

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—

Effect of Superheated Steam on the Quality of Baked Sponge Cakes

大石 恭子*[§] 渋谷 祥子*

Kyoko Ohishi

Shoko Shibukawa

Sponge cakes were baked in a superheated steam oven and a steam-free convection oven to compare the quality of products cooked with superheated steam. The superheated steam markedly increased the heat transfer coefficient in the initial stage of heating. When compared with the cake baked in the steam-free oven, the one baked in the superheated steam oven expanded more with visible cracking; moreover, its crust was darker and harder. Heating with superheated steam increased the rate of temperature rise on the surface of the cake, resulting in a shorter baking time. The cake baked in the shortest time with superheated steam also showed cracking and a harder crust than that of the cake baked in the steam-free oven. The quality of sponge cakes baked with superheated steam was substantially influenced by the considerable transfer of heat during the initial stage of heating.

キーワード：過熱水蒸気 superheated steam；スポンジケーキ sponge cake；オープン oven；スチームコンベクションオープン steam convection oven

緒 言

常圧過熱水蒸気とは、水蒸気を常圧で100℃以上に加熱した水蒸気であり、食品加工の分野では乾燥^{1)~3)}、殺菌^{4)~6)}などの処理に利用されてきた。近年ではその利用が調理の分野にも広げられ、スチームコンベクションオープン（以下、スチコンと略する）としてホテルの厨房や病院、また学校などの給食の現場において急速に普及している⁷⁾。また、数年前から家庭用のスチコンも市場に出回り、一般家庭にも普及しつつある。

過熱水蒸気を調理に利用する大きな利点は、凝縮伝熱の利用である。庫内の食品が100℃以下であれば、水蒸気が食品表面で凝縮し、その際に伝達される凝縮熱により食品が速やかに加熱される。それ以外に低酸素下での加熱に因る油脂の酸化抑制、脱油効果、調理品の塩分を減らす効果、ビタミンなどの成分保持等も挙げられているが^{8)~10)}、過熱水蒸気の調理への効果は解明されていないことが多い。

大量調理の現場では、スチコンは蒸し調理や煮込み調理に利用されることが多く、その利便性は周知されている。一方、焼き調理では、加熱条件が焼き色、水分保持率、物性などの調理品質に与える影響が大きい[§]、蒸気の有無が調理品質に与える影響を調べた報告は数報に止まる^{9), 11), 12)}。スチコンは一度に大量の調理が可能であるため、焼き調理での特徴を明らかにすることは、調理効率を上げるうえで大変有用であると考えられる。

そこで本研究では、過熱水蒸気を焼き調理に利用した際の効果を検討することを目的とし、スチコンおよび家庭用

オープンでスポンジケーキを焙焼してその調理品質を比較した。ここで、加熱対象物としてスポンジケーキを選んだのは、試料の品質を一定にし易いこと、調理特性から焼き調理の特徴を捉えやすいこと、などの理由からである。

実験方法

1. 試料の調製

ケーキ型1個分の材料および材料配合比を、薄力小麦粉70 g、砂糖70 g、新鮮卵100 g、および起泡剤（ハイポーン、三菱化学フーズ(株)）5 gとした。バターの調製には全材料混合法¹³⁾を用いた。すなわち、ボールに起泡剤と20℃に調整した卵50 gを入れ、ハンドミキサー（DL-0202、貝印(株)）を用いて強度3で1分間攪拌した。そこに2回篩った薄力小麦粉、1回篩った砂糖、および残りの卵50 gを加え、ミキサー強度5で3分30秒間攪拌した。その後、型紙を敷いたケーキ型（直径15 cm×高さ6 cm、底取型）に生地を200 g量り入れた。同一生地2個分の調製を一度に行い、ケーキ生地をケーキ型2個に量り入れて焙焼した。

2. 焙焼方法

スチコンには熱源がガスである業務用機種（OZCSO-1800、庫内寸法 幅45 cm×奥行60 cm×高さ69 cm、オザキ(株)）を用いた。棚受はホテルパン1/1サイズ（530 mm×325 mm）で10段分あり、本実験では上から5段目を使用した。このスチコンは20%~100%の範囲を20%間隔で蒸気量を調節することが可能であり、本実験では蒸気量を100%とした。家庭用オープン（以下、オープンと略する）には強制対流式（RSR-312 CJ 2 M-BG、庫内寸法 幅34.0 cm×奥行37.5 cm×高さ19.5 cm、リンナイ(株)）を用いた。天板受は上段および下段にあり、本実験では下段を用いた。いずれの焙焼機器を使用する場合にも、ホテルパンまたは天板の上にステンレス鋼製の網をおき、

* 聖徳大学
(Seitoku University)

[§] 連絡先 聖徳大学 人文学部 〒271-8555 千葉県松戸市岩瀬550
TEL 047(365)1111 FAX 047(363)1401

その上にケーキ型を置いて焙焼した。なお、使用した網は、ホテルパン用は 260 mm×463 mm、線径 1.5 mm、目開き 11 mm であり、天板用は 355 mm×355 mm、線径 2.5 mm、目開き 20 mm であった。網の上にケーキを置いたのは、ホテルパンまたは天板からの伝導伝熱による影響を最小限に止めることにより、複雑な伝熱系を少しでも簡単にするためである。焙焼温度を実測値で 180℃ とし、焙焼時間を一定時間および最短時間の 2 通りに設定した。本研究では、一定時間の場合は 25 分間とし、最短時間の場合は、ケーキ中心部の最も温度上昇の遅い部位が 90℃ に達するまで焙焼した。

3. 測定項目と測定方法

3.1 機器の加熱能の測定

渋川らが従来から行ってきた方法¹⁴⁾に従った。すなわち、黒色塗装した円柱状の銅製ブロックをスチコンおよびオープンにて加熱し、得られた温度履歴からみかけの熱伝達率を算出し、加熱能の指標とした。

3.2 温度測定

データコレクタ (AM-7012 L, 安立計器(株)) およびアルメル・クロメル熱電対センサ (保護管外径 0.5 mm, 安立計器(株)), アルメル・クロメル多点式熱電対センサ (保護管外径 1.2 mm, 安立計器(株)) を用いて庫内温度およびケーキ内温度の測定を行った。庫内温度測定時には、針金を用いて熱電対センサを庫内中心部に設置した。焙焼中の生地温度測定時には、多点式熱電対センサをケーキ中央部に上から数本挿入し、10 秒間隔で測定した。この多点式熱電対センサは、先端から 3, 5, 7, 9, 11 mm の 5 箇所測定点をもつように製作したものであり、これを数本組み合わせ使用し、底から 3 mm の位置から 74 mm の位置まで、2 mm 間隔でケーキ中央部の温度を測定した。

3.3 ケーキの高さ

生地中央に挿入した熱電対センサに 5 mm 間隔で目印をつけ、スチコンおよびオープンの扉の外から焙焼中にケーキを観察し、各目印に達した時間を記録した。そして、焙焼前の生地の高さに対する割合で、焙焼経過に伴うケーキの高さの変化を示した。

3.4 ケーキの膨化率

焙焼終了 1 時間後に、ケーキを直径上で垂直方法に包丁で切断した。断面の型を紙に転写し、ケーキ最高部および側面の高さをノギスで計測した。そして、加熱前の生地の高さに対する割合を膨化率として算出した。

3.5 ケーキの質量減少率

焙焼直後のケーキ質量を型および型紙ごと測定し、型と型紙の質量を差し引いてケーキ質量を求めた。そして、加熱前の生地質量 (200 g) に対する減少率を算出した。

3.6 ケーキの焼き色

焙焼終了 1 時間後に、色差計 (NF 333 簡易型分光色差計, 日本電色工業(株)) を用いてケーキ上面表層の L^* , a^* ,

b^* 値の測定を行った。測定箇所をケーキ表層の半径の中心 2 箇所とし、平均値を求めた。

3.7 ケーキの破断特性の測定

焙焼終了 1 時間後、ケーキ表層部および内部から 1.5 cm 角の立方体を 10 個ずつ切り出し、単軸圧縮・引張型レオメータ (クリープメーター RE-3305, (株)山電) を用いて破断試験を行った。最大力 19.6 N のロードセルを装着し、楔形プランジャー (No. 49, 幅 13 mm×奥行 30 mm×高さ 25 mm, 開き角 30°, 先端は幅 1 mm の平面) で圧縮した。クリープメーター用自動解析装置ソフトウェア (破断強度解析 Ver. 1.1, (株)山電) を用いて破断荷重, 破断ひずみ, 破断エネルギーおよびもろさ荷重を求めた。本論文では、もろさ荷重を以下のように定義した。すなわち、試料をプランジャーで圧縮し、亀裂が生じる点を「破断点」としている。破断点において試料には空隙が生じ、その領域をプランジャーが移動する際に荷重は減少する。その後、試料がプランジャーにより圧密され、再び荷重が増加する。破断点と再び荷重が増加し始める点との荷重の差を「もろさ荷重」と定めた。この値は生じた亀裂の大きさを示すひとつの指標となり得ると考えた。

3.8 ケーキの焼き色と食感の官能評価

焙焼終了後に 1 時間経過したケーキの嗜好性、焼き色および食感についての官能評価を、聖徳大学生活文化学科の 20~21 歳の女子学生 24 名をパネルとして行った。ケーキの全表層を厚さ 5 mm で切り出し、表層部の試料とした。残りのケーキを中心角が 45° になるように 8 分割し、内部の試料とした。スチコンおよびオープンで焙焼したケーキに対し、表層部は「好ましい」「色が濃い」「もろい」「硬い」の項目について、内部は「好ましい」「色が濃い」「しっとりしている」「軟らかい」の項目について、該当する方を選ばせる二点比較法で評価した。

3.9 統計解析

いずれの測定も 3 回繰り返し、平均値および標準偏差を求めた。統計解析ソフト (Excel 統計 2004) を用いて一元配置による分散分析を行い、Fisher の最小有意差検定を行った。

結果および考察

1. 機器の加熱能

スチコンおよびオープンの加熱能の測定を行った。庫内温度および銅製ブロック中央部の温度履歴を Figure 1 に示す。両機器の庫内温度が 180℃ になるように温度設定をしたところ、スチコンの庫内平均温度は $177.9 \pm 13.6^\circ\text{C}$ 、オープンのそれは $183.4 \pm 16.9^\circ\text{C}$ であった。銅製ブロックの温度上昇は、加熱初期においてオープンに比べるとスチコンの方が速く、加熱開始 1.5 分後には、オープンでは 66°C であるのに対しスチコンでは 85°C まで上昇した。その後の 1 分間は、スチコンの場合には極めて緩やかに上昇

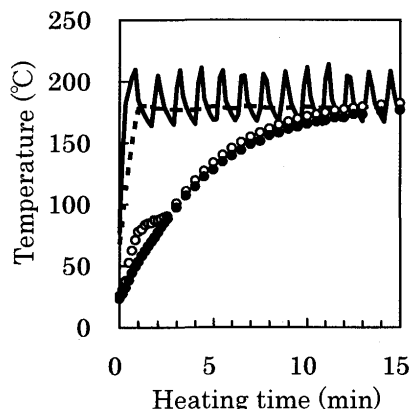


Fig. 1 Temperature profile of the gas inside the oven and the blocks painted black. ---, temperature inside the superheated steam oven ; —, temperature inside the steam-free convection oven ; ○, temperature of the block in a superheated steam oven ; ●, temperature of the block in a steam-free convection oven.

Table 1. Apparent heat transfer coefficients ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) of a superheated steam oven and a steam-free convection oven.

	Initial period ¹⁾	Stable period ²⁾
Superheated steam oven	93.2 ± 3.1^a	45.0 ± 0.1^b
Steam-free convection oven		43.9 ± 0.6^c

Means value $\pm$ S. D. ($n=3$). Values followed by the different letters are significantly different ($p < 0.05$).

¹⁾ Mean value for 30 s after 20 s from the beginning.

²⁾ Mean value for 7 min after 3 min from the beginning.

し、加熱開始 2.5 分後はスチコンとオーブンのいずれの場合にも 90℃ に達した。その後の温度上昇は、オーブンの方が僅かに遅くなった。加熱初期の過熱水蒸気の有無による金属ブロックの温度上昇の違いは、山田らの結果¹⁵⁾と一致した。

Figure 1 で得られた温度計測値をもとに、みかけの熱伝達率を算出した結果を Table 1 に示す。オーブンの熱伝達率は $43.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ であり、加熱中ほぼ一定であった。それに対しスチコンの方は、加熱開始 20 秒後から 50 秒後までの 30 秒間が極めて高く、 $93.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ であり、オーブンのその約 2 倍であった。加熱開始 3 分後になるとスチコンでもほぼ一定した値になり、オーブンよりも若干高い $45.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ であった。加熱初期にスチコンの熱伝達率が高くなるのは、水蒸気の凝縮により生じる凝縮熱のためと考えられる。

また、本実験では異なる 2 機種 of オーブンを使用したが、加熱開始 3 分以降になると、2 機種のみかけの熱伝達率がほぼ同程度であったため、焼成品の調理特性の違いは、主として蒸気の有無の違いを反映すると考えられる。

Table 2. The physical characteristics of the cakes.

Characteristic		Superheated steam oven	Steam-free convection oven
Color (—)	L*	47.6 ± 3.0^a	63.6 ± 3.3^b
	a*	14.6 ± 2.1^a	10.0 ± 0.7^b
	b*	27.9 ± 2.3^a	30.4 ± 1.8^b
Moisture loss (% w/w)		9.8 ± 1.3^a	10.3 ± 0.9^a
Expand ratio (—)	Center	2.7 ± 0.3^a	2.4 ± 0.2^b
	Side	1.1 ± 0.2^a	1.2 ± 0.1^b

Means value $\pm$ S. D. ($n=3$). Values followed by the same letters in the same row are not significantly different ($p < 0.05$).

2. 一定時間で焙焼したケーキの調理品質の比較

過熱水蒸気の有無により、加熱初期の熱伝達率が著しく異なった。このような条件でケーキを焙焼すると、調理品質が異なることが推測される。そこで、まず始めに一般的な焙焼時間、すなわちスチコンおよびオーブンをを用いて 25 分間ケーキを焙焼して調理品質を比較した。

2.1 ケーキの色彩、質量、形状

庫内温度 180℃ で 25 分間焙焼したケーキの色彩、質量減少率および形状の測定結果を Table 2 に示す。焼き色の濃さを示す L* 値は、オーブンで焙焼したケーキに比べてスチコンで焙焼したその方が低く、過熱水蒸気で焙焼するとケーキの焼き色が濃くなることが示された。a* 値および b* 値も焙焼機器により異なり、過熱水蒸気の有無により色調も異なった。ケーキ質量減少率は、いずれの機器で焙焼したケーキも約 10% (w/w) であり、両者に違いは認められなかった。ケーキの形状は、オーブンで焙焼した場合には上部がほぼ平らであるのに対し、スチコンで焙焼した場合には、中央部に亀裂が入って膨化し、山型となった。

ケーキの焼き色は、伝熱量および焙焼最終の表面温度の影響を受ける。Table 1 で示したように、加熱初期のケーキへの伝熱量は、オーブンよりもスチコンの方が大きい。したがって、スチコンで焙焼したケーキは、ケーキ表層の温度上昇が速いことが考えられ、それにより焼き色が濃くなることが推察される。また、ケーキは加熱されると生地内の空気の熱膨張および水分の蒸気圧の増大のために膨化する¹⁶⁾。スチコンで焙焼すると表層が早く加熱されて硬くなるため、生地が膨化する際に中央部が割れて山型になると考えられる。

2.2 ケーキの破断特性の測定

ケーキの表層部および内部を試料とし、破断試験を行った。破断荷重およびもろさ荷重の測定結果を Figure 2 に示す。ケーキ表層部は、破断荷重およびもろさ荷重のいずれも、オーブン焙焼の場合に比べると、スチコン焙焼の方が有意に大きかった。特にもろさ荷重は著しく異なり、ス

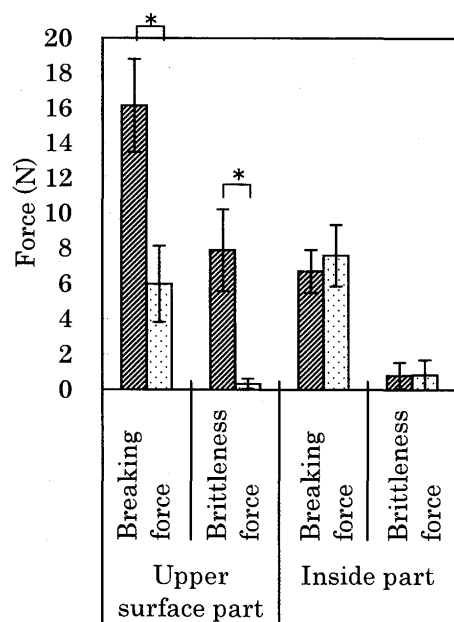


Fig. 2 The breaking properties of the cakes. ▨ superheated steam oven; □ steam-free convection oven. Values are mean $\pm$ standard deviation of ten samples. * $p < 0.01$.

Table 3. Sensory test of acceptability, color and food texture of the cakes.

Sample	Property	Superheated steam oven	Steam-free convection oven
Upper surface part	Over-all acceptability	4.5 ^a	11.5 ^a
	Darkness	16.0 ^a	0.0 ^b
	Brittleness	9.0 ^a	7.0 ^a
	Hardness	16.0 ^a	0.0 ^b
Inside part	Over-all acceptability	6.5 ^a	9.5 ^a
	Darkness	5.5 ^a	10.5 ^a
	Moistness	9.0 ^a	7.0 ^a
	Softness	8.0 ^a	8.0 ^a

Values followed by the same letters in the same row are not significantly different ($p < 0.05$).

チコンを用いた場合には7.9 Nであるのに対し、オーブンを用いた場合は0.3 Nであった。一方でケーキ内部は、破断荷重およびもろさ荷重のいずれも、スチコンを用いた場合とオーブンをを用いた場合との間に違いは認められなかった。すなわち、過熱水蒸気を用いて焙焼したケーキは、内部の破断特性には影響は認められないものの、表層部は硬くて脆いケーキになった。

2.3 ケーキの焼き色と食感の官能評価

過熱水蒸気加熱により、外観および力学物性が異なるケーキが得られた。そこで、次にスチコンおよびオーブンで焙焼したケーキの嗜好性、焼き色および食感について官能評価した。結果をTable 3に示す。表層部は、オーブンよりスチコンで焙焼したケーキの方が、有意に色が濃く、硬く、機器測定による結果と一致した。一方、内部では、い

ずれの項目においても、焙焼機器の違いによる有意な差は認められず、これも機器測定の結果と一致した。

3. 最短時間で焙焼したケーキの調理品質の比較

これまでの結果から、スチコンを用いて焙焼したケーキは、オーブンと同時間焙焼したそれに比べて形状が山型になり、色が濃く、表層部は硬くて脆くなることが分かった。これは焙焼初期の熱伝達率が高いためと考えられ、同時間の焙焼では過加熱であると言える。そこで、最短時間、すなわちケーキ中心部の最も温度上昇が遅い部位が90℃になった時点で焙焼を終了し、スチコンおよびオーブンで焙焼したケーキの調理品質を比較した。

3.1 最短時間で焙焼したケーキの高さおよび温度分布の変化

最短時間を決定するためには、焙焼過程における生地内の温度分布を調べる必要がある。そこで、生地の底から表層までの中央部の温度分布を経時的に測定した。また、焙焼に伴う生地の高さの変化を焙焼機器の庫外から目視で読み取り、両者のデータを照らし合わせて、生地上面の表層温度を読み取った。代表的な結果をFigure 3に示す。グラフの横軸は、測定点が生地中央部の底からどの程度高い位置にあるかを示し、その測定点における温度をグラフの縦軸に示している。

焙焼1分後の生地内の最も低い温度は、スチコン焙焼では29℃、オーブン焙焼では28℃であり、両者にほとんど違いは認められなかった。しかし、1分後の生地内の最も高い温度は異なり、スチコンの場合は99℃であるのに対し、オーブンの場合は78℃であり、いずれも生地上面の表層においてであった。生地の底の温度も焙焼機器により異なり、スチコンの場合は50℃であるのに対しオーブンの場合は36℃であり、上面表層と同様にスチコンを用いた方が高かった。このように、スチコンを用いた方がケーキ周辺部の温度上昇が速く、凝縮熱による熱伝達がなされていることが確認された。

スチコンを用いた焙焼では、11分後に中央の底から3.3～4.4 cmの位置が90℃に達し、この時点で焙焼が終了していることが示された。一方、オーブンの場合には、焙焼11分後の生地内最低温度は71℃であり、それは底から3.6 cmの位置であった。オーブンをを用いた場合の生地内最低温度が90℃に達するのは、焙焼23分後であり、底から4.2～4.4 cmの点であった。これらの結果より、焙焼最短時間は、スチコンは11分間、オーブンは23分間であった。

最短時間で生地内の最低温度の位置は、生地の高さを100%とした時、スチコン焙焼では下から約50%、オーブン焙焼では約70%の場所であった。オーブン焙焼では、中央よりやや上部で温度上昇が最も遅く、これは渡辺らの報告¹⁷⁾と一致していた。スチコン焙焼の場合には、後述する通り、焙焼開始6,7分後に表層部に亀裂が生じるた

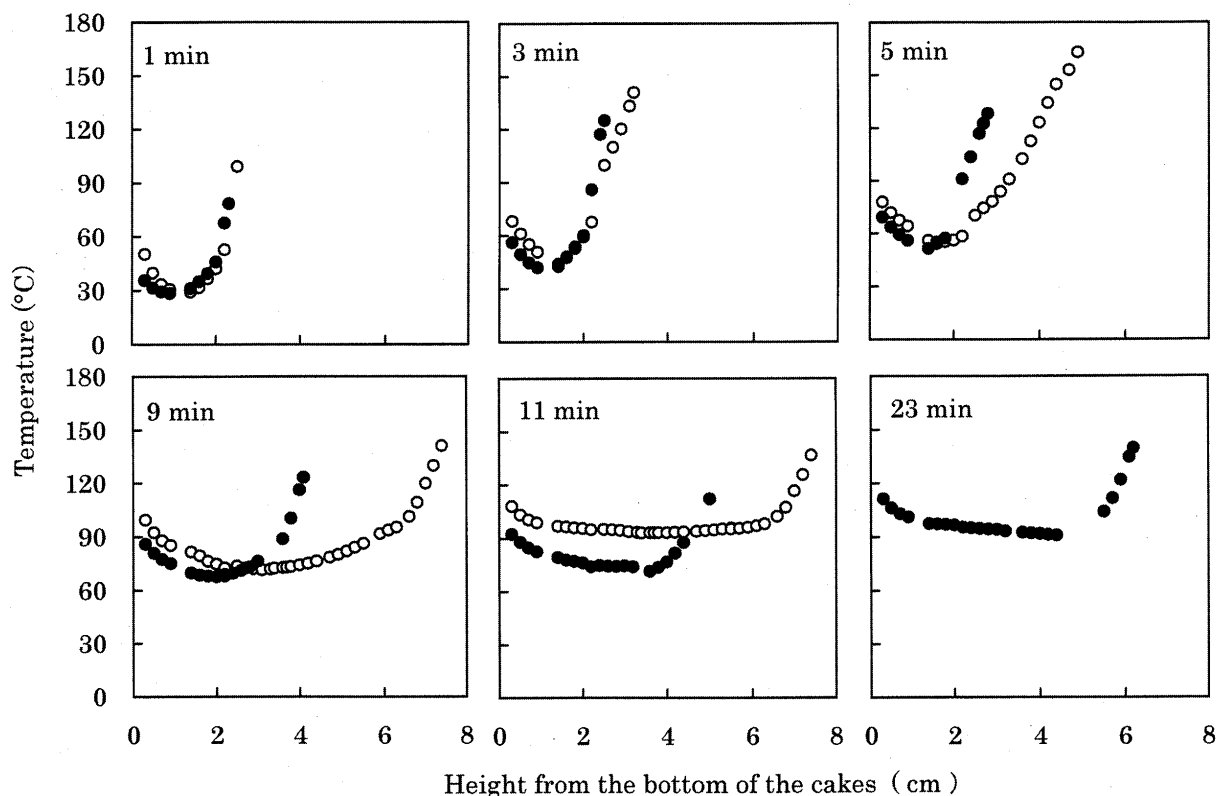


Fig. 3 Changes in the height and the temperature distribution of the cakes during baking. ○, superheated steam oven ; ●, steam-free convection oven.

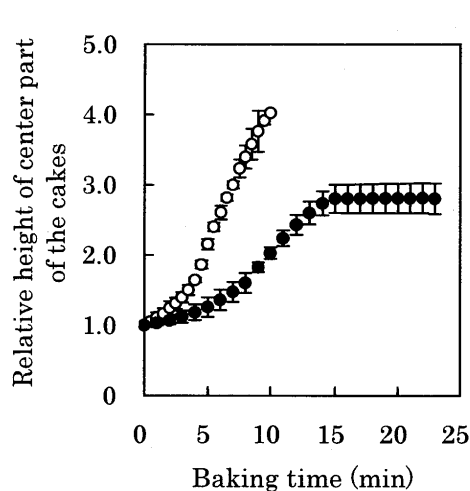


Fig. 4 Changes in the relative height of the cakes. ○, superheated steam oven ; ●, steam-free convection oven. Values are mean $\pm$ standard deviation of three samples.

め、その部分から内部へ伝熱し易いと考えられる。

Figure 3 に示したデータをもとに、焙焼過程に伴う生地膨化の割合、および上面表層温度をグラフの縦軸に構成し直したものを、それぞれ Figure 4 および Figure 5 に示す。

生地中央部の膨化割合は、焙焼開始直後から、オープン焙焼に比べるとスチコン焙焼の方がケーキ生地の膨化率が高く、特に焙焼3分後付近からその差が著しく大きくなっ

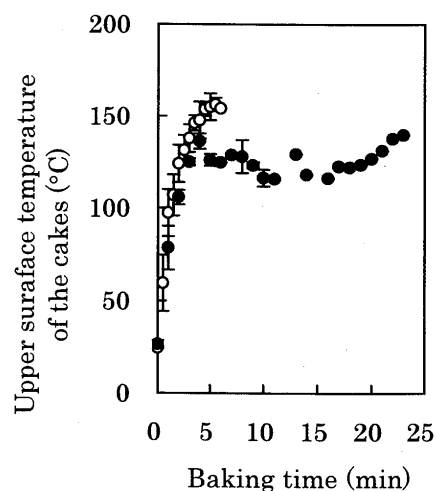


Fig. 5 Changes in the upper surface temperature of the cakes. ○, superheated steam oven ; ●, steam-free convection oven. Values are mean $\pm$ standard deviation of three samples.

た (Figure 4)。スチコン焙焼の場合は、焙焼6.5分後からは生地表層に亀裂が生じたため、中央部の高さではなく、最も高い場所の膨化率を示しており、焙焼終了まで膨化し続けた。一方、オープン焙焼では、焙焼開始後の約7分間は緩やかに膨化割合が増加し、その後、焙焼15分後までやや高い増加傾向で膨化し、それ以降は焙焼終了時までほぼ一定の高さを保った。

先にも述べたように、スチコン焙焼のケーキは6.5分後

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—

から中央部に亀裂が生じ、表層温度の測定が不可能であったため、焙焼6分後までの生地中央部の上面表層温度をFigure 5に示す。スチコン焙焼の場合は、オープン焙焼よりも表層温度が常に高く、約155℃に達するまで上昇し続けた。一方、オープン焙焼の場合には、120℃付近まで上昇し、その後ほぼ一定となった。

過熱水蒸気加熱の場合、被加熱物の表面が100℃に達するまでは凝縮伝熱、強制対流伝熱および放射伝熱により熱量が与えられ、その後は強制対流伝熱および放射伝熱により表面の水分が蒸発し、被加熱物の温度がさらに上昇すると考えられている^{11), 18), 20)}。鈴木¹⁹⁾も、過熱水蒸気処理では、対流伝熱に加えて放射伝熱が伝熱速度を高めると報告している。一方で山田¹⁵⁾は、スチコン加熱では放射伝熱の影響はほとんど見られなかったと報告している。本実験の温度範囲では、過熱水蒸気の放射伝熱の影響をほとんど受けないと考えられるが、対流伝熱および放射伝熱が食品に与える影響については、今後の検討が必要である。

3.2 最短時間で焙焼したケーキの色彩、質量、形状および破断特性の比較

ケーキの焙焼時間を最短にすることにより、ケーキの調理特性がどのように異なるのかを調べた。焼き色、質量減少率、形状、破断強度試験の結果をTable 4およびFigure 6に、嗜好性、焼き色および食感についての官能検査の結果をTable 5に示す

スチコンおよびオープンで焙焼したケーキのL*値は同程度であった(Table 4)。焙焼終了時の上面表層温度は、スチコン焙焼のケーキの方がオープン焙焼のそれよりも高い(Figure 5)にも関わらず、焼き色を示すL*値が同じであったのは、焙焼時間による違いと考えられる。オープンの焙焼時間は、スチコンの場合のおよそ2倍であるため、ケーキへの伝熱が継続され、その結果、最終的な焼き色が同程度になったと考えられる。色調を示すa*値およびb*値には焙焼機器間で有意な差が認められた。この理由とし

て、焙焼機器内の気体の組成の差や到達温度の差が影響していると考えられる。質量減少率は、オープン焙焼の場合には9.5%であるのに対し、スチコン焙焼の場合は2.7%であり、過熱水蒸気加熱により、水分保持率が高まること示された。水が被加熱物である場合、過熱水蒸気加熱では凝縮過程において質量が一度増加し、その後減少することは知られており²⁰⁾、被加熱物が食品の場合も同様の傾向が認められている^{11), 15)}。すなわち、スチコンで焙焼すると、オープン焙焼に比べて生地質量が減少し始める時期が遅れる上、本実験条件では焙焼時間がオープン焙焼の場合の約半分であるため、ケーキの水分保持の向上につながったこ

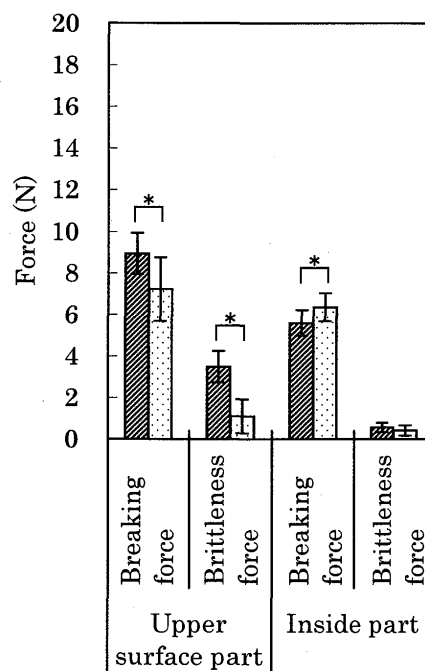


Fig. 6 The breaking properties of the cakes that baked in the shortest time. ▨, superheated steam oven; □, steam-free convection oven. Values are mean $\pm$ standard deviation of three samples. * $p < 0.01$.

Table 4. The physical characteristics of the cakes baked in the shortest time.

Characteristic		Superheated steam oven	Steam-free convection oven
Baking time (min)		11	23
Color (-)	L*	65.7 $\pm$ 7.1 ^a	65.3 $\pm$ 1.4 ^a
	a*	12.3 $\pm$ 3.8 ^a	9.5 $\pm$ 0.5 ^b
	b*	38.2 $\pm$ 2.7 ^a	28.8 $\pm$ 3.8 ^b
Moisture loss (% w/w)		2.7 $\pm$ 0.9 ^a	9.5 $\pm$ 0.7 ^b
Expand ratio (-)	Center	1.9 $\pm$ 0.3 ^a	1.7 $\pm$ 0.0 ^b
	Side	1.6 $\pm$ 0.1 ^a	1.4 $\pm$ 0.1 ^b

Means value $\pm$ S. D. (n=3). Values followed by the same letters in the same row are not significantly different ($p < 0.05$).

Table 5. Sensory test of acceptability, color and food texture of the cakes baked in the shortest time.

Sample	Property	Superheated steam oven	Steam-free convection oven
Baking time (min)		11	23
Upper surface part	Over-all acceptability	15.0 ^a	9.0 ^a
	Darkness	8.0 ^a	16.0 ^a
	Brittleness	18.0 ^a	6.0 ^b
	Hardness	12.5 ^a	11.5 ^a
Inside part	Over-all acceptability	16.0 ^a	8.0 ^a
	Darkness	11.5 ^a	12.5 ^a
	Moistness	11.0 ^a	13.0 ^a
	Softness	13.0 ^a	11.0 ^a

Values followed by the same letters in the same row are not significantly different ($p < 0.05$).

とが考えられる。ケーキの形状は、焙焼時間を短縮してもスチコンの場合にはやはり山型になり、初期の伝熱量が高いことが考えられた。

ケーキの破断特性を Figure 6 に示す。スチコンで焙焼すると、ケーキ表層部の破断荷重およびもろさ荷重は、それぞれ 8.9 N および 3.5 N であり、25 分間焙焼した場合 (Figure 2) の約半分の値であった。しかし、破断荷重、もろさ荷重のいずれも、オープンで最短時間焙焼したケーキのそれらより、有意に大きかった。これにはスチコンで焙焼したケーキの表層温度が高いことが影響していると考えられる。一方で、ケーキ内部の破断荷重は、オープン焙焼の場合が 6.4 N であるのに対し、スチコン焙焼の場合は 5.6 N であり、有意に小さかった。これは先に示した水分減少率 (Table 4) と関係していると考えられ、スチコン焙焼では、最短時間で焙焼することにより生地内の水分が保持され、軟らかくなることが考えられた。

最短時間で焙焼したケーキの官能評価では、Table 5 に示すように、表層部の色の差異は識別されず、 L^* 値の測定結果と一致した。また、オープン焙焼の場合に比べて、スチコンで焙焼したケーキの方がもろいと評価されたが、硬さに違いは認められなかった。ケーキ内部に関しては、いずれの評価項目においても、ケーキ間に有意な差が認められなかった。

上記の結果より、ケーキ内の温度が 90℃ になった時点で焙焼終了とすると、スチコンの場合では 11 分間、オープンの場合では 23 分間の焙焼で十分であり、スチコンはオープンの約半分の時間でケーキ生地を焙焼することが可能であった。この最短時間でケーキを焙焼すると、スチコン焙焼で形状が山型になるが、焼き色はオープン焙焼と同程度になり、水分保持率もスチコン焙焼の方が高まった。しかし、焙焼初期からケーキ表層の温度上昇がスチコン焙焼の方が高いため、表層部はオープン焙焼に比べると硬くてもろかった。大量にケーキを焙焼する際にスチコンを利用すると、焙焼時間の短縮になることは大きな利点であるが、オープン焙焼との初期の伝熱量の違いが、ケーキの形状および力学物性に与える影響が大きいことが示された。表層部が平坦なスポンジケーキをスチコンで焙焼するには、蒸気投入時期などを工夫する必要がある。

以上の結果から、乾燥空気を媒体としたオープン焼きと比べると、過熱水蒸気を利用した焼き加熱では、表層近傍の状態等、調理品の特性が異なることが認められた。スチコン焙焼では初期の伝熱量が多いことも確認され、このことが調理品の仕上がりに大きな影響を与えられ、また、過熱水蒸気加熱による表層温度および内部温度の上昇は、加熱時間の短縮にも寄与した。

要 約

1. 銅製ブロックを用いてスチコンとオープンの加熱能の

測定を行った。スチコン加熱の場合、加熱初期の金属ブロックの温度上昇は、オープン加熱に比べると著しく大きく、算出したみかけの熱伝達率は、オープン加熱の約 2 倍の値であった。

2. スチコンおよびオープンを用いて 25 分間焙焼したケーキの調理品質を比較した。形状は、オープンで焙焼したケーキは平らであるのに対し、スチコンで焙焼した場合には中央部に亀裂が入って膨らみ、山型となった。また、スチコンで焙焼したケーキの方が焼き色は濃く、ケーキ表層部の破断荷重およびもろさ荷重は大きかった。官能検査においても、焼き色および硬さの違いは識別された。
3. 最短時間、すなわちケーキ内の最低温度が 90℃ に達した時点で焙焼を終えたケーキの調理品質を比較した。焙焼時間はスチコンを用いると 11 分間、オープンを用いると 23 分間であり、両者のケーキを比較すると、 L^* 値に違いは認められないものの、色調および形状は異なった。また、オープンで焙焼したケーキに比べると、スチコンで焙焼したその方が水分保持率は高くなり、ケーキ内部の破断荷重は有意に小さかったが、ケーキ表層部の破断荷重は大きかった。
4. 焙焼過程における生地内の温度分布を調べた。スチコンで焙焼したケーキは、オープンで焙焼したケーキに比べると焙焼初期からケーキ表層部での温度上昇が速く、凝縮熱による伝熱の影響が認められた。このような焙焼初期からの高い伝熱量が、形状や力学物性等の調理品の品質に大きな影響を与えられ、焼き時間の短縮にも寄与することが考えられた。

本実験を遂行するにあたり、協力して頂いた聖徳大学生活文化学科の大木泉、小林加奈、磯部直子の諸氏に対し、感謝の意を表します。

文 献

- 1) Rosana, G. M. (2001), Impingement drying of food using hot air and superheated steam, *J. Food Eng.*, **49**, 291-295
- 2) Somkiat, P., Somchart, S., Somboon, W., Donrudee, J. (2002), Desorption isotherms and drying characteristics of shrimp in superheated steam and hot air, *Drying Technology*, **20**, 669-684
- 3) 西岡不二男, 浅岡大介, 山崎雅夫 (2004), 過熱水蒸気を用いたホタテ白干し製品の高品質化, *食科工誌*, **51**, 167-171
- 4) 伊藤崇 (2003), 食品の乾燥技術 過熱水蒸気の食品加工への応用 殺菌を中心として, *粉体と工業*, **35**, 34-40
- 5) 藤田芳和 (2005), 過熱水蒸気を用いた米の加工とその品質に関する研究, *食品工業*, **48**(14), 49-55
- 6) 阿部茂, 宮下和夫 (2006), 過熱水蒸気および高温空気による水産乾製品の表面殺菌, *食科工誌*, **53**, 373-379
- 7) 渋谷祥子 (2002), スチームコンベクションオープン, *調理科学*, **35**, 106-107

- 8) Philippe B., Patricia F. (1995), Vitamin C Destruction During the Cooking of a Potato Dish, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, **28**, 506-514
- 9) 酒井昇, 福岡美香 (2005), 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
- 10) 門馬哲也, 岸本卓士, 田中源基, 高見星司 (2006), 過熱水蒸気による健康調理技術の開発, *調理科誌*, **39**, 163-166
- 11) Patricia, F., Philippe, B (1997), Reheating of a Chilled Dish of Mashed Potatoes in a Superheated Steam Oven. *J. Food Eng.*, **33**, 57-80
- 12) Murphy, R. Y., Johnson, E. R., Duncan, L. K., Clausen, E. C., Davis, M. D., March J. A. (2001), Heat Transfer Properties, Moisture Loss, Product Yield, and Soluble Proteins in Chicken Breast Patties During Air Convection Cooking, *Poultry Science*, **80**, 508-514
- 13) 越智知子 (1989), スポンジケーキの物性, *調理科学*, **22**, 84-93
- 14) 洪川祥子 (1998), 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, *家政誌*, **49**, 949-958
- 15) 山田晶子, 杉山智美, 洪川祥子 (2002), スチームコンベクションオーブンの加熱特性, *家政誌*, **53**, 331-337
- 16) 水越正彦 (1992), ケーキ焼成のメカニズム, *調理科学*, **25**, 153-158
- 17) 渡辺豊子, 北尾敦子, 大喜多祥子, 山田光江 (1994), スポンジ・パウンドの焼成過程における生地温度履歴と製品への影響 (第2報) 生地の配合・性状と温度履歴, *調理科学*, **27**, 39-44
- 18) 伊與田浩志, 野邑奉弘 (2005), 過熱水蒸気の基礎, *食品工業*, **48**(14), 20-28
- 19) 鈴木寛一 (2005), 過熱水蒸気を用いる食品加工とその処理特性, *食品工業*, **48**(14), 29-33
- 20) 伊與田浩志, 西村伸也, 野邑奉弘 (1997), 過熱水蒸気乾燥における凝縮から蒸発への反転過程, *日本機械学会論文集 (B 編)*, **63**, 2764-2770

(平成 19 年 2 月 28 日受付, 平成 19 年 10 月 17 日受理)

和文抄録

過熱水蒸気で焼成した製品の調理品質を明らかにするために, スポンジケーキをスチームコンベクションオーブンおよび家庭用のオーブンで焙焼した。過熱水蒸気は, 焙焼初期の熱伝達率を著しく増加させた。高温空気で焙焼したケーキに比べ, 過熱水蒸気で焙焼したそれは亀裂が入って膨らみ, 表層の色は濃くなり, 硬さが増した。また, ケーキ表層部の温度上昇速度を速め, 焙焼時間の短縮に寄与した。最短時間で焙焼しても, 過熱水蒸気で焙焼したケーキの表層部にはやはり亀裂が生じ, 硬くなった。過熱水蒸気による焙焼初期の高い伝熱量が, 調理品の品質に影響を与えていると考えられた。