

令和 2 年度内閣府食品安全委員会調査事業

加熱調理の科学的情報の解析及び画像の開発
報告書

令和 3 年 3 月

国立大学法人 お茶の水女子大学

目 次

I. 調査の概要	1
II. 調査目的	2
III. 調査体制と実績	3
IV. 調査結果	4
1. 低温調理と食材の加熱状態の関係	4
1.1. 実験方法	4
1) 試料	4
2) 加熱	4
3) 加熱の条件	4
4) 温度の測定	5
5) 重量の測定	5
1.2. 実験結果	5
1) 加熱条件の決定(予備実験)	5
2) 加熱温度の違いが食肉の内部温度上昇に及ぼす影響	6
3) 肉の初期温度が加熱時間に及ぼす影響	10
4) 肉の大きさが加熱時間に及ぼす影響	11
5) 肉の種類が加熱時間に及ぼす影響	12
6) 室温の水に肉を入れて加熱した際の加熱時間	14
2. 細菌の殺菌・ウイルスの不活化を期待した温度の加熱調理と食材の加熱状態の関係①	
食肉(ハンバーグ)	15
2.1. 実験方法	15
1) 実験条件	15
2) 材料及びハンバーグ生地調製	15
3) 加熱	16
4) 温度測定	17
5) 重量測定	17
6) 体積測定	17
2.2. 実験結果	18
1) 加熱条件の決定(予備実験)	18

2) ハンバーグ加熱中の中心部温度変化と余熱の効果	20
3) ハンバーグ加熱中の断面の変化と加熱終了時の肉汁の色	21
4) 初期温度がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響	23
5) 形状がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響	25
6) 蓋の使用方法がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響	26
7) 加熱終了時の温度とその後の放置方法がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響	28
8) ひき肉の種類がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響	29

3. 細菌の殺菌・ウイルスの不活化を期待した温度の加熱調理と食材の加熱状態の関係①	
食肉（トンカツ）	31
3.1. 実験方法	31
1) 実験条件	31
2) 材料及び試料調製	31
3) 加熱	31
4) 温度測定	32
5) 重量測定	32
6) 体積測定	32
3.2. 実験結果	32
1) 加熱条件の決定（予備実験）	32
2) トンカツの揚げ時間が内部温度や仕上がりに及ぼす影響	33
3) トンカツの初期温度が加熱時間に及ぼす影響	36
4) トンカツの揚げ温度が加熱時間に及ぼす影響	37
5) トンカツの形状が加熱時間に及ぼす影響	38
6) トンカツの衣の違いが加熱時間に及ぼす影響	39

4. 細菌の殺菌・ウイルスの不活化を期待した温度の加熱調理と食材の加熱状態の関係①	
食肉（鶏の唐揚げ）	42
4.1. 実験方法	42
1) 実験条件	42
2) 試料の調製	42
3) 加熱	42
4) 温度測定	43
5) 重量測定	43
6) 体積測定	43
4.2. 実験結果	43
1) 加熱条件の決定（予備実験）	43

2) 鶏の唐揚げの揚げ時間が内部温度や仕上がりに及ぼす影響	44
3) 鶏肉の種類と大きさが加熱時間に及ぼす影響	46
4) 鶏肉の初期温度が加熱時間に及ぼす影響	47
5) 醤油の使用の有無が加熱時間や見た目に及ぼす影響	48
 5. 細菌の殺菌・ウイルスの不活化を期待した温度の加熱調理と食材の加熱状態の関係②	
二枚貝(ゆでガキ・カキフライ)	50
5.1. 実験方法	50
1) 実験条件	50
2) 試料の調製	50
3) 加熱	50
4) 温度測定	51
5) 重量測定	51
5.2. 実験結果	51
1) ゆでガキを調理した場合の温度変化と見た目	51
2) カキフライを調理した場合の温度変化と見た目	53
 6. ステーキ焼成時の温度と食材の加熱状態の関係	57
6.1. 実験方法	57
1) 試料の調製	57
2) 加熱	57
3) 温度測定	57
6.2. 実験結果	57
 7. 電子レンジによる加熱の特性(白飯)	58
7.1. 実験方法	58
1) 実験条件	58
2) 試料調製	59
3) 電子レンジ及び加熱条件	59
4) 表面温度の測定	60
5) 内部温度の測定	60
7.2. 実験結果	61
1) 白飯の加熱ムラの概要	61
2) 重量の違いが白飯の加熱ムラに及ぼす影響	62
3) 蓋の有無が白飯の加熱ムラに及ぼす影響	65
4) 食塩の添加が白飯の加熱ムラに及ぼす影響	67

5) 容器への詰め方が白飯の加熱ムラに及ぼす影響	69
6) 初期温度が白飯の加熱ムラに及ぼす影響	72
7) 出力が白飯の加熱ムラに及ぼす影響	73
8) 機種が白飯の加熱ムラに及ぼす影響	74
8. 電子レンジによる加熱の特性(カレー)	75
8.1. 実験方法	75
1) 実験条件	75
2) 試料	76
3) 電子レンジ及び加熱条件	76
4) 表面温度の測定	76
5) 内部温度の測定	76
8.2. 実験結果	76
1) 容器の形とラップの有無がカレーの加熱ムラに及ぼす影響	76
2) 小分けによる加熱ムラの改善	79
3) かき混ぜ操作による加熱ムラ改善	80
9. 電子レンジによる加熱の特性(カレーライス)	82
9.1. 実験方法	82
1) 実験条件	82
2) 試料	82
3) 電子レンジ及び加熱条件	82
4) 表面温度の測定	82
5) 内部温度の測定	82
9.2. 実験結果	83
1) 盛り方の違いがカレーライスの温度分布に及ぼす影響	83
10. 電子レンジによる加熱の特性(惣菜)	91
10.1. 実験方法	91
1) 惣菜	91
2) 電子レンジ及び加熱条件	92
3) 表面温度の測定	92
4) 内部温度の測定	92
10.2. 実験結果	92
1) 各種惣菜(鶏の唐揚げ、トンカツ、赤飯おにぎり、鮭の塩焼き、チキンステーキ) 再加熱時の加熱ムラ	92

2) ハンバーグ再加熱時の加熱ムラ	98
3) グラタン及び幕の内弁当の加熱ムラ	100
V. 総括	103
VI. 引用文献	104

I. 調査の概要

本調査では食品が衛生的に加熱された時及び加熱が不十分な時がどのような状態であるかを情報発信するための温度と画像のデータを取得するために、低温調理を含む様々な調理法で畜肉及び二枚貝（カキ）を加熱した際の温度変化を測定し、食材の状態を評価した。さらに、電子レンジで調理品を再加熱する際の加熱ムラについても検討した。

低温調理では鶏ムネ肉及び牛モモ肉を 63～75℃で、鶏ササミおよび鶏モモ肉を 70℃で加熱した。食肉内部の温度変化の測定結果から衛生的な加熱時間を示した。ここでは、衛生的な加熱の条件を厚生労働省から発表されている数値を元に、63℃で 30 分間、70℃で 3 分間、75℃で 1 分間とした。鶏ムネ肉については冷凍状態及び冷蔵庫から取り出した直後に加熱を行なったところ、冷凍状態のものの加熱時間が著しく長かった。牛モモ肉については重量の違いを比較し、300 g の牛モモ肉に比べて 760 g の牛モモ肉では約 1 時間加熱時間が長くなった。

その他の一般的な加熱調理としてハンバーグ、トンカツ、鶏の唐揚げ、ゆでガキ、カキフライを用いて温度や重量、体積の変化を測定し、見た目の変化を示す画像を取得した。それぞれの調理品について、加熱時間に影響する要因として次の条件について検討をおこなった。ハンバーグについては初期温度、形状、フライパンで加熱する際の蓋の使用方法、加熱終了後の放置方法、肉の種類を変えて加熱した。トンカツについては加熱温度、初期温度、形状、衣の種類を変えて加熱した。鶏の唐揚げについては初期温度、形状、肉の種類、調味料の使用方法を変えて加熱した。ゆでガキ及びカキフライについては初期温度を変えて実験した。

ゆでガキを除くいずれの調理品についても、加熱終了後に内部温度がさらに上がってゆっくり降下するという余熱の効果が確認され、75℃で 1 分間の加熱よりも手前で取り出してもその後の余熱で 75℃以上を 1 分間以上保持した。見た目については、焼き色や衣の揚げ色などの表面の状態や断面の色などからは衛生的には加熱不十分な状態でも加熱されたように見えた。そのため、見た目は加熱終了の判断基準にはならず、今回の実験結果から加熱条件に対応した加熱時間の目安を提示した。さらに、ハンバーグではフライパンに蓋をすることで加熱時間が短縮されることが明らかになり、蓋の利用が有効であることを示した。

電子レンジでの再加熱については、白飯、カレー、カレーライス、惣菜類（鶏の唐揚げ、トンカツ、赤飯おにぎり、鮭の塩焼き、チキンステーキ、デミグラスソースハンバーグ、チーズグラタン、幕の内弁当）について検討した。特に、白飯の再加熱では、食塩添加の有無、容器への詰め方や使用する電子レンジの機種の違いなど、加熱のされ方に影響すると考えられる要因について詳細に検討した。その結果、電子レンジの加熱ムラは特に食塩を含む場合に顕著であり、端部の昇温が速かった。カレーのように攪拌できる場合には加熱の途中で一度取り出して温度が均一になるまで攪拌してから再度加熱することで加熱ムラを抑えることができた。さらに容器に蓋をした場合に加熱ムラを抑えることができ、電子レンジでの再加熱についても蓋の利用が有効であった。

II. 調査目的

令和元年の食中毒は 1061 件発生し、そのうち 151 件が家庭での食中毒である。そのため、一般の消費者向けに調理中の温度の変化と見た目の様子などの画像に基づいて衛生的に適切な加熱調理の仕方についての情報を発信することが重要である。畜肉等の加熱については焼く、揚げるといった従来の調理法に加えて近年家庭でも行われるようになった湯煎による低温調理を含めて、衛生的な食品の加熱に関して情報を発信する必要がある。

また、電子レンジはマイクロ波の照射によって食品内部が発熱することで食品が昇温することを利用した調理器であり、揚げるといった調理法とは加熱の原理が異なる。速やかに加熱される一方で、加熱にムラがあることが問題となる。

そこで本調査では低温調理や電子レンジを含む様々な調理法を用いて、調理工程の様子、調理品の加熱の状態等についてわかりやすい画像情報を開発・収集するとともに、画像が得られた時の調理条件の科学的情報を収集することを目的とした。

III. 調査体制と実績

調査実施委員会 佐藤瑤子（お茶の水女子大学）

大石恭子（和洋女子大学）

アドバイザー 松本美鈴（大妻女子大学）

杉山久仁子（横浜国立大学）

調査実施概要 全ての実験の実施前に予備実験を行った（実施時期 6～12 月）。また本試験（実施時期 10 月～3 月）については 3 回以上繰り返し行った。報告書の中には予備的に行った実験内容も記載した。画像は 1～2 月に撮影した。

報告会 3 月 5 日（金）にオンラインで食品安全委員会および事務局に事業結果を報告した。

IV. 調査結果

1. 低温調理と食材の加熱状態の関係

1.1. 実験方法

1) 試料

鶏ムネ肉（国産）、鶏ササミ（国産）、牛モモ肉（オーストラリア産）を用いた。いずれも約 300 g とし、塊のままジップ付き袋の中に入れ、水中で脱気した。さらに、「3) 加熱条件」において示した「試料の初期温度」が室温の試料は室温とほぼ同じになるまで室内で放置し、冷蔵、冷凍の条件では、冷蔵庫もしくは冷凍庫に入れた。冷蔵の場合には冷蔵庫内の温度とほぼ同じ温度（2～7℃）になったことを確認して加熱した。冷凍の場合には、冷凍庫に 1 日以上入れ、内部まで凍っていることを確認した。この時の試料の温度は－19～－15℃であった。

2) 加熱

10 L 容量のアルミ製寸胴鍋に 7 L の水を入れ、家庭用の低温調理器（A 社製）で温度一定になったことを確認してから試料を水に入れて加熱した（図 1）。本実験では水温を直径 5 mm のシース型 K 熱電対（安立計器）で測定しながら所定の温度（63、70、75℃）になるように調理器の設定温度は 1～2℃高くした。



図 1 加熱及び温度計測の様子

3) 加熱の条件

本実験では、表 1 のように肉の温度変化に影響すると考えられる要因を挙げた。先行研究¹⁾や市販されている肉の重量を参考に、基準を「鶏ムネ肉 300 g、肉の初期温度を室温、加熱温度 70℃」として、それぞれの要因を検討する際にその部分だけ条件を変えて比較した。

表 1 実験を行った条件

要因	基準	比較条件	報告書記載 項目番号
加熱温度	70℃	63℃ / 75℃ 鶏ムネ肉、牛モモ肉を使用	1.2. 2)
試料の初期温度	室温 (14～23℃)	冷蔵 (2～7℃) / 冷凍 (－19～－15℃)	1.2. 3)
重量	300 g	700 g (牛モモ肉で比較)	1.2. 4)
肉の種類	鶏ムネ肉	鶏モモ肉 / 鶏ササミ / 牛モモ肉	1.2. 5)
加熱方法	水温一定	水から加熱	1.2. 6)

4) 温度の測定

先端部に温度計測のセンサ 1 点を有する $\phi 1$ mm シース型 K 熱電対（安立計器）を用いて肉の内部温度及び水温を測定した。鶏ムネ肉については、図の×印で示した 3 点の温度を測定し、データコレクタ（AM-800K、安立計器）にて記録し、最低温度を解析した。その他の肉については、鶏ササミは最も厚い箇所、牛モモ肉は中心部に熱電対を挿入した。



図 2 鶏ムネ肉に温度計を刺した様子
×が温度計測箇所

5) 重量の測定

電子秤（GX-8K2、AND、秤量 8.1 kg、最小表示 0.01 g (2.1 kg まで)、0.1 g (2.1 kg 以上)）で加熱前後の肉の重量を測定し、その重量差を重量減少量とした。さらに、加熱前の重量に対する重量減少量の割合を重量減少割合とした。

1.2. 実験結果

1) 加熱条件の決定（予備実験）

実験に先立ち、鶏ムネ肉を加熱する際の水温を測定した。低温調理機の設定温度と水温は以下の通りであった。

- i. 64℃設定
初期水温：62.6℃
鶏ムネ肉投入後 1 分間経過後の水温：62.7℃
鶏ムネ肉投入後 1 時間経過後の水温：63.5℃
- ii. 71℃設定
初期水温：68.0℃
鶏ムネ肉投入後 1 分間経過後の水温：70.0℃
鶏ムネ肉投入後 1 時間経過後の水温：70.4℃
- iii. 76℃設定
初期水温：74.4℃
鶏ムネ肉投入後 1 分間経過後の水温：74.6℃
鶏ムネ肉投入後 1 時間経過後の水温：75.1℃

以上の結果より、本実験で低温調理機の温度設定をする際には、水温を実際に測定しながら所定の温度（63、70、75℃）になるように1～2℃高く設定することとした。

2) 加熱温度の違いが食肉の内部温度上昇に及ぼす影響

最初に水温が食肉の内部温度上昇に及ぼす影響を検討した。図3は鶏ムネ肉、図4は牛モモ肉を63、70、75℃で加熱した際の試料の温度変化である。この温度変化の実測値から、試料の温度が加熱温度と同じ温度になる時間及び衛生基準を満たす加熱時間を表2に示した。本実験では、厚生労働省が公表している情報をもとに、63℃で30分間²⁾、70℃で3分間³⁾、75℃で1分間⁴⁾の加熱を衛生基準とした。鶏ムネ肉、牛モモ肉のいずれも加熱温度によらず、加熱温度と同じ温度になる時間はほぼ同じで、鶏ムネ肉300gで約70分間、牛モモ肉300gで約100分間であった。衛生的な加熱のためには、ここからさらに63℃では30分間、70～75℃では5分間加熱する必要があると考えられる。

図5及び6は63～75℃で加熱した鶏ムネ肉の外観（表面）及び断面である。63℃及び70℃の断面は試料がややピンク色であるが、75℃ではそれらよりも白っぽくなっていた。肉色素であるミオグロビンは加熱によるタンパク質部分の変性とヘム色素中の鉄イオンの酸化によって褐色に変化することが知られており⁵⁾、このような変化が起こったことで試料の赤みが低下したと考えられる。また、表3に示したように、温度が高いほど試料の重量は減少した。図7は肉汁の様子であるが、63℃では量は少なく白濁していた。温度が高くなるほど肉汁の量は増え、透明になった。温度が高いほどタンパク質の変性による保水性の低下と肉の収縮が進むことで肉汁が溶出したと考えられる。さらに、肉の水分と共に溶出したタンパク質は温度が高いほど変性して凝集することで、肉汁は透明になったと考えられる。このよ

うに、肉や肉汁の見た目について温度による違いは観察できたものの、図 5 及び 6 における加熱不十分な状態と衛生基準を満たした状態で見目に違いは認められなかった。よって、肉の低温調理において見た目から衛生基準を満たしているかどうかを判断することは難しいと言える。

図 8 は 63～75℃で加熱した牛モモ肉の表面と断面の画像である。温度が低いほど赤みが強く、鶏ムネ肉よりも温度による差が明瞭であった。牛肉は鶏肉に比べて肉色素であるミオグロビン量が多く⁶⁾、加熱に伴う色の変化が観察しやすかったと考えられる。肉汁の色について観察したところ、いずれの温度でも茶褐色であった。重量減少割合（表 3）はいずれの温度においても鶏ムネ肉よりも多かった。牛モモ肉は鶏ムネ肉より結合組織のコラーゲンが多く、筋繊維が収縮しやすいこと、加熱時間が鶏ムネ肉よりも長いことが影響していると考えられる。

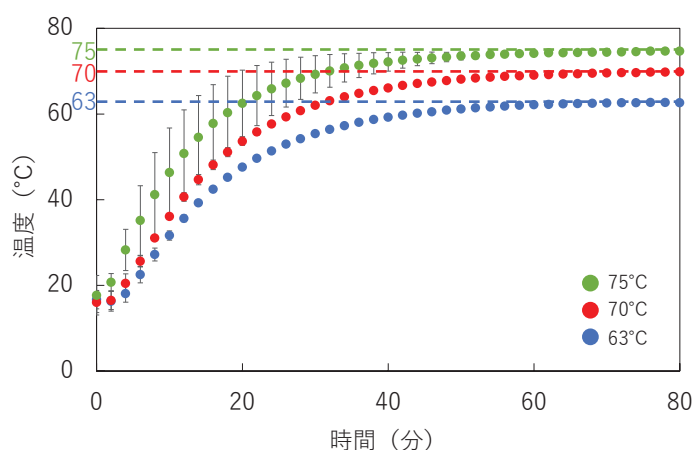


図 3 鶏ムネ肉 300 g を 63～75℃で加熱した場合の肉内部の最低温度の変化
n=3

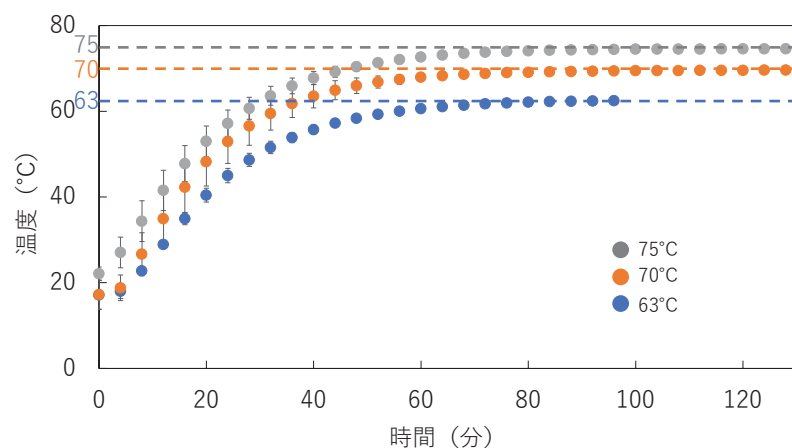


図4 牛モモ肉 300 g を 63～75℃で加熱した場合の中心部の温度変化
n=3～5

表2 63、70、75℃で加熱した 300 g の鶏ムネ肉及び牛モモ肉の加熱時間

加熱温度	鶏ムネ肉		牛モモ肉	
	加熱温度と同じ温度になる時間 (分)	衛生基準*を満たす加熱時間 (分)	加熱温度と同じ温度になる時間 (分)	衛生基準*を満たす加熱時間 (分)
63℃	68±7	98±7	94±1	124±1
70℃	68±7	71±7	100±8	103±8
75℃	65±13	66±13	101±7	102±7

*衛生基準：63℃ 30 分間²⁾、70℃ 3 分間³⁾、75℃ 1 分間⁴⁾

肉の初期温度：鶏肉 14～22℃、牛モモ肉 15～23℃ n=3～5

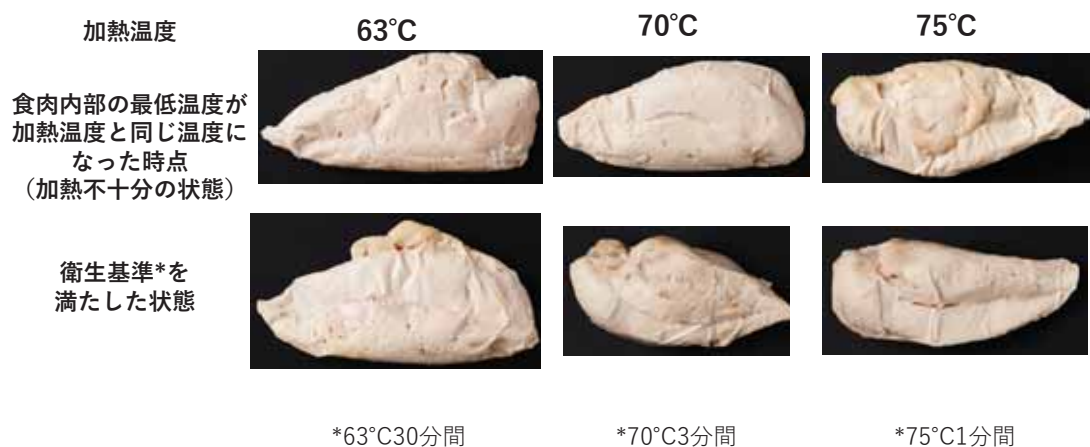


図5 63～75℃で加熱した鶏ムネ肉の外観

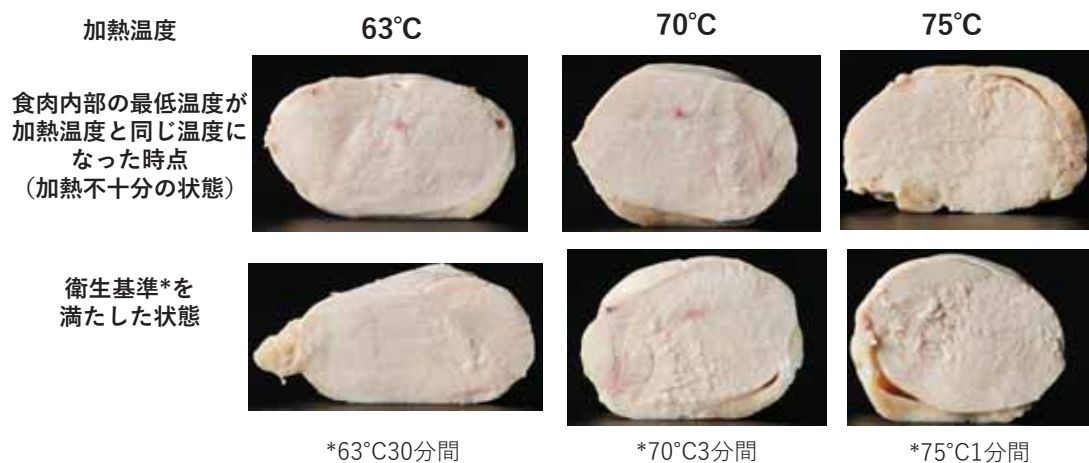


図6 63～75°Cで加熱した鶏ムネ肉の断面



図7 衛生基準を満たす時間で鶏ムネ肉を加熱した際の包装内の肉汁
左から 63°C、70°C、75°C。

表3 鶏ムネ肉及び牛モモ肉の重量減少割合

	(%)	
	鶏ムネ肉	牛モモ肉
63°C 30 分	13.4±2.3	23.5±0.3
70°C 3 分	15.4±1.3	29.5±0.6
75°C 1 分	19.4±1.0	34.7±2.3

n=3～4

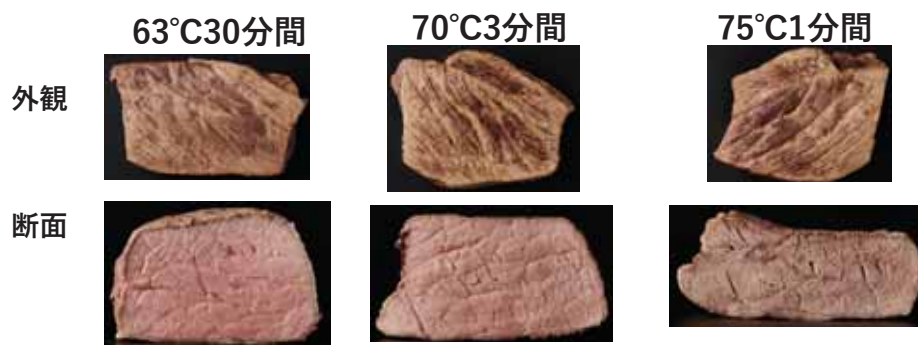


図8 63～75°Cで衛生基準を満たす条件で加熱した牛モモ肉の外観及び断面

3) 肉の初期温度が加熱時間に及ぼす影響

図9は室温、冷蔵、冷凍状態の温度の鶏ムネ肉を70°Cで加熱した際の温度変化である。この結果から加熱温度と同じ温度になる時間を表4に示した。室温と冷蔵の差に比べて冷蔵と冷凍の差が大きく、冷凍状態のものの加熱時間が長かった。1 kgの水を1°C上げるために必要な比熱は4.2 kJ/kgであるのに対し、1 kgの氷を溶かすために必要な融解熱は334 kJ/kgであり、水の温度上昇よりも氷が溶けるのには時間を要する。よって、凍結した食肉中の水分が溶けるのに時間を要したため、冷凍状態の鶏ムネ肉の加熱時間が長くなったと言える。

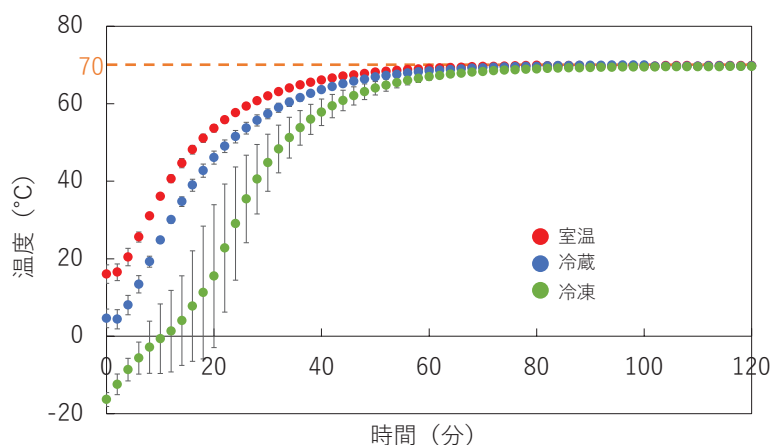


図9 初期温度を変えた時の鶏ムネ肉 300 g の内部の最低温度の変化
n=3～4

表 4 初期温度を変えた時の鶏ムネ肉 300 g の加熱時間の違い

	初期温度 (°C)	70°Cになるまでの 時間 (分)	衛生基準*を満たす 加熱時間 (分)
室温	16.0±2.4	68±7	71±7
冷蔵	4.6±1.8	77±8	80±8
冷凍	-16.4±1.8	100±11	103±11

* 70°C 3分

n=3~4

4) 肉の大きさが加熱時間に及ぼす影響

異なる形状の牛モモ肉（ブロック）の温度変化を測定した。基準の重量の 300 g（長辺 11 cm、短辺 9 cm、厚さ 3 cm のブロック）とその 2 倍以上の重量の 760 g（長辺 18 cm、短辺 9 cm、厚さ 6 cm のブロック）の牛モモ肉を用いて比較した。なお、1 ブロック 700 g 程度の鶏肉を得ることはできなかったため、本実験は牛モモ肉のみで行った。

図 10 はそれぞれの牛モモ肉の温度変化であり、300 g に比べて 760 g の中心部の温度上昇は遅かった。この結果から加熱温度と同じ温度になるまでの時間と衛生基準を満たす加熱時間を表 5 に示す。牛モモ肉 300 g で約 100 分間であるのに対し、760 g は約 180 分と 1 時間以上長くなった。300 g 及び 760 g の長辺、短辺及び厚さのいずれも長く、また塊状であったため、外側から加熱する場合に中心部の温度が上昇するまでに時間を要したと考えられた。

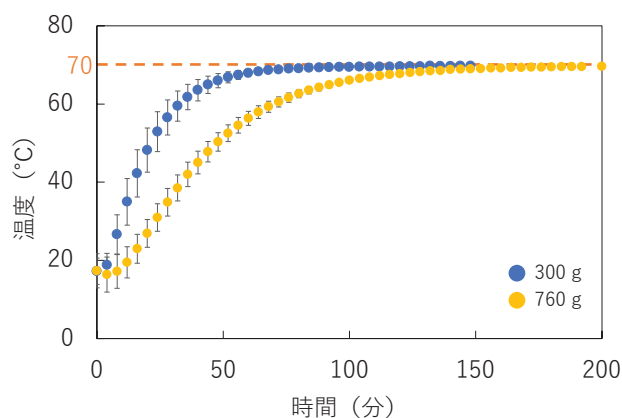


図 10 牛モモ肉の重量を変えた時の中心温度の変化

n=3~6

表 5 重量を変えた時の牛モモ肉の加熱時間の違い

重量	70℃になるまでの 時間 (分)	衛生基準*を満たす 加熱時間 (分)
300 g	97±11	103±8
760 g	176±6	179±6

*70℃3 分間

n=3~6

5) 肉の種類が加熱時間に及ぼす影響

ここまで示した鶏ムネ肉 300 g、牛モモ肉 300 g に加え、鶏ササミと鶏モモ肉をそれぞれ 300 g 加熱した。その結果、鶏モモ肉は図 11 に示したように、実験ごとに温度の上昇の仕方のばらつきが非常に大きく、70℃になるまでの時間は 83.1 ± 18.7 分間であった。今回の実験では塊のまま肉を加熱しており、モモ肉は他の部位に比べて加熱前の形の違いが大きい。さらに、加熱によって図 12 のように袋内で丸まってしまい、この丸まり方も実験ごとに違った。このように鶏モモ肉は加熱前および加熱後の形や大きさの違いが大きかったことが温度変化のばらつきに影響したと考えられる。そこで、鶏モモ肉以外の肉の違いを検証することとした。300 g の鶏ムネ肉、鶏ササミ、牛モモ肉の内部温度の変化を図 13 に比較した。表 6 は 70℃になるまでの時間と衛生基準を満たす加熱時間であるが、鶏ササミは 70℃になるまで約 40 分間と他の肉に比べて加熱時間が短かった。肉の厚さは最も厚い部分で鶏ムネ肉で約 3 cm、牛モモ肉で約 5 cm、鶏ササミで約 2 cm と、鶏ササミは他の肉に比べて薄いことに加え、鶏ムネ肉と牛モモ肉は 1 つの塊を加熱したが、鶏ササミは 1 本約 60 g で袋内に 5 本入れて加熱しており、他の肉に比べて表面積が大きく加熱されやすかったと考えられる。そのため、本実験で用いた肉の種類による加熱時間の違いは表面積や厚さの影響が大きいと考えられる。

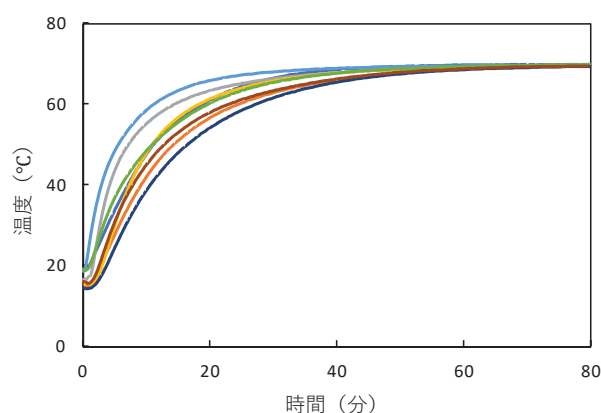


図 11 70℃で鶏モモ肉 300 g を加熱した際の内部温度変化（実験ごとの比較）

n=8、70℃になるまでの時間は 83.1 ± 18.7 分間



図 12 70°Cで鶏モモ肉 300 g を加熱した後の外観

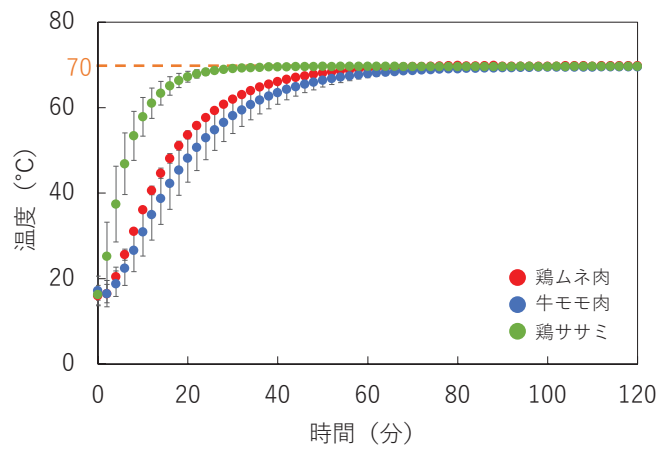


図 13 肉の種類による内部温度上昇の仕方の比較 (70°C一定)

肉はいずれも 300 g。n=3~5

表 6 300 g の各種肉の 70°C一定加熱における加熱時間の比較

	70°Cになるまでの時間 (分)	衛生基準*を満たす加熱時間 (分)
鶏ムネ肉	68 ± 7	71 ± 7
鶏ササミ	37 ± 7	40 ± 7
牛モモ肉	100 ± 8	103 ± 8

*70°C 3 分間

n=3~5

6) 室温の水に肉を入れて加熱した際の加熱時間

ここまでの実験は水温が所定の温度になってからの一定温度での加熱を行なった。ここでは、室温の水から肉を入れて加熱した際の温度変化を測定した。図 14 がその結果である。水温は加熱開始からほぼ直線的に上昇し、70℃になるまでには約 1 時間を要した。表 7 に微生物が繁殖しやすいと言われる温度帯である 20～50℃付近を通過する時間を示したが、70℃一定で加熱するときに比べて水からの加熱では約 2 倍長かった。また、肉が 70℃になるまでの時間は約 50 分間長かった。食中毒予防の観点からは 20～50℃を通過する時間はできるだけ短い方がよく、低温調理の場合には水からではなく水温が所定の温度になってから肉を加熱するのが良いと言える。

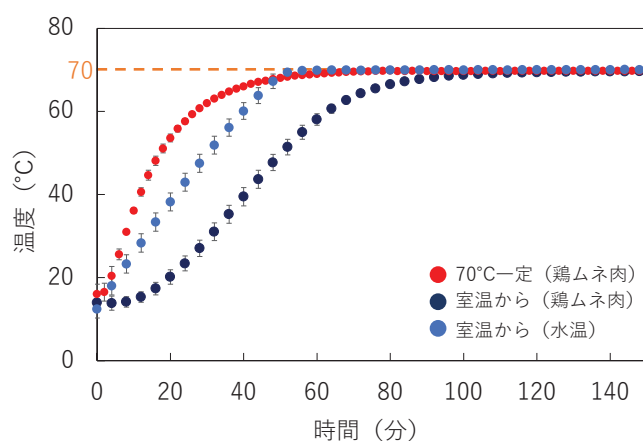


図 14 水から加熱した時の鶏ムネ肉 300 g の内部の最低温度の変化
n=3

表 7 水から加熱と 70℃一定加熱の鶏ムネ肉 300 g の加熱時間の比較

	20～50℃通過 時間 (分)	70℃になるまで の時間 (分)	衛生基準*を満たす 加熱時間 (分)
70℃一定	14±2	68±7	71±7
水から	26±10	122±5	125±5

水の初期温度：12.5±2.2℃、鶏ムネ肉の初期温度：14.8±2.3℃

n=3

2. 細菌の殺菌・ウイルスの不活化を期待した温度の加熱調理と食材の加熱状態の関係① 食肉（ハンバーグ）

2.1. 実験方法

1) 実験条件

本実験では、表 8 のように加熱時間に影響すると考えられる要因を挙げた。基準を先行研究^{7, 8)} 及び教科書^{9, 10)} を参考に「初期温度室温、直径 7.5 cm、厚さ 2.0 cm、合挽肉」で「反転後に蓋をし、加熱終了後は取り出して皿の上に放置」とし、それぞれの要因を検討する際にその部分だけ条件を変えて比較した。

表 8 ハンバーグの実験条件

要因	基準	比較条件	報告書記載 項目番号
初期温度	室温（15～23℃）	冷蔵（8～9℃） / 冷凍（－12～－9℃）	2.2. 4)
直径	7.5 cm	5.0 cm / 10.0 cm	2.2. 5)
厚さ	2.0 cm	1.5 cm / 2.5 cm	2.2. 5)
蓋の使用方法	反転後に蓋	最初から蓋 / 蓋なし	2.2. 6)
加熱終了後の放置方法	皿の上	フライパン内	2.2. 7)
加熱終了時のハンバー グ内部の最低温度	75℃	70℃ (皿の上に放置 / フライパン内放置)	2.2. 7)
肉の種類	合挽肉 (豚 50%, 牛 50%)	牛 100%	2.2. 8)

2) 材料及びハンバーグ生地の調製

ハンバーグの材料及び配合割合は先行研究⁷⁾ を参考に表 9 の通りとした。ひき肉は牛、豚のいずれも赤身肉（外国産）、乾燥パン粉はフライスターセブンゴールド（フライスター）を用いた。生地の調製は以下の手順で行った。

- ① 玉ねぎ 220 g をフードプロセッサー（B 社製）に入れ、5 秒間攪拌後にゴムベラで均一化し、さらに 5 秒間攪拌、再度均一化して 3 秒間攪拌した。その後水分ごと計量して 1 回分の玉ねぎ量を 100 g とした。
- ② 乾燥パン粉は牛乳でしめらせた。
- ③ フードプロセッサーに全材料を入れ、10 秒間攪拌し、ゴムベラで均一化してさらに 10 秒間攪拌し、肉だねとした。
- ④ 100 g を手にとり、空気を抜くために両手で交互に 30 回たたいた。プラスチック板で直径 7.5 cm、高さ 2 cm の型を作成し、空隙が入らないように注意をしながら 100 g 詰めて成型した。厚さ 1.5 cm の場合は 75 g、厚さ 2.5 cm の場合は 125 g、直径 5 cm の

場合は 45 g、直径 10 cm の場合は 180 g であった。

- ⑤ 調製後の生地は基準の室温のものは食品用ラップフィルムをして室温に放置し、冷蔵の場合には冷蔵庫内の温度とほぼ同じ温度になったことを確認して加熱した。冷凍の場合には、冷凍庫に 1 日以上入れ、内部まで凍っていることを確認した。

表 9 ハンバーグの材料及び配合割合

材料	1 回分の 調製量 (g)	ひき肉に対する 配合割合 (%)
ひき肉 (牛赤身 50%、豚赤身 50%)	200	100
生タマネギ	100	50
卵	20	10
乾燥パン粉	20	10
牛乳	20	10
塩	2	1
コショウ	0.02	0.01
1 回 3 個分 1 個 100.0g		

3) 加熱

IH 調理器 (C 社製) 及び直径 20 cm、深さ 5 cm のフライパン、ガラス製蓋を用いて加熱した。IH 調理器の火力は 9 段階に調節可能であった。IH 調理器の設定は強火が火力 9、中火は火力 6、弱火は火力 3 になっていた。

後述する予備実験の結果をもとに、今回の実験では加熱開始後火力を 5 に設定し、20 秒間予熱後に生地を投入し、90 秒間加熱した。その後火力を 2 に下げ、3.5 分間加熱し、合計 5 分間片面を焼いた後に反転して蓋をした。反転後は火力は 2 のままで加熱した。蓋をするタイミングについては、調理書^{9, 10)}を参考に反転後に蓋をすることとした。特に記載のない場合には、加熱時間はハンバーグ内部の最低温度が 75℃になるまでとし、加熱終了後は取り出して皿の上に放置とした。なお、試料投入時のフライパンの温度は約 100℃であった。反転前、反転後それぞれの温度測定の様子を図 15、16 に示した。



図 15 反転前の温度計測の様子



図 16 反転後の温度計測の様子

4) 温度測定

ハンバーグ内部の温度は 2 mm 間隔で 6 点の温度が同時に測定できるシース型多点式熱電対（安立計器）及びデータコレクタ（AM-800K、安立計器）を用いてハンバーグ内部の温度を測定した。加熱開始後、蓋をする前の内部温度測定位置は、鍋底から 3 mm、5 mm、7 mm、9 mm、11 mm、13 mm とした。反転後蓋をした後は鍋底から 13 mm、15 mm、17 mm、19 mm、21 mm、23 mm を測定し、温度の最低点について解析を行なった。フライパン内の空気温度はハンバーグの上面から約 3 cm 上の位置にテープ型 K 熱電対を設置して測定した。

また、ハンバーグ断面の温度分布を測定する際には、温浴中で温めておいたナイフで切断し、切断直後の温度を赤外線サーモグラフィ（R300W2、NEC Avio 赤外線テクノロジー）にて測定した。放射率は 1.00 とした。

5) 重量測定

1.1.5) に準じた。

6) 体積測定

3D スキャナ型三次元測定機（VL-500、KEYENCE）を用いてハンバーグをスキャンし、3D 画像を取得した（図 17）。ここから画像データの一部修復を 3D Builder (Microsoft) にて行い、Hira Stl Viewer により体積を算出した。また、図 17 のように断面を切り出し断面の画像を比較した。

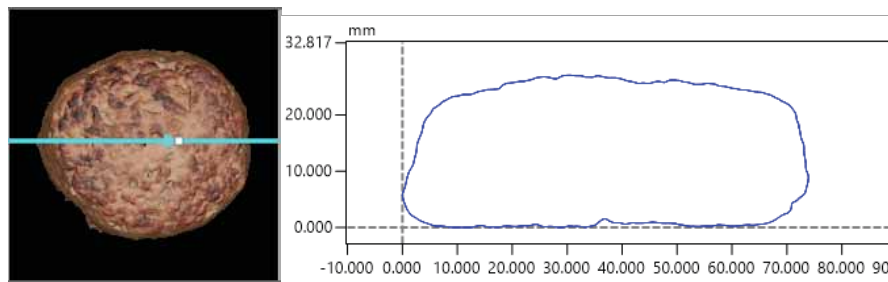


図 17 ハンバーグの 3D 画像及びそこから切り出した断面

図の水色の線で断面を切り出した。

2.2. 実験結果

1) 加熱条件の決定（予備実験）

ハンバーグをフライパンで加熱するにあたり、以下のように予備実験を行った。

- i. フライパン表面 150°C到達→生地を入れる→火力 6（中火）→90 秒間加熱→反転・蓋→火力 3→75°C1 分後まで加熱。
 * 上面の焼き色は良い。下面（反転後接触面）が焦げすぎ。
 * ハンバーグ内部温度は反転時 24～71°Cの幅があった。75°C到達時間は 633 秒でこの時の内部温度は 75～77°C, 75°C1 分間加熱で 80～81°C。
 * 100 g→83.4 g（減少率 16.6%）
- ii. フライパン表面 150°C到達→生地を入れる→火力 6（中火）→60 秒間加熱→反転・蓋→火力 1→内部温度が上がらないため途中で終了。
 * 上面の焼き色はやや薄い。
 * ハンバーグ内部温度は反転時 22～61°C。
 * 100 g→92.3 g（減少率 7.7%）

これまでの実験より、蓋の蒸気穴が空いていることでフライパン内部の温度が上がりにくかったことから、これ以降の実験ではアルミ箔で蒸気穴をふさぐこととした。

- iii. フライパン表面 150°C到達→生地を入れる→火力 5→90 秒間加熱→反転・蓋→火力 2→75°C 1 分後に加熱終了。
 * 上面は許容範囲だが、下面は焦げ。
 * ハンバーグ内部温度は反転時 25～70°C, 702 秒後に 75°Cに到達、この時の内部温度は 75～76°C。75°C1 分間加熱で 81～83°C。
 * 100 g→84.1 g（減少率 15.9%）

- iv. フライパン表面 150℃到達→生地を入れる→火力 5→90 秒間加熱→反転・蓋→90 秒間加熱→火力 1→75℃1 分後に加熱終了。
* 上面は許容範囲だが、下面がやや焦げ。
* ハンバーグ内部温度は反転時 25～69℃, 75℃到達は 851 秒後でこの時の内部温度は 75～77℃。75℃1 分間加熱で 76～79℃。
* 100 g→89.2 g (減少率 10.8%)

これまでの実験より、反転前の最大温度が 70℃、かつ温度差があまりない方が良いと考えられた。

- v. 火力 5→フライパン表面 80℃到達→生地を入れる→60 秒間加熱→火力 3→最低温度 50℃到達 (加熱開始から 295 秒後) →反転・蓋→75℃1 分後に加熱終了。
* 上面は良好。下面がやや焦げ。
* ハンバーグ内部温度は反転時 50-87℃。75℃到達時間は 847 秒後で、この時の内部温度は 75～79℃。75℃1 分加熱で 80～84℃
* 100 g→85.2 g (減少率 14.8%)
- vi. 火力 5→フライパン表面 80℃到達→生地を入れる→60 秒間加熱→火力 3→最低温度 50℃到達 (加熱開始後 208 秒後) →反転・蓋→75℃1 分後に加熱終了。
* 上面は良好。下面がやや焦げ。
* ハンバーグ内部温度は反転時 50-84℃。75℃到達時間は 713 秒で、この時の内部温度は 75-82℃。75℃1 分加熱で 83-87℃
* 100 g→86.1g (減少割合 13.9%)
- vii. 火力 4→フライパン表面 80℃到達→生地を入れる→60 秒間加熱→火力 2→最低温度 50℃到達 (加熱開始後 339 秒後) →反転・蓋→75℃1 分後に加熱終了。
* 上面、下面のいずれも良好。
* ハンバーグ内部温度は反転時 50～88℃, 75℃到達時間は 978 秒で、この時の内部温度は 75～76℃。75℃1 分加熱で 79～83℃。
* 100 g→86.4 g (減少割合 13.6%)
- viii. 火力 5→100℃到達→生地を入れる→60 秒間加熱→火力 2→最低温度 50℃到達 (加熱開始後 270 秒後) →反転・蓋→75℃1 分後に加熱終了。
* ハンバーグ内部温度は反転時で 50～86℃。75℃到達時間は 988 秒でこの時の内部温度は 75-78℃。75℃1 分加熱で 77～79℃。
* 100 g→86.7 g (減少割合 13.3%)

- ix. 火力 5→100℃到達→生地を入れる→90 秒間加熱→火力 2→最低温度 50℃到達（加熱開始後 279 秒後）→反転・蓋→75℃1 分後に加熱終了。
* ハンバーグ内部温度は反転時 50～87℃。75℃到達時間は 891 秒で、この時の内部温度は 75～77℃。75℃1 分加熱後で 79～82℃。
* 100 g→87.7 g（減少割合 12.3%）
- x. 火力 5→100℃到達→生地を入れる→90 秒間加熱→火力 2→最低温度 50℃到達（加熱開始後 293 秒後）→反転・蓋→75℃1 分後に加熱終了。
* ハンバーグ内部温度は反転時で 51～88℃。75℃到達時間は 915 秒で、この時の内部温度は 75-77℃。75℃1 分加熱後で 78～80℃。
* 100 g→86.9g（減少割合 13.1%）

実験 vii～x の結果より、生地を入れてからハンバーグ内部の最低温度が 50℃になる時点で反転することでハンバーグ両面の状態が良好になると考えられた。これを満たす加熱条件として、これまでの実験結果より火力 5 で 20 秒間予熱した後に生地を入れ（この時のフライパン温度は約 100℃）、90 秒間そのまま加熱した後に火力 2 に下げて 3.5 分間加熱、すなわち片面を合計で 5 分間加熱した時点で反転して蓋をすることとした。

2) ハンバーグ加熱中の中心部温度変化と余熱の効果

図 18 は合挽肉を用いて調製した直径 7.5 cm、厚さ 2 cm のハンバーグの加熱中の温度変化である。今回の実験条件では、加熱開始後約 15 分で 75℃に達した。この時点で加熱を終了して皿の上に取り出した後にも内部温度は上昇し、最大で 81℃に達し、75℃以上を約 5 分間保持していた。75℃で加熱を終了して取り出したとしても余熱によって 75℃1 分間以上の加熱という衛生基準を満たしていた。断面の温度（図 19）は加熱開始後 9 分の時点では下部の方が温度が高く、温度が不均一であったが、加熱が進むに従い内部の温度は均一になった。反転前は蓋をしておらず、反転後に蓋をしたことで、加熱後半にはフライパンに接していない上面も加熱されて温度が均一になったと考えられる。

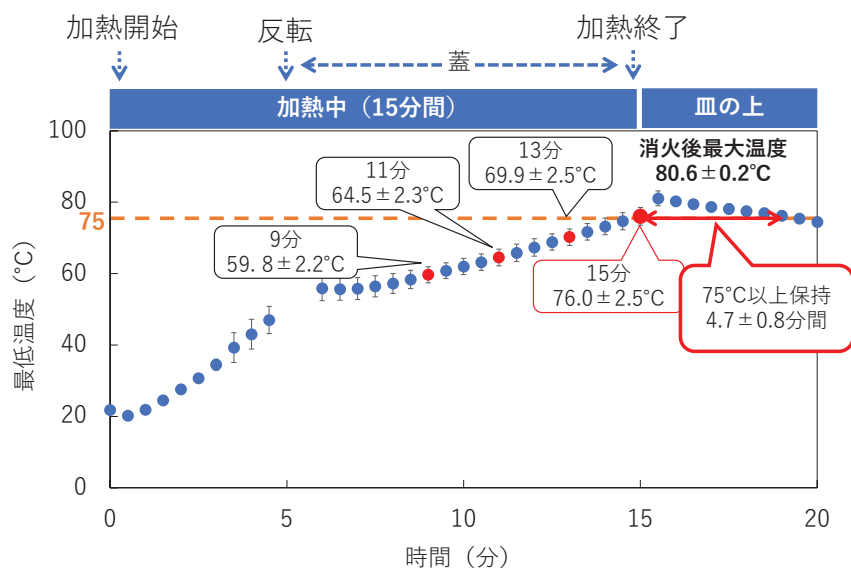


図 18 ハンバーグ焼成中及び取り出し後の内部の最低温度の変化
n=6

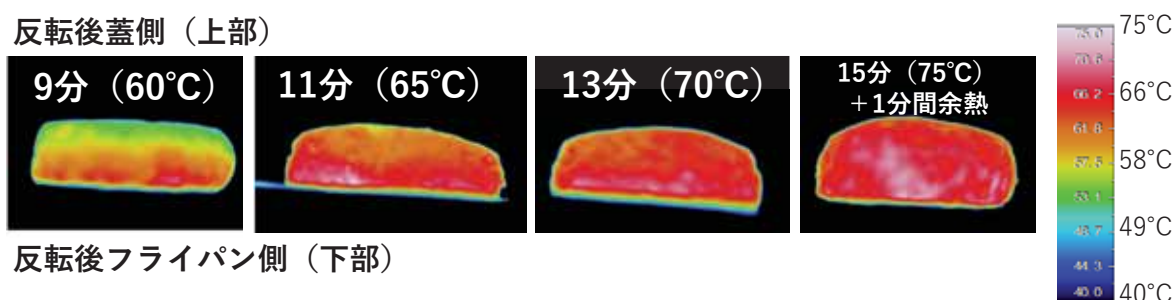


図 19 ハンバーグを所定の温度で加熱した後の断面の温度分布

3) ハンバーグ加熱中の断面の変化と加熱終了時の肉汁の色

図 20 は中心部が 60～75°Cになるまで、75°Cになってから 1 分間加熱を継続した場合のハンバーグの断面である。60°Cや 65°Cでは肉がやや軟らかいように見えたが、70°Cでは肉も固まっていて加熱されていると判断されるような見た目であった。先行研究において、牛肉ハンバーグをオープンで焼いた際の断面の色はハンバーグ内部の最低温度が 44°Cでは赤色が観察されるが、55°C以上では観察されないことが報告されている⁸⁾。今回の実験では内部温度が 60°C以上での観察であり、色の違いは判別できなかった。また、表面の画像を図 21 に示した。表側は最初にフライパンに接している部分であり、反転までの加熱条件が同じであるため、焼き色はほぼ同じであった。裏側が反転後にフライパンに接している部分であり、加熱が進むと焼き色は濃くなったが、内部温度が 60°Cの時点でも焼き色がついており、焼き色の状態から加熱終了の判断をすることはできなかった。以上のことからハンバーグの断面や焼き色から衛生的に加熱されたかどうかを判断することはできないと言える。先行

研究において、おいしさと安全性の両面から見て、ハンバーグの焼き終わりは「肉汁の赤みが完全に焼失して、透明になったことを確認した直後」が適切と報告されており⁸⁾、今回の実験では竹串を指して肉汁が透明であることを確認する方法を示す写真を取得した(図 22)。

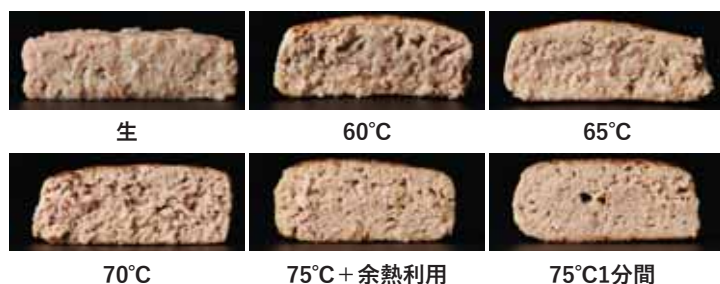


図 20 ハンバーグ内部が 60～75℃になるまで加熱した際の断面
ハンバーグ内部の最低温度が所定の温度になるまで加熱した。

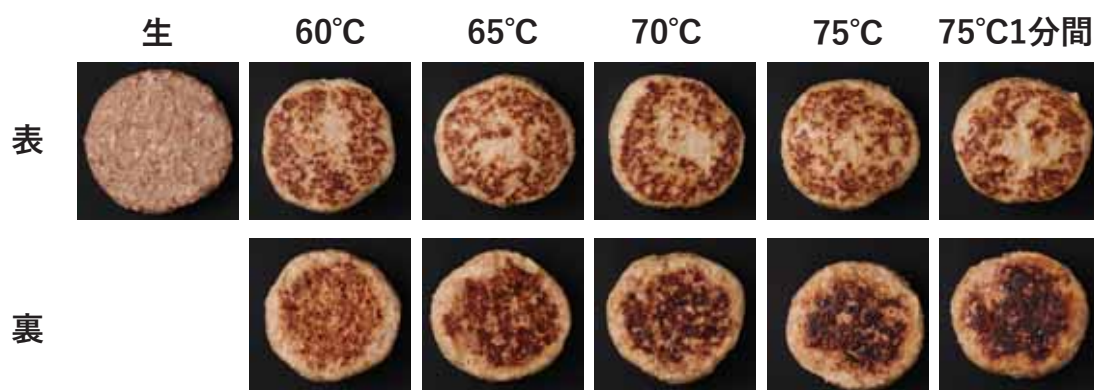


図 21 ハンバーグ内部が 60～75℃になるまで加熱した時の表面
表面は最初に加熱した側、裏面は反転後にフライパン側。



図 22 加熱終了の判断としての肉汁の確認

4) 初期温度がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響

次に室温、冷蔵、冷凍ハンバーグの加熱時間を比較した。図 23 は加熱中及び取り出し後のハンバーグ内部の最低温度の変化である。それぞれ 75℃になるまで加熱して、取り出して皿の上で放置した。いずれの初期温度でも放置によって 80℃付近まで温度が上昇し、75℃以上を 1 分間以上保持していた (表 10)。よって、初期温度によらず余熱の利用が可能であると考えられた。

室温と比較すると、冷蔵は加熱開始後の温度上昇が速く、75℃になるまでの時間はほぼ同じであった (表 10)。冷凍ハンバーグは加熱開始後 5 分で反転する時には 0℃付近であり、氷が溶けるのに時間を要した。その結果、75℃になるまでの時間は室温に比べて約 3 分間長くなった。前述の通り (項 1.2. 3))、氷の融解熱が大きいことが原因と考えられる。

このような加熱時間の違いは仕上がりに影響すると考えられるので、図 24 にハンバーグの表側の焼き色と断面の画像を、図 25 に 3D 画像から切り出した加熱終了後のハンバーグの断面図を示した。あわせて体積減少割合と重量減少割合を表 10 に示した。表側の焼き色は冷凍ハンバーグが薄かった。これは、いずれの条件でも反転前の加熱時間を 5 分と統一したため、冷凍ハンバーグの表面部分は氷が溶けるのに時間がかかる分表面の温度が低く、焼き色が薄くなったと考えられる。断面の画像からは、高さ方向に膨らみ、横方向に焼き縮む様子が確認できた。また、体積減少割合は大きいほど加熱前よりも減少していることを表す値であり、冷凍ハンバーグが他よりも大きかった。さらに、重量減少割合は体積減少割合よりも他との差が大きく、冷凍ハンバーグの重量減少は大きかった。今回の実験ではいずれも内部の最低温度が 75℃になるまで加熱しているが、冷凍ハンバーグは加熱時間が長いことで表面が高温のフライパンに接する時間が長く、ドリップが多くなったと言える。ドリップの原因として、肉の焼き縮みによる肉汁の押し出しと、タンパク質の変性による保水性の低下が関与している。前者は体積の減少を伴って重量が減少し、後者は体積の減少の有無に関わらず重量が減少すると考えられる。今回の実験では体積減少割合よりも重量減少割合が大きかったことから、加熱によるドリップの原因としてタンパク質の保水性の低下の影響は大きいと考えられる。

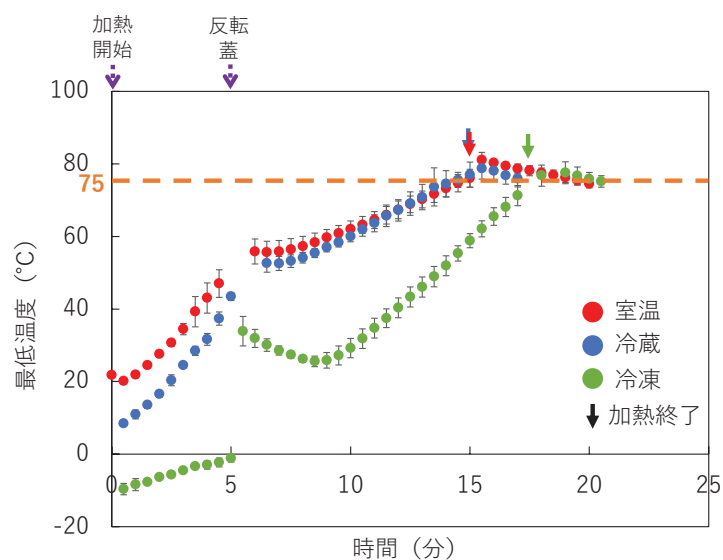


図 23 初期温度の違いがハンバーグ内部の最低温度の変化に及ぼす影響
n=3~6



図 24 初期温度の異なるハンバーグを焼成した後の見た目

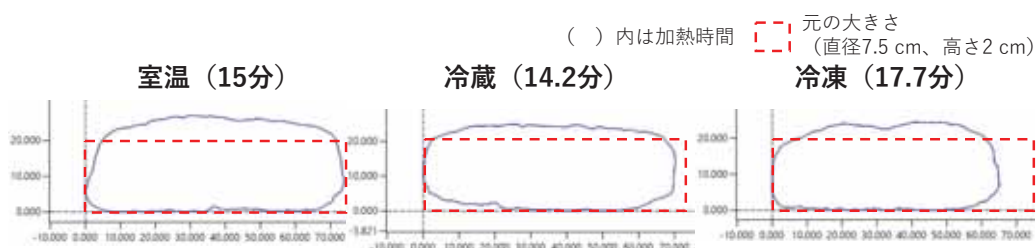


図 25 初期温度の異なるハンバーグを加熱した後の断面の比較

表 10 ハンバーグの初期温度が加熱時間及び余熱の効果に及ぼす影響

	室温	冷蔵	冷凍
初期温度 (°C)	21.3±1.8	8.5±0.8	-9.7±2.0
75°Cになるまでの時間 (分)	14.7	14.2±1.1	17.7±0.5
75°C以上保持時間 (分)	4.7±0.8	3.3±0.7	2.9±1.2
加熱終了後最大温度 (°C)	80.6±0.2	80.7±0.6	79.5±1.7
重量減少割合 (%)	16.5±0.8	15.5±1.1	26.0±1.7
体積減少割合 (%)	9.1±0.8	14.7±4.3	19.6±1.4

n=3~6

5) 形状がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響

形状の影響を検討するため、基準と直径は同じで厚さを変えた実験 (図 26a) と厚さは同じで直径を変えた実験 (図 26b) を行なった。両実験の結果を比較すると、厚さを変えた時の方が直径を変えた時よりも温度変化の差が大きかった。75°Cになるまでの時間、75°C以上保持時間、加熱終了後の最大温度を表 11 に示した。また、今回の実験では直径のみ、もしくは厚さのみを変えたため、ハンバーグの重量も違うことから、加熱前のハンバーグの重量も合わせて示した。表 11 より、ハンバーグの重量は直径を変えた場合の方が差が大きいが、75°Cになるまでの時間の差は厚さを変えた場合の方が大きかった。ハンバーグをフライパンで加熱する際には直径よりも厚さの影響が大きいと言える。厚さを変える場合にはフライパンに接する面積は変わらないが、直径を変えるとフライパンに接する面積も大きくなり、加熱中の受熱量が多くなることで、厚さの影響は小さくなったと考えられる。よって、大きいハンバーグを焼くときには、厚さは変えずに面を広げることで加熱時間を大きく変えずに加熱できると言える。

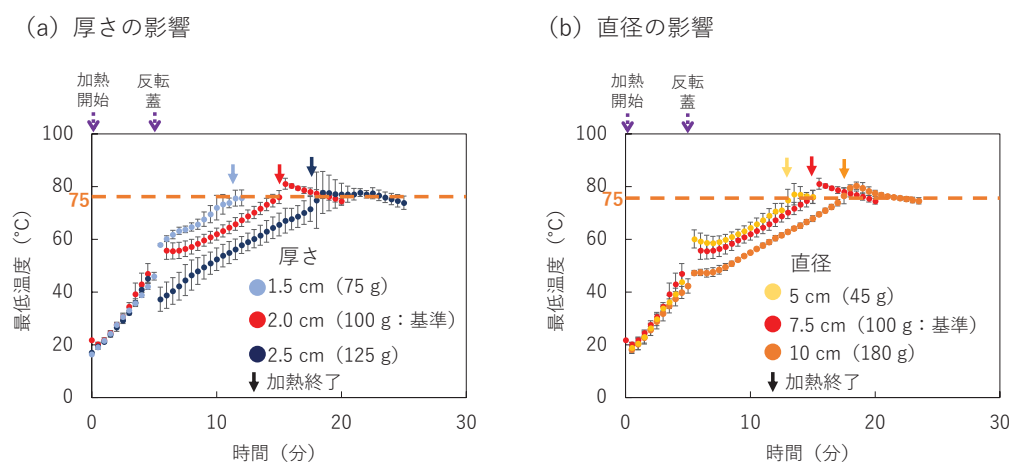


図 26 ハンバーグの内部の最低温度の変化に及ぼす形状の影響

n=3~6

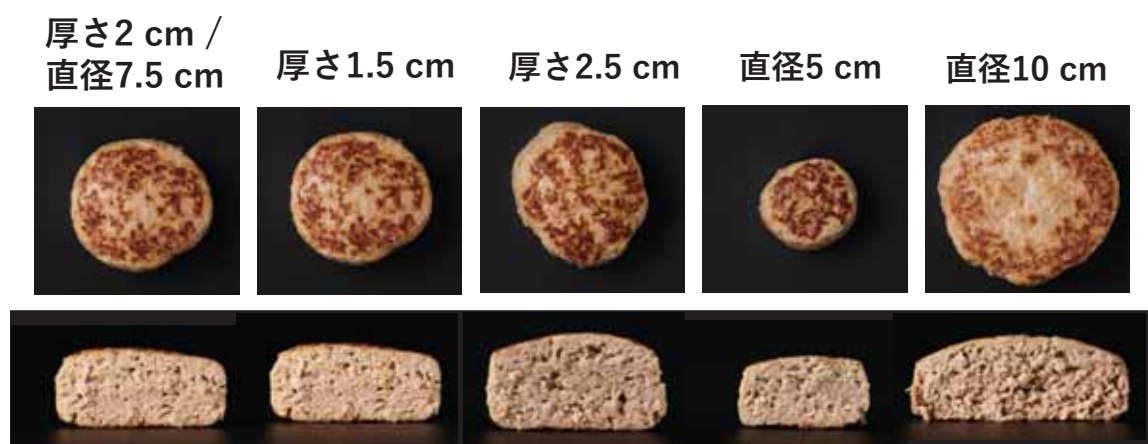


図 27 形状の違うハンバーグを焼いた後の見た目
内部の最低温度が 75℃になるまで加熱した。

表 11 形状の違いがハンバーグの加熱時間や余熱の効果に及ぼす影響

	基準	厚さを変えた		直径を変えた	
		厚さ 1.5 cm	厚さ 2.5 cm	直径 5 cm	直径 10 cm
加熱前重量 (g)	100	75	125	45	180
75℃になるまでの時間 (分)	14.7	11.0±1.0	18.9±1.9	13.3±0.9	17.5±0.5
75℃以上保持時間 (分)	4.7±0.8	1.9±0.5	5.6±0.8	2.2±0.1	5.3±0.7
加熱終了後最大温度 (℃)	80.6±0.2	78.9±0.9	81.9±1.2	79.6±0.7	81.4±0.8
重量減少割合 (%)	16.5±0.8	19.7±1.9	19.7±2.3	18.4±1.9	14.6±1.0

n=3~6

6) 蓋の使用方法がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響

今回の実験では基準は調理書等^{9, 10)}を参考に反転後に蓋をすることとしたが、ここでは蓋をするタイミングの違いを比較した。図 28 に蓋の使用方法の違いによるハンバーグの内部の最低温度とフライパン内の空気温度を比較した。全く蓋をしない場合、反転後は内部温度が 50℃付近を推移しており、60 分間加熱してもこれ以上温度は上がらなかった。フライパン内の空気温度が 40℃付近と低く、ハンバーグ上部からの放熱の影響が大きいことで内部温度が上がらなかったと言える。蓋なしは内部温度が 75℃に達しなかったため、表 12 には 75℃になるまでの時間、75℃以上保持時間、加熱終了後最大温度、重量減少割合、体積減少割合について反転後に蓋をする条件と最初から蓋をする条件について比較した。最初から蓋をする場合、反転後に蓋をした場合よりも、反転後の内部温度が高く、75℃になるまでの時間は約 4 分間短かった。フライパン内の空気温度は加熱開始後速やかに上昇し、2 分後には 90℃付近まで上がっていた。そのため、最初から蓋をする場合には反転前からハンバー

グの上部が加熱されることで、反転後の内部温度が高く、加熱時間が短くなったと言える。
また、表側の焼き色や断面の状態に明瞭な違いは認められなかった（図 29）。

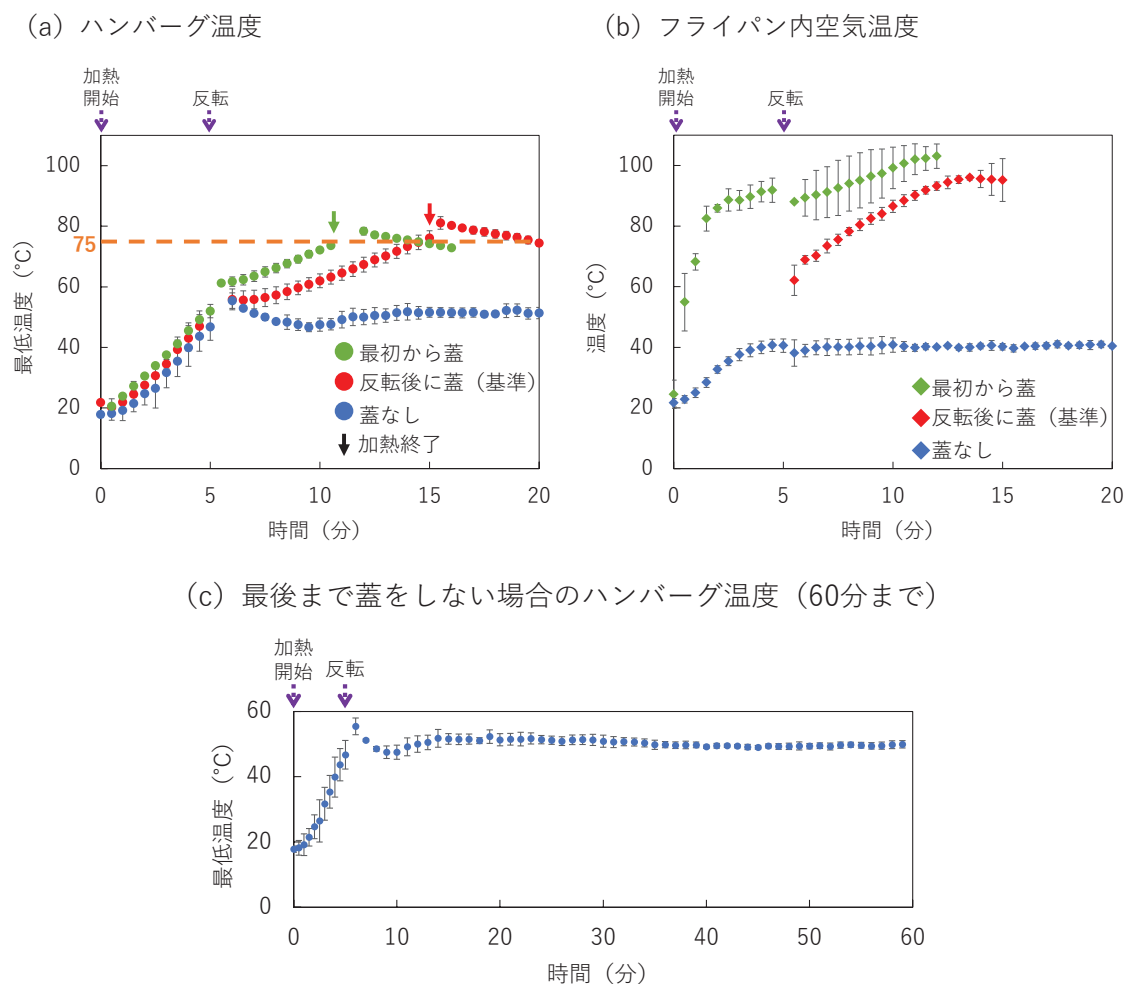


図 28 蓋の使用方法の違いによるハンバーグ内部の最低温度 (a) とフライパン内空気温度 (b) 及び最後まで蓋をしない条件で 60 分間加熱した際のハンバーグ内部の最低温度 (c) の変化
n=3~6



図 29 蓋の使用方法の違いによる見た目の比較

表 12 蓋をするタイミングが加熱時間及び余熱の効果に及ぼす影響

	反転後蓋	最初から蓋
75℃になるまでの時間 (分)	14.7	10.9±0.2
75℃以上保持時間 (分)	4.7±0.8	3.4±0.3
加熱終了後最大温度 (℃)	80.6±0.2	79.5±0.6
重量減少割合 (%)	16.5±0.8	15.3±0.6
体積減少割合 (%)	9.1±0.8	8.1±0.1

蓋なしは内部温度が 75℃に到達しなかったため記載なし。

n=3~6

7) 加熱終了時の温度とその後の放置方法がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響

ハンバーグの内部の最低温度が 75℃に達した後にハンバーグを取り出して皿の上に放置する方法について検証した結果、加熱終了時点で最低温度を示した点の温度が加熱終了後に 80℃付近まで上昇することがわかった。そこで次に加熱終了後そのままフライパン内に放置する場合と、75℃よりも手前、すなわち最低温度が 70℃になった時点で加熱を終了する条件について検討した。図 30 はハンバーグ内部の最低温度の変化である。表 13 に 75℃以上保持時間、加熱終了後最大温度、重量減少割合を示した。75℃まで加熱してフライパン内に放置した場合には 75℃を約 10 分間保持していた。重量減少が他の条件に比べて多く、この条件ではフライパン内に放置したままではドリップが多くなりすぎて嗜好性が低下することが示唆された。70℃で加熱を終了する条件についてはフライパン内に放置、皿の上に放置のいずれの場合にも 70℃で加熱を終了してもその後の余熱で 75℃を 1 分間以上保持した。70℃で加熱を終了する場合、皿の上に放置した場合には加熱終了後は 78℃までの昇温であったが、フライパン内に放置することで 80℃まで昇温した。衛生的な観点からは、加熱終了後すぐに食べる場合には 75℃まで加熱して皿に移すことが望ましいが、フライパン内に放置する場合には 70℃付近で消火してその後の余熱を利用することもできると言える。

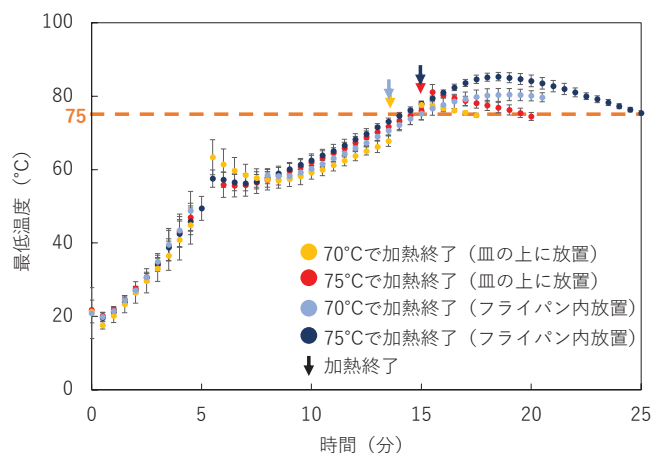


図 30 ハンバーグ内部温度が 75℃または 70℃で加熱終了した際の内部の最低温度の変化
n=3~6

表 13 ハンバーグの初期温度が加熱時間及び余熱の効果に及ぼす影響

	皿の上		フライパン内	
	75℃まで	70℃まで	75℃まで	70℃まで
75℃以上保持時間 (分)	4.7±0.8	2.9±0.3	10.2±0.3	9.4±0.7
加熱終了後最大温度 (℃)	80.6±0.2	77.9±0.9	85.4±1.1	80.5±1.7
重量減少割合 (%)	16.5±0.8	14.0±1.7	22.3±1.2	16.7±4.0

n=3~6

8) ひき肉の種類がハンバーグの加熱時間に及ぼす影響

肉の種類を比較するため、合挽肉と牛挽肉の比較をした。図 31 はハンバーグ内部の最低温度の変化を比較した結果である。今回の実験では牛ハンバーグの温度は 15 分間の時点で $73.9 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ と、平均値が 75℃に達しなかったため、16 分間加熱した（ただし、合挽肉と牛挽肉の 15 分後のハンバーグ内部の最低温度には有意差なし）。このように加熱時間は違うが、表 14 に合挽肉と牛肉のみのハンバーグの加熱終了後最大温度、重量減少割合、75℃以上保持時間を示した。また、外観の変化を図 32 に示した。加熱前の状態では図 20 の合挽肉に比べてやや赤みが強かったが、70℃で加熱を終了した直後の断面は合挽肉と同様に加熱されたと判断しそうな見た目であり、牛肉のみで調製したハンバーグについても、見た目では衛生的な観点から加熱終了の判断はできなかった。

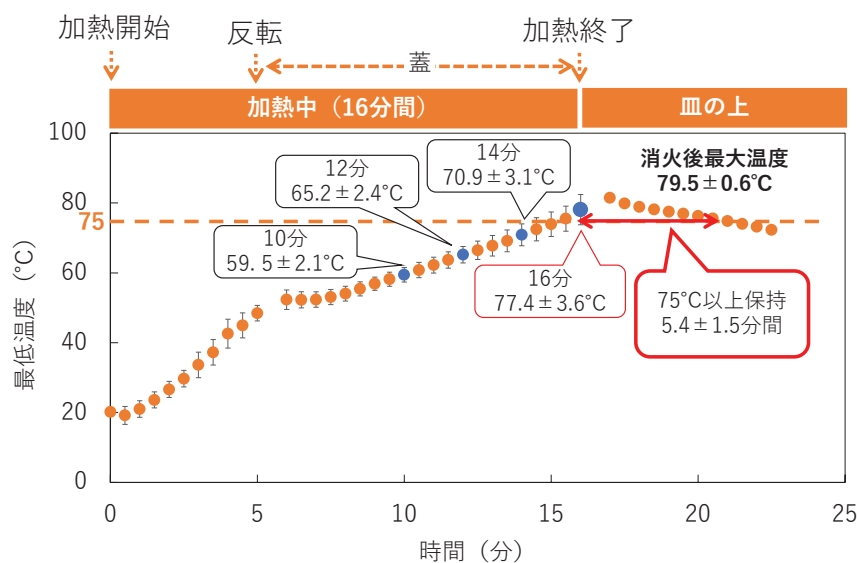


図 31 牛挽肉で調製したハンバーグの内部の最低温度の変化

n=6

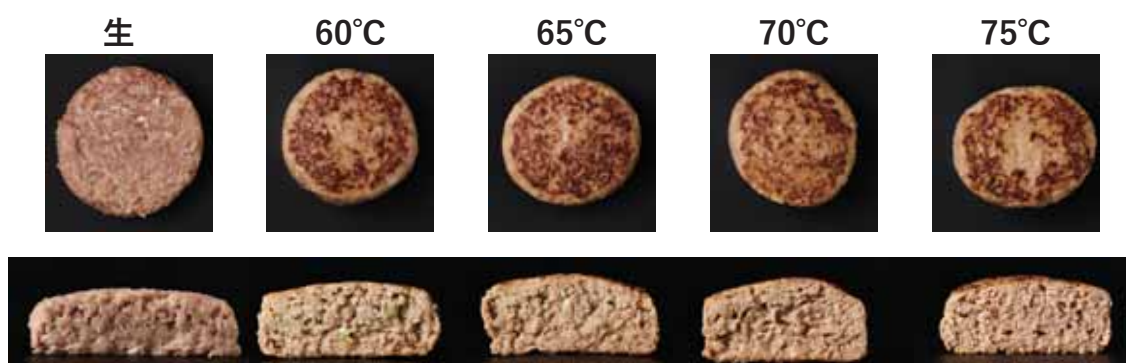


図 32 加熱に伴う牛ハンバーグの見た目の変化

表 14 挽肉の種類による比較

	合挽肉	牛肉
加熱 15 分間の時点のハンバーグ内部の最低温度 (°C)	76.0 ± 2.5	73.9 ± 3.5
75°C以上保持時間 (分)	4.7 ± 0.8	5.4 ± 1.5
加熱終了後最大温度 (°C)	80.6 ± 0.2	79.5 ± 0.6
重量減少割合 (%)	16.5 ± 0.8	15.8 ± 3.1

合挽肉は 15 分間加熱、牛挽肉は 16 分間加熱

n=6

3. 細菌の殺菌・ウイルスの不活化を期待した温度の加熱調理と食材の加熱状態の関係① 食肉（トンカツ）

3.1. 実験方法

1) 実験条件

本実験では、表 15 のようにトンカツの加熱時間に影響すると考えられる要因を挙げた。スーパーで市販されている豚ロース肉を用い、基準を「180℃加熱、初期温度室温、厚さ 1 cm のロース肉」とし、衣は「小麦粉→卵→乾燥パン粉」の順につけた。それぞれの要因を検討する際にその部分だけ条件を変えて比較した。

表 15 トンカツの実験条件

要因	基準	比較条件	報告書記載項目番号
初期温度	室温（15～19℃）	冷蔵（5～8℃） / 冷凍（－15～－13℃）	3.2.3)
加熱温度	180℃	150℃	3.2.4)
形状	1 枚（厚さ 1 cm、110g）	2 等分（厚さ 1 cm、57 g） / 3 等分（厚さ 1 cm、37 g） / 厚さ 2 倍（2 cm、200 g）	3.2.5)
衣の種類	小麦粉→卵→乾燥パン粉	バター / 生パン粉	3.2.6)

2) 材料及び試料調製

豚肉ロース切り身（米国産）、卵、薄力粉（日清フラワー薄力小麦粉、日清製粉）、乾燥パン粉（ソフトパン粉、旭トラストフーズ）、生パン粉（使いきり生パン粉、旭トラストフーズ）、油（日清キャノーラ油、日清オイリオ）は小売店で購入した。

基準のトンカツは小麦粉、卵、乾燥パン粉の順につけた。表 15 のバターは薄力粉 36 g、卵 50 g、水 10 g を混ぜたものを肉につけ、その後乾燥パン粉をつけた。また、生パン粉の条件では、乾燥パン粉の代わりに生パン粉を使用した。

冷蔵、冷凍の条件では、衣をつけた後に冷蔵庫もしくは冷凍庫に入れた。冷蔵の場合には冷蔵庫内の温度とほぼ同じ温度になったことを確認して加熱した。冷凍の場合には、冷凍庫に 1 日以上入れ、内部まで凍っていることを確認した。

3) 加熱

IH クッキングヒーター（D 社製）及び直径 18 cm、2 L 容量のステンレス製片手鍋を用い、180℃もしくは 150℃で加熱した。加熱の様子を図 33 に示した。後述する予備実験の結果をもとに、180℃加熱は IH クッキングヒーターの設定温度を 200℃、150℃加熱は設定温度を 170℃として実験を行った。加熱終了後は揚げ網の上に放置した。



図 33 トンカツの調理風景

4) 温度測定

先端部に温度計測のセンサ 1 点を有する $\phi 1\text{ mm}$ シース型 K 熱電対 (安立計器) を図 34 の ×印で示した 3 点に挿入し、データコレクタ (AM-800K、安立計器) にて温度を記録し、最低温度を解析した。



図 34 トンカツの温度測定点

5) 重量測定

1.1. 5) に準じた。

6) 体積測定

2.1. 6) に準じた。

3.2. 実験結果

1) 加熱条件の決定 (予備実験)

最初に加熱条件を決めるために油の温度を測定する予備実験を以下のように行った。

- i. 家庭用フライヤー (C 社製) に 770 mL の油を入れ、設定温度を 170°C にしてそれ以上油の温度が上がらなくなった時点でトンカツを 1 枚入れて揚げた。
 油温 加熱開始時 $180.7 \pm 5.6^{\circ}\text{C}$
 2 分間加熱後 $153.1 \pm 3.1^{\circ}\text{C}$
- ii. 家庭用フライヤーに 1 L の油を入れ、設定温度を 170°C にしてそれ以上油の温度が上がらなくなった時点でトンカツを 1 枚入れて揚げた。

油温 加熱開始時 $162.0 \pm 3.3^{\circ}\text{C}$
2 分間加熱後 $147.9 \pm 5.5^{\circ}\text{C}$

これまでの実験結果より、油の量が 770 mL よりも 1 L の時の方が油の温度変化が小さかったことから、油の量は 1 L とすることにした。

- iii. 家庭用フライヤーに 1 L の油を入れ、設定温度を 190°C にしてそれ以上油の温度が上がらなくなった時点でトンカツを 1 枚入れて揚げた。

油温 加熱開始時 $180.9 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$
2 分間加熱後 $160.5 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$

- iv. 家庭用フライヤーに 1 L の油を入れ、設定温度を 200°C にしてそれ以上油の温度が上がらなくなった時点でトンカツを 1 枚入れて揚げた。

油温 加熱開始時 $185.4 \pm 9.8^{\circ}\text{C}$
2 分間加熱後 $173.4 \pm 6.7^{\circ}\text{C}$

- v. ステンレス製片手鍋に 1 L の油を入れ、IH クッキングヒーターの設定温度を 200°C にしてそれ以上油の温度が上がらなくなった時点でトンカツを 1 枚入れて揚げた。

油温 加熱開始時 $188.2 \pm 5.4^{\circ}\text{C}$
2 分間加熱後 $183.9 \pm 4.6^{\circ}\text{C}$
加熱中の油の平均温度 181.7°C

以上の実験結果より、本実験ではステンレス製の片手鍋に油を 1 L 入れ、IH クッキングヒーターを 200°C 設定にして揚げることにした。この時、 180°C 付近を維持していたことから、この条件を 180°C 加熱とした。

2) トンカツの揚げ時間が内部温度や仕上がりに及ぼす影響

図 35 は 180°C で 1.5~4 分間トンカツを揚げた際のトンカツ内部の最低温度の変化である。いずれの条件でも、加熱終了後に取り出して揚げ網の上で放置している間に内部温度が上昇し、その後ゆっくりと低下するという余熱の効果を確認した。表 16 には加熱終了時の温度、加熱終了後の最大温度、 75°C 以上保持時間を示した。3 分間の加熱で、 75°C 以上に達した。ここで、2.5 分加熱は消火時の温度が 75°C よりも低いものの、余熱によって 80°C まで温度が上がり、 75°C 以上を 1 分間以上保持していた。以上のことから、今回の実験条件では 75°C で 1 分間以上の条件を満たすのは、4 分間の加熱であるが、2.5 分間の加熱でも余熱によって衛生基準を満たすこともできることを明らかにした。

次に、重量と体積の変化を図 36 及び 37 に示した。重量は加熱に伴い、減少し続けたが、

体積は 3 分から 4 分と長くなってもあまり変化しなかった。よって、肉の収縮による水の押し出しよりも、タンパク質の変性による保水性の低下によって、肉汁が損失すると考えられた。

図 38 は見た目の変化である。1.5 分間の加熱でも、衣はきつね色を呈していて加熱されたように見え、衣の状態から加熱終了を判断することはできなかった。また、断面を見ると、1.5 分間の加熱では加熱直後に切断すれば断面はピンク色で加熱不十分とわかる状態であったが、バットの上に放置してから切断すると、白っぽくなっていた。表 16 より、1.5 分間の加熱では加熱終了時の温度は 41℃と低い、余熱によって 65℃まで上がっている。65℃は衛生的には加熱不十分な状態である。筋原繊維タンパク質の変性は 40～50℃で開始し、60℃くらいで繊維状に凝固すると言われている¹¹⁾。また前述した低温調理における牛モモ肉の 70℃加熱では肉の赤みが残っていたが、豚肉はミオグロビン量が牛肉よりも少ないことから^{5, 6)} ミオグロビンの変化よりも筋肉の変化によって白っぽく加熱されたように見えたと考えられる。以上のことから、トンカツの調理において衣の揚げ色や断面といった見た目は加熱終了の判断基準とはならなかった。今回の実験からは、厚さ 1 cm のロース肉を加熱する場合、180℃では 2.5 分間が加熱の目安であると言える。

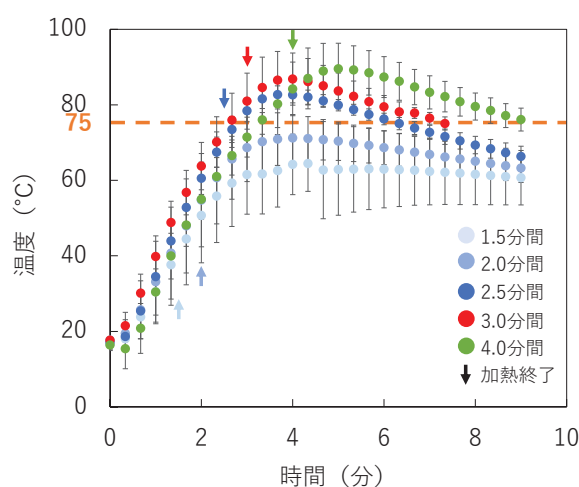


図 35 トンカツ調理中の内部の最低温度の変化
n=3~5

表 16 トンカツを揚げた際の加熱終了時の温度、加熱終了後最大温度、75℃以上保持時間

	加熱時間				
	1.5 分	2.0 分	2.5 分	3.0 分	4.0 分
加熱終了時温度 (°C)	41.0±11.6	54.4±12.3	67.1±3.7	80.9±7.4	84.2±7.2
加熱終了後最大温度 (°C)	65.3±6.1	71.8±6.3	80.8±1.9	87.2±7.2	89.7±6.9
75℃以上保持時間 (分)	—	—	3.3±0.3	4.3±1.1	5.8±1.1

n=3~5

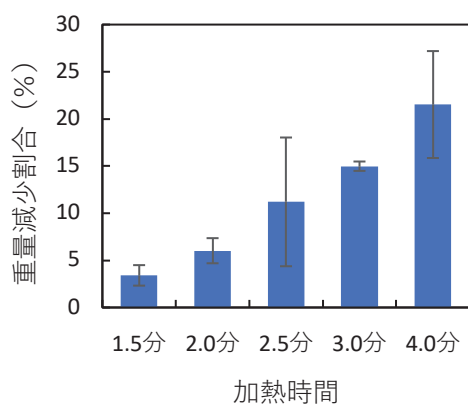


図 36 加熱によるトンカツの重量変化

n=3~6

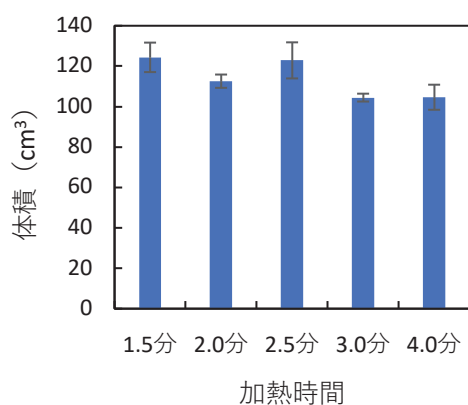


図 37 加熱によるトンカツの体積の変化

n=3~5

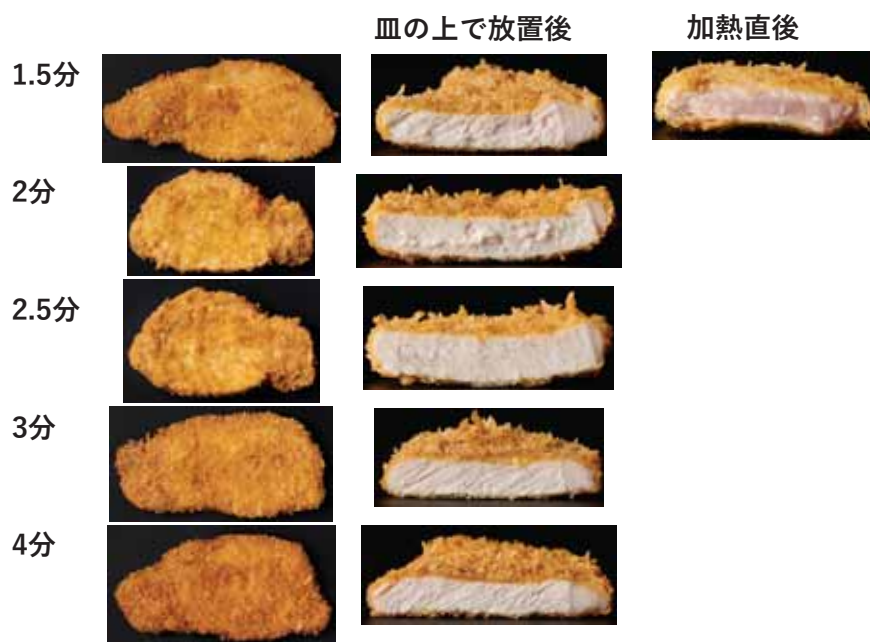


図 38 加熱に伴うトンカツの外観及び断面の変化 (180°C加熱)

3) トンカツの初期温度が加熱時間に及ぼす影響

次に、基準の室温のトンカツと冷蔵、冷凍の状態のトンカツを比較した (図 39)。表 17 に 75°Cになるまでの時間、75°C以上保持時間、加熱終了後最大温度、重量減少割合、加熱終了後の体積を示した。ハンバーグと同様に、室温と冷蔵で 75°Cになるまでの時間には差はなく、冷凍の加熱時間が長かった。重量及び体積を比較すると、前述の結果と同様に体積の差はほとんどなく、冷凍が加熱時間が長いことで重量が減少した。

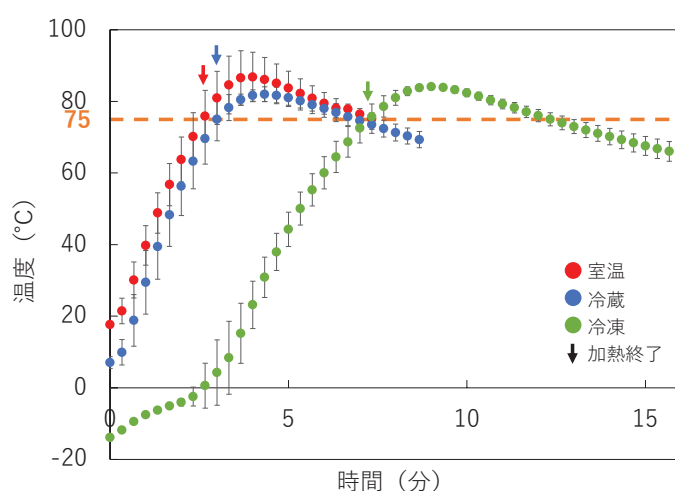


図 39 トンカツの初期温度がトンカツ内部の最低温度の変化に及ぼす影響

n=3~4

表 17 肉の初期温度が加熱時間に及ぼす影響

	室温	冷蔵	冷凍
初期温度 (°C)	17.6±0.8	7.1±1.6	-13.9±0.9
75°Cになるまでの時間 (分)	3.0±0.6	3.0±0.4	7.2±0.4
75°C以上保持時間 (分)	4.3±1.1	3.9±0.7	5.2±0.8
加熱終了後最大温度 (°C)	87.2±7.2	82.2±1.8	84.2±0.8
重量減少割合 (%)	17.6±0.5	23.1±2.2	30.1±3.6
体積 (cm ³)	104.4±1.9	109.4±3.4	106.5±3.8

n=3~4

4) トンカツの揚げ温度が加熱時間に及ぼす影響

図 40 に基準の 180°Cまたは 150°Cでトンカツを揚げた際の温度変化を、表 18 に 75°Cになるまでの時間、75°C以上保持時間、最大温度、重量減少割合、体積を示した。150°C加熱においても、75°Cで取り出した後も内部温度は上昇し、75°C以上を 1 分間以上保持していた。また、150°C加熱では 180°C加熱よりも 75°Cになるまでの時間は約 1.5 分間長く、温度が低い方が加熱時間は長かったが、重量減少割合はほぼ同じであった。ここまでの実験は加熱温度が同じであったことから、加熱時間が長い方がタンパク質の変性による保水性の低下が進行したが、加熱温度が低い場合には、内部温度の上昇も緩やかになることで保水性の低下も緩やかになり、最低温度が同じ 75°Cになるまで加熱した場合には重量減少や体積に違いは見られなかったと考えられる。

図 41 に 75°Cになった時点で加熱を終了したトンカツの外観の写真を示した。180°C加熱は 150°C加熱に比べて衣の色が濃く、加熱温度が高い方が加熱終了の見極めはより難しくなると考えられた。

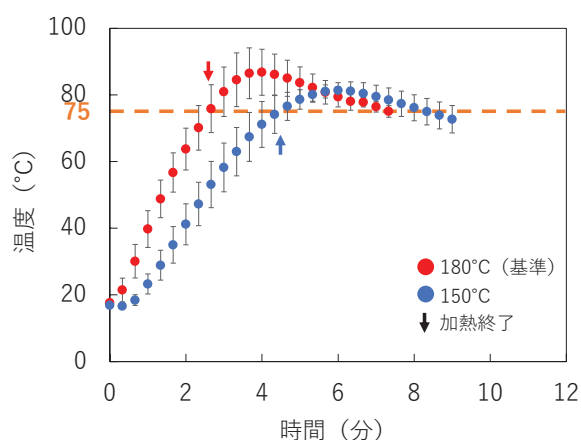


図 40 加熱温度の違いによるトンカツ内部の最低温度の変化の比較
n=3~4

表 18 加熱温度が加熱時間に及ぼす影響

	180°C	150°C
75°Cになるまでの時間 (分)	3.0±0.6	4.4±0.7
75°C以上保持時間 (分)	4.3±1.1	4.0±0.6
加熱終了後最大温度 (°C)	87.2±7.2	82.3±1.5
重量減少割合 (%)	17.6±0.5	16.5±5.8

n=3~4



図 41 揚げ温度がトンカツの外観に及ぼす影響
中心部が 75°Cになるまで加熱し、取り出した。

5) トンカツの形状が加熱時間に及ぼす影響

トンカツの形状として、基準として用いた厚さ 1 cm、約 110 g のロース肉を 2 等分、3 等分にして 2 等分は脂身の少ない方を、3 等分は中央のものを加熱した。また、厚さ 2 cm のロース肉も加熱した。図 42 にトンカツ内部の最低温度の変化を、表 19 にそれぞれの条件で 75°Cになるまでの時間、75°C以上保持時間、加熱終了後最大温度、重量減少割合を示した。75°Cになるまでの時間は 3 等分は基準よりも速く、厚さ 2 cm は基準よりも長かった。しかし、2 等分は基準とほぼ同じ時間であった。ここで、図 43 に示したように衣をつける前の肉の横幅は 3 等分で約 3.5 cm、2 等分で約 5 cm であった。今回用いたロース肉は厚さが 1 cm であり、3 等分では厚さに対して幅が 3.5 倍、2 等分では 5 倍である。よって、今回の実験において同じ厚さの肉を加熱する場合、厚さに対して幅が 5 倍以上であれば、加熱時間にはほとんど影響しないと言える。

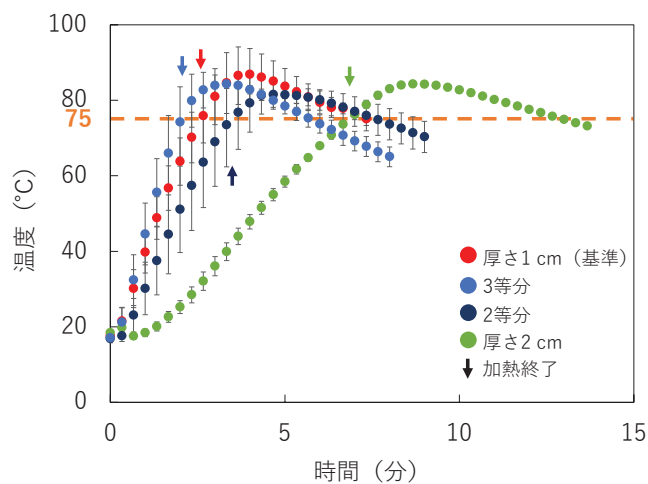


図 42 形状の違いがトンカツの内部の最低温度の変化に及ぼす影響
n=3~4



図 43 衣をつける前の 2 等分または 3 等分した肉の状態

表 19 トンカツの形状が加熱時間に及ぼす影響

	1 枚 (110 g)	2 等分 (58 g)	3 等分 (37 g)	厚さ 2 cm (200 g)
75°Cになるまでの時間 (分)	3.0±0.6	3.4±0.8	2.1±0.4	6.8±0.0
75°C以上保持時間 (分)	4.3±1.1	4.2±0.5	3.7±0.4	6.1±0.2
加熱終了後最大温度 (°C)	87.2±7.2	83.5±1.9	85.0±2.3	84.4±0.7
重量減少割合 (%)	17.6±0.5	17.4±0.9	13.7±6.2	27.7±1.8

n=3~4

6) トンカツの衣の違いが加熱時間に及ぼす影響

図 44 に基準のトンカツと、バターをつけてから乾燥パン粉をつけた場合、生パン粉をつけた場合の温度変化を示した。基準とバターの場合にはほぼ同程度の加熱時間であった。一方、生パン粉を使用した場合には基準に比べて加熱時間が長くなった (表 20)。これについて、図 46 に基準の乾燥パン粉を使用したトンカツと生パン粉を使用したトンカツを鍋に入れた直後の油の状態を示した。生パン粉は乾燥パン粉に比べて気泡の発生が多かつ

た。生パン粉は水分含量が乾燥パン粉よりも高いことで、油に入れた後の水分蒸発が多く、気泡が多量に発生したと考えられる。気泡が食材の周りに多い場合には、食材への熱の移動が妨げられ、食材は加熱されにくくなる。よって、生パン粉の加熱に時間がかかったのは、水分含量が多いことで気泡が多量に発生することによる熱移動の妨げが大きな要因であると考えられた。これに加えて、水分が蒸発する際にはエネルギー（蒸発潜熱）が必要であり、生パン粉を使用する場合には乾燥パン粉よりも蒸発潜熱が多くなることも一因と考えられる。

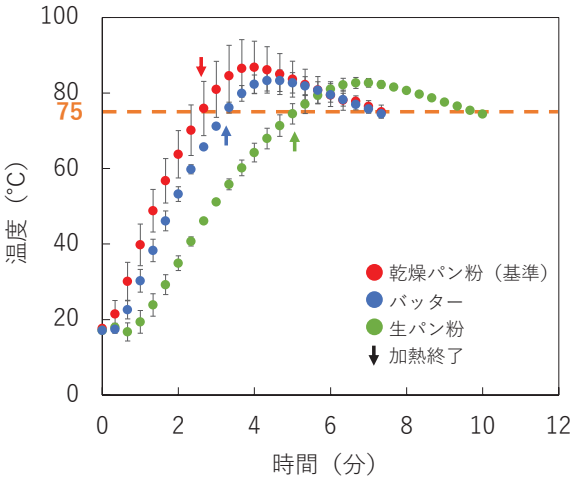


図 44 衣の違いがトンカツの内部の最低温度の変化に及ぼす影響
n=3~7

表 20 トンカツの衣の違いが加熱時間に及ぼす影響

	乾燥パン粉	生パン粉	バター
75℃になるまでの時間 (分)	3.0±0.6	5.3±0.4	3.3±0.1
75℃以上保持時間 (分)	4.3±1.1	4.9±0.3	3.9±0.4
加熱終了後最大温度 (℃)	87.2±7.2	83.2±1.1	83.4±2.8
重量減少割合 (%)	17.6±0.5	23.7±1.4	18.4±5.1

n=3~7

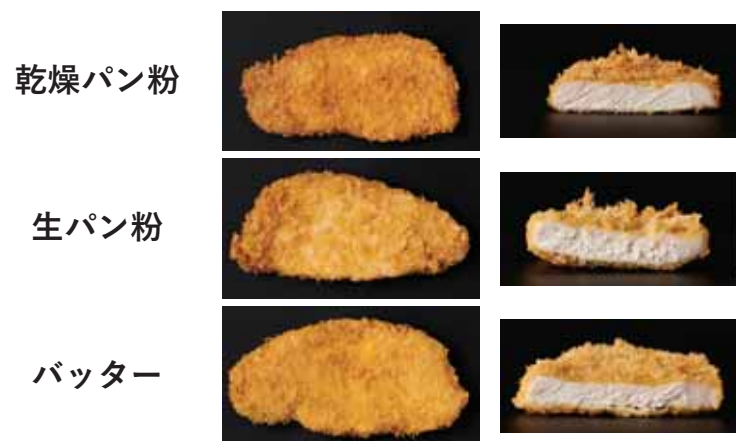


図 45 衣の違うトンカツの見た目
75℃になるまで加熱。

(a) 乾燥パン粉

(b) 生パン粉



図 46 乾燥パン粉及び生パン粉を油に入れた際の鍋内の様子

4. 細菌の殺菌・ウイルスの不活化を期待した温度の加熱調理と食材の加熱状態の関係① 食肉（鶏の唐揚げ）

4.1. 実験方法

1) 実験条件

本実験では、表 21 のように鶏の唐揚げの加熱時間に影響すると考えられる要因を挙げた。基準を「初期温度室温、厚さ 15 mm の鶏ムネ肉、醤油を含む調味液で下味」とし、それぞれの要因を検討する際にその部分だけ条件を変えて比較した。ここで厚さを 15 mm としたのは、スーパーで市販されている鶏ムネ肉のできるだけ厚い部分を切り出した時の大きさがこの厚さであったためである。また、いずれの実験においても重量は 1 個 30 g とした。これは小売店で販売されているカット済みの鶏肉の重量や、市販の唐揚げの重量等を測定して決定した。

表 21 唐揚げの実験条件

要因	基準	比較条件	報告書記載 項目番号
大きさ	厚さ 15 mm	厚さ 10 mm	4.2. 3)
肉の種類	鶏ムネ肉	鶏モモ肉	4.2. 3)
初期温度	18～20℃（室温）	冷蔵（8～10℃）	4.2. 4)
調味料の使用法	醤油あり	醤油なし	4.2. 5)

重量はいずれも 30 g。

2) 試料の調製

鶏肉（国産）は小売店で塊のまま購入し、鶏ムネ肉では厚さを基準の 15 mm または 10 mm とした。鶏モモ肉は均一な厚さに揃えることが難しかったため、10～15 mm の厚さとした。30 g の鶏肉 3 個を 1 セットとし、清酒 6.8 g（鶏肉に対して 7.6%）、醤油 1.4 g（1.6%）、塩 0.9 g（1%）の調味液とともにジップ付き袋に入れて 30 分間、室温試料は室内で、冷蔵試料は冷蔵庫で浸漬した。なお、冷蔵試料は成型後に冷蔵庫内の温度とほぼ同じ温度になったことを確認してから調味液に浸漬した。冷凍の場合には、冷凍庫に 1 日以上入れ、内部まで凍っていることを確認した。調味液の配合割合は調理師養成課程で使用する教科書を参考に決定した¹²⁾。片栗粉（シージーシージャパン）は揚げる直前に付けた。

3) 加熱

前項のハンバーグで用いたものと同じ IH 調理器（C 社製）を用いた。鍋は直径 16 cm、1.8 L 容量のステンレス製片手鍋を用い、油（日清キャノーラ油、日清オイリオ）は 700 g 使用した。後述する予備実験の結果をもとに、IH の最大火力 9 で油を加熱し、油温が 170℃ になった時点で試料を投入し、それと同時に火力を 3 にすることで 170℃ の状態を維持し

た。実験の様子を図 47 に示した。加熱終了後は揚げ網の上に放置した。



図 47 唐揚げの調理風景

4) 温度測定

鶏肉に 2 mm 間隔で 6 点の温度が同時に測定できるシース型多点式熱電対（安立計器）を挿入し、データコレクタ（AM-800K、安立計器）にて温度を記録した。ここで鶏の唐揚げを調理中に複数の熱電対を同時に挿入することは難しいため、多点式熱電対を用いて最低温度を検出することとした。本実験では測定結果から温度の最低点を解析した。

5) 重量測定

1.1. 5) に準じた。

6) 体積測定

2.1. 6) に準じた。

4.2. 実験結果

1) 加熱条件の決定（予備実験）

最初に加熱条件を検討するための予備実験を行った。

- i. 鉄鍋に油 700 g → 火力 9（強火） → 油温 170°Cで唐揚げ投入 → 火力 3
→ 2 分後油の温度 165.5°C
- ii. 鉄鍋に油 700 g → 火力 9（強火） → 油温 170°Cで唐揚げ投入 → 火力 4
→ 1 分後油の温度 155.1°C
- iii. 鉄鍋に油 700 g → 火力 9（強火） → 油温 170°Cで唐揚げ投入 → 火力 9 の
まま加熱 → 1 分後油の温度 177.6°C
- iv. ステンレス製片手鍋に油 700 g → 火力 9（強火） → 油温 170°Cで唐揚げ投入

→ 火力 2 → 1 分後油の温度 157.3℃

- v. ステンレス製片手鍋に油 700 g → 火力 9 (強火) → 油温 170℃で唐揚げ投入
→ 火力 3 → 2 分後油の温度 170.4℃

以上の実験結果より、油の温度を 170℃に維持できる条件としてステンレス製の片手鍋に 700 g の油を入れ、強火で 170℃になるまで加熱した後、試料を投入して火力を 3 にすることとした。

2) 鶏の唐揚げの揚げ時間が内部温度や仕上がりに及ぼす影響

図 48 に鶏ムネ肉の唐揚げを 3～5 分間揚げた時の温度変化を、表 22 に加熱終了時の温度、加熱終了後の最大温度、75℃以上保持時間、重量減少割合及び体積を示した。いずれの場合にも、加熱終了後に取り出して放置している間に内部温度はいったん上昇し、その後緩やかに降下した。5 分間の加熱で鶏肉内部の最低温度は 75℃になった。3 分間の加熱では加熱終了時が 45℃付近で最大温度も 74℃までしか上がらず、衛生的に加熱不十分な状態であった。一方、4 分間の加熱は加熱終了時は約 70℃であるが、加熱終了後放置の間に 85℃付近まで昇温し、75℃以上を 1 分間以上保持していた。以上のことから、75℃で 1 分間以上の条件を満たすのは、6 分間の加熱であるが、4 分間の加熱でも余熱によって衛生基準を満たすことができることを確認した。

また、これまでの結果と同様に、加熱時間が長くなるほど重量は減少したが、体積の変化はほとんどなかった。そのため、鶏の唐揚げについても、加熱に伴ってタンパク質の保水性が低下して肉汁が損失すると考えられる。

図 49 は 3～6 分間加熱した時の鶏の唐揚げの断面である。3 分間の加熱直後は内部がピンク色で加熱不十分なことがわかるが、3 分間加熱終了後に放置してから切断すると内部が白っぽく加熱されたように見えた。前述の通り、3 分間加熱は衛生的には加熱不十分な状態であり、鶏の唐揚げについても、見た目から加熱終了を判断することは難しいと言える。

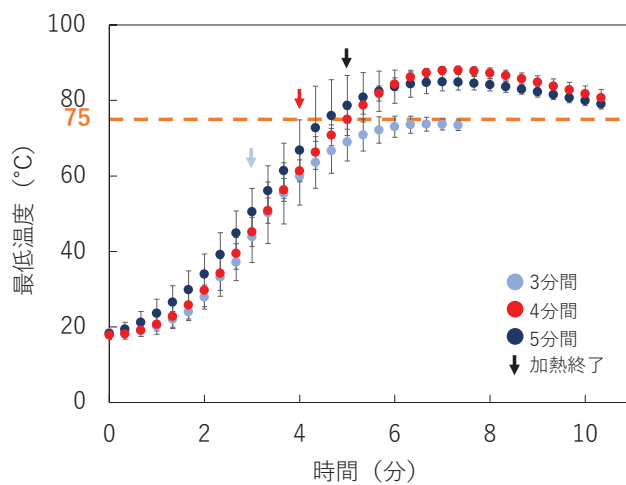


図 48 基準の鶏の唐揚げの内部の最低温度の変化
n=3~4

表 22 鶏の唐揚げを揚げた際の加熱終了時の温度、加熱終了後最大温度、75°C以上保持時間、重量減少割合、体積

	加熱時間		
	3 分	4 分	5 分
加熱終了時温度 (°C)	45.2±6.0	66.8±8.0	75.6±2.6
加熱終了後最大温度 (°C)	74.4±1.6	85.6±3.0	87.9±1.0
75°C以上保持時間 (分)	—	7.2±0.5	7.1±0.9
重量減少割合 (%)	12.1±1.2	16.3±2.9	25.2±3.4
体積 (cm ³)	22.5±1.5	24.0±2.5	23.1±2.0

n=3~4

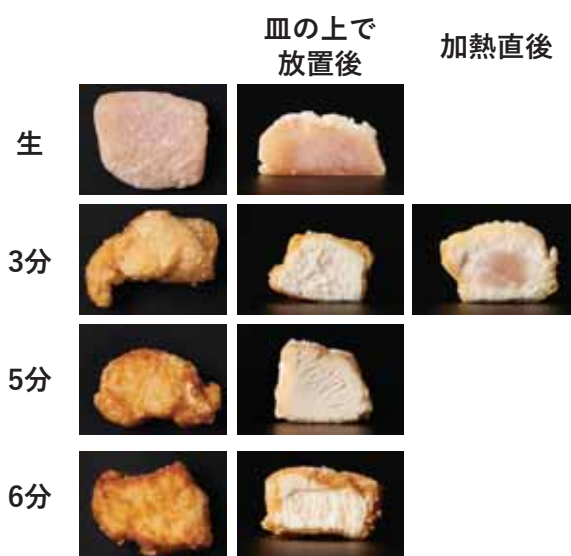


図 49 鶏の唐揚げの外観及び断面

3) 鶏肉の種類と大きさが加熱時間に及ぼす影響

重量はいずれも 30 g で厚さ 15 mm または 10 mm の鶏ムネ肉及び厚さ 10～15 mm の鶏モモ肉を 75℃になるまで揚げた際の試料内部の最低温度の変化を比較した（図 50）。いずれも加熱終了後の放置の間に内部温度は上昇した。表 23 はそれぞれの条件で 75℃になるまでの時間、加熱終了後の最大温度、75℃以上保持時間、重量減少割合である。10 mm のムネ肉は 15 mm に比べて加熱時間が約 2.5 分短くなった。また薄いことで 75℃以上を保持する時間は短くなった。鶏モモ肉のそれぞれの値は鶏ムネ肉の 10 mm と 15 mm の間になった。鶏モモ肉は均一な厚さに成型することが難しく、厚さが 10～15 mm と幅があったため、加熱時間がムネ肉の 10 mm よりは長く、15 mm よりは短いという結果になったと考えられる。

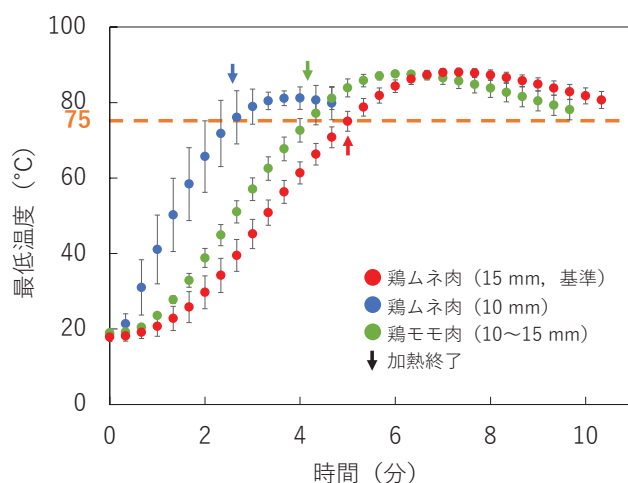


図 50 種類と厚さが鶏肉内部の最低温度の変化に及ぼす影響

n=3～4



図 51 ムネ肉とモモ肉の唐揚げの見た目の比較

75℃になるまで加熱した。

表 23 鶏肉の種類と厚さが加熱時間に及ぼす影響

	鶏ムネ肉		鶏モモ肉
	15 mm	10 mm	10～15 mm
75℃になるまでの時間 (分)	5.0	2.5±0.5	4.2±0.2
加熱終了後最大温度 (℃)	87.9±1.0	83.2±2.0	87.9±0.5
75℃以上保持時間 (分)	7.1±0.9	3.5±0.8	6.3±0.5
重量減少割合 (%)	25.2±3.4	15.5±7.0	20.9±2.4

肉の重量はいずれも 1 個 30 g。

n=3～4

4) 鶏肉の初期温度が加熱時間に及ぼす影響

図 52 に室温と冷蔵の温度の鶏ムネ肉を揚げた際の温度変化、表 24 に 75℃になるまでの時間、加熱終了後最大温度、75℃以上保持時間、重量減少割合を示した。これまでの結果と同様に、冷蔵は加熱初期の温度上昇が速く、75℃になるまでの時間は室温とほぼ同じであり、冷蔵か室温かという初期温度の違いは加熱時間には影響しないと考えられた。

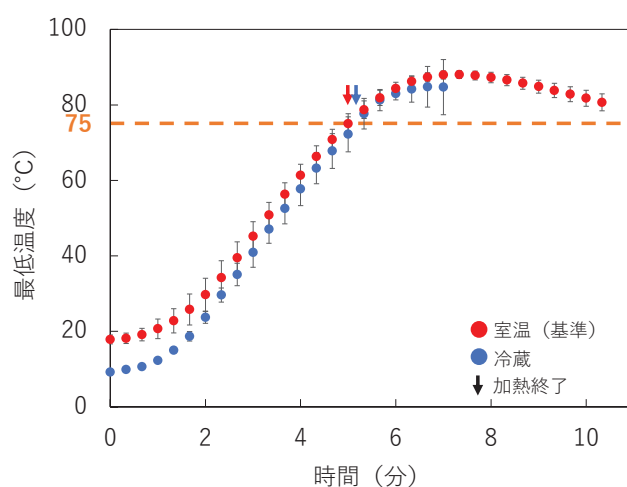


図 52 室温と冷蔵の鶏の唐揚げの内部の最低温度の変化

n=3～4



図 53 初期温度の異なる鶏の唐揚げの見た目の比較
75℃になるまで加熱した。

表 24 鶏肉の初期温度が加熱時間に及ぼす影響

	室温	冷蔵
初期温度 (°C)	17.9±1.2	9.2±0.7
75℃になるまでの時間 (分)	5.0	5.1±0.4
加熱終了後最大温度 (°C)	87.9±1.0	87.6±2.9
75℃以上保持時間 (分)	7.1±0.9	4.6±1.8
重量減少割合 (%)	25.2±3.4	26.0±4.8
体積 (cm ³)	23.1±2.0	20.0±1.2

n=3~4

5) 醤油の使用の有無が加熱時間や見た目に及ぼす影響

基準の唐揚げは醤油を添加して調味したものであり、醤油の有無は見た目に影響すると考えられたことから、醤油の有無を比較した。図 54 は鶏肉内部の最低温度の変化を醤油の有無で比較した結果である。両者の温度はほぼ同じように変化した。また、表面の色にも明瞭な差は認められず、醤油の有無は見た目にあまり影響しなかった。

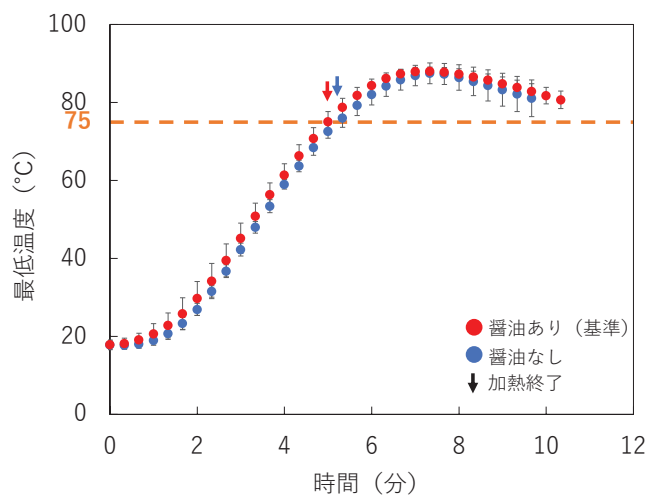


図 54 醤油のあり及びなしで調味した場合の鶏肉内部の最低温度の変化
n=3~4

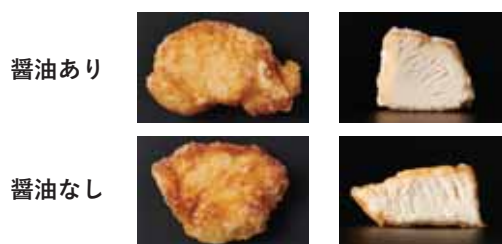


図 55 醤油の有無による見た目の違い
75°Cになるまで加熱。

5. 細菌の殺菌・ウイルスの不活化を期待した温度の加熱調理と食材の加熱状態の関係② 二枚貝（ゆでガキ・カキフライ）

5.1. 実験方法

1) 実験条件

ここでは、加熱方法の比較としてゆでガキとカキフライの調理について検討した。それぞれについて、表 25 及び 26 に示したように基準は室温とし、冷蔵との比較を行った。なお、カキなどの二枚貝は 85～90℃で 90 秒間以上の加熱が必要であることが示されている⁴⁾ことから、本実験では 85℃で 90 秒間の加熱を衛生基準とすることとした。

表 25 ゆでガキの実験条件

要因	基準	比較条件	報告書記載 項目番号
初期温度	18～20℃（室温）	冷蔵（4～5℃）	5.2. 1)

表 26 カキフライの実験条件

要因	基準	比較条件	報告書記載 項目番号
初期温度	18～20℃（室温）	冷蔵（5～11℃）	5.2. 2)

2) 試料の調製

カキ 1 個あたりの重量は、ゆでガキの調理実験で 18～22 g、カキフライの調理実験で 19～23 g のものを用いた。ゆでガキはそのまま加熱した。カキフライは薄力粉（日清フラワー薄力小麦粉、日清製粉）、卵、パン粉（フライスター）の順に付けた。冷蔵の条件では冷蔵庫内の温度とほぼ同じ温度になったことを確認して加熱した。冷蔵のカキを揚げる際には、加熱直前に衣を付けた。

3) 加熱

ゆでガキの調理実験では鶏の唐揚げと同じ IH 調理器（C 社製）とステンレス製片手鍋を用い、沸騰水中に 1 個だけを投入した。室温（14～16℃）および冷蔵（4～5℃）の生ガキを沸騰水中でゆでて、内部の最低温度が 85℃に達した後さらに 90 秒間加熱した。室温のカキについては 75℃になった時点で取り出す実験も行った。いずれも加熱終了後は皿の上に放置した。

カキフライは 4.1. 3) の鶏の唐揚げの方法に準じて揚げた。室温（15～19℃）および冷蔵（4～10℃）で衣をつけた生ガキを油に入れて、内部の最低温度が 85℃になるまで加熱した。室温のカキについては、75℃になった時点で取り出す、もしくは 85℃になってから 90 秒間加熱する実験も行った。いずれも加熱終了後は揚げ網の上に放置した。



図 56 ゆでガキの調理風景



図 57 カキフライの調理風景

4) 温度測定

4.1 4) の鶏の唐揚げの方法に準じた。

5) 重量測定

1.1 5) に準じた。

5.2. 実験結果

1) ゆでガキを調理した場合の温度変化と見た目

ゆでガキの調理実験に先立ち、多点式熱電対を挿入したカキを沸騰水中に投入して温度を計測することで、カキ内部の温度の最低点が計測可能であることを確認した。また、ゆでガキについては 85℃になってから 90 秒間加熱をして取り出したところ、90 秒よりも短い時間で 85℃以下になったことから、85℃で 90 秒間の実験のみ行うこととした。

図 58 に室温及び冷蔵状態のカキを沸騰水中で茹でて 85℃になってからさらに 90 秒間加熱した際の温度変化を示した。室温のカキをゆでた調理実験では、余熱の効果を検証するため加熱終了後皿の上に取り出して放置している間の温度変化も測定した。室温のカキを 85℃になってから 90 秒間ゆで続け、その後取り出してからカキ内部の温度が 85℃以下になるまでの時間は 0.6 ± 0.3 分間と短かった。加熱終了時の温度は 93.8 ± 0.6 ℃と高温の状態に取り出した後に速やかに温度が降下したことから、ゆでガキにおいて余熱の効果は期待できないと考えられる。そのためゆでガキの調理では 85℃で 90 秒間以上の加熱が必要であると言える。そこで、冷蔵状態のカキについては加熱中のみの温度変化を測定し、結果を図 58 に示した。さらに表 27 には室温と冷蔵状態のカキがそれぞれ 85℃になるまでの時間を示した。これまでの結果と同様に、基準である室温と冷蔵状態のカキで 85℃になるまでの時間はほぼ同じであった。

また、図 59 はゆでガキの外観及び断面である。カキの内部温度が 75℃に達した時点では衛生的には加熱不十分な状態であるが、十分に加熱されたように見えた。よってゆでガキについても、見た目は加熱終了の判断基準にはならなかった。表 28 に示した 85℃で 90 秒間加熱した場合のカキの重量減少割合は 31%と元の状態よりも小さくなっており、目視でも

小さくなっていることがわかる状態であった。しかし、室温と冷蔵のカキをそれぞれ 85℃で 90 秒間加熱した時の重量減少割合には差があり、重量も加熱終了の目安とはならないと考えられた。

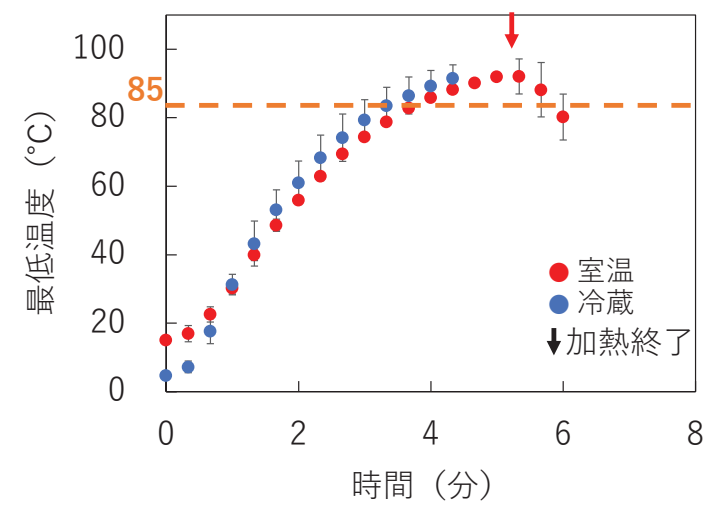


図 58 室温及び冷蔵のカキをゆでた際のカキ内部の最低温度の変化
いずれも 85℃になってから 90 秒間加熱した。

n=3

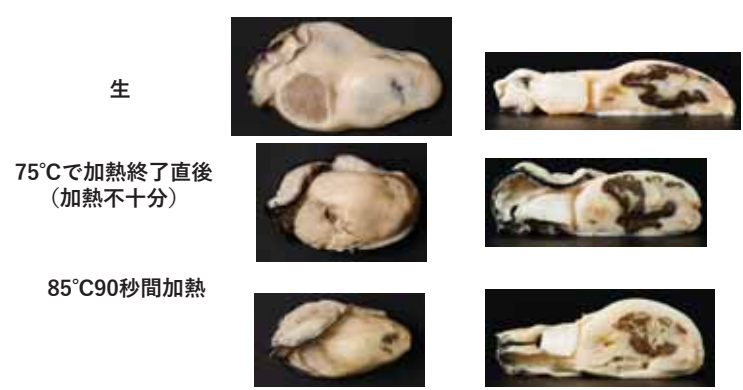


図 59 ゆでガキの外観及び断面

表 27 ゆでガキの 85℃になるまでの時間

室温	3.9±0.3
冷蔵	3.5±0.5

n=3～7

表 28 ゆでガキの重量減少割合

室温	最低温度が 75℃に達した時点	15.5±1.2%
	85℃で 90 秒間加熱	31.0±2.2%
冷蔵	85℃で 90 秒間加熱	22.9±2.6%

n=3

2) カキフライを調理した場合の温度変化と見た目

カキフライの調理実験に先立ち、鶏の唐揚げの調理実験と同じ条件で揚げて油の温度が 170℃付近を維持することを確認した。そこで、鶏の唐揚げと同じ条件で加熱することとした。

図 60 はカキフライの内部温度が 75℃になるまで、85℃になるまで、85℃になってから 90 秒間加熱した時のカキ内部の最低温度の変化である。85℃になるまでの時間は 3.6 ± 0.3 分間であった。ゆでガキとは異なり、加熱終了後も温度が上昇し、その後ゆっくり降下するという余熱の効果が認められた。表 29 は 85℃以上保持時間、加熱終了後最大温度、重量減少割合である。内部温度が 75℃までの加熱では 85℃で 90 秒間という衛生基準を達成しない場合が認められた。一方 85℃になるまで加熱した後に取り出した場合、放置の間に 90℃以上まで温度が上がり、85℃以上を 90 秒間以上保持していた。よって、カキフライでは余熱の効果が認められた。ゆでガキでは余熱の効果は認められなかったことから、衣の保温効果の影響が大きいと考えられる。

図 60 の室温のカキを加熱して 85℃で加熱終了の条件を基準とし、冷蔵の状態のカキを揚げた時の温度変化を比較した（図 61）。冷蔵状態のカキは加熱初期の温度上昇が速く、85℃になるまでの時間は室温のカキとほぼ同じであった。表 30 には 85℃になるまでの時間、85℃以上保持時間、加熱終了後最大温度、重量減少割合を示したが、いずれも室温と冷蔵では同程度であり、初期温度の違いは今回の実験条件ではカキフライの加熱時間や仕上がりにはほとんど影響しないと考えられる。

図 62 はカキフライの外観と断面である。内部温度が 75℃になった時点で加熱を終了した場合でも、衣は加熱されたように着色していた。また、断面についても加熱終了と判断しそうな見た目であった。よって、カキフライについても外観や断面といった見た目は加熱終了の判断基準にはならなかった。今回の実験より、約 20 g のカキを揚げる場合には、170℃で約 3.5 分間が加熱の目安と考えられた。

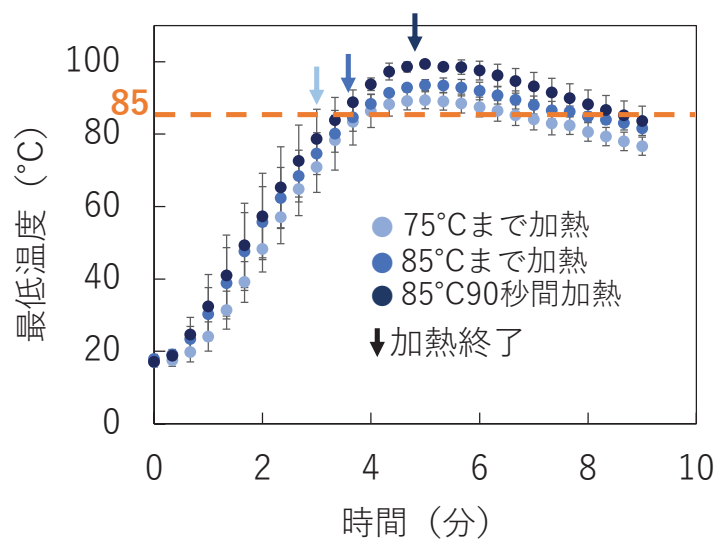


図 60 カキフライ調理中のカキ内部の最低温度の変化
n=3~8

表 29 カキフライの 85°C以上保持時間及び加熱終了後最大温度、重量減少割合

	加熱終了時のカキ内部の最低温度		85°Cになってから
	75°C*	85°C	90 秒間加熱
85°C以上保持時間 (分)	3.0±0.8	3.6±0.3	5.4±0.6
加熱終了後最大温度 (°C)	90.5±3.1	93.8±1.7	99.6±0.8
重量減少割合 (%)	20.0±2.1	21.4±7.1	25.0±7.3

*75°Cで加熱終了の条件では 85°C90 秒間を保持しない場合あり

n=3~14

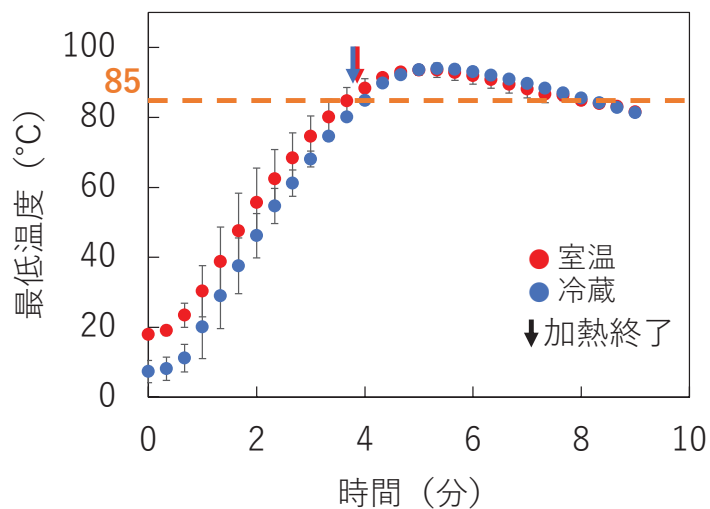


図 61 カキフライ加熱時の初期温度の違いによるカキ内部の最低温度の変化の比較
85°Cで加熱終了。n=3~4

表 30 カキフライ加熱時の初期温度の違いによる 85°Cになるまでの時間、85°C以上保持時間、加熱終了後最大温度及び重量減少割合の比較

	室温	冷蔵
初期温度 (°C)	17.9±1.2	7.3±3.1
85°Cになる時間 (分)	3.6±0.3	3.7±0.4
85°C以上保持時間 (分)	3.6±0.3	4.1±0.1
加熱終了後最大温度 (°C)	93.8±1.7	94.0±0.3
重量減少割合 (%)	21.4±7.1	22.7±3.4

内部の最低温度が 85°Cになった時点で加熱終了

n=3~4



図 62 カキフライの外観と断面

6. ステーキ焼成時の温度と食材の加熱状態の関係

6.1. 実験方法

1) 試料の調製

和牛モモ肉を 5 cm×10 cm×2 cm に成型した。

2) 加熱

IH 調理器（C 社製）で最大火力（火力 9）でフライパン（直径 26 cm、深さ 5 cm）の温度が 200℃になったら肉を入れた。フライパン投入後は中火（火力 6）で加熱した。加熱時間は片面 2～5 分間焼いた後、反転して同じ時間加熱した。

3) 温度測定

先端部に温度計測のセンサ 1 点を有する $\phi 1$ mm シース型 K 熱電対（安立計器）を肉中心部に挿入した。フライパンの温度はテープ状の K 熱電対（安立計器）を用いた。

6.2. 実験結果

図 63 はステーキの断面の色の变化である。加熱によって徐々に内部の赤みが消失していった。肉の内部温度はレアが 55～65℃、ミディアムが 65～70℃、ウェルダンが 70～80℃とされている¹¹⁾が、今回の実験では片面 3 分間ずつ、合計 6 分間の加熱でレアで内部の広い範囲で赤色であった。片面 5 分間ずつ、合計 10 分間の加熱では内部の赤みもほとんどなくなっていた。

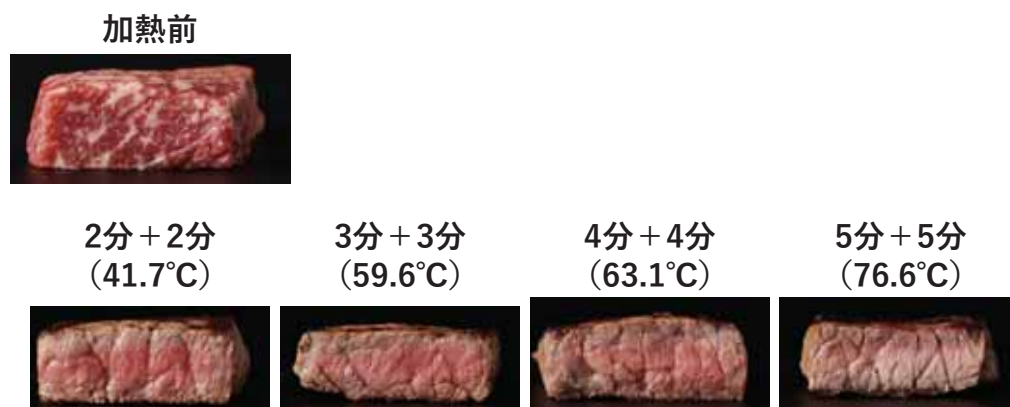


図 63 ステーキ断面の色の变化

（ ）内は加熱終了時の中心温度。

7. 電子レンジによる加熱の特性（白飯）

7.1. 実験方法

1) 実験条件

白飯は重量を変えたり、食塩を加えたり、圧縮したりと、様々な状態に変えやすく、また比較的均一に加熱されることが報告されている¹³⁾ことから、電子レンジを用いた再加熱の実験の中で最も詳しく検討した。本実験では、150 g の室温の白飯をプラスチック製密閉容器（以下容器と表記）に入れ、後述する電子レンジ G で加熱した条件を基準とし、表 31 に示した内容を比較した。容器の形状を比較するため、角型容器(11.1×12.1×高さ 5.1 cm、E 社製)及び丸型容器(10.5×10.5×高さ 7.5 cm、F 社製)を用いた。いずれもポリプロピレンが原料樹脂である。ここで、マイクロ波は角に集中しやすい性質がある。また食塩の添加や圧縮によって加熱ムラが生じることが報告されている¹³⁾。その他、家庭で再加熱することを想定した際に温度上昇の仕方に影響すると考えられる要因を挙げ、表 31 の条件で実験を行なった。

表 31 白飯の再加熱時の実験条件

要因	基準	比較条件
容器の形状	角型	丸型
重量	150g	50 g / 100 g / 200 g
食品用ラップフィルム (ラップ)	あり	なし 角型、丸型容器を使用
食塩	なし	1%まぶし / 1%混ぜ込み 混ぜ込みは角型、丸型容器を使用
圧縮	なし	あり / 圧縮+食塩 1%混ぜ込み 角型、丸型容器を使用
初期温度	室温 (20～26℃)	冷蔵 (8～10℃)
出力	500 W	600 W
機種	レンジ G	レンジ H

2) 試料調製

秋田県産無洗米あきたこまちを炊飯器で炊飯し、容器内で放冷して室温にしたものを用いた。150 g を角型容器に詰めるとき、試料の高さはおよそ 3 cm となった。冷蔵の試料は冷蔵庫に約 3 時間入れたものを用意した。ここで、通常は容器で加熱する場合には蓋を使用するが、今回の実験では内部の温度を測定するための温度計を挿入する必要があったため、蓋の代わりに食品用ラップフィルム（以下、ラップ）を使用した。

食塩添加については、重量の 1% の食塩を表面にまぶしたもの、重量の 1% の食塩を全体に混ぜ込んだ条件について検討した。

容器への詰め方については基準を圧縮なしとして、圧縮あり、重量の 1% の食塩を全体に混ぜ込んで圧縮したものについて検討した。圧縮なしの状態でも角型、丸型容器のいずれも高さが約 3 cm であり、白飯をきつく押しながら容器に詰めて約 2 cm になるところまで圧縮した。先行研究ではレトルト白飯は「きわめて圧縮された状態」であり、白飯の角部と中央部の温度がマイクロ波が集中して高温になることが報告されている¹³⁾。しかし、市販の白飯パックを確認したところ、圧縮されている状態のものは販売されていなかった。このため実験者が容器に詰めて圧縮した試料を調製し、詰め方によって電子レンジによる再加熱がどのように変わるかを検討した。白飯を容器に入れた様子を図 64 に示した。

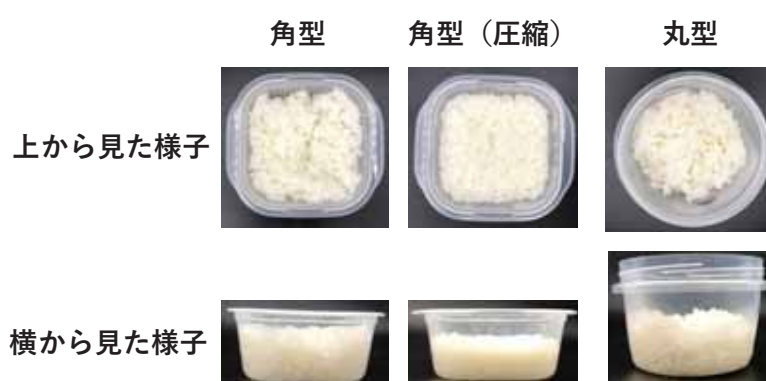


図 64 白飯を容器に入れた様子

3) 電子レンジ及び加熱条件

電子レンジは複合型オープンレンジ（庫内容量 26 L、最大出力 1000 W、フラットテーブル型；G 社製）及び単機能レンジ（庫内容量 17 L、最大出力 500 W、フラットテーブル型；H 社製）を用いた。これ以降、それぞれレンジ G とレンジ H と示す。加熱時間は 2 分間とした。

4) 表面温度の測定

室温もしくは冷蔵状態の白飯を 30 秒、1 分、1 分 30 秒または 2 分間電子レンジで加熱し、加熱終了後は速やかに電子レンジから取り出して赤外線サーモグラフィー（R300W2、NEC Avio 赤外線テクノロジー）にて熱画像を取得した。ここで、赤外線サーモグラフィーは物体が放射している赤外線放射エネルギーを検出してみかけの温度に変換する計測器であり、物体によって赤外線を放射する割合が異なるため、測定する物体に応じて放射率を設定する必要がある。食品の放射率はほぼ 1 であることから、本実験では測定時の放射率の設定を 1.00 とした。



図 65 表面温度測定の様子

5) 内部温度の測定

白飯内部の温度変化は蛍光式光ファイバー温度計（安立計器）によって測定した。熱電対など、一般的に温度測定に用いられる金属を使用した電気式温度計は高周波電場である電子レンジでは用いることができないが、蛍光式光ファイバー温度計は金属を使用していない温度計なので直接電子レンジに差し込み、加熱を行いながら温度を測定することが可能である。特殊加工により電子レンジの上部にマイクロ波が外部に出ない穴を 4 つ開け、4 本の専用センサ付きケーブルを差し込むことで電子レンジ加熱を行いながら内部温度の変化を測定した。角型容器では角・端・中央・中央付近、丸型容器では端・端付近・中央付近・中央の温度を測定した。測定した位置は図 66 の通りであり、深さの中心となる点で測定を行った。

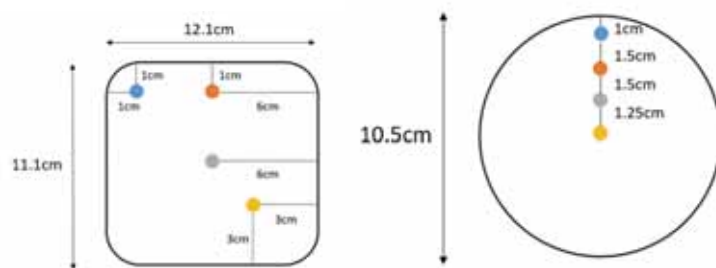


図 66 白飯内部の温度測定位置



図 67 蛍光式光ファイバー温度計を挿入した電子レンジと食材の様子

7.2. 実験結果

1) 白飯の加熱ムラの概要

最初に予備実験において基準の 150 g の白飯を加熱したところ、約 2 分間で内部全体が 100℃になった。そこで白飯の実験は電子レンジで 2 分間加熱することとした。

白飯を電子レンジで再加熱する実験は、表 31 に示したように多くの条件について検討したことから、最初に全ての条件で加熱した際の内部温度の測定位置による違いを整理した。図 68 に白飯を 1 分間再加熱した後の角部または端部と中心部の温度差を示した。図のバーが角または端部と中心部の温度差であり、これが大きいほど加熱ムラ（表面や内部の温度が不均一な状態）は大きいと言える。容器の形についてみると、丸型容器の方が角型容器よりも温度差が小さかった。また温度差が大きかったのは食塩を添加した場合で、特に全体に混ぜ込んだ場合に温度差は大きくなった。圧縮することでも温度差が大きくなり、食塩を混ぜ込むことでさらに温度差は大きくなった。また、ラップをしないことで温度差が大きくなっている。今回の実験条件では、いずれの場合にも角または端部と中心部での温度差が生じており、電子レンジの加熱において加熱ムラが生じることは避けられないと考えられるが、ラップのように蓋をして放熱を抑えることで加熱ムラを小さくできると言える。

次項以降に各実験結果の詳細を記載する。

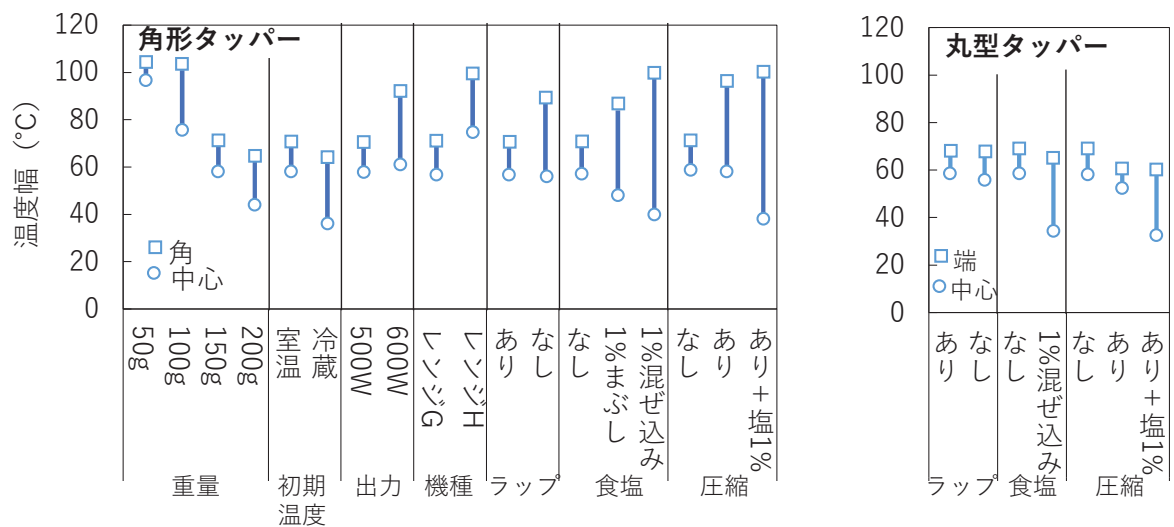


図 68 白飯を電子レンジで 1 分間再加熱した際の角部（端部）と中心部の温度差

2) 重量の違いが白飯の加熱ムラに及ぼす影響

50～200 g の白飯を再加熱した際の表面温度（図 69）と内部温度（図 70）の変化を示した。いずれの重量においても白飯表面の極端な温度差は認められなかった。内部温度は重量が少ない場合には測定位置による差が大きく、重量が多い場合に比べて実験ごとのばらつきが大きかった。内部の昇温が速いことで、測定によって誤差が出やすかったと考えられる。また、重量が増えるほど、表面および内部の温度はいずれも遅く昇温した。ここで、電子レンジで加熱する食品の体積が 2 倍、3 倍、…、n 倍になると、単位時間及び単位体積当たりに吸収されるエネルギーは $1/2$ 、 $1/3$ 、…、 $1/n$ になる¹⁴⁾。同じ食材であれば重量の増加は体積の増加と対応するため、本実験においても重量が増えるほど昇温が遅くなったと考えられる。一般家庭において食品の体積を把握することは難しいため、加熱するものの重量に応じて適切な加熱時間を設定する必要があると言える。

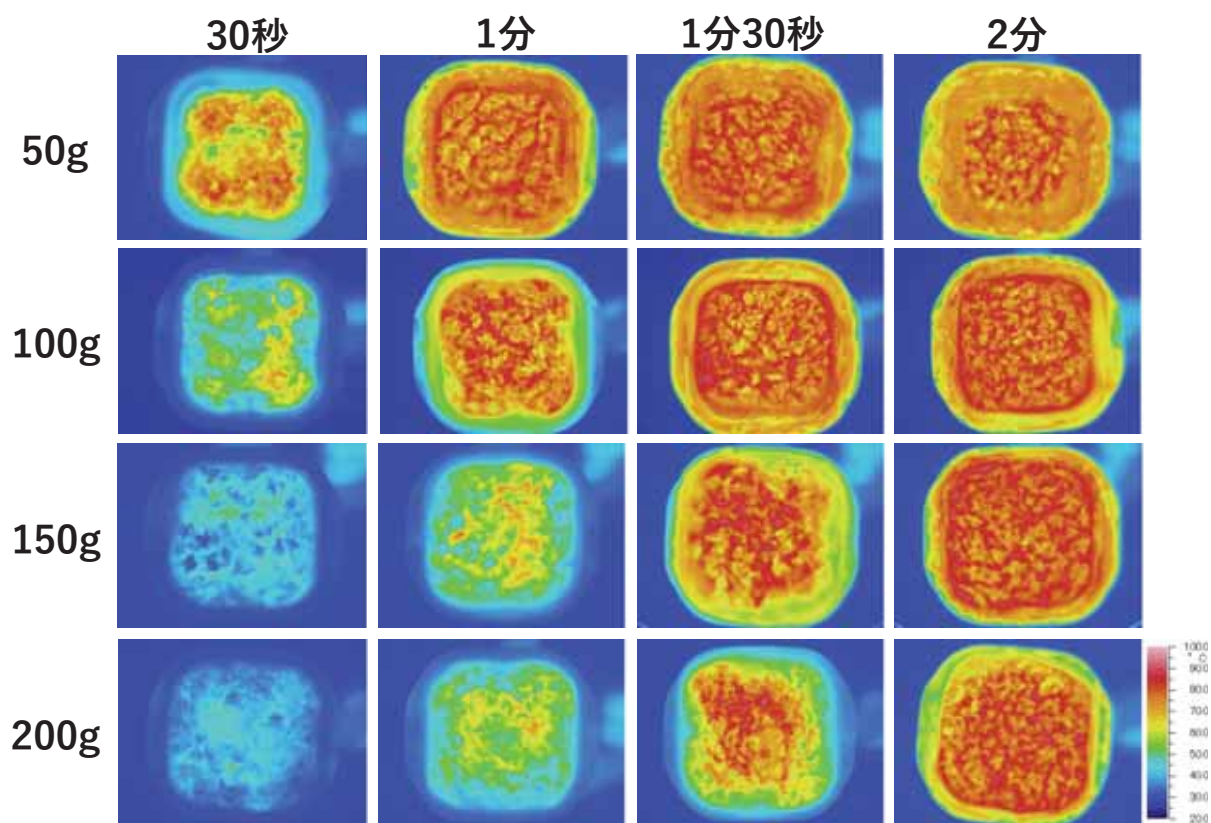
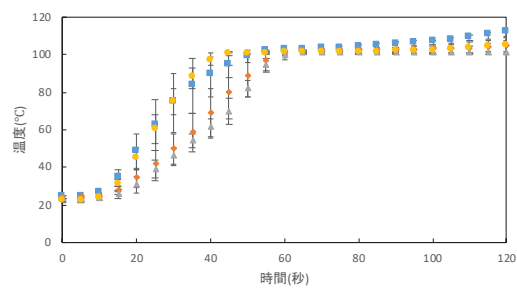
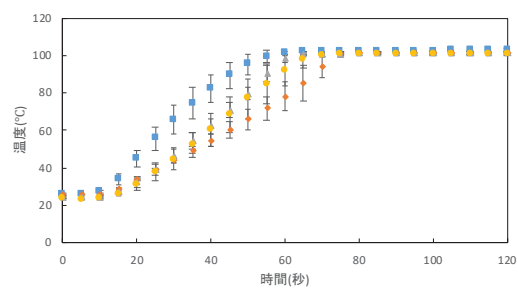


図 69 重量の違いが白飯の表面温度の変化に及ぼす影響（角型容器）

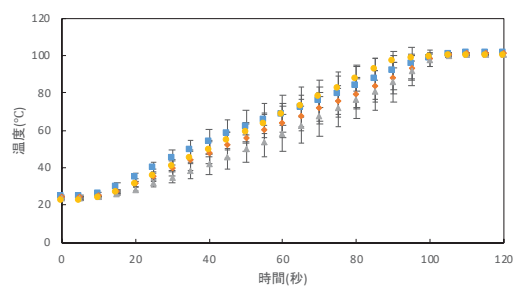
(a) 50 g



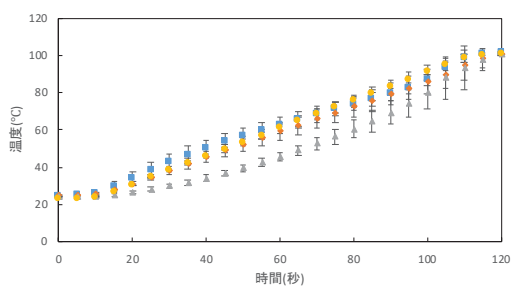
(b) 100g



(c) 150 g



(d) 200g



■ 角 ◆ 端 ▲ 中央 ● 中央付近

図 70 重量の違いが白飯の内部温度の変化に及ぼす影響（角型容器）
n=3