

## SVII-6

# 高電圧パルス電界・放電の農業分野における利用の可能性 Possibility of pulsed electric field (PEF) and discharge plasma in agricultural field

大嶋 孝之  
Takayuki Ohshima

群馬大学理工学研究院  
Faculty of Science and Technology, Gunma University

### はじめに

農業を含む食品プロセスにおいて殺菌処理は不可欠の工程である。加熱殺菌は確実な微生物制御方法であるが、加熱・冷却には多くのエネルギーを必要とするばかりでなく品質の変化を伴う操作で、場合によっては好ましくない操作である。そこで様々な非加熱殺菌技術が提案されている。非加熱殺菌法とは（少なくとも積極的に）熱を用いない殺菌法全般を指し、大別すると化学的殺菌法と物理的殺菌法に分けることができる。化学的殺菌法は塩素系薬剤やナイシンなど天然抗菌剤を利用する方法であるが、食品に使う場合には残留性が問題になること、複雑な食品組成の場合には十分な殺菌効果を得ることが困難などの問題がある。一方、物理的殺菌方法は残留性のリスクが少ないこと、プロセスの制御がしやすいことなどの利点があり、実用化に向けて多くの研究がされているが、製造プロセスとして稼働しているものはほとんどない。

筆者らはこの非加熱殺菌技術開発の一環として高電圧パルスの利用を試みている。高電圧パルスとは間欠的に数マイクロ秒間、10kV以上の電圧を印加する操作で、電極を通して水または液状食品に印加した場合に電界効果を生じさせることができる。この電界効果によりバクテリアの細胞膜が破壊され、殺菌することが可能である。これを一般に高電圧パルス殺菌と呼んでおり、筆者らをはじめ世界各国で研究例がある。また同じように高電圧パルスを印加した場合、電極形状などを変更することにより水中で放電プラズマを発生することも可能である。放電プラズマが発生する系では各種の活性種やUV、衝撃波などが同時に発生するため、この現象を殺菌に利用することも可能である。ここでは高電圧パルスを水に応用した時の二つの現象—電界効果と放電プラズマの発生—について、また筆者らが行ってきたこれらの現象

による殺菌を含む基礎的特性について紹介する。

### 高電圧パルス電界による殺菌

生物学、特に微生物制御工学的観点から高電圧パルス電界（Pulsed Electric Field : PEF）の利用が研究されてきている。この場合、放電プラズマは発生しておらず、高電圧パルス“電界”の作用と捉えられている。このPEFによる微生物の破壊—PEF殺菌またはパルス殺菌—は細胞膜の電氣的圧縮による破壊が原理であると考えられ、この現象に関しては優れた総説が出版されている。この現象は細胞への遺伝子導入（エレクトロポレーション）、細胞融合といった分子生物学的応用が先行したが、殺菌プロセスとしての応用が広く試みられている。

パルス殺菌は電界作用による細胞膜構造の物理的破壊を主原理としている。このため通常の加熱殺菌とは全く異なり、操作は常温、または常温より少し高い温度雰囲気で行うことができる。したがってパルス殺菌は食品の変質・劣化を最小限にしながら殺菌可能な技術として期待されている。著者らは液状食品の殺菌を目的とし、パルス殺菌の基礎基礎研究（図1）および実際のジュースなどの液状食品の殺菌応用について検討してきた。

- 印加電圧に依存  
臨界電圧の存在（10kV/cm）、臨界電圧以上では印加電圧（ピーク電圧）に依存。
- 印加時間など波形の影響  
印加時間が長いほうが効果的（ただしジュール熱の可能性）、矩形波のほうがわずかに効果的。
- 対象菌の生育フェーズの影響  
対数増殖期の菌が最も殺菌しやすい
- 対象菌の培養温度履歴の影響  
培養温度の影響がある。おそらく細胞膜の流動性に依存
- 処理温度の影響  
処理温度が高いほうが効果的で、処理温度依存性は高い。
- オゾン、過酸化水素など他の殺菌剤との相乗効果  
オゾンなどによる細胞膜の部分的損傷（？）が大きな効果。
- タンパク質や酵素の失活を伴わない  
電気泳動による分析ではペプチドの分解は確認されていない。
- DNA など長鎖核酸分子には作用  
水溶液中で長鎖核酸の分解が確認される。

図1 パルス殺菌の基礎的特徴

ジュースなど液状食品は導電率が高いものが多いので、応用には注意が必要である。著者らの経験では導電率が4 mS/cm以下ならばパルス殺菌が有効ではないかと考えている。

図2は市販の濃縮還元オレンジジュースに大腸菌を懸濁し、パルス殺菌を試みた一例である。また簡単な官能試験を行ったところ図3のような結果を得ている。加熱殺菌では酸味が喪失し、味のバランスが変化しているのがわかるが、パルス殺菌の場合は無処理に近いと判定された。

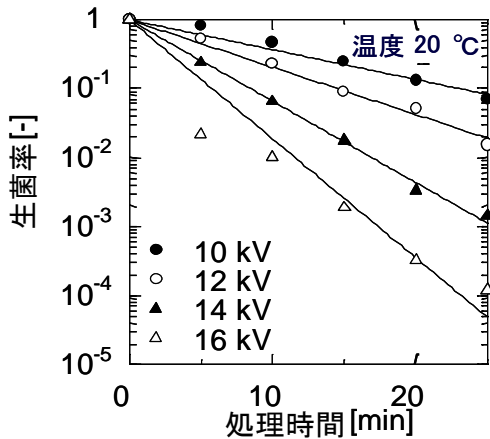


図2 濃縮還元オレンジジュースのパルス殺菌の印加電圧依存性

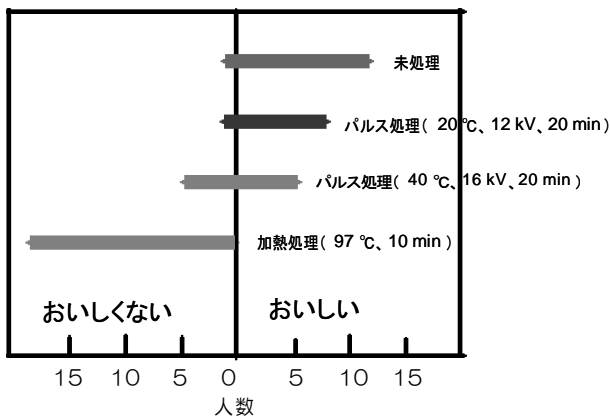


図3 官能評価試験「おいしい-おいしくない」項目のまとめ

その他にアップルジュース、ル・レクチュエ(洋ナシの一種)ジュース、緑茶等でパルス殺菌の殺菌効果を確認している。現在は牛乳のパルス殺菌を試みている。

また水耕栽培の養液の殺菌にも有効ではないかと考え、アカカビの一種でイモ類などに感染して枯死させる植物病原性菌であるフザリウム (*Fusarium oxysporum*) のパルス殺菌も確認している。パルス殺菌は細菌のみならず、カビ

や原生動物の不活化に対しても効果が認められている。パルス殺菌は“無添加フレッシュな”新規液状食品の創生に寄与できると考えている。

### 高電圧パルス放電による線虫の不活化

現在の農業において線虫をはじめとする病害虫の防除は農薬を使用した化学的な防除が多いが、この方法では確かに病害虫に対する防除効果は高いが、農薬残留や土壌生態系破壊、地下水汚染の問題を引き起こすことが懸念されている。線虫の防除はくん蒸剤(D-D、クロルピクリン、臭化メチルなど)が効果的であるが、これらの薬剤は環境への負担が大きく、人体への毒性もあるため、しばしば作業者の中毒事故が発生することもある。著者らは高電圧パルス印加により線虫の被害低減ができないか検討した。図4のようにトマトの苗近傍に高電圧針電極を刺し、発芽後二週間目に高電圧パルス(50Hz)を10行間印加したところ、土壌線虫数の低下がみられ、抑制されていた根の発達がコントロール(線虫無添加)と同程度になっているのが確認できた。この系ではパルス電界による線虫の不活化とともに針先端で発生した放電プラズマが線虫の活動を抑制したとも考えられる。

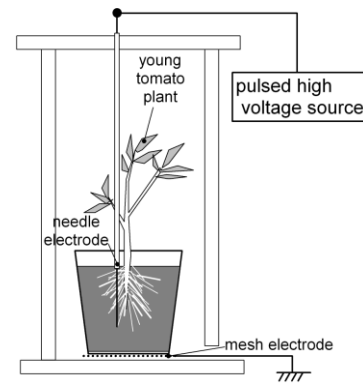


図4 トマト苗に対するパルス処理装置概略図

### おわりに

著者らは水中において高電圧パルスを用いた電界作用、放電プラズマの効果を様々な観点から研究している。農業分野においては今回紹介したような液状食品の殺菌効果、また病原性微生物の不活化効果が中心である。

パルス殺菌は非加熱、無添加で殺菌することが可能であり、全く新しい食品の創生の可能性もある。今後も食品メーカーなどと意見交換しながら実用化を図っていきたい。また放電プラズマの効果は様々な現象が同時に起こるため、作用メカニズムに不明な点が多い。地道な基礎研究と応用事例の蓄積が必要な段階と考えている。