

修士学位論文要約（令和4年3月）

植物病害防除のための空気プラズマ生成活性種輸送

関根 崇文

指導教員：金子 俊郎， 研究指導教員：高島 圭介

Improvement in Air Plasma Generated Reactive Species Transport for Plant Pathogen Control Takafumi SEKINE

Supervisor: Toshiro KANEKO, Research Advisor: Keisuke TAKASHIMA

Atmospheric pressure air plasmas are known to exert anti-bacterial effect with highly reactive inorganic species generated from air and water, attractive property for pathogen control in the farming field. However, such plasma device applicable in the farming field has been rarely realized. A cause of this lies in difficulties in controlling the reactive species transport, suppressing plant pathogens without any adverse effects on plants. Previously, we have developed the plasma effluent gas dissolved solution (PEGDS) spray device¹⁾, which realized efficient treatment at 10 cm away with dissolved ozone, while the gas phase ozone, the source of dissolved ozone, is known related to *A. thaliana* damage²⁾. In this study, we have focused on a PEGDS device development improving ozone transport capability to treat pathogen at far (> 10 cm) with controlled dissolved ozone and low gas phase ozone emission to minimize damages on plant.

1. はじめに

大気圧プラズマは空気と水から殺菌・抗菌作用を発揮する反応性の高い活性種を生成することが知られており、農業分野における病原体対策への応用が期待されている。しかし、大気圧プラズマ生成活性種による病原体不活化を生育中の植物に対して使用する病害防除への応用は困難が伴う。これは、活性種による植物病原体不活化と植物障害抑制の両立が必要となることが一因である。我々はこれまで、噴霧距離 10 cm, 処理時間 10 秒以下の近距離で病原体不活化が可能な液相オゾンを用いたプラズマ活性ガス溶解液 (PEGDS) 噴霧装置の開発と[1], 気相オゾンが関与していると考えられるシロイヌナズナの障害を報告した[2]。そこで本研究では、気相オゾンの植物体への暴露を抑止しつつ、液相オゾンの病原体不活化効果の機序を積極的に利用し、不活化能力の増強を図ると同時に、障害を与えないよう液相オゾン濃度を制御して輸送できる新たな PEGDS 噴霧装置を開発することを目的とする。

2. PEGDS 噴霧装置の開発

本研究では空気プラズマ活性ガス生成装置・PEGDS 生成部それぞれに対して改良を行った。空気プラズマ活性ガス生成装置についてはガス温度上昇による気相オゾン生成阻害を低減するため、放電長を 100 mm ごとに分割し、分割区間で活性ガス流路を水冷する、新たなオゾン生成器を作製した。これにより、これまで電極印加電圧増加に伴うオゾン密度低下として観測され

ていた温度上昇の影響が、図 1(a)に示す通り、印加電圧に対し単調に増加するオゾン生成特性が得られた。さらに、これまで温度上昇のためオゾン生成できなかった、4 slm 以下の空気流量 (F_{air})

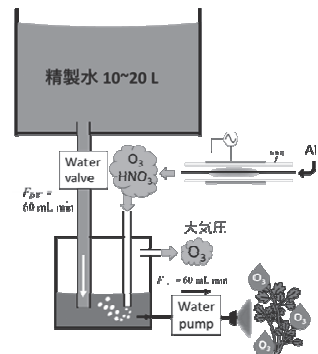
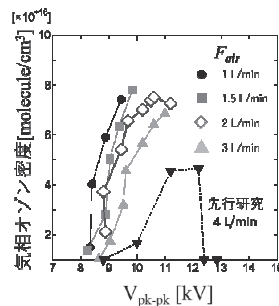


図 1 (a) 電極印加電圧—気相オゾン密度特性
(b) PEGDS 生成部概略図

においてもオゾン生成が可能となり、これまでよりも高密度のオゾン生成が可能となった。

オゾンを溶解させる PEGDS 生成部 (図 1 (b)に概略図を示す) では、生成溶存オゾンの高濃度化・硝酸による溶解液の低 pH 化の軽減・気相オゾン排出量の低減を実現するために、気相オゾンを含むプラズマ活性ガス(PEG)と精製水(DW)を混合容器に同時供給してバブリングすることで液相オゾンを含む PEGDS を連続噴霧する装置を作製し、PEGDS の低 pH 化を軽減しつつ溶存オゾンを対象に噴霧することが可能となった。

3. 病原体不活化の噴霧距離特性

これまで病原体不活化が困難であった噴霧距離 20 - 30 cm における溶解液中オゾン濃度を計測した。噴霧ノズル直下における噴霧距離 D [cm] の位置で 5 秒間捕集した溶解液に対して溶存オゾン濃度計測を行った。噴霧距離 20 cm の時点で溶存オゾン濃度が $1.5 \mu\text{M}$ 程度となった (図 2)。これまでの研究[1]から、殺菌効果が観測できる濃度閾値が $1\mu\text{M}$ 程度であるため、これまでより遠方での殺菌効果が期待できる。同条件で、イチゴ炭疽病菌 *Collectotrichum gloeosporioides* (*C.gloeosporioides*) の分生子懸濁液に対して噴霧を行い発芽率計測を行った。分生子と接触する溶存オゾン濃度が $1 \mu\text{M}$ 以上で分生子発芽率が減少し、これまでよりも遠方での分生子発芽抑制に

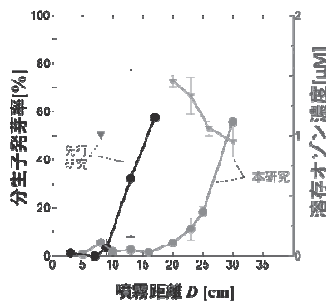


図 2: *C.gloeosporioides* 分生子発芽率・溶存オゾン濃度—噴霧距離依存性。

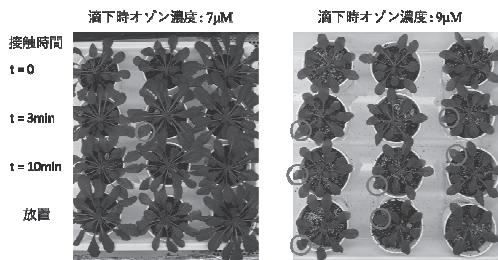


図 3 溶存オゾン濃度・接触時間-シロイヌナズナ可視障害

成功した。また、病原体不活化効果を発揮する濃度閾値がこれまでと同様で、オゾンの効果が発揮されていると考えられる。

一方、溶解液生成部での溶存オゾン濃度計測から、装置外部で採取された噴霧液滴中オゾン濃度は、溶解液生成部の 5%程度であり、液滴となって噴霧対象に到達する 1 秒以内に 90%以上の溶存オゾンが大気中に損失していることも新たに明らかとなり、ガス中にオゾンが含まれない大気に噴霧したことによる揮発が考えられる。

尚、既出の電圧、空気流量以外にも、噴霧液滴径、溶解液生成部での各種パラメータなどにより、60cm までの遠方での、噴霧液滴中オゾン濃度を制御できることを実証した。

4. 植物可視障害の観測

本研究で開発した装置では、気相オゾンは装置から噴霧されずダメージの低減が期待できる。一方で、液滴中オゾン濃度はこれまでよりも高くできるため、オゾンを含む液滴による植物体へのダメージが主な障害要因となりうる。そこで、シロイヌナズナ葉に調整した溶存オゾン濃度の溶解液 $20 \mu\text{L}$ を滴下し、一定時間間接触させた後精製水によって溶解液を洗い流す実験を行い、溶存オゾンのダメージ検討を行った。図3に示すように、 $7 \mu\text{M}$ の溶存オゾン濃度では、接触時間に関わらず可視障害は観測されなかった。しかし $9 \mu\text{M}$ の溶解液を接触させると 3 分以上の接触時間で溶解液滴下位置に白斑などのダメージが観測された。この結果より溶存オゾン濃度・溶解液の接触時間に植物ダメージの閾値がある可能性が新たに明らかとなり、病原体不活化による病害防除への応用のためには、病原体の不活化閾値濃度と宿主植物のオゾン障害閾値濃度・接触時間を制御する処置の必要性が考えられる。

5. まとめ

本研究では、植物ダメージの抑制と病原体不活化の両立のために PEGDS 噴霧装置改良を行い、溶解液中溶存オゾン濃度、病原体不活化効果、植物ダメージ発現の関連性を実験によって検証した。植物体・病原体に対する実験により、接触する溶存オゾン濃度・溶存オゾンとの接触時間によってダメージの程度が異なり、ダメージが発現する濃度・接触時間の条件は植物体・病原体でそれぞれ異なることが示唆された。この条件の差を利用する制御された溶存オゾン噴霧の重要性が明らかとなり、本研究ではその制御法も確立した。

文献

- 1) K. Takashima, Y. Hu, T. Goto, S. Sasaki, and T. Kaneko: *J. Phys. D: Appl. Phys.* **53**, 354004 (2020).
- 2) K. Takashima, A.S.B.A. Nor, S. Ando, H. Takahashi, T. Kaneko: *Jpn. J. Appl. Phys.* **60**, 010504 (2021).