



配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2023年12月26日

報道機関 各位

## カーボンナノチューブを微生物で分解する世界初の手法を開発 ～名古屋大学と日本ゼオン、フレンドマイクロブが 環境保護と産業革新を目指す画期的成果～

### 【本研究のポイント】

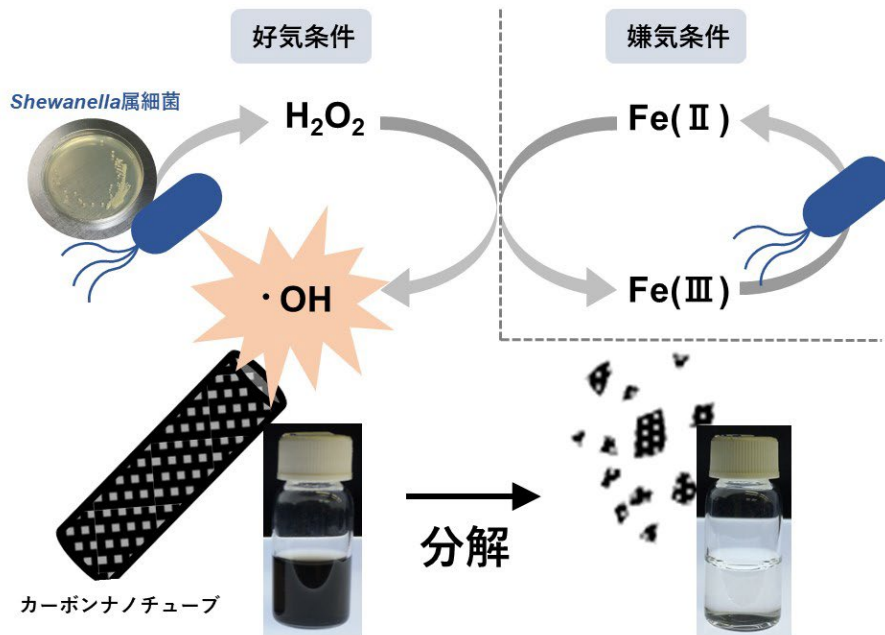
- ・微生物によるカーボンナノチューブ(CNTs)<sup>注1)</sup>の持続的分解を世界で初めて報告した。
- ・分解に使用した *Shewanella* 属<sup>注2)</sup>とフェントン反応<sup>注3)</sup>に用いられる鉄は環境中に広く存在することから、本研究から、広範囲な環境条件下で CNTsの分解が可能であることが示唆された。
- ・カーボンナノチューブ含有製品の廃棄物処理や環境バイオレメディエーション<sup>注4)</sup>における手法開発に役立つことが期待される。

### 【研究概要】

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院工学研究科の堀 克敏 教授の研究グループ、大手化学メーカー日本ゼオン株式会社、および名古屋大学発ベンチャー株式会社フレンドマイクロブは共同研究によって、エレクトロニクスをはじめとする様々な産業分野に大きな便益をもたらすことが期待されているカーボンナノチューブ(CNTs)を微生物によって効率的に分解する新手法を開発しました。炭素からできている無機物のCNTsは環境中では生分解されないと考えられてきましたが、今回の結果はその考えを覆すものとなりました。また、これまで環境中に放出された場合の影響が十分に解明されておらず、早急な対応策の策定が産業化の大きな課題でしたが、今回の研究成果により活路が見出された結果となりました。

堀教授らは *Shewanella* 属の細菌を利用した単層カーボンナノチューブ<sup>注5)</sup>(SWCNTs)の効率的な生物学的分解法を開発しました。新手法では、*Shewanella* 属がもつ無酸素条件下でFe(III)をFe(II)に還元し、有酸素条件下でO<sub>2</sub>をH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>に還元することでフェントン反応を効率的に誘導する能力を利用しています。この研究では、その特性を利用して、SWCNTsの連続的かつ長期にわたる分解を実現しました。この新しいアプローチは、SWCNTsの環境へのリスクを軽減し、廃棄物処理や環境バイオレメディエーションにおける新しい可能性を提供するものです。*Shewanella* 属によるこの分解技術は、より幅広い環境条件下でのCNTsの安全な処理方法として期待されます。

本研究成果は、2023年11月30日付国際学術雑誌「Frontiers in Microbiology」にオンライン掲載されました。



## 【研究背景と内容】

本研究は、カーボンナノチューブ(CNTs)、特に単層カーボンナノチューブ(SWCNTs)の生物学的分解に焦点を当てています。CNTsはその優れた物理的特性により広範な応用がありますが、人間の健康や生態系に対する潜在的なリスクが懸念されています。例えば、CNTsは針状の構造を持ち、中皮腫や肺がんなどの健康問題を引き起こす可能性があります。植物、動物、微生物に対する毒性も報告されています。これまでの研究では、ホースラディッシュペルオキシダーゼ(HRP)などのヘム酵素<sup>注6)</sup>を用いたCNTsの分解が報告されていますが、これらの分解過程は実際にはフェントン反応によるものであり、酵素反応によるものではないことを、今回の発表者らは既に論文で発表しています。今回は、その知見をもとに、新しいCNTsのバイオ分解技術の開発に成功しました。フェントン反応は、過酸化水素の分解を触媒する鉄(II)によって生じる高反応性のヒドロキシルラジカルによって、有機物を迅速かつ非選択的に酸化します。Shewanella属の細菌は、無酸素条件下で鉄(III)を鉄(II)に還元し、有酸素条件下で酸素を過酸化水素に還元することで、フェントン反応を効率的に誘導する能力があります。これは、CNTsの分解に応用できる可能性があります。Shewanella属がCNTsに耐性があるか、またフェントン反応がCNTsを分解するのに十分な期間続くかについては全く知見がありませんでした。この研究では、30  $\mu g/mL$ のO-SWCNTsと10 mMのFe(III)クエン酸塩を含む条件下で21時間の無酸素と3時間の有酸素のサイクルを行い、90日間でO-SWCNTsの56.3%を分解しました。この結果は、Shewanella属によるフェントン反応が、幅広い条件下でのCNTs分解に応用可能であることを示唆しており、CNTsの廃棄物処理や環境バイオレメディエーションにおける新たな方法の開発に寄与すると考えられます。

## 【成果の意義】

CNTs は産業界で広く利用されていますが、健康と環境への懸念が指摘されています。この研究により、環境中に広く存在する細菌を利用して、CNTs を安全かつ持続可能な方法で分解する新たな可能性が開かれました。これは、廃棄物処理技術の改善、環境汚染の軽減、そして長期的には人間と生態系の健康へのリスクを減少させる道を提供します。ナノテクノロジーの安全な利用と持続可能な発展にとって、この研究は重要なステップとなるでしょう。

## 【用語解説】

注 1)カーボンナノチューブ:

カーボンナノチューブは、炭素原子が六角形の格子状に配列して構成されるナノスケールのチューブ状の構造物です。その直径はナノメートル単位で、非常に強い力学的特性、優れた熱伝導率、特異な電気的特性を持ちます。これらの特性から、材料科学、ナノテクノロジー、電子工学など多岐にわたる分野で応用されています。

注 2) *Shewanella* 属:

*Shewanella* 属は、シユエネラ属とも呼ばれ、主に水中環境に存在する細菌の一群です。これらの細菌は、酸素不足の環境で金属イオンを電子受容体として利用することができる特徴を持ちます。この能力は、環境汚染のバイオレメディエーションやバイオエネルギーの生成などに応用される可能性があります。

注 3)フェントン反応:

フェントン反応は、過酸化水素と鉄イオン( $\text{Fe}^{2+}$ または  $\text{Fe}^{3+}$ )を反応させることにより、強力な酸化剤であるヒドロキシルラジカルを生成する化学反応です。この反応は、有機物の酸化分解や有害物質の無害化に使用されます。環境工学や廃水処理などで重要な役割を果たしています。

注 4)環境バイオレメディエーション:

環境バイオレメディエーションは、微生物、植物、菌類などの生物学的プロセスを利用して、汚染された土壌や水の浄化を行う技術です。有害な化学物質や重金属を分解または無害化することで、環境の回復を図ります。持続可能な環境修復手法として重要視されています。

注 5)単層カーボンナノチューブ:

単層カーボンナノチューブは、単一の炭素原子層から成るカーボンナノチューブです。極めて軽量でありながら、強度や熱伝導性、電気伝導性に優れる特徴を持っています。これらの特性から、ナノエレクトロニクス、エネルギー貯蔵、複合材料などの分野で広く研究されています。

注 6)ヘム酵素:

ヘム酵素は、ヘムを含む酵素の一群で、ヘムが活性部位に存在していることが特徴です。ヘムは鉄を含む有機化合物で、これにより酵素は酸素の運搬や電子の移動、

化学反応の触媒など多様な生物化学的プロセスを行います。例えば、ヘモグロビンやミオグロビンはヘム酵素の一種です。

### 【論文情報】

掲載誌: *Frontiers in Microbiology*

タイトル: Long-term continuous degradation of carbon nanotubes by a bacteria-driven Fenton reaction

著者: Seira Takahashi, Katsutoshi Hori

DOI: 10.26434/chemrxiv-2023-rcjv5

URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2023.1298323/full>