

# 高輝度光ビーム加工技術に関する研究

## 多機能フォトンマシニングセンタの開発

### (2) レーザ三次元造形技術の開発

大阪大学 小坂田宏造、塩見誠規

#### 1. はじめに

超短パルス Yb:YAG レーザを用いた多機能フォトンマシニングセンタで金属製品を作製する場合、金属三次元造形技術の確立が重要である。三次元造形は CAD データを基に金属粉末にレーザを照射し、粉末を溶融固化させ、積層することによりモデルを作製する。本技術により金型を作製する場合、寸法精度が重要であり、粉末の溶融固化時の凝固収縮や、熱応力などに起因して発生する変形が問題となる。さらに造形した製品に引張り残留応力が存在すると強度は低下する。また、本造形方法は単品あるいは少量生産に適した製造方法であるため、医療分野における生体機能部品の製造が期待される。そのため生体適合材料を用いた造形と機械的特性の向上が必要である。

そこで本研究では、金属粉末とレーザを用いて三次元造形により作製したモデルの機械的特性および残留応力の評価を行い、造形条件の最適化を図る。

#### 2. フェーズ の研究目的および内容

金属粉末にパルス発振 YAG レーザを照射し、部分的に溶融、固化させることを繰り返して三次元製品を直接造形する技術を開発するために、鉄系金属粉末と既存の YAG レーザを用いて線状固化実験、壁状固化実験の基礎実験を行い、レーザの照射条件、走査速度、積層暑さ等について調べて、三次元モデルを造形するための造形条件を確定する。

#### 3. フェーズ の研究成果

図 1 に実験装置を示す。三次元造形の熱源として最大平均出力 50W パルス発振 Nd:YAG レーザ (LUXSTAR) を用いる。材料粉末は最大粒径 45 $\mu$ m、平均粒径 20 $\mu$ m の鉄系混合粉末 (SCM440:69.6Wt%, Ni:21.7Wt%, CuP:8.7Wt%) を用い、モデルは SUS303 基板上に作製する。モデルの造形は酸化を防ぐため窒素雰囲気中で行う。モデルの作製方法は、最初にモデル外形形状に沿ってレーザを照射した後、内部を一方向にハッチング照射し一層分の固化体を得る。これを繰り返し積層することにより三次元モデルを作製する。

造形可能なレーザ照射条件の範囲を調べるために線状および壁状固化実験を行った。線状固化実験では粉末層厚さを 10 $\mu$ m に固定し、レーザを直線状に 40 $\mu$ m 照射して連続した線状固化体の作製可否について調べた。壁状固化実験では、長さ 20 $\mu$ m の線状固化体を積層厚さ 0.1 $\mu$ m で 200 層積層することにより幅 20 $\mu$ m、高さ 20 $\mu$ m の壁状モデルを作製し、層間の接合性について調べた。レーザ照射条件を表 1 に示す。

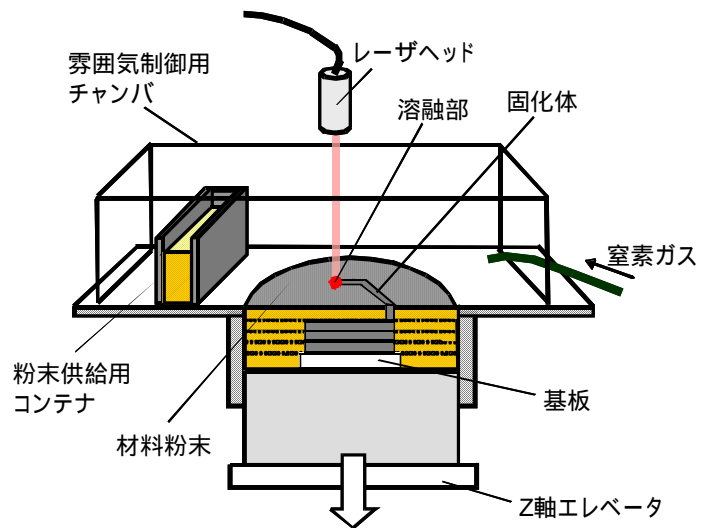


図1 三次元造形装置

表1 レーザ照射条件

| レーザー照射条件     |             |                |            | 走査速度<br>/mm・s <sup>-1</sup> |
|--------------|-------------|----------------|------------|-----------------------------|
| ピーク出力<br>/kW | パルス幅<br>/ms | 繰り返し周波数<br>/Hz | 平均出力<br>/W |                             |
| 0.25         | 4           | 50             | 50         | 2,4,6,8                     |
| 0.5          | 2           |                |            |                             |
| 0.75         | 1.3         |                |            |                             |
| 1            | 1           |                |            |                             |

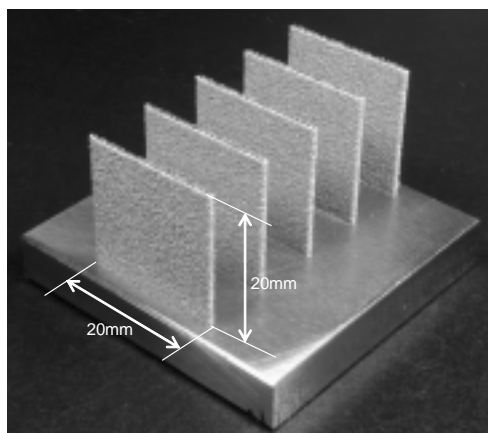


図2 壁状モデル

(ピーク出力 1kW, パルス幅 1ms, レーザ走査速度 8mm/s)

図2に壁状モデルを示す．ピーク出力 1kW，パルス幅 1ms，繰り返し周波数 50Hz では，線上固化実験で連続固化体を得られ，反り，割れを生じることなく壁状モデルの作製も可能であり，レーザ速度の影響は見られなかった．そこで鉄系金属粉末に対する造形条件をピーク出力 1kW，パルス幅 1ms，繰り返し周波数 50Hz とした．

本造形条件を用いて粉末上に平面を作製した場合，平面モデルにそり変形が生じた．三次元モデルの造形は基板上进行うため，基板および固化体により変形を抑えて三次元モデルは造形されるのでモデル内部に残留応力が生じる．そこで，残留応力について検討するために，基板の裏面中央に，レーザ走査方向に対し同方向およびレーザ走査方向に対し垂直方向に2つのひずみゲージを取り付けて，三次元造形中のモデルの変形について調べた．

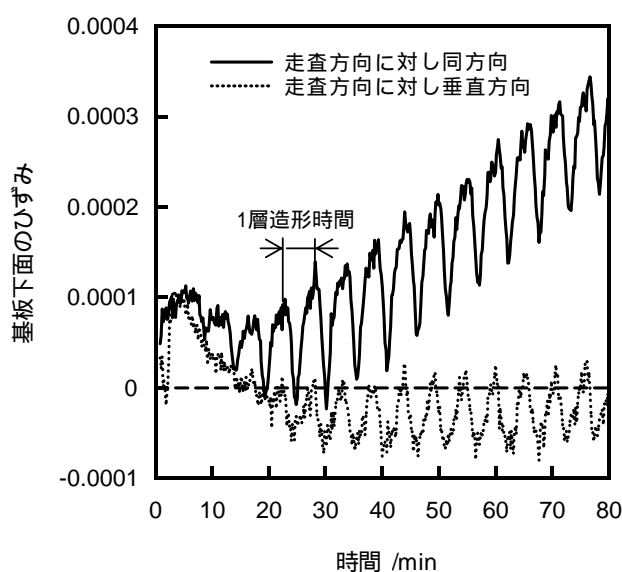


図3 モデル造形中の基板下面のひずみ

図3に造形中の，レーザ走査方向に対して同方向，レーザ走査方向に対して垂直方向のひずみを示す．グラフの山と山とが1層分の造形を表している．レーザ走査方向と同方向のひずみは，レーザビームが端から中央に進むに従い減少し，中央から端に行くにつれて増加する．そして走査開始時のひずみよりも終了時のひずみは高くなった．この現象を各造形層で繰り返しながらモデルと基盤は下に凸に反る．走査方向に対して垂直方向のひずみも同様に各造形層で減少，増加するが，造形後のひずみはほとんど見られない．したがって，モデルは主にレーザ走査方向に対し同方向に変形していることがわかる．本造形におけるモデルの変形は，基板の剛性を高めることにより抑えることは可能であるが，残留応力が問題となる可能性が明らかとなった．

#### 4. フェーズの研究目的および内容

パルス発振 YAG レーザと鉄系金属粉末を用いた三次元造形において，造形精度および機械的特性を向上させるために，造形後の残留応力を測定して造形条件の影響について調べ

るとともに、残留応力を低減する方法について検討した。

## 5. フェーズの研究成果

フェーズの研究成果において、造形中のモデルの変形は主にレーザー走査方向に対して同方向に変形することが明らかとなった。そこで、造形後の残留応力を測定するために、はり状モデルを設計し、長手方向にレーザーを折り返し照射して造形した後、基板下部中央に抵抗線ひずみゲージを貼り、フライス盤にてモデル上部を0.1~0.2mm除去し、基板下部に発生するひずみを測定した。そして、力およびモーメントのつり合いから残留応力分布を算出した。

造形モデル内残留応力の積層方向分布を図4に示す。造形後の残留応力はモデル表面（最終造形面）に引張り応力が存在し、最大値を示した。また、基板との接合面付近にも引張り応力が存在し、モデル内部では小さい値となることが明らかになった。残留応力分布はレーザー走査速度やモデルサイズにより差異は生じないが、レーザー走査距離が短い場合、モデル表面の引張り応力が減少することがわかった。さらに残留応力の低減方法として熱処理、造形した面のレーザー再照射、基板温度の上昇の3つについて検討した結果、図5に示す700℃、1時間の熱処理、各造形面へのレーザー再照射、基板温度160℃での造形など、それぞれの方法において応力低減に効果あることを見いだした。特に、熱処理を行うことにより表面に存在する残留応力の最大値は約70%低減できた。

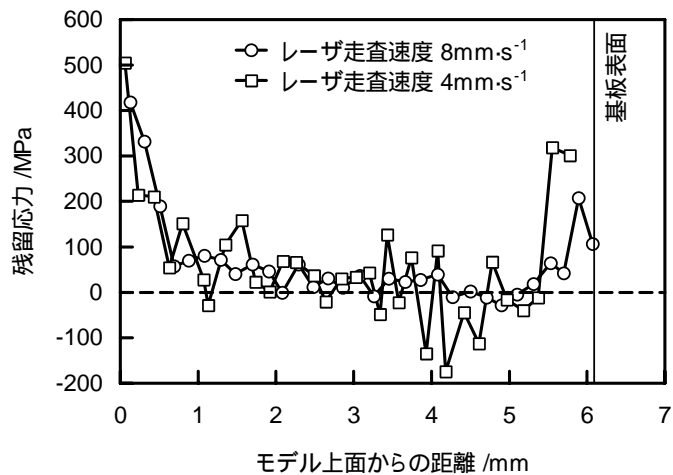


図4 レーザ走査方向残留応力の積層方向分布

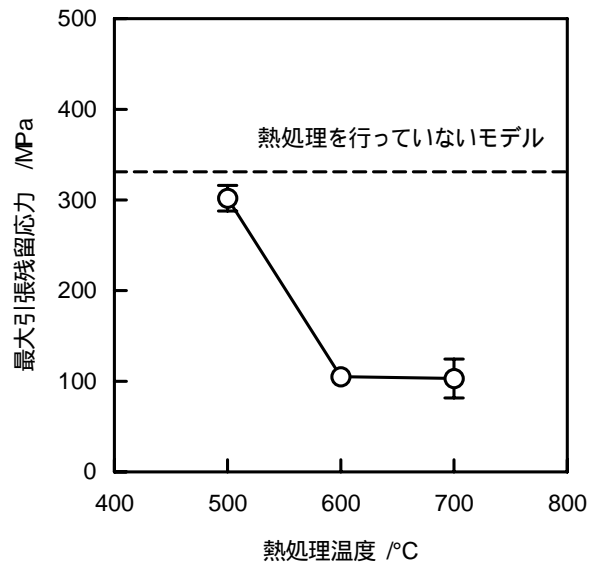


図 5 最大引張残留応力に及ぼす熱処理温度の影響

## 6 . 特許取得内容

特許取得無し。

## 7 . フェーズ 以降の計画

本造形方法は単品あるいは少量生産に適した製造方法であるため、医療分野の生体機能部品の製造に適用する。生体適合性に優れる純チタン粉末を用いて三次元モデルの作製を行い、密度、機械的強度の評価を行い、生体部品として使用可能な三次元製品の造形を目指す。