

青色半導体レーザを用いた3Dプリンタ技術のシミュレーション

日本の技術で世界初の技術の確立を目指す

Numerical Simulation of Laser Metal Deposition using Blue Direct Diode Laser

東京工科大学 工学部機械工学科 大久保研究室

越地 駿人¹⁾

指導教員 大久保 友雅¹⁾, 研究協力者 松永 栄一¹⁾, 佐藤 雄二²⁾, 塚本 雅裕²⁾

1) 東京工科大学 工学部 機械工学科 大久保研究室

2) 大阪大学 接合科学研究所 レーザープロセス学分野

近年, 金属による3Dプリンタが産業界から求められている。中でも産業的に幅広い応用が見込まれる銅を用いた3Dプリンタは開発途上である。金属による3Dプリンタは、金属の材料粉末をレーザにより溶融、堆積させることで造形を行う。従来用いられていた近赤外レーザでは銅を効率よく溶融できなかったが、近年高出力化がなされた青色半導体レーザを用いることで銅を効率よく溶融できるようになった。そこで本研究では、銅を材料粉末とし、青色半導体レーザで溶融させた場合の、Laser Metal Deposition (LMD) 法による銅の積層造形の数値計算を行う。

キーワード：青色半導体レーザ、銅、3Dプリンタ、Laser metal deposition、数値計算

1. はじめに

近年、物質を付加することによって様々な形状を実現する Additive Manufacturing (AM) 技術が注目されている。AM 技術は一般に、3Dプリンタと呼ばれ親しまれており、これまでの除去加工や鋳造加工等では困難であった形状の加工を容易にする等、様々な応用が期待されている。一般に普及し始めた3Dプリンタは樹脂によるものであるが、産業界からは特に金属による3Dプリンタが求められている。金属による3Dプリンタ技術として、金属粉末をレーザによって溶融させる Selective Laser Melting (SLM) 法と、Laser Metal Deposition (LMD) 法の二つが主に挙げられる。特に、近年は LMD 法の研究が活発である。

また、銅は金属の中でも特に熱伝導率や電気伝導率が高く、産業的に幅広い応用が既になされている材料である。そのため、銅を材料とした3Dプリンタの開発が望まれている。しかし、従来 LMD 法で用いられている近赤外のレーザに対し、銅は

反射率が90%程度と高く、溶融させることが困難であった。しかし、近年高出力化がなされた、波長が445nmと短い青色半導体レーザを用いることで、レーザのエネルギーの60%以上を銅に吸収させ、容易に溶融させることが可能になった。この青色半導体レーザは、2014年に日本人3名がノーベル賞を受賞した青色発光ダイオードを更に発展させた日本発の技術といえる。

しかし、レーザをワークや銅の粉末に照射した際に、どのようにエネルギーが吸収され、どのような温度分布になっているのか等、不明な点が多い。そのため、銅を材料とした3Dプリンタの加工条件の最適化等を考える上では、内部でどのような現象が起こっているのかを把握する必要がある。そこで、本研究では、青色半導体レーザを用いた LMD 法による加工中における、銅および基板の熱的現象について数値計算を行い、外部から計測が困難な現象の解明を目指す。

2. Laser Metal Deposition 法と計算モデル

本研究で着目した LMD 法の概念図を図 1 に示す。この手法では、6 方向から照射したレーザにより、上方から噴射して供給される材料粉末を溶融させ、基板や造形物の上に堆積させる（簡単のため図 1 ではレーザは 2 方向になっている）。これを縦方向に繰り返すことにより、3 次元での造形が可能となる。[1]

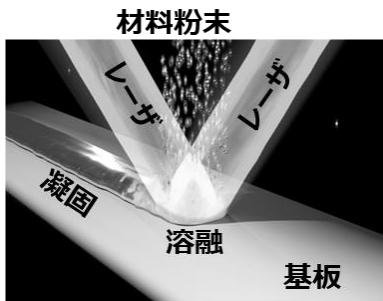


図 1 LMD 法の概念図

この方法で考慮すべき熱エネルギーの移動は、以下の 3 つに分けられる。

1. レーザ照射中に材料粉末が加熱され、溶融する
2. 加熱された基板や既に堆積した材料がレーザによって熱せられる
3. 热伝導により熱の移動が起こる

そのため、数値計算を行うために、以下のモデル化を行った。

1. 融点に達した銅が逐次供給される
2. 材料表面に入るレーザのパワーは熱流束として考える
3. 热伝導方程式を支配方程式とする

以上のモデルにより、LMD 法での加工中における表面や内部の温度分布について、数値的な計算を行った。

計算では、0.5mm 厚の SUS304 の基板に、銅を供給し、92W の青色レーザをスポット径 300 μm で照射し、5 mm/s で掃引した系[2]について計算を行った。

3. シミュレーションと実験の比較

LMD 法による加工時の様子を図 2 に示す。銅の粉末が供給され、レーザが照射されている部分が赤熱し、高温になっていることが分かる。



図 2 LMD 法での加工時の様子

この現象をシミュレートし、加工開始から 0.8 秒後の計算結果を図 3 に示す。実験結果を示した図 2 では、赤熱している部分があることしか分からぬが、数値計算を用いることで、どの場所の温度が何度であるのかを正確に把握することが出来る。特に、高温部は銅の融点である 1085°C よりも高温になっていることが分かった。

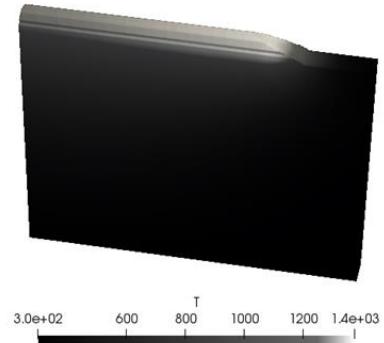


図 3 数値計算結果 ($t = 0.8\text{s}$)

4. まとめと今後の予定

銅を材料粉末とし、青色半導体レーザを用いた場合の LMD 法による加工時の現象を、数値計算により定性的に再現することに成功した。また、レーザを照射された銅が融点を超える温度になっていることが分かった。

今後は、レーザの入力パラメータと最高到達温度の関係を見出し、過剰なエネルギー供給による気泡の発生や、基板の不必要的溶け込みを減らすための最適化について検討を行う。

参考文献

- [1] K. Asano, Opt. Laser Technol., 107 (2018)
- [2] R. Higashino, Proc. SPIE Laser 3D Manufacturing V (2018)