

加熱条件の違いによる食品の中心温度の推移の検討

Examination of Changes in the Core Temperature of Foods due to Different Heating Conditions

齊 夢 恬* 松 月 弘 恵**
Mengtiam QI Hiroe MATSUZUKI

要 約 大量調理施設では食品の中心温度は75℃で1分間以上加熱することが求められている。本研究では、異なる設定温度及び材質の天板を用いて、中心温度が75℃に達した時点で天板を庫外に取出し、その後の温度推移と品質を検討した。測定項目は中心温度、天板温度、かたさと水分含有率である。中心温度は取り出し後2~3分間上昇を続け、低下する天板温度と上昇する中心温度との交点付近から中心温度の低下が始まった。以上より加熱設定温度が170℃以上であれば、余熱により加熱温度基準に準じた調理が可能であることが示唆された。

キーワード：余熱, スチームコンベクションオーブン, 天板, 中心温度, 熱伝導率

Abstract At large cooking facilities, the core temperature of food must be heated to 75℃ for more than 1 minute. In the current study using top plates made of different materials and with different set temperatures, the top plate was taken out of the oven when the core temperature reached 75℃, and changes in that temperature and food quality were examined. The core temperature, the top plate temperature, hardness, and water content were measured. The core temperature kept rising for 2-3 minutes after removal, and lowering of the core temperature started near the intersection of the falling top plate temperature and the rising core temperature. These findings suggested that cooking in accordance with heating temperature criteria is possible through use of residual heat if the set heating temperature is over 170℃.

Key words : Residual heat, Steam convection oven, Top plate, Core temperature, Thermal conductivity

1. はじめに

厚生労働省の食中毒統計資料によると、2015~2019年の食中毒発生件数は毎年1,000~1,400件の間で増減を繰り返している¹⁾。厚生労働省は食中毒への対策強化を目的として、2018年6月に「食品衛生法等の一部を改正する法律」を公布し、HACCPに沿った衛生管理を制度化した²⁾。食品衛生を目的とした加熱温度の基準にはGlobal Standard

はなく、日本では1996年の腸管出血性大腸菌O157による食中毒事故の後、「大量調理施設衛生管理マニュアル」が作成され³⁾、給食施設では食品の中心温度は75℃で1分間以上加熱することが求められている。一方、中国では国家市場監督管理総局が作成した「ケータリングサービスにおける食品安全衛生基準」では70℃以上まで加熱を求めているが維持時間の記載はない⁴⁾。香港の食品安全当局が作成した「食物安全計画」では、中国本土より高い75℃以上の加熱を求めているが、香港でも維持時間の記載はない⁵⁾。また、英国食品基準庁⁶⁾とアイルランド保健省⁷⁾の食品の加熱温度は、中心温度を70℃以上さらに2分間加熱を維持することを求めている。これらの諸外国に比べて日本の加熱基準では

* 社会医療法人 生長会 ベルキッチン
Social Medical Corporation Seichokai Bell Kitchen

** 日本女子大学 家政学部 食物学科
Department of Food and Nutrition, Faculty of Human
Science and Design, Japan Women's University

より高温で、かつ温度の維持を求めている。

一方、近年増加している新調理システムを採用したセントラルキッチン（以下 CK と略す）は、1か所の厨房で集中調理をして、複数のサテライトキッチン（以下 SK と略す）に調理済みの食事を送る生産方式である。CK で生産する温菜は、加熱後冷却して3℃以下の冷蔵温度帯で配送され、SK でも CK と同じ温度基準の加熱を繰り返すため品質が低下しやすい。その対策として CK では加熱温度を一般的な調理温度よりも低く設定して、かつ中心温度を基準値まで到達させる加熱を行っている。

加熱温度と食品の中心温度の研究では、松田らは豚ヒレ肉をオープン230℃と270～280℃設定で、中心温度が75℃かつ1分間に至るまで加熱し、その後室温に放置しても温度上昇が続くことを報告している⁸⁾。しかし、近年大量調理施設での導入が進んでいる加湿機能のあるスチームコンベクションオーブン（以下、SCO と略す）を用い、CK のように低温で加熱した場合の食材の中心温度や余熱の影響に関する報告は見当たらない。また、熱伝導率の高い天板を用いることで、加熱時間が短縮することは知られているが、その余熱効果も不明である。

よって本研究では、異なる設定温度もしくは熱伝導率が異なる材質の天板を用いて加熱を行い、試料の中心温度が75℃に達した時点で天板を取出し、余熱による中心温度の推移と品質を検討した。

2. 方法

2-1. 実験期間・場所

実験は2020年3月から11月に、本学給食経営管理実習室で実施した。実験環境を調整するために空調を用いて室温は20～25℃に制御した。

2-2. 試料調整

試料は一次加熱が終了した「冷凍やわらかハンバーグ」（㈱ヤヨイサンフーズ）80g（Table 1）を使用した。サイズと重量は各5個を測定し、変動係数が5%未満であったため、平均値と標準偏差を算出した（Table 2）。

試料は実験前日から3℃に設定した冷蔵庫内（㈱fujimak, FRT1245K）で解凍し、ハンバーグの配置を統一するために、28cm×48cm にカットした耐熱タッキングペーパーに折り目をつけ、NITOFLOON 粘着テープを使用して、天板に固定した。1回の測

Table 1 Sample composition

| 原材料名(内容組成) | (%) | 原材料産地 |
|-------------------|------|-------|
| 鶏肉 | 32.0 | 国内産 |
| 植物性たん白 | 26.5 | 国内製造 |
| たまねぎ | 20.1 | 国内製造 |
| パン粉 | 6.8 | 国内製造 |
| 牛脂 | 6.4 | 国内産 |
| ワイン | 0.4 | 国内製造 |
| 水 | 4.5 | 国内 |
| 調味料 ¹⁾ | 3.3 | - |

1) 醤油, 砂糖, 食塩, 香辛料, アミノ酸等, リン酸塩, 着色料

Table 2 Sample size and weight

| | | mean | s.d. | |
|------|----|------|------|-----|
| 縦 | mm | 63.2 | ± | 1.2 |
| 横 | mm | 84.5 | ± | 2.3 |
| 厚み | mm | 20.3 | ± | 0.9 |
| 試料重量 | g | 85.9 | ± | 1.5 |

n=5

定には試料を5個用い、個々の中心点がタッキングペーパーの折れ線の交点と一致するように配置した。

2-3. 加熱

① 実験1：加熱設定温度の違いによる比較

加熱設定温度を170℃（以下170℃群と略す）と、220℃（以下220℃群と略す）に設定して中心温度の推移を比較した。天板はステンレス製1/1天板（㈱スギコ産業, SH-1901-SA1974, 外形寸法530×325mm, 板厚0.8mm, 容量3.5L）を使用し、加熱機器はSCO（㈱fujimak, SCO61）のコンビモード、湿度60%、風力5を用いた。天板の取出し時間は中心温度が75℃に到達する時間を予備実験の回帰式より算出し、170℃群は10分30秒、220℃群は8分00秒とした。

② 実験2：天板の材質の違いによる比較

熱伝導率が異なるステンレス製天板（以下S群と略す）と、アルミ製天板（以下A群と略す）を用いて中心温度の推移を比較した。A群はアルミ製天板（㈱マイスター, 7-0116-0101, 外形寸法530×325mm, 板厚1.2mm, 容量3.5L）を用いた。加熱条件

は設定温度を 170℃、天板取り出し時間を 10 分 30 秒とし、それ以外の条件は研究 1 と同一にした。実験 1, 2 とともに取出し後の天板にステンレス製作業台の伝熱が影響しないように、天板取出し後は作業台から高さ 10cm の位置に放置した。

2-4. 温度測定

測定温度は試料の中心温度、天板温度と環境温度の 3 種類を、10 秒間インターバルで測定した。中心温度測定は、熱電対 (株安立計器, SE6134) を使用して、サーモロガー (株安立計器, AM-8010E) にデータを蓄積した。熱電対の先端を試料の中央部に到達するように、短径の端より 30mm の位置に挿入し、粘着テープで固定した (Fig.1)。

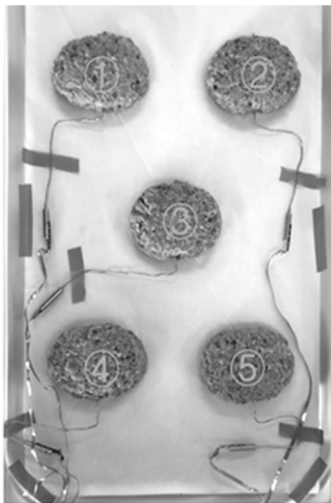


Fig.1 Position of the sample and thermocouple

天板温度はテープ形温度センサー (株安立計器, ST-23E-080-TS1-ANP) を使用し、中心温度測定と同一のサーモロガーにデータを蓄積した。天板に載せた試料底辺の中心点に一致する天板の裏面の位置に温度センサーの先端部を固定し、NITOFロン 粘着テープ及びアルミテープで固定した。

取出した試料に対する外気温の影響を確認する目的で、天板放置場所付近の環境温度 (以下室温と略す) を測定した。室温測定は空調の影響を避け、天板から 1m の位置に、おんどとり (株T&D, TR-72U) を設置した。

2-5. 比較項目

測定項目は温度と時間である。温度は中心温度と天板温度における、天板取出し時、1 分後、10 分後、最高温度、最高温度到達時の天板温度と天板取り出し 1 分後の値である。時間は最高温度到達時間と、中心温度と天板温度の交点までの時間である。

2-6. 品質測定

品質はかたさと水分含有率を測定した。加熱後の試料の内、取出し時の中心温度が最も高い試料の中央部の縦 3 cm × 横 3 cm を測定用試料とした。

① かたさ

かたさ (応力) の測定にはクリープメータ (株山電, RE2-3305C)、プランジャー (株山電, p-49)、およびテクスチャー解析ソフト Windows Ver.2.4 (株山電) を用いた。試料の測定条件はプリンタ付き温度計 (株安立計器, AP-400) で中心温度が 45℃ 以上であることとした。

② 水分含有率

測定にはハロゲン水分計 (株メトラートレド, HE53) を用いた。かたさ測定後の試料をピンセットで細かくほぐして全体をよく混ぜ均一化後、3g を専用のアルミ皿 (株メトラートレド, 13865) に精秤して、皿全体に広げ平らにならして 150℃、オートモードで 20 分間測定した。

2-7. 統計解析

測定値は平均値 ± 標準偏差で示した。Shapiro-Wilk 検定を用いて各項目の正規性を検定し、すべての項目において正規性が認められたため、独立した t 検定を行った。検定には統計解析ソフト IBM SPSS Statistic 26 for Windows を用い、有意水準は 5% 未満とした。

3. 結果

3-1. 実験 1 : 加熱設定温度の違いによる比較

加熱温度の違いによる試料の中心温度及び天板温度を示した (Table 3)。測定時の室温は 2 群とも $23.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ であり、測定時の環境は同一であった。

① 取出し後の中心温度と天板温度

170℃ 群の中心温度は、取出し時 ($p < 0.001$)、1 分後 ($p = 0.011$) は 220℃ 群より高かったが、10 分後は逆転して 220℃ 群より低かった ($p = 0.010$)。取出し 1 分間の中心温度は、いずれも約 6~9℃ 上昇

し、220℃群の上昇温度は170℃群より高かった ($p<0.001$)。

一方、220℃群の天板温度は、取り出し時と1分後は170℃群より高かったが ($p<0.001$)、10分後には差はなかった。

② 中心温度と天板温度との関連

中心温度の最高値及びその時の天板温度を示した (Table 4)。天板の最高温度は取出し時であり、170℃群、220℃群それぞれ $121.9\pm 3.7^\circ\text{C}$ 、 $142.7\pm 5.7^\circ\text{C}$ であり、いずれも加熱設定温度の170℃より低かった。2群とも天板取り出し後も試料の中温度の上昇は続き、高温で取出した220℃群は170℃群より最高中心温度に到達するまでの時間が長かった ($p=0.045$)。しかし、最高中心温度とその時点の天板温度には差はなかった。中心温度の上昇は、低下する天板温度との交点付近まで続き、その後温度低下が始まった (Fig.3)。

③ 品質測定

加熱温度の違いによるかたさ及び水分含有率を示した (Table 5)。かたさ及び水分含有率は加熱温度の違いによる差は見られなかった。

3-2. 実験2：天板材質の違いによる比較

天板材質の違いによる試料の中心温度及び天板温度を示した (Table 6)。室温はS群、A群それぞれ

$23.0\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、 $22.4\pm 0.7^\circ\text{C}$ であり、2群間の差はなく、室温の環境は同一であった。

① 取出し後の中心温度と天板温度

A群の中心温度は、取出し時と1分後はS群より高かったが ($p<0.001$)、10分後にはS群より低かった ($p<0.001$)。取り出し1分後の中心温度は、いずれも5~6℃上昇したが、A群はS群より低値であった ($p<0.001$)。A群10分後の中心温度はS群より低値であった ($p<0.001$)。一方、天板温度は取出し時と1分後はA群はS群より高かったが ($p<0.001$)、10分後はS群より低かった ($p<0.001$)。取出し1分間の上昇温度はS群のほうが高かった ($p<0.001$)。

② 中心温度と天板温度との関連

中心温度の最高値及びその時の天板温度を示した (Table 7)。天板の最高温度は、A群、S群それぞれ、 $121.9\pm 3.7^\circ\text{C}$ 、 $142.7\pm 5.7^\circ\text{C}$ であり、いずれも加熱設定温度の170℃より低かった。2群とも天板取り出し後も試料の中心温度の上昇は続き、A群はS群に比べて試料の最高中心温度 ($p<0.001$)、その時の天板温度 ($p<0.001$) は高いが、中心温度が最高値に到る時間はS群に比べて短かった。中心温度の上昇は低下する天板温度との交点付近まで続き、その後低下に転じた (Fig.3)。

Table 3 Core temperature and top plate temperature due to differences in the set heating temperature

| | | 中心温度 | | | 天板温度 | | |
|---------------------------|-----|---------------------|---------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|
| | | 170℃群 ¹⁾ | 220℃群 ²⁾ | p ³⁾ | 170℃群 | 220℃群 | p ³⁾ |
| n | | 14 | 11 | | 15 | 11 | |
| 天板取出し時間 | sec | 10分30秒 | 8分00秒 | | 10分30秒 | 8分00秒 | |
| 中心温度 (取出し時) ⁴⁾ | °C | 79.9 ± 2.9 | 74.5 ± 2.8 | <0.001 | 121.9 ± 3.7 | 142.7 ± 5.7 | <0.001 |
| 〃 (1分後) ⁵⁾ | °C | 85.8 ± 2.8 | 83.0 ± 2.2 | 0.011 | 95.9 ± 1.7 | 102.3 ± 3.3 | <0.001 |
| 〃 (10分後) ⁶⁾ | °C | 77.1 ± 1.8 | 78.7 ± 1.0 | 0.010 | 70.7 ± 2.7 | 72.1 ± 1.4 | 0.102 |
| 取出し1分間上昇温度 ⁷⁾ | °C | 5.9 ± 0.8 | 8.5 ± 0.9 | <0.001 | | | |

数値：平均値±標準偏差

1) 170℃群 : SCO設定温度170℃で加熱した群

2) 220℃群 : SCO設定温度220℃で加熱した群

3) 独立したt検定 : 天板取出し時間, 中心温度 (取出し時), 中心温度 (1分後), 中心温度 (10分後), 取出し1分間上昇温度

4) 中心温度 (取出し時) : 天板取出し時点の試料の中心温度及び天板温度

5) 〃 (1分後) : 天板を取出し時点から1分後の試料の中心温度及び天板温度 (25℃以下の室温に放置)

6) 〃 (10分後) : 天板を取出し時点から10分後の試料の中心温度及び天板温度 (25℃以下の室温に放置)

7) 取出し1分間上昇温度 : 中心温度 (取出し時) と中心温度 (1分後) 間の差

Table 4 The highest temperature and time when it is reached due to differences in the set heating temperature

| | | 170°C群 ¹⁾ | 220°C群 ²⁾ | p ³⁾ |
|------------------------------|-----|----------------------|----------------------|-------------------|
| n | | 13 | 11 | |
| 天板取出し時間 | sec | 10分30秒 | 8分00秒 | |
| 最高中心温度 ⁴⁾ | °C | 89.0 ± 2.4 | 88.6 ± 0.6 | 0.813 |
| 最高中心温度到達時の天板温度 ⁵⁾ | °C | 88.7 ± 2.0 | 90.3 ± 2.1 | 0.305 |
| 最高中心温度到達時間 ⁶⁾ | sec | 176 ± 36 | 193 ± 24 | 0.045 |
| 天板温度との交点 ⁷⁾ | sec | 161 ± 59 | 243 ± 36 | 0.034 |

数値：平均値±標準偏差

- 1) 170°C群 : SCO設定温度170°Cで加熱した群
- 2) 220°C群 : SCO設定温度220°Cで加熱した群
- 3) 独立したt検定 : 最高中心温度, 最高中心温度到達時の天板温度, 最高中心温度到達時間, 天板温度との交点
- 4) 最高中心温度 : 取出し後中心温度の最高値
- 5) 最高中心温度到達時の天板温度 : 取出し後中心温度が最高値に達した時の天板温度
- 6) 最高中心温度到達時間 : 取出し後中心温度が最高値に達した時間
- 7) 天板温度との交点 : 取出し後中心温度と天板温度一致した時間

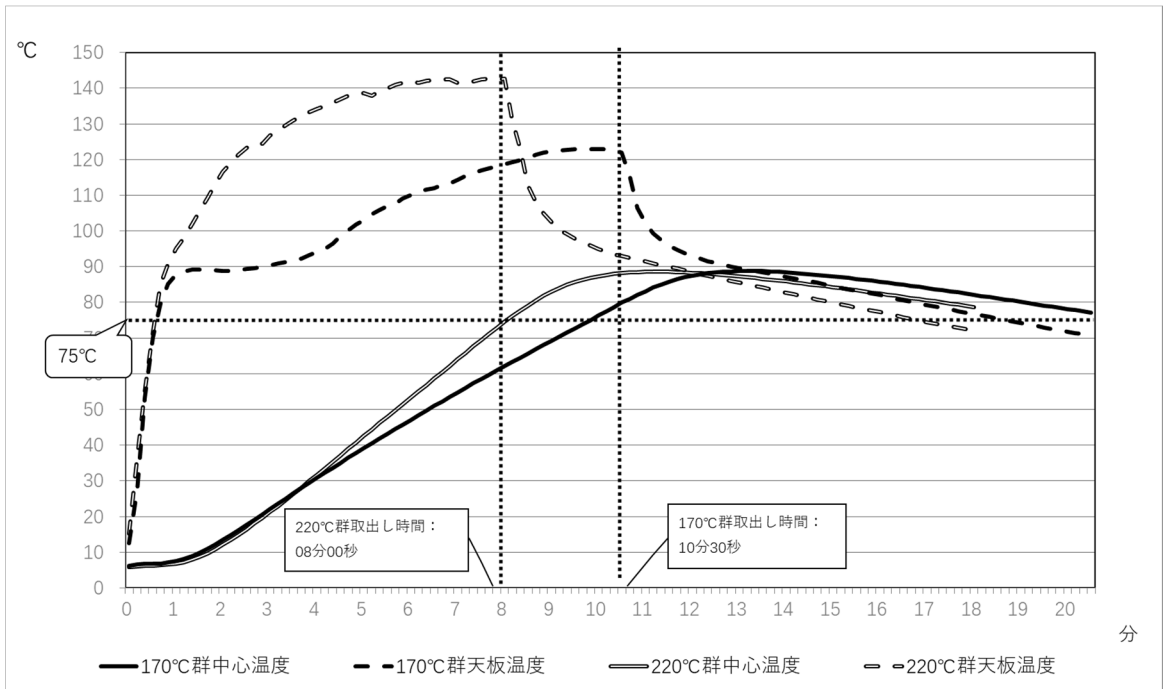


Fig.2 Relationship between the core temperature and top plate temperature due to differences in the set heating temperature

Table 5 Hardness and moisture content due to differences in the set heating temperature

| | | 170°C群 ¹⁾ | 220°C群 ²⁾ | $p^{3)}$ |
|-------|---------------------|----------------------|----------------------|----------|
| n | | 6 | 4 | |
| かたさ | ($\times 10^4$ Pa) | 7.23 \pm 0.91 | 8.58 \pm 1.43 | 0.144 |
| n | | 5 | 3 | |
| 水分含有率 | % | 66.84 \pm 0.39 | 66.44 \pm 0.29 | 0.230 |

数値：平均値 \pm 標準偏差

1) 170°C群 : SCO設定温度170°Cで加熱した群

2) 220°C群 : SCO設定温度220°Cで加熱した群

3) 独立したt検定

③ 品質測定

天板材質の違いによるかたさ及び水分含有率の比較を示した (Table 8)。いずれも天板材質による差はなかった。

4. 考察

本研究は我が国の食品の加熱温度基準が諸外国に比べて高いことから、試料の中心温度が 75°C に到達した時点で天板を取り出し、余熱による温度上昇の影響を、異なる加熱設定温度及び、天板の材質で比較した。その結果、170°Cの加熱設定温度であ

ば、余熱の影響により中心温度は1分間以上上昇することが、設定温度と天板の材質の相違を考慮しても示された。

近年導入が増えている CK システムでは温かく提供する料理は HACCP の加熱温度基準に従い、SK においても CK と同じ温度基準で再加熱を行うために、2 回の熱負荷の影響により喫食時に食品が固くなりやすいことが課題として挙げられている。また大量調理で導入が進んでいる SCO 使用時の天板の余熱と中心温度の関連の報告も先行研究には見当たらない。大量調理施設衛生管理マニュアルでは、試料の中心温度が 75°C に到達し、1 分間の加熱を求めているが、記述にはそれを加熱機器の庫内行うか明確な記載はない³⁾。余熱により庫外でも中心温度が 1 分間以上上昇するのであれば、過剰加熱を防ぎ、製品の歩留まりや物性にも影響すると考えられる。今回の加熱設定温度である 170°C は、一般社団法人日本医療福祉セントラルキッチン協会の幹事会社 4 社に問い合わせた SCO で冷凍ハンバーグを加熱する際の実践値である。また、220°C は松田らの実験により、余熱による温度上昇が確認されている 230°C の近似値である。

Table 6 Core temperature and top plate temperature due to differences in thermal conductivity

| | | 中心温度 | | | 天板温度 | | |
|---------------------------|-----|------------------|------------------|----------|-----------------|-----------------|----------|
| | | S群 ¹⁾ | A群 ²⁾ | $p^{3)}$ | S群 | A群 | $p^{3)}$ |
| n | | 14 | 11 | | 10 | 10 | |
| 天板取出し時間 | sec | 10分30秒 | 10分30秒 | | 10分30秒 | 10分30秒 | |
| 中心温度 (取出し時) ⁴⁾ | °C | 79.9 \pm 2.9 | 90.6 \pm 1.9 | <0.001 | 121.9 \pm 3.7 | 146.1 \pm 2.0 | <0.001 |
| 〃 (1分後) ⁵⁾ | °C | 85.8 \pm 2.8 | 94.9 \pm 1.2 | <0.001 | 95.9 \pm 1.7 | 114.0 \pm 3.3 | <0.001 |
| 〃 (10分後) ⁶⁾ | °C | 77.1 \pm 1.8 | 70.9 \pm 1.7 | <0.001 | 70.7 \pm 2.7 | 49.3 \pm 1.5 | <0.001 |
| 取出し1分間上昇温度 ⁷⁾ | °C | 5.9 \pm 0.8 | 4.5 \pm 0.8 | <0.001 | | | |

数値：平均値 \pm 標準偏差

1) S群 : ステンレス製の天板で加熱した群

2) A群 : アルミ製の天板で加熱した群

3) 独立したt検定 : 天板取出し時間, 取出し時温度, 取出し1分後温度, 取出し10分後温度, 取出し1分間上昇温度

4) 中心温度 (取出し時) : 天板取出し時点の試料の中心温度及び天板温度

5) 〃 (1分後) : 天板を取出し時点から1分後の試料の中心温度及び天板温度 (25°C以下の室温に放置)

6) 〃 (10分後) : 天板を取出し時点から10分後の試料の中心温度及び天板温度 (25°C以下の室温に放置)

7) 取出し1分間上昇温度 : 中心温度 (取出し時) と中心温度 (1分後) 間の差

Table 7 The highest temperature and time when it is reached due to differences in thermal conductivity

| | | S群 ¹⁾ | A群 ²⁾ | p ³⁾ |
|------------------------------|-----|------------------|------------------|-------------------|
| n | | 13 | 10 | |
| 天板取出し時間 | sec | 10分30秒 | 10分30秒 | |
| 最高中心温度 ⁴⁾ | °C | 89.0 ± 2.4 | 96.2 ± 0.9 | <0.001 |
| 最高中心温度到達時の天板温度 ⁵⁾ | °C | 89.5 ± 2.2 | 94.4 ± 2.9 | <0.001 |
| 最高中心温度到達時間 ⁶⁾ | sec | 176 ± 36 | 118 ± 10 | <0.001 |
| 天板温度との交点 ⁷⁾ | sec | 161 ± 59 | 113 ± 8 | 0.003 |

数値：平均値 ± 標準偏差

- 1) S群 : ステンレス製の天板で加熱した群
- 2) A群 : アルミ製の天板で加熱した群
- 3) 独立したt検定 : 最高中心温度, 最高中心温度到達時の天板温度, 最高中心温度到達時間, 天板温度との交点
- 4) 最高中心温度 : 取出し後中心温度の最高値
- 5) 最高中心温度到達時の天板温度 : 取出し後中心温度が最高値に達した時の天板温度
- 6) 最高中心温度到達時間 : 取出し後中心温度が最高値に達した時間
- 7) 天板温度との交点 : 取出し後中心温度と天板温度一致した時間

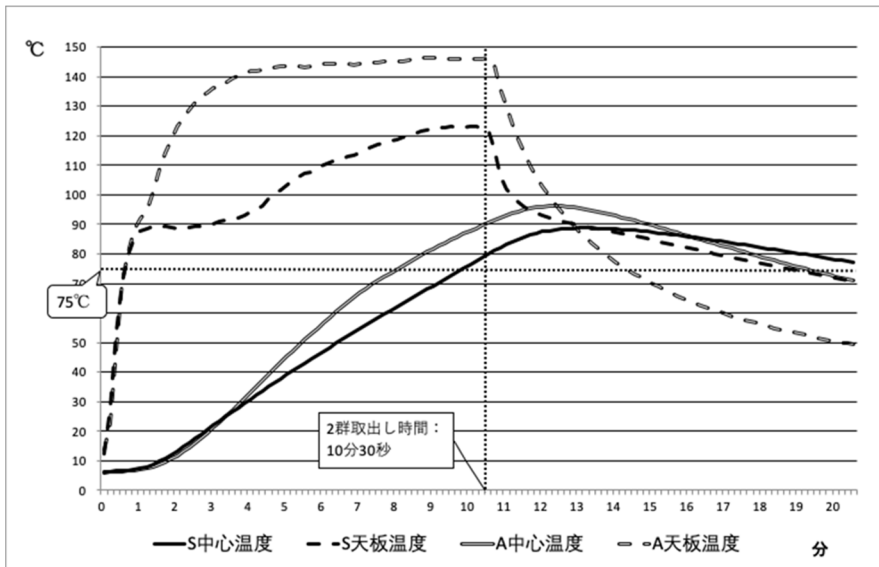


Fig.3 Relationship between the core temperature and top plate temperature due to differences in thermal conductivity

Table 8 Hardness and moisture content due to differences in thermal conductivity

| | | S群 ¹⁾ | A群 ²⁾ | p ³⁾ |
|-------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|
| n | | 6 | 5 | |
| かたさ | ($\times 10^4$ Pa) | 7.23 \pm 0.91 | 9.36 \pm 1.99 | 0.064 |
| n | | 6 | 5 | |
| 水分含有率 | % | 67.54 \pm 0.40 | 66.27 \pm 1.28 | 0.067 |

数値：平均値 \pm 標準偏差

1) S群 : ステンレス製の天板で加熱した群

2) A群 : アルミ製の天板で加熱した群

3) 独立したt検定

実験1ではステンレス製天板を用い、中心温度が75℃に到達した時点で天板を取り出し、その後10分間の温度推移を測定した。220℃群の天板温度が取り出し時と1分後に170℃群よりも高値であるにも関わらず、同時点での中心温度は170℃群のほうが高かった。その理由は、予備実験の結果から天板の取り出し時間を定めたが、実験時の220℃群では取り出し時に75℃に到達しない試料が含まれたためである。実験2では熱伝導率が異なる天板を用い、その特性を比較するために加熱時間を等しくした。熱伝導率とは物質固有の値である熱の伝わりやすさであり、物体内部の等温面の単位面積を通して単位時間に垂直に流れる熱量と、この方向における温度勾配との比である⁹⁾。伝導伝熱で移動する熱量は、熱伝導率が大きいほど、また2点間の温度差が大きいほど大きくなる^{10, 11)}。環境温度が27℃の場合、アルミ製天板の熱伝導率は237.0 [W/m \cdot K]、ステンレス製天板は27.0 [W/m \cdot K]であり⁹⁾、アルミ製天板では熱が伝わりやすい。また、100cm²単位当たりのアルミ製天板の熱容量は28.5J \cdot K、ステンレス製は61.6J \cdot Kであり、アルミ製天板の熱容量がステンレス製に比べて小さいため、温まりやすく冷めやすい特性がある¹²⁻¹⁴⁾。

SCOを用いた加熱における熱の伝導伝達は、SCOから試料の表面及び天板への熱風の対流、天板から試料底辺への伝導、および試料の表面及び底辺からの中心部への伝導により説明できる¹⁴⁻¹⁶⁾。よって、余熱による試料の中心温度の推移には、庫内空気温度、取り出し時の試料の表面温度と天板温度が関連する。今回の2つの実験において、取り出し時の天板温度は加熱設定温度に比べて低値であった。しかしいずれも取り出し時の天板温度は試料の中心温度よりは高いため、余熱による温度上昇はS群170℃加熱でも約3分継続し、かつ10分以上75℃以上の

温度が維持された。また、熱伝導率が高く温度低下が大きいA群170℃でも天板取り出し後の中心温度の上昇は約2分継続した。このことにより、大量調理施設衛生管理マニュアルで規定されている、「加熱調理は中心部が75℃で1分間加熱する」という条件は、加熱設定温度が170℃以上であれば、中心温度が75℃で取り出ししても、余熱により1分間以上の調理が可能であることが示された。

SCOには中心温度を設定して調理終了を知らせる機能もあるため、加熱終了時間を中心温度75℃に設定して取り出し、その2~3分後に温度測定することで最高温度を確認することも可能と思われる。松田らの豚ヒレ肉を試料として、設定温度230℃と270~280℃を用い、中心温度75℃1分まで加熱して、その後室温に放置した場合は、設定温度による最高温度に差がないと報告している⁸⁾。本研究1においてもステンレス天板で加熱設定温度が異なっても、加熱終了時の中心温度が同じであれば、最高中心温度には有意差はなく、先行研究と一致した。

一方、2つの実験からは中心温度が低下するタイミングには一定の傾向があり、中心温度の低下は上昇を続ける中心温度と、取出し後から低下した天板温度との交点付近から始まった。天板を庫外に取出した時点から室温の影響により天板温度の低下が始まったが、天板温度が試料の中心温度より高いため、天板からの熱伝導が続き中心温度が上昇した。しかし、天板温度と中心温度の交点の付近から、天板温度が中心温度より低くなり、熱伝導は試料から天板へ逆転し¹⁴⁻¹⁶⁾、中心温度の下降が始まったと考えられた。天板を庫外に取り出すと試料への熱風対流の影響はない。また周囲の環境より食材の表面温度の方が高いため、周囲から受ける輻射熱の影響も小さい。また、試料表面温度は室温の空気の自然対流により、取り出し後すぐに低下したため表面から中心部への熱伝導の影響は少なく、これらにより中心温度の低下は天板温度からの伝導で説明できると考えられた。

さらに熱伝導率が異なる天板を用いた中心温度の推移の比較では、A群の中心温度は上昇とともに低下も早く、取り出し10分後ではS群よりも温度低下が有意に大きかった。大量調理施設管理マニュアルでは、食品の加熱温度だけではなく、加熱後の食品の温度管理も求めている³⁾。よって熱伝導率が高

い天板を使用する場合、加熱だけではなく温度低下も含めて食品の温度管理を計画することが必要であると言える。

本研究では加熱設定温度と天板材質の相違が試料の硬さと水分含有率に影響すると仮説を立てたが、いずれも群間差はなかった。その一因として加熱済製品を使用したことで、すでに同一条件でたんぱく質の変性が生じていたことが考えられる。加熱設定温度の影響を比較した研究1では、天板取り出し時間を中心温度75℃としたため、2群の最高中心温度に差違がなかった。また、天板材質の違いを比較した研究2では加熱時間が同一であるため、最高中心温度はA群が有意に高いが、温度低下も著しいため75℃以上の維持時間が短かったため、熱の負荷がS群に比べて小さくなく試料の品質への影響が少なかった推測した。

しかしながら本研究において、以下2つの限界が挙げられる。まず1点目は、試料を冷凍ハンバーグのみに限定し、かつサンプル数が少ない点である。よって生の食材を試料とした場合は結果が異なると思われる。ハンバーグは試料内部に空気層を含まない固形物質であり、加熱は熱伝導で説明できるが、炒め物のような食材間に空気層を含む食材での検証が必要である。第2点目は、本研究では加熱時の天板枚数が1枚のみであったことである。実際の調理現場では加熱時に多くの天板を投入する。それにより、熱風対流の遮断や上段天板からの輻射熱の影響も考えられる。よって、より現実的条件設定を行い再検証することが必要である。

以上より、我が国の加熱食品の温度基準は諸外国より高く設定されているが、設定温度170℃で加熱し、75℃で取り出した試料の中心温度は、取り出した後10分程度75℃以上を保持した。実際の食材の加熱調理における種々なばらつきを考慮しても1分以上75℃を維持することは充分可能であると考えられる。

5. 結論

一次加熱済みのハンバーグを試料として、SCOの加湿モード、湿度60%、設定温度170℃で加熱を行い、試料の中心温度が75℃に到達した時点で天板を取り出しても、余熱により中心温度が1分間以上上昇することが確認された。また、加熱設定温度や天板の材質に関係なく、試料の中心温度の低下は

上昇する中心温度と低下する天板温度との交点付近から始まった。よって、上記の条件であれば、中心温度が75℃に到達していれば、余熱の活用により庫内での加熱の継続が不要であることが示唆された。

謝辞

本研究にご協力いただきました一般社団法人日本医療福祉セントラルキッチン協会理事の楠見五郎先生、株式会社ウエテック研究所の上岡章男先生に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 厚生労働省：「食中毒統計資料」過去の食中毒発生状況，https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/shokuhin/syokuchu/04.html#j4-2 (2021年1月20日)
- 2) 厚生労働省：「食品衛生法等の一部を改正する法律」(平成30年6月13日公布)の概要，<https://www.mhlw.go.jp/content/11130500/000410105.pdf> (2021年1月20日)
- 3) 厚生労働省：「大量調理施設衛生管理マニュアル」の改正について，<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinanzendu/000168026.pdf> (2020年11月13日)
- 4) 中国国家市場監督管理総局：「ケータリングサービスにおける食品安全衛生基準」7.4.3.1.2，<https://baike.baidu.com/item/餐饮服务食品安全操作规范/11002534?fr=aladdin> (2020年10月7日)
- 5) 香港食品安全当局：「食物安全計画」，https://www.cfs.gov.hk/english/programm/_programme_haccp/programme_haccp_tips05.html (2020年10月6日)
- 6) Food Standards Agency: Cooking your food，<https://www.food.gov.uk/safety-hygiene/cooking-your-food> (2020年10月6日)
- 7) Food Safety Authority of Ireland: Temperature Control，https://www.fsai.ie/faqs/temperature_control.html (2020年10月6日)
- 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：肉類の加熱における余熱の有効利，日本調理科学会誌，44，72-78 (2011)
- 9) 長倉三郎，井口洋夫，江沢洋，他：岩波理化学辞典，第5版，岩波書店，東京都
- 10) 渋川祥子：食べ物と健康 一調理学一，同文書

- 院, 東京, 154 (2009)
- 11) 渋谷祥子: 加熱上手はお料理上手 —なぜ?に答える科学の目—, 建帛社, 東京, 26-27 (2008)
- 12) 川端晶子, 大羽和子: 新しい調理学, 学建書院, 東京, 233-234 (2001)
- 13) 吉田勉: 調理の科学 —基礎から実践まで—, 学文社, 東京, 72 (2020)
- 14) 藤川和恵, 南廣子: 現代調理学, 医歯薬出版, 東京, 136 (2001)
- 15) 渋谷祥子: 食品加熱の科学, 朝倉書店, 東京, 3-4 (1996)
- 16) 渋谷祥子: 食べ物と健康 —調理学—, 同文書院, 東京, 54 (2009)