

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630112

研究課題名(和文)高齢者のためのパルスパワーによる食物の軟化

研究課題名(英文)Softening of foods by pulsed power for aged persons

研究代表者

秋山 秀典(Akiyama, Hidenori)

熊本大学・パルスパワー科学研究所・教授

研究者番号：50126827

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：パルスパワーを食物に印加して、殺菌やジュース取り出しの研究が行われてきた。日本人の高齢化が進み、生活の質の維持のため、形を保ったまま、植物を柔らかくする新しい方法が求められている。ここでは、パルスパワーを野菜や果物に印加して、柔らかくする方法を提案し実験を行った。まず、パルスパワー発生装置の開発を行った後、二つの電極間に食物をいれ、電極間にパルスパワーを印加した。食物は、パルスパワーの印加回数を増加するとさらに柔らかくなるが、上限の印加回数が存在した。食物の温度変化はなく、ビタミンCの変化もなかった。顕微鏡下での実験結果から、篩部放射組織に大きく影響していることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Pulsed power has thus far been applied to foods for their sterilization and extraction of vegetable juice; juice yield from sugar beets, for example, has increased using pulsed electric fields. The aging of the Japanese population calls for food softening methods in order to maintain life quality. Here, effects of pulsed power on hardness of vegetables and fruit are investigated using a pulsed power generator. Vegetables or fruit are set between plane electrodes placed into tap water. Foods' hardness was found to decrease with increasing pulsed power shot number, while its internal temperature did not change. There was no influence of pulsed power on Vitamin C. The influence of the pulsed electric field on phloem rays is considered to cause vegetables and fruits to soften.

研究分野：工学

キーワード：パルスパワー パルス電界 非加熱調理器 食物の軟化 高齢者

### 1. 研究開始当初の背景

パルスパワー技術の進展により、コンパクト軽量パルスパワー電源、半導体リソグラフィ用光源、赤ワインの製造、植物からのジュースの増量など、いくつかの製品が生まれている。しかしながら民生用(一般家庭用)のパルスパワー応用製品はない。本研究は、高齢者社会という背景の下、高齢者のいる一般家庭へ、パルスパワー方式非加熱調理器を提供するための基礎研究を行うことである。

従来の調理方法は、ゆでる、煮る、炒める、焼く、蒸す等、ほとんどの方法が加熱を用いている。保存や風味付けのための塩漬けや味噌漬け等、加熱によらない調理方法もある。本科研費で提案しているパルスパワー方式非加熱調理器は、まったく新しい調理方法であり、食べ物の形状を保ったまま、栄養素の含有量を変化することなく柔らかくでき、調理の世界に革命を起こす可能性がある。

### 2. 研究の目的

パルスパワー技術の近年の進展により、環境、医療・福祉、農漁業等、幅広くパルスパワー応用が展開している。農業に関しては、植物成長促進や砂糖大根や葡萄からのジュース抽出増量等にパルスパワーが使われ、一部製品化している。

本研究目的は、パルスパワーを印加することにより、果物、野菜、肉が柔らかくなることを明らかにするとともに、そのメカニズム解明を行うことである。また、パルスパワーのパルス幅、電界強度、印加回数を変えて、レオメーターで測定することにより、かたさの定量的計測を行う。これらの研究成果は、例えば、嚥下困難により飲む込む力が低下し、堅いものをかめなくなった高齢者への新しい非加熱(低温)調理器の提供につながり、福祉や食品提供の質の向上につながる。

本研究が成功すると、加熱調理器である電子レンジと並ぶ新しい非加熱調理器の実用化につながる。非加熱であるので、ビタミンC等の栄養素も保存され、人参等の食物の形状も保たれる。さらなる高齢化社会を迎える人類にとって、食事の質の向上は福祉の観点のみでなく生きがいを与える重要な要素であり、嚥下障害や誤嚥を起こす高齢者の食事を改善するため、パルスパワーによって食物を柔らかくする本技術開発は大変意義深い。

### 3. 研究の方法

研究目的を達成するため、下記の5つの課題の研究を遂行する。

(1)パルス幅、極性、パルス間隔及び出力電圧可変のパルスパワー発生装置開発：磁気パルス圧縮方式パルスパワー発生装置、及びフルブリッジスイッチドキャパシタセルを直列に接続して高繰り返し全固体素子マルクス発生装置を作る。前者は、30kVの高電圧が得られるが、パルス間隔と出力電圧しか可変できない。後者は、10段で10kVしか出力で

きないが、パルス幅、極性、パルス間隔及び出力電圧を可変にできる。電極間隔調整により、両方の装置とも研究に用いることができる。

(2)色々な食品に対するレオメーターによるかたさの定量的計測：厚生労働省の嚥下困難者用食品の「かたさ基準」に準拠したレオメーターを用いて、野菜、果物、肉類のかたさの、パルスパワー印加有無での差を調べる。パルスパワーのパルス幅、極性、パルス間隔、印加電界及び印加パルス数を変化して、かたさへの効果を調べる。

(3)色々な食品に対する含有栄養素の定量的計測：食品に含まれるビタミン等の栄養素を、パルスパワーの印加の有無で調べて、その変化を調べる。

(4)野菜を薄く切って顕微鏡で細胞への影響解明：野菜を薄く切って、顕微鏡で観察することにより、パルスパワーの植物細胞への影響を調べる。

(5)人参の細胞内遺伝子への影響解明：シロイヌナズナの成長に対するパルスパワーの影響について、ゲノムアレイシステムを用いて、遺伝子レベルで解析した。同様の方法を用いて、人参の遺伝子へのパルスパワーの影響を調べる。

### 4. 研究成果

(1)平成25年度は、パルス幅、極性、パルス間隔及び出力電圧可変のパルスパワー発生装置開発、及び色々な食品に対するレオメーターによるかたさの定量的計測を行った。磁気パルス圧縮方式パルスパワー発生装置(図1)及びフルブリッジスイッチドキャパシタセルを直列に接続して高繰り返し全固体素子マルクス発生装置を作った。前者の装置では、30kVの高電圧が得られた。後者の装置では、パルス幅、極性、パルス間隔及び出力電圧を可変にできた。電極間隔調整により、両方の装置とも研究に用いることができた。

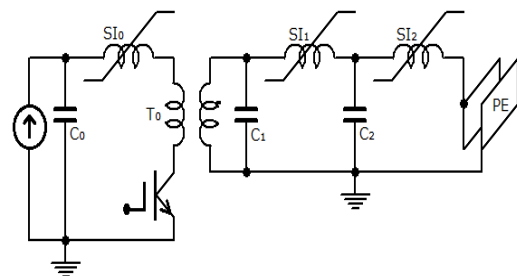


図1 磁気パルス圧縮方式パルスパワー発生装置

また、厚生労働省の嚥下困難者用食品の「かたさ基準」に準拠したレオメーターを用いて、野菜、果物のかたさの、パルスパワー印加有無での差を調べた。さらに、パルスパワーのパルス幅、極性、パルス間隔、印加電界及び印加パルス数を変化して、かたさへの効果を調べた。パルスパワーを印加すると

(図2) 野菜や果物が軟化し、ジュースが出てくること(図3) また、印加パルス数を増やすとより軟化するが、一定の回数を超えると変化がなくなることが分かった。

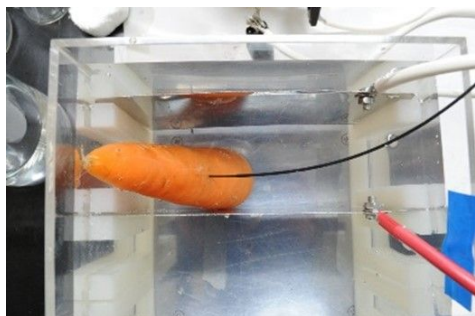


図2 二つの電極間に野菜や果物を置き、パルスパワーを印加する。

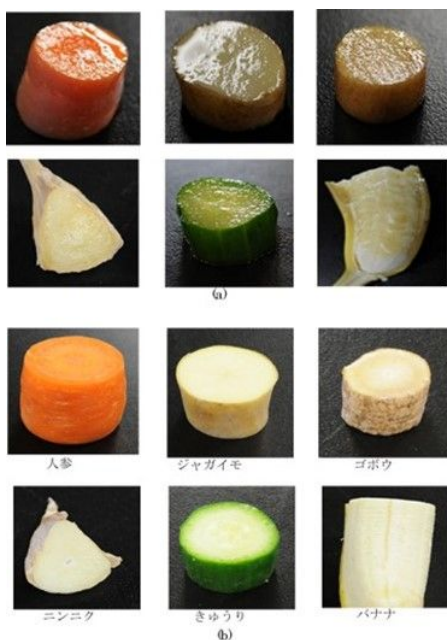


図3 パルスパワーを印加した場合(a)と印加しない場合(b)のジュースの出方の違い

(2) 平成 26 年度は、食品に含まれるビタミンCの栄養素をパルスパワー印加の有無で調べ、その変化がないことを確認した。また、人参を薄くスライスして、パルスパワーを印加して、細胞へのパルスパワーの影響を調べた。顕微鏡にスライスした人参を置き、パルスパワーを印加し、高速度カメラで観測した。パルスパワーが維管束にも影響していることが分かり、組織に影響を与えることで軟化していることを明らかにした。

(3) 平成 27 年度は、ジャガイモにパルスパワーを印加して、軟化することを、レオメータで測定するとともに、液体クロマトグラフィーを用いて、精度よく食品に含まれるビタミンCをパルスパワー印加の有無で調べ、測定誤差の範囲内で変化がないことを明らかにした(図4)。人参の遺伝子へのパルスパワーの影響は観測できなかった。

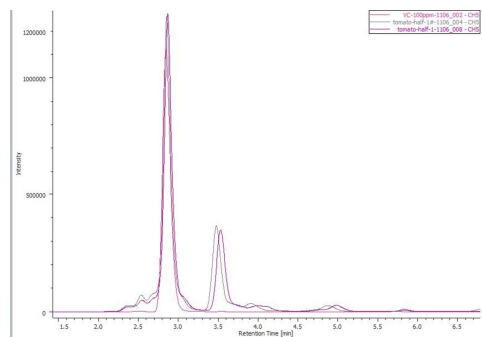


図4 ビタミンCの変化、赤線：パルスパワーを印加した時、黒線：パルスパワーを印加しない場合

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計72件)

Lukes, P., Zeman, J., Horak, V., Hoffer, P., Pouckova, P., Holubova, M., Hosseini, S.H.R., Akiyama, H., Sunka, P., Benes, J., In vivo effects of focused shock waves on tumor tissue visualized by fluorescence staining techniques, *Bioelectrochemistry*, 査読有, Vol. 103, 2015, pp.103-110  
DOI: 10.1016/j.bioelechem.2014.08.019

Ruma, Hosseini, S.H.R., Yoshihara, K., Akiyama, M., Sakugawa, T., Lukeš, P., Akiyama, H., Properties of water surface discharge at different pulse repetition rates, *Journal of Applied Physics*, 査読有, Vol. 116, 2014 pp. 123304  
DOI: 10.1063/1.4896266

Yang, Z., Hosseini, S.H.R., Kiyan, T., Gnapowski, S., Akiyama, H., Post-breakdown dielectric recovery characteristics of high-pressure liquid CO<sub>2</sub> including supercritical phase, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 査読有, Vol. 21, 2014, pp. 1089-1094  
DOI: 10.1109/TDEI.2014.6832252

Keiko Morotomi-Yano, Hidenori Akiyama, Ken-ichi Yano, Different involvement of extracellular calcium in two modes of cell death induced by nanosecond pulsed electric fields, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 査読有, Vol. 555-556, 2014, pp. 47-54  
VOI: 10.1016/j.abb.2014.05.020

⑤Morotomi-Yano, K., Akiyama, H., Yano, K., Nanosecond pulsed electric fields

induce poly(ADP-ribose) formation and non-apoptotic cell death in HeLa S3 cells, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 査読有, Vol. 438, 2013, pp. 557-562  
DOI: 10.1016/j.bbrc.2013.07.083

Ishizawa, H., Tanabe, T., Yoshida, D., Hosseini, S., Katsuki, S., Akiyama, H., Focusing system of burst electromagnetic waves for medical applications, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 査読有, Vol. 20(4), 2013, pp. 1321-1326  
DOI: 10.1109/TDEI.2013.6571451

Oshita, D., Hosseini, S., Miyamoto, Y., Mawatari, K., Akiyama, H., Study of underwater shock waves and cavitation bubbles generated by pulsed electric discharges, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 査読有, Vol. 20(4), 2013, pp. 1273-1278  
DOI: 10.1109/TDEI.2013.6571444

Gnapowski, S., Akiyama, H., Sakugawa, T., Akiyama, M., Effects of pulse power discharges in water on algae treatment, *IEEE Transactions on Fundamentals and Materials*, 査読有, Vol. 133, 2013, pp. 198-204  
DOI: 10.1541/ieejfms.133.198

Ruma, Lukes, P., Aoki, N., Spetlikova, E., Hosseini, S.H.R., Sakugawa, T., Akiyama, H., Effects of pulse frequency of input power on the physical and chemical properties of pulsed streamer discharge plasmas in water, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 査読有, Vol. 46, 2013 pp. 125202  
DOI: 10.1088/0022-3727/46/12/125202

M. Akiyama, S. Gnapowski, Y. Shigematsu, and H. Akiyama, Softening of vegetables by pulsed power, *Digest of Technical Papers-IEEE International Pulsed Power Conference*, 査読有, Vol. 101034, 2013, pp. 6627556  
DOI: 10.1109/PPC.2013.6627556

〔学会発表〕(計 30 件)

ホセイニ ハミド, Cell membrane poration by microstreaming: Experimental and analytical evaluations, 1st World Congress on Electroporation and Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine and Food & Environmental Technologies, 2015 年 09 月 06 日 ~ 2015 年 09 月 10 日, Portoroz (スロベニア)

秋山 真理子、Softening of Vegetables and Fruits by pulsed power, 1st World Congress on Electroporation and Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine and Food & Environmental Technologies, 2015 年 09 月 06 日 ~ 2015 年 09 月 10 日, Portoroz (スロベニア)

秋山 秀典, Pulsed Power and Bioelectrics, The 9th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (招待講演) 2015 年 12 月 12 日 ~ 2015 年 12 月 15 日、長崎大学文教キャンパス (長崎市)

秋山 秀典, Influence of pulsed power discharges in water on plants, fishes, foods and Bacteria, 11th International Bioelectrics Symposium (招待講演) 2014 年 10 月 13 日 ~ 2014 年 10 月 16 日, Missouri (USA)

⑤秋山 真理子、Softening of Vegetables by Pulsed Power, IEEE Pulsed Power and Plasma Science (PPPS2013) 2013 年 06 月 16 日 ~ 2013 年 06 月 21 日, San Francisco (USA)

秋山 秀典, Recent Progress of Bioelectrics at Institute of Pulsed Power Scien, 2013 International Forum on Functional Materials (IFFM2013) (招待講演) 2013 年 06 月 27 日 ~ 2013 年 06 月 29 日, Jeju (Korea)

秋山 秀典, Development of Microscope with High Speed Camera to observe Temporal Change of the Living Organism, 10th International Bioelectrics Symposium (BIOELECTRICS2013) 2013 年 09 月 16 日 ~ 2013 年 09 月 19 日, Karlsruhe (Germany)

ホセイニ ハミド, Laser plasma shock wave driven microparticles for DNA/drug delivery, 日本超音波医学界研究会 平成 25 年度第 4 回超音波分子診断治療研究会 (招待講演) 2014 年 03 月 01 日 ~ 2014 年 03 月 01 日, 福岡大学 (福岡市)

〔その他〕

ホームページ等  
パルスパワー科学研究所ホームページ  
<http://www.ipps.kumamoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋山 秀典 (AKIYAMA, Hidenori)  
熊本大学・パルスパワー科学研究所・教授

研究者番号：50126827

(2)研究分担者

ホセイニ ハミドレザ (HOSSEINI, Hamid  
Reza)

熊本大学・パルスパワー科学研究所・教授  
研究者番号：00543406