

電気パン焼き器によるパン焼き及び炊飯再現実験と電極式パン粉への歴史

青木 孝（神奈川大学理学部）：u17aok@kanagawa-u.ac.jp

2020年07月13日 昭和のくらし博物館

1 パン焼き実験の概要

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。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があったのかを調べる実験を、開設1990年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、オープンのようにパン素材に外から熱を加えるのではなく、パン素材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。学生実験では、幅6cm平行に離れた2枚のステンレス極板（長さ18cm、高さ10cm）を木枠に挟んだパン焼き器に、パン素材を入れ、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。電流計は回路に直列に結線し、パン素材の温度は直に温度計を差し込んで測定する。パン焼き器の木枠ケースの内寸は、幅6cm、長さ18.5cm、高さ10cmである。木枠の厚さは1cmある（図.1）。



図.1. パン焼き器実験の構成。

2 学生実験の液状生地パン

パン素材は、小麦粉（薄力粉）150gにふくらし粉6g、食塩0.4g、味付けのための砂糖25gを加え、それらを190g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420ワットの電力を使い、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。パン素材の中では、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、イオンは振動しながら電子による電流の進行を阻害する。これが繰り返されるために、衝突されたイオンは、その電子の運動

に相当するエネルギーを受け取りいわゆるジュール熱を発生し、さらにイオンが周囲の水分子、デンプンの分子等に熱エネルギーを与えパン素材の温度を上げ、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、電流のキャリアが減少するので、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次式の3000ジュールとなる。

$$(2.1) \quad \begin{aligned} & 15 \text{ 秒間の電気エネルギー} = 3000 \text{ ジュール} \\ & = \frac{(1+3) \text{ アンペア} \times 15 \text{ 秒}}{2} \times 100 \text{ ボルト} \end{aligned}$$

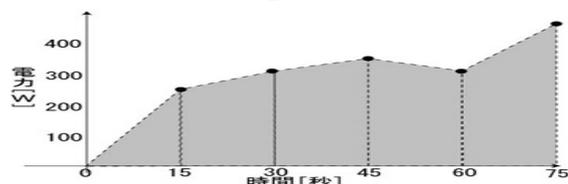


図.2. 加えた電気エネルギーの計算モデル（台形の面積の合算）。

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、元々のパン素材の重さから、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。1gの水を1度C上げるのに比熱1カロリーを使い、1gの100度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 20g とすると、元々の水 190 g を 15 度 C から 100 度 C まで上げるのに 14250 カロリー使い、さらに 31g 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、この値が 69 % 程度になる。加えたエネルギーの残りは、パン焼き器の箱を温めたり、空気中に熱を放散させるなどの無駄な仕事に使われたことになる。しかし、石炭を燃やして沸かした蒸気でタービンを回し、電気を作る火力発電所の、逆向きの熱効率は 35 % 程度なので、パン焼き器は、これでもかなり熱損失が少ない優れた器具であることが分かる。

この電流値の時間変化と、パン素材中の温度(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)の時間変化で、下図が温度()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、パン素材の温度の推移が分かる。小麦デンプンは 2 分後、55 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障害され、この時一度、電流が下がり 1 度目のピークを持つ。その後、加熱に伴いデンプン粒子の膨張が限界となり 68 で糊化が終了する。この時、デンプン粒子の粘度が最大となり、糊状に半固形成するため、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、電流は最少となる。パン生地が 5 分後、100 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、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 % である。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。塩に比べ混ぜる量は多い。解けたイオンは、3 分後、パン生地素材の温度が約 65 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形成した際につぶれるのを防ぐ。

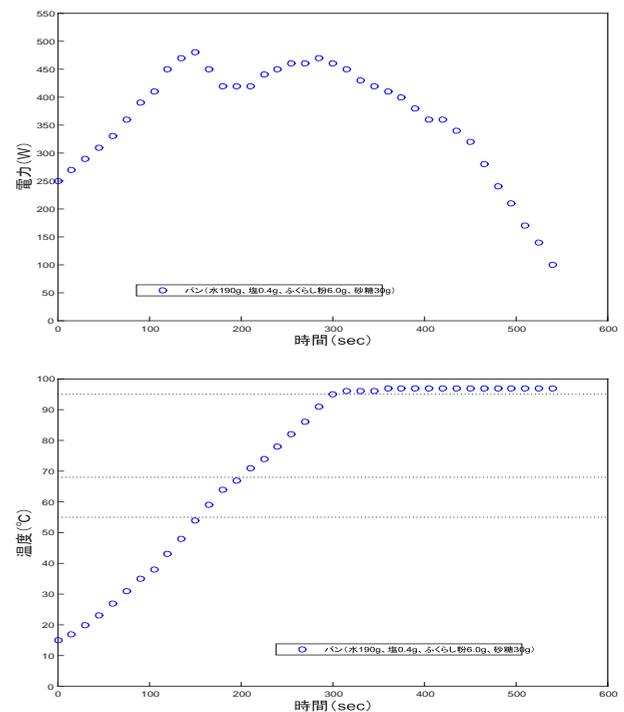


図.3. (上図)電力値の時間変化、(下図)水温度の時間変化(約 55 で電力が 1 度目のピーク、95 で 2 度目のピークとなる。電力は電流値 $\times 100$) .

3 パン焼き器による水道水炊飯

大阪市立科学館の研究報告(2013)23: PP25-30 「電極式炊飯器とその再現」によれば、1947 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 200W 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、木製のお櫃の底へはわせる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。

本学の極板間隔 6cm 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、6W に相当する電流しか流れなかった、水 190g に塩 0.4g を入れた塩水では、同じ 6cm 間隔の極板で 20 倍の 120W 流れ

た。またこの時、極板間隔を 1cm にすると、水道水でも塩水でも、6cm 間隔に比べ 5 倍電流が流れることを実験で確認した。極板間隔を 1cm から 6cm まで変えて電流値を測定すると、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 1cm ならば、30W 流れるので、炊飯出来ることが分かった。



図.4. 極板間隔 1cm のパン焼き試作器。

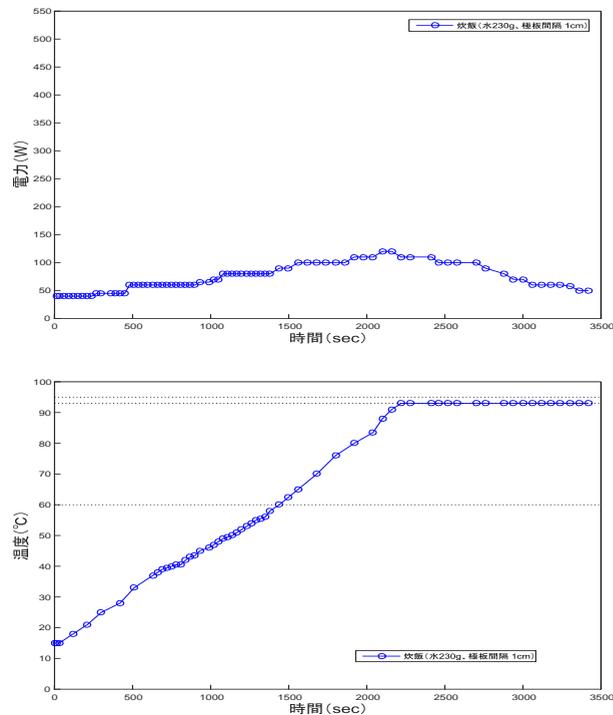


図.5. (上)水道水による炊飯(水 230g, 米 150g, 極板間隔 1cm)の電力値、(下)水温の時間変化。

「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 1cm 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 1cm にした場合と同等である。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(対向長 18cm)では 30W であるが、「たからおはち」では水道水でもほぼ 2 倍の 70W 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.4. のような試作器を作った。ちょうど底板の中央で、1cm 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.5. の電流特性で炊飯できる。米 150g、水 230g である。水道水では、電流ピークで 120W 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、火力が弱いために、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。調理時間がかかり長く、57 分かかって炊飯でき、熱効率は 57% と少し下がる。そこで、極板間隔 6cm のままで、塩を 0.4g を入れ炊飯実験をした。

4 パン焼き器による塩水炊飯実験

米 150g を洗い水切りする。洗米によって 14g の水を吸う。この米を、水 230g に対して、塩 0.4g (液状パンと同じ)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.7. となり。図.6. のように米は炊ける。



図.6. 基本炊飯の炊き上がり。

表 1. 小麦粉と米デンプンの糊化温度帯と析出開始温度

	糊化開始 第 1 ピーク	糊化終了 最少電流	析出開始 第 2 ピーク
小麦粉 (薄)	55	68	95
小麦粉 (強)	50	63	95
米	60	93	95
餅米	64	95	95

表 1. 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 ~ 93 なので、第 1 の電流ピークが糊化開始の 60 で起こり、糊化終了 93 で最少電流、95 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ので、第 2 の電流ピークは小さい 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、第 2 電流ピークを過ぎ 23 分で電流値が 100W 程度まで下がった後、電源を切り 5 分蒸らした。この電流特性は、液状生地パン (図.3) と塩水炊飯 (図.7) の両方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% で液状パンと同程度であった。ふくらし粉を入れないパンの食味はゴムのように固い弾力を持つ。米は粒食なので、潰れずもっ

ちりとした粘度を保つ。したがって、脱穀が難しく粉食に適する小麦粉のようなデンプンには、ふくらし粉等による気泡が食味には重要であることが分かる。米を炊くということは、糊化の過程そのものである。実際には、極板を底に配置し下方からジュール熱を加えるより、立てて対向させ飯水自体に両側から均一にジュール熱を加える方が、全体的に加熱ができるので、うまい飯が炊ける。また底配置の極板では、沸騰時に水蒸気の泡が極板につき、電流が0.5A程度ふらつく。餅米の場合は、水を180gとする。糊化温度帯が高い方へ4割ずれ、ピーク電流は15%減るが、水温上昇が早く20分で炊ける。

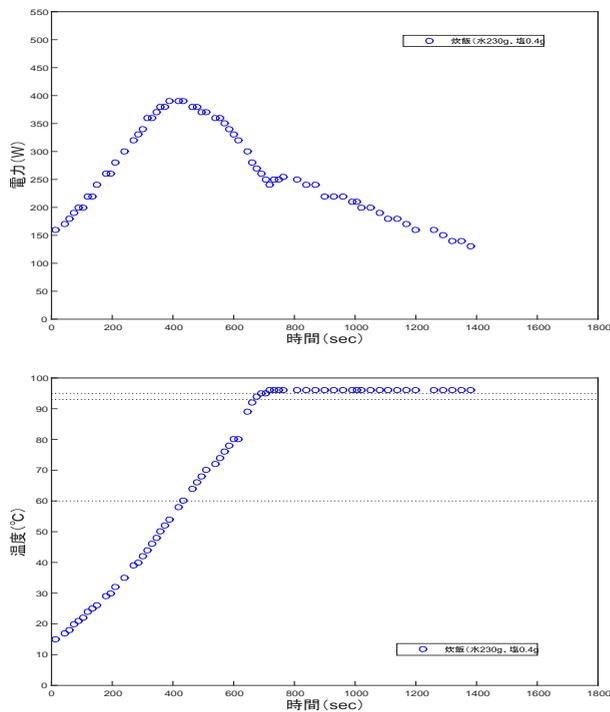


図7. (上) 基本炊飯(水230g, 塩0.4g)の電力値、(下)水温の時間変化。

5 電極式調理からパン粉への歴史

皆さんは、この電極式パン焼き装置の技術が、陸軍の阿久津正蔵氏の発明で、まず1934年(昭和9年)に日高周蔵氏のお櫃の底に同心円形の極板を配置した電極式炊飯方法の特許116015があり、次いでパン焼きとなり、現在も電極式パン粉として残っていることをご存じだろうか。阿久津正蔵氏の遺稿(1988)「電極式電流炊飯とパン焼きの発明」食品と科学。5.PP112-113によれば、「戦車用の炊飯とパン焼きを兼ねた装備の単位は、外周を絶縁体で囲んだ木製の箱に電極板5枚を装着したものであって、電極板間に飯は米と水を入れ、パンは生地を入れて通電する。電圧は115V、電流は100A、周波数は50Hzといった定格のもの。」であった。阿久津正蔵氏は、

陸軍の「飯が炊け、パンが焼ける給養車を戦車団の装備として速やかに完成せよ。金はいくらかかってもよろしい。」という条件付き依頼を受け、電極を平行に立てた電極式炊飯装置を作り、それを6輪トラックに積んだ94式炊事自動車を1934年に試作する。翌1935年(昭和10年)に、日本陸軍糧秣廠報告に見るように(1943年阿久津正蔵著「パン科学」参照)、阿久津正蔵によって電極式製パン法の創案・発明がなされた。そして1937年に、炊飯用電極をパン焼きにも転用できるように改良(1936年)しパン焼き器を炊飯装置に組み込み、電源装置も含めた実用装置として、同じ装置で炊飯もパンも焼ける電極式の97式炊事自動車と命名されて完成し技術が結実する。したがって、電極式調理は、炊飯が先でパンが後となる。1939年のノモンハン事件では、日ソ国境線において97式炊事自動車が出動した。2019年4月に見せていただいた軍装研究の高橋昇氏所蔵の1939年4月期の給養器具取扱説明書綴り内の97式炊事自動車の記述には、炊飯器の取扱説明がなく、同装置のパン焼きの説明は一切ないことが分かった。同じ説明書綴り内には、他に馬が引く組立式のカマドを載せた二輪車である「パン」焼き車の説明がある。したがって、97式炊事自動車は、パン焼きと兼用として使えるものとして開発したが、パン焼きは実際には使われず限定的だったことになる。戦後になり、前述の「たからおはち」のような家庭用の電極式炊飯器が市販される。一方、電極式製パン法も、戦後同時期、家庭用に技術が転用されることになる。当時は、イースト菌で発酵させた練り状の生地や、ふくらし粉を入れた練り状の生地が紹介された。イーストを使う利点は、香り付けにある。

さらに、その電極式パンが、業務用のパン粉になる。戦後1949年には、当初配給制であった小麦粉を電極式パン焼き機を用いてパンにして販売するも、殆ど売れず返品され、このパンを天日干して販売したところ、売り先が確保できたことから、それ以来パン粉を製造するメーカーも出現する。1951年からは、麦類の統制が解除され、小麦粉が自由に売買でき家庭配給パンの必要がなくなり、パン粉販売へ転向するメーカーも出る。1958年に入り、これまでのパン粉の少量生産から、製造設備の大型化、近代化が普及していく。現在、パン粉は、パン生地の発酵までは共通の工程で、練り状のパン生地を焼く時に、所望するパン粉の性質によって、オープンで実際に焼く焙焼式と通電による電極式に分かれ、できたパンを砕いて製造する。電極式パン粉は焼くわけではないので、焙焼式に比べ少し固めの白いパン粉

になり、粒状は見た目も良い。白い焙焼式のパン粉は、焼き色を漂白した。電極式は、焙焼式に比べパン窯の余熱の必要もなく経済的なうえ、設備が小さくでき、新規参入し易かったので戦後、関西で広まる。一方関東は焙焼式だった。1960年からは、多量のパン粉の輸出が始まり、特に米国においては、多くの反響を呼び、その後同国に、電極式生産方式も輸出されることになる。ロサンゼルスに工場が設置され、電極式パン粉は米国において冷凍食品向けに広く採用される。日本では1962年から、時間が経過しても食感が落ちなかったので、冷凍エビフライの衣に白い電極式パン粉が初めて使われ評判になった。冷凍技術の進化により、スーパーなどで冷凍食品が増えるにつれ、関西の電極式が関東にも広がる。

また、電極式パン焼き器では、極板の素材が通電により電気分解し、生地に溶けだしてしまうので重要であり、食品衛生法の食品、添加物等の規格で規定されている。当初は、鉄と定められていたが、鉄は塩によりすぐ錆が発生し、パン粉の品質に問題が多かった。「鉄およびアルミニウム」が1970年に食品衛生法の一部改正のうえ、使用許可になった。この改正により、電極式が再び脚光を浴びた。それでも腐食してしまうので、全国パン粉工業協同組合連合会の技術委員長だった清水康夫氏らの努力で、腐食が極めて少ない純チタンを極板として1988年に認めさせ、食品衛生法の一部改正のうえ、使用許可を得て現在に至る。このような、阿久津正蔵氏が発明した電極式パン焼き技術が、全国パン粉工業協同組合連合会の純チタンを使った新極板の開発努力と認可によって、現在も電極式パン粉として残っている事実が、知られていないことが残念でならない。EUでも認知されて、2012年にオックスフォード英語辞典に日本で発展を遂げた「PANKO」が英単語として採用された。



図.8. パン焼き器により焼いたパン粉用パン。

6 電極式パン粉用パンの再現実験

パン生地は、小麦粉(強力粉)150g、ドライイースト4.5g、塩1.5g、無塩バター5.0g、砂糖2.5gを水100gで練り、20分間60で1次発酵させる。その後、ガス抜きし3等分して丸めて成型しパン焼き器に入れ、26分間63で、ケースごと2次発酵させ

る。イースト発酵により膨らみ、パン生地がステンレス極板に接触する。通電して11分経過後、14分まではフタをして蒸らした。実際に焼けたパンは、図.8となり熱効率は63%である。

実際の業務では所望するパン粉の性質によって、同じ発酵生地を、オープンで焼く場合(焙焼式)もある。そこで、オープンで10分間で190まで予熱し、2次発酵させた生地を同190で19分間焼いて再現実験をして比較した(図.9)。電極式は左で白いパンとなる。右は焼き色がついた焙焼式パンである。焙焼式は、余熱が必要で熱効率が悪く、設備も大きくなる。現在の実例として工場では、電極式は、図.10上下図のように、50cm×50cm四方形程度の純チタン極板を、木型ケースの代わりに、絶縁体としてのポリプロピレンケースに配置して、200V交流電源で焼く。この時、ポリプロピレンは木がパンに混入する恐れはなくなったが、その反面、吸水性がないので工夫しているという。



図.9. 再現したイースト発酵のパン粉用パン(左:電極式11分、右:焙焼式190 19分)。

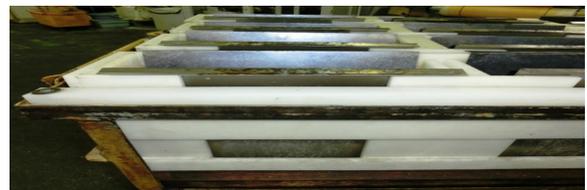


図.10. (上)業務用の電極式パン焼きケース(純チタン板)(下)焼いた電極式パン粉用パン。

ここで再現実験した電極式パン粉用発酵パンの電流値の時間変化は、図.11の*印となり、液状のパン生地の印(図.3の再掲)同様に、小麦デンプンの糊化の進行と蒸発による析出に従い、二つのピークをもつことを確認した。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、デンプン内の水分が放出され電流が上昇し、析出開始により電流低下し第2の電流ピークが現れる。この時、液状生地のパン(小麦粉150g、塩0.4g、ふくらし粉

6g、砂糖 25g、水 190g) から、塩を抜いたふくらし粉のみのパンでは、×印のような電流特性となる。これは、ふくらし粉の発泡のために電流増加が阻害され、電流が平坦になり第2ピークが見かけ上現れず、析出により電流低下するためである。2山のピークは、塩により起こる。また、図.11によれば、強力粉の性質の違いにより、発酵パンでは糊化温度帯が、通常の薄力粉の温度帯から低い方へ5程度全体的にずれていることが分かる(強力粉の蒸しパンでもずれる)。発酵パンの熱効率、液状パンの熱効率70%に比べ10%程度下がる。パン粉用ではなく、おいしい食パン用のレシピはレシピ集に示す。電極式では、温度が100以上上がらないが、その分イーストの香りが際立ちおいしい。

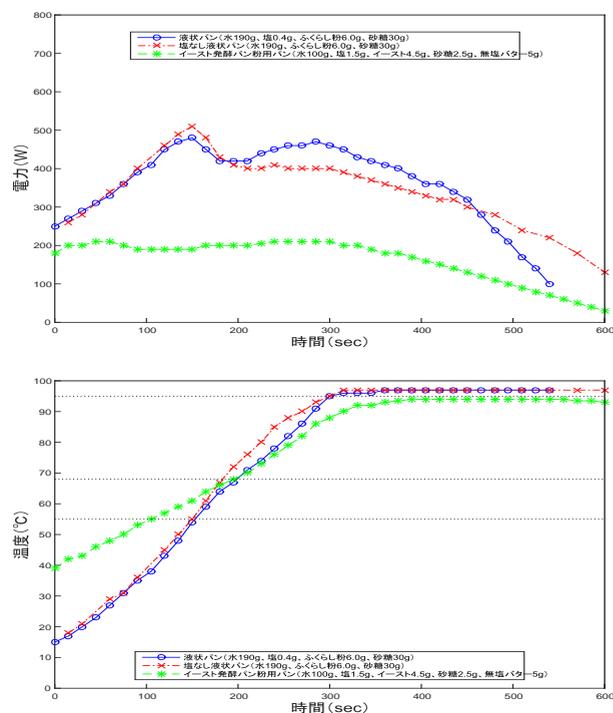


図.11. (上図)発酵パン(*印)、液状パン(印)、ふくらし粉のみ液状パン(×印)の電力値の時間変化、(下図)生地温度の時間変化。

7 チタン極板による模擬練りパン

発酵させた練り状生地による電極式パン粉用のパンを、液状パンの薄力粉に入れる水の量を減らし練り状生地にし、ふくらし粉で発泡を代用することで模擬パンとして作り、電流特性を調べると図.12となる。練りパンの基本の配合を、水の量が減る分、小麦粉を225gと増やし、水150g、塩1.8g、ふくらし粉9g、砂糖4g、ショートニング7.5gとした。その時、従来のステンレス極板の場合(印)と、1988年に食品衛生法で認可されたチタン1種板(×印)で、電流特性を比較した。

両者とも塩が多く、電流が大きいので50秒程度でデンプンの糊化開始の第1ピークとなる。直後に電流は減少し、最少(糊化終了)になった後、電流は平坦となり、第2ピークは現れず、そのまま析出(95)により電流は下がっていく。その時、ふくらし粉のみの液状生地である前掲の図.11の×印の電流特性のように、塩が入っていても練り状生地においては、同様の発泡が効いて、第2ピークが見えないことが分かった。熱効率は60%程度となり、発酵パンと同様に少し落ちる。

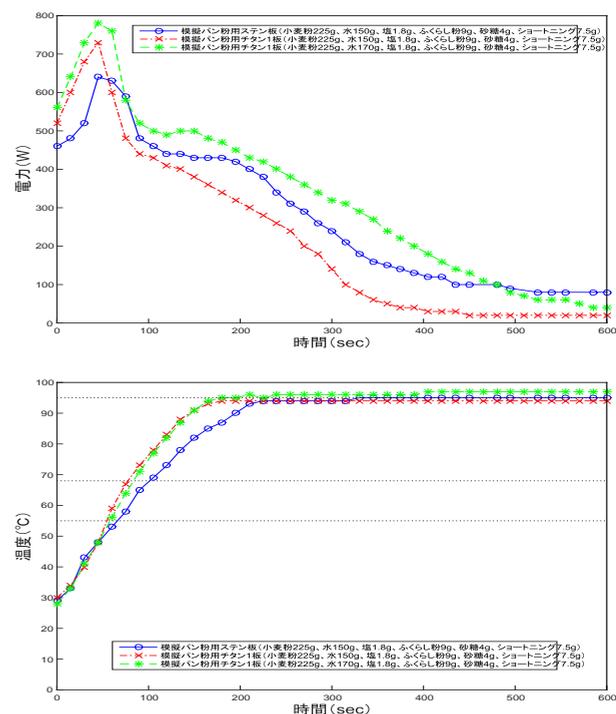


図.12. (上図)ステンレス板練りパン(印)とチタン板練りパン(×印)、チタン板水増量練りパン(*印)の電力値の時間変化、(下図)温度の時間変化。

図.12によれば、模擬練りパンでは、電流増加の違いにより起こる水温上昇の変化が両極板で違うので、二つの電流ピーク位置が時間と共に次第にずれ、ステンレスとチタン極板では違った電流特性をもつ。練りパンのチタン1種極板(×印)では、ステンレス極板(印)より水温上昇が早く、電流の第1ピーク(糊化開始温度)が早くきて、電流値もステンレス極板の1.1倍と高い。さらに、析出が始まる95に、チタン極板は早く達するために、ステンレス極板では3分半後に始まる第2ピーク(平坦な電流から落ちる所)も、チタン極板では2分頃から早く始まり、ステンレス極板よりも早くしかも急に電流低下が起こる。このためこの配合で、チタン極板では、生焼けになるので、図12の*印のように、水だけを150gから170gに増やして電流低下を改善する。

一方、液状パンでは、水温上昇の変化は極板により変わらないために、二つの電流ピーク位置も変わらず、第2ピークまでの時間も5分と長く特性差は小さい。

8 底置き極板厚生式炊飯器の発見

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（図.13）。この三好日出一氏の電極式炊飯器は、長谷川能三学芸員の再現論文の中に記載のある「たからおはち」の実用新案359047「電気炊飯器(B)」(1946年3月12日出願)の元になっている、第二次世界大戦前の日高周蔵氏の1934年1月16日出願の特許116015「電気に依る飯炊法」に使われる同心円形の極板（例示の1つ）のものと同じだった。「たからおはち」は、この日高周蔵氏の特許の、お櫃の底に配置した極板形を櫛の歯形に改良したものである（図.14）。2018年10月に、三好日出一氏に電極式炊飯器を見せて頂いた所、取扱説明書に、専売特許「厚生式電気炊飯器（五合炊用）」と題して、「昭和9年頃から陸軍において飯水の中に直接電流を通じて熱を発生させ、飯炊をする事について研究し、表題の特許が成立しました。しかし、陸軍で使用するものは兵器としての応用に主眼があって、そのままでは家庭用にならない事はもちろんですが、ここに財団法人国民栄養協会の研究によって家庭用電気炊飯器の完成を見た次第であります。」と記してあった。

陸軍の炊事自動車の炊飯もパンも焼ける電極式調理の仕様は、1934年6月8日出願の実用新案235674「電気炊飯装置」や同じく1935年1月16日出願の特許118764「電気煮炊装置」に見るように、極板を立てて対向に設置したものであり（大学のケースと同様）、その技術を家庭の炊飯用に転用したものが、お櫃の底に極板をはわせて設置した仕様だったと言うのである。阿久津正蔵氏の遺稿には、「国民栄養協会の厚生式炊飯器は、私が個人として実用新案をとったものである。権利について、陸軍糧秣本廠について問い合わせたら、川島四郎博士が「阿久津君（在独駐在員）はどうせ帰ってこないだろうから、使ってもよろしい」という返事をもらったので売り出しました。申し訳ないことをしました。と書いて協会から、権利金を払っていただきました。」とある。しかし、炊飯器単独について陸軍および阿久津正蔵氏は、特許を出願しておらず、日高周蔵氏の特許116015にも権利者として現れない。したがって厚生式炊飯器の元になる日高周蔵氏（発明者）の特

許と、阿久津正蔵氏との権利関係は遺稿にはあるが確認できない。日高周蔵氏の素性と、陸軍および阿久津正蔵氏との関係も不明である。

日高周蔵氏の特許に続き同年1934年に、陸軍が立てた対向極板の「電気炊飯装置」の実用新案235674（阿久津正蔵氏発明）を出願する一方、追って同年、阿久津正蔵氏個人でも、日高周蔵タイプのお櫃の底の極板形状を畝状に変更した「電気炊飯箱」の実用新案227334を出願する。その後、陸軍は炊事自動車のために、日高周蔵氏の特許の翌年1935年に、用途を煮炊に広げた特許118764「電気煮炊装置」と同年、特許116173「炊事車」を出願。続き同年、阿久津正蔵氏個人でも、被煮炊物中に電極を挿入する特許126395「電気煮炊方法」を出願する。

国民栄養協会は、1946年1月に厚生省内に厚生大臣を会長として発足する。東京薬科大学生命科学部の内田隆講師の調査（以降の「食生活」の記事すべて）によれば、当協会発行の月刊誌「食生活」1946年4月号に「炊飯器いよいよ発売」の広告があり、この時期に発売されたことが分かる。三好日出一氏の取扱説明書の製造元は名古屋市同仁産業（株）で、この広告の製造元は東京都品川区（株）田野井製作所なので、全国的に製造されていたことになる。



図.13.（左）厚生式炊飯器（三好日出一氏所蔵）、（右）お櫃の底の同心円形極板（1946年4月発売）。2020年7月に平塚市博物館内で同倉庫の別品発見



図.14.（左）たからおはち（大阪市立博物館所蔵）、（右）お櫃の底の櫛の歯形極板（1947年頃発売）。

また、「食生活」1946年10月号には、国民栄養協会事業部の記事で、「かつて元陸軍糧秣本廠がもっていた特許の使用権を当協会が譲り受けて作ったのだが、近頃、2,3類似品が出ている様である。」と書かれ、同号には、「厚生式電極式製パン器（新発売）」の広告をしており、炊飯器同様、電極式パン焼き器も市販したことが分かる。その後、旧火薬廠は1947年1月に残務整理完了につき消滅し、進駐軍が接收した後、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、後に三好氏に譲ったものである。渡辺由美子氏が調査した1947年7月出版の「家庭の電化」には、当時市販されていた電極式炊飯器の極板形が2例紹介されており、そのうち一つが厚生式である。この本の中で、書物で電極式炊飯器を紹介するのは最初であると述べ、使用した自身のありがたみを伝え、最近の電熱界における傑作であると書く。飯炊きの電化は、待望されていたのである。これらから、この厚生式炊飯器に前後に、お櫃の底に配置した極板形を変えた「たからおはち」等の炊飯器が広く市販されていたことが分かる。

さらにまた、お櫃の底に極板を配置し、飯水の中に直接電流を通じる日高周蔵氏の特許（厚生式炊飯器）に先立ち、釜を2重にして、外釜の底に電極板を配置し、外釜で水を沸騰させ熱源とし、その100蒸気で間接的に内釜で炊飯する「自動電気鍋」の特許81658が1928年に、荒木吉次郎氏から出願されている。内釜の飯水に直接電流を通じるのではなく、外釜の極板と別け、外釜に入れた水が蒸発すれば通電が切れる。翌1929年3月の改良特許83460の外釜の極板形は、縦に対向形から、厚生式と同様の同心円形に変更されている。同10月の再改良特許86342は、「万能レンジ」として市販された（公立はこだて未来大学デジタル資料館 po000941 ポスターより）。このお櫃の底に極板を置く形式は、かまどの発想から自然で受け入れ易かったと考える。電極式炊飯器は完成した技術ではあったが、電流調整が難しく感電等の問題があった。電極式で水道水の湯を沸かすには小電流過ぎる。一般的な実用に耐える外熱式の炊飯器は、荒木吉次郎氏の電極式の熱源をヒーターに変えたものである。2重釜にして、外釜に沸騰したら20分で蒸発する分量の水を入れ（100で20分が炊飯の決め手）、外釜を鑄込みヒーターで熱し、間接的に炊飯をする「東芝自動式電気炊飯器ER-4」が1955年に市販される。外釜の水が蒸発すると温度が上がり、パイメタルのサーモスタットで電源が切れる。現在に近い1重釜で、鑄込みヒーターの上に釜を置き、鍋底のセンサーが130で切れる炊飯器は、翌1956年松下電器が市販し、1988年にはIHジャー炊飯器を発明する。

9 水道水炊飯器再現と電流特性

「厚生式（同心円形極板）」と「たからおはち（櫛の歯形極板）」が現存する。両者の極板をチタン1

種で自作して、志水木材産業（株）の約1合サイズの「のせ蓋おひつ」のミニおひつ（木曽さわら材でタガが銅）の内径直径11.6cm、高さ6.2cm（外径直径14.5cm、外径高さ9.5cm、フタ除く）をお櫃ケースとして、再現実験し特性評価を行った。



図15. 対向型の底置き櫛の歯形極板（29分）

その前に、立てた対向極板（陸軍のものと同形）を折り曲げ底置き短冊形にした図.4を、櫛の歯形にすると（図.15）、極板間隔の対向距離が18cmから26cmに増え、水道水での炊飯時間（図5の印）が、58分から29分に短縮できる。この立て型ケースの櫛の歯形極板で、水道水炊飯した場合の電力と温度特性を見ると、図.16の青印となる。ピークは、150W程度で、1つ目の糊化開始温度に伴うピークは現れない。底の極板上の沸騰による泡のために、電流は50%程度ふらつく。

次に、この櫛の歯形の「たからおはち」タイプの極板形で、志水木材産業（株）の1合サイズのお櫃に合うように自作し（図.17(左)）、水道水で炊飯した場合の電流と温度特性を見ると図.16の赤×印となる。立て型ケースと同じ分量の、米150g、水230g（約1合）である。お櫃型底置き櫛の歯形の極板対向距離は、28cmとなる。底面積が、お櫃型は大学のケースに比べ1.1倍あるので、温度上昇が少し遅くなり、炊飯時間が33分に伸びる。初期の電力は、立て型櫛の歯形が50W、お櫃櫛の歯形が40Wでほぼ変わらない。熱効率は、立て型櫛の歯形が約70%、お櫃櫛の歯形が約80%である。お櫃櫛の歯形の方が、立て型櫛の歯形よりも温度上昇がゆるやかになる。これは、立て型の方の内容積が、お櫃型の内容積より広いため、熱効率が下がっている。また、お櫃型の左右の2枚の櫛の歯形の極板は、左右対称で同じ極板であるのに対し、立て型の櫛の歯形の左右の2枚は、同形でない。

一方、図.18(左)のように自作した「厚生式」タイプ（同心円形極板）においても電流特性評価を行った。水道水でのお櫃型底置き同心円形炊飯に対する電流特性は、図.16の緑*印に示す。図.16における、3種類の第2ピーク（糊化の開始に伴う第1ピークはでない）の電流値の大きさは、極板間隔の対向距離の差による。主に、対向極板間隔内に電流

は流れる。使用後の同心円形極板の中心部分の丸い極板を見ると、その円の周辺に放電の劣化が見られる(図.18(左))。このお櫃型同心円形の電流特性は、大阪市立科学館の「たからおはち」の再現実験と電流ピーク値、ピーク時刻位置も含め、ほぼ同じである。立て型櫛の歯形と、ピーク時刻位置は同じであるが、お櫃型では蒸発その後の電流が急激に下がる。これは、立て型より広いお櫃型ケースの底に配置していることが関係する。お櫃型同心円形は、極板間隔の対向距離が 29cm と長く 23 分で炊き上がるが、中央に丸い円形の極板が必要なので、この部分には熱源はできず、お櫃型櫛の歯形に比べても底全体で熱源が均等ではなく、均等に炊飯できない。お櫃型同心円形も沸騰の泡で 50 % 程度ふらつき、熱効率もお櫃型櫛の歯形と同様の 82 % である。立て型対向極板は電流は安定し均等加熱できる利点がある。

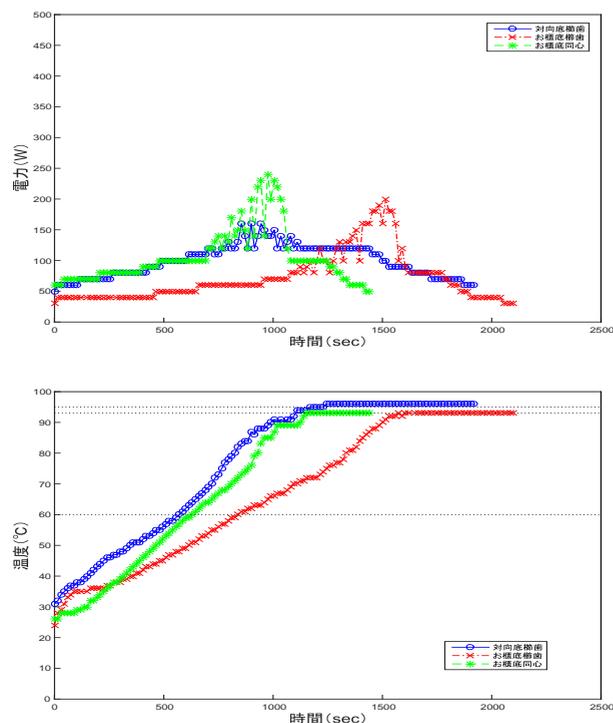


図 16. (上) 水道水の立て型底置き櫛の歯形炊飯(印)とお櫃型底置き櫛の歯形炊飯(×印)とお櫃型底置き同心円形炊飯(*印)の電力値。(下)水温の時間変化。

電極式炊飯では、水道水のみでは糊化開始温度での第1ピークが現れず、蒸発による第2ピークの1山電流特性となり、塩を入れると、糊化の進行と塩が関係し2山の電流ピークが現れることが分かった。この現象は同じく、小麦粉(薄力粉)150g、水190gだけの蒸しパンでも現れる。これらの事から、塩がなくても糊化は起こるが、塩が糊化の進行と関係し、2山のピークを作ることが分かった。電流が小さく火力が弱いので、1山電流特性になるのではない。

水道水による電極式の調理では、炊飯でもパンでも整理すると次のようになる。

1. 糊化+塩水+析出=2山ピーク
2. 糊化+水道水+蒸発=1山ピーク(第2のみ)

水道水では 6W しか流れないが、小麦粉水では 60W も流れる。これは製粉すると成分のミネラルが水に溶解電解質になるためで、小麦粉水パンの電流特性を詳しく見ると、山の高さが 10W しかなく、しかも第1ピークより第2ピークの方が大きい2山を示す。そのため一見すると1山のピークに見える。

底置き型は電流上昇が急で下がるのも急である。立て型対向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。小麦および炊飯の電極式調理の特性をまとめれば表2となる。蒸発水は加えた水の量に対する割合を示す。



図 17. (左) お櫃型底置き櫛の歯形炊飯器(自作)。(右)炊き上がり(33分)。



図 18. (左) お櫃型底置き同心円形炊飯器(自作)。(右)炊き上がり(23分)。

表 2. 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 %	480W	16 %	8分
練りパン	1.06	62 %	780W	21 %	13分
発酵パン	2.0	59 %	190W	13 %	11分
立型炊飯	0.17	71 %	390W	30 %	23分
立型櫛炊	0.0	72 %	160W	13 %	29分
櫛型櫛炊	0.0	84 %	200W	10 %	33分
櫛型同炊	0.0	82 %	240W	10 %	23分

10 全卵ホイップの電極式ケーキ

誰もやったことのない、全卵をホイップした泡の生地に通電した「電極式ケーキ」(図.19)も、立て型対向ならば14分通電して完成することを確認した。

電極式ケーキの手順は、まず、全卵100g(M玉2個殻なし)に、砂糖40g、塩0.6gを入れ、ミキサーで中速3分、低速9分ホイップしツノを出し、振るった小麦粉(薄力粉)50gとふくらし粉1.0gを少しずつ混ぜる。無塩バター13gを50の牛乳24cc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、14分間通電する。途中、生地が膨らんだらフタをする。家庭用オーブンで焼く場合には、予熱10分で180℃まで上げ、180℃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20の*印となる。全卵を混ぜただけの液状生地の蒸しパンは2山となる(次章11)が、全卵をホイップした泡状生地の電極式ケーキでは、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。実際には、糊化終了温度で最低となった後、泡生地のため電流の増加がなく平坦となり、そのまま蒸発による析出により電流は下降するので、1山に見える。リコッタチーズを20g入れると、さらにおいしくなる。その時には、無添加牛乳を9ccとする。入れる前と同様に、電流特性は1山に見える(図20の○印)。



図19. 全卵のホイップ生地に通電した「電極式ケーキ」。

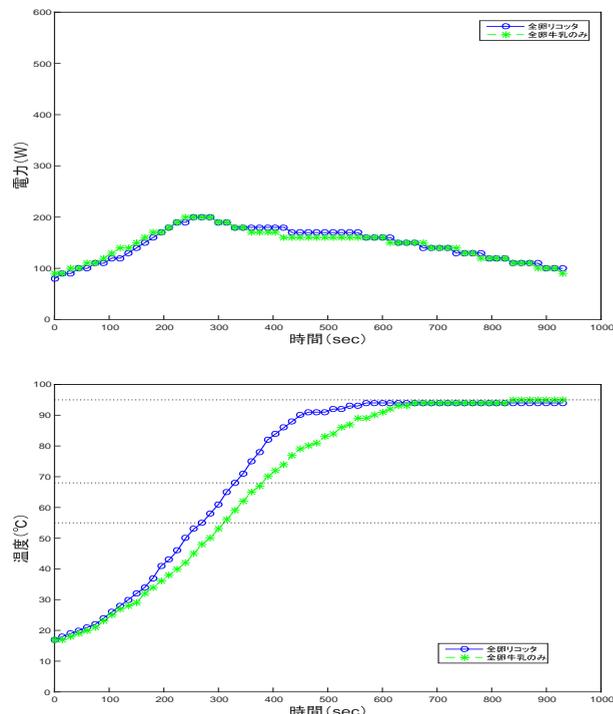


図20. (上) 全卵ホイップリコッタ入り電極式ケーキ(○印)と白身ホイップリコッタ入り電極式ケーキ(×印)と全卵ホイップ牛乳のみ電極式ケーキ(＊印)。(下) 水温の時間変化。

11 全卵を混ぜたホットケーキ

基本の蒸しパンの水190ccを、水180g、牛乳10ccと変え、全卵50g(M玉1個殻なし)を混ぜただけの

液状生地の自前のホットケーキの電流特性は、図21の○印となる。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)の生地では、図21の×印となる。基本の蒸しパンは、図21の*印となるので、混ぜた全卵は、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。電極式調理の電流特性は2山が見かけ上、1山に見えることがある(表3)。

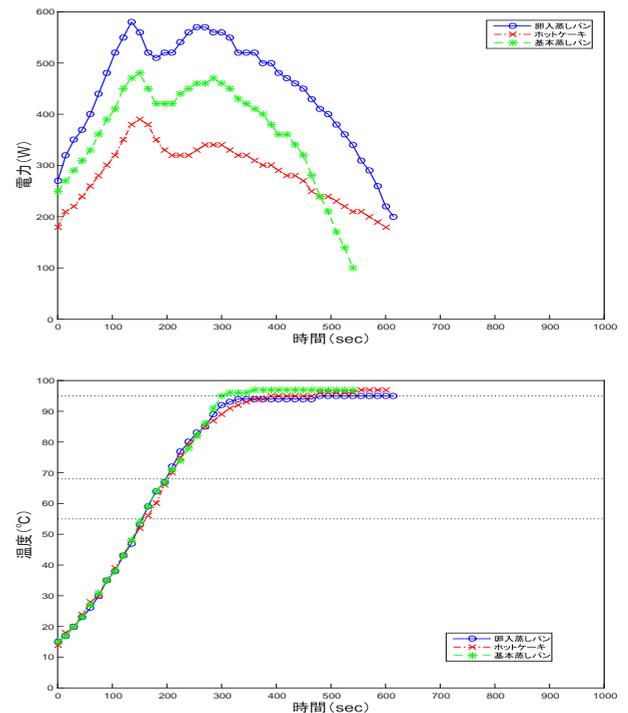


図21. (上) 全卵入り蒸しパン(○印: 塩0.4g)と全卵を混ぜた日清ホットケーキミックス(×印: 塩1.5g相当)と基本蒸しパン(*印: 塩0.4g)の電力値。(下) 水温の時間変化。

表3. 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 最底	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)
水道水パン炊飯	×	×		1山(第2)
電極式ケーキ		×	×	1山(第1)

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発酵食パンの性能評価実験. 神奈川大学理学誌 31: 投稿中.
- 4) 青木 孝 (2021) 全卵ホイップ泡状生地の電極式ケーキの特性とまとめ. 神奈川大学理学誌 32: 投稿予定.