業務用厨房の高効率換気・空調システムに関する研究

上村　直純

1　研究目的

厨房や工場など特に業務用厨房や製鉄所、ガラス工場等の高温廃熱空間においては、作業空間の高温発熱体からの廃熱を効率よく排気し、更に作業空間の温熱・空気環境を快適に保つための空調設備が必要不可欠である。また、燃焼器具を使用する場合には燃焼に必要な酸素を供給する必要がある。高温廃熱空間における換気では、熱・燃焼廃ガス等を排気するために必然的に大量の排気が要求されてくる。また同時に大量の外気の導入が必要となり、このことが夏季、冬季の作業空間の空気環境を悪化させ、作業空間の空調負荷を増大させる原因となっている。この大量の換気と、作業空間の快適性を保つための空調が混在する空間において、快適性及び省エネルギーに関して次の２点の課題がある。

（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、省エネルギーにはな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。

本研究では、業務用厨房を対象として上記の２点に対し、必要換気量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提案する高効率空調・換気システムに関する実大実験を行いシステムの有効性、実用性を明らかにすることを目的とする。

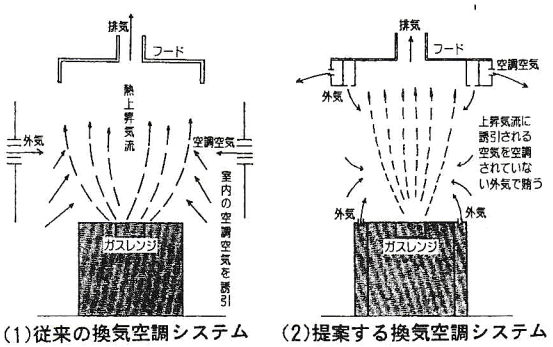


図１　換気・空調システムの概要

2　研究概要

2.1 換気・空調システム（図１）：

従来の空調・換気システムでは、レンジ上で発生する熱上昇気流に誘引される空気の大部分が空調された空気であり、これが空調負荷を増大させる原因の一つとなっている。

本研究では、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、空調負荷を低減させる。更に熱上昇気流が生じるレンジ上の空間と作業空間とをレンジ近傍で給気してやることにより熱・空気の相互交換を少なくし、空調された作業空間の快適性の確保を行えるシステムを開発する。

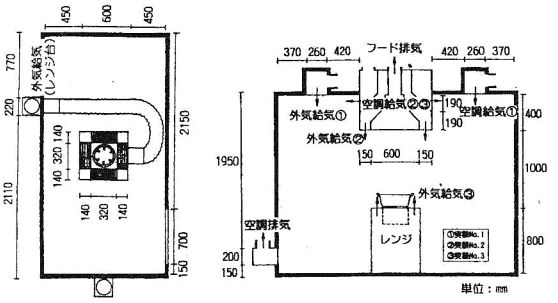


図２　対象厨房モデル（レンジ中央設置）

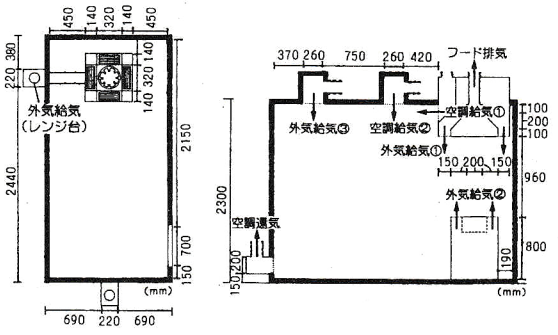


図３　対象厨房モデル（レンジ壁際設置）

2.2 対象空間（図２、図３）：

対象空間は厨房の一部を切り取った空間を想定した実験用チャンバー（内法3.0m×1.5m×2.2m）内にレンジ台とフードを設置し業務用厨房をモデル化する。レンジ台とフードの設置位置は、対象厨房モデル内の中央（アイランド方式）に設置した場合と壁際に設置した場合の２通りを設定する。壁には断熱材（発泡ポリスチレン50mm）を設置し、対象厨房モデル外との熱の授受を極力少なくする。フードは給気と排気が同時に可能なもの、レンジは給気が可能な最大発熱量12000kcal/hの業務用ガスレンジを使用する。レンジには、鍋を乗せ水を沸騰させた状態で実験を行う。給気及び排気は温度制御が可能である。

表１　実験条件（レンジ中央設置）

実験 No.	給気位置 外気	給気位置 空調空気	給気温度	風量 (m^3/h)	発熱量 (kcal/h)
1-1	フード	フード	中間季	400m^3/h	6000kcal/h
1-2			夏　季		
1-3			冬　季		
2-1	レンジ	フード	中間季		分配率は 2000, 4000, 6000, 8000 10000, 12000 kcal/h
2-2			夏　季		
2-3			冬　季		
3-1	天　井	天　井	中間季		
3-2			夏　季		
3-3			冬　季		

中間季：外気給気温度20℃、空調給気温度20℃
夏　季：外気給気温度30℃、空調給気温度15℃
冬　季：外気給気温度 5℃、空調給気温度30℃

3　ガスレンジを対象厨房モデル内中央に設置した場合の実験

3.1 実験条件（表１）：

実験は、ガスレンジを対象厨房モデル内の中央に設置した条件で行う。外気の給気位置はフードから下向き、レンジから上向き、天井（従来方式）からの３種類（図１：外気給気①②③）、空調空気の吹出位置はフード側面から、天井（従来方式）からの２種類（図１：空調給気①②）とする。また、外気、空調空気は温度制御を行い中間季（外気給気温度20℃、空調給気温度20℃）、夏季（外気給気温度30℃、空調給気温度15℃）、冬季（外気給気温度5℃、空調給気温度30℃）を再現する。給排気風量は400m^3/h、レンジ発熱量は温度分布、風速分布の測定では6000kcal/h、給気された外気や燃焼廃ガスの分配率の測定では2000～12000kcal/h（2000kcal/h毎）とする。

3.2 測定方法：

(a) **外気分配率**　空調効率と換気効率を評価するためにトレーサーガス（エチレン）を外気給気に注入し、空調排気とフード排気中のガス濃度をマルチガスモニターを用いて測定し外気分配率を算出する（注１）。

(b) **燃焼廃ガス分配率**　ガス燃焼の際に発生する二酸化炭素をトレーサーガスとして、外

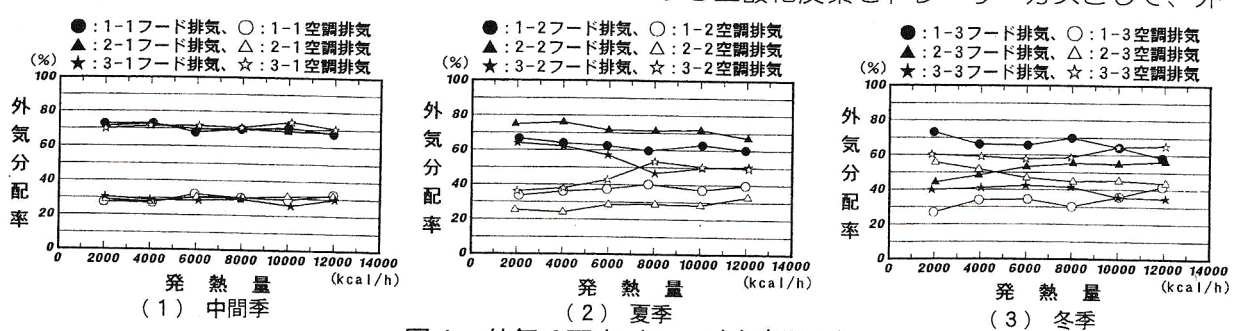


図４　外気分配率（レンジ中央設置）

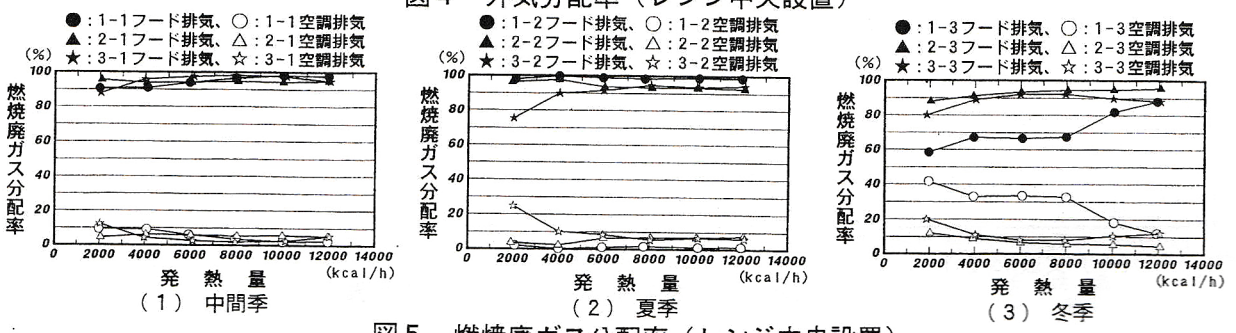


図５　燃焼廃ガス分配率（レンジ中央設置）

気分配率と同様の手順で燃焼廃ガス分配率を算出する（注２）。

（c）**室内温度分布**　対象空間中央断面の642点（室内357点、レンジ上285点、室内10cm、レンジ上5cmピッチ）の温度分布をＴ型熱電対を用いて測定する。

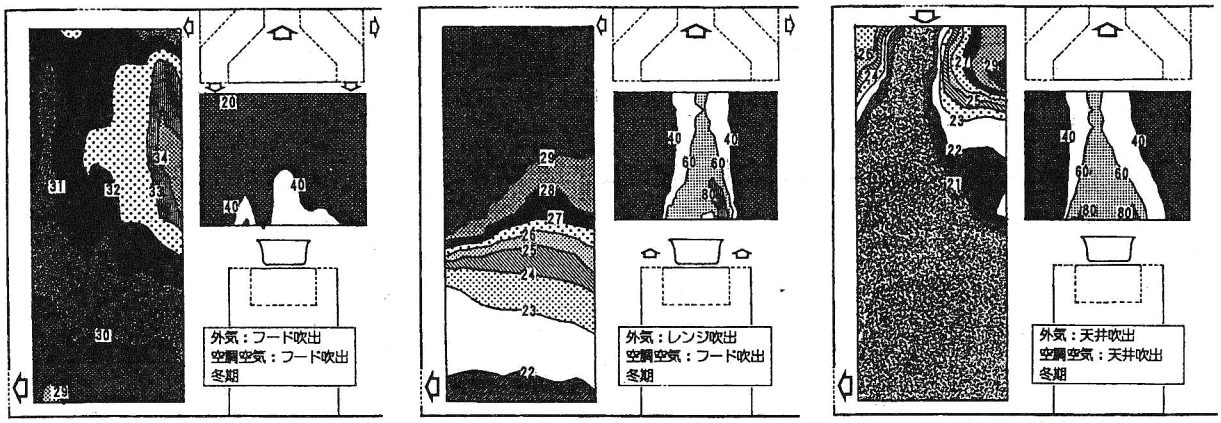
（d）**室内風速分布**　対象空間中央断面（半面）の224点（室内144点、レンジ上80点、室内10cm、レンジ上5cmピッチ）の風速分布を超音波風速計により測定する。データは１分間の平均値を用いる。

3.3 測定結果：

（a）**外気分配率（図４）**　中間季の実験No.3-1ではフードから排気される外気量と空調排気される外気量が実験No.1-1、No.2-1と逆転している。夏季では、実験No.1-2とNo.2-2では、外気の60～80%がフードから排気される。また、発熱量が高いほどフードから排気される外気量が減少する。冬季では、全体的に中間季、夏季よりもフードから排気される外気の割合が低い。特に、外気給気温度の低い実験No.2-3では40～60%となる。また、実験No.3-1,2,3ともフードから排気される外気の量が他の吹出位置に比べて少ない。

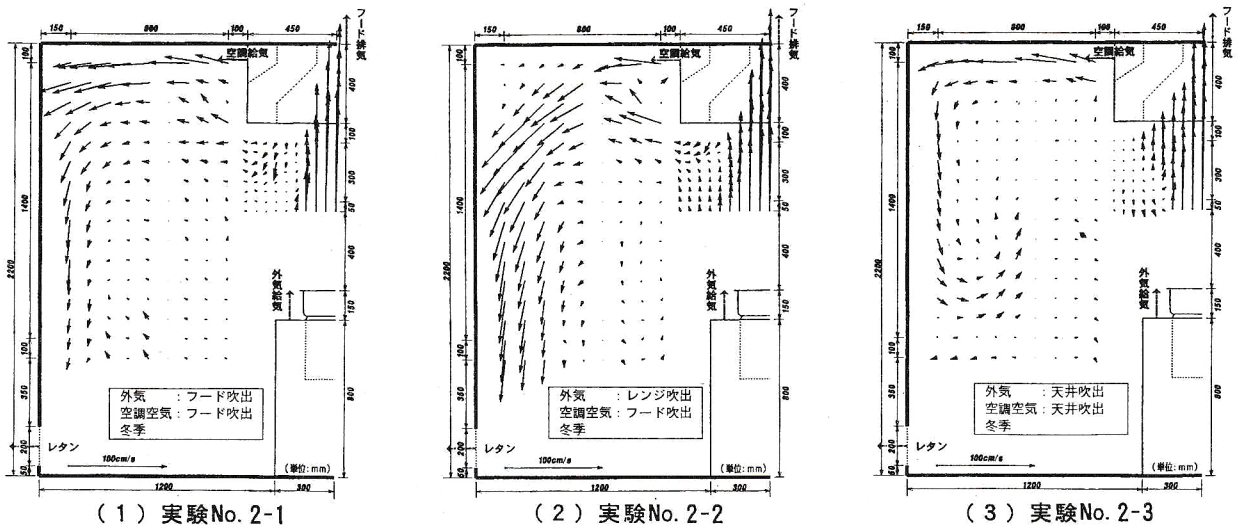
（b）**燃焼廃ガス分配率（図５）**　実験No.1-3を除き、どの実験条件でも約80%以上がフードから排気される。また、発熱量が大きいほどフードから排気される燃焼廃ガスの割合が高くなる。

（c）**室内温度分布（図６）**　冬季の実験において実験No.2-3とNo.3-3の場合では、レンジ上の温度分布はフードに向かって縦に帯状に



（１）実験No.1-3　（２）実験No.2-3　（３）実験No.3-3

図６　室内温度分布（レンジ中央設置）



（１）実験No.2-1　（２）実験No.2-2　（３）実験No.2-3

図７　室内風速分布（レンジ中央設置）

分布するが実験No.1-3では20～40℃の範囲が広がる。作業空間の温度分布は、実験No.1-3で29～34℃となりレンジ上の熱が影響を及ぼしている。実験No.2-3では、層状で22～29℃と上下間の温度差が大きい。実験No.3-3では天井から給気された外気が室内下部に停滞し足元の温度が22℃以下と低くなる。

(d) **室内風速分布（図７）**　冬季の実験において実験No.1-3、No.2-3では、外気がフード、レンジから吹き出されることにより、空調域との境界ができる。一方実験No.3-3では、レンジ上の熱上昇気流が作業空間に流れ出している。実験No.2-3のレンジ上の風速分布は乱れがなく最も安定し、フードに向かう気流速度は実験No.1-3, No.3-3と比較して1.2m/sと速くなる。また、実験No.1-3では風速分布が大きく乱れており、これは外気吹出と上昇気流が衝突するためと考えられる。作業空間では、実験No.3-3で外気給気温度が低いため外気の気流速度は速くなり室内下部に向かう。

4　ガスレンジを対象厨房モデル内壁際に設置した場合の実験

4.1 実験条件（表２）：

実験は、ガスレンジを対象厨房モデル内の壁際に設置した条件で行う。外気の給気位置はフードから下向き、レンジから上向き、天井（従来方式）からの３種類（図２：外気給気①②③）、空調空気の吹出位置はフード側面から、天井（従来方式）からの２種類（図２①②）とする。外気、空調空気の給気温度、給排気風量、レンジ発熱量はガスレンジを対象厨房モデル内中央に設置した場合と同様の条件で行う。

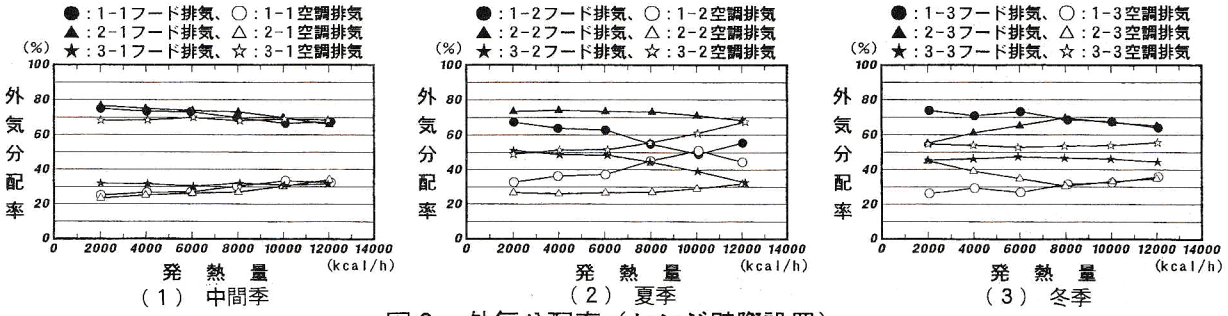
4.2 測定方法：

外気分配率、燃焼廃ガス分配率、室内温度分布、室内風速分布をガスレンジを対象厨房モデル内中央に設置した場合と同様の測定方法で行う。室内温度分布は、対象厨房モデル中央断面の684点（室内399点、レンジ上285点、室内10cm、レンジ上5cmピッチ）を測定する。室内風速分布は、対象厨房モデル中央断面の

表２　実験条件（レンジ壁際設置）

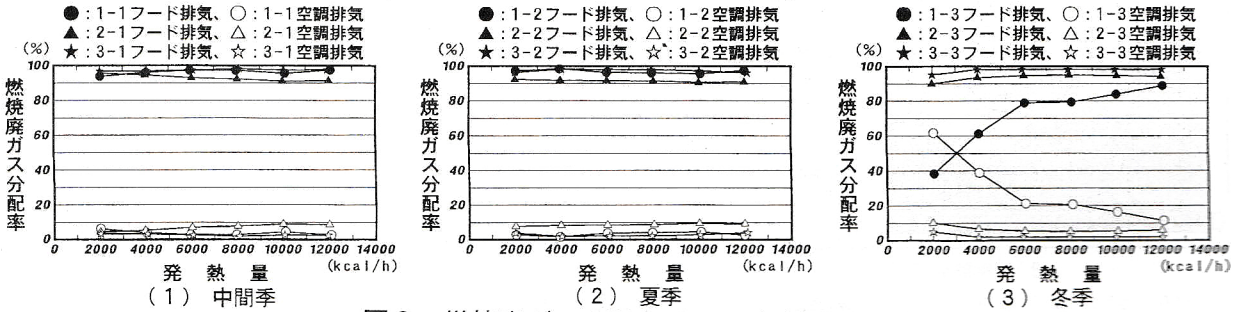
実験No.	給気位置 外気	給気位置 空調空気	給気温度	風量 (m^3/h)	発熱量 (kcal/h)
1-1	フード	フード	中間季	400m^3/h	6000kcal/h
1-2			夏　季		
1-3			冬　季		
2-1	レンジ	フード	中間季		分配率は2000, 4000, 6000, 8000 10000, 12000 kcal/h
2-2			夏　季		
2-3			冬　季		
3-1	天　井	天　井	中間季		
3-2			夏　季		
3-3			冬　季		

中間季：外気給気温度20℃、空調給気温度20℃
夏　季：外気給気温度30℃、空調給気温度15℃
冬　季：外気給気温度 5℃、空調給気温度30℃



(1) 中間季　(2) 夏季　(3) 冬季

図８　外気分配率（レンジ壁際設置）



(1) 中間季　(2) 夏季　(3) 冬季

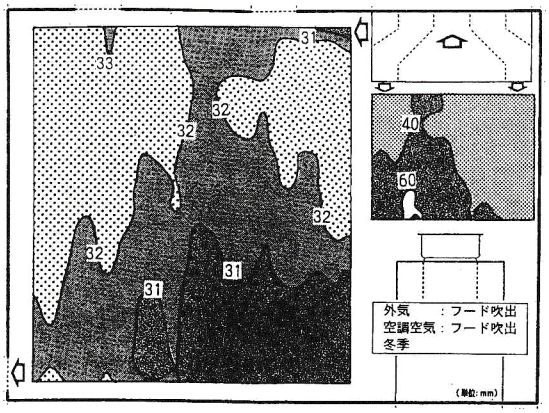
図９　燃焼廃ガス分配率（レンジ壁際設置）

444点（室内300点、レンジ上144点、室内10cm、レンジ上5cmピッチ）を測定する。

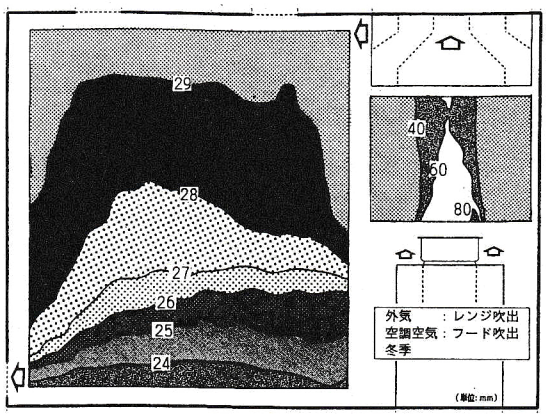
4.3 測定結果：

（a）外気分配率（図８）　中間季の実験では、実験No.1-1、No.2-1とも70%程度がフードから排気されている。しかし、実験No.3-1では30%程度となる。夏季では、実験No.2-2で70%程度がフードから排気されていて、他の場合より良好となる。冬季では、8000Kcal/hまでは、実験No.1-3が70%程度がフードから排気される。実験No.2-3は60～70%となる。実験No.3は夏季、冬季、中間季ともフードからの排気は50%以下となり、室内に外気が攪拌していると考えられる。

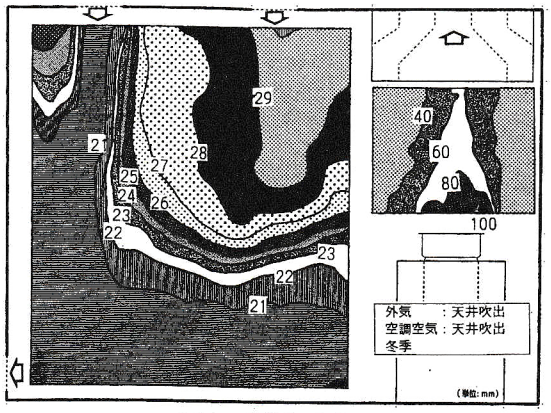
（b）燃焼廃ガス分配率（図９）　実験No.1、実験No.2、実験No.3とも中間季、夏季で90%以上がフードから排気される。冬季では実験No.2-3、No.3-3で90%以上であるのに対し、



（１）実験No.1-3

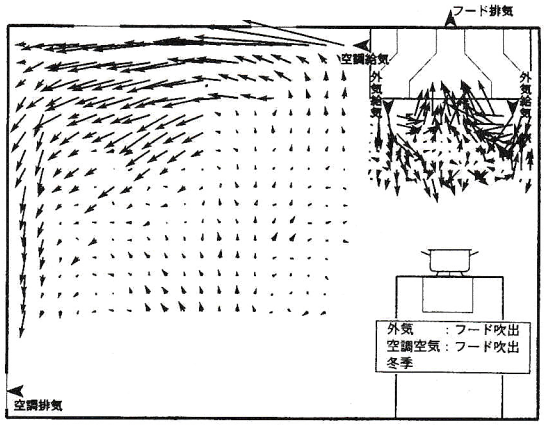


（２）実験No.2-3

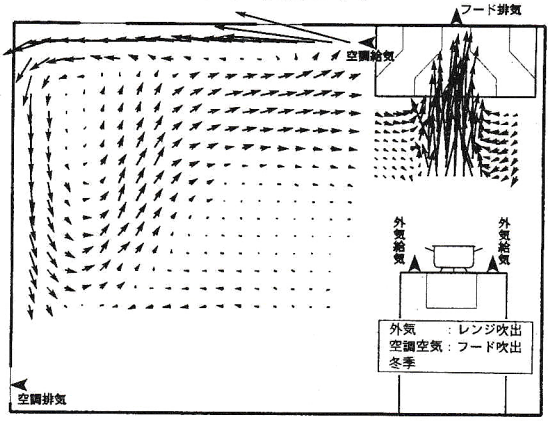


（３）実験No.3-3

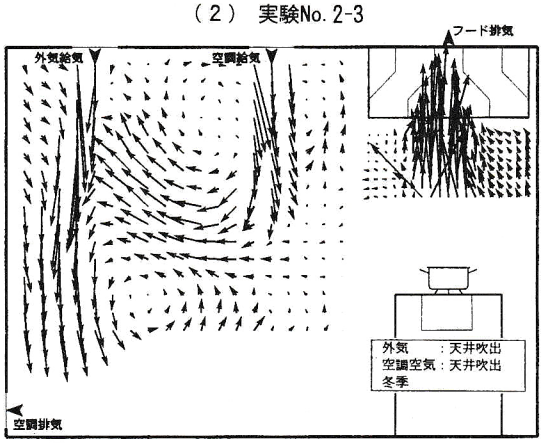
図10　室内温度分布（レンジ壁際設置）



（１）実験No.1-3



（２）実験No.2-3



（３）実験No.3-3

図11　室内風速分布（レンジ壁際設置）

実験No.1-3では、40%～90%とフードからの排気が少ない。

(c) 室内温度分布（図10）　冬季の実験においてレンジ上の温度分布は、実験No.2-3とNo.3-3でフードに向かい縦に帯状に分布する。一方実験No.1-3では、20～60℃の範囲が横に広く分布する。作業空間は実験No.1-3で、30～33℃の範囲で分布する。これは、レンジ上の熱が作業空間に影響しているためと考えられる。実験No.2-3では、24～29℃の範囲で層状に分布する。実験No.3-3では、天井から給気した外気が室内下部に停滞する。このため室内下部で21℃室内上部で29℃と上下間の温度差が大きくなる。

(d) 室内風速分布（図11、図12）　冬季の実験において、レンジ上の風速分布は実験No.2-3とNo.3-3で壁面の影響を若干受けているものの、ほぼまっすぐフードに向かう。一方実験No.1-3では、フードからの外気給気と熱上昇気流とが入り交じり、レンジ上の気流は大きく乱れる。このためフードに向かう鉛直方向の気流速度は、実験No.2-3、No.3-3で1.0m/s以上となるのに対し、実験No.1-3では0.5m/s以下と遅くなる。作業空間においては、実験No.1-3とNo.2-3で空調空気は、給気温度が高いため室内上部を横方向に流れ、その後壁面によって下方向に流れる。実験No.3-3では、空調空気は外気温度が高いため吹出後上向きの気流となり、外気は給気温度が低いため気流速度は速くなりそのまま下降する。

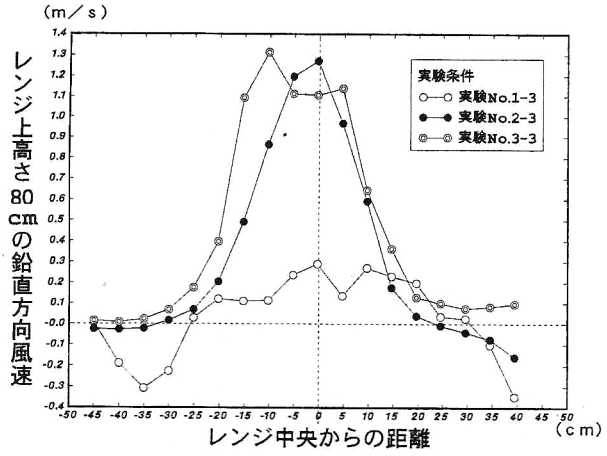


図12　レンジ上高さ80cmの鉛直方向風速

5 まとめ：

①外気をフードから下向きに給気した場合

従来方式の天井吹出の場合と比較し、給気される外気をより多くフードから排気できる。しかし、フードから下向きに外気を吹き出すことでレンジからの熱上昇気流と衝突し、レンジ上での気流に乱れを生じる。このため、フードでの燃焼廃ガスの補集量が減少し、室内の作業空間に漏出した燃焼廃ガスや、廃熱により室内の空気環境に影響を及ぼす。この傾向は、給気される外気の温度が低い冬季に顕著に現れる。

②外気をレンジから上向きに給気した場合。

レンジ上の熱上昇気流は、フードに向かってまっすぐ上昇し、乱れも少ない。このため燃焼廃ガスは、そのほとんどがフードから排気される。また外気によりレンジ上と空調域の間に境界が形成されるため、廃熱による室内の作業空間への影響も少ない。給気された外気も、従来方式である天井吹出に比べフードから多く排気される。しかし冬季に関しては、上向きに吹き出された外気が吹き出された後、下向きの気流となり室内の作業空間に漏出するため、フードからの排気の割合が低くなる。

③外気を天井から給気した場合（従来方式）

燃焼廃ガスは、熱上昇気流により良好にフードから排気されるが、同時に室内の作業空間の空気を誘引し排気している。また、レンジ上と空調された室内の作業空間との間に境界がないため、レンジで発生する廃熱は、室内の温熱環境の悪化に大きな影響を及ぼしている。

注1　外気分配率：空調排気、フード排気のC_2H_4採集量／C_2H_4の発生量×100

注2　燃焼廃ガス分配率：空調排気、フード排気の外気基準CO_2濃度／総排気外気基準CO_2濃度×100
（外気基準CO_2濃度は、供給された外気中のCO_2を考慮したものである。）

参考文献　（1）村上、赤林、他：「電気レンジとフードファンの排気に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集－1989年10月－（2）千葉、小峯、他：「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－1992年8月－
（3）赤林、近藤、他：「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、その6、その7、その8」日本建築学会大会学術講演梗概集－1995年8月－
（4）赤林、近藤、他：「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9」空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集－1995年10月－

指導教官：赤林　伸一　助教授