

Crystal Deposition Printing : 結晶析出を用いた 3D プリント造形物の ポストプロセスの探求

Crystal Deposition Printing: exploration of the post-processing of 3D printed objects using crystal deposition

大村 まゆ記¹, 荒井 将来², 田中 浩也³

Mayuki OMURA¹, Masaki ARAI², Hiroya TANAKA³

¹慶應義塾大学総合政策学部, ²慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科, ³慶應義塾大学環境情報学部

¹Faculty of Policy Management Keio University, ²Graduate School of Media and Governance Keio University, ³Faculty of Environment and information Studies Keio University

【要約】

本研究では、FFF 式の 3D プリントを利用し、塩の結晶が析出しやすい密度の構造を出力することで、湿度調節作用や抗菌作用、軽量性といった特徴を持った塩の特性を活かした壁パネルを提案する。このパネルは、現在再利用方法が確立していない「副生塩」の将来的な活用法の提案でもある。塩を析出させる部分から明かりを取り入れ、需要の減少している障子と障子紙の役割を、樹脂と塩の結晶が果たす可能性について考察した。パネルから効果的に塩の結晶を析出させるために、グリッドの密度の異なる構造を 3D プリントで出力し、結晶の析出の程度を実験した。3D プリントを結晶析出の母体として使用することで、より自由な造形も可能となる。

キーワード: 3D プリント, 副生塩, SDGs

【Abstract】

In this research, we propose a wall panel that utilizes the characteristics of salt, such as humidity control, antibacterial effect, and light weight, by using an FDM 3D printer to output a structure where salt crystals easily precipitate. This panel is also a proposal for the future utilization of "byproduct salt," for which a method of reuse has not yet been established. We have considered the possibility that resin and salt crystals could play a role in the declining demand for shoji screens and shoji paper by bringing in light through the area where the salt is deposited. In order to effectively deposit salt crystals from the panel, we used a 3D printer to print out structures with different grid densities, and experimented with the degree of crystal deposition. using the 3D printer as the matrix for crystal deposition allows for more flexible modeling.

Keywords: 3D printer, by-product salt, SDGs

1. はじめに

本研究の目的は、3D プリントと組み合わせることで「塩」の新たな価値を提案することである。

塩は人間が生きる上で必要不可欠であるために、古くから人類の歴史と密接に関わってきた物質である。海洋大循環のファクターであるように、地球環境とも密接な関わりを持っているが、海水淡水化や塩害など、人間の生産活動によって塩が環境に対して悪影響を及ぼしている例もある。

日本における塩にまつわる主要な問題の一つに、ゴミの焼却処理や最終処分場などで排出される副生塩が挙げられる。副生塩は生成される段階によってさまざまな物質を含むため、そのままでは人体に直接ふれることは避ける方が望ましいとされている。副生塩は 1 年間で約 18 万トン生成されており、最終処分場に保管または産廃処理されているため、再利用の手段を探る必要性が高まっている。

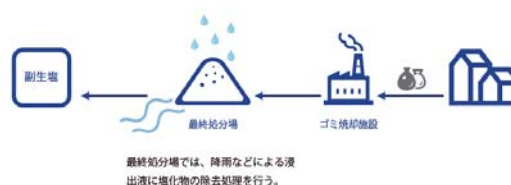


図 1. 副生塩が生成される過程

現時点での副生塩のリサイクル先としては、道路の凍結防止剤や、除草剤があるものの、十分な再利用方法は確立されていない。現在、福岡大学の樋口壯太郎氏らが、副生塩を加工して消毒剤として再利用するという研究を行っており[1]、副生塩を今後生活に身近なシチュエーションで利用する可能性も検討されつつある。

本研究では、3D プリントを用い、副生塩を視覚的効果の強い結晶という形で身近なインテリアデザインに取

り入れる方法を提案し、副生塩の新たな再利用の道筋を提案する。



図 2. 塩の結晶

2. 先行研究

2.1 資源としての塩

天然資源としての塩の可能性は近年見直されてきており、世界に様々な事例が存在する。本研究では、先行事例の調査を行ったうえで、近年「塩」に見出されている新たな価値を4つに整理した。



図 3. 塩を使用した先行事例

(1)地域性

先行事例の多くが、一般的な海洋の10倍の塩分濃度をもつ死海付近の国々や、天日塩に適した温暖で雨季と乾期がはっきりした気候の土地で行われている。これらの地域では、身の回りに大量の天然資源として塩が存在し、すでにあるものをどう活用するかという視点で研究が行われている。

(2)天然材料

Erez Nevi Pana:SALTS(2018)[3]では、動物性材料を使用しないヴィーガンデザインの実践として、植物や鉱物を組み合わせる際の接着剤として塩を使用するという試みが行われている。

(3)環境問題

死海では、カリウム産業などから廃棄物として塩が年間2000万トン排出されるが、Erez Nevi Pana:Crystalline(2020)[4]では、それらを有効活用するために、塩を使った持続可能な建築資材を提案している。

(4)マテリアルとしての特性

塩は触れても人体への有毒性が比較的少なく、安価で持続可能性のあるマテリアルとして注目されている。さらに、湿度調整や抗菌作用を持つことが多くの事例で述べられている。

Mále Uribe Forés : Salt Imaginaries(2020)[5]では、チリのアタカマ砂漠から採取した塩を石膏と混ぜたタイルを制作し、部屋の湿度調節機能が期待されている。

以上のように、先行事例では、マテリアルとしての塩の可能性もさることながら、地域性や環境問題が意識されているものが多かった。しかし最終廃棄物としての副生塩を意識したものはなかった。身の回りに大量の天然資源として塩が存在しているわけではない日本において、塩にまつわる研究を行うにあたっては、副生塩を前提とすることが重要な社会的背景であることが改めて確認できた。

2.2 3D プリンティング

Emerging Objects:Saltygloo(2013)[6]では、粉末固着方式の3Dプリントに塩を用い、モジュール式のドームを制作するというものであるが、塩をマテリアルとして使用するメリットとして、湿度調整や抗菌作用に加えて堅牢さ、防水性、軽量性、半透明であることが挙げられている。

また塩の融点を利用し、型として利用する事例もある。Nicole Kleger:3D printed salt template for bioresorbable bone implants(2019)[5]では、生分解性マグネシウムを使用したインプラントの製造手法として塩が用いられているが、これは塩の融点がマグネシウムよりも低いことを利用して、塩で生成した型にマグネシウムを流し込み、塩だけを融解することで多孔質構造を実現している。

また、先行事例における塩の結晶の析出手法としては、Karlijn Sibbel:SEAt(2016)[8]のように重りを吊り下げることで形状を制御した綿糸や、吉岡徳仁:VENUS-結晶の椅子(2006)[9]のようにポリエステル繊維をフレームとして用いているものがある。ただしこれらは総じてフレームの形状を手で加工する必要があった。対して本研究では、3Dプリンタの特性である、造形の自由度の高さとラピッドプロトタイピングを利用して結晶の析出をより複雑で自由な造形で実現したパネルを制作することで、副生塩の将来的な再利用可能性を提案する。

3. 実験

ラティス構造の目の粗さに応じて塩の析出の程度が変化するのではないかと仮説を持ち、実験を行った。ラティス構造の(1)格子の大きさ(2)各格子の柱の数と析出の関係を観察するため、FDMで出力できる構造である体心立方格子の、立方体の辺を含むものと含まないものを、それぞれ格子の大きさ2mm, 4mm, 6mmの計6つPLAフィラメントで出力した。比較する既存物として目の非常に細かい(ミクロン単位)メラミンフォームも用意した。



図 4. 析出の母体として使用した構造

結晶の析出の手順としては、80度の飽和食塩水に、6つのラティス構造とメラミンスポンジを容器に触れないように浸し、結晶が成長する過程を観察した。

試験片を個別の容器に入れたのは、溶液中の塩の量が限られているため、試験片どうしが相互に影響を与えてしまう恐れがあるためである。

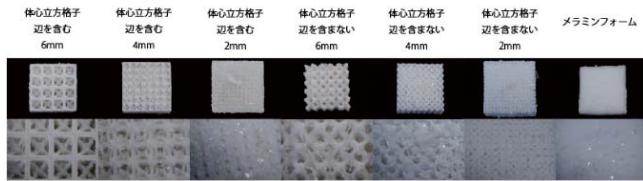


図 5. 結晶の析出の様子

7つの試験片を100時間食塩水に浸したのち、十分に乾燥させ、結晶を析出させた前と後の重量の差を計測した。

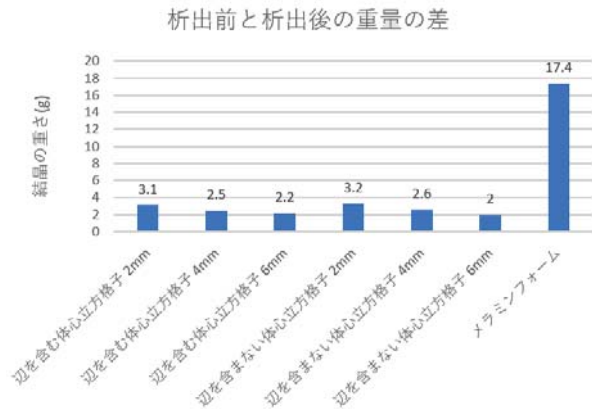


図 6. 析出前と析出後の試験片の重量の差

7つの試験片のうちではもっとも密度の高いメラミンフォームにもっとも結晶が析出した。

ラティス構造は、格子の大きさ、つまり密度が高いものほど結晶がたくさん析出することが分かったが、構造の違いによる析出量の差はほとんど見られなかった。

この結果から、密度が高いものほど多くの結晶が析出するといえる。しかし、試験片の内部を目視することは難しく、どのように結晶が析出しているかが分かりづらかった。

そこで、3次元のラティス構造の代わりに、2次元のグリッドを利用して再度結晶を析出させる実験を行った。グリッドの間隔をそれぞれ 5mm, 3mm, 1mm に変えた3つの薄片を出力し、上記の実験と同様の手順で結晶を析出させ、成長の様子を観察した。

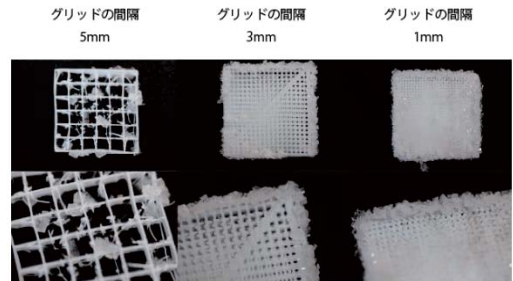


図 7. 結晶の析出の様子

この実験の結果、先述の実験と同様に、最もグリッドの間隔が小さい、つまり密度の高い試験片にもっとも結晶が析出した。グリッドの間隔が大きいと、結晶の数は減少するが、一つ一つの結晶の粒が大きくなる。これは、結晶が隣接すると成長を阻害してしまうためだと考えられる。[10]

5. 3D プリントプロダクトのデザイン

3D プリンタによる出力物に塩が析出することを確認したうえで、塩が析出する樹脂による壁パネルのプロトタイプを制作した。

析出させる塩は、今回は市販の食塩(伯方の塩)を使用したが、将来的には副生塩の再利用を想定している。樹脂は、透明度を確保するために、PETG フィラメントを使用し、結晶を析出させたい部分には析出しやすい密度の高いグリッド上の構造を使用した。

日本の伝統的な建具である障子は、住宅における和室の減少とともに需要が落ち込んでいるが、適度な明かりを取り込むだけでなく、断熱性や吸湿性、夜間における室内の照明の反射など、多機能な面をもつ。本パネルは、塩のマテリアルとしての特性が障子紙と類似することを利用して、3D プリンタの造形度の高さを生かした3次元のパネルを作成した。

塩の結晶の成長は時間を要するもので、1cm ほどの結晶を得るためには数か月必要である。そのため、本研究では、別の場所で析出させた結晶を出力したプロトタイプに詰めることで、光を透過する様子を確認した。

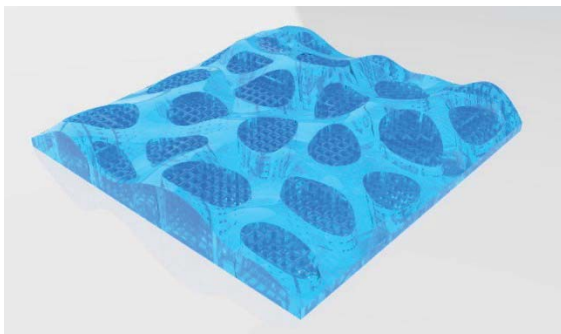


図 8. パネルのモデル



図 9. 光を当てたパネルのプロトタイプ

6. 結論

本研究では、塩の結晶が析出しやすい構造を3Dプリンタで付与することで、塩の特性である湿度調節作用や抗菌作用、軽量性といった機能を持つ明り取りのための壁パネルを提案した。出力にはFDM式の3Dプリンタを利用し、マテリアルとして透明度の高いPET-Gフィラメントを用いることで、光を乱反射する塩の結晶と合わせて高い視覚効果を生み出すことを狙った。3Dプリンタによる出力物に結晶を析出させる実験を行い、出力物表面の粗さと析出の程度に関係性があることを確認できた。

実験の結果をふまえ、塩の結晶と樹脂を組み合わせた多機能なパネルを制作し、将来的な副生塩の再利用先として提案する。

今後の展望として、同パネルに期待される湿度調整機能を定量的に測定し、効果を解析する。また、社会実装としては、空き家となっている木造住宅に本パネルを取り付け、カビ防止やさまざまな持続効果が向上するかどうかを検討していく。



図 10. 和室に設置したCG

参考文献

- 樋口 壯太郎, 廃棄物処理処分に伴い排出される副生塩のリサイクルシステムの構築に関する研究 (2013), 平成 24 年度環境研究総合推進費補助金研究事業総合研究報告書
http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/K2416.pdf
(アクセス:2021 年 9 月 15 日)
- Sigalit Landau「DEAD SEA」
<https://www.sigalitlandau.com/salt>
(アクセス:2021 年 9 月 22 日)
- Erez Nevi Pana「SALTS」(2018)
<https://www.hreafta.com/journal/article/bleached-by-erez-nevi-pana>
(アクセス:2021 年 9 月 15 日)
- Erez Nevi Pana「Crystalline」(2020)
<https://www.ngv.vic.gov.au/erez-nevi-pana-crystalline/>
(アクセス:2021 年 9 月 15 日)
- Mále Uribe Forés 「Salt Imaginaries」(2020)
<https://studio-male.com/projects-2/salt-imaginaries>
(アクセス:2021 年 9 月 22 日)
- Emerging Objects「Saltygloo」(2013)
<http://emergingobjects.com/project/saltygloo/>
(アクセス:2021 年 9 月 15 日)
- Nicole Kleger, Martina Cihova, Kunal Masania, André R. Studart, Jörg F. Löffler, Printing of Salt as a Template for Magnesium with Structured Porosity(2019)
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201903783>
(アクセス:2021 年 9 月 15 日)
- Karlijn Sibbel「SEAt」 (2016)
<https://karlijnsibbel.com/portfolio/seat/>
(アクセス:2021 年 9 月 15 日)
- 吉岡徳仁「VENUS-結晶の椅子」(2006)
<https://www.tokujin.com/gallery/2008-venus/>
(アクセス:2021 年 9 月 15 日)
- 村上正祥, 塩の析出環境条件と結晶形状 (1)(1999)
https://www.istage.jst.go.jp/article/swsj1965/54/2/54_151/_pdf
(アクセス:2021 年 9 月 15 日)