

# 「電気パン」の由来調査と食品としての安全性の再評価

松岡 守\*

Investigation of the Origin of “Denki-Pan” and Reassessment of Safety as Food

Mamoru Matsuoka\*

## 要 旨

電極を差し込んだ牛乳パック製の容器にホットケーキミックスを流し込みこれに100Vの交流を直接かけてジュール熱で焼き上げるという、おもしろ実験としてのいわゆる「電気パン」は、条件によっては電極材料が腐食して焼き上がったホットケーキに混入する等が起こるとして、実験後にこれを食することの安全性について疑問が投げかけられていた。最近になって筆者は同じ手法がパン粉製造の一手法として認可、確立されていることを知った。したがって、その製法に沿った実験にすれば食品として同等の安全性が得られると期待される。一方、パン粉製造の一手法としての確立も、食することの安全性の確保を中心にパン粉業界及び関係の研究者の長年の努力に依っていることが調べていく中で明らかとなった。本報告では、焼きあがった電気パンを食することの安全性の確保を中心にその歴史を辿り、その上で電気パンの食品としての安全性について改めて検討した結果を示す。

キーワード: 電気パン, パン粉, 食品安全性, 開発史

## 1. はじめに

「電気パン」とは、例えば牛乳パックの下部をほぼ立方体状に切り取り、ホットケーキミックスを流し込み、両側に差し込んだ電極に直接100Vの交流をかけてホットケーキミックスそのものに電流を流すことにより発生するジュール熱で焼き上げるというものである<sup>1)</sup>。焼き上がると共に抵抗率が上がり自然に加熱が止まること、被加熱対象自体を発熱させるという直接加熱方式であり、エネルギー効率が7割程度と非常に良いこと<sup>2)</sup>、途中からとても良い香りが漂うこと、そして何より実験後は食べられることから、科学的技術的に興味深い点が多いことと同時に子どもを強く惹きつける実験であり、理科や技術の授業、子ども向け科学実験イベントの教材としてしばしば取り上げられてきている。

その一方で、電極接触部に黒い微粒子が形成されたり、電極や電極近傍のホットケーキが変色したりすることがあり、食品としての安全性の懸念が指摘されていた。筆者は、電気パンの電気的特性と食品としての安全性の観点からいくつかの条件において実験的に調べ、食品としての安全性

に対する懸念が払しょくできないことから「実験後これを安易に食用に供するのは避けるべきである」とした<sup>1)</sup>。これは電気パンの実験を頭から否定するものではなく、むしろ誰かが食品としての安全性を確認し、実験後安心して食用にも供することができればと願いを込めたものであった。

筆者の不明によるものであるが、パン粉の製法の一つとして原理的に電気パンと全く同じ方式が認可され、実用化されていることを比較的最近になって知った<sup>3)</sup>。つまり、パン粉のこの製法と全く同じか、これに準じた電気パンの実験であれば実験後食用に供しても認可されているパン粉と同等の食品としての安全性が担保されることとなる。この製法で作られたパン粉は電極式パン粉と呼ばれ、オーブンで焼くパンと異なり、電極付近等の周りを取り除くことで、褐色を帯びない均質できれいなパン粉ができるといった特徴があるが、食品としての安全性の確保までには長い歴史があり、その歴史はさらにパン粉にこの製法を応用する前の段階にも関わっていることを調査を進める中で分かってきた。

後述のとおり、電極式パン粉等の経緯を記した文献はすでにいくつか存在する。しかしながら戦

\* 三重大学教育学部

後まもなくの頃は研究論文としてきちんとまとめられたものは限られ、その他の資料は既述に曖昧あるいは厳密でない部分があるものが見られ、判読せざるを得ない部分がある。一方関連する技術開発については、特許申請等を行うことが努めてなされていたようである。特許は審査があることから必要十分で正確な記述がなされており、また申請期日もはっきりしている。またいくつかの公的な資料も正確な歴史を辿る上で貴重である。本報告では、まず電極式パン粉と電気パンに至る歴史をその食品としての安全性の観点から、主に記述内容が確かと見られる文献を頼りに再整理を試みる。その上で電気パンの食品としての安全性を再検討した結果を示す。

## 2. 電気パンの由来

### 2.1 炊事自動車の開発

電気パンの由来については、電気パンを実用化した陸軍主計大佐であった阿久津自らが著した「パン科学」<sup>4)</sup>の第十節「電気パンの創案」に次の記述がある。「生麺に電流を通しパンを焼きあげるといふ着想は既に米國に於て創意されてゐるところ」、しかし続いて「吾々がこのパン製法に関して創案と考へる所以のものは、斯くの如き原理に基くパン製法の實際的方法並びに装置を如何にするや又之を工業化するための条件如何という事が問題であつて、この点に就き数年間研究を重ね且之が實用装置を電気炊事自動車の電源と設備の利用に重点を置き考案を進め之を完成せるものであり、完全なる實用の域に達したるがためである。換言せ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。」としている(なるべ

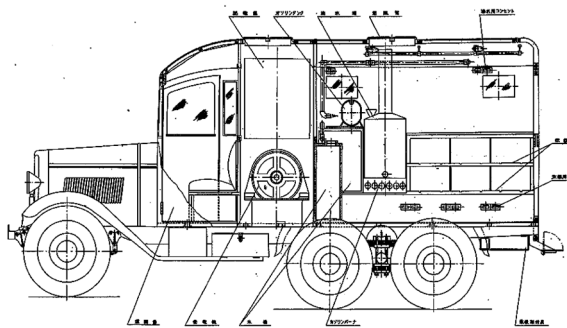


図1 九七式炊事自動車 (文献6の175画像目より)

図中の説明は上部左より配電盤、ガソリタンク、沸騰罐、通風窓、沸水用コンセント、左上より炊飯棚、炊飯用コンセント、下部左より運転台、発電機、水槽、ガソリンバーナ、敷板取付具、と書かれている。

表1 九七式炊事自動車仕様<sup>6)</sup>

炊飯能力 (1時間)	
走行間	約400食
停止間	約500食
発電装置	
ガソリン機関	堅型4サイクル水冷式4気筒 1,500rpm, 40馬力
発電機 (主機)	開放型回転界磁式 20kVA 115V×100Aないし230V×50A 50Hz, 三相交流
発電機 (励磁機)	500W
炊飯棚	18個 (3個×3段×両側)
炊飯櫃	定量25食 幅572mm×奥行き400mm×高さ218mm 電極数6

く原著の表記どおりとした)。つまり、パン生地直接電流を流して焼くという着想そのものは、(詳細は不明であるが)米国内でなされたが、幾多の実験を重ねて実用化に漕ぎつけたのは我々(阿久津ら)によるものだとしている。

上記の記述に出てくる「炊事自動車」は発電装置、沸水装置、煮汁装置等が搭載されたもので、日本陸軍の資料にその構造が示されている<sup>5,6)</sup>。図1に文献6に掲載されている九七式炊事自動車の内部構造図を示す。中央部に発電機、後部に炊飯棚、炊飯用コンセントが見える。表1に同文献記載事項を参考に取りまとめたこの自動車の炊飯に関する主な仕様を示す。炊飯能力は1時間当たり走行中で約400食、停止中で約500食、これを定量25食の炊飯櫃18個(単純な掛け算では450食)で賄うとしている。使用された炊飯櫃の構造を図2に示す。直方体の形をしており、電極板は左図に見えるように凹の形状の物が、右図のとおり奥行き400mmの方向に一方の端から他方の端まで6枚が並ぶ(つまり電極と電極の隙間の数は5槽となる)ように蓋に取り付けられており、蓋を閉じることで上部から差し込む構造になっている。櫃の厚みは約35mmであり、電極の厚みは数mmであろうから電極間はおよそ60mmと見積もられる。文献5,6には何ボルトで使用されたか書

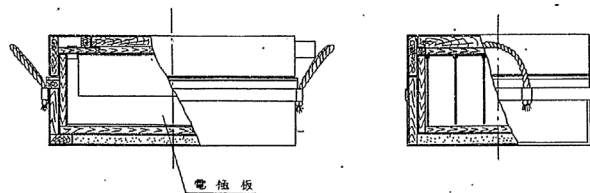


図2 炊飯櫃全体図 (文献6の178画像目より)

図中にはどれが電極板かが示されている。

かれていないが、文献7に115Vで使用した旨の記述がある。なお、文献4には4極と6極の電極の写真が掲載されており、4極のものは200V、6極のものは100Vの50Hz、三相交流で実験がなされている。また同文献には100V実験時には通電開始後2分で最大2625Wとなるが15分後には450Wとなり、その後はさらに下がり続けて60分で実験を終えている。18台の櫃を同時に通電開始すると発電機の容量20kVAを越えてしまうが、時間差をつける等の工夫で1時間当たり400ないし500食の炊飯を実現していたのであろう。また5槽に三相交流をかけることから各相間に対応する槽の数が2, 2, 1とアンバランスとなる。これについても櫃ごとに電極の接続をずらすことで全体としてバランスを保つようにしていたのではないかと推測される。

こうした開発を示す古い文献、特に論文は限られているが、特許や実用新案の申請は活発に行われていたようで、これらは申請日が明らかであり、正確に開発の歴史を辿ることができる。表2に關係する特許、実用新案の初期のものを出願日順に示す。これから分かるように、調理対象物に直接電流を流す日本国内の発明の出願は、筆者が調べた限りでは日高の「電気ニ依ル炊飯法」(特明116015, 1934年1月)が最初である。電極を底面に平行ないし同心円状に並べる構造で、電極の腐

食の懸念からか、炭素製の電極を提案している点が興味深い。なお、この構造を持つ電気炊飯器は戦後に鉄製の電極を用いて製品化されている<sup>8,9)</sup>。なお、文献8の47ページには「電極板の材料であるが、これは鐵が一番無難である。亞鉛板やジュラルミンは衛生上面白くない」、また文献9には「木槽及電極上より多少の『アク』発生するも人體には全然無害なり」といった記載があり、電極材料の選択、及び不純物の混入についてすでに検討はされていたことが分かる。その後電気炊飯器は発熱体を別に設ける間接加熱方式で大きく発展し今に至るが、本論とは直接関係しないため、ここではこれ以上言及しない。

阿久津らの出願は「電気炊飯装置」(実明235674, 1934年6月)のものが最初で、実用化に向けて様々な改良を進めている様子がみられる。そのうちのいくつかは、対向する電極を差し込んで直接加熱を行おうとしても炊飯や煮炊きの場合の上澄みの部分に多くの電流が流れ、下部がうまく加熱されないことから、上部に絶縁板など電流の流れを阻害する物を挿入するといった改良発明である。前述の炊事自動車は1935年5月出願の特明116173に示されている。

阿久津らの研究は、基本的には対向する電極で炊飯、煮炊き、そしてパン焼きにも使える物の開発にあったが、そのうちのパン焼きについても戦

表2 關係する特許・実用新案

出願日	登録番号	発明・考案者	題目	概要
1934.1.16	特明116015	日高周蔵	電気ニ依ル炊飯法	炭素製の電極を底面に平行ないし同心円状に並べて電流を流す炊飯法。
1934.6.8	実明235674	阿久津正蔵 鈴木猛男	電気炊飯装置	櫃の両側から差し込む電極の高さを米の高さとし、上層の水ではなく、下部の米の部分に主に電流が流れるようにした。
1934.8.10	実明234156	阿久津正蔵 鈴木猛男	耐震電気炊飯装置	櫃側に溝を掘り、上部から差し込む電極を嵌めることで揺れても電極が動かないようにした。
1934.8.10	実明234157	阿久津正蔵 鈴木猛男	電気炊飯用電極	蓋に取り付ける電極板を挟む構造とし、米飯の粘着力が強い場合は蓋だけをまず取り外せるようにした。
1934.12.28	実明223738	阿久津正蔵	炊飯用電極板	電極の周辺部を絶縁物ないし半絶縁物で覆うことにより周辺部の強い腐食を防ぎ長寿命化した。
1934.12.28	実明227334	阿久津正蔵 田中文麿	電気炊飯箱	箱底部を畝状にし、凸部に電極を貼りつけ、一つおきに電圧をかける電気炊飯箱。電極の不銹鋼を節約。
1935.1.16	特明118764	阿久津正蔵 小澤省吾	電気煮炊装置	絶縁物製の板を電極板間の上部に差し込むことで煮炊き物の下部に電流が流れるようにした。
1935.1.16	実明238942	阿久津正蔵 小澤省吾	電気煮炊装置ノ整流板	絶縁物製で下部ほど大きな穴を開けた板を電極板間に差し込むことで、抵抗の大きい煮炊き物の沈殿部分にも電流が均等に流れるようにした。
1935.1.16	実明238940	阿久津正蔵 小澤省吾	電気煮炊装置	櫃の底にも抵抗体を埋設し、これと対向電極とを直列接続することで電流を安定化する。
1935.3.12	実明238797	阿久津正蔵 小澤省吾	高周波煮炊装置	櫃内の対向電極に加えて櫃外にコイルを巻き、共振回路を形成した。
1935.3.25	実明240160	阿久津正蔵 小澤省吾	界磁線輪附煮炊装置	側壁と底部にコイルを巻き、その磁界で対向電極間を流れる電流が側壁や底部付近にも流れやすいようにした。
1935.5.1	特明116173	阿久津正蔵	炊事車	発電と煮炊きの2室を設け電気で炊飯、煮汁、沸水ができる炊事車。
1935.5.2	実明239733	阿久津正蔵	炊飯器ヲ兼ネタル飯櫃	櫃を二重構造とし、外側の櫃は取り外し可能で炭化コルク等で断熱性を良くしたものの、炊飯時は断熱性が良く、炊飯後は取り外して可搬性を良くできる。
1935.9.30	特明126395	阿久津正蔵	電気煮炊方法	電極面に油脂を塗布し電極の局所的な腐食を低減する煮炊き方法。
1936.4.14	実明247954	阿久津正蔵	麵包焼ニ転用シ得ル炊飯用電極	電極の上部を取り外し可能な絶縁板のカバーで覆うことによりパン(麵包, カバー無し)、炊飯(カバーあり)の両用にしたものの。

後に民間で実用化されている<sup>8)</sup>。図3は文献8から引用したもので、構造が簡単であることから、自作の形で流行した。同文献には「大體、兩板の高さを九センチメートル、巾を一八センチメートル、間隔を一二センチメートル位にすると無難であろう。」という記述がある。これが現在のパン粉製造の原型に、そして電気パンの実験に応用されたとみられる。

## 2.2 パン粉製造への応用

全国パン粉工業協同組合連合会のウェブページ<sup>9)</sup>に「パン粉のパンは、オーブンで焼くパン(焙焼パン)とパン生地を入れた両側の極板に200Vの電気を通じて焼くパン(電極パン)、イーストを使わないで膨張剤(ベーキングパウダー)を使って焼くビスケット状のパン(ブレダー)があります」という記述がある。このうちの「電極パン」が電気パンと製法を同じくするものであり、パン粉の製法の一つとして確立していることが分かる。その確立までの経緯を調べると、以下に示すとおり食用に供するための安全性の確立が大きな比率を占めていたことが分かる。

パン粉の歴史は全国パン粉工業協同組合連合会がまとめた「パン粉百年史」に詳しく書かれている<sup>10)</sup>。以下これを参考に電極材料に関する記載のあらましを示す。同文献の第二章十八に「通電板問題の発生」という節がある。その冒頭部分をそのまま引用すると「さて一九六七年(昭和四十二年)名古屋市においてわがパン粉業界にとってかつて無き重大問題が発生した。又その翌年(四十三年)一月神奈川県において同じ問題である業者が県衛生局の立ち入り検査を受けた。」とある。理由は電極の材料が食品衛生法第七条第二項に違反していることによるもので、電極の材料として認められていた鉄ではすぐ錆びてそれがパンに混入してしまうという不具合があったため、代わりに「一部不良業者により亜鉛鉄板あるいはステンレス板などが使用され問題となった」(同文献 168-169 ページ)ことによる。

直ちに鉄に代わる安全な電極材料の研究がなされ、アルミ板が安全であるとして使用試験を行ったものの、柔らかさの点で業務用には不適切と判断された。そこでアルミメッキを施した鉄板が候補となり、1968年に認可申請をし、1970年の厚生省告示第四十一号で食品、添加物等の規格基準(昭和三十四年十二月厚生省告示第三百七十号)中の材料を示す記述が「鉄」から「鉄およびアルミニウム」に改められた。

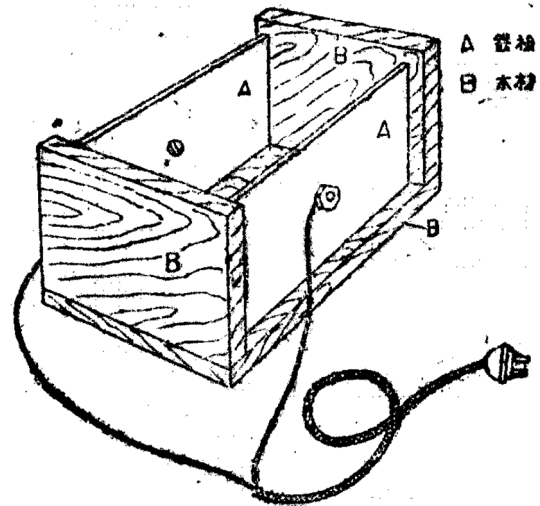


図3 電気パン焼き器の構造 (文献8のp.51より)

その後このアルミメッキを施した鉄板がしばらく使われていたようであるが、耐久性の点で課題があり、「パン粉品質向上に関する資料(第7集)」<sup>11)</sup>の8ページに次の記述がある。「アルミニウム加工鉄板はアルミニウムと鉄の形成するアルミナイド合金層が防錆に有効でありパン生地の着色もなく錆も生じない良質のパンを焼成することができる。しかしアルミナイド層は大変に薄い層で消失しやすく鉄が露出するので錆を生じ、錆がパン焼成面に附着し異物混入の原因となる。」そしてこれを解決する新しい電極材料としてチタンが挙げられ、耐久性と安全性について詳細に調べた結果が記載されている。これを受ける形で1988年にチタン電極の使用が許可されている(昭和六十三年八月二十七日厚生省告示第二百三十号)。この告示の関係部分を以下に示す。

第3 器具及び容器包装の部 A 器具若しくは容器包装又はこれらの原材料一般の規格の項の第6目中「及び白金」を「、白金及びチタン」に改め、同目に次のただし書きを加える。

ただし、食品を流れる電流が微量である場合にあつては、ステンレスを電極として使用することは差し支えない。

上記のただし書きにある「食品を流れる電流が微量である場合」というのは、想定している導電率の食品がそこにあることを電氣的に検出するために流す微弱な電流のことであり、加熱のための電極としてステンレスを用いることは現在でも禁止されている。

### 3. 電気パンの食品としての安全性の検討

パン粉を製造するメーカーに聞き取り調査を行った報告がある<sup>12)</sup>。それによると、ポリプロピレン製の容器に50cm×50cm程度の純チタン電極を12cm程度の間隔に配置して200V交流電源で焼いているとのことである。したがって、子ども向けの電気パンの実践においても、パン粉製造と同等の方法とすればパン粉と同等の食品安全性が確保できると期待できる。ただし、パン粉の場合はいわゆるパンであるのに対し、科学実験で行う通称「電気パン」は、その名前とは異なり実際はホットケーキであり、原料が異なることに留意を要する。

子ども向けの科学実験イベントにおいては電気パンの電極としてステンレス板が使われることが多い。最近ではパン粉製造法にならって純チタン電極を使った実験も行われている<sup>12)</sup>。それによると純チタン電極を用いた場合もステンレス板を用いた場合と同様にパチパチと音を伴う局所放電が起これ、電極板に接するパンの側面に黄色い斑点(局所的には黒点)が現れ、その部分を蛍光X線分析した結果、黄色い斑点の成分は主にカルシウムであり、黒点部分ではチタンが検出されている。カルシウムはベーキングパウダーに含まれる第1リン酸カルシウムに由来するもので、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、金属とは無関係である、としている。チタンは人工関節等にも使われ人体にとって安全性の高い金属として知られているが、本来食べるものでもないことからパン粉の場合と同様に電極付近は食さないのが適切と思われる。なお、チタンはステンレスより高価な材料であるが、電極の損耗はわずかであり、繰り返し利用が可能でコスト的にも科学実験イベントに適用可能である<sup>11)</sup>。

電極材料については三重県医療保健部食品安全課に問い合わせた。得られた回答を以下の箇条書きにする。

- ① 使用可能な電極は前述の厚生省告示のとおりで、現在は次の表現になっている<sup>13)</sup>。

#### 第3 器具及び容器包装

A 器具若しくは容器包装又はこれらの原材料一般の規格

- 6 電流を直接食品に通ずる装置を有する器具の電極は、鉄、アルミニウム、白金及びチタン以外の金属を使用してはならない。ただし、食品を流れる電流が微量であ

る場合にあつては、ステンレスを電極として使用することは差し支えない。

- ② 電極の規格基準としては定められているが、食品の種類については定められていない。
- ③ 販売の用に供する器具等がこれらの規格基準の対象となる。
- ④ 次亜塩素酸水の生成時にも電極を使用するが、同様に白金、チタン等の電極部分が溶出ししないものであること、とされている。
- ⑤ 当該規格基準の所管は厚生労働省食品基準審査課である。

上記②によればパン粉に限らずホットケーキミックスでも純チタン電極で焼いて良いこととなる。また、③によれば学校等で電気パンの実験を行う場合は販売の用に供するわけではないのでこの規制にはかからないが、この規制に準じた衛生管理や製造管理をすべきと考えられる。

パン粉製造の際に容器として用いられるポリプロピレンは耐熱温度が100~140℃である<sup>14)</sup>。通常の加熱プロセスではこの温度には至らないと考えられるが、上記のような局所放電がポリプロピレン製の容器壁付近で起こった場合は多少とも損傷が起これ得ると考えられる。電気パンの実験で良く使われる牛乳パックは、低密度ポリエチレン(耐熱温度70~90℃)<sup>14)</sup>フィルムが内張りされており、パン粉製造に用いられるポリプロピレンより耐熱温度が低いことに懸念がある。耐熱性の高い絶縁性の容器としては木枠、ケーキを焼く際に用いるパネトーネカップ(耐熱性190℃程度)や磁器等が考えられる。なお、木枠を用いる場合は食品が接しても問題のない材料であること(原木そのものが毒性を持たないものであること、防腐材の塗布等がされていないこと、接着剤の懸念から合板は避けた方が良さそうであること)、また吸湿性があることから衛生維持の配慮も必要と思われる。

以上より、電極として純チタン、容器としてポリプロピレンないし同等以上の耐熱性を持つものを用いて衛生面に配慮しつつ焼き上げ、電極付近を除いて食べるのであれば、認可され市販されている電極パン方式で製造したパン粉と同等の食品としての安全性が期待できると言える。

### 4. おわりに

筆者は電気パンの食品としての安全性について2001年に疑問を投げかけた<sup>1)</sup>。一方で、電気パンは子ども向けの科学教室等において格好の興

味ある教材であり、安全性が確認できないものかと思っていた。それがごく最近になって思いがけずパン粉の製法の一つ(電極パン)として同等の製造方式が認可、確立していることを知った。そのパン粉の製法の食品としての安全性の確立には長い歴史があり、パン粉製造に応用する以前の製法開発にもつながっていることが分かった。そこでこの製法開発前の段階から歴史を辿り、その上で改めて電気パンとして応用する場合の食品としての安全性を検討した。結論としてはパン粉製造と同等の製法とすれば、認可されたパン粉製造法と同等の安全性が期待できることが分かった。ここで「期待できる」と曖昧な表現にしたのは、筆者が安全性を保証するような立場にないことによる。また、販売することを目的としないおもしろ実験としての電気パンはそもそも規制の対象にはならないが、それに準じるべきであり、実験を遂行する上で参考になる知見を得たと考える。

## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、神奈川大学の青木孝氏には引用した文献2, 12以外にも様々な情報をいただいた。また同氏手作りのチタン電極製の電気パンセットもお送りいただいた。また三重県医療保健部食品安全課食品衛生班の上前知子氏(2019年度)及び尾崎由佳氏(2020年度)には面倒な問い合わせにも関わらず、迅速に適切な回答をいただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 松岡 守・岩瀬仁志・手嶋由和・他 8 名：「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，第 43 巻，第 3 号，pp.161-168 (2001)
- 2) 青木 孝：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，第 29 巻，pp.5-12 (2018)
- 3) 全国パン粉工業協同組合連合会ウェブページ  
<http://panko.jp/panko-ohanashi005.html>  
(最終アクセス日：2020 年 11 月 20 日)
- 4) 阿久津正蔵：パン科学，生活社 (1943)
- 5) 衣糧課：給養器具仮制式ノ件，JACAR (アジア歴史資料センター) Ref. C01007057300 (1937-1938)
- 6) 陸軍大臣 杉山元：給養器具仮制式の件達，JACAR (アジア歴史資料センター) Ref. C01005070700 (1938)
- 7) 阿久津正蔵：電極式電流炊飯とパン焼きの発明，食品と科学，pp.112-113 (1988)
- 8) 關 重廣：家庭の電化，彰考書院，p.51 (1947)
- 9) 国民栄養協會：専賣特許 厚生式電気炊飯器説明書 五合炊用(発行年不詳)
- 10) 萩尾盛編：パン粉百年史，全国パン粉工業協同組合連合会(1977)
- 11) 清水康夫：パン粉品質向上に関する資料(第7集)，全国パン粉工業協同組合連合会(1987)
- 12) 青木 孝：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，第 30 巻，pp.9-62 (2019)
- 13) 厚生労働省ウェブページ  
<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinanzenu/0000128344.pdf>  
(最終アクセス日：2020 年 11 月 20 日)
- 14) 日本プラスチック工業連盟ウェブページ  
[http://www.jpif.gr.jp/2hello/conts/youto\\_c.htm](http://www.jpif.gr.jp/2hello/conts/youto_c.htm)  
(最終アクセス日：2020 年 11 月 20 日)