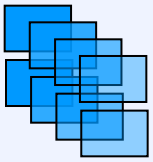


船内騒音予測に関する研究開発 (フェーズ3)

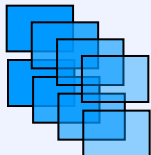
【完了報告】

船内騒音予測プロジェクト



目次

1. 事業の目的・目標
2. 期待される効果
3. 開発体制
4. 実施予定表
5. 研究の実施
6. 研究の成果



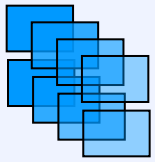
事業の目的・目標

事業の目的

新IMOルールとしてIMO A.468(XII)の騒音規制値の義務化及び強化がMSC91(2012年11月開催)で採択された。ルール上問題となる居住区等の騒音値を確実に下げるため、その予測法を確立し乗組員の居住環境向上に対応した船舶の建造に寄与する。

事業の目標

新IMOルールによる騒音規制値の義務化及び強化に備えて、フェーズ2で作成したデータベースの拡充及びフェーズ2で開発した船舶の騒音低減に適用可能な船内騒音予測法の予測精度の検証と特性パラメータのチューニングを行う。



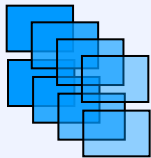
期待される効果

1) 技術的効果

騒音予測技術の向上により、強制化されたSOLAS船内騒音レベル規制値に対応した船舶の建造に寄与する。

2) 経済的効果

騒音予測プログラムの精度アップと船舶の騒音予測の実施により、費用対効果の高い騒音対策が可能となる。



開発体制

1) 共同研究者

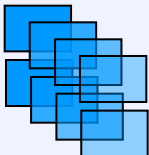
函館どつく株式会社、内海造船株式会社、尾道造船株式会社、
株式会社名村造船所、サノヤス造船株式会社、
株式会社新来島どつく、今治造船株式会社、
佐世保重工業株式会社、株式会社大島造船所、常石造船株式
会社
東海大学、一般財団法人日本海事協会

2) 指導者

東海大学 修理教授

3) 事務局

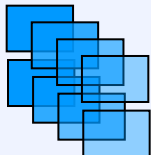
一般財団法人日本海事協会



実施予定表

以下の予定表のとおり、フェーズ3は2014年12月～2016年7月の間において実施した

実施項目	2014.12 ～ 2015.3	2015.4 ～ 2015.9	2015.10 ～ 2016.7
1) 騒音予測プログラムの精度向上 モデルケースの予測計算 データ検証、チューニング	←→	←→	←→
2) 実船データ収集	←→	←→	←→
3) 騒音予測プログラムの改善検討	←→	←→	
4) 解析事例の経験交流	←→	←→	←→
5) 成果報告書作成			←→

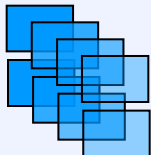


研究の実施

フェーズ3実施期間における活動内容を以下に示す。

1) 船内騒音予測プロジェクト会合の開催状況

会合	開催場所	開催日
第22回会合	博多バスターミナル第3ホール	2015年3月 6日(金)
第23回会合	三宮研修センター会議室	2015年6月12日(金)
第24回会合	函館どつく	2015年9月10日 (木)~11日(金)
第25回会合	三宮コンベンションセンター 会議室	12月18日(金)
第26回会合	はかた近代ビル会議室	2016年3月11日(金)
第27回会合	日本海事協会会議室	2016年7月1日(金)

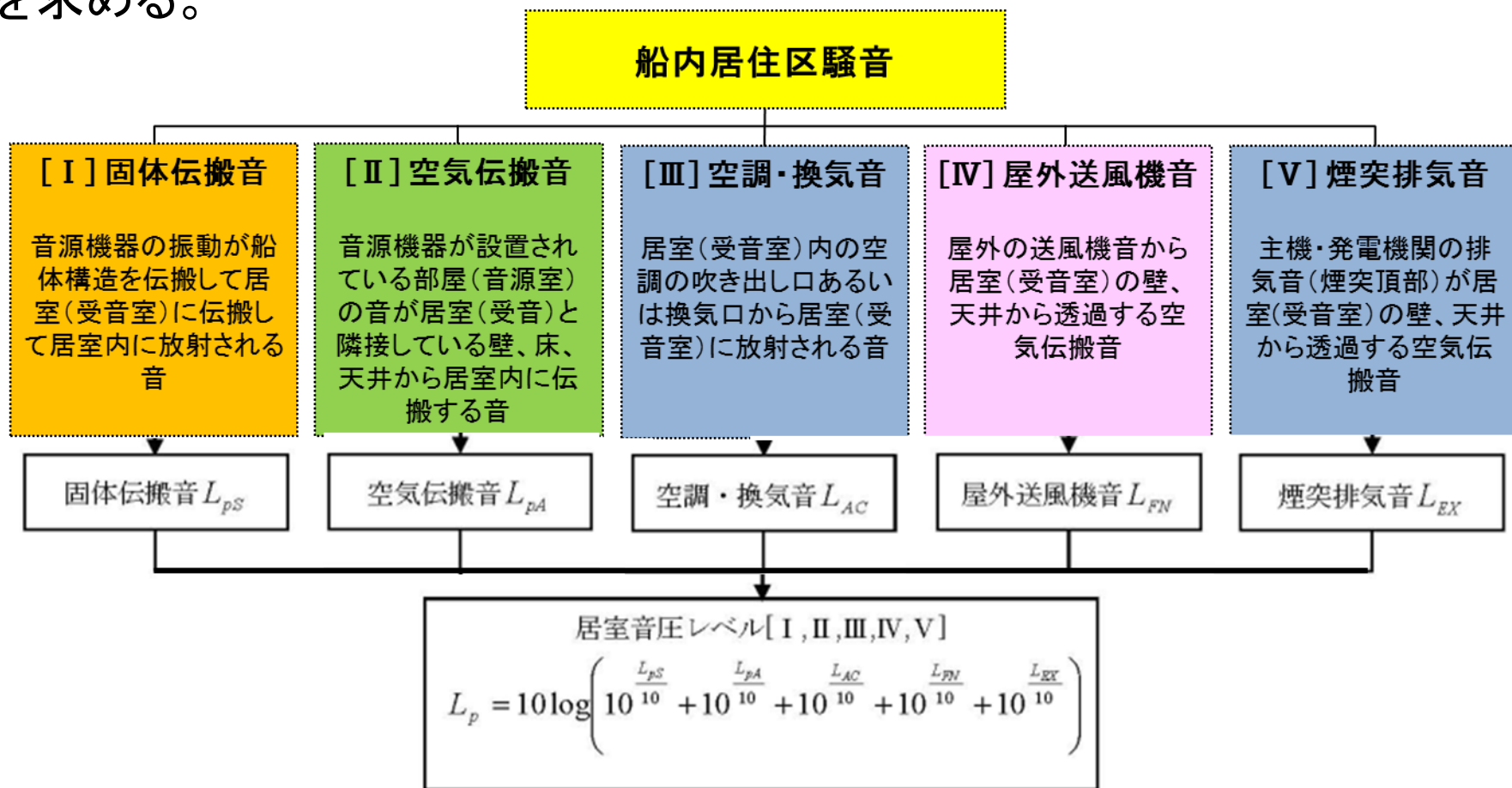


研究の実施（概要）

- フェーズ2で開発した船内騒音予測プログラム”Ship Noise Analysis (以下: SNA)”を用いて、既存のモデルケース2隻(大島造船所37BC / 常石造船82BC)の騒音予測精度の検証を行い、予測精度を改善するため検証を行った。
- 本研究では、音響及び振動パラメータのデータを実船試験で計測し、データベースに登録し、SNAで利用できるように整備した。
- また、騒音対策効果検証プロジェクトにて、実物大床模型試験及び短冊試験で計測された音響透過損失、振動伝達損失、振動挿入損失及び内部損失係数をデータベースに登録した。
(データの詳細は、騒音対策効果検証プロジェクトの報告書を参照)

研究の実施(騒音予測プログラムの構成)

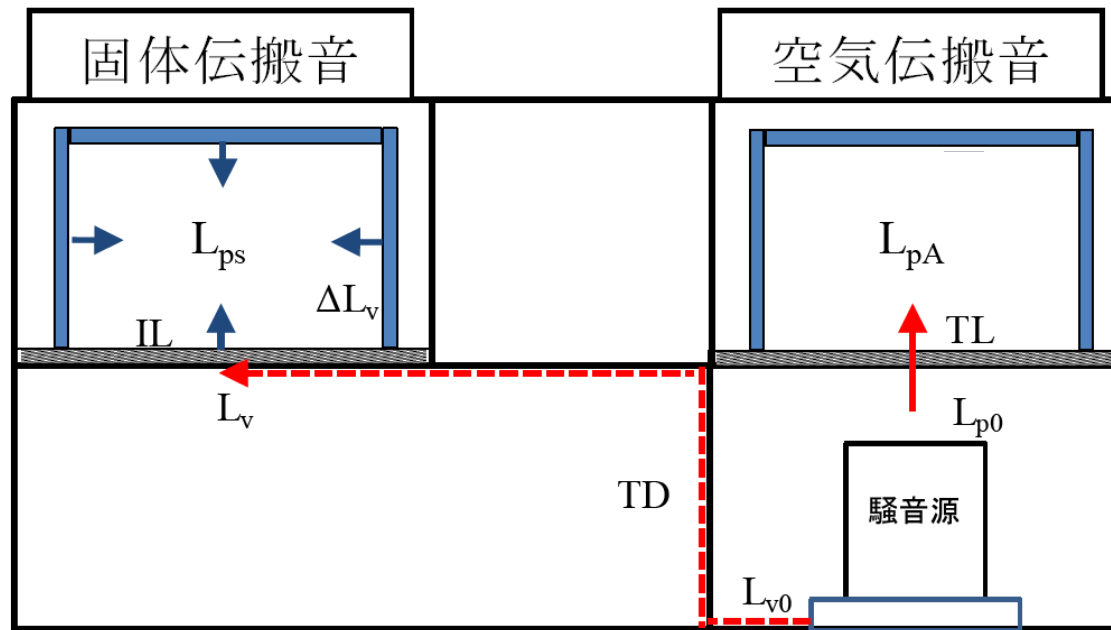
騒音プログラムでは、[I] 固体伝搬音、[II] 空気伝搬音、[III] 空調・換気音、[IV] 屋外送風機音、[V] 主機関・発電機関の排気音の、5種類の騒音要因に対する計算を独立に実施して、それぞれの結果を加えた騒音を求める。



研究の実施(騒音予測方法)

本プロジェクトでは、船舶を部分的にモデル化して固体音の伝搬を予測する簡易SEA法(SEA法の簡易版)を採用することとした。また、固体伝搬音の計算については、SEA法とJanssen法を組み合わせた方法を採用する。

騒音予測のモデル図



研究の実施(騒音予測方法)

空気伝搬音

L_{pA}

・空気伝搬音の計算では次の計算式を用いる。

$$L_{pA} = L_{p0} - TL + 10 \log_{10} \frac{S}{A}$$

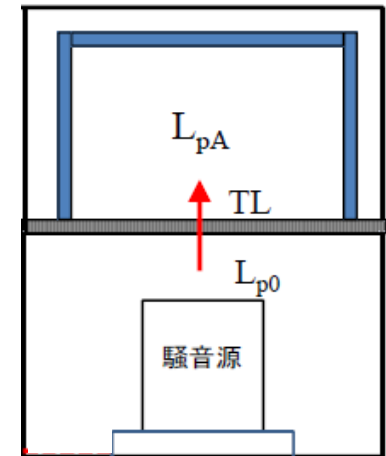
L_{pA} : 居室内の空気伝搬音レベル (dB)

L_{p0} : 音源室の音圧レベル (dB)

TL : 音響透過損失 (dB)

S : 居室と音源室間の仕切り壁又は甲板の面積 (m^2)

A : 部屋の吸音力 (m^2)



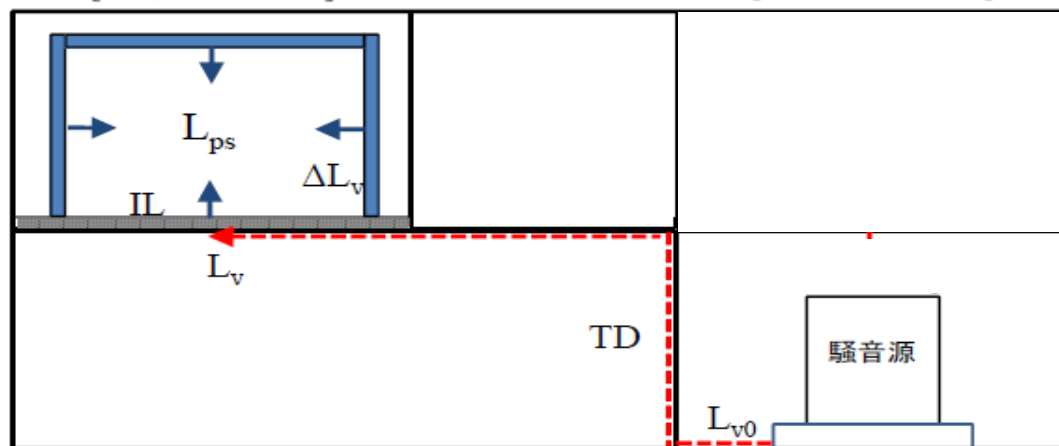
研究の実施(騒音予測方法)

固体伝搬音

L_{PS}

- 固体伝搬音の計算では、次の3つの計算を実施する。

- ① 音源機器から受音室の甲板までの振動速度レベルの振動伝達損失 TD の計算
- ② 受音室の甲板の振動速度レベル L_v の計算
- ③ 受音室の音圧レベル L_{ps} の計算



研究の実施(騒音予測方法)

① 音源機器から受音室の甲板までの振動速度レベルの振動伝達損失 TD の計算 (簡易SEA法による計算)

SEA法の基礎方程式

2つの要素間の振動エネルギーの伝搬は、次式で表される。

$$P_i^{in} = P_i^d + P_{ij}$$
$$= \omega_0 \eta_i E_i + \omega_0 N_i \eta_{ij} \left(\frac{E_i}{N_i} - \frac{E_j}{N_j} \right)$$

P_i^{in} : 要素 i の外部入力パワー [W]

P_i^d : 要素 i の内部損失パワー [W]

P_{ij} : 要素 i から要素 j への伝達パワー [W]

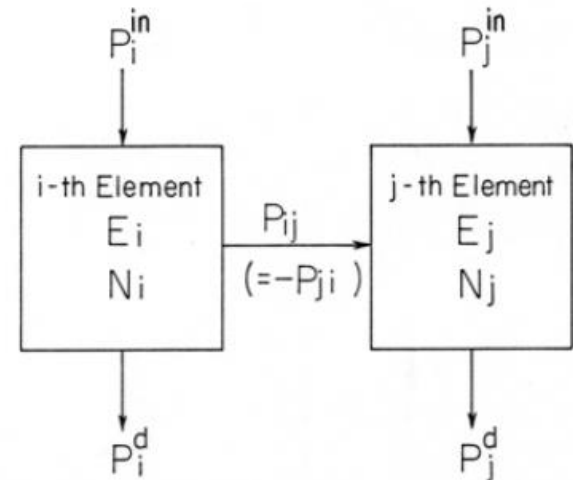
η_i : 要素 i の内部損失係数

η_{ij} : 要素 i と要素 j の結合損失係数

N_i : 要素 i のモード数, N_j : 要素 j のモード数

E_i : 要素 i の振動エネルギー [J], E_j : 要素 j の振動エネルギー [J]

ω_0 : 1/3または1/1オクターブバンド中心角周波数[rad]





研究の実施(騒音予測方法)

SEA法の基礎方程式 (続き)

n個の板要素で構成されるモデルの場合、次式で表される。

$$P_i^{in} = \omega_0 \left(\eta_i + \sum_j^{n-1} \eta_{ij} \right) E_i - \omega_0 \sum_j^{n-1} \eta_{ji} E_j$$

ここで、 $N_i \eta_{ij} = N_j \eta_{ji}$ が成立するものとする。

また、板要素の自乗平均速度 \bar{v}_i^2 は、要素の振動エネルギー E_i から求められる。

$$\bar{v}_i^2 = \frac{E_i}{\rho_i h_i S_i}$$

ここで、 ρ_i : 板の密度 [kg/m^3]、 h_i : 板厚 [m]、 S_i : 板の面積 [m^2]

以上より、2つの要素 i, j 間の振動伝達損失 TD_{ij} は、各要素の振動エネルギー E_i , E_j から求められる。

$$\begin{aligned} TD_{ij} &= L_{v_i} - L_{v_j} \\ &= 10 \log \frac{\bar{v}_i^2}{\bar{v}_j^2} \\ &= 10 \log \frac{E_i}{E_j} - 10 \log \frac{\rho_i h_i S_i}{\rho_j h_j S_j} \end{aligned}$$



研究の実施(騒音予測方法)

② 受音室の甲板の振動速度レベル L_v 及び③ 受音室の音圧レベル L_{ps} の計算

$$L_{ps} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^6 10^{L_{psi}/10} \right]$$

$$L_{psi} = L_v - \Delta L_{vwi} + 10 \log_{10} \frac{4S_i}{A} + 10 \log_{10} \sigma_i - IL$$

$$L_v = L_{v0} - TD$$

L_{ps} : 居室内の固体伝搬音レベル(dB)

L_{psi} : i 番目の壁から放射される固体伝搬音レベル(dB)

L_v : 居室甲板の振動速度レベル(dB)

ΔL_{vwi} : 居室の床から i 番目の面への伝達損失(dB)

S_i : i 番目の壁の面積(m^2)

A : 部屋の吸音力(m^2)

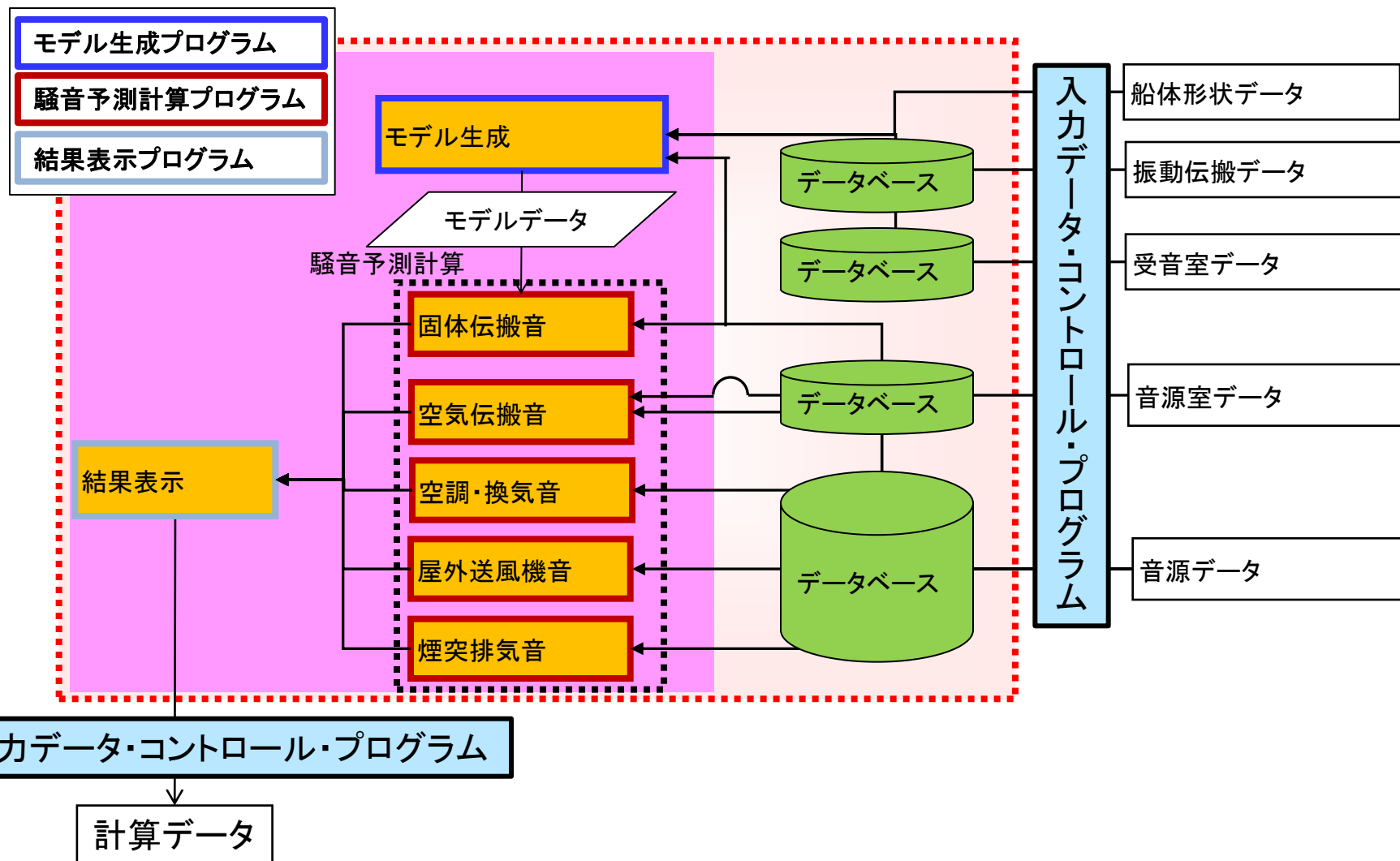
σ_i : i 番目の壁の音響放射効率

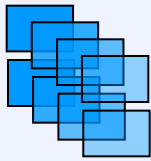
IL : 甲板の特殊な構造(浮床など)による挿入損失(dB)

TD : 伝達損失(dB)

L_{v0} : 音源の振動速度レベル(dB)

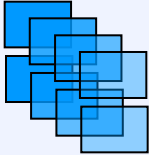
研究の実施(船内騒音予測計算の流れ)





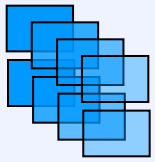
研究の実施（騒音予測精度の検証方法）

- 騒音予測精度の実用的な目安を「騒音レベルの予測結果と実測結果のレベル差が $\pm 3\text{dB}$ 以内」、また騒音レベルの1/3オクターブバンドレベルの実用的な目安を「予測結果と実測結果のレベル差が $\pm 5\text{dB}$ 以内」とし、予測を実施した全受音室の80%以上がこれらの目安をクリアしているかどうかを調査する。
- 騒音予測の精度を改善するためには、初期値として設定されているSEAパラメータを実船実験で計測された船体構造の振動加速度レベルと予測された振動加速度レベルがより一致するように調整することが必要になる。フェーズ3ではこれらのパラメータの調整する機能を船内騒音予測プログラムに追加するとともに、この機能を利用して騒音予測精度を改善する方法を検討する。



研究の実施(チューニング機能)

- SNAでは固体伝搬音の予測精度を改善するために、下記5つのパラメータをチューニングする機能を開発し、必要に応じチューニングを行った。
 - 受音室の床構造の振動挿入損失
 - 要素 の内部損失係数
 - 要素 と要素 の結合損失係数
 - 要素 の放射損失係数
 - 要素 の境界損失係数

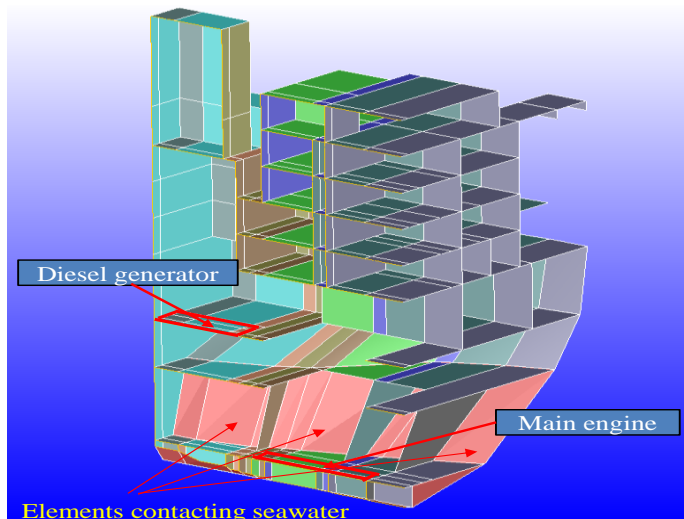


研究の実施（騒音予測精度の検証手順）

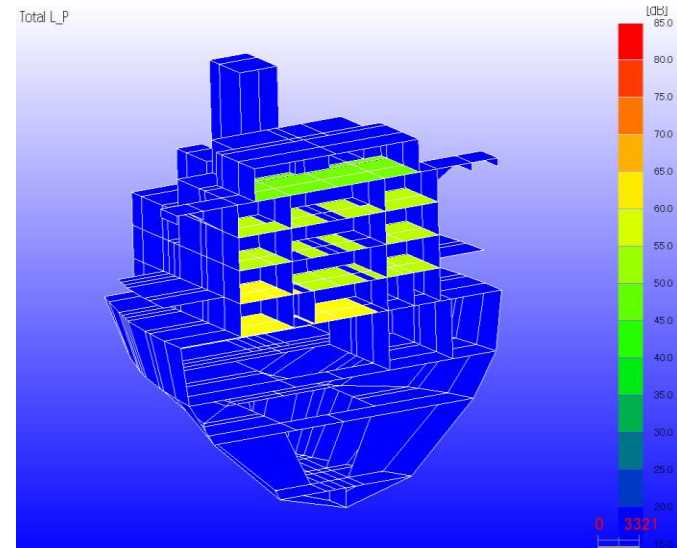
- SNAは汎用の船内騒音予測プログラムであり、各種の入力データによってその計算精度が決定される。また、固体伝搬音の予測にSEA法とJanssen法をベースにした簡易計算を用いているので、類似船等によって予測精度を検証して、改善が必要な場合には船体構造モデル、入力データ及び各種パラメータを調整する。しかし、個々の予測計算の精度の調整方法は、船体構造モデル、入力データ及び予測結果、実測結果などを十分に調査して決定しなければならない。

研究の実施(精度検証結果)

- 82BCは海上試運転時の振動加速度データの不足、発電機エンジンの単独試験のデータが不足しているために十分な精度検証を実施することが難しいため、37BCについての検証結果を以下に示す。

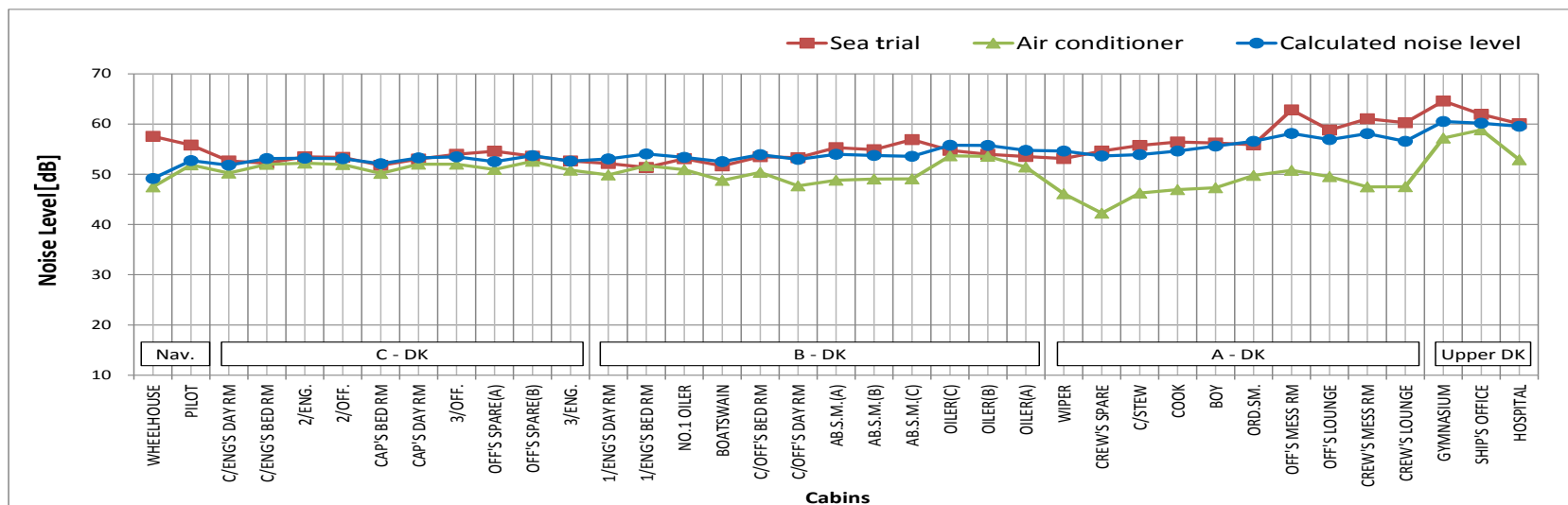


上図は、機関室と5層の居住区、エンジンケーシングと煙突を2,357個の板要素でモデル化



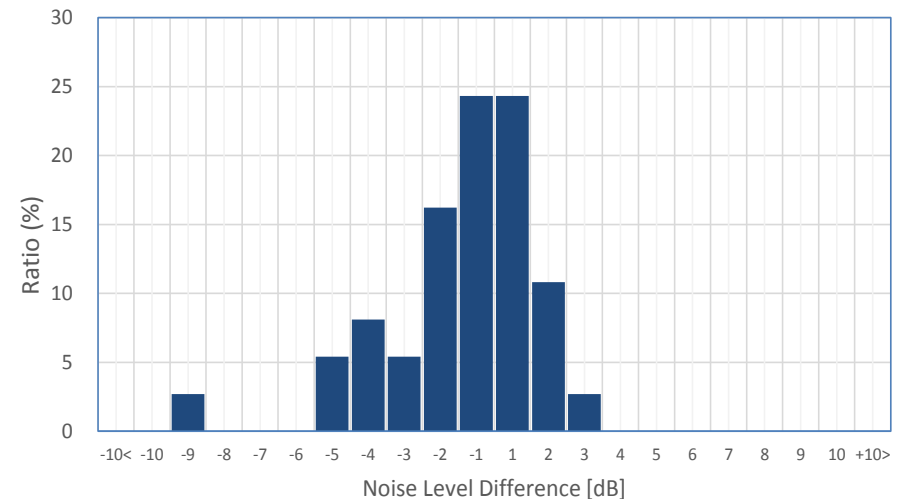
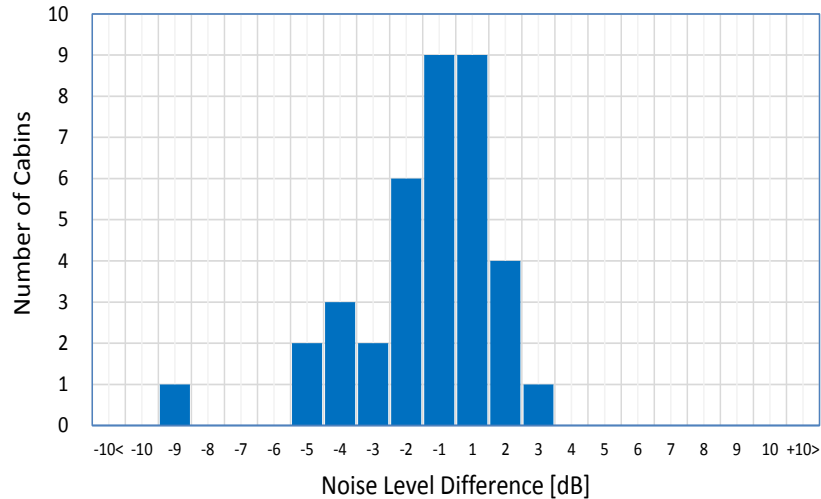
上図は、海上試運転時の37室の居室の騒音レベルの予測結果をモデルの受音室の床面にカラーコンターで表示

研究の実施(精度検証結果)

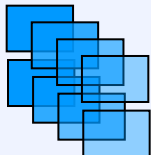


- Upp. Dk.からNav. Dk.までの全受音室の騒音レベルの予測結果と実測結果を比較して上図に示す。受音室の予測騒音レベルは、主機関及びディーゼル発電機からの固体伝搬音の計算結果と空調音の実測データの合成音である。

研究の実施(精度検証結果)

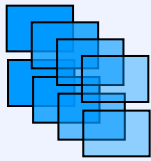


- 上記図は、予測結果と実測結果のレベル差が $\pm 3\text{dB}$ 以内の受音室の数が31室(全受音室の84%)、 $\pm 5\text{dB}$ 以内の受音室の数が36室(全受音室の97%)であることを示している。予測結果は、騒音レベルの予測精度の目安になっている「レベル差 $\pm 3\text{dB}$ 以内に80%以上」を達成している。



研究の実施(SNAの機能改善)

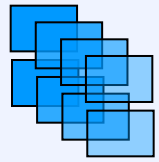
- フェーズ2で開発したSNAの改善検討を行い、下記を開発/改善した。
 - チューニング機能
 - 1) Tuning用ファイル出力機能開発
 - 2) Tuningファイルを使用した再計算機能
 - 実船計測データ整理機能(plot機能)及びPlot出力データの追加
 - Microsoft Visual C++ Runtimeの追加
 - DBControl_Writeの追加
 - Pillarに関する不具合修正
 - Select All機能の追加
 - データ複数選択機能の追加
 - Internal Lossコンター表示機能の変更



研究の成果

フェーズ3の成果物は次の3点である。

- 騒音予測プログラム 使用マニュアル 改正版
造船所各社での取扱いを容易にするため、各社の要望を反映し、騒音予測プログラム及びデータベースの使用方法についてマニュアルを改正した。
- 騒音予測プログラム データベースプログラム 改正版
騒音予測プログラムに入力するためのエクセル形式のデータベース(受音室・音源・音源室・振動伝搬データ)を改善し、騒音対策プロジェクトで得た各種データも含むデータベースを構築した。また、これによりプログラムの精度向上を図った。
- 騒音予測プログラム データベース作成マニュアル 改正版
造船所各社での作成を容易にするため、データベース作成のマニュアルを改善し、改正版を作成した。



終了