

# 通電加熱加工法によるいろいろの製造技術の開発

石川敬一・鬼頭幸男・間瀬雅子・藤井正人

名古屋名物のいろいろは蒸し工程を経て製造されている。

蒸しによる加熱は、対象物表面への凝縮伝熱と対象物内部の伝導伝熱の複合工程であり、このうち、凝縮伝熱は一般に極めて大きな伝熱係数を有するため、総合的な伝熱効率を考慮すると、対象物内部への伝導伝熱が律速となる場合が多い。特にいろいろの製造は、液状の生地が澱粉の糊化により固体化する工程であり、生地の流動性が消失するため、中心部の温度上昇に多大な時間が必要であり、原料配合により時間の長短はあるものの、通常90分ないしはそれ以上の蒸し時間が設定されている。

一方、全体を均質かつ迅速に加熱可能な技術として通電加熱法がある。これは対象物自体に電流を通じることによって発生するジュール熱を加熱源とした手法で、パン粉や佃煮、かまぼこなどの製造に実用化されているほか、味噌<sup>1)</sup>や鶏卵<sup>2)</sup>の殺菌やジャム類<sup>3) 4)</sup>の製造等への応用が検討されている。通電加熱法は、電気エネルギーがすべて熱に変換されるため高効率であるという特長を持つが、対象物が電気のキャリア即ち食品においては電解質を含有していることが必須の条件となる。

本研究では、いろいろの生地に食塩を添加することで導電性を持たせ、通電加熱による短時間かつ効率的ないろいろの製造を試みるとともに、その加熱特性及び物性の検討を行った。

## 実験方法

### 1. 実験装置

加熱槽には、内容積1000mlのガラス容器(特注品: W100mm × H100mm × D100mm)を使用し、これにチタン板電極(97mm × 80mm 厚さ1mm)をとりつけた。保温のため、加熱槽の周囲を発泡スチロール(厚さ60mm)で断熱した。また、容器上面にアクリル板(厚さ5mm)を被せ、保温及び温度センサの固定を行った。温度センサは熱電対(Type-K, φ2mm)を使用し、中心から壁面方向に2cm間隔で9本をとりつけた。センサの

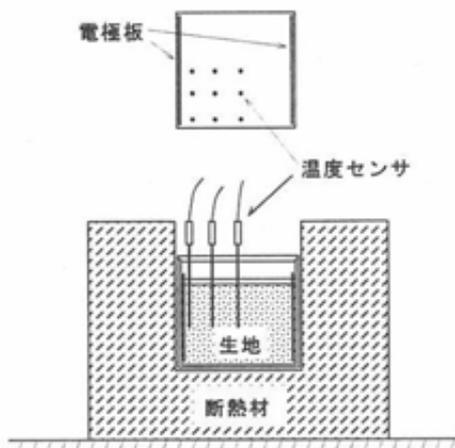


図1 加熱槽外形

感温部は、深さ方向の中心部分となるようにした(図1)。温度の測定には、マルチロガー(岩崎通信機(株), SC-7502型)を使用した。

加熱電力は、ファンクションジェネレータ(横河電機(株), FG110型)で発振した信号を精密電力増幅器(株)エヌエフ回路設計ブロック, 4505型)で増幅して供給した。電力等の測定には、クランプオンハイパワーテスタ(日置電機(株), 3167型)を使用した。

温度及び電力データは、コンピュータ(日本電気(株), PC-9801VX)に取り込み、これをもとにファンクションジェネレータを制御して加熱電力の調節を行った。

### 2. 食塩水を用いた通電特性の測定

イオン交換水に所定濃度となるように塩化ナトリウム(試薬特級)を溶解した食塩水700gをガラス容器に注ぎ、通電加熱の基礎的な特性の測定を行った。

測定条件は、塩化ナトリウム濃度0.2~2wt%, 印加周波数20~8000Hz(正弦波のみ)、電圧20~80Vの範囲とした。

### 3. いろいろ生地の調製

生地の配合を表1に示した。

製菓用卓上ミキサー(Kenwood社, KENMIX)のボウ

表1 ういろうの配合

上新粉	500g
グラニュー糖	500g
食塩	5g
熱湯	500g
水	500g

ルにグラニュー糖及び食塩を入れ、熱湯を注いで1分間攪拌溶解したあと50℃まで放冷した。これに予めふるいにかけて上新粉を加え5分間混合後、水を加えて更に1分間混合した。全量を3 000ml容のピーカーに移し、75℃の恒温水槽中で緩やかに攪拌しながら30分間加熱して生地とした。

添加した食塩量は重量比で0.25%であり、これは味覚的に差異を生じる閾値領域の濃度である。

#### 4. 通電加熱処理及び冷却

生地900gを加熱槽に入れ、60Hzの正弦波で通電加熱処理を行った。加熱電力は、コンピュータ制御で一定値(400W)に保ち、9カ所の温度測定点のいずれかが設定温度(100.5℃)に到達後は150Wに電力を減少させ、ON-OFF制御で温度保持を行った。

温度保持時間は、10、30、60、90、120分とした。所定時間温度保持を行ったあと、試料を加熱槽ごと氷水中で90分間冷却し、さらに室温で一晩放置して物性測定に供した。

また、同一の条件で角形万能蒸し器((株)銅豊製作所、D-20C型)を用いてういろうを製造し、物性の比較を行った。蒸し時間は90分とした。

#### 5. 物性の測定

冷却後の試料の中心部分から一辺20mmの立方体を切り出し、20℃で物性の測定を行った。測定は、レオナー((株)山電、RE3305)に2kg測定用のロードセル及び直径12mmのプランジャーを取り付け、圧縮速度1mm/s、圧縮量5mmで行い、固さ、凝集性、付着性を計測した。

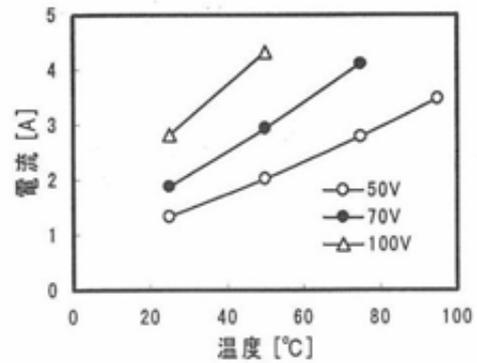


図2・温度上昇に伴う電流変化

測定は、1試料につき9回ずつ行い、平均値を算出した。

### 結果及び考察

#### 1. 食塩水を用いた通電特性

食塩濃度0.2wt%、印加周波数60Hzで、試料温度と電流量を測定したところ、温度が上昇するにつれ電流量は増加し(図2)、電気伝導度は増大した。温度上昇に伴う電気伝導度の増大については、植村らの味噌の通電加熱に関する報告<sup>5)</sup>を始め多くの報告があり、本研究においても同様の傾向が認められた。

通電条件と力率(有効電力/皮相電力)の関係を図3~図5に示した。力率は、食塩濃度の上昇に伴って低下し、また、印加周波数、電圧が高くなるほど増大した。これらのことから、交流波形を使用した際の通電特性は、単に抵抗成分のみでなく、コンダクタンスの要素を持つものと予想されたが、その挙動は複雑であり、簡易な電気的等価回路に置き換えることは困難であると考えられた。

#### 2. ういろう生地の通電加熱処理

ういろう生地を通電加熱した場合の中心部分の温度履歴を図6に示した。初期温度45℃の場合、約14分で設定

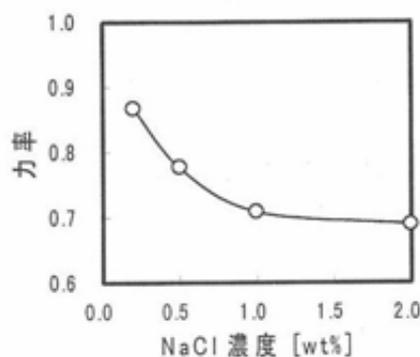


図3 食塩濃度による力率変化  
温度25℃、印加電圧20V 60Hz

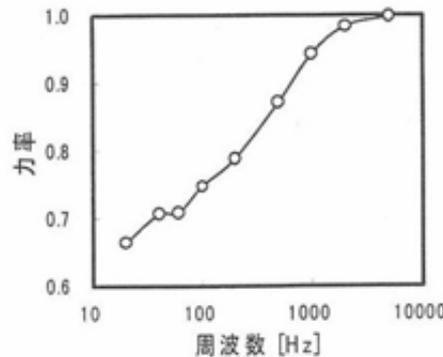


図4 印加周波数による力率変化  
食塩濃度1wt%、印加電圧20V

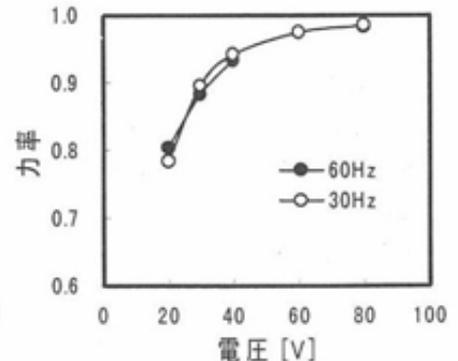


図5 電圧による力率変化  
食塩濃度0.5wt%

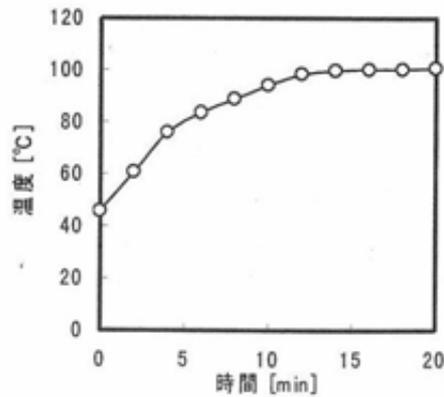


図6 ういろろ生地中心部の温度履歴

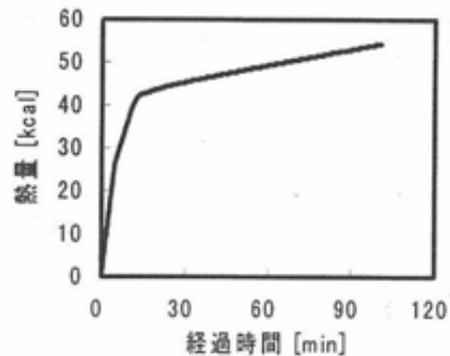


図8 通電加熱の積算熱量

温度まで昇温した。加熱開始後5分のところで変曲点が認められたが、これは他の部分が設定温度に到達したため、コンピュータ指示により加熱電力が150Wの保温設定まで減少したことによるものである。

図7はういろろ生地中の温度分布である。4分後で大きく波打っている面が電極との接触面である。通電初期においては、まず電極近傍の温度が著しく上昇し、生地内部に大きな温度むらがあったが、時間が経過するに従って、温度は均質化し、中心部分を最高温とする緩やかなドーム上の温度分布で安定した。これは、放熱により壁面近傍の温度が低下したためと考えられた。

図8に加熱に要した積算熱量を示した。初期段階では生地を昇温させるため電気エネルギーを消費するが、その後の保温段階では、外部への放熱を補うのみとなるため、必要とするエネルギーは小さな値となり、90分間の積算エネルギーは、約50kcalであった。

通電加熱とせいろ蒸しのエネルギー効率を単純に比較することは困難であるが、小型の蒸し器が20 000kcal/h程度、すなわち90分間で30 000kcalの熱量を消費することを考えると、この熱量は通電加熱の場合、540kgのう

いろろ製造に該当する計算となり、通電加熱は、せいろ蒸しに比べ極めてエネルギー効率が高いことが予想される。

通電加熱前後の重量変化を図9に示した。せいろ蒸しによるういろろの製造では、通常仕込んだ生地と蒸し上がったういろろの重量は殆ど変化しないか、または若干増加する傾向にある。これは、蒸し器内が水蒸気で飽和しており、また蒸し工程の初期においては生地表面に水

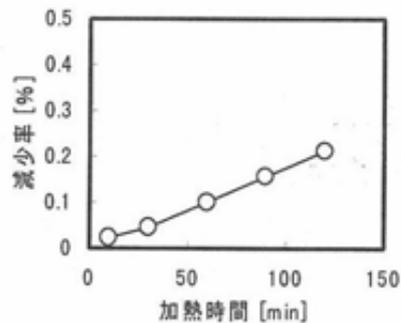


図9 ういろろ生地の重量変化

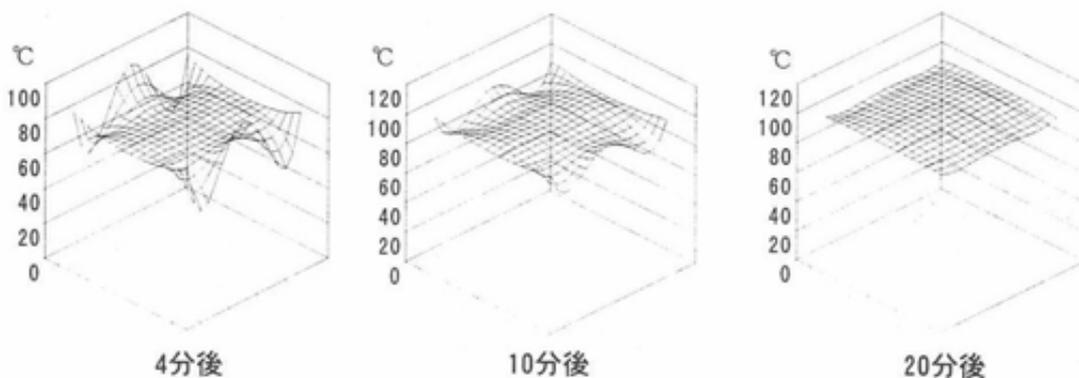


図7 ういろろ内部の温度分布

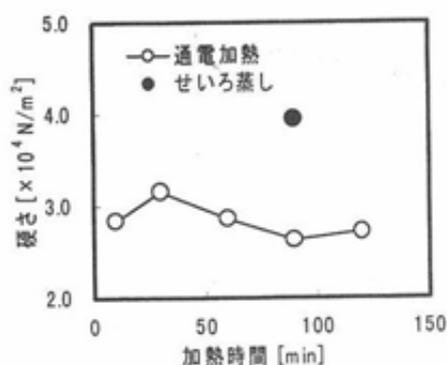


図10 硬さの変化

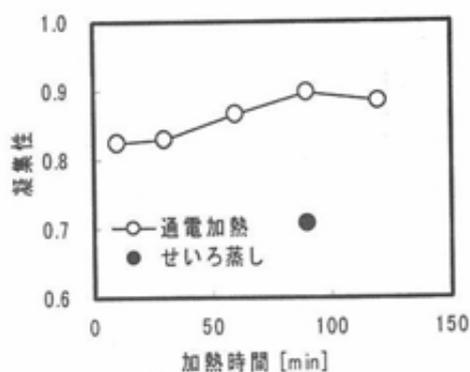


図11 凝集性の変化

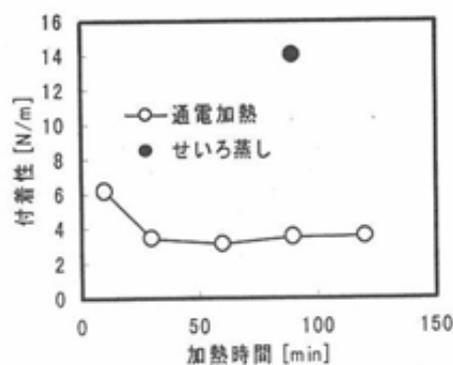


図12 付着性の変化

蒸気が凝縮するためであるが、通電加熱では、水分の蒸発により仕上がり重量は仕込み重量に比べ減少し、減少率は加熱時間とほぼ比例関係にあった。

### 3. 物性の測定

通電加熱時間と硬さ、凝集性及び付着性の関係を図10～図12に示した。硬さは時間の経過につれて減少傾向を示し、凝集性は増大する傾向にあった。また、付着性は10分加熱において大きな数値であったが、30分以降は半分程度のほぼ一定の値となった。同一の生地をせいろ蒸したところ、硬さ及び付着性が通電加熱に比べ大きな値となり、凝集性は通電加熱より低かった。この違いは官能的にも確認でき、通電加熱がいろいろな物性、いわばもちもち感をもつものに対し、せいろ蒸しの方はべたついた食感を示し、官能的に劣っていた。

通電加熱とせいろ蒸しの物性の相違については十分な検討を行っていないが、各物性値が全く異なる分布にあることから、昇温後の温度保持時間の違い、すなわちせいろ蒸しでは中心部の昇温に長時間を要し、最高温度での保持時間が通電加熱に比べ短くなっていることから生じる差異のみとは考えられず、昇温速度がでんぶんの糊化物性に影響を与えているのではないかと推察された。

### 要 約

短時間かつ効率的ないろいろな製造を目的として、通

電加熱を用いたいろいろの試作と物性の測定を行った。

(1) 温度の上昇に伴い電気伝導度は増大した。また、印加周波数、食塩濃度、電圧により力率は変化した。

(2) 400W の出力で900g のいろいろ生地を加熱した結果、約14分で中心部が100℃に昇温した。90分間の通電加熱に要した電気エネルギーは約50kcal で、蒸し器による加熱に比べ極めて高効率であると考えられた。また、仕上がり重量は仕込み重量に比べ減少し、減少率は通電加熱時間に比例した。

(3) 通電時間の経過により硬さは減少傾向を示し、凝集性は増大傾向を示した。付着性はほぼ一定の値となった。物性は、せいろ蒸しの場合と差異が認められ、昇温速度が糊化物性に影響を与えることが推察された。

### 文 献

- 1) 柚木崎千鶴子・植村邦彦・野口明德：日本食品工業学会第40回大会講演要旨集，p. 144 (1993)。
- 2) 柚木崎千鶴子・河野幹雄：宮崎県工業試験場・宮崎県食品加工研究開発センター研究報告，40，121 (1995)。
- 3) 瀧麻由美：愛知学泉大学卒業論文 (1997)。
- 4) 大内信司：愛知工業大学卒業論文 (1998)。
- 5) 植村邦彦・五十部誠一郎・今井哲哉・野口明德：食科工，43，510 (1996)。