

CAEデータベースの構築に関する研究

泉川達哉、金城洋

近年、CAE システムを活用した開発業務の効率化を目指す企業が増加しており、企業支援機関である公設試においても、CAE システムを用いた解析技術の高度化を図る目的で「九州連携 CAE 研究会」（以下CAE研究会）を立ち上げ、活動を行っている。本研究は、CAE 研究会において提示された熱流体解析の課題に取り組んだものである。容器内に高温流体を吹き込んだ際の温度分布について、実験とシミュレーションを行った結果、乱流モデルの選択、伝熱量の見積もりなど温度分布解析に必要な多くの知見を得ることができた。

1 はじめに

近年、パソコンの性能が大きく向上したことから、これまで主に一部の専門家や大企業で活用されていたシミュレーション技術が、中小企業における製品開発の過程で活用されるようになってきた。これらの動きに対応するため、九州・沖縄の公設試では解析技術の高度化を図る目的で「九州連携 CAE 研究会」を立ち上げ、活動を行っている。CAE 研究会の主な活動は、以下の2つである。

①共通課題の解析

各機関が保有する様々な解析ソフトを用いて共通の課題に取り組み、その結果からソフト間の差異を検証する。他機関での解析手法について知ることによって解析技術の高度化、情報の共有化を図る。

②解析データベースの整備

各県における様々な分野の解析事例や共通課題の結果をデータベース化し共有する。

解析データベースの概要を図1に示す。データベースのサーバーは熊本県に設置しており、九州・沖縄の解析担当者がインターネットを介してアクセスすることが可能である。将来的には各県の企業からもデータベースの情報が閲覧できるようにしたいと考えている。

本研究は、CAE データベースに登録する情報として用いるため、共通課題として提示された熱流体解析の事例について、実験とシミュレーションを行い解析手法の検証を行なったものである。

2 実験

2-1 実験方法

図2に実験装置の概略を示す。円筒形状の容器の上部に流体の入口、下部に出口を設け、入口から135℃の熱風を吹き込み、十分に時間が経過し、温度変化が小さくなった定常状態における内部の温度を測定した。温度測定は、図中の丸数字で示す6箇所について熱電対を用いて行った。

測定ポイントの①と④は容器底面から725mmの高さにあり、容器に流入する噴流の直ぐ下側に位置する。測定ポイント②と⑤は底面から428mm、③と⑥は128mmの高さである。熱風の流量はペーン式風速計(株佐藤計量器製作所製 SK-95F)で測定した風速と入口面積から算出した。熱風発生器からの高温流体(135℃)を屋内の無風状態下に設置した容器に吹き込み実験を行った。

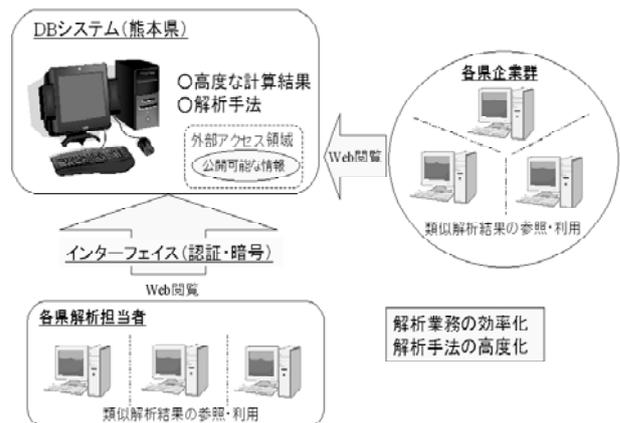


図1. データベースの概要

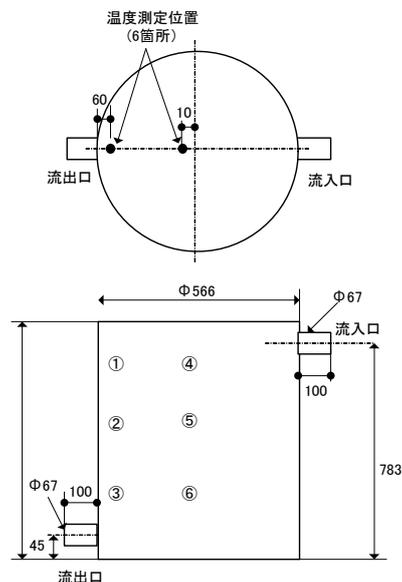


図2. 実験装置の概略

2-2 実験結果

実験の様子を図3、温度測定の結果を表1に示す。図3には温度測定の結果から推定される高温流体の広がり方を模式的に示した。測定温度はポイント④が最も高く、続いて①、②と続いている。これらの測定結果から、容器上部から吹き込んだ高温流体は広がりながら容器内を横切り、入口から正面側の壁面に当たった後、壁面に沿って容器下部へ進んでいくことが推測される。測定ポイント③と⑤の比較では、⑤の温度が若干高くなっている。この結果から、容器内の高温流体の噴流は、細い流れで遠くへ到達するというよりも、比較的広く短い範囲で拡散するといえる。測定温度が最も低いのはポイント⑥であり、高温流体の広がりが、この領域には及ばないことを示している。



図3. 実験の様子

表1. 温度測定の結果

	①	②	③	④	⑤	⑥
実験値(°C)	118	107	102	120	104	98

3 シミュレーション

3-1 シミュレーションの方法

シミュレーションの手順を図4に示す。計算モデル及びメッシュ作成はGAMBIT2.2.30を用いて行い、それ以降のステップでは汎用の熱流体解析ソフト「FLUENT Ver6.2.16」を使用した。

計算対象となる空間のモデル化においては、対称条件を用いて1/2モデルなどを作成し計算時間を短縮するケースも多いが、今回は容器内に旋回流が想定されることから容器全体をモデル化している。メッシュの形状は計算精度の高い六面体を用いた。その結果、要素数は251,294個、節点数は262,185個となった。

容器の材料物性値(密度、熱伝導率、比熱)は炭素鋼のデータを用い、空気の物性値は密度を非圧縮性理想気体の式で求め、熱伝導率、比熱、粘性係数については物性値表の値を基に50℃から200℃までを直線で近似し温度の関数として求めている。

乱流モデルは、噴流の広がりを比較的精度良く近似できるといわれているk- ω モデルを使用した。

壁面の放射率を0.9とし、容器壁面から外部への輻射による伝熱を考慮した。容器内の温度分布に最も影響を与える熱伝達係数 α については、式(1)に示す垂直円柱に沿う空気の自由対流における平均ヌセルト数 Nu^1 を用いて式(2)から算出し $3.5W/m^2/K$ とした。

$$Nu = 0.021(Gr Pr)^{1/4} \dots (1)$$

ここで、Grはグラスホフ数、Prはプラントル数である。

$$\alpha = Nu(\lambda/L) \dots (2)$$

ここで、 λ は熱伝導率、Lは代表長さである。

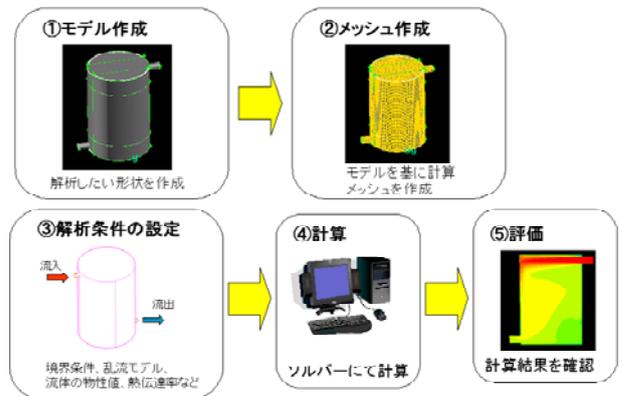


図4. シミュレーションの手順

3-2 シミュレーションの結果

シミュレーションにより得られた温度分布を図5、実験値との比較を表2に示す。

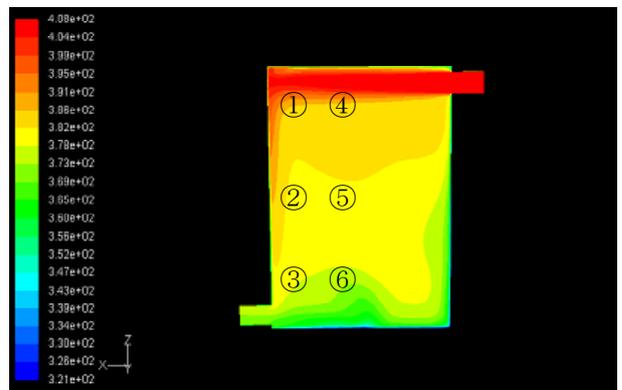


図5. 温度分布(丸数字は温度測定ポイント)

表2. 実験値との比較

	①	②	③	④	⑤	⑥
実験値(°C)	118	107	102	120	104	98
解析値(°C)	115	108	104	113	108	98

シミュレーションでは測定ポイント④よりも①の温度が高くなっている。これは吹き込まれた高温流体の広がりを実際に比べて小さく表現されているためである。また、壁面に沿って下方向へ流れる高温流体の広がりもシミュレーションでは小さく表現されており、その結果、測定ポイント②と⑤の温度は同じ値となっている。噴流の広がりをもっと大きく表現できれば、ほぼ実験結果と同じ温度分布が得られると考える。

4 考察

今回のように容器体積が小さい場合、噴流の広がり具合によって容器内部の温度分布の様相が大きく異なる。シミュレーションにおける噴流の広がり、使用する乱流モデルによって変わることが知られている。図6は、乱流モデルとして $k-\epsilon$ モデルを採用した場合の温度分布である。 $k-\epsilon$ モデルは一般的に広く活用されており、改良モデルも多数あるが、この場合、噴流の広がりを実際よりも小さくなり容器内の温度分布は、図の左から右へ徐々に変化する結果となっている。これに対して $k-\omega$ モデルを使った前述の図5では、噴流の広がりが比較的大きくなり、その影響で容器内の温度分布も上から下へ変化する結果となっている。乱流モデルの特徴を把握し、解析したい現象に応じて適切なモデルを選択することが重要である。

温度分布の解析では、容器壁面から外気への伝熱量を如何に見積もるかが大きなポイントである。今回は、容器壁面と外気との間で熱伝達と輻射による伝熱が行われると考え、熱伝達係数としては自由対流における平均ヌセルト数に関する実験式から求め活用した。輻射熱量を求める際に使用する放射率については、FLUENT におけるデフォルト値の 0.9 とした。図7は容器外部への輻射伝熱を無視した場合の温度分布である。当然ながら全体的に温度が高くなっており、今回のように 100℃前後の温度でも外気への輻射熱を考慮する必要のあることが分かる。

5 おわりに

CAE 研究会において提示された熱流体解析の課題について、実験とシミュレーションに取り組んだ結果、乱流モデルの選択や、伝熱量の見積もり方法について有用な知見を得ることができた。

本研究は「CAE データベースの構築に関する研究 (2011 技 004)」の一環として行ったものである。

謝辞

九州連携 CAE 研究会において解析手法に関する多く

の助言をして頂いた各県公設試の解析担当者に感謝致します。

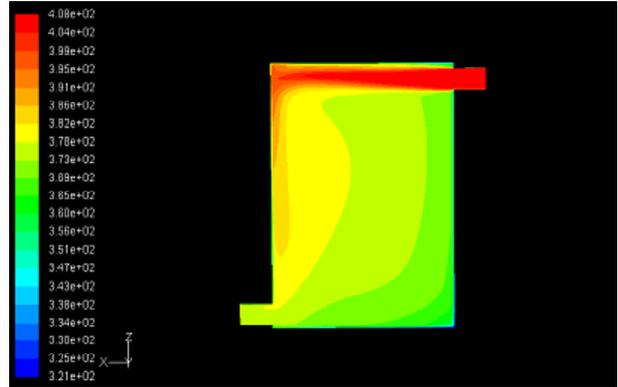


図6. 温度分布 ($k-\epsilon$ モデルの場合)

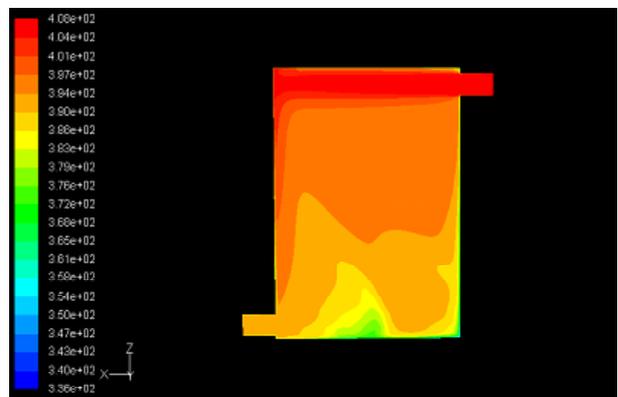


図7. 温度分布 (輻射無しの場合)

参考文献

- 1) 西川兼康他「伝熱学」理工学社 p201 (1992.2)

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。