

ヘッド固定ステージ可動形プリンティングシステムによる 凹面への付加造形と加飾の検討

Investigation of layered molding on a three-dimensional concave surface by a fixed head and movable stage type printing system

蘇 健恒¹, 田沼 千秋², 田中 豊¹

Kenko SO¹, Chiaki TANUMA², Yutaka TANAKA¹

¹法政大学, ²法政大学マイクロナノテクノロジー研究センター

¹Hosei University, ²Research Center for Micro-Nano Technology, Hosei University

【要約】

材料押出ノズル固定し造形ステージを可動式にしたプリンティングシステムを用いて、凹面形状の構造物の表面への付加造形に成功した。凹面への付加造形は、傾斜直動形パラレルメカニズムにより、造形ステージを6自由度の制御を行い、ノズルと構造物の表面との距離を一定に保った。凹面を持つ構造物の表面に試作した造形物は、直径68mm、半径が75mmの球欠表面に間隔が4mmで16本のメッシュ構造である。付加造形の結果について述べる。

【Abstract】

We successfully achieved additive manufacturing on the concave surface of a structural object using a printing system with a fixed material extrusion nozzle and a movable forming stage. Additive manufacturing on the concave surface was accomplished by controlling the forming stage in 6DOF using an inclined linear motion parallel mechanism, while maintaining a constant distance between the nozzle and the surface of the structure. The prototype structures created on the concave surface of the object consisted of 16 mesh structures with diameter of 68mm, radius of 75mm, and 4mm spacing between them. This report discusses the experimental results of constructing a mesh structure on concave surfaces using the prototype printing system.

Keywords: additive manufacturing, 3D printing, parallel kinematic mechanism, positioning accuracy, MEX

1. 序論

積層造形法 (Additive Manufacturing: AM) は、3次元のデジタル・モデルデータに基づいて、材料を繰り返し積み重ねて3次元の構造物を製作する付加加工プロセスである。積層造形法は、鋳造や切削加工などの製造工程と比べ、低コストでより複雑な形状を製作することが可能であり、今後の発展が期待される技術である[1]。

Chengkai らはシリアルメカニズムを用いて造形ステージを多自由度で可動させ、造形ステージ上に複雑な構造物を積層造形している[2]。回転方向の制御が加わることで、積層方向を変化させながら造形することが可能であり、複雑な形状の積層造形を実現出来る。

本研究では、傾斜直動案内形パラレルメカニズム[3]を用いて立体物を載せた造形ステージを多自由度で制御し、造形ステージ上部の空間固定された MEX (Material Extrusion) 方式の造形用ヘッドにより、立体表面に沿って積層造形を行うプリンティングシステムを用いた[4]。パラレルメカニズムは、シリアルメカニズムに比べて高剛性のため制御性に優れ、高精度に造形が出来ると考えられる。これまで可動機構に用いた傾斜直動形パラレルメカニズムによる造形ステージの可動範囲及び、位置決め精度を検証した[5]。本報告は、このプリンティングシステムを用いて凹面の表面に沿って付加造形を行った結果並びに加飾の可能性について報告する。

2. プリンティングシステム

図1に本研究で提案したプリンティングシステムの構成図を示す。造形ステージはパラレルメカニズムによって6自由度の制御ができる。造形用の MEX (Material Extrusion) 方式のヘッドは上部のフレームに固定され、直径1.75mmの樹脂フィラメントを230℃~240℃の温度で熔融して押し出した材料を積層し立体を造形する。ノズルから吐出したフィラメントの直径を0.3mm~0.35mmにするため、供給するフィラメントの押出速度は1.97mm/sとした。

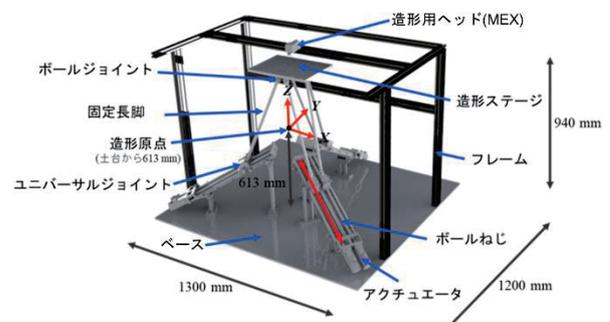


図1. プリンティングシステム構成図

造形ステージの座標系はステージ面を X-Y 平面とし、垂直高さ方向を Z とした。造形開始時には造形ステー

ジの水平を保つため、キャリブレーションを行い、キャリブレーション後のステージ中心位置をこの座標系の原点である造形原点とした。造形原点はベースから 613 mm の高さであり、すべての動作の開始位置とした。

3. パラレルメカニズム

3.1 パラレルメカニズムの構成

図 2 に傾斜直動形 6 脚パラレルメカニズムの構成模式図を示す。造形ステージはボールジョイントを介して 6 本の固定長の脚によって支持され、それぞれの固定長脚はユニバーサルジョイントによってアクチュエータに固定される。さらに、これら 6 つのアクチュエータは傾斜角度 30° の案内ガイド上を直線駆動する。これらの機構から、造形ステージは 6 自由度で可動する。造形ステージの大きさは、長辺が 350 mm、短辺が 260 mm の長方形で、固定長脚の長さは 500 mm である。

造形ステージ中心の X, Y, Z 座標とそれぞれの軸周りの回転角度によって表されるステージの姿勢情報を MATLAB/Simulink を用いて自作した動作シミュレータの逆運動学計算により 6 つのアクチュエータの駆動量に変換する。さらに、アクチュエータの駆動量を G-code の形式に変換し、これを指令として与えることでパラレルメカニズムを制御する。

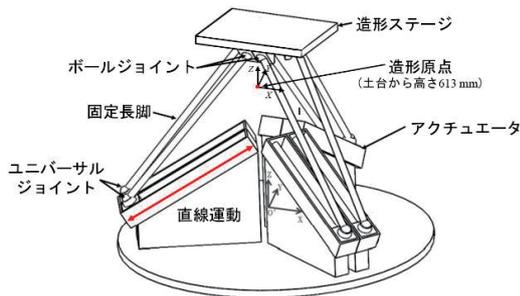


図 2. パラレルメカニズムの構成模式図

3.2 可動範囲

造形ステージの直線運動時のステージ中心の可動範囲を測定した。可動範囲は MATLAB/Simulink を用いてシミュレーションを行った後、実機においても可動可能であるかを確認した。測定は、実際に造形を行う高さである $Z = 30 \text{ mm} \sim 150 \text{ mm}$ の範囲で行った。ボールジョイントの可動制限は $\pm 30^\circ$ 、ユニバーサルジョイントの可動制限は $\pm 90^\circ$ であり、これらのジョイントの制限からステージの可動範囲が決定する。加えて、Z 軸方向の可動範囲は上部に固定した造形ヘッドの高さによっても制限される。可動範囲はステージ高さが高いほど広がった円錐台が積み重なったような領域となり、 $Z = 150 \text{ mm}$ の高さで最大半径 160 mm の円領域が得られた。

4. 造形実験

プリンティングシステムを用いて、立体曲面への付加造形実験を行った。凹面を含む土台上に凹面形状のメ

ッシュ構造物を造形した。土台は半径 37.4 mm、高さ 65 mm の円柱上部に、半径 75 mm の球体を下部から 10 mm の地点で切り取った球欠を乗せた形状である。造形したメッシュ構造は半径 34 mm のフレーム部分と、球面に沿った縦横 16 本ずつのワイヤによるメッシュ部分から構成されている。またメッシュの間隔は 4 mm とした。図 3 に造形物の写真と造形物の模式図を示す。

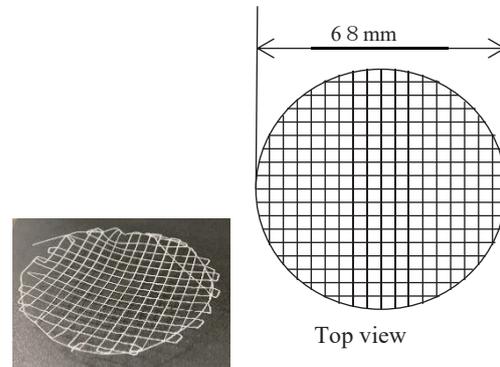


図 3 造形物の写真と造形物の模式図

5. 結言

傾斜直動案内形パラレルメカニズムを用いて積層造形を行うプリンティングシステムを用いて、凹面形状の付加造形に成功した。造形精度を高めるために、造形プログラムの調整が必要である。

本研究の一部は関東経済産業局の平成 27 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「工業製品製造に適した革新的な多次元制御方式による 3D プリンタの技術開発」による補助支援を受けて行われた。関係者に謝意を表す。

参考文献

1. T. Igarashi, "Additive Manufacturing," Seikei-Kakou, **28**(7), pp. 288-294, (2016).
2. Chengkai, D., Charlie, C.L., Wang, C., Wu, S.L., Guoxin, F., and Liu, Y., "Support-Free Volume Printing by Multi-Axis Motion," ACM Transactions on Graphics, **37**(4), (2018).
3. J. Yamada, G. Minorikawa, Y. Tanaka, C. Tanuma, "Design and prototyping of parallel mechanism for fixed head type 3DPrinter," The Japan Society of Mechanical Engineers, (2017).
4. R. Tawara, Y. Inoue, H. Nakazima, C. Tanuma, Y. Tanaka, "Development of Additive Manufacturing Method by Slant Direct Drive Parallel Mechanism," JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2A1-D07, pp.1-3, (2021).
5. R. Tawara, M. Tono, Y. Iguchi, C. Tanuma, Y. Tanaka, "Evaluation of Positioning Accuracy for Additive Printing System Using Parallel Mechanism," Proceedings of JSPE Semestrial Meeting, (2022).