

業務用電化厨房における換気システムの
適正化手法に関する研究

*Study on the Suitable Technique of Ventilation System
in Commercial Electrification Kitchen*

学位取得年月（2008年3月）

熊尾 隆丈
Takahiro KUMAO

序論

1996年に発生したO-157による集団食中毒の発生を機に、食を扱う業界ではそれまで以上に安全管理の徹底を図る動きが顕著となった。これを受けて、厚生労働省は「大量調理施設衛生管理マニュアル」を策定し、衛生管理の標準手法を示した。「大量調理施設衛生管理マニュアル」はHACCP（Hazard Analysis and Critical Control Point：危害分析重要管理点）の考え方に準じて構成されており、それまで抜き取り検査が主流であった衛生管理手法から、調理の各工程における重要管理点において、どのような危害が存在しているかを記録し、分析する手法へと転換される契機となった。記録する主な項目は、調理物の温度、加熱継続時間等（T-T管理）であり、菌の繁殖を抑制、死滅させることを条件として管理される。日々の調理作業において継続的にデータの収集、分析が必要であり、問題が生じた場合には即座に発生箇所、および日時の特定が要求される。これより、電子データとして記録を蓄積することが比較的容易である電化厨房機器が注目を浴びた。併せて、電化厨房機器はデジタル制御によって出力を調整するため、火加減や加熱時間のマニュアル化が容易であり、スケジュール運転等の自動化についても適応性が高い。また、従来のシーズヒーター等を使用した機器は低出力、低熱効率が懸念されていたが、技術開発の進歩によってIH（Induction Heating：電磁誘導加熱）方式の機器が普及し、燃焼式厨房機器よりも高出力、高熱効率の機器が登場した。以上のことから、電化厨房機器は、その話題性ととも急速に普及し、現在では全電化の厨房も珍しくない。

しかし、電化厨房機器が普及する一方で、厨房内環境を制御する空調・換気設備設計は従来の燃焼式厨房に準じた手法を適用することが多く、経験や勘によって電化厨房機器の特徴を考慮した設計を部分的に採用しているのが現状である。これは、衛生管理や作業効率性の面から急速に普及した電化厨房機器に対し、厨房内の環境を保持する空調・換気設備に関する知見はほとんどなく、設計者が共通して使用できる資料の整備がなされていないためである。国土交通省は、平成14年度版から「建築設備設計基準」に電気厨房機器に対する排気量を規定しているが、具体的な設計手法に関する部分にはほとんど触れていない。厨房は、加熱機器を多く設置する室であることから、発生熱が大きい、発生負荷の適切な排出を行うための換気、作業性を配慮した最小限の空調など、省エネルギー性を配慮した設計が必要である。併せて、電化厨房機器の「裸火による延焼の危険性が低い」「燃焼排ガスが発生しない」「調理人に対する熱的影響が小さい」などの特徴を考慮した空調・換気設備を構築することが求められており、それらの実現性を裏付ける実験データ、理論的考察が必要である。これに先駆けて電化厨房機器の普及は促進されていることから、適正な空調・換気設備に関する研究の推進や設計事例の蓄積は急務であると考えられる。

以上のことから、本研究では、電化厨房機器から発生する熱などの基礎的知見から、その応用として適正換気量、および有用と考えられる排気方式を提案し、それらを実際に適用した場合の省エネルギー性までを体系的にまとめ、今後の電化厨房における空調・換気設備設計に有用な知見を示す。

『業務用電化厨房における換気システムの適正化手法に関する研究』

目次

序論

本論

第1章 研究概要.....	1
1.1 研究目的.....	2
1.2 既往研究と本研究の位置づけ.....	3
1.3 本論文の構成.....	5
第2章 電化およびガス厨房機器からの発生熱.....	9
2.1 序.....	10
2.2 実験概要.....	10
2.2.1 実験室概要.....	10
2.2.2 給排気設備概要.....	11
2.2.3 実験方法.....	12
2.2.4 測定点概要.....	15
2.3 模擬調理時における発生熱.....	15
2.3.1 発生熱の経時変化.....	16
2.3.2 模擬調理時に発生する熱およびCO ₂ の原単位.....	19
2.4 実調理時における発生熱.....	21
2.4.1 発生熱の経時変化および発生頻度.....	21
2.4.2 実調理時に発生する熱の原単位.....	29
2.5 模擬調理時と実調理時における発生熱の関係.....	31
2.6 結語.....	33
第3章 機器使用時における熱上昇流の解析と適正排気量の検討.....	35
3.1 序.....	36
3.2 実験および解析概要.....	36
3.2.1 実験①（熱上昇流の拡散性状の検討）の概要.....	36
3.2.2 実験②（適正排気量の検討）の概要.....	38
3.3 模擬調理時における熱上昇流の解析.....	40
3.3.1 熱上昇流の可視化.....	40
3.3.2 CFD解析による熱上昇流の再現.....	41
3.3.3 CFD解析による熱の拡散性状の検討.....	42
3.4 模擬調理時における排熱性状の解析.....	43
3.4.1 排気フードによる除去熱.....	43
3.4.2 排気量と熱除去率の関係.....	45
3.5 機器周辺に形成される温熱環境の検討.....	46

3.5.1	機器から発生する熱の拡散性状.....	46
3.5.2	作業位置における温熱環境.....	49
3.6	電化厨房機器に対する適正排気量の検討.....	51
3.6.1	『開放型調理機器』を対象とした検討.....	51
3.6.2	『定温度型調理機器』を対象とした検討.....	53
3.6.3	『閉鎖型調理機器』を対象とした検討.....	54
3.7	結語.....	55
第4章 頂部型局所排気方式による排熱性状の解析.....		59
4.1	序.....	60
4.2	実験概要.....	60
4.3	設置位置の変化が排熱性状に及ぼす影響.....	62
4.3.1	発生熱の経時変化.....	62
4.3.2	除去熱の経時変化.....	63
4.3.3	排気口の高度変化と熱除去率の関係.....	65
4.3.4	排気口の高度変化と作業位置に形成される温熱環境の関係.....	66
4.4	形状変化による排熱性状向上効果の解析.....	69
4.4.1	除去熱の経時変化.....	69
4.4.2	熱除去率と作業位置に形成される温熱環境の関係.....	71
4.5	結語.....	74
第5章 天井型排気方式による排熱性状の解析.....		77
5.1	序.....	78
5.2	実験概要.....	78
5.3	排気量変化と室上層に形成される滞留熱の関係.....	81
5.3.1	除去熱および室内温湿度の経時変化.....	81
5.3.2	熱の拡散性状および熱分配率.....	84
5.4	排気口空間の形状変化による排熱性状の解析.....	86
5.4.1	除去熱および室内温湿度の経時変化.....	86
5.4.2	熱の拡散性状および熱分配率.....	86
5.5	エアカーテンによる排熱性状向上効果の解析.....	87
5.5.1	除去熱および室内温湿度の経時変化.....	88
5.5.2	熱の拡散性状および熱分配率.....	88
5.6	結語.....	90
第6章 実調理時の排熱性状および空調負荷の予測.....		93
6.1	序.....	94
6.2	実験概要.....	94
6.3	模擬調理時と実調理時における除去熱の解析.....	94
6.3.1	各供試機器の模擬調理時における除去熱.....	95
6.3.2	模擬調理時における熱負荷比率と熱除去率の関係.....	97

6.3.3 各供試機器の実調理時における除去熱.....	98
6.4 実調理時における排熱性状の解析.....	101
6.4.1 模擬調理時と実調理時における除去熱の関係.....	101
6.4.2 実調理時における想定熱除去率の算定.....	104
6.5 結語.....	106

第7章 モデルプランにおける空調・換気設備設計

	<u>シミュレーション</u>	109
7.1 序.....		110
7.2 モデルプランおよび機器稼動スケジュールの設定.....		110
7.2.1 モデルプランの概要.....		110
7.2.2 機器稼動スケジュールの設定.....		111
7.2.3 CFD解析の概要.....		111
7.3 空調・換気設備機器容量の設計.....		113
7.3.1 必要換気量の算定.....		113
7.3.2 必要空調機器能力の算定.....		114
7.4 CFD解析による機器周辺における温熱環境の検討.....		116
7.4.1 厨房内の温度分布.....		116
7.4.2 厨房内の湿度分布.....		119
7.4.3 作業位置における温熱環境.....		119
7.5 換気システムの適正化による省エネルギー性の検討.....		122
7.5.1 加熱調理機器による熱負荷の算定.....		122
7.5.2 空調負荷および消費エネルギーの算定.....		123
7.6 結語.....		127

結論

著者関連発表論文と各章の対応

謝辞

—第1章—

研究概要

- 1.1 研究目的
 - 1.2 既往研究と本研究の位置づけ
 - 1.3 本論文の構成
-

1.1 研究目的

空調・換気設備に要求される性能は、対象室の熱、汚染物質等を適切に処理することである。厨房において考えるなら、一般的な居室と同様に構造体負荷や外気負荷などの熱、人体が発する CO_2 を適切に処理するとともに、調理時に発生する熱、水蒸気、油煙、臭気等を適切に処理することが求められる。従来の燃焼式厨房機器を採用した厨房においては、厨房機器から大量の CO_2 が発生するため、すべての加熱調理機器に対して排気フードの設置が法的に定められている。電化厨房においても、熱や汚染物質を適切に処理することは保証されなければならないが、 CO_2 の発生がなく、その他発生負荷についても燃焼式厨房とは異なる特性を示すため、電化厨房に対して燃焼式厨房を対象に定められた換気基準を適用することは必ずしも適切であるとはいえない。これより、本研究では、調理時に発生する顕熱、潜熱を対象とした実験、および CFD 解析等のシミュレーションによる検討から、業務用電化厨房における換気システムの適正化手法について検討する。

電化厨房機器は、従来の燃焼式厨房機器とは加熱機構が異なる。以前は、シーズヒーターなど高温部分の露出した機器が主流であったが、近年の技術開発により IH (Induction Heating) 方式の機器が登場し、グリラーなど直火による調理を目的とした調理機器以外では、高温部分が露出した機器はほとんどみられない。これより、電化厨房機器から発生する熱は、燃焼式厨房機器から発生する熱と大きく異なることが予想される。そこで、本研究では、電化厨房の基本的特性として機器から発生する熱を明らかにするとともに、機器使用時に発生する熱上昇流の拡散性状を把握する。

また、本研究では、厨房機器から発生する熱の適切な排出と省エネルギー性の両立を目的として、電化厨房における適正排気量を検討する。電化厨房機器は調理時に燃焼を伴わず、 CO_2 が発生しない。しかし、建築基準法で規定されている排気量は、 CO_2 の排出と燃焼に要する酸素の導入を目的としたものであり、電化厨房機器に対しては過大設計となる可能性が示唆される。電化厨房機器に対する排気量は、電化厨房機器を使用した場合に発生する負荷を対象として、換気が適切に行われる値を設定する必要があると考える。これより、排気量を変化させた模擬調理実験を行い、排気フードの排熱性状、および機器周辺に対する顕熱、潜熱の拡散影響の検討から、電化厨房機器に対する適正排気量を同定する。

適正排気量を設定して電化厨房の空調・換気設計を行った場合、従来の必要換気量を適用した設計に対して、省エネルギー性に富んだ設計となることが期待される。しかし、電化厨房機器の特徴を考慮するなら、適正換気量の設定に加えて、排気フードによる排気方式に限定される厨房換気の方法を見直すことが必要と考える。電化厨房機器は、「裸火を使用しない」ことから延焼の危険性が低く、燃焼式の厨房機器よりもさらに加熱源に近接した位置で排気を行うことが可能と考えられる。また、逆転の発想として、「 CO_2 が発生しない」ことから強制的な局所排気は必要なく、負荷を天井近傍の空間に一時的に滞留させ、作業領域に影響が及ばない程度の排気を行う方法も可能であると考えられる。そこで、本研究では、高効率な局所排気方式として頂部型局所排気方式を提案し、排熱性状、および調理人の作業位置に対する熱的影響を検討し、その有用性を明らかにする。また、天井近傍の空間に負荷を一時滞留させる緩衝空間を想定した天井型排気方式を提案し、温度成層の形成状態および顕熱、潜熱の拡散状況を検討し、電化厨房における有用性を明らかにする。

ここで、上述の適正排気量、および電化厨房に有用な排気方式は、湯沸しによる模擬調理実験に基づいて検討している。しかし、実際の厨房空間における熱負荷は調理に伴う発熱が対象となり、それらは常時変動する。これより、変動する発熱に対する排熱性状の同定手法を確立しておく必要がある。そこで、本研究では、実調理を対象とした実験を行い、模擬調理実験における排熱性状に基づいた実調理における排熱性状の算定手法を明らかにする。この手法の確立により、実調理時に

発生する熱を対象として適正排気量を設定した場合の排熱性状、および電化厨房機器に有用な排気方式を適用した場合の排熱性状を把握することが可能となる。

上述の知見により、電化厨房機器単体に対する適正排気量、および頂部型局所排気方式、天井型排気方式の有用性は明らかとなるが、複数の機器が設置される厨房空間全体としての効果は十分検討できていない。そこで、異機種、複数台の加熱厨房機器を設置した電化厨房を想定し、適正排気量の設定などの適正化手法を適用した空調・換気設備を設計し、厨房内に形成される温熱環境をCFD解析に基づくシミュレーションにより検討する。また、空調、換気に要するエネルギーを算出し、電化厨房における換気システムの適正化による省エネルギー性を明らかにする。

本研究では、厨房内温熱環境を適切に保持し、かつ省エネルギー性を考慮した空調・換気設備設計手法を示すことで、今後の業務用電化厨房における設計に有用な資料とすることを目的とする。

1.2 既往研究と本研究の位置づけ

本研究は、学校給食施設をはじめとする大量調理施設を対象として、電化厨房における換気システムの適正化手法を検討するものである。本節では、既往研究との関連性から本研究の位置づけを以下に示す4つの視点から述べる。

(1) 換気量に関する法的基準

厨房の換気量に関する法的な基準は、建築基準法施行令第20条に掲げられている火を使用する設備、もしくは器具を設けた室に対する換気量を定めたもののみである。これに類する法規制として、厨房は居室に該当することからその換気基準が適用されるが、厨房における換気量は厨房機器に対する排気量を確保するのみで、居室における必要換気量を大きく超える場合がほとんどであり、実質的に電化厨房に対する基準は明確に定められていないのが現状である。一般的に厨房に適用される換気設備は、国土交通省監修の「建築設備設計基準」に準じて設計されることが多く、電化厨房機器に対する排気量は、機器出力によって規定される排気量と排気フードの面風速によって規定される排気量の大きい方を設定することとなっている。しかし、排気フードの設置など、排気方式に関しては明文化されていないため、設計者によって認識が異なり、共通する設計手法は確立されていない。近藤ら¹⁾は欧米諸国の換気基準を調査し、それぞれの比較を行っている。これによれば、米国のASHRAEにおける基準では、排気フードを代表的な形状6種に分類し、形状に応じた面風速を定め、排気フード開口面積に面風速を乗じることにより必要排気量を算定することとしている。また、調理機器についても発生する熱や水蒸気等によって4種に分類し、それぞれのグループごとに定められている排気量原単位に基づいて必要換気量を算定し、排気フードによって規定される必要排気量と比較して、大きい方を採用することとしている。独国のVDIにおける基準では、調理作業や厨房機器によって発生顕熱・潜熱・水分量が原単位化されており、その熱や水分を排出するための排気量は、同時使用率や機器寸法、機器の設置位置等を考慮した詳細な計算によって求められている。さらに、それらを積算して求めた換気量を適用した場合の厨房空間における上昇絶対湿度を算定し、結露防止のための最低換気量を満足していることを確認することとしている。このように、日本における換気基準は欧米諸国に比べて、換気量の算定および排気フードの形状等に関する基準が少なく、現行の法的基準に準じて設計を行う場合、異なる排気方式を適用し、電気式と燃焼式のように発生負荷の異なる機器を設置しても、定格出力が同等であれば同様の換気設備が必要となる。したがって、電化厨房機器に対する適正排気量を裏付ける実験データ、および排気方式に関する知見の収集は急務といえる。

(2) 厨房機器の排気量に関する研究

厨房の排気量に関する研究は、従来の燃焼式厨房機器に対するものはこれまでに数多くなされてきているが、近年、電化厨房機器の普及に伴い、それに対する研究もなされるようになってきている。檜崎ら²⁾は、ガス厨房機器を使用した調理の際、煮炊きに伴って発生する燃焼排ガス・水蒸気・油煙等の空気汚染物質とともに、周囲の空気を誘引する上昇気流の形成について検討を行っている。また、熱上昇気流の拡散を抑制する効率的な換気システムの開発を目標として、多くの研究を展開し、熱上昇気流の形成は調理状態に支配されるとの考えに基づき、熱上昇気流の定量的なモデル化を行っている。于ら^{3) 4)}は、フード捕集性能を、汚染物質の拡散性状と排気フード吸引性状の単純な足し合わせによる予測可能性を検討し、実用的な局所換気システムの設計法を提案している。これらは、燃焼式の厨房機器を対象として、法的に定められた換気量を確保したうえで捕集性能を向上させることを目的とした研究といえる。百瀬ら⁵⁾は厨房内に生じる横風がフードの捕集率に及ぼす影響について、ガス、および電気調理機器を使用した実験から検討を行い、横風の流速と排気量の変化が捕集率に及ぼす影響を明らかにしている。Swierczyna ら^{6) 7)}は、数種の業務用厨房機器を使用して、キャノピーフードの形状、および厨房機器の配置等を変更し、排気フードの捕集性能に及ぼす影響を検討している。さらに Swierczyna ら⁸⁾は、ガス調理機器を使用した模擬調理において、厨房内の室圧が排気システムに及ぼす影響について検討し、室圧の変動と排気フードの捕集性状の関係を明らかにしている。これらは、ガスと電気の熱源の違いを考慮した研究であるが、厨房内の擾乱や排気フードの設置方法の違いなど、厨房機器周辺の排気性状に影響する多様な要因について検討したものと見える。排気量を算定する基礎となる熱上昇気流の形成に関する研究としては、Kosonen ら^{9) 10)}はガス、および電気を熱源とした厨房機器を数種選定し、湯沸し等の模擬調理実験を行った場合に、機器上方に形成される熱上昇気流を実測し、熱源面からの距離と流量の関係を明らかにしている。これらは熱上昇気流の流量から適正排気量を同定することを目的とした研究といえる。赤林ら^{11) ~15)}は住宅用を対象とした研究であるが、排気量を変化させた場合の湯沸し実験、および実験に基づく CFD 解析からフードの捕集性状について検討し、必要換気量を提案している。このように、厨房機器の排気量に関する研究は多角的に行われているものの、空調・換気設備機器容量の大きい業務用電化厨房機器を対象として、排気量の適正化を目的とした研究は少なく、有用な資料はほとんどみられない。

(3) 厨房の換気システムに関する研究

厨房の換気システムに関する研究は、燃焼式厨房に対しては排気フードの設置が義務付けられていることから給気方法について検討を行ったものが多く、電化厨房に対しては局所型の排気方式、全天井型の排気方式などの研究が進められている。坂口ら¹⁶⁾はガスレンジをモデル化し、レンジフードによる排気を一定として、外気および空調の吹出口位置を変化させた場合のシミュレーションを行い、排気される空気をできるだけ外気で賄い、外気導入に伴う空調負荷を低減する方法について検討している。また、荻田ら^{17) ~21)}は、実際のガス厨房において置換換気方式を採用した実験を行い、室内温熱環境および汚染室の濃度分布について検討している。さらには、CFD 解析によるシミュレーションを行い、適正な排気口位置および排気量について検討を行っている。これらの研究は、実験および CFD 解析を用いて換気方式を変化させた場合の換気効率、室内温熱環境の形成状況を明らかにしており、ガス厨房においても様々な換気空調方式の提案可能性が示唆されている。神谷^{22) 23)}らは電化厨房機器を対象として、局所排気型、同時給排気型レンジフードの捕集率に関する実験を行い、従来型のキャノピーフードに比べて大幅に風量を削減しても高い捕集性能が確保できることを示している。また、百瀬ら²⁴⁾は、業務用厨房について CFD 解析を行う際に厨房内の環境をより正確に再現するため、ガスレンジおよび IH レンジを用いて実験値に基づく上昇

気流モデルを作成し、モデルから作成した境界条件を入力した解析を行い、実測値との比較を行っている。また、業務用厨房の天井換気システムを例に、上昇気流モデルの違いが厨房内のシミュレーション精度に与える影響について実測値との比較を行っている。堀川ら²⁵⁾~²⁷⁾は、天井型換気システムを採用した厨房において、実測および CFD 解析による室内温熱環境と換気性能の評価を行い、厨房内の温度成層の比較や給気口形状の変更による温熱環境改善の可能性を指摘している。以上のように、電化厨房機器に対しても多様な排気方式の適用性を検討した研究はみられるものの、局所排気の排気口設置位置や、天井排気方式における排気口空間のサイズなど、諸条件を変化させて排気方式の有用性を検討した研究は少なく、高効率な排気方法に関する知見の収集が必要である。

(4) 厨房のエネルギー消費に関する研究

厨房のエネルギー消費に関する研究は、近年、増加傾向にある全電化厨房施設のエネルギー消費に関する研究がなされている。村川ら²⁸⁾は、電気厨房機器とガス厨房機器を採用している飲食店舗をそれぞれ2店舗選定し、各種厨房機器の1回あたりの使用時間や同時使用率などの使われ方を明らかにしている。また、厨房全体のエネルギー消費量を明らかにし、原単位化を行ったうえで電気とガスの熱源による違いを比較している。西名ら²⁹⁾は複数の全電化学校給食施設を対象とした電力量測定を行い、厨房機器の使用実態とエネルギー消費量を調査している。加熱調理機器の使われ方について、定格出力、あるいはそれに近似する出力で定常的に稼動する機器は少ないことを明らかにしている。近都ら³⁰⁾は、全電化学校施設の設備を対象とした実態調査を行い、施設規模と食数の関係、および設置されている加熱調理機器と食数の関係等を明らかにしている。大津ら³¹⁾~³²⁾は、業務用ガス厨房において冷暖房用に消費されるエネルギーの実態について報告し、業務用厨房の換気効率や空調効率を改善することを意図した空調・換気システムについて、実験、実測および CFD 解析による検討を行っている。業務用厨房は、空調・換気に要するエネルギーが大きく、省エネルギーに配慮した空調・換気システムの構築、運用計画が必要である。上記の研究は、現状の業務用厨房におけるエネルギー消費実態を明らかにした有用な資料といえる。

1.3 本論文の構成

本論文は、序論、本論、結論からなり、序論では本研究に至る背景等を述べ、本論は以下の7章により構成している。本論文の構成を図1.2.1に示す。

第1章では、本研究の目的、既往研究と本研究の位置づけ、本論文の構成の3節により、本研究の概要を述べている。

第2章では、大量調理施設に用いられる代表的な厨房機器を選定し、チャンパー内における湯沸し実験により、機器から発生する顕熱、潜熱等を明らかにしている。また、従来の燃焼式厨房機器との違いを検討するため、同様の実験をガス厨房機器に対しても行い、両者の比較検討を行っている。

第3章では、電化厨房機器を使用する場合に発生する熱負荷、および機器周辺における温熱環境形成の要因となる、機器使用時に発生する熱上昇流の拡散性状を把握している。また、湯沸しによる模擬調理実験を行い、排気量を変化させた場合に排気フードから除去される熱を把握し、第2章で明らかにする機器からの発生熱を基準とした排熱性状と排気量の関係を明らかにしている。さらに、機器周辺に形成される温熱環境を把握し、排熱性状および実調理時における発生熱の継続性等を勘案し、電化厨房機器に対する適正排気量を同定している。

第4章では、電化厨房機器の「裸火を使用しない」という特徴を考慮し、排気口を従来の排気フードよりも厨房機器に近接させた頂部型局所排気方式について検討している。頂部型排気口は、鍋や機器の開口面積に近似した排気口サイズを設定し、排気流速を高速化させるとともに、排気口を

負荷発生面へ近接化させて排熱性状の向上を意図したものである。第3章において同定した適性排気量を設定し、頂部排気口の高度や形状を変化させた実験を行い、排熱性状、および作業位置における熱的影響を把握し、電化厨房機器に対する有用性を示している。

第5章では、電化厨房機器の「CO₂が発生しない」「熱効率が高く、周辺空間に対する熱的影響が小さい」などの特徴を考慮し、第4章の頂部型局所排気方式とは逆転の発想で、厨房機器と排気口の距離を遠ざけた天井型排気方式について検討している。厨房機器と排気口の距離を大きくすることで、厨房機器上方の空間を緩衝空間とみなし、発生熱を一時滞留させることで、瞬時的な高発熱による負荷の変動を吸収することを意図したものである。室の上層空間に形成される温度成層と作業領域に及ぼす熱的影響を把握し、天井型排気方式の有用性を明らかにしている。

第6章では、模擬調理時の発生熱を対象として提案した適性排気量を、実調理実験に対して適用し、その有用性を確認している。また、実際の調理において発生する熱から空調負荷算を予測する手法として、模擬調理時における排熱性状に基づき、実調理時における排熱性状を把握する手法を提案している。

第7章では、500食程度の電化厨房を想定し、従来の換気システムと適正化手法による換気システムを構築した場合の2種のモデルプランを設計し、電化厨房における換気システム適正化の有用性を検討している。CFD解析により、両モデルプランの厨房内に形成される温熱環境をシミュレーションし、換気システムの適正化によって排気量を大幅に削減した場合でも、良好な温熱環境の保持されることを示している。また、空調、換気によるエネルギー消費量を試算し、適正化による省エネルギー性を明らかにしている。

結論では、本研究を総括するとともに、課題と今後の展望について述べている。

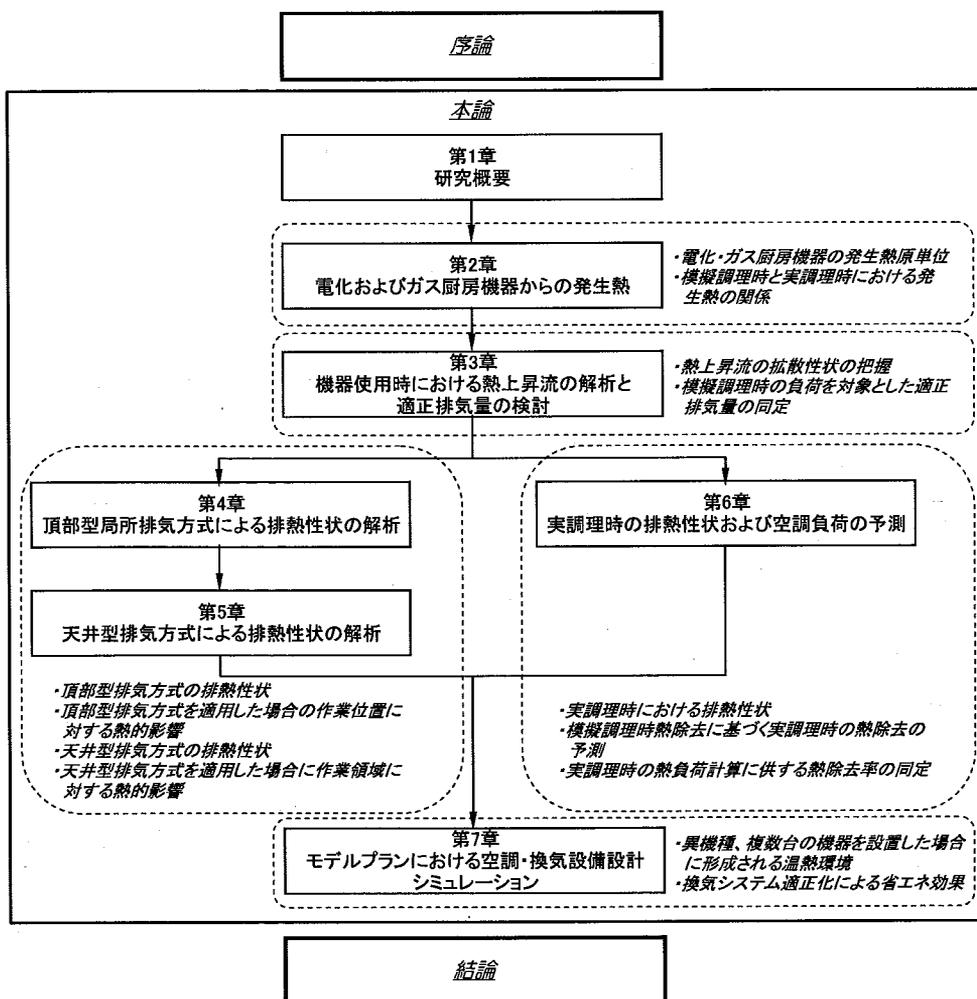


図 1.2.1 本論文の構成

【参考文献】

- 1) 近藤靖史, 長澤康弘, 川瀬貴晴, 永瀬修, 石川登志樹, 室田岳志, 赤林伸一: 業務用ちゅう房におけるエネルギー消費量と換気・空調システム, 空気調和・衛生工学会, 第75巻, 第9号, pp.761-770
- 2) 檜崎正也, 佐藤隆二, 干穎, 大野治代: 調理時の熱上昇気流性状について, 日本建築学会大会学術講演会(関東) D-2, pp.801-802, 1989.9
- 3) 干穎, 檜崎正也, 山中俊夫: レンジフードの捕集性能に関する研究 その3 フードの吸い込み気流性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) D-2, pp.707-708, 1989.9
- 4) 干穎, 檜崎正也, 佐藤隆二, 山中俊夫: レンジフードの捕集性能に関する研究 その4 重ねあわせ法による箱型フードの捕集性能の予測法, 日本建築学会大会学術講演会(関東) D-2, pp.853-854, 1993.9
- 5) 百瀬敏成, 佐藤隆二, 山中俊夫, 甲谷寿史: 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 第560号, pp.15-22, 2002.10
- 6) Richard Swierczyna, Paul Sobiski, Donald Fisher: Effects of Appliance Diversity and Position on Commercial Kitchen Hood Performance, ASHRAE Transactions 112(1), pp.591-602, 2006
- 7) Paul Sobiski, Richard Swierczyna, Donald Fisher: Effects of Range Top Diversity, Range Accessories, and, Hood Dimensions, on Commercial Kitchen Hood Performance, ASHRAE Transactions 112(1), pp.603-612, 2006
- 8) Richard Swierczyna, Donald Fisher, Daniel Horton: Effects of Commercial Kitchen Pressure on Exhaust System Performance, ASHRAE Transactions Volume 108, pp.978-985, 2002.
- 9) Risto Kosonen, Hannu Koskela, PekkaSaarine: Thermal plumes of kitchen appliances—Idle mode, Energy and Buildings Volume 38 Issue 9, pp.1130-1139, 2006.9
- 10) Risto Kosonen, Hannu Koskela, PekkaSaarine: Thermal plumes of kitchen appliances—Cooking mode, Energy and Buildings Volume 38 Issue 10, pp.1141-1148, 2006.10
- 11) 赤林伸一, 近藤靖史, 田中良昌, 佐藤久遠: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その1 IH レンジ上の上昇気流風量に関する実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.733-734, 2005.9
- 12) 田中良昌, 赤林伸一, 近藤靖史, 佐藤久遠: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その2 60cm角の単純形状を持つフードを使用した場合の捕集率の実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.735-736, 2005.9
- 13) 三浦学, 近藤靖史, 阿部有希子, 赤林伸一: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その3 集合住宅の厨房空間を対象とした CFD 解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.737-738, 2005.9
- 14) 阿部有希子, 近藤靖史, 赤林伸一, 三浦学: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その4 CFD 解析によるフードの直接捕集率と室内湿度分布の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.739-740, 2005.9
- 15) 赤林伸一, 長谷川功, 近藤靖史, 中尾正純: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その5 必要換気量の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.741-742, 2005.9
- 16) 坂口淳, 赤林伸一, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 荻田俊輔: 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, 日本建築学会計画系論文集 第534号, pp.33-40, 2000.8
- 17) 荻田俊輔, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 吉野一, 長澤康弘, 石川登志樹, 永瀬修, 平田俊明: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その1 厨房内温度および排気捕集性状に関する実験, 日本建築学会大会学

術講演梗概集（東海）D-2, pp.1101-1102, 2003.9

- 18) 吉野一, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 萩田俊輔, 長澤康弘, 石川登志樹, 永瀬修, 村上高:業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その2 厨房内温度および排気捕集性状に関する実験, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.381-384, 2003.9
- 19) 萩田俊輔, 近藤靖史, 吉野一:業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その3 数値流体解析(CFD)による気流・温度分布の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.385-388, 2003.9
- 20) 萩田俊輔, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 吉野一, 永瀬修, 平田俊明:業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その4 天井置換吹出口の有効性に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)D-2, pp.1159-1160, 2004.8
- 21) 吉野一, 近藤靖史, 萩田俊輔:業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その5 CFD解析による従来方式と置換換気方式の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)D-2, pp.1161-1162, 2004.8
- 22) 神谷和宏, 石塚俊一, 小峯裕己, 伊藤一哉, 宮本和弘, 伊藤一秀:業務用電化厨房における局所排気型および同時給排気型レンジフードに関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1129-1132, 2005.8
- 23) 石塚俊一, 神谷和宏, 小峯裕己, 伊藤一哉, 宮本和弘, 伊藤一秀:業務用電化厨房における局所排気型および同時給排気型レンジフードに関する研究 その2 給気口と排気口の改良と接続時の性能評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.635-638, 2006.9
- 24) 百瀬敏成, 山中俊夫, 甲谷寿史, 山本晃裕:業務用レンジから発生する上昇気流の性状把握およびモデル化, 日本建築学会環境系論文集 第567号, pp.49-56, 2003.5.
- 25) 堀川晋, 秋元孝之, 李晟在, 小林正則, 林英人, 渡邊英樹, 大高一博:業務用厨房における換気天井システムに関する研究 その1 換気天井システムの概要と数値シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)D-2, pp.1057-1058, 2001.9
- 26) 渡邊英樹, 秋元孝之, 李晟在, 小林正則, 林英人, 大高一博, 堀川晋:業務用厨房における換気天井システムに関する研究 その2 温熱環境の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)D-2, pp.1059-1060, 2001.9
- 27) 秋元孝之, 李晟在, 小林正則, 林英人, 渡邊英樹, 大高一博, 堀川晋:業務用厨房における換気天井システムに関する研究 その3 換気性能の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)D-2, pp.1061-1062, 2001.9
- 28) 村川三郎, 越川康夫, 篠原道正, 西名大作, 清田誠良, 伊東博幸:業務用ちゅう房における各種調理機器の使われ方とエネルギー消費量の解析, 空気調和・衛生工学会論文集 No.69, pp.61-73, 1998.4
- 29) 西名大作, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 近都州彦, 植村義幸:全電化学校給食施設における厨房機器の使われ方とエネルギー消費量の解析, 空気調和・衛生工学会論文集 No.112, pp.1-11, 2006.7
- 30) 近都州彦, 村川三郎, 西名大作, 清田誠良, 西胤暢夫, 植村義幸:全電化学校給食施設における設備実態の解析, 空気調和・衛生工学会論文集 No.113, pp.1-8, 2006.8
- 31) 大津英幸, 近藤靖史, 萩田俊輔, 入交麻衣子, 川瀬貴晴, 松田明彦:業務用厨房の温熱環境およびエネルギー消費の実態調査 その1 調査方法および厨房内温湿度の結果, 日本建築学会大会学術講演会(九州)D-2, pp.967-968, 1998.9
- 32) 入交麻衣子, 近藤靖史, 大津英幸, 萩田俊輔, 川瀬貴晴, 松田明彦:業務用厨房の温熱環境およびエネルギー消費の実態調査 その2 エネルギー消費量の結果, 日本建築学会大会学術講演会(九州)D-2, pp.969-970, 1998.9

—第2章—

電化およびガス厨房機器からの発生熱

- 2.1 序
 - 2.2 実験概要
 - 2.3 模擬調理時における発生熱
 - 2.4 実調理時における発生熱
 - 2.5 模擬調理時と実調理時における発生熱の関係
 - 2.6 結語
-

2.1 序

電化厨房機器は、熱効率が高いといわれているが、実際に厨房で使用される機器を対象として、体系的に発生熱を明らかにした資料は少ない。電化厨房機器は、従来の燃焼式厨房機器と加熱機構が異なるため、機器から発生する熱は異なる特性を示すと考えられる。そこで、本章では、電化厨房機器の発生熱特性を明らかにすることを目的として、実験室内に設置したチャンパーにおいて各種厨房機器を稼動させた実験を行い、機器から発生する顕熱、潜熱の原単位を明らかにする。また、電化厨房機器から発生する熱を従来型のガス厨房機器からの発生熱と比較し、電気とガスの熱源の違いによる発生熱の違いを明らかにする。さらに、実際の調理を行った場合の発生熱を明らかにし、普遍性の高い模擬調理時の発生熱に対する位置づけを行うことで、厨房の熱負荷計算時に有用な知見を示す。

2.2 実験概要

本節では、実験室の概要および基本的性能を示す。また、各種厨房機器からの発生熱を求める実験の方法、および測定方法等について述べる。

2.2.1 実験室概要

図 2.2.1 に実験室の形状を示す。実験室の寸法は、 $5,000(X) \times 3,600(Y) \times 2,500(Z)$ [mm]であり、供試機器による放射熱の吸収を最小限にするため、内面はすべてステンレス（放射率：0.3）仕上げとしている。床面には厚さ 100[mm]、天井、壁には厚さ 50[mm]の断熱材を施し、観測用の窓面（ 700×800 [mm]）はペアガラス（普通ガラス、厚さ 5[mm]）を使用し、断熱性に配慮した構造とした。実験前にあらかじめ行った断熱性能試験の結果を図 2.2.2 に示す。実験室外の日射影響の少ない任意点において測定した外気温度と、実験室内の任意点 3 点の平均温度との差は、20 時～8 時前まで $9 \sim 10$ [°C]程度に保持されている。また、天井、床、ドア、ガラス窓、各壁にそれぞれ一点ずつ熱流版と熱電対（ $t=0.5\phi$ ）を配置して測定した貫流熱は、最大値を示す天井面において 41.2 [W]であり、全体の貫流熱は約 94 [W]に留まる。これより、本実験室の熱貫流率は約 0.118 [W/m²·K]であり、熱収支の精度が要求される本実験に十分耐えうる性能を有するものと考えられる。

また、本実験室の隅角部、仕上げ材の止め金具部分はすべてシールを施し、高气密性に配慮した施工を行っている。排気口 EA1 以外の流入出口をすべて密閉し、室内を平均 13.04 [Pa]に保持した

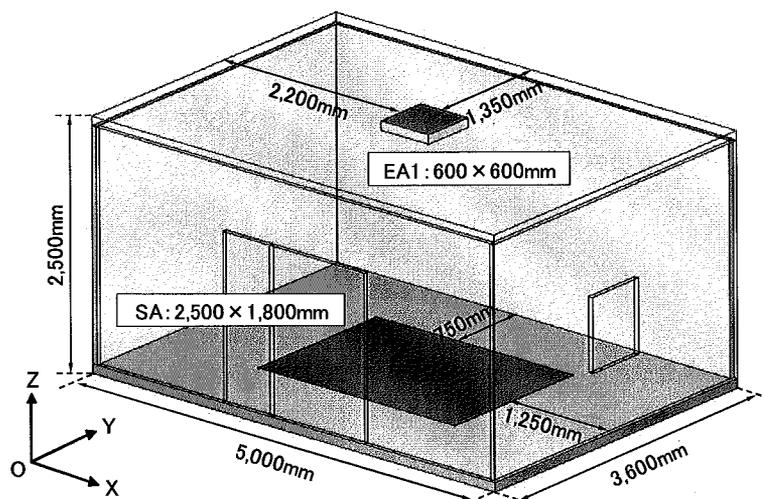


図 2.2.1 実験室形状

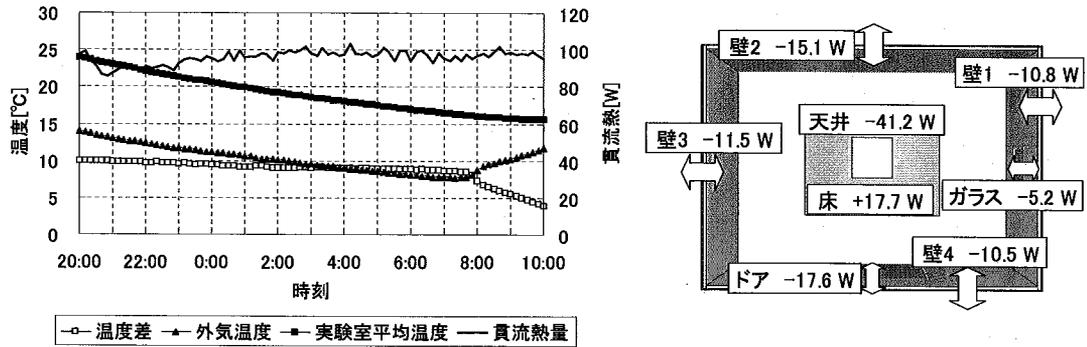


図 2.2.2 実験室の貫流熱

状態で、排気口 EA1 から流出する流量をベルマウス風量計（本体：㈱サンゾー社製、センサ：㈱テスト社製）で測定し、本実験室の気密性能を検証した。実験室からの流出風速は平均 0.412[m/s] であり、式(1)から Q_0 は 35.04[m³/h] となる。式(2)より相当隙間面積は 24.12[cm²] であり、床面積 (18m²) に対し 1.34[cm²/m²]、実験室内表面積 (79m²) に対し 0.31[cm²/m²] となる。これより、本実験室は十分な気密性能を有するものとする。

【式】

$$Q = Q_0 \left(\frac{\Delta p}{9.80665} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \dots(1)$$

$$\alpha A = 2.78 \sqrt{\frac{\gamma}{2g}} \times Q_0 \quad \dots(2)$$

- 【記号】
- Q : 通気量[m³/h]
 - Q_0 : $\Delta p=9.80665$ [Pa]における通気量[m³/h]
 - Δp : 室内外差圧[Pa]
 - n : 隙間特性値 (=1.0)
 - αA : 相当隙間面積[cm²]
 - γ : 空気密度[kg/m³]
 - g : 重力加速度 (=9.8m/s²)

2.2.2 給排気設備概要

表 2.2.1 に本実験室の空調・換気設備機器を示す。本実験室の給排気は、水冷オールフレッシュ型パッケージエアコンで温度調節した空気を床面給気口 (SA) から給気し、排気は 3 台の斜流ファンを操作し、天井面の EA1 から排気を行う方式としている。なお、床面給気口 (SA) には、パンチングメタルとエキスパンドメタルを 2 重に施している。これは、吹出し面に一定の静圧を確保することによって、一様な流速分布の形成を意図したものであり、床面給気口からの吹出し気流分布が実験室内の流れ場に影響を及ぼさないように配慮した。また、パッケージエアコンには 24[kW]の電気ヒーターを付属させ、暖房および除湿冷房が可能な仕様とした。

表 2.2.1 給排気設備機器概要

系統	設備機器	仕様	
SA (床面給気)	水冷式オールフレッシュ型パッケージエアコン (電気ヒーター24.0[kW]組込)	設置形式	床置型
		冷房能力	25.0 kW
EA1 (中央排気)	軸流ファン1(インバータ付属)	送風量	1,800 m ³ /h × 59 Pa
		設置形式	天吊型
		送風量	3,500 m ³ /h × 150 Pa
		設置形式	天吊型
		送風量	1,500 m ³ /h × 150 Pa
EA1 (中央排気)	軸流ファン2(インバータ付属)	設置形式	天吊型
		送風量	1,500 m ³ /h × 150 Pa
		設置形式	天吊型
EA1 (中央排気)	軸流ファン3(インバータ付属)	送風量	600 m ³ /h × 150 Pa
		設置形式	天吊型

2.2.3 実験方法

(1) 供試機器概要および実験条件

本実験は、供試機器の最大発生熱、および最大出力における定常状態の発生熱を把握する模擬調理実験と、実際の調理において発生する熱を把握する実調理実験の2種を行う。供試機器の外略図を図2.2.3に示す。なお、図中の機器は電化厨房機器であり、ガス厨房機器は同様の大きさのものを選定している。供試機器は、大量調理施設で一般的に使用される機器から代表的なものを選定した。多用途に使用される機器としてレンジ、回転釜、ティルティングブレージングパン（以降、ティルパンと称す）を選定し、「揚げる」「焼く」「ゆでる」「煮込む」などの専用調理機器としてフライヤー、グリドル、グリラー、ゆで麺器、スープケトルを選定した。そして、機器の扉等を閉鎖して使用する機器としてスチームコンベクションオープン（以降、スチコンと称す）、炊飯器、洗浄機を選

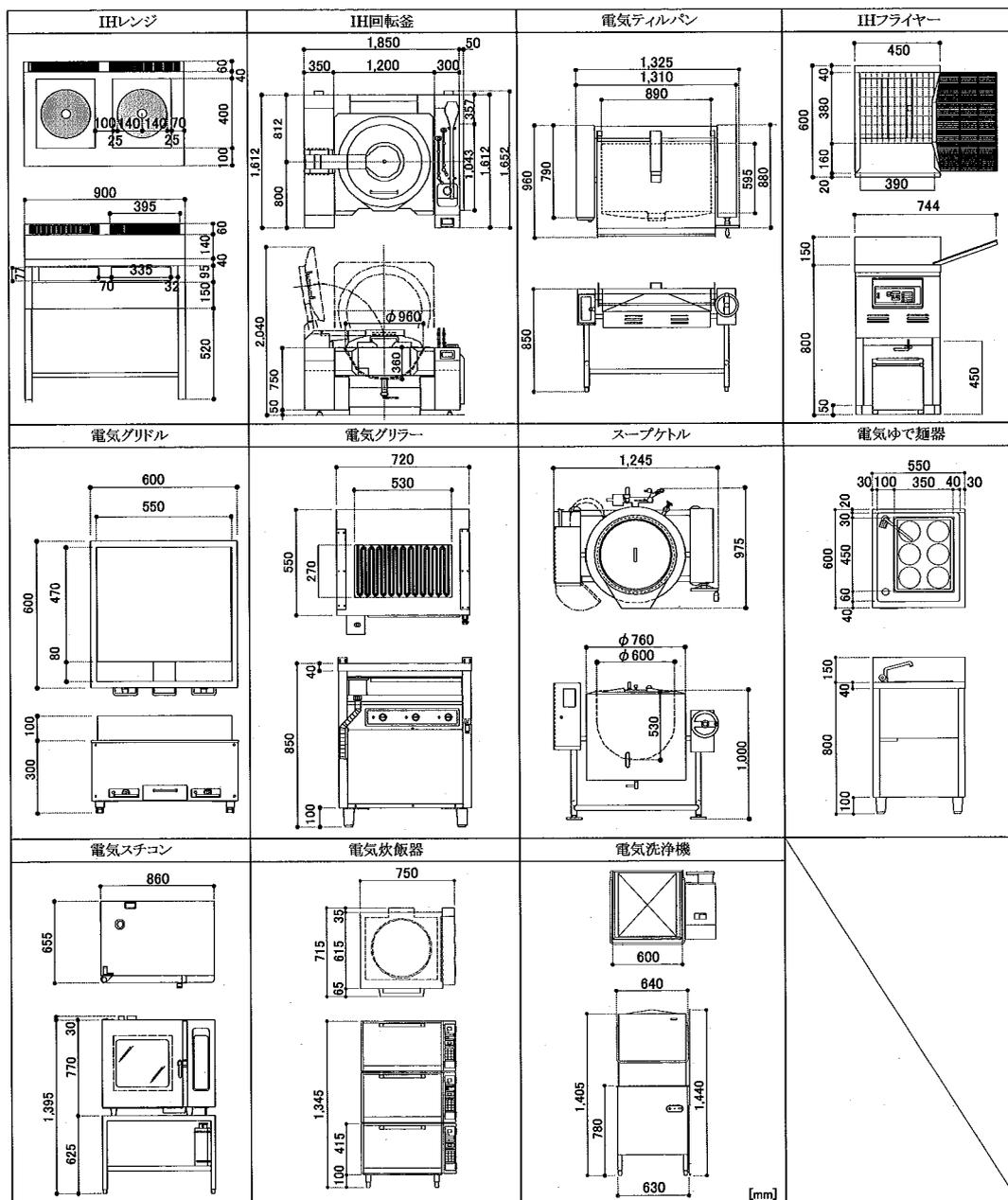


図 2.2.3 供試調理機器の概略図

定している。

表 2.2.2 に模擬調理および実調理の実験条件を示す。「模擬調理実験」におけるレンジ、回転釜、ティールパン、スープケトルによる調理は、調理人が任意に火加減や調理方法を選択できる（「炒める」「煮込む」「強火」「弱火」など）ため、機器容量に応じた水を注入し、定格出力による湯沸し実験を行った。フライヤー、およびゆで麺器は、一定の温度で調理を行うことが一般的であるため、供試機器に所定量の油、あるいは水を注入し、自動制御による保温運転を行った。グリドル、およびグリラーは、調理方法が「焼く」に限定されるため、所定の温度を設定し、自動制御による運転を行った。スチコンは、オープンやスチームなどモード設定によって稼動パターンが異なるため、加熱は各モードを設定しての自動制御運転とした。洗浄機は、機器の開閉に伴って稼動するため、実際の洗浄作業を想定し、手で機器の開閉を行って連続的に運転させた。なお、炊飯器は、炊飯以外の目的では使用されないため、模擬調理実験は行っていない。

「実調理実験」では、各調理機器に適したメニューを 1～2 品目選定した。多様な調理方法が可能なレンジでは、「炒める」調理と「煮込む」調理を各一品目ずつ選定している。ティールパンでは、加熱面積の大きさを有効に利用できる「炒め」調理の金平ゴボウを選定した。フライヤー、グリドル、ゆで麺器では、調理方法は限定されるが、冷凍した食材を調理する可能性があるため、冷凍の有無により 2 品目選定している。グリラー、スープケトルは、それぞれ専用の調理方法に応じた調理物を各 1 品目選定している。スチコンは、加工度の高い調理物を調理することが多いため、すべて冷凍された調理物を選定している。なお、調理の工程や機器出力は専門の調理人に一任している。これは、専門の調理人に依頼することで、調理の再現性、および調理工程の一般性を高めることを意図したためである。

表 2.2.2 模擬調理および実調理の実験条件

機器名称	熱源	型番	機器容量 [kW]	模擬調理実験		実調理実験		
				実験条件		調理内容	状態	分量
レンジ	電気	MIR-1055S	5.00	鍋に水 8 L を注入し 定格出力による湯沸し		焼き飯	常温	3食分, 3回
			10.00			チキンフリカッセ	常温	8kg
	ガス	GTN-0963	11.85			焼き飯	常温	3食分, 3回
			23.70			チキンフリカッセ	常温	8kg
回転釜	電気	MIAR-100L	15.00	水 100 L を注入し 定格出力による湯沸し				
	ガス	DGK-45CS	41.90					
ティールパン	電気	ENTP-100	12.00	水 40 L を注入し 定格出力による湯沸し		金平ゴボウ	常温	10kg, 2回
フライヤー	電気	MSF-1B	6.00	油 21 L 投入し 自動制御により 180 °C に保温		トンカツ	常温	20個, 3回
	ガス	SF-18	11.60			冷凍コロッケ	冷凍	20個, 3回
グリドル	電気	TEG-600	6.00	自動制御により 250 °C に保温		トンカツ	常温	20個, 3回
						冷凍コロッケ	冷凍	20個, 3回
	ガス	MGG-066T	9.77			ハンバーグ	常温	15個, 3回
						ステーキ	冷凍	15枚, 4回
グリラー	電気	G-10	10.20	空焼き		ハンバーグ	常温	20個, 2回
	ガス	MGKS-308	9.07			ステーキ	冷凍	20枚, 3回
スープケトル	電気	NSK-115N	19.00	水 50 L を投入し 110 °C 設定として湯沸し		焼き鳥 3種	常温	20本, 3種類
ゆで麺器	電気	ENB-550NH	9.00	所定量の水を注入し 定格出力による湯沸し		豚汁	常温	300食
						ガス	PT-6A	14.00
	生中華麺	常温	6食, 3回					
	冷凍うどん	冷凍	6食, 3回					
生中華麺	常温	6食, 3回						
スチコン	電気	FCCP6	9.50	モード設定を4種変更し 自動制御による稼動		カボチャ・ブロッコリー	冷凍	各 6 kg
						カボチャ・ニンジン	冷凍	各 6 kg
						ハンバーグ	冷凍	60個, 2回
	ガス	FCCP6G	25.00			カボチャ・ブロッコリー	冷凍	各 6 kg
						カボチャ・ニンジン	冷凍	各 6 kg
						ハンバーグ	冷凍	60個, 2回
炊飯器	電気	ERC-27N	14.40	-		米飯	常温	12升
	ガス	NARA-21G	34.80				常温	12升
洗浄機	電気	WD-6E	9.80	通常稼動(70秒間洗浄)後 30秒間開放を繰り返す				
	ガス							

(2) チャンバー実験室の概要

本実験は、供試機器から発生する熱の拡散、実験室外への熱貫流を最小限とするため、ステンレス製のチャンバー（2,500×1,800[mm]）内で行っている。チャンバーの形状および配置を図 2.2.4 に示す。なお、回転釜はチャンバーよりも機器サイズが大きいため、実験室をチャンバーとみなし、上記のチャンバーは設置しない状態で実験を行った。給排気量は、3,500[m³/h]（換気回数：約 330[回/h]）とし、給気温湿度は空調を行わず成り行きとした。供試機器から発生する熱が速やかに排出されるように、床面給気、天井排気として強制的なピストン流を形成し、流入空気熱量と排気空気のエントルピー差と風量から供試機器の発生熱を算出した。熱の算定式を式(3)～(5)に示す。

一様な吹出しを想定した場合、チャンバー内に生じる上向きの平均風速は約 0.22[m/s]となるが、チャンバー内に顕著な風速分布が生じる場合、排気性状に影響を及ぼすことから、チャンバー内の風速分布を 3 次元風向風速計（㈱カイジョーソニック社製：WA390）によって測定した。図 2.2.5 にチャンバー内の風速分布を示す。F.L.+1,200[mm]平面では、壁近傍において水平方向の流れが形成されているが、供試機器を配置する中央付近は上向きの流れが卓越しているため、発生熱の測定における精度は十分確保できるものとする。また、流入出風量が大きいためチャンバー内外の温度差は小さくなり、実験室内外への貫流熱はほとんど生じないと考えられるが、断熱性能試験と同様の方法で貫流熱を測定し、実験時の測定精度は逐次確認している。

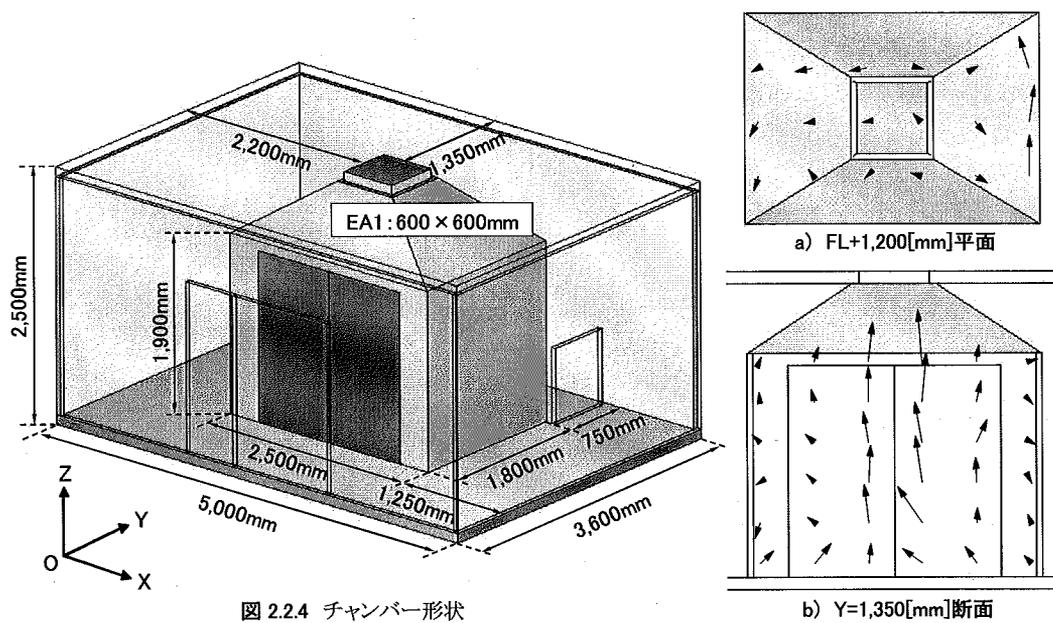


図 2.2.4 チャンバー形状

図 2.2.5 チャンバー内流速分布

【式】
$$I_{SH} = C_{pa} \cdot t_a \cdot \rho \cdot V / 3,600 \quad \dots(3)$$

$$I_{LH} = (\gamma_0 + C_{pw} t_a) \cdot x \cdot \rho \cdot V / 3,600 \quad \dots(4)$$

$$\rho = \frac{1.293}{1 + 0.00367 t_a} \cdot \frac{h_a}{101,325} \quad \dots(5)$$

【記号】	I_{SH} : 顕熱[W]	V : 風量[m ³ /h]
	I_{LH} : 潜熱[W]	γ_0 : 水の蒸発潜熱(0[°C]基準)[J/kg]
	C_{pa} : 乾き空気の定圧比熱[J/(kg·K)]	x : 絶対湿度[kg/kg(DA)]
	C_{pw} : 水蒸気の定圧比熱[J/(kg·K)]	ρ : 空気密度[kg/m ³]
	t_a : 乾球温度[°C]	h_a : 大気圧[Pa]

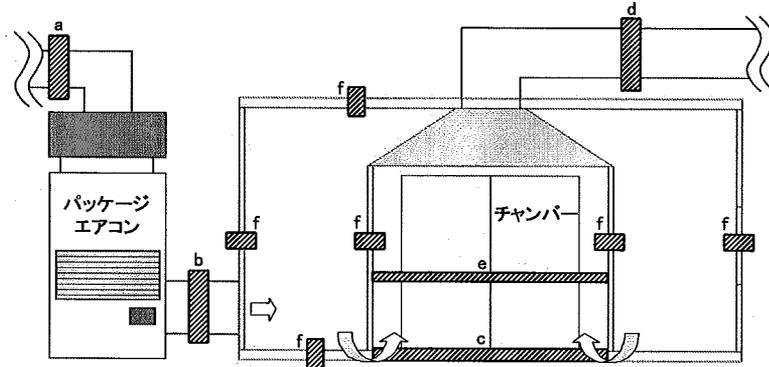


図 2.2.6 測定点概要

表 2.2.3 測定箇所および測定機器概要

記号	内容	項目	測定箇所	点数	機器名称	測定間隔 [sec.]	製造
a	導入外気性状 空調空気性状	温湿度	OA系統ダクト内	3	常温用温湿度センサ	5	(株)デストー
		CO ₂ 濃度	SA系統ダクト内	1	CO ₂ センサ		
		風速	SA系統ダクト内	5	ボール式熱線風速計		
c	チャンパー 流入空気性状	温湿度	SA裏面	4	常温用温湿度センサ	5	(株)デストー
		CO ₂ 濃度	SA裏面	1	CO ₂ センサ		
		風速	SA裏面	5	高温用ペーン式風速計		
d	排気性状	温湿度	EA1系統ダクト内	3	高温用温湿度センサ	5	(株)デストー
		CO ₂ 濃度	EA1系統ダクト内	1	CO ₂ センサ		
		風速	EA1系統ダクト内	5	高温用ペーン式風速計		
e	チャンパー内風速	風速	チャンパー内	6	ボール式熱線風速計	5	(株)デストー
f	実験室内外 貫流熱量	内外表面温度	天井、床、各壁、扉	23	T型熱電対	5	英弘精機(株)
		通過熱量	観測窓内外面	6	熱流計		
g	機器使用電力量	電力量	動力盤内機器供給系統	1	電力計	60	日置電機(株)
h	機器使用ガス量	ガス流量	機器供給ガス系統	1	湿式ガス流量計	5	(株)シナガワ
i	機器(鍋)内温度	温度	機器(鍋)内	1	K型熱電対	5	(株)デストー

2.2.4 測定点概要

図 2.2.6 に実験設備の測定点、表 2.2.3 に各測定点に設置した測定機器の概要をそれぞれ示す。なお、図 2.2.6 中の各記号は表 2.2.3 の各記号に対応し、それぞれの測定箇所を示している。チャンパーの流入空気性状は、SA 系統のダクト内において温湿度、風速を測定(a)し、平均風速にダクト断面積を乗じた風量と温湿度から把握した。また、CO₂センサを設置し、流入空気の CO₂濃度を測定(a)した。なお、実験中は SA 吹出口の裏面において温湿度を測定(c)し、SA 系統のダクト内で測定した温湿度との比較から、熱損失等による温度低下の影響を確認している。流出空気性状は、EA1 系統の排気ダクト内に温湿度計を 3 点、ペーン式風速計を 5 点設置(d)し、平均流速にダクト断面積を乗じて求めた風量と温湿度から把握した。また、流入側と同様に CO₂センサを設置し、流出空気の CO₂濃度を測定(d)している。

チャンパー内では、供試機器の加熱面近傍において風速を測定し、偏流の生じないことを確認している。また、実験時における熱の測定精度を確認するため、貫流熱、および表面温度はチャンパー内外面、実験室内外面において適宜測定(f)を行っている。供試機器の消費電力量は、動力盤内に電力計を設置して測定(g)し、ガス量はガス配管系等に湿式ガス流量計を設置して測定(h)した。また、実験中の鍋内(機器内)温度は防水加工を施した K 型熱電対を用いて測定(i)した。

2.3 模擬調理時における発生熱

本節では、供試機器から発生する熱の経時変化を把握し、電化・ガス厨房機器から発生する顕熱、潜熱の特性を明らかにする。また、定常状態において各供試機器から発生する熱を定格出力 1[kW]あたりの原単位として整理する。

2.3.1 発生熱の経時変化

機器から発生する熱は、機器の形状や加熱特性によって異なる。本研究では、熱の発生面が露出し、一般的に定格出力による加熱から保温まで火加減の調節を行いながら稼働させる機器を『開放型調理機器』とする。次に、熱の発生面は露出しているが、加熱は主に調理物を設定温度に保温することを目的とする機器を『定温度型調理機器』とする。また、機器稼働時は扉（蓋）を閉鎖して熱の発生面を隠蔽し、出力は機器の自動制御によって調節される機器を『閉鎖型調理機器』とする。

(1) 『開放型調理機器』

開放型調理機器には、レンジ、ティルパン（電気のみ）、スープケトル（電気のみ）、ゆで麺器、回転釜が該当する。図 2.3.1 に電化厨房機器の一例として、IH レンジによる湯沸し実験の経時変化を示す。顕熱は、水温の上昇に伴って増加し、沸騰に至ると上昇勾配は緩やかになり、実験開始 25 分後以降はほぼ定常的な値を示す。水温は、実験開始から約 13 分後に 100[°C]を超え、その後微減する。潜熱は、沸騰直後に急激な増加がみられるものの、その後は変動しながら定常的な値を示す。機器から発生する熱は、実験開始から 25 分以降において、変動は伴うもののほぼ定常的な値を示す。これより、実験開始から 25 分以降を定常状態とみなし、25～40 分の平均値を IH レンジからの発生熱とする。顕熱、潜熱、全熱の平均値は、それぞれ 1,450[W]、8,590[W]、10,030[W]であり、定格出力の 86[%]が潜熱として発生することがわかる。

図 2.3.2 にガス厨房機器の一例として、ガスレンジによる湯沸し実験の経時変化を示す。顕熱は、

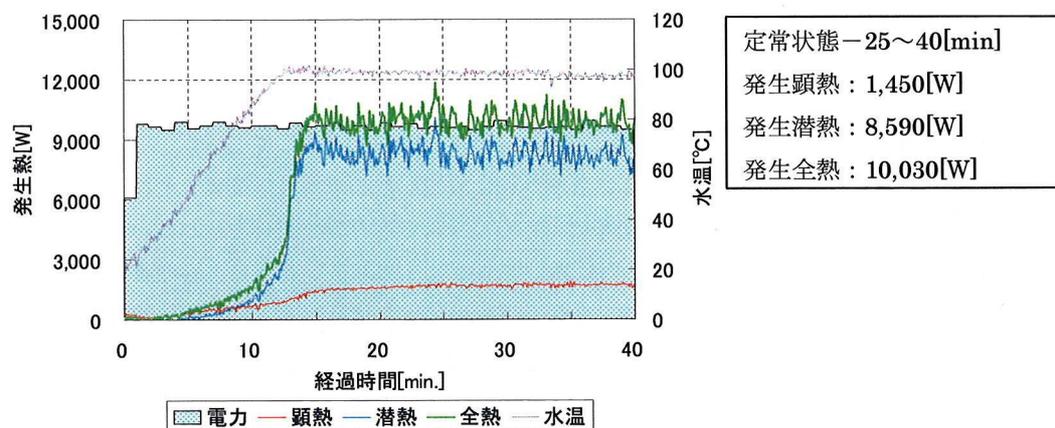


図 2.3.1 IH レンジによる湯沸し実験の経時変化

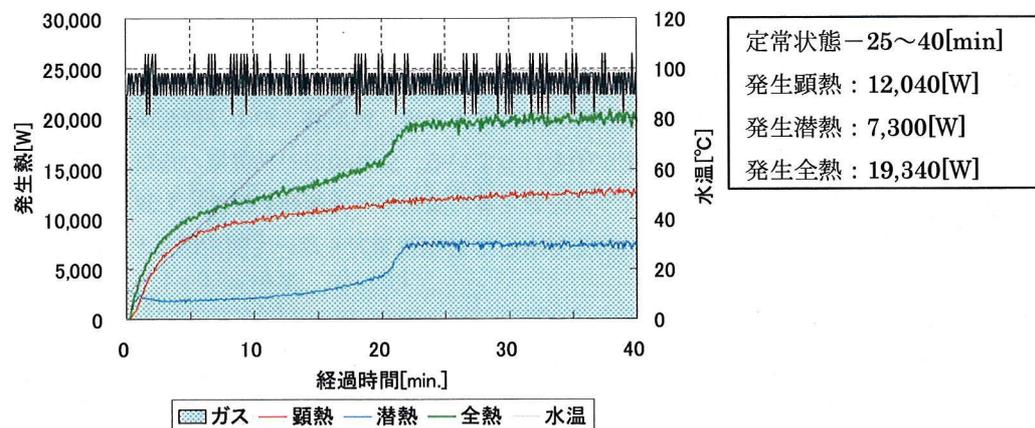


図 2.3.2 ガスレンジによる湯沸し実験の経時変化

実験開始直後から燃焼に伴う顕著な上昇がみられ、その後は微増する。水温は実験開始から約 20 分後に 100[°C]を超え、その後はほぼ一定の値を示す。潜熱は、実験開始直後から燃焼時に伴う潜熱発生により顕著な上昇がみられ、その後、一時的に上昇勾配は緩やかになるものの、沸騰時において再度顕著に上昇する。水温の安定する 25 分以降は潜熱も定常的な値を示す。機器から発生する熱は、実験開始から 25 分以降において、変動は伴うもののほぼ定常的な値を示す。これより、ガス厨房機器についても実験開始から 25 分以降を定常状態とみなし、25~40 分の平均値をガスレンジからの発生熱とする。顕熱、潜熱、全熱の平均値は、それぞれ 12,040[W]、7,300[W]、19,340[W]であり、IH レンジと比較して熱効率（潜熱を全熱で除した値）の低いことがわかる。

(2) 『定温度型調理機器』

定温度型調理機器には、フライヤー、グリドル、グリラーが該当する。図 2.3.3 に電化厨房機器の一例として IH フライヤーによる油加熱実験の経時変化を示す。顕熱は、油温に伴って上昇し、保温状態となる 15 分以降は定常的な値を示す。油温は、実験開始から 15 分頃までほぼ線形に上昇し、その後は機器出力の自動制御によりほぼ 180[°C]に保持される。潜熱は、実験開始後から微増し、5 分後以降はほぼ定常的な値を示す。機器から発生する熱は、実験開始から 35 分以降において、変動は伴うもののほぼ定常的な値を示す。これより、実験開始から 35 分以降を定常状態とみなし、35~50 分の平均値を IH フライヤーからの発生熱とする。顕熱、潜熱、全熱の平均値は、それぞれ 820[W]、140[W]、960[W]であり、全熱は機器定格出力に対して顕著に小さい値となる。

図 2.3.4 にガス厨房機器の一例として、ガスフライヤーによる油加熱実験の経時変化を示す。顕熱は、ガス燃焼に伴って、実験開始時から顕著に上昇し、その後油温が 180[°C]に達するまで上昇する。油温が安定状態となる 17 分以降は、変動は伴うもののほぼ定常的な値を示す。油温は、18 分頃まで線形に上昇し、その後、機器出力の自動制御によりほぼ 180[°C]に保持される。潜熱は、ガス燃焼に伴う潜熱発生によって実験開始直後に顕著な上昇がみられ、油温の安定する 18 分頃までほぼ一定の値を示す。油温が保温状態になると潜熱は低下し、35 分以降は定常的な値を示す。機器から発生する熱は、実験開始から 35 分以降において、変動は伴うもののほぼ定常的な値を示す。これより、ガス厨房機器についても実験開始から 35 分以降を定常状態とみなし、35~50 分の平均値をガスフライヤーからの発生熱とする。顕熱、潜熱、全熱の平均値は、それぞれ 3,000[W]、390[W]、3,400[W]であり、IH フライヤーと比較して発生顕熱が大きい。

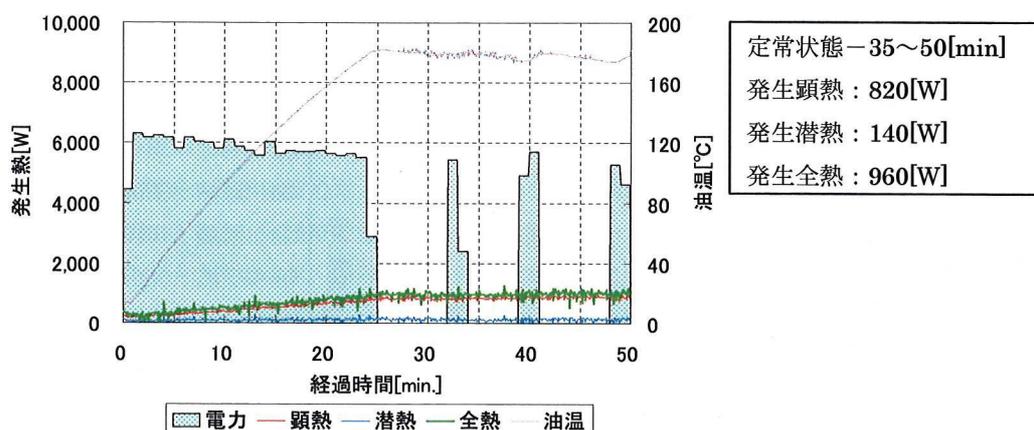


図 2.3.3 IH フライヤーによる油加熱実験の経時変化

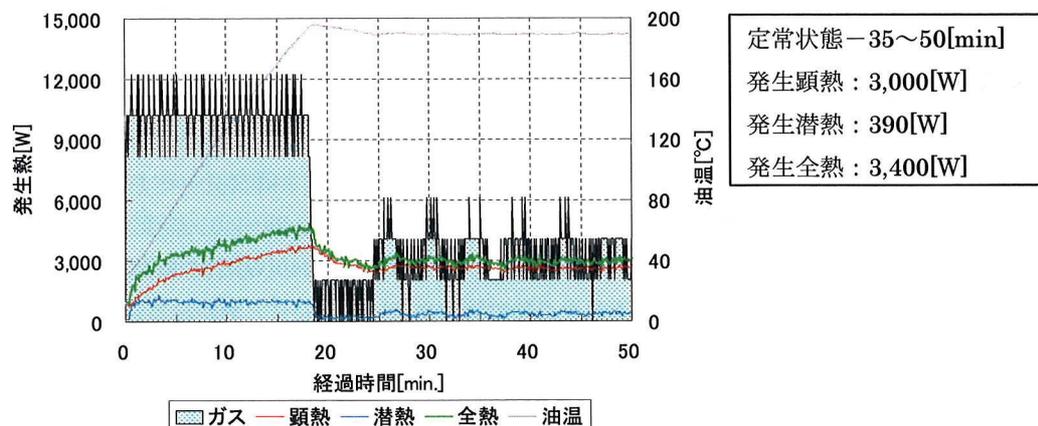


図 2.3.4 ガスフライヤーによる油加熱実験の経時変化

(3) 『閉鎖型調理機器』

閉鎖型調理機器には、スチコンが該当する。図 2.3.5 に電気スチコンの空焼き時（モード：スチーム 100[°C]）における経時変化を示す。発生熱のほとんどは顕熱であり、図中では全熱とほぼ重なった表示となっている。顕熱は、実験開始直後から庫内温度に伴って上昇し、その後は微増している。1 回目の扉開放時では、庫内に滞留していた熱が流出するため、再度扉を閉鎖するまで上昇している。2 回目の扉開放時においても上昇はみられるが、庫内に滞留する熱が 1 回目よりも小さいため、上昇勾配は緩やかになっている。庫内温度は、5 分程度で設定温度まで上昇し、扉開放時まで定常的な値を示す。扉開放に伴い庫内温度は一時的に低下するが、再度閉鎖すると機器本体に蓄熱された熱によって庫内温度は 80[°C]程度まで上昇する。2 回目の扉開放時では、1 回目の扉解放時と同程度まで庫内温度は低下している。扉閉鎖時の潜熱は、蒸気抜きによる瞬間的な発熱が断続的に繰り返されているが、定格出力に対して顕著に小さい値に留まる。扉開放時では、庫内に滞留した蒸気の流出によって顕著に上昇し、最大値は 12,140[W]に達する。しかし、短時間で庫内の蒸気はほとんど流出するため、継続時間は極めて短く、2 回目の扉開放時ではほとんど上昇しない。

機器から発生する熱は、実験開始から 45 分以降において、瞬間的な変動は伴うもののほぼ定常的な値を示す。これより、実験開始から 45 分以降を扉閉鎖時における定常状態とみなし、45~60 分の平均値を電気スチコンからの発生熱とする。また、扉開放に伴う最大値を発生熱の最大値とする。顕熱、潜熱、全熱の平均値は、それぞれ 620[W]、70[W]、680[W]であり、潜熱はほとんど発生しない。

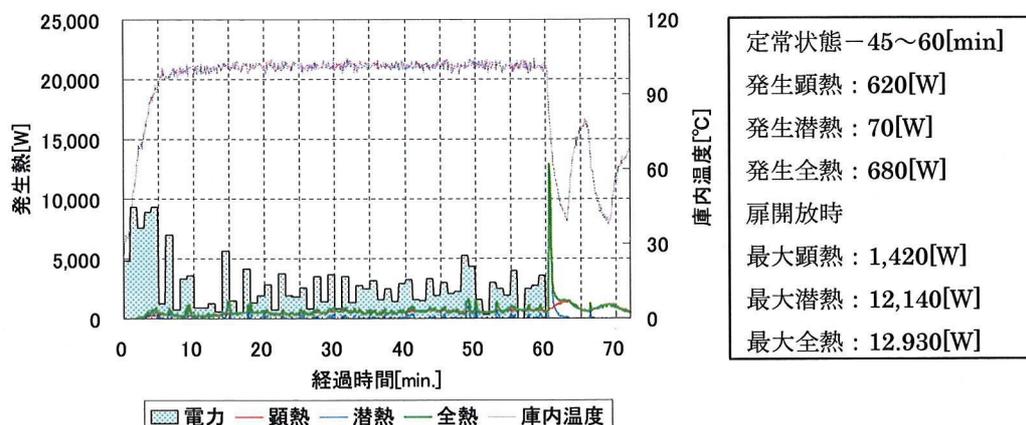


図 2.3.5 電気スチコンによる空焼き実験の経時変化(モード:スチーム 100[°C])

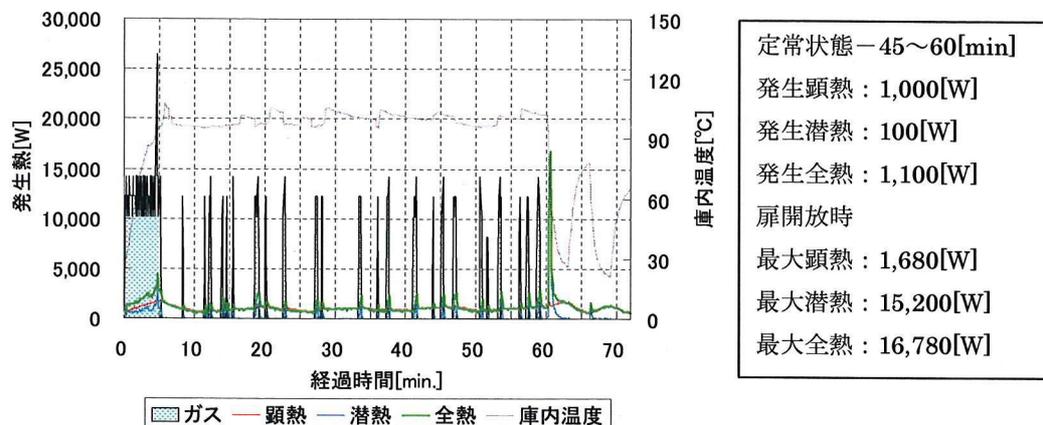


図 2.3.6 ガススチコンによる空焚き実験の経時変化(モード:スチーム 100[°C])

図 2.3.6 にガススチコンの空焚き時 (モード:スチーム 100[°C]) の経時変化を示す。発生熱のほとんどは顕熱であり、図中では全熱とほぼ重なった表示となっている。顕熱は、実験開始直後から庫内温度に伴って上昇し、庫内温度が設定温度に達すると若干低下し、その後は扉開放時まで定常的な値を示す。1 回目の扉開放時では、庫内に滞留していた熱が流出するため、再度扉を閉鎖するまで上昇している。2 回目の扉開放時においても上昇はみられるが、庫内に滞留する熱が 1 回目よりも小さいため、上昇勾配はやや緩やかになっている。庫内温度は、5 分程度で設定温度まで上昇し、扉開放時まで定常的な値を示す。扉開放に伴い庫内温度は低下するが、再度閉鎖すると機器本体に蓄熱された熱によって庫内温度は 75[°C]程度まで上昇する。2 回目の扉開放に伴う庫内温度の低下は、1 回目の扉解放時よりも低い値となる。扉閉鎖時の潜熱は、蒸気抜きによる瞬間的な発熱が断続的に繰り返されている。ガス燃焼による潜熱発生を含むため、電気スチコンよりも瞬時的な上昇値は大きくなる。扉開放時には、庫内に滞留した蒸気の流出によって顕著に上昇し、最大値は 15,200[W]に達する。しかし、短時間で庫内の蒸気はほとんど流出するため、継続時間は極めて短く、2 回目の扉開放時における上昇値は 1 回目と比較して顕著に小さい。機器から発生する熱は、実験開始から 45 分以降において、瞬間的な変動は伴うもののほぼ定常的な値を示す。これより、実験開始から 45 分以降を扉閉鎖時における定常状態とみなし、45~60 分の平均値をガススチコンからの発生熱とする。また、扉開放に伴う最大値を発生熱の最大値とする。顕熱、潜熱、全熱の平均値は、それぞれ 1,000[W]、100[W]、1,100[W]であり、潜熱はほとんど発生しない。

2.3.2 模擬調理時に発生する熱および CO₂ の原単位

前項では、『開放型調理機器』『定温度型調理機器』『閉鎖型調理機器』のそれぞれに該当する機器の時系列を 1 例ずつ示すに留めたが、それぞれの分類に属するその他の厨房機器についても、それぞれの分類において示した経時変化と同様な発生熱パターンを示すことを確認している。これより、各調理機器について沸騰状態、保温状態、扉開放時などにおける発生熱を定格出力で除した原単位として表 2.3.1 にまとめた。なお、ガス厨房機器については、実験時の CO₂ 濃度の測定を行っていることから、CO₂ 発生量についても原単位として示している。

(1) 『開放型調理機器』

『開放型調理機器』は、機器 (鍋) 内の水温を基準として各温度帯における発生熱の平均値を原単位とした。「調理帯 1」は、水温 60~80[°C]の温度帯、「調理帯 2」は 80~95[°C]の温度帯、「調理帯 3」は沸騰状態 (100[°C]) の温度帯における発生熱をそれぞれ平均し、定格出力で除した値を示す。

している。ガス厨房機器は、ガス燃焼に伴う発生顕熱によって、温度帯の低い「調理帯 1」においても顕熱の原単位は定格出力の 30[%]程度の値を示すのに対し、電化厨房機器では温度帯の高い「調理帯 3」においても定格出力の 15[%]未満に留まる。潜熱は、電化・ガス厨房機器のいずれにおいても「調理帯 1」「調理帯 2」に対して「調理帯 3」の値が顕著に高く、沸騰に伴って発生水蒸気量は顕著に大きくなることを示している。ここで、熱効率を比較するならば、いずれの機器においても電化は 85[%]以上であるのに対してガスは 65[%]未満であり、両者の発生熱特性は大きく異なる。

(2) 『定温度型調理機器』

『定温度型調理機器』からの発生熱は、油や加熱面の保温に要する顕熱の発生が主となる。そのため、ガス燃焼に伴う発生潜熱の生じない電化厨房機器では、潜熱の原単位はほぼ 0 となるはずであるが、IH フライヤーでは油に若干含まれる水分が発生し、グリラーでは延焼防止のために下皿に注入する水が蒸発するため、それぞれ潜熱が発生している。電化厨房機器では、200[°C]以上の高温状態を継続させる電気グリラーの顕熱原単位は、定格出力の 56[%]程度と高い値を示すが、IH フライヤー、グリドルはいずれも 15[%]以下であり、油温や鉄板の保温のみであれば発生顕熱は小さいことがわかる。一方、ガス調理機器では、ガスグリラーの顕熱原単位は電気グリラーよりも低い値を示すが、フライヤーおよびグリドルはガスのほうが電化より高い値を示す。これは、グリラーは電化とガスで熱源面積が異なるものの、フライヤーおよびグリドルは同程度であることから、顕熱損失は同等になると考えられ、燃焼に伴う顕熱発生の違いが原単位に反映されているといえる。

表 2.3.1 模擬調理時における発熱原単位

発熱タイプ	調理機器 (調理モード)	発生熱区分 (平均,最大,積算)	電気			ガス				注
			顕熱	潜熱	全熱	顕熱	潜熱	全熱	CO ₂	
			[W/kW]	[W/kW]	[W/kW]	[W/kW]	[W/kW]	[W/kW]	[g/h·kW]	
開放型	レンジ	調理帯1	52	46	98	439	103	542	—	*1
		調理帯2	77	186	263	467	141	607	—	*2
		調理帯3	145	859	1003	508	308	816	190	*3
	テイルパン	調理帯1	26	150	176	—	—	—	—	*1
		調理帯2	52	442	494	—	—	—	—	*2
		調理帯3	110	925	1035	—	—	—	—	*3
	スूपケトル	調理帯1	—	107	107	—	—	—	—	*1
		調理帯2	17	247	264	—	—	—	—	*2
		調理帯3	27	367	394	—	—	—	—	*3
	ゆで麺器	調理帯1	12	36	47	297	109	406	—	*1
		調理帯2	8	85	93	318	169	487	—	*2
		調理帯3	66	995	1061	328	586	914	103	*3
	回転釜	調理帯1	60	155	215	344	143	487	—	*1
		調理帯2	85	383	468	352	219	571	—	*2
		調理帯3	129	910	1039	399	665	1064	217	*3
定温度型	フライヤー	保温時平均値	136	24	160	259	34	293	75	*4
	グリドル	保温時平均値	124	—	124	330	15	345	47	*4
	グリラー	保温時平均値	556	286	842	482	42	525	140	*4
閉鎖型	オープン 250[°C]	閉鎖時平均値	124	—	124	77	2	79	9	*5
		開放時最大値	489	15	480	197	35	195	—	*6
		開放時積算値	30	—	30	13	—	12	—	*7
		閉鎖時平均値	60	—	60	29	—	29	—	*5
		開放時最大値	113	1376	1473	50	393	427	—	*6
		開放時積算値	8	12	20	3	2	6	—	*7
	スチーム 85[°C]	閉鎖時平均値	65	7	71	40	4	44	4	*5
		開放時最大値	149	1278	1361	67	608	671	—	*6
		開放時積算値	9	9	19	5	4	9	—	*7
	加湿オープン 250[°C]	閉鎖時平均値	163	—	163	110	25	135	21	*5
		開放時最大値	499	1320	1511	221	653	779	—	*6
		開放時積算値	32	4	37	15	3	17	—	*7
洗浄機	開放時最大値	101	1293	1390	—	—	—	—	*6	
	開放時積算値	2	9	11	—	—	—	—	*8	

*1: 機器(鍋)内水温60~80[°C]における平均発生熱を示している
 *2: 機器(鍋)内水温80~95[°C]における平均発生熱を示している
 *3: 沸騰時における平均発生熱を示している
 *4: 設定温度保温時における発生熱を示している

*5: 扉閉鎖時における平均発生熱を示している
 *6: 扉(機器)開放時の瞬時最大値を示している
 *7: 扉開放後3分間の積算熱量[Wh/kW]・水分量[g/kW]を示している
 *8: 1回の開閉動作で発生する積算熱量[Wh/kW]を示している

(3) 『閉鎖型調理機器』

『閉鎖型調理機器』のスチコンは、モードによって原単位は異なるものの、扉閉鎖時の全熱は電化、ガスのいずれにおいても定格出力の 17[%]未満であり、発生熱は非常に小さい。一方、扉開放時の最大値は、電化の場合、定格出力を超える値を示し、ガスにおいても扉閉鎖時に対して顕著に高い値を示す。しかし、最大値に近似する発熱の継続時間は短く、扉開放時に発生する熱の積算値は小さい。ここで、ガススチコンの扉開放時における潜熱最大値は、電気スチコンに対して小さい値となっている。これは、ガススチコンは電気スチコンに対して定格出力の大きい機器を使用しているが、庫内の容積はほぼ同様の大きさであり、両者の庫内に滞留する蒸気量はほぼ同量であると考えられ、扉開放時に発生する潜熱を定格出力で除して原単位とした場合、相対的にガススチコンの値が小さくなるためと推察される。電気洗浄機は、閉鎖時の継続時間が 70 秒間と非常に短く、平均値の精度が低くなるため、開放時最大値と積算値の原単位を表記している。電気スチコンと同様に扉開放時の最大値は定格出力を超える値となるが、継続時間が短く 1 回の洗浄作業で発生する積算値は小さい。しかし、繰り返して使用される場合が多いことから、熱負荷として算定を行う場合は、単位時間あたりの洗浄回数を見込んだ算定が必要である。

2.4 実調理時における発生熱

本節では、実際の調理において発生する熱を時系列的に把握し、電化・ガス厨房機器から発生する顕熱、潜熱の特性を明らかにする。また、実調理において発生する熱は定常的な性状を示さないため、発生頻度に基づいて整理した原単位を示す。

2.4.1 発生熱の経時変化および発生頻度

実調理時に発生する熱は、調理方法に応じた機器出力の調節や食材の投入に伴う温度低下、および水分の蒸発等によって常に変化する。また、本実験では調理方法を専門の調理人に一任しているため、同じ調理物においても電化厨房機器とガス厨房機器で調理工程や出力の異なる可能性があり、両者の発熱特性は異なるものと考えられる。なお、調理方法を専門の調理人に一任した理由は、一般的な調理方法を熟知していることから原単位を使用する際の汎用性が高く、かつ高度な調理技術を有することから発生熱の再現性が高いと判断したためである。本項では、『開放型調理機器』『定温度型調理機器』『閉鎖型調理機器』のそれぞれについて、各調理における時系列変化に基づいた顕熱、潜熱、全熱の発生頻度を求め、実調理における発生熱の特性を明らかにする。ここで、模擬調理実験においては実験を行っていないが、実調理実験では炊飯器のように特定の目的のみで使用される機器を『定発熱型調理機器』と定義し、発熱特性を明らかにする。

(1) 『開放型調理機器』

『開放型調理機器』の一例として図 2.4.1 に IH レンジによるチキンフリカッセ調理の経時変化を示す。顕熱は、実験開始から次第に上昇するが、10 分以降は 600[W]程度で推移し、若干変動する。潜熱は、実験開始直後の「炒め」調理に伴う上昇がみられ、8 分頃の水投入時には顕著に低下する。その後の「煮込み」調理では、かき混ぜや調味料の投入による変動を伴いながら微増している。

経時変化に基づく発生頻度分布、および発生頻度割合と発生熱比の関係を図 2.4.2 に示す。ここで、発生熱比は、各累積頻度割合における発生顕熱・潜熱・全熱を定格出力で除した値である。顕熱は、累積頻度割合 10~90[%]の範囲における発生熱が 300~600[W]に対応し、調理時間全体における発生熱は変動の小さいことがわかる。潜熱は、顕熱と比較して発生熱の変動が大きい。発生熱比は、累積頻度割合 100[%]では 0.70 を超える値となるが、95[%]では 0.41 であり、瞬時的に高い発熱が

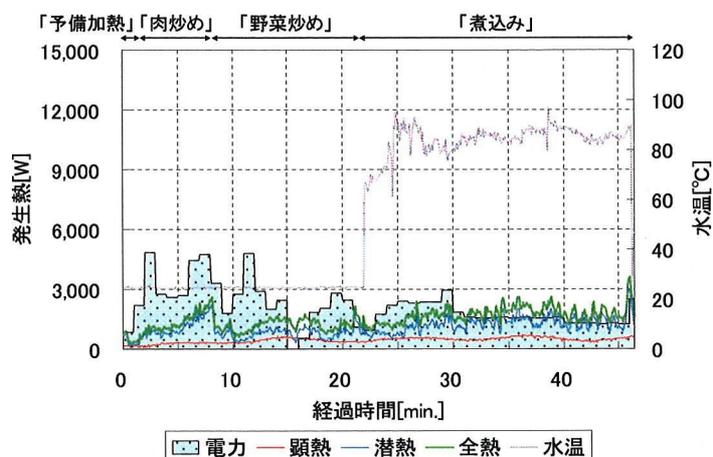


図 2.4.1 チキンフリカッセ調理時の発生熱(IH レンジ)

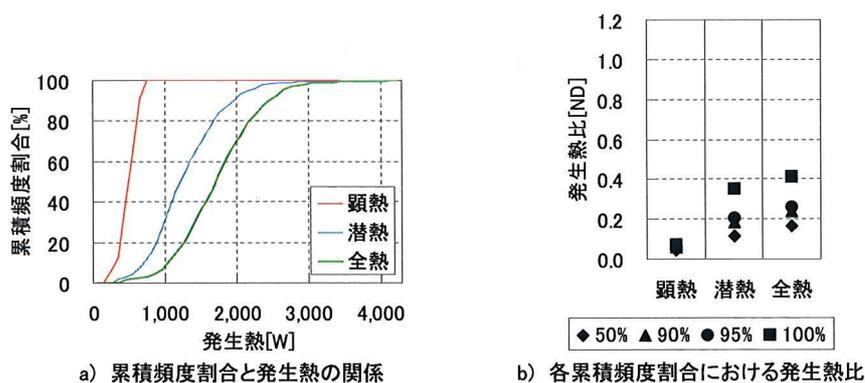


図 2.4.2 チキンフリカッセ調理時に発生する熱の累積頻度(IH レンジ)

生じるものの継続時間は短いことがわかる。全熱は、潜熱と同様の分布傾向を示す。累積頻度割合 95[%]の発生熱比は 0.52 であり、調理時間のほとんどは定格出力の 1/2 以下の発熱に留まることがわかる。

図 2.4.3 にガスレンジによるチキンフリカッセ調理の経時変化を示す。顕熱は、ガス燃焼によって実験開始直後から顕著に上昇し、約 5 分で 5,000[W]に達する。顕熱は、出力の調節によって顕著に変化するため、調理全体を通して IH レンジよりも変動が大きい。潜熱は、「野菜炒め」調理、「煮込み」調理など調理工程が変わる時に低下し、その後、継続的な加熱に伴って微増している。

経時変化に基づく発生頻度分布、および発生頻度割合と発生熱比の関係を図 2.4.4 に示す。顕熱は、累積頻度割合 10~90[%]の範囲における発生熱が 1,100~3,000[W]に対応し、調理時間全体における発生熱は IH レンジによる調理と比べて大きく、変動幅も大きい。発生熱比は、顕熱の累積頻度割合 50[%]において 0.40 を超えており、調理時間の半分以上において定格出力の 40[%]を超える熱の発生していることがわかる。潜熱は、顕熱と比較して発生熱の変動が小さく、a)の分布は顕熱よりも急勾配となる。発生熱比は、累積頻度割合 90[%]において 0.26 であり、定格出力に対する発熱は小さいといえる。全熱は、IH レンジによる調理と異なり、顕熱と同様の分布傾向を示す。累積頻度割合 50[%]の発生熱比は 0.58、95[%]の発生熱比は 0.77 であり、調理時間の半分以上は定格出力の 1/2 以上の熱が発生している。

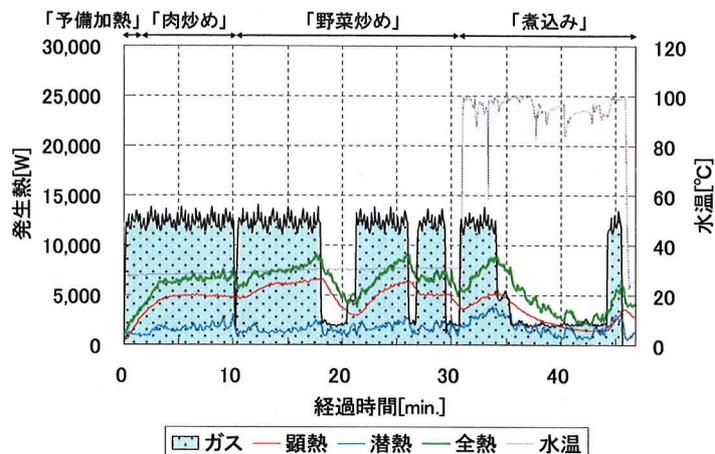


図 2.4.3 チキンフリカッセ調理時の発生熱(ガスレンジ)

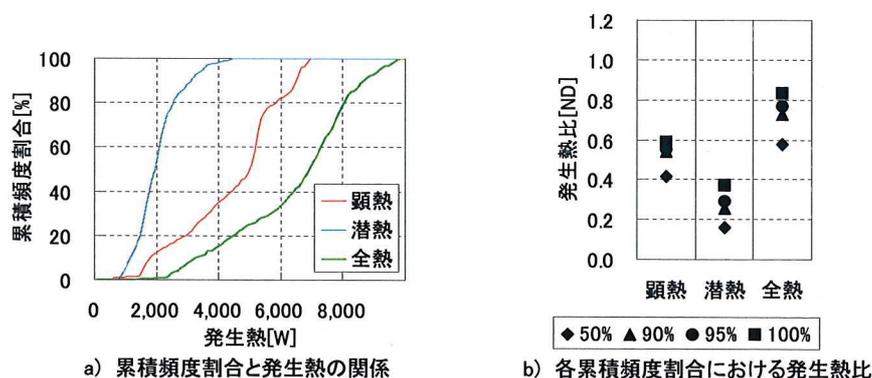


図 2.4.4 チキンフリカッセ調理時に発生する熱の累積頻度(ガスレンジ)

(2) 『定温度型調理機器』

『定温度型調理機器』の一例として図 2.4.5 に IH フライヤーによるトンカツ調理の経時変化を示す。「予備加熱」の間、顕熱はほとんど発生せず、「1回目」の食材投入時から次第に上昇する。「予備加熱」時では顕熱の発生がほとんどみられないことから、極めて高い熱効率を有すると考えられる。「1回目」の食材投入以降、顕熱は「2回目」「3回目」と段階的に上昇するが、これは、調理後の食材から発生する顕熱が含まれているためと考えられる。潜熱は、「1～3回目」のいずれにおいても食材投入時に顕著な上昇がみられ、その後、次第に低下している。これは、食材投入時に食材の表面に付着している水分が短時間に蒸発し、次いで食材内部の水分が順次蒸発するためと考えられる。油温は、食材投入時に 20～25[°C]低下し、調理後 3分程度で設定温度の 180[°C]に復帰する。

経時変化に基づく発生頻度分布、および発生頻度割合と発生熱比の関係を図 2.4.6 に示す。顕熱は、累積頻度割合 10～90[%]の範囲における発生熱が 400～900[W]に対応し、調理時間全体における発生熱は小さく、変動幅も小さい。発生熱比は累積頻度割合 95[%]において 0.15 であり、定格出力に対して小さい値を示す。潜熱は、累積頻度割合 10～90[%]の範囲における発生熱が 400～5,100[W]に対応し、調理時間全体における発生熱は比較的大きく、変動幅も大きい。発生熱比は、油に保有されている熱が発生するため、累積頻度割合 95[%]において 0.90 を超える値となり、潜熱のみで定格出力に近似した値となる。一方、累積頻度割合 50[%]における値は 0.25 であり、調理時と待機時の発熱に顕著な差異の生じることがわかる。全熱は、潜熱と同様の分布傾向を示し、発生熱比は累積頻度割合 50[%]において 0.36、95[%]では 0.99 となる。

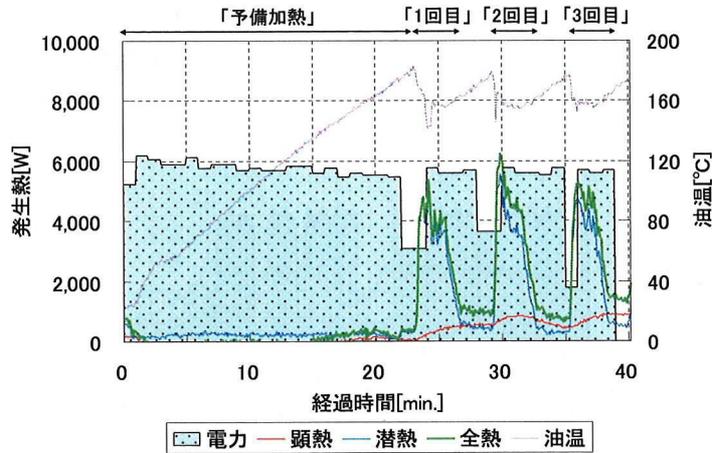


図 2.4.5 トンカツ調理時の発生熱 (IH フライヤー)

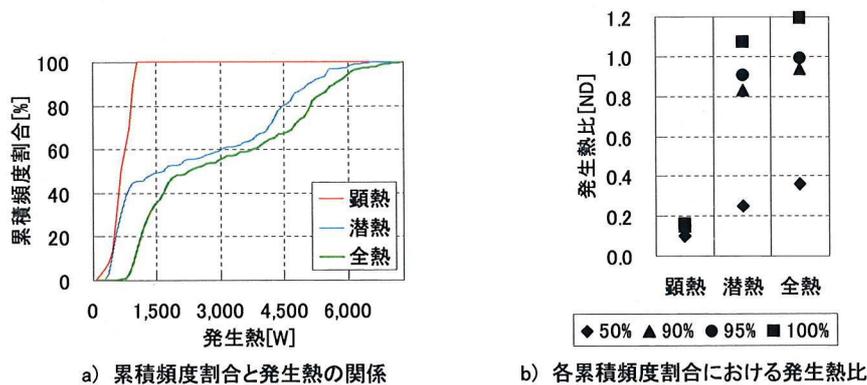


図 2.4.6 トンカツ調理時に発生する熱の累積頻度 (IH フライヤー)

図 2.4.7 にガスフライヤーによるトンカツ調理の経時変化を示す。顕熱は、ガス燃焼によって実験開始直後から約 1,500[W]発生し、「予備加熱」時においても次第に上昇している。「1 回目」の食材投入以降の顕熱は、IH フライヤーによる調理と同様に段階的な上昇がみられる。潜熱は、ガス燃焼による潜熱発生により、「予備加熱」時から 1,000[W]程度発生している。その後、「1~3 回目」のいずれにおいても食材投入時に顕著な上昇がみられ、調理の継続に伴い低下している。油温は、食材投入時に 20~25[°C]低下し、調理後 3 分半~4 分程度で設定温度の 180[°C]に復帰する。なお、食材投入直後に油温は低下するが、瞬間的に温度は約 160[°C]まで上昇することから、温度センサ近傍に食材が投入されたことによって、温度センサ近傍のみ油温が顕著に低下したものと考えられる。

経時変化に基づく発生頻度分布、および発生頻度割合と発生熱比の関係を図 2.4.8 に示す。顕熱は、累積頻度割合 10~90[%]の範囲における発生熱が 3,100~4,000[W]に対応し、調理時間全体における発生熱は比較的大きいものの、変動幅は小さい。発生熱比は累積頻度割合 95[%]において 0.35 であり、IH フライヤーと比べて大きな値を示す。潜熱は、累積頻度割合 10~90[%]の範囲における発生熱が 900~5,900[W]に対応し、調理時間全体における発生熱は比較的大きく、変動幅も大きい。発生熱比は、全熱においても 1.00 を超えないが、累積頻度割合 50[%]において 0.53、95[%]において 0.84 であり、調理時間全体を通して定格出力の 1/2 以上の熱が発生している。

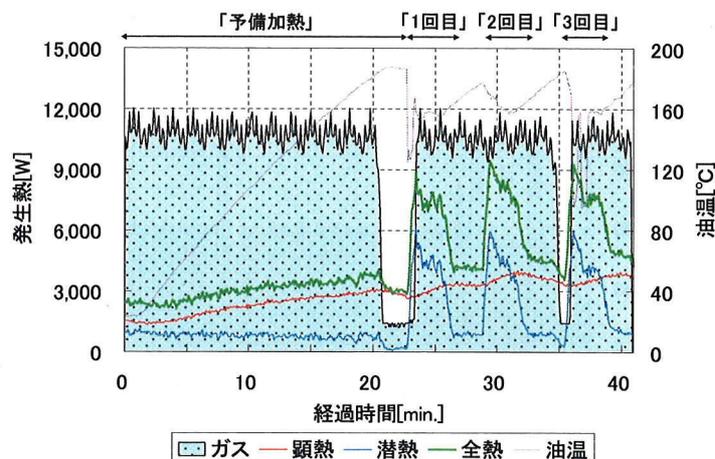


図 2.4.7 トンカツ調理時の発生熱(ガスフライヤー)

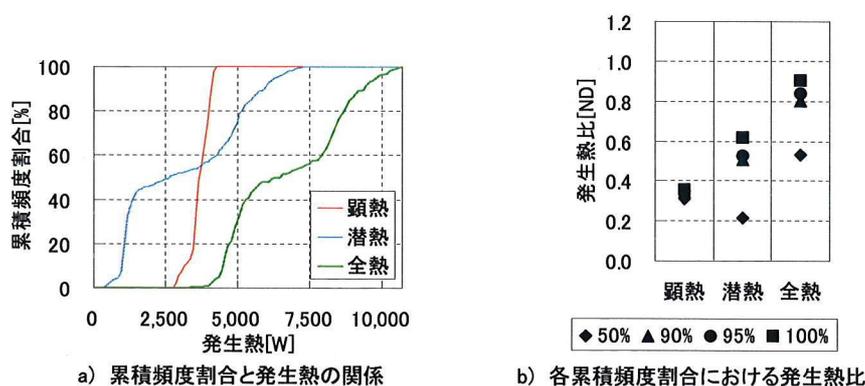


図 2.4.8 トンカツ調理時に発生する熱の累積頻度(ガスフライヤー)

(3) 『閉鎖型調理機器』

『閉鎖型調理機器』の一例として、図 2.4.9 に電気スチコンによるカボチャ・ブロッコリー調理の経時変化を示す。顕熱は、「予備加熱」時、「加熱調理」時のいずれにおいてもほとんど上昇せず、「予備加熱」後の食材投入時、および「扉開放」時に上昇する。潜熱についても顕熱と同様に「予備加熱」後と「扉開放」時のみ熱の発生がみられる。潜熱は、庫内に滞留する水蒸気が短時間に流出するため、「扉開放」時の最大値は 17,000[W] に達する。「加熱調理」時の庫内温度は、熱が食材に投入されるため、「予備加熱」時よりも上昇勾配は小さい。

経時変化に基づく発生頻度分布、および発生頻度割合と発生熱比の関係を図 2.4.10 に示す。顕熱は、累積頻度割合 10~90[%]の範囲における発生熱が 500~2,000[W] に対応し、調理時間のほとんどは扉を閉鎖した状態であるため、累積頻度割合が 80[%]を超える部分での値が顕著に大きくなる。これは、扉閉鎖時の時間が全実験時間の 80[%]を占めることとよく対応している。発生熱比は、累積頻度割合 50[%]において 0.08、95[%]において 0.27 であり、定格出力に対して発生熱は小さい値を示す。潜熱は、累積頻度割合 10~90[%]の範囲における発生熱が 300~3,300[W] に対応し、顕熱と同様に累積頻度割合が 80[%]を超える部分での値が顕著に大きくなる。発生熱比は、累積頻度割合 50[%]では 0.04 であるのに対して 95[%]では 0.89 となり、扉開放による瞬間的な発生熱は顕著に大きいことがわかる。全熱は、潜熱と同様の分布傾向を示し、発生熱比は累積頻度割合 50[%]において 0.12、95[%]では定格出力を超えて 1.12 となる。これは、庫内に滞留していた熱の流出が影響しているものと考えられる。

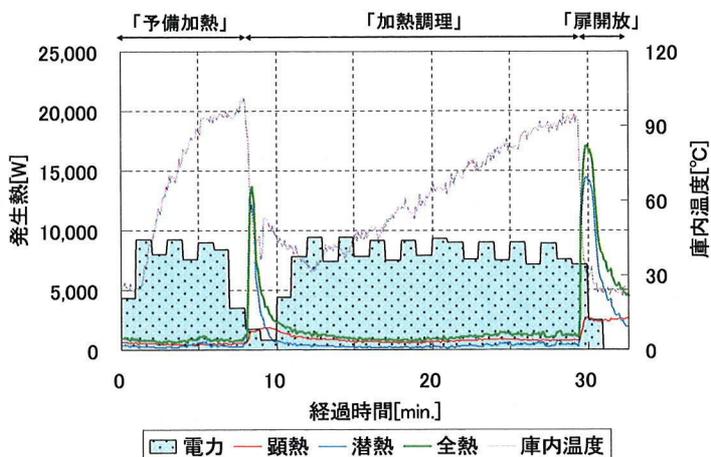


図 2.4.9 カボチャ、ブロッコリー調理時の発生熱(電気スチコン)

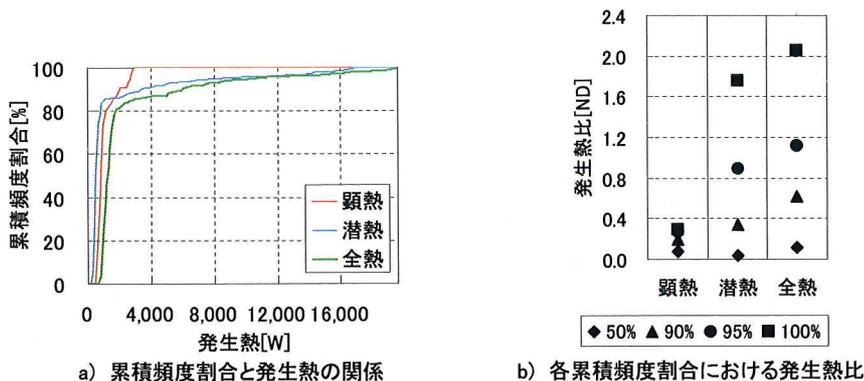


図 2.4.10 カボチャ、ブロッコリー調理時に発生する熱の累積頻度(電気スチコン)

図 2.4.11 にガススチコンによるカボチャ・ブロッコリー調理の経時変化を示す。顕熱は、実験開始直後から 800[W]程度となり、「予備加熱」後の食材投入時、および「扉開放」時に上昇する。「予備加熱」時、および「加熱調理」時の変動は小さい。潜熱は、「予備加熱」終了直前と「加熱調理」終了前の出力上昇時に 4,500~5,000[W]程度まで上昇し、その後の扉開放において顕著に上昇する。特に調理終了後の「扉開放」時では、庫内に滞留していた蒸気に加え、食材から発生する熱も加わり、最大で 19,200[W]に達する。「加熱調理」時の庫内温度は、熱が食材に投入されるため、「予備加熱」時よりも上昇勾配は緩やかとなる。

経時変化に基づく発生頻度分布、および発生頻度割合と発生熱比の関係を図 2.4.12 に示す。顕熱は、累積頻度割合 10~90%の範囲における発生熱が 900~2,100[W]に対応し、調理時間のほとんどは扉を閉鎖した状態であるため、扉開放時における発熱の該当する累積頻度割合 80%以上における値が大きくなる。ガス燃焼に伴う顕熱が発生するため、電気スチコンによる調理より大きな値を示すものの、累積頻度割合と発生熱の関係は類似した傾向を示す。発生熱比は、累積頻度割合 95%において 0.10 であり、定格出力に対する発生熱の比率は低い。潜熱は、累積頻度割合 10~90%の範囲における発生熱が 400~3,100[W]に対応し、顕熱と同様に累積頻度割合が 80%を超える部分での値が顕著に大きくなる。発生熱比は、累積頻度割合 50%では 0.02 であるのに対し、95%では 0.25、100%では 0.89 となる。「扉開放」時における発生熱比は、電気スチコンによる調理と比較して小さい値を示すが、「予備加熱」時や「加熱調理」時と比べて顕著に大きくなる傾向は類似している。全熱は、潜熱と同様の分布傾向を示し、発生熱比は累積頻度割合 50%において 0.08、95%では庫内に滞留する熱の流出によって定格出力とほぼ同等の熱が発生し、1.01 となる。

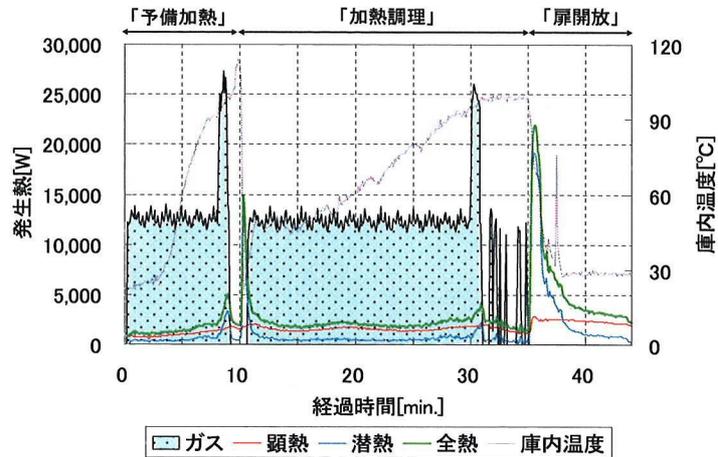


図 2.4.11 カボチャ、ブロッコリー調理時の発生熱(ガススチコン)

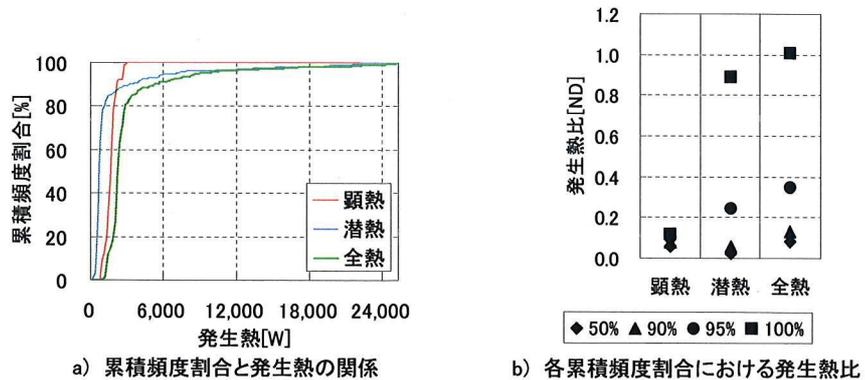


図 2.4.12 カボチャ、ブロッコリー調理時に発生する熱の累積頻度(ガススチコン)

(3) 『定発熱型調理機器』

『定発熱型調理機器』の一例として、図 2.4.13 に電気炊飯器による炊飯調理の経時変化を示す。顕熱は、調理開始後 15 分頃から次第に上昇する。その後、若干の変動を伴いながら上昇し、調理終了直前には約 2,330[W]に達する。機器出力との関連性がほとんどみられないことから、顕熱のほとんどは機器本体を貫流する熱であると考えられる。潜熱は、調理開始後 25 分過ぎから次第に上昇するものの、34 分頃から低下し 50 分以降はほとんど発生していない。調理時間を通じての最大値は 1,590[W]であり、大きな変動はほとんどみられない。庫内温度と発生潜熱のピーク時がほぼ同じ時間となることから、温度上昇に伴う圧力上昇を抑制するための蒸気抜きが作動する際に潜熱が発生しているものと考えられる。

経時変化に基づく発生頻度分布、および発生頻度割合と発生熱比の関係を図 2.4.14 に示す。顕熱は、累積頻度割合 10~90[%]の範囲における発生熱が 0~1,400[W]に対応し、発生熱は比較的小さく、変動幅も小さい。発生熱比は、累積頻度割合 50[%]において 0.05、95[%]において 0.11 であり、発生顕熱は調理時間のほとんどにおいて定格出力の 11[%]以下に留まることがわかる。潜熱は、累積頻度割合 10~90[%]の範囲における発生熱が 0~1,000[W]に対応し、顕熱と同様に定格出力に対する発生熱は小さく、変動幅も比較的小さい。発生熱比は、累積頻度割合 50[%]では 0.01、95[%]において 0.08 であり、調理時間全体を通じて潜熱はほとんど発生しない。全熱の発生熱比は、累積頻度割合 50[%]において 0.06、95[%]では 0.16 であり、投入電力に対して顕著に低い値を示すことから、非常に熱効率の高いことがわかる。

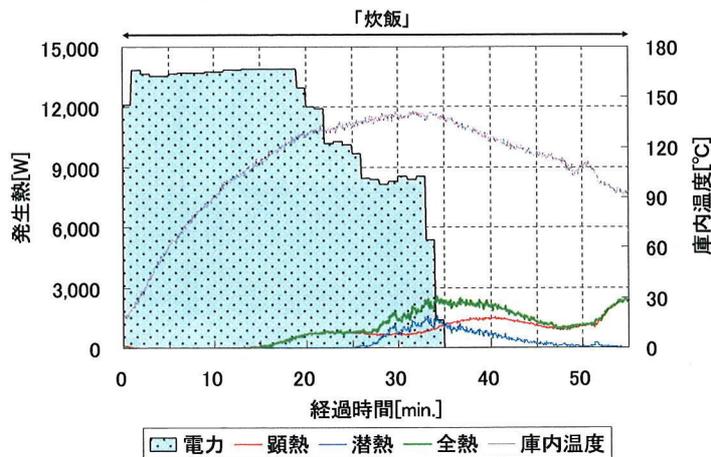


図 2.4.13 炊飯調理時の発生熱(電気炊飯器)

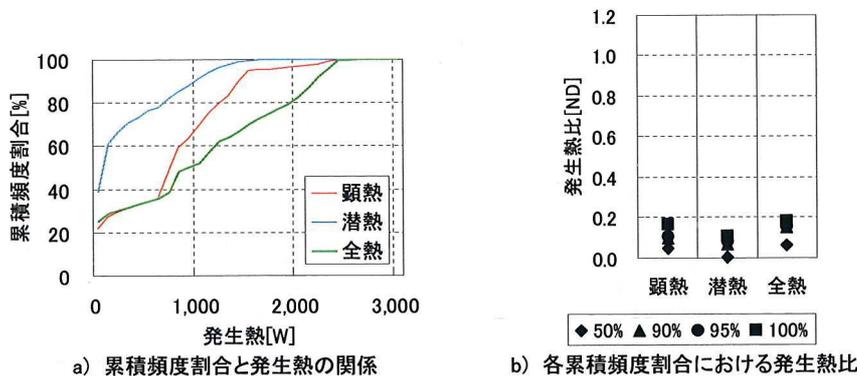


図 2.4.14 炊飯調理時に発生する熱の累積頻度(電気炊飯器)

図 2.4.15 にガス炊飯器による炊飯調理の経時変化を示す。顕熱は、調理開始直後から次第に上昇し、20 分過ぎには 9,020[W] に達する。その後、機器の自動制御によってガス燃焼を停止するため、発生顕熱は低下し、調理開始後 30 分以降は 2,000~2,500[W] で変動している。潜熱は、ガス燃焼量に伴って上昇し、4~13 分では定常的な値を示す。その後、庫内温度が安定する頃から潜熱は上昇し、最大値は 13,940[W] となる。その後は次第に低下し、30 分以降においては潜熱はほとんど発生していない。

経時変化に基づく発生頻度分布、および発生頻度割合と発生熱比の関係を図 2.4.16 に示す。顕熱は、累積頻度割合 10~90% の範囲における発生熱が 1,400~8,200[W] に対応し、発生熱は電気炊飯器と比べて大きく、変動幅も大きい。発生熱比は、累積頻度割合 50% において 0.11、95% において 0.25 である。潜熱は、累積頻度割合 10~90% の範囲における発生熱が 0~9,300[W] に対応し、顕熱と同様に定格出力に対する発生熱は比較的大きく、変動幅も大きい。発生熱比は、累積頻度割合 50% では 0.04、95% において 0.32 であり、調理時間の半分以上は定格出力の 10% 未満の発生潜熱に留まることがわかる。全熱の発生熱比と累積頻度割合の関係は、潜熱と同様に短時間に高い値を示す傾向がみられ、累積頻度割合 50% において 0.15、95% において 0.56 となる。

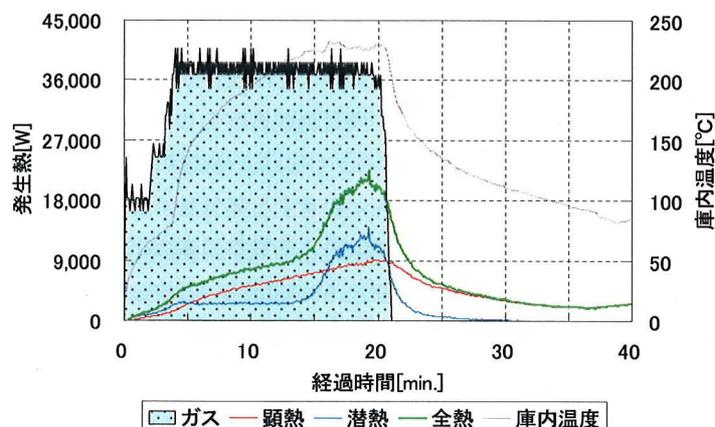


図 2.4.15 炊飯調理時の発生熱(ガス炊飯器)

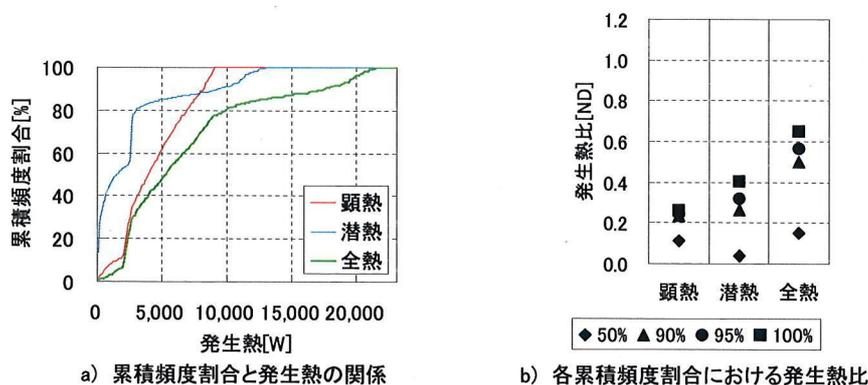


図 2.4.16 炊飯調理時に発生する熱の累積頻度(ガス炊飯器)

2.4.2 実調理時に発生する熱の原単位

前項の結果から、各供試機器の実調理時に発生する熱の発生頻度を求めることにより、それぞれの発熱特性を明らかにすることができる。表 2.4.1 に、各累積頻度割合における発熱を定格出力で除した値を、各調理における発生熱原単位としてまとめた。

『開放型調理機器』の顕熱原単位は、電気・ガス調理機器のいずれ調理においても、累積頻度割合の違いによる差異は小さい。潜熱は、同種の機器を用いた実験においても、調理内容によって大きく異なるのがみられる。電気ゆで麺器による冷凍うどん調理では、累積頻度割合 50[%]における潜熱原単位は382[W/kW]と比較的小さい値を示すが、中華麺調理の原単位は948[W/kW]であり、冷凍うどん調理の2倍以上の値となっている。ガスゆで麺器においても、冷凍うどん調理と中華麺調理では潜熱原単位は異なるものの、電気ゆで麺器よりも顕熱原単位が大きいため、潜熱原単位の差異は電気ゆで麺器よりも小さい。ここで、電気ゆで麺器による調理の原単位に1,000[W/kW]を超えるものがみられるが、これは食材投入時にゆで麺器内で沸騰している水の保有する熱が瞬間的に発生するため、定格出力を超える値となるものと考えられる。

『定温度型調理機器』の顕熱原単位は、同種の機器を使用した調理では累積頻度割合による差異が比較的小さく、機器の違いによる差異が比較的大きい。しかし、これは機器特性とも考えられるが、各機器の設定温度がフライヤーの場合180[°C]、グリドルは250[°C]、グリラーは設定温度による制御は行っていないが実験時に測定した表面温度は339[°C]となることから、それぞれの機器にお

ける加熱面の温度が影響していると考えられる。潜熱原単位は、フライヤーやグリドルなどあらかじめ設定温度に昇温された油や鉄板に食材が直接触れる機器は、累積頻度割合 50[%]と 90[%]に比較的大きな差異がみられる。

『閉鎖型調理機器』の顕熱原単位は、電気スチコンでは設定モードの違いによる差異が比較的大きいのに対し、ガススチコンでは電気スチコンほどの差異は生じない。潜熱原単位は、電気スチコン、ガススチコンのいずれにおいてもスチームモードによる調理の値は、加湿モードの調理よりも大きい値を示す。これは、モードによって庫内に保有する蒸気量が異なるためといえる。累積頻度割合に対する顕熱・潜熱原単位の関係は、扉閉鎖時と開放時の差異が大きいため、電気スチコン、ガススチコンのいずれにおいても、累積頻度割合 50[%]における値と比べて、累積頻度割合 90[%]以上の値は顕著に大きくなる。

表 2.4.1 実調理時における発熱原単位

発熱タイプ	機器名称	調理内容	累積頻度割合 [%]	電気			ガス			
				顕熱 [W/kW]	潜熱 [W/kW]	全熱 [W/kW]	顕熱 [W/kW]	潜熱 [W/kW]	全熱 [W/kW]	
開放型	レンジ	焼き飯	50	112	104	220	414	124	521	
			90	136	261	368	493	194	656	
			95	139	309	393	519	203	686	
			100	146	402	489	574	269	796	
		チキンフリカッセ	50	46	116	166	418	160	578	
			90	59	188	239	542	256	726	
	95		62	207	259	554	289	768		
	テイルパン	金平ゴボウ	50	95	655	755				
			90	117	910	1010				
			95	120	961	1051				
			100	125	1016	1101				
	ゆで麺器	冷凍うどん	50	46	382	428	310	254	562	
			90	58	607	667	321	384	693	
			95	60	670	725	326	407	707	
			100	62	749	806	333	457	789	
		中華麺	50	86	948	1025	278	465	748	
90			100	1276	1358	287	622	905		
95	102		1321	1416	291	654	939			
定温度型	フライヤー	トンカツ	50	99	250	359	311	216	533	
			90	151	836	938	347	505	803	
			95	153	911	993	349	529	836	
			100	159	1076	1193	358	619	906	
		コロッケ	50	121	171	301	280	142	421	
			90	174	457	573	317	223	490	
	95		177	562	669	324	268	524		
	グリドル	ステーキ	50	179	743	886	331	373	647	
			90	232	147	387	422	163	564	
			90	262	402	650	461	337	738	
			95	269	435	678	468	412	828	
		ハンバーグ	100	282	552	827	486	577	980	
			50	179	90	270	360	97	442	
			90	213	182	360	385	176	545	
			95	224	197	372	396	199	566	
		グリラー	焼き鳥	100	237	223	413	406	233	611
				50	413	253	667	531	110	642
				90	449	305	726	641	131	765
				95	455	320	747	663	138	783
	閉鎖型	スチコン	カボチャ・ブロッコリー (スチーム100[°C])	100	470	342	792	689	223	829
				50	82	42	122	61	24	85
				90	202	342	617	82	121	204
				95	275	892	1120	104	248	351
			カボチャ・ニンジン (スチーム100[°C])	100	295	1760	2052	116	890	1006
50				98	43	142	68	32	98	
90				206	254	569	96	153	255	
95				323	652	948	105	377	482	
冷凍ハンバーグ (加湿オープン250[°C])			100	340	1764	2084	145	941	1085	
			50	150	50	213	86	55	141	
			90	273	253	477	141	107	221	
			95	332	471	783	168	121	241	
定発熱型	炊飯器	炊飯	100	511	1170	1359	192	749	865	
			50	49	7	63	112	40	152	
			90	97	69	153	236	267	503	
			95	111	83	160	247	322	563	
			100	167	111	181	261	402	649	

『定発熱型調理機器』に該当する炊飯器による調理の発熱に関しては、前項において示しているが、他の供試機器の原単位と比較するならば、電気とガスの熱源の違いによる全熱原単位の差が顕著に大きい。

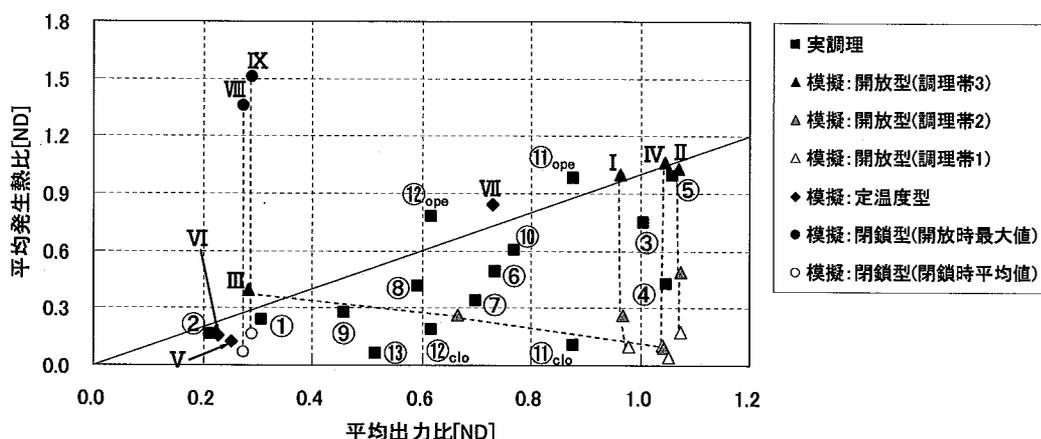
表 2.4.1 の各累積頻度割合における発生熱原単位は、実調理時に発生する熱の特性を把握するとともに、空調・換気設計における熱負荷を算定する際の資料として有用であると考えられる。

2.5 模擬調理時と実調理時における発生熱の関係

前節までに、各供試機器における模擬調理時と実調理時の発生熱を明らかにし、原単位として整理した。模擬調理は、各供試機器の最大出力を想定したものであるが、実調理実験では模擬調理時における「調理帯 3」の発生熱を超えるものがみられ、原単位として定格出力を超える値を示すものもある。一方、調理内容によっては模擬調理時における「調理帯 2」の発生熱に満たないものもある。これより本節では、一般性が高いと考えられる模擬調理時における発生熱に対する、各実調理時における発生熱の位置づけを明らかにし、実調理時の発生熱を検討する際の有用な資料とする。

(1)電化厨房機器使用時

図 2.5.1 に電化厨房機器による模擬調理時と実調理時における平均出力比と平均発生熱比の関係を示す。なお、平均出力比および平均発生熱比は、調理全体における平均出力および平均発生熱をそれぞれ定格出力で除した値であり、散布図中の各記号は下表の各記号と対応している。『開放型調



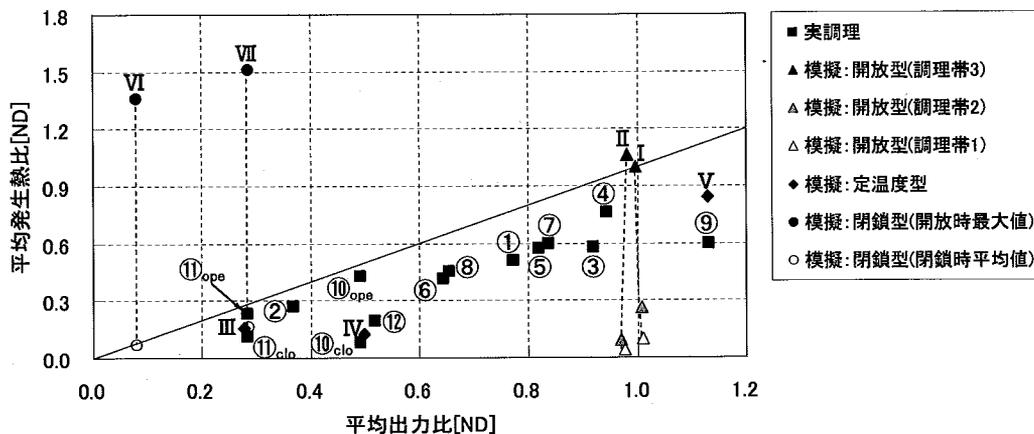
発熱タイプ	記号	供試機器	発生熱区分	出力	顕熱	潜熱	全熱	記号	調理内容	出力	顕熱	潜熱	全熱		
開放型	I	レンジ	調理帯3	0.96	0.15	0.86	1.00	①	焼き飯	0.31	0.11	0.13	0.24		
			調理帯2	0.97	0.08	0.19	0.26	②	チキンフリカッセ	0.21	0.04	0.12	0.17		
			調理帯1	0.98	0.05	0.05	0.10								
	II	ティルバン	調理帯3	1.07	0.11	0.93	1.04	③	金平ゴボウ	1.00	0.10	0.65	0.75		
			調理帯2	1.07	0.05	0.44	0.49								
			調理帯1	1.07	0.03	0.15	0.18								
	III	スープケトル	調理帯3	0.28	0.03	0.37	0.39	④	冷凍うどん	1.05	0.04	0.38	0.43		
			調理帯2	0.67	0.02	0.25	0.26								
			調理帯1	1.04	-	0.11	0.11								
	IV	ゆで麺器	調理帯3	1.05	0.07	1.00	1.06	⑤	中華麺	1.06	0.08	0.92	1.00		
			調理帯2	1.04	0.01	0.09	0.09								
			調理帯1	1.05	0.01	0.04	0.05								
定温度型	V	フライヤー	保温時	0.23	0.14	0.02	0.16	⑥	トンカツ	0.73	0.10	0.39	0.49		
			VII	グリラー	保温時	0.73	0.56	0.29	0.84	⑦	コロッケ	0.70	0.13	0.21	0.34
						⑧	ステーキ	0.59	0.23	0.18	0.42				
閉鎖型	VIII	スチコン スチーム100[°C]	閉鎖時平均値	0.27	0.07	0.01	0.07	⑨	ハンバーグ	0.46	0.18	0.10	0.28		
			開放時最大値	0.27	0.15	1.28	1.36	⑩	焼き鳥	0.77	0.37	0.23	0.61		
			スチコン 加温オープン250[°C]	閉鎖時平均値	0.29	0.16	-	0.16	⑪ _{clo}	カボチャ、ブロッコリー	0.88	0.08	0.03	0.11	
IX	スチコン 加温オープン250[°C]	開放時最大値	開放時最大値	0.29	0.50	1.32	1.51	⑪ _{ope}	カボチャ、ブロッコリー	0.88	0.25	0.73	0.98		
			⑫ _{clo}	冷凍ハンバーグ	0.62	0.14	0.05	0.19							
			⑫ _{ope}	冷凍ハンバーグ	0.62	0.32	0.46	0.78							
定発熱型	-	-	-	-	-	-	⑬	炊飯	0.52	0.05	0.02	0.06			

図 2.5.1 電化厨房機器による実調理時と模擬調理時における平均出力と平均発生熱の関係

理機器』のIHレンジによる実調理では、いずれも平均出力は定格出力の40[%]未満であり、平均発生全熱は30[%]未満に留まる。模擬調理時の平均発生熱と比較するなら、いずれの調理も「調理帯2」より小さい値となる。ティールパンによる金平ゴボウ調理は、焼き飯調理と同じ「炒め」調理であるが、ほぼ定格出力で調理が行われ、発生全熱は定格出力の70[%]を超える。これより、使用する厨房機器、調理内容等により発生熱は顕著に異なることがわかる。ゆで麺器による調理は、いずれも「ゆで」調理であるが、冷凍の有無により発生熱は顕著に異なる。中華麺調理は、模擬調理における「調理帯3」とほぼ同等の発熱となる。『定温度型調理機器』のIHフライヤーによる実調理では、いずれの調理においても平均出力および平均発生顕熱は同等の値を示すが、潜熱はコロッケ調理に比べて水分を多く含むトンカツ調理のほうが大きい値を示す。グリドルによる調理はいずれも「焼く」調理であるが、調理内容によって平均出力は異なり、いずれも平均出力の60~70[%]程度の全熱が発生している。IHフライヤー、グリドルによる調理では、調理物の投入によって低下する油温、機器表面温度を設定温度まで昇温させるため、模擬調理時よりも出力は顕著に大きくなり、それに伴って発生熱も顕著に大きくなる。グリラーによる実調理は、模擬調理時と同程度の出力で調理は行われているが、実調理では食材の加熱に熱を要するため、模擬調理時の発生全熱に対して約23ポイント低い値を示している。『閉鎖型調理機器』に該当するスチコンによる実調理では、いずれの調理においても模擬調理時に対して平均出力は顕著に大きくなり、発熱全熱の閉鎖時平均値は大きくなる。一方、開放時最大値は、食材の加熱に熱を要するため、閉鎖時平均値に対しては顕著に大きくなるが、模擬調理時における開放時最大値よりは小さい値となる。

(2)ガス厨房機器使用時

図2.5.2にガス厨房機器による実調理時と模擬調理時における平均出力比と平均発生熱比の関係を示す。『開放型調理機器』のガスレンジによる焼き飯調理は、定格出力の77[%]程度の高い出力で調



発熱タイプ	記号	供試機器	発生熱区分	出力	顕熱	潜熱	全熱	記号	調理内容	出力	顕熱	潜熱	全熱
開放型	I	レンジ	調理帯3	1.00	0.15	0.86	1.00	①	焼き飯	0.77	0.39	0.12	0.51
			調理帯2	1.01	0.08	0.19	0.26	②	チキンフリカッセ	0.37	0.19	0.08	0.27
			調理帯1	1.01	0.05	0.05	0.10						
	II	ゆで麺器	調理帯3	0.98	0.07	1.00	1.06	③	冷凍うどん	0.92	0.31	0.27	0.58
			調理帯2	0.97	0.01	0.09	0.09	④	中華麺	0.94	0.28	0.48	0.76
			調理帯1	0.98	0.01	0.04	0.05						
定温度型	III	フライヤー	保温時	0.28	0.14	0.02	0.16	⑤	トンカツ	0.82	0.31	0.26	0.57
	IV	グリドル	保温時	0.50	0.12	-	0.12	⑦	ステーキ	0.84	0.42	0.17	0.60
				⑥	コロッケ	0.64	0.28	0.14	0.42				
				⑧	ハンバーグ	0.65	0.35	0.10	0.45				
				⑨	焼き鳥	1.13	0.49	0.11	0.60				
閉鎖型	VI	スチコン	閉鎖時平均値	0.08	0.07	0.01	0.07	⑩clo	カボチャ、ブロッコリー	0.49	0.06	0.02	0.08
			開放時最大値	0.08	0.15	1.28	1.36	⑩ope		0.49	0.10	0.33	0.43
	VII	スチコン	閉鎖時平均値	0.29	0.16	-	0.16	⑪clo	冷凍ハンバーグ	0.28	0.07	0.04	0.12
			開放時最大値	0.29	0.50	1.32	1.51	⑪ope		0.28	0.15	0.09	0.23
定発熱型	-	-	-	-	-	-	-	⑫	炊飯	0.52	0.12	0.07	0.19

図2.5.2 ガス厨房機器による実調理時と模擬調理時における発生熱の関係

理が行われ、平均発生全熱は定格出力の51[%]に達する。IHレンジと比べて発生顕熱の比率が顕著に高く、ガス厨房機器による「炒め」調理の特徴が窺える。また、チキンフリカッセ調理における平均発生全熱は、模擬調理時の「調理帯2」よりも大きい値となる。ガスゆで麺器による調理は、電気ゆで麺器と同様にほぼ定格出力と同等の出力で調理が行われ、いずれの調理においても平均発生全熱は50[%]を超える。電気ゆで麺器による調理にもみられるように、冷凍の有無によって発生全熱は異なる。『定温度型調理機器』のガスフライヤーによる実調理では、食材の投入によって油温が低下するため、模擬調理時に比べて平均出力は顕著に大きくなり、発生顕熱・潜熱・全熱は総じて大きくなる。グリドルによる調理では、食材の加熱に要する熱を供給するため出力は大きくなり、顕熱の値は顕著に大きくなる。また、食材に含まれる水分が潜熱となって発生し、発生全熱は模擬調理時の4~5倍程度となる。グリラーによる実調理は、模擬調理と同等の出力で調理は行われているが、発生熱は総じて低い値を示す。『閉鎖型調理機器』のスチコンによるカボチャ、ブロッコリー調理では、模擬調理と比べて平均出力は大きくなるが閉鎖時における平均発生全熱は同程度となる。また、開放時最大値は、実調理における発生潜熱は模擬調理時と比べて顕著に小さくなり、発生全熱は約1/3となる。一方、冷凍ハンバーグ調理では、平均出力は模擬調理時と同等の値を示し、閉鎖時平均、開放時最大の発生全熱はいずれも小さい値を示す。

以上のことから、厨房機器から発生する熱は、電化とガスによる違い、使用機器の違い、調理内容の違いなどによって多様な特性を示すことを把握した。本節では、限られた調理についての知見に留まるが、『開放型調理機器』『低温度型調理機器』『閉鎖型調理機器』『定発熱型調理機器』の分類の基に調理方法、および熱の発生状況を考察することにより、模擬調理時における発熱に対する実調理時における発熱の位置づけを行った。

2.6 結語

本章では、電化厨房機器の特性を明らかにすることを目的として、機器から発生する熱を明らかにし、従来のガス厨房機器と比較することによって、その特性の違いを示した。以下に知見をまとめる。

高気密・高断熱性能を有する実験室を構築し、大量調理施設で使用される代表的な厨房機器を対象とした模擬調理実験を行った。電化厨房機器、ガス厨房機器それぞれについて定格出力時、保温時等における発生熱を明らかにし、『開放型調理機器』『定温度型調理機器』『閉鎖型調理機器』の分類の基に発熱原単位を示した。電化厨房機器とガス厨房機器では、ガス燃焼の有無によって発生する顕熱、潜熱の比率が顕著に異なることを示した。これより、厨房における空調・換気設計は、電化とガスによって熱負荷計算に適用する値を変更する必要があるとあり、本章で示す発生熱原単位はその基となる有用な資料であるといえる。

また、模擬調理実験で利用した電化・ガス厨房機器で実調理実験を行い、発生する熱を明らかにした。実調理では、発生熱が常時変化することを考慮し、累積頻度割合に基づいて発熱原単位を示した。実調理における発生熱は、調理内容や使用機器によって模擬調理時の値より顕著に小さい値を示すもの、模擬調理時の値を超えるものなど多様な特性がみられることを示した。

最終節では、多様な発熱特性を示す実調理における発生熱を機器出力との関係から検討し、普遍性の高い模擬調理時の結果と比較することによって、各実調理時における発生熱の位置づけを行った。これらの知見は、模擬調理時における発生熱に基づき、実調理時における発生熱を予測する手法の一助になると考えている。

【参考文献】

- 1) 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 柿本晋太郎, 熊尾隆丈, 森本旭: 業務用電化厨房機器の発生熱負荷と適正排気量に関する研究 第1報 各種厨房機器からの発生熱量, 空気調和・衛生工学会論文集 NO.95, pp.1-13, 2004.10
- 2) 清田誠良, 村川三郎, 西胤暢夫, 西名大作, 柿本晋太郎: 業務用厨房機器からの発生負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その1 実験室の概要と基本性能, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第25巻, pp.529-532, 2002.3
- 3) 柿本晋太郎, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 西名大作: 業務用厨房機器からの発生負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その2 ガスレンジおよび電磁調理器からの発生負荷, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第25巻, pp.533-536, 2002.3
- 4) 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 柿本晋太郎, 熊尾隆丈, 森本旭, 寺島広大, 小川浩二: 業務用厨房機器からの発生負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その3 実調理による発生負荷と負荷原単位, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第26巻, pp.581-584, 2003.3
- 5) 熊尾隆丈, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 柿本晋太郎, 森本旭, 寺島広大, 小川浩二: 業務用厨房機器からの発生負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その6 回転釜の発生負荷特性の解析, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第26巻, pp.593-596, 2003.3
- 6) 柿本晋太郎, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 西名大作, 小川浩二: 業務用厨房における温熱環境の評価研究 その1 実験概要およびガスレンジ・IHレンジからの発生負荷, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) D-2, pp.39-40, 2002.8
- 7) 森本旭, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 柿本晋太郎, 熊尾隆丈, 小川浩二: 業務用厨房における温熱環境の評価研究 その2 模擬・実調理による各種業務用厨房機器からの発生負荷, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海) D-2, pp.321-322, 2003.9
- 8) 柿本晋太郎, 村川三郎, 清田誠良, 西名大作, 西胤暢夫, 小川浩二, 熊尾隆丈: 業務用厨房機器から発生する各種負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その1 実験室概要とレンジからの発生負荷, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1445-1448, 2002.9
- 9) 熊尾隆丈, 村川三郎, 清田誠良, 西名大作, 西胤暢夫, 小川浩二, 柿本晋太郎: 業務用厨房機器から発生する各種負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その2 各種機器から発生する熱負荷特性, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1449-1452, 2002.9
- 10) 森本旭, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 柿本晋太郎, 熊尾隆丈, 小川浩二: 業務用厨房機器から発生する各種負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その3 実調理から発生する熱負荷の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.373-376, 2003.9

—第3章—

機器使用時における熱上昇流の解析と 適正排気量の検討

- 3.1 序
 - 3.2 実験および解析概要
 - 3.3 模擬調理時における熱上昇流の解析
 - 3.4 模擬調理時における排熱性状の解析
 - 3.5 機器周辺に形成される温熱環境の検討
 - 3.6 電化厨房機器に対する適正排気量の検討
 - 3.7 結語
-

3.1 序

厨房の温熱環境を制御するものは、適切な排気とそれに要する給気を適切に行う換気システムと、熱負荷を適切に処理する空調システムである。前章に示したように、厨房機器からの発熱は大きく、すべての発熱を空調のみで処理するためには膨大なエネルギーが必要となる。そこで、厨房における空調・換気設備は、適切な換気を行うことによって発生熱のほとんどを排気で処理し、熱上昇流の上昇過程における拡散や排気フード等の排気装置に衝突する際の拡散によって、厨房内に残留する熱を空調で処理することが有効な手法となる。適切な換気に必要とされる性能は、機器から発生する熱上昇流に伴う発生負荷を速やかに排出することである。そのためには、電化厨房の特性を考慮した排気方式の確立と適正排気量の確保が重要となる。本章では、従来の燃焼式厨房機器とは加熱機構の異なる電化厨房機器の特性を把握するため、機器使用時における熱上昇流の拡散性状を可視化実験と CFD 解析より明らかにする。また、排気フード型排気方式を適用して模擬調理実験を行い、排気量を変化させた場合の排熱性状と機器周辺に形成される温熱環境の検討から電化厨房機器に対する適正排気量を同定する。

3.2 実験および解析概要

本節では、鍋上方に形成される熱上昇流の拡散性状を把握する実験（実験①）と、電化厨房機器に対する適正排気量を同定する実験（実験②）の概要を述べる。

3.2.1 実験①(熱上昇流の拡散性状の検討)の概要

本実験で使用する IH レンジは、Induction Heating (電磁誘導) により鍋を加熱する機構である。そのため、ガスや、シーズヒーターなど、これまで多用されてきた裸火を使用する機器とは、熱上昇流の形成状況が異なるものと考えられる。熱上昇流の拡散性状は、熱上昇流の温湿度や風速を直接測定することで、周辺空間に対する熱的影響を検討することができるが、熱上昇流は高温多湿であり、測定機器の精度低下、および水蒸気の気化熱による冷却効果などにより測定精度の確保が困難である。そこで、本実験では、鍋から発生する水蒸気の可視化実験を行い、PIV (Particle Image Velocimetry) 解析によって流速分布を求めることとした。また、併せて実験に基づいた CFD 解析を行い、流速分布の再現、および顕熱、潜熱の拡散性状について検討した。

(1) 実験および PIV 解析の概要

実験室概要、および供試機器の設置状況を図 3.2.1 に示す。実験は、IH レンジ 2 口を使用し、定格出力による湯沸し実験を行った。給気は床面の SA 部分から行い、排気は上方へ十分な距離をとった位置に天井型排気装置を設置し、排気口 EA1 から排気を行った。実験①の実験条件を表 3.2.1 に示す。実験時の排気は、国土交通省監修の建築設備設計基準（平成 18 年度版 pp.386-389）を採用し、30Q (Q: 機器定格出力[kW]) としている。熱上昇流の撮影は、レーザーライトシート (DPSS ハイパワーグリーンレーザーシステム: MELLES GRIOT 製) により鍋上部に発生する水蒸気を浮かび上がらせ、高感度ビデオカメラ (AP イメージャカメラ: 浜松ホトニクス株式会社製) により撮影した。撮影時の状況を図 3.2.2 に示す。撮影した映像から 1/30 秒ごとの静止画像を作成し、PIV 解析ソフト (DIPP-FLOW: 株式会社ディテクト製) を使用して熱上昇流の流速分布を求めた。なお、流速の平均化時間は 15 秒としている。

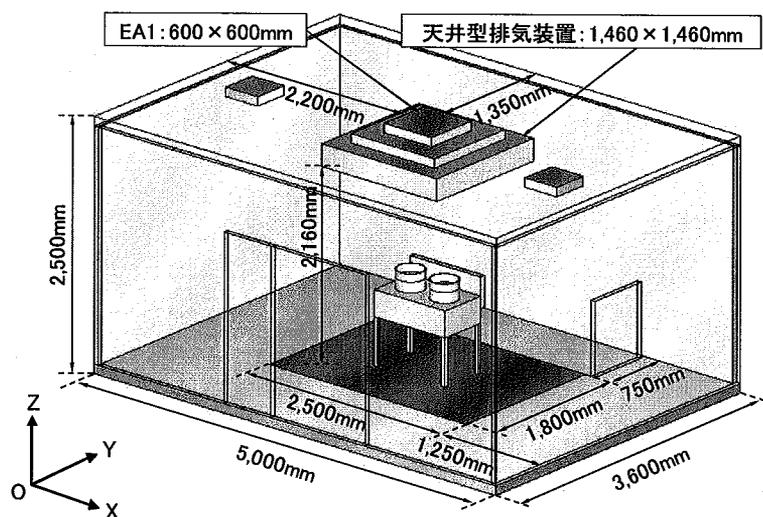


図 3.2.1 実験①の実験状況

表 3.2.1 実験①の実験条件

使用機器	IHレンジ	注入水量	8 L×2 口
鍋形状	直径:300 mm, 高さ:200 mm	初期水温	26.4 ~ 26.6 °C
出力	5 kW×2 口 (定格出力)	初期水深	113 mm
排気量	300 m ³ /h (30Q)		
実験継続時間	1 時間		

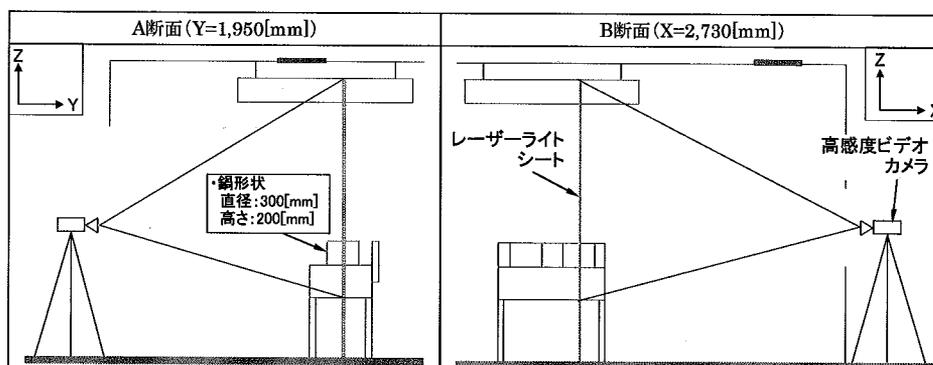


図 3.2.2 熱上昇流の撮影状況

(2) CFD 解析の概要

CFD 解析の条件を表 3.2.2 に示す。流入出条件の風速、温湿度等は、実験条件に対応させて設定した。発生条件は、前掲表 2.3.1 の模擬調理時における発生熱原単位に基づいて設定し、鍋上面、および機器本体からの発生顕熱の比率は、「鍋：機器=9：1」に分配した。これは、ウィルクスの実験結果^{2,4)}に基づき、鍋および機器表面の対流熱伝達率を求める実験を数回行い、発生熱は概ね「鍋：機器=9：1」となる知見が得られたことから採用している。水蒸気発生量は、前掲表 2.3.1 の模擬調理時における発生熱原単位に基づき、単位時間、単位面積あたりの水分発生量を算出して設定した。なお、解析領域は実験室の X=2.5[m]における対称性から半領域のみを対象とし、面積が 1/2 となる発生条件領域に対しては発熱原単位から求めた発熱の 1/2 の値を設定している。また、鍋からの熱、および水蒸気の伝達を精度よく再現するため、発生面近傍のメッシュ分割を細密にした。図 3.2.3 に解析メッシュと発生条件を設定した境界を示す。

表 3.2.2 解析条件

解析ソフト	STREAM for Windows V5
解析領域	2.5 m(X) × 3.6 m(Y) × 2.5 m(Z)
解析要素数	97(X) × 133(Y) × 112(Z) = 1,444,912
乱流モデル	低Re型k-εモデル(AKNモデル)
流入条件	$V_{in} = 0.037 \text{ m/s}$, $\theta_{in} = 25.0 \text{ }^\circ\text{C}$, $X_{in} = 0.006 \text{ kg/kg(DA)}$ $k_{in} = 1.37\text{E-}05 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $\epsilon_{in} = 3.99\text{E-}09 \text{ m}^2/\text{s}^3$
流出条件	$V_{out} = 0.231 \text{ m/s}$
壁面	no-slip
発生条件	鍋上面発生顕熱量 : 795.6 W 機器発生顕熱量 : 88.4 W 鍋上面水蒸気発生量: $0.01837 \text{ g/m}^2\cdot\text{s}$
放射	放射対流連成計算(壁, 鍋の放射率:0.3)
移流項精度	QUICK
記号	V:流速, θ :温度, X:絶対湿度
添え字	k:乱流エネルギー, ϵ :乱流散逸率 in:流入, out:流出

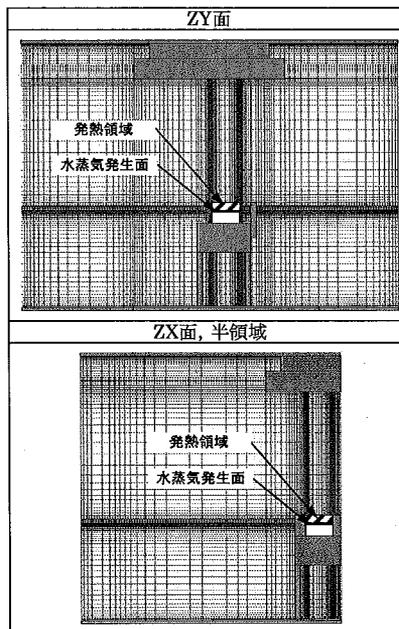


図 3.2.3 解析メッシュ

3.2.2 実験②(適正排気量の検討)の概要

実験②では、電化厨房機器に対する適正排気量の同定を目的として、EA1に排気フードを設置し、IH レンジによる湯沸し実験を行った。実験状況を図 3.2.4 に示す。なお、ガスレンジによる湯沸し実験は、IH レンジに対する適正排気量を同定する際の比較対象として行った。レンジは、排気フード中心と機器中心が一致するように設置した。排気量を数段階変化させ、定格出力による湯沸し実験を行った。なお、IH レンジの実験では、機器に付属されている自動制御機能を利用し、保温時の発生熱を模擬して水温を $90[^\circ\text{C}]$ に保持する実験を行っている。表 3.2.3 に実験条件を示す。給気は床面の SA 部分から行い、排気は中央の排気フード (EA1) から行った。なお、給気は吹出し面の圧力損失を大きくして、極力一様に給気が行われるようにパンチングメタルとエキスパンドメタルを

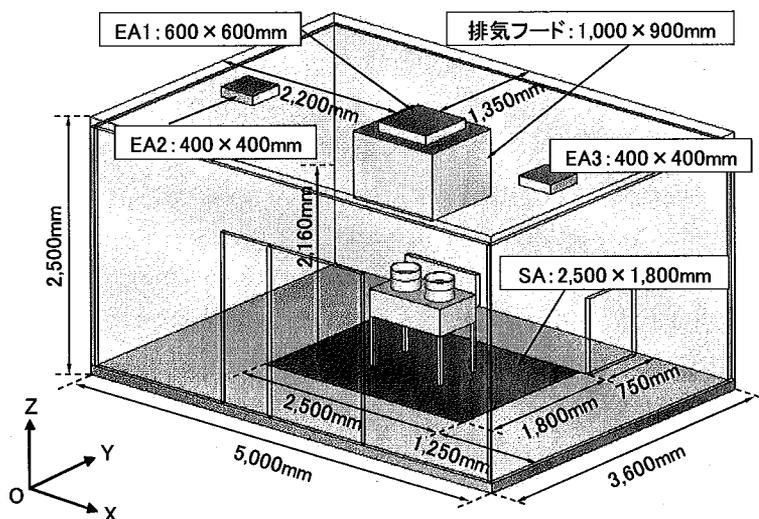


図 3.2.4 実験②の実験状況

表 3.2.3 実験②の実験条件

供試機器	出力設定	排気量[m ³ /h]			
		200(20Q)	300(30Q)	400(40Q)	661(30kQ) 972(面速0.3)
IHレンジ	定格出力(10 kW)	○	○	○	○
	水温90℃設定	○	○	○	○
ガスレンジ	定格出力(23.4 kW)				○

Q: 機器定格出力[kW] k: 理論排気量(= 0.93[m³/kW・h])
 面速0.3: 排気フード開口面の面風速が0.3[m/s]となる排気量

表 3.2.4 測定機器および測定内容

内容	測定項目	測定箇所	点数	機器名称	測定間隔 [sec.]	製造
流入空気性状	SA 温湿度	SA裏面	3	常温用温湿度センサ	5	(株)テスト
	SA CO ₂ 濃度		1	CO ₂ センサ		
中央排気 流出空気性状	EA1 温湿度	EA1系統ダクト内	3	高温用温湿度センサ	5	(株)テスト
	EA1 流速		5	ボール式熱線風速計		
	EA1 CO ₂ 濃度		1	CO ₂ センサ		
両側天井排気 流出空気性状	EA2 温湿度	EA2、EA3系統 ダクト内	1	常温用温湿度センサ	5	(株)テスト
	EA3 温湿度		1	常温用温湿度センサ		
	EA2,3 流量		1	オリフィス流量計		
実験室内外 貫流熱量	内外壁面温度	天井、床、各壁、扉 観測窓内外面	12	T型熱電対(φ=0.5)	5	(株)サンゾー 英弘精機㈱
	貫流熱量		6	熱流板		
実験室内 温熱環境	温度	X=0~2.5[m]の 実験室半領域	161	T型熱電対(φ=0.1)	5	(株)サンゾー
	代表点温湿度		4	常温用温湿度センサ		
	CO ₂ 濃度		3	CO ₂ センサ		
作業位置 温熱環境	温湿度	機器中心から手前 500[mm]の位置	4	常温用温湿度センサ	5	(株)テスト
	グローブ温度		3	グローブ温度計		
	風速		4	ボール式熱線風速計		
	CO ₂ 濃度		1	CO ₂ センサ		
機器使用電力量	電力量	動力盤内機器供給系統	1	電力計	60	日置電機㈱
機器使用ガス量	ガス流量	機器供給ガス系統	1	湿式ガス流量計	5	(株)シナガワ
機器(鍋)内温度	温度	機器(鍋)内	1	K型熱電対	5	(株)テスト

2重に施し、鍋からの上昇流に対する影響が小さくなるように配慮した。排気フードの排気量を300[m³/h]とした条件の場合、給気風量から算定する平均流速は約0.04[m/s]となる。本実験では、このような低流速の流れは生じるが、熱上昇流への影響は小さいものとして静穏環境と位置づけている。排気フードの両側に設置している天井面の排気口EA2、EA3は、実験室上部に滞留する熱を除去するためのものであり、実験時はいずれも150[m³/h]の排気を行った。なお、天井排気口の排気量については、後述する熱上昇流のピーク流速を参考値とし、鍋上面全体から1.0[m/s]程度の熱上昇流の発生を想定した場合に、EA1の最低排気量条件である200[m³/h]とEA2、およびEA3からの排気量を加算した値をもって、熱上昇流をほぼ排出できる量に設定している。

実験②では、機器から発生する熱に対して、排気フードから排出される熱を把握することにより、各排気量における排熱性状を検討する。そのため、給気口SA、および排気口EA1、EA2、EA3にそれぞれ温湿度計、風速計等を設置した。測定機器および測定内容を表3.2.4に示す。排気口EA1に加え、EA2、EA3の各測定結果から流出熱量を算定し、前掲表2.3.1の発生熱原単位に定格出力を乗じた値を発生熱として、排気フード(EA1)による熱除去率を算定した。算定式を式(6)に示す。

$$R_{SH,LH,TH} = \frac{I_{SHEA1,LHEA1,THEA1}}{I_{SHtotal,LHtotal,THtotal}} \times 100 \quad \dots(6)$$

【記号】 R: 熱除去率[%] I: 熱[W]

【添え字】 SH: 顕熱 EA1: 排気口EA1の値
 LH: 潜熱 total: チャンバー実験における値(発生熱)
 TH: 全熱

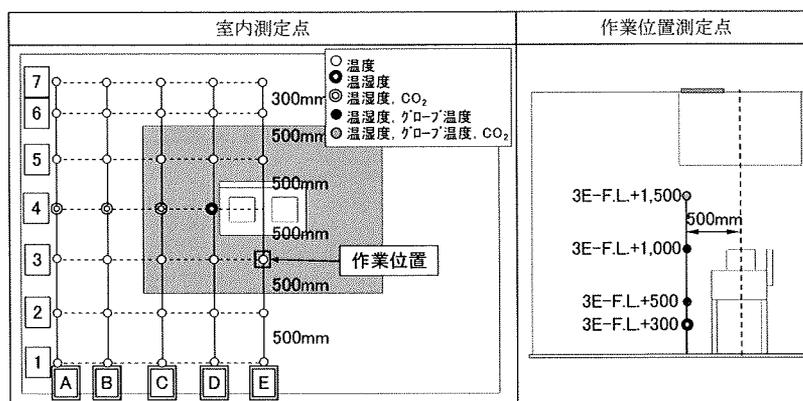


図 3.2.5 実験室内の測定点概要

また、流入出熱量の測定と併せて、実験室内における温熱環境の測定を行った。図 3.2.5 に実験②の実験室内測定点の概要を示す。機器から発生する熱の拡散を把握するため、実験室の半面に熱電対を格子状に配置した。また、室内代表温湿度測定点として、4A、4B、4C、4D-F.L.+1,500 には温湿度計を設置し、顕熱、潜熱の側方への拡散性状を把握した。本実験では、機器中心から手前 500[mm]の位置を調理人の作業位置と想定した。3E-F.L.+300、F.L.+500、F.L.+1,000、F.L.+1,500 の各点に温湿度計を設置し、3E-F.L.+500、F.L.+1,000、F.L.+1,500 の各点には温湿度計に加えてグローブ温度計、風速計を設置し、放射を含めた調理人への熱的影響を詳細に把握した。

3.3 模擬調理時における熱上昇流の解析

本節では、IH レンジを使用した湯沸し実験を行い、鍋上部に形成される熱上昇流を可視化し、その拡散性状について検討する。また、実験に基づいた CFD 解析を行い、熱上昇流の拡散による温湿度の分布をシミュレーションし、周辺領域の温熱環境に及ぼす影響について検討する。

3.3.1 熱上昇流の可視化

図 3.3.1 に、鍋上部に形成される熱上昇流の可視化画像を示す。A 断面では、鍋近傍における流速は小さく、流れの方向は多様である。鍋から発生する水蒸気は、上方に向かうに従って流速が大きくなり、鍋の中心軸付近では上向きに定常的な流れが形成される。また、鍋の中心軸から離れた領域では瞬間的な渦が発生し、流れの拡散性は一時的に大きくなる。B 断面では、水蒸気の拡散性状

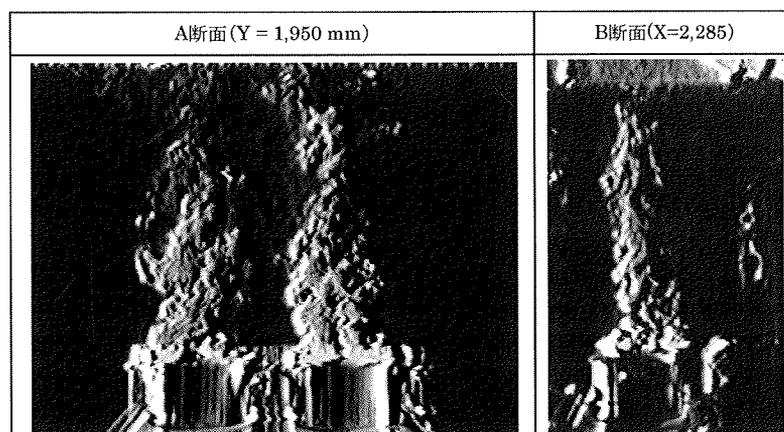


図 3.3.1 鍋上部に形成される熱上昇流の可視化画像

はA断面とほぼ同様の傾向を示すが、上昇流は上方へ向かうに従って機器前面側へ傾いている。これは、IHレンジ背面側の立ち上がり部分からの発熱により、機器の前面側に比べて背面側の流速が大きくなるためと考えられる。

3.3.2 CFD解析による熱上昇流の再現

前項では、撮影画像から水蒸気粒子の追跡による流れの拡散性状の把握を行ったが、機器周辺の温熱環境の形成に対しては顕熱、潜熱の拡散性状が影響する。そこで、実験条件に基づくCFD解析によるシミュレーションを行い、温度、相対湿度の分布から機器周辺の温熱環境に及ぼす影響について検討を進めた。事前に実現象との対応を確認するため、PIV解析による流速分布とCFD解析による流速分布の比較を行った。図3.3.2にF.L.+1300[mm]（鍋上端から300[mm]の高さ）における鍋直上の流速分布を示す。なお、図は鍋中心を通る断面の合成流速（2次元）であり、水平距離0[mm]を鍋の左端とし、150[mm]が鍋中心に相当する。また、A断面の流速分布は機器中心軸に対称であると考え、結果は、PIV、CFDのいずれにおいても左側の鍋上部における流速分布を示している。

A断面の結果では、いずれの解析結果においても流速のピークは水平距離200[mm]の位置であり、PIV解析では1.03[m/s]、CFD解析では0.95[m/s]となる。PIVによる解析結果は、鍋左端部から125[mm]までの流速がCFD解析に比べて大きくなっている。これは、CFD解析は定常的な流れを再現しているのに対し、PIV解析では流速の平均化を行う際に、瞬時に発生する渦の流速を含んだ値が算出されるため、差異が生じるものと考えられる。B断面における流速分布のピークは、PIV解析では水平距離175[mm]、CFD解析では200[mm]に生じ、若干位置は異なるものの両者の流速分布は概ね近似している。したがって、CFD解析によって水蒸気上昇流の平均流れは概ね再現可能であると考えられる。

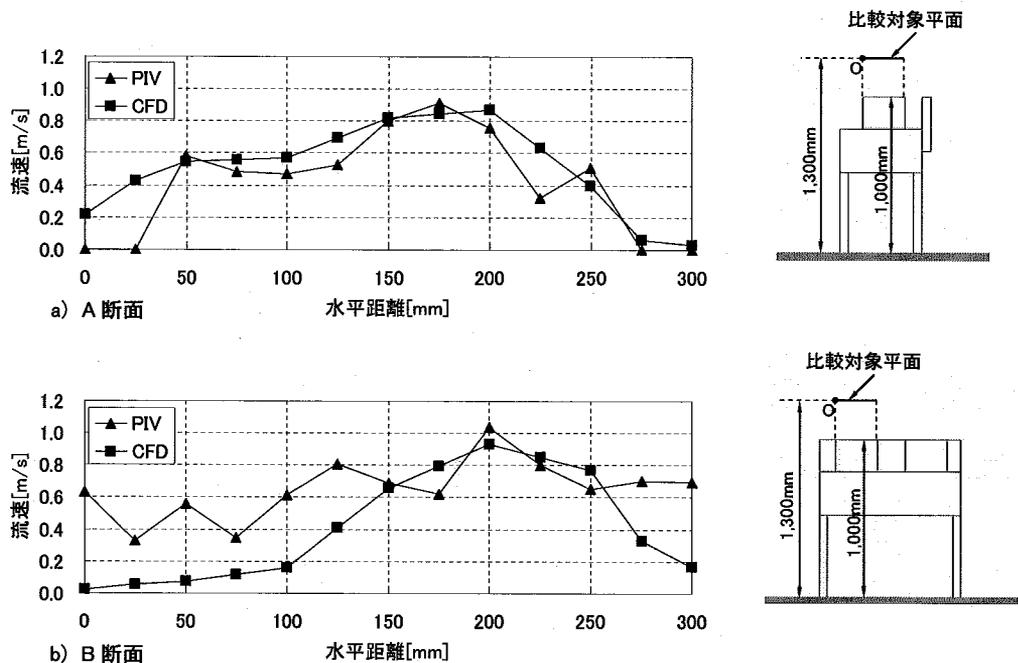


図 3.3.2 PIV解析とCFD解析による上昇流の流速分布

3.3.3 CFD 解析による熱の拡散性状の検討

CFD 解析に基づく熱上昇流のシミュレーション結果から、顕熱、潜熱の拡散性状について検討する。図 3.3.3 に温度分布、相対湿度分布をそれぞれ示す。なお、CFD 解析は定常状態において機器本体の冷却が行われないう状態が 10 秒間継続した状況を想定し、EA1 における排気温湿度が安定した後非定常解析を 10 秒間継続させ、その瞬時の結果を示している。

温度分布は、鍋内の 80~90[°C]程度の空気が密度差による浮力によって上昇流を形成するため、上方への伝熱は著しいが、側方への拡散性は小さい。A 断面では、機器本体が障害となるため機器中心側の流速に対して機器両端側の流速が速く、温度分布は機器中心側に傾いて形成される。排気口近傍では、上昇流が衝突することによって拡散が顕著となり、高温領域の広がりがみられる。B 断面では、鍋近傍の高温領域は若干機器の背部側に形成され、上方では機器前面側へ傾いた分布が確認できる。A 断面と同様に側方への拡散性は小さい。

湿度分布は、A 断面、B 断面のいずれにおいてもほぼ飽和状態の空気が鍋上部に分布している。温度と同様に側方への広がりは小さいが、排気口近傍には高湿の領域が広がっている。これより、顕熱と潜熱の拡散性状に若干の差異はみられるが、いずれも上昇過程における拡散より、上昇流が衝突することによる拡散のほうが顕著であることがわかる。したがって、快適な温熱環境を保持するためには、適切な排気量を確保して高温高湿空気を除去し、上昇気流の衝突による拡散を抑制することが効果的であると考えられる。

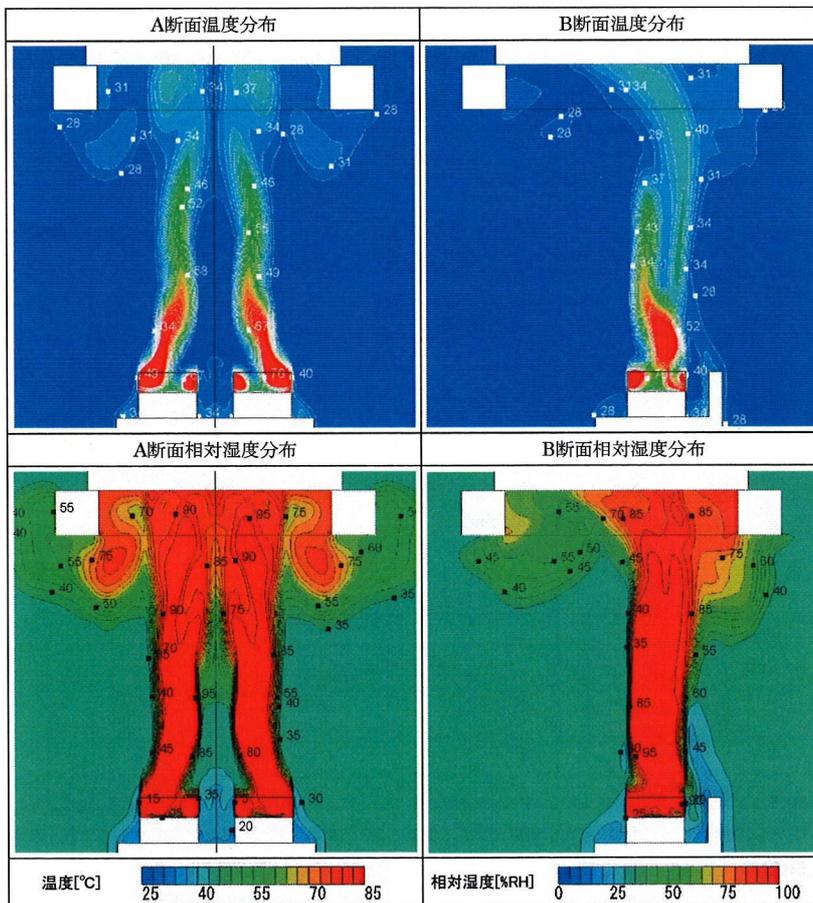


図 3.3.3 CFD 解析による温湿度分布のシミュレーション結果

3.4 模擬調理時における排熱性状の解析

機器から発生する熱が周辺空間に及ぼす影響は、排気の熱除去効率により異なる。本節では、排気口 EA1 の排気量を変化させて湯沸し実験を行い、排気フードによる熱除去効果について検討する。IH レンジの出力は、最大出力による食材の加熱を想定した定格出力時と、食材の保温を想定した水温 90[°C]保温時について検討する。なお、実験は IH レンジによる実験と併せて、ガスレンジを使用した湯沸し実験を行い、両者の熱除去率を比較する。

3.4.1 排気フードによる除去熱

IH レンジを使用して定格出力による湯沸し実験を行い、排気量と定常状態における除去顕熱・潜熱の関係を明らかにする。図 3.4.1 に一例として排気量を 30Q (300[m³/h]) とした場合の実験結果を示す。凡例の EA1 は、排気口 EA1 からの除去熱を示し、合計は、排気口 EA1、EA2、EA3 から除去される熱を積算した合計値を示す。

EA1 から除去される顕熱は、実験開始から水温に伴って上昇し、水温が 100[°C]に達した後も若干上昇するが、40 分以降は定常的な値を示す。顕熱の合計値は、EA1 からの除去熱とほぼ同様の傾向を示し、40 分以降の値は EA1 からの除去熱に対して 180[W]程度大きい。潜熱は、水温が 100[°C]に達する 11 分頃から急激に上昇し、40 分以降は定常的な値を示す。これより、顕熱、潜熱のいずれにおいても 40~60 分の除去熱は、定常状態とみなすことができる。定常状態における潜熱の合計の平均値は 8,620[W]であり、2,250[W]が排気フードから漏出し、EA2、EA3 から排出されていることがわかる。定常状態において排気口 EA1 から除去される熱を排気量別に図 3.4.2 に示す。なお、図中のチャンバーは、2.3 節で前述した IH レンジからの発生熱を示している。面速 0.3 では、顕熱、潜熱のいずれにおいても発生熱のほとんどが EA1 から除去されている。40Q とした場合、除去顕熱は若干低下し、20Q では面速 0.3 の条件に対して 800[W]低い値を示す。顕熱は、発生熱が小さいため、排気量を低下させることによる除去熱の低下は小さい。除去潜熱は、排気量 40Q において約 1,000[W]低下し、30Q、20Q と排気量を低下させるに従って顕著に低下する。これより、発生潜熱の大きい定格出力時については、除去潜熱を考慮した排気量の設定が必要といえる。

図 3.4.3 に水温を 90[°C]に保持した実験の結果を示す。なお、定格出力による実験と同様に、一例として排気量を 30Q (300[m³/h]) とした場合の結果を示す。EA1 から除去される顕熱は、水温に伴って上昇し、水温が安定する 40 分以降はほぼ一定の値を示す。ここで、除去潜熱もほぼ一定の

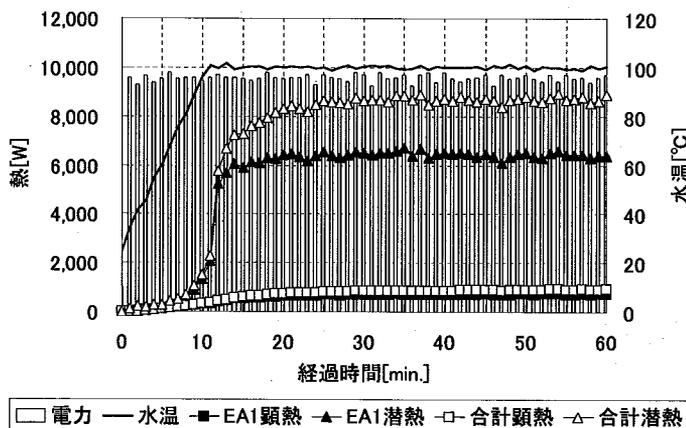


図 3.4.1 排気量 30Q における除去熱の経時変化(定格出力時)

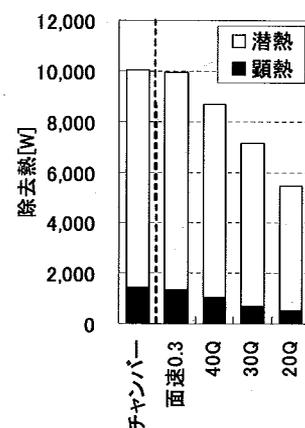
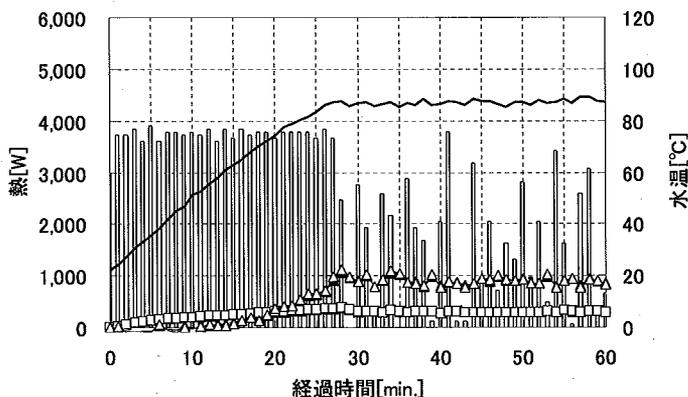


図 3.4.2 各排気量における EA1 の除去熱(定格出力時)



□電力 —水温 ■EA1顕熱 ▲EA1潜熱 □合計顕熱 ▲合計潜熱

図 3.4.3 排気量 30Q における除去熱の経時変化(水温 90[°C]保温時)

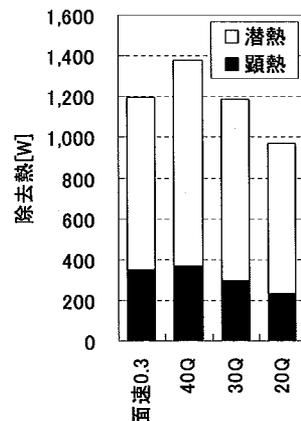


図 3.4.4 各排気量における EA1 の除去熱(90[°C]保温時)

値を示すことから、水温 90[°C]保温時の実験においても 40~60 分の間を定常状態とみなす。定常状態において EA1 から除去される顕熱の平均値は 299[W]である。また、顕熱の合計値は EA1 による除去熱とほぼ同様の値を示し、図中ではほぼ重なった表示となる。これより、水温 90[°C]保温時には、定格出力時と比較して高効率な熱除去の行われていることがわかる。潜熱は、実験開始から 27 分頃まで水温に伴って上昇し、EA1 による除去熱の上昇率は大きい、定格出力による実験ほどの急激な上昇はみられない。定常状態における EA1 による除去潜熱の平均値は 898[W]である。潜熱の合計値は、排気口 EA1 による除去熱と近似した値を示す。電力は、水温を 90[°C]に保持するための ON-OFF 制御が働くため、定常状態においても変動がみられる。

定常状態において排気口 EA1 から除去される熱を排気量別に図 3.4.4 に示す。ここで、面速 0.3 における顕熱、潜熱の積算値は、40Q よりも低い値を示しているが、これは本実験では水温の制御を IH レンジの保温機能で行っており、実験ごとに投入電力と発生熱が変化するため、面速 0.3 の実験における平均投入電力は 40Q の実験と比べて小さくなっていたことが要因と考えられる。40Q より少ない排気量の条件では、顕熱、潜熱のいずれにおいても除去熱は排気量の低下に伴って小さくなる。しかし、水温 90[°C]保温時には発生熱が小さいため、40Q の除去潜熱に対する 20Q の除去潜熱の低下は 400[W]程度に留まり、定格出力時と比べて排気量低下に伴う除去熱の低下率は小さい。

図 3.4.5 にガスレンジを使用した定格出力時の実験結果を示す。EA1 から除去される顕熱は、ガスの燃焼に伴って実験開始時から顕著に上昇し、沸騰状態においても微増する。実験開始から 40 分以降では、EA1 から除去される顕熱の上昇勾配は小さくなる。顕熱の合計値は、EA1 による除去熱より 1,000[W]程度高い値を示し、EA1 の除去熱とほぼ同じ勾配で微増している。これより、ガスレンジにおける除去熱は、微増はみられるものの 40~60 分における上昇値は約 350[W]と小さく、上昇勾配はほぼ一定であることから、この間の平均値を定常状態における平均値とみなす。潜熱は、実験開始時からガス燃焼に伴う潜熱発生により、EA1 から除去される熱は上昇する。その後、沸騰に至る 20 分頃までは EA1 によって除去される潜熱と潜熱の合計値はほぼ近似した値を示すが、沸騰状態における潜熱の合計値は EA1 による除去熱より定常的に 850[W]程度高い値を示す。

定常状態において排気口 EA1 から除去される熱を排気量別に図 3.4.6 に示す。ここで、面速 0.3 における除去顕熱、潜熱は、チャンバー実験時に対して若干低い値を示し、30kQ では顕熱で約 2850[W]、潜熱で約 750[W]の顕著な低下がみられる。これより、CO₂ の排出を目的として定められた排気量 30kQ においても、熱上昇流の漏出は生じることがわかる。

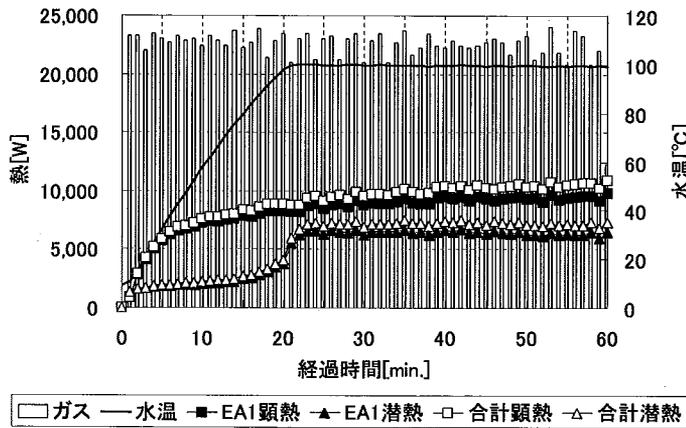


図 3.4.5 排気量 30kQ における除去熱の経時変化(定格出力時)

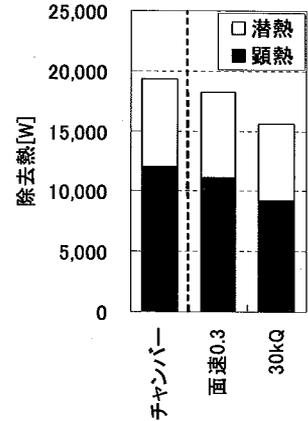


図 3.4.6 各排気量における EA1 の除去熱(定各出力時)

3.4.2 排気量と熱除去率の関係

IH レンジ、およびガスレンジにおける各排気量と熱除去率の関係を図 3.4.7 に示す。凡例の(沸騰)は定格出力時の沸騰状態における熱除去率を示し、(90℃)は水温を 90[°C]に保温した状態の熱除去率を示す。なお、水温を 90[°C]に保持する実験では、前掲図 3.4.3 に示すように機器の保温機能によって ON-OFF 制御が行われるため、初期水温の違い等によって IH レンジに投入される電力は、実験ごとに若干異なる。そこで、水温 90[°C]保温状態における熱除去率は、各実験において実際に発生した熱を基準とし、式(7)に示すように排気口 EA1 および EA2、EA3 から除去される熱の合計値に対する、排気口 EA1 から除去される熱の比率とした。ここで、機器から発生した熱が実験室内に蓄積し、実際に発生する熱と EA1、EA2、EA3 による除去熱の積算値が整合しないことが懸念されるが、前掲図 3.4.3 に示すように定常状態における除去熱はほとんど上昇しないこと、後述する室内温湿度についてもほとんど上昇がみられないことから、EA1、EA2、EA3 による除去熱の積算値は発生熱とみなすことができる。

IH レンジの沸騰状態における EA1 の除去熱は、20Q において顕熱が 530[W]、潜熱が 4,900[W] であり、熱除去率はそれぞれ 37[%]、57[%]となる。30Q では、顕熱が 720[W]、潜熱が 6,400[W] 除去され、熱除去率はそれぞれ 50[%]、75[%]となる。40Q の除去熱は、顕熱が 1,040[W]、潜熱が 7,630[W] であり、熱除去率はそれぞれ 72[%]、89[%]となる。これより、顕熱、潜熱のいずれにおいても、熱除去率は排気量の増加に伴って顕著に向上することがわかる。また、面速 0.3 では、顕熱、潜熱ともに 90[%]以上の熱が排気口 EA1 から除去され、全熱除去率はほぼ 100[%]となる。

90[°C]保温状態における EA1 の除去熱は、20Q において 230[W]の顕熱が排気フードから除去さ

【式】

$$R_{SH,LH,TH} = \frac{I_{SHEA1,LHEA1,THEA1} \times 100}{I_{SHEA1,LHEA1,THEA1} + I_{SHEA2,LHEA2,THEA2} + I_{SHEA3,LHEA3,THEA3}} \quad \dots(7)$$

【記号】 R : 熱除去率[%] I : 熱[W]

【添え字】 SH : 顕熱 EA1 : 排気口 EA1 の値
 LH : 潜熱 EA2 : 排気口 EA2 の値
 TH : 全熱 EA3 : 排気口 EA3 の値

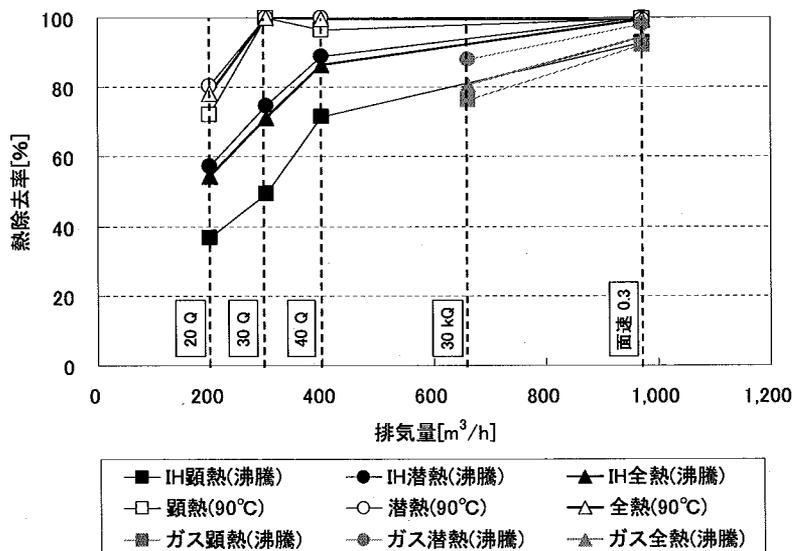


図 3.4.7 排気量と熱除去率の関係

れ、潜熱は 740[W]が除去される。全熱除去率は、78[%]程度である。排気量 30Q 以上では、20Q に対して熱除去率が顕著に向上し、顕熱、潜熱のいずれにおいてもほぼ 100[%]となる。これより、保温時における熱除去率は、沸騰時と比べて顕著に上昇し、30Q においてほとんど熱を漏出させることなく排出することができるものと考えられる。

ガスレンジの沸騰状態における EA1 の除去熱は、30kQ において顕熱が 9,180[W]、潜熱が 6,420[W]であり、熱除去率はそれぞれ 78[%]、88[%]となり、全熱では 80[%]となる。面速 0.3 では、EA1 の除去顕熱が 11,090[W]、潜熱が 7,180[W]であり、熱除去率はそれぞれ 92[%]、98[%]となる。沸騰状態における IH レンジの熱除去率と比較するなら、ガスレンジの 30kQ における熱除去率は IH レンジの 40Q における熱除去率と同程度であるといえる。しかし、適正排気量については、IH レンジの熱除去率は定格出力時と水温 90[°C]保温時で異なるため、実調理における発生熱、および周辺の温熱環境に及ぼす影響等を含めた検討が必要であると考えられる。

3.5 機器周辺に形成される温熱環境の検討

本節では、排気量変化と実験室内に形成される温熱環境の関係について検討し、時間変化から熱の拡散過程の把握、および一定時間経過後に形成される温熱環境が作業者に及ぼす熱的影響について検討する。

3.5.1 機器から発生する熱の拡散性状

IH レンジによる湯沸し実験時に発生する熱の拡散性状を、室内温湿度の時間変化から検討した。上昇温度の一例として、図 3.5.1 に排気量を 30Q とし、定格出力による湯沸し実験を行った結果を示す。なお、結果は実験開始時を基準とした上昇値を示す。実験室空間の温度は、いずれの測定点においても実験開始から上昇するが、4D-F.L.+1,500 では機器から発生する熱上昇流の影響が大きいため、他の測定点と比べて温度が高い。4A,4B,4C-F.L.+1,500 の上昇温度は、いずれもほぼ同様の値を示し、実験開始後 60 分では 2.0[°C]程度の上昇となる。これより、床面給気の影響が小さい領域（前掲図 3.2.5 の A,B,C 断面）では、水平温度分布はほぼ一様となる。また、時間経過に伴って一様に温度が上昇することから、機器近傍から温度が上昇するのではなく、排気口 EA1 から漏出

した熱が実験室の上層から蓄積し、次第に下層の温度が上昇するものと考えられる。これは、前述した CFD 解析の結果とも対応している。

上昇絶対湿度の一例として、図 3.5.2 に排気量を 30Q に設定し、定格出力による湯沸し実験を行った結果を示す。絶対湿度は、4D-F.L.+1,500 の上昇値が他の測定点と比べて低い値を示し、40 分以降は 2.0[g/kg(DA)]程度で推移している。4A,4B,4C-F.L.+1,500 における上昇絶対湿度は、いずれもほぼ同様の値を示し、実験開始 10 分過ぎから顕著に上昇して約 10.0[g/kg(DA)]となり、その後は微増する。これは、4D-F.L.+1,500 は床面から空調空気が供給される領域であるのに対し、4A,4B,4C-F.L.+1,500 では室内に蓄積された熱が対流する領域であるためと考えられる。また、4A,4B,4C-F.L.+1,500 の結果から、室内における水蒸気の拡散について考察するなら、鍋からの水蒸気発生によって室内の絶対湿度は上昇するが、短時間で一様に拡散し、その後、継続的に潜熱が発生しても蓄積量の増加は僅かであることがわかる。

以上の傾向はいずれの排気量条件においても同様であり、床面給気の影響が小さい A・B・C 断面の領域では、温湿度の水平分布はほぼ一様となる。そこで、次に室内代表測定点として 4B-F.L.+1,500 を選定し、排気量変化と室内温湿度の関係について検討した。図 3.5.3 に定格出力時の各排気量における上昇温湿度の経時変化を示す。排気量が大きいほど上昇温度は小さく、顕熱除去率が 70[%]を超える 40Q 以上の排気量では、実験開始後 60 分において 1.0[°C]以下の上昇に留まる。実験開始後 60 分の絶対湿度は、排気量 20Q において 17.0[g/kg(DA)]、30Q では 10.9[g/kg(DA)]と顕著に上昇する。一方、排気量 40Q では 1.6[g/kg(DA)]に留まり、面速 0.3 ではほとんど上昇しない。これより、周辺環境の温度は排気量 30Q において 2[°C]程度の上昇に留まるが、絶対湿度は排気量 20Q、30Q の場合、顕著に上昇することがわかる。

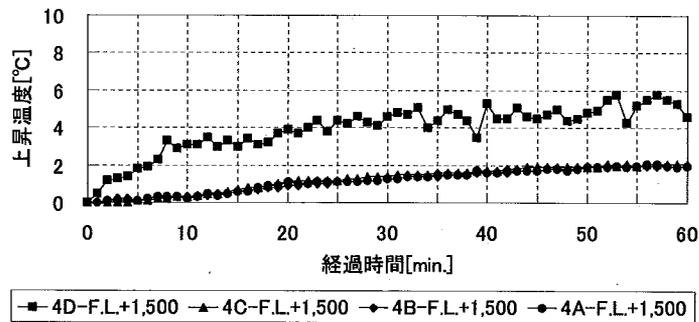


図 3.5.1 機器周辺における上昇温度の経時変化 (IH レンジ, 定格出力設定)

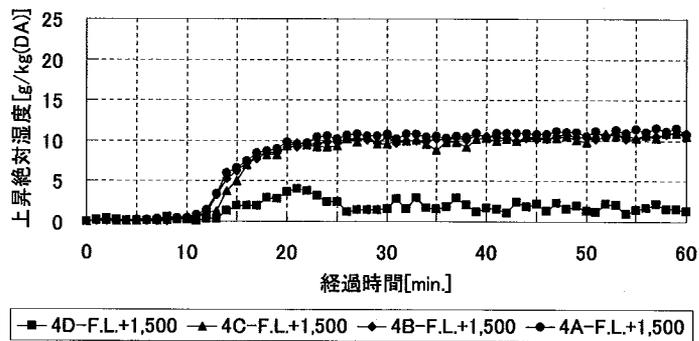


図 3.5.2 機器周辺における上昇絶対湿度の経時変化 (IH レンジ, 定格出力設定)

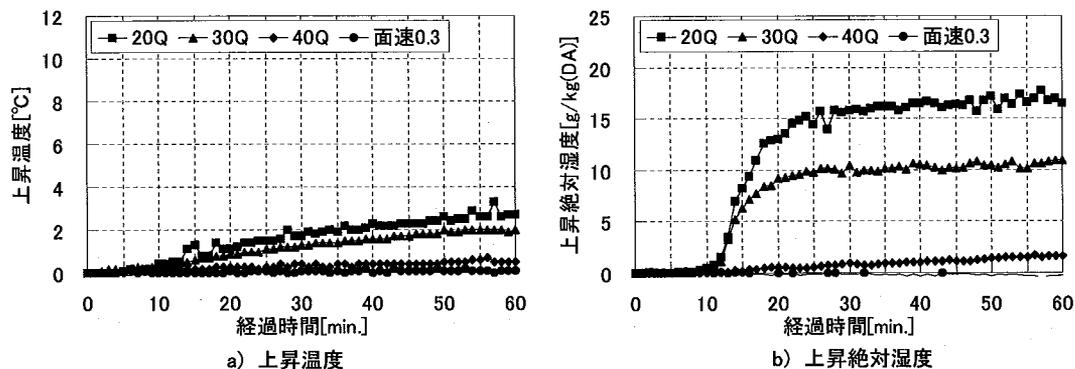


図 3.5.3 排気量別上昇温湿度の経時間変化(IHレンジ, 定格出力設定)

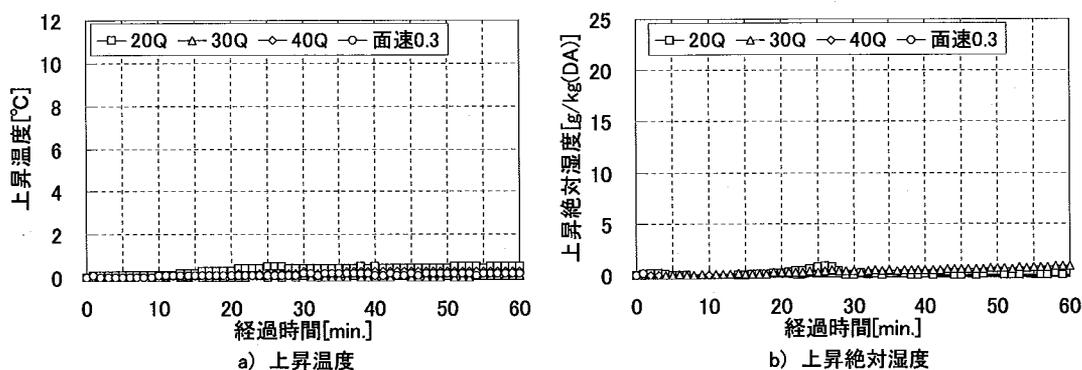


図 3.5.4 排気量別上昇温湿度の経時変化(IHレンジ, 水温 90[°C]設定)

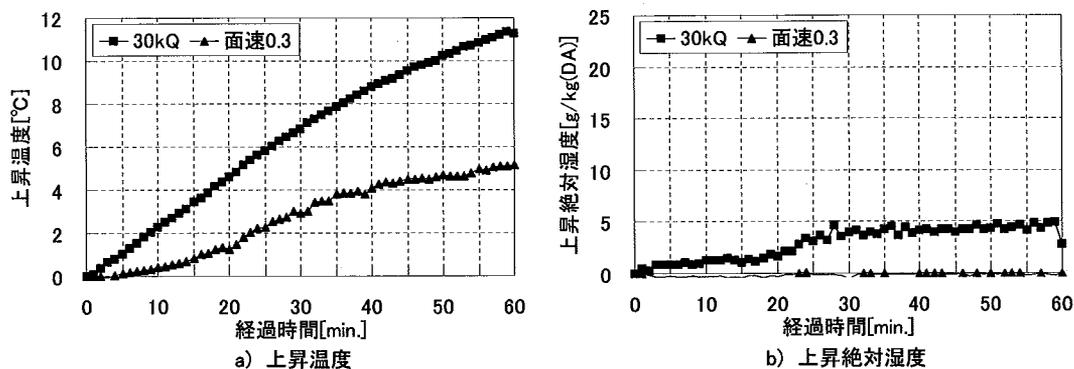


図 3.5.5 排気量別上昇温湿度の経時変化(ガスレンジ, 定格出力設定)

図 3.5.4 に 90[°C]設定実験における 4B-F.L.+1,500 の経時変化を排気量別に示す。温度は、機器からの顕熱発生に伴って上昇するが、排気量 20Q の実験開始後 60 分における上昇は 0.5[°C]であり、定格出力の実験と比べて上昇値は低い。また、若干変動はみられるものの、いずれの排気量においても 30 分以降はほぼ定常的な値を示し、実験の継続による熱の蓄積は少ないといえる。絶対湿度は、温度と同様にいずれの排気量条件においてもほとんど上昇しない。以上のことから、水温を 90[°C]程度に保持するような発熱状態であれば、排気量 20Q においても周辺の温熱環境にはほとんど影響を及ぼさないことがわかる。

IH レンジによる実験との比較として、図 3.5.5 にガスレンジによる定格出力の実験結果を排気量別に示す。排気量 30kQ の実験における温度は実験開始から上昇し始め、実験開始後 60 分では 11.3[°C]上昇する。面速 0.3 では 30kQ の条件に比べて上昇勾配は小さくなるが、実験開始から終了まで上昇し続け、実験開始後 60 分では 5.2[°C]上昇する。これより、IH レンジの定格出力時と比べ

で周囲空間に及ぼす顕熱影響の大きいことがわかる。絶対湿度は、排気量 30kQ では実験開始直後から若干の上昇がみられ、沸騰に至る5分頃から上昇勾配は大きくなる。その後、沸騰状態における絶対湿度は微増に留まり、除去潜熱に類似した上昇傾向を示す。面速 0.3 の条件では、絶対湿度はほとんど上昇していない。IH レンジの結果と比較するなら、周辺空間に及ぼす潜熱の影響は排気量 30Q の条件より小さく、排気量 40Q の条件より大きくなることがわかる。

3.5.2 作業位置における温熱環境

調理人は機器近傍に立って作業を行うため、熱上昇流の影響は避けられない。そのため、熱的快適性を維持することは困難であるが、作業に支障をきたす状況は改善されるべきであると考え。本項では、調理人の作業位置における温熱環境について検討する。作業位置における温湿度に加え、放射影響の検討は式(8)によって算出される MRT を用いた。図 3.5.6 に電化厨房機器を定格出力で使用する場合の作業位置に形成される温熱環境を排気量別に示す。なお、結果は実験開始時を基準として実験開始後 50 分における上昇値である。また、実験結果には上昇値が負となるものがみられるが、これは実験開始時における室内温湿度分布に若干の差異が生じたためと考えられる。

定格出力による実験では、排気量 20Q における温度は 5.2[°C]、絶対湿度は 22.7[g/kg(DA)]上昇している。また、排気量 30Q における温度は 4.4[°C]、絶対湿度は 15.9[g/kg(DA)]上昇し、この2条件では排気フードから漏出した高温多湿の空気はほとんど希釈されず調理人に接触するものと考えられる。排気量 40Q 以上の条件では、温度、絶対湿度の上昇は認められるものの、30Q 以下の条件に比べて上昇度は小さい。上昇 MRT は、裸火を使用しないため、いずれの条件においても 3.0[°C]以下であり、放射による熱ストレスは小さいといえる。

図 3.5.7 に水温 90[°C]保温時の結果を示す。排気量 20Q、30Q では、測定高度が高いほど上昇温度は若干高くなるが、上昇値は 2.0[°C]以下に留まる。上昇絶対湿度はいずれの排気量条件において

【式】
$$MRT = t_g + 2.37\sqrt{v}(t_g - t_a) \quad \dots(8)$$

【記号】 MRT : 平均放射温度[°C] t_a : 空気温度[°C]
 t_g : グローブ温度[°C] v : 風速[m/s]

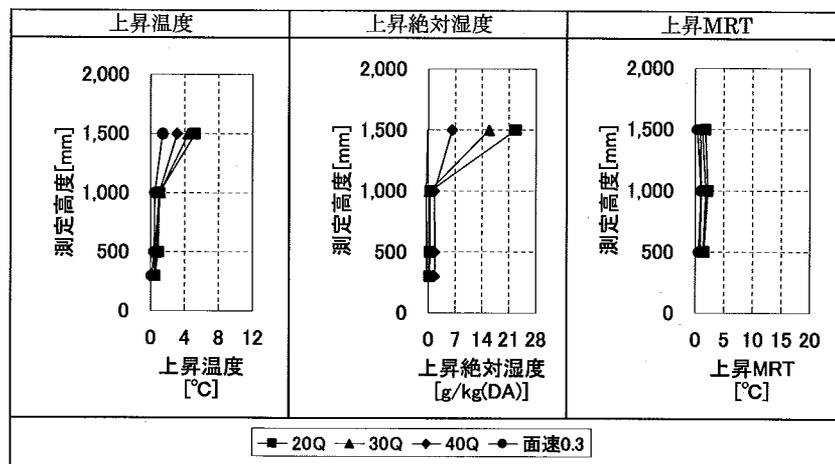


図 3.5.6 各排気量条件における作業位置に形成される温熱環境(IH レンジ, 定格出力設定)

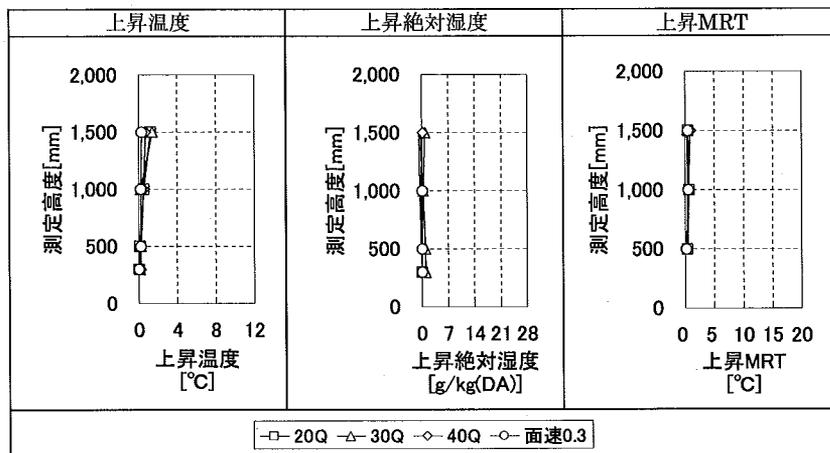


図 3.5.7 各排気量条件における作業位置に形成される温熱環境(IHレンジ, 水温 90°C設定)

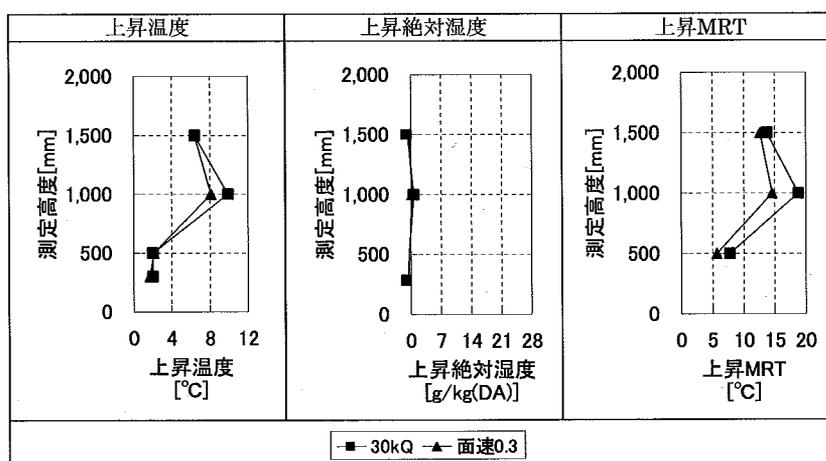


図 3.5.8 各排気量条件における作業位置に形成される温熱環境(ガスレンジ, 定格出力設定)

も 1.0[g/kg(DA)]以下、上昇 MRT は 1.0[°C]以下であり、調理人に対する熱的影響は小さい。

図 3.5.8 にガスレンジを使用した定格出力時の温熱環境を示す。上昇温度は、いずれの条件においても高度 1,000[mm]における上昇値が顕著に大きく、30kQ において 9.9[°C]、面速 0.3 において 8.1[°C]となる。高度 1,500[mm]においても 6.0[°C]を超える値となり、IH レンジの定格出力時と比べて顕著に高い値を示す。上昇絶対湿度は、いずれの排気量条件においても 1.0[g/kg(DA)]以下であり、潜熱による影響はほとんどみられない。MRT は、高度 1,000[mm]における排気量 30Q の上昇値は 18.9[°C]、面速 0.3 では 14.6[°C]であり、調理人に対する放射影響は IH レンジと比べて顕著に大きいことがわかる。

以上のことから、室内温熱環境と同様に、IH レンジによる湯沸しを定格出力で継続的に使用する場合、温度、MRT を上昇させる顕熱の拡散影響はいずれの排気量条件においても小さいが、潜熱の拡散影響は排気量 30Q 以下の条件において著しくなることがわかる。これは、ガスレンジにおいては顕熱の拡散影響が大きく、潜熱の拡散影響は小さくなることとまったく逆の特性を示している。しかし、IH レンジによる湯沸し実験では、水温を 90[°C]に保持する場合、排気量 20Q においてもほとんど温湿度の上昇はみられず、継続的に良好な温熱環境を保持することができる。実際の厨房空間における調理は、本実験で行った定格出力設定による湯沸しのように、最大出力で機器の稼働を継続させることはほとんどない。これについては、第 2 章における実調理時の発生熱からも確認

できる。短時間において厨房空間や作業位置に顕著な熱的影響を及ぼす熱が発生したとしても、その後発生熱が抑えられ周辺空間に及ぼす熱的影響が小さくなるなら、温熱環境は良好に保持されることが考えられる。これは、本実験における定格出力設定による湯沸しが数分行われた後、水温を90[°C]に保温する状態が継続されることと近似する。これより、電化厨房における適正排気量を定格出力1[kW]あたり30[m³/h]としても、十分な熱除去が可能であり、良好な温熱環境を保持できることが示唆される。

3.6 電化厨房機器に対する適正排気量の検討

本節では、前節に示した電化厨房に対する適正排気量を前掲表 2.2.2 に示すレンジ以外の電化厨房機器に対して適用し、排熱性状、および機器周辺に形成される温熱環境を明らかにする。そして、本章の一連の結果をもって電化厨房に対する適正排気量の妥当性を示す。

3.6.1 『開放型調理機器』を対象とした検討

本項では、前節に示したレンジ以外の『開放型調理機器』としてIH回転釜を選定し、排気量30Q(450[m³/h])における湯沸し実験の結果を示す。図 3.6.1a)に定格出力設定、b)に水温90[°C]設定による湯沸し実験の経時変化をそれぞれ示す。

定格出力設定による実験では、EA1から除去される顕熱は水温の上昇に伴って増加し、実験開始90分以降は定常的な値を示す。定常状態におけるEA1の除去顕熱は1,130[W]であり、熱除去率は58.9[%]となる。潜熱は、経過時間20分過ぎから顕著に上昇し、沸騰状態においては11,500[W]程

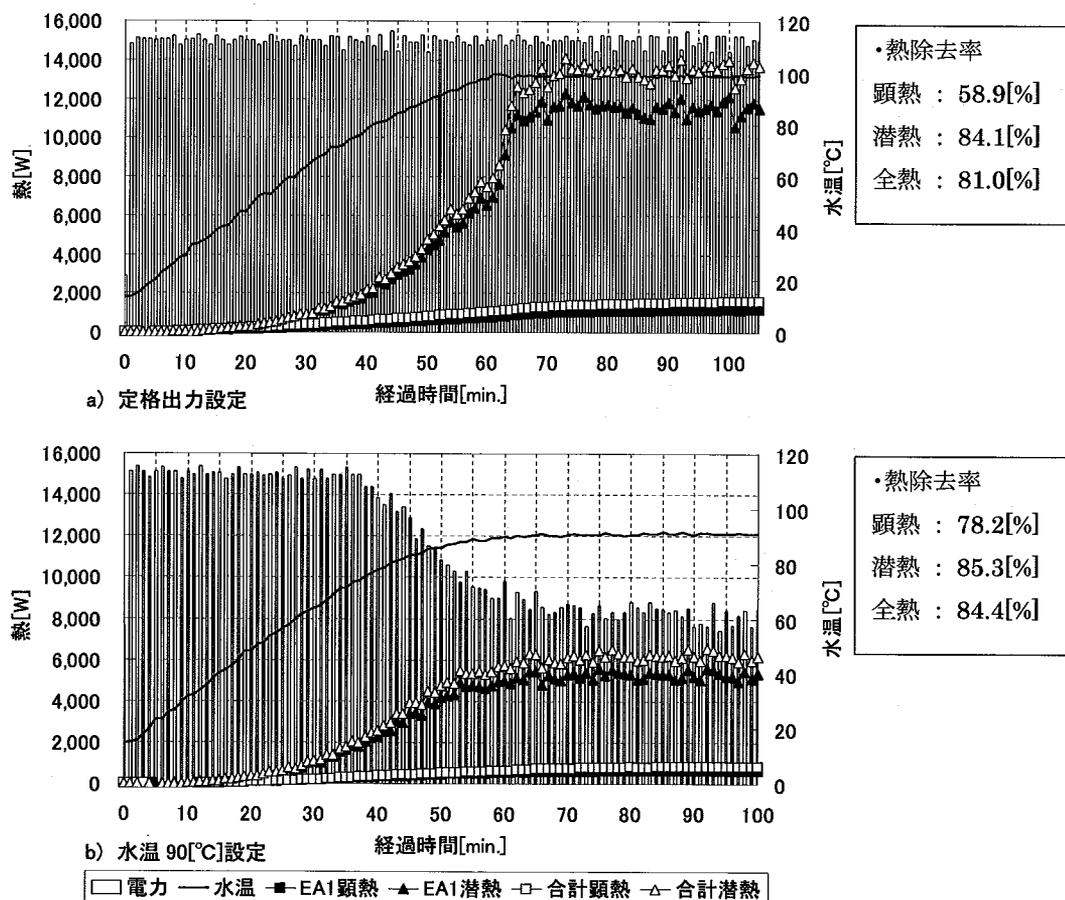


図 3.6.1 各出力設定における除去熱の経時変化(IH 回転釜)

度の除去熱がみられる。潜熱除去率は、84.1[%]と高い値を示し、全熱除去率は80[%]を超える。

水温90[°C]設定による実験では、EA1から除去される顕熱は水温の上昇に伴って微増するものの、実験開始80分以降は定常的な値を示す。EA1の除去顕熱は640[W]程度であり、熱除去率は78.2[%]となる。潜熱は、経過時間30分頃からほぼ線形に上昇し、定常状態におけるEA1の除去潜熱は5,270[W]程度となる。潜熱除去率は、85.3[%]と高い値を示し、全熱除去率は84.4[%]を超える。

4B-F.L.+1,500の上昇温湿度を図3.6.2に示す。定格出力時の温度は、実験開始からほぼ一定の勾配で上昇し、実験開始後100分における上昇温度は6.2[°C]となる。一方、水温90[°C]保温時では、水温が90[°C]に達する60分頃までは20分ごとに約1[°C]上昇し、その後100分までの40分間では1.0[°C]以下の上昇に留まる。これより、保温状態のように機器出力を抑制すると上昇温度は小さくなることわかる。定格出力時の絶対湿度は、水温が90[°C]を超える50分頃から顕著な上昇がみられ、80分以降は初期状態に比べて7.0[g/kg(DA)]程度上昇した状態で定常的な値を示している。水温90[°C]保温時では、35分頃から上昇し始め、60分以降は定常的な値を示す。

図3.6.3に調理人の作業位置に形成される温熱環境を示す。なお、図中の値は、実験の初期状態を基準として実験開始後100分における上昇値を示している。作業位置の上昇温度は、高度が高くなるほど上昇値の大きくなる傾向がみられる。いずれの高度においても、定格出力時の上昇値は水温90[°C]保温時の上昇値と比べて2.0~3.0[°C]高い値を示している。上昇絶対湿度は、機器の上端より高い高度1,000[mm]以上において顕著に上昇している。高度1,000[mm]と1,500[mm]における上昇値の差異は小さく、定格出力時では6.8[g/kg(DA)]程度、水温90[°C]保温時では3.4[g/kg(DA)]程

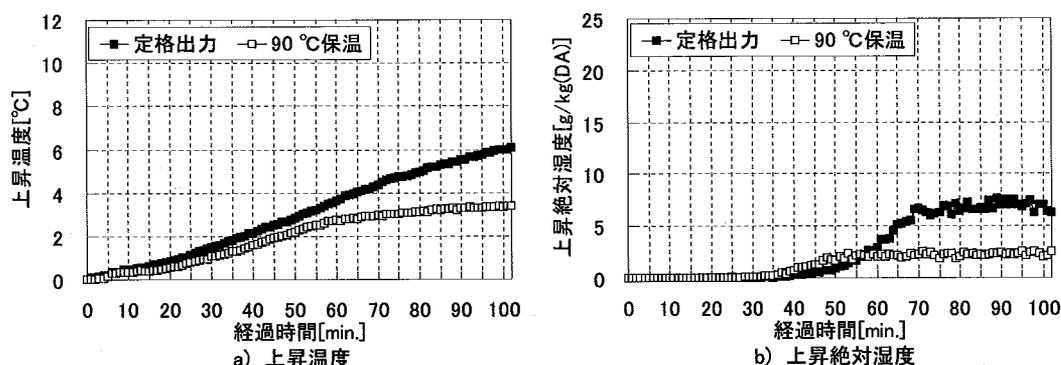


図 3.6.2 各出力設定時における上昇温湿度の経時変化(IH 回転釜)

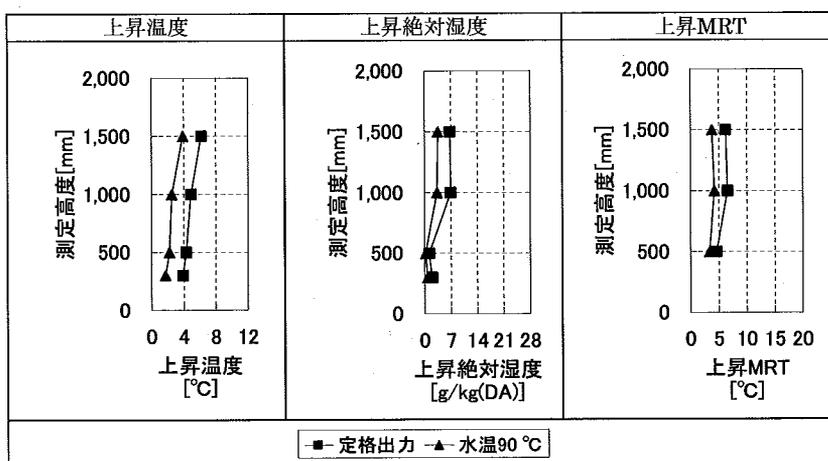


図 3.6.3 各出力設定時における作業位置に形成される温熱環境(IH 回転釜)

度の上昇がそれぞれみられる。上昇 MRT は、定格出力時の場合、高度 1,000[mm]において 6.6[°C] 上昇し、水温 90[°C]保温時では 4.2[°C]上昇している。IH レンジでは、出力設定による差異はほとんどみられなかったが、IH 回転釜は、水面の面積、機器本体の高温部分の面積が大きいので、上述のような出力設定の違いによる差異が生じたものと考えられる。

3.6.2 『定温度型調理機器』を対象とした検討

本項では、『定温度型調理機器』として IH フライヤーを選定し、排気量 30Q (180[m³/h]) における油加熱実験の結果を示す。図 3.6.4 に油加熱実験の経時変化を示す。

油温 180[°C]設定による実験では、EA1 から除去される顕熱は油温の上昇に伴って微増するものの、実験開始 60 分において 290[W]であり、定格出力に対して顕著に小さい。これは、前掲図 2.3.3 に示すように油温 180[°C]保温時における発生熱が小さいためである。これより、顕熱除去率は 34.6[%]と低い値を示すが、実験室内に拡散する熱は小さいと考えられる。EA1 による除去潜熱は、実験の開始から終了までほとんどみられず、定常状態における潜熱除去率は 0[%]となる。全熱除去率は、前掲表 2.3.1 に基づく発生熱から算出するため顕熱除去率とは異なる値を示し、18.6[%]となる。

4B-F.L.+1,500 の上昇温湿度を図 3.6.5 に示す。温度は、実験開始から終了までほとんど上昇しない。これは、IH フライヤーによる油加熱実験では発生顕熱が小さいことに加え、油が高温となるのみで湯沸し実験のように油面近傍の空気を攪拌する要素がほとんどなく、熱上昇流の拡散が抑制されるためと考えられる。絶対湿度は、実験の開始から終了までほとんど上昇しない。

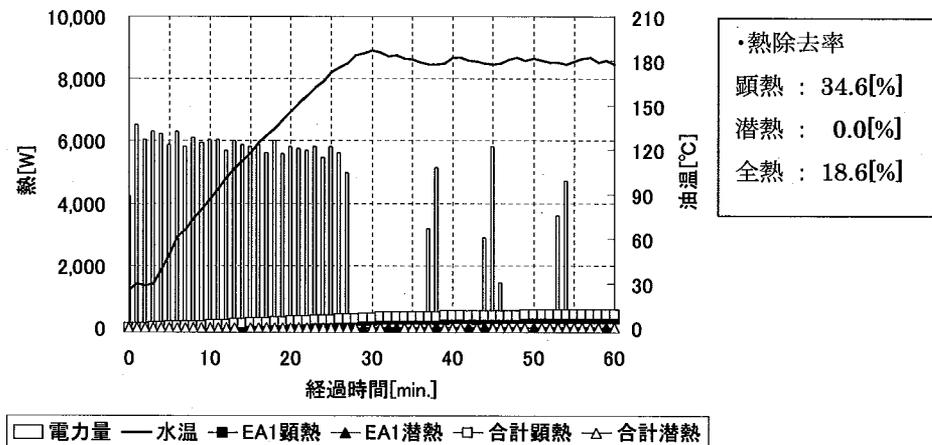


図 3.6.4 除去熱の経時変化 (IH フライヤー)

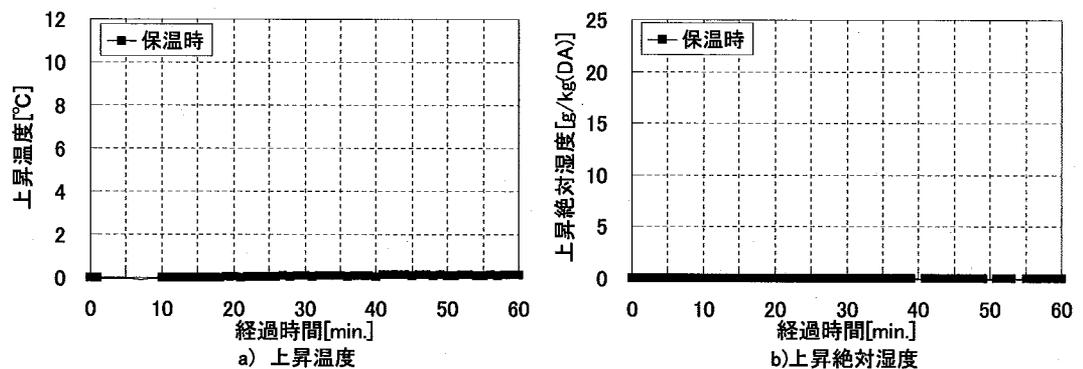


図 3.6.5 上昇温湿度の経時変化 (IH フライヤー)

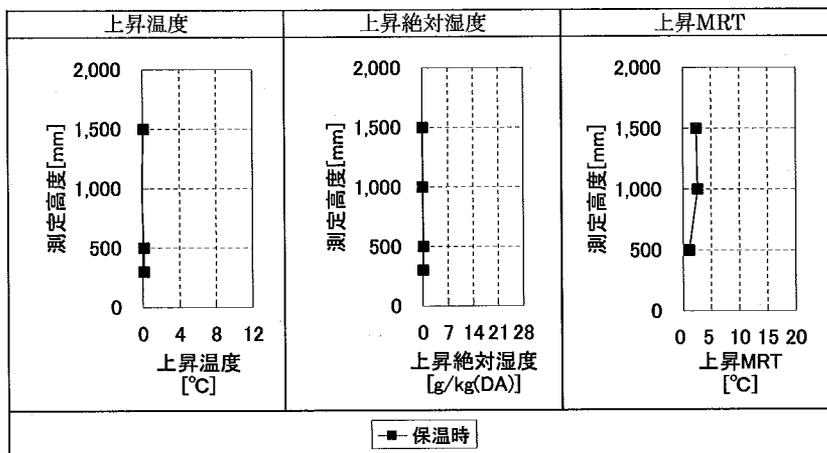


図 3.6.6 作業位置に形成される温熱環境(IHフライヤー)

図 3.6.6 に調理人の作業位置に形成される温熱環境を示す。なお、図中の値は、実験開始時を基準として実験開始後 60 分における値を示している。作業位置の温度、絶対湿度は、いずれもほとんど上昇しない。MRT は、高度 1,000[mm]の値が最も高く、2.6[°C]上昇する。これは、高度 1,000[mm]が最も油面に近い測定点であったためと考えられる。

3.6.3 『閉鎖型調理機器』を対象とした検討

本項では、『閉鎖型調理機器』の電気スチコンを使用し、排気量 30Q (285[m³/h]) における加湿オープンモードによる空焚き実験を行った結果を示す。図 3.6.7 に除去熱の経時変化を示す。

EA1 から除去される顕熱は、庫内温度が 250[°C]に達する 10 分頃から上昇し始める。その後、実験開始から 50 分頃まで微増し、扉を開放する 60 分までは定常的な値を示す。扉は、経過時間 60 分から 3 分間解放し、63 分から 3 分間閉鎖し、その後再度 3 分間開放し、最後に 3 分間閉鎖している。扉開放に伴い除去顕熱は上昇し、閉鎖時には下降する。扉開放時の顕熱除去率は 40.1[%]であり、閉鎖時は 21.3[%]と開放時に比べて低下する。なお、扉開放時の熱除去率は、1 回目の開放時 3 分間の積算値を前掲表 2.3.1 に基づく発生熱で除した値としている。EA1 による除去潜熱は、実験開始から 12~15 分において若干上昇するが、扉閉鎖時の値はほとんど 0[W]となる。これより、閉鎖時の熱除去率は 0[%]となる。一方、扉開放時は最大 640[W]の潜熱が除去され、熱除去率は 30.9[%]となる。全熱除去率は、閉鎖時において 42.6[%]、開放時は 22.3[%]となる。

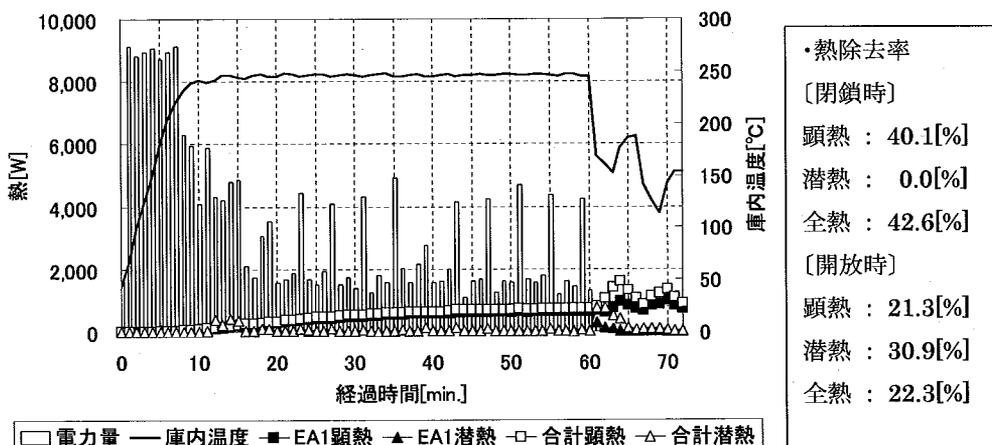


図 3.6.7 除去熱の経時変化(電気スチコン:加湿オープンモード)

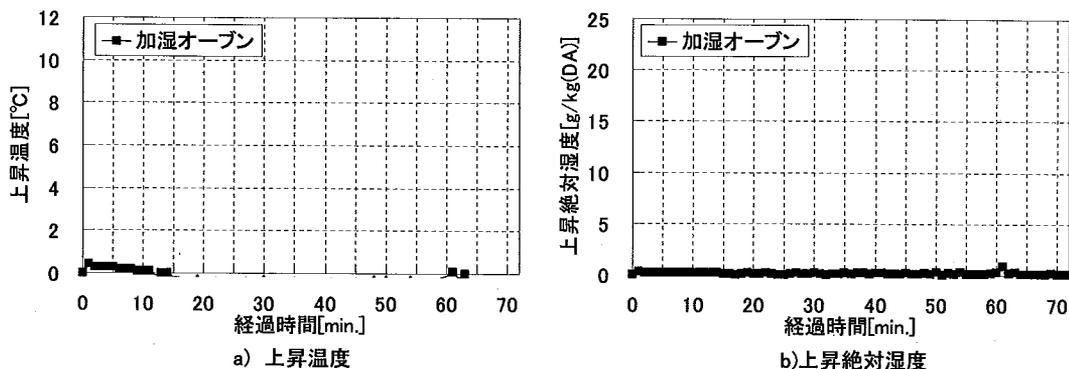


図 3.6.8 上昇温湿度の経時変化(電気スチコン:加湿オープンモード)

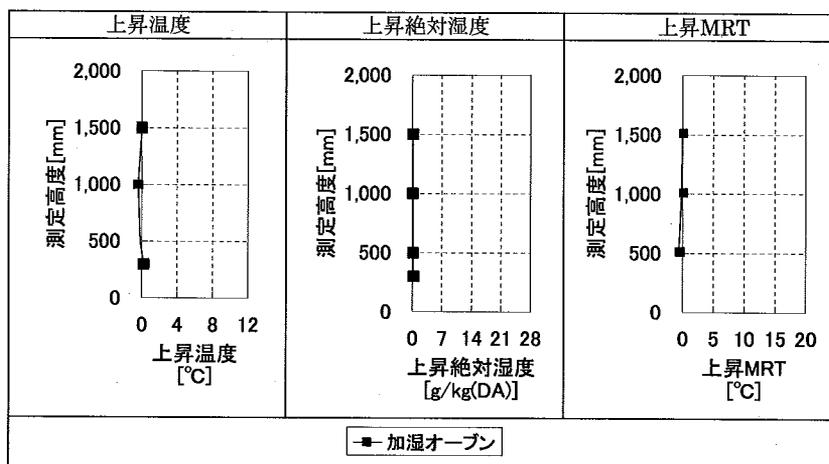


図 3.6.9 作業位置に形成される温熱環境(電気スチコン:加湿オープンモード)

4B-F.L.+1,500 の上昇温湿度を図 3.6.8 に示す。なお、図中には上昇温度が負となる時間帯がみられるが、これは初期状態において若干の分布が生じていたためと考えられ、上昇値は 0 とみなす。温度は、実験開始から終了までほとんど上昇しない。扉開放時においても上昇しないことから、大きな熱が発生しても短時間であれば、周辺空間にはほとんど影響を及ぼさないことがわかる。絶対湿度は、扉開放時に若干上昇するものの、実験全体を通じて上昇値は 0.5[°C]以下と小さい値を示す。

図 3.6.9 に調理人の作業位置に形成される温熱環境を示す。なお、図中の値は、実験開始時を基準として実験開始後 60 分における値を示している。作業位置の温度、絶対湿度、MRT は、いずれもほとんど上昇しない。これより、電気スチコンのような『閉鎖型調理機器』は周辺空間に及ぼす熱的影響の顕著に小さいことがわかる。

以上のことから、限られた厨房機器を対象とした検討ではあるが、いずれの調理機器においても排気量 30Q における排熱性状、および周辺空間に形成される温熱環境は、比較的良好であると考えられる。『開放型調理機器』については、沸騰状態を長時間継続することにより、若干温熱環境に影響をおよぼす可能性も示唆されるが、実際の調理において沸騰状態を継続する調理は限られる。特異な発生熱を伴う調理には注意を要するが、電化厨房機器に対する排気量は定格出力 1[kW]あたり 30[m³/h]とすることで、適切な排気を行うことができると考える。

3.7 結語

本章では、電化厨房機器の基本的特性として、機器上方に形成される熱上昇流の拡散性状を解析

した。また、排気量を変更して IH レンジによる湯沸し実験を行い、電化厨房機器に対する適正排気量を提案した。そして、代表的な厨房機器を使用して、適正排気量を設定した実験を行い、熱除去性状、および機器周辺に形成される温熱環境の検討から、その妥当性を示した。

IH レンジによる湯沸し実験を行い、機器上方に形成される熱上昇流を可視化し、PIV 解析によって流速分布を明らかにした。また、実験結果に基づく CFD 解析による熱上昇流のシミュレーションを行い、温度分布、相対湿度分布から熱の拡散性状を明らかにした。

また、IH レンジを使用して排気量を変化させて湯沸し実験を行い、熱除去率を指標とした排熱性状の検討、および機器周辺空間に形成される温熱環境を検討した。ガスレンジは、燃焼に伴う発生顕熱が大きいため顕熱の拡散による温熱環境への影響が大きいのに対し、IH レンジは熱効率が高いため発生潜熱が大きく、周辺空間における絶対湿度の上昇が顕著となる。排気量を 30Q とした場合、定格出力による湯沸しでは周辺空間に及ぼす潜熱の影響は大きいですが、水温 90[°C]ではほぼ 100[%]の熱除去率が確保され、周辺温熱環境も良好に保持されることを示した。これより、実調理時において沸騰状態の長時間継続はほとんど行われなことを考慮し、電化厨房機器に対する適正排気量を定格出力 1[kW]あたり 30[m³/h]と同等とした。

適正排気量 30Q を設定し、代表的な厨房機器を使用した模擬調理実験から、IH レンジの属する『開放型調理機器』による定格出力時の発熱は、長時間継続的に生じた場合、機器周辺の温熱環境に影響を及ぼす可能性が示唆された。これより、IH レンジによる結果を含め、定格出力時に近似する発生負荷の継続性を考慮し、実際の調理において発生する熱に対する排熱性状の考え方を確立する必要があると考えられる。また、本実験は排気フード型排気方式に限定して検討を行っているが、排気方式の違いによる排気性状の向上や、周辺空間に及ぼす熱的影響の抑制手法を考える必要がある。なお、『定温度型調理機器』および『閉鎖型調理機器』に関しては、排気量を 30Q とした場合、周辺空間に及ぼす熱的影響は小さいことを示した。

【参考文献】

- 1) 熊尾隆丈, 村川三郎, 日浅英成: 業務用電化厨房機器からの発生熱負荷の除去と周辺空間に及ぼす熱的影響—静穏環境における IH レンジを対象とした実験・解析—, 日本建築学会環境系論文集 第 615 号, pp.29-37, 2007.5
- 2) 柿本晋太郎, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 熊尾隆丈, 森本旭, 寺島広大, 小川浩二: 業務用厨房機器からの発生負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その 5 排気量の変化が周辺環境に及ぼす影響, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 26 巻, pp.589-592, 2003.3
- 3) 柿本晋太郎, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 熊尾隆丈, 森本旭, 小川浩二: 業務用厨房における温熱環境の評価研究 その 3 周辺環境評価実験の概要および除去熱量の解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) D-2, pp.323-324, 2003.9
- 4) 熊尾隆丈, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 柿本晋太郎, 森本旭, 小川浩二: 業務用厨房における温熱環境の評価研究 その 4 排気フードによる熱除去率および温熱環境の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) D-2, pp.325-326, 2003.9
- 5) 熊尾隆丈, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 柿本晋太郎, 森本旭, 小川浩二: 業務用厨房機器から発生する各種負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その 4 電化厨房機器における適正排気量の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.377-380, 2003.9

- 6) 坂口淳, 赤林伸一, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 荻田俊輔: 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, 日本建築学会計画系論文集 第534号, pp.33-40, 2000.8
- 7) 百瀬敏成, 佐藤隆二, 山中俊夫, 甲谷寿史: 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 第560号, pp.15-22, 2002.10
- 8) 百瀬敏成, 山中俊夫, 甲谷寿史, 山本晃裕: 業務用レンジから発生する上昇気流の性状把握およびモデル化, 日本建築学会環境系論文集 第567号, pp.49-56, 2003.5.
- 9) 田所祐人, 近藤靖史, 荻田俊輔: 局所排気システムにおける直接捕集率(DCE)に関する研究 その1 直接捕集率(DCE)の検討とその算出法, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.633-636, 2000.9
- 10) 荻田俊輔, 近藤靖史, 長澤康弘, 田所祐人: 局所排気システムにおける直接捕集率(DCE)に関する研究 その2 直接捕集率とその他の指標との比較および厨房換気への適用, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.637-640, 2000.9
- 11) 吉野一, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 荻田俊輔, 長澤康弘, 石川登志樹, 永瀬修, 村上高: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その2 厨房内温度および排気捕集性状に関する実験, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.381-384, 2003.9
- 12) 荻田俊輔, 近藤靖史, 吉野一: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その3 数値流体解析(CFD)による気流・温度分布の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.385-388, 2003.9
- 13) 荻田俊輔, 近藤靖史, 赤林伸一: 業務用厨房の空調吹出方向と温熱環境の関連についての検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.281-284, 1998.8
- 14) Risto Kosonen, Hannu Koskela, PekkaSaarine: Thermal plumes of kitchen appliances—Idle mode, Energy and Buildings Volume 38 Issue 9, pp.1130-1139, 2006.9
- 15) Risto Kosonen, Hannu Koskela, PekkaSaarine: Thermal plumes of kitchen appliances—Cooking mode, Energy and Buildings Volume 38 Issue 10, pp.1141-1148, 2006.10
- 16) 千葉敏, 鎌田元康, 小峰裕己, 八乙女巖, 倉淵隆, 高草智: 家庭用電化厨房の局所換気方式に関する研究 その1 厨房器具の伝熱形態、及び、器具近傍の温熱感, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.165-168, 1993.10
- 17) 赤林伸一, 近藤靖史, 田中良昌, 佐藤久遠: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その1 IH レンジ上の上昇気流風量に関する実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.733-734, 2005.9
- 18) 田中良昌, 赤林伸一, 近藤靖史, 佐藤久遠: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その2 60cm 角の単純形状を持つフードを使用した場合の捕集率の実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.735-736, 2005.9
- 19) 三浦学, 近藤靖史, 阿部有希子, 赤林伸一: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その3 集合住宅の厨房空間を対象とした CFD 解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.737-738, 2005.9
- 20) 阿部有希子, 近藤靖史, 赤林伸一, 三浦学: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その4 CFD 解析によるフードの直接捕集率と室内湿度分布の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.739-740, 2005.9
- 21) 赤林伸一, 長谷川功, 近藤靖史, 中尾正純: 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する研究 その5 必要換気量の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.741-742, 2005.9
- 22) 電化厨房資料委員会 発行: 業務用電化厨房設計の指針, 1999

- 23) ステンレス協会 編：ステンレス鋼便覧（第3版），2004
- 24) 渡邊要 編：建築計画原論II，p.61，1965
- 25) 荒川忠一 著：数値流体工学，東京大学出版会，1994.1
- 26) 村上周三 著：CFDによる建築・都市の環境設計工学，東京大学出版会，2000.9
- 27) スハス V. パタンカー 原著 水谷幸夫，香月正司 共訳：コンピュータによる熱移動と流れの数値解析，森北出版，1985.2
- 28) 日野幹雄 著：流体力学，朝倉書店，1992.12

—第4章—

頂部型局所排気方式による排熱性状の解析

- 4.1 序
 - 4.2 実験概要
 - 4.3 設置位置の変化が排熱性状に及ぼす影響
 - 4.4 形状変化による排熱性状向上効果の解析
 - 4.5 結語
-

4.1 序

ガス厨房機器に対しては、燃焼に伴う CO_2 を適切に除去するため、機器全体を覆う排気フードの設置が義務付けられている。また、排気フードの設置に関しては、延焼の危険性を考慮し、機器上面から排気フード下端までの距離を十分確保しなければならない。一方、燃焼を伴わない電化厨房機器は、 CO_2 の発生がなく、引火による延焼の危険性が小さい。これより、いずれの厨房機器についてもガス厨房の基準に準じた設計を行うのではなく、熱源や機器特性を考慮した設備計画を行う必要がある。電化厨房において処理されなければならない負荷は、調理に伴って発生する熱、水蒸気、臭気、油煙等であり、ほとんどは鍋、あるいは機器の開口部分のみから発生する。これより、排気フードで機器全体を覆うという、裸火を有する機器に対して有効と考えられる換気手法は、電化厨房機器に対して必ずしも有効であるとはいえない。むしろ、電化厨房機器に対しては、排気口を鍋に近接させて設置するなど、その特徴を考慮した排気方式が適用されるべきと考える。そこで、本章では、負荷の発生位置に対応させて従来の排気フード方式よりもさらに局所的な排気方式を適用し、湯沸しによる模擬調理実験から、排気口形状、および設置方法の違いが発生熱負荷の除去効果と作業空間の温熱環境に及ぼす影響について明らかにする。

4.2 実験概要

実験は、正面に向かって左側の鍋中心と排気口 EA1 の中心が一致するように IH レンジを配置し、鍋 1 口を使用した湯沸し実験を行った。図 4.2.1 に実験状況を示す。実験時の給気は、床面の SA 部 ($2.5 \times 1.8 \text{ [m]}$) から行った。パンチングメタルとエキスパンドメタルを 2 重に施すことにより、吹出し面の圧力損失を大きくし、吹出し流速が極力一様となるように配慮している。SA 部分からの吹出し流速は、平均 0.03 [m/s] 程度の微小な上昇流となるが、鍋からの熱上昇流や排気性能に及ぼす影響は十分小さいと考えられる。排気は、実験室中央に設置した排気口 EA1 にアルミフレキシブルダクト (直径 250 [mm]) を接続し、先端に異径ソケットで製作した排気口 (以降、頂部排気口と称す) を設置した。排気量は、いずれの実験においても $30Q \text{ [m}^3/\text{h]}$ (Q : 機器定格出力 [kW]) とした。なお、本実験ではいずれの実験条件においても 1 口のみを使用するため、機器定格容量は 5 [kW] とみなし、排気量は $150 \text{ [m}^3/\text{h]}$ とする。EA1 の両側に設置した排気口 EA2、EA3 からは、頂部排気口から漏出した熱の再捕集を防止するため、いずれの実験条件においてもそれぞれ常時 $150 \text{ [m}^3/\text{h]}$ の排気を行った。

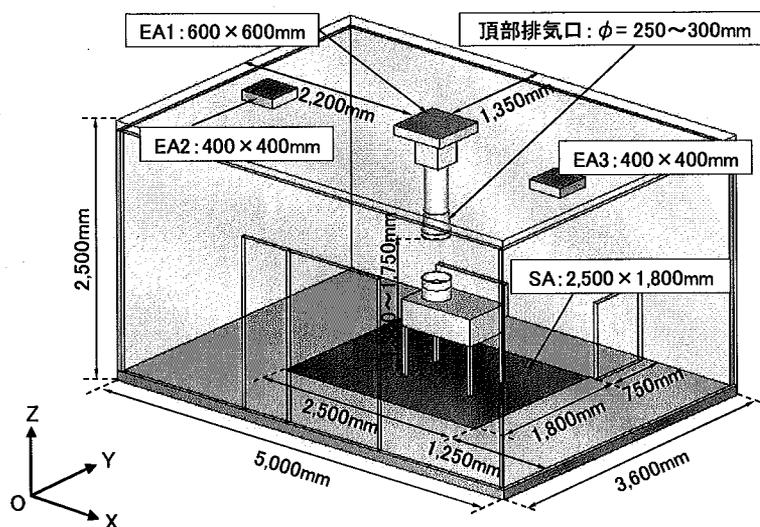


図 4.2.1 実験状況

(1) 実験条件

実験条件を表 4.2.1 に示す。鍋に水を 8[L] 注入し、いずれの実験ケースにおいても定格出力による湯沸し、および水温を 90[°C] に保持する実験を行った。ここで、定格出力による実験は最大熱負荷発生時を想定し、水温 90[°C] 設定は継続時間が最も長いと考えられる調理物の保温状態を想定している。実験の変化項目として鍋直径 (ϕ_P) を変化させるため、鍋は市販されている直径 300[mm] と 450[mm] のものを用意した。注入水量は、いずれの鍋を使用する場合も同量としたため初期水深はそれぞれ異なる。また、鍋は鍋外周面からの顕熱伝達が同等となるように、表面積の近似する形状のものを選定した ($\phi_P=300[mm]$: 0.19[m²], $\phi_P=450[mm]$: 0.21[m²])。実験時の流入出空気性状、および室内温熱環境等は、前掲表 3.2.4 および図 3.2.5 と同様な測定を行っている。

(2) 実験 CASE

表 4.2.2 に実験 CASE を示す。実験は、排気口の設置位置による排熱性状を検討する項目として排気口高度 (H) を変化させた。なお、実験は、鍋直径 (ϕ_P) の異なる 2 種の鍋のいずれについても行っている (CASE 1~8)。次いで、排気口の形状変化による排熱性状を検討する項目として排気口直径 (ϕ_E)、補助フードの有無の各項目を変化させた実験を行った (CASE 9~24)。排気口高度 (H) は、調理時の作業性や施工上の制約などを考慮し、鍋の上端を基準として上方 300[mm] から 150[mm] 間隔で 750[mm] まで設定した。鍋直径 (ϕ_P) は、熱源面の変化による排熱性状の差異を検討するため、直径 300[mm] と 450[mm] の 2 種を設定した。排気口直径 (ϕ_E) は、排気口面風速の違いによる熱除去効果を検討するため、直径 300[mm] を基準として $\pm 50[mm]$ の 3 種を設定した。ここで、排気量 150[m³/h] におけるそれぞれの排気口面風速は、250[mm] では 0.85[m/s]、

表 4.2.1 実験条件

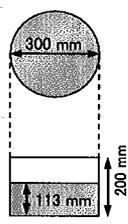
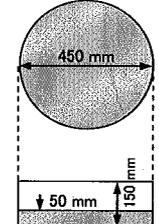
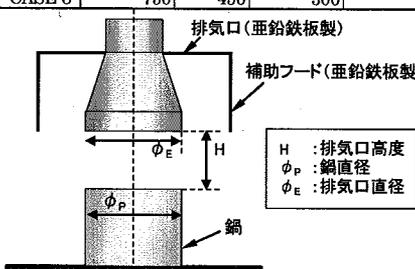
注入水量	8 L		鍋形状	
	定格出力	90[°C] 設定	$\phi_P=300$	$\phi_P=450$
出力	定格出力による加熱運転を行い、沸騰状態を継続させる。	出力を自動制御し、水温を 90[°C] に保持する状態を継続させる。		
排気量	150 m ³ /h			
実験時間	1 時間			
初期水温	24.5~31.4 °C			
初期水深	$\phi_P=300$	113 mm		
	$\phi_P=450$	50 mm		
鍋開口面積	$\phi_P=300$	0.07065 m ²		
	$\phi_P=450$	0.15896 m ²		

表 4.2.2 実験 CASE

	排気口高度 H[mm]	鍋直径 ϕ_P [mm]	排気口直径 ϕ_E [mm]	補助フード [有・無]		排気口高度 H[mm]	鍋直径 ϕ_P [mm]	排気口直径 ϕ_E [mm]	補助フード [有・無]
CASE 1	300	300	300	無	CASE 9	300	300	250	無
CASE 2	450	300	300	無	CASE 10	450	300	250	無
CASE 3	600	300	300	無	CASE 11	600	300	250	無
CASE 4	750	300	300	無	CASE 12	750	300	250	無
CASE 5	300	450	300	無	CASE 13	300	300	350	無
CASE 6	450	450	300	無	CASE 14	450	300	350	無
CASE 7	600	450	300	無	CASE 15	600	300	350	無
CASE 8	750	450	300	無	CASE 16	750	300	350	無
					CASE 17	300	300	300	有
					CASE 18	450	300	300	有
					CASE 19	600	300	300	有
					CASE 20	750	300	300	有
					CASE 21	300	450	300	有
					CASE 22	450	450	300	有
					CASE 23	600	450	300	有
					CASE 24	750	450	300	有



H : 排気口高度
 ϕ_P : 鍋直径
 ϕ_E : 排気口直径

いずれの実験CASEにおいても、定格出力設定、および水温 90[°C] 設定による実験を行っている。本文中では、水温 90[°C] 設定のCASEをCASE1のように「1」を付すことで区別している。

300[mm]では0.59[m/s]、350[mm]では0.43[m/s]となる。補助フードは、設置条件の制約などによって熱除去率が低下する状況となる場合に、排気口から漏出する熱上昇流を一時滞留させ、2 次的に熱除去を行う覆い（サイズ：600[mm]×600[mm]）として、その有無について検討を行った。

4.3 設置位置の変化が排熱性状に及ぼす影響

本節では、IH レンジを使用した湯沸し実験を行い、鍋上部に設置した頂部排気口の高さを変化させた場合の排熱性状と、機器周辺に形成される温熱環境について検討する（CASE 1～CASE 8）。

4.3.1 発生熱の経時変化

各実験ケースにおける排熱性状は、前章と同様に機器からの発生熱と頂部排気口（EA1）による除去熱から熱除去率を算出し、比較検討する。そこで、あらかじめ機器から発生する顕熱、潜熱を把握しておく必要がある。本実験では、鍋直径（ ϕ_P ）を変更した場合の検討を行うため、径違いの鍋 2 種を使用した湯沸し実験を行い、発生熱をそれぞれ測定した。いずれの実験においても、排気口高度（H）を 50[mm]とし、頂部排気口を取り外して補助フードのみを設置し、発生熱の漏出が生じないように配慮した。補助フードは、機器本体冷却用の排気口も覆うように設置した。頂部排気の風量は、発生熱量を全て捕集するため、使用する排気ファンの最大出力に相当する 750[m³/h]とした。なお、実験時は EA2、EA3 から 150[m³/h]の排気を行っているが、そこから排出される熱はみられず、室内温湿度の上昇もみられなかったことから、鍋からの発生熱は補助フードによって全て捕集されたと考える。

図 4.3.1 に $\phi_P = 300$ [mm]における発生熱の経時変化を示す。発生顕熱は、実験開始から沸騰に至るまでほぼ一定の勾配で上昇する。沸騰後は、経過時間 40 分頃まで微増し、その後は定常的な値を示す。発生潜熱は、水温の上昇に伴って増加し、沸騰直前においてに急激に上昇する。その後、若干の変動はみられるが、40 分以降は定常的な値を示す。これより、実験開始後 45～60 分を定常状態とみなし、平均発生熱を求めた。発生熱は、それぞれ顕熱 760[W]、潜熱 4,220[W]、全熱 4,980[W]である。

図 4.3.2 に $\phi_P = 450$ [mm]における発生熱の経時変化を示す。 $\phi_P = 450$ [mm]では、300[mm]の場合と比較して沸騰に至るまでの時間が長く、水温は 96～98[°C]と若干低い値を示す。これは、 $\phi_P = 300$ [mm]よりも水と空気の接触面が大きく、空気中に放出される熱が大きいためと考えられる。発生顕熱は、実験開始から沸騰に至るまでほぼ一定の勾配で増加する。沸騰後、経過時間 40 分頃

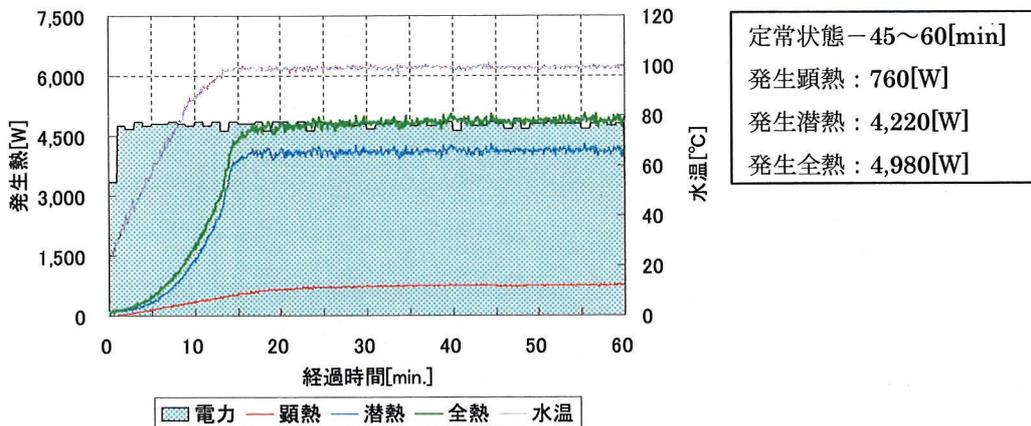


図 4.3.1 $\phi_P = 300$ [mm]における発生熱の経時変化

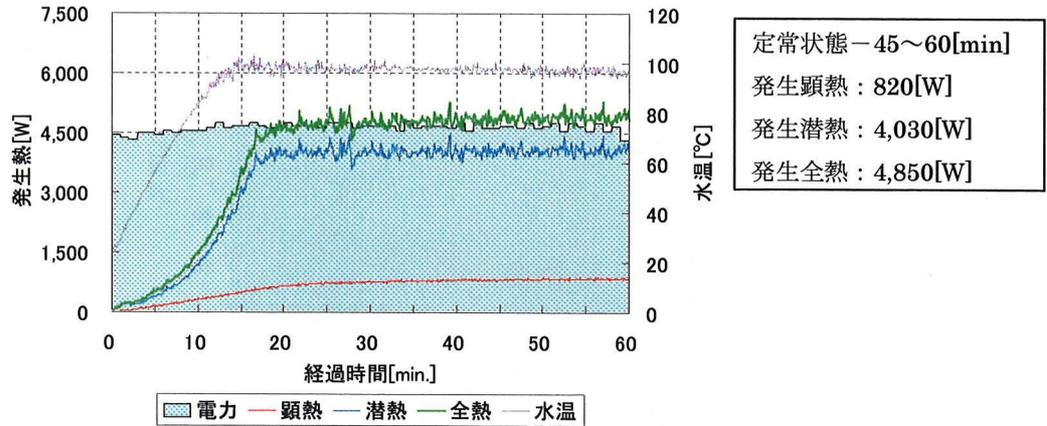


図 4.3.2 $\phi_P=450[\text{mm}]$ における発生熱の経時変化

まで微増するが、その後は定常的な値を示す。発生潜熱は、水温の上昇に伴って増加し、沸騰に近づくに従って上昇勾配は大きくなる。沸騰後 10 分間程度は、若干変動の大きい時間帯がみられるものの、経過時間 40 分以降は定常的な値を示す。 $\phi_P=300[\text{mm}]$ においてもみられる沸騰後数分間の変動は、IH の機構特性として、鍋内の水は下部から温度が上昇するため、鍋の周囲部分に熱が伝達するまでに時間遅れが生じ、鍋内の水の対流が安定しないことにより生じるものと考えられる。

4.3.2 除去熱の経時変化

(1) 定格出力設定

$\phi_P=300[\text{mm}]$ を使用した結果の一例として、図 4.3.3 に CASE 3 における除去熱の経時変化を示す。なお、凡例の合計顕熱・潜熱は、EA1、EA2、EA3 によって除去された熱の合計値を示す。EA1 による除去顕熱は、水温の上昇に伴って合計値との差が大きくなり、合計値に対する頂部排気口による除去熱の比率は次第に低下する。実験開始 40 分以降の発生熱の安定する状態では、除去顕熱は定常的な値を示す。頂部排気口による除去潜熱は、沸騰直前まで合計値と同等の値を示し、発生熱のほとんどが頂部排気口により除去されている。沸騰後 15 分程度は、合計値との差異が次第に大きくなるが、実験開始 40 分以降は変動を伴うものの、ほぼ定常的な値を示す。

$\phi_P=450[\text{mm}]$ を使用した結果の一例として、図 4.3.4 に CASE 7 における除去熱の経時変化を示す。EA1 による除去顕熱は、CASE 3 と同様に発生顕熱に伴って上昇し、発生顕熱が安定状態とな

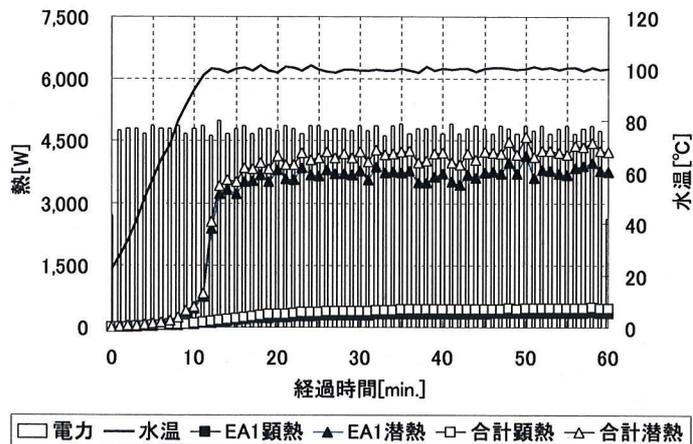


図 4.3.3 CASE 3 における除去熱の経時変化

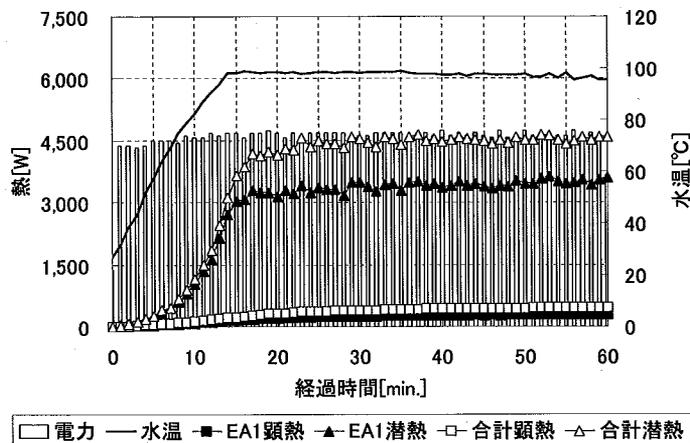


図 4.3.4 CASE 7 における除去熱の経時変化

る実験開始 40 分以降の除去顕熱は定常的な値を示す。潜熱は、沸騰に至る過程において頂部排気口による除去熱と合計値に若干の差異がみられ、沸騰後 10 分間程度は差異が次第に大きくなり、実験開始後 40 分以降は定常的な値を示す。また、径違いの鍋 2 種のいずれにおいても、定常状態における発生顕熱、および除去顕熱は、機器本体からの間欠的な排熱による顕著な変動はみられないことから、機器本体からの排熱は実験結果にほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

(2) 水温 90°C設定

水温 90°C設定では、沸騰時の熱伝達とは異なり、発生熱は水や鍋それぞれの温度状態における顕熱伝達、および蒸発潜熱に従うため、いずれの鍋径の実験においても除去熱の合計値は定格出力時の発生熱に対して顕著に低い値を示す。φ_P = 300[mm]を使用した結果の一例として、図 4.3.5 に CASE 3'における除去熱の経時変化を示す。EA1 の除去顕熱は水温に伴って上昇し、水温の安定する実験開始 30 分以降は定常的な値を示す。潜熱は、頂部排気口による除去熱と合計値がほぼ同等の値を示し、図中では重なった表示となる。顕熱と同様に、水温が 90°Cに至る実験開始 30 分頃まで上昇し、それ以降は定常的な値を示す。投入電力は、水温を機器の自動制御機能により調節しているため、水温 90°Cに至るまでの出力は 1,900[W]程度に制御され、水温 90°Cに達するまでの時間は定格出力時より長くなる。

φ_P = 450[mm]を使用した結果の一例として、図 4.3.6 に CASE 7'における除去熱の経時変化を示す。EA1 による除去顕熱は実験開始から微増し、水温の安定する実験開始 40 分以降は定常的な値

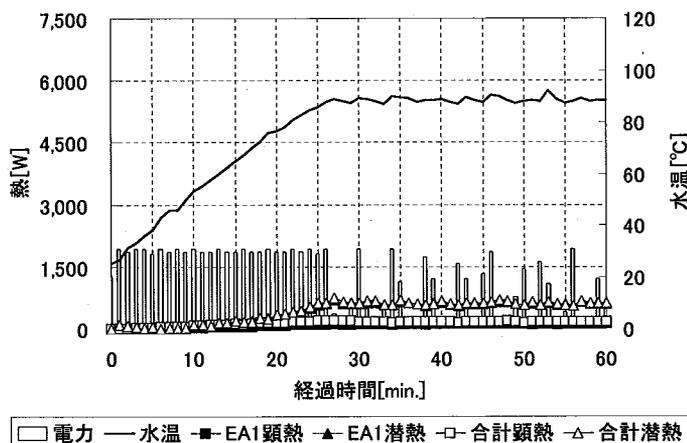


図 4.3.5 CASE 3' における除去熱の経時変化

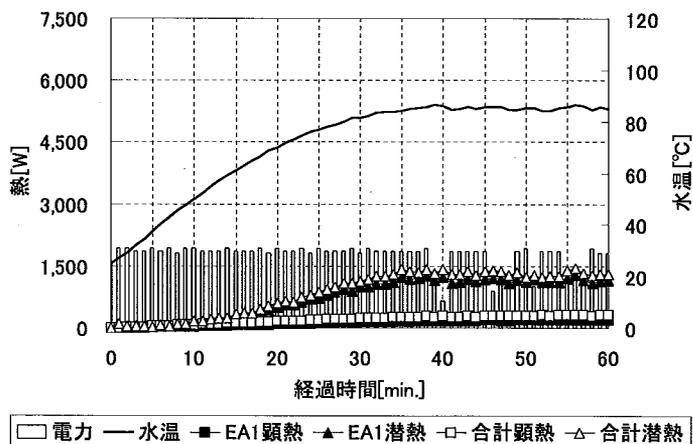


図 4.3.6 CASE 7における除去熱の経時変化

を示す。潜熱は、水温が上昇するに従い、合計値とEA1による除去熱の差異は大きくなる。水温の安定する実験開始40分以降はいずれの値も定常的になる。ここで、CASE 7の除去顕熱・潜熱の合計値とCASE 3の除去顕熱・潜熱の合計値の比率は、両者の鍋開口面積の比率とほぼ一致することから、水温90[°C]保温状態で ϕ_P を変化させた実験の比較は、単位面積あたりの発生熱を同等とした場合の、発熱面積の違いによる影響を比較するものともいえる。

4.3.3 排気口の高度変化と熱除去率の関係

前節に示した各排気口高度における除去熱の経時変化に基づき、定常状態における熱除去率を算出した。なお、熱除去率の算定は前掲式(6)、式(7)を用いている。

(1) 定格出力設定

図 4.3.7 に定格出力時における排気口の高度変化と熱除去率の関係を示す。 $\phi_P=300$ [mm]の顕熱除去率は、排気口高度が高くなるに従って低下する。H=300[mm]と比較してH=750[mm]の場合、熱除去率は約9ポイント低下する。 $\phi_P=450$ [mm]では、顕熱除去率はいずれの排気口高度においても35[%]以下であり、 $\phi_P=300$ [mm]のCASEに対して低い値を示す。潜熱除去率は、H=450[mm]以下の場合、98[%]以上と高い値を示す。しかし、H=600[mm]において85[%]、750[mm]では76[%]となり、頂部排気口をH=600[mm]以上の高度に設置する場合、熱除去率は顕著に低下する。 $\phi_P=450$ [mm]では、H=300[mm]において86[%]と高い値を示すものの、排気口高度を300[mm]から150[mm]高くするごとに6~7ポイント低下し、H=750[mm]では65[%]となる。全熱除去率は、い

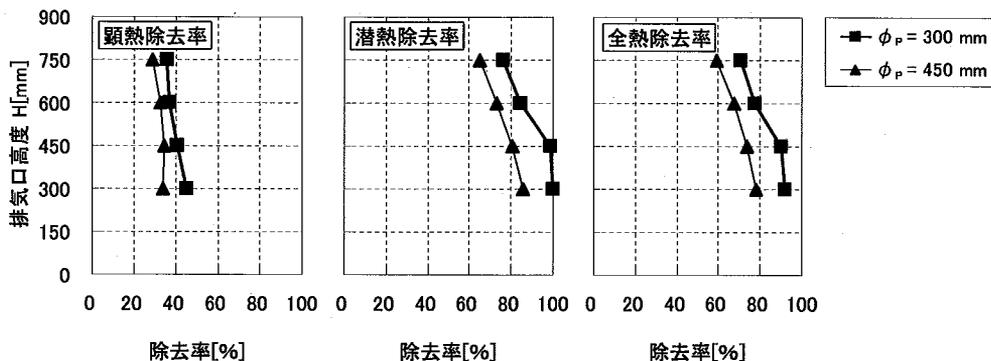


図 4.3.7 排気口高度と熱除去率の関係 (定格出力設定)

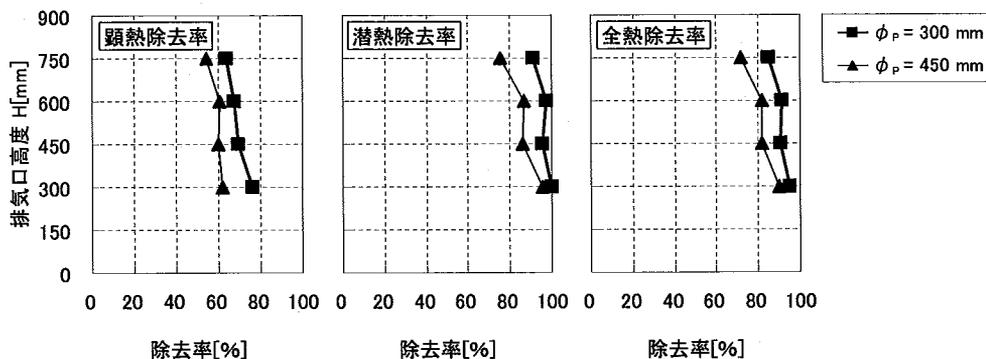


図 4.3.8 排気口の高度変化と熱除去率の関係 (水温 90[°C]設定)

いずれの鍋直径においても顕熱除去率が低いため潜熱よりも低い値を示すが、排気口高度と熱除去率の関係は潜熱と同様の傾向を示す。

(2) 水温 90[°C]設定

図 4.3.8 に水温 90[°C]設定時における排気口の高度変化と熱除去率の関係を示す。φ_P=300[mm]の顕熱除去率は、排気口高度が高くなるに従って低下する。H=300[mm]と比較して H=750[mm]の場合、熱除去率は 12 ポイント低下する。φ_P=450[mm]では、H=300~600[mm]の顕熱除去率は 60~65[%]であり、排気口高度による差異は小さいが、H=750[mm]では 55[%]に低下する。定格出力時と同様に、いずれの排気口高度においても φ_P=300[mm]の CASE に対して低い値を示す。潜熱除去率は、φ_P=300[mm]の場合、H=600[mm]以下の CASE では 95[%]以上の高い値を示す。H=750[mm]では、H=600[mm]に対して 6 ポイント低下するものの、熱除去率は 91[%]と高い排熱性状を保持している。φ_P=450[mm]では、H=300[mm]において 96[%]と高い値を示すものの、H=450、600[mm]では 87[%]に低下し、H=750[mm]では 76[%]となる。全熱除去率は、いずれの鍋直径においても潜熱より若干低い値を示すが、排気口高度と熱除去率の関係は潜熱と同様の傾向を示す。

4.3.4 排気口の高度変化と作業位置に形成される温熱環境の関係

排気による熱の拡散抑制に関する検討としては、前項に示した排熱性状に加えて、作業位置 (測定点 3E : 前掲図 3.2.5 参照) において調理人に対する熱的影響を明らかにする必要がある。

(1) 定格出力設定

図 4.3.9 に φ_P=300[mm]の各 CASE において作業位置に形成される温熱環境を高度別に示す。なお、図中の値は実験開始時を基準として実験開始後 50 分における上昇値を示している。また、上昇値が負となっているものもみられるが、これは、実験開始時に若干の分布が生じており、実験開始後 50 分からの差を算出した場合、負の値となるためである。作業位置の温度は、排気口高度の違いによって若干差異は生じるものの、いずれの CASE においても測定高度 1,000[mm]以上において上昇がみられ、1,500[mm]では 0.6~0.8[°C]上昇している。前掲図 4.3.7 に示すようにいずれの CASE においても顕熱除去率は低い値を示すが、発生顕熱が小さいため作業位置の温度環境に及ぼす影響は小さい。絶対湿度は、H=300~600[mm]まではいずれの測定高度においても排気口高度が高くなるほど上昇している。特に、H=600[mm]の潜熱除去率は、H=300、450[mm]に対して顕著に低下するため、絶対湿度は顕著に上昇する。H=750[mm]の CASE では、測定高度 1,000[mm]以下における上昇絶対湿度は H=600[mm]より低い値を示し、測定高度 1,500[mm]では高い値を示す。これは、排気口高度が高くなることによって排気の誘引効果が低下し、鍋と頂部排気口の間に形成

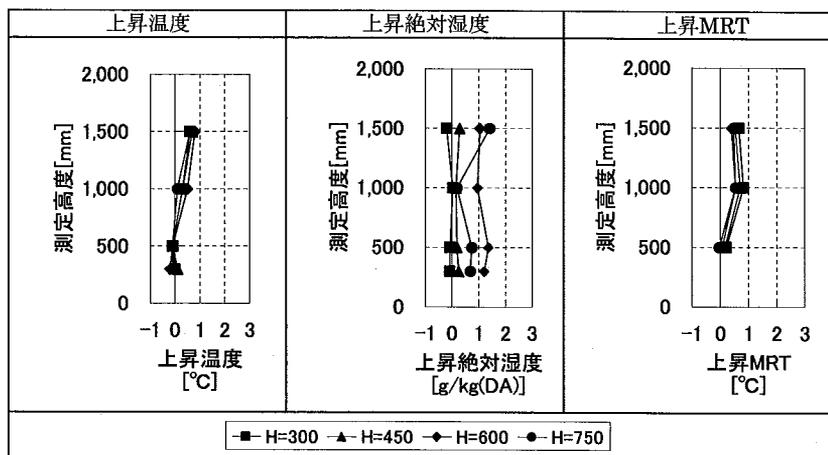


図 4.3.9 作業位置に形成される温熱環境 ($\phi_P=300$ [mm], 定格出力設定)

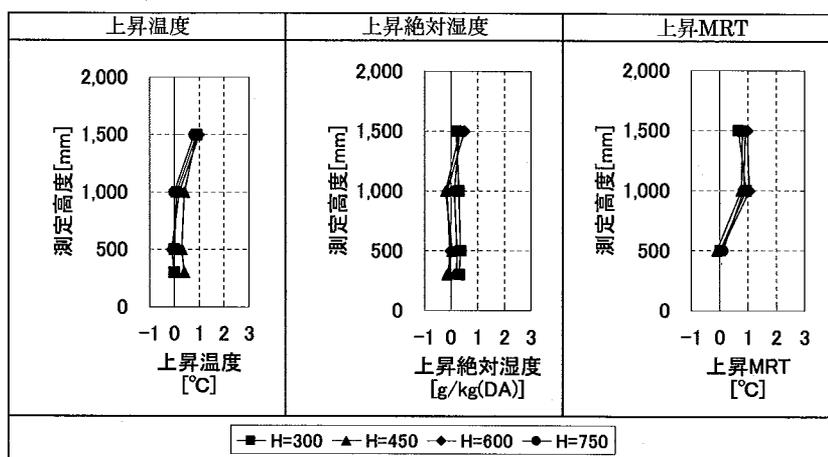


図 4.3.10 作業位置に形成される温熱環境 ($\phi_P=450$ [mm], 定格出力設定)

される上昇流の流れ場が変化したためと考えられる。MRT は、排気口高度が低いほど上昇値は若干大きくなるが、最大値を示す $H=300$ [mm]における測定高度 $1,000$ [mm]の上昇値は 0.8 [°C]であり、放射による影響は総じて小さいといえる。

図 4.3.10 に $\phi_P=450$ [mm]の各 CASE において作業位置に形成される温熱環境を高度別に示す。温度は、排気口高度の違いによって差異は生じるものの、いずれの CASE においても測定高度 $1,000$ [mm]以下における上昇値は 0.4 [°C]未満に留まる。測定高度 $1,500$ [mm]の上昇温度は、いずれの CASE も $0.8\sim 1.0$ [°C]の範囲に留まり、排気口高度による上昇温度の差異は小さいといえる。 $\phi_P=300$ [mm]の CASE と同様に顕熱除去率は低い値を示すものの、作業位置の温度環境に及ぼす影響は小さい。絶対湿度は、排気口の高度によって上昇値の大きくなる測定高度は異なっているが、いずれも上昇値は 0.5 [g/kg(DA)]以下であり、潜熱の拡散による作業位置への影響は小さい。上昇 MRT は、 $\phi_P=300$ [mm]の CASE より若干高い値を示すが、分布はほぼ同様な傾向を示す。これは、放射影響の大きい鍋までの距離は大きく変わらず、温度の高い水面の面積のみが変化したため、分布傾向はほぼ同様な傾向を示し、上昇幅のみ若干大きくなったものと考えられる。

以上のことから、作業位置の温度、絶対湿度は、鍋からの熱上昇流が上昇過程において拡散して広がり始める、測定高度 $1,000$ [mm]以上において上昇することがわかった。そして、ほとんどの CASE は測定高度 $1,500$ [mm]の上昇値が最大値となる。また、MRT は鍋の大きさによって変化する

るが、排気口高度にはほとんど影響されないことを把握した。

(2) 水温 90[°C]設定

図 4.3.11 に $\phi_P=300$ [mm] の各 CASE において作業位置に形成される温熱環境を高度別に示す。温度は、 $H=600$ [mm] の CASE ではほとんど上昇がみられず、いずれの測定高度においても 0.2[°C] 以下となる。 $H=750$ [mm] では測定高度 1,000、1,500[mm] において 0.3[°C] 程度の上昇となる。 $H=450$ [mm] 以上における顕熱除去率は 70[%] 未満であるが、作業位置の温度環境にはほとんど影響を及ぼさない。絶対湿度は、いずれの CASE においても潜熱除去率は 90[%] を超え、潜熱は効果的に除去されるため、作業位置においてはほとんど上昇しない。MRT は、水温が 90[°C] となることによって鍋や水の放射熱が小さくなるとともに、排気温度が定格出力時より低く、頂部排気口部材の温度も上昇しにくくなるため、いずれの CASE においてもほとんど上昇していない。

図 4.3.12 に $\phi_P=450$ [mm] の各 CASE において作業位置に形成される温熱環境を高度別に示す。温度は、 $H=300、450$ [mm] では、測定高度の違いによる差異がほとんどみられず、 $H=600、750$ [mm] では測定高度 1,500[mm] の上昇値が、測定高度 1,000[mm] 以下の上昇値に対して 0.5~0.8[°C] 高い値を示す。しかし、いずれの CASE においても上昇値は 1.0[°C] 未満であり、作業位置に対する影響は小さい。絶対湿度は、いずれの CASE においてもほとんど上昇していない。MRT は、 $\phi_P=300$ [mm] の各 CASE とは異なり、 $\phi_P=450$ [mm] では定格出力時と同程度の上昇値となっている。

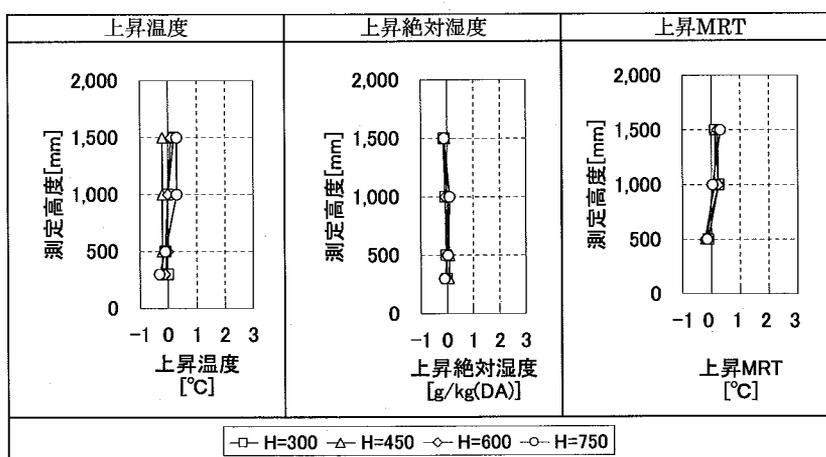


図 4.3.11 作業位置に形成される温熱環境 ($\phi_P=300$ [mm], 水温 90[°C] 設定)

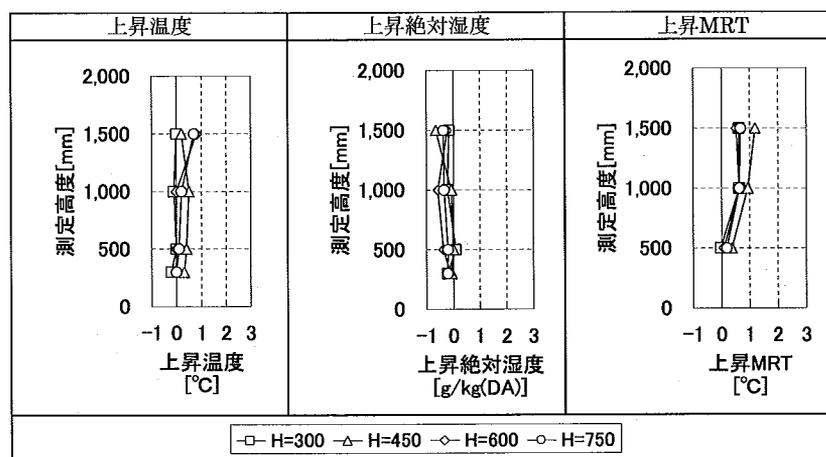


図 4.3.12 作業位置に形成される温熱環境 ($\phi_P=450$ [mm], 水温 90[°C] 設定)

これは、 $\phi_P=300[\text{mm}]$ のCASEと比較して $\phi_P=450[\text{mm}]$ の発生顕熱は、水温 $90[^\circ\text{C}]$ 設定における値と定格出力時の値の差異が小さく、頂部排気口部材の温度変化など放射に影響する諸要因の変化も小さくなるためと考えられる。

4.4 形状変化による排熱性状向上効果の解析

本節では、頂部排気口の形状を変化させることによる排熱性状の向上効果を明らかにする(CASE 9~CASE 24)。変化させる項目は、排気口直径、および補助フードの有無の2項目とする。前節と同様に、排気口高度を変化させて湯沸し実験を行い、熱除去性状と作業位置に形成される温熱環境を明らかにし、形状変化の有効性について検討する。

4.4.1 除去熱の経時変化

(1) 定格出力設定

$\phi_P=300[\text{mm}]$ において補助フードを設置した場合の一例として、図4.4.1にCASE 19における除去熱の経時変化を示す。EA1による除去顕熱は、発生顕熱が増加するに従って合計値との差異が大きくなり、合計値に対するEA1による除去熱の比率は次第に低下する。実験開始40分以降の発生熱の安定する状態における除去顕熱は、定常的な値を示す。EA1による除去潜熱は、沸騰に伴って顕著に上昇する。水温の安定する実験開始25~40分では、若干変動はみられるものの定常的な値を示す。しかし、実験開始後42~51分において除去潜熱は次第に上昇し、50分では40分の値に対して $200[\text{W}]$ 程度上昇している。その後、実験開始から52分以降では再び25~40分における除去熱と同程度の値まで低下する。これは、補助フードを設置することによって頂部排気口から漏出した熱が補助フードによって再度捕集されるなどの要因で流れ場が複雑化し、水深の変化との関係から一時的に流れ場が変化したためと考えられる。

$\phi_P=450[\text{mm}]$ において補助フードを設置した場合の一例として、図4.4.2にCASE 23における除去熱の経時変化を示す。EA1による除去顕熱は、CASE 19と同様に発生顕熱の増加に伴って除去熱は増加し、発生顕熱が安定状態となる実験開始40分以降の除去顕熱は定常的な値を示す。潜熱は水温に伴って上昇し、沸騰後は経過時間50分頃まで定常的な値を示す。53分頃からEA1の除去潜熱は変動が大きくなり、低下する傾向がみられる。これは、鍋内の水深が低下し、熱上昇流の性状が若干変化したためと考えられる。

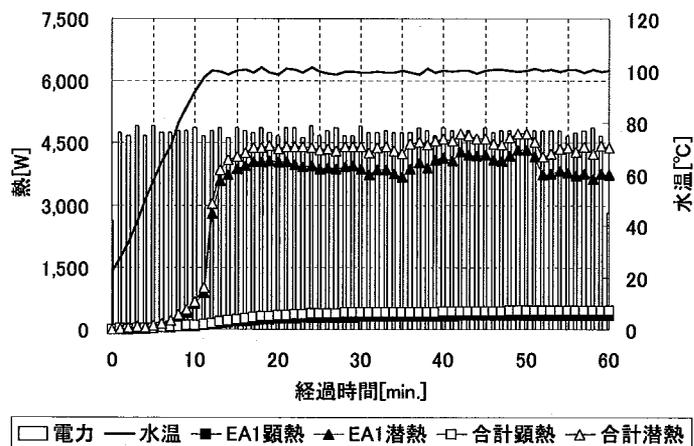


図 4.4.1 CASE 19 における除去熱の経時変化

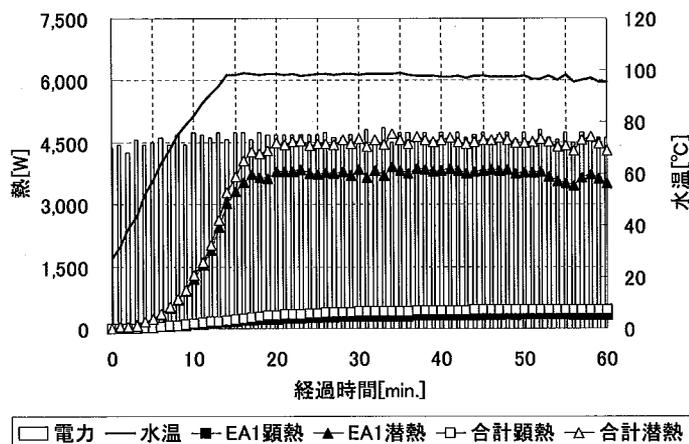


図 4.4.2 CASE 23 における除去熱の経時変化

(2) 水温 90[°C]設定

$\phi_P=300[\text{mm}]$ において補助フードを設置した場合の一例として、図 4.4.3 に CASE 19'における除去熱の経時変化を示す。EA1 による除去顕熱は、実験開始時から水温に伴って上昇するが、実験開始後 60 分における除去顕熱は 130[W]程度である。EA1 による除去顕熱は、合計値とほぼ重なった表示となっていることから高効率な熱除去のなされていることがわかる。潜熱は、実験開始後 10 分頃から次第に上昇し、水温の安定する 40 分以降は定常的な値を示す。定格出力時にみられるような変動は、水温 90[°C]設定の実験においてはみられない。これは、定格出力時に対して投入電力が小さいことから上昇流の流速が低くなること、また、補助フードを設置しない状態においても高い熱除去率を有することから、補助フードによって再捕集される熱は小さくなり、補助フードの設置による流れ場の変化はほとんど生じないためと考えられる。

$\phi_P=450[\text{mm}]$ において補助フードを設置した場合の一例として、図 4.4.4 に CASE 23'における除去熱の経時変化を示す。EA1 による除去顕熱は、実験開始時から水温に伴って上昇し、発生熱の安定する 45~60 分における除去顕熱は 160[W]となる。潜熱は、実験開始後 10 分頃から次第に上昇し、水温の安定する 40 分以降は定常的な値を示す。定常状態においては、定格出力時ほどの変動はみられないものの、変動幅は $\phi_P=300[\text{mm}]$ に比べて若干大きい。

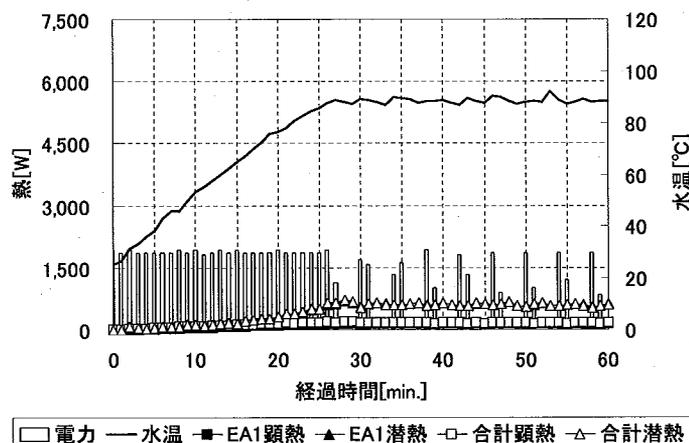


図 4.4.3 CASE 19'における除去熱の経時変化

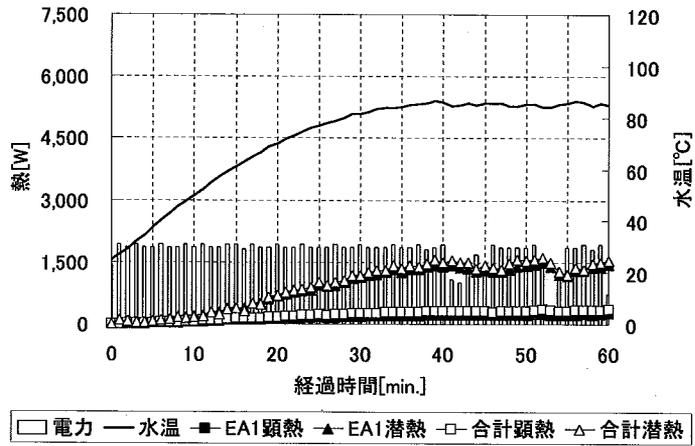


図 4.4.4 CASE 23'における除去熱の経時変化

4.4.2 熱除去率と作業位置に形成される温熱環境の関係

除去熱の経時変化に基づき、各 CASE の熱除去率を算出した。また、前節において熱除去率と作業位置に形成される温熱環境に関係がみられることから、本節においては両者を関連させて検討を行うこととする。なお、作業位置の温熱環境については、ほとんどの CASE において測定高度 1,500[mm]における上昇度が最も高い値を示すことから、3E-F.L.+1,500 を作業位置の代表点として選定し、温熱環境の検討を行う。

(1) 排気口直径(ϕ_E)の変更

定格出力時における実験結果を図 4.4.5 に示す。なお、 $\phi_E = 300$ [mm]の結果は再掲となるが、他の排気口直径による実験との比較のため表示している。 $\phi_E = 250$ [mm]、 300 [mm]における顕熱除去率はほぼ同等の値を示し、排気口高度が高くなるに従って低下する。 $H = 300$ [mm]と比較して 750 [mm]とした場合、熱除去率は 10 ポイント低下する。 $\phi_E = 350$ [mm]では、 $H=450$ [mm]以上における顕熱除去率は他の CASE と比較して 1~2 ポイント高い値を示す。潜熱除去率は、 $H=450$ [mm]以下の場合、いずれの ϕ_E においてもほぼ同等の値を示し 98[%]以上となる。 $H=600$ [mm]以上では、 $\phi_E=250$ 、 300 [mm]の潜熱除去率はほぼ同等の値を示し、 $H=600$ [mm]において 85[%]、 750 [mm]では 75[%]となる。 $\phi_E=350$ [mm]の除去率は、 $H=600$ [mm]において 92[%]、 750 [mm]では 85[%]

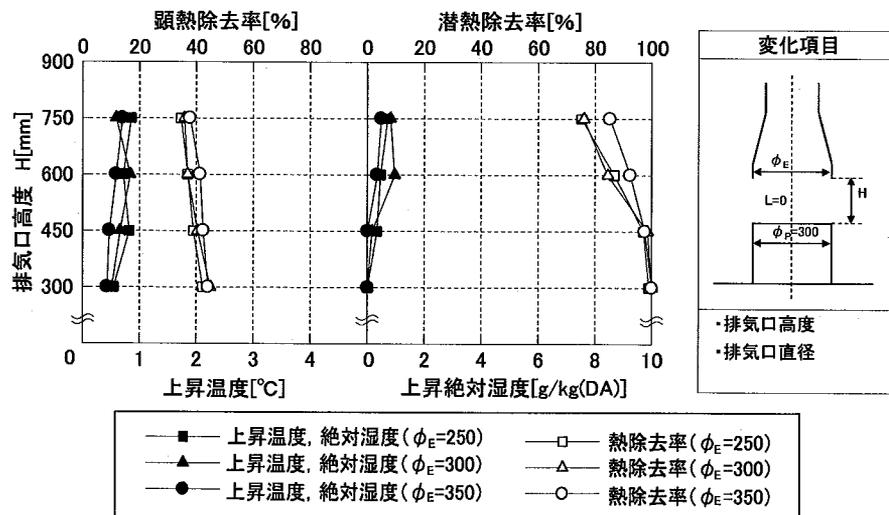


図 4.4.5 排気口直径の変化と排熱性状および作業位置における温熱環境の関係(定格出力設定)

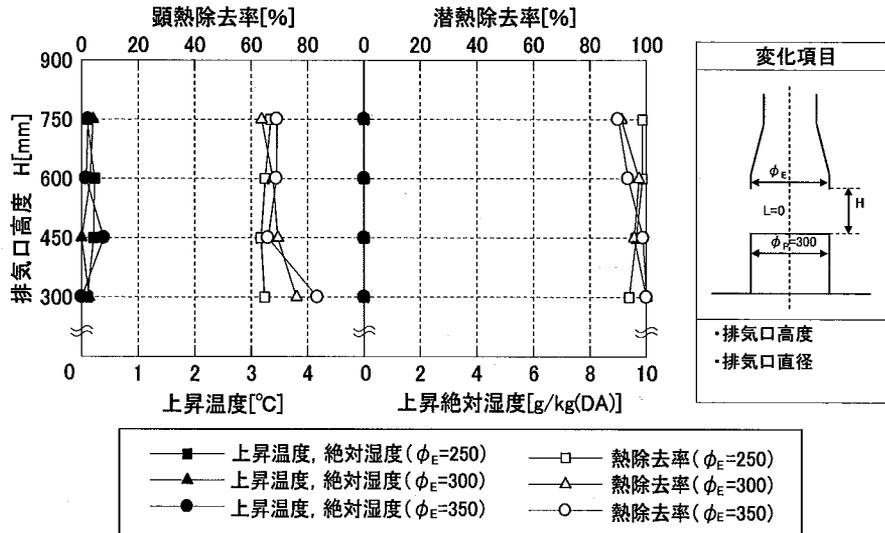


図 4.4.6 排気口直径の変化と排熱性状および作業位置における温熱環境の関係(水温 90[°C]設定)

であり、他の ϕ_E よりも排気口高度を高くすることによる低下率は小さくなる。これより、排気口高度が高くなり排気による誘引効果が小さくなると、 ϕ_E の大きいほうが熱除去率低下は抑制されるものと考えられる。作業位置の温度は、いずれの実験 CASE においても 1.0[°C]未満の上昇に留まり、排気口高度の違いによる変化は 0.5[°C]程度である。絶対湿度は、いずれの実験 CASE においても排気口高度が高くなるに従って大きくなる傾向がみられるものの、上昇値は 1.0[g/kg(DA)]以下である。

水温 90[°C]保温時における実験結果を図 4.4.6 に示す。H=300[mm]における顕熱除去率は、 $\phi_E=250$ [mm]において 63[%]、 $\phi_E=300$ [mm]では 77[%]、 $\phi_E=350$ [mm]では 82[%]とそれぞれ異なる値を示す。H=450[mm]以上では、いずれの実験 CASE においても 62[%]~70[%]となり、排気口高度の違いによる差異は 5 ポイント程度である。潜熱除去率は、排気口高度が高くなるに従い、 $\phi_E=250$ [mm]では向上し、 $\phi_E=350$ [mm]では低下する傾向がそれぞれみられるものの、いずれの実験 CASE においても熱除去率は 90[%]以上と高い値を示す。作業位置の上昇温度は、いずれの実験 CASE においても 0.5[°C]以下であり、絶対湿度はほとんど上昇しない。

(2) 補助フードの設置

定格出力時における実験結果を図 4.4.7 に示す。 $\phi_P=300$ [mm]では、補助フードを設置することにより顕熱除去率は 5 ポイント向上する。 $\phi_P=450$ [mm]の顕熱除去率は、補助フードを設置することによって H=300[mm]では 10 ポイント向上し、H=450[mm]以上では約 5 ポイント向上する。これより、排気口高度が低い場合、補助フードで鍋全体を覆うことにより顕熱除去率の向上することがわかる。潜熱除去率は、 $\phi_P=300$ [mm]の場合、H=750[mm]では補助フードの設置により 5 ポイント向上するが、H=600[mm]以下においては補助フードの有無による差異はほとんどみられない。 $\phi_P=450$ [mm]では、いずれの実験 CASE においても補助フードを設置することにより熱除去率は 10 ポイント程度向上する。これより、 ϕ_E より ϕ_P が大きい場合、漏出する熱量の一部を補助フードによって 2 次的に捕集させることで、熱除去率の向上が期待できると考えられる。上昇温度・絶対湿度は、補助フードの作業位置側の端部と作業位置の水平距離が 200[mm]と近接しているため、漏出した高温多湿空気は 3E-F.L.+1,500[mm]の測定点に接触しやすく、温湿度は顕著に高い値を示す。また、補助フードによって 2 次的に捕集された高温多湿空気の漏出経路が ϕ_P の違いによっ

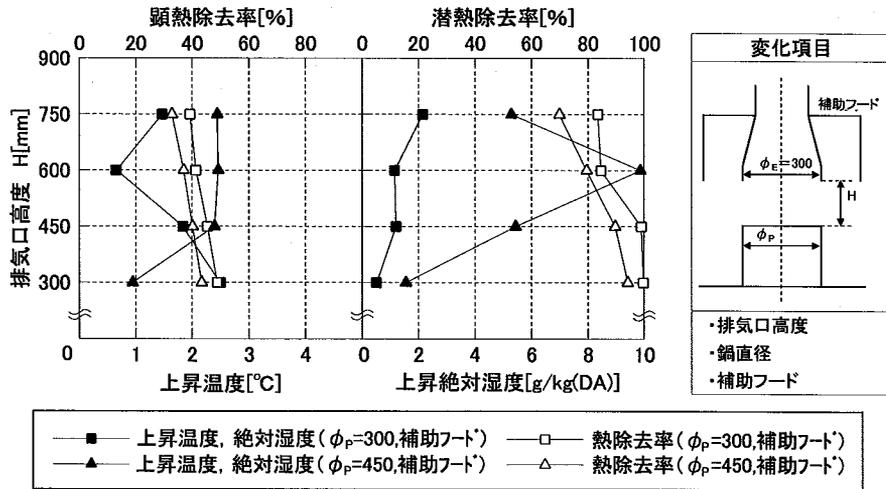


図 4.4.7 補助フードの設置と熱除去性状および作業位置における温熱環境の関係(定格出力設定)

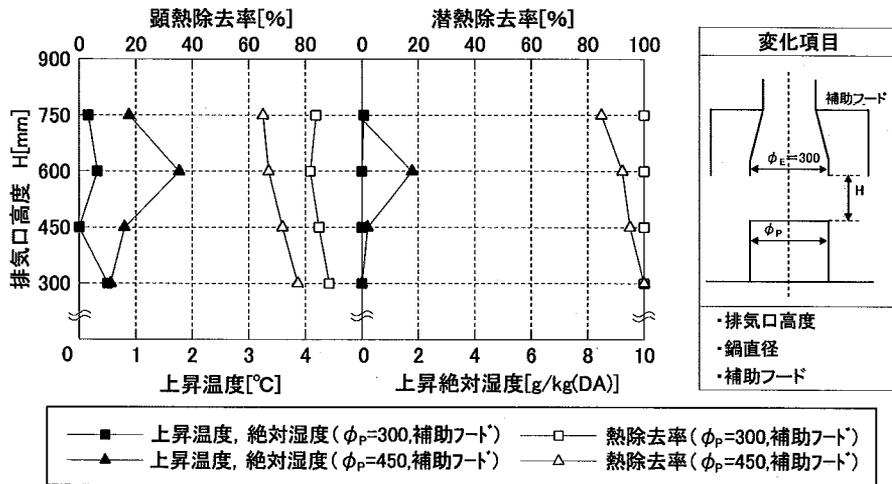


図 4.4.8 補助フードの設置と熱除去性状および作業位置における温熱環境の関係(水温 90°C設定)

て変化し、同じ測定高度においても φ_P の違いによって温熱環境は顕著に異なる。以上のことから、補助フードの設置により熱除去率の向上は見込めるが、作業位置の温熱環境に配慮した施工方法を検討する必要があるといえる。

水温 90°C保温時における実験結果を図 4.4.8 に示す。φ_P =300[mm]の顕熱は、排気口高度が高くなるほど補助フード設置による除去率の向上効果が大きく、いずれの実験 CASE においても熱除去率は 80[%]を超える。一方、φ_P =450[mm]では、排気口高度が高くなるほど補助フード設置による除去率の向上効果は小さくなる。ここで、両鍋から発生する上昇流が同様の拡散性を示すと考えた場合、上昇流の拡散面積は鍋面積の小さい φ_P =300[mm]のほうが小さくなる。上昇流は、上方に向かうほど拡散面積は大きくなるため、排気口高度が高くなるほど φ_P =450[mm]の上昇流より φ_P =300[mm]のほうが補助フードによって捕捉される面積割合は大きくなっていくため、上述のような鍋直径の違いによる差異が生じたものと考えられる。潜熱は、φ_P =300[mm]における除去率はいずれの実験 CASE においてもほぼ 100[%]となる。φ_P =450[mm]では、補助フードの設置により潜熱除去率はいずれの排気口高度においても 5~10 ポイント程度向上し、H=600[mm]以下では 90[%]を超える。作業位置の上昇温度は、φ_P =300[mm]の場合、いずれの実験 CASE においても 0.5[°C]以下となる。φ_P =450[mm]では、補助フードの高さと作業位置における 3E-F.L.+1,500[mm]の高

さがほぼ一致する $H=600[\text{mm}]$ において $1.8[^\circ\text{C}]$ 上昇し、その他の排気口高度ではいずれも $1.0[^\circ\text{C}]$ 未満の上昇に留まる。絶対湿度は、 $\phi_P=300[\text{mm}]$ の場合いずれの実験 CASE においてもほとんど上昇しない。 $\phi_P=450[\text{mm}]$ では、温度と同様に $H=600[\text{mm}]$ において $1.9[\text{g/kg(DA)}]$ 上昇する。

これより、補助フードによる熱除去率の向上は、定格出力設定と比較して水温 $90[^\circ\text{C}]$ 保温設定による実験のほうが大きくなることから、発生熱負荷の小さい場合に、より効果的であるといえる。

4.5 結語

本章では、電化厨房機器の特徴を考慮した排気方式として頂部型局所排気方式を提案し、IH レンジを使用した湯沸し実験から、頂部排気口の設置位置や形状変化による排熱性状、および作業位置に形成される温熱環境について検討した。なお、以下に示す知見は、頂部排気口から漏出する熱の再捕集を防止することを意図し、頂部排気口以外の排気口から $300[\text{m}^3/\text{h}]$ の排気を行った実験に基づくものである。

鍋直径の異なる 2 種の鍋を用いて湯沸し実験を行い、頂部排気口による除去熱量の経時変化を示した。熱上昇流の拡散性状は鍋の形状によって異なることを示した。

排気口設置位置の変化に関する検討では、鍋の上端から上方 $300[\text{mm}]$ の位置を最も鍋に近接する設置位置として、 $150[\text{mm}]$ 間隔で $750[\text{mm}]$ まで設置位置を変化させる実験を行った。鍋直径や出力設定の違いによって熱除去率の低下する設置位置は異なるものの、いずれの実験においても排気口の設置位置を高くするほど熱除去率は低下する。定格出力時の顕熱除去率は、総じて低い値を示したが、作業位置に及ぼす顕熱の影響は小さいことを示した。潜熱除去率は、頂部排気口を鍋上方 $450[\text{mm}]$ 以下に設置した場合、いずれの実験においても $80[\%]$ 以上と高い値を示し、作業位置に対する潜熱の影響は小さいことを示した。また、MRT は、鍋直径の違いによる影響がみられ、排気口の設置位置による差異はほとんど生じないことを示した。水温を $90[^\circ\text{C}]$ に保持する実験では、排気口高度を高くするほど熱除去率は低下するが、定格出力時に比べて低下率は低い。顕熱除去率はいずれの実験においても $80[\%]$ 未満となるが、作業位置の温度はほとんど上昇しないことを示した。潜熱除去率は総じて高い値を示し、作業位置に対する潜熱の影響はほとんどみられないことを示した。

排気口形状の変化に関する検討では、排気口直径を変化させた場合、および補助フードを設置した場合の実験を行った。定格出力時の顕熱除去率は、排気口直径の違いによる差異は小さく、排気口高度を高くするほど熱除去率は低下することを示した。潜熱除去率は、鍋直径より排気口を大きくした場合、排気口が鍋の上端から上方 $600[\text{mm}]$ 以上になると、鍋と同等の面積を有する排気口を設置した場合より高い値を示すことが明らかとなった。水温を $90[^\circ\text{C}]$ に保温する実験では、いずれも顕熱除去率は $60[\%]$ 以上、潜熱除去率は $85[\%]$ 以上となり、作業位置の温度、絶対湿度はほとんど上昇しないことを示した。

補助フードを設置した実験では、定格出力時の熱除去率は、補助フードを設置しない場合と比べていずれも高い値を示す。しかし、補助フードの端部が作業位置に近接するため、顕熱、潜熱による熱的影響がみられることを示した。これより、補助フードを設置することによって排熱性状の向上効果は期待できるが、調理人に対する熱的影響を考慮した設置方法の検討が必要である。水温を $90[^\circ\text{C}]$ に保温する実験では、補助フードを設置することによって、いずれの実験においても熱除去率は向上し、作業位置に対する熱的影響は小さくなることを示した。これより、頂部型局所排気方式では、補助フードの設置によって除去効果の向上が見込まれ、特に食材の保温を目的とした機器に対して効果的であるといえる。

【参考文献】

- 1) 熊尾隆丈, 村川三郎: 業務用電化厨房における頂部型排気方式による熱除去と作業空間に形成される温熱環境 静穏環境における IH レンジを対象とした実験的研究, 日本建築学会環境系論文集 第 627 号, 2008.5 (印刷中)
- 2) 森本旭, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 熊尾隆丈, 武田浩一, 日浅英成, 宇田川博司: 業務用厨房機器からの発生負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その 8 頂部型局所排気システムにおける熱除去効果の検討, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 27 巻, pp.485-488, 2004.3
- 3) 森本旭, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 熊尾隆丈, 武田浩一, 日浅英成: 業務用厨房における温熱環境の評価研究 その 6 頂部型局所排気システムにおける熱除去効果の検討, 日本建築学会大会, pp.725-726, 2004.8
- 4) 森本旭, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 熊尾隆丈, 武田浩一, 日浅英成: 業務用厨房機器から発生する各種負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その 5 局所排気システムにおける熱除去効果の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1211-1214, 2004.9
- 5) 日浅英成, 白石靖幸, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 熊尾隆丈: 業務用電化厨房の排気システムに関する CFD 解析 その 2 頂部型局所排気システムの解析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1207-1210, 2004.9
- 6) 神谷和宏, 石塚俊一, 小峯裕己, 伊藤一哉, 宮本和弘, 伊藤一秀: 業務用電化厨房における局所排気型および同時給排気型レンジフードに関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1129-1132, 2005.8
- 7) 石塚俊一, 神谷和宏, 小峯裕己, 伊藤一哉, 宮本和弘, 伊藤一秀: 業務用電化厨房における局所排気型および同時給排気型レンジフードに関する研究その 2 給気口と排気口の改良と接続時の性能評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.635-638, 2006.9
- 8) Richard Swierczynna, Paul Sobiski, Donald Fisher: Effects of Appliance Diversity and Position on Commercial Kitchen Hood Performance, ASHRAE Transactions 112(1), pp.591-602, 2006
- 9) Paul Sobiski, Richard Swierczynna, Donald Fisher: Effects of Range Top Diversity, Range Accessories, and, Hood Dimensions, on Commercial Kitchen Hood Performance, ASHRAE Transactions 112(1), pp.603-612, 2006
- 10) 赤林伸一, 近藤靖史, 長谷川功: 電磁調理器を用いた住宅用厨房における必要換気量の検討その 1 電磁調理器を用いた住宅用厨房の必要換気量に関する実験的研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1109-1112, 2005.8
- 11) 阿部有希子, 近藤靖史, 赤林伸一, 長谷川功: 電磁調理器を用いた住宅用厨房における必要換気量の検討その 2 CFD による直接捕集率の算出と湿度を指標とした必要換気量の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1113-1116, 2005.8
- 12) 水野優, 伊藤一秀, 小峯裕己, 宮本和弘: 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, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.401-404, 2003.9
- 13) 小川匠, 伊藤一秀, 小峯裕己, 宮本和弘: 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 2 報 汚染質拡散場の解析と排気口勢力範囲の評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.405~408, 2003.9
- 14) 神谷和宏, 石塚俊一, 小峯裕己, 伊藤一哉, 宮本和弘, 伊藤一秀: 業務用電化厨房における局所排気型及び同時給排気型レンジフードに関する研究: 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1129-1132,

2005.8

- 15) 丁穎, 檜崎正也, 山中俊夫: レンジフードの捕集性能に関する研究 その3 フードの吸い込み気流性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) D-2, pp.707-708, 1989.9
- 16) 丁穎, 檜崎正也, 佐藤隆二, 山中俊夫: レンジフードの捕集性能に関する研究 その4 重ねあわせ法による箱型フードの捕集性能の予測法, 日本建築学会大会学術講演会(関東) D-2, pp.853-854, 1993.9
- 17) 空調和・衛生工学会 編著: 工場換気の理論と実践, 丸善, 1995.3

—第5章—

天井型排気方式による排熱性状の解析

- 5.1 序
 - 5.2 実験概要
 - 5.3 排気量変化と室上層に形成される滞留熱の関係
 - 5.4 排気口空間の形状変化による排熱性状の解析
 - 5.5 エアカーテンによる排熱性状向上効果の解析
 - 5.6 結語
-

5.1 序

従来の燃焼式厨房において必須条件であった排気フードの設置は、電化厨房機器では「裸火を使用しない」「CO₂が発生しない」などの特徴を有することから必須条件ではなくなった。前章では、その一例として排気フードよりも機器の近傍において排気を行う頂部型局所排気方式について検討した。それは、厨房機器に対する排気は局所排気であることを前提として、より高効率な排熱性状を追求したものである。しかし、電化厨房機器に対しては、上記した特徴から局所排気とする必要もない。調理時に発生する負荷は熱を伴って発生することから、空気の密度差を利用して熱上昇流とともに発生負荷を室上層部へ誘導し、居住域に影響が及ばないことを条件とした換気方式を構築することが可能である。これより、電化厨房においては局所排気という厨房換気概念を脱却し、厨房の天井面近傍まで排気口を遠ざけ、1 時滞留させた発生負荷を室の上方から次第に排気する方式を提案することができる。しかし、天井型排気方式は、厨房機器から排気口までの距離が長くなるため、発生した負荷は上昇の過程において少なからず拡散する。そのため、継続的に大量の熱や水蒸気の発生する調理を行う機器に対しては適切な方式とはいえない。天井型排気方式の対象は、大きな発熱は一時的であるものや、主たる調理方法が食材の保温であるものなどに限られる。このように、適用は限られた条件のもととなるが、必要のない局所排気の撤廃や、排気フード設置に伴う面風速の確保を必要としないなど、天井型排気方式は厨房の換気設備に有用な手法のひとつであると考えられる。

そこで、本章では天井面近傍に小領域の排気口空間を有する天井型排気装置を構築し、湯沸しによる模擬調理実験から、排気口空間の形状、および擾乱抑制と熱上昇流の拡散抑制を意図したエアカーテンの設置による効果を、定常状態における発生熱負荷の除去効果と作業空間における温熱環境の検討から明らかにする。

5.2 実験概要

a) 実験室概要

天井型排気方式は天井近傍の空間を緩衝空間と考え、一時的に厨房機器から発生する熱を滞留させて排気を行う方式であるため、実験は天井高さを確保して行う必要がある。そこで、供試機器は卓上型の電気フライヤー（定格出力：11.5[kW]）とし、実験室の床面に設置することで擬似的に天井高の高い空間となるようにした。供試機器の詳細図を図 5.2.1 に示す。また、図 5.2.2 に実験室概要および機器設置状況を示す。実験室の床面を F.L.+500[mm]と想定し、フライヤーの上面を 740[mm]、天井高を 3,000[mm]と考える。供試機器は、排気口 EA1 と機器中心が一致するように配置し、2 槽ある油槽に水を注入して湯沸し実験を行った。実験時の給気は、床面の SA 部分（2.5 × 1.8[m]）から行った。SA からの吹出し風速は、平均 0.04[m/s]程度の微小な上昇流となるが、鍋

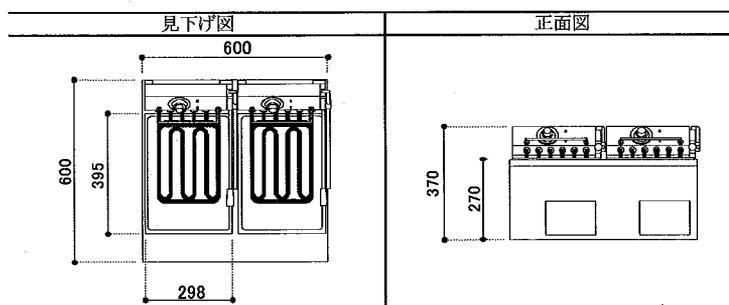


図 5.2.1 供試機器詳細図(卓上型電気フライヤー)

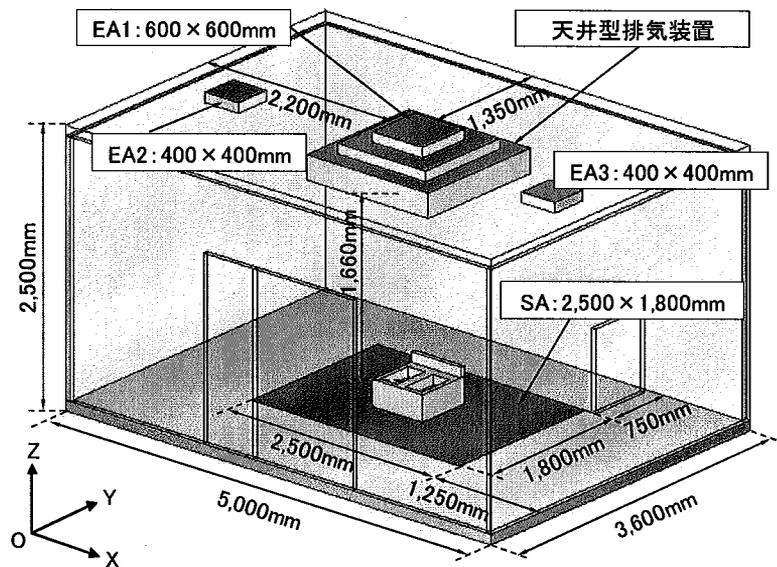


図 5.2.2 実験状況

表 5.2.1 実験条件

注入水量	4 L × 2 槽		天井型排気装置 平面図
出力	90[°C]設定 出力を自動制御し、水温を90[°C]に保持する状態を継続させる。	定格出力 定格出力による加熱運転を行い、沸騰状態を継続させる。	
排気量	173 ~ 345 m ³ /h		
実験時間	1 時間		
初期水温	10.1 ~ 11.4 °C		
排気口空間	タイプ①	860 mm × 860 mm × 200 mm	
	タイプ②	1,060 mm × 1,060 mm × 200 mm	
エアカーテン	サイズ	677 mm × 20 mm	
	風速	0.0 ~ 2.0 m/s	

からの熱上昇流や排気性能に及ぼす影響は十分小さいと考えられる。なお、電気フライヤーを床面に設置する際、SA からの吹出しによる影響を抑制するため、800×800[mm]のパネルを敷設した。排気は、EA1 に小領域の排気口空間を有する天井型排気装置を構築して行った。なお、天井型排気装置はサイズを変化させることが可能である。また、排気口の枠はチャンバーボックスとなっており、下面に設置したスリットからエアカーテンを模擬した気流を吹出すことのできる構造とした。排気量は、30Q[m³/h] (Q : 機器定格出力[kW]) を基準として数段階変化させている。また、EA1 の両側に設置した排気口 EA2、EA3 からは、いずれの実験においてもそれぞれ常時 150[m³/h]の排気を行った。これは、天井型排気方式は天井近傍の空間を緩衝空間と捉えて滞留する熱を排出する方式であり、緩衝空間の大きさによって排気性状は異なるため、緩衝空間が限定される実験室においては、排気を行うことによって、擬似的にある程度の広がりを持った空間を想定した実験とすることを意図したものである。

b) 実験条件および実験 CASE

実験条件を表 5.2.1 に示す。電気フライヤーの 2 つの油槽に水を 4[L]ずつ注入し、水温を 90[°C] に保持する実験、および定格出力による湯沸し実験を行った。ここで、天井型排気方式では、調理物の保温を目的とした水温を 90[°C]に保持する実験に対する検討を主として行うが、定格出力時の発熱に対する有用性を検討した実験も併せて行うこととする。排気口空間は、タイプ①として 860 × 860[mm]、タイプ②として 1,060 × 1,060[mm]にそれぞれ設定し、排気口空間の深さはいずれも

200[mm]とした。エアカーテン用のスリットは、排気口枠の内側の端部から 50[mm]の位置をスリット中心として4辺にそれぞれ設けている。スリットのサイズは、市販のブリーズライン型の吹出口と同サイズとし、677×20[mm]とした。

実験 CASE を表 5.2.2 に示す。実験は、出力設定、排気量、排気口空間タイプ、エアカーテン風速(表中では A.C.風速と表記)の4項目を変化させて行った。排気量は、天井近傍の空間を緩衝空間として考えた場合、1次除去を目的とした排気方式より少ない排気量で十分な排気性状を確保できる可能性が示唆されることから、局所排気において必要な排気量 30Q を基準として 20Q、15Q と排気量を減じた CASE を設定している。排気口空間は、タイプ①、タイプ②のいずれにおいても排気口空間タイプ以外の項目を同条件として実験をそれぞれ行っている。なお、排気量 15Q の実験については、後述するように実験室内の温熱環境が著しく悪化するため、実験条件から割愛している。エアカーテン風速は、0.5、1.0、2.0[m/s]の三条件を設定した。なお、エアカーテン吹出しを設定した実験は、水温 90[°C]保温時のみとしているが、これは、水温 90[°C]設定時の実験では発生熱が小さく、天井近傍に滞留する熱が少ないため、擾乱抑制や再捕集効果などのエアカーテンによる効果を期待できるのに対し、定格出力時においては天井近傍空間に滞留する熱が大きく、エアカーテンによる吹出しはその熱を巻き込んで居住域へ吹き降ろし、作業域の温熱環境を悪化させる要因となる可能性が示唆されるため、エアカーテン吹出しを設定した条件は行っていない。

c) 測定概要

測定点概要を図 5.2.3 に示す。なお、流入出空気性状、および室内温熱環境測定に使用した測定機器は前掲表 3.2.4 と同様である。作業位置の測定点は、本実験室の天井高を 3,000[mm]とみなすことから、実験室の床面から下方 500[mm]の位置を仮想床面と想定し、F.L.+300[mm]の測定点を F.L.+800[mm]、それ以上の点をそれぞれ F.L.+1,000、1,500、2,000、2,500[mm]と考える。いずれの高度においても温湿度計を設置し、顕熱および潜熱の拡散性状を把握する。また、実験室内では、格子状に配置した熱電対に加え、4B における想定高度 2,000[mm]に温湿度計を設置し、室上層に滞留する熱が作業領域に及ぼす熱的影響を把握する。

表 5.2.2 実験 CASE

	出力設定	排気量 [m ³ /h]	排気口空間 タイプ	A.C.風速 V _{ac} [mm]		出力設定	排気量 [m ³ /h]	排気口空間 タイプ	A.C.風速 V _{ac} [mm]
CASE 1	90°C保温	30Q	①	0.0	CASE 8	90°C保温	30Q	①	0.5
CASE 2	90°C保温	20Q	①	0.0	CASE 9	90°C保温	30Q	①	1.0
CASE 3	90°C保温	15Q	①	0.0	CASE 10	90°C保温	30Q	①	2.0
CASE 4	定格出力	30Q	①	0.0	CASE 11	90°C保温	20Q	①	0.5
CASE 5	90°C保温	30Q	②	0.0	CASE 12	90°C保温	20Q	①	1.0
CASE 6	90°C保温	20Q	②	0.0	CASE 13	90°C保温	20Q	①	2.0
CASE 7	定格出力	30Q	②	0.0					

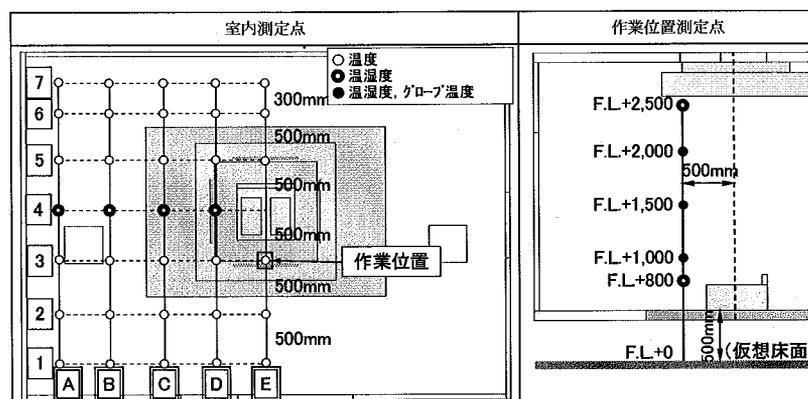


図 5.2.3 作業位置の測定点概要

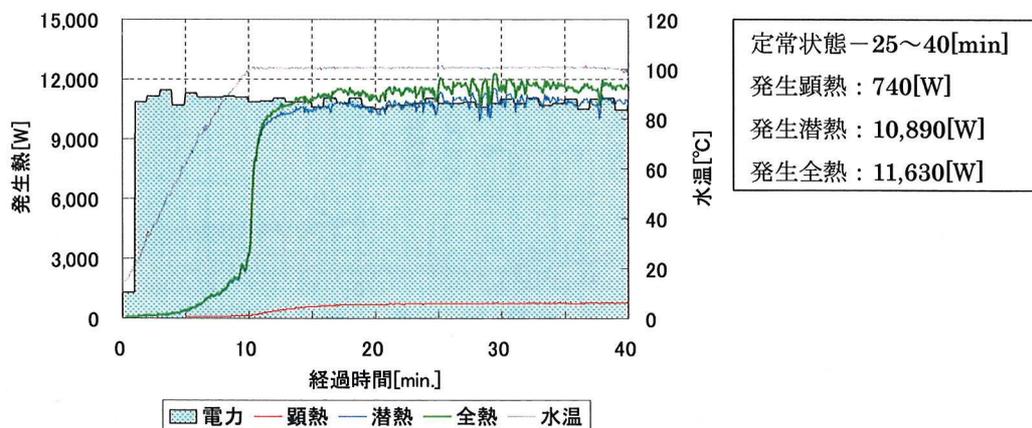


図 5.2.4 電気フライヤーによる湯沸し実験の経時変化

d) 供試機器からの発生熱

本章では、天井型排気方式が有効であると考えられる高天井空間を想定するため、卓上型の電気フライヤーを供試機器として使用する。そこで、供試機器の発生熱特性を把握するため、事前に電気フライヤーから発生する顕熱、潜熱を測定した。図 5.2.4 に発生熱の経時変化を示す。実験開始から 10 分程度で沸騰に至り、25 分以降は顕熱、潜熱のいずれも定常的な値を示す。これより、25～40 分における平均値を発生熱とした。発生顕熱・潜熱・全熱はそれぞれ 740[W]、10,890[W]、11,630[W]となり、熱効率 η は 93.6[%]と高い値を示す。これは、供試機器の加熱方式が槽内に加熱部を浸漬させて加熱する方式であり、加熱部と水を直接接触させることにより高効率な熱伝達が行われるためと考えられる。

5.3 排気量変化と室上層に形成される滞留熱の関係

本節では、電気フライヤーを使用した湯沸し実験を行い、排気量変化と室上層部に滞留する熱の関係性を明らかにする。また、EA2、EA3 による排熱を周囲の天井近傍空間に流出する熱と考え、天井型排気装置による除去熱と周辺空間に流出する熱の比率を算出し、天井型排気装置による熱除去性状を明らかにする。

5.3.1 除去熱および室内温湿度の経時変化

本項では、水温を 90[°C]に保温する実験において、EA1 の排気量を変化させ、EA1 から除去される熱と EA1 に加えて EA2、EA3 から排出される熱の合計値の経時変化を示す。また、測定点 B4 の各高度における上昇温度から、実験室内に形成される温度成層を把握する。湿度環境については、想定高度 2,000[mm]以下を作業領域と考え、測定点 B4 の想定高度 2,000[mm]における上昇絶対湿度から、作業領域との境界における空気性状を把握する。なお、本項では排気量 30Q において定格出力時の実験を行い、水温 90[°C]設定における結果と比較し、定格出力時の発熱に対する天井型排気方式の適用性を判断する。

a) 水温 90[°C]設定

図 5.3.1 に CASE 1 における除去熱の経時変化を示す。EA1 から除去される顕熱は、実験開始から終了までほとんど上昇しない。また、顕熱の合計値もほとんど上昇せず、EA1 から除去される熱と近似する値を示すことから、発生熱のほとんどは EA1 によって除去されることがわかる。EA1 による除去潜熱は、水温に伴って上昇し、実験開始から 20 分以降は定常的な値を示す。水温の上

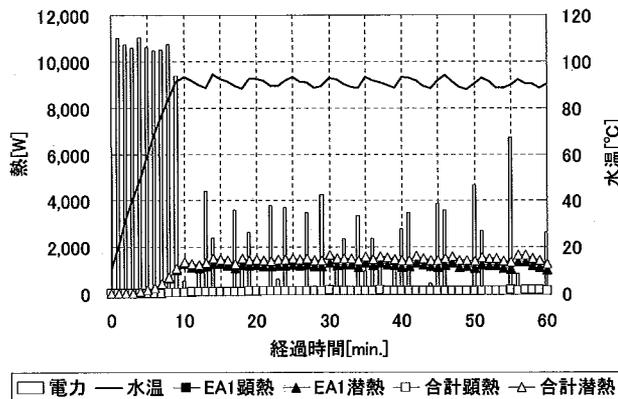


図 5.3.1 除去熱の経時変化(CASE 1)

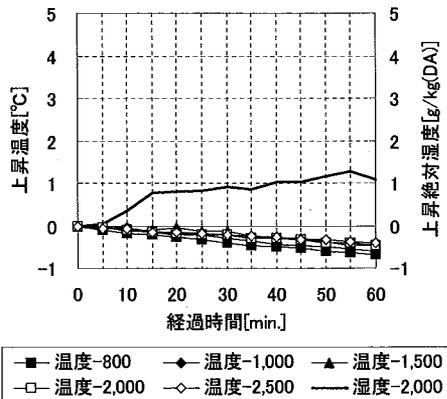


図 5.3.2 鉛直温度の経時変化(CASE 1)

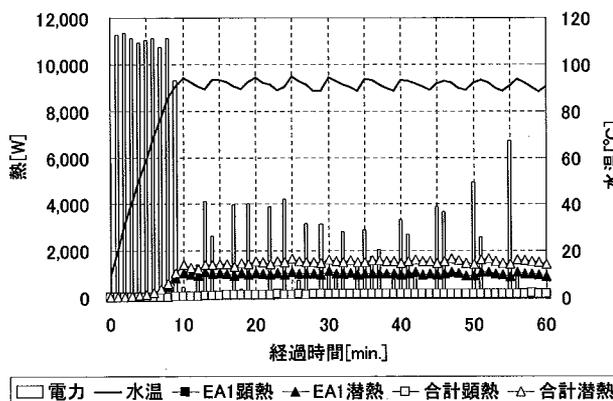


図 5.3.3 除去熱の経時変化(CASE 2)

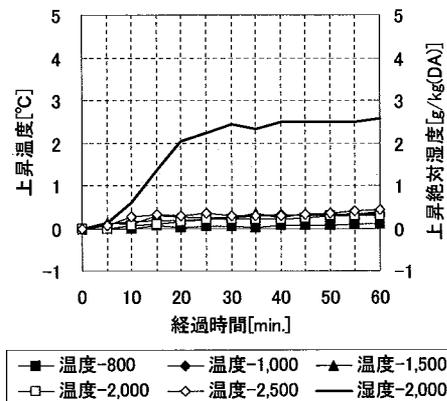


図 5.3.4 鉛直温度の経時変化(CASE 2)

昇過程では、EA1 から除去される潜熱と合計潜熱は近似した値を示し、発生熱のほとんどは EA1 によって除去されているが、定常状態においては EA2、EA3 によって排出される熱が増加している。図 5.3.2 に測定点 B4 における各想定高度における上昇温度、および想定高度 2,000[mm]における上昇絶対湿度の経時変化を示す。なお、図中の上昇温度・絶対湿度は、実験開始時を基準とした上昇値を示す。温度は、実験の継続とともに若干低下しているが、これは実験開始時に若干の温度分布が形成されており、実験開始に伴って室内の気流が変化し、結果的に低下したためと考えられる。これより、水温 90[°C]保温時の実験において、EA1 による排気を 30Q とした場合、室内温度はほとんど上昇せず、天井近傍の空間に熱滞留は生じないことがわかる。一方、絶対湿度は、実験開始から 40 分において 1.0[g/kg(DA)]上昇し、潜熱の拡散影響がみられる。

図 5.3.3 に CASE 2 における除去熱の経時変化を示す。EA1 から除去される顕熱は、実験開始から終了までほとんど上昇しない。また CASE 1 と同様に、顕熱の合計値は EA1 から除去される熱と近似する値を示す。EA1 による除去潜熱は、水温に伴って上昇し、実験開始から 20 分以降は若干の変動を伴いながら定常的な値を示す。CASE 1 と比較して、EA1 による除去熱と合計値の差は大きくなっている。図 5.3.4 に CASE 2 における測定点 B4 の上昇温度・絶対湿度の経時変化を示す。温度は、想定高度 800[mm]では実験開始後 50 分において 0.1[°C]の上昇に留まるものの、1,000[mm]以上では 0.3~0.5[°C]上昇する。上昇値は小さいが、実験室上層部から発生顕熱の滞留していることがわかる。上昇絶対湿度は、実験開始時から次第に上昇し、実験開始 40 分以降は定常的な値を示す。実験開始後 40 分における上昇値は 2.5[g/kg(DA)]であり、CASE 1 に対して 2 倍程度の上昇値となっている。厨房内環境を 25[°C]、70[%]とした場合、絶対湿度が 2.5[g/kg(DA)]上昇すると相

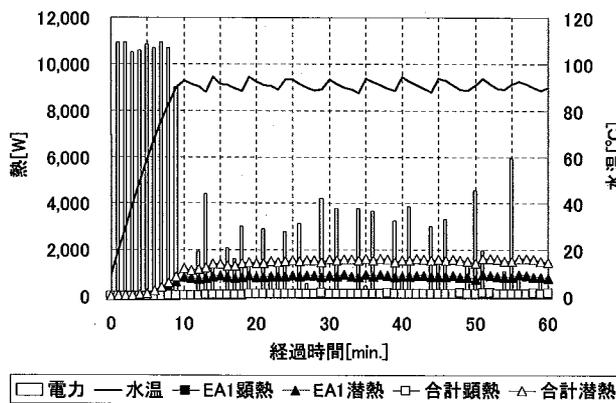


図 5.3.5 除去熱の経時変化(CASE 3)

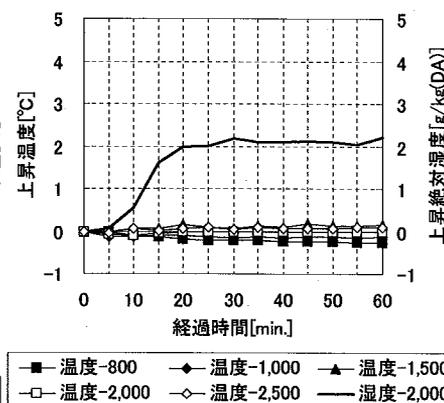


図 5.3.6 鉛直温湿度の経時変化(CASE 3)

対湿度は約 10[%]上昇することから、作業領域の環境悪化が懸念される。

図 5.3.5 に CASE 3 における除去熱の経時変化を示す。EA1 から除去される顕熱は、実験開始後 10 分頃まで若干上昇し、その後は定常的な値を示す。顕熱合計は、EA1 の除去顕熱に伴って上昇し、EA1 の除去熱より若干大きい値を示す。EA1 による除去潜熱は、水温に伴って上昇し、実験開始から 20 分以降は若干の変動を伴いながら定常的な値を示す。水温が上昇するに従って EA1 による除去潜熱と合計潜熱の差は大きくなり、定常状態においては 700[W]程度の差となる。これより、EA1 による除去潜熱は、CASE 1、2 と比較して顕著に低いことがわかる。図 5.3.6 に CASE 3 における測定点 B4 の上昇温度・絶対湿度の経時変化を示す。温度は、想定高度 1,500[mm]以上において若干の上昇がみられ、顕熱の滞留していることがわかる。ここで、上昇値は CASE 2 と同程度の値を示すが、EA2、EA3 による排出顕熱は CASE 2 に対して大きい値を示すことから、顕熱の拡散影響が小さくなったのではなく、天井面に滞留する熱が、拡散を模擬した EA2、EA3 によって排出されたため、鉛直温度は CASE 2 と同程度の値に留まったものと考えられる。上昇絶対湿度は、実験開始時から次第に上昇し、実験開始後 40 分以降は定常的な値を示す。実験開始後 40 分における上昇値は 2.1[g/kg(DA)]であり、CASE 2 に対して若干低い値を示す。絶対湿度についても、EA1 による除去潜熱は低い値を示していることから、温度と同様に EA2、EA3 によって熱が排出され、上昇絶対湿度は CASE 2 と同程度の値を示したものと考えられる。

b) 定格出力設定

図 5.3.7 に CASE 4 における除去熱の経時変化を示す。なお、定格出力設定による実験は、槽内の水が蒸発しきらないように実験開始から 40 分で終了している。EA1 から除去される顕熱は、実験開始 10 分頃から次第に上昇し、30 分以降は定常的な値を示す。EA1 による除去顕熱と合計顕熱に差異がみられることから、発生顕熱の一部は室内に拡散していることがわかる。EA1 による除去潜熱は、水温 90[°C]設定の実験に対して顕著に大きく、30～40 分の定常状態における平均値は 7,250[W]となる。また、合計潜熱の平均値は 10,950[W]であり、室内に拡散する潜熱影響の大きいことがわかる。図 5.3.8 に CASE 4 における測定点 B4 の上昇温度・絶対湿度の経時変化を示す。温度は、想定高度 1,000[mm]以上において上昇がみられ、滞留熱の生じていることがわかる。しかし、いずれの高度においても上昇値は 1.0[°C]以下であり、調理人に対する熱的影響は小さい。これは、本実験で使用した電気フライヤーからの発生顕熱が小さいためと考えられる。絶対湿度は、沸騰直前から顕著に上昇し、実験開始後 40 分において 13.9[g/kg(DA)]上昇している。これより、定格出力による継続的な湯沸しでは、作業領域に対する潜熱の影響が大きく、天井型排気方式では十分な排熱は行われなことがわかる。

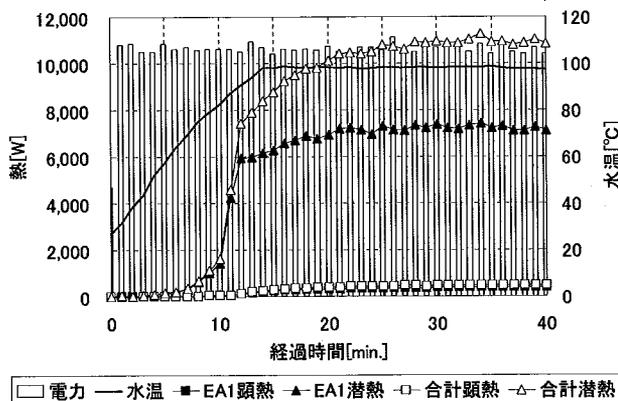


図 5.3.7 除去熱の経時変化(CASE 4)

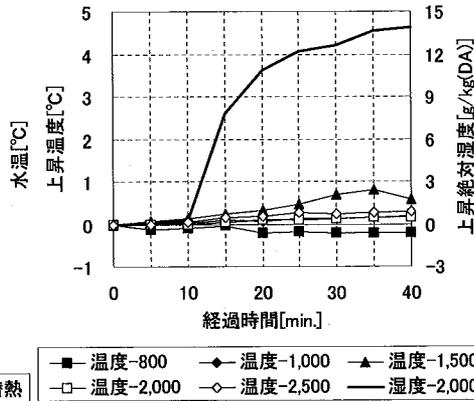


図 5.3.8 鉛直温度の経時変化(CASE 4)

5.3.2 熱の拡散性状および熱分配率

本項では、電気フライヤー近傍における鉛直温度湿度分布から、発生する熱の拡散性状を把握する。また、天井型排気装置 EA1 と周囲の天井近傍空間への拡散を模擬した EA2、EA3 から排出される熱の比率を排気口分配率として示し、天井型排気装置による熱除去性状を明らかにする。

a) 水温 90[°C]設定

図 5.3.9 に水温 90[°C]設定における作業位置の鉛直温度湿度分布を排気量別に示す。なお、図中の値は実験開始時を基準として、実験開始後 40 分における上昇値を示す。温度は、排気量 30Q の上昇値に対して 20Q、15Q の上昇値はいずれの想定高度においても高い値を示すものの、1.0[°C]を超える上昇はみられない。高度別では、漏出する熱上昇流が影響を及ぼす想定高度 2,500[mm]、拡散する熱上昇流が影響を及ぼす 1,500[mm]、電気フライヤーに最も近い 800[mm]の温度がそれぞれ上昇している。絶対湿度は、想定高度が高くなるほど上昇し、2,500[mm]では熱上昇流の漏出によって顕著な上昇がみられる。ここで、想定高度 2,000[mm]以下においては、排気量 15Q の値は 20Q に対して低い値を示すが、いずれも同様の分布傾向を示し、かつ各高度における差異は 0.5[°C]未満であることから、初期の若干の温度分布や水温の違いによって生じた差異であり、両者はほぼ同様の拡散傾向を示すものと考えられる。図 5.3.10 に排気量と熱分配率の関係を示す。ここでの熱分配率は、排気口 EA1 によって除去される熱と、排気口 EA2 および EA3 で排出される熱を積算した熱の

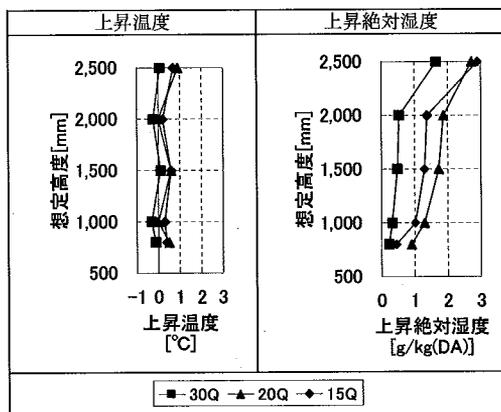


図 5.3.9 各排気量条件における鉛直温度湿度分布 (水温 90[°C]設定)

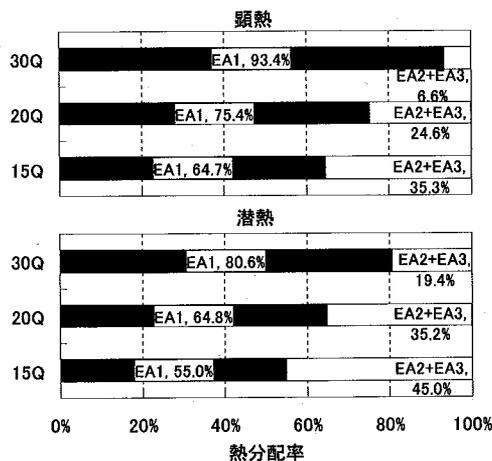


図 5.3.10 排気量と熱分配率の関係 (水温 90[°C]設定)

比率を意味する。天井型排気装置 EA1 による熱除去は、電気フライヤーの上昇流を直接的に除去する 1 次除去と、天井近傍空間に一度漏出して滞留する熱を再度除去する、2 次除去を併せたものである。これより、全章までの 1 次除去のみを対象とした実験のように、発生熱に対する排気口 EA1 の除去熱では 2 次除去分を過大に見積もることとなる。以上のことから、本章では、総排出熱に対する各排気口による熱除去の寄与率を示す熱分配率により、排熱性状を検討することとする。顕熱は、排気量 30Q の場合 93.4[%]が EA1 から除去されており、1 次除去が効果的に行われていることがわかる。20Q、15Q と排気量を減じた場合、EA1 の熱分配率は顕著に低下し、15Q では約 1/3 の熱が周辺の天井近傍空間へ拡散すると考えられる。潜熱においても、顕熱と同様に排気量を減じると、顕著に EA1 の熱分配率は低下する。排気量 15Q における EA1 の熱分配率は 55[%]であり、1 次除去される熱と天井排気装置から漏出する熱は同程度となる。これより、天井排気装置による熱分配率を全熱で 65[%]以上確保するためには排気量 20Q 以上を確保し、定常的な発熱を伴う機器に対しては全熱分配率が 80[%]を超える排気量となる、30Q を確保することが望ましいと考えられる。

b) 定格出力設定

図 5.3.11 に定格出力設定における作業位置の鉛直温度分布を示す。なお、図中の値は水温 90[°C] 設定時と同様に、実験開始後 40 分における上昇値を示す。温度は、想定高度 800[mm]において 1.1[°C]上昇し、1,500[mm]まで想定高度が高くなるほど上昇値は大きくなる。想定高度 2,000[mm]の上昇温度は、1,500[mm]に対して低い値を示すことから、周囲空気との混合によって上昇流の拡散影響は若干小さくなるものと考えられる。想定高度 2,500[mm]では 2.8[°C]上昇し、熱上昇流の漏出による影響は顕著となる。絶対湿度は、想定高度が高くなるほど上昇値は大きくなり、2,500[mm]では 18.5[g/kg(DA)]の顕著な上昇がみられる。以上のことから、定格出力時では排気量 30Q においても高温多湿の熱上昇流は天井排気装置から著しく漏出することがわかる。図 5.3.12 に排気量と熱分配率の関係を示す。EA1 による顕熱分配率は 49.0[%]であり、EA2+EA3 とほぼ同等の値となっていることから、上昇過程における拡散や天井排気口に衝突する際の拡散によって、一度天井近傍空間に滞留した熱がそれぞれの排気口からほぼ均等に排出されているものと考えられる。潜熱分配率は 66.4[%]であり、顕熱に対して 1 次除去の比率は高くなっている。しかし、供試機器の発生潜熱は顕熱に対して顕著に大きい値を示すことから、熱の拡散影響としては潜熱のほうが大きく、前掲図 5.3.9 と図 5.3.11 の比較からも潜熱影響の大きさを窺うことができる。これより、定格出力による継続的な湯沸しのような発熱に対して天井型排気方式を適用した場合、熱上昇流は著しく漏出し、周囲空間への熱的影響は大きくなる。したがって、発生熱の大きい機器に対しては、機器稼働率が極めて低い場合など限られた条件のもとでのみ適用できるものと考えられる。

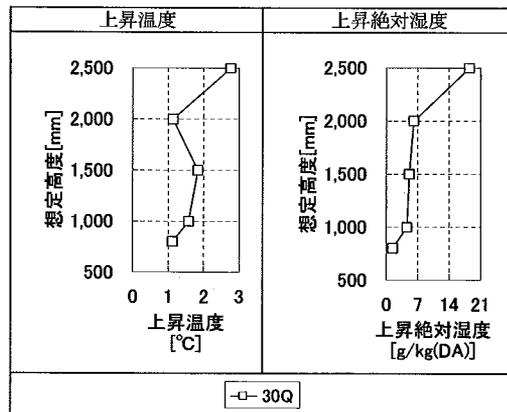


図 5.3.11 定格出力設定時の鉛直温湿度分布 (定格出力設定)

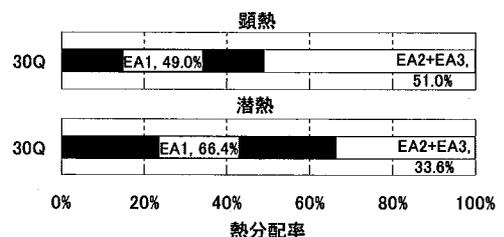


図 5.3.12 定格出力設定時の熱分配率 (定格出力設定)

5.4 排気口空間の形状変化による排熱性状の解析

本節では、電気フライヤーを使用した湯沸し実験を行い、天井排気口空間の形状変化を行った場合の熱上昇流拡散性状、および熱分配率を把握し、形状変化による排熱性状の違いを明らかにする。なお、前節の結果から、水温 90[°C]設定における排気量 15Q の条件、および定格出力設定における排気量 30Q の条件は、熱上昇流の漏出が著しく、EA1 による熱分配率は低くなり、室上層に滞留した熱は各排気口からほぼ均等に排出されるため、排気口空間の形状変化による差異はほとんど生じないものと判断し、実験条件から割愛している。

5.4.1 除去熱および室内温湿度の経時変化

本項では、タイプ②の排気口空間を有する天井型排気装置を設置した場合に、EA1 から除去される熱と EA1 に加えて EA2、EA3 から排出される熱の合計値の経時変化を示す。また、B4 点の各高度における上昇温度を明らかにし、実験室内に形成される温度成層を把握する。湿度環境については、前節と同様に想定高度 2,000[mm]以下を作業領域と考え、B4 の想定高度 2000[mm]における上昇絶対湿度から、作業領域との境界における空気性状を把握する。

図 5.4.1 にタイプ②の排気口空間を適用した条件の一例として、CASE 5 における除去熱の経時変化を示す。EA1 による除去熱は、合計顕熱と近似した値を示し、実験開始から終了までほとんど上昇しない。これより、発生顕熱のほとんどは EA1 によって除去されることがわかる。EA1 による除去潜熱は、実験開始後 20 分以降において定常的な値を示す。合計潜熱に対して低い値を示すことから、熱上昇流の一部は天井型排気装置から漏出しているものと考えられる。図 5.4.2 に測定点 B4 における各想定高度における上昇温度および想定高度 2,000[mm]における上昇絶対湿度の経時変化を示す。なお、図中の上昇温度・絶対湿度は、実験開始時を基準とした上昇値を示す。想定高度 2,000[mm]以下の温度は、実験開始から終了までほとんど上昇しない。一方、想定高度 2,500[mm]においては、0.3[°C]程度の上昇がみられ、熱的影響は小さいと考えられるものの室上層部には若干熱滞留の生じていることがわかる。想定高度 2,000[mm]における絶対湿度は、実験開始後 30 分以降において、変動は伴うもののほぼ定常的な値を示し、平均上昇絶対湿度は 1.2[g/kg(DA)]となる。これより、若干の顕熱・潜熱拡散による温湿度上昇はみられるものの、室内の温熱環境に及ぼす影響は小さいと考えられる。

5.4.2 熱の拡散性状および熱分配率

本項では、電気フライヤー近傍の作業位置における鉛直温湿度分布から、熱上昇流の拡散性状を

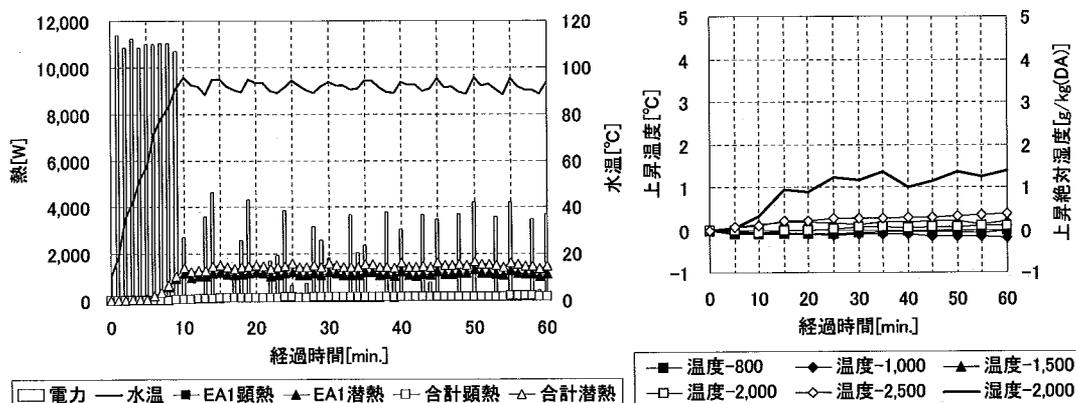


図 5.4.1 除去熱の経時変化(CASE 5)

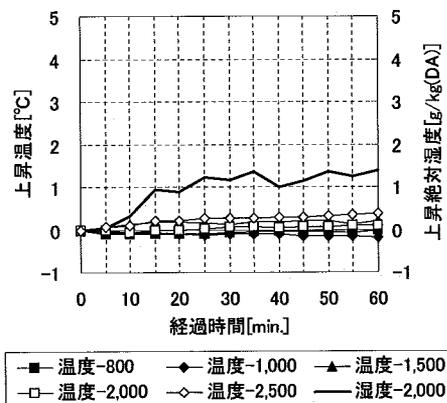


図 5.4.2 鉛直温湿度の経時変化(CASE 5)

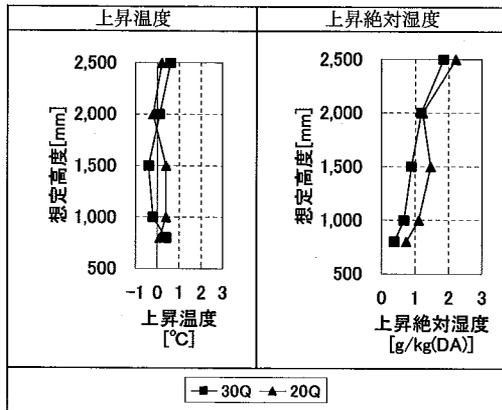


図 5.4.3 各排気量条件における鉛直温湿度分布 (天井排気口タイプ②)

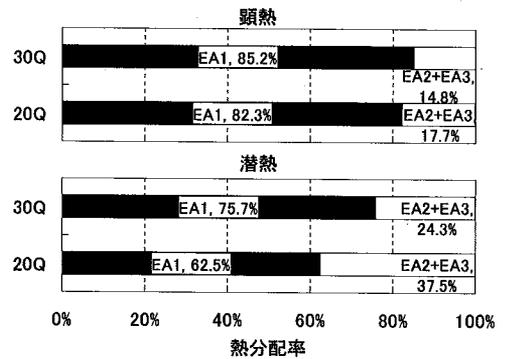


図 5.4.4 排気量と熱分配率の関係 (天井排気口タイプ②)

把握する。また、各排気量における熱分配率を把握し、排気口空間を拡大することによる熱除去性状の違いを明らかにする。

図 5.4.3 に水温 90°C 設定における作業位置の鉛直温度分布を排気量別に示す。なお、図中の値は実験開始時を基準として、実験開始後 40 分における上昇値を示す。温度は、排気量 30Q の場合 (CASE 5) いずれの想定高度においてもほとんど上昇しない。排気量 20Q では (CASE 6)、想定高度 1,000、1,500、2,500[mm]の温度が上昇しているものの上昇値は 1.0°C 以下であり、熱的影響は小さいと考えられる。排気口空間タイプ①と比較するなら、排気量 30Q における上昇値に顕著な差異はみられないものの、排気量 20Q では想定高度 2,500[mm]における上昇値が若干小さくなっている。排気量 30Q における絶対湿度は、想定高度が高くなるほど上昇し、2,500[mm]では 2.2[g/kg(DA)] 上昇している。排気口空間タイプ①の条件と比べて、想定高度 2,000 および 2,500[mm] における上昇値は小さくなり、1,000~2,000[mm] における上昇値は総じて大きくなっている。これより、排気口空間を大きくすることによって天井型排気装置の下端面における面風速が小さくなるため、吸込みの誘引効果が小さくなり、熱上昇流の上昇過程における拡散性が大きくなったものと考えられる。排気量 20Q では、想定高度 1,500[mm]まで高度が高くなるに従って上昇値は大きくなっている。2,000[mm]では熱上昇流の拡散影響が若干小さくなり、2,500[mm]では天井型排気装置からの漏出による影響が顕著となる。図 5.4.4 に排気量と熱分配率の関係を示す。顕熱分配率は、いずれの排気量においても 80[%]以上の高い値を示し、両者の差異は 2.9 ポイントに留まる。排気口空間タイプ①の場合と比べて排気量の違いによる熱除去効果の差異は小さくなっている。潜熱では、排気量 30Q から 20Q に減じた場合、EA1 による熱分配率は顕著に低下する。排気口空間タイプ①の条件と比べて、いずれの排気量においても EA1 による潜熱分配率は低い値を示す。以上のことから、排気口空間を拡大することによって排気量 20Q における顕熱分配率は上昇するものの、30Q では顕熱、潜熱のいずれの分配率も若干低下することがわかる。これより、排気口空間を拡大させても熱上昇流を滞留させる体積の増加は上昇流の流量に対して非常に小さいことから、排熱性状の向上効果はほとんどないものと考えられる。

5.5 エアカーテンによる排熱性状向上効果の解析

本節では、電気フライヤーを使用した湯沸し実験を行い、天井型排気装置からエアカーテン吹出しを行った場合の熱上昇流拡散性状と熱分配率を把握し、排熱性状の違いを明らかにする。

5.5.1 除去熱および室内温湿度の経時変化

本項では、水温を 90[°C]に保温する実験において、天井排気装置の下面に設けたスリットからエアカーテン吹出しを行った場合に、EA1 から除去される熱と EA1 に加えて EA2、EA3 から排出される熱の合計値の経時変化を示す。また、B4 点の各高度における上昇温度を明らかにし、実験室内に形成される温度成層を把握する。湿度環境については、前節と同様に想定高度 2,000[mm]以下を作業領域と考え、B4 の想定高度 2000[mm]における上昇絶対湿度から、作業領域との境界における空気性状を把握する。

図 5.5.1 にエアカーテン吹出しを行った条件の一例として、CASE 9 における除去熱の経時変化を示す。EA1 による除去熱は、実験開始から微増するものの、実験開始後 40 分において 100[W]程度である。合計顕熱と EA1 による除去顕熱はほぼ重なって表示されていることから、効率的な顕熱除去がなされているといえる。EA1 による除去潜熱は、沸騰直前から顕著に上昇し、実験開始後 20 分以降は定常的な値を示す。合計潜熱に対して若干低い値を示すことから、熱上昇流の一部は天井型排気装置から漏出しているものと考えられる。図 5.5.2 に測定点 B4 における各想定高度における上昇温度および想定高度 2,000[mm]における上昇絶対湿度の経時変化を示す。想定高度 1,000[mm]以上の温度は、実験開始時から上昇し、定常状態における上昇温度はいずれも 0.2~0.3[°C]となる。これは、エアカーテンの吹出しによって天井排気装置から漏出する熱が下向きに流され、想定高度 1,000~2,500[mm]の測定点近傍の空気を攪拌したためと考えられる。絶対湿度は、水温が 60[°C]を超える実験開始後 6 分頃から上昇し始め、40 分以降はほぼ一定の値を示す。前節までのエアカーテン吹出しを行わない条件では、絶対湿度は比較的急勾配な変動がみられたものの、本実験では緩やかな変動となっている。これは、エアカーテン吹出しによって測定点近傍の空気が攪拌され、顕著な湿度勾配が生じないためと考えられる。

5.5.2 熱の拡散性状および熱分配率

本項では、電気フライヤー近傍における鉛直温湿度分布から、発生する熱上昇流の拡散性状を把握する。また、各排気量における熱分配率を把握し、天井型排気装置の下面からエアカーテン状の吹出しを行った場合の熱除去性状を明らかにする。

a) 排気量 30Q

図 5.5.3 に水温 90[°C]設定における作業位置の鉛直温度分布をエアカーテン吹出し条件別に示す。なお、図中の値は実験開始時を基準として、実験開始後 40 分における上昇値を示す。温度は、い

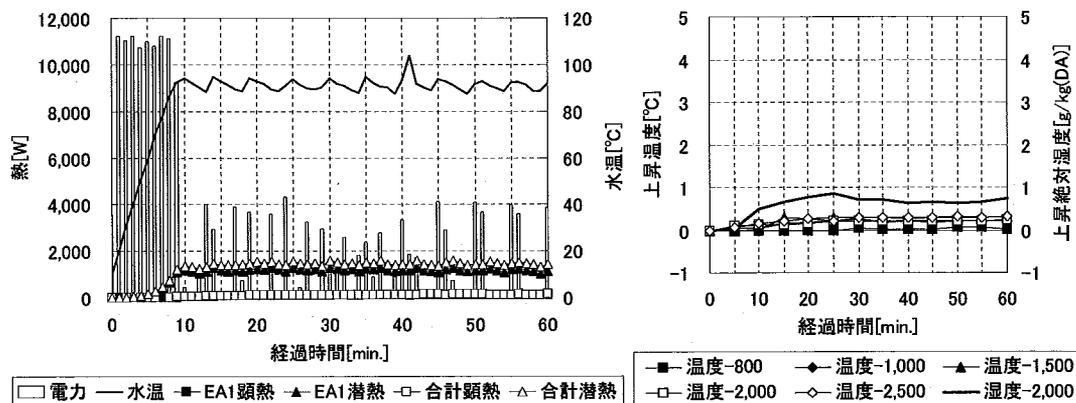


図 5.5.1 除去熱の経時変化(CASE 9)

図 5.5.2 鉛直温湿度の経時変化(CASE 9)

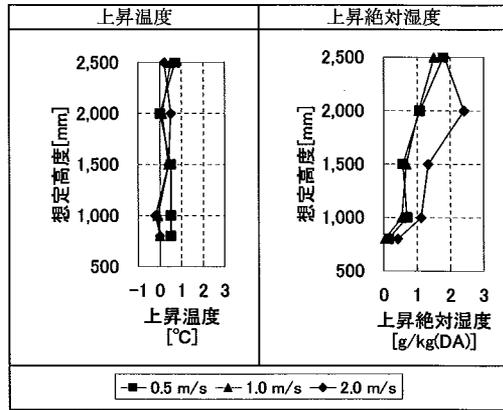


図 5.5.3 各エアカーテン吹出し条件における鉛直温湿度分布 (排気量 30Q)

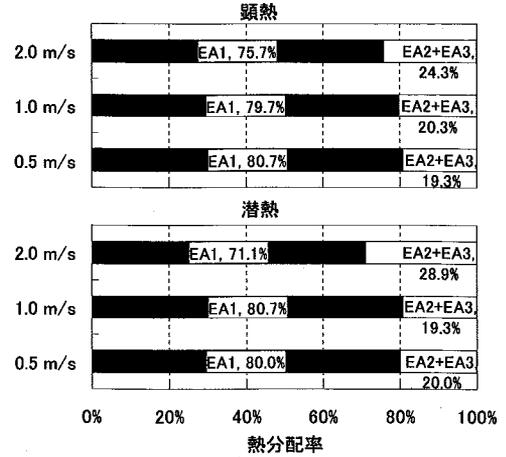


図 5.5.4 エアカーテン吹出し条件と熱分配率の関係 (排気量 30Q)

ずれの想定高度においても 1.0[°C]以下の上昇に留まるが、上昇温度の分布はエアカーテン吹出しの流速によって異なる。エアカーテン吹出し 0.5[m/s] (CASE 8) では、想定高度 2,000[mm]のみ上昇値は低く、その他の測定点はいずれも 0.5[°C]程度上昇している。エアカーテン吹出し 1.0[m/s] (CASE 9) では、想定高度 1,500[mm]および 2,500[mm]の温度が高くなっている。エアカーテン吹出し 2.0[m/s] (CASE 10) では想定高度 1,500[mm]以上の点が総じて高い値を示す。絶対湿度は、エアカーテン吹出し 0.5[m/s]および 1.0[m/s]の場合、想定高度が高くなるほど上昇し、特に 1,500 ~ 2,500[mm]における上昇勾配は大きくなる。また、エアカーテン吹出し 2.0[m/s]では、想定高度 2,000[mm]以下の値は 0.5[m/s]および 1.0[m/s]の CASE と比べて顕著に高い値を示す。これより、エアカーテン吹出し 2.0[m/s]とした場合、吹出し気流が漏出する熱上昇流や上昇過程の熱上昇流に干渉し、潜熱拡散を顕著にしている可能性が示唆される。以上のことから、エアカーテン吹出しを行う場合、調理人の作業位置はエアカーテンの吹出し直下となりやすいことから、擾乱の抑制や熱分配率の向上効果のみを検討するのではなく、上昇温湿度についても検討しておく必要がある。図 5.5.4 にエアカーテンの吹出し風速を変更した場合の熱分配率を示す。EA1 による顕熱分配率は、エアカーテン吹出し 0.5[m/s]と 1.0[m/s]ではほぼ同等の値を示すのに対し、2.0[m/s]では 5 ポイント程度低下している。エアカーテン吹出しを行わない条件と比較するなら、エアカーテン吹出しを行った条件は、いずれもエアカーテン吹出しを行わない条件より低い値を示す。潜熱分配率においても顕熱と同様に、エアカーテン吹出し 0.5[m/s]および 1.0[m/s]では同等の値を示すが、2.0[m/s]の値は 9 ポイント程度低下している。これより、排気量 30Q では、エアカーテンによる EA1 の熱分配率向上はほとんど見込めないとはいえる。しかし、擾乱抑制を意図するならエアカーテンを設置する意義は十分にある。したがって、エアカーテンを適用する場合は、吹出しによる顕熱・潜熱拡散を考慮した設計を行う必要があるといえる。

b) 排気量 20Q

図 5.5.5 に排気量 20Q における作業位置の鉛直温湿度分布をエアカーテンの吹出し条件別に示す。なお、図中の値は実験開始時を基準として、実験開始後 40 分における上昇値を示す。温度は、いずれの想定高度においても 1.0[°C]以下の上昇に留まり、上昇温度の分布はいずれのエアカーテン吹出し条件においても概ね同様な傾向を示す。絶対湿度は、エアカーテン吹出し 0.5[m/s]および 2.0[m/s]における上昇値は同程度の値を示し、1.0[m/s]ではいずれの想定高度においても他の 2 条件より高い値を示す。図 5.5.6 にエアカーテンの吹出し風速を変更した場合の熱分配率を示す。顕熱分

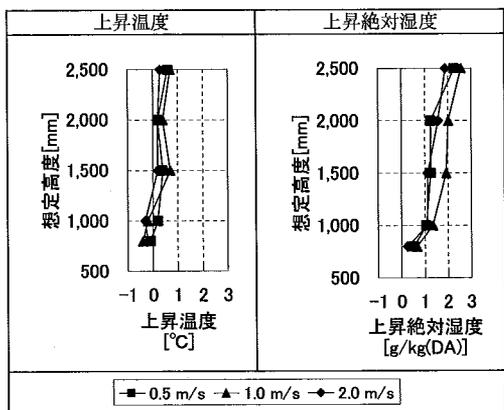


図 5.5.5 各エアカーテン吹出し条件における鉛直温湿度分布(排気量 20Q)

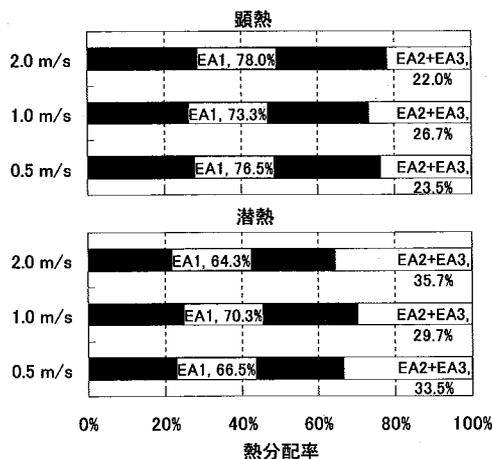


図 5.5.6 エアカーテン吹出し条件と熱分配率の関係(排気量 20Q)

配率は、エアカーテン吹出しの風速によって差異は生じるものの、エアカーテン吹出しを行わない条件と比較して、いずれも3ポイント未満の差異であり、エアカーテン吹出しによる影響は小さいと考えられる。一方、潜熱分配率では、エアカーテン吹出し 0.5[m/s]および 2.0[m/s]ではほぼ同等の値を示し、エアカーテン吹出しを行わない条件とも概ね近似した値を示すのに対し、1.0[m/s]の条件では若干高い値を示す。前掲図 5.5.5 の鉛直湿度分においてもエアカーテン吹出し 1.0[m/s]の条件のみ異なる傾向を示していることから、エアカーテン吹出し直下の環境は若干悪化するものの、潜熱の拡散は抑制され、熱除去性状としては向上する可能性が示唆される。

5.6 結語

本章では、厨房において多用されてきた局所排気を脱却した天井型排気方式を提案し、排熱性状および熱の拡散性状等を把握し、電化厨房機器に対する有用性を検討した。以下に、本章で得られた知見を示す。なお、本章で得られた知見は、熱の天井近傍空間における拡散を天井型排気装置以外の排気口から 300[m³/h]の排気を行うことにより模擬した実験の結果に基づいている。

水温を 90[°C]に保持する発熱条件において排気量を変化させた実験の結果から、排気量を 30Q に設定した場合、潜熱は天井型排気装置から若干漏出し室内に拡散するものの、顕熱は速やかに排出され、周辺空間に対する影響はほとんどみられなかった。排気量を 20Q、15Q と低減させるに従い、天井型排気装置からの漏出、および顕熱、潜熱の拡散は顕著となり、排気量 15Q では天井型排気装置による潜熱除去の比率を表す潜熱分配率は 55.0[%]に低下する。これより、天井型排気装置による熱分配率を全熱で 65[%]以上確保するためには排気量を 20Q 以上とする必要があり、定常的な発熱を伴う機器に対しては全熱分配率が 80[%]を超える排気量となる 30Q を設定することが望ましいことを示した。

定格出力による発熱条件では、排気量を 30Q に設定した実験を行ったが、天井型排気装置から漏出する熱上昇流、および上昇過程における顕熱、潜熱の拡散は著しく、周辺空間の温湿度は顕著に上昇する。また、天井型排気装置の潜熱分配率は 66.4[%]と発生熱の 2/3 程度の寄与率を示すものの、発生潜熱が大きいため漏出する潜熱による温熱環境への影響は大きい。これより、長時間の湯沸しなど継続的に大きな発熱を伴う機器に対しては、局所排気を設備することが望ましいことを示した。

排気口空間のサイズを拡大した実験の結果から、排気量を 20Q とした場合において若干顕熱分配率の向上することを示した。しかし、20Q における潜熱分配率、および 30Q における顕熱・潜熱分

配率はいずれも若干低下する。これは、排気口空間を拡大しても増加する容積は熱上昇流の流量に対して小さく、熱上昇流を一時的に保有する効果はほとんど見込めないためと考えられる。以上のことから、熱上昇流の漏出は、排気量変化による影響が大きく寄与し、排気口サイズの拡大による漏出抑制効果はほとんどみられないことを示した。

エアカーテンの吹出しを設定した実験の結果から、排気量 30Q ではエアカーテン吹出し風速を 2.0[m/s]とした場合、天井型排気装置による熱分配率は低下するものの、1.0[m/s]以下とした場合にはほとんど低下しない。これより、エアカーテン吹出しによる熱分配率向上効果は期待できないが、空調吹出しや、調理人の動作に伴う擾乱の抑制手法としては有効となる可能性が示唆される。一方、排気量 20Q では、エアカーテン吹出しを 1.0[m/s]とした場合に天井型排気装置による潜熱分配率は若干向上した。これより、エアカーテン吹出しを行わない条件において 64.8[%]と比較的低い潜熱分配率を示す排気量 20Q の条件では、適切なエアカーテン吹出しを行うことにより、熱分配率を若干向上させることができることを明らかにした。

以上のことから、天井型排気方式は、食材の保温を主とする調理機器や、閉鎖型調理機器のように継続的な発熱の小さいものを対象とした場合に有効であるといえる。また、作業空間に対する熱的影響を抑制するためには、適切な排気量を確保する必要があることを示した。エアカーテン吹出しについては、適切な流速の設定により天井型排気装置による熱分配率向上を見込むこともできるが、擾乱抑制として使用する場合においても、過剰な流速を設定した場合、熱上昇流を乱し、熱分配率を低下させ、周辺空間に対する熱的影響を大きくする可能性があるため、適用には十分な検討が必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 森本旭, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 熊尾隆丈, 武田浩一, 日浅英成: 業務用厨房機器からの発生負荷が作業環境に及ぼす影響評価 その9 天井排気システムの検討, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第28巻, pp.457-460, 2005.3
- 2) 日浅英成, 白石靖幸, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 熊尾隆丈: CFD解析に基づく業務用厨房内の温熱・空気環境評価 その3 天井型排気システムの解析, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第28巻, pp.461-464, 2005.3
- 3) 荻田俊輔, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 吉野一, 長澤康弘, 石川登志樹, 永瀬修, 平田俊明: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その1 厨房内温度および排気捕集性状に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海) D-2, pp.1101-1102, 2003.9
- 4) 吉野一, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 荻田俊輔, 長澤康弘, 石川登志樹, 永瀬修, 村上高: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その2 厨房内温度および排気捕集性状に関する実験, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.381-384, 2003.9
- 5) 荻田俊輔, 近藤靖史, 吉野一: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その3 数値流体解析(CFD)による気流・温度分布の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.385-388, 2003.9
- 6) 荻田俊輔, 近藤靖史, 川瀬貴晴, 吉野一, 永瀬修, 平田俊明: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その4 天井置換換気出口の有効性に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道) D-2, pp.1159-1160, 2004.8
- 7) 吉野一, 近藤靖史, 荻田俊輔: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その5 CFD解析による

- 従来方式と置換換気方式の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道) D-2, pp.1161-1162, 2004.8
- 8) 後上哲男, 川瀬貴晴, 近藤靖史, 相澤芳弘, 永瀬修: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その6 空調エネルギー消費量計算法の考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道) D-2, pp.1163-1164, 2004.8
 - 9) 安達聡子, 近藤靖史, 吉野一, 荻田俊輔: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その7 従来方式と天井吹出口による置換換気・空調方式のCFD解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) D-2, pp.731-732, 2005.9
 - 10) 荻田俊輔, 近藤靖史, 吉野一, 安達聡子: 業務用厨房の置換換気・空調方式に関する研究 その8 各種の厨房形態における気流・温度分布のCFD解析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1117-1120, 2005.8
 - 11) 百瀬敏成, 山中俊夫, 甲谷寿史, 山本晃裕: 業務用厨房における天井換気システムの設計法に関する研究 その1 各種捕集率を用いた排気口の汚染物捕集性能の把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) D-2, pp.817~818, 2002.8
 - 12) 山本晃裕, 山中俊夫, 甲谷寿史, 百瀬敏成: 業務用厨房における天井換気システムの設計法に関する研究 その2 レンジの熱上昇気流モデルから作成した境界条件を入力とするCFD解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸) D-2, pp.819-820, 2002.8
 - 13) 堀川晋, 秋元孝之, 李晟在, 小林正則, 林英人, 渡邊英樹, 大高一博: 業務用厨房における換気天井システムに関する研究 その1 換気天井システムの概要と数値シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) D-2, pp.1057-1058, 2001.9
 - 14) 渡邊英樹, 秋元孝之, 李晟在, 小林正則, 林英人, 大高一博, 堀川晋: 業務用厨房における換気天井システムに関する研究 その2 温熱環境の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) D-2, pp.1059-1060, 2001.9
 - 15) 秋元孝之, 李晟在, 小林正則, 林英人, 渡邊英樹, 大高一博, 堀川晋: 業務用厨房における換気天井システムに関する研究 その3 換気性能の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) D-2, pp.1061-1062, 2001.9
 - 16) 荻田俊輔, 近藤靖史: 数値解析による業務用厨房の置換換気空調システムの有効性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国) D-2, pp.649-650, 1999.9

—第6章—

実調理時の排熱性状および空調負荷の予測

- 6.1 序
 - 6.2 実験概要
 - 6.3 模擬調理時と実調理時における除去熱の解析
 - 6.4 実調理時における排熱性状の解析
 - 6.5 結語
-

6.1 序

一般的なオフィスや店舗などの空調は、外気負荷、構造体負荷、日射負荷に加え、人体や照明、その他発熱を伴う機器による内部負荷を積算し、必要な空調能力および風量を決定する。ここで扱われる熱負荷は、平年の外気温湿度、太陽高度など自然現象の変化に伴う熱負荷に対しては時間変動を考慮するが、内部負荷の変動を考慮した熱負荷計算を行うことはほとんどない。それを内部負荷で考えるなら、人体発熱であれば在籍者の入退室や代謝量の変化、パソコン等の機器発熱では機器の ON-OFF や CPU の稼働率などにあたり、これらを予測するためには多様な要因を考慮し、かつ非常に煩雑な計算を行う必要がある。しかしながら、これら内部発熱の変動は、空調負荷全体に対する比率が小さく、変動を考慮することによる空調能力・風量の低減は僅かであることが多い。これより、予測方法の確立や予測制度の向上に対する関心は薄い。一方、厨房においては内部負荷に加熱調理機器からの発生熱が含まれ、外気負荷や構造体負荷等に対する比率は大きくなる。これより、発熱の時間変化や実際に熱負荷として見込むべき数値を明らかにすることは重要であると考えられる。本研究では、第2章において電化厨房機器から発生する熱を把握し、第3章以降において各種排気方式における熱除去性状を明らかにしている。それらの知見から、発生熱のうち除去されない熱の算定が可能であり、各供試機器に対して各排気方式を適用した場合の熱負荷を把握することができる。しかしながら、第3章以降における排熱性状の検討は、模擬調理における定常状態を対象としたものであり、実調理に対する検討は行っていない。第2章では、実際の調理における発生熱は模擬調理の定格出力による湯沸し実験の発生熱に対して小さい値を示すことが多いことを明らかにしており、実際の厨房における発生熱に対応した熱除去を把握するためには、実調理時における空調負荷を明らかにする必要がある。実調理における発熱は定常的な性状を示さないため、定常状態における熱除去率は算定できない。これより、本章では、実調理時における熱除去率を、模擬調理の定常状態における熱除去率から算出する手法を検討する。

6.2 実験概要

本章では、第3章の実験②に準じて実調理対象とした実験を行った。そのため、同実験室を使用し、測定についても同様な方法で行っている。

供試調理機器は、調理内容や調理方法によって発熱の変化を伴う『開放型調理機器』を対象とし、IH レンジ、ティルパン、スूपケトル、IH 回転釜の4機種を選定した。供試機器は、排気フードの中心と供試機器の中心が一致するように配置した。供試機器と排気フードの位置関係を図 6.2.1 に示す。ここで、IH レンジ、ティルパン、スूपケトルは、フード 1 (1,000×900[mm]) によって熱源部分を覆うことが可能であるため、いずれもフード 1 の排気フードを使用した。一方、IH 回転釜は、フード 1 よりも熱源面積が大きいので、熱源部分を覆うことが可能なフード 2 (1,300×1,300[mm]) を別途用意した。表 6.2.1 に実験条件を示す。実験は、表中に示すように第2章におけるチャンバー実験と同じ調理内容を設定した。調理工程、および出力制御は調理人に一任した。

6.3 模擬調理時と実調理時における除去熱の解析

本章では、各調理時における熱除去率を模擬調理時の熱除去率から予測する。そのため、あらかじめ各供試機器の模擬調理時の排熱性状を把握しておく必要がある。なお、レンジおよび回転釜の模擬調理時における熱除去率は、第3章においてすでに求めているため、ここではティルパンとスूपケトルについて検討する。また、本節では、各供試機器の実調理時における除去熱の経時変化を明らかにし、調理工程による除去熱の変動を把握する。

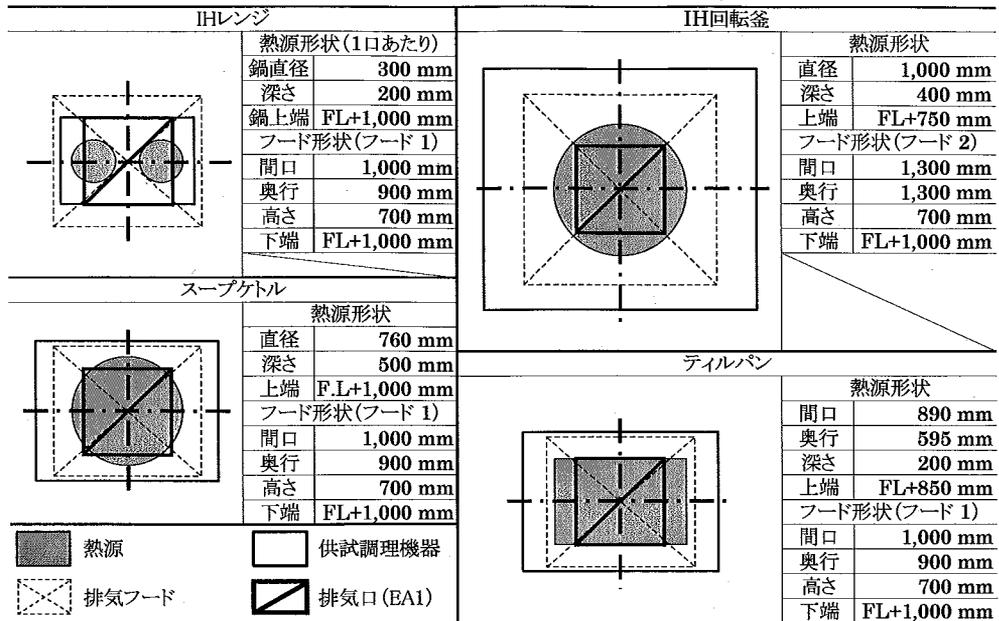


図 6.2.1 熱源形状および供試機器の配置

表 6.2.1 実験条件

機器名称	型番	排気量	模擬調理実験		実調理実験	
			実験条件	調理内容	状態	分量
IHレンジ	MIR-1055SA	300 m ³ /h	鍋に水8 Lを注入し 定格出力による湯沸し	焼き飯	常温	3食分, 3回
				チキンフリカッセ	常温	8 kg
IH回転釜	MIAR-100L	450 m ³ /h	水100 Lを注入し 定格出力による湯沸し	八宝菜	常温	300食
				豚汁	常温	300食
ティルパン	ENTP-100	360 m ³ /h	水40 Lを注入し 定格出力による湯沸し	金平ゴボウ	常温	10 kg, 2回
スープケトル	NSK-115H	570 m ³ /h	水50 Lを投入し 110℃設定として湯沸し	豚汁	常温	300食

6.3.1 各供試機器の模擬調理時における除去熱

(1) ティルパン

図 6.3.1 にティルパンを使用した湯沸し実験の経時変化を示す。なお、凡例の EA1 顕熱、潜熱はそれぞれ排気フード(EA1)により除去された熱を示し、合計顕熱・潜熱はそれぞれ排気フード(EA1)、EA2、EA3 から除去された熱の積算値を示す。EA1 から除去された顕熱は、実験開始時から微増し、水温が 80[°C]を超える 20 分過ぎから上昇勾配は若干大きくなる。機器内の水が沸騰し、水温の安定した後においても除去顕熱は微増するが実験開始 45 分以降は定常的な値を示す。除去潜熱は水温に伴って上昇し、沸騰状態においても微増するものの、実験開始 45 分以降は定常的な値を示す。沸騰に至るまでは、EA1 による除去潜熱と合計潜熱の差異は小さく、沸騰直後から差異は顕著に大きくなる。実験開始 45 分以降の定常状態における熱除去率は顕熱 47.1[%]、潜熱 85.7[%]、全熱 81.6[%]であり、顕熱の除去率は 50[%]未満と低い値を示す。

水温 90[°C]による実験では、EA1 による除去顕熱は小さく、実験開始 45 分以降の定常状態における除去熱の平均値は 410[W]である。除去潜熱は、水温に伴って上昇するが、定格出力時ほどの上昇勾配はみられない。定常状態においても EA1 による除去潜熱と合計潜熱の差異は小さく、効率的な熱除去のなされていることがわかる。実験開始 45 分以降の定常状態における顕熱・潜熱・全熱除去率は、いずれも 85[%]以上の高い値を示す。

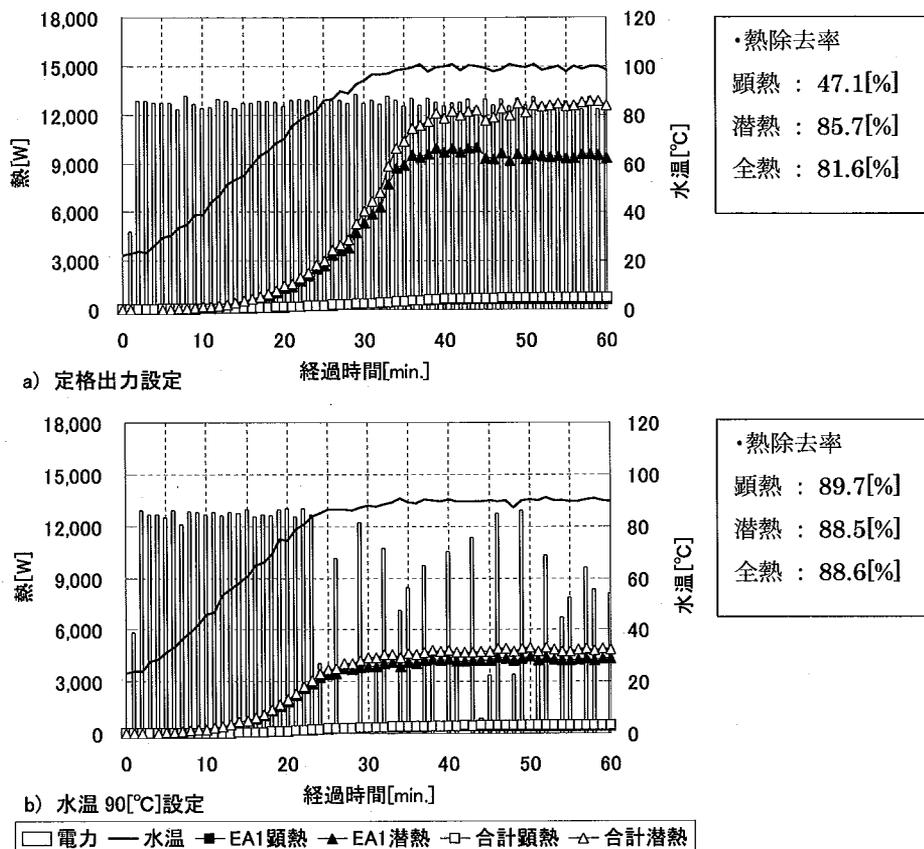


図 6.3.1 各出力設定における除去熱の経時変化(ティルパン)

(2) スープケトル

図 6.3.2 にスープケトルを使用した湯沸し実験の経時変化を示す。スープケトルは、調理物の保温を目的とした調理機器であり、本実験で使用した機器の出力は設定温度による自動制御によって変動するため、その他の供試機器のように定格出力による沸騰状態を保持する実験を行うことができない。そこで、本実験では設定温度を沸騰温度より高い 110[°C]に設定することにより沸騰状態を模擬している。これより、定常状態における発熱、および電力は定格出力に対して低い値を示す。

EA1 から除去された顕熱は、実験開始時から上昇するものの上昇勾配は小さく、実験開始 45 分以降の定常状態における平均値は 747[W]である。除去潜熱は、水温に伴って緩やかに上昇し、他の『開放型調理機器』のような沸騰直前の顕著な上昇はみられない。実験開始 45 分以降の定常状態における熱除去率は顕熱 99.5[%]、潜熱 87.9[%]、全熱 88.7[%]であり、高効率な熱除去のなされていることがわかる。

水温 90[°C]による実験では、EA1 による除去顕熱は実験開始から微増するものの、上昇値は小さい。除去潜熱は、水温の上昇勾配が設定温度に近づくに従って小さくなり、実験開始から 37 分において 90[°C]に達するため、その間 EA1 による除去熱は微増し続けている。実験の開始から終了まで、EA1 による除去潜熱と合計潜熱はほぼ重なった表示となっていることから、発熱の変動にかかわらず高効率な除去のなされていることがわかる。実験開始 45 分以降の定常状態における顕熱・潜熱・全熱除去率は、いずれも 90[%]以上の高い値を示し、発生熱のほとんどは排気フードによって捕集されているといえる。

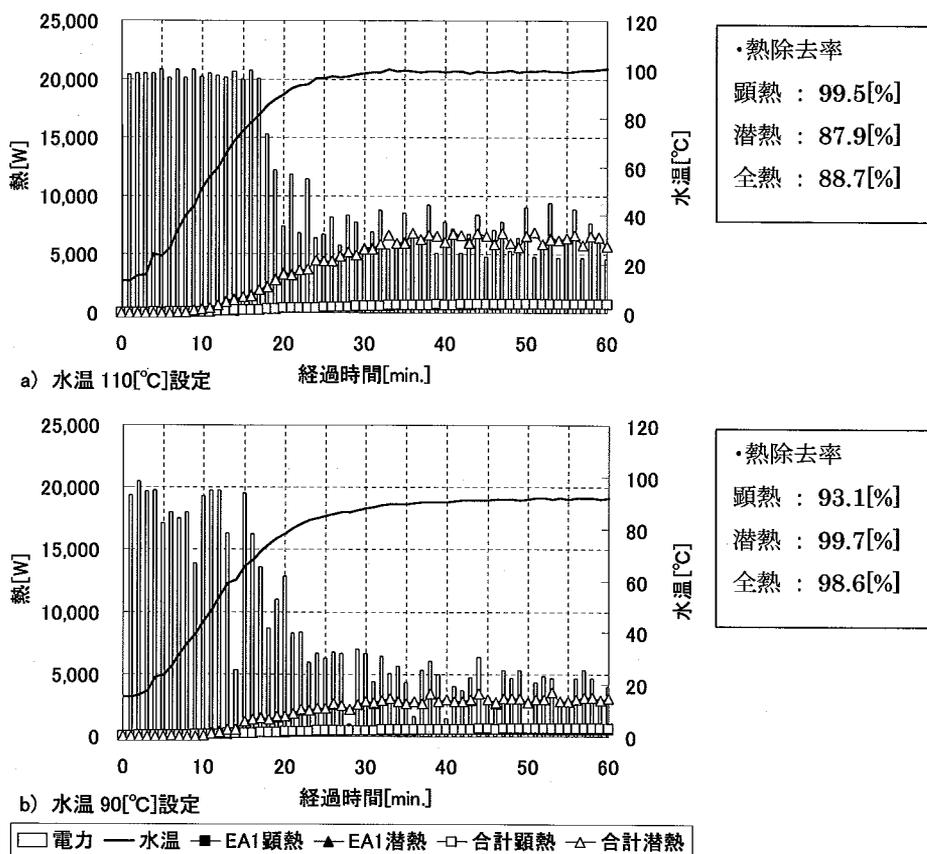


図 6.3.2 各出力設定における除去熱の経時変化(スープケトル)

6.3.2 模擬調理時における熱負荷比率と熱除去率の関係

前項において、ティルパンおよびスープケトルを使用した実験結果を示し、定格出力時と水温 90[°C]保温時の除去熱を明らかにした。両出力設定における除去熱には顕著な差異がみられ、発生熱の違いが大きく影響している可能性が示唆された。これより、定格出力設定時の発生熱に対する水温 90[°C]設定時の発生熱を熱負荷比率として算出した。表 6.3.1 に各出力設定における熱負荷比率と熱除去率の関係を示す。表中の発生熱は、定格出力設定については前掲表 2.3.1 の発生熱原単位から算出した値とし、水温 90[°C]設定については前掲図 3.4.3、図 3.6.1b)、図 6.3.1、図 6.3.2 の定常状態における合計顕熱・潜熱・全熱の値としている。なお、水温 90[°C]設定の実験では、定常状態において実験室内の温湿度分布がほとんど変化しないことから、合計顕熱・潜熱・全熱は発生熱とみなせることを確認している。

スープケトルを除く各供試機器の水温 90[°C]保温時における発生熱は、定格出力時の発生熱に対して顕著に小さい値を示すことがわかる。スープケトルでは、水温 110[°C]設定における湯沸し実験を定格出力とみなしていることから、他の供試機器とは異なる発熱性状を示すが、発生潜熱は水温 90[°C]設定に対して大きい値を示す。熱負荷比率は、IH レンジの場合、顕熱、潜熱、全熱のいずれも 0.2 以下であり、定格出力時と保温時の発生熱の差異は顕著に大きいことがわかる。その他の供試機器についても、スープケトルの顕熱以外の熱負荷比率はいずれも 0.5 未満となる。熱除去率との関連としては、熱負荷比率の低い IH レンジの熱除去率は、定格出力時では全熱で 71[%]に留まるのに対し、水温 90[°C]設定では 100[%]に達する。IH 回転釜およびティルパンでは、顕熱除去率は水温 90[°C]設定の値が定格出力設定の値に対して顕著に大きい値を示すが、潜熱除去率の差異は

表 6.3.1 各出力設定の熱負荷比率と熱除去率の関係

	発生熱						熱負荷比率			熱除去率					
	定格出力設定			水温90[°C]設定						定格出力設定			水温90[°C]設定		
	顕熱 [W]	潜熱 [W]	全熱 [W]	顕熱 [W]	潜熱 [W]	全熱 [W]	顕熱 [ND]	潜熱 [ND]	全熱 [ND]	顕熱 [%]	潜熱 [%]	全熱 [%]	顕熱 [%]	潜熱 [%]	全熱 [%]
IHレンジ	1,768	8,600	10,368	296	889	1,185	0.17	0.10	0.11	50	74	71	100	100	100
IH回転釜	1,935	13,650	15,585	821	6,179	7,000	0.42	0.45	0.45	59	84	81	78	85	84
ティルパン	1,320	11,100	12,420	452	4,805	5,257	0.34	0.43	0.42	47	86	82	90	89	89
スूपケトル	744	7,194	7,963	613	3,059	3,672	0.82	0.43	0.46	100	88	89	93	100	99

小さい。これは、水温 90[°C]設定においても定格出力の 1/3 以上の熱が潜熱として発生しているため、IH レンジやスूपケトルに比べて定格出力時と水温 90[°C]設定時における発生熱の差異が小さいためと考えられる。一方、スूपケトルの潜熱の熱負荷比率は 0.43 であり、ティルパンと同等の値を示すが、定格出力設定における潜熱除去率は水温 90[°C]設定に対して 12 ポイント低い値となり、ティルパンとは異なる熱除去性状を示す。これは、前述したように水温を 110[°C]に保温する実験を定格出力設定とみなしていることから、水温 90[°C]設定における発生潜熱は定格出力の 1/6 以下となり、ティルパンとは異なる発熱性状を示すためである。

6.3.3 各供試機器の実調理時における除去熱

(1) IH レンジ

図 6.3.3a)に IH レンジを使用した焼き飯調理の経時変化を示す。なお、焼き飯調理は、IH レンジ 1 口を使用した。調理は、フライパンの「予備加熱」後、野菜を投入して炒め、最後に米を投入し

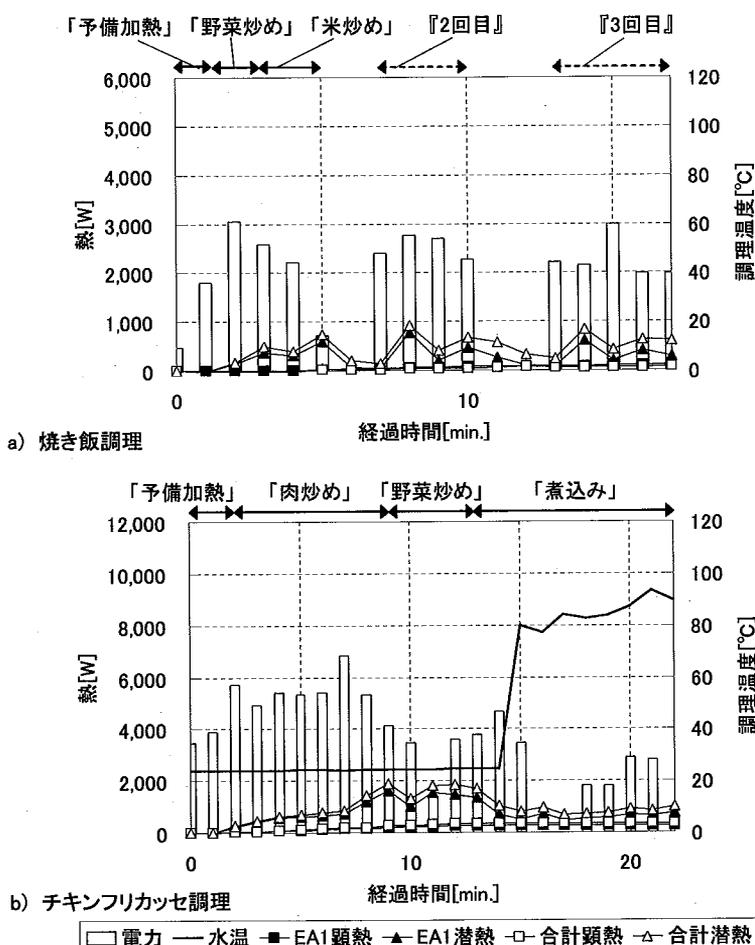


図 6.3.3 IH レンジによる実調理時における除去熱の経時変化

て炒める。3回の調理を行い、1回あたりの調理時間は5分程度である。EA1による除去顕熱はほとんど上昇せず、最大値は120[W]である。合計顕熱は、EA1による除去熱と近似した値を示すことから、効率的な排熱のなされていることがわかる。EA1による除去潜熱は、食材投入時や食材の加熱過程など発生潜熱の大きくなる時間に上昇する傾向がみられる。1回目は予備加熱等を行っているため、2回目以降の発熱とは異なる変動を示すが、2、3回目の実験における最大値は近似した値を示し、発生熱の経時変化は同様の変動傾向を示す。

図6.3.3b)にチキンフリカッセ調理の経時変化を示す。なお、チキンフリカッセ調理は、鍋2口を使用した。調理は、鍋の「予備加熱」後、肉を入れて炒め、次いで野菜を投入して炒める。最後に水を注入し煮込んで仕上げている。EA1による除去顕熱は調理開始時から微増し、実験終了時の値は270[W]となる。EA1による除去熱が上昇するほど、合計顕熱との差異は大きくなる。EA1による除去潜熱は、「肉炒め」時に次第に上昇し、最大値は1,600[W]に達する。その後の「野菜炒め」時においても、1,330~1,530[W]の熱が継続的に除去されている。水を注入しての「煮込み」時では、EA1による除去潜熱、および合計潜熱のいずれも低下し、調理終了まで顕著な上昇はみられない。

(2) IH 回転釜

図6.3.4a)にIH回転釜を使用した八宝菜調理の経時変化を示す。調理は、6分程度機器の「予備加熱」を行い、その後、肉を投入して炒め、次いで野菜を投入して炒める。最後に水を注入し煮込ん

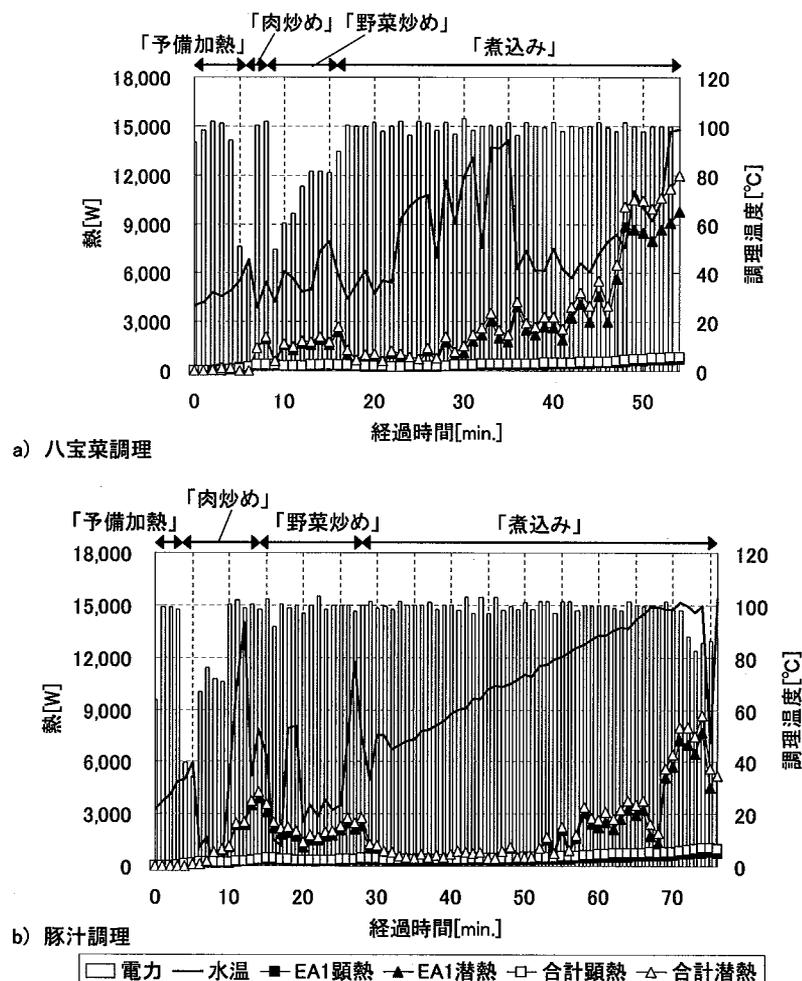


図6.3.4 IH 回転釜による実調理時における除去熱の経時変化

で仕上げている。EA1による除去顕熱は、調理開始時から微増し、「煮込み」調理の後半における水温上昇に伴い上昇勾配は大きくなる。EA1による除去潜熱は、肉、野菜の投入時、炒め時の後半において上昇している。また、「煮込み」時の水温に伴って上昇し、調理温度が50[°C]を超える47分頃から顕著に上昇する。48分以降の除去潜熱は8,000[W]を超えるが、合計潜熱は10,000[W]を超えており、発熱の上昇によって排熱性状の低下していることがわかる。

図 6.3.4b)に豚汁調理の経時変化を示す。調理は、4分程度機器の「予備加熱」を行い、肉を炒めた後、野菜を投入して炒める。最後に水を注入し煮込んで仕上げている。八宝菜調理に対して水の注入量が多いため煮込みの時間が長くなっている。EA1による除去顕熱は、野菜を投入した直後一時的に若干低下するなどの変動はみられるものの、調理の継続に伴って上昇する傾向がみられる。EA1による除去潜熱は、肉、野菜の投入時に低下し、炒めの過程において次第に上昇している。また、水を注入した直後の除去潜熱は顕著に低下し、水温上昇に伴って再度上昇する。調理温度が100[°C]に達した直後、EA1による除去熱、合計潜熱は顕著に上昇している。八宝菜調理と異なり、「煮込み」の後半におけるEA1による除去潜熱と合計潜熱の差異は小さい。

(3) ティルパン

図 6.3.5 にティルパンを使用した金平ゴボウ調理の経時変化を示す。調理は、12分程度機器の「予備加熱」を行い、その後、ゴボウを投入して炒め、次いで残りの野菜類を投入して炒める。EA1による除去顕熱は、調理開始時から微増し、野菜炒め調理時では若干上昇勾配は大きくなる。EA1による除去潜熱は、1回目の「野菜炒め」時において顕著に上昇している。2回目の「野菜炒め」時では、途中で除去潜熱が顕著に上昇するものの、その後は低下している。これは、加熱調理の継続によって食材に含まれる水分がほとんど蒸発したため、調理物から発生する潜熱が低下し、それに伴い除去潜熱も低下したものと考えられる。EA1による除去潜熱と合計潜熱の差異は、調理を継続するほど大きくなっている。

(4) スープケトル

図 6.3.6 にスープケトルを使用した豚汁調理の経時変化を示す。調理は、7分程度機器の「予備加熱」を行い、その後、肉を投入して炒め、次いで野菜を投入して炒める。最後に水を注入し煮込んで仕上げている。EA1による除去顕熱は、調理開始時からほぼ一定勾配で微増している。図中においてEA1による除去顕熱と合計顕熱はほぼ重なった表示となることから効率的な排熱が行われていると考えられる。潜熱は、「肉・野菜炒め」における食材投入時、および各調理工程の後半に上昇している。「煮込み」調理において調理温度が100[°C]に近づくに従い、EA1から除去される熱は

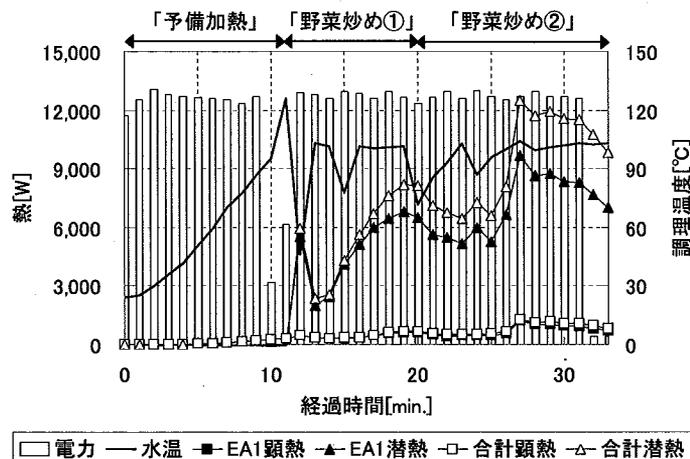


図 6.3.5 ティルパンによる実調理時における除去熱の経時変化(金平ゴボウ調理)

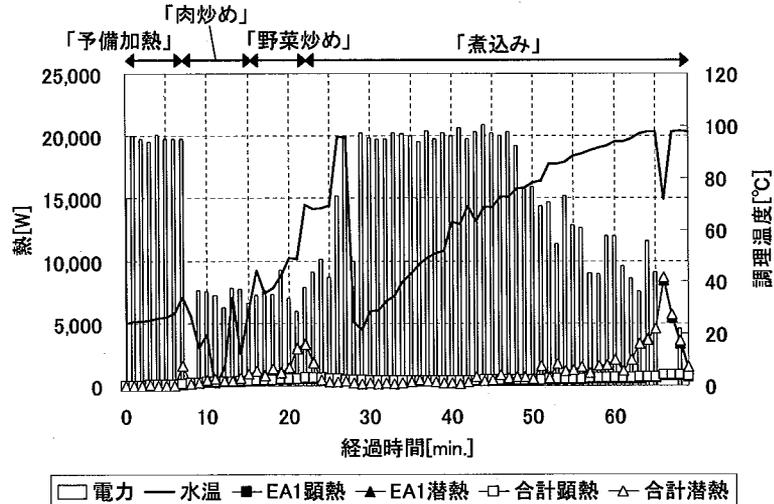


図 6.3.6 スープケトルによる実調理時における除去熱の経時変化(豚汁調理)

顕著に上昇し、最大で 8,650[W] に達する。調理開始 48 分以降は、投入電力が小さくなっている。これは、スープケトルは 2 重釜構造となっており、機器内で蒸気を生成して間接的に加熱を行う機構であり、出力を低下させても設定温度を保持することができるためである。顕熱、潜熱のいずれにおいても、EA1 による除去熱と、合計顕熱・潜熱の差異は小さく、効率的な排熱のなされていることがわかる。

6.4 実調理時における排熱性状の解析

前節では、模擬調理時の定格出力設定と水温 90[°C]保温設定における発生熱では値が大きく異なり、それにより排熱性状も大きく異なることを示した。また、実調理実験では、調理工程によって発生熱の変動は大きく、調理全体を通しての熱除去性状を考慮すると、模擬調理実験のいずれの発生熱設定における除去熱に該当するかを判断することはできない。そこで、本節では、実調理時に排気フード (EA1) から排出される熱が模擬調理における定格出力時、あるいは水温 90[°C]保温時の熱に満たない状態においては、それぞれの出力設定における熱除去率を確保できるものと考え、その各出力設定に該当する調理時間に対して各出力設定における発生熱と熱除去率をそれぞれ割り当てる。そして、割り当てた時間に基づいて熱除去率を重み平均し、実調理時における想定熱除去率を算出する。

6.4.1 模擬調理時と実調理時における除去熱の関係

本項では、各供試機器の実調理時に EA1 から除去される顕熱、潜熱と、模擬調理における各出力設定時に EA1 から除去される顕熱、潜熱の関係を示す。

(1) IH レンジ

図 6.4.1 に IH レンジを使用した実調理時と模擬調理時の各出力設定における除去熱の関係を示す。なお、図中の定格出力時、および水温 90[°C]保温時の除去熱は、定常状態における平均値を示している。また、焼き飯調理はレンジ 1 口による調理であるため、模擬調理時の除去熱は 1/2 としている。焼き飯調理の顕熱は、調理開始から終了まで水温 90[°C]設定時の除去熱より小さい値を示すため、調理時の顕熱除去率は水温 90[°C]保温時より高くなると考えられる。潜熱は、「野菜炒め」調理や「米炒め」調理の後半において水温 90[°C]設定の除去熱を超える時間がみられるものの、定格出

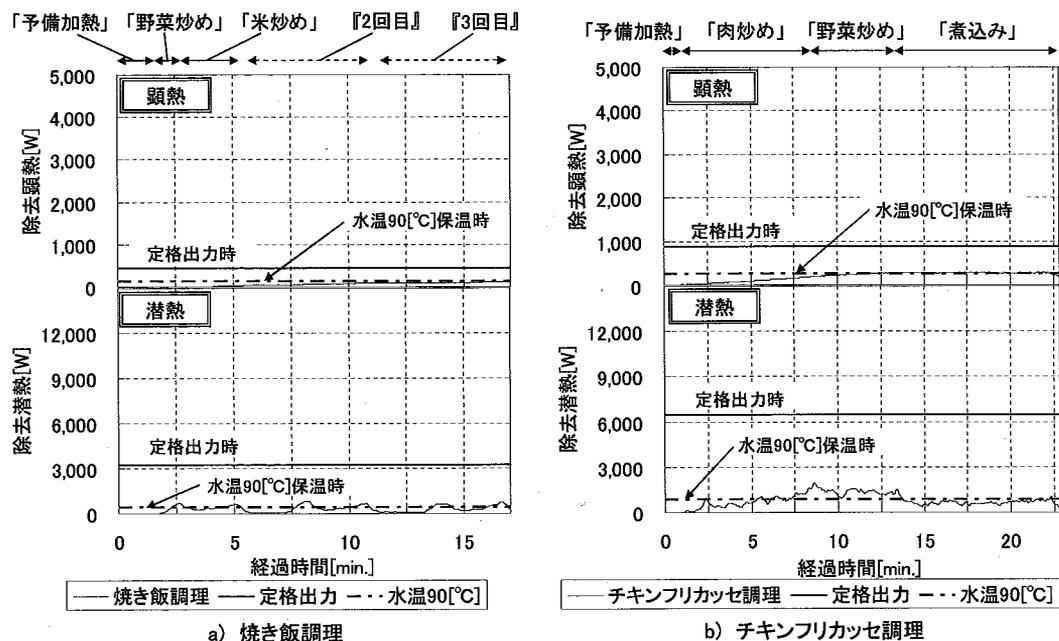


図 6.4.1 実調理時と模擬調理時の各出力設定における除去熱の関係 (IH レンジ)

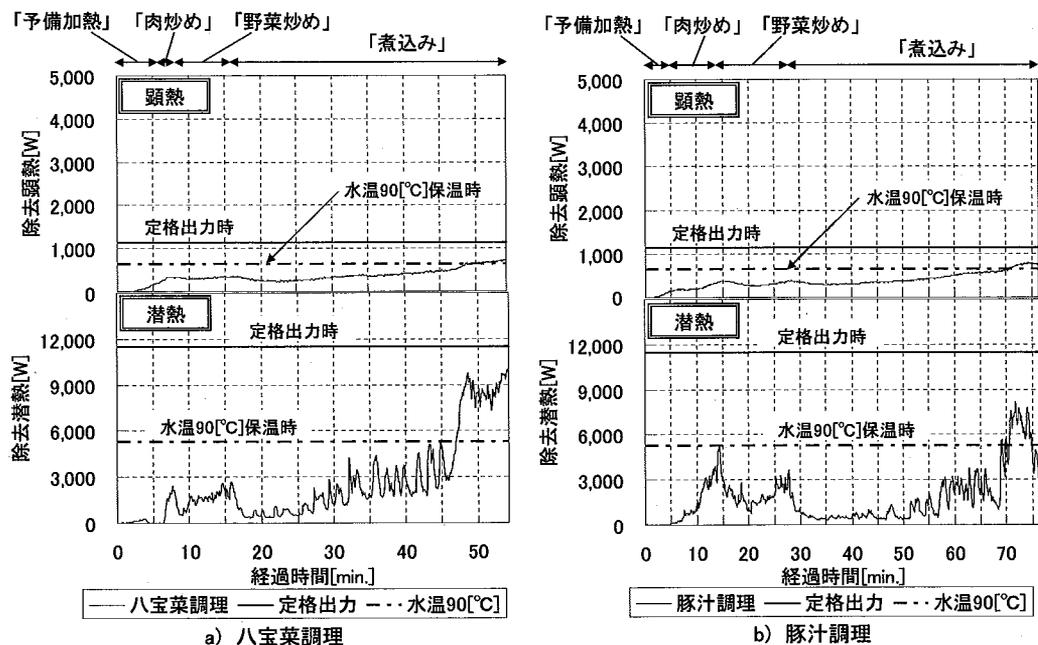


図 6.4.2 実調理時と模擬調理時の各出力設定における除去熱の関係 (IH 回転釜)

力時の除去熱と比較すると顕著に低い値となる。チキンフリカッセ調理における除去顕熱は、調理開始時から上昇するものの、13分頃からは安定し、水温 90[C]保温時の除去熱を若干超える値となる。潜熱は、「肉炒め」調理の後半から「野菜炒め」調理の終了まで水温 90[C]保温時の値を超え、「煮込み」調理時では超えない。

(2) IH 回転釜

図 6.4.2 に IH 回転釜を使用した実調理時と模擬調理時の各出力設定における除去熱の関係を示す。八宝菜調理の顕熱は、調理開始時から上昇するものの、水温 90[C]保温時の除去熱を超えるのは調理終了直前の 3 分間程度である。潜熱は、「肉炒め」調理や「野菜炒め」調理時に上昇しているが、

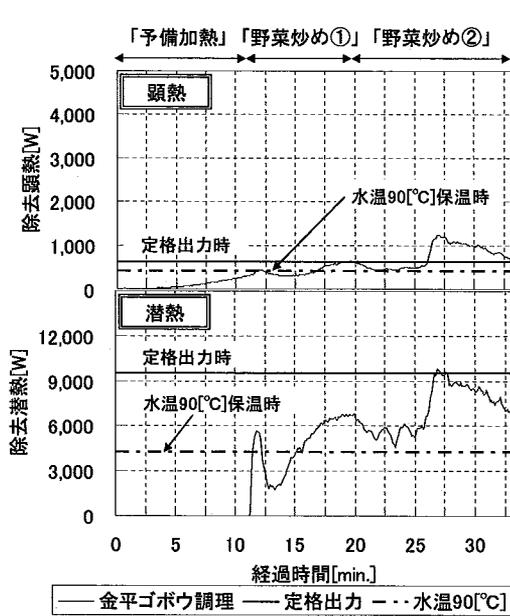


図 6.4.3 実調理時と模擬調理時の各出力設定における除去熱の関係(テイルパン)

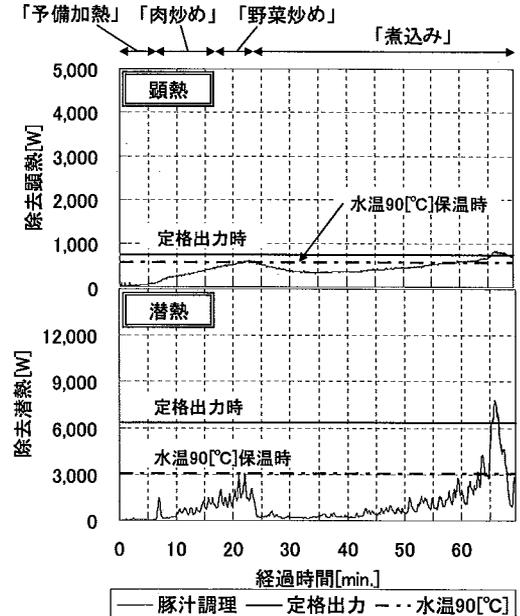


図 6.4.4 実調理時と模擬調理時の各出力設定における除去熱の関係(スープケトル)

最大で 2,650[W]であり、水温 90[°C]保温時の 5,270[W]と比べると低い値となる。「煮込み」調理の後半では、次第に EA1 による除去熱は上昇し、47 分頃から水温 90[°C]保温時の値を超える。48 分以降は 8,500[W]を超える値となるが、定格出力時の除去熱には達しない。豚汁調理では、EA1 による除去顕熱は調理開始から次第に上昇するものの、八宝菜調理と同様に水温 90[°C]保温時の値を超えるのは調理終了直前の 3 分間程度である。潜熱は、「肉炒め」調理時に顕著な上昇がみられ、水温 90[°C]保温時の除去熱に近似する値となる。「野菜炒め」調理時は、野菜の投入によって発熱が低下するため EA1 による除去潜熱も低下し、最大値で 4,120[W]となる。「煮込み」調理に入ると、水の注入によって発生潜熱は低下するため、除去熱は一時的に 500[W]未満まで低下する。しかし、調理温度に伴って除去潜熱は上昇し、調理開始 69 分以降は水温 90[°C]保温時の値を超える値となる。

(3) テイルパン

図 6.4.3 にテイルパンを使用した実調理時と模擬調理時の各出力設定における除去熱の関係を示す。金平ゴボウ調理の顕熱は、「予備加熱」において顕著に上昇し、1 回目の「野菜炒め」調理時の除去顕熱は、変動しながら推移し、後半は水温 90[°C]保温時を超える値となる。2 回目の「野菜炒め」調理における除去顕熱は、水温 90[°C]保温時を超える値となり、後半は定格出力時の値を超える。これは、模擬調理時では高温となる機器調理面が水に覆われていたのに対し、実調理時では露出していたためと考えられる。定格出力を超える発熱の場合、相当する熱除去率を同定できないため、前述した想定熱除去率の定義を逸脱することとなる。しかしながら、水温 90[°C]保温時を超える熱は定格出力に対して十分小さく、超過する時間の前後は定格出力未満の発生熱に対して定格出力時の発生熱と熱除去率を割り当てることから、想定熱除去率の過大評価による厨房内温熱環境に対する影響は小さいと考えられる。これより、定格出力時の除去熱を超える部分は定格出力時の発生熱、および熱除去率を割り当てることとする。潜熱は、1 回目の「野菜炒め」調理における食材投入時に顕著な上昇がみられ、水温 90[°C]保温時の値を超えている。1 回目の「野菜炒め」調理の後半から調理終了まで継続的に水温 90[°C]保温時の除去熱を超えた値となり、27～28 分では定格出力時と近似した除去熱となる。

(4) スープケトル

図 6.4.4 にスープケトルを使用した実調理時と模擬調理時の各出力設定における除去熱の関係を示す。豚汁調理の顕熱は、「肉炒め」「野菜炒め」調理の過程において次第に上昇し、22分頃には水温 90℃保温時に近似する値となる。その後、「煮込み」調理では水を注入するため除去熱は一時的に低下するものの、調理終了 15分前頃には再度水温 90℃保温時に近似した除去熱となり、その後も上昇し 62分以降は定格出力時に近似した値となる。除去潜熱は、値は異なるものの変動傾向は除去顕熱と同様であり、「野菜炒め」調理の後半に水温 90℃保温時と同等の除去熱を示す。そして、水を注入すると除去潜熱は低下し、その後「煮込み」調理の継続に伴い調理終了直前には定格出力時の除去熱に近似した値となる。豚汁調理の除去熱についても、金平ゴボウ調理と同様に定格出力時の値を超える時間帯がみられるが、定格出力に対して十分に小さい値であり、超える時間も短時間であることから想定熱除去率の過大評価によって温熱環境に及ぶ影響は小さいと考えられる。

6.4.2 実調理時における想定熱除去率の算定

本項では、前掲図 6.4.1～図 6.4.4 に基づき、水温 90℃保温時の除去熱を超過する時間の全調理工程に要する時間に対する比率を超過比率とし、超過比率と模擬調理時の各出力設定における熱除去率から実調理時に想定される熱除去率を算定する。

表 6.4.1 に水温 90℃保温時の除去熱を超える時間を計数した値と、全調理工程に要する時間に対する比率を示す。ティルパンによる金平ゴボウ調理では、顕熱、潜熱のいずれにおいても、調理時間の 50%～60%が水温 90℃保温時の発生熱を超過している。これは、対象とする調理物が熱の通りにくい食材を使用し、高出力で継続的に調理を行うためと考えられる。IH レンジによるチキンフリカッセ調理は、顕熱、潜熱のいずれの超過比率においても 0.3 程度となっている。顕熱は、調理の後半に調理物が高温となることによって超過したものであり、潜熱は前半の「炒め」時の継続的な超過と、調理終了直前の数分間に超過したものと考えられる。IH レンジによる焼き飯調理では、顕熱は超過しないが、潜熱は調理時間の 30%程度超過する。スープケトルによる豚汁調理、IH 回転釜による八宝菜調理、豚汁調理は、いずれも調理時間が比較的長く、顕熱、潜熱の超過比率は 0.2 以下と低い値を示す。

除去熱の超過割合に基づき、各出力設定における熱除去率を重み平均し、実調理時に想定される熱除去率を算定した。なお、ここで算定する想定熱除去率は、定格出力時の発生熱を基準とした値であり、前掲表 2.3.1 に示す発生熱原単位と定格出力を乗じることで排気フードによる除去熱を算定することが可能となる。想定熱除去率の算定式を式(9)に示す。

表 6.4.1 各実調理実験における除去熱の超過時間および超過比率

供試機器	調理内容	項目	顕熱	潜熱	全熱
IHレンジ	焼き飯	調理時間	1,020 秒		
		除去熱量超過時間	0 秒	300 秒	190 秒
		超過比率	0.00	0.29	0.19
	チキンフリカッセ	調理時間	1,370 秒		
		除去熱量超過時間	380 秒	460 秒	395 秒
		超過比率	0.28	0.34	0.29
IH回転釜	八宝菜	調理時間	3,250 秒		
		除去熱量超過時間	245 秒	435 秒	435 秒
		超過比率	0.08	0.13	0.13
	豚汁	調理時間	4,580 秒		
		除去熱量超過時間	345 秒	295 秒	295 秒
		超過比率	0.08	0.06	0.06
ティルパン	金平ゴボウ	調理時間	1,990 秒		
		除去熱量超過時間	1030 秒	1130 秒	1130 秒
		超過比率	0.52	0.57	0.57
スープケトル	豚汁	調理時間	4,170 秒		
		除去熱量超過時間	700 秒	310 秒	320 秒
		超過比率	0.17	0.07	0.08

【式】

$$R_{COOK} = 1 - \{(1 - R_{MAX}) \times T + (1 - R_{90}) \times (1 - T) \times HLR\} \quad \dots(9)$$

【記号】

 R_{COOK} : 想定熱除去率[ND] T : 超過比率[ND] R_{MAX} : 定格出力時の熱除去率[ND] HLR : 熱負荷比率[ND] R_{90} : 水温 90℃保温時の熱除去率[ND]

表 6.4.2 各調理における想定熱除去率

調理機器	調理内容	顕熱 [%]	潜熱 [%]	全熱 [%]
IHレンジ	焼き飯	100	93	95
	チキンフリカッセ	73	87	83
IH回転釜	八宝菜	88	92	91
	豚汁	88	93	92
ティルパン	金平ゴボウ	72	90	88
スープケトル	豚汁	95	99	98

ここで、超過比率が低く、一時的ではあるが実調理における除去熱が定格出力時の除去熱と近似するような経時変化を示す調理の場合、高発熱時の熱除去率は模擬調理実験における定格出力時の値近くまで低下するため、想定熱除去率を用いて算定される除去熱は、実際に除去される熱よりも多く見積もる可能性がある。しかし、超過比率の低い調理では調理時間のほとんどが水温 90℃保温時の除去熱に達しないため、1 品目の調理時間のほとんどは想定熱除去率よりも高い熱除去率を示す時間となることが期待される。これより、漏出する熱が室内に拡散して空調負荷となるまでの時間遅れを考慮するなら、1 品目の調理において想定される熱除去率と捉えて除去熱を算定しても、温熱環境が著しく悪化する可能性は低いと考えられる。

式(9)を用いて各実調理実験における想定熱除去率を算定した。結果を表 6.4.2 に示す。「炒め」調理である IH レンジによる焼き飯調理の想定顕熱除去率は、ほぼ 100[%]となる。これは、IH レンジを使用した「炒め」調理の場合、フライパンの底部のみが加熱されるため、ガスレンジによる「炒め」調理のようにフライパンを振ることはほとんどなく、調理物とフライパンが常時接するように調理されるためである。これより、調理物に対して効率的に熱が伝達するため周囲に拡散する顕熱は小さくなり、想定熱除去率は水温 90℃保温時における熱除去率とほぼ同等の値を示すものと考えられる。潜熱は、調理物に付着した水分が食材投入時に蒸発することで発生し、一時的に排気フードから漏出する熱はみられるものの、想定熱除去率は 93[%]と高い値を示す。一方、同様の「炒め」調理であるティルパンによる金平ゴボウ調理では、想定顕熱除去率が 72[%]となる。これは、調理後半において、熱源部分の温度が高温となった場合に、模擬調理では水と接触していた熱源部分が空気と接触し、発生顕熱が大きくなるためである。潜熱は、食材投入時、および食材の内部に含まれる水分の蒸発によって発生し、排気フードから一時的に漏出するが、想定熱除去率は 90[%]と高い値を示す。

「煮込み」調理であるスープケトルによる豚汁調理、IH 回転釜による八宝菜・豚汁調理の想定顕熱・潜熱除去率は、いずれも 85[%]以上の高い値を示す。「煮込み」調理の場合、熱の通りにくい食材から投入し、熱がある程度通った時点で順次食材を投入し、すべての食材に熱が通った時点で水を注入する。そのため、発生熱量が比較的大きくなるのは、食材投入時の潜熱、および調理終了直前に調理物が高温になったときに発生する顕熱、潜熱のみである。特にスープケトルは、間接的に熱を投入するため、熱源部分の温度が設定温度以上にならず、発生顕熱、および食材投入時の発生潜熱は小さくなる。これより、IH 回転釜と同量の豚汁調理を行っても、想定熱除去率は IH 回転釜

による調理より高い値を示す。

「炒め」と「煮込み」の両工程を行うチキンフリカッセ調理では、「炒め」調理の継続による顕熱の超過がみられ、想定顕熱除去率は約 73[%]となる。また、調理物投入時、および調理終了直前の高温状態において潜熱が超過し、想定潜熱除去率は 87[%]程度となる。

以上のことから、「炒め」「煮込み」などの調理工程により、発生する顕熱、潜熱の特性は変化し、想定熱除去率に影響を及ぼす。しかし、本実験においてはいずれの調理においても、水温 90[°C]保温時の除去熱を超過する状態は長期的な継続性を持たず、それらを考慮して算出される想定全熱除去率はいずれも 80[%]以上と高い値を示すことがわかった。

6.5 結語

本章では、模擬調理時における除去熱に対する実調理における除去熱の位置づけを明らかにし、模擬調理時の熱除去率に基づいた実調理時の想定熱除去率の算定方法を示した。これにより、限られた条件下において示した知見ではあるが、厨房の空調負荷を予測するにあたり、ひとつの有用な手法を提案するものであると考える。

実調理時に想定される熱除去率の算定にあたり、代表的な『開放型調理機器』の模擬調理時における除去熱、および熱除去率を明らかにした。

各供試機器を使用した実調理の調理工程と除去熱の関係を明らかにした。実調理における除去熱は、水温 90[°C]保温時よりも小さい値を示す時間帯が多いものの、調理の終了直前などにおいては、定格出力時に近似する値を示すものもみられる。これより、実調理時における除去熱は、調理工程による変動が著しく、実調理における除去熱を模擬調理における定格出力時、あるいは水温 90[°C]保温時のいずれかに分類することは難しいことを示した。

実調理時の除去熱が水温 90[°C]保温時の除去熱を超過する時間を計数し、全調理時間に対する超過時間の比率を算定した。本章で行った実調理実験では、超過比率の低い調理が多く、実際の調理における発生熱は、調理時間の大部分において水温 90[°C]保温状態よりも低い値を示すことが示唆された。

模擬調理において算定した定格出力時、および水温 90[°C]保温時の熱除去率を超過比率で重み平均し、実調理時に想定される熱除去率を算出した。本実験では、いずれの調理においても、定格出力時の発生熱を基準とした想定全熱除去率は 80[%]以上の高い値となることを把握した。

本章では、電化厨房における空調負荷算定に供する知見を得ることを目的として想定熱除去率を求めた。想定熱除去率は、排気フードから室空間へ漏出する熱を空調負荷とするなら、実調理時の除去熱は想定熱除去率を用いて予測することも可能であるとの考えから提案したものである。そのため、想定熱除去率によって算定される値は、厳密には実際に排気フードから除去される熱と一致しない。漏出する熱を空調負荷として計算するとき一品目の調理時間を単位時間として考えた場合に成立する。これより、本章の知見は、業務用電化厨房機器から発生する熱を厨房内の空調負荷として把握する場合のひとつの考え方を提案するものである。

【参考文献】

- 1) 熊尾隆丈, 村川三郎: 業務用電化厨房の空調負荷算定に供する調理時発生熱量の予測, 日本建築学会環境系論文集 第 624 号, pp.167-174, 2008.2

- 2) 百瀬敏成, 佐藤隆二, 山中俊夫, 甲谷寿史: 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 第560号, pp.15-22, 2002.10
- 3) 荻田俊輔, 近藤靖史, 吉野一, 小山光彦, 藤田美和子: 業務用電化厨房における油煙の移流・拡散性状に関する研究 その1—調理機器からの油煙の粒度分布と油煙発生方法の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.627-630, 2006.9
- 4) 光田恵: 厨房排気の臭気特性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.947-948, 2002.8
- 5) 西名大作, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 近都州彦, 植村義幸: 全電化学校給食施設における厨房機器の使われ方とエネルギー消費量の解析, 空気調和・衛生工学会論文集 No.112, pp.1-11, 2006.7
- 6) 梅主洋一郎, 小峯裕己, 若原一行, 石黒邦道: 業務用電化厨房における温熱・空調環境に関する実験研究 その1 電磁調理器と電気レンジの厨房器具の違いによる環境の差異について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国) D-2, pp.579-580, 1990.9

—第7章—

モデルプランにおける空調・換気設備設計 シミュレーション

- 7.1 序
 - 7.2 モデルプランおよび機器稼働スケジュールの設定
 - 7.3 空調・換気設備機器容量の設計
 - 7.4 CFD 解析による機器周辺における温熱環境の検討
 - 7.5 換気システムの適正化による省エネルギー性の検討
 - 7.6 結語
-

7.1 序

本研究では、前章までに電化厨房機器に対する適正排気量、および効果的な排気方式等について検討を行ってきた。これより、電化厨房機器単体では、従来の燃焼式厨房機器と比較して排気量を低減することが可能であり、空調負荷の低減可能性を見出した。しかし、実際の厨房空間では多様な機器が混在し、複数台の機器が密集して配置され、隣接する機器からの発熱や熱上昇流の干渉による影響が生じるものと考えられる。これより、機器単体を対象として得られた知見に基づいて、異機種、複数台の厨房機器が設置された空間における適応性を検討しておく必要がある。そこで本章では、実際の厨房空間を模擬したモデルプランを対象として、異種の機器が複数台混在する空間における適正排気量の妥当性を、CFD解析による厨房空間に形成される温熱環境のシミュレーションから検討する。そして、電化厨房において換気システムの適正化を行うことによる省エネルギー効果について示し、本研究で示す換気設計手法の有用性を明らかにする。

7.2 モデルプランおよび機器稼動スケジュールの設定

本節では、本章で検討するモデルプランの概要、および機器稼動スケジュールと発熱条件の設定方法について述べる。また、これらの設定条件に基づいて行うCFD解析の概要について述べる。

7.2.1 モデルプランの概要

本章で検討するモデルプランを図7.2.1に示す。モデルプランは、約500食を供給する電化厨房において、加熱調理機器の配置されている領域を一つの室とみなし、空調・換気設備を計画したものである。なお、厨房空間のサイズは7,000×10,000×3,200[mm]である。

モデルプラン1の換気システムは、すべての調理機器に排気フードを設置したプランである。複数台の機器が配置されているエリアA・Cでは、1つの排気フードがすべての加熱調理機器を覆うように（連続フード）設置した。また、排気はエリアA・B・Cとは別に天井面に2箇所の天井排気口を設置している。これは、排気フードから漏出した熱などを排出することを目的としたもので

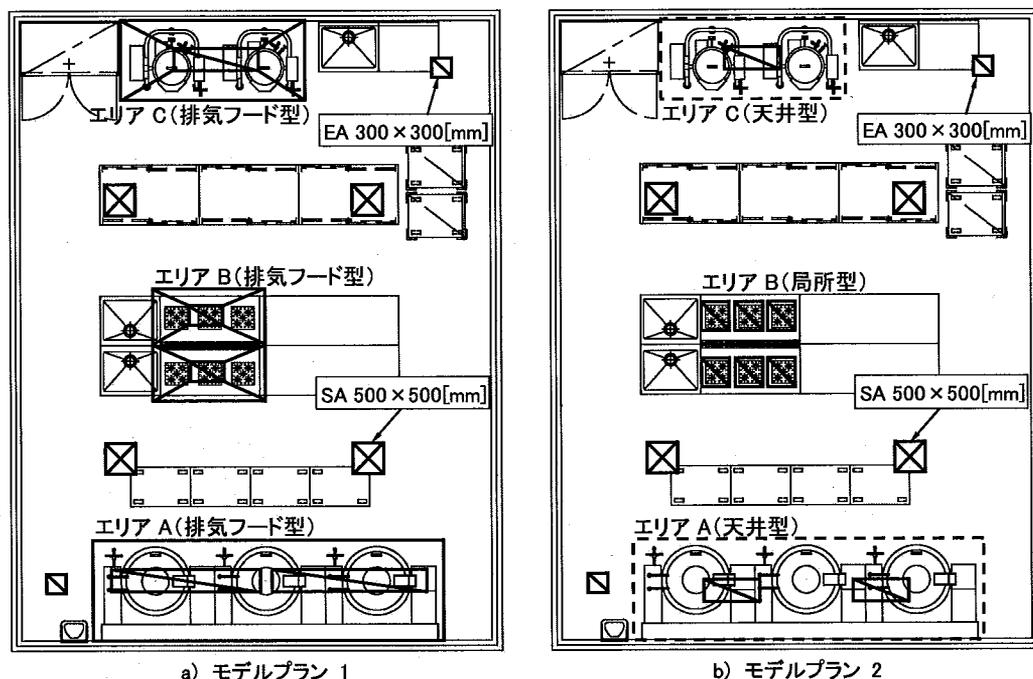


図 7.2.1 モデルプランの平面図

表 7.2.1 設置機器の概要

エリア	機器名称	型番	機器容量 [kW]	発熱条件			排気方式	
				調理内容	状態	分量	プラン1	プラン2
A	IH回転釜	MIAR-100L	15	八宝菜	常温	300食	排気フード型	天井型
B	IHレンジ	MIR-1055S	15	焼き飯	常温	9食分, 3回	排気フード型	頂部型
				チキンフリカッセ	常温	8kg		
C	スープケトル	NSK-115N	19	豚汁	常温	300食	排気フード型	天井型

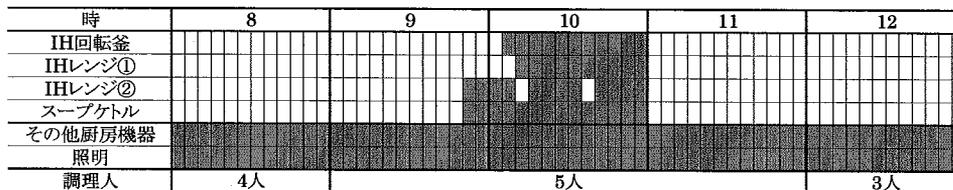


図 7.2.2 設置機器の稼働スケジュール

ある。給気は、天井面に 4 箇所の吹出口を設置し、排気量と同量の給気を行うオールフレッシュ方式の空調・換気システムとしている。

モデルプラン 2 では、エリア A・C を天井型排気方式とし、エリア B を頂部型局所排気方式としたプランである。天井型排気方式は、機器サイズが大きく、比較的高発熱の継続時間が短い調理を扱う IH 回転釜、およびスープケトルの排熱を効率的に行うことを目的として設定している。排気装置としては、天井面を折上げ、周囲の天井よりも一段高い排気口空間を確保し、排気口空間の中央付近から排気を行っている。また、頂部型局所排気方式は、機器サイズの小さい IH レンジからの発生熱を効率的に排出することを目的として設定している。排気装置としては、熱源部分と同等の大きさの排気口を鍋上端から上方 450[mm]に設置している。表 7.2.1 に各エリアの設置機器概要および発熱条件を示す。いずれの機器も前掲表 2.2.2 から選定し、発熱条件は同表における実調理実験の調理内容からそれぞれ 1 品目を選定し、各調理における発熱を設定している。

7.2.2 機器稼働スケジュールの設定

各エリアに設置されている機器の稼働は図 7.2.2 のスケジュールで稼働することとする。喫食時間は 12 時と想定し、その時間に合わせてすべての調理が 11 時に終了するように設定した。消毒保管庫や冷蔵庫など常時稼働する機器をその他機器とし、発熱は 30[W/m²]とした。照明は 8~13 時まで常時点灯していることとし、発熱は 20[W/m²]とした。調理人は、加熱調理機器が稼働する前後 1 時間程度を 5 人とし、調理の準備にかかる 8~9 時は 4 人、後片付けを行う 12 時以降は 3 人にそれぞれ設定した。表 7.2.2 各調理機器における時間帯別の発熱設定を示す。各機器からの発熱設定は、実調理時における発生熱を 5 分間平均して算出している。なお、IH レンジ②による焼き飯調理では、調理時間が短く、調理食数も少ないことから 9 食 (1 口あたり 3 食) の調理を 3 回行う設定とした。いずれの調理においても、調理終了直前に最大負荷となるため、10:50~11:00 の発生熱は顕著に大きくなる。

7.2.3 CFD 解析の概要

図 7.2.3 に各モデルプランの解析形状を示す。モデルプラン 1 における排気フードは、深さを 700[mm]とし、いずれも厨房機器上端から上方 1,000[mm]の位置が排気フードの下端となるように設置している。モデルプラン 2 における天井型排気装置は、天井を 200[mm]折上げ、その排気口空間内に排気口を設置している。頂部排気口は、鍋上端から上方 450[mm]の位置が排気口の下端となるように設定した。なお、排気口にはグリースフィルターを設置し、そのサイズは市販の 300×

表 7.2.2 各機器における時間帯別の発熱設定

経過時間 [min.]	供試機器名称	調理内容	発生顕熱 [W]	発生潜熱 [W]	発生全熱 [W]	供試機器名称	調理内容	発生顕熱 [W]	発生潜熱 [W]	発生全熱 [W]
9:45	IH回転釜	八宝菜 300食	0	0	0	IHレンジ②	焼き飯 9食, 3回	0	0	0
9:50			0	0	0			1,421	2,285	3,706
9:55			0	0	0			1,601	1,785	3,386
10:00			0	0	0			1,988	1,992	3,980
10:05			36	80	116			1,802	1,491	3,293
10:10			314	1,141	1,455			0	0	0
10:15			346	1,791	2,137			1,421	2,285	3,706
10:20			338	1,339	1,678			1,601	1,785	3,386
10:25			289	896	1,184			1,988	1,992	3,980
10:30			331	1,399	1,729			1,802	1,491	3,293
10:35			412	2,621	3,033			0	0	0
10:40			446	3,311	3,758			1,421	2,285	3,706
10:45	528	4,172	4,700	1,601	1,785	3,386				
10:50	669	8,318	8,987	1,988	1,992	3,980				
10:55	828	10,937	11,765	1,802	1,491	3,293				
11:00	0	0	0	0	0	0				
11:05	0	0	0	0	0	0				
9:45	IHレンジ①	チキンブリ カッセ 8 kg	0	0	0	スープケトル	豚汁 300食	0	0	0
9:50			0	0	0			51	32	83
9:55			0	0	0			206	512	718
10:00			0	0	0			358	597	955
10:05			0	0	0			509	1,188	1,696
10:10			0	0	0			611	1,800	2,411
10:15			323	997	1,320			472	283	754
10:20			449	1,831	2,280			396	229	625
10:25			694	1,146	1,840			399	335	735
10:30			647	1,104	1,751			436	434	870
10:35			599	1,438	2,038			488	714	1,202
10:40			778	1,645	2,423			553	1,300	1,853
10:45	718	1,937	2,655	632	1,596	2,229				
10:50	861	2,032	2,893	705	3,012	3,716				
10:55	622	1,805	2,427	856	4,877	5,733				
11:00	0	0	0	0	0	0				
11:05	0	0	0	0	0	0				

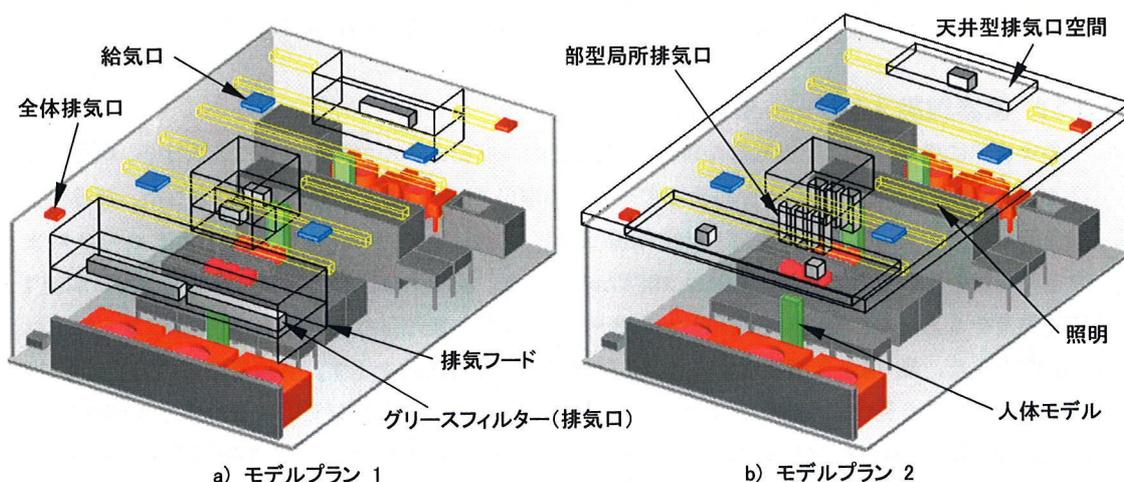


図 7.2.3 各モデルプランの解析形状

300[mm]、あるいは500×300[mm]に従い、それぞれの排気口における面風速が大きく異ならないように設定した。いずれのモデルプランにおいても、各調理機器の手前500[mm]に人体モデルを設定し、調理人に対する熱的影響を把握する。

表 7.2.3 に解析条件を示す。給気口は、いずれも500×500[mm]とし、給気量に応じた吹出し風速を設定した。また、全体排気口は300×300[mm]とし、いずれのモデルプランにおいても同量の排気を行っている。各エリアの排気は、グリースフィルターの捕集率が高くなる面風速1.0~1.5[m/s]の範囲となるように排気口面積を決定し、各排気量に応じた排気風速を設定した。発生条件は、前

表 7.2.3 解析条件

解析ソフト	STREAM for Windows V6	
解析領域	7.0 m(X) × 10.0 m(Y) × 3.2 m(Z)	
解析要素数	モデルプラン 1	モデルプラン 2
	128(X) × 161(Y) × 56(Z) = 1,154,048	129(X) × 168(Y) × 61(Z) = 1,321,992
乱流モデル	標準k-εモデル	
流入条件	$V_{in} = 5.00 \text{ m/s}$, $\theta_{in} = 24.2 \text{ }^\circ\text{C}$, $X_{in} = 0.01 \text{ kg/kg(DA)}$	$V_{in} = 1.44 \text{ m/s}$, $\theta_{in} = 24.1 \text{ }^\circ\text{C}$, $X_{in} = 0.01 \text{ kg/kg(DA)}$
	$k_{in} = 2.500\text{E-}01 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $e_{in} = 3.081\text{E-}02 \text{ m}^2/\text{s}^3$	$k_{in} = 2.085\text{E-}02 \text{ m}^2/\text{s}^2$, $e_{in} = 7.421\text{E-}04 \text{ m}^2/\text{s}^3$
流出条件	$V_{Aout} = 1.06 \text{ m/s}$, $V_{Bout} = 1.39 \text{ m/s}$, $V_{Cout} = 1.20 \text{ m/s}$, $V_{out} = 2.47 \text{ m/s}$	$V_{Aout} = 1.08 \text{ m/s}$, $V_{Bout} = 0.51 \text{ m/s}$, $V_{Cout} = 1.11 \text{ m/s}$, $V_{out} = 2.47 \text{ m/s}$
	no-slip	
発生条件	IH回転釜	発生顕熱: 828 W , 発生水分: 0.00605 g/m ² ·s
	IHレンジ①	発生顕熱: 622 W , 発生水分: 0.00802 g/m ² ·s
	IHレンジ②	発生顕熱: 1,802 W , 発生水分: 0.00662 g/m ² ·s
	スूपケトル	発生顕熱: 856 W , 発生水分: 0.0069 g/m ² ·s
	その他機器	発生顕熱: 30 W/m ²
	照明	発生顕熱: 20 W/m ²
放射	放射対流連成計算(壁, 鍋の放射率: 0.3)	
移流項精度	QUICK	
記号	V: 流速, θ : 温度, X: 絶対湿度, k: 乱流エネルギー, e: 乱流散逸率	
添え字	in: 給気, Aout: エリアA排気, Bout: エリアB排気, Cout: エリアC排気, out: 全体排気	

掲表 7.2.2 の 10:55～11:00 の値に対応させて設定した。なお、発生水分は発生潜熱から発生水分量を算出し、単位時間、単位面積あたりの発生量として設定している。その他機器、照明の発生顕熱は、単位床面積あたりの発生顕熱をそれぞれ 30[W/m²]、20[W/m²]として、発熱を均等に設定している。解析は、対流と放射を連成させて行い、放射影響を考慮した厨房内温度分布の形成、および人体モデルに対する放射熱の影響を考慮する。

7.3 空調・換気設備機器容量の設計

本節では、第3章において提案した電化厨房機器に対する適正排気量に基づき、2つのプランにおける必要換気量を算定し、空調・換気設備の機器容量決定を行う際の空調負荷を算定する。

7.3.1 必要換気量の算定

電化厨房機器に対する必要換気量は、国土交通省監修の建築設備設計基準(平成18年度版 pp.386-389)において式(10)、および式(11)で算出する換気量の大きい方を採用することとなっている。これより、排気フードや頂部排気口を有するものには式(10)、および式(11)で算出される必要換気量の大きい方を決定排気量とし、天井型排気装置を有するものには式(10)の必要換気量を採用することとした。なお、いずれのプランにおいても、加熱機器に対する局所排気に加え、全体換気として7[回/h]の排気を行っている。これは、前章までの一連の実験において、排気量 30Q に対して EA2、EA3 から行っている排気が7[回/h]の換気に相当することから採用している。

表 7.3.1 に各モデルプランにおける必要換気量の算定結果を示す。プラン 1 では、すべての加熱調理機器に排気フードを設置し、複数台の機器が設置されているエリアについては連続フードを採

【式】

$$V_1 \geq e \cdot Q \quad \dots(10)$$

$$V_2 \geq 3,600 \cdot v \cdot A \quad \dots(11)$$

【記号】

V_1 : 定格出力による必要換気量[m ³ /h]	Q : 機器定格出力[kW]
V_2 : フード面風速による必要換気量[m ³ /h]	v : フード面風速[m/s] (=0.3)
e : 換気係数[m ³ /(h·kW)] (=30)	A : フード面積[m ²]

表 7.3.1 各モデルプランにおける必要換気量

プラン	エリア	設置機器	定格出力 [kW]	フード寸法 [mm]×[mm]	フード開口 面積 [m ²]	必要換気量		決定 換気量 [m ³ /h]	面速 [m/s]	給気量 [m ³ /h]	排気方式
						面速0.3 m/s [m ³ /h]	30Q [m ³ /h]				
1	A	IH回転釜	15	5,400×1,750	9.45	10,206	1,350	10,300	0.30	18,000	排気フード型
		IH回転釜	15								
		IH回転釜	15								
	B	IHレンジ	15	1,500×900	1.35	1,458	450	1,500	0.31	18,000	排気フード型
		IHレンジ	15	1,500×900	1.35	1,458	450	1,500	0.31		
	C	スूपケトル	19	2,800×1,000	2.80	3,024	1,140	3,100	0.31	18,000	排気フード型
		スूपケトル	19								
全体換気		7[回/h]換気				1,568	1,600	—		—	
2	A	IH回転釜	15	—	—	—	1,350	1,400	—	5,200	天井型
		IH回転釜	15								
		IH回転釜	15								
	B	IHレンジ	15	300×300×3	0.27	292	450	500	0.51	5,200	頂部型
		IHレンジ	15	300×300×3	0.27	292	450	500	0.51		
	C	スूपケトル	19	—	—	—	1,140	1,200	—	5,200	天井型
		スूपケトル	19								
全体換気		7[回/h]換気				1,568	1,600	—		—	

表 7.3.2 各設置機器からの発生熱

設置機器	台数 [台]	定格出力 [kW]	発生熱原単位			発生熱		
			顕熱 [W/kW]	潜熱 [W/kW]	全熱 [W/kW]	顕熱 [W]	潜熱 [W]	全熱 [W]
IH回転釜	3	15	129	910	1,039	5,805	40,950	46,755
IHレンジ	2	15	145	859	1,003	4,350	25,770	30,090
スूपケトル	2	19	27	367	394	1,026	13,946	14,972

表 7.3.3 各排気方式による除去熱および内部負荷

プラン	設置機器	排気方式	決定 排気量 [m ³ /h]	熱除去率		修正係数		除去熱		内部負荷(加熱機器)		
				顕熱 [%]	潜熱 [%]	顕熱 [ND]	潜熱 [ND]	顕熱 [W]	潜熱 [W]	顕熱 [W]	潜熱 [W]	全熱 [W]
1	IH回転釜	排気フード型	10,300	90	90	1.00	1.00	5,225	36,855	581	4,095	4,676
		IHレンジ	3,000	90	90	1.00	1.00	3,915	23,193	435	2,577	3,012
		スूपケトル	3,100	100	90	1.00	1.00	1,026	12,551	0	1,395	1,395
2	IH回転釜	天井型	1,400	59	84	0.98	0.88	3,356	30,270	2,449	10,680	13,128
		IHレンジ	1,000	50	75	0.80	1.32	1,740	25,512	2,610	258	2,868
		スूपケトル	1,200	100	88	0.98	0.88	1,005	10,800	21	3,146	3,167

用している。これより、設置する排気フードのサイズは大きくなり、いずれのエリアにおいても排気フードの面風速で規定される換気量が決定換気量となる。一方、プラン 2 では、天井型排気方式のエリア A・C は、機器定格出力による必要換気量が決定換気量となるため、プラン 1 と比べて非常に少ない換気量となる。エリア B では、頂部型局所排気方式を採用し、決定換気量は式(10)、および式(11)の大きい方で規定される。しかし、排気フードとは異なり排気口の面積が小さいため、決定排気量は式(10)によって算出される換気量の方が大きくなり、エリア B の換気量はプラン 1 と比べて 1/3 となる。また、プラン 2 における総換気量は、プラン 1 に対して 1/3 未満となり、適正換気量を設定することにより換気量は大幅に削減できることがわかる。

7.3.2 必要空調機器能力の算定

(1) 加熱調理機器による内部負荷の算定

表 7.3.2 に各設置機器からの発生熱を示す。各加熱調理機器からの発生熱は、前掲表 2.3.1 の調理帯 3 の熱負荷原単位に定格出力と台数を乗じて算出している。これは、空調機器の容量決定に際する空調負荷を算定することから、最大負荷時を想定しているためである。各設置機器からの発生熱に基づき、各排気方式による除去熱、および空調の内部負荷を算出した結果を表 7.3.3 に示す。プラン 1 における熱除去率は、決定排気量がフードの面風速により規定された換気量であるため、機器定格容量により規定された換気量である 30Q より高い値を示すと考えられる。そこで、前掲図 3.4.7 の面速 0.3[m/s]における顕熱・潜熱・全熱除去率が 90[%]を超えることから、熱除去率は 90[%]に設定した。なお、スूपケトルは、排気量 30Q において顕熱除去率が 100[%]となることから、そ

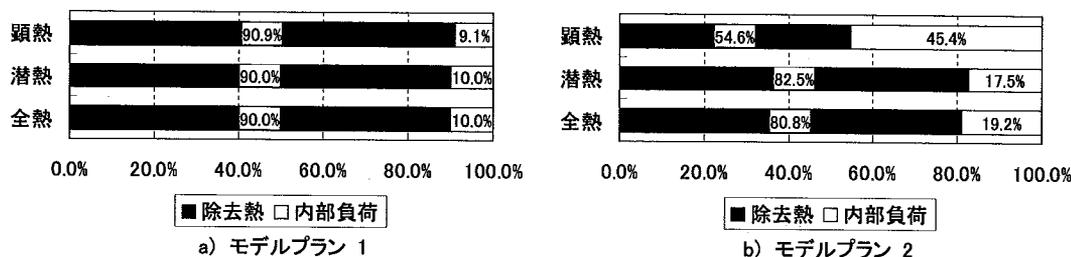


図 7.3.1 各モデルプランにおける除去熱と内部負荷の比率

の値を採用している。除去熱は、発生熱に熱除去率を乗じて算出しているが、前掲表 6.3.1 における熱除去率は排気フード型排気方式における値であることから、天井型排気方式、および頂部型局所排気方式の熱除去率には、さらに修正係数を乗じている。なお、修正係数は、排気量 30Q における天井型排気方式、あるいは頂部型局所排気方式の熱除去率を、排気フード型排気方式の熱除去率で除した値である。内部負荷は、発生熱から除去熱を減じた値であり、各排気装置から漏出した熱に相当する。

図 7.3.1 に各プランにおける除去熱と内部負荷の比率を示す。なお、図中の値は、すべての設置機器からの除去熱、および内部負荷を積算し、設置機器全体の発生熱に対する比率を示したものである。プラン 1 では、いずれの設置機器における熱除去率も 90[%]以上としていることから、顕熱、潜熱、全熱のいずれにおいても、発生熱のほぼ 90[%]が排気フードから除去され、内部負荷として周囲に拡散する熱は 10[%]程度となる。プラン 2 では、顕熱の除去率は 54.6[%]と低い値を示すものの、潜熱は 82.5[%]と高い値を示す。全熱の内部負荷は 20[%]未満であることから、設置機器の定格出力を積算した値の 20[%]程度を内部負荷と見込む計算となる。従来の熱負荷計算では、機器稼働率を 0.4~0.6 程度と見込み、機器定格出力の積算値を乗じて内部負荷を予測することが多かったことから、熱除去を考慮して内部負荷を適切に算定することにより、過大に設計されていた必要空調機器能力を削減できるものと考えられる。

(2) その他熱負荷の算定および総熱負荷の積算

表 7.3.4 に室内設計条件および外気条件を示す。なお、厨房内設定条件は、厚生労働省「大量調理施設衛生管理マニュアル」における室温 25[°C]以下、湿度 80[%RH]以下を満足する温熱環境として室温 25[°C]、湿度 70[%RH]に設定し、外気条件は、東京の 1991 年~2000 年における気象データの TAK 温度 (危険率 2.5[%]) を設定している。厨房内設定条件、および外気条件に基づき、各モデルプランにおける外気負荷を算定した。結果を表 7.3.5 に示す。プラン 1 の夏期における外気負荷は、顕熱、潜熱、全熱のいずれにおいてもプラン 2 の 3 倍以上の値となる。冬期は、湿度を成り行きとするため潜熱負荷は生じないが、プラン 1 の全熱負荷は夏期と同様にプラン 2 の 3 倍以上

表 7.3.4 室内設計条件および外気条件

期間	厨房内設定条件				外気条件		
	温度 [°C]	相対湿度 [%RH]	絶対湿度 [g/kg(DA)]	SET* [°C]	温度 [°C]	相対湿度 [%RH]	絶対湿度 [g/kg(DA)]
夏期	25	70	0.0139	28.9	34.4	56.4	0.0194
冬期	20	-	-	-	2	31.2	0.0014

表 7.3.5 外気負荷の算定結果

プラン	積算換気量 [m³/h]	期間	厨房内空気状態				外気状態					外気負荷			
			温度 [°C]	絶対湿度 [g/kg(DA)]	顕熱 [kJ/kg]	潜熱 [kJ/kg]	全熱 [kJ/kg]	温度 [°C]	絶対湿度 [g/kg(DA)]	顕熱 [kJ/kg]	潜熱 [kJ/kg]	全熱 [kJ/kg]	顕熱 [kW]	潜熱 [kW]	全熱 [kW]
1	18,000	夏期	25	0.0139	25.8	34.8	60.5	34.4	0.0194	35.8	48.5	84.3	60.2	82.5	142.7
		冬期	20	-	20.1	-	20.1	2.0	0.0014	2.0	-	2.0	-108.5	-	-108.5
2	5,200	夏期	25	0.0139	25.8	34.8	60.5	34.4	0.0194	35.8	48.5	84.3	17.4	23.8	41.2
		冬期	20	-	20.1	-	20.1	2.0	0.0014	2.0	-	2.0	-31.3	-	-31.3

表 7.3.6 必要空調機器能力の算定

	モデルプラン1						モデルプラン2					
	夏期			冬期			夏期			冬期		
	顕熱 [kW]	潜熱 [kW]	全熱 [kW]	顕熱 [kW]	潜熱 [kW]	全熱 [kW]	顕熱 [kW]	潜熱 [kW]	全熱 [kW]	顕熱 [kW]	潜熱 [kW]	全熱 [kW]
内部負荷(加熱機器)	1.0	8.1	9.1	—	—	—	5.1	14.1	19.2	—	—	—
内部負荷(その他機器)	2.1	—	2.1	—	—	—	2.1	—	2.1	—	—	—
内部負荷(人, 照明)	2.0	0.5	2.4	—	—	—	2.0	0.5	2.4	—	—	—
外気負荷	60.2	82.5	142.7	-108.5	—	-108.5	17.4	23.8	41.2	-31.3	—	-31.3
構造体負荷	0.8	—	0.8	-0.8	—	-0.8	0.8	—	0.8	-0.8	—	-0.8
計	66.1	91.0	157.2	-109.3	—	-109.3	27.4	38.4	65.8	-32.2	—	-32.2

<ul style="list-style-type: none"> ・ 内部負荷(加熱機器) IH回転釜、IHレンジ等の加熱調理機器からの発熱 $H_{main} = I_{emi} \times (1 - R)$ ・ 内部負荷(その他機器) 消毒保管庫や冷蔵庫等の加熱調理機器以外の厨房機器からの発熱 $H_{etc} = A_{floor} \times 30$ ・ 内部負荷(人, 照明) 人体、および照明からの発熱 $H_{huSH} = 117 \times J$, $H_{huLH} = 90 \times J$ $H_{lig} = A_{floor} \times 20$ ・ 構造体負荷 モデルプランの厨房は外気に接しない室と想定し、すべての壁面内外温度差を3[°C]とした。 また、熱貫流率はすべての壁面を、一律1.1[W/m²・°C]に設定している。 $H_{str} = A_{all} \times 1.1 \times 3$ 	<ul style="list-style-type: none"> H_{main} : 加熱調理機器による熱負荷[kW] H_{etc} : その他機器による熱負荷[kW] H_{huSH} : 人体による顕熱負荷[kW] H_{huLH} : 人体による潜熱負荷[kW] H_{lig} : 照明による熱負荷[kW] H_{str} : 構造体負荷[kW] I_{emi} : 加熱調理機器からの発生熱[kW] R : 熱除去率[-] A_{floor} : 床面積[m²] J : 調理人の数[人] A_{all} : 厨房内表面積[m²]
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

の値となる。厨房換気では、排気に要する空気を新鮮空気として外気、あるいは空気調和した外気の導入が必要となる。ここで、厨房空間の温熱環境を考慮するならば、空気調和した外気を導入することが望ましい。これより、換気設計において過大な換気量を設定した場合、外気負荷の増加につながるため、適切な換気量の設定は外気処理に要するエネルギーの削減となる。

表 7.3.6 に必要空調機器能力の算定結果を示す。なお、各熱負荷は表の下段に示す式に基づいて算定しており、全熱の合計値が各プランの各期における必要空調機器能力に相当する。夏期における加熱調理機器の熱負荷は、熱除去率の違いによりプラン 2 の値がプラン 1 に比べて高い値を示す。しかし、外気負荷は換気量の多いプラン 1 が顕著に高い値を示し、必要空調機器能力で比較するならば、プラン 2 はプラン 1 の 1/2 以下の値となる。冬期では、設計上、危険側の設計となってしまうことから内部負荷は積算しないため、夏期に比べて外気負荷による差異が顕著となり、プラン 2 の必要空調機器能力はプラン 1 の 1/3 程度となる。

7.4 CFD 解析による機器周辺における温熱環境の検討

本節では、前節において設計した各モデルプランにおける空調・換気設備に応じた境界条件を設定し、CFD 解析に基づくシミュレーションから夏期における厨房内温熱環境の検討を行う。

7.4.1 厨房内の温度分布

図 7.4.1 に各モデルプランにおける平面温度分布を示す。プラン 1 の F.L.+1,000[mm]における平面温度分布は、厨房機器の近傍において温度の高くなる領域はみられるものの、厨房内の温度は概ね 24~25[°C]となっている。F.L.+2,000、3,000[mm]と高くなるに従って 25[°C]を超える領域が広がることから、排気フードより漏出した熱上昇流が拡散していると考えられる。しかしながら、厨房内の上下温度分布はほとんどの領域において 1[°C]程度である。これは、給気による吹出し風速が大きいため、厨房内の空気が攪拌され、ほぼ均一な温度環境が形成されているものと考えられる。プラン 2 における F.L.+1,000[mm]の平面温度分布は、プラン 1 と比べて若干高い値を示すものの、厨房機器近傍を除く作業領域は、概ね 26[°C]の温度環境が保持されている。温度は、高度が高くなるに従い上昇していることから、漏出した熱上昇流は、天井近傍に滞留していることがわかる。こ

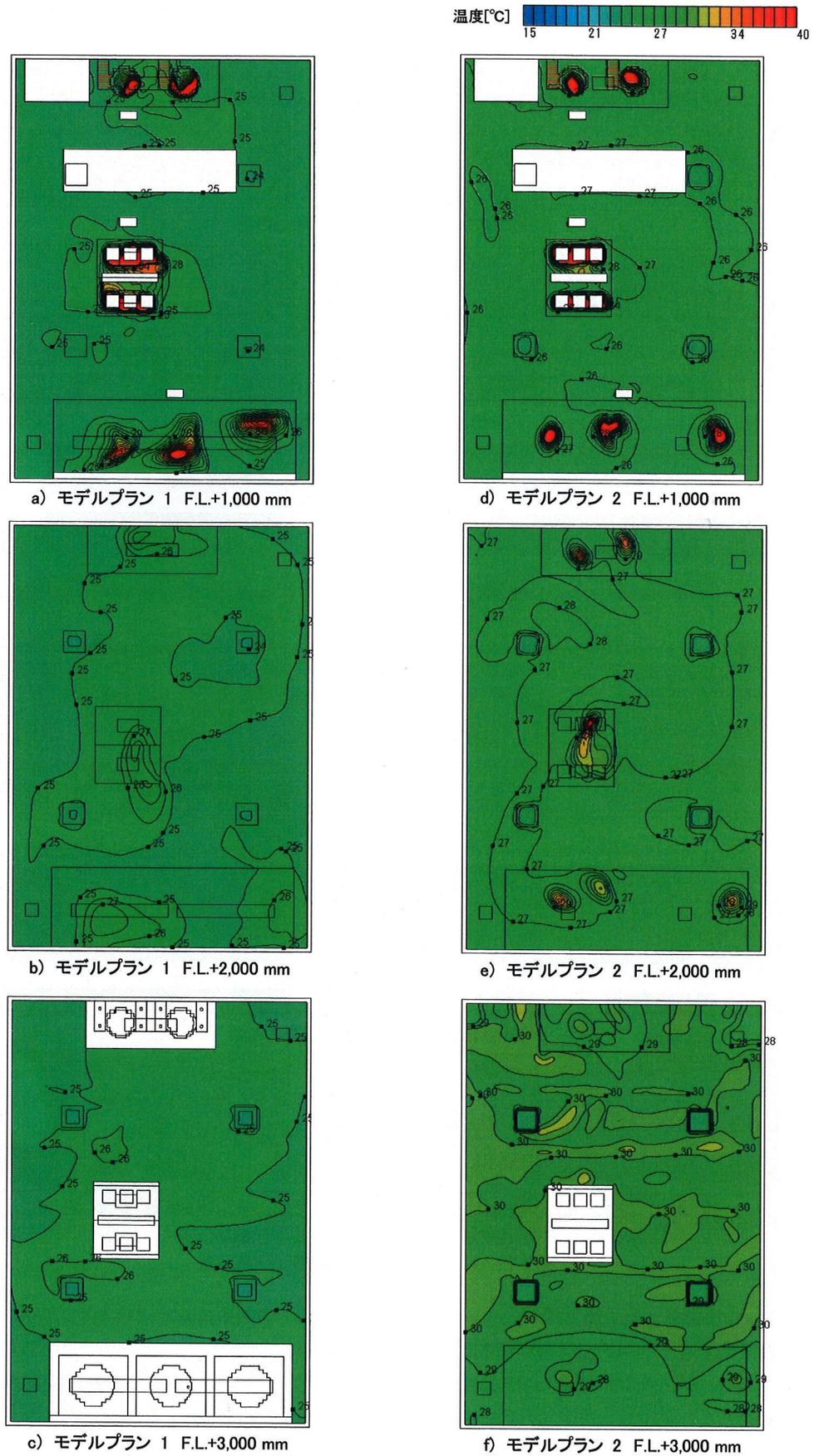


図 7.4.1 各モデルプランにおける平面温度分布

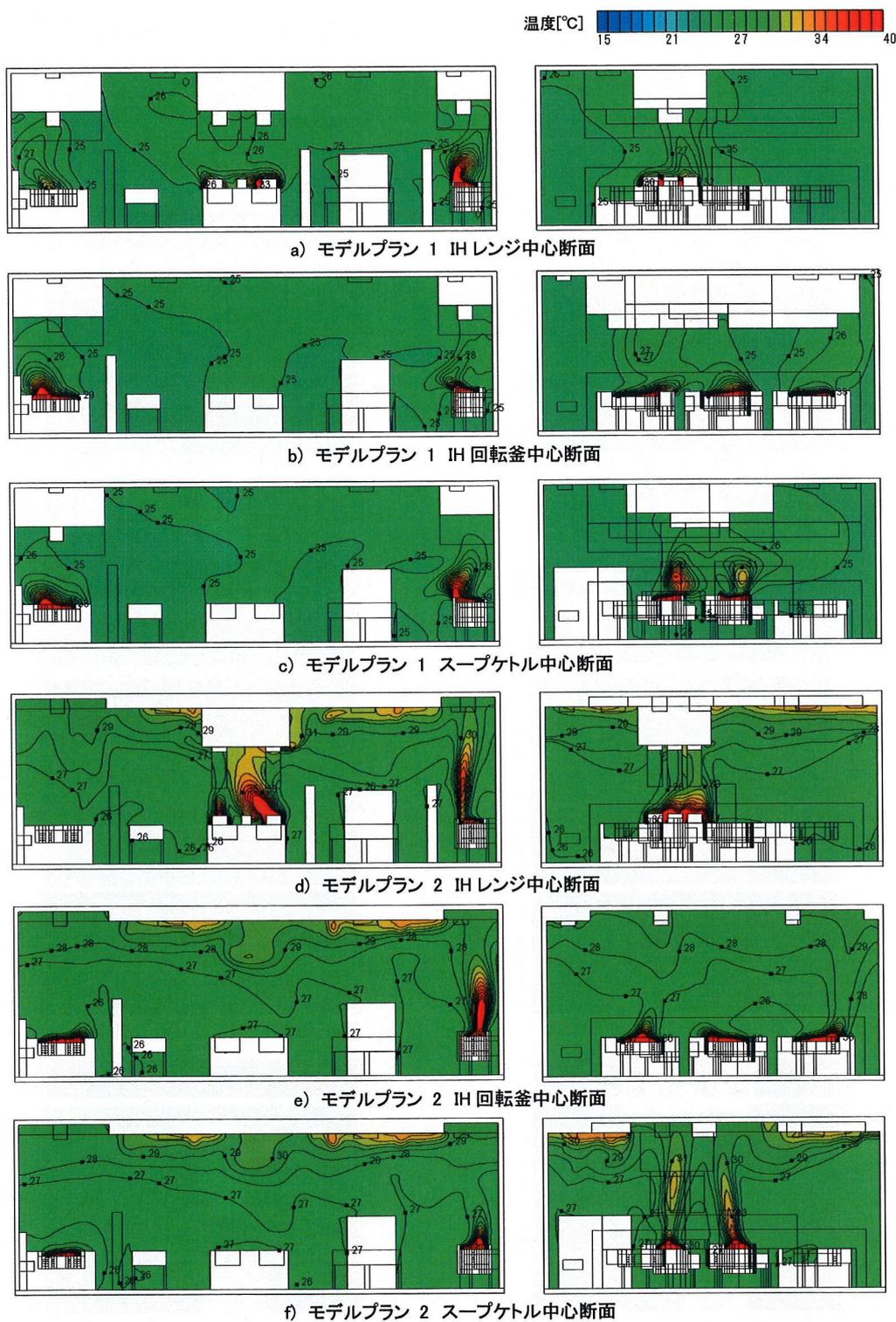


図 7.4.2 各モデルプランにおける断面温度分布

れより、高温空気を室上層に滞留させ、作業領域となる F.L.+2,000[mm]以下においては良好な温度環境を保持する、効率的な空調がなされているといえる。

図 7.4.2 に各モデルプランにおける断面温度分布を示す。プラン 1 における断面温度分布では、厨房機器からの熱上昇流は上方への拡散が小さく、傾いて形成されているのがみられる。これは、空調吹出しによる影響であり、熱上昇流が排気フードに捕集されるまでの上昇過程において空調空

気が吹きつけ、排気フードで捕集される前に空調負荷として処理されている。一方、プラン 2 では、若干空調吹出しの影響によって熱上昇流に傾きはみられるものの、熱上昇流は比較的速やかに室上方へ流れている。これより、天井型排気装置や頂部排気口から漏出した熱上昇流は室上層に滞留し、2 次除去として天井型排気装置や全体排気口から排出されている。空調吹出しの風速が小さいことから、室上層に滞留した熱の吹下ろしによる影響は小さく、厨房内は空気の密度差による温度成層が形成されている。

7.4.2 厨房内の湿度分布

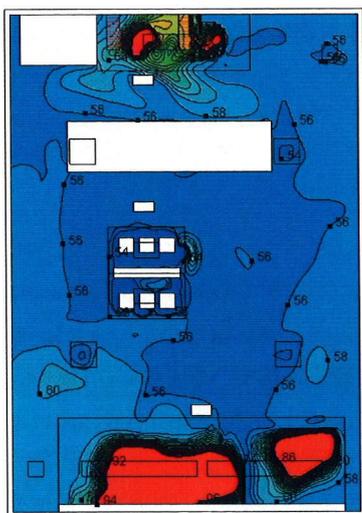
図 7.4.3 に各モデルプランにおける平面湿度分布を示す。プラン 1 の F.L.+1,000[mm]における平面湿度分布は、厨房機器の近傍のみ高い値を示し、水平方向への拡散は小さい。F.L.+2,000[mm]では、IH 回転釜から発生する水蒸気はほぼ排気フードに捕集されているものの、IH レンジおよび電気スूपケトルから発生する水蒸気は漏出している。これは、温度分布の形成においてもみられたように、空調吹出しの影響によって熱上昇流が傾いて形成されたためと考えられる。しかし、F.L.+3,000[mm]においては、漏出した熱上昇流による湿度上昇は小さい。これは、換気量が多いことから厨房内の空気循環量が多く、空調によって拡散した水蒸気が処理されているためである。プラン 2 では、IH レンジおよび電気スूपケトルについては、機器近傍のみ湿度は上昇しているが、IH 回転釜については機器から発生した水蒸気が拡散し、F.L.+1,000、F.L.+2,000[mm]のいずれにおいても湿度の上昇した空気が水平方向へ広がっている。しかし、相対湿度の上昇値は 10 ポイント程度に留まる。F.L.+2,000[mm]の湿度分布は F.L.+1,000[mm]と比べて高湿領域が広がり、F.L.+3,000[mm]では IH 回転釜上方の空間は飽和状態に近似した空気が滞留している。これより、厨房空間の上方には排気されずに滞留している高湿空気がみられるものの、作業領域に及ぼす影響は小さいことがわかる。

図 7.4.4 に各モデルプランにおける断面湿度分布を示す。プラン 1 における断面湿度分布では、IH 回転釜上方の高湿空気は効果的に除去されているが、IH レンジおよび電気スूपケトルから発生する水蒸気は、空調吹出しの影響により排気フードから漏出している。漏出した水蒸気は厨房内に拡散するが、空調空気によって処理され、作業領域に及ぼす影響は小さい。プラン 2 では、IH 回転釜上方における高湿領域の形成が顕著となる。また、IH レンジおよび電気スूपケトルから発生する水蒸気は、概ね排気されるものの、一部は漏出し水平方向へ広がっている。プラン 1 と比較して水蒸気の漏出は増加するが、温度成層の形成によって発生水蒸気は室上層に滞留し、作業領域に対する影響は小さくなっている。

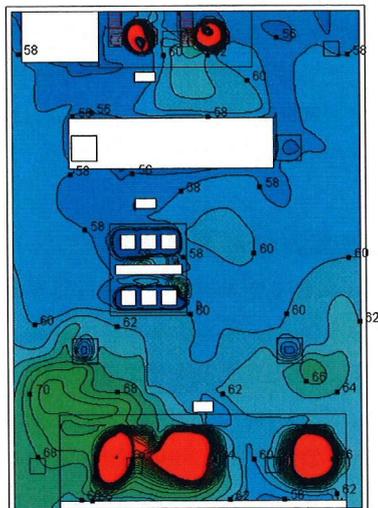
本解析においては、調理時の最大熱負荷を想定しているため、換気システムの適正化手法に基づいて構築したプラン 2 の温熱環境は若干高い値を示すが、調理工程を考慮するなら、前掲表 7.2.2 に示すように最大熱負荷の継続時間は非常に短い。継続的な最大熱負荷に対しても作業領域に顕著な熱影響を及ぼさないことから、電化厨房においては、プラン 2 に示すような換気システムを構築することにより、排気量を大幅に低減させても比較的良好な温熱環境を保持することができるものと考えられる。

7.4.3 作業位置における温熱環境

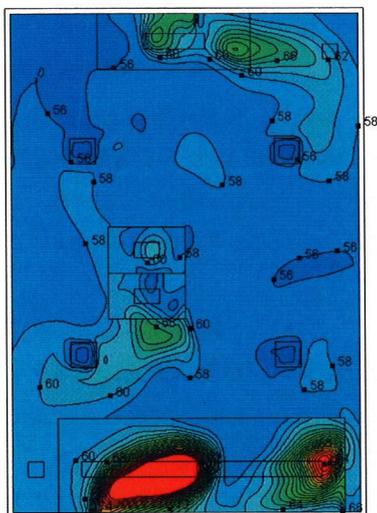
各エリアの機器中心から 500[mm]手前に設定した人体モデルの温冷感を検討する。代謝量は 1.7[Met]、着衣量は 0.6[clo]とし、温度、相対湿度、風速、MRT は CFD 解析の結果を使用している。また、評価高度は、第 3～5 章における温熱環境の検討において熱的影響が最も顕著であった



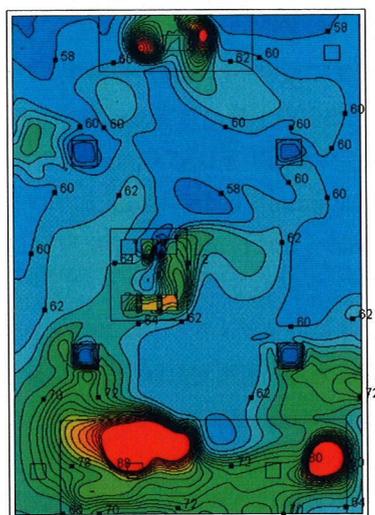
a) モデルプラン 1 F.L.+1,000 mm



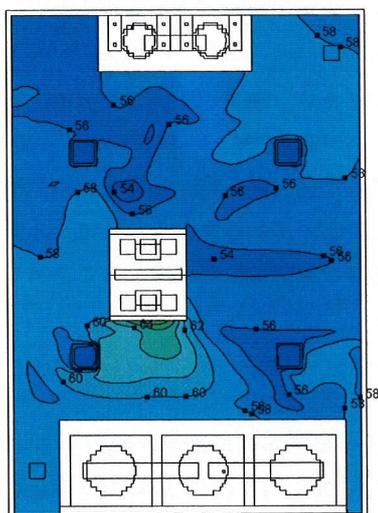
d) モデルプラン 2 F.L.+1,000 mm



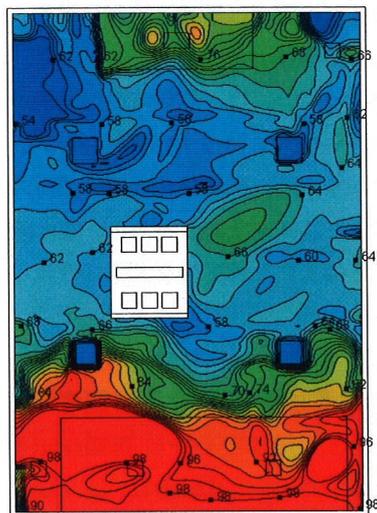
b) モデルプラン 1 F.L.+2,000 mm



e) モデルプラン 2 F.L.+2,000 mm



c) モデルプラン 1 F.L.+3,000 mm



f) モデルプラン 2 F.L.+3,000 mm

図 7.4.3 各モデルプランにおける平面湿度分布

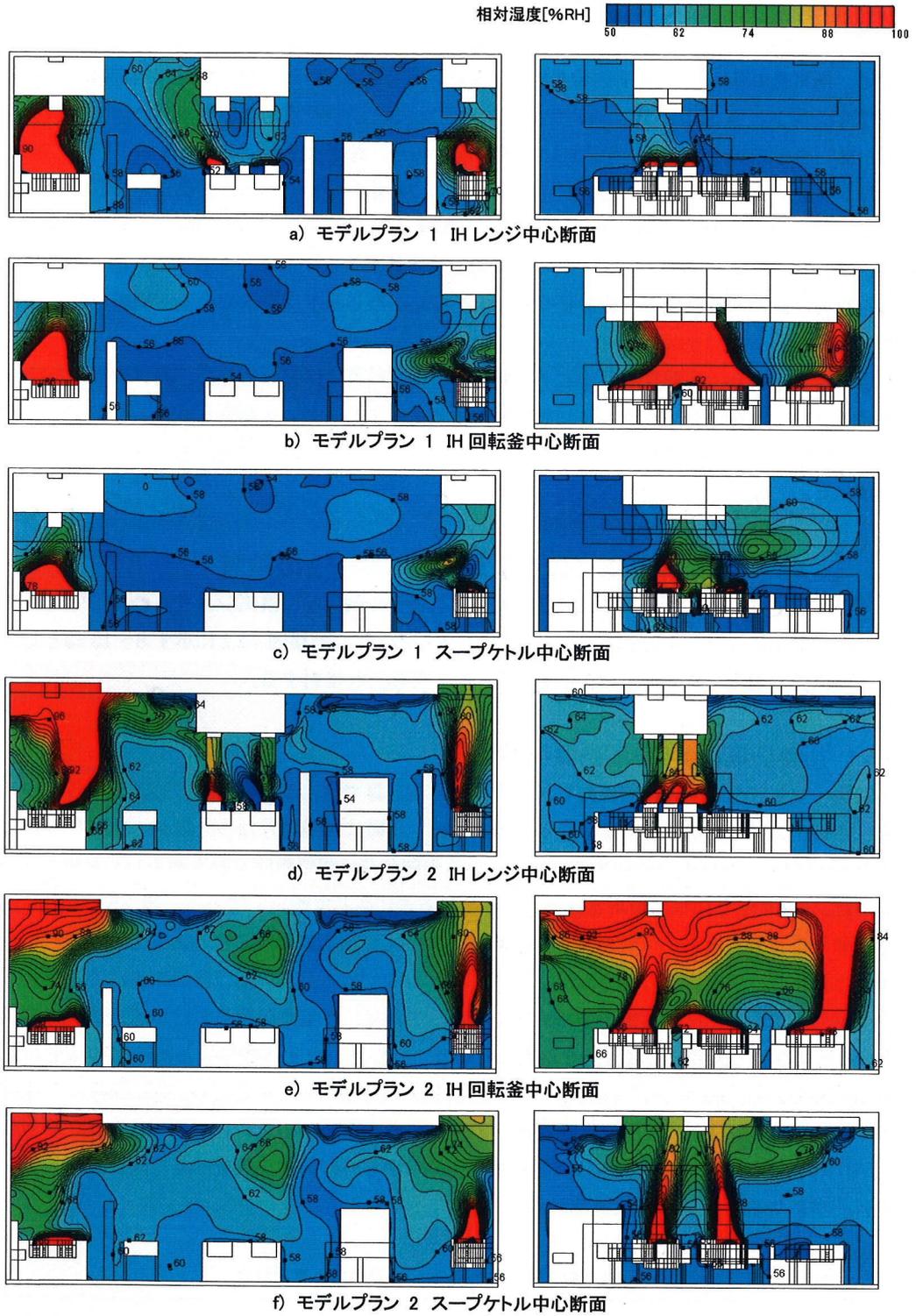


図 7.4.4 各モデルプランにおける断面湿度分布

表 7.4.1 作業位置における温熱環境

プラン	エリア	温度 [°C]	相対湿度 [%RH]	風速 [m/s]	MRT [°C]	代謝量 [Met]	着衣量 [clo]	SET* [°C]
1	A	25.9	61.3	0.37	25.9	1.7	0.6	27.9
	B	24.9	54.9	0.23	27.7	1.7	0.6	27.5
	C	24.5	57.3	0.90	27.2	1.7	0.6	25.3
2	A	26.7	56.7	0.23	26.8	1.7	0.6	28.4
	B	26.6	57.6	0.16	28.3	1.7	0.6	28.9
	C	25.9	61.5	0.38	27.4	1.7	0.6	28.4

F.L.+1,500[mm]としている。表 7.4.1 に各モデルプランの各エリアに形成される温熱環境を示す。プラン 2 における作業位置の温度は、いずれのエリアにおいてもプラン 1 より高い値を示す。風速は、換気量の多いプラン 1 の値が総じて高い。MRT は、プラン 2 のほうが若干高い値を示す。SET*は、エリア A および B については、プラン 1 に対してプラン 2 は若干高い値を示すものの、温冷感としてはいずれも「やや暖かい」の評価であり、顕著な差異はみられない。一方、エリア C では、プラン 1 の値は 25.3[°C]、プラン 2 の値は 28.4[°C]であり顕著な差異がみられる。温冷感としては、プラン 1 は「快適」となり、プラン 2 は「やや暖かい」となるが、プラン 1 の温冷感が「快適」側の評価となったのはプラン 2 に対して風速が大きいためである。これは、厨房内温熱環境を良好に保持するための手法として適当ではなく、むしろドラフトによる不快感を生じる可能性がある。

以上のことから、多様な要因によって形成される温熱環境は異なるため、両プランの良否を同定することはできないが、プラン 2 においては適正化手法に基づいた換気システムを構築することにより、プラン 1 に対して換気量を約 1/3 に削減しても、顕著に温熱環境は悪化しないことが明らかとなった。

7.5 換気システムの適正化による省エネルギー性の検討

本節では、各モデルプランにおける消費エネルギーを試算し、換気システムの適正化による省エネルギー効果について検討する。なお、対象とする時間は、前掲図 7.2.2 に示す 8~13 時とし、エネルギー消費の増大する夏期、および冬期についてそれぞれ検討する。

7.5.1 加熱調理機器による熱負荷の算定

空調・換気設備機器の必要能力を決定する熱負荷計算では、最大負荷時に対応する必要があるため、定格出力時の熱負荷を算定したが、本節では、実際に調理を行なった場合の空調負荷を予測するため、プラン 2 における加熱調理機器による内部負荷は想定熱除去率を適用して算出する。修正係数は、7.2.2 節と同様に適用されている各排気方式に応じて設定している。表 7.5.1 に内部負荷の算定結果を示す。なお、プラン 1 の熱負荷は、すべての機器に対する熱除去率を 90[%]とし、修正係数は排気フード型排気方式を適用していることから 1.00 としている。IH 回転釜による熱負荷は、プラン 1 に比べてプラン 2 の値は大きくなる。これは、八宝菜調理における想定熱除去率はほぼ 90[%]となるが、天井型排気方式を適用していることから、修正係数による熱除去の低下が見込まれるためである。IH レンジでは、頂部型局所排気方式を適用しているため、修正係数による潜熱除去率の向上が見込まれ、潜熱負荷は 0[W]となる。一方、顕熱負荷はプラン 1 よりも高い値となる。スूपケトルは、想定熱除去率は極めて高い値を示すものの、修正係数による除去熱の低下が見込まれ、潜熱負荷はプラン 1 より高い値となる。

表 7.5.1 加熱調理機器による熱負荷の算定結果

プラン	設置機器	定格出力 [W]	台数 [台]	発生熱原単位			熱除去率			修正係数			内部負荷(加熱調理機器)		
				顕熱 [W/kW]	潜熱 [W/kW]	全熱 [W/kW]	顕熱 [%]	潜熱 [%]	全熱 [%]	顕熱 [-]	潜熱 [-]	全熱 [-]	顕熱 [W]	潜熱 [W]	全熱 [W]
1	IH回転釜	15	3	129	910	1,039	90	90	90	1.00	1.00	1.00	581	4,095	4,676
	IHレンジ①	15	1	145	859	1,003	90	90	90	1.00	1.00	1.00	218	1,289	1,506
	IHレンジ②	15	1	145	859	1,003	90	90	90	1.00	1.00	1.00	218	1,289	1,506
	スूपケトル	19	2	27	367	394	90	90	90	1.00	1.00	1.00	103	1,395	1,497
2	IH回転釜	15	3	129	910	1,039	88	92	91	0.98	0.88	0.92	799	7,797	8,596
	IHレンジ①	15	1	145	859	1,003	73	87	83	0.80	1.32	1.27	905	0	905
	IHレンジ②	15	1	145	859	1,003	100	93	95	0.80	1.32	1.27	435	0	435
	スूपケトル	19	2	27	367	394	95	99	98	0.98	0.88	0.92	71	1,796	1,867

7.5.2 空調負荷および消費エネルギーの算定

前掲図 7.2.2 における機器稼動スケジュールに基づいて内部負荷を設定し、外気負荷、および構造体負荷を積算して時間帯別の総熱負荷を算定した。

(1) 夏期

夏期におけるプラン 1 の算定結果を表 7.5.2 に示す。内部負荷の各加熱調理機器からの熱負荷は、表 7.5.1 の内部負荷を機器稼動時間全体に設定している。これは、第 6 章において、ひとつの調理品目に対する熱除去率を想定熱除去率と定義しているためである。その他機器、照明、調理人については、前掲表 7.3.6 と同様な算定を行っている。構造体負荷についても、前掲表 7.3.6 と同様な算定を行っている。外気負荷は、1991～2000 年の東京における 8 月 15 日の各時間における平均温湿度を求め、設定室内温湿度との差からエンタルピーの顕熱成分、および潜熱成分を算出し、全熱は顕熱と潜熱の積算値としている。なお、後述する冬期の外気は、2 月 15 日を代表日として選定している。総熱負荷の顕熱は、内部負荷の顕熱、構造体負荷、および外気負荷の顕熱を積算し、総負荷の潜熱は、内部負荷の潜熱、および外気負荷の潜熱を積算している。全熱は、顕熱と潜熱の積算値とした。なお、表下部の凡例は、表中に記載している番号欄に対応する値をそれぞれ記載している。

プラン 1 の算定結果では、内部負荷の顕熱は、その他機器や照明による顕熱発生に占める比率が高く、加熱調理機器による顕熱負荷は内部負荷小計の 22[%]程度となる。これは、電化厨房機器から発生する顕熱は小さく、さらに排気によって熱除去が行われるためである。一方、潜熱は加熱調

表 7.5.2 モデルプラン 1 における空調負荷の算定結果(夏期)

時刻		8			9			10			11			12		
機器稼動	IH回転釜	[稼動スケジュール]														
	IHレンジ①	[稼動スケジュール]														
	IHレンジ②	[稼動スケジュール]														
	スूपケトル	[稼動スケジュール]														
	その他厨房機器	[稼動スケジュール]														
	照明	[稼動スケジュール]														
	局所排気 全体換気 空調	[稼動スケジュール]														
調理人		4			5			5			5			3		
内部負荷 [W]	IH回転釜	顕熱	0			581			581			0				
		潜熱	0			4,095			4,095			0				
		全熱	0			4,676			4,676			0				
	IHレンジ①	顕熱	0			218			218			0				
		潜熱	0			1,289			1,289			0				
		全熱	0			1,506			1,506			0				
	IHレンジ②	顕熱	0			218			218			0				
		潜熱	0			1,289			1,289			0				
		全熱	0			1,506			1,506			0				
	スूपケトル	顕熱	0			103			103			0				
潜熱		0			1,395			1,395			0					
全熱		0			1,497			1,497			0					
その他機器	顕熱	2,100														
照明	顕熱	1,400														
調理人	顕熱	468			585			585			585			351		
	潜熱	360			450			450			450			270		
内部負荷小計 [kW]	顕熱	4.0			4.1			4.4 *1			5.2			4.1		
	潜熱	0.4			0.5			3.1 *2			8.5			0.5		
	全熱	4.3			4.5			7.5 *3			13.7			4.5		
構造体負荷		顕熱														
外気温度 [°C]		27.0			28.0			29.0			29.7			30.1		
外気絶対湿度 [kg/kg(DA)]		0.016			0.016			0.017			0.017			0.017		
外気エンタルピー [kJ/kg]		69.0			69.9			71.8			72.6			72.6		
室内温度 [°C]		25.0			25.0			25.0			25.0			25.0		
室内絶対湿度 [kg/kg(DA)]		0.014			0.014			0.014			0.014			0.014		
室内エンタルピー [kJ/kg]		60.5			60.5			60.5			60.5			60.5		
排気量 [m³/h]		1,600			18,000			18,000			1,600			1,600		
外気負荷 [kW]	顕熱負荷	1.1			1.6			18.4			24.0			2.7		
	潜熱負荷	3.4			3.3			36.8			42.1			3.5		
	全熱負荷	4.5			4.9			55.2			66.0			6.3		
総熱負荷 [kW]	顕熱負荷	5.9			6.5			23.3 *4 *7 *10			30.0			7.4		
	潜熱負荷	3.7			3.7			37.2 *5 *8 *11			50.6			4.2		
	全熱負荷	9.6			10.3			60.5 *6 *9 *12			80.6			11.7		
*1...5.0		*2...7.2			*3...12.2			*4...23.6			*5...39.9			*6...63.5		
*7...29.2		*8...45.2			*9...74.4			*10...29.8			*11...49.3			*12...79.1		

理機器による負荷が大きく、潜熱に配慮した空調が必要であるといえる。外気負荷は、加熱調理機器の稼動が始まる9時半から排気量が大きくなるため、顕著に大きい値を示す。10時半における外気負荷の総熱負荷に対する比率は、顕熱で80[%]、潜熱で83[%]であり、熱負荷のほとんどは換気に伴う導入空気空調に要するといえる。夏期におけるプラン2の算定結果を表7.5.3に示す。プラン2の算定結果では、加熱調理機器による顕熱負荷は、プラン1と同様に内部負荷小計に対する比率が低い。一方、潜熱は、IH回転釜による熱負荷が大きく、10時半における内部負荷小計に対する比率は約78[%]となる。また、加熱機器の稼動する9時50分～11時までの内部負荷小計は、

表 7.5.3 モデルプラン 2 における空調負荷の算定結果(夏期)

時刻		8		9		10		11		12		
機器稼動	IH回転釜											
	IHレンジ①											
	IHレンジ②											
	スूपケトル											
	その他厨房機器											
	照明											
	局所排気											
	全体換気空調											
調理人		4		5		5		5		3		
内部負荷 [W]	IH回転釜	顕熱	0		799		0		0		0	
		潜熱	0		7,797		0		0		0	
		全熱	0		8,596		0		0		0	
	IHレンジ①	顕熱	0		905		0		0		0	
		潜熱	0		0		0		0		0	
		全熱	0		905		0		0		0	
	IHレンジ②	顕熱	0		435		0		0		0	
		潜熱	0		0		0		0		0	
		全熱	0		435		0		0		0	
	スूपケトル	顕熱	0		71		0		0		0	
		潜熱	0		1,796		0		0		0	
		全熱	0		1,867		0		0		0	
	その他機器	顕熱	0		2,100		0		0		0	
		照明	0		1,400		0		0		0	
調理人	顕熱	468	585	585	585	585	585	351				
	潜熱	360	450	450	450	450	450	270				
内部負荷小計 [kW]	顕熱	4.0	4.1	4.6 *1	6.3	4.1	3.9					
	潜熱	0.4	0.5	2.2 *2	10.0	0.5	0.3					
	全熱	4.3	4.5	6.8 *3	16.3	4.5	4.1					
構造体負荷	顕熱	0.8		0.8		0.8		0.8		0.8		
外気温度 [°C]	27.0		28.0		29.0		29.7		30.1			
外気絶対湿度 [kg/kg(DA)]	0.016		0.016		0.017		0.017		0.017			
外気エンタルピ [kJ/kg]	69.0		69.9		71.8		72.6		72.6			
室内温度 [°C]	25.0		25.0		25.0		25.0		25.0			
室内絶対湿度 [kg/kg(DA)]	0.014		0.014		0.014		0.014		0.014			
室内エンタルピ [kJ/kg]	60.5		60.5		60.5		60.5		60.5			
排気量 [m³/h]	1,600		1,600		5,200		5,200		1,600			
外気負荷 [kW]	顕熱負荷	1.1	1.6	5.3	6.9	8.2	2.5	2.7				
	潜熱負荷	3.4	3.3	10.6	12.2	12.3	3.8	3.5				
	全熱負荷	4.5	4.9	15.9	19.1	20.5	6.3	6.3				
総熱負荷 [kW]	顕熱負荷	5.9	6.5	10.2 *4 *7 *10	14.0	13.1	7.4	7.4				
	潜熱負荷	3.7	3.7	11.1 *5 *8 *11	22.2	12.8	4.2	3.8				
	全熱負荷	9.6	10.3	21.3 *6 *9 *12	36.2	25.9	11.7	11.2				
		*1...5.4	*2...10.0	*3...15.4	*4...10.7	*5...12.9	*6...23.6					
		*7...12.3	*8...14.4	*9...26.7	*10...13.1	*11...22.2	*12...35.3					

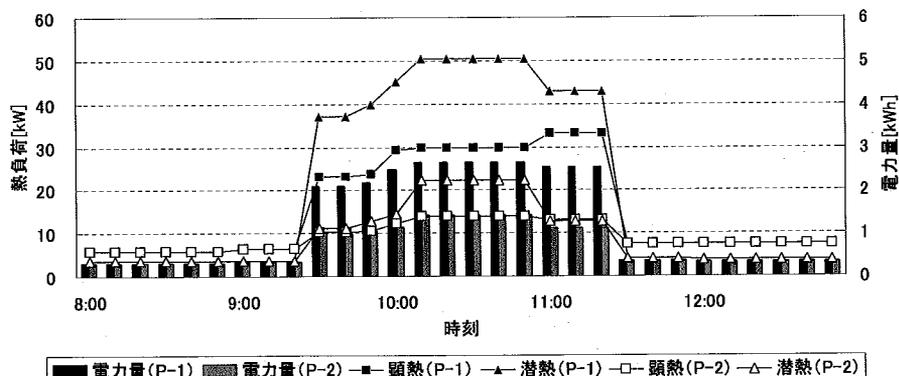


図 7.5.1 各モデルプランの熱負荷および消費電力量の経時変化(夏期)

プラン 1 に比べてプラン 2 の値が大きい。外気負荷は、加熱機器の稼動する時間帯における換気量がプラン 1 に対して 1/3 程度であるため、外気の熱負荷は 1/3 未満となる。これより、適切な排気量を設定することによる排気量の低減は、外気処理熱の低減に寄与することがわかる。総熱負荷に対する外気負荷の比率は、プラン 1 と比べて小さくなっているものの、10 時半における値をみるなら、顕熱で 49[%]、潜熱で 54[%]であり総熱負荷に占める比率は高いといえる。

図 7.5.1 に各プランにおける熱負荷と空調に要する電力量を示す。なお、空調のヒートポンプによる成績係数 (COP) は 3 として電力量を算定した。また、凡例の P-1 はモデルプラン 1、P-2 はモデルプラン 2 をそれぞれ示している。顕熱の変動は、プラン 1 の場合、換気を行う時間帯は機器稼動の有無によらず熱負荷は上昇する。これは、上述したように熱負荷のほとんどは外気負荷であるためといえる。一方、プラン 2 では、加熱厨房機器の稼動が停止する 11 時以降の顕熱負荷は若干低下する。これより、換気量の設定により負荷変動の要因も異なることがわかる。潜熱の変動は、いずれのプランにおいても同様な傾向を示す。ピーク時における顕熱・潜熱負荷の比較では、いずれにおいてもプラン 1 はプラン 2 の 2 倍程度の値を示し、消費電力量も同様にほぼ 2 倍となる。

(2) 冬期

冬期におけるプラン 1 の空調負荷算定結果を表 7.5.4 に示す。なお、冬期の熱負荷は暖房負荷となることから、負の値で表記している。また、内部負荷は夏期と同様に表記しているが、総熱負荷の積算では加熱調理機器からの熱負荷を暖房用を使用することは想定しないこととし、積算対象から

表 7.5.4 モデルプラン 1 における空調負荷の算定結果(冬期)

時刻		8			9			10			11			12		
機器稼動	IH回転釜															
	IHレンジ①															
	IHレンジ②															
	スープケトル															
	その他厨房機器															
	照明															
	局所排気 全体換気 空調															
調理人		4			5			5			5			3		
内部負荷 [W]	IH回転釜	顕熱	0			581			0			0				
		潜熱	0			4,095			0			0				
		全熱	0			4,676			0			0				
	IHレンジ①	顕熱	0			218			0			0				
		潜熱	0			1,289			0			0				
		全熱	0			1,506			0			0				
	IHレンジ②	顕熱	0			218			0			0				
		潜熱	0			1,289			0			0				
		全熱	0			1,506			0			0				
	スープケトル	顕熱	0			103			0			0				
		潜熱	0			1,395			0			0				
		全熱	0			1,497			0			0				
	その他機器	顕熱	0			2,100			0			0				
		照明	0			1,400			0			0				
調理人	顕熱	468			585			585			351					
	潜熱	360			450			450			270					
内部負荷小計 [kW]	顕熱	4.0			4.1			5.2			4.1					
	潜熱	0.4			0.5			8.5			0.5					
	全熱	4.3			4.5			13.7			4.5					
構造体負荷		0			-0.8			0			0					
外気温度 [°C]		4.2			5.0			6.1			6.9					
外気絶対湿度 [kg/kg(DA)]		0.003			0.003			0.003			0.003					
外気エンタルピー [kJ/kg]		12.3			13.1			14.6			15.4					
室内温度 [°C]		20.0			20.0			20.0			20.0					
室内絶対湿度 [kg/kg(DA)]		-			-			-			-					
室内エンタルピー [kJ/kg]		-			-			-			-					
排気量 [m³/h]		1,600			18,000			1,600			1,600					
外気負荷 [kW]	顕熱負荷	-8.4	-8.1	-90.6	-84.0	-79.3	-7.0	-6.7								
	潜熱負荷	-	-	-	-	-	-									
	全熱負荷	-8.4	-8.1	-90.6	-84.0	-79.3	-7.0	-6.7								
総熱負荷 [kW]	顕熱負荷	-9.3	-8.9	-91.4	-84.9	-80.1	-7.9	-7.5								
	潜熱負荷	-	-	-	-	-	-									
	全熱負荷	-9.3	-8.9	-91.4	-84.9	-80.1	-7.9	-7.5								
		*1...5.0	*2...7.2	*3...12.2	*4...91.4	*5...91.4	*6...84.9									
		*7...84.9	*8...84.9	*9...84.9												

除外している。

プラン 1 の外気負荷は、室内湿度条件を成り行きとしているため潜熱負荷は生じないが、10 時半における熱負荷は顕熱のみで 84[kW]となり、夏期の値を超える。局所排気の稼動する時間帯の総熱負荷は、いずれも 80[kW]を超えており、その 98[%]以上は外気の空気調和による熱負荷である。ここで、実際の厨房空間においては、加熱調理機器稼動時に発生する顕熱は暖房負荷を低減させるが、10 時半における内部顕熱負荷は 5.2[kW]であり、総熱負荷に対する比率は非常に小さいことから、暖房負荷低減に対する寄与は小さいといえる。

表 7.5.5 モデルプラン 2 における空調負荷の算定結果(冬期)

時刻		8		9		10		11		12			
機器稼動	IH回転釜	[稼動状況]											
	IHレンジ①	[稼動状況]											
	IHレンジ②	[稼動状況]											
	スープケトル	[稼動状況]											
	その他厨房機器	[稼動状況]											
	照明	[稼動状況]											
	局所排気	[稼動状況]											
全体換気	[稼動状況]												
空調	[稼動状況]												
調理人		4		5		5		5		3			
内部負荷 [W]	IH回転釜	顕熱	0		799		0		0		0		
		潜熱	0		7,797		0		0		0		
		全熱	0		8,596		0		0		0		
	IHレンジ①	顕熱	0		905		0		0		0		
		潜熱	0		0		0		0		0		
		全熱	0		905		0		0		0		
	IHレンジ②	顕熱	0		435		0		0		0		
		潜熱	0		0		0		0		0		
		全熱	0		435		0		0		0		
	スープケトル	顕熱	0		71		0		0		0		
		潜熱	0		1,796		0		0		0		
		全熱	0		1,867		0		0		0		
	その他機器	顕熱	2,100		1,400		1,400		1,400		1,400		
	調理人	顕熱	468	585	585	585	585	585	585	585	351	270	
潜熱		360	450	450	450	450	450	450	450	270	270		
内部負荷小計 [kW]	顕熱	4.0	4.1	4.6	*1 6.3	4.1	4.1	4.1	4.1	3.9	3.9		
	潜熱	0.4	0.5	2.2	*2 10.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3		
	全熱	4.3	4.5	6.8	*3 16.3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.1	4.1		
構造体負荷	顕熱	-0.8											
外気温度 [°C]	4.2		5.0		6.1		6.9		7.5		7.5		
外気絶対湿度 [kg/kg(DA)]	0.003		0.003		0.003		0.003		0.003		0.003		
外気エンタルピ [kJ/kg]	12.3		13.1		14.6		15.4		16.1		16.1		
室内温度 [°C]	20.0		20.0		20.0		20.0		20.0		20.0		
室内絶対湿度 [kg/kg(DA)]	-		-		-		-		-		-		
室内エンタルピ [kJ/kg]	-		-		-		-		-		-		
排気量 [m³/h]	1,600		1,600		5,200		5,200		1,600		1,600		
外気負荷 [kW]	顕熱負荷	-8.4	-8.1	-26.2	-24.3	-22.9	-7.0	-6.7	-6.7	-6.7	-6.7		
	潜熱負荷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	全熱負荷	-8.4	-8.1	-26.2	-24.3	-22.9	-7.0	-6.7	-6.7	-6.7	-6.7		
総熱負荷 [kW]	顕熱負荷	-9.3	-8.9	-27.0	*4 *5 *6 *7 *8 *9 25.1	-23.7	-7.9	-7.5	-7.5	-7.5	-7.5		
	潜熱負荷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	全熱負荷	-9.3	-8.9	-27.0	-25.1	-23.7	-7.9	-7.5	-7.5	-7.5	-7.5		
		*1...5.4		*2...10.0		*3...15.4		*4...27.0		*5...27.0		*6...25.1	
		*7...25.1		*8...25.1		*9...25.1							

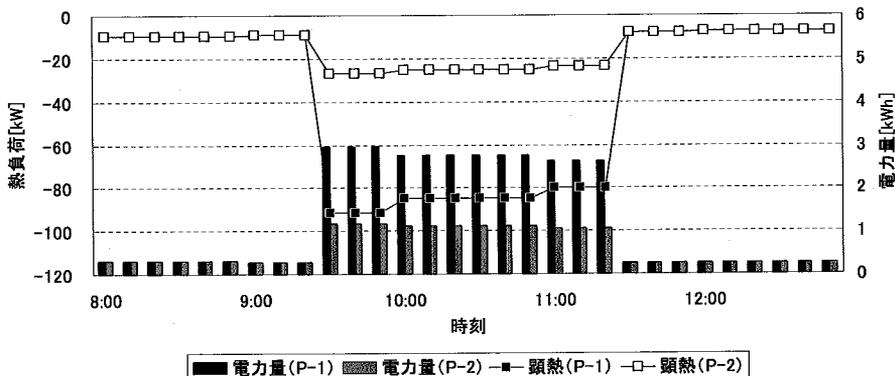


図 7.5.2 各モデルプランの熱負荷および消費電力量の経時変化(冬期)

冬期におけるプラン 2 の算定結果を表 7.5.5 に示す。プラン 2 では、プラン 1 と同様に総熱負荷のほとんどは外気顕熱負荷であり、局所換気稼動時では 95[%]以上を占める。しかし、プラン 1 に対して換気量が小さいため、10 時半における総熱負荷はプラン 1 の 1/3 未満であり、適正換気量の設定は、冬期においてより省エネルギー効果の見込めることがわかる。

図 7.5.2 に冬期の各プランにおける熱負荷と空調に要する電力量を示す。なお、夏期と同様に、空調のヒートポンプによる成績係数 (COP) は 3 として電力量を算定している。局所排気稼動時における熱負荷は、いずれのプランにおいても時間経過に伴って低下する。これは、正午に近づくに従って外気温が上昇するためであり、総熱負荷のほとんどは外気顕熱負荷であることを示している。消費電力量は、空調の COP を 3 と見込んでいるため両プランの差異は小さくなり、プラン 1 の値はプラン 2 の 3 倍未満に留まる。しかし、プラン 1 における局所排気の稼動する時間帯は、いずれも夏期の値を超えており、冬期の消費電力が年間のピークとなる。一方、プラン 2 では、加熱調理機器からの発生潜熱が大きくなる時間帯において、夏期の値が冬期の値を超えるため、消費電力のピークは夏期となる。これより、適正換気量の設定により外気負荷を大幅に低減することが可能であると同時に、加熱調理機器からの熱負荷をさらに効率的に除去することで、夏期の熱負荷を低減し、空調機器容量の縮小、および省エネルギー性の向上を見込むことができる。

7.6 結語

本章では、第 2 章から第 6 章において明らかにしてきた知見に基づき、2 つのモデルプランを設定し、換気システム適正化の有用性、および省エネルギー性について検討した。以下に、本章で得られた知見を示す。

従来の排気フードをすべての加熱調理機器に適用した計画をプラン 1、加熱調理機器に応じて有用と考えられる排気方式を適用した計画をプラン 2 として必要換気量を算定した結果、適正排気量を設定したプラン 2 の必要換気量は、プラン 1 の 1/3 程度となることを示した。

必要空調機器能力を決定する熱負荷計算では、プラン 2 における加熱調理機器の内部負荷を定格出力時の熱除去率に基づいて算定し、その他内部負荷および外気負荷、構造体負荷等を積算した。その結果、夏期のプラン 2 における必要空調能力は、プラン 1 の 1/2 未満となることを示した。また、冬期では 1/3 以下となり、換気量の増大に伴う外気負荷の増大が著しいプラン 1 に対し、適正換気量を設計したプラン 2 では、同様の加熱調理機器を設置した厨房においても、必要空調機器能力を大幅に縮小できることを示した。

各プランの空調・換気設計案に基づいて行った CFD 解析に基づくシミュレーションでは、プラン 1 では、換気量が多く、空調吹出しにより厨房内の空気が攪拌されるため、機器近傍を除いてほぼ均一な温湿度分布が形成される。一方、プラン 2 では、漏出した熱上昇流は天井近傍の空間に滞留するものの、F.L.+2,000[mm]以下の作業領域に対する熱的影響は小さいことを示した。これより、プラン 2 では空調の吹出し流速が小さく、熱上昇流と厨房内空気の密度差により温度成層が形成されるため、少ない換気量で効率的な換気が行われることを示した。また、作業位置の温熱環境指標として算出した両プランの SET*は同等の値を示し、換気システムの適正化手法に基づいて構築したプラン 2 では、プラン 1 に対して排気量を 1/3 に削減しても、温熱環境は顕著に悪化しないことが明らかとなった。

各プランの夏期および冬期における消費エネルギーを試算し、適正換気量を設定することによる省エネルギー性を検討した結果、プラン 1 における夏期の熱負荷は、80[%]程度が外気負荷であり、総熱負荷の変動は外気の変動に従うことを明らかにした。一方、プラン 2 では、総熱負荷に対する

外気負荷の比率は50[%]程度となることを示した。また、プラン2における空調・換気に要するエネルギーは、プラン1の1/2程度となることを示した。冬期の熱負荷は、いずれのプランにおいても熱負荷のほとんどは外気顕熱負荷となる。これより、換気量の多いプラン1では、夏期を超える消費電力量となるが、プラン2では夏期の消費電力量より低い値となることを示した。また、空調、換気に要するエネルギーの算定結果から、プラン2の消費電力量はプラン1の1/2程度となることを示した。

従来方式における空調負荷は、換気量が多いため空調に要するエネルギーは膨大となる。また、夏期、冬期のいずれにおいても外気負荷の依存率が高いため、省エネルギー効果の向上はほとんど見込めない。しかし、適正排気量に基づく設計を行うことにより、空調、換気に要するエネルギーを大幅に削減できると同時に、夏期における外気負荷の依存率を低減させることができる。これより、加熱調理機器の効率化や排気方式の効率化による内部負荷低減により、さらなる省エネルギー効果が期待できる。以上のことから、電化厨房における厨房内環境の保持を第一義とした換気量の低減は、空調負荷の低減のみならず、さらなる省エネルギー化の可能性を引き出す方法のひとつになるといえる。

【参考文献】

- 1) 西名大作, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 近都州彦, 植村義幸: 全電化学校給食施設における厨房機器の使い方とエネルギー消費量の解析, 空気調和・衛生工学会論文集 No.112, pp.1-11, 2006.7
- 2) 近都州彦, 村川三郎, 西名大作, 清田誠良, 西胤暢夫, 植村義幸: 全電化学校給食施設における設備実態の解析, 空気調和・衛生工学会論文集 No.113, pp.1-8, 2006.8
- 3) 伊藤博幸, 清田誠良, 村川三郎, 成田健一, 西名大作, 篠原道正, 越川康夫: 業務用厨房のエネルギー消費と作業環境に関する研究 その1 測定概要と厨房作業環境, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.409-412, 1996.9
- 4) 柿本晋太郎, 村川三郎, 清田誠良, 西名大作: 学校給食施設における厨房の温熱環境特性に関する研究 その1 全電化厨房における測定概要と中間期測定結果, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第25巻, pp.537-540, 2002.3
- 5) 熊尾隆丈, 村川三郎, 清田誠良, 柿本晋太郎, 山根佐和子, 小川浩二: 学校給食施設における厨房の温熱環境特性に関する研究 その2 電化・ガス厨房における温湿度分布の比較, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第26巻, pp.573-576, 2003.3
- 6) 柿本晋太郎, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 小川浩二: 学校給食施設における厨房の温熱環境特性に関する研究 その3 厨房における空調負荷の算定, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第26巻, pp.577-580, 2003.3
- 7) 村川三郎, 清田誠良, 高田宏, 柿本晋太郎, 山根佐和子, 小川浩二: 学校給食施設におけるエネルギー消費特性の解析 その2 厨房機器の使い方とエネルギー消費の解析, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第26巻, pp.565-568, 2003.3
- 8) 山根佐和子, 村川三郎, 清田誠良, 高田宏, 柿本晋太郎, 小川浩二: 全電化学校給食施設における厨房機器の使い方とエネルギー消費量の解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)D-2, pp.317-318, 2003.9
- 9) 清田誠良, 村川三郎, 西名大作, 小川浩二, 柿本晋太郎: 学校給食施設における厨房のエネルギー消費と温熱環境特性に関する研究 その1 測定概要と中間期測定結果, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論

- 文集, pp.569-572, 2002.9
- 10) 山根佐和子, 村川三郎, 清田誠良, 柿本晋太郎, 小川浩二: 学校給食施設における厨房のエネルギー消費と温熱環境特性に関する研究 その2 全電化厨房におけるエネルギー消費の解析, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.949-952, 2003.9
 - 11) 柿本晋太郎, 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 小川浩二: 学校給食施設における厨房のエネルギー消費と温熱環境特性に関する研究 その3 厨房における空調負荷の算定, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.953-956, 2003.9
 - 12) 植村義幸, 村川三郎, 西名大作, 清田誠良, 西胤暢夫, 近都州彦: 全電化学校給食施設における調理機器の消費電力特性に関する研究 その1 施設間における調理機器の消費電力特性の差異の検討, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第28巻, pp.473-476, 2005.3
 - 13) 近都州彦, 村川三郎, 西名大作, 清田誠良, 西胤暢夫, 植村義幸: 全電化学校給食施設における調理機器の消費電力特性に関する研究 その2 施設における調理機器稼働モデルの検討, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第29巻, pp.301-304, 2006.3
 - 14) 近都州彦, 村川三郎, 西名大作, 清田誠良, 西胤暢夫, 植村義幸: 全電化学校給食施設における設備実態調査, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第28巻, pp.465-468, 2005.3
 - 15) 植村義幸, 村川三郎, 西名大作, 清田誠良, 西胤暢夫, 近都州彦: 全電化学校給食施設における調理機器の使い方とエネルギー消費量の解析 第1報 各施設における調理機器における消費電力特性, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1133-1136, 2005.8
 - 16) 近都州彦, 村川三郎, 西名大作, 清田誠良, 西胤暢夫, 植村義幸: 全電化学校給食施設における調理機器の使い方とエネルギー消費量の解析 第2報 時間変化による調理機器の使い方の方の分析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1137-1140, 2005.8
 - 17) 大津英幸, 近藤靖史, 萩田俊輔, 入交麻衣子, 川瀬貴晴, 松田明彦: 業務用厨房の温熱環境およびエネルギー消費の実態調査 その1 調査方法および厨房内温湿度の結果, 日本建築学会大会学術講演会(九州) D-2, pp.967-968, 1998.9
 - 18) 入交麻衣子, 近藤靖史, 大津英幸, 萩田俊輔, 川瀬貴晴, 松田明彦: 業務用厨房の温熱環境およびエネルギー消費の実態調査 その2 エネルギー消費量の結果, 日本建築学会大会学術講演会(九州) D-2, pp.969-970, 1998.9

結論

本論文では、電化厨房機器から発生する熱などの基礎的事項から、その応用となる適正排気量、および効果的な排気方式の提案を行い、最後にそれらを実際に適用した場合の省エネルギー性までを体系的に示した。以下に本論文で得られた知見をまとめる。

第2章では、大量調理施設で使用される代表的な厨房機器を対象とした模擬調理実験を行い、電化厨房機器、ガス厨房機器のそれぞれについて定格出力時、保温時等における発生熱を明らかにし、『開放型調理機器』『定温度型調理機器』『閉鎖型調理機器』の分類の基に原単位を算定した。これより、電化厨房機器とガス厨房機器では、ガス燃焼の有無によって発生する顕熱、潜熱の比率が顕著に異なることを示した。したがって、厨房における空調・換気設計は、電化とガスによって熱負荷計算に適用する値を変更する必要がある、本章で示す発生熱原単位はその基となる有用な資料であるといえる。また、模擬調理実験で使用した電化、ガス厨房機器で実調理実験を行い、発生する熱を明らかにした。実調理では、発生熱が頻繁に変化することを考慮し、累積頻度割合に基づいて原単位を算定した。実調理における発生熱は、調理内容や使用機器によって模擬調理時の値より顕著に低い値を示すもの、模擬調理時の値を超えるものなど多様な特性がみられることを示した。そして、多様な発熱特性を示す実調理における発生熱を、機器出力との関係性から検討し、普遍性の高い模擬調理時の結果と比較することによって、各実調理時における発生熱の位置づけを行った。

第3章では、機器上方に形成される熱上昇流を可視化し、PIV解析によって流速分布を明らかにした。また、実験結果に基づくCFD解析による熱上昇流のシミュレーションを行い、温度分布、相対湿度分布から熱の拡散性状を明らかにした。適正排気量については、レンジを使用して排気量を変化させた湯沸し実験を行い、熱除去率を指標とした排熱性状の検討、および機器周辺空間に形成される温熱環境を検討し、電化厨房機器に対する適正排気量を同定した。ガスレンジは、燃焼に伴う発生顕熱が大きいため、顕熱の拡散による温熱環境への影響が大きいのに対し、IHレンジは熱効率がいため発生潜熱が大きく、周辺空間における絶対湿度の上昇が顕著となる。排気量を $30Q$ (Q : 機器定格出力[kW])とした場合、定格出力による湯沸しでは周辺空間に及ぼす潜熱の影響は大きい、水温 90°C ではほぼ 100% の熱除去率が確保され、周辺温熱環境も良好に保持されることを示した。これらの知見と、実調理時における高発熱の継続性等を勘案し、電化厨房機器に対する適正排気量を機器定格出力 1[kW] あたり $30\text{[m}^3/\text{h]}$ と同定した。また、適正排気量 $30Q$ を設定し、代表的な厨房機器を使用した模擬調理実験から、『定温度型調理機器』『閉鎖型調理機器』については、排熱性状および機器周辺温熱環境のいずれも良好に保持されるものの、IHレンジの属する『開放型調理機器』による沸騰時の発熱は、長時間継続的に生じた場合、機器周辺の温熱環境に影響を及ぼす可能性が示唆された。これより、実際の調理時に発生する熱に対する排熱性状を考慮した検討が必要であるとの考えを示した。

第4章における頂部排気口設置位置の変化に関する検討では、鍋直径や出力設定の違いによって熱除去率の低下する設置位置は異なるものの、いずれの実験においても排気口の設置位置を高くするほど熱除去率は低下することを明らかにした。定格出力時の顕熱除去率は、総じて低い値を示したが、作業位置に及ぼす顕熱の影響は小さいことを示した。潜熱除去率は、頂部排気口を鍋上方 450[mm] 以下に設置した場合、いずれ実験においても 80% 以上となり、作業位置に対する潜熱の影響は小さいことを示した。また、MRTは、鍋直径の違いによる影響がみられ、排気口の設置位置

による差異はほとんど生じないことを示した。水温を 90[°C]に保持する実験では、排気口高度を高くするほど熱除去率は低下するが、定格出力時に比べて低下率は低くなる。顕熱除去率はいずれの実験においても 80[%]未満となるが、作業位置の温度はほとんど上昇しないことを示した。潜熱除去率は、総じて高い値を示し、作業位置に対する潜熱の影響はほとんどみられないことを示した。排気口形状の変化に関する検討では、排気口直径を変化させた場合、および排気口に補助フードを設置した場合の実験を行った。定格出力時の顕熱除去率は、排気口直径の違いによる差異は小さく、排気口高度を高くするほど熱除去率は低下することを示した。潜熱除去率は、鍋直径よりも排気口を大きくした場合、排気口を鍋から 600[mm]以上遠ざけた場合に、他の排気口と比べて高い値を示す。そして、いずれの実験においても作業位置に対する熱的影響は小さいことを示した。水温を 90[°C]に保温する実験では、いずれも顕熱除去率は 60[%]以上、潜熱除去率は 85[%]以上となり、作業位置の温度、絶対湿度はほとんど上昇しないことを示した。補助フードを設置した場合の実験では、定格出力時の熱除去率は、補助フードを設置しない場合と比べていずれも高い値を示す。しかし、補助フードの端部が作業位置に近接するため、顕熱・潜熱による熱的影響は大きくなることを示した。これより、補助フードを設置することによって排熱性状の向上効果は期待できるが、調理人に対する熱的影響を考慮した設置方法の検討が必要である。水温を 90[°C]に保温する実験では、補助フードを設置することによっていずれの実験においても熱除去率は向上し、作業位置に対する熱的影響も小さくなることを示した。これより、補助フードは、特に食材の保温を目的とした機器に対して有効であることを把握した。

第 5 章では、水温を 90[°C]に保持する発熱条件において排気量を変化させた実験の結果から、排気量を 30Q に設定した場合、潜熱は天井型排気装置から若干漏出し室内に拡散するが、顕熱は速やかに排出され、周辺空間に対する影響はほとんどみられないことを示した。排気量を 20Q、15Q と低減させるに従い、天井型排気装置からの熱上昇流の漏出、および顕熱、潜熱の拡散は顕著となり、排気量 15Q では天井型排気装置による潜熱除去の比率を表す潜熱分配率は 55.0[%]に低下する。これより、天井型排気装置による熱分配率を十分確保するためには排気量を 20Q 以上とする必要があり、定常的な発熱を伴う機器に対しては排気量を 30Q とすることが望ましいことを示した。定格出力による発熱条件では、排気量を 30Q に設定した実験を行ったが、の天井型排気装置からの熱上昇流の漏出、および上昇過程における顕熱、潜熱の拡散が著しく、周辺空間の温湿度は顕著に上昇する。また、天井型排気装置の潜熱分配率は 66.4[%]と発生熱の 2/3 程度の寄与率を有するが、発生潜熱が大きいと漏出する潜熱による温熱環境への影響は大きい。これより、長時間の湯沸しなどの継続的に大きな発熱を伴う機器に対しては局所排気を設備することが望ましいことを示した。排気口空間のサイズを拡大した実験の結果から、排気量を 20Q とした場合において若干顕熱分配率の向上することを示した。しかし、20Q における潜熱分配率、および 30Q における顕熱・潜熱分配率はいずれも若干低下する。これは、排気口空間を拡大しても増加する容積は熱上昇流の流量に対して小さく、熱上昇流を一時的に保有する効果はほとんど見込めないためと考えられる。以上のことから、熱上昇流の漏出は、排気量変化による影響が大きく寄与し、排気口サイズの拡大による漏出抑制効果はほとんどみられないことを示した。エアカーテンの吹出しを設定した実験の結果から、排気量 30Q ではエアカーテン吹出し風速を 2.0[m/s]とした場合に天井型排気装置による熱分配率は低下するものの、1.0[m/s]以下とした場合ではほとんど低下しない。これより、エアカーテン吹出しによる熱分配率向上効果は期待できないが、空調吹き出しや、調理人の動作に伴う擾乱の抑制手法としては有効となる可能性が示唆される。一方、排気量 20Q では、エアカーテン吹出しを 1.0[m/s]とした場合に天井型排気装置による潜熱分配率は若干向上した。これより、エアカーテン吹出しを

行わない条件において 64.8[%]と比較的低い潜熱分配率を示す排気量 20Q の条件では、適切なエアカーテン吹出しを行うことにより、熱分配率を若干向上させることができることを明らかにした。以上のことから、天井型排気方式は、食材の保温を主とする調理機器や、『閉鎖型調理機器』のように継続的な発熱は小さいものを対象とした場合に有効であるといえる。また、作業空間に対する熱的影響を抑制するためには、適切な排気量を確保する必要があることを示した。エアカーテン吹出しについては、適切な流速の設定により天井型排気装置による熱分配率向上を見込むこともできるが、擾乱抑制として使用する場合においても、過剰な流速を設定した場合、熱上昇流を乱し、熱分配率を低下させ、周辺空間に対する熱的影響を大きくする可能性があるため、適用には十分な検討が必要であることを示した。

第 6 章では、模擬調理の各出力設定における除去熱に対する、実調理における除去熱の位置づけを明らかにし、模擬調理時の熱除去率に基づいた実調理時の想定熱除去率の算定方法を示した。まず、実調理時に想定される熱除去率の算定にあたり、代表的な開放型調理機器の模擬調理時における除去熱、および熱除去率を明らかにした。また、各供試機器を使用した実調理の調理工程と除去熱の関係を明らかにし、実調理における除去熱は、水温 90[°C]保温時よりも小さい値を示す時間帯が多いものの、調理の終了直前などにおいては、定格出力時に近似する値を示すものもみられることを示した。これより、実調理時における除去熱は、調理工程による変動が著しく、実調理における除去熱を模擬調理における定格出力時、あるいは水温 90[°C]保温時のいずれかに分類することは難しいことを示した。実調理時の除去熱が水温 90[°C]保温時の除去熱を超過する時間を計数し、全調理時間に対する超過時間の比率を算定した。本章で行った実調理実験では、超過比率の低い調理が多く、実際の調理における発生熱は、調理時間の大部分において水温 90[°C]保温状態よりも低い値となることが示唆された。模擬調理において算定した定格出力時、および水温 90[°C]保温時の熱除去率を超過比率で重み平均し、実調理時に想定される熱除去率を算出した。本実験では、いずれの調理においても、定格出力時の発生熱を基準とした想定全熱除去率は 80[%]以上の高い値となることを把握した。ここに示す知見は、限られた条件下において示した知見ではあるが、厨房の空調負荷を予測するにあたり、ひとつの有用な手法を提案するものであると考える。

第 7 章では、第 2 章から第 6 章において明らかにしてきた知見に基づき、2 つのモデルプランを設定し、適正換気量による空調・換気設計の省エネルギー性について検討した。従来の排気フードをすべての加熱調理機器に適用した計画をプラン 1、加熱調理機器に応じて有用と考えられる排気方式を適用した計画をプラン 2 として必要換気量を算定した結果、適正排気量を設定したプラン 2 の必要換気量は、プラン 1 の 1/3 程度となることを示した。必要空調機器能力を決定する熱負荷計算では、プラン 2 における加熱調理機器の内部負荷を想定熱除去率に基づいて算定し、その他内部負荷および外気負荷、構造体負荷等を積算した。この結果、夏期のプラン 2 における必要空調能力は、プラン 1 の 1/2 未満となることを示した。また、冬期では、1/3 以下となり、換気量の増大に伴う外気負荷の増大が著しいプラン 1 に対し、適正換気量を設計したプラン 2 では、同様の加熱調理機器を設置した厨房においても、必要空調機能力は 1/3 程度に縮小できることを示した。各プランの空調・換気設計案に基づいて行った CFD 解析に基づくシミュレーションでは、プラン 1 では、換気量が多く、空調吹出しにより厨房内の空気が攪拌されるため、機器近傍を除いてほぼ均一な温湿度分布が形成される。一方、プラン 2 では、漏出した熱上昇流は天井近傍の空間に滞留するものの、F.L.+2,000[mm]以下の作業領域に対する熱的影響は小さいことを示した。これより、プラン 2 では空調の吹出し流速が小さく、熱上昇流と厨房内空気の密度差により温度成層が形成されるため、少ない換気量で効率的な換気が行われているといえる。また、作業位置の温熱環境指標と

して算出した両プランの SET*は同等の値を示し、換気システムの適正化手法に基づいて構築したプラン 2 では、プラン 1 に対して排気量を 1/3 に削減しても、温熱環境は顕著に悪化しないことが明らかとなった。各プランの夏期および冬季における消費エネルギーを試算し、適正換気量を設定することによる省エネルギー性を検討した結果、プラン 1 における夏期の熱負荷は、80[%]程度が外気負荷であり、総熱負荷の変動は外気の変動に従った傾向を示すことを明らかにした。一方、プラン 2 では、総熱負荷に対する外気負荷の比率は 50[%]程度となることを示した。また、プラン 2 における空調・換気に要するエネルギーは、プラン 1 の 1/2 程度となることを示した。冬季の熱負荷は、いずれのプランにおいても熱負荷のほとんどは外気顕熱負荷となる。これより、換気量の多いプラン 1 では、夏期を超える消費電力量となるが、プラン 2 では夏期の消費電力量より低い値となることを示した。また、空調・換気に要するエネルギーの算定結果から、プラン 2 の消費電力量はプラン 1 の 1/2 程度となることを示した。従来方式における空調負荷は、換気量が多いため空調に要するエネルギーは膨大となる。また、夏期、冬季のいずれにおいても外気負荷の依存率が高いため、省エネルギー効果の向上はほとんど見込めない。しかし、適正排気量に基づく設計を行うことにより、空調・換気に要するエネルギーを大幅に削減できると同時に、夏期における外気負荷の依存率を低減させることができる。これより、加熱調理機器の効率化や排気方式の効率化による内部負荷低減により、さらなる省エネルギー効果が期待できる。以上のことから、電化厨房における厨房内環境の保持を第一義とした換気量の低減は、空調負荷の低減のみならず、さらなる省エネルギー化の可能性を引き出す方法のひとつになることを示した。

以上、本研究で明らかにした知見をふまえ、電化厨房の空調・換気設備に関する課題と今後の展望を以下に述べる。

本研究では、モデル厨房実験室における多様な実験結果、およびそれらに基づくシミュレーション等により、電化厨房の空調・換気設計における有用な知見を示した。これより、実際の厨房空間における調理人の動作に伴う擾乱や、空調吹出しの影響に対しては十分な検討にまで至っていない。また、油煙や臭気をはじめとする各種汚染物質等については十分な知見が得られていない。これらに対する有用な知見の収集が求められる。厨房内に発生する擾乱に関して、筆者は、調理人の動作に伴う擾乱は瞬間的なものが多く、定常的に影響するものではないと考えている。これより、燃焼機器に対して面風速 $0.3[m/s]$ 以上が推奨されているように、多大な換気量を確保して誘引効果を大きくし、擾乱の影響を軽減させることで負荷の排出性能を保持するのではなく、電化厨房に対しては、本研究で示した頂部型排気方式などの効果的な局所排気方式や、一時的な擾乱を軽減する装置の提案を含めた検討が必要であると考えている。また、空調吹出しによる影響は、本研究において示した適正排気量の適用によって厨房内全体の換気量を大幅に低減することが可能となるため、吹出し風速を小さくし、厨房内の擾乱を考慮した空調設計を実現できるものと考えている。ここで、本研究における実験で行っているように、床面吹出しをはじめとする置換換気方式を採用するならば、現状の厨房空間における擾乱は大幅に軽減されるものと考えられる。今後は、これらの擾乱を考慮した空調・換気設計が求められる。また、油煙等の汚染物質に関しては、従来型の排気フード型排気方式や、本研究で提案した頂部型局所排気方式などによる局所排気では、厨房機器から発生する熱上昇流と排気口による誘引による流れ場の形成が支配的となるため、空気の移流による熱および物質の輸送が顕著となり、汚染物質等についても熱と同様の拡散性状を示し、除去性状は本研究で示す排熱性状に近似するものと考えている。一方、天井型排気方式のように、厨房機器と排気口の距離が大きく、熱上昇流が速やかに排気口まで到達しないような流れ場が形成される排気方式では、乱流

拡散や分子拡散による熱および物質輸送が比較的大きくなるため、本研究で示す排熱性状と異なる値となる可能性が示唆される。現状では得られている知見の少ない、油煙や臭気などの拡散性状に関する知見の収集が望まれる。本研究では、電化厨房機器に対する適正排気量を機器定格出力 1[kW]あたり 30[m³/h]と同定しているが、熱のみを対象として得られた知見であることから、今後、得られる汚染物質を対象とした知見を鑑み、順次修正を行っていく必要があると考えている。

最後に、本研究では排気量の低減による省エネルギー性を明らかにしているが、筆者は、運用上においても熱負荷の時系列変化に従った適正排気量を設定することにより、さらなる省エネルギー化を見込むことができると考えている。大量調理を行う施設においては、機器稼動スケジュールや人員配置などが詳細に決められている。これより、空調・換気設備機器についてもスケジュール運転や機器稼動に応じた運転で対応できる可能性がある。これに対しては、厨房機器からの熱が発生し、熱上昇流となって室上方に滞留し、拡散、混合を経て排出されるまでを経時的に考察する必要があると考える。機器に投入される電力の変化と排出される熱の経時変化、および空調負荷の経時変化の関係を明らかにし、適切な運転スケジュールの構築が望まれる。これらのスケジュール運転を組み合わせることにより、さらなる省エネルギー効果が得られるものと考えられる。今後も、上記の事項をふまえて研究に尽力したいと考えている。

著者関連発表論文と各章の対応

第2章 電化およびガス厨房機器からの発生熱

- [1] 村川三郎, 清田誠良, 西胤暢夫, 柿本晋太朗, 熊尾隆丈, 森本旭: 業務用電化厨房機器の発生熱負荷と適正排気量に関する研究 第1報 各種厨房機器からの発生熱量, 空気調和・衛生工学会論文集 NO.95, pp.1-13, 2004.10

第3章 機器使用時における熱上昇流の解析と適正排気量の検討

- [2] 熊尾隆丈, 村川三郎, 日浅英成: 業務用電化厨房機器からの発生熱負荷の除去と周辺空間に及ぼす熱的影響—静穏環境における IH レンジを対象とした実験・解析—, 日本建築学会環境系論文集 第615号, pp.29-37, 2007.5

第4章 頂部型局所排気方式による排熱性状の解析

- [3] 熊尾隆丈, 村川三郎: 業務用電化厨房における頂部型排気方式による熱除去と作業空間に形成される温熱環境—静穏環境における IH レンジを対象とした実験的研究—, 日本建築学会環境系論文集 第627号, 2008.5 (印刷中)

第6章 実調理時の排熱性状および空調負荷の予測

- [4] 熊尾隆丈, 村川三郎: 業務用電化厨房の空調負荷算定に供する調理時発生熱量の予測, 日本建築学会環境系論文集 第624号, pp.167-174, 2008.2

謝辞

本論文は、広島大学大学院工学研究科博士課程前期・後期（社会環境システム専攻）における研究成果をとりまとめたものです。

本研究の遂行にあたり、終始、ご指導、ご鞭撻を賜りました広島大学大学院工学研究科 村川三郎 教授に深く感謝の意を表すとともに、心より厚く御礼申し上げます。また、本研究に対し、数多くの有益な助言を賜りました同 西名大作 准教授、越川康夫 助教に深く謝意を表します。実験に際しては、広島工業大学工学部 清田誠良 教授に様々なご配慮をいただきました。ここに記し、厚く御礼申し上げます。そして、本研究を進めるにあたり、ご多忙の中、流体工学に関して多大なご指導を賜りました、北九州市立大学国際環境工学部 白石靖幸 准教授に厚く感謝申し上げます。実験に用いる様々な装置の作成、および工具の使用については広島大学大学院工学研究科 京泉敬太 技官に多大なご協力をいただきました。心より感謝いたします。また、実務経験を生かした知識と、独自のアイデンティティーをもってご指導いただいた 西胤暢夫 氏に深く感謝の意を表します。本研究をご丁寧に審査していただき、貴重なご意見を賜りました広島大学大学院工学研究科 杉本俊多 教授、同 平野吉信 教授、同 千代章一郎 准教授に厚く御礼申し上げます。

本研究の機会を与えて下さいましたダイダン株式会社開発技術本部 植林信一 常務取締役本部長、同技術研究所 伊藤修一 所長に深く謝意を表します。また、本研究の遂行にあたり、多大なご配慮とご協力を賜りました同技術研究所施工システム開発グループ 鳥越順之 部長代理、仲井章一 課長代理に厚く感謝申し上げます。そして、本研究の進捗を見守って下さいました同技術研究所施工システム開発課の諸氏、環境システム開発課の諸氏に心より感謝申し上げます。

実験データの解析をはじめとして多大な助力をいただいた広島大学大学院工学研究科博士課程前期 吉田淳 氏、ならびに筆者が広島大学大学院工学研究科博士課程前期の時分において、ともに実験・解析を行い、諸問題をのり越えた 柿本晋太郎 氏（現 グローバル・アライアンス・リアルティ株式会社）、森本旭 氏（現 中国電力株式会社）、日浅英成 氏（現 株式会社竹中工務店）に心より感謝いたします。また、広島大学大学院 建築環境学研究室に所属している学生の皆様には、様々な助力をいただきました。ここに記し、謝意を表します。

最後に、社会人と学生の両立を図っていく中で、日々の生活を支えてくれた妻 幸恵、里帰りもほどほどに研究に没頭する日々を支えてくれた両親に心より感謝いたします。

平成 20 年 3 月 23 日