

「積層造形部品開発の効率化のための 基盤技術開発事業」(中間評価) (2019~2023年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

分科会資料抜粋版

NEDO IoT推進部
2021年9月30日

1. 事業の位置付け・必要性
(1) 事業の目的の妥当性

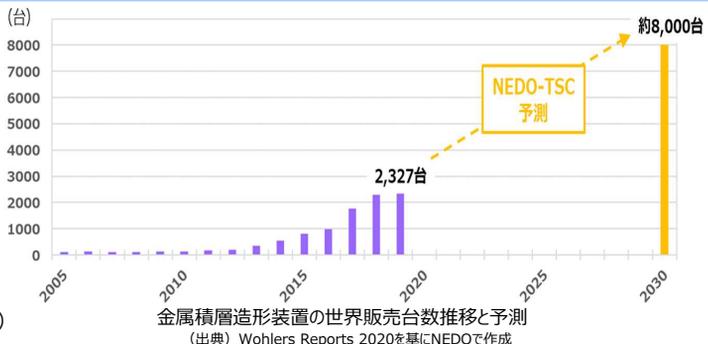
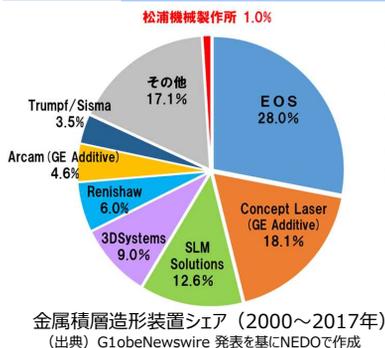
◆ 事業実施の背景と事業の目的

背景

- ものづくりの付加価値を上げていくためには、複雑形状等が実現できる積層造形技術を積極的に活用することが有効である。
- 世界市場が積層造形技術の活用が進む中、我が国も早期に積層造形技術を活用した金属部品等の開発を促進することが重要となる。
- 一方、金属の積層造形技術では、現象解明さえ十分には進んでおらず、品質の再現性確保や新規開発に係るコストと時間が課題となっている。

目的

- 積層造形における金属の溶融凝固現象を解明するとともに、高度な計測・機械制御技術を開発し、金属積層造形部品等における開発の効率化及び高品質の確保を目指す。



■ 科学技術イノベーション総合戦略2017

生産プロセスにおいては、多様化したユーザーニーズに迅速かつ柔軟に対応して、高性能、高品質な製品を提供するために、A Iを搭載し知能化された機械やロボット、複雑形状を高速かつ高精度で造形する**3 Dプリンタ**など新たな付加価値を持ったもの・コトを創出する革新的な生産技術の開発とその導入支援に取り組む。

■ 未来投資会議2018

データ連携やIoT、**3Dプリンター**等を活用して、顧客の多様なニーズに対応する多品種少量生産等が可能となり、高い現場力を有し、小回りの利く中小企業ならではの新たな市場獲得のチャンスが生まれる。

America Makes

(出典：America Makesウェブサイト)

■ Open Project Call 2020（7月公募）：約0.9億円

- ・機械学習とAIのアプローチを活用したAM造形品の品質予測
- ・金属積層造形のための物理ベースモデリングとin-situプロセスモニタリング技術の交差検証

■ Open Project Call 2021（6月公募）：約1.8億円

- ・AMプロセスのリアルタイム欠陥低減のための戦略
- ・AMプロセスの生産性向上の機会の評価

Horizon2020 (EU)

(出典：Horizon2020ウェブサイト)

■ PAM²：約5億円

- ・高精度の金属積層造形品の開発
- ・より競争力のある製品設計とより高い精度の部品開発を可能にする高度な設計、モデリング、プロセス及び計測方法を開発。

■ MANUELA：約16.2億円

- ・金属積層造形用にオープンアクセスのパイロットラインを提供するサービス（PBFレーザー/電子ビーム使用）
- ・MANUELAのパイロットラインを利用したのBusiness Development10案件のOpen Callを実施する。

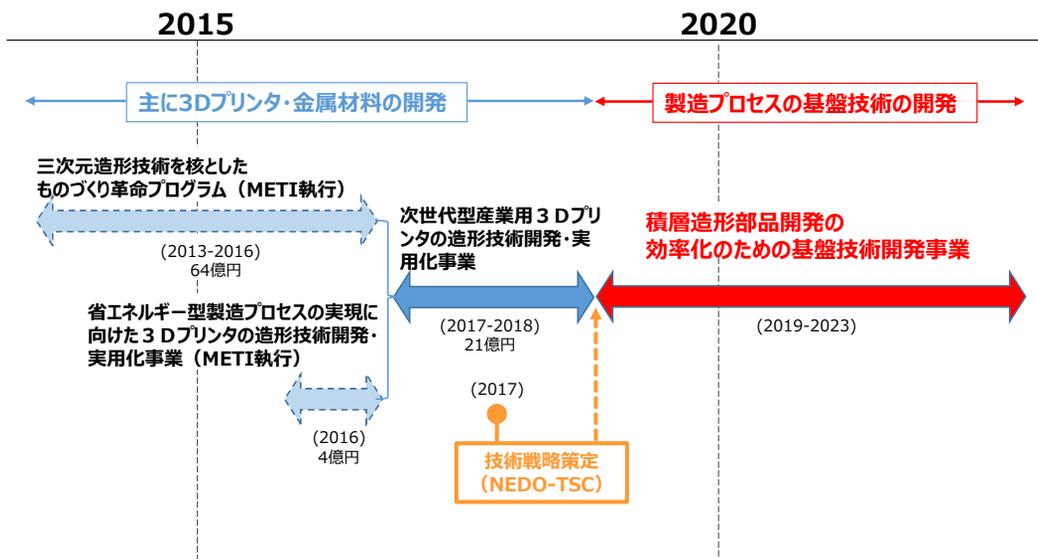
中国製造2025

(出典：「中国製造2025」の公布に関する国务院の通知の全訳)

- ・3Dプリンタをインテリジェント製造設備として研究開発を展開。
- ・3Dプリンタ技術・設備の生産プロセスにおける応用を加速、製造工程のシミュレーション・最適化、デジタル制御、**製造状況のリアルタイムモニタリング**、適応制御を促進。

◆ 他事業との関係

- NEDOでは、2017年度から金属の積層造形技術関連プロジェクトを推進。
- 現在では、過去のプロジェクトの成果（METI執行も含む）や技術戦略の策定を踏まえ、製造プロセスの基盤技術の開発を実施。



◆ 事業の概要

研究開発項目①：溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発

造形プロセス中の溶融凝固現象を観察し、欠陥生成のメカニズムを解明し、欠陥予測システムを開発する。

研究開発項目②：高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発

積層造形プロセス中における造形前の粉末敷き詰め状態、造形後の表面を高分解能で三次元計測する機能及びメルトプールの温度分布を計測する機能を開発する。また、①の欠陥予測システムと連動した高度モニタリング及びフィードバック制御機能を開発する。

研究開発項目③：積層造形部品製作のための開発・評価方法の開発

レーザービーム式及び電子ビーム式の積層造形機により、造形サンプルの試作及び評価を行い、最適な造形条件、組織分析、材料特性を研究する。また、積層造形技術を活用した金属部品開発などを効率的に行うための開発・評価手法を開発する。



◆研究開発目標と根拠 (1/3)

■ 研究開発項目①：溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発（共通）

中間目標	最終目標	根拠
<ul style="list-style-type: none"> 欠陥発生予測システムの予測精度80%以上 	<ul style="list-style-type: none"> 欠陥発生予測システムの予測精度95%以上 	<ul style="list-style-type: none"> 欠陥率0%の実現には、欠陥予測システムの予測精度が高い必要があるため、最終目標を95%以上とした。 また、中間評価の段階では、評価データ取得が不十分であるため、予測精度80%以上とした。

■ 研究開発項目②：高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発（レーザービーム方式）

中間目標	最終目標	根拠
<ul style="list-style-type: none"> 積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面について、精度10μm以下で凹凸を計測 		<ul style="list-style-type: none"> 粉末の粒径が15~45μm程度であることを考慮して、粉末敷き詰め状態及び造形面を精度良く計測するために10μm以下とした。
<ul style="list-style-type: none"> 造形面の欠陥部分を再溶融する機能を開発 		<ul style="list-style-type: none"> 不慮の現象で欠陥が発生した場合に再溶融機構が必要になるため。
	<ul style="list-style-type: none"> フィードバック制御機能による造形プロセス中の50μm以上の欠陥率0% 	<ul style="list-style-type: none"> X線CTで計測可能な50μm以上を対象として欠陥率0%とした。

◆研究開発目標と根拠 (2/3)

■ 研究開発項目②：高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発（電子ビーム方式）

中間目標	最終目標	根拠
<ul style="list-style-type: none"> 積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面について、精度30μm以下で凹凸を計測 	<ul style="list-style-type: none"> 積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面について、精度10μm以下で凹凸を計測 	<ul style="list-style-type: none"> レーザービーム方式と同様に最終目標を10μm以下とした。 また、電子ビーム方式では、装置構造上の難しさがあるため、中間目標を30μm以下とした。
<ul style="list-style-type: none"> 造形面の欠陥部分を再溶融する機能を開発 		<ul style="list-style-type: none"> 不慮の現象で欠陥が発生した場合に再溶融機構が必要になるため。
<ul style="list-style-type: none"> マルチプル形状を画像化する機能を開発 		<ul style="list-style-type: none"> 電子ビーム方式の場合、従来技術（高速カメラ等）では、マルチプルを形成する現象を直接観察することが不可能であるため。
<ul style="list-style-type: none"> ビーム照射前に欠陥発生要因となる異常状態を検知する機能を開発 		<ul style="list-style-type: none"> 電子銃異常や粉末チャージアップ（スモーク）の発生が欠陥に繋がるため、異常検知機能が必要。
	<ul style="list-style-type: none"> フィードバック制御機能による造形プロセス中の50μm以上の欠陥率0% 	<ul style="list-style-type: none"> X線CTで計測可能な50μm以上を対象として欠陥率0%とした。

◆研究開発目標と根拠 (3/3)

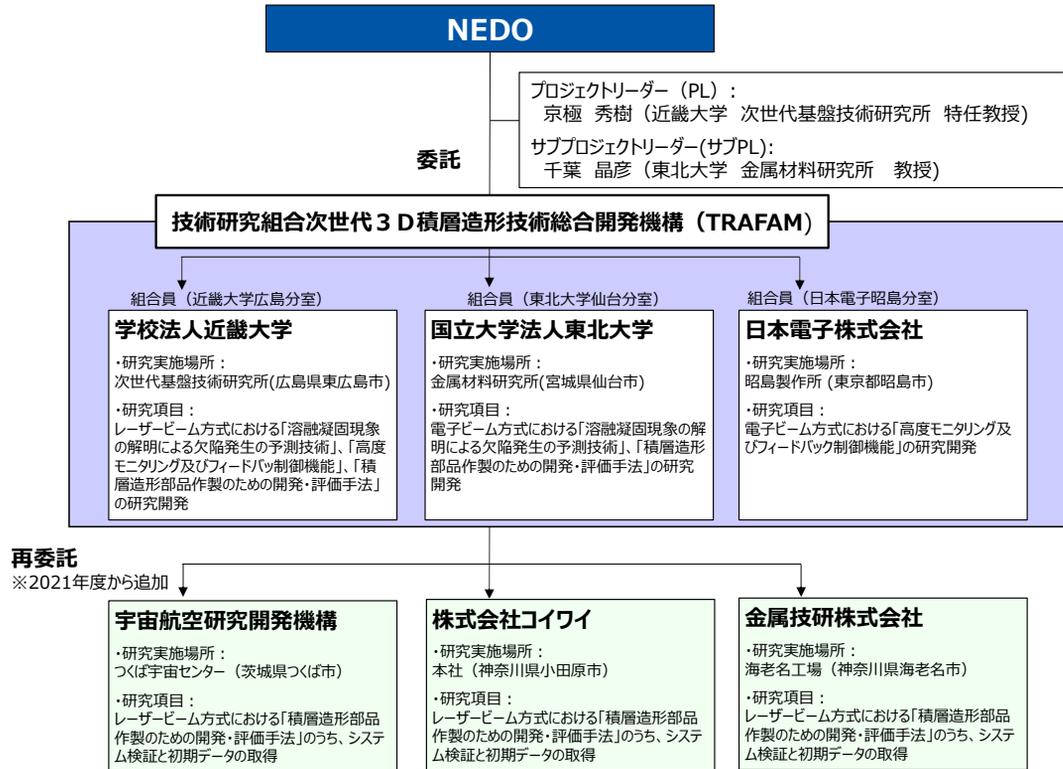
■ 研究開発項目③：積層造形部品製作のための開発・評価方法の開発（共通）

中間目標	最終目標	根拠
<ul style="list-style-type: none"> 開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを、金属材料1種類以上について蓄積する。 	<ul style="list-style-type: none"> 開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを、金属材料4種類以上について蓄積する。 	<ul style="list-style-type: none"> 実際に多様な金属部品開発にも応用できるように、複数の種類の金属種でのデータ蓄積も重要であるため、中間目標として1種類以上、最終目標として4種類以上とした。

◆研究開発のスケジュールと予算

研究開発項目	2019	2020	2021	2022	2023
溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発	欠陥発生原因と造形条件の関係性解明				
	各種条件・材料等によるモニタリングデータ等の蓄積				
	欠陥予測システムのプロトタイプ試作		蓄積データや機械学習を用いた欠陥予測システムの構築		
高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	PB表面三次元計測技術の高度化				
	再溶融による欠陥補修技術の開発				
	欠陥予測システムと連携したフィードバック制御機能の開発		高度モニタリング・フィードバック機能の開発		
積層造形部品製作のための開発・評価方法の開発	自動化可能なプロセスマップ探索手法の確立				
			プロセスマップDBからの造形条件作成手法の開発		手順書・システム構築
			ユーザー検証 (概算要求中)		
予算 (億円)	1.5	1.2	2.0		

◆ 研究開発の実施体制



3. 研究開発成果
 (1) 研究開発目標の達成度及び
 研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (1)

研究開発項目	目標 (中間)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生予測技術の開発	インコネル718合金の評価データを収集する。	モニタリング装置を改良して、インコネル718合金を対象として、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の画像データを収集できた。また、造形体の密度及び欠陥状況をX線CTにより収集できた。	○	達成済み。
	機械学習により欠陥発生予測を可能とする。	モニタリング装置により得られた造形表面画像データを機械学習用の教師データとして収集し、これらの画像データを用いて欠陥発生予測を可能とした。	○	最終目標の予測精度95%以上に向けて、欠陥予測システムの改良を行い、予測精度95%以上の目標を得ており、高精度化へ向けて開発中。
	欠陥予測システムの予測精度を80%以上にする。	上記教師データを用いて、機械学習を利用した欠陥予測のプロトタイプシステムを試作し、予測精度80%以上を達成した。	○	
2. 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面を精度10μm以下で凹凸を計測可能とする。	パウダーベッド及び造形表面の表面粗さの定量化のために、パターン投影法により高さ分解能10 μm以下(7.3 μm)を達成した。	○	達成済み。
	測定精度±50℃以下でパウダーベッド表面温度を計測可能とする。	溶融凝固シミュレーションの精度を向上させるために、パウダーベッド表面の測定も行えるようにし、サーモビューワによる測定温度±50℃以下を達成した。	○	達成済み。
	造形面の欠陥部分を再溶融する機能を開発する。	メルトプールモニタリングによるスパッタの大きさを計測するとともに、造形表面の表面粗さ計測による再溶融機能を開発した。現在、欠陥率0%を満足する再溶融条件を探索しており、フィードバックのための欠陥補修機能を開発中。	○	造形プロセス中の50 μm以上の大きさの欠陥率を0%とするフィードバック制御機能を開発中。
3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	プロセスマップ探索手法を検証する。	造形表面画像データの利用によるプロセスマップ自動作成手法を確立した。現在、最適条件自動探索システム構築のためのデータを取得中。	○	今後は、メルトプールモニタリングデータ、パウダーベッド及び造形表面データを用いた最適条件自動探索システムを構築。また、金属材料2種類以上の評価データを取得し、プロセスマップを探索する手法を検証する。
	開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを、金属材料1種類以上について蓄積する。	インコネル718合金を対象として、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の評価データを蓄積。現在、SUS630合金について評価データを取得中。	○	
	キューブ試験片と併せて、実態に即した形状の試験片による評価データも取得する。	現在、インコネル718合金の実態に即した形状の試験片を用いて、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の評価データを取得中。	△ (2022年3月達成予定)	

3. 研究開発成果
 (1) 研究開発目標の達成度及び
 研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (2)

電子ビーム方式 (1/2)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

研究開発項目	目標 (中間)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生予測技術の開発	パウダー-ヘッドの溶融凝固挙動 (マルチロールの安定性) と欠陥形成の相関を解明する。	Ti64パウダー-ヘッドの放射率を計測し、シミュレーションによりTi64パウダー-ヘッドの溶融凝固を解析した。マルチロールのモニタリングが可能になった。今後機能の改善が完了次第、試験を実施する。	△ (2022年3月達成予定)	マルチロールモニタリング完成後、実施。モニタリング試験を行う。(2022年1月~)
	欠陥形成の学理構築を通して欠陥予測システムを開発・試作する。	欠陥形成は表面性状と関係があり、表面形状のデータから欠陥の有無を予測するソフトウェアとパウダー-ヘッドの充放電シミュレーションソフトウェアを試作した。	○	試験研究機に実装し、フィードバック機能との連携を行う。電子ビーム方式のデータを増やし、欠陥予測システムの高精度化を実施。
	欠陥予測システムの予測精度を80%以上にする。	テスト用の単純形状造形材のデータで予測精度90%を達成した。	○	
2. 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	マルチロール形状を計測専用の電子ビームから得られた反射電子像を用いて画像化可能とする。	観察用電子ビームを用いた反射電子画像で動画像観察が可能となり、走査中の溶融ビームの状況が観察できた。	△ (2022年1月達成予定)	パウダー-ヘッド上での溶融観察条件の最適化を図り、マルチロール観察を実施予定。
	パウダー-ヘッド表面及び造形表面を精度30μm以下で三次元計測できる機能を開発し、試験研究機に実装する。	光学式レベラ表面計測装置を試験研究機に搭載し、10μm以下の表面凹凸形状の計測ができることが確認され最終目標を達成した。また反射電子像においても10μm以下の表面凹凸形状を反映した画像が得られており、最終目標を達成した。	◎	実造形での造形面の凹凸形状計測を実施予定。
	測定精度±50℃以下でパウダー-ヘッド表面温度を計測可能とする。	造形中に熱電子計測を実施し、積層数によって多少の差異は発生するものの、その精度は±50℃以下である事を確認出来た。	○	計測された温度を用いての造形制御の実施を予定。
	フィードバック制御機能 (欠陥予測箇所の再溶融機能) を試験研究機に実装する。	フィードバック制御機能を試験研究機に実装し、再溶融機能を有効にして造形を実施した。結果、再溶融層において欠陥率の減少が確認できた。	○	欠陥予測システムを合わせたフィードバック制御の実施を行う予定。
	欠陥発生の原因となる異常状態を事前に検知可能とする。	メルト直前に取得した反射電子画像によって、異常状態の有無が確認出来た。	○	実造形での判別機能の動作確認を予定。

3. 研究開発成果
 (1) 研究開発目標の達成度及び
 研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (3)

電子ビーム方式 (2/2)

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

研究開発項目	目標 (中間)	成果	達成度	今後の課題と解決方針
3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	プロセスマップ探索手法を検証する。	Ti64合金でプロセスマップ探索手法を検証した。プロセスマップ自動生成ソフトウェアを開発した。入熱への形状の影響を計算するソフトウェアを開発した。	○	ソフトウェアの検証と実装。
	部品開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを1種類以上の金属材料について蓄積する。	Ti64合金に関して、データを取集した	○	合金種の拡張。

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクト全体の目標 (1/2)

- レーザービーム及び電子ビームパウダーベッド方式の装置を対象として、
 - 既設のモニタリング装置（テストベンチ）をベースに、レーザービーム方式は高度化し、電子ビーム方式は新たなモニタリング機能を追加開発して、今回の試験研究機とし、溶融凝固現象の解明を通して造形中の**欠陥生成の学理を構築**する。
 - A I 技術のひとつである機械学習並びにシミュレーションによる予測精度の高い**欠陥予測システム**及び欠陥発生を予測・抑制する**高度モニタリング・フィードバック制御技術**を開発する。
- 海外各社では、高度モニタリング・フィードバック制御技術の製品化は実施されていない。(表1)

レーザーモニタリング装置及び計測例
 欠陥予測システムと連携したモニタリング・フィードバック制御機能を有するシステムを構築

電子ビームモニタリング装置及び計測例
 欠陥予測システムと連携したモニタリング・フィードバック制御機能を有するシステムを構築

- ・高品質化・品質の安定化
- ・欠陥率 0%
- ・開発の効率化
- ・リードタイム 1/5
- ・中小企業への展開
- ・開発システム
- ・手順書の作成

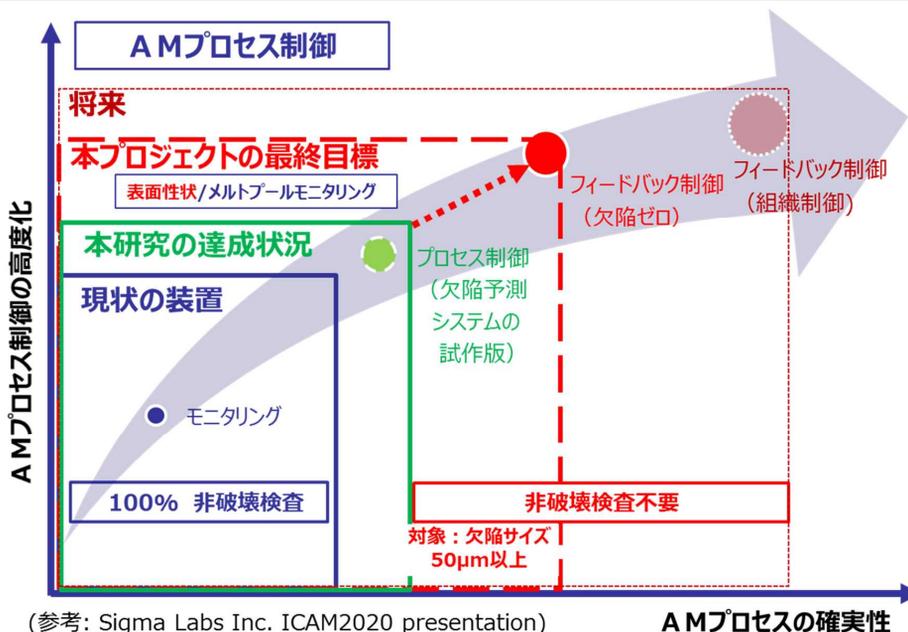
表1 各社のモニタリング・フィードバック技術開発の状況と本プロジェクトとの比較 ★は製品化

メーカー	方式	パウダーベッド 表面モニタリング	メルトプール モニタリング	フィードバック技術	本研究開発 目標の優位性
本研究開発目標	LB EB	3次元(高分解能)	2次元(高解像度)	プロセス条件の 自動調整	—
GE Additive (ARCAM)	EB	★2次元	なし	なし	◎
EOS	LB	★2次元	★点計測	△ (粉末敷き直し)	◎
GE Additive (Concept Laser)	LB	★2次元	★2次元 (低解像度)	△ (粉末敷き直し)	◎
SLM Solutions	LB	★2次元	★点計測	なし	◎

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクト全体の目標 (2/2)

- 海外の研究機関で表面性状のモニタリングは進んでいない。また、メルトプール等のモニタリング・フィードバック技術の研究は、レーザー方式では実施されているが、電子ビーム方式では実施されていない。
- 本プロジェクトの最終目標を下图に示す。



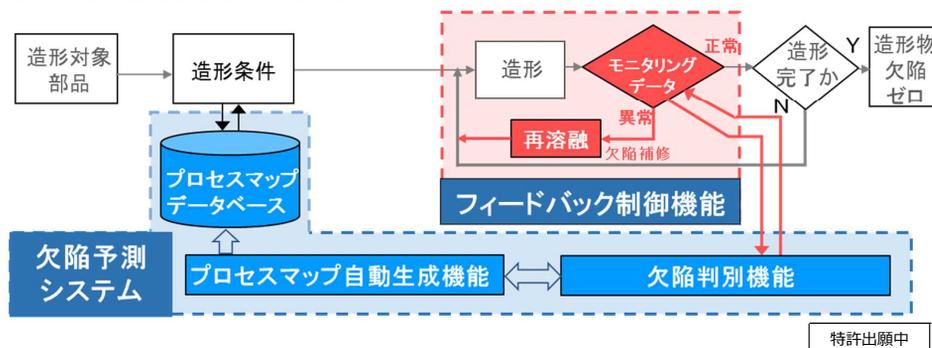
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクト全体の達成状況および意義

1. 新規装置ユーザでも積層造形部品を効率的に開発するために提案した開発手法(下図) に対し、計画通り、各ソフトウェアの試作版(青色/赤色) はほぼ完成した。今後、モニタリングデータを取得し、欠陥予測システムを検証し、ソフト改造/システム化/実装を進める。
2. レーザービーム方式と電子ビーム方式では、溶融凝固現象が異なるため、個別に開発を進めているが、欠陥予測システムや積層造形部品の効率的な開発・評価手法の開発コンセプトや基本部分は共通化している。
3. 本研究成果の適用により、新規装置ユーザでも積層造形部品の開発を効率的に実施できるようになり、国内の積層造形技術の普及が加速的に進むと考える。



本研究で目指す積層造形部品の開発手法



◆各個別テーマの成果と意義

レーザービーム方式 項目1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発

開発目標	主な成果
1. インコネル718合金の評価データを収集する。 2. 機械学習により欠陥発生予測を可能とする。 3. 欠陥予測システムの予測精度を80%以上にする。	1. インコネル718合金を対象として、モニタリング装置によりメルトプール、パウダーベッド及び造形面の画像データを取得するとともに、造形体の密度及びX線CTによる欠陥状況を収集できた。(図1-1) 2. モニタリング装置より得られた造形表面画像データを教師データとして、機械学習による欠陥予測システムを試作し、予測精度80%以上を達成した。さらに、システムを改良し、予測精度95%以上の目途を得た。(図1-2)

(1) リアルタイムモニタリングデータ取得

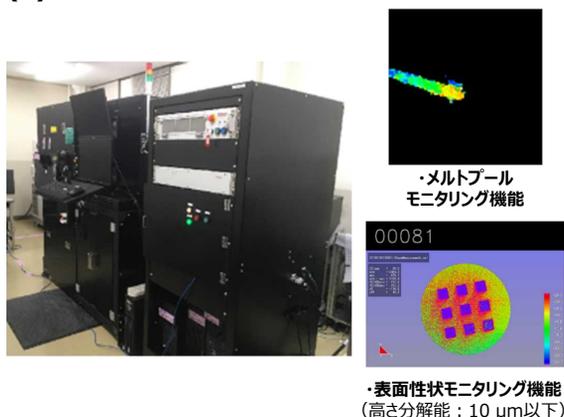


図1-1 モニタリング装置の外観と画像取得状況

(2) 欠陥発生予測システムの試作 (東北大学出願特許による)

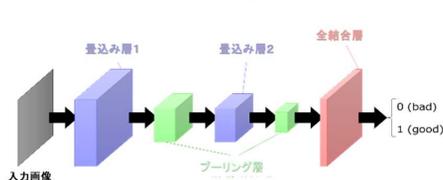


図1-2 欠陥発生予測のためのCNNモデル

各モデルにおけるバリデーション結果

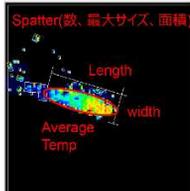
- ・ Accuracy
 - ・ Precision
 - ・ Recall
 - ・ F1-score
- いずれも0.8以上

開発目標	主な成果
1. 積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面の凹凸を精度10 μm以下で計測可能とする。 2. 測定精度±50 °C以下でパウダーベッド表面温度を計測可能とする。 3. 造形面の欠陥部分を再溶融する機能を開発する。	1. パウダーベッド及び造形面のモニタリングにおける高さ分解能を大幅に改善した。(30 μm→7.3 μm) (図2-1) 2. メルトプール形態及びスパッタ量のリアルタイム計測を可能。レイヤー表面モニタリング自動処理機能追加。(図2-2) 3. フィードバック機能として、造形面の欠陥部分を再溶融する機能を開発し、その有効性を確認した。現在、欠陥率0%を満足する再溶融条件を探索中。(図2-3)

(1) モニタリング機能の高度化



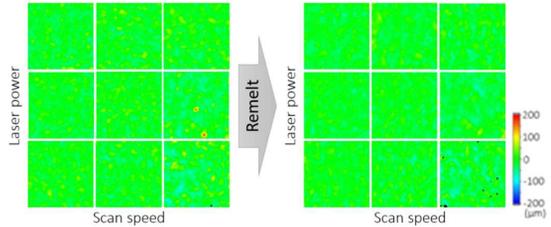
図2-1 表面状態の測定例



メルトプール形態（幅，長さ）及び
 スパッタ量のリアルタイム計測を可能。

図2-2 メルトプールの測定例

(2) 再溶融機能の開発



(a) 再溶融前 (b) 再溶融後

再溶融により高さ200μm以上の凸部が消滅
 *濃い青色部分はデータの抜けた部分

図2-3 再溶融による欠陥補修システムの検証例

● **再溶融機能を開発して検証した結果、再溶融により欠陥が消滅し、その有効性を確認できた。**

開発目標	主な成果
1. プロセスマップを探索する手法を検証する。 2. 開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを、金属材料1種類以上について蓄積する。 3. キューブ試験片と併せて、実態に即した形状の試験片による評価データも取得する。	1. インコネル718合金の密度を指標とした実験によるプロセスマップを作成した。また、造形表面画像データの利用によるプロセスマップ作成手法を確立した。(図3-1、2) 2. インコネル718合金を対象として、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の評価データを蓄積。現在、ステンレス鋼について評価データを取得中。(図3-3) 3. 現在、インコネル718合金の実態に即した形状の試験片を用いて、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の評価データを取得中。

(1) 実験によるプロセスマップ (2) プロセスマップ自動生成手法 (3) リアルタイムによる評価データ蓄積

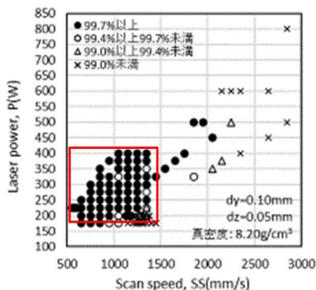
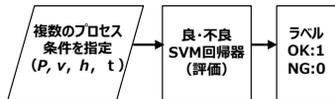


図3-1 インコネル718合金の密度を指標としたレーザー出力範囲が低出力から高出力の広範囲なプロセスマップ



・自動生成したプロセスマップは、図3-1とほぼ一致。

図3-2 プロセスマップ自動生成手法

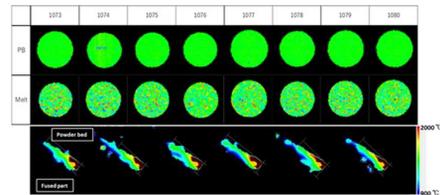


図3-3 パウダーベッドおよび造形面の表面性状並びにメルトプールデータの例

・現在、実態に即した試験片、ならびにステンレス鋼などについて評価データを取得中。

開発目標	主な成果
1. パウダーベッドの溶融凝固挙動（メルトプールの安定性）と欠陥形成の相関を解明する。	1. Ti64パウダーベッドの放射率を計測し、その温度依存性を明らかにした。温度上昇とともに放射率が上昇し、その値はPREP粉末とプラズママイド粉末で異なることも明らかになった(図4-1)。また、Ti64の溶融凝固挙動を数値流体力学計算で明らかにした。
2. 欠陥形成の学理構築を通して欠陥予測システムを開発・試作する。	2. 表面画像と密度のデータをCNNで学習させ、表面画像から欠陥の有無を判定する欠陥予測システムを試作した。また、欠陥形成の要因となるメークを予測するためにパウダーベッドの充放電挙動を計算するシミュレーションソフトウェアを試作し、計算を行った。(図4-2)
3. 欠陥予測システムの予測精度を80%以上にする。	3. レーザー方式で取得された表面画像のデータを上記2の欠陥予測システムに入力し、その精度を検証したところ、80%以上の予測精度を確認した。電子ビームについては、開発中のモニタリング機能を用いて、データ取得中。(図4-3)



図4-1 粉末放射率測定

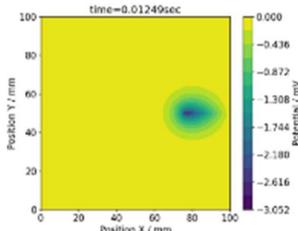


図4-2 パウダーベッドの充放電シミュレーション



図4-3 モニタリングデータ収集中

開発目標	主な成果
1. メルトプール形状を計測専用の電子ビームから得られた反射電子を用いて画像化可能とする。	1. 観察用電子ビームを用いた反射電子画像で動画観察が可能となり、走査中の溶融ビームの状況が観察できた。
2. パウダーベッド表面及び造形表面を精度30μm以下で三次元計測できる機能を開発し、試験研究機に実装する。	2. 反射電子画像においても10μm以下の表面凹凸形状を反映した画像が得られ、最終目標を達成した。(図5-1)
3. 測定精度±50°C以下でパウダーベッド表面温度を計測可能とする。	3. 造形中に熱電子計測を実施し、積層数によって差異は発生するが、その精度は±50°C以下であることを確認出来た。
4. フィードバック制御機能（欠陥予測箇所の再溶融機能）を試験研究機に実装する。	4. フィードバック制御機能を試験研究機に実装し、再溶融機能を有効にして造形を実施した。結果、再溶融した層において欠陥率の減少が確認出来た。(図5-2)
5. 欠陥発生の原因となる異常状態を事前に検知可能とする。	5. メルト直前に取得した反射電子画像によって、異常状態の有無が確認出来た。(図5-3)

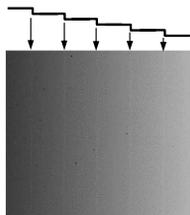


図5-1. 10μmの段差を確認出来た反射電子画像

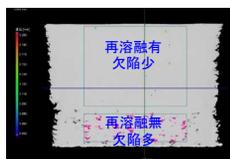


図5-2. 再溶融機能の有無で欠陥率が異なる事を示すX線CT画像

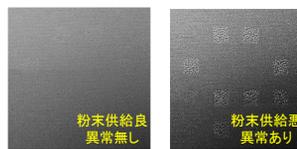


図5-3. メルト直前に取得した反射電子画像

開発目標	主な成果
1. プロセスマップ探索手法を検証する。	1. Ti64合金に対して、プロセスマップ探索手法を適用した。まず、プラズママイク粉を用い、照射電流値-ビーム径のプロセスマップを探索し、探索手法を検証した。その後、PREP粉末に対して、照射電流値-ビーム径-走査速度-ラインオフセットのプロセスマップを探索した。さらに、プロセスマップ自動生成ソフト、ならびに形状による入熱状態への影響を計算するソフトウェアも開発した。(図6-1,2)

プロセスマップ探索手法の検証



図6-1 プロセスマップ自動生成手法

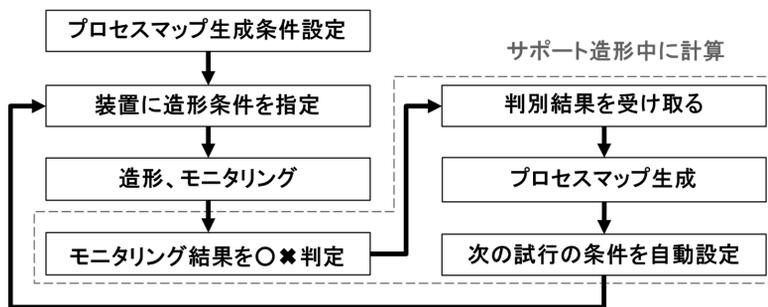


図6-2 プロセスマップ自動生成ソフトウェア

2. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

4. ユーザー検証 (2021年度事業、2022年度事業計画)

当初計画の研究開発項目3で「新規の装置ユーザが積層造形部品を効率的に開発・評価する手法を手順書として纏める。」としていたものを、2021年度以降にシステム化して検証することになっている。

1) 2021年度事業

当初計画の研究開発項目3に加えて、「ユーザー検証」を以下の通り追加している。

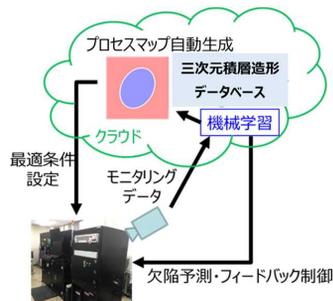
欠陥の最小化を実現するための造形条件を容易に構築するシステム (スタンドアロン) を開発・製作し、ユーザー検証を実施する。具体的には、

- ①モニタリングデータをもとに機械学習を行うシステムを構築する。
- ②その結果をもとに、最適条件を設定するためのプロセスマップ自動生成ソフトウェアと、欠陥予測・フィードバック制御を行うソフトウェアを製作する。
- ③ ①、②をスタンドアロンシステムとして構築し、ユーザー企業(3社：再委託)の求める造形物を造形し、システム検証と初期データの蓄積を行う。(2021年12月～)

2) 2022年度事業計画

以下を計画中

- ①膨大な学習データが必要であるため、欠陥予測システムをクラウド上に構築し、各分室とユーザー企業間でオンラインでデータの相互提供を可能とする機能を構築する。
- ②ユーザー検証企業数を5社に拡充する。



開発計画のシステム

◆成果の最終目標の達成可能性（1）

レーザービーム方式

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生予測技術の開発	モニタリング装置を改良して、インコネル718合金を対象として、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の画像データを収集できた。また、造形体の密度及び欠陥状況をX線CTにより収集できた。	チタン合金、鉄系合金及びアルミニウム合金の4種類以上の評価データを取得する。	本年度、SUS630及びTi64を対象としてデータ取得を行っており、達成の見込み。
	上記教師データを用いて、機械学習を利用した欠陥予測のプロトタイプシステムを試作し、予測精度80%以上を達成した。	欠陥予測システムの予測精度を95%以上にする。	最終目標の予測精度95%以上に向けて、欠陥予測システムの改良を行い、予測精度95%以上の目標を得ており達成の見込み。
2. 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	パウダーベッド及び造形表面の表面粗さの定量化のために、パターン投影法により高さ分解能10μm以下（7.3μm）を達成した。メルトプールモニタリングによるスパッタの大きさを計測するとともに、造形表面の表面粗さ計測による再溶融機能を開発した。現在、欠陥率0%を満足する再溶融条件を探索しており、フィードバックのための欠陥補修機能を開発中。	フィードバック制御機能により造形プロセス中の50μm以上の大きさの欠陥率を0%とする。	造形プロセス中の50μm以上の大きさの欠陥率を0%とするフィードバック制御機能を開発中で、達成の見込み。
3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	インコネル718合金を対象として、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の評価データを蓄積。現在、SUS630合金について評価データを取得中。	開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを、金属材料4種類以上について蓄積する。	本年度、SUS630及びTi64を対象としてデータ取得を行っており、達成の見込み。
	実態に即した形状の試験片を用いて、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の評価データを取得予定。	欠陥予測システムと高度モニタリング及びフィードバック制御機能、ならびにプロセスマップ探索手法を用いて積層造形部品を効率的に開発・評価する手法をユーザが活用できる手順書として纏め、システム（ソフト）化する。本システムおよび手順書を用いて、造形条件決定のリードタイムを1/5（1-2週間）に短縮する。	インコネル718を対象として欠陥予測システムと高度モニタリング及びフィードバック制御機能、ならびにプロセスマップ探索手法の開発の見通しが立っており、今年度SUS630、Ti64のデータ取得も行っており、達成の見込み。

◆成果の最終目標の達成可能性（2）

電子ビーム方式（1/2）

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生予測技術の開発	Ti64パウダーの放射率を計測し、シミュレーションによりTi64パウダーの溶融凝固を解析した。表面形状のデータから欠陥の有無を予測するソフトウェアとパウダーの充放電シミュレーションソフトウェアを試作した。予測精度80%を達成した。（90%程度）	欠陥予測システムの予測精度を95%以上にする。	メルトプールのインフラモニタリング機能の改善が今年度中に完了。必要なソフトウェアの開発は既に完了。精度を増やすことで、欠陥予測システムの精度を95%に高精度化できる見込み。
2. 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	光学式レーザー表面計測装置を試験研究機に搭載し、10μm以下の表面凹凸形状の計測ができることが確認された。また反射電子像においても10μm以下の表面凹凸形状を反映した画像が得られている。	試験研究機に実装した状態でパウダーベッド表面及び造形表面を精度10μm以下で計測できる三次元計測機能を開発する。	光学式、及び電子ビーム方式の2方式で達成見込み。
	フィードバック制御機能を試験研究機に実装し、投入エネルギー不足の条件下で、再溶融機能を有効にして再溶融した場合と無効にして再溶融しなかった場合の比較で、再溶融することで欠陥率が減少することが確認できている。	フィードバック制御機能により造形プロセス中の50μm以上の大きさの欠陥率を0%とする。	欠陥予測システムを合わせたフィードバック制御の実施することで達成する見込み。
	メルト直前に取得した反射電子画像によって、スモークや粉末供給不足といった造形物溶融面の粉末の有無を判定し、粉末がない場合を異常状態として検知できている。また電子銃では異常ビームのモニタリングを行っており、異常検知でインターロックが働かせ装置を安全停止させる機能が搭載されている。	電子銃異常やチャージアップ発生を抑制・検知装置を一時停止する機能を実装する。	スモークが発生してもメルト直前の反射電子画像判定でそれが検知でき、そのリカバリー機能が実装される。

◆成果の最終目標の達成可能性（3）

電子ビーム方式（2/2）

研究開発項目	現状	最終目標	達成見通し
3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	Ti64合金で ⁷ プロセス探索手法を検証した。	部品開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを4種類以上の金属材料について蓄積する。	来年度以降に3種の合金系のデータを蓄積し、達成できる見込み。
	プロセスマップ自動生成ソフトウェアを開発した。 形状による入熱への影響を計算するソフトウェアを開発した。	欠陥予測システムと高度モニタリング及びフィードバック制御機能、ならびにプロセスマップ探索手法を用いて積層造形部品を効率的に開発・評価する手法をユーザが活用できる手順書として纏め、システム（ソフト）化する。本システムおよび手順書を用いて、造形条件決定のリードタイムを1/5（1-2週間）に短縮する。	必要なソフトウェアの開発はほぼ完了しており、試験研究機に実装し、リードタイムを検証する。手動での検証では、4セット分のデータでプロセスマップが構築できることを確認済みなので、目標を達成できる見込み。

◆成果の普及（論文、研究発表）

	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	総計
論文	1	4	3			8
研究発表・講演	2	10	1			13
新聞・雑誌等への掲載	0	1	0			1

※2021年
7月26日現在

<研究発表・講演>

- 湯浅健也ほか、金属積層造形におけるパウダーベッド表面性状の計測、日本機械学会2020年度年次大会講演論文集（2020.9.13-16、名古屋）
- 池庄司敏孝ほか、Ni基超合金レーザー式積層造形の溶融凝固回数値計算によるプロセスマップ、日本機械学会2020年度年次大会講演論文集（2020.9.13-16、名古屋）
- K. K. Aoyagi, M. Ono, K. Yamanaka, A. Chiba, "Development of Auto-Process Mapping System for Powder Bed Fusion Additive Manufacturing", 1st French-Japanese Workshop on Additive Manufacturing, 2021.5.12. [招待講演]
- K. Aoyagi et al., "Simulation and data analysis for powder-bed-fusion type additive manufacturing using electron beam", SIP Additive Manufacturing International Workshop, (2020.1), Tsukuba, Japan.
- 千葉 晶彦, "金属積層造形技術の概要と研究開発動向", 日本塑性加工学会 第338回塑性加工シンポジウム「金属積層造形技術の最前線」- 高機能・高付加価値製品の開発 -, オンライン, 2020.9.30. [招待講演]
- 千葉 晶彦, "AMにおける溶融凝固現象と欠陥発生メカニズム", 日本機械学会 2020年度年次大会 先端技術フォーラム デジタルマニュファクチャリングによるものづくり革新, オンライン, 2020.9.14. [招待講演]
- 千葉 晶彦, "マルチマテリアル化に向けた金属積層造形技術と表面形態制御", マルチマテリアル研究拠点 第2回シンポジウム, 東北大学 東京分室, 2020.1.7. [招待講演]

<代表的な論文>

- H. Kyogoku, T.-T. Ikeshoji, "A review of metal additive manufacturing technologies: Mechanism of defects formation and simulation of melting and solidification phenomena in laser powder bed fusion process", Mechanical Engineering Reviews, Vol.7, No.1 (2020), 19-00182.
- K. Aoyagi, H. Wang, H. Sudo, A. Chiba, "Simple method to construct process maps for additive manufacturing using a support vector machine", Additive Manufacturing, 27 (2019) 353-362.
- Y. Zhao, K. Aoyagi, Y. Daino, K. Yamanaka, A. Chiba, "Significance of powder feedstock characteristics in defect suppression of additively manufactured Inconel 718", Additive Manufacturing, Vol.34 (2020), 101277.
- Yufan Zhao, Kenta Aoyagi, Kenta Yamanaka, Akihiko Chiba, "Role of operating and environmental conditions in determining molten pool dynamics during electron beam melting and selective laser melting", Additive Manufacturing, Vol.36 (2020), 101559.
- K. Yuasa, M. Tagami, M. Yonehara, T.-T. Ikeshoji, K. Takeshita, H. Aoki, H. Kyogoku, Influences of powder characteristics and recoating conditions on surface texture of powder bed in metal additive manufacturing, Int. J. Advanced Manufacturing Technology, Vol.115(2021). 3919-3932.

◆ 知的財産権の確保に向けた取組（特許）

戦略に沿った具体的取り組み

1. 本プロジェクト（委託研究）の範囲内及びプロジェクトの期間内で得られた知的財産（職務発明）は技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構に帰属させる。
2. 開発案件の特許化技術を抽出し、開発スケジュールに沿ってタイムリーな知財取得を図る。
3. 海外での特許取得を念頭に、PCT国際出願を基本とする。

	研究開発項目	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	計	総計
特許出願 (うち外国出願)	レーザー方式	0	2(2)	0			2(2)	4(4)
	電子ビーム方式	0	2(2)	0			2(2)	

※2021年8月31日現在

本研究開発は、2014～2018年に実施された「次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業」で取得した知財に基づき実施している。さらに研究成果をもとに特許を出願した。

今後は、実評価結果から特許化技術を抽出し、追加知財取得を図っていく。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

◆ 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

実用化・事業化の定義

「実用化」とは、当該研究開発に係る成果（システム、開発・評価手法等）が国内の金属3Dプリンターメーカー及びユーザー等に利用されることにより、当該研究開発に係る成果を利用した部品開発等が国内素形材産業に普及することをいう。

「事業化」とは、一部において、当該研究開発に係る成果を利用した製品等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。



レーザービーム方式

モニタリング・フィードバックシステムとして、製品・サービス等の社会的利用（顧客への提供等）が開始され、さらに、当該研究開発に係る製品・サービス等の販売や利用により、企業活動（売り上げ等）に貢献する。

電子ビーム方式

モニタリング・フィードバックシステムを搭載した金属3Dプリンタとして、製品・サービス等の社会的利用（顧客への提供等）が開始され、さらに、当該研究開発に係る製品・サービス等の販売や利用により、企業活動（売り上げ等）に貢献する。

4. 成果の実用化・事業化に向けての取組及び見通し（1）成果の実用化・事業化に向けた戦略

◆実用化・事業化に向けた戦略

3Dプリンターの市場状況の推測：

- 1) レーザービーム金属3Dプリンターは導入されているが、まだコスト面、品質に課題があり、生産・量産のための導入は限定的で、試作用がほとんどである。
- 2) 電子ビーム金属3Dプリンターを生産向けに導入している企業はまだ少なく、興味はあるが導入に踏み切れていない企業が多い。その理由の一つが1億円以上の装置価格である。

方式	研究開発項目	戦略
レーザービーム方式	1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発	2026年度までに事業化
	2. 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	2026年度までに事業化
	3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	2026年度までに事業化
電子ビーム方式	1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発	2026年度までに事業化
	2. 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	2026年度までに事業化
	3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	2026年度までに事業化

概要

		最終更新日	2021年8月30日
プロジェクト名	積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業	プロジェクト番号	P19007
担当推進部/ PMまたは担当者	IoT推進部 PM 三代川 洋一郎 (2020年4月～現在) IoT推進部 PM 川端 伸一郎 (2019年3月～2020年3月)		
0. 事業の概要	<p>ものづくりの付加価値を高めていくためには、複雑形状等が実現できる積層造形技術を積極的に活用することが有効である。一方、金属の積層造形技術では、現象解明さえ十分には進んでおらず、品質の再現性確保や新規開発に係るコストと時間が課題となっている。</p> <p>本事業では、積層造形における金属の溶融凝固現象を解明するとともに、高度な計測・機械制御技術を開発し、金属積層造形部品等における開発の効率化及び高品質の確保を目指す。</p>		
I. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>第4次産業革命が進展する中、ものづくりの付加価値を高めていくためには、多品種少量生産、複雑形状、高機能化等が実現できる積層造形技術を積極的に活用することが有効である。また、世界市場が積層造形技術を活用した付加価値生産の流れに向かう中、その製造プロセスを前提とする機能を持った部品が一般化した場合、従来の工法（鋳造、鍛造等）では対応不可となる。このため、我が国のものづくり企業にとっても、早期に積層造形技術を活用した金属部品等の開発を促進する必然性が高まっている。</p> <p>特に、我が国の素形材産業の競争力を強化していくためには、高い技術力を保有している企業群の稼働力を引き出し、産業の底上げを行うことや、我が国のみならずグローバル市場から付加価値の高い事業を取り込んで収益性を高めていくことが急務である。</p> <p>また、金属の積層造形技術は、そもそもの現象解明の研究さえも十分には進んでいないため、付加価値が高い複雑形状、高機能の部品や機能性合金の造形では、品質の再現性を確保することが難しく、新規開発に多大なコストと時間がかかることが課題となっている。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>1)アウトプット目標</p> <p>研究開発項目① 溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発</p> <p>【中間目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 欠陥発生予測システムの予測精度 80%以上 <p>【最終目標】</p> <ul style="list-style-type: none"> 欠陥発生予測システムの予測精度 95%以上 <p>研究開発項目② 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発</p> <p>【中間目標】</p> <p>(レーザービーム方式)</p> <ul style="list-style-type: none"> 積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面について、精度 10 μm 以下で凹凸を計測 造形面の欠陥部分を再溶融する機能を開発 <p>(電子ビーム方式)</p> <ul style="list-style-type: none"> 積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面について、精度 30 μm 以下で凹凸を計測 造形面の欠陥部分を再溶融する機能を開発 メルトプール形状を画像化する機能を開発 ビーム照射前に欠陥発生要因となる異常状態を検知する機能を開発 <p>【最終目標】</p> <p>(レーザービーム方式)</p> <ul style="list-style-type: none"> フィードバック制御機能による造形プロセス中の 50 μm 以上の欠陥率 0% <p>(電子ビーム方式)</p> <ul style="list-style-type: none"> 積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面について、精度 10 μm 以下で凹凸を計測 フィードバック制御機能による造形プロセス中の 50 μm 以上の欠陥率 0% 		

レーザービーム方式

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

研究開発項目	目標（中間）	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生の子測技術の開発	インコネル718合金の評価データを収集する。	モニタリング装置を改良して、インコネル 718 合金を対象として、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の画像データを収集できた。また、造形体の密度及び欠陥状況を X 線 CT により収集できた。	○	達成済み。
	機械学習により欠陥発生予測を可能とする。	モニタリング装置により得られた造形表面画像データを機械学習用の教師データとして収集し、これらの画像データを用いて欠陥発生予測を可能とした。	○	最終目標の予測精度 95%以上に向けて、欠陥予測システムの改良を行い、予測精度 95%以上の目途を得ており、高精度化へ向けて開発中。
	欠陥予測システムの予測精度を 80%以上にする。	上記教師データを用いて、機械学習を利用した欠陥予測のプロトタイプシステムを試作し、予測精度 80%以上を達成した。	○	
2. 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	積層造形プロセスにおける粉末敷き詰め状態及び造形面を精度 10 μm 以下で凹凸を計測可能とする。	パウダーベッド及び造形表面の表面粗さの定量化のために、パターン投影法により高さ分解能 10 μm 以下 (7.3 μm) を達成した。	○	達成済み。
	測定精度 ±50 °C 以下でパウダーベッド表面温度を計測可能とする。	溶融凝固シミュレーションの精度を向上させるために、パウダーベッド表面の測定も行えるようにし、サーモビューワによる測定温度 ±50°C 以下を達成した。	○	達成済み。
	造形面の欠陥部分を再溶融する機能を開発する。	メルトプールモニタリングによるスパッタの大きさを計測するとともに、造形表面の表面粗さ計測による再溶融機能を開発した。現在、欠陥率 0% を満足する再溶融条件を探索しており、フィードバックのための欠陥補修機能を開発中。	○	造形プロセス中の 50 μm 以上の大きさの欠陥率を 0% とするフィードバック制御機能を開発。
3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	プロセスマップ探索手法を検証する。	造形表面画像データの利用によるプロセスマップ自動作成手法を確立した。現在、最適条件自動探索システム構築のためのデータを取得中。	○	今後は、メルトプールモニタリングデータ、パウダーベッド及び造形表面データを用いた最適条件自動探索システムを構築。また、金属材料 2 種類以上の評価データを取得し、プロセスマップを探索する手法を検証する。
	開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを、金属材料 1 種類以上について蓄積する。	インコネル 718 合金を対象として、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の評価データを蓄積。現在、SUS630 合金について評価データを取得中。	○	
	キューブ試験片と併せて、実態に即した形状の試験片による評価データも取得する。	現在、インコネル 718 合金の実態に即した形状の試験片を用いて、リアルタイムでメルトプール、パウダーベッド及び造形表面の評価データを取得中。	△ (2022 年 3 月達成予定)	

III. 研究開発成果について

研究開発項目	目標（中間）	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1. 溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発	パウダーヘッドの溶融凝固挙動（マルチロールの安定性）と欠陥形成の相関を解明する。	Ti64 パウダーヘッドの放射率を計測し、シミュレーションにより Ti64 パウダーヘッドの溶融凝固を解析した。マルチロールのモニタリングが可能になった。今後機能の改善が完了次第、試験を実施する。	△ (2022年3月達成予定)	マルチロールモニタリング完成後、実施。 モニタリング試験を行う。 (2022年1月～)
	欠陥形成の学理構築を通して欠陥予測システムを開発・試作する。	欠陥形成は表面性状と関係があり、表面形状のデータから欠陥の有無を予測するソフトウェアとパウダーヘッドの充放電シミュレーションソフトウェアを試作した。	○	試験研究機に実装し、フィードバック機能との連携を行う。 電子ビーム方式のデータを増やし、欠陥予測システムの高精度化を実施。
	欠陥予測システムの予測精度を80%以上にする。	テスト用の単純形状造形材のデータで予測精度90%を達成した。	○	
2. 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発	マルチロール形状を計測専用の電子ビームから得られた反射電子を用いて画像化可能とする。	観察用電子ビームを用いた反射電子画像で動画観察が可能となり、走査中の溶融ビームの状況が観察できた。	△ (2022年1月達成予定)	パウダーヘッド上での溶融観察条件の最適化を図り、マルチロール観察を実施予定。
	パウダーヘッド表面及び造形表面を精度30μm以下で三次元計測できる機能を開発し、試験研究機に実装する。	光学式レイヤー表面計測装置を試験研究機に搭載し、10μm以下の表面凹凸形状の計測ができることが確認され最終目標を達成した。 また反射電子像においても10μm以下の表面凹凸形状を反映した画像が得られており、最終目標を達成した。	◎	実造形での造形面の凹凸形状計測を実施予定。
	測定精度±50℃以下でパウダーヘッド表面温度を計測可能とする。	造形中に熱電子計測を実施し、積層数によって多少の差異は発生するものの、その精度は±50℃以下である事を確認出来た。	○	計測された温度を用いた造形制御の実施を予定。
	フィードバック制御機能（欠陥予測箇所の再溶融機能）を試験研究機に実装する。	フィードバック制御機能を試験研究機に実装し、再溶融機能を有効にして造形を実施した。結果、再溶融層において欠陥率の減少が確認できた。	○	欠陥予測システムを合わせたフィードバック制御の実施を行う予定。
	欠陥発生の原因となる異常状態を事前に検知可能とする。	メルト直前に取得した反射電子画像によって、異常状態の有無が確認出来た。	○	実造形での判別機能の動作確認を予定。
3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	プロセスマップ探索手法を検証する。	Ti64合金でプロセスマップ探索手法を検証した。 プロセスマップ自動生成ソフトウェアを開発した。 入熱への形状の影響を計算するソフトウェアを開発した。	○	ソフトウェアの検証と実装。
	部品開発・評価手法の開発のために必要な積層造形物に関する評価データを1種類以上の金属材料について蓄積する。	Ti64合金に関して、データを取集した	○	合金種の拡張。

	投稿論文	「査読付き」 8 件、「その他」 0 件
	特 許	「出願」 4 件（うち「PCT出願」 4 件） 特記事項：本研究開発は、2014～2018 年に実施された「次世代型産業用 3D プリンタの造形技術開発・実用化事業」で取得した知財も活用している。
	その他の外部発表（プレス発表等）	14 件
IV. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<p>本中間評価における 2021 年度の間目標は、すべてのテーマで達成済みか達成見込みである。</p> <p>レーザービーム金属 3D プリンターは導入されているが、まだコスト面、品質保証に課題があり、生産・量産のための導入は限定的で、試作用がほとんどである。このため、品質保証の観点から、本研究開発の成果を 2026 年度を目途に実用化・事業化を図っていく。</p> <p>電子ビーム方式の 3D プリンターの特に国内の市場状況は、以下のように推測している。</p> <p>1) 電子ビーム金属 3D プリンターを生産向けに導入している企業はまだ少なく、興味はあるが導入に踏み切れていない企業が多い。その理由の一つが 1 億円以上の装置価格である。</p> <p>2) また、モニタリングによる品質の保証や、スモーク等の電子ビーム方式固有の現象に対するリカバリ機能がいないため、ユーザーが生産向けの本格導入ができていない。</p> <p>この状況のもと本事業の成果を適用し、2026 年度までに実用化、事業化を図っていく。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	2019 年 3 月 制定
	変更履歴	2021 年 1 月 改訂（ユーザー検証に伴う研究開発内容修正、PM 交代に伴う変更）