

電極式調理 (炊飯, パン) の発明からパン粉へ続く歴史および再現実験と評価

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

2022年3月31日 昭和のくらし博物館

1 はじめに電極式の概要

今日、電気エネルギーを熱エネルギーに変えて利用する色々な器具が市販されている。図1のような、極板型パン焼き器は、第2次世界大戦後、物資の少なかった時代に、家庭で自作されかなり広まった。これは、ただ2枚の極板間に、薄力小麦粉、ふくらし粉、塩、砂糖を水で溶いた液状の蒸しパン生地を流し込み、100Vの交流電圧をかけ通電するものである。神奈川大学理学部では、開設1990年から学生実験に取り入れ、パン焼き器を自作して(図1)その性能評価を課題としてきた。パン焼き器は、2枚のチタン1種極板(長さ18cm,高さ10cm,厚さ0.5mm)が、幅6cm平行に対向できるように囲んだ木箱である。ケースの底はパンが取り出せるようにはずせ、パッキンで水漏れを防いでいる。極板間電流は、極板間隔により指数関数的に変わり、幅1cmでは、幅6cmの5倍流れる。塩の量でも電流は変わり、幅6cmの極板間隔の場合に、0.2%の食塩水で水道水の20倍流れる。

その評価の結果、木箱に電極を2枚入れただけの簡単な物ながら、熱効率が70%程度と高いことが分かった。理由は、オープンのようにパン生地に外から熱を加えるのではなく、パン生地自身が、ジュール熱(水に溶けた電解質が電子の運動を妨げ、熱エネルギーをもらう)により発熱するためである。加えた電気エネルギーの70%が、蒸しパンを焼くための100の蒸発熱として使われる。焼き上がるとマイコンも無しに、自動的に電流が切れるという優れた性質も持っていることが分かった。



図1. パン焼き器実験の構成.

薄力小麦粉150g、水190g、塩0.4g、ベーキングパウダー6g、砂糖25gを混ぜた、液状の蒸しパン生地に9分間通電した時の、電流特性(上図)と水温の特性(下図)は、図2の印となる(完成品は図3上)。横軸は時間を示す。水温は単調に上がり、100で蒸発し、電流は2山ピークとなる。この電流の2山ピーク特性は、デンプンの糊化の進行と蒸発に伴って起きることが分かった。まず、薄力小麦粉では、デンプン粒が加熱により55で、吸

水が始まり膨張する(糊化開始)。この時に電流が下がり第1ピークとなる。

さらに、吸水が続き、薄力小麦粉では、デンプン粒の膨張が68で最大限界になると、デンプン粒は破裂し(糊化終了で電流は谷)、電流は上昇に転ずる。水温が蒸発温度の95近くになると、水に溶けた電解質(ナトリウムイオン等)が再び析出しますので、電流は下がっていき第2ピークとなる。このように、デンプンの糊化開始温度で第1ピーク、蒸発温度で第2ピークとなる。糊化の開始と終了温度は、デンプンの種類によって異なるので、電流の2山の形状は、変わることになる。

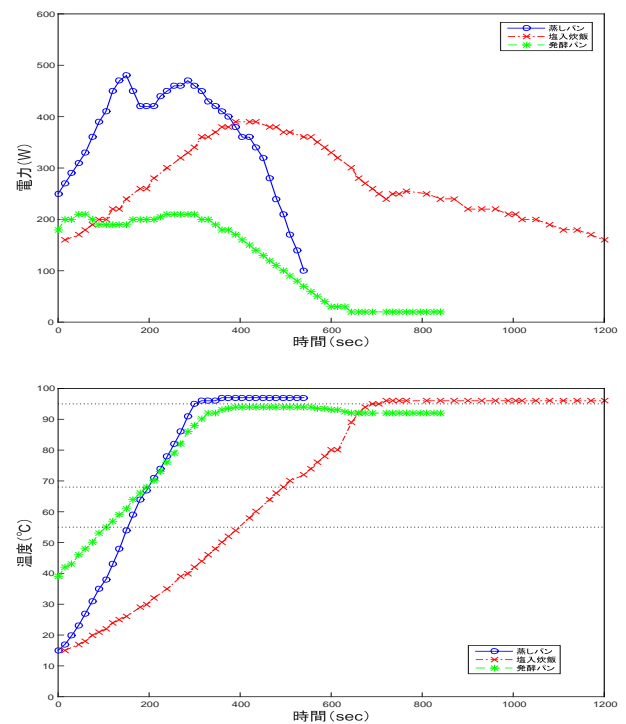


図2. (上)蒸しパン(印)と炊飯(×印)とイースト発酵食パン(*印)の電力値。(下)水温の時間変化(電力は電流値×100). 電流は糊化と蒸発により2山特性.

表1. 小麦粉と米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 谷	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

この同様のメカニズムで、学生実験のパン焼き器による炊飯(米と水と塩で図2の×印、炊き上がりは図3中)も、強力粉をイースト発酵させた練り生

地の食パン（強力粉と水とドライイーストと塩と砂糖と無塩バターで図2の*印）でも、2山ピーク特性になることを確認した。炊飯は20分で炊け、食パンは14分の通電で焼ける。電極式では、水温は100を超えない。熱効率は3者とも70%程度となる。デンプンの種類による糊化の開始と終了温度は表1となる。



図3. (上)完成した蒸しパン(9分). (中)炊飯の炊き上がり(20分). (下)イースト発酵の食パン(14分).

2 電極式パン焼き器

およそ20年前に立ち寄った東京の昭和のくらし博物館に、大学の自作パン焼き器を寄贈した。その縁で、2016年8月の博物館の第13回企画展「パンと昭和」に際し、電極式パン焼き器のデモをしないかと、小泉和子館長から依頼があった。その機会に、電極式パン焼き器の勉強を始めたことで、その後、多くの人の助けを借りてこの資料につながった。

この電極式パン焼き器は、昭和10年(1935年)に、旧陸軍の阿久津正蔵が発明したことが分かった。この時は、薄力小麦粉とふくらし粉による蒸しパンではなく、イーストで発酵させた強力粉の練り状パン生地に通電した、いわゆる食パンに関する研究であった。この技術が、第2次世界大戦後に家庭用として、主に蒸しパン(現在の電気パン)として紹介された。

学生実験用のパン焼き器に、強力粉を捏ねたイースト生地を1次発酵させ、3等分して入れる。さらに2次発酵させた生地に14分通電したものが、図3の下図である。これは、阿久津正蔵が発明した電極式パン焼きの再現に相当する。

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、返品された電極式パンを天日干しして販売したところ、売れたことから、それ以来パン粉を製造するメーカーが出現する。1958年

に入り、これまでのパン粉の少量生産から、名古屋市の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、業務用のパン粉の半分は、この電極式イーストパンをくわいて作られている。パン粉は工場で、パン生地の発酵までは共通の工程で、パン生地を焼くときに、所望するパン粉の性質によって、焙焼式と電極式を使い分ける。オープンにより外から熱を加える焙焼式は、生地自体が発熱する電極式に比べ予熱が必要で熱効率が悪い上、設備が大きくなり経済的でない。戦後関西では新規参入し易い電極式が広まった。電極式は、焼くわけではないので、100以上には上がらず白く、焙焼式よりも硬めの油を吸いづらいパン粉になる。1962年からは、時間が経過しても食感が落ちなかったため、香川県の加ト吉が冷凍エビフライの衣に使い、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。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、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。

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て、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。工場の違法な極板による食中毒も問題になった。そのため、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下、腐食が極めて少ない純チタン極板を1988年に国に認めさせ、食品衛生法の一部改正のうえ、使用許可を得て決着し現在に至る。実験で、クロムが溶け出してしまうステンレス極板0.6mm厚と、チタン1種極板0.5mm厚がほぼ同じ電流特性になることを確認した。学生実験や再現実験では、食品安全性を考え、すべてチタン1種極板を使っている。

「パン粉は、日本で発展を遂げた食品素材であり、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。軍事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。」と清水康夫は言う。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。NHK番組「ためしてガッテン」の「パン粉」特集(2020年10月14日放送)で電極式パ

ン粉の紹介があった。

実際に、現在も工場で作られる、業務用の電極式イーストパンは、図5のように、50 cm × 50 cm のチタン1種極板を、絶縁体としてのポリプロピレンケースに配置し、極板間隔は12 cm 程度開け200 V で通電して焼かれる。この時、ポリプロピレンは、以前の木型の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。ために、電極式と焙焼式で効率がどのように違うのか、実験した。パン生地の2次発酵までは、両方とも同じ過程となる。学生実験用ケースで焼く場合には、1次発酵の生地を3等分して成型して実験用パンケースに入れ、パン焼きケースごと2次発酵させ、生地が極板に接した状態で14分通電し焼く(白いパン)。熱効率は63%である。一方、家庭用オープンによる焙焼式では、1次発酵の生地を、アルタイトのパン型が細かったので、5等分して成型してパン型に入れ、パン型ごと2次発酵させ、オープンで10分間で190℃まで予熱してから、さらに190℃で19分焼く。出来上がった電極式パンが図4左(図3(下)を3等分したもので、オープンで焼いたパンが図4右で、焼き色がつく。オープンでは予熱を含め29分かかかるが、電極式では14分の通電で終わり、熱効率の良さが実感できる。白い電極式パンは、焼くわけではないので、かえってイーストの香りがきわだちおいしい。



図4. 再現したイースト発酵のパン粉用パン(左:電極式14分を3等分、右:焙焼式190℃29分を5等分)。

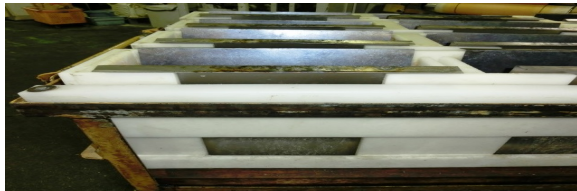


図5。(上)業務用の電極式パン焼きケース(純チタン板50cm × 50cm)。(下)焼いた電極式パン粉用パン。

3 電極式炊飯器

阿久津正蔵による、昭和10年(1935年)の旧陸軍のパン焼き器の発明は、旧陸軍の「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い。」という命令から始まった。そのパン焼き器の発明の前に、まず、昭和9年(1934年)に、極板を対向に立てた電極式炊飯装置という実用新案が、旧陸軍からでる。この電極式炊飯装置の炊飯用極板を、1936年にパン焼きにも転用できる極板として改良しパン焼き器を組み込んだ。昭和12年(1937年)には、97式炊事自動車として、電源設備も含めたシステムとしての、飯が炊けパンが焼ける給養車を実用化した。実戦配備もされた。仕様は、木製の箱に電極板を6枚装着したもので、電圧は115 V、電流は100 A、50 Hz、極板間隔7 cm、ケース18箱で1時間に500食炊けるものであった。したがって、電極式の炊飯が先で、パン焼きが後の応用である。実際は、1939年4月期の97式炊事自動車の給養器具取扱説明書には、炊飯手順の記述しかないの、兼用できたがパン焼きには使われていなかったことが分かった。

また、同じく、昭和9年(1934年)に、日高周蔵から、電気に依る飯炊法として特許がでている。旧陸軍の阿久津正蔵が出した対向立て型極板の電極式炊飯装置の実用新案よりも5ヶ月前の特許である。日高周蔵は、極板間隔が広いと塩などがないと通電しないが、水道水でも飯炊きできるように、極板間隔を1 cm 程度とした。そしてその2枚の極板を同心円状に、丸いおひつの底に沿って、立てるのではなく底置きに配置した、電極式炊飯器を考案した。旧陸軍は極板を立て型にし、日高周蔵は底置き型にした。この日高周蔵の特許を使い、戦後1946年5月に、厚生省内にできた国民栄養協会が、厚生式電気炊飯器(5合炊用)として製品化し市販した(図6)。この電極式炊飯器の取扱説明書には、昭和9年(1934年)に陸軍が技術を家庭用に転用した日高周蔵の特許を、国民栄養協会が譲り受け製造したと書いてある。しかし、現在、日高周蔵と旧陸軍と阿久津正蔵との関係は、全く不明であり、この取扱説明書の記述の根拠は確認できない。日高周蔵の特許広報からも、旧陸軍との関係は確認できない。厚生式電気炊飯器の現物は2台見ついている。

さらに、この厚生式電気炊飯器の底置きの同心円型の極板を、櫛の歯型にして底置きするという実用新案が、1946年3月に出され、その後、タカラオハチとして製品化し、市販された(図7)。この現物は、全国に少なくとも4台あり、かなり広まった。2枚の底置き極板を、同心円型や櫛の歯型にするのは、短冊型よりも、1 cm 間隔の極板の対向長さをより長くする工夫であり、主にこの1 cm の間隔内

を電流が流れる。電極式は、1955年に、現在の外から熱を加える方式による、東芝自動式電気炊飯器ER-4が発明されるまでの、つなぎだった。これらの電極式底置き炊飯は、極板が鉄である。また、底置き炊飯では、沸騰時に沸騰の泡が、電極に付き、電流を阻害し50%程度電流がふらつく。立て型の極板による炊飯では、この電流のふらつきはなく、むらなくおいしく炊ける。これをチタン1種極板による再現実験により確認した。戦後当時の市販の底置き型や旧陸軍の立て型も、再現実験と同様な特性があったと考える。どちらも、電極式は電流制御が難しい。



図6. (左)厚生式炊飯器(平塚市博物館所蔵). (右)お櫃の底の同心円形極板(1946年5月発売).



図7. (左)タカラオハチ(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).

厚生式(図6と図9)とタカラオハチ(図7と図8)の炊飯を、1号サイズの市販のさわら材のおひつ(内径直径11.6cm、高さ6.2cm)で再現し自作した。さらに、立て型ケースの対向の極板を折り曲げ、タカラオハチに似せた底置き極板を作り、水道水でも電流が流れるものを作った(図10)。水道水では、側面の対向極板だけでは6Wしか電流が流れないので炊飯できない。それぞれ、再現実験し性能評価をした。

おひつ型の底に極板(間隔1cm)を置くケースでは、水道水でも3者とも、20分程度で炊飯できることを確認した。熱効率も、立て型ケースによるもの(図10)が70%であるのに比べ、底面が広くケースの内容積が小さいおひつ型による炊飯では80%とより上がる(表2)。立て型ケースによる炊飯では、塩を入れても熱効率は70%程度である。

図11上図の×印は、水道水による、おひつ型底置き同心円形(図9厚生式)の電流特性のグラフである。下図は、横軸を時間(上図と共通)とした水温の変化を示す。図11×印(図9)によれば、この水道水による、おひつ型底置き同心円形の炊飯の電流特性は、塩がなくても糊化は起きるが、電解質

が少ないために電流が糊化の影響を受けない。そのため、糊化開始による第1ピークは現れず、蒸発による第2ピークのみ現れる1山特性となることが分かった。



図8. (左)お櫃型底置き櫛の歯形炊飯器(自作の再現タカラオハチ).(右)炊き上がり(25分).



図9. (左)お櫃型底置き同心円形炊飯器(自作の再現厚生式).(右)炊き上がり(20分).



図10. 立て型ケースの底置き櫛の歯形極板(自作).炊き上がり(20分).

再現実験によれば、図11のグラフにはないが、水道水炊飯は、おひつ型底置き櫛の歯形(図8タカラオハチ)の水道水炊飯も、立て型ケースの底置き櫛の歯形(図10)による水道水炊飯も、おひつ型底置き同心円形(図9)の図11×印と同様な電流特性となり、どれも蒸発による第2ピークのみ現れる1山特性になることが分かった。3者とも、塩を加えれば、電流は2山になる。また、図11×印のおひつ型底置き同心円形の電流特性(図9)のように、沸騰時には、底の極板に泡が付くので、電流が50%程度ふらつき不安定になる。ピークで2Aにしなければならない。おひつ型は熱源が底にしかなく、均一に炊飯出来ずあまりおいしくない。これは、3者とも、塩を入れても同様にふらつく。旧陸軍方式の、立て型の対向極板のみの場合には、この電流のふらつきはなく、側面から均等に炊飯できるので、性能がよい。一方、小麦粉は、ミネラル分(電解質)が米に対して、約4倍あるので、小麦粉を水道水に溶かしただけの生地に通電しても2山特性になる。

4 電極式スポンジケーキ

これまでの液状生地、イースト発酵練り状生地の他に、全卵をホイップした泡状生地による電流特性

を調べた。電極式スポンジケーキは文献で見たことがない。おひつの底に極板を置く型は電流上昇が急で下がるのも急である。対向立て型はゆっくり電流上昇しゆっくり下がるうえ、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粉食には向く。米は粒食であるので、膨らませる必要がない優れたデンプンである。まず、学生実験の立て型ケースの対向極板で、液状の蒸しパン生地(図2の印)に、全卵をただ混ぜて、いわゆるホットケーキ生地を作り通電すると、電流特性は図11の印となる。ホットケーキは、全卵を混ぜても、電流特性は蒸しパンと変わらず2山特性となることが分かる。

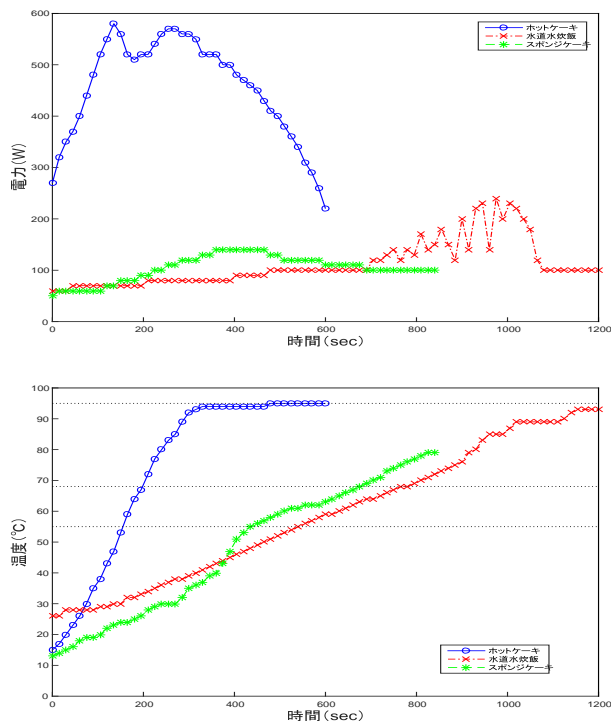


図11. (上)お櫃底置き同心円型(厚生式)の水道水炊飯(×印)と全卵を混ぜたホットケーキ(○印)と全卵をホイップしたスポンジケーキ(*印)の電力値。(下)水温の時間変化。ホットケーキは2山、水道水炊飯は第2ピークのみ1山、スポンジケーキは第1ピークのみ1山特性。

次に、全卵をミキサーでホイップし砂糖、塩を入れたものに、振った薄力粉、ふくらし粉、溶かした無塩バター、牛乳を入れ、泡状生地としたものに通電した電極式スポンジケーキを作った。泡状生地までは同じで、それをオープンで焼く場合には、予熱10分で180℃まで上げ、180℃で25分焼き、合計35分かかるところが、電極式では14分通電するだけでできる。100℃までしか上がらず焼くわけではないがおいしい。電流特性は図11の*印となる。できあがりには図12となる。この時、泡状生地では、蒸発に伴う第2電流ピークは現れず、糊化開始に伴

う第1電流ピークしか現れない1山特性となる。図11×印の水道水炊飯の第2ピークしか現れない1山特性とは違い、電解質があるので糊化開始に伴う第1ピークが現れる。これは、全卵ホイップ泡状生地のために、糊化終了後、生地のスポンジ構造が固化化されて、蒸発時に析出による電流降下が現れないためと考える。また、全卵に含まれる水分のために従来の方法では、熱効率の計算できない。電極式は電流調整が難しく、感電の恐れもあるが、充分利用しうる技術であることが分かった(表2)



図12. 全卵のホイップ生地に通電した「電極式ケーキ」。
表2. それぞれの電極式調理のピーク(第1, 第2)特性

	第1	第2	完成	効率	ピーク
蒸しパン			9分	70%	500W
発酵パン			14分	63%	200W
米と塩水			20分	70%	400W
米と水道水	×		20分	80%	250W
電極ケーキ		×	14分	-	150W
HOTケーキ			10分	70%	580W

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: 25-32.
- 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: 27-34.

5 電極式調理のレシピ集 (0.5 mm厚チタン1種極板)

5.1 基本蒸しパン(液状)

- (1) 小麦粉(薄力粉): 150g
- (2) ふくらし粉: 6g (重曹だと1.5g: 1/4)
- (3) 塩: 0.4g
- (4) 砂糖: 25g
- (5) 水: 190g
- (6) 9分で1Aまで下がる。

5.2 基本炊飯

- (1) 米: 150g、水切り後14g増える。
- (2) 塩: 0.4g
- (3) 水: 230g、30分浸す。(餅米の場合は、180g)

- (4) 糊化終了温度 93 に達した時最少電流(11 分で 2.5A)の少し前でフタをする。
- (5) 23 分で 1A まで下がった後、電源を切り 5 分間蒸らす。
- (6) 餅米は、糊化の進行が速く 20 分で炊飯できる。水切り後の水の浸しもいらない。餅米の糊化温度帯は、うるち米に比べ、4 ほど高い方にシフトする。したがって、第 2 ピークが蒸発温度と重なり小さく隠れる。

5.3 イースト 発酵食パン：() 内はパン粉用(練り状)

- (1) 小麦粉(強力粉): 150g
- (2) ドライイースト: 4.5g
- (3) 塩: 2.0g (1.5g)
- (4) 砂糖: 10.0g (2.5g)
- (5) 無塩バター: 15g (5g)
- (6) 水(33): 100g
- (7) 捏ねた後、25 分間 42 で 1 次発酵。
- (8) ガス抜き 3 等分し丸めて成型、パンケースに入れる。
- (9) パンケースごと、25 分間 42 で 2 次発酵。
- (10) 11 分経過後 0.3A となり、14 分までは通電しフタをして蒸らす (0.2A)。

5.4 電極式ケーキ(全卵をホイップ)

- (1) 全卵 M 玉: 2 個(100g 殻なし)
- (2) 小麦粉(薄力粉): 50g
- (3) 砂糖: 40g
- (4) 無塩バター: 13g
- (5) 成分無調整牛乳: 15(24)g(または「リコッタチーズ 20g + 牛乳 9g」とすると味がよい)
- (6) ふくらし粉: 1.0g
- (7) 塩: 0.6g
- (8) 全卵と砂糖と塩をホイップし、そこに小麦粉とふくらし粉を混ぜ、溶かした無塩バターと牛乳を入れ生地を作りフタをして 14 分通電する。