

炭素繊維が微生物を集めるメカニズムを解明 炭素繊維の水浄化能力が科学的に立証された

名古屋大学工学研究科生物機能工学分野の堀克敏教授らは、炭素繊維が微生物を集めて水を浄化するメカニズムを帝人との共同研究により解明した。

炭素繊維には水中の微生物や汚泥を付着させ水を浄化する能力がある。この能力は群馬高専の小島昭氏らによって 1994 年に発見され、日本各地の湖沼や池、沿岸域などで実証されてきた。また、炭素繊維に付着した微生物などが水中生物の餌となるため、人工藻場としても機能することが示されてきた。その様子はしばしばマスコミでも報道されてきた。しかし、炭素繊維に微生物が付着するメカニズムはずっと不明であり、炭素繊維の水浄化能力は科学的に立証されたものではなかった。堀教授らは、炭素繊維の表面電位と、水中において炭素と微生物細胞の間に働く分子間力に由来する引力との二つで、炭素繊維のこの特性を説明できることを示した。炭素繊維が超音波を発生し微生物を引き寄せるといった科学的には不可解な説明がされていた時期もあったが、通常の界面科学的な理論で炭素繊維への微生物の付着が説明できることが明らかとなった。窒素汚染の除去に働く硝化細菌の付着固定にも効果があることが確認され、今後、特に廃水処理分野での炭素繊維の利用の拡大が期待される。また、解明された理論に基づけば、炭素繊維と同等以上の微生物付着能力をもつ繊維の設計も可能であり、安価で効果の高い水質浄化用繊維の開発に期待がかかる。

なお本研究成果は、アメリカ化学会の専門誌「Environmental Science & Technology」のオンライン版で近く公開される。

炭素繊維が微生物を集めるメカニズムを解明

炭素繊維の水浄化能力が科学的に立証された

—炭素繊維の廃水処理への適用拡大と安価で効果の高い水浄化繊維の開発に期待—

【ポイント】炭素繊維には水中の微生物や汚泥を付着させ水を浄化する能力があり、日本各地で実証されてきた。しかしそのメカニズムは明らかではなかった。堀教授らは、帝人との共同研究により、そのメカニズムの解明に至った。炭素繊維の表面電位と、水中において炭素と微生物細胞の間に働く分子間力に由来する引力との二つで、炭素繊維のこの特性を説明できることを示した。炭素繊維の水質浄化能力を科学的に立証したことになる。

【背景】

1994年に群馬高専の小島氏らが、炭素繊維は微生物や汚泥を含む水中の微小粒子を付着させ、バイオフィルムを形成させる能力が高いこと、付着した微生物やバイオフィルムの働きにより高い水質浄化効果を発揮すること、さらにそれらが魚類などの水中生物の餌となるとともに炭素繊維そのものが水中生物の棲み家となることを発見した。それ以来、日本各地の湖沼や池、沿岸の水質浄化や人工藻場に炭素繊維が適用され、実証が積み重ねられてきた(国内250箇所以上)。その様子は、マスコミにも度々取り上げられてきた。最近では、中国蘇州やフィリピンのマニラでも実証試験が行われた。しかし、炭素繊維が微生物や汚泥を付着させるメカニズムは明らかになっておらず、炭素繊維の水質浄化効果は科学的に立証されたものではなかった。そのため、炭素繊維が超音波を発生し、それに微生物が引き寄せられるといった説まで出たが、科学の理論に基づくものではなかった。

堀克敏教授は、微生物の付着やバイオフィルムについての専門家であり、国の最先端・次世代研究を担う若手研究者として、国の大型研究プロジェクトにも採択されている。4年ほど前に専門家の立場から炭素繊維への微生物の付着メカニズムの解明に乗り出し、炭素繊維の主要製造企業の一つである帝人との共同研究により、遂に解明に至った。

【研究の内容】

堀らは、複数種類の微生物の繊維への付着速度を、炭素繊維と他の合成繊維(ポリアミド繊維、アクリル繊維、ポリエチレン繊維)と比較して、炭素繊維への付着速度が速いことを確認した。各微生物細胞の表面の電位と各繊維の表面の電位を測定し、水中で微生物細胞も繊維も負の電気を帯びている(負電荷をもっている)ことを明らかにした。したがって、水中では両者の間に反発力が働き、付着を邪魔する。しかし、炭素繊維は負電荷が他の繊維に比べて少ないことを明らかにした。また、全ての物質には分子間力と呼ばれる互いに引き合う相互作用が働くが、水中では微生物と炭素繊維間に働くこの相互作用が、微生物と他の繊維との間に働く相互作用より強い。微生物細胞および各繊維の表面電位、およびこれらの相互作用を算出し、微生物が各繊維に付着する際に生じるエネルギーを計算した。その結果、炭素繊維以外

の繊維と微生物が付着する際にはエネルギーの障壁が存在するが、炭素繊維に微生物が付着する際には、このエネルギーの障壁が存在しないことが明らかとなった。微生物が他の繊維に付着するにはエネルギーの障壁を越えねばならず、時間がかかる。しかし、炭素繊維に対しては、越えねばならないエネルギー障壁がないため、微生物は素早く、容易に付着することができるのである。

【成果の意義】

炭素繊維への微生物の付着メカニズムが明らかとなり、その水質浄化能力が科学的に立証されたことで、炭素繊維の水浄化への利用が進むであろう。また、研究では、窒素汚染を除去する働きをもつ硝化細菌と呼ばれる微生物も、炭素繊維によく付着することが明らかとなった。炭素繊維を利用した廃水処理システムの開発に繋がるものと期待される。また、メカニズムに基づき、炭素繊維と同じような特徴をもつ繊維を設計することが可能であり、今後炭素繊維と同等以上の微生物付着能力を有する水質浄化用繊維の開発も促進されるであろう。

【用語説明】

炭素繊維: アクリル繊維またはピッチ(石油、石炭、コールタールなどの副生成物)を原料に高温で炭化して作った繊維。軽くて強い材料であり、航空機や各種スポーツ用品、自動車などの材料として使われる。日本発の技術であり、現在でも世界市場に占める日本企業製品のシェアは高く、日本の誇れるオリジナル材料である。

バイオフィーム: 固体表面上に付着した微生物と、微生物が分泌した多糖類などの高分子物質からなる膜状のもの。身近なバイオフィームとして、水垢、ぬめりの他、虫歯の原因となるプラークなどがある。バイオフィームには汚れの成分を分解する微生物が濃縮されているため、これを廃水処理や水の浄化に利用することができる。

汚泥: 下水処理場の処理工程や工場の廃水処理の工程で生じる有機物や微生物が凝集してできた懸濁物質。

藻場: 魚類などの水生生物が産卵、繁殖したり棲みついたりする場となる藻類の生えた場所。水生生物に餌や隠れ家を提供する。

【論文名】

『Environmental Science and Technology』(アメリカ化学会発行)掲載予定

“Carbon fiber as an excellent support material for wastewater treatment biofilms”(炭素繊維は廃水処理用バイオフィームの優れた担体材料である)

Shinya Matusmoto, Akihito Ohtaki, and Katsutoshi Hori (松本慎也、大滝昭仁、堀 克敏)



図. (左上) 水質浄化用炭素繊維材料。(右上) 微生物と汚泥が付着した炭素繊維織物。
(左下) 河川に設置された炭素繊維。(右下) 炭素繊維および付着した汚泥。