

通電加熱技術を利用したパン粉用のパン製造における品質向上に関する試験

熊林義晃・河野慎一・清水英樹・岩下敦子・山崎邦雄

Quality improvement of bread crumbs using Ohmic Heating Technique

Yoshiteru KUMABAYASHI, Shinichi KONO, Hideki SHIMIZU, Atsuko IWASHITA
and Kunio YAMAZAKI

A way of improving the quality of bread crumbs using the ohmic heating technique of bread manufacturing was examined.

By baking with the ohmic heating technique, the change of the electric current is thought to be affected by the change of the contact area with the electrode by the expansion of the dough and the change of moisture by evaporation; however, it suggests that the change of the electric current in the 50 - 70°C range and the 70 - 100°C range is each influenced by other factors respectively.

The falling of moisture content could be prevented by the way of adjusting the voltage at the 100°C range. With this, the hardness of ohmic heated bread after aging became similar in value to that of the oven baked bread. Also, it was possible to decrease the electric energy by about 35% compared with the case of impressed constant voltage.

It was suggested that the frequency was influencing the change of dough because there was an admitted difference in the hardness of the ohmic heated bread according to the frequency with the impressing voltage.

通電加熱技術は、食品自体を電気導電体とみなし、交流電流を流すことにより食品自体を直接発熱させる技術であり、加熱効率が低いこと、迅速加熱が可能なことなどの特徴を有している。この技術は既にかまぼこの製造、豆乳加熱による豆腐の製造やパン粉用原料パンの焼成などに用いられている^{1) 2) 3)}。

パン粉用原料パンは、焼成方法の違いにより通電式と培焼式との2種類があり、通電式パン製造は、歩留りの向上（焦げ目がない）、工程の効率化（短時間加熱）などの利点を持つが、培焼式に比べて食感の悪さが問題となっている。

通電方法の違いによる品質への影響については既報⁴⁾

の中で述べられており、また解決の一方法として低電圧印加による発酵時間の延長が提案されている。本研究では、培焼式パンと同程度の硬さをもつ通電式パンの製造を目的として、発酵時間以外の通電方法と品質の関係を中心に試験を行い、通電式パンの硬さを改善する電圧の制御方法及び通電方法（周波数）がパンの品質や食感に与える影響について報告する。

実験方法

1. パンの焼成

パンの製造は表1に示す配合によりストレート法で行った（図1製造フロー図参照）。ミキシングは合計12分間

著者連絡先：kumabayashi@foodhokkaido.gr.jp

事業名：一般試験研究

課題名：通電処理技術を用いた食品加工に関する試験研究

表1 原料配合

	強力粉 (強力2等)	食塩	砂糖	酵母 (生)	ショートニング	水
配合比	100	1.3	2.5	1.65	1	60

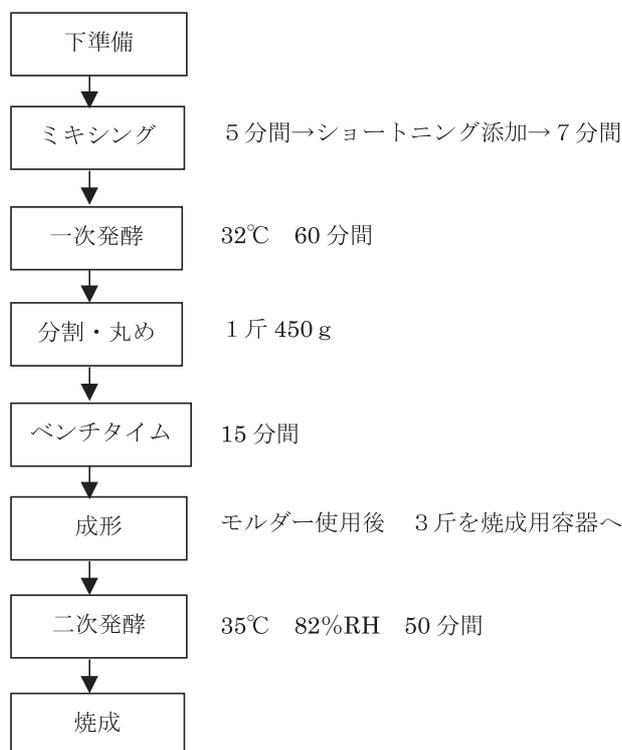


図1 パンの製造フロー図

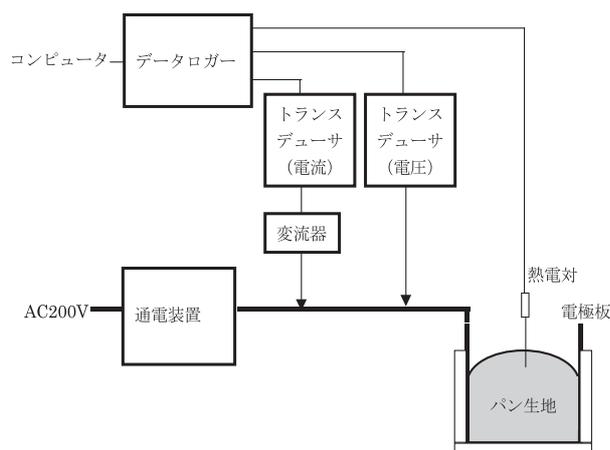


図2 通電式加熱試験装置ブロック図

行い、途中でショートニングを添加した。ミキシング終了時の生地温度は28°Cに調整した。一次発酵は32°Cで60分間行い、発酵状態をフィンガートストで確認した。生地は450 g (1斤) ずつ分割して丸めを行った後、15分

間ベンチタイムをとった。ベンチタイム後、成形し所定の加熱容器に3斤ずつ入れ、35°C、82%RHで50分間二次発酵を行った。通電式の加熱容器はチタン板電極が取り付けられた型A (内法12×36×20cm)、焙焼式は型B (内法11×35×12cm) を使用した。

通電式の焼成は、所定の電圧を印加して中心温度が100°C到達後5分経過するまで行った。焙焼式の焼成は、200°Cに設定された電気オーブン(栄和製作所製EF6-2-4)を用いて中心温度が98°Cに到達するまで行った。

通電式の焼成中における生地の膨張は、型Aの中央部に目盛を付けたガラス棒(直径5mm)を立てて生地の中央上部表面の位置を測り、生地の高さとして測定した。

2. 通電式の加熱試験装置

図2に試験装置ブロック図を示した。通電装置による加熱は交流電力調整器(富士電機RPBE2040)を用いた位相制御による定電圧加熱、または精密電力増幅器(エヌエフ回路設計ブロック4510)、発振器(エヌエフ回路設計ブロック4591)を用いた振幅制御による定電圧加熱を適宜使用した。振幅制御による印加電圧の周波数設定(1, 10, 50, 100, 1000, 10000Hz)は発振器の設定によって行った。

生地の温度は熱電対を用いて、また印加した電圧と電流は変流器(富士電機製FRC-5-26)と電力用トランスデューサ(横河M&C製2374)を用いてデータロガー(アドバンテスト製7326B)で記録した。通電式の焼成に要した電力は、データロガーで記録した電圧値、電流値から算出した。

3. 測定試料の調製と品質評価方法

焼成後のパンは、1時間自然放冷した後、半分に分割し、一方を13°C、90%RHの恒温恒湿器の中で24時間老化させた。

パンの品質評価は、焼成後1時間自然放冷したものと24時間老化後のものをそれぞれパンスライサーを用いて厚さ25mmに切断し、パン内相の含水率、硬さについて行った。

含水率はパン内相を赤外線加熱水分計(ケット科学研究所FD230 加熱温度135°C)を用いて測定した。硬さの測定はレオメータ(サン科学CR200D プランジャー直径36mm)を用いて行い、25mm厚にスライスしたパン内相にプランジャーを6.3mm押し込んだ時の荷重を硬さとした⁴⁾。

また、試料を真空凍結乾燥し、走査型電子顕微鏡(日立S-2400)による観察とX線回折装置(日本電子JDX-8030)による分析を行った。X線回折の試料は、乳鉢を

用いて粉碎し、篩（100メッシュ）を使って得た粉末を使用した。X線回折装置の設定はスタート角度 $2\theta = 3^\circ$ ，ストップ角度 $2\theta = 40^\circ$ ，ステップ幅 0.04° ，計数時間 3 sec，ターゲット名Cu，管電圧30kV，管電流20mAとした。

実験結果及び考察

図3に焙焼式と通電式（印加電圧175V一定）とした場合における焼成中の生地中心温度の昇温特性を示した。焙焼式は焼成開始後10分から徐々に昇温し始めたのに対し、通電式は通電直後からほぼ直線的に昇温した。

図4に通電式焼成中の電流値及び生地の高さと生地を中心温度との関係を示した。中心温度が $30\sim 50^\circ\text{C}$ の帯域は電流が増加して、 $50\sim 70^\circ\text{C}$ の範囲は徐々に低下した。 $70\sim 100^\circ\text{C}$ の帯域はわずかに増加し、 100°C 到達後は電流値が低下した。生地の高さは、焼成開始と共に増加し始めたが、 $70\sim 80^\circ\text{C}$ の帯域では増加が一旦止まる傾向が見られ、 95°C 付近で一定の値となった。

$30\sim 50^\circ\text{C}$ の帯域は、生地の高さの増加割合と電流の増加割合がほぼ一致していた。これは生地の発酵が進み膨張することで、電極板との接触面積が増加し、生地の見かけの抵抗値が小さくなり電流が増加すると考えられる。 100°C 到達後は、水分の蒸発が進み生地の水分が失われていくことで生地の抵抗値が増加し、電流が低下すると考えられる。

$70\sim 100^\circ\text{C}$ の帯域においては、生地の高さが増加するとともに電流は増加しているが、生地の高さの増加が途中で一旦止まる傾向があり、 $95\sim 100^\circ\text{C}$ の範囲では生地の高さが一定にもかかわらず電流が増加している。また、 $50\sim 70^\circ\text{C}$ の帯域は、生地の高さが増加しているにもかかわらず電流は減少している。 $50\sim 70^\circ\text{C}$ の帯域はでんぷんの α 化が起こる温度範囲、 $70\sim 100^\circ\text{C}$ の帯域はたんぱく質の変性が起きる温度範囲と一般的に云われており、この生地の変化に対応している可能性があると考えられる。なお、通電式と焙焼式における各温度帯の通過時間は、図3から $30\sim 50^\circ\text{C}$ の帯域は、焙焼式が8.8分、通電式が2.3分、 $50\sim 70^\circ\text{C}$ の帯域は焙焼式が4.8分、通電式が1.7分、 $70\sim 100^\circ\text{C}$ の帯域は焙焼式が31.2分、通電式が3.1分であった。

また、焼成中の生地の変化は電圧・電流の測定によって読み取れることから、生地の変化に対応して通電式の電圧制御が行える可能性があると考えられる。

生地温度が 100°C を保持する帯域の通電方法について検討した。図5に通電式焼成中の生地中心温度と電流値との変化を示した。印加電圧を一定（175V）とした場

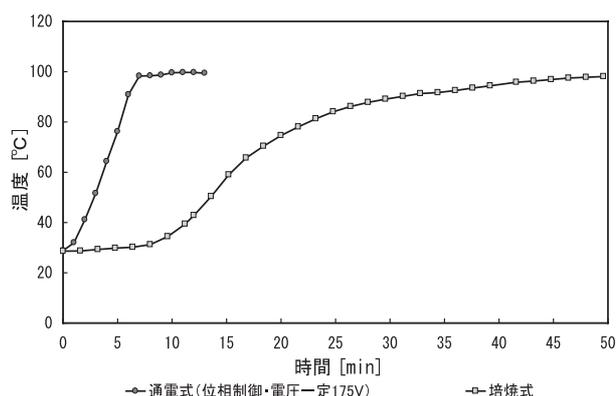


図3 焙焼式と通電式焼成時の昇温特性の比較

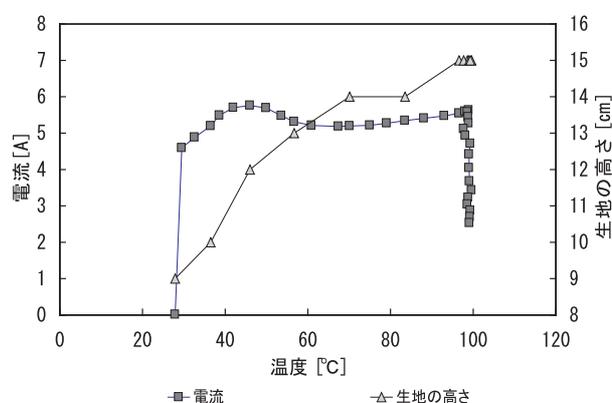


図4 通電式焼成時の電流と生地の高さの変化

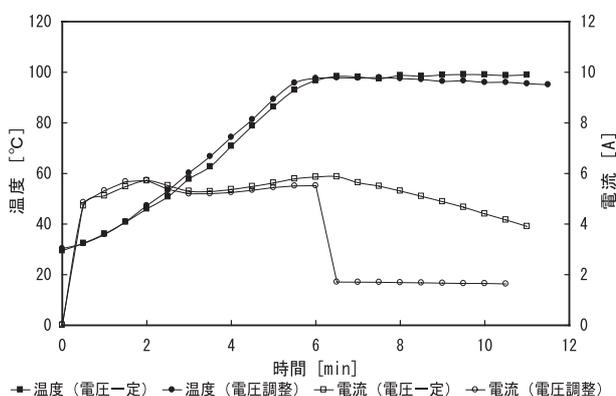


図5 通電式焼成中の生地温度と電流の変化

合、図4で示したように 100°C 到達後は徐々に電流値が下がった。 100°C 到達後の過度の電力投入は水分蒸発を促進してしまうことから印加電圧を調節することを試みた。 100°C 到達後印加電圧を175Vから50Vに下げた場合、電流値は大きく下がりほぼ一定の値で経過したが、生地温度は 100°C を維持することが可能であった。

図6に焼成法の違いによるパンの含水率と硬さとの関係を示した。通電式で電圧一定の場合、1時間後は硬さ

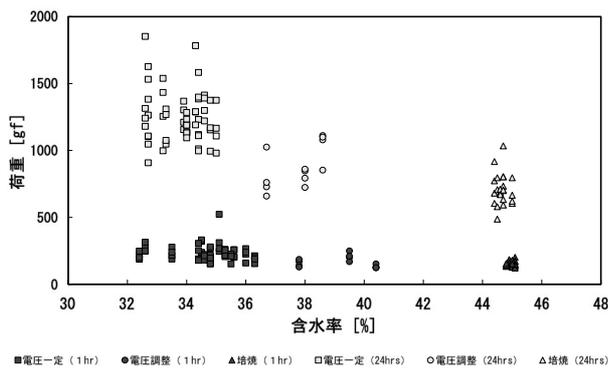


図6 焼成法の違いによる含水率-硬さ特性

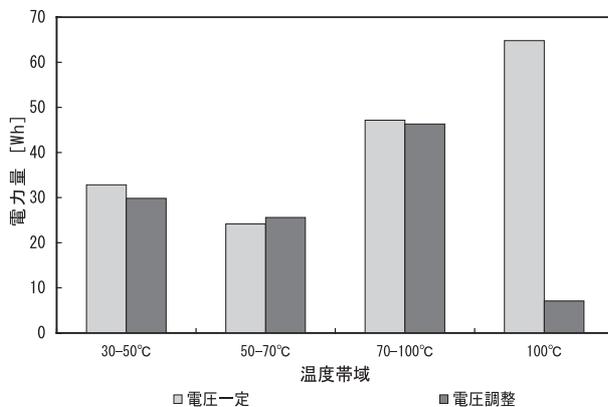


図7 温度帯域別の電力量

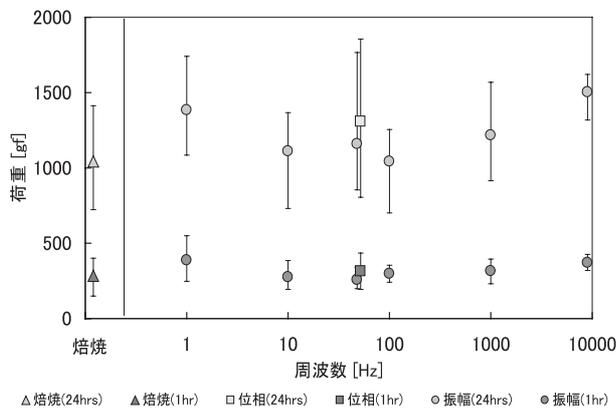


図8 周波数の違いによる硬さへの影響

の平均が233gf, 含水率の平均が34.7%で, 24時間後は1250gf, 33.9%となった. 電圧調節した場合, 1時間後は165gf, 39.2%で, 24時間後は878gf, 37.8%となった. 焙焼式の場合, 1時間後は157gf, 45.0%で, 24時間後は708gf, 44.7%となった. 電圧を調節した場合, 含水率は電圧一定の通電式と焙焼式とのほぼ中間の値となり, 硬さは焙焼式の場合に近い値になった. 含水率の値が高くなったのは, 電圧を下げることで過度の水分蒸発が防げたためと考えられる. 焼成終了時の含水率は老化後の硬さに大きな関連があると云われており⁵⁾, この方法で含水率を高くすれば, 老化後も柔らかいパンができると考えられる.

図7に電圧一定と電圧調整の場合の各温度帯域における消費した電力量を示した. 30°Cから100°Cまでは両者ともほぼ同一の値であったが, 電圧調整の場合は100°Cの帯域では電力量が1/10までに下がった. 焼成全体では約35%下がった. 100°C到達後の電圧調整は含水率の低下防止とともにパン製造時の省エネルギー化にも効果があると考えられる.

次に印加電圧の周波数の影響について調査した. 通電式は交流電圧を印加して加熱するため, 周波数に対応して2枚の電極板の極性が変化する. パンの生地に含まれる水は有極性の分子であるため影響を受けている可能性が考えられる.

表2に通電式パンの含水率に与える周波数の影響を示した. 周波数は, 電力増幅器を用いた試験において6種類の周波数を用いた. 交流電力調整器を用いた試験では1種類(基本周波数50Hz)の周波数を用いた. 印加電圧は, 電力増幅器の仕様上の制限に合わせて両者とも開始時の電圧は130Vとし, 100°C到達後50Vに電圧調整した.

含水率の平均(24hrs)は, 焙焼式の場合は44.6%であった. 通電式の位相制御では38.0%, 振幅制御では39.8~38.3%の値であった. 通電式の場合は焙焼式に比べて約6%低い値となったが, 周波数による大きな違いは見ら

表2 通電式パンの含水率に与える周波数の影響

焼成方法	焙焼		通電加熱						
	-		位相制御		振幅制御				
制御方法	-		50	1	10	50	100	1000	10000
周波数 (Hz)	-		50	1	10	50	100	1000	10000
含水率 (%) 1hr	44.7	38.6	38.8	38.5	38.3	37.2	38.4	39.1	
含水率 (%) 24hrs	44.6	38.0	39.8	38.9	38.5	38.3	38.6	38.9	

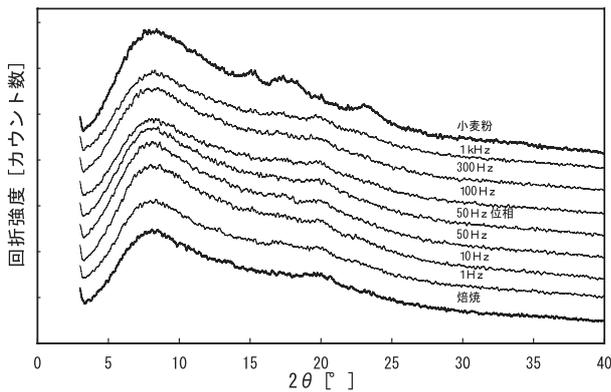


図9 X線回折結果

れなかった。

図8に周波数の違いによる硬さへの影響を示した。また、参考として焙焼式の場合も合わせて示した。焼成後1時間の試料は、周波数に関係無く、焙焼の場合とほぼ同じ値を示した。24時間後の試料は、周波数の違いにより差が見られた。10Hz~100Hzの周波数範囲では、焙焼式とほぼ同じ値を示したが、1000Hz以上の場合と1Hzの場合では値が大きくなる傾向があった。

官能試験では、焙焼式のパンに比べて通電式パンはやや粘りのある食感が認められたが、周波数の違いによる食感の差は認められなかった。

X線回折装置によるパン粉末の分析結果を図9に示した。グラフはスムージングデータファイルを使用して作成した。でんぷんの老化の代表的ピークと云われている 2θ , 17° 付近の変化⁹⁾は、原料の小麦粉ではピークが観察されたが、位相制御による通電式や周波数を変えて焼成した通電式と焙焼式の場合はピークが見られず、それぞれに大きな差は見られなかった。また、電子顕微鏡による焙焼式と通電式とのパン内層部の観察では、でんぷん粒の形状に大きな差は見出されなかった。

通電式のパンは印可電圧の周波数によって硬さに差が認められたことから、極性が交互に変化する度合い(周波数)が生地の焼成に影響を与えると考えられるが、ど

のような影響を与えているかについては、さらに検討する必要がある。通電式パンと焙焼式パンの食感の違いには、周波数による水分子への影響が現れている可能性が示唆された。

要 約

通電加熱を利用したパン粉用のパンの製造について取り上げ、焙焼式パンと同程度の硬さをもつ通電式パンの製造を目的として、通電方法と品質の関係を中心に試験を行った。

- (1) 通電式による焼成時の電流の変化は、生地膨張による電極板との接触面積の変化と水分蒸発による含水率の変化とが影響していると考えられるが、 $50\sim 70^\circ\text{C}$ の帯域と $70\sim 100^\circ\text{C}$ の帯域との電流の変化は、それぞれ他の要因による影響と考えられる。
- (2) 生地温度が 100°C に到達後、電圧調整する方法により含水率の低下を防ぐことができた。これにより通電式パンの老化後の硬さは、焙焼式に近い値を維持できた。またこの方法により一定電圧を印加した場合に比べて電力量を約35%減少できた。
- (3) 通電式のパンは印可電圧の周波数によって硬さに差が認められたことから、極性が交互に変化する度合い(周波数)が生地の焼成に影響を与えると考えられる。

文 献

- 1) 柴 眞：食品と科学, **29**, 3, 94 (1987).
- 2) 清水康夫：食品と科学, **30**, 5, 114 (1988).
- 3) 吉川滉一：食品と科学, **38**, 8, 125 (1996).
- 4) 楨賢 治, 山木一史, 田中 彰, 田中常雄：北海道立食品加工研究センター研究報告, **3**, 15 (1998).
- 5) 田中康夫, 松本博編：製パンプロセスの科学 (光琳, 東京), p. 259 (1991).
- 6) 山内宏昭, 藤村昌樹, 大宅甲三, 平川 完, 小林 猛：日食工誌, **39**, 383 (1992).