

■原 著■

電極式パン焼き器を使った炊飯実験の特性理解

青木 孝^{1,2}

Experimental Evaluation of the Electrical Characteristics of Denki-Pan

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 experimentally studied the electrical characteristics of Denki-Pan. It was noted that the electrical characteristics were caused by the difference between pan and rice.

Keywords: Denki-Pan, gelatinization, starch granule

序論

今日、電気エネルギーを熱エネルギーに変えて利用するための色々な器具が市販されている。この極板型パン焼き器は、第二次世界大戦後、物資が少なかった時代に、家庭で自作されかなり広く用いられた¹⁾。神奈川大学理学部では、このパン焼き器について、熱効率など実際はどのような性能であったのか調べる実験を、28年前から学生実験に取り入れ、パン焼き器を製作して行ってきた。その結果、箱に電極を2枚入れただけの簡単な物ながら、オーブンのようにパン生地を外から熱を加えるのではなく、パン生地内で発熱するため熱損失が少ないこと、焼き上がるとマイコンも無しに自動的に電流が切れることなどの優れた性質を持っていることが分かった。



図1. パン焼き器実験の構成。

学生実験では、幅6 cm平行に離れた2枚のステンレス極板(長さ18 cm、高さ10 cm、厚さ1 mm)を木枠に挟んだパン焼き器に、パン生地を入れ、2枚のステンレス極板端子間に直に100ボルトの交流商用電源をかける。パン焼き器の木枠ケースの外寸は、幅8 cm、長さ21.5 cm、高さ11 cmである。内寸は、6 cm × 18.2 cm × 10 cmとなる。焼き上がったパンが取り出せるように、木枠ケースの底板は分

離でき、パッキンで水漏れを防ぐ(図1)。

また、大阪市立科学館の研究報告²⁾によれば、1940年頃、電極式パン焼き器と同様の電極式炊飯器「たからおはち」が市販されており、同科学館ではそれを所蔵・展示し、2013年同論文では長谷川能三学芸員が再現実験をしている。その結果、水道水によりピークで200 Wの消費電力に相当する電流が流れ、30分程度で炊飯できたとしている。その特記の中で、2枚の極板の形状と配置が製品として重要であると推論し、電極式パン焼き器では、水道水のために電流がほとんど流れず炊飯はできないと結論している。そこで、自前の電極式パン焼き器で、本当に炊飯は無理なのか検討してみた。

さらに、極板への電気分解のために、極板の素材、パン等の素材が含む添加物から有害金属が析出しないように注意を与えている。同様の指摘は、1999年に三重大学教育学部が行った「電気パン」の電気的特性と安全性の実験的評価の研究³⁾で論じられている。本学では、パン素材として市販のホットケーキミックスを使わず、日清フラワー薄力小麦粉、食塩、上白糖、アイコクベーキングパウダー(重曹を中和するため添加物を各メーカーで工夫している)を混ぜて使うが、この配合では金属等が析出したことがない。ただし、この配合に、M社の牛乳を混ぜたところ析出が起こった。

本論文では、まず、既存のパン焼き実験において、さらに詳しい解析を行った上で、同パン焼き器を使った炊飯実験の解析と評価を行った。その結果、小麦粉デンプンと米デンプンの、吸水による膨張が加熱

によって起こる糊化温度帯の違いにより、特徴的な電流特性が現れることを理解したので報告する。

方法

パン焼き実験の評価手順

パン生地は、小麦粉 150 g に、ふくらし粉 6 g、食塩 0.4 g、味付けのための砂糖 30 g を加え、それらを 190 g の水で手早く練り合わせたもので、すぐにパン焼き器に流し込む。電源をかけると、ピークで 470 W の電力を使い、9 分程度でパンは焼き上がる。

通電時、東京電力の 50 ヘルツ交流電源であれば、極板の正 (+) と負 (-) は、1 秒間に 100 回入れ替わる。パン生地の中では、食塩などの電解質が水の中で電離して、正と負のイオンになっている。そのため、交流をかけると、引き付けられる方向が交互に入れ替わるので、イオンは行ったり来たりしながら、電流を流すことになる。これが繰り返されるために、イオンはパン生地の中で振動し、その運動に相当するエネルギーを受け取り、さらにイオンが周囲の水分子、デンプンの分子等と衝突することにより、熱エネルギーに変わり、パン生地の温度を上げ、その熱は水が蒸発することに使われる。水が減少していくと、イオンに解けだした食塩が析出し、電流のキャリヤが減少するので、電流が切れる（ほとんど流れなくなる）という便利な特徴を発現する。

熱効率を考えるに当たり、電流が切れるまでに加えた全電気エネルギー（ジュール）は、時間と共に変わる電流値を測定していくことで計算できる。1 アンペアの電流が 1 ボルトの電圧の所を流れた時の電力を 1 ワットといい、1 ワットの電力が 1 秒間にした電気エネルギーを 1 ジュールと定義する。例えば、電流の測定間隔の 15 秒間に、電流値が 1 アンペアから 3 アンペアに変化した場合に加えた電気エネルギーは、100 ボルトの交流電圧として台形の面積を計算すればよいので、3000 ジュールとなる。

パンが焼き上がるまでの間、図 2 のように 15 秒おきに、電流値を測定し、その台形の面積を合算していけば、加えた全電気エネルギーが計算できる。実務上は、電力ではなく、電流値の時間変化のグラフにおける台形の面積を合算し、一定値として交流

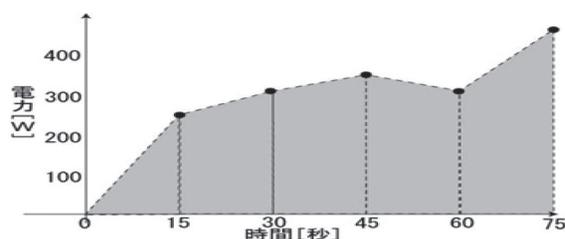


図 2. 加えた電気エネルギーの計算モデル。

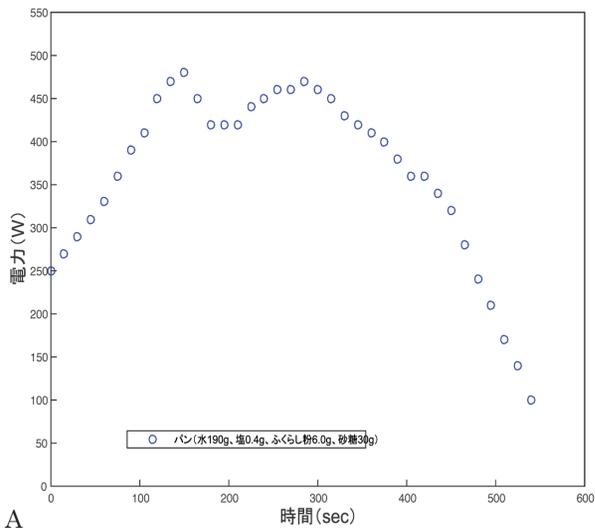
電圧値 100 ボルトを掛け合わせれば同じ事になる。したがって、パンが焼き上がるまでの時間の電流値の総和（台形の合算）が 1994 アンペア・秒ならば、全電気エネルギーは 199400 ジュールとなる。

一方、元々のパン生地の重さから、焼き上がった時のパンの重さを指し引いた差が、蒸発した水の量であると考え、この水を加熱し、蒸発に必要な、パンを焼くのに使った熱エネルギーも計算できる。1 g の水を 1°C 上げるのに比熱 1 カロリーを使い、1 g の 100°C の湯水を蒸発（気化）させるのに、気化熱 539 カロリーを必要とする。この時、蒸発した水の量を 31 g とすると、元々の水 190 g を 15°C から 100°C まで上げるのに 16150 カロリー使い、さらに 31 g の水を蒸発させるのに 16705 カロリー必要であるので、パンを焼くために使った全熱エネルギーは合わせて 32855 カロリーと分かる。1 カロリーは 4.2 ジュールと換算できるので、この全熱エネルギーは 137991 ジュールとなる。かくして、この蒸発に使ったパンを焼くための熱エネルギーを、加えた全電気エネルギーで割り算 ($\frac{137991}{199400} \times 100 = 69$) することによって、電気エネルギーを熱エネルギーに変換した時の熱効率が求められ、69% 程度になる。かなり熱損失が少ない優れた器具であることが分かる。

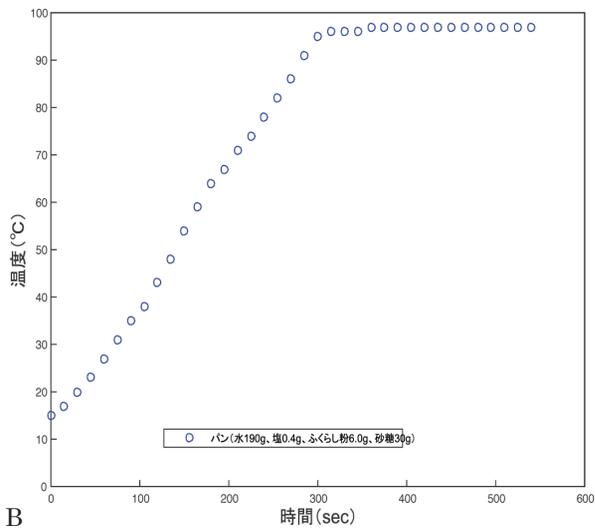
パン焼き実験結果の既存評価

この電流値の時間変化と、パン生地中の温度（主に水温）の時間変化との関連を観察することによって、より複雑な現象を理解することができる。実験結果として、図 3 の上図が、電力（ワット：W）の時間変化で、下図が温度（°C）の時間変化を示す。横軸が、各図共通に秒（sec）で時間を表わすので、各時刻に対応する電力（電圧 100 ボルトで割り算すれば電流値アンペアと同じ）と、パン生地の温度の推移が分かる。図 3 から、小麦デンプンは 2 分後、55°C になると、加熱によりデンプン粒子が水分を吸い始め糊化が始まる。このデンプン粒子の吸水膨張の開始によりイオンの振動が阻害され、この時一度、電流が下がり 1 度目のピークを持つことが分かる。その後、加熱に伴いデンプン粒子の膨張が限界となり糊化が終了する。この時の終了温度が 68°C⁴⁾ で、デンプン粒子の粘度が最大となり糊状に半固形化するため、ふくらし粉による発泡も落ち着き、イオンが振動し易くなり再び電流が増加に転じる。そのため、糊化終了温度で、電流は最小となる。

パン生地の温度が、5 分後、100°C に達する頃には、蒸発が始まり食塩の析出も顕著になり、イオン数の減少に伴い電流は急激に減少していくため 2 度目のピークを持つ。したがって、電流値の時間変化は、



A



B

図3. 基本パン(水190 g, 塩0.4 g, ふくらし粉6 g, 砂糖30 g)の電力値 (A), 水温の時間変化 (B).

二つのピーク (山が二つ) を持つ推移を示す。この事は、意外にも学生実験してみて分かったことである。パン焼き器は、適度の味がするように食塩を加えると、適度の電流が流れるように作られていたわけである。熱効率は69%となる。

米デンプンの場合には、糊化の温度帯が小麦デンプンとは違う⁵⁾ (表1)。ふくらし粉の主成分である重曹 (炭酸水素ナトリウム) も弱い電解質である。塩に比べ混ぜる量が多い。解けたイオンは、3分後、パン生地素材の温度が約65°Cに達すると、急激に反応が起こり、重曹は炭酸ナトリウムと二酸化炭素 (気体) と水に分解する。この二酸化炭素が泡となり放出されることで、パンは膨らむ。この気泡が、糊化により小麦粉デンプンが半固化した際につぶれるのを防ぐ。ふくらし粉の熱分解のピークは、各メーカーで変えている (表2)。アイコクベーキングパウ

ダーは、重量比で1/4が重曹であるが、その重層の発泡分解のピーク温度帯を広げている。

学生実験では、水を150 g、ふくらし粉5 gとして、塩を0.4 g (図4の×印) と0.7 g (*印) に変えて、電流特性と熱効率の違いを見させる。前述の基本パン配合 (○印) との電流特性の比較は、図4となる。この時、熱効率は表3となる。

表1. 小麦粉デンプンと米デンプン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	55°C	68°C	95°C
米	60°C	93°C	95°C

表2. アイコクベーキングパウダー (ふくらし粉) と重曹の熱分解温度帯

	分解開始	分解ピーク	分解終了
ふくらし粉	60°C	93 ~ 96°C	96°C
重曹	60°C	85 ~ 94°C	94°C

表3. 基本パンと学生実験パン1, 2 (ふくらし粉5 g, 砂糖30 g) の熱効率

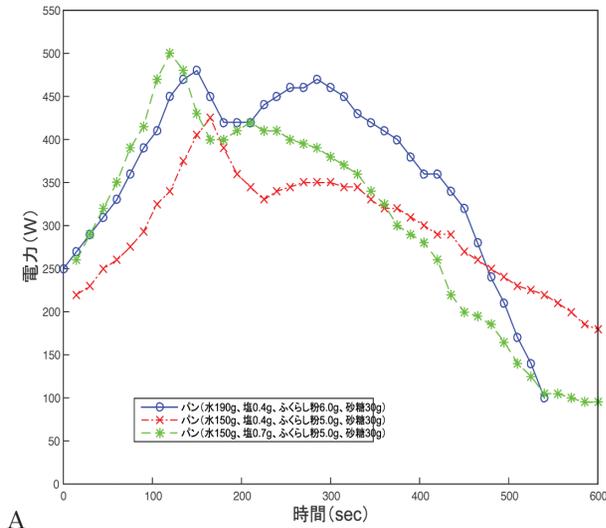
	塩	水	ふくらし粉	熱効率	完成
基本	0.4 g	190 g	6 g	69%	9分
実験1	0.4 g	150 g	5 g	61%	10分
実験2	0.7 g	150 g	5 g	71%	9分

塩の量が多くなれば電流が上がり温度上昇が速く、小麦粉デンプンの糊化開始温度55°Cへ達する時間が早くなり、その結果第1ピークが早く起こる。その場合、電流値も大きくなるので、パンは早く焼き上がり、熱効率も上がることが分かっている。また、学生実験と違い、本論文では簡易電流測定器を用い、温度も測定場所によって多少異なる上、棒温度計による簡易測定を行ったので、図4において厳密には二つの結果を比較できない。

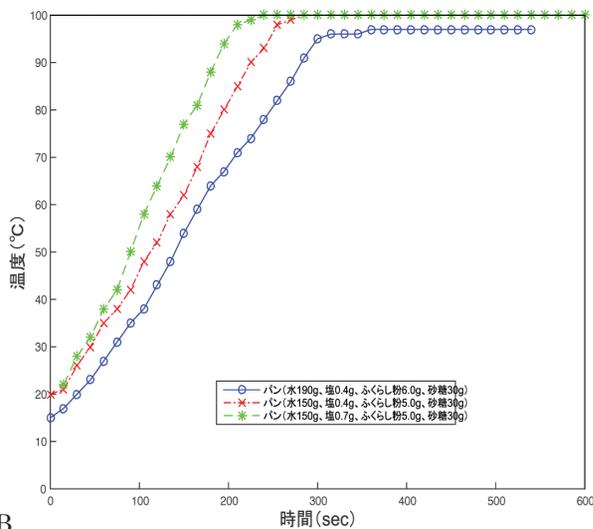
結果と討論

パン焼き実験の詳細検討

基本のパン配合において、塩とふくらし粉の個別の効果を見るために、基本配合から、塩を抜いたふくらし粉のみの生地 (図5の×印)、ふくらし粉を抜いた塩のみの生地 (*印) でパン焼き実験を行った。図5によれば、糊化開始に起こる基本パン (○印) の1度目の電流ピークは、ふくらし粉のみ (×印) の第1電流ピークと全く重なるので、ふくらし粉の電解質によって起こっていることが明確に分かる。



A



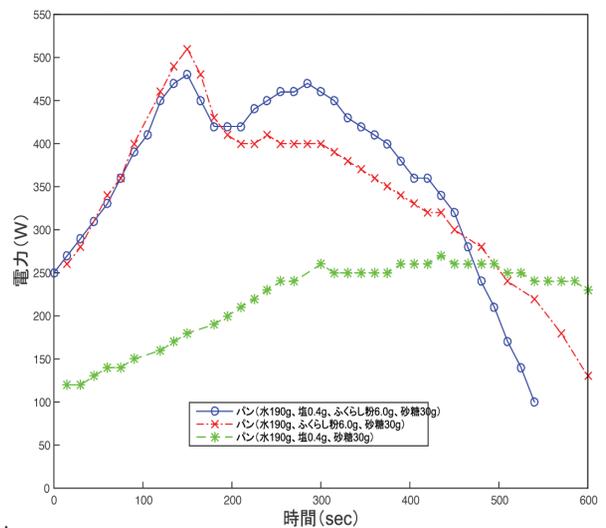
B

図4. 基本パン(○印)と学生実験1(×印:塩0.4g)と、学生実験2(*印:塩0.7g)(ふくらし粉5g,砂糖30gは共通)の電力値(A),水温の時間変化(B).

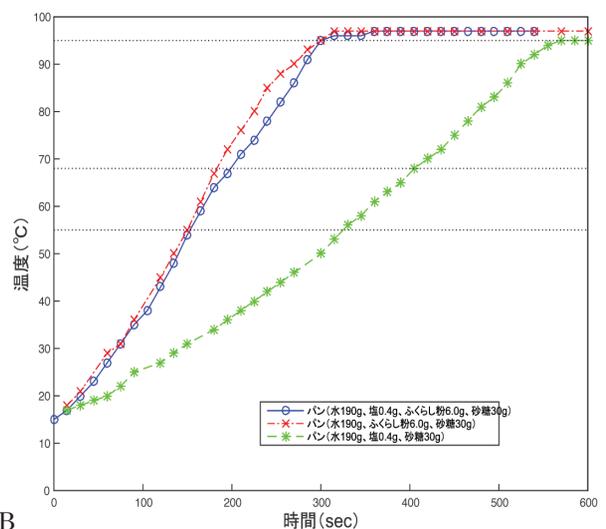
しかし、ふくらし粉のみ(×印)の場合には、糊化終了時の電流最少を経た後に、電流値が平坦のまま増加に転じず、95°Cの析出により電流値が下降するため、2度目のピークが現れない。

一方、塩のみ(*印)の場合には、電流値が小さく火力が弱いので温度上昇が遅いが、糊化の開始温度で第1電流ピークは現れ、95°Cになった時点で析出が始まり第2電流ピークも現れる。火力が弱いので2山の電流ピークが明確に出てこない。結論としては、ふくらし粉のみでは電流ピークが1山であるが、塩のみでは2山の電流ピークが現れ、基本パンの2つ目のピークは、塩によって発現していることが理解できる。

そこで次に、ふくらし粉のみの場合に電流ピークが1山となる理由を探り明確にするためと、塩のみ



A

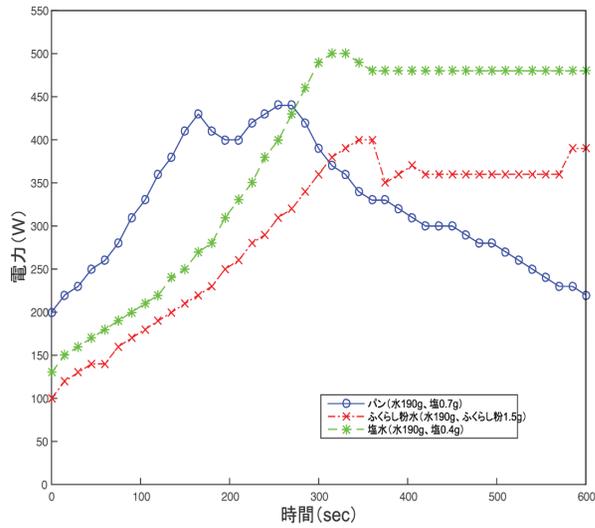


B

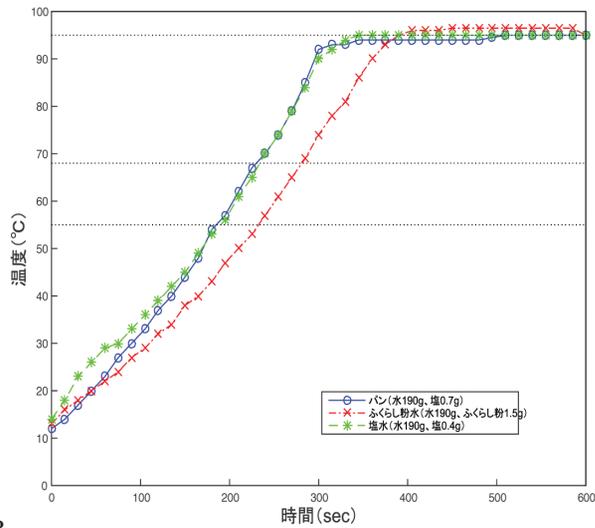
図5. 基本パン(○印)と基本配合から塩抜き(×印:ふくらし粉6g)と、ふくらし粉抜き(*印:塩0.4g)したパンの電力値(A),水温の時間変化(B)

の場合の2山ピークを火力を強めて確認するために、塩を0.7gに増やした塩水パン(図6の○印)と、単に、塩水(*印)と、ふくらし粉を溶かしたふくらし粉水(×印)に通電した時の電流変化を見た(図6)。

図6によれば、塩0.7gに増量した塩水パン(○印:砂糖なし)は火力が増え、予想通り、小麦粉の糊化開始と終了、析出の温度変化にしたがい、電流は2山ピークを取った。ピーク電流は440W程度である。また塩水(*印)に通電した場合には、単純に電流増加し、95°Cで沸騰により電流は平坦になる。一方、ふくらし粉水(×印)に通電した場合には、60°Cを越えて熱分解して発泡しだすが、65°C程度から電流は単純増加から鈍り始め平坦になる。熱分解後も同様な電解質であることが分かる。さらにイコクベーキングパウダーの場合には発泡のピークが



A



B

図6. 増量塩水パン (○印: 水 190 g, 塩 0.7 g) と、ふくらし粉水 (×印: 水 190 g に、ふくらし粉 1.5 g を溶かす) と塩水 (*印: 水 190 g に、塩 0.4 g を溶かす) の電力値 (A)、水温の時間変化 (B).

93°C~96°Cであり、図6の×印のようにこの間、発泡のために電流が0.5 A(電力では50 W)程度下がる。この発泡による電流の停滞が、図5のふくらし粉のみ(×印)のパンにおいて、1山ピーク後の糊化終了による最少から電流が平坦になり、電流が増加して行かず、95°Cの析出開始により電流が下がるだけで1山しか現れない理由であることが分かった。ふくらし粉の代わりに、重曹のみを使ってパンを焼いても、同様な電流の1山ピークの現象が現れる。ただし、発泡のピーク開始温度が、アイコクベーキングパウダーに比べ、8°Cほど低いので(表2)、早く電流上昇が平坦になり、糊化終了による電流値最少の後にくる電流値の平坦状態がより長く続く。重曹を単体で使った場合には、熱分解後に出来る炭酸ナトリウムが苦くアルカリ性を示し、小麦が変色しパ

ンが黄色くなる。熱効率と同程度である。

パン焼き器を使った炊飯実験と評価

米 150 g を洗い水切りする。洗米によって 14 g の水を吸う。この米を、水 230 g に対して、塩 0.4 g (基本パンと同じ) を入れたものに 30 分間浸しておき、その後、パン焼きケースに移し電源を入れ、通常の炊飯の手順にしたがう。電流変化は図8となり、図7のように米は炊ける。この時、6 cm 間隔の対向極板には、電気分解によるステンレス極板の変色、金属の析出はなかった。

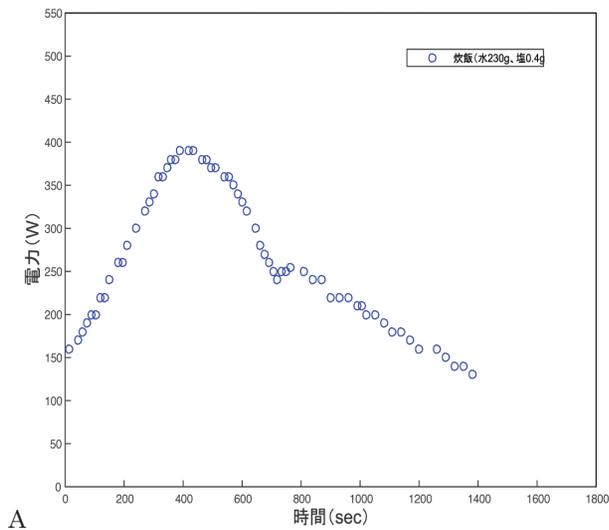


図7. 基本炊飯の炊き上がり.

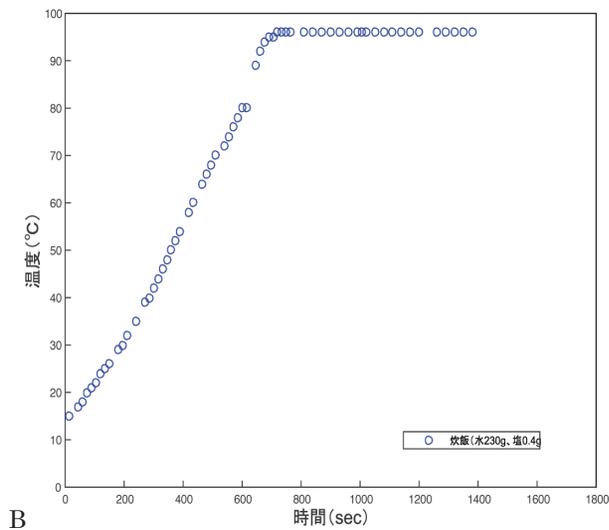
表2に示したように、米デンプンの糊化温度帯は小麦と違い60°C~93°Cなので、第1の電流ピークが糊化開始の60°Cで起こり、糊化終了93°Cで最小電流、95°Cで塩が析出を開始して2度目の電流ピークとなる。糊化終了温度と析出開始温度が近く短いため第2の電流ピークは小さい。予測通りの2山の電流ピークとなる。糊化終了温度に達した時にフタをして、23分で電流値が100 W程度まで下がった後、電源を切り5分蒸らした。

塩水だけによるパン(図6の○印)と、塩水だけによる炊飯(図8の○印)は、糊化の開始で1度目の電流値ピーク、糊化の終了で電流値最少、その後増加し、95°Cの蒸発による塩の析出開始により2度目の電流値ピークを取る。この電流特性は、両者で全く変わらないことを実験により確認した。デンプンの種類による糊化開始と終了の温度帯が違うだけである。熱効率も71%でパンと同程度であった。

次に、基本炊飯と同じ塩0.4 gで、水の量を230 gから200 gに減らし、塩濃度を上げたもの(図9の*印:炊飯後米が固くなる)と、塩の代わりに電解質のふくらし粉1.0 gを入れた場合(×印)の比較を行った。塩分濃度が上がれば、基本の炊飯配合の特性(図9の○印)よりも電流が上がり、速い温度上昇のために早く炊ける(20分)。一方、塩水による炊飯では2山の電流ピークが見られるが、ふくらし粉1.0 gのみで炊いた図9の×印では、電流値が小さく火力が弱いために、糊化開始温度で第1電流ピークが170 W程度にしか上がらない。水道水で行った大阪市立科学館の「たからおはち」の再現実験と同



A



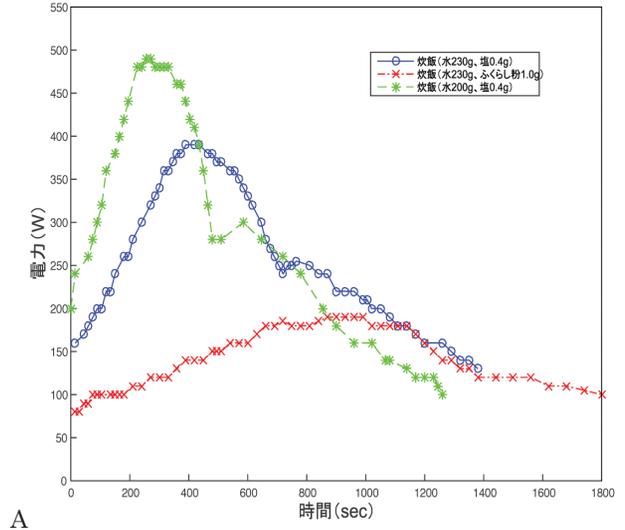
B

図8. 基本炊飯（水 230 g, 塩 0.4 g）の電力値 (A), 水温の時間変化 (B).

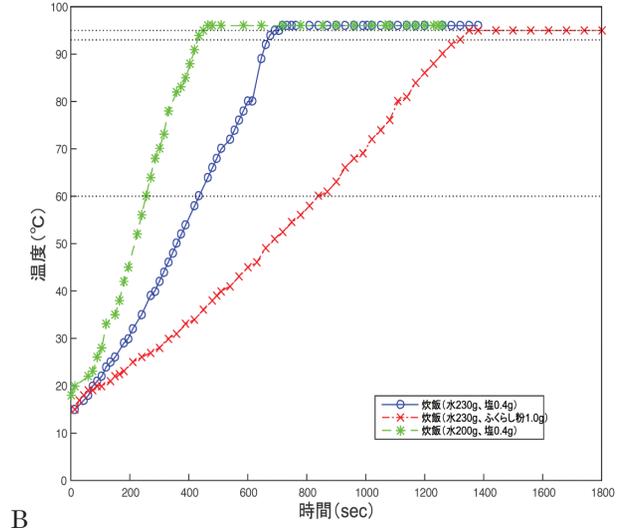
程度の電流特性である。糊化終了温度で電流値が最少になり、以後はふくらし粉のみパンの場合と同様に平坦な電流値となり、95°Cの析出開始から電流が下がり出す1山の電流特性を示す。炊き上がりも「たからおはち」の再現実験と同様に27分かかる。熱効率は、調理時間が長いにもかかわらず70%程度であった(表4)。

表4. 塩水パンと炊飯実験の熱効率

	塩	水	ふくらし粉	熱効率	完成
基本炊飯	0.4 g	230 g	0 g	71%	23分
ふくらし粉炊飯	0 g	230 g	1 g	74%	27分
塩水パン	0.7 g	190 g	0 g	71%	15分



A



B

図9. 基本炊飯（○印：水 230 g, 塩 0.4 g）と、ふくらし粉による炊飯（×印：水 230 g, ふくらし粉 1 g）と基本炊飯の水分量減変化による炊飯（*印：水 200 g, 塩 0.4 g）の電力値 (A), 下水温の時間変化 (B).

水道水による炊飯実験と評価

本学の極板間隔 6 cm のパン焼き器を使って、水道水で炊飯実験を行ったところ、6 W に相当する電流しか流れなかった、水 190 g に塩 0.4 g を入れた塩水では、同じ 6 cm 間隔の極板で 20 倍の 120 W 流れる。またこの時、極板間隔を 1 cm にすると、水道水でも塩水でも、6 cm 間隔に比べ 5 倍電流が流れることを実験で確認した。14°C 程度で水道水（×印）と塩水（○印：水 190 g, 塩 0.4 g）、ふくらし粉水（*印：水 190 g, ふくらし粉 1.5 g）、小麦水（+印：水 190 g, 小麦粉 150 g）において、極板間隔を 1 cm から 6 cm まで変えて電流値（W 換算）を測定すると、図10のように、極板間隔が狭くなるにつれて指数関数的に電流値が増大することが分かった。水道水でも、

極板間隔が 1 cm ならば、30 W 流れるので、炊飯出来ることが分かった。一方、小麦水は極板間隔が 6 cm でも 60 W も電流が流れるので、水道水のみでもパンが焼けることが分かった。「たからおはち」の再現実験では、元本と同じように、2 枚の極板を同形の櫛の歯型の形状に切り、それをパン焼き器のように対向ではなく、底板の平面上に、2 枚のそれぞれの極板の櫛の歯が互い違いに噛むように取り付けられ、2 枚の極板間隔は 1 cm 程度になっている。これは、パン焼き器の対向極板の間隔を 1 cm にした時と同等である。対向する長さが、互い違いに噛んだ「たからおはち」の方が長くなるので、パン焼き器では 30 W であるが、「たからおはち」では水道水でもほぼ 2 倍の 70 W の初期電流が流れることになる。そこで、パン焼き器でも 2 枚の極板を折り曲げて加工して、図 11 のような試作器を作った。ちょうど底板の中央で、1 cm 離れて極板が向き合う。

この試作器を使って水道水で炊飯を行うと図 12 の○印の電流特性で炊飯できる。水道水では、電流ピークで 120 W に相当する電流しか流れず火力が弱い。「たからおはち」の半分の電流である。また、火力が弱いため、塩水炊飯のような糊化に伴う 2 山の電流ピークがはっきり現れず、析出開始の時の第 2 の

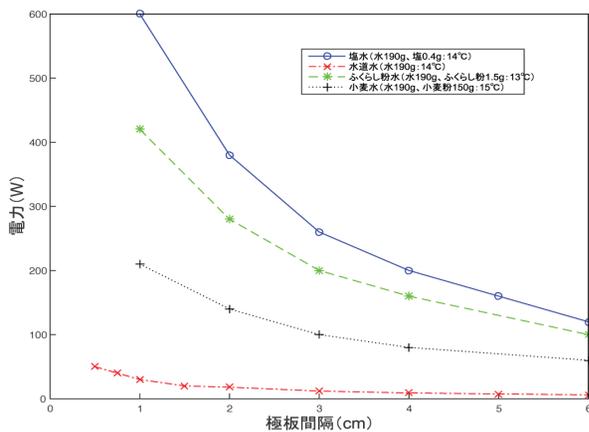


図 10. 14°Cにおける塩水 (○印：水 190 g, 塩 0.4 g) と水道水 (×印) と、ふくらし粉水 (*印：水 190 g, ふくらし粉 1.5 g) と小麦粉 (+印：水 190 g, 小麦粉 150 g) の極板間隔による電流変化 (電力換算)。



図 11. 極板間隔 1 cm のパン焼き試作器。

電流ピークが、1つの1山電流ピークとして見えるに留まる。57分かかって炊飯できる。

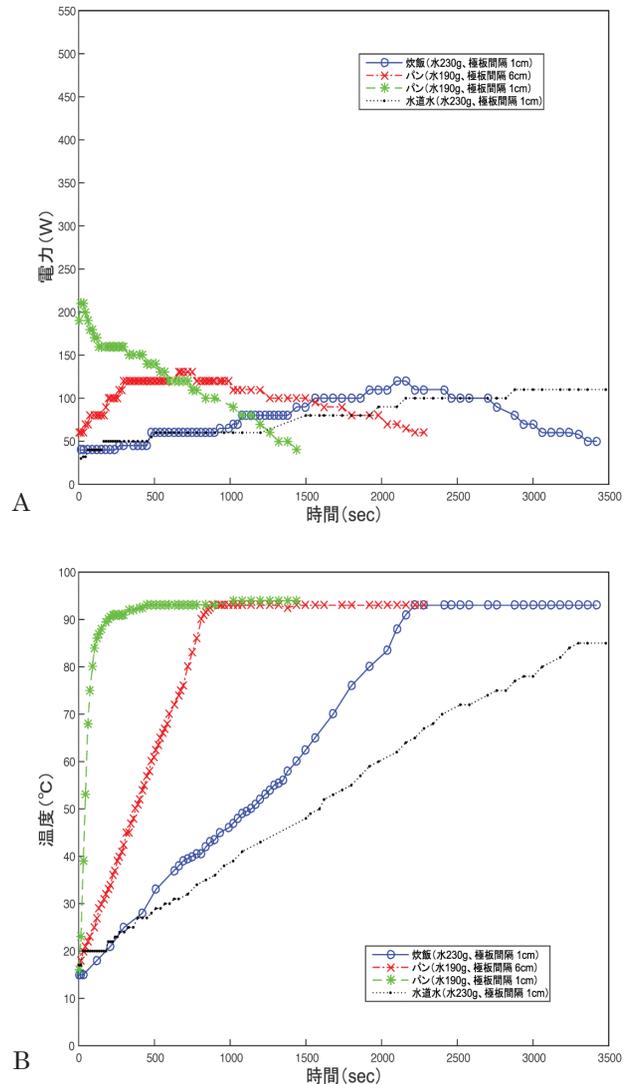


図 12. 水道水による炊飯 (○印：水 230 g, 米 150 g, 極板間隔 1 cm) とパン (×印：水 190 g, 小麦粉 150 g, 極板間隔 6 cm) と、パン (*印：水 190 g, 小麦粉 150 g, 極板間隔 1 cm) と水道水 (・印：極板間隔 1 cm) の電力値 (A), 水温の時間変化 (B)。

米を入れずに水道水のみに通電していくと、図 12 の・印 (点線) となり、米が入った水よりも電流は流れず、沸騰するまで単純増加する。一方、極板間隔 6 cm で小麦水パンを焼いた図 12 の×印も状況は水道水炊飯 (○印) と同じであり、電流が少なく火力が弱いため、析出開始の第 2 の電流ピークの 1 山の電流ピークしか分からない。40 分で焼けるが、糊化の進行による電流ピーク特性が火力が弱いため明確に現れない。この小麦水パンを、極板間隔が 1 cm のパン焼き試作器で焼くと (*印)、初期電流が電力で 200 W 近くあり、30 秒ですぐに糊化開始の第 1 の電流ピークが現れた後、すぐに析出開始温

度となり糊化が不十分のまま余熱でパンが焼けていくので 24 分かかる。水道水では、調理時間がかなり長く、熱効率も少し下がる (表 5)。

表 5. 水道水によるパンと炊飯実験の熱効率

	極板間隔	水	熱効率	完成
水道水炊飯	1 cm	230 g	57%	57 分
水道水パン	6 cm	190 g	67%	40 分

まとめ

(1) 基本配合のパン素材から、塩抜きと、ふくらし粉抜きにしたパン焼き実験の比較によって、ふくらし粉のみの場合 (重曹も同様) には糊化終了後、発泡のために電流が定常 (平坦) になり、2 度目の電流ピークが現れず、基本配合の場合の 2 度目の電流ピークは塩によって発現していることが分かった。その現象は、ふくらし粉を入れた炊飯でも同様である。そして塩の 2 山の電流ピークは、デンプンの糊化の進行と析出によって起こることを確認した。同様の結論があることが分かった⁷⁾。糊化の開始温度で第 1 の電流ピーク、糊化の終了温度で最少となり、デンプン内にため込んだ水分が放出され通電性が上がり電流が上昇する。その後、析出開始により第 2 の電流ピークが現れる。糊化の進行温度帯はデンプンの種類により違うので、パン (小麦粉) と炊飯で電流値グラフの形は変わるが、電流ピークができる原理は同じである。その時、パンも炊飯も熱効率は同様に 70% 程度である。電流ピークが 150 W 以下と小さい場合には、第 2 の電流ピークだけが目立ち 1 山のように見える。

(2) 塩を微量加えれば、6 cm の極板間隔のパン焼き器でも炊飯は可能である。ふくらし粉でも同様に炊飯は可能である。脱穀が難しく粉食に適する小麦粉の場合は、塩水のみでは糊化により半固形化したパンがゴムのようで、食味のためにはふくらし粉による気泡が必須となる。しかし、米の場合は粒食であり潰れないので、塩のみでもふっくら炊き上がる。

(3) 水道水で炊飯するには、極板間隔を 1 cm 程度にしないと十分な通電が起こらない (6 cm の 5 倍流れる)。パン焼き試作器のように、極板を折り曲げ底板に置いて極板間隔を近づければ、パン焼き器でも「たからおはち」のように水道水で炊飯が可能であるこ

とを実証した。水道水で炊飯するには、極板の形状の工夫が必須である。それでも火力は弱く、炊けるけれども炊飯には難がある。パンは水道水でも焼ける。

(4) 微視的には、ステンレス極板でも、パン粉を作るためのパン中に、金属が検出されるという 1960 年の報告がある⁸⁾。現在でも、電極式パン粉は市販製法の 1 つとなっており、1988 年に全国パン粉工業協同組合連合会の尽力で、安全性と食品、添加物等の規格基準が改訂され、極板に念願のチタン使用が許可された。

謝辞

パン焼き器は、改良を重ねて、ケーエム工房の溝口潔氏に作って頂いた。昭和のくらし博物館の小泉和子館長および小林こずえ学芸員には、貴重なご意見を頂いた。また、三重大学教育学部の松岡守教授ならびに群馬県立藤岡中央高校の岡田直之教諭には、貴重なご指摘を頂いた。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お手数をおかけした。ケースの補充は、(株) 三矢製作所の小原美千代氏にお願いした。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。宮澤教授には、2017 年 5 月 13 日に、なつかしいご意見を頂いた。ここに感謝いたします。

文献

- 1) 小泉和子 (2017) パンと昭和. 河出書房新社, 東京.
- 2) 長谷川能三 (2013) 電極式炊飯器とその再現. 大阪市立科学館研究報告 **23**: 25-30.
- 3) 松岡 守, 岩瀬仁志, 手嶋由和, 早川ひとみ, 脇田圭造, 尾本保明, 川口博之, 平山雄一, 松村和俊, 宮間 敬, 川口元一 (2001) 「電気パン」の電気的特性と安全性の実験的評価. 日本産業技術教育学会誌 **43**: 161-168.
- 4) 長尾慶子, 藤井彩香 (2005) デンプン粒~水系の糊化にともなう状態変化の微視的および巨視的観察. 日本調理科学学会誌 **38**: 45-50.
- 5) 三浦芳助 (2003) 熱分析によるデンプンの糊化・老化特性の解析. 広島女学院大学論集 **53**: 79-87.
- 6) 坪井好人 (1954) 電極式炊飯器の考察と実験. 山口大学教育学部研究論叢, 理科・職業・家庭 **4**: 67-72.
- 7) 岡田直之 (2009) 電気パンの電流値変化. 物理教育 **57**: 85-90.
- 8) 森山繁隆, 熊沢 恒, 石原利克 (1960) 電極式パン焼き器によるパン中の金属について. 衛生化学論文抄録 **8**: 56-57.