

「高度な金属積層造形システム技術の開発・実証」
に関する研究開発構想（プロジェクト型）

令和 5 年 10 月

内閣府
経済産業省

目次

1. 事業の背景、目的、内容	4
(1) 事業の目的	4
① 政策的な重要性.....	4
② 我が国の状況	5
③ 世界の取組状況.....	6
④ 本事業のねらい.....	7
(2) 事業の目標	7
① アウトプット目標.....	7
② アウトカム目標.....	7
(3) 事業の内容	8
研究開発項目①インプロセスの安定性向上・高度造形技術の開発・実証	10
ア. 研究開発の必要性	10
イ. 研究開発の具体的内容例	10
ウ. 達成目標	13
研究開発項目② 金属粉末の品質向上・高効率製造技術の開発・実証.....	14
ア. 研究開発の必要性	14
イ. 研究開発の具体的内容例	15
ウ. 達成目標	16
研究開発項目③ 高性能な造形条件等の探索・シミュレーション技術の開 発・実証及びデータプラットフォームの構築	16
ア. 研究開発の必要性	16
イ. 研究開発の具体的内容例	17
ウ. 達成目標	17
2. 実施方法、実施期間、評価、社会実装に向けた取組.....	18
(1) 事業の実施・体制.....	18
(2) 事業の実施期間.....	19
(3) 評価に関する事項.....	19
(4) 社会実装に向けた取組	20
(5) 総予算	20
(6) 経済産業省の担当課室	21
3. その他重要事項	21
(1) 研究開発成果の取扱い	21

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及	21
② 標準化施策等との連携	21
③ 知的財産権の帰属、管理等の取扱い	21
(2) 「研究開発構想」の見直し	22
(3) 研究開発の対象経費	22
4. 研究開発構想の改定履歴	22

1. 事業の背景、目的、内容

(1) 事業の目的

① 政策的な重要性

近年、世界規模での新型コロナウイルス感染症の感染拡大やロシアによるウクライナ侵攻等を要因とするエネルギー・資源価格の高騰やサプライチェーンの寸断リスクが顕在化し、世界共通課題である脱炭素への取組もサプライチェーン全体で加速している。こうした状況の中、我が国製造業の優位性、国際競争力を維持していくためには、デジタル技術を一層活用したサプライチェーン全体の最適化・生産性向上、市場ニーズに応じた柔軟な生産の実現、環境負荷を低減した製造方法等の確立が重要である。加えて、最終製品の高機能化・高性能化が進む中、それらを構成する軽量かつ高機能な部品が必要であり、そのための高度な製造技術が不可欠なものとして求められている。

金属積層造形は、我が国が伝統的に強みを有する鋳造、鍛造等の従来工法との比較において、金属部品をより一層軽量化し、かつ高機能、カスタムメイド、リードタイムの短縮が可能な新たな「ものづくり基盤技術」の一つとして期待されている。金属材料以外も含めた積層造形によって生み出される製品・サービスの市場は、過去 10 年で約 8 倍に拡大し、今後、2030 年までに年平均成長率は 23.9%で成長するとの予測（米 Grand View Research（2022 年 2 月））もあり、既に、航空宇宙等の分野で用いられる難加工材料部品や複雑形状部品に対して、当該技術の適用が見られる。

「ものづくり基盤技術」は製造業の国際競争力や、それを背景とする様々な産業分野における優位性に直結する。このため、欧米、中国では、金属積層造形を経済安全保障政策における重要技術と位置付け、国家レベルでの支援が行われている。今後、金属積層造形が、従来工法では製造困難な領域に適用される事例も増えていくことが予想され、サプライチェーン上のリスクを排除していくためには、我が国で当該技術を「ものづくり基盤技術」として確立すべきである。

一方で、現状、金属積層造形には、従来工法との比較において、造形精度のばらつき、造形物内部に空孔やクラックの生じやすさ、造形サイズの制約等の技術課題がある。また、プリプロセス（設計データ準備等の前工程）では、最適設計や造形方法等（レシピ）の製作時間の長期化、シミュレーション精度の不十分さ等の課題があり、ポストプロセス（熱処理や機械加工等の後工程）では、

サポート材の除去や CAD データの再変換に多くの時間的コストを要する等の課題があるなど、インプロセス（造形プロセス）のみならず、その前後にも課題が存在し、また、各プロセス間の連携も不十分である。さらには、製品の品質保証や安全性に関する規格や認証基準も確立されていない。

これらの課題解決に対しては、欧米、中国を含め世界各国で取組が進むことが想定される中で、我が国がユーザー側のニーズも十分に踏まえた目標を設定し、その達成に向けた取組をいち早く進め、世界に先駆けた高度な金属積層造形システムを開発する必要がある。

経済安全保障重要技術育成プログラムの研究開発ビジョン（第二次）においても、領域横断・サイバー空間領域で支援対象とする技術として、

- 多様なニーズに対応した複雑形状・高機能製品の先端製造技術（高度な金属積層造形システム技術）

が挙げられている。

本研究開発構想では、当該研究開発ビジョンにも記載されているとおり、多様なニーズに対応した複雑形状・高機能製品の先端製造技術を確立するため、プロジェクト型として高度な金属積層造形システム技術を研究開発し、最適な部品形状・材料等のデータを即時出力し、高速・高精度な造形、リアルタイムのモニタリング及び制御、非破壊による品質検査までを行う、世界初の統合型金属積層造形システムを開発し、ユーザーに応じた最適地(オンサイト)での高機能な部品製造・納期短縮に資する生産プロセスを確立することを目的とする。

② 我が国の状況

積層造形技術は、1980 年代に名古屋市工業技術研究所の小玉秀男氏の紫外線硬化樹脂を利用したことに始まるとされており、我が国が最初に発明した技術である。金属を材料とする積層造形については、2000 年代にファイバーレーザーの高出力化や金属粉末の製造技術の発展に伴い装置が高性能化し、我が国では主に試作開発用途に活用されてきた歴史がある。近年では、ロケットエンジン部品や半導体製造装置関連部品等の高付加価値が求められる領域や金型の製造・補修等に適用が広がりつつある。

現在、我が国には、金属積層造形装置メーカーが十数社程度存在する。こうした国内装置メーカーの中には、工作機械メーカーとしての技術力を活かして金属積層造形と切削加工を複合化した装置開発を行う企業や、半導体製造装置等（マスク描画装置等）で培われた電子ビームの制御技術を応用する企業、金属積層造形のポストプロセスにも用いられる熱処理等に高い技術力を有する企

業などが存在する。こうしたノウハウを活かしながら、各装置メーカーは多様な方式の装置開発を行っている。具体的には、金属粉末を用いた粉末床溶融結合（PBF: Powder Bed Fusion）方式や指向性エネルギー堆積（DED: Directed Energy Deposition）方式、金属ワイヤーDED方式等が存在する。各方式は、使用する金属材料や造形精度、速度、サイズ等で得意領域が異なり、新たな独自方式を用いるスタートアップ企業もある。

このように、多様な装置メーカーの存在は我が国の強みの一つであり、本構想の目的である高度な金属積層造形システム技術の開発に不可欠である。これまで、我が国は、鋳造、鍛造等の従来工法の強みを活かし、自動車や産業機械をはじめとする製造業における国際的な競争力を確保してきた。今後、金属積層造形の適用領域の拡大に伴い、例えば、従来工法と比較してさらに複雑形状部品等の製造で競争力を確保するためには、金属積層造形技術の一層の開発が不可欠である。

③ 世界の取組状況

2021 年 1 月、米国は「Department of Defense Additive Manufacturing Strategy」を策定し、機器等の近代化、性能向上、信頼性向上に関する積層造形の活用を明示した。2022 年 5 月、バイデン大統領が「Additive Manufacturing Forward」を発表し、より強靱かつ創発的なサプライチェーンを米国内で構築することを目的として、積層造形に係る中小企業への支援を推進している。具体的には、米国大手企業による中小サプライヤーへの積層造形製品の積極的な調達や人材・技術面での支援等を行うとともに、連邦政府による技術・資金面等での支援を行っている。

EU では、2014-2020 年に実施された「Horizon2020」において、積層造形関連の研究開発を支援している。また、2019 年に、欧州委員会共同研究センターが発表した「JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT」では、航空宇宙分野を中心とした金属積層造形の技術的課題として、品質、生産性、一貫生産、ジャストインタイムでの迅速な製造、大型部品への対応、非破壊検査や認証等を掲げている。

中国では、2015 年に中国国務院が発表した「中国製造 2025」の重点領域 10 分野の一つに、先端デジタル制御工作機械を位置付け、先端的な技術と設備の研究開発を加速するとともに、産業技術研究拠点を複数形成し、研究開発や人材育成等を重点的に展開するとしている。

こうした各国政府の支援が進む中、海外の金属積層造形装置メーカーの技術開発動向を見ると、製品の大型化や造形の高速化を可能とするマルチレーザー、純銅や銅合金等の難加工材料への対応や複数材料の使用（マルチマテリアル）、切削加工やモニタリング機能の付加等が進められている。

④ 本事業のねらい

仮に、我が国の製造業サプライチェーンにおいて、今後拡大が見込まれる金属積層造形による複雑形状等の重要部品の多くを海外に依存することになれば、従来工法では代替が困難であり、安定供給上の多大なリスクを抱えることにつながる。このため、本構想においては、我が国が、世界に先駆けて「高度な金属積層造形システム技術」を確立することを目的とする。また、現在、我が国の製造業は、中小企業の廃業や技能・技術伝承等の課題も抱えており、金属部品の設計や製造ノウハウが喪失する事態が生じる課題にも直面している。このような課題解決の観点からも、金属積層造形の活用は高い効果が見込まれる。

先述したとおり、金属積層造形を様々な領域に適用していくためには、前工程から後工程までの各プロセスの課題を解決し、一連の製造工程を自動化する統合型金属積層造形システムを確立することが重要である。レーザー及び電子ビームの制御技術や、切削加工及び熱処理等の我が国の強みを生かしつつ、実際の造形のみならずその前後のプロセスを含めたシステム全体の課題解決を行う研究開発や、金属積層造形の社会実装の課題となる品質保証や安全性の確保及び認証基準の策定等を国際連携の中で我が国がリードし、我が国製造業の競争力とこれを背景とする様々な産業の優位性に直結する新たな「ものづくり基盤技術」の自律性の確保と戦略的不可欠性を確保する。

（２）事業の目標

① アウトプット目標

本事業において、高度な金属積層造形システム技術の確立を目標とし、これを達成するための各研究開発項目の詳細な目標は、（３）事業の内容に記載するとおり。

② アウトカム目標

- （ア）本事業の成果が基盤技術となり、統合型金属積層造形システムとして、以下に示す産業分野等に活用され、製品・部品が製造されていること。

(イ) 本事業の成果から生まれた製品やサービスが、我が国のみならず、海外の民間事業者等からも活用されていること。

表1 本事業による成果の活用を見込む産業分野の例(主な11分野)

産業分野	適用の例
建設機械	エンジン部品、駆動部品
産業機械	加工機械の主軸、工具(切削工具)
半導体製造装置	電極用部品、熱交換器
金型	冷却機構金型
ロボット	駆動部品、ロボットハンド用部品
医療機器	人工関節、義歯
自動車	エンジン部品、駆動部品、補給部品
鉄道車両	ブレーキ装置、バンパー、補修部品
船舶	エンジン部品、推進器(スラスタ)、補修部品
航空宇宙	エンジン部品、推進器(スラスタ)
重電機器	タービン部品、熱交換器

(3) 事業の内容

(1) ①のとおり、金属積層造形は、産業界のニーズに比して、造形速度やサイズ、品質面等での課題が大きく、利用可能な金属材料も限定され、未だ品質保証や安全性に関する規格・認証基準が確立されていないなどの課題がある。

例えば、造形速度や造形サイズの大型化は、金属積層造形のコスト削減や生産性向上にも大きく貢献することになるが、現状の金属積層造形では造形速度と造形精度はトレードオフの関係となっており、高精度を維持・向上させつつ造形速度を飛躍的に向上させるためにはブレークスルーとなる技術が必要である。品質面については、金属積層造形の特性上、造形物内部に空孔やクラック等の欠陥が生じやすいことから、内部欠陥の発生を抑制する技術や、造形中に欠陥情報を正確に捕捉し、造形途中で問題となる部分を除去する技術が必要である。

また、金属積層造形は比較的新しい工法であるため、製造する部品に求められるスペックに応じた最適な設計、金属材料の探索、レシピ等のデータ蓄積が十分でなく、求められる製品・部品毎に一つ一つ品質の検証を行う必要がある等の課題にも対応する必要がある。

そのため、金属積層造形におけるプリプロセス、インプロセス、ポストプロセスのそれぞれの課題に対応した研究開発を行うこととし、その際、実際の造形精度のばらつき等を考慮した設計情報等とインプロセス/ポストプロセスとのデータ連携など、プロセス間の相互連携の開発も行い、統合型金属積層造形システムの確立を目指す。また、研究開発や実証、それに関連する知見やデータを蓄積し、金属積層造形の社会実装の課題となる品質保証や安全性に関する規格化や認証基準の策定等を行う。

具体的には、求められる製品・部品のスペックを踏まえて、レシピ等の高度な探索、造形プロセスや欠陥、造形物の物性予測等を可能とするシミュレーション技術や関連データベースの構築、高速・高精度な造形及び複数金属材料を用いた造形技術、リアルタイムによるモニタリング及び造形制御技術、非破壊によるインプロセス品質検査技術等の要素技術の研究開発を行い、それら要素技術をインテグレートしたプリプロセス～ポストプロセスまでを統合した金属積層造形システムを開発し、最適地(オンサイト)での高機能な部品製造・納期短縮(リードタイム短縮)の実現を目指す。併せて、品質保証や安全性に関する規格化、認証基準の策定等、金属積層造形において我が国が世界をリードするための取組を実施する。

本事業の実施に当たっては、研究開発項目を3つに分類し、プリプロセス、インプロセス、ポストプロセスのそれぞれの課題克服に資する技術確立し、それら要素技術や基盤技術を統合実証することにより、前後の工程も含めた統合型金属積層造形システムとして確立する。そのため、本事業では、金属積層造形部品の実用化を目指す特定のアプリケーションを念頭にしつつ、個別の技術課題解決に加えて、社会実装に向けたコスト低減を迫及することとする。本事業では、現状において相対的に造形精度に優れ、様々なアプリケーションへの適用が期待される PBF 方式に関する研究開発を想定するが、ターゲットとするアプリケーション等に応じて、他の造形手法や粉末以外の金属材料も本事業の対象として想定する。なお、本事業は統合型金属積層造形システムの確立を目指すものであり、各研究開発項目の実施に当たっては、原則として、各研究開発項目間の連携を図りつつ一体的に取り組むものとする。

また、金属積層造形は各国においても取組を進めている状況にあることから、本事業の中で新たな技術動向や標準・規格化の動向、我が国産業界の最新技術ニーズや課題把握等を行うための調査分析を実施することを認めるものとする。

研究開発項目①インプロセスの安定性向上・高度造形技術の開発・実証

ア．研究開発の必要性

金属積層造形の本格的な導入・普及を図るためのインプロセスの課題は、求められる製品・スペックを満たしうる品質と生産性を飛躍的に向上し、金属積層造形の適用範囲拡大が可能となる複数の金属材料を用いた部品等の生産手法を確立することである。

金属積層造形では粉末内部にガスの巻き込みによる欠陥（ガスポア）、未溶融粉末による内部欠陥やそれら欠陥を起因とした亀裂状欠陥等が発生する可能性があり、製品・部品寿命を短くし、品質にも大きく影響する。現状の金属積層造形では、これらの欠陥は造形後に X 線 CT 検査等で確認することが一般的であり、品質に影響する欠陥が発見された場合には廃棄されることになるため、金属積層造形の長いリードタイムと相まって歩留まりを大きく低下させる。また、自動車や航空宇宙等の産業では部品の軽量化ニーズが強く、例えば、軽量化に貢献するアルミニウム合金やマグネシウム合金と、耐腐食性を有するステンレスや、高強度の鉄合金等など、特性の異なる複数の金属材料で構成される一体成形部品の製造技術が求められている。

このため、本研究開発項目では、造形プロセス・造形品質の安定性や積層造形プロセスの生産性を飛躍的に向上させる欠陥レス造形プロセス技術の研究開発、高速・高精度造形技術の研究開発、複数の金属材料で構成された部品造形を可能とするマルチマテリアル積層造形技術の研究開発を行うとともに、オンサイトや国際連携などによる技術実証、実用化に不可欠な品質保証や安全性に関する規格化、認証基準の策定に必要な実証など、各工程との相互接続性を確保した開発・実証を行う。

イ．研究開発の具体的内容例

本研究開発項目では、主として、以下の 3 つの開発・実証を実施するものとする。なお、他の技術的アプローチにより課題を克服できる場合にはこれによらない開発・実証を行うことも可能とする。

A) 欠陥レス造形技術

欠陥レスな造形技術として、造形装置内の圧力や温度等の造形環境に係るパラメータ、粉体層や造形物の表面粗度等のモニタリングデータによる欠陥発生予測、非破壊欠陥検出技術を用いた高精度内部欠陥検出等の基盤技術の確立、それらの技術を造形装置に適用し、造形プロセス条件の即時見直しや欠陥除去加工の割り込みなど、造形プロセスへのフィードバック制御技術の

研究開発を行う。これにより造形プロセス・造形品質の安定化に加えて、造形後の品質評価工程の短縮等、効率的な生産プロセスの確立が期待できる。

このような欠陥レス造形技術においては、造形状態を逐次把握するためのインプロセスモニタリングと、それにより取得したプロセスデータを用いた高度欠陥発生予測技術、非破壊検査による品質評価を造形中に実施するインプロセス非破壊欠陥検査技術、あるいはこれらの技術によらない新たな技術など、様々なアプローチによる研究開発に取り組み、造形装置に適用し、実製品・部品の製造による実証実験で課題を抽出し、その解決を図っていくことが必要である。各技術に要求される仕様を以下に示す。

(ア) インプロセスモニタリングによる高度欠陥発生予測技術

金属積層造形プロセスでは、造形装置内の圧力、水分圧、酸素分圧、温度等の造形環境に係るパラメータの他、レーザーや電子ビーム等の熱源照射によって形成される金属溶融部からの放射線情報(電磁波、熱電子・反射電子等の粒子線等)、粉体層や造形物の表面粗度等の様々な情報が得られる。これらの情報を基にガスポアや亀裂状欠陥等の欠陥発生を予測するためには、リアルタイムでのモニタリング機能の他、モニタリングデータを基にした機械学習・AI等の技術を利用し、欠陥発生の前駆現象を検出する機能が必要である。

(イ) インプロセス非破壊欠陥検査技術

金属積層造形の品質評価では、造形後に X 線 CT 検査等で内部欠陥検査を実施する方法が一般的であるが、重大な欠陥が検出された場合には手戻りが生じるため、リードタイムや造形コストを増加させる要因となっている。加えて、大型部品では X 線 CT 検査等での微小な欠陥検出の難易度が増大し、欠陥を容易に検出できない。造形中にこうした重大な欠陥を検出できれば、補修プロセスの割り込み等の措置をとることが可能となり、歩留まり率の向上、品質評価工程の短縮が期待できる。そのためには、造形中に発生する欠陥を都度若しくは任意に非破壊検査する機能や、欠陥の位置やサイズ等の情報を正確に捕捉する機能が必要である。

(ウ) 造形フィードバック制御技術

(ア)又は(イ)若しくはその両方の機能を造形装置に適用し、造形中に欠陥発生を予測し、熱源制御パラメータや造形環境パラメータにフィードバック制御を行う機能、又はインプロセスで欠陥発生を検出し

た際に、追加造形等の割り込みにより欠陥を除去する機能、あるいはその両方の機能を有した欠陥レス造形技術の開発を行い、効率的な積層造形を可能とする造形フィードバック制御技術が必要である。

B) 高速・高精度造形技術

金属積層造形の適用可能な領域を拡大していくためには、生産性、量産性、リードタイムの短縮、大型部品への対応を実現する造形プロセスの高速化が求められる。また、造形箇所によっては、部品の嵌め合い等の観点から高い精度や表面粗度が求められる。そのため、従来の造形速度を凌駕する新たな走査方式を用いた高速化技術、レーザー又は電子ビームのスポット径の制御や、マルチビーム制御等の高度な熱源制御技術、金属材料を供給する機構の高速化、予備加熱を利用した造形プロセスの短縮化を図る造形機構等の高度制御技術、あるいはこれらの技術によらない新たな技術など、様々なアプローチによる研究開発に取り組み、その解決を図っていくことが必要である。各技術に要求される仕様を示す。

(ア) 高速造形技術

従来の金属積層造形では、レーザー又は電子ビーム等の熱源を直線状に走査し、造形が行われている。このような従来の走査方式では、走査速度に限界があり、金属粉末等の溶融不良を招き、製品・部品の品質を悪化させるリスクもあるため、新たな高速化手法が必要である。適切な走査速度を維持しながら造形速度を高速化させるためには、熱源を二次元平面上に一斉に照射・溶融させる面造形技術、あるいは比較的厚みのある1層をまとめて加熱焼結する体積造形技術が必要である。

また、金属材料の予備加熱や金属材料の供給、スパッタ粒子や金属蒸気等の不純物除去などの各機構の高度化・効率化に係る技術開発も含めてトータルとして造形速度の高速化を図ることが必要である。

(イ) 造形精度高度化技術

造形速度は(ア)の熱源走査条件の他、熱源サイズ(レーザー又は電子ビームのスポット径等)によって異なり、一般的に熱源サイズが大きいほど高速化できるが、造形精度が低下することとトレードオフの関係となる。他方、造形箇所により求められる精度は異なるため(例えば、造形内部の塗りつぶされる箇所と内部流路壁面や外壁面等の外界と接する箇所では要求される精度が異なる)、造形精度を可変的に制御可能な技術を開発す

ることで造形プロセスの高速化と高精度化の両立を図ることができる。
そのためには、レーザー又は電子ビームの熱源サイズを制御する機能や
高度な熱源走査制御機能が求められ、造形物に機能性を付与するための
金属組織制御にもこうした造形精度等の高度化技術が必要である。

C) マルチマテリアル積層造形技術

金属積層造形は、従来工法である鋳造、鍛造や粉末冶金、アーク溶接等と比較して大きな冷却速度と凝固速度を有しており、これにより従来技術では接合が困難であった金属材料同士を組み合わせることで造形できる可能性を有している。近年では、求められる部品の軽量化や高機能化に対応するため、異なる性能を有する複数の金属材料による部品の一体造形等のニーズが高まっている。

複数種の金属粉末による部品の製造には、異種金属界面において金属間化合物の発生の抑制や、残留応力等の制御・低減が必要である。そのため、複数種の金属粉末のスキージング技術、強度低下等の要因となる金属間化合物の発生を抑制するための異種金属界面の組織制御技術、異種金属界面間の残留応力低減技術について様々なアプローチによる研究開発に取り組み、その解決を図っていくことが必要である。

ウ．達成目標

製品の品質に大きな影響を及ぼしうる造形時の欠陥(造形サイズ、構造、材質によって現状の X 線 CT では検出が困難となる 20-100 μ m 以上の欠陥)の抑制に加え、現状の同一造形技術と比較し 3 倍以上の造形速度、部品の接合工程等を不要とするマルチマテリアル造形を実現する造形技術を開発し、現状の 5 倍以上の生産性向上(生産効率・経済性向上)の達成を目指す。

欠陥レス造形技術、高速・高精度造形技術、マルチマテリアル積層造形技術に関する要素技術の開発を 2026 年度までに完了し、実機搭載・実製品・部品の製造による実証試験を 2028 年度までに完了するものとする。なお、実証試験において抽出した課題を踏まえて、要素技術の更なる研究開発が必要となる場合も想定し、要素技術の研究開発は、必要に応じて 2027 年度以降も継続して可能とする。また、2028 年度までに造形プロセス情報・材料情報、造形物に係る情報を収集・整理し、各対象製品・部品に関する品質保証・安全性に関する規格・認証基準の確立に向けた方針の決定、規格・基準案を策定する。

研究開発項目② 金属粉末の品質向上・高効率製造技術の開発・実証

ア. 研究開発の必要性

金属積層造形では、主に金属粉末が材料として利用され、その粉末特性は造形プロセスの安定性や造形物の品質に影響する。金属粉末内のガスポアが造形物の内部欠陥の発生源となる可能性が高いことが知られており、安定した造形プロセスや造形物の高品質化を実現するためには、高真球・低欠陥等の高品質な金属粉末が要求される。金属積層造形における重要な粉末特性の指標は、流動性、拡がり性、充填性であり、これらを満足する金属粉末として、サテライト(微細粒子が付着した粉末)のない高真球の粉末であることが求められる。一般的に、このような金属積層造形に用いられる金属粉末の製造方法はガスアトマイズ法が用いられるが、ガスポアが残存すること、サテライトが生じること、金属積層造形に適したサイズ(20 – 105 μm 程度)を有する粉末の歩留まりが低いこと等が課題として挙げられる。

これらの課題を克服するためには、従来のガスアトマイズ法等の収率向上や低欠陥化等の技術の高度化、一般的には用いられていないが適用可能性のあるプラズマ回転電極法(PREP: Plasma Rotating Electrode Process)等の新たな金属粉末製造技術による高収率・高品質化と高い経済性の実現が必要であり、造形する個々のアプリケーションに応じて最適な金属粉末材料の開発とともに、金属粉末製造技術の確立に取り組むことが重要である。加えて、オンサイト製造においては、造形プロセスの運用コスト削減等の観点から、金属粉末の高効率利用を可能とする技術が必要である。一般的に、金属積層造形プロセスに利用した粉末は劣化するため、繰り返し用いることができず廃棄となる。こうした廃棄される粉末を再利用できれば粉末の運用コストの低減が期待できる。また、金属スクラップから得られる破碎粉末は非球状であるため、現状では金属積層造形に用いることは困難であるが、こうした金属材料も利用可能となれば、材料の供給安定性の向上材料運用に係るコスト低減が期待される。これには、金属スクラップから得られる破碎粉末や金属積層造形プロセスに利用した粉末の再利用を可能とする技術の開発が必要であるとともに、実用化に不可欠な品質や安全性に関する基準の策定・規格化に必要な実証など、各工程との相互接続性を確保した開発が求められる。

なお、本研究開発項目では主として金属粉末に関する研究開発を想定するが、ターゲットとするアプリケーション等に応じて、粉末以外の金属材料も本事業の対象として想定する。

イ. 研究開発の具体的内容例

本研究開発項目では、主として、以下の3つの開発・実証を実施するものとする。なお、他の技術的アプローチにより課題を克服できる場合にはこれによらない開発・実証を行うことも可能とする。

A) 高収率・高品質・高生産性を実現する金属粉末製造技術

これまでの金属粉末製造技術を代替又は革新する、高収率で高真球・低欠陥の金属粉末が製造可能な粉末製造システムについて様々なアプローチによる研究開発を行う。例えば、従来のガスアトマイズ法で課題となっている金属粉末内のガス泡を抑制するため、製造プロセス最適化等による従来製造技術の高度化や、PREPによる微粉末の高収率製造技術と高融点金属等の多様な材料への適用を可能とするための熔融制御技術、及びこれら要素技術をインテグレートした粉末製造システム化技術、製造された粉末を用いた金属積層造形の実証試験による品質評価が必要である。併せて、必要に応じて、個々のアプリケーションに応じた新たな金属材料の開発も必要である。

B) 非球状粉末の積層造形適用技術

従来の金属積層造形では、造形プロセスの安定性を高めるために流動性と充填性が高い球状の金属粉末が利用されているが、そのような金属粉末は、相対的に収率が低く高コストである。そのため、水アトマイズ粉末、破碎粉末など、粉末冶金で利用されている非球状粉末を金属積層造形に利用可能とする技術について様々なアプローチによる研究開発を実施する。例えば、PBF方式やDED方式等の造形方式に関わらず、粉末のプレス焼結工程や非球状粉末の球状化工程等も含む積層造形技術が必要である。

C) 金属粉末のリサイクル技術

金属粉末の高効率利用を可能とするため、金属スクラップや金属積層造形に使用された残存粉末等について、酸化や水分付着等による流動性等の低下や品質安定性への影響が懸念されることから、これらの課題に対応し、金属積層造形用の粉末としての再利用を可能とする技術、マルチマテリアルによる金属積層造形技術が確立された場合の複数種の金属粉末の分離回収技術、特に磁力による分離が困難な非磁性金属粉末の分離回収技術について様々なアプローチによる研究開発を行う。例えば、電磁現象を利用した非磁性の金属粉末にも対応可能な混合金属粉末の分離技術、酸化や水分付着等により流動性等が低下した金属粉末の表面改質技術が必要であ

る。併せて、これら技術を用いた粉末リサイクルシステム構築に係る技術開発も必要である。

ウ．達成目標

同一の球状金属粉末において、現状の製造技術では困難な欠陥レス粉末を重量ベースで5倍以上の製造速度を実現し、10倍以上の生産性向上、金属粉末リサイクル技術の確立を目指す。

2026年度までに、量産可能な欠陥レス・高収率・高真球・高品質の金属粉末製造システム、金属粉末リサイクルシステムの要素技術を開発し、2028年度までに高品質金属粉末の量産に向けた実証試験を完了する。本研究開発項目で得られた成果を研究開発項目①にフィードバックし、実製品・部品製造に係る有効性の検証も併せて行う。

研究開発項目③ 高性能な造形条件等の探索・シミュレーション技術の開発・実証及びデータプラットフォームの構築

ア．研究開発の必要性

金属積層造形における設計、材料選択、造形条件や造形物の物性予測等は、研究開発項目①及び②における開発・実証の成果とも一体不可分の関係にあり、金属積層造形システムの品質安定性と生産性を両立するためには、実製品・部品の製造メーカー等がシミュレーション結果に基づくレシピを用いて、容易に設計・製造トライアルができるシミュレーション等の技術向上と関連情報の蓄積が重要である。

現在も金属積層造形用にメッシュデータ化や造形サポートを設計する等の専用ソフトウェアは存在するが、複数種のソフトウェアそれぞれにノウハウが必要であることや、設計したCADデータを造形毎に補正・変換する必要があることなど、実際に積層造形を行うまでの準備の段階で多大な時間を要する等の課題がある。これに加え、設計・形状データはプリプロセスからポストプロセスまで利用されるが、造形物の設計値と実サイズとの比較検証や、それに基づく後加工の段取り設計等、造形装置のみならず除去加工装置や熱処理装置等の後処理プロセスとのデータ連携手法の確立も未だ不十分である。

そのため、技術者のノウハウに依存せず、短時間で最適な設計・材料・造形条件・性能予測等の探索を可能とするデータプラットフォーム・ソフトウェアを開発するとともに、実用化に不可欠な品質や安全性に関する基準の策定・規格化に必要な実証など、各工程との相互接続性を確保した開発が求められる。

イ. 研究開発の具体的内容例

本研究開発項目では、主として、以下の2つの開発・実証を実施するものとする。なお、他の技術的アプローチにより課題を克服できる場合にはこれによらない開発・実証を行うことも可能とする。

A)高性能な造形条件等の探索・シミュレーション技術の開発・実証

軽量かつ高強度を達成するトポロジー最適化等の形状設計技術や、サポートレス造形を可能とする高精度な応力・熱変形予測技術（Computer Aided Engineering：CAE）等を高度化し、デジタルツイン上で試作・性能予測も可能なシミュレーション技術の開発、B)で構築するデータプラットフォーム等を活用した、最適な造形条件や材料選択、ワークフロー等を高次元で探索可能なレシピ探索技術が必要である。

B)データプラットフォームの構築

研究開発項目①及び②とも連携し、技術者のノウハウを補完し、短時間で最適な設計・材料・造形条件・性能予測等の探索を可能とするデータプラットフォームを構築する。構築にあたっては、ISO 等で規格化・標準化されたデータフォーマットを考慮するなど、様々な金属積層造形装置による製品・部品開発や、関連ソフトウェア開発等に活用可能な仕様を検討した上での構築が必要である。

ウ. 達成目標

データプラットフォームと連携した最適条件の自動探索技術の開発により、金属積層造形で製造される製品・部材の開発期間（設計やレシピ製作等のプリプロセスの工程）を現状から80%短縮を目指す。

2024年度までにデータプラットフォームに係る設計やデータフォーマット等の仕様を検討、2026年度までにデータプラットフォームの基盤システムの開発を完了するとともに各研究開発項目と連携し、関連情報の蓄積を開始する。また、探索・シミュレーション技術の開発を2026年度までに完了し、データプラットフォームとの接続、実製品の造形実証等による有効性の検証を開始する。なお、上述した達成目標は各研究開発項目の実施状況等に影響を受けることから、これらの進捗を踏まえて柔軟に見直すこととする。

2. 実施方法、実施期間、評価、社会実装に向けた取組

(1) 事業の実施・体制

本事業は、内閣官房及び内閣府が定める「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づき事業を実施する。

研究推進法人（Funding Agency: FA）は、国から示された研究開発ビジョン及び研究開発構想に基づき、公募により研究開発課題を採択するとともに、その進捗管理・評価等の責務を担う。本事業の FA 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）である。

研究開発課題の実施責任者（以下「研究代表者」という。）の所属する機関は、国内に研究開発拠点を有し、我が国の法律に基づく法人格を有している機関とする（以下「研究代表機関」という）。また、研究代表者及び主たる研究分担者は我が国の居住者であることとする。（ここで言う居住者とは外為法の居住者（特定類型該当者を除く）であること。）

本事業の公募では、原則として、事業全体に対する提案を想定しており、研究代表機関が必要な分担機関と共同で事業全体を実施するものとする。

NEDO での調査分析は、NEDO が PD（プログラム・ディレクター）と相談の上で、別途実施するものとする。

(2) 事業の実施期間

本研究開発構想に基づく、本事業は 2024 年度から 2028 年度までの 5 年間とする。研究開発はステージゲート方式を採用し、図 1 に示す 2 つのフェーズで実施するものとする。

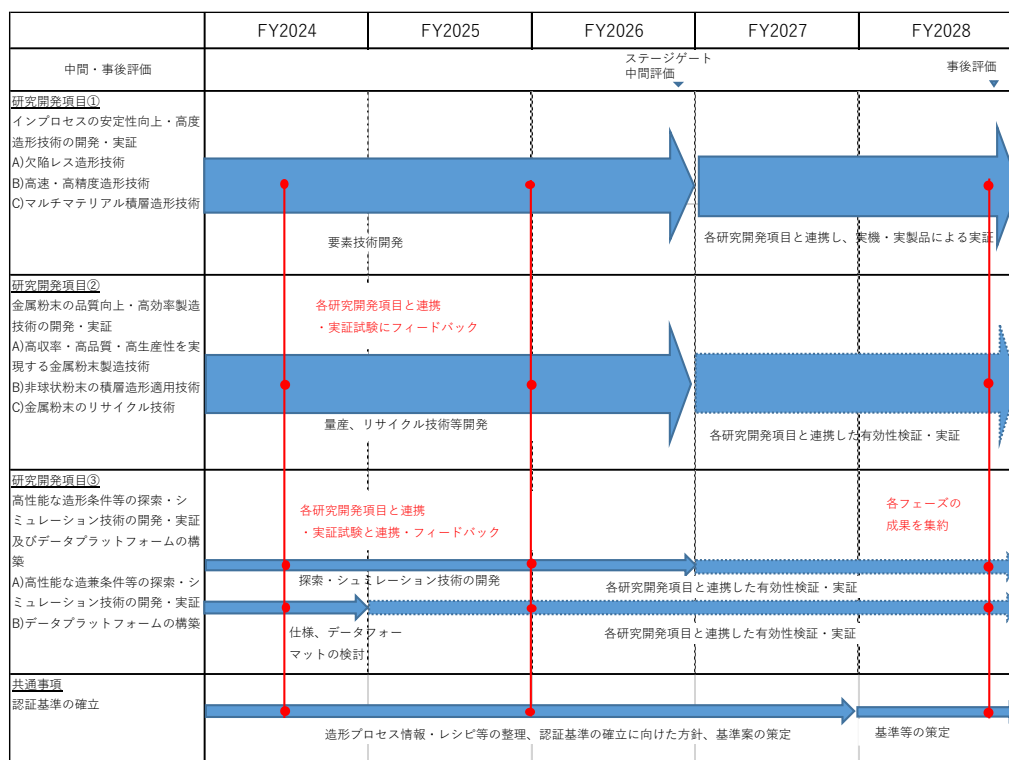


図 1 研究開発のスケジュール

(3) 評価に関する事項

本事業は、「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づき、評価を実施する。

研究代表者は自己評価を毎年実施し、PD に報告する。NEDO は外部評価として中間評価を 2026 年度（事業開始から 3 年目）、事後評価を 2028 年度（事業終了年）に実施することし、事業の進捗等に応じて評価時期を早める場合は、PD 及び所管省庁と連携して、あらかじめ適切な実施時期を定める。

具体的な時期やステージゲート評価の目標等の設定については、担当する PD がマイルストーンを含む研究計画とともに調整した上で、NEDO が決定するものとする。

（４）社会実装に向けた取組

本事業は、経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律（令和４年法律第４３号）に基づく指定基金協議会を設置した上で推進していく。これにより、本事業によって生み出される研究成果等を活用し、民生及び公的な利用を促進するとともに社会実装につなげていくことを目指し、その実現に向け、潜在的な社会実装の担い手として想定される関係行政機関や民間企業等による伴走支援を可能とするとともに、参加者間で機微な情報も含む有用な情報の交換や協議を安心かつ円滑に行うことのできるパートナーシップを確立していく。

本事業により開発を行う高度な金属積層造形システムは、産業競争力に直結するゲームチェンジャーになりうる技術であり、航空宇宙、自動車、産業機械など様々な産業分野で高付加価値の製品・部品を供給していく上で必須となるものづくり基盤技術となることが想定される。さらに、カーボンニュートラルの実現や輸送機械等の稼働率向上にも資するオンサイトでの部品製造や多品種少量生産への対応にも資する技術である。これらを実現するためには、プリプロセスからインプロセス、ポストプロセスそれぞれの課題に対応する事業実施者間の連携した研究開発が不可欠である。このため、将来的に想定される具体的なユースケースやその実現のために必要な知見・情報を共有しつつ研究開発を進めることは、研究開発の確度を高め、その成果を将来の社会実装に円滑につなげていく上で、大きな意義がある。

また、我が国産業界に金属積層造形を普及させていくためには、品質保証や安全性に関する規格化や認証基準の確立が重要であり、本事業の中で取り組んでいくこととするが、従来工法、金属材料を代替する前提ではなく、金属積層造形の特性を活かした設計や材料選択を前提として、品質や安全性の検証を行い、規格化や認証基準の策定に繋げていくことが重要である。

本事業に係る協議会については、研究開発課題の採択後に、関係行政機関、PD、研究代表者等の協議会への参画者における十分な相談を行いつつ、運営していく。なお、協議会の詳細は別に示す。

（５）総予算

本事業の総予算は 270 億円を超えない範囲とする。各研究開発項目、フェーズ毎の配分については、必要に応じて、経済産業省からの指導に基づき目安を示す。これを変更する場合も同様とする。

(6) 経済産業省の担当課室

本事業の運営に係る経済産業省の担当課室は、製造産業局素形材産業室及び航空機武器宇宙産業課とする。

3. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発課題実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。経済産業省及び NEDO は、経済安全保障の観点留意しつつ、研究開発課題実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

経済安全保障の観点から、経済産業省は必要に応じて NEDO に対して助言を行い、NEDO は本助言を踏まえて、成果の普及について検討することとする。

② 標準化施策等との連携

インプロセスの安定性向上・高度造形技術の開発・実証、金属粉末の品質向上・高効率製造技術の開発・実証、高性能な造形条件等の探索・シミュレーション技術の開発・実証で得られた成果については、我が国の標準化施策等との連携を図ることとし、標準化に向けて開発手法や評価手法の提案、データ提供等を積極的に行う。

また、国際標準化を戦略的に推進する仕組みを構築することとし、経済産業省、NEDO 及び本事業実施者は、国際標準化に向けて積極的に役割を果たしていく。

③ 知的財産権の帰属、管理等の取扱い

研究開発成果を民生利用のみならず公的利用につなげていくことを指向し、社会実装や市場の誘導につなげていく視点を重視するという本プログラムの趣旨に則り、研究代表機関、研究代表者は、PD 及び研究分担者との協議の上、知的財産権の利活用方針を定めることとする。その際には、研究開発途中及び終了後を含め、知的財産権の利活用を円滑に進めることができるように努めることとする。

なお、研究開発成果の利活用にあたりその成果にバックグラウンド知的財産権が含まれる場合には、その利活用についても同様に努めること。

（２）「研究開発構想」の見直し

経済産業省は、NEDO、PD 及び関連省庁と連携して、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、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて、達成目標、実施期間等、本研究開発構想の見直しを行う。

（３）研究開発の対象経費

「経済安全保障重要技術育成プログラムの運用・評価指針」に基づき、運用する。大学・研究開発法人等以外に関する間接経費の額の設定については、事業の性質に応じて経済産業省の担当課室から別に示す場合を除き、業務委託契約標準契約書に基づくものとする。

4. 研究開発構想の改定履歴

（１）令和５年１０月、制定。