

義足製作のための積層造形システムの開発

萩原 茂・清水 誠司・阿部 正人・河野 裕

Development of Simple Laminating System for Artificial Limb

Shigeru HAGIHARA, Seiji SHIMIZU, Masahito ABE and Hiroshi KONO

要 約

粉末金属や強化繊維などを混入した熱溶解性材料を原料に積層造形すれば、樹脂やワックスでは不可能な軽くて強靱な義足などの機能的モデルを直接作ることができると考えられる。本研究は、高粘性材料に対応するための定量吐出機構を設け、義足の造形に適した速度と精度および十分な造形サイズの確保を目的とした高粘性材料での高精度積層制御アルゴリズムを開発し、積層造形システムを試作した。

Abstract

It was developed that the system makes an artificial limb socket from the measurement data of the under knee. The developed main contents is as follow. The simple laminating method was developed instead of the laser lithography method. A simple laminating method can make an artificial leg directly by the material containing fiber or metal powder. The high precise, small and low price system was completed.

1. 緒 言

義足は、軽量かつ高強度な素材を用いて製作するのが適しており、光造形法に替わる高速かつ高精度な造形が可能になれば、直接に義足ソケットの製作に応用できると考えられる。

簡易積層法では、粉末金属や強化繊維などを混入した熱溶解性材料を原料にして造形することにより、ワックス材料では得られない軽量で高強度なモデルを作ることができると考えられる。

しかしながら、従来の簡易積層法では十分なディスペンサーの吐出コントロールと積層精度が得られなく、高粘性素材を使用することが難しい。そこで、造形速度の高速化と造形精度の向上および造形物の大型化を目的に高粘性原料に対応するための定量吐出機構と積層制御アルゴリズムを検討した。

ディスペンサーの高速制御や最適吐出量の制御には、複雑な演算を高速処理し、正確なタイミングパルスを生成する必要がある。そこで、ディスペンサーの高速移動制御アルゴリズムを開発し、吐出ポンプとの高精度な同期タイミング制御を行うために多機能マイクロコンピュータ（日立製H8シリーズ）を使用したコントローラを作製した。

さらに、本研究では、高精度積層造形を可能にする制御アルゴリズムを開発し、積層造形システムを試作した。

その結果、従来法では作れなかった粉末金属を混入した

高粘性材料を使用した積層実験において、安定した精度の高い積層が確認され、より実用化に近づいた小型かつ低価格な積層造形システムとなった。

2. システム構成及びソフトウェア

2-1 簡易積層法

簡易積層法の概要をFig. 1に示す。3次元CADによって設計された義足の幾何データは、CAMによって多層の断面にスライスされ、積層造形装置を制御するNCデータに変換される。多層の断面を計算する処理は、光造形法と同じであるが、NCデータの生成では、光造形法と大きく異なる処理を必要とする。なぜなら、光造形法では、既に固化した樹脂の上に光を照射しても樹脂は変化しないが、簡易積層法では、既に固化している材料の上に異なる材料供給を行うと材料がはみ出し、形状が崩れる。それ故、既に材料を塗布した位置には、再度材料の塗布をしないアルゴリズムでなければならない。また、生成されるNCデータは、光造形法と異なるディスペンサーに関する諸設定が必要なことから新たに追加考案した。

2-2 ハードウェア構成

ハードウェアの構成をFig. 2に示す。積層造形物は、X-Yステージ上のテーブルに積層される。材料を吐出するディスペンサーは、Z軸を移動することによってテーブ

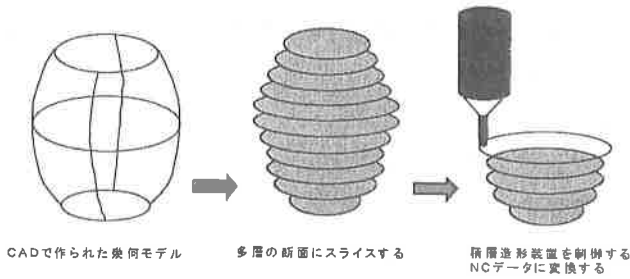


Fig. 1 Simple Lamination Method

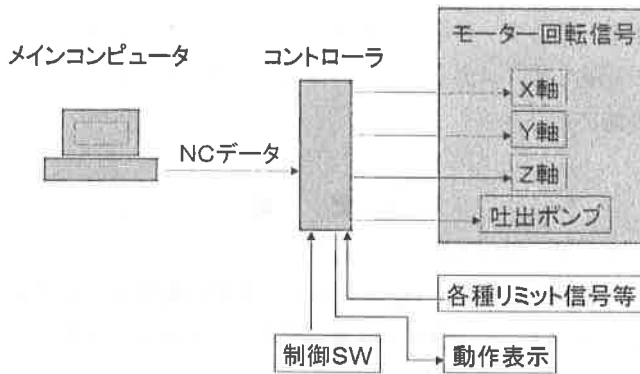


Fig. 2 Control System of Simple Lamination Machine

ルとの相対的な三次元座標の位置が定められる構成である。ディスペンサーには、定量吐出を行うためのポンプが設けられており、ステッピングモーターの回転に対応して材料が吐出される構造である。ディスペンサーは、材料を保温するタンクとポンプに別々のヒーターが巻き付けられており、独立した温度設定が可能である。

マイクロチップに日立製H 8 / 3003を使用したコントローラを新たに開発した。メインコンピュータで生成したNCデータは、RS232C規格の通信によってコントローラに取り込まれ各軸およびポンプの指令に変換されて動作する構成である。

2-3 多軸同時制御のための計算式

ディスペンサーの位置が頂点 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ を通る直線上を一定の速度で移動しながら、指定された量の材料を吐出する同期制御については独自の方法を開発した。その制御計算について述べる。

第 m 番目の頂点 P_m について、その座標値は、 $P_m (X_m, Y_m, Z_m)$ で与えられる。ディスペンサーが P_{m-1} から P_m へ移動する速度は、一定でありその値を V と表す。

材料の吐出量は、吐出ポンプの回転数に応答する。しかしながら、吐出初期と停止前後では、ポンプの回転数に比

例した材料の吐出量は得られず、不安定な状態である。

吐出初期は、繰り返し実験によってポンプを空運転する時間を定め、吐出開始とディスペンサーの移動開始のタイミングを合わせている。

また、ポンプが停止した直後は、ディスペンサーの内圧が高くなっており、しばらくの間、吐出が続く、それゆえ、吐出停止前後も不安定な状態となる。吐出を停止する場合には、ポンプをしばらくの間逆回転させることによって、過剰に吐出された材料を吸収することとした。この逆回転の時間は、実験によって最適となる値を調べ、制御した。つまり、ディスペンサーの吐出状態が不安定な吐出開始と停止前後では、パターン化した制御を行っている。

ここでは、材料の吐出が安定状態にある積層造形中の制御について述べる。安定状態では、材料の吐出量がポンプの回転数に比例する関係である。したがって、材料の吐出量を D 、ポンプの回転数を R と表すと次式となる。

$$D = K_p R \quad (1.1)$$

K_p は、ポンプの吐出性能を表す比例定数である。

ディスペンサーが P_{m-1} から P_m へ移動する場合の各軸の移動量を X_{pm}, Y_{pm}, Z_{pm} と表すと、それぞれ次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} X_{pm} &= X_m - X_{m-1} \\ Y_{pm} &= Y_m - Y_{m-1} \\ Z_{pm} &= Z_m - Z_{m-1} \end{aligned} \quad (1.2)$$

ディスペンサーの移動速度 V にて、 P_{m-1} から P_m へ移動する時間を T_m と表すと、各軸のパルス周波数 H_{Xm}, H_{Ym}, H_{Zm} および、各軸のパルスの数 Q_{Xm}, Q_{Ym}, Q_{Zm} は、次の関係となる。

$$\begin{aligned} T_m &= |P_m - P_{m-1}| / V \\ Q_{Xm} &= X_{pm} \times K_x \\ Q_{Ym} &= Y_{pm} \times K_y \\ Q_{Zm} &= Z_{pm} \times K_z \\ H_{Xm} &= Q_{Xm} / T_m \\ H_{Ym} &= Q_{Ym} / T_m \\ H_{Zm} &= Q_{Zm} / T_m \end{aligned} \quad (1.3)$$

上記の頂点から他の頂点へ移動する時間、その時の各軸のパルス周波数およびパルス数は、マイクロチップの内部タイマーカウンターを直接制御する基本データであり、正確な同期をとるための必要不可欠な最も簡単なデータであ

る。

材料の吐出とディスペンサー移動の同期制御を確実に実行させるために、積層造形装置が、NCデータによって受信されるディスペンサーの座標値からこれらのデータを計算し、一時的にメモリーに保存する。ディスペンサーの吐出開始位置から吐出停止位置までの一連のデータが揃ったところで、メモリーに保存されているデータを使用して各軸のモータの回転とポンプの回転を正確に同期しながら各頂点を一定速度により移動が可能となる。

2-4 積層造形装置のNCコード

三次元CADにより作られた幾何モデルから高い精度の実体モデルを作成するため積層造形装置について説明してきた。CAMソフトウェアで生成されるNCデータは、実体モデルの高精度な加工を可能にするための必要な加工条件をすべて含み、かつ一般的に使用されるシリアル通信速度で十分満足できるだけの通信量でなければならない。これらの命題を解決し、さらに一般的に判別しやすいNCコマンドを検討・考案した。次にそれらのコマンド仕様を示す。

①原点復帰及びデーターリセット

コマンド：G28 (CR)

②加工速度指定

コマンド：F○○○ (CR)

前行の○○○は、mm/分単位の速度を示す。

③吐出ポンプ設定

コマンド：A○○ ×× △△ (CR)

○○は、回転数/分単位のポンプの回転速度を示す。

××は、加工移動前の予備回転数を示す。

△△は、加工移動停止時の逆回転数を示す。

④通信チェック

コマンド：R (CR)

本コマンドを受信した場合は、R (CR)を送信する。

⑤高速移動

コマンド：G00 ○○ ×× △△ (CR)

○○は、目的地を絶対座標のX軸方向について、その値をmm単位で示す。

××は、目的地を絶対座標のY軸方向について、その値をmm単位で示す。

△△は、目的地を絶対座標のZ軸方向について、その値をmm単位で示す。

⑥加工移動

コマンド：G00 ○○ ×× (CR)

○○は、目的地を絶対座標のX軸方向について、その値

をmm単位で示す。

××は、目的地を絶対座標のY軸方向について、その値をmm単位で示す。

⑦吐出開始

コマンド：M00 (CR)

⑧吐出停止

コマンド：M01 (CR)

以上8のコマンドによってNCデータが構成される。

NCデータは、自動生成したままで加工することが可能であるが、実験では一時的に条件などを変更したい場合がある。そこで、NCデータは、すべてアスキー文字によって記述して、エディタソフトにより簡単に修正することも可能にした。

3. 実験

3-1 実験装置

実験装置の外観をFig. 3に示す。装置の動作および構成は、2-2ハードウェア構成で記述したとおりである。

3-2 実験条件

実験条件を次に示す。

①タンク温度：110℃

②ディスペンサー温度：107℃

③使用材料：SUS粉末（平均粒径8ミクロン）

④混合比：SUS (56) 対バインダー (44)

⑤ディスペンサー移動速度：毎分100mm

⑥ディスペンサーポンプ回転速度：毎分10回転

以上の条件に基づいて実験を行った。

3-3 実験結果

直径30mmの円筒状の積層造形を実施した例をFig. 4に示す。また、一辺30mmの四角柱状の造形を実施した例をFig. 5に示す。各層の密着性は十分であり、単純な立体が造形できた。

4. 考察

高粘性材料の積層造形法に特化した造形システムの開発により、安定した吐出が可能となり、最適な材料吐出量と積層速度によって立体造形が可能となった。しかしながら、円筒状の積層や四角柱のコーナー部分では、高粘性の影響によるだれの発生が見られた。今後、このだれの原因を究明することと対策を考察する必要がある。簡易積層法では、光造形法とは異なり特別な積層アルゴリズムが必要である。本研究では、実験的に積層を行い立体造形を行ったが、

複雑な形状でも自動的に望みの形状を造形できるCAMを今後開発して行く必要がある。

5. 結 言

簡易積層法を高粘性材料に対応するために定量吐出機構を設け、新たな制御アルゴリズムを考案することによって、義足の造形に適した積層造形システムを試作した。

粉末金属や強化繊維などを混入した熱溶解性材料を原料に積層造形することによって、樹脂やワックスでは不可能な軽くて強靱な義足などの機能的モデルを直接作ることが可能と考えられる。

簡易積層法を用いた高粘性材料による造形システムを開発し、円筒状モデルと四角柱モデルを造形した結果、コーナー部にだれが発生する現象が見られた。

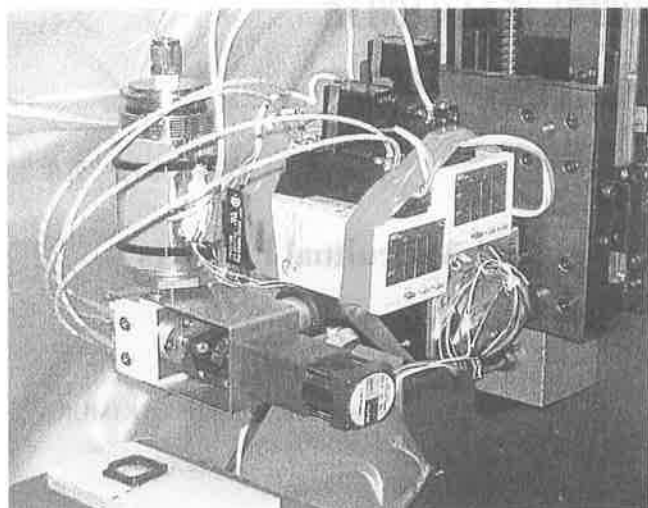


Fig. 3 Simple Laminating Machine

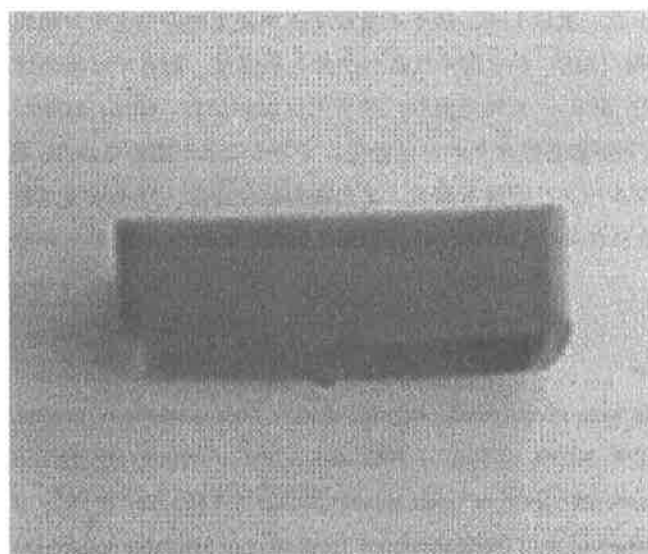


Fig. 4 Square Model

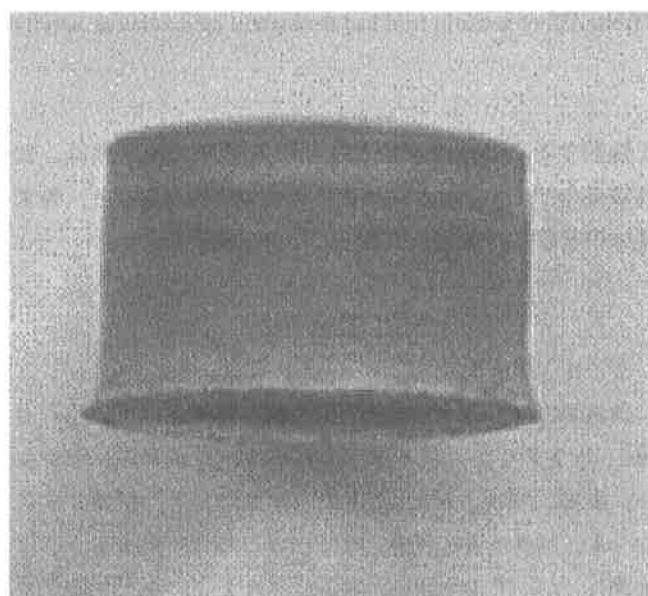


Fig. 5 Columnar Model

参考文献

- 1) 古川進, 古屋重彦他: 「熱溶解積層造形法によるダイレクト・プロダクション・システムの開発成果報告書」, NEDO, (1999)
- 2) 萩原, 清水, 阿部, 河野: CAD/CAMを用いた義肢製作支援システムの開発, センター研究報告 (1999)
- 3) 阿部, 清水, 萩原, 河野: CAD/CAMを用いた義肢製作支援システムの開発, センター研究報告 (1999)