

「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」
中間評価報告書

2022年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2022年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 木野 邦器

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」
中間評価報告書

2022年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	7
研究評価委員会コメント	8
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-4
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-16
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「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）分科会において評価報告書案を策定し、第67回研究評価委員会（2022年1月26日）に諮り、確定されたものである。

2022年1月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2021年9月30日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、
10. 閉会

● 第67回研究評価委員会（2022年1月26日）

「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」

中間評価分科会委員名簿

(2021年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	やなぎもと じゅん 柳本 潤	東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授
分科会長 代理	おおつぼ やすひこ 大坪 靖彦	日立金属株式会社 金属材料事業本部 AM ソリューションセンター シニアアドバイザー
委員	いながき いくひろ 稲垣 育宏	日鉄関西マシニング株式会社 取締役
	いわさき たくや 岩崎 拓也	みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 事業統括部 参事役
	うじはら とおる 宇治原 徹	東海国立大学機構名古屋大学 未来材料・システム 研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 教授

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

金属積層造形の高度化や適用先拡大に向けた技術開発が世界中で進む中、欠陥予測、リアルタイムモニタリング、フィードバック、再溶融による欠陥補修技術等、最先端の研究開発の実施や金属積層造形の効率化・高品質化に取り組んでいる点は高く評価できる。特に、我が国の強みである高度な計測技術・機械制御技術を適用し、当該分野の重要課題にチャレンジ、成果を出してきている点は大いに評価できる。

一方で、事業化に対する取り組みは脆弱に感じる。研究開発の目標値に関しては、今一度、ユーザーによる検証を推し進めてほしい。

今後に向けて、海外動向など外部環境の変化に対する感度を高く持ち、必要に応じて計画などを見直す、あるいは新たな研究開発内容を追加するなど臨機応変に研究開発をマネジメントしていただきたい。また、若く強力な研究者の参加も望みたい。

金属積層造形技術の実用化については、海外に比べてやや遅れていることは否めず、積層造形部品のユーザー評価、付加価値を含めたコスト競争力の分析と改善検討等を加速させる必要がある。さらには、金属積層造形は他の工法に比べて廃却材料が少なく、出発原材料から考えても、加えるエネルギーを削減できるため、CO₂ 排出低減の工法としての効果額を数値化するなど、その付加価値を浸透させて頂きたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

金属 3D プリンタを用いた積層造形によるものづくりは、付加価値の増大、製造リードタイム短縮、および製造に要するエネルギーの削減などが期待されており、本プロジェクトの目的は妥当である。また、積層造形は現象自体が解明されているとは言い難く、積層造形プロセスにおける欠陥発生予測、モニタリングおよびフィードバック技術は、喫緊の課題として取り組むべきテーマであり、現段階では民間活動のみではコスト・時間の観点からも本テーマの推進は難しいと言え、従来からの知識および実績を保有している NEDO の関与は必要である。

一方、当該技術開発は、海外においても実用化に向けて加速されており、国際競争力を維持向上させ、実用化に向けて早期の目途を得るためにも、さらなる装置技術および製造技術の蓄積が重要である。CO₂ 排出低減の面でも積層造形は優れているため、カーボンニュートラルの観点も意識することが望ましい。

2. 2 研究開発マネジメントについて

実用化に向けて必要な基礎技術開発および部品製作技術開発について、基礎調査から実用化に向けた研究開発ステップの優先順を配慮したスケジューリングがされたこと、また、海外動向を踏まえ、競争力を維持・強化するための高い最終目標が設定され、重要課題である

欠陥予測精度およびフィードバック制御等については、目標が定量的であり、達成度がトレースできる状態にあることから、計画および目標は妥当である。

NEDO 推進の下、技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) が中心となる実施体制は、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、プロジェクトに求められる技術的成果および政策的効果を最大化しており、妥当である。また、NEDO はプロジェクトの進捗を適切に管理しつつ、加速予算を投入し実用化・事業化を促進するなどそのマネジメントは大いに評価できる。さらに、2021 年度よりユーザー企業等による検証を追加し、成果を社会に実装していくための取組を早期に組み入れている点も高く評価できる。

知財マネジメントは、基本方針のもと明確なルールが策定され、TRAFAM 全組合員の合意形成に基づいて知財管理が実施されており、妥当である。

今後は、常に最新の海外動向をフォローし、我が国の優位性を保つために必要となるものがあれば、国の予算措置や NEDO の自主財源等を活用した研究開発内容の追加やユーザー企業を取り込んだ体制を引き続き検討する等、より幅広い対応を期待する。

2. 3 研究開発成果について

レーザービーム方式および電子ビーム方式の両者において、研究開発項目の中間目標を現時点でほぼ達成しており、未達成の案件に対しても 2021 年度中には達成できる見通しである。また、欠陥生成の要因解明をはかった上での AI を活用した欠陥予測精度の向上、高度モニタリングおよびフィードバック制御の作動確認、積層造形品に関するデータ蓄積等は、中間評価の時点で既に最終目標までの目途が得られており、特に、基礎的な技術は概ね完成している欠陥判別ソフトウェアと修復機能に関しては、他国の技術と比べても十分競争力を持っている。

論文および研究発表・講演を中心に、成果を普及させる取り組みが継続的に実施されているとともに、4 件の国内外への特許申請がなされており、適切な知的財産権等の確保に向けた取り組み等も評価できる。

一方で、設定された開発ベンチマークが不明瞭であるため、積極的にユーザー目線の意見を反映し、実施計画の見直しなども提案してほしい。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

レーザービーム方式および電子ビーム方式の各々において、コスト面での改善や実用化に際しての標準化等が適切に検討され、市場への経済効果が試算されていることは、実用化に向けた取組として妥当である。また、プロジェクトの後半に向けて、新たにユーザーをチームに入れ、ユーザーによる実証・評価を開始している点も評価できる。さらに、欠陥判別機能と修復機能については、十分に最初のプロダクトになるレベルのものが完成していることから、今後の実用化が期待される。

一方で、社会実装する主体がどこになるのか明確でなく、実用化・事業化に向けた戦略は十分とは言えないことから、企業と連携した体制を今一度検討してほしい。また、市場やユーザーのニーズを広く把握した上で、そのニーズと現状の技術レベルとの間のギャップの分

析や課題の対応策など、検討するべき点は多いといえよう。

今後は、実用化・事業化の加速および海外との競争力強化をより一層意識し、必要であれば財源を確保した上で研究開発等を前広に追加検討して頂きたい。また、研究開発成果が全て得られてから事業化を進めるのではなく、本事業を通じて開発したもののから順次市場に投入していくことも検討頂きたい。

研究評価委員会委員名簿

(2022年1月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	きの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 研究アドバイザー 東海国立大学機構 岐阜大学 特任教授
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	技術ジャーナリスト
	ごないかわ ひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	しみず ただあき 清水 忠明	新潟大学 工学部工学科 化学システム工学プログラム 教授
	ところ ちはる 所 千晴	早稲田大学 理工学術院 教授 東京大学大学院 工学系研究科 教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員	

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第67回研究評価委員会（2022年1月26日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

金属積層造形の高度化や適用先拡大に向けた技術開発が世界中で進む中、欠陥予測、リアルタイムモニタリング、フィードバック、再溶融による欠陥補修技術等、最先端の研究開発の実施や金属積層造形の効率化・高品質化に取り組んでいる点は高く評価できる。特に、我が国の強みである高度な計測技術・機械制御技術を適用し、当該分野の重要課題にチャレンジ、成果を出してきている点は大いに評価できる。

一方で、事業化に対する取り組みは脆弱に感じる。研究開発の目標値に関しては、今一度、ユーザーによる検証を推し進めてほしい。

今後に向けて、海外動向など外部環境の変化に対する感度を高く持ち、必要に応じて計画などを見直す、あるいは新たな研究開発内容を追加するなど臨機応変に研究開発をマネジメントしていただきたい。また、若く強力な研究者の参加も望みたい。

金属積層造形技術の実用化については、海外に比べてやや遅れていることは否めず、積層造形部品のユーザー評価、付加価値を含めたコスト競争力の分析と改善検討等を加速させる必要がある。さらには、金属積層造形は他の工法に比べて廃却材料が少なく、出発原材料から考えても、加えるエネルギーを削減できるため、CO₂ 排出低減の工法としての効果額を数値化するなど、その付加価値を浸透させて頂きたい。

<肯定的意見>

- ・ 少額のプロジェクトであるが、メルトプール制御による製品機械特性制御のためのデータ取得、オンラインモニタリング、再溶融、欠陥予測システム等、について取り組まれている。
- ・ 以上はいずれも、金属 3D 造形を実用的なものとし普及を図るための、要素技術の開発に属している。いずれも必要なテーマである。
- ・ レーザービーム方式での 50 μ m 以上の欠陥率ゼロ、およびそのシステムを従来の装置への搭載可能とするという目標は、大きなチャレンジであり評価できる。
- ・ 金属積層造形の課題の一つは品質であり、今回のモニタリングの高度化とフィードバック制御による欠陥修復システムが実用化されれば、工程内品質保証が実現されて金属積層造形部品化への普及が期待できる。
- ・ 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において、中間目標および最終目標に向けて、各種の研究開発が順調に進捗しており、当該プロジェクト関係者の努力に敬意を表す。特に、欠陥予測、モニタリング・フィードバック技術等については、3D プリンタ適用における国際競争力を維持向上させるものであり、実用化に際して大いに期待される。今後も最終目標の達成、さらなるデータの蓄積、および実用化に向けた標準化等が強力に推進されるものと期待する。
- ・ 金属積層造形の高度化や適用先拡大に向けた技術開発が世界中で進む中、欠陥予測、リアルタイムモニタリング、フィードバック、再溶融による欠陥補修技術等、最先端の研究開発を実施、金属積層造形による開発の効率化・高品質化に取り組んでいる点は高く評価できる。特に、世界から遅れをとっていると言われている積層造形の分野

において、我が国の強みである高度な計測技術・機械制御技術を適用し、当該分野の重要課題にチャレンジし、成果を出してきている点を評価したい。

- ・ 研究開発に関しては申し分ない成果が上がっている。特に、修復機能の確立や欠陥検出などは高いレベルで実現されている。また、評価者からの意見にもあったように、修復機能はニーズにもマッチしている。競争力ある製品開発に必要な研究開発が行われていることはよくわかった。

<改善すべき点>

- ・ 金属積層造形は材料付加造形のため、他の工法に比べて廃却材料が少なく、出発原材料から考えても加えるエネルギーが減少できるため、CO2 排出低減の工法としても推進すべきである。前テーマのようにこの効果を明確にしてフォローを継続して、積層造形の付加価値として浸透させるべきと考える。
- ・ 実用化については、海外に比べてややビハインドとなっていることは否めず、積層造形部品のユーザー評価、付加価値を含めたコスト競争力の分析と改善検討等を加速させる必要があると思われる。そのためには、研究開発リソース（特に財源）をさらに拡充させて取り組むことが重要であり、関係者の尽力をお願いしたい。
- ・ 研究テーマや研究開発内容は妥当であると考えますが、実用化に向けた検討が不足していると感じた。広く市場・ユーザーニーズを把握し、対応可能なものから順次製品化して市場投入していくなど、具体的な実用化・事業化戦略を検討していただきたい。
- ・ 一方で、研究開発の目標値に関しては、今一度、ユーザーによる検証を推し進めてほしい。また事業化に対する取り組みが非常に脆弱に感じる。ユーザー企業をメンバーに加えたところなので、今後の活動に期待するところとは思いますが、アカデミアがリーダーシップを発揮するチームになっているため、これらが本当に機能するのか危惧している。
- ・ 電子線積層技術に関しては日本電子が加わっているものの、どちらかというとなら研究開発のメンバーであり、事業に近いメンバーにも加わってもらうほうが良い。また、課題が価格にあるという認識であり、このギャップも非常に気になるころではあった。また、事業と開発が並行して進んでいない点も気になった。
- ・ レーザー造形についても、事業化の主体となる企業メンバーを加えてほしいし、ソフトウェアの実装を行うメンバーもぜひ加えていただきたい。

<今後に対する提言>

- ・ 国内でも金属 3D 造形を研究しているグループが存在する。他の研究グループと比較した優位性はどの程度と評価すべきか、知りたい。
- ・ 先立つ設備開発プロジェクトと構成メンバーが変わっていない。新たな、若く強力な研究者を加えていく必要がある。
- ・ 電子ビーム方式は、レーザー方式に比べて欠陥発生は抑えられるので、次ステップとして、今回の熔融凝固現象解明技術と高度モニタリング技術により金属組織予測をし、

フィードバック制御により金属組織のコントロールを可能とする工法として付加価値を大きく向上させる技術であることも提言して欲しい。

- ・ 金属積層造形の課題の一つはコストであると言われていたが、従来部品をそのままの形状で造形したのでは当然コスト高となる。DfAM 活用した新たな構造で、新たに発現する機能や波及効果を含めたトータルコストで評価すべき工法である。その一つがCO2 排出低減であり、効果額を数値化して付加価値を浸透させて欲しい。

注) DfAM (Design for Additive Manufacturing)

- ・ 積層造形部品の研究開発における、装置技術および操業技術については、今期のプロジェクトにより達成できる見通しであるが、さらなる付加価値および国際競争力の向上を目指す上で、3D プリンタによる金属組織制御に向けた研究開発が期待される。レーザービームでは IN718 等の高合金、電子ビームでは Ti-6Al-4V 合金等の組織制御による機能性の向上に向けたポテンシャルがあると考えられ、今後、当研究開発に向けて財源の確保を含めて検討を進めるべきであると考えられる。
- ・ 最終目標の達成を目指すことは重要であるが、海外動向など外部環境の変化に対する感度を高く持ち、必要に応じて計画や目標を変更する、あるいは新たな研究開発項目を追加する、など臨機応変に研究開発をマネジメントしていただきたい。
- ・ 本テーマは造形及び造形物の品質に焦点が当たっているが、その前段階の設計技術ともしっかりと連携することが重要である。金属積層造形の設計システム・シミュレーション技術は海外各社が継続して機能向上を果たしてきているが、本研究開発の成果が既存の設計技術やシミュレーション技術にどのような影響を与えるのか等、ユーザーによるものづくりエンジニアリングチェーン全体を俯瞰して検討を行っていただきたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

金属 3D プリンタを用いた積層造形によるものづくりは、付加価値の増大、製造リードタイム短縮、および製造に要するエネルギーの削減などが期待されており、本プロジェクトの目的は妥当である。また、積層造形は現象自体が解明されているとは言い難く、積層造形プロセスにおける欠陥発生予測、モニタリングおよびフィードバック技術は、喫緊の課題として取り組むべきテーマであり、現段階では民間活動のみではコスト・時間の観点からも本テーマの推進は難しいと言え、従来からの知識および実績を保有している NEDO の関与は必要である。

一方、当該技術開発は、海外においても実用化に向けて加速されており、国際競争力を維持向上させ、実用化に向けて早期の目途を得るためにも、さらなる装置技術および製造技術の蓄積が重要である。CO2 排出低減の面でも積層造形は優れているため、カーボンニュートラルの観点も意識することが望ましい。

<肯定的意見>

- ・ 金属 3D プリンタによる部材製造は、我が国の中量生産規模（現時点の自動車の 1/100 程度）の部材について、今後重要度を増す可能性が高い設備であり加工法である。設備の製造、粉末の製造、メルトプール制御による高品位（機械的特性に優れた）製品製造のための基礎学術（学問と技術）、加工条件設定や制御のためのソフトウェアは、個々には海外と比較して遜色ない水準にある。一方で、この造形法の適用とそのための設備開発は中国を含めた海外との比較において、やや劣位にあると思われる。
- ・ DX による製造法の革新と同期して、DX との親和性が高い金属 3D 造形はさらに重要度を増すであろう。また、金属 3D 造形で無いと製造できない部材が存在する。このような部材は軽量構造として、Aviation への用途や、輸送時の CO2 削減のための、今までにない軽量構造部材の製造に資する。
- ・ またサプライチェーン維持の観点からは、戦略的に重要な技術として国内に技術を集積し、維持しておく必要がある。金属 3D 造形は部材コストが高いため現在は急激に需要が拡大する状況には無いが、今後需要が拡大するまでの間はある程度の国費の投入は必要である。

注) DX (Digital Transformation)

- ・ 日本では、金属積層造形の適用が遅れており、『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』ために、積層造形における金属の熔融現象を解明するとともに、高度な計測・機械制御を開発するという視点は適している。
- ・ 「科学技術イノベーション総合戦略 2017」において、3D プリンタを新たな付加価値を持ったモノ・コトを創出する革新的な生産技術として、その開発とその導入支援に取り組むこと明記されており、事業の目的は妥当。
- ・ 「未来投資会議 2018」において、3D プリンタを活用して、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ことが明記されており、事業の目的は妥当。

・ ①事業目的の妥当性

製造業への 3D プリンタの適用は、ものづくり付加価値の増大、プロセス効率化に伴う製造リードタイム短縮、および製造に要するエネルギーの削減などがはかれるため、非常に有益な事業である。当該事業の取り組みは、海外でも実用化に向けて加速されており、国際競争力を維持向上させ、実用化に向けて早期の目途を得るためには、目標スケジュールを明確化した開発推進が必要である。また、国際競争力の観点からは、金属の熔融凝固現象の解明、高度な計測・機械制御技術の開発等により、高品位な製品を効率的に製造できる装置技術および製造技術の蓄積が必須であり、「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」プロジェクトは、当該事業の目的として妥当なものである。

②NEDO の事業としての妥当性

当該事業を推進する機関としては、国内の技術力を結集させた産学官の連携取り組みを指導でき、従来からの知識および実績を保有している、NEDO が最適である。

- ・ 積層造形プロセスにおける欠陥発生予測、モニタリング及びフィードバック技術は世界中で実現を目指した研究開発が進められている状況であり、我が国としても喫緊の課題として取り組むべきテーマである。一方で、積層造形は現象自体が解明されているとは言い難く、民間活動のみではコスト・時間の観点からも本テーマの推進は難しいと思料、NEDO の関与は必要であると判断する。
- ・ 2014 年に金属積層造形装置の開発を開始し装置は既に上市されている状況下、過去の研究開発成果をより高度化し、製品開発等の適用範囲を拡大し、ユーザー利便性も向上させるという本事業の目的は極めて妥当であり、国際競争力を保つためにも必要であると考ええる。
- ・ 金属積層造形技術は、次世代のモノづくりにおいて重要であり、事業目的としては妥当である。
- ・ 本技術は我が国では黎明期にあり、十分な売上が上がるまでに至っていないため NEDO など国からの支援はある程度必要である。

<改善すべき点>

- ・ 国内でも金属 3D 造形を研究しているグループが存在するが、他の研究グループと比較してこの研究母体を NEDO でことさら支援する必然性を、主張して欲しい。
- ・ 先立つ設備開発プロジェクトと構成メンバーが変わっていない。新たな、若く強力な研究者を加えていく必要があるのではないか。
- ・ カーボンニュートラル、CO2 排出低減からも積層造形工法は優れており、これらの目的であることを明記して、指標/効果も表現して欲しい。
- ・ すでに、大型の国プロが複数実施されており、本プロジェクトの効果は未知数である。
- ・ 本プロジェクトで期待される効果は、予算規模に相応か、むしろ予算が少ないくらい

である。

2. 2 研究開発マネジメントについて

実用化に向けて必要な基礎技術開発および部品製作技術開発について、基礎調査から実用化に向けた研究開発ステップの優先順を配慮したスケジューリングがされたこと、また、海外動向を踏まえ、競争力を維持・強化するための高い最終目標が設定され、重要課題である欠陥予測精度およびフィードバック制御等については、目標が定量的であり、達成度がトレースできる状態にあることから、計画および目標は妥当である。

NEDO 推進の下、技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) が中心となる実施体制は、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、プロジェクトに求められる技術的成果および政策的効果を最大化しており、妥当である。また、NEDO はプロジェクトの進捗を適切に管理しつつ、加速予算を投入し実用化・事業化を促進するなどそのマネジメントは大いに評価できる。さらに、2021 年度よりユーザー企業等による検証を追加し、成果を社会に実装していくための取組を早期に組み入れている点も高く評価できる。

知財マネジメントは、基本方針のもと明確なルールが策定され、TRAFAM 全組合員の合意形成に基づいて知財管理が実施されており、妥当である。

今後は、常に最新の海外動向をフォローし、我が国の優位性を保つために必要となるものがあれば、国の予算措置や NEDO の自主財源等を活用した研究開発内容の追加やユーザー企業を取り込んだ体制を引き続き検討する等、より幅広い対応を期待する。

<肯定的意見>

- ・ 目標、計画、進捗管理、知財についての研究開発マネジメントは適切であり、小規模な予算によるプロジェクトであるにも関わらず、効率的に成果が出ていることは大いに評価する。
- ・ 技組 (TRAFAM) が元締めている実施体制は妥当である。NEDO の推進部も、加速予算を付けるなどして非常によくやってくれている。
- ・ 日本が出遅れている 3D プリント技術を早期に社会実装し、素形材産業をはじめ中小企業含めたモノづくり産業が付加価値事業を獲得し、産業全体の底上げを行うためには、国プロジェクトとして、産学官連携による技術、知財及びノウハウを集約しての研究開発が必須である。
- ・ その達成は、異なる技術領域の統合や異業種の連携が必要であり、かつその技術開発はチャレンジなものであるため、民間の技術開発活動のみでは困難であるという観点から NEDO 関与は必要。
- ・ 本 PJ の目的である「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」ためには、研究開発項目①②③の開発は不可欠である。
- ・ レーザービーム方式および電子ビーム方式の第一人者である京極教授、千葉教授を PL、サブ PL に任命し、TRAFAM を中心に PJ の進行全体の企画・管理や、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化した組織である。
- ・ 再委託先として、ユーザー企業等による検証追加は評価できる。

- ・ ①研究開発目標の妥当性
 3D プリンタ適用に際しての重要課題である、欠陥防止を目指した欠陥予測精度およびフィードバック制御等について、中間目標および最終目標が定量的に策定され、達成度がトレースできる状態にあり、妥当である。
- ・ ②研究開発計画の妥当性
 実用化に向けて必要な基礎技術開発（欠陥予測、モニタリング、欠陥補修等）、および部品製作技術開発（プロセスマップ準備、ユーザー検証等）について、基礎調査から実用化に向けた研究開発ステップの優先順を配慮したスケジューリングがされている。また予算についても大きな偏りなく配分されており、当プロジェクトを進める上で妥当である。
- ・ ③研究開発の実施体制の妥当性
 過去のプロジェクト（METI 執行案件含む）の成果、実績、および見識を有する産官学の体制が構築されており、NEDO の推進下でプロジェクトリーダーおよびサブリーダーが有効に機能している。当プロジェクトの中核である、技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合研究開発機構（TRAFAM）においては、実用化に際して必須である、装置メーカー、材料メーカー、および多くのユーザーが参画しており、現時点で国内での当該プロジェクトとしては最適な組織であり、妥当である。
- ・ ④研究開発の進捗管理の妥当性
 当プロジェクト開始後、定期的（四半期毎）に進捗確認がされており、特にコロナ禍においてもリモート会議を活用することで進捗確認が実施できている。一部設備故障の遅延リスクに対しても、NEDO がナショプロ向けリースサービスを採配することで回避する等、進捗管理の有効性が確認できる。また、事業化の加速に際し、ユーザーの検証追加、フィードバックやモニタリング技術開発等の優位性確保のための財源投入等、適切な対応がはかられており、妥当である。
- ・ ⑤知的財産権等に関する戦略の妥当性
 知財マネジメント基本方針のもと、明確なルールが策定されている。また知財審議会が設置され、TRAFAM 全組合員の合意形成に基づいて知財管理が実施されており、妥当である。
- ・ 海外動向を踏まえ、競争力を維持・強化するための高い最終目標が設定されている。コロナ禍が続く中、研究開発マネジメントという観点では難しい面も多々あったと想像できるが、目標達成に向けて実施者をマネジメント、中間目標をほぼ達成した点は高く評価できる。
- ・ 研究開発の進捗状況を踏まえ、本事業成果の実用化・事業化を加速するために 2021 年度よりユーザー企業等による検証を追加している。事業成果を社会に実装していくための取組を早期に組み入れている点も、研究開発マネジメントとして高く評価したい。
 - ①達成度については極力定量的指標にしておりわかりやすい。
 - ②研究開発のスケジュールについては妥当であり、要素技術も概ね網羅されている。
 - ③研究開発においては、その分野の第一人者が選定されている。また、共通技術に

関しては、レーザー方式、電子線方式で情報共有もされている。

④NEDOによる追加予算なども検討されている。

<改善すべき点>

- ・ 2017-2018 前テーマ目標との差異が生じるのはやむを得ないが、CO2 削減効果（36 万 t/年@2024、146 万 t/年@2030）については、継続してフォローすべき。
- ・ 金属積層造形は材料付加造形のため、他の工法に比べて廃却材料が少なく、出発原材料から考えても加えるエネルギーが減少できるため、CO2 排出低減の工法としても推進すべきである。前テーマのようにこの効果を明確にしてフォローを継続し、積層造形の付加価値として浸透させるべきと考える。
- ・ ①海外メーカーとのベンチマークを徹底的に実施してほしい。特に日本電子などは価格の問題であるという認識もあるようで、今回設定したその場制御だけの問題ではないように思う。また、達成目標を定量的にする必要性は理解するが、数値的な根拠が乏しい。
③研究開発としては十分である一方企業の開発を支援する体制が見えづらい。すでに大型のプロジェクトをいくつか終えており、この技術は事業化と共に開発が進むべきフェーズにある。すでに製品化された装置もあるので、新たなソフトウェアの開発も常にユーザー評価をしながら実施していく必要があると思われる。
- ⑤知財についても、企業側で知財戦略を明確にし、企業として取得すべきと思われる。

<今後に対する提言>

- ・ 今後しばらくは国の関与が必要であるこのような PJ については、研究者の新陳代謝も重要である。新たな研究者の確保をすすめてもらいたい。
- ・ 従来工法と 3D プリンタによるモノづくりによるトータル CO2 排出量比較を具体的に示して、政策的な 3D プリンタへの置き換えを推進すべきでは？
- ・ 本事業の後半のマネジメント等の検討に資する予定である、金属 3D プリンタの活用による省エネ・CO2 排出削減効果の試算について、当事案は 3D プリンタ活用により大きなメリットが期待でき、さらに国内外での喫緊の課題でもあるため、検討の優先度および重要性の引き上げを検討すべきであると考えられる。
- ・ 本事業において高い成果を出してきている一方で、海外においても同様の研究開発が進められており、最近では学会発表等でリアルタイムモニタリングやフィードバック技術が発表される例も出てきている。本分野は技術の進展が非常に早く、それらの動きをキャッチアップするだけではなく、さらにその先を行くように研究開発を進めていかなければ、現状の競争優位性を逸失してしまうことにもなりかねない。常に最新の海外動向をフォローし、我が国の優位性を保つために必要となるものがあれば研究開発項目を追加（予算措置含む）するなど、本テーマの更なる推進に期待したい。
- ・ ①可能であれば、ユーザー評価を経て目標の見直しを行ったほうが良い。
②後半は事業化を中心とした計画に見直したほうが良い。

③すでにフィードバック制御の一部もプロトタイプは出来ているので、企業を中心とした体制に後半戦は体制を組みなおすことも検討したほうが良い。また、欠陥修復機能のソフトウェアについては、実装してくれる企業にめどがたっているようなので、今後、そのような企業もメンバーとして、部分的でもよいので事業化を目指すほうが良い。レーザー造形においても日本電子のように企業メンバーを入れることはできないか？

2. 3 研究開発成果について

レーザービーム方式および電子ビーム方式の両者において、研究開発項目の中間目標を現時点でほぼ達成しており、未達成の案件に対しても 2021 年度中には達成できる見通しである。また、欠陥生成の要因解明をはかった上での AI を活用した欠陥予測精度の向上、高度モニタリングおよびフィードバック制御の作動確認、積層造形品に関するデータ蓄積等は、中間評価の時点で既に最終目標までの目途が得られており、特に、基礎的な技術は概ね完成している欠陥判別ソフトウェアと修復機能に関しては、他国の技術と比べても十分競争力を持っている。

論文および研究発表・講演を中心に、成果を普及させる取り組みが継続的に実施されているとともに、4 件の国内外への特許申請がなされており、適切な知的財産権等の確保に向けた取り組み等も評価できる。

一方で、設定された開発ベンチマークが不明瞭であるため、積極的にユーザー目線の意見を反映し、実施計画の見直しなども提案してほしい。

<肯定的意見>

- ・ メルトプール制御による製品機械特性制御のためのデータ取得、オンラインモニタリング、再溶融、欠陥予測システム等について成果が出ている。
- ・ 欠陥発生を抑制するフィードバック制御が可能となれば 3D プリンタの信頼性が向上し、普及促進に繋がる。特にレーザービーム方式で達成されれば、大きな 3D プリンタ市場へのアドバンテージとなる。
- ・ ①研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

レーザービーム方式および電子ビーム方式の両者において、研究開発項目の中間目標を現時点で 8 割以上達成（一部過達）しており、残案件も 2021 年度中には達成できる見通しであることが確認された。この中でも、欠陥生成の要因解明をはかった上での高度モニタリング・フィードバック制御技術について、AI を活用した欠陥予測、その場観察（計測）によるフィードバック制御技術等は、海外の既存技術を凌駕するものであり、今般の研究開発成果の意義は大きいものと評価する。

②成果の最終目標の達成可能性

レーザービーム方式および電子ビーム方式の両者において最終目標となっている、欠陥予測精度の向上、高度モニタリングおよびフィードバック制御の作動確認、積層造形品に関するデータ蓄積等、既に中間目標の時点で目途が得られており、達成の可能性は極めて高いものと考えられる。

③成果の普及

2019 年度から 2020 年度にわたり、当該プロジェクトに関する論文および研究発表・講演を中心に、成果の普及取り組みが継続的に実施されており、適切に貢献していると評価される。

④知的財産権等の確保に向けた取組

中間段階であるが、研究成果に基づき既に 4 件の国内外への特許申請がなされており、

今後は、実評価結果からの追加知財取得を目指していることから、適切な取り組み状況であると評価される。

- ・ コロナ禍で実施者間の交流が制限される中、中間目標をほぼ達成（一部は最終目標を達成済）している点は高く評価したい。
- ・ ①中間目標は概ね達成しており、十分な成果を上げている。特に、欠陥判別ソフトウェアと修復機能に関しては、概ね基礎的な技術は完成している。また、他国の技術と比べても十分競争力を持っていると考えられる。
②研究開発については、全体的に進捗しており、また目標も確実にクリアしており、申し分ない。最終目標もクリアされると確信した。
③成果発表も行っている。
④部分的ではあるが、特許出願も行われている。

<改善すべき点>

- ・ フィードバック機能は全積層面を再溶融するため、健全部の再溶融影響も確認しておく必要あり。
- ・ ①これは研究開発実施者の課題ではなく、NEDO 側の問題かもしれないが、やはりそもそもの達成目標の根拠が弱い。研究開発実施者においても、専門家の知見を発揮して、もともと設定されていた目標をクリアするだけでなく、積極的にユーザーの意見を反映し目標の変更なども提案してほしい。
②最終目標に向けては、今一度、事業化の観点から見直してほしい。
④事業化の視点から、社会実装を行う企業からの周辺技術も含めた出願を検討してほしい。

<今後に対する提言>

- ・ 4種類の金属粉末（Ti、718、アルミ合金、など）ではデータが圧倒的に足りない。Thermo-calc 等のソフトを見ればわかる通り、使えるデータベースには相当数のデータが蓄積されている。研究開発には馴染まないかもしれないが、徹底的にデータを取得するPJも必要ではないか。あるいは、データの自動取得システムと、このデータを利用したデータ同化による予測システムを、新たな課題として打ち出してはどうか。
- ・ 電子ビーム方式は、レーザー方式に比べて欠陥発生は抑えられるので、次ステップとして、今回の溶融凝固現象解明技術と高度モニタリング技術により金属組織予測をし、フィードバック制御により金属組織のコントロールを可能とする工法として付加価値を大きく向上させる技術であることも提言して欲しい。
- ・ 当該プロジェクトの最終目標達成に向けて、計画通り研究開発および評価が進捗すると思われるが、その過程で生じる変動要素（装置技術、操業技術上のばらつき等）についても、可能な範囲で把握した上でデータを分析し、将来の実用化に際して、安全安定操業および品質安定化に資するように注力をお願いしたい。
- ・ 目標に対して着実に研究開発を進めてきている反面、海外競合の動向や戦略について

のより一層の情報収集が必要である。最終目標の達成が基本ではあるが、海外の動向に応じて臨機応変に研究開発戦略を変更する、新たな計画・目標を設定する、ということも重要。経産省や NEDO とも情報を適宜共有し、2023 年度末においても本テーマの優位性が保たれるよう、研究開発を企画・推進して欲しい。

- 成果の普及に当たっては、技術成果のみならずユーザー目線に立った成果の発信に期待したい。ユーザーにとって何が容易になったのか、これまで出来なかった何が出来ようになるのか、それによる効果、等。
- 研究開発のレベルについては、申し分ないし、研究として高い目標を持ち進めており、十分である。一方、事業化に関してやはり弱さを感じる。今後、ユーザーを体制に入れた開発が進んでいくことになると思うが、ユーザー評価が研究開発に反映されるようにして工夫してほしいし、強く意識してほしい。例えば、電子線方式の場合は、既に日本電子が社会実装に向けたメンバーとして参画している。また、すでに最初の製品も販売している。しかし、事業化には数年かかるとの発言も一方であった。研究開発と実用化、事業化を同時に進めることで、前倒ししていただきたい。

2. 4 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

レーザービーム方式および電子ビーム方式の各々において、コスト面での改善や実用化に際しての標準化等が適切に検討され、市場への経済効果が試算されていることは、実用化に向けた取組として妥当である。また、プロジェクトの後半に向けて、新たにユーザーをチームに入れ、ユーザーによる実証・評価を開始している点も評価できる。さらに、欠陥判別機能と修復機能については、十分に最初のプロダクトになるレベルのものが完成していることから、今後の実用化が期待される。

一方で、社会実装する主体がどこになるのか明確でなく、実用化・事業化に向けた戦略は十分とは言えないことから、企業と連携した体制を今一度検討してほしい。また、市場やユーザーのニーズを広く把握した上で、そのニーズと現状の技術レベルとの間のギャップの分析や課題の対応策など、検討すべき点は多いといえよう。

今後は、実用化・事業化の加速および海外との競争力強化をより一層意識し、必要であれば財源を確保した上で研究開発等を前広に追加検討して頂きたい。また、研究開発成果が全て得られてから事業化を進めるのではなく、本事業を通じて開発したもののから順次市場に投入していくことも検討頂きたい。

<肯定的意見>

- ・ 実用化、事業化に不可欠な段階あるので、問題は無い。
- ・ ユーザー側との連携が密であり、サンプル製造などを通して連携している。
- ・ 用途先の開拓も（積極的に）行っている。
- ・ レーザービームモニタリング・フィードバックシステムについては、従来の装置に搭載可能なシステムとして開発し、事業化展開することから、金属積層造形の普及に繋がり、金属部品開発のリードタイムが削減され、開発のサイクルが早まり、より高機能および工程内品質保証された金属部材の製造につながることを期待できる。
- ・ 電子ビームモニタリング・フィードバックシステムについては、AIを用いた再溶融判断システムであり、よい確かな教師データが増えることで、信頼性が向上し、金属積層造形の品質安定進化に繋がる。
- ・ ①成果の実用化・事業化に向けた戦略

品質面、コスト面での諸課題がある点を認識した上で、当該プロジェクトで成果が予想される技術を反映させていく戦略の中で、レーザービーム方式および電子ビーム方式の各々において、コスト面での改善や実用化に際しての標準化等が適切に検討されている。また、今後精査は必要なものの、市場への経済効果も試算されており、妥当である。

②成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

当該プロジェクトで成果が予想される装置技術や操業技術において、競争力のある内容を反映させていく検討が進められており、これらの事業化に対するスケジュールについても明確に策定されている。

③成果の実用化・事業化の見通し

上述の通り、成果の実用化・事業化については、戦略および具体的な取り組み内容にもとづいて検討されており、当該プロジェクトの後半において、より一層の具体的な見通しが得られるものと期待される。

- ・ ユーザーによる実証・評価も新たに開始しており、研究開発成果の実用化に向けた評価が適切に行われている点は評価できる。
- ・ ②後半にむけて、新たにユーザーをチームに入れたことは、適切である。
- ・ ③研究開発としては、欠陥判別機能と修復機能については、十分に最初のプロダクトになるレベルのものは完成しているように思う。

<改善すべき点>

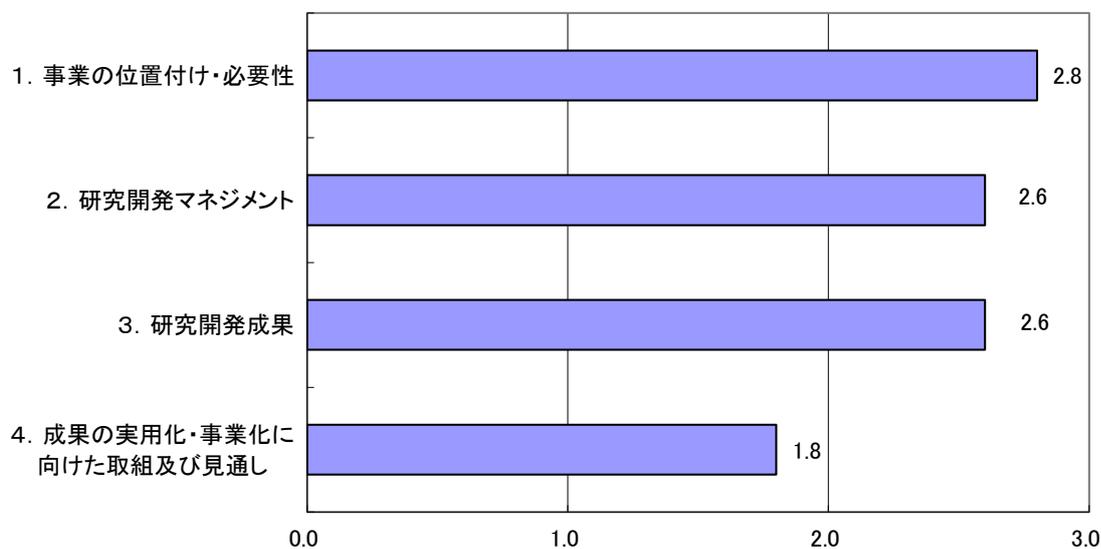
- ・ 実用化および事業化については、今後のユーザー評価等の分析内容も踏まえつつ、ニーズの追加収集、海外事業とのベンチマークによる分析、および付加価値の積み上げを含めたコスト競争力の検証等を推進し、マイルストーンのさらなる具体化に向けて取り組み強化をお願いしたい。
- ・ 実用化・事業化に向けた戦略については、市場ニーズやユーザーニーズを広く把握した上で、ニーズと現状ケイパビリティとの間のギャップ分析、課題対応策の検討など、検討すべき点は多いと思われる。
- ・ 戦略は十分とは言えない。社会実装する主体がどこになるのかが、明確ではない。ソフトウェアなどは、既製品にアドオンするようなイメージを持っているが、たとえばそのソフトウェアは誰がつくるのか？API や UI などどうするのか。そこまでぜひ考えてほしい。

注) API (Application Programing Interface)、UI (User Interface)

<今後に対する提言>

- ・ 当該プロジェクトの後半においては、実用化・事業化の加速、および海外との競争力強化をより一層意識した上で、必要であれば、装置技術開発および操業技術開発の追加検討がなされるべきと考えられる。そのためには、財源の確保がより一層重要になると思われるので、前広に検討を進めて頂きたい。
- ・ 研究開発成果が全て得られてから事業化を進めるのではなく、本事業を通じて開発したもののから順次市場に投入していくことが望まれる。成果全てを盛り込んだ製品を上市することは重要であるが、一方で一部の技術・機能であったとしても有益と感じるユーザーは多いと思われる。今後の実用化・事業化に向けた戦略策定の中でご検討頂きたい。
- ・ 積層造形技術は海外の製品が先行して普及しているのは事実であり、まずはそれをキャッチアップして、今回の技術により抜き去るということだと思ふ。大学が中心になって技術開発を進めるのは、良いと思っているが、事業者が伴走する体制を今一度検討してほしい。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)				
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	A	A	B	B
3. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	B	A
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	1.8	B	C	B	A	C

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業

事業原簿

【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 IoT 推進部
-----	--

—目次—

概要	1
用語集	6
I. 事業の位置づけ・必要性について	9
1. 事業の背景・目的・位置づけ	9
1. 1 事業の背景	9
1. 2 事業の目的	9
1. 3 事業の位置づけ	10
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	12
2. 1 NEDO が関与することの意義	12
2. 2 実施の効果（費用対効果）	12
II. 研究開発マネジメントについて	13
1. 事業の目標	13
2. 事業の計画内容	13
2. 1 研究開発の内容	13
2. 2 研究開発の実施体制	15
2. 3 研究開発の運営管理	16
2. 4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性	16
3. 情勢変化への対応	17
4. 評価に関する事項	19
III. 研究開発成果について	20
1. 事業全体の成果	20
1. 1 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義	20
1. 2 成果の最終目標の達成可能性	22
1. 3 成果の普及	24
1. 4 知的財産等の確保に向けた取組	24

2. 研究開発項目毎の成果.....	25
2. 1 レーザービーム方式.....	25
2. 1. 1 項目① 熔融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発.....	25
2. 1. 2 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.....	32
2. 1. 3 項目③ 積層造形部品製作のための開発・評価方法の開発.....	34
2. 2 電子ビーム方式.....	34
2. 2. 1 項目① 熔融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発.....	34
2. 2. 2 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.....	38
2. 2. 3 項目③ 積層造形部品製作のための開発・評価方法の開発.....	42
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.....	43
1. レーザービーム方式.....	43
1. 1 成果の実用化・事業化に向けた戦略.....	43
1. 2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み.....	43
1. 3 成果の実用化・事業化の見通し.....	43
2. 電子ビーム方式.....	43
2. 1 成果の実用化・事業化に向けた戦略.....	43
2. 2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み.....	43
2. 3 成果の実用化・事業化の見通し.....	44

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。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上げていくためには、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上げ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	パウダーベ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 パウダーベッドの放射率を計測し、シミュレーションにより Ti64 パウダーベ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ベ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)	パウダーベ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。	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℃以下でパウダーベ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. 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はいるが、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）

用語集

レーザービーム方式（電子ビーム方式と共通の用語も含む）

用語	用語の説明
積層造形	付加製造のうち造形層を積み重ねることによって3Dの造形物を実体化する加工法。
メルトプール	JIS Z3001 溶接用語では、熔融池と定義されており、ここでは、レーザーあるいは電子ビームによる熱源によってできた熔融した金属のたまりをいう。
パウダーベッド	粉末床ともいい、ここでは粉末を積層し、造形を行う場所。
リコート	パウダーベッド方式の3Dプリンターにおける造形面に粉末を一定の厚みで敷き詰める動作。スキージ、レーキ等と呼ぶことがある。
ビード	造形中に熔融凝固した金属部分。AMでは、トラック(track)ということも多い。
ポーリング現象	熱源による投入エネルギーが低いと熔融が不十分となり、トラック周囲の温度が低いなど熔融金属との濡れ性が低い際にトラックがボール状となること。
ハンピング現象	溶接分野で使用される表現で、ここでは走査速度が速過ぎる場合に、表面張力のバランスや熔融金属の流体不安定性、蒸発ガスの影響などによりメルトプール内での熔融金属の流れ速度が間歇的になり、熔融金属の山と谷が周期的に発生すること。
レイヤー表面	各層ごとのパウダーベッド及び造形面の表面を指す。
プロセスマップ	造形における適切な条件を見出すために使用するパラメータの関連性を示す図。パラメータとして出力と走査速度による図を使用することが多い。
スパッタ	レーザーや電子ビームを照射した際に飛散する熔融金属の飛沫。

プルーム	レーザー照射により発生したプラズマ、すなわち電離によって生じた荷電粒子を含む気体のことをいう。
反跳力	レーザーや電子ビームを照射した際に発生する金属蒸気に対する反力。
三次元光学プロファイラ	ここでは、光学的手段により三次元的な表面性状を計測する装置をいう。
教師データ	機械学習の学習用に用いる正解付きのデータ。
CNN	畳み込みニューラルネットワーク。畳み込み層、プーリング層、全結合層から構成され、層間が全結合層ではないニューラルネットワークのこと。ニューラルネットワークは人間の脳内の神経回路網を模したネットワークモデルのことであり、入力層、隠れ層、出力層から構成され、データを用いて各層間の重みパラメータを学習させる。
機械学習	コンピュータがデータから学習し、分類や予測などを実施するアルゴリズムやモデルを構築する技術のこと。

電子ビーム方式

用語	用語の説明
反射電子(BSE)、反射電子像	真空中で物質表面に電子ビームを照射した際に、固体内で散乱し、再び真空中に放出された比較的エネルギーが大きい電子。この電子の放出量は照射された物質(平均原子番号)に依存するため、その放出電子量に相当する信号を用いて画像化すると平均原子番号に依存した組成コントラストが得られる。この画像を反射電子像と呼ぶ。
ディープラーニング	階層が深いニューラルネットワーク。
スモーク現象	粉末が電子ビームで帯電し、クーロン力で反発し、飛散する現象。
チャージアップ	帯電すること。

クーロン力	帯電した物体間に働く力。
PREP 粉末	プラズマ回転電極 (PREP) 法で作製した粉末。PREP 法は、回転させた原料金属の電極棒にプラズマを照射し、熔融させた金属を遠心力で飛ばし、球状化させ製粉する技術。
PA 粉末	プラズマアトマイズ (PA) 法で作製した粉末。PA 法は、原料金属 (ワイヤーや粒塊状) をプラズマで熔融し、不活性ガスを吹き付け製粉する手法。
離散拡散法 (DEM)	粒子からなる系において、各粒子間の相互作用を計算しながら個々の粒子の挙動を計算する手法。
数値流体力学計算 (CFD)	流体の運動方程式 (ナビエ-ストークス方程式など) を数値計算で解き、気相や液相などの流体の挙動を計算する手法。
ベースプレート	造形に用いる基板。
熱電子	高温に加熱された物質表面から放出される電子。温度が高い程その放出量が多い。
スキージ	パウダーベッド方式の 3D プリンターにおける造形面に粉末を一定の厚みで敷き詰める動作。リコート、レーキ等とも呼ぶことがある。
エミッション電流	電子源のカソード(エミッター)から放出される電子数に対応した電流量。
対物レンズ電流	対物レンズの電磁コイルに流す電流量。この電流により対物レンズの磁束密度が変化し、造形面上のビーム径が制御できる。

I. 事業の位置づけ・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置づけ

1. 1 事業の背景

第4次産業革命が進展する中、ものづくりの付加価値を上げていくためには、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。

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ぐ力を引き出し、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上げていくことが急務である。

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。

1. 2 事業の目的

国内では製品の試作までは行う企業が増加しているものの、実製品化・量産化に向けては、日本の品質要求レベルが非常に高いこともあり、ほとんど進んでいないのが現状である。ただし、装置・材料については、NEDOプロジェクト「次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業」で開発を行った。しかし、金属部品の積層造形を行うには、その材料、形状、大きさ等によって、ビームの出力量や速度、サポート材の配置等のパラメータを設定する必要があり、付加価値が高い複雑形状や高機能な部品の造形であるほど、最適なパラメータを見つけ出すことは容易ではなく、現在の積層造形技術では量産にあたっての品質の再現性を確保することが難しい。

その背景としては、品質に大きな影響を及ぼす金属の溶融凝固メカニズムが解明されていないことが挙げられている。このメカニズムが解明され、欠陥の発生要因が明確化できれば、高品質・高信頼の3Dプリンタが実現する。日本がこれを先んじて開発・社会実装し、高品質といった従来の日本のものづくりの強みを活かしつつ、短納期等のグローバルニーズにも対応することで、サポーティングインダストリーとしての競争力強化が求められているところである。

本プロジェクトでは、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。

1. 3 事業の位置づけ

1) 政策的位置づけ

政府は、「科学技術イノベーション総合戦略 2017」（2017年6月2日閣議決定）では、3D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導入支援に取り組むとしている。また、「未来投資戦略 2018」（2018年6月15日閣議決定）では、3Dプリンタを活用して、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市場獲得のチャンスが生まれるとしている。

2) 海外の研究開発の動向

海外における研究開発の動向として、米国の「America Makes」や欧州の「Horizon2020」、中国の「中国製造 2025」において金属積層造形関連のプロジェクトが進められている。

特に最近の動向として、米国の「America Makes」では、機械学習等を活用した AM 造形品の品質予測や in-situ プロセスモニタリング技術、リアルタイム欠陥低減等の研究開発テーマが開始されており（研究開発内容の詳細は不明）、今後の開発競争が益々激化していくことが予測される。

また、今年8月のSFFシンポジウムにおいては、海外のアカデミアを中心に、AIモデルによる造形プロセスの最適化や in-situ プロセスモニタリング技術、欠陥予測モデルの構築に関する多くの発表があったとの情報も得ている。

このような状況において、本事業の研究開発を今後さらに加速していくことが重要になってくると思われる。

表 I-1 海外の研究開発の動向

America Makes	(出典：America Makesウェブサイト)
<ul style="list-style-type: none">■ Open Project Call 2020（7月公募）：約0.9億円<ul style="list-style-type: none">・ 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<ul style="list-style-type: none">・ 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)
<ul style="list-style-type: none">■ PAM²：約5億円<ul style="list-style-type: none">・ 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<ul style="list-style-type: none">・ 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)
<ul style="list-style-type: none">・ 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。	

3) 他事業との関係

我が国において、金属の積層造形技術に関連する本格的なナショナルプロジェクトは、2013年度に経済産業省が開始した「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム」となる。その後、経済産業省は2016年「省エネルギー型製造プロセスの実現に向けた3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業」を追加し、これらの事業は2017年度からNEDOに移管され、「次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業」に統合して実施された。

これらの事業は、国産金属3Dプリンタと金属材料の開発を目的として行われたもので、技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構（TRAFAM）が受託し、装置メーカーや材料メーカー、大学等研究機関が参画した。特に国産金属3Dプリンタについては、6社が製品化している（ casting sand type of binder jetting method also included）。

また、2017年度には、NEDO技術戦略センター（NEDO-TSC）において「次世代製造法（積層造形プロセス）分野の技術戦略」（非公開）の策定が行われ、これまでの金属積層造形技術関連プロジェクトの成果や今後の課題整理、後継プロジェクトの検討が行われている。

その結果、2019年には、概算要求の状況も踏まえたうえで、特に課題として重要性の高い造形プロセスの基盤技術の開発に重点を置いて「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」（本事業）が開始されている。

なお、本事業については2019年度にNEDOが実施者の公募を行い、外部有識者による厳正な審査の結果、引き続きTRAFAMが過去のプロジェクトの成果等も有効に活用しつつ実施している。

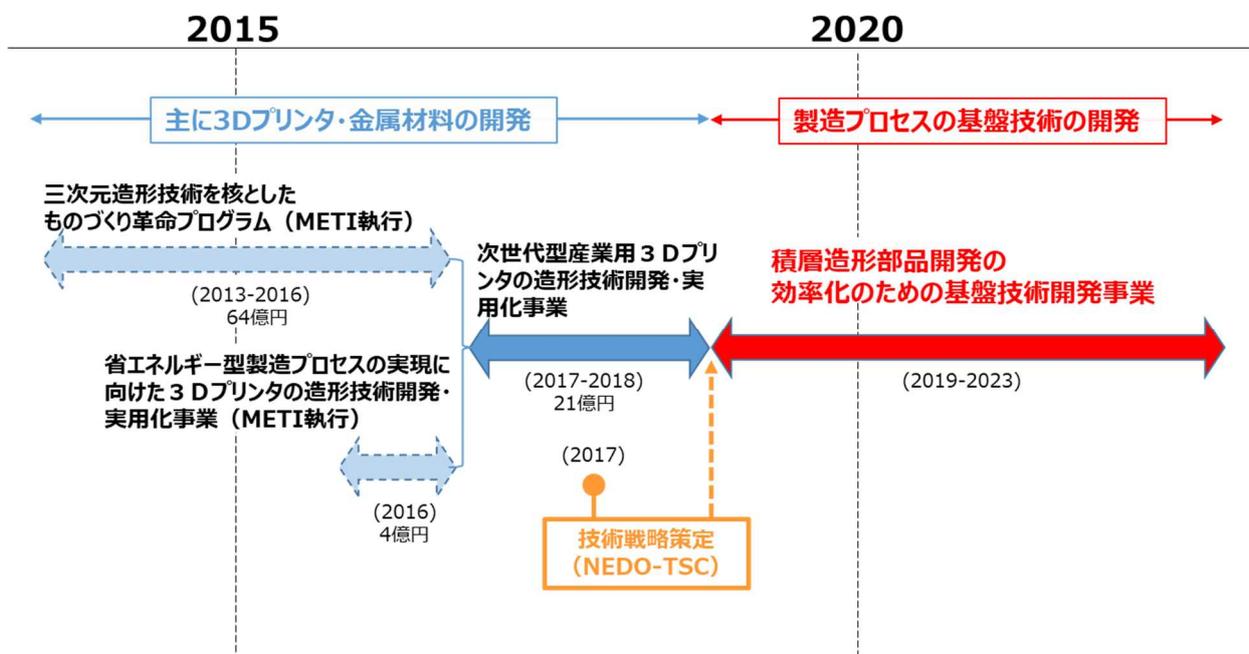


図 I-1 他事業との関係

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2. 1 NEDO が関与することの意義

本事業の推進により、金属積層造形の基盤技術が社会実装されることで、我が国のサポートインダストリーである素形材産業をはじめとするものづくり産業が高付加価値事業を獲得し、産業全体の底上げが期待される。

さらに、金属積層造形は海外では急速に広まりつつあるが、日本は出遅れている状況であり、積層造形部品等の開発に必要な基盤技術開発に、迅速に取り組む必要がある。開発された成果が早期に社会実装されることで、国際競争力の強化に大きく貢献することが期待される。

なお、金属積層造形に係る共通基盤技術は、産学官連携による技術、知財及びノウハウを集約しての研究開発が必須であるため、本事業は NEDO のこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業である。

2. 2 実施の効果（費用対効果）

本事業は、2019 年度から 2023 年度の 5 年間に於いて、総額 7.7 億円で実施する予定である。また、アウトカム目標としては、以下のとおりとなっている。

- 本事業の成果により積層造形による部品等の造形の品質の向上、造形プロセスの繰り返し安定性の確保とともに、積層造形部品製作のための開発・評価手法が確立されることで、積層造形部品の開発期間が 1/5 に短縮されることを目指す。
- また、それにより 2030 年度における本システムを搭載した金属 3D プリンタの国内素形材企業への導入割合 10%（事業所ベース）を目指す。

これに対して 2030 年における経済波及効果としては、造形装置 632 億円、造形品 1,900 億円が見込まれる。また、開発期間短縮に伴うコスト削減としても相当な額の波及効果が期待される。

なお、経済波及効果の算定根拠としては、以下のとおり。

経済波及効果（2030年）の算定根拠

造形装置について

- 2030年に本システム搭載金属3Dプリンタは、国内の791事業所に導入されると予測（経済産業省が平成29年度工業統計をもとに算定）。また、装置価格は0.8億円/台と仮定。

$$791 \text{ 事業所} \times 0.8 \text{ 億円/台} = 632 \text{ 億円}$$

造形品について

- 2030年の金属積層造形関連の世界市場予測（NEDO-TSC）では、造形装置6,500億円、造形品2兆円となっている。
- 造形品の市場規模は、造形装置市場に比例すると仮定。また、国内造形装置市場は上記より632億円。

$$2 \text{ 兆円 (造形品市場)} \times 632 / 6,500 \text{ (造形装置市場の比率)} \approx 1,900 \text{ 億円}$$

開発期間短縮に伴うコスト削減について

- 「新ものづくり研究会 報告書」（平成26年 経済産業省）では、3Dプリンタ等（金属以外も含む）による経済波及効果（2020年）を21.8兆円と予測している。そのうち、装置・材料、造形品等の直接市場以外にも、生産性の革新によるコスト削減により10.1兆円の効果があるとしている。
- したがって、「+ α」については、相当な額の波及効果が期待される。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1) アウトプット目標

本プロジェクトでは、金属積層造形部品等の品質確保及び開発の効率化のために、金属の溶融凝固現象の解明、高度な計測・機械制御技術の開発、積層造形技術における開発・評価手法の開発を行う。

具体的な研究開発内容と達成目標については、「II. 2. 1 研究開発の内容」の項において説明する。

2) アウトカム目標

本プロジェクトの成果により、積層造形による部品等の造形の品質の向上、造形プロセスの繰り返し安定性の確保とともに、積層造形部品製作のための開発・評価手法が確立されることで、積層造形部品の開発期間が 1/5 に短縮されることを目指す。また、それにより 2030 年度における本システムを搭載した金属 3D プリンタの国内素形材企業への導入割合 10%（事業所ベース）を目指す。

2. 事業の計画内容

2. 1 研究開発の内容

事業目標を達成するために、以下の研究開発項目①～③について研究開発を実施する。

研究開発項目① 溶融凝固現象の解明による欠陥発生予測技術の開発

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

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

なお、各研究開発項目における具体的な研究開発内容、達成目標（中間・最終）及び根拠については、以下のとおりである。

1) 研究開発項目① 溶融凝固現象の解明による欠陥発生予測技術の開発

パウダーベッド方式（レーザービーム式及び電子ビーム式）の積層造形試験研究機により、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。

表 II-1 研究開発項目①の目標と根拠

中間目標	最終目標	根拠
• 欠陥発生予測システムの予測精度 80%以上	• 欠陥発生予測システムの予測精度 95%以上	• 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。

2) 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

積層造形による部品等の造形にあたり、品質の向上、造形プロセスの繰り返し安定性を確保するため、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マルチプールの温度分布を計測する機能の開発、研究開発項目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の開発、レーザービーム式及び電子ビーム式の積層造形試験研究機に搭載可能にするための要素技術を開発する。

表Ⅱ-2 研究開発項目②の目標と根拠（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。

表Ⅱ-3 研究開発項目②の目標と根拠（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"> マルチプー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、マルチプー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。

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

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と共に、研究開発項

目①及び②で開発された技術を組み合わせ、ユーザーが造形条件を容易に作成するためのシステムを構築し、検証と初期データの蓄積を行う。

表 II-4 研究開発項目③の目標と根拠

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。

2. 2 研究開発の実施体制

本事業は、2019年度にNEDOが国内の企業（研究組合含む）、大学等を対象として公募を実施した結果、研究開発実施者に選定された技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構（TRAFAM）に委託して実施している。そして、2021年度にはユーザー検証の実施に伴い、ユーザー企業等3機関を再委託先に追加している。

また、研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOはプロジェクトリーダー（PL）に近畿大学の京極特任教授を、サブプロジェクトリーダー（サブPL）に東北大学の千葉教授を任命し、各組合員はPL及びサブPLの指揮の下でレーザービーム方式（主に京極PLが担当）及び電子ビーム方式（主に千葉サブPLが担当）の研究開発を実施する。

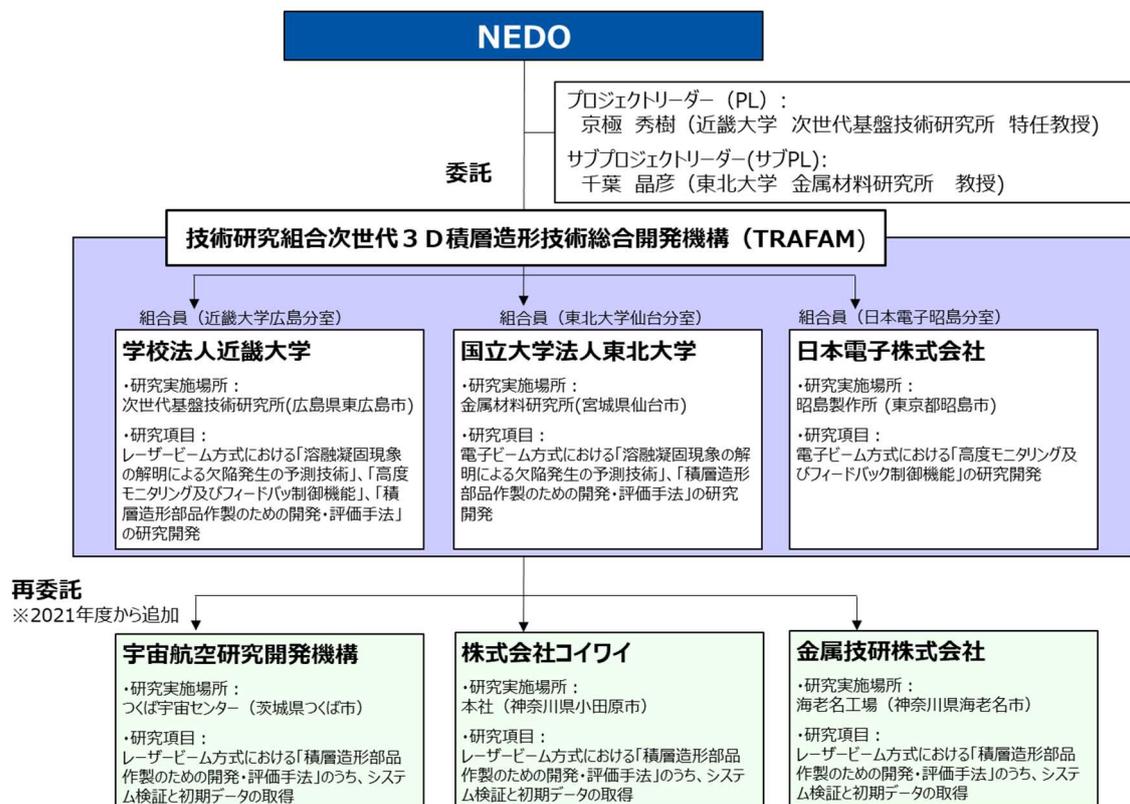


図 II-1 研究開発の実施体制

2. 3 研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理・執行を適切に遂行するため、経済産業省、プロジェクトリーダー、サブプロジェクトリーダー及び各実施者等と密接な関係を維持しつつ、プロジェクトの目的、目標に照らして適切な運営管理を実施した。

具体的には、外部有識者の意見を運営管理に取り入れるため技術検討委員会を開催したほか、サイトビジット等により進捗の確認や管理を行った。また、コロナ禍でのニューノーマルな対応として、2021年度からリモートでの進捗報告会を四半期毎に実施することで進捗管理の強化を図ることとした。

なお、これまでに実施してきた運営管理の内容及びスケジュールを表Ⅱ-5に示す。

表Ⅱ-5 研究開発の運営管理

会議名	対象項目	実施時期	内容
技術推進委員会	全項目	2020/10月	・ 外部有識者委員による、開発方針・推進計画、開発進捗、実用化・事業化に関する確認
技術推進委員会	レーザー	2021/4月	・ 外部有識者委員による、ユーザー検証に関する再委託先追加の審議
サイトビジット(東北大)	電子ビーム	2019/10月	・ 進捗報告、確認、今後の予定等確認 ・ 要素技術研究機、日本電子2次試作機確認
サイトビジット(東北大)	電子ビーム	2020/7月	・ 進捗報告、確認 ・ 電子顕微鏡故障対策に関する打合せ
サイトビジット(近畿大)	レーザー	2021/1月 ⇒中止	・ PR動画撮影、進捗報告、確認等を予定 ⇒緊急事態宣言の影響で中止
進捗報告会	全項目	2021/8月	・ 四半期毎の研究進捗状況を共有

2. 4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

1) ユーザー検証の追加

海外では、航空機、自動車等の分野を中心に積層造形技術を利用した金属部品生産の実用化が積極的に進められつつある状況にある。また、新型コロナウイルス感染拡大の影響によりサプライチェーンリスクも顕在化してきている。

そのため、NEDO は経済産業省と連携し、本事業成果の実用化・事業化を加速する取り組みとして、これまでの研究開発の進捗状況を踏まえ、2021年度からユーザー企業等による検証を追加した。ユーザー検証では、金属積層造形における欠陥の最小化を実現するための造形条件を容易に作成するシステムの検証と初期データの蓄積を行う。

なお、ユーザー検証の実施にあたって、NEDO は経済産業省及び委託先と連携し、2021年度の概算要求の状況に応じて検証の規模や内容を検討するとともに、開発促進財源等の活用等のマネジメントを実施してきた。また、検証を効果的に進めるため、2021年度からユーザー企業等を本事業に追加することで、体制構築のためのマネジメントも実施した。

2) 開発促進財源等の活用

本事業では、成果の実用化・事業化に向けて限られた予算で効果を最大化するため、研究開発の進捗等に応じて、NEDO 独自の開発促進財源等の効果的な投入することで対応してきた。特に、2020 年度では、経済産業省とも連携して、概算要求の状況に応じてタイムリーに開発促進財源等を投入することで、2021 年度のユーザー検証の実現に結び付けることができた。

なお、これまでに投入してきた開発促進財源等の実績を表 II-6 に整理する。

表 II-6 開発促進財源等投入実績

年度	項目	金額 (百万円)	内容	成果
2019	フィードバック制御 (レーザービーム方式)	12	海外競合の研究進捗を踏まえ、スパッタ等不慮による欠陥が発生した場合の欠陥発生を防止するフィードバック機能を開発を前倒して実施。	フィードバック精度の向上と、海外競合に対する優位性の確保。
2020	欠陥予測システム	18	欠陥予測システムにおける画像データ処理の自動化、欠陥判別機能及びプロセスマップの開発。	欠陥予測システムの精度向上及びユーザー検証の効率的な実施。
2020	マルチプルモニタリング (電子ビーム方式)	19	マルチプル観察用電子顕微鏡の電子銃の改良を前倒して実施	中間目標におけるマルチプル画像化の達成。さらには、前倒しに伴う予算の戦略的運用によるユーザー検証の着実な実施。

3) 知的財産の管理

本事業では、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、事業の成果に関わる知的財産権等については、原則として全て委託先に帰属させることにしている。

なお、委託先である技術研究組合は、プロジェクトの初期段階から、実用化・事業化を見据え、知財審議会を設置するとともに、知的財産権取扱規程等を整備して本事業に参加する全ての組合員と知的財産権の帰属、実施許諾等について合意している。また、我が国の産業競争力の強化に資するための知財マネジメントとして、権利全般とその取り扱いは、技術研究組合が一元管理することにしている。

3. 情勢変化への対応

1) コロナ禍での対応

新型コロナウイルス感染拡大に伴い、2020 年に全国レベルでの緊急事態宣言が行われた

際、事業遂行上の支障（出勤等ができない、研究設備が使用できない、研究資材が納入されない等）が顕在化してきた。そのため、2020年度においては、コロナ禍の影響により研究開発の中断や遅延を回避するため、委託先に対して定期的な状況確認を実施した。その結果、年度途中では、学内立入禁止措置や出勤停止等の影響により若干研究開発が遅延する状況もあったが、委託先の協力もあり計画どおりに事業を推進することができた。

また、2020年5月には、東北大学の学内立入禁止措置の解除後に、東北大学分室が保有する電子顕微鏡が故障（原因は電源投入時の突入電流によるコンデンサ焼損で、老朽化のため修理不能）した際、コロナ禍の混乱で委託先だけでの解決が困難であったため、NEDOが自らナショプロ向けリースサービス（単年度契約が可能のため途中解約金が発生しない、予算に応じた柔軟な費用設定が可能等）を探し出し、委託先とレンタル業者との橋渡しをして研究開発の中断を回避することができた。

2) 積層造形技術の普及に向けた調査

2020年度以降、新型コロナウイルス感染拡大の影響により、製造業をはじめとする産業界で、サプライチェーンの見直し・強化等の観点から積層造形技術の活用への期待が益々高まっている。実際、欧米では自動車業界、航空宇宙業界等において実生産技術として金属積層造形技術が採用されている一方、国内製造業では金属積層造形技術の積極的な導入・活用はまだ進んでいない状況にある。

このような背景から、2021年度において、国内外を対象として、金属積層造形技術に関わる技術開発の動向や金属3Dプリンタに関わるビジネスモデル、各産業分野での導入状況やサプライチェーン強化等に向けた取り組み状況等について調査・分析し、技術的課題等の整理を行ったうえで、今後の日本における金属積層造形技術の普及に向けて取り組むべき方策について検討するため調査事業を開始した。

なお、調査事業は本事業とは別枠（NEDO 自主財源によるもので、委託先も本事業と異なる）で実施するものであるが、経済産業省の原課とも連携して進めており、調査結果については本事業後半の予算要求や事業計画の拡充、プロジェクトマネジメント等の検討に活用することを予定している。

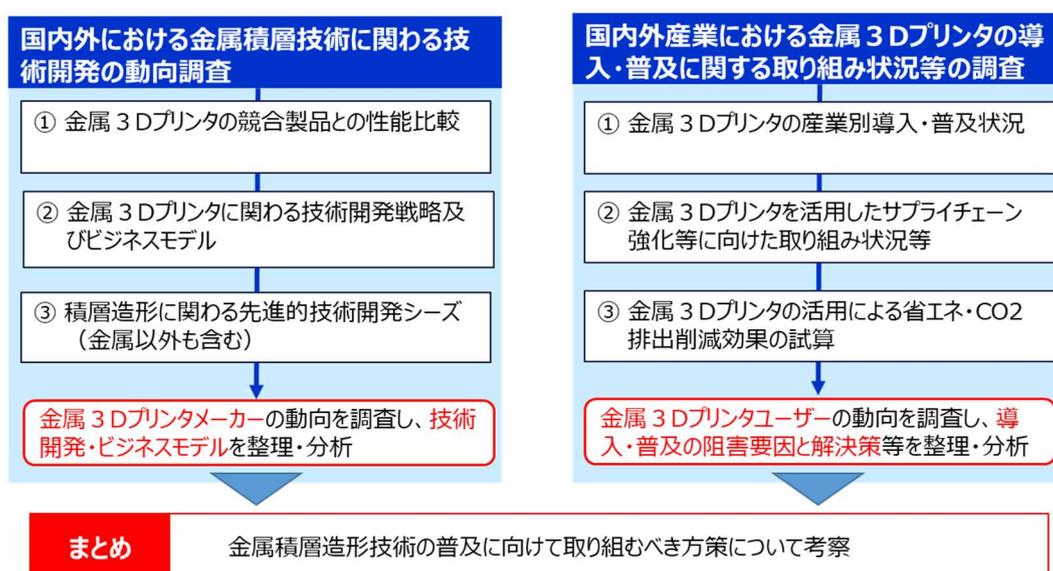


図 II-2 積層造形技術の普及に向けた調査のスキーム

4. 評価に関する事項

NEDO は、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を 2021 年度、事後評価を 2024 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1. 1 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

表Ⅲ-1.1-1 中間目標と達成度（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10μm以下(7.3μm)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。
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)	

表Ⅲ-1.1-2 中間目標と達成度（電子ビーム方式）

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への予測技術の開発	パウダーヘッドの溶融凝固挙動（マルチポールの安定性）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。マルチポ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)	マルチポ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	マルチポ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、マルチポ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。	光学式レザ-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℃以下であることを確認出来た。	○	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. 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。

◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

1. 2 成果の最終目標の達成可能性

表Ⅲ-1.2-1 最終目標の達成可能性（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の予測技術の開発	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%以上の目途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 10 μm 以下 (7.3 μm) 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 50 μm 以上の大きさの欠陥率を 0%とする。	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	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。

		形条件決定のリードタイムを 1/5 (1-2 週間) に短縮する。	
--	--	-----------------------------------	--

表Ⅲ-1.2-2 最終目標の達成可能性 (電子ビーム方式)

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	Ti64 パウダークラッドの放射率を計測し、シミュレーションにより Ti64 パウダークラッド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クラ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。 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。	マルチプールのインプロセス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。データを増やすことで、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、10 μm 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 10 μm 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クラッド表面及び造形表面を精度 10 μm 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 50 μm 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き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・検知し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、そのリカバリ機能が実装される。

3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	Ti64 合金でプロセスマップ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ー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。

1. 3 成果の普及

表Ⅲ-1.3-1 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2021年7月末現在】

	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

1. 4 知的財産等の確保に向けた取組

本プロジェクトでは、以下の戦略に沿った取り組みを行っている。

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。

表Ⅲ-1.4-1 特許の件数（内訳） 【2021年7月末現在】

	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	レーザー方式	0	2(2)	0			2(2)	4(4)
(うち外国出願)	電子ビーム方式	0	2(2)	0			2(2)	

また、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2020年度に4件出願した。

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。

2. 研究開発項目毎の成果

2. 1 レーザービーム方式

2. 1. 1 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

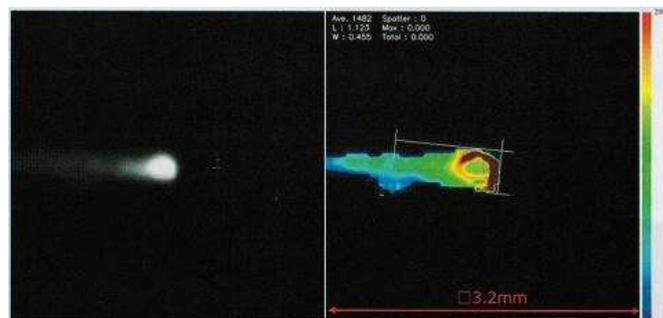
本項目では、積層造形プロセス中の欠陥生成メカニズムの学理を解明し、欠陥予測システムの開発に繋げることを目的とする。本研究開発項目での開発内容は以下の通りである。

1) 欠陥発生原因と造形条件の関連性の解明

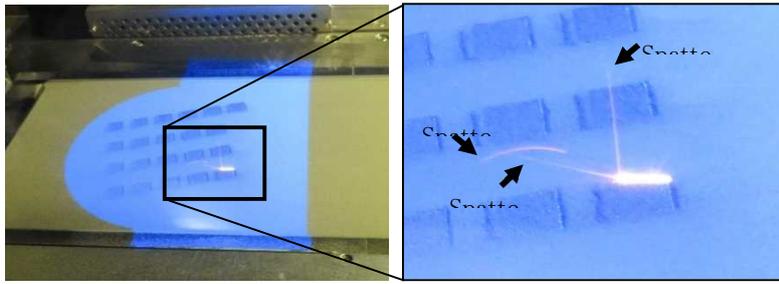
a) メルトプールの形態及び温度分布の測定

NEDOプロジェクト(2017～2018年度)において開発したメルトプールの温度分布と形状を精度よく計測できる世界トップレベルのモニタリング装置をさらに高度化したレーザー試験研究機として改良した。装置の仕様等の詳細は、2. 1. 2項で述べる。

本装置により、メルトプールの形態、温度分布及び金属飛沫(スパッタ)の状況(図Ⅲ. 2. 1-1)ならびにパウダーベッド及び造形面の表面性状(図Ⅲ. 2. 1-2)をin-situで観察可能となった。

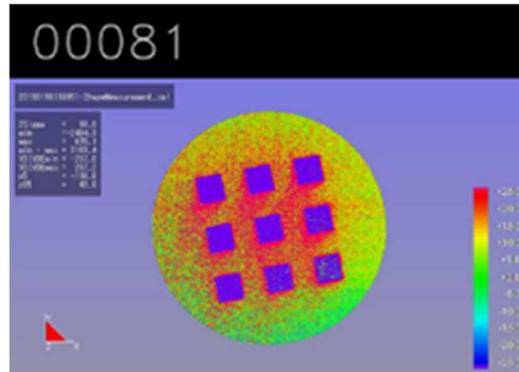


(a) メルトプールの形態及び温度分布



(b) スパッタの発生状況

図Ⅲ. 2. 1-1 メルトプールの観察状況

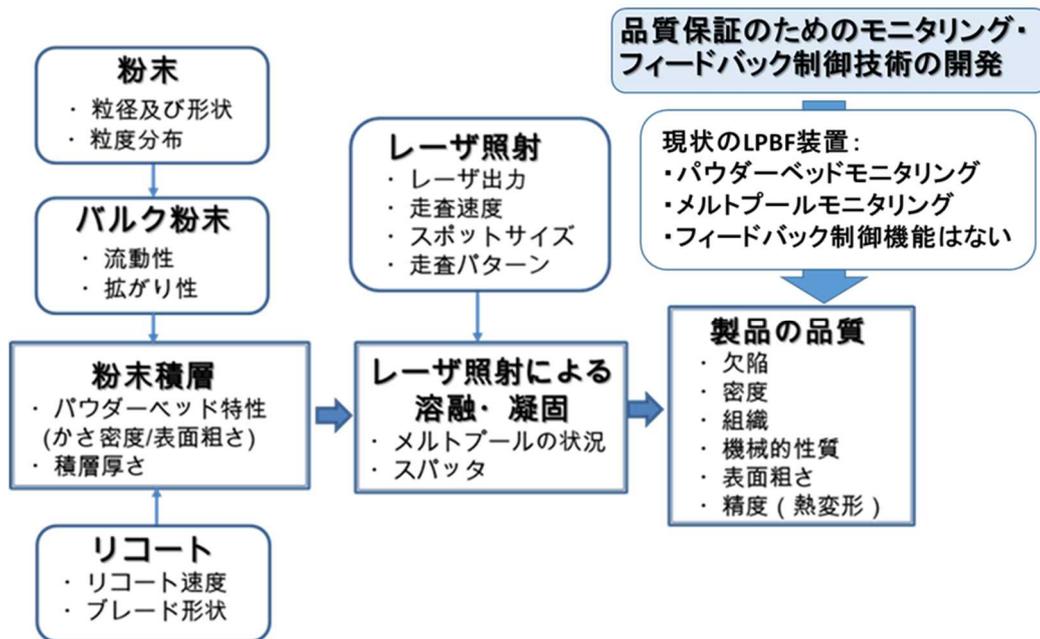


図Ⅲ. 2. 1-2 パウダーベッド面及び造形面の観察状況

b) 欠陥発生原因と造形条件の関連性

レーザービーム方式による積層造形は、図Ⅲ. 2. 1-3 に示すように、粉末のリコートとレーザー照射のプロセスを有するため、欠陥発生の原因となる因子が多く、造形品質を担保することが難しい。ここでは、欠陥発生原因と造形条件の関連性を解明することを目的とする。

内部欠陥の種類には、大きく分けてキーホールによる空孔と、未溶融による空隙が挙げられる。未溶融による空隙は、適切な造形条件が選択されていないためである。具体的には、(1)メルトプールの溶け込み深さが足りず造形体内部のビード間に空隙が発生する場合、(2)粉末を十分に溶かすことができず造形体表面のビードが不連続となるポーリング現象やハンピング現象による場合、(3)粗大なスパッタが造形表面に付着することによるスキージ不良に起因する溶融不良の場合がある。これらのうち、(1)及び(2)は適切な造形条件を選択することで欠陥を予測し回避することが出来る。しかし、(3)の粗大スパッタの発生に関しては、様々な要因が考えられる。



図Ⅲ. 2. 1-3 PBF-LB プロセスにおける製品品質に及ぼす主なパラメータ

ここでは、未溶融欠陥の一要因である粗大スパッタが造形面に付着する場合に着目し、スパッタの発生原因について検討した。まず、インコネル718合金（以後、IN718）を対象とし、レーザー試験研究機を用いて in-situ でメルトプール形態、温度分布やスパッタ発生状況に加え、パウダーベッド表面及び造形面の表面性状に関するモニタリングデータを収集する。次に、造形条件と欠陥発生状態の関係性について、表面欠陥と内部欠陥の関係や、取得した各種モニタリングデータと内部欠陥の関係より考察し、欠陥発生原因と造形条件の関連性を解明する。

このため、まずキューブ試験片による検討と併せて、丸棒形状の試験片を造形して、実態に近い状況で検討した。作製した丸棒の全てのレイヤーについて、パウダーベッド表面とレーザー照射後の造形面の表面性状データについて、レイヤー表面モニタリングシステムより自動取得した。

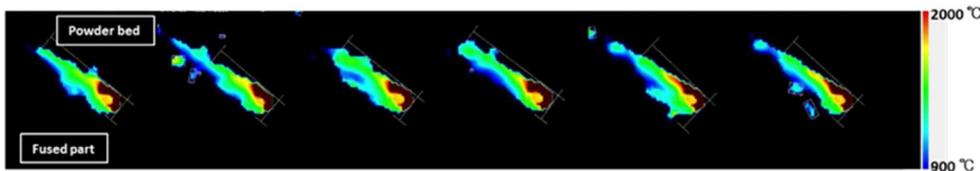
次に、表面性状については、パターン投影法によりパウダーベッドの凹凸高さ方向の分布をベストフィット面からの標準偏差 σ の値を用いて式(2.1)で算出した⁽¹⁾。この値は突出した山や谷といったノイズを除去した値となるため、 2σ の値を表面性状の指標とした。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \approx Sq \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

パウダーベッド（PB）表面と造形面のレイヤー表面モニタリング画像より表面性状を評価した。高密度条件におけるPB面の 2σ の値は10 μm 程度で、層ごとに大きな変化はなかった。PB面の 2σ の値は、これまで報告⁽¹⁾している値やChenら⁽²⁾による計測結果とほぼ一致した。これに対して、造形面の 2σ の値は60~70 μm 前後と高くなっており、造形面の凹凸が大きいことがわかった。このように、パウダーベッド並びに造形面の表面性状を定量化することができた。

- (1) 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, 115 (2021) 3919-3932. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07359-x>.
- (2) H. Chen, Y. Chen, Y. Liu, Q. Wei, Y. Shi, W. Yan, Packing quality of powder layer during counter-rolling-type powder spreading process in additive manufacturing, Int. J. Machine Tools Manufacturing, 153(2020) 103553.

また、図Ⅲ. 2. 1-4 に、高密度条件におけるメルトプールの挙動を示す連続画像の例を示す。各々のメルトプール画像は、左下が造形側で右上がパウダーベッド側となっており、試験片中央部付近を走査する際の画像として、左の画像から右の画像へと変化している。これからわかるように、メルトプールが溶融側に広がり、その形態はレーザーの焦点を中心に左右非対称となっていることが確認できる。これは、PB 側と造形面側の熱伝導率が大きく異なることに起因しており、熱伝導率の高い造形面側にメルトプールが広がったためである。また、高密度条件ではレーザー走査によるメルトプールの形態の変化は小さいのに対して、低密度条件ではメルトプールの形態が一様ではなく、メルトプールの長さや幅が変化するとともに、スパッタの発生にも影響があることがわかった。



図Ⅲ. 2. 1-4 メルトプールモニタリング画像の例（高密度条件）

このように、PBF-LB の実造形におけるメルトプールからのスパッタの発生現象は、適正な造形条件においても、パウダーベッドが存在することから粉末の取り込みやスパッタなどの存在により、メルトプールの溶融量が増加して肥大化すると、反跳力によりメルトプールから溶融部が押し出された後に、ブルームによって分離されることによりスパッタが発生することがわかった。また、スパッタが実際の積層厚さ（積層厚さに嵩密度により低下する厚さ（沈み込み量）を足した厚さ）より大きくなると、スパッタは欠陥を発生させる原因となるため、メルトプールからのスパッタの発生をできるだけ抑えることは、欠陥発生を抑制するための方策の一つである。

2) 欠陥予測システムのプロトタイプ試作

IN718 合金を対象として、レーザー試験研究機を用いて、メルトプール形態、温度分布やスパッタ、ブルームを高精度でその場観察することにより、造形条件とキューブ試験片の表面欠陥並びに内部欠陥との特徴付けを行い、欠陥発生予測システムを構築することを目的としている。

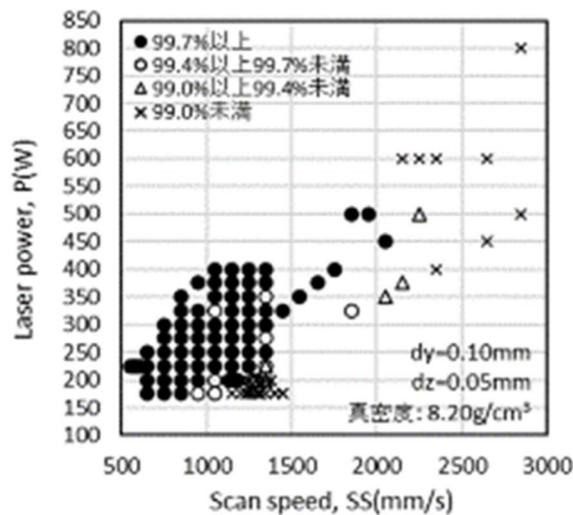
a) 実験によるプロセスマップの作成

IN718 合金のキューブ用プロセスマップを作成するために、造形において重要なパラメータであるレーザー出力と走査速度を変化させてライン造形および面造形を行うとともに、

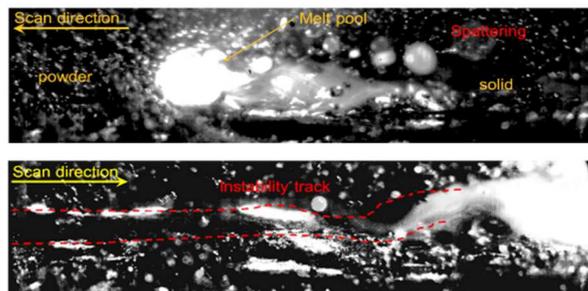
10 mm×10 mm×10 mm のキューブを造形し、プロセスマップの作成を行った。併せて、重要な指標であるエネルギー密度と相対密度の関係についても検討した。

図Ⅲ.2.1-5 に、キューブ試験片による相対密度を指標とした、レーザー出力と走査速度のプロセスマップを示す。これからわかるように、造形可能であった造形体の相対密度は、アルキメデス法により測定した結果、ほとんどが 99.7%以上となっている。なお、相対密度は、真密度を 8.20 g/cm³ として算出した。一方、高出力・高速造形条件においては、密度が低いことがわかる。これは、これまで報告⁽³⁾されているように、高出力、高速造形条件においては、図Ⅲ.2.1-6 に示すように、メルトプールが不安定になり、スパッタの発生が多くなること、ガスの巻き込みが増えることなどにより密度が低下することが要因として知られている。

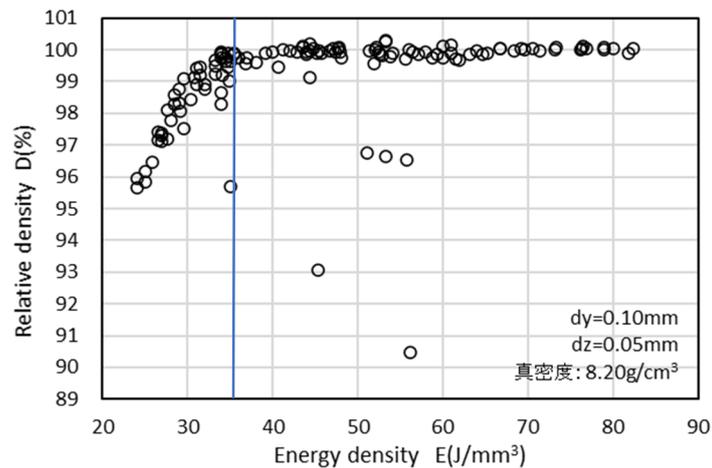
また、図Ⅲ.2.1-7 に、プロセスパラメータとしてよく使用されるエネルギー密度と造形密度の関係を示す。図より、エネルギー密度が約 35 J/mm³ 以上の条件で高い造形密度が得られたことから、エネルギー密度の閾値は 35 J/mm³ と考えられる。



図Ⅲ.2.1-5 造形体の密度を指標としたプロセスマップ



図Ⅲ.2.1-6 高出力、高速造形条件における IN718 の溶融凝固現象



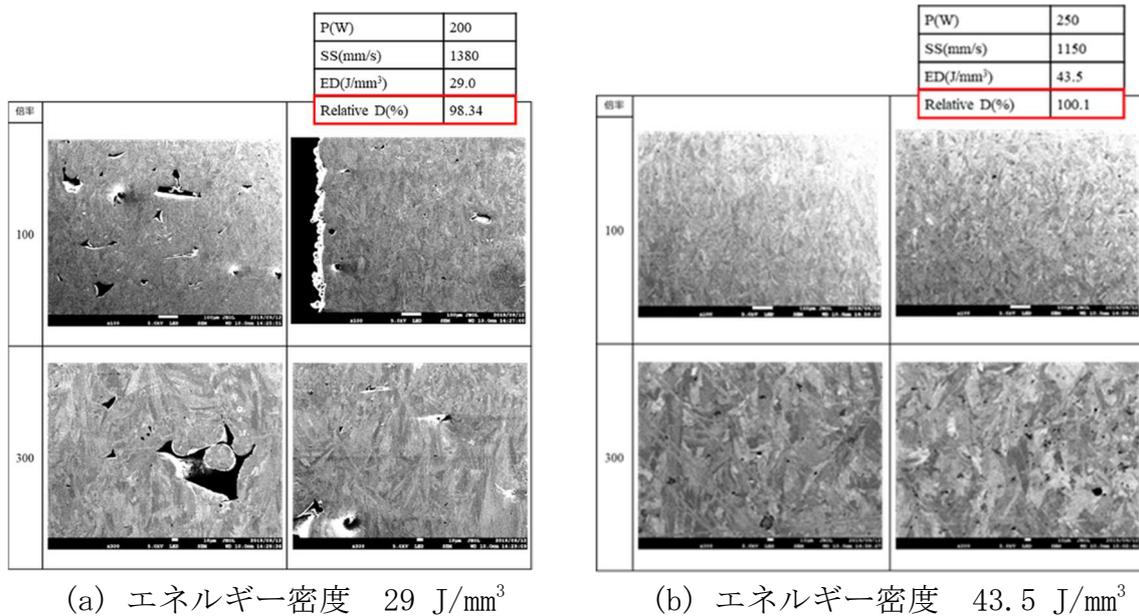
図Ⅲ. 2. 1-7 エネルギー密度と造形密度の関係

- (3) 例えば、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, Mech. Eng. Rev. 7 (2020) 19-00182.

b) 断面観察による内部欠陥状況の把握

欠陥発生原因と造形条件の関連性を解明するため、レーザー試験研究機で作製したキューブ試験片のうち代表的な試験片を選定し、断面観察から内部欠陥状況を把握した。また、全ての試験片の造形密度を測定し、造形条件との関係を調べた。さらに、表面性状の測定結果から表面欠陥と内部欠陥の関係を検討した。

造形体の断面観察による内部欠陥状況の結果の例を図Ⅲ. 2. 1-8 に示す。エネルギー密度が低い場合には、多くの未熔融欠陥が積層面に並んで観察されるのに対して、図Ⅲ. 2. 1-7 に示したようにエネルギー密度が相対密度 100%以上を示す閾値である 35 J/mm^3 以上の 43.5 J/mm^3 での組織においては、相対密度が 100%以上でも $10 \mu\text{m}$ 以下の微細な空孔（ポア）が多く点在していることがわかる。本研究においては、欠陥の大きさ $50 \mu\text{m}$ 以上を対象としていることから、欠陥はないものとして取り扱うこととする。



図Ⅲ. 2. 1-8 断面観察による内部欠陥状況の例

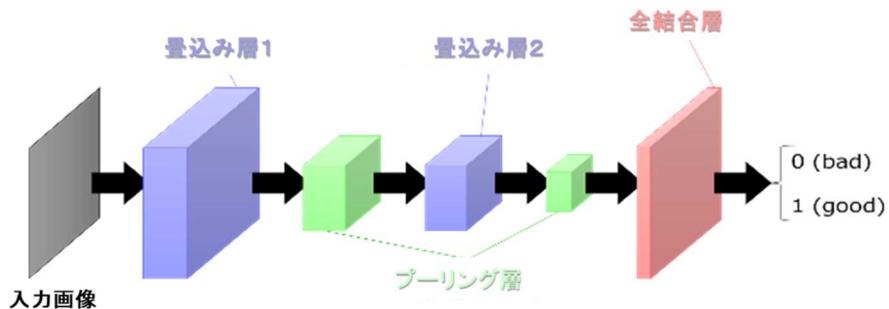
c) 三次元プロファイラによる表面性状パラメータと造形密度の関係

表面性状測定には、各種造形条件で造形した 121 個のキューブ試験片を用いた。また、測定には三次元光学プロファイラ (ZYGO NewView™ 9000) を用いて、三次元表面性状の測定を行った。なお、表面性状には ISO 25178-2 により規定されたパラメータを用いて評価した。これらの結果を用いて、密度と表面性状パラメータとの関係から相関行列より相関係数を求め、密度に及ぼす影響が大きい表面性状パラメータについて検討を行い、密度との相関が大きいパラメータを見出した。

一方、レーザー試験研究機のレイヤー表面モニタリング機能によるデータ取得を行い、両者の相関について検討した結果、両者のデータには相関があることがわかった。このため、レーザー試験研究機のデータ取得を行い、表面性状と欠陥の関係について検討を行った。

d) 欠陥予測システムの開発

東北大学仙台分室の特許による欠陥予測システムのプロトタイプにより検討を行った。教師データとして造形面のレイヤー表面モニタリング画像を用いた造形良否における判定データセットを準備し、欠陥予測システムのプロトタイプを試作した。プロトタイプ CNN モデルを図Ⅲ. 2. 1-9 に示す。得られた結果より、再現率 (Recall) はいずれのモデルも 0.8 以上となった。このように、レイヤー表面モニタリング画像より教師データを作成するとともに、CNN 設定条件について検討することにより試作した欠陥予測システムのプロトタイプを用いて検証した結果、欠陥発生予測精度 80%以上を達成した。このため、最終目標の予測精度 95%を目指して、画像判別機能に入力する画像データ処理を自動化するソフトウェアを開発し、画像処理の自動化を図るとともに、プロトタイプの欠陥予測ソフトウェアを大幅に改良し、最終目標である予測精度 95%を達成できる目途を得た。



図Ⅲ. 2. 1-9 プロトタイプ CNN モデル

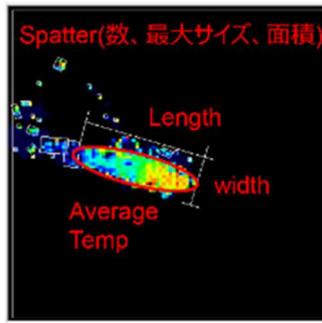
2. 1. 2 項目② 高度モニタリング及びフィードバック制御機能の開発

1) モニタリング技術の高機能化

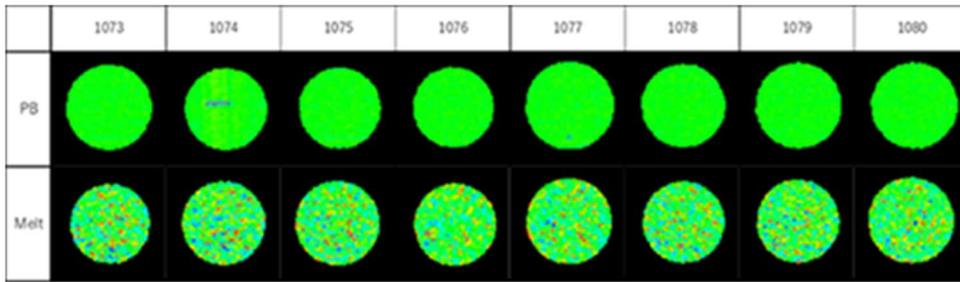
レーザー試験研究機（図Ⅲ. 2. 1-10）におけるモニタリング機能の高性能化を図った。パウダーベッド及び造形体のモニタリングにおける高さ分解能 30 μm から目標値である 10 μm 以下に高精度化するとともに、メルトプールモニタリングにおいてメルトプール形態（幅、長さ）及びスパッタ量（図Ⅲ. 2. 1-11）のリアルタイム計測機能を追加した。レイヤー表面モニタリングにおけるキューブ造形体の表面性状測定結果の例を図Ⅲ. 2. 1-12 に示す。また、パウダーベッド全面の温度分布や熔融状況を高精度で計測できる機能も組み込み、パウダーベッド表面温度を測定精度 $\pm 50^\circ\text{C}$ 以下で測定可能とし、モニタリング機能を高度化した。



図Ⅲ. 2. 1-10 レーザー試験研究機外観



図Ⅲ. 2. 1-11 メルトプールモニタリング画像

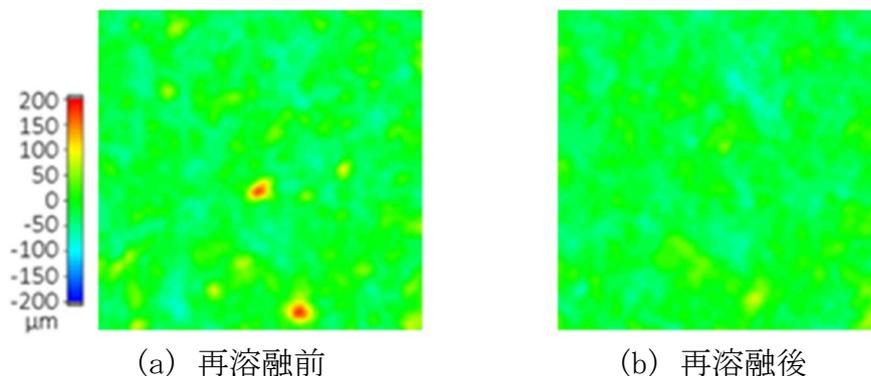


図Ⅲ. 2. 1-12 レイヤー表面モニタリング計測例

2) 再溶融による欠陥補修システムの開発

2020年度に予定していたスパッタ等不慮による欠陥が発生した場合の欠陥発生を防止するフィードバック機能を前倒して、2019年度に実装した。

欠陥発生を抑制するためのフィードバック制御機能を実装したシステムを用いて、スパッタ等不慮による欠陥が発生した場合の欠陥発生を防止するフィードバック機能について実証実験を行った。まず、再溶融効果について検討した結果、例えば図Ⅲ. 2. 1-13 に示すように、高さ 200 μm 以上の凸部が消滅するなど、表面性状の改善ができ、欠陥発生を防止できることを明らかにした。さらに、ISO 25178-2 に規定されている表面性状パラメータを用いて再溶融のための閾値を決定した。



図Ⅲ. 2. 1-13 再溶融前後における溶融面のモニタリング画像

2. 1. 3 項目③ 積層造形部品製作のための開発・評価方法の開発

モニタリングデータからプロセスマップを自動生成しプロセスウィンドウを探索する手法を設計した。まず、三次元プロファイラ画像データを用いた本探索手法の有効性を検証した。また、キューブ試験片を用いてプロセスマップ作成用のデータ（IN718 合金）を収集し、データベースに登録するシステムを構築した。

さらに、欠陥と関連の高い表面性状パラメータを使用するとともに、機械学習を用いて、装置側で取得したモニタリングデータからプロセスマップを自動生成する機能を開発した。自動生成したプロセスマップは、図Ⅲ. 2. 1-5 に示した実験値によるプロセスマップと比較してほぼ一致することを確認した。

さらに、IN718 合金を対象として、造形体の形状因子及び典型的な走査パターンを変化させた場合の各種データ収集を開始した。これらのモニタリングデータからプロセスマップを探索する手法の改良と検証を行っている。また、ステンレス鋼およびチタン合金についても、同様のデータ収集を開始した。

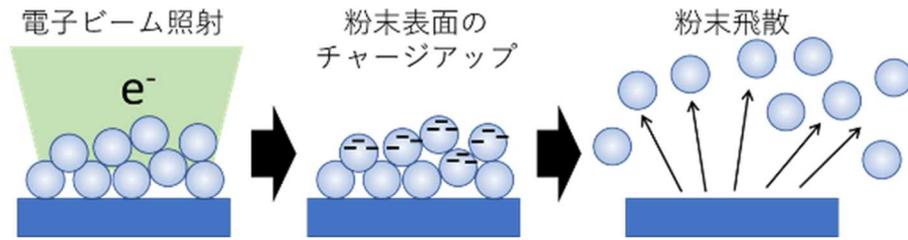
2. 2 電子ビーム方式

2. 2. 1 項目① 熔融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発

パウダーベッドの熔融凝固現象の学理を構築し、欠陥形成メカニズムを明らかにして、欠陥予測システムを開発する。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する機能を試験研究機に搭載する。この搭載した機能を用いてパウダーベッドの熔融凝固挙動をその場観察し、パウダーベッドの表面計測結果や熔融凝固シミュレーションによる解析も組み合わせながら、欠陥形成の学理を構築する。本項目では、Ti-6Al-4V 合金を用いる。さらに、その成果を基に、欠陥を予測するシステムを開発する。この欠陥予測システムは、造形表面画像データを判別する機能（画像判別機能）と表面画像データから造形欠陥の有無を 1 積層ごとに予測する機能（欠陥判別機能）の 2 つから成る。画像判別機能と欠陥判別機能はともにディープラーニングを用いる。

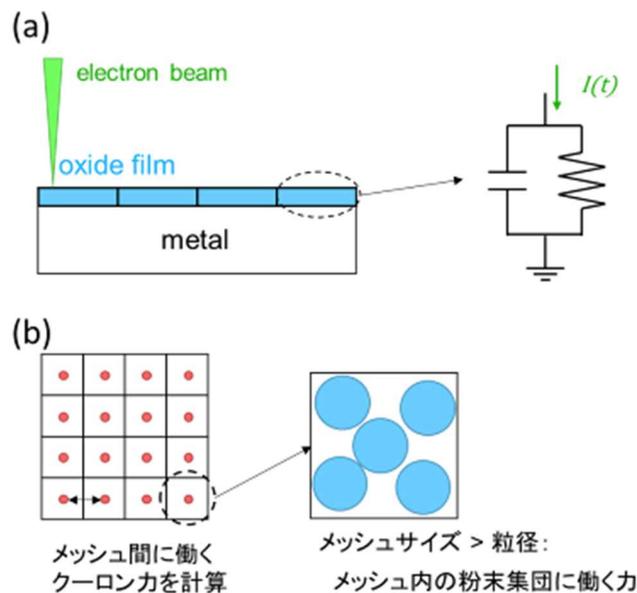
（1）欠陥発生原因と造形条件の関連性の解明

電子ビーム積層造形ではエネルギー源が負の電荷を有した電子ビームであるため、図Ⅲ. 2. 2-1 に示したようにパウダーベッド表面に電子ビームを照射した際に粉末が帯電し、粉末間の静電反発力によって粉末が飛散するスモークという現象が発生しうる。このスモーク現象は欠陥形成に繋がるおそれがあるため、電子ビーム積層造形では重要な課題である。そこで、電子ビームの走査条件とスモーク現象の関係をコンピュータ上で解析し、さらにパウダーベッドの昇温挙動も解析するために、パウダーベッドのヒーティングを計算するシミュレーションソフトウェアを開発した。



図Ⅲ. 2. 2-1 電子ビーム照射により生じるスモーク現象

開発したシミュレーションソフトでは、パウダーベッドの充放電挙動の計算を単純化するため、パウダーベッドを図Ⅲ. 2. 2-2 (a)のようにモデル化した。実際には表面に薄い酸化物の層を有した粉末の凝集体であるが、それを表面に薄い酸化膜を有したバルク体で表した。ここで酸化膜の等価回路を示しているが、この酸化膜の時定数を粉末凝集体の電気抵抗測定（インピーダンス測定）から求めた。また、計算する領域が広いため、実際にはメッシュサイズを粒径より大きく設定することが多く、メッシュ間に働くクーロン力を計算しているため、計算されるクーロン力は図Ⅲ. 2. 2-2 (b)に示したように粉末集団に働くクーロン力である。開発したシミュレーションソフトウェアを用いてビーム径の影響を計算し、ビーム径がクーロン力に及ぼす影響を明らかにした。



図Ⅲ. 2. 2-2 (a) パウダーベッドヒーティングのシミュレーションにおけるパウダーベッドのモデルと等価回路。(b) メッシュサイズと実際の粉末との関係。

パウダーベッド方式の積層造形技術では、粉末の熱放射率が粉末の熔融・凝固挙動に影響すると考えられる。レーザー方式の場合は、レーザーの吸収しやすさにも影響し、レーザー波長に対する放射率が高いほど、その波長に対する吸収率も高いため、熔融しやすい。一方、電子ビーム方式の場合は、粉末のエネルギー吸収率は材料に依らずほぼ一定で高い

値を示すが、造形エリアのパウダーベッドを高温に保持するため、粉末からのエネルギー損失が粉末の放射率に依存して変わってくる。放射率が低い粉末ほど、エネルギー損失が少なくパウダーベッドを高温に維持しやすく溶融しやすい。また、溶融池周辺のパウダーベッドのエネルギー損失が少なくなるため、冷却速度や凝固速度にも影響を及ぼすため、凝固組織にも変化が現れると考えられる。そこで、本研究では、粉末の熱放射率を測定した。その結果、PREP 粉末と PA 粉末で放射率の違いがあることが分かり、同じ PREP 粉末で波長依存性を評価すると、波長が長いほど放射率が大きく、高温になるほど放射率が大きくなることが分かった。

(2) 欠陥予測システムのプロトタイプ試作

表面形状のレイヤーモニタリングデータから欠陥の有無を判別するシステムを試作するのが目的である。表面形状のレイヤーモニタリングデータは造形表面の高さをマッピングした 2 次元画像であり、画像の特徴を学習させ判別させるには CNN が適しているため、CNN を用いて試作を行った。CNN の構造を図 III. 2. 2-3 に示す。20 条件でキューブ試験片を造形した際の 101 層分のレイヤーモニタリングデータから造形材の領域だけをクロップして切り出し、2020 枚の画像データを用意した。アルキメデス法で求めた相対密度を基に 99. 0% 未満のものを欠陥あり材 (Bad)、99. 0% 以上のものを欠陥なし材 (Good) とし、画像データを欠陥あり材と欠陥なし材の 2 種類に分割した。欠陥あり材と欠陥なし材のそれぞれからトレーニング用データと評価用データをランダムで選択し、トレーニング用データ数/評価用データ数の比が 90/10 または 75/25 となるように 2 種類のデータセットを準備した。また、これらの画像のピクセル値として、測定高さの値を設定した画像、および -200 ~ +200 μm を 0 ~ 1 に規格化した画像の 2 種類を用意した。トレーニング用データ数/評価用データ数の比、並びに画像ピクセル値の前処理の違いによって、表 III. 2. 2-1 に示した 4 種類のプロトタイプを試作した。

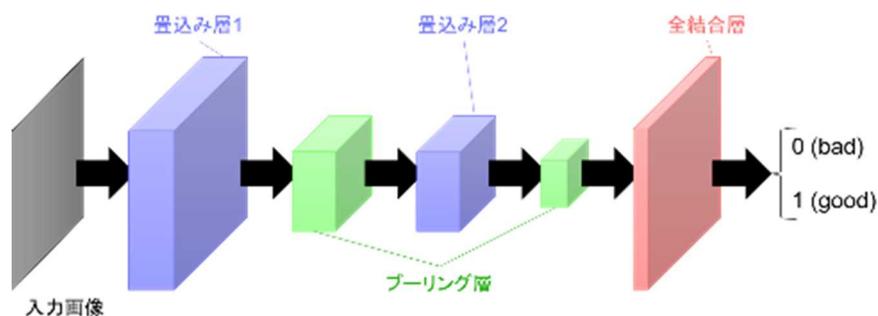


図 III. 2. 2-3 欠陥予測システムのプロトタイプで用いた CNN の構造。

表Ⅲ.2.2-1 試作した4種類のプロトタイプ

Model	入力画像のピクセル値	Training / Test
Model 1.1	測定高さ [μm]	90/10
Model 1.2	-200 ~ +200 μm を 0 ~ 1 に規格化した値	90/10
Model 1.3	測定高さ [μm]	75/25
Model 1.4	-200 ~ +200 μm を 0 ~ 1 に規格化した値	75/25

各プロトタイプを評価用データで検証し、表Ⅲ.2.2-2 に示したように True Positive (TP)、False Negative (FN)、False Positive (FP)、True Negative (TN) のに分類されたデータ数を求めて混同行列を作成した。それらの値から精度 (Accuracy)、再現率 (Recall)、適合率 (Precision)、F 値 (F1) を算出した。

ここで、精度は全ての評価データ数に対する正解データ数の割合、再現率は実際に欠陥が含まれる造形材のうち、欠陥ありと予測できた割合、適合率は欠陥ありと予測された造形材のうち、実際に欠陥を含んでいた造形材の割合、F 値は適合率と再現率の調和平均である。欠陥予測システムでは欠陥ありのものを欠陥なしと判定するのが致命的であるため、評価指標としては再現率が高い方が良いと考えられる。どのプロトタイプも 80% を超える再現率が得られた。

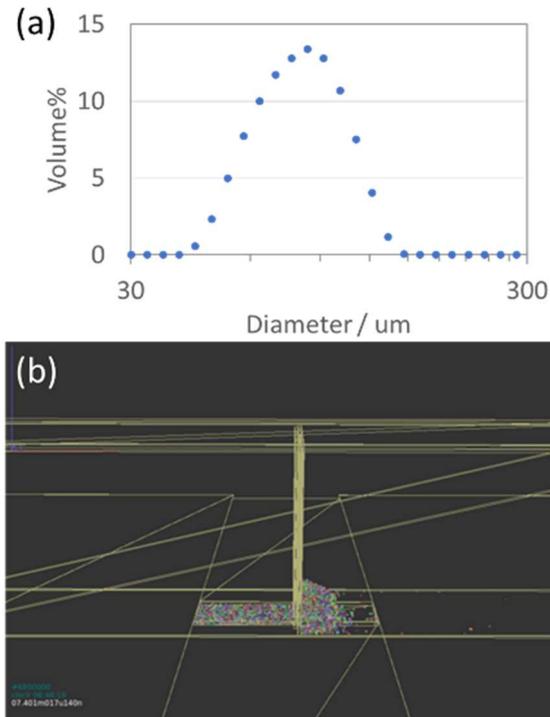
表Ⅲ.2.2-2 評価用データの分類

		予測	
		Bad	Good
密度 測定	Bad	TP	FN
	Good	FP	TN

(3) 各種条件でのモニタリングデータ及び溶融凝固シミュレーションデータの収集

離散要素法 (DEM) によるパウダーベッドを形成するシミュレーションを実施し、この DEM で形成したパウダーベッド上に電子ビームを走査させた時の溶融・凝固する挙動を数値流体力学計算 (CFD) を用いてシミュレーションを実施した。

図Ⅲ.2.2-4 に DEM によるパウダーベッド形成シミュレーション結果を示す。図Ⅲ.2.2-4(a) はプラズマアトマイズで作製された Ti-6Al-4V 粉末の粒度分布の実測値であり、この粒度分布を与えてシミュレーションを行ったパウダーベッドの形成過程のスクリーンショットが図Ⅲ.2.2-4(b) である。



図Ⅲ.2.2-4 (a) プラズマアトマイズで作製されたTi-6Al-4V粉末の粒度分布。(b) 図Ⅲ.2.2-4 (a)の粒度分布を与えてDEMで計算させたパウダーベッド形成過程のスクリーンショット。

図Ⅲ.2.2-4のDEMシミュレーションで形成したパウダーベッドモデル上に電子ビームを走査させたときのパウダーベッドの熔融・凝固挙動をCFDによるシミュレーションで解析し、明らかにした。

また、インプロセスモニタリングデータの収集も行い、モニタリングデータで取得できる情報と内部欠陥の相関を明らかにし、欠陥予測システムの開発につなげる必要がある。そこで、内部欠陥と相関のあると考えられる表面凹凸を反映した反射電子(BSE)画像を取得するインプロセスモニタリング機能でモニタリングデータの収集を行った。表面の凹凸を反映したBSE画像を取得できることが確認でき、CNNの学習用にこのインプロセスモニタリング画像を収集中である。

2.2.2 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

5つの中間目標に対する現在までの成果について報告する。

中間目標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。

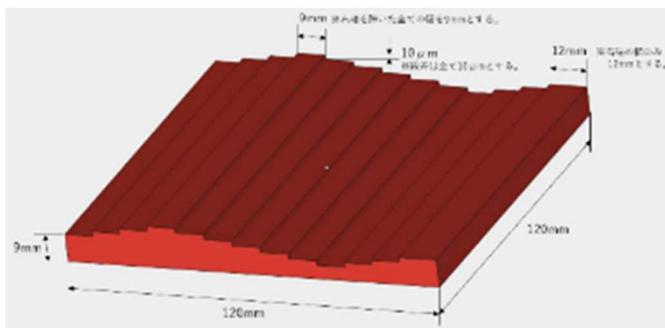
成果1：観察手法を変更して観察速度の改善を図った。この方式により観察用電子ビームを用いた反射電子画像で動画観察が可能となり、走査中の熔融ビームの状況が観察できた。

今後、パウダーベッド上で熔融観察条件の最適化を図り、メルトプール観察を進めていく。

中間目標 2：パウダーベッド表面及び造形表面を精度 30 μm 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。

成果 2：光学式レイヤー表面計測装置を試験研究機に搭載し、10 μm 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。

図Ⅲ.2.2-5 に 10 μm の高さ分解能(精度)を確認するために作製した 10 μm 段差付きベースプレートの概要図とその段差を視覚的に確認するため左側から光を当てた時のベースプレートの光学写真を示す。

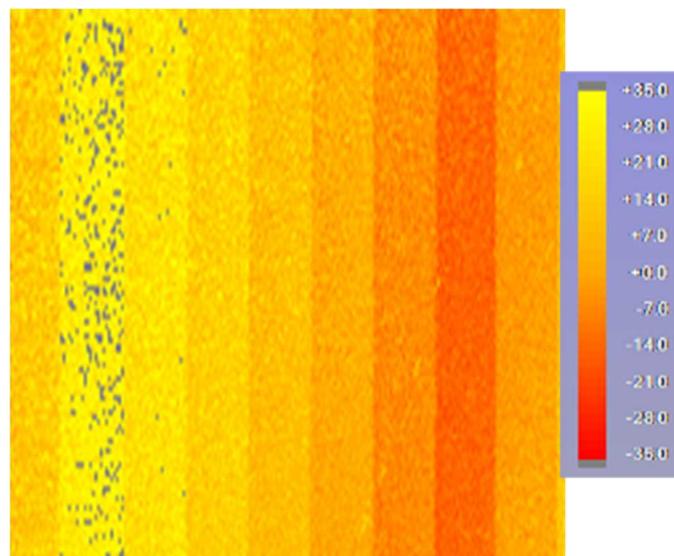


10 μm 段差ベースプレート概要図
(上図は段差を誇張している為正確な寸法ではない)

10 μm 段差ベースプレートの光学写真

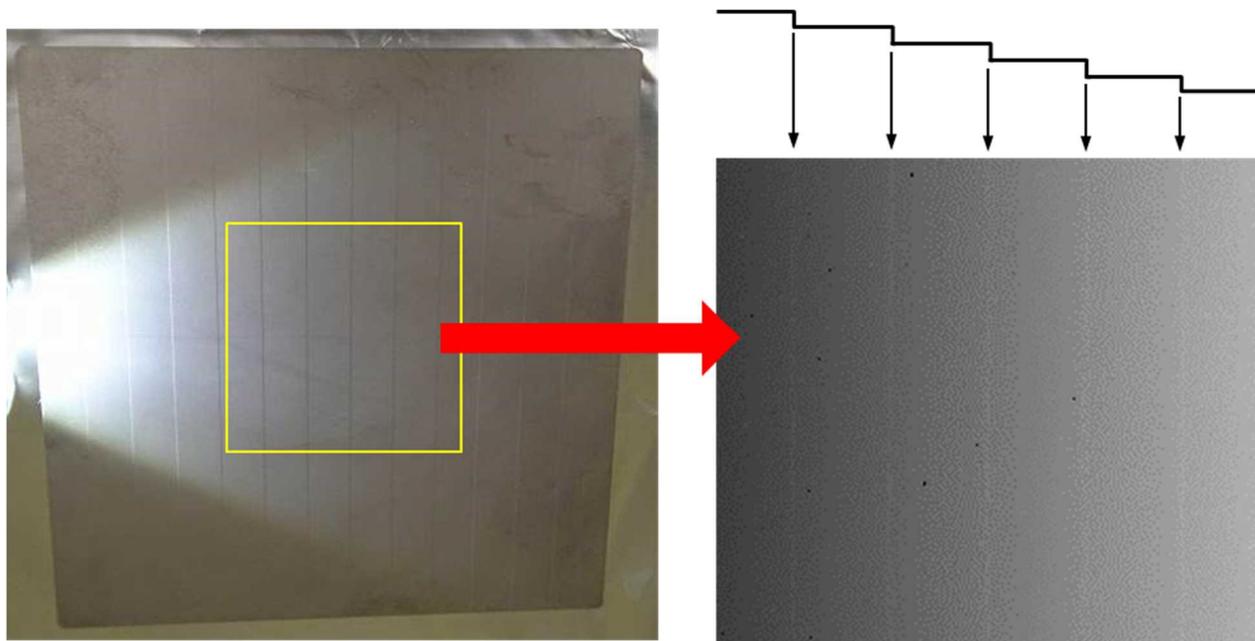
図Ⅲ.2.2-5 10 μm の段差を付けたベースプレート

図Ⅲ.2.2-6 にレイヤー表面計測装置による 10 μm 段差付きベースプレートの計測画像を示す。図のように 10 μm 段差が明瞭に計測できており、10 μm の精度で凹凸形状が測定できることがわかる。



図Ⅲ.2.2-6 レイヤー表面計測装置による 10 μm 段差プレート計測画像

図Ⅲ. 2. 2-7 は分割反射電子検出器を用いて同じ 10 μ m 段差付きベースプレートに 60kV-0.3mA の溶融用電子ビームによる反射電子 (BSE) 像を観察した結果を示す。図中、左側が図Ⅲ. 2. 2-5 で示した光学写真であり、右側が BSE 像である。BSE 像においても 10 μ m 段差を反映したコントラストが見えていることがわかる。



10 μ m 段差ベースプレートの光学写真

10 μ m 段差ベースプレート反射電子像

図Ⅲ. 2. 2-7 分割反射電子検出器による 10 μ m 段差プレートの反射電子像観察

以上のように、光学式のレイヤー表面計測装置、及び溶融用電子ビームによる BSE 像においても 10 μ m 以下の表面凹凸形状を反映した画像が得られており、最終目標の 10 μ m 以下の計測を達成できる性能が確認できている。

今後、実造形中のパウダーベッド表面、及び造形表面も同様の精度で計測・観察できることを確認する。

中間目標 3：測定精度 $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 以下でパウダーベッド表面温度を計測可能とする。

成果 3：パウダーベッド表面の温度計測は、従来はベースプレート底面の温度を熱電対で計測し、その温度からパウダーベッド面の温度を算出していたり、のぞき窓からの赤外線放射温度計で造形面のある一点の温度を計測していたりしていたが、パウダーベッド面の平均的な温度の測定精度を更に向上させるため、パウダーベッド面からの熱電子計測による温度測定を試みた。

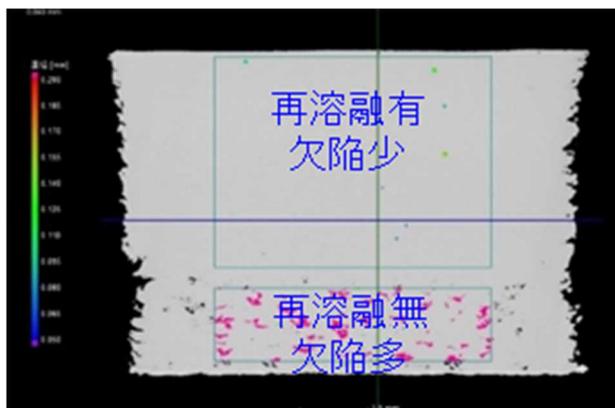
造形中の熱電子計測では、積層数によって多少の差異は生じるものの、温度精度としては $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 以下であることが確認できた。

今後は、熱電子計測からの温度情報による実造形における温度フィードバック制御を行い、造形品質の安定化に繋げていく予定である。

中間目標 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。

成果 4：フィードバック制御機能を試験研究機に実装し、再熔融機能を有効にして造形することで、再熔融することにより欠陥率が減少することが確認できた。

図Ⅲ.2.2-8は、 $10 \times 10 \times 8 \text{ mm}^3$ のキューブを造形において、積層高さ8mmの内、最初の3mmは欠陥率が大きくなるような熔融条件で造形し、その上の5mmはそれまでと同じ条件で熔融した後、毎層再熔融機能を実行させた造形物のX線CT画像を示す。積層高さ3mm以下の領域にはボイドが多数ある一方、積層高さ3mm以上の領域ではボイドが大幅に減少していることが確認でき、再熔融機能が欠陥率低減に効果があることが示された。

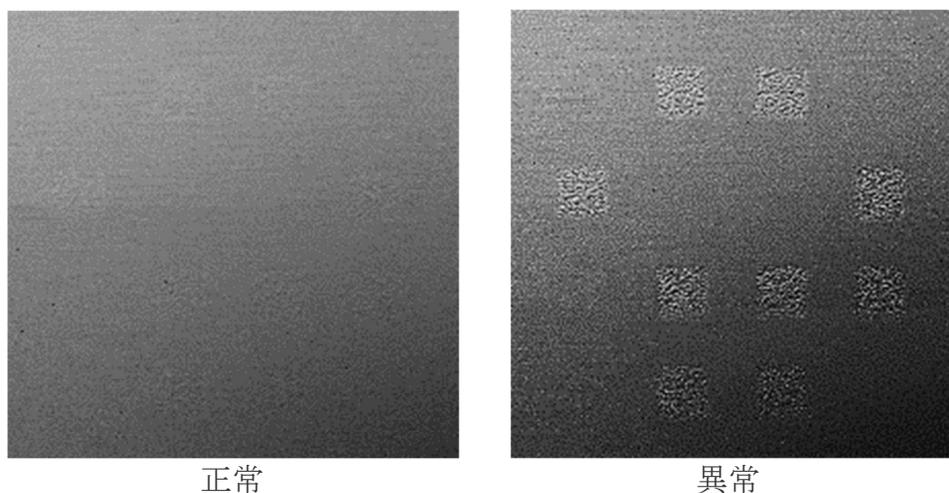


図Ⅲ.2.2-8 再熔融機能を使用した造形物の欠陥計測

中間目標 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。

成果 5：異常状態検知に必要な機能の確認として、造形中において正常な時と異常が発生した時の熔融工程直前の反射電子画像を図Ⅲ.2.2-9に示す。図中、左側が熔融工程前に粉末がパウダーベット面に均一な厚みで敷き詰められた正常な状態であり、一層前の熔融された造形物表面が見えていないことがわかる。一方、右側は粉末敷き詰めが正常にできなかった状態であり、一層前の熔融された造形物表面が確認でき、異常発生として識別できる。このような異常は、粉末スキージ不良やスキージ後の粉末加熱中にスモークが発生した場合に起こる現象であり、これが検知された際にはリカバリ機能が働く。

今後、実造形においてこの機能の有効性を確認する予定である。



図Ⅲ.2.2-9 熔融工程直線の反射電子像観察による異常検知

2. 2. 3 項目③ 積層造形部品製作のための開発・評価方法の開発

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、そして自動化可能なプロセスマップ生成手法 (TRAFAM で出願した特許:PCT/JP2018/31389) を組み合わせて、新規の装置ユーザが積層造形部品を効率的に開発・評価できる手法を確立し、手順書として纏める。本研究開発項目で開発する手法は、(1) ユーザが作りたい部品を形状により分類、(2) その分類形状に対し欠陥を生じにくく外乱に対して強い造形条件を提示するプロセスマップの探索、(3) プロセスマップデータベースから部品造形条件の作成、(4) 高度モニタリング及びフィードバック制御機能搭載の試験研究機による造形、(5) 各積層面におけるインプロセスモニタリングデータの三次元再構築等による造形部品のポスト評価の手順からなり、これらを実験装置ユーザでも実施可能できるように手順書を作成する。この手法の検証を、まずキューブ試験片で行い、その後、実際の金属部品形状 (インペラなど) に近いモデル形状での検証を行う。

(1) 自動化可能なプロセスマップ探索手法の確立

プラズマアトマイズ粉末を用いてプロセスマップ探索手法の検証を行った。エミッション電流と対物レンズ電流 (OL 電流) を変えて 16 条件で造形を行った。造形材の表面形状の評価を行い、それを基に機械学習でプロセスマップを構築した。X 線 CT で測定された欠陥率と比較したところ、機械学習で予測された最適条件は欠陥率が最も小さい造形体が得られた造形条件の近い位置にあることが分かった。

造形条件最適化を容易に実行できるようにするためには、プロセスマップ構築試験を自動化することが有効である。プロセスマップ作製を自動化するソフトウェアを試作し、その動作検証を行い、正常に動作することを確認した。

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

1. レーザービーム方式

1. 1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

レーザービーム金属3Dプリンターは導入されてはいるが、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。

1. 2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

実用化・事業化に向けた具体的取組は、「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」事業原簿【非公開】に記載。

1. 3 成果の実用化・事業化の見通し

実用化・事業化に向けた具体的取組は、「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」事業原簿【非公開】に記載。

2. 電子ビーム方式

2. 1 成果の実用化・事業化に向けた戦略

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。

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。

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して、リカバリー機能がないため、ユーザーが生産向けの本格導入ができていない。

このような状況下で本事業の研究開発項目を2026年度までに実用化・事業化を進める。

2. 2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

実用化・事業化に向けた具体的な取り組みは、「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」事業原簿【非公開】に記載されている。

2. 3 成果の実用化・事業化の見通し

成果の実用化・事業化の見通しについては、「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」事業原簿【非公開】に記載されている。

「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」基本計画

IoT 推進部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

第4次産業革命が進展する中、ものづくりの付加価値を上げていくためには、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。

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ぐ力を引き出し、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。

政策文書においても、「未来投資戦略2018」（2018年6月15日閣議決定）では、3Dプリンタを活用して、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市場獲得のチャンスが生まれるとしている。また、「科学技術イノベーション総合戦略2017」（2017年6月2日閣議決定）では、3D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導入支援に取り組むとしている。

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。

②我が国の状況

国内では製品の試作までは行う企業が増加しているものの、実製品化・量産化に向けては、日本の品質要求レベルが非常に高いこともあり、ほとんど進んでいないのが現状である。ただし、装置・材料については、NEDOプロジェクト「次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業」で開発を行った。しかし、金属部品の積層造形を行うには、その材料、形状、大きさ等によって、ビームの出力量や速度、サポート材の配置等のパラメータを設定する必要があり、付加価値が高い複雑形状や高機能な部品の造形であるほど、最適なパラメータを見つけ出すことは容易ではなく、現在の積層造形技術では量産にあたっての品質の再現性を確保することが難しい。

その背景としては、品質に大きな影響を及ぼす金属の溶融凝固メカニズムが解明されていないことが挙げられている。このメカニズムが解明され、欠陥の発生要因が明確化できれば、高品質・高信頼の 3D プリンタが実現する。日本がこれを先んじて開発・社会実装し、高品質といった従来の日本のものづくりの強みを活かしつつ、短納期等のグローバルニーズにも対応することで、サポーターインダストリーとしての競争力強化が求められているところである。

③世界の取組状況

America Makes や Horizon2020 のプロジェクトを進める欧米に加えて、中国製造 2025 を掲げる中国等では、先進的な企業を中心に金属の積層造形部品を本格導入するため、溶融凝固メカニズムの解明、インプロセスモニタリング機能による高品質化への取組及び造形レシピの収集によるノウハウの蓄積を加速化しようとしており、今後 5 年で航空宇宙分野、医療分野を筆頭に高付加価値製品への活用が急速に進む見込みである。これにより、今後我が国の素形材産業の競争力が脅かされる可能性がある。

④本事業のねらい

本プロジェクトでは、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。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

本プロジェクトでは、金属積層造形部品等の品質確保及び開発の効率化のために、金属の溶融凝固現象の解明、高度な計測・機械制御技術の開発、積層造形技術における開発・評価手法の開発を行う。

具体的な目標としては、(別紙 1) 研究開発計画の研究開発項目①～③の最終目標を達成することとする。

②アウトカム目標

本プロジェクトの成果により、積層造形による部品等の造形の品質の向上、造形プロセスの繰り返し安定性の確保とともに、積層造形部品製作のための開発・評価手法が確立されることで、積層造形部品の開発期間が 1/5 に短縮されることを目指す。また、それにより 2030 年度における本システムを搭載した金属 3D プリンタの国内素形材企業への導入割合 10%(事業所ベース) を目指す。

③アウトカム目標達成に向けての取組

NEDO は、本事業により開発された金属 3D プリンタを有効に活用する技術などの普及に向

け、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等に基づき、目標見直しを適宜行い、研究開発の進捗管理など、細やかなマネジメントを実行することで、社会ニーズに合った研究開発を推進し、確実な実用化へと繋げる。

加えて、本プロジェクトで開発した成果を広く社会に普及させるために、展示会やシンポジウム等を通じた成果発信を積極的に行う。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙1の研究開発計画及び別紙2の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。

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

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

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

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して行う事業であり、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下、「PM」という。）にNEDO IoT推進部 三代川洋一郎を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDOは、公募により研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者（プロジェクトリーダー（以下、「PL」という。))を選定し、各実施者はPLの下で研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

PMは、PLや研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通

しを常に把握することに努める。

②技術分野における動向の把握・分析

PM は、プロジェクトで取り組む技術分野について、必要に応じて内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

3. 研究開発の実施期間

2019 年度～2023 年度までの 5 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を 2021 年度、事後評価を 2024 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

②知的財産権の帰属、管理等取扱いについての方針

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、プロジェクトの初期段階から、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

③知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

④データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指

定データを指定しない場合)」を適用する。

(2) 基本計画の変更

PM は、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 2 号及び第 9 号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 2019 年 3 月、制定

(2) 2021 年 1 月、別紙 1 研究開発項目③ 2. 研究開発の内容修正、併せて PM 変更

(別紙1) 研究開発計画

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

1. 研究開発の必要性

金属部品の積層造形を行うには、その材料、形状、大きさ等によって、ビームの出力量や速度、サポート材の配置等のパラメータを設定する必要があるが、付加価値が高い複雑形状や高機能な部品の造形であるほど、欠陥の無い高品質な造形パラメータを見つけて出すことは容易ではない。量産にあたっての品質の繰り返し安定性を確保するためには、品質に大きな影響を及ぼす金属の溶融凝固メカニズムの解明及び品質に悪影響を及ぼす積層造形物中の欠陥生成の予測が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

パウダーベッド方式（レーザービーム式及び電子ビーム式）の積層造形試験研究機により、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。

3. 達成目標

【中間目標】

欠陥発生予測システムの予測精度 80%以上

【最終目標】

欠陥発生予測システムの予測精度 95%以上

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

1. 研究開発の必要性

造形プロセス中に予測された欠陥の生成を抑制し、欠陥の発生を抑えた高品質な積層造形物を製作するためには、研究開発項目①で開発された欠陥発生予測システムとともに、積層造形中の高度モニタリングシステムおよびフィードバック制御機能が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

積層造形による部品等の造形にあたり、品質の向上、造形プロセスの繰り返し安定性を確保するため、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の開発、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の開発、レーザービーム式及び電子ビーム式の積層造形試験研究機に搭載可能にするための要素技術を開発する。

3. 達成目標

【中間目標】

(レーザービーム方式)

- ・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 μ m 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

(電子ビーム方式)

- ・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 μ m 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

【最終目標】

(レーザービーム方式)

- ・フィードバック制御機能による造形プロセス中の 50 μ m 以上の欠陥率 0%

(電子ビーム方式)

- ・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 μ m 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 μ m 以上の欠陥率 0%

研究開発項目③ 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発

1. 研究開発の必要性

我が国のものづくり企業が積層造形技術を積極的に活用するためには、研究開発項目①及び②で開発された技術を用いて試作した積層造形部品の品質や性能に関するデータを蓄積し、積層造形部品の作製を効率的に開発・評価する手法の提案が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

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と共に、研究開発項目①及び②で開発された技術を組み合わせ、ユーザーが造形条件を容易に作成するためのシステムを構築し、検証と初期データの蓄積を行う。

3. 達成目標

【中間目標】

- ・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。

【最終目標】

- ・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。
- ・積層造形部品を効率的に開発・評価する手法をユーザーが活用できる手順書として纏める。

(別紙2) 研究開発スケジュール

項目	年度	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
溶融凝固現象解明による 欠陥予測システム開発			溶融凝固現象観察・メカニズム解明					事後 評価
			欠陥予測システム開発		欠陥予測システム開発			
(レーザー・電子ビーム共通) インプロセスモニタリング 技術開発				中				
			粉末敷詰め状態、造形表面計測					
				評				
フィードバック制御機能開発			計測・欠陥予測システムに基づく フィードバック制御技術開発					
				価				
造形部品の開発・評価手法 の策定			作製フロー・手順策定 評価フロー・手順策定					
			データ蓄積・実証試験		データ蓄積・実証試験			

特許論文等リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	TRAFAM	PCT/JP2020/20406	PCT	2020/5/22	出願	積層造形における造形品質評価方法、積層造形システム、情報処理装置およびそのプログラム	家田牧子 他
2	TRAFAM	PCT/JP2020/34005	PCT	2020/8/9	出願	積層造形におけるパウダーベッド評価方法、積層造形システム、情報処理装置およびその制御方法と制御プログラム	家田牧子 他
3	TRAFAM	PCT/JP2021/7420	PCT	2021/2/26	出願	造形欠陥の検出方法、3次元積層造形システム、情報処理装置、情報処理方法および情報処理プログラム	青柳健大 他
4	TRAFAM	PCT/JP2021/7535	PCT	2021/2/26	出願	積層造形技術の開発方法および3次元積層造形システム	青柳健大 他

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	H. Kyogoku, T.-T. Ikeshoji	近畿大学	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, 7(1) (2020) 19-00182	有	2020/01
2	K. Yuasa, M. Tagami, M. Yonehara, T.-T. Ikeshoji, K. Takeshita, H. Aoki, H. Kyogoku	近畿大学、ニコン	Influences of powder characteristics and recoating conditions on surface texture of powder bed in metal additive manufacturing	Int. J. Advanced Manufacturing Technology, 115(2021) 3919-3932	有	2021/06
3	H. Bian, K. Aoyagi, Y. Zhao, C. Maeda, T. Mouri, A. Chiba	東北大学	Microstructure refinement for superior ductility of Al-Si alloy by electron beam melting	Additive Manufacturing, 32 (2020) 100982	有	2020/3
4	Yufan Zhao, Kenta Aoyagi, Kenta Yamanaka, Akihiko Chiba	東北大学	Role of operating and environmental conditions in determining molten pool dynamics during electron beam melting and selective laser melting	Additive Manufacturing, 36 (2020) 101559	有	2020/12

5	Yuchao Lei, Kenta Aoyagi, Yujie Cui, Dong- Soo Kang, Kosuke Kuwabara, Kinya Aota, Akihiko Chiba	東北大学	Process optimization and mechanical property investigation of non-weldable superalloy Alloy713ELC manufactured with selective electron beam melting	Materials Science and Engineering A, 787 (2020) 139485	有	2020/6
6	Yufan Zhao, Kenta Aoyagi, Yohei Daino, Kenta Yamanaka, Akihiko Chiba	東北大学	Significance of powder feedstock characteristics in defect suppression of additively manufactured Inconel 718	Additive Manufacturing, 34 (2020) 101277	有	2020/8
7	Yuchao Lei, Kenta Aoyagi, Kinya Aota, Kosuke Kuwabara, Akihiko Chiba	東北大学	Critical factor triggering grain boundary cracking in non- weldable superalloy Alloy713ELC fabricated with selective electron beam melting	Acta Materialia, 208 (2021) 116695	有	2021/4
8	Yufan Zhao, Yuichiro Koizumi, Kenta Aoyagi, Kenta Yamanaka, Akihiko Chiba	東北大学	Thermal properties of powder beds in energy absorption and heat transfer during additive manufacturing with electron beam	Powder Technology, 381 (2021) 44-54	有	2021/3

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	湯浅健也、田上将治、米原牧子、池庄司敏孝、竹下孝樹、青木洋、京極秀樹	近畿大学、ニコン	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	2020/09/14
2	池庄司敏孝、米原牧子、京極秀樹	近畿大学	Ni 基超合金レーザ式積層造形の溶融凝固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	2020/09/14
3	京極秀樹	近畿大学	TRAFAM プロジェクトの成果報告	日本機械学会 2020 年度年次大会	2020/09/14
4	京極秀樹	近畿大学	次世代ものづくりにおける 3D プリントの将来像	日本機械学会 2020 年度年次大会	2020/09/14
5	池庄司敏孝、米原牧子、加藤千佳、湯浅健也、池田峻史、京極秀樹	近畿大学	レーザ式粉末床溶融結合過程における粉末床表面温度分布	溶接学会全国大会	2020/04/23
6	池庄司敏孝、米原牧子、京極秀樹	近畿大学	金属粉体輻射率の測定と PBF-LB における粉末床表面温度分布	溶接学会全国大会	2020/09/09
7	Kenta Aoyagi	東北大学	Development of Auto-Process Mapping System for Powder Bed Fusion Additive Manufacturing	1st French-Japanese Workshop on Additive Manufacturing	2021/5/12

8	青柳健大、小野学、山中謙太、千葉晶彦	東北大学	CPS 適合型積層造形システムの開発 (I) ～プロセスマップ自動生成システム	日本金属学会第 168 回講演会	2021/3/18
9	千葉 晶彦, 青柳健大, 趙 宇凡, 卞 華康, 山中 謙太	東北大学	電子ビーム積層造形中に生ずる諸問題とその材料学的な解決	日本金属学会第 168 回講演会	2021/3/18
10	Yunwei Gui, Kenta Aoyagi, Huakang Bian, Akihiko Chiba	東北大学	Detection and classification of internal defects from surface morphology data of additively manufactured parts	日本金属学会第 168 回講演会	2021/3/18
11	雷雨超, 青柳健大, 青田 欣也, 桑原 孝介, 千葉晶彦	東北大学	電子ビーム積層造形による難溶接性超合金 Alloy713ELC の割れを導く機械的因子	日本金属学会第 168 回講演会	2021/3/18
12	千葉晶彦	東北大学	金属積層造形プロセスと金属粉末特性 —メルトプールの動的挙動と熔融凝固プロセス—	日本塑性加工学会 第 71 回塑性加工連合講演会	2020/11/14
13	千葉晶彦	東北大学	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—	2020/9/30
14	趙 宇凡, 青柳健大, 台野 洋平, 山中 謙太, 千葉晶彦	東北大学	Powder Morphology in Defects Suppression of Additively Manufactured Inconel 718	日本金属学会 2020 年秋期講演大会	2020/9/17
15	千葉晶彦	東北大学	AMにおける熔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 デジタルマニファクチャリングによるものづくり革新	2020/9/14

16	青柳 健大, 工藤 貴浩, 千葉 晶彦	東北大学	電子ビーム積層造形における予熱過 程のシミュレーション	日本金属学会 2020年春期講演大会	2020/3/17
17	Kenta Aoyagi	東北大学	Simulation and data analysis for powder-bed-fusion type additive manufacturing using electron beam	SIP Additive Manufacturing International Workshop	2020/1/29

2. 分科会公開資料

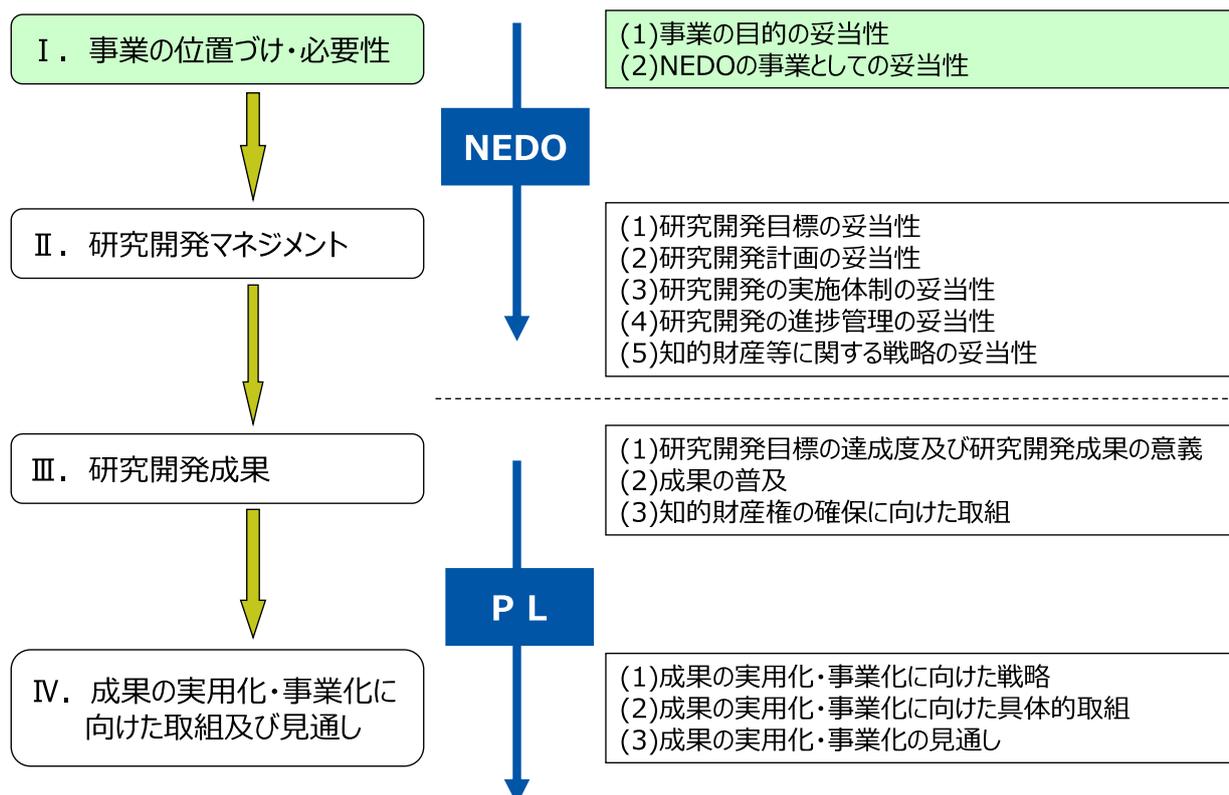
次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「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)

NEDO IoT推進部
2021年9月30日

発表内容



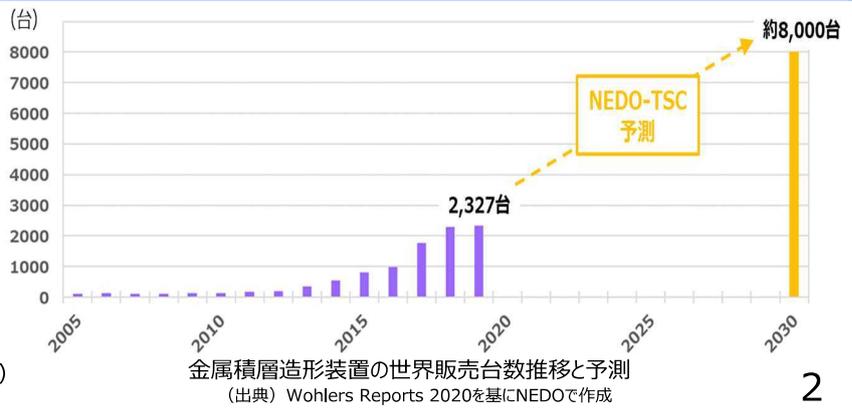
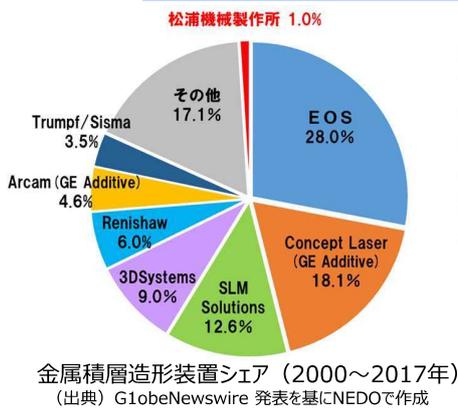
◆ 事業実施の背景と事業の目的

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。



2

◆ 政策的位置付け

■ 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、AI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**3D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。

3

◆ 海外の研究開発の動向

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

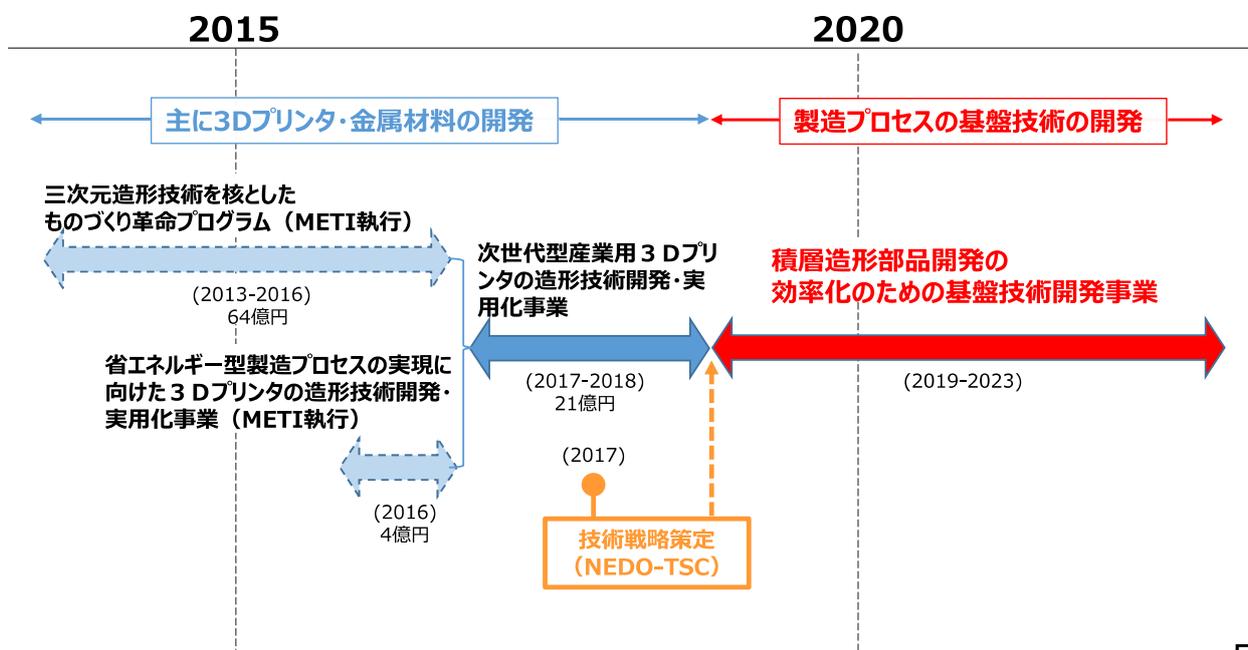
(出典：「中国製造2025」の公布に関する国務院の通知の全訳)

- ・ 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。

4

◆ 他事業との関係

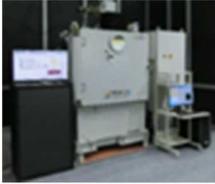
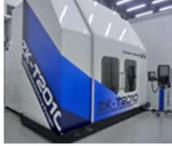
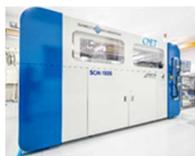
- NEDOでは、2017年度から金属の積層造形技術関連プロジェクトを推進。
- 現在では、過去のプロジェクトの成果 (METI執行も含む) や技術戦略の策定を踏まえ、製造プロセスの基盤技術の開発を実施。



5

◆他事業との関係（参考）

- 次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業（METI執行事業も含む）では、TRAFAMのもとで複数の装置メーカーが参画し、国産金属3Dプリンタを製品化している。

電子ビーム方式	レーザービーム方式	バインダージェット方式（砂型）
 多田電機	 東芝機械 ZK-T2010	 シーメット SCM-800
 三菱電機 EZ300	 松浦機械製作所	
 日本電子JAM-5200EBM 写真提供：日本電子	 日本電産マシントール (旧 三菱重工工作機械) LAMDA200	 シーメット SCM-1800

6

◆NEDOが関与する意義

✓ 産業力強化

本事業の推進により、金属積層造形の基盤技術が社会実装されることで、我が国のサポーターイングインダストリーである素形材産業をはじめとするものづくり産業が高付加価値事業を獲得し、産業全体の底上げが期待される。

✓ 国際競争

金属積層造形は海外では急速に広まりつつあるが、日本は出遅れている状況であり、積層造形部品等の開発に必要な基盤技術開発に、迅速に取り組む必要がある。開発された成果が早期に社会実装されることで、国際競争力の強化に大きく貢献することが期待される。

✓ 産学連携の必要性

金属積層造形に係る共通基盤技術は、産学官連携による技術、知財及びノウハウを集約しての研究開発が必須である。



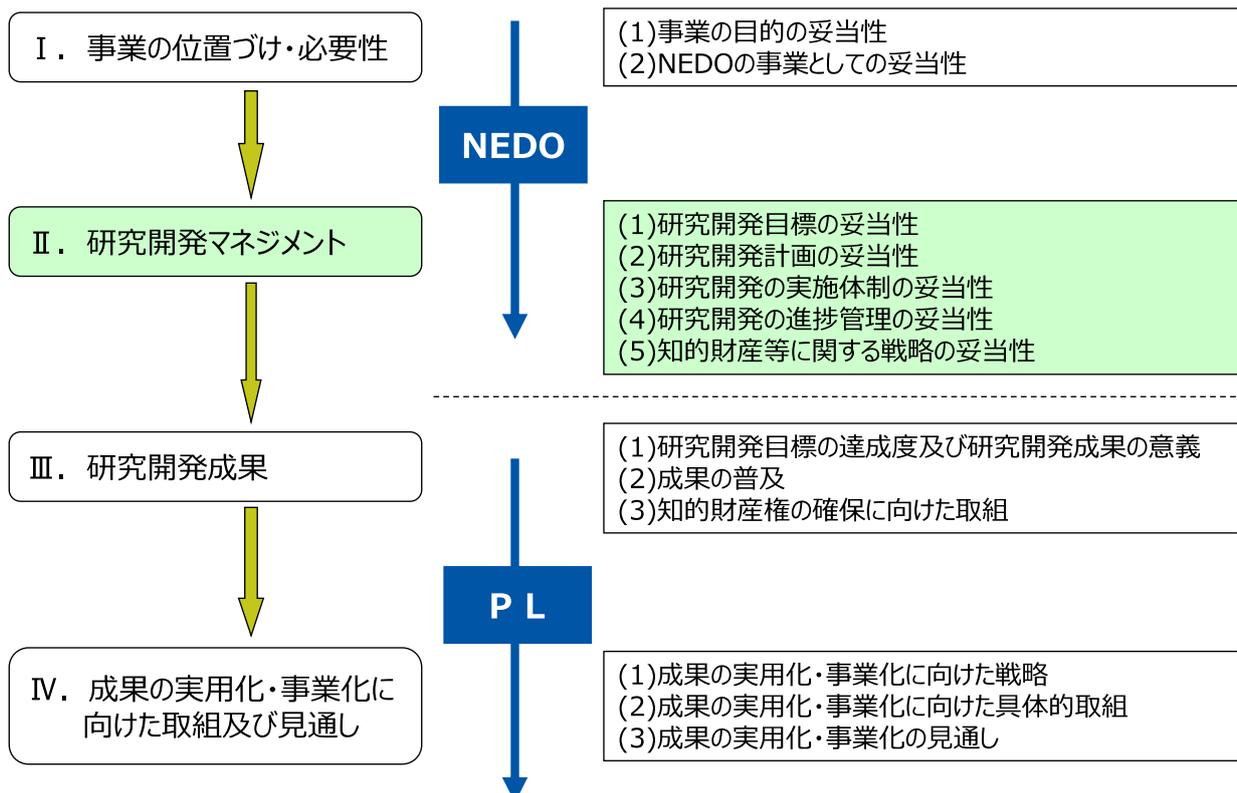
NEDOのこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

7

◆実施の効果（費用対効果）

事業予算総額	7.7億円（予定）
アウトカム目標	<ul style="list-style-type: none"> ・ 積層造形部品の開発期間を1/5に短縮 ・ 本システム搭載金属3Dプリンタの国内素形材企業への導入割合10%
経済波及効果（2030年）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 造形装置：632億円 ・ 造形品：1,900億円 ・ 開発期間短縮に伴うコスト削減：+ α <div style="text-align: right; border: 2px solid orange; border-radius: 50%; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> 2,532億円 + α </div>
経済波及効果（2030年）の算定根拠	
<p>造形装置について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2030年に本システム搭載金属3Dプリンタは、国内の791事業所に導入されると予測（経済産業省が平成29年度工業統計をもとに算定）。また、装置価格は0.8億円/台と仮定。 <p style="text-align: center;">791事業所×0.8億円/台 = 632億円</p>	
<p>造形品について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2030年の金属積層造形関連の世界市場予測（NEDO-TSC）では、造形装置6,500億円、造形品2兆円となっている。 ・ 造形品の市場規模は、造形装置市場に比例すると仮定。また、国内造形装置市場は上記より632億円。 <p style="text-align: center;">2兆円（造形品市場）×632/6,500（造形装置市場の比率）≒1,900億円</p>	
<p>開発期間短縮に伴うコスト削減について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 「新ものづくり研究会 報告書」（平成26年 経済産業省）では、3Dプリンタ等（金属以外も含む）による経済波及効果（2020年）を21.8兆円と予測している。そのうち、装置・材料、造形品等の直接市場以外にも、生産性の革新によるコスト削減により10.1兆円の効果があるとしている。 ・ したがって、「+ α」については、相当な額の波及効果が期待される。 	

発表内容



◆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。



10

◆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"> 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"> 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。 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。

11

◆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"> マルチプー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、マルチプー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。

12

◆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。

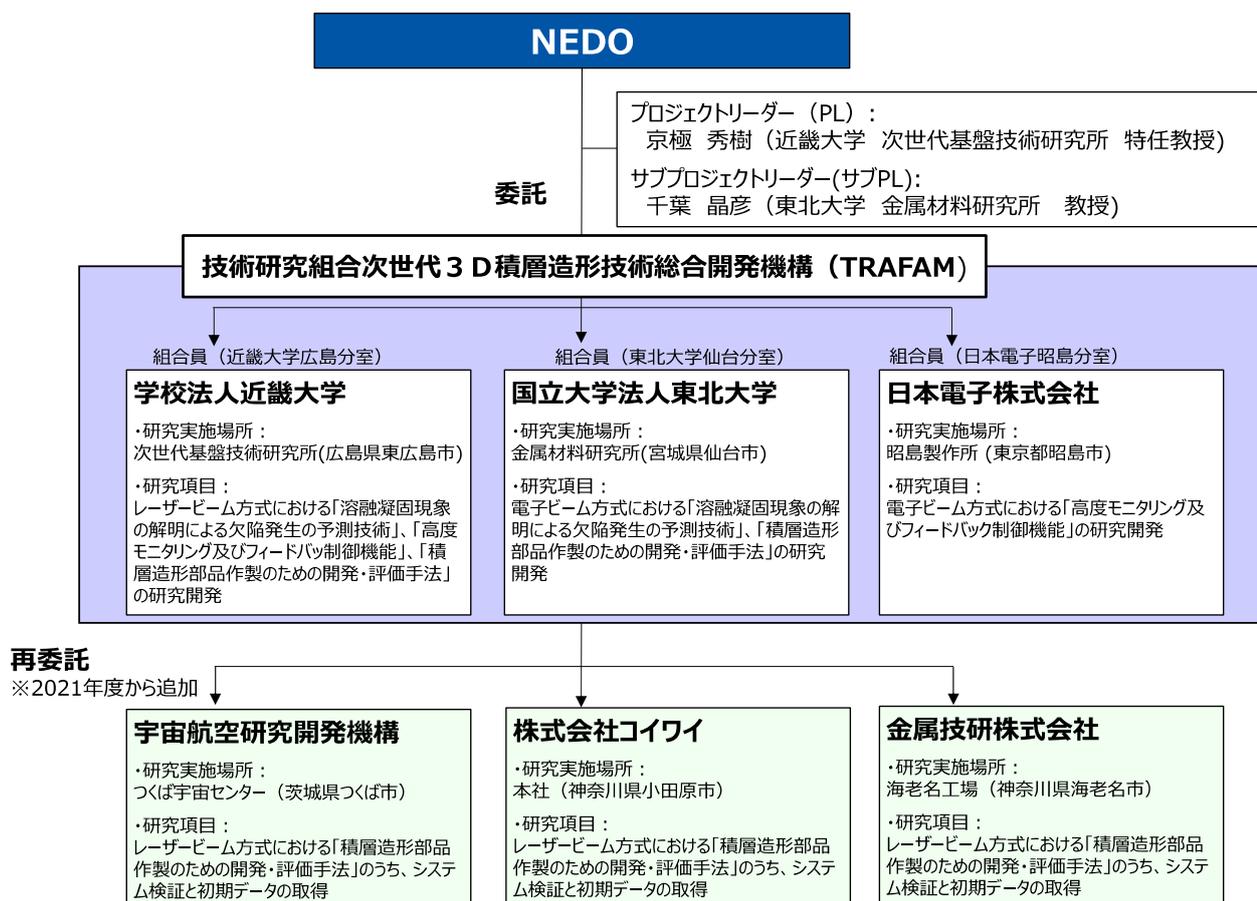
13

◆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	ユーザー検証 (概算要求中)	手順書・システム構築	
予算 (億円)	1.5	1.2	2.0		

14

◆研究開発の実施体制



15

- TRAFAMは、国内の装置メーカー、材料メーカー、ユーザーが組合員となっているため、本事業成果の普及展開が期待される。

大学・研究機関等	近畿大学、東北大学、産業技術総合研究所、宇宙航空研究開発機構
装置メーカー	シーメット、芝浦機械、多田電機、東芝、ニコン、日本電子、松浦機械製作所、日本電産マシンツール、C&Gシステムズ、先端力学シミュレーション研究所
材料メーカー	群栄化学工業、山陽特殊製鋼、大同特殊鋼、東洋アルミニウム、福田金属箔粉工業
ユーザー	IHI、木村鋳造所、金属技研、コイワイ、日本積層造形、三菱重工業、金属積層造形サポートシステム

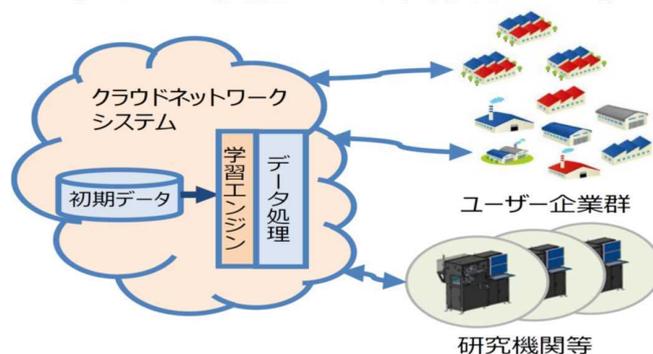
- 外部有識者からなる技術推進委員会による進捗確認と技術的評価と、サイトビジットによる進捗確認を通じて、目標達成に向けた適切な進捗管理を実施。
- コロナ禍でのニューノーマルな対応として、2021年度からリモートでの進捗報告会を四半期毎に実施することで進捗管理の強化を図る。

会議名	対象項目	実施時期	内容
技術推進委員会	全項目	2020/10月	・ 外部有識者委員による、開発方針・推進計画、開発進捗、実用化・事業化に関する確認
技術推進委員会	レーザー	2021/4月	・ 外部有識者委員による、ユーザー検証に関する再委託先追加の審議
サイトビジット(東北大)	電子ビーム	2019/10月	・ 進捗報告、確認、今後の予定等確認 ・ 要素技術研究機、日本電子2次試作機確認
サイトビジット(東北大)	電子ビーム	2020/7月	・ 進捗報告、確認 ・ 電子顕微鏡故障対策に関する打合せ
サイトビジット(近畿大)	レーザー	2021/1月 ⇒中止	・ PR動画撮影、進捗報告、確認等を予定 ⇒緊急事態宣言の影響で中止
進捗報告会	全項目	2021/8月	・ 四半期毎の研究進捗状況を共有

◆ 成果の実用化・事業化に向けたマネジメント

- 本事業成果の実用化・事業化を加速する取り組みとして、これまでの研究開発の進捗状況を踏まえ、**2021年度からユーザー企業等による検証を追加した。**
- ユーザー検証では、金属積層造形における欠陥の最小化を実現するための造形条件を容易に作成するシステムの検証と初期データの蓄積を行う。
- NEDOは、2021年度の概算要求の状況を踏まえ、**タイムリーな開発促進財源等の投入を行いユーザー検証の実現に結び付けた。**また、検証を効果的に進めるため、**ユーザーの選定を主体的に検討した。**

【システム検証・データ蓄積イメージ】



出典：令和3年度経済産業省予算のPR資料

◆ 開発促進財源等投入実績

年度	項目	金額 (百万円)	内容	成果
2019	フィードバック制御 (レーザービーム方式)	12	海外競合の研究進捗を踏まえ、スパッタ等不慮による欠陥が発生した場合の欠陥発生を防止するフィードバック機能を開発を前倒して実施。	フィードバック精度の向上と、海外競合に対する優位性の確保。
2020	欠陥予測システム	18	欠陥予測システムにおける画像データ処理の自動化、欠陥判別機能及びプロセスマップの開発。	欠陥予測システムの精度向上及びユーザー検証の効率的な実施。
2020	マルチプルモニタリング (電子ビーム方式)	19	マルチプル観察用電子顕微鏡の電子銃の改良を前倒して実施	中間目標におけるマルチプル画像化の達成。さらには、前倒しに伴う予算の戦略的運用によるユーザー検証の着実な実施。

◆ 情勢変化への対応（コロナ禍対応）

- コロナ禍において、研究開発の中断や遅延を回避するため、2020年度では定期的な状況確認を実施した。
- 2020年5月下旬、東北大学分室の電子顕微鏡が故障（老朽化のため修理不能）した際、コロナ禍の混乱で委託先だけの解決が困難であったため、**NEDOが自らナショプロ向けリースサービスを探し出し、委託先とリース業者との橋渡し**をして研究開発の中断を回避した。

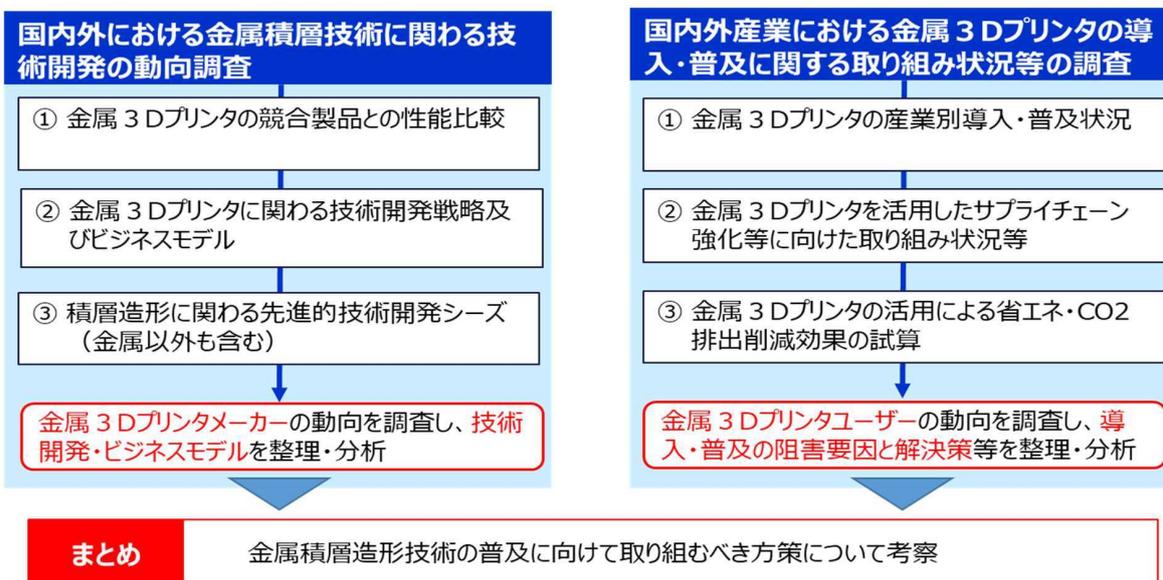
○ ナショプロ向けリースサービスの特徴

- ▶ 大学、国プロ等使用期間が限定されているコースに対応
 - 複数年の契約が認められない。
 - **年度毎に契約したい。 ※途中解約の違約金がない**
 - 予算削減の可能性がある。
- ▶ 購入予算が確保出来ない場合の代替提案が可能
 - 購入予算が取れそうに無い（削減・凍結等）。
 - **急遽装置が必要になったが、予算化していない。**
 - 装置導入の優先順位が低い

20

◆ 動向把握と対応（普及に向けた取り組み）

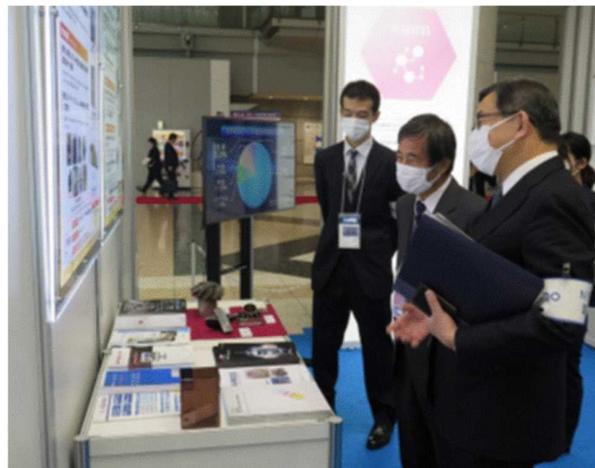
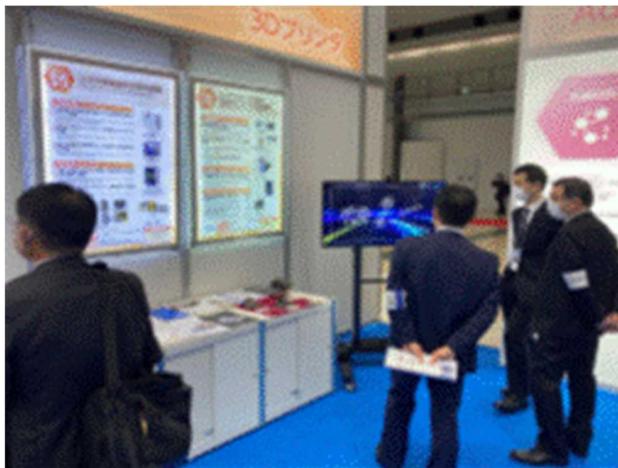
- 海外では自動車業界、航空宇宙業界等の実生産において、金属積層造形技術が活用されている。一方、国内製造業では積極的な活用が進んでいない。
- このような状況を踏まえ、金属積層造形技術の普及に向けて取り組むべき方策について検討するため、**2021年度に調査事業を実施**する（本事業とは別枠）。
- 調査結果は、**本事業の後半のマネジメント等の検討に活用**する。



21

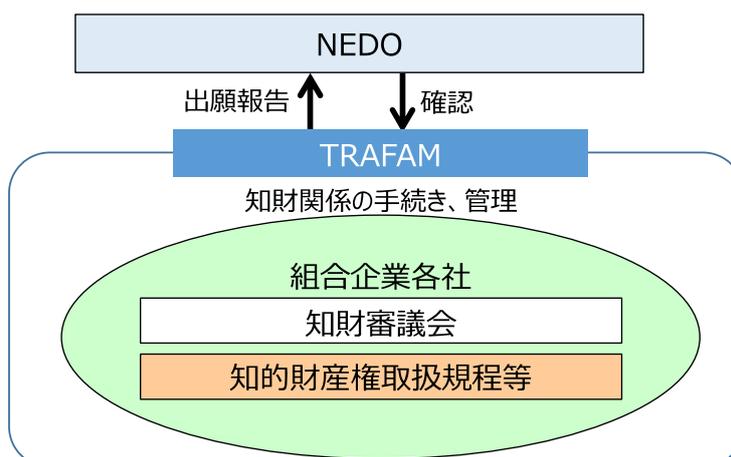
◆ 成果の情報発信

- 昨年度のnano tech 2021において、次世代型産業用3Dプリンタの造形技術開発・実用化事業の成果を出展。
- 今後、本事業の成果についても、展示会やニュースリリース等での情報発信に積極的に取り組む予定。



◆ 知的財産管理

- 研究開発成果に関わる知的財産権は、原則として全て委託先に帰属させる。また、NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針を適用する。
- 技術研究組合では、知財審議会を設置するとともに、知的財産権取扱規程等を整備して本事業に参加する全ての組合員と知的財産権の帰属、実施許諾等について合意。
- 知財マネジメント強化のため、権利全般とその取り扱いは、技術研究組合が一元管理。

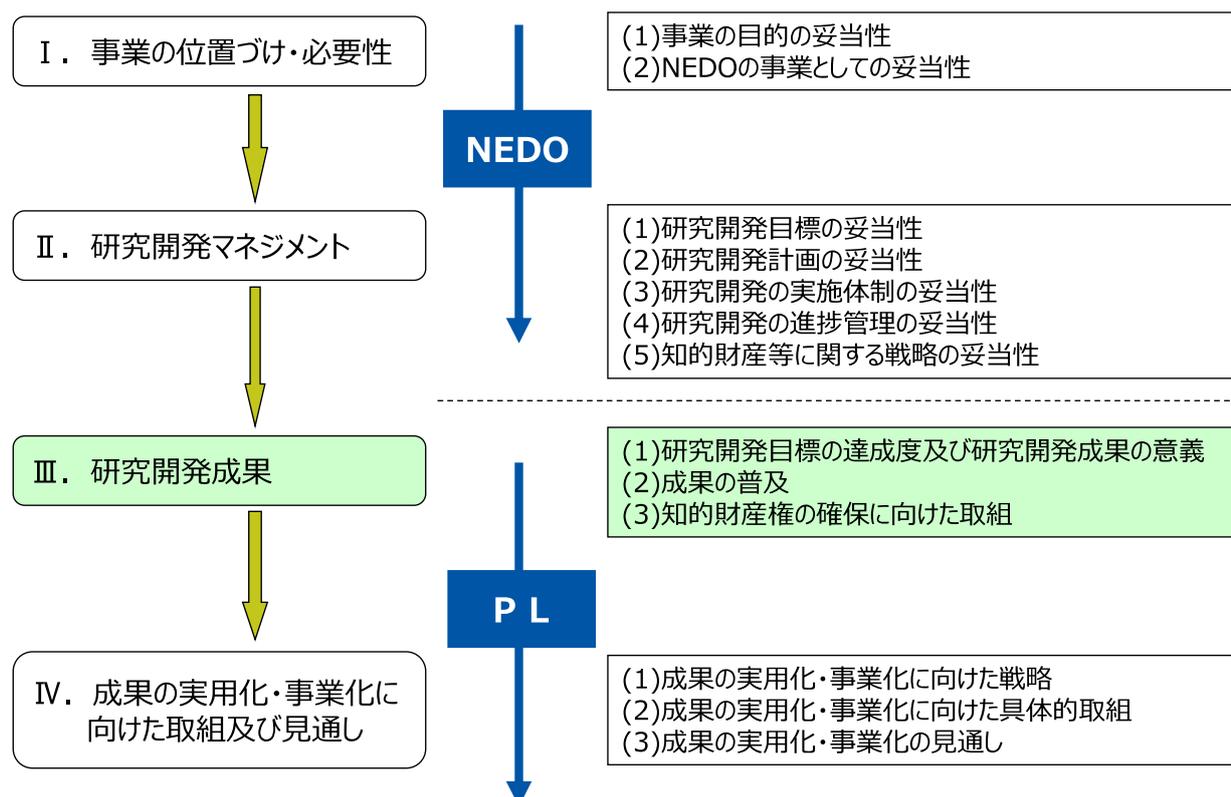


「積層造形部品開発の効率化のための 基盤技術開発事業」(中間評価) (2019~2023年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

プロジェクトリーダー：京極 秀樹 (近畿大学)
2021年9月30日

発表内容



◆研究開発項目毎の目標と達成状況（1）

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、リアルタイムでマルチプル、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空間分解能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。	マルチプルモニタリングによるスパット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、マルチプ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。
	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、リアルタイムでマルチプル、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。	○	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。
	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、リアルタイムでマルチプル、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)	

2

◆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	パウダーベッドの溶融凝固挙動（マルチプルの安定性）と欠陥形成の相関を解明する。	Ti64パウダーベッドの放射率を計測し、シミュレーションによりTi64パウダーベッドの溶融凝固を解析した。マルチプ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)	マルチプ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ベ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	マルチプ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)	パウダーベッド上での溶融観察条件の最適化を図り、マルチプル観察を実施予定。
	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。	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℃以下でパウダーベ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。	マルチプル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）

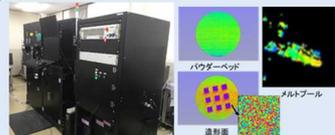
◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

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。

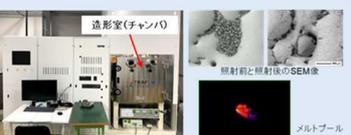
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

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、
 - ①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。
 - ②AI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。
- 2.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

- ・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

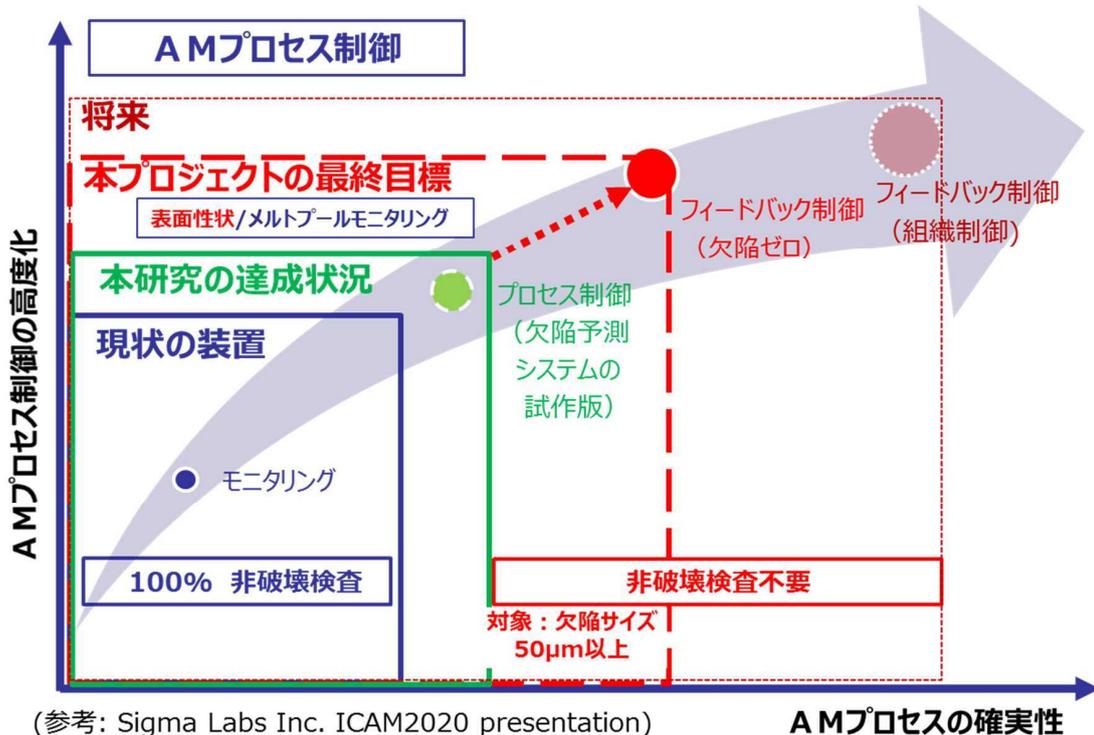
表1 各社のモニタリング・フィードバック技術開発の状況と本プロジェクトとの比較 ★は製品化

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。



6

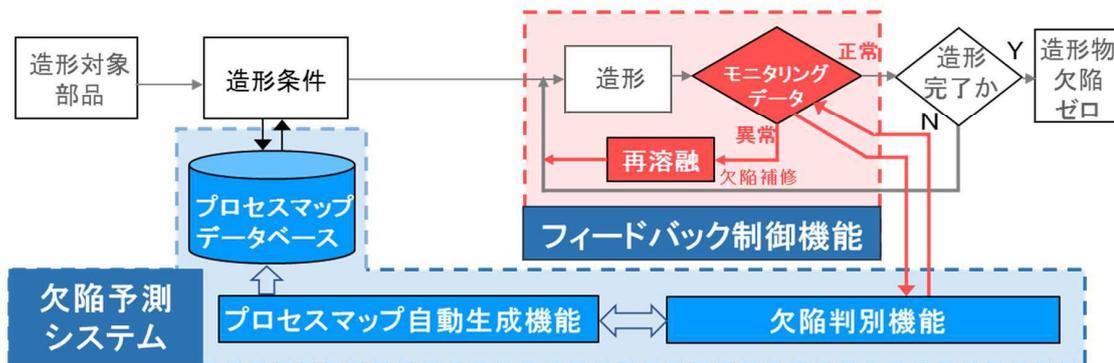
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクト全体の達成状況および意義

- 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(下图)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。
- レーザービーム方式と電子ビーム方式では、熔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。
- 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



特許出願中

7

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%以上の目的を得た。(図1-2)

(1) リアルタイムモニタリングデータ取得

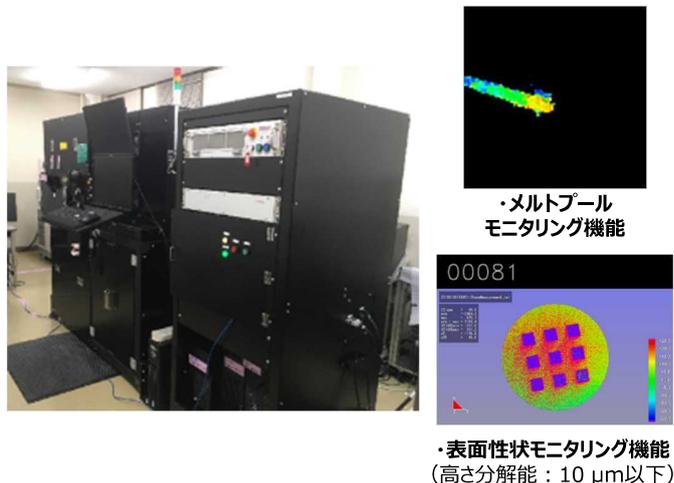


図1-1 モニタリング装置の外観と画像取得状況

(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)

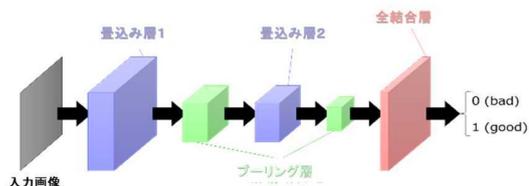


図1-2 欠陥発生予測のためのCNNモデル

各モデルにおけるバリデーション結果

- ・ Accuracy
- ・ Precision
- ・ Recall
- ・ F1-score

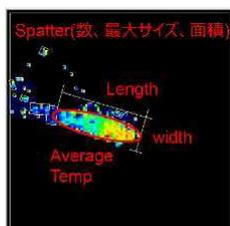
いずれも0.8以上

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



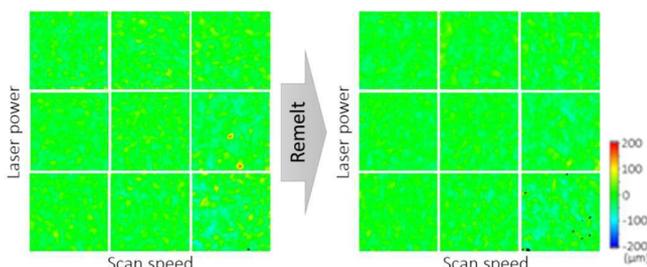
図2-1 表面状態の測定例



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

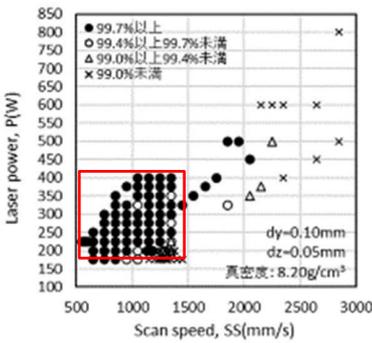
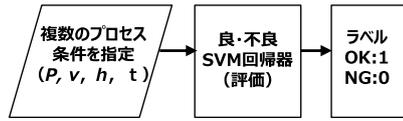


図3-1 インコネル718合金の密度を指標としたレーザー出力範囲が低出力から高出力の広範囲なプロセスマップ



・ 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

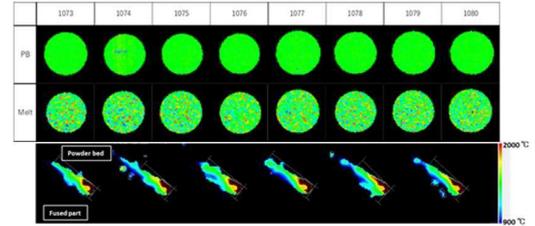


図3-3 パウダーベッドおよび造形面の表面性状並びにメルトプールデータの例

・ 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。 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。 3. 欠陥予測システムの予測精度を80%以上にする。	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ズ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. 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スモ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. 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

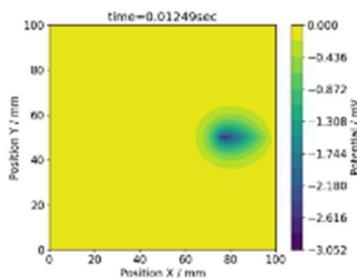


図4-2 パウダーベッドの充放電シミュレーション

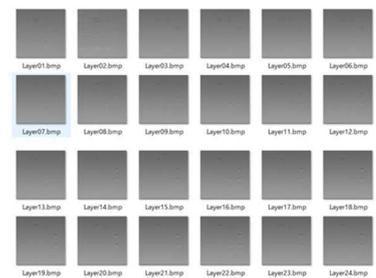


図4-3 モニタリングデータ収集中

開発目標	主な成果
1. マ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。 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。 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。 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。 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。	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. 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. 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. マ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)

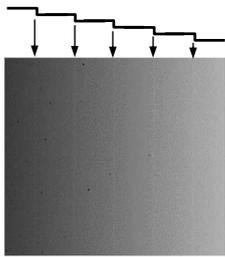


図5-1. 10μmの段差を確認出来た反射電子画像

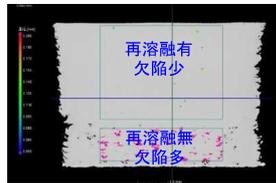


図5-2. 再溶融機能の有無で欠陥率が異なる事を示すX線CT画像

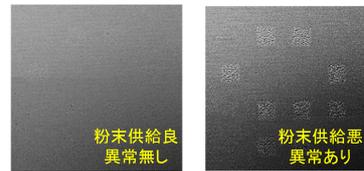


図5-3. マルト直前に取得した反射電子画像

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、°Dマッピング探索手法を適用した。まず、°Dマッピング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°Dマッピングを探索した。さらに、°Dマッピング自動生成ソフト、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)

°Dマッピング探索手法の検証

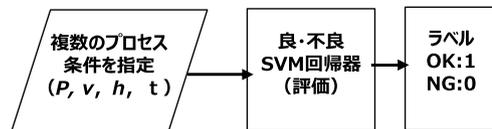


図6-1 プロセスマップ自動生成手法

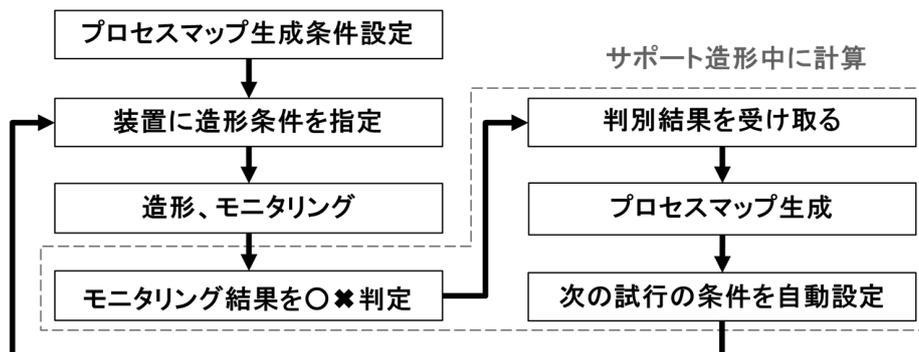


図6-2 °Dマッピング自動生成ソフトウェア

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としている。

1) 2021年度事業

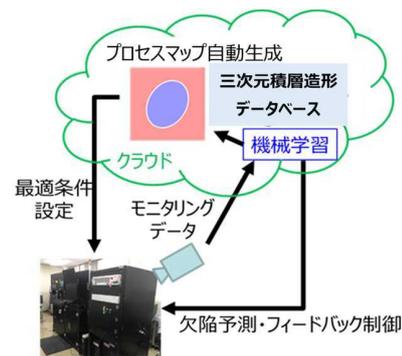
当初計画の研究開発項目3に加えて、「ユーザー検証」を以下の通り追加している。
欠陥の最小化を実現するための造形条件を容易に構築するシステム (スタンドアロン) を開発・製作し、ユーザー検証を実施する。具体的には、

- 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

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

◆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%以上の見込みを得ており、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10 μm以下 (7.3 μm) 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50 μm以上の大きさの欠陥率を0%とする。	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で、達成の見込み。
	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。
3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発	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の予測技術の開発	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。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。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。	アルゴリズムのインテグレーション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。データを増やすことで、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ヘッド表面及び造形表面を精度10 μm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動き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合金でプロセスマップ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.

18

◆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

- 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。
- 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。
- 海外での特許取得を念頭に、PCT国際出願を基本とする。

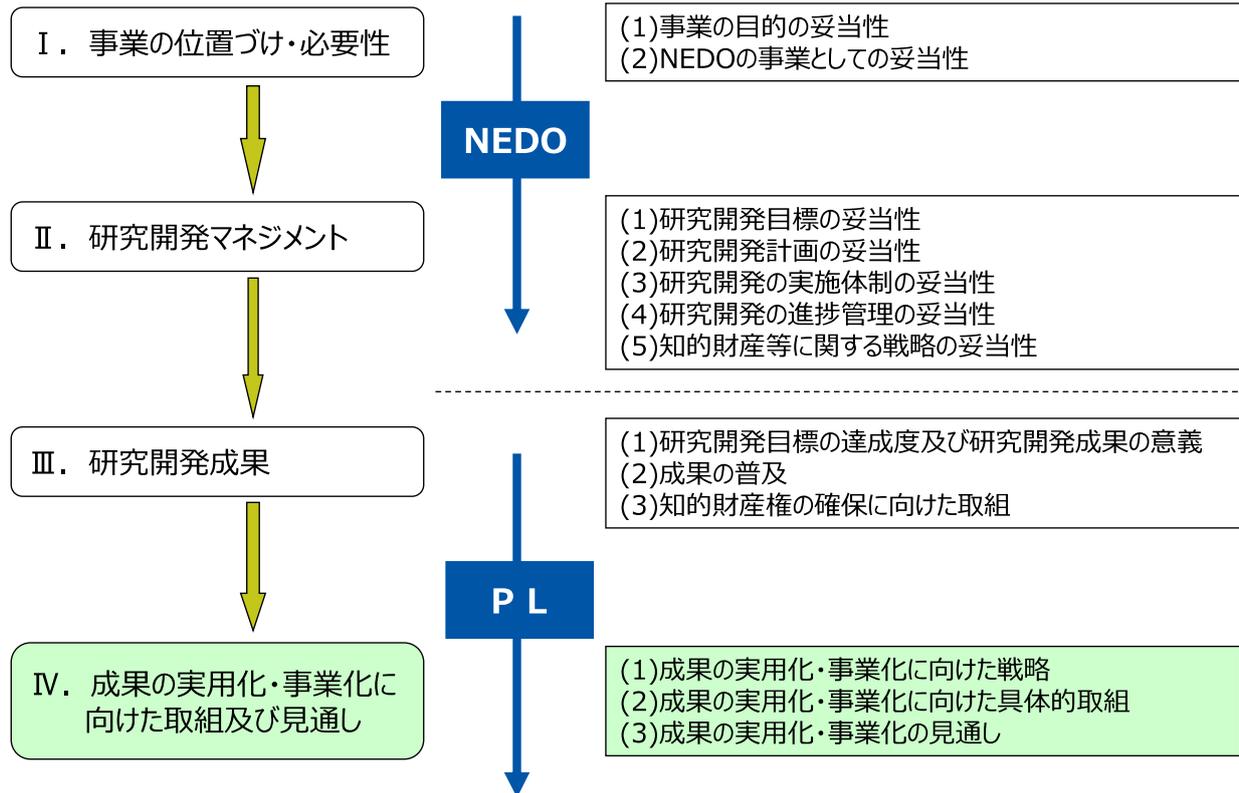
	研究開発項目	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	計	総計
特許出願 (うち外国出願)	レーザー方式	0	2(2)	0			2(2)	4(4)
	電子ビーム方式	0	2(2)	0			2(2)	

※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。

発表内容



20

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。

21

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

【基本戦略】

- 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
 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
 研究開発項目 3. 積層造形部品作製のための開発・評価手法の開発

◆研究期間終了までに実用化検証を完了し、研究期間終了後3年以内の事業化を目指す。

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はいるが、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

◆実用化・事業化に向けた具体的取組

◆実用化・事業化に向けた具体的取組は、
「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」事業原簿【非公開】に記載。

◆成果の実用化・事業化の見通し

◆成果の実用化・事業化の見通しは、
「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」事業原簿【非公開】に記載。

◆波及効果（レーザービーム方式）

1. 欠陥予測システムとモニタリング・フィードバック制御機能の確立により、高品質の金属部材が製造可能になる。
2. 欠陥予測システムとモニタリング・フィードバック制御機能の確立、および手順書の確立により、新規のユーザーが金属3Dプリンタを取り扱いやすくなり、この分野へ参入しやすくなる。
3. 欠陥予測システムとモニタリング・フィードバック制御機能の確立、および手順書の確立により、金属部品開発のリードタイムが削減され、開発のサイクルが早まり、より高機能な金属部材の製造につながることを期待される。
4. レーザービーム金属3Dプリンタ用の欠陥予測システムとモニタリング・フィードバック制御機能の開発により、従来の装置に搭載が可能となり、製品の品質保証の役割を担うことが期待される。
5. 本プロジェクトで開発された装置により、高品質のデータ取得が可能となり、サイバーフィジカルシステム（CPS）開発を促進できる。
6. 本開発技術を適用した実用性・量産性の高い3Dプリンターが普及することで、コロナ禍で顕在化したサプライチェーンの分断リスク等の対策としての「モノづくりのデジタル化」や「スマート工場/シェア工場化」が進み、万が一の感染症や災害の発生時にも、活動が停滞せずに維持可能な強靱なサプライチェーンの実現が期待される。

◆波及効果（電子ビーム方式）

1. 欠陥予測システムとモニタリング・フィードバック制御機能の確立により、高品質の金属部材を製造可能になる。
2. 欠陥予測システムとモニタリング・フィードバック制御機能の確立、および手順書の確立により、新規のユーザーが金属3Dプリンターを取り扱いやすくなり、この分野へ参入しやすくなる。
3. 欠陥予測システムとモニタリング・フィードバック制御技術の確立、および手順書の確立により、金属部品開発のリードタイムが削減され、開発のサイクルが早まり、より高機能な金属部材の製造に繋がることを期待される。
4. 比較的少量の粉末で造形可能な試験研究機での開発技術の応用は、材料開発での金属3Dプリンターの利用が加速されることが期待される。
5. 欠陥予測システムと高度モニタリング・フィードバック制御機能を備えた装置は、サイバーフィジカルシステムとの連携・デジタルツインの構築を目指して開発している装置であり、今後の製造業のデジタルトランスフォーメーション（DX）を支える技術になることが期待される。
6. 本開発技術を適用した実用性・量産性の高い3Dプリンターが普及することで、コロナ禍で顕在化したサプライチェーンの分断リスク等の対策としての「モノづくりのデジタル化」や「スマート工場/シェア工場化」が進み、万が一の感染症や災害の発生時にも、活動が停滞せずに維持可能な強靱なサプライチェーンの実現が期待される。

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
「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)
分科会 議事録及び書面による質疑応答

日 時：2021年9月30日(木) 13:00~17:50
場 所：NEDO川崎 2301, 2302 会議室 (オンラインあり)

出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長 柳本 潤 東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授
分科会長代理 大坪 靖彦 日立金属株式会社 金属材料事業本部 AMソリューションセンター シニアアドバイザー
委員 稲垣 育宏 日鉄関西マシニング株式会社 取締役
委員 岩崎 拓也 みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 事業統括部 参事役
委員 宇治原 徹 東海国立大学機構名古屋大学 未来材料・システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 教授

<推進部署>

有馬 伸明 NEDO IoT 推進部 部長
三代川 洋一郎(PM) NEDO IoT 推進部 統括研究員
高野 学 NEDO IoT 推進部 主査
大河内 紀行 NEDO IoT 推進部 専門調査員

<実施者>

京極 秀樹(PL) 近畿大学 次世代基盤技術研究所 特任教授
千葉 晶彦(SPL) 東北大学 金属材料研究所 教授
北村 真一 日本電子 開発・基盤技術センター 副センター長
池庄司 敏孝 近畿大学 次世代基盤技術研究所 特任准教授
米原 牧子 近畿大学 次世代基盤技術研究所(TRAFAM 広島分室) 研究員
山中 謙太 東北大学 金属材料研究所 准教授
青柳 健大 東北大学 金属材料研究所 助教
眞部 弘宣 日本電子 開発・基盤技術センター センター長
蔦川 生璃 日本電子 3DPJ 技術G 主務
君島 孝尚 技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構(TRAFAM) 専務理事
橋谷 道明 技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構(TRAFAM 技術推進部) 部長
服部 健 技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構(TRAFAM 技術推進部) 主任研究員

<評価事務局>

森嶋 誠治 NEDO 評価部 部長
塩入 さやか NEDO 評価部 主幹

木村 秀樹
中島 史夫

NEDO 評価部 専門調査員
NEDO 評価部 専門調査員

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 レーザービーム方式に関する研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
 - 6.2 電子ビーム方式に関する研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言 (評価事務局)
 - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より事前配布された資料説明及び質疑応答のとおりとし、議事録への公開・非公開部分についての確認を行った。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より事前配布された資料のとおりとした。
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5-1に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

実施者より資料5-2に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.3 質疑応答

【柳本分科会長】 ありがとうございます。「事業の位置付け・必要性和研究開発マネジメント」及び実用化の見通し等をご発表いただきました。これからは議論に移ります。技術の詳細については、この後の議題6で改めて扱いますので、ここでは、事業の位置付け・必要性、マネジメントについての議論になります。事前に行った質問と回答のやり取りも踏まえた上で、ご意見やご質問をお願いします。また、オンライン参加の方は、質問・発言の際にミュートを解除し、名前とご所属、質疑の対象となる資料番号やページ数等をおっしゃってから発言をお願いいたします。

大坪分科会長代理、どうぞよろしくをお願いします。

【大坪分科会長代理】 大坪です。質問もさせていただいた粒径の部分ですが、11ページ、12ページのところにある「研究開発目標と根拠」についてです。粒径に関して少し訂正されていましたが、実際に電子ビームのほうは結構粒径が大きくなると思います。それに対して、敷き詰め精度は10 μ m以下の凹凸の計測ということで、そこは変更ないのでしょうか。

【NEDO IoT 推進部_三代川 PM】 NEDOの三代川です。その点については、電子ビーム方式についても、敷き詰め状態や造形表面、こういった計測精度については、レーザービーム方式と同様に10 μ mを目指すことで問題ございません。

【大坪分科会長代理】 では、その根拠においては間違えていたが、目標は変わらない。そういう理解でしょうか。

【NEDO IoT 推進部_三代川 PM】 そのとおりです。

【大坪分科会長代理】 分かりました。

【NEDO IoT 推進部_三代川 PM】 ご指摘ありがとうございます。

【柳本分科会長】 ほかに、いかがでしょうか。岩崎委員どうぞ。

【岩崎委員】 みずほリサーチ&テクノロジーズの岩崎です。NEDOの三代川さんが話された資料5-1についてお伺いします。19ページで、「開発促進財源等投入実績」ということで、プロジェクトを円滑に進めるためにさらに財源を投入していったというお話がありました。4ページでは、「海外の研究開発の動向」を踏まえてという内容だったと思いますが、この分野、良くも悪くも非常に動きが早いです。そういうテーマの中で海外の動向を見ていくと、当初2019年に立てた目標から少し変えていく必要がある。新たに研究開発を追加する検討もひょっとしたらあるのではないかと感じました。そういった研究開発の計画に対するマネジメントや取捨選択、もしくは追加みたいところをNEDO様のマネジメントとしてはどのように考えていますか。19ページを見ると、前倒しかつ、より早くキャッチアップしていく部分にお金が投入されたように見えますが、そういった研究開発の目標、あるいはテーマに関するマネジメントについてどのようにやられているかお伺いします。

【NEDO IoT 推進部_三代川 PM】 NEDOの三代川です。ご質問ありがとうございます。今の質問に関して2つの観点からお答えします。1つは、研究開発項目の追加に関してです。当然、研究開発項目を追加すると、その分の予算が必要になります。その予算をどういう形で手当てするかという問題が一つあり、NEDOの研究開発促進財源で賄える程度の内容であれば、海外の現状との競争状況を踏まえ、引き続きNEDOの財源をどんどん投入していきたいと思えます。ですが、NEDOの財源はそれほど潤沢にあるものではないです。NEDOの独自財源というと、何かお金がたくさんあって、取りに行けば幾らでも取れるようにも思えるのですが、これを取りに行くのはすごく大変です。本当に汗水をたらして、一生懸命に中で交渉をし、ようやく取ってきています。特に2020年度、大体3,700万円ぐらいを取っていますが、これはすごい金額です。こういった金額でできることであれば、今申し上げたように、NEDOの加速財源を投入してどんどん進めていこうと思えます。ただ、それ以上の予算規模での研究開発項目

の追加といった話になれば、ここは政府予算に頼らざるを得ません。ですので、そこは経済産業省の素形材室のほうともしっかり相談した上で対応していきたいと思います。また、これに関してですが、説明の途中で申し上げたように、素形材室は本当によく頑張ってくれています。しかし、どうしても予算当局が非常に厳しく査定をしますから、なかなか思ったような予算がつかえません。そういった事情もございます。

次に、研究開発計画の中で、現状や今後を見据えて研究開発内容を追加・拡充するということに関してです。スライド17ページ目の部分で少しお話ししましたが、外部有識者からなる技術推進委員会というものをこの事業についても設置しています。具体的には、例えば日立製作所の浜岡様、静岡文化芸術大学の望月先生、そういった有識者の方に入っただき、年1回程度、進捗確認と技術的な評価など今後どうやって進めるべきかアドバイスをいただく機会をつくっています。そういったところでも技術推進委員の先生方からご意見を伺いながら対応していければと思っています。お答えになっているでしょうか。

【岩崎委員】 ありがとうございます。NEDO様や経産省も含め、あるいはそういった委員会を通じ、外部有識者のご意見も踏まえながら研究開発内容や新たな予算措置をした上で追加項目等々の検討をされている。そういうふうにしつかりと研究開発のマネジメントをされているものと理解しました。どうもありがとうございます。

【柳本分科会長】 ほかに、いかがでしょうか。稲垣委員お願いします。

【稲垣委員】 日鉄関西マシニングの稲垣です。先ほどの話と関連しますが、資料5-1の21ページの部分になります。財源でご苦労されているということでしたが、今、カーボンニュートラルが非常に注目されており、展伸材を造ることで非常に莫大なエネルギーを使うことに比べると、もともと3Dプリンターはプロセスのショートカットができるということで注目されていたと思います。より一層、かつ脱炭素に寄与するというので、当時の計画はこのようになっていたと捉えますが、さらにここに注力するようなマネジメント強化をされながら、財源も取りにくいといった活動は考えられていますか。

【NEDO IoT 推進部_三代川 PM】 そういったことも考えています。公開セッションの回答となるため、どこまでお答えしているか微妙なところもございます。少し詳細な部分だったため説明をしなかったのですが、具体的には、21ページのスライドにおいて、調査のスキームの右側③、そこでは「金属3Dプリンターの活用による省エネ・CO₂排出削減効果の試算」といったものも調査内容に含まれています。それというのも、NEDOのプロジェクトに関しては大きく分けて一般会計とエネルギー特別会計という2種類の会計区分がございます。本事業は一般会計でやっているのですが、一般会計ですと、どうしても予算規模が小さくなりがち傾向です。先ほどの岩崎委員の話にも関連しますが、事業を拡大していくためには、一般会計だけではなく特別会計も視野に入れる必要があります。当然そういった特別会計になると、CO₂の削減効果や省エネ効果、そういったところをうたっていかなければいけません。そういった思惑もあり、21ページに記載あるような普及に向けた調査の中では、そういう部分も少し取り込んでいきたいと考えている次第です。お答えになっているでしょうか。

【稲垣委員】 ありがとうございます。よく分かりました。

【柳本分科会長】 ほかに、いかがでしょうか。

【宇治原委員】 宇治原です。よろしいでしょうか。

【柳本分科会長】 どうぞよろしくお願いします。

【宇治原委員】 京極先生が説明されていたスライド23ページ「実用化・事業化に向けた戦略」の部分です。

そこには理由や市場状況の推測の文言があります。そこでは、レーザービームと電子ビームにおいて共通してコストの問題が上げられており、例えば、「電子ビーム1億円以上の装置確保というのは、なかなか普及の妨げになっている要因の一つ」といった記載がありますね。今回の目標を立てる際にお

いては、この部分は実際に研究されている方と NEDO の方との共通の認識としてはいかがだったのでしょうか。実際に研究されている方はここをすごく大きな課題に感じているという趣旨で先生が書かれたのだと捉えますが、今回の設定された項目の中では、ここににつながる項目はどこになるのか。京極先生と NEDO の方どちらに伺うべきか分かりませんが、少し教えていただきたいです。

【NEDO IoT 推進部_三代川 PM】 NEDO の三代川です。コスト削減については確かに、実際に積層造形技術や 3D プリンターを国内の産業に普及させていく上では、今後避けて通れない部分だと思っています。ただ、今回の積層造形のプロジェクトに関しては、冒頭で説明申し上げたように、造形プロセスに係る基盤技術の開発を目的としているため、直接的に各研究開発項目の目標という形ではコスト削減の目標値は掲げていない状況です。一方、本事業の最終的な成果として、3D プリンター等に搭載されたときのことを考えれば、やはりコストの意識というのを全くは無視できません。そういった意味合いで、京極先生の資料等の中でコストという数字が出てきているものと認識しています。もし京極先生から何か補足あればお願いします。

【近畿大学_京極 PL】 補足いたします。今、三代川さんのほうからお話ありましたが、今必然的にたくさん欠陥が出ているわけです。ですので、基本的にはこの欠陥のない製品を造る技術を開発するシステムができれば、その懸念がなくなり必然的にコストの削減につながります。これは実際に最近いろいろな講演が行われている中でもそのような話をされています。ですので、確実にコストは下がるだろうと考えられます。また、あえて今回このプロジェクトの中で短納期化と入れました。従来の造形の 5 分の 1 の時間でやりましょうというように、製品の製造を基本的に短くすることによっても必然的にコストが下がっていく。つまり、高品質でコストを下げた形の製品が出来るという意味で、コスト面あるいは品質面という観点で今の現実の課題に対応していけるシステムである。そういった現状として開発をしています。答えになっているでしょうか。

【宇治原委員】 分かりました。ありがとうございます。

【柳本分科会長】 ほかに、いかがでしょうか。

【大坪分科会長代理】 大坪ですが、もう一点よろしいでしょうか。

【柳本分科会長】 どうぞ。大坪分科会長代理よろしくお願いします。

【大坪分科会長代理】 資料 5-2 の 9 ページから 12 ページの部分にある高度モニタリングについて教えてください。京極先生のお話の中で測定精度が $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 以下と開発目標にあります。この $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 以下という根拠をもし話せるのであれば、お聞かせ願いたいです。

【近畿大学_京極 PL】 これは基本的にパウダーベッドの温度分布を計測するためです。これは、シミュレーションをするために重要であり、パウダーベッドの温度によっては熔融凝固現象が変わってくるので、あとは実際に使う装置の精度として $\pm 50^{\circ}\text{C}$ ぐらいまでということを決めさせていただきました。

【大坪分科会長代理】 これは欠陥が出る部分において云々という、そちらから来ているものではないと。

【近畿大学_京極 PL】 どちらかという、これはシミュレーションをする際のデータをできるだけ精度よく取ろうという意味です。

【大坪分科会長代理】 そうということですね。分かりました。

【柳本分科会長】 ほかに、いかがでしょうか。

【宇治原委員】 少しだけ聞いてもいいですか。

【柳本分科会長】 どうぞ。

【宇治原委員】 これも NEDO の皆様なのか京極先生のどちらに伺うべきなのか分かりませんが、このプロジェクトというよりも、この技術が第一段階としてまず目指すべきところを知りたいです。3D プリンターは将来的には製造の一部を担うようなそういう製造装置になってほしい、これはもちろん分かります。ただ、そこにいきなりいくのはすごく難しいと思うのです。まずは、その前に少量の製品を造って

いくという部分がターゲットになると思うのですが、例えば金属について、私は少しイメージをつけられていないところがあります。先ほどのコストに関する話で、例えば5分の1の時間にすると。3Dプリンターによるプロセスコストも素直に5分の1にはならず、半分ぐらいにならなるのかなと思っています。ですので、例えばどういった製品を1つ造るものと考えているのか。例でもいいですが、例えば1個幾ら程度の物をターゲットにしているのか。将来の大量生産というものではなく、まず目指すべきところとしてイメージできる物を何かしら挙げていただくと少し助かります。

【近畿大学_京極PL】 私のほうからお答えいたします。我々が今やっているのは、レーザーや電子ビームのパウダーベッド方式です。先生もご存じのとおり、どちらかと言えば航空宇宙であったり、エネルギー産業機器分野のパーツであったり、そういう部分を現状ではイメージしています。実際問題そういうものがかなりターゲットになってきていますし、これから少しずつ自動車の大きな部品等にも降りていくのだらうと思います。単価一つにおいては難しいところもありますが、例えば今、ユーザー造形の中でも、ロケットエンジンのパーツのようなところを少しターゲットとして我々は考えています。単価は、私は企業の人間ではないのであまりよく分かりませんが、たしか今、粉末1kgが1万円前後だったと思います。もちろん粉末にもよるので、もう少し高い物もありますが、それよりも高く、キロ単価でいうと10万円以上ぐらいの物をつくらなければ現状ではなかなかまい具合にはいかないと考えます。ただし、今後装置がもう少し普及していけば、もう少し安くなってくる可能性はあると思います。加えて、高品質の製品が出来るようになるとコストがもっと下がってくる。そういうことになってくれば、その単価というのは少しずつ下がってくるのではないのでしょうか。正確には覚えていませんが、企業の方が、「このパーツはキロ幾らで」ということをよく出されますが、感じとしてはそういうところでしょうか。これに関して、千葉先生か橋谷部長、何かございますか。

【東北大_千葉 SPL】 電子ビームを担当している千葉です。今このプロジェクトは、やはりマシンの装置技術の開発に主眼を置いています。造形コストや期間においては、初めて扱う部品で従来3か月ぐらいかかっていたものを2週間ぐらいで造ろうと目指しています。例えば、今話題になっている航空機用の部品、あるいは車用だと熱交換器、あるいは金型というのもあります。そうすると、まずいろいろな金型の種類が上がってきます。私が聞いたこととしては、メーカーによっては「金型の管理が大変だから全部CADデータで保管する」という話です。ですから、そういうことに応えられるような技術開発というのを目指さなければいけません。従来の装置は1個の部品が新しくなると、3か月、4か月といったかなりの期間がかかることが多い。そういうことで二の足を踏む企業が非常に多いところがあります。まだコストをどうするという議論はしてはいませんが、そういう方向性を手堅くしていきたい。取りあえずそういうところは目指しています。あまり答えになっていないかもしれませんが、以上で説明を終わります。

【宇治原委員】 ありがとうございます。今の金型のところで私としては一番納得感がありました。私は名古屋なのですが、この地域は金型がすごく大変です。金型を造っている人たちというのは地元の小さな企業の人たちがすごく多いですね。これは私が地元に住みながらよく聞こえてくることですが、金型を造っている方の高齢化に伴い、どんどん仕事辞めてくという話があります。一方、中国では物すごく安い値段で金型を造っていると、このことは地域で物すごく問題視されています。今の話を聞きながら、もしかするとコストの問題以上にその装置を導入しようとする大きな動機になるのだなというふうに感じていました。ありがとうございます。

【柳本分科会長】 ほかに、いかがでしょうか。

では、私からよろしいでしょうか。非常に大ざっぱな質問で申し訳ございません。今の話とも関係しますが、ロットの数のイメージがあまり浮かばないのですが、それはどのぐらいになるのでしょうか。今の金型の話も、実は補修用部品を製造するための金型の保管が義務になるから非常に問題になって

いるということですが、つまり、製造する個数が少ない物であれば、別に金型で塑性加工やインジェクションをやらず、積層造形（AM）でそのまま造ってもいいのではないかと、という話もあるわけです。むしろ製品を造形するためにAMは使うのではないかと。そういった逆の意見もあり得るのでしょうか。いずれにしても、例えば一つの品種において、これを何個ぐらい製造するイメージを持っておられるのか。その点を少しお聞きできればありがたいです。公開のところでお話が難しいようであれば、この後のセッションでも構いません。

それと、先ほど千葉先生のお話にありましたが、新規の物を2週間という、これはプロトタイプをつくるという話になってくるのかなとも思うのですが、今回はどの辺りをリアルタイムの制御とオンラインのモニタリングの組合せで実現しようとされているのでしょうか。大ざっぱなイメージで良いので、お聞かせいただけるとありがたいです。

【東北大_千葉 SPL】 私の考えとしては、一応2週間という期間を上げていますが、実は我々が目指しているのは、例えば、全く経験のない粉末かつ全く初めての部品において、それをまず装置に仕込めば、装置が勝手に最適化をしてくれる。要は、1日、2日あれば全く新しい部品ができるのではないかと実は思っています。ただし、まだこれは実績のない話ですから、それをやるには、初めは手堅く言うと1度、2度の失敗が当然あります。ですので、そうすると2回失敗すれば2週間ということになります。それで2週間ぐらいの期間で、全く新しい部品であっても、あるいは粉末でも造れると。今ここではそういうシステム開発しています。繰り返しますが、手堅く言えば2週間であり、裏の考え方としては、本来は1日、2日で出来る。そういったものを持っております。

【柳本分科会長】 分かりました。京極先生何かありますか。それともこの話はまた後程にしましょうか。

【近畿大学_京極 PL】 大体千葉先生がおっしゃっていただきました。ほかの企業の方の講演等を聞きますと、例えば、精密機械メーカーで造っている部品をこのAMに置き換えると、例えば、数か月の物が実際はもう1週間以内程度で出来るということで、相当なコスト削減になるということをおっしゃっています。この装置があれば、それをさらに高精度かつ高品質に早く造れるという面があるために、今千葉先生がおっしゃったような形のコンセプトの下、我々はできるだけ取り組んでいます。

【柳本分科会長】 なるほど。今京極先生がおっしゃったのは、どちらかと言えば中量生産品といったイメージですね。

【近畿大学_京極 PL】 そうですね。基本的には、やはりこの技術というのはパウダーベッド方式、あるいは大量生産であれば、今はやっているバインダーージェティングなど、方式が全部違います。我々がやっているパウダーベッド方式というのは、基本的には多分良く言って1万もいくかないかレベルのお話だと思うのです。ですから、小さい物でそういったレベル、大きい物であれば、本当は1個、2個という世界の物を対象にしてやらないとメリットが出てこないという具合に思っています。かつ非常に付加価値の高い物を作って初めてできる。そういう意味で、こういう高度な品質をきちんと保証できるシステムが今後は必要になってくるのではないかと。そういうことで、各国で似たようなことを今やっているという現状があります。日本は装置でも遅れていますから、これ以上遅れると非常にまずい。ですから、周りのプロジェクトの中では、できるだけほかでやっていない発想で今研究開発をしているものをご理解いただきたいです。以上になります。

【柳本分科会長】 分かりました。委員の先生方ほかによろしいですか。

では、議題5はここで終了いたします。どうもありがとうございました。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【柳本分科会長】 それでは、以後の議事は再び公開になります。ここから先の皆様のご発言は議事録にも記載されることをご留意ください。それでは事務局からお願いします。

【中島専門調査員】 ここからは公開となるということで、一般傍聴向けのユーチューブのテスト配信を再開いたします。それでは、議題8「まとめ・講評」に入ります。分科会長、進行をお願いいたします。

【柳本分科会長】 委員の先生方どうもありがとうございました。では、会議の冒頭にお伝えしたとおり、宇治原委員から始まりまして、最後は私という順番で講評を2分程度ずついただきます。それでは、宇治原委員お願いいたします。

【宇治原委員】 今日はどうもありがとうございました。大変勉強と参考になりました。私は積層造形の専門家ではございませんが、マテリアルサイエンスの観点から見ると非常に高いレベルで様々な研究がなされていることを本日お伺いして分かりました。また、私も金属でしたので、特に後半の電子ビームのところは非常に高いレベルでいろいろな技術が開発されてきていて、かつ他に負けないレベルで開発されてきていることがよく分かりました。一方で、ニーズの観点から見ると、これはほかの先生方からの意見も伺い、多種類の物をいかにつくり上げていくかというところにニーズがあるのだと理解しました。冒頭から予算に関する話も出ていましたが、本当であれば、多種類調べることに對して個人的な率直な意見を言えば、それほど難しくないように思いました。その理由は、ここで出来上がった京極先生、千葉先生の技術を見ていると、プロセスマップをうまく書くための基礎技術というのは既に開発されている印象を受けましたし、フィードバックをするところも非常に高いレベルで実現されていることが分かりました。そうであれば、その装置を3台、4台と並べてしまえば、本当であれば多品種のテストというのは今のシステムさえ使えばできるのだらうと感じました。

かといって、このプロジェクトの中でただ金属3Dを5台、6台並べるというのは、それはまた一大事になると思うのですが、一つの在り方として国から支援することも1つの手ではないでしょうか。ただ、全うなやり方からすれば、本当にビジネスになるのであれば、事業者がそこにお金をつぎ込む。もしくは、ユーザー側からきちんとお金を投資してもらい、ユーザー側がお金を出してそのことを調べるという姿かたちが良いのかなと思いました。3Dプリンターは、途中で先生方の意見にもあったように、いかに使うところまでやるかというフェーズに十分到達している技術だと思いますから、今後はもう少し研究者の皆様もNEDOの皆様の協力の在り方についてもそういった観点でやっていただけたらと感じました。以上です。

【柳本分科会長】 次に、岩崎委員お願いいたします。

【岩崎委員】 みずほリサーチ&テクノロジーズの岩崎です。本日は長い時間にわたり、いろいろご説明いただきありがとうございます。様々なお話を伺い、研究開発項目について着実に研究が進んでいること

がよく分かりました。また、将来的な実用化・事業化に向けていろいろと考えられていることも理解しました。一方で、冒頭にも質問しましたが、海外の動向として、学会発表や直近の国際会議等を見ると、こういうパウダーベッドフュージョンの領域でもリアルタイムにモニタリングをしてフィードバックをかけていくといった内容の発表もちろはらと出てきています。そういう意味では、説明をいただいたとおり、現時点で競争優位性をしっかり持っているとは思いますが、その優位性をしっかりと維持できると良いと感じました。もちろん研究されている方々はそのような姿勢で取り組むと思いますが、これは経産省さん、NEDOさんへのお願いになりますが、環境の変化を踏まえた上で、必要な手当て等々しっかりと対応していただきたいです。ここまで取り組んできたことが将来きちんと花開くように支援を行っていただきたいと強く思います。また、今年度から、例えばユーザー実証をやっていくという話もありました。そういったユーザーが使ってみて結果がどうだったか。ユーザーがこういうところが使いやすく効果があったというような話を蓄積していくことで、将来的な普及につながるものだと思います。ですので、来年度、再来年度はそういった取組もしっかりと進めて、最後にそれらを外に向けて発信していくことをやっていただきたいです。

今回の研究開発とは若干話がそれますが、そういった実用化・普及という話の延長線上にあるものとして、今回の内容は、あくまでもデザインが決まった後の装置における造形部分だと思いますが、実際にユーザーが使って価値を生み出すという観点からは、造形部分だけではなく、前段階の設計の考え方、あるいはソフトウェアの部分にもつなげていく必要があるのではないのでしょうか。造形部分だけでアピールをしてもなかなか普及にはつながらないと思いますので、そういうところも加味して欲しいです。このプロジェクト以外にも、例えば人材育成みたいなのところも含めて、しっかりとNEDOさんと協力して推進していただけたらと思います。以上です。

【柳本分科会長】 次に、稲垣委員お願いいたします。

【稲垣委員】 稲垣です。今日は説明をどうもありがとうございました。装置技術、特にモニタリングとフィードバックの制御等について非常に高いレベルまで到達していることがよく分かりました。一方で、皆さんがおっしゃるように、海外では既に航空機や医療の面で実用化されていることを考えれば、若干ビハインドは否めません。ですが、まずは今のプロジェクトの目標を達成していただくことが重要だと思います。その後、早期実現に向けて取組をしていただきたいです。その中で、今日の中でも出ていましたが、やはり日本の技術の優位性ということで組織制御がキーファクターではないかと思えます。プロセスマップの充実なり高度化を進めていくのが非常に重要です。また、工業製品という面で見れば、やはり品質の安定化がユーザーにとって非常に重要です。各工程のばらつきを吸収できるような装置技術、あるいは操業技術を確立していただくこと、また広く汎用化するという意味では標準化を進めていくのが重要になると思います。そういった議論ができるところまで来ていると思いますから、財源もぜひ検討いただき、実用化・効果・メリットの早期発揮に向けて取り組んでいただきたいです。以上になります。

【柳本分科会長】 次に、大坪分科会長代理よろしく申し上げます。

【大坪分科会長代理】 今日 1 日貴重なご説明をありがとうございました。今回の内容で感じたことを述べさせていただきます。まず、AM がなかなか浸透しないことやお客様の課題を聞くと、その理由はやはりコストと品質にあるようです。品質に関しては、今回非常にバックアップになっていると思えますし、モニタリングを高度化したり、修復したりという点はとても安心できます。修復までいかずとも、モニ

タリングが高度化することは非常に良いことです。先ほど途中でも言いましたが、欠陥があれば止めることもできます。それによって本当に信頼性が担保されますから、これは鋳造部品とは全く違う信頼性が期待できます。ですので、ここはどんどん追究していきましょう。一方でコストの面ですが、今、鋳造の物を全く同じ形状の AM でやると絶対にペイしないことは皆さん分かっています。そこで、やはり AM ならではの設計を入れていこうということでやるのですが、付加価値のつけ方というのが皆さんなかなか理解されていません。それは設計だけではありません。付加価値のつけ方の一つとして、当然型レスや納期短縮等もありますが、それをいか金額に変えていくか。その一方、もう一つ大事なことで何度も言っているとおり CO₂ の排出削減です。これをお金に換算する。「この製法を使えばこれだけ何パーセントも削減できる」ということを示す。材料は当然少なく済みますし、AM というのは加算方式ですから、要は捨てる材料が少ない。ですので、トータルで考えれば、粗原料から合わせても CO₂ の排出というのは、多分鍛造・鋳造等と比べると非常に少ないと思います。なおかつ炭素税の問題等もありますから、そういうことを考えればトータルの金額に直してあげて、それで AM を浸透させることが NEDO さんはじめ我々の仕事だと思っています。最後に、テーマに関してはいろいろな質疑応答の際でも言いましたが、レーザーの再溶融は欠陥を直すという面では良いですが、健全な部分へのデメリットがないか。やはりそこは見ておく必要があると強く感じました。電子ビームに関しては欠陥のない面がかなりいけそうな気がしますから、次のステップへ進んでください。組織制御という可能性を検証するだけでもよいので、道筋ができたというプラスアルファの何か結果が出来る良いと感じました。以上です。ありがとうございました。

【柳本分科会長】 ありがとうございました。それでは、私からです。皆様、今日は長い時間ありがとうございました。私なりに感じたことを申し上げます。こういうリアルタイムモニタリングをしながら、きちんと質を担保しながら造形していくということが一番基本的なところですから、これをやるのは大事だと思います。AM の国プロは始まってもう 9 年目で、結構長い時間やっています。着実に進んではいませんが、逆にこれをやっておかなければ諸外国にどうしてもキャッチアップできないという状況はずっと続いているものと感じます。ぜひ、この方向で国の支援をお願いしたいと思います。と同時に、各社事業に展開をしていき、自動的・自律的に回っていく方向に持っていくようなフェーズに来ているのだらうとも思いながら聞いていました。そのための基盤技術として、今回の技術開発は非常に重要だと思います。やはり AM は、ソフトウェアと一体で運用しなければ多分うまくいきません。これは前プロジェクトから非常に強く感じている点です。前のプロジェクトで CAD と統合するようなこともやりましたし、造形レシピの話も実はそのときからありました。今回モニタリングが加わって大変良い方向だと思います。今、大坪分科会長代理がおっしゃったように、応用先というのが次のポイントになります。私も全く同感で、今できる物を AM でやってもメリットはほとんど出てきません。新しい構造を提案していくフェーズに向けた動きに皆さん進んでいると思いますが、例えば、経産省さんであれば、フライングカーズ「空飛ぶ車」に向けた研究開発の重要性を指摘しておられます。そのための軽量の構造を中量規模の生産で実現することが何百万円というコストでできるような世界は、割と近い時期に来るはずで、そういったところにこの AM は活躍していくべきだと思います。そういった将来の投資として、基礎的かつ基盤的なこういった開発は非常に重要ですし、ぜひ皆さんのご協力の下で、実施者の皆さんには頑張っただけいたらありがたいです。私からは以上です。

では、事務局にお返しいたします。

【中島専門調査員】 委員の皆様ご講評ありがとうございました。それでは、推進部の有馬部長及び実施者の京極 PL より一言ずつお願いいたします。

【NEDO IoT部_有馬部長】 NEDOのIoT推進部で部長をしている有馬と申します。本日はお忙しい中、委員の先生方お時間をつくっていただき誠にありがとうございました。私自身、IoT推進部の部長にはこの7月に着任をした身であり、中間評価という場には初めて出席しております。評価ですから最終的には評点がつくわけですが、むしろ委員の先生方から貴重な意見やアドバイスを多々いただくような場であることを、本日皆さんの話を伺いながら感じました。そういったアドバイスを受け止めながら、実施者の方々とも連携をし、NEDOとしてきちんとマネジメントを行っていきたいと思います。引き続きご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

【中島専門調査員】 有馬部長ありがとうございました。続きまして京極PLからもよろしくお願いいたします。

【近畿大学_京極PL】 京極です。本日は柳本分科会長をはじめ委員の皆様方からは大変貴重なご意見をいただきました。本当にありがとうございます。我々だけではなく、外部の意見も取り入れてやらなければいけないと思っています。ある面では、少し財源的には厳しい部分もございますが、方向性としては間違っていないと思っていますし、かなりのレベルに来たものだ和我々も感じています。今回の委員の皆様方のご意見をもう一度かみしめて、引き続き最終目標に向けて頑張っていく所存です。引き続きご支援をいただければと思います。本日はどうもありがとうございました。

【中島専門調査員】 京極PLありがとうございました。それでは分科会長に戻します。

【柳本分科会長】 それでは、議題8「まとめ・講評を」ここで終了いたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5-1,2	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6-1,2	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料 7-1	事業原簿（公開）
資料 7-2	事業原簿（非公開）
資料 8	評価スケジュール
番号無し	ご質問への回答（公開分）

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「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)プロジェクト評価分科会

質問票

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員氏名
		公開可/ 非公開	説明	
資料 5-1 P.8	アウトカム目標についてお伺いしたい。 ・積層造形部品の開発期間を 1/5 に短縮とあるが、分母は何か？ ・国内素形材企業への導入割合 10%とあるが、この素形材企業とはどの範囲（企業規模、売り上げ、社数）を指すのか？	公開可	積層部品の開発期間 1/5 短縮の分母としては、現状において金属 3D プリンタを用いて造形条件等の最適化をするために必要な期間になります。 素形材産業の範囲としては、平成 29 年度の工業統計より、従業員 30 人以上の金属製品及び自動車部品等を製造する事業所数になります。	柳本分科 会長
資料 5-2 P.22～23	2018 年までの METI/NEDO 事業(次世代型産業用 3D プリンタの造形技術開発・実用化事業)で金属 3D 造形装置の実用化が研究されたわけであるが、「資料 5 22 ページ～23 ページ」に記載されている「実用化」と、2018 年までのプロジェクトの「実用化」との違いを、詳しく説明してもらいたい。	公開可	2018 年までの（次世代型産業用 3D プリンタの造形技術開発・実用化事業）では、2016 年～2018 年の 3 年間実用化研究を行い、2014 年～2015 年に開発した金属用 3D プリンタ試作機（5 機種）について、省エネ型の新しいものづくり・製造プロセスの確立を進める観点から、以下を実施しました。	柳本分科 会長

		<p>①造形物の品質確保のための実用化技術を開発する。</p> <p>②ユーザーも参画して実部品を造形することで装置の実証を行う。</p> <p>この実用化研究は、開発・実証を補助/助成事業で実施し、取得した知財も各社に分配したため、スムーズに事業化が進み、既に4社より製品として市場投入されました。</p> <p>一方、本プロジェクトでは、装置開発のものではなく、金属積層造形部品における高品質の確保及び個々の部品開発の効率化を可能とする要素技術を開発します。この成果は、より多くの企業が利用できる形で普及すべき技術であることから、委託事業としてユーザー検証等の実用化を目指した検証を実施します。開発・検証した成果（システム、開発・評価手法等）は、研究期間終了後3年以内に、装置メーカー等が開発機等に実装し事業化を図ります。</p>	
--	--	---	--

質問票

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員氏名
		公開可/ 非公開	説明	
資料 5-1 P.5 資料 7-1 P.11	2017 年からの「次世代型産業用 3D プリンタの造形技術開発・実用化」の前に今回の「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」を実施すべきではなかったでしょうか？	公開可	現時点から見れば、そのようなご意見もあるかと思えます。 ただ、「次世代型産業用 3D プリンタの造形技術開発・実用化事業（三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム）」を立ち上げた当時は、欧米を凌駕する国産 3D プリンタの開発・製品化が最優先課題であったものと理解しています。 もし、「次世代型産業用 3D プリンタの造形技術開発・実用化事業」を本事業より後に実施していたとすれば、その分、国産 3D プリンタの製品化は遅れることになっていたと思われしますので、事業の実施順としては必ずしも間違っていないと考えます。	大坪分科 会長代理

<p>資料 5-1 P.8</p> <p>資料 7-1 P.12</p>	<p>2017-2018 前テーマの下記効果との差異、進捗は？</p> <p>市場獲得@2030…装置+金属材料 8000 億円/年 (台数シェア 50%)、アプリケーションビジネス 1.67 兆円/年、CO2 削減効果…36 万 t /年 @2024、146 万 t /年@2030</p>	<p>公開可</p>	<p>「次世代型産業用 3D プリンタの造形技術開発・実用化事業」では、国産の金属 3D プリンタ・金属材料によるグローバル市場の獲得をアウトカム目標としていました。</p> <p>一方、本事業では、成果を国内の素形材産業等に導入・普及することで、我が国ものづくり産業の競争力強化を目指している点で波及効果が異なっています。</p> <p>ただし、本事業の成果を搭載した金属 3D プリンタが市場投入されることにより、3D プリンタのグローバル市場獲得において相乗効果が期待できると考えます (資料 5-1 P8 と資料 7-1 P12 の波及効果に、この点は含んでいません)。</p>	<p>大坪分科 会長代理</p>
<p>資料 5-1 P.8</p> <p>資料 7-1 P.12</p>	<p>算定根拠の「造形品について」の項目内で「国内造形装置市場は上記①より 791 億円」とありますが、①はどこにも記載ありません。①は「造形装置について」の数式を示し、791 億円は 632 億円の間違いでは？</p>	<p>公開可</p>	<p>ご指摘のとおり、「上記①より 791 億円」は誤記で、正しくは「上記より 632 億円」となります。</p>	<p>大坪分科 会長代理</p>
<p>資料 5-1 P.12</p> <p>資料 7-1 P.14</p>	<p>電子ビーム方式の粉末粒径がレーザービーム方式と同じ 30~75 μm 程度となっていますが、同粒径で造形を可能とするブレイクスルー技術は？</p>	<p>公開可</p>	<p>粉末粒径は、正確にはレーザービーム方式で 15 μm ~ 45 μm、電子ビーム方式で 45 μm ~ 110 μm であり、レーザービーム方式と電子ビーム方式で「粉末の粒径が 30~75 μm 程度」と同一に記載した点は不正確で、</p>	<p>大坪分科 会長代理</p>

			<p>誤解を招いてしまったかと思います。 したがって、電子ビーム方式で、レーザービーム方式と同粒径での造形を可能とするブレークスルー技術があるというわけではありません。</p>	
資料 5-1 P.14	<p>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（～2021）後に、高度モニタリング・フィードバック機能の開発（2022～）となっているが、後者が最終の姿であるならば、前者で開発したフィードバック制御をどのように後者に活用/展開するのですか？</p>	公開	<p>少し分かりづらい点があったかと思いますので、以下のとおり補足説明します。 事業前半（～2021）では、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として、モニタリングデータをもとに欠陥予測システムで作成した造形条件を装置にフィードバックする機能の開発を行います。これと並行して、再溶融による欠陥補修技術の開発を進めていきます。 事業後半（2022～）では、モニタリング技術の改良や高度化を行い、欠陥予測システムとの連携だけでなく、さらに再溶融による欠陥補修技術とも連携した高度モニタリング・フィードバックシステムとして開発し、最終的に 50 μm 以上の欠陥率 0%を実現するコンセプトとなっています。</p>	大坪分科 会長代理
全体	<p>「溶融凝固現象の解明による欠陥発生の予測技術の開発」について、酸素量の影響は考えなくても良いのですか？</p>	公開	<p>ご指摘の通り、溶接における溶融現象では、メルトプールが大きいために酸素量によりマランゴニ対流の方向が変わり、酸素量が</p>	大坪分科 会長代理

		<p>高いとスパッタの発生も大きいといわれています。</p> <p>しかし、レーザー積層造形では、通常不活性ガスを導入して酸素量の非常に低い雰囲気ですが、マランゴニ対流の方向が変わるまでにはならず、微小領域を高速で照射して急凝固されておりますので、ほとんど影響はないものと考えております。ただし、粉末の酸素量が高い場合や湿度の高い粉末の場合は、影響があると考えます。</p> <p>電子ビームにおいては、粉末の酸素量が高い場合には、レーザーと同様にマランゴニ対流の回転方向が逆回転するため、スパッタが発生しやすくなる傾向はありますが、粉末の酸素濃度が規格で許される範囲内であれば、スパッタが異常に発生して問題となることはありません。また、電子ビームにおいては真空中での造形になりますので、環境からの酸素の影響はないと考えています。</p>	
--	--	---	--

質問票

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員氏名
		公開可/ 非公開	説明	
資料 5-1 P.7, P.18	工業製品化に向けては、規格（JIS 等）制定または反映が重要になってくると思います。今回のフェーズでは明確化する必要は無いと思いますが、当件は並行して、あるいは将来のフェーズで検討されるものでしょうか。 （NEDO の関与の意義および事業化に向けたマネジメントの項目として重要なポイントと思われますので質問させて頂きました）	公開可	本事業の成果（モニタリング機能や装置・システム等）は、海外の競合製品との差別化のためにクローズ戦略をとるべきものであり、現時点ではオープン戦略（標準化）をとるものはないと考えています。 ただし、委託先である TRAFAM は、ISO/TC261 の国内審議団体として活動し、JIS 規格の制定にも関わってきた実績がありますので、もし将来的に標準化に係る取り組みが必要になった場合でも十分に対応できるポテンシャルはあると考えています。	稲垣委員
資料 7-1 P.26	レーザービーム方式において、欠陥の種類が、キーホールおよび空隙が主体とのことですが、メルトプール内の成分変動に伴う偏析（例えば	公開可	組織変化は、造形条件による凝固速度及び温度勾配に依存します。レーザービーム方式の IN718 においては、微細なデンドライ	稲垣委員

	IN718 のラーベス相などの出現など) は、大きな問題は無いと考えて宜しいでしょうか。		ト間に微小なラーベス相などが析出することが、他の論文で報告されています。しかしながら、析出物は非常に小さいため、また、必然的に熱処理が必要となりますので大きな問題にはならないと考えています。本プロジェクトでは、組織に関しては取り扱うようになっておりませんが、最終的な造形体の組織については検討しておくことが重要であると考えます。	
資料 7-1 P.32～33	スパッタ等により欠陥が発生した際、in-situ で再溶解を行うシステムは、非常に高度な技術だと思いますが、欠陥予測システムが稼働した状態でも、スパッタが発生した場合、フィードバックの迅速化などにより、その場でスパッタを抑制する方向にコントロールするような制御機構は考え得るでしょうか。	公開	本プロジェクトでは、資料 5-2、P7 に示しましたように、メルトプールのモニタリングにより in-situ でフィードバックをかけることは非常に難しいと考え、造形面の表面性状により再溶解するかどうかの判断を行って、フィードバックをかけるシステムとしております。ご指摘のその場でスパッタを抑制する制御は難しいと考えております。	稲垣委員
資料 7-1 P.34	IN718 積層造形部品の考えるアイテムとして、一方向凝固材があると思いますが、これに向けた組織制御について、今後開発できる可能性はありますでしょうか。	公開	積層造形部品は、積層方向に伸びた柱状晶の組織が得られやすく、積層方向に方位を揃えた凝固組織の制御は十分に可能です。ごく最近発表されたアメリカの研究機関の論文によると、電子ビーム積層造形技術によって完全単結晶を製造する技術について	稲垣委員

			<p>論じています。これは、凝固学的な理論に基づけば、原理的には単結晶も一方向凝固組織も精密に制御が可能であることを示唆しており、本研究プロジェクトの独自開発しているモニタリングシステムを活用することで、より簡単に欠陥のない単結晶ブレードや、複雑な冷却孔を有するガスタービンブレードを丸ごと単結晶化することも可能になると期待できます。</p> <p>組織制御のためのプロセスマップの開発という観点では、欠陥のない造形部品を得るためのプロセスマップ開発や精密な温度計測技術などの本事業成果を発展させることで十分に可能と考えています。</p>	
資料 7-1 P.34	電子ビーム方式における欠陥例として、スモーク現象に伴うパウダーベッド不均一が挙げられておりますが、ポロシティや蒸気圧の高い成分系の調整などについては、大きな問題は無いと考えて宜しいでしょうか。	公開可	<p>本事業では、50μm 以上のサイズの欠陥（ポロシティ）を含まない造形部品の開発を効率化することを目標としています。そのため、ポロシティは本研究での対象となっております。スモークに伴うパウダーベッドの不均一は、その後の熔融時に欠陥となることがあり、この際に形成される欠陥は未熔融欠陥であり、50μm より大きいポロシティになり、本研究開発の対象となります。</p> <p>一方、蒸気圧の高い成分の蒸発により、</p>	稲垣委員

		<p>合金組成の多少の変化は生じえますが、原料粉末成分の調整で対応でき、合金組成の変化がポロシティのような欠陥に繋がるわけではありませんので、本事業の目的である欠陥の無い造形部品を得るための技術開発を行う上では大きな問題になりません。組成の変化は造形体の機械特性に影響を及ぼしますが、ポロシティほどの影響はないため、本事業で目指しているように、欠陥を含まない造形部品を得ることが何よりも重要だと考えています。</p>	
--	--	--	--

質問票

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員氏名
		公開可/ 非公開	説明	
資料 5-1 P.18	ユーザー企業等による検証を追加したとあるが、ユーザー企業とは最終製品あるいは部品を製造している企業ということか。	公開可	<p>ユーザー企業については、ご理解のとおり最終製品あるいは部品を製造している企業ということになります。サービスビューローも含めて考えています。</p> <p>今年度のユーザー検証では、インコネル718を材料としたレーザービーム方式での検証となるため、宇宙分野での活用に積極的であることや、金属3Dプリンタの活用に豊富な実績があることなどを考慮して、宇宙航空研究開発機構、(株)コイワイ、金属技研(株)をユーザーとして選定しています。</p> <p>概算要求の状況にもよりますが、来年度もユーザー検証を継続したいと考えておりますので、効果的に検証を進めるうえで、どのようなユーザーが良いなどのご意見があれば、今後に対する提言として頂戴できれ</p>	岩崎委員

			ば幸いです。	
資料 5-2 P.3	1つ目の項目の成果に「メルトプールのモニタリングが可能となった」とある一方、今後の課題に「メルトプールモニタリング完成後、実施」とある。どのように理解すればよいか。	公開可	メルトプールをモニタリングすることは可能になりましたが、モニタリング画像の画質に改善の余地があり、その改善後にモニタリング試験を実施いたします。	岩崎委員
資料 5-2 P.5	粉末敷き詰め状態のモニタリング技術の開発を行っていると思うが、本研究目標のフィードバック技術に他社が実現している「粉末敷き直し」が入っていない。これは含まれていると考えてよいのか、もしくはプロセス条件の自動調整により課題は自動的に解決されるものと考えればよいのか。	公開可	本システムにおいては、「粉末敷き直し」の機能は入れていません。パウダーベッド表面の状況は、造形面に影響を与えるため、造形面の表面性状をモニタリングすることによりフィードバックをかけて再熔融するシステムとしています。必要が生じれば、「粉末敷き直し」によるフィードバックも可能であると考えています。	岩崎委員
資料 5-2 P.12	10 μ m の段差を反射電子で認識した画像が掲載されているが、大きい段差がある場合（例えば 30 μ m 等）も反射電子による計測で評価できると考えてよいか。	公開可	同じページ(資料 5-2 P.12)の右下の反射電子画像の造形物表面をご覧いただくとお分かりかと思いますが、比較的大きな凹凸も識別できておりますので、反射電子による計測で評価できると判断しております。	岩崎委員
資料 5-2 P.16	表の最後の項目のみ「目標を達成できる見込み」との記載がないが、達成に向けてどのような課題が残っているのか。	公開可	メルト直前の反射電子画像でスモークの発生の有無を判定機能が実装されており、今後、実造形実験においてスモーク発生時に確実に検知できる判定条件の最適化が残務として残っております。 資料 6-2 では、この最適化も完了させ、達	岩崎委員

			成見込みとしております。	
資料 5-2 P.26～27	サプライチェーンのスマート化・強靱化は内閣府・経産省など政府機関でプロジェクトを推進していると認識している。他プロジェクトとの連携・意見交換等を通じたニーズ収集などは行っているのか。	公開可	本来は、情報交換は必要と考えますが、現状では他のプロジェクトとの連携・意見交換は行っていません。	岩崎委員

質問票

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員氏名
		公開可/ 非公開	説明	
全体に関して	欠陥の種類と密度に関して海外メーカーとのベンチマークはございますか？	公開可	<p>海外メーカーの装置でも、プロセス条件があっていないと供試装置と同様の欠陥が発生しており、また密度も同様のレベルになっていますので、供試装置と海外市販装置で差はないと考えています。ベンチマークとして、実施者である近畿大学では、海外メーカーの装置（SLM Solutions 社製 SLM280HL）を 2014 年に導入し、これまでインコネル 718 など多くの種類の材料を造形し、多くの知見を得ています。</p> <p>また、東北大学では、2010 年より ARCAM 社製 A2X を所有しており、電子ビーム積層造形における欠陥発生機構について詳細に検討を行って来ています。そのうえで、造形物トップ表面の面粗さと凹凸の定量化が</p>	宇治原 委員

			造形物内部の欠陥発生挙動に結びつくことを実証しています。このような知見をもとに、開発装置で得られたデータとの比較をしながら、欠陥の種類と密度の関係についても検討しています。	
全体に関して	海外メーカーのユーザーが実際にどのような事例で困っているのか、具体例をご存知でしょうか？	公開	<p>近畿大学次世代基盤技術研究所・3D造形技術研究センターに相談に来られる海外メーカーのユーザー方の多くは、レシピの作成方法がわからないので、教えてほしいとの相談です。このため、実際に共同研究として、これまでも SLM280HL を使用して対応する案件も多くあります。</p> <p>また、ユーザーが困られている事例として、例えば TCT Japan のアンケート結果(2021年9月10日)によれば、コスト(69.3%)、品質保証(64.2%)、造形時間(46.7%)、人材育成(33%)などとなっています。この結果は、具体的な内容ではありませんが、他のアンケートや海外情報を勘案すると、特に、これまで装置導入されている航空宇宙分野や医療分野などでは、品質保証に関して課題を抱えられており、如何に高品質の製品を安定して製造することができるかが大きな課題となっています。このため、</p>	宇治原 委員

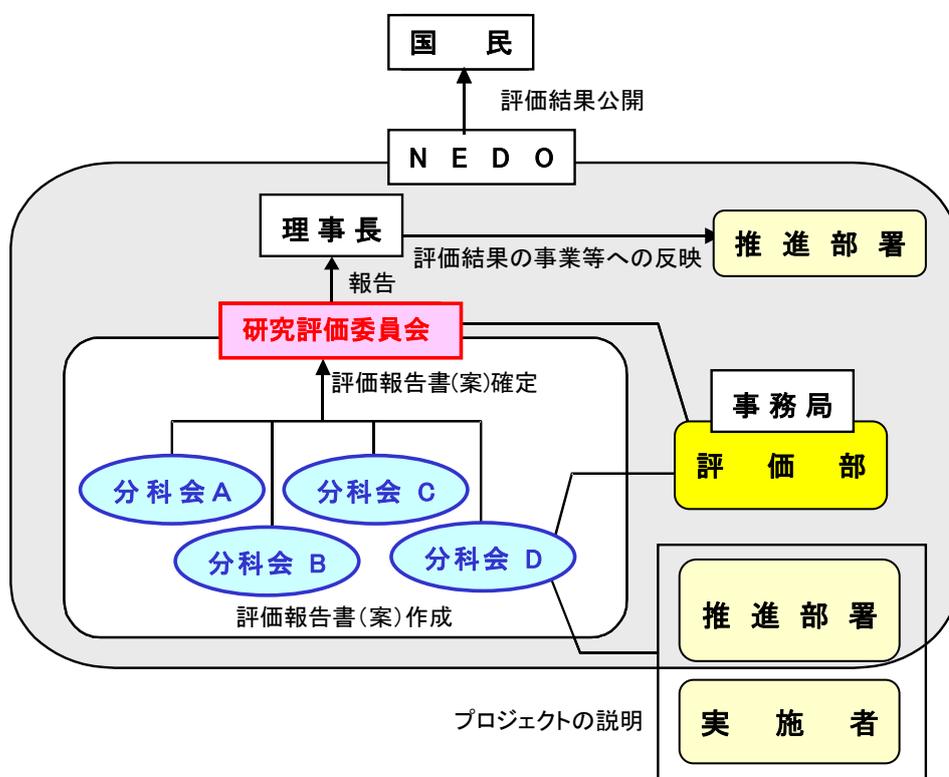
		<p>最近では、ほとんどのレーザービーム方式の装置でモニタリング機能が搭載されており、ISO/ASTM 52920 規格などは検討されているのはその証左であると思います。しかし、市販のパウダーベッド方式では、フィードバックまでは対応できていないので、本プロジェクトでの開発意義は大きいと考えています。</p> <p>また、人材育成については、金属積層造形では幅広い知識とある程度の経験が必要です。このため、本プロジェクトの目標は、中小企業の方にも導入してもらえるように、積層造形品の開発・評価を効率的に実施できる手法を提案することとしています。</p>	
--	--	--	--

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外する。これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「積層造形部品開発の効率化のための基盤技術開発事業」 に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 技術の取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図っているか。
- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用

しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

「実用化・事業化」の考え方

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。

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。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、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)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

- ・ 継続または長期の「プロジェクト」の場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んで活用を図っているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に

沿って適切に行っているか。

- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。

【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・ 実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・ 実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・ 想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・ 競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・ 顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・ 顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「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）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【1】当該技術開発は、海外においても実用化に向けて加速されており、国際競争力を維持向上させ、実用化に向けて早期の目途を得るためにも、さらなる装置技術および製造技術の蓄積が重要である。</p> <p>【2】CO2 排出低減の面でも積層造形は優れているため、カーボンニュートラルの観点も意識することが望ましい。</p> <p>【3】今後は、常に最新の海外動向をフォローし、我が国の優位性を保つために必要となるものがあれば、国の予算措置やNEDO の財源等を活用した研究開発内容の追加やユーザー企業を取り込んだ体制を引き続き検討する等、より幅広い対応を期待する。</p> <p>【4】設定された開発ベンチマークが不明瞭であるため、積極的にユーザー目線の意見を反映し、実施計画の見直しなども提案してほしい。</p> <p>【5】社会実装する主体がどこになるのか明確でなく、実用化・事業化に向けた戦略は十分とは言えないことから、企業と連携</p>	<p>【1】本事業で開発を進めている欠陥予測システムやインプロセスモニタリング技術等については、現時点での国際競争において優位性が確保できている。その一方で、最近では海外における当該技術開発が加速していることも認識しており、実用化の面において海外に出遅れることのないよう引き続きマネジメントに取り組んで行く。</p> <p>【2】金属積層技術の活用や普及による CO2 排出削減効果は既に意識しており、現在実施中の調査事業において CO2 削減効果の試算等に取り組んでいる。</p> <p>【3】NEDO の財源を積極的に活用するとともに、経済産業省と連携した R5 年度概算要求により、国際競争における優位性の確保を意識して柔軟に研究開発内容等の追加を検討する。なお、ユーザー企業を引き込んだ体制については既に今年度構築しており、来年度も継続する。</p> <p>【4】海外の競合装置に関する最新の情報を収集するとともに、ユーザー意見を聴取し適宜実施計画書に反映する。</p> <p>【5】・【8】レーザービーム方式の研究開発成果を事業化する企業を早急に選定し、本事業と連携した体制を構築する。また、</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>した体制を今一度検討してほしい。</p> <p>【6】市場やユーザーのニーズを広く把握した上で、そのニーズと現状の技術レベルと の間のギャップの分析や課題の対応策など、検討すべき点は多いといえよう。</p> <p>【7】 今後は、実用化・事業化の加速および海外との競争力強化をより一層意識し、必要であれば財源を確保した上で研究開発等を前広に追加検討して頂きたい。</p> <p>【8】 研究 開発成果が全て得られてから事業化を進めるのではなく、本事業を通じて開発したものから順次市場に投入していくことも検討頂きたい。</p>	<p>技術研究組合内で事業化検討会を立ち上げ、具体的な戦略や計画等の検討を進める。</p> <p>【6】 技術研究組合内のユーザー会を活用してユーザーニーズの収集と分析、課題抽出等を行い事業後半の研究開発に反映する。</p> <p>【7】 NEDO の財源を積極的に活用するとともに、経済産業省と連携した R5 年度概算要求により、実用化・事業化の加速や海外との競争力強化を意識して柔軟に研究開発内容等の追加を検討する。</p> <p>【8】 ※【6】 と併せて記載。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部
部長 森嶋 誠治
担当 中島 史夫

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162