

# 瞬間的高圧処理による米粉製造装置の開発

宮藤 義孝<sup>\*1</sup>, 具志 孝<sup>\*1</sup>, 比嘉 修<sup>\*1</sup>, 下島 賢<sup>\*2</sup>, 比嘉 勝也<sup>\*3</sup>, 嶽本 あゆみ<sup>\*4</sup>, 前原 弘法<sup>\*4</sup>,

阿嘉 倫大<sup>\*5</sup>, 名波 和幸<sup>\*5</sup>, 松原 瞭<sup>\*5</sup>, 田中 茂<sup>\*6</sup>, 伊藤 繁<sup>\*7</sup>

<sup>\*1</sup> 沖縄高専技術支援室, <sup>\*2</sup> 沖縄高専機械システム工学科, <sup>\*3</sup> 沖縄高専情報通信システム工学科,

<sup>\*4</sup> 熊本大学衝撃極限環境研究センター, <sup>\*5</sup> 沖縄高専本科生, <sup>\*6</sup> 熊本大学技術部,

<sup>\*7</sup> 沖縄高専

## 1. 概要

日本はアメリカやシンガポールなど 9 つの国が参加を表明している TPP(環太平洋経済連携協定)に参加するかの協議を昨年 11 月に開始している。TPP は関税撤廃の例外品目をわずかしか認めず、日本も参加すれば、多品目の関税を撤廃する必要がある。このことは代表的輸出産業である自動車・電気製品製造業にとっては国外に安く販売できて好ましいことであるが、国内農産業にとっては大量に価格の安い農作物が輸入され生産者にとっては不利となる。特に米は現在約 8 倍の関税がかけられており、国産米の生産量動向に関心は高く、米の多様で有効な利用技術が求められている。

本研究は熊本大学・衝撃・極限環境研究センターにおいて伊藤繁センター長(平成 22 年度から沖縄高専校長)の研究グループが平成 21 年度に農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(3 年間)」に応募して採択され、平成 22 年度から熊本大学・衝撃・極限環境研究センター(研究総括者・檜山隆センター長)と熊本県産業技術センターおよび沖縄高専が共同でおこなっている。沖縄高専では採択されたテーマ「米粉の低コスト製造を可能とする瞬間的高圧処理システムの実用化研究(課題番号: 21045)」において学科の枠を超えた 7 名(教職員 4 名・学生 3 名)のプロジェクトチームが生まれ、沖縄高専の役割分担として、実用装置およびライン処理システムの設計・試作が与えられた。

## 2. 研究背景

近年、穀物粉体加工技術は高度に多様化しており、特に衝撃波の瞬間的高圧を利用した粉体化作用技術は注目されている。衝撃波は音速を超える速度で伝播して圧縮・膨張と透過・反射を繰り返し、物質の内部に密度の相違が存在すると物質を通過した衝撃波は音速程度で通り過ぎる透過波と物質内部で反射して音速以下になる反射膨張波にわかれる。反射膨張波は負圧となるので、急激に密度変化した波面には引っ張り力を生じて物質内部にて高速破壊現象(スポーリング破壊)を生じる。衝撃波によるスポーリング破壊の仕組みを図 1 に示す。米粉の製造技術では米は密度の高いデンプンの集合体であり、米の内部には多くの柱状組織が存在して硬い<sup>(1)</sup>ことから、まず水に浸すか水蒸気を用いた湿式の米粉製造技術が多く見られ、最近では気流粉碎・二段階製粉・酵素処理製粉にて得られる。しかし、これらの湿式では製粉会社などの連続製造ライン上で紫外線を照射しても滅菌できない雑菌が増殖するという欠点があり、製粉段階で食品添加物類を用いることも米本来の風味上好ましくない<sup>(2)</sup>。本研究は、空気を作動流体として乾式にて米を循環させ、コンデンサーに蓄えられた高電圧を水中で一気に放電して得られた衝撃波を米に適用して粉碎し、摩擦熱を一切加えず、雑菌の繁殖を抑え、高効率に米を米粉とする製造技術を開発することにある。

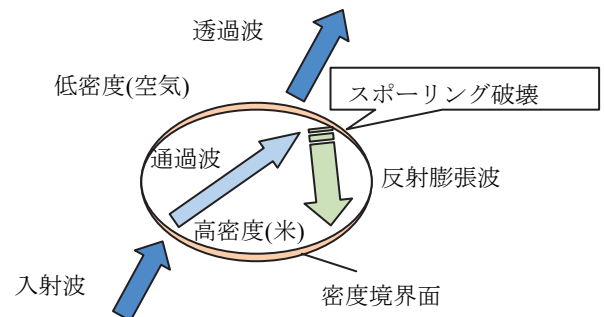


図 1 衝撃波によるスポーリング破壊の仕組み

### 3. 装置開発の進捗状況

実験装置は試料処理部・充電および放電の回路部・電源コントロール部・米の輸送部であるフィーダー部からなる。実験装置概略図を図 2 に示す。試料処理部はプロトタイプ of the stage であるので、被削性の良いアルミブロック (A2017) を採用した。設計指針としては、衝撃波のエネルギーを最大限に破壊力として米に伝播させるため、アルミブロックを 3 次元楕円形にくり抜くことにより、楕円の第 1 焦点で発生した衝撃波の第 1 波と楕円内面からの反射波が楕円の第 2 焦点でぶつかり合うことで米を粉砕するために必要な破壊力が得られるように設計している。

試料処理部の上部の第 1 焦点には電極として真鍮製全ネジ部の先端に銅タングステン電極が両側から設置されている。楕円形試料処理部の内部には水が満たされており、放電時の衝撃波は水中ならびにアルミブロック内部を伝播する仕組みとなっている。試料処理部の上下には給排水用のドレンが設置されており、水の伝導度を維持するために常時水を入れ替えることが可能となっている。試料処理部の写真を図 3 に示す。試料処理部の楕円第 2 焦点の位置には米を通過させるために 3 本のシリコンチューブが挿入されており、乾式にて米が連続粉砕されるようになっている。

充電および放電の回路部は試作段階において、家庭用電源の 100[V] を 3700[V] に昇圧するため、トランスを用いた回路とダイオードとコンデンサーを併用したコッククロフトウォルトン回路を用いた 2 種類の電源回路が検討された。コッククロフトウォルトン回路を図 4 に示す。充電時のエネルギーは約 4900[kJ] となる。瞬時放電のスイッチには機械的なエアシリンダを用いたギャップスイッチおよびエネルギー損失を減少させるため電子スイッチの MOSFET やサイリスタが検討された。トランスを用いた電源は放電側内部の多くの部分が 3700[V] となり、空中放電や感電の恐れがあるために充電 1 次側が低電圧の 100~200[V] で放電 2 次側のみが

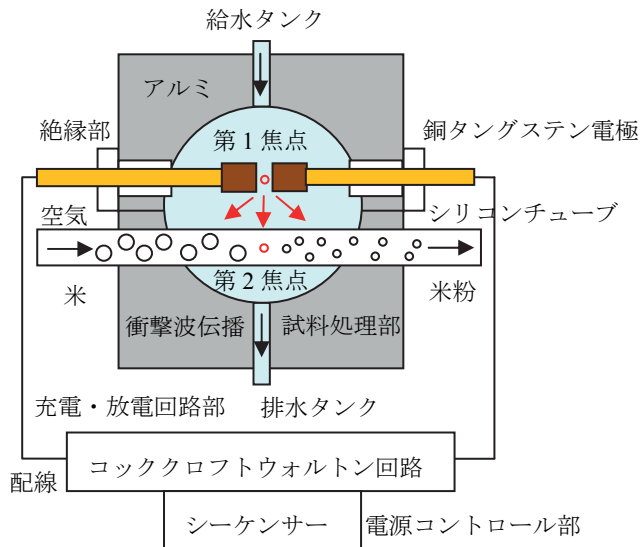


図 2 実験装置の概略図

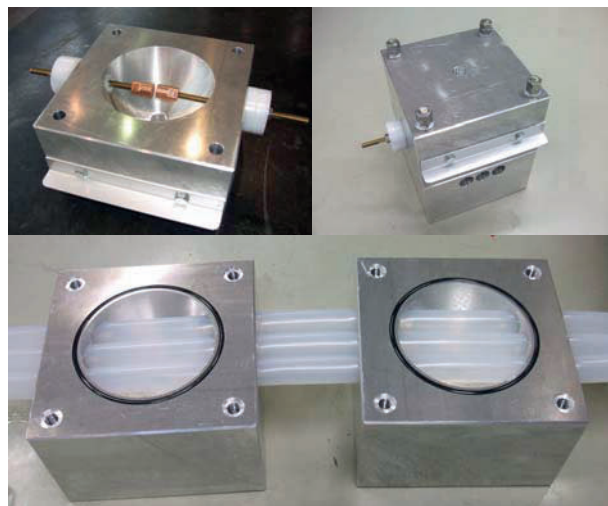


図 3 試料処理部

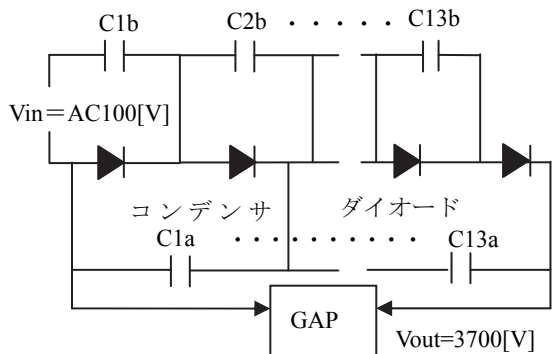


図 4 コッククロフトウォルトン回路(回路図・写真)

高電圧にできないかどうか検討された。検討結果から、充電・放電やスイッチの安定性や安全性からコッククロフトウォルトン回路と機械的なエアシリンダを用いたギャップスイッチが採用された。米の粉碎には 1 回だけ放電するバッチ方式ではなく多数回放電する連続処理を想定しているため、シーケンス回路によって充電電圧値と放電回数が自由に設定できるようにした。フィーダー部には米粉のサイクロンによる分級と適量の輸送のためにサイクロン分級装置・吸引プロア・アスピレーターを設置してシリコンチューブ内に適量の米が順次挿入される仕組みとなっている。米の量は途中に設置されたバルブを開閉することによって決定される。フィーダー部概略図を図 5 に、実験装置写真を図 6 に示す。

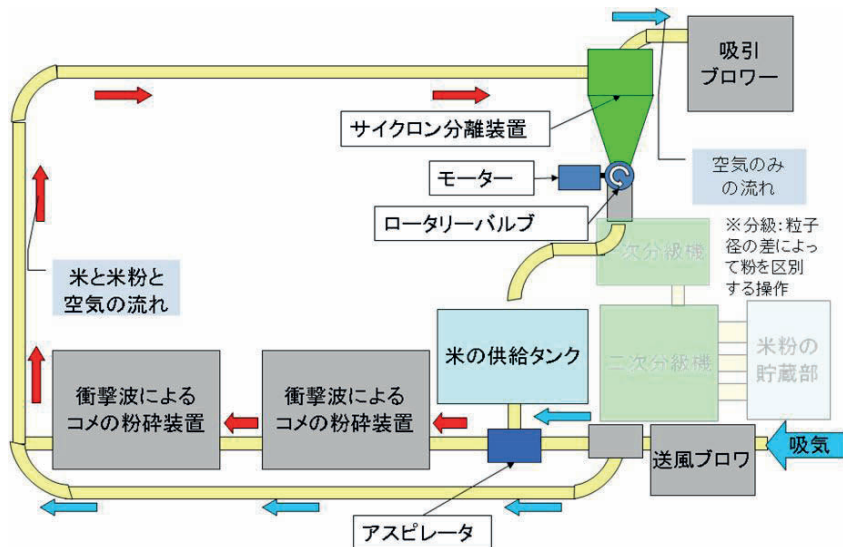


図 5 フィーダー部概略図

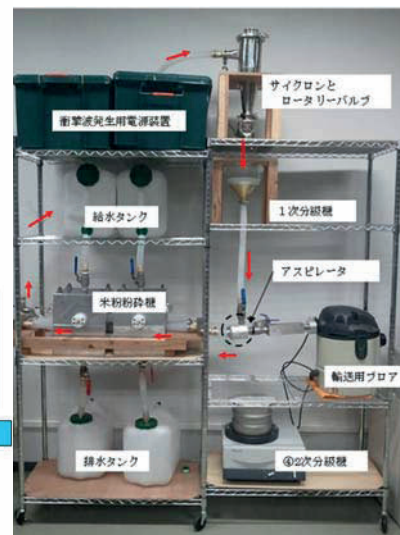


図 6 実験装置(プロトタイプ)

#### 4. 今後の展望

熊本大学で衝撃波可視化実験がおこなわれ、高速度ビデオとシャドウグラフィ法による光学観測から衝撃波速度と圧力が求められた。その様子を図 7 に示す。衝撃波発生から 10[μs]までの間の衝撃波平均速度は音速より 5%速く、衝撃波圧力は 49~88[MPa]であることが得られている。これは衝撃波が高速かつ高圧であることを意味しており、試料処理部の耐久性が最も必要となる。LS-DYNA によるシミュレーションの解析結果で収束波が第 2 焦点に集まることも得られている。米を繰り返し循環させ過ぎると成分分析で損傷デンプンやアルファ化度が増加し、米粉も汚れる。生成米粉を早期に分級して回収することが重要である。さらに、回路部にインバータを用いて充電速度を速めること、米粉の分級装置を設置して粒径ごとに回収し、米の最適な循環速度と輸送量を調べることで、生成された米粉の味覚の検査が重要と考えている。



図 7 水中衝撃波の可視化 (シャドウグラフィ法)

#### 謝辞

本研究は農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」に基づきおこなわれている。ここに謝意を記します。また、個人的に群馬製粉株式会社の山口慶一氏・石田九一氏・中澤稔氏には生産現場からの有益なご助言を頂いた。ここに謝意を記します。

#### 参考文献

- (1) 嶽本あゆみ・宮藤義孝・伊東繁他 4 名, 瞬間的高圧処理による米粉の処理条件と特性の相関関係解明に関する研究, 第 20 回日本 MRS 学術シンポジウム, SessionK-17, 横浜, 2010.12
- (2) 山口慶一著, 日本の食料が世界を変える お米革命, 知玄社, 2008.10