

業務用電化厨房を対象とした局所排気システムの開発と数値解析

(第1報) 流れ場および温度場のCFD解析

Development of Local Exhaust System for Electric Kitchen and Its Numerical Analysis, Part 1

学生会員 ○水野 優 (東京工芸大学) 正会員 伊藤 一秀 (東京工芸大学)

正会員 小峯 裕己 (千葉工業大学) 正会員 宮本 和弘 (東京電力(株))

Yu MIZUNO*¹ Kazuhide ITO*¹ Hiromi KOMINE*² Kazuhiro MIYAMOTO*³

*¹ Tokyo Polytechnic University *² Chiba Institute of Technology. *³ Tokyo Electric Power Company

In this paper, CFD simulations are carried out in order to analyze the flow and temperature fields in commercial kitchen under various local exhaust systems. In particular, to clarify the performance of the local exhaust systems, the flow and temperature fields are analyzed under two types of heat source, electric kitchen and gas kitchen. The room averaged mean velocity has increased for the gas kitchen by about 30% compared with the electric kitchen and the room averaged temperature rose at 10 °C or more compared with the cases which heat source did not exist.

はじめに

一般に、厨房作業環境は3K(きつい(暑い)・汚い・危険)の職場と言われ、作業環境改善に対する要求が高い。近年になり、この改善対策の一つとして、衛生・安全性を考慮に入れた電気を熱源とする厨房機器(電化厨房機器)に関心が集まっており、その採用が進んでいる。この電化厨房機器は、発熱原理、熱効率ならびに排熱形態が従来のガス機器とは大きく異なるため、火気を直接使用し、不完全燃焼の危険性を有するガス機器を対象とした従来型の換気・空調システムをそのまま採用した場合には過剰設備となる可能性がある。すなわち、燃焼排気を伴わない、周辺に対する排熱が少ないなどの利点を生かした換気設計が行われていないのが実情である。このような背景のもと、本研究では業務用電化厨房機器を対象として、各種の局所排気システムを採用した場合の熱環境、空気環境をCFDを用いて解析することで最適な局所排気システムの検討を行うことを目的とする。

1. 厨房排気に関する既往研究

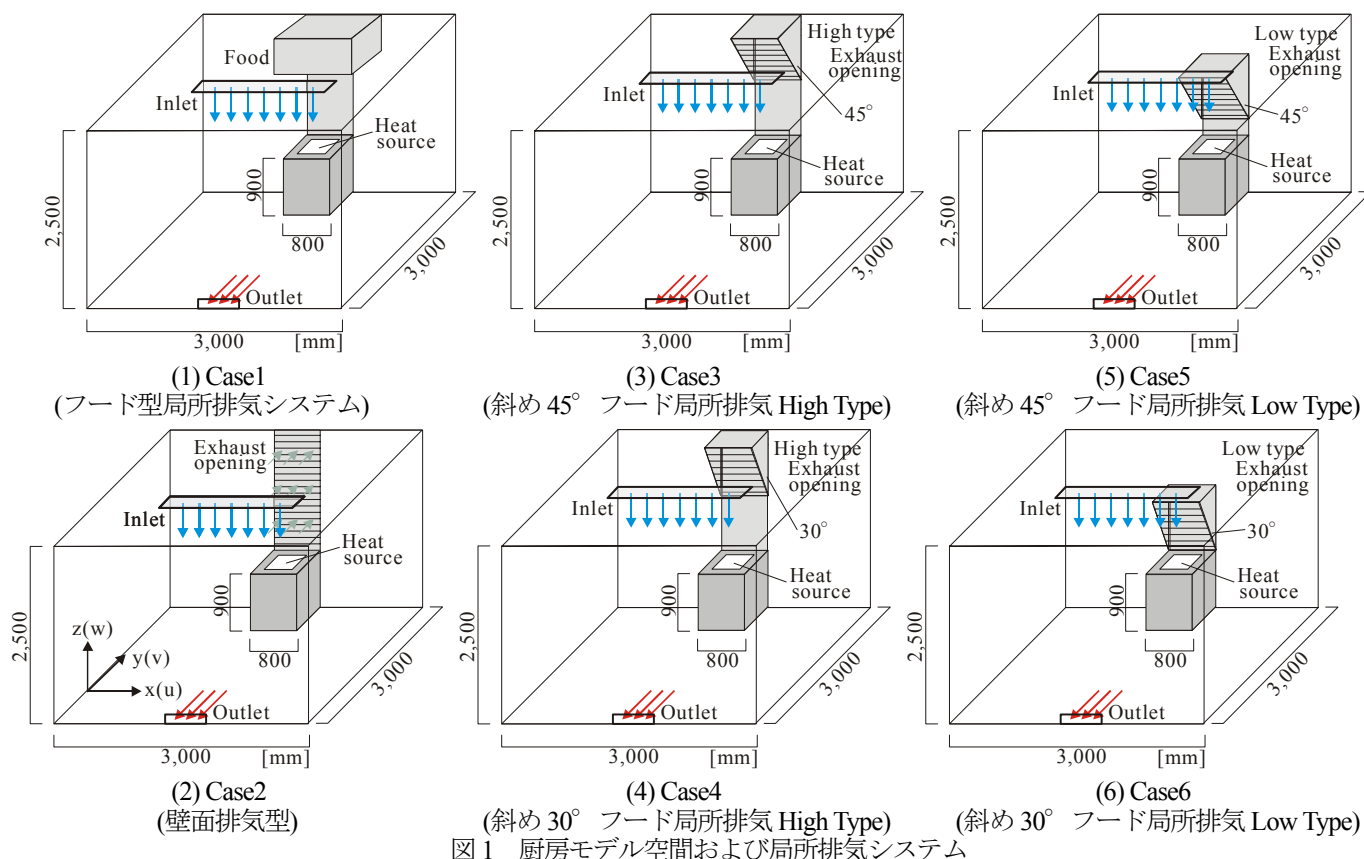
厨房排気システムに関しては既にある程度の研究蓄積がある。小峯ら¹⁾、村上ら²⁾は家庭用厨房を対象として、電気レンジおよびガスレンジの両者において実験的に排気捕集率の測定を行っており、また、近藤ら³⁾は業務用厨房を対象としてCFDおよび実験を併用し換気効率の検討を行っている。更に山中ら⁴⁾は外乱気流がフード捕集率に与える影響を実験的に検討している。しかしながら、既往研究はフード型の局所排気装置のみを対象としており、その他の排気システムに関してその有効性を議論した例はない。

2. 解析空間および局所排気システム

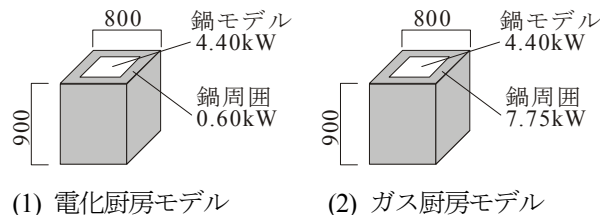
本研究では、数値解析により業務用電化厨房を対象とした場合の局所排気システムの検討を目的とする。電化厨房機器を含む厨房全体は簡易的にモデル化し、作業環境を含めて解析対象とする。即ち、全体換気システムおよび局所排気システムの両者を設定し、作業者を含めた作業空間全体の熱環境および空気環境を対象とした解析を行う。厨房全体換気システムとして天井面に新鮮外気の給気口を、床面に排気口を設定する。厨房空間モデルならびに局所排気システムの解析ケースを図1に示す。本研究では局所排気システムとして全6ケース設定する。Case1は一般的なフード型の局所排気システムで本解析の基本ケースである。Case2は厨房背後の壁面に排気口を設置したシステムで、建築埋め込み型である。Case3は天井位置に45°の傾斜を有する排気口を設置したシステム、Case4は天井位置に30°の傾斜を有する排気口を設置したシステムである。Case5およびCase6は、それぞれCase3およびCase4の傾斜を有する排気口を作業者の目線位置(H=1600mm位置)に設置したケースである。本解析では電化厨房の性能をガス厨房と比較することで評価を行うため、各ケース(Case1~Case6)において2種類のHeat Sourceの境界条件を与えて解析を行う(図2)。電化厨房の場合をケース番号に続き添え字-1で表記し、ガス厨房の場合を添え字-2で表記する。

3. 計算および解析条件

流れ場の解析は低Re型k-εモデル(Abe-Nagano model)を用いて行う。温度場は対流場と放射を連成して解析する。すなわち各壁面要素で熱収支を解き壁面温度を算出する。各壁面間の形態係数はDiscrete Transfer Methodを



用い、相互放射は Radiosity Method による緩和計算により算出する。本解析条件では、電化厨房機器の熱源付近で高温が予想されるが、空気は非圧縮を仮定する。全体換気の換気量は $500\text{m}^3/\text{h}$ とし、局所排気システムによる排気量は全てのケースで $450\text{m}^3/\text{h}$ と仮定する。計算条件を表1に、境界条件を表2に示す。



4. 流れ場の解析結果

電化厨房を対象とした流れ場の解析結果を図3に、ガス厨房の場合の解析結果を図4に示す。全解析ケースにおいて、天井から供給された吹出空気が床面に到達し、室全体で循環流を形成している。また、フード型の Case1 では電化・ガスの両者において厨房モデル上面で明確な熱上昇流が観察される。熱源近傍に局所排気口を設置した Case5、Case6 では熱源から厨房背後の壁面に沿った流れが形成され、明確な上昇流は観察されない。

5. 温度場の解析結果

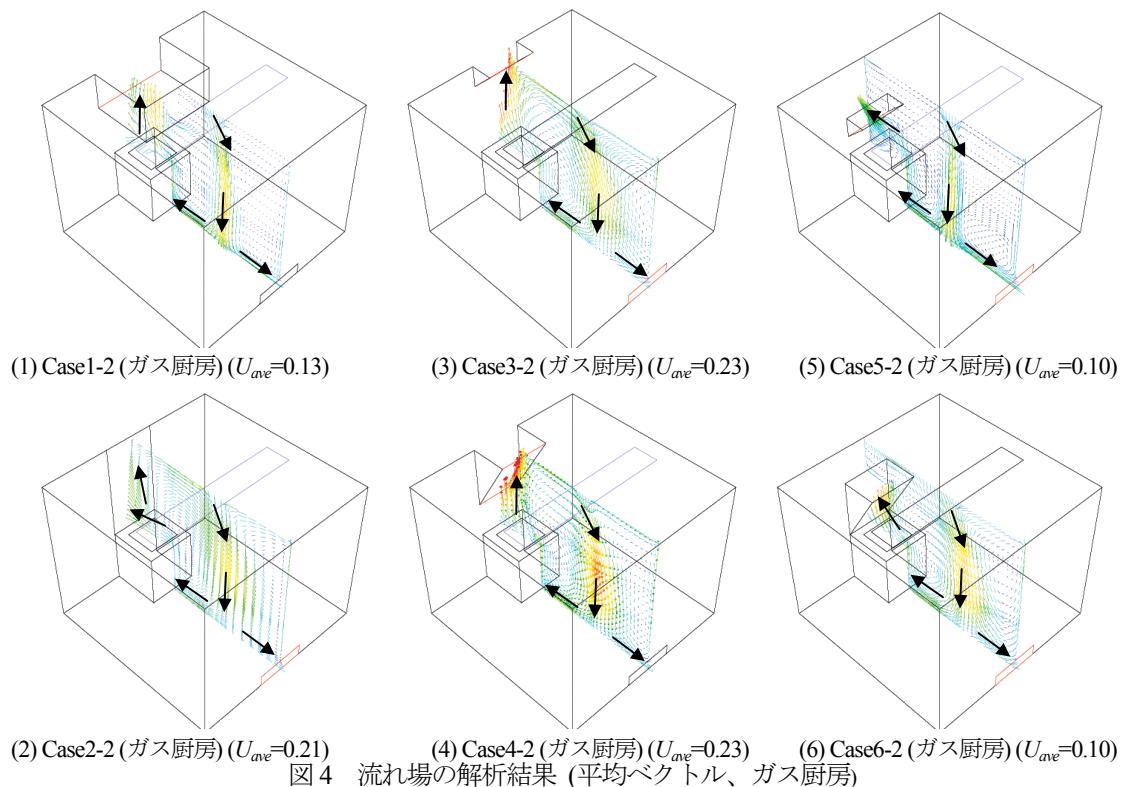
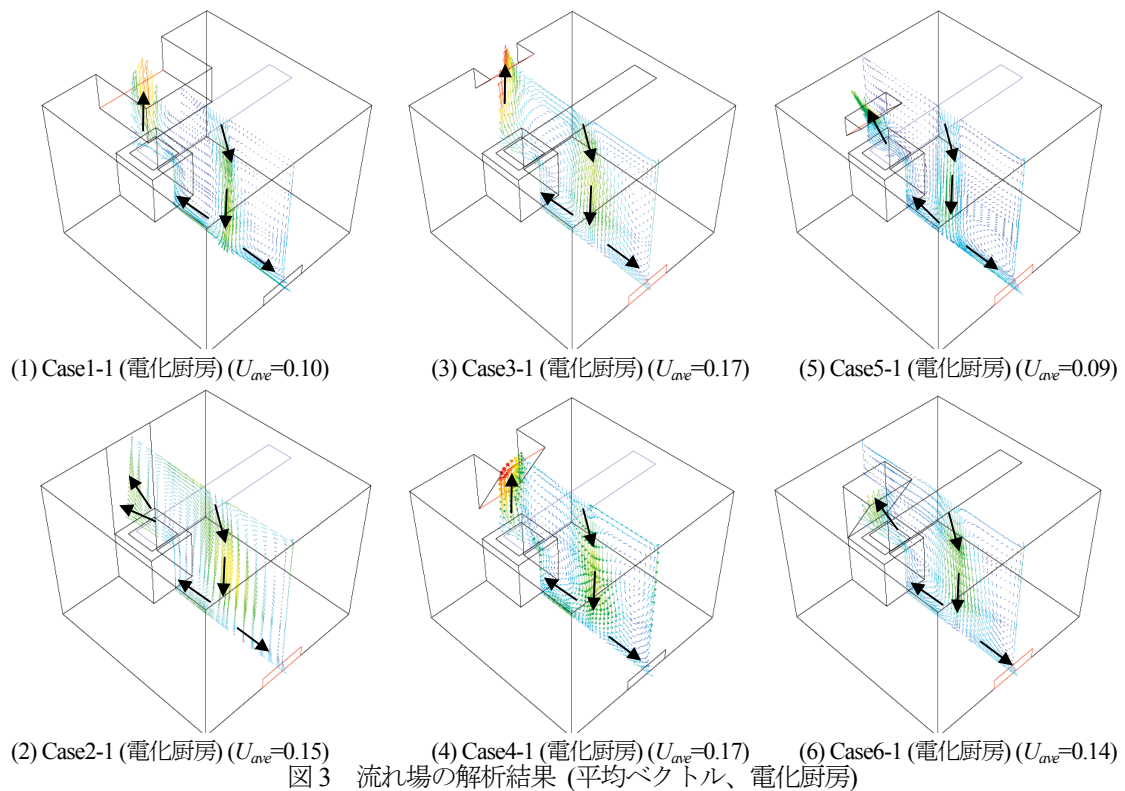
電化厨房を対象とした温度場の解析結果を図5に、ガス厨房を対象とした温度場の解析結果を図6に示す。図中の値は全体空調吹出温度(20°C)からの温度上昇分($^\circ\text{C}$)を示している。厨房モデル上面に与えた熱量は40%以上が放射熱伝達により輸送される。電化・ガス厨房の両者において、局所排気口の面積が小さく、熱源からの形態係数が小さいケース(Case3~5)において室温上昇が著しい。

表1 計算条件

乱流モデル	低 Re 型 $k-\epsilon$ model (Abe-Nagano model)
スキーム	移流項: QUICK
Mesh	309,400 (case2) ~ 399,360 (case6)
Radiation	形態係数: Discrete Transfer Method 相互放射: Radiosity Method による緩和計算
拡散場解析	流れ場解析後に拡散場解析 汚染質は Passive Contaminant を仮定

表2 境界条件

全体空調吹出口	$Q_{in}=500\text{m}^3/\text{h}$ (換気回数 22.2 回/h), $U_{in}=0.14\text{m/s}$, $T_{in}=20^\circ\text{C}$, $k_{in}=3/2(U_{in}\times 0.05)^2$ $\epsilon_{in}=C_{\mu} k_{in}^{1.5}/L_{in}$, $L_{in}=(\text{Supply opening width})/7$
全体空調吸込口	$Q_{out1}=0.1Q_{in}$, $k_{out}=\epsilon_{out}=T_{out}=\text{free slip}$
局所排気口	$Q_{out2}=0.9Q_{in}$, $k_{out}=\epsilon_{out}=T_{out}=\text{free slip}$
壁面	速度: no-slip 温度: 断熱 放射: 放射率はすべての壁面で 0.9
Heat Source	電化厨房: 5.0 kW (鍋部分 4.40 kW : , 周囲: 0.60kW) ガス厨房: 12.15 kW (鍋部分 4.40 kW : , 周囲: 7.75kW)



6. 結論

- (1) 電化厨房およびガス厨房を簡易にモデル化し、6種類の局所排気システムを対象として、流れ場・温度場の解析を行った。
- (2) ガス厨房の場合、電化厨房と比較し、室平均風速が30%程度増加した。
- (3) 厨房モデル上面に与えた熱量は40%以上が放射熱伝達により輸送される。そのため、局所排気口の面積

が大きく、形態係数が高い Case1 を除き、すべてのケースで室平均温度上昇が 10°C 以上となった。

注釈

本報で示した解析条件の下では、電化厨房ならびにガス厨房での Heat Source を設置したことによる完全混合を仮定した室温上昇は、電化厨房: 29.9°C 、ガス厨房: 72.3°C 。周壁は断熱条件。

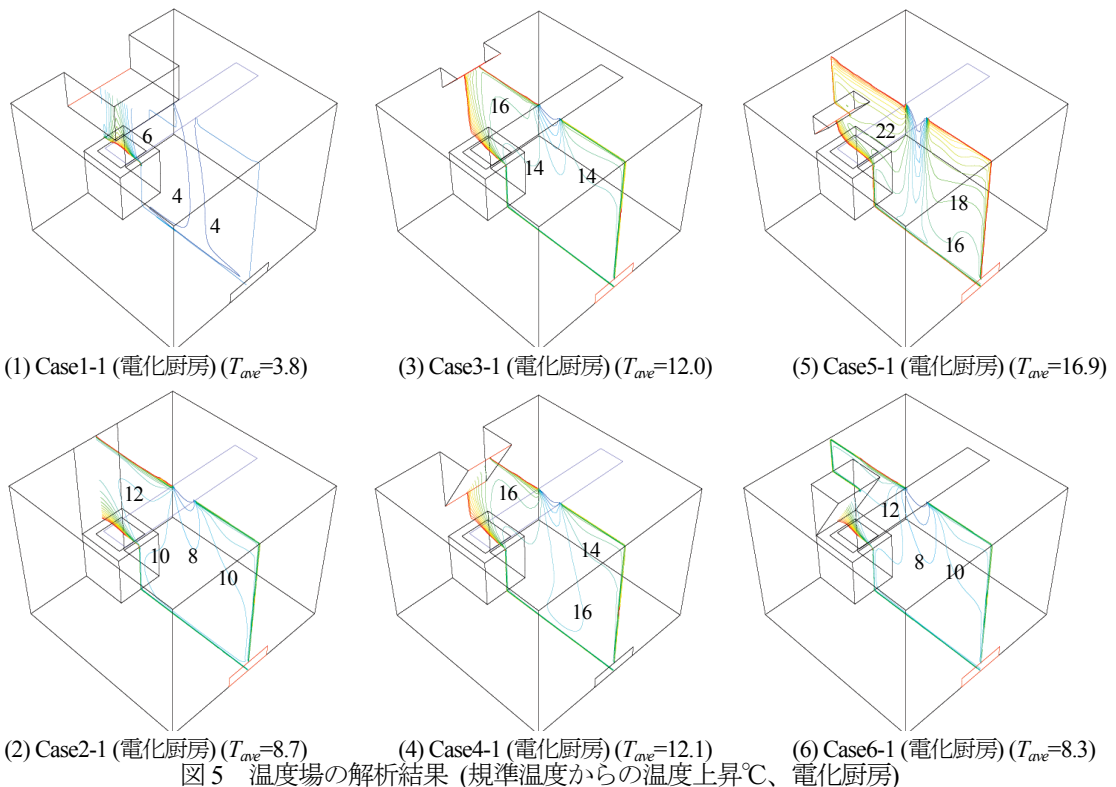


図5 温度場の解析結果 (規準温度からの温度上昇 $^{\circ}\text{C}$ 、電化厨房)

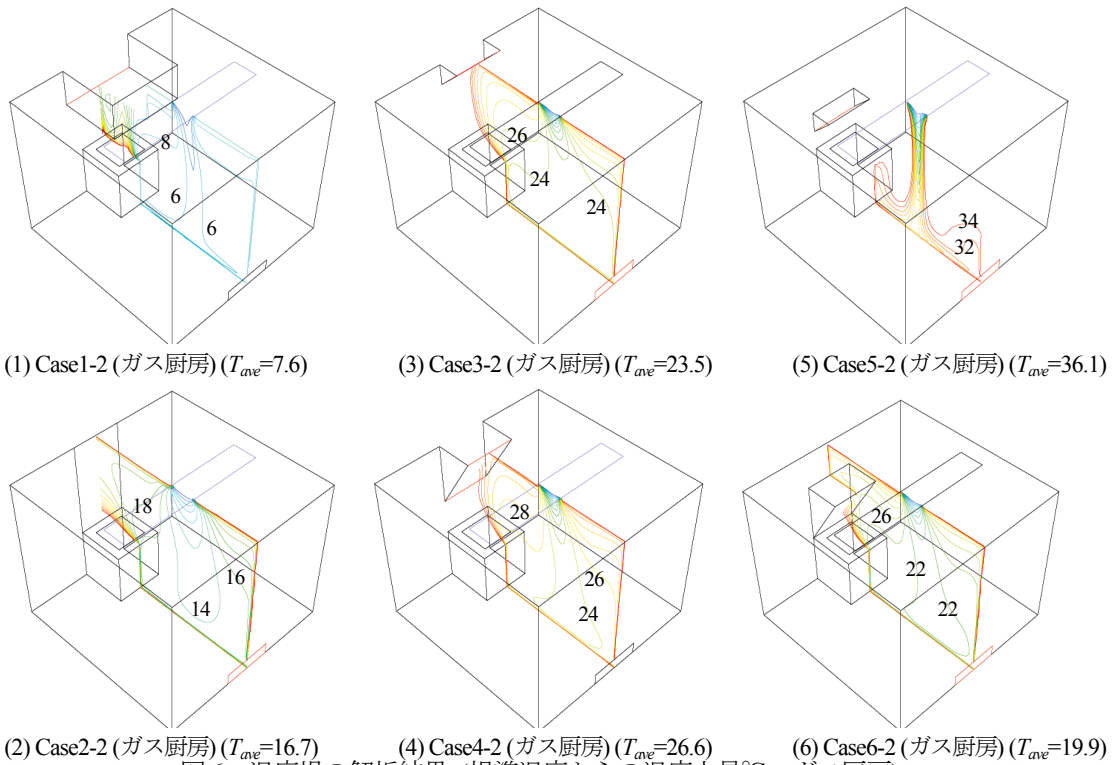


図6 温度場の解析結果 (規準温度からの温度上昇 $^{\circ}\text{C}$ 、ガス厨房)

参考文献

- (1) 小峯裕己ら：家庭用電化厨房の局所換気効率に関する研究 (その1~2)、空気調和衛生工学会講演論文集、pp165-168、1993
- (2) 村上周三ら：電気レンジとフードファンの排気に関する実験的研究、空気調和衛生工学会講演論文集、pp801-804、1989
- (3) 近藤靖史ら：業務用厨房の高効率換気・空調システムに関する研究 (その1~3)、日本建築学会学術講演会、pp725-726、1994
- (4) 山中俊夫ら：業務用厨房における外乱気流がフードの捕集性能に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文集、No.560、pp15-22、2002
- (5) Hikaru Kobayashi et al : New Scales for Assessing Contribution of Heat Sources and Sinks to Air and Temperature Distribution in Room Based on Numerical Simulation, 12th International Symposium on Contamination Control, The Japan Air Cleaning Association, pp.333-340, 1994