

肉類の加熱における余熱の有効利用

松 田 康 子*

Effective Use of Residual Oven Heat for Heating Meat

Yasuko MATSUDA*

Abstract

According to the “Hygiene Management Manual of Mass Cooking Facilities”, in order to be served safely, meat must be heated for at least one minute after the center temperature reaches 75°C. However, overheating may result in decreased cooking quality with oven-cooked foods. We investigated the possibility of using residual heat to cook cylindrical pork samples 50 mm in diameter and 15 mm thick in several laboratories.

The internal temperature increased after the oven was heated. When the oven temperature was set to 270°C or higher, and the meat was heated for one minute after reaching 70°C, the temperature could be maintained at 75°C or higher for one minute or longer due to residual heat.

When we used three types of placement mediums with different thermal properties (stainless steel, wood, or *gotoku*), no significant difference was observed in the temperature change at the center of the meat during placement. This was presumably due to the small contact area between the medium and the oven square plate.

When the square plate was covered after completion of heating in the oven, the temperature at the center of the samples was maintained at 75°C or higher for a longer period of time than when it remained uncovered. The higher the heat capacity (weight-to-base area ratio) of the square plate, the longer the center of the samples was maintained above 75°C. In addition, sample thickness affected the maximum temperature reached by the samples, with thinner samples reaching higher temperatures; however, it did not affect the holding time.

Meat was heated in an oven at 230°C, and the effects of the heat capacity of the square plate and heating capability of the oven on the temperature change due to residual heat was investigated. The results demonstrated that the higher the heating capability of the oven, the faster the sample temperature increased during heating; however, regarding temperature change of the samples during placement, the higher the heat capacity of the square plate, the greater the temperature rise of the samples after heating and the longer the holding time at 75°C. Shortening of the covering time decreased the weight loss rate of the samples and tended to make them softer. We therefore suggest that covering food until it reaches the maximum temperature may be a standard for maintaining hygienic conditions and cooking quality.

Key words: 肉類, オープン加熱, 内部温度, 余熱

はじめに

大学の調理学研究室に50年近く在籍し、主に調理実習を担当し、教育、研究に携わってきた。上田フサ先生にも研究室で薫陶を受けることができ、その後も調理学研究室の先生方より、女子栄養大学の調理について多くの事を学ばせて頂き、研究も続けてきた。しかし、調理における加熱に関わる要因、熱移動関連については知識不足を感じていた。そんな中、日本調理科学会メンバーで組織する加熱調理研究委員会有志が2004年夏から共同研究を行っているのを知り、少し遅れてではあるがメンバーに加えて頂いた。

そのメンバーが複数の研究室で加熱実験を行うことで、

調理科学の実際面で汎用化につながるのでは、と継続していくことにした。テーマとして食肉の加熱を行うこととした。豚肉などで焼き調理するときの食肉の中心温度を食品衛生基準の75°Cで1分間加熱すると硬くなるとの声があるが、加熱後、肉の放置で温度上昇がみられることを経験上知っているため、これをテーマとして共同研究を始めることにした。1回目会合は2007年の年の瀬も押し迫った12月26日に行い、各自持ち寄った予備実験データを基にオープンの設定温度や加熱時間等について検討し、測定項目について決めた。その後は、メールや実際に参集してデータ、意見交換を行いながら実施した。

この共同研究の1期の取りまとめをさせて頂き、その後約10年間、関わらせて頂いた。

* 調理学研究室, 女子栄養大学 : Laboratory of Cookery, Kagawa Nutrition University

共同研究目的

管理栄養士・栄養士には、安全でかつ嗜好性の高い調理品を得ることが求められている。食肉の加熱調理では食中毒を防ぐため、厚生労働省生活衛生局通達の「大量調理施設衛生管理マニュアル」¹⁾として大規模食中毒対策等が定められている。このマニュアルは大量調理施設に対するものであるものの、管理栄養士・栄養士養成の調理教育において基本的事項として取り扱われている。

オープン加熱をはじめとする高温条件下で行う肉類の加熱では、加熱条件や加熱終了直後の放置条件により、加熱終了後も食品中心部の温度上昇が続き、過加熱により調理成績の低下を招くことがある²⁾。そのため、加熱終了後の温度上昇をふまえた加熱条件を設定することで、最も良い調理成績が得られる可能性がある。そこで、オープンを用いての検討をすることにしたが、オープンの種類による加熱性能（加熱時間）等の影響も考えられるので、普遍性のある余熱利用の条件を提示するためには、多様な加熱及び放置条件における測定データの蓄積が必要である。

本総説では、日本調理科学会メンバーの加熱調理研究委員会有志による、複数研究室の共同研究により進められた食肉加熱に関わる要因や熱移動に関連する研究をまとめた。共同研究は1期（2007年～）、2・3期（2010年～）、4期（2014～2015年）に分けられる。1期は基礎データ収集のためオープンで75・70・65℃加熱、放置した肉の内部温度履歴を測定して余熱効果の影響を確認した。2・3期は放置条件（放置台材質、覆い有無）が余熱温度履歴に与える影響、4期は覆い時間短縮による効果の検討に関しての研究が実施され、調理科学の実用化と汎用化をめざすことを目的に研究が行われた。

1. 共同研究1期

1. 実験方法、解析方法

試料は市販の豚ヒレ肉を繊維方向に直角、厚さ15mmに切断し、直径約50mmの円筒型（約30g）に成形して用いた。

オープン付属の角皿にクッキングペーパーを敷き、図1に示すように9箇所室温になった肉を置き、対角線上の3試料の中心温度を測定しながら加熱した。中心温度は、データコレクター及びシース型熱電対（φ1.0～1.5mm）（安立計器（株））を用い、横から挿入し、分解能0.1℃、1～10秒間隔で測定した。

オープン加熱温度、時間

オープンの設定温度は、通常の焼き物加熱の設定温度230℃と、高い設定温度として270℃または280℃（以下、270℃以上と表記）の2条件で行った。

加熱終了時間は、温度測定用の3試料内の2つが加熱目安温度に達してから1分後とした。なお、加熱目安温度に達した順にそれぞれの試料をイ、ロ、ハとして解析を進めた。イ、ロ、ハ試料の温度履歴イメージを図2に示した。

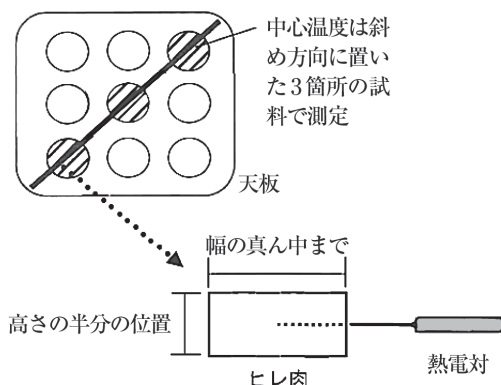


図1 試料の配置位置、肉中心の測定位置

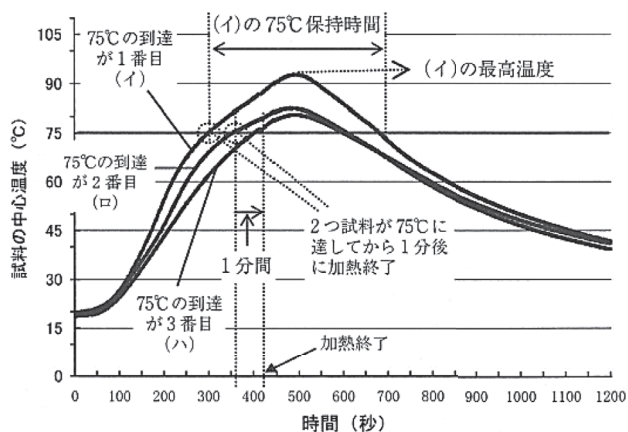


図2 温度履歴の例
庫内温度設定230℃で「75℃1分」で加熱

加熱目安温度

加熱目安温度は、「大量調理施設衛生管理マニュアル」¹⁾の基準である75℃に達してから1分間の加熱（以下、「75℃1分」と表記）と温度を下げた70℃に達してから1分間の加熱（以下、「70℃1分」）、65℃に達してから1分間の加熱（以下、「65℃1分」）の3条件とした。

余熱時間（加熱終了後の放置時間）

試料は加熱後、直ちに角皿ごと取り出して室温に30分間放置し、温度測定を継続した。

重量変化

加熱前と余熱終了後に重量を測定し、加熱前の重量から余熱終了後の重量を差し引いて加熱前の重量に対する割合を算出し、重量減少率とした。なお、重量変化は、温度測定用の3試料で行った。

物性測定

余熱終了の肉の硬さを、温度測定した肉を試料とし、クリーブメーター（（株）山電製RE-3305）を用いて破断応力を測定した。物性測定試料とした肉は、温度測定をした肉の熱電対の挿入していない箇所を選び15×15mmで切り出し、加熱時の上面より、ロードセル200N、圧縮速度1mm/s、くさび形プランジャー（幅13mm×奥行30mm×高さ25mm、開き角度30°、先端幅1mm）を用い、歪率99%まで圧縮した。

統計処理

平均値の差の検定は、SPSSのVer.17.0を用いて一元配置の分散分析を行い、条件間で差が見られたものについては、TukeyのHSD等による多重比較を行った。有意水準は5%で検定した。

2. 75℃以上の保持時間

測定温度より75℃以上保持していた時間を算出し、75℃以上の保持時間とした。加熱目安温度「75℃1分」の条件で、オーブンの設定温度別にイ、ロ、ハとした試料の結果を図3に示した。オーブンの設定温度230℃、270℃以上とも、加熱中に75℃1分間加熱をしていないハの試料でも、75℃以上の保持時間は平均1分間以上で、余熱時効果が十分あった。

しかし、230℃ではギリギリの試料がでる恐れがあったので、加熱目安温度を「70℃1分」、「65℃1分」と下げた実験では、オーブンの設定温度は270℃以上のみとし、結果を図4に示した。「70℃1分」では、イ、ロ、ハとも75℃を1分間以上保持していた。しかし、「65℃1分」では、ハが75℃を1分間保持しない試料も約35%

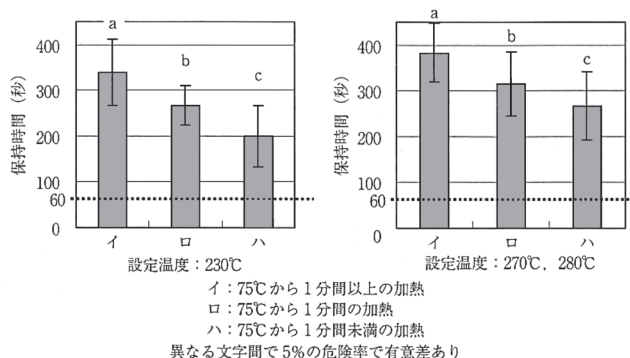


図3 75℃以上の保持時間（「75℃1分」）

あった。このことより、余熱も含めて75℃1分間の衛生管理条件を満たすには、オープンの種類や加熱後の放置場所が異なっても、加熱目安温度は「70℃1分」で十分であることが分かった。なお、この実験において270℃以上の設定で、庫内温度の実測平均が250℃以上に達しないオープンがあった事が分かり、解析にはこの機種のデータを除外した。

3. 試料の最高温度

試料中心の最高温度を表1に示した。「75℃1分」では230℃及び270℃以上ともに、余熱中に5℃以上の上昇が見られて80℃以上になっていた。同じオープンでも温度上昇の速いイの試料は、90℃近い温度を示した。また、オーブンの設定温度が高い方が、最高温度は若干高くなっていた。90℃近くということは、肉はかなり加熱された状態で、硬くなっていることが推察できた。

「70℃1分」では、イ、ロ、ハの試料すべてが平均80℃を超していた。「65℃1分」では、イ、ロ、ハでばらつきがあり、ハでは平均77℃、標準偏差4.8℃で75℃に達していない試料があった。

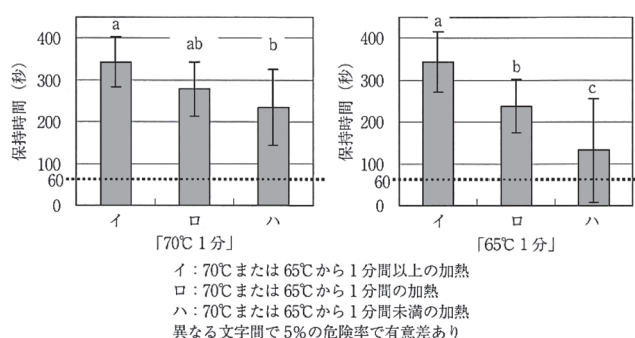


図4 75℃以上の保持時間（「70℃1分」「65℃1分」）

表1 試料中心温度の最高温度

加熱条件	加熱終了目安温度到達順番	イロハ別最高温度 (℃)		加熱条件別最高温度 (℃)		
		平均±標準偏差	検定*	平均±標準偏差	検定**	
75℃1分	230℃	イ	87.9±4.1	a	84.1±4.4	a
		ロ	83.7±2.5	b		
		ハ	80.6±2.9	c		
75℃1分	270, 280℃	イ	89.2±4.1	a	85.5±4.2	a
		ロ	85.0±2.7	b		
		ハ	82.2±2.6	c		
70℃1分	270, 280℃	イ	87.4±4.1	a	84.1±4.9	a
		ロ	83.0±3.5	b		
		ハ	81.5±4.9	b		
65℃1分	270, 280℃	イ	86.6±4.9	a	81.6±5.9	b
		ロ	81.1±3.6	b		
		ハ	77.0±4.8	c		

イ：加熱終了目安温度に1番目に到達（加熱終了目安温度より1分間以上の加熱）

ロ：加熱終了目安温度に2番目に到達（加熱終了目安温度より1分間の加熱）

ハ：加熱終了目安温度に未到達（加熱終了目安温度より1分間未満の加熱）

*：イロハ別で行った分散分析の結果に差があり、多重比較を行った結果である。

**：加熱条件別で行った分散分析の結果に差があり、多重比較を行った結果である。
異なる文字間は5%の危険率で有意差がある。

4. 重量減少率

表2に重量減少率を示した。「75℃ 1分」では230℃及び270℃以上ともに、イ、口、ハ間で有意差はみられなかった。設定温度の違いで有意差が見られ、270℃以上では重量減少が大きく、約30%重量減少しており、硬いことが推察できた。

「70℃ 1分」では、イ、口、ハ間で、有意差は見られなかったが、「65℃ 1分」では有意差が見られ、イに比べて口、ハの減少率が小さかった。

270℃以上では、中心温度75℃以上1分間を保持するのに75℃に達して1分間加熱しなくとも、「70℃ 1分」で条件を満たせることが分かった。その際の最高温度には有意差は見られなかったが、重量減少率には有意差があり、「70℃ 1分」の方が重量減少を抑えられた。

5. 肉の硬さ

クリープメーターの破断応力の結果を図5に示した。まず、歪率99%まで圧縮したが、破断点が認められない試料が多かったため、歪率10%での応力を比較した。加熱条件の違いで有意差が見られ、加熱終了目安温度の低い方が軟らかいことが確認された。この結果は、重量減少率の結果と一致していた。

以上の結果を本共同研究の1報²⁾として投稿するとともに、見えてきた課題点等を2期以降の共同研究テーマとして進めた。

II. 共同研究2・3期

1期では、各研究室で使用しているオープンで開始し、オープンの性能の違い以外にも加熱後のオープン角皿の放置条件が異なっていたことがわかった。そこで、異なる放置条件でも明らかになったことを1報としてまとめ

たが、次の段階として各研究室で異なる放置条件（ステンレス、木、ガスコンロのごとく）で実施し、それらの影響を見ることにした。

また、放置時に、食品の温度変化に及ぼす要因とし、放置場所以外にも室温、湿度、風速などの環境要因が挙げられた。

1. 放置媒体と覆いの有無による75℃保持時間への影響

放置媒体の検討と併せ、湿度、風速などの環境要因についての考慮も必要であることと、フライパンでのハンバーグステーキ焼成の際に、ふたをすることで最高温度が高くなり、75℃保持時間が長くなることが明らかとなっている³⁾ことから、湿度、風速のコントロールを均一にすることは難しいことを考慮して覆いの有無についても検討することにした。オープン設定温度270℃以上で庫内空気温度が245℃以上（平均267±12℃）のオープンで試料を加熱した。

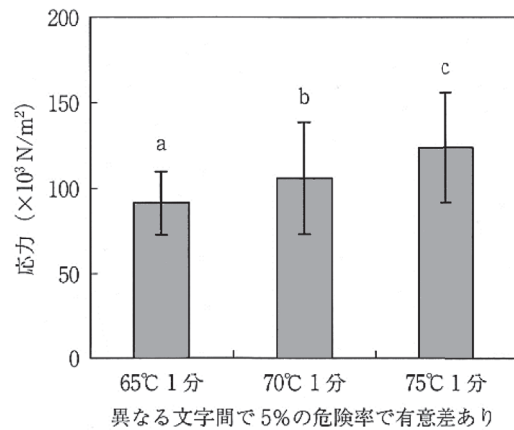


図5 肉の歪率10%での破断応力（設定温度270℃以上）

表2 重量減少率

加熱条件	加熱終了目安温度到達順番	イロハ別重量減少率* (%)		加熱条件別重量減少率 (%)			
		平均±標準偏差	検定**	平均±標準偏差	検定***		
75℃ 1分	230℃	イ	28.1±2.8	n. s.	27.3±2.8	a	
		口	27.0±3.0				
		ハ	27.0±2.5				
70℃ 1分	270, 280℃	イ	29.9±3.4	n. s.	29.6±3.1	b	
		口	29.5±3.4				
		ハ	29.3±2.8				
65℃ 1分	270, 280℃	イ	26.4±3.0	n. s.	26.6±2.7	a	
		口	26.9±3.3				
		ハ	26.4±1.9				
75℃ 1分	270, 280℃	イ	27.9±2.7	a	26.5±2.5	a	
		口	25.7±2.3				b
		ハ	25.8±2.1				

*: 重量減少率 = ((加熱前の重量 - 加熱終了後の重量) / 加熱前の重量) × 100

イ: 加熱終了目安温度に1番目に到達 (加熱終了目安温度より1分間以上の加熱)

口: 加熱終了目安温度に2番目に到達 (加熱終了目安温度より1分間の加熱)

ハ: 加熱終了目安温度に未到達 (加熱終了目安温度より1分間未満の加熱)

** : イロハ別で行った分散分析の結果である。

*** : 加熱条件別で行った分散分析の結果で差があり、多重比較を行った結果である。異なる文字間は5%の危険率で有意差がある。

放置媒体の違い及び覆いの有無が肉中心部の75℃保持時間に及ぼす影響を図6に示した。覆い無の場合は、ステンレス、木、ごとくのいずれの上にもオープン角皿においても、75℃保持時間に有意な差が見られなかった。

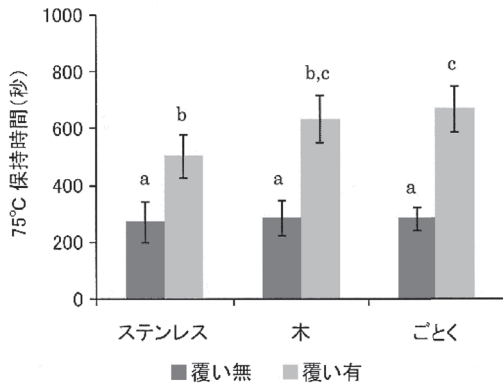


図6 放置媒体の違い及び覆いの有無が肉中心部の75℃保持時間に及ぼす影響

覆い無：n=17または18，覆い有：n=5または6
abc：異なるアルファベット間に有意差あり (p<0.01)

今回選定した放置媒体の材質はステンレス、木、鉄で、それぞれの300Kにおける熱伝導率は、16.0 (SUS 304)⁴⁾、0.069 (杉)⁵⁾、80.3W/(m・K)⁶⁾ 程度である。ごとくは材質が鉄で熱伝導率は高いが、オープン角皿との接触面積は小さく、大半は空気(0.0261W/(m・K))との接触になる。そのため予想では、ステンレスが木やごとくに比べ、角皿からの熱移動が大きく冷めやすいと考えたが、覆い無の場合に差異はなかった。その理由は、使用したオープン角皿はいずれも底面が平らではなく、中央部分は上に凸、周辺部分は下に凸状であったため、放置媒体3条件ともにオープン角皿との接触面積が小さく、隙間(空気層)ができ、放置媒体の物性値の影響が小さくなったためと推定される。

一方、アルミホイルで覆いをすると、いずれの放置媒体においても、中心部温度の75℃以上保持時間が、覆い無に比べて2倍前後に延長された。これは、フライパンでハンバーグを焼いた時の「ふた」の効果と類似³⁾し、アルミホイルで覆うことにより試料ならびに角皿からの放熱、肉からの水分蒸発による冷却が抑えられたためと推定される。

2. 加熱終了条件と覆いによる75℃以上の保持時間(設定温度：230℃)

オープン270℃以上の設定において覆いの効果が明らかになったので、1期の研究で75℃1分間以上の保持が困難であったオープン設定温度230℃での覆いによる余熱の効果を調べ、加熱目安温度を下げることを検討した。

図7に加熱終了条件の相違及び覆いの有無が75℃以上の保持時間に及ぼす影響を示した。いずれの加熱目安温度条件においても、イ、ロ、ハ試料で加熱終了後に覆い有が覆い無より有意に保持時間は長かった (p<0.01)。覆い有ではハ試料においても、保持時間は「65℃1分」

で平均325秒、「70℃1分」で平均362秒と5分以上であったが、ハ試料で75℃1分間以上の条件を満たさないものもあった。

また、加熱目安温度条件「65℃1分」と「70℃1分」を見ると、「70℃1分」の方が当然ながら保持時間は長い傾向であったが、加熱目安温度条件の相違よりも覆いによる効果の方が大きかった。

3. 加熱終了条件と覆いによる中心温度

図8にオープンの設定温度230℃での加熱終了条件の相違及び覆いの有無が、試料中心温度に及ぼす影響を示した。「65℃1分」では加熱終了時の試料中心温度は69~78℃で、その後余熱によって上昇し、「覆い無」では76~82℃、「覆い有」では79~82℃に達した。「70℃1分」では加熱終了時の試料中心温度が73~80℃で、その後「覆い無」で79~84℃、「覆い有」で81~85℃に達した。

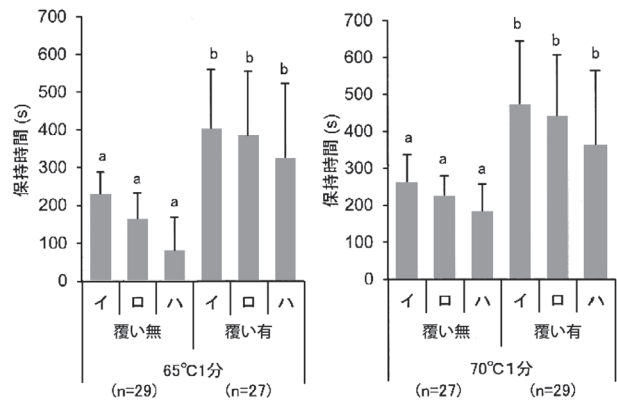


図7 加熱終了条件の相違及び覆いの有無が75℃以上の保持時間に及ぼす影響

試料の厚さは15mmである。実験に用いたオープン及び角皿のすべての測定データの平均値を示した。

イ：最も早く加熱終了温度に達した試料，ロ：2番目に加熱終了温度に達した試料，ハ：最も温度上昇が遅かった試料
abc：異なるアルファベット間に有意差あり (p<0.01)

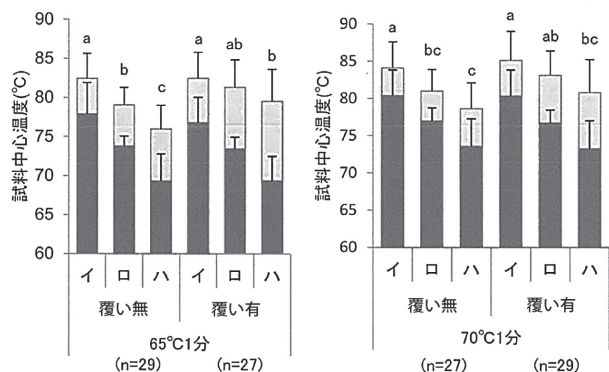


図8 加熱終了条件の相違及び覆いの有無が試料中心温度に及ぼす影響

イ：最も早く加熱終了温度に達した試料，ロ：2番目に加熱終了温度に達した試料，ハ：最も温度上昇が遅かった試料

abc：異なるアルファベット間に有意差あり (p<0.01)

■：加熱終了時の試料温度，□：試料の最高到達温度までの上昇温度

覆いの有無で比較すると、「覆い有」の試料最高温度は、「覆い無」の試料よりやや高い傾向であったが有意な差ではなかった。覆いの有無は角皿及び試料からの放熱量に影響し、放置時の試料の温度変化に影響を与える。ただし、余熱初期の試料中心温度の上昇は、本実験のように15mmの試料では、加熱終了後1～3分という短時間でしか起こらないため、最高温度に覆いの影響はなかったと考えられる。

4. 加熱終了条件と覆いによる重量減少率

図9にオープンの設定温度230℃で加熱終了条件の相違及び覆いの有無が重量減少率に及ぼす影響を示した。加熱直後の重量減少率は「65℃1分」で17%、「70℃1分」で19%、30分間放置後はそれぞれ24～26%、25～28%であった。重量減少率はいずれの加熱終了条件でも「覆い有」が有意に大きかった (p<0.05)。これは覆いの余熱効果によって75℃以上の保持時間が長くなり、試料からの水分蒸発やドリップの流出が多くなったためと考えられる。覆いをすることで試料中心部の温度を高温に保てるが、重量減少率が大きくなると、試料の硬さや食味に影響があると考えられる。第1報²⁾で、試料の重量減少率が小さいと破断応力も有意に小さかったことから、「65℃1分」の加熱終了条件を用いて覆いをする時間を本実験条件の30分よりも短くすれば、重量減少率を小さく破断応力も小さくできるのではないかと考えられる。

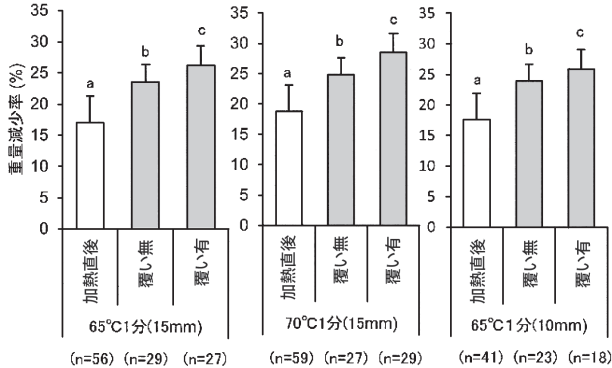


図9 加熱終了条件の相違、覆いの有無及び試料の厚さが重量減少率に及ぼす影響
加熱直後は試料角皿をオープンから取り出したときに測定用一試料を測定し、「覆い無」「覆い有」は調理台上で30分間放置後に9つの試料重量の合計を測定した。
abc: 異なるアルファベット間で有意差あり (p<0.05)

III. 共同研究 4 期

2, 3 期の実験^{7, 8)}でオープンの性能、角皿の重量の違いがあることが確認され、改めてオープンの加熱能の測定等を行うことにした。また、覆いの時間短縮の検討も行った。

1. オープンの加熱能の測定

使用したオープンの特徴を表3に、角皿の特徴を表4に示した。

表3 使用オープンの特徴

オープン名	加熱方式 (ガス式)	最大ガス消費量 (kW) ¹⁾	庫内容量 (L) ²⁾	使用したオープン角皿 ³⁾
A	自然対流式	2.67	33.3	a, b, d
B	強制対流式	5.47	40.1	a, c
C	強制対流式	6.16	25.0	a, c
D	強制対流式	4.65	25.5	g
E	強制対流式	4.65	36.2	f

- 1) 各オープンの仕様書に記載されている値を示す。
- 2) 各オープンの仕様書に記載されている値、または庫内寸法値より算出した値を示す。
- 3) 表2にオープン角皿名及びその特徴を記す。

表4 使用したオープン角皿の特徴

角皿名	重量 (g)	底面積 (cm ²)	重量/底面積
a	760	896	0.85
b	790	896	0.88
c	924	896	1.03
d	927	896	1.03
e	1,565	1,463	1.07
f	1,546	1,441	1.07
g	1,117	992	1.13

加熱能として、複合熱伝達率及び放射伝熱の割合を表5に示す。測定は、渋川の方法⁹⁾に従い、オープンの加熱能及び全伝熱量に対する放射伝熱の割合を求めた。すなわち、黒色塗装及びニッケルメッキ加工した円柱状の2種類の銅製ブロック (直径30mm, 高さ12mm, 質量0.081kg, 比熱385J/(kg・K)) をオープン庫内に吊るして加熱し、黒色ブロックの温度履歴から対流伝熱及び放射伝熱を合わせたみかけの複合熱伝達率を算出した。また、文献値¹⁰⁾より黒色ブロック及びニッケルメッキブロックの放射率を仮定し、2つのブロックの温度上昇速度の違いから放射伝熱量を推算し、全伝熱量に対する割合を算出した。

表5 オープンの複合熱伝達率及び放射伝熱の割合

オープン名	複合熱伝達率 (W/(m ² ・K))	放射伝熱の割合 (%)
A	20±1 ^a	70
B	32±2 ^b	10
C	34±2 ^b	20
D	48±3 ^d	70
E	42±2 ^c	40

異なるアルファベットは、値が有意に (p<0.05) 異なることを示す。

自然対流式のオープンAの熱伝達率は最も低く20W/(m²・K)で、次いでB及びCであった。最も高いDの熱伝達率は48W/(m²・K)で、Aの2倍以上を示した。複合熱伝達率はオープンの加熱能の目安となり、強制対流式ガスオープンは30～45、自然対流式ガスオープンは10前後であると報告されている^{11, 12)}。本研究においても、自然対流式のAは、強制対流式に比べて加熱能が低いことが確認された。

放射伝熱の割合はA及びDが70%程度を示し、Eは40%、B及びCは各々10%、20%であった。Aは自然対流式オープンで、放射伝熱の割合が高いと考えられた。また、一般に強制対流式の場合は放射伝熱の割合が低い、Dの放射伝熱の割合が高いのは、庫壁がホーロー仕上げの特殊加工であるためと推察された。

表6 異なるオープン及び角皿における加熱に伴う各種測定値

オープン名	角皿の重量/底面積	加熱終了時 試料温度 (°C)	加熱終了時間 (秒)	加熱終了時 角皿温度 (°C)	試料最高温度 (°C)	試料最高温度 到達時間 (秒)	放置時の試料 上昇温度 (°C)
A	≥1	72.5±0.9 ^a	470±16 ^a	163±7 ^a	80.3±2.9 ^a]*	596±57 ^{ab}]*	7.9±2.1 ^a]*
	<1	73.0±1.1 ^x	465±31 ^x	170±8 ^x	77.6±1.4 ^x]*	528±62 ^x]*	4.6±1.8 ^x]*
B	≥1	72.2±0.7 ^a	388±25 ^b	209±8 ^c]*	85.6±2.5 ^b]*	668±51 ^b]*	13.4±3.0 ^b]*
	<1	73.0±0.8 ^x	382±3 ^y	180±6 ^y]*	77.8±1.3 ^x]*	452±21 ^x]*	4.8±0.5 ^x]*
C	≥1	73.3±2.5 ^a	395±29 ^b	165±8 ^a	83.4±2.2 ^a]*	554±76 ^a]*	10.1±1.8 ^{ab}]*
	<1	72.7±1.5 ^x	386±24 ^y	171±7 ^x	79.0±2.1 ^x]*	486±80 ^x]*	6.3±1.7 ^x]*
D	≥1	72.6±1.6 ^a	261±64 ^c	—	82.5±1.0 ^a	511±13 ^a	9.9±1.7 ^{ab}
E	≥1	72.9±0.7 ^a	373±47 ^b	179±2 ^b	84.2±2.2 ^a	502±191 ^a	11.3±2.7 ^{ab}

同列内の異なるアルファベットは、値が有意に ($p<0.05$) 異なることを示す。a~cは「重量/底面積≥1」の角皿を、XYは「重量/底面積<1」の角皿を用いた場合のオープン間の検定結果を示す。同オープンにおいて熱容量の異なる角皿を用いた場合の差の検定は、有意差 ($p<0.05$) があつた箇所のみ*で示す。放置時の試料上昇温度=試料最高温度-加熱終了時試料温度。角皿が「重量/底面積≥1」の場合 n=25、角皿が「重量/底面積<1」の場合 n=16。

2. 角皿熱容量及びオープン加熱能が試料の余熱に与える影響

加熱・放置時における試料、角皿の温度を計測し、各種測定値を求めた。加熱目安温度・放置条件はいずれも「65°C・覆い30分」とし、解析対象は65°C 1分加熱試料である口とした。

加熱能の違いは、「重量/底面積≥1」（以下、熱容量大と表記）の角皿を用いた5種類のオープンA~Eの結果をもとに検討した。また、角皿熱容量の影響は、熱容量大及び「重量/底面積<1」（以下、熱容量小と表記）の角皿を用いたオープンA, B, Cの結果で検討した。

加熱時の試料温度、角皿温度への影響

加熱終了時の試料温度は、表6に示すようにいずれのオープンにおいても約73°Cで、有意な差は認められなかった。加熱終了条件は試料中心温度が65°Cに到達後1分間であるため、角皿やオープンの影響はなかったと考えられる。

一方で加熱終了時間には違いがみられ、熱容量大の角皿を用いた5種類のオープン間では、Dが261秒で最も短く、Aが最も長く470秒であった。熱容量小の角皿を用いたA, B, C間でも、Aが遅く465秒であった。オープンの複合熱伝達率が大きい、すなわち加熱能が大きいほど加熱中の試料の温度上昇が速いことが示された。角皿の熱容量の影響をオープンA, B, Cで比較すると、熱容量大と熱容量小の角皿で加熱終了時間に有意な差は見られず、試料の温度上昇は角皿の影響を受けないことが示された。

加熱終了時の角皿温度は、表6に示すように、角皿の熱容量にかかわらず最も高いのはBであり、最も低いのはA及びCであった。Bの角皿の温度が他のオープンよりも高い理由を現時点で説明することはできないが、コンベクションオープンであるため、熱風の当たり方の影響が考えられた。また、オープンA, B, Cにおける角皿の比較ではBのみ熱容量による違いが認められた。この理由は、実験Bで熱容量小の角皿を用いる場合に、金網の上に角皿を置いて加熱しているため、角皿がオープン棚に直接触れず、空気からの対流伝熱のみで加熱されていることが影響していると考えられた。これらの結果より、加熱時における試料の加熱時間は、角皿の熱容量の

影響は極めて小さく、オープンの加熱能の影響を大きく受けることが明らかとなった。

放置時の試料温度への影響

表6に示すように熱容量大の角皿A~Eで比較すると、試料最高温度・その到達時間は、オープンBを除くと、オープン間で有意な差は見られず、余熱利用時は、オープンの加熱能の影響は受けなかった。オープンBにおいてこれらの両値が高かったのは、加熱終了時の角皿温度の影響を受けたためと考えられた。

オープンA, B, Cで角皿の熱容量の違いをみると、熱容量大の角皿で放置された試料の最高温度の方が、熱容量小の角皿よりも有意に高かった。加熱終了時の試料温度はいずれも同程度であるため、放置時の試料の上昇温度には熱容量大の角皿の方が有意に高いことが示された。試料最高温度到達時間は、熱容量大の角皿を用いた方が熱容量小の角皿に比べて遅かった。

75°C以上の保持時間への影響

図10は中心温度が75°C以上の保持時間を示したものである。熱容量大の角皿を用いたオープンA~Eで比較すると、B及びEの保持時間が最も長く約580秒であり、Aは最も短く290秒であった。加熱終了時の角皿温度(表6)は、Bが最も高く、次いでEで、Aは最も低いいため、加熱終了時の角皿温度が保持時間のオープン間の違いを反映していることが考えられた。

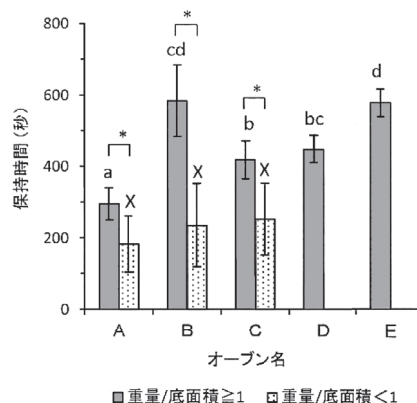


図10 異なるオープン、角皿における試料の75°C以上の保持時間有意差表記は表6のキャプション参照。

一方で角皿の熱容量の違いは、オープンA, B, Cのいずれにおいても、熱容量小の角皿に比べると熱容量大の角皿の方が、75℃以上の保持時間は有意に長くなった。

以上より、加熱終了後に被覆した角皿で食品を放置すると、角皿から食品への伝熱量は、角皿の熱容量の影響を受け、角皿の熱容量が大きいほど加熱後の試料の上昇温度が大きくなることが示された。そして、本実験のように75℃到達前に加熱を終え、角皿を覆うことにより75℃以上の保持時間を確保する場合は、このような角皿の熱容量の影響を考慮する必要があることが示された。

3. 覆い時間の短縮が調理成績に与える影響

30分間のアルミホイルの被覆は、試料が硬くなることが示唆された。そこで、予備実験で5分間の覆いでも衛生管理基準の75℃以上1分間を保持する傾向が見られたので、「65℃・覆い5分」と「65℃・覆い30分」、対照として「75℃・覆い無」の試料で、覆い時間短縮による効果を検討した。オープンはA~Eを用い、角皿は熱容量大を使用した。物性測定は試料イ、ロ、ハを、それ以外の項目では試料コを解析対象とした。

試料の最高温度に与える影響

加熱目安温度が「75℃・覆い無」は「65℃・覆い30分」「65℃・覆い5分」と異なるため、加熱終了時の温度及び加熱終了時間は当然異なる。加熱終了時の温度は図11Aに示すように「75℃・覆い無」は79℃、「65℃・覆い30分」「65℃・覆い5分」は約73℃であったが、試料最高温度には3条件間に有意な差は見られず、いずれも約83℃であった。

また、加熱終了時間は図11Bに示すように「75℃・覆い無」は480秒、「65℃・覆い30分」「65℃・覆い5分」は約400秒であった。最高温度到達時間は「75℃・覆い無」

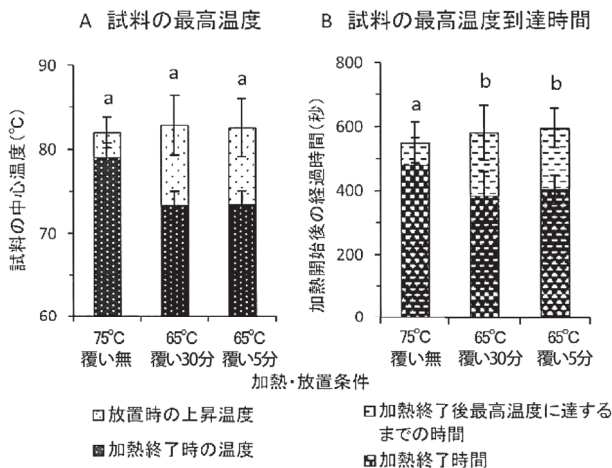


図11 異なる加熱・放置条件における試料の最高温度及び最高温度到達時間
放置時の上昇温度＝試料の最高温度－加熱終了時の温度。加熱終了後最高温度に達するまでの時間＝試料の最高温度到達時間－加熱終了時間。アルファベットは試料の最高温度及び最高温度到達時間での検定結果を示し、異なるアルファベットは値が有意に ($p < 0.05$) 異なることを示す。n=20

は約550秒であり、「65℃・覆い5分」「65℃・覆い30分」は約590秒であった。

加熱目安温度を65℃にしても、覆いをすることにより、放置時の昇温幅が大きくなることは前報⁹⁾で示したが、覆い時間が5分でも30分でも、試料の最高温度及び最高温度到達時間に違いは見られなかった。図11Bに示すように、加熱目安温度が65℃の場合、加熱を終えてから最高温度に達するまでの時間は、覆い時間が5分、30分のいずれも約3.3分で、加熱終了後5分以内に最高温度に達していた。

75℃以上の保持時間は図12に示すように最も長いのが「65℃・覆い30分」の470秒で、「65℃・覆い5分」は379秒、「75℃・覆い無」は280秒で、いずれも食肉類の衛生管理基準である60秒は大きく上回った。

加熱・放置時の重量変化に与える影響

覆い時間の短縮が試料の重量減少率に与える影響を、対照の「75℃・覆い無」と比較した。図13に示すように加熱終了時は加熱目安温度の高い「75℃・覆い無」の

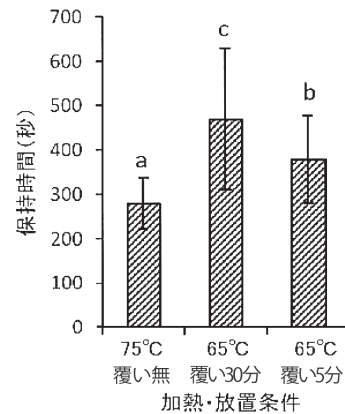


図12 異なる加熱・放置条件における試料の75℃以上の保持時間異なるアルファベットは値が有意に ($p < 0.05$) 異なることを示す。n=17

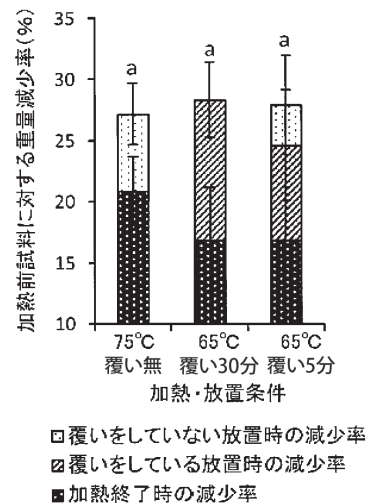


図13 異なる加熱・放置条件における試料の重量減少率
アルファベットは放置終了後の重量減少率の検定結果を示し、異なるアルファベットは値が有意に ($p < 0.05$) 異なることを示す。n=17

減少率が最も大きいのが、放置時には覆いをしていない2試料の減少率が増加した。また、「65℃・覆い5分」は「65℃・覆い30分」に比べると、有意差はないもののわずかに放置後の減少率が低下し、放置中の30分間でみると、覆い5分間よりも覆い無の25分間の方が減少率は小さかった。すなわち放置時の被覆時間の短縮は、肉汁の流出、それに伴う重量減少率の増加を抑制することが示された。

硬さに与える影響

クリープメーターを用いて3試料の破断測定を行い、歪率20%の応力を読み取った。表7に示すように、「65℃・覆い30分」が最も硬く259kPaで、「75℃・覆い無」の221kPaとの間に有意な差が認められた。「65℃・覆い5分」は247kPaで、「65℃・覆い30分」よりも軟らかい傾向はあったが、有意な差は認められなかった。

表7 異なる加熱・放置条件における破断応力

加熱・放置条件	歪率20%時の応力 (kPa)
75℃・覆い無	221±48 ^a
65℃・覆い30分	259±54 ^b
65℃・覆い5分	247±61 ^b

異なるアルファベットは値が有意に ($p < 0.05$) 異なることを示す。n=27

これまでの研究^{7,9)}において、オープン加熱後に角皿ごと食品をアルミホイルで被覆して余熱を利用することにより、加熱終了目安温度を下げる事が可能であることを示した。しかし、衛生条件を満たしつつ肉汁の流出を抑制するには、食品が最高温度に到達するまで被覆することが目安になり、本実験では5分で十分であることが示された。

以上の結果より、オープンの加熱能、角皿の熱容量、加熱終了の目安温度、また、角皿の被覆時間等が、加熱中及び加熱後の肉の温度履歴や調理成績に影響を与えることが明らかとなった。そして加熱時にはオープンの加熱能の影響が大きく、余熱利用時は角皿からの伝熱の影響が大きいたことが示された。加熱終了目安温度を下げ、余熱利用により衛生管理基準として必要な熱を保持することが可能であったが、過度の余熱は調理成績の低下を招くため、余熱利用時の角皿からの伝熱の制御として、被覆時間の調整が必要であった。

肉類の調理品評価には、「軟らかさ」の貢献するところが大きい。調理成績の向上のためには、余熱利用時の条件、例えば角皿以外に網や皿上に置く等の放置条件や肉の大きさ、さらに、食材中の脂質含有量の考慮や油等の調味料を加えた際の影響などが検討課題である¹⁴⁾と一連の共同研究のまとめをしたが、実用化や汎用化に向けては、さらに詳細な検討が重要であると考えられる。

なお、簡略化した伝熱モデルを用いた数値計算によるオープン加熱後の食品の温度変化予測についても行ってきたが、ここでは省かせて頂いた。

おわりに

大学の調理学研究室に50年近く在籍し、主に調理実習

を担当し、教育、研究に携わってきた。上田フサ先生にも研究室で薫陶を受けることができ、その後も調理学研究室の先生方より、女子栄養大学の調理について多くの事を学ばせて頂き、研究も続けてきた。しかし、調理における加熱に関わる要因、熱移動関連については知識不足を感じていた。そんな中、日本調理科学会メンバーで組織する加熱調理研究委員会有志が2004年夏から共同研究を行っているのを知り、少し遅れてではあるがメンバーに加えて頂いた。

そのメンバーが複数の研究室で加熱実験を行うことで、調理科学の実際面で汎用化につながるのでは、と継続していくことにした。テーマとして食肉の加熱を行うこととした。豚肉などで焼き調理するときの食肉の中心温度を食品衛生基準の75℃で1分間加熱すると硬くなるという声があるが、加熱後、肉の放置で温度上昇がみられることを経験上知っているため、これをテーマとして共同研究を始めることにした。1回目会合は2007年の年の瀬も押し迫った12月26日に行い、各自持ち寄った予備実験データを基にオープンの設定温度や加熱時間等について検討し、測定項目について決めた。その後は、メールや実際に参集してデータ、意見交換を行いながら実施した。この共同研究の1期の取りまとめをさせて頂き、その後約10年間、関わらせて頂いた。

これら一連の研究を通して、調理という行為が多くの要素を含んでいることを実感として学び、教育に活かしていきたいと深く心に刻んだ10年間でした。共同研究でご一緒させて頂いた渋川先生をはじめとしまして、調理科学会加熱研究委員会の皆様に深謝申し上げます。

文 献

- 1) 栄養調理関係法令研究会編集、平成20年度版栄養調理六法、大量調理施設衛生管理マニュアル、新日本法規、1217、(2007)
- 2) 日本調理科学会関西支部焼く分科会 (1999)、ハンバーグ焼成時の内部温度、日調科誌、32、338-345
- 3) 日本調理科学会加熱調理研究委員会余熱研究グループ、肉類の加熱における余熱の有効利用、日調科誌、44、72-78、(2011)
- 4) 日本調理科学会近畿支部焼く分科会、ハンバーグステーキ焼成時の内部温度(腸管出血性大腸菌O157に関連して)(第5報)フライパン使用時の場合、日調科誌、37、366-374、(2004)
- 5) 日本機械学会、「伝熱工学資料(改訂第5版)」,(社)H本機械学会、東京、285、(2009)
- 6) 日本機械学会、「伝熱工学資料(改訂第5版)」,(社)日本機械学会、東京、289、(2009)
- 7) 日本機械学会、「伝熱工学資料(改訂第5版)」,(社)日本機械学会、東京、282、(2009)
- 8) 日本調理科学会加熱調理研究委員会余熱研究グループ、肉類のオープン加熱終了後の内部温度変化に及ぼす放置条件の影響、日本調理科学会誌、44、277-285、(2011)
- 9) 中村恵子、中本恵子、八木千鶴、渡辺豊子、石渡仁子、大石

- 恭子, 高崎禎子, 松田康子, 山形純子, 伊與田浩志, 杉山久仁子, 渋川祥子, 肉類のオープン加熱終了後の内部温度変化に及ぼす加熱・放置条件, 角皿の熱容量及び試料の厚さの影響, 日本調理科学会誌, **49**, 26-34, (2016)
- 10) 渋川祥子, 調理における加熱の伝熱的解析および調理成績に関する研究, 日本家政学会誌, **49**, 949-958, (1998)
 - 11) 日本機械学会編, 「伝熱工学資料」, 丸善, 東京, **14**, (1966)
 - 12) 渋川祥子 (1981), 熱伝達法の異なるオープンの加熱能について (第1報), 調理科学, **14**, 36-39, (1981)
 - 13) 渋川祥子, 熱伝達法の異なるオープンの加熱能について (第2報) スポンジケーキ焙焼との関係, 日本家政学会誌, **35**, 156-160, (1998)
 - 14) 大石恭子, 石渡仁子, 高崎禎子, 中村恵子, 松田康子, 伊與田浩志, 杉山久仁子, 渋川祥子 (2016), 肉類のオープン加熱終了後の内部温度変化に及ぼす角皿の熱容量, オープンの種類, および覆い時間の影響, 日本調理科学会誌, **49**, 35-42