

菌糸と生分解性プラスチックを複合した多孔質構造体の可能性

Potential of Porous Structures Composed of Mycelium and Biodegradable Plastics

知念司泰¹, 鳥居巧¹, 名倉泰生², 田中浩也¹

Moriyasu CHINEN¹, Takumi TORII¹, Yasuo NAGURA², Hiroya TANAKA¹

¹慶應義塾大学環境情報学部, ²慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

¹Faculty of Environment and Information Studies, Keio University,

² Graduate school of Media and Governance, Keio University

【要約】

近年サステナブルな素材として菌糸材が様々な分野で注目されている。菌糸材を利用したプロダクトにはたとえば梱包用緩衝材があり、型枠での成型でつくられている。一方、菌糸材は耐火断熱性に優れ、建築用断熱パネルや緩衝材としての利用も期待されている。ただし、建築への利用においてはプロダクトに見られる成形方法は規模の問題から好まれず、有効な成型方法が見いだせないまま課題とされてきた。本研究では先行事例を分析し菌糸材を利用した建築の成形方法が抱える課題を、乾燥工程の不自由さと形状の制限にあると整理した。これらの課題を踏まえ、生分解性プラスチックを用い、単なる型枠ではなく、菌糸材の成長とともに構造を実現する多孔質構造体を3Dプリンタによって製作し、それがもたらす乾燥工程の効率化と自由な形状の成形の可能性を探索した。これをもとに考案した災害用仮設建築へのデザイン例を示し、今後の社会実装を展望する。

キーワード: 3D プリンティング, 生分解性プラスチック, 菌糸材, マテリアル

【Abstract】

In recent years, mycelium has been attracting attention as a sustainable material in various fields. For example, cushioning materials for packaging are made from mycelium by molding. On the other hand, mycelial materials have excellent fireproof and heat-insulating properties, and are expected to be used as heat-insulating panels and cushioning materials for construction. However, the molding method used in products is not preferred for architectural applications because of the scale problem, and an effective molding method has not been found. In this study, we analyzed the previous cases and identified the problems of the molding method for architecture using mycelium as the inconvenience of the drying process and the limitation of the shape. Based on these issues, we designed a porous structure using biodegradable plastic, which is not just a formwork, but a structure that grows with the growth of mycelium, using a 3D printer. This paper presents an example of a design for a temporary building for disaster relief, which was devised based on the results of this research, and looks forward to future social implementation.

Keywords: 3D printing, biodegradable plastic, mycelium, material

1. 序論

近年サステナブルな素材として菌糸材が様々な分野で注目されている。菌糸はキノコの体を構成する糸状のものである。甲殻類の殻を構成する硬質なキチン質を細胞壁に持ち、リグニン、セルロースを含んだ木材や、藁などの非枯渇性資源を母材とし、この母材と菌糸が混合されたものを菌糸材と呼ぶ。菌糸は母材を分解しながら全体を繊維状に張り巡らすように成長することで材全体を固定化する。

固定化された後、全体を乾燥させ菌の活動を止めると耐火性[1]、断熱性[2]、軽量性[3]を持った素材としての活用が可能となる。また菌糸材は土壌分解される成分で構成されており、さらにキチンは長期的な土壌改良に寄与する効果が報告されているため[4]、自然に還り、かつ自然に寄与する機能が期待されている。この特性を生かして菌糸材をプロダクトに利用した例はあるものの、建築資材としての実用例は少なく、未だ試みの域を出ない[5][6]。菌糸材の建築資材としての利用のためには乾燥

工程の困難さや形状の制約といった課題の技術的解決が求められる。

本研究は生分解プラスチックを3Dプリントして菌糸材と共に構造を実現する多孔質構造体を製作し、自然に循環する建築資材としての可能性を探索した。

2. 菌糸材の特性確認

まず準備として、菌糸材が建材として注目される耐火性、断熱性、軽量性の基礎的な確認を行った。

2.1 耐火性の確認

赤松、菌糸材(オオヒラタケ菌糸+ブナおがくず)、発泡スチロールの3種の試験体を、火力を統一したガスバーナーの炎(1500~1700℃)に最大20秒間さらし、その状態を観察した。構造材として使われる赤松に対して多少劣るものの、断熱、緩衝材として比較される発泡スチロールに対して高い耐火性を示した。



図 1. 20 秒間炎にさらした様子

2.2 断熱性の確認

コップ状の試作型枠にマンネンタケ菌糸材を詰めたもの(壁厚 8mm)を 80°Cの熱湯に入れ,外壁,内壁,水面 3点の温度を測定した.外壁,内壁ともに底部から高さ 2cm の位置にマーカーを付け,非接触型温度計でマーカー一部の温度測定を行った.

外壁部は実験開始後4分半で水温に到達し,その後ほぼ同じ温度変化を示した.対して内壁部は測定開始後3分間で 10°C上昇した後,その温度を保ち続けた.

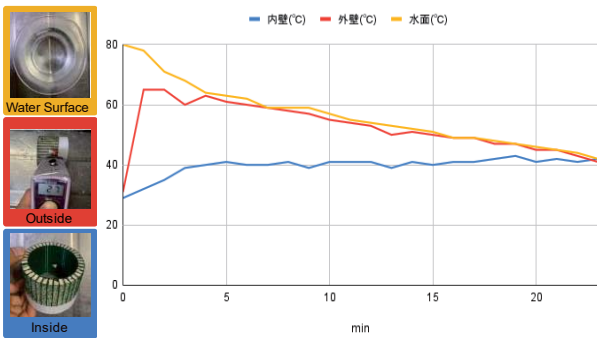


図 2. 温度推移グラフ

2.3 軽量性の確認

直径 45mm,高さ 30mm の円筒形菌糸材(マンネンタケ+ブナおがくず)の重量測定,密度算出と水に浮かせる実験を行った.重量測定の結果 10g であったため,0.21g/cc となり5倍発砲の発泡ポリスチレンや,コルク,パルサ材に近い軽量性を示した[3].

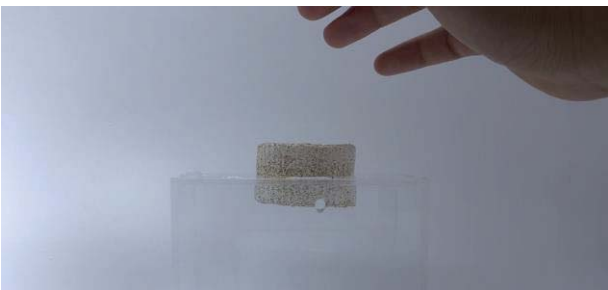


図3. 水に浮かせた様子

また比重が 0.21 であり,水に浮くことが確認できた.

3. 先行研究とその課題

菌糸材を建築資材として利用した先行研究を調査し,工法の観点から一体成形とモジュール成形に分けて分類を行った.

図 4 に見られるように一体成形では自由な形状を作りやすい反面,大型の建築を建てる工法として適していないという特徴がある.反対にモジュール成形は形状の制約を受けるが大きな建築を建てる際比較的作りやすい.

菌糸材は最終工程で全体の乾燥が必要であり,一般的には成形物を囲い内部の湿度を下げることで乾燥させている.一体成形はモジュール成形と比べて大きな囲いを用いるため大規模な乾燥設備を必要とする.また天日による乾燥を行う例もあるが,気候条件の制約を大きく受けるため主要な方法となり得ない.

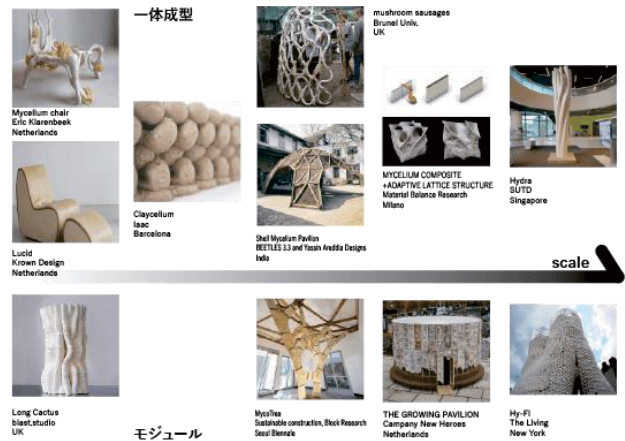


図 4. 菌糸材を建築資材として利用した例

4.新たな乾燥方式の提案

4.1 ダクト乾燥方式

以上の議論から課題点として挙げられた乾燥に関して,本研究では新たな解決法を提案したい.菌糸材の成形物内部にあらかじめ通気口を設けておけば,熱せられた空気を流すことで成形物全体を均一に乾燥させることができる.これを我々は「ダクト乾燥方式」と名付けた.ダクト乾燥方式ではモジュール成形,一体成形に関わらず乾燥工程で必要になっていた囲いが不要であり,これにより大規模な乾燥設備を必要としない建築施工が期待される.



図 5.乾燥方式の違い

4.2 ダクト乾燥方式の検証

ダクト乾燥方式の有効性を簡易的に検証した.ダクトを有する試作型枠にマンネンタケ菌糸材を詰めて十分に成長させたものを二つ用意した.それぞれ 40°Cの空間内に置いて乾燥させる従来の方式と,40°Cの空気が

流れるダクトを連結させるダクト乾燥方式の2条件で乾燥させ、その1時間当たりの重量変化をそれぞれ計測した。重量変化が見られなくなった時点で十分に乾燥されたとみなし計測を終了した。また乾燥装置はドライフルーツメーカー (A977-S2) を用いた。

検証の結果、ダクト乾燥方式は従来の方式と比べ1時間ほど多く時間を要し、乾燥速度において多少劣るものの乾燥方式として機能することを確認した。

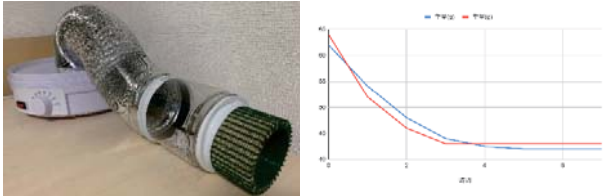


図6. 検証の様子

5. モジュール

本研究では以上の議論を踏まえ、多孔質構造体の設計を行った。3D プリントした多孔質構造体に菌糸材を詰め込むことで、建築資材として利用できるモジュールを製作する。従来のモジュールは基本的にレンガ状の直方体に押し固められており、形状の制約が課題となっていた。さらにモジュールの内部と外部とで菌糸材の乾燥具合の個体差が生じる可能性がある。大量生産を前提にしているモジュールにおいて個体差が出てしまう設計は好ましくない。このような課題から多孔質構造体の設計要件は以下通りである。

- ・サポート材を必要としないこと
- ・形状の自由度を向上させること
- ・ダクト乾燥方式で用いる通気口を用意すること
- ・菌糸材が多孔質構造体から外れず一体化すること

この4点を踏まえて多孔質構造体の設計を行った。

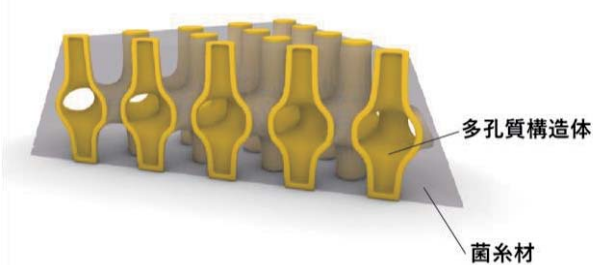


図7. 多孔質構造体と菌糸材の分布

また与えられた任意のパネル形状に沿って上図の多孔質構造体を生成するアルゴリズムを製作した。

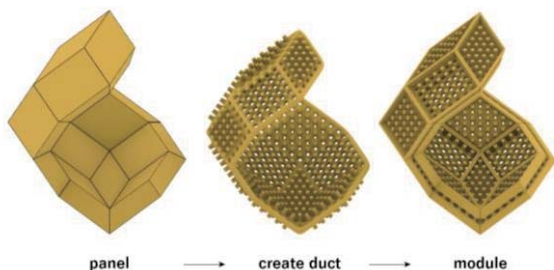


図8. 多孔質構造体生成のフロー

これにより設計された多孔質構造体は設計要件に加え、タイリングによる構築を行うためモジュールを小さく軽量のサイズで設計しても大型の物を構築でき、建築資材の製作、施工をより簡易化する可能性がある。

また3D プリントする際の材料には高い生分解性を持つ BioPBS 材料として、三菱ケミカル社の FORZEAS™[7] を使用する。これによって、菌糸材が持つ循環性を損なわずに、本章で述べたモジュールの利点を享受することが可能となる。



図9. 多孔質構造体に菌糸を詰めて成長させた様子

6. 社会実装の提案

6.1 仮設建築

本研究では製作した多孔質構造体と菌糸材の複合材料を用いた災害用仮設建築を提案する。仮設建築は将来解体、撤去することが決まっている一時的な建築を指す。仮設建築を解体、撤去する際、多孔質構造体と菌糸材は共に土壌微生物に分解されるため、既存の仮設建築が及ぼしていた解体、撤去による環境負荷の軽減が期待される。さらに施工の工程を簡易化させることでこれまで困難だった市民の施工への参画を可能にする。

6.2 コンセプト

本研究が提案する仮設建築はダクト乾燥方式が最も効果的に機能する設計を目指す。その設計にあたり血管の血液循環システムとシロアリの蟻塚の空調システムをモチーフとして引用した。血管の血液循環システムとは心臓から単一の動脈を伝い毛細血により全身の細胞に血液を運んだ後再び単一の静脈に集まることである。またシロアリの蟻塚の空調システムとは高低差による気圧差と温度の高い空気の上昇を利用した気流を作るものである。これらのモチーフを踏まえてダクト乾燥方式に適した建築を設計する。

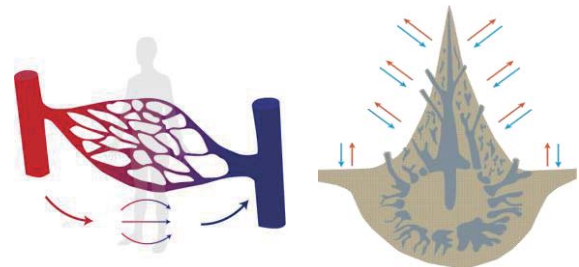


図10. 血液の循環システム, 蟻塚の空調システム

6.3 設計

ダクト乾燥方式において無数の連続する通気口が仮設建築の床と壁部分に張り巡らすように設計した。床の中心に位置する通気口が集合する地点より熱せられた空気を流し仮設建築の細部にまで空気を行き届かせ乾燥を促す。その後天井の中心に位置する再び通気口が集合する地点から仮設建築内部に空気を排出する。排出された空気は仮設建築内部の乾燥も促進する役割を果たす。竣工後、通気口はセントラルヒーティングのような冷暖房設備として建物の温度調節を担う。

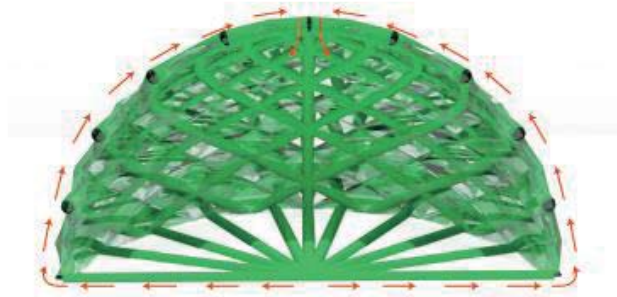


図 11. ダクト乾燥方式を生かした仮設建築の壁構造

6.4 循環システム

本研究が設計した仮設建築は独自の循環システムを構築する。災害発生後、被災地に 3D プリンタと菌糸材が届けられ、そこから図 12 のようなステップで建築部材の製作と組み立てプロセスが行われ、実際に建築が使用されたあとは、仮設建築が土壌微生物により分解される。これまでの仮設建築は予め組み立てられた状態で被災地に届けられる例が多く運搬が非効率的であり、大量のエネルギー消費が課題となっていた。一方被災地でモジュールを製作し仮設建築を建てる本研究が提案する仮設建築では運搬効率を向上させることでエネルギー消費を抑えることが期待できる。

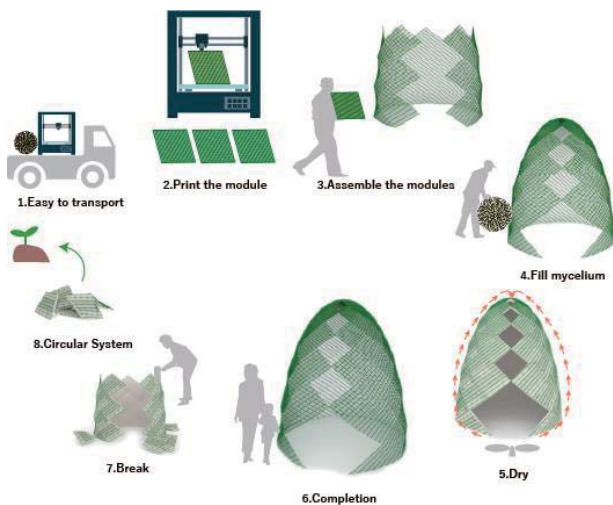


図 12. 仮設建築の建設から分解までの流れ

6.5 都市への広がり

近年日本では自然災害が多発しており、効率の良い復興が求められる。仮設建築においても一時的な住空

間としてだけでなく、被災前よりも災害に強い都市とシステムを再構築する起点となる役割が必要である。本研究が製作した多孔質構造体によって、仮設建築の建設と都市の復興が連続的に営まれる復興モデルの可能性を検討する。

7. 結論

本研究では菌糸材を利用した建築の成形方法が抱える課題が乾燥工程の不自由さと形状の制限にあることを突き止めた。これらの課題を踏まえ菌糸材とともに構造や質感を実現する多孔質構造体を製作し、それにより実現される乾燥工程の効率化と自由な形状の成形を基に、建築資材としての利用と仮設建築への応用を提案した。今後は多孔質構造体の乾燥効率の計測や強度試験、そして土壌分解の検証を行いつつ、具体的な都市システムのリサーチ、設計を進め復興モデルの提案を目指す。



図 13. 都市イメージ

参考文献

1. Mitchell Jones¹, Tanmay Bhat, Chun H. Wang, Khalid Moinuddin and Sabu John. Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites, 21st International Conference on Composite Materials At: Xi'an, China, (2017).
2. Grown, Insulation panel, <https://www.grown.bio/product/insulation-panel/> (参照 2021-09-15)
3. Asahi Kasei, <https://www.asahi-kasei.co.jp/infofoam/sunforce/feature/lightweight.html> (参照 2021-09-15)
4. Chibu Hiroko, Hidejiro Shibayama, <https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2030662148.pdf> (参照 2021-09-15)
5. Pascal Leboucq, Lucas De Man and Eric Klare nbeek. The Growing Pavilion, <https://thegrowingpavilion.com/about/> (参照 2021-09-15)
6. Giombattista Areddia, Asif Rahman and Mohamad Yassin. Shell Mycelium, <https://argarchitecture.com/> (参照 2021-09-15)
7. MITSUBISHI CHEMICAL. FORZEAS™. https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/sustainable/product/1209172_7166.html (参照 2021-09-15)