

64 内航船機関室換気の数値シミュレーション

機関動力部 *青木 修一、北村 文俊
運輸施設整備事業団 立見 藤男

1. まえがき

近年、内航船においても船舶の高速化から主機関出力の増大、省エネルギーの観点から主機関における廃熱回収装置の採用、さらに高粘度粗悪燃料油の使用などにより機関室は狭隘化すると共にこれらによる放熱量も増大し、機関室は高温化してきている。それらの結果、機関室内機器に寿命低下を生ずる恐れや乗組員の作業環境の面での悪化も言われている。

前報¹⁾ではそれらの原因となる機関室の高温化を調べるために3隻の事業団共有船(499 総トン型貨物船A丸、749 総トン型油送船B丸、6,000 総トン型 RO/RO 船C丸)を用いて機関室通風システム及び同室内風速、風温などの計測を行った結果を報告した。また、それらの3隻は共に通風機容量が不足し、かつ機関室内温度は JIS F0407-1998「ディーゼル船における機関室通風—設計要件と設計基準」で定めた吸入空気機関室での温度上昇 12.5 °Cを越えていることなどを指摘した。

本報ではC丸で計測した機関室通風口吹き出し風量を元に機関室換気のシミュレーションを行い、大局的に計測結果を満たすことを確認した。その後、運輸施設整備事業団(以降、事業団という)が試設計したダクトレス方式通風システムを持つA丸機関室換気のシミュレーションを行い、通風口の位置などの改良すべき点について指摘した。これらの結果について、以下に報告する。

2. シミュレーションの準備

現在、熱・流体解析ソフトはいくつか市販されているが、そのなかでも歴史が古く、広く使われている英国の CHAM(Concentration, Heat & Momentum)社の開発した有限体積法による PHOENICS を本解析に使用した。

PHOENICS^{3.3}²⁾は主に入力データを作成する VR(Virtual Reality)エディタ、計算の実行およ

び経過を監視する EARTH、結果を図化出力する VRビューワで構成されている。

ここでは PHOENICS3.3 を用いて、ダクトレス方式通風システムを持つC丸機関室の気流解析を行った。また、前報で述べたようにA丸の機関室通風システムの風量を計測した結果は現行のダクト方式機関室では流動抵抗が過大であったので、これを改良するために事業団で試設計したA丸のダクトレス方式機関室内気流の解析を行った。

解析にはパソコン(エプソン・ダイレクト社製 Endeavor Pro-800L、OS:WINDOWS 2000、CPU:PENTIUM III 800EBMHZ、メモリ:512MB)に本ソフトをインストールし、シミュレーションを行った。

機関室内にある機器の数はパソコンでシミュレーションするには多過ぎるので、気流に大きな影響を与えないと思われる小さな機器を適宜カットした。また、機関室形状および室内にある主機関や機器などの形状は複雑であり、VRエディタではそれらの形状を表現できないので、エディタ内蔵の直方体、錐体、円筒や板などの単純な形状に思い切って簡素化した上で機関室内気流シミュレーションモデルを作成した。モデルは主機関などからの発熱のない気流(コールドモデル)とした。

ここで、コールドモデルによる気流のシミュレーションを行った理由は、発熱体の温度計測結果が行われなかったためと、流速の解析に関する限り発熱物体と周辺気流の温度差があまり大きくない場合には、発熱物体のごく近傍を除いて近似的に発熱物体のない気流のみによるシミュレーション結果とあまり差がないと言う、従来より多くなされてきた伝熱実験などの結果があるからである。

VRビューワは流速や圧力の計算結果をベクトル表示や等高線(コンタ)表示でき、デカルト座

標系の任意の断面で切った時のそれらを表示できる。ここでは、流速のベクトル表示を行った。

機関室モデルはデカルト座標系を用い、 x 方向（船長方向、船首向きを $+$ ）、 y 方向（船幅方向）、 z 方向（上向き）にとった。ここでは、乱流モデルとして良く知られている標準の $k-\epsilon$ 2方程式モデル（ k ：乱れの運動エネルギー、 ϵ ：散逸率）を使用した。本例では乱れの計測を行っていないので、流入（ここでは、ダクトよりの吹き出し）の乱れ率はプログラムのデフォルト値5%を使用した。このデフォルト値は流れが空気の場合における平均的な値である。

まず、C丸の試算として格子を x 、 y 、 z 方向にそれぞれ $50 \times 50 \times 25$ 点とり、反復回数を100回に制限して、数値計算が妥当に行えるかを確かめてから本計算を行った。

3. シミュレーション結果及び考察

本計算には格子を x 、 y 、 z 方向にそれぞれ $160 \times 160 \times 150$ 点とり、反復回数を2,000回とした。

ここでは、A丸、C丸の $x-y$ 平面（甲板に平行な面）のシミュレーション結果のみを示す。各図共に左側が船尾方向、右側が船首方向、上側が左舷側、下側が右舷側である。また、各図中の流速ベクトルの色は左側の速度表示の色と対応している。

表-1にC丸、表-2にA丸の主要目を示す。また、図-1に3次元風速計及び携帯型電子式温度計で計測した機関室主床板上1.7mの、図-2は乾舷甲板上1.7mの風速ベクトル及び温度をフリーソフトAVS似非を用いて図化したものを示す。図では風速ベクトルの大きさがはっきりしないが、生データを見ると気流の流れは機関室主床板上より乾舷甲板上の方が良いことが分かる。

3. 1. C丸のダクトレス方式機関室内気流のシミュレーション

図-3は機関室主床板上1.7mの位置（3次元風速計測位置）、図-4は乾舷甲板上1.7mの位置（3次元風速計測位置）の風速ベクトルのシミュレーション結果を示す。図-3と図-4の風速ベクトルを比較すると、ベクトルの大きさから実船計測と同様に主床板上より乾舷甲板上の方が気流の流れが良いことが分かる。両図に対応する計

測値との比較から本シミュレーション結果の妥当性をほぼ検証できたと言える。

3. 2. A丸の改良型ダクトレス方式機関室内気流のシミュレーション

図-5は機関室主床板上1.2mの位置、図-6は乾舷甲板上1.2mの位置の風速ベクトルのシミュレーション結果を示す。

図-5と図-6の風速ベクトルを比較すると、C丸と同様に風速ベクトルの大きさから主床板上の気流は乾舷甲板上の気流より流れが悪いことが分かる。

A丸の改良型ダクトレス方式機関室内気流のシミュレーション結果と実船計測した気流の結果を比較する。気流の流れは機関室全体に渡っており、澁み点が見られないなどシミュレーションの方が幾分良い様である。通常、熱は流体の流れに乗って移動する（対流伝熱のため）、その結果としての温度分布についても局部的な高温領域が解消されると推測される。これらは試設計による改良の効果といえよう。しかし、C丸の機関室主床板上1.7m（図-3）とA丸の場合の対応する図-5を比較すると、A丸の主床板上の気流はC丸の主床板上の気流より流れが悪いことを示している。従って、主床板船尾側に乾舷甲板上に抜ける通風口を設け、またダクト吹出口の方向、位置を変更するなど更に改良の余地が残されていると考えられる。これらの要因をクリアできれば、A丸に対するダクトレス方式の採用は妥当な方策と言えよう。

4. まとめ

今回の解析例では計算機能力の制約から、簡素化したモデルを用いてシミュレーションを実施した関係で、解析結果の精度は十分とは言えないが、今回の結果を見る限り次のことが言えよう。

1) C丸のダクトレス方式通風システムを持つ機関室内気流のシミュレーション結果は、実船計測と同様に主床板上より乾舷甲板上の方が気流の流れが良いことを示しており、シミュレーションの妥当性をほぼ検証できた。

2) A丸に対する事業団試設計のダクトレス方式機関室に対する気流のシミュレーションを行い改良点に対する提案を行った。これらの要因をクリ

アできれば、A丸に対するダクトレス方式の採用は妥当な方策と言えよう。

今後の課題としては、解析精度を上げるとともに今回実施した2例にとどまらず、多数の事例についてシミュレーションを行う必要があると思われる。また、今回は機関室内の気流解析を主眼としたが、実測温度分布の検証には、機関室内温度分布のシミュレーションが必要である。

最後に、本研究は運輸施設整備事業団との共同研究として行われたものである。また、同事業団の「内航船の機関室通風システムに関する調査研究委員会」委員各位に感謝します。

5. 参考文献

- 1) 青木、松村、立見：内航船の機関室換気システム－実船計測－、73回船研発表会講演集、pp.252-256(1999.6)
- 2) PHOENICS3.3 ユーザーズマニュアル、CHAM社(2000.6)

表-1 6,000総トン型貨物船C丸の主要目

主要目	
船種	貨物船 (RO/RO船)
寸法	L x B x D x d = 130.0 x 21.2 x 15.4 x 6.9m
主機関	12,000PS x 340/188.9rpm
発電機	1,000kVA(原動機 1,200PS x 720rpm) x 2台
停泊用発電機	80kVA(空冷式原動機 98.6PS x 1,800rpm) x 1台
作業用発電機	60kVA(原動機 73PS x 1,800rpm)
機関室通風機	
主機関給気用	1,100m ³ /min x 30mmAq x 15kW x 1台
機関室給気用	600m ³ /min x 20mmAq x 7.5kW x 2台
機関室排気用	500m ³ /min x 20mmAq x 5.5kW x 2台
空気圧縮機	130kg/h x 25kg/cm ² x 2台
補助ボイラ	1,100kg/h x 1台
実船計測条件	
主機関発使用、発電機関停止、CPP装備	
船速：15.4-17.2kt	主機回転数：310rpm 主機出力：7,800-7,900PS
出力比：65.5%	

表-2 499総トン型貨物船A丸の主要目

主要目	
船種	貨物船 (貨物船兼石材砂利運搬船)
寸法	L x B x D x d = 64.0 x 13.2 x 7.2/4.31 x 4.26m
主機関	2,800PS x 240rpm
発電機	200kVA(原動機 271PS x 1,200rpm) x 2台
機関室通風機	300m ³ /min x 30mmAq x 3.7kW x 2台
空気圧縮機	41.5m ³ /h x 30kg/cm ² x 2台
電気温水器	400l x 5kW x 1台

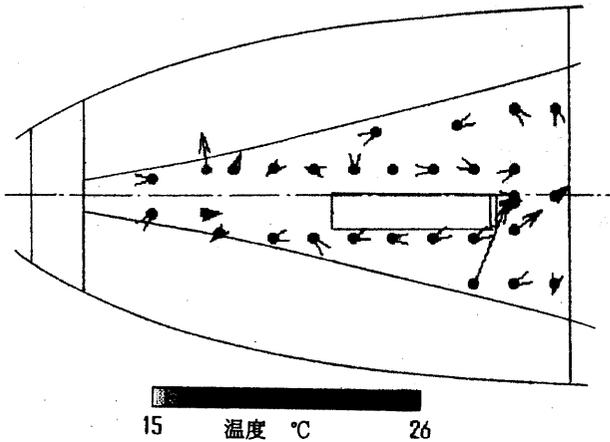


図-1 C丸主床板上で計測した風速ベクトル

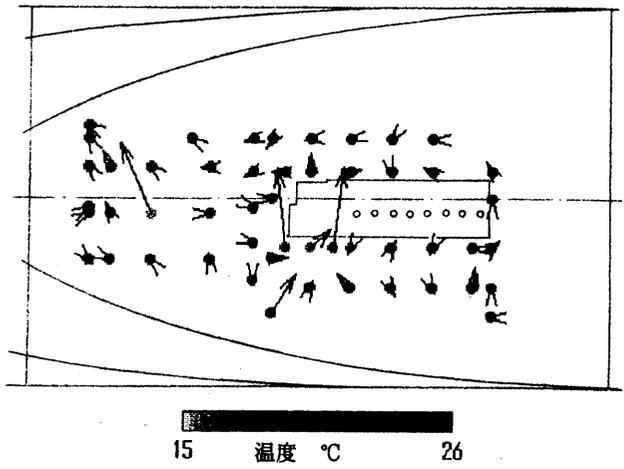


図-2 C丸乾舷甲板上で計測した風速ベクトル

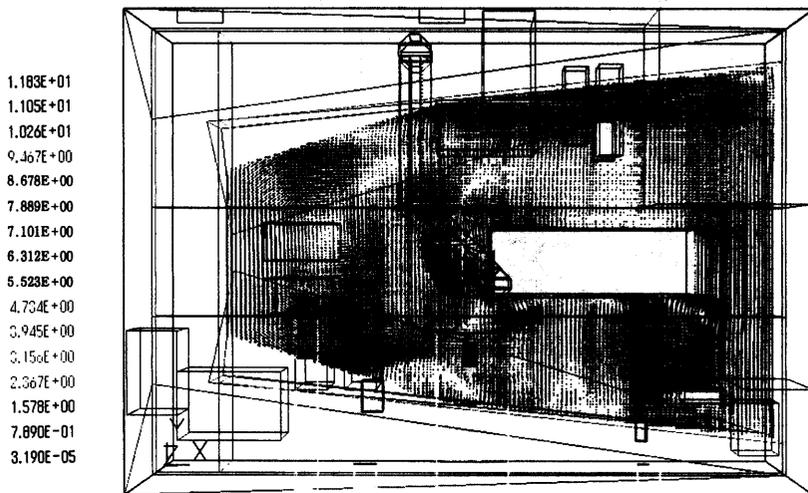


図-3 C丸機関室主床板上のシミュレーションした風速ベクトル

1.183E+01
 1.105E+01
 1.026E+01
 9.467E+00
 8.678E+00
 7.889E+00
 7.101E+00
 6.312E+00
 5.523E+00
 4.734E+00
 3.945E+00
 3.156E+00
 2.367E+00
 1.578E+00
 7.890E-01
 3.190E-05

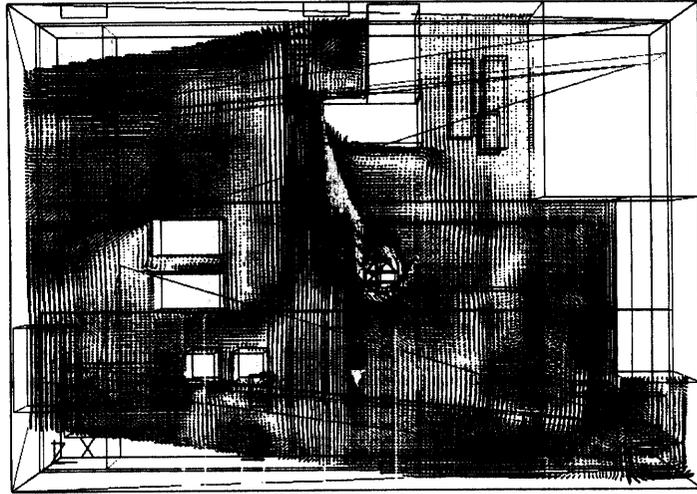


図-4 C丸乾舷甲板上のシミュレーションした風速ベクトル

1.655E+01
 1.545E+01
 1.434E+01
 1.324E+01
 1.214E+01
 1.103E+01
 9.931E+00
 8.828E+00
 7.725E+00
 6.622E+00
 5.518E+00
 4.415E+00
 3.312E+00
 2.208E+00
 1.105E+00
 1.894E-03

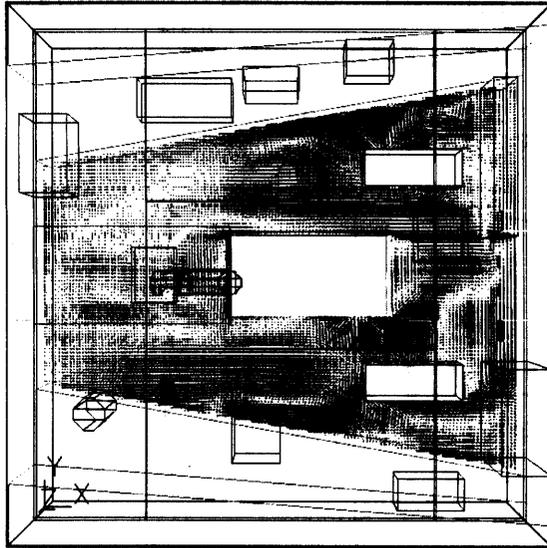


図-5 A丸機関室主床板上のシミュレーションした風速ベクトル

1.655E+01
 1.545E+01
 1.434E+01
 1.324E+01
 1.214E+01
 1.103E+01
 9.931E+00
 8.828E+00
 7.725E+00
 6.622E+00
 5.518E+00
 4.415E+00
 3.312E+00
 2.208E+00
 1.105E+00
 1.894E-03

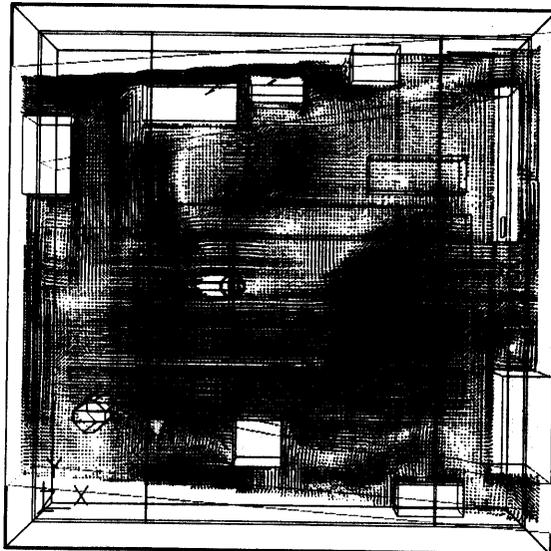


図-6 A丸乾舷甲板上のシミュレーションした風速ベクトル