

《様式B》

研究テーマ	「 高粘度液体食品のパルス電界殺菌システムの開発 」		
研究責任者	所属機関名	名城大学理工学部	
	官職又は役職	准教授（役職が変わりました）	
	氏名	村上 祐一	メールアドレス myuichi@meijo-u.ac.jp
共同研究者	所属機関名	名城大学理工学部	
	官職又は役職	教授	
	氏名	村本 裕二	

（令和2年度募集）第33回 助成研究 完了報告書

実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要

加熱殺菌法は容易に高い殺菌効果が得られるため、液体食品の殺菌に広く使われている。高温加熱では多くの菌を殺菌することができるが、食品の栄養（タンパク質、炭水化物、ビタミン等）を劣化させ、品質（香り、色、食感等）を変化させることが問題となっている。そのために非加熱、常温で栄養の劣化や品質の変化を起こさず、全ての菌を殺菌する殺菌方法が求められている。パルス電界殺菌法は非加熱殺菌法の一つであり、液体食品の新しい殺菌方法として注目されている。現在、牛乳やオレンジジュース等の液体食品へのパルス電界殺菌効果が確かめられており、実用化に向けて研究・開発が進んでいる。液体食品の粘度には、水のように低いものから水あめのように高いものまで存在する。これまでの多くの研究では、低粘度の水溶液を液体試料として研究が行われており、高粘度試料のパルス電界殺菌の研究成果は非常に少ない。そこで本研究では、蜂蜜やトマトケチャップのような高粘度液体食品のパルス電界殺菌システムの開発を試みた。

本研究では、実験試料は大腸菌を含む濃度  $1.0 \times 10^{-3}$  [mol/L] の NaCl 水溶液に濃度 0.64 ~ 3.25 [wt%] のカルボキシルメチルセルロースナトリウムを加えたものである。試料中のカルボキシルメチルセルロースナトリウム濃度の増加とともに試料粘度は増加し、試料インピーダンスは低下した。実験試料にパルス電圧(波高値：約4 [kV]、パルス幅：約5 [ $\mu$ s])を500回印加した。その結果、パルス電界印加により高粘度液体中の大腸菌が殺菌できることを確認した。500回印加後の各試料の温度は10 [°C]程度上昇した。高粘度試料中の大腸菌生菌数はこれまでの低粘度水溶液試料(粘度1 [mPa・m])のものより高かった(殺菌効果：低)。次に、試料インピーダンスを同じ(25 [ $\Omega$ ])に調整した高粘度(6,300 [mPa・s])と低粘度(28 [mPa・s])試料の殺菌実験を実施したところ、低粘度および高粘度中の大腸菌殺菌効果は同程度であることが得られた。

本研究成果から高粘度液体食品に対するパルス電界殺菌の可能性を示すことができ、食品加工分野に大きく貢献できると考えている。今後、実用化レベルの殺菌システムが構築できた段階で、成果の特許出願や学会発表などを行い、産業界へ成果を展開していきたい。

## 実施内容および成果の説明

### ① 研究背景と目的

加熱殺菌法は熱により微生物の細胞膜，タンパク質，酵素などを変性させることで殺菌する。この方法は容易に高い殺菌効果が得られるため，液体食品の殺菌に広く使われている。例として，表 1 に生乳の加熱殺菌方法を示す。高温加熱では多くの菌を殺菌することができるが，食品の栄養（タンパク質，炭水化物，ビタミン等）を劣化させ，品質（香り，色，食感等）を変化させる。さらに食品中水分の比熱が大きいため，液体の温度を高くするには，大量のエネルギーが必要である。一方，低温での殺菌では，加熱による風味や栄養素の損失を抑えながら病原菌を殺菌できるが，牛乳中に残る一般細菌の量が多いため，比較的早く腐敗が進む。以上の問題から，非加熱，常温で栄養の劣化や品質の変化を起こさず，全ての菌を殺菌する殺菌方法が求められている。パルス電界殺菌法は非加熱殺菌法の一つであり，液体食品の新しい殺菌方法として注目されている。現在，牛乳やオレンジジュース等の液体食品へのパルス電界殺菌効果は確かめられており，実用化に向けて研究・開発が進んでいる。液体食品の粘度には，水のように低いものから水あめのように高いものまで存在する。これまでの多くの研究では，低粘度液体を試料とした殺菌研究が多く，高粘度試料のパルス電界殺菌の研究成果は非常に少ない。そこで本研究では，蜂蜜やトマトケチャップのような高粘度液体食品のパルス電界殺菌システムの開発を試みた。

表 1 生乳の加熱殺菌法の種類

方法名	処理
低温保持殺菌	62～65 [°C]で 30 分加熱
高温保持殺菌	75 [°C]以上で 15 分以上加熱
高温短時間殺菌	72 [°C]以上で 15 秒以上加熱
超高温瞬間殺菌	120～150 [°C]で 1～3 秒以内加熱

### ② 高粘度液体食品用のパルス電界殺菌システムの構築

パルス電界による液体殺菌は液体試料の電気的特性に大きく依存する。そこで，高粘度液体試料の電気的特性(インピーダンス)を測定した。高粘度液体試料は濃度  $1.0 \times 10^{-3}$  [mol/L] の NaCl 水溶液(富士フィルム和光純薬(株))に濃度 0.64 ～ 3.25 [wt%]のカルボキシルメチルセルロースナトリウム(富士フィルム和光純薬(株))を加えたものである。表 2 に実際の液体食品の粘度を示す。大腸菌を加えた各試料 360 [μL]をエレクトロポレーション用のキューベット(平行平板電極，電極間距離 2 [mm])に入れた。各濃度における試料のインピーダンス(HIOKI : IM3570 IMPEDANCE ANALYZER)および粘度(TOKI SANGYO : VISCOMETER TVB-15) \*を測定したところ，図 1 および図 2 のようになった。図 1～2 より，カルボキシルメチルセルロースナトリウム濃度が高いほど，試料粘度は高く，試料インピーダンスは低下することが確認された。次に，図 3 の自作回路を用いてパルス電圧(波高値：約 4 [kV]，パルス幅：約 5 [μs])をこれらの試料に 500 回印加した。図 4 に印加パルス電圧波形を示す。液体食品の高電界パルス殺菌では，パルス幅 0.1～50 [μs]のパルス電圧印加による殺菌効果が確認されている。パルス電圧印加前後の生菌数をコロニー計数法により求め，殺菌を評価した。

表 2 液体食品の粘度

食品	粘度 [mPa · s]
水	0.92
牛乳	2.27
サラダ油	54.5
ガムシロップ	200
トマトケチャップ	1660
マヨネーズ	3000
イチゴジャム	12000

※ 本研究助成により粘度計 (TOKI SANGYO : VISCOMETER TVB-15)を購入させて頂きました。

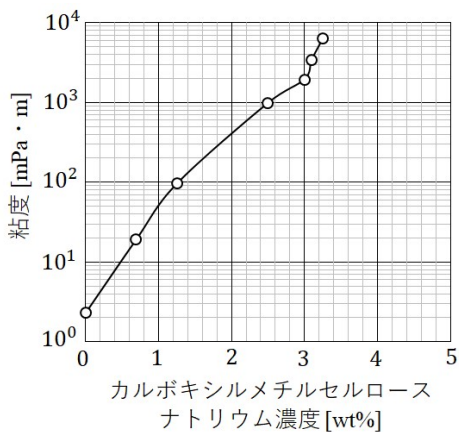


図1 試料粘度のカルボキシルメチルセルロースナトリウム濃度特性

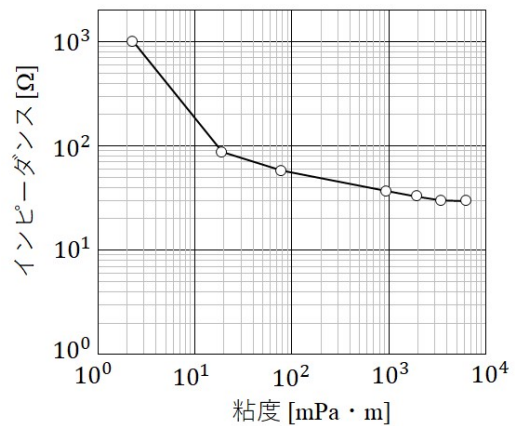


図2 試料インピーダンスの粘度特性

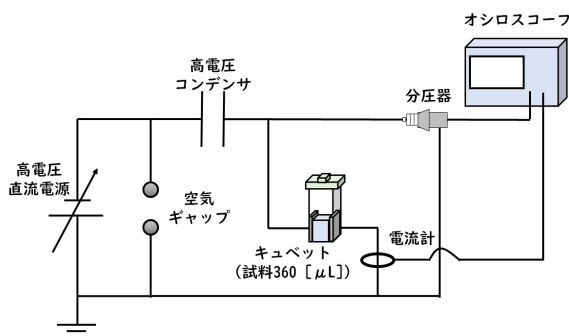


図3 実験回路図

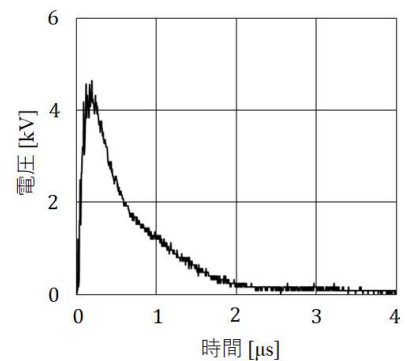


図4 印加パルス電圧波形

### ③液体粘度がパルス電界殺菌効果に及ぼす影響

図5にパルス電界印加前後の大腸菌生菌数と粘度の関係を示す。図5中において各濃度の右側(黒色)は印加前の大腸菌生菌数を、左側(灰色)は印加後の大腸菌生菌数を示す。生菌数が低ければ低いほど、殺菌効果は高いことを示している。図5から、パルス電界印加により高粘度液体試料(粘度28 [mPa・m]以上)中の大腸菌を殺菌できることが確認された。500回印加後の各試料の温度は10 [°C]程度上昇した。高粘度試料の大腸菌生菌数は水溶液試料(粘度2.3 [mPa・m])のものと比べて高い(殺菌効果：低)。高粘度試料のインピーダンスは低いため、試料に流れる電流が大きくなることにより殺菌効果は高くなるはずである。これは、カルボキシルメチルセルロースナトリウムは水分子と比較して大きいため、細胞膜周辺のイオンの挙動が変化することで殺菌効果が小さくなったと考えられる。次に、試料インピーダンスを同じ(25 [Ω])に調整した高粘度(6,300 [mPa・s])と低粘度(28 [mPa・s])試料の殺菌実験を実施したところ、図6に示す通り、低粘度および高粘度中の大腸菌殺菌効果は同程度であることが得られた。

本研究成果により、パルス電界印加による高粘度食品(6,300 [mPa・s]以下)中の微生物殺菌効果が確認された。本殺菌システムの実用化では、全ての大腸菌を殺菌する(0 [CFU/mL])必要があるが、高粘度食品にもパルス高電界殺菌が有効であることを示すことができ、食品加工分野において、大きく貢献できると考えている。今後、本研究をさらに進めて、実用化レベルの殺菌システムが構築できた段階で、成果の特許出願や学会発表などを行い、産業界へ成果を展開する予定である。

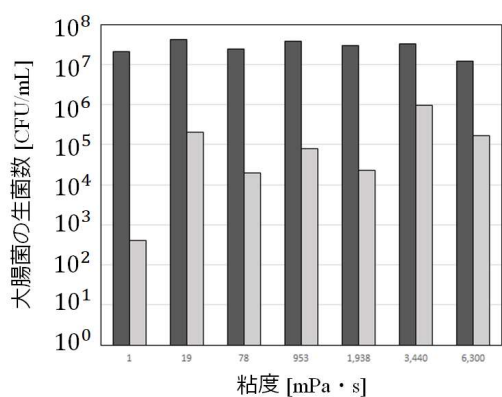


図5 パルス電界印加前後の大腸菌生菌数と粘度

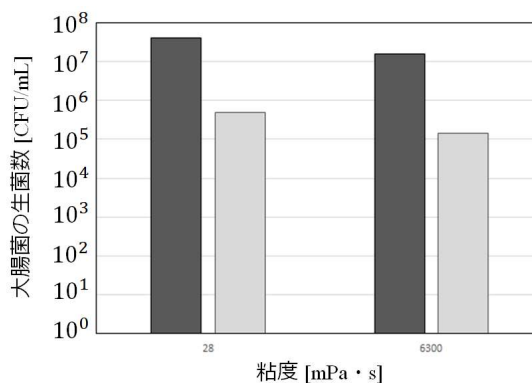


図6 同一インピーダンスでの高粘度および低粘度試料中の大腸菌殺菌

#### ④謝辞

本研究を進めるにあたり，一般財団法人東海産業技術振興財団の皆様にご支援いただきました。この場を借りて，感謝申し上げます。

#### 研究発表

1. 板倉光優，村上祐一，村本裕二：「高電界パルスを用いた高粘度液体の殺菌」，令和3年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会，web only(A3-3)，(2021)
2. 板倉光優，村上祐一，村本裕二：「高電界パルス殺菌に及ぼす水溶液粘度の影響」，令和4年電気学会全国大会，p.85 (1-064)，(2022年)