

■原 著■

## 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

青木 孝<sup>1,2</sup>

### Historical Background of the Invention of Electrode Rice Cooker/Bread Machine and a Reproduction Experiment

Takashi Aoki<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** Breadcrumbs made from "Denki-Pan" (breads baked using an electrode bread machine invented by Shozo Akutsu) are still on the market. We conducted an experiment to reproduce Denki-Pan, and compared stainless steel and titanium as electrode plate materials. The experiment revealed that the existing technology to cook rice with electrodes ("Denki-Rice") had been applied to Denki-Pan. Thus, Shozo Akutsu had put a two-purpose device into practical use. Electrodes to cook Denki-Rice are placed either parallel or at the bottom of a cooker. We investigated historical factors that influenced the process of materializing this idea.

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

## 序論

2枚の極板を木枠に挟んで、その中に極板に接するようにパン生地を入れ、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、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<sup>1)</sup>。この時、渡辺由美子氏の調査によれば<sup>2)</sup>、パン生地としては、1946年当時、農林省食糧研究所の川口武豊氏による小麦粉にふくらし粉を入れた練り状のものや、1947年当時、阿久津正蔵氏によるイースト菌で発酵させた練り状のものが紹介されている。神奈川県理学部では物理学学生実験の1つとして、ふくらし粉と食塩と砂糖を入れた液状のパン生地を、幅6cm平行に離した2枚のステンレス極板(長さ18cm、高さ10cm)を木枠に挟んだ自作パン焼き器に入れ100Vで通電し、29年前から性能評価を課題とさせる(図1)。その結果、余熱も必要なオープン等による周りから加熱する焙焼式に比べ、電極式は、パン生地自体がジュール熱で発熱するため、熱効率が70%程度と良く、焼き上がると蒸発により自動的に電流が切れるという優れた性質を持つことが分かった。そののち偶然2016年夏に、戦後の1947年頃に家庭用として市販された電極式炊飯器「たからおはち」の実物が大阪市立博物館に所蔵・展示され、その再現実験を2013年

に長谷川能三学芸員が行っていることを知った。この再現論文<sup>3)</sup>において、「たからおはち」の2枚の極板の構成には、電解質の少ない水道水で炊飯するための工夫が施されているので、本学のようなパン焼き器では炊飯できないと結論されていた。そこで、疑問に思い2017年春に、本学のパン焼き器でも炊飯できることを実験により実証した<sup>4)</sup>。

さらに調べると、現在でも電極式パンを作ってパン粉に加工していることが分かった。驚きと共に、全国パン粉工業協同組合連合会事務局に問い合わせ、その会員会社等の御協力により、電極式調理の歴史および食品衛生法と絡む実務上重要な極板の材質選定の経緯について教えていただいた。全く知らない事ばかりだった。

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、



図1. 本学パン焼き器により焼いたパン粉用パン。

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2）。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<sup>3)</sup>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)」(1646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）のものと同一だった。「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。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。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2. (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）。

また、「食生活」1946年10月号<sup>5)</sup>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、阿久津正蔵氏のパンについての寄稿もある。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」<sup>6)</sup>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追従して、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<sup>7)</sup>。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、バ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直接に釜を置き、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。

一方、国民栄養協会は、「食生活」1946年10月号の中で、「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。内田隆講師（東京薬科大学）の調査によれば、第二次世界大戦後早い同時期に、少年工作として既にパン焼き器の設計が紹介された<sup>8)</sup>。

翌年1947年には渡辺由美子氏の調査によれば、

東京女子経済専門学校（現在は新渡戸文化短期大学）の沼畑金四郎教授により、極板間隔 6 cm 程度における、食塩量に対する水温と電流値の時間変化についての解析が行われていた<sup>9)</sup>。この論文では、全国パン粉工業協同組合連合会等に教えて頂き感動した電極式パン粉に至る経緯と、極板の材質による評価も含めた、そのパン粉用の電極式パンを再現する実験をしたので報告する。全国パン粉工業協同組合連合会の資料<sup>10)</sup>によれば、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<sup>11)</sup>で、まず電極式炊飯があり、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。教えて頂いたその歴史を簡単に紹介する。

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。」という命令を受け電極式炊飯器を開発し、それをトラックに実装した 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<sup>12)</sup>に見られるように、阿久津正蔵氏によって電極式製パン法および装置単体の創案・発明がなされた<sup>13)</sup>。さらに 1936 年出願の実用新案 247954「パン焼きに転用し得る炊飯用電極」の改良により、炊事自動車の煮炊装置にパン焼きを組み込み、そして 1937 年に、同じ装置で炊飯もパンも焼ける電極式（電源装置を含む）の 97 式炊事自動車と命名されて完成し実用化され技術が結実する。仕様は 1 時間に千食である。したがって、電極式調理は、炊飯が先でパン焼きが後となる。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。阿久津正蔵氏の遺稿<sup>11)</sup>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 115 V、電流は 100 A、周波数は 50 Hz といった定格のもの。」であった。木製の箱の 1 単位は、長さ 60 cm、横 30 cm、深さ 20 cm である<sup>14)</sup>。横 30 cm を、電極板 5 枚で仕切るので、電圧 115 V、極板間隔は 7.5 cm 程度になる。大妻女子大学の上杉宰世准教授によれば、軍隊式栄養パンが、イースト菌で発酵させた練り状のパン生地として知られる<sup>1)</sup>。第二次世界大戦後になり、前述の「たからおはち」等の家庭用の電極式炊飯器が市販される。長谷川能三学芸員によれば「たからおはち」の取扱説明書には、製造元の富士計器株式会社の所在地が「東京都蒲田区」となっており、1943 年の施行から蒲田区の廃止が 1947 年であるので、その市販年を 1947 年頃と推定する（極板の実用新案 359047 は 1946 年出願）。

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<sup>14)</sup>、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ことが、厚生式炊飯器の取扱説明書には書いてある。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、全体的に加熱が出るので、うまい飯が炊ける<sup>4)</sup>。阿久津正蔵氏の遺稿<sup>11)</sup>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 116473「炊事車」を出願する。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<sup>12)</sup>。

また、パン焼き器については、陸軍および阿久津正蔵氏から特許は出ていない。1943 年の阿久津正蔵著書「パン科学」の中で、1935 年に陸軍で発明した電気パン焼き装置を紹介している。電流を通しパンを焼き上げるという着想はすでに米国において創意されていたが、我々は、それを完全なる実用装置として、電源設備も含めた電気炊事自動車を完成させた、換言すれば、電気パン焼き装置の創案と称する方が良いかもしれない、と述べている。この著書には、主にパンを焼く仕事について科学的に記してあり、国民パン食の普及に努めるためには意義深いと、陸軍糧秣本廠長が序を書いている。一方の電極式製パ

ン法も、戦後同時期、炊飯器と同様に家庭用に技術が転用される。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、名古屋市株式会社ミカワ電機製作所等の指導により、製造設備の大型化、近代化が普及していく。現在も電気パン焼き機の製造販売を行っており、工場としては、初めて名古屋で電極式パンおよびパン粉が製造された。現在、パン粉は、パン生地が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、オーブ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、白い、焙焼式に比べ少し硬めのパン粉になり、粒状は良く見た目も良い。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。1965年には、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ため、冷凍エビフライの衣に白い電極式パン粉が初めて香川県のメーカーで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っていく。さらにまた、電極式パン焼き器では、極板の素材が通電により電蝕し、生地に溶けだしてしまうので重要であり<sup>15)</sup>、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。1967年には、素材として違法な極板(亜鉛引き鉄板等)を使った業者が、県衛生局の立ち入り検査を受け、販売停止の厳しい取り締まりを受けた。そのため、全国パン粉工業協同組合連合会の陳情により、新極板として「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。それでも腐食するので、全国パン粉

工業協同組合連合会の技術委員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。その清水康夫氏が次のように書く<sup>10)</sup>。

- (1)パン粉は元来西洋でフランスパンなどを削って衣として鉄板の上のフライ料理の原料であり、日本で発展を遂げた食品素材であるが、日本式パン粉の生産技術は著しく優れており、とくに通電式製パン法は日本独特のものである。
- (2)軍用に研究された電気パンが戦後の食糧難のときに、家庭用のパン焼き器として利用され、これが更にパン粉用のパン焼成法に発展したのは興味深い。

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、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「PANKO」が英単語として採用された。1990年に、ミカワ電機製作所が英国に、電極式パン・パン粉機械を出品したことも知名度を上げた。商売として初めてパン粉を売り出したのは、1907年(明治40年)の東京京橋八丁堀で、丸山寅吉氏による。それまでは、西洋料理のコックが食パンからパン粉を作り、コロケ、エビフライに使っていたが、企業化したいという発想だった。食パンを砕いて作るパン粉をソフトパン粉と言ひ、それ以外のパンから作るパン粉は普通パン粉と言う。この時、丸山寅吉氏は、焙焼式の食パン以外のパンを砕く方法を工夫して、ソフトパン粉に近づけるように製品化した。この方法が、現在も使用されているパン粉粉碎機の原型となる。その後、世紀を越え、パン粉は日本式洋食の食品素材として大発展した<sup>16)</sup>。

## 方法

### 電極式パン粉用パンの再現実験と手順

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)150g、SAF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<sup>10)</sup>、20分間60°C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本学パン焼き器に入れ、26分間63°C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。

100V通電後、図3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。10分経過後に電流は0.3Aまで下がり、14分

までは通電しフタをして蒸らした。実際に焼けたパンは、図1となり、熱効率は63%である。電流値の時間変化は、従来の学生実験の液状のパン生地（ふくらし粉、塩、砂糖）同様に小麦デンプンの糊化の進行に従い、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、析出開始により第2の電流ピークが現れる。一方、家庭用電気オーブンによる焙焼式の再現実験の場合には、1次発酵後、ガス抜きして5等分し丸めて成型し市販のアルミケースに入れ、生地の2次発酵までは電極式と同じ過程で、その後、オーブンを10分間で190℃まで予熱し、同190℃で2次発酵させた生地を19分間焼く。両者を再現実験して、同じ配合のイースト発酵させた生地を電極式で焼いたパンと、電気オーブンで焼いたパンを比較すると図4となる。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。実例として現

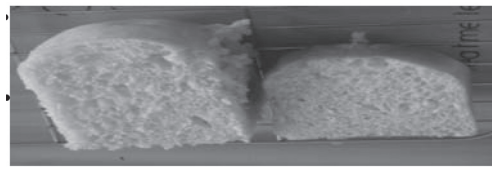


図4. 再現実験したイースト発酵のパン粉用パン（左：電極式：3等分，右：焙焼式：5等分）。

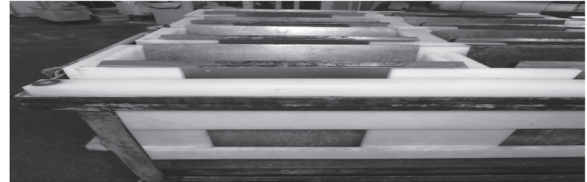


図5. (上) 工場業務用の電極式パン焼きケース（純チタン板）. (下) 焼いた電極式パン粉用パン.

在でも、工場において業務用または市販用の電極式パン粉用のパンは、図5上下図のように、50 cm × 50 cm 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極板間隔を12 cm程度に配置して、200 V 交流電源で焼かれている。このとき、ポリプロピレンは木のように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。

### パン粉用模擬練りパンと液状特性の把握

ドライイーストにより発酵させた練り生地による電極式パン粉用のパンを、薄力粉に入れる水の量を減らし練り状生地とし、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たいと考えた。練らないで蒸しパンになる液状の基本配合（小麦粉 150 g、塩 0.4 g、ふくらし粉 6 g、砂糖 25 g、水 190 g）から、水の量を減らし、捏ねて練り状にした生地の電流特性を調べる。薄力粉は、従来の日清フラワー粉より粉のキメが細かい日清ヴァイオレット粉を使い、水の量が減る分、小麦量は150 gから225 gに増やす。このヴァイオレット粉を捏ねて練り状にし、グルテンを出して模擬パンとする。まず従来の液状基本パンにおける電流特性の予備実験の結果、小麦粉のキメ細かさと特に捏ね量の増加は、電流増加を起すことが分かった。熱効率は70%程度で変わらない。

この結果をふまえ、ふくらし粉を使った練り状の生地のパン粉用パンの模擬パンを作り、電流特性を見た。ヴァイオレット薄力粉 225 g に、ふくらし粉

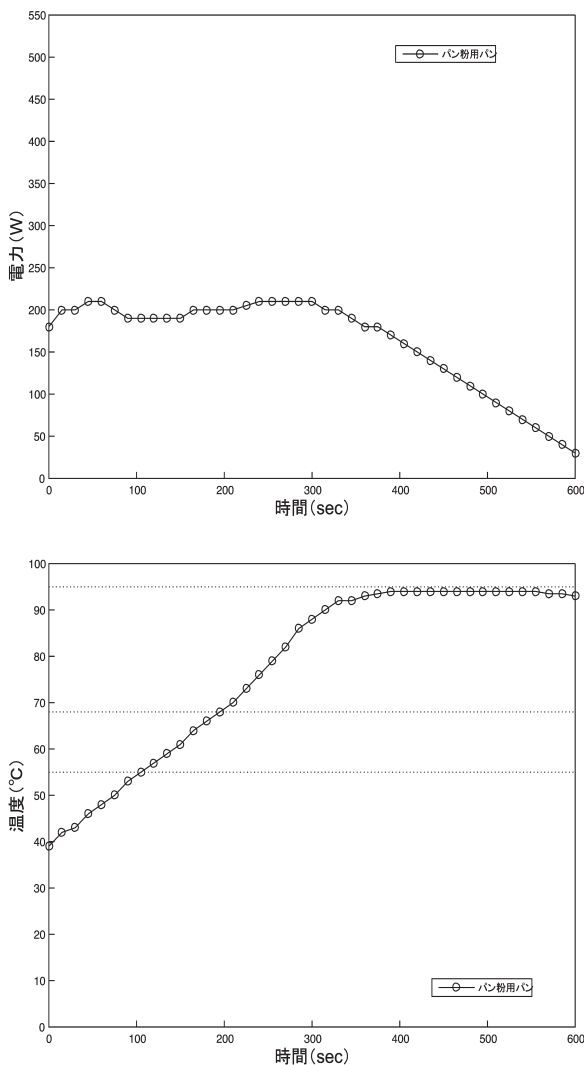


図3. (上)パン粉用パン(水 100 g, 塩 1.5 g, イースト 4.5 g, 砂糖 2.5 g, 無塩バター 5 g)の電力値. (下)水温の時間変化.

9g、塩 1.8g、砂糖 4g、ショートニング 7.5g、水 150g を入れ基本配合とし、捏ねて練り状にしてグルテンを出しパン生地を作る。塩を基本の 1.8g (図6の青○印) とした場合と塩を 2.0g (赤×印) とした場合、さらに塩の 1.8g は変えず水の量を 170g に増やした (緑\*印) 場合の電流特性の比較を図6に示す。3者とも塩が多く、電流が大きいので 50 秒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、第2ピークは現れず、電流は平坦となり、析出 (95℃) により電流は下がっていく。電流増加の違いにより、下がる時刻は異なる。その時、塩を入れない、ふくらし粉のみの液状生地 (小麦粉 150g、ふくらし粉 6g、砂糖 25g、水 190g) の電流特性 (図6の黒・印の点線) が、電流の最少後は、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ピークが現れなかったように<sup>4)</sup>、塩が入っていても水が少ない練り状生地においても、同様の発泡が効いて、第2ピークが現れないことが分かった。

ドライイーストで発酵させた練り生地の電極式パンの電流特性が、理屈通り二つのピークをもつ (図3) のは、発泡の仕方が違うことの表れである。練らない液状生地の蒸しパンとは違い、グルテンがふくらし粉から発生する炭酸ガスを風船のように溜め込むために、パン生地が膨らんでもっちりとした食感になる。基本の塩 1.8g、水 150g の模擬練りパン (青○印) は、10分で電流は 0.8A まで下がり、13分まで通電して蒸らす。このとき熱効率は 59% となり、ドライイースト発酵の電極式パンと同様に少し熱効率は落ちる。

この基本配合から水だけを 20g 増やし 170g にすると (緑\*印)、塩分量は約 0.1% 薄くなるがイオンがより溶け出すので、第1ピークの電流値は 1.2 倍になり、熱効率は 62% に上がる。一方、基本配合から塩分量だけを 0.2g (塩分量約 0.1%) 増やし 2.0g にした時 (赤×印) の、第1ピーク電流の増加よりも、水分量を 20g 増やした方が、練り生地： $\frac{\text{水分量}}{\text{粉分量}} = 0.67$  においては電流特性に敏感である。液状生地： $\frac{\text{水分量}}{\text{粉分量}} = 1.27$  においては、塩 0.2g の微増量でも敏感であった<sup>4)</sup>。

## 結果と討論

### チタン極板による電流特性の比較検討

全国パン粉工業協同組合連合会が、1988年に新極板と認めさせた純チタン板とステンレス板との比較を行った。純チタンには、純度によってチタン1種 (99.8%以上) とチタン2種 (99.4%以上) 等に分かれる。不純物としては、N, C, H, Fe, O 原子が入る。組合連合会の認可はチタン1種で受けている。本論文では、チタン1種と2種とステンレスの3種類で比較する。チタンは電気伝導率が低いので、ステンレス板厚 0.6mm より薄くして、清水康夫氏の論文<sup>10)</sup>と同様に 0.5mm とした。まず、従来のヴァイオレット薄力粉による液状生地の基本パンで、3種類の極板による電流特性を比較した。図7によれば、ステンレス、チタン1, 2種とも水温上昇はほぼ同じで、二つの山のピーク位置 (時刻) も同じであり、極板による特性差は小さい。この時、チタン1種とステンレスの電流値はほぼ等しいが、特にチタン2種ではステンレスに比べ、第1ピークの電流値が 1.1 倍になる。熱効率はステンレスの 70% と同様に変わらない。また、チタン1, 2種の極板に接するパンの側面において、極板が焼け変色した所や、パチパチと放電する

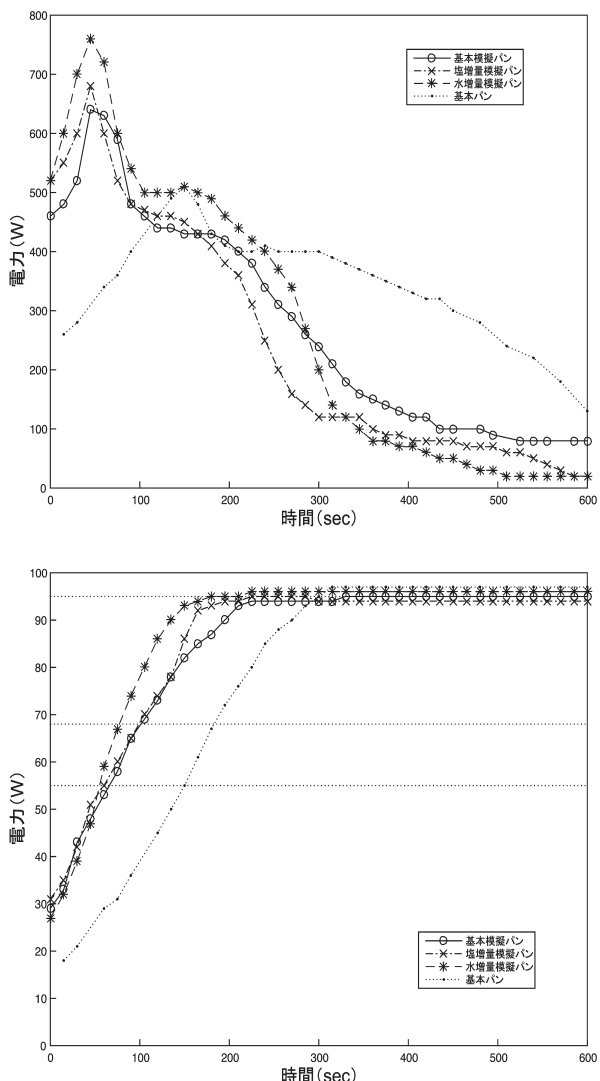


図6. (上) ステンレス極板のパン粉用模擬練りパンの基本配合 (○印: 水 150g) と塩増量 2.0g (×印: 水 150g) と水増量 (\*印: 水 170g, 塩同じ) および塩なし液状パン (・印: 小麦粉 150g, 水 190g, ふくらし粉 6g) の電力値. (下) 水温の時間変化.

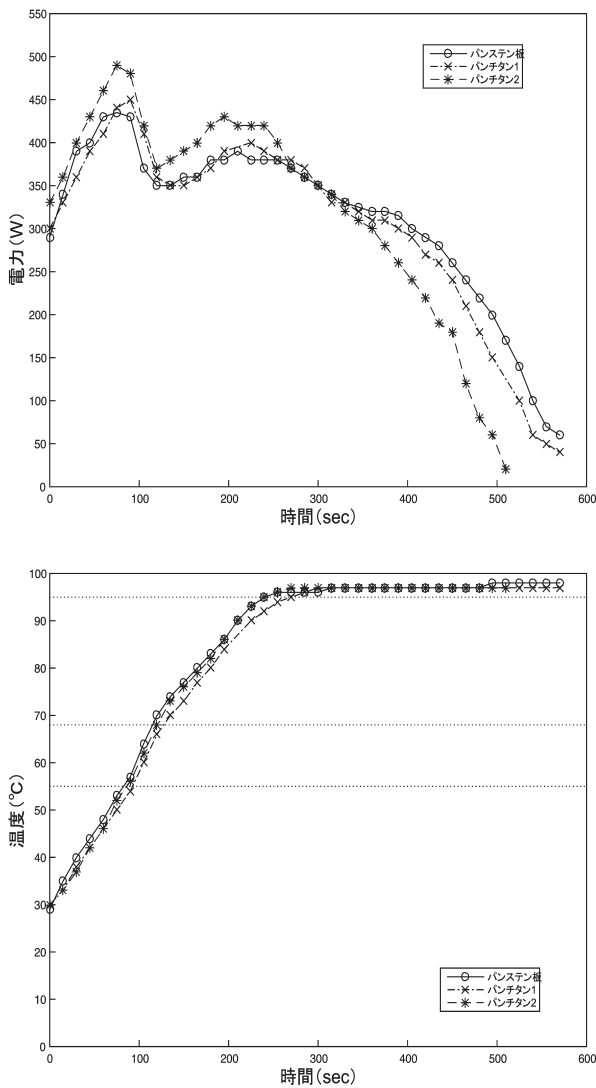


図7. (上) チタン1種 (×印), 2種 (\*印) とステンレス板 (○印) による液状パン (ヴァイオレット小麦粉 150 g, 水 190 g, 塩 0.4 g, ふくらし粉 6 g, 砂糖 25 g) の電力値. (下) 水温の時間変化.

ときに黄色い斑点が現れた。神奈川県理学部化学科の西本右子教授に、この部分の蛍光 X 線分析による成分分析をお願いした所、主に Ca (カルシウム) で、黒点では Ti (チタン) も検出した。この Ca は、アイコクベーキングパウダーの第 1 リン酸カルシウム：重量比 10 % から析出したもので、小麦粉のフラボノイドとアルカリの反応で黄色に変色したものと考えられ、金属による害はない。

次に、ドライイーストで発酵させた電極式パン粉用のパンで、3 種類の極板による電流特性の比較を行った。実験の結果、ステンレス板とチタン 1, 2 種の極板の違いは、わずかだった。水温の上昇が析出温度まで、3 種類で異なるが、おだやかに 7 分かけて進むので、その差が大きく出ない。結果的に、ドライイーストで発酵させた生地では、小麦量に対す

る水分量 ( $\frac{\text{水分量}}{\text{小麦量}} = 0.67$ ) は、模擬練りパンと同じであるが、デンプンの糊化の開始 (第 1 ピーク) と終了 (電流最少) および析出 (第 2 ピーク) 温度帯が、5°C 程度低い方にずれていることが分かった。練ったうえで発酵させると、デンプンの性質が変わることの表れである。熱効率も 3 種類とも 65 % 程度で変わらない。さらに、模擬練りパンのステンレス、チタン 1, 2 極板の電流特性の比較を行った。模擬練りパンでは、イースト発酵パン同様に、通電により起こる水温上昇の変化が 3 種類の極板で少し違うので、二つの電流ピーク位置がずれ、高電流のために第 2 ピークまでの時間も 2 分と短く、ステンレスとチタン極板で特性差が目立つ。模擬練りパンのチタン極板では特に水温上昇が早く、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の 1.1 倍と高い。さらに、析出が始まる 95°C に、チタン極板は早く達するために、第 2 ピーク (上昇なく平坦な電流から落ちる所) も 2 分頃から早く始まり、ステンレス板よりも早くしかも急に電流低下が起こる。このためチタン極板では生焼けになり易く、第 2 ピークまでの時間を延ばすために、水を 20 g 増やし模擬練りパンの場合だけ、チタン極板用の生地配合に変える必要がある。熱効率は、3 種類の極板で 60 % 程度と同じであるが、水を 20 g 増やすと 5 % 向上する。最後に、炊飯において、3 種類の極板による電流の特性比較を行った結果、各極板による電流特性はほぼ変わらず、熱効率も 70 % 程度で同じだった。

## まとめ

電極式パン粉用のイースト発酵パン (強力小麦粉) の再現実験を行い、このパンの電流特性も糊化の進行と析出に伴い、二つ山になることを確認した。糊化の開始と終了の温度帯は、5°C 程度低い方にずれる。熱伝導率は基本液状パンの 70 % より 5 % 程度下がる。また、発酵させる代わりに、ふくらし粉を使い、薄力小麦粉に対する水分割合を少なくし、練り状にして電極式パン粉用のパンを模擬的に再現した。熱伝導率は、発酵パンより 5 % 程度下がる。模擬練りパンは、ふくらし粉の発泡の効果で、本来の電流増加が平坦になり、そのまま析出が起こるので電流の第 2 ピークが現れず、一つ山になる。同じ発泡でも、発酵とふくらし粉では影響が違う。

電極式パン粉用パンのために国から認可を得た純チタン 1, 2 種極板 (厚さ 0.5 mm) と従来のステンレス極板 (厚さ 0.6 mm) の電流特性を比較した。その結果、特に模擬練りパンでは、ステンレス板に比べチタン板では極めて温度上昇が早く、そのため析

出による電流低下が早く起きる。熱効率は変わらない。炊飯を含む他の生地では極板による差は小さい。またチタン板において、パン生地のおはらし粉に由来するパン側面に付着する黄色い斑点は、蛍光 X 線分析によりカルシウムと分かり無害と確認した<sup>17)</sup>。

1946年4月に国民栄養協会が市販したお櫃の底に極板を配置した厚生式炊飯器は、実物の発見（三好日出一氏所蔵）により、1934年日高周蔵氏の特許11615「電気に依る飯炊法」を使って製造されたことを確認した。他の発見例はない。この取扱説明書には、立てて対向した極板による陸軍の電極式技術の家庭用への転用を考え、厚生式炊飯器の元特許を成立させたと書いてあるが、陸軍と日高周蔵氏の特許において、権利および開発過程について関係性は確認できない。従って、国民栄養協会が陸軍の特許使用権を譲り受けて厚生式炊飯器を作ったと述べるが、その事実関係性は不明である。厚生式炊飯器を前後して「たからおはち」等の類似品が市販された。一方、阿久津正蔵氏は陸軍の命令によって電極式炊飯技術の上に、1935年電極式パン焼き装置単体を発明し、それを組み込み1937年に炊飯もパン焼きもできる電源設備も含めた97式炊事自動車を完成し実用化した。この電極式パン焼き装置（法）は、日本独自技術で第二次大戦後、家庭で自作され、業務用の装置からは電極式パン粉が作られ、現在も市販され続けている。PANKOは英語になった。日高周蔵氏の素性も阿久津正蔵氏との関係も不明である。

## 謝辞

全国パン粉工業協同組合連合会の丸山憲夫専務理事、有限会社小谷食品の小谷一夫社長、クラウン・フーズ株式会社の楠本知己常務取締役、株式会社ミカワ電機製作所の近藤悟右社長、および有限会社酒井食品加工所の酒井均社長、株式会社トリーパン粉の中神毅品質管理開発課主任には、貴重なご指導とご意見を頂いた。また、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、それがこのすべての報告のきっかけとなった<sup>17-19)</sup>。大阪市立科学館の長谷川能三学芸員には資料の確認をお願いした。神奈川大学理学部化学科の西本右子教授には付着物の分析をお願いした。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渡辺由美子氏、太田洋子氏、尾村七恵氏には、2017年「パンと昭和」の企画展と、国指定重要文化財熊谷家住宅において実験の機会を頂いた。小泉和子館長には、模擬練りパ

ンから実際にパン粉の再現までして頂いた。和光大学の岩城正夫名誉教授には、実験を見て助言を頂いた上に発火実験をして頂いた<sup>20)</sup>。東京薬科大学の内田隆講師とは、実験を見てその後多くの重要な情報を教えて頂き議論した<sup>21)</sup>。ケース改良は榊三矢製作所の小原美千代氏にお願いした。三好日出一氏にはWikipediaの海瀬氏と同伴して、貴重なお話を伺った。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) 渡辺由美子 (2016) 代用食の自家製パン. 昭和のくらし博物館企画展「パンと昭和」展関連トーク「戦中戦後のパンのおはなし」資料.
- 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) 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.
- 5) 国民栄養協会事業部 (1946) 製粉機と電気炊飯器. *食生活 (10)*: 40-43.
- 6) 橋本重廣 (1947) *家庭の電化*. 彰考書院, 東京.
- 7) 橋本小百合, 庵 雅美 (1947) *発明に見る日本の生活文化史. 生活道具シリーズ炊飯器2*. ネオテクノロジー, 東京.
- 8) 小林喜通 (1946) 家庭用電気パン焼き器の設計. *少年工作 (創刊号)* 1: 14-16.
- 9) 沼畑金四郎 (1947) 電極式製パンに就て. *家庭科学* 8: 36-40.
- 10) 清水康夫 (1987) 通電式製パン法とチタン通電極板について (チタンの科学と生物学的安全性について). *パン粉品質向上に関する資料7*. 全国パン粉工業協同組合連合会編・出版, 東京. pp.2-18.
- 11) 阿久津正蔵 (1988) 電極式電流炊飯とパン焼きの発明 (遺稿) *食品と科学* 1988(5): 112-113.
- 12) 阿久津正蔵 (1943) *パン科学*. 生活社, 東京.
- 13) 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.
- 14) 川島四郎 (1974) *炊飯の科学*. 光生館, 東京.
- 15) 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.
- 16) 全国パン粉工業協同組合連合会編 (1977) *パン粉百年史*.
- 17) 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*.
- 18) 松岡 守, 青木 孝 (2019) 「電気パン」の由来調査と食品としての安全性の再評価. *日本産業技術教育学会誌*. 投稿中.
- 19) 松岡 守, 岩瀬仁志, 手嶋由和也 (2001) 「電気パン」実験に対する電氣的特性の実験的評価と食品としての安全性. *日本産業技術教育学会誌* 43: 161-168.
- 20) 岩城正夫 (2005) *セルフメイドの世界*. 群羊社, 東京.
- 21) 内田 隆 (2018) 「電気パン」実験の教材的意義の考察. *東京薬科大学学術リポジトリ* 2018: 41-48.