

■ レビュー ■

金属積層造形技術の最新動向

京極 秀樹*1

Recent Trend and Applications on Metal Additive Manufacturing Technology : A Review

Hideki KYOGOKU*1

In this paper, the recent trend and applications on metal additive manufacturing technologies are reviewed. Recently, additive manufacturing technologies are paid great attention especially in the aerospace, automotive, and medical industries because of the possibility to manufacture lighter structures to reduce weight, complex high-performance parts, and so on. Therefore, a national project was launched by the Japanese government in April 2014 to develop the innovative 3D printers with electron beam and laser beam systems as well as the technology of powder bed fusion and directed energy deposition processes. The approaches to the research of the national project and other researches with manufacturing companies in the Advanced Additive Manufacturing Center are described.

Keywords: Additive Manufacturing, 3D Printer, Laser Sintering/Melting, Electron Beam Melting, Laser Metal Deposition

1. はじめに⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾

最近の Additive Manufacturing (以下, AM と略す.) 技術の進展は目覚ましく, 各分野における造形装置, いわゆる 3D プリンタの導入は急速に進んでいる. 我が国においても, 2012 年のアメリカ・オバマ大統領の演説以来, 急速に 3D プリンタへの関心が高まり, 低価格の個人向け 3D プリンタが普及してきている. 企業においても紫外線硬化樹脂を利用した光造形装置やインクジェット方式の造形装置の導入が盛んに行われてきており, 非常に高価な粉末積層造形法による樹脂粉末や金属粉末の積層造形装置の導入も進んできている. 金属粉末積層造形装置については, レーザーを光源とした装置としてドイツの EOS 社, Concept Laser 社, SLM Solutions 社が販売台数も多く世界をリードしてきている. その他, 3D Systems 社の装置や Renishaw 社の装置などが販売されている. また, 電子ビームを光源とした装置としては ARCAM 社の装置がある. Wohlers Report2014⁽⁶⁾によれば, 2013 年には約 350 台であったものが, 2014 年には約 640 台が導入がなされてきている. 当大学にも, 昨年ドイツの SLM Solutions 社製 SLM280HL を導入したが, 導入までに半年以上かかっ

た. 金属 3D プリンタ製造メーカーは各社とも急速に販売台数が伸びると予測しており, 増産体制に入っているが, 供給が需要に追いついていない状況となっている. 我が国においては, 欧米と比べて装置導入が遅れている感はあるが, このところ急速に伸びてきており, 今後も導入企業が増えるものと予測される.

金属積層造形技術の動きをまとめると, 図 1 のようになる. この図に示すように, 2000 年以降に大きな動きがあり, ここ数年で急速な変化が起きていることがわかる. 詳細は, 他の報告⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾に委ねる. 最近の動きをみると, 我が国では, (株)松浦機械製作所が松下電工(株), 現在のパナソニック(株)と開発した積層造形と切削を複合化した金属光造形装置が先駆けであるが, 2014 年に同様の装置をソディック(株)が開発している. また, 粉末をレーザーにより熔融堆積して造形する熔融堆積法と切削を複合化した装置開発を 2013 年に DMG 森精機(株), 2014 年にヤマザキ・マザック(株)が相次いで開発しており, 我が国においては, 工作機械技術を活かした装置開発が行われている.

海外の動きをみると, イギリスでは MTC (Manufacturing Technology Center) に 3 大学を中心

原稿受付 2015 年 5 月 11 日

*1 近畿大学工学部 ロボティクス学科 教授, 次世代基盤技術研究所 教授 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺 1 番)

E-mail kyogoku@hiro.kindai.ac.jp

としたAM (Additive Manufacturing) 技術の研究センターを立ち上げ拠点化を行っており、ドイツにおいても Fraunhofer 研究所を中心に、Paderborn 大学を研究拠点として、金属 3D プリンタの強みを生かした技術開発を行っている。また、アメリカでは、オバマ大統領の演説により設置された NAMII を現在 America Makes と改称して、AM 技術の拠点化を行っている。いずれも、産学官連携を通じてAM技術の開発や人材育成を行っている。

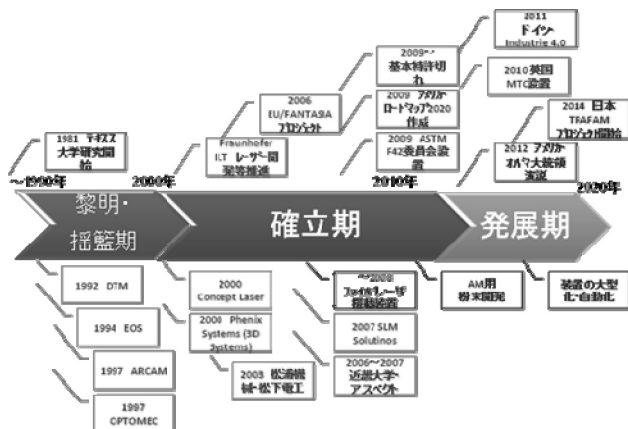


図 1. 金属 3D プリンタの開発の変遷

このような世界的な動きの中で、我が国においても、AM 技術の重要性についての認識が高まり、2014 年度より経済産業省の肝いりで、「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム—次世代産業用 3D プリンタ技術開発—」の中で、金属粉末を対象とした国家プロジェクトを開始し、筆者がプロジェクトリーダーとして選任され、当研究所に新たに 3D 造形技術研究センターを立ち上げた。また、内閣府による SIP プログラム⁽⁸⁾24 テーマが開始された。

本稿では、金属粉末を中心とした積層造形技術の最近の開発動向と本研究所に設置した 3D 造形技術研究センターの取り組みを中心に紹介する。

2. AM 技術の最新動向

AM 技術は、2009 年に ASTM F 42 委員会により表 1 に示す 7 つのカテゴリに分類された。以下に、金属製品に関わる積層造形技術の最近の動きについて述べる。

表 1. ASTM による AM 技術の分類⁽⁹⁾

Category	Description
Binder Jetting	Liquid bonding agent selectively deposited to join powder
Material Jetting	Droplets of build materials selectively deposited
Powder Bed Fusion	Thermal energy selectively fused regions of powder bed
Directed Energy Deposition	Focused thermal energy melts materials as deposited
Sheet Lamination	Sheet of material bonded together
Vat Photopolymerization	Liquid photopolymer selectively cured by light activation
Material Extrusion	Material selectively dispensed through nozzle or orifice

(1) 粉末積層溶融 (Powder Bed Fusion) 法

最近の金属粉末を対象としたレーザー積層造形装置の開発は目覚ましく、レーザーには 1 kW の高出力のファイバーレーザーが使用されてきている。SLM Solutions 社は他社に先駆けて、400 W を 2 台あるいは 400 W と 1 kW を搭載した 280HL 装置を開発しており、あらたにレーザーを 4 台搭載するなど多重光源化が進めている。これに伴って、現在造形サイズも 250 mm×250 mm が中心ではあるが、500 mm×500 mm 程度の装置も開発されており、今後大型化がさらに進むものと考えられる。

最近の代表的な装置の仕様を表 2 に示す。表にも示すように、装置の性能は、ここ数年で造形物の格段の高精度化、造形速度の高速化さらには大型化が進んできている。2012 年に Concept Laser 社が Fraunhofer 研究所および Dimler 社と共同開発した造形サイズ 600 mm×400 mm の超大型装置に匹敵する造形サイズ 500 mm×500 mm の装置を各社とも相次いで投入してきており、このサイズも大型の範疇に入ようになってきている。最新の機種としては、EOS 社が 2013 年 12 月に発表した、1 kW の Yb ファイバーレーザーを使用し、造形サイズ 400 mm×400 mm の装置 M400 がある。本装置の走査速度は従来機と同様であるが、高速・高精度を図るためのリコータ、パウダーベッド等のモニタリングシステム、さらには本体造形部に接続して粉末処理および製品の自動取出しが可能なリサイクリング・フィルタリングシステムを装着できるようになっている。上述した、SLM Solutions 社の装置をはじめ、3D Systems 社が新たに 500 W のファイバーレーザーを 2 台搭載し、造形サイズ 500 mm×500 mm の大型装置を開発したと発表している。これらの装置についても、自動化機構やモニタリング機能を搭載しており、このような自動化を図ることで、生産性向上に繋がっていることがうかがえる。また、Concept Laser 社は、メルトプールのモニタリング機能を搭載した装置を開発しており、フィードバック機能はまだであるが、今後航空宇宙部品製造などにおいては非常に重要となるものと考えられ、他社においても搭載されるものと思われる。

表 2. 代表的な金属粉末積層造形装置の仕様 (各社ホームページ⁽¹¹⁾(¹⁴)より)

Machine	EOS M280	SLM SLM280HL	Concept Laser M2	3D Systems ProX400
Laser type	Fiber laser	Fiber laser	Fiber laser	Fiber laser
Power (W)	200 or 400	400/1000	200 or 400	500x2
Spot size (μm)	100~	70 ~ 120	50 ~ 200	-
Scan speed (m/s)	~ 7	~ 15	~ 7	-
Layer thickness (μm)	20~	20 ~ 75	20 ~ 80	10 ~ 100
Build speed (cm ³ /h)	20	20 ~ 35	2 ~ 20	-

(2) 粉末溶融堆積 (Directed Energy Deposition) 法

本法には、これまで Sandia 国立研究所で開発された LENS®法、Fraunhofer 研究所で開発されたレーザー金属堆積 (LMD : Laser Metal Deposition) 法などがあり、タービンブレードの補修などに利用されてきているが、最近では、真密度の複雑形状品の作製が可能となっており、アルミニウム合金、ステンレス鋼、工具鋼、チタン合金などの材種にも対応できるようになっている。

EFEST 社は、2m を超す大型の試作品も製作しており、本法が大型製品製造に向いていることを示している。アメリカでは、Optomec 社などの装置が航空宇宙部品などの製造に適用されている。また、ワイヤーを電子ビームで溶融堆積する Sciaky 社の装置も利用されている。

2013 年 2 月に開催された EuroMold2013 では、新たに DMG 森精機(株)が、レーザー・デポジション・ウェルディングと名付けた積層造形法と 5 軸制御切削を組合せた複合機を開発し、2014 年 10 月に開催された JIMTOF 2014 では、ヤマザキ・マザック(株)がレーザーデポジションと切削加工を組合せた装置をリリースした。製法からして形状は制限されるが、新たな加工法として注目される。

3. AM を最大限に活かすために求められる技術⁵⁾

今後の AM 技術を最大限に活かすために求められることとして、装置開発、すなわちハードウェア開発はもちろんのこと、設計技術についても変革していく必要がある。このために必要な項目としては、以下のような点が挙げられる。

(1) 次世代型産業用 3D プリンタの製造技術の獲得・展開

- ① デジタルマニファクチャリングの重要なツールである産業用 3D プリンタの製造技術の獲得・展開
- ② 世界の金属 3D プリンタ生産能力は、まだ低いため、今後の需要に応える産業用 3D プリンタ製造技術の獲得・展開
- ③ 産業用 3D プリンタのさらなる高機能化への対応

(2) 設計・製造技術の革新

これまで製造が不可能であった製品の設計技術の変革を行うことによる製品の高機能化を目指す設計技術、

- ① トポロジー最適設計
- ② 軽量化構造の採用による機能化設計
- ③ シミュレーション利用による最適設計

などを駆使した設計技術を確認することが重要であり、これに伴って新たな人材育成プログラムを実施していくことも重要である。一例として図 2 にポーラス体の最適化設計の例を示す。

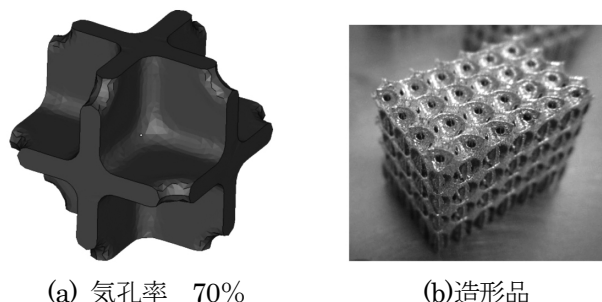


図 2. ポーラス体の最適化設計の例 (最適化設計は、広島大学・竹澤准教授の好意による)

(3) 次世代型産業用 3D プリンタによる製造技術の革新
本技術により、従来の加工法ではできない製品の製造が可能である。これにより、

- ① 製品の短納期化・低コスト化
 - ② 製品の軽量化・高機能化など
- 製品の製造技術を革新する。

ドイツにおいては、“Industrie 4.0”⁽¹⁵⁾、第 4 次産業革命と呼ばれている“ものづくり”革新を実践しているが、3D プリンタは製造工程における重要な加工ツールの一つであることは間違いない。我が国においても、上述したように、独自の次世代型産業用 3D プリンタ製造技術を確認するとともに、我が国における“ものづくり”技術のノウハウを活かした、図 3 に示すような設計・製造・計測までを統合した統合生産システムを確認することが重要である。これにより、デジタルマニファクチャリングを基盤とした我が国の“ものづくり”における設計・製造技術の革新が期待される。

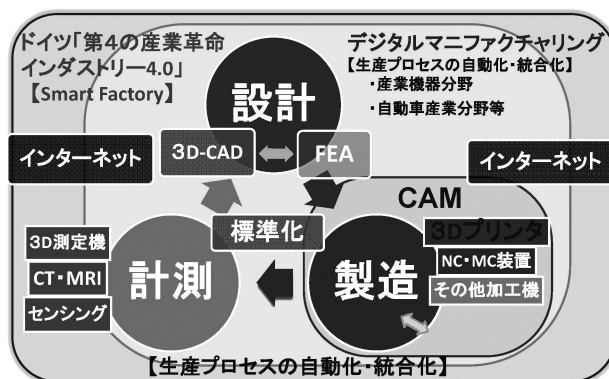


図 3. デジタルマニファクチャリング概念図

4. 3D 造形技術研究センターの取り組み

4.1 3D 造形技術研究センターの概要

本センターは、平成 26 年度に採択された経済産業省「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム (次世代型産業用 3D プリンタ技術開発及び超精密三次

元造形システム技術開発プログラム)」を実施する母体として設置した。

本センターでは、次世代の“ものづくり”に欠かせない金属系材料を中心とした3D積層造形技術に関する技術開発を行うとともに、経済産業省「地域イノベーション協創プログラム補助金(3Dプリンタ拠点整備によるオープンプラットフォーム構築支援事業地域)」と連携して本分野の人材育成を行うことを目的としており、次の2つの事業を柱として活動を行っている。

- (1) 経済産業省平成26年度「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム(次世代型産業用3Dプリンタ技術開発及び超精密三次元造形システム技術開発プログラム)」の実施母体である技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構(TRAFAM)による「次世代産業用3Dプリンタ技術開発プロジェクト」の実施
- (2) 経済産業省「地域イノベーション協創プログラム補助金」(3Dプリンタ拠点整備によるオープンプラットフォーム構築支援事業)
 - ① 地域連携による次世代ものづくり設計・製造技術開発に関する研究
 - ② 地域連携による次世代ものづくり設計・製造技術者育成プロジェクト

4.2 次世代型産業用3Dプリンタ技術開発^{(7),(10)}

(1) 事業の背景および目的

上述したように、欧米ではAM技術を一つの核とした設計・製造技術の革新が進行しており、新たな“ものづくり”のための設計・製造プロセスの革新は、我が国においても非常に重要である。このため、次世代のものづくり産業を支える三次元積層造形システムを核とした我が国の新たなものづくり産業の創出を目指すことを目的として、経済産業省「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム」の国家プロジェクトが立ち上がった。これを実践する機関として技術研究組合次世代3D造形技術総合開発機構(通称、TRAFAM)が設立され、図4に示す体制で、2014年度より5年計画で開始された。この中で、本学が光源としてレーザーを利用した金属3Dプリンタ研究開発の拠点として選定され、研究開発を実施している。

(2) 開発目標

次世代型産業用3Dプリンタ技術開発プロジェクトの目標は、世界最高水準の三次元積層造形装置を開発することで、

- ① 高速化
- ② 精度化

③ 大型化

④ 複層化

を目指すものである。光源には、電子ビームとレーザービームの2種類を採用して、表3に示すような目標を達成する。具体的には、金属粉末の焼結・溶融に適した高速レーザー装置等の開発から、造形雰囲気制御、金属粉末の積層技術の高速化等の日本のものづくり産業の強みを有する部分での開発を行い、最終年度に積層造形速度が、現在の10倍、製品精度が、現在の5倍となる高速・高性能三次元積層造形装置を開発するものである。



図4. 技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構(TRAFAM)組織体制⁽¹⁰⁾

表3. 開発目標

	光源	造形サイズ (mm)	造形速度 (cc/h)	寸法精度 (μm)
タイプⅠ	EB	大型(1000×1000×600)	500	50
タイプⅡ	EB	小型(300×300×600)	500	20
タイプⅢ	LB	大型(1000×1000×600)	500	20
タイプⅣ (電子ビーム方式)	LB	小型(300×300×300)	500	20

(3) 事業内容

本プロジェクトでは、上述の目標を達成する世界最高水準の次世代型産業用3Dプリンタの開発を行い、開発が終了する2020年に当該装置を実用化する。これにより、航空宇宙分野、医療機器分野、産業輸送機器分野等において、これまでできなかった製品、形状が複雑でいくつかの加工技術を組み合わせないと製造できなかった製品ないし自由で複雑形状等の高付加価値製品等の製造を実現する。

当センターにおいては、上記目標を実現するための基

礎技術である熔融凝固機構の解明、熱変形シミュレーション技術の開発、加工データベースの構築などに関する研究を実施している。

4.3 3Dプリンタ拠点整備によるオープンプラットフォーム構築支援事業

経済産業省平成26年度補助事業により、3D造形技術研究センターに、SLM Solutions社のSLM280HLを平成26年11月に導入した。本装置の様子は、次のとおりである。なお、装置の外観を図5に示す。



図5. 金属積層造形装置の外観

- ・レーザー：ファイバーレーザー 400W & 1kW
(ビーム径：80～150 μm)
- ・走査速度：15 m/s
- ・造形速度：20 cc/h
- ・積層厚さ：20～75 μm
- ・造形領域サイズ：280 x 280 x 350 mm

本装置を利用することにより、企業との共同研究を通じて本技術の普及を図るとともに、講習会、研修会を通じて人材育成にあたっている。このような補助事業による装置の導入は、各公設試を中心に行われており、今後このような装置を利用した本技術の普及並びに人材育成を行っていくことが急務である。

5. おわりに

次世代基盤技術研究所報告 Vol.1 (2010) の創刊特別号に「最近のレーザー積層造形技術の開発動向」⁽¹⁾のレビューを書いて5年になるが、この間の積層造形技術の進歩は目覚ましく、装置の高性能化により航空宇宙分野、自動車分野から医療分野まで非常に重要な加工技術としての地位を確立してきている。とりわけ、オバマ大統領の演説が行われた2012年以降の本技術に対する関心度は高く、我が国においても急速に装置導入が行われて

きている。上述したように、本技術は次世代の“ものづくり”においては、核となる技術であり、我が国においても装置開発は極めて重要な課題であるとともに、本技術の普及により新たな高機能製品を開発していくことが、我が国に“ものづくり”技術を残すためのキーテクノロジーである。このためには、本技術を理解した設計者・技術者の育成を図ることが重要であり、本研究センターの使命であると考えている。

謝辞

本稿では、広島大学・竹澤准教授に資料の提供を頂いた。ここに、深謝の意を表す。

参考文献

- (1) 京極秀樹, 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, **1**, (2010), pp.69-76.
- (2) 京極秀樹, 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, **5**, (2014), pp.139-143.
- (3) 京極秀樹, 溶接学会誌, **83**,(2014), pp.250-253.
- (4) 京極秀樹, レーザー研究, **42**(2014), pp831-835.
- (5) 京極秀樹, 3Dプリンターの材料技術の開発動向と市場展開, (シーエムシー・リサーチ, 2015), pp.91-107.
- (6) Wholers report 2014, (Wholers Associates, 2014).
- (7) 大胡田稔, 素形材, **55**(2014), pp.54-59.
- (8) http://www.nedo.go.jp/koubo/CD3_100009.html, (2015年2月28日現在).
- (9) Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, ASTM Standard F2792-12a, (2012).
- (10) 技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構(TRAFAM)カタログ.
- (11) http://www.eos.info/systems_solutions/metal/systems_equipment/eosint_m280 (2015.5.9現在)
- (12) http://stage.slm-solutions.com/index.php?slm-280_en (2015.5.9現在)
- (13) <http://www.concept-laser.de/en/industry/aerospace/machines.html> (2015.5.9現在)
- (14) <http://www.3dsystems.com/zh/node/7409> (2015.5.9現在)
- (15) Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group (April, 2013)