

# 論文内容要旨 (和文)

平成26年度入学 大学院博士後期課程

電子情報工学専攻

氏 名 齋藤 高輝



論文題目 包装食品内部の空気の有無にかかわらず殺菌を可能とするパルスパワー技術の検討

食品の殺菌は食の安全、安心を確保するために非常に重要である。しかし毎年多くの人々が食中毒を起こしているのが現状である。現在食品の多くは鮮度を保つため包装状態で市場に出回っている。食品を包装することで食品の乾燥や酸化を防止し、外部からの菌の侵入も防ぐことが可能となるが包装前に菌が付着していた場合食中毒を起こす恐れがある。そこで食品を包装した後に殺菌が可能となれば、このような問題はなくなると考えられる。現在包装食品の殺菌で用いられている殺菌方法は加熱殺菌と放射線殺菌であるが、品質、風味、食感の変化や安全性に不安が残る。そこで本研究ではこのような問題点のない殺菌方法としてパルス電界殺菌及びパルス放電殺菌を用いることを検討した結果について述べた。

市場では様々な形状の包装食品が販売されており、それを気体の有無で分類すると液体生鮮食品のように包装物の内部に空気あるは窒素を含有していない包装物と固形生鮮食品のように含有している包装物に分けられる。殺菌原理の特性上、前者についてはパルス電界殺菌、後者についてはパルス放電殺菌が適している。本論文では2種類のパルスパワーシステムを用いることで如何なる内部状態の包装食品でも殺菌を可能か検討した。

第2章ではパルス放電により包装内に空気を含有している食品の殺菌可能性について検証したことを述べた。本実験では実際の包装食品ではなく、寒天培地を食品、蓋付きプラスチックシャーレを包装容器、殺菌対象を大腸菌として包装食品を模擬したものを実験試料とし、電極に接するように配置した。パルス放電の発生には包装内部で放電を発生できるバリア放電技術を用いた。大腸菌を寒天培地表面に塗布し110kVのパルス電圧を20ppsで印加した結果、4秒程度で約99%の細菌が殺菌可能であることが分かった。しかし実際の食品は積層された部分が存在しており、表面上の殺菌だけでは実用性に欠けるため、積層部分の殺菌検証を行った。結果として①完全に積層された部分や②積層部分に密閉された空間を設けた部分の大腸菌の殺菌は不可能であった。これは同じ物質で密閉空間を形成したため空間内の電界が小さくなり、放電が発生しなかったことが原因である。そこで密閉空間の間に誘電体を挿入することでトリプルジャンクション効果により放電が発生するか検証した。結果として空間内部の菌が減少していたため放電が発生したと考えられる。また空間の高さを低く設定することで空間内の電界強度が高まり、殺菌効果も向上した。

第3章では超短パルス電界により包装内に空気を含有していない食品の殺菌可能性について検証した。本研究では殺菌が困難とされる漬物のような高導電性食品の殺菌を目指している。実験においては実際の食品ではなく、3%食塩水により漬物液で模擬し、殺菌対象は漬物液中に最も多く含まれていた*Saccharomyces cerevisiae*を用いた。超短パルスの発生にはブルームライン線路を用いており、アルミ板にカプトンを挟み製作した。本実験で用いた超短パルスの周波数は70~90MHz程度で、殺菌は可能な周波数域であるが包装物の透過率はあまりよくない。包装せずに130kV/cmの超短パルスを模擬食品に1ppsで1000回印加したところ98%程度の殺菌率が得られた。パルスの適用により殺菌は可能であるが、処理時間が長く実用的ではないため、食品に影響を与えない範囲で模擬食品の温度を範囲で変化させ殺菌を試みた。模擬食品の温度を50°Cに設定し、先ほどと同条件の超短パルスを印加したところ100回印加することで95%程度の菌を殺菌可能であったため、温度を上昇させることで処理時間の短縮化を図ることが可能である。この結果は細胞膜の脂質2重層が温度により性状変化し、パルス電界に対する感受性が高まったためと考える。これらの結果

を踏まえカプトンフィルムを用いて先の実験と同じ大きさの包装物を製作し、50°Cの模擬食品に対して130kV/cmのパルス電界を印加した。結果として5%程度の殺菌効果しか得られなかったため、更なる高周波発生装置の開発が求められる。

第4章では包装食品に対する殺菌ではなく、包装される前の生産工程中の液体生鮮食品の殺菌を行い、これらの殺菌検証結果を物理的理論と結び付け、パルス電界殺菌に支配的な殺菌機構の検証を行った。殺菌対象を生産工程中の青汁とし、数 $\mu$ s程度の低周波パルス電界を用いて殺菌を行った。結果として電界強度及びパルス幅を高く設定することで高い殺菌効果が得られ、電界強度を高く設定した方が効率的に殺菌可能である。これらの殺菌結果を基に殺菌機構の検討を行った。検討内容として①細胞膜に加わるマクスウェル応力、②電界強度時間積、③固体誘電体の絶縁破壊理論について検討を行った。結果として固体誘電体の絶縁破壊が支配的である結果が得られた。つまり青汁中に含まれる細菌の細胞膜にエネルギーが加わることで細胞膜にジュール熱が発生し、熱的絶縁破壊が菌の細胞膜で起こっていると考えられる。

第5章では第2章から第4章までの内容をまとめ、本研究における展望について述べた。パルス放電殺菌及びパルス電界殺菌による包装食品の殺菌にはまだ様々な課題が残っている。しかしこれまであまり検討されていなかった積層部分の殺菌や高導電性の食品の殺菌可能性を示すことで、様々な包装食品に適用するための糸口を開いた。将来的には両パルスシステムを複合化し、パルス放電殺菌により表面の菌を殺菌した後、パルス電界により内部の菌や積層部分の菌の殺菌を行う方法を確立し、安心安全な食品の流通を目指す。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 29 年 2 月 13 日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 南谷 靖史  
副査 杉本 俊之  
副査 木島 龍朗  
副査 東山 禎夫  
副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	電子情報工学専攻	氏名	齋藤 高輝
論文題目	包装食品内部の空気の有無にかかわらず殺菌を可能とするパルスパワー技術の検討		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成 29 年 1 月 24 日～ 平成 29 年 2 月 7 日
論文公聴会	平成 29 年 2 月 7 日	場 所	工学部学部 7-302 教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	平成 29 年 2 月 7 日

学位論文の審査結果の要旨

生鮮食品の食の安全を確保するため、包装食品を包装後殺菌する手法について検討した論文である。食品を包装することで外部からの菌の侵入も防ぐことが可能となるが、包装前に菌が付着していた場合食中毒を起こす恐れがある。食品を包装した後に殺菌ができればこの問題はなくなるが生鮮包装食品の殺菌方法は存在しない。そこで論文ではパルス電界殺菌及びパルス放電殺菌を用いることを検討していた。市場では様々な形状の包装食品が販売されており、それを大別すると包装物の内部に空気を含有していない包装物と含有している包装物に分けられ、前者についてはパルス電界殺菌、後者についてはパルス放電殺菌が適していることを報告し、論文では 2 種類のパルスパワーシステムを用いることで包装食品の殺菌が可能であることを示していた。

第 2 章ではパルス放電により包装内に空気を含有している食品の殺菌可能性について検証したことを述べていた。特に実際の食品は積層された部分が存在しており、表面上の殺菌だけでは実用性に欠けるため、積層部分の殺菌検証し、密閉空間の間に誘電体を挿入することでトリプルジャンクション効果により空間内部の菌の殺菌ができることを示していた。これは新しい技術である。本章の内容は国際会議 APSPT-9 にて公表されている。

第 3 章では超短パルス電界により包装内に空気を含有していない食品の殺菌可能性について検証したことを述べていた。パルスの適用により殺菌は可能で、食品に影響を与えない範囲で温度を 50℃にして超短パルスを印加し処理時間の短縮化を図ることが可能であることを示していた。本章の内容は国際会議 IPMHVC2016 にて公表されている。

第 4 章では殺菌検証結果を物理的理論と結び付け、パルス電界殺菌に支配的な殺菌機構の検証を行ったことについて述べていた。細菌の細胞膜にエネルギーが加わることで細胞膜にジュール熱が発生し、熱的絶縁破壊が菌の細胞膜で起こっていることを示していた。本章の内容は電気学会論文誌 A にて公表されている。

審査は論文の新規性、論文構成、論点、論文の展開の妥当性等について行った。論文の内容は今まで出来ていない生鮮包装食品の殺菌の道を開くもので、待ち望まれているものであり、新規性については問題ない。論文の構成、論点、展開についても十分まとめられており博士学位論文としての基準を満たしている。したがって合格とする。

本論文は、研究倫理又は利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

最終試験の結果の要旨

最終試験は口頭により、学位論文に関する専門的知識について質問を行った。質問は放電現象、高電界現象のみならず殺菌に関する生物学的知識にまで及んだが、質問に関する回答は的確で、十分な専門的知識、能力を有することが確認された。したがって博士の学位を授与するのに値する十分な資質を持つと確認されたため合格と判定する。