

令和 3 年 4 月 19 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21922

研究課題名（和文）「生物による加工プロセス」の開発

研究課題名（英文）Development of "Manufacturing Process by Creatures"

研究代表者

津守 不二夫 (TSUMORI, Fujio)

九州大学・工学研究院・教授

研究者番号：10343237

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は植物等の生物を用いた新たな設計・加工プロセスを開発することを目的とする。例えば、植物の根は複雑な枝分かれ構造を有しており、特に末端部では10マイクロメートルレベルの根毛組織に覆われている。このような精細かつ大規模な複雑構造は現在の加工プロセスでもって作製することは困難である。ガラスやセラミックスのナノ粉末を出発材料とし、内部に生体とまったく同じ構造を残した焼結体を得た。また、生物の成長環境を制御することにより、例えば応力や圧力を分散させるといった機能も同時に設計できる。植物だけでなく、根圏を構成する菌根菌も同時に利用でき、これまでにない多様な構造を作り出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体は自ら最適な複雑構造を構築できる。本研究では植物の根に注目し、この構造をガラスやセラミックスといった「硬い」材料中に直接固定・再現することを実現した。複雑であると同時にスケールも大きなものから微細な領域にまで多階層的な構造を、成形困難な素材中に生成できている。将来的には力を効率的に分散する構造材料や、多孔質フィルタ材料といった応用を考えることができる。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to develop a new design and processing process using plants and other organisms. For example, the roots of plants have complex branching structures, especially at the ends, which are covered with root hairs of 10 micrometer scale. Such fine and large-scale complex structures are difficult to fabricate using conventional fabrication processes. Using nanopowders of glass and ceramics as starting materials, sintered materials were obtained that retained the similar internal structure as the living organism. In addition, by controlling the growth environment of the organism, we can simultaneously design functions such as stress and pressure dispersion. Not only plants, but also the mycorrhizal fungi that make up the rhizosphere can be used simultaneously, creating a variety of structures.

研究分野：微細加工，粉末冶金

キーワード：微細加工 粉末冶金 植物 根 菌根菌 セラミックス ガラス 微細流路

1. 研究開始当初の背景

本研究は植物等の生物を用いた新たな設計・加工プロセスを開発することを目的とする。例えば、植物の根は複雑な枝分かれ構造を有しており精細な複雑構造であり、現在の加工プロセスをもっても作製することに大きな苦勞が伴う。ここで、セラミックスのナノ粉末材料を用いた新たなアイデアを提案する。粉末材料は水分を含ませると「土」と同じように働く。この中で植物を栽培すると、根は粉末材料内部に成長していく。そして成長後、この材料を加熱・焼成すると、植物は完全に分解除去され、内部に生体と完全に同じ構造を残したセラミックス焼結体を得ることができる。このような手法で、これまでにない多様な構造を作り出すプロセスを開発する。

2. 研究の目的

本研究は植物等の生物を用いた新たな設計・加工プロセスを開発することを考えた。例えば、植物の根は複雑な枝分かれ構造を有しており、特に末端部では十数マイクロメートルレベルの根毛組織に覆われている。このような精細かつ大規模な複雑構造は現在の加工プロセスをもっても作製することに大きな苦勞が伴う。そこで、セラミックスやガラスのナノ粉末材料を用いた新たなアイデアを提案した(図1)。粉末材料は水分を含ませると「土」と同じように働く。このセラミックス粉末の土を用い植物を栽培すると、根は粉末材料内部に自身の構造を作りこみながら成長していく。そして成長後、この材料を成長した植物ごと加熱・焼成すると、植物は完全に分解除去され、内部に生体と完全に同じ構造を残したセラミックス焼結体を得ることができる。

同時に、生物の成長環境を制御することにより、例えば応力や圧力を分散させるといった機能も設計できる。植物だけでなく、コウジカビ等の菌糸ネットワーク構造も利用可能であり、これまでにない多様な構造を作り出す新たなプロセスとなる。本研究ではこのような構造を、高度に機能化した複合材料や、Organ-on-a-chip といったマイクロ流路構造へ応用することを検討する。

3. 研究の方法

提案するプロセスは前節に示した通りである。セラミックスやガラスのナノ粉末材料を用い、植物の根や菌糸構造と完全に同形状の空洞構造を有するサンプルを得る。

上記の通り、精細な3次元構造が加工できることは予備実験により確かめられている。しかしながら生物の成長は勝手なものであり工学的な利用となじまない場合もある。つまり、設計した構造を得るためには成長の制御が必要である。このひとつの例として力学的な刺激による成長制御を試みる。本研究では図2に示すような装置をくみ上げた。シリコンで作った柔軟な培養容器をリニアガイドに固定し、サーボモータを利用して繰り返しのひずみ変形を付与する。このような変形により、成長がどのように変化するか理解しつつ、将来的な構造制御の可能性について模索する。

また、植物単体のみならず、根圏を構成する共生菌も同時に培養し、セラミックスやガラスチップ内に構造を作りこむことも考える。植物種の7割はアーバスキュラー菌根菌と共生している。菌糸は植物根のもっとも細かい根毛の数分の1の太さであり、主根・側根・根毛といった階層的な構造のさらに小さな構造を同時に構成できる。また、複数の植物個体を連結した構造を生成することも可能となる。

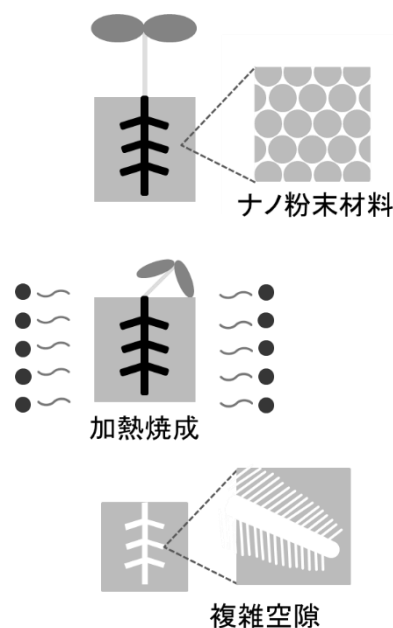


図1 提案したプロセス. ナノ粉末材料中に植物(生物)が成形し、特徴的な微細複雑空隙構造を緻密なセラミックスやガラス体内部に得る。

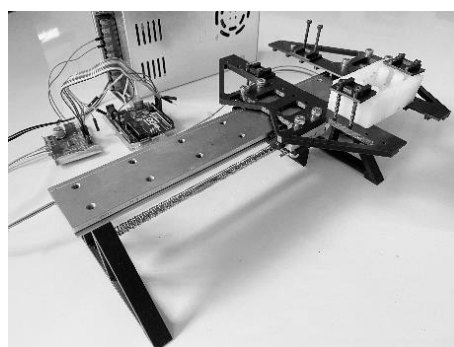


図2 開発した生体力学刺激実験装置。

4. 研究成果

本研究期間中の主な成果は以下の通りである。ガラスナノ粉末材料を用い、ライムギやコウジカビを成長させガラス流路構造を作製する基本プロセスを完成させた。具体的には以下の3点である。1：ガラス焼成時に透明化する条件を確定させた。2：繰り返しひずみを付与した培地におけるコウジカビの培養を実施し、成長異方性を確認した。3：アーバスキュラー菌根菌との共生状態を作り、根と菌根菌の両方の構造をガラス内に残した。

透明化には2つの観点から評価することが重要であることがわかった。まず緻密化である。微細な気孔が残ることにより、構造は白く濁り透明化できなくなる。もうひとつは、ガラスの材質自体にある。焼結体のXRD分析を行ったところ、ガラス非晶質の結晶化が進むことにより濁りが確認されるようになった。緻密化が確認でき結晶化しない焼結温度域を確定した。

繰り返しひずみ付与実験結果の一例を図3に示す。これはコウジカビを培養した例である。10%の繰り返しひずみ付与した場合に縦方向に菌糸が成長している様子が確認できる。今後、引き続き実験パラメータを変えながら傾向を確認しつつ、構造設計手法を確立していきたい。

次に、実験に用いる生体に共生関係にある植物と菌根菌を用いた例を示す。図4は焼成したガラスチップの顕微鏡観察例である。主根構造、根毛構造、菌糸構造という異なるスケールを共存させたままガラス構造として得られることを確認できた。特に菌根菌の太さは3~5 μm 程度であり、提案する加工プロセスの高い解像度についても証明できる成果と言える。

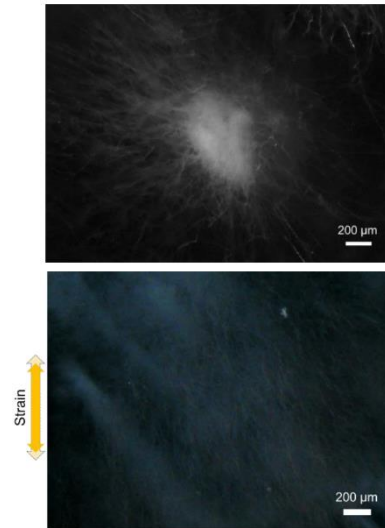


図3 培養後のコウジカビコロニー。下では上下方向に繰り返しひずみを付与した。

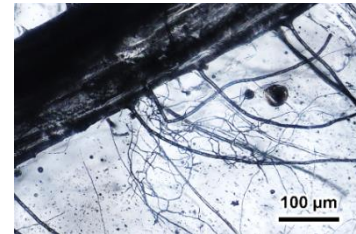


図4 ガラスチップ内の側根・根毛構造と菌根菌構造。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tsuyoshi Miyata, Kazuki Tokumaru, and Fujio Tsumori	4. 巻 -
2. 論文標題 Dimension Change during Multi-step Imprint Process and In-plane Compression	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyata Tsuyoshi, Tokumaru Kazuki, Tsumori Fujio	4. 巻 59
2. 論文標題 Combining multi-step imprinting with the in-plane compression method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 S11J07～S11J07
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ab79ef	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tokumaru Kazuki, Yonekura Kazuhiro, Tsumori Fujio	4. 巻 32
2. 論文標題 Imprint Process with In-plane Compression Method for Bio-functional Surface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 315～319
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2494/photopolymer.32.315	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 津守不二夫
2. 発表標題 多層・多段階インプリントおよび面内圧縮を用いた多様なパターンニング
3. 学会等名 応用物理学会・ナノインプリント技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中島祥太, 徳丸和樹, 津守不二夫
2. 発表標題 植物の根および菌糸の微細ネットワーク構造を転写したガラス微小流路の開発
3. 学会等名 化学とマイクロ・ナノシステム学会第40回研究会・第20周年記念シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shota Nakashima, Kazuki Tokumaru, and Fujio Tsumori
2. 発表標題 "Glass Microchannels Fabricated by Using Live Plant Root and Arbuscular Mycorrhiza "
3. 学会等名 The 32nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuyoshi Miyata, Kazuki Tokumaru, and Fujio Tsumori
2. 発表標題 Multi-Step Imprinting Process with In-Plane Compression Method
3. 学会等名 The 32nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Tokumaru, Kazuhiro Yonekura, and Fujio Tsumori
2. 発表標題 Influence of Scale on Interfacial Pattern of Multilayered Imprinting
3. 学会等名 The 12th Asian Workshop on Micro/Nano Forming Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Tokumaru, Fujio Tsumori, Kazuhiro Yonekura
2. 発表標題 Imprint Process with In-plane Compression Method for Bio-functional Surface
3. 学会等名 The 36th International Conference of Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藏田 耕作 (Kurata Kosaku) (00368870)	九州大学・工学研究院・准教授 (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------