

福岡工業大学 学術機関リポジトリ

加熱食品加工装置における水中衝撃波発生時の電圧 ストレス低減手法の一提案

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-12-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 江口 啓 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/11478/00001734

加熱食品加工装置における水中衝撃波発生時の 電圧ストレス低減手法の一提案

江口 啓 (工学部電子情報工学科)

Proposal of Voltage Stress Reduction Method in Underwater Shockwave Generation

EGUCHI Kei (Department of Information Electronics, Faculty of Engineering)

Abstract

In this paper, a low-cost and safe non-thermal food processing technology is presented for shockwave non-thermal food processing. Unlike the conventional system, the proposed system employs multiple large output capacitors with low withstand voltage characteristics to generate underwater shockwaves, where the multiple output capacitors are charged at low voltage. For this reason, safe and low-cost non-thermal food processing is achieved by the proposed system. To confirm the feasibility of the proposed technique, some experiments are conducted on the experimental prototype of the proposed system. The experimental results demonstrate that the proposed system with a 3300 μF capacitor can process apples at the output voltage 865 V.

Keywords : Non-thermal food processing, Voltage stress reduction, Underwater shockwave.

1. はじめに

高齢化社会においては、高栄養価のやわらかい食品を高齢者や乳幼児に提供できるため、非加熱食品加工技術が注目を集めている。なかでも、水中衝撃波を用いる非加熱食品加工⁽¹⁾は、安価に、かつ、素早く食品を加工できることから、将来有望な非加熱食品加工手法の一つである。従来の非加熱加工方法とは異なり、この手法は、水で満たされた圧力容器内に水中衝撃波を発生させることで、対象食品の内部破壊を実現する。たとえば、リンゴなどの果物を加工する際には、約 3.5kV の電圧で充電された 200 μF の出力コンデンサを水中放電することによって生成される水中衝撃波を利用する。すなわち、従来手法においては、高価な高耐圧コンデンサが必要となる。このため、水中衝撃波を用いる非加熱食品加工システムの更なる低コスト化においては、出力コンデンサのコストを如何に削減するのが鍵となる。

本研究では、低コストかつ高電圧を用いない非加熱食品加工システムを開発する。従来手法とは異なり、提案手法においては、複数の大出力低耐コンデンサを低電圧で充電し、水中放電させることで、水中衝撃波を発生させる。提案手法では、高電圧による高耐圧コンデンサの充電が不要であるため、安全かつ低コストな非加熱食品加工が可能である。水中衝撃波を用いる非加熱食品加工システムの設計に関しては、これまでに高電圧発生回路⁽²⁾、放電電極⁽³⁾、ならびに、圧力容器⁽⁴⁾に関する幾つかの先行研究が行われているが、我々の知る限りにおいては、出力コンデンサのストレスと

その低電圧化に関する研究は未だ行われていない。提案手法については、試作装置を用いた実験を通じて、その有効性を明らかにする。

本論文は、全 4 章で構成されている。はじめに、第 1 章では本研究の背景・動機、ならびに、アイデアについて述べている。続く第 2 章では、提案システムの構成とその動作原理について説明する。第 3 章では、提案手法の有効性を、実験を通じて明らかにしている。最後に、第 4 章では、本研究結果をまとめている。

2. 水中衝撃波を用いる非加熱食品加工装置

図 1 に、水中衝撃波を用いる従来の非加熱食品加工装置のブロック線図⁽²⁾を示す。従来装置は、高電圧発生回路、出力コンデンサ、高電圧リレー、押しボタンスイッチ、1 対の電極、ならびに、水で満たされた圧力容器で構成されており、コールドプラズマなどを用いる他の非熱処理技術よりも安価に食品の非加熱加工処理を実現できるという特徴をもつ。同図に示す非加熱食品加工装置の動作は、以下の通りである。

はじめに、入力交流電圧を高電圧発生回路によって、高い直流電圧に昇圧する。具体的には、従来の非加熱食品加工装置ではリンゴなどの果物を加工する際に、3.5 kV 程度の高電圧を発生させる。次に、押しボタンスイッチを介して、高耐圧のコンデンサを、高電圧発生回路によって発生した直流電圧によって充電する。従来手法では、リンゴなどの果物を加工する際には、200 μF 程度のコンデンサを、3.5 kV

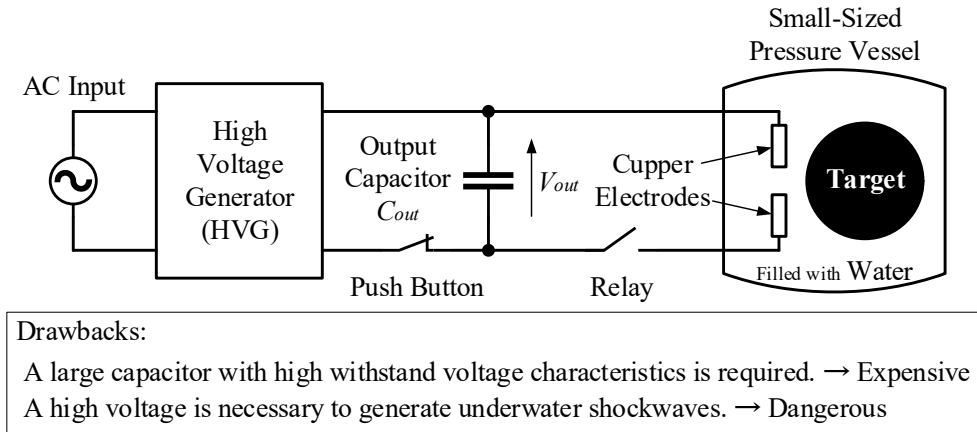


図1 水中衝撃波を用いる従来の非加熱食品加工装置

Fig. 1. Block diagram of the conventional shockwave non-thermal food processing system.

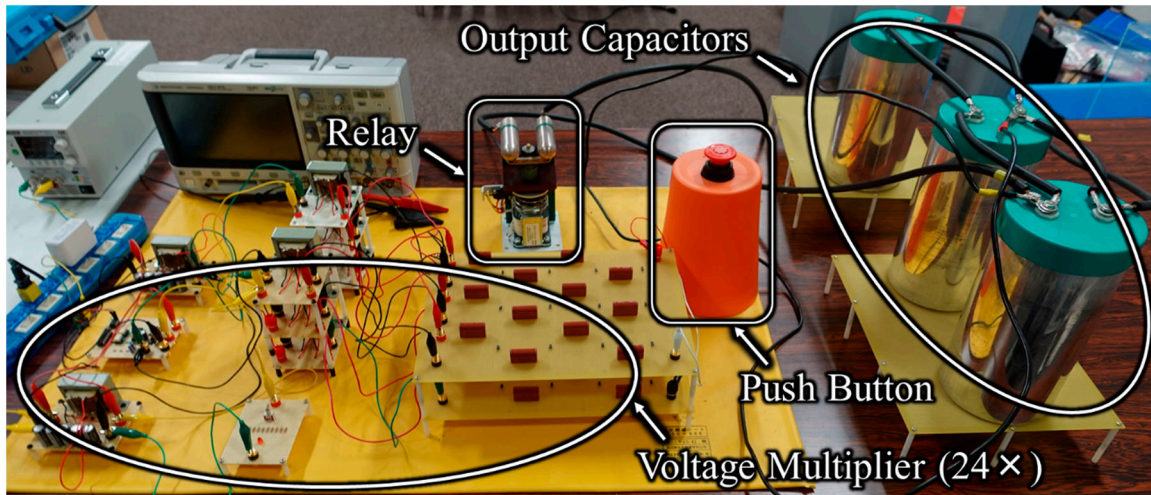


図2 実験装置の構成

Fig. 2. Experimental setup.

程度の高電圧によって充電する。続いて、出力コンデンサに蓄えられた電荷は、高電圧リレーを介して放電される。出力コンデンサの水中放電によって電極間に大電流が流れ、電極間の水の瞬間的な蒸発によって水中衝撃波が生成される。最後に、この水中衝撃波によって、対象食品の内部のみが破壊される。

このように、従来手法では、高耐圧コンデンサを高電圧によって充電する必要があるため、高価な高耐圧コンデンサが必要であり、また、回路部で高電圧が必要となるために危険である。この欠点を克服するために、本研究では、並列接続した大出力低耐コンデンサを低電圧で充電することで、水中衝撃波を発生させ、非加熱食品加工を実現する。

3. 実験による提案手法の検証

図2に、提案手法を用いた非加熱食品加工装置を示す。実験装置は、24倍の電圧利得をもつ高電圧発生回路、押しボタンスイッチ、高電圧リレー EA12-NC-20-1-100-BD、フィルムコンデンサ C44UQGT7110M 53K、銅電極、ならびに、

圧力容器から成る。ここで、高電圧発生回路は、ダイオード 1N4007、33 μ F コンデンサ、パワー-MOSFET 2SK447、ならびに、ドライバ回路 ICIR2110PBFによって作製された。また、加工対象物としてはリンゴを使用した。

図3に、対象物体であるリンゴを加工するために、出力コンデンサ C_{out} に蓄えられるエネルギーを約 1.2kJ 程度に設定した場合の出力電流 I_{out} と出力電圧 V_{out} を示す。実験においては、高電圧プローブ SS-0170R、ならびに、ロゴスキー型電流プローブ CWTHF600B によって出力電圧と放電電流を測定し、電流・電圧値に関して、提案手法と従来手法とを比較した。

表1に、測定結果のまとめを示す。実験においては、出力コンデンサに蓄えられるエネルギーを全ての場合において一定にしているため、出力電流の最大振幅が全ての場合でほぼ同じである。すなわち、全ての場合において、同程度の水中衝撃波を発生する。なお、同表における出力電流の最大振幅の誤差は、高電圧発生回路の出力電圧の調整が困難なために生じたものである。

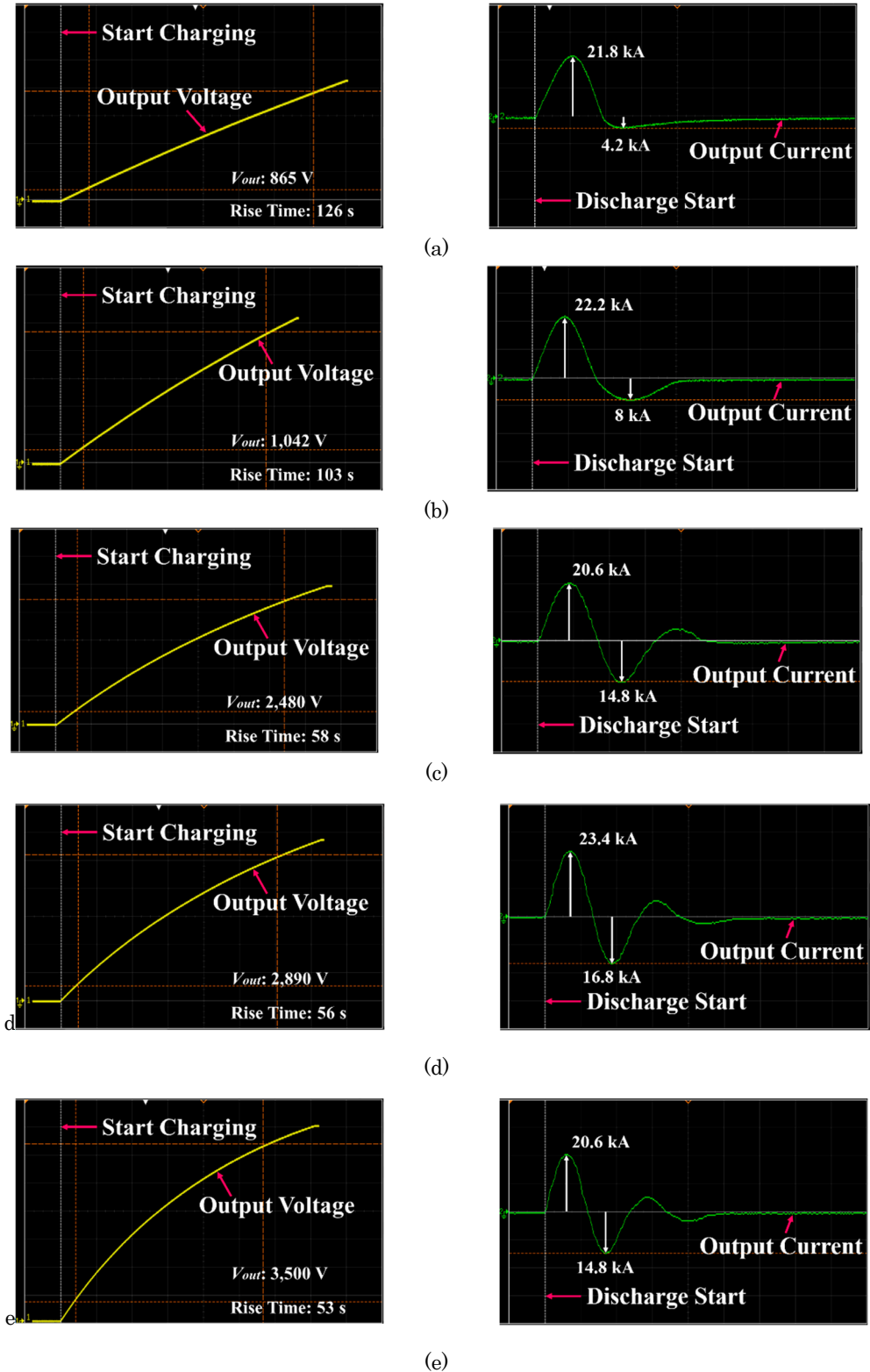


図 3 出力電圧と出力電流 (a) $V_{out} = 865$ V and $C_{out} = 3300$ μ F; (b) $V_{out} = 1,042$ V and $C_{out} = 2200$ μ F; (c) $V_{out} = 2,480$ V and $C_{out} = 400$ μ F; (d) $V_{out} = 2,890$ V and $C_{out} = 300$ μ F; (e) $V_{out} = 3,500$ V and $C_{out} = 200$ μ F.

Fig. 3. Measured output voltage and output current (a) $V_{out} = 865$ V and $C_{out} = 3300$ μ F; (b) $V_{out} = 1,042$ V and $C_{out} = 2200$ μ F; (c) $V_{out} = 2,480$ V and $C_{out} = 400$ μ F; (d) $V_{out} = 2,890$ V and $C_{out} = 300$ μ F; (e) $V_{out} = 3,500$ V and $C_{out} = 200$ μ F.

表 1 測定結果のまとめ

Table 1. Summary of experimental results.

	出力電圧 V_{out} (V)	出力容量値 C_{out} (μ F)	出力電流の最大振幅 Max. I_{out} (kA)	立ち上がり時間 T_{rise} (sec.)
提案手法 (図 3 (a))	865	3,300	21.8	126
提案手法 (図 3 (b))	1,042	2,200	22.2	103
提案手法 (図 3 (c))	2,480	400	20.6	58
提案手法 (図 3 (d))	2,890	300	23.4	56
従来手法 (図 3 (e))	3,500	200	20.6	53



図 4 非加熱食品加工後のリンゴの断面

Fig. 4. Cross section of the processed apple.

表 1 の出力電圧値が示す通り、提案手法の電圧ストレスは、従来手法の電圧ストレスよりもはるかに小さい。具体的には、図 3 (a) に示す提案手法の電圧ストレスは、従来手法の約 4 分の 1 である。また、図 3 (a) における出力コンデンサの価格は、従来手法の約 2 分の 1 である。このように、提案手法は従来手法よりも、安価かつ安全な非加熱食品加工を実現できる。図 4 は、提案手法によって非加熱加工されたリンゴの断面である。

しかしながら、表 1 から明らかなように、提案手法は従来手法よりも大きな出力コンデンサを必要とするため、出力コンデンサの充電時間が長くなる。具体的には、従来手法の充電時間が 53 秒であるが、図 3 (a) に示す提案手法においては 126 秒の充電時間を要する。

4. まとめ

本研究では、水中衝撃波を用いる食品加工のための低コストで安全な非熱処理技術を開発した。従来手法とは異なり、提案手法においては、複数の大出力低耐コンデンサを低電圧で充電することで水中衝撃波を発生させる。

提案手法の有効性を確認するために、試作装置を用いた実験を行った。実験結果は、3300 μ F の出力コンデンサを 865V で充電し、水中衝撃波を発生することで、加工対象で

あるリンゴを加工できることを明らかにした。ここで、出力コンデンサを充電するのに必要な時間は 126 秒であった。提案手法においては、高耐圧コンデンサを用いないため、従来手法よりも安全・低コストの処理が可能である。具体的には、提案手法において必要な充電電圧は従来手法の約 4 分の 1 であり、また、出力コンデンサの価格は従来手法の約 2 分の 1 である。その一方で、提案手法は従来手法よりも大容量のコンデンサを必要とするため、出力コンデンサの充電時間が長くなるという欠点をもつ。今後の研究においては、高電圧発生回路、ならびに、高電圧リレーを改良することで、処理速度を向上させる必要がある。

謝辞

本研究は、福岡工業大学総合研究機構 2021 年度科研費リトライ支援制度の醸成により実施することができました。ここに、感謝の意を表します。

文 献

- (1) Y. Higa, K. Shimojima, O. Higa, H. Iyama, and S. Itoh: "Computational simulation for the evaluation of a food softening process using underwater shockwaves", International Journal of Food Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 24-29 (2020), doi: 10.18178/ijfe.6.1.24-29.
- (2) K. Eguchi, F. Asadi, A. Shibata, H. Abe, and I. Oota: "Reduction of Inrush Current in a Shockwave Non-Thermal Food Processing System Using an Exponential Clock Pulse Generator", Sustainability, Vol. 12, No. 15, 6095 (2020), doi: doi.org/10.3390/su12156095.
- (3) K. Shimojima, Y. Higa, O. Higa, A. Takemoto, H. Kawai, K. Hokamoto, H. Iyama, T. Watanabe, and S. Itoh: "Experimental Study for the Tenderness of Meat using Underwater Shock Waves Generation by Wire Electrical Discharges", Explosion Shock Waves and High Strain Rate Phenomena, Vol. 13, pp. 35-40 (2019), doi: 10.21741/9781644900338-6.
- (4) M. Nishi, H. Sakaguchi, S. Tanaka, H. Iyama, and F. Masahiro: "Research on explosive forming of magnesium alloy plate using numerical simulation and experimental studies (II)", Science and Technology of Energetic Materials, Vol. 82, No. 2, pp. 39-43 (2021), doi: 10.34571/stem.82.2_39.