

騒音対策指針

2016 年 7 月

鉄道建設・運輸施設整備支援機構

はじめに

2011 年 11 月、国際海事機関 (IMO) 第 91 回海上安全委員会 (MSC) において、船内騒音コードを強制化する海上人命安全条約 (SOLAS 条約) の改正案が採択された。これを受け、2014 年 7 月 1 日以降の建造契約船で 1,600 総トン以上の船舶に騒音規制が導入されることになった。内航船についても平水区域を航行する船舶を除く 1,600 総トン以上の船舶に同規制が適用されることになった。また、同規制の一部である居住区域、業務区域等の騒音基準（上限値の設定）の適用については、3 年間の猶予期間が設けられており、2017 年 7 月 1 日以降建造契約が結ばれるものから適用されることとなっている。

しかしながら、現状では、スーパーエコシップなどの先進的な技術を導入している船舶を除き、従来から建造されている内航のタンカーやセメント船で、騒音規制値を満足している船舶がほとんど無い状況である。騒音規制値を大幅に超えている状況を解決するには根本的に船体構造を見直し、設計変更などを行なうための対策指針や騒音予測手法の確立が早急に必要である。

現状では、騒音規制値を満足させることが困難な状況の中、経験的な知識をもとに、最適な機関の選定と最適な機関室配置、居室配置によって、騒音規制を満足させた 6,500m³ 油送船が設計、竣工された。本油送船(モデル船)はなぜ騒音レベルが低いのか、その科学的・技術的背景について、騒音・振動計測、振動伝達経路解析等の詳細な騒音解析を実施し、検討した。また、簡易船体モデルを用いた同様の騒音解析も実施し、音響特性に影響する設計パラメータを変えた検討を行った。そして、これらの解析を通じて、騒音レベルの低減につながる特徴(機能要件)を整理した。

本騒音対策指針の目標は、騒音規制を満足させる船舶を設計・建造するために、現行の設計・建造工程を見直すにあたっての技術的指針を与えることである。そこで、本指針では、ふたつの設計方法を提供する。ひとつは、モデル船と同じ船舶の設計を行うために、モデル船の図面等情報を提供すること。もうひとつは、モデル船の騒音解析結果から得られた船内騒音の特徴（騒音対策上の機能要件）をもとに、設計(予測)・対策施工から計測・検証までの方法論を提供することである。前者の方法では、モデル船を建造して経験的に得た船内騒音低減のための設計情報について、設計者が獲得していくことを想定している。後者の方法では、設計者が船内騒音の特徴を把握し、騒音低減対策を自らが計画・施工・検証するための方法を獲得することを目指し、多様な船舶の設計に応用していくことを想定している。

目次

騒音対策指針

1 章	総則	1
1.1	目標	1
1.2	適用	1
2 章	設計・施工と騒音予測	2
2.1	機能要件 (基本的対策)	2
2.2	仕様の機能	6
2.2.1	仕様設定段階	6
2.2.2	基本設計段階	7
2.2.3	詳細設計段階	10
2.3	施工	11
2.3.1	上部構造物建造・搭載	11
2.3.2	内装	11
2.3.3	詳細な騒音予測	12
2.4	海上公試	12
2.4.1	海上公試前	12
2.4.2	海上公試後	12
3 章	騒音予測と対策、騒音計測結果のフィードバック	13
3.1	予測結果と対策内容	13
3.2	騒音計測と追加対策へのフィードバック	13
4 章	機関室・居住区域の基本設計	15
4.1	エンジンケーシングの配置	15
4.2	発電機の配置	15
4.3	機関据付部の構造設計	16
4.4	機関室（上甲板区画）の配置と遮音性	16
4.5	エンジンルームファンの配置と騒音レベル	16
4.6	居室内空調騒音レベル	17
4.7	上部構造物形状	18
4.8	Ventilation Tunnel (V/T)の配置	18
4.9	エアコンルームの配置	18
5 章	6,500m ³ 油送船の設計	19
5.1	船舶・機関要目	19
5.2	居住区配置、機関室配置	19
5.3	内装仕様	27

5.4 居住区騒音レベル	32
5.5 エネルギー伝播経路	33

技術資料

附属書 I	エンジンケーシング配置が居室騒音レベルに与える影響	技術資料	1
附属書 II	発電機位置が居室騒音レベルに与える影響	技術資料	9
附属書 III	機関据付部剛性が居室騒音レベルに与える影響	技術資料	12
附属書 IV	機関室内区画の遮音性が直上部屋の騒音レベルに与える影響	技術資料	16
附属書 V	居室内空調騒音が居室騒音レベルに与える影響	技術資料	20

謝辞

騒音対策指針

1 章 総則

1.1 目標

船員の健康に配慮し、安全な労働環境を提供することを目的とした IMO MSC 決議 MSC.337 (91) “Code on noise levels on board ships” (以下、騒音コードという)で規定する騒音レベル以下に内航船を設計・建造するために、現行の設計・建造工程を見直すにあたっての技術的指針を与える。

1.2 適用

騒音コードが適用される総トン数が 1,600 トン以上の船舶で、10,000 総トン未満の内航船に適用する。
騒音コードと同様、次の船舶には適用しない。

- .1 動的に支持された船舶
- .2 高速船
- .3 漁船
- .4 パイプ敷設船
- .5 クレーン船
- .6 移動式海洋掘削船
- .7 プレジャーヨット
- .8 軍艦及び軍隊輸送船
- .9 機械的な方法で推進しない船
- .10 杭打船
- .11 浚渫船

2 章 設計・施工と騒音予測

IMO 騒音規制を満足させ、静穏で快適な船舶を設計するには、船内騒音の特徴を理解し、設計段階における騒音源の想定、騒音・振動の伝播メカニズムの理解が必要である。これらを受けて、居室内の騒音予測を行ない、過去の実績を踏まえて設計(対策を含む)を行なう必要がある。本章では、1.1 で掲げた目標を達成するための造船所がとるべき方法について、設計・施工、試運転の段階をおって述べる。まず、船内騒音の特徴を踏まえた騒音の基本的対策を述べた後、設計・施工、試運転の段階ごとに設計（予測・計画）上の留意点と必要に応じた対策について述べる。

2.1 機能要件 (基本的対策)

設計段階、施工段階における具体的な検討を開始する前に、船内騒音の低減にむけた機能要件(基本的対策)について述べる。

騒音レベルの小さな船舶を設計するための機能要件（基本的対策）は、つぎのとおり。

- ① 振動源振動の低減
- ② 騒音源騒音の低減
- ③ 騒音伝播の低減
- ④ 振動伝播の低減
- ⑤ 吸音性の向上
- ⑥ 共振の回避

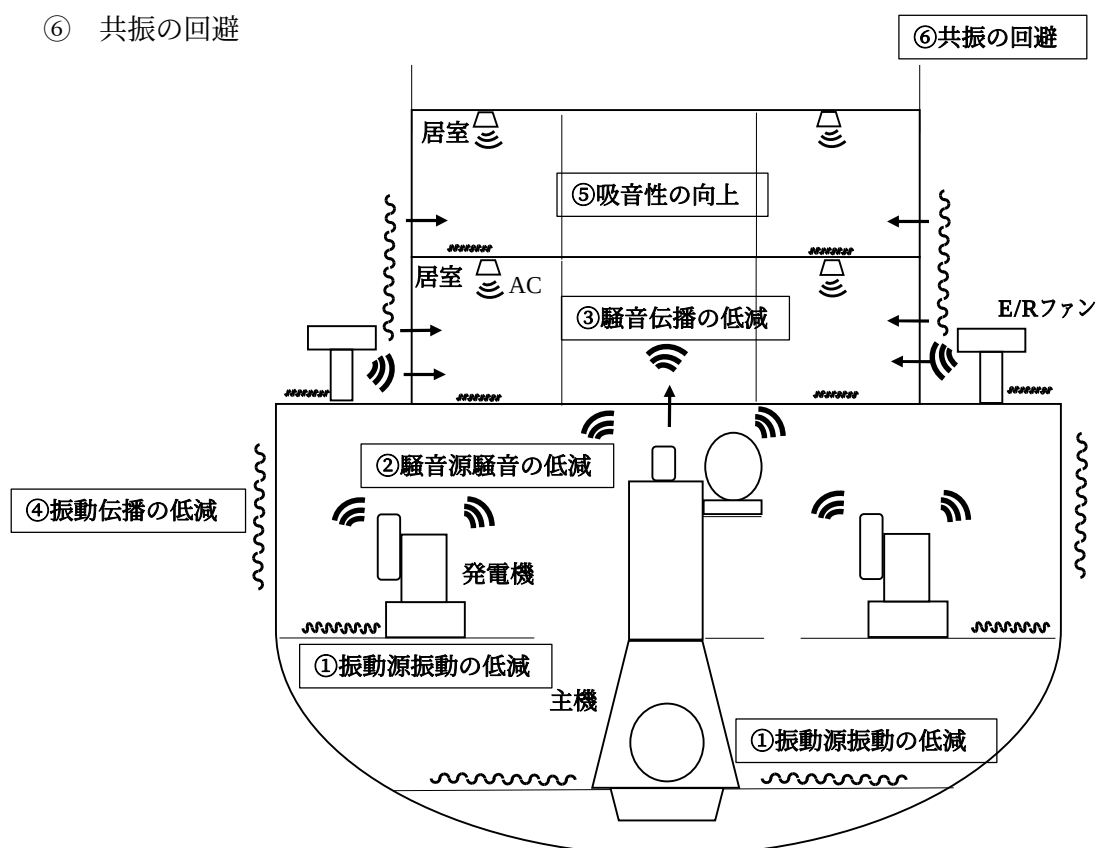


図 2.1-1 基本的対策

①振動源振動の低減

主機、発電機、ポンプ類等原動機の振動が船内を伝播して居室内空間に音を放射する。プロペラも振動源であり、騒音対策を考える上では検討の対象となる。一般に船体材料は鋼あるいはアルミニウム合金のような密度の大きい金属材料を使用する。金属材料は内部損失係数が小さいために、船体構造の伝播過程における減衰が小さい。したがって、上層の居室まで、機関室内の振動源振動が伝播される。上層の居室で、周辺に騒音源がなければ、居室内騒音は、振動源振動による固体伝播音が支配的となる。そこで、固体伝播音対策として振動源振動レベルを下げる方法が必要である。起振源の振動レベルを船体側に伝播する割合（伝達率）を下げるのが求められ、そのための防振材料を振動源と船体の間に挿入することが求められる。発電機防振対策では、図 2.1-2 に示すように、防振材料が補機台と発電機共通台板の間に挿入される。

騒音対策の上では、振動源の振動が可能な限り小さな機器を選定すること、または防振材料を挿入することによって振動源振動を船体構造に極力伝播させないようにすることが必要である。

②騒音源騒音の低減

船内騒音源として、主機、プロペラ、発電機、ポンプ類等補機、エンジンルームファン給気口、エアコン吹き出し口、コンプレッサー等が一般的に考えられる。機関室内では、ポンプ類等補機も騒音源ではあるが、主機及び発電機の騒音レベルと比較すると相対的に小さいため、騒音予測を行う上では、主機と発電機の騒音を想定していれば居室内の騒音予測上問題ないレベルにある。

過給機を備え付けた主機が多い。主機の燃焼サイクルに起因するシリンダ周辺での騒音スペクトルと過給機内で空気の流れが乱されたときに生じる過給機周辺での騒音スペクトルは明らかに異なる。過給機周辺での騒音スペクトルは高周波領域のスペクトルが高い音であるのに対し、シリンダ周辺での騒音スペクトルは低周波領域のスペクトルが高い。高周波領域の騒音は遮音対策に一定の効果が見られるため、過給機周りを取り囲む対策により、騒音源騒音を低減できる。

騒音対策の上では、騒音レベルを可能な限り低く抑えた機器を選定する必要がある。

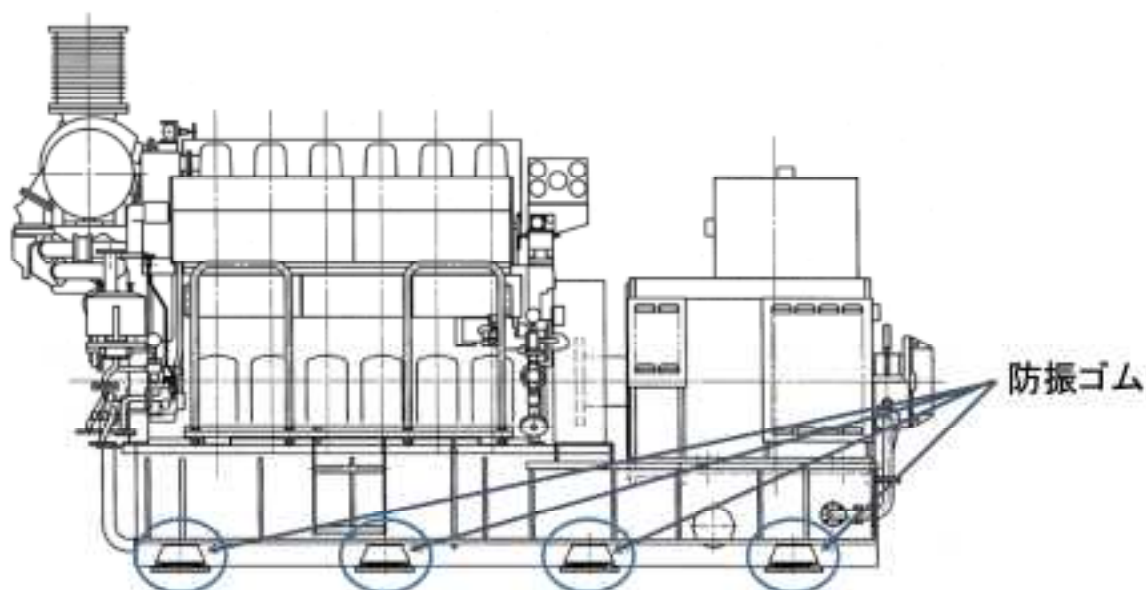


図 2.1-2 発電機防振対策

③騒音伝播の低減

空気音は伝播する過程で、以下のような理由から低減される。

- i. 音源からの距離が大きくなるほど、エネルギーが拡散される。
- ii. 各デッキや壁を透過する際に一部反射されるため、壁やデッキを透過するたびに低減される。

空気音の低減は、上記のような状態で低減されるため、騒音源と受音室間の距離を大きくとる、遮音材を配置することで、騒音レベルを低減させることができる。機関室内からの騒音を居住区に伝播させないように二重扉を設けること、階段入口に扉を設けることもこの基本対策に沿ったものである。

④振動伝播の低減

船体構造内を振動が伝播する過程で、材料内部での内部損失、さらに結合箇所での結合損失により振動が低減する。しかしながら、船体材料が鋼やアルミニウム合金のような金属では内部損失が小さいため、振動伝播過程の低減は空気伝播の低減と比較して小さい。

振動源から居室、公室の鋼床に伝播してきた振動が、居室、公室内への振動伝播を低減させるために、浮床対策が採用されることがある。浮床構成の一例を図 2.1-3 に示す。浮床構造を 1 自由度の振動モデルで表現すると、バネ定数、減衰係数を材料特性から与えて、近似的に予測することは可能である。このような予測モデルで浮床の構成(材料特性)を変更し、振動伝播を低減する設計が行える。

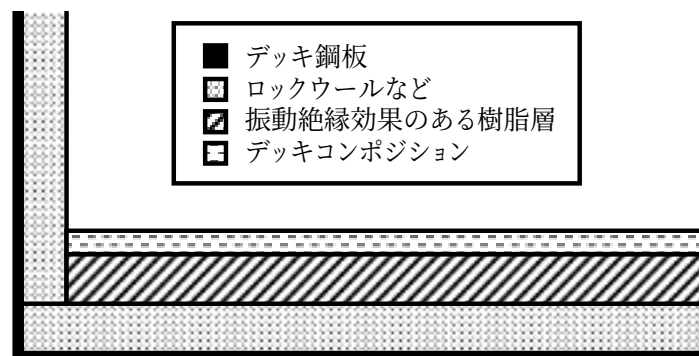


図 2.1-3 浮床構成の一例

制振材の使用も振動伝播の低減に寄与する。制振材は浮床材と併用することがある。制振材は振動によるエネルギーを摩擦熱に換えて消費させ、振動による騒音を小さくするもので、基板に高分子材料を添付または吹き付けた複合系の材料と、金属自体の結晶相間や分子間の摩擦による減衰性能を高めた制振合金とがある。

振動する構造体を剛支持で船体に取り付けると、構造体の振動が減衰することなく船体側に伝播していくので、支持箇所を弾性支持するなどして、振動伝達率（振動する構造体の振動と船体側の振動の比）を下げる対策をとられることがある。排気管の振動を低減させるために、弾性支持をするケースがあるが、この基本対策に沿ったものである。ただし、防振材を取り付ける場合、取り付ける場所は十分剛性が高い箇所である必要がある。取り付ける場所が十分でなければ、防振対策の効果が表れないことがある。

騒音対策の上では、振動伝播の低減が可能な限り大きくなるような、最適な配置設計、浮床、制振材のような騒音対策にかかる内装品の選定、最適な弾性支持設計が必要である。

⑤吸音性の向上

吸音性の向上が騒音対策に有効である。ダクト内のように高い騒音レベルの音が伝播しないように、吸音材を貼り付けることがある。吸音材として使用される材料は、グラスウールやロックウールであり、防音効果を期待すると同時に防熱効果も期待できる。図 2.1-4 に示すように、エンジンルームファンマッシュルーム内側に吸音効果を高めて騒音レベルを下げる対策がある。

壁、天井での吸音効果を高めるために、表面が滑らかなカセットパネルから多孔質パネルに変更する対策がある。写真 2.1-1 に多孔質パネルを紹介する。

居室・公室内の吸音性を向上させるために、カーペットを敷いたり、天井パネルを吸音性の高い多孔質パネルとしたりすることは、この基本対策に沿ったものである。

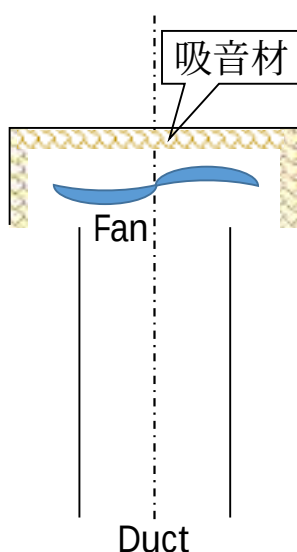


図 2.1-4 エンジンルームファンの吸音対策



写真 2.1-1 天井多孔質パネル

⑥共振の回避

船体及び上部構造物が、主機、プロペラとの共振を回避させる必要がある。そのため、主機、発電機、プロペラを起振源とする上部構造物の振動解析が必要である。浮床材は、所定の周波数より高い周波数

帯域によっては低減効果がみられるものの、低い周波数帯域では効果がみられない。主機、プロペラによる低周波の振動と同調することによって、浮床対策の効果が表れないどころか、かえって騒音レベルが高くなることもあるので注意が必要である。

搭載するプロペラによるキャビテーションパターンや船尾変動圧力性状を予測することにより、プロペラに起因する振動を評価することができる。プロペラメーカーとの十分な協議が必要である。

振動伝播の過程において、高周波領域の振動低減は見込まれるが、低周波領域の振動を低減させる有効な対策が期待できないため、まずは、共振を回避させる設計が必要である。

居室内の家具類等が船体振動に同調して二次的騒音が発生しない対応が必要である。

上記 2.1 ①から⑥の基本的対策を実施するために、

- I. 船体区画、居住区、機関室配置の最適化
- II. 最適な機関の選定
- III. 騒音対策品の選定

が設計で求められる。

本騒音対策指針では、I.の最適化された配置により、全体的な騒音レベルを下げる設計を行うことを目指す。II の最適な機関の選定も求められるところであるが、I.で改善されるほどの違いはないと予想される。III の騒音対策品の選定も、振動源の対策品（たとえば、発電機の寄与が大きい場合、発電機の防振対策）を優先的に検討し、つぎに、居室・公室内の直接的な対策（浮床対策、吸音パネル設置対策等）を検討することが望ましい。

2.2 仕様の機能

受注から設計・建造、試運転、引渡しまでの各段階で、騒音対策の検討内容が変わってくる。初期の段階では幅広く対策内容を検討でき、配置の変更により大きく改善できることが期待できるのに対し、建造段階、引渡し直前の試運転段階と時間が進むにつれ、施工、改良工事等対策が限定されるため、造船所にとって売買上のリスクが増してくる。ここでは、段階に応じた設計・予測上の留意点と必要に応じた対策について記述する。

2.2.1 仕様設定段階

船主との契約を結ぶにあたって検討する段階で、建造費に含まれる舶用品の費用等算定する段階である。騒音対策に関連した舶用品として、

- ① 主機・発電機等主要機器の要目・型式を決定する
- ② エンジンルームファンの型式を決定する
- ③ エアコン（エアコンユニット）の型式を決定する
- ④ 排気管系統を決定する

時期にあたる。

エンジンルームファンは低騒音型とよばれる製品が、騒音規制の強化化にともない、設計・開発されている。これらの製品を選定するにあたって、メーカーが示す工場出荷時の騒音特性に関連する性能について検討する必要がある。エンジンルームファンの給気口で発生する騒音は、船橋ウィング（暴露部）、

またはエンジンルームファン近傍の居室・公室に影響を及ぼすことがある。エンジンルームファン給気口内部のファンの静穏設計、吸音対策等で給気口近傍の騒音レベルを極力下げる必要がある。このような設計が実現できない場合には、エンジンルームファンの配置を居住区、船橋ウィングから遠ざけるなど、基本設計段階での配置上の検討が必要になってくる。詳細は4章に記述する。

エアコンは居室内にある騒音源であるため、エアコン吹き出し口での騒音レベルが極力小さいものを選定する必要がある。エアコンユニットの振動対策は、基本設計で配置を検討する段階で場合によって必要である。エアコンルームから居室・公室までのダクトの設計、サイレンサーの設置についても検討が必要であるが、基本設計で詳細に検討する必要がある。

主機について、ディーゼル機関を対象とする。ディーゼル機関の騒音は、シリンダ内の燃焼音と過給機、動弁機構から発生する音などに起因する。ディーゼル機関の振動は、シリンダ内の爆発による振動、動弁機構やカム軸等のギアからの振動による。高速ディーゼル機関では減速ギアを取り付けることから、減速ギア付近で騒音が発生する。主機の振動・騒音データを実船計測で蓄積し、仕様設定段階での検討に活用させる必要がある。

一般商船に搭載されているディーゼル発電機は、4サイクルエンジンが多い。発電機は防振材料を挿入する振動対策が実用的に可能である。防振材料として防振ゴムが利用されることが多い。防振ゴムの設計については、機関メーカーが実績を有しているので、仕様設定段階でメーカーと協議することが望ましい。発電機の振動・騒音データを実船計測で蓄積し、仕様設定段階での検討に活用させる必要がある。

2.2.2 基本設計段階

仕様の概略を決定した後、一般配置図の策定、機関室配置図等策定、居住区配置図等を策定し、詳細設計に移行する前の段階とする。この段階では、騒音予測に大きく影響を与える機関と居室の配置関係が決定されることから、初期段階での騒音予測が可能となる。騒音予測では、機関配置と居住区配置に加えて、タンク配置、エンジンケーシングの配置、エンジンルームファンの配置が、騒音レベルの予測に影響を与える。この段階では、振動・騒音源と居室・公室の2点間の距離を水平方向にはフレーム数で、垂直方向にはデッキ枚数をパラメータにして経験的手法に基づいて評価する Janssen 法による騒音予測法が、ある程度の精度を保って騒音予測を可能とする。タンク配置の影響や、エンジンケーシングの位置を決めたより詳細に振動伝達経路を踏まえた音響解析を実施するには、統計的エネルギー(SEA : Statistical Energy Analysis) 解析が必要であるが、解析に必要な厳密な入力データが必ずしも、この基本設計段階で整備されているとは限らない。

一般配置図の策定段階で騒音予測と対策の検討に関連する設計要目は、上部構造物の階層、機関室内タンク配置、エンジンルームファンの位置、デッキ高さ、クリアハイト、プロペラ位置と居住区の位置関係が挙げられる。上部構造物の階層は復原性規則を満足させるための制限も加わる。特に、小型船舶では居住区を1層追加することが、復原性規則を満足させる観点から大変厳しく、大幅な設計変更を伴うこともありうる。デッキ高さ、クリアハイトは、ILO 海上労働(MLC)条約の面からの設計も必要である。

一般配置計画をうけて、機関室設計、居住区設計について各担当部署に検討が委ねられる。

(1) 機関室設計

騒音予測とその対策に関連する機関室設計として、機関室配置図の作成、補機・ポンプの選定、機関

室構造図の作成が挙げられる。

機関室配置図の作成において、騒音源の対策上、主機と発電機、その他騒音・振動源の最適な配置が望まれる。主機の配置は、その寸法から配置上の自由度は小さい。一方、発電機は機関室内の空間に余裕がある限り、配置上の自由度は主機と比較すると大きい。可能な限り、居住区から遠ざけて配置することが望まれる。主機と発電機の配置が決定してくると、つぎに、主機、発電機の排気管をどのように配置し、どこで支持するかを検討が必要である。騒音レベルに影響する振動伝播経路を検討する必要がある。排気管を支持する点での振動を低減させるためには、発電機を後方に配置して、エンジンケーシングをその真上に配置することが望ましい。

(a) 主機

低速主機はプロペラシャフトと直結しているため、主機を防振材料の上に搭載させる等の対策を施すことができない。主機の動揺を抑えるために、**写真 2.2.2-1** に示すように、主機を機関室内中間デッキにトップブレーシングで締結される船舶もある。通常は、**写真 2.2.2-1** のように、剛で船体に接合されることが多い。この場合、主機の振動がトップブレーシングを通じて船体構造に伝達するリスクがある。接合位置における振動伝達を極力低減させるために、**写真 2.2.2-2** に示すような油圧シリンダーを介するタイプのトップブレーシングが採用されることもある。主機振動から居室・公室への伝播経路解析を行った上で、対策を検討することが望ましい。



写真 2.2.2-1 トップブレーシング剛支持



写真 2.2.2-2 トップブレーシング油圧式タイプ

(b) 発電機

発電機は防振ゴムを挿入することによる防振対策が可能である。通常、補機台と共通台板の間に前後左右 8～10 箇所程度に、防振ゴムが挿入されることが多い。防振ゴムの効果を引き出すためには、防振ゴム設置位置の下で構造体は剛性が高い位置であることが必要である。ブラケットを設ける等して、防振ゴム下の補機台の剛性を高める必要がある。発電機の配置検討についての詳細は 4 章に記述する。

(c) プロペラ

プロペラの変動圧力、キャビテーションによる船体振動が船内騒音に影響することがある。プロペラ模型実験での変動圧力計測やキャビテーション観察などのデータをもとに、プロペラメーカーと協議する必要がある。ひとつの目安として、同調成分の最大圧力振幅が 3kPa 未満であることが推奨される。1 次、2 次成分だけでなく、より高次の同調成分も同様に、この最大圧力振幅推奨値を満足させることが推奨される。

(d) ポンプ類

ポンプ類も騒音源、振動源であるが、主機及び発電機の振動・騒音レベルと比較すると相対的に低い。そのため、主機及び発電機が同時に、または発電機が単独で運転されている場合では、居室への振動・騒音影響は低いと考えられる。

(2) 居住区設計

騒音予測とその対策に関連した居住区設計として、居住区配置図の作成が挙げられる。居住区配置は、ILO 海上労働(MLC)条約の観点から、居室面積、クリアハイト等の要件を満足させる必要がある。したがって、乗組員の数から決まる最低の部屋の数と部屋の面積から上部構造物の平面積が決まるが、居住

区階層を増やさずに、さらにエンジンケーシングの配置や騒音源となる機関からの距離をとる等、設計上の配慮が必要である。エンジンルームは騒音レベルが高い。したがって、騒音規制値が公室より厳しい居室はエンジンルームから離れたより上層に配置させることが望ましい。エアコンルームもエアコンユニットが騒音・振動源となる可能性もあることから、騒音コードで規制がかかる居室・公室からは遠ざけた位置に配置（なるべく、隣接しないように）することが望まれる。配置上の対策が困難な場合には、エアコンユニットの床面に防音対策を施したほうがいい。居住区配置に関する詳細は 4 章に記述する。

(3) 騒音予測

一般配置図、機関室配置図、居室配置図と搭載する主機・発電機の型式が決定すると、Janssen 法による騒音予測を行うことができる。日本中小型造船工業会と海上技術安全研究所が共同して作成した Janssen 法による騒音予測プログラム*では、この段階において騒音予測は可能である。居室の内装仕様が最終的に決定されていない場合、経験的な仕様を入力データとして与える程度で、騒音予測上大きな問題は無い。ただし、Janssen 法による騒音予測手法は、経験的手法に基づいており、同型船の騒音実船計測結果が、計画する船舶の騒音予測精度に影響を及ぼす。同型船における騒音実船計測結果があれば、計画船の騒音予測はある程度の信頼性をもって評価できる。

この段階で騒音コードの規制値を大きく超えていることが発覚すれば、機器の配置、居室の配置、さらにはタンク配置やエンジンケーシングの配置見直し等、大きな設計変更が見込まれるが、この段階で不十分な検討のまま設計を進めると、規制値を満足することが厳しくなる等のリスクを抱えることになる。

※ Janssen 法による騒音予測プログラムは、(一社)日本中小型造船工業会が販売している。

2.2.3 詳細設計段階

騒音予測とその対策に関連した詳細設計として、居住区内装仕様の決定が挙げられる。

居住区内装を検討する場合、機関等の振動源から伝播してきた振動が居室内壁、床、天井から音として居室内に聞こえるため、挿入損失の程度が高い材料を使用したり、吸音効果の高いパネルを使用したり、音響透過損失の高い（遮音性が優れた）材料を使用する等の対策が必要である。居室内のエアコン吹き出し口での騒音レベルも、騒音規制に直接影響するため、騒音レベルが低くなるよう、吹き出し口のパンカーサイズが大きな製品とする等の検討が必要である。遮音壁については、騒音コードが規定する R_w を満足した壁材を使用しなければならないため、検査機関で認定された製品について情報を収集し、選定しなければならない。

基本設計段階で騒音予測計算を実施し、おおよその騒音レベルは把握できている。騒音コードを満足させるための追加の対策について、検討する段階となる。たとえば、騒音源の対策として、発電機防振対策を施すこと、居室の対策として浮床構造を採用する等の対策の検討はこの段階で可能である。基本設計段階、詳細設計段階と設計が進むにつれて、実現できる対策が限定されてくるので、基本設計段階である程度の余裕を持った検討が必要である。

2.3 施工

2.3.1 上部構造物建造・搭載

上部構造物の建造が進み、内装材が施工されていくにつれアクセスできるスペースが限られてくる。防熱材の設置、配管、配線等の作業と並行して、防音施工、ダクトの設置等行なわれる。ダクト・サイレンサーの設置は、特に支持点で剛接合よりも弾性接合になるよう留意する必要がある。船体振動による共振で二次的騒音が発生することが無いよう、特にアクセスが困難な場所では、アクセスが比較的容易な段階で処置を施しておく必要がある。

配管の取り合いが悪いと、一般配置図を見直すこともある。このような手戻りが無いように十分なスペースを確保したい。たとえば浮床対策を施した場合、クリアハイトを確保するためにダクトスペースが犠牲になることが考えられる。

2.3.2 内装

居室内の騒音対策として浮床は効果が大きい。ただし、浮床は施工面での配慮、すなわち、居室内面（床だけでなく壁面も）を船体鋼部材から完全に絶縁させる必要がある。浮床工事例を写真 2.3.2-1 に示す。浮床の施工後に追加対策を施すことは不可能であるため、基本計画の段階で浮床の仕様を確定させ、騒音予測の段階で一定の余裕を持った設計を施しておく必要がある。



(a)ロックウールの敷き詰め



(b)浮床敷き詰め作業



(c)浮床継ぎ目のタップ溶接

写真 2.3.2-1 浮床施工事例

2.3.3 詳細な騒音予測

SEA による詳細な検討が行なえる段階である。SEA を行なうためには、実船の入力モデルの作成に数ヶ月の時間を要する。また、モデルの変更等も限られるため、新たな解析モデルを作成するとなるとさらに同程度の時間を要する。したがって、SEA を行なうケースは限定することが望ましい。SEA による詳細な検討を行なう場合、Janssen 法では処理できない船体構造面からの伝達経路解析の検討を中心に行うことが望ましい。

2.4 海上公試

2.4.1 海上公試前

海上公試時点では、内装を含め完成状態に限りなく近い状態に工事を終えておくことが望ましい。喫水が深ければ船内騒音レベルは低減する傾向にある。しかしながら、海上公試時に満載状態を再現できる船種は少ない。

エアコンの最終調整、家具等が共振して発する二次的騒音抑制のための固縛等、騒音レベルに悪影響を及ぼさない最終的対策が必要である。

2.4.2 海上公試後

騒音計測の結果、騒音コードの規定を満足しない部屋については、改良工事が発生する。海上公試終了後竣工までの期間に、現実的な改良工事がどれほどあるかは、防音対策品メーカーと協議する必要がある。

計画段階での Janssen 法による騒音予測は、施工の影響は加味されていない。また、モデルに内在する不確かさから誤差が生じる。したがって、騒音予測結果と騒音計測結果の比較を通じて、予測精度の問題なのか、施工に起因する誤差なのか、予測誤差についての検討を加える必要がある。このような検討のもと、騒音予測プログラムへのフィードバックが次回計画船の騒音予測の精度確保に必要である。

3 章 騒音予測と対策、騒音計測結果のフィードバック

3.1 予測結果と対策内容

Janssen 法による騒音予測、SEA による騒音予測のいずれも予測結果は OA 値と騒音スペクトルで表現できる。OA 値で騒音コードの規制値との比較を行い、対策の必要性を検討することからはじめる。OA 値の結果から、騒音規定値を超えた部屋については、個別に詳細に検討を進めることになる。通常、1/3 オクターブバンド周波数で騒音予測値を整理することが多い。騒音レベルの大きい周波数帯域を特定し、その周波数帯の騒音レベルを下げる対策を検討する必要がある。空気伝播音による騒音か、固体伝播音（いわゆる振動）かも念頭においておく必要がある。

居住区全体で騒音レベルが高いような場合、騒音源の対策を検討する必要がある。発電機が船内騒音に寄与するような場合には、発電機の防振対策を検討する必要がある。Janssen 法による騒音予測プログラムでは、発電機防振対策の実船計測を踏まえた効果を定量的にプログラムで処理できる。全体的に一定レベルに抑えることができれば、個別に浮床対策等の対策効果を計算機上で検討することになる。浮床の効果を最大限に引き出すために、浮床構成を見直し、たとえば鋼板を挿入する等して、浮床の効果がみこまれる周波数領域を広げる等詳細な検討も必要である。

予測誤差が必ず含まれるので、利用した騒音予測手法ごとに、その特徴を考慮した上で、設計者は判断を下す必要がある。

3.2 騒音計測と追加対策へのフィードバック

計測した騒音レベルは、騒音予測へのフィードバックとして活用できる。特に、Janssen 法による騒音予測手法は経験的な予測手法であるため、今後計画される同型船の騒音予測に大変有益な情報である。騒音計測結果の蓄積が騒音予測精度の向上につながる。今後の計画船へのフィードバック、技術の蓄積のため、騒音規制で要求される騒音計測に加えて、騒音源の騒音計測、騒音源特定のための騒音計測、さらに振動源の振動計測、振動源特定のための振動計測、固体伝播音が支配的なのか、空気伝播音が無視できないのか等、騒音計測と振動計測を同時に行うことも必要になる。以下、目的に応じた計測方案の概要を紹介する。

（1）今後の計画船へのフィードバック

今後の計画船へのフィードバックを目的とした計測について、Janssen 法による騒音予測プログラムを利用することを念頭に紹介する。Janssen 法による騒音予測は、予測結果の信頼性、精度をより高めるために、同型船の騒音計測データを活用して、チューニング作業を実施する。同型船、さらには可能な限り類似船の計測結果であることが、騒音予測結果の信頼性、予測精度を増す。チューニングに必要なデータは、居室・公室の騒音レベル（OA 値）である。計画船で騒音予測する部屋については、騒音計測を実施する必要がある。

（2）騒音源・振動源のデータ蓄積

主機、発電機等騒音源とみなされる音源付近で騒音計測、振動計測を行い、今後の計画船へのフィードバックを行うとともに、主機・発電機の型式ごとの技術データの蓄積が必要である。騒音計測については、騒音コードに記載されている方法に則り行う必要がある。振動計測については、計測箇所が毎回同じような箇所となる必要がある。主機の振動計測では、エンジンベッド上で計測し、発電機の振動計

測では、共通台板または補機台の上が望ましいが、防振ゴムを挿入している場合には、防振ゴムの下で計測する必要がある。

プロペラが回転しているときには、主機も同時に運転されているため、プロペラに起因する騒音・振動データのみを計測することは大変困難である。可能な限りプロペラに近い位置での床、壁面の振動計測を行う必要がある。1/3 オクターブバンド周波数で計測するとともに、狭帯域周波数での計測も行うことが望ましい。

エンジンルームファンは騒音源のひとつである。エンジンルームファン給気口近傍での騒音計測を行い、騒音源データとして蓄積する必要がある。

(3) 騒音源の特定

船内騒音の主要な騒音源として、主機、発電機、エンジンルームファン、エアコンが考えられ、これらが単独に運転している場合の居室・公室の騒音計測を行うことによって、それぞれの部屋における主要な騒音源が特定できる。これら音源を単独で運転した場合の居室・公室の騒音計測を実施することが望ましい。主機単独運転は実施できないため、別途計算で評価する必要がある。

主機とプロペラは同時に運転するため、どちらの影響かを特定するためには、騒音、振動の狭帯域計測を行い、FFT 分析による同調周波数から特定する必要がある。騒音対策の検討（トラブルシューティング）、計画船へのフィードバックに騒音源の特定は必要である。

4 章 機関室・居住区域の基本設計

2 章では、船内騒音低減にむけた機能要件（基本的対策）について記述したあと、設計段階ごとの騒音対策全般（仕様の機能）、施工、海上公試前後の対策等配慮することを中心を示した。本章では、機関室・居住区域の基本設計に焦点をあて、より具体的な対策内容について、機関室配置、居室配置、機関室構造等を中心を示す。

騒音対策では、①振動・騒音源への対策、②振動・騒音伝播経路への対策、③騒音規制の対象となる区画への対策を講じる必要がある。船内騒音の特徴のひとつとして、主機、発電機等の内燃機関による振動が船内を伝播する固体伝播音が支配的である。主機、発電機以外に、エンジンルームファンや居室内の空調も騒音源となる。このような船内騒音の特徴を考慮して、機関室・居住区域の基本設計を行う必要がある。

原則として、規制の対象となる区画での騒音レベルを低減させるためには、当該区画へのエネルギー伝播量を低減させる必要がある。エネルギー伝播量を低減させるために、当該区画の騒音レベルに寄与する伝播経路の数を減少させると同時に、エネルギー伝播量を低減させる必要がある。船内騒音の特徴として、エネルギー伝播量の大きな複数の経路が存在する傾向にある。このような場合、振動・騒音伝播経路への対策には、多大で広範囲の対策が求められることから、振動・騒音源の対策、騒音規制の対象となる区画への対策の方が効果的である。

4.1 から 4.6 に示す対策は、上述の①から③の対策をより具体的に示したものである。それぞれの対策に対する技術的根拠を附属書に示す。

4.1 エンジンケーシングの配置

居住区内区画への振動を中心としたエネルギーの伝播は、区画の位置によるが、舷側に位置する区画へは振動源から船体外板を経由して上部構造物の壁面を伝播していき、前方中央よりに位置する区画へは振動源から据付デッキ内を前方に伝播し、その後機関室前隔壁を伝播していく傾向がある。さらには、エンジンケーシング内を経由し、区画に伝播する場合等が考えられる。

エンジンケーシングは機関室とつながっており、機関室内の高い騒音レベルがあまり低減されことなく、高い騒音レベルとなっている場合がある。中小型船舶の上部構造物は、機関室の長さ、必要な区画・部屋の数等の制約から、居住区内居室がエンジンケーシングを取り囲むような場合が多くみられるが、エンジンケーシング内を経由するエネルギー伝播量も居住区内区画の騒音レベルに寄与するため、寄与する伝播経路の数を減少させる騒音対策の観点から、エンジンケーシングを居住区から分離した構造とすることが望ましい。特に、公室よりも規制値が厳しい居室とエンジンケーシングは分離することが望ましい。

エンジンケーシングを分離した場合の居室騒音レベルに与える影響について、**技術資料 附属書 I** に示す。

4.2 発電機の配置

発電機は、場合によって主機と同程度の騒音源となる。特に、発電機の振動が船内騒音に大きく寄与する場合がある。対策の基本は、発電機の振動レベルを低減させるか、発電機と居住区内区画との距離を大きくとる必要がある。

発電機の振動レベルを低減させるためには、発電機原動機と発電機が載せられた共通台板と補機台の間に防振ゴムを挿入することが有効である。

発電機と居住区内区画との距離を大きくとるために、発電機はできるだけ機関室内後方に配置することが望ましい。発電機を後方に配置することによって、居住区内区画での騒音に寄与する伝播経路の数を減少させるか、そこまでの効果は期待できなくとも、エネルギー伝播量の低減が期待できる。

また、発電機近傍に、タンク等配置することによって、発電機の振動が船体外板に向けて伝播する場合の伝播損失が期待できる。

発電機位置を変更した場合の居室騒音レベルに与える影響について、**技術資料 附属書 II** に示す。

4.3 機関据付部の構造設計

振動源への対策のひとつとして、機関据付部の剛性を高める対策がある。主機の場合、エンジンベッドの板厚を増大させること、発電機の場合、発電機据付デッキ、特に発電機周辺の板厚を、その他の位置における板厚よりも増大させることが望ましい。なお、一定の板厚より厚くしてもその効果が限定的となる。

内航船の場合、主機のエンジンベッド板厚を 45mm とする場合が多くみられ、この程度の板厚が望ましい。発電機周辺の据付デッキは、極近傍の板厚を周辺の板厚よりも 5～6mm 程度増大させると、騒音レベルの低減が期待できる。

機関据付部の剛性が居室騒音レベルに与える影響について、**技術資料 附属書 III** に示す。

4.4 機関室（上甲板区画）の配置と遮音性

10,000 総トン未満の内航船の場合 Poop Deck 床面が機関室と隣接することが多い。一般的に、上層の部屋は主機、発電機に由来する固体伝播音への対策を中心に検討すればよいが、機関室と隣接する Poop Deck 上の公室、居室に対しては、機関室からの空気伝播音への対策も検討する必要がある。このような対策のひとつとして、Poop Deck 公室・居室の直下（Upper Deck）の区画に対して、遮音性を高める対策が挙げられる。この対策のねらいは、機関室内の高い騒音レベルを、遮音性を有する区画を経由することによって、直上の騒音レベルを低減させることにある。

Upper Deck に配置させることが多い工作室、倉庫等に対して、遮音性を有する区画とするとともに、可能な限り、直上の Poop Deck 公室・居室の床面積をカバーできるように、これらの区画を配置することが望ましい。

機関室（上甲板区画）の配置と遮音性が居室騒音レベルに与える影響について、**技術資料 附属書 IV** に示す。**技術資料 附属書 IV** に示すように、空気伝播音も一定の寄与がある Poop Deck 公室には騒音低減が期待できる。

4.5 エンジンルームファンの配置と騒音レベル

エンジンルームファンによる騒音は、ファンネルからの排気ガスによる騒音とともに、上層の区画、特に騒音規制の対象となる船橋ウィング位置での騒音に影響を与える騒音源となる。騒音規制の対象となる区画・位置での騒音レベルを低減させるための基本として、エンジンルームファン、ファンネル排気ガス吹きだし口近傍の騒音レベルを低減させること、そして、又は吹き出し口と騒音規制の対象となる区画・位置との距離を大きくとることが求められる。

ファンネルからの排気ガスによる騒音レベルを低減させるためには、主機及び発電機の排気管系統に必要な騒音低減量にあった消音機を取り付ける必要がある。エンジンルームファンによる騒音レベルを低減させるためには、機関室内へ送り込む空気の流量から適正なファンの設計も必要であるが、エンジンルームファンのマッシュルーム部裏側に吸音材を貼り付けることも対策のひとつである。

エンジンルームファンから船橋ウィング位置にむけて、途中に遮音する構造体がないとした場合、すなわちエンジンルームファンからの直接音が船橋ウィング位置に届くとした場合、エンジンルームファンと船橋ウィング位置との距離とエンジンルームファン給気口の騒音レベル、騒音規制値の関係を表 4.5-1 にまとめることができる。表 4.5-1 では、たとえば、エンジンルームファンと船橋ウィングの距離が 15 (m)とした場合、エンジンルームファンの給気口での騒音レベルが 90 (dB(A))であれば、船橋ウィング位置では 70 (dB(A))となることを示す。船橋ウィング位置での騒音規制値が 70dB(A)であるので、表 4.5-1 では規制値を超える組み合わせを赤く表示し、予測のばらつきを考慮して規制値より 3dB(A)低い 65dB(A)を超えた組み合わせを黄色く表示し、65dB(A)以上を緑、それ以下の値に対して青く表示している。表 4.5-1 は、直接音が船橋ウィングに届くと仮定した場合であり、構造物壁面等の遮音する構造体があると船橋ウィング位置での騒音レベルは低下するので、あくまで参考として示す。

表 4.5-1 エンジンルームファンの配置

		ER FanとWingの距離 (m)																									
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25					
ER Fanの騒音レベル (dB (A))	95	84.5																								70.6	
	94																				70.3	69.9	69.6				
	93																		70.1	69.7							
	92															70.4	69.9					68.3	67.9	67.6			
	91													70.4	69.9							67.3	66.9	66.6			
	90												70.0	69.4				67.5	67.1	66.7	66.3	65.9	65.6				
	89										70.2	69.6				67.4	66.9	66.5	66.1	65.3	64.9						
	88								70.7	69.9				67.4	66.9	66.4		65.1	64.7								
	87							70.5	69.7				67.0	66.4		65.4	64.9										
	86						70.4	69.5		67.9	67.2	66.6	66.0	65.4	64.9												
	85					70.5	69.4	68.5	67.7	66.9		65.0	64.4														
	84				70.6	69.5		67.5	66.7		65.2	64.6															
	83			71.0	69.6		67.4	66.5	65.7	64.9																	
	82		71.5	70.0		67.5	66.4	65.5	64.7																		
	81		70.5		67.6	66.5	65.4	64.5																			
	80		69.5	68.0	66.6	65.5	64.4																				
	79		68.5	67.0	65.6	64.5																					
	78		67.5	66.0	64.6																						
	77		66.5	65.0	63.6																						
	76		65.5	64.0																							
	75		64.5																								
	74																										
	73																										
	72																										
	71																										
	70		59.5																							45.6	

4.6 居室内空調騒音レベル

居室内空調は騒音源のひとつである。居室内空調吹き出し口での騒音レベルは、騒音規制値と比較して十分低いレベルとし、騒音源とみなせない程度とすることが望ましい。ひとつの目安として、空調機単独運転をしたときの居室騒音レベルが、騒音規制値よりも 6dB(A)低い騒音レベルが望ましい。

居室内空調騒音が居室騒音レベルに与える影響を技術資料 附属書 V に示す。技術資料 附属書 V に示すように、空調機の騒音レベルが騒音規制値を既に超えている場合は論外であるが、空調機の騒音レベ

ルが低ければ低いほど、固体伝播音による許容できる騒音レベルが大きくなり、騒音規制値を超えるリスクが低減できる。

4.7 上部構造物形状

船内騒音の特徴のひとつとして、主機、発電機等の内燃機関による振動が船内を伝播する固体伝播音が支配的である。振動源から伝播する経路において、エネルギー損失が発生する場合として、ひとつは構造材料内を伝播する過程における内部損失があり、もうひとつは、結合部における損失が挙げられる。船内騒音の特徴として、振動・騒音源は居住区に対して下方にあり、発電機の位置によっては後方にある。そして、この振動・騒音源から居住区内区画にむけて、可能な限り短い経路（構造的連続部を直線的に）をエネルギーが伝播する。騒音レベルを低減させるためには、振動源から居住区内区画に伝播する途中の経路に、L 型、T 型等構造的な不連続部を経由させることも低減効果がある程度期待できる。上部構造物を前方からみた断面が図 4.7-1 左図（緑色のブロックが上部構造物を、茶色のブロックが船殻を模擬している）のような四角形のような場合、図 4.7-1 左図赤矢印のように、下層から直線的にエネルギーが伝播するのに対して、図 4.7-1 右図のような断面のような場合、図 4.7-1 右図赤矢印のように、下層から直線的にエネルギーが伝播することができず、L 型にクランクした箇所でもエネルギー損失が発生するため、騒音レベルを低減させることが期待できる。ただし、この低減量はエンジンケーシングを居住区から分離させることによるほどの低減は見込めない。

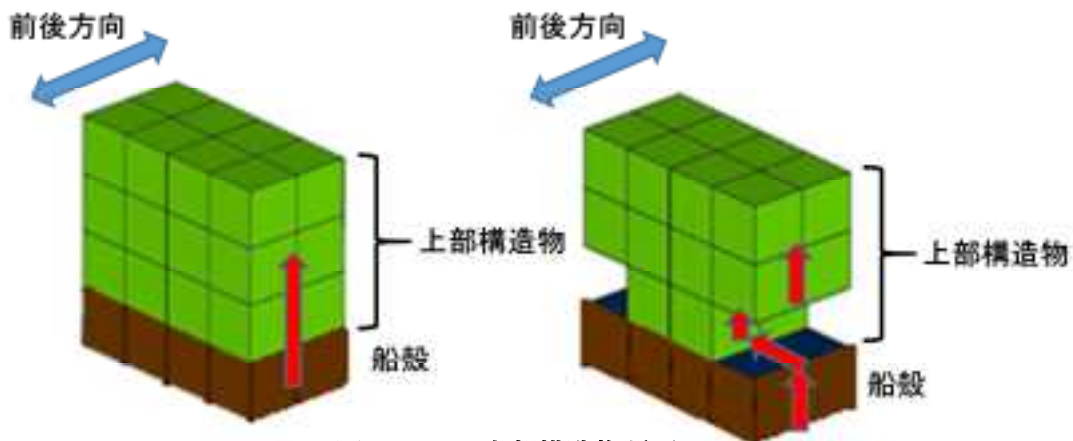


図 4.7-1 上部構造物断面

4.8 Ventilation Tunnel (V/T)の配置

Ventilation Tunnel はエンジンルームファンから機関室内に空気を供給する通り道であり、機関室内の高い騒音レベルに加えて振動成分（主機振動の影響もある）も重畳されている。騒音規制が適用される区画（例えば食堂）とは直接接することなく、エンジンケーシング内を通す必要がある。

4.9 エアコンルームの配置

エアコンルーム内に設置されるエアコンユニットは騒音・振動源のひとつである。騒音規制が適用される区画をエアコンルームに隣接すると、区画内の騒音レベルが規制値を超えるリスクが大きくなるため、エアコンルームの配置を検討することが必要である。やむを得ず騒音規制の対象となる区画と隣接させてエアコンルームを配置する場合は、エアコンルーム内の振動・騒音が居住区内に伝播しないよう、エアコンルーム床面の防振対策、エアコンルーム内の遮音・吸音対策が必要である。

5 章 6,500m³油送船の設計

本章では、最適な主機、発電機の選定と最適な機関室配置、居室配置によって、騒音規制を満足させる騒音計測結果を得た 6,500m³内航タンカー(以下、モデル船という)について、設計図面情報等を紹介し、本モデル船のどのような要件が、騒音低減に寄与しているかを紹介する。モデル船と同じ設計を行うこと、または、モデル船の設計を学ぶことによって、現行の設計を見直す技術的指針を与える。

5.1 船舶・機関要目

モデル船は 6,500m³油送船である。モデル船の船舶・機関の要目を表 5.1—1 に示す。主機は、2 サイクルエンジンである。

表 5.1—1 船舶・機関要目

Lpp×B×D (m)	98.0×16.0×8.3
総トン数 (ton)	3,834
最大搭載人員	13 名
主機メーカー／型式	阪神内燃機工業（株）／ MAN B&W 6L35MC6
主機出力 (kW)×回転数 (min ⁻¹)	3,900 × 210 （オリジナル）
主機出力 (kW)×回転数 (min ⁻¹)	3,250 × 210 （ディレーティング）
主発電機メーカー／型式	YANMAR ／ 6NY16L-EW
発電機出力(kW)×回転数 (min ⁻¹)	441 × 1,200

5.2 居住区配置、機関室配置

居住区配置を図 5.2—1 に、機関室配置を図 5.2—2 に示す。上部構造物は Poop Deck、Boat Deck、Captain Deck、Nav. Bri. Deck の 4 層である。エンジンケーシングは、Poop Deck では Mess Room、Galley の後方で接しているが、Boat Deck から上層で、居住区と分離している（暴露デッキで居住区とつながっている）。上部構造物は、図 4.7—1 の右図に示すように、Poop Deck 居住区の横幅に対して、Boat Deck 及び Captain Deck の横幅の方が広い。機関制御室は Upper Deck 上前方に船体中心より配置され、機関制御室の左舷側にはポンプルームが、右舷側には置きタンクが配置されている。それらの下方には No1 FOT が配置されている。Mess Room は Poop Deck 右舷側に配置され、その下層には Work Shop と Store が配置され、いずれも遮音性を有する区画となっている。Recreation Room は Poop Deck 前方左舷より配置され、下層は機関制御室の一部と置きタンクの一部となる。Ship Office は Poop Deck 前方右舷より配置され、下層は機関制御室の一部とポンプルームの一部となる。Poop Deck のこれら公室への空気伝播音が低減される配置となっている。エンジンルームファンの給気口は Captain Deck 天井レベルにある。

居室は Boat Deck と Captain Deck のみに配置し、前方に 5 部屋、前方に配置した士官の Bed Room 後方に Day Room を配置、さらに後方に部屋を配置している。

Poop Deck より上層全てのデッキにおいて、デッキ高さは 2.55 (m)である。

主機は、Lower Floor に配置され、2 台の発電機が 1 層上の 2nd Deck で機関室内後方、Steering Gear Room 前隔壁の直前に、船体中心線近くに配置されている。発電機の左右に No2 FOT が配置されている。

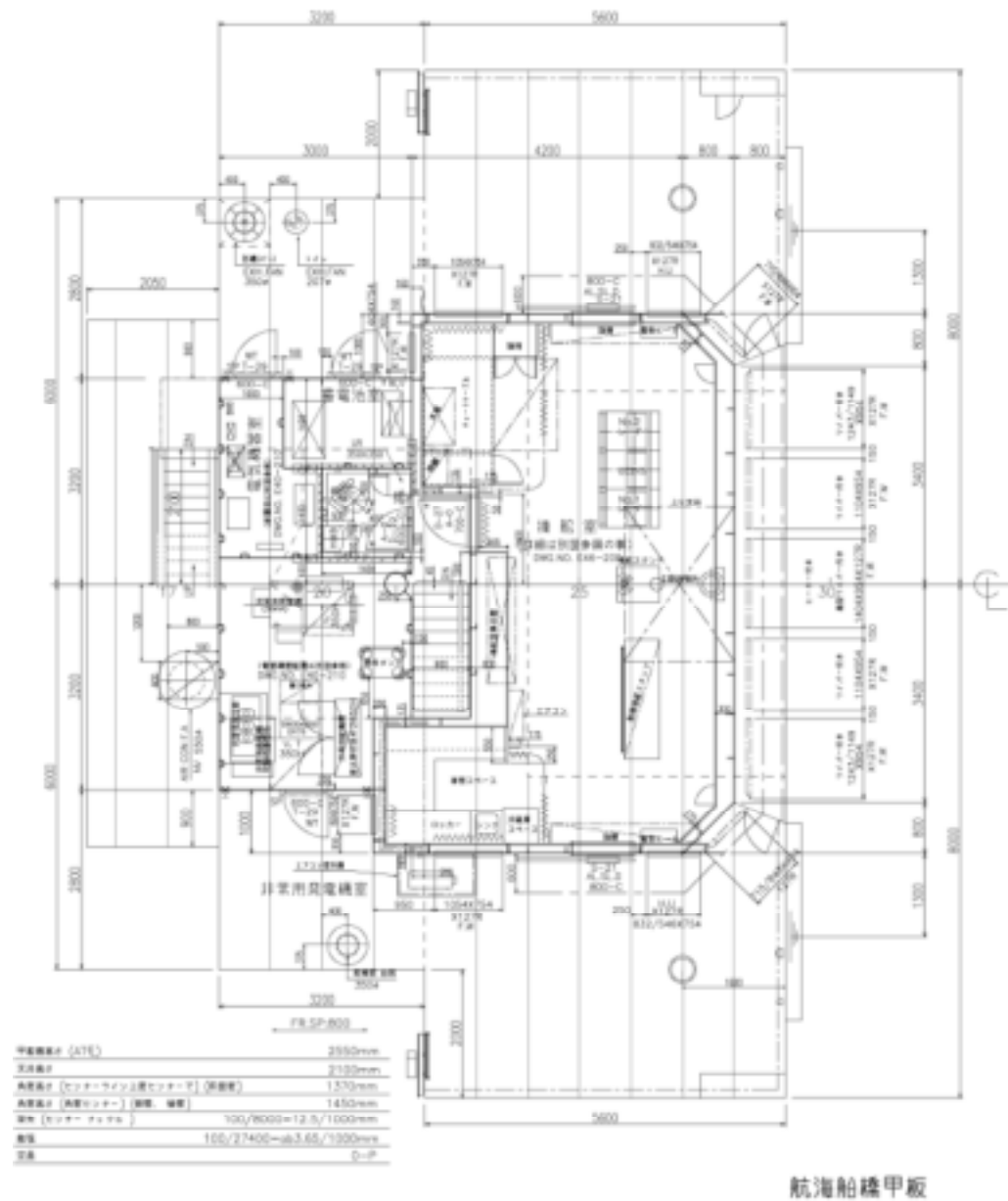


図 5.2—1 (1) 居室配置 (Nav. Bri. Deck)

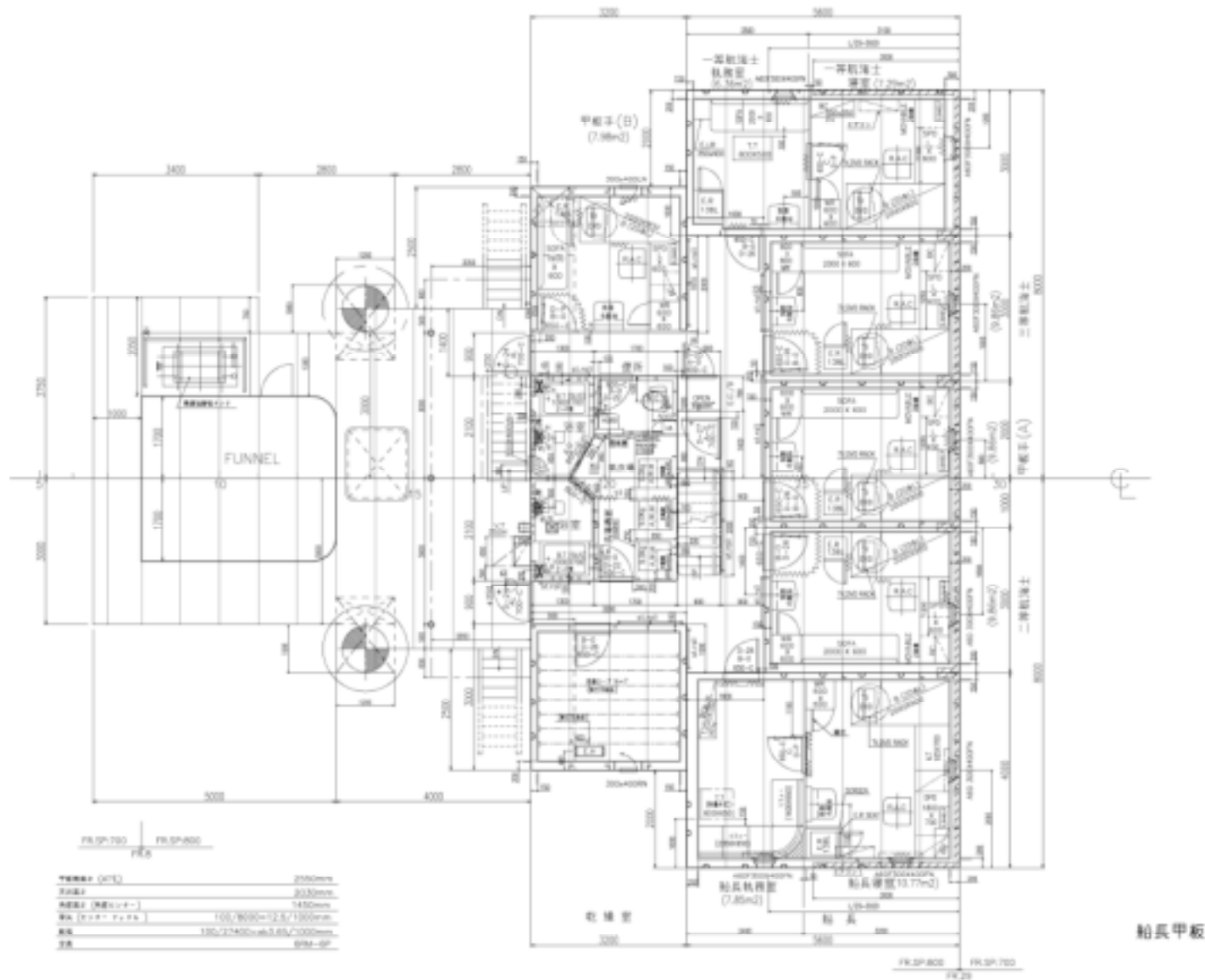


図 5.2-1 (2) 居室配置 (Captain Deck)

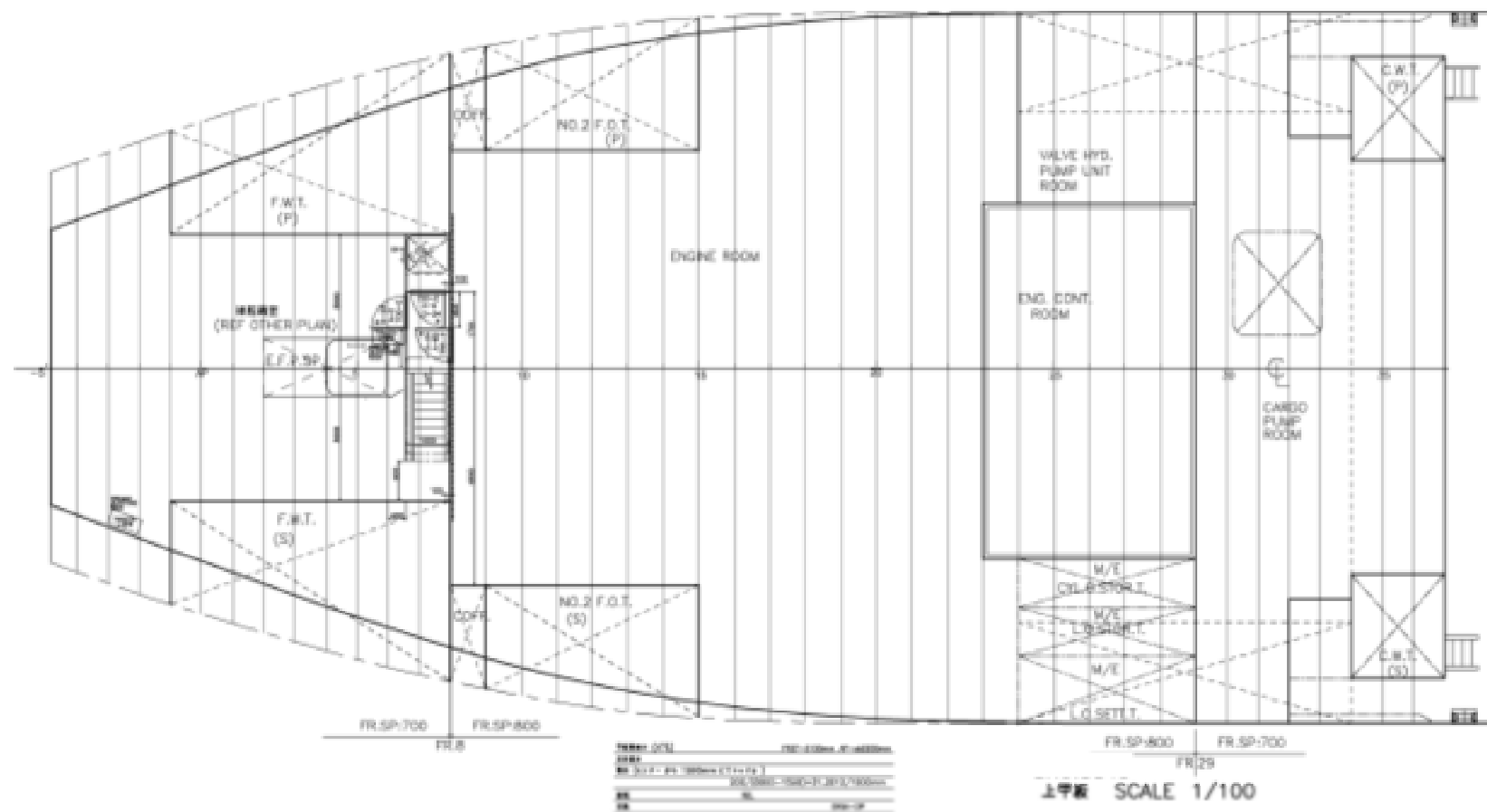


図 5.2-1 (5) 居室配置 (Upper Deck)

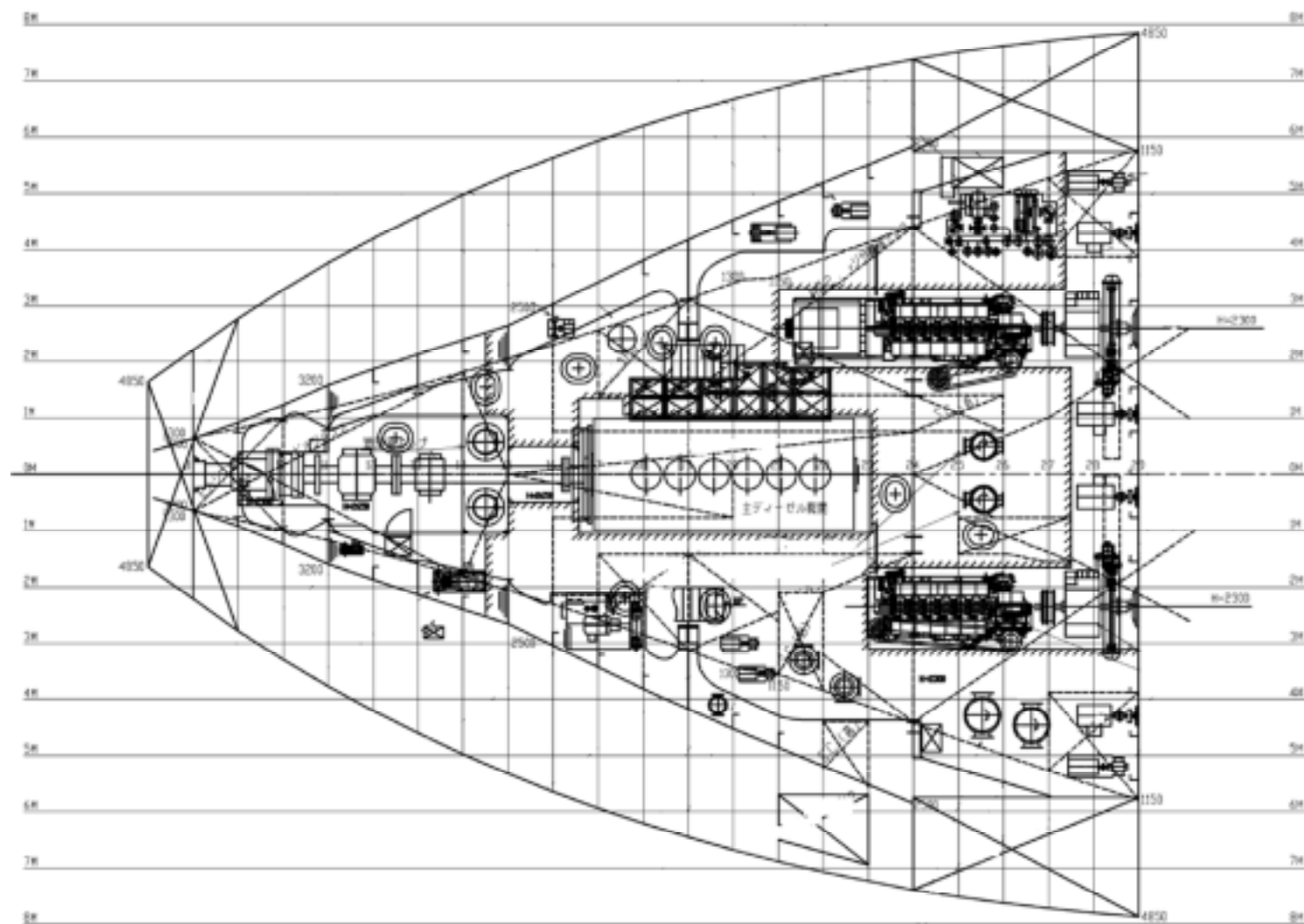


図 5.2-2 (1) 機関室配置 (Lower Floor)

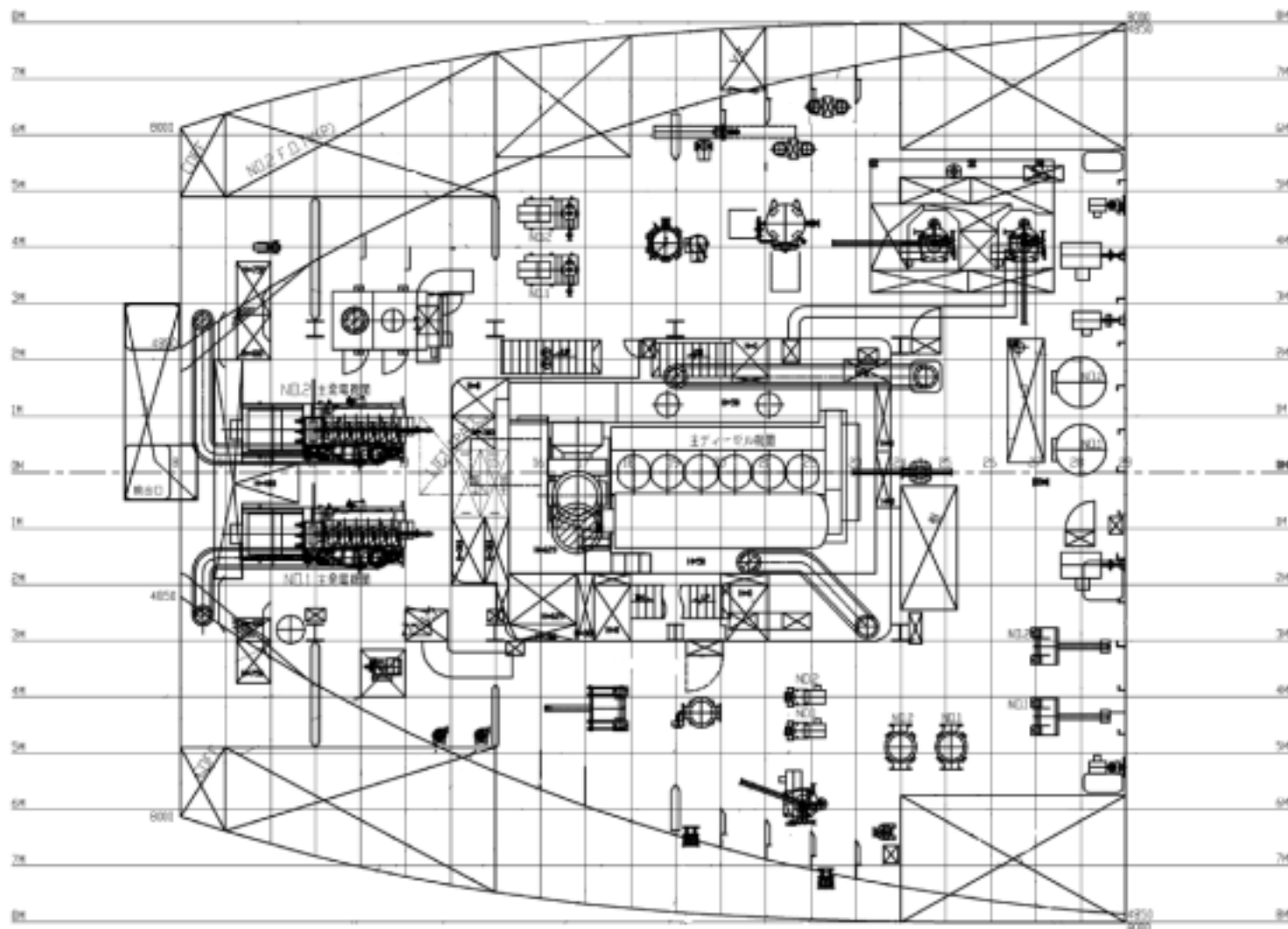


図 5.2-2 (2) 機関室配置 (2nd Deck)

5.3 内装仕様

モデル船は、浮床、多孔天井パネル、遮音パネル等の騒音対策を目的とした内装材を使用していない。防火構造上の最低限の要求を満足させる仕様となっている。居室内装仕様について、図 5.3－1 に示す。図 5.3－1 で使用されている記号について、表 5.3－1 に示す。

表 5.3－1 甲板舗装及び甲板防熱記号

記号	仕様
 	9mm ラテックス系デッキコンポジション 色仕上げ
 	7mm ラテックス系デッキコンポジション上 2mm プラスティックタイル仕上げ
 	セメント上 滑り止め 100mm 角モザイクタイル仕上げ
 	セメント上 滑り止め 50mm 角モザイクタイル仕上げ
 	セメント仕上げ
 	ペイント仕上げ
 	木製グレーチング（全面）
 	木製グレーチング（棚下のみ）
	A60 級防熱（甲板裏より施工）
	A15 級防熱（甲板裏より施工）
	7mm ラテックス系デッキコンポジション上 2mm プラスチックタイル仕上げ&防熱材として使用
	防熱材として使用（甲板上より施工）32t
	防熱材として使用（甲板上より施工）38t
	A60 級防熱（甲板上より施工）32t

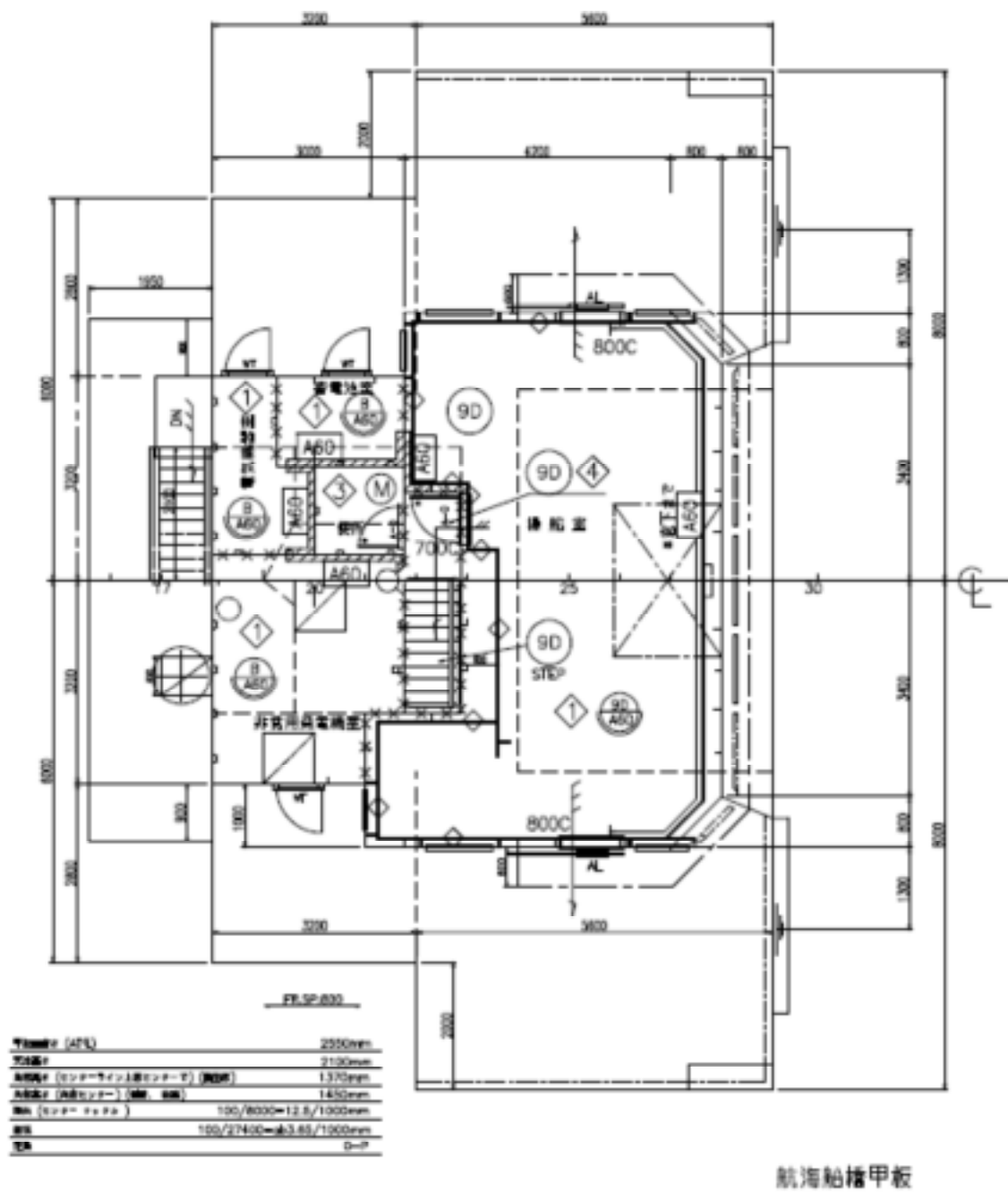


図 5.3-1 (1) 居室内装仕様 (Nav. Bri. Deck)

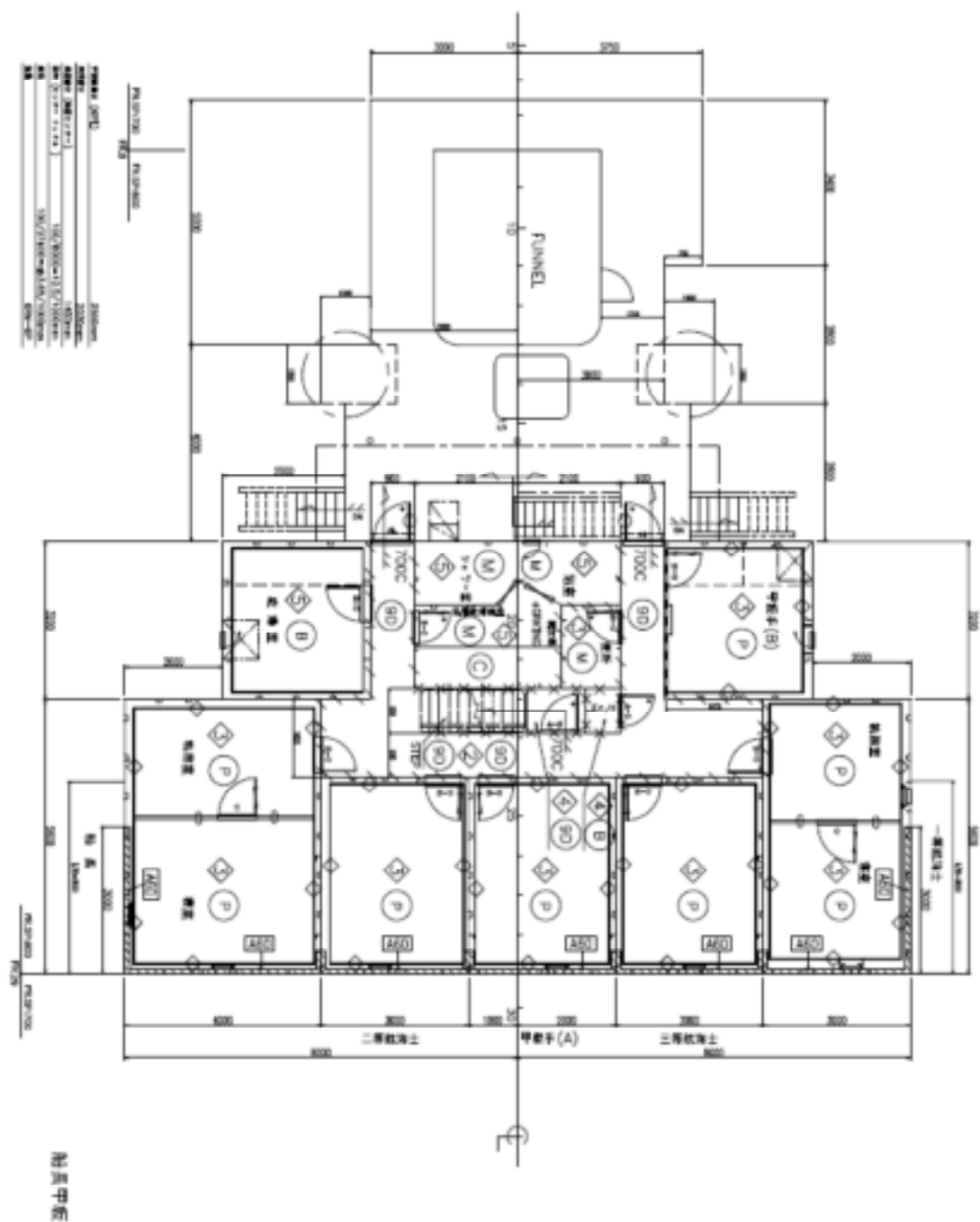


図 5.3-1 (2) 居室内装仕様 (Captain Deck)

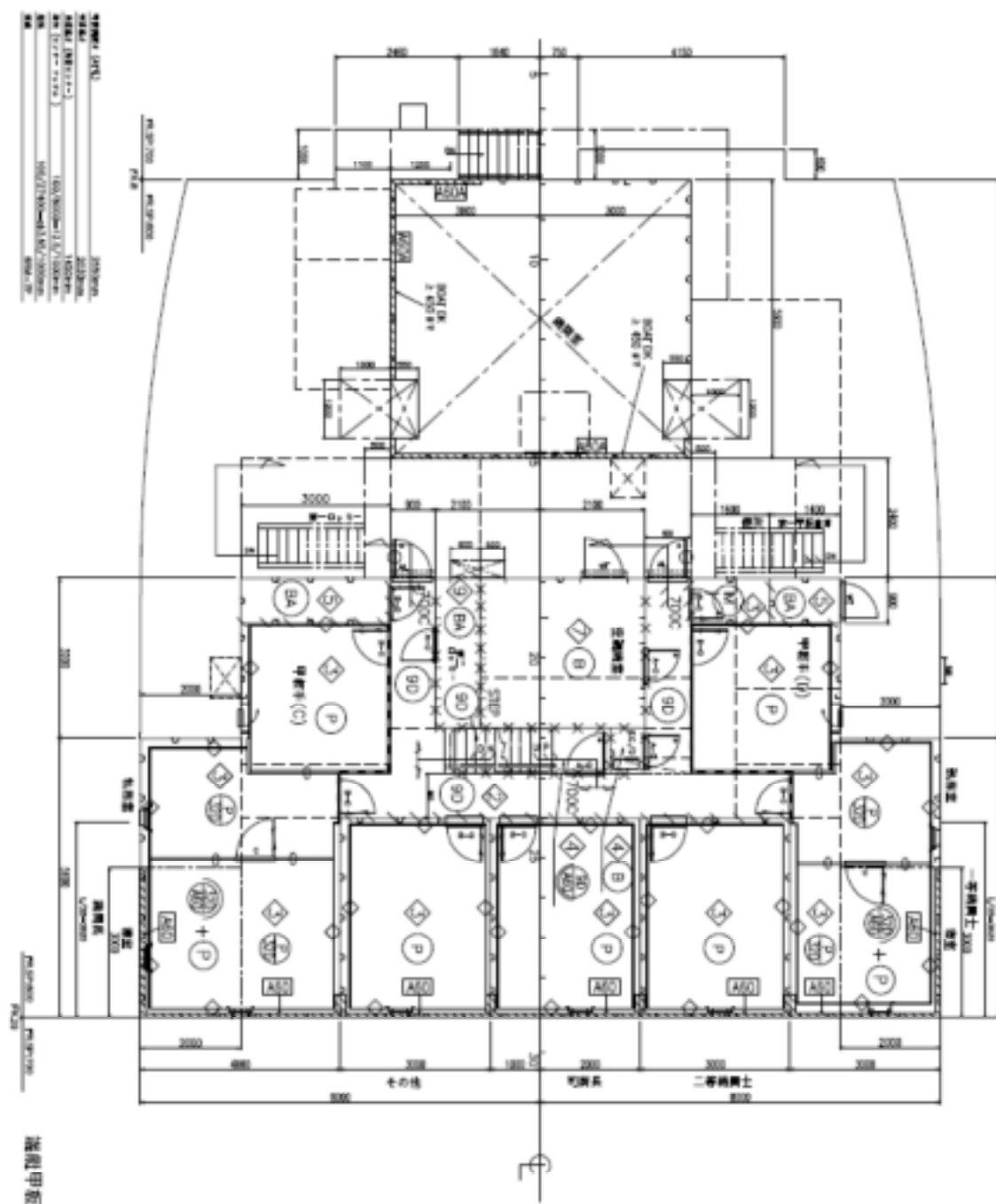


図 5.3-1 (3) 居室内装仕様 (Boat Deck)

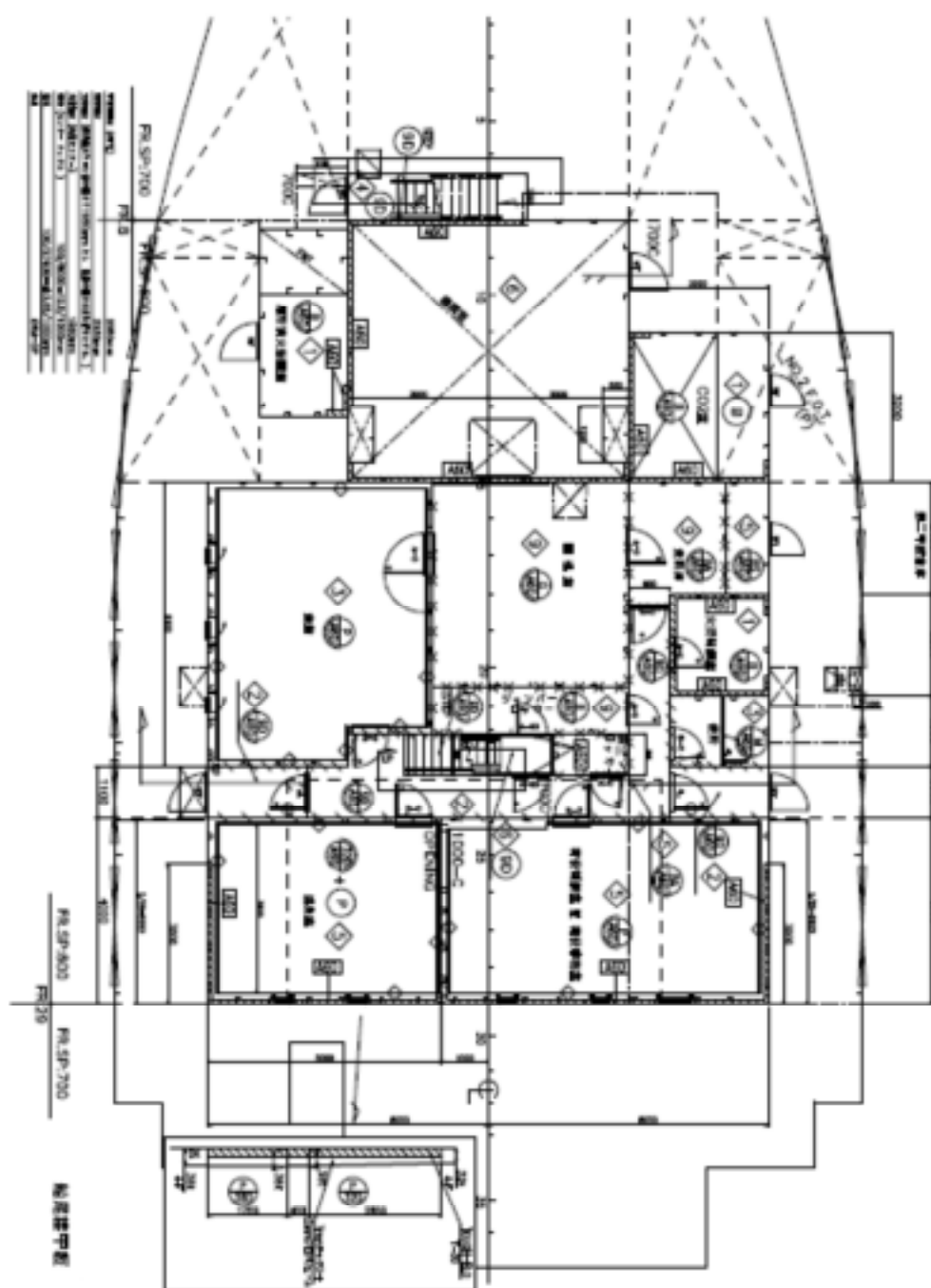


図 5.3-1 (4) 居室内装仕様 (Poop Deck)

5.4 居住区騒音レベル

海上公試で計測した居住区の騒音レベル（OA 値）を図 5.4-1 に示す。10,000 総トン未満の船舶に対する騒音規制値は、居室に対して 60 (dB(A))、公室に対して 65 (dB(A))、操舵室に対して 65 (dB(A))であり、図 5.4-1 に示す全ての部屋で騒音規制値を満足している。

図 5.4-1 より、船長甲板、端艇甲板とも、前方中央よりの居室は、端の居室よりも騒音レベルが低い。

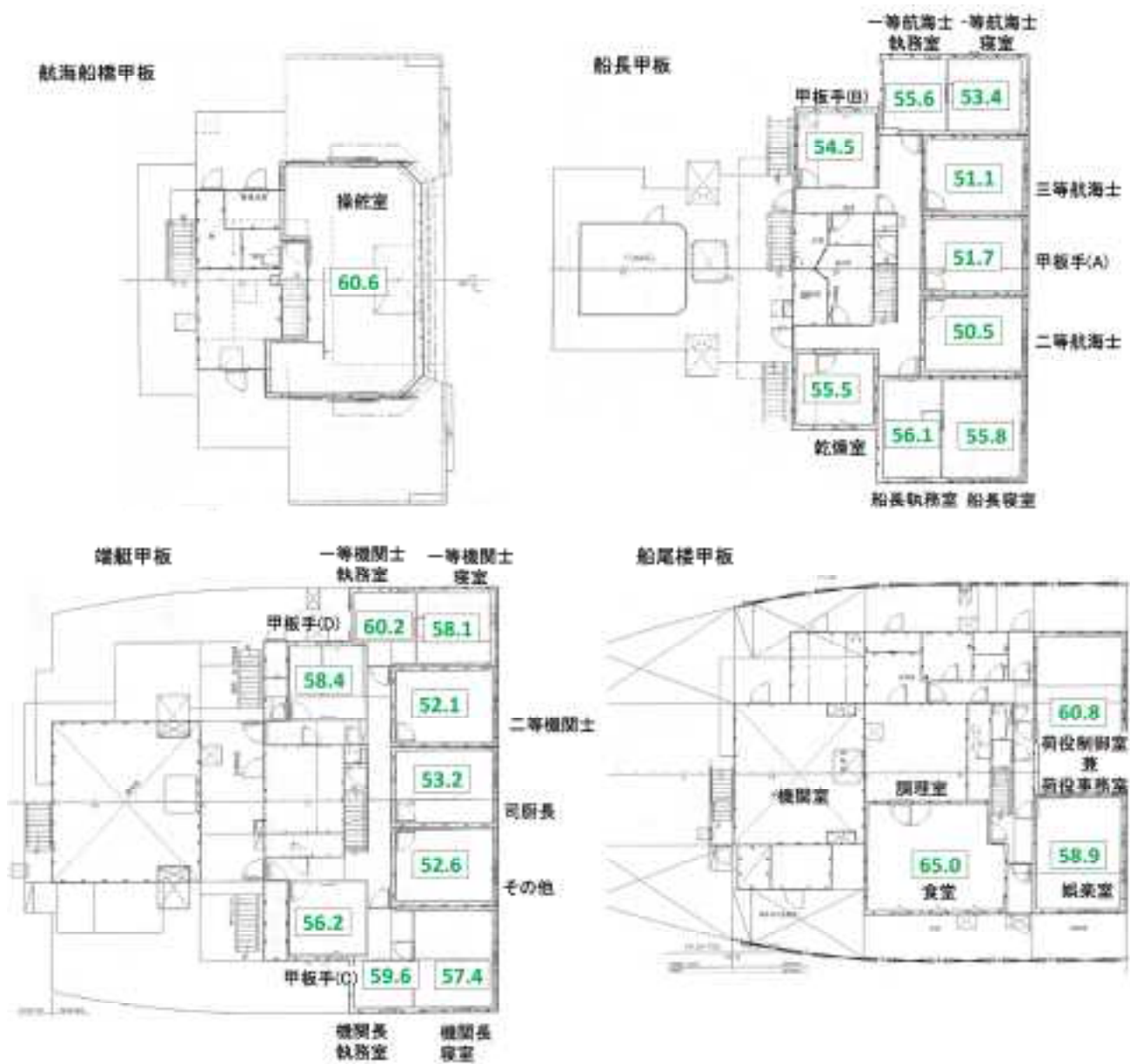


図 5.4-1 居住区騒音レベル

5.5 エネルギー伝播経路

SEA により解析した主な区画・居室への支配的な伝達経路結果を紹介する。

(1) Work Shop（工作室）

Work Shop は Upper Deck 右舷側に位置し、右壁は船体外板にあたる。Work Shop に伝播してくる支配的なエネルギー伝播を図 5.5-1 に示す。主機の振動が、船体外板を上昇し、Work Shop 床、あるいは右壁に伝播しており、これら固体伝播音が Work Shop の騒音レベルに影響を与えている。伝播経路より、振動源から Work Shop にむけて、最も短い経路（構造的連続部を直線的に）エネルギーが伝播している。

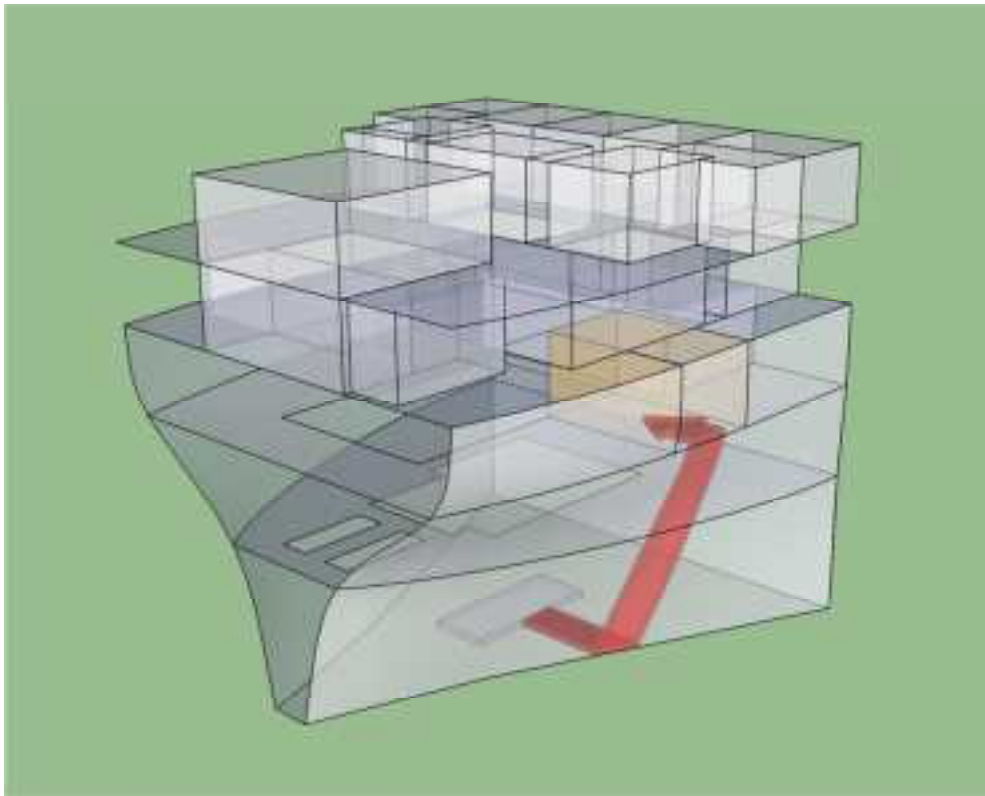


図 5.5-1 Work Shop へのエネルギー伝播経路

(2) COOK（司厨長室）

COOK は、Boat Deck 前方で中央に位置する。COOK の右壁は、下層の Recreation Room と Ship Office を仕切る壁と一直線上にあるのに対し、COOK の左壁は、一直線上となる下層の壁はない。COOK の騒音レベル大きく影響を与えているのは床面である。右壁、前壁、後壁は下層から一直線となる壁があり、このことが COOK の騒音レベルにある程度寄与していることをあらわしている。左壁の下層に一直線上となる壁がないことから、COOK の騒音レベルに与える寄与は小さい。エネルギーの伝播経路において、構造的連続部（L 型、T 型等）においてエネルギー損失が他の壁と比較して大きいのが原因と考えられる。

COOK に伝播してくる支配的なエネルギー伝播を図 5.5-2 に示す。主機の振動が主機を据え付けている Lower Floor 前方に伝播し、機関室前隔壁を伝播して COOK に到達している。伝播経路より、振動源から COOK にむけて、最も短い経路（構造的連続部を直線的に）エネルギーが伝播している。

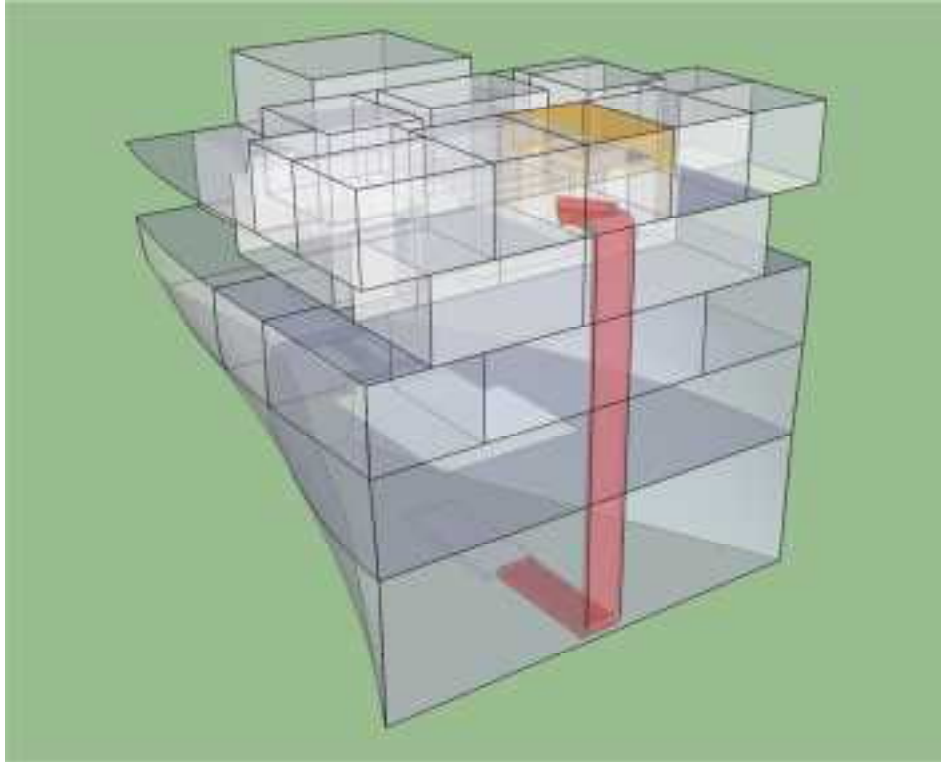


図 5.5-2 COOK へのエネルギー伝播経路

(3) C/ENG Bed Room

C/ENG Bed Room は、Boat Deck 前方で左端に位置する。C/ENG Bed Room 床面の一部下は Recreation Room であるが、もう一部は暴露部である。C/ENG Bed Room に伝播してくる支配的なエネルギー伝播を図 5.5-3 に示す。主機の振動が、2 経路にわかれて伝播している。一つ目の経路は、主機が据え付けられている Lower Floor をエンジンベッドから前方に伝播し、機関室前隔壁を上昇して C/ENG Bed Room に到達する経路である。もうひとつの経路は、主機の振動が船体外板を上昇し、Poop Deck を経由、下層の Recreation Room 右壁を上昇し C/ENG Bed Room に到達している。図 4.7-1 右図のような経路をたどる。

C/ENG Bed Room の騒音レベルは、隣接する Other、Cook の騒音レベルと比較して、若干高い。騒音レベルが相対的に中央よりの部屋と比較して高い理由として、主要なエネルギー伝播経路が中央よりの部屋よりも多いことが考えられる。前隔壁を上昇するエネルギー伝播は、振動源から C/ENG Bed Room に向けて、最も短い経路（構造的連続部を直線的に）エネルギーが伝播しているのに対して、船体外板を経由し、Poop Deck、Mess Room 右壁を経由して C/ENG Bed Room に到達する経路は、直線的な伝播ではなく、L 型の構造的連続部を経由している。この結果、このような場所でエネルギー損失が発

生していると考えられる。Poop Deck から上層の外壁は一直線のケースが多数あるなか、モデル船はこのような L 型の構造的不連続部を経由することにエネルギー損失を発生させる上部構造となっている。

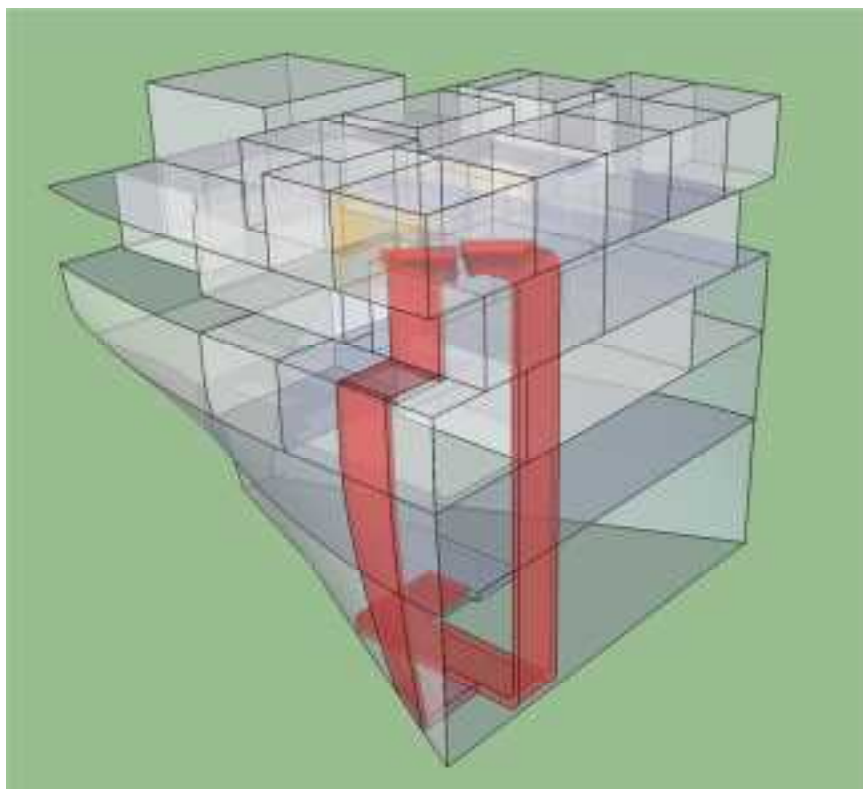


図 5.5-3 C/ENG Bed Room へのエネルギー伝播経路

技 術 資 料

附属書Ⅰ エンジンケーシング配置が居室騒音レベルに与える影響

1. 緒 言

エンジンケーシング（EC）の配置によって居室の騒音レベルが大きく変わることは経験上知られている。これは EC に隣接した居室は EC からの透過音により騒音レベルが比較的高くなりやすいためと考えられているが、その検討はまだ十分行われていない。本稿では VAONE を用いた SEA による騒音・振動解析により EC の配置における 3 種類のモデル、「分離型」、「隣接型」および「巻込型」で居室の騒音レベルがそれぞれどのように変化するか検証するものである。

2. 解析モデル

2.1 居室と EC の幾何学的配置

図 附属書Ⅰ-1 に SEA モデルを示し、図 附属書Ⅰ-2 にデッキごとの居室配置を示す。図 附属書Ⅰ-2 において斜線部は EC もしくはエンジンルーム（ER）を示す。本稿では「分離型」、「隣接型」および「巻込型」の 3 つのモデルで検証を行う。「分離型」は Poop デッキから EC が後方に配置されており、Boat デッキより上部の居住区では EC と居住区が完全に分離されている。「隣接型」では Poop デッキで EC がクランクしており、Boat デッキと Captain デッキでは EC が船体後方に配置されている。しかし、「分離型」と異なり、居住区と完全には分離されておらず、居室の一部と隣接している。「巻込型」では EC が居住区中央に配置されており、Captain デッキでクランクしている。そのため、「巻込型」は最も EC からの影響を受けやすい居室であるといえる。

2.2 平面およびキャビティ要素の特性

居住区および Upper デッキの壁面および EC と暴露部の床は 6 mm の鋼板、居室と居住区の通路の床面は 6 mm の鋼板と 7 mm のデッキコンポジションを模擬した特性を入力している。内部損失係数 η は式(1)で示される値を用いる。

$$\eta = \eta^* \omega / E \cdots \cdots (1)$$

ここで η^* は粘性係数、 E はヤング率という材料固有の値を用いる。 ω は角周波数である。居室と居住区の通路の床面は二つの材料からなるが、この場合は各材料の内部損失係数を求めた後、それぞれの面内剛性に応じた重みづけを与えて合成した内部損失係数を求めた。

キャビティの吸音率は実船計測の結果を用いている。

3. 解析結果考察

図 附属書Ⅰ-3 にデッキごとの居室の騒音レベルの平均値とその分散を示す。Nav.デッキから Boat デッキにかけて騒音レベルの平均値が高い順から「巻込型」、「隣接型」、「分離型」となっている。これは EC が居住区に与える影響が高いと思われる順にならんでおり、解析結果から EC が居住区の騒音に対して影響を与えていることが伺える。Poop デッキは「隣接型」の騒音レベルが最も高い値となっているが、これは「隣接型」のみが Poop デッキで EC がクランクしていることに起因すると思われる。このことから EC が居住区の騒音に対して影響力を与えていることが伺える。構造がどのモデルでも同一な Upper デッキにおいても EC の配置によって騒音レベルが変化しているが、この原因に関してはまだ不明であり、

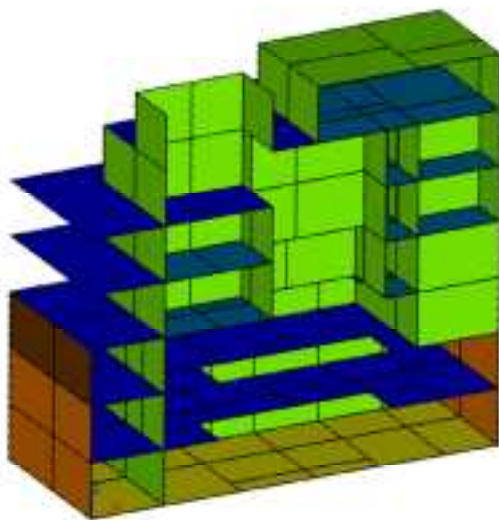
今後の検討課題である。

図 附属書 I-4 に居室と騒音レベルの関係を示す。デッキごとに最も騒音レベルの高い居室が EC に隣接、もしくは EC に最も近い居室となっている。このことから EC が居室の騒音レベルに影響を与えていることが伺える。「隣接型」の Captain デッキと Boat デッキのみ、EC に隣接した居室（図中の中央の居室）の騒音レベルが低くなっている。これは居住区の暴露部に面した壁面から伝わる固体伝播音が支配的となり、EC からの透過音を低く見積もりすぎていることが原因の一つと考えられる。より実際のモデルに則した要素特性の与え方に関しては今後の検討課題である。

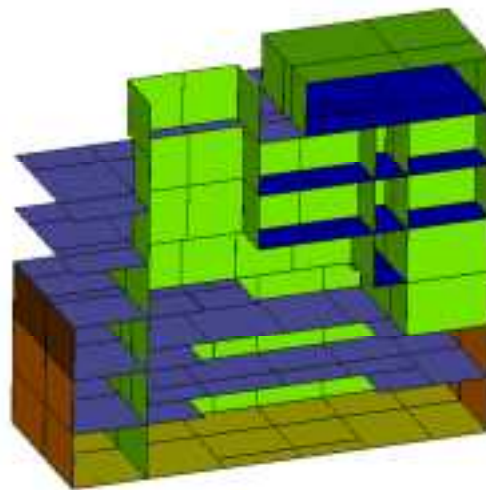
4. 結 言

EC の配置において「分離型」、「隣接型」および「巻込型」の 3 つの SEA モデルを作成し、騒音振動解析を行った。解析の結果、当初の予測通り、EC からの影響が高いと思われる「巻込型」、「隣接型」、「分離型」の順に基本的に騒音レベルが高くなることが確認できた。また、一部の居室を除いて、いずれのモデルにおいてもデッキごとに最も騒音レベルの高い居室は EC に面した部屋、もしくはもっとも EC に近い居室であることも確認できた。

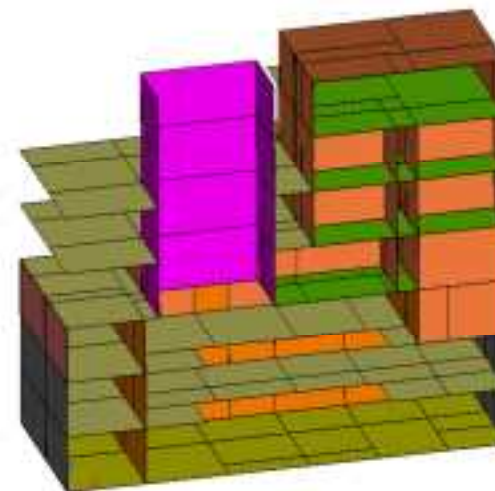
今後の課題として、Upper デッキで居室の騒音レベルに差が出る原因の検討およびより実際のモデルに則した要素特性を与えることを検討していく。



(a) 巻込型

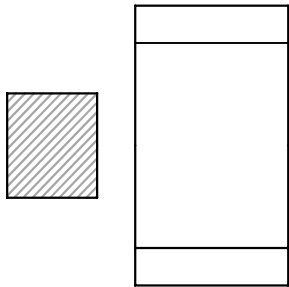


(b) 隣接型

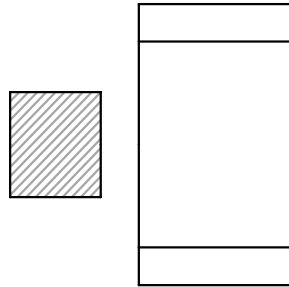


(c) 分離型

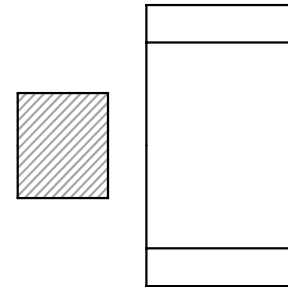
図 附属書 I-1 SEA モデル



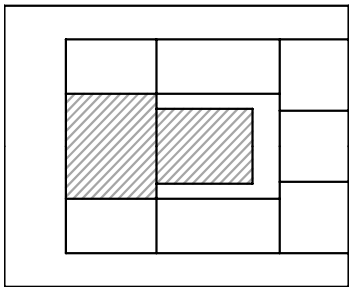
(a) 卷込型_N



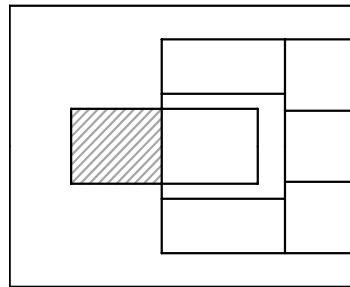
(b) 隣接型_N



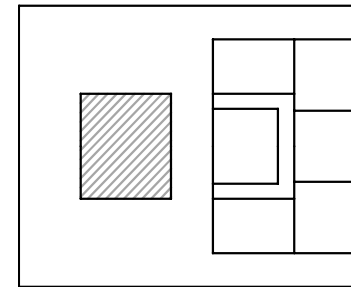
(c) 分離型_N



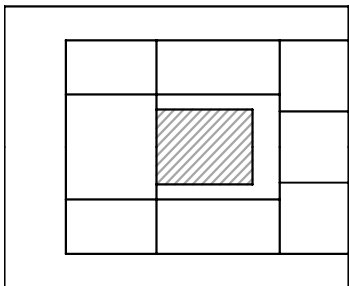
(d) 卷込型_C



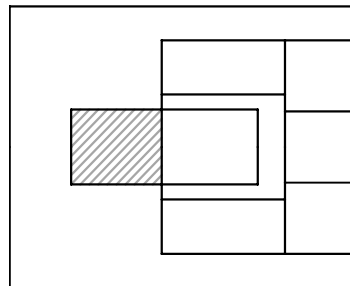
(e) 隣接型_C



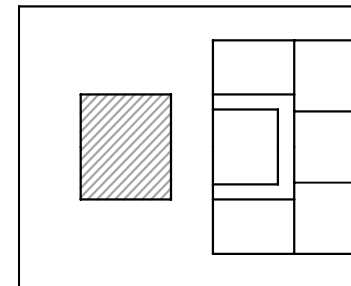
(f) 分離型_C



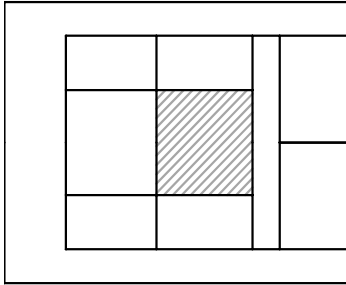
(g) 卷込型_B



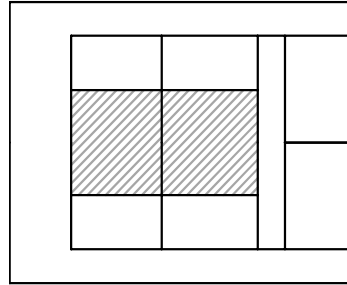
(h) 隣接型_B



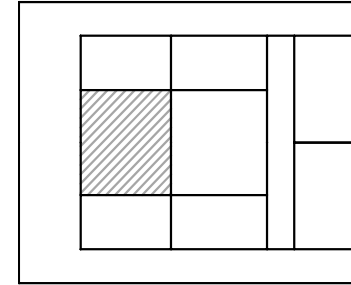
(i) 分離型_B



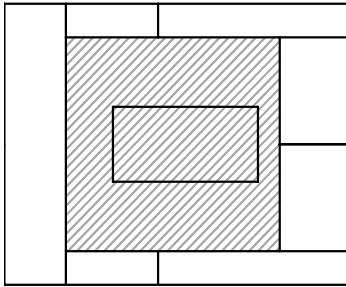
(j) 巻込型_P



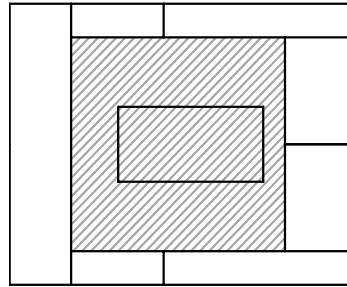
(k) 隣接型_P



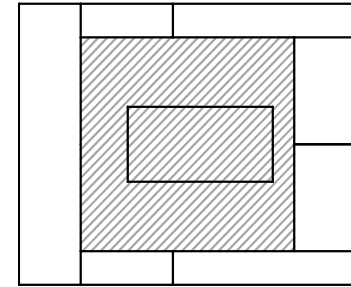
(l) 分離型_P



(m) 巻込型_U



(n) 隣接型_U



(o) 分離型_U

図 附属書 I-2 EC 配置モデル

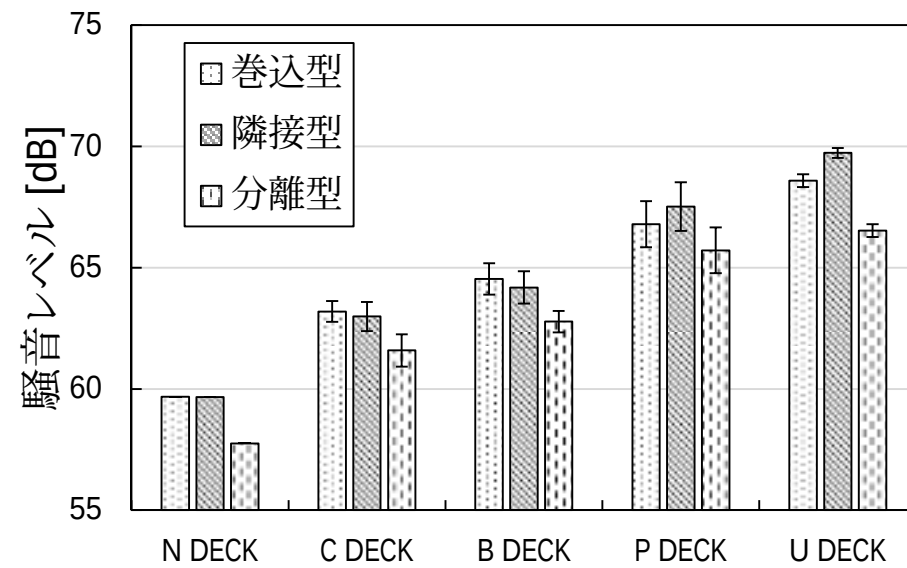
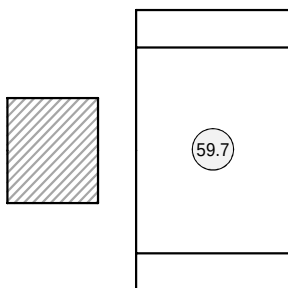
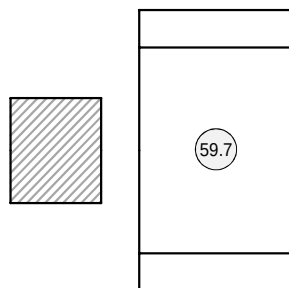


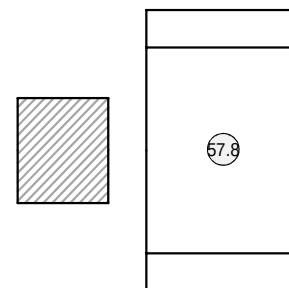
図 附属書 I-3 デッキごとの騒音レベルの平均値と分散



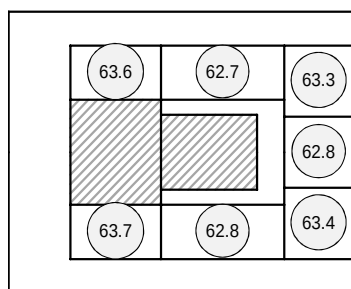
(a) 卷込型_N



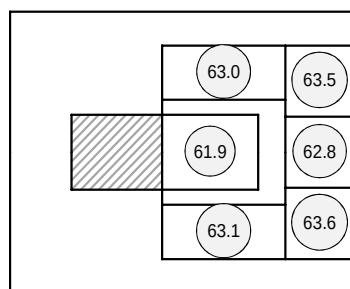
(b) 隣接型_N



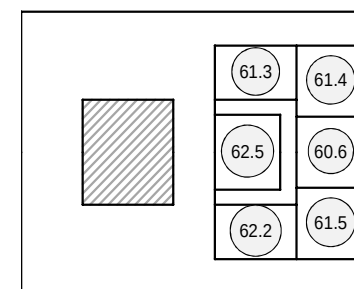
(c) 分離型_N



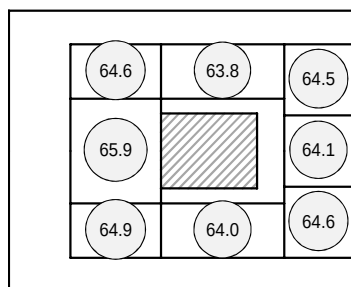
(d) 卷込型_C



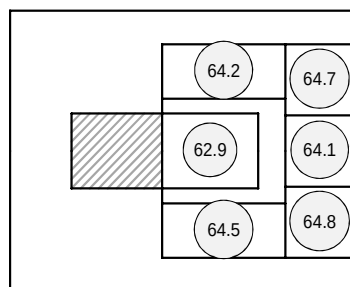
(e) 隣接型_C



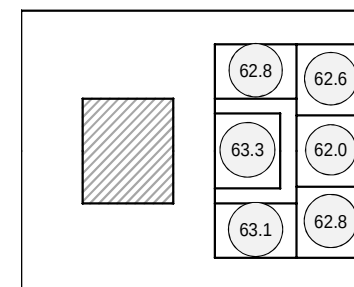
(f) 分離型_C



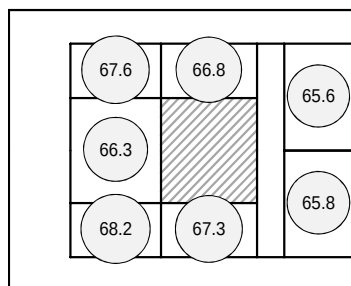
(g) 卷込型_B



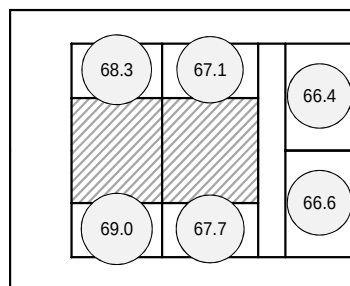
(h) 隣接型_B



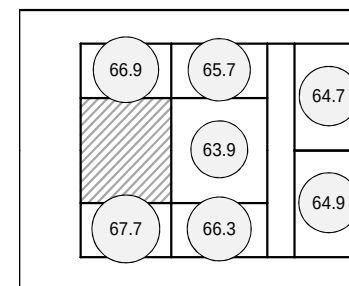
(i) 分離型_B



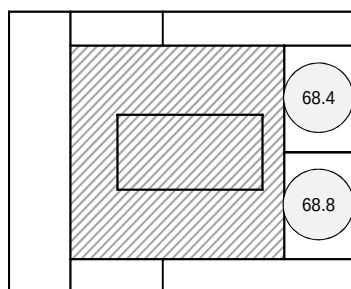
(j) 巻込型_P



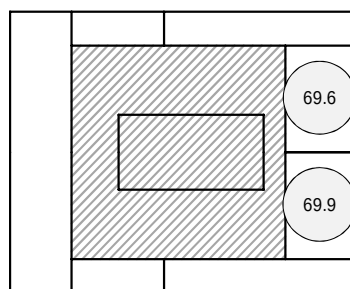
(k) 隣接型_P



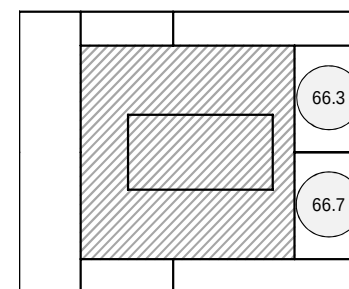
(l) 分離型_P



(m) 巻込型_U



(n) 隣接型_U



(o) 分離型_U

図 附属書 I-4 居室の騒音レベル

附属書 II 発電機位置が居室騒音レベルに与える影響

1. 概要

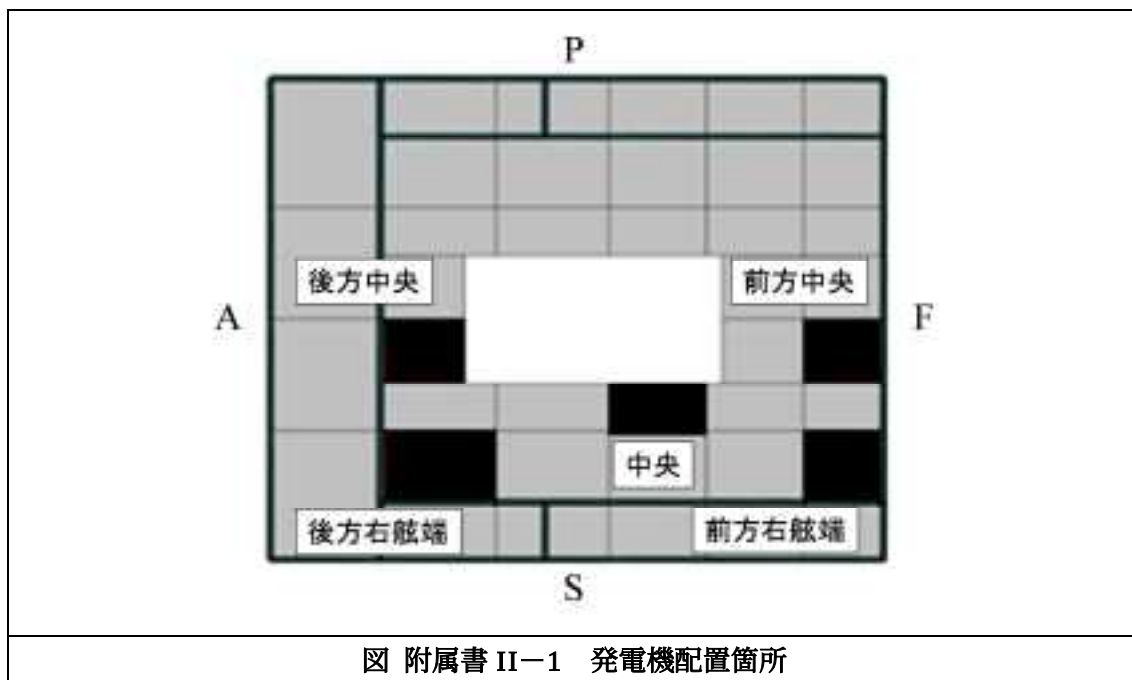
実船での経験により，発電機が前方，すなわち居室側に配置されているほど居室の騒音レベルが高くなるという知見がある．本稿ではこの知見の裏付けを SEA により行うことを目的としている．また，発電機がセンターライン付近，もしくは船側付近に配置されている場合に左右舷の騒音レベルの差がどのように変化するかについても同時に考察する．

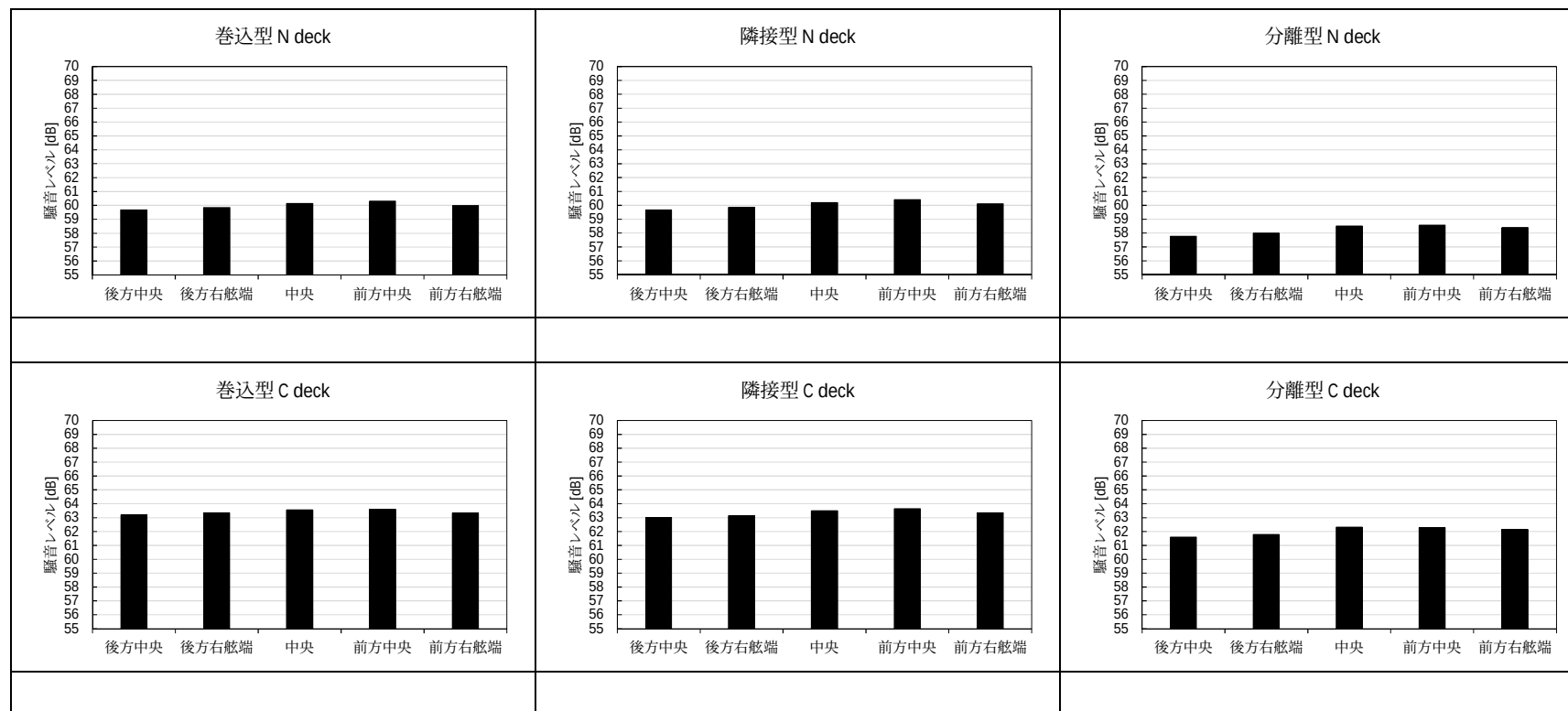
2. 発電機配置

本稿では五箇所の発電機の配置で検討を行った．配置箇所を図 附属書 II-1 に示す．本モデルは 2nd デッキに発電機が配置されており，デッキの中央に主機のためのスペースが設けられている．

3. 計算結果

計算結果を図 附属書 II-2 に示す．起振源である発電機が居室に近い前方に配置されていると、居室の騒音レベルが高くなる傾向があらわれている。





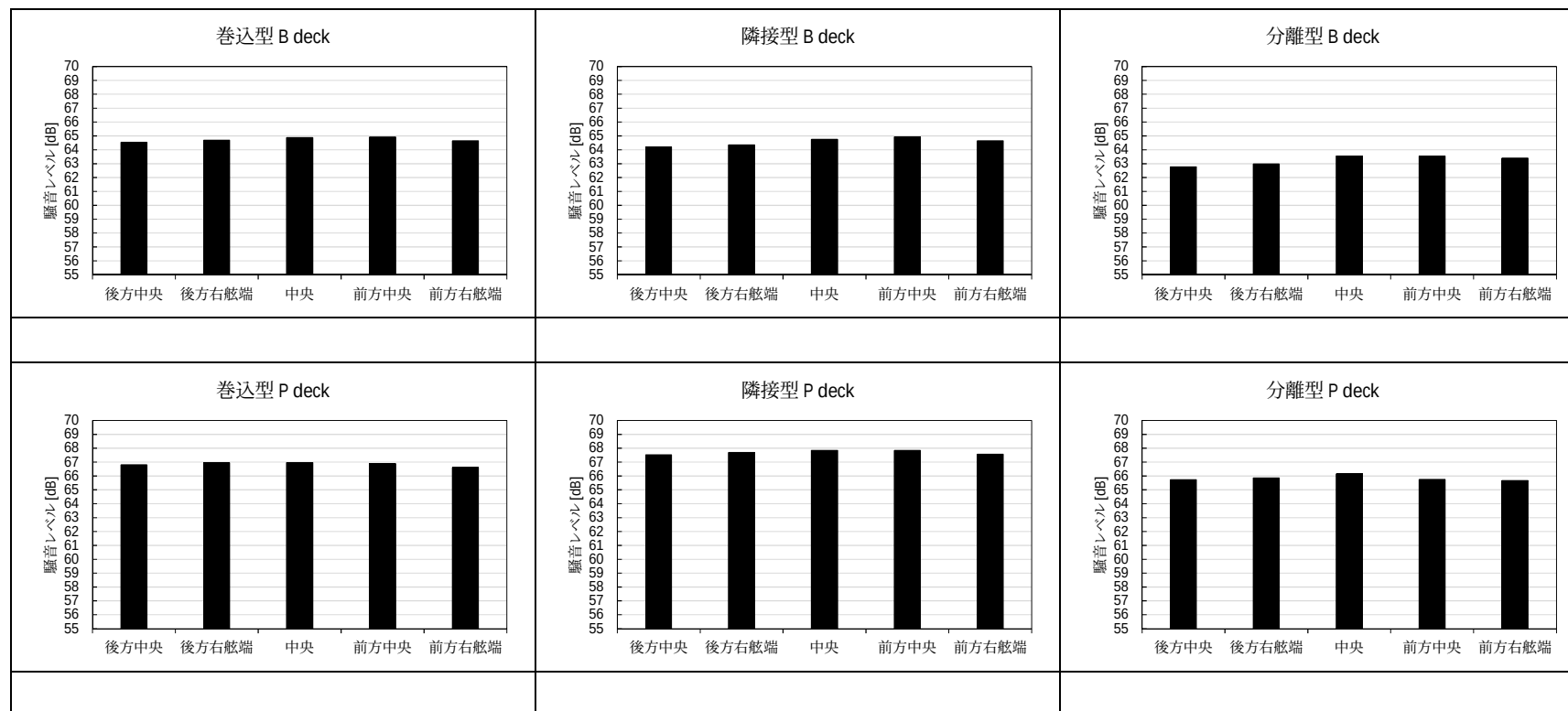


図 附属書 II-2 居室の騒音レベル

附属書 III 機関据付部剛性が居室騒音レベルに与える影響

1. 緒 言

エンジンベッドの剛性を高くすることにより、主機からの振動が低減されるとされている。ここでは VAONE を用いた SEA による騒音・振動解析により、エンジンベッドの剛性が居室騒音レベルに与える影響を検証する。

2. モデル

附属書 I で報告した巻込型のモデルを用いて検証する。附属書 I でのモデルではエンジンベッド（主機振動が加わる船底パネル要素）を 13 mm の鋼板を用いていたが、ここでは加えて 26 mm と 45mm の鋼板を用いて解析を行う。また、前稿では主機からの振動をエンジンベッドの平面要素に振動レベルを直接入力してこれを境界条件としていたが、板厚を変更する場合、これと同様の境界条件を用いる事は不適切である。より現実 に即した境界条件とするためには主機からの加振力を境界条件とする必要があり、本稿ではこれの導出に関しても記載する。

3. 主機からの加振力の導出

主機からの加振力の導出には最急降下法による最適化を用いる。荷重の初期値を各周波数で 0 N、荷重ステップの初期値を各周波数で 1 N、ステップ数は 12 とした。ただし、負の値を荷重に用いる事はできないため、0 N の時点で目標値よりも高い値となってしまっていた場合、その周波数での荷重は 0 N とした。図 附属書 III-1 に各エンジンベッド要素の振動速度とその目標値を示す。最急降下法により各要素の振動速度が極めて目標値と近い値となっている。

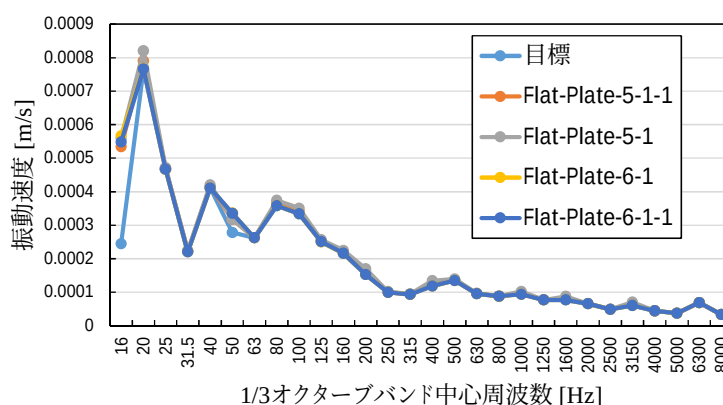


図 附属書 III-1 エンジンベッドの振動レベルとその目標値

4. 騒音レベルの変化検証

図 附属書 III-2 に各居室の騒音レベルを示す。図 附属書 III-2 において黒点で塗られた要素は境界条件を振動レベルとした時の騒音レベルである（エンジンベッドの板厚は 13 mm）。また、黒で塗られた要素はエンジンベッドが 13 mm，灰色で塗られた要素はエンジンベッドが 26 mm，白色で塗られた要素はエンジンベッドが 45mm とし，境界条件を加振力とした騒音レベルである。図 附属書 III-1 で加振力による境界条件を振動レベルによる境界条件とほぼ同様のものとしたため，図 附属書 III-2 の黒点の要素と黒の要素がほぼ同じ騒音レベルとなった。また，エンジンベッドの剛性を高くしたことにより，26mm では騒音レベルが 1.5dB ほど低減し，45mm では騒音レベルが 2.0dB ほど低減されることが解析的に検証できた。

図 附属書 III-3 にデッキごとの騒音レベルの低減の平均を示す。図 附属書 III-3 を確認してもデッキによる低減値の規則的な変化は確認できない。

図 附属書 III-4 に居室の配置と騒音レベルの低減値の関係を示す。図 附属書 III-4 を確認すると，船体前方の居室においてよく騒音レベルが低減されることが確認できる。これは，主機からの振動電波の観点からみると，船体底面から船体前方の壁面を伝わる振動の比重が大きく，この影響を強く受ける船体前方の居室にエンジンベッドの剛性の変化が強く見られたためと思われる。

5. 結 言

エンジンベッドの剛性を変化させた場合の騒音レベルを SEA による解析により求め，エンジンベッドの板厚を 13 mm から 26 mm に変化させた場合，解析上 1.5 dB 程度，13 mm から 45mm に変化させた場合は 2.0 dB 程度，居室の騒音レベルが低減することが判明した。デッキと騒音レベルの低減値にあまり相関は見られなかったが，船体前方の居室で騒音レベルの低減値が高くなる傾向にあることが判明した。これは主機の振動が船底から船体前方にかけて伝播しているためと思われる。

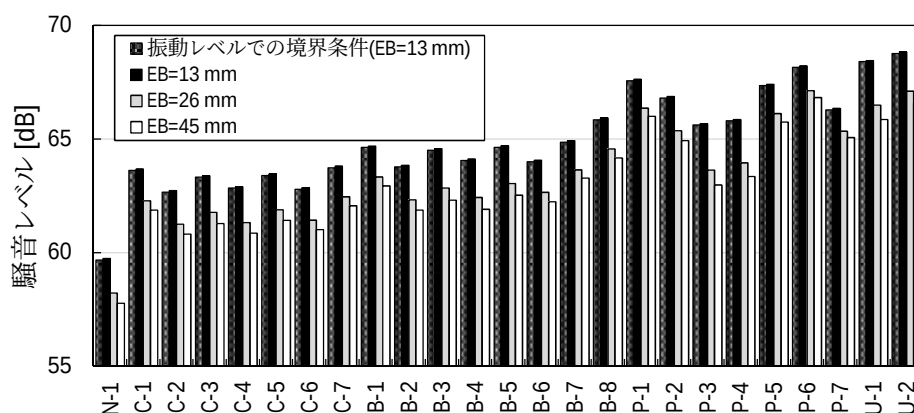


図 附属書 III-2 居室ごとの騒音レベル

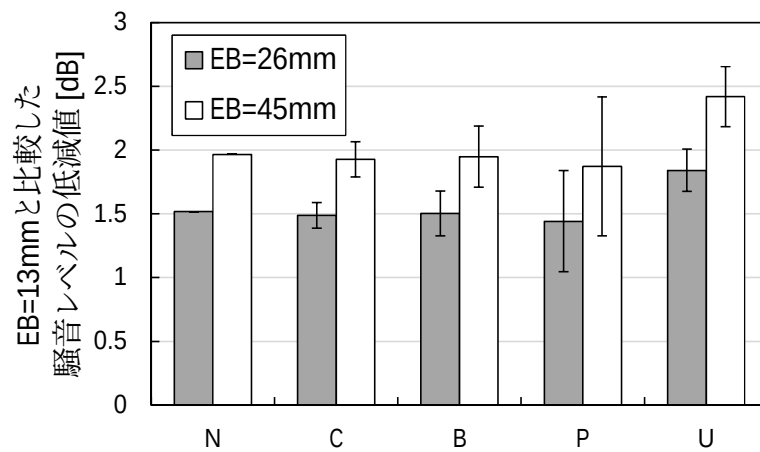
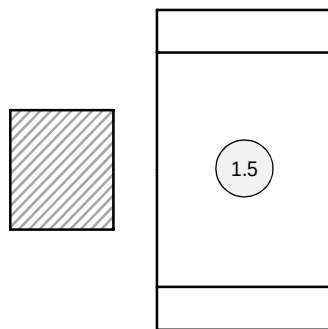
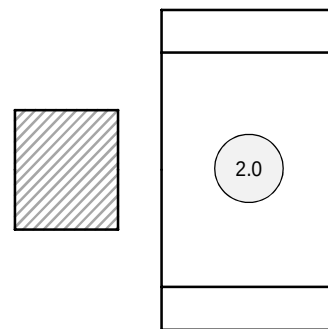


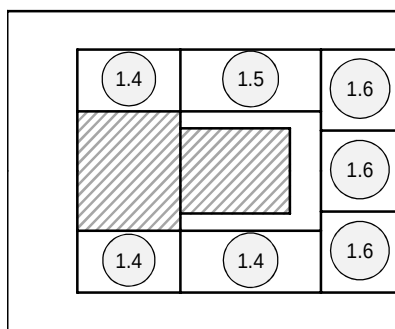
図 附属書 III-3 デッキごとの騒音レベルの低減値



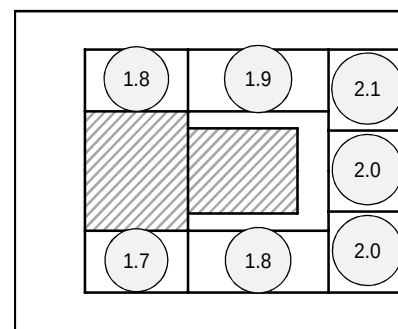
(a) Nav. EB=26 mm



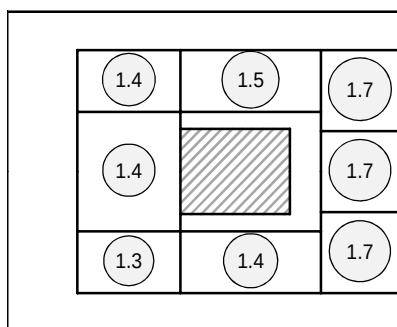
(b) Nav. EB=45 mm



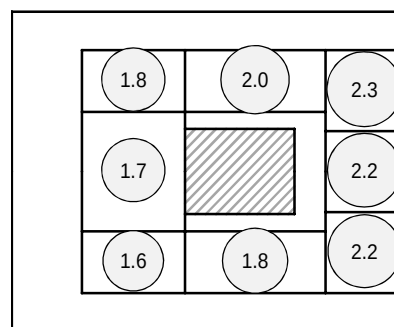
(c) Captain EB=26 mm



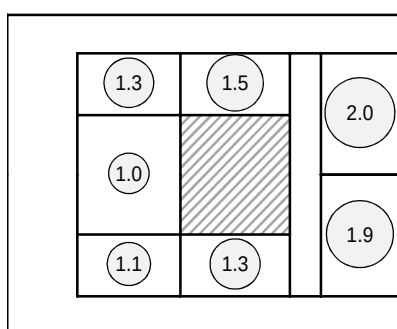
(d) Captain EB=45 mm



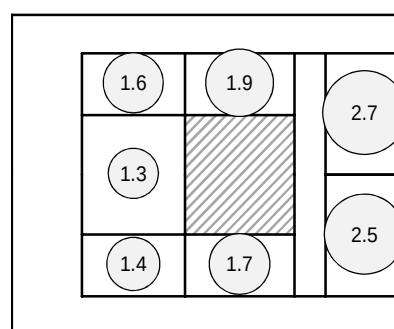
(e) Boat EB=26 mm



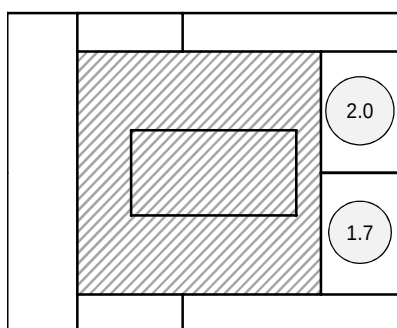
(f) Boat EB=45 mm



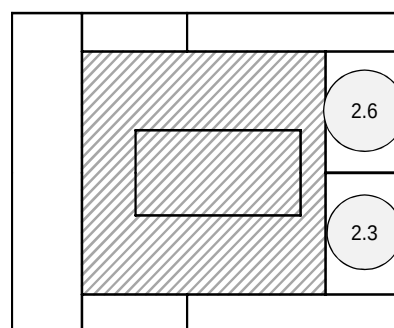
(g) Poop EB=26 mm



(h) Poop EB=45 mm



(i) Upper EB=26 mm



(j) Upper EB=45 mm

図 附属書 III-4 居室の配置と騒音レベルの低減値の関係

附属書 IV 機関室内区画の遮音性が直上部屋の騒音レベルに与える影響

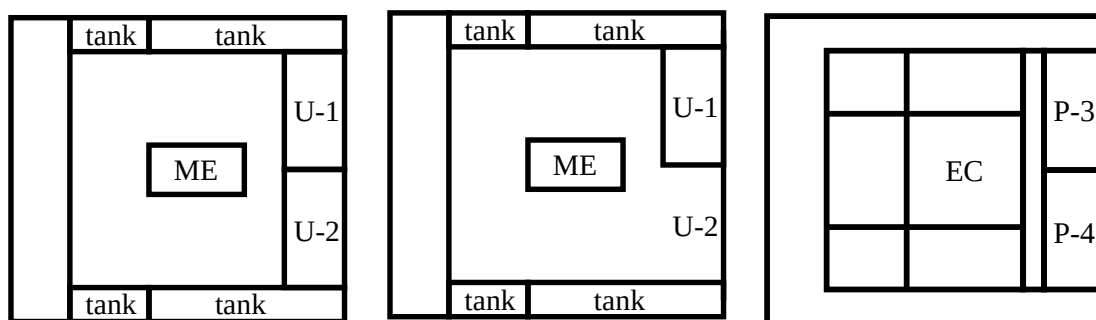
1. はじめに

機関室上部の居住区における居室の騒音はその直下の空間が機関制御室(ECR)など、隔離された空間の場合、騒音レベルが低減するということが経験上予測されている。SEA を用いた数値計算により検証する。

2. 検証方法

図 附属書 IV-1 に Upper デッキの機関室の配置図および Poop デッキの居住区の配置図を示す。Upper デッキの Fore 側に区切られた空間 U-1 と U-2 の部屋があり、便宜上これらを ECR としている。この直上の居室が P-3 および P-4 に相当している。ここで、U-2 の Aft.側の壁を取り除いたモデルを新たに作成し、U-2 の部屋を機関室と一体にする。両者のモデルにおける U-1, U-2, P-3, P-4 の居室を比較することによって、機関室と隔離されている場合と隔離されていない場合における直上の居室の騒音レベルがどのように変化するのかを解析的に検証する。

また、P-4 における U-2 からの透過音のエネルギーの比較も行い、これに関しても検証する。



(a) Upper Dk. (U-2 壁あり) (b) Upper Dk. (U-2 壁なし) (c) Poop Dk.

図 附属書 IV-1 配置図

3. 計算結果

3.1 騒音レベルの低減効果

U-2 の壁がある場合とない場合における各居室の騒音レベルの OA 値の計算結果を図 附属書 IV-2、周波数スペクトルの計算結果を図 附属書 IV-3 に示す。図 附属書 IV-2 および図 附属書 IV-3 より、壁を実際に取り除いた U-2 を除き、居室の騒音レベルの OA 値および周波数スペクトルはほとんど変化しないという結果になった。U-2 の騒音 OA 値が 83 dB と 70 dB とではその直上の居室である P-4 に何らかの変化が表れると予測されていたが、解析結果はその予測と反している。これは、現行の VA One による解析では、空気の音圧エネルギーから壁面の振動エネルギーに伝播するエネルギー量を高く見積もって

いることが原因と思われる。

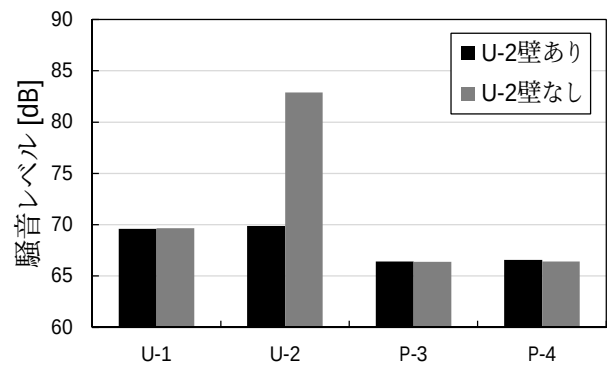
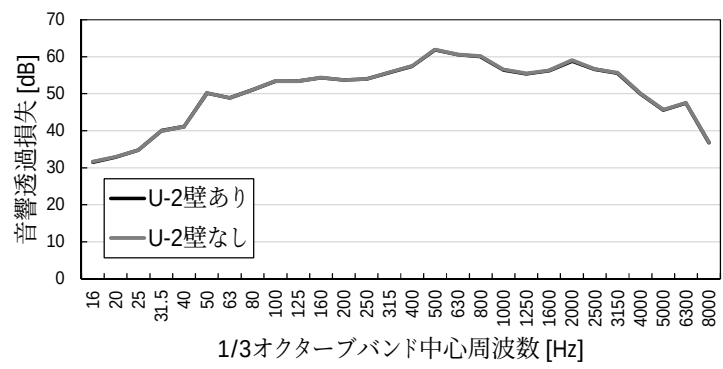
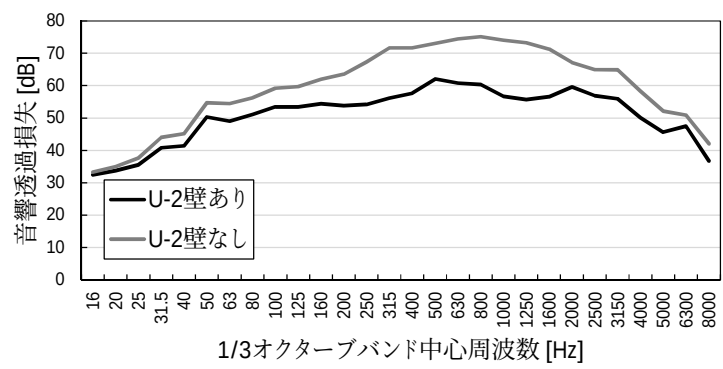


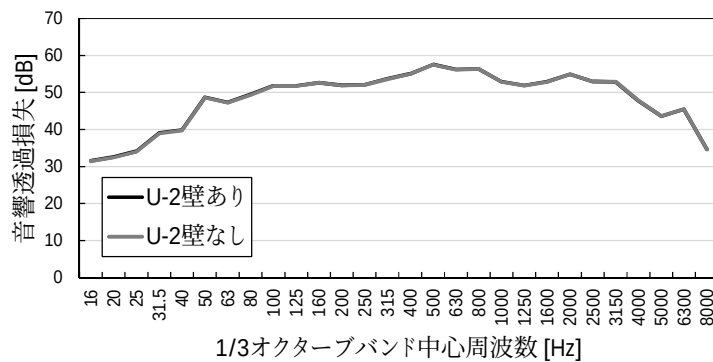
図 附属書 IV-2 居室の OA 値



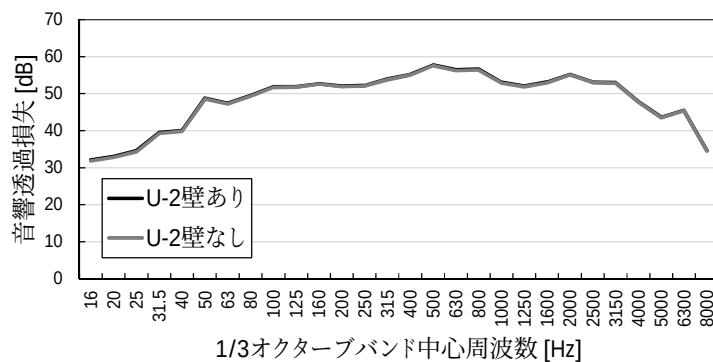
(a) U-1



(b) U-2



(c) P-3



(d) P-4

図 附属書 IV-3 居室の周波数スペクトル

3.2 透過音

VAONE の計算結果より、居室 P-4 のキャビティの Power Input のうち、居室 U-2 のキャビティからの Mass Law 成分（透過音）を抽出する。U-2 の壁があるモデルとないモデルの両者を比較することによって、U-2 からの透過音の低減値を比較する。

図 附属書 IV-4 に各周波数における U-2 から P-4 への透過音低減レベルを示す。U-2 の壁があることによって、透過音が 5 dB から 20 dB 程度まで低減するとの計算結果となった。図 附属書 IV-4 に示す程度の透過音の減少が見込まれ、空気伝播音の影響が比較的大きい機関室に隣接する区画ではその効果があらわれる。

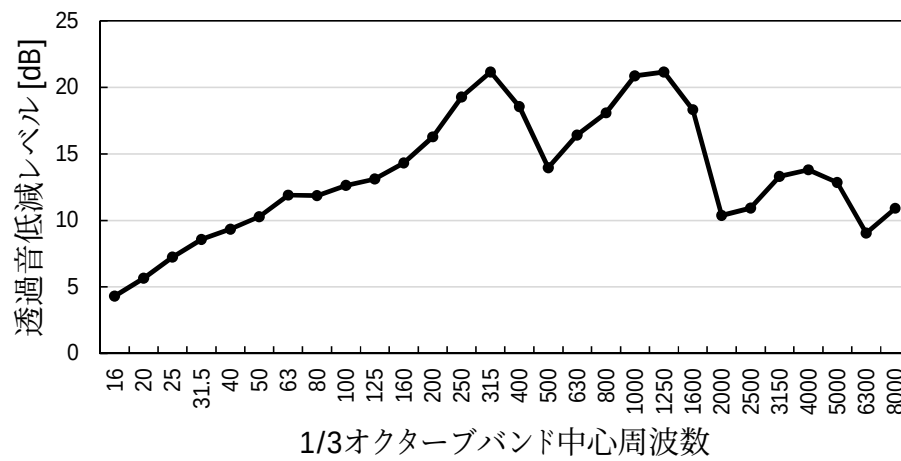


図 附属書 IV-4 U-2 から P-4 への透過音低減レベル

附属書 V 居室内空調騒音が居室騒音レベルに与える影響

1. 緒 言

船内騒音の音源は機関室やエンジンケーシング (EC) からの空気伝播音や固体伝播音の他に、居室近辺の音源、特に空調の影響も大きい。本稿では実船計測より得られたデータより、三種類の空調による騒音レベルを定義し、これによる居室の騒音レベルの変化を SEA 上で再現することを目的とする。

2. 空調騒音

実船にて計測した居室の騒音レベルに関して、空調を付けた状態での居室の騒音レベル L_{on} と空調を消した状態での居室の騒音レベル L_{off} の値より、式(1)からその居室での空調の騒音レベル L_{ac} を求める。

$$L_{ac} = \begin{cases} 10 \log_{10}(10^{L_{on}/10} - 10^{L_{off}/10}) & \text{when } L_{on} > L_{off} \\ 0 & \text{when } L_{on} \leq L_{off} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)より求めた空調の騒音レベルのうち、極めて静音な型：AC 1、居住区の規制値である 55 dB よりも OA で 6 dB 程度低い型：AC 2、極めて煩い型：AC 3 の三つの空調モデルを解析で使用する。各空調の騒音スペクトルを図 附属書 V-1 に示す。極めて煩い型である AC 3 は風切り音と思われる高周波の騒音が発生しており、それが 1000 Hz から 2500 Hz の周波数スペクトルで表れている。なお、AC 1, AC 2, AC 3 の騒音レベルの OA 値はそれぞれ 36.7 dB, 48.7 dB, 63.3 dB となっている。

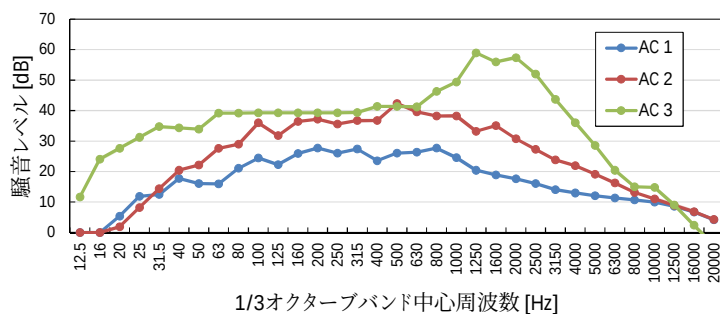


図 附属書 V-1 空調モデルごとの周波数スペクトル

3. VAONE 上での設定

SEA モデル上における空調の設定は VAONE の Power Source (Acoustic)によって与える。Power Source (Acoustic)ではキャビティにエネルギーソース (ワット) を直接与えることにより、キャビティ内の音源を設定することが可能である。

まず、空調の音圧 p を式(2)より求める。

$$p = p_0 \times 10^{(L_{ac}-A_w)/20} \quad (2)$$

ここで、 p_0 は基準音圧 (2.0×10^{-5} Pa), A_w は A 特性補正值とする。すなわち、 $L_{ac}-A_w$ は

空調騒音レベル (FLAT 特性)である。式(2)より求めた空調の音圧を用いて式(3)から居室のキャビティに与えるパワー値 Π を求める。

$$\Pi = p^2 A \alpha / 4 \rho c \quad (3)$$

ここで、 A はキャビティの表面積、 α は吸音率、 ρ は空気の密度 (1.21 kg/m^3)、 c は音速 (343 m/s) である。

4. 計算結果

EC分離型における各デッキにおける居室の騒音レベルを比較したものを図 附属書V-2に示す。特徴として、

- ・ AC 1 と AC 2 にほとんど差がない一方、AC 3 は極めて騒音レベルが高くなる
- ・ N DECK を除き、上層の居住区ほど AC の影響が高くなる。

があげられる。

前者に関しては AC 1 と AC 2 の騒音レベルの OA 値が居室の騒音レベルと比較し十分低く、居室の騒音 OA 値に影響を及ぼさない一方、AC 3 の OA 値は居室の騒音レベルと比較し、無視できない程度に高いためと思われる。逆説的に考えると、居室の騒音規制を満たそうとするならば、少なくとも空調の騒音 OA 値が規制値と比較して十分小さい必要があるといえる。

後者に関しては機関室からの空気伝播音と固体伝播音が上層に向かうに従い低下する一方、空調からの騒音は変化しないため、相対的に空調からの騒音の寄与度が上昇したためと思われる。N DECK に関しては船橋を模擬したため、特別大きな部屋となっているために空調からの影響が低下したためと思われる。

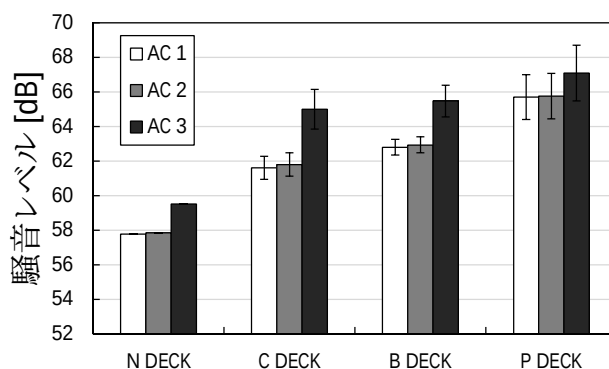


図 附属書 V-2 空調モデルごとの居室騒音レベル比較

謝辞

本調査を実施するに当たりましては、騒音シミュレーションはもとより、実船計測による検証が非常に重要な事項であります。検証対象として相応しい船舶を見つけるのは非常に困難でありました。そのような中、快く計測場所である建造中あるいは既に営業を開始している船舶を全面的に解放し、船内騒音計測にご協力いただきました船主の浪速タンカー(株)、旭タンカー(株)、エスオーシーマリン(株)、近海タンカー(株)、(株)中津留組、山機運輸(株)の皆様、また、海上・陸上運転における騒音計測等では日程調整から当日の計測やその後の検証など大変お世話になりました造船所の(株)新来島どっく、新高知重工(株)、(株)三浦造船所の皆様、エンジンメーカーの阪神内燃機工業(株)、ダイハツディーゼル(株)、ヤンマー(株)、(株)赤阪鐵工所の皆様、また、国交省海事局をはじめ、研究所及び関連団体である国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所（旧海上技術安全研究所）、一般社団法人中小型造船工業会、一般社団法人日本海事協会、一般社団法人日本船舶技術研究協会の皆様に、改めて感謝申し上げます。

また、中国地方の造船所や船用メーカーを中心とした船内騒音に関する調査研究部会関係者である広島大学、中国運輸局、中国地区造船協議会、一般社団法人中国小型船舶工業会、一般社団法人中国船用工業会、日本船舶設計協議会、一般財団法人日本造船技術センターにおかれましては、騒音対策に関する貴重かつ有益な情報を全て共有させていただき、このほど騒音対策指針をとりまとめることができました。心より感謝申し上げます。

今後も、現状の指針に満足することなく日々見直しを行いながら、常に皆様に良い情報を提供していくことを心掛けて、調査を進めてまいります所存です。