

■原 著■

全卵ホイップ泡状生地 of 電極式ケーキの特性とまとめ

青木 孝^{1,2}

Experimental Evaluation of the Electrical Characteristics of “Denki-Cake”

Takashi Aoki^{1,2}

¹ Department of Mathematics and Physics, Faculty of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

² To whom correspondence should be addressed. E-mail: u17aok@kanagawa-u.ac.jp

Abstract: We improved “Denki-Pan” (bread baked using electrode bread machine) as “Denki-Cake” baked by dough whipped with whole eggs. We compared Denki-Cake and Denki-Pan. Then, we summarized the cooking on electrode plates.

Keywords: Denki/Pan, enki/Rice, panko, titanium, gelatinization, starch, granule yeast

序論

神奈川県立理学部では、第2次世界大戦後、各家庭で自作され広く用いられた、電極式（極板型）パン焼き器の性能評価をさせる物理学学生実験を、学部開設の1990年からパン焼き器を自作して行ってきた。その事と2016年のきっかけから、まず、電極式パン焼き器で炊飯実験を行い、電極式の特性を明らかにした¹⁾。その後、電極式調理の発明から電極式炊飯器を経て電極式パン粉へ続く歴史を調べ、その再現実験を通して、可能な限り電極式の機器の特性を実証した^{2,3)}。現在も続いている電極式イースト発酵パンを加工した、電極式パン粉に使われる、安全面から全国パン粉工業協同組合連合会が1988年に国に新極板と認めさせた純チタン極板についても、ステンレス極板との特性差として調べた²⁾。この論文では、これまでの電極式の知見から、文献がなく新しい、全卵をホイップした泡状生地による「電極式ケーキ」を作り、特性を調べたので報告する。さらに、一連の電極式調理の整理もしておく。

これまでの研究は、およそ20年前に、東京の昭和のくらし博物館で、電極式パン焼き器の再現展示を見て、大学のパン焼きケースを寄贈した縁で、2016年8月の昭和のくらし博物館の企画展「パンと昭和」における電極式パン焼き再現実験を突然に、小泉和子館長から依頼されたことに始まり⁴⁾、その実験解説のために電極式関連を調べたところ、大阪市立科学館の2013年の長谷川能三学芸員の電極式「たからおはち」の再現実験で、対向極板では炊飯できないという指摘に挑戦したことがきっかけである。

その後すぐ、電極式パン粉を知り、三重大学の松岡守教授からパン粉メーカーの調査を提案され、貴重なご指導が論文につながった⁵⁾。その結果、現在でも電極式が残っていることに加え、全国パン粉工業協同組合連合会のご協力により、電極式パン焼き装置の発明が、昭和10年の陸軍の阿久津正蔵氏によることになり、それ以前の電極式炊飯器（立てた対向）の極板を兼用に改良しパン焼きも組み込んだ97式炊事車の実用化も確認した。チタン板に至る、極板についての安全性確保の歴史も教えていただいた。昭和18年の阿久津氏の「パン科学」の著書により紹介された陸軍のパン焼き器が、戦後昭和21年5月には、主婦の友に紹介され、広まった⁴⁾。この同昭和21年には「手製のパン焼き器でパンを焼くこども」として毎日新聞社の写真が残っている。

さらにまた、2018年3月、TV朝日の「超イッテンモノ」という番組で、三好日出一氏が所蔵する、戦後、平塚市の旧火薬廠（現横浜ゴム）の地下倉庫にあった電極式炊飯器が旧陸軍のものとして紹介されたことを、昭和のくらし博物館の渡辺由美子氏に教えていただいた。2018年10月には、Wikipediaの海瀬氏が連絡を取り、同伴して三好日出一氏に、おひつの底置き唯一現存する「厚生式電気炊飯器」と取扱説明書を見せていただき、戦後、国民栄養協会により昭和9年の日高特許が製品化されたことが判明した。旧火薬廠は1947年1月に残務整理完了につき消滅し、進駐軍が接収した後、1955年に横浜ゴムに払い下げられる。この厚生式炊飯器は、三好

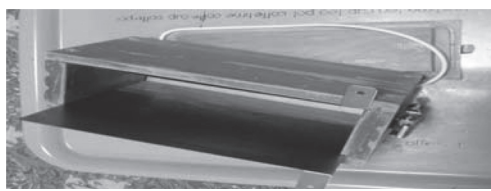


図1. 実験用電極式パン焼きケースの構成.

日出一氏の友人が1970年頃、横浜ゴムから地下倉庫の処分を依頼された時に、新品の厚生式炊飯器を100個ほど見つけ、その一つを個人的に保管し、後に三好日出一氏に譲ったものである。東京薬科大学の内田隆講師の調査によれば、この厚生式炊飯器は、1946年5月に市販された。2019年4月には、昭和14年版4月期の陸軍糧秣本廠による給養器具取扱説明綴りを、内田隆講師が連絡を取り、同伴して軍装研究家の高橋昇氏に見せていただいた。その結果、兼用できるよう作ったが、実際には97式炊事車の綴りの中にある取説には、パン焼きの取説はなく限定的だったことが判明した。日高周蔵の素性、陸軍や阿久津氏との関係は不明のままである。2020年7月には、平塚市博物館の寄贈品の中に、旧火薬廠の倉庫にあったもう1つの「厚生式電気炊飯器」を内田隆講師が見つけた。

学生実験用パン焼き器は、ケースが木製で割れ易かったが、耐久性を持つように木組みの改良を重ねて、ケーエム工房の溝口潔氏に作って頂いた。パン焼きケースの底板は、蒸しパン等が取り出し易いように、はずせるようになっている。その後のパン焼きケースの改良およびチタン極板の製作は、(株)三矢製作所の小原美千代氏にお願いした。パン焼きケース底板のパッキンについては、スケーター(株)営業部の奥田歩氏に適切なパッキンを探していただいた。なお、本学のパン焼き学生実験は、寺本俊彦教授が発案し、宮澤弘成教授が始めた(図1)。

方法

蒸しパンに全卵を混ぜたホットケーキ

基本の蒸しパン(小麦粉150g、塩0.4g、ふくらし粉6g、砂糖25g)に、全卵50g(M玉1個殻なし)と水180g、牛乳10ccを加えた液状生地での自前のホットケーキの電流特性は、図2の○印となる。基本の蒸しパンでは、水のみで190gとしているところを、水を180gに牛乳10ccを加えた。全卵50g入りと、この基本の蒸しパン(図2の*印)を比較すると、全卵は、糊化の進行と析出に伴う2山ピークの電流特性には全く影響しないことが分かる。全卵を入れると、食味はホットケーキのようになり、電流ピーク値は1.2倍になる。

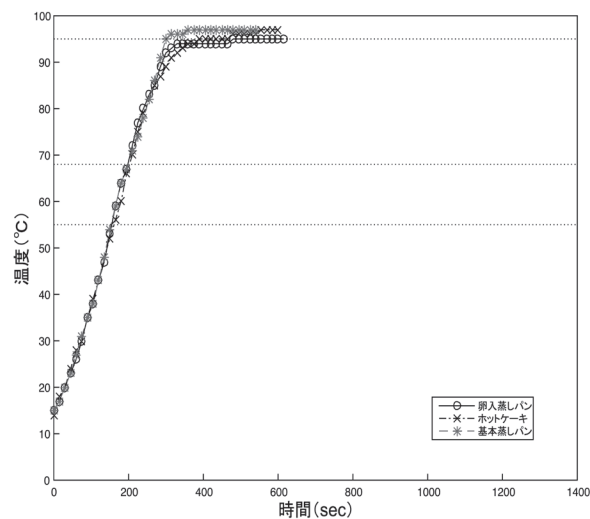
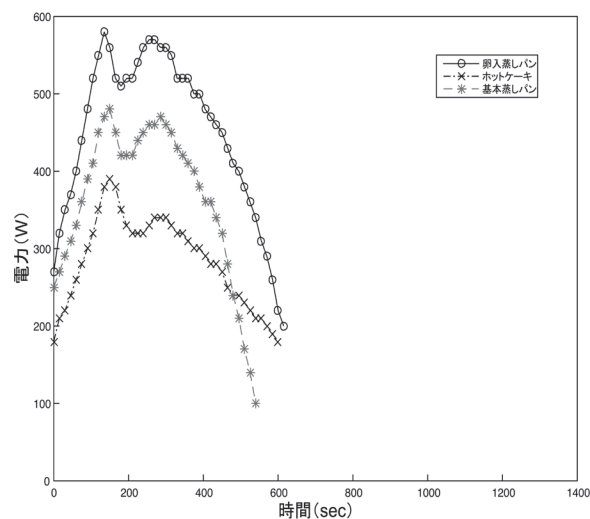


図2. (上) 全卵入り蒸しパン(○印: 塩0.4g)と全卵を混ぜた日清ホットケーキミックス(×印: 塩1.5g相当)と基本蒸しパン(*印: 塩0.4g)の電力値. (下) 水温の温度変化.

また、市販の日清ホットケーキミックスのレシピ通り、ミックス粉150g、全卵37g、水102g、牛乳10ccを生地とした、市販ホットケーキの電流特性は、図2の×印となる。この時、取説仕様から食塩は、1.5g相当となっている。実際には、全卵の水分で濃度が薄まっている。図2によればちょうど、市販ホットケーキミックスの電流値は、基本の蒸しパン配合に全卵と牛乳(10cc分)を入れた○印の電流値の0.7倍となり、電流特性は両者全く同様の、糊化の進行と析出に伴う2山となり、卵なしの基本蒸しパン(*印)とも変わらず、蒸しパンにおいては、2山電流特性に全卵の影響はない。

結果と討論

全卵をホイップした電極式ケーキの特性

おひつの底に極板を置くような底置き型は電流上昇

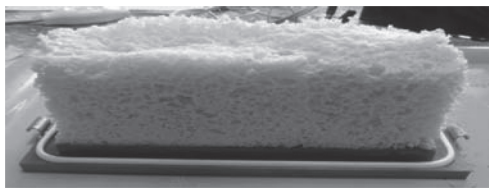


図 3. 全卵のホイップ生地に通電した「電極式ケーキ」.

が急で下がるのも急である。対向立て型はゆっくり電流上昇しゆっくり下がる上、側面からの均等熱源であるので、ふくらし粉、発酵、卵のホイップによる泡などの手段により膨らませて食べる小麦粉食には向く。これまで文献のない、全卵をホイップした泡状生地に通電した「電極式ケーキ」(図 3)も、対向立て型ならば 22 分通電して完成することを確認した。この時、泡状生地の電極式ケーキでは、全卵を入れた液状生地の蒸しパンにおける糊化の進行に伴う 2 山電流特性とは異なり、第 1 ピークのみ現れる 1 山となる。実際には、糊化終了で電流下降は一旦止まり、そこから徐々に電流が下がるようになり、蒸発とともに急に下がり出す。電極式ケーキの基本配合は、全卵 100 g (M 玉 2 個殻なし)、薄力小麦粉 50 g、砂糖 40 g、塩 0.6 g、ふくらし粉 1.0 g、牛乳 9 cc、無塩バター 13 g とする。牛乳は、通電時に金属の析出がないよう成分無調整を使う。

電極式ケーキの手順は、まず、全卵 100 g (M 玉 2 個殻なし) に、砂糖 40 g、塩 0.6 g を入れ、ミキサーで中速 3 分、低速 9 分ホイップし、振った小麦粉 (薄力粉) 50 g とふくらし粉 1.0 g を少しずつ混ぜる。無塩バター 13 g を 50°C の牛乳 9 cc で溶かした中に、ホイップ生地の少量を入れ混ぜ、戻す。これを泡状生地として立て型の対向電極ケースに入れ、22 分間通電する。家庭用オーブンで焼く場合には、予熱 10 分で 180°C まで上げ、180°C で 25 分間、向きを変え 5 分間焼き合計 40 分かかる。電極式ケーキの電流特性は、図 4 の○印となる。全卵を入れた蒸しパンは (卵を入れない場合と同様の液状生地)、2 山となるが、全卵をホイップした泡状生地では、蒸発に伴う第 2 ピークは現れず、糊化開始に伴う第 1 ピークのみ現れる 1 山の電流特性になることが分かった。

さらに、電極式ケーキの基本配合に、塩を 0.6 g から 1.2 g に増やし、全卵 120 g、小麦 60 g、砂糖 50 g、無塩バター 15 g、牛乳 10 cc、ふくらし粉 2.0 g とすると、塩を 2 倍にした影響で、電流ピークもほぼ 2 倍になる。その時、電流特性は、基本配合と変わらず、糊化開始に伴う第 1 ピークしか現れない 1 山となる (図 4 の×印)。ここで、基本配合から無塩 (塩 0.0 g、ふくらし粉 1.5 g、牛乳 10 cc、無塩バター 15 g、全卵 100 g、薄力粉 50 g、砂糖 40 g) にする

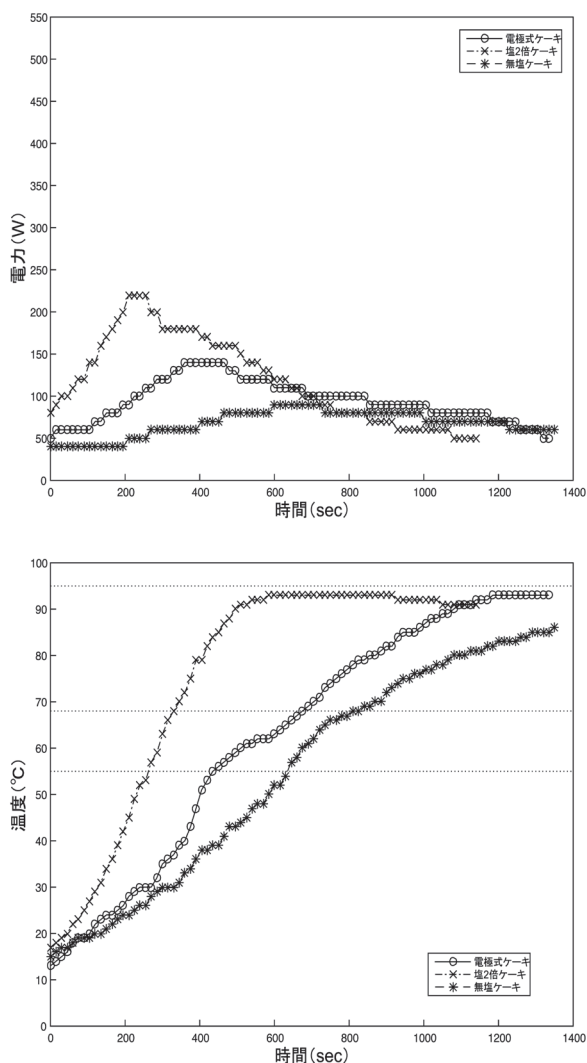


図 4. (上) 全卵をホイップした泡状生地の基本電極式ケーキ (○印: 全卵 100 g, 小麦粉 50 g, 塩 0.6 g, ふくらし粉 1.0 g) と塩 2 倍電極式ケーキ (×印: 全卵 120 g, 小麦粉 60 g, 塩 1.2 g, ふくらし粉 2.0 g) と無塩電極式ケーキ (*印: 全卵 100 g, 小麦粉 50 g 塩 0.0 g, ふくらし粉 1.5 g) の電力値. (下) 水温の時間変化.

と、図 4 の*印となる。この時、無塩ふくらし粉のみの電流ピークは 90 W と下がるが、電流特性は第 1 ピークのみの 1 山特性となり変わらない。第 1 ピークのみの 1 山特性の原因は、量が少ない小麦粉 (50 g) の全卵ホイップによる泡状生地のために、糊化終了時と蒸発時に生地のスポンジ構造が固形化されてしまっていることに関係している。また、水分が全卵 (100 g) に含まれるものであることで、その蒸発に必要な熱エネルギーも算定できないため、電極式ケーキの熱効率も従来方法では計算できない。

ヨーグルト入ホットケーキと強力粉の特性

基本の蒸しパン (図 5 の×印) と、基本蒸しパンの配合の水 190 cc の代わりに、全卵 50 g とヨーグ

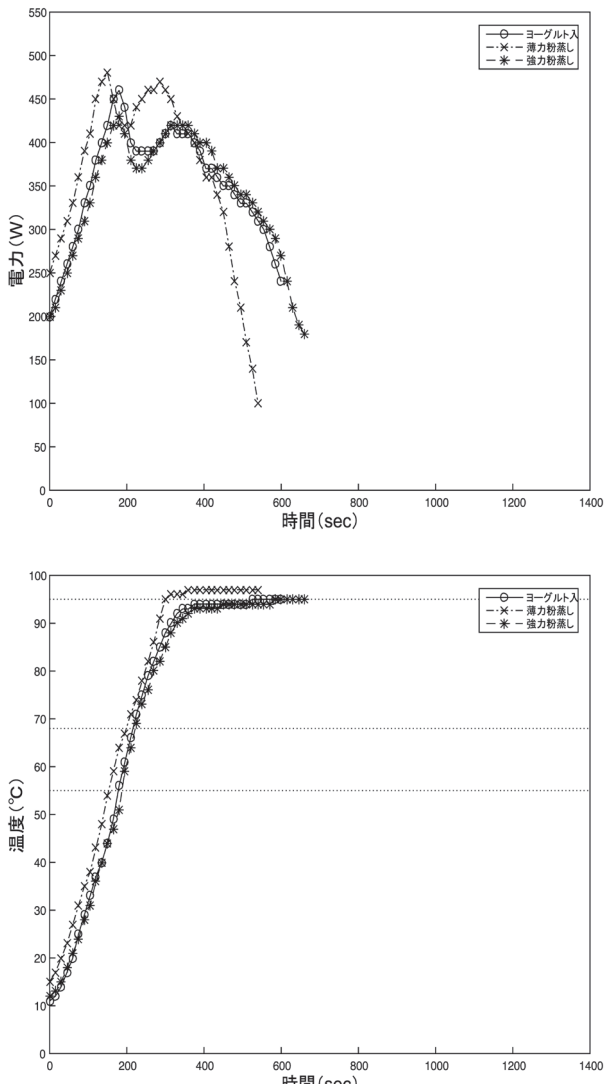


図5. (上) 基本蒸しパン (×印) と全卵とヨーグルトを混ぜたホットケーキ (○印) と強力粉の蒸しパン (*印) の電力値. (下) 水温の時間変化.

ルト 40 g と牛乳 75 cc をホイップせずただ混ぜたヨーグルト入りホットケーキ (図5の○印) は、基本の蒸しパンと全く同様に、薄力粉の糊化の進行に伴って、開始温度 55°C で電流第1ピーク、終了温度 68°C で電流最底となる。ホットケーキにおいて、ヨーグルも蒸しパンに対する電流特性に影響しないことが分かった。完成時間も変わらない。

また、基本の蒸しパンを薄力粉ではなく、同じ分量 150 g の強力粉で作ると、電流特性は図5の*印となる。強力粉では、糊化の開始と終了温度が薄力粉に比べ、5°C 低くシフトするので、電流第1ピークは開始の 50°C、電流最底は終了の 63°C となっていることが確認できる。

リコッタチーズ入り電極式ケーキの特性

電極式ケーキの基本配合である、全卵 100 g、小麦薄力粉 50 g、砂糖 40 g、無塩バター 13 g、無添加牛

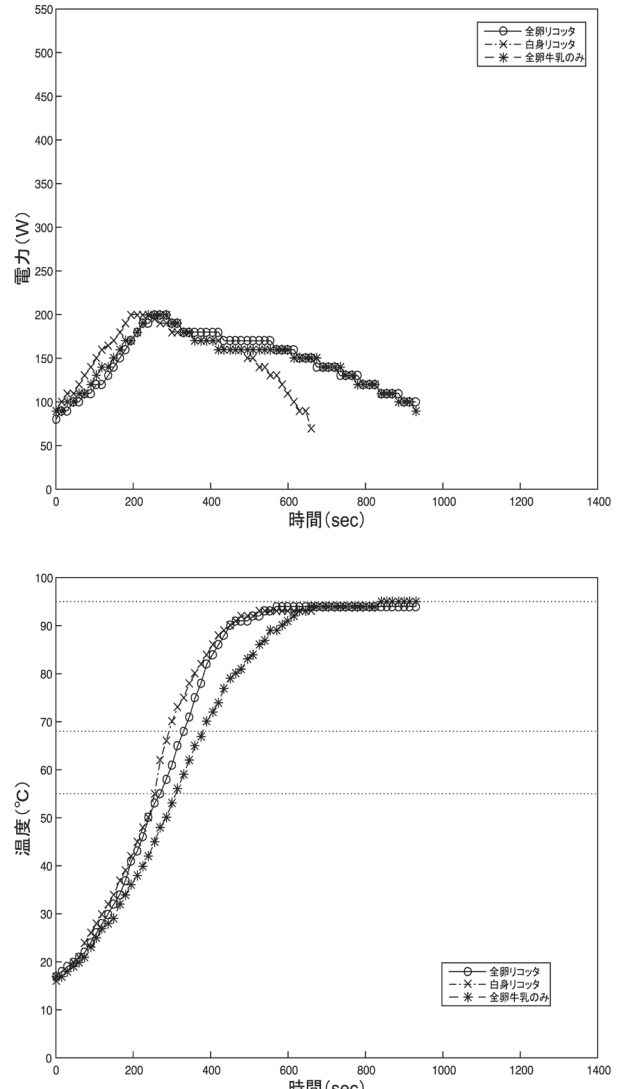


図6. (上) 全卵ホイップリコッタ入り電極式ケーキ (○印) と白身ホイップリコッタ入り電極式ケーキ (×印) と全卵ホイップ牛乳のみ電極式ケーキ (*印) の電力値. (下) 水温の時間変化.

乳 9 cc、ふくらし粉 1.0 g、塩 0.6 g に、bills のパンケーキのように、リコッタチーズを 20 g 入れると、さらにおいしくなる。リコッタチーズは、無塩バターと牛乳と一緒に溶かし、ホイップ生地少量と混ぜ、ホイップ生地全体に戻す。電流特性は、リコッタチーズを入れる前と同様に、糊化開始に伴う第1ピークのみが現れる1山に見える (図6の○印)。第1ピーク電流は、リコッタチーズによる水分が増すので 150 W から 200 W へ上がる。出来上がり時間も 22 分から 14 分へ短縮する。途中、生地が膨らんだらフタをする。リコッタチーズを入れる代わりに、牛乳を 9 cc から 24 cc に増量すると、同様に水分が増えるので、リコッタチーズ入りの場合とほぼ同様な電流特性になる (図6の*印)。

また、全卵をホイップする代わりに、黄身と卵白を分けて、卵白だけをメレンゲにしてから黄見を混

ぜると、通電した生地がシフォンケーキ（黄身とメレンゲを分ける）のように縮む。この時、電流特性は、全卵の場合と同じで、第1ピークが糊化の開始により現れるだけの1山に見える（図6の×印）。第1ピーク電流値は全卵の場合と変わらず同様の電流推移をたどるが、蒸発温度に達してからすぐに縮むので急に電流低下が起こる。この全卵を分けてメレンゲによる電極式ケーキの手順は、次のようになる。黄身と塩とリコッタチーズを混ぜる。無塩バターを50℃の無添加牛乳で溶かし、黄身の生地に入れ混ぜる。この黄身の生地に小麦薄力粉とふくらし粉を振るいながらさっくり混ぜる。次に、卵白をツノが立つまで、ミキサーの中速3分その後低速9分でホイップしメレンゲにして、その間3回に分けて砂糖を混ぜる。このメレンゲを2回に分けて、黄身の生地にさっくり混ぜてケーキ生地を作り通電する。電極式においては、分けないで全卵ホイップの方が扱いやすくおいしい。全卵はスポンジケーキで、メレンゲに分けるとパンケーキのようになる。

小麦粉水（薄力、強力）の灰分電解質特性

これまで、米粒150gを浸した水道水230gでは、極板間隔6cmの実験用パン焼き器において初期電力が6Wしか電流が流れず炊飯ができないこと¹⁾、一方、小麦薄力粉150gを水道水190gに溶かした場合には、初期電力が60Wも電流が流れ、いろいろな小麦粉水パンが焼けることをあきらかにした³⁾。このように、小麦粉水において、60Wも初期電流が流れる理由は、小麦粒を製粉し水道水に溶かすと灰分（ミネラル分）が流れやすくなるためである。このため、小麦粉水パンは、一見すると、1山に見えるが、実際には、詳しく電流特性を見ると、小麦粉の成分から溶け出した電解質によって、糊化の進行と蒸発にともない2山の電流特性になっている。日清フラワー薄力粉の結果である図7×印の場合には、糊化の開始にともなう第1ピークが130W、糊化終了時の最底では120W、蒸発による第2ピークは140Wとなり2山があらわれる。電解質が少ないために、糊化の開始が電流変化に大きく影響せず、第1ピークより第2ピークの方が大きくなるうえ、第1ピークの山の高さは10Wしかなく、第1ピークから第2ピークまで高原のようになり、高い第2ピークが1山のように見えているのである。水道水でも炊飯できるように工夫した、極板間隔1cmの極板を底面に設置して行う水道水による炊飯では、水道水の電解質はほとんどなく、糊化は起こるが、糊化開始にともなう第1ピークは現れず1山になるので、小麦粉水の場合とは異なる。この第2ピーク

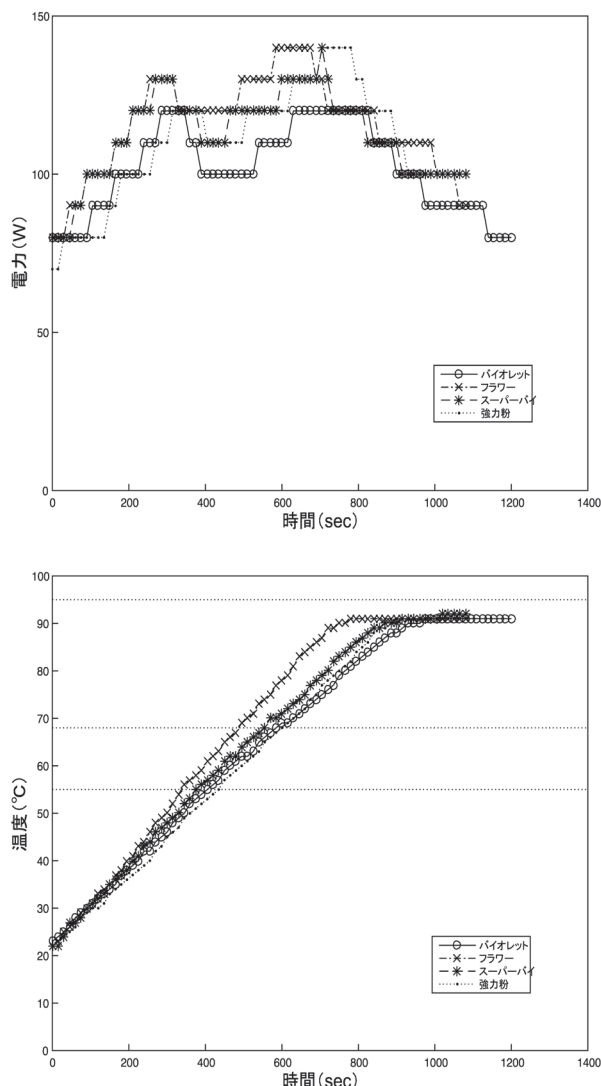


図7. (上) 小麦粉水（小麦粉150g、水190g）：バイオレット（○印）とフラワー（×印）とスーパーバイオレット（*印）と強力粉ひまわり（●印）の電力値. (下) 水温の時間変化.

表1. 小麦粉と米の糊化温度帯と析出開始温度

	糊化開始	糊化終了	析出開始
小麦粉（薄）	55℃	68℃	95℃
小麦粉（強）	50℃	63℃	95℃
米	60℃	93℃	95℃
餅米	64℃	95℃	95℃

の方が大きく1山のように見える電流特性の傾向は、初期電力値や第2ピークの電流値等も含め、他の薄力粉である日清バイオレット（図7○印）、スーパーバイオレット（*印）、さらに、木下製粉の強力粉（ひまわり●印）においてもほぼ変わらなかった。これらそれぞれの小麦粉の成分に含まれる電解質の違いが、水温上昇の速さの違いにあらわれ、その水温上昇の違いによって、それぞれのデンプン種の糊化温度帯（表1）と蒸発温度であらわれる2山のピーク位置（時刻）をずらすだけである。いずれも16分程

度で焼き上がり、熱効率 は 70 % 程度である。

また、米粒を製粉した上新粉 150 g を浸した水道水では、実験用パン焼き器において、初期電力が 30 W 流れる。小麦粉水の精白した小麦粉（薄力、強力）と上新粉のミネラル分の比は、同グラム当たり、2 : 1 程度なので、この成分値比とも良く合う、妥当な初期電流値の比になっている。自作で製粉した、上新粉と全粒粉の強力小麦粉（春よ恋）による初期電流は、24 W と 80 W だった。

うるち米と上新粉と餅米の糊化の特性

うるち米の代わりに、餅米で、実験用パン焼きケースで炊飯する場合には、塩 0.4 g はそのまま、水を 180 g に減らし、浸さないで通電する。図 8 × 印のように餅米は、うるち米(図 8 ○ 印)よりも第 1 ピーク電流は 15 % 小さく 340 W になる。初期電流値は

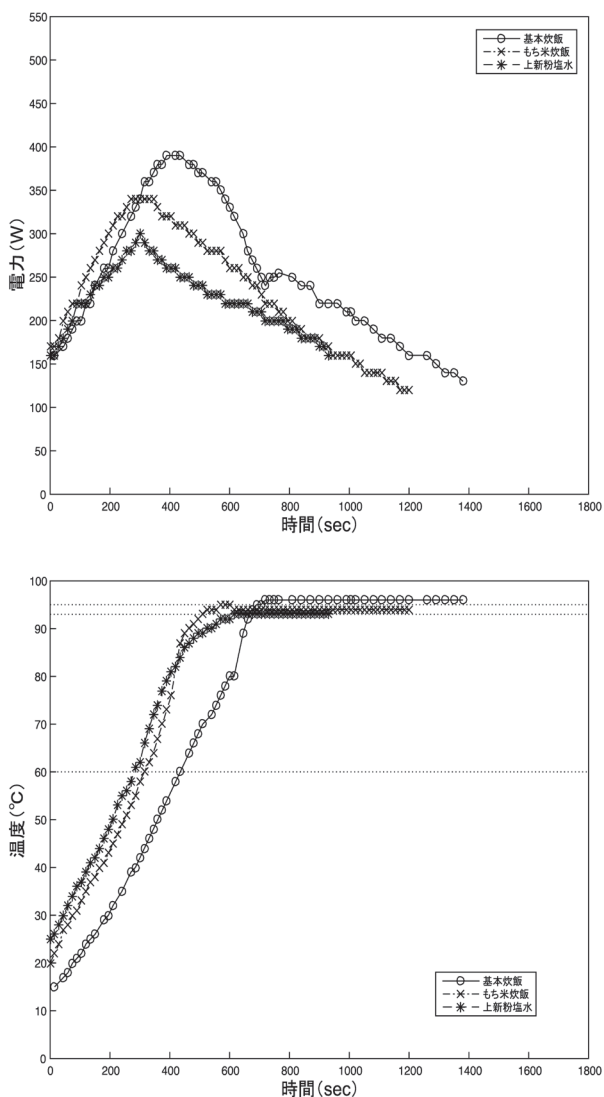


図 8. (上) 基本うるち米炊飯 (○印) と餅米炊飯 (×印) と上新粉 (塩 0.5 g, 水 230 g, ＊印) の電力値. (下) 水温の温度変化.

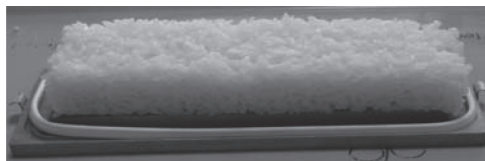


図 9. 餅米炊飯の炊き上がり (20 分).

ほぼ変わらないが、電流上昇が速いため水温上昇も速くなるので、糊化の進行が速く、餅米の炊飯は 20 分で、うるち米よりも早く炊ける。

餅米では、糊化の温度帯が、うるち米よりも 4°C 高くずれる (64 ~ 95°C) ことがわかった (表 1)。そのため、餅米では、糊化終了温度 (最底電流) と蒸発温度が等しいため、第 2 ピークが見かけ上現れず、1 山のような特性になる。熱効率は 70% 程度である。炊飯した餅米は、図 9 となる。

また、山本貢資商店の上新粉 (タンパク質 6.2%) 150 g に、塩 0.5 g を 230 g の水に溶かして通電した団子の電流特性を見た (図 8 ＊ 印)。米は、粉にしても糊化温度帯が変わらず、糊化開始温度 60°C で第 1 ピークとなった。水温が、糊化終了温度 93°C まで上がらなかったため、そのまま蒸発し、第 2 ピークが現れないまま、電流が下降して 1 山のように見えている。15 分で完成し、熱効率も 70% である。

まとめ

液状生地での蒸しパンに、全卵を混ぜることは、糊化に伴い 2 山となる電流特性に影響を与えないが、全卵をホイップした泡状生地では、蒸発に伴う第 2 ピークは現れず、糊化開始に伴う第 1 ピークのみ現れる 1 山の電流特性になることが分かった。

新しく開発した電極式ケーキも含め、それぞれ再現実験した電極式調理の電流特性を、糊化の進行と蒸発による析出に伴う 2 山ピークのマカニズムを基本として整理すると表 2 となる。配合や調理によっては、見かけ上、1 山の電流特性になることがあることを明確にした。

電極式調理は、水の蒸発熱が熱源であるので、

表 2. それぞれの電極式調理のピーク (第 1, 第 2) 特性

	糊化開始第 1	糊化終了最低	析出開始第 2	電流ピーク
塩水パン・炊飯	○	○	○	2 山
塩水発酵パン	○	○	○	2 山
ふくらしパン炊	○	△	△	1 山 (第 1)
無塩発酵パン	×	×	○	1 山 (第 2)
模擬練りパン	○	△	△	1 山 (第 1)
水道水炊飯	×	×	○	1 山 (第 2)
水道水パン	△	△	○	2 山 (第 2)
電極式ケーキ	○	×	×	1 山 (第 1)

100℃以上に上がらない。発酵パンの場合は、焼かないので白いパンで、かえてイーストの香りがきわだつ。川島四郎氏は「炊く」という最後には釜底に一滴の水も残さず狐色に色づけるこの炊飯法は、世界に類例のない日本だけの独特の炊事法であると言う。電極式炊飯では、底面設置極板の先端において放電で焦げることはあっても、狐色にはならないが、糊化の進行に伴う電流変化が、羽釜で行っていた理想的な熱源火力変化を自発的に生み、蒸発により最後は勝手に電流が切れる。熱効率も、生地自体が発熱するので、70%程度と良い。反面、塩などによる、調理にかかる適切な電流調整が難しいこと、感電の危険という欠点がある。

これまでの基本蒸しパンから始まる、電極式調理の電流特性をまとめると表3となる。表3で、タンパク質を重量比で13%含む強力粉を使ったイースト発酵パンに対して、これまでの基本のタンパク質を8.9%しか含まない薄力粉による液状（蒸し）パンと、同じ薄力粉を捏ねてタンパク質をグルテンに変え、イースト発酵パンの参考とした模擬練りパンについて、水量に対する小麦粉量や塩量に関して比較したものが、上の3つとなる。小麦量に対して水が多いと、塩に対して電流値は敏感に反応する。捏ねてグルテンを出すと、電流値は上がる。蒸発して減った水の量が、調理に使われた熱量と考え熱効率を計算しているが、全体の水の量が少ないと、熱効率は10%程度下がる傾向にある。電流値も小さくなる。小麦量は、蒸しパンと発酵パンは150g、模擬練りパンは225gである。水の量は、蒸しパンが190g、模擬練りパンが170g、発酵パンが100gである。したがって、 $\frac{水}{小麦}$ の比は、蒸しパンで1.27、練りパンで0.76、発酵パンで0.67となる。塩は、蒸しパンで0.4g、練りパンで1.8g、イースト発酵パンで2.0gなので、 $\frac{塩}{小麦} \times 100$ の比は、蒸しパンで0.21、練りパンで1.06、イースト発酵パンで2.0となる。

下の4つは、電極式炊飯の、対向立て型（塩入り）とそれを折り曲げ底置き櫛の歯形極板にしたものとおひつ底置き型（櫛の歯形と同心円形極板）を比較している。対向立て型ケースは、熱効率が70%程度で、ケースの内容積が狭くなるおひつ底置きは80%程度に上がる。電流ピーク値が上がれば、蒸発し減る水の量は多くなるが、熱効率は電流ピーク値によっては決まらない。炊飯では、対向立て型でも、おひつでも、水の量は230cc、米は150g共通である。したがって、 $\frac{水}{米}$ の比は、すべて1.53となる。対向立て型炊飯のみが、塩0.4g入れるので、 $\frac{塩}{水} \times 100$ の比は、0.17となり、それ以外の底置き櫛の歯形（対向極板を折り曲げたものも含む）と底置き同

表3. 電極式調理の各特性比較

	塩/水	効率	ピーク	蒸発水	完成
蒸しパン	0.21	69%	480 W	16%	8分
練りパン	1.06	62%	780 W	21%	13分
発酵パン	2.0	59%	190 W	13%	11分
立型炊飯	0.17	71%	390 W	30%	23分
立型櫛炊	0.0	72%	160 W	13%	29分
櫛型櫛炊	0.0	84%	200 W	10%	33分
櫛型同炊	0.0	82%	240 W	10%	23分

心円形は、0.0である（表3）。次に整理する。

(1) 実験した電極式調理では、糊化の進行と蒸発に伴って、2コブの電流特性になる。糊化の開始で第1ピーク、糊化の終了で最底電流、上がり始めて蒸発に伴い第2ピークをとる。2コブの形は、でんぷんの種類による糊化の温度帯（開始と終了）により変わる。加えた電力に対する調理に使われたエネルギー（蒸発した水の量と仮定）の比で計算した、熱効率は、電極式調理では、ほぼ70%になる。強力粉のイースト発酵パンの場合は、2次発酵までは同じ過程で、オープン（焙焼式）の場合には10分間で190℃まで予熱し、同190℃で2次発酵させた生地を19分間焼き、合計29分かかるのに対し、電極式の場合は、余熱なしで11分だけで焼ける。これは、電極式が、生地自体がジュール熱により発熱するので熱効率が良いことを示す。蒸発に伴い、電離したイオンが析出するので、勝手に電流が流れなくなるという優れた性質をもつ。調理温度は100℃までしか上がらない。

(2) チタン極板を使えば、現在も続く業務用電極式パン粉に対する食品衛生法の規定に準ずる食品安全性が保てる。チタン1種極板厚0.5mmとステンレス極板0.6mmの電流特性は、ほぼ同等である。三重大学教育学部の松岡守教授は、2017年に理科教育現場における「電気パン」（蒸しパン）実験についても、チタン極板を使えば、業務用として現在も続く電極式パン粉と同等の食品衛生法基準の安全性が保てると再評価し、報告した⁹⁾。

(3) 水道水で炊飯するために極板間隔を1cm程度にした、底面設置型極板による電極式調理では、沸騰した泡が極板にふれ、電流を阻害するために、電流値が50%程度もふらつき不安定になる。対向立置型の極板（陸軍仕様）では、そのような不安定になることはなく、側面から均等に加熱でき、ムラにならない。水道水では、イオンが少ないので糊化の進行による電流の増減が明確に現れず、蒸発による第2ピークのみ表に現れるので見かけ上1コブに見える。

(4) これまで文献のない全卵をホイップして薄力粉に混ぜたホイップ生地の「電極式ケーキ」の電流特性は、練った薄力粉の練り状生地である模擬練りパンの電流特性と似た、糊化の開始に伴う第1電流ピー

クが顕著に表れる特性となることが分かった。電極式調理の2山電流特性は、糊化の進行と蒸発により起こるが、水道水だけのようにイオンが少ない調理では、糊化は起こるが、それが電流変化に影響せず、蒸発による第2ピークが現れず、1山電流特性になる。また、電極式ケーキのように、生地を泡状にした場合には、糊化開始の第1ピークしか現れず、生地の構造により蒸発に伴ってスポンジ状が固化され、糊化の終了が電流に影響せず、1山電流特性になる。小麦水蒸しパンは、小麦粉のミネラル分のために2山電流特性になる。

開発した標準レシピを一部まとめておく。

1. イースト発酵食パン(図10):()内はパン粉用(練り)

- (1) 小麦粉(強力粉): 150 g
- (2) ドライイースト: 4.5 g
- (3) 塩: 2.0 g (1.5 g)
- (4) 砂糖: 10.0 g (2.5 g)
- (5) 無塩バター: 15 g (5 g)
- (6) 水(33°C): 100 g
- (7) 捏ねた後、25(20)分間42°Cで1次発酵。
- (8) ガス抜き3等分し丸めて成型、パンケースに入れる。
- (9) パンケースごと、25(26)分間(63°C)で2次発酵。
- (10) 11分経過後0.3Aとなり、14分までは通電しフタをして蒸らす(0.2A)。

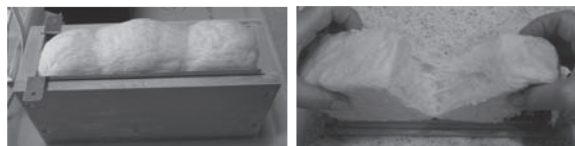


図10. イースト発酵食パン(11分).

2. 電極式ケーキ(図11):全卵をホイップ

- (1) 全卵M玉: 2個(100g殻なし)
- (2) 小麦粉(薄力粉): 50 g
- (3) 砂糖: 40 g
- (4) 無塩バター: 13 g
- (5) 牛乳(成分無調整): 15 g または 24 g (または、リコッタチーズ20 g + 牛乳9 g)
- (6) ふくらし粉: 1.0 g
- (7) 塩: 0.6 g
- (8) 全卵と砂糖と塩をホイップし、そこに小麦粉とふくらし粉を混ぜ、溶かした無塩バターと牛乳を入れ生地を作りフタをして14分通電する。

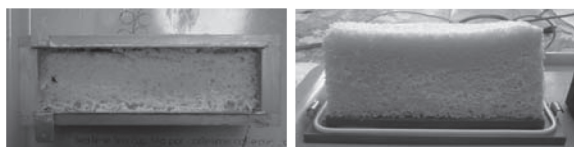


図11. 電極式ケーキ(14分).

3. 水道水炊飯(図12):お櫃ケース

- (1) 米: 150 g、水切り後14 g 増える。
- (2) 塩: 0.0 g
- (3) 水: 230 g、30分浸す(餅米は水180 g 浸さない)。
- (4) 糊化終了温度93°Cに達した時最少電流の少し前でフタをする。
- (5) 23分で1Aまで下がった後、電源を切り5分間蒸らす(餅米は糊化進行が速く20分で炊ける)。

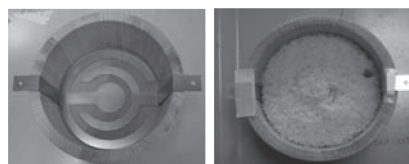


図12. 水道水炊飯(同心円形:23分).

謝辞

NHK番組「ためしてガッテン」の「パン粉」特集(2020年10月14日放送)に当たり、2020年1月に取材を受け、ディレクターの大石寛人氏と鈴木志穂子氏にお世話になった。映画「この世界の片隅に」に関わった昭和の暮らし博物館のの小泉和子館長が監修する、平凡社別冊太陽の「戦時下の暮らし」を発行(2020年8月)するに当たり、担当編集者の金丸裕子氏から電気パン焼き器について取材を受けた⁶⁾。また、東京薬科大学の生命科学部の内田隆講師の提案で、共著で、「電気パンの歴史・教育・科学—陸軍炊事自動車を起源としパン製造に続く日本の電極式調理の研究—」として本にまとめることになった。三重大学の教育学部の松岡守特任教授にもお世話になった⁷⁾。ここに感謝いたします。

文献

- 1) 青木 孝(2018)電極式パン焼き器を使った炊飯実験の特性理解. *神奈川大学理学誌* 29: 5-12.
- 2) 青木 孝(2019)電極式調理の発明からパン粉へ続く歴史および再現実験. *神奈川大学理学誌* 30: 9-16.
- 3) 青木 孝(2020)電極式底置き炊飯とイースト発酵食パンの性能評価実験. *神奈川大学理学誌* 31: 25-32.
- 4) 小泉和子(2017)パンと昭和. 河出書房新社, 東京.
- 5) 松岡 守, 青木 孝(2017)「電気パン」実験における食品としての安全性の再評価. *日本産業技術教育学会東海支部第35回研究発表会論文*.
- 6) 青木 孝(2020)陸軍から家庭へ広がった電気パン焼き器. *別冊太陽「戦時下の暮らし」*. 小泉和子監修, 平凡社, 東京. pp.100-101.
- 7) 松岡 守(2021)「電気パン」の由来調査と食品としての安全性の再評価. *三重大学教育学部研究紀要自然科学*. 72: 69-74.