



経済産業研究所 BBL セミナー

2025年9月30日



空気プラズマを活用した未来の農業

金子 俊郎

東北大学 大学院工学研究科
非平衡プラズマ学際研究センター

プラズマは幅広い分野で使われています！



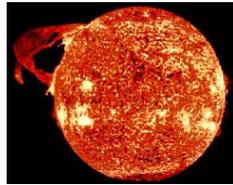
プラズマエンジン



雷



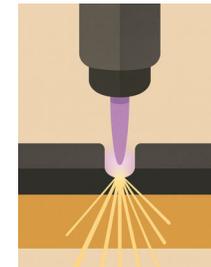
オーロラ



太陽



核融合

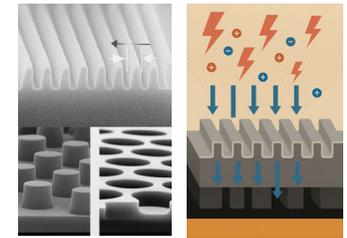


プラズマ溶断



ガンダム

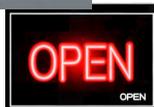
出典：機動戦士ガンダム 宇宙世紀vs.現代科学



半導体デバイス作製



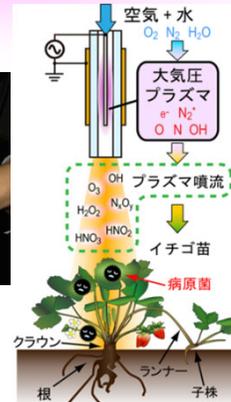
光源



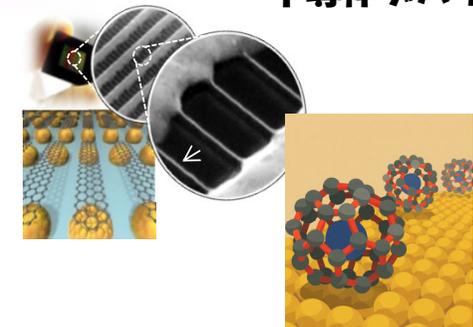
空気清浄器



医療応用

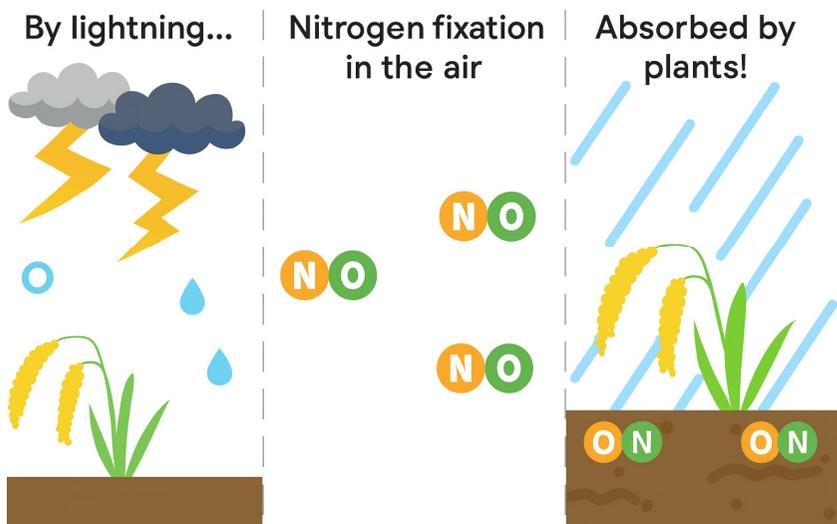


農業応用



新規ナノ物質の創成

稲妻



稲妻は、「稲の夫(つま)」の意味から生まれた語。古代、稲の結実時期に雷が多いことから、雷光が稲を実らせるという信仰があった。

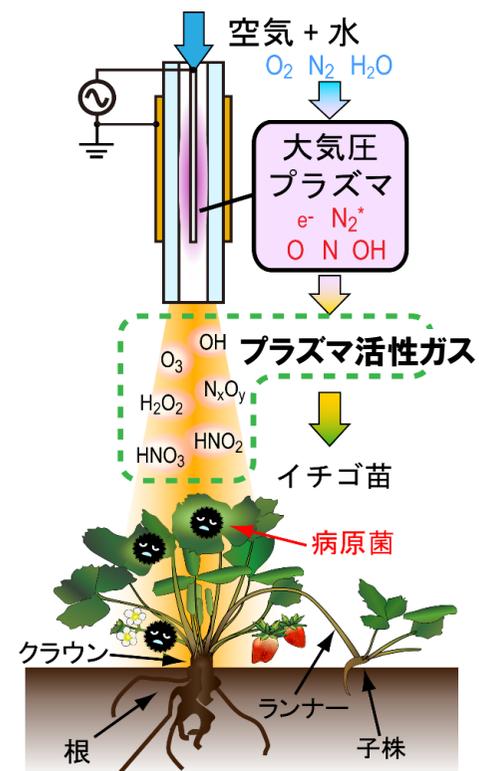
大気圧空気プラズマ

成長促進活性種による
減化学肥料栽培

殺菌作用活性種を活用した
減化学農薬栽培

免疫強化活性種による
植物免疫力向上

代謝制御活性種による
植物機能性成分増加



プラズマアグリ®

プラズマは物質の第四の状態

物質の三態

→ → →

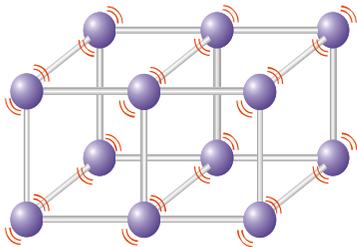
四態目

プラズマは真空容器内(減圧環境下)でないと維持できない

⇒ 真空容器内で固体の加工に使う

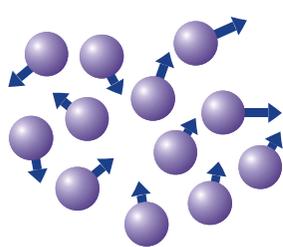
固体

原子・分子が規則正しく配列



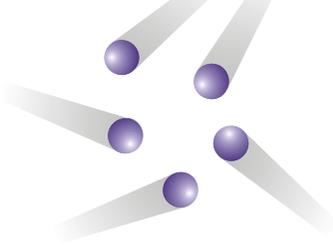
液体

原子・分子が自由に運動



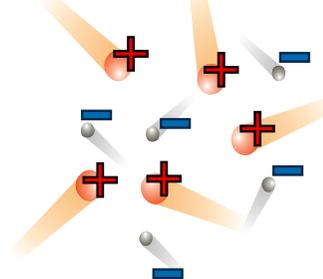
気体

原子・分子が激しく運動



プラズマ

電子が分離して電気を帯びる



2000年以降
ブレイクスルー

低

温度

高

高

密度

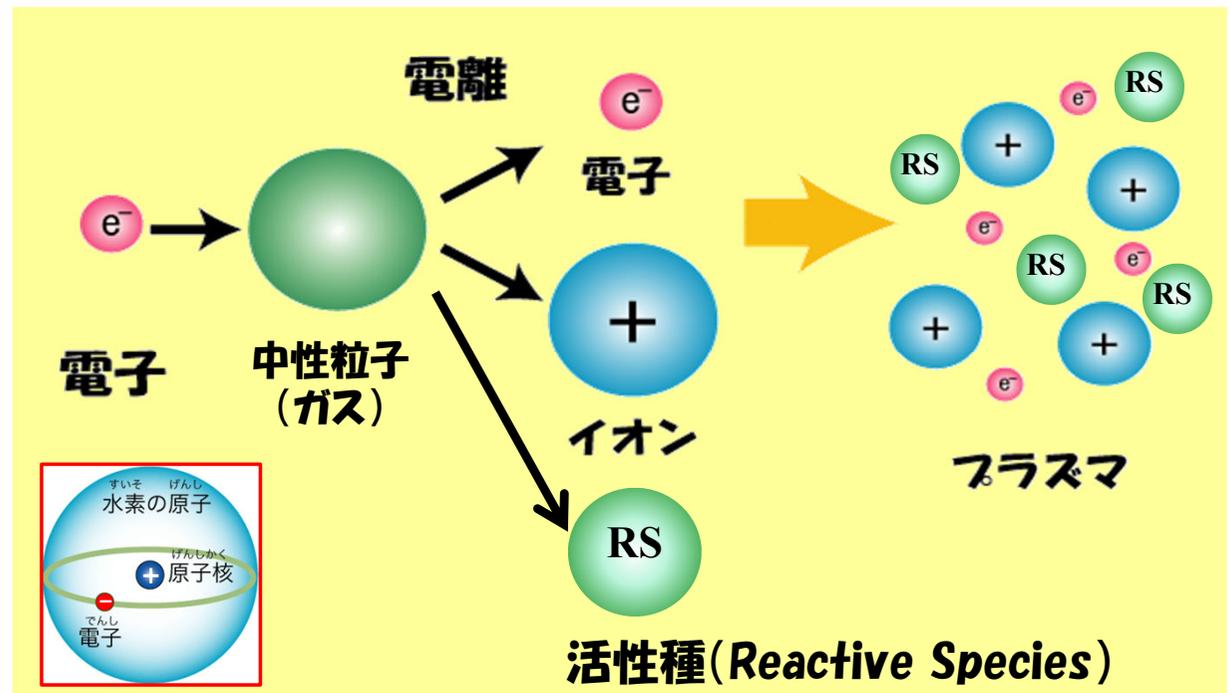
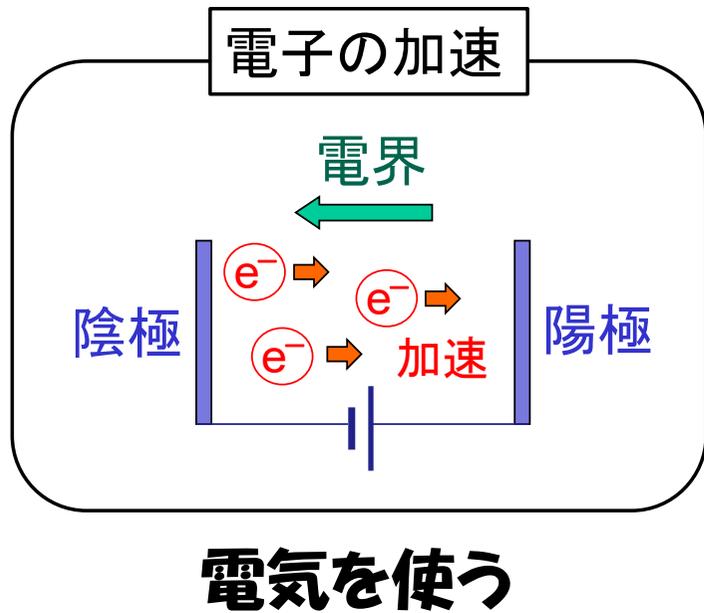
低

大気中や液体中でも維持できる
⇒ プラズマをいろいろなモノに“やさしく”あてられる

プラズマの応用範囲が格段に広がった！！

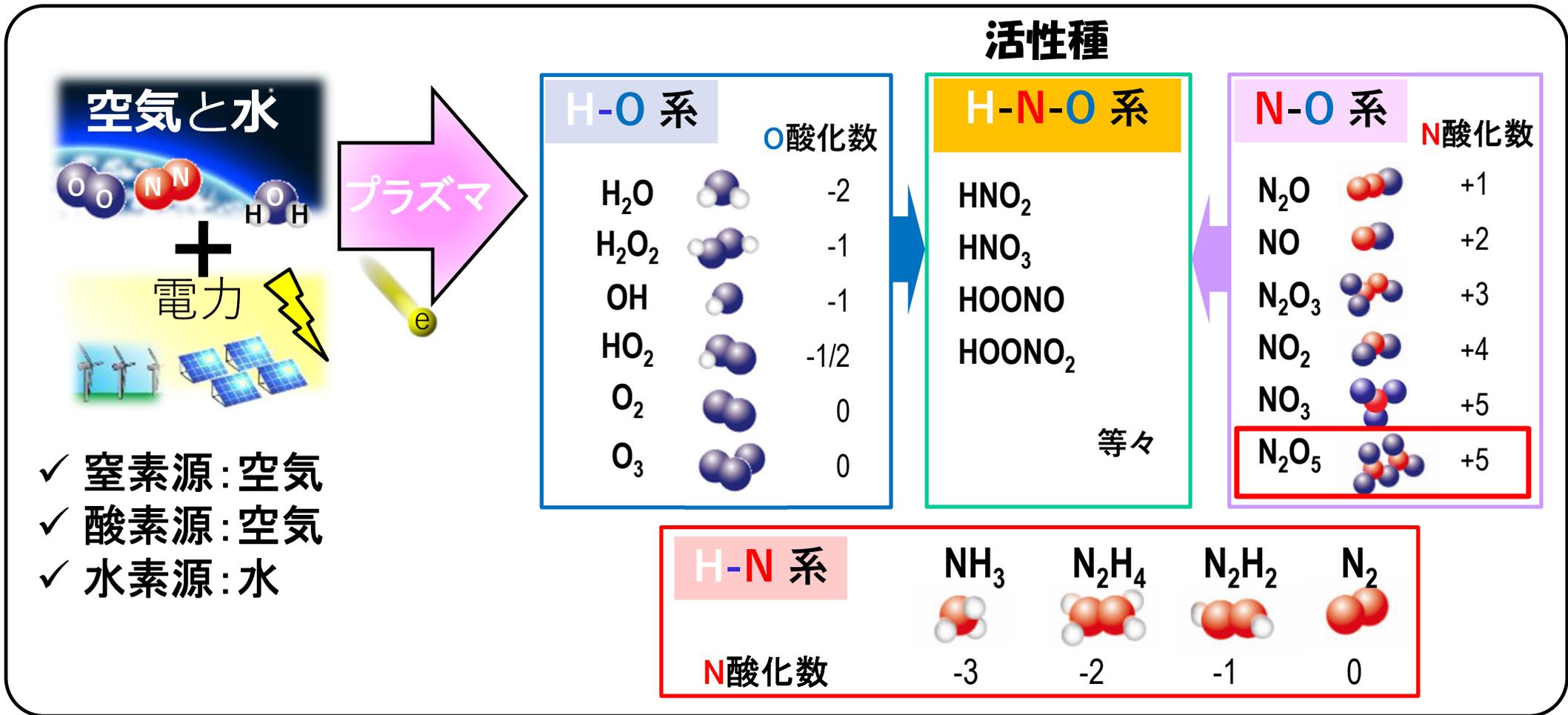
プラズマ中で種々の活性種が合成される

反応性の高い原子・分子 → 活性種



プラズマでどのような活性種が作られるのか？

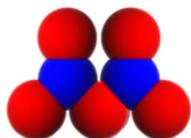
大気圧空気プラズマで合成される活性種



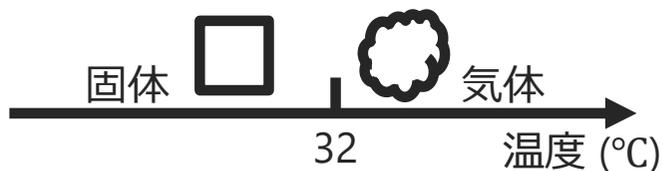
種々の活性種をプラズマで制御して合成することが重要！

五酸化二窒素 (N₂O₅) の特徴

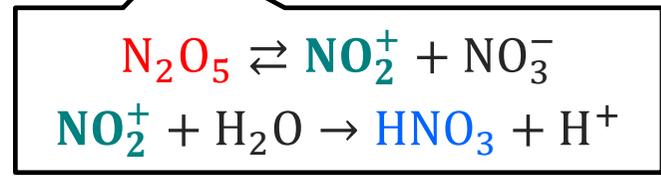
性質・特徴



化学式	N ₂ O ₅
分子量	108.01
別名	無水硝酸

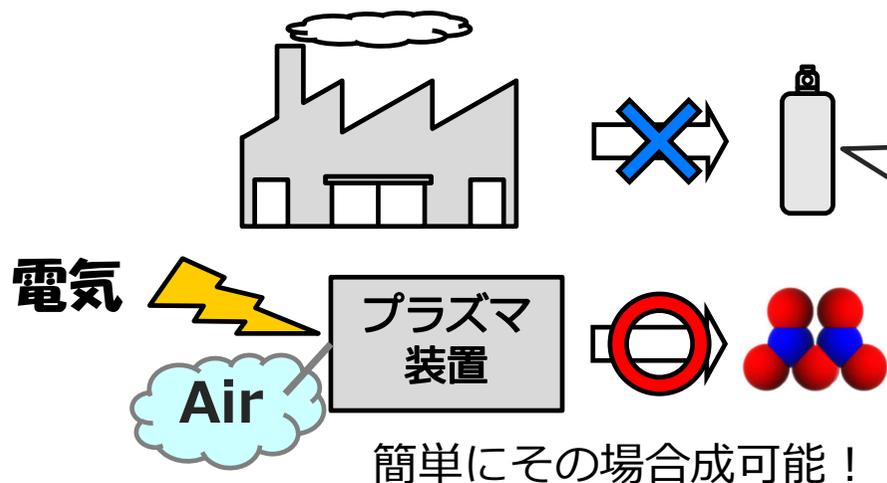


- ✓ 強い酸化・ニトロ化作用
 - ✓ 高い吸湿性 (水と反応しやすい)
- $(\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3)$
- 五酸化二窒素 硝酸



ニトロニウムイオン

N₂O₅ 選択合成における空気プラズマの有用性



- ✓ N₂O₅の合成は危険かつ環境負荷が大きい

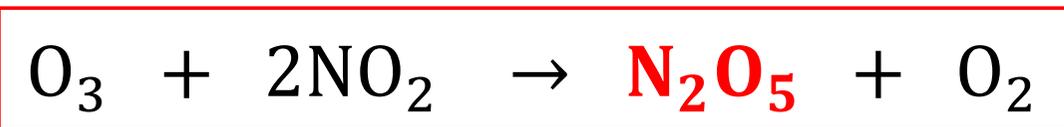
無水リン酸と濃硝酸の混合

$$\text{P}_4\text{O}_{10} + 12\text{HNO}_3 \rightarrow 4\text{H}_3\text{PO}_4 + 6\text{N}_2\text{O}_5$$

危険！！

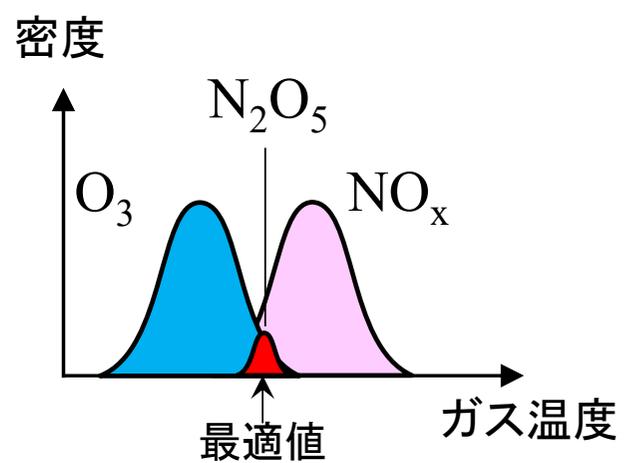
- ✓ 合成したN₂O₅の輸送・保管は非常に困難

プラズマで五酸化二窒素 (N₂O₅) を高密度で選択的に合成する！

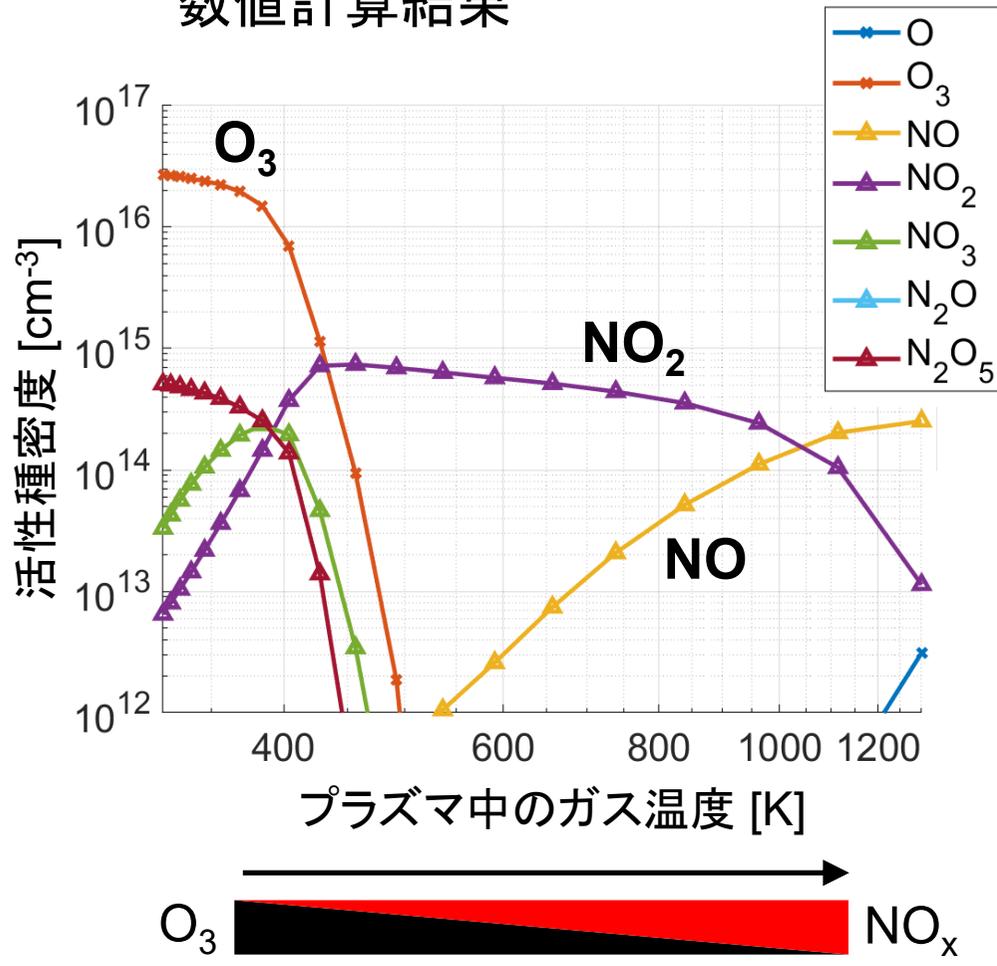


オゾン 二酸化窒素 **五酸化二窒素** 酸素

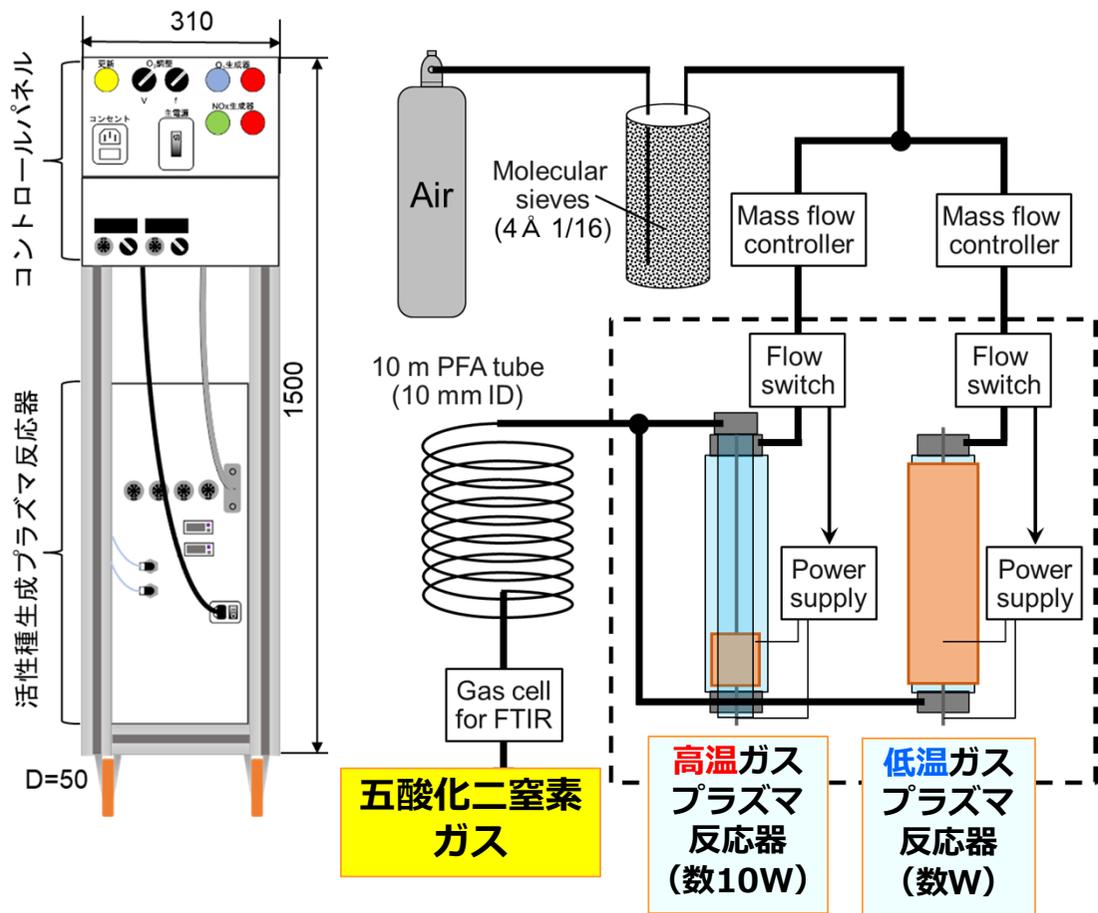
オゾンと二酸化窒素を反応させて
五酸化二窒素を合成する



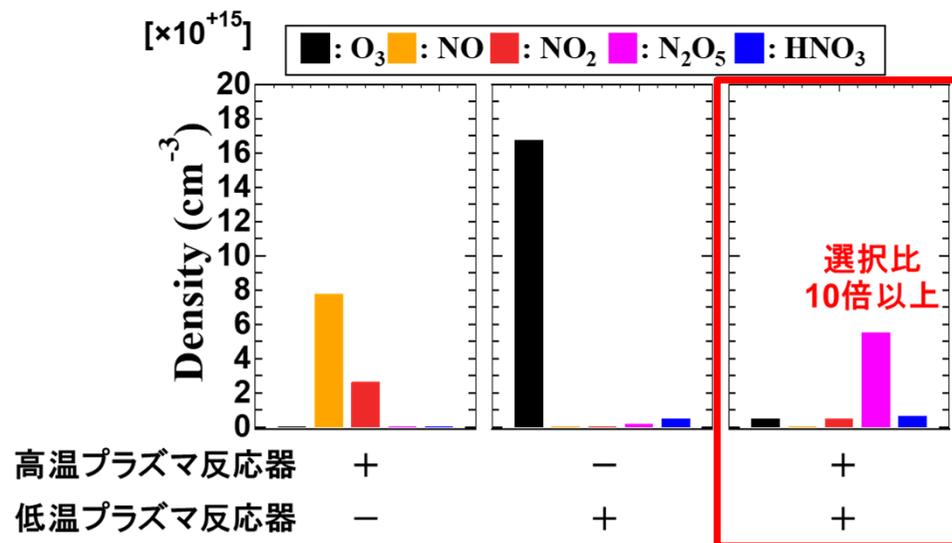
空気プラズマ中の活性種密度の数値計算結果



大気圧空気プラズマで五酸化二窒素ガスの選択的合成に成功！

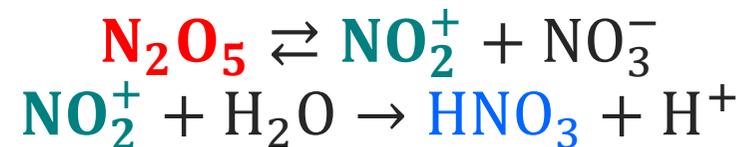
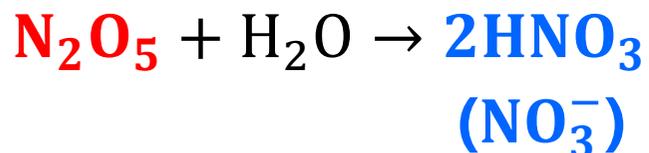


- i. 汎用性
空気と数10Wの電力のみ使用
- ii. 再現性
非常に高い活性種密度再現
- iii. 活性種制御性
O₃, NO_x, N₂O₅を選択生成可能
空気からのN₂O₅選択生成は世界初



特許出願中: PCT/JP2021/027883
「五酸化二窒素生成装置および五酸化二窒素生成方法」

植物に対する大気圧プラズマ(N₂O₅)噴霧により期待できること



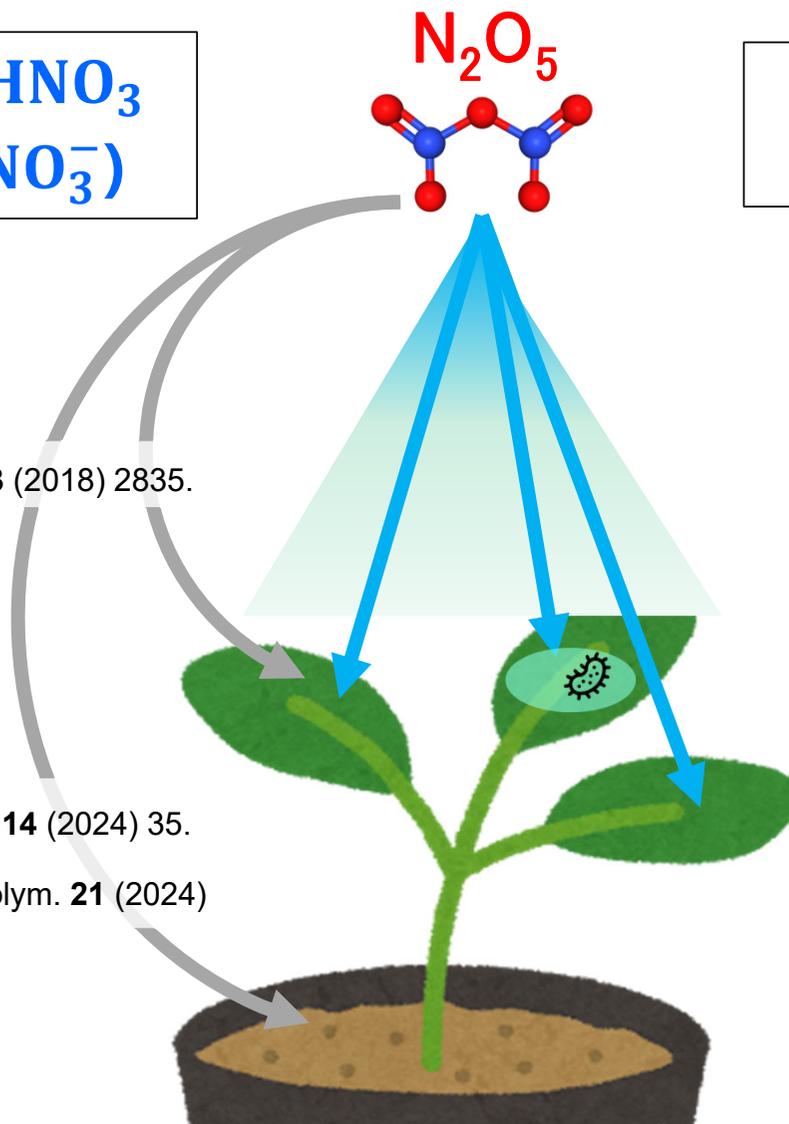
病害菌殺菌
ウイルス不活化

S. E. Hanbal, *et al.*: Arch. Virol. **163** (2018) 2835.

窒素源供給
(施肥効果)

T. Yamanashi, *et al.*: Plant Mol. Biol. **114** (2024) 35.

S. Takeshi, *et al.*: Plasma Process. Polym. **21** (2024) e2400096.



カルシウム応答

S. Sasaki, *et al.*: PLoS One **20** (2025) e031857.

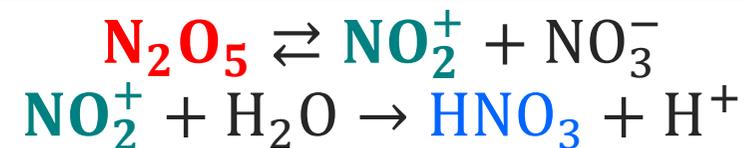
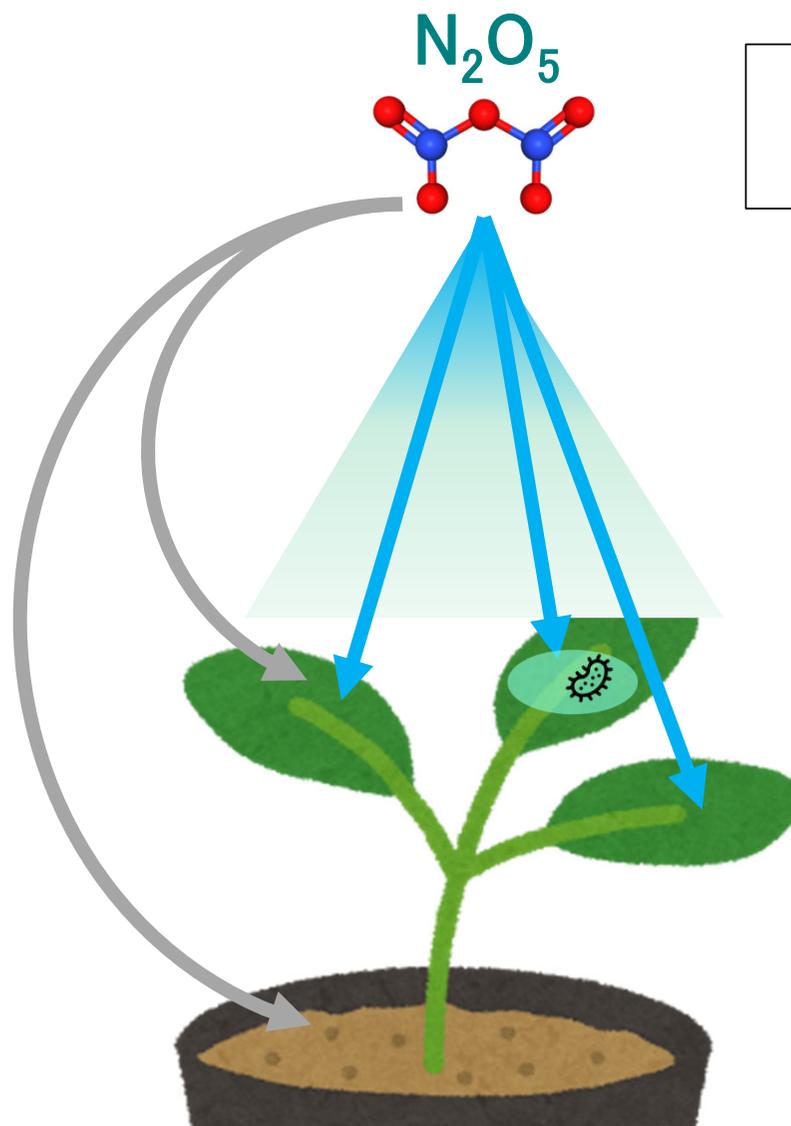
二次代謝制御
(機能性成分制御)

R. Tateishi, *et al.*: Sci. Rep. **14** (2024) 12759.

植物免疫誘導

D. Tsukidate, *et al.*: PLoS One **17** (2022) e0269863.

植物に対する大気圧プラズマ(N₂O₅)噴霧により期待できること

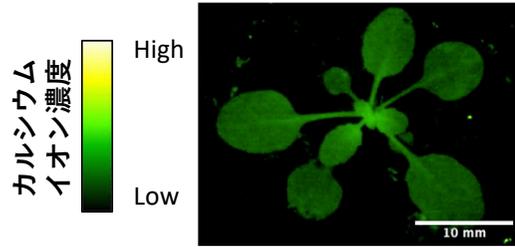


カルシウム応答

二次代謝制御
(機能性成分制御)

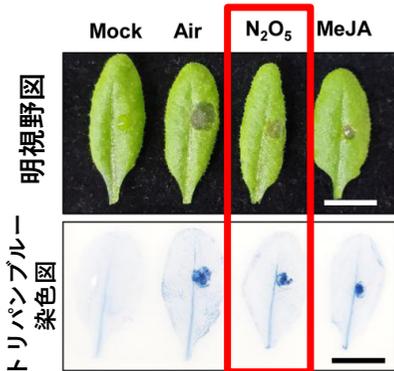
植物免疫誘導

大気圧空気プラズマ（五酸化二窒素）で植物免疫向上を実証！



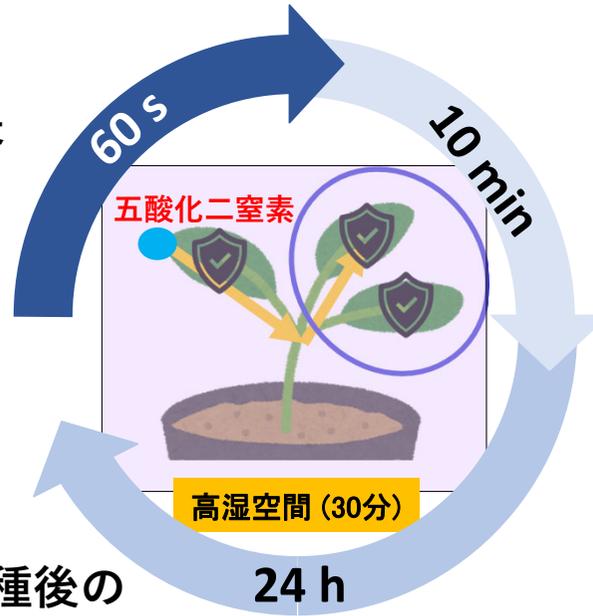
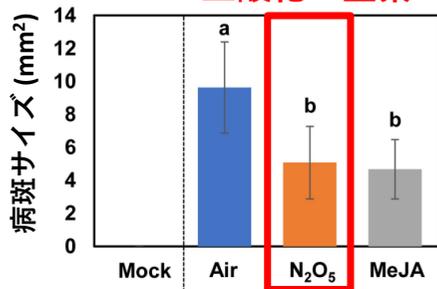
S. Sasaki, H. Iwamoto, K. Takashima, M. Toyota, A. Higashitani, T. Kaneko: PLOS ONE 20 (2025) e031857.

葉の中のカルシウムイオンの応答



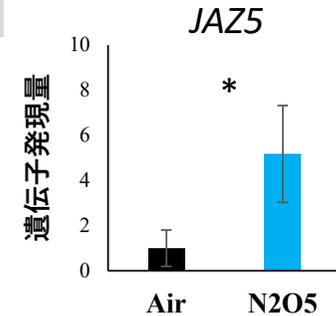
五酸化二窒素

病原菌接種後の病斑サイズ



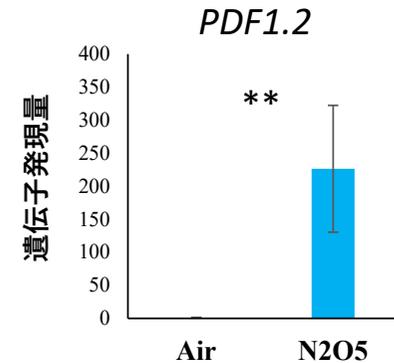
プラズマ合成五酸化二窒素で植物免疫強化を実証！

D. Tsukidate, K. Takashima, S. Sasaki, S. Miyashita, T. Kaneko, H. Takahashi, S. Ando: PLOS ONE 17 (2022) e0269863.

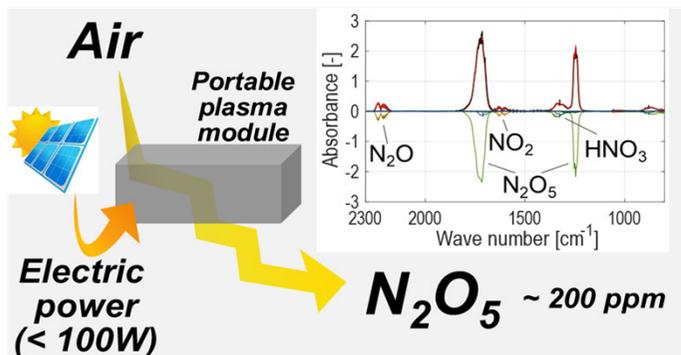


植物ホルモン関連遺伝子の発現

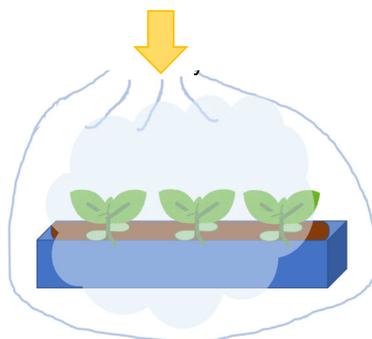
植物免疫に関する抗菌性ペプチドをコードする遺伝子の発現



プラズマ合成五酸化二窒素が二次代謝産物生成に与える影響

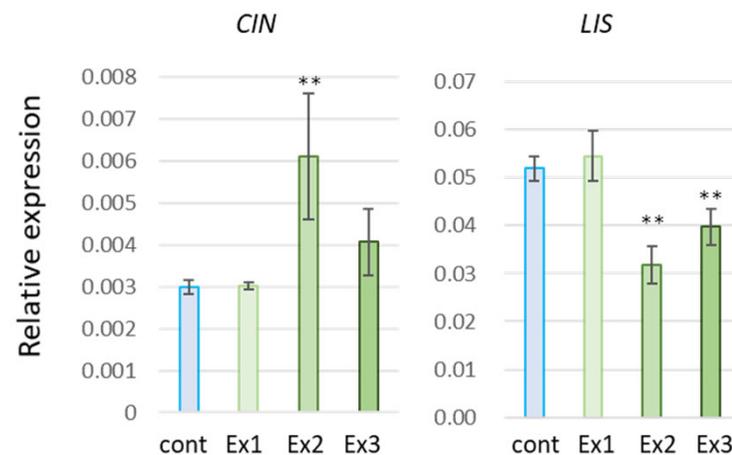
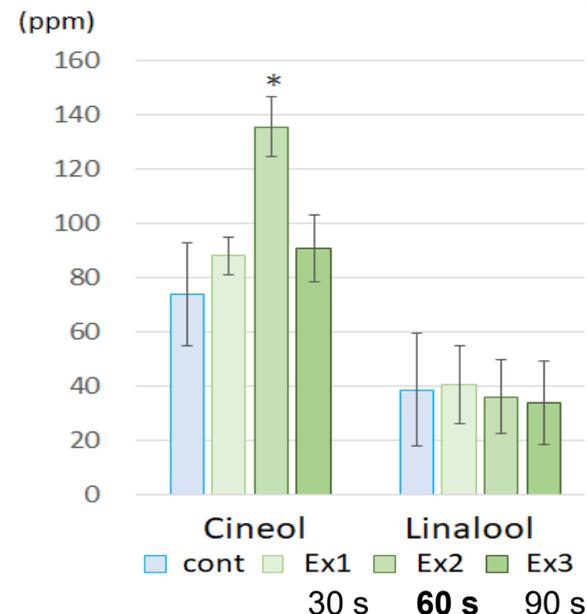


N_2O_5 rich gas : 0.32 $\mu\text{mol/s}$



スイートバジル

Ex1: 30 s (9.7 μmol) \times 3 times
 Ex2: 60 s (19.4 μmol) \times 3 times
 Ex3: 90 s (29.1 μmol) \times 3 times



1,8-Cineole:

抗菌・真菌作用

ユーカリの香り成分-リラックス効果

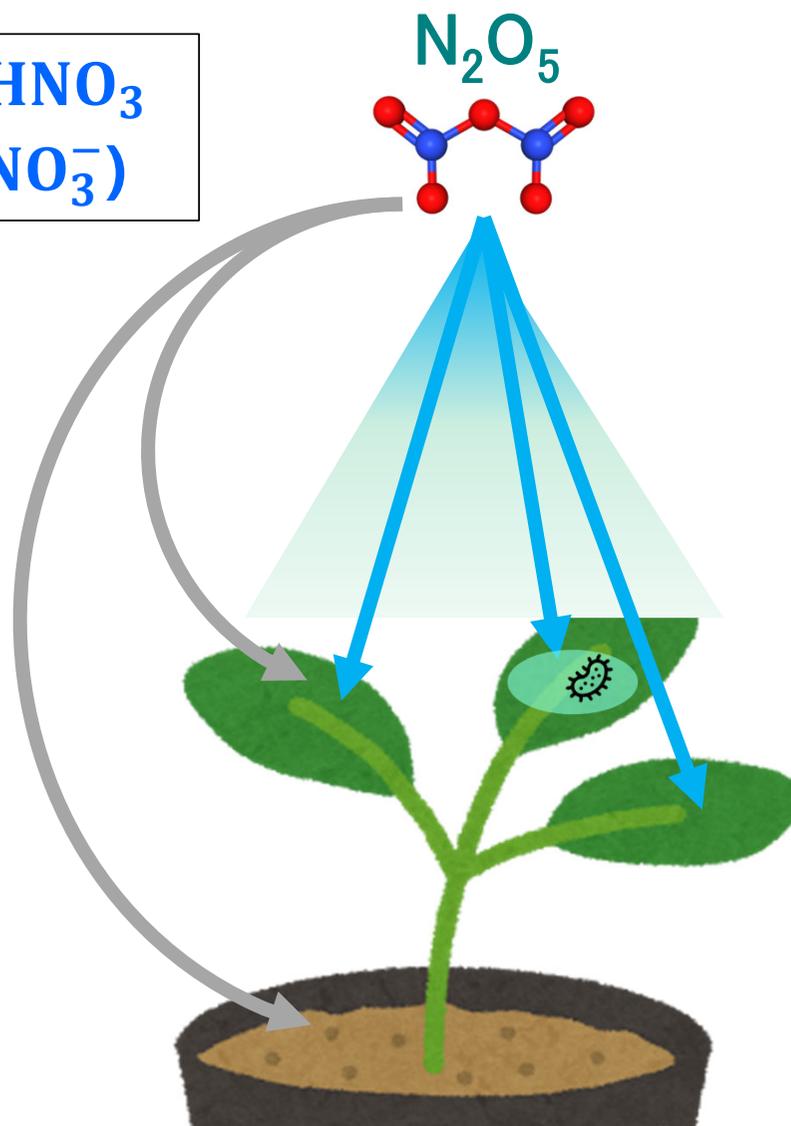
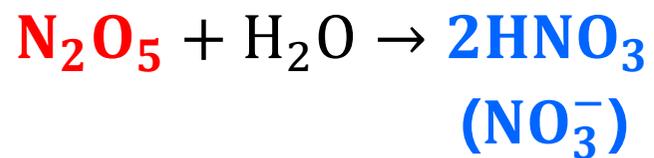
抗炎症、鎮咳、去痰、鎮痛

1,8-Cineoleの有意な増加。

合成遺伝子(CIN) 転写量の増加によるもの。

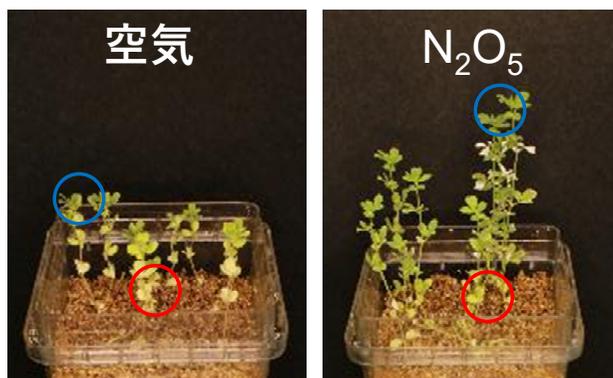
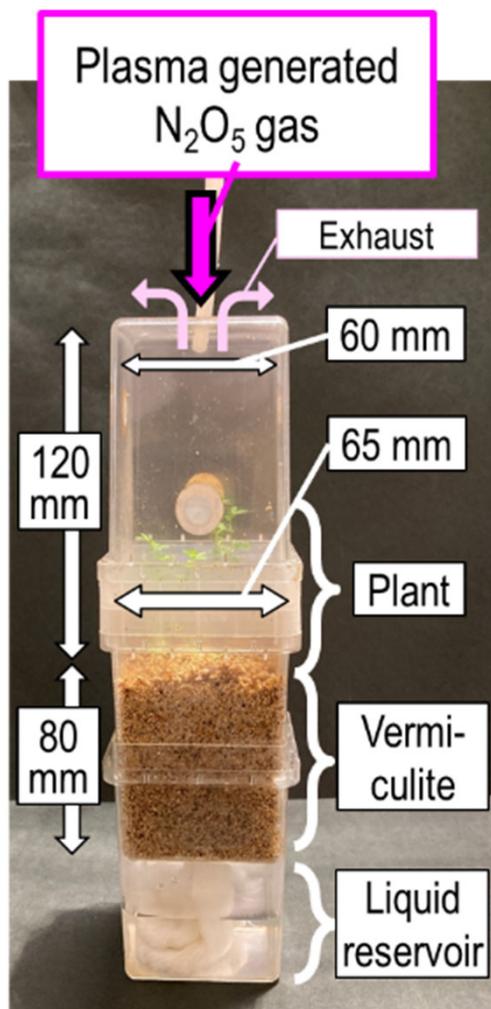
R. Tateishi, N. Ogawa-Kishida, N. Fujii, Y. Nagata, Y. Ohtsubo, S. Sasaki, K. Takashima, T. Kaneko, A. Higashitani: Sci. Rep. 14 (2024) 12759

植物に対する大気圧プラズマ(N_2O_5)噴霧により期待できること

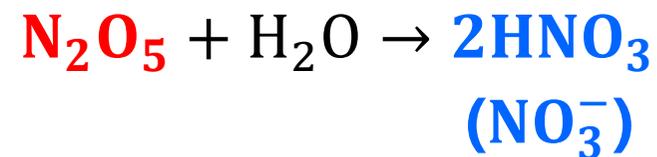


窒素源供給
(施肥効果)

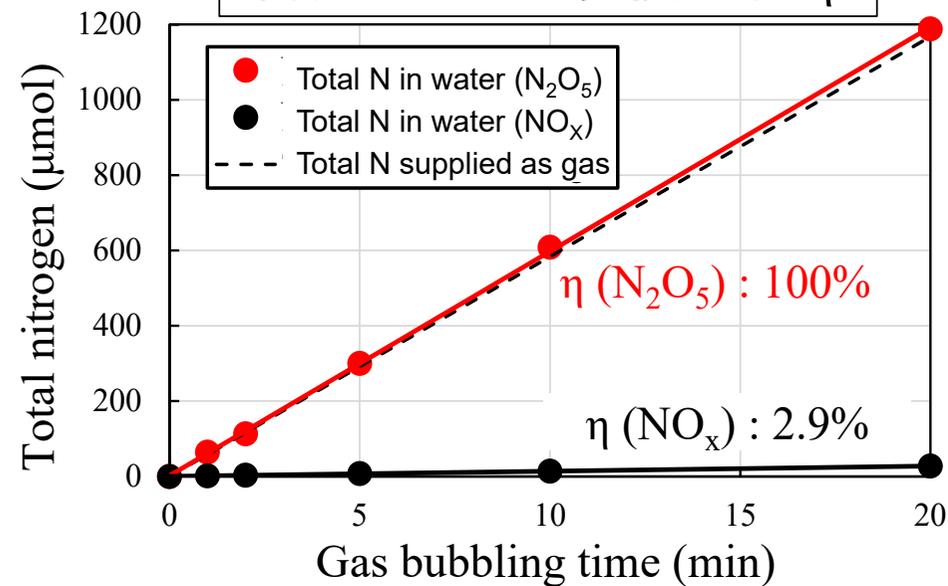
プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果



ミヤコグサ



硝酸イオンへの変換効率 (η)



窒素施肥効果の実証

NO_x生成効率（エネルギーコスト・価格）

【エネルギーコスト】

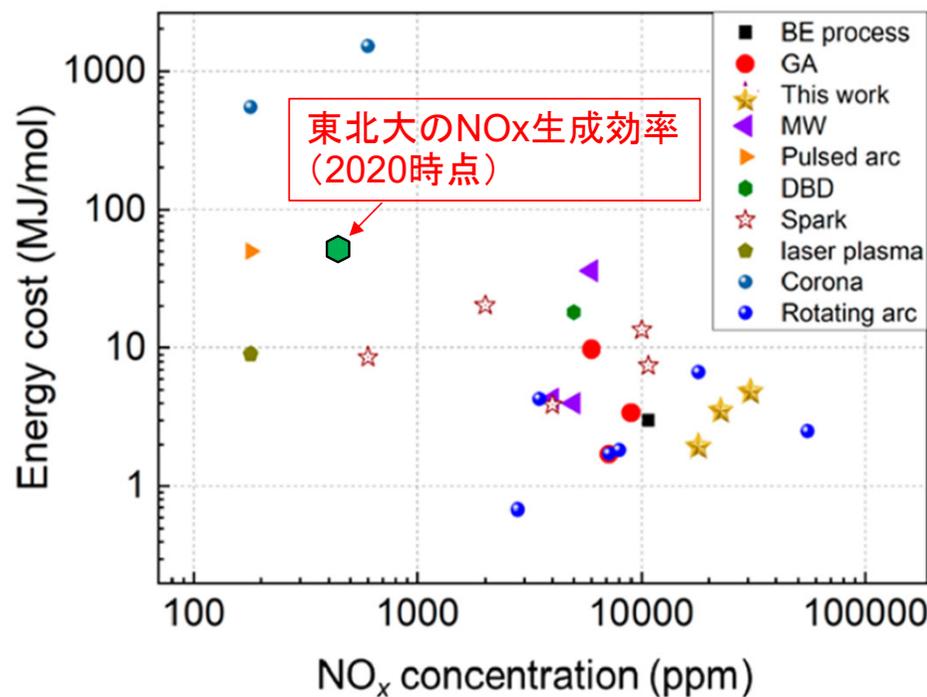
- ✓ ガス流量: 2.02 L/min at 298 K
- ✓ N₂O₅数密度: $6.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ at 298 K
- ✓ 合計放電電力: 47.2 W
- ⇒ 約140 MJ/mol-N₂O₅ (=70 MJ/mol-N)

【価格比較】

- プラズマ合成N₂O₅
約400円/mol-N (電気代を20円/kWhとして計算)
- 高純度硝酸(和光純薬株式会社) ※ 2025.2 時点
約240円/mol-N
- 農業用硝酸カルシウム ※ 2024.11 時点
約15~30円/mol-N

- NO_x生成: 誘電体バリア放電よりもアーク放電を用いて高濃度合成した方が効率が上昇
- エネルギーコスト: 5~10 MJ/mol-Nを目標
⇒ 約25~50円/mol-Nが見込め, 現在の農業用肥料と同水準のコスト

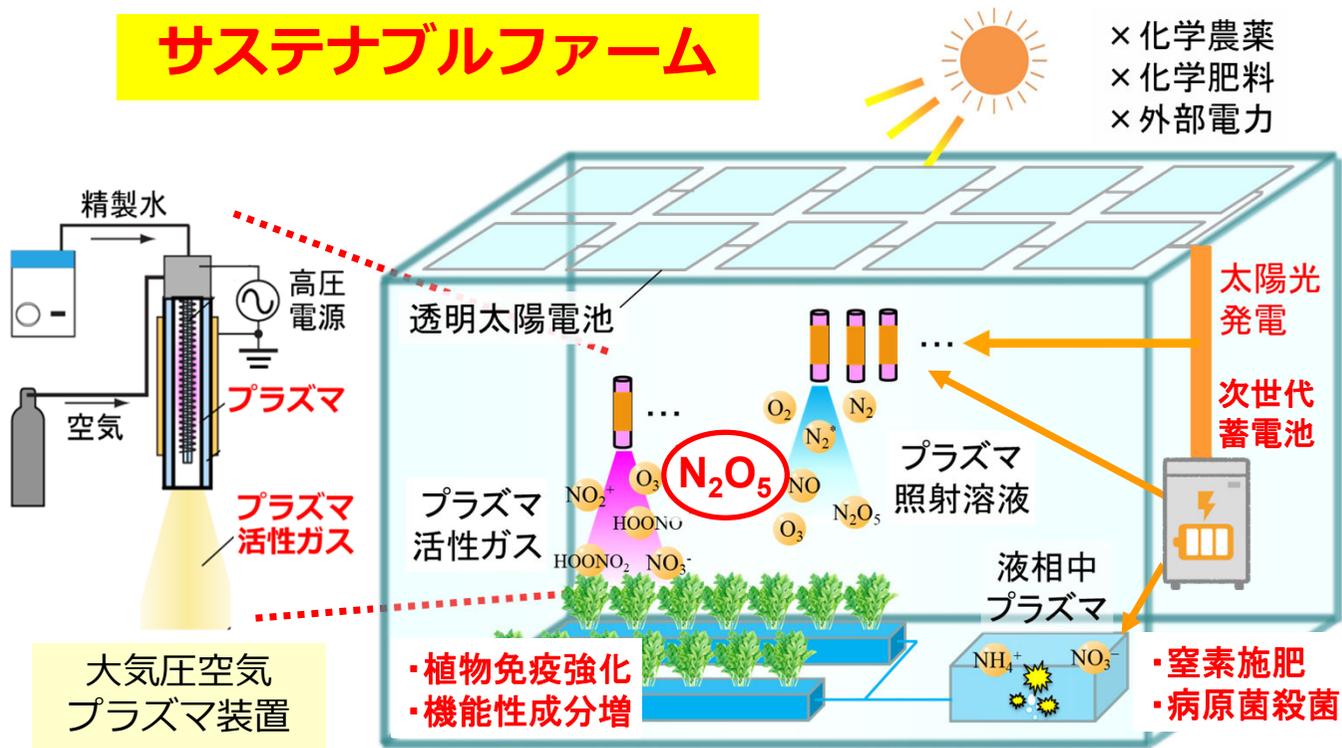
植物免疫の活性化や機能性成分の増産等の付加価値を併せ持つ革新的な窒素施肥技術



A.A. Abdelaziz et al. ACS Sustain. Chem. Eng. 11 (2023) 4106.

プラズマアグリ® : 大気圧空気プラズマでサステナブルファーム

サステナブルファーム



プラズマによる農作物栽培の強み

- 減化学肥料・化学農薬
- 成長促進
- 免疫力向上



宮城県山元町
イチゴ農園



「EXPO2025 GUNDAM NEXT FUTURE PAVILION のパンフレットより引用」

ビームサーベルを使った宇宙農業 Space Agriculture Using the Beam Saber



かつて武器として使用されていたビーム・サーベルの技術から派生し、プラズマ技術を農業に利用しています。空気中の窒素と酸素をこのプラズマで分解・合成することで窒素肥料を作り出し、宇宙では貴重となる窒素分の循環を実現しています。また、プラズマ由来の窒素肥料により環境に強い作物を作る技術としても活躍しています。この取り組みにより、宇宙や地球上の収穫量が飛躍的に上がりました。

We are using plasma technology once used to fuel beam sabers, a weapon of war, to make nitrogen for farming. Nitrogen produced from plasma is used as fertilizer and allows the development of crops that are stronger to environments. With this project harvest has significantly increased in both space and Earth.



ガンダムオープンイノベーション ビーム・サーベルとプラズマ



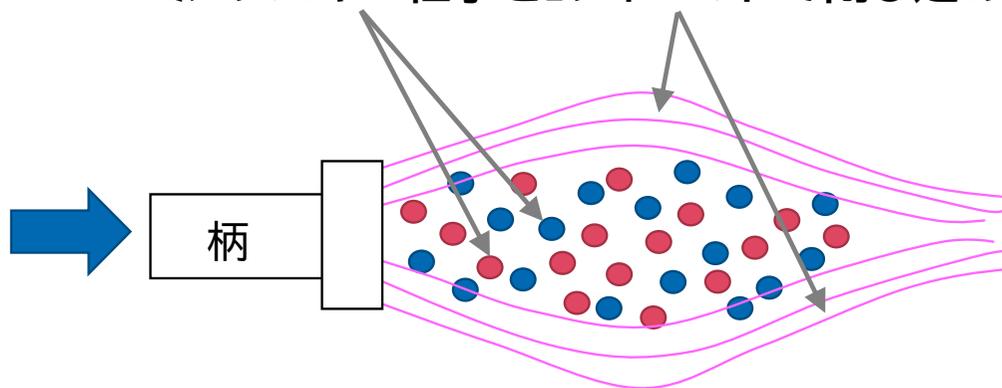
GUNDAM
OPEN
INNOVATION

BANDAI NAMCO
Fun for All into the Future



宇宙世紀の**ビーム・サーベル**:

ミノフスキー粒子をIフィールドで閉じ込める？



現代科学で目指すなら:

プラズマ粒子を

磁場(マグネティックフィールド)で閉じ込める

※電気を帯びているので磁場で束縛できるのがプラズマの特徴

出典:機動戦士ガンダム 宇宙世紀vs.現代科学, pp.34-35

発行書:株式会社マイナビ出版

著者:伊藤篤史, 笠田竜太, 金子俊郎, 福田 努, 小池耕彦, 坂本貴和子

ガンダムオープンイノベーション ビーム・サーベルとプラズマ



GUNDAM
OPEN
INNOVATION

BANDAI NAMCO

Fun for All into the Future



出典：機動戦士ガンダム 宇宙世紀vs.現代科学, pp.34-35
 発行書：株式会社マイナビ出版
 著者：伊藤篤史, 笠田竜太, 金子俊郎, 福田 努, 小池耕彦, 坂本貴和子





ガンダムオープン
イノベーションとは？

[採択パートナー](#) [公認プロジェクト](#) [概要動画](#) [ニュース](#)



GOI
概要ページ



プロジェクト名|

ビーム・サーベル～ プラズマ農業プロジェクト

ガンダムに登場する架空の剣「ビーム・サーベル」に着想される科学技術にプラズマがあります。従来は真空中でしか維持できなかったプラズマは、近年の技術革命により空気中で維持でき、人や植物が触れても熱くない優しい制御が可能です。これを農業に応用すると、植物成長促進、植物免疫向上、減農薬栽培が期待できます。このプロジェクトでは、プラズマ農業による食糧問題解決に取り組みます。

「ガンダムオープンイノベーション公式サイトより引用」

サステナブルファームと月面農場



GUNDAM
OPEN
INNOVATION

BANDAI NAMCO
Fun for All into the Future



東北大学及び核融合科学研究所
ガンダム×未来技術の新構想
「～バンダイナムコグループのサステナブルプロジェクト～」

<https://www.bandainamco.co.jp/guda/goi/media/partner11.html>

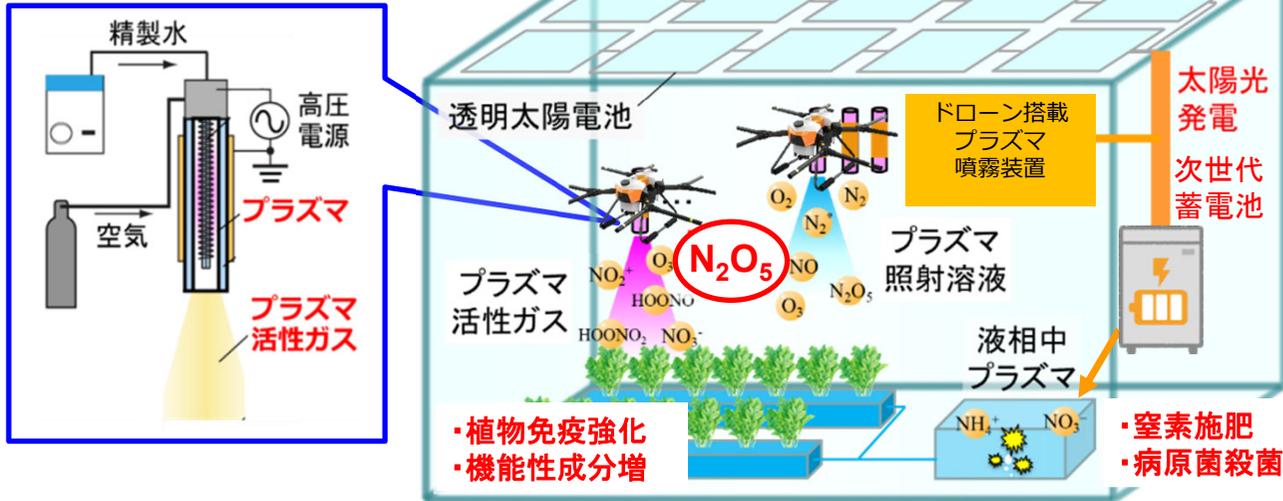


ガンダムオープンイノベーション
公式サイトより引用

サステナブルファーム



- × 化学農薬
- × 化学肥料
- × 外部電力



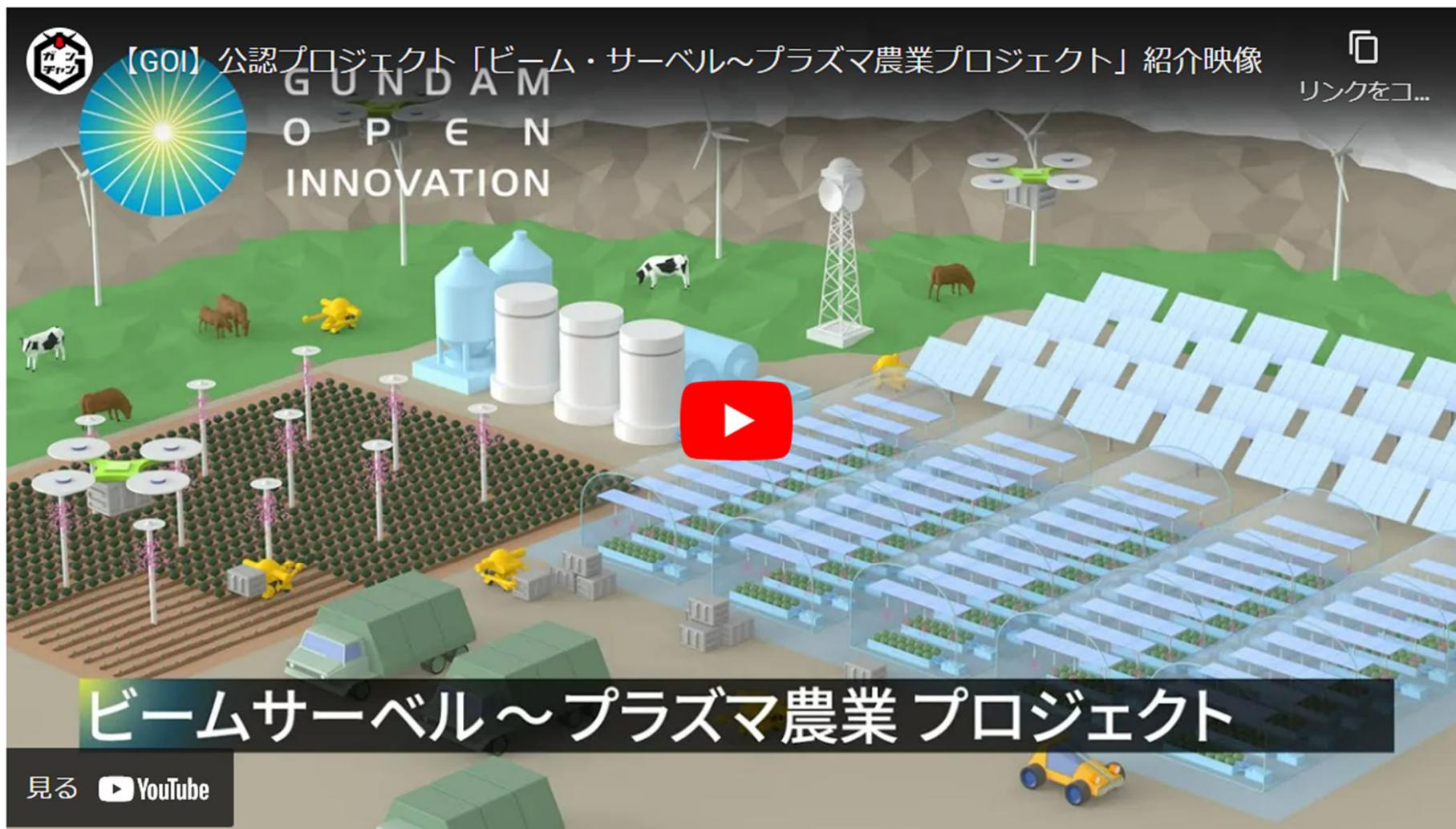
月面農場

ガンダムオープンイノベーション

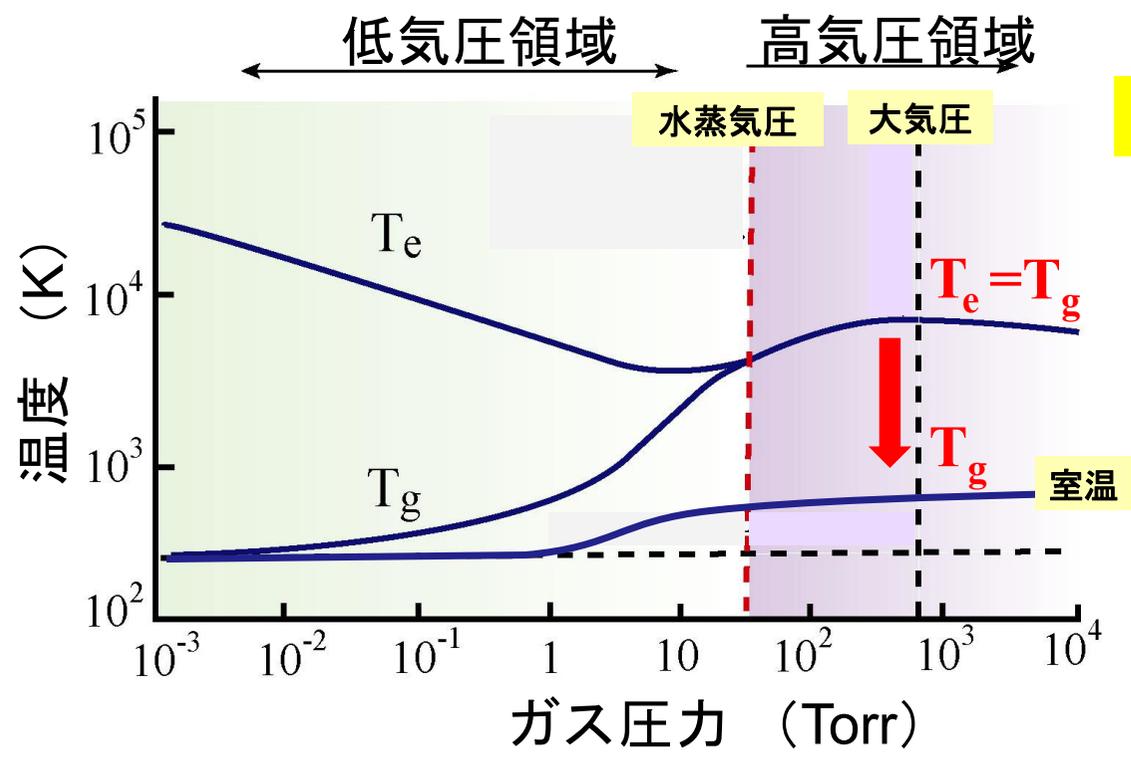


GUNDAM
OPEN
INNOVATION

BANDAI NAMCO
Fun for All into the Future



高温プラズマと低温プラズマ

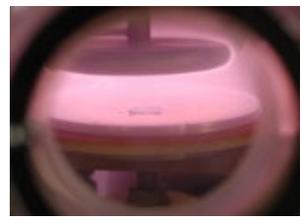


熱平衡 (高温) プラズマ

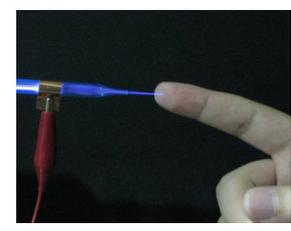


非平衡 (低温) プラズマ

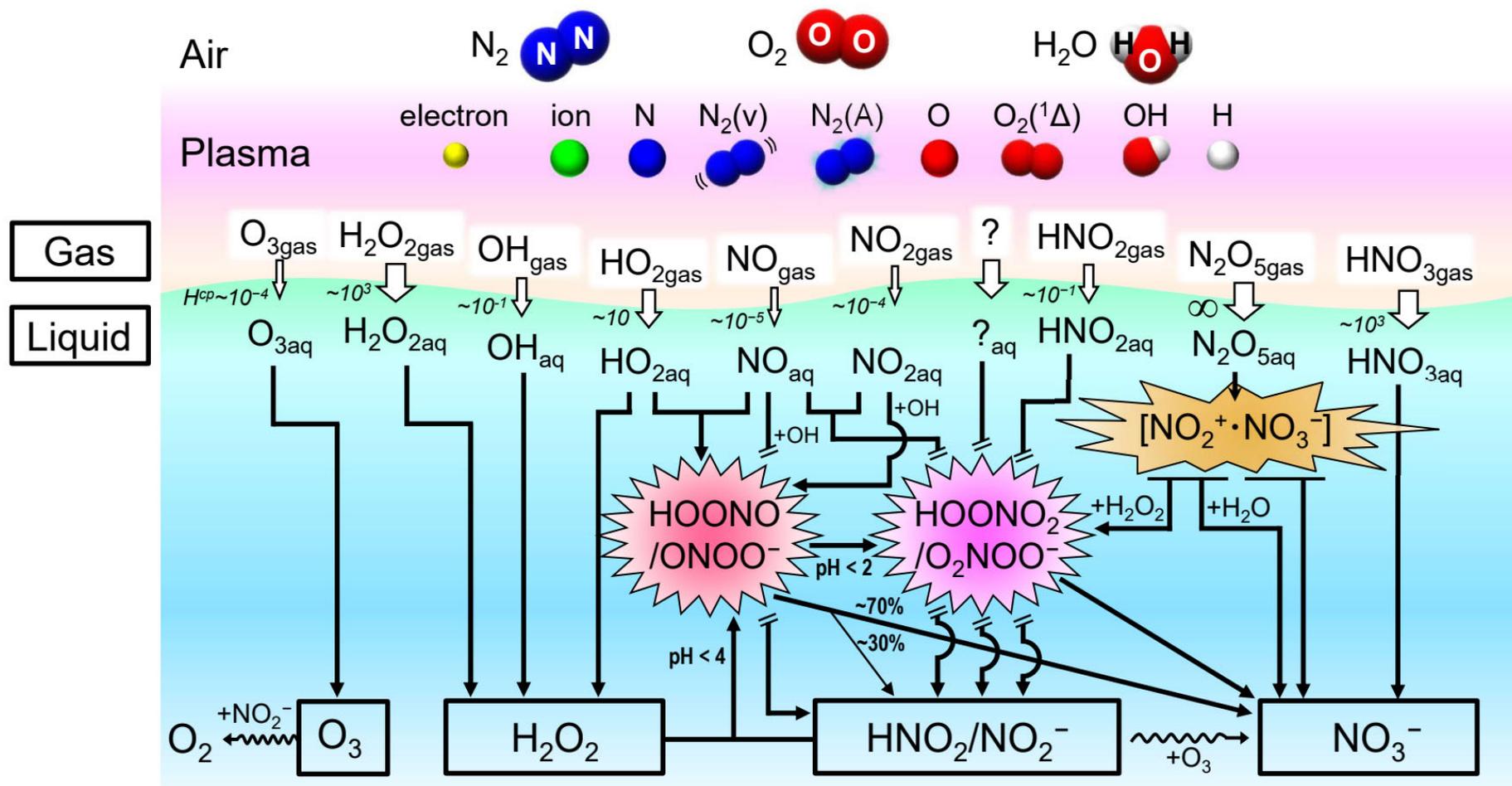
大気圧非平衡 (低温) プラズマ



- 電子温度 (T_e) > • ガス温度 (T_g)
- イオン温度 (T_i)

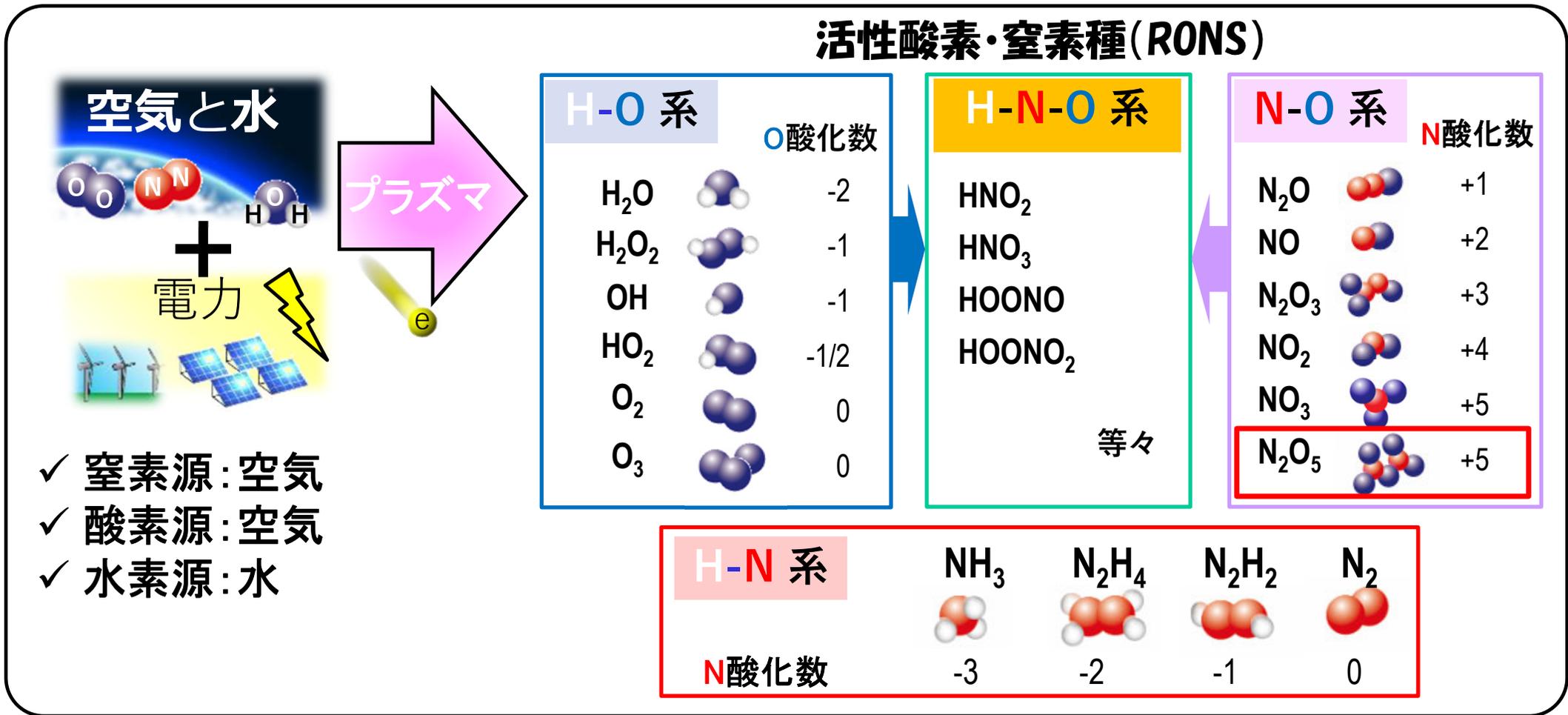


プラズマで合成された活性種の輸送



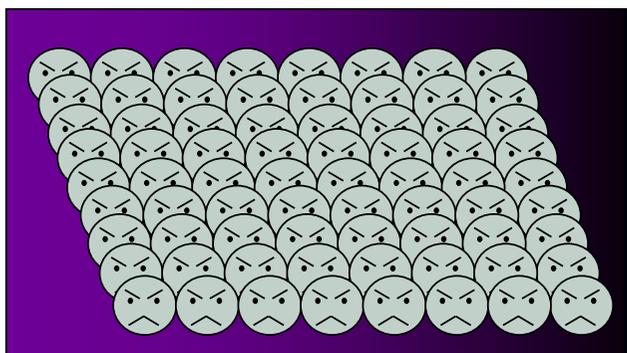
プラズマで合成された活性種は気相中や液相中で様々な異なる活性種に変化

大気圧空気プラズマで合成される活性種



種々の活性種をプラズマで制御して合成することが重要！

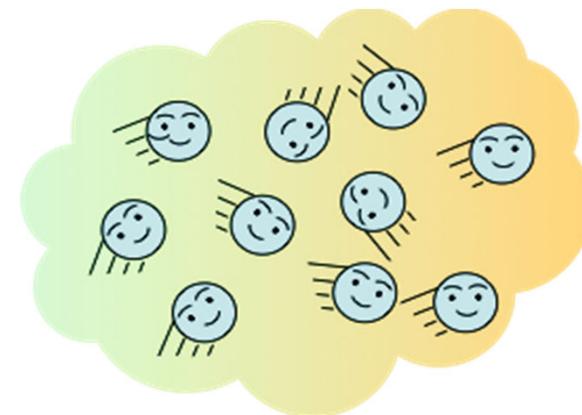
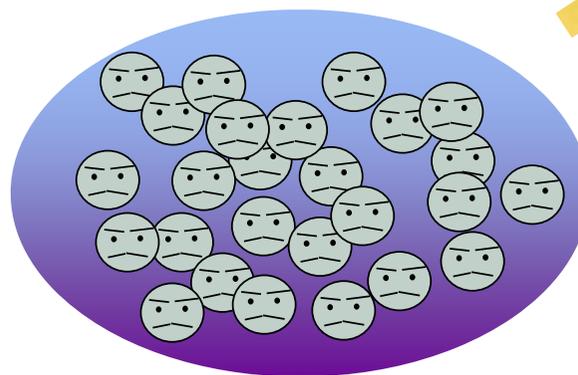
プラズマとは？



冷たい
固体：氷
第一状態



暖かい
液体：水
第二状態



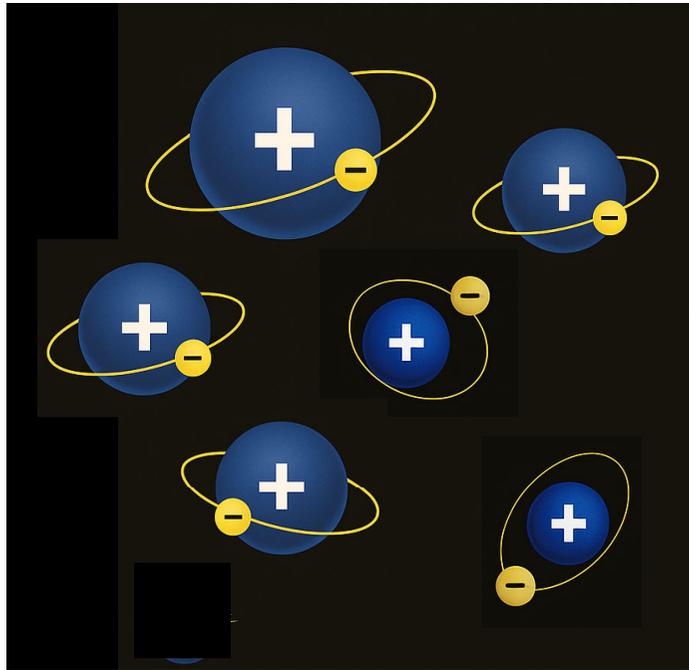
熱い
気体：水蒸気
第三状態



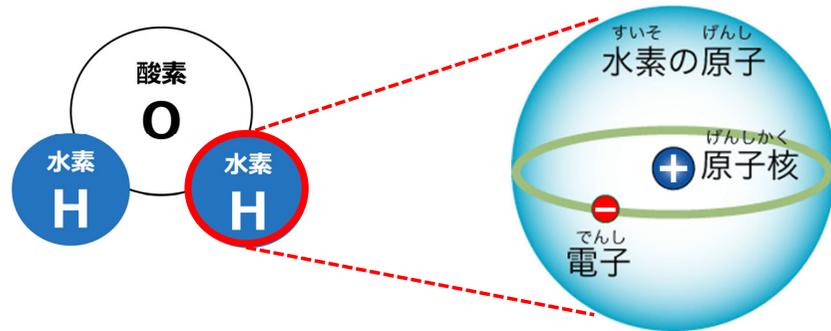
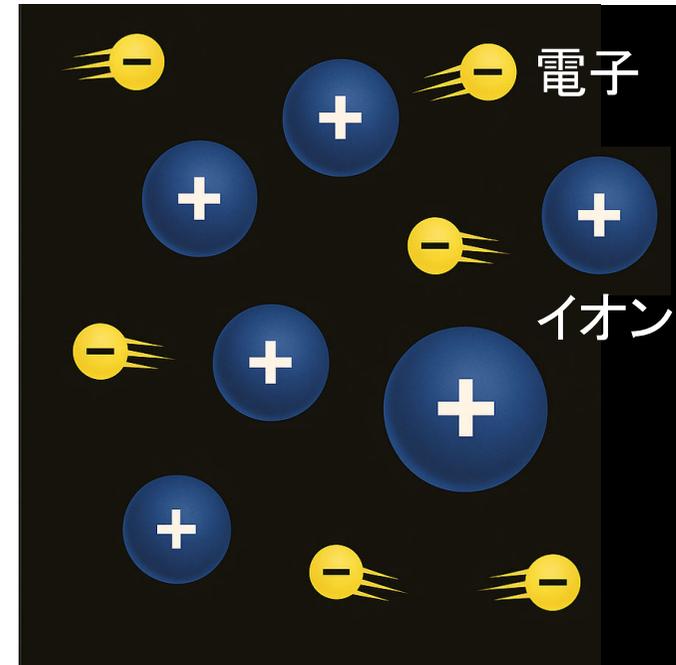
さらにエネルギーを加えると

プラズマは物質の第四の状態

気体



プラズマ



プラズマは電子とイオン(原子核)がばらばらになった状態

宇宙の99.99999%は“プラズマ”

大気圧空気プラズマで合成される活性種

気相

活性種	工業生産	プラズマ合成	プラズマ選択合成
O	×	○	×
O ₃	×	○	○
NO	○	○	○
NO ₂	○	○	○
NO ₃	×	×	×
N ₂ O	○	○	×
N ₂ O ₃	×	○	×
N ₂ O ₄	△	○	×
N ₂ O ₅	×	○	×
OH	×	○	×
H ₂ O ₂	△	○	×
HNO ₂	△	○	×
HNO ₃	×	○	×
HNO ₄	×	×	×

液相

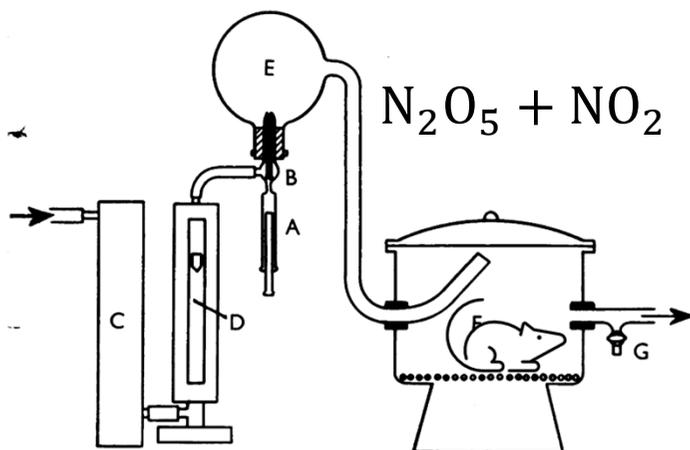
活性種	工業生産	プラズマ合成
O	×	○
O ₃	×	○
NO	△	○
NO ₂	△	○
NO ₂ ⁺	×	×
NO ₂ ⁻	○	○
NO ₃ ⁻	○	○
ONOO ⁻	○	○
O ₂ NOO ⁻	○	○
OH	△	○
O ₂ ⁻	△	○
H ₂ O ₂	○	○

Literature report on N_2O_5 exposure to living things

※only N_2O_5 as a main content

Animal : 1, Plant : 0, Bacteria : 0, Virus : 0

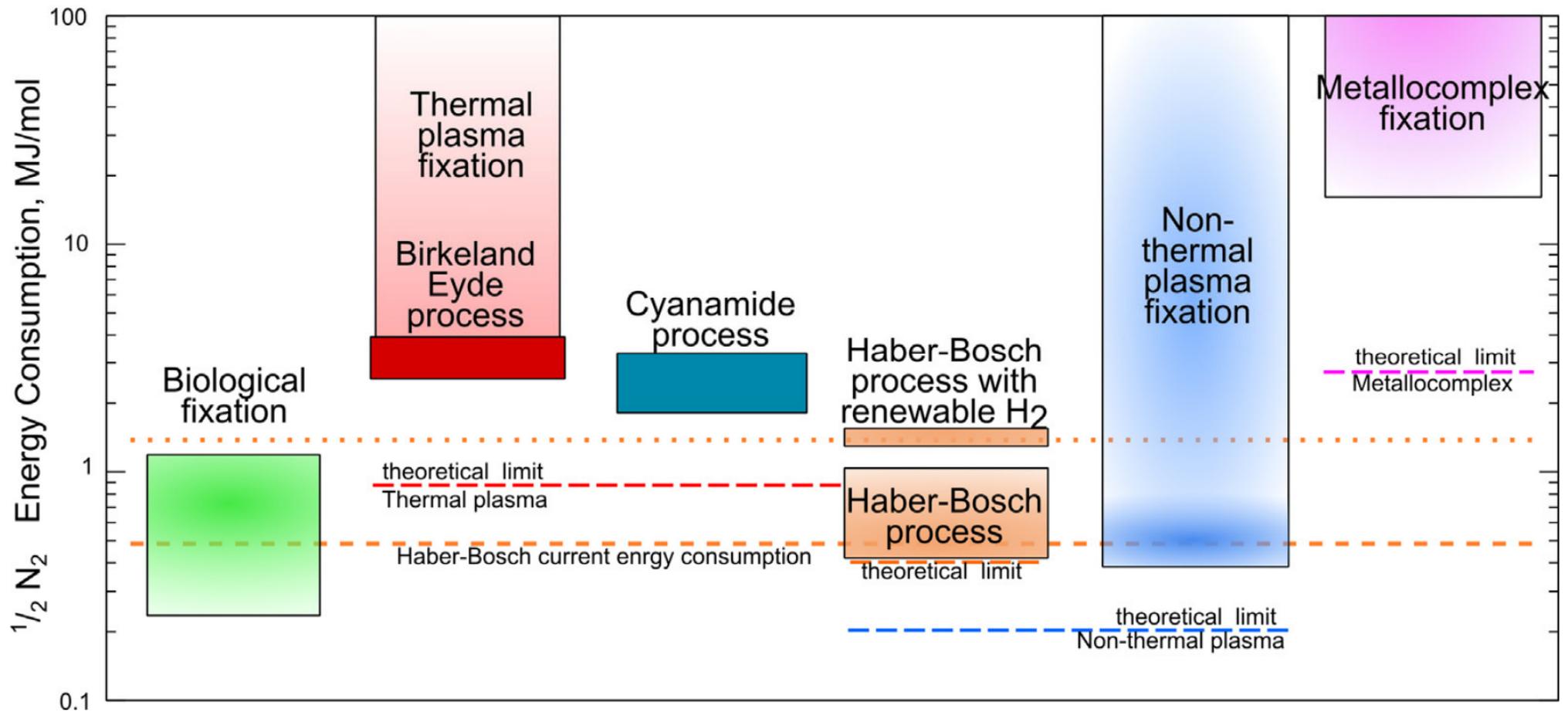
The toxicity of dinitrogen pentoxide (N_2O_5)



Gas	LC50 (1hour) [ppm]	Threshold Limit Value (TLV-TWA) [ppm]
N_2O_5	~ 10	No data
HNO_3	98	2
NO	1739	25
NO_2	176	3
O_3	9.6	0.1

W.M. DIGGLE and J.C. GAGE: Br. J. Ind. Med. **11** (1954) 140.

<https://www.chem.purdue.edu/chemsafety/chem/poison gases.html>



ガンダムオープンイノベーション



GUNDAM
OPEN
INNOVATION

BANDAI NAMCO

Fun for All into the Future



ガンダムオープン
イノベーションとは？

募集する
テーマ

求める
パートナー

プログラムの
特徴

スケジュール

概要説明
動画

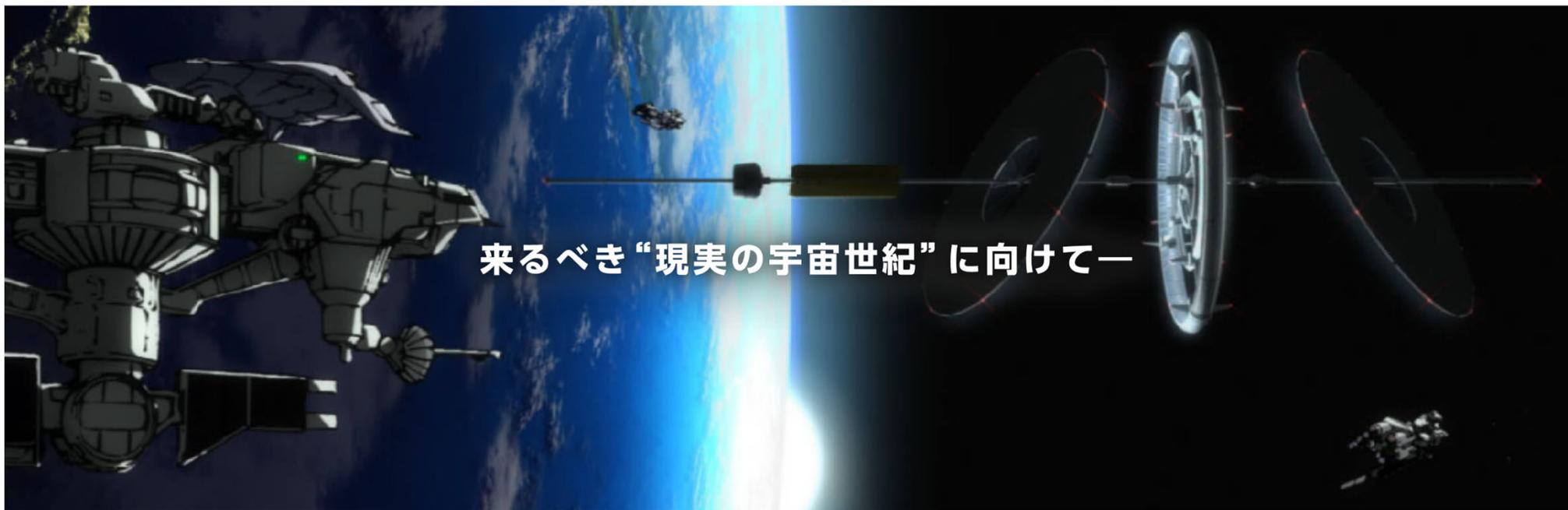
ニュース

エントリー

よくある
質問



▶ English



来るべき“現実の宇宙世紀”に向けてー

ガンダムオープンイノベーション

GUNDAM OPEN INNOVATION

「ガンダムオープンイノベーション公式サイトより引用」

NEWS

ニュース



採択
パートナー
決定



ガンダムオープンイノベーション



GUNDAM
OPEN
INNOVATION



Fun for All into the Future



東京理科大学
スペースシステム創造研究センター



高砂熱学工業



国際医療福祉大学
宇宙医学研究会



チームBALL



SPACE WALKER



神奈川大学宇宙ロケット部 /
航空宇宙構造研究室



U-ELSI



チーム宇宙世紀の矛と盾



ispace



avatarin



大分県



大志を、まとう。
大和大学 社会学部
SDG研究推進室



三菱重工

「ガンダムオープンイノベーション公式サイトより引用」

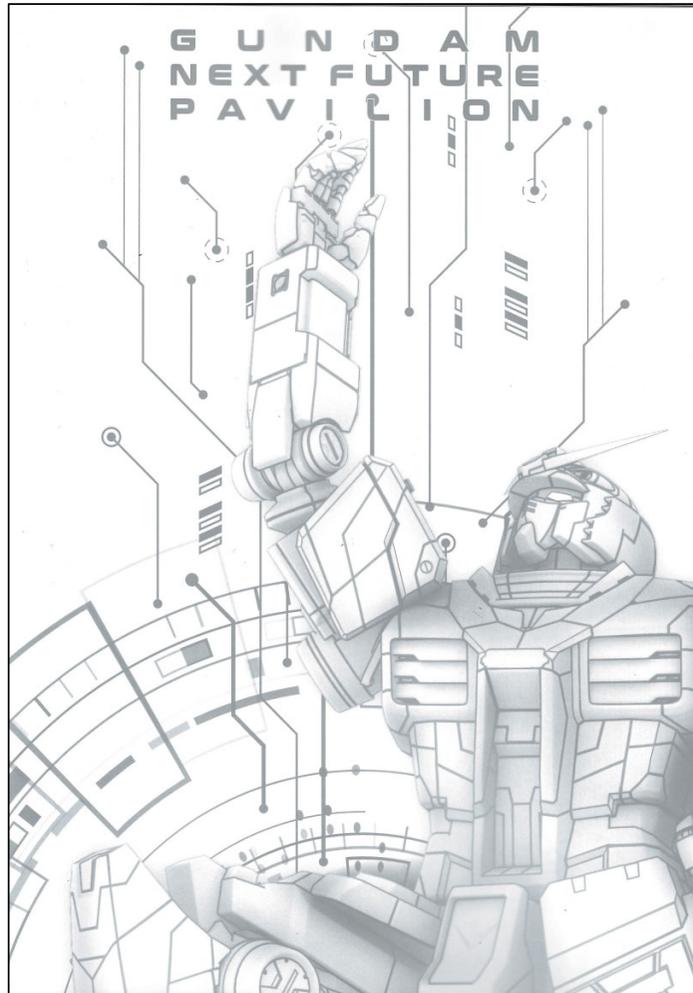
EXPO2025 GUNDAM NEXT FUTURE PAVILION



GUNDAM
OPEN
INNOVATION

BANDAI NAMCO
Fun for All into the Future

EDITORIAL



ビーム・サーベル〜プラズマ農業プロジェクト Beam Saber ~ Plasma Agriculture Project

東北大学 大学院工学研究科電子工学専攻・教授
非平衡プラズマ学際研究センター長 AIE教育研究センター長

金子俊郎

TOSHIRO KANEKO
Tohoku University Professor, Graduate School of Engineering
Director of the Non-Equilibrium Plasma Research Center

――まず、「ビーム・サーベル〜プラズマ農業プロジェクト」の概要をお教えください。

金子 まずプラズマを使うと、空気を分解して別の種類のガスを作れるのです。これには殺菌作用があったり、窒素肥料の代わりに使えます。化学農業や化学肥料に頼らない農業が可能になります。農業用のプラズマに使う電気エネルギーはわずか数十ワットと少ないこともメリットです。たとえば太陽光などの自然エネルギーで発生させた、わずかな電圧だけでも十分熱いことができるのが利点です。身の回りのどこにもある空気と太陽光だけでプラズマを生み出すことができるので、農場のその場で化学肥料や化学農業に代わるものを作れて、輸送コストや肥料もかからず、地球に優しいサステナブルな技術といえるでしょう。肥料や農業の生産地遠くまで輸送するよりも、持続可能な農業技術になると思っています。

――ビーム・サーベルといえば、モビルスーツが使う武器ですが、なぜこれを農業を行おうと考えたのでしょうか？

金子 ビーム・サーベルは宇宙世紀ではミノフスキー粒子で構成されていますが、それを現代科学で考えると、私の専門である「プラズマ」で実現できるだろうと思っています。ビーム・サーベルは、ミノフスキー粒子を閉じ込めてサーベル状にしているわけですが、プラズマも同じように閉じ込めて剣のような形状にできるんです。

プラズマは、身の回りのいろいろなところに存在しているのですが、自然界の雷もプラズマです。雷は農作物の育成にいい影響を与えていると昔から言われていて、たとえば別名である「稲妻」という漢字には「稲」が使われていますよね？「雷が多い年は稲が良く育つ」という考えは、古くから伝わってきました。その雷（＝プラズマ）をビーム・サーベルに置き換えて、ビーム・サーベル（＝プラズマ）で農作物を育てようというのが今回のプロジェクトです。

トです。

――プラズマには、具体的にどのような効果があるのでしょうか？

金子 まずプラズマを使うと、空気を分解して別の種類のガスを作れるのです。これには殺菌作用があったり、窒素肥料の代わりに使えます。化学農業や化学肥料に頼らない農業が可能になります。農業用のプラズマに使う電気エネルギーはわずか数十ワットと少ないこともメリットです。たとえば太陽光などの自然エネルギーで発生させた、わずかな電圧だけでも十分熱いことができるのが利点です。身の回りのどこにもある空気と太陽光だけでプラズマを生み出すことができるので、農場のその場で化学肥料や化学農業に代わるものを作れて、輸送コストや肥料もかからず、地球に優しいサステナブルな技術といえるでしょう。肥料や農業の生産地遠くまで輸送するよりも、持続可能な農業技術になると思っています。

――プラズマという点、高熱を発生するようなイメージがありますが、

金子 確かに太陽もプラズマですが、太陽はとても熱いですよね。ところが現在使いたいプラズマは、太陽よりも熱いプラズマは、かつて真空中でしか維持できなかったが、ここ数十年の技術革命によって、真空中で維持することが可能になり、さらに人や植物が熱くも耐えられないプラズマを制御して作るようになりました。農業だけでなく、医療への利用も盛んに

行われています。

――現在どのような研究が進められているのでしょうか？

金子 具体的な研究としては、まずシロイヌナズナやミコグサという植物を使って実験を行いました。シロイヌナズナはすべての遺伝子情報が明らかになっているので、たとえプラズマを葉にあてたときに、葉の中でどんな変化が起きているのかがわかりやすいです。現在はプラズマが、シロイヌナズナで病気に気づくようになる効果やミコグサで成長を促す効果など、様々な効果が分かかってきたこともあり、次の段階としてイチゴを使った研究を始めています。イチゴにプラズマをあてて、それによって「病気になるか」「果実の成分に変化があるか」という研究を進めています。

――実際にイチゴの成分に変化があったのでしょうか？

金子 いま研究中ですが、期待しているのはポリフェノールの増加ですね。ポリフェノールは抗酸化物質で、刺激を与えられ、それに対抗しようとして植物が自分の中で作り出すと言われています。プラズマも刺激になりますので、自ら抗酸化物質であるアントシアニンやエラグ酸（いずれもポリフェノール）が増える可能性があると考えています。また、今はバジルやトマトなどにもプラズマをあてる実験を始めていて、特にバジルの場合には、特定の香気成分が増えるという結果も出ています。

――とても夢のあるプロジェクトですが、今後どのように発展していくのでしょうか？

金子 「機動戦士ガンダム」の世界では、スペースコロニーで農作物の生産が行われていますが、現代の社会でも、そう遠くない未来に月面農場が実現するかもしれません。こうした宇宙での農業に関しては、プラズマは役立つと考えられます。植物を育てるためには、肥料や農業が必要になりますが、地球からロケットで輸送するとなると莫大なコストがかかります。一方でプラズマ農業の場合、空気と電気で、肥料と農業に代わるものを作ることができると、将来的に月面農場や宇宙農場で、プラズマ技術が一般的になるのを目指しています。

――最後にメッセージをお願いします。

金子 「機動戦士ガンダム」が描いた未来、宇宙世紀という時代は、すぐそこまで来ているのではないかと感じています。宇宙世紀の到来を見据えて、私たちはプラズマによって、新しい農業、食料生産システムを作り上げたいと思っています。もちろん宇宙だけでなく、この技術を地上に還元して、将来的に世界の食糧問題の解決に繋がれば……という思いがありますので、ぜひ皆さんと一緒に夢と希望に満ちた未来社会を作りたいですね。

Looking Forward to the Space Age, What Is Sustainable Plasma Agriculture?

―― Could you give us an outline of the Beam Saber - Plasma Agriculture Project?

Kaneiko: As humanity expands into space, food production remains an important issue. From now on, when considering sustainable food systems, we require new agricultural technology. This is when my attention shifted to "Mobile Suit Gundams" beam saber.

―― The beam saber is a weapon used by mobile suits. How did the idea of using it for agriculture come up?

Kaneiko: In the Universal Century, beam sabers are composed of Minovsky particles. However, when thinking about modern-day science, I believe they could be accomplished in my field of plasma. In a beam saber, Minovsky particles are enclosed in the shape of a saber, and plasma could also be shaped similarly.

Plasma is found in various forms around us. Lightning, for example, is a natural example of it. It has long been known that lightning has a positive impact on crop growth. Even in Japanese, the word for lightning (雷) can be written with one of the characters for "rice plant." (雷) The idea that "rice grows well in years abundant with lightning" has been passed down since long ago. This project is about growing crops where we replace lightning plasma with a beam saber

(also plasma).

―― What are some of the specific effects that can be attributed to plasma?

Kaneiko: First, plasma can generate various kinds of reactive gases from the air (hydrogen and oxygen), such as ozone and nitrogen oxide gases. This has germicidal uses and can be substituted for nitrogen fertilizer, which means agriculture can be done without dependency on chemical pesticides and fertilizers. Plasmas for agricultural applications also benefit from using only tens of watts of energy—much less than other means. It's made with solar or natural energy, only a negligible amount of electricity is needed to cover the costs. Being able to generate plasma from just the air and sunlight surrounding us allows for the creation of alternatives to chemical fertilizers and pesticides right on the farm with the benefit of being low-cost, low-energy, and removing the costs of transportation and tax. This makes it sustainable and Earth-friendly. This is why I also believe this will become a potential technique for agricultural local production and local consumption of fertilizer and pesticides.

―― Plasma has an image of having intense heat, doesn't it?

Kaneiko: The sun is indeed plasma and extremely hot, but now is such a thing as cold plasma. At one point, plasma could only be maintained in a vacuum. Through technological advancements of the past decades, it can

now be preserved in air, and non-thermal, gentle plasma that humans and plants can touch can now be made and controlled. Its uses are not limited to agriculture. Plasma is also used in the field of medical applications.

―― What kind of research is currently being done?

Kaneiko: Regarding specific research, experiments are being done on the plants arabidopsis thaliana and tomat japonicus. Since, for example, all the genetic information of arabidopsis thaliana is known, plasma can be applied to the leaves, and it is easy to see what changes have occurred. Now that we know of several effects of plasmas, such as preventing disease in arabidopsis thaliana and promoting the growth of tomat japonicus, we have moved on to strawberries. We are currently doing research on strawberries to see if plasma can make it strong against stress or if there are any effects on the leaves and fruit.

―― Did the composition of the strawberries actually change?

Kaneiko: We're currently performing research but anticipate an increase in polyphenols. Polyphenols are antioxidants that plants are said to produce when stimulated to counteract the stimulation. By stimulating with plasma, the production of the antioxidants anthocyanin and ellagic acid (both polyphenols) can potentially increase. We are also performing plasma tests on leafy, rice

plants, tomatoes, and more. Basil, in particular, is showing an increase in the produced aroma.

―― That's quite ambitious. How do you think the project will develop in the future?

Kaneiko: In the world of "Mobile Suit Gundam", agriculture is part of the space colonies. In actuality, we might not be too far off from the production of crops on lunar farms. I believe plasma will help achieve this. Fertilizers and pesticides, while necessary, would be extremely costly to send via rocket. On the other hand, plasma farming only requires air and electricity to produce them. I think it will be a common technique for lunar and space farms in the future.

―― Is there anything else you'd like to add?

Kaneiko: The future portrayed in "Mobile Suit Gundam", the Universal Century, feels like it is just around the corner. And as we head there, I want to use plasma to create new agricultural and food production systems. Of course, this is not just limited to space. If this technology can be used on Earth to solve its problems with food, well, I hope we can all work together to create that future.

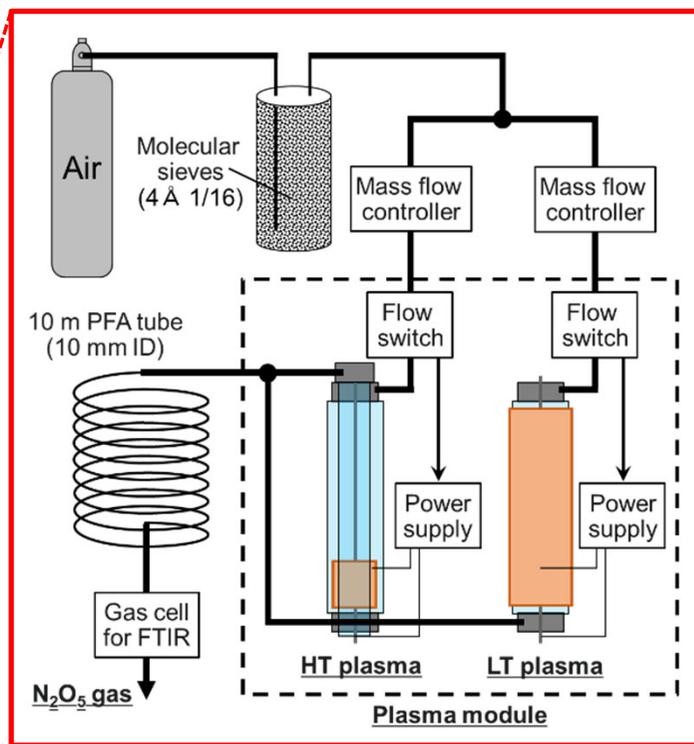
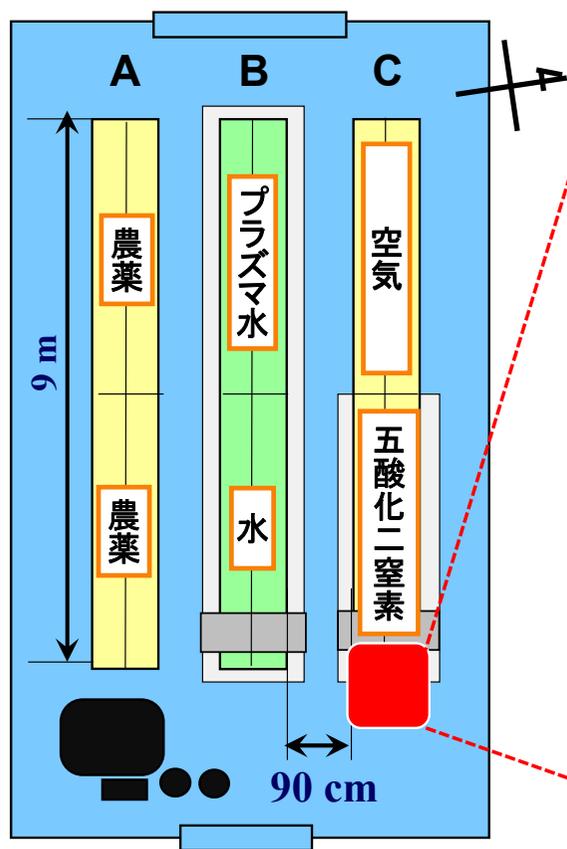
GREEN NEXT FUTURE PAVILION

GREEN NEXT FUTURE PAVILION

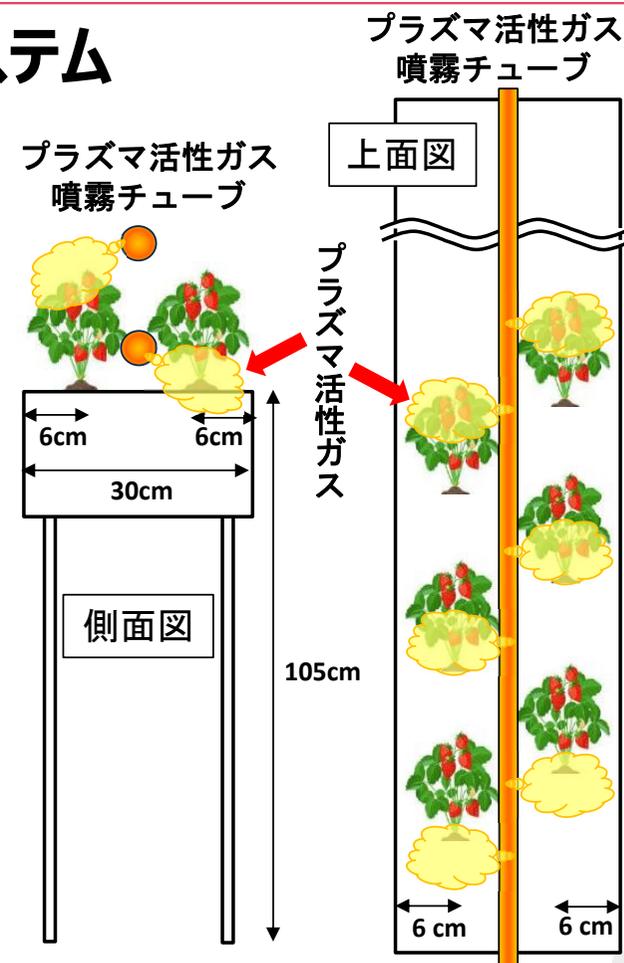
「EXPO2025 GUNDAM NEXT FUTURE PAVILION の公式ガイドブックより引用」



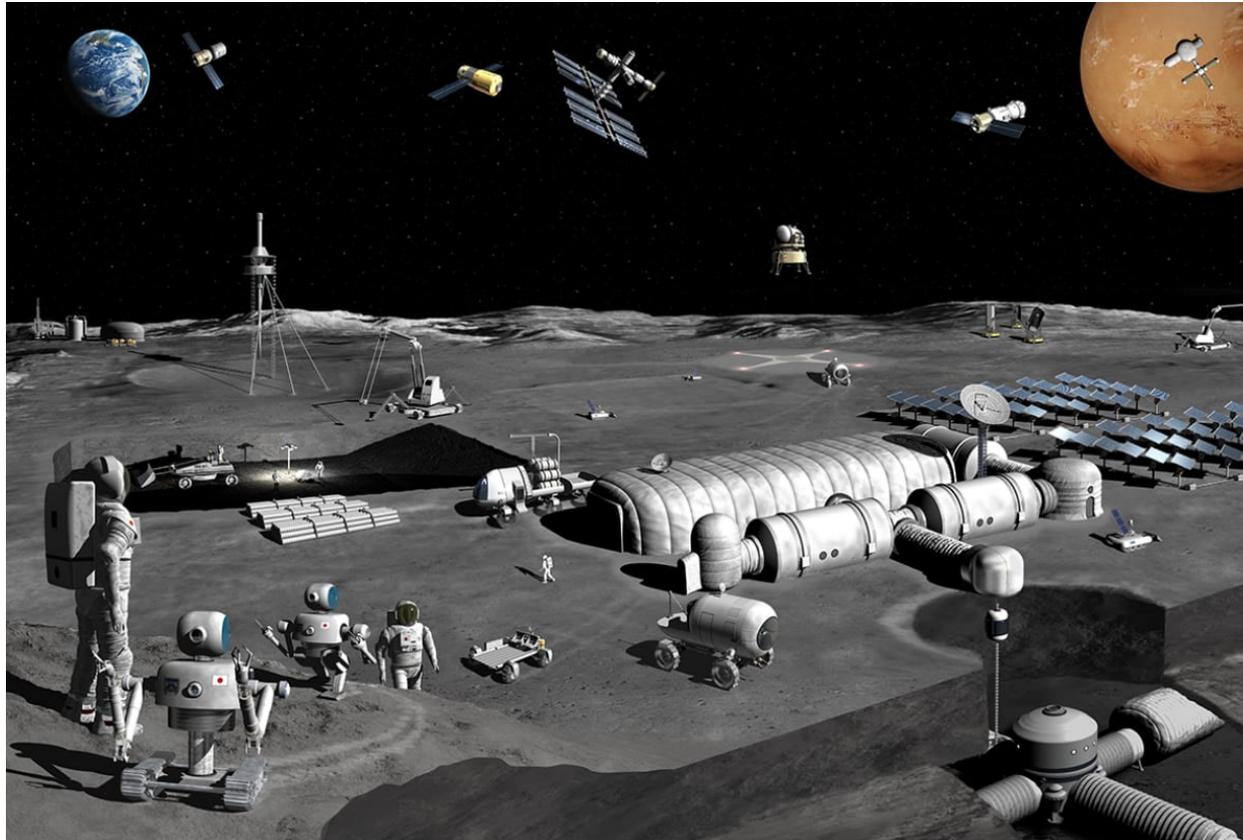
大気圧空気プラズマ装置とプラズマ活性ガス噴霧システム



プラズマ活性ガス合成装置の設計と製作



プラズマアグリ® : サステナブルファームを月面基地で作りたい!

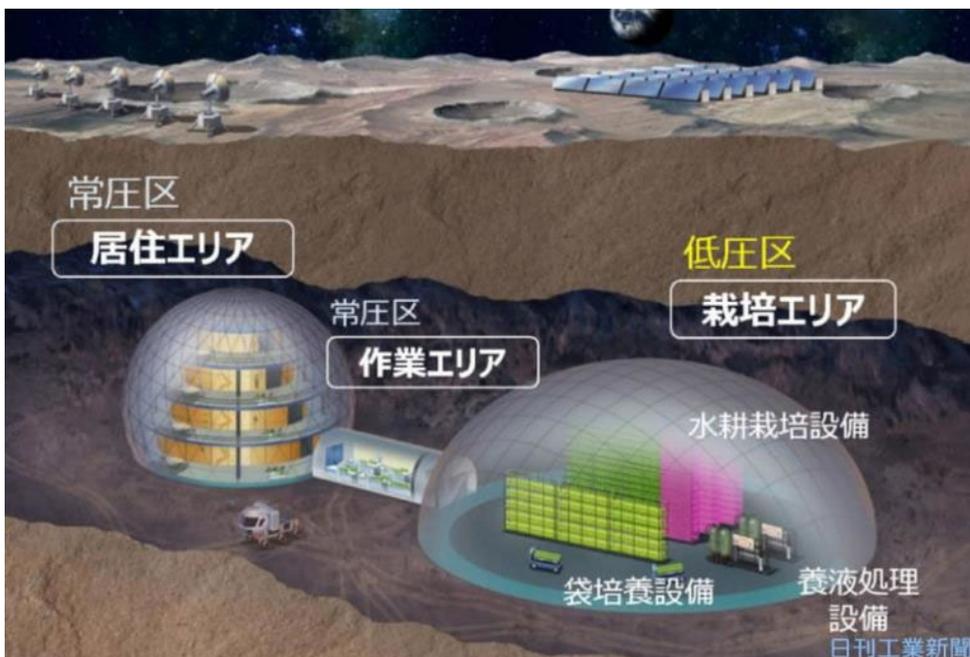


将来の月面・月周辺での活動風景

出典：JAXAホームページ



未来のプラズマ月面農場



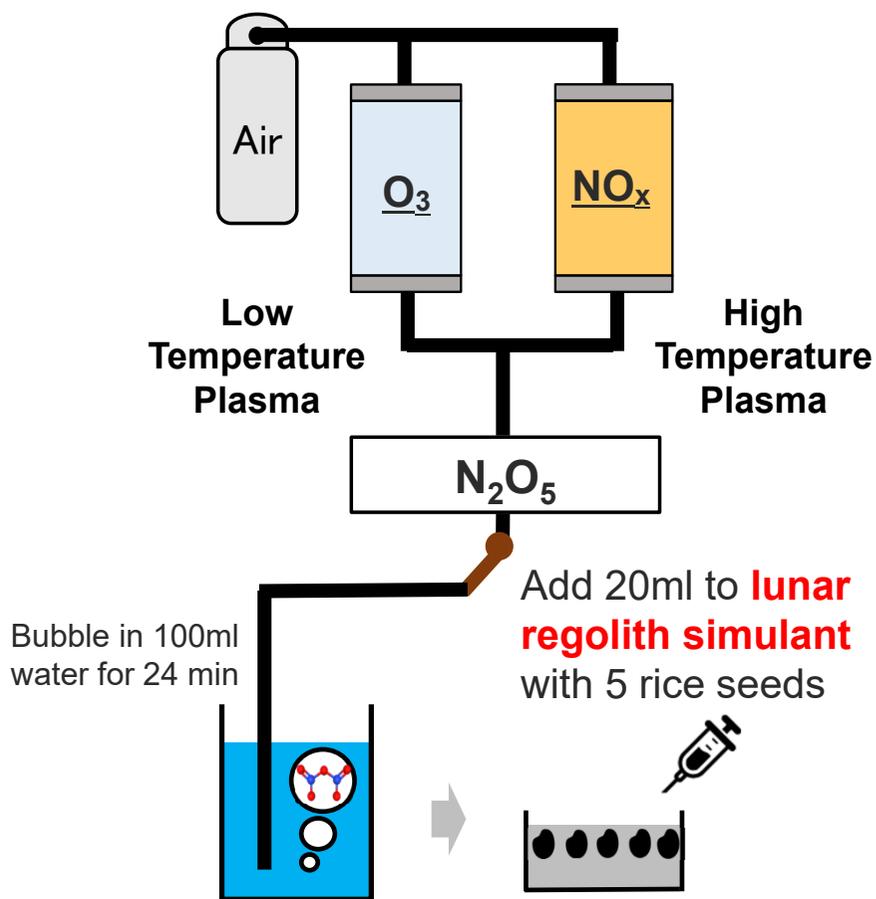
Key challenges for growing crops on the Moon

- Air
- Water
- Light
- Suitable Soil
- Fertilizer
- Pesticide

Growing crops using lunar-regolith simulant*

※Sand-like substances that simulate surface sediment (soil) of the moon.

プラズマ月面農場：模擬月レゴリスを用いたイネ栽培



LHS (Lunar Highland Sediment)

Oxide	Wt.%
SiO_2	49.12
TiO_2	0.63
Al_2O_3	26.29
FeO	3.20
MnO	0.06
MgO	2.86
CaO	13.52
Na_2O	2.55
K_2O	0.34
P_2O_5	0.17
LOI	0.41
Total	99.15



LMS (Lunar Mare Sediment)

Oxide	Wt.%
SiO_2	48.22
TiO_2	2.70
Al_2O_3	12.40
FeO	8.79
MnO	0.06
MgO	15.97
CaO	7.65
Na_2O	1.73
K_2O	0.42
P_2O_5	0.23
LOI	0.56
Total	98.87

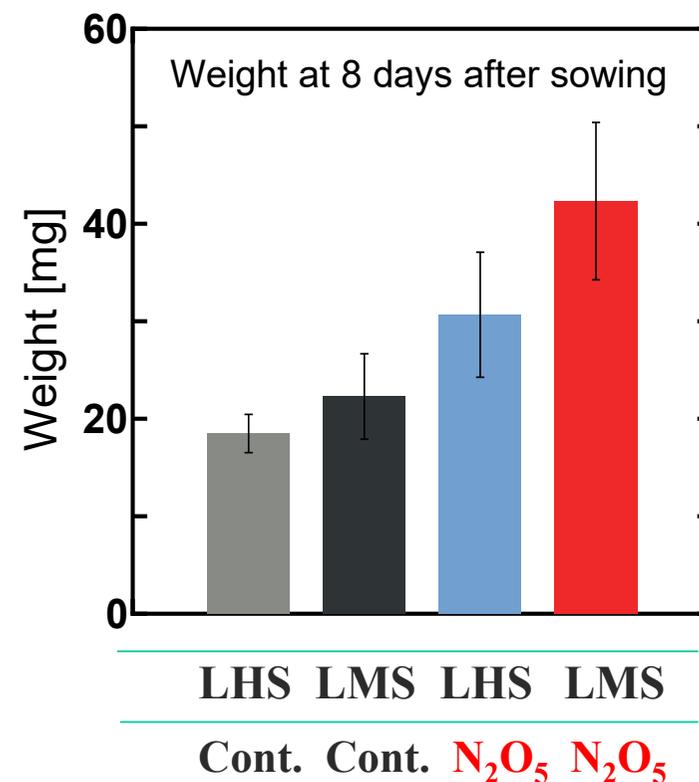


There is no nitrogen source in the lunar-regolith simulant
 ⇒ Supply of nitrogen source using plasma-synthesized N_2O_5 solution

プラズマ月面農場：プラズマ合成 N_2O_5 溶解液の窒素肥料効果



LHS	LMS	LHS	LMS
Cont.	Cont.	N_2O_5	N_2O_5



In both the LMS and LHS, the nitrogen fertilization effect of the plasma-synthesized N_2O_5 solution was observed.

プラズマ月面農場：プラズマ合成 N_2O_5 溶解液の窒素肥料効果



Cont. N_2O_5

DAY 110

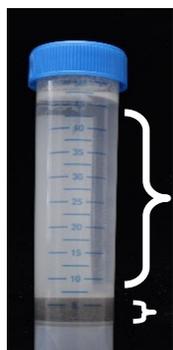


Cont. N_2O_5



Rice cultivated using lunar regolith simulant and N_2O_5 solution reaches heading stage.

Influence of ions eluted from the lunar regolith simulant
Ion chromatography on the supernatant after soaking the lunar regolith simulant



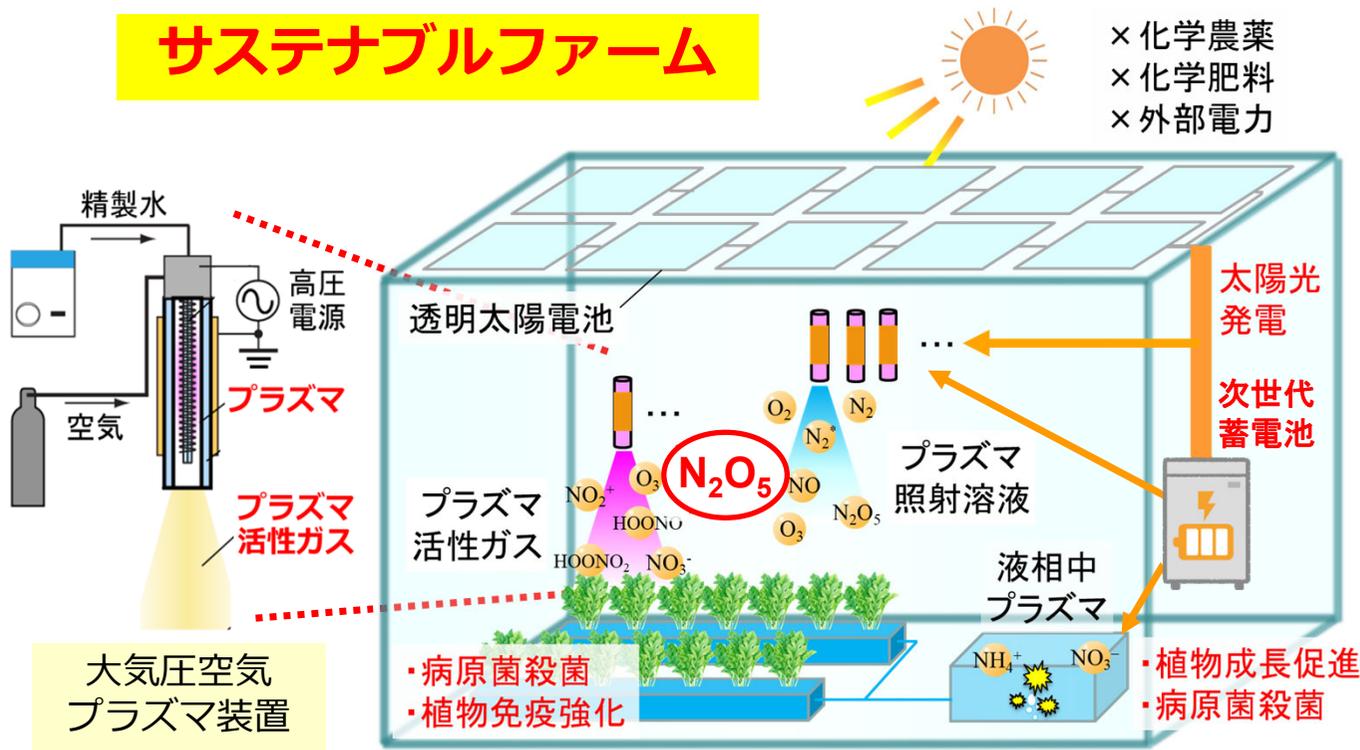
Supernatant Solution

Lunar-Regolith Simulant

Liquid	pH	NO_3^-	PO_4^{3-}	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Al^{3+}
Pure water	9.09	0.82	< 0.2	5.0	1.3	1.6	4.6	0.08
N_2O_5 dissolved water	6.76	620	< 0.2	9.0	3.5	20	130	< 0.008

プラズマアグリ® : 大気圧空気プラズマでサステナブルファーム

サステナブルファーム



プラズマによる農作物栽培の強み

- 減化学肥料・化学農薬
- 成長促進
- 免疫力向上



プラズマアグリ® : サステナブルファーム

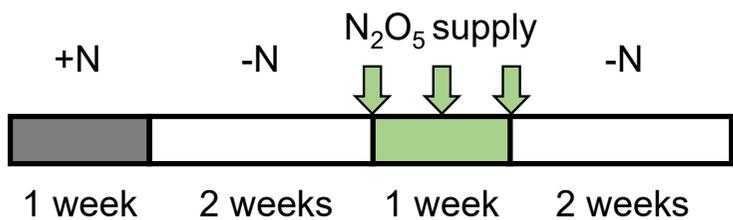
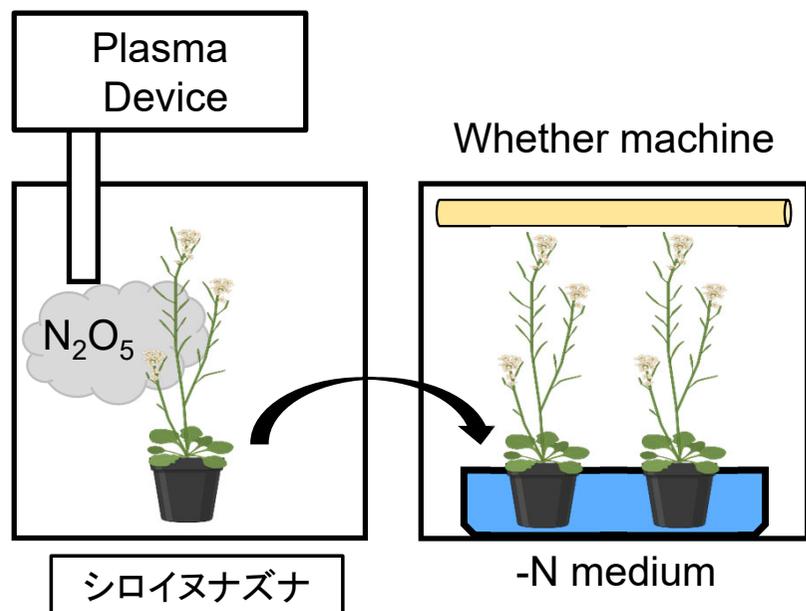


宮城県山元町 イチゴ農園

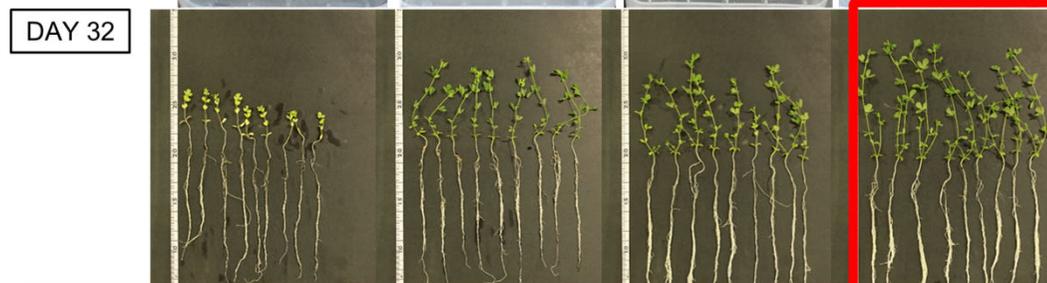
- プラズマ合成五酸化二窒素噴霧装置
- プラズマ活性ガス溶解液噴霧装置



プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果

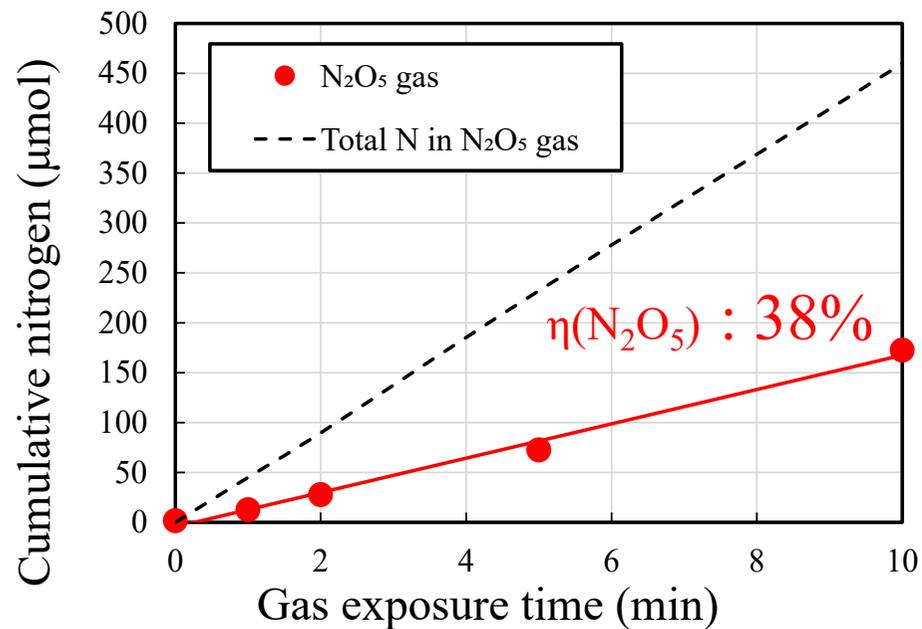
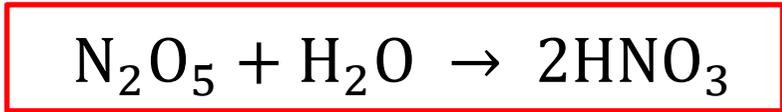
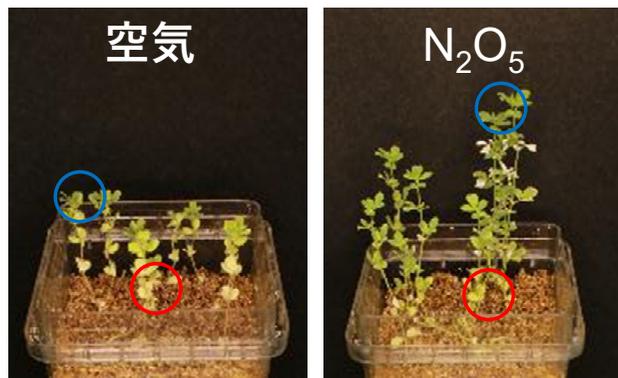
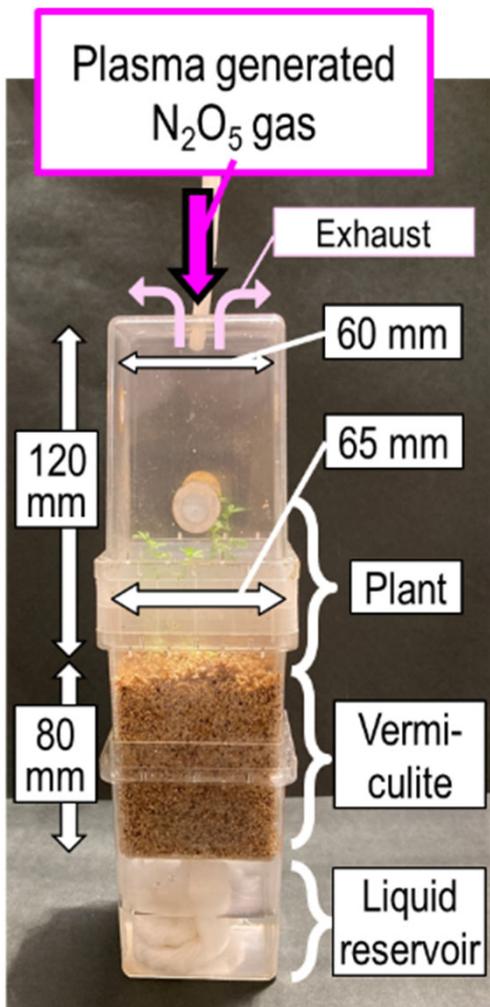


事前準備 → 植替え [DAY0] → 窒素源添加 [DAY5] → 結果観察 [DAY32]



根粒菌	-	+	-	-
KNO_3	-	-	+	-
N_2O_5	-	-	-	+

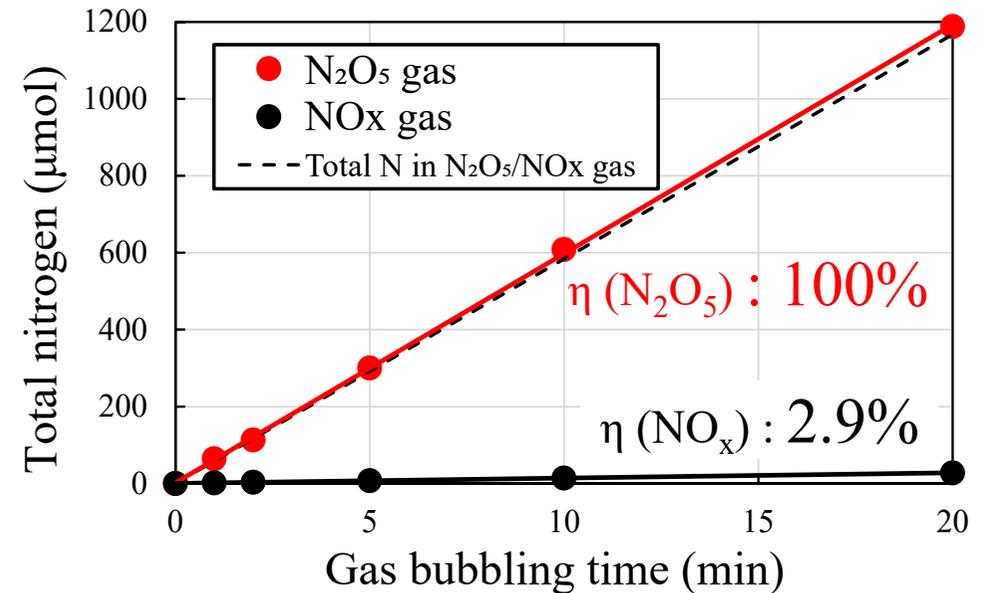
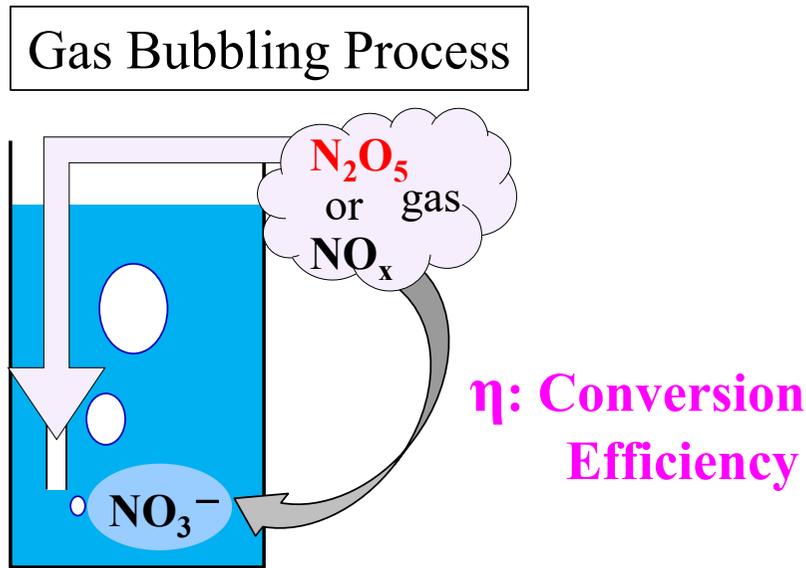
プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果（直接処理）



窒素施肥効果の実証

S. Takeshi, K. Takashima, S. Sasaki, A. Higashitani, T. Kaneko: Plasma Process. Polym. 21 (2024) e2400096.

プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果 (間接処理)



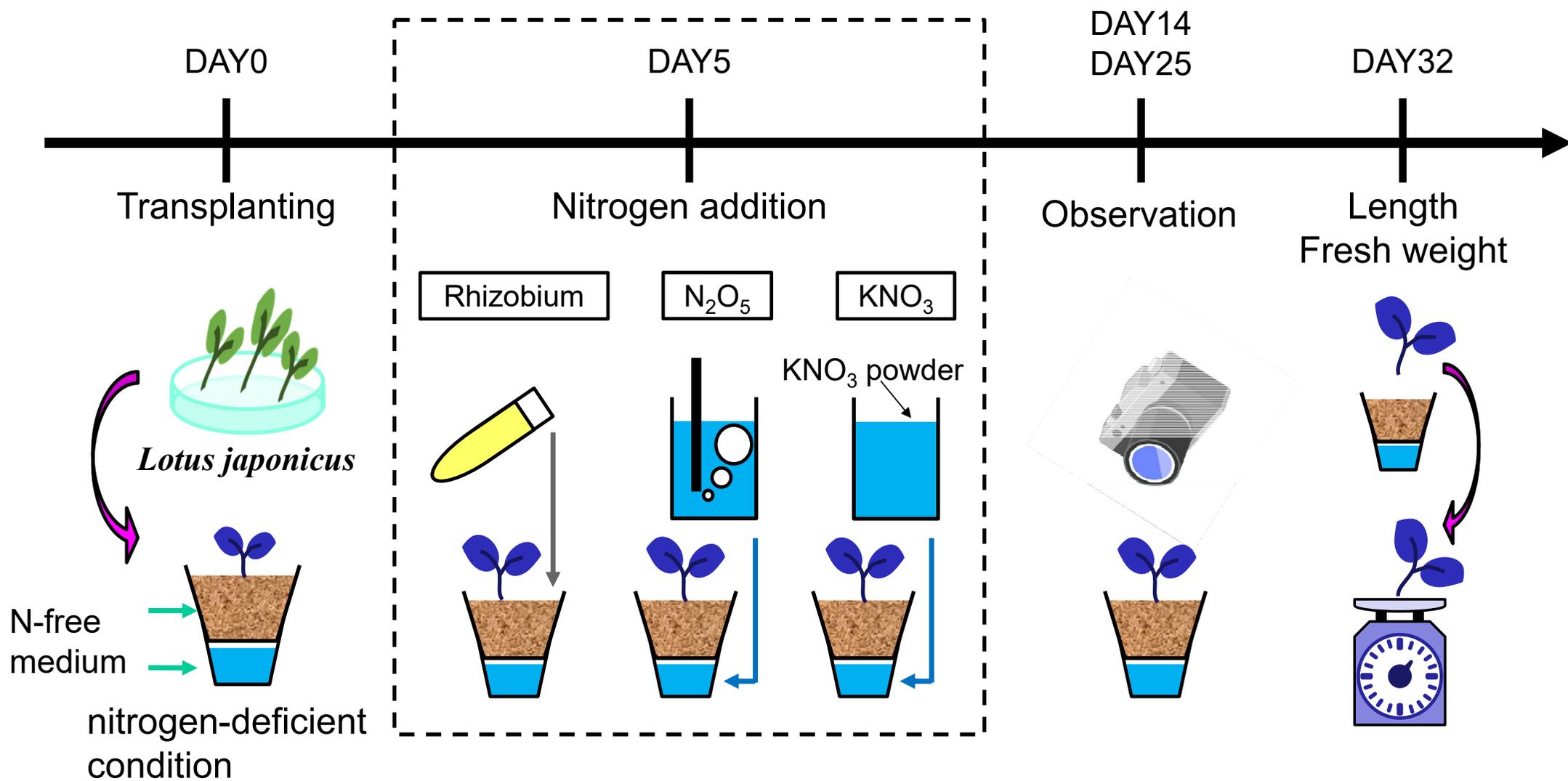
$$\eta = \frac{\text{Total nitrogen of nitrate (NO}_3^-) \text{ in water}}{\text{Total nitrogen supplied as gas (N}_2\text{O}_5, \text{NO}_x)}$$

- **N₂O₅** achieved nearly **100%** conversion efficiency, while **NO_x** was only about **3%**.
- Reasonable result from the Henry's constant of N₂O₅

Henry constant H^{cp}

Main N _x O _y	H^{cp} [mol/(m ³ P _a)]
NO	1.9×10^{-5}
NO ₂	1.2×10^{-4}
NO ₃	3.8×10^{-4}
N₂O₅	∞

プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果（間接処理）



プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果（間接処理）



	Cont.	Sym.	KNO ₃	N ₂ O ₅	N ₂ O ₅ +Sym.
(A) Rhizobium	—	+	—	—	+
(B) KNO ₃	—	—	+	—	—
(C) Indirect N ₂ O ₅	—	—	—	+	+

プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果（間接処理）

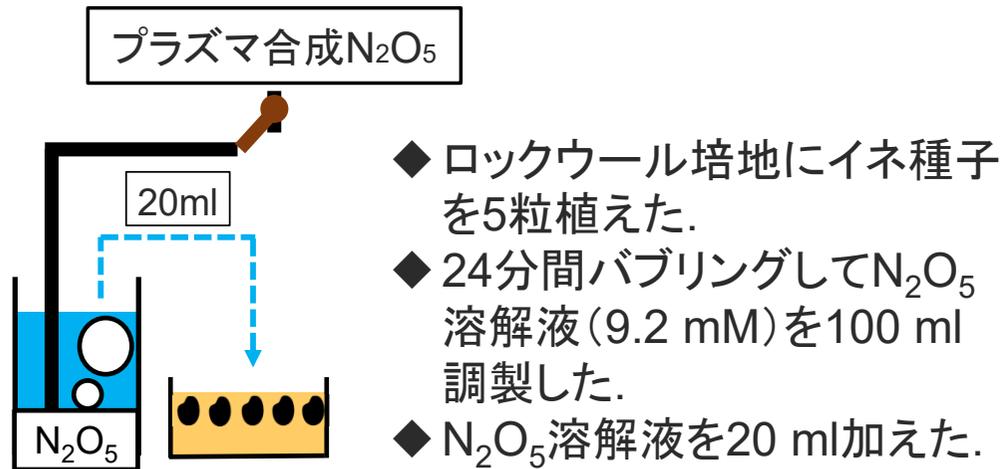
DAY32



	Cont.	Sym.	KNO ₃	N ₂ O ₅	N ₂ O ₅ +Sym.
(A) Rhizobium	-	+	-	-	+
(B) KNO ₃	-	-	+	-	-
(C) Indirect N ₂ O ₅	-	-	-	+	+

プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果（間接処理・イネ）

プラズマ合成 N_2O_5 をバブリングした液体培地のイネに対する窒素施肥効果



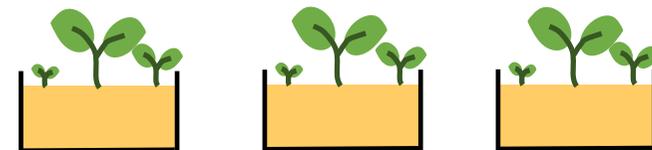
- ◆ 水 (Cont.), 硝酸水も含め, 4セットずつ作成する.
- ※ N_2O_5 溶解液と硝酸水の窒素量を等しくした.

水 (Cont.)	 × 4
N_2O_5 溶解液	 × 4
硝酸水	 × 4

- ◆ 播種後7日目に2セット収穫し, 播種後14日目に残りの2セットを収穫した.
- ◆ 地上部の重さ, 草丈の長さを定量し, 評価を行った.



- ◆ 栽培環境
温度: 30 °C
光量: 130 $\mu E / m^2 \cdot s$

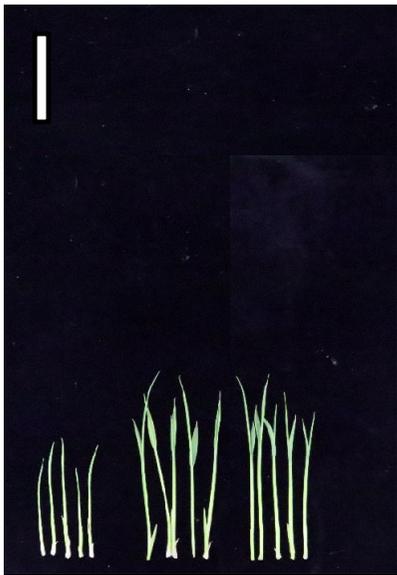


プラズマ合成五酸化二窒素の窒素施肥効果（間接処理・イネ）

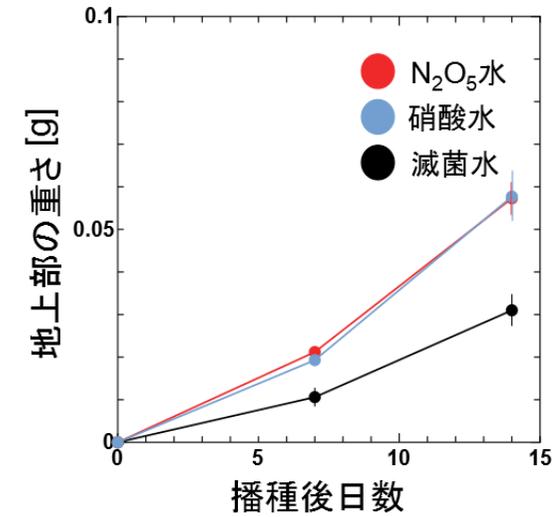
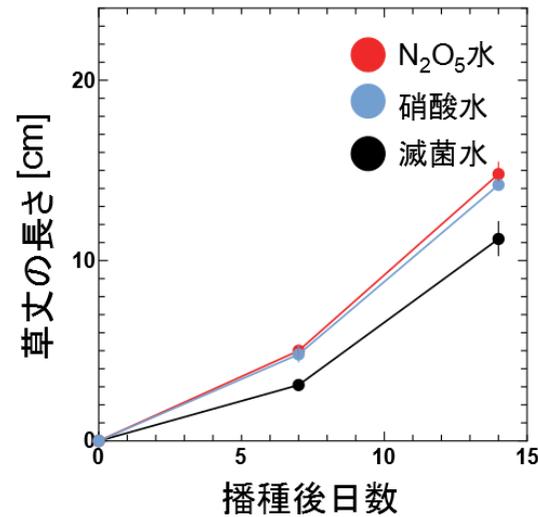
プラズマ合成 N_2O_5 をバブリングした液体培地のイネに対する窒素施肥効果

播種後7日目

播種後14日目

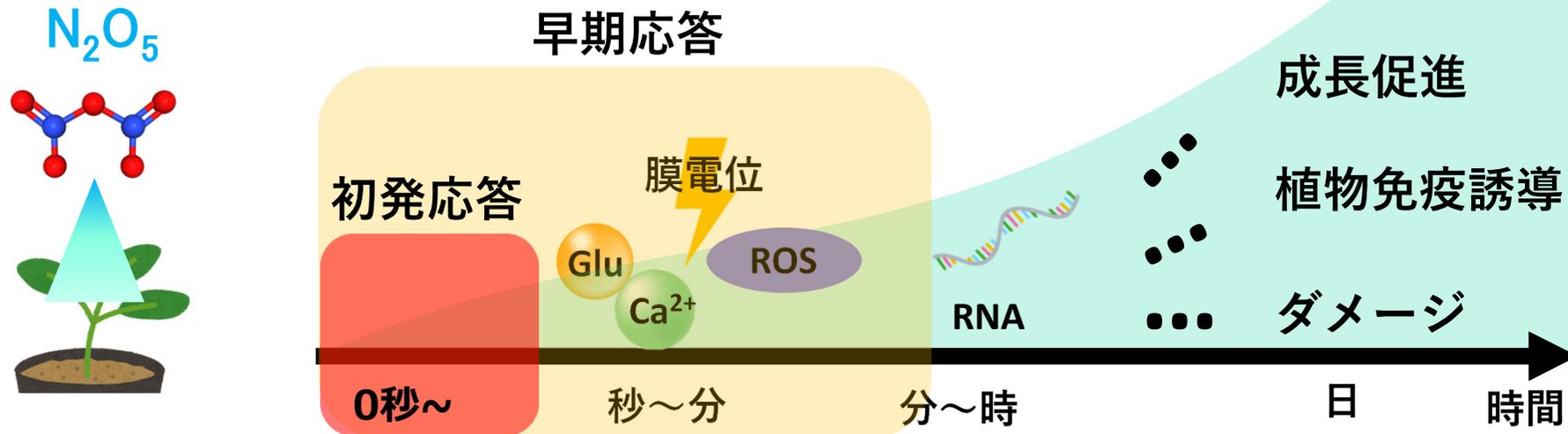


Cont. N_2O_5 硝酸水 Cont. N_2O_5 硝酸水



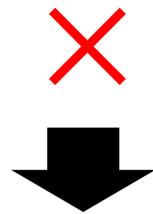
- 地上部の重さ, 草丈の長さについて評価を行った結果, プラズマ合成 N_2O_5 溶解液が, 硝酸水と同程度の窒素施肥効果を有することを明らかにした.

五酸化二窒素 (N₂O₅) の植物に対する作用の探索



N₂O₅に対する植物の

- 初発応答
- 早期応答 に着目



植物学の知見

- 刺激と初期応答の関係
- 初期応答から遺伝子発現
- 遺伝子発現から効果の発現 etc...

『プラズマ植物生理学』の学理構築

プラズマ合成 N_2O_5 照射による植物早期応答観察

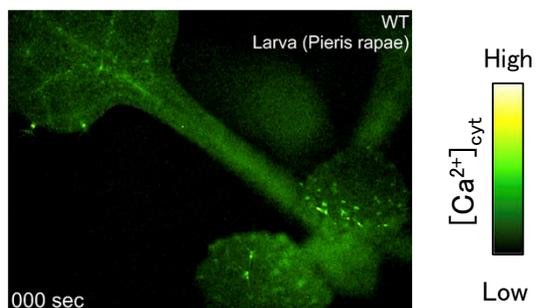
シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana*)



- 短い世代時間
- 全ゲノム解析済
- 少ない染色体数
- 数多の研究事例

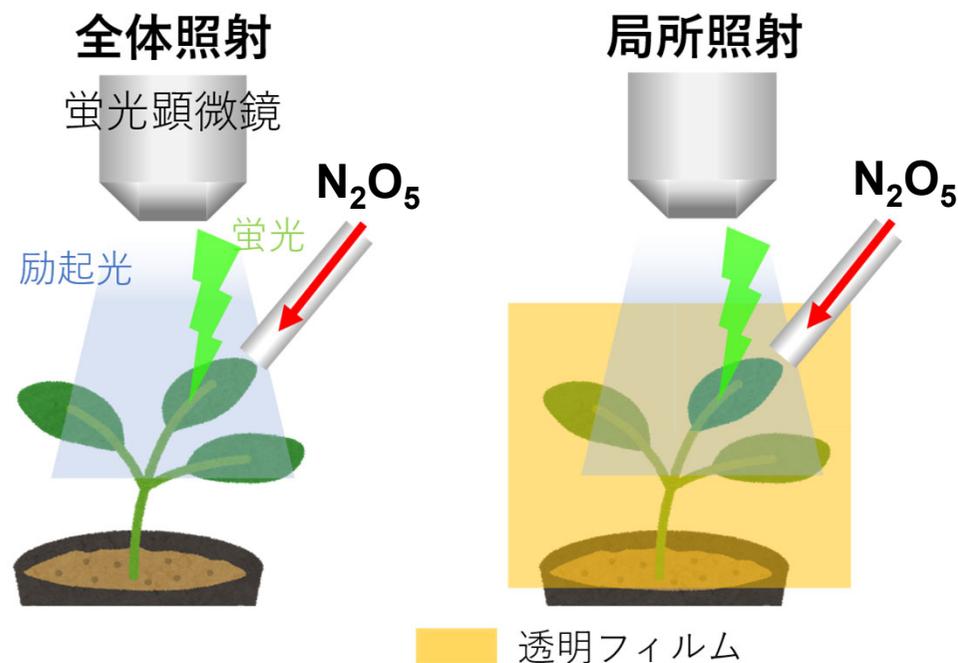
GCaMP3導入変異体

カルシウムイオン(Ca^{2+})濃度を可視化可能
例: 虫に齧られたときの葉の様子



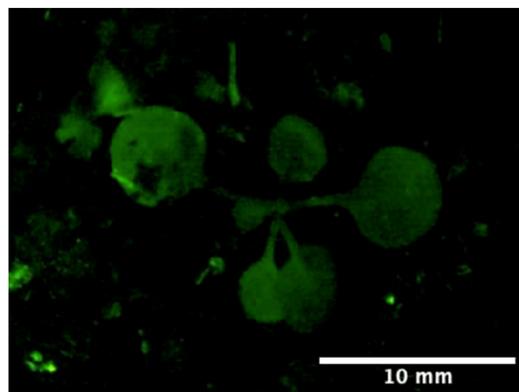
Toyota *et al.*, Science **361** (2018) 1112.

早期応答観察(蛍光ライブ観察)



プラズマ合成 N_2O_5 照射による植物早期応答(Ca^{2+})

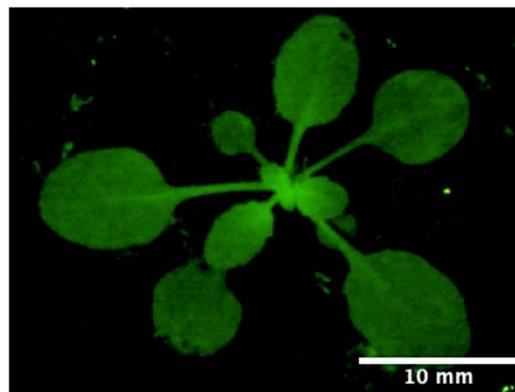
Control (Air)



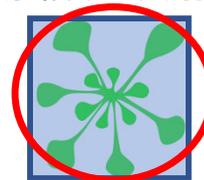
観察領域 照射領域



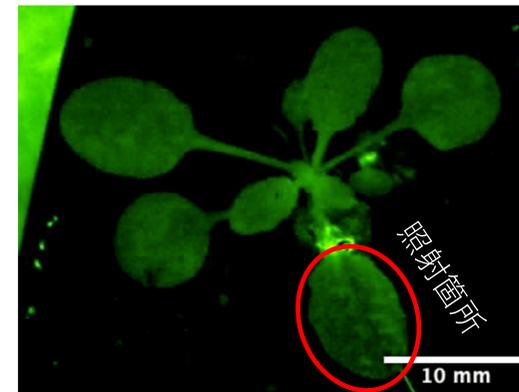
N_2O_5 全身照射



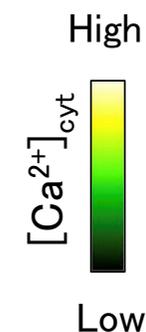
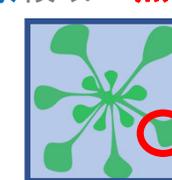
観察領域 照射領域



N_2O_5 局所照射



観察領域 照射領域

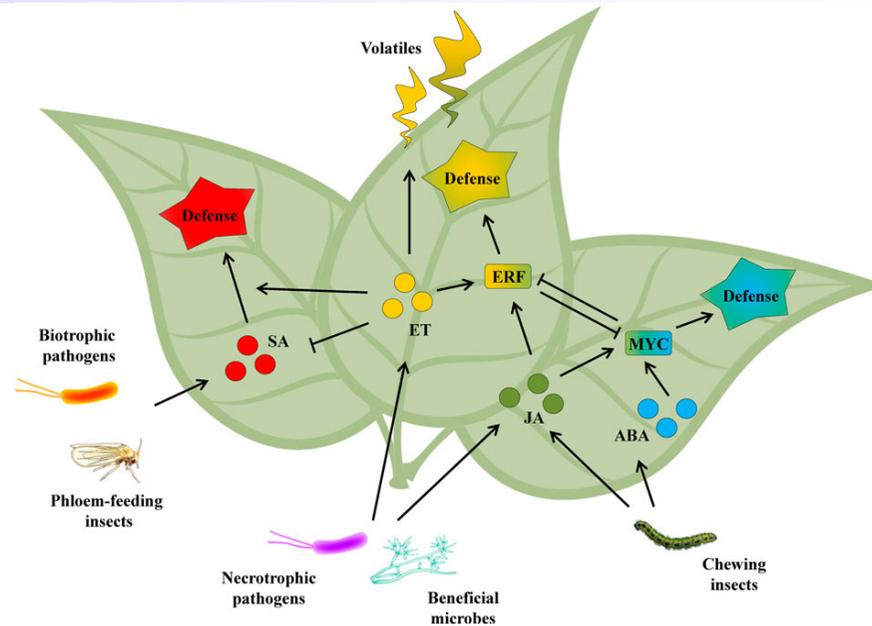


- Air照射: Ca^{2+} シグナルが発生しない
- N_2O_5 照射
 - 全身: 全身 Ca^{2+} シグナルが発生(直接 or 気孔を介して作用)
 - 局所: 照射点→全身へ緩やかに伝搬

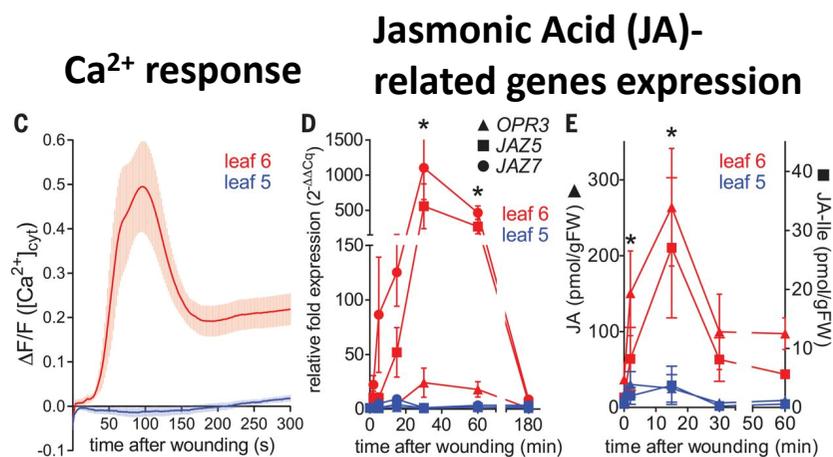
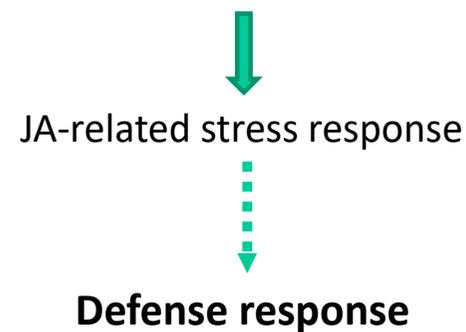
照射時間: 0.3 [$\mu\text{mol/s}$]
照射時間: 30 [s]



$[Ca^{2+}]_{cyt}$ change by larva chewing



Insect chewing (physical stimulus)

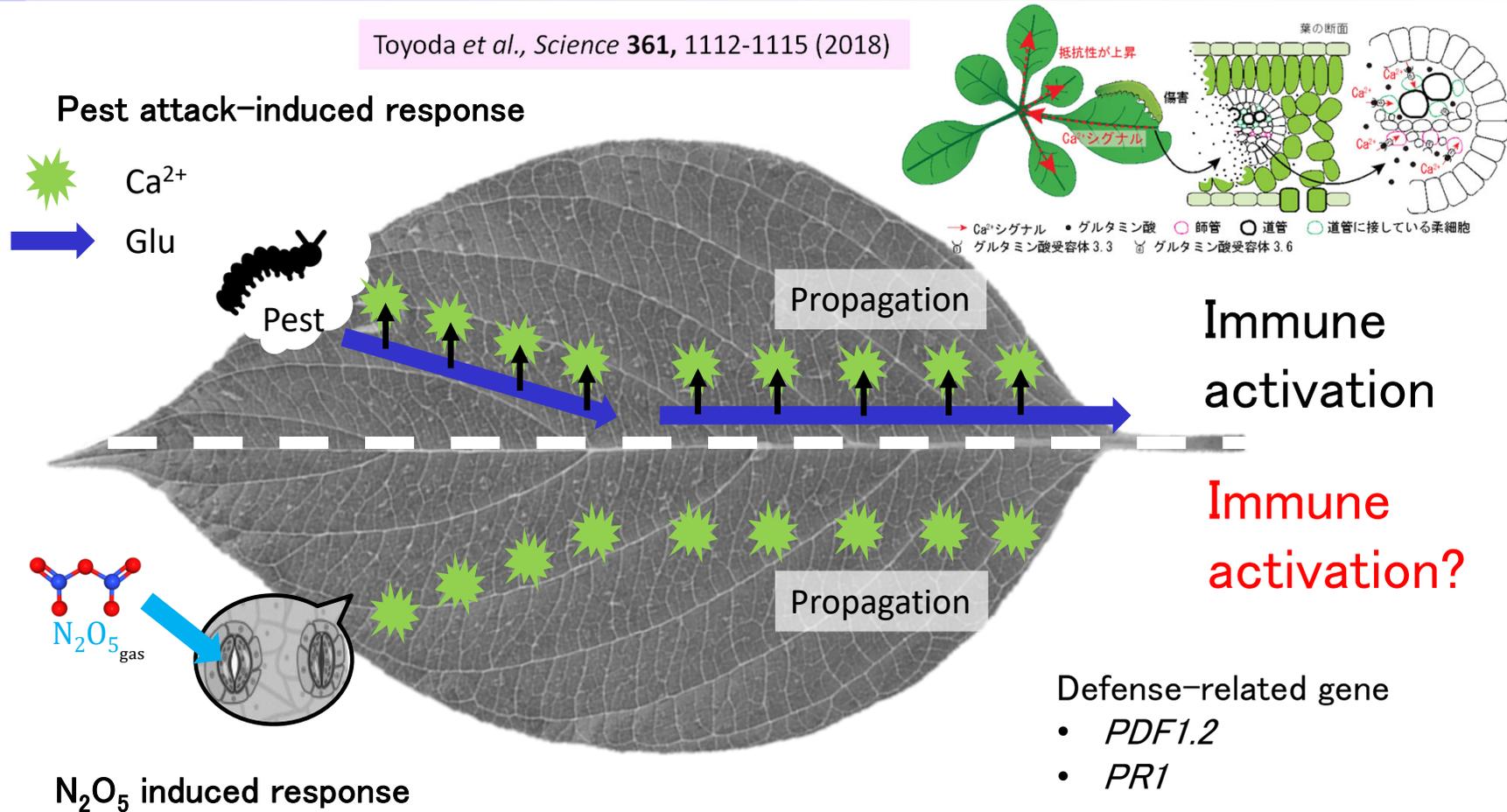


Toyota *et al.*, *Science* **361**, 1112 (2018)

Broekgaarden *et al.*, *Plant Pys.* **169**, 2371 (2015)

Comparison of $N_2O_5^-$ and wounding-induced responses

Toyoda et al., *Science* **361**, 1112-1115 (2018)



N_2O_5 induced $[Ca^{2+}]_{cyt}$ propagation response similar to the pest attack-induced response

□ N_2O_5 exposure also can induce activation of plant immune system?

プラズマ合成五酸化二窒素による二次代謝制御

発芽後経過日数 N_2O_5 照射

14 days

1st

18 days

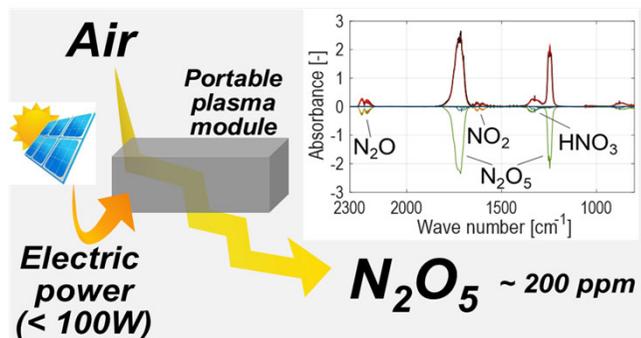
2nd

24 days

3rd

32 days

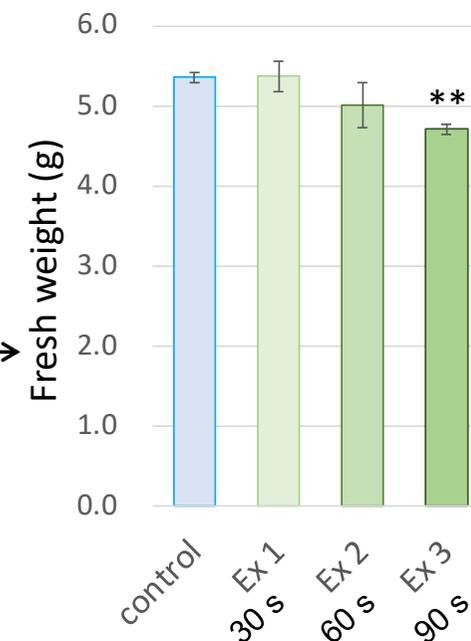
↓
サンプリング



N_2O_5 rich gas : $0.32 \mu\text{mol/s}$



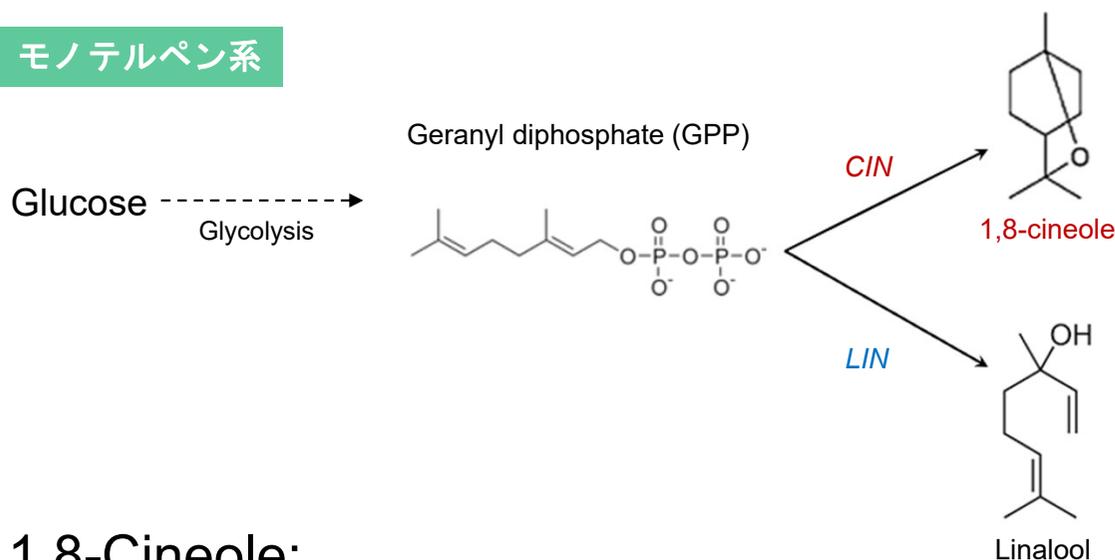
Ex1: 30 s ($9.7 \mu\text{mol}$) \times 3 times
 Ex2: 60 s ($19.4 \mu\text{mol}$) \times 3 times
 Ex3: 90 s ($29.1 \mu\text{mol}$) \times 3 times



- ◆ 水溶性画分のNon-targeted LC-MS analysis
- ◆ 不溶性画分のTargeted GC-MS analysis (1,8-Cineole, Linalool, Methyleugenol)
- ◆ 関連遺伝子の転写量解析 (RT-PCR)

プラズマ合成五酸化二窒素が二次代謝産物生成に与える影響

モノテルペン系



1,8-Cineole:

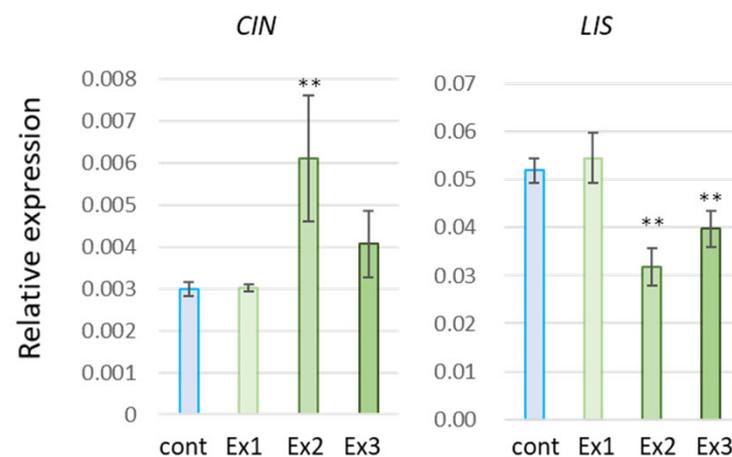
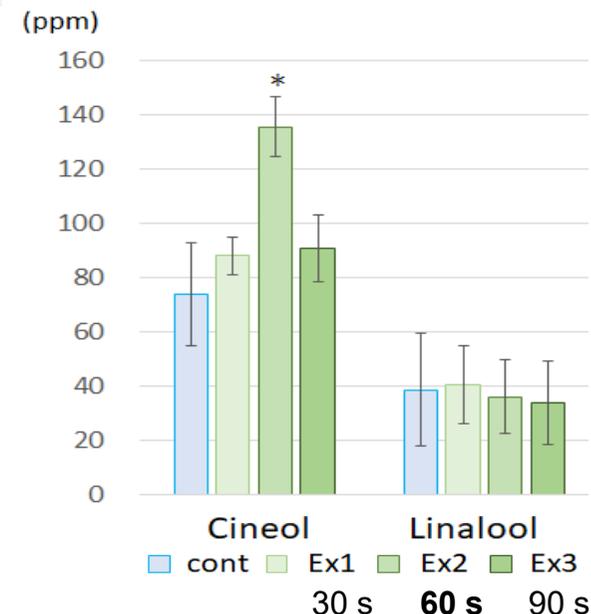
抗菌・真菌作用

ユーカリの香り成分-リラックス効果

抗炎症、鎮咳、去痰、鎮痛

1,8-Cineoleの有意な増加。

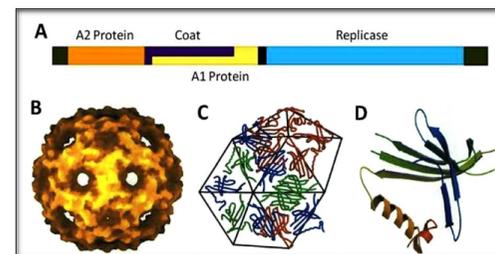
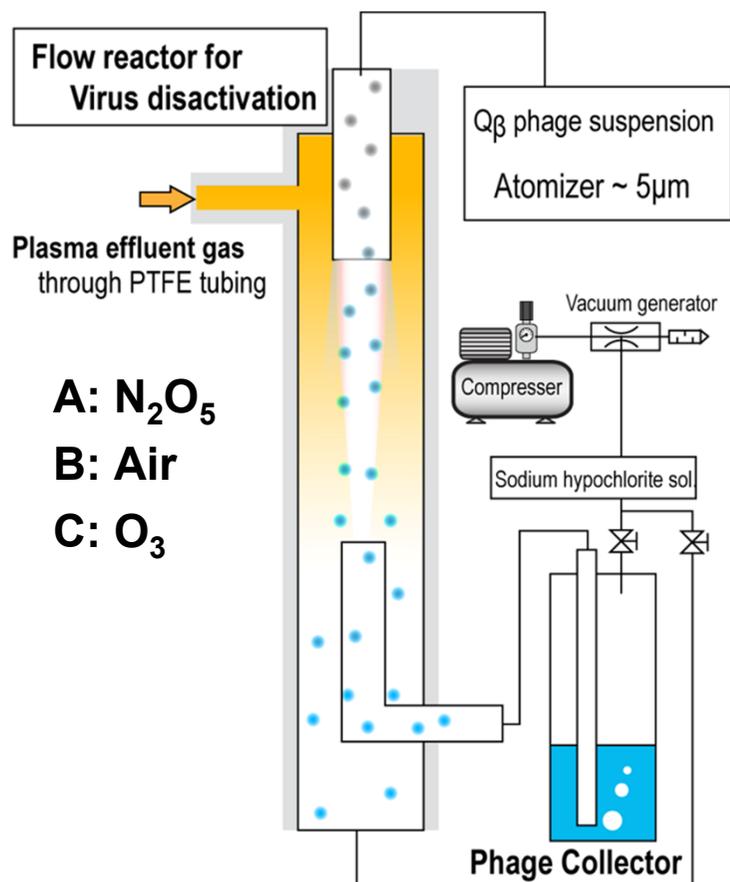
合成遺伝子(CIN) 転写量の増加によるもの。



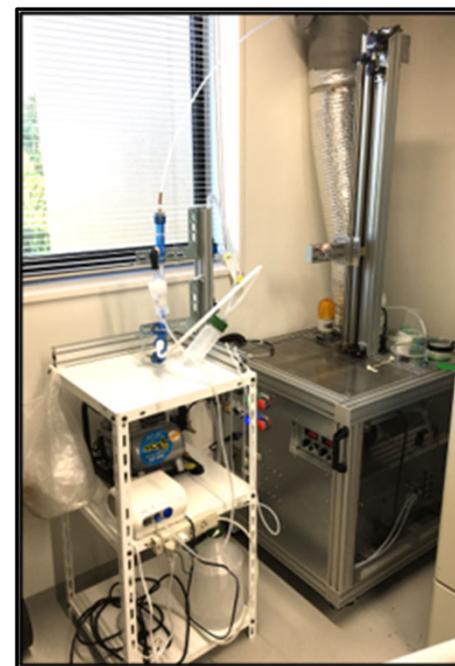
R. Tateishi, N. Ogawa-Kishida, N. Fujii, Y. Nagata, Y. Ohtsubo, S. Sasaki, K. Takashima, T. Kaneko, A. Higashitani: Sci. Rep. **14** (2024) 12759

プラズマ合成 N_2O_5 照射によるウイルス不活化

ウイルス(Q β ファージ)を含むミストに作用



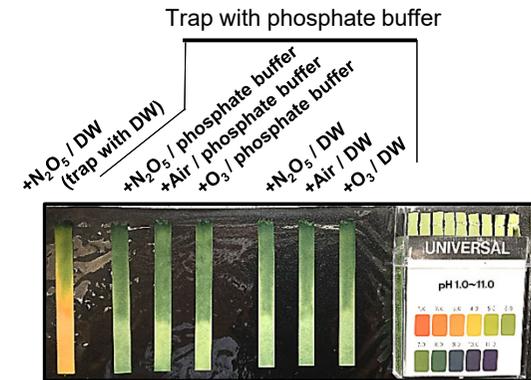
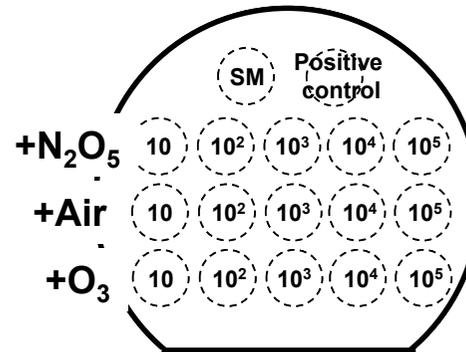
Q β phage



プラズマ合成 N_2O_5 照射によるウイルス不活化

N_2O_5 によるウイルス不活化

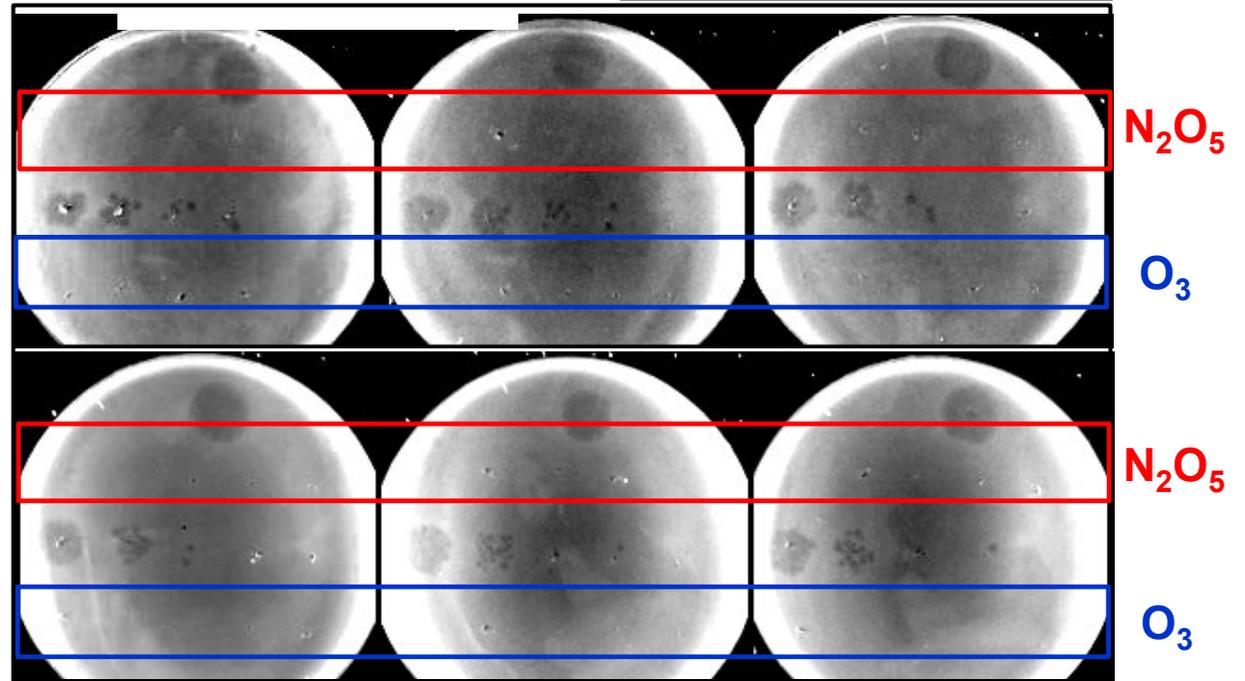
- Mist of Q β phage (1×10^9 pfu/ml)
- N_2O_5 treatment for 15 min
- Trap with 30 ml of 100mM phosphate buffer (pH7.0)
- Plaque assay



リン酸緩衝液

3桁以上の
不活化が可能

精製水



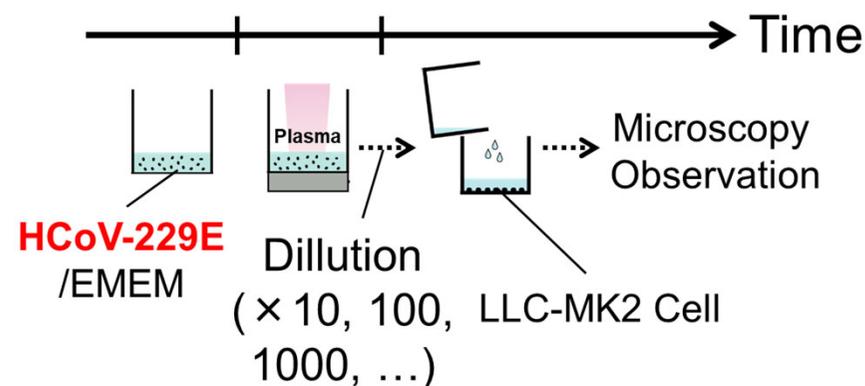
プラズマ合成 N_2O_5 照射によるコロナウイルス不活化



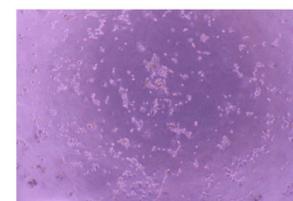
~Seven species of human coronaviruses~

Species	Isolated in	Disease
HCoV-229E	1966	Cold
HCoV-NL63	2004	Cold
HCoV-OC43	1967	Cold
SARS-CoV	2003	SARS
HCoV-HKU1	2005	Cold
MERS-CoV	2012	MERS
SARS-CoV-2	2020	COVID-19

Evaluation of viral titer



Infected



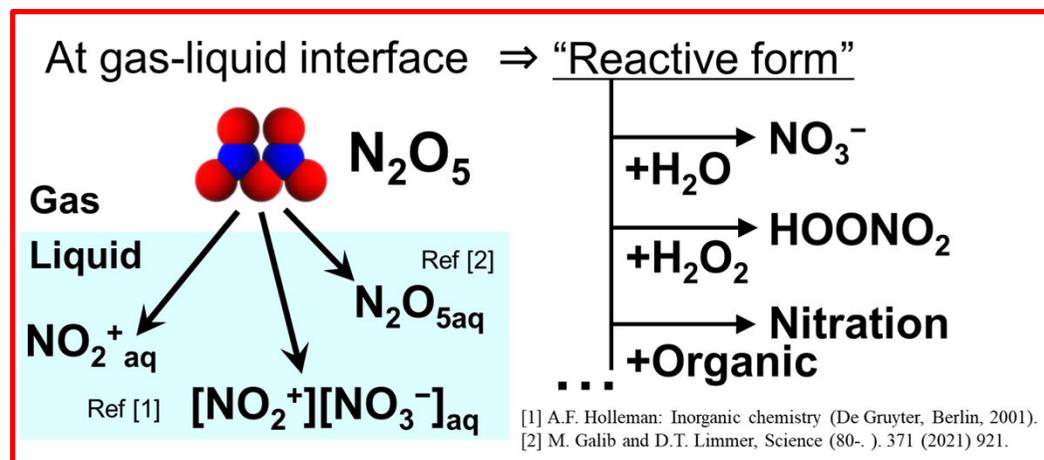
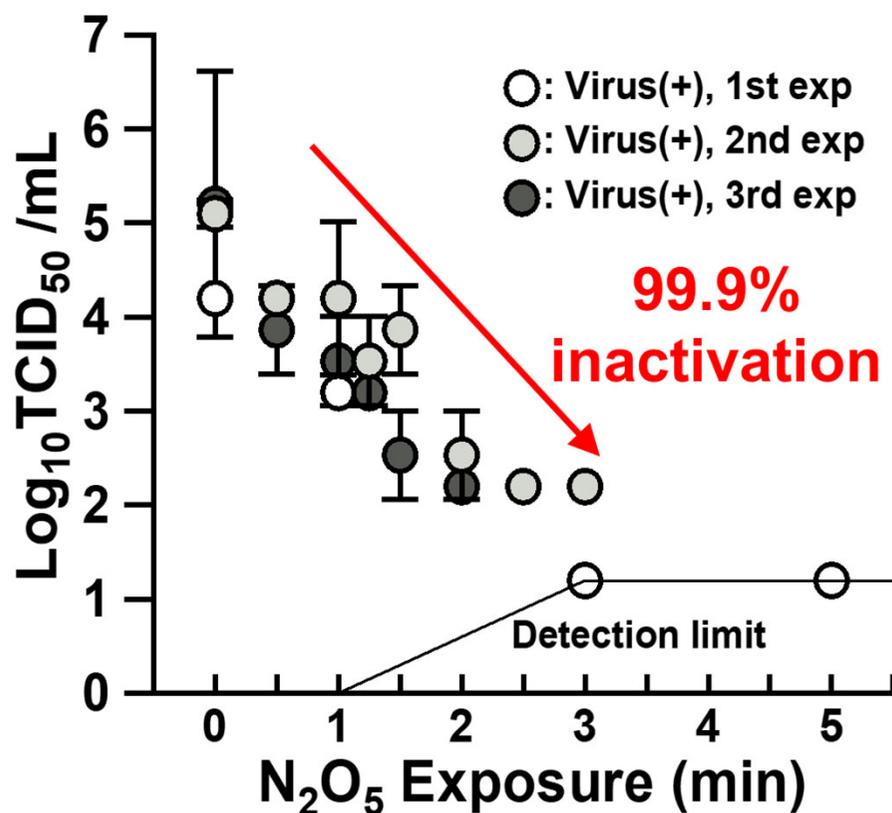
Cytopathic effect (CPE)

Uninfected



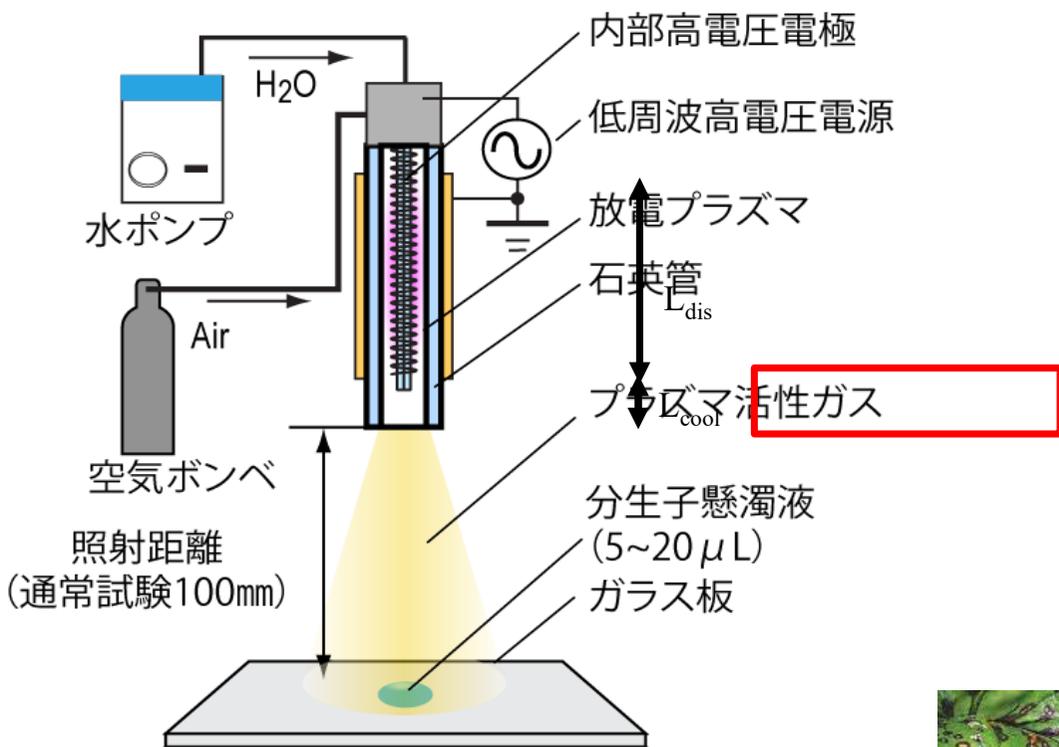
プラズマ合成 N_2O_5 照射によるコロナウイルス不活化

Virus inactivation using N_2O_5



N_2O_5 はコロナウイルス
不活化にも有効

大気圧空気プラズマ活性ガス噴霧装置



	標準型 (ショート)	強化型 (ロング)
使用した病害菌	いちご炭疽病菌 (<i>C. glo</i>), MG2061株	
ガス種	Air	
全長 (mm)	150	700
放電長: L_{dis} (mm)	94	500
冷却長: L_{cool} (mm)	10	40
印加電圧 (kV)	20	14 ~ 15
周波数 (kHz)	8.3	11
水導入量: F_{H_2O} (μL/min)	0 ~ 143	0 ~ 1500
空気流量: F_{air} (L/min)	4 ~ 20	8 ~ 16
放電電力: P (W)	40	140

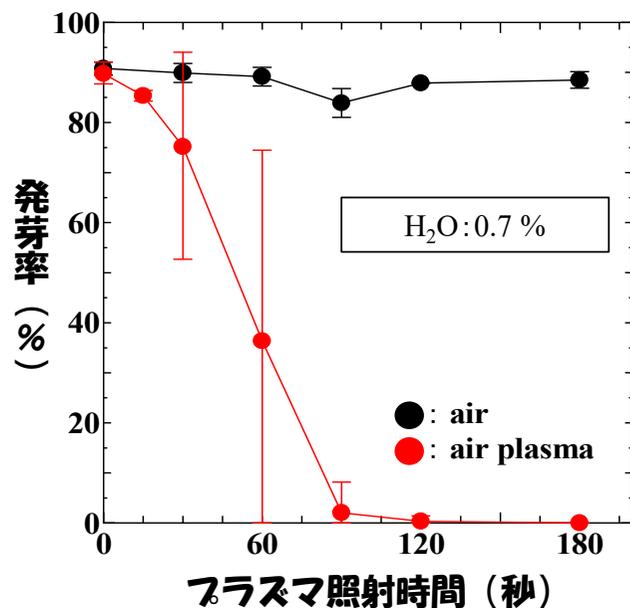
大気圧空気プラズマ活性ガスによる高効率殺菌

イチゴ炭疽病孢子(分生子)の発芽率の
プラズマ照射時間・水分濃度依存性

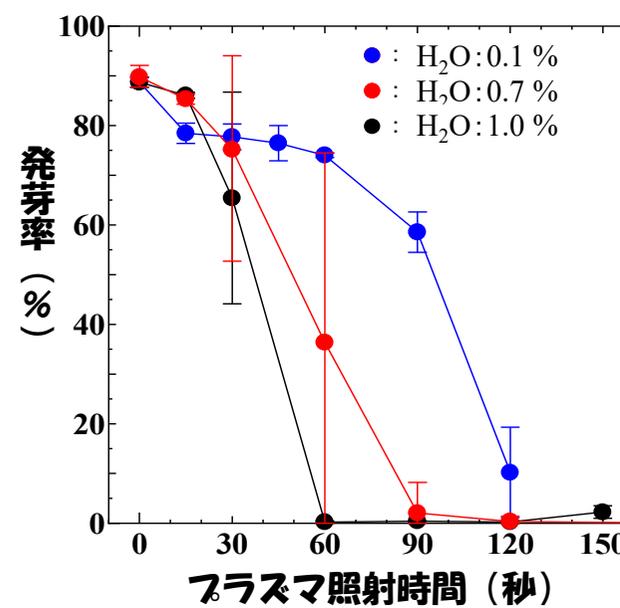
外気温:20°C

空気流量:16 L/min

<空気プラズマ照射結果>



<水濃度と発芽率の関係>



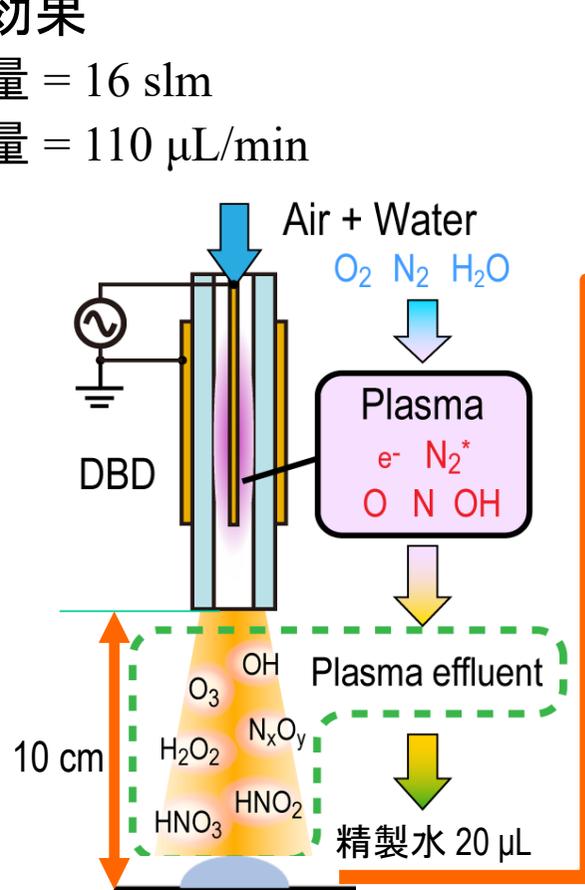
空気の湿度を調整するだけで、殺菌効果が2倍以上に!!

特許第5909831号「病原菌および害虫の駆除装置」, 特許第6363124号「病原菌および害虫の駆除方法」

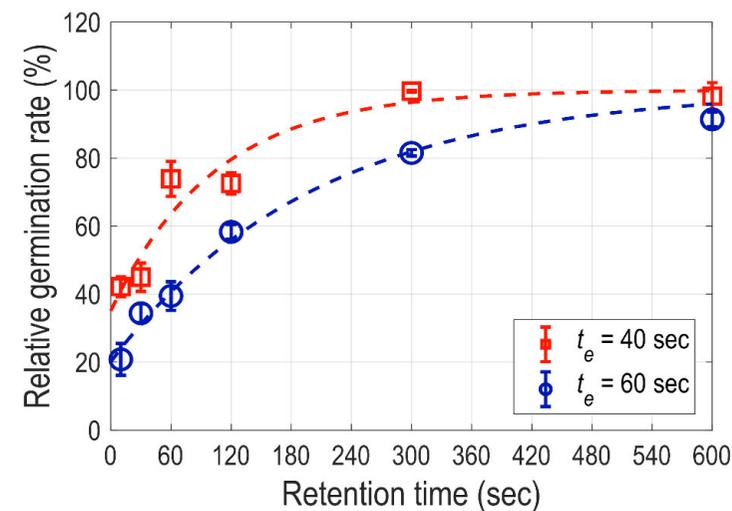
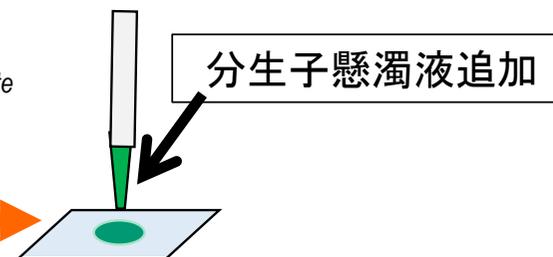
大気圧空気プラズマ合成活性種の寿命

発芽抑制効果

- 空気流量 = 16 slm
- 水導入量 = 110 $\mu\text{L}/\text{min}$



保持時間: t_{rete}
 室温



気相活性種を溶解させた液体には
 比較的寿命の短い活性種が生成

持続可能な社会構築

● 持続可能な開発目標(SDGs)の詳細



- 1 貧困をなくそう** **目標1【貧困】**
あらゆる場所あらゆる形態の貧困を終わらせる。
- 2 飢餓をゼロに** **目標2【飢餓】**
飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養の改善を実現し、持続可能な農業を促進する。
- 3 すべての人に健康と福祉を** **目標3【保健】**
あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する。
- 4 質の高い教育をみんなに** **目標4【教育】**
すべての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を確保し、生涯学習の機会を促進する。
- 5 ジェンダー平等をすすめる** **目標5【ジェンダー】**
ジェンダー平等を達成し、すべての女性及び女児の能力強化を行なう。
- 6 安全な水とトイレを世界中に** **目標6【水・衛生】**
すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する。
- 7 持続可能なエネルギーをみんなに** **目標7【エネルギー】**
すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的なエネルギーへのアクセスを確保する。
- 8 働きがいも経済成長も** **目標8【経済成長と雇用】**
包摂的かつ持続可能な経済成長及びすべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用(ディーセント・ワーク)を促進する。
- 9 産業と雇用創出をすすめる** **目標9【インフラ、産業化、イノベーション】**
強靱(レジリエント)なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る。

- 10 人や国の不平等をなくそう** **目標10【不平等】**
国内及び各国家間の不平等を是正する。
- 11 住み続けられるまちづくりを** **目標11【持続可能な都市】**
包摂的で安全かつ強靱(レジリエント)で持続可能な都市及び人間居住を実現する。
- 12 つくばないで消費しよう** **目標12【持続可能な消費と生産】**
持続可能な消費生産形態を確保する。
- 13 気候変動に具体的な対策を** **目標13【気候変動】**
気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる。
- 14 海の豊かさを守ろう** **目標14【海洋資源】**
持続可能な開発のために、海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する。
- 15 陸の豊かさも守ろう** **目標15【陸上資源】**
陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する。
- 16 平和と公正をすすめる** **目標16【平和】**
持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、すべての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する。
- 17 パートナーシップで目標を達成しよう** **目標17【実施手段】**
持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化させる。

安定した『食糧生産』『エネルギー』

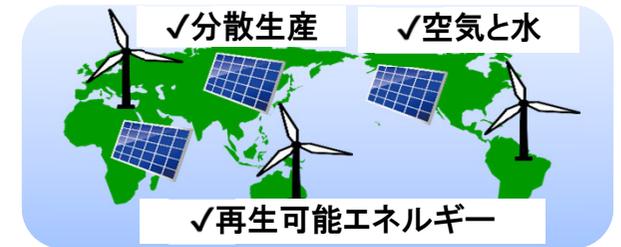
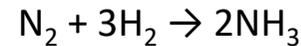
農薬・肥料



新エネルギー

アンモニア

アンモニアを生成するハーバーボッシュ法が主流



全世界の天然ガス
総産出量の3~5%
水素合成時にCO₂排出



- 化石燃料依存
- 大規模集約型生産: 輸送コスト
- エネルギー, 原料資源の偏在

世界的課題：農林水産業の生産力向上と持続性の両立

みどりの食料システム戦略（概要）

～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～
Measures for achievement of Decarbonization and Resilience with Innovation (MeaDRI)

令和3年5月
農林水産省

現状と今後の課題

- 生産者の減少・高齢化、地域コミュニティの衰退
- 温暖化、大規模自然災害
- コロナを契機としたサプライチェーン混乱、内食拡大
- SDGsや環境への対応強化
- 国際ルールメイキングへの参画

 「Farm to Fork戦略」(20.5)
2030年までに化学農薬の使用及びリスクを50%減、有機農業を25%に拡大

 「農業イノベーションアジェンダ」(20.2)
2050年までに農業生産量40%増加と環境フットプリント半減

農林水産業や地域の将来も見据えた持続可能な食料システムの構築が急務

持続可能な食料システムの構築に向け、「みどりの食料システム戦略」を策定し、中長期的な観点から、調達、生産、加工・流通、消費の各段階の取組とカーボンニュートラル等の環境負荷軽減のイノベーションを推進

目指す姿と取組方向

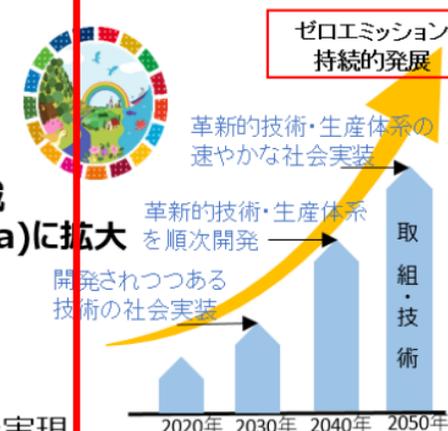
2050年までに目指す姿

- 農林水産業のCO2ゼロエミッション化の実現
- 低リスク農薬への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬等の開発により化学農薬の使用量（リスク換算）を50%低減
- 輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減
- 耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を25%(100万ha)に拡大
- 2030年までに食品製造業の労働生産性を最低3割向上
- 2030年までに食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現を目指す
- エリートツリー等を林業用苗木の9割以上に拡大
- ニホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現

戦略的な取組方向

2040年までに革新的な技術・生産体系を順次開発（技術開発目標）
2050年までに革新的な技術・生産体系の開発を踏まえ、今後、「政策手法のグリーン化」を推進し、その社会実装を実現（社会実装目標）

※政策手法のグリーン化：2030年までに施策の支援対象を持続可能な食料・農林水産業を行う者に集中。
2040年までに技術開発の状況を踏まえつつ、補助事業についてカーボンニュートラルに対応することを目指す。
補助金拡充、環境負荷軽減メニューの充実とセットでクロスコンプライアンス要件を充実。
※革新的技術・生産体系の社会実装や、持続可能な取組を後押しする観点から、その時点において必要な規制を見直し。地産地消型エネルギーシステムの構築に向けて必要な規制を見直し。

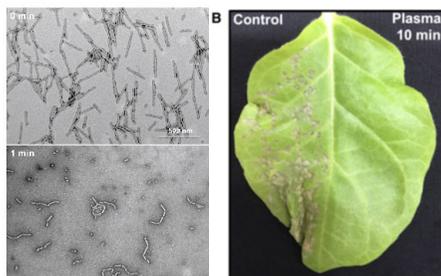


2050年までに目指す姿

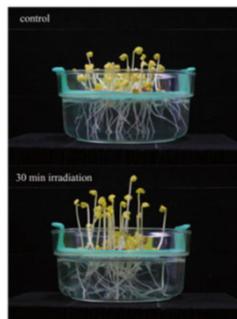
- 農林水産業の**CO2ゼロエミッション化**の実現
- 低リスク農薬への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬等の開発により**化学農薬の使用量（リスク換算）を50%低減**
- **輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減**
- 耕地面積に占める**有機農業の取組面積の割合を25%(100万ha)**
- 2030年までに**食品製造業の労働生産性を最低3割向上**
- 2030年までに**食品製造業の労働生産性を最低3割向上**
- **大気圧プラズマで解決したい**
- エリートツツミ
- ニホンウナギ、クロマクロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現

大気圧空気プラズマの農業分野への応用例

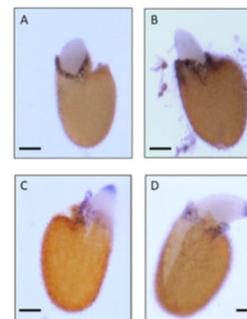
【殺菌・ウイルス不活化】



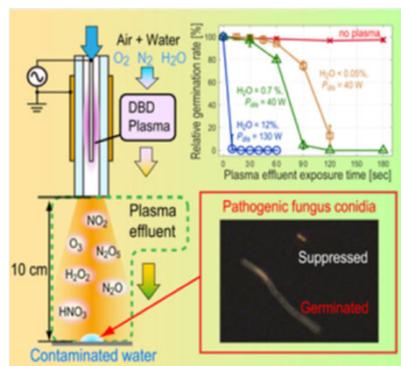
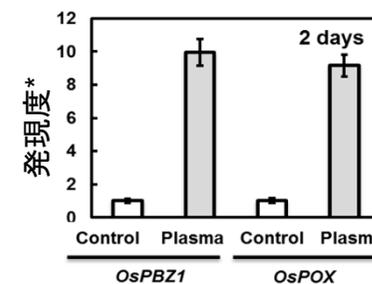
【成長促進】



【発芽促進】

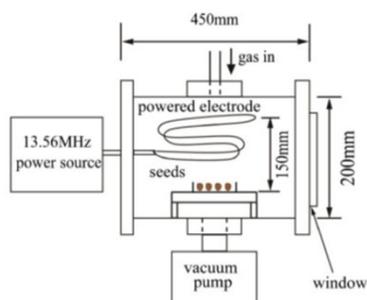


【植物免疫誘導】



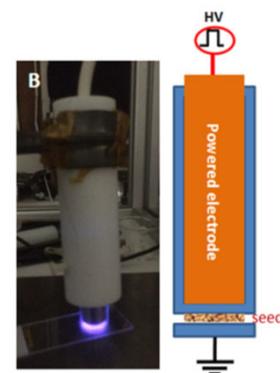
大気圧プラズマ殺菌・ウイルス不活化装置

S. E. Hanbal, *et al.*: Arch. Virol., **163**, 2835 (2018).



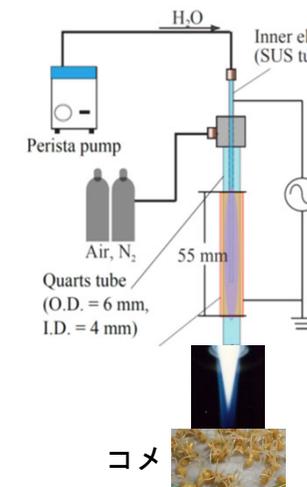
大気圧プラズマ照射成長促進装置

S. Kitazaki, *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys., **51**, 01AE01 (2012).



大気圧プラズマ照射発芽促進装置

M. Bafoil, *et al.*: PLoS One, **13**, e0195512 (2018).

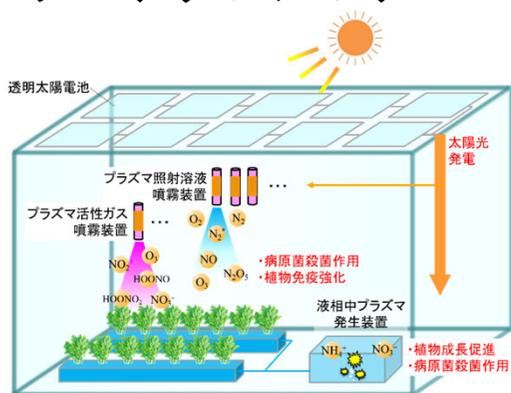


大気圧プラズマ植物免疫誘導装置

A. Ochi, *et al.*: Plant Pathology, **66**, 67 (2017).

農業応用

プラズマ合成活性種 を活用した サステナブルファーム



- ✓ 病原菌殺菌
- ✓ 植物免疫強化
- ✓ 植物成長促進
- ✓ 機能性成分制御

環境衛生応用

- ✓ コロナウイルス不活化
- ✓ 藍藻活性化

活性種精密制御 プラズマ源

- ✓ バイオマスの高付加価値化
- ✓ 水質浄化

医療応用

- ✓ 新規生理活性分子の探索
- ✓ 活性種の細胞膜感受機構解明
- ✓ 活性種の生理・薬理的効果解明
- ✓ 糖尿病の治療
- ✓ 心不全の治療

自己紹介

- 1969年7月29日： 宮城県仙台市で生まれる
1988年： 東北大学工学部 入学：
1991年： 佐藤徳芳研究室(プラズマ基礎工学)に配属：
(ジャンケンで負けて第3希望の研究室)

座右の銘：人間万事塞翁が馬

- 1991年～1997年： 東北大学 学士・修士・博士
「核融合プラズマの基礎実験」
1997年～2003年： 東北大学 助手
「超電導マグネットの材料開発」
「磁化プラズマ中の微粒子の挙動解明」
2004年～2012年： 東北大学 助教授・准教授
「ナノ炭素材料を利用した電子デバイスの開発」
「気液界面プラズマの生成と新規ナノ物質の創製」
2012年～ : 東北大学 教授
「核融合プラズマの基礎物理実験」
「大気圧プラズマによる医療応用研究：遺伝子導入」
「**空気プラズマの農業応用研究**：いちご栽培」



昭和54年
萩の月誕生



昭和33年
支倉焼誕生



昭和33年7月29日
河北新報に新聞広告を掲載

謝辞

下記の皆様に感謝申し上げます。（敬称略）

東北大学大学院工学研究科	: 高島圭介, 佐々木渉太, 岩本拓仁, 武士将熙, 鈴木大生
東北大学大学院農学研究科	: 高橋英樹, 安藤杉尋, 宮下脩平, 築館大輝
東北大学大学院生命科学研究科	: 東谷篤志, 藤井伸治, 岸田なつみ, 立石莉英
東北大学大学院工学研究科	: 魚住信之, 石丸泰寛, 山梨太郎
埼玉大学大学院理工学研究科	: 豊田正嗣
核融合科学研究所	: 伊藤篤史
東北大学金属材料研究所	: 笠田竜太

本研究は下記の支援のもとで行われました。



科研費: Grant Nos. 18H03687, 19K14698, 20H01890, 22H04947, 24H02247



東北大学「新領域創成のための挑戦研究デュオ」



東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究



プラズマバイオコンソーシアム



名古屋大学低温プラズマ科学研究センター共同利用・共同研究



ガンダムオープンイノベーション 公認プロジェクト