

2024年12月11日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

ナノバブルでインプラントの有機物除去と
骨形成を促進する技術を開発
— 歯科から整形外科にも展開し
医療現場と患者への負担低減を目指す —

【発表のポイント】

- オゾンナノバブル水を用いて表面が酸化チタン^(注1)被膜で覆われたチタン製の歯科用インプラント材を超親水化する技術を開発しました。
- オゾンナノバブル水に10分間浸すだけで、親水性ナノバブル付着による長期間の機能維持と有機物に汚染された表面洗浄を実現しました。
- 本技術は形状を問わないため、他の生体材料への応用も可能です。

【概要】

歯科用インプラント治療は、失った歯の機能を回復し、自然な咀嚼を可能にする重要な医療技術です。スクリー状に成型された酸化チタン製インプラント材を顎骨に埋入し、人工歯を固定します。このインプラント材には高い生体適合性が求められますが、細胞の付着や増殖を促進するには、表面の親水性を向上させる必要があります。

東北大学未来科学技術共同研究センターの高橋正好特任教授らは、オゾンナノバブル水を用いた歯科用インプラント材料の超親水化技術を開発しました。

本研究成果は、米国化学会の専門学術誌 Langmuir に2024年11月25日付でオンライン掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

酸化チタンは、強靱で化学的安定性と生体適合性に優れ、各種インプラント材として医療現場で広く利用されています。歯科用インプラント治療は、歯の欠損により失われた咀嚼機能を補う技術であり、スクリュー状に成型された酸化チタンを顎骨に埋入し、人工歯を固定します。インプラント材は体内に挿入されると血液や体液と接触し、骨芽細胞^(注2)の付着や増殖を促進することで骨形成を助けます。この過程で、インプラント材表面の親水性向上は迅速な骨結合（オッセオインテグレーション）を促進し、その後の機能回復において重要な要素となります。しかし、手術中や準備段階での有機汚染による表面の疎水化は課題のひとつであり、現場で即応可能な対策が求められています。

ナノバブルは水中に存在する極めて微小な気泡で、優れた持続性を持つ点が特徴です。通常の気泡は短時間で消滅しますが、鉄などの微量な無機イオンを用いることで、持続性と機能性に優れたナノバブルの生成に成功しました。図1は、原子間力顕微鏡（AFM）^(注3)を用いて、水溶液中に浮遊するナノバブルをプラス帯電した基板に付着させて観察した画像を示しています。これらのナノバブルは直径10~20nmの球形粒子で、その表面には数ナノメートルの凹凸構造が確認されました。この物性から、ナノバブルは殻を持つ中空の粒子である可能性が高く、「ナノセル」とも呼ばれます。また、ナノバブル内部の気体を変えることで異なる機能を持たせることが可能であり、特にオゾンを含ませて作成したオゾンナノバブルはその強い酸化力が注目されています。

今回の取り組み

東北大学未来科学技術共同研究センターの高橋正好特任教授らは、中澤歯科（千葉県八千代市）および日本ビテイリース株式会社（東京・台東、小峰一浩社長）と共同で、オゾンナノバブルを利用した歯科用インプラント材の超親水性化技術を確立しました。この技術では、有機物で汚染され疎水化したインプラント材を、オゾンナノバブル水に10分間浸漬するだけで表面物性を大幅に改善できます。

図2は、処理前後の酸化チタン素材の濡れ性試験結果を示しています。処理前（左図）は疎水性（表面で水滴が広がらない）を示しましたが、オゾンナノバブル水で処理後は超親水性となり、7日間大気中に放置した場合でも（右図）優れた親水性を維持していることが確認されました。

また、実際に利用されているスクリュー型インプラント材を用いて濡れ性試験を実施しました（図3）。処理前（左図）は疎水性を示し、水が下端部で留まりましたが、処理後（右図）では親水性に変化し、水がスクリュー表面を伝って上昇する現象が観察されました。

図4に示すように、インプラント材が親水化する主なメカニズムは、(1)オゾ

ンナノバブル水の強い酸化力による有機物の分解・除去、および (2) ナノバブル（ナノセル）の表面への付着によるものです。有機物が除去されることで親水性が回復し、その後ナノバブルが表面に付着することで親水性が長期間維持されると考えられます。

今後の展開

インプラント材をナノバブル水に浸すだけで表面の物性が改善されるため、医療現場での負担軽減が期待されます。さらに、この技術は形状を問わないため、人工関節や心臓血管デバイスなど整形外科を含む幅広い医療分野への応用が見込まれます。また、ナノバブル水には人体の酵素活性を高める効果が確認されており、高齢化社会における健康維持や医療負担の軽減への貢献も期待されています。研究グループは今後もさらなる応用の可能性を追求し、研究を進める予定です。

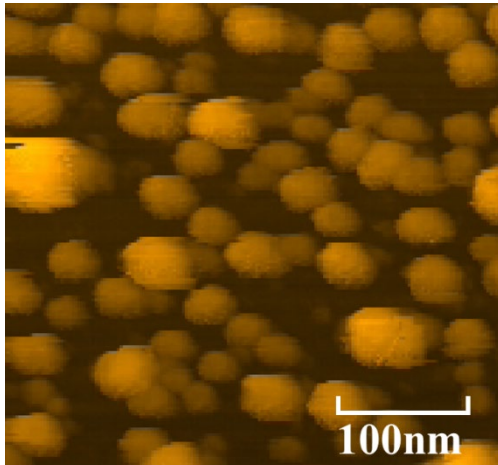


図 1. 原子間力顕微鏡を利用したナノバブルの観察

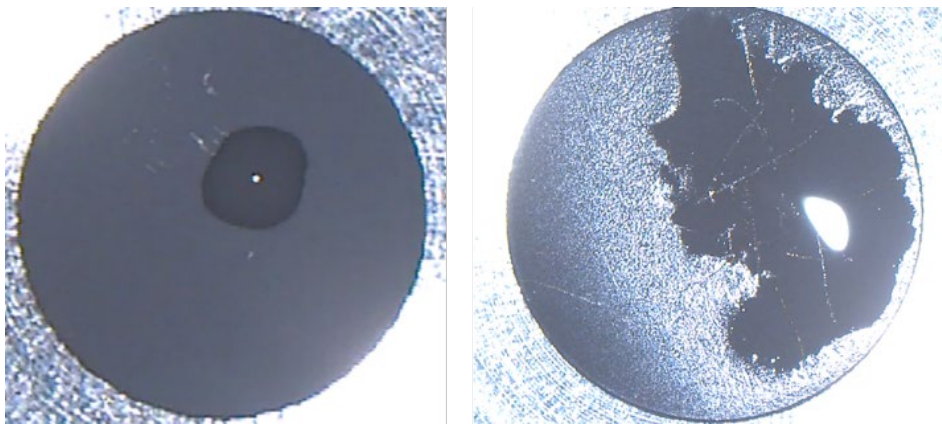


図 2. 酸化チタン素材の濡れ性試験

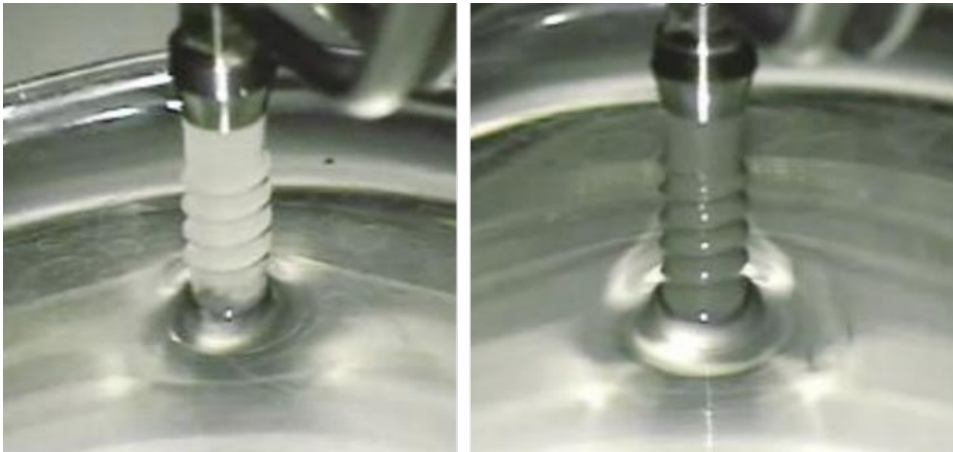


図 3. 歯科用インプラント材の濡れ性試験

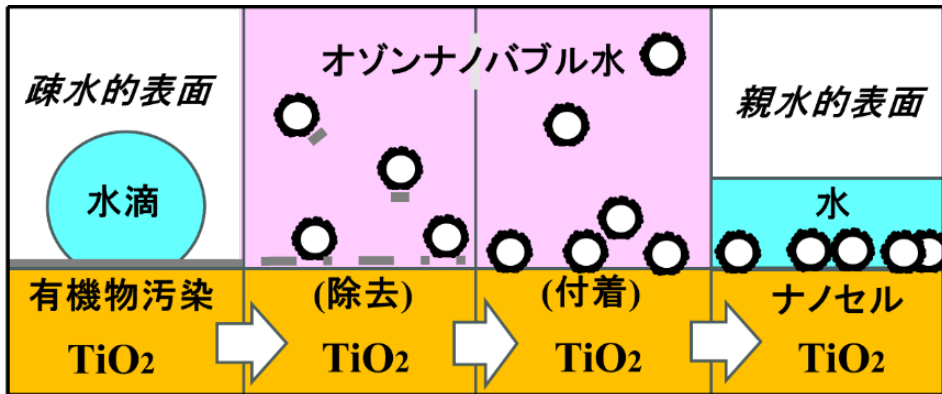


図 4. オゾンナノバブルによるインプラント材の親水化メカニズム（イメージ）

【謝辞】

本技術開発は、中澤歯科（千葉県八千代市）および日本ビテイリース株式会社と共同で実施されました。

【用語説明】

注1. 酸化チタン

チタンが酸化された化学的に安定な素材です。チタンは比較的軽量でありながら、非常に強靱な特性を持つ金属であり、医療分野をはじめ幅広く利用されています。空気中にさらされると表面に酸化チタンの層が形成され、これが高い耐腐食性と生体適合性をもたらします。また、酸化チタンは光触媒効果を持ち、紫外線を照射すると活性種を生成し、表面の有機物を分解することが可能です。また水分子との結合性に優れた表面状態となります。この特性により、歯科用インプラント材の親水性化にも紫外線照射が有効です。ただし、インプラントは一般に複雑な形状をしているため、全ての表面に対して紫外線が均一

に作用することが難しく、この点が実用上の課題となっています。

注2. 骨芽細胞

骨の生成に関与する細胞の一種で、骨組織中に存在しており、骨形成において重要な役割を果たしています。

注3. 原子間力顕微鏡法 (AFM)

様々な環境下 (真空・大気・溶液) で高分子材料の表面構造や組成、力学物性 (弾性率、粘弾性、凝着力) の分布をナノスケール分解能での可視化や、力学物性の定量解析ができる手法です。

【論文情報】

タイトル : Impact of Bulk Nanobubble Water on a TiO₂ Solid Surface: A Case Study for Medical Implants

著者 : Masayoshi Takahashi*, Masahiro Nakazawa, Takahiro Nishimoto, Mitsuyuki Odajima, Yasuyuki Shirai, Shigetoshi Sugawa

*責任著者 : 東北大学未来科学技術共同研究センター 特任教授 高橋 正好

掲載誌 : Langmuir

DOI : 10.1021/acs.langmuir.4c03339

URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.langmuir.4c03339>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学未来科学技術共同研究センター

特任教授 高橋正好

TEL: 022-795-3977

Email: masayoshi.takahashi.c1@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学未来科学技術共同研究センター 広報

TEL: 022-795-4004

Email: niche-pr@niche.tohoku.ac.jp