

中華チェーン店の厨房の温熱環境解析 (第1報) 排気量調節による温熱環境の改善

Analysis of Thermal Environment for a Kitchen in a Chinese Food Chain Restaurant Part 1: Improvement of Thermal Environment by Adjusting Distribution of Ventilation Rate

正会員○中川 友貴 (東京ガス) 技術フェロー 大森 敏明 (東京ガス) 非会員 富永 隆一 (東京ガス)
非会員 大野 光晴 (ハイデイ日高) 正会員 王 利彰 (関西国際大学)
正会員 成田 洋 (NRT システム) 正会員 伊藤 芳規 (シニリトルジャパン)
非会員 鈴木 茂 (井之上事務所) 正会員 佐藤 和幸 (東京ガス)

Yuki NAKAGAWA *¹ Toshiaki OMORI *¹ Ryuichi TOMINAGA *¹ Mitsuharu OONO*² Toshiaki OH*³ Hiroshi
NARITA*⁴ Yoshiki ITO*⁵ Shigeru SUZUKI*⁶ Kazuyuki SATO *¹

*¹ Tokyo Gas Co.,Ltd. *² HIDAY Co.,Ltd. *³ Kansai University of International Studies

*⁴ NRT SYSTEM Co.,Ltd. *⁵ Cini-Little Japan, Inc. *⁶ Inoue Office

Modern kitchens have been expected to become more comfortable to cook with less energy consumption. However, airflows from various supply openings tend to be easily interacted and mixing each other, so that the kitchen could result in uncomfortable and inefficient energy use. In this paper, coupled simulation of convection and radiation has been conducted to estimate thermal environment in a kitchen of Chinese food restaurant. The thermal environment in the kitchen will be improved by adjusting the distribution of ventilation rate to match the heat inputs and the characteristics of the exhaust flow of each gas appliance.

1. 諸言

業務用用途に使用される厨房は、千差万別であり設備のグレードも様々である。これらの厨房に共通する基本的な設備は、調理用熱機器、調理排気・燃焼ガスの排気装置、外気導入装置及び空調設備である。調理人にとって快適で、かつエネルギー消費量の少ない厨房を実現するためには、これらの設備が合理的に配置され、かつ適切に運転されることが必要不可欠である。しかし、厨房に流入・流出する空気の流れを合理的に制御することは至難の業であり、現場的な対応は極めて難しい。このような複雑な空気の流動を伴う厨房の合理的な設計手法として、CFD の利用が有用である。厨房に流入する空気がどのように混合して排出されるかを現場測定によって調べることは極めて困難であるが、CFD を利用することで給気口や排気口ごとに、流入・流出する空気の混合状況を詳細に分析することができる。

伊藤らは、調理施設の環境改善に結び付けることを目的として、中華チェーン店において調理作業と温熱環境を測定し分析している⁽¹⁾。本報では、この中華チェーン店の厨房を対象として、対流・放射連成シミュレーションにより温熱環境を予測して測定結果と比較する。さらに、厨房に設置されたフードの排気量バランスを調整す

ることにより厨房の総排気量を増やすことなく厨房の温熱環境を改善する方法を検討し、解析によって効果を確認する。

2. 解析方法

2.1 解析モデルと解析ツール

流体解析では Lien et al.⁽²⁾ の低レイノルズ型 $k-\epsilon$ 乱流モデルを用い、メッシュが粗いところは高レイノルズ数型 $k-\epsilon$ モデルに自動的に切り替わる Hybrid 機能を使用した。計算アルゴリズムは SIMPLE 法、差分スキームは一次精度風上差分を用いた。放射解析は Monte-Carlo 法によって形態係数を算出し、対称化演算によって精度を向上させた⁽³⁾。

2.2 解析対象厨房モデル

図1に解析対象とする中華チェーン店の概要を示す。本研究では厨房に焦点を当てているが、客室との間で自由に空気が行き来することを考慮し、客席を含めた店舗全体を解析対象とした。厨房は空調・換気機器、厨房機器ともにできるだけ実際に近い形状とし、客席は空調・換気機器以外を省略した形状とした。

図2にフード・給気口・排気口位置を示す。厨房では、給気口 OA-1~OA-4 から外気が給気され、排気口 EF-1 から外部に排出される。SA-1~SA-4 はエアコン AC-1 の吹

出口、RA-1 は吸込口であり吹出流量(SA-1~SA-4 の合計)と同じ流量が吸い込まれる。客室については、EF-2~EF-4 は排気口であり、AC-2、AC-3 はエアコンで吹出口と吸込口があり、吹出流量と同じ流量が吸い込まれる。また、店舗出入口を想定した開口を設け、外気が自由に流入出する。解析メッシュは空間セルが約 420,000 個、固体面メッシュ数が約 34,000 個である。放射解析では、グルーピングをおこない固体面セグメント数は約 4,500 個である。

図3に調理用ガス機器と冷蔵庫等の熱を発生させる付帯設備を示す。ガス機器である中華レンジ、スープウォーマ、ゆで麺機がそれぞれ2台、電気機器である餃子焼き器、餃子蒸し器、電気フライヤー、コールドテーブルが配置され、それらの上方にはこれらの排気を捕集するフード FU-1 が設置されている。また、ガス機器である炊飯器と食器洗浄機、電気機器である冷蔵庫があり、食器洗浄機の上方にはフード FU-2、炊飯器の上方にはフード FU-3 が設置されている。なお、FU-1 にはグリスフィルタが取り付けられている。グリスフィルタの形状は図4に示す通りである。

2.3 境界条件

(1) 熱機器の解析条件

表1に主な熱機器の解析条件を示す。負荷率については、ピーク時を想定し炊飯器および食器洗浄機を除いて100%とした。炊飯器および食器洗浄機については、それぞれ30%および50%とした。機器の表面温度は、負荷率100%時の測定値を与えた。中華レンジ(右)は測定時に使用していなかったため負荷率を0%と設定した。都市ガスの燃焼によって、機器から排出される排気の流れは、機器の定格消費量と負荷率、および熱効率より算出した値を用いた。燃焼で発生する水蒸気は考慮し、ゆで麺器

の水面から発生する水蒸気は無視した。

(2) 空調・排気の解析条件

表2に解析条件として用いたフードの排気量を示す。Case1は現状把握を目的として測定に基づいた排気量を設定したものである。FU-2 および FU-3 から排気量がゼロとなっているが、これは、FU-1 の近くに設置された排気ファンが少し離れた FU-2 および FU-3 にも接続されていることと、風量バランスの設定が崩れているためである。Case2~Case5は厨房の総排気量を一定とした条件下で、各フードにおける排気量バランスを調整することで厨房の温熱環境の改善を図ることを目的とする。Case2はFU-1について、排気量が大きい機器の直上にある1Lの排気量が大きくなるよう1L、1Mおよび1Rの排気量に傾斜を設けている。Case3はFU-2の排気量として、直下にある食器洗浄機用として40KQを与えると同時に、総排気量が一定になるようFU-1の排気量をその分だけ少なくしている。Case4はFU-3の排気量として、直下にある炊飯器用として40KQを与えると同時に、FU-1の排気量を少なくしている。Case5はCase2、Case3およびCase4を組み合わせ、FU-2、FU-3についてそれぞれ直下の機器用として40KQの排気量を与えると同時に、FU-1の排気量を減少させている。さらに、FU-1の排気量についてはCase2と同じ傾斜配分としている。なお、給気はオールフレッシュとして、給気口OA-1~OA-4からは25℃、相対湿度50%の空気が速度0.22m/sで下方に吹き出す。また、エアコンの設定温度はAC-1は20℃、AC-2、AC-3は15℃とした。

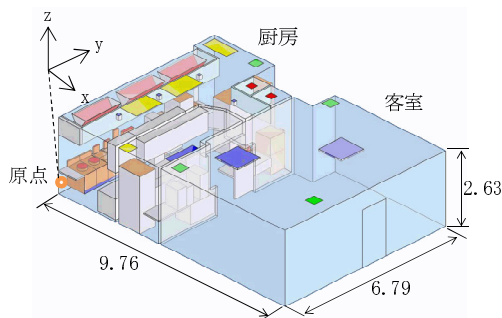


図1 解析対象モデルの概要 [m]

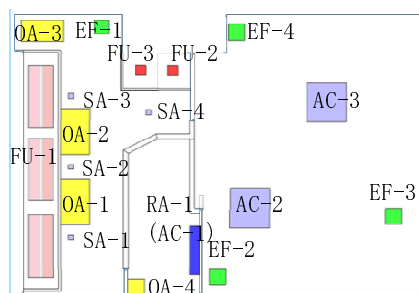


図2 フード・給気口・排気口位置

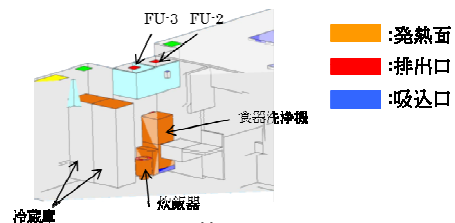
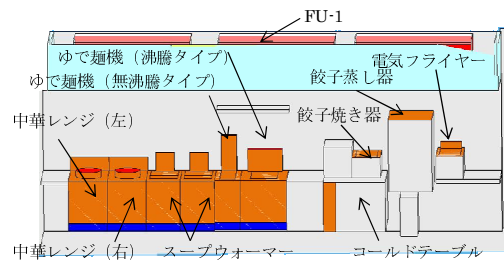


図3 熱機器の配置

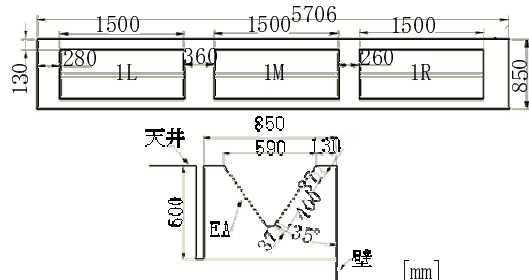


図4 フードの構造 [mm]

表1 熱機器の解析条件

調理機器	ガス定格消費量[kW]	負荷率 [%]
ゆで麺機 (沸騰タイプ)	18.0	100
ゆで麺機 (無沸騰タイプ)	9.3	100
スープウォーマ	3.3	100
中華レンジ (左)	29.1	100
炊飯器	8.4	30
食器洗浄機	18.6	50

表2 フードの排気量 [m³/h]

排気位置	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	
FU-1	1L	1283	2103	1808	1866	1816
	1M	1283	873	1166	1225	754
	1R	1283	873	1166	1225	754
FU-2	0	0	700	0	700	
FU-3	0	0	0	350	350	
合計	7698	7698	7698	7698	7698	

3. 解析結果と考察

3.1 固体表面温度分布と MRT (平均放射温度)

図5にCase1の固体表面温度分布を示す。これより、熱機器近傍の温度が高いことが分かる。調理人が主に作業する調理器具手前30cmに着目し、MRTの分布を図6に示す。z=0-1.9mの範囲ではMRTが29℃~43℃であり、中華レンジおよびスープウォーマ近傍で高いことが分かる。

3.2 空気温度分布

図7に空気温度分布を示す。図7(a)より、ガス定格消費量が多い中華レンジ(左)の排気をFU-1が捕集しきれずあふれている様子が確認できる。また、図7(b)より炊飯器および食器洗浄機の排気がFU-2、FU-3に捕集されず、エアコンの冷気と混合している様子が確認できる。

図8に、解析値と実測値の空気温度の比較を示す。比較位置について、①はRA-1の吸込み口であり、②~⑧は図7に対応している。また、⑨は厨房内に設置された吊戸棚下(z=1.65m)に対応している。中華レンジ上、食器洗浄機上、吊戸棚下は解析値と測定値がよく一致しているが、それ以外の位置で解析値が測定値より低い。本解析は営業中の厨房を対象におこなったため、熱機器の負荷率など実際の稼働状態を十分に境界条件に反映しきれていない可能性がある。温度勾配が大きな所で比較することも解析結果と測定結果が合わない理由の一つとして挙げられる。

3.3 SET*(標準新有効温度)

図10に調理人が主に作業する調理器具手前30cmにおける標準新有効温度を示す。SET*は着衣量0.5clo、代謝量1.6met、身長1.7m、体重70kg、体表面積1.8m²として算出した。SET*は給気口SA-1~SA-3の直下を除いて、30℃程度であり、快適な作業環境とはいえない。これは、

空調用給気口と外気導入口が隣接して配置されているため、エアコンから排出される20℃の冷気と外気が混合し、十分な冷房効果を発揮していないためである。

3.4 改善効果

図11に作業エリアについて、排気量をそれぞれ調整したCase2~Case5の平均空気温度についてCase1(現状)との差をとることにより改善効果を示す。作業エリアは厨房のフード下を除く、水平高さz=0-1.9mである。Case2~Case5のすべての改善案について平均空気温度が低下している。Case3において平均空気温度は-0.54℃と最も低下している。

図7に空間断面における排気量調整前後の空気温度差を示す。(a)は、調理人が調理時に主に作業する調理器具手前30cmについて、Case2とCase1の平均空気温度差を示した結果である。FU-1の排気量に分布を与えることで、定格ガス消費量が多い中華レンジ(左)の近傍で0.3~0.5℃温度が低下している。(b)は食洗機の中央断面における、Case3とCase1の平均空気温度差である。FU-2の排気量として食洗機用の40KQを確保することで、食洗機周囲の広い範囲で1.5~2.5℃温度が低下する。(c)は炊飯器断面における、Case4とCase1の平均空気温度差である。炊飯器用の40KQを確保することで、炊飯器周囲で0.5~1.5℃温度が低下する。(d)は水平高さz=1.1mの断面における、Case5とCase1の平均空気温度差である。炊飯器および食器洗浄機近傍で空気温度が低下するものの、一部で空気温度が上昇している。この理由として、FU-2およびFU-3の排気量を増やした際に、総排気量が一定となるようFU-1の排気量を減らしたため、FU-1の直下に設置された機器からの排気捕集率が低下したことが理由の一つとして挙げられる。

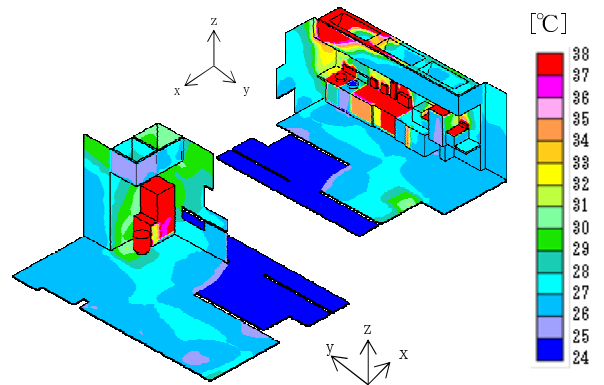


図5 固体表面温度分布

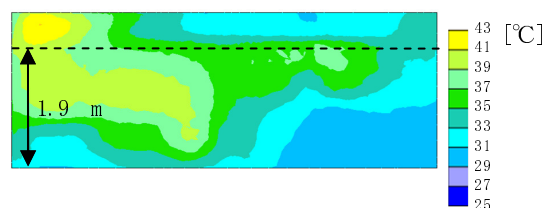


図6 MRT (x=1.05 [m])

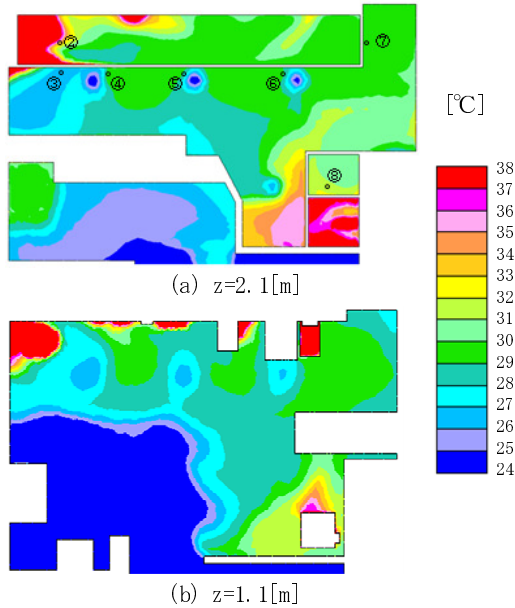


図7 空気温度分布(Case1)

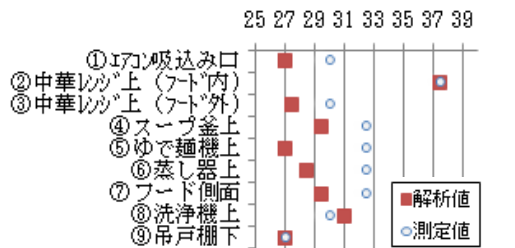


図8 解析値と実測値の空気温度の比較 [°C]

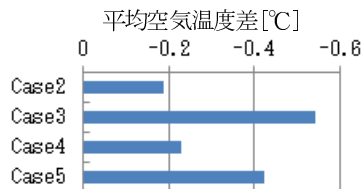


図9 排気量調整前後の平均空気温度の差分 (Case n - Case1)

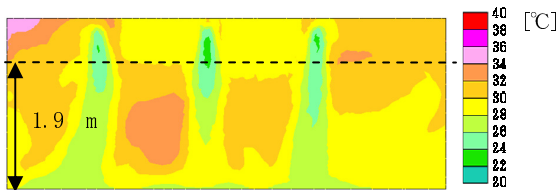
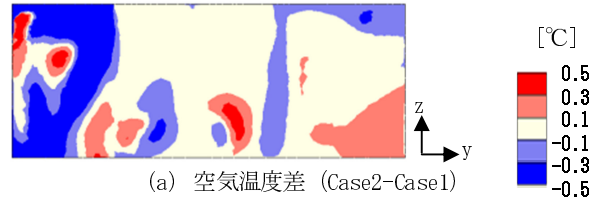


図10 SET* ($x=1.05$ [m])

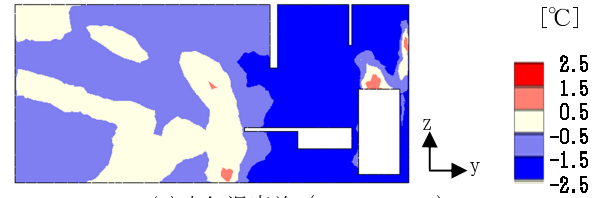
4. 結言

(1) 中華チェーン店の厨房を対象に対流・放射連成シミュレーションを行い現状の厨房の温熱環境を予測するとともに測定結果と比較した。

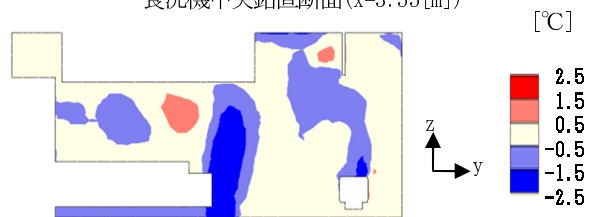
(2) ガス定格消費量が多い中華レンジ用の排気量を増やし、排気量がゼロであった食器洗浄機用の排気量40KQを確保したうえで、燃焼量が比較的小さい他の熱機器の排気量を減少するように排気量を調整することにより作業エリアの平均空気温度が低下し、作業環境が改善



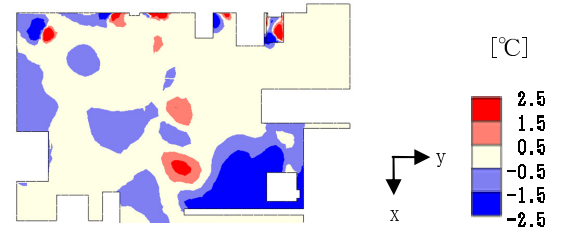
(a) 空気温度差 (Case2-Case1)
調理器具手前30cm鉛直断面 ($x=1.05$ [m])



(b) 空気温度差 (Case3-Case1)
食洗機中央鉛直断面 ($x=3.55$ [m])



(c) 空気温度差 (Case4-Case1)
炊飯器中央鉛直断面 ($x=2.70$ [m])



(d) 空気温度差 (Case5-Case1)
水平断面 ($z=1.1$ [m])

図11 排気量調整前後の空気温度差

することが確かめられた。

(3) 空調用給気口と外気導入口が隣接して配置されているため、十分な冷房効果が発揮されていないことが確かめられた。

参考文献

- 1) 伊藤他: 空気調和・衛生工学会論文集, No. 90 (2010), pp. 1443-1446
- 2) F.S. Lien, et al.: Proc. 3rd Symposium On Engineering Turbulence Modeling and Measurements, (1996), pp. 1-10
- 3) 大森他: 空気調和・衛生工学会論文集, No. 90 (2003), pp. 93-10

謝辞

本研究は「最適厨房研究会」(会長 王 利 彰 関西国際大学教授) の外食研究部会研究活動の一環として実施した。解析を実施するに当たり、メンバーの皆様から多大なご協力と貴重なご助言をいただいた。ここに感謝の意を表す。