

## 研究・事業名

耐ウイルスプラズマシールドテクノロジーの実現

## 研究・事業実施期間

令和3年4月1日～令和4年3月31日

## 交付決定額

10,000,000円

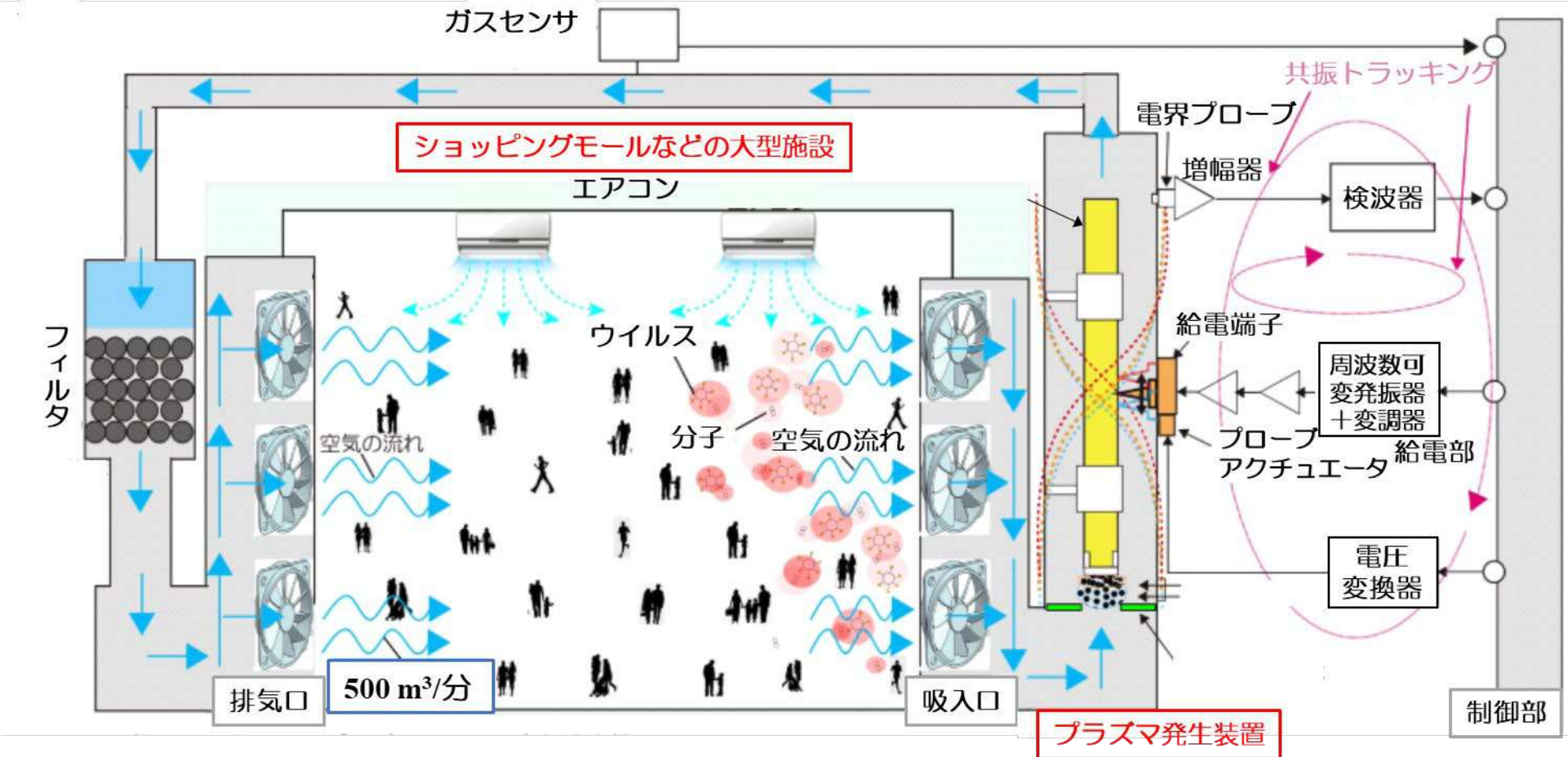
(企業・法人名) 株式会社Integral Geometry Science

(研究・事業を共同で実施する法人等) 神戸大学 数理データサイエンスセンター  
木村建次郎研究グループ

## 研究・事業の概要（100字程度）

ヒトから排出された飛沫に由来する飛沫感染、空気感染を効果的に防ぐために、  
飛散ウイルスを効率的に分解除去する、次世代型の空気清浄システム、耐ウイルスプラズマシールド  
テクノロジーを実現することを目指す。

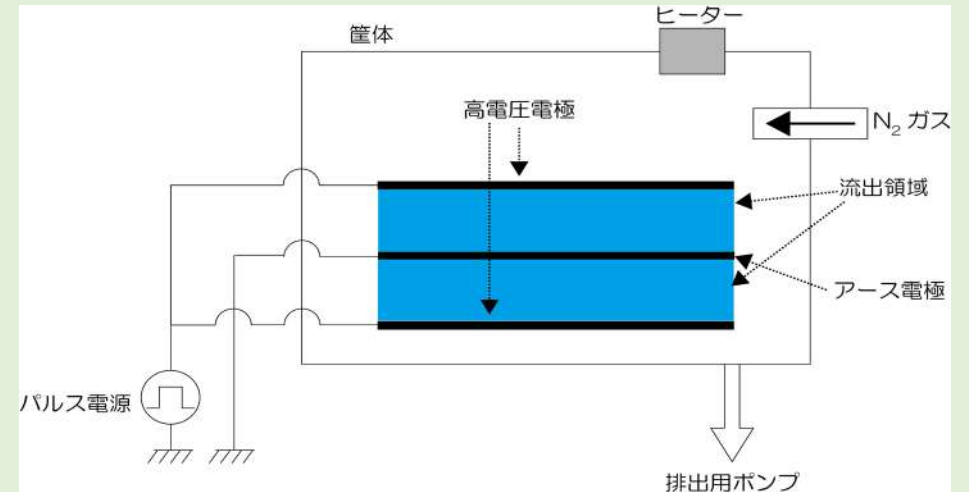
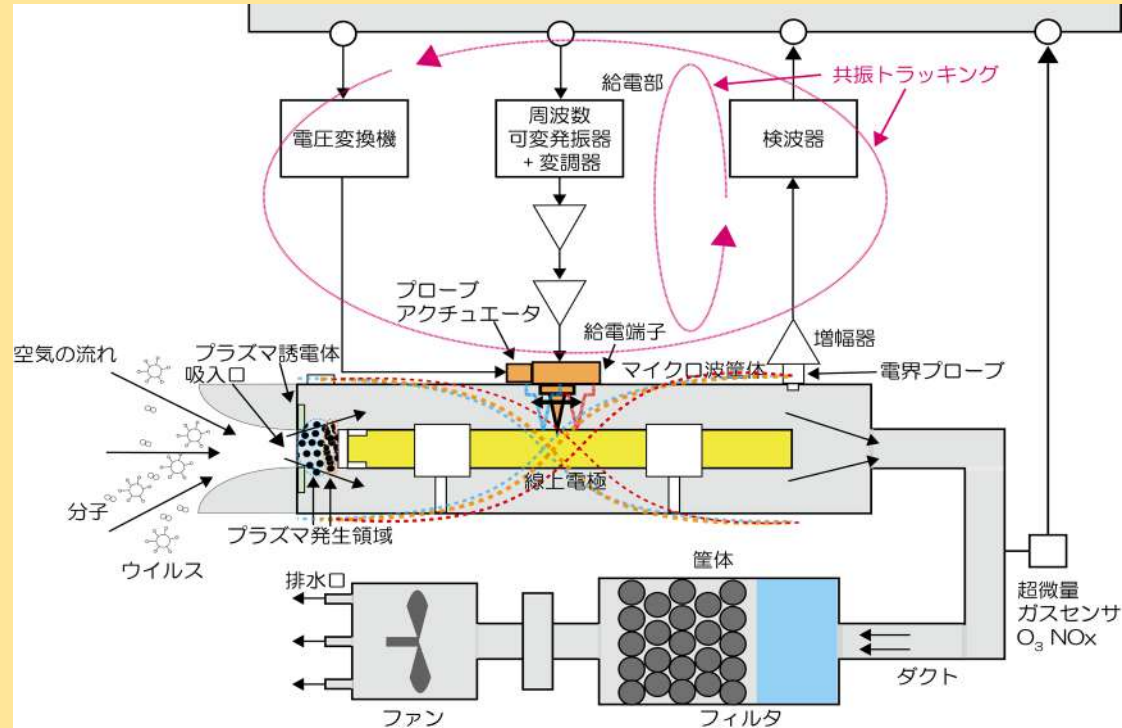
# 研究・事業の概要（イメージ図）



広い空間においてのウイルス除去には、大型のファンを同時に使用し、空間内に空気の流れを作ることが不可欠である。通常の家  
庭用の空気清浄機では、10 m<sup>3</sup>/分程度だが、大きな空間の場合は、数百m<sup>3</sup>/分のファンを用いる。従来のプラズマ方式の空気清  
浄システムでは、例え大型のファンを用いたとしても、ウイルスの除去速度が追いつかず、無理矢理これを解決しようとするなら  
ば、莫大な電力が必要となる。本提案技術では、Q値で約50倍以上のプラズマ発生効率が見られるため、十分なウイルス分解が  
可能となる。

# 研究・事業の概要 (イメージ図)

## 研究による世界最高性能のプラズマ空気浄化システム



研究の基となる発明：  
共振トラッキング技術の発明(特願2020- 91606)  
共振制御技術。

電圧変換器がアクチュエータに供給する電圧を  $V_{in1}$  とし、電圧  $V_{in1}$  に依存する変数を  $v_1$  とし、給電部に供給する電力の周波数に対応する、周波数可変発振器+変調器の周波数可変発振器の制御電圧を  $V_{in2}$  とし、電圧  $V_{in2}$  に依存する変数を  $v_2$  とし、検波器が制御部に出力する検波結果を示す、電極端の電界に対応する、検波器の出力信号の電圧を  $V_0$  とすると

$$g(v_1, v_2) = V_0, \quad \frac{\partial}{\partial v_1} g(v_1, v_2) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial v_2} g(v_1, v_2) = 0$$

$$v_1^{n+1} = v_1^n - \frac{\begin{vmatrix} g_1(v_1^n, v_2^n) & \frac{\partial g_1(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_2} \\ g_2(v_1^n, v_2^n) & \frac{\partial g_2(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_2} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \frac{\partial g_1(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_1} & \frac{\partial g_1(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_2} \\ \frac{\partial g_2(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_1} & \frac{\partial g_2(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_2} \end{vmatrix}}, \quad v_2^{n+1} = v_2^n - \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial g_1(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_1} & g_1(v_1^n, v_2^n) \\ \frac{\partial g_2(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_1} & g_2(v_1^n, v_2^n) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \frac{\partial g_1(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_1} & \frac{\partial g_1(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_2} \\ \frac{\partial g_2(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_1} & \frac{\partial g_2(v_1^n, v_2^n)}{\partial v_2} \end{vmatrix}}$$

# 1. 研究・事業の内容

クラスター感染を効果的に防ぐためには、空気中に漂う飛沫に含有されるウイルスを効果的に分解除去することが重要である。しかし、実際様々なシーンでクラスター感染が報告されているように、**既存の空気清浄機における能力では、クラスター感染を積極的に防ぐことができる空気清浄能力があるとは言い難い。**従来の空気清浄機には、光触媒方式、紫外線方式、プラズマ方式があるが、**これらの方式に共通した普遍的な課題は、エネルギー投入に対するウイルスの分解効率である。**

本研究の独創性は、従来のプラズマ空気清浄機の性能を劇的に向上させるために、**ウイルスを含めてダイナミックに様々な異物が流入し、固有モードが変化するプラズマリアクターを、常時共振状態を保持し、超効率的な大気圧プラズマ発生と空気清浄を実現しようとする点である。**神戸大学木村らによって開発された共振トラッキング技術の実現により、従来kHzオーダーのタイミングでのパルス発生が、1 GHz程度のマイクロ波領域で常時共振状態を維持された状態でプラズマ発生、ウイルス分解することが可能となり、Q値から計算すると従来の50倍以上の電力効率、また、連続波を用いることで、単位時間当たり既存の空気清浄機の100万倍のウイルス除去性能が実現され、大規模な居住を空気感染、飛沫感染から居住区全体を防護するパンデミックシールドテクノロジーとなることが期待される。

感染経路		概要
空気感染	空気感染	5 μm以下 病原体が空気中に漂い、直接吸い込むことで感染。
	飛沫核感染	1nm~5 μm 感染者から排泄された飛沫核を直接吸い込むことで感染。飛沫核は飛沫から水分が蒸発することで形成される。
	粉塵感染	病原体に汚染された土壌や床から舞い上がった埃を吸い込むことで感染。
エアロゾル感染		1nm~100 μm
飛沫感染		5 μmより大きい 咳などで出た飛沫を吸い込んだり、飛沫が鼻や目などの粘膜に付着することで感染。
接触感染	接触感染	患者と接触したり、病原体のついたドアノブ・食べ物などを介して感染。
	経口感染	病原体で汚染された食べ物や水、病原体で汚染された手で食事をすることなどで感染。
	粘膜感染	患者の血液や体液などが目や鼻の粘膜に付着することで感染。
	性行為感染	性行為により病原体が伝播、感染
母子感染		病原体が胎盤や母乳を通じて、あるいは出産時に産道から感染。
経皮感染		蚊にさされたり、動物にかまれることで感染。患者の血液のついた針を誤って医療従事者が自分の手などにさしてしまう、いわゆる針刺し事故もこれに分類される。



## 2. 目的達成状況

申請時の目標	達成状況	達成度
<b>目標1. プラズマリアクター低損失</b> ➤ プラズマの発生の程度に応じた導波路上の定在波の節の位置の変化を常時トラッキングし、最大のエネルギー投入効率を保持するシステムを開発する。	➤ 低損失プラズマリアクターの開発に成功した。共振トラッキングによってプラズマの強度の増加を確認した。	100%
<b>目標2. 高周波アンプ、電圧制御型発振器と制御ソフトウェアの開発</b> ➤ 流入した空気に含まれる異物の濃度の伴い、共振周波数をトラッキングする。投入電力の周波数を随時自動制御するための、信号源である電圧制御型発振器、高周波アンプの出力を給電点に接続する。	➤ 試作機として単一周波数の発振器を用いて共振プラズマリアクターの開発を行った。	100%
<b>目標3. 給電点の精密度位置制御システムの開発</b> ➤ 共振状態を保持するように帰還制御させ、常に共振状態を保持するように、周波数とともに、給電位置をフィードバック制御する。	➤ 電界プローブや分光器によって投入電力の増幅や発生プラズマ強度を観測し、フィードバック制御のパラメータとし、0.1mmオーダーでの給電位置の制御を行った。	100%
<b>目標4. オゾン発生量の制御システム</b> ➤ オゾン発生量が基準値以下となるように、給電点から投入する電力をコントロールする。	➤ プラズマ処理後の排気箇所におゾン濃度計（最大20ppm、分解能0.01ppm）を設置し、この値を制御用PCに取り込むことによって投入電力制御のパラメータとした。	100%

## 2. 目的達成状況

### 1. プラズマリアクターの機械設計

神戸医療産業都市研究開発助成金による支援により低損失プラズマリアクターの開発に成功した。この構造においてはマイクロ波の共振モードが示され、この共振周波数に一致する周波数のマイクロ波を給電点より入力する。高周波アンプを用いて発振器の出力を増幅させ、導波路上における共振モードの節に接触された電力投入プローブよりマイクロ波を投入することにより、プラズマ発光が確認された。図1に発光スペクトラムを計測した結果を示す。波長300 nmから400 nmに強い輝度のピークが見られ、窒素の励起スペクトルが主に観測された。

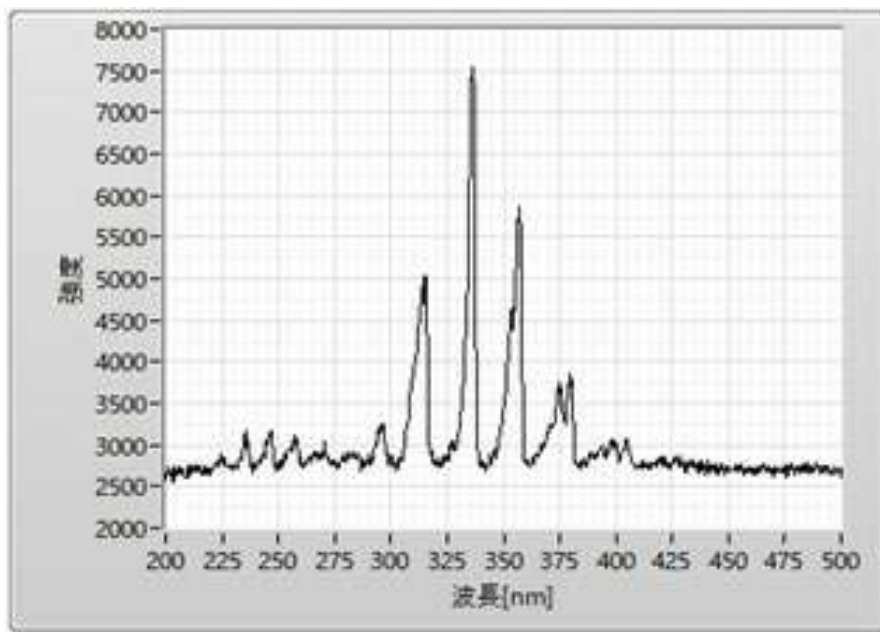


図1：発生したプラズマの発光スペクトル

## 2. 目的達成状況

### 2. 高周波アンプ、電圧制御型発振器と制御ソフトウェアの開発

試作機として単一周波数の発振器、固定ゲインのアンプを用いて共振プラズマリアクターの開発を行った。一般に、共振のQ値が高いほど、電力効率は著しく悪化するが、本研究で開発した共振トラッキング技術を用いることで、高いQ値を活かしたまま、高い電力効率でプラズマを発生させることに成功した。マイクロプローブの位置を発光スペクトラムの強度により共振トラッキングを行うことで、プラズマ発生量の増加がみられた（図2）。高いQ値を活かすためにはインピーダンス整合が絶対条件となり、時々刻々と揺らぐ流入気体の密度に応じて変化する共振モードに併せて、常に共振状態を保つ技術が必要不可欠となることが示された。



図2：共振トラッキングの有無によるプラズマ発光強度の変化



## 2. 目的達成状況

### 3. 食パンのカビ抑制実証実験

プラズマリアクターにおけるプラズマを通過した浄化空気の性能評価として、食パンのカビの発生に関する実証実験を行った。プラズマリアクターが常時動作している密閉空間と、動作していない密閉空間にて食パンの状態の変化を観察し、プラズマリアクターが常時動作している密閉空間ではカビの発生がみられなかった事から、プラズマリアクターの有効性が示された（図3）。

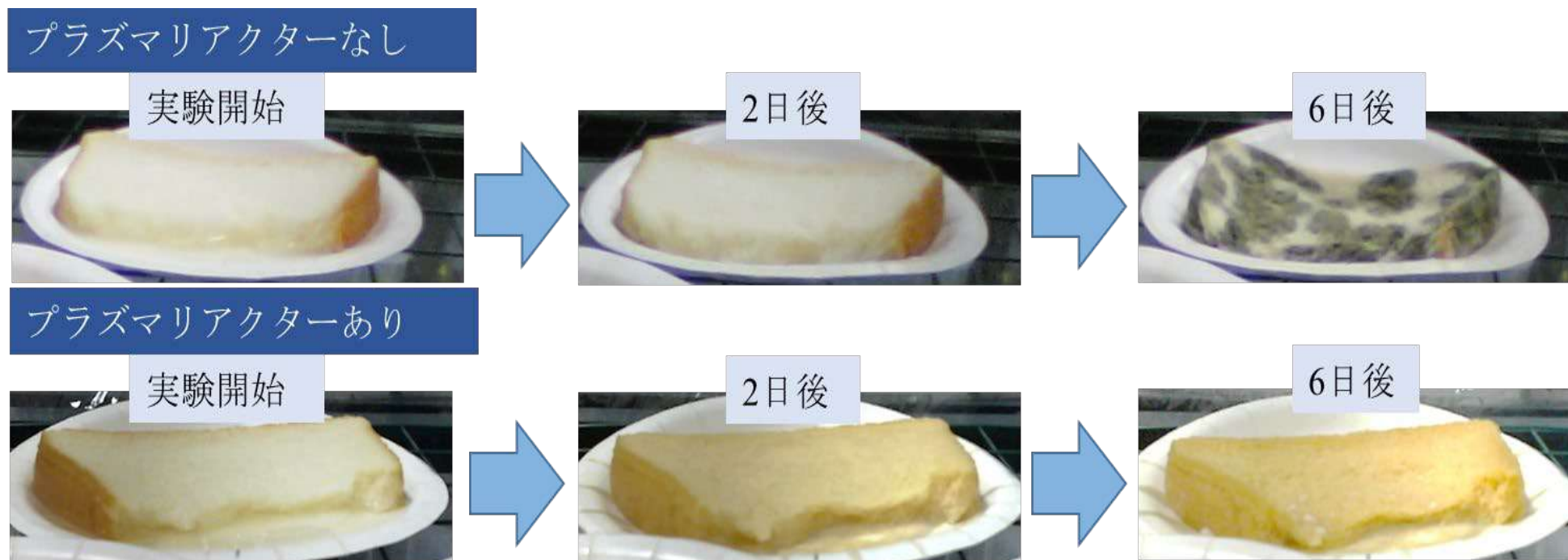
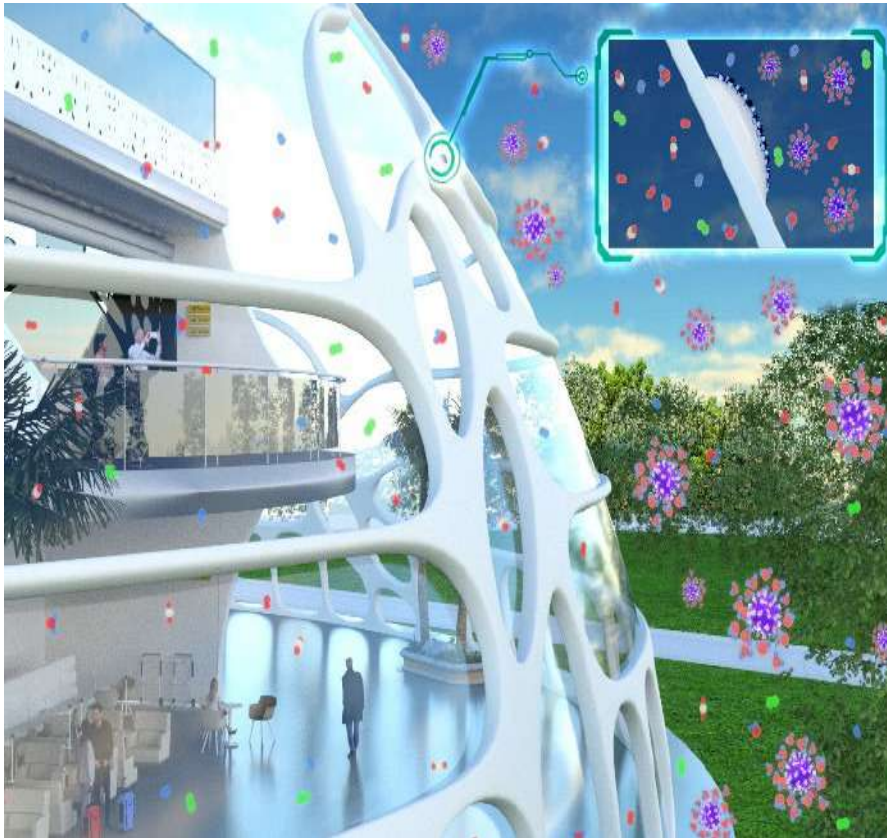


図3 :食パンのカビ抑制による検証実験

### 3. 期待される効果／神戸医療産業都市の発展に与える効果

2021年5月11日現在、兵庫県において、新型コロナウイルスの感染者数は35,673名、新型コロナウイルスによる死者数は791名であった。本研究開発により、これまで飛沫感染や空気感染に対する積極的な防除策として取り上げられて来なかった空気清浄機が、従来の100万倍のパワーを持つ本技術の実用化により、密集が避けられない、通勤時間帯の電車、バス、学校、病院、老人ホーム等でのクラスター感染を著しく低減させることが期待できる。



#### 次世代空気清浄システム anti-Virus プラズマシールドテクノロジー

##### <VISION 1>

神戸大学、IGSが世界で初めて発明した、共振トラッキングプラズマ空気清浄化技術(プラズマシールドテクノロジー)により、巨大な居住空間全体を瞬時に浄化し大規模集団感染を未然に防ぎ、安全安心な空間を提供する。

##### <VISION 2>

汚染空気が蔓延する社会においても、本研究で実現するプラズマシールドテクノロジーは、巨大な居住区の空気清浄化だけでなく、汚染空気中で医療活動等、社会活動する人間を汚染された空気からシールドする。

##### <VISION 3>

本研究によるプラズマ発生効率の高効率化により、少ない投入エネルギーでの効率的なウイルス分解が実現され、ポータブル空気清浄システムの実現、耐ウイルス、もしくは生物兵器、耐毒ガスとしての応用も拓け、多くの飛散有害物質から生命を守る機能を担うことが期待される。ウイルス感染者から医療従事者への感染をゼロにする。

## 4. 今後の展開

本研究において達成された内容に対し、今後は以下の内容の研究開発を行う。

### ①プラズマリアクターの機械設計

プローブの位置制御を高精度化

### ②高周波アンプ、電圧制御型発振器と制御ソフトウェアの開発

自社開発した各システムのパラメータ最適化により発生プラズマ量を精密に制御

### ③給電点の精密度位置制御システムの開発

より高度な位置制御、共振トラッキングを目指す

### ④共振状態を維持し、オゾン量の発生が一定となるように帰還制御

オゾン量をフィードバック制御するシステムを開発

### ⑤制御ソフトウェアの開発

投入電力、周波数、給電点の位置、オゾン量のモニタリング結果を反映した投入電力、これらの一連の要素を制御するための制御ソフトウェアを開発

### ⑥システム統合・ラボ機の完成

①～⑤の要素技術を統合し、空気清浄機として実用化を目指す

### ⑦コロナウイルスモデル系での試験

ウイルスの除去効率の検証を行うためには実際にコロナウイルスのモデル系で試験を行う必要があり、ウイルス分解の実証テストを行う

