

過熱水蒸気オーブンを用いて加熱した食品の調理性の検討 —食肉および希釈卵液の加熱—

島村 綾* 赤石 記子** 長尾 慶子***

(平成28年1月14日査読受理日)

A Study of Cookability of Food Heated in a Superheated Steam Oven — Cases of Meat and Diluted Egg Liquid —

SHIMAMURA, Aya AKAISHI, Noriko NAGAO, Keiko

(Accepted for publication 14 January 2016)

キーワード：過熱水蒸気オーブン, 温度上昇, 脱油, 力学特性, 官能評価

Key words: superheated steam oven, temperature rise, deoiling, mechanical property, sensory evaluation

諸言

過熱水蒸気とは、飽和水蒸気を更に加熱した100℃よりも高温の熱伝達性に優れた蒸気のことであり^{1,2)}、食品加工の分野では乾燥・焼成・殺菌などに利用されている。本実験で用いた過熱水蒸気オーブンは、この過熱水蒸気の優れた熱特性を応用した加熱機器として1970年代後半にドイツで開発され¹⁾、その歴史はまだ浅い。しかし、加熱時間が短縮されることや「焼く」「蒸す」「煮る」などの異なる加熱操作を一台で処理できることから、病院や給食施設などの大量調理の現場ではその作業効率が認められ、高い普及率を誇っている^{3~5)}。最近では家庭向けの商品も販売され、大量調理の現場だけでなく、個人向け調理分野でも注目度が高まってきている加熱機器であるが、実際にその機能が十分に生かされていないという現実がある。これまでに過熱水蒸気の特長や過熱水蒸気オーブンについての研究は、野菜の衛生面の報告^{2,6)}や、食品加工時の過熱水蒸気の利用に関する報告⁷⁾、過熱水蒸気を利用した調理器の脱油効果、減塩効果、ビタミンCの破壊抑制効果、油脂の酸化抑制効果の報告⁸⁾がされている。また調理への応用面での研究では、スポンジケーキの焙焼実験⁹⁾、ハンバーグステーキ焼成時の温度上昇、形態比較、官能評価試験および物性の報告^{10,11)}がみられる。

上述のようにスチーム添加の有無による脱油効果や減塩効果、調理特性等についての報告は見られるが、スチーム添加量の違いによる試料中心部温度の上昇速度や重量減少率、脱油率の比較および製品の品質についての研究は食品

も限られ、ごくわずかである。そこで本研究では、庫内に放出される過熱水蒸気量の変化幅を0~100%まで段階的に変化させた加熱実験を実施することで、過熱水蒸気量の違いが製品の仕上がりに及ぼす影響を追究することにした。対象食材には加熱により相変化(熱凝固)する食材の代表として2種類のたんぱく質系食材をとりあげた。その一つは食肉類を用い、形態の異なる“かたまり肉”および“ひき肉パテ”をモデル食材とした。もう一つはカスタードプディングを想定した“希釈卵液”をモデル食材とした。それらを用いて加熱実験を行い、試料の内部温度変化、重量減少率、流出した油脂量(%) (以後、脱油率と記載)、色度測定、物性試験ならびに官能評価試験を実施し、総合的に製品の評価・検討を行った。得られた知見を以下に報告する。

実験方法

1. 実験材料

(1) 食肉試料

牛肩肉・豚肩ロース肉・鶏もも肉(いずれも脂質含量が19~22%の部位¹⁴⁾)とし、埼玉県内食肉販売店にて購入した。

(2) 希釈卵液試料

- 1) 新鮮鶏卵(市販品を実験日当日に購入)
- 2) 上白糖(三井製糖株)
- 3) 普通牛乳(小岩井乳業株)

2. 試料調製方法

(1) 食肉試料の調製

以下の2形態とした。

- 1) かたまり肉試料: 上記食肉を55×55×10mmの形状

* 栄養学科第三調理学実習準備室
** 東京家政大学(非)
*** 東京家政大学大学院客員教授

に切り分け、それらをクッキングシートに乗せてアルミバットに並べ、表面をラップフィルムで覆い、恒温庫(3℃)内で12時間保管し品温を一定にした。

2) パテ試料：1)と同様の食肉を電動ミンサー(トレーディングセンターフクノウ製, G-50A)を用い、付属カットプレート(φ7mm)で二度挽きした後さらに同カットプレート(φ4mm)で二度挽きを行い、計四度挽きの挽肉を調製した。これらの挽肉を10分間手で捏ねた後、27.5 ± 0.5 gずつに計量し、クッキングシート上に置いたセルクル型(φ55mm)に詰めて、厚さ1mmの円柱状に成形しパテ試料を得た。それらを1)と同様に恒温庫に保管した。

(2) 希釈卵液試料の調製

新鮮鶏卵をガラスボールに割り入れ、ハンドミキサーで30秒間混ぜ合わせた後ストレーナー(16メッシュ)を用い裏ごしし、卵液の2倍重量の牛乳で希釈した。次に10wt%の上白糖を加え、再度裏ごしした後、φ30mm×高さ15mmの小型ガラスシャーレに10gずつ分注し、希釈卵液試料とした。

(3) 加熱肉及び卵液ゲル試料の調製

上記の調製(1)、(2)試料は過熱水蒸気オープン(卓上スチームコンベクションオープン, タニコウ(株)製, TSCO-4GB)を用い、以下の各測定条件下で焼成した。

3. 測定項目

(1) 試料中心部温度の経時変化と至適焼成時間の決定

食肉試料は前記オープンを用い、設定温度250℃、スチーム添加量0, 40, 60, 100%の4条件で焼成した。

12 × 11.5 × 2.5cmの断熱材を用いて作成した焼成台上に、15 × 15cmの焼き網を高さ2.5cmの位置に設置し、品温を一定にした食肉試料を乗せ、オープン付属のホテルパン中央に設置し、直ちに焼成を行った。焼成中の試料中心部温度の経時変化は、温度測定用センサ(安立計器(株)製, K熱電対温度計SE60912)を挿入した試料を焼成時と同様に設置し、データコレクタ(安立計器(株)製, AM-7002)を用いて測定した。

希釈卵液試料の焼成は同オープンの設定温度110℃、スチーム添加量を食肉試料焼成時と同様に設定し、穴あきホテルパン上に試料を設置し、焼成を行った。試料中心部温度は、食肉同様に温度測定用センサとデータコレクタを用い経時的に記録した。

以上の食肉および希釈卵液試料の焼成時中心部温度の経時変化の平均値より、焼成肉試料では[試料中心部温度75℃到達時間+10秒]、希釈卵液試料では[試料中心部温度85℃到達時間(秒)]を算出し、それぞれ至適焼成時間とした。

(2) 重量減少率測定

加熱前試料重量(g)と加熱後試料重量(g)を測定し以下の式にて重量減少率(%)を算出した。

$$\text{重量減少率}(\%) = [(\text{加熱前試料重量}(g) - \text{加熱後試料重量}(g)) / \text{加熱前試料重量}(g)] \times 100 \dots\dots\dots ①$$

(3) 脱油率の算出

脱油量の測定は加熱調理研究会¹⁵⁾の実験手法に準じて以下のように実施した。すなわち、試料焼成中に流出した油脂分は、22 × 11.5 cmの形態に切り半分に折りたたんだキッチンペーパーを12 × 12.5 cmの形態に切ったアルミホイルで四辺を巻き込むように折り込んで作成した「吸油シート」を焼成台と焼き網の間に設置して直接脱脂した油脂を吸収させた。作成した吸油シートはあらかじめ105℃に設定した乾燥庫内で一晚乾燥させて重量(加熱前吸油シート重量)を測定し使用した。

焼成終了後、同乾燥庫内で一晚乾燥させ、水分を蒸発させた。乾燥終了後、すみやかに吸油シート重量(加熱後吸油シート重量)を測定し、以下の式にて脱油率(%)を算出した。

$$\text{脱油率}(\%) = [(\text{加熱後吸油シート重量}(g) - \text{加熱前吸油シート重量}(g)) / \text{加熱前試料重量}(g)] \times 100 \dots\dots\dots ②$$

(4) 色度測定

測色色差計(日本電色工業(株)製, ZE6000)を用い、明度(L*値)、色度(a*値・b*値)を測定した。焼成肉試料では試料表面(試料中心部および試料四隅の5点)、希釈卵液試料では試料表面および底部の2点について測定した。

測定値の平均値より色差(ΔE*値)を以下の式にて算出し、その値をもとにNBS単位(米国標準局)により感覚的な色の差を評価した。

$$\text{色差} \Delta E^* \text{値} = (\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2})^{1/2} \dots\dots\dots ③$$

(5) 物性試験

1) 破断試験

レオメーター(株山電製, RE2-33005)を用いて加熱肉試料の破断試験を実施し、破断応力[Pa]、破断エネルギー[J/m³]を算出した。測定条件はロードセル:20N, 歪率:99%, 測定速度:1mm/s, 円柱型プランジャー(φ3mm)とした。なお、測定には焼成後の肉試料を、70℃に設定した恒温庫内にて30分間品温を安定させてから、試料の中心および四隅部分を可及的速やかに測定した。

2) テクスチャー試験

至適時間焼成した希釈卵液ゲル試料について、同レオメーターを用いてテクスチャー試験を実施し、得られたテクスチャー曲線より圧縮応力[Pa]、付着性[J/m³]、凝集性をそれぞれ算出した。測定条件は、ロードセル:20N, 歪率80%, 測定速度1mm/s, 円柱型プランジャー(φ

16mm), 運動回数2回とした。冷蔵庫(5℃)にて1時間冷却した試料の中心部を小型ガラスシャーレに入れた状態で測定を行った。実験手法は佐藤ら¹⁶⁾の方法に準じて実施した。

3) 動的粘弾性試験

動的粘弾性測定・解析装置(HAAKE製MARS II)を用い、焼成前希釈卵液試料の温度依存性、ならびに焼成後希釈卵液試料の応力依存性をそれぞれ以下に示す方法で実施した。

i) 温度依存性測定

焼成前希釈卵液試料を用いて、温度上昇域を60-90℃、温度上昇速度を0.5℃/min(ペルチェ式温度コントロール)に設定した。測定条件はパラレルプレートφ35mm、周波数0.4Hz、応力50Pa、プレートステージ間ギャップ0.5mmとし、貯蔵弾性率G' [Pa]と損失弾性率G'' [Pa]を得た。なお、試料の乾燥を防ぐため測定用ステージ溝にシリコンオイルを充填し測定した。

ii) 応力依存性測定

焼成後希釈卵液ゲル試料を用いた。測定条件は溝付きパラレルプレートφ20mm、温度設定5℃、周波数1Hz、応力 10^{-2} -103Pa、プレートステージ間ギャップ2.0mmとし、同様に貯蔵弾性率G'と損失弾性率G''を得た。

なお、測定部位は試料表面部および試料表面から2mm、4mmの位置について行った。測定法は佐藤ら¹⁶⁾の方法に準じた。

(6) 官能評価試験

東京家政大学調理科学研究室員10~20代女性をパネルとし、本試験の目的と方法を説明し同意の得られた15~19名に官能評価を実施した。スチーム0%で焼成した試料を対照とし、焼成肉試料(牛かたまり・牛パテ)ではスチーム100%添加試料について、希釈卵液試料ではスチーム40%および100%添加試料について、それぞれの品質を7段階評点法の分析型官能評価試験、ならびに9段階嗜好意欲尺度法を用いた嗜好型官能評価試験を実施した。なお、分析型官能評価試験では「色」、「つや」、「香り」、「か

たさ」、「弾力」、「総合評価」の共通項目に加え、焼成肉試料では「大きさ」について、希釈卵液試料では「まとまりやすさ」、「付着性」について対照試料を0として、それぞれ評点で評価してもらった。嗜好型官能評価試験では①おそらく食べる気にはならないから⑨最も好きな食品に入るまでの9段階に設定された評価項目について選択評価してもらった。

(7) 統計処理

各測定データは平均値±標準偏差として求め、群間の有意差検定はIBM SPSS Statistics version22を用い、Tukeyの多重比較により実施した。

結果および考察

1. 焼成肉試料

(1) 焼成肉試料の加熱中の内部温度変化

試料中心部温度測定結果の中から、図1に豚かたまり肉試料の経時変化を、図2に豚パテ試料の経時変化を示す。両図より明らかなように、スチーム0%(対照)試料に比べて、スチーム添加試料の温度上昇速度が大となった。特に焼成開始時から20℃付近までの温度が速く上昇したことから、75℃到達時間も30~60秒程度短くなった。加熱初期の立ち上がり以降はスチーム添加の有無にかかわらず、かたまり試料で約15℃/min、パテ試料で約11℃/minと緩やかに温度が上昇しており、いずれの形態においても、温度上昇速度に差がみられなくなった。またいずれの試料形態、肉種においても、スチームを添加しながら焼成を行うことで、焼成時間の短縮につながるものと推察された。スチーム添加試料において温度上昇速度が大となった理由として、オーブン庫内の対流伝熱と輻射伝熱に加えて、過熱水蒸気が試料に付着した際に発生する凝縮熱が関与していると考えられる。しかし、本試料のスチーム添加試料間(40, 60, 100%)においては、スチーム添加量による温度上昇速度には違いが見られなかった。そこで、この現象がスチームコンベクションオーブンの機器特性によるのかと推定し、本実験に使用したスチームコンベクシ

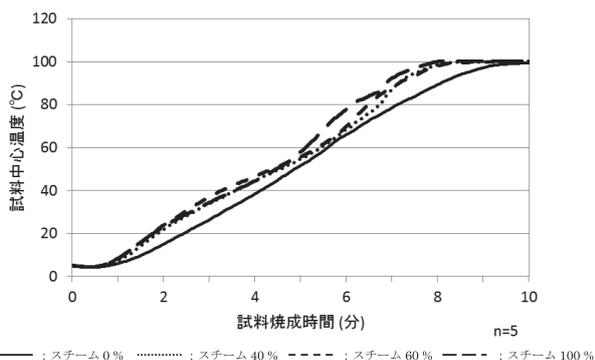


図1 スチーム添加量の異なる豚かたまり肉試料の中心部温度の経時変化

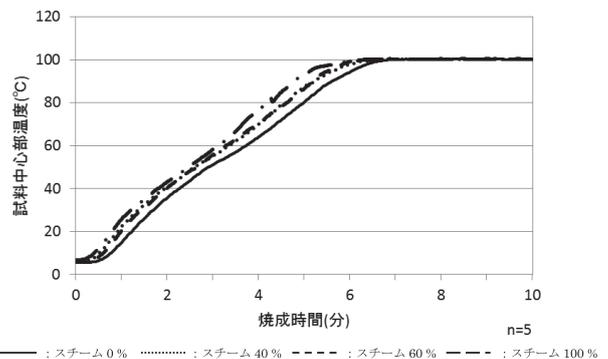


図2 スチーム添加量の異なる豚肉パテ試料の中心部温度の経時変化

ンオープン（山形ら¹⁸⁾の行っている加熱特性（蒸気量）の把握手順に従って、庫内蒸気量（スチーム添加量 0, 40, 60, 100%）の測定を行った。その結果、本実験で使用したスチームコンベクションオープンの機器特性として、加熱中に設定値より庫内のスチーム量が多くなることが確認された。すなわち、加熱初期段階においては各スチーム添加量間において、わずかな差が見られたが、加熱開始後 200 秒後にはいずれにおいても庫内放出蒸気量が 90% 以上に上昇し、各条件の違いが見られなくなった。このような機器仕様が、本実験におけるスチーム添加試料間の加熱途中の温度上昇速度に差が見られなかった結果につながるものと推察された。

次に形態による比較では豚肉試料はかたまりよりパテで温度上昇が大であった。本報告では割愛したが、鶏肉試料でも同様の結果であった。牛肉試料では形態の違いによる差は見られなかった。このように豚肉試料と鶏肉試料でみられたかたまり試料が加熱時間全体を通して緩やかに内部温度が上昇するのに対して、パテ試料が加熱開始 1 分～2 分頃から急激に温度が上昇し、試料中心部温度が 40℃ 付近より緩やかになる原因として、パテ試料はかたまり肉を 4 度挽きしたものをさらに手捏ねして肉糊状に調製しているため、試料中の水分や脂質、たんぱく質が試料全体に均質に分散していると考えられるのに対し、かたまり肉は脂質や水分は試料中の場所により偏りがあり不均質であることによると考えられる。このような試料中の食品成分の分散状況が温度上昇速度に影響を与えているのではないかと推察された。

(2) 至適焼成時間で加熱した各種肉試料の品質の検討

1) 重量減少率の測定結果

結果を本報では割愛したが、スチーム 0%（対照）試料と比較して、スチーム添加各試料においてやや重量減少率が高い傾向が見られるものの、いずれの肉種もかたまり試料で約 30%、パテ試料で約 25% とスチーム添加量の違いによる重量減少率の有意な差は見られなかった。

2) 脱油率の測定結果

図 3 に牛かたまり試料および牛パテ試料の測定結果を示した。いずれの肉種および形態においても、スチーム 0%（対照）試料と比較して、スチーム添加試料の脱油率が高値を示した。

前述の重量減少率結果ではスチーム添加による差は見られなかったが、脱油率ではスチーム添加試料で高値を示し、試料内から流出した成分に違いがあることが明らかとなった。すなわち、試料から減少する成分の割合として、スチーム添加試料では油脂分が多く脱脂されるが、水分は保持されており、保水性の高い状態にあると推測できる。反対にスチーム 0% 試料では、油脂分より水分が多く減少しているのではないかと考えられる。焼く分科会¹¹⁾や、酒井ら¹²⁾

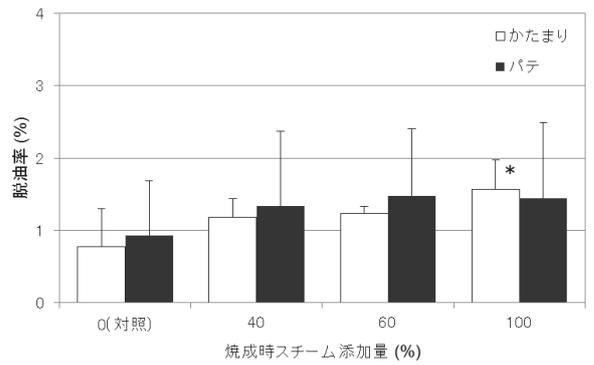


図 3 スチーム添加量の異なる牛肉形態別試料の脱油率の比較
* 試料形態別に対照試料間に有意差 (p < 0.05) あり n=10

の報告では、スチーム添加試料において脱油率が高値となっており、本実験結果も同様の傾向を示している。また、門馬ら⁸⁾の報告では過熱水蒸気を添加して食品の加熱を行うことで、食品に過熱水蒸気が接触することで食品内部の温度が上昇し、食品表面にしみ出した油脂が凝縮水によって洗い流されるとしている。この機構によりスチーム添加試料において脱油率が高値を示したと考えられる。すなわち、スチームを添加し食品を焼成することで油脂分の少ないヘルシーな製品になり、食感や味に影響を及ぼすと考えられる。

3) 色度測定結果

鶏かたまり肉試料、および鶏肉パテ試料の測定結果を表 1 に示した。鶏かたまり肉、パテ試料共にスチーム 0%（対照）試料と比較してスチーム添加試料の明度 L* 値が有意 (p < 0.05) に高くなり、明るい色調に仕上がっていた。スチーム 0%（対照）試料においては赤度を示す a* 値および黄度を示す b* 値が大で、焼き色が濃く、各データに有意差がみられた。スチーム 0%（対照）試料と比較して色差 (ΔE* 値) が 11～17 であり、“大いに”から“多大に”との差が見られた。試料の形態別で比較すると、かたまり試料においてパテ試料よりも色差 (ΔE* 値) の値は高く、スチーム添加による色調の差がより生じやすいと推察される。“焼き色”がスチーム 0%（対照）試料において強く見られた理由として、試料焼成時に浮かび上がった油脂分が、高温空気により試料表面でより強く加熱されたためであると考えられた。スチーム添加試料においては、スチームにより試料表面に浮き出た油脂分が洗い流されることで焼き色が生じにくく、試料の色調が白く仕上がったものと考察した。このことから、スチーム添加は焦げ色がつきにくいいため、各種のソースを料理の美味の特徴とする西洋料理などでは、素材の色とソースの色との対比がより“鮮やか”な見た目を演出し食欲の向上に繋がる利点も挙げられる。

4) 破断試験結果

鶏かたまり肉、およびパテ試料の破断試験結果を表 2 に示した。鶏肉パテ試料では、スチーム 0%（対照）試料と比較して、スチーム 100% 添加各試料において、破断応力、

表1 スチーム添加量の異なる鶏肉形態別試料の色度測定結果

スチーム添加量 (%)	L*値	a*値	b*値	ΔE*値	
か	0(対照)	35.0±7.9	4.0±3.2	25.8±4.7	-
た	40	44.4*±9.2	2.0*±2.3	19.8*±2.7	11.3
ま	60	49.2*±5.6	0.6*±2.3	20.1*±2.5	15.7
り	100	51.3*±5.1	1.3*±1.5	20.3*±2.9	17.4
パ	0(対照)	54.0±5.2	2.3±1.5	20.5±2.2	-
テ	40	56.6±1.9	1.7±1.6	19.7±2.0	2.8
	60	58.8*±2.9	2.1±1.5	18.9*±2.0	5.1
	100	59.1*±4.1	1.1±2.0	18.6*±1.9	5.6

*各測定値と対照試料間に有意差(p<0.05)あり n=5

表2 スチーム添加量の異なる鶏肉形態別試料の破断試験結果

スチーム添加量 (%)	破断応力 (kPa) × 10 ²	破断エネルギー (kJ/m ³) × 10 ²	
か	0(対照)	7.67±2.69	1.98±0.73
た	40	7.46±3.19	1.80±0.85
ま	60	7.09±2.91	1.70±0.81
り	100	6.06±1.89	1.55±0.67
パ	0(対照)	2.47±0.41	0.51±0.12
テ	40	2.12*±0.45	0.44±0.13
	60	2.40±0.33	0.44±0.08
	100	2.22*±0.43	0.40*±0.14

*各測定値と対照試料間に有意差(p<0.05)あり n=10

破断エネルギー共に有意に低下していた。

スチーム 100% 添加試料では、形態に関わらず破断応力および破断エネルギーが低く、軟らかな食感となることが確認された。これは先の重量減少率と脱油率が小であったことから、スチーム添加により肉の保水性が高く、軟らかくなったと考えられる。焼く分科会^{10,11)}のハンバーグステーキを使用した報告において、今回と同様の傾向が見られている。また、門馬ら⁸⁾は過熱水蒸気を用いて焼成を行うことで試料表面のみが乾燥し試料表面がパリッと仕上がりますが、試料内部は水分が保たれ軟らかい仕上がりになると報告している。

なお紙面の都合で割愛したが、豚肉および鶏肉のかたまりおよびパテのいずれの試料においても同様の傾向が見られており、スチーム添加により軟らかい食感となることが確認された。

5) 官能評価試験

図4にかたまり試料およびパテ試料を用いて行った官能評価結果を示した。分析型官能評価試験では、スチーム添加 100% 試料の [色]・[かたさ] の項目において基準のスチーム 0% (対照) 試料に比べて、色は白く、軟らかい試料であると評価され、先の色差測定や破断測定で得られた結果と一致していた。また、[弾力] の項目については基準より弾力のある試料であると評価された。[総合評価] の項目において、基準と比較して高評価を得ていた。これらの結果より、スチームを添加して焼成した試料の焼き色は薄く、軟らかで弾力があり、総合的に好ましい試料であ

るとの評価が得られた。

9段階評価尺度別の嗜好評価試験では、スチーム添加試料においてスチーム 0% (対照) 試料と同程度からやや好ましい試料であると評価された。嗜好意欲度別に 3 グループ分けを行うと、“ふつう”に該当する評価尺度 4~6 が多く、いずれの試料形態においても同様の傾向が見られた。よって、スチームを添加し焼成を行うことは、スチーム 0% (対照) 試料と同程度からより好ましい製品の調製が可能であると考えられる。

2. 希釈卵液試料の品質評価

ブディング料理に代表される希釈卵液試料の測定結果を以下に示した。しかし、希釈卵液試料ではスチーム添加量 40% と 60% 間とに差がみられなかったため、以後の測定

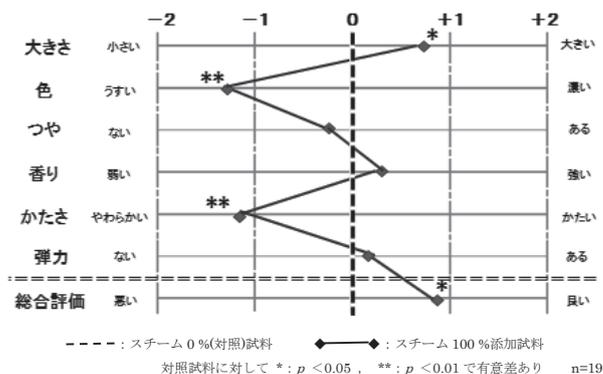


図4 牛かたまり肉試料を用いて行った官能評価 (5段階評点法)

項目も含め、スチーム添加量 0, 60, 100 % の 3 条件での結果を示すことにする。

(1) 動的粘弾性による温度依存性測定結果

希釈卵液試料を加熱しながら動的粘弾性測定を行ったゾルゲル転移の状況を図 5 に示す。60 ~ 80℃ 間では貯蔵弾性率 [G']・損失弾性率 [G''] とともに変化は見られず相転移は観察されなかった。82 - 83℃ 付近より急激な上昇がみられ、損失弾性率 [G''] と貯蔵弾性率 [G'] が交差する、クロスオーバーポイント (ゲル化点)¹⁹⁾ が見られた。岡村²⁰⁾ は卵白の凝固 (ゲル化) 開始温度が約 55℃, 凝固完了温度が約 80℃, 卵黄では同凝固開始温度が約 65℃, 凝固完了温度が 80℃ 程度であると報告している。今回の希釈卵液試料では凝固開始温度および凝固完了温度が卵白, 卵黄いずれの場合も遅れているが、これは卵液量に対し 2 倍量の牛乳で希釈されていることにより凝固開始温度が高くなったものと考えられる。

(2) 試料中心部温度の経時変化

図 6 に希釈卵液試料の試料中心部温度の経時変化を示す。スチーム 0 % (対照) 試料では温度上昇曲線は 12℃ /min と緩やかとなり、90℃ 到達までに長時間を要した。一方、スチーム添加試料では 30 ~ 36℃ /min と明らかに速い温度上昇が観察された。すなわちスチーム添加量が多い試料ほど試料中心部の温度上昇が速やかになっていた。スチーム添加量の違いによる温度上昇速度の差が明確に確認できた理由として、加熱初期段階では庫内スチーム量に差があり、凝縮熱の量も変わるため、温度上昇に影響を及ぼしていると考えられる。

以上の結果と、1) の動的粘弾性測定結果で [G']・[G''] 共に大きな上昇が見られた 82 - 83℃ 以上のクロスオーバーポイント (凝固点) とから判断し、試料中心部温度の 85℃ 到達点を希釈卵液試料の至適焼成時間とした。すなわち、スチーム 0 % (対照) で 7 分 30 秒、同 40% で 3 分、同 100% で 2 分 20 秒と決定した。大量調理の現場では多用されているスチームを添加する手法は調理時間の短縮につながり、調理作業の効率化を図ることが可能であることが改めて確認できた。

また、水ら²¹⁾ が調理食材の熱拡散率を測定し、含水量が多い試料ほど熱の拡散が大であると報告していることから、スチーム添加の焼成肉試料で平均約 5 分かかっていた焼成時間が、水分量の多い希釈卵液では平均 2 分 45 秒と、顕著に焼成時間が短縮されたと推察される。

(3) 希釈卵液ゲル製品の品質の検討

1) 重量減少率の測定結果

先の食肉試料同様にスチーム添加量の異なる試料の重量減少率を図 7 に示した。スチーム添加 0 % (対照) 試料ではスチーム添加試料と比較して有意 ($p < 0.05$) に重量減

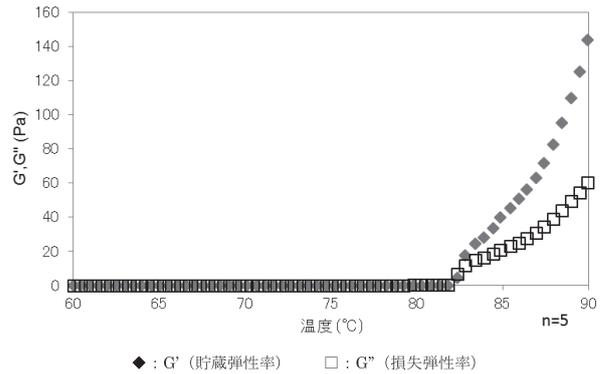


図 5 希釈卵液試料を用いての動的粘弾性試験による温度依存性測定結果

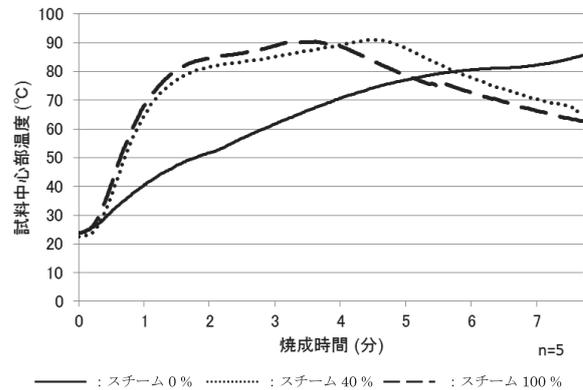


図 6 希釈卵液試料中心部温度の経時変化 (90℃まで加熱)

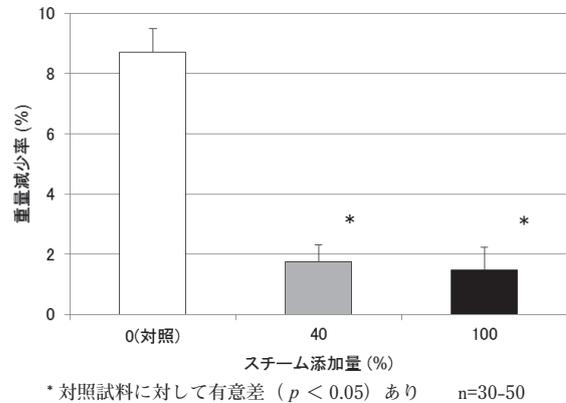


図 7 スチーム添加量の異なる希釈卵液試料の重量減少率の比較

少率が大となることが分かった。また、スチーム添加量の違いでみると、100% 試料で重量減少率約 1.5%、40% 試料の約 1.8%と、スチーム添加量が多くなると重量減少率が小となる傾向が見られたが、先の食肉試料の場合に比べて重量減少率はいずれも微小で有意差はみられなかった。布施ら²²⁾ は蒸し器加熱を行ったカスタードプディング試料において重量減少率が少なくなる理由として、蒸し器内に発生している蒸気が食品に付着することで試料の水分蒸発を防いでいると報告しているが、本実験結果においても同様の現象が生じていると考えられる。

2) 色度測定結果

表 3 に試料表面部における色度測定結果を示した。先の

表3 スチーム添加量の異なる希釈卵液試料表面の色度測定結果

スチーム添加量 (%)	L*値	a*値	b*値	ΔE*値
0(対照)	80.3±0.9	5.2±0.8	53.1±0.9	-
40	83.2*±0.7	3.6*±0.8	48.3*±0.9	5.9
100	83.4*±2.2	3.4±1.8	48.6*±1.75	5.7

*各測定値と対照試料間に有意差 ($p < 0.05$) あり n=50

表4 スチーム添加量の異なる卵液試料のテクスチャー測定結果

スチーム量 (%)	かたさ応力 (kPa)	凝集性	付着性 (kJ/m ³)
0(対照)	10.23 ^X ±1.74	0.50 ^X ±0.02	0.70 ^X ±0.08
40	8.03 ^Y ±0.55	0.45 ^Y ±0.01	0.59 ^Y ±0.06
100	6.90 ^Z ±0.58	0.44 ^Y ±0.04	0.43 ^Z ±0.04

各測定値ごと異符号間に有意差 ($p < 0.05$) あり n=50

食肉試料同様に、スチーム0% (対照) 試料とスチーム添加試料間において比較した色差 (ΔE* 値) では“目立つほど”の色調の差が見られ、その色調の差は目視でも確認することができた。試料表面部で生じた色調の差は、長時間の焼成による試料表面部の乾燥および長時間加熱したことで、目視されるほどの色調の差が生じたと考えられる。

3) テクスチャー試験の結果

スチーム添加量の異なる各試料の圧縮応力・凝集性・付着性の結果を表4に示した。スチーム0% (対照) 試料と比較して、スチーム添加試料においては、圧縮応力・凝集性・付着性いずれの項目においても有意 ($p < 0.05$) に低くなり、軟らかく付着性の少ないなめらかな試料となっていると推察された。このようなテクスチャー特性には前述の重量減少率結果が関係しているものと考えられ、重量減少率が高く試料中の水分の損失が大きいと考えられるスチーム0% (対照) 試料において硬くなり、また卵液の品温が緩やかに上昇する為、たんぱく質の熱凝固 (ゲル化) 現象も緩慢に進行し、ゲルのネットワーク構造も緻密に形成され、凝集性が増したと考えられる。

4) 動的粘弾性試験結果

図8に動的粘弾性試験での応力依存性の測定結果を示した。弾性要素を示す貯蔵弾性率 [G'] では、いずれの試料、いずれの部位においても 0.5Pa 付近において低下し始め 100Pa 以降急激に低下した。粘性要素を示す損失弾性率 [G''] では、スチーム添加試料は 300Pa 付近、スチーム0% (対照) 試料は 500Pa 付近で急激に低下した。スチーム0% (対照) 試料は、スチーム添加試料に比べて内部温度上昇が緩慢であったため、ゲル内部のネットワーク構造が密となることでゲル強度が大で構造破壊が遅延したと推察される。本測定値は試料表面から 4mm 内部位置での結果であるが、スチーム0% (対照) 試料の G', G'' ともにスチーム添加試料に比べて高値を示したことにより、前述3)の

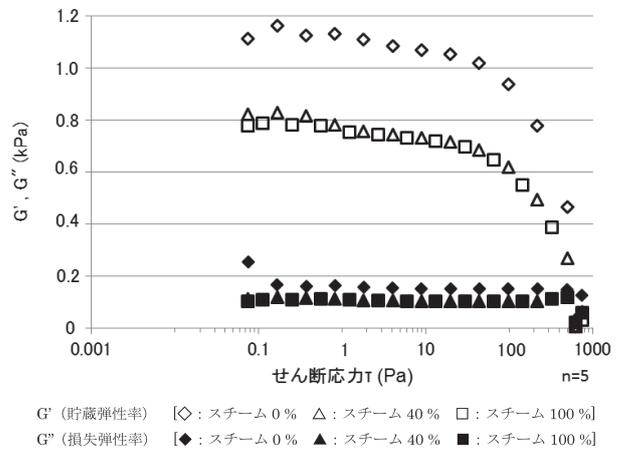


図8 スチーム添加量の異なる希釈卵液試料の動的粘弾性試験による応力依存性の測定結果 (測定部：内部 4mm 位置)

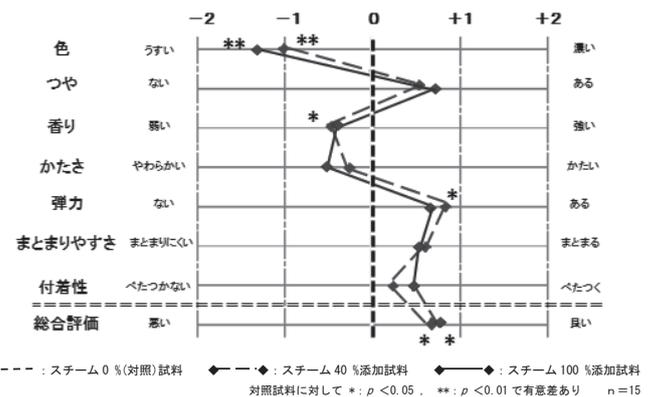


図9 希釈卵液試料を用いて行った官能評価 (5段階評点法)

テクスチャー試験結果と同様の傾向となっていた。従ってスチームを添加して焼成した卵液ゲル試料は軟らかくべたつきの少ない性状になるものと推察された。本報では図を割愛したが、スチーム0%の対照試料は試料表面、2mm 内部においても近い値を示した。一方、スチーム添加試料では試料表面および2mm 内部の位置で対照試料と比較し

てかたく、表面から4mmの位置ではやわらかく、製品の物性に差が見られた。

5) 官能評価試験

図9に示した分析型官能評価結果では、基準のスチーム0% (対照) 試料と比較して、弾力があり、まとまりやすく、付着性が高いとの評価を得た。この結果は動的粘弾性測定を試料表面および2mm内部での結果と類似しており、試料表面部が評価されたと推察される。

嗜好型官能評価試験において嗜好意欲度別にグループ分けを行うと、スチーム0% (対照) 試料と比較して“ふつう”または“高い”のグループに分類されていた。よって、食肉試料同様卵液ゲルにおいてもスチームを添加し焼成を行うことで、好ましい卵液ゲル製品の調製が可能であると示唆された。

以上の結果から、過熱水蒸気を用いた加熱法は軟らかい食品を好む近年の食傾向に適した製品の調製に適していると考えられる。

要 約

本研究では、過熱水蒸気オープンの機器特性を明らかにするために、加熱により熱凝固 (相変化) するたんぱく質系食材 (食肉と希釈卵液) をとりあげ、過熱水蒸気オープン庫内のスチーム添加量を変化させた焼成実験を行い、スチーム添加量が及ぼす製品の品質について種々の機器測定および官能評価試験から多面的に検討を行った。その結果、過熱水蒸気オープン庫内の水蒸気量を変化させることで、以下に示すような新しい知見が認められた。

- (1) オープン庫内のスチーム添加により、焼成肉試料の脱油率は増し、脱油効果が期待できることから、近年のヘルシー志向に適した加熱法であると考えられる。
- (2) スチーム添加で焼成した肉試料はいずれの形態においても物性面で軟らかな食感を示した。このことから、咀嚼機能の衰えた高齢者や軟らかい食品を好む近年の食傾向に適していると考えられる。
- (3) スチーム添加で肉の焼成を行うことで、焼き色が薄く明るい色調の製品に仕上がった。このことからソースなどを多用する西洋料理などでは、ソースの色との対比でより“鮮やかな”見た目を演出し食欲の向上に繋がる利点も挙げられる。
- (4) 過熱水蒸気オープンは、加熱特性に優れ、スチーム添加により食肉試料のいずれの形態でも焼成時間が短縮でき、特に希釈卵液のような水分含量の多い試料においては過熱水蒸気の添加量が多いほど大幅な焼成時間の短縮が可能であり、効率の良い調理法として期待できる。
- (5) スチーム添加で焼成した希釈卵液ゲル試料では、過熱水蒸気の添加量が多い試料ほど、やわらかくべたつきが少なく、なめらかな製品に仕上がった。

(6) 加熱時間が長い焼成肉では大差がなかったが、加熱時間の短い希釈卵液試料では過熱水蒸気の添加量が多い試料ほど、庫内蒸気量の影響を受けて、重量減少率、物性に差が見られた。

(7) 本実験で試料とした官能評価試験では、焼成肉および希釈卵液は、スチームを添加して焼成することで、“色が薄く”、“やわらかい”が“弾力のある”製品であると評価された。

謝 辞

本研究は日本調理科学会加熱調理研究部会での共同研究と並行して実施したものです。研究の遂行にあたり、横浜国立大学杉山久仁子教授には貴重な御助言ならびに測定の御指導を賜りました。本学峯木真知子教授には官能評価試験等研究の進め方で適切なお教示をいただきました。また調理科学研究室の卒論生および関係者の皆様には官能評価試験に繰り返しご協力いただきました。ここに合わせて皆様に深甚の謝意を表し御礼申し上げます。

文 献

- 1) 渋川祥子：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), 2009, p.83-102
- 2) 五十部誠一郎：青果物 / カット青果物の衛生管理法と微生物制御技術 (11) 物理的微生物制御技術：(2) 熱殺菌, 防菌防黴, 35, 519-526 (2007)
- 3) 山田晶子, 杉山智美, 渋川祥子：スチームコンベクションオープンの加熱特性, 日本家政学会誌, 53, 331-337 (2002)
- 4) 伊與田浩志, 野邑奉弘：過熱水蒸気を用いた食品加工過熱水蒸気の基礎, 食品工業, 48, 19-28 (2005)
- 5) 渋川祥子：スチームコンベクションオープン, 日本調理科学会誌, 35, 106-107 (2002)
- 6) 小野和広, 遠藤浩志, 稲津健弘, 宮尾茂雄：白菜付着微生物に対する過熱水蒸気の殺菌効果, 日本食品科学工学会誌, 53, 172-178 (2006)
- 7) 塚田直：食品工業に於ける加圧水蒸気と過熱水蒸気の利用, 日本食品工業学会誌, 31 (8), 536-545 (1984)
- 8) 門馬哲也, 岸本卓士, 田中源基, 高見星司：過熱水蒸気による健康調理技術の開発, 日本調理学会誌, 39, 163-166 (2006)
- 9) 大石恭子, 渋川祥子：過熱水蒸気が焼成品の調理特性に与える影響—スポンジケーキの焙焼—, 日本調理科学会誌, 41, 18-25, (2008)
- 10) 日本調理科学会近畿支部 焼く分科会：過熱水蒸気オープンを用いた調理に関する基礎的研究—ハンバーグステーキ焼成時の温度履歴と製品について—, 日本調理学会誌, 40, 420-426 (2007)

- 11) 日本調理科学会近畿支部 焼く分科会：過熱水蒸気オーブンをを用いた時のハンバーグステーキ焼成温度の違いがジューシーさやおいしさに及ぼす影響，日本調理科学会誌，44，400-406（2011）
- 12) 酒井昇，福岡美香：過熱水蒸気を用いた食品加工 過熱水蒸気を用いた食品のベーキング，食品工業，48（14），40-48（2005）
- 13) 門馬哲也，酒井昇，中門千晴，福岡美香，高見星司：肉類の過熱水蒸気調理における水分・油分移動について，シャープ技法，94，10-15（2006）
- 14) 最新 日本食品成分表 日本食品成分表2010・アミノ酸成分表2010・五訂増補脂肪酸成分表 完全収載，医歯薬出版社
- 15) 中本恵子，池内ますみ，河村亜紀，赤石記子，杉山久仁子，長尾慶子，藤本千鶴，升井洋至，山下英代，山本由美，渡辺豊子，山形純子，伊與田浩志，洪沢祥子：日本調理科学会平成22年度大会要旨集，p.114（2010）
- 16) 佐藤久美，小川友理江，長尾慶子：にがり添加プレイングの調理特性，抗酸化性ならびに嗜好性に及ぼす影響，日本調理科学会誌，44，200-205（2011）
- 17) 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）（第二報）材料および混合方法の違いが内部温度に及ぼす影響，日本調理科学会誌，32，346-351（1999）
- 18) 山形純子，伊與田浩志，一色翔悟，西村伸也：スチームコンベクションオーブンの最適運転条件の検討，日本機械学会2009年度年次大会講演論文集（3），p.103-104（2009）
- 19) 大坪泰文：講座・レオロジー，日本レオロジー学会高分子刊行会（京都），1992，p.183-185
- 20) 岡村喜美：調理教材に関する基礎的研究ならびにその取扱いについて（第1報），家庭科教育学会誌，1，21-25（1960）
- 21) 水珠子，長尾慶子：O/W型およびW/O型エマルジョン加熱における内部熱移動の測定，日本食品化学工学会誌，55，215-223（2008）
- 22) 布施望，杉崎幸子，井上裕光，内藤準哉，渡邊智子：カスタードプリンの嗜好性 - 加熱器具およびエッセンスの影響 - ，千葉県立衛生短期大学紀要，19，17-24（2000）

Abstract

In a superheated steam oven is used superheated steam for heating and cooking foodstuff. In this experiment, a meat sample (a chunk or a patty) and a diluted egg liquid sample were baked, and the baked products were compared and examined in quality. The results show that the superheated steam oven is an efficient cooking appliance. Moreover, superheated steam ovens can have a deoiling effect for meat samples and help to prepare products of a soft texture, and hence, such ovens are desirable because they are suitable for recent trends in cooking. By the dilution egg liquid sample, the prepared products were bright in color, smooth and less sticky.

The abovementioned results and sensory evaluations demonstrate the possibility of baking better quality food using superheat steam ovens.