

- 業界要望による共同研究 -

船内騒音予測に関する研究開発(フェーズ2)
に関する成果報告

船内騒音予測プロジェクト

- I. 研究の背景及び目的
- II. 研究体制、期間及び費用
- III. 研究の目標
- IV. 研究の実施
- V. 研究の成果
- VI. 今後の計画

I .研究の背景及び目的

➤ 背景

従来の勧告ベースの騒音規定IMO A.468(XII)が強化され強制化された騒音規定IMO RESOLUTION MSC.337(91)の適用要件がSOLAS条約に規定され、2014年7月1日以後の契約船及び2018年7月1日以後の引渡し船に適用されることになり、以後、建造する船舶は、新コードMSC.337(91)を遵守することが必須となる。

➤ 目的

このような背景から、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、騒音対策の検証ツールとして騒音予測プログラムを開発し、船内騒音予測法を確立して、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。

➤ 研究体制

- (1) 共同研究者：函館どつく、内海造船、尾道造船、名村造船所、サノヤス造船、新来島どつく、今治造船、佐世保重工業、大島造船所、常石造船、東海大学、NK
- (2) 事務局：NK

➤ 期間

フェーズ2：2012年8月～2014年9月（2年間）

➤ 費用（フェーズ2）

研究費総額 8182万円

➤ 目標

船舶の騒音低減に適応可能な船内騒音予測法の開発

➤ 成果物(フェーズ2)

【プログラム関連】

- 騒音予測プログラム
- 騒音予測プログラム_使用マニュアル
- 騒音予測プログラム_データベースフォーマット及びデータベースプログラム
- 騒音予測プログラム_データベース作成方法
- 騒音予測プログラム_プログラム実行の為のデータベース
- 騒音予測プログラム_実施テスト及び報告書

➤ 成果物(フェーズ2)_続き

【報告書関連】

- 試運転時の騒音・振動加速度計測結果報告書
- 発電機単体、陸電状態での空調機及び機関送風機
単独時騒音・振動加速度計測結果報告書
- 残響時間(吸音率)・音響透過損失計測結果報告書
- 内装仕様の分類及びデータのまとめ

【計測関連】

- グラフ作成プログラム及び使用マニュアル
- 騒音・振動加速度測定マニュアル
- 残響時間(吸音率)・音響透過損失の計測方法
- 音響特性(吸音率(残響時間)・音響透過損失)測定
マニュアル

1. 概要

- (1) 騒音予測プログラムの開発
- (2) 実船計測
- (3) 共通内装仕様データの収集(データベース構築)
- (4) 騒音予測プログラムの実行結果の確認

以下、フェーズ2で実施した研究内容を報告する。

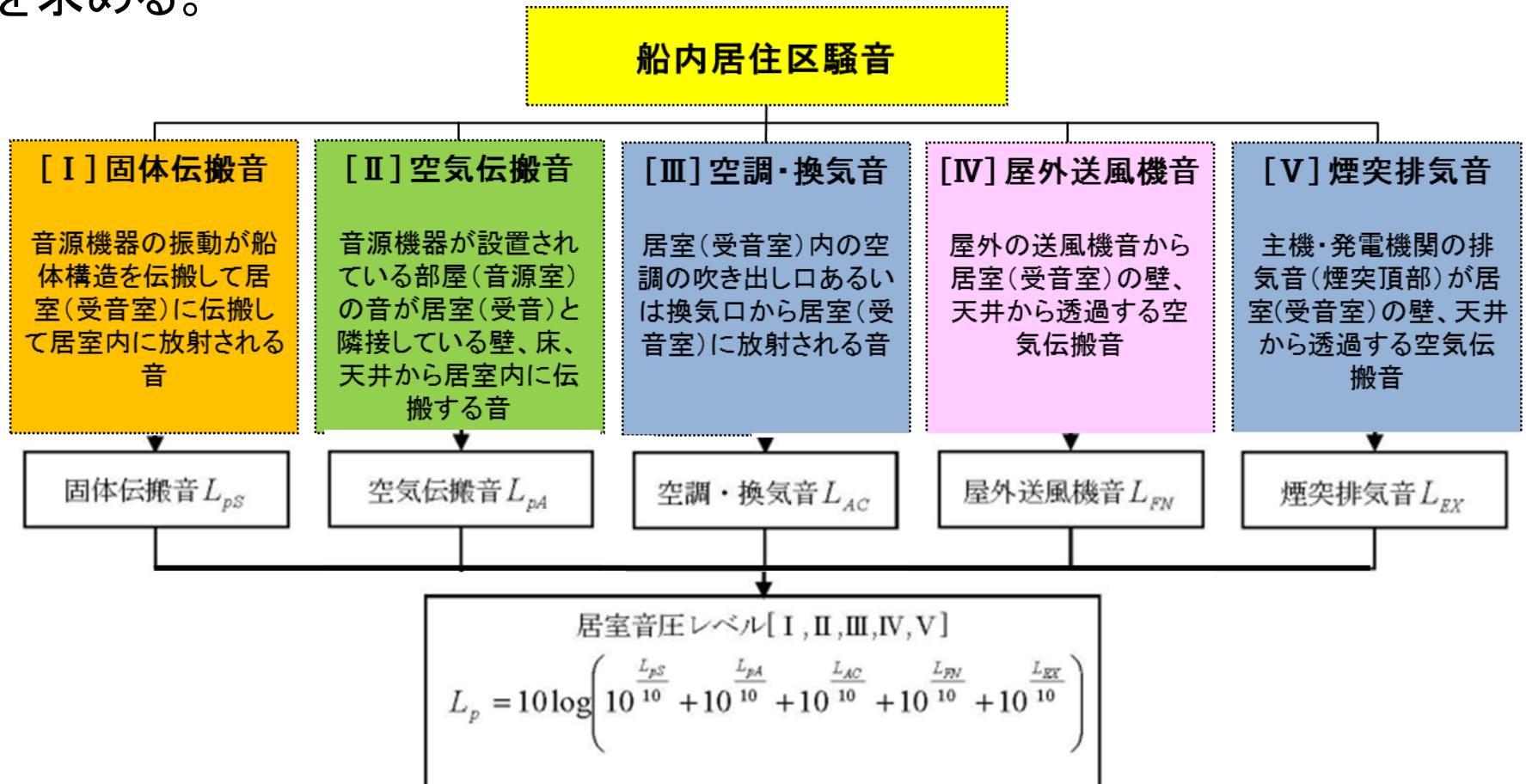
2. 騒音予測プログラムの開発

フェーズ1で作成した騒音予測プログラムの仕様書に従い、騒音予測プログラムの開発を行い、開発成果を実施テスト報告書として取りまとめた

..... 目次	
1. 開発概要	..... 4
2. 適用文書等	..... 5
3. 開発作業の実施状況	..... 6
4. 開発作業の実施内容	..... 8
4. 1 騒音予測プログラムの計算アルゴリズム	..... 9
4. 2 騒音予測プログラムの入力データ	..... 43
4. 3 騒音予測プログラムのシステム設計及び機能配分	..... 57
5. 開発プログラムの実行方法	..... 83
5. 1 DBプログラム	..... 84
5. 2 騒音予測プログラム	..... 120
6. 検証テスト結果報告	..... 198
6. 1 計算方法検証結果	..... 199
6. 2 検証テスト結果	..... 213

IV. 研究の実施（騒音予測プログラムの構成）

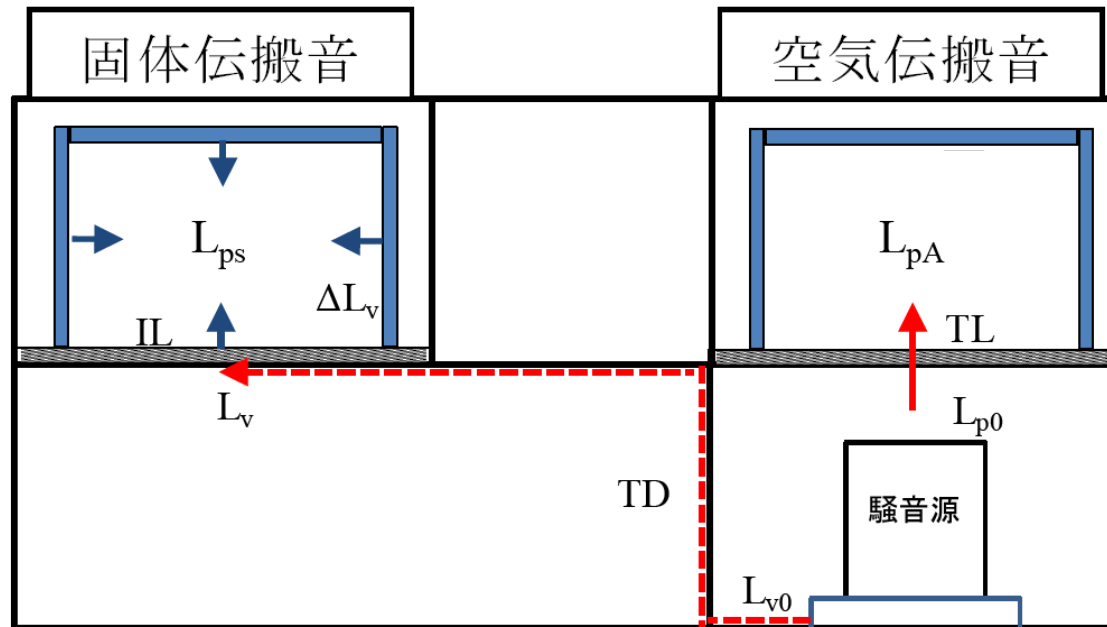
騒音プログラムでは、[I] 固体伝搬音、[II] 空気伝搬音、[III] 空調・換気音、[IV] 屋外送風機音、[V] 主機関・発電機関の排気音の、5種類の騒音要因に対する計算を独立に実施して、それぞれの結果を加えた騒音を求める。



IV. 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



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。

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

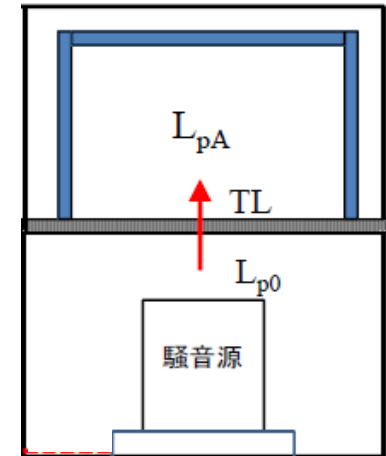
L_{pA} : 居室内の空気伝搬音レベル (dB)

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)

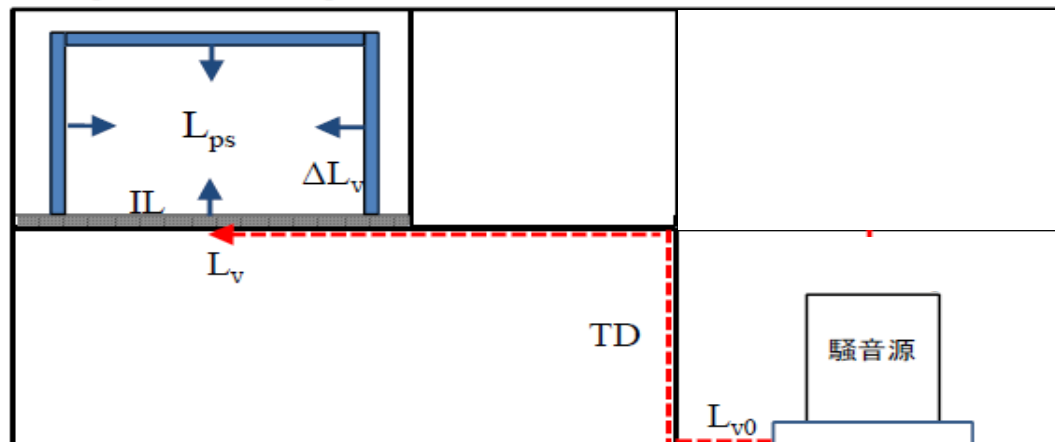


IV. 研究の実施（騒音予測方法）

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



IV. 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]

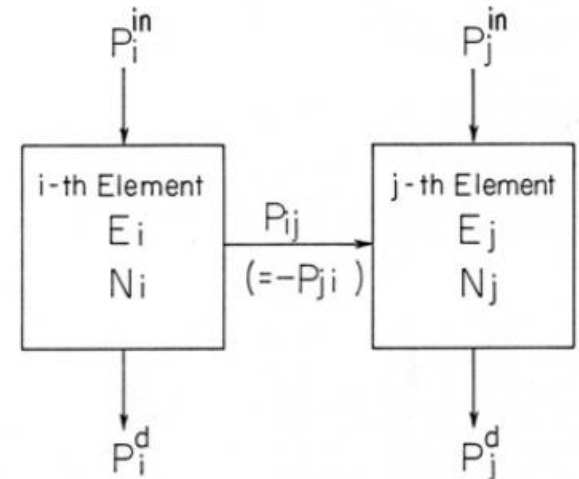
η_i : 要素 i の内部損失係数

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]



IV. 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。

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

IV. 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(m²)

A : 部屋の吸音力(m²)

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)

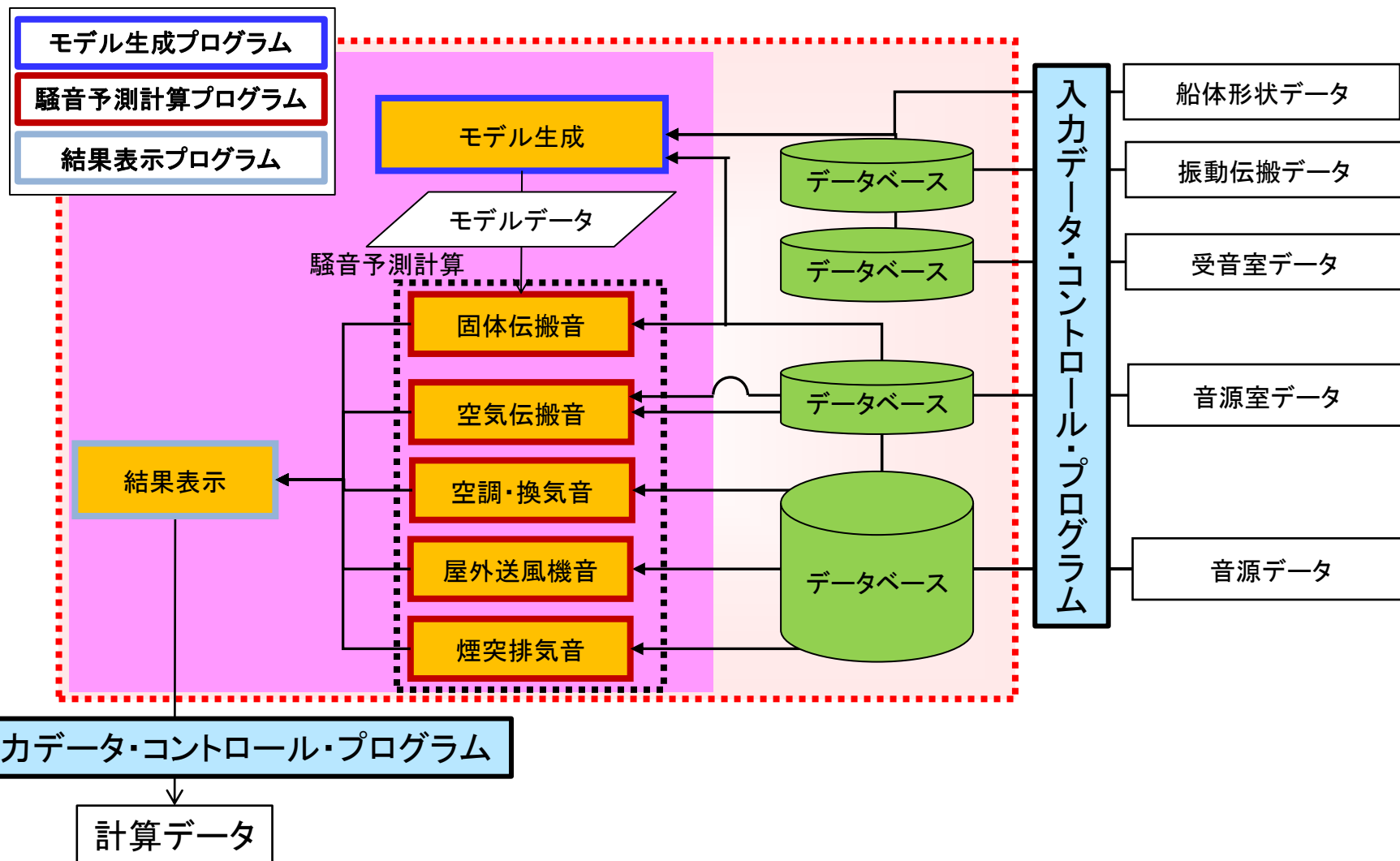
TD : 伝達損失(dB)

L_{v0} : 音源の振動速度レベル(dB)

IV. 研究の実施（船内騒音予測計算の流れ）

- 船内騒音予測プログラムは、モデル生成、船内騒音計算及び計算結果表示の3つの部分と、これらを実行するのに必要なデータの受渡しをコントロールするための入力データ・コントロール・プログラム及び出力データ・コントロール・プログラムで構成される。
- 船体形状データはAuto CAD形式、モデル生成及び船内騒音計算に必要なデータベース（受音室に関連するデータ、音源室に関するデータ、音源に関するデータ、材料特性に関するデータ）についてはExcel形式で作成する。
- 作成された船体形状データ及びデータベースは、入力データ・コントロール・プログラムを実行することで船内騒音予測プログラムの入力データに変換される。
- 船内騒音予測プログラムで計算された結果は、出力データ・コントロール・プログラムを実行することでExcel形式で出力できる。

IV. 研究の実施（船内騒音予測計算の流れ）



3. 実船計測

3-1. 騒音・振動計測

- 騒音及び振動(音響域周波数)について、フェーズ1で作成した空気伝搬音及び固体伝搬音の標準計測法、フェーズ2で作成した計測位置を詳細に決定するための計測位置決定ガイドラインを基に各社で計測を実施した。
- 造船所各社の建造船で計測した騒音レベル・振動加速度レベルをまとめ、データベースとして構築するため、統一したデータベース入力フォームを作成した。
- 計測データ数が膨大なため、特定のデータを抽出してまとめることができるよう上記データベース入力フォームにプログラム(VBA)を組み込み、データ整理の効率化を図った。

3. 実船計測

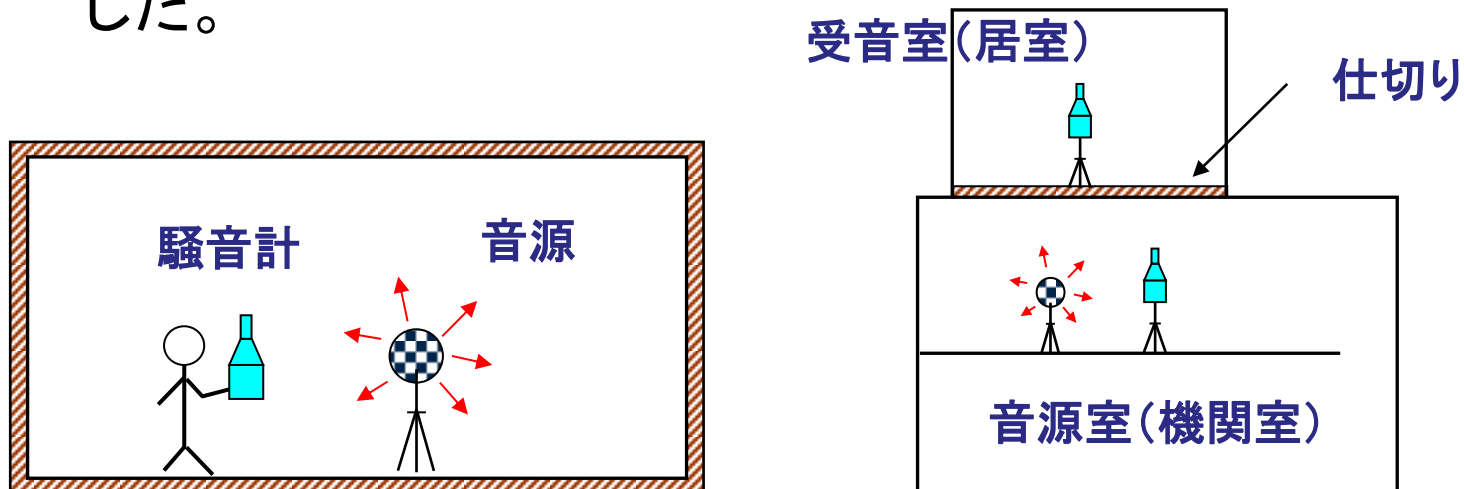
3-1. 騒音・振動計測_続き

- データの取まとめを容易にするため、データベースから所定のグラフを自動的に作成するプログラム(VBA)を作成した。

3. 実船計測

3-2. 吸音率(残響時間)・音響透過損失計測

- 室内平均吸音率・音響透過損失の計測方法及び関連する国際規格について調査を行い、騒音予測プログラム作成を目的とする室内平均吸音率・音響透過損失の標準計測法について検討し、計測方案を取りまとめた。
- 作成した計測方案に従って、各社建造船における岸壁係留時の室内平均吸音率・音響透過損失の計測を実施した。



3. 実船計測

3-3. 計測結果報告書

- 得られた計測データは、後々のデータ利用時の利便性を考慮し、各社計測データに関する計測背景・条件等を関連付けてまとめ報告書の作成を行った。

騒音振動計測結果報告書

目次

1. 基本データ（主要目・計測時情報）
2. 騒音計測
 - 2.1 計測データ
 - 2.2 計測ポイント（機関室 DECK PLAN）
 - 2.3 計測ポイント（居住区 DECK PLAN）
 - 2.4 計測ポイント（Profile）
 - 2.5 主機/発電機/FAN SHOP TEST 比較
 - 2.6 騒音レベル分布
 - 2.7 各部屋の騒音レベル(グラフ及び配置図)
3. 振動加速度計測
 - 3.1 計測データ
 - 3.2 計測ポイント（機関室 DECK PLAN）
 - 3.3 計測ポイント（居住区 DECK PLAN）
 - 3.4 計測ポイント（Profile）
 - 3.5 主機・発電機振動加速度レベル(グラフ)
 - 3.6 振動伝達経路
 - 3.7 各部屋の振動加速度レベル(グラフ及び配置図)

吸音率・音響透過損失 計測結果報告書

目次

1. 計測概要表
2. 残響時間(吸音率)計測
 - 2.1 計測データ
 - 2.2 計測ポイント(居住区及び機関室 配置図)
 - 2.3 内装及び防音仕様
3. 音響透過損失計測
 - 3.1 受音室計測ポイント(居住区 配置図)
 - 3.2 音源室計測ポイント(配置図)
 - 3.3 透過損失略図
 - 3.4 音響透過損失計測データ 音圧レベル

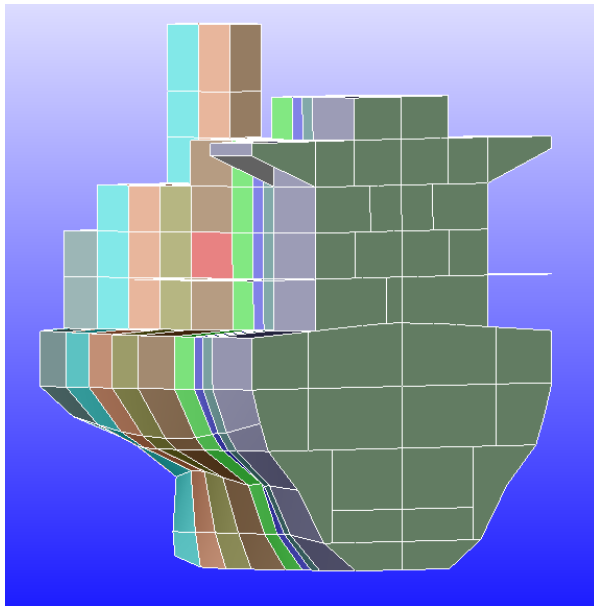
4. 共通内装仕様データの収集(データベース構築)

- フェーズ1で設定した28種類の内装・防音仕様を基に、その後の各社の提案も含めて再検討し、各種データを採取する際の共通内装仕様として特徴的なものを32種類に分類した。
- 分類した共通仕様毎に実船計測データより得られた音響放射効率、吸音率、伝達損失、挿入損失の各データを取りまとめた。
- 共通内装仕様の内、特徴的な仕様の壁、床/天井毎に音響透過損失($R'w$)を計測し、データを取りまとめた。

5. 騒音予測プログラムの実行結果の確認

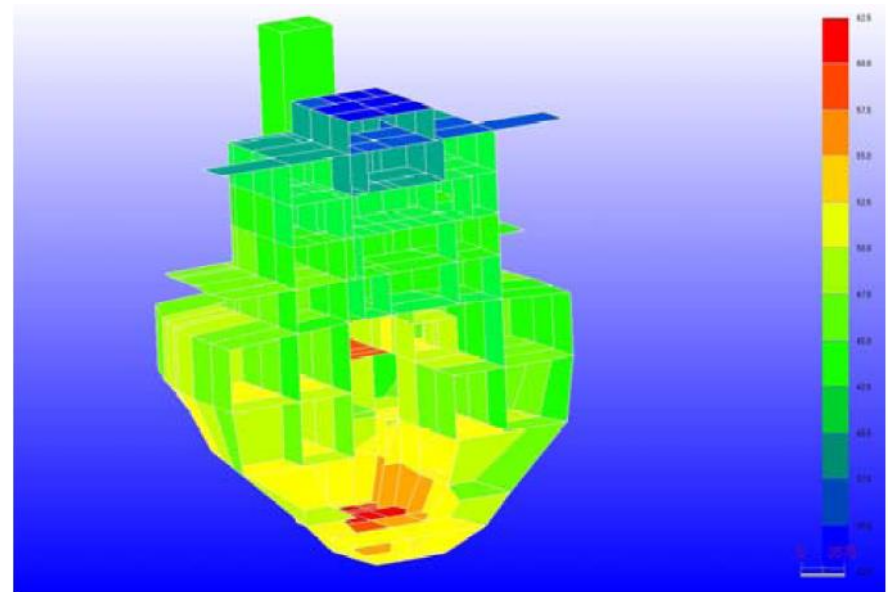
- 造船所各社で対象船毎に、開発した騒音予測プログラムの実施テスト(3次元モデルの作成及び予測計算の実行)を実施し、その報告書を作成した。

計算モデル



計算結果

Ex. 振動速度レベル



➤ 研究の成果

(1) 騒音予測プログラム

- 入力を大幅に簡便にした、騒音予測及び騒音対策シミュレーションが可能な実用的プログラムの開発を行った。

(2) 騒音予測プログラム_実施テスト及び報告書

- 造船所各社で対象船毎に、開発した騒音予測プログラムの実施テスト(3次元モデルの作成及び予測計算の実行)を実施し、その報告書を作成した。

(3) 試運転時騒音・振動(音響域周波数)計測結果報告書

- 造船所各社で対象船毎に、騒音・振動(音響域周波数)の計測を行い、報告書を作成した。

➤ 研究の成果_続き

(4) 残響時間(吸音率)・音響透過損失計測結果報告書

- 造船所各社で内装仕様毎に、残響時間(吸音率)・音響透過損失の計測を行い、報告書を作成した。

(5) 内装仕様の分類及びデータのまとめ

- 各種データを採取する際の共通内装仕様として特徴的なものを32種類に分類した。
- 分類した共通仕様毎に音響放射効率、吸音率、伝達損失、挿入損失の各データを計測し取りまとめた。
- 共通内装仕様の内、特徴的な仕様の壁、床/天井毎に音響透過損失($R'w$)を計測し、データを取りまとめた。

➤ 今後の計画

今後引き続き、フェーズ2と同じ枠組みで、フェーズ1及びフェーズ2で開発した騒音予測プログラムの精度検証を実行して共通プログラムに反映し、また、共有データベースの充実を図り、確実に実運用に対応できるシステムに仕上げることを目指して、新たにフェーズ3を立ち上げることを予定している。

フェーズ3は2016年4月に完了する予定。

船内騒音予測に関する研究開発(フェーズ2)
に関する成果報告

終り