

負イオンオゾン処理技術による 室内衛生と快適性の向上

Enhancement of Indoor Hygiene and Comfort by Negative Ion – Ozone Treatment Technology

*先端技術総合研究所

要 旨

高気密・高断熱化が進む現代の室内空間では、換気量の抑制と衛生維持及び快適性の向上の両立が課題である。特にパンデミック以降、室内空気質改善への需要は“日常的なインフラ”として定着し、安全な感染症対策と心地良い空間創造を高度に両立させる技術が望まれている。開発した“負イオンオゾン処理技術”は、環境基準値以下の低濃度オゾンで菌・ウイルスに対して高い抑制効果を発揮する。負イオンとオゾンの併用によって、オゾンの酸化作用を最大限に引き出す点に新規性があり、付着ウイルスやカビに加えて、不快な付着臭に対しても顕著な低減効果を確認した。この技術は、住宅からオフィス、公共交通機関まで幅広く展開可能であり、持続可能で安全・安心な未来の実現に貢献する。

1. ま え が き

現代の室内環境は、高気密・高断熱化によって省エネルギー性能が向上する一方、換気不足に伴う室内空気質の低下が喫緊の課題になっている。特に新型コロナウイルスのパンデミックを経て、社会の衛生意識は一時的な対策から“日常的なインフラ”としての要求へと変化した。高い殺菌力を持つオゾンは、優れた殺菌効果を示す一方、有人環境での安全性が担保される環境基準⁽¹⁾程度の低濃度オゾン(0.05ppm以下)では、十分な効果を得るまでに時間を要する。

今回の研究では、負イオンとオゾンを独立制御して併用する“負イオンオゾン処理技術”を開発した。この技術は、負イオンとオゾンの相乗効果を利用することで、安全な低濃度条件下でのオゾン反応効率を向上させるものである。

本稿では、開発デバイスの概要、ウイルス・カビ・付着臭に対する検証結果、及びその抑制効果向上メカニズムについて述べる。

2. 負イオンオゾン発生デバイス

三菱電機が開発した負イオンオゾン発生デバイスは、二つの電子放射式負イオン発生部と、中央のコロナ放電式オゾン発生部で構成される(図1)⁽²⁾。負イオン発生部には長寿命のカーボンファイバー製ブラシ電極を、オゾン発生部には山型電極を採用し、それぞれに負極性の高電圧を印加する。負イオンとオゾンの発生量を独立して制御できるため、高濃度の負イオンと低濃度のオゾンを安定的に発生できる。また、オゾン発生部の周囲に接地電極を配置している。この電極がオゾン発生部と負イオン発生部の電界干渉を抑制すると同時に、発生した負イオンを電気的に引きつけることで、各物質を安定的に発生させつつ拡散を抑えた指向性のある照射を可能にしている。これによって、高濃度の負イオンと低濃度のオゾンを処理対象へ効率的に到達させられる。

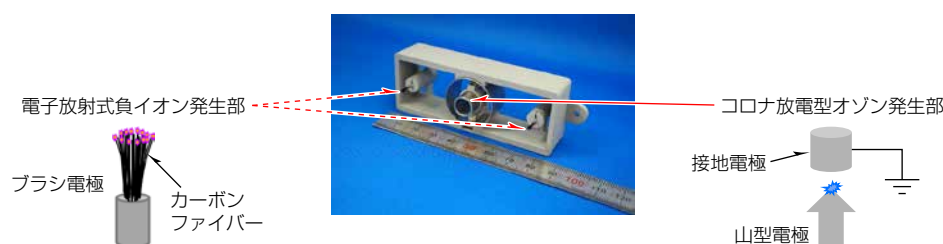


図1-負イオンオゾン発生デバイス

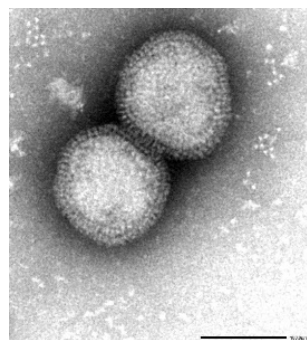
3. 社会実装に向けた効果検証

この章では、社会実装に向けた効果検証について述べる。

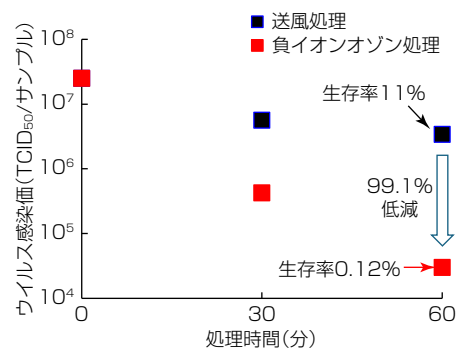
3.1 インフルエンザウイルス不活化効果

接触感染リスク低減を想定し、机上等に付着したウイルスに対する不活化性能を検証した⁽³⁾。試験ウイルスには、A型インフルエンザウイルス(H1N1)(図2(a))を用いた。試料は、机上への飛沫粒子(10~1,000 μ m)の沈着を模して、試験平板上にウイルス懸濁液を散布したものを用いた。この試験では、一般社団法人 日本電機工業会規格JEM 1467⁽⁵⁾のウイルス試験に準拠した6畳相当の空間内で、ファンと組み合わせた負イオンオゾン発生装置から1.7m離れた位置に試料を設置し、60分間の曝露(ばくろ)処理を行った。処理後、ウイルス感染価(TCID₅₀)に基づいて評価した。

図2(b)に検証結果を示す。処理前のウイルス感染価を100%とした生存率は、対照系の送風処理では11%であったのに対して、負イオンオゾン処理では0.12%まで低下した。これは送風処理による減衰と比較して、ウイルス感染価を更に99.1%以上低減させたことに相当し、付着ウイルスに対する今回の技術の有効性が確認された。一般に、オゾン単独でのインフルエンザウイルス不活化にはCT値(濃度×時間)として6~600ppm・minが必要と言われている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。この試験(0.05ppm, 60分)でのCT値は約3 ppm・minと極めて低いが、負イオンオゾン処理では顕著な効果が得られた。これは、負イオンとの相乗効果によって、安全な低濃度オゾン環境下でも不活化が大幅に促進されたことを示している。



(a) 試験インフルエンザウイルス⁽⁴⁾



(b) 不活化効果⁽³⁾

処理条件：装置-サンプル間距離1.7m, 試験平板の大きさ50mm角, 処理時間60分, 風速2m/s, 温湿度28℃50%RH(Relative Humidity), 負イオン濃度 5×10^5 ions/cm³, オゾン濃度0.05ppm

図2-負イオンオゾン処理によるインフルエンザウイルス不活化効果

3.2 食品カビの抑制効果

食品の鮮度保持を想定し、付着したカビに対する抑制性能を検証した。試験カビには、代表的な黒カビ(*Cladosporium sphaerospermum*)を用いた。試料は、食パン及びミカンを用いて、カビ孢子懸濁液を接種した。この試験では、負イオンオゾン発生装置から300mm離れた位置に試料を設置し、高湿度環境(20℃, 95%RH)で5日間又は7日間の連続曝露処理を行い、カビ成長を目視で評価した。

図3に検証結果を示す。対照系の送風処理では5日又は7日後に顕著な菌糸の繁殖が認められたのに対して、負イオンオゾン処理ではカビの増殖が抑制されていた。さらに平板塗抹法による定量評価でも、対照系と比較してカビ数が99%以上減少する結果が得られた。この結果によって、冷蔵庫やキッチン等の湿潤な環境で、安全な低濃度オゾン(0.05ppm以下)による食品の防カビと衛生維持が可能であるとの見通しを得た。



処理条件：装置-サンプル間距離300mm, 処理時間 パンは5日間, ミカンは7日間,
温湿度20℃95%RH, 負イオン濃度 $5 \times 10^5 \text{ ions/cm}^3$, オゾン濃度0.05ppm

図3-負イオンオゾン処理による食品カビ抑制効果

3.3 付着臭消臭効果

生活空間の快適性向上への寄与を想定し、布や樹脂等に付着した臭気に対する消臭性能を検証した。対象臭気は、汗臭、生乾き臭、タバコ臭、及び調理臭(ニンニク臭)とした。試料は、布サンプル及び樹脂サンプルに各臭気物質を付着させたものをを用いた。負イオンオゾン発生装置から1.7m離れた位置に試料を設置し、60分間の曝露処理を行った後、官能評価によって臭気強度を測定した。

図4に検証結果を示す。どの臭気でも、対照系の送風処理に対して臭気強度が低下し、生乾き臭、タバコ臭、ニンニク臭に対しては1.0以上低減した。一般に、臭気強度が1以上低下すると、“明確に臭いが弱くなった”と人が実感できるレベルとされる⁽⁸⁾。この技術は、空間の不快感臭いを短時間で除去する消臭ソリューションとしても有用である。

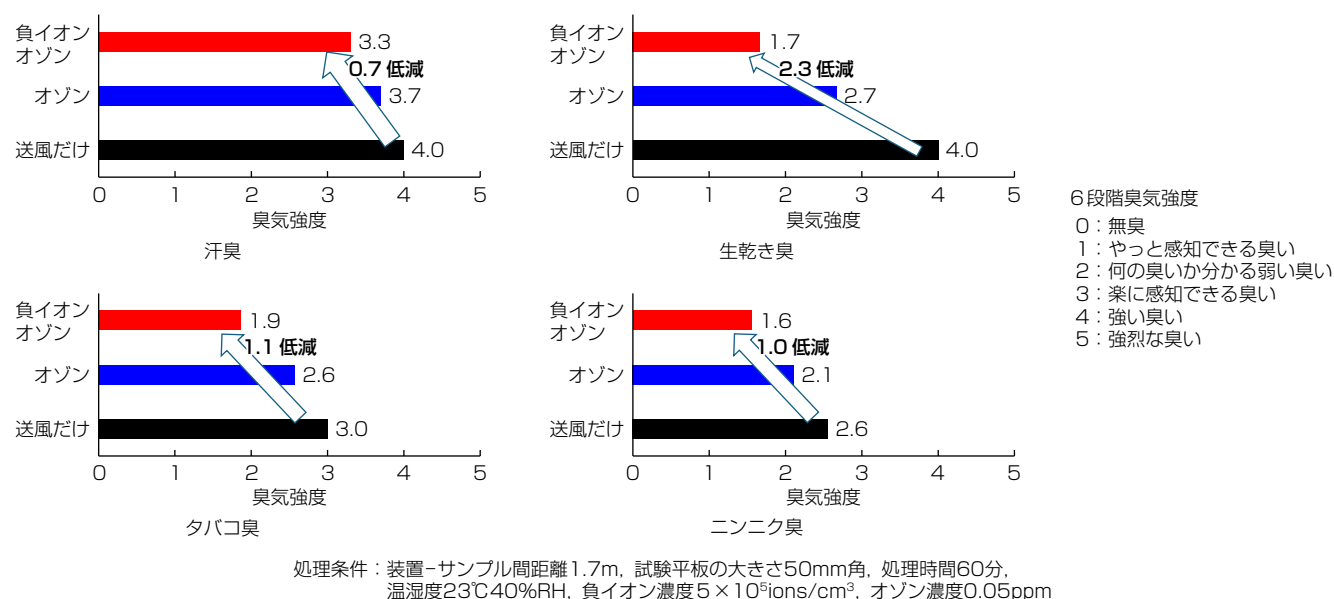
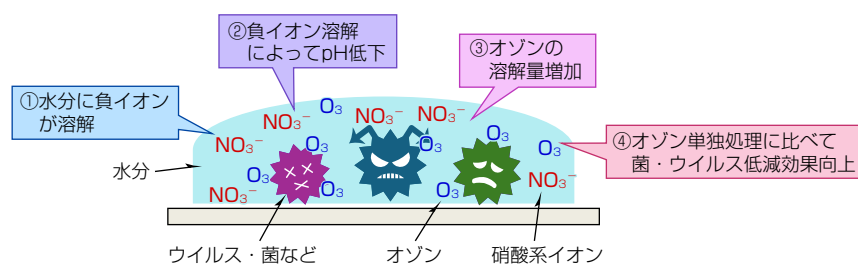


図4-負イオンオゾン処理による付着臭消臭効果

4. 負イオンオゾンによる抑制効果向上メカニズム

負イオンオゾン処理による菌・ウイルス等の抑制効果向上の要因を分析し、液相の化学変化にある(図5)ことを解明した⁽⁹⁾。負イオン発生に伴って生成される硝酸成分等が処理対象物質周囲の水分に溶解することで、液性が酸性化(pH低下)する。一般に、オゾンはアルカリ側で自己分解しやすいが、この酸性条件下では安定性が向上して溶解オゾン濃度が維持される。この効果によって、低濃度オゾンであっても標的物質に対する酸化作用が最大限に引き出される。



(注1) 東京科学大学との共同研究で実施

図5-負イオンとオゾンの併用による微生物不活化、脱臭メカニズム^(注1)

5. む す び

負イオンとオゾンの併用による室内衛生及び快適性の向上技術とそのメカニズムについて述べた。検証の結果、低濃度オゾン環境下で、付着ウイルス、食品カビ、及び生活付着臭に対して、従来の送風やオゾン単独処理を上回る抑制効果が得られることを実証した。この効果向上は、処理対象物質周囲の水分への負イオンの作用が溶解オゾン濃度を維持するという独自の効果を生むメカニズムに基づくものである。

今後は、デバイスの更なる小型・高効率化を進めて、学校やオフィスなどの公共空間から、住居等の生活空間、さらには公共交通機関やシェアモビリティといった移動空間に至るまで、あらゆるシーンへの実装を図る。また、センシング技術等と融合させることで、人の在・不在や空間の負荷状況に応じた“動的な空間衛生制御”へ拡張し、利便性と効果を極大化させる。この技術を核に“省エネルギー”と“ウェルビーイング”を両立させた空間ソリューションを提供し、快適で安全・安心な環境を創造し、持続可能で豊かな未来の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 公益社団法人 日本空気清浄協会：室内空気汚染測定指針，JACA No.2 (1967)
- (2) 清水彰則，ほか：負イオンオゾン発生装置，国際公開第2024/111049号 (2024)
- (3) 野村亜加音，ほか：負イオンオゾン発生装置によるインフルエンザウイルス不活化効果の検討，日本防菌防黴学会誌，**52**，No.2，43～46 (2024)
- (4) Shimasaki, N., et al. : Comparison of the Filter Efficiency of Medical Nonwoven Fabrics against Three Different Microbe Aerosols, *Biocontrol Science*, **23**, No.2, 61～69 (2018)
- (5) 一般社団法人 日本電機工業会：空気清浄機の浮遊ウイルスに対する除去性能評価試験方法，JEM1467 (2011)
- (6) 田中 浩，ほか：インフルエンザウイルスのオゾンガスによる不活化，IHI技報，**49**，No.2，74～77 (2009)
- (7) Cristiano, L. : Could ozone be an effective disinfection measure against the novel coronavirus (SARS-CoV-2)?, *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, **61**, No.3, E301～E303 (2020)
- (8) 江崎俊文，ほか：感覚的消臭効果の定量化方法としての認知臭気濃度法の有用性評価，におい・かおり環境学会誌，**53**，No.1，60～67 (2022)
- (9) Nakanishi, A., et al. : Enhancement of sterilization effect by combined use of negative ions and ozone, *Pacificchem 2025* (2025)