

■原 著■

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

青木 孝^{1,2}

Reproduction Experiments Using Electrode Rice Cooker/Bread Machine

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. Email:u17aok@kanagawa-u.ac.jp

Abstract: We improved "Denki-Pan" (bread baked using electrode bread machine) as plain bread fermented with yeast. We also experimentally reproduced "Denki-Rice" (rice cooking using electrodes) with several historical types of electrodes placed at the bottom of a cooker. We investigated historical factors by reproduction experiments.

Keywords: Denki-Pan, Denki-Rice, panko, titanium, gelatinization, starch, granule Yeast

序論

昭和9年1月に日高周蔵が、お櫃の底に短冊形や同心円形の極板を配置し、直に米を入れて炊く飯炊法の特許116015を出願する。同年(昭和9年)6月に旧日本陸軍が立てた対向極板で直に米を入れ炊飯する実用新案235674(発明者:阿久津正蔵)を出願する。昭和10年に陸軍において、阿久津正蔵は立てた対向極板による電極式パン焼き装置を発明する。その後、炊飯用の極板をパン焼きにも転用できるように改良し、「金はいくらかかってもよい。パンも焼け、炊飯もできる給養車を作れ」という陸軍の命令に対して、昭和12年に電源設備も含めたシステムとしての97式炊事自動車を実用化し、電極式技術を結実させる。実際には昭和14年版4月期の給養器具取扱説明書綴りの中の97式炊事自動車の取説には、炊飯手順の記載しかなく、パン焼きは兼用できたがその使用は限定的だったと考えられる。同じ給養器具取扱説明書綴りの中に、カマドによるパン焼き手順の記載があることから、この方法が通常だったことになる。この給養器具取扱説明書綴りは、2019年4月に、軍装研究家の高橋昇氏の所蔵を見せていただいたものである。

第2次世界大戦後、昭和21年には電気パン焼き器が紹介され、木枠に立てた対向極板間に100Vの交流電源をかけるだけの電気パン焼き器は家庭で自作されかなり広く用いられた。簡単のため、ふくらし粉を入れた蒸しパンが作られた。業務用には、旧陸軍仕様のイースト発酵させた食パンが作られ、小麦

粉が自由に売買できるようになると、パン粉販売へ転向するメーカーもでて、現在でも市販のパン粉の半分は、電極式パン粉として残る。工場では、200V電源で、ポリプロピレンケースに50cm×50cm程度の極板を極板間隔12cm程度で対向させて焼く。パン粉は、日本で発展した食材であり、電極式製パン法は日本独特のものであり、米国等へパン粉および生産方式も輸出され、「PANKO」は英語になった。電極式では、極板の電蝕が問題となるが、昭和63年全国パン粉工業協同組合連合会の清水康夫らの努力によって、純チタンを極板に使うことを国に認可させ、これを解決した。電極式では、焼くわけではなく、沸点100℃にしかならないので、白いパン粉となり、冷凍食品の衣に使われ広まった。電極式は、ジュール熱による水の沸騰熱が熱源で、100℃までしか上がらないので、電極式のイースト発酵生地に通電した白いパンは、かえってイーストの香りがきわだち、おいしい。同じイースト発酵生地を、外から加熱するオーブンで焼く場合には、オーブンを190℃まで10分間で予熱して、さらにその190℃のオーブンで19分間焼き、合計29分かかる。焼き色がつく。しかし、電極式はジュール熱により生地自体が発熱するので、熱効率が約65%と良い。同じイースト発酵生地を予熱なしにそのまま11分通電するだけである。熱効率の良さが11分と29分の差に表れる。さらに、電流を担うイオン源が100℃の水の蒸発と共に析出し、勝手に電気が切れるという優れたものである。

また、おはちの底に櫛の歯形のチタン極板を配置して、極板間隔を1 cm程度にせばめて水道水でも炊飯できるようにした、自作「たからおはち」(1合)は、熱源が底にしかないので、均等に炊飯できずムラがあり、さらに、底に水蒸気の泡がつき、電流を阻害するので、50%ほど電流がふらつき不安定になる。旧陸軍より先に昭和9年に特許をとった、おはち型炊飯器は、第2次世界大戦後、昭和21年に厚生式炊飯器(同心円形極板)として製品化され、極板を櫛の歯形に実用新案した「たからおはち」等が追従するわけであるが、炊飯はムラがあり、電流も不安定だったはずである。戦後のSONYの電極式炊飯器は、極板をアルミにしたため失敗した。通電後、アルミ酸化膜が電流を低下させてしまう。電極式は電流制御がむずかしいので、万人向けではない。それに比べ、旧陸軍の立てた極板では、横から均等に炊飯でき、おいしい。さらに、電流が不安定になることもなく立て型の方が性能がよい。水道水だけの調理では、極板間隔が広いと電流が流れにくい。極板間隔を狭める工夫が、底に極板間隔を狭めて1 cm程度に配置する方法である。その対向距離を長くする極板形状の工夫も必要となる。立てた対向極板では、塩等のイオン源が必須である。大学のパン焼きケースは極板間隔が6 cmあるので、水道水では電流が流れないので、0.4 gほど塩を入れる。昭和30年に東芝から、2重釜の外釜に20分で蒸発する水を入れ、なくなったらサーモスタットで電気が切れる外熱式の炊飯器が市販され、電極式にとって代わる。厚生式電気炊飯器は一つ現存(個人所有)する。「たからおはち」は、大阪市立科学館と東京薬科大学の内田隆講師の調べによれば、宇和島市吉田ふれあい国安の郷、坂戸歴史民俗資料館、調布市郷土博物館(同心円型)に4つ現存する。厚生式電気炊飯器(5合用)の取説には、陸軍から、電極式技術を家庭用に転用した昭和9年の日高周蔵特許を国民栄養協会が譲り受け製品化したと記述してあるが、日高周蔵特許に陸軍との関係はなく、その確認は取れない。日高周蔵と陸軍と阿久津正蔵の関係は全く不明である。

神奈川大学理学部では、29年前から物理学学生実験の1つとして、木型に極板間隔6 cmの対向極板を立て、ふくらし粉の液状生地を入れた電極式パン焼き器における性能評価をさせている。その結果、加えた電気エネルギーに対する水の蒸発熱(調理に使われたと考える)の比すなわち熱効率が約70%であることが分かった。火力発電所の熱効率が約35%なので高効率である。これが、電極式が外から加熱する焙焼式(オーブン)に比べ、釜の予熱も必要なく経済的なうえ、設備も小さくでき新規参入し易かつ

たので、関西で広まった理由である。時系列の電流変化は、でんぷんの糊化の進行に伴い、2つのピークを持つことを明らかにした。糊化開始温度で、でんぷんが吸水を始め、電流が下がる(第1ピーク)。糊化終了温度で、でんぷん粒の吸水による膨張が最大になり破裂する(最底の電流)と、再び電流は上昇し、水温が100°C近くになると蒸発によりイオン源が析出するので、電流は下がる(第2のピーク)。小麦、米等で、でんぷん種が違えば、糊化の開始と終了の温度帯が異なるが、2つのピークができるメカニズムは同じである。炊飯では、水道水のみでの調理において、第2ピークしかわからず1山に見える。米は粒食であるが、小麦は粉食なので、ふくらし粉やイースト発酵等が必要になる。

電極式では、極板の電蝕が問題になるが、昭和63年、全国パン粉工業協同組合連合会の清水康夫らの努力により、純チタンを極板に使うことを国に認可させ、これを解決した。その後、神奈川大学では、立てた対向および底置きで、ステンレス極板と、チタン極板の比較を行い、液状パン生地(蒸しパン)および練り状パン生地、イースト発酵パン生地(パン粉用)、炊飯の再現実験を行った。電極式調理における、液状パンの出来上がり時間は8分、イースト発酵パンは11分、炊飯は23分である。この結果等と歴史的過程や背景については、すでに報告した^{1,2)}。これまでの研究は、およそ20年前に、昭和のくらし博物館に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依頼されたことに始まり、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³⁾、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。この時、立てた対向極板による、蒸しパンと炊飯実験により、電極式の特性を理解した。その論文で昭和9年におひつの底に極板を置く炊飯器の特許が日高周蔵から出願され、その極板の変更の実用新案が昭和21年に出て、取説中の「蒲田区」から製造は昭和22年頃であろうと長谷川氏とつめた。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論文につながった。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によることが分かり、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、同年10月には、少年工作の雑誌にも紹介され広まり、厚生式電気炊飯器を市販した国民栄養協会が「厚生型電極式製パン器」も市販した（渡辺由美子氏と東京薬科大学の内田隆講師の調査による）。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。2018年10月には、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」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。2019年4月には、昭和14年版4月期の給養器具取扱説明綴り⁴⁾を軍装研究家の高橋昇氏に見せていただいた。

方法

イースト食パンとおはち型炊飯の実験手順

本論文では、極板にすべてチタン1種を使い、まず、前に報告した、イースト発酵させた実際のパン粉用パンのレシピから、おいしいイースト発酵させた食パンに配合を変えた場合の特性変化を調べた。また、水道水でも電流が流れるように極板間隔を1 cm程度に狭めた、おはちの底に極板を置く「たからおはち」のような炊飯器において、極板の形状を、「たからおはち（櫛の歯形）」や「厚生式（同心円形）」に変えた時に特性がどう変わるかを調べた。立てた平行対向のケースで、極板を底で90度に折り曲げ、短冊形のように1 cm程度に極板間隔を狭め、水道水で炊飯すると58分かかる¹⁾。極板の対向距離の長さが、電流量を決めるが、この大学のケースで短冊形は、ケースの横長18 cmである。今回はこの短冊形を、櫛の歯形に変えた場合も調べた。平行極板のまま塩0.4 g入れると、23分で炊飯できる¹⁾。大阪市立科学館の櫛の歯形極板の再現実験「たからおはち（2合）」では、水道水で25分で炊飯できる。

結果と討論

イースト発酵食パンの電流特性の比較検討

前報告²⁾で、清水康夫氏の文献⁵⁾を参考に、電極式パン粉用パンの再現実験を次のように行った。パン生地は、日清カメリア小麦粉（強力粉）150 g、SAFドライイースト4.5 g、塩1.5 g、無塩バター5.0 g、砂糖2.5 gを水100 gで練り、20分間60℃で1次発酵させた。本報告では、同じカメリア（強力粉）で、味を重視した食パンとするために配合を、日清カメリア小麦粉150 g、SAFドライイースト4.5 g、塩2.0 g、

無塩バター15.0 g、砂糖10.0 gに変えて、パン粉用パン同様に1次発酵生地を作った。正確のために手順を示す。すでに、昭和22年に阿久津正蔵氏が、電極式イースト発酵パンのための手順を書いている⁶⁾。



図1. (上) 1次発酵後、3等分して丸め「の」の字側を極板に付けケースに入れる。(下) ケースごと2次発酵して極板に触れた生地。

配合する材料を、33℃100 gの水で、発酵が始まりなめらかになるまで捏ねる。1かたまりにして、発酵器で42℃で25分間1次発酵させる。1次発酵後、ガス抜きし3等分して、それぞれを小判型に伸ばし、長い方の縁を折った後で、海苔巻き状に丸め成型し、極板をセットしたパン焼きケースに、巻き終わりを下に「の」の字が極板に触れるように3つを並べて入れる。ケースごと、発酵器に入れ42℃で25分間2次発酵させる。イースト発酵により膨らみ、パン生地がチタン極板に9割程度接触する。11分通電後、電力は0.3 Aに落ち出来上がる（図1-3）。通電途中、パン生地がケース上外に盛り上がるので、熱が伝わるように別の底板でフタをする。



図2. 通電し膨張した生地。

この食パン用配合（青○印）とパン粉用配合（赤×印）の電力変化を見ると図4となる。100 V通電後、図4の上図に電力の時間変化を、下図に横軸を同じ時間経過とした温度の時間変化を示す。パン粉用パンでは、塩1.5 g、砂糖2.5 g、無塩バター5 gであったところを、食パン用では、塩2.0 g、さらに砂糖10 g、無塩バター15 gに増量しているため、電流がピークで10%増えているだけで、ほぼ同じ電力推移をする。また、強力粉では、薄力粉に比べ、電力ピーク等を見ると、デンプンの糊化の温度帯が、5℃低くずれていることが分かる

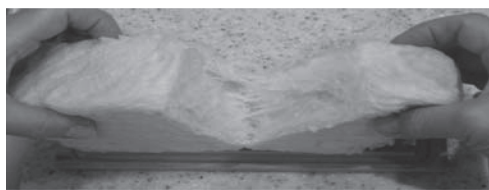


図3. ちぎった食パン.

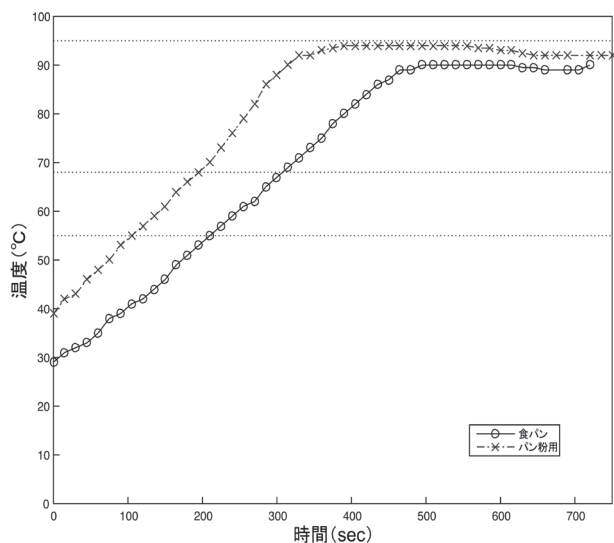
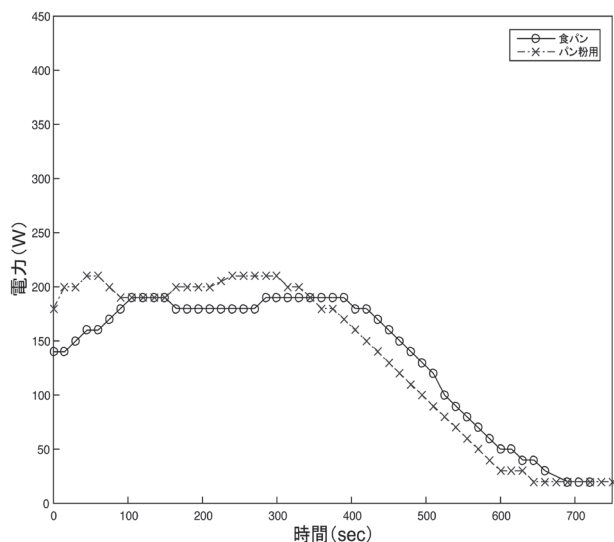


図4. (上) カメリヤ発酵食パン (○印: 塩 2.0 g) とカメリヤ発酵パン粉用パン (×印: 塩 1.5 g) の電力値. (下) 水温の時間変化.

(表1).

図4で両者のピークがずれるのは、それぞれの第2発酵後の温度が違うためである。

次に、食パン用の強力粉をカメリヤ (タンパク質

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 (薄)	55°C	68°C	95°C
小麦粉 (強)	50°C	63°C	95°C
米	60°C	93°C	95°C

12%) から、日清パン専用特選強力粉(タンパク質 13%) に変えた場合と、食パン用の無塩バター 15 g を同量の有塩バターに変えた場合を比較した。有塩バターに変えると、10.5%の塩相当量: 0.21 g が加わり、食塩 2.21 g となる計算である。強力粉を変えたことは、電流特性にはほぼ影響しないが、出来上がりの食パンの食味はかなり違う。有塩バターは塩量が増えるので、ピーク電流が3割増えるが、焼き上がり時間は変わらない。10数種類の強力粉を試したところ、電極式イースト発酵パンでは、日清特選強力粉が一番おいしい。以上まとめると、表2となる。それぞれ食味は違うが、電流特性としてはほぼ同様であり、熱効率も60%程度となる。焼き時間はすべて11分である。

ここで、タンパク質を重量比で13%含む強力粉を

表2. イースト発酵パンの電流特性

	塩	熱効率	ピーク	蒸発水
カメリヤ	1.5 g	63%	210 W	16%
カメリヤ	2.0 g	59%	190 W	13%
カメリヤ	2.21 g	55%	230 W	20%
特選	2.0 g	53%	180 W	15%

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に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電流特性をまとめておくと、表3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150 g、模擬練りパンは225 gである。水の量は、蒸しパンが190 g、模擬練りパンが170 g、発酵パンが100 gである。

表3. 小麦粉による各種パンの電流特性

	水/小麦	塩/水	熱効率	ピーク	蒸発水
蒸し	1.27	0.21	69%	480 W	16%
練り	0.76	1.06	62%	780 W	21%
発酵	0.67	2.0	59%	190 W	13%

お櫃型の極板底置き炊飯の特性比較

水道水でも炊飯できるように、極板をお櫃の底に極板間隔を1 cm程度に狭めて配置し、第2次世界大戦後の昭和21年に市販された「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。本論文では、両者の極板をチタン1種で自作し

て、志水木材産業㈱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11.6 cm、高さ6.2 cm（外径直径14.5 cm、外径高さ9.5 cm、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。

その前に、大学ケースの立てた対向極板（陸軍のものと同形）の極板間隔6 cmで、米150 g、水230 g、塩0.4 g入れた基本炊飯（図5青○印：23分で完成）と、対向極板を底で折り曲げ、短冊形にして底で極板間隔が1 cmに向き合うようにして（図6（上））、水道水だけでも炊飯できるようにしたもの（図5赤×印：58分で完成）を比較すると、図5となる。水道水のみでは、糊化開始温度に起こる電流の第1ピークが現れない。お櫃の底に極板を置くと、図5の短冊形（赤×印）のように、沸騰時に極板に蒸気の泡が付き、電流が50%程度ふらつき不安定になる。立

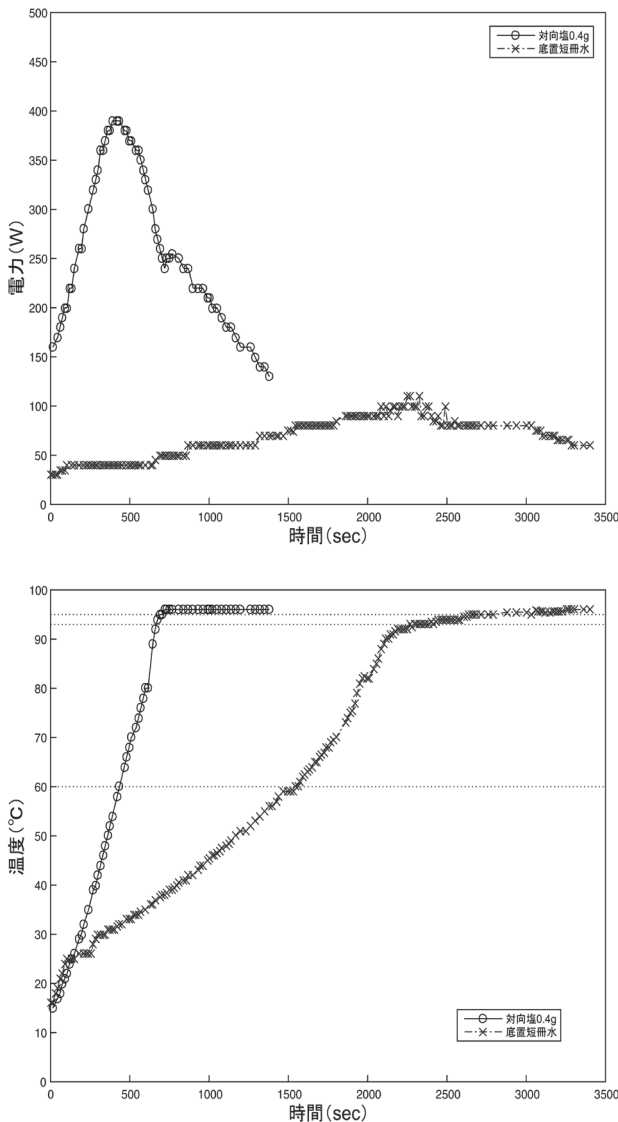


図5. (上) 対向基本炊飯（○印：塩0.4 g）と立て型底置き短冊形水道水炊飯（×印）の電力値. (下) 水温の時間変化.

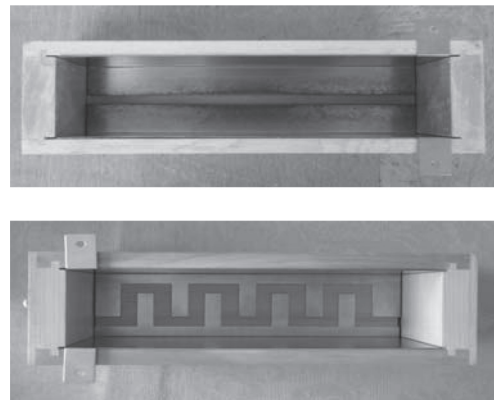


図6. (上) 対向型の底置き短冊形極板. (下) 対向型の底置き櫛の齒形極板 (29分).

てた対向極板は安定し、左右から均等に加熱できる。

この短冊形極板を、櫛の齒形にすると、極板間隔の対向距離が18 cmから26 cmに増え、水道水での炊飯時間（図5の赤×印）が、58分から29分に短縮できる。自作した、「たからおはち」に似せた立て型ケースの、底置き櫛の齒極板は、図6（下）となる。この立て型ケースの櫛の齒形極板で、水道水炊飯した場合の電力と温度特性を見ると、図7の青○印となる。ピークは、150 W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。この、唯一現れる第2の蒸発に伴う電流ピークの時刻位置は、「たからおはち」³⁾の再現実験のデータと同じである。しかし、その電流ピーク後の電流値の下がり方がゆるやかなのは、お櫃型ではなく、より狭い立て型ケースの底に配置していることが関係する。

この櫛の齒形の「たからおはち」タイプの極板形で、志水木材産業㈱の1合サイズのお櫃に合うように自作し（図8（左））、水道水で炊飯した場合の電流と温度特性を見ると図7の赤×印となる。立て型ケースと同じ分量の、米150 g、水230 g（約1合）である。お櫃型底置き櫛の齒形の極板対向距離は、28 cmとなる。大学の立て型ケースの底面積は、 $6 \times 18.3 = 110 \text{ cm}^2$ であるが、お櫃の底面積は、 123 cm^2 となり、より1.1倍広い。同じ米150 g、水230 gでは、お櫃の方がコメ水の高さは5 mm程低くなる。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、炊飯時間に時間がかかる。お櫃型櫛の齒形は、立て型櫛の齒形に比べ底面積比と同じ1.1倍の33分の炊飯時間で炊ける。初期の電力は、立て型櫛の齒形が50 W、お櫃櫛の齒形が40 Wではば変わらない。第2ピークの電流は、極板間隔の対向距離が長いお櫃櫛の齒形の方が大きい。立て型櫛の齒形が160 W、お櫃櫛の齒形が200 Wである。熱効率は、立て型櫛の齒形が約70%、お櫃櫛の

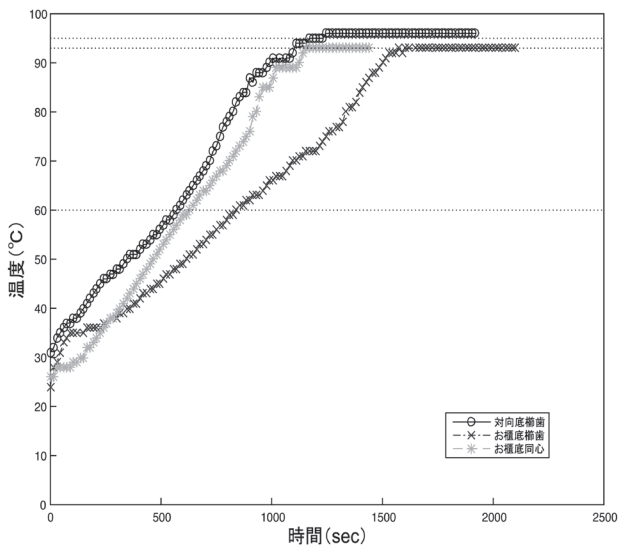
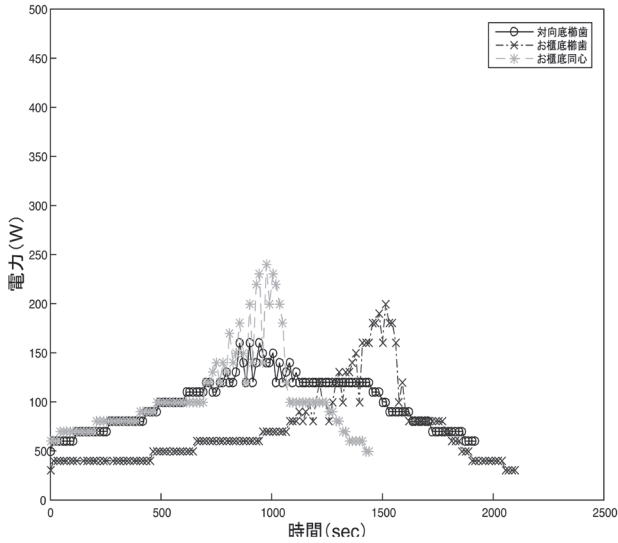


図 7. (上) 水道水の立て型底置き櫛の歯形炊飯 (○印) とお櫃型底置き櫛の歯形炊飯 (×印) とお櫃型底置き同心円炊飯 (*印) の電力値. (下) 水温の時間変化.

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、お櫃型の内容積が、 $123 \times 6.2 = 762 \text{ cm}^3$ 、一方、立て型の内容積が、 $110 \times 8 = 880 \text{ cm}^3$ で、立て型の方が広いために、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、同形でないので、量産的には、お櫃型の櫛の歯形は利点がある。「厚生式」の同心円形極板も、左右が対称の同形にならない。各ケースの仕様を整理すると、表 4 となる。

一方、図 9 (左) のように自作した「厚生式」タイプ (お櫃型底置き同心円形極板) においても電流特性評価を行った。主に「たからおはち」のお櫃型櫛の歯形との比較を行った。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 7 の緑*印

表 4. 水道水炊飯用ケースの仕様 (極板間隔 1cm)

	極板対抗距離	床面積	内容積
立て短冊	18 cm	110 cm ²	990 cm ³
立て櫛歯	26 cm	110 cm ²	990 cm ³
お櫃櫛歯	28 cm	123 cm ²	738 cm ³
お櫃同心	29 cm	123 cm ²	738 cm ³



図 8. (左) お櫃型底置き櫛の歯形炊飯器 (自作). (右) 炊き上がり (33 分).

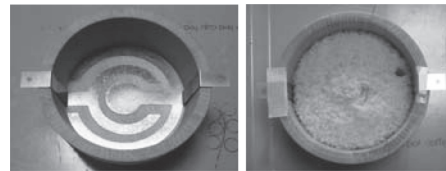
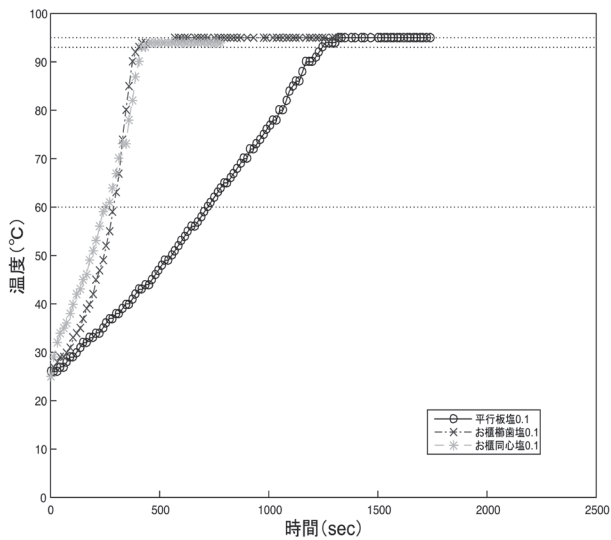
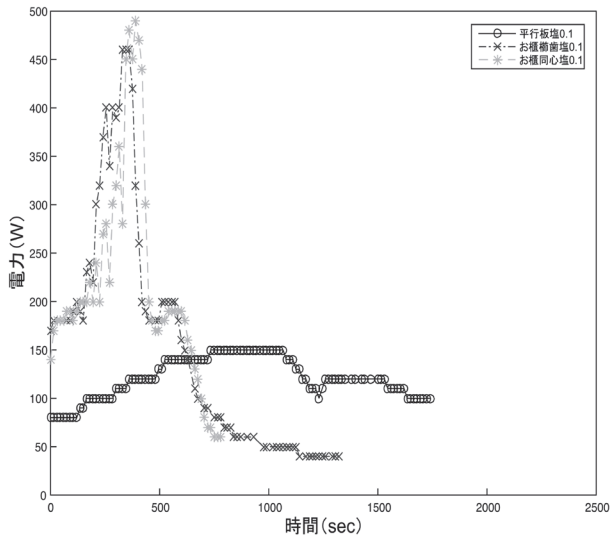


図 9. (左) お櫃型底置き同心円形炊飯器 (自作). (右) 炊き上がり (23 分).

に示す。図 7 における、立て型櫛の歯形、お櫃型櫛の歯形、お櫃型同心円形の第 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、表 4 に見るように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 9 (左))。お櫃型同心円形の左右の2枚の極板は、左右同形ではない。このお櫃型同心円形の電流特性は、2013 年に行った「たからおはち」の再現実験³⁾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。お櫃型同心円形は、極板間隔の対向距離が長く 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、極板が底に配置されるので、沸騰の泡で電流が障害され、50%程度ふらつく。熱効率もお櫃型櫛の歯形と同様の 82%である。図 5 の青○印の、立て型対向極板は電流は安定する。お櫃型は水道水でも実用になることを確認した。

さらに、炊飯時間の短縮のために、お櫃型底置き櫛の歯形と同心円形で塩 0.1 g を入れた場合の電流特性を調べた。立て型の極板間隔 6 cm の対向極板 (図 10 青○印) では、底置きにしなくても、0.1 g の塩を入れると 0.8A 流れるので、これとお櫃型 2



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．

つを比べた（図10）。3つとも塩を入れると、水道水では第2ピークのための1山だったものが、2山の電流特性になり、糊化開始に伴う第1ピークも現れ、最大となる。櫛の歯形（図10赤×印）も同心円形（図10緑*印）も電流特性はほぼ同じとなり、ピーク電流は2倍になるが、熱効率は水道水と変わらず80%程度である。両形とも19分で炊ける。火力が強いので、10分で沸騰しすぐ電流は下がる。0.1g塩を入れた立て型の対向極板（図10青○印）は、水道水の立て型の底置き櫛の歯形（図7青○印）とほぼ同じ電流形を示す。違いは、立て型対向極板の0.1g塩は2山となり、その糊化開始に伴う最大第1ピークが、同じ立て型の水道水の底置き櫛の歯形の1山しかでない蒸発に伴う第2ピークに対応する事である（第1ピークはでない）。対向極板では、底置きのような、電流の不安定さはない。以上をまとめると、表5となる。初期電力は初期水温にもよるが、1cm

表5. 炊飯の各特性比較

	塩	完成	熱効率	ピーク	減水
立て対向	0.4 g	23 min	71%	390 W	30%
立て短冊	0.0 g	58 min	64%	110 W	13%
立て櫛歯	0.0 g	29 min	72%	160 W	13%
立て対向	0.1 g	28 min	70%	150 W	14%
お櫃櫛歯	0.0 g	33 min	84%	200 W	10%
お櫃同心	0.0 g	23 min	82%	240 W	10%
お櫃櫛歯	0.1 g	19 min	83%	460 W	18%
お櫃同心	0.1 g	19 min	81%	490 W	13%

の極板間隔によって、10W強増える。お櫃型の方が立て型に比べ、内容積が狭いので熱効率が15%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、熱効率はピーク値によっては決まらない。お櫃型については、底置き同心円形は、電流が早く立ち上がるので、水道水でも実用的であるが、底面積に対する1cmの極板間隔面積の比が、同心円形では28%、櫛の歯形では38%と小さくなる上、さらに、底面に対し均等に配置できないので、炊飯にはムラができやすい欠点がある。

水道水中の塩が及ぼす糊化と2山電流特性

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、小麦デンプンによる小麦粉（薄力粉）150g、水190gだけの蒸しパンでも現れる。図11のように、立て型対向極板間隔6cmの場合（青○印）でも、立て型底置き短冊極板間隔1cmの場合（赤×印）でも蒸発に伴う第2ピークの1山電流ピークしか現れない。念のため、同じ小麦粉（強力粉）でさらに確認するために、立て型底置き櫛の歯形を使い、塩だけを0gにして水道水のみで作ったイースト発酵パン（残りの強力粉、ドライイースト、砂糖、無塩バター、水は同量）の実験を行った結果も、やはり、蒸発に伴う第2ピークの1山ピーク特性になった。このとき、58分かかり食パンは出来上がり。18g（18%）の水が減り、ピーク電流は0.3A、熱効率は74%となった。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。

まとめ

すべてチタン1種極板を使った上で、電極式イースト発酵食パンは、熱効率がオープン焙焼式に比べ改めて良いことを明らかにした。配合をおいしい食パン用に変えても、電流特性はほぼ変わらない。強力

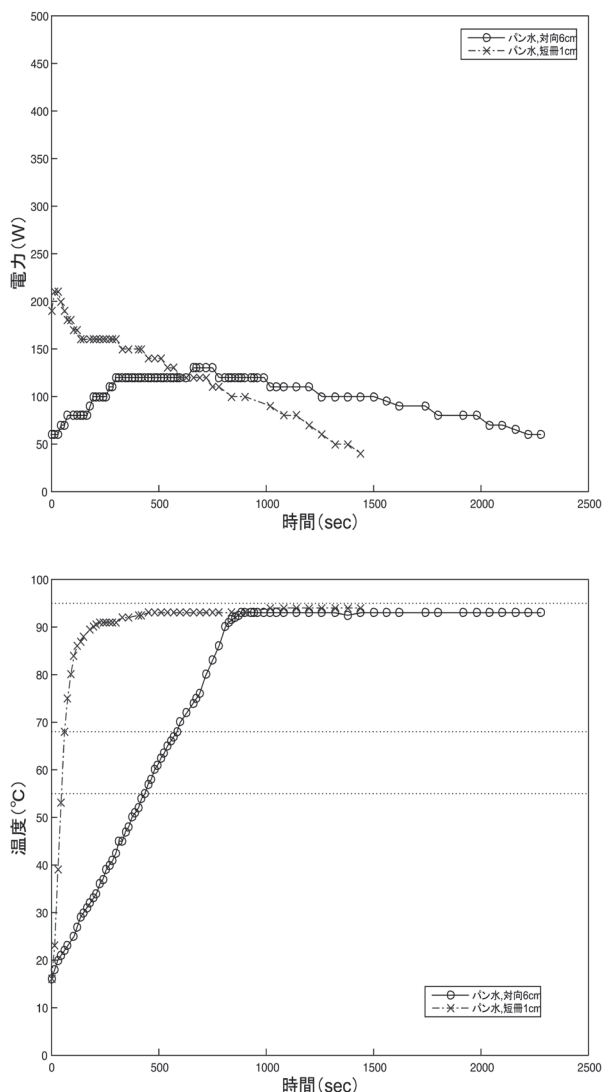


図 11. (上) 水道水の立て型対向小麦水パン (○印) と立て型底置き短冊形小麦水パン (×印) の電力値. (下) 水温の時間変化.

粉の糊化進行の温度帯は薄力粉に比べ 5°C 下がる。

お櫃の底に、あるいは立て型の底に、極板を間隔が 1 cm 程度で、対向距離が長い形で配置すれば、水道水でも実用的に炊飯できることを確認した。立て型対向の塩 0.4 g 入れた基本炊飯同様に、23 分程度で炊飯できる。特に、お櫃型は、熱効率が 80% 程度と良い。しかし、底置きは、沸騰時に気泡が極板に付き、電流が 50% 程度ふらつき不安定になる上、熱源が底にしかなく、均等に炊飯できにくい。立て型対向は、電流の不安定もなく、横側面から均等に炊飯でき性能が良い。お櫃の底置きの櫛の歯形の左右 2 枚の極板は、左右対称に製作でき、製造面で利点もある上、同心円形より、底面に均等に配置でき、より均等に炊飯できる。

水道水による電極式の調理では、炊飯 (米) でもパン (小麦) でも電流特性は、糊化開始が電流に影響せず第 1 ピークは現れず、水の蒸発による第 2

ピークのみ現れ 1 山の推移を示す。水道水のみでも糊化は起こっているが、塩水にすると、糊化の進行と塩が関係し合い 2 山ピークが現れる電流特性となることを明らかにした。これは次のようになる。

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)

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。「電極式ケーキ」(図 12) も、立て型対向ならば完成することを確認した。この時、ケーキでは第 1 ピークのみ現れる 1 山となる。

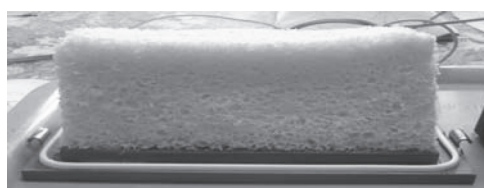


図 12. 全卵のホイップ生地に通電した「電極式ケーキ」.

謝辞

ケースの補充、極板の作成は、(株)三矢製作所の小原美千代氏にお願いした。イースト発酵パンおよびお櫃型炊飯については、熊谷家住宅の尾村七恵氏、昭和のくらし博物館の小泉和子館長、小林こずえ学芸員や愛媛県西予市宇和民具館の仙波香菜子氏にご意見をいただいた。愛媛新聞 2019 年 8 月 30 日付の宇和民具館実演記事において、森田康裕記者には「魔法の木の箱」という素敵な名前を付けていただいた。調布市郷土博物館の芝崎由利子氏と西予市教育委員会の高木邦宏氏には、お世話になった。軍装研究家の高橋昇氏には、貴重な資料を見せていただいた。三重大学教育学部の松岡守教授には、貴重なご指導とご指摘を頂き、東京薬科大学生命科学部の内田隆講師には、貴重な研究成果をお教えいただいた。また、再現実験の測定には、いつも青木浩美氏に付き合ってもらった。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) 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.
- 4) 陸軍糧秣本廠 (1939) 給養器具取扱説明書.
- 5) 清水康夫 (1988) 通電式製パン法とチタン通電極板について. *食品と科学* 1988(5): 114-117.
- 6) 阿久津正蔵 (1947) パンの上手な作り方と食べ方. 主婦之友社, 東京.