

# 家庭用厨房空間における調理者の局所・非定常温冷感評価

2005541049 吉村 崇弘

白石研究室

家庭用厨房, 温熱環境, 温冷感, 実験, CFD 解析

## 1. はじめに

近年、家庭用厨房(台所)及びそれに隣接したリビング・ダイニング空間の温熱・空気環境を良好にするため、局所排気や空調方式に関する研究が精力的に行われている。しかし厨房空間の中でも特に調理器周辺は調理に伴った熱や水蒸気の発生により気温、湿度、気流、放射環境が著しく変化するため、非定常かつ不均一な温熱環境となりやすい。このため、調理者が曝露される温熱・空気環境は不快感を伴うことも多く、これら熱的ストレスを緩和するような視点も厨房研究において重要であると言える。上述のような温熱環境を呈する厨房空間では、均一かつ定常的な環境を前提としたPMVやSET\*等の指標の適用が難しいことから、新たな評価指標の提案や局所不均一性・非定常性を考慮した温熱環境の評価手法の確立が期待されている。

本研究では、家庭用厨房空間における調理者の快適感を考慮した環境設計に関する研究の一環として、厨房空間内で調理者が曝露される非定常かつ局所不均一な温熱環境を実験室実験にて把握すると共に、被験者実験により調理者の生理量及び心理量を明らかにする。更に実験と同条件で体温調節数値モデル(65MNモデル)とCFD(Computational Fluid Dynamics)の連成解析を行うことにより実験では把握できない詳細な温熱環境や生理量を評価する。

## 2. 実験概要

本実験は被験者実験と物理量測定実験の2つに大別できる。被験者実験では調理時の調理者の皮膚温度及び着衣表面温度(以下着衣温)を測定し、またその時の心理量(温冷感、快・不快感)を申告させる。物理量測定実験では、調理者の立ち位置での上下温湿度分布、風速、短波長及び長波長放射量を測定する。各実験の測定項目及び測定機器を表1にまとめて示す。

### 2-1 実験条件

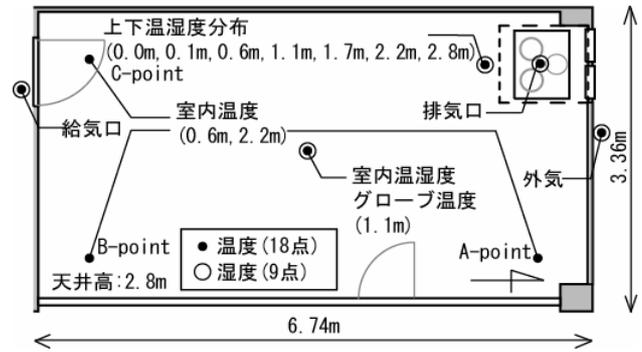


図1 実験室平面図及び測定ポイント  
表1 測定項目と測定機器

	測定項目	測定機器	測定点数
被験者実験	皮膚温	熱電対, CADAC	24
	着衣表面温度		13
	上下温湿度分布(立ち位置付近)	小型無線温湿度計	5
		小型無線温度計	2
	給気の温湿度○	小型無線温湿度計	1
	排気の温湿度○		1
	外気温湿度○		1
	室中心の温湿度○		1
	室中心のグローブ温度○	小型無線温度計	1
	室内温度(4隅)○	小型無線温度計	6
熱放射画像	サーモカメラ		2
室中心の風速	熱式風速計		1
定物理量測定 ※測	上下温湿度分布(立ち位置)	温湿度計	5
		小型無線温度計	2
	風速(立ち位置)	熱式風速計	3
	放射量(立ち位置)	4成分放射収支計	1

※被験者実験と同様に○印の測定を行っている。

表2 被験者実験の実験ケース

ケース	調理器の種類	換気量 [m³/h]	出力 [kW]	被験者数[人]
I2M	I H	225(弱)	2.5(中)	5
I3L	I H	335(中)	1.5(弱)	5
I3M	I H	335(中)	2.5(中)	5
L2M	都市ガス	225(弱)	2.5(中)	5
L3L	都市ガス	335(中)	1.61(弱)	5
L3M	都市ガス	335(中)	2.45(中)	5
P3M	L Pガス	335(中)	2.45(中)	5

本実験は北九州市立大学国際環境工学部S棟327の厨房実験室(6.74m×3.36m×2.8m)にて行った。実験時には冷房を24.5℃設定(静穏時でのPMVがほぼ0となる温度設定)とし、風量は自動制御とした。この際、

冷房の吹き出し気流が直接被験者に当たらないように配慮している。実験室の詳細及び測定ポイントを図 1 に示す。実験中は、調理として野菜炒めを想定し、直径 26cm のフライパンでにんじん、タマネギ等を炒めている<sup>注1)</sup>。実験ケースは調理器、発熱量、換気量を変えて計 7 ケースを対象とした。調理器は IH、都市ガス、LP ガスを使用し、発熱量及び換気量は弱と中設定で行った。被験者実験のケース表を表 2 に示す。物理量測定実験に関しては、被験者実験と同条件とし、各ケース 1 回計 7 回の測定を行っている。

## 2-2 被験者実験

標準的な体型で健康な男子大学生 5 人を被験者とし、調理実験を行った。衣服は中間期を想定し、長袖 T シャツ、エプロン、長ズボン、靴下、下着とし、またスリッパを履いている (0.72c10)。皮膚温及び着衣温を連続的に測定するため、熱電対を部位別に計 37 カ所に多孔質医療テープで貼り付けた (図 2, 3 参照)。またサーモカメラによる熱画像撮影も行った。調理時の代謝量を揃えるため、被験者は野菜をフライパンで返さず、菜箸を使って一定のペースでかき混ぜている。

加熱直前に全身温冷感及び全身快不快感を申告してもらってから加熱を開始した。申告は ASHRAE の 7 段階スケールに準じて行っている。その後、表 3 に示すスケジュールにて申告をしてもらい、熱画像を撮影した。加熱から 14 分後に野菜を入れ替え、さらに 14 分間加熱させた。28 分後に加熱を止め、上記 2 種類の申告に加え、部位別 (16 部位) の温冷感申告も行った。被験者実験全体のタイムスケジュールを図 4 に示す。

## 2-3 物理量測定実験

加熱から 28 分間、調理者立ち位置の高さ 1.1m で風速を測定した。28 分経過後は加熱を続けたまま高さ 0.6m、1.1m、1.7m で 1 分間平均風速を測定した。その後 4 成分放射収支計で調理者立ち位置の高さ 1.1m における 6 方向 (上下, 左右, 前後) の短波長及び長波長放射量を測定した。被験者実験との対応を考え、実験終了までの間、調理器側面より実験者が野菜を炒めた。この際、計測器と実験者との間に遮蔽板を立て、実験者の熱及び動きによる気流の乱れが測定に影響を与えないように配慮している。

## 3. 実験結果

代表ケースとして L3M の着衣温、皮膚温及び申告値

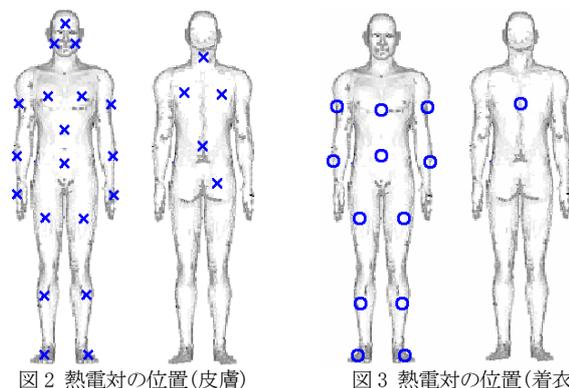
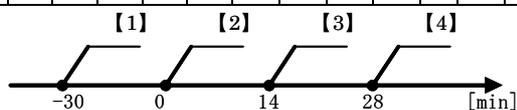


図 2 熱電対の位置 (皮膚)

図 3 熱電対の位置 (着衣)

表 3 全身温冷感、快不快感の申告及び熱画像撮影のスケジュール

時間 [min]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	-	20	-	28
申告	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●		●
撮影	●	●	●		●			●			●		●



【1】着替え・熱電対装着 【2】調理開始 (加熱)  
【3】入替え 【4】加熱終了・部位別温冷感申告

図 4 被験者実験のタイムスケジュール

の時系列変化を図 5～図 7 に、部位別温冷感を図 8 にそれぞれ示す (5 人の平均値)。ここで、着衣温及び皮膚温に関してはデータ数が多いため、類似するデータをそれぞれ 7 要素と 10 要素に分類し、4 分間隔でプロットしている。

## 3-1 被験者実験

### 1) 着衣温 (図 5)

着衣温はどのケースでも熱源から一番近い胴回りが最も高い温度となり、P3M に至っては 50°C 近くまで上昇する被験者もいた。胴回りの温冷感では中火の 5 ケースにおいて 1.2～1.8 と 2 未満となっており、手の部位ほど極端に高くはないが、その他の部位と比較すると高い (図 8 参照)。これよりエプロンは汚れを防ぐだけでなく、調理器からの放射の遮蔽効果も期待できる。

### 2) 皮膚温 (図 6)

調理開始前 0 分と開始後 28 分の皮膚温間では、着衣温のような顕著な差は見られなかった。ただし放射及び熱上昇流の影響を受けやすい右手、胴回り、頬などの上昇は大きかった。これに対して、下腿、背中、腰、大腿、首の皮膚温は下がる傾向にあった。これは調理の進行に伴った発汗による熱損失であると推察される。

### 3) 心理量 (図 7)

全身温冷感と全身快不快感には負の相関が見られ、全身温冷感が暑い方向に推移すれば全身快不快感は不

快の方向に推移した。また生理量、心理量共にすべてのケースにおいておおよそ調理開始後 12-14 分で概ね定常状態に達した。これより本実験条件では定常までに要する時間には生理量、心理量共に差がなく、調理器、発熱量、換気量に依存しないものと考えられる。

#### 4) 調理器及び発熱量の差による皮膚温への影響

調理開始前と開始後 28 分での平均皮膚温には、全てのケースにおいて有意な差があった ( $p < 0.01$ )。ただし、平均皮膚温の上昇量をケース間で検討した場合、I3M と I3L ( $p < 0.01$ ) 及び L3M と L3L ( $p < 0.05$ ) のケース間 (両ケース間共に発熱量が異なる) においてのみ、有意な差が確認できた。従って、今回の実験条件では、調理器の発熱量の差異によって調理者の皮膚温上昇に明確な差は生じるが、換気量及び調理器の差異では顕著な差が生じないものと思われる。更に部位別では、放射及び熱上昇流の影響を受けやすい額、頬、胸、へそ上、胴回り、右前腕、右手、左手で皮膚温上昇に有意な差が生じた ( $p < 0.05$ )。特に頬、右手、へそ回りは平均で  $1^{\circ}\text{C}$  以上上昇した。

#### 5) 換気量の差による温冷感への影響

換気量が弱と中設定の場合、IH では頭部における部位別温冷感に差はなかったが、都市ガスでは 0.8 の差異 (L2M と L3M) が生じた。図 9 に両ケースの熱画像を示す。IH ではレンジフード表面の温度に差は見られないが、都市ガスでは換気量が弱の場合、表面温度が著しく高くなる。また実験中、弱では調理に伴った煙を捕集しきれず実験室に広がっていた。これより都市ガスの場合、換気量弱では熱を捕集しきれず、その熱気に頭部が曝露され、またレンジフード表面の温度が上昇し、それに伴うフードからの放射の影響も大きくなったものと考えられる。また定常時 (28 分時) の全身温冷感にも L2M の方が L3M より暑いという差 (0.6) が生じた。

#### 6) 全身温冷感と部位別温冷感の関係

図 10 に全ケースの全身温冷感と部位別温冷感 (一部のみの) を示す。特に、頭部 (顔) と全身の温冷感に強い相関が見られ ( $r=0.848$ )、頭部を暑く感じたことにより全身温冷感も暑く感じたものと推察される<sup>注2)</sup>。

#### 3-2 物理量測定実験

全てのケースで調理者立ち位置での平均風速は高さ 0.6m、1.1m、1.7m の全地点で  $0.05 \sim 0.10\text{m/s}$  の範囲にあり微風であった。また非定常状態での時間的変化も

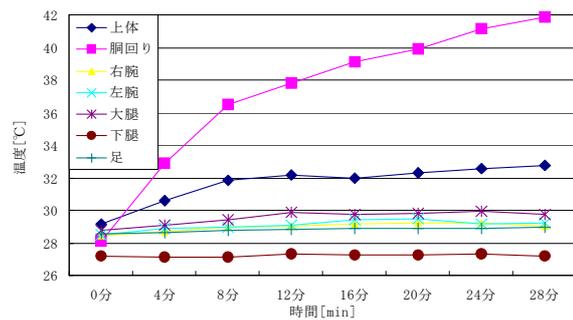


図 5 着衣表面温度 (L3M)

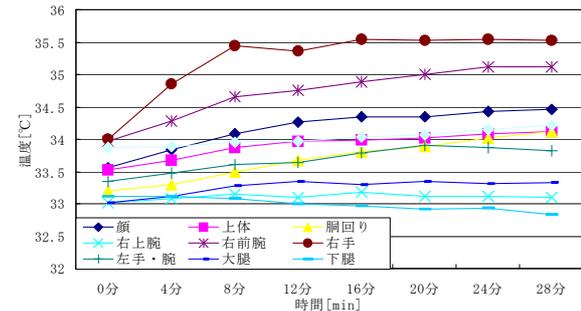


図 6 皮膚温 (L3M)

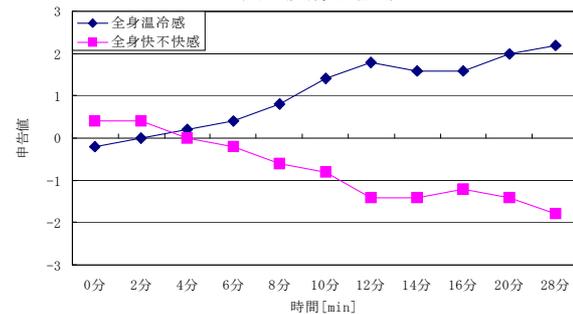


図 7 全身温冷感と全身快不快感 (L3M)

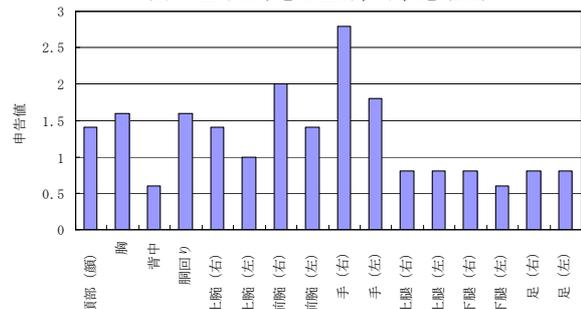
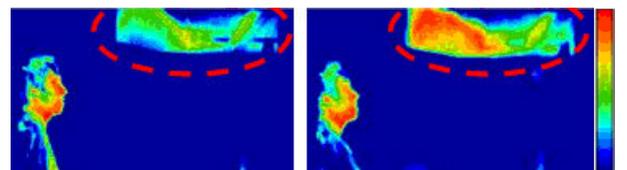


図 8 部位別温冷感 (L3M)

35°C



1) L3M

2) L2M

30°C

図 9 熱画像

見られなかった。表 4 に調理開始 28 分後の調理者立ち位置での MRT、PMV 及び全身温冷感の申告値を示す。被験者立ち位置での放射量は調理器側で高いが、他 5 方向はその 1/3 以下であったため、重み係数を用いて 6 方向で平均化<sup>文1)2)</sup>すると MRT が低く算出される傾向に

ある。それゆえ、調理器からの放射の影響を強く受けているものの、MRT が過小に評価され、温冷感申告値よりも PMV の算出値が小さくなる。しかし、被験者は局所的ではあるが、強い長波長放射に長時間曝露されて、算出値よりも暑い側の申告をしているものと考えられる。このため、局所的に放射の影響を強く受けるような状況下で重み係数を用いて MRT を算出する場合は、測定点数を増やしたり、部位毎の感度を考慮する等の検討が必要である。

#### 4. CFD 解析

I3M のケースを対象に、CFD 及び体温調節数値モデルの連成解析を行い、調理器周辺の詳細な温熱・空気環境を再現すると共に、皮膚温や着衣表面温度の分布特性についても検証を行う。

実験での A, B, C-point (図 1 参照) における温度の測定結果と解析結果が 1°C 以内で近い値となり、実験室の温度場及び流れ場の予測精度は高い (図 11 参照)。体温調節数値モデルの表面温度を図 12 に示す。人体の前面と背面で着衣温が大きく異なり、放射の影響を強く受けていることがわかる。図 13 に人体の部位別の潜熱損失量を示す。放射を強く受けている頭部、胴回り及び胸の潜熱損失量が大きく、また手も熱源近くにあり、着衣に覆われていないことから、比較的に高い値を示している。しかし、放射の影響をほとんど受けていない背中でも潜熱損失量が大きい。このような結果は実験時の申告で背中が寒いと申告した被験者がいたり、背中での温冷感申告 (部位別) が低く、全身温冷感との相関も低かった ( $r=0.32$ ) ことと概ね対応するものである。

#### 5. 総括

本研究において、厨房での局所的な放射による暴露が調理者の身体各部位や全身の生理量、心理量に影響を及ぼし、その影響は部位によって異なることが確認された。しかし被験者の数が少ないことや実験状況の不統一などの問題が懸念されるため、今後改善を図り、より詳細なデータを得ることが必要であると考えられる。

##### 〈参考文献〉

- 文 1) B. W. Olesen, et al.: Method for Measuring and Evaluating the Thermal Radiation in a Room, ASHRAE Transaction, Vol. 95(1), pp. 1028-1044, 1989.
- 文 2) 中村泰人, 建築都市空間内の人体に対する熱放射場の表現方法について, 日本建築学会計画系論文報告集第 376 号, pp. 29-35, 1987.
- 文 3) 西原直枝, 長谷部ヤエ: 局所冷刺激に対する人体反応特性の部位差, Jpn. J. Biometeor. 39(4), 107-120, 2003.

表 4 MRT, PMV と温冷感申告値

	I2M	I3L	I3M	L2M	L3L	L3M	P3M
MRT [°C]	28.35	27.13	28.74	30.97	28.81	30.92	31.10
PMV	1.42	1.29	1.46	1.68	1.48	1.65	1.69
申告値	1.6	1.8	2	2.8	1.8	2.2	2.4

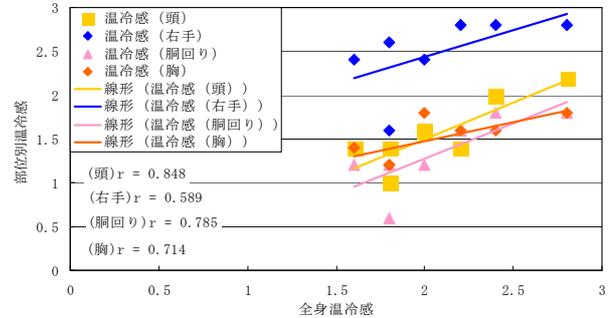


図 10 全身温冷感と部位別温冷感

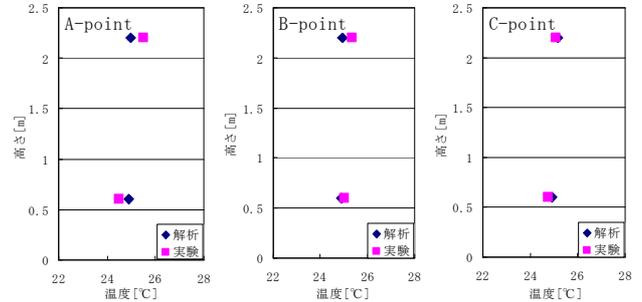


図 11 温度分布の予測精度

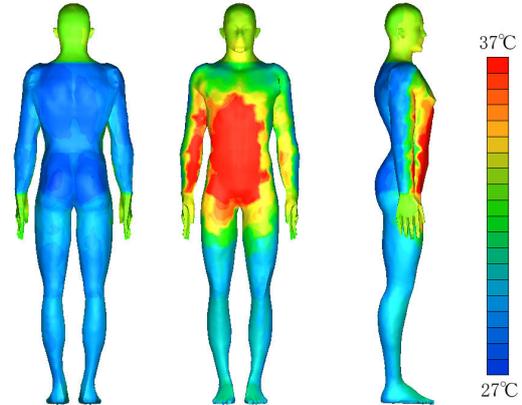


図 12 体温調節数値モデルの画像

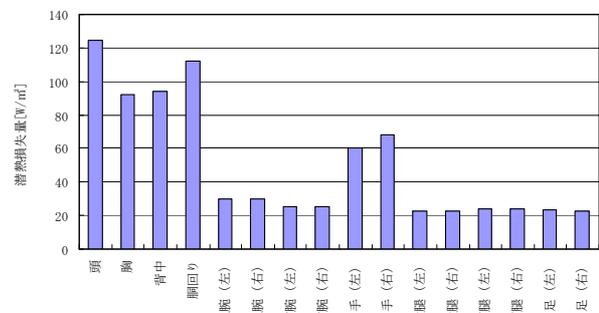


図 13 部位別の潜熱損失量

##### 〈注釈〉

- 注 1) 被験者実験では被験者が調理し、物理量測定実験では実験スタッフが調理台側面から調理を行う。
- 注 2) 西原等<sup>文3)</sup>により顔の温冷感と全身温冷感の相関が高いことが報告されている。