

通電加熱技術による食肉製品の加工

熊林義晃・井上貞仁

Meat Processing using Ohmic Heating

Yoshiteru KUMABAYASHI and Sadahito INOUE

Application of ohmic heating to meat processing was considered. The sample used for heating was boneless ham with a diameter of about 92 mm, length of 300~450 mm, and weight of 2~3 kg. The heating process was completed by using ohmic heating for a short time. The quality of the ham heated for about 50 minutes did not change from the conventional quality. Ohmic heating effectively reduces the time required to heat a meat product. Moreover, it may be possible to adjust the physical properties of meat by changing the current to vary the heating time. The ham heated for about 15 minutes had the texture of meat fiber.

近年の食肉加工品は、消費形態の変化からスライスパック製品の伸びが著しくなっている。食肉加工品の加熱では、外部からの熱伝導による加熱が一般に行われており、スライスパック製品の原料となるスライス原木等の大口径の製品は、加熱に長い時間を要する。また、食肉加工品の生産量は、年末の贈答用製品製造の繁忙期には平常月の2~3倍量にも及び、年間を通してみた生産量の変動が大きくなっている。生産工程では、加熱時間が律速となり処理能力が固定していることから、繁忙期の加熱部門にかかる負担は非常に大きくなっている。これらのことから、加熱工程の効率化、改善が望まれている。

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、加熱効率が高いこと、迅速加熱が可能なことなどの特長を有している。この技術は既にかまぼこの製造、豆乳加熱によるとうふ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⁾。

本研究では、ボンレスハムの加熱工程の処理時間短縮を目的に、塩漬肉を試料として通電加熱技術の食肉加工品製造への応用を検討した。

実験方法

加熱試料はスライス原木サイズのボンレスハムを供した。豚もも肉を整形して、食塩7%、リン酸塩3.5%、亜硝酸ナトリウム0.06%、調味料を含むピクル液を原料重量対比20%量注入し、冷蔵庫(5℃)で3日間塩漬した。

塩漬済みの肉は、ファイブラスケーシング No5 N サイズ(充填直径92 mm)に重量2~3 kg、長さ30~45 cm程度の大きさに充填して加熱試料とした。なお、試験区は通電を行うため、両端結紮部の内側にアルミ製又はチタン製の電極板兼円形スペーサ(直径90 mm、厚み5又は10 mm)を装填した。この電極板には、ファイブラスケーシングの外部から先端部が鋭利な複数の金属棒を押し当てることで接触させ、ケーシング外部から電圧を印加した。(図1)

図2に通電加熱試験装置ブロック図を示した。試験装置は電力調整器(富士電機製 RPBE 2040)を主部品とした自作品を用いた。試料の温度は熱電対を用いて、また印加した電圧と電流は電力用トランスデューサである電流変換器(横河 M&C 製 237400-35)及び電圧変換器(横

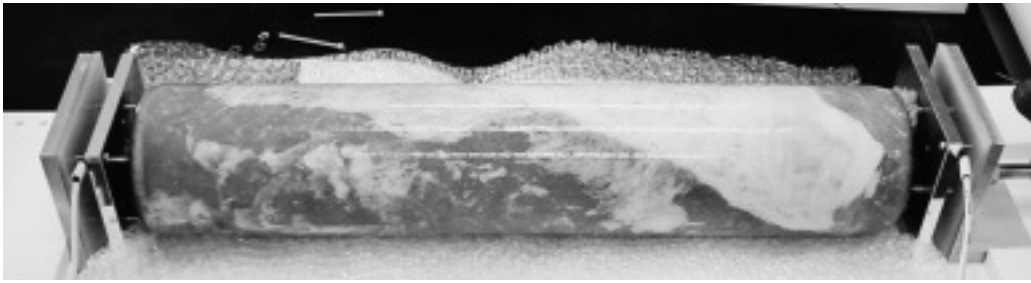


図1 加熱試料外観

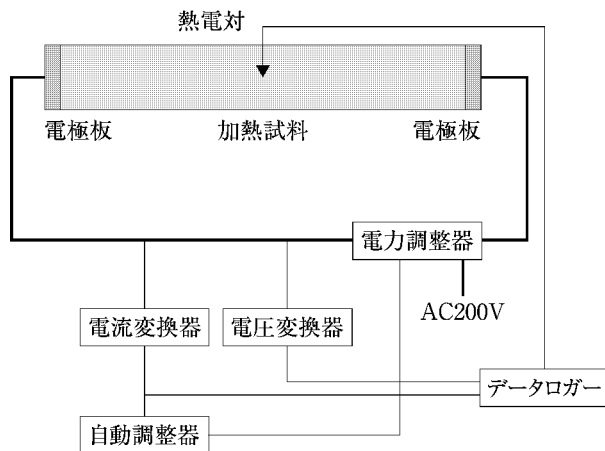


図2 通電加熱試験装置ブロック図

河 M&C 製 237400-34) を用いてデータロガー(アドバンテスト製 7326 B) で記録した。なお電流は、図示しない変流器(富士電機製 FRC-5-26) を用いて電流変換器に接続した。電圧の印加は、所定の電流値になるように 200~0 V の範囲で調整した。この調整は自動調整器(オムロン製 E 5 EK-AA 201) を使用した定電流制御で行った。

加熱試験は、対照区では、スモークハウス(ドイツ アスカ社製)により熟成、乾燥、燻煙、蒸煮の 4 工程で各々室温を 60°C、70°C、75°C、80°C で加熱し、最終中心温度を 72°C まで加熱したのち、冷却した(図 3 参照)。通電加熱の試験区では、電流値 5 A、10 A で中心温度を 72°C まで昇温した後、スモークハウス(燻煙設定・室温 72°C) で 40 分間保持したのち、冷却した。

通電加熱品とスモークハウス加熱品の品質は以下の項目について行い、比較検討した。断面の色調は色彩色差計(ミノルタ製 CR-30) を使用してハンター表色法により測定した。ゲル強度(最大応力、突刺深度)はレオメータ(サン科学製 CR-200 D) で直径 10 mm 球形プランジャーを使用して測定した。保水性は加圧濾紙重量法により、亜硝酸残留根は公定法により測定した。加熱歩留

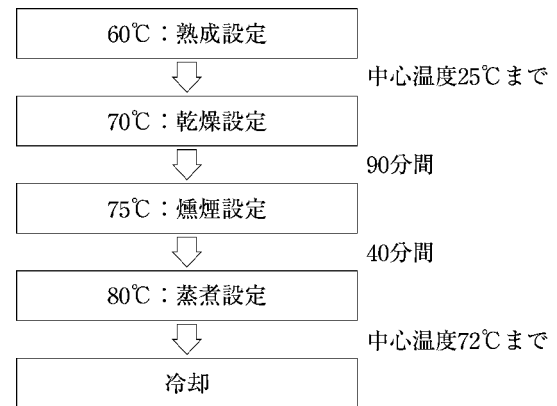


図3 スモークハウスによる製造フロー図

りは、冷却後の製品重量と加熱前の充填重量の比から算出した。

実験結果及び考察

図 4 に通電加熱とスモークハウス加熱による昇温特性を示した。この昇温特性には冷却と通電加熱における燻煙工程の期間は含まれていない。試料の中心温度が 72°C に達する所要時間は、スモークハウス加熱では約 4 時間、通電加熱の電流値が 5 A のときは約 50 分、電流値が 10 A のときは約 15 分であった。スモークハウス加熱では、表面部分の昇温が中心部に比べて早く、約 2 時間で 72°C に到達し、中心部と表面部の温度差は最大 30°C になった。通電加熱は、スモークハウス加熱に比べると、中心部と表面部の温度差は小さいが、電極付近の端部の昇温が中央部よりも早い傾向が見られ、また試料の中心部分が表面部分よりも早い傾向が見られた。電流値 10 A 品はこの傾向が顕著であった。中心部と表面部の温度差は、電流値が 5 A のときでは最大 7°C に、電流値が 10 A のときでは最大 18°C になった。

通電加熱の場合、電極付近の端部と中央部との温度差の発生は、電極板と肉との接触面に接触抵抗が存在していることが原因と考えられる。この接触抵抗の値が肉自

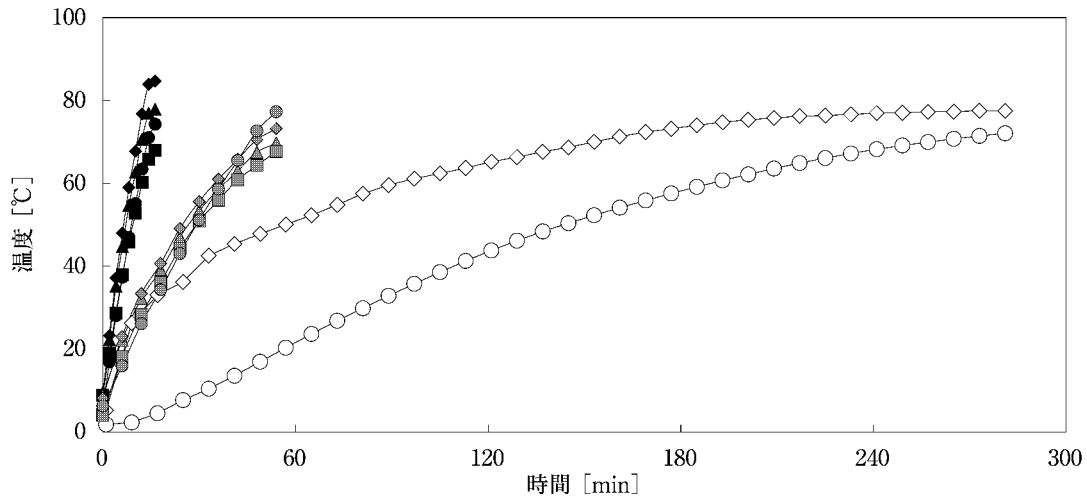


図4 通電加熱，スモークハウス加熱による昇温特性

- | | | | | | |
|---|----------|-------|---|----------|-------|
| ○ | スモークハウス品 | 中央部中心 | ○ | スモークハウス品 | 中央部表面 |
| ▲ | 通電加熱10A品 | 端部表面 | ■ | 通電加熱10A品 | 中央部表面 |
| ◆ | 通電加熱10A品 | 端部中心 | ● | 通電加熱10A品 | 中央部中心 |
| △ | 通電加熱 5A品 | 端部表面 | □ | 通電加熱 5A品 | 中央部表面 |
| ◇ | 通電加熱 5A品 | 端部中心 | ○ | 通電加熱 5A品 | 中央部中心 |

体の抵抗値よりも大きい場合，同じ電流値が流れても接触面での発熱の方が大きくなる。このことから接触面には肉自体の抵抗値よりも大きな接触抵抗が存在し，この接触面での大きな発熱が電極板付近の端面の温度をより上昇させていると考えられる。電流を大きくすると発熱量は電流の二乗に比例するため，温度差も大きくなる傾向があると考えられる。

試料の中心部分と表面部分との温度差の発生は，表面

部分からの放熱の影響が大きいことが原因と考えられる。

ボンレスハムの製造に通電加熱技術を用いた場合，各部位の温度差を小さく抑えた状態で，短時間に仕上げることができた。通電加熱技術は，加熱処理時間の短縮に有効な技術と考えられる。

図5に通電加熱中の電圧・電流・温度の経時変化の一例を示した。電流は5 A一定とした。印加電圧は，印加

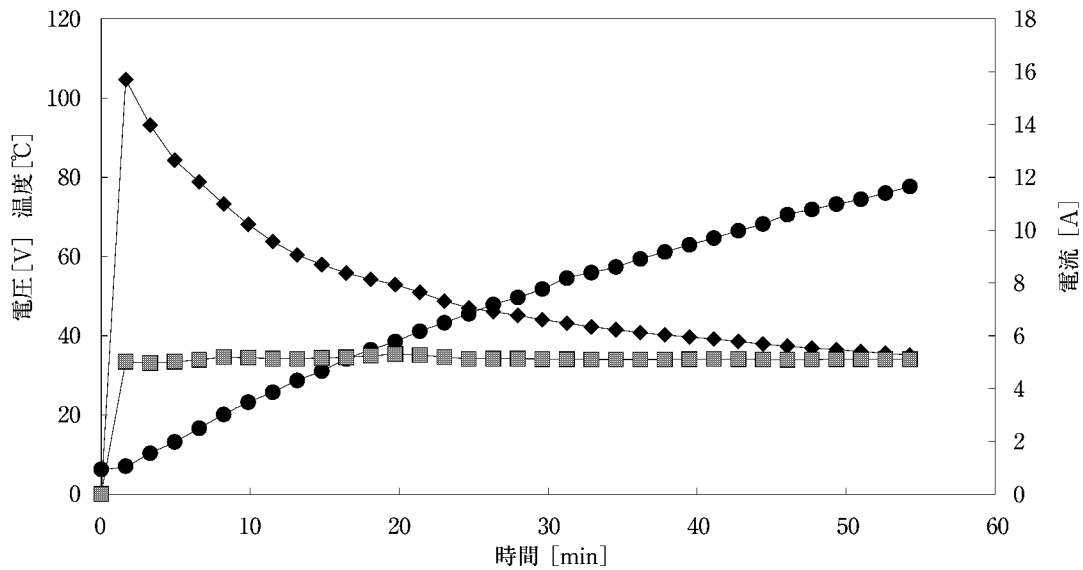


図5 電圧・電流・温度の経時変化の一例

- | | | | | | |
|---|------|---|------|---|----|
| ◆ | 印加電圧 | ● | 中心温度 | ■ | 電流 |
|---|------|---|------|---|----|
- 試料：長さ 33 cm，直径 9.2 cm

直後は大きな値を示したが、時間の経過と共に急激に小さくなり、20分過ぎからゆっくりと小さくなっていった。温度は時間の経過とともにほぼ直線的に上昇した。

加熱初期の電圧値は大きく、電圧と電流とから算出した電力は約500Wと大きな値となった。電圧値の減少と同様に、時間の経過と共にこの電力も小さくなった。

消費した電力が、ほぼ熱に変換されたと仮定すると、温度の上昇がほぼ直線的であることから、加熱試料の単位重量当り、一定温度を上昇させるために必要な熱量、すなわち比熱が、試料の温度上昇とともに大きく変化していることが推定される。この比熱は、加熱初期の低温域で大きな値を示し、5～30℃の範囲で急激に減少していくことがわかった。

図6に試料温度と見かけの抵抗値との関係を示した。見かけの抵抗は、試料に印加した電圧値を電流値で除することで算出した抵抗値である。従って、この見かけの抵抗には、電極板と肉との接触抵抗および肉自体の抵抗が含まれている。

見かけの抵抗値は、加熱初期の低温域で大きな値を示し、5～30℃の範囲で急激に減少していき、30～75℃の範囲では、比較的ゆっくりと減少した。

タンパク質の変性は、一般的に60℃より高い温度帯で起きると云われており、5～30℃の低い温度帯では、肉質に大きな変化は見られない。しかし、本試験での比熱の変化や見かけの抵抗値の変化は、5～30℃の低い温度帯で大きなものとなっており、食肉加工品に通電加熱技術を応用する場合には、制御の方法などについて注意す

べき温度帯と考えられる。

電極板にアルミ電極を使用した場合、アルミ板と肉との接触面に焦げ付きが発生した。接触面から厚さ2mm程度の肉(両端で60g程度)は、黒く不均一に変色しており、その部分を切除する必要があった。本試験で使用した通電加熱装置は、印加電圧の周波数が商用周波数の50Hzとなっており、電極板に電気分解による腐食が発生したと考えられる。電極板に腐食に強いチタン電極を使用した場合、上記の焦げ付きは発生しなかった。

表1に加熱製品の評価結果を示した。試料の部位により、昇温特性に違いが見られたため、試料端部と中央部とに分けて評価した。評価結果は、スモークハウス加熱品の中心部を基準にt検定を行った。

スモークハウス加熱品の端部の水分値は、他に比べて小さな値を示した。また、通電加熱10A品の水分値は高い傾向が見られ、加熱歩留りも高い値となって表れた。これは加熱に要する時間の長短による水分の蒸発量が影響していると考えられる。

色調は、通電加熱10A品の中心部のa値が大きな値を示した。ゲル強度の突刺深度は、通電加熱10A品の端部、中心部とも、他に比べて大きな値を示した。通電加熱品の亜硝酸残根は、他に比べて小さな値を示した。

他の項目は有意差がなく、スモークハウス加熱品と同等の品質と考えられる。

食味試験の結果は、スモークハウス加熱品と通電加熱5A品とは、肉質がしっかりとした食感で両者に差は感じられなかった。通電加熱10A品は、他とやや異なり、

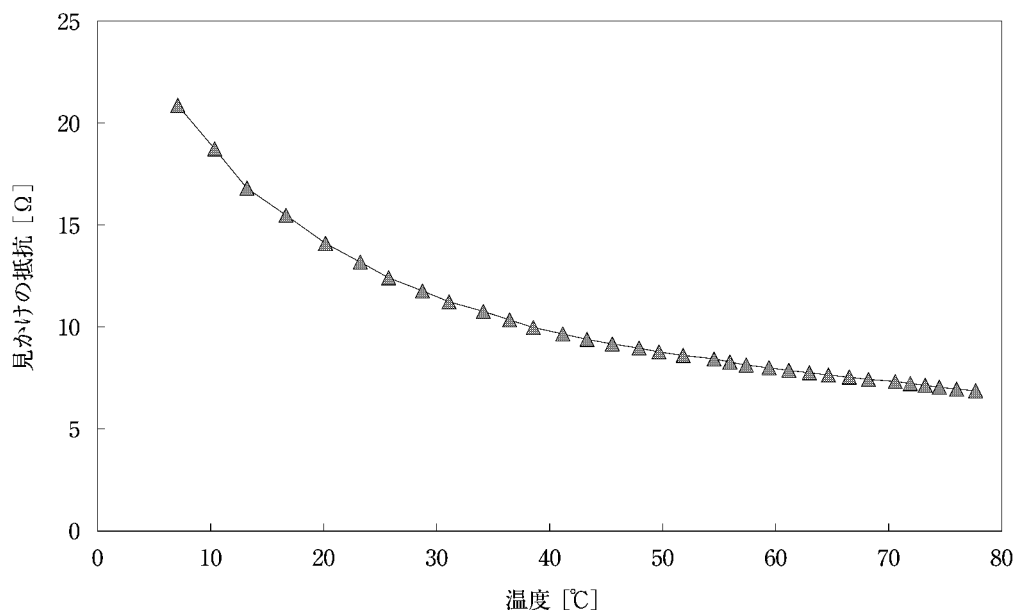


図6 試料温度と見かけの抵抗値との関係

表1 品質評価結果

処理方法	部位	水分[%]	断面色調			ゲル強度		保水性[%]	亜硝酸残根[ppm]	加熱歩留り[%]
			L値	a値	b値	最大応力[g]	突刺深度[mm]			
通電加熱5A	端部	69.0	65.7	11.7	6.1	3737.8	11.9	88.7	47.5*	87.1
	中心部	69.6	60.9	13.3	6.2	2469.8	10.5	88.0	58.0*	
通電加熱10A	端部	73.0	66.4	11.6	4.7	3591.8	14.3*	89.5	55.0*	90.9
	中心部	72.0	62.8	14.4*	5.9	2975.8	15.9*	83.5	55.2*	
スモークハウス (基準)	端部	65.9*	63.5	12.4	5.4	2402.8	11.8	87.8	65.9	88.2
	中心部	70.8	64.7	11.8	4.9	3205.8	9.7	86.3	66.3	

・*印は、t検定により危険率5%でスモークハウス中心部に対して有意差が認められるもの。(n=5)
 ・加熱歩留りについてはt検定を行っていない。

多汁質でしっとりとした良好な食感に仕上がっていた。通電加熱10A品の食感の違いは、突刺強度の値の違いとなって表れていると考えられる。

ボンレスハムの製造に通電加熱技術を用いた場合、電流を適切に調整することで、従来品とほぼ同等の品質で仕上げる事ができた。さらに、電流値を操作することで食感などの品質を調整できる可能性も見出され、特徴ある製品の製造が可能となる技術と考えられる。

要 約

ボンレスハムの加熱工程の処理時間短縮を目的に、塩漬肉を試料として通電加熱技術の食肉加工品製造への応用を検討した。

通電加熱技術を用いることで、従来品とほぼ同等の品

質で短時間に仕上げる事ができ、通電加熱技術は加熱処理時間の短縮に有効な技術と考えられる。また、電流値を操作することで食感などの品質を調整できる可能性も見出され、特徴ある製品の製造が可能となる技術と考えられる。

文 献

- 1) 柴 眞, 水産ねり製品の加熱における時間短縮の効用, 食品と科学, **3**, 94-98 (1987).
- 2) 清水康夫, 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—, 食品と科学, **5**, 114-117 (1988).
- 3) 吉川滉一, 豆乳内部加熱でニガリ100%豆腐, 食品と科学, **8**, 125-126 (1996).