

## 実大実験による換気・空調効率の測定

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

FULL-SCALE EXPERIMENT ON AIR-CONDITIONING  
AND VENTILATION EFFICIENCY

Study on ventilation efficiency in commercial kitchen Part 1

坂口 淳\*1, 赤林伸一\*2, 近藤靖史\*3, 川瀬貴晴\*4, 荻田俊輔\*5

Jun SAKAGUCHI, Shin-ichi AKABAYASHI, Yasushi KONDO,  
Takaharu KAWASE and Shunsuke OGITA

This paper describes the experimental study of ventilation efficiency for commercial kitchens. We investigated an air conditioning and ventilation system which has high efficiency and can maintain a comfortable environment in the working space with a minimum amount of necessary ventilation air.

The results are as follows:

- (1) In the case of outdoor air being supplied from the bottom of the hood, 60-70% of the outdoor air is exhausted by the hood.
- (2) Airflow distribution above the gas range is comparatively stable in summer and intermediate seasons, updraft above the gas range goes straight to the exhaust hood when outdoor air is supplied from the top of the gas range. In winter, updraft above the gas range is strongly effected by the outdoor air from the hood, and there is dispersion in the updraft direction.
- (3) The capture ratio of the combustion gas by the exhaust hood is over 80% in summer and intermediate seasons. The capture ratio becomes higher when the output heat from the gas range is larger.

Keywords: Distribution rate of outdoor air, Capture ratio of the combustion gas, Commercial kitchen.

外気分配率、廃気捕集率、業務用厨房

## 1. 序

業務用厨房や製鉄所、ガラス工場等の高温の廃熱がある空間では、これらの廃熱を効率良く排気し、更に作業空間の温熱・空気環境を快適に保つための換気・空調設備が必要不可欠である。燃焼器具を使用する場合には燃焼に必要な酸素を燃焼器具に供給する必要がある。そのため大量の外気を室内に供給することになり、これが夏季、冬季の温熱・空気環境に影響を及ぼし、空調効率を悪くする原因となり得る。

業務用厨房のような、大量の換気と作業空間の快適性を保つための空調が同時に混在する空間では、

- (1) 換気用の外気を空調しないで直接作業空間に吹き出せば、省エネルギーになり得るが、温熱環境は悪化する。
- (2) 換気用の外気を空調した上で厨房内に吹き出せば、作業空間の快適性は向上するが、空調負荷は増大する。

のような、外気導入による温熱環境の悪化防止と省エネルギーを両立させることが困難である。

このため、業務用厨房などの空間では、換気と空調を個々に設計するのではなく、空調機の吹出口の位置や外気取入口の位置、レンジフードの捕集率などを考慮し、総合的に設計する必要がある。

ガスレンジの給排気方式に関する研究は、主に住宅厨房を対象と

して行われている。気密性能が高い住宅では、厨房の多量の強制排気が原因となって、浴室や便所の排気口からの逆流や扉や窓の開閉困難などの換気障害が報告されている<sup>5)</sup>。このため高気密住宅では、同時給排方式厨房換気について研究がなされている。于ら<sup>6), 7)</sup>は、主に住宅用のガスレンジを対象に外気給気方法と燃焼廃ガス分配率の関係について実験を行い、フード周辺から下向きに給気した場合とガスコンロ周辺から上向きに給気した場合の二種類の方法における、レンジフードの捕集効率と空調負荷の関係を明らかにしている。千葉<sup>8), 9)</sup>らは、住宅用同時給排気型レンジフードによるレンジフードの捕集効率、短絡率について実験を行っている。この研究では、同時給排型レンジフードの捕集率を明らかとした点、給気角度と捕集率およびドラフト感の関係を明らかとした点が特徴である。

Liら<sup>10)</sup>は、CFD(Computational Fluid Dynamics: 数値流体解析)を用いて、レンジフードの捕集率評価手法について検討を行い、レンジフードの形状と捕集率の関係について明らかにしている。

業務用厨房の温熱環境に関する研究は、石黒ら<sup>11)</sup>、清田ら<sup>12), 13)</sup>によって行われている。石黒らの研究では、一般的な厨房において厨房器具(レンジ、グリラー、フライヤー)の熱効率、調理器具周

本論文の概要は日本建築学会大会学術講演会(1994年-1995年)において発表した(文献1~4)。

\*1 県立新潟女子短期大学生活科学科 講師・博士(工学)

\*2 新潟大学大学院自然科学研究科 助教授・工博

\*3 武蔵工業大学工学部建築学科 助教授・博士(工学)

\*4 ㈱日建設計 博士(工学)

\*5 東洋熱工業(株), 当時武蔵工業大学大学院生 修士(工学)

Lecturer, Dept. of Human Life and Environmental Science, Niigata Women's College, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., Dr. Eng. Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Musashi Institute of Technology, Dr. Eng.

Nikken Sekkei Ltd., Dr. Eng.

Tonetsu Corporation, Formerly Graduate Student of Musashi Institute of Technology, M. Eng.

りの温熱環境について実験を行っている。その結果、厨房器具の放射が温熱環境に大きく影響を与えていること、電化厨房器具はガス器具と比較して室内の温熱環境を維持しやすいことが論じられている。清田らの研究では、主に厨房周りの温度変化と業務用厨房の空調エネルギー消費量について実験、実測調査を行っている。

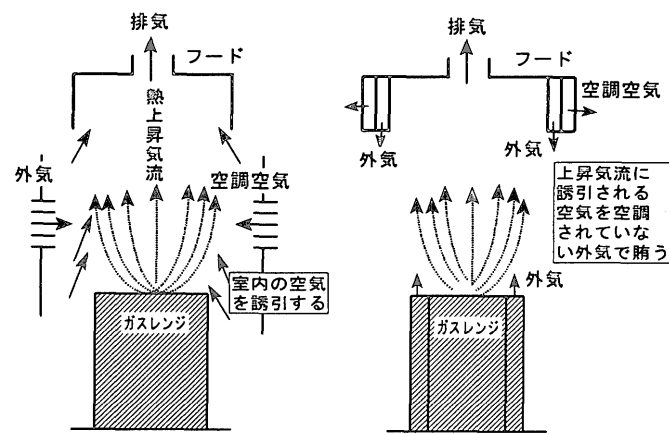
これらの既往の研究の主たる論点は、レンジフードの捕集率について言及されたものであり、レンジフードの形状やレンジフード下部の面風速、レンジの種類による捕集率の差異について検討された研究である。本論文では、これらのレンジフードの捕集率に関する研究成果を進展させ、業務用厨房を対象に、建築基準法（施行令第二十条）で規定されている有効換気量に基づく必要換気量<sup>(註1)</sup>を満足させながら空調負荷を最小限に抑え、作業空間の快適性を維持するための高効率空調・換気システムの開発を行う。本論文の特徴は、住宅と比較して発熱量や廃気風量の大きい業務用厨房を対象としている点、空調給気および外気給気の位置関係および外気給気温度を夏季、冬季、中間季の三季を想定し吹き出し温度を変化させている点、従来大空間で行っていた廃気捕集率の実験とは異なり、閉鎖された空間における外気や廃ガスの分配率で空調の評価を行っている点が、他の研究と大きく異なる点である。また、レンジ周りの気流性状を超音波風速計による測定やCFD（Computational Fluid Dynamics：数値流体解析）などの数値解析によって明らかとし、今後の厨房換気・空調方式に対する基礎的データを提供する。

本報(その1)では業務用厨房をモデル化した実大実験を行い、レンジフードまわりの気流性状および燃焼廃ガスがレンジフードまたは空調還気によって排出される量の割合（燃焼廃ガス分配率）などを測定し、想定した数種類の換気・空調システムについて換気・空調効率を検討する。

## 2. 実験概要

### 2.1 換気・空調システム

厨房用レンジ上で発生する熱上昇気流は、図1のように室内の空気を誘引しながらレンジ上で上に向かって風量が増大する。現状の厨房の換気・空調方式では、熱上昇気流に誘引される空気の大部分



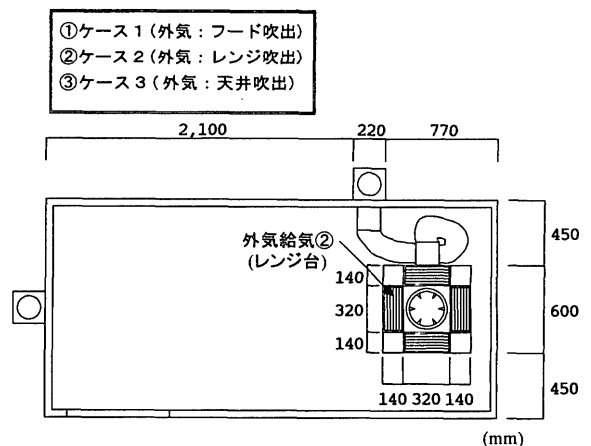
(1) 従来の換気空調システム (2) 提案する換気空調システム

図1 換気・空調システムの概要

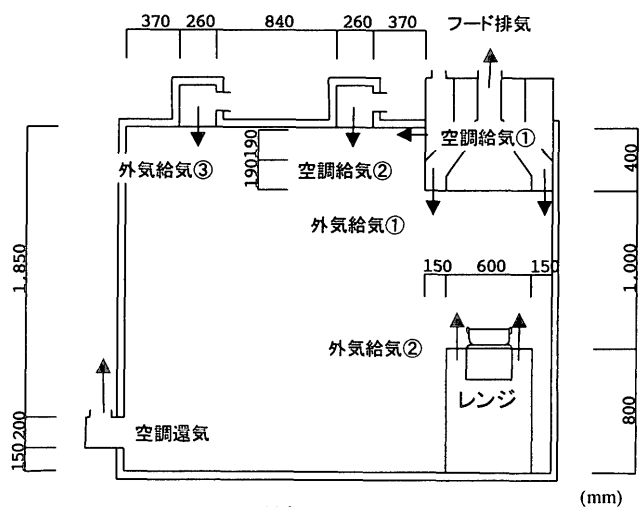
が室内空気であり、これが空調負荷を増大させる大きな原因となっている。本研究では、この点に着目し、高温の発熱体である業務用ガスレンジから発生する熱上昇気流に誘引される空気を、空調されていない換気用の外気で賄えるような給気方式を提案し、空調負荷の低減を考慮したシステムを開発する。更に熱上昇気流が生じるレンジ上の空間と作業空間を別の空調領域と区別することにより熱・空気の相互交換を少なくし、作業空間の温熱快適性の確保を可能とするシステムを検討する。

### 2.2 対象厨房モデル

実大実験の対象空間は、厨房の一部を切り取った空間を想定し、図2に示す奥行き3.0m、幅1.5m、高さ2.2mの気密に作られた実験用チャンパで行う。チャンパ内部にはガスレンジおよびレンジフードを設置し、業務用厨房をモデル化する。内壁は艶消し黒仕上げ、外壁は断熱材（押し出し発砲ポリスチレンフォーム50mm）で断熱し、チャンパ内外の熱の授受を極力少なくする。レンジには最大発熱量約14.0kW(12000kcal/h)の業務用ガスレンジを使用し、直径28cmのJIS標準鍋(ふた無し)を載せ、水を沸騰させながら実験を行う。空調給気および外気給気は温度制御が可能であり、夏季、冬季、中間季の外気温を想定して実験を行うことが可能である。



(1) 対象厨房の平面図



(2) 対象厨房の断面図

図2 対象厨房の平面図と断面図

2.3 実験条件

実験条件を表1、実験ケースの概念図を図3に示す。外気の給気は天井から行う従来の方式、フードから下向きに行う場合、レンジ台から上向きに行う場合の3種類とする。空調空気は天井から行う場合、フード側面から行う場合の2種類とする。レンジの位置は対象厨房モデル内壁際に設置する。外気、空調空気は-5℃のブラインと電気ヒーターにより、温度コントロールを行い、夏季では外気給気温度を30℃、空調給気温度を15℃、冬季では外気給気温度を5℃、空調給気温度を30℃、中間季では外気給気温度、空調給気温度を共に20℃に制御する。給排気風量は全て400m<sup>3</sup>/h(注2)の場合で行った実験結果を本報では示す。レンジ発熱量は2.32kW(2,000kcal/h)から14.0kW(12,000kcal/h)まで1.16kW(1,000kcal/h)毎に変化させて実験を行う。

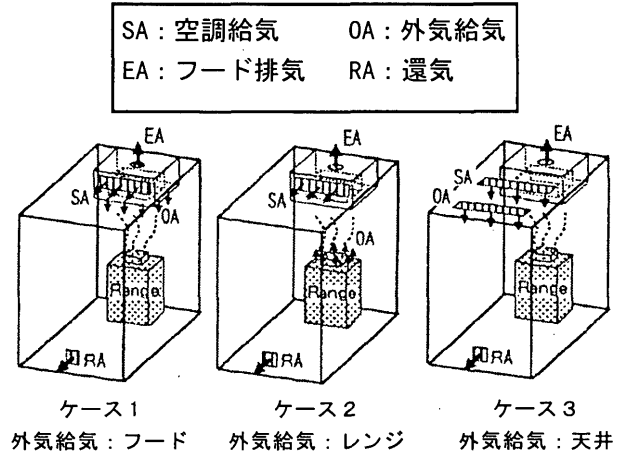


図3 実験ケースの概念図

表1 実験条件

実験ケース	吹出位置		給気温度		風量				季節
	外気	空調空気	外気	空調空気	外気	空調空気	フード排気	還気	
1-S	フード	フード	30℃	15℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	夏季
1-W			5℃	30℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	冬季
1-I			20℃	20℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	中間季
2-S	レンジ	フード	30℃	15℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	夏季
2-W			5℃	30℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	冬季
2-I			20℃	20℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	中間季
3-S	天井	天井	30℃	15℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	夏季
3-W			5℃	30℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	冬季
3-I			20℃	20℃	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	400m <sup>3</sup> /h	中間季

表2 分配率及び熱水分支の算出方法

(1) 外気分配率

$$Q_{R1} = Q_R \times C_{T1} \quad \dots\text{①}$$

$$Q_{R2} = Q_E \times C_{T2} \quad \dots\text{②}$$

$$D_R = Q_{R1} / (Q_{R1} + Q_{R2}) \times 100 \quad \dots\text{③}$$

$$D_E = Q_{R2} / (Q_{R1} + Q_{R2}) \times 100 \quad \dots\text{④}$$

$Q_{R1}$ : 空調排気に含まれるトレーサーガス量(m<sup>3</sup>/h)  
 $Q_R$ : 空調排気量(m<sup>3</sup>/h)  
 $C_{T1}$ : 空調排気で測定したトレーサーガス濃度(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $D_R$ : 空調排気外気分配率(%)  
 $Q_{R2}$ : フード排気に含まれるトレーサーガス量(m<sup>3</sup>/h)  
 $Q_E$ : フード排気量(m<sup>3</sup>/h)  
 $C_{T2}$ : フード排気で測定したトレーサーガス濃度(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $D_E$ : フード排気外気分配率(%)

(2) 燃焼廃ガス分配率

$$A = G \times 1.0836 \quad \dots\text{⑤}$$

$$A_R = (C_{O1} - C_O) \times Q_R \quad \dots\text{⑥}$$

$$A_E = (C_{O2} - C_O) \times Q_E \quad \dots\text{⑦}$$

$$D_{B1} = A_R / (A_R + A_E) \times 100 \quad \dots\text{⑧}$$

$$D_{B2} = A_E / (A_R + A_E) \times 100 \quad \dots\text{⑨}$$

$A$ : レンジで燃焼に伴い発生する二酸化炭素発生量(m<sup>3</sup>/h)  
 $G$ : ガスレンジに供給する燃焼ガスの量(m<sup>3</sup>/h)  
 $1.0836$ : 燃焼ガス1m<sup>3</sup>あたりの二酸化炭素発生量  
 $A_R$ : 空調排気に含まれる二酸化炭素量(m<sup>3</sup>/h)  
 $C_{O1}$ : 空調排気で測定した二酸化炭素濃度(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $C_O$ : 外気の二酸化炭素濃度(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $A_E$ : フード排気に含まれる二酸化炭素量(m<sup>3</sup>/h)  
 $C_{O2}$ : フード排気で測定した二酸化炭素濃度(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $D_{B1}$ : 空調排気燃焼廃ガス分配率(%)  
 $D_{B2}$ : フード排気燃焼廃ガス分配率(%)

(3) 熱量収支

$$I_s = (694 + 0.51 \times t) \times q \times \rho \times W \quad \dots\text{⑩}$$

$$I_A = 0.28 \times t \times q \times \rho \times (1.0 - W) \quad \dots\text{⑪}$$

$$S_b = I_{Sin} - I_{Sout} \quad \dots\text{⑫}$$

$$A_b = I_{Ain} - I_{Aout} \quad \dots\text{⑬}$$

$$O_b = K - S_b - A_b \quad \dots\text{⑭}$$

$I_s$ : 潜熱(W)  
 $t$ : 温度(℃)  
 $q$ : 風量(m<sup>3</sup>/h)  
 $\rho$ : 空気密度(kg/m<sup>3</sup>)  
 $w$ : 絶対湿度(kg/kgDA)  
 $I_A$ : 顕熱(W)  
 $K$ : 発熱量(W)  
 $S_b$ : 潜熱収支(W)  $I_{Sin}$ : 流入潜熱(W)  $I_{Sout}$ : 流出潜熱(W)  
 $A_b$ : 顕熱収支(W)  $I_{Ain}$ : 流入顕熱(W)  $I_{Aout}$ : 流出顕熱(W)  
 $O_b$ : その他の熱(W)

(4) 水分収支

$$W_i = O_w + S_w + E_v + G_w \quad \dots\text{⑮}$$

$$W_o = R_w + F_w \quad \dots\text{⑯}$$

$$W_a = W_i - W_o \quad \dots\text{⑰}$$

$W_i$ : 流入水分量(kg/h)  
 $O_w$ : 外気給気水蒸気量(kg/h)  
 $S_w$ : 空調給気水蒸気量(kg/h)  
 $E_v$ : 蒸発量(kg/h)  
 $G_w$ : 発湿度(燃焼廃ガスに含まれる水分)(kg/h)  
 $W_o$ : 流出水分量(kg/h)  
 $R_w$ : 空調還気水蒸気量(kg/h)  
 $F_w$ : フード排気水蒸気量(kg/h)

## 2.4 実験方法

### (1) 給排気風量

中心風速と風量の関係をあらかじめオフィスで校正した風量測定用ダクトを給排気ダクトに接続して測定する。給排気風量は軸流ファン(最大約2000m<sup>3</sup>/h)をインバータ制御して設定する。

### (2) 給気された外気の分配率の測定

空調効率および換気効率を評価するために、外気にトレーサガス(エチレン)を注入し、定常状態における空調排気とフード排気の濃度を測定する。空調排気とフード排気のトレーサガス濃度からチャンバ内に供給された外気が空調排気やフード排気から排気される割合(外気分配率)を算出する。算出方法を表2に示す。また、実験時に給排気温湿度を測定し、熱収支および水分収支を算出し(表2)、実験の精度を確認する。

### (3) 燃焼廃ガス分配率の測定

ガス燃焼の際に発生するCO<sub>2</sub>をトレーサガスとし、フードからの排気と空調排気のCO<sub>2</sub>濃度を測定し、燃焼廃ガスがフードおよび空調排気から排出される割合(燃焼廃ガス分配率)を算出する。算出方法を表2に示す。

### (4) 温度分布

厨房モデル内の温熱環境を評価するために、厨房モデル内の室内、レンジ上の温度を測定する。室内は10cm間隔、レンジ上は5cm間隔毎にレンジ中央部を通る断面の温度分布を測定する。測定にはT型熱電対を用いる。温度の測定間隔は1分ごとにデータロガーによって行い、実験開始後、室内の温度は安定するまでモニタリングし、定常状態の10分間のデータを解析に使用する。

### (5) 風速分布

対象厨房モデル内の気流性状を把握するために、室内およびレンジ上風速分布を測定する。測定には小型超音波風速計(株式会社カインジュー:WA390型)を用い、三次元の風速成分を測定する。データは200ms毎にAD変換器によって超音波風速計の出力を収集し、1分間の平均値を解析に用いる。室内は10cm間隔、レンジ上は5cm間隔でレンジ中央部を通る断面の風速分布を測定する。

## 3. 実験結果と考察

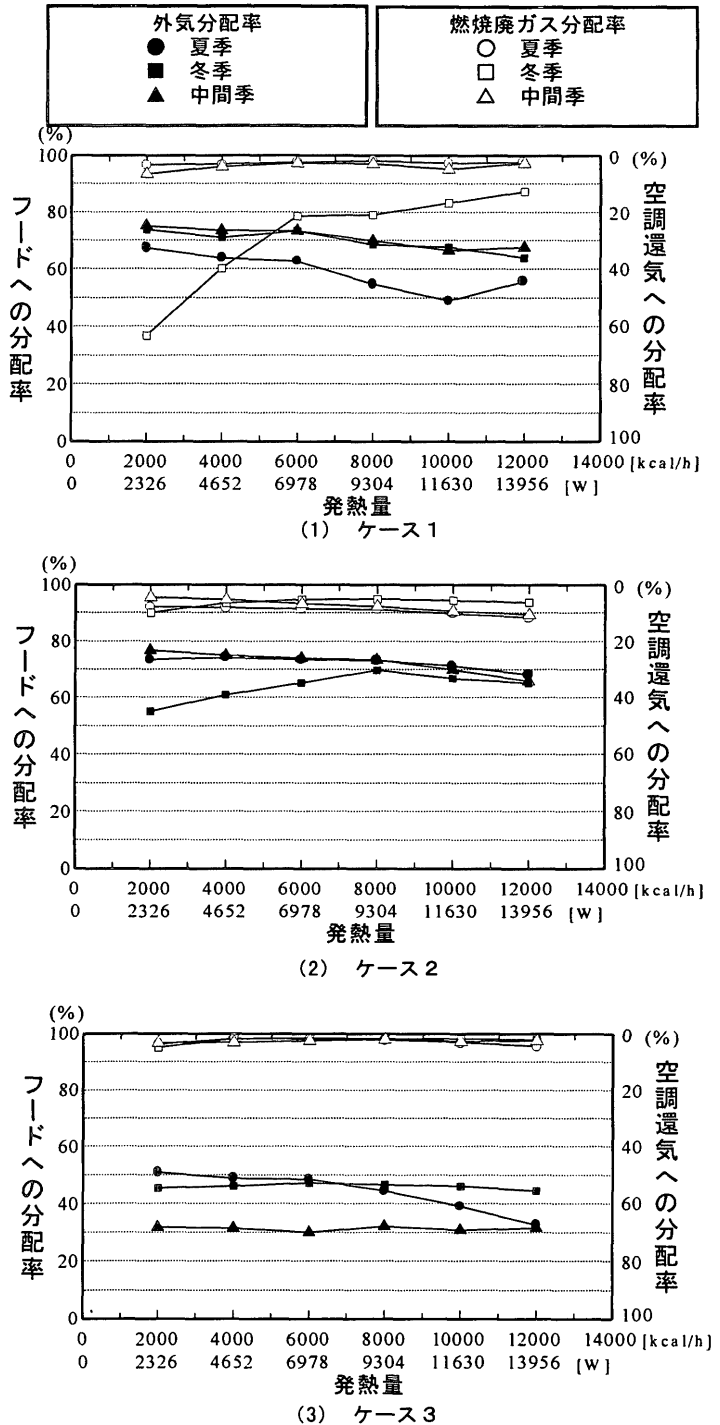
### 3.1 熱量、水分収支

ガスレンジを壁際に設置した場合のレンジ発熱量6.98kW(6000kcal/h)の時の熱量収支および水分収支の算出結果を表3に示す。熱量収支から若干の熱量が、周壁や天井から貫流熱等により対象厨房モデルから流出していると考えられる。しかし、その値は

表3 熱収支、水分収支の測定結果

実験 No.	熱収支 [KW]			水分収支 [kg/h]		
	流入	流出	収支	流入	流出	収支
1-S	16.31	15.13	1.18	8.235	8.928	-0.693
1-W	18.18	15.09	3.09	10.659	10.557	0.102
1-I	15.71	14.96	0.75	8.346	9.032	-0.686
2-S	16.81	15.80	1.01	8.556	8.022	0.534
2-W	17.50	16.49	1.01	10.341	9.823	0.518
2-I	15.79	15.34	0.45	8.320	8.205	0.115
3-S	17.19	15.88	1.31	8.799	9.137	-0.338
3-W	16.72	14.20	2.52	9.376	9.410	-0.034
3-I	16.62	15.77	0.85	9.130	9.334	-0.204

全熱量の10%程度であり、最も条件の悪い場合でも17%以下であった。水分収支のずれは、流入量、流出量の10%程度に収まっており、ほぼ妥当な精度の測定である。



[グラフの読み方]  
 チャンバー内の出口は、フードと空調還気しかないで、外気及び燃焼廃ガスは必ずどちらかで一方で排出される。このためフードへの分配率と空調還気への分配率の合計は100%になる。グラフは、左軸にフードへの外気分配率及び燃焼廃ガス分配率をとり、右軸に空調還気へのそれぞれの分配率をとる。

図4 発熱量と外気分配率、燃焼廃ガス分配率の関係

### 3.2 外気分配率、燃焼廃ガス分配率

外気分配率及び燃焼廃ガス分配率の実験結果を図4に示す。

#### (1) ケース1：外気給気フード下端、空調給気フード側面(図4)

図4(1)より冬季、中間季において、6~8割の外気がフードから排気されることがわかる。発熱量の増加に伴いフードから排気される外気の割合が減少する傾向がある。夏季では約5~7割がフードから排気されるが、発熱量が11.6kW(10000kcal/h)の時にはフードから排気される外気と空調還気口から排気される外気の量が逆転し、空調還気口から排気される割合が多くなる。

夏季、中間季ではレンジ上で発生した燃焼廃ガスの9割以上がフードから排気されることがわかる。冬季では発熱量の増加に伴いフードから排気される割合が変化し、3~9割の範囲となる。これは冬季の場合、フードから吹き出される下向きの外気が低温であるため、夏季、中間季と比較して下向きの風速が増加しレンジ上の上昇気流に影響を与えるためと考えられる(後述)。

#### (2) ケース2：外気給気レンジ上端、空調給気フード側面(図4)

図4(2)より、夏季、中間季では外気の6~8割がフードから排気され、発熱量が増加すると共に外気分配率は低下する。冬季では、夏季、中間季と比較してフードから排気される外気の割合は少なくなり、最高でも約7割となる。発熱量が9.30kW(8000kcal/h)以下では、発熱量が増加するにつれてフードから排気される外気の量が増加するが、9.30kW(8000kcal/h)以上になると発熱量が増加するにつれてフードから排気される外気の量が減少する。これは発熱量が増加すると相対的にレンジ上部の温度が上昇し、レンジ上端から供給される外気(5℃)と温度差が大きくなるため、供給した外気がレンジ台上部から下部へ流れるためであると考えられる。

燃焼廃ガス分配率はどの実験条件においても約9割以上がフードから排気される。

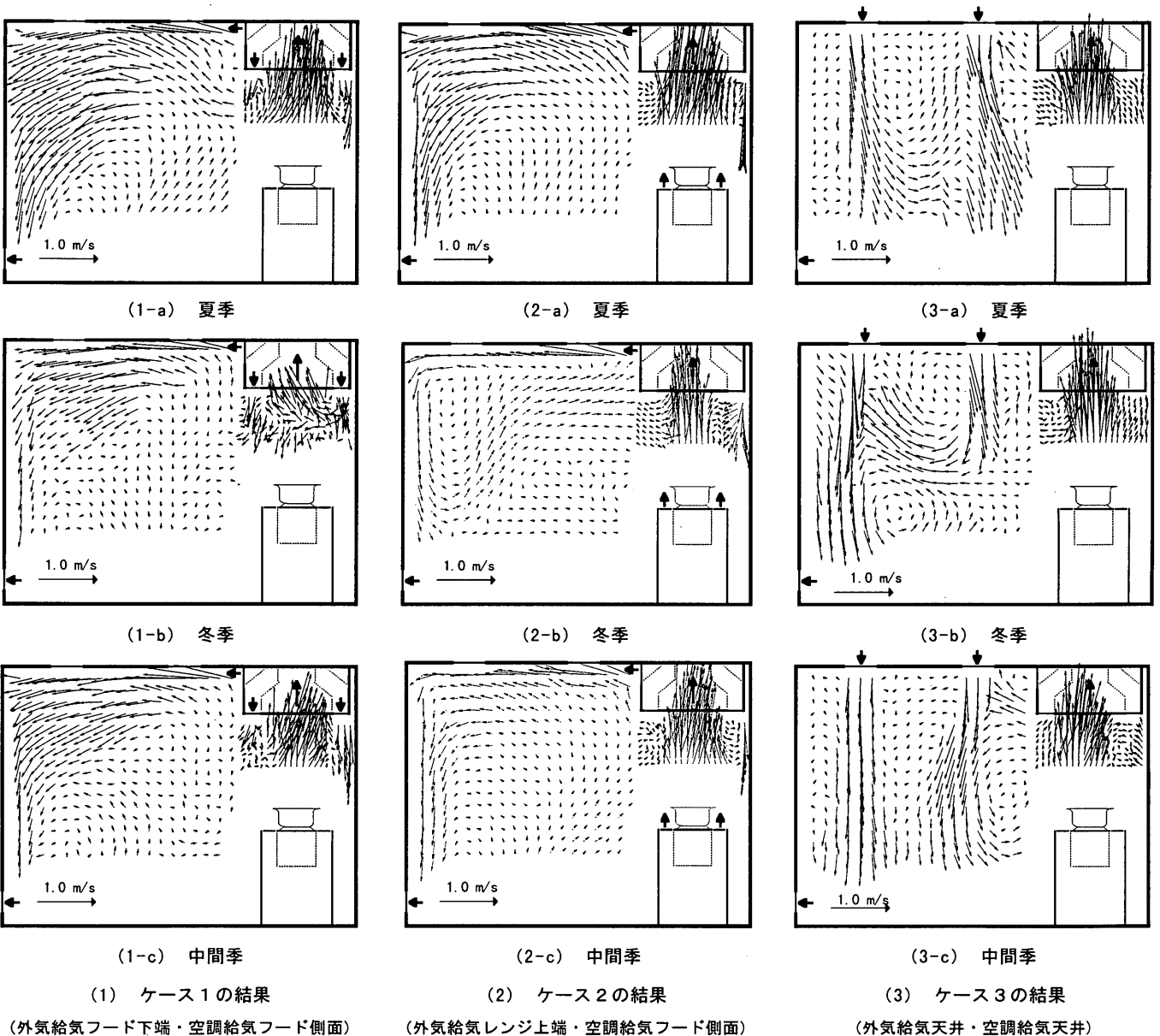


図5 室内風速分布の測定結果

(3) ケース 3 : 外気給気天井、空調給気天井 (図 4)

図 4 (3) より、中間季では、外気の約 3 割程度がフードから排気され、外気分配率は最も低い値となる。夏季では 3~5 割、冬季では 4~5 割がフードから排気され、外気を天井から吹き出す全ての実験において、還気口から排気される外気量がフードから排気される外気量を上回る。冬季、中間季では外気分配率が発熱量に関わらずほぼ一定値を示すが、夏季においては発熱量の増加に伴いフードから排気される割合が減少する。

燃焼廃ガス分配率は、全ての実験条件において 9 割以上の燃焼廃ガスがフードから排気される。

3.3 風速分布

室内の風速分布を図 5 に示す。

(1) ケース 1 : 外気給気フード下端、空調給気フード側面 (図 5 (1))

図 5 (1) に示すようにレンジ上の風速分布は、夏季、中間季では風向に多少ばらつきがあるが、気流速度は中間季で約 0.5m/s、夏季で約 1.1m/s 程度でフードに向かって流れている。夏季は外気が吹き出された後にレンジ上の熱上昇気流とともに上昇する。冬季は一部がフードに向かって流れているが、全体的にはフードから排気されにくい傾向があり、気流速度は 0.5m/s 以下となる。また、レンジ上の熱上昇気流は、外気給気の影響により、かなり乱れている。室内の作業空間では中間季は室内下部半分で左回りの流れを生じる。夏季は下部に向かう気流が大きく、室内で大きな循環を形成している。冬季は吹き出された後も下部に向かう流れは顕著でない。

(2) ケース 2 : 外気給気レンジ上端、空調給気フード側面 (図 5 (2))

図 5 (2) に示すようにレンジ上はフードに向かって流れている。気流速度は、夏季、冬季、中間季ともに約 1.2m/s 程度である。また外気をフードから吹き出すケース 1 と比較して、レンジ上の風速

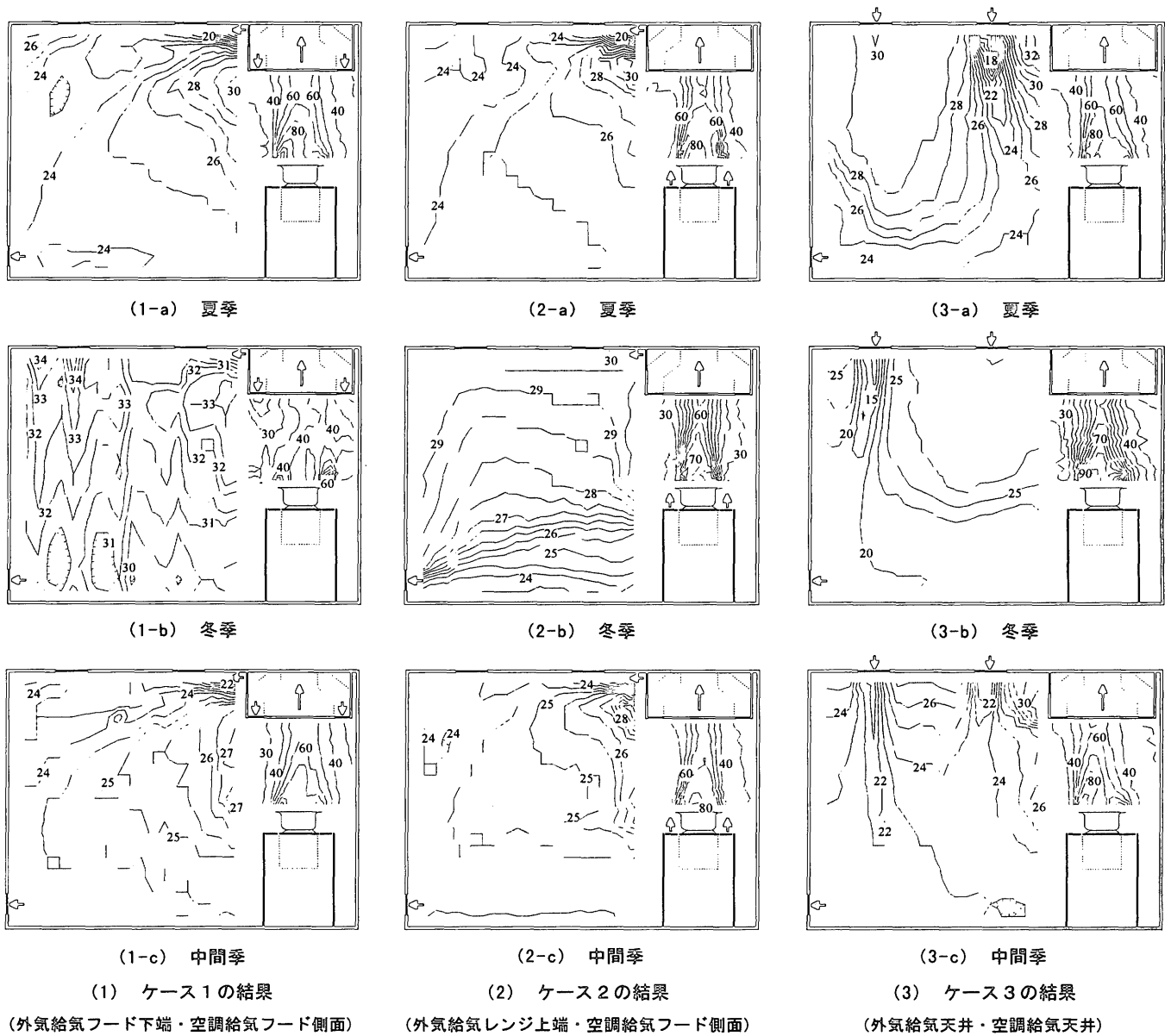


図 6 室内温度分布の測定結果

は速くなる。室内の作業空間では、中間季において室内下部の領域でケース1と異なる風速分布となる。一方、夏季はケース1と同様な流れを形成している。冬季では壁を沿って流れる気流の内側に逆向きの気流が生じている。

### (3) ケース3：外気給気天井、空調給気天井（図5(3)）

図5(3)に示すようにレンジ上の気流分布は夏季、冬季、中間季ともに同様な分布で、気流速度は約1.0m/s程度でフードに向かっていく。室内の作業領域は中間季ではフード下部から溢れた熱上昇気流が、空調給気と混合し、レンジ台との間を循環する。夏季では外気給気、冬季では空調空気が下降流を形成し、夏季では空調空気、冬季では外気給気と衝突する気流分布を形成する。

## 3.4 温度分布

レンジ発熱量が6.98KW(6,000kcal/h)の場合の温度分布の測定結果を図6に示す。

### (1) ケース1：外気給気フード下端、空調給気フード側面（図6(1)）

図6(1)に示すようにレンジ上の温度は、夏季、中間季ではフードに向かって空気が誘引されている傾向を示し、レンジ中央部から外側へ温度が下がる温度分布を示す。中間季と比較して夏季の方が60～80℃の範囲が広く分布している。冬季は20～40℃の範囲が広く分布する。室内の作業空間では、夏季、中間季では24～25℃の範囲が部屋の半分程度を占める。冬季では、作業室内が高温となっている。これは燃焼廃ガスのフードでの捕集率が79%と低い値であり、高温の燃焼廃ガスにより室内が高くなっているのが原因である。

### (2) ケース2：外気給気レンジ上端、空調給気フード側面（図6(2)）

図6(2)に示すようにレンジ上の温度分布は、夏季、冬季、中間季ともにフードに向かって帯状の温度分布を形成している。外気をフード下端から吹き出すケース1よりも40℃以上の分布が小さい。室内の温度分布は、中間季では24～25℃が大半を占め、夏季では空調空気が下降し温度分布を形成している。冬季では温度成層を形成し、空調空気が下部に到達せず、上下間で約6℃程度温度差がある。

### (3) ケース3：外気給気天井、空調給気天井（図6(3)）

図6(3)に示すように夏季では厨房室内は24～30℃になり、他のケースに比べて室温が高い。これは高温の外気(30℃)の影響が他のケースに比べて大きく現れているためであると考えられる。また、冬季については他のケースに比べて室温が低い。これは低温の外気(5℃)の影響が大きいためであると考えられる。中間季では外気および空調空気は吹出温度が同温であるが、レンジに近い空調空気は吹出直後にレンジの影響を受けて温度が上昇する。

## 4. 結論

業務用厨房内の換気効率・空調効率を検討するために、厨房の一部をモデル化し、実大実験を行った。本報では、換気効率・空調効率の向上を意図した換気・空調システムとして、外気給気をフード

下端から行うケース1と、外気給気をレンジ上端から行うケース2を主として検討している。また、従来の換気方式の例として、外気給気を厨房の天井から行うケース3についても実験を行い、これらの結果を夏季・冬季・中間期の3種類の温度条件で比較した。結論を以下に示す。

(1)外気給気が排気フードや空調還気口へ分配される割合を測定した。フード近傍で外気給気を行うケース1とケース2では、外気給気が排気フードに分配される割合が従来方式であるケース3より大きい。すなわち、空調されていない外気給気が厨房室内に移流・拡散する割合が小さく、スムーズに排気フードに捕集されている可能性が高い。ただし、夏季条件で厨房器具の発熱量が大きい場合については、ケース2の方がケース3よりも外気給気のフードへの分配率は低くなる傾向が見られた。

(2)燃焼廃ガスが排気フードや空調還気口へ分配される割合を測定した。各ケースとも燃焼廃ガスの90%以上が排気フードに分配される。しかし、冬季条件の場合、フード下端から外気給気を行うケース1では燃焼廃ガスがフードに分配される割合が小さくなる。これはレンジ上部の気流が乱されているためであると考えられる。

(3)夏季条件での室内温度分布は、ケース1やケース2では24～26℃であったのに対し、従来方式のケース3では25～30℃と高い。これは高温の外気給気(30℃)の影響がケース3では厨房室内で大きく現れたのに対し、ケース1やケース2では外気給気が排気フードにスムーズに捕集され、外気給気の影響が小さいことによると考えられる。一方、冬季条件では、ケース1の場合、室内が30～33℃と非常に高温になる。これはケース1では前述のとおり、燃焼廃ガスのフードへの分配率が小さく、高温の燃焼廃ガスの影響が厨房室内に大きく現れたためである。また、ケース2では低温の外気給気(5℃)が下部に滞流する傾向が見られ、厨房室内の上下で温度差が大きくなる。中間期条件では各ケースとも室内は24～26℃程度であった。

(4)夏季条件・中間期条件では、レンジ上の熱上昇流は各ケースとも排気フードにスムーズに捕集されている様子が確認できた。一方、冬季条件では、フード下端から外気給気を行うケース1については、レンジ上の熱上昇流が外気給気により乱される状況となっていた。この影響が前述の室内温度分布や燃焼廃ガスの分配率の結果に現れている。

(5)外気給気をレンジ下端、空調給気をフード側面からおこなった、ケース2が、フードへの外気分配率及びフードへの燃焼廃ガス分配率が一番高く、夏季・冬季・中間季の全ての実験条件において、室内の温度分布が概ね満足しうる環境であると考えられる。<sup>(注3)</sup>

## 謝辞

本研究を行うに当たって、憐日建設計・永瀬 修氏、東京ガス(株)・富樫幸雄氏、同・中島靖夫氏、同・吉岡朝之氏、同・松田明彦氏、同・石川登志樹氏からの多大なるご支援を頂いた。また、実験並びにデータ集計等、新潟大学大学院生・学部生の方々の多大なる御協力を得た。ここに記して謝意を表します。

## 注釈

1) 建築基準法施行令(建設省告示第1826号)では、5000kcal/h以上の燃焼量の開放式器具に対する換気量を理論廃ガス量の40倍と定められている。この値は、燃焼器具の不完全燃焼防止のための酸素濃度の下限値を20.5%と定め、外気の酸素濃度を21%として計算された値である。本論文ではレンジ発熱量が10000kcal/h(11.6kW)の時の理論廃ガス量から算出した有効換気量約400m<sup>3</sup>/hを必要換気量(外気給気量)として実験を行う。

2) 本論文では、レンジ発熱量が11.6kW(10,000kcal/h)の時の理論廃ガス量の40倍、約400m<sup>3</sup>/hを基準に実験を行う。レンジ発熱量が11.6kWよりも多い、14.0kW(12,000kcal/h)の実験も行っているが、最大発熱量で長時間使用されることは実用上少ないこと、実験を行う際の継続性等を考慮して、あえて排気風量を400m<sup>3</sup>/hに固定して実験を行った。

3) ケース1、2ともに、ケース3に比べれば良好であるが、更に工夫の余地がある。例えば、冬季の条件において、ケース1では外気給気とレンジ上の熱上昇流が衝突し、居住域にレンジからの熱気が逃げる傾向が見られ、またケース2では居住域に温度成層ができ、足元の温度が相対的に低くなる傾向がある。これは外気給気の温度を上げることにより改善できると考えられる。

## 参考文献

1) 赤林伸一ほか4名: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 実験システムの概要及び換気・空調効率の測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp725-726、1994年9月  
2) 寺沢正浩ほか4名: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2 レンジ上の温度分布及び風速分布の測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp727-728、1994年9月

3) 上村直純ほか5名: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5 室内中央にレンジを設置した場合の換気・空調効率の測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp601-602、1995年8月  
4) 川瀬貴晴ほか5名: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6 室内中央にレンジを設置した場合の温度・風速分布の測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp603-604、1995年8月  
5) 村上周三ほか3名:集合住宅の気密性能と換気設備の実測調査 その1、2、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp1095-1098、1987年10月  
6) 千瀬ほか3名:ガスレンジによる調理時の熱上昇気流のモデル化 住宅厨房におけるレンジフードの捕集効率の予測法に関する研究その1、日本建築学会計画系論文報告集、434号、pp25-34、1992年4月  
7) 千瀬ほか3名:住宅厨房の給排気設計に関する研究 ガスレンジあるいはレンジフード周辺からの局所強制給気方式、日本建築学会計画系論文報告集、445号、pp35-44、1993年3月  
8) 千葉 敏ほか4名:同時給排気型レンジフードの性能評価に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp633-634、1992年8月  
9) 千葉 敏ほか3名:同時給排気型レンジフードの性能評価に関する研究 その2 給気によるドラフト感を含む性能評価項目、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp851-852、1993年9月  
10) Yuguo Li, Angelo Delsante, Jeff Symons: Capture Efficiency of Residential Range Hoods Definitions and Calculations, 5th International Conference on Air Distribution in Rooms ROOMVENT96, pp29-36, July, 1996  
11) 石黒邦道ほか4名:業務用電化厨房における温熱・空気環境に関する実験研究 その2 レンジ、グリラー、フライヤーの電気・ガス厨房器具の温熱環境実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp869-870、1992年8月  
12) 清田誠良ほか4名:モデル厨房の環境評価に関する実験的研究 その1、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp203-206、1998年9月  
13) 清田誠良ほか6名:業務用厨房のエネルギー需要と作業環境に関する実測 中間期における測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp207-208、1997年9月

(1999年9月9日原稿受理、2000年3月8日採用決定)