

補助事業番号 2017M-106

補助事業名 平成29年度金属粉末積層造形金型の変形抑止を実現する高精度製造技術の研究補助事業

補助事業者名 金沢大学理工研究域機械工学系 生産加工システム研究室 教授 古本達明

## 1 研究の概要

金属積層造形に用いられるマルエージング鋼および工具鋼粉末について、レーザ照射による粉末の溶融・凝固に対して直接的な影響因子である熱伝導率やレーザ光吸収率を測定し、粉末形状、粒度分布、造形雰囲気が各物性値に及ぼす影響を調べた。また、プレート上に一定厚さの粉末を薄く堆積し、選択的にレーザ照射して層状の結合物を積み上げながら立体形状を得る粉末床溶融結合法を対象とし、粉末表面へレーザ照射したときの様子を高速度ビデオカメラで観察した。そして、条件を種々変更させながら造形を行い、ライン状に造形したときのレーザ径と造形幅の関係、造形物の周囲に形成される粉末凝集幅の評価、造形時に溶融池周辺から形成されるスパッタおよびヒュームの評価、造形用プレートの温度が造形に及ぼす影響、ライン造形と複数造形の溶融・凝固形態の違いなどを詳細に調べた。さらに、得られた造形物の組織を観察し、熱処理の有無による組織の変化を電子顕微鏡および光学顕微鏡で評価した。これらの結果とこれまでに得られている実験データを整理・分析することにより、造形物の変形に対して主体的に寄与する造形パラメータを考察した。

## 2 研究の目的と背景

金属粉末を用いた積層造形法は、複雑形状やポーラス形状が直接造形できる特長を活かし、航空宇宙や医療など種々の分野で適用が検討されている。しかしながら、レーザなどの熱源を利用したプロセスであるため、造形物内部は熱応力に起因した残留応力が生じ、造形後に寸法変化や反りが生じる課題がある。そのため、造形後に後加工を行って形状を補正する必要があり、積層造形法の特長が最大限に活かされていない。これらを解決するには、造形後の変形に対して主体的に寄与する造形条件を特定し、各要因に応じた原因療法的な対策が必要である。本事業では、積層造形に用いられる金属粉末の各種物性値を評価するとともに、粉末が溶融・凝固している様子を高速度ビデオカメラで観察し、各種条件が溶融・凝固形態に及ぼす影響を調べ、高精度に金属粉末積層造形金型を製造する技術を確立することを目的とする。

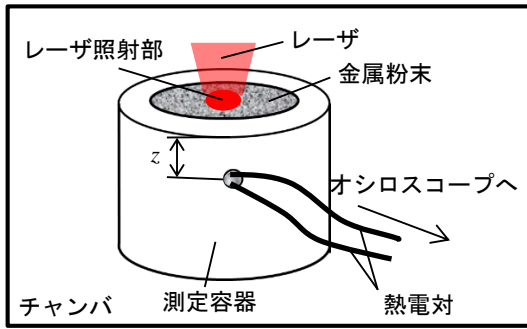
## 3 研究内容

金属粉末積層造形金型の変形抑止を実現する高精度製造技術の研究

URL: [http://manufac.w3.kanazawa-u.ac.jp/images/JKA\\_2017\\_seika.pdf](http://manufac.w3.kanazawa-u.ac.jp/images/JKA_2017_seika.pdf)

### (1) 金属粉末の熱伝導率測定

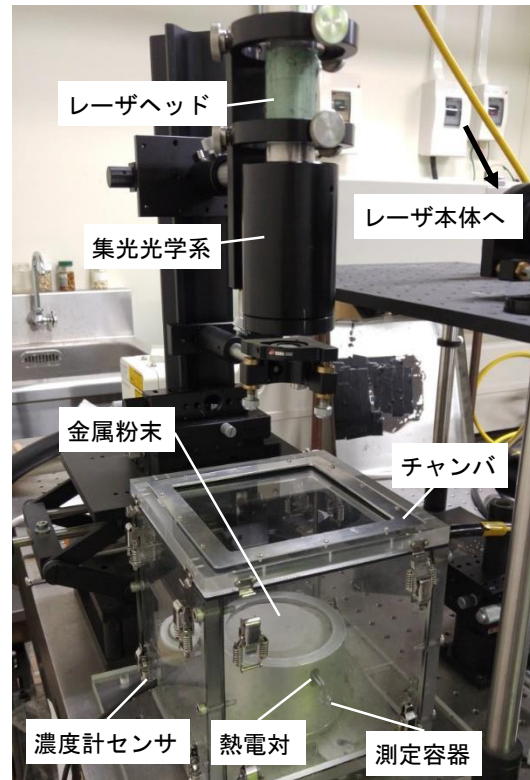
粒度分布が異なる金属粉末の熱伝導率とレーザ吸収率を測定し、金属積層造形に適した粉末の粒度分布を検討するとともに、照射雰囲気が金属粉末の熱物性に与える影響を調べた。



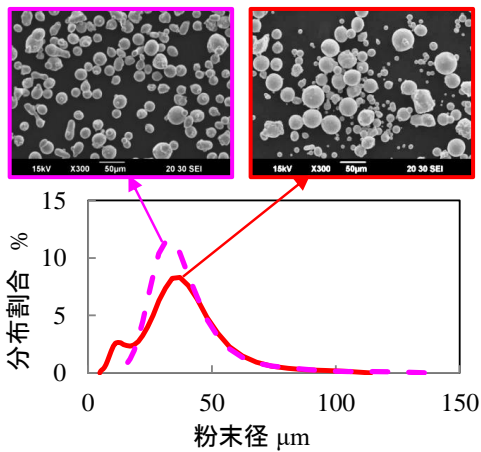
熱伝導率およびレーザー光吸収率測定原理



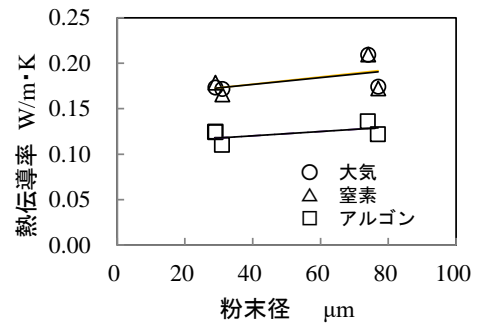
導入した CW ファイバレーザー



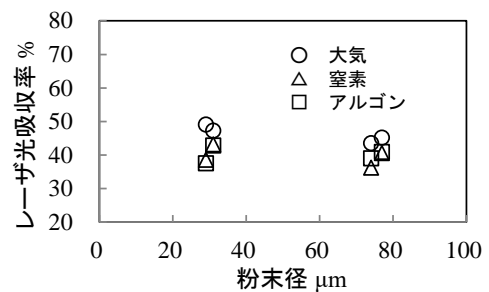
熱伝導率およびレーザー光吸収率測定原理



粉末の粒度分布と SEM 画像



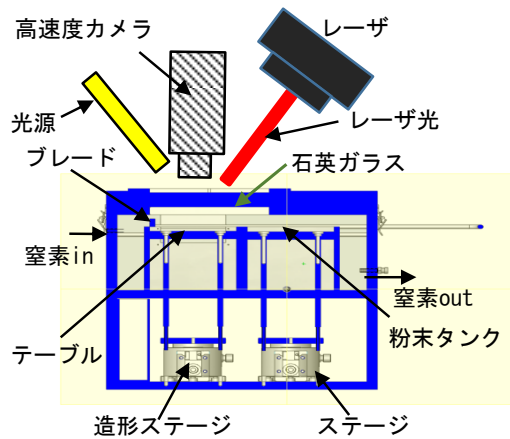
雰囲気による熱伝導率の変化



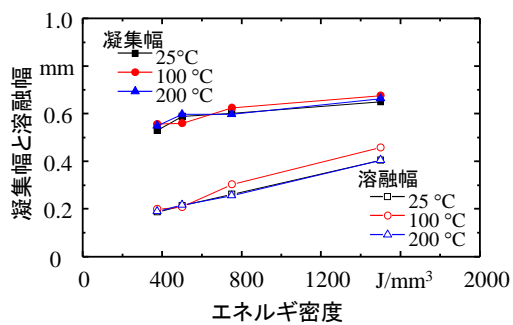
雰囲気によるレーザー光吸収率の変化

## (2) 高速度カメラによるレーザー照射部の可視化

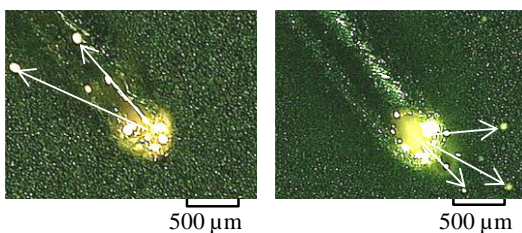
高速度カメラを用いて、条件を種々変更させながらライン状に造形したときのレーザー径と造形幅の関係、造形物の周囲に形成される粉末凝集幅の評価、造形時に溶融池周辺から形成されるスパッタおよびヒュームの評価、造形用プレートの温度が造形に及ぼす影響、ライン造形と複数造形の溶融・凝固形態の違いなどを調べた。



レーザー照射部可視化装置概要

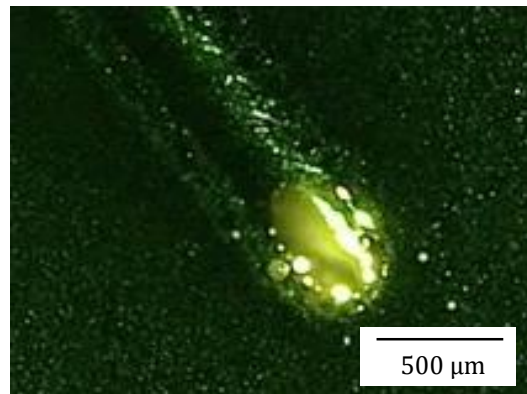


エネルギー密度による溶融幅・凝固幅の変化

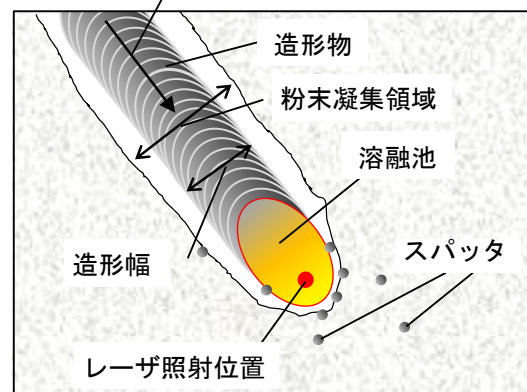


スパッタ飛散方向の観察

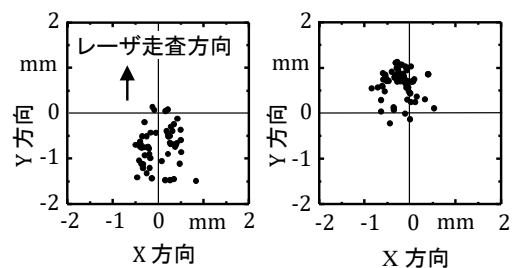
(左 走査速度：速, 右 走査速度：遅)



レーザー走査方向



レーザー照射部の観察結果



走査速度によるスパッタ飛散方向の変化

(左 走査速度：速, 右 走査速度：遅)

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

金属粉末を用いた積層造形法は、粉末床溶融結合法(Powder Bed Fusion: PBF)と指向性エネルギー堆積法(Directed Energy Deposition: DED)の2つに分類される。PBF法ではプレート上に一定厚さの粉末を薄く堆積し、DED法では造形部位へ連続的に金属粉末を供給し、レーザなどの熱源を用いて選択的に粉末を溶融・凝固しながら所望の形状が造形される。積層造形に提供される金属粉末は、ガスアトマイズ法で得られた球状粉末が一般的であるが、製造工程の多様さに起因して増大する供給コストが積層造形技術の普及を足踏みさせている要因となっている。また、粉末材料、粒径、粒度分布などの粉末構成パラメータが多く、これらが造形プロセスの最適化を困難にする要因となっている。

本事業では、レーザ照射時に粉末が溶融・凝固するための主体的パラメータである熱伝導率とレーザ光吸収率を測定し、これらが造形に及ぼす影響を調べている。得られた成果を用いることで、各粉末が有する物性値を定量的に評価し、供給メーカーや構成割合が異なっても同一の造形特性を得ることを可能とする。また、提供する粉末の低コスト化に向けた指針も示しており、積層造形に関連する粉末業界に対する効果は大きい。

高速度カメラを用いたレーザ照射部の観察では、照射レーザのビーム径と形成される凝固物との関係を明確にし、粉末が溶融・凝固するメカニズム、スパッタやヒュームが形成されるメカニズム、各種造形パラメータが造形特性に及ぼす影響などを明らかとしている。また、造形精度に対して主体的に寄与するパラメータを特定し、各種造形法でより高精度な造形を可能とする指針を示している。現状では、同一メーカーから提供された装置で造形を行っても、ロットによって造形物の特性が異なる事が業界全体の課題である。本事業で得られた成果を用いることで、これらの問題がクリアとなり、より高精度な造形に向けた改良を行うことを可能とする。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者はこれまで、工設試や大学での研究において一貫してレーザ加工に関する研究に携わってきた。そのなかで、金属粉末を用いた積層造形技術を各種金型へ適用するための研究を主体的に行ってきた。しかしながら、金属積層造形では使用される粉末、レーザ条件、加工雰囲気など検討する項目が多く、トライ&エラーを繰り返すことで最適条件を決定する対処療法的作業が主流であった。そこで、積層造形の最小単位である金属粉末が溶融・凝固する様子を詳細に検討する原因療法的手法が必要であるという着想に至った。

本事業では、積層造形に用いられる金属粉末の各種物性値を評価するとともに、粉末が溶融・凝固している様子を高速度ビデオカメラで観察し、各種条件が溶融・凝固形態に及ぼす影響を調べ、高精度に金属粉末積層造形金型を製造する技術を確立することを目的とした。粉末物性やレーザ照射部の溶融・凝固に焦点を絞った検討を行ったが、得られた成果は粉末種類や熱源として用いられるレーザが変わっても適用できるため汎用的な応用が可能となる。今後は造形物の機械的特性や物性なども考慮した継続的な研究が必要である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

該当無し

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

本事業で得られた成果は、広範に公開することを主旨としており、研究室のホームページにより公開した。

URL: [http://manufac.w3.kanazawa-u.ac.jp/images/JKA\\_2017\\_seika.pdf](http://manufac.w3.kanazawa-u.ac.jp/images/JKA_2017_seika.pdf)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 金沢大学 理工研究域 機械工学系

(カナザワダイガク リコウケンキュウイキ キカイコウガクケイ)

住 所： 〒920-1192

石川県金沢市角間町

担 当 者： 教授 古本 達明 (フルモト タツアキ)

担 当 部 署： 理工研究域 機械工学系 (リコウケンキュウイキ キカイコウガクケイ)

E - m a i l: [furumoto@se.kanazawa-u.ac.jp](mailto:furumoto@se.kanazawa-u.ac.jp)

U R L: <http://manufac.w3.kanazawa-u.ac.jp/>

以 上