

## <講演録>

### ビーム・サーベルで農業！未来のプラズマ農場とは？

### Beam Sabers for Farming! What Are Plasma Farms of the Future?

金子俊郎\*

Toshiro Kaneko

#### I. はじめに：ビーム・サーベルからプラズマ農業へ

本講演は、「ビーム・サーベル～プラズマ農業プロジェクト」の最終成果報告として行ったものである。まず、本研究プロジェクトの体制について簡単に紹介する。本プロジェクトは、核融合科学研究所の伊藤篤史先生をはじめ、東北大学の笠田竜太先生、東谷篤志先生、佐々木涉太先生、ならびに本研究室の学生メンバーの協力によって進められてきた。また、協力機関として宮城大学の菊地郁先生、農業生産法人 Punks Farmer、菊地農園、さらにプラズマ装置製作企業である魁半導体の支援を受けている。

ここで簡単に自己紹介をしておく。私は 1969 年生まれであり、小学生の頃にテレビアニメ『機動戦士ガンダム』に強く影響を受けた世代である。初めて手に入れたガンプラはジオングであり、以来、最も好きなモビルスーツはジオングである。その後、東北大学工学部に進学し、学部 4 年次に研究室配属を迎えた。配属先はプラズマ研究室であったが、実は第一希望ではなく、じ沅けんで負けて第三希望として配属されたものである。しかし、結果的にプラズマ研究の面白さに強く惹かれ、そのまま大学に残り、現在に至っている。人生何が転機になるかは分からぬ。私の座右の銘は「人間万事塞翁が馬」であり、本講演には、若い世代へのささやかなメッセージも込めている。

ガンダムと研究が結びつく大きな転機は、2013 年 3 月に東北大学で開催された研究会での懇親会であった。そこで伊藤篤史先生とガンダム談義で盛り上がったことが、9 年後に共著『機動戦士ガンダム 宇宙世紀 vs 現代科学』<sup>1)</sup>の執筆へとつながった。偶然にも、同時期にガンダムオープニングイノベーションの公募があり、「宇宙世紀の矛と盾」チームとして採択された。さらに翌年には公認プロジェクトとして本研究「ビーム・サーベル～プラズマ農業プロジェクト」が始動した。

#### II. 現代科学におけるビーム・サーベル

「ガンダムのビーム・サーベルは現代科学で実現できるのか」という問い合わせに対し、私の答えは「可能」である。ビーム・サーベルの設定では、ミノフスキーパーティクルが I フィールドによって剣状に閉じ込められると解釈できそうである。ミノフスキーパーティクルは、ほぼゼロの静止質量を持ち、正または負の電荷を帯びた粒子ということになっている。一方、I フィールドは、ミノフスキーパーティクルが形成する場という説がある。

---

\* 東北大学大学院工学研究科

これを現代科学に置き換えると、ミノフスキー粒子はプラズマ粒子と、I フィールドは磁場（マグネティックフィールド）と対応づけることができる。プラズマとは、正の電荷を持つイオンと負の電荷を持つ電子が混在した状態であり、強い磁場を用いることで空間的に閉じ込めることができる。この原理は、核融合研究をはじめとする多くのプラズマ研究分野で確立されている。

我々は、この考え方に基づき、現代科学的なビーム・サーベルの試作を行った。現在のプラズマ装置では磁場による閉じ込めは行っておらず、プラズマを噴出しているのみである。また、物体を切断することはできないが、人が触れても安全な低温プラズマによって「優しいビーム・サーベル」を実現している。実際に 1/60 スケールのガンプラにも持たせることが可能である。

### III. プラズマとは何か ——第四の物質状態

プラズマとは物質の状態の名称である。水を例にとると、固体（氷）、液体（水）、気体（水蒸気）という三つの状態が存在する。気体にさらにエネルギーを加えると、分子を構成する原子から電子が引き剥がされ、正電荷のイオンと負電荷の電子に分離する。この電子とイオンが混在した状態がプラズマであり、固体・液体・気体に続く「物質の第四の状態」と呼ばれている。

現在知られている宇宙の物質の 99.99999% はプラズマ状態であるとされている。太陽やオーロラ、雷もプラズマの一種である。人類の技術の発展により、人工太陽を実現する核融合プラズマのように数千万度から数億度に達する高温プラズマも生成可能であるし、一方で人が触れても熱くない低温プラズマも生成できるようになった。特に後者は、真空中ではなく、大気中でも生成できるという点で画期的であり、この特性によっていろいろな物に当てることができる。この低温プラズマが、生体や植物に有益な作用を示すことが近年明らかになってきた。

プラズマの生成過程では、電子やイオンに加えて「活性種」と呼ばれる反応性の高い分子が生成される。これらの活性種が、植物や人体に作用する際に重要な役割を果たすため、我々は活性種の制御合成とその応用を主要な研究対象としている。

### IV. プラズマ農業（プラズマアグリ）の概念

プラズマを農業に応用する研究、すなわち「プラズマ農業」は、決して突飛な発想ではない。日本語で雷を「稲妻」と呼ぶことには諸説あるが、稲の成長を助ける存在として雷が捉えられていたという説もある。実際、雷の多い年は稲がよく育つという経験則も古くから知られている。

科学的研究の結果、空気を原料としたプラズマは、植物成長に必要な窒素肥料としての効果や殺菌効果を持つことが明らかになってきた。また、植物にプラズマを照射することで、病原菌に感染しにくくなることや、特定の機能性成分が増加することも分かっている。

これらの知見を基に、我々はプラズマを活用した新しい農業システムを「プラズマアグリ」と命名し、東北大学において商標登録を行った。将来的には、空気を原料としたプラズマを用いることによって、外部から化学肥料や化学農薬を持ち込みず、エネルギーも再生可能エネルギーで賄う「サステナブルファーム」の実現を目指している。

## V. ビーム・サーベルで農業：プラズマ合成五酸化二窒素ガスの利用

我々の取り組んできた「ビーム・サーベル～プラズマ農業プロジェクト」では、プラズマによって生成した五酸化二窒素 ( $N_2O_5$ ) という活性種を植物に利用する。空気中の窒素、酸素、水を原料とし、低温ガスプラズマ反応器でオゾンを、高温ガスプラズマ反応器で二酸化窒素や一酸化窒素を生成し、それらを混合させることで五酸化二窒素を高選択的に合成する。この手法により、五酸化二窒素を選択比 10 倍以上で生成できることを実証している<sup>2)</sup>。

五酸化二窒素は水と非常によく反応し、硝酸イオンを生成する。この硝酸イオンは植物にとって重要な窒素肥料である。我々は、五酸化二窒素が窒素肥料として有効であることを実験的に明らかにした<sup>3,4)</sup>。さらに、反応過程で一時的に生成されるニトロニウムイオンが植物細胞のカルシウム応答を誘起し<sup>5)</sup>、植物免疫の活性化<sup>6)</sup>や機能性成分の増加<sup>7)</sup>につながることも明らかにしている（図 1）。

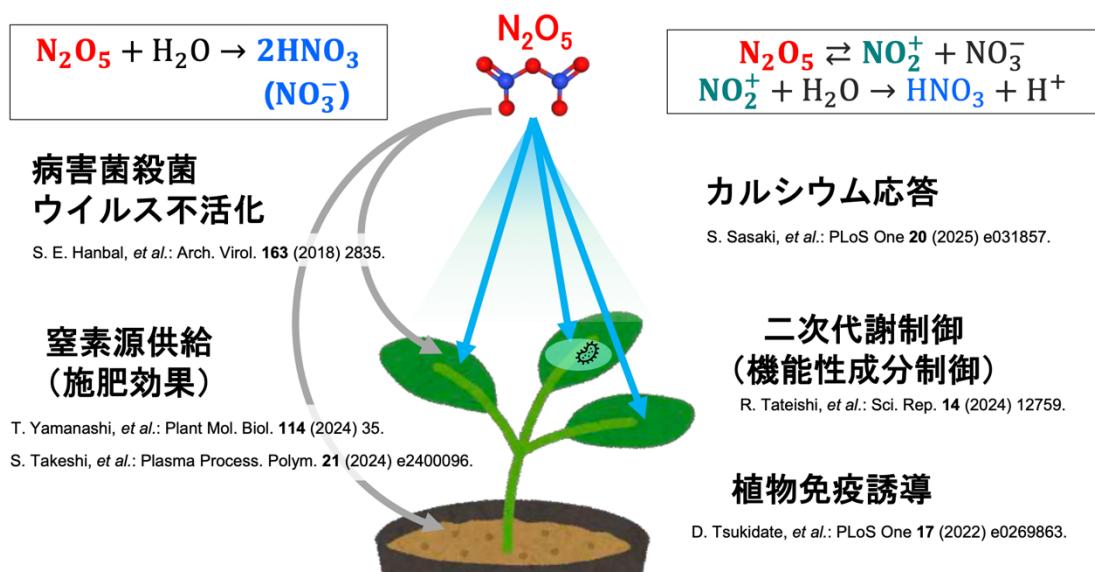


図 1. プラズマ合成五酸化二窒素噴霧により期待できる効果（筆者ら作成）

具体的には、窒素肥料に関する実験では、窒素欠乏条件下においてプラズマ合成五酸化二窒素を噴霧した植物が良好に成長することを示した。また、五酸化二窒素は水への溶解度が極めて高く、ほぼ 100% の溶解度で、水中で硝酸イオンに変換されることを明らかにした。これは非常に効率的な窒素供給法である。さらに、シロイヌナズナを用いた実験では、五酸化二窒素の噴霧により植物免疫関連遺伝子の発現が誘導され、病原菌感染が大幅に抑制されることを確認した。また、スイートバジルを用いた研究では、特定の精油成分が最大で 1.8 倍程度に増加することも明らかにしている。

## VI. 未来の農場へ：サステナブルファームと宇宙農業

これらの成果を基に、我々はプラズマ噴霧によるサステナブルファームの実現を目指している（図2）。この技術は地球上での農業だけでなく、将来的な月面基地や宇宙ステーションでの農業への応用も期待できる。閉鎖環境下での食料生産において、プラズマ技術は有力な選択肢となり得る。

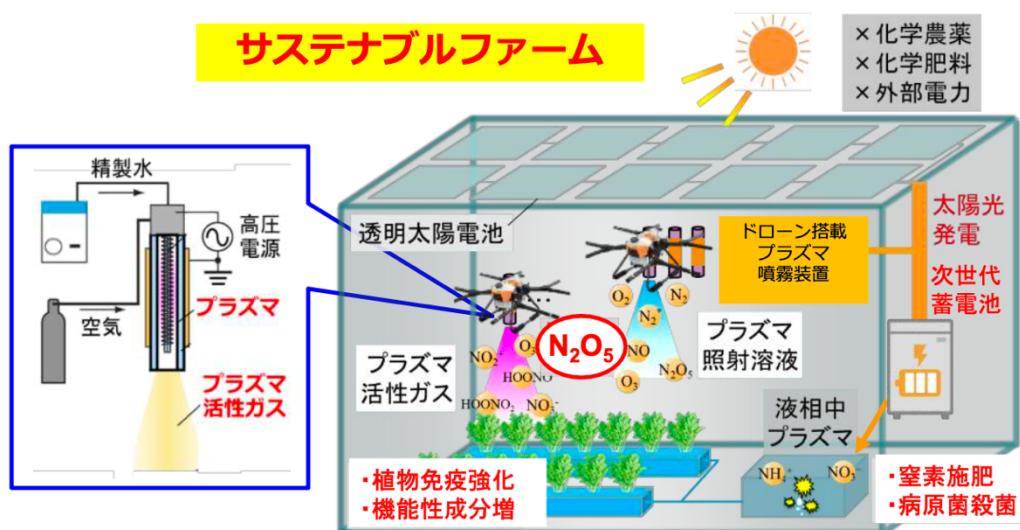


図2. プラズマを用いたサステナブルファームのイメージ（筆者ら作成）

本研究の一部は、大阪・関西万博「GUNDAM NEXT FUTURE PAVILION」でも取り上げられた。ガンダムという作品起点に、現代科学と未来社会をつなぐ試みとして、今後多くの研究者や企業と連携しながら研究を発展させていきたい。

本講演を通じて本研究に興味を持たれた方がいれば、ぜひ今後、一緒に研究を進めていければ幸いである。

### 文献

1. 伊藤篤史, 笠田竜太, 金子俊郎, 福田努, 小池耕彦, 坂本貴和子, 機動戦士ガンダム 宇宙世紀 vs. 現代科学, マイナビ出版, 2022年3月28日.
2. Sasaki, S., Takashima, K., & Kaneko, T. (2021). Portable plasma device for electric  $N_2O_5$  production from air. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(1), 798-801.
3. Yamanashi, T., Takeshi, S., Sasaki, S., Takashima, K., Kaneko, T., Ishimaru, Y., & Uozumi, N. (2024). Utilizing plasma-generated  $N_2O_5$  gas from atmospheric air as a novel gaseous nitrogen source for plants. *Plant Molecular Biology*, 114(2), 35.

4. Takeshi, S., Takashima, K., Sasaki, S., Higashitani, A., & Kaneko, T. (2024). Plasma nitrogen fixation for plant cultivation with air-derived dinitrogen pentoxide. *Plasma Processes and Polymers*, 21(10), e2400096.
5. Sasaki, S., Iwamoto, H., Takashima, K., Toyota, M., Higashitani, A., & Kaneko, T. (2025). Induction of systemic resistance through calcium signaling in *Arabidopsis* exposed to air plasma-generated dinitrogen pentoxide. *PLoS One*, 20(2), e0318757.
6. Tsukidate, D., Takashima, K., Sasaki, S., Miyashita, S., Kaneko, T., Takahashi, H., & Ando, S. (2022). Activation of plant immunity by exposure to dinitrogen pentoxide gas generated from air using plasma technology. *PLoS One*, 17(6), e0269863.
7. Tateishi, R., Ogawa-Kishida, N., Fujii, N., Nagata, Y., Ohtsubo, Y., Sasaki, S., Kaneko, T., & Higashitani, A. (2024). Increase of secondary metabolites in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves by exposure to  $N_2O_5$  with plasma technology. *Scientific Reports*, 14(1), 12759.

