

## 大気圧空気プラズマを用いた持続可能な農業

世界的な人口増加に伴う食料需要の増大に対応するため、農業生産の効率化が求められている。一方で、従来の農業では化学肥料や化学農薬への依存が高く、環境負荷の増大や資源制約といった課題が指摘されている。そのため、農業生産性を維持しながら環境負荷を低減する持続可能な農業技術の開発が重要な課題となっている。本研究では、身の回りに存在する空気を原料とする大気圧空気プラズマを利用し、農業分野への応用を目指した新しい技術を提案する。

大気圧空気プラズマは、数十 W～数百 W 程度の電力(高電圧)によって生成され、プラズマ中ではオゾン(O<sub>3</sub>)、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)、ヒドロキシラジカル(OH)などの多様な活性種が生成される。我々はプラズマ反応を精密に制御することで、極めて反応性の高い活性種である五酸化二窒素(N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)を効率的に合成する独自技術を開発した。N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ガスは水に非常に溶解しやすく、水と反応して硝酸イオン(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)を生成する。この特性を利用することで、N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ガスを植物に噴霧することにより窒素肥料として利用することが可能である。さらに、葉面処理によって植物の病害抵抗性の向上や機能性成分の増加が確認されている。また、N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 濃度を高めることでウイルスの不活化や病原菌の殺菌効果を示すことも実証している。

本技術の大きな特徴は、原料が空気であるため原料コストがほぼ不要である点にある。さらに、プラズマ生成に必要な電力を再生可能エネルギーで賄うことで、低コストかつ環境負荷の小さい運用が可能となる。したがって、大気圧空気プラズマによって合成される N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> は、化学肥料や化学農薬の代替技術として大きな可能性を有する。さらに、本技術は空気と電力のみを原料とするため、農地や施設内でのオンサイト生成が可能であり、大規模農業から小規模農業まで幅広い環境での導入が期待される。また、装置のモジュール化によりシステムの拡張が容易であり、地域規模から産業規模まで柔軟なスケール展開が可能である。これにより、本技術は持続可能な農業を実現するための新しい基盤技術として、世界各地での実装に貢献することが期待される。

## Sustainable Agriculture Using Atmospheric-Pressure Air Plasma

To meet the growing global demand for food driven by population growth, improving agricultural productivity is essential. However, conventional agriculture relies heavily on chemical fertilizers and pesticides, which raises concerns regarding environmental impacts and resource sustainability. Therefore, the development of innovative agricultural technologies that maintain productivity while reducing environmental burdens has become an important global challenge. In this study, we propose a novel agricultural technology based on atmospheric-pressure air plasma, which uses ambient air as the feed gas.

Atmospheric-pressure air plasma can be generated using electrical power (high voltage) of several tens to several hundreds of watts. Within the plasma, various reactive species are produced, including ozone (O<sub>3</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and hydroxyl radicals (OH). By precisely controlling the plasma reaction processes, we have developed a unique technology to efficiently synthesize dinitrogen pentoxide (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), an extremely reactive species. N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gas is highly soluble in water and reacts with water to form nitrate ions (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). By utilizing this property, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gas can be sprayed onto plants and used as a nitrogen fertilizer. In addition, foliar treatment with N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> has been shown to enhance plant disease resistance and increase functional compounds in crops. Furthermore, at higher concentrations, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gas has demonstrated the ability to inactivate viruses and sterilize pathogenic microorganisms.

A key advantage of this technology is that ambient air is used as the feedstock, resulting in essentially zero raw material cost. Moreover, if the electricity required for plasma generation is supplied by renewable energy, the system can operate with minimal environmental impact and low operational cost. Therefore, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> synthesized by atmospheric-pressure air plasma has strong potential as an alternative to conventional chemical fertilizers and pesticides. Furthermore, because this technology requires only air and electricity, on-site generation directly in agricultural fields or facilities is feasible. The plasma system can also be modularized, enabling flexible expansion depending on agricultural scale. This allows the technology to be applied across a wide range of farming environments, from small-scale farms to large-scale agricultural production systems. Consequently, this approach offers significant potential for scalable deployment of sustainable agricultural technology worldwide.