

# 高融点・難加工材料を用いた金属積層造形技術の開発

材料技術課 山本 貴文、石黒 智明 ものづくり研究開発センター 氷見 清和

## 1. 緒言

金属積層造形法は、ファイバーレーザ等の熱源により薄くひかれた金属粉末の層を選択的に溶融・凝固させ、これを積み重ねて金属製品のニアネットシェイプを得るプロセスであり、近年は付加製造法(Additive Manufacturing, AM)とも呼ばれている。このプロセスのメリットの一つに、鋳造や除去加工が困難な材料であっても、材料粉末さえあれば迅速かつモールドレスで任意の形状が得られることが挙げられる。一般に、高融点・難加工材料の成形は、出発原料を材料粉末とする粉末冶金プロセスにより行われるが、形状の制約が大きく、迅速に自由な形状を得るのは容易ではない。そこで、本研究では、高融点・難加工材料であるタングステン粉末を用いた造形技術の開発を目指し、基礎的なデータの蓄積を目的として、レーザ照射条件をはじめとする造形条件と得られた造形体の相対密度の関係を明らかにした。

## 2. 実験方法

造形には、ドイツ EOS 社製 EOSINT-M280 を用いた。使用するレーザは、最大出力 400W の Yb-ファイバーレーザであり、スポット径は約 0.1mm、波長は 1070nm である。供試粉末であるタングステン粉末は、タングステン酸化物の水素還元により精製された多角形状粒子(Fig. 1)であり、平均粒径 28.1 $\mu$ m である。造形体の大きさは、直径 10mm $\times$ 高さ 5mm の円柱形状とし、レーザ照射条件(出力、走査速度、走査ピッチ、積層厚)を Table 1 に示す範囲で変化させ、アルゴン雰囲気中(酸素濃度:0.1%以下)で作製した。なお、レーザのスキャン方向は一層ごとに約 67 $^\circ$ ずつ回転させて造形を行った。造形体の密度測定は、造形体の直径と高さの測定と重量測定を行い、純タングステンの真密度(19.25g/cm $^3$ )に対する相対密度を算出した。造形体の観察には走査型電子顕微鏡(日立社製、S-3400N)を用いた。また、金属組織観察は造形方向に対して鉛直断面を鏡面に研磨し、村上試薬を用いて腐食させ、光学顕微鏡を用いて観察した。

Table 1 Laser processing conditions

Laser power, P (W)	100-350
Scan speed, v (mm/s)	250-1000
Scan spacing, s (mm)	0.08-0.12
Layer thickness, t(mm)	0.04

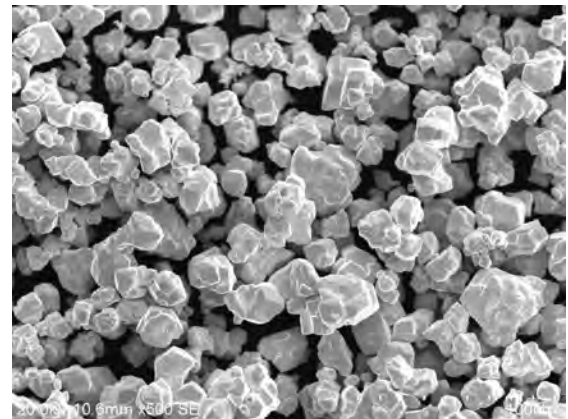


Fig.1 タングステン材料粉末

## 3. 実験結果及び考察

造形体の相対密度とレーザ出力及び走査速度の関係を調査するために、走査ピッチ 0.08mm のもとで造形実験を行った結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 より、いずれのレーザ出力においても走査速度の減少により相対密度が増加する傾向が確認された。また、いずれの走査速度でもレーザ出力が増加することで相対密度は増加する傾向が確認され、照射するレーザの入熱量に従って造形体が高密度化する傾向を示した。Fig. 2 において最も高密度な造形体(相対密度 83.2%)は、レーザ出力 350W、走査速度 250mm/s の条件下で得られていることが分かる。

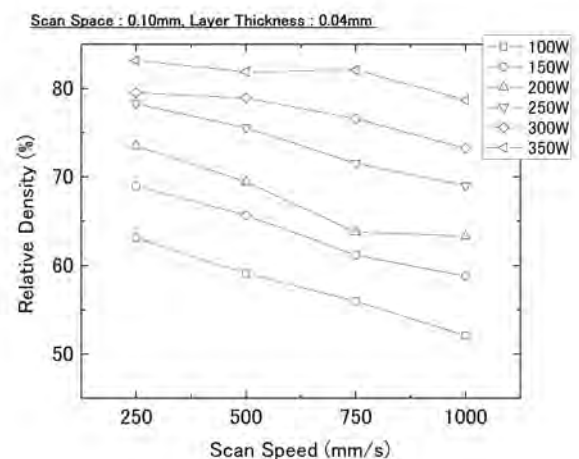


Fig. 2 造形体の相対密度とレーザ出力/走査速度の関係

次に、走査ピッチの影響について検討するために、造形体の高密度化が期待できる条件として走査速度を 250mm/s に設定して走査ピッチを変化させて、同様の実験を行った。Fig. 3 に実験結果を示す。低出力側(100-200W)においては、走査ピッチの減少に伴い緩やかに密

度が向上する傾向を示したが、高出力側(250-350W)においては反対の傾向を示した。これは、粉末層に投入されるレーザーエネルギーが、レーザー照射の際に発生するヒュームに阻害されることで減少していると考えられ、単位体積あたりのレーザーエネルギー密度が高くなるにつれてヒュームの影響が顕著に現れるためと考えられる。

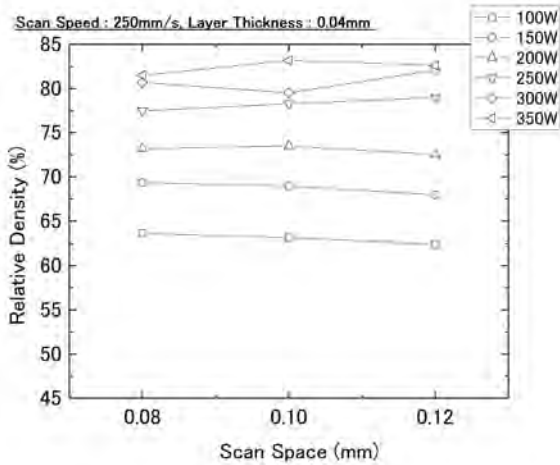


Fig. 3 造形物の相対密度と走査ピッチの関係

次に、材料粉末の単位体積あたりに投入されるエネルギー量、すなわちエネルギー密度  $E_d$  を式(1)のように定義して、データ整理した結果を Fig. 4 に示す。

$$E_d = P / (v \cdot s \cdot t) \quad \text{式(1)}$$

$P$  はレーザー出力(W)、 $v$  は走査速度(mm/s)、 $s$  は走査ピッチ(mm)、 $t$  は積層厚さ(mm)を示している。Fig. 4 よりエネルギー密度の上昇に伴い相対密度は大きくなる傾向が認められ、エネルギー密度を適切に制御することで相対密度が低密度側で 48.5%、高密度側で 83.2%の造形体が得られることが明らかとなった。また、高密度側においてはエネルギー密度を上昇させても、相対密度 83.2%以上の高密度化は出来なかった。これは、前述のとおり、レーザー照

射時に発生するヒュームが影響していると考えられる。

Fig. 5 に低エネルギー密度(33.3J/mm<sup>3</sup>)の造形条件(a)、高エネルギー密度(350J/mm<sup>3</sup>)の造形条件(b)で作製した造形体の断面観察の結果を示す。(a)においては、丸みをおびた粉末が隣接する粉末と一部結合している様子が認められ、焼結状態であることが分かる。一方、(b)では部分的に溶融不足による空隙が発生しており、金属組織は積層方向に向かって伸長している様子が認められる。これは、レーザー照射に伴い、下部の凝固済みの複数層まで再溶融され、凝固層上部から下部に向けた熱流が形成されることにより生じたものであると考えられる。

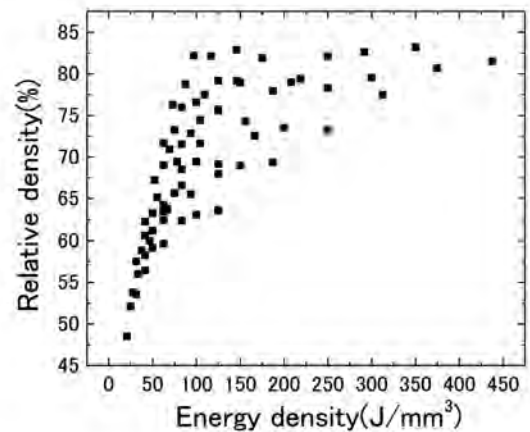


Fig. 4 造形物の相対密度とエネルギー密度の関係

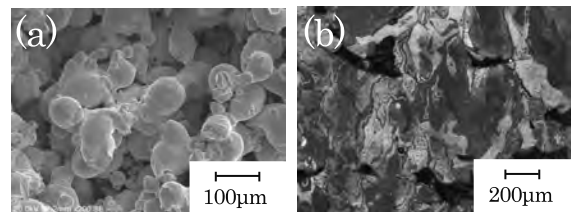


Fig. 5 (a)低密度造形体(相対密度 56.0%)の SEM 像 (b)高密度造形体(相対密度 83.2%)の金属組織写真

キーワード : Additive Manufacturing、Selective Laser Melting、難加工材料、純タングステン

## Development of Selective Laser Melting using High Melting Point / Processing Resistant Powder Materials

Takafumi YAMAMOTO, Kiyokazu HIMI, Tomoaki ISHIKURO

For the purpose of development of additive Manufacturing for high melting point and processing resistant powder materials, the relationship between laser irradiation conditions and relative density of pure tungsten specimens fabricated by Selective Laser Melting/Sintering was investigated. As a result, it was confirmed that relative density of SLM specimens depends on processing parameters, and SLM specimens with 48.5% to 83.2% relative density were obtained.