リン酸二水素アンモニウム結晶のコンピュテーショナルデザインの検討

玉堀 舜[1,a)]　湯村 翼[1,b)]

概要：本研究では，リン酸二水素アンモニウム結晶の成長特性に着目し，3D プリンタにより作製した芯材を用いた結晶生成表現手法を検討する．従来，結晶成長は偶発的な現象として扱われることが多かったが，本研究ではコンピュテーショナルデザインの考え方を導入し，結晶生成を造形プロセスの一部として設計することを目的とする．実験では，PLA 素材で作製した芯材上に種結晶を配置し，溶液中で結晶生成を行った．その結果，種結晶の配置位置を指定することで，造形物上における結晶の生成位置を意図的に制御できることを確認した．また，芯材周辺に遮蔽物を併用することにより，特定の範囲における結晶生成を回避し，生成領域を限定できる可能性を示した．

キーワード：結晶，コンピュテーショナルデザイン，デジタルファブリケーション

1. はじめに

3D プリンタをはじめとするデジタルファブリケーション技術の普及により，形状を計算機上で設計し，物理世界に出力するプロセスが普及する．アルゴリズムや数理モデルに基づいて形状や構造の生成や最適化を行うコンピュテーショナルデザインは，建築，プロダクトデザイン，食品造形，メディアアートなど多様な分野で活用される．これにより，人間による造形では得られにくい複雑な形態や機能的構造の創出が可能となり，キャンドル [1]，靴 [2]，チョコレート [3] などの様々なオブジェクトのデザインが可能となる．

一方で，これらの研究や実践の多くは，自然物質の自己組織化現象を設計対象として積極的に取り込んだ研究は限定的である．自然界における結晶成長や析出現象は，材料の組成や環境条件に応じて多様な形態を自律的に生成するプロセスであり，造形表現や素材設計の観点から高い潜在性を有す．

リン酸二水素アンモニウム $NH_4H_2PO_4$（図 1）は，水に溶解させた後に冷却することで結晶を生成する物質として知られており，学習用の結晶生成キットにも用いられている．この結晶は，種結晶を核として周囲に付着し成長する特徴を持ち，条件次第で多様な結晶形態を形成する．しかし，その成長過程は偶発的なものとして扱われ，意図した形状や配置に基づいて結晶を生成する設計手法の確立は不十分である．



図 1: リン酸二水素アンモニウム結晶．

本研究では，リン酸二水素アンモニウム結晶の成長特性に着目し，コンピュテーショナルデザインの考え方を導入することで，結晶生成を造形プロセスの一部として制御・設計する手法を検討する．具体的には，結晶生成のための物理的な芯材を計算機上で設計し，それを 3D プリンタによって造形することで，結晶の成長位置や全体形状を誘導するアプローチを採用する．これにより，結晶という自然物質を用いながらも，意図的な造形表現を可能にすることを目指す．その一例として，フィギュアの形状に合わせた台座装飾を設計し，その表面に結晶を生成する試みを行った．本研究の目的は，結晶を用いた新たな造形表現の可能性を示すとともに，3D プリンタと結晶成長を組み合わせ

[1] 北海道情報大学
Hokkaido Information University
[a)] s2221118@s.do-johodai.ac.jp
[b)] yumu@yumulab.org

© 2018 Information Processing Society of Japan

表 1: 予備実験一覧

番号	実験概要	結果・考察	結晶生成成否
1	銀河通信社製 透明鉱石育成キット [4] を用いた.	蓋が密閉されておらず生成失敗.	×
2	銀河通信社製 藍邑石育成キット [5] を用いた.	芯材に石を用いて結晶が生成.	○
3	芯材を 3D プリンタで制作	芯材が固定されず水中に浮く．接着剤による芯材固定が必要	×
4	芯材を接着剤で固定．芯材にやすり掛け加工．容器の蓋は市販品を使用.	芯材は固定された．やすり掛け加工の効果は見られず.	×
5	4 の条件に加え，種結晶として結晶の欠片を芯材に接着.	種結晶の必要性を確認.	○
6	芯材の形状による差異を比較	形状による違いはみられなかった.	×
7	市販キット材料と研究用材料の差異を比較.	研究用材料でも問題ないことを確認.	○
8	種結晶の効果の確認.	種結晶の位置に結晶が生成することを確認.	○

たデジタルファブリケーション技術の設計指針を明らかにすることである.

なお，本論文では，用語を以下のように定義して用いる.

- **生成**：リン酸二水素アンモニウム結晶ができること.
- **種結晶**：新たな結晶を生成するための核となる結晶.
- **芯材**：結晶を生成するための物理的な土台．本研究では最終的に 3D プリンタでの造形物を使用.

2. 関連研究

本研究は，3D プリンタ造形物に対して結晶成長を利用することで，新たな造形表現や機能付与を実現する手法を検討するものである．同様に，3D プリンタ造形物を基盤として結晶の析出を制御し，所望の位置に機能を付与する手法として，伊藤らによる塩ごろも [6] が提案されている．塩ごろもでは，3D プリンタで出力した格子状の構造体を飽和食塩水に浸漬し，加熱と緩やかな冷却を繰り返すことで，構造体表面に塩結晶を効率的に析出させている．印刷構造体の空間充填率や形状を調整することで塩結晶の析出量を制御し，装飾，光学特性の変化，重量増加，接合，構造補強といった複数の機能を所望の位置に持たせられることが示されている．また，照明器具やペン立てなどの応用例を通じて，結晶析出を利用したポストプロセスが，造形物の最終的な形状や機能を大きく変化させ得ることが示されている．本研究も，3D プリンタ造形物を基盤とし，その表面に結晶を付与することで新たな表現や機能を得ようとする点で塩ごろもと共通している．一方で，塩ごろもが塩結晶を対象とし，構造体の空間充填率や繰り返しの浸漬・冷却によって析出量を制御しているのに対し，本研究はリン酸二水素アンモニウム結晶を対象とし，種結晶の配置やマスキング処理によって結晶の発生位置を制御する点に特徴がある．これにより，本研究では，結晶を生やしたい部位と避けたい部位を明確に分けつつ，フィギュア台座やジオラマなどの造形物に対して意図的な装飾性や質感の変化を与えることを目指している.

3. 予備実験

3.1 概要

予備実験では，3D プリンタ造形物を芯材としてリン酸二水素アンモニウムの結晶生成を実施する手法を探る．予備実験として実施した主な実験を表 1 に示す.

実験 1,2 では，市販の結晶生成キットを用いてリン酸二水素アンモニウム結晶の基本的な生成手順を把握した．その後，自作容器や市販の密閉容器を用い，溶液の希釈割合を 1:1 としながら実験を行った．実験 3 以降は，芯材に 3D プリンタを用いて結晶生成を実施した．3D プリンタは Bambu Lab A1 mini[7]，フィラメントにはポリ乳酸 (polylactic acid：PLA) フィラメントを用いた．実験 3 にて 3D プリンタの芯材は水中で浮きやすいことが明らかとなったため，実験 4 以降では接着剤を用いて容器底面に固定した.

3.2 種結晶による結晶成長の誘導 (実験 5,8)

造形物の表面加工として，やすり掛けや接着剤塗布による粗面化を試みたが，これらの処理のみでは特定部位への結晶成長を安定して誘導することは困難であった．一方，造形物に結晶の欠片を種結晶として貼り付けた場合，その位置を起点として結晶成長が確認された (図 2)．この結果から，種結晶の接着位置は，結晶の生成形状を制御する上で有効な要素であることが分かった.

3.3 結晶の堆積傾向 (実験 6)

種結晶を用いない条件では，造形物の形状や表面加工の有無にかかわらず，結晶が容器底部に集中して発生・堆積する傾向が一貫して観察された (図 3)．このことから，リン酸二水素アンモニウム結晶は，重力方向に沿って堆積しやすい性質を持ち，種結晶などの補助的手法を用いない限り，特定形状や位置に沿った成長制御は難しいと考えられる．円錐や星型錐など複数の形状を用いた実験においても同様の結果が得られ，芯材の形状によって結晶自体の形状が大きく変わることはなかった.

© 2018 Information Processing Society of Japan



図 2: (左) 種結晶を芯材側面に接着．(右) 種結晶を芯材の上部および下側面に接着．



図 3: (上)3D プリンタで出力した 2 形状の芯材．(下) それを用いて生成した結晶．いずれも左が円錐，右が星型錐の芯材である．

4. 本実験：遮蔽物を用いたフィギュア台座装飾の制作

結晶で装飾したフィギュアの台座を制作することを想定し，意図的に結晶を発生させない部位を設ける実験を行った．フィギュアの足と同形状の遮蔽物を置いた状態での結晶生成を実施する．遮蔽物と台座を設計し，3D プリンタで出力した (図 4(a))．台座には種結晶を瞬間接着剤で接着した (図 4(b))．十分に大きな容器を用意し，台座を容器底部に固定して約 8 時間静置し (図 4(c))，フィギュアの足形にあわせた台座が制作できた (図 4(d))．この手法を用いて，実際のフィギュアの台座を制作した (図 4(e))．

5. ユースケース

リン酸二水素アンモニウム結晶のコンピュテーショナルデザインの可能性を探るため，ユースケースを問うアンケートを実施した．アンケートは Google フォームにて実施したアンケートの結果，以下のような回答を得た．

- フィギュアの土台や飾り付け
- アクリルスタンドの台座
- 推しぬいの台座
- 色を付けることでエフェクトのような表現に使えそう
- 蒼穹のファフナーのマークザイン/ニヒトの結晶として使えそう
- ジオラマ制作

6. おわりに

本研究では，3D プリンタにより制作した PLA 素材の芯材を用いてリン酸二水素アンモニウム結晶を生成する表現手法を検討した．その結果，造形物上に種結晶を配置することで，結晶の生成位置を意図的に指定できることを確認した．また，遮蔽物を併用することにより，特定の範囲における結晶生成を回避し，生成領域を限定できる可能性を示した．これらの結果から，結晶成長という自然現象に対して，物理的な構造設計による制御が一定程度可能であることが明らかとなった．

一方，本研究で扱った芯材は主に台座形状に留まっており，結晶生成の制御は平面的な範囲に限定されている．今後は，台座にとどまらない立体的な芯材形状を設計し，三次元的な結晶生成制御を実現することが課題である．これにより，結晶を用いた造形表現の自由度をさらに高め，デジタルファブリケーションと自然物質を融合した新たな表現手法の展開が期待される．

参考文献

[1] 株式会社 GEL: 触れる光の彫刻——コンピュテーショナルデザインから生まれたキャンドルたち，https://note.com/gel_official/n/n5a0cacde40c8.
[2] STARAY: スターレイ-3D プリント技術でつくられた全く新しい履き心地のシューズ，https://staray.co.jp/.
[3] id.arts, D.: チョコレート 3D プリントサービス，https://idarts.co.jp/3dp/chocolate-3d-printing-service/.
[4] 恵文社一乗寺店オンラインショップ: 銀河通信社 透明結晶育成キット，https://www.keibunsha-books.com/shopdetail/076008000047/.
[5] 恵文社一乗寺店オンラインショップ: 銀河通信社 藍邑石育成キット，https://www.keibunsha-books.com/shopdetail/000000027001/.
[6] 伊藤大貴，奥野優太，児玉智哉，橋田朋子: 塩ごろも：塩結晶の析出量を制御することで 3D プリンタ造形物の所望の位置に特定の機能を付与する手法，情報処理学会インタラクション 2025 論文集，pp. 1042–1047 (2025).
[7] Bambu Lab ストア: Bambu Lab A1 mini 3D プリンター，https://jp.store.bambulab.com/products/a1-mini.

© 2018 Information Processing Society of Japan

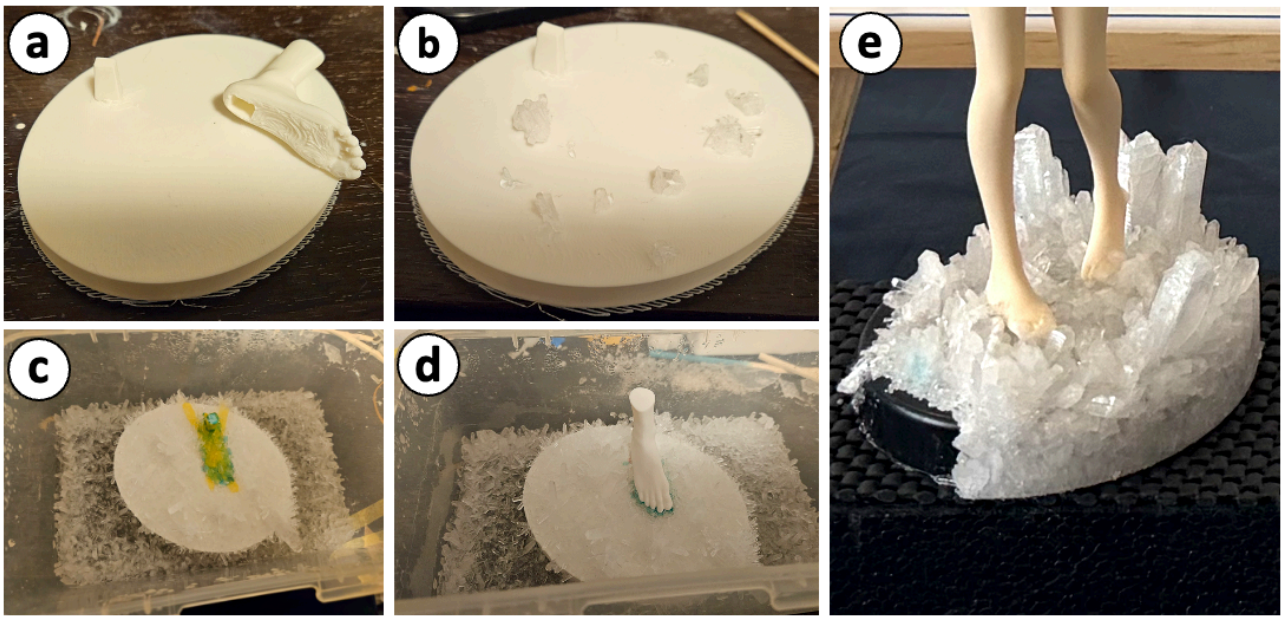


図 4: 結晶で装飾したフィギュア台座の製作．(a) 足形の遮蔽物と台座．(b) 台座上に種結晶を接着．(c) 遮蔽物を固定した結晶生成時の様子．(d) 結晶が生成した台座．(e) フィギュアの台座として使用．

© 2018 Information Processing Society of Japan