

## 指向性エネルギー堆積法におけるレーザノズル周りの不活性雰囲気評価

慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科 小池研究室 所属 ○竹村佳祐, ◎小池綾

### 要旨

金属積層造形法の一方式である指向性エネルギー堆積法(DED)では、材料の熔融・凝固プロセスの中で取り込まれてしまう窒素・酸素などが造形物内部欠陥の原因となる。本研究では、DEDにおける不活性雰囲気向上を目的とし、流体解析および酸素濃度測定により加工点近傍への不活性ガス供給状態を評価した。解析および実験結果をもとに、酸化が生じにくい積層経路を考案するとともに、不活性ガス供給補助ノズルの設計を行った。

### 1. 緒論

金属粉末熔融積層造形法の1つである指向性エネルギー堆積法(DED)は、図1に示すように、レーザを照射すると同時に、キャリアガスによって金属粉末をメルトプールへ向けて噴射し、熔融・凝固させて積層造形を行う。DEDは複雑形状部品の一体造形が可能であり、部品点数の削減や軽量化を目的として航空・ロボット分野などで適用が期待されている。一方で、DEDによる造形物の内部に生じる欠陥が造形物強度へ悪影響を与えることが知られており、プロセス中に窒素や酸素を造形物内に取り込ませない工夫が求められている。そこで本研究では、加工点周りの不活性雰囲気向上を目的とし、流体解析および酸素濃度測定により不活性ガス供給状態を評価した。また、不活性雰囲気向上のための積層経路の考案、および不活性ガス供給補助ノズルの設計を行った。

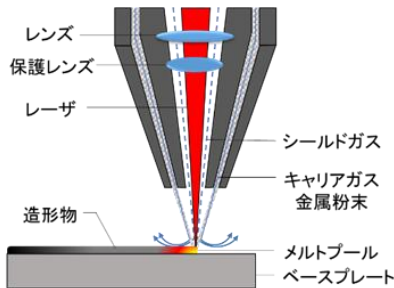


図1 指向性エネルギー堆積法

### 2. 不活性雰囲気の評価

流体解析および酸素濃度測定を行い、加工点近傍へのガス供給状態を評価した。酸素濃度測定に使用した実験装置および測定点を図2に示す。

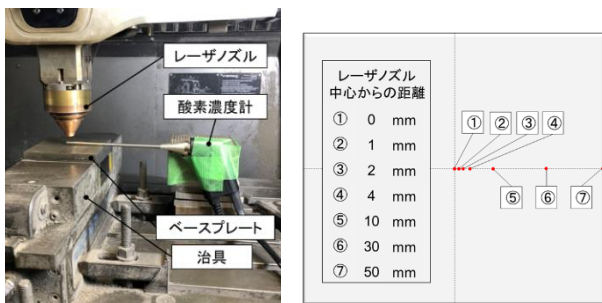
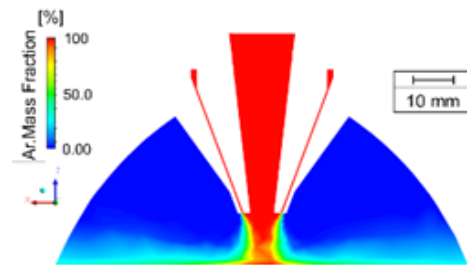


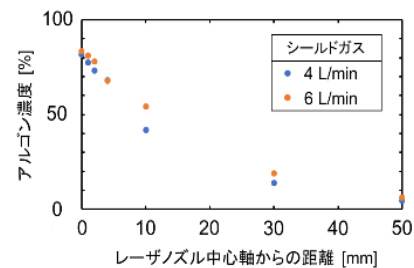
図2 酸素濃度測定装置および測定点

加工点周りのアルゴン濃度分布の流体解析結果および測定結果を図3に示す。解析および実験結果から、シールドガス流量を増加させると全体的にアルゴン濃度は高まるが、高いアルゴン濃度を保つことができるのは加工点中心のみで、中心から10mm離れ

るだけでアルゴン濃度は50%ほどまで低下することがわかった。また、キャリアガス流量を増加させると、噴射時の流速が速まり、アルゴンが広範囲に分散するため、むしろ全体的にアルゴン濃度が低下することがわかった。



(a) 解析結果



(b) 測定結果

図3 ベースプレート面におけるアルゴン濃度

### 3. 酸化防止のための積層経路の提案

解析と実験より、シールドガスの増加は不活性雰囲気を高めるが、アルゴン濃度を高く維持できるのは加工点中心のみであることが明らかとなった。そこで本研究では、ガス流量を変えず、積層経路の変更により、造形物において造形後に高温となっている領域(図4)もアルゴン濃度を高く保つための積層経路を提案し、酸化防止を目指した。ノズル直下のアルゴン濃度の高い範囲内で造形が完了するように図5のように、四角形を断続的に造形する経路を提案した。

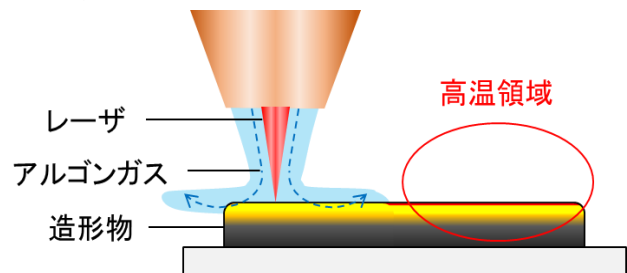


図4 造形後の高温領域

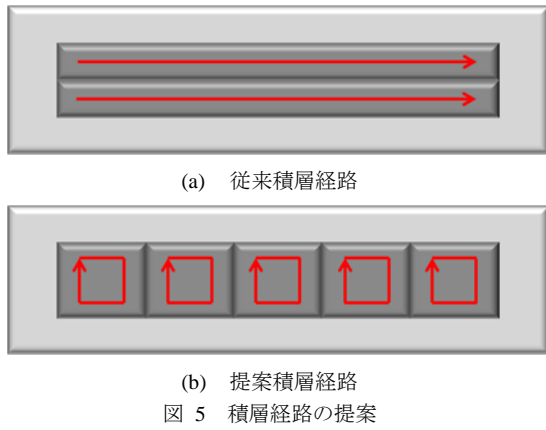


図 6 各積層経路における造形物

しかし、造形物表面に見られる酸化した様子(図 6)などから、提案した積層経路では酸化を防止できなかったことがわかる。原因として、図 5(b)の経路では図 7 に示した赤色の範囲ではレーザーが 2 回通るため、ノズル下の不活性領域から外れた後も、造形物の高温状態が保たれたためと考えられる。

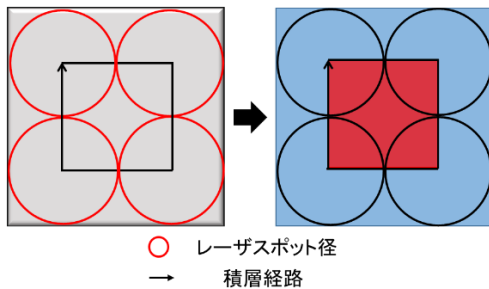


図 7 レーザスポット径と積層経路の関係

#### 4. 不活性ガス供給補助ノズルの設計

経路変更のみで造形物の酸化を防止することは難しかったため、ガス流量を増加する方針を考察した。加工点周りの不活性雰囲気向上にはシールドガス増加だけでは不十分であるため、不活性ガスを加工点に噴射できる補助ノズルを設計し、評価した。

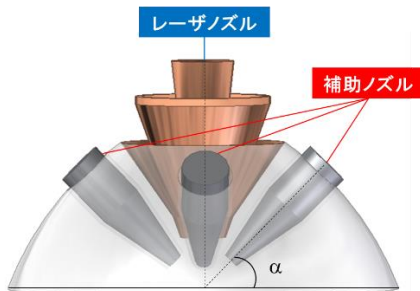


図 8 不活性ガス供給補助ノズル

補助ノズルは、図 8 に示したように 4 つのノズルから構成しており、これらのノズルのガス流量・設置角度がガス供給状況に与

える影響を解析的に評価した。

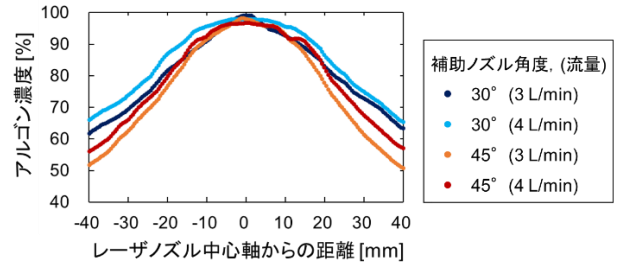


図 9 アルゴン濃度(ノズル角度, ガス流量比較)

図 9 より補助ノズルの中心軸角度を 30° にすること、またガス流量を増加させることで、アルゴン濃度を向上させることができた。この結果に加えて、レーザノズル周りの流速分布を比較した。

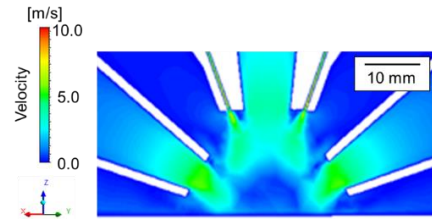


図 10 流速分布(ノズル角度 30° , ガス流量 4 L/min)

図 10 に示したように加工点付近の流速が遅いほどアルゴン濃度が向上することが解析から明らかとなった。また、図 11 のように補助ノズル有無でアルゴン濃度の解析結果を比較すると、補助ノズルを用いることでどの地点でもアルゴン濃度を高めることができ、加工点付近にアルゴンガスを滞留させることが可能であった。

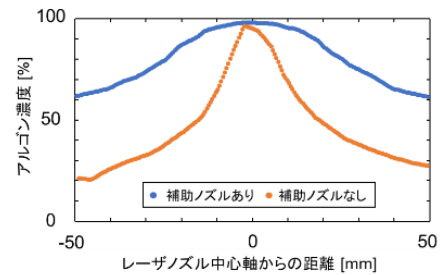


図 11 アルゴン濃度分布(補助ノズルあり・なし)

#### 5. 結論

シールドガス流量の増加によりアルゴン濃度が全体的に向上した一方、アルゴン濃度を高く維持できるのは加工点中心のみであった。そこでガス流量を変えずに造形中に加え、積熱している造形後もアルゴン濃度を高く保つための積層経路を提案したが酸化防止効果は見られなかった。また、設計した不活性ガス供給補助ノズルを解析的に評価した結果、加工点付近の不活性雰囲気を向上できる可能性を示した。

#### 6. 参考文献

[1] 村上周三: 乱流解析, 東京大学出版会, (1995), pp.21-30

[2] 浅野康一: 物質移動の基礎と応用, 丸善株式会社, (2004), pp.30-34, 155-158

[3] 杉山均, 佐野正利, 永橋優純, 加藤直人: はじめて学ぶ移動現象論, 森北出版株式会社, (2014), pp.187-206