

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

不均一食品を対象とした通電加熱の利用に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-06-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中井, 利雄 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1759

博士学位論文内容要旨
Abstract

専攻 Major	応用生命科学	氏名 Name	中井利雄
論文題目 Title	不均一食品を対象とした通電加熱の利用に関する研究		

通電加熱 (Ohmic heating) とは、食品を金属電極ではさみ電圧を印加することで流れる電流により発生するジュール熱を利用した内部加熱方法をいい、食品業界ではジュール加熱ともいわれている。

従って、通電加熱は食品を効率よく、短時間で加熱できる一方、食品の形状、組成、水分含有率などの違いにより温度のばらつきが生じやすいため食品産業においては、液状食品とペースト状食品(以下、「均一食品」と表記する)の加熱手段としての利用に、ほぼ限定されているのが現状である。

本研究は、畜肉、魚、鶏卵などの均一ではない食品(以下、「不均一食品」と表記する)を通電加熱した場合に生じる温度のばらつきについて、ホール卵(割卵後の未攪拌液卵)を通電加熱の研究対象として、卵白、卵黄、液全卵(攪拌液卵)の電気物性および理論解析を行い、不均一食品の通電加熱における温度のばらつきを3Dモデルの温度分布により可視化して、温度のばらつきが生じる中で最も温度の低い部分(ここでは、以降「冷点」と表記する)を特定し、ひいては食品産業に広く通電加熱が利用されることに寄与できることを目的とした。

第1章では、最初に通電加熱を均一食品の加熱手段として実用化できるまでを電極表面の電解腐食問題および温度のばらつき問題に分けて解説した。後段においては、食品産業における均一食品の通電加熱の導入事例を紹介した。また、不均一食品の通電加熱の導入事例は極めて少ないが、予備加熱として通電加熱装置を現在製造工程に組み込んでいる事例を加えた。

さらに通電加熱の発熱原理を説明するとともに、導電率が塩分濃度や、通電における周波数に依存すること、温度上昇に伴い導電率が增大することを解説した。

第2章では、夏期のアジ漁で漁獲される200g以下の未利用魚種の対象となるマサバ・ムロアジ類(ここでは、以降「ローソク」と表記する)を不均一食品のモデルとして通電加熱の研究対象および未利用魚種を製品開発の対象として実験を行った。ローソクを耐熱耐圧容器内に充填密封し、通電加熱により、120℃以上の高温短時間殺菌処理し、加熱植物油の充填により包装時の微生物汚染を防止した。本研究によりローソクは、長期保存(無菌試験で陰性を確認)の可能性が示された結果、ローソクなど未利用資源の有効活用が期待された。なお、当該研究成果を特許出願した結果、新規性など特許要件を具備した製造方法とその食品として特許権が取得できた。

第3章における研究では、不均一食品として需給バランスのよさ、コストパフォーマンスから多用途に利用されているホール卵を研究対象として通電加熱を行った。ホール卵を構成する卵白、卵黄、液全卵、卵黄膜(ここでは、以降「各パーツ」と表記する)の電気特性を測定し、ホール卵の各パーツにおける通電加熱における電気物性を考察した。

ホール卵をテフロン容器内に配置した電極間に挿入して通電加熱すると一部の卵白部分だけが極端に加熱され、タンパク変性する温度のばらつきが生じた。温度のばらつきは、電極と直線的に接触する卵白のうち卵黄とテフロン容器ではさまれた卵白部分の昇温速度が大きかった。これはホール卵を構成する各パーツの電気特性および各パーツの配置が及ぼす電流の流れ方向が昇温速度に関与していることが予測された。従って、ホール卵を構成する卵白、卵黄(卵黄膜あり、卵黄膜なし)および液全卵の導電率をLCRメーターにより10℃から90℃の温度範囲で測定した結果、いずれも温度上昇に伴い導電率が指数関数的に上昇することおよび50/60Hzの低周波域(商用周波数)より1kHz以上の周波数域(食品産業における周波数は20kHzが主流となる)では、抵抗値は小さくなることから導電率の周波数依存性が確認できた。また、ホール卵の通電加熱においては、卵黄膜の導電率を膜厚から推算す

ると 50°C において $1.2 \times 10^{-4} \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ と著しく小さいことが示されたため、卵黄膜はホール卵の通電加熱では、大きな抵抗となることが示された。

第4章では、ホール卵の冷点を特定するため、ホール卵の各パーツの導電率の値を用いて、電磁界解析による発熱量分布の計算と熱伝導解析による伝熱シミュレーションを行った。まず実際の加熱実験に基づいて、チタン電極を配置した通電加熱用のテフロン容器にホール卵1個を挿入した通電部の概略図を作成した。次にこの概略図から有限要素モデル作成ソフト FEMAP(Siemens PLM Software)を用いてホール卵の通電加熱における構成パーツとなる卵白、卵黄、卵黄膜、テフロン容器、空気層の5パーツの3Dモデルを作成した。なお、3Dモデルは、導電率が非常に小さい卵黄膜の通電加熱への影響を考慮して卵黄膜ありホール卵、卵黄膜なしホール卵の2通りを準備した。電磁界解析ソフト Wavej ω (株式会社フォトン)には、対象境界条件(電極)、節点電場(電圧、電極間距離)、周波数 20kHz、誘電物性を入力し、熱伝導解析ソフト Thermo(株式会社フォトン)には、試料の物性値(熱伝導度、密度、比熱)を卵白、卵黄の各タンパク質、脂質、炭水化物、灰分、水分値(日本食品標準成分表(七訂))を用いて算出して入力した。その結果、導電率の温度依存性を考慮した3Dモデルシミュレーションは、ホール卵の通電加熱実験で観察された特徴的な温度のばらつきを可視化することができた。特に、卵黄膜なしの場合は、ホール卵を通電加熱した場合に生じる温度のばらつきの実測値と予測計算との傾向はほぼ一致することが示された。

第5章は、本研究の総括で、本研究により不均一食品を通電加熱した場合に生じる温度のばらつきは、食品の構成要素の電気物性、電極間における配置から生じることが示された結果、不均一食品を通電加熱する場合、レシピなどによる電気物性の調整、電極間の配置の工夫や処理量などにより、温度のばらつきをより小さくできることおよび冷点が特定できたことから、食品産業における不均一食品の通電加熱の利用に関し、加熱手段のみならず殺菌手段として広く利用されることが期待される。