

<平成26年度助成>

レトルト殺菌中のパウチ詰め食品の加工程度の非破壊・連続計測 ～電気物性を利用した未開封物性測定技術の開発～

羽倉 義雄

(広島大学大学院生物圏科学研究科)

緒 言

レトルト殺菌工程では、包装容器内で食品素材の調理と殺菌を同時に行っている。しかし現状では、殺菌工程を主要な管理要点としており、調理工程はあまり注目されていない。具体的には、目標とする殺菌条件(F値:温度と時間を用いた殺菌指標)を予め設定し、その殺菌条件を満たすための温度制御(レトルト殺菌装置の温度プログラムの設定)のみを管理要点とし、殺菌操作を行っている。ところが、同じF値となるように殺菌操作を行っても、温度プログラム(昇温速度、加熱途中でのホールド温度・時間、冷却速度)により、食材のテクスチャーやその状態が大きく異なることが経験的に知られている。その一方で、殺菌操作中の「食材の加工程度の変化(食材が軟らかくなる過程)」をレトルト殺菌装置内で連続的に計測する技術は確立されていない。過不足のない加熱殺菌条件下で、良質な(美味しく、適切な食感を維持した)レトルト食品を製造するためには、レトルト殺菌操作中の食材のテクスチャーを連続的に把握する必要がある。そこで本研究課題では、電気物性(電気インピーダンスの測定周波数依存性)を用い、レトルトパウチに密封され、かつ、レトルト殺菌装置内に設置された食材の殺菌操作中の「加工程度」の変化を未開封かつ連続的に計測する技術の確立を目指した。

実験方法

1. 実験試料

試料には国産豚肉ロースを使用した。この豚肉の脂肪部分を取り除き、縦40mm×横40mm×厚さ7mmに成形した。透明なレトルトパウチ(カウパック株式会社、NCF2-6)の中央部に成形した豚肉を入れ、卓上型真空包装機(TOSEI社、HVP-282)を用いて真空脱気密封(脱気60秒、真空率99.9%、シール加熱2秒、冷却4秒)を行い、これを実験試料とした。

2. レトルト殺菌装置および殺菌工程

シミュレーターレトルト殺菌装置(東洋製罐株式会社、H-60-C60-S・W-SHW-P-SD・R-AR-T)を使用した。熱水殺菌シャワー冷却方式により、レトルトパウチ入りの豚肉のレトルト殺菌を行った。レトルト殺菌は昇温工程、殺菌工程、冷却工程に主に分けられる。本研究では、初期加熱5分(100℃への昇温)、予熱3分(103℃への昇温)、二次加熱2分(121℃への昇温)、121℃で40分間の殺菌、冷却の順に殺菌操作を行った。レトルト殺菌装置を起動してから10分後に、パウチ内の温度は121℃に達した。

3. インピーダンス測定

2枚のステンレス製電極板(縦180mm×横120mm×厚さ2mm)の四隅をフッ素樹脂製のスペーサーで固定し、電極板間距離10mmの平行平板電極とした。この平行平板電極をレトルト殺菌装置内に設置し、同軸ケーブルを介してLCRメータ(HIOKI製IM3536)と接続した。レトルト殺菌装

置には、F 値を計測するための熱電対温度計用のケーブル孔が設置されている。このケーブル孔を利用して、4 本の同軸ケーブルをレトルト殺菌装置外に引き出し、インピーダンス測定を行った。

本研究では、レトルト殺菌時の加熱媒体として熱水を用いた。この熱水が直接電極に接触すると、インピーダンス測定に影響を及ぼす。そこで、ステンレス製の角型バットを平行平板電極に被せ、熱水と電極との接触を防いだ。平行平板電極間に試料(レトルトパウチに封入した豚肉)を挿入し、殺菌加熱時間(0, 10, 15, 20, 30, 50分)ごとの試料の複素インピーダンス(レジスタンス: Z' 、リアクタンス: Z'')の周波数依存性を LCR メータにより測定した。測定周波数は 1kHz ~ 100kHz の間の 200 点とした。得られた試料のインピーダンスを Cole-Cole plot により評価した。Cole-Cole plot とは複素平面上で横軸にインピーダンスの実数成分(レジスタンス: Z')、縦軸に虚数成分(リアクタンス: Z'')をプロットしたものである。

4. 硬さ測定

インピーダンス測定と同じレトルトパウチに封入した豚肉試料を 3 個用意し、レトルト殺菌装置内で殺菌操作を行った。各加熱時間(0, 10, 15, 20, 30, 50分)の試料をレトルト殺菌装置内から取り出

し、直ちに流水で冷却した。レトルトパウチから豚肉を取り出し、小型材料試験機(島津製作所 EZ-SX-500N)を用いて、約 25℃ の実験室内で貫入試験を行った。直径 2mm の円柱状プランジャーを使用し、60 mm/min の貫入速度で測定を行った。得られた荷重 - 変位曲線から材料試験機用の解析ソフトウェア(島津製作所、TRAPEZIUM X)を用いて、破断エネルギーを算出した。3 個の試料について、それぞれ異なる 5ヶ所で貫入試験を行い、合計 15ヶ所の破断エネルギーの平均値を測定値とした。

結果および考察

1. 菌操作に伴うインピーダンスの変化

レトルト殺菌装置を用い、50 分間の加熱殺菌操作を行い、加熱に伴う試料のインピーダンスの変化を測定した。測定では、レトルト殺菌装置を起動した時点を加熱時間 0 分とした。また、レトルト殺菌装置が所定の殺菌温度(121℃)に達した時点をレトルト殺菌時間 0 分(加熱時間 10 分)とした。レトルト殺菌に伴うレトルトパウチ入り豚肉の Cole-Cole plot の一例を図 1 に示した。さらに各 Cole-Cole plot の高周波数側の円弧のピークトップ値(リアクタンス: Z'')と加熱時間との関係を図 2 に

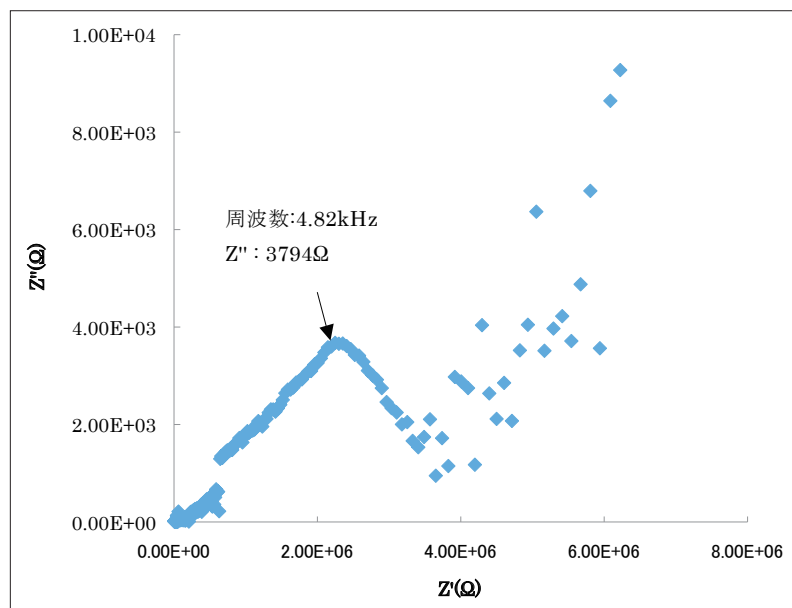


図 1 加熱時間 10 分における豚肉の Cole-Cole-plot

示した。円弧のピークトップ値 (Z'') の減少と加熱時間との間に高い相関性が認められた。この円弧の収縮は豚肉の筋肉組織の熱による損傷に由来し、豚肉の加熱程度を示していると考えられる。レトルト殺菌による豚肉の細胞膜が熱損傷を受ける様子をインピーダンス測定によって確認することができた。

2. 殺菌操作に伴う硬さの変化

レトルト殺菌に伴う豚肉の硬さ(破断エネルギー)の変化を図3に示した。加熱時間10分までは豚肉の破断エネルギーが増加し、10分以降は減少した。加熱に伴い、硬さが一時的に増加した後、減少傾向を示した原因として次のことが考えられる。加熱により豚肉の筋肉タンパクが凝集し、

一時的に硬くなる。その後の連続的な加熱により、結合組織が徐々に脆弱化し、豚肉が加熱時間とともに脆く軟らかくなったと考えられる。

3. インピーダンス(リアクタンス)と硬さとの関係

次に豚肉の硬さの変化とインピーダンスの変化との関係を検討した。生体材料や高分子材料のインピーダンスには温度依存性がある。本研究におけるレトルト殺菌の条件では、加熱開始から10分まで昇温を行い、10分以降121℃の一定温度で殺菌を行い、その後冷却工程に入る。そのため、加熱時間0～10分では、試料のインピーダンスは温度変化による影響を受けていると考えられる。そこで、温度変化による影響を受けない殺

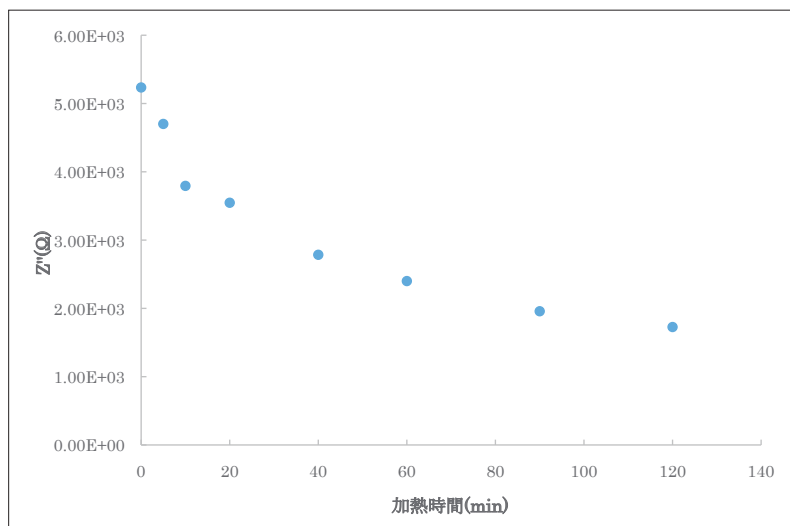


図2 Cole-Cole plot の高周波数側の円弧のピークトップ値 (Z'') と加熱時間との関係

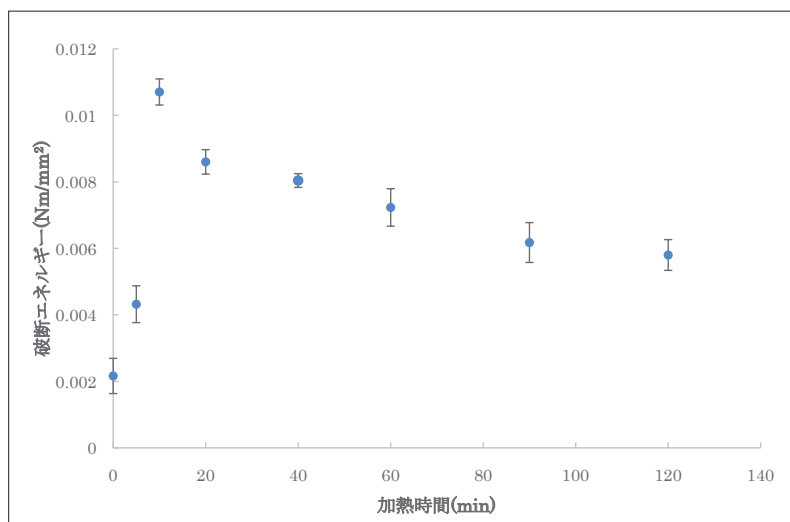


図3 加熱に伴う豚肉の破断エネルギーの変化 (n=15)

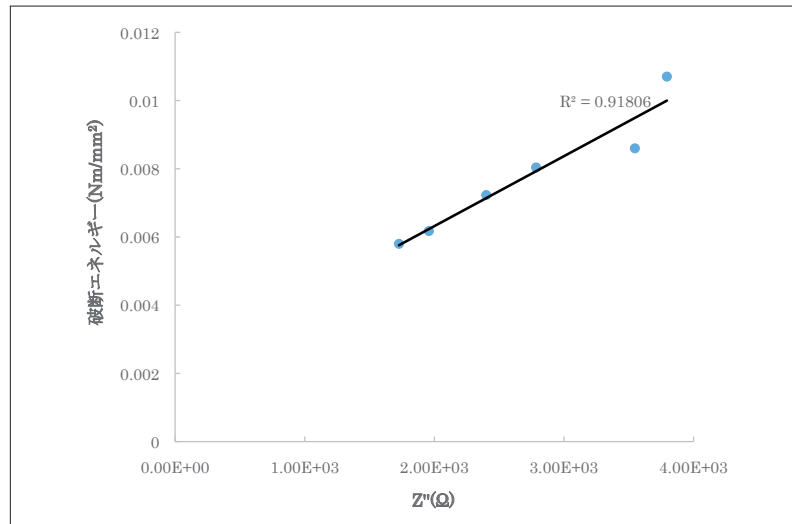


図4 豚肉の硬さ(破断エネルギー)とCole-Cole plotの高周波数側の円弧のピークトップ値(Z'')との関係

菌時間0分から40分(加熱時間10分から50分)までのインピーダンスと硬さの変化について検討を行った。図4にはレトルト殺菌時間が異なる豚肉の硬さ(破断エネルギー)とCole-Cole plotの円弧のピークトップ値(リアクタンス: Z'')との関係を示した。豚肉の硬さの低下に伴い、リアクタンス(Z'')も減少している。両者の間には高い相関性($R^2=0.9488$)が認められた。このことから、レトルト殺菌に伴う豚肉の硬さの変化を電気インピーダンス法により(Cole-Cole plotの円弧のピークトップ値(リアクタンス: Z'')を測定することにより)、包装容器外部から非破壊・連続的に評価できることが示唆された。

結 言

本研究では、電気インピーダンス法を用いて、

レトルト殺菌に伴うレトルトパウチ入り豚肉の硬さの変化を容器外部から非破壊・連続的に計測する方法の開発を目指した。その結果、レトルト殺菌に伴う豚肉の硬さの変化とCole-Cole plotの円弧のピークトップ値(リアクタンス: Z'')の間に良好な相関($R^2=0.9488$)があることが明らかとなった。このことから、レトルト食品として多く用いられる豚肉の硬さを電気インピーダンス法により、容器外部から非破壊・連続的に評価できる可能性を示すことができた。

謝 辞

本研究は公益財団法人 浦上食品・食文化振興財団の研究助成によりなされたものである。ここに記して厚く感謝の意を表する。

The non-destructive and continuous measurement of the foods in the retort pouch during sterilization process — Development of a new measurement technique for the physical properties of food in unopened pouch using electrical properties —

Yoshio Hagura

Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University

The objective of this study was to measure the changes in hardness of pork in unopened retort pouch for retort sterilization using electrical impedance. Pork loin (width 40 mm × depth 40 mm × height 7 mm) which removed the fat part was vacuum-sealed in the retort pouch. The pork loin in the retort pouch was used as a sample. Parallel plate electrodes were installed in a retort sterilizer and was connected to the LCR meter through a coaxial cable. The sample was inserted between the parallel plate electrodes, and sterilization operation was conducted by using the retort sterilizer (121 °C, 40 minutes). The retort sterilization was mainly divided into three processes: the heating process, the sterilization process and the cooling process. In this study, we carried out the sterilization operation in the following order: 5 minutes for raising the temperature to 100 °C (initial heating); 3 minutes for raising the temperature to 103 °C (preheating); 2 minutes for raising the temperature to 121 °C (secondary heating); 40 minutes for the sterilization at 121 °C. Ten minutes after starting the sterilization operation, the temperature of the sample reached 121 °C. Using the LCR meter, we measured frequency dependence of impedance of the sample at arbitrary intervals after start of the heating: 0, 10, 15, 20, 30 and 50 minutes. The measurement frequency was ranged from 1 kHz to 100 kHz. The frequency dependence of impedance of the sample was evaluated using a Cole-Cole plot (the complex plane plot of reactance Z'' vs resistance Z').

Three samples were separately prepared for a hardness measurement of the pork loin. The samples had been placed in the retort sterilizer and carried out the sterilization operation at the following heating times (in minutes): 0, 10, 15, 20, 30 and 50. After the sterilization operation, the samples were cooled by running water. Then, the pork loins were removed from the retort pouches and subjected to the penetration tests by a universal testing machine with a cylindrical plunger (ϕ 2 mm) at the penetration speed of 60 mm/mm. Based on the load-displacement curves obtained from the penetration tests, we calculated the “fracture energy”.

In the Cole-Cole plot of the raw pork loins before retort sterilization, a large arc appeared on the high-frequency side. Furthermore, a portion of the arc caused by the contact of the pork loin and the pouch, appeared on the low frequency side. With increasing in sterilization time, the arc on the high-frequency side became smaller. A peak top value (reactance Z'') of the arc on high-frequency side was noticed. The fracture energy of pork increased from the heating start until 10 minutes of heating time, and 10 minutes after, it decreased. There was a good correlation ($R^2 = 0.9488$) between the hardness of the sample and the peak-top value of the arch of Cole-Cole plot. It was possible to show that the changes in the hardness of the pork loin in the pouch for retort sterilization can be non-destructively and continuously evaluated by the electric impedance method.