

PRESS RELEASE (2024/09/24)

生物が加工する透明ガラス構造

～植物根や菌糸によるガラス内への3次元微細複雑構造の生成～

ポイント

- ① 植物や菌類を利用し、ガラス内に複雑3次元微細ネットワーク構造を形成する新技术を開発
- ② 生物の成長パターンを活用でき、従来技術では困難な最適化された流路構造を実現
- ③ 工学分野での応用に加え、土壌中の生体構造を3次的に観察する新手法としても期待

概要

従来、微細流路の製造には複雑な加工技術が必要であり、特に生体組織に見られるような複雑な3次元構造の再現が困難でした。また、土中で成長する植物の根や菌類の構造を詳細に観察することも容易ではありませんでした。

本研究は植物の根や菌類の菌糸を利用し、ガラス内に複雑な3次元微細流路ネットワークを形成する新しい製造技術を開発しました。この技術は、工学的応用だけでなく、土中の植物根や共生菌の3次元構造を観察する新しい方法としても注目されています。

九州大学大学院工学研究院の津守不二夫教授、工学府修士学生（当時）の古賀哲郎氏、中島祥太氏らの研究グループは、シリカナノ粒子を含む特殊な培地で植物や菌類を培養し、その成長パターンをガラス内の流路構造として転写する手法を開発しました。この手法により、主根から側根、根毛、さらに植物根に共生する菌根菌の菌糸へと連続的につながる階層的な流路構造の作製に成功しました。また、実際に送液実験を行いガラス内流路として機能することを実証しました。

本研究成果は、熱交換器や関連した微細流路デバイス、組織工学などの工学分野での応用が期待されます。さらに、土中で3次元的な観察が困難な生体を固定し、微細な3次元構造を観察できる新しい方法としても有効であるため、植物根や菌糸ネットワークを構成する根圏の状態を固定化し詳細観察を行う新たな研究手法として貢献することができます。

本研究成果は2024年9月10日に科学誌「Scientific Reports」にオンライン掲載されました。



研究者からひとこと：

今回の方法で作製されたガラス構造を顕微鏡で最初に覗き込んだとき、生きた植物とまったく変わらない見た目に息を飲みました。生体の作る複雑な構造を、硬く透明なガラスの中に空洞として再現しています。植物のような生体自体が材料を加工する新しいプロセスにご注目ください。

(図) 本研究手法で得られたガラス構造サンプル（左：ライムギ、右：コウジカビ）。透明なガラスチップ内に植物や菌糸状の空洞がまるで生きているかのように形成されています。根毛状流路の太さは約10 μm 、菌糸流路の太さは約2 μm です。このように微細かつ複雑な構造が得られています。

【研究の背景と経緯】

微細流路技術は、再生医療や環境・エネルギー分野で急速に重要性を増しています。このような微細流路は生体組織にも観察され、自然界で最適化された複雑な3次元構造についても古くから注目されています。一方でこのような生体模倣流路構造の作製については従来の微細加工技術においても困難であり、以下の課題がありました：

1. 複雑な3次元構造の作製が困難。特にガラスやセラミックのような脆い材料は難しい。
2. 多段階のプロセスが必要で時間とコストが増大しがちである。
3. 大面積での製造が難しい。

これらの課題に対し、植物根や菌類の菌糸ネットワークに注目しました。生物の自己組織化による複雑構造形成を工学的に応用し、効率的で新しい微細流路作製技術の開発に着手しました。

【研究の内容と成果】

本研究では、植物の根や菌類の菌糸を利用して、ガラス内に複雑な3次元微細流路ネットワークを形成する新技术を開発しました。基本的なアイデアは以下の通りです（図1）。植物は土中に根を成長させますが、この天然の土に替えてガラスのナノ粒子（※1）をベースとした人工の土中に植物を成長させます。根の成長後、この土を焼き固めることで根の部分を空洞として残した状態のガラス構造を得ることができます。微粒子を焼き固めるプロセスは粉末冶金法（※2）と呼ばれます。一連のプロセスは陶芸と同じイメージです。要は植物（生体）自身が成形加工を行っていることが特徴です。

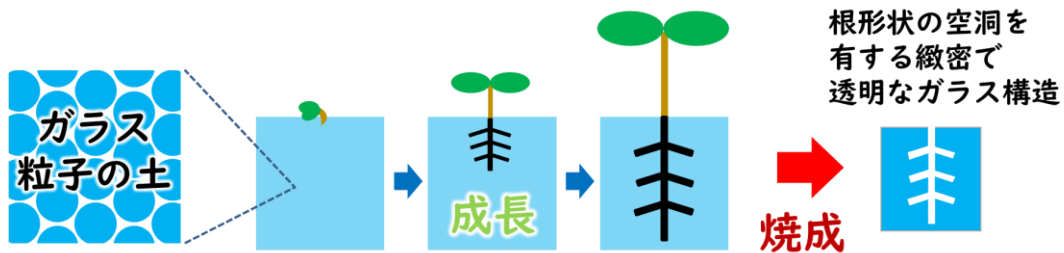


図1 本研究で開発したプロセスの概要

主な成果は以下の通りです：

1. 複雑な3次元ネットワークの実現：
 - ・主根（約150 μm ）から根毛（約8 μm ）、菌糸（1-2 μm ）をつなぐ階層的構造を作製（例 図2）。
 - ・従来技術では困難だった複雑な3次元微細構造を忠実に再現。

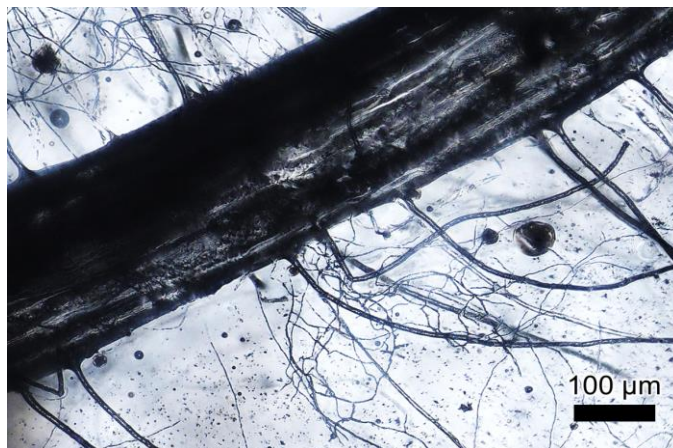


図2 多階層にわたるガラス流路構造例

ここで示すガラス流路は植物根（ライムギ）に菌根菌が共生したものです。主根、根毛、菌糸とスケールの異なる流路構造がガラス構造内に同時に形成できていることが観察できます。

2. 透明ガラス流路の作製:

- ・培養後の試料を乾燥・焼結し、生物を除去しつつその形状を流路として保持。
- ・透明なガラス内に複雑な3次元微細流路ネットワークを形成。

3. 機能性の実証:

- ・作製した流路ネットワーク中に実際に送液が可能なことを確認。

【今後の展開】

本研究成果は、工学・生物学・産業など幅広い分野での応用が期待できます。工学分野では、熱交換器や燃料電池の効率向上、組織工学における3次元的な流路内での細胞培養といった活用の可能性があります。生物学研究では、これまで困難だった根系や菌糸ネットワークの詳細な3次元構造研究、土壌中での植物と微生物の相互作用の可視化が可能となります。産業応用としては、より効率的な医療機器、高感度な環境センサー、高性能なエネルギーデバイスなどの開発が考えられます。今後、より複雑な構造の実現やセラミックス等への異なる機能材料への適用、さらには生体の培養条件を制御することによる最適流路設計等、多角的な研究開発を進めていく予定です。

【用語解説】

(※1) ナノ粒子

粒子直径が1 μm より小さい粒子 (1 μm は1 mm の1000分の1)。

(※2) 粉末冶金法

粉末材料を成形し焼き固めて製品を得る方法。陶磁器を作製するプロセスを想像すると良い。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 (JP19K21922) および MEXT 科研費 (JP21H00371) の助成を受けたものです。シリカナノ粒子は株式会社アドマテックスに提供いただきました。

【論文情報】

掲載誌: Scientific Reports

タイトル: Replicating Biological 3D Root and Hyphal Networks in Transparent Glass Chips

著者名: Tetsuro Koga, Shota Nakashima, and Fujio Tsumori

DOI: 10.1038/s41598-024-72333-y

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院 工学研究院 航空宇宙工学部門 教授 津守 不二夫 (ツモリ フジオ)

TEL: 092-802-3040 FAX: 092-802-3001

Mail: tsumori@aero.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL: 092-802-2130 FAX: 092-802-2139

Mail: koho@jimu.kyushu-u.ac.jp