田中浩也研究室

2020 春学期 特別研究プロジェクト

01 はじめに

プラスチックは生分解性プラスチック、紙製のストロー・ビニール袋は紙袋へと移行されるように、環境に配慮したプロダクトが注目されています。田中浩也研究室でも大型3Dプリンタ ArchiFabNIWA を用いてバイオマテリアルの3Dプリントを試みています。CO2 を発生させるコンクリートやセメントではなく「土」を使い、石油由来の樹脂ではなく「菌糸」を使う社会への移行には、さまざまな環境的メリットがあります。しかし、今すぐに人々の生活に溶け込むことは難しいでしょう。

2020 年春学期特別研究プロジェクトでは、土と菌糸によってつくられるテーマリゾートを提案します。土と菌糸によってつくられる世界を、エリアを限定した特殊空間として設置し、その世界に「慣れる」体験です。また、一晩泊まれる宿泊施設と、菌糸をつかったものづくりの体験教室があり、自宅に戻ったあと、自分でも菌糸プロダクトを DIY(GIY) できるスキルを学べることを想定します。テーマリゾートの提案とともに、マテリアルや宿泊施設のリサーチの過程を資料化しました。

2020 年　田中浩也研究室　春学期　特別研究プロジェクト

キャンプとホテルの間

自然に近い宿泊施設

本プロジェクトを進めるにあたり、滞在施設のリサーチを行った。近年ホテルとキャンプの中間のような、自然に近くベッドや家具などの基本的な宿泊設備が整っている、宿泊・滞在施設に関心が寄せられている。

LIFULL× 名古屋工業大学による LIFULL ArichTech 社の「インスタントハウス」（画像 1）は宿泊施設不足を解決する。形状や大きさを自由に選べ質量が小さいことから素人でも制作が容易であり、ひとつの建屋の工期は数時間と短い。Japan Dome House の「阿蘇ファームヴィレッジ」（画像 2）は宿泊施設であり、ポリスチレンで構成される。一棟最小 800kg という規格外の軽さから、2016 年熊本地震では 450 棟全てが無傷であった。

ウユニ塩湖にある「Hotel De Sal Luna Salada」（画像 3）は壁、床、テーブルなど全て塩のブロックで建てられたホテルである。トリノの「25green」は自然と人工物が融合した都市における新しい住まいのかたちを提示するアパートである。

AI SpaceFactory による「TERA」（画像 4）は前プロジェクト「MARSHA」を基に地球上に建てる目的で設計。玄武岩複合材料のバイオポリマーを用いた 3D プリンティングによって、従来の建築より持続可能性が飛躍的に向上する可能性を秘める。

本プロジェクトでは、生態循環性の高いその地域の土を利用することで、再利用可能性を求め、ドーム型を採用することで、台風などの災害に強い形状にする。また、大型 3D プリンターの特性を活かした、新たな町のあり方の探求とともに、一泊程度を想定した宿泊施設の提案を試みる。

画像 1-1
Japan Dome House「阿蘇ファームヴィレッジ」2001 年 日本
出典：https://gurutabi.gnavi.co.jp/a/a_2085/

画像 1-2
阿蘇ファームヴィレッジ
出典：https://gurutabi.gnavi.co.jp/a/a_2085/

画像 2-1,2,3
LIFULL ArchiTech「インスタントハウス」2020 年 日本

出典：https://eiicon.net/articles/1466

出典：https://lifull.com/news/16725/

出典：https://lifull.com/news/16725/

画像 3-1,2,3（上二枚 / 左）
「Hotel De Sal Luna Salada」ボリビア
出典：https://www.lunasaladahotel.com.bo/ja/

画像 4（右）
Luciano Pia「25 green」2007 年 イタリア
出典：http://yadokari.net/living-nature/61461/

画像 5 -1,2（下）
AI SpaceFactory「TERA」2019 年 アメリカ
出典：https://www.cnbc.com/2019/09/10/tera-stay-in-earth-version-of-nasa-award-winning-cabin-built-for-mars.html

出典：https://www.dwell.com/article/tera-3d-printed-mars-home-ai-spacefactory-bde5530e

02 土 - Soil

土の家の歴史

土の特性

幾数千年も前から土は建材として世界中で用いられてきた。建材としての土は通気性・遮音性・蓄音性・調湿性の特性を持っている。

トルコ南東部の町、ハッラーンでは土、藁、卵の混合物でつくられた「Beehive house」（蜂の巣状の家）が約 3000 年以上前から続いている（画像 1）。多くの乾燥地域で用いられる土の建材は、イスラム教の礼拝堂のモスクにも使用され、「マリ・ジェンネの大モスク」（画像 2）は世界最大の泥のモスクで高さは 20m にもなる。毎年住民達によって泥の塗り直しが行われるように、定期的に人が介入する必要性があることは人々の繋がりを産み出しているとも見てとれるだろう。

またイラン人の建築家ナダー・カリリ氏は古代中東建築と現代建築をヒントに「アースバック工法」を発案した（画像 3）。1999 年より普及活動を行っている、災害に強いシェルターである。混合土を袋に入れて叩き、積み上げるシンプルな工法であり、その積み上げる発想は FDM 方式のプリンタに酷似する。

画像 1-1
「Beehive house」トルコ
円錐型1つが一部屋になり円錐型と直方体型が連なることで1つの家となる。

画像 1-2
Beehive house 内からの様子
最上部は換気と採光をかねた窓になっている。キッチンや倉庫などで使用される場合は塞がれていないことが多い

出典：https://www.yamane-m.co.jp/tvcm/tvcm_tr/

画像 2-1
「ジェンネの大モスク」マリ
出典：https://yojiyanagisawa.com/blog/greatmosqueofdjenne/

画像 2-2
ジェンネの住民による塗り直し作業
出典：https://dailynewsagency.com/2012/12/27/great-mosque-in-djenne-largest-o2l/

画像 3-1,2,3（上、下 2 枚）
ナダー・カリリ「アースバック工法」 出典：https://www.earthbag.info/

アースバック建築内部

完成物一例

土を用いた 3D プリント建築物

持続可能性のある建材としての土

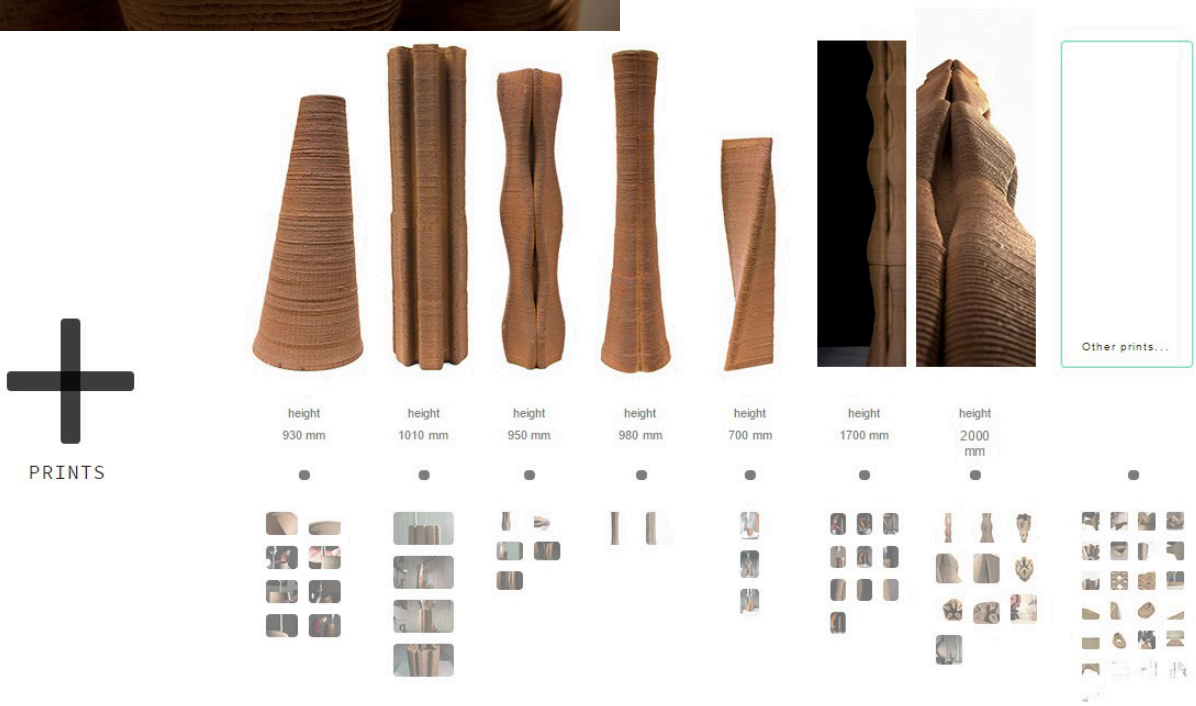
CO2 の発生するコンクリートやセメントではなく環境的メリットのあるマテリアルとして、土が建材として注目される。土の特性を活かしながら、デジタルファブリケーション技術を用いた内部構造や材料の配合の変化できることで、更なる機能を持たせることができるかもしれない。

スペインの IACC 社は、2015 年「Pylos」を発表（画像 1）。地元の土壌を使用し、安価に制作することができることを示した。イタリアの WASP 社は、2018 年に「Gaia」を発表（画像 2）。rice house 社とともに、米生産など天然素材の廃棄物からの再利用を試み、実寸大で出力。世界の農業地域に存在するリソースでの 3D プリンティング可能性を提供し環境への影響を最小限に抑えることを掲げた。また、同社は 2019 年にも Mario Cucinella Architects 社と新たなモデル「TECLA」を発表（画像 3）。地元の土壌から再生可能な素材で形成されるモデルであり、人口増加の現在における持続可能な都市空間の提案である。

NY の AI Spacefactory は、2019 年に火星上の建築として、「MARSHA」を提案（画像 4）。NASA' s 3D-Printed Habitat Challenge で採択された。火星という極限世界において、建材と形を再考した結果、火星の土壌 = 玄武岩を主な建材に用いた縦長ドーム型の建築物を発表した。

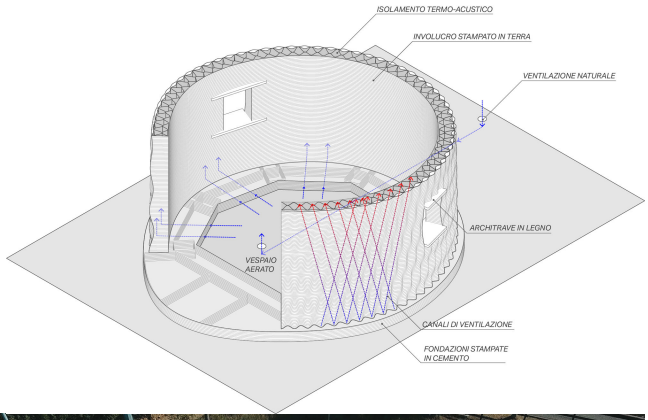
画像 1-1（右）
IAAC スペイン
出典：
https://popupcity.net/observations/exploring-a-sustainable-urban-future-in-the-mountains-of-catalonia/

画像 1-1,2（左、下）
IAAC「Pylos」2015 年 スペイン
出典：
https://www.archdaily.com/776261/iaac-researchers-pylos-3d-prints-with-soil

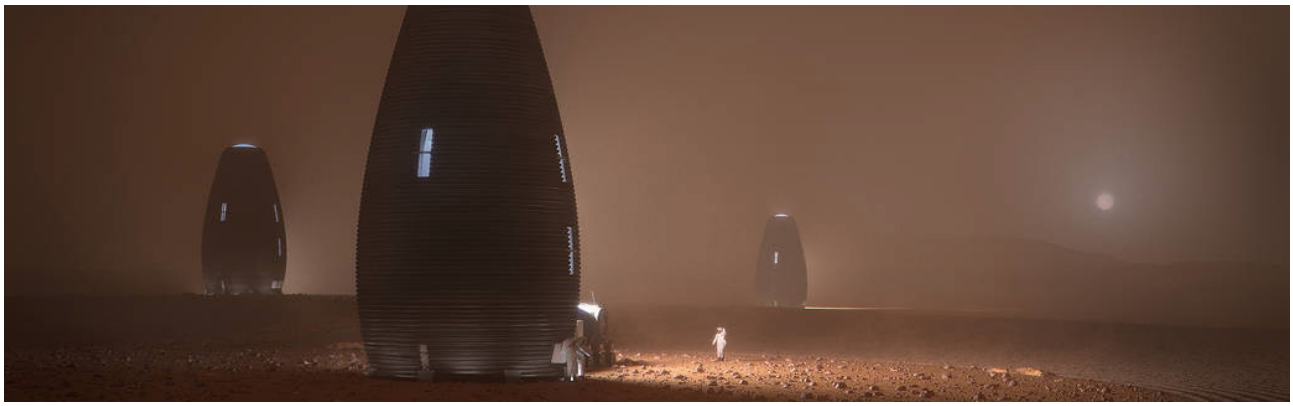


出典：https://www.archdaily.com/776261/iaac-researchers-pylos-3d-prints-with-soil

画像 2-1,2,3,4（下 4 枚）
WASP「Gaia」2018 年 イタリア
出典：https://www.3dwasp.com/casa-stampata-in-3d-gaia/

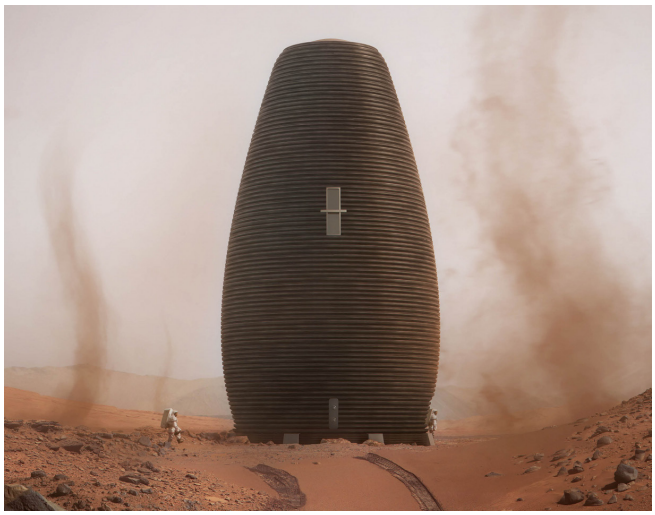


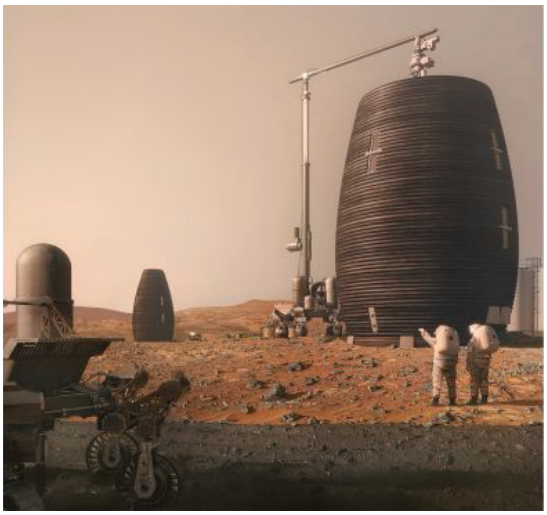
画像 3-1,2,3（下 3 枚）
WASP「TECLA」2018 年 イタリア
出典：https://www.3dwasp.com/casa-stampata-in-3d-tecla/



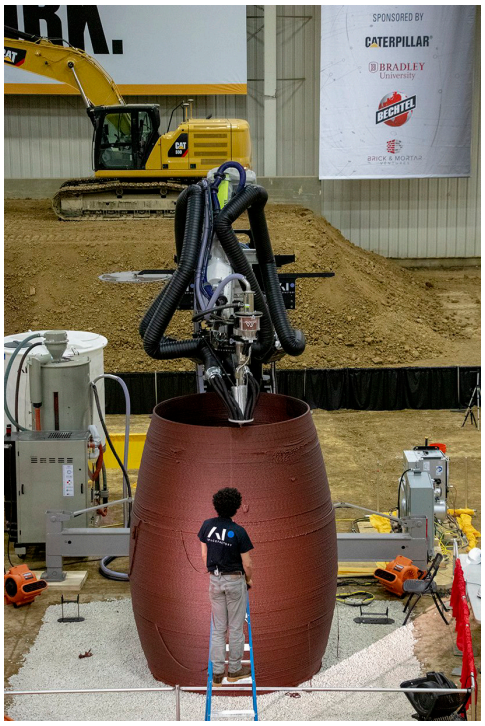
画像 4-1~6
AI SpaceFactory「MARSHA」2019 年 アメリカ

出典：https://www.archdaily.com/916888/ai-spacefactory-wins-nasas-3d-printed-mars-habitat-challenge





出典：https://www.space.com/nasa-3d-printed-habitat-competition-winners.html



出典：
https://www.designboom.com/architecture/ai-spacefactory-marsha-wins-nasa-3d-printed-habitat-challenge-finale-05-08-2019/

出典（下 2 枚）：https://www.archdaily.com/916888/ai-spacefactory-wins-nasas-3d-printed-mars-habitat-challenge

03 菌糸 - Fungus

菌糸のデザイン

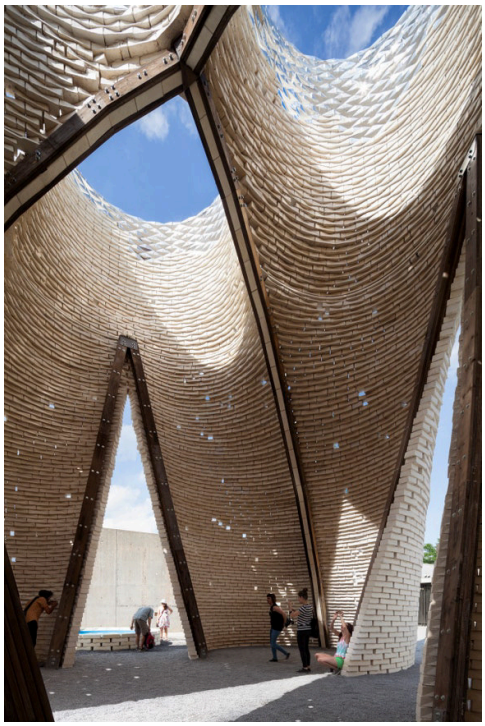
菌糸のプロダクト

菌類を使ったデザインの歴史は短い。

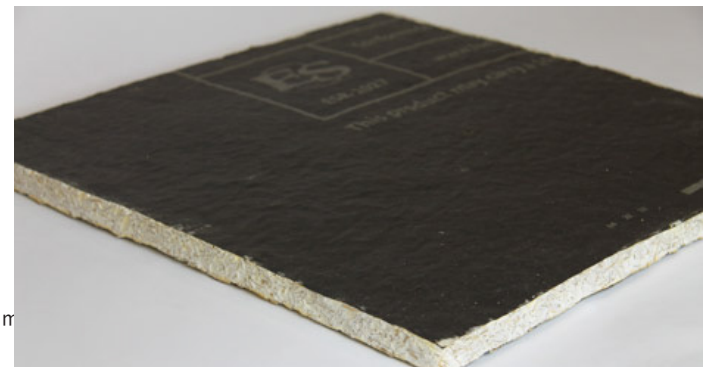
これまで一切目を向けられていなかった菌という素材は、地球温暖化や化石燃料をはじめとする様々な素材の有限性が発覚し、持続可能社会の実現の必要性が叫ばれるようになった現在、環境に優しく、優れた防水性、衝撃吸収性を持つといった点で多くの分野で注目を浴びている。

素材としての菌、菌糸を用いた建築やアート作品の製作事例をみる機会が日本国内では少ないが、世界に目を向けてみると David Benjamin 氏が Ecovative 社の提供する菌糸製作キット、「Grow it yourself」を用いて作成した「Hy-Fi」（画像 1）を皮切りに数々の菌糸作品が発表されている。その中でも最も有名なのが同キットを提供した Ecovative 社が独自に開発した菌糸由来の梱包材だろう（画像 2）。この作品は、Design Museum 2015 において Design of the Year を受賞し、菌糸が持続可能な社会の実現の可能性を示しただけではなく、現在多用されているプラスチックの代替素材としての可能性を広く認知させた。

本プロジェクトでは、これらの菌糸のプロダクトを参考に、菌糸というマテリアルと相性の良い形状を最高した。平田晃久氏の「Sofu」（画像 3）のような内側からの圧力によって張力がかかる、膨らみと丸みのある形状が菌糸と相性が良いことがわかり、同系統の形を探索していくこととした（注：「Sofu」は菌糸を用いたものではない）。



画像 1-1,2
David Benjamin「Hy-Fi」2015 年 アメリカ
出典：https://www.dezeen.com/2015/03/25/mushroom-materials-ecovative-modelling-kit-mycelium-designs-of-the-year-2015/



画像 2-1
Ecovative 菌糸の梱包材 2015 アメリカ
出典：https://www.wired.com/2014/07/a-40-foot-tower-made-of-fungus-and-corn-stalks/

画像 2-2（左）
Ecovative 菌糸の梱包材 2015 アメリカ
出典：https://www.dezeen.com/2015/03/25/mushroom-materials-ecovative-modelling-kit-mycelium-designs-of-the-year-2015/

画像 3-1,2（下 2 枚）
平田晃久「Sofu」2007 日本
出典：https://www.hao.nu/works/009_sofu/

菌糸と3D プリント、菌糸と建築

軽量で高強度な骨組みとしての菌糸

デジタルファブリケーション技術とのコラボレーションも、多くのアーティストが関心を持っている分野である。
オランダのデザイナー Eric Klarenbeek 氏は、3D プリンタ技術と自然物の掛け合わせの可能性を模索し、菌糸を装飾の一部として活用した椅子で注目を集めた。（画像 1）

また建築の分野では Pascal Leboucq 氏が Dutch Design week に展示したパビリオン「The Growing Pavilion」（画像 2）や 2017 年に建てられたインド発建築グループの Beetles 3.3 と Yassin Arredia Design の合作である「Shell Mycelin」のように木材で組み立てた格子状の骨組みを菌糸によって覆い隠す建造物（画像 3）などが挙げられる。

また、2012 年 Phil Ross が発表した、菌をブロック上に加工し建築に用いる「Mycotecture 」（画像 4）や 2017 年に建築家の Dirk Hebel とエンジニアの Philippe Block が発表した菌糸を使って自立した構造を持つ「MycoTree」（画像 5）、2020 年には NASA が月や火星で用いられる自己修復する家（画像 6）まで様々な形での菌の活用方法が提案されている。

画像 1-1,2（下）
Eric Klarenbeek「The Mycelium Project - Print and Grow」2015 年 オランダ

出典：
3-1 https://www.dezeen.com/2013/10/20/mycelium-chair-by-eric-klarenbeek-is-3d-printed-with-living-fungus/

出典：3-2 https://www.ericklarenbeek.com/

出典：
https://www.dezeen.com/2019/10/29/growing-pavilion-mycelium-dutch-design-week/?li_source=LI&li_medium=bottom_block_1

画像 2-1,2（上、右）
Pascal Leboucq「The Growing Pavilion」2019 年 オランダ

出典：
https://www.dezeen.com/2019/10/29/growing-pavilion-mycelium-dutch-design-week/?li_source=LI&li_medium=bottom_block_

画像 3-1,2（左、下）
Beetles 3.3 / Yassin Arredia Design「Shell Mycelium」2017 年 インド

出典：
https://dornob.com/is-fungus-the-building-material-of-the-future-this-pavilion-says-yes/

出典：
https://dornob.com/is-fungus-the-building-material-of-the-future-this-pavilion-says-ye

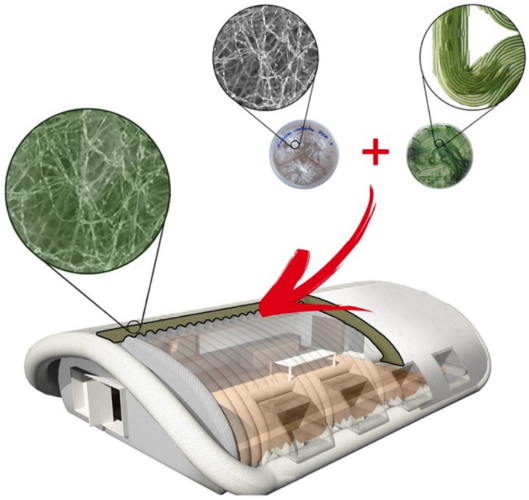
出典：https://www.pinterest.at/pin/545639311093731017/

画像 4-1,2（上）
Phil Ross「Mycotecture」2012 年 アメリカ

画像 5-1,2
Dirk Hebel / Philippe Block「MycoTree」2017 年 ドイツ / スイス

出典：https://www.dezeen.com/2017/09/04/mycotree-dirk-hebel-philippe-block-mushroom-mycelium-building-structure-seoul-biennale/

出典：https://www.dezeen.com/2017/09/04/mycotree-dirk-hebel-philippe-block-mushroom-mycelium-building-structure-seoul-biennale/



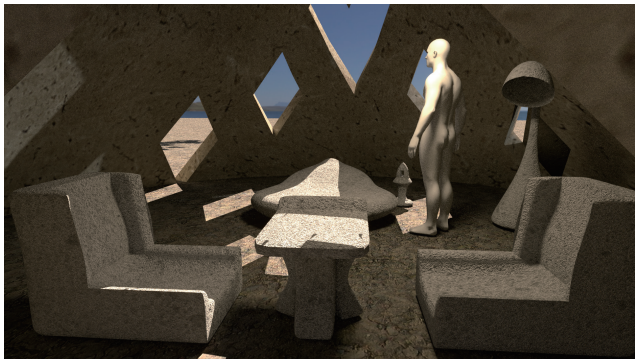
画像 6（右）
NASA「Self-Replicating, Self-Repairing Homes on the Moon and Mars Made of Fungus」2020 年 アメリカ
出典：
https://scitechdaily.com/self-replicating-self-repairing-homes-on-the-moon-and-mars-made-of-fungi/

04 制作

テーマリゾート

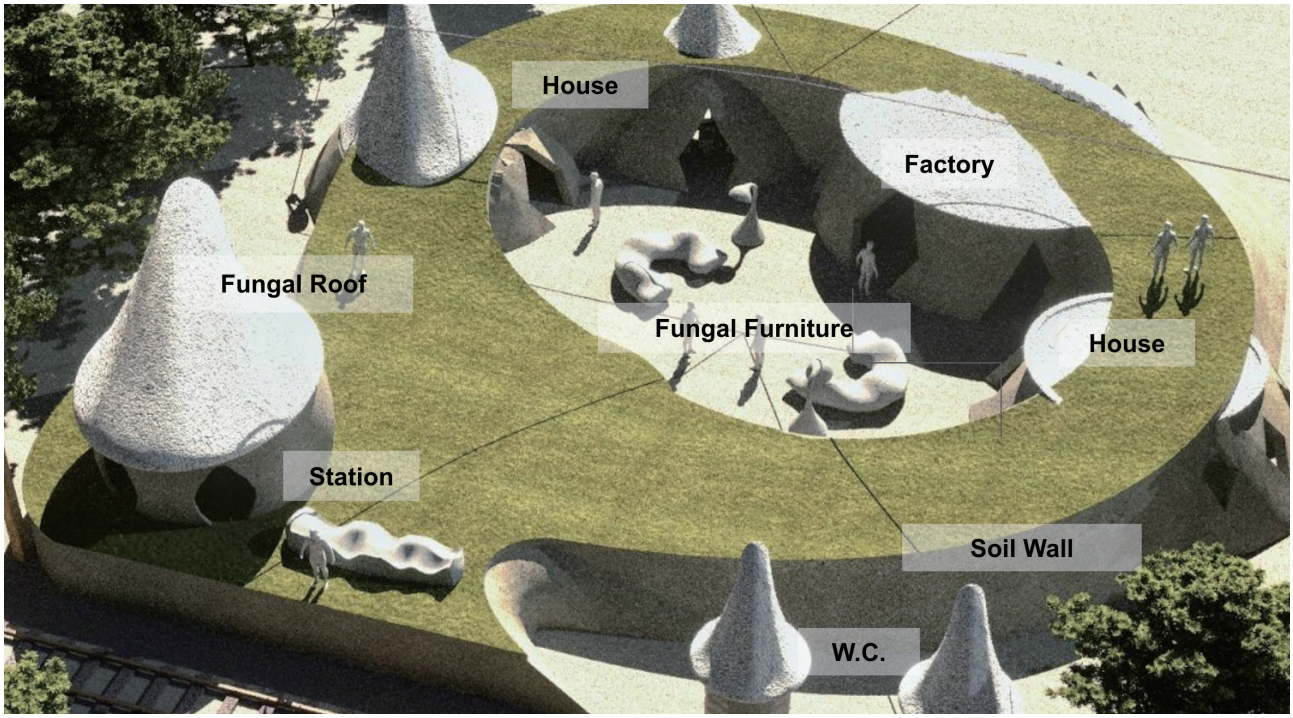
fungal world, soiled world

海沿いにある廃線あるいは利用の少ない駅を想定し、土と菌糸で構成されたテーマリゾート空間。宿泊者は土と菌糸の世界を体験する。海に向かって土手のようなかたちと建物の土壁部分を、ArchiFabNIWA で出力する。通気性・遮音性・蓄音性・調湿性といった建材としての土だけでない土の可能性、及び丸みを帯び膨らんだ菌糸のデザインの新たな可能性を考える。



このテーマリゾートは、30m×30m の敷地にて構成される。敷地内には駅舎、工房、3 つの宿泊施設、2 つのトイレが設置され、それを覆うように土手がプリントされている。各施設の壁部分は薄く強度のある壁にするために、折り板構造を用いた極ゾーン多面体が用いられ、ArchiFabNIWA によって土で 3D プリンティングされる。また、屋根部分は型取った菌糸で作られる。菌糸の防水性と最上部に穴を開けた通気性からこのデザインが生まれた。

土手内部と施設内部には型で取った菌糸のベンチ、椅子、ランプ、テーブル、ベッドを設置する（画像下 2 枚）。前述の通り平田晃久氏の「Sofu」を中心にその他菌糸プロダクトを参考にした膨らみのあるデザインである。また、他のインテリアや小物は工房にて、造形サイズ 1m×1m の中型 3D プリンタを用いて、型を成形し、そこに菌糸とおがくずを入れることで作ることができる。工房での制作は、宿泊者も制作を体験することを想定している。

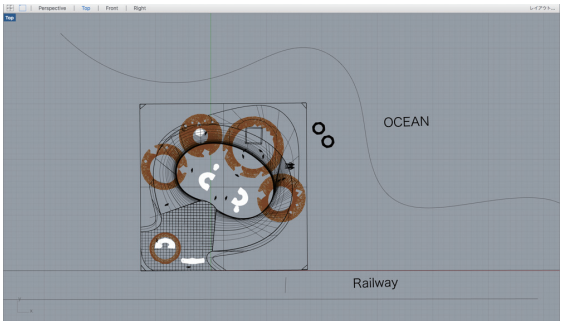


土手・土壁

soil design

大型 3D プリンタ ArchiFabNIWA は、ひとつの建物だけではなく複数のたてものを同時に出力できる。一方、経路にも材料が吐出されるため、一筆書きのパスで造形可能な形状である必要がある。経路を全て埋めて土手とすることで、地形と建築物が自然に馴染むランドスケープを目指した。「北上川・運河交流館 水の洞窟」（画像 1）や「Rogner Bad Blumau」（画像 2）など地形と建築物が一体化している事例がある。

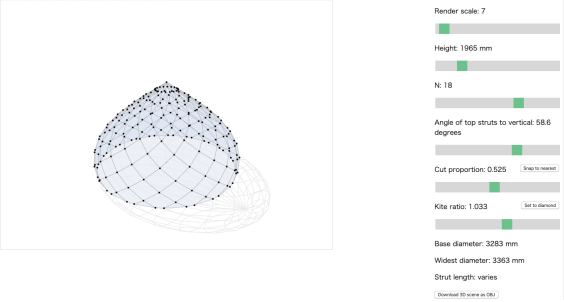
また、土壁をなるべく薄くしながら強度を保つために、折り板構造の極ゾーン多面体形状（画像 3）を採用した。これは 3D プリンタのオーバーハング造形制約にも適合している。



全体俯瞰図

画像 1 隈研吾建築都市設計事務所
「北上川・運河交流館 水の洞窟」1999 年 日本
出典：https://kkaa.co.jp/works/architecture/kitakami-canal-museum/

画像2 Hundertwasser「Rogner Bad Blumau」オーストリア
出典：https://www.mirainoshitenclassic.com/2017/03/arc_19.html?m=1



画像 3 折り板構造のゾーン多面体
出典：https://timhutton.github.io/zomes/?fbclid=IwAR0M-8EEY9MAK4AH4SpJbQJIFPt3NjL9DkGJAhWk9PX1_zpbROwUnhO3LDg

ArchiFabNIWA

大型3D プリンタの活用

当研究会が開発する ArchiFabNIWA は、最大造形範囲 30m×30m×30m 以上の「ケーブル・ウィンチ」構造を採用した大型 3D プリンタである。空中からカメラを吊り下げて 3 次元移動させ、ビデオ撮影する際に使われるケーブル・ウィンチ・ロボットの技術をベースにしている。この構造では、フレームを分解できることから、3D プリントしたパーツを現地に持ち込むのではなく、運搬が容易で現場に直接持ち込みその場で 3D プリントすることができる。

学生による ArchiFabNIWA を用いたプロジェクトとして、千葉市で METACITY プロジェクトを主宰する青木竜太氏の協力を得て、具体的な設置を前提としたプロジェクトが始動している。未来の公園や未来の広場をプリントするという研究から、コンクリートやセメントなどではない、より自然材料に近いマテリアルに焦点を当てた、人と生物と環境を結びつけるプロジェクトの企画設計を行っている。今回提案した土や菌糸というマテリアルは、このプロジェクト班「Bio Sculpture」が実際に用いることを考え研究を進めている。

またプロジェクトを通して、ArchiFabNIWA 最大スケールの総重量（表1）とプロジェクト予算の見積もり（表 2）をまとめたのが以下の表である。

ArchiFabNIWA 全体図（フレーム 3m×3m×

（表 1）ArchiFabNIWA 総重量

		重量	備考
本体	ヘッド	80kg	土を入れた状態
	ウィンチ	480kg	120kg×4 台
* フレーム	クレーン車	13.5t	12t 吊り
	トラステント	550~700kg	
輸送時	ヘッドの木箱	70kg	
	ウィンチの木箱	160kg	
	付属部品用木箱	20kg	

* クレーン車とトラステントのいずれかを選択する

（表 2）プロジェクト予算見積もり例

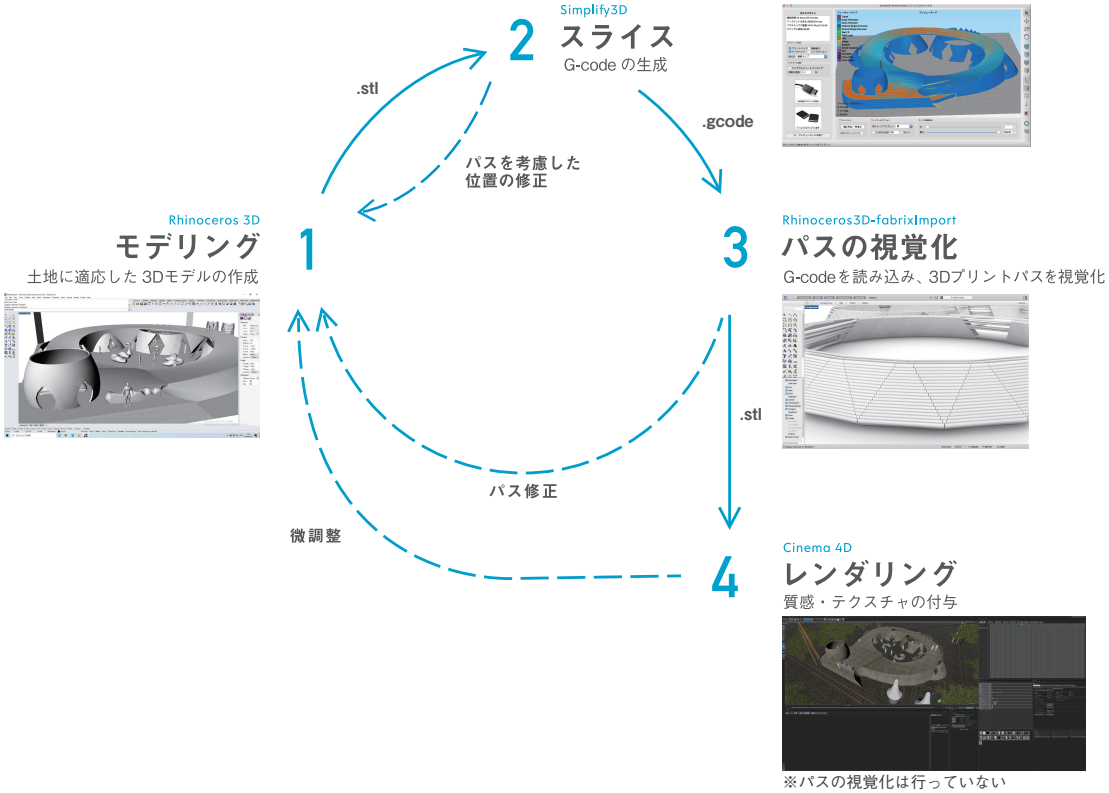
	トラス架構の場合	クレーン吊の場合	現地出力の場合
材料費	¥4,392,000	¥4,392,000	¥4,392,000
運搬費	¥436,700	¥436,700	¥51,700
消耗品	¥0	¥0	¥0
機材費	¥0	¥0	¥0
トラス架構（1week）	¥633,600	¥0	¥0
トラス架構（6weeks）	¥0	¥0	¥1,900,800
クレーン吊	¥0	¥1,200,000	¥0
費用合計	¥5,462,300	¥6,028,700	¥6,344,509

制作フロー

workflow

制作は以下の工程で行った。まず、土台となるモデリングを Rhinoceros で行い、スライサーソフト Simplify3D で G-code を生成する。今回の想定する 3D プリンティングは吐出を止めることのない、一筆書きの吐出によって土手のような形状にするため、スライスで描くパスを考慮して再度各モデルの位置を修正する。その後 Rhinoceros のスクリプト Fabrix Import で実際の 3D プリントパスを視覚化し、Rhinoceros 上で細部の修正とパスの修正を行う。そして Cinema4D 上で質感やテクスチャを加え、レンダリングして完成した。

また、このワークフローはテーマリゾート全体を一度に 3D プリントすることから、各工程で 3D プリントパスを再考しながら、に 1〜4の工程を行き来する必要がある。



おわりに

今後の展望

以上の制作より、田中浩也研究室 2020 年春学期の特別研究プロジェクトでは、大型 3D プリンタ ArchiFabNIWA を用いた土と菌糸のテーマリゾートを提案します。土と菌糸という、新たなマテリアルに慣れる、そして新たなマテリアルと過ごす体験は、既存のリゾート、キャンプ及びホテルにはない新しいテーマを体験者に体感してもらうことができます。そして、それらマテリアルのデザインについて再考する機会をあたえるでしょう。

また新型コロナウイルスによって、生活そのものが変わりゆく、大きな転換期を迎えています。外出することが今までのように容易ではなくなり、これまで以上にオンラインの世界が広がるとともに、人々はリアルな世界を求め、今まで以上に3次元空間の世界の可能性を探究し始めるでしょう。そのような世界では外にしかない自然の壮大さや生活する部屋以上のスケール感、今回のようなマテリアルやテーマリゾートの価値も高くなっていきます。

私たちは、物質である必要性を見極めながら、2次元空間にはない、五感で人に影響を与えてくる大きな体験の価値をデジタル・ファブリケーションの技術によって最大化していきます。

特別研究プロジェクト
齋藤敬介　中村亮太　有田悠作　加藤陸　田中浩也
Bio Sculpture
名倉泰生　知念司泰　松木南々花　青山新　河井萌