



北海道発の新素材 「発酵ナノセルロース」の大量生産に成功

研究成果のポイント

- ・ 北大菌を用い、培養方法を改良することによって、直径約 20nm ほどの超極細セルロース繊維である新素材「発酵ナノセルロース」を合成することに成功。
- ・ さらに、大型培養装置を用い廃グリセリンや糖蜜など安価な原料物質から発酵ナノセルロースの大量生産に成功。
- ・ 食品、化粧品、特殊紙、エレクトロニクス、医療用途など、幅広い分野での利用に期待。

研究成果の概要

北海道大学大学院工学研究院の田島健次准教授らの研究グループは、果物から新規に単離した微生物（学名：*Gluconacetobacter intermedius* NEDO-01 株、以下；北大菌¹⁾）が、廃グリセリン²⁾、³⁾や糖質などを原料として、高い効率でセルロース⁴⁾（バクテリアセルロース（BC））を合成することを発見しました。更に培養方法を改良する事で、非常に均一な水分散液として調製することに成功しました（特許出願中；特願 2012-289043）。これが発酵ナノセルロース（ナノフィブリル化⁵⁾バクテリアセルロース⁶⁾（NFBC）です（写真 1）。北大菌のつくる発酵ナノセルロース繊維の平均直径は 20nm と超極細であるだけでなく、非常に分散性・流動性が高く（写真 1 および 2）、食品、化粧品、特殊紙、エレクトロニクス、医療分野など、幅広い分野で利用の可能性があります。

そして北海道大学と日本甜菜製糖株式会社（以下；日甜）は、発酵ナノセルロースの生産技術および知的財産をベースとして、本年 4 月より発酵ナノセルロースの大量生産に関する共同研究をスタートさせました。北海道において、てん菜を原料に砂糖製造を行っている日甜の得意とする砂糖製造および微生物培養の技術を活かし、糖蜜などを原料として、大型微生物培養装置を用いることで、発酵ナノセルロースの大量生産に成功しました。



写真 1 発酵ナノセルロース

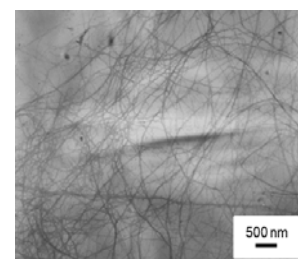


写真 2 電子顕微鏡写真

研究成果の概要

(背景)

近年、環境に優しい新機能性素材として注目されているものに、ナノセルロースがあります。セルロースは植物によって合成されるグルコースが β 1,4結合でつながった高分子で、紙製品、繊維製品、樹脂製品、食品等として広く利用されている身近な物質です。通常セルロース繊維の太さはマイクロメートルオーダーですが、その千分の一程度、つまり、ナノメートルオーダー (nm, 1nm=百万分の一ミリメートル)⁷⁾ の超極細のものが、ナノセルロースです。近年、これまでにない優れた機能を有する新規素材として、ナノセルロースが注目されており、様々な研究開発が大学など多くの機関で行われています。ナノセルロースは主に植物由来のセルロースを原料として、機械的または化学的処理によって、ナノ単位にまで細くすることによって作られます。一方、酢酸菌⁸⁾ などのある種の微生物は、直接ナノセルロースを合成することが知られており、これを特にバクテリアセルロース (BC) と呼んでいます。一般的に BC は静置培養法によって合成され、水を多く含んだゲル状物質 (ナタデココ) として得られます。我々は、新しい BC 合成微生物を取得し、更に微生物の培養方法を改良することによって、新素材ナノファイバー「発酵ナノセルロース」の合成に成功しました。

(研究手法)

新しい BC 合成微生物は、果物の表面に付着しているものの中から単離・取得し、様々な試験結果を元に微生物の同定を行いました。三角フラスコを用いた実験によって培養条件の検討を行い、最終的に200リットルの大型微生物培養装置を用いた通気攪拌培養⁹⁾ 実験を行いました。発酵ナノセルロースにおける大量生産方法の概略を図1にまとめました。

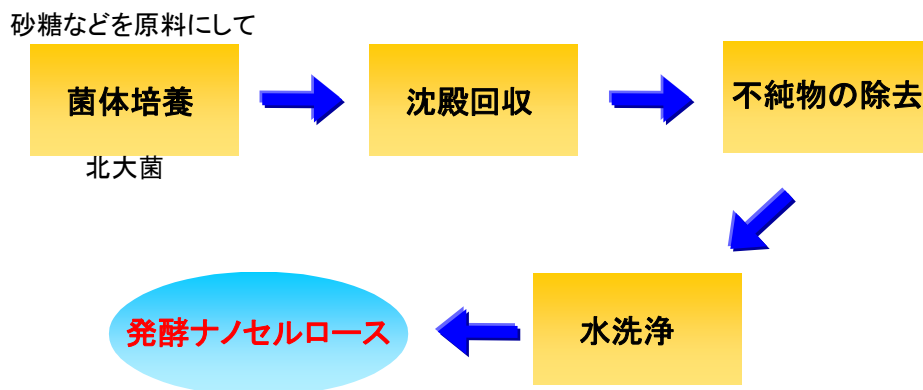


図1 発酵ナノセルロースにおける大量生産方法の概略

(研究成果)

バイオディーゼル燃料製造時の副生成物である廃グリセリンなどを資化し、効率的にセルロースを合成可能な微生物を1つ取得することに成功しました。解析の結果、この微生物が酢酸菌の一種である *Gluconacetobacter intermedius* であることが確認されました。また、原料として廃グリセリンを用い三角フラスコによる培養を行ったところ、既存の微生物よりもセルロース合成能が高いことが明らかとなりました。そこで、次にこの微生物を用い大型培養装置による通気攪拌培養を行ったところ、5 g/L以上の収量での発酵ナノセルロースの生産に成功しました。得られた生成物の形態観察を電子顕微鏡を用いて行なったところ、直径約20nmのフィブリル化ナノファイバーが均一に分散していました。生成物には沈殿や塊状物質は観察されず、セルロースナノファイバーからなる均一な分散液であることが確認されました。

(今後への期待)

現在、更に製造コスト削減に向け、工業レベルでの製造工程の検討を進めており、今後は、発酵ナノセルロースを試験製造し、用途開発および市場調査を進める計画です(図2)。

なお、本発酵ナノセルロースの生産技術の確立は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクト(先導的産業技術創出事業 11B12009)において成されたものです。

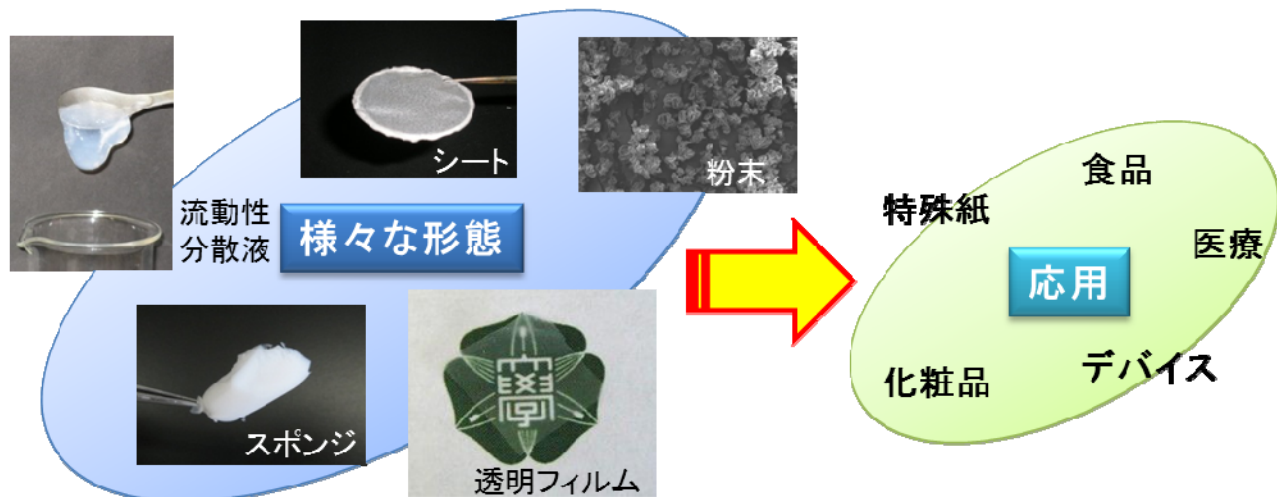


図2 発酵ナノセルロースの様々な応用

用語解説

1) (細)菌：バクテリアと同義。原核細胞からなる下等微生物のうち、藍藻類を除いたもの。きわめて多様で、真正細菌と呼ばれるものの他、粘膜細菌、放線菌、スピロヘータなどを含む。多くは0.5~2 μm 内外の大きさの単細胞、または増殖の結果生じた単純な細胞集団を成している。一部の細菌は耐熱性の内生孢子を作る。少数の例外を除きペプチドグリカンを含む固い細胞壁を持っており、球状、桿状(かんじょう)、らせん状など特有の形態を保つ。

2) グリセリン：グリセロールと同義。 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ 、分子量 92.09、三価アルコールの一つ。中性脂肪、リン脂質、糖脂質の構成成分である。

3) 廃グリセリン：バイオディーゼル燃料を作り出す過程で生じる副産物。使用済み天ぷら油などの植物油は、脂肪酸とグリセリンの化合物であり、これにメタノールを加えメチルエステル化するとバイオディーゼル燃料ができ、グリセリンが発生する。これが工程的に廃グリセリンと呼ばれている。

4) セルロース：グルコースが β 1,4 グルコシド結合で連なった繊維状高分子。地球上で最も多い炭水化物で植物体の約3分の1を占めている。平均重合度は、天然状態では3,000~10,000、加工品の脱脂綿などは1,200~1,500、ろ紙は500~600程度である。天然では40~50本の分子が平行に並んでマイクロフィブリル結晶を形成している。

5) ナノフィブリル化：複数の分子からなる一本の繊維が細分化し、直径がナノメートルオーダーであるより細い繊維になること。

6) バクテリアセルロース：酢酸菌など、ある種の細菌によって合成されるセルロース。植物由来のセルロースとは異なるユニークな構造と性質を持っており、注目されている。植物由来のセルロース繊維の太さが数10 μ mに対し、バクテリアセルロースの太さはその1000分の1の数10nm程度の極細である。細菌は、1本のナノファイバーを合成・排出し、それに伴って移動し、最終的には緻密なネットワーク構造を有するゲル状の膜を作る。このユニークな構造と物性を利用した応用例にスピーカーの音響振動板や人工血管、創傷被覆材、UVカット材、高強度透明材料などがあり、幅広く応用されている。

7) ナノメートル：アリなどの様に、肉眼で見ることができる大きさの限界が、ミリメートル(記号はmmと書き、1mの1000分の1)。それ以下の大きさはマイクロメートル(記号は μ m)であり、1mmの1000分の1、すなわち1mの100万分の1に当たる。タンパク質や細胞の大きさがこの領域である。ナノメートル(記号はnm)はマイクロメートルのさらに1000分の1に相当し、1mmの100万分の1、1mの10億分の1となる。ナノメートルサイズの太さの繊維を人工的に合成することは不可能である。

8) 酢酸菌：エチルアルコールを酸化して酢酸を生成するグラム陰性の偏性好気性桿菌の一群。産業的には、食酢を作る際に用いられている。胞子は形成しない。耐酸、耐アルコール性が高く、高濃度の糖にもよく耐える。性質が不安定で分類学的に異説が多かったが、現在ではエチルアルコール酸化能が強い*Acetobacter*とグルコース酸化能が強い*Gluconobacter*に大別される。生理学的には*Pseudomonas*とよく似ている。本文の*Gluconacetobacter*は新属の酢酸菌。

9) 通気攪拌培養：タンク型の容器に液体培地を張り空気を吹き込みながら培養液を翼で攪拌しながら培養を行う型式。微生物の培養で最も良く用いられる型式である。標準的にはタンクの下方に設けたスパージャーと呼ばれる管から空気を供給し、中央に下垂した攪拌軸の先に付けた平羽根あるいはタービン型の翼で培養液を攪拌するようになっている。液体中に効率的に空気を供給可能であり、酸素要求型の微生物を増殖させる際、生産性の向上が望める。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学大学院工学研究院 准教授 田島 健次(たじま けんじ)

TEL: 011-706-6607 FAX: 011-706-6607 E-mail: ktajima@eng.hokudai.ac.jp

所属・職・氏名：日本甜菜製糖株式会社総合研究所 副所長 内野 浩克(うちの ひろかつ)

TEL: 0155-48-4102 FAX: 0155-47-0711 E-mail: utin@nitten.co.jp

所属・職・氏名：日本甜菜製糖株式会社食品事業部 副課長 名倉 泰三(なぐら たいぞう)

TEL: 03-6414-5535 FAX: 03-6414-3984 E-mail: nagu@nitten.co.jp