

令和3年4月28日

報道機関 各位

東北大学未来科学技術共同研究センター

ナノバブルの安定化と作用メカニズムを解明 水と空気を利用した「人」と「環境」に優しい工学技術を確立

【発表のポイント】

- ・ナノバブル(極微小気泡)の安定化と作用メカニズムを世界に先駆けて解明しました
- ・ナノバブルは、農業や医療、感染症の予防など広範囲な応用が期待されます
- ・水と空気を利用した「人」と「環境」に優しい日本発の技術です

【概要】

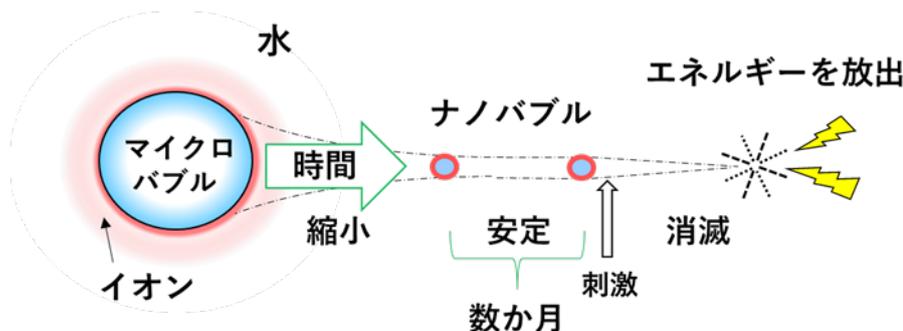
ナノバブルは、光の波長よりも小さな気泡であり、水中で安定に存在しています。環境や医療など幅広い分野で応用が期待されています。しかし、作用メカニズムなど不明な部分が多く、そのことが技術の発展を阻害してきました。

東北大学未来科学技術共同研究センター(NICHe)の高橋正好教授の研究グループは、ナノバブルの安定化メカニズムとその作用機序を明らかにしました。

本研究では、電子スピン共鳴法や原子間力顕微鏡などを利用して、ナノバブルが50nm以下の真球体であり、内部に高いエネルギーを保持していることを突き止めました。

ナノバブルの特異な効果として、酸素ナノバブルは動植物への活性効果、オゾンナノバブルは強力な殺菌作用を持ちます。今回の発見はナノバブルの強力な殺菌効果のメカニズムの重要な根幹を明らかにしたものであり、高く評価されています。

本研究成果は、2021年4月16日に米国化学会誌 Langmuir にオンラインで掲載されました(<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.langmuir.1c00469>)。



【詳細な説明】

東北大学未来科学技術共同研究センター(NICHe)の高橋正好教授の研究グループでは、マイクロバブルと呼ばれる小さな気泡を利用して汚染水の浄化、半導体ウエハの洗浄、湖や海域の環境改善などへの応用を進めています。最近ではマイクロバブルよりもはるかに小さなナノバブルと呼ばれる極微小気泡を利用して農業や医療、感染症予防などの技術開発にも取り組んでいます。ナノバブルは、光の波長よりも小さな気泡のことで、水中で長期間にわたって安定に存在させることができ、気泡中にさまざまな気体を満たすことでいろいろな反応・作用を起こすことができます。例えば、 O_2 を内包した酸素ナノバブルは動植物に対する活性効果、 O_3 を内包したオゾンナノバブルは強力な殺菌作用を持つことが知られています。ナノバブルは水と気体を基に作られた環境や人体にも優しいものであることから、環境や工学、医療分野など幅広い分野で応用が期待されています。これらはわが国発の技術として大きな発展の可能性を有していますが、特にナノバブルにおいてはその実体の把握や作用メカニズムの解明が遅れており、そのことが技術の進歩を阻害していました。

先行研究として技術開発を進めているマイクロバブルは、毛髪の太さよりも小さな気泡であり、水と気体を高速に攪拌するなどの方法で作成できます。マイクロバブルは水中をふわふわと漂いながら縮小して、最終的には消滅し、その時にフリーラジカルを発生させることが知られています。フリーラジカルの発生はマイクロバブルがエネルギーを濃縮して発散させる効果を持つことを意味しています。この特徴を利用することで水質の浄化や電子部品の洗浄などの工学技術への応用が国内外で進められています。水の持つ力を利用した技術であり、環境にも優しい技術として注目されています。

研究グループでは、マイクロバブルを利用した排水処理や半導体ウエハの洗浄技術を確立する過程で、水中に微量なイオン(無機質)を添加した場合にナノバブルを効果的に生成できることを見出してきました。マイクロバブルが基となって生成したナノバブルは長期間にわたって安定しており、工学的に有用な機能を併せ持ちます。さらに O_2 を内包した酸素ナノバブルは動植物を活性化させる効果があり、また O_3 を内包したオゾンナノバブルは病原微生物を不活化させる効果を持ちます。

今回の発見は、ナノバブルの安定化と作用メカニズムの解明に関連したものです。具体的には塩酸などの強酸を利用することで、ナノバブルを意図的に不安定化させることで、ナノバブルが消滅時にフリーラジカルという活性種を発生することを発見しました。

計測に利用した装置は電子スピン共鳴法(ESR)と原子間力顕微鏡(AFM)です。図2に示すのはナノバブルをAFMで観察した時の画像です。従来、水の中を浮遊している物質をAFMで観察することは困難でした。そこで研究グループはナノバブルがマイナスに帯電している特徴を利用して、プラスに帯電させたマイカ基板にナノバブルを静電気力で引き付けた上で観察することを可能としました。測定した結

果、ナノバブルは真球に近い形状をしており、その大きさは 50nm よりも小さいことを世界で初めて明らかにしました。

図 3 に示すのはナノバブルを含む水に塩酸を添加して ESR で測定した結果です。指標である左右の大きなピークの中に 4 つのピークが認められます。これらはナノバブルが消滅した時に水酸基ラジカルを発生したことを示しています。水酸基ラジカルは活性酸素の一種で、生命活動にとって重要な意味を持っている物質であり、また殺菌力を発揮することも可能です。ナノサイズの物質には様々な効果が期待されていますが、ナノバブルの場合、ラジカルを発生できるだけのエネルギーを内在していることが今回の発見で実証されました。

ナノバブルは、環境負荷が微小であり、人体への刺激性が非常に低く、細胞毒性も皆無に近いことから、その応用は非常に広範囲であり、さまざまな部材の洗浄、農業や水産業や医療、感染症の予防など広範囲な応用が期待されます。特に感染症対策における可能性は大きなものがあり、オゾンのナノバブルは多剤耐性菌やノロウイルスなどを不活化できる効果を持ちます。それでありながら人体への刺激性が非常に低く、細胞毒性も皆無に近いことが明らかになっています。今回の発見はオゾンナノバブルの強力な殺菌効果のメカニズムに迫るものであり、従来の殺菌剤とは異なる使い方でき広範囲な応用が期待されます。

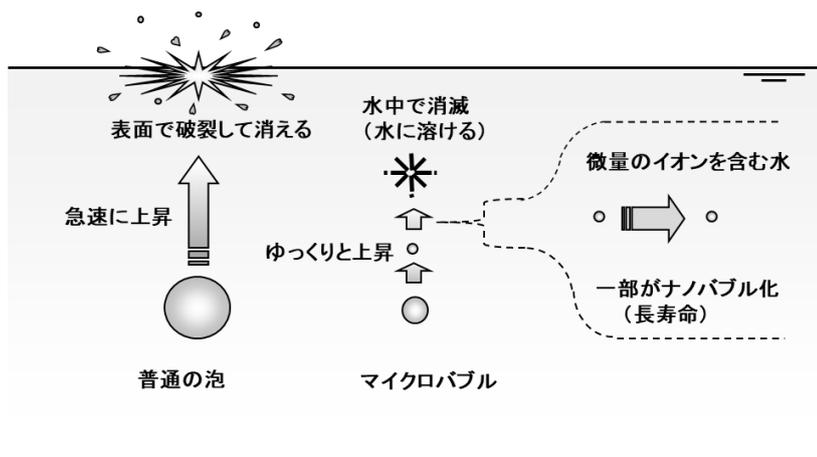


図1 通常の気泡とマイクロバブル、ナノバブルの違い

通常の気泡 (大きな泡) は水中を急速に上昇して表面でパチンと弾けて消える。一方、マイクロバブルはゆっくりと上昇しながら、さらに小さくなって表面に行き着く前に消滅する。これは内部の気体が周囲の水に溶解するためである。ナノバブルは微量のイオンを含む水中でマイクロバブルを発生した時に生成する。イオンが泡の表面に集まって無機質の薄い殻を作ると考えられる。この様にして生成したナノバブルは非常に安定な存在である。

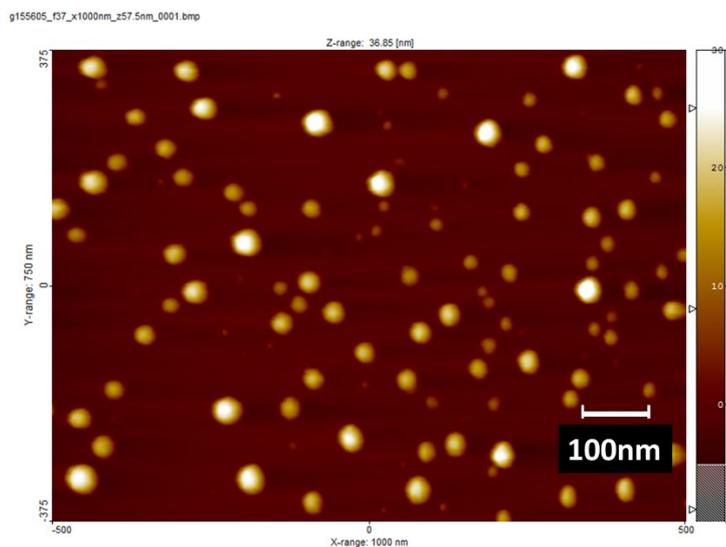


図2 オゾンナノバブルの原子間力顕微鏡画像

ナノバブルは大きさが50nmにも満たない真球状の粒子として観察される。非常に小さな気泡であり、仮にナノバブル2万個を数珠つなぎにしてもその大きさは1mmにもならない。

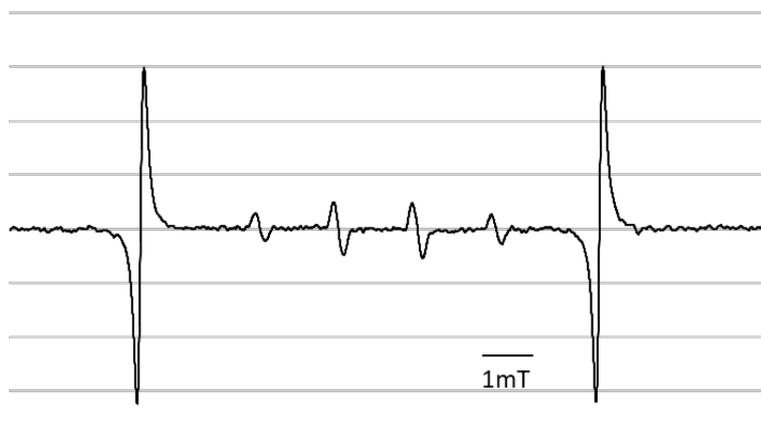


図3 電子スピン共鳴法によるラジカル測定

ナノバブルを含む水に塩酸を加えるとナノバブルは不安定になり消滅する。この時に水酸基ラジカルを発生したことを示すデータである。両方の大きなピークは指標であるが、その間に水酸基ラジカルの発生を示す特徴的な4つのピークが認められる。水酸基ラジカルは強力な活性種であり、殺菌能力などを持つ。

【問い合わせ先】

東北大学未来科学技術共同研究センター

教授 高橋正好

電話 022-795-3977

E-mail masayoshi.takahashi.c1@tohoku.ac.jp