

2025年10月15日

新潟大学

水と空気から生成した消毒液を用いて 歯周病の原因細菌を殺菌し毒素類も無効化

— 新潟大学大学院生らが報告 —

新潟大学大学院医歯学総合研究科微生物感染症学分野の遠藤^{まな}愛^{まな}歯科医師（次世代プロジェクト大学院生）、滝澤史雄博士、土門久哲准教授、寺尾豊教授らの共同研究グループは、ナノ技術を用いて空気と水から生成したオゾンナノ水が、細菌の殺菌に加えて細菌毒素を分解し不活化することを明らかにしました。同大学工学部の牛田晃臣准教授、新潟県内の産学合同企業（フューテックニイガタ合同会社）との異分野融合研究でもある本研究成果は、2025年10月14日、国際科学誌「PLOS One」のオンライン版に掲載されました。

【本研究成果のポイント】

- 空気中の酸素を濃縮し発生させたオゾンガスを、ナノ技術を用いて水中に超微粒子として分散させることで、歯周病の原因細菌に対して殺菌作用を発揮するオゾンナノ水を生成した。
- 原材料が水と空気のみであり、使用後のオゾンは空気中で分解されて酸素に戻るため、オゾンナノ水は安全・安心・安価な消毒液としての将来性を有する。
- オゾンナノ水は歯周病原細菌を殺菌しただけでなく、その細菌が産生する複数種の毒素、それら毒素類を内包する細菌のベシクル（＝マイクロカプセル）も分解した。
- 歯科診療や介護施設などにおいて、診療器具や歯ブラシなどを安全・安心・安価に消毒する方法として、オゾンナノ水の実用化が期待される。

1. 研究の背景

家庭や医療機関では、アルコール消毒液が多用されています。アルコール消毒液は、食物や植物由来のバイオエタノールなどから作製されます。そのため、食の貧困問題を引き起こす懸念も指摘されています。また、アレルギーや使用済み消毒液の排出による環境悪化などの各種課題も生じています。そこで本研究グループは、これらの課題を解決するため、空気から生成可能なオゾンガスに着目しました。オゾンガスには、細菌などの病原微生物を不活化・殺菌する作用が報告されています。一方で、気体のオゾンガスは消毒範囲を定めて使用し難いうえ、高濃度で吸引すると人体に為害性を発揮します。そのため、消毒として用いるためには、オゾンガスを水溶液化することが望ましいと考えられてきました。しかし、オゾンガスは水に溶け

にくい性質があり、オゾン消毒液の実用化は困難でした。

先行研究において、本研究グループは空気からオゾンを生じた後、ナノサイズ(約 100 nm)の泡にしてから水に溶解する「ナノバブル技術」を用いてオゾンナノ水を生成しました(注1,2)。ナノサイズの泡は浮力が小さいため、水中に長時間分散され留まります。ナノバブル技術を用いることにより、殺菌に有効な濃度(1 ppm 以上)のオゾンを24時間以上、水中に維持することが可能となり、実用レベルで消毒効果を持続させることが可能となりました。

II. 研究の概要・成果

主要な歯周病原細菌の *Porphyromonas gingivalis* にオゾンナノ水を滴下した場合、オゾン濃度が1 ppm 以上あれば、わずか数秒間で完全に殺菌できました(図1)。しかし細菌そのものを死滅させても、*Porphyromonas gingivalis* が産生した毒素の残存により歯肉損傷や炎症を引き起こします。そこで続いて、歯周病原細菌 *Porphyromonas gingivalis* が産生した細菌毒素に対するオゾンナノ水の作用について解析を行いました。

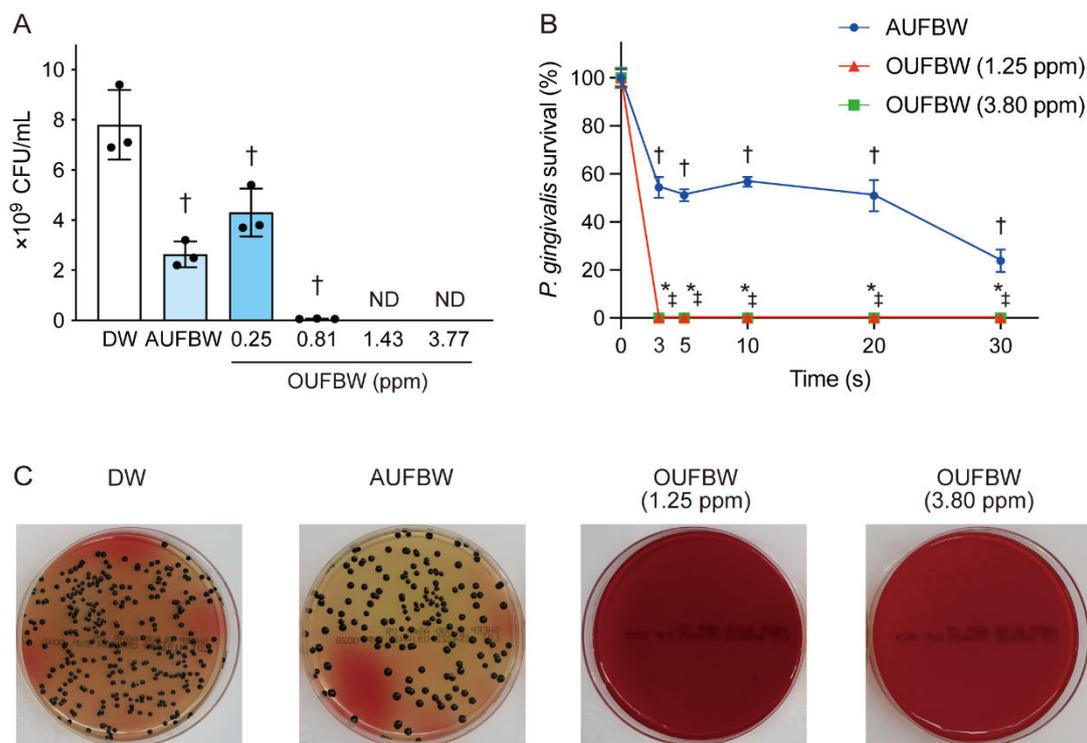


図1. *Porphyromonas gingivalis* に対するオゾンナノ水の殺菌作用。 DW = コントロールの蒸留水。AUFBW = 空気をナノバブル化し水中に分散させたコントロール。OUFBW = オゾンをナノバブル化し水中に分散させたオゾンナノ水。

Porphyromonas gingivalis が産生する細菌毒素としては、RgpA, RgpB, および Kgp などが報告されています。それぞれヒト歯肉のタンパク質を分解し、歯周病の発症や重症化に関与し

ます。RgpA, RgpB, および Kgp とオゾンナノ水を混合し、電気泳動と染色を行い、毒素を可視化しました。その結果、オゾンナノ水と混合した群では、毒素を示すタンパク質バンドが3種類の全てで消失し、オゾンナノ水は歯周病原細菌の毒素3種類を全て分解できることが明らかとなりました（図2）。さらにオゾンナノ水は、歯周病原細菌が産生するこれら毒素の活性（=毒力）も消失させることが示されました（データは論文に掲載）。

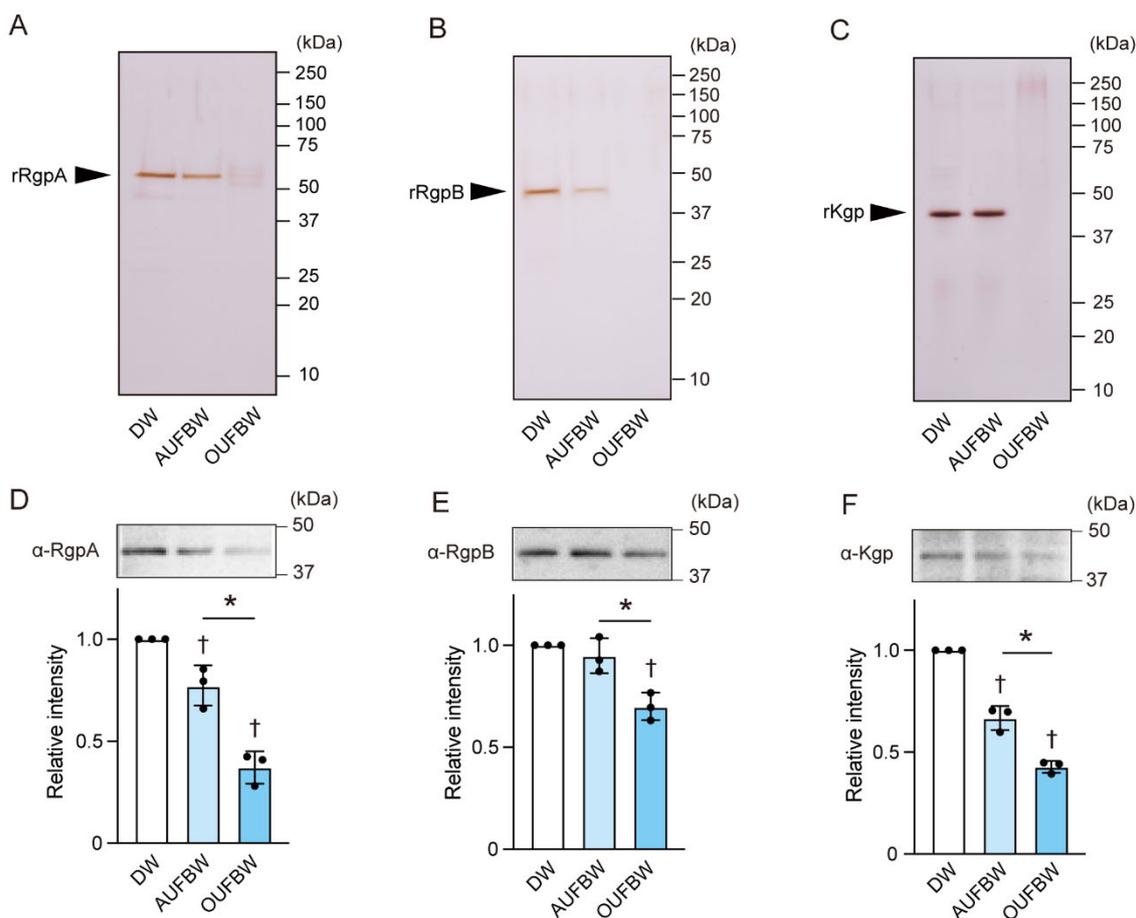


図2. *Porphyromonas gingivalis*が産生する3種類の毒素に対するオゾンナノ水の分解作用。
 DW = コントロールの蒸留水。AUFBW = 空気をナノバブル化し水中に分散させたコントロール。
 OUFBW = オゾンをナノバブル化し水中に分散させたオゾンナノ水。

Porphyromonas gingivalis は、RgpA, RgpB, および Kgp などの毒素を分泌し、近接するヒト組織を攻撃します。それに加え、細菌自身の細胞膜でこれら毒素を保護・被覆し、細菌から離れた遠方のヒト組織にも病原性を発揮することが明らかになってきています。その毒素を被覆したマイクロカプセル状の粒子は、ベシクルと称されています。本研究では、オゾンナノ水がベシクルに与える影響も解析しました。透過型電子顕微鏡で観察した結果、オゾンナノ水と混合した細菌群では、赤色の矢頭で示すベシクルが破壊され、その数を有意に減少させることが示されました（図3）。

最後に、オゾンナノ水がヒト歯肉細胞に与える為害性についても調べました。12時間作用させても、オゾンナノ水はヒト歯肉細胞に傷害性を示しませんでした（データは論文に掲載）。

以上の結果から、オゾンナノ水を歯周病の治療器具や歯ブラシの洗浄に使うことで、付着した歯周病原細菌とその産生毒素やベシクル（=毒素類を内包したマイクロカプセル状の粒子）も除去できることが示唆されました。万が一、オゾンナノ水が残存した状態で、治療器具や歯ブラシを口の中に入れたとしても、為害性が低いことも推察されました。

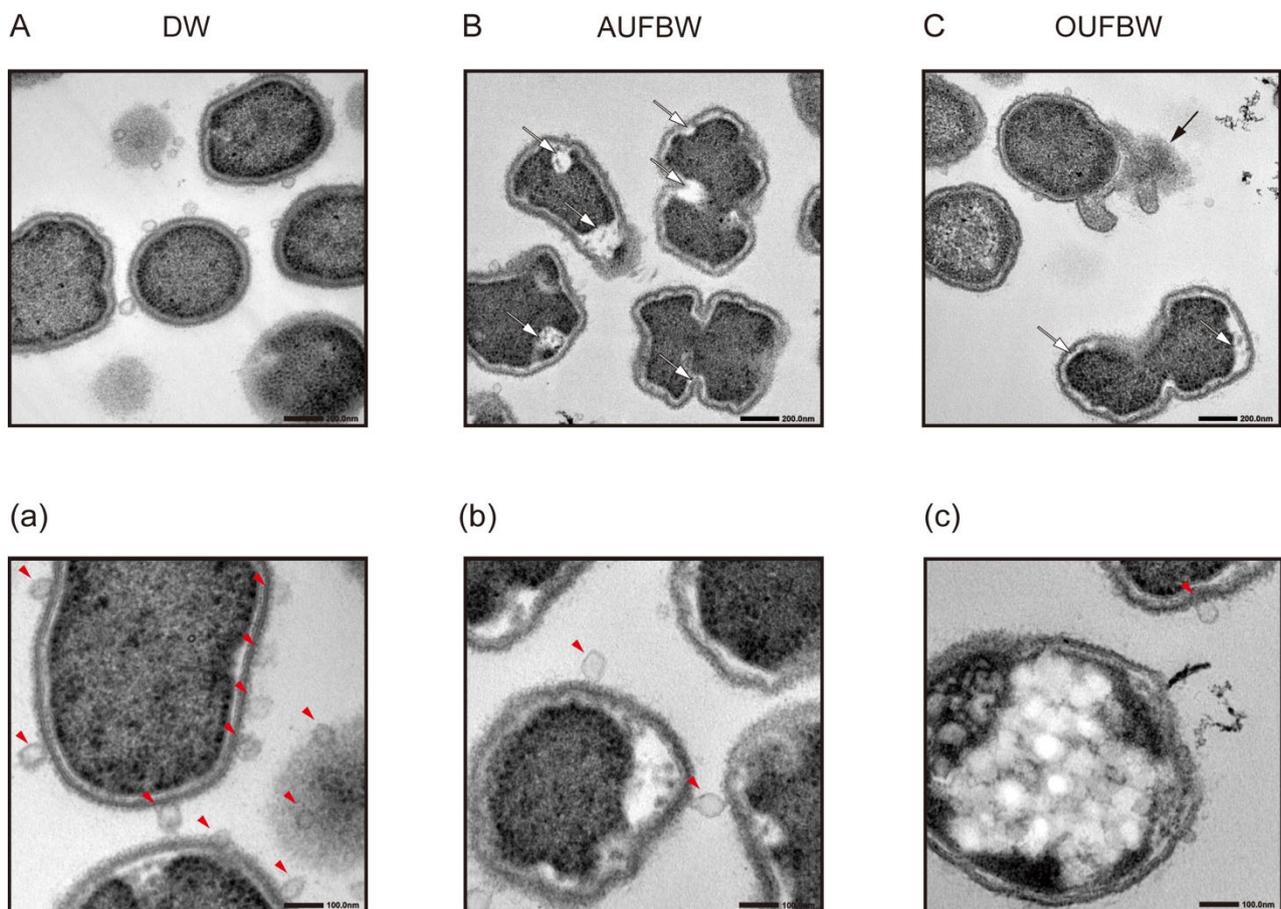


図3. *Porphyromonas gingivalis*が産生するベシクルに対するオゾンナノ水の作用。DW = コントロールの蒸留水。AUFBW = 空気をナノバブル化し水中に分散させたコントロール。OUFBW = オゾンナノ水をナノバブル化し水中に分散させたオゾンナノ水。ベシクルは赤色の矢頭で示す。写真ABCの拡大が、それぞれ(a)(b)(c)である。

III. 今後の展開

オゾンナノ水は水と空気のみを原材料とするため、生成装置を一度導入すれば、安全・安心・安価な消毒液を長期的・大量に生産可能となります。先行研究では、食中毒の原因細菌や原因毒素を消毒・不活化できることも明らかにしました^(注1,2)。したがって、発展途上国における診療器具の消毒、感染症や食中毒の予防にも役立つことが期待されます。今後は、オゾンナノ水発生装置の耐久性向上や小型化を図ることで実用化を目指します^(注3)。

IV. 研究成果の公表

本研究成果は、2025年10月14日、国際科学誌「PLOS One」のオンライン版に掲載されました。

【論文タイトル】 Ozone ultrafine bubble water sterilizes *Porphyromonas gingivalis* and neutralizes its virulence factors.

【著者】 Endo M, Domon H, Hirayama S, Takizawa F, Ushida A, Tabeta K, and Terao Y.

【doi】 10.1371/journal.pone.0334259

V. 謝辞

本研究は、新潟大学-JST次世代プロジェクトやJSPS科研費などの助成を受け、新潟大学の歯学部・工学部およびフューテックニイガタ合同会社との共同研究で行われました。

【参考情報等】

(注1) 2023年4月19日、新潟大学プレスリリース、「水と空気から消毒液を生成 - 新潟大学大学院生らがナノ技術で -」, <https://www.niigata-u.ac.jp/news/2023/394352/>

(注2) 2024年7月11日、新潟大学プレスリリース、「ナノ技術で水と空気から生成した消毒液を用いて殺菌と細菌毒素を分解 - 新潟大学大学院生らが報告 -」, <https://www.niigata-u.ac.jp/news/2024/649064/>

(注3) 2025年10月現在のオゾンナノ水発生装置



①酸素濃縮ユニット

②オゾン発生ユニット

③ナノバブル発生ユニット

オゾンナノ水作製時間：15～30分

最大オゾン濃度：3～5 ppm (mg/L)

※オゾン以外の気体のナノバブル化も可能

本件に関するお問い合わせ先

新潟大学大学院医歯学総合研究科（歯学系）

微生物感染症学分野

教授 寺尾 豊（てらお ゆたか）

E-mail : terao@dent.niigata-u.ac.jp