

TODAY

活躍する MEMS (メムス) ～身の回りでも Society5.0 でも



一般財団法人
マイクロマシンセンター
副理事長 青柳 桂一

MEMS (メムス) という聞き慣れない用語かも知れませんが、実はモバイル機器、自動車等の私たちの身の回りの製品の中に数多く組み込まれている必須デバイスです。MEMSとは Micro Electro Mechanical Systems (微小電気機械システム) の略で、半導体製造技術やレーザー加工技術等、各種の微細加工技術を用いて微小な電気要素と機械要素を一つの基板上に組み込んだ米粒や豆粒ほどの大きさのデバイスのことを言います。MEMS と半導体デバイス (LSI など) はどちらも同じような大きさで外見上よく似ていますが、働きが少し違います。すなわち、半導体デバイスは入出力が電気信号で、人間の頭脳のような高速計算や大容量の記憶などの働きに秀れていて、コンピュータの中核デバイスとなっています。一方、MEMS は入出力が電気信号に限定されず、エネルギーや機械変位、物理量など多岐に亘り、人間の五感器官のようなセンシング (センサ)、筋肉部のような動作 (アクチュエータ) などの様々な働きをします。

例えば、モバイル機器のスマホでは高性能化・多機能化を実現するため、モーションセンサ、MEMS マイクロフォン、無線センサ、環境センサなど盛沢山の MEMS がスマホ内の狭小な空間の中にぎっしりと組み込まれていて、MEMS のかたまりのような

ものです。また、自動車も同様です。エンジン制御のための圧力センサ、姿勢制御のためのジャイロ、エアバック感知のための加速度センサなど多くの MEMS が使われていますし、今後は自動運転のための各種 MEMS センサが増大していくと予想されます。

一方、政府の第 5 期科学技術基本計画において超スマート社会 Society5.0 の実現に向けた取り組みが提唱されていますが、Society5.0 の実現には近年注目を集める IoT (あらゆるものがインターネットでつながる) システムが欠かせません。この IoT システムの中でも MEMS が重要な役割を果たしていくことになります。

例えば、工場を対象とした IoT システムでは、実世界 (工場現場) の状況を適確かつ迅速にデータ収集 (センシング) し、収集したデータをクラウド上に集め、ビッグデータ技術や AI (人工知能) を用いて設備管理や生産管理に役立つ経営情報に変換する、そして経営情報を実世界 (工場管理、経営) にフィードバックする、といった流れになります。この流れの中で実世界とクラウドを結ぶセンシングの局面において MEMS が主役となります。すなわち MEMS を用いた多様な産業用途のセンサ、環境からエネルギーを自力で調達する自立電源、データを無線で飛ばす無線モジュールなどをまとめて搭載した小型センサ端末 (これも MEMS のかたまり) が工場の各所に配置され、工場の様々な稼働状況をリアルタイムにモニタリングし、クラウドに収集データを送り出します。

今年度から NEDO 委託事業の超高効率スマートセンシングシステム (LbSS) の研究開発も始まりました。近い将来 Society5.0 を支え、元気に活躍する MEMS の姿を見ることができるようになります。乞うご期待。



図 1 スマホで使われる MEMS



図 2 Society5.0/IoT システムで活躍する MEMS

次世代型産業用 3D プリント技術開発及び 超精密三次元造形システム技術開発

— 経済産業省委託事業 —

技術研究組合 次世代 3D 積層造形技術総合開発機構
技術推進部 部長 橋谷道明

1. はじめに

切削加工、塑性加工等に次ぐ第 3 の加工法とされる三次元積層造形技術 [Additive Manufacturing(付加製造) 技術] については、平成 25 年度に我が国の戦略^{1),2)}が示され、平成 26 年度から 5 カ年計画で、金属材料、砂型材料を対象とした「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム」がスタートした^{3),4)}。本稿では本事業の概要および平成 27 年度までの成果の一例について紹介する。

2. 三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム^{5),6),7)}

2.1 事業の目的

本事業では、金属粉末を積層し製品を造形する技術と鋳物用の砂型を積層によって造形する技術の二種類の装置技術開発、材料開発、制御プログラム開発を総合的に実施し、実用化することを目標としている。本プロジェクトを通じ、次世代のものづくり産業を支える三次元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している。

2.2 事業の内容

金属粉末積層造形技術については、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、積層造形速度が平成 25 年度時点海外装置の 10 倍、製品精度が同 5 倍となる高速・高性能三次元積層造形装置を開発し、さらに、開発が終了する平成 31 年に当該装置の実用化を目指している。また、鋳造用砂型積層造形技術についても、積層造形装置の大型化、高速化を図り、早期に実用化するほか、使用する砂材料等についての周辺技術開発も実施する。さらに、三次元積層造形に係る材料等の基盤技術の研究開発も合わせて実施し、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の高度化を図る。

2.3 開発目標

金属積層については、長所と短所が相補的である電子ビームとレーザービームの 2 つの方式について技術開発、装置開発を行う。金属積層の両方式、砂型積層の技術開発における最終(平成 30 年度末)の目標を以下に示す。

2.3.1 電子ビーム方式 3D 積層造形装置技術開発

積層造形速度：500cc/h 以上、造形物の精度：±50 μm 以下、最大造形サイズ：1,000mm × 1,000mm × 600mm、装置本体販売価格：5,000 万円以下

2.3.2 レーザビーム方式 3D 積層造形装置技術開発

積層造形速度：500cc/h 以上、造形物の精度：±20 μm 以下、最大造形サイズ：1,000mm × 1,000mm × 600mm、装置本体販売価格：5,000 万円以下

2.3.3 砂型 3D 積層造形装置技術開発(29 年度末)

積層造形速度：10 万 cc/h 以上、最大造形サイズ：1,000mm × 1,000mm × 600mm、装置本体販売価格：2,000 万円以下、鋳型製造コスト：1,000 円/kg 以下

2.4 事業実施方法と研究開発の現状

2.4.1 電子ビーム方式 3D 積層造形装置技術開発

電子ビームを用いた金属粉末の溶融挙動はまだ十分に解明されていない。そこで、以下に示すように最適溶融条件等の導出を要素技術研究で進めながら、得られた結果を、並行して開発を進める 2 機種種の電子ビーム 3D プリント開発へ反映、連携しながら開発を進めている。以下に概要と成果の一例を示す。

①要素技術研究

本開発では、電子ビームによる金属粉末の溶融凝固現象等に関わる物理現象の把握を行なう。本開発に当たっては、モニタリング技術を搭載した要素技術研究機を製作し、これを活用し次の 4 項目の要素技術開発を実施している。

a. 金属粉体の溶融・凝固プロセスの解明、b. 金属粉末材料毎の積層造形に適した造形条件(レシピ)の確立、c. 伝熱溶融・溶融凝固シミュレーション技術開発、d. 加工、材料、評価データベース構築

一例として、b. 金属粉末材料毎の積層造形に適した造形条件(レシピ)の確立について説明する。⁷⁾

安定して電子ビーム積層造形を行うためにはスモーク現象(電子ビーム照射により負に帯電した金属粉末の飛散現象)を抑制することが重要である。金属粉末の電気抵抗の温度依存性を明確にすることで、スモーク現象回避技術を確認できる可能性がある。そこで、真空中で粉末の電気抵抗測定が行なえる装置を開発し、Ti-6Al-4V 粉末等の金属粉末の電気抵抗の温度依存性を明確にした。

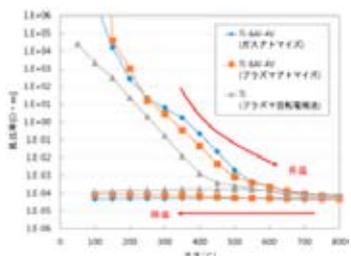


図 1 チタン系粉末の電気抵抗率

②複層電子ビーム 3D プリントの開発

異種金属部品等の製造を可能とする複層電子ビーム 3D プリントを開発するため、下記の項目について技術開発、検証を実施している。

a. 造形可能サイズ 300mm(X) × 300mm(Y) × 600mm(H) 以上、造形物の精度 ±20 μm 以下、積層造形速度 500cc/h 以上の複層電子ビーム 3D プリント、b. 装置で使用する制御等ソフト、c. 造形物後

処理等技術、d. 評価技術

複層電子ビーム 3D プリンタの開発機の外観を図 2 に試作造形物を図 3 に示す。

積層造形速度は、標準試験造形物（縦 10cm × 横 10cm × 厚さ 1cm）を最大ビーム電流 100mA で 146.9cc/h で造形し、30cm 造形可能領域への試算では、214.6cc/h となった。未達成分は、パウダヒーティング時間の短縮等に対応する。⁷⁾



図 2 開発機外観



図 3 試作造形物

③大型高速電子ビーム 3D プリンタの開発

世界最高水準の造形サイズ、速度、性能を有する大型高速電子ビーム 3D プリンタを開発するため、以下の項目について、技術開発、検証を実施している。

a. 造形可能サイズ 1,000mm × 1,000mm × 600mm 以上、造形物の精度 ± 50 μ m 以下、積層造形速 500cc/h 以上の大型高速電子ビーム 3D プリンタ、b. 装置で使用する制御等ソフト、c. 造形物後処理等技術、d. 評価技術

大型高速電子ビーム 3D プリンタの開発機の外観を図 4 に、試作造形物を図 5 に示す。⁷⁾

開発機では標準試験造形物（縦 12cm × 横 12cm × 厚さ 1cm）を積層造形速度 107cc/h で造形することができた。50cm 造形可能領域への試算では、積層造形速度は 201cc/h となった。未達成分は、プリヒート熱量アップ、ビーム形状最適化等に対応する。⁷⁾



図 4 開発機外観

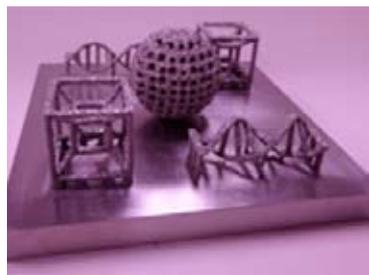


図 5 試作造形物

2.4.2 レーザビーム方式の 3D 積層造形装置技術開発

レーザービームを用いた三次元積層造形についても、金属溶融の知見など解明されていない技術が多い。そこで、レーザービームを用いた溶融条件等の要素技術導出を目的とする装置開発を進め、並行して異種金属の複層可能な造形装置の実用化、及び大型製品造形を可能とする大型高速積層造形装置の実用化を個別に同時開発し、実用化する。そのために、以下の 3 項目の技術開発を実施している。

①要素技術研究

本開発では、レーザービームによる金属粉末の溶融

凝固現象等に関わる物理現象の把握を行なう。本開発に当たっては、モニタリング技術を搭載した要素技術研究機を製作し、これを活用し以下の 5 項目の要素技術開発を実施している。

a. 局所焼結・溶融凝固機構の解明、b. 温度制御技術による高速・高精度・大型化技術の開発、c. 加工データベースの構築、d. 材料データベースの構築、e. シミュレーション技術開発

ここで、c. 加工データベースの構築の目標は、各種材料のプロセスマップ（レシピ）の作成及び材料データをデータベース化することである。

最適な造形条件は、造形品の品質保証とともに、造形の安定化のために重要であり、各種材料毎にプロセスマップ（通称レシピと呼ばれる）を作成しておくことが重要である。一例として、IN718 を対象としたレシピの開発結果を図 6 に示す。⁷⁾

レーザー出力と走査速度と併せて、走査（ハッチ）ピッチ、積層ピッチ、レーザースポット径なども検討し、最適な造形条件を明らかにしている。

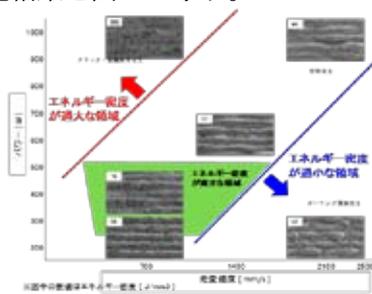


図 6 IN718 のプロセスマップ

②複層レーザービーム 3D プリンタの開発

複層レーザービーム 3D プリンタの開発においては、粉末材料をノズルで連続的に噴射し、加工点にレーザーを照射することで材料を溶融させ、積層造形するレーザーデポジション方式の装置の開発を実施している。開発した装置ではデポジション用ノズルから複数の材料を供給することが可能であり、加工中に材料を変更することで複層構造を有する部品の加工も可能としている。最終的に造形速度 500cc/h の高速造形と加工表面のレーザーによる追加工技術の開発により加工精度 ± 20 μ m の高精度加工を可能とする。また、追加付帯設備として 3 次元の切削加工システムと連結することで切削加工部品と同じ加工精度を実現することとしている。

複層レーザービーム 3D プリンタの開発機の外観を図 7 に示す。⁷⁾

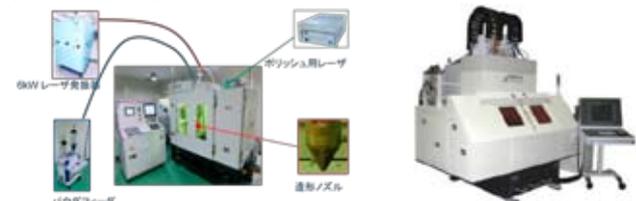


図 7 開発機外観

①レーザートリミング方式 ②レーザーマシニング方式

③大型高速レーザービーム 3D プリンタの開発

大型高速レーザービーム 3D プリンタの開発に当たっては、レーザービーム要素技術研究機で研究開発した技術を利用し、装置の高速化、高精度化、大型化における機構・システム・ソフトウェアにおける課題

を解決しつつ、最終目標としてあげられている前項の目標値を実現させる装置開発を実施している。大型高速レーザービーム 3D プリンタの開発機の外観を図 8 に、大型造形物を図 9 に示す。⁷⁾ 図 9 は 616 × 128 × 203mm の中空部品である。



図 8 開発機外観



図 9 大型造形物例

2.4.3 金属粉末開発及び粉末修飾技術開発

次世代産業用 3D プリンタに適した粉末特性を有する世界最高品質で低コストの金属粉末の製造する技術開発として、以下の項目を実施している。

- ①新アトマイズ法による高融点・高活性金属粉末製造技術の開発、②気体流遠心分離方式金属粉末分級機構の開発、③高機能粉末製造のための粉末修飾技術の開発、④アルミニウム合金粉末製造技術開発

開発した技術を適用した粉末を用いて各開発機で造形試験を行い、評価を進めている。今後粉末の流動性の改善、造形物密度向上のための粉末特性改善、粉末のリサイクル性の改善等の課題実現のため、粉末の真球化、サテライトレス化、酸素量低減等に取り組んでいく。⁷⁾

2.4.4 砂型積層造形装置開発及び砂型材料開発

我が国鑄造業は中小企業性の高い業種である。砂型積層造形システムの開発にあたっては、大企業だけでなく、地方を中心とした中小企業においても活用されることを念頭においている。このため、大型化、高速化、高融点金属への適用といった機能面での向上の他、低コスト化、特に稼働コストの低下をも念頭においた技術開発を実施している。具体的には以下の項目について技術開発を実施している。

- ①高速双方向リコータ及びプリンタヘッドの開発、②1液式硬化システムの開発、③鋳鉄対応耐熱積層バインダ及び鋳型砂の開発、④高熱伝導性砂型材料の開発及び異なる材料を積層造形できる複層化システムの開発

開発した砂型積層造形



図 10 高速砂型積層造形装置 (5万 cc/h)



図 11 造形物評価試験片 (最小厚さ評価)

装置の開発機の外観を図 10 に、②1液式硬化システムの開発の成果例(造形物評価試験片)を図 11 に示す。1mm厚みの鋳型形状にも対応ができています。⁷⁾

2.5 事業実施体制

本プロジェクトは、装置メーカー、材料メーカー、ユーザー企業、大学、研究機関からなるオール・ジャパン体制による、「技術研究組合 次世代 3D 積層造形技術総合開発機構」が国から受託し、実施している。当技術研究組合は、平成 26 年 4 月に設立された、AM 技術に関する我が国の総合的・中核的な技術研究開発組織として装置技術、材料技術及び基盤技術を総合的に開発している。開発体制図を図 12 に示す。

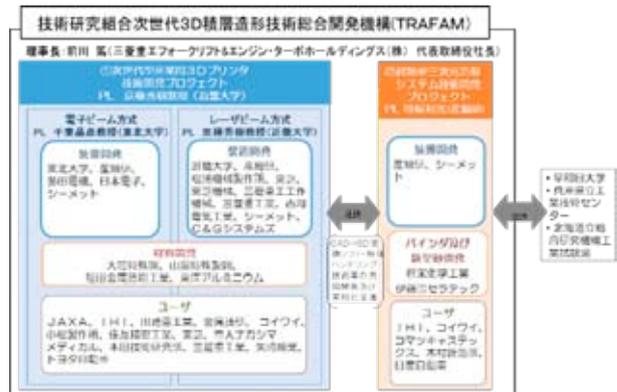


図 12 開発体制図

2.6 実用化促進の取組

平成 28 年度より本事業で開発した 3D プリンタを用い、航空宇宙、エネルギー、自動車、産業機械、医療分野等の部品を繰り返し造形し品質確認を実施する実証試験を実施しており、開発が終了する平成 31 年の実用化を目指す。

3. おわりに⁹⁾

金属加工向けを中心としたわが国の三次元積層造形技術の開発は、まだ緒についたばかりであり、今後取り組んでいかねばならない課題が山積している。しかし、将来のものづくりの変革のコアとなる技術をしっかりと抑えておく必要があり、官民を挙げて、この技術開発に取り組んで行くことを期待する。

参考文献

- 1) 平成 25 年 6 月 14 日閣議決定、「日本再興戦略 -JAPAN is BACK-」(2013) pp.54.
- 2) 平成 25 年 6 月 7 日閣議決定、「科学技術イノベーション総合戦略～新次元日本創造への挑戦～」(2013) pp.31.
- 3) 大胡田稔、「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 プリンタ技術開発について」, 素形材, 55(2014)No.9, pp.54-59.
- 4) 大胡田稔, 「超精密三次元造形システム技術開発プロジェクト」が始動」, 素形材, 54(2013)No.7, pp.32-36.
- 5) 技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構, 「ひらめきを形に! 設計が変わる新しいモノづくり」第 1 回シンポジウム講演集, (2015).
- 6) 遠山毅, 君島孝尚, 橋谷道明: 「次世代産業用 3D プリンタへの期待と開発プロジェクト」, 精密工学会誌, 82(2016)No.7, pp.613-618
- 7) 技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構, 「ひらめきを形に! 設計が変わる新しいモノづくり」第 2 回シンポジウム講演集, (2016).

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第 362 号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2016 年 12 月 1 日
発行人 小紫 正樹
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目 5 番 11 号 第 11 東洋海事ビル 6 階
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285
ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>
E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp