

オーブン調理に適した陶器形状の開発

—製菓・製パンにおける陶器製品の有効性の検討—

富田 亮*

Development of Pottery Shapes Suitable for Oven Cooking - Study of Effectiveness of Pottery Ware in Confectionery Production and Bread Making -

Ryo TOMITA

Ceramics have low thermal conductivity compared to metals, which offers an advantage of being heated slowly. Furthermore, having large heat capacity, ceramics exhibit high performance in keeping the contents warm. These properties are considered to be effective in cooking. In recent years, the use of oven cooking at home has increased due to the sophistication of home ovens. This study, focusing on confectionery production and bread making, confirmed the effectiveness of ceramics in oven cooking. In particular, using ceramic molds and metal molds, we made pound cakes and breads, and compared the difference between the two kinds of molds. As a result, the use of ceramic molds in the production of pound cakes and breads was confirmed to be effective in reducing uneven baking and in narrowing air bubble size distribution. The knowledge obtained will be utilized in the development of ceramic product designs.

Keywords: Oven Cooking, Confectionery, Bread Making, Pound Cake, Bread, Ceramic design, Prototype Development.

1. はじめに

近年は、家庭用オーブンレンジの高機能化により利便性が向上し、家庭での活用も増加している。陶器は、金属と比較して熱伝導性が小さく、ゆっくり加熱される特性がある。さらに、熱容量が大きいため、保温性が高い等、加熱調理において有効であることが確認されている。陶器の特性はオーブン調理においても有効に機能すると考えられる。例えば、スポンジケーキ生地の焼成工程では、生地の変化に応じて焼成段階を初期、中期、後期に分けることができるが、各段階を通して生地の内部温度差を軽減させることで、生焼けや焼きムラのリスクの軽減、生地内部の気泡サイズや水分量の均一化等が期待できる。これにより、品質の高いスポンジケーキ生地を得ることができる。

本研究では、製菓・製パンに焦点を当て、陶器製品のオーブン調理における有効性を明らかにすることで、他素材の既存製品・新規参入製品との差別化を図り、陶磁器製品の市場力向上とデザイン開発に繋げることを目指す。具体的には、陶器型と金属型を用いてパウンドケーキと食パン生地を焼成し、その差について比較検討を行ったので、その内容について報告する。

2. 実験方法

2.1 アイテムの選定

杉山久仁子の研究²⁾より、各種タンパク質および炭水化物の熱伝導率測定値が報告されている(表1)。焼き菓子やパンの主原料である小麦グルテン(小麦粉に含まれている「グルテニン」と「グリアジン」という2種類のたんぱく質)や脂質は、その他のゼラチンや魚・畜肉・大豆等のた

* 窯業研究室

表1 各種タンパク質および炭水化物の熱伝導率測定値²⁾

成分	熱伝導率 [W/(m・K)]
	未凍結
水	0.568
ゼラチン	0.380
魚・畜肉タンパク質	0.342
大豆タンパク質	0.300
卵アルブミン	0.238
小麦グルテン	0.219
ミルクカゼイン	0.200
パレイショデンプン	0.252
寒天	0.259
脂質	0.14~0.19

出典：日本調理科学会誌 46(4) p.299 の表 2 より

んぱく質に比べ、熱伝導率が低く、特に焼き菓子類では熱伝導率の高い水の配合割合が低いことが確認されている。そのため、製菓・製パンにおいて、陶器型を用いることで焼成時の熱を緩やかに伝えることができれば、生焼けや、焼きムラを軽減させ、品質向上に繋がると考えられる。陶器型の有効性を検証するにあたり、安定した品質の試料を得るため、製菓材料や製造に関してパティシエへの聞き取り調査を実施した。その結果、パウンドケーキ・パンケーキ・マフィン・食パンでは、一定の手順を踏むことで、作業者の技量が結果を大きく左右しないとの知見を得た。さらに、パウンドケーキ、パンケーキ、マフィンは焼成温度や焼成時間、原料が類似していることから、パウンドケーキと食パンをアイテムに選定し、検証を行った。

2.2 試料製作

2.2.1 パウンドケーキの製作

パウンドケーキの製作方法は、製菓用品を取り扱う株式会社 cotta が運営している WEB サイト「cotta column (<https://www.cotta.jp/special/article/>)」

(以下、「cotta column」と記す)で紹介しているレシピに加えて、佐藤幸子らの研究³⁾を参考にした。すなわち、試料調整は油脂と砂糖を混ぜ合わせた後に、卵、薄力粉を加える「シュガーバター法」を採用し、材料配合割合はバター：グラニュー糖：全卵：小麦粉を 1:1:1:1 とした。型は、金属型が株式会社タイガークラウン製のミニパウンド型 (内寸：92×42.5×H39 mm, 厚み：0.4 mm, 材質：スチール, 溶融アルミメッキ加工) を使用し、陶器型は金属型と内寸がほぼ同様の型 (内寸：95×43.6×H40 mm, 淵厚：5 mm, 材質：耐熱陶器)

を設計した。各型に型紙を入れ、80 g ずつ調整した生地を入れた。焼成には金属型用の加熱プログラムを採用した。すなわち、オーブン用金属トレイ (以下、「金属トレイ」と記す) に乗せ、180 °C で予熱した家庭用電気オーブン (東芝 ER-WD3000) を用いて、同温度で、25 分～30 分間焼成した。陶器の保温性の影響を避けるため、陶器型、金属型のいずれにおいても焼成後すぐに離型し、自然冷却させた。

2.2.2 食パンの製作

食パンの製作方法は、「cotta column」で紹介しているレシピに加えて、井上好文の研究⁴⁾を参考とした。すなわち、材料配合は、強力粉 250 g, 砂糖 20 g, 塩 5 g, ドライイースト 2.5 g, 水 145 g, 牛乳 30 g, バター 20 g の合計 472.5 g で、ミキシング後の量を 460 g とした。試料調整は、初めにバター以外の材料をミキサーに入れ 10～12 分間ミキシングした後に、バターを加えてさらに 8～10 分間ミキシングを行う。28～30 °C で 50～60 分間一次発酵させ、生地を一個約 60 g に分割して楕円状に丸め、15～20 分間のベンチタイムを置く。その後、ガス抜き (パン生地を伸ばす、叩く、折りたたむ等により、発酵によって発生した余分なガスを抜く、または均等に分散させること) と、形状調整を行い、バターを塗布した各型に入れ、36～38 °C で 50～60 分間最終発酵させる。焼成には金属型用の加熱プログラムを採用した。すなわち、発酵後、表面に霧吹きで水を吹きかけ、金属トレイに乗せ、家庭用電気オーブンを用いて、200～210 °C で約 15 分～20 分間焼成した。陶器の保温性の影響を避けるため、陶器型、金属型のいずれにおいても焼成後すぐに離型し、自然冷却させた。

2.3 陶器型の試作

家庭用電気オーブンの熱エネルギーは放射熱 (輻射熱), 対流熱, 伝導熱の 3 要素の複合によって温度の高い方から低い方に向かって移動する⁵⁻⁷⁾。図 1 に家庭用電気オーブン内における焼成中の熱移動のイメージを示す。庫内の電気ヒーターによる放射熱、高温空気をファンによって循環させることで発生する対流熱、放射熱と対流熱を受けた金属トレイからの伝導熱が作用している。しかし、陶磁器製品の裏には高台という基台があり、これにより底部分に熱が対流せず温度が上がり

くい箇所が発生してしまい、焼き上がりに影響を与えることが確認されている。そのため、一般的な高台ではなく、対流熱を妨げない、オープン調理に適した高台形状を設計する必要がある。本研究では「高台なし」、「高台あり」、「切れ込みのある高台」を考案し、3次元 CAD (Rhino) にて設計を行った (図 2)。

製作した試作品を図 3 に示す。試作品の成形方法は、直方体を基礎とした形状と厚みが不均一であることを考慮して、試作用石膏型への圧力鋳込み成形を採用した。この石膏型の原型は、樹脂溶解堆積方式 3D プリンターである、XYZ プリンティング製ダヴィンチ Jr. ProX + (フィラメント: PLA 樹脂, 積層ピッチ: 0.05 mm) により造形した出力品とした。使用する泥漿の調合は、耐熱陶土 73.4%, 水 26%, 珪酸ソーダ 0.6% であり、鋳込み時間を約 30 分とした。素焼焼成は 750 °C で 7 時間行った。その後、施釉を行い、本焼成は 1180 °C で 12 時間の酸化焼成を実施した⁸⁾。

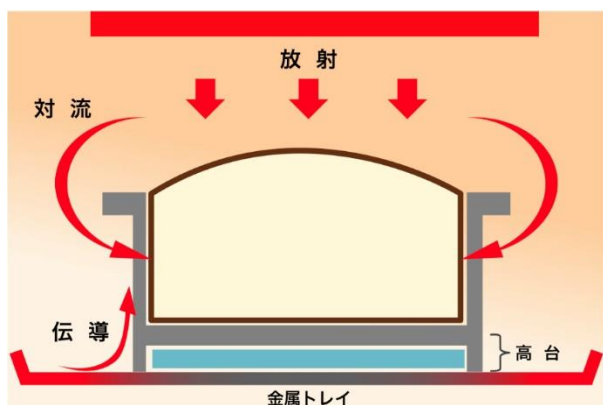


図 1 家庭用電気オーブンの伝熱

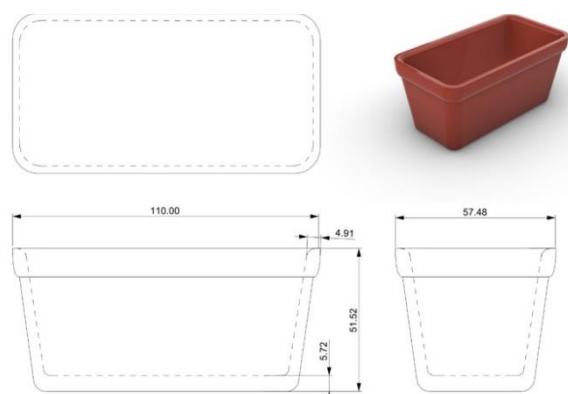


図 2 デザイン図面・レンダリング
(陶器型「高台なし」)



図 3 陶器型試作品

3. 結果と考察

3.1 パウンドケーキの実験結果と考察

パウンドケーキ試料 (金属型 7 個, 陶器型「高台なし」5 個, 「高台あり」5 個, 「切れ込みのある高台」4 個) に対して焼き色の評価を行った。金属型においては、陶器型で製作した試料よりも底面の焼成が進行していた (図 4)。これは金属トレイからの伝導熱の影響を強く受けたものと推測される。さらに、試料を切断し底面の焼き目の幅の観察を行った (図 5)。具体的な解析方法は以下の通りである。

[ステップ 1] 断面画像に対し、「画像色解析-color-sample.com」が提供している画像色解析を用いて、試料中心部の底面の焼き目付近を、ピクセル毎に色相, 彩度の数値を測定する。表面から数値が変化する境目を目視で確認し、その長さを「焼き目の幅 (mm)」と定義する。

[ステップ 2] 画像解析ソフトウェア「ImageJ」を用いて、画像中心部の「焼き目の幅」を測定する。

[ステップ 3] 型の種類毎にステップ 2 で測定した「焼き目の幅」の標本データについて、標本平均を計算する。さらに、4 種類の型で定められる全ての対 (対は $6=4C_2$ ある) のそれぞれの対において、母平均の差が有意であると認められるか否かについて、統計的検定 Tukey-Kramer 法による多重比較を行う。

図 6 に底面の焼き目の幅の統計的検定の結果を示す。金属型で製作した焼き目の幅の標本平均は 2.88 mm であったが、図 6 に示すように、金属型とあらゆる陶器型の間には有意水準 1% で有意差が認められた。これに対して、陶器型間には有意差は認められなかったことから、陶器型全体で標本平均を求め

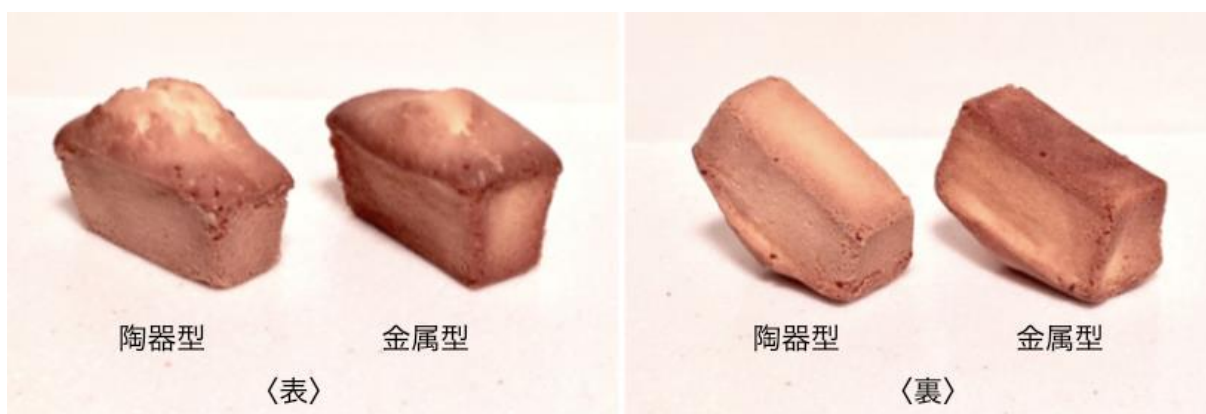


図4 パウンドケーキ焼成品

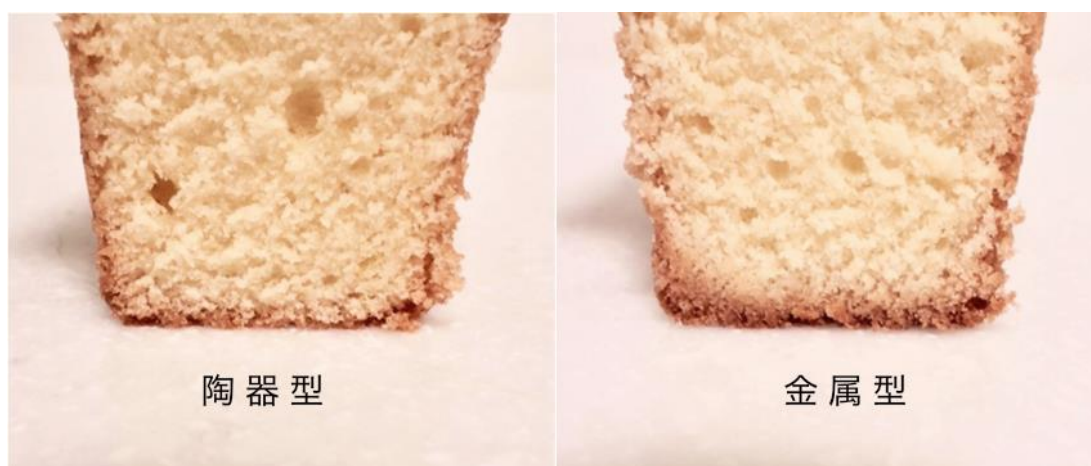


図5 パウンドケーキ焼成品断面

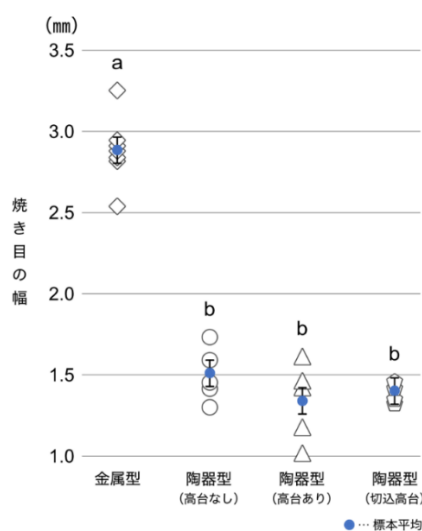


図6 パウンドケーキ焼き目の幅 測定結果
エラーバーは標準誤差を示す。
異なる英文字が付された母平均の間には1%水準の有意差があることを示す(Tukey-Kramer法)

たところ、1.42 mm であり、陶器型と金属型で製作した試料を比較すると約2倍 ($2.88/1.42 = 2.03 \approx 2$) の厚み差があり、陶器型を用いることで底面焼成の進行を抑制し、焼き目の幅をより薄くさせることに成功した。

3.2 食パンの実験結果と考察

食パン試料(金属型5個, 陶器型「高台なし」4個, 「高台あり」3個, 「切れ込みのある高台」3個)に対して焼き色の評価を行った。パウンドケーキ同様に、金属型においては、陶器型を用いたものよりも底面の焼成が進行していた(図7)。これは金属トレイからの伝導熱の影響を強く受けたものと推測される。さらに、試料を切断し断面の観察を行った。具体的な解析方法は以下の通りである。

[ステップ1] 画像解析ソフトウェア「ImageJ」を用いて、気泡の輪郭を抽出する。

[ステップ2] 目視により元画像と比較し、気泡

の形状が異なる場合は修正する。

[ステップ3] 同ソフトウェアを用いて気泡の面積を測定する。

[ステップ4] 気泡サイズを 5.0 mm² 以上, 3.5 mm² 以上, 2.0 mm² 以上, 2.0 mm² 未満に分類する。

[ステップ5] グラフィックソフトウェア「Affinity Designer」を用いて、気泡を面積別に色分けして、目視により散布状況を比較する。

図8に試料断面の気泡サイズの解析結果を示す。金属型と陶器型の違いによって、発生する気泡に変化があることが確認できた。金属型を用いた試料では、3.5 mm² 以上の気泡が多く発生しており、さらにこれらは中心から上段付近に集中していた。陶器型では、金属型と比較し

て、3.5 mm² 以上の気泡が少ないうえ、一定箇所に集中することなく分散されていることが確認できた。また、これらは全試料で同様の結果が得られた。なお、外側付近の気泡は焼成時の膨張により圧迫され、形状確認が困難なため、外側約 5.0 mm 付近は測定の対象外とした。

3.3 陶器型試作品の効果と考察

陶磁器製品は高台の影響により、底部分に熱が対流せず温度が上がりにくい箇所が発生するため、焼きムラが生じることを事前調査で確認していた。しかし、本研究ではパウンドケーキ、食パンのいずれにおいても、わずかな焼き色の差は出たものの、焼きムラと呼べるものは確認されなかった。また、パウンドケーキ試料の底面の焼き目の幅の測定結果でも、陶器型の高台形状別では、「高台なし」は平均1.51 mm, 「高台あり」は平均1.34 mm, 「切れ込みのある高台」は平均1.40 mmという結果となり、高台形状による大きな差は確認されなかった(図6)。これは本研究で用いた型のサイズが、基本のパウンド型(内寸: 170×80×H62 mm)よりも小さかったことが要因と推測される。小さい型においては、焼成結果が高台形状に大きく左右されないことが確認でき、製造環境やデザインコンセプト、利便性を優先した設計が可能なが分かった。



図7 食パン焼成品(裏)



(a) 陶器型(高台なし)および金属型による食パン焼成品断面画像 (b) 断面画像から抽出した気泡を彩色した気泡画像

図8 食パン焼成品断面と気泡サイズ解析結果

4. まとめ

本研究では、オープン調理における陶器の有効性を明らかにするため、陶器型と金属型を用いてパウンドケーキと食パン生地を焼成し、その差を比較検討したところ、次の結果を得ることができた。

- (1) パウンドケーキおよび食パンの製作において、陶器型を用いることで、全体的に均一な焼き色で焼き上げることができた。
- (2) 食パンの製作において、生地内の気泡サイズを均一化させることが確認できた。
- (3) 本研究で用いたサイズの型と設定条件の下では、高台は大きな影響を与えなかった。

小さい型においては、製造環境やデザインコンセプト、利便性を優先して高台形状を設計できることが分かった。また、大きい型を用いる場合、試料内部の温度差はより大きくなり、本研究の結果よりも大きな影響が表われる可能性がある。そのため、サイズの大きい陶器型を開発する場合は、対流熱を考慮した高台形状の設計、および焼成プログラムの検討を求められることが予想される。

製菓・製パンにおいて、軽量且つ靱性の高い金属型が主流である中で、陶器のオープン調理における利点を明らかにすることで、消費者の選択肢の一つとして提示することができたと考えられる。

得られた知見を元に、安全性や利便性、生地の離型性等を考慮して、形状デザインに反映させることが今後の課題である。

参考文献

- 1)水越正彦：“ケーキ焼成のメカニズム”. 調理科学 25(2) ,p153-158(1992)
- 2)杉山久仁子：“加熱調理と熱物性”. 日本調理科学会誌 46(4) ,p299-303(2013)
- 3)佐藤幸子ほか：“パウンドケーキの嗜好性”. 実践女子大学生生活科学部紀要 55, p9-16(2018)
- 4)井上好文：“「パンの美味しさを形づくる」製パン技術”. 色材協会誌 91(2), p46-51(2018)
- 5)渋川祥子：“「焼く」調理の熱科学”. 熱物性 5(4) ,p317-322(1991)
- 6)渋川祥子：“加熱調理研究の道程”. 日本調理科学会誌 50(2) ,p67-73(2017)
- 7)佐藤秀美：“おいしさをつくる「熱」の科学”. 株式会社柴田書店,p16-38(2000)
- 8)富田 亮ほか：“陶磁器製品『コーヒーセット』の試作開発”. 三重県工業研究所研究報告, 46, p68-70 (2022)