

報告日： 2021 年 3 月 22 日

報告者： 鹿児島工業高等専門学校

機械工学科 准教授

徳永 仁夫

1. 研究概要

(和文)

(1) 衝撃水压によるクリーンで安全な水の殺菌法

(2) 徳永仁夫、鹿児島工業高等専門学校 機械工学科 准教授

(3) 研究概要

水中衝撃圧を発生させるには、爆薬などが必要で、危険を伴う。本研究では、安全かつクリーンな水中衝撃圧発生法を開発する。この方法を植物種子処理に適用する。提案した手法では、空気の蓄圧量によって水中衝撃圧強度をコントロールすることができる。また、衝撃圧伝ば速度も空気の蓄圧量によってコントロールできる。本研究で発生させた水中衝撃圧強度の最大値は 90[MPa]、伝ば速度は 100～180[m/s]の範囲であった。また、水中衝撃圧処理を施すことで、植物種子の発芽能力が消失することを確認した。

(4) 衝撃圧, 植物種子, 発芽, 空気圧, 再生可能エネルギー

(英文)

(1) Clean and safe water disinfection method using impulsive hydraulic pressure

(2) Hitoo Tokunaga,

Associate professor, National Institute of Technology, Kagoshima College

(3) Summary

In general, underwater impact pressure can be generated by using detonation or high voltage. However, these methods involve the risk factor, therefore, are not simple to use for everyone. The objective of this study is to develop the clean and safe technique to generate the underwater impact pressure. Also, we apply the technique to disappear the germination ability of plant seeds. As the results, it was confirmed that both peak strength and propagation velocity of generated underwater impact pressure can be controlled by the strength of storage air pressure. Also, it was found that the germination ability of plant seed disappear by treatment of underwater impact pressure.

(4) impact pressure, plant seed, germination, air pressure, renewable energy

2. 本研究の意義、特色

本研究の意義・目的は、持続可能社会を可能にする再生可能エネルギーの1つであるメタン発酵（バイオガスプラント（以下、BP）、BPに関しては後述）の普及拡大を実現するこ

とである。特色として、本研究で提案する新技術が安全かつクリーンに「雑草種子（以下、種子）を細胞レベルから破壊し、その発芽能力を消失させることができる点にある。

まず、BP（図 1）について説明する。BP では、家畜排泄物や食品廃棄物をスラリー化した後に発酵槽内で発酵させ、バイオガスを回収する。バイオガスは発電機やボイラー燃料などに利用できる。一方、メタン発酵槽に残る液体がメタン発酵消化液（以下、消化液）である。消化液は図 1 プロセス①として示すように河川などに放流されるが、殺菌消毒処理のために多大なコストやエネルギーが必要であり、BP の普及拡大を妨げている。一方、プロセス②として示すように、消化液の主成分が窒素(N)、リン(P)、カリウム(K)などいわゆる肥料成分であることに注目し、これを有効利用することが検討されている。プロセス②を実現する上での課題は雑草種子・殺菌処理である。すなわち消化液中には種々の雑草種子や菌類が残留しており、これを圃場散布すると作物の生育不良や生態系破壊の原因となる。現在は加熱処理が検討されているが、加熱温度によっては肥料としての有効成分が変質することもあり、過度の加熱はできない。本研究の遂行によって、BP に関するコスト低減と普及拡大、未利用資源である消化液の有効利用を実現し、持続可能社会を構築する。

本研究の特色は、安全に水中衝撃圧を制御できることにある。すなわち、従来の水中衝撃圧に関する研究では爆薬や大電流を利用して水中衝撃波を発生させる。これらは危険因子を含んでおり、誰にとっても安全で使いやすい方法ではない。一方で、申請者が所有する水中衝撃圧発生装置（図 2）では、貯気槽に充填した高压空気によって弾丸を高速で発射し、弾丸によって水压室内の水を打撃することで衝撃圧が生じる。貯気槽内圧力によって弾丸速度（入力エネルギー）を広範囲に制御可能である。さらに入力エネルギーによって発生させる衝撃圧のピーク強度をコントロール可能である。

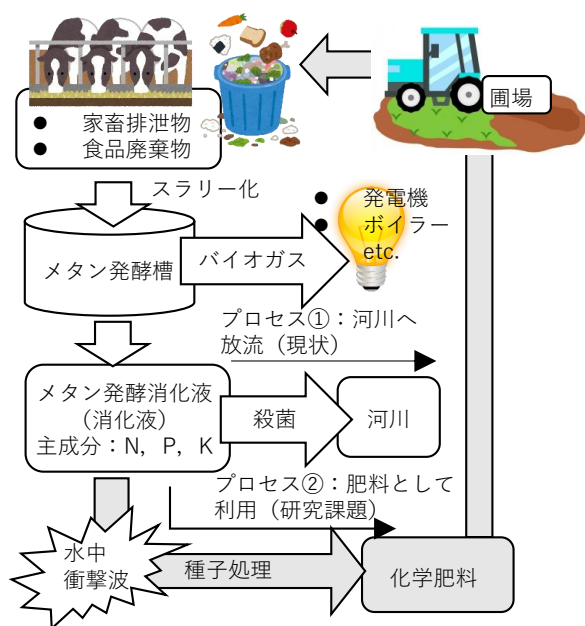
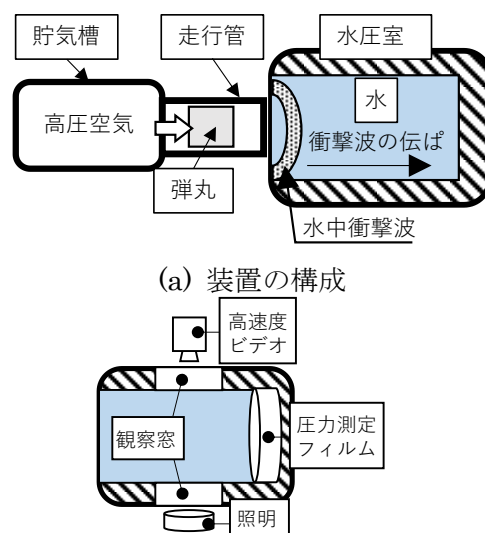


図 1 メタン発酵の流れと本研究の位置づけ



(b) 測定用水圧
図 2 実験装置概要

3. 実施した研究の具体的内容、結果

本研究では、(1) 空気圧により発生させた衝撃圧の定量測定（空気圧による衝撃水压強度と伝ば速度のコントロール）、(2) 植物種子の発芽能力に及ぼす衝撃水压処理の影響調査、(3) 衝撃水压処理による植物の細胞組織破壊の有無、以上3点について研究を行った。

3. 1 実験装置概要と打ち出し圧力による衝撃水压強度のコントロール

本研究で使用する衝撃水压発生装置の概要を図 2(a)示す。衝撃水压発生の手順は以下の通りである。

- ①貯気槽に高圧空気を充填する。
- ②貯気槽内圧力が所定の圧力（打ち出し圧力）に達した後、電磁弁を開放し高圧空気を装填室に送る。
- ③高圧空気によって、装填室に設置した弾丸が走行管内に発射される。
- ④発射された弾丸は走行管内を通り水压室内の水を打撃し、衝撃水压が発生する。
- ⑤水压室には図 2(b)に示すように観察窓が設けてあり、内部は水で満たされている。また、圧力測定フィルム（富士フィルム, HS-PS, MS-PS)を配置する。

図 3 はこれまでに測定した打ち出し圧力と弾丸速度の関係であり、打ち出し圧力によって弾丸速度をコントロールできることを示している。すなわち図 3 に示すように、弾丸速度は打ち出し圧力が高いほど増加する。また、打ち出し圧力が 200[kPa]を超えると弾丸速度の増加率が低下する。また、図 4 は、圧力測定フィルムで測定した衝撃圧ピーク強度であり、衝撃水压ピーク強度は打ち出し圧力によってコントロールできることを示している。

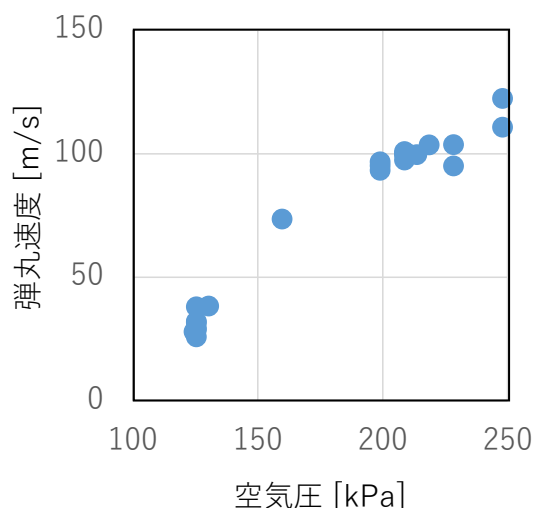


図 3 打ち出し圧力（空気圧）と弾丸速度の関係

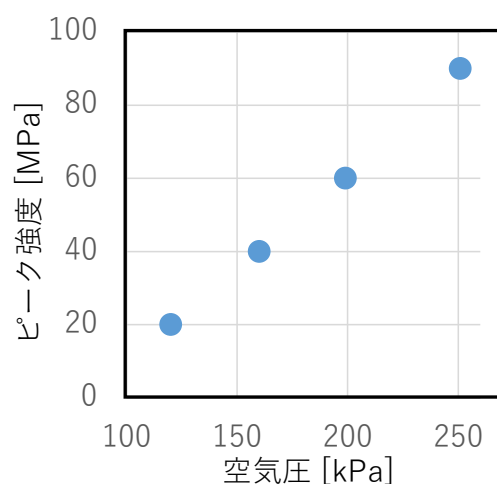


図 4 打ち出し圧力（空気圧）と衝撃圧ピーク強度の関係

3. 2 衝撃水圧伝ば速度の測定

作製した水圧室（観察窓付き）の外観を図 5 に示す．本研究では，打ち出し圧力を 120～150[kPa]の範囲に設定し，弾丸を打ち出した．発生した衝撃水圧の挙動を高速度ビデオカメラで観察し，伝ば速度を推定した．図 6 は，打ち出し圧力と衝撃水圧伝ば速度の関係である．打ち出し圧力の増加に伴い，伝ば速度が高くなることが分かる．一方で，今回の測定で得られた伝ば速度は，水中の衝撃波伝ば速度（1500[m/s]程度）に達していないことが分かった．



図 5 衝撃圧伝ば速度測定用水圧室
（観察窓付き）

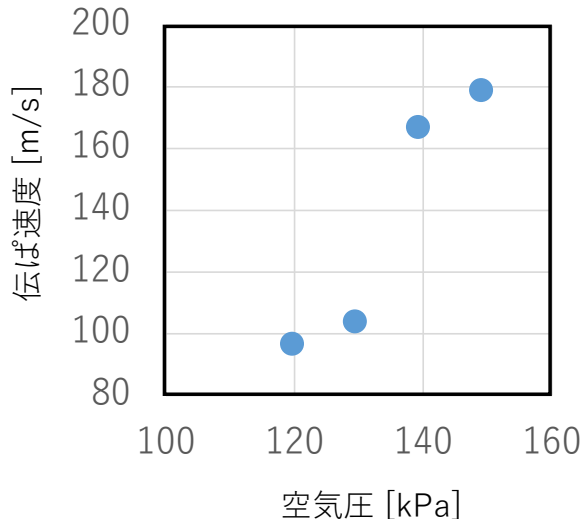


図 6 打ち出し圧力（空気圧）と
衝撃圧伝ば速度の関係

3. 3 植物種子の発芽に及ぼす衝撃水圧の影響

植物種子の発芽能力に及ぼす衝撃水圧処理の影響を調べた．植物種子として，市販の大根種子を用いた．この種子を水圧室内部に配置し，衝撃圧処理を行った．打ち出し圧力は 120～250[kPa]とし，1 つの種子に 1 回の衝撃圧処理を加えた．また，同じ処理条件で 10 個の種子を準備した．

種子の発芽実験手順を以下に示す（図 7）．

- ①衝撃圧処理を施した種子と施さない種子をそれぞれプラスチック容器内の寒天培地に埋め込む．
- ②プラスチック容器を恒温チャンバーに置き，一定温度を保持する．
- ③種子の様子（発芽の有無）を目視にて観察する．

また，図 7 に示す LED 光源のオン，オフを切り替え，あるいはプラスチック容器をアルミ箔で覆うなど光の条件を変えて，これらが植物種子の影響に及ぼす影響を調べた．

図 8 は，大根種子に衝撃水圧処理を施した後の様子を表している．打ち出し圧力が高いほど，細かな破片に破壊されることが観察された．図 9 に各打ち出し圧力処理後の種子の発芽率を示す．130[kPa]超の打ち出し圧条件では，発芽率は 0%であり，衝撃圧処理によって種子の発芽能力を消失可能であることが確認された．この結果は，BP の利用拡大と新し

い再生可能エネルギー技術の確立において、重要な意味を持つ。

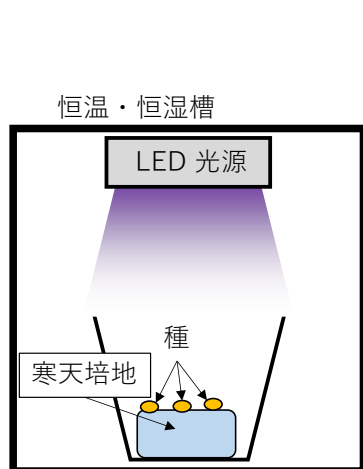


図7 種子発芽実験装置の構成

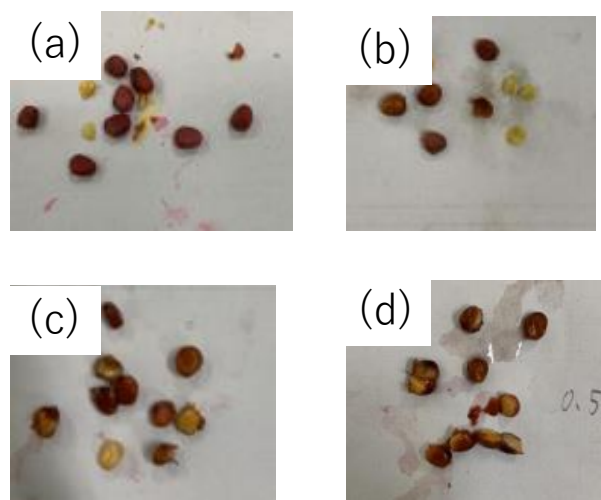


図8 衝撃水圧処理による種子の破壊

(a)120 [kPa], (b)130 [kPa], (c) 140 [kPa], (d) 150 [kPa]

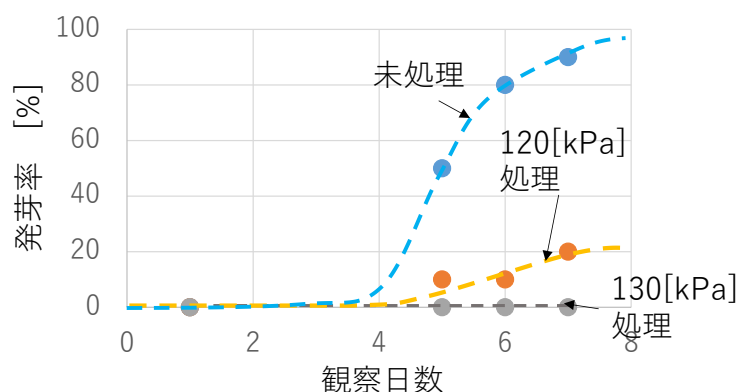


図9 衝撃水圧処理が種子の発芽率に及ぼす影響

3. 4 植物の細胞組織に及ぼす衝撃水圧の影響

衝撃水圧による植物の細胞組織の破壊、特に細胞壁の破壊の有無を調べた。植物として、市販の玉ねぎの皮を用いた。試料（玉ねぎの皮）を水圧室内部に配置し、衝撃圧処理を行った。打ち出し圧力は120～150[kPa]とし、1つの試料に1回の衝撃水圧処理を加えた。試料を酢酸カーミン液で染色し、光学顕微鏡を用いて観察した。

図10(a), (b)はそれぞれ、衝撃水圧未処理、150[kPa]処理を施した玉ねぎの皮の細胞組織観察結果である。いずれにおいても細胞壁が観察された。したがって、本研究で実施した衝撃水圧処理では、植物の細胞組織（細胞壁）を破壊するには至らないことが確認された。以上より、図8に示した大根においても、衝撃水圧による細胞組織の破壊は生じていない可能性がある。一方で、細胞組織の破壊（ミクロな破壊）が生じていない場合でも、衝撃

水圧処理によって、植物の発芽能力が消失する可能性が示された。

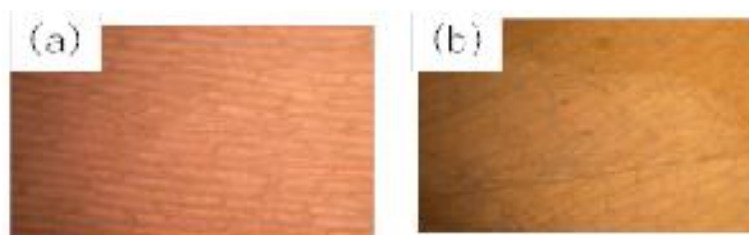


図 10 衝撃水圧処理による植物（玉ねぎ）の細胞組織 (a)未処理, (b) 150 [kPa]処理後

4. 本研究を実施したグループに属する主な研究者の氏名、職名

徳永仁夫・鹿児島工業高等専門学校 機械工学科 准教授

東雄一・鹿児島工業高等専門学校 機械工学科 准教授

南金山裕弘・鹿児島工業高等専門学校 機械工学科 教授

5. 研究実施時期

平成 31 年 4 月 1 日から 令和 2 年 12 月 31 日まで

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

坂元亮太, 徳永仁夫, 水中衝撃波が植物種子の発芽に及ぼす影響, 日本機械学会九州支部
沖縄講演会講演論文集, 2019 年 11 月

7. 内外における関連研究の状況

〔水中衝撃圧の産業応用〕 水中衝撃圧の応用として、金属加工、医療（結石の破碎）などで実用化が進んでいる。また、食品加工分野でも注目されている。すなわち植物に水中衝撃圧処理を施すことで、スポーリングによる細胞壁破壊に伴う植物液化が生じる。さらにこの植物液化の際、熱の発生が生じず処理も極短時間で行うことが可能で、植物の成分を損なうことなく加工できる新手法として注目されている。

〔水中衝撃波を用いた水質浄化に関する研究の現状〕 水中を伝ばする衝撃圧によって、大腸菌群や微生物の死滅処理ができることが報告されている。しかしながら、これら先行研究では衝撃波発生に爆薬や大電流を必要としており、誰にとっても使いやすく安全な手法とは言えない。

8. 今後の発展に対する希望

本研究では消化液中の雑草種子に着目し、水中衝撃圧処理が種子の発芽能力消失に効果的であることを明らかにした。発将来的には消化液の殺菌（微生物や菌類の死滅処理）にも適用し、水中衝撃波を用いた安全な先進的環境技術（消化液の浄化法）を確立する。