病室	60	55
食堂・娯楽室	65	60
娯楽用の開放区域	75	
事務室	65	60
4．業務区域		
調理室・配膳室	75	

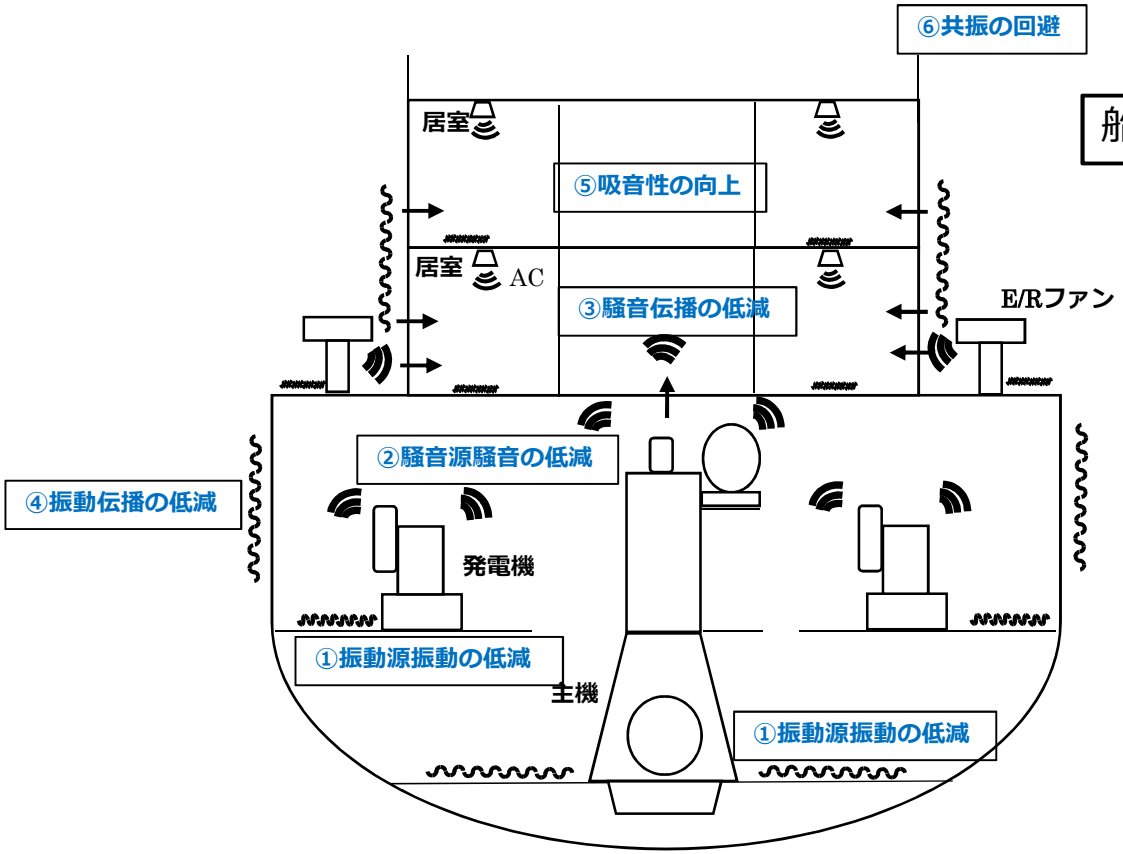
はじめに　-騒音対策指針(1)-



騒音対策指針は、下記に掲載
鉄道・運輸機構HPの トップ＞ 業務案内＞ 船舶共有建造＞ 騒音対策指針
http://www.jrtt.go.jp/02Business/Vessel/vessel-noiseCtrl.html

はじめに　-騒音対策指針(2)-

機能要件（基本的対策）（Tier II）



効果的な騒音対策

船体区画、居住区、機関室**配置の最適化**

↓

最適な機関の選定

↓

騒音対策品の選定

はじめに　-騒音対策指針(3)-

機関室・居住区域の基本設計 (Tier III , Tier IV)

- エンジンケーシングの配置
- 発電機の配置
- 機関据付部の構造設計
- 機関室（上甲板区画）の配置と遮音性
- エンジンルームファンの配置と対策
- 空調機対策
- 上部構造物形状
- Ventilation Tunnel (V/T)の配置
- エアコンルームの配置

エンジンケーシングと居住区は**分離**

発電機を居住区から**離す**

機関据付部の**剛性を高める**

Poop Deck区画下は、**遮音性のある区画**を配置する

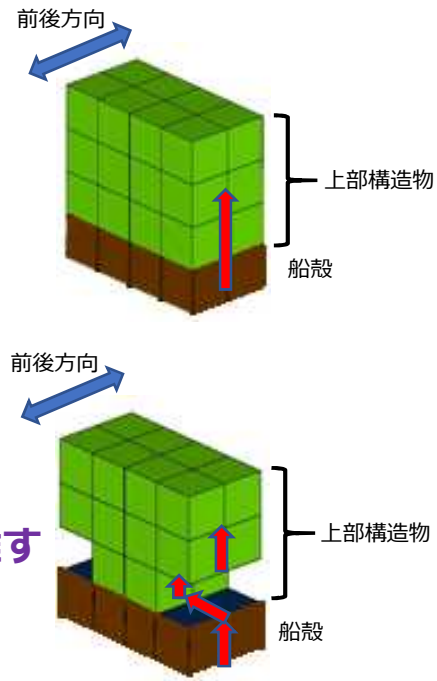
エンジンルームファン **給気口騒音レベルを下げる**

静音性のいい空調機を採用する

エネルギー**伝達損失の大きい形状**

V/Tをエンジンケーシング壁面から**離す**

エアコンルームは規制対象の区画から**離す**



騒音対策最適化 (1)

H28年度「騒音最適化船（6,500kl積みタンカー）の設計調査」事業

【経緯】

- 内航船についても1,600総トン以上の船舶に騒音規制が適用。
- 6,500kl積みタンカーは，その割合が大きく，**騒音規制に適合させることが困難**といわれている。
- 加えて、居住区**構造寸法の変更**や内装施工などの騒音対策の実施に当たっては、搭載重量、復原性及び**費用**なども考慮しなければならず、**設計の負担が大きい。**

【目的】

内航船の中で割合が大きく、また、騒音規制に適合させることが困難だといわれている6,500kl積みタンカーについて、内航タンカーを建造する**造船所の騒音対策負担を軽減**させ、騒音規制適合船舶の**建造を促進**すること

騒音対策最適化 (2)

騒音対策最適化のフロー

【第1段階】 **船体構造最適化**

船体重量を考慮して、騒音レベルを改善する構造寸法、配置の決定を行う。

No.	設計パラメータ	記号	現行設計	水準値		
				-1	0	1
1	居住区デッキハイト[m]	h	2.55	2.55	2.60	2.65
2	居住区外壁板厚[mm]	t_o	6	6	8	10
3	居住区内壁板厚[mm]	t_i	6	6	8	10
4	居住区デッキ板厚[mm]	t_D	6	6	8	10
5	エンジンケーシング板厚[mm]	t_E	6	6	8	10
6	居住区内壁の変更	f_I		減らす	現状	増やす
7	cデッキ暴露甲板	f_D		現状		切離

【第2段階】 **騒音対策品最適化**

構造寸法、配置を最適化した上で、騒音対策費用を考慮して、浮床等騒音対策品の施工箇所を検討

騒音対策最適化 (3)

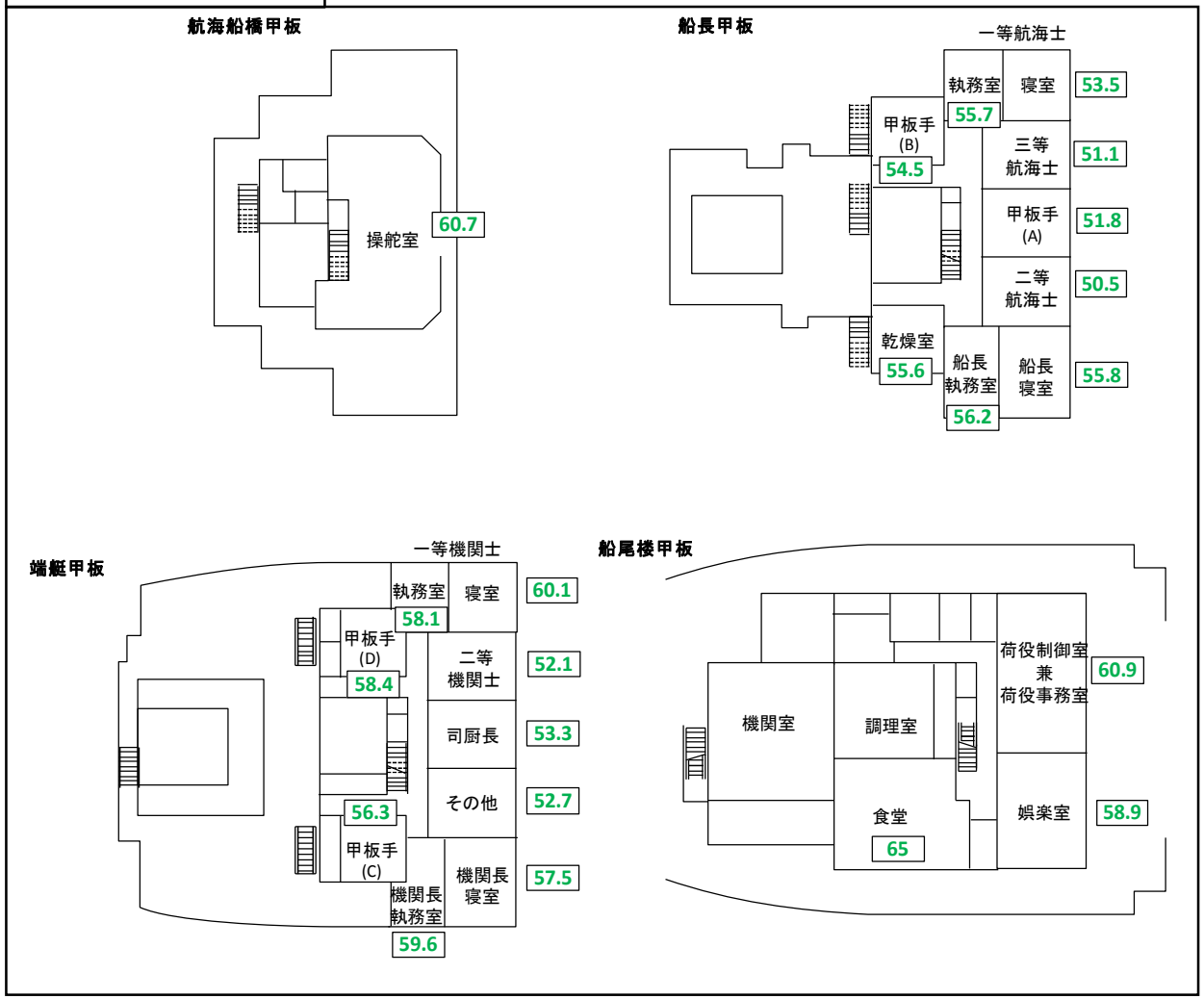
対象船

第一浪速丸
白油タンカー
浪速タンカー（株）
新来島広島どっく建造
3,834 GT
4,999 DWT
平成26年8月竣工

騒音対策上の特徴

- ✓ **エンジンケーシング**を端艇甲板から前後に**分離**（V/Tは居住区と接しない）
- ✓ **発電機**を居住区から**離す**
- ✓ **Poop Deck区画下**は**遮音性**のある区画（機関制御室、工作室等）を配置
- ✓ **エンジンルームファン**の給気口**騒音レベル小**
- ✓ **静音**性のいい**空調機**

騒音計測結果



騒音対策最適化 (4) – 船体構造最適化 –

船体構造最適化

全ての組み合わせは、1458（$3^6 \times 2$)通り

⇩ 全ての組み合わせでSEA法計算時間的困難

実験計画法により選択した計算点のみで
SEA法計算を実施

⇩

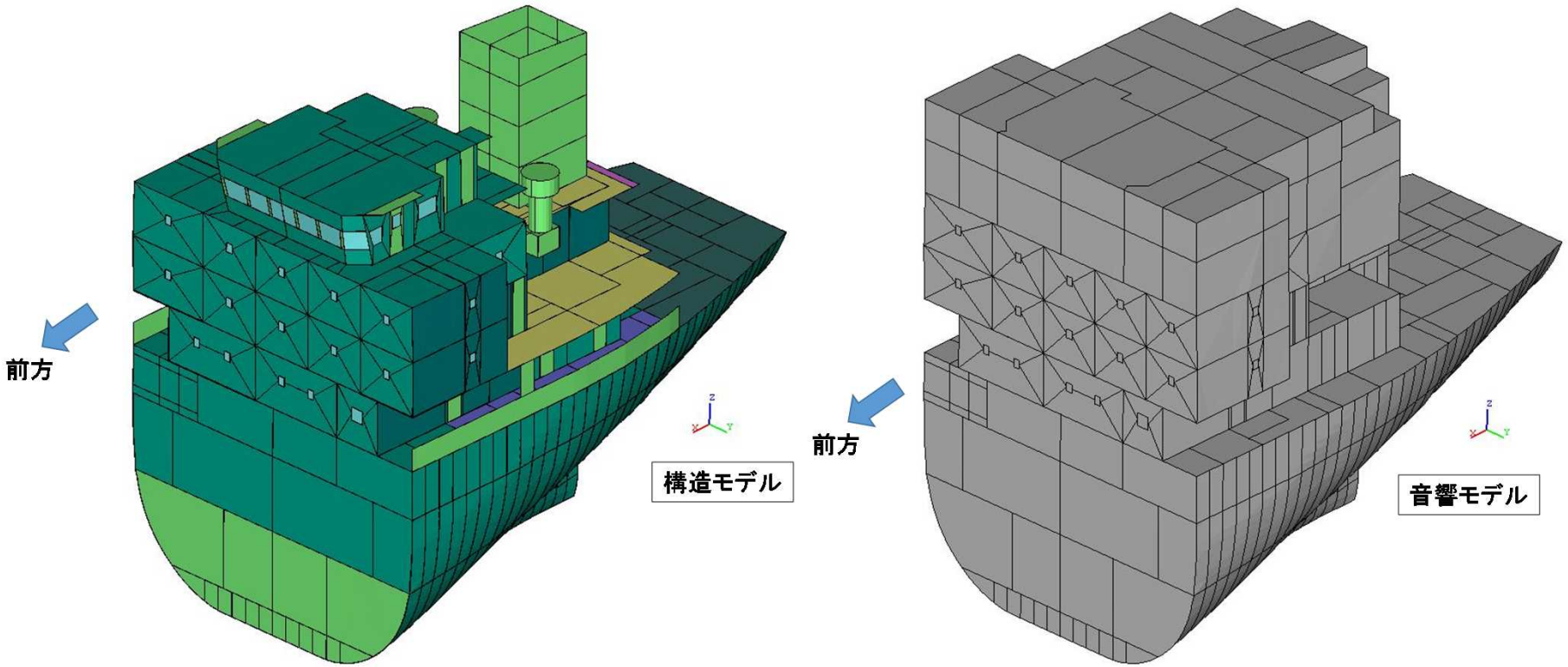
計算点の設計変数の組み合わせにおいて、各部屋の各周波数の騒音レベルをSEAにより求め、得られた解を基に応答曲面を作成し、任意の設計変数の組み合わせにおける騒音レベル（応答曲面）を求める。

⇩

重量増加に制約を設け、最適な設計変数組み合わせを求める。

騒音対策最適化 (5) – 船体構造最適化 –

SEAモデル

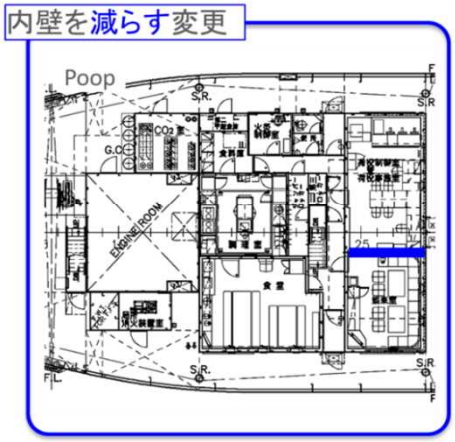


騒音対策最適化 (6) – 船体構造最適化 –

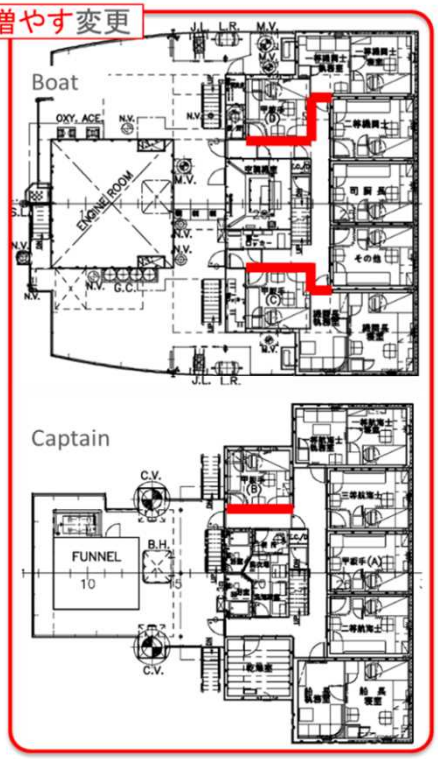
居住区内壁変更

居住区内壁を**減らす**変更では、Poop Deck平面図青線箇所を**鋼板**から**仕切り壁**に変更。
居住区内壁を**増やす**変更では、Boat Deck、Captain Deck平面図の赤線箇所を**仕切り壁**から**鋼板**に変更。

内壁を減らす変更



内壁を増やす変更



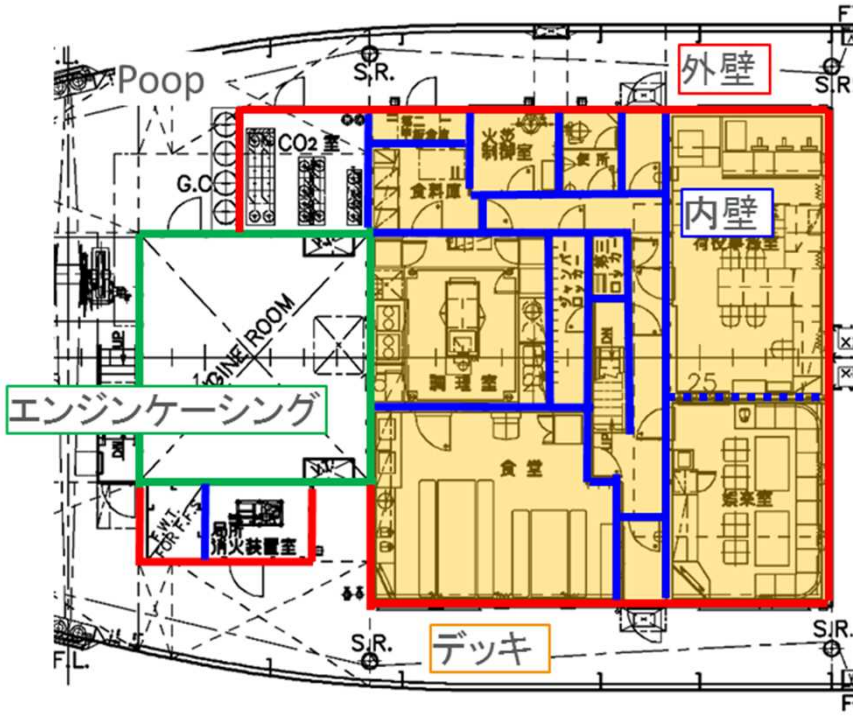
騒音対策最適化 (7) – 船体構造最適化 –

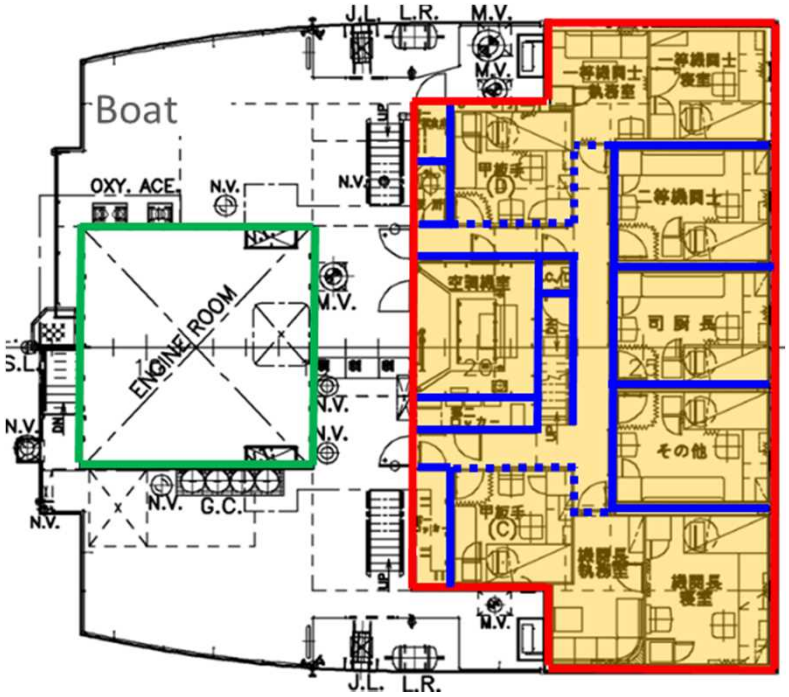
Captain Deck暴露甲板切り離し変更

実船では、Captain Deck下図中赤点線箇所で暴露甲板でつながっている。
暴露甲板の切り離しは赤点線箇所のSEAプレートを削除することでモデル化する。

騒音対策最適化 (8) – 船体構造最適化 –

居住区の板厚変更区分

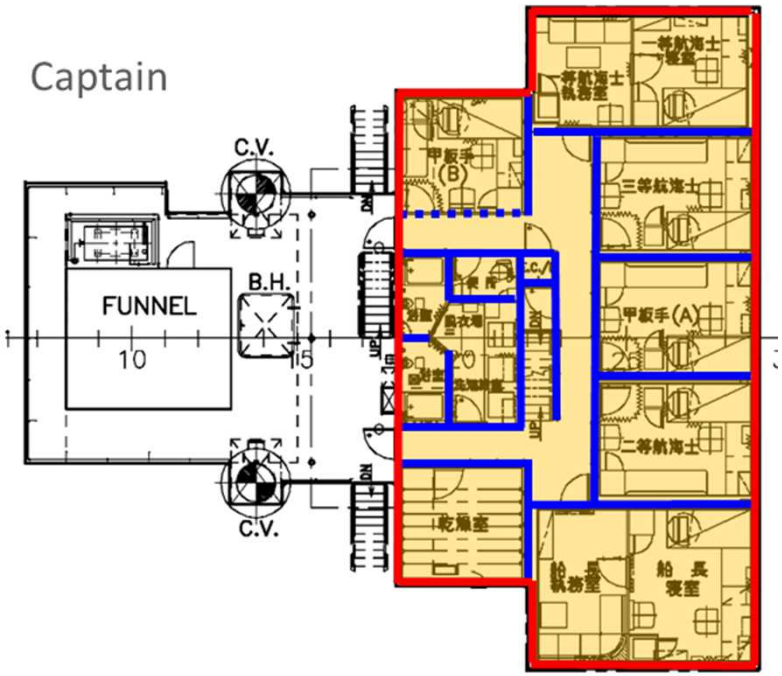


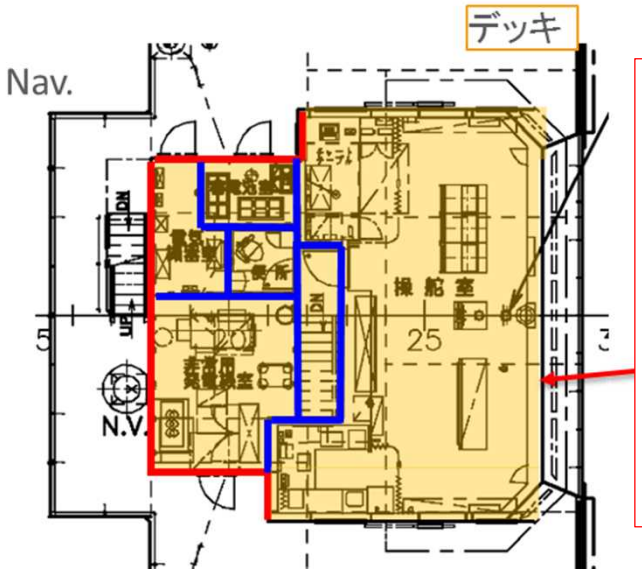


赤線：居住区外壁
青線：居住区内壁
緑線：エンジンケーシング壁

騒音対策最適化 (9) – 船体構造最適化 –

居住区の板厚変更区分





※操舵室の壁は、窓の占める割合が大きく、周りの壁板厚(6mm)よりも厚い(8mm)。したがって、現行板厚(8mm)より薄くすることは現実的ではなく、また厚く（10mmに）することも現実的な設計変更ではないため、最適検討から除外した。

赤線：居住区外壁
青線：居住区内壁
緑線：エンジンケーシング壁

騒音対策最適化 (10) – 船体構造最適化 –

実験ケース（16ケース）

ケース	居住区デッキハイト h [m]	居住区外壁板厚 t_o [mm]	居住区内壁板厚 t_i [mm]	居住区デッキ板厚 t_D [mm]	エンジンケーシング板厚 t_E [mm]	居住区内壁の変更 f_I	Captain Deck 暴露甲板 f_D
1	2.55	6	6	6	6	増やす	現状
2	2.55	6	6	10	6	増やす	切離
3	2.55	6	10	6	6	減らす	現状
4	2.55	6	10	10	10	増やす	現状
5	2.55	8	6	10	10	減らす	切離
6	2.55	10	6	8	10	増やす	現状
7	2.55	10	10	6	6	増やす	切離
8	2.65	10	10	10	6	減らす	現状
9	2.65	6	6	6	6	減らす	切離
10	2.65	6	6	6	10	減らす	現状
11	2.65	6	10	10	6	増やす	切離
12	2.65	6	10	10	8	増やす	現状
13	2.65	6	10	10	10	減らす	切離
14	2.65	10	6	10	6	減らす	現状
15	2.65	10	6	10	6	増やす	現状
16	2.65	10	10	6	10	増やす	切離

騒音対策最適化 (11) – 船体構造最適化 –

- 実験計画に基づいた16ケースの騒音解析結果から、各部屋の周波数成分ごとに応答曲面法を用いて全組み合わせにおける騒音レベルを予測
- 重量増加を10トンまでという制限の下、「規制値に対して最も余裕のない部屋を改善する」という考えで、最適な組み合わせを選択

制約条件：上部構造物の重量増分の制約値10ton
目的関数：最も成績の悪い居室の最良化

＜設計パラメータと水準値＞

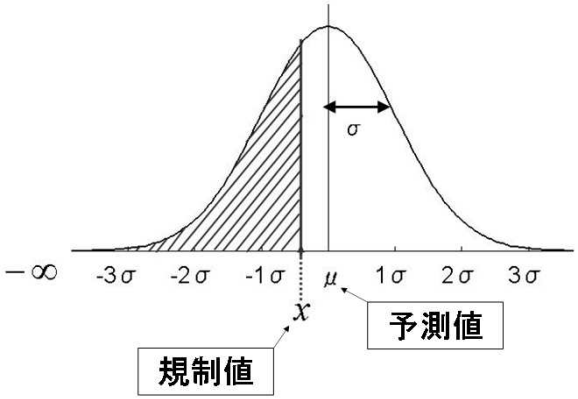
No.	設計パラメータ	記号	現行設計	水準値		
				-1	0	1
1	居住区デッキハイト[m]	h	2.55	2.55	2.60	2.65
2	居住区外壁板厚[mm]	t_o	6	6	8	10
3	居住区内壁板厚[mm]	t_i	6	6	8	10
4	居住区デッキ板厚[mm]	t_D	6	6	8	10
5	エンジンケーシング板厚[mm]	t_E	6	6	8	10
6	居住区内壁の変更	f_I		減らす	現状	増やす
7	Cデッキ暴露甲板	f_D		現状		切離

＜最適水準値＞

水準
2.65
6
6
8
8
減らす
現状

騒音対策最適化 (12) – 船体構造最適化 –

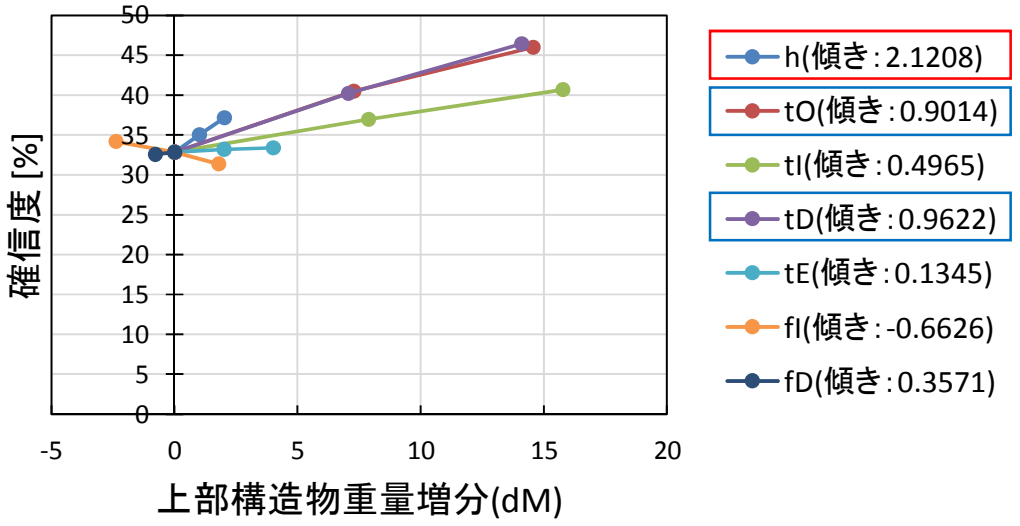
- どのパラメータの変更が効果的なのかを考察するため、上部構造物の重量増加に対する騒音低減効果を評価
- 騒音予測と実船計測の誤差を統計的に考慮して、**重量増加を制約条件**に、騒音基準達成の**確信度（全部屋が合格する確率）**を**目的関数**として評価



$$P = \prod_i P_i$$

P: 確信度

P_i: 各部屋の騒音予測値が規制値を下回る確率



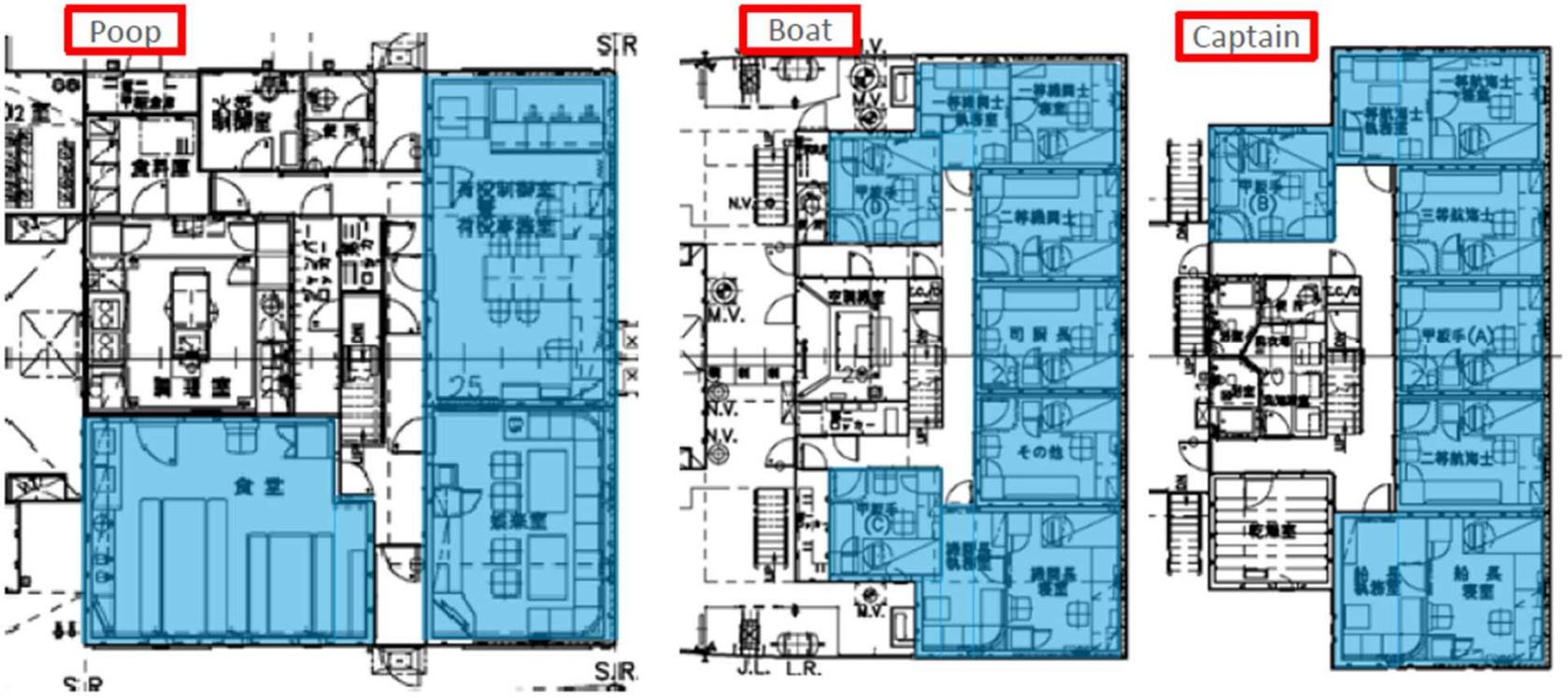
h（居住区デッキ高さ） tO（居住区外壁板厚） tI（居住区内壁板厚）
tD（居住区デッキ板厚）tE（機関室ケーシング板厚）
fI（居住区内壁の変更） fD（Cデッキ暴露甲板変更）

モデル船の場合、h > tD > t0 > tI > fD > tE　　fIの傾きは負

騒音対策最適化 (13) – 騒音対策品最適化 –

船体構造最適化モデルを基準に、**騒音対策品**（**浮床**、**多孔質吸音パネル**、**発電機防振**）の**対策最適化**を行う。騒音対策品の対策組み合わせ（実験計画）に基づき、**最適化計算**を実施した。

浮床、**多孔質吸音パネル**施工部屋



騒音対策最適化 (14) – 騒音対策品最適化 –

騒音対策品最適化段階

各部屋に**多孔質天井パネル**、**浮床**の内装を個別に施工する場合、全ての組み合わせは、8.8×10^{12}（$4^{21}\times2$)通り

全ての組み合わせでSEA計算は
⇩ 時間的困難

右表に示す8通りのSEAモデルを作成し、各部屋の各施工における騒音レベルは右表の対応する計算結果をそのまま参照。

表　計算を行うSEAモデル

水準値	騒音対策品の組み合わせ
0	発電機防振なし_多孔質天井パネルなし_浮床なし
1	発電機防振なし_多孔質天井パネルなし_浮床あり
2	発電機防振なし_多孔質天井パネルあり_浮床なし
3	発電機防振なし_多孔質天井パネルあり_浮床あり
4	発電機防振あり_多孔質天井パネルなし_浮床なし
5	発電機防振あり_多孔質天井パネルなし_浮床あり
6	発電機防振あり_多孔質天井パネルあり_浮床なし
7	発電機防振あり_多孔質天井パネルあり_浮床あり

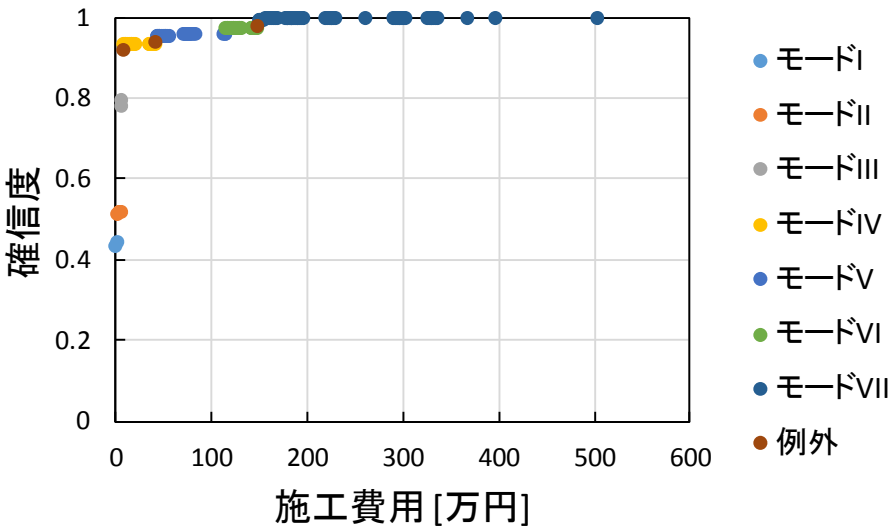
⇩

構造最適化と同様の全ての組み合わせを計算した最適解探索は、その組み合わせが膨大で困難。

⇩

部屋を3組に分け、各組でパレート最適解を全探索で求めた後、各組のパレート最適解の組み合わせを全探索により求める部分最適化を行った。

騒音対策最適化 (15) – 騒音対策品最適化 –



モード	施工の傾向
モードI	MESS ROOMとSEAMAN(D)に何も対策をしない
モードII	MESS ROOMに何も対策をせず、SEAMAN(D)に多孔質パネルのみ施工
モードIII	MESS ROOMに多孔質パネルのみ施工し、SEAMAN(D)に対策をしない
モードIV	MESS ROOMとSEAMAN(D)に多孔質天井パネルのみ施工
モードV	MESS ROOMに多孔質パネルのみ施工し、SEAMAN(D)に少なくとも浮床を施工
モードVI	MESS ROOMに少なくとも浮床を施工し、SEAMAN(D)に多孔質パネルのみ施工
モードVII	MESS ROOMとSEAMAN(D)に少なくとも浮床を施工

構造最適化の段階で**最も合格率が低い部屋**（食堂と船員室D）に内装施工対策を**優先的**に施工すると**費用対効果が大きい**という結論になった。
なお、対象船は発電機が居住区から離して後方に配置しており、各部屋の騒音レベルに占める発電機の寄与はもともと小さいため、発電機防振の優先順位が低かったと思われる。

騒音コード非適用船に対する検討 (1)

H28年度「騒音規制非適用船における船内騒音対策に関する調査」事業

【経緯】

- 我が国の内航海運においては、近年の少子化、船員不足を背景として、船員確保のための方策という観点から、船員の労働環境の改善に対する要請が高まっている。なかでも、騒音対策の必要性は広く認識されている。
- 騒音規制の適用対象となる総トン数1,600トン以上の船舶については、基準に適合するために必要となる設計の変更や防振・防音対策について具体的な検討が進んできた。
- 一方、499総トン、749総トンといった内航の太宗船である**非適用船舶**については、未だ実現可能な**具体的対策の検討は不十分**。

【目的】

騒音規制の対象となっていない比較的小型の内航船について、騒音計測データを踏まえ、**騒音低減のための具体的な対策案**をまとめる。

騒音コード非適用船に対する検討 (2)

過去の船内騒音計測データの分析

平成23年度以降に竣工した内航船の騒音計測データ及び図面を分析した。

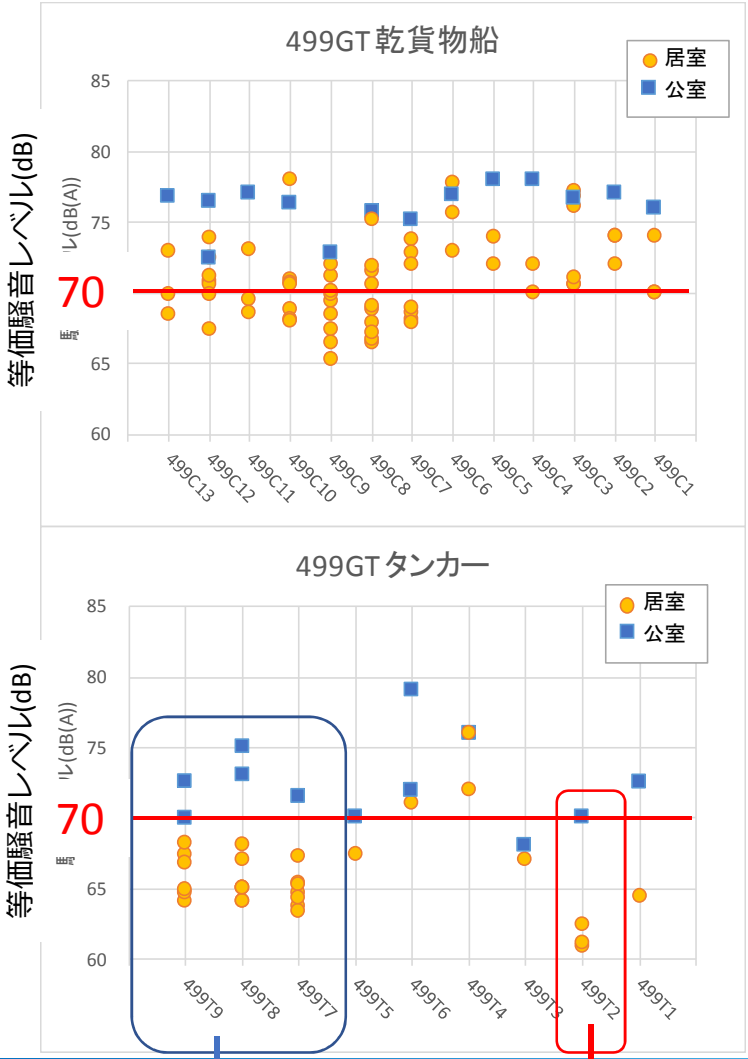
船名	用途	GT		
499C1	貨物船	499	乾貨物船	499サイズ
499C2	貨物船	499		
499C3	貨物船	499		
499C4	貨物船	499		
499C5	貨物船	499		
499C6	貨物船	498		
499C7	貨物船	499		
499C8	貨物船	459		
499C9	貨物船	461		
499C10	貨物船	499		
499C11	貨物船	499		
499C12	貨物船	499		
499C13	貨物船	499		
749C1	コンテナ船	749		749サイズ
749C2	セメント船	749		
749C3	貨物船	749		
749C4	セメント船	749		
499T1	ケミカル	499	タンカー	499サイズ
499T2	油兼ケミカル	499		
499T3	油タンカー	498		
499T4	油兼ケミカル	499		
499T5	油タンカー	499		
499T6	油タンカー	499		
499T7	ケミカル	499		
499T8	ケミカル	499		
499T9	ケミカル	499		
749T1	アスファルト船	769		749サイズ
749T2	ケミカル	769		
749T3	ケミカル	749		
749T4	油タンカー	749		
749T5	ガス(LPG)	749		
749T6	油タンカー	749		
749T7	ガス(LAG)	749		
999T1	油タンカー	997		999サイズ
999T2	油タンカー	999		
999T3	油タンカー	999		
999T4	油タンカー	999		

騒音コード非適用船に対する検討 (3)

499乾貨物船と499タンカーの比較

499C6

499T7



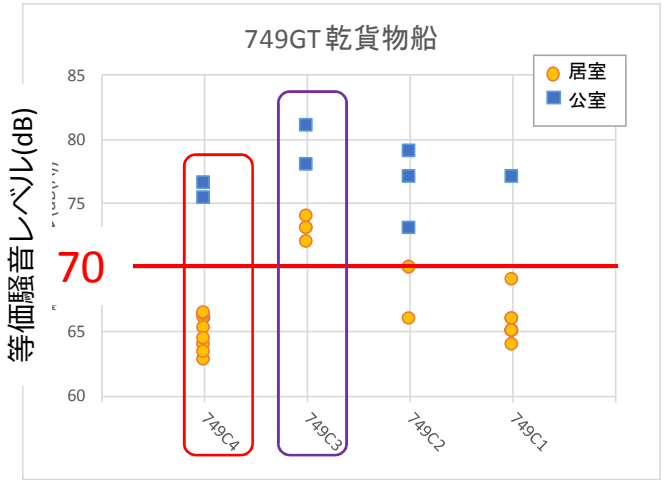
階段室あり

電気推進船

騒音コード非適用船に対する検討 (4)

749乾貨物船

749C3　　749C4



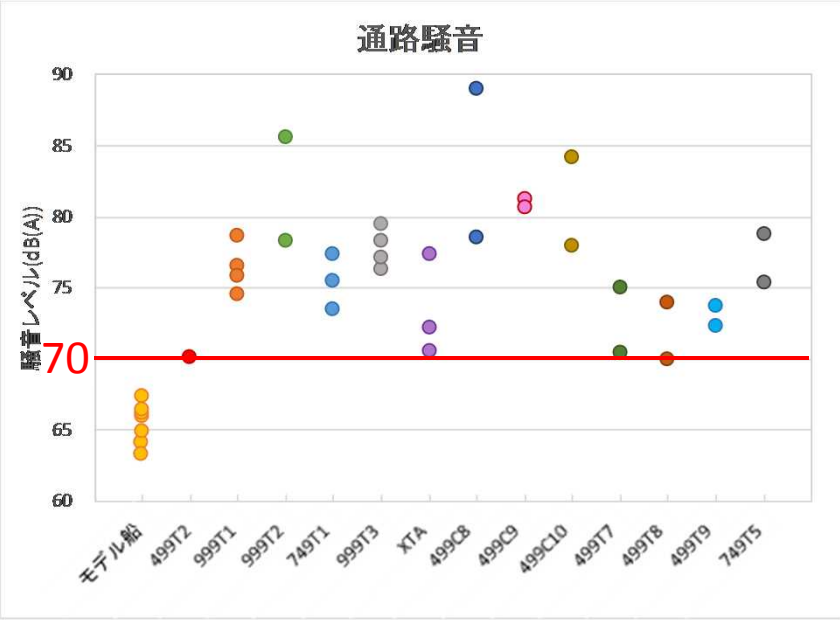
機関と居住区の位置関係が騒音レベルに影響

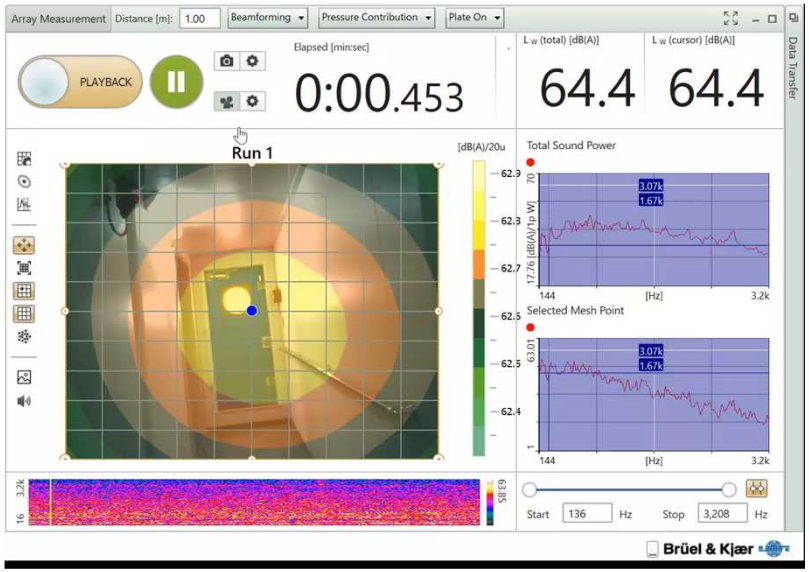
近い　　主機と居室が　　離れている

騒音コード非適用船に対する検討 (5)

過去の船内騒音計測データの分析

- 通路の騒音計測を行った6隻について騒音レベルを調査したところ、通路の騒音レベルが調査したすべての船舶で**通路の騒音レベル**が**70dB(A)**を超えていた。
- 大きさは異なるが、騒音規制値を満足する**モデル船**（6,500kl積みタンカー）が**65dB(A)**程度
- **階段室に扉がない**こと、**エンジンルームファン、ファンネルと居住区との距離が近い**ことが、**通路内の騒音レベルが高い原因**と考えられる。





騒音コード非適用船に対する検討 (6)

騒音対策リストの作成

分析結果と1,600総トン以上の船舶に採用されている騒音対策等についての考察を行うことにより、効果的と思われる具体的な騒音対策のリストを作成。

表　騒音対策リスト

船内騒音対策項目	対策内容	備考
電気推進	固体伝播音対策	設計変更
上部構造物（浮構造）	固体伝播音対策	設計変更
エンジンケーシングと居住区の分離	固体伝播音対策	設計変更
壁パネルへの防熱材挿入	固体伝播音対策	設計変更
高速4サイクル主機の防振支持	固体伝播音対策	対策品購入
発電機の防振ゴム支持	固体伝播音対策	対策品購入
プロペラ変動圧の低減（FRPプロペラ採用）	固体伝播音対策	対策品購入
浮床	固体伝播音対策	対策品購入
主機トップブレーシングの防振支持	固体伝播音対策	対策品購入
排気管弾性支持	固体伝播音対策	対策品購入
制振材貼り付け	固体伝播音対策	対策品購入
エンジンルームファン対策	空気伝播音対策	設計変更
機関室と居住区画間の二重扉設置	空気伝播音対策	設計変更
低騒音エアコン	空気伝播音対策	対策品購入
主機過給機遮音	空気伝播音対策	対策品購入
遮音壁・遮音扉	空気伝播音対策	対策品購入
主機排気管系統にマフラー挿入	空気伝播音対策	対策品購入
発電機排気管系統にマフラー挿入	空気伝播音対策	対策品購入
多孔質天井パネルの設置	空気伝播音対策	対策品購入

騒音コード非適用船に対する検討 (7)

- Janssen法による騒音予測プログラムを用いた効果の予測に加えて、1,600総トン以上における対策効果の実績を踏まえ、下表にまとめた。
- **有効な対策**をとるためには、**音源を特定**して対策をとることが望ましい。
- **空気音対策と固体音対策の併用**が、効果的である。

表　騒音対策効果目安

船内騒音対策項目	影響範囲	予想される効果（dB(A)
電気推進	広い	5～10
上部構造物（浮構造）	広い	5～10
エンジンケーシングと居住区の分離	広い	1～5
壁パネルへの防熱材挿入	受音区画内	1～2
高速4サイクル主機の防振支持	広い	1～7
発電機の防振ゴム支持	広い	1～7
プロペラ変動圧の低減(FRPプロペラ採用)	広い	1～4
浮床	受音区画内	1～6
主機トップブレーシングの防振支持	周辺	1～2
排気管弾性支持	周辺	1～2
制振材貼り付け	周辺	1～2
エンジンルームファン対策	周辺	1～3
機関室と居住区画間の二重扉設置	周辺	1～2
低騒音エアコン	受音区画内	1～3
主機過給機遮音	周辺	1～2
遮音壁・遮音扉	周辺	1～2
主機排気管系統にマフラー挿入	周辺	1～2
発電機排気管系統にマフラー挿入	周辺	1～2
多孔質天井パネルの設置	受音区画内	1～2

まとめ

- 内航船を対象に、騒音規制に適合させるための騒音対策を、静音性に優れた6,500kl積み油タンカー（モデル船）を参考に、**Janssen法による騒音予測**、**SEAによる騒音解析**を通じて検討してきた。
- SEAによるエネルギー伝搬経路解析、騒音低減に寄与する設計因子の調査を行い、騒音低減に寄与する要件を**騒音対策指針**にまとめた。
- 騒音対策指針に示した機能要件をすでに満足するモデル船について、さらに船体構造（重量）、騒音対策品（コスト）の面からより**騒音対策最適化**をねらった検討を行った。
- モデル船の現行設計から**最適設計**となる設計変数への変更内容は、合理的で説明可能な対策内容（**騒音規制値に対する余裕が小さい部屋を中心に対策を施工すると費用対効果が大きい**）となる結論に達した。
- 我が国内航海運がかかえる船員不足の課題に取り組むことを目的に、労働環境改善の一つとして、**騒音規制非適用船**についても騒音低減にむけた検討を行った。
- 非適用船であっても、**騒音対策指針**に示したように機関を居住区から遠ざけた配置とする船舶は、比較的騒音レベルが低いことが分かった。騒音対策指針に示した機能要件を考慮した設計変更に取り組むことによって改善が期待できる。階段室の扉設置、居室壁・扉の遮音性能向上などの**空気伝搬音対策と固体伝搬音（振動）対策を同時に実施**することが望ましい。

ご清聴ありがとうございました