

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20980

研究課題名（和文）水の3Dプリンティング

研究課題名（英文）3D Printing of Water

研究代表者

鈴森 康一（Suzumori, Koichi）

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：00333451

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）：水を材料とした3Dプリンティング技術を開発し、氷構造体を樹脂に転写することで、複雑な空間を有する立体物の造形を目的とした。

まず、減圧による水の凝固現象の利用と低温冷却液内での造形を試みた。前者については液相を維持する圧力が高いため吐出時の水速度が速く造形に至らないことがわかった。後者に関しては水の表面エネルギーが大きいため水が固まって吐出されてしまい成形ができなかった。

そこで新しく「ブロックアセンブリ法」と名づける成形法を考案した。微小な直方形の氷を製造し、これを積んで3D構造とする手法である。ジャングルジム状の構造体の成形に成功し、これを用いて流路を持つ樹脂製の構造体の成形に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の3Dプリンタに共通する大問題の一つはサポート材の除去である。通常、サポート材は機械的に壊すか、熱や溶剤で溶かして除去するが、どの場合も形状が複雑になると容易には除去できない。氷をサポート材あるいはモールドの鑄型として用いれば、常温常圧化で容易に除去できる。人体や環境への負荷もない。本研究によって、たとえば微細流路を内部に有するマイクロリアクタやマクロTAS、従来の方法ではサポート材が除去できず造形不可能だった複雑な3D構造体、等が造形できるようになり、3Dプリンタの造形適用範囲を格段に広げる。

研究成果の概要（英文）：The purpose is developing a water 3D printing to transfer ice structures to resin, creating three-dimensional objects with complex internal spaces.

First, we attempted to use the coagulation phenomenon of water by depressurizing it and to create objects in a low-temperature cooling solution. For the former, it was found that the high pressure to maintain the liquid phase resulted in a high velocity of water at the time of discharge, which prevented modeling. In the latter case, the surface energy of the water was so high that the water solidified and was ejected, making molding impossible.

Therefore, a new molding method called the "block assembly method" was developed. This method produces minute rectangular blocks of ice, which are then stacked to form a 3D structure. We succeeded in forming a jungle gym-shaped structure and used it to form a resin structure with flow channels.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：メカトロニクス

### 1. 研究開始当初の背景

現在 3D プリンタに共通する大問題の一つはサポート材の除去である。通常、サポート材は機械的に壊すか、熱や溶剤で溶かして取り外すが、どの場合も形状が複雑になると容易には除去できない。溶けたサポート材はかなり粘度が高く、除去不可能な場合も多い。さらに溶剤等で溶かす場合は、身体や環境への負荷や、揮発ガスや溶剤の処理の問題もある。これは MEMS における犠牲層の除去プロセスにおいても全く同じ課題と言える。

Fig.1 に典型的な 2 つの例を示す。左は、内部に強化梁を持った円筒構造体である。fiber-less FMA において必要になる、内部の圧力に対して径方向のふくらみを抑える梁を内部に有する円筒構造である。このような構造を作る際、空間にはサポート材が入るが、円筒が長い場合や梁が密にある場合には、サポート材を抜くのは容易ではない。Fig.1 の右は、内部に細い流路を持つ構造体である。μTAS(化学分析デバイス)、μリアクタ(化学反応器)、フルイディックデバイス(流体論理素子)でしばしば要求される構造である。このような構造物を現在の 3D プリンタで作ると、流路となる空間は母材でつぶれるか、サポート材が詰まりこれを抜くのはほぼ絶望的になる。

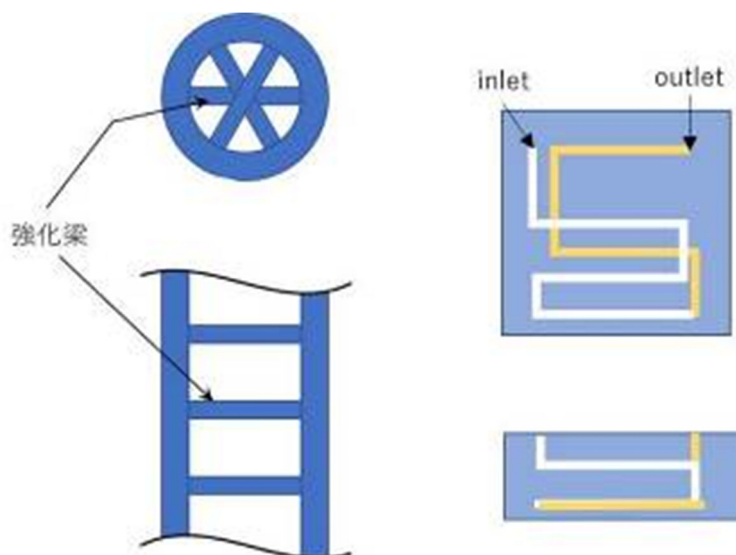


Fig1 現在の 3D プリンタでは難しい造形物の例：  
左：内部に強化梁構造を持つ円筒形状、右：内部に2層の複雑な流路を有する構造

### 2. 研究の目的

本研究では氷でサポート部材、あるいは鋳型を成形し、液状のゴムを用いて複雑なゴム構造を成形する手法の開発を目的とした。水は環境や人体への負荷がなく、かつ常温常圧下で乾かすか、あるいは真空下に置けば短時間に容易に除去できる。氷の成形技術が確立し、これをサポート材あるいは鋳型として用いることで 3D プリンタの適用範囲は劇的に広がる。

### 3. 研究の方法

低温環境下でノズルから水を吐出して氷の造形を行う手法がこれまでいくつか報告されているが、比熱が大きく、表面張力が高い、という水の特性から、微細な氷の成形を行うのは容易ではない。

氷の 3D プリンティングの手法として、減圧による水の凝固現象の利用と低温冷却液内での造形を試みた。前者は、水がある条件下では、通常物質とは逆に、圧力降下により液相から固

相に転移する特異な性質(Fig.2 の B)を持つことを利用する。伝熱による水の凝固(Fig.2 の A)ではなく、高压状態の水を大気圧化に吐出することで硬化させる 3D プリンティングができないかと考えた。後者は、伝熱による水の凝固(Fig.2 の A)を用いる方法であるが、縮合前のゴムを十分に冷却するとともに、冷却溶媒の中で造形を行うなどの工夫を進めた。

次に、ゴムへの転写プロセスとして、低温下における縮合時間の管理と気泡の混入防止をポイントに研究を進めた。

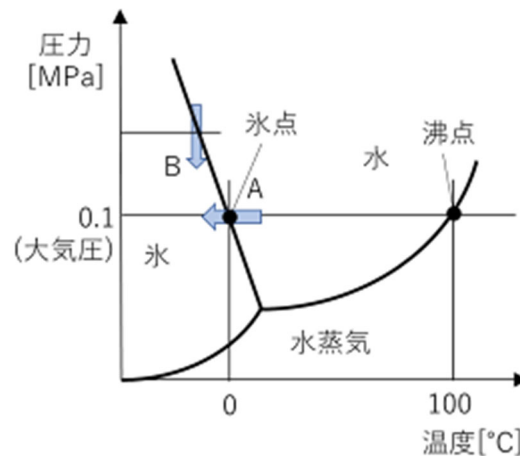


Fig.2 注目した2つの相変化

#### 4. 研究成果

まず、減圧による水の凝固現象の利用と低温冷却液内での造形の検討を進めたが、液相を維持する圧力が高い(数 10MPa)ため吐出時の水速度が速く造形に至らないことが判明した。また、低温冷却液内での造形に関しては水の表面エネルギーが大きいため水が固まって吐出されてしまい成形ができなかった。

そこで、小さなブロック状の氷をあらかじめ作っておき、これらを組み立ててゆく方法を提案し、これを **micro block assembly** 法と名づけた。組み立ての際には、氷のブロック表面に液状の水を付着させ、これを氷の造形物に押し付けることにより、表面の水が接着剤の役割を果たし、立体的な氷の造形物が成形できる。ブロック状の氷は、有限要素法の各要素にとらえることができる。

ゴムの本体と硬化剤を混合後、冷凍庫内と同じ温度まで十分に冷やしたのちにゴムを注型した。-10°Cの環境で硬化を行ったので硬化まで約2週間を要した。また、硬化促進剤の使用により最短1時間以内での効果が可能であり、効果促進剤の混合率の調整によって、作業時間の範囲内で調整することができることを確認した。

本手法の可能性を実証するために、2種類のラバーストラクチャーの試作を行った。

用いたゴムは、信越シリコーン社製型取り用 RTV ゴム KE-1603(付加型, 重合前粘度 80, 50Pas., 硬化後比重 1.03, デュロメータ硬さ 28A, 切断時伸び 450%)である。実験は、-10°Cの冷凍庫内で行った。硬化促進剤は用いていない。

Fig.3 は、3mmx3mmx50mm のマイクロブロック氷を接合して作った氷の成形物を鋳型として成形したゴム構造である。ゴムの本体と硬化剤を混合後、冷凍庫内と同じ温度まで十分に冷やしたのちにゴムを注型した(b)。室温に出して氷の溶解を始めたところ多数の気泡が発生した(c)。その後大気下において自然乾燥させた結果、内部に流路を有するゴム構造体が完成した(d)。

Fig.4 は 5mmx5mmx5mm の立方体のマイクロブロック氷を接合して作った成形物を鋳型として成形したゴム構造である。製作条件は Fig.3 のものと同じである。



Fig.3-(a) 氷の成形



Fig.3-(b) 液状ゴムの注入と重合

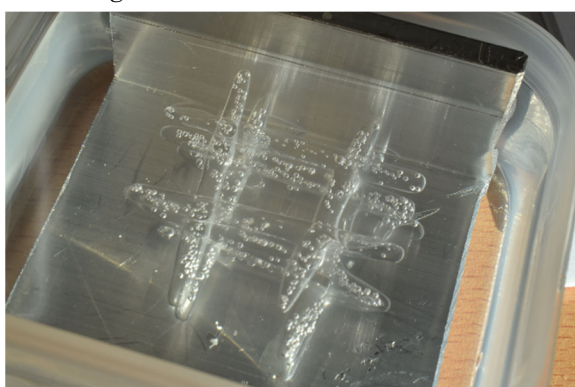


Fig.3-(c) 氷の融解



Fig.3-(d) 乾燥

Fig.3 prototype #1

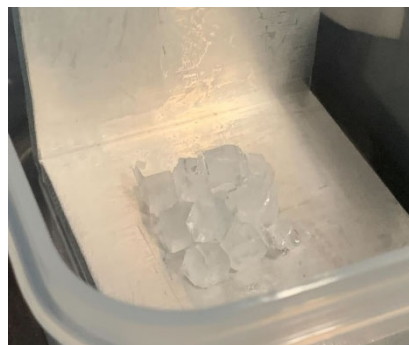


Fig.4-(a) 氷の成形



Fig.4-(b) 液状ゴムの注入



Fig.4-(c) 氷の融解



Fig.4-(d) 乾燥

Fig.4 prototype #2

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴森康一, 難波江 裕之, 山本 陽太
2. 発表標題 氷をサポート材に用いたラバーストラクチャーの微細成形
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会
4. 発表年 2023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	難波江 裕之  (Hiroyuki Nabae)  (90757171)	東京工業大学・工学院・助教     (12608)	

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
---------	---------