

近年、熱流体解析技術はさまざまな工学の分野で積極的に活用され成果を上げているが、ここでは家電機器の代表としてルームエアコンと冷蔵庫に適用した事例を述べる。当社が独自に開発した室内気流解析コードを用いて、14畳の大きなリビングルームで大能力の室内機1台と小能力のマルチエアコン“2快(ツーカイ)パック”の室内機2台で運転した場合の快適性を定常解析により比較分析した。その結果、後者のほうが快適性に優れていることを明確にした事例と、蓄熱機能を利用した床置きエアコン“ゆっかボッカ”の低外気温度(-10°C)での立上げ性能を非定常解析で評価した事例を示す。また、冷蔵庫用蒸発器(プレートフィンアンドチューブ型)を対象に、熱交換器外側(空気側)の伝熱性能を評価するために、非構造格子^(注1)の流体解析を適用した事例を示す。

This paper describes some results of the successful application of computational fluid dynamics (CFD) to the design of household appliances. An original indoor simulation code was applied to compare the indoor thermal environments created by two types of room air conditioners (a large-capacity standard type and a multi-type) in large rooms. We confirmed that the multi-type created more comfortable environments in both rectangular and L-shaped rooms. Unsteady indoor simulation was also applied to evaluate the heating performance of a newly developed heat-storage type air conditioner in low outdoor temperature conditions (-10°C). Finally, the performance of heat exchangers (plate fin and tube types) for refrigerators was evaluated using an unstructured mesh CFD code.

1 まえがき

ルームエアコン、冷蔵庫をはじめとする家電機器は生活必需品として定着した製品が多いが、毎年省エネルギー(以下、省エネと略記)性や機能面などで改良を加えた製品が各社から販売され、厳しい開発競争が行われている。そこで、短期間に本質的機能に優れた新製品を効率よく開発することがますます重要となり、CAE(Computer Aided Engineering)技術の設計開発の適用が増加している。

ここでは、ルームエアコンと冷蔵庫について、熱流体を対象とした解析技術CFD(Computational Fluid Dynamics)を適用した事例について述べる。

2 室内温熱環境の快適性評価

2.1 室内気流解析システムの開発背景

エアコンは、より少ない消費電力量でより快適な室内環境を実現することが望まれている製品であるが、室内環境はエアコン単体だけではなく建物性能に大きな影響を受ける。例えば、部屋の大きさ、断熱性や気密性、エアコンの取付け位置や気流の吹き出す条件(温度、風速、方向など)、さらに外気温度などの多くの因子が影響を与える。また、全身の温冷感が暑くも寒くもなく快適であるというだけでなく、気流が当たらない、足もとが寒くないなど、ユーザ

の快適性に対する要求レベルも年々高くなっている。

そこで、開発段階で必要な環境試験室を用いた実験評価の一部を代替する評価ツールとして、室内気流解析システムを開発し、設計開発に活用している。

2.2 室内気流解析システムの概要

室内温熱環境の快適性には、空気温度、湿度、風速、放射温度の周囲環境としての4因子と、代謝量、着衣量の人側2因子とが影響をもつことが広く知られている⁽¹⁾。ルームエアコンで空調する空間は8畳~12畳程度の比較的小さな部屋で、壁体近くに人体がいることが多いことから、空気温度だけではなく放射温度の影響を正確に評価することがエアコンとしての性能評価には重要となる。

そこで、放射と対流の影響を入れて正確に室内温熱環境を評価するために、建物の壁面で、放射、対流と伝導成分の熱バランスを考慮して、室内の熱気流を解析するコードを開発した^{(2),(3)}。開発時に問題となる定常状態と、立上げ時のような非定常状態それぞれについて、その必要性に応じて短時間で解析するようにそれぞれの二つの解析コードを開発した。ただし、設計者が使用しやすいように、解析コードの入出力データは、これら二つの解析コードで基本的には共有することとした。

(注1) 縦、横、高さそれぞれを直線的に分割する構造格子に対し、任意の形状で格子分割すること。

3 マルチエアコン “2 快パック” への適用例

3.1 解析の対象と目的

1 台の室外機に 2 台の室内機を接続して冷暖房するマルチエアコンの新製品として、デジタルツインロータリコンプレッサとハイブリッドインバータを採用した省エネタイプの “2 快パック” を開発した。マルチエアコンは、室内機を子供部屋と寝室など 2 室に 1 台ずつ設置して運転することが通常であるが、近年増加している大きなリビングルームに 2 台の室内機を設置する場合があります、これのメリットについて、製品開発の企画段階で室内気流シミュレーションを活用した。

ここでは、大能力の室内機 1 台で暖房したときの以下のデメリットに対する快適性を評価した結果を示す。

- (1) 吹き出す風速が速くなるために、居住空間内で気流の速い範囲ができ、ユーザーに不快と感じさせる。
- (2) L 字形のような部屋では、気流が到達しない範囲ができ、十分に暖房することが困難である。

3.2 解析結果

外気温度 2°C 時、14 畳の部屋で大能力の室内機 1 台と小能力の室内機 2 台を用いて暖房運転したときの定常状態の

室内気流解析を行い、快適性を比較分析した。壁から 0.3 m 以上離れ、床面から高さ 1.8 m 以内の空間として定義した居住空間内の平均室内温度が 23°C となるように、エアコンの吹き出し条件を設定した。

室内の気流環境を比較するために、気流速度が 0.35 m/s と 0.8 m/s となる範囲を比較した結果を図 1 に示す。外気温度が低く空調負荷が大きいこともあり部屋全体を暖房するためには、室内機 1 台では大風速で運転することが必要となる。そのために、吹き出し風速が速くなり、居住空間にも気流を強く感じる範囲が床面近くを中心に広く存在する。一方、室内機 2 台を用いると、それぞれの風量は 1 台の場合に比べて小さくてすむことから、吹き出し風速が低くなり 0.8 m/s の気流は吹き出し口周辺だけにみられ、気流を感じて不快と感じる範囲は非常に小さくなっている。

次に、L 字形の部屋を対象として、同様に居住域内の平均室内温度が 23°C となるように暖房運転したときの解析結果を図 2 に示す。室内機 1 台の場合には十分に温風が行き渡らないことから温度ムラが大きくなり、床面付近では 20°C 程度の空気温度が低い範囲が見られるが、2 台の場合には、室内機を最適な位置に配置できることから、室内全域にわたってムラなく暖房できることがわかる。

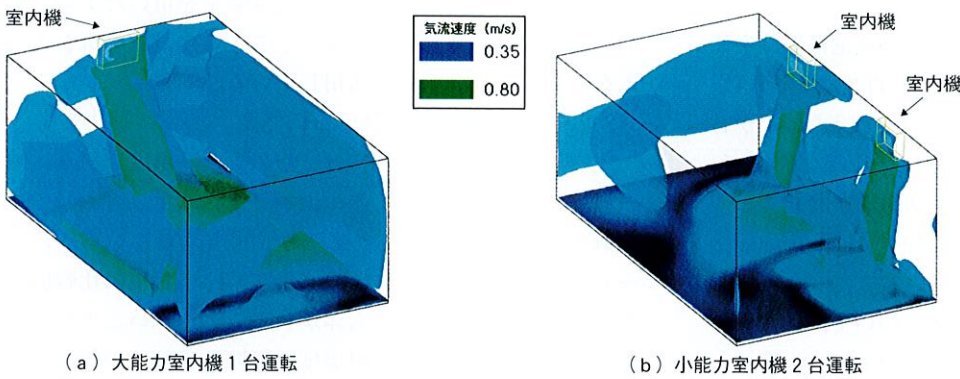


図 1. 14 畳のリビングルームにおける風速分布の比較 暖房運転時の流れ場を等風速面に表示したもので、小能力室内機 2 台の運転は不快と感じる範囲は非常に小さくなっている。

Comparison of velocity distributions in living room

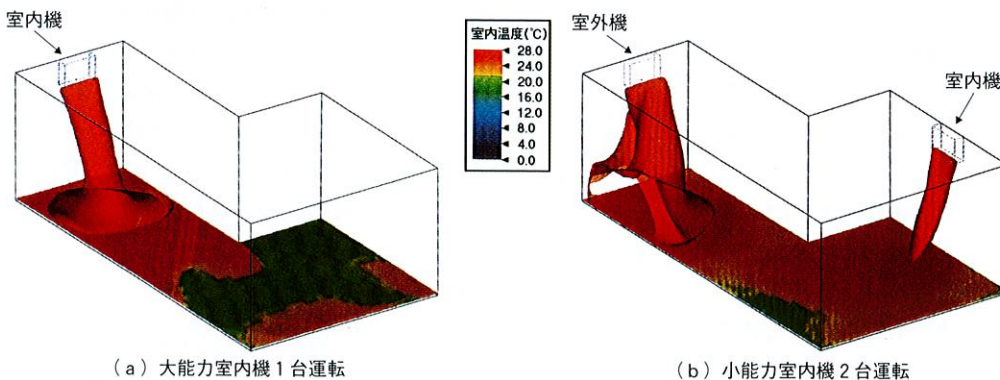


図 2. L 字形リビングルームにおける温度分布の比較 暖房運転時の温度場を床上 5 cm 程度の水平断面と、吹き出し気流のようすを等温度面に表示したもので、小能力室内機 2 台の運転は室内全域にわたってムラなく暖房できる。

Comparison of temperature distributions in L-shaped living room

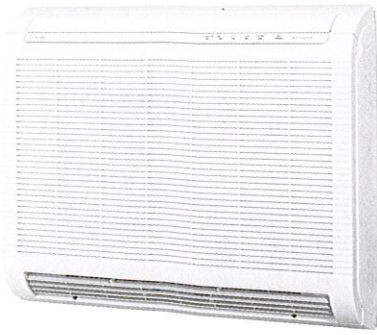


図3. 蓄熱エアコン“ゆっかポッカ”室内機

上下2個の吹き出し口から温風を吹き出すことができる。

Indoor unit of heat-storage type air conditioner

4 蓄熱エアコン“ゆっかポッカ”への適用例

4.1 解析の対象と目的

石油ファンヒータと同様な暖かさを、ヒートポンプエアコンで実現することをコンセプトとして開発した蓄熱エアコン“ゆっかポッカ”の開発に、室内気流解析を活用した事例を述べる。図3に室内機の外観を示す。上下2か所に吹き出し口があり、窓の下など床面近くの高さに設置して、床吹き出しにより足もとからすばやく暖めることができる。また、ヒートポンプエアコンの弱点である低外気温度時の能力低下を防ぐために、室外機に蓄熱槽を付け、運転開始とともに一気に高温風を吹き出すことができる。

ここでは、蓄熱機能の効果確認のために、外気温度が -10°C の条件での立上げ性能を分析した結果を述べる。

4.2 解析結果

室内空気温度 7°C を初期条件として、10畳の部屋で壁掛けエアコンと“ゆっかポッカ”を暖房運転したときの立上げ性能を比較した。エアコンの運転条件として、実験から求めた暖房能力の時間経過データを入力データとして与え、非定常解析の時間ステップごとに解析から求められた吸込み温度と暖房能力から吹き出し温度を算出し、次ステップの熱気流解析を行うことで、暖房運転開始後数十分間の解析を行った。

図4に、室内の平均温度、床上5cmの空気温度の時間変化を比較した結果を示す。壁掛けエアコンでは60分経過してもまだ室内平均温度が 20°C に到達していないが、“ゆっかポッカ”は25分弱で到達している。立上げ10分後の室

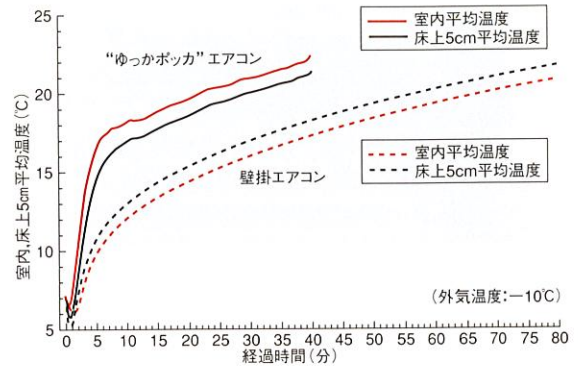


図4. 低外気温度時の暖房立上げ性能の比較 暖房運転開始後の、室内平均と床上5cm水平断面温度分布の時間変化を示す。蓄熱エアコン“ゆっかポッカ”は25分弱で 20°C に到達している。

Comparison of heating performances (outdoor air temperature: -10°C)

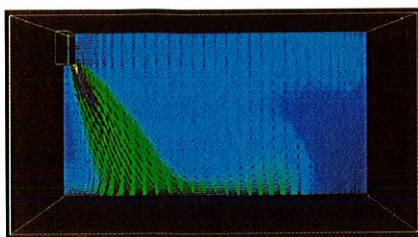
内温度分布について、室内中央鉛直断面について比較した結果を図5に示す。これらの結果から、蓄熱機能をもつ“ゆっかポッカ”に立上げ性能の改善が図られていることがわかる。

5 冷蔵庫用蒸発器への適用例

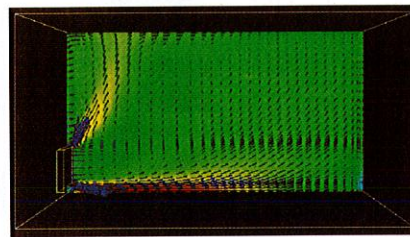
5.1 解析の対象と目的

冷蔵庫用の蒸発器には、図6に示すようなプレートフィンアンドチューブ型の熱交換器が使われている。この熱交換器には、冷蔵庫の内容積を少しでも大きくとるためにコンパクト性と、省エネ性のために優れた熱交換特性が必要である。また、着霜による目詰まりを防ぐために、空気流の上流から下流に向けてフィンピッチが細くなるように設計されている。

これまででは、試作品の実験評価を主体として開発してきたが、省エネの推進、新形態の熱交換器を効率的に開発するために、フィンの熱伝導を考慮した三次元流体解析を行った。圧力損失を含めて伝熱特性を正確に評価するためにパイプの形状を正確に表現し、固体近傍には細分化したメッシュを比較的少ない数で配置できる、非構造格子を採用した解析コードを用いた。



壁掛けエアコン



蓄熱エアコン“ゆっかポッカ”

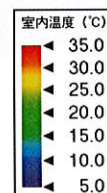


図5. 壁掛けエアコンと蓄熱エアコン“ゆっかポッカ”の室内温度分布

暖房運転開始10分後の室内温度分布の解析結果を示す。壁掛けエアコンに比べ、蓄熱エアコン“ゆっかポッカ”が床面近くを中心に速く暖めていることがわかる。

Temperature distributions of wall-mounted type indoor unit

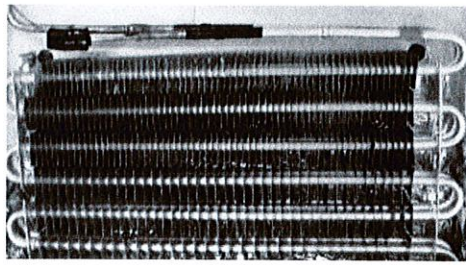


図6. 冷蔵庫用熱交換器 解析対象とした熱交換器で、図中の下から上方へ空気が流れて熱交換する。

Heat exchanger for refrigerator

5.2 解析結果

パイプとフィンの熱交換性能に対する効果をあきらかにすることを目的に、形状の対称性、規則性を利用し6列1段で解析する範囲を設定した。現象として浮力の影響が小さいことから、まず流れ解析により速度場を求めて、次にエネルギー方程式を解くことで温度場を求めて、伝熱性能を分析した。

流れ方向の温度分布、フィン表面の熱流束分布を図7に示す。上流から下流にゆくにしたがって徐々に空気温度が変化し、フィンとともにパイプも伝熱に寄与していることと、フィン効率はかなり高いことがわかる。図8に、列ご

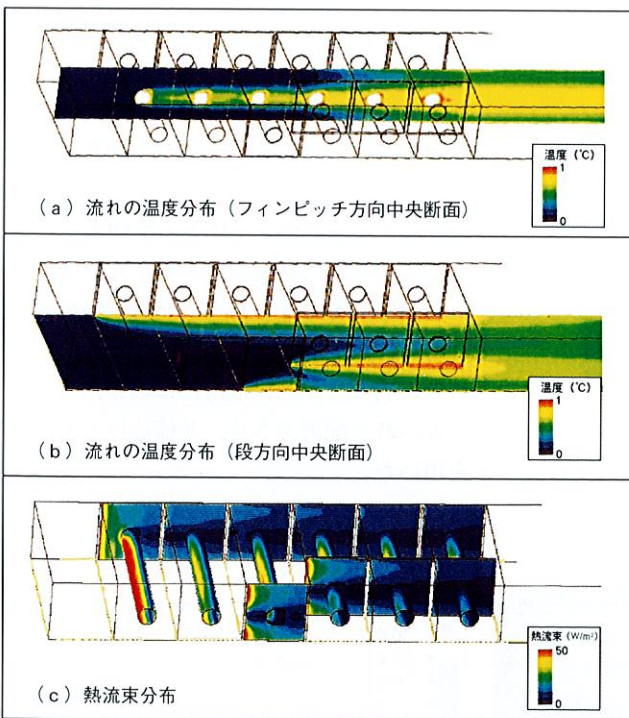


図7. 熱交換器の解析結果 空気は左から右に流れながら熱交換する。フィンピッチ方向について5倍のスケールで示した。

Results of heat exchanger analysis

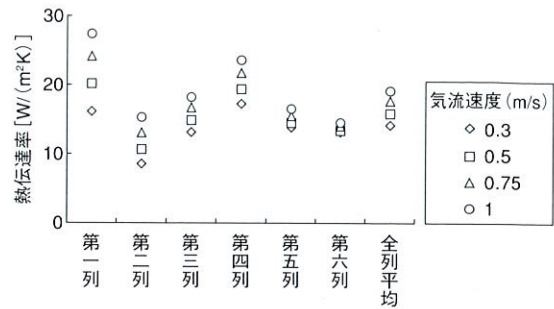


図8. 熱交換器各列の伝熱性能 各列の対数平均温度差から求めた熱伝達率で伝熱性能を評価した。

Heat transfer performance of each row in heat exchanger

との伝熱性能を分析した結果を示すが、2列目のパイプが1列目のパイプの後流内にあり伝熱性能が大きく劣化していること、4列目はフィンの効果により伝熱性能が改善されていることなど、詳細な情報を得ることができ、性能改善のアイテム評価に有効である。

6 あとがき

熱流体解析技術を、エアコンと冷蔵庫の製品開発に活用し、効率化に役だてた事例の一部を述べた。今後、より幅広い問題に対しても、解析技術の適用を進めていくことにより、ユーザーに新しい機能を提供できる家電製品を、効率的に開発できるように注力していく所存である。

文献

- (1) Fanger, P.O. Thermal Comfort, Danish Technical Press. 1970.
- (2) Kitagawa, K., et al. "Numerical Simulation for Radiant Air-conditioning System". ROOMVENT'96, 1. 1986, p.205-212.
- (3) Takeya, N., et al. An Application Study of a 3D CFD Code "TASC" for Predicting Transient Thermal Problems of Indoor Environments. ROOMVENT'98. 1998.



北川 晃一 KITAGAWA Koichi, Ph.D.

住空間システム技術研究所 開発第一担当グループ主査、工博。家電製品の熱流体関連の製品開発、CAE解析技術開発に従事。日本機械学会、空気調和衛生工学会、生理人類学会会員。

Air-Conditioners and Appliances Engineering Lab.



小井戸 哲也 KOIDO Tetsuya

住空間システム技術研究所 開発第一担当グループ主務。家電製品の熱流体関連の製品開発、CAE解析技術開発に従事。日本機械学会会員。

Air-Conditioners and Appliances Engineering Lab.



竹谷 伸行 TAKEYA Nobuyuki

住空間システム技術研究所 開発第一担当グループ。家電製品の熱流体関連の製品開発、CAE解析技術開発に従事。日本機械学会、空気調和衛生工学会会員。

Air-Conditioners and Appliances Engineering Lab.