

ホログラフィックダイレクトサウンドプリンティング：音波を利用する革新的な3Dプリント手法

マーディ・デラヤティファ、モフセン・ハビビ、ムチュクマラン・パッキリサミ

ホログラフィックダイレクトサウンドプリンティング(HDSP)は、パターン化された音場を使って複雑な形状を高精度かつ高速に作成する、音を利用した3Dプリント技術の革新的な進歩である。

音を利用する3Dプリント手法が、積層造形における画期的な技術として登場している。光や熱を利用するプリント手法とは異なり、音波を利用して材料を硬化するものである⁽¹⁾。高強度の超音波を集中的に照射することで、樹脂内の音響化学反応を誘発する。これにより、物理的に接触することなく3D構造を造形することができる。

ダイレクトサウンドプリンティング(DSP)の中核原理は、プリント材料内に音波を正確に集中照射する能力にある。それによって局所的なキャビテ

ーションと重合が誘発され、特定領域が選択的に硬化して、複雑な形状が形成される。

著者らの最新研究において、ホログラフィックダイレクトサウンドプリンティング(HDSP)は、超音波を複雑な3D形状にパターン化するホログラフィック音場を導入することによってDSPを進化させたもので、セクション全体の同時プリントを可能にする。音響ホログラフィによってHDSPは、従来のDSPの複数の制約を克服し、エネルギー効率の向上、プリント時間の短縮、

分解能の改善をもたらす。

HDSPはロボットアームと互換性があるため、押出の自由度を高めることも可能である。これによって、潜在的なアプリケーションが拡大するとともに、複雑な製造環境に対する多用途性も高まる(図1)。

HDSPの潜在的アプリケーション

HDSPはその独特の能力により、医療器具から航空宇宙部品に至るまでの幅広いアプリケーションに適している。

複数プレーン上のオブジェクト。断面イメージ／情報を符号化して、ホログラム面からさまざまな距離に位置する複数のターゲットオブジェクトを作

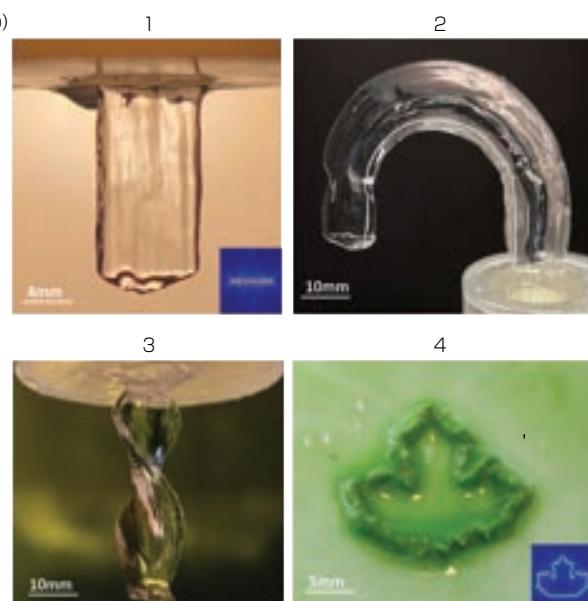
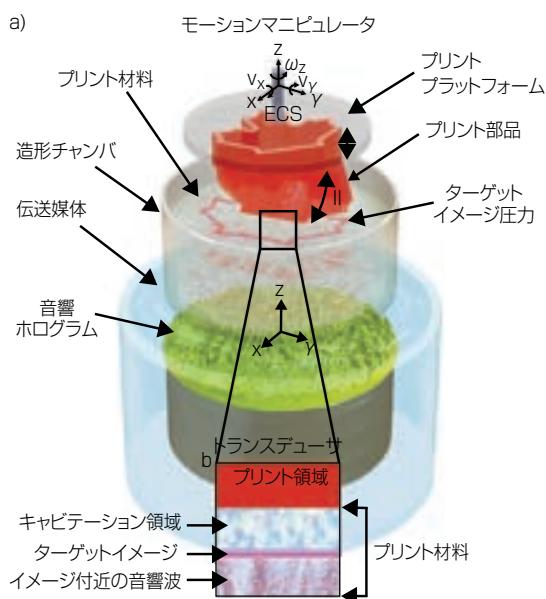


図1 a)はHDSP装置の構成図。(b)1～3は、プリント部品のライン断面とさまざまな押出パスを示している。複雑な物体である4には、圧力パターンが右下に示されている

成する、音響ホログラムの機能により、複数のプレーン上にオブジェクトをプリントすることが可能である。これにより、ホログラム内で符号化されたオブジェクト数に基づいて、異なるプレーン上でパターン形成と重合を行なうことができる。HDSPは、複数材料をプリントする可能性も示している(図2(a)と(b))。

リモート環境や困難な環境における製造。光や熱を利用する従来の方法と比較して、音を利用する3Dプリントの最も特徴的な利点の1つは、遠隔の材料作製に適用できることである。これが可能なのは、障害物に遮断されることの多い光とは異なり、音波は障害物を透過できるためである。

プリント領域に物理的に直接触れることがなく、固体構造を作成できるHDSPは、リモート環境や、到達が困難な環境での製造に非常に適している。図2(c)は、光を透過しない樹脂でできたプリント部品を示している。これは、HDSPが、深海アプリケーション向けに水中で部品を製造するなど、障害物を通した作製を可能にする可能性があることを意味する。

体内プリント。体内プリントは、HDSPの遠隔プリント機能から派生した、独特のアプリケーションである。この方法は、非侵襲的な治療に対する可能性を秘めており、正確な構造をその場(*in situ*)で形成することによって、標的療法やインプラントを非侵襲的に促進することができる(図2(d)と(e))。

ロボット支援のプリント、支持材なしの部品のプリント。HDSPは、重合の連鎖反応に基づき、連続的な硬化プロセスとして動作するため、従来の3軸プリントシステムの範囲を超えて拡張することができる。また、ロボット支援のHDSPは、柔軟な材料を使

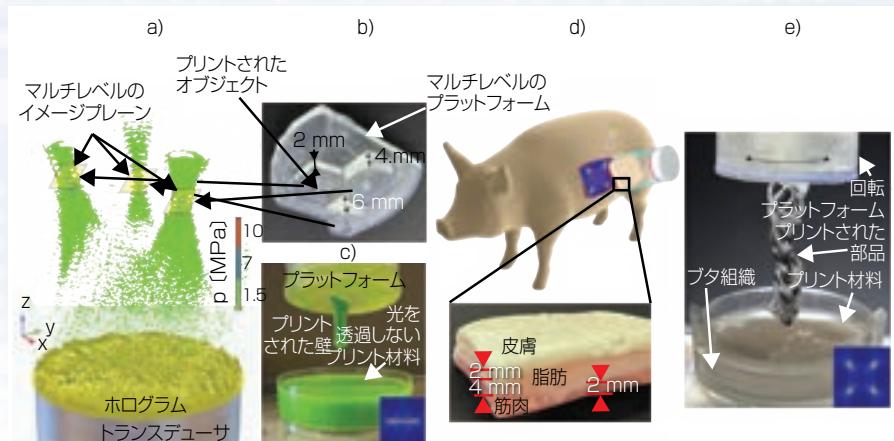


図2 HDSPのアプリケーション。(a)は、複数プレーンの同時プリントを図示したもの。(b)は、マルチレベルプラットフォーム上のポイントの瞬時プリント。(c)は、光を透過しない樹脂の中でHDSPを使用した遠隔プリント。(d)は、体内プリントの概念。(e)は、媒体障害物としてのブタ組織を通して生体外(*ex vivo*)プリントされた部品

用して支持材なしで部品をプリントすることができる。標準的なDSPには、そのような概念は存在しない。ホログラフィック音場の性質上、オーバープリントの概念もHDSPで実現可能である。

3Dプリントの飛躍的進歩

著者らのHDSP手法は、3Dプリント技術の飛躍的進歩を表している。超音波と音響ホログラフィの力を活用することにより、HDSPは、高度なパターン形成、高速な動作、エネルギー効率に優れた遠隔プリント機能を提供する。

音響ホログラフィによってHDSPは、複数プレーンにわたる複数オブジェクトや複数材料のプリントが可能である。

これにより、体内や水中など、困難な環境における複雑な構造を遠隔から作成することができる。HDSPをロボットシステムに組み込めば、フリーフォームの軸外プリントも容易になり、これによって、さらに自由度の高いデザインの可能性が大きく広がる。

HDSPは、動的な音響ホログラフィや3D立体音響場によって進化し続けるにつれて、医療用バイオプリンティングや低侵襲インプラントから、弾力性のある航空宇宙部品や水中構造物に至るまで、高度な感音性材料を使用した正確で迅速で非侵襲的な造形を必要とする分野に革新をもたらすと期待される。

参考文献

- (1) M. Habibi, S. Foroughi, V. Karamzadeh, and M. Packirisamy, Nat. Commun., 13, 1, 1800 (2022).
- (2) M. Derayatifar, M. Habibi, R. Bhat, and M. Packirisamy, Nat. Commun., 15, 1, 6691 (2024). Mahdi Derayatifar is a former Ph.

著者紹介

マーディ・デラヤティファ(Mahdi Derayatifar)は、加コンコルディア大(Concordia University)機械・産業・航空宇宙工学部(Department of Mechanical, Industrial, and Aerospace Engineering)の元博士課程学生。モフセン・ハビビ(Mohsen Habibi)は、カリフォルニア大学デイビス校(University of California, Davis)機械・航空宇宙工学部(Mechanical and Aerospace Engineering Department)の助教授。ムチュクマラン・パッキリサミ(Muthukumaran Packirisamy)は、コンコルディア大機械・産業・航空宇宙工学部の教授。
e-mail: m.packirisamy@concordia.ca