

プラズマ病害防除：プラズマ生成活性種の作用 Plasma Pathogen Control: Effect of Reactive Species Generated by Plasma

金子 俊郎，嶋田 啓亮，木村 豊，高島 圭介
KANEKO Toshiro, SHIMADA Keisuke, KIMURA Yutaka, TAKASHIMA Keisuke

東北大院工
Dept. of Electronic Eng., Tohoku Univ.

現在，日本および各国のさまざまな食料・農業問題の高まりから，新たな農作物の生育法が研究されており，プラズマを用いた病害防除機構の開発が注目されている[1,2]．プラズマ技術の農業応用上，広範囲・大面積のプラズマ処理は，その能力とコストが大きな課題である．このため，本研究では空気と水を用いた大気圧プラズマにより生成されるオゾン，過酸化水素，窒素酸化物，水酸基ラジカルなどの活性種を含むガス（プラズマ活性ガス）を用いることで，広範囲かつ植物の複雑な表面への活性種輸送を可能にし，これら活性種を用いた植物病害防除手法の検討を行っている．本研究では特に空気プラズマ活性ガスを用いた，イチゴや稲の病害防除手法の開発を目的としている．このプラズマ活性ガスの噴霧により，複雑な表面形状をもつ生育中の植物表面での殺菌による感染の低減が期待できる．さらに，例えば植物の免疫作用に働きかけることにより病状の改善が期待できる（図1）．

このプラズマ活性ガス噴霧による殺菌効果を検証するため，同軸円筒状電極構造の誘電体バリア放電により生成されたプラズマ活性ガスを，10 cm下流に置かれたガラス板上のイチゴ炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides*, (*C. glo.*)の分生子懸濁液に噴霧し，その発芽抑制効果について調べた．放電部から輸送される活性種の量や組成を変化させるため，空気に加えて水を液送ポンプで放電部に導入した．図2に空気プラズマ活性ガス噴霧によるイチゴ炭疽病菌分生子の発芽抑制効果を示す．空気プラズマ活性ガス噴霧時間が30～90秒で顕著な発芽抑制効果が見られ，放電部からの距離10 cmの位置でも有意な効果が得られることがわかった．また，空気に加え水を放電部に流入させることで発芽抑制効果が高まり，水導入が無い場合と比較すると半分以下の噴霧時間で同等の発芽抑制効果が得られることがわかった．この発芽抑制に必要な噴霧時間はプラズマ装置の処理面積を決定するため，噴霧時間の短縮は重要な課題であった．これまでの研究から，水導入量をさらに高めることで，発芽抑制に必要なプラズマ活性ガス噴霧時間を10秒にまで減らせることが明らかとなっている．

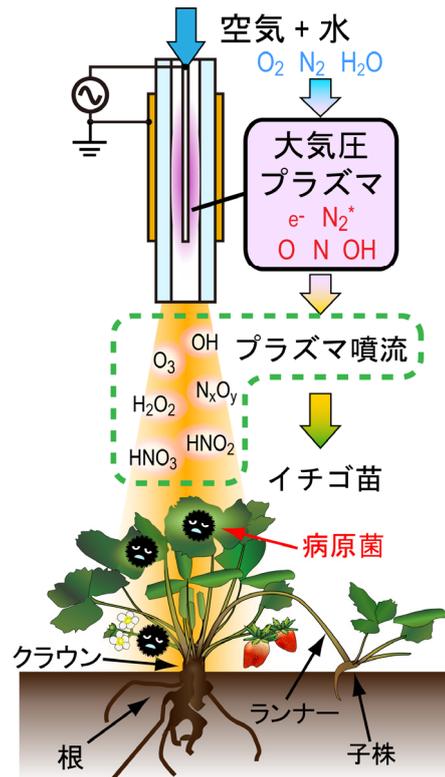


Fig. 1: Air plasma effluent exposure for pathogen control of strawberry plant.

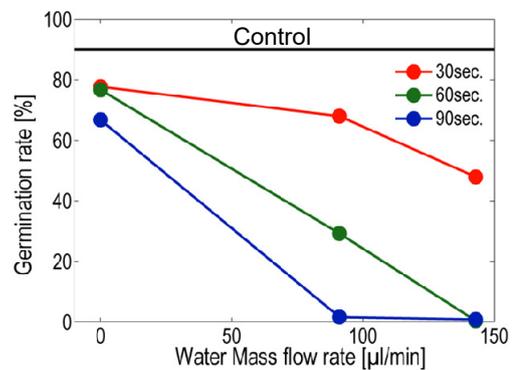


Fig. 2: Germination suppression effect by air/water plasma effluent exposure to *C.glo.* conidia suspension.

放電部への水導入量の増加に伴い変化するプラズマ活性ガス中の活性種をフーリエ変換赤外分光 (FT-IR) およびレーザー誘起蛍光法 (LIF) により調べた。図 3 に示すように、活性ガス中のオゾン (O_3) や亜酸化二窒素 (N_2O) は水導入に対する変化が小さく、発芽抑制効果との相関は見られなかった。その一方で、水由来と考えられる水酸基ラジカル (OH) は水導入量の増加とともに顕著な増加が見られた。しかしながら、この OH ラジカルも距離とともに急速に減少しており、放電部から 10cm 下流の噴霧対象のある位置ではほとんどの OH ラジカルが反応により消費されていると考えられる。この OH ラジカルの消費は、より安定な活性種の生成を示唆するため、 OH ラジカルに起因する活性種が単調に増加すると考えられる。

本プラズマ活性ガス噴霧における、活性ガス中の OH ラジカルとの関連が示唆される過酸化水素や硝酸・亜硝酸イオンの液中への輸送能力を評価した。図 4 に、プラズマ中への水導入量に対する、光吸収スペクトル (AS) およびパックテスト (RG) により求めた活性種の輸送量の依存性を示す。プラズマへの水導入量の増加に伴い、活性種は単調に増加している。これらの活性種と発芽抑制効果の関連が予想されたが、分生子懸濁液と同量の生成水に対しプラズマ活性ガスを噴霧した場合の過酸化水素や硝酸・亜硝酸イオン濃度 (図 5) では、プラズマ活性ガス噴霧未満の発芽抑制効果しか得られなかった。この結果から、分生子の発芽抑制には、上記の計測では検出されていない OH ラジカル由来の短寿命活性種の寄与が示唆される。また、プラズマ活性ガス噴霧による亜硝酸の消費が示唆される結果が得られており、この亜硝酸の消費に伴う液中での $ONOO^-_{aq}$ のような短寿命活性種の生成が期待される [3]。このように、気相で生成した比較的安定な活性種を液中に輸送して反応させ、噴霧対象の位置で短寿命活性種を生成する手法は、農業応用上大変有用と考えている。

講演では、植物免疫への作用という観点で、イネ病害への適用例 [2] についても紹介する。

- [1] G. Fridman, M. Peddinghaus, H. Ayan, A. Fridman, M. Balasubramanian, A. Gutsol, A. Brooks, and G. Friedman, *Plasma Chem. Plasma Process.* **26** (2006) 425.
 [2] A. Ochi, H. Konishi, S. Ando, K. Sato, K. Yokoyama, S. Tsushima, S. Yoshida, T. Morikawa, T. Kaneko, and H. Takahashi, *Plant Pathol.* (2016) in press.
 [3] P. Lukes, E. Dolezalova, I. Sisrova, and M. Clupek, *Plasma Sources Sci. Technol.* **23** (2014) 015019.

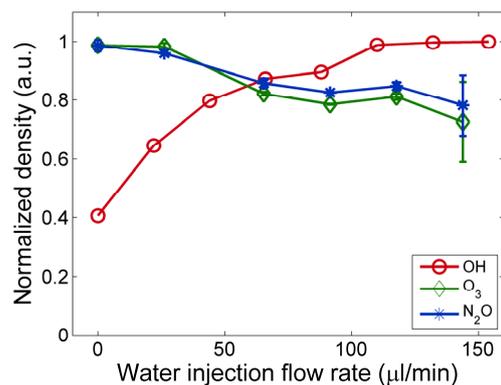


Fig. 3: Normalized gas phase reactive species density estimated with FT-IR and OH-LIF.

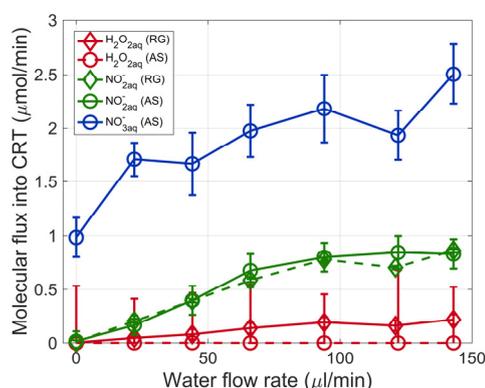


Fig. 4: Molecular flux into the circulating reactive species trap (CRT) with 80 ml DW estimated with RG: the reagent test kits for $NO_2^-_{aq}$ and $H_2O_2_{aq}$ after 5 minutes accumulation ($pH > 3.7$), and with AS: the absorption spectra fitting during the accumulation.

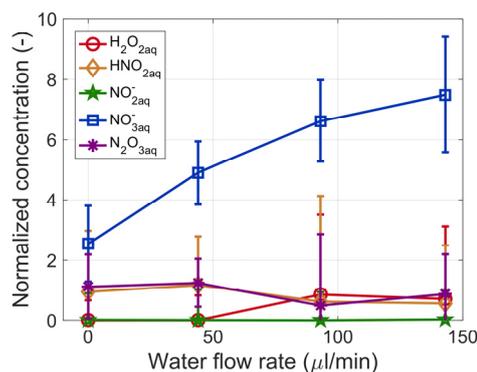


Fig. 5: Estimated concentrations of the liquid phase reactive species accumulated in the plasma exposed water droplets under fixed plasma effluent exposure time of 90 sec. Concentrations of $H_2O_2_{aq}$, HNO_2_{aq} , $NO_2^-_{aq}$, $NO_3^-_{aq}$, and $N_2O_3_{aq}$ are normalized by 7.0×10^{-1} , 1.8×10^{-1} , 1.2×10^{-1} , 3.0×10^{-1} , and 2.5×10^{-3} mM.