

CFD プログラムと二層ゾーンプログラムによる旅客船火災の推定

海上安全研究領域 *今里 元信, 岡 秀行, 大縄 将史, 金湖 富士夫

1. 緒言

旅客船の火災進展の推定は、火災リスク評価にとって不可欠である。火災進展の推定手法としてフィールドモデルと二層ゾーンモデルによるシミュレーションがあり、フィールドモデルの方がより正確に表せることは明らかである。しかし、火災リスク推定のためには、多数のシナリオに基づくシミュレーションが必要であるため、計算時間が膨大となるフィールドモデルだけでは困難であることから、二層ゾーンモデルの使用が必要とされる。

ここでは、フィールドモデルとしてCFD解析プログラムFDS(Fire Dynamics Simulator)¹⁾、二層ゾーンモデルとしてBRI2002²⁾を選び、火災進展の推定の可能性及びFDSとBRI2002の推定結果の違いを調べるため、火災実験結果との比較や、旅客船を対象とした推定結果の比較を行う。

2. FDS と BRI2002

FDSは米国商務省標準技術研究所(NIST)において開発されたCFDプログラムであり、詳細については別途文献等¹⁾を参照されたい。

一方、BRI2002²⁾は二層ゾーンモデル³⁾による煙流動解析プログラムである。火災時の建物内空間には、空間の上部には高温の煙層が、下部には相対的に温度の低い低温の空気層が形成されることが考えられる場合が少なくない。そこで、建物内の各空間が、それぞれに一樣な上部高温層と下部低温層の2つの層に成層化していると仮定し、それぞれの層を検査体積として火災に伴う物理的性状を調べるために、二層ゾーンモデルが用いられている。

二層ゾーンモデルでは、各ゾーンの中の気体について、質量の保存、化学種の保存、エネルギーの保存及び状態方程式が成り立つものとし、それ

らの式から、各ゾーンの温度、化学種濃度、体積などゾーンの状態が求められる。

計算結果の出力パラメータとして、FDSでは温度、流速、一酸化炭素、二酸化炭素、すすなどの体積分率、見通し距離などが得られ、BRI2002では境界層高さ、各ゾーン内の温度、一酸化炭素、二酸化炭素などの質量分率などが得られる。ここでは、生命に影響を与え得る主要因である温度と一酸化炭素濃度に着目することとした。

3. 単室モデルにおける計算

居室火災の予測へのFDSとBRI2002の適用可能性を調べるために、1つの火災室と、その室に通じる通路を対象とした単室モデルにおける計算を取り上げた。図1に今回の計算に用いたモデルを示す。

この単室モデルを用いた火災実験が(社)日本造船研究協会(当時)で行われており⁴⁾、ここでは実験時の発熱速度を元に計算を行い、火災室内の温度変化などを調べることにした。実験時と計算に用いた発熱速度の時間変化図を図2に示す。

計算において、室の隅に設定した火源の物質は

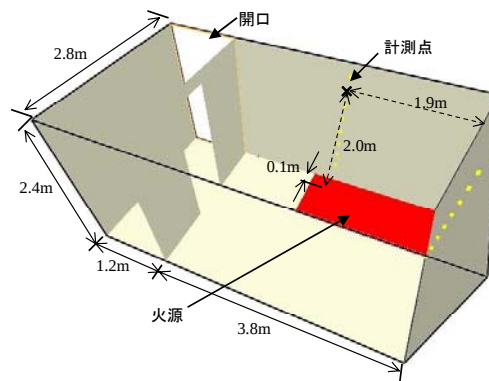


図1 計算に用いた単室モデル

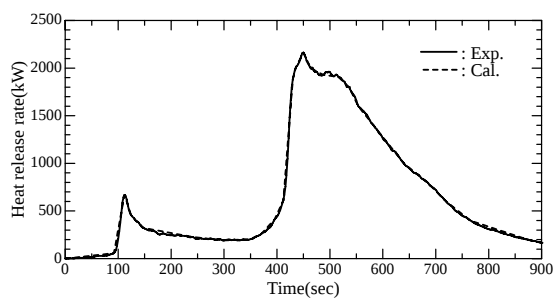


図 2 計算に用いた発熱速度

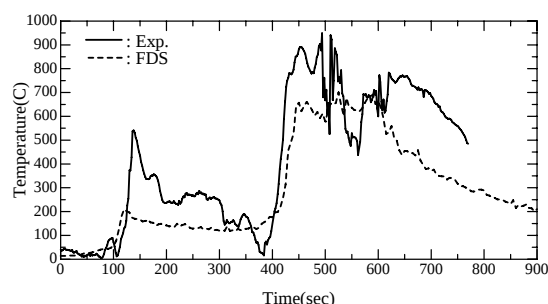


図 3 温度の実験結果と計算結果

ポリウレタンとし、火源面積は概ねベッド一面に相当する約 2.4m^2 で一定とした。また初期温度は 14°C とし、これらの条件をもとにそれぞれ計算を行った。ここで、FDSについては格子サイズの妥当性を調べるため、後の中規模旅客船を対象とした計算時に用いた最小の格子サイズ（約 $12.5 \times 15 \times 20\text{cm}$ ，約 8,700 個）を設定し、実験結果との比較を行うこととした。なお計算対象時間は 900 秒である。

図 3 に温度の実験結果と FDS による計算結果を示す。図 3 はベッド付近の壁近傍の高さ 2m における温度の時間変化を表しており、実線と破線はそれぞれ実験値と FDS の計算値を示している。図より、計算結果は実験結果の温度よりも低くなっているものの、温度変化の傾向は概ね表せているものと考えられる。

図 4, 5 に火災室と通路における、FDS と BRI2002 による温度の計算結果を示す。図は上から境界層高さ、上部層温度、下部層温度の時間変化を表している。ここで FDS についても、最小二乗法により鉛直方向の温度分布から境界層高さを求め、上部層、下部層温度を算出した⁵⁾。図中、実線は BRI2002、破線は FDS より得られた結果を表している。これらの図より、境界層高さ、上部層温度、下部層温度ともに差があるものの、概ね同様の温度変化が得られた。

今回の計算結果より、FDS、BRI2002 とともに単室規模の居室火災の推定には適用可能であると結論できよう。

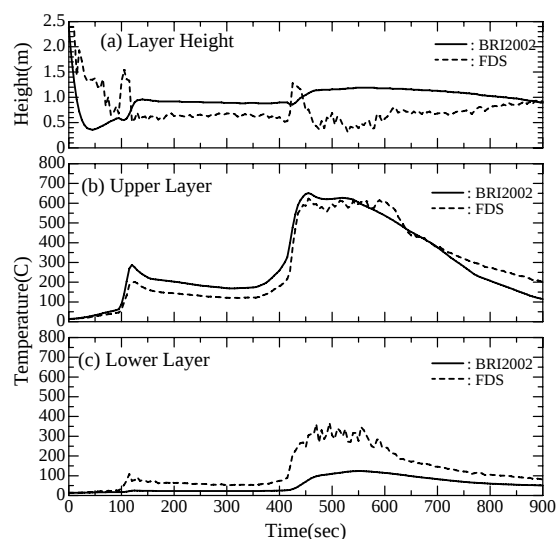


図 4 BRI2002 と FDS による計算結果 1
(温度、火災室)

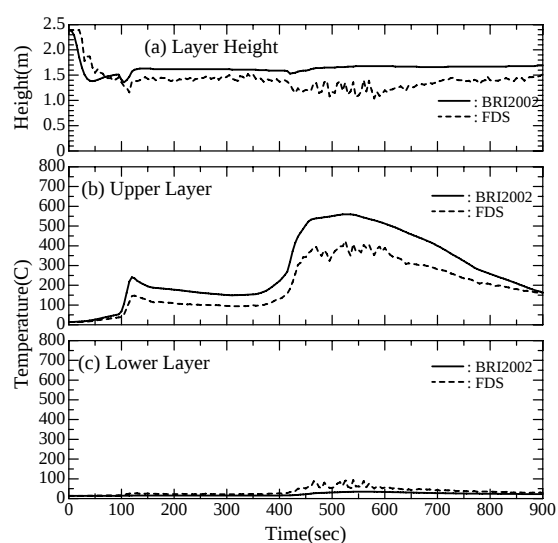


図 5 BRI2002 と FDS による計算結果 2
(温度、通路)

4. 中規模旅客船における計算

次に約 3 万総トンの中規模旅客船を対象に、FDSとBRI2002 による計算を試みた。対象船舶の計算領域は、船長(X)方向に 79.5m、船幅(Y)方向に 25.2m、鉛直(Z)方向に 19.6mである。階層は 4 デッキから 10 デッキまでとし、船尾側には 4 デッキから 10 デッキまで吹き抜けのアトリウムを設けることとした。また船首側各デッキにはロビーを設けることとした。なお階段部については、本計算においては吹き抜けとした。火災発生場所は 4 デッキ中央付近右舷側の客室とし、火源の物質はポリウレタン、火源面積は約 6m²、発熱速度は 2MWとし、計算対象時間は 600 秒とした。

FDS の計算においては、格子サイズの違いにおける計算時間についてもみることにした。そのため、計算格子数が膨大になり、計算所要時間が増えることから、並列計算を試みた。表 1 に格子サイズ、計算機数と所要時間結果と BRI2002 における同様の結果の一覧を示す。今回の計算では、6 台の計算機で格子数約 670 万個が可能であった。

FDS による計算結果の例を図 6 に示す。図は火災発生から 75 秒後におけるすす濃度の分布を表している。また図 7、8 に FDS と BRI2002 による温度と CO の体積分率の計算結果を示す。図 7 は 4 デッキ火災室前の通路を、図 8 は 7 デッキの通路における結果を表している。なお図中は上からそれぞれ、境界層高さ、上部層と下部層の温度、上部層と下部層の CO 体積分率の時間変化を表し、実線と破線は、それぞれ BRI2002 と FDS における計算結果を表している。ここで、FDS においては、X方向の最小格子サイズが 12.5cmの場合を表している。また FDS における境界層高さは、単室モデル同様に、温度、一酸化炭素の鉛直分布から求め、その境界層高さをもとに上部層、下部層温度等を求めた。このため、図 7,8 の最上図は、実線、破線、一点鎖線がそれぞれ BRI2002、FDS の温度、FDS の CO 体積分率から求めた境界層高さを表している。

図 7 より、BRI2002 と FDS の結果が合っているとは言いがたいが、増加傾向については、ともに表せていると考えられる。また図 8 についてみると、境界層高さがほぼ同じように変化し、上部層にお

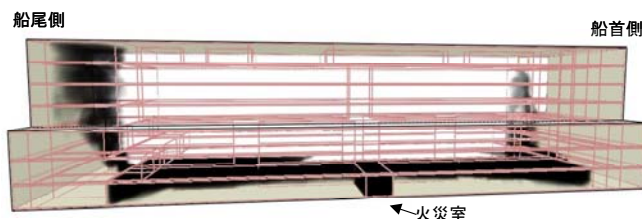


図 6 FDS によるすす濃度の分布状況

表 1 FDS, BRI2002 の計算格子設定と所要時間

格子サイズ (X×Y×Z)(cm)	格子点数 (万個)	CPU 数	クロック数	計算 所要 時間
50×30×20	約 107	1	Pentium4 3.80GHz	22h
25×30×20	約 215	2	Xeon 3.20GHz×2	73h
(4-6DK) 12.5×15×20 (7-10DK) 25×15×20	約 670	6	Pentium4 3.80GHz×2 Xeon 3.20GHz×2 Xeon 3.06GHz(HT)	143h
(BRI2002)	43(Zones)	1		40sec

いて、変化が小さいものの、温度、CO 体積分率ともに同様の時間変化が得られた。以上のことより、火災室近傍については、FDS を使用し、火災室から離れた場所においては BRI2002 を使用するといった、フィールドモデルとゾーンモデルを混ぜ合わせたモデルを利用することも、火災進展の予測を行う上で一つの手段になると考えられる。

また図 7、8 より、火災室以外では FDS と BRI2002 による計算結果は互いに関連しており、何らかの方法で BRI2002 の計算結果から FDS の計算結果を推定可能と思われる。

5. まとめ

本報では、FDS と BRI2002 を用いて旅客船における火災進展の推定の可能性及び FDS と BRI2002 の推定結果の違いを調査するために、火災実験結果との比較や、中規模旅客船における推定計算を行った。その結果、BRI2002 の計算結果から FDS の計算結果を推定できるという予見が得られた。さらに様々な計算条件の下で旅客船などを対象に計算を行うことにより、BRI2002 を主に使用する短時間での火災進展の推定の可能性が見出せるものと考えられる。

最後に火災実験データをご提供頂いた当所

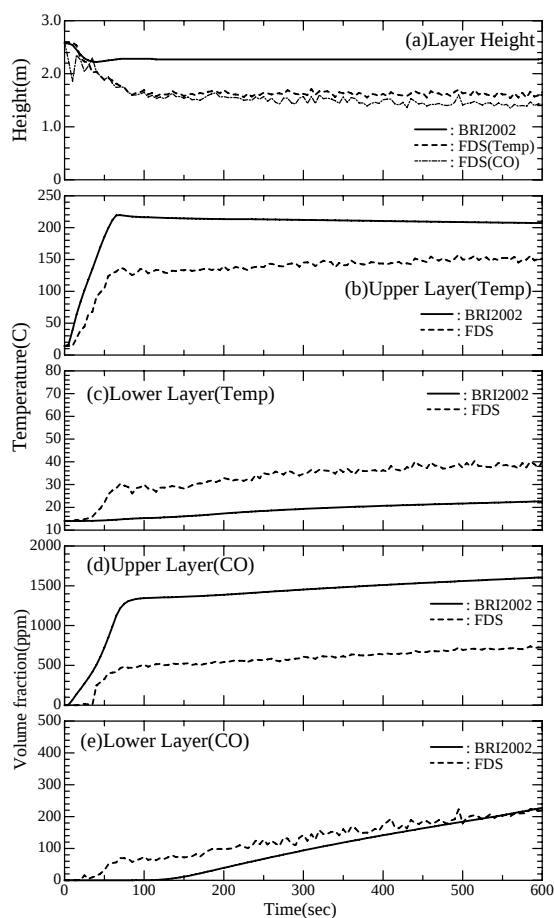


図 7 FDS と BRI2002 による計算結果 1
(4 デッキ火災室前通路)

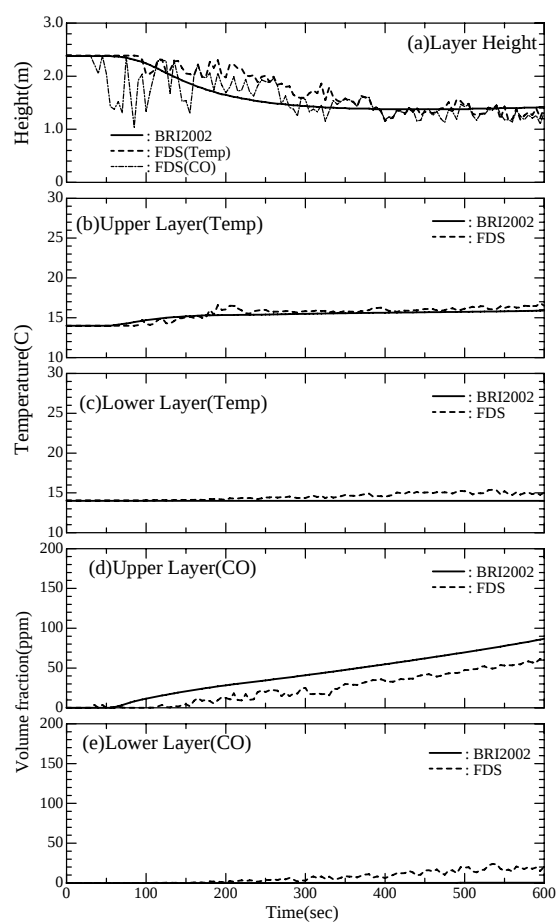


図 8 FDS と BRI2002 による計算結果 2
(7 デッキ通路)

吉田公一研究統括主幹に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) K. McGrattan ed., Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1018, (2004)
- 2) 社団法人建築研究振興協会, BRI2002: 二層ゾーン建築内煙流動モデルと予測計算プログラム, (2003)
- 3) 田中哮義, 建築火災安全工学入門, 財団法人日本建築センター, (2002)
- 4) 日本造船研究協会 RR73 基準部, 平成 9 年度報告書, 船舶の防火に関する調査研究報告, (1998)
- 5) Yaping He ed., Determination of interface height

from measured parameter profile in enclosure fire experiment, Fire Safety Journal 31, pp.19-38, (1998)