

金属積層造形プロセス分野の 技術戦略策定に向けて

2019年2月

1 章	金属積層造形プロセス技術の概要	2
1-1	積層造形プロセス技術の歴史	2
1-2	積層造形プロセス技術の分類	4
1-3	金属積層造形プロセス技術の概要	5
1-4	金属積層造形プロセス技術の現状	7
2 章	金属積層造形プロセス技術の置かれた状況	8
2-1	市場規模予測、国内外プレイヤー	8
2-2	特許・論文	13
2-3	標準化の動向	15
2-4	国内外の研究開発政策の状況	15
3 章	金属積層造形プロセス分野の技術課題	18
3-1	アプリケーション分野の状況と課題	18
3-2	技術分野ごとの課題	19
4 章	おわりに	21

TSCとはTechnology Strategy Center (技術戦略研究センター)の略称です。

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

1章 金属積層造形プロセス技術の概要

私たちの身の回りの製品は、様々な素材でできた部品を組み合わせられて作られている。またそれぞれの部品は、その機能を生み出すために様々な形を持っている。一般的な部品素材としては、樹脂材料、金属材料、セラミックス材料が用いられる。表1に各素材の一般的な用途と加工方法・特徴について示す。いずれの材料も基本的には熱を利用するが、樹脂は金型を用い、数百℃の低温で直接最終形状にまで造形できることが特徴である。金属は1000℃近い温度で溶解した後、鑄型に流し込んで造形する方法と、バルク金属を切削加工して造形する方法が一般的である。セラミックスは原料を型などで仮成形した後、高温で焼結する。それに対し積層造形技術では同様に熱を用いて造形するものの、型を用いることなく直接造形できることが特徴である。

造形：一般的に3Dプリンタと称される)が考案され、特許出願された(「立体図形作成装置」特開昭56-144478)。本技術は、液状の光硬化性樹脂の液面付近に平面状の造形テーブルを配し、上部から光を集光・照射しながら1層分を必要な形状に硬化させる。次に造形テーブルを1層厚分沈めて新しい液面に対し同様に次の層を硬化させる。これを繰り返すことにより立体を造形するもので、現在の光造形方式の積層造形の原形と言える。しかし、この出願は審査請求されず、特許にならなかった。

1986年に米国の3D Systems社から同方式による製品が商品化され、さらに米国Stratasys社が熱で樹脂を溶解して積層する方式を開発し製品化した。その後、このStratasys社の基本特許が切れた2009年頃から多くの企業が参入し、装置価格が数万円～数十万円のモデルも発売され、3Dプリンタが一大ブームとなった。

これらの技術は、造形データがあれば金型成形や機械加工を経ることなく物体の形状を作製できることから、試作品を迅速に作製できる技術として「ラピッドプロトタイピング」とも称され、製品開発におけるデザイン検討や試作の工程を大幅に効率化し、製品開発スピードの向上に貢献している。さらに、材料を付け加えながら造形するため、従来では困難であった複雑な形状や内部空間構造をもつ造形体を1工程で作製できる。

1-1 積層造形プロセス技術の歴史

1980年、名古屋市工業試験所の小玉秀男氏によって、樹脂材料を3次元に積層して造形する技術(3次元積層

表1 素材別の用途及び加工方法・特徴

素材	用途	加工方法
		加工方法の特徴
樹脂	外装部品	熱可塑性樹脂を熱で溶融して金型に流し込み、冷却後に成形体を取り出す
		溶融温度が低く加熱・冷却を高速で行えるため、低コストかつ低エネルギーで量産が可能。ただし、金型の製造コストが高く、経済性確保のために生産数の確保が必要
金属	強度や特殊機能が必要とする骨組み部品や外装部品	高温下での製錬、溶解などを経て、鑄造、鍛造、機械加工(切削、研削、放電)など
		高温にするための熱エネルギー、加工のための機械加工エネルギーが必要。また機械加工の場合は切削による材料ロスが大きい。
セラミックス	耐熱容器、耐熱部品、絶縁部品	粉末原料を各種手法で仮成形した後高温焼成して固める(焼結)
		焼成のための熱エネルギーが必要。焼結時に収縮があり寸法精度に限界がある

出所：NEDO 技術戦略研究センター作成(2018)

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

1-2 積層造形プロセス技術の分類

現在、積層造形で利用できる材料は、樹脂・ゴム、金属、セラミックスなど多岐にわたり、造形の方式も材料の種類や特性により様々な方式が存在する。表2に、ASTM (American Society for Testing and Materials) による積層造形プロセス技術の分類を示す。

樹脂材料では、液相光重合をはじめとして多くの造形方式があり、樹脂材料の種類も30種類前後から、さらに増えつつある。また、強度を向上させる技術として、樹脂にグラフェンやカーボンナノチューブなど練り込んだ複合材料による造形の開発が進んでいる。さらに樹脂に近い材料として、ゲル材料や生体（バイオ）材料の積層造形技術も研究されている。ただし、ゲル材料のような新素材の造形装置はほ

んど市販されていない。

金属材料では、粉末床溶融結合方式と指向性エネルギー堆積方式の2種類が主流であり、この他にバインダー噴射方式がある。バインダー噴射方式は、粉末材料を完全に溶解することが難しく、強度に限界があったため開発が停滞していた。しかし、最近になって技術が進展し、本方式を改めて手掛ける企業も出てきている^{*1}。

セラミックス材料では、金属材料と同様のバインダー噴射方式のほか、粉末試料を光硬化性樹脂に分散し、液相光重合で仮造形したものを焼結する方式などがある。これらの方式では金属用、樹脂用の造形装置を使用できるが、セラミックス粉末はレーザー光で直接焼結が難しいため、粉末床溶融結合方式の適用例は少ない。なお、セラミックスと金属を複合化したサーメット材料は、粉末床溶融結合方式で直接造形できる。

表2 積層造形プロセス技術の分類と体系

方式	供給材料	概要	造形手段
液相光重合	・樹脂(光硬化性) ・セラミックス	容器に溜めた液状の光硬化性樹脂の作製したい構造部分となる位置に選択的に光を照射して硬化させ、造形する方法	レーザー、ランプ(UV光)
材料押出	・樹脂(熱可塑性)	流動性材料(熱等で軟化させる)をノズルから押し出し、筆で描くように材料を堆積させて造形する方法	熱(ヒーター)
材料噴射	・樹脂(光硬化性) ・ワックス等	材料の液滴を噴射し、選択的に堆積して固化させ造形する方法	インクジェット
バインダー噴射	・樹脂(全般) ・セラミックス ・金属	液状バインダーを粉末に噴射し選択的に固化させて造形、または造形された構造体を熱等で溶融・焼結して一体形状とする方法	インクジェット
シート積層	・紙 ・樹脂(全般) ・金属(箔)	シート状の材料を積層接着させて造形する方法	レーザー、ナイフ
粉末床溶融結合	・金属 ・樹脂(粉末) ・セラミックス(サーメット)	粉末を敷いた面に選択的にエネルギービームを照射して溶融結合させる工程を繰り返して積層し造形する方法	レーザー、電子ビーム
指向性エネルギー堆積	・金属	原料粉末をノズルから供給しながら、エネルギービームで熱を加えて溶融・結合させる方法	レーザー、電子ビーム

出所：ASTM委員会資料等を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

*1 <http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/event/15/052300060/062200007/?rt=nocnt>

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

1-3 金属積層造形プロセス技術の概要

金属積層造形プロセス技術は、主に、どのような装置方式（装置技術）で、どのような材料（材料技術）を、どのような条件でどのような形状に成形（造形技術）するかという、3つの項目から構成される。

(1) 装置技術

金属材料では、主に粉末床溶融結合方式、指向性エネルギー堆積方式、バインダー噴射方式が用いられる。そして、金属を溶融・焼結させるために必要な供給エネルギー

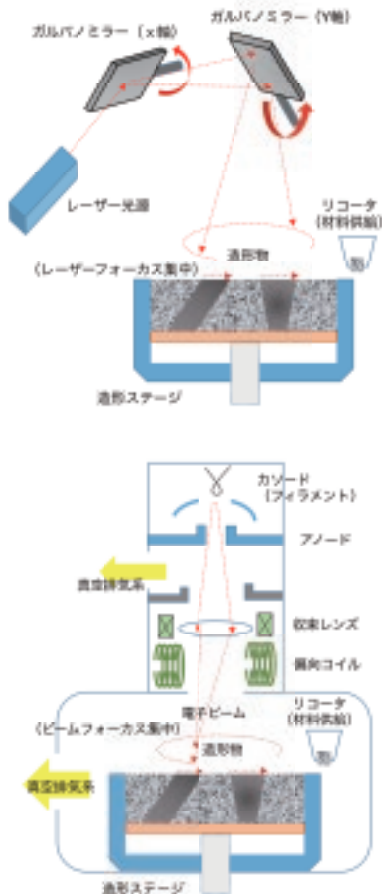


図2 レーザー方式（上）及び電子ビーム方式（下）の概略
出所：各種技術資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2018）

としては、レーザービーム、電子ビームに加え、アーク放電や熱エネルギー（電気炉）がある。

図2に、供給エネルギーとしてレーザーを用いる方式と電子ビームを用いる方式の概要を示す。レーザー方式では、金属粉末を敷き詰めた表面上にガルバノミラーでレーザーを2次元に走査するのに対し、電子ビーム方式は電磁コイルでビームを走査する。一般的に、レーザー方式は電子ビーム方式より高精度、電子ビーム方式はレーザー方式より高速とされている。また、電子ビーム方式ではビーム発生源及び造形エリアを真空にする必要があり、Ti、Cu等の酸化しやすい材料の造形に適すると言われている。

指向性エネルギー堆積方式では、レーザービームのほか、アーク放電も用いられる。アーク放電では、金属ワイヤー材料を用い、アーク溶接と同じ原理で造形される。金属ワイヤーは粉末に比べ材料コストが低いという利点があるが、造形形状の精度が低く表面仕上げのための機械加工が必要である。

バインダー噴射方式（図3）は、溶融方式よりも造形プロセスの時間は短い、その後の焼結工程が必要になり、焼結に伴う収縮も考慮する必要がある。また、焼結密度が高くて90～95%程度であったが、近年は技術の進展により96～99%近い密度も実現できているようである^{※2}。

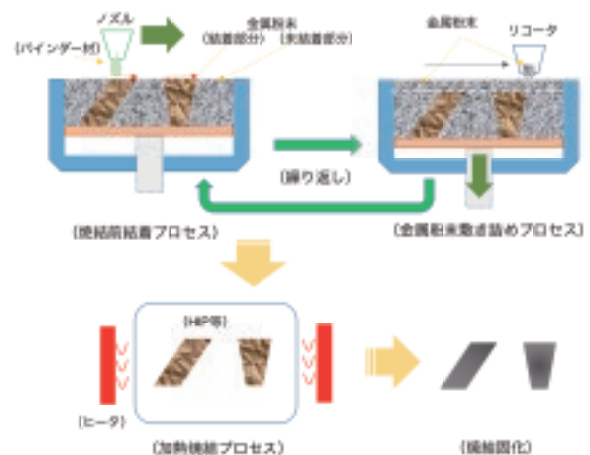


図3 バインダー噴射+焼結方式の概略
出所：各種技術資料を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2018）

※2 丸紅情報システムズホームページ 新しい金属3Dプリンター「Desktop Metal」とは?
http://www.marubeni-sys.com/3dprinter/lab/column_innovators/201803_01

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

(2) 材料技術

金属積層造形で、最も多く用いられる材料形態は粉末である。金属粉末の製造方法は、機械的方法（ボールミル法、メカニカルアロイング法等）、化学的方法、アトマイズ法に分類される。積層造形用には、より球体に近いこと（真球性）と、粒径分布が小さいなどの特別な仕様が要求されるため、製造にはアトマイズ法が多用される（表3）。

アトマイズ法には、熔融金属を微粒子化するために水を用いる方法（水アトマイズ法）と、水以外の物質もしくは原理（ガス、プラズマ、遠心分離など）を用いる方法がある。水アトマイズ法は、低コストだが粒形が不均一で酸素を含有しやすく、成型後に問題となる場合があるため、金属積層造形ではほとんど使われていない。ガスアトマイズ法（図4）は、アルゴンなどの不活性ガスを高圧で熔融金属に噴射して微粒子化し、球状の粉末を得やすく酸化しにくいいため、金属積層造形で多く用いられている。一方で、粒子内部に噴射したガスが

取り込まれ、造形品の内部欠陥の原因になることがある。このため、ガスを用いずに球状かつ低酸化の改良手法が種々提案されている。

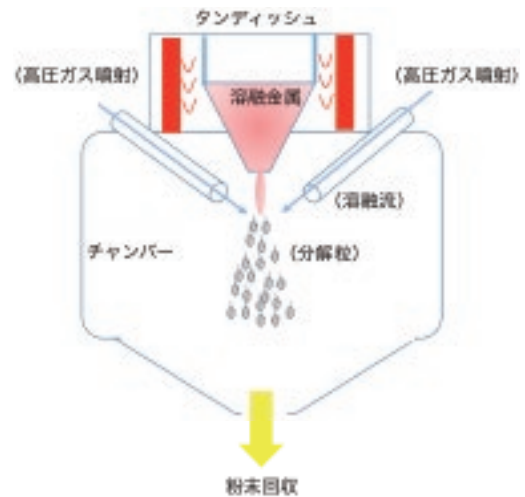


図4 ガスアトマイズ法の原理

出所：各種技術資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

表3 アトマイズ法の分類と技術体系（利点及び課題）

方式	特徴・利点	課題
水アトマイズ法	<ul style="list-style-type: none"> ・熔融金属に高圧水を吹き付けて粉末化 ・低コスト ・粒径はガスアトマイズ法より細かい ・旋回水を用いることで球状化が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・形状が不規則 ・酸素の含有量が多い ・焼結金属部用品 ・AM用途向きではない
ガスアトマイズ法	<ul style="list-style-type: none"> ・熔融金属に高圧ガスを吹き付けて粉末化 ・球状化しやすい ・ガス（アルゴン、窒素）または真空中で溶解 ・粒径分布の範囲が広い（0-500μm） ・サイズがおおよそ50% ・原料供給が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・サテライト（微細粒子の付着）がある ・内部にポロシティ（気孔）がある ・少量生産には向かない ・粒径分布が大きい
電極誘導溶解ガスアトマイズ法（EIGA）	<ul style="list-style-type: none"> ・湯だまり不要 ・Arまたは窒素ガスを使用 ・粒径のサイズ範囲が広い（0-500μm） ・サイズが、おおよそ50-60% ・Ti, Alなど少量の反応性金属の生産に向く（真空中誘導加熱方式） 	<ul style="list-style-type: none"> ・サテライト（微細粒子の付着）がある ・内部にポロシティ（気孔）がある ・粒径分布が大きい（20～125μm）
プラズマアトマイズ法	<ul style="list-style-type: none"> ・ポロシティ（内部気孔）が少ない ・球状のパウダー ・20～125 μm（+600/-120メッシュ）サイズ範囲が、おおよそ50% ・Ti, Mo合金, W, WCなど 	<ul style="list-style-type: none"> ・生産効率が低い ・ガスアトマイズ法より高価
プラズマ回転電極法（PREP）	<ul style="list-style-type: none"> ・ポロシティが少ない ・綺麗な球状のパウダー 	<ul style="list-style-type: none"> ・原材料が非常に高価
遠心カアトマイズ法（ディスクアトマイズ）	<ul style="list-style-type: none"> ・球状のパウダー ・ガスに比べポロシティ少ない ・PREP やPLASMAより安い ・粒径サイズ範囲が広く、分布が小さい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガスアトマイズ法より高価 ・バッチサイズが500kg ・反応性の低い材料のみ
カウンターフレームジェットアトマイズ法（CFJA法）	<ul style="list-style-type: none"> ・東北大学、岩手大学、ハード工業有限会社で開発（2013年） ・高速燃焼炎を利用、熔融金属が高温でアトマイズができるため微粉末化が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・コストが課題の可能性

出所：各種技術資料等を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

なお、積層造形用の粉末材料には、粉末の流動性向上のために粒度分布の狭化が必要であり、アトマイズ後に分級（ふるい分け）処理が行われる。

(3) 造形（プロセス）技術

表4に、金属積層造形のアプリケーション例を示す。特に航空機用部品は、部品点数の削減や軽量化が求められており、本技術の適用が期待されている。また、一体造形による小型化、軽量化が実現できる用途として、ロボット用部品や油圧アクチュエータなどがある。その他、医療用途や金型等は単品製造になるため、本技術を展開しやすい分野である。

1-4 金属積層造形プロセス技術の現状

金属積層造形プロセス技術は、現時点では、材料コストや造形時間に課題があり、従来の加工技術を大きく置き換えていく状況にはない。加えて、装置・金属粉末材料・プロセスレシピの3要素はそれぞれ密接に関連するため切り離して扱うことができず、従来と同じような流れで金属素形部品を製造することは困難である。しかし、従来の機械加工や casting では困難な形状を造形することができ、部品の大幅な小型化、冷却効率の向上、燃料利用効率の向上等が可能となる。さらに、本技術は少量多品種生産に適した手法でもあるため、超スマート社会における「様々なニーズにきめ細かくに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられる」新たなものづくりシステムの構築に寄与できる。したがって、その技術開発の意義は大きい。

表4 金属積層造形のアプリケーション例（利点及び課題）

加工品の例	積層造形で製造する利点	課題
航空機部品	<ul style="list-style-type: none"> 軽量化による燃費向上 複数部品の一体造形化 複雑構造の一体造形化 	<ul style="list-style-type: none"> 高強度（低欠陥） 軽量、高強度材料造形技術 長期信頼性
ガスタービン部品	<ul style="list-style-type: none"> 複雑構造の一体造形化 難加工材料での造形 傾斜組織による耐食向上 	<ul style="list-style-type: none"> 従来加工法との差別化 表面処理 材料造形方法
金型	<ul style="list-style-type: none"> 製造コストの低減 冷却性向上の構造造形 金型保管コストの低減 	<ul style="list-style-type: none"> 従来加工法との差別化 金型強度
冷却部品	<ul style="list-style-type: none"> 冷却配管構造の自由度大 部品の小型化、軽量化 	<ul style="list-style-type: none"> 設計技術 コスト
試作品直接造形	<ul style="list-style-type: none"> 開発費の削減 開発期間の短縮 	<ul style="list-style-type: none"> 装置価格 試作コスト
部品補修	<ul style="list-style-type: none"> 修理期間の短縮 部品ストックの削減 	<ul style="list-style-type: none"> 補修後品質
医療用途（インプラント、人工骨）	<ul style="list-style-type: none"> 患者ごとに適した製造 製造コスト低減 治療時間の短縮 	<ul style="list-style-type: none"> 装置価格 コスト（対薬価点数）
従来加工では不可能な形状の部品	<ul style="list-style-type: none"> 機器の高性能化 省エネ化 デザインの自由度拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 効果のある形状を設計できるかに依存 量産性
メタマテリアル	<ul style="list-style-type: none"> 立体周期構造体が可能 3軸連続周期構造が可能 強度の課題が不要 	<ul style="list-style-type: none"> 設計技術 材料技術（磁性体、誘電体） 造形精度

出所：各種技術情報を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

2章

金属積層造形プロセス技術の置かれた状況

2-1 市場規模予測、国内外プレイヤー

(1) 市場規模

表5に、金属積層造形に関する各種の市場データから試算した2016～2017年の市場と2030年の市場予測結果

果を示す。また、表6に、2030年の造形品市場規模の内訳を示す。造形品自体の市場規模は、関与する分野全体の市場規模と比べて、必ずしも大きくはないが、幅広い分野での活用が見込まれる。

また、造形品自体の市場のほかに、造形品を用いることによる間接的な経済効果も見込める。例えば、本技術を樹脂用金型に適用した場合、加工の形状によっては従来の切削加工法、すなわち金属塊からの削り出しによる作製に比べて製造コストが削減されるだけでなく、従来の機械加

表5 金属積層造形の市場規模と予測

	造形装置	金属粉末材料	造形品
2016～2017年	1,223億円(2017年)	110億円(2016年)	—
2030年(予測)	6,500億円	5,000億円～6,500億円	約2兆円

出所：各種技術情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

表6 金属積層造形アプリケーションと市場規模試算

産業別	部品例	分野全体市場規模(2030年)	造形品市場規模(2030年)	日本企業の状況
航空宇宙	エンジン部品(ノズル、ブレード等)	エンジン全体 5.7兆円(2020年)	約1,100億円	OEMとしての立場であり、設計の自由度が低い
発電	タービン部品(ノズル、ブレード等)	火力発電全体 24兆円	約200億円	自社設計のため、自由度が高い。高耐熱材料の造形技術開発次第
医療	インプラント(人工関節、人工骨、歯)	5.9兆円(2020年)	約5,600億円	薬価点数をコントロールできない(医療費削減の影響)。厚生労働省認可が必要
エレクトロニクス	ヒートシンク	200億円	10億円	部品サイズが小さい。市場は小さいが、量産可能性あり
オートモーティブ	ラジエータ、ターボ機(吸気、冷却部品)	自動車用金属部品全体 3.4兆円	ラジエータ 100億円 ターボ機 約500億円	日本として最も裾野が広く、市場も大きい。コストと量産性の壁が他用途と比べ高い
ロボット	アクチュエータ	人工筋肉全体 1.9兆円	油圧方式 1,000億円	米Moog社開発中。ロボットは日本の強み
金型・工具	冷却機構のある金型、ドリル	金型全体7兆円以上 ソリッド工具 8,000億円	自動車金型 約650億円 金型全体 約7,000億円 ソリッド工具 約400億円	裾野が広く、設計に強みを活かすことができる。金型はデータによる保存により、保管費の削減も可能(約7億円の規模)
補修、部品ストック	航空機エンジン、建機部品	航空 3.5兆円(OH含む) 建機 0.6兆円	航空 約175億円 建機 約34億円	対象が明らか。部品等の保管費や輸送コストの削減が可能
(新分野)メタマテリアル	電磁波遮蔽共振器 ビーム走査アンテナ、レーダ等	7,000億円	約4,000億円	理研などが精力的に研究。NECが無線EMCで一部実用化など。3次元立体周期構造体の実現で用途が広がる

出所：「新ものづくり研究会」報告書(2014)の各種市場予測データを基に技術戦略研究センター予測(2018)

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

工では困難な水冷配管構造により、射出成形時の樹脂冷却時間が短縮され、生産効率の向上につながる。

図5に、これまで開発・販売されてきた樹脂用及び金属用の積層造形装置について、価格帯と最大造形サイズをプロットした。なお、樹脂用装置は、多数の機種が販売されているため、一部のみをプロットしている。また、セラミックス材料を直接焼結可能な専用装置は、近年海外ベンチャー等から発表されつつあるが、装置価格が把握できた金属造形との併用装置のみをプロットした。

樹脂材料用の装置は、米国製が大勢を占めるが、中国等新興国では材料押出法を中心とした低価格帯の装置が、図中にはプロットしきれないほどに多数販売されており、国産機も複数のメーカーが開発、販売している。価格帯は10万円以下から5,000万円程度までと非常に幅広い。低価格帯は主に材料押出方式、高価格帯は粉末焼結造形

(粉末床溶融結合方式)が多く用いられ、装置価格は造形可能な最大サイズにある程度比例している。小型、低価格の装置は気軽に造形を試みる事が可能で、家電量販店でも販売されている。また、大型の装置は、主に産業用途として、製品のプロトタイプ開発に活用されている。

金属材料用の装置は一般に高価であり、現状、装置が十分導入され普及しているとは言い難い。価格としては1億円前後が多く、造形可能な最大サイズも樹脂用の装置と比較すると、まだ小さい。5,000万円以下の装置は造形サイズが極めて小さく、小型精密部品や歯科用途に限られている。

セラミックス材料については、基本的に既存の装置技術をそのまま利用できるが、アプリケーションは、人工歯、人工骨、固体電解質、触媒、耐熱部品などであり、樹脂や金属材料に比較して想定用途が限られている。

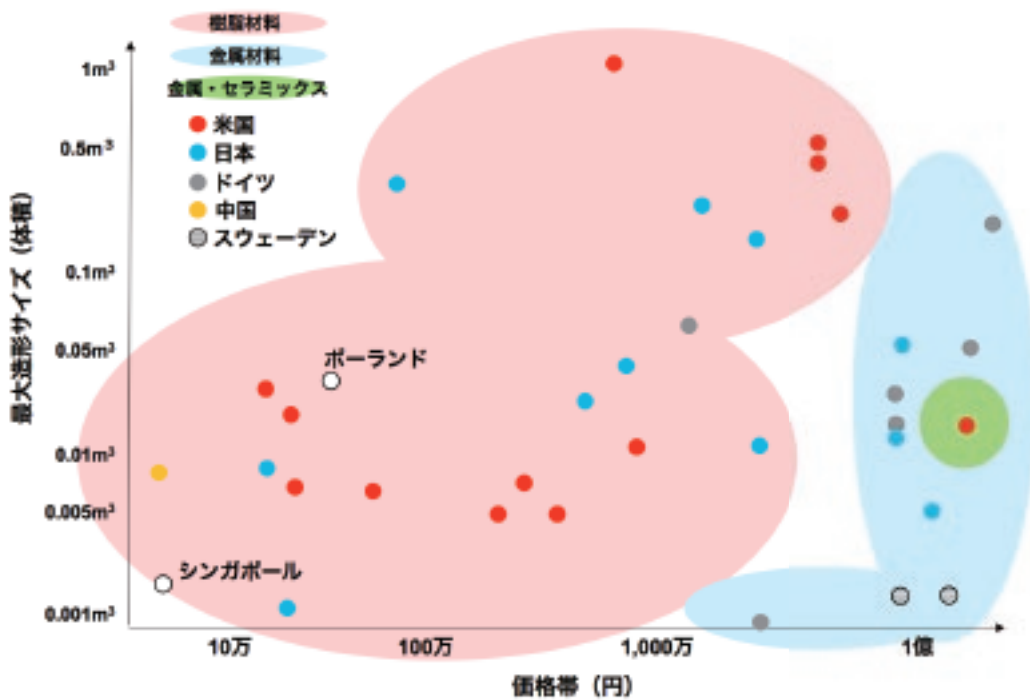


図5 積層造形装置の価格帯及び造形可能サイズごとの開発・販売状況
出所：各社ホームページ等の製品情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

(2) 主なプレイヤー

① 装置技術

表7に、金属積層造形用装置を開発している企業の例を示す。ここでは、主方式である粉末床溶融結合方式と指向性エネルギー堆積方式のほか、金属ワイヤーを用いる方式、バインダー噴射で造形後に焼結する方式も含めている。海外は主にベンチャー企業が装置開発をリードしており、近年は米国GE社が装置会社を買収するなどして、ユーザー

企業が装置技術まで囲い込む動きが出てきている。

表7から、日本企業の特徴として、様々な方式の装置を開発していること、積層造形方式と造形後の表面加工（切削加工）を組み合わせた複合型装置を開発していることが見てとれる。これは、海外では装置技術の開発・販売を主にベンチャーが担っているのに対し、日本では主に工作機械メーカーが装置開発を手掛けていることに起因するものと考えられる。

表7 金属積層造形装置開発企業の例

国	社名	用途・目的、材料等	造形方式、備考*
日本	松浦機械製作所	金型(深リブ、水管その他)	粉末床溶融結合方式+切削加工の複合機 2014より北米でAvance-25販売開始
	ソディック	金型、3次元冷却配管、複雑意匠デザイン等	粉末床溶融結合方式+切削加工の複合機
	DMG森精機	航空機、医療等(指向性エネルギー堆積方式) 多品種少量部品、複雑形状部品等 (粉末床溶融結合方式)	指向性エネルギー堆積方式+切削加工の複合機 REALIZER(ドイツ)の子会社化により、 粉末床溶融結合方式も
	ヤマザキマザック	補修、コーティング、ニアネットシェイプ等	指向性エネルギー堆積方式+ 切削加工の複合機
	アスペクト	チタン、ステンレス、コバルトクロム・鉄・アルミ等	粉末床溶融結合方式
	富士通アイソテック	ステンレス、インコネル、アルミ、ニッケル、 銅合金等(2016年時点)	指向性エネルギー堆積方式 (金属ワイヤーのアーク溶接) 切削仕上げが必要
	リコー	開発中(2016年時点)	バインダー噴射方式(後に焼結)
米国	3D Systems	ステンレス、工具鋼、超合金、非磁性合金、サーメット	粉末床溶融結合方式
	DDM Systems	タービン部品 ニッケル合金	粉末床溶融結合方式、液体セラミックバインダーの光造形方式(後に焼結)も
	Desktop Metal	ステンレス、インコネル、 工具鋼、銅等	金属粉末とバインダー混合物の 押し成形方式(後に焼結)
英国	Renishaw	航空宇宙、医療等	粉末床溶融結合方式
スウェーデン	ARCAM	医療、航空 チタン・アルミ・バナジウム合金、純チタン、 コバルト・クロム合金、チタン・アルミ合金、 インコネル718	粉末床溶融結合方式(電子ビーム) カナダAP&C(材料企業)を子会社化 米国GEが買収
ドイツ	SLM Solutions	航空宇宙、自動車、エネルギー、医療、工作機械等	粉末床溶融結合方式
	EOS	自動車、航空、医療、歯科医療、ツーリング、工業向け、 ライフスタイル製品	粉末床溶融結合方式 レーザー方式の最大手
	Concept Laser	航空、自動車、医療、歯科医療、ジュエリー等	粉末床溶融結合方式 造形空間世界最大レベル 米国GEが買収

*富士通アイソテック、リコー、ARCAM、Desktop Metal、DDMsystemsの光造形方式以外は全てレーザーを溶融エネルギーに使用
出所：JETRO資料、各社ホームページの情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

また、世界の金属積層造形装置の市場シェアにおいては、欧米勢が大勢を占めている（図6左）。販売台数は2012年以降、増加傾向となり、2017年には前年比180%と著しい増加を示した※3（図6右）。ただし、2000年～2017年の間での総出荷台数は6,000台未満である。

②材料技術

金属粉末材料の大半は、焼結圧粉に用いられ、積層造形用としての用途はまだごくわずかである。表8に、製造企業の例を示す。日本では多くの企業が製造を行っており、

積層造形に向けた潜在的な材料プレイヤーは多いと言える。一方で、積層造形用には粉末粒径分布の均一性や真球度などの品質も重要な要素であるため、分級プロセス技術なども必要である。海外では、特殊なアトマイズプロセスを保有している企業が複数存在し、製造コストはやや高めでも本技術に適した粉末材料を供給している。これらの企業は積層造形装置メーカーと連携または装置メーカーの傘下で専用の材料を製造しており、装置メーカーの純正品や推奨品を提供している企業もある。

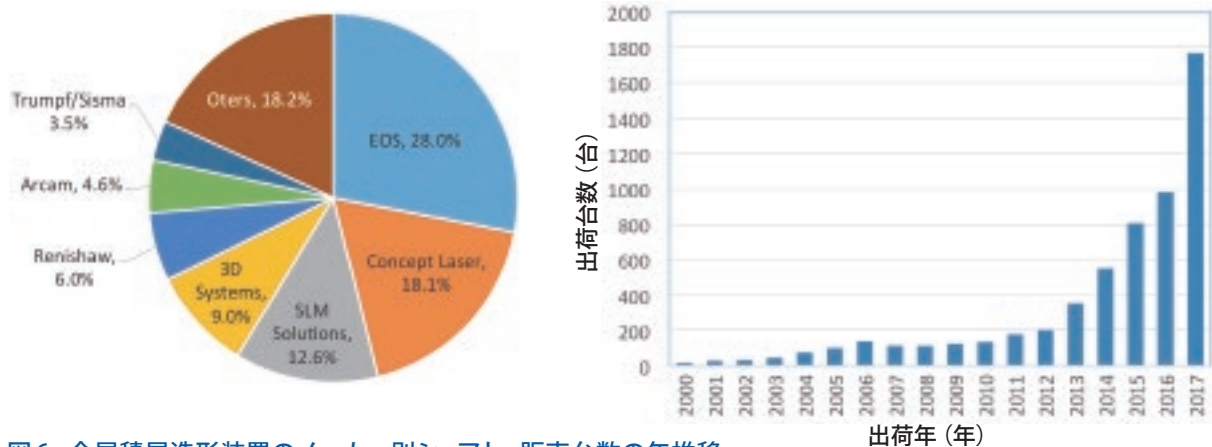


図6 金属積層造形装置のメーカー別シェアと、販売台数の年推移
 出所：(左) GlobeNewswireの発表を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)
 (右) Wohlers Associateの発表を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

表8 金属粉末材料製造企業一覧

国	企業名
日本	山陽特殊製鋼、大同特殊鋼、福田金属箔粉工業、大阪チタニウムテクノロジーズ 三井金属、JX金属、東洋アルミニウム、日立金属、大阪特殊合金、QLAB 日本アトマイズ加工、DOWAエレクトロニクス、三菱製鋼、神戸製鋼 エブソンアトミックス、JFEスチール、田中貴金属工業
米国	Nanosteel, Praxair, Carpenter, Metco, Additive Metal Alloys Pratt & Whitney – HMI Metal Powders
カナダ	AP&C, Tekna
英国	LPW Technology, Metalysis, Makin Metal Powders
スウェーデン	Sandvik Materials Technology, Arcam AB, GKN Hoeganaes, Erasteel
ドイツ	H.C.Starck, TLS Technik GmbH & Co
オランダ	VDM Alloys

出所：JETRO 資料等を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

※3 Wohlers Associate発表 (<https://wohlersassociates.com/press74.html>)

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

また、金属粉末材料製造企業を材料供給ルートの観点から分類すると、「装置メーカー（純正品材料）」「サードパーティー」「その他」の3つに分けられる。表9に、各分類にとって利点と課題を示す。

日本の材料製造企業の大半は、装置メーカーとは独立した「その他」に位置する。一方、造形装置の大手ユーザー企業にとって独自の粉末材料を用いて他社と差別化した造形品製造を目指すのもビジネス戦略の1つになると考えられる。このため、今後、装置メーカーの推奨品に依存せず、広い材料仕様を提供できる「その他」企業が必要となる可能性は高い。

③造形技術

単価が高く高付加価値な金属部品を扱う企業としては、航空機、発電機、医療関係が挙げられる。これらの分野で

金属積層造形の開発を行っている例を表10に示す。

我が国では、パナソニックが樹脂用金型製造の一部に本技術を活用している。また、航空機用途では、国内の重工企業が本技術の導入を目指しており、医療用途では帝人ナカシマメディカルが人工関節の製造を目指して開発を進めている。自動車用途でも、部品の量産が可能な造形速度が達成できれば、本技術が活用される場が広がる。米国ではGEを筆頭に航空機産業関連で多数のプレイヤーが存在する。欧州でもエアバスを中心に航空機産業に強みがあり、軽量化を目指した金属部品開発などを行うほか、BMWなど自動車産業でも開発が進行中である。自動車用途等では、開発用だけでなく、生産数量が多い金属実部品でも装置を複数台並べれば造形速度の遅さをカバーできるという考え方もある。

表9 材料メーカーの供給面からの分類

分類	区分	利点（使用側から見て）	課題（使用側から見て）
装置メーカー	純正品として販売されている（装置＋金属粉末のセット販売が基本）	製造パラメーターを与えられる。造形に問題があればサプライヤーからサポートを受けられる	高価なことが多い。どの会社から金属粉末を入手して、どこで積層造形用に処理（分級等）をしているか不明
サードパーティー	造形装置で検証された金属粉末を販売	純正品より安くなる可能性あり。多くのメーカーから選択できる。検証済み	造形に問題があっても装置メーカーからのサポートは受けられない
その他	金属粉末を製造するアトマイズ装置を所有（ユーザーと協同で開発、販売）	純正品より安くなる可能性あり。粉末の製造プロセスや粉末特性のコントロールができる	造形に問題があっても装置メーカーからのサポートは受けられない。最少単位の制限

出所：JETRO 資料等を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

表10 ユーザーメーカー（造形技術プレイヤー）の例

国	社名	事業分野	金属積層用途	効果
日本	パナソニック(株) エコソリューションズ	家電等	樹脂成形用金型	高速冷却による樹脂成形時間短縮
	IHI	航空宇宙	ロケットエンジン、ターボポンプ	軽量化と高性能化 高耐熱化と高強度化 補修コスト削減
	帝人ナカシマメディカル	医療	人工骨、人工関節	患者ごとに適した形状を造形
米国	GE	航空機 医療機器等	エンジンノズル、タービン	エンジン性能向上 部陳点数削減
	MOOG	油圧機器 発電関係等	油圧アクチュエータ 冷却機器等	部品点数削減と小型化 産業機器の高性能化
欧州	AIRBUS	航空機部品	客室内部品、パイロン等	機体軽量化等
ドイツ	シーメンス	発電機 航空機	ガスタービンブレード等	開発速度向上、 内部冷却構造による耐熱温度向上
	BMW	自動車	機能テスト用金属部品	開発コスト削減 開発速度向上

出所：各社発表資料を基に NEDO 技術戦略研究センター作成（2018）

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

2 -2 特許・論文

(1) 特許出願

金属積層造形技術に関する特許出願件数の推移を図7に示す。2012年まで緩やかな増加傾向にあったが、2013年以降、特に中国からの出願件数が著しく増大した。機関別の特許出願数ランキングでは、中国の機関5者がランクインしており、全てが大学からの出願である(表11)。中国国内

では1990年代から大学を中心に積層造形技術が研究開発されてきた^{※4}が、国内での活動が主で特許出願は少なかった。2014年、中国政府は小・零細企業への特許出願支援策を定めた^{※5}ことを契機に、大量出願に転じたものと推定される。一方、米国が2012年に本技術を製造業復活の鍵として投資に乗り出したことが、世界的な広がりの発端となった。機関別の出願件数ランキングでは米国企業が1～4位を占めており、これらは積層造形技術による航空及び宇宙産業用の部品製造に注力しているのではないかと考えられる。

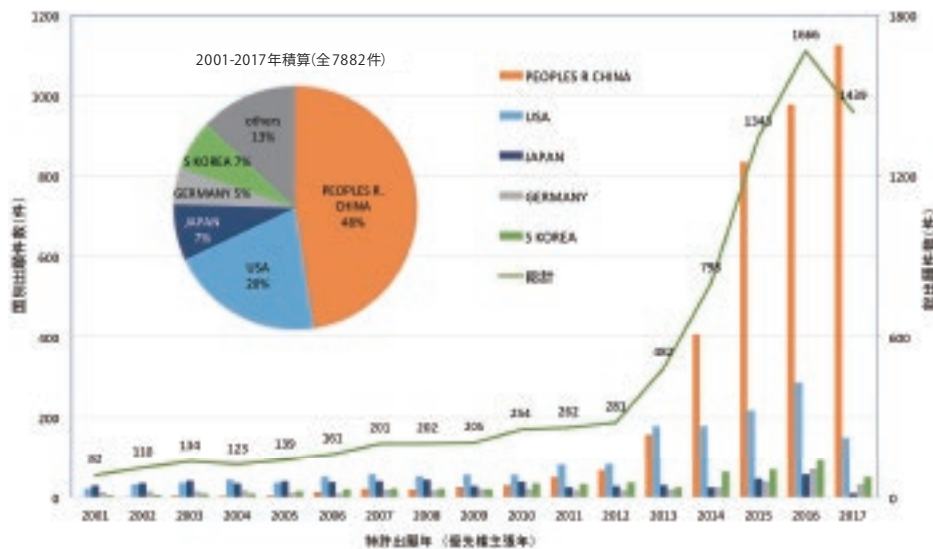


図7 金属積層造形に関する特許出願件数の推移(2001～2017年)
出所: Derwent Innovation™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

表11 金属積層造形(全体)に関する特許出願数上位ランキング(2001～2017年)

順位	機関	出願数
1	GE(米国)	84
2	UNITED TECHNOLOGIES(米国)	68
3	DESKTOP METAL(米国)	63
4	HP(米国)	46
5	UNIV SOUTH CHINA TECH.(中国 華南理工大学)	32
5	UNIV HUAZHONG SCI TECHN(中国 华中科技大学)	32
5	SIEMENS(ドイツ)	32
5	UNIV BEIJING S&T(中国 北京科技大)	32
9	UNIV XI AN JIAOTNG(中国 西安交通大学)	26
10	UNIV JILIN(中国 吉林大学)	22

出所: Derwent Innovation™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

※4 Science Portal China「中国の3D印刷業界の発展状況」(2016)
http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/1611/r1611_liu01.html

※5 Science Portal China「第107回CRCC研究会(中国知財戦略研究会シンポジウム)日中知財の新たな交流を目指して」(2017)
http://www.spc.jst.go.jp/event/crc_study/study-107.html

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

(2) 論文発表

図8に、2001～2018年における金属積層造形技術に関する論文発表件数の推移を示す。学術面では米国が本技術をリードしてきた。一方、既に述べたように、中国では1990年代から大学が本技術をいち早く取り入れ、技術開発を担ってきたことを反映し、論文数シェアは米国に次いで2位を維持してきた。論文発表数上位機関ランキン

グ(表12)では、米国と中国の大学が拮抗している。米国ではここ数年、国防総省(DoD)やエネルギー省(DOE)が、革新的製造法や省エネルギーの切り札として積層造形技術の開発を支援している。これらとは対照的に、日本では論文発表数が少ない。その理由として、本分野における大学等の研究者人口が海外より少ないこと、本技術開発を担ってきたのが主に企業であったことなどが考えられる。

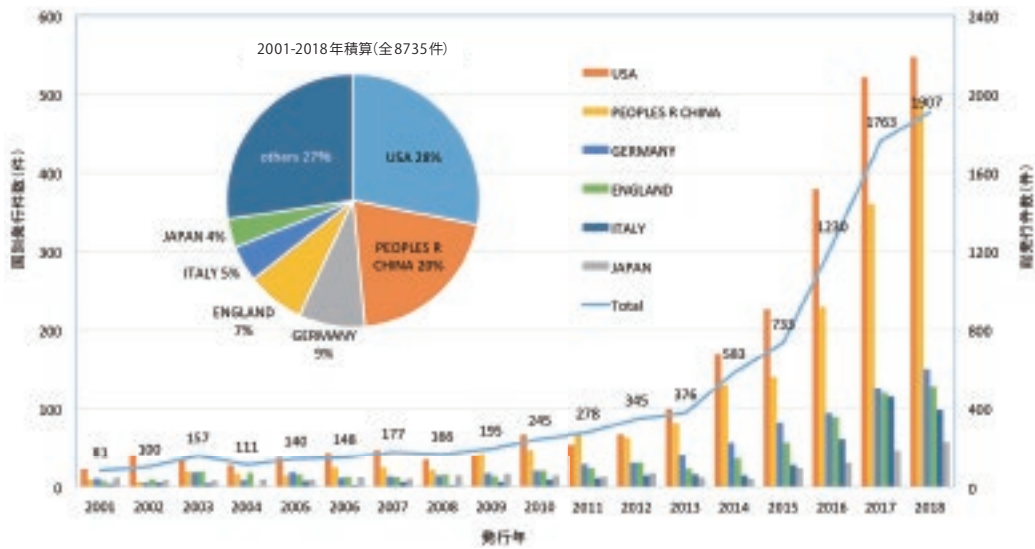


図8 金属積層造形に関する論文発表件数の推移(2001～2018年)

出所: Web of Science™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

表12 金属積層造形に関する論文発表数上位機関ランキング(2001～2018年)

順位	機関	発表数
1	CHINESE ACAD SCI(中国)	182
2	PENN STATE UNIV(米国)	138
3	NANYANG TECH.UNIV.(シンガポール 南洋理工大学)	136
4	UNIV HUAZHONG SCI TECHN(中国 华中科技大学)	116
5	GEORGIA INST TECNL.(米国)	111
6	OAK RIDGE NATL LAB.(米国)	92
7	TSINGHUA UNIV(中国 清華大学)	90
8	NORTHWESTERN POLITEC UNIV(米国)	87
9	INDIAN INST TECHN(インド)	85
10	OHIO STATE UNIV(米国)	84

出所: Web of Science™での検索結果を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

2-3 標準化の動向

積層造形技術に関しては、2009年に米国材料試験協会 (ASTM) の専門委員会 (F42) が発足し、それまで積層造形あるいはラピッドプロトタイピング等と呼ばれていた3Dプリント技術を、Additive Manufacturing (付加製造技術) と定義した^{※6}。また国際標準化機構 (ISO) では、2011年から専門委員会 (TC261) で標準化の議論が進められ、2018年12月現在、22か国、オブザーバ10か国が参加している (幹事国・議長国はドイツ)。2013年7月にはISOとASTMが共同で標準化を進めていく計画を設定した。日本では、技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) が事務局となり、国内審議委員会が組織され、ISO/TC261と同様の4ワーキンググループ (①用語定義、②プロセスと材料、③サンプル評価、④データ処理と設計) が構成され、ISO及びASTMの審議に加わっている。

また、実運用時には造形品の設計データがどの装置にも適用できることが普及のために重要であることから、3Dデータフォーマット、データ処理・設計などのソフトウェア標準化を進めており、新しい3Dデータフォーマット Additive manufacturing file format (AMF) がISO/ASTM共通の文書として発行され (2016年)、引き続き検討されている。AMFでは造形物内部の構造を数式で記述し、色や材質、部位による複数材質の使い分けの指定が可能になった。我が国では、同様のデータ形式として富士ゼロックスと慶應義塾大学が共同開発した「.FAV」がある^{※7}。

2-4 国内外の研究開発政策の状況

(1) 各国の取組 (全体)

積層造形技術については、各国で国を挙げた取組が行われている。表13に取組例を示す。

表13 積層造形技術に対する各国の取組例 (全材料)

国	取組プロジェクト例	予算規模	内容	人材育成
米国	National Additive Manufacturing Innovation Institute (America Makesに改称)	3,000万ドル (国防省) 4,000万ドル (企業、州)	・3Dのパイロット拠点 ・材料データベース構築 ・次世代装置、造形プロセス ・モデリングシミュレーションツール	1,000近い学校に3Dプリンタなどを設置
欧州	ドイツ Direct Manufacturing Research Center	約14億円 (2013年)	・設計ルール、コスト分析、リペア、複雑形状、材料開発、強度評価等産学官で研究 ・Fraunhofer研究所、Paderborn大学拠点で金属3D技術開発	職業訓練校に3Dプリンタ等の教育の場を提供
	英国 Manufacturing Technology Center 高付加価値製造カタパルト	約60億円 239億円 (総額)	・産学連携拠点 ・AM実用化研究 ・Arcam社装置を活用 ・Rolls-Royce, AirBus等が参画	100近い学校に3Dプリンタを導入、授業に使う
中国	3Dプリンタ技術産業連盟		・国、大学、企業による共同出資 ・清華大、北京航空航天大学等が参画	一部の学校で3Dプリンタを使う授業を開始
シンガポール	RIE2020計画	約30億円 (南洋理工大) 他、500億円/5年投資予定	・南洋理工大に研究センター立ち上げ (2014) ・防衛用Al、Cu合金、ハイブリッド構造等を研究	
台湾	レーザー積層造形産業クラスター		・3次元積層造形向けのレーザー技術、積層造形産業用アプリケーションの研究を促進	
日本	TRAFAM SIP	62億円 (総予算)	・粉末床溶融結合、レーザーデポ法等 ・世界最高水準の装置開発 ・異方性カスタマイズ技術開発等	

出所：「新ものづくり研究会」報告書 (2014) を基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2018)

※6 ASTM 定義：米国材料試験協会 HP： <http://www.astm.org/Standards/F2792.htm>

※7 <https://www.fujixerox.co.jp/company/technical/communication/3d/fav.html>

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

各国とも技術開発、研究拠点構築に力を注いでいるが、特に注目すべきは、人材育成への取組である。中学校や高校の教育現場に3Dプリンター（主に樹脂用）を設置し設計技術力の養成を行っている。

(2) 日本の取組（全体）

表14に、我が国での積層造形技術に関する取組を示す。2010年の「次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト」（経済産業省執行）から始まり、本格的なプロジェクトとしては、「次世代産業用三次元造形システム開発

（2014年度～2018年度）」、「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（2016年度～2018年度）」（いずれも経済産業省執行）があるが、これらは2017年度より統合されて「次世代産業用3Dプリンタの造形技術・実用化事業」（NEDO執行）として推進されている。また、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の中の研究テーマ「革新的設計生産技術」「革新的構造材料」（内閣府、2014年～）にて研究開発が推進されている。

表 14 日本の積層造形技術に関するプロジェクト

材料	技術開発プロジェクト	技術開発テーマ	研究開発内容
金属	次世代素材等レーザー加工技術開発プロジェクト（経済産業省）2010～2014		Ti合金粉末積層造形加工の基盤技術
	次世代型産業用三次元造形システム技術開発（経済産業省）2014～2018		世界一の造形速度、造形精度を有する革新的積層造形装置開発
	省エネルギー型製造プロセス実現に向けた三次元積層造形技術の開発・実用化事業（経済産業省）2016～2018		3Dプリンタ装置技術開発、金属粉末材料開発、金属積層の品質保証方法の開発及び金属積層造形技術の実用化実証
	SIP革新的設計生産技術	3次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証	材質と形状の同時制御による異方性技術開発
	SIP革新的設計構造材料	革新的プロセスを用いた航空機エンジン用耐熱材料創製技術開発	肉盛品の材料特性を取得・データベース化し、プロセス条件との相関関係を明らかにする
樹脂	SIP革新的設計生産技術	超3D造形技術プラットフォームの開発と高付加価値製品の創出	ナノ光造形装置の開発 手術シミュレータ実体モデル製造 金属・樹脂複合材含む
		デザイナブルゲルの革新的3Dプリントシステムによる新分野の進展支援と新市場創出	ディスペンサ-光硬化式の標準型/バスタブ-レーザー式高精度3Dゲルプリンティングシステムの開発
		リアクティブ3Dプリンティングによるテーラーメイドラバー製品の設計生産と社会的な価値共創に関する研究開発	テーラーメイドラバー製品（テーラーメイドシューズ）の設計技術の確立（足部モデルやユーザーとのインタラクションデザイン用スマホアプリ開発）
セラミックス	SIP革新的設計生産技術	高付加価値セラミックスの造形技術の開発	3D積層造形技術（粉末積層造形、スラリー積層造形）とハイブリッドコーティング技術を組み合わせた複雑形状や3次元の機能表面などを有する高付加価値部材の実現
		フルイディック材料創製と3Dプリンティングによる構造化機能材料・デバイスの迅速開発	セラミックス複合材料のインクジェット方式による3次元付加造形に係る基盤技術を確立 オーダーメイド人工歯、3次元Li電池の開発

出所：各種技術情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成（2018）

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

① TRAFAM (次世代3D積層造形技術開発総合機構)

2013年より経済産業省主導で、これまでの装置能力を大きく凌駕する国産装置の開発を目的として、次世代型産業用3次元造形システム技術開発のプロジェクトが開始した。本プロジェクトは、技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) によって運営 (図9) され、装置開発メーカーだけでなく、金属材料メーカー、装置ユーザーメーカーも参画している。造形のためのエネルギー源として、レーザービーム及び電子ビームの両方式を対象とし、粉末床溶融結合方式と指向性エネルギー堆積方式 (レーザーデポジション) の装置開発を行っている。なお、図中②の「超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト」は本プロジェクトに統合されて、2013年度～2017年度まで推進されたが、これは鋳造用の砂型造形システムの開発である。

② SIP (戦略的イノベーションプログラム)

内閣府主導による戦略的イノベーションプログラム (SIP) の研究テーマに「革新的構造材料」と「革新的設計生産技術開発」があり、これらの研究分野の中に積層造形技術開発に関する項目が含まれている。革新的構造材料では、指向性エネルギー堆積法による「レーザー粉体肉盛」と粉末床溶融結合法による「方向制御層状TiAlタービン翼の製造技術」が取り上げられている。また、革新的設計生産技術開発では、金属、セラミックス、樹脂 (スーパーエンプラやゲル等) の積層造形技術を開発している。中でも「三次元異方性カスタマイズ設計・付加価値製造拠点の構築と実証」では、積層造形技術ならではの設計や材質・形状制御によるカスタマイズ技術開発や、異方性等の特殊組織制御による材料の高機能化、難加工材料の造形開発が目標に掲げられている。

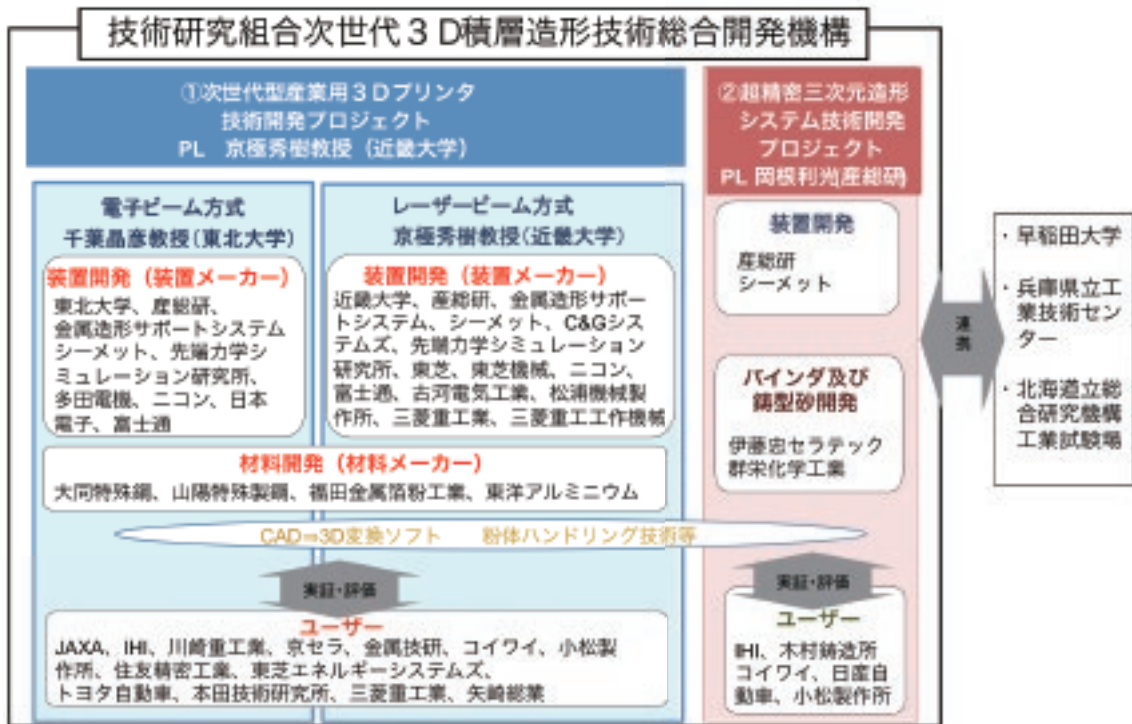


図9 TRAFAMプロジェクトの構成

出所：技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) パンフレットを基にNEDO技術戦略研究センター作成 (2018)

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

3章 金属積層造形プロセス分野の技術課題

3-1 アプリケーション分野の状況と課題

表15に、金属積層造形のアプリケーション分野の現状と課題を示す。装置や材料のコストを低減して技術普及を図

ることの重要性とともに、造形過程において金属が溶融・凝固してゆく基礎的なメカニズムを科学的に解明していく必要がある。

また、技術や機能とは異なる観点として、工業デザイナーの発想による斬新なデザイン・機能を速やかに具現化することを付加価値として、製品を差別化できる点も指摘されている。

表15 金属積層造形アプリケーション分野の現状と課題

アプリケーション	部品例	現状	課題
航空宇宙	エンジン部品、航空機部材	海外のOEMとしての立場であり、設計の自由度が低い(エンジン部) 構造材のデポジション法は可能性大	造形品の品質(強度など) 設計技術 造形コスト
発電	タービン部品(ノズル、ブレード等)	自社設計のため、自由度が高い 日本は発電プラント技術が強い	造形品の品質(強度など) 高耐熱材料での実現 難溶接材料での実現 設計技術 造形コスト
医療	インプラント(人工関節、人工骨、歯)	薬価点数をコントロールできない(医療費削減の影響)	造形品の品質(強度など) 造形条件最適化の期間 安全性 品質検査 材料管理・コスト 造形コスト
オートモーティブ	吸気部品、冷却部品	日本として最も裾野が広く、市場も大きい コストと量産性の壁が他用途と比べ高い	造形品の品質(強度など) 設計技術 造形コスト 量産性
金型・工具	冷却機構をもつ金型、ドリル	裾野が広く、設計に強みを活かすことができる 日本は金型産業が強い	造形品の品質(強度など) 大型化による割れ、歪 耐摩耗性向上 設計技術 造形コスト
補修	航空機エンジン、建機部品	デポジション法は可能性大 対象が明らか	造形品の品質(強度など) 低コスト材料での造形技術 造形コスト
メタマテリアル	電磁波遮蔽、吸収、共振器など	3次元で積層の周期構造が作製できる最適な方法 機械的強度等は不要	精度向上 微細化(適用波長拡大) 電磁波最適化設計技術

出所：各種情報を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2018)

3 -2 技術分野ごとの課題

前節に示したアプリケーションにおける課題を基に、技術分野ごとの課題をまとめた。

(1) 装置技術

①装置コスト

現在の金属積層造形装置は非常に高価であり、造形可能な最大サイズも2018年時点で0.16m³ (米GEアディティブが買収したドイツConcept Laser社製)と限られている。

②造形速度

造形速度が遅い。速度の向上にはレーザーや電子ビームの出力を増強して走査速度を高めるか、複数化(マルチビーム化)して全体の造形時間を短縮するかの方法が取られている。一方で、装置に占めるレーザーのコスト増大が課題になる。また、電子ビームの場合は、出力強度は高めやすいが、マルチビーム化が困難である等の課題がある。

(2) 材料技術

①材料コスト

金属粉末をアトマイズ法で作成し、分級プロセスでふるい分けしているため、歩留まりが低下し、製造コストを押し上げている。また、造形方式や用途ごとに最適な粉末の性状が異なるため、粉末の種類を増やす必要があり、このことも製造コストの上昇要因になっている。現状では積層造形用の粉末材料コストは、数千円～数万円/kg(材料の種類による)であり、用途拡大の障害になっている。

②不純物混入、サテライト

粉末製造時や造形時に不純物が混入し、品質を低下させる可能性がある。不純物としては、金属粉末の表面酸化による酸素の混入や、造形チャンバー内に残留した

物質などがある。また、粉末製造時に内部に閉じ込められたガス等による内部空隙(ポロシティと呼ばれる)が、欠陥となる問題も指摘されている。この他、粒径の均一な金属粉末に、粒径の小さな粉末が微量吸着する現象(サテライトと呼ばれる)も課題として挙げられている。

③真球度、平均粒径、粒径分布

粉末床溶融結合方式で金属粉末の敷き詰め状態を最適化するためには、流動性の向上が必要であり、より真球に近い粉末形状が求められる。また、造形装置や方式、造形体によって最適な平均粒径や粒径分布が異なるため、求める平均粒径と粒径分布をもつ試料を分級して選別しなければならない。指向性エネルギー堆積方式においても、ノズルからの粉末噴射の流動性の点から同様の品質が求められている。

④新材料

金属積層造形のプロセスは、溶融した金属の急冷凝固過程を経るため、その条件コントロールにより組織構造の制御や、平衡系では得られない合金を造形できる可能性がある。材料の研究開発要素になるため技術ハードルは高いが、これらの金属組織の制御ができれば、必要な部位に必要な物性を付与した金属部品を造形することができる。また、従来の方法では加工が困難な難溶接材料や難加工性材料、高耐摩耗性材料等も造形できる可能性もあり、用途がさらに拡大することが期待できる。

(3) 造形技術

①造形条件最適化

最終的に造形品の性能を決定する重要な要因は、エネルギー出力、走査速度、造形軌跡、造形槽内温度、粉末敷き詰め状態などの造形条件であるが、条件パラメータが非常に多いため、最適条件(条件レシピ)を見出すまで非常に長い時間を要する。欧州の装置メーカーでは、装置

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

を導入した機関と年間保守契約を締結し、使用する粉末材料の最適造形条件レシピを提供する、もしくは材料ごとに条件レシピを販売する、などの手法を取っている。また、装置によっては条件パラメータを自由に設定できない制約が付されているケースもあり、独自開発が行いにくい環境になっている。

②造形物品質（信頼性、製品ばらつき）

金属積層造形では、一層ずつ溶融・凝固させながら積層して製造するため、個々の製品に品質のばらつきや欠陥が生じる可能性があり、品質評価が重要である。特に本技術は、外表面だけでなく内部構造も作り込めることを特徴としていることから、内部形状の検査も必要であり、用途によっては製品の全数検査を求められる場合もある。検査装置としてはX線CTスキャン技術などが活用できるが、装置が高価であり、欠陥サイズが小さくなるほど検出が困難になるという問題がある。また、装置によっては工業用の品質管理装置として標準化が必要である。すなわち、製品品質検査技術の高精度化、低価格化、標準化の確立と運用環境の実現が課題である。

また、造形中の欠陥発生などのエラーをモニタリングし、装置のパラメーターに迅速に反映できれば、エラー発生部をプロセス途中で再溶融凝固して修復し、欠陥のない製品を造形できるようになる。このようなインラインのプロセスモニタリング技術の開発も課題である。

③造形品の精度・表面粗さ

造形品の精度と表面粗さは、装置性能による影響や造形条件による影響など複数のパラメータの影響を受ける。現在の金属積層造形技術では、用いる金属粉末の粒径や造形サイクル等の影響を含めて、造形精度は50～100 μm 程度（粉末床溶融結合方式）であり、そのままでは造形体表面は粗いため仕上げ加工が必要なことが多い。そのため切削加工による表面仕上げを複合化した積層造形

装置が金型製造で使われている。しかしながら、製造時間はその分長くなることになる。その他、造形後に化学的エッチング手法等で表面の粗さを低減する方法なども検討されている。

④設計技術

金属積層造形技術で造形した形状が、これまでにない機能を発揮することによって、それを生かした製品に大きな価値をもたらす可能性がある。したがって、本技術を最大限活用するためには、従来にはない発想で優れた機能を発現する形状を設計する技術が必要となる。

工業デザイナーなど人材の育成は、長期の戦略で進めていく必要があるが、一方で人間の設計に頼るのではなく、コンピュータを活用したトポロジー最適化により設計解を求めるようなソフトウェア開発なども行われている。

4章 おわりに

金属積層造形技術は、装置技術・材料技術・造形技術から構成される。このうち、装置技術においては、欧米企業が大きく先行してきたが、我が国でもその技術に追従しつつあり、産業ツールの基盤としてスタート地点に立った状態と言える。

各技術分野の課題すべてを一挙に解決することは難しい。欧米では、造形条件最適化の課題については、大企業を中心に造形試作を繰り返して膨大なデータを蓄積することで対応し、造形速度の課題に対しては、造形装置を並列稼働して量産する体制を構築しつつある。

今後、我が国が金属積層造形技術を産業に活用していくには、幅広い技術分野の中から優先性を見極め、適切なロードマップ描きながら技術開発していくことが重要である。

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight Vol.32

金属積層造形プロセス分野の技術戦略策定に向けて

2019年2月8日発行

TSC Foresight Vol.32 金属積層造形プロセス分野 作成メンバー

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術戦略研究センター(TSC)

■ センター長 川合 知二

■ センター次長 竹上 嗣郎
矢島 秀浩 (2018年7月まで)

■ ナノテクノロジー・材料ユニット

・ユニット長 川合 知二 (センター長兼任)

・主任研究員 成毛 治朗 (2018年12月まで)

・研究員 井関 隆之

岡田 明彦

鶴田 修一 (2018年6月まで)

森 孝博

松下 智子

・フェロー 北岡 康夫 国立学校法人 大阪大学産学連携本部 副本部長

出村 雅彦 国立研究開発法人 物質・材料研究機構 副部門長

● 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)

● 本書は以下URLよりダウンロードできます。
<http://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。