

MATERIALS and PROCESSING



Materials and Processing
Division Newsletter November 2020

NO.60



日本機械学会
機械材料・材料加工部門ニュースレター

巻頭言

AM 技術最前線



近畿大学
京極 秀樹

アディティブ・マニュファクチャリング (Additive Manufacturing: AM) 技術は、鋳造や機械加工などの従来の加工法では成形できない形状や機能性を有する製品を製造できるとともに、デジタル・マニュファクチャリングであることから、次世代の“ものづくり”における重要な加工技術として脚光を浴びている。最近、GE Aviation 社が開発している Boeing 777 用の GE 9 X エンジンが FAA に認証され、このエンジンには AM による 300 以上の部品が使用されると報じられている。このように、金属 AM 技術は航空宇宙分野やエネルギー・産業機器分野において、極めて重要な加工技術となってきた。また、このたびのコロナ禍において、サプライチェーンの寸断を機に、3D プリンタは再度大きな注目を集めていることはご存じのとおりである。2020 年 6 月の NEDO の資料「コロナ禍後の社会変化とイノベーション像」においても、このたびのコロナ禍後における“ものづくり”においてデジタル化を推進することの必要性が強調されており、その中で 3D プリンタは重要な位置づけにある。このように、AM 技術は、将来の“ものづくり”において極めて重要な役割を担っている。

AM 分野における著名な Wohlers レポート 2020 によれば、AM 市場の生産額は加速的な伸びを示しており、2019 年に 158 億ドル、2024 年には 356 億ドルに達すると予測されている。金属 3D プリンタに限ってもその販売台数は急速に伸びてきており、2018 年は約 2300 台とここ 5 年間で急速な伸びを示してきたが、2019 年はほぼ同数で伸びは鈍った。しかし、本ニュースレターでも紹介されるように、国家プロジェクトにおける技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM) の成果により、粉末床溶

融結合 (PBF) 方式の装置として国産初の電子ビームパウダーベッド方式の装置が投入され、また指向性エネルギー堆積 (DED) 方式の装置としてレーザー粉末噴射方式の国産の大型装置の投入が予定されている。さらに、DED 方式では従来のレーザーや電子ビームを熱源とした粉末やワイヤー供給方式の装置だけでなく、アーク放電による WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) と呼ばれる、溶接における肉盛技術を応用した装置は単純形状の大型製品製造には有効であることから注目を集めており、今後の伸びが期待される。また、コールドスプレーを利用した装置開発も行われており、この方式では熱影響を受けないため、変形を嫌う製品への適用が検討されている。加えて、結合剤噴射 (BJT) 方式の装置についても、先行する装置メーカーに加えて新たに大手メーカーが参入してきたことにより注目度が大幅に増しており、今後自動車分野などの小物部品の大量生産への適用が期待されている。また、材料押出 (MEX) 方式の装置は低価格であることと併せて、樹脂用の 3D プリンタの感覚で利用できることから、販売台数も急速に伸びてきており、治具や試作製品などへの適用も進むものと予測される。

一方、製品開発においては設計技術の開発も AM 技術の特徴を活かす上で非常に重要で、DfAM (Design for Additive Manufacturing) と呼ばれる AM 用の設計技術が注目されている。このため、CAD ソフトウェアにトポロジー最適化やラティス構造作成用のソフトウェアが付加されてきている。また、AM 特有のサポート設計などを考慮した熱変形はもちろんのこと組織予測シミュレーションの開発も行われてきている。

AM 技術は新たな加工法であることから、製品の品質の安定化及び品質保証が重要な課題となっており、この解決策として、次のような技術開発が行われている。

- (1) 品質保証のためのモニタリング・フィードバック技術開発
- (2) 品質管理における製品の欠陥検出技術
- (3) 設計・製造支援のためのシミュレーション技術開発
- (4) デジタルツイン開発

今後、Industry 4.0 や Connected Industries といった“ものづくり”における設計・製造・管理統合プラットフォームの構築が重要となってくる。AM 技術はデジタル・マニュファクチャリングであることから、このようなシステムにおいて重要な役割を担っている。AM においては、トポロジー最適化やシミュレーション技術の適用による設計技術の高度化、モニタリング・フィードバック技術の開発、さらには AI 技術や IoT 技術を駆使した管理技術の開発が必須である。すでに、欧米や中国などでは AM におけるデジタルツインの構築を始めており、このままの状況が続くと“ものづくり”

においでますます後れを取ることになる。このため、我が国における“ものづくり”の体制を見直す時期に来ている。著者らは、TRAFAMにおいて「モニタリング・フィードバック技術の開発」を中心としたNEDOプロジェクトを実施しているが、十分な体制とは言えない。加えて、AM技術は欧米や中国など多くの国々において、その裾野が大きく広

がっており、これに伴って人材育成も進んでいる。我が国においてもAM技術を普及させるためには、この技術に関わる人材育成も急務である。

本特集記事が、“ものづくり”に大きく関わっているM&P部門の皆様のAM技術理解の一助となることを期待する。

■特集：AM 技術最前線

□ 特集1 電子ビーム方式金属3Dプリンタの開発 □

多田電機株式会社

宮田 淳二

1. はじめに

当社は2014年度から2018年度までの5年間にわたりNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の助成事業としてTRAFAM（技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構）が実施した「次世代型産業用3Dプリンタ技術開発プロジェクト」のメンバーの一員として国産で初めての電子ビーム金属3Dプリンタの開発を担い、プロジェクト完了後の2019年9月より三菱電機が販売を開始した。本稿では装置開発の側面から関連する技術として電子ビーム加工及び加工機の概要を述べ、引き続き本開発並びに販売開始された3Dプリンタの概要について述べる。なお、本プリンタは電子ビームによる粉末床溶融結合方式（Powder Bed Fusion：PBF）を採用している。

2. 電子ビーム加工

電子ビーム加工の歴史は1950年代に欧州で始まったとされている。現在では広く適用が進み高エネルギービーム溶接の熱源と言えばレーザーと電子ビームを示すことが多い。

類似性が指摘されるレーザー加工と電子ビーム加工であるがレーザーは光であり、電子ビームは電子の流れであることからその制御及び加工特性においては大きな相違がある。レーザーは光を光学ガラスなどを利用して集光し、エネルギー密度を高め材料を融点以上に加熱し加工するが電子ビームの場合は電子を高電圧印加により加速、電磁レンズを用い収束させその衝突エネルギーを熱に変え、材料（原則的に金属のみ）を

溶融加工する。電子ビームの特徴としては装置面ではビームの制御を全て電磁レンズを含む電気系で行う（図1）ことにより極めて精密でかつ高速な制御ができることそして加工面では金属表面での吸収率がレーザーに比較して材料によらず圧倒的に高い（図2）ことが挙げられる。結果的に溶接加工の場合においてはレーザーに比較して速い溶接速度あるいは深い溶け込み深さを実現することが可能になる（図3）。また電子ビームの場合には大気中でのビーム伝送はエネルギーの減衰が大きいことから真空中での加工が一般的である。このことは後に述べる電子ビーム金属3Dプリンタについても造形物の品質確保面で大きな影響を与えている。

3. 電子ビーム加工機（EBM）

世界で電子ビーム加工機（溶接機）を供給しているメーカーはレーザー加工機に比較すると非常に少ない（世界で数社）。これは電子ビームを発生、制御する機構が各社ごとに特徴的で加工機と構造的に密接な関係があるためレーザー発振器とは異なりこの部分のみを外部から調達することが困難なこと、真空雰囲気が必要としないレーザーの高出力化によりレーザーでも可能な加工用途が広がってきたためと考えられる。一方、3Dプリンタにおいては後述するように真空雰囲気はデメリットではなく大きなメリットになる。

溶接機に代表される電子ビーム加工機は基本構成において電子ビーム金属3Dプリンタとはほぼ同じである。図4に代表的な電子ビーム溶接機の構造を示す。電子ビームの発生、制御を行う電子銃、それに電力を供給する高電圧電源、制御装置及び加工を真空中で行うための加工室や真空排気装置などから成り立っている。適用例としては写真1に示す自動

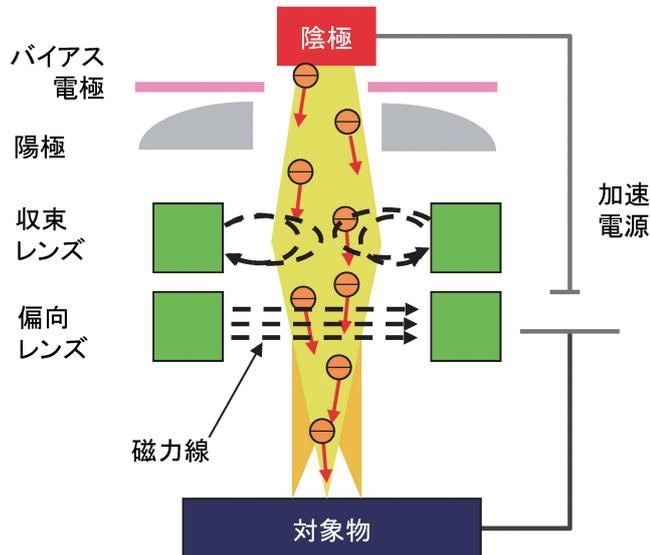


図1 電子ビームの発生及び制御

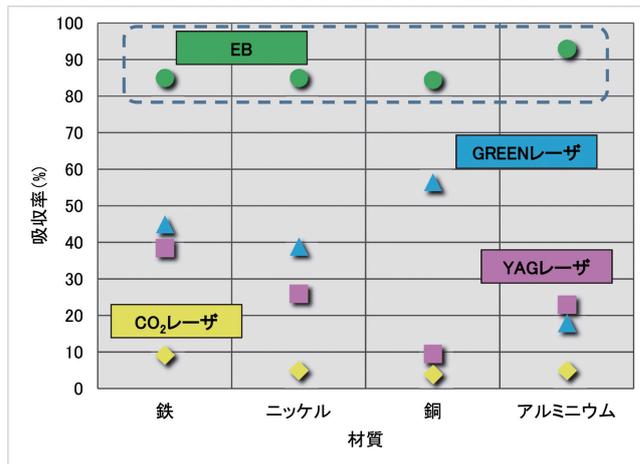


図2 電子ビームおよびレーザーの金属への吸収率の比較

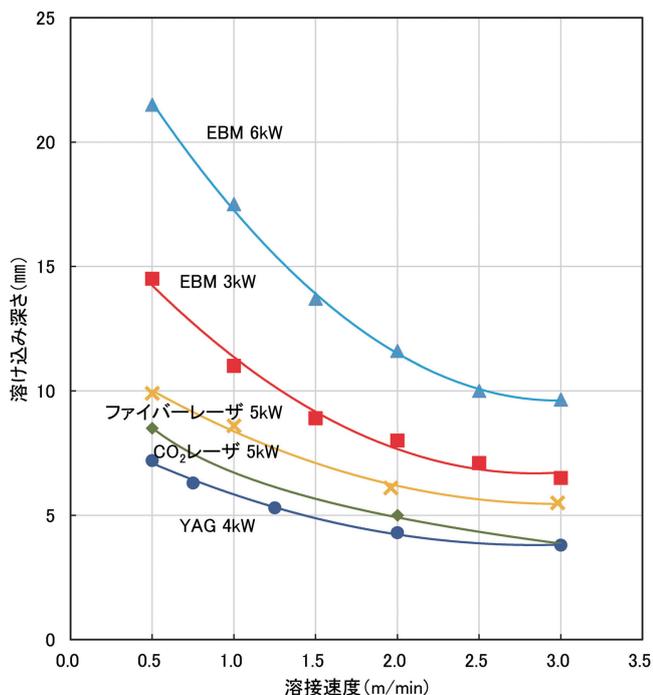


図3 溶込み深さの比較 (電子ビーム/レーザー)
(自社試験参考値)

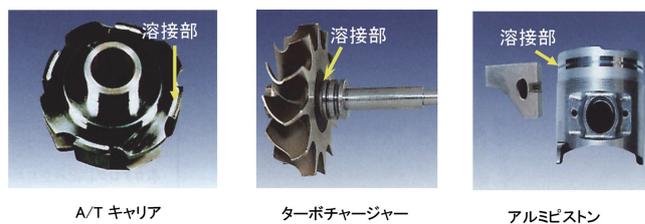


写真1 自動車部品への適用

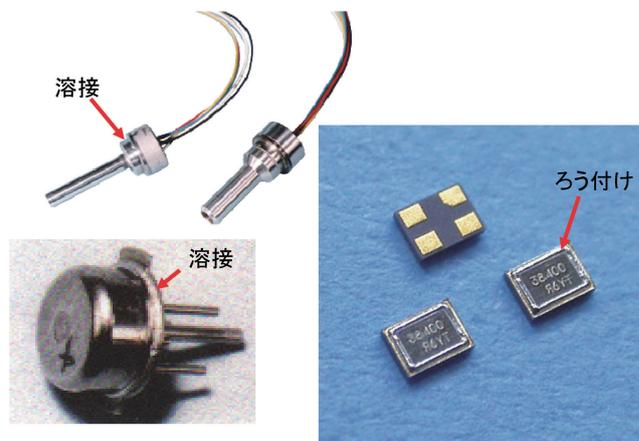


写真2 電子部品やセンサへの適用

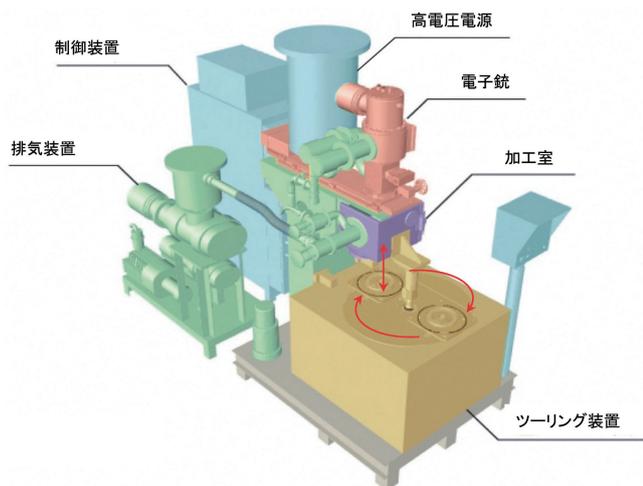
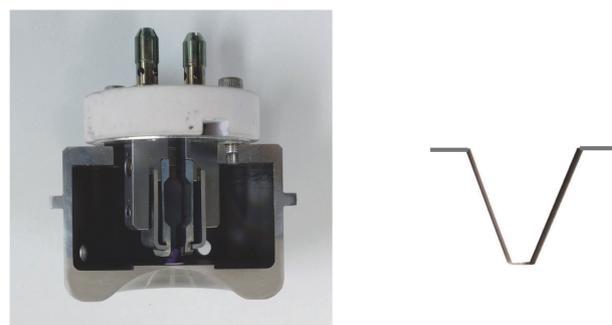


図4 電子ビーム溶接機の構造

車用部品に加え写真2のような電子部品やセンサにも広がりを見せている。電子ビーム溶接機は顧客のニーズに合わせ多種が存在し、レーザーに比較して弱点とされる真空排気時間による機械動作時間の増加を見かけ上「ゼロ」にするカセットタイプ EBM やビーム出力時の波形を整形し溶接時のスパッタを劇的に削減する FPC(Fine Process Control)-EBM などもある。

これらに共通する最も重要な技術は電子ビームを如何に正確に制御するかということであるがその重要部品の一つが電子ビーム発生源の陰極である。これは通常、消耗品であるが当社の加工機に使用されているものは他社で多数使用されているリボン陰極とは異なる棒状熱陰極 (写真3) であり加熱寿命が非常に長く、溶接機の場合には量産ライン用装置に実使用されている非常に信頼性の高いものである。

3D プリンタ開発において最も近い背景技術を持つ加工機は写真4に示す電子ビーム表面加工機である。この加工機は金属表面のごく限られた深さだけを熔融、再凝固させることにより非常に滑らかな金属光沢のある表面を実現させる (写真5) ものであり、この装置のために開発された3次元曲



棒状熱陰極

リボン陰極

写真3 陰極の構造比較



写真4 電子ビーム表面加工機 (e-Flush)

面を正確にかつ高速に電子ビームを走査する技術が電子ビーム金属3Dプリンタにも応用されている。またこの技術は将来、造形面の二次加工への適用も期待されるものである。

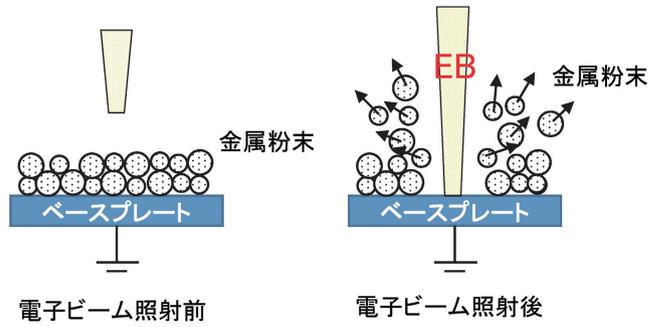
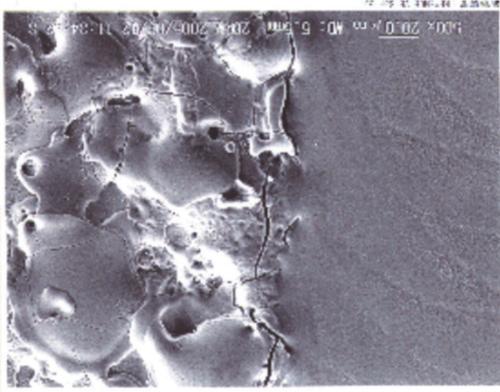


図6 スモーク現象

加工前 加工後
写真5 電子ビームによる表面加工 (STAVAX)

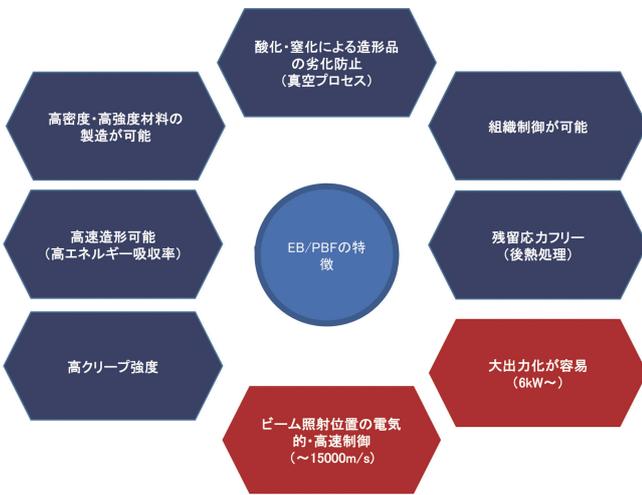


図5 電子ビーム積層造形の特徴

4. 電子ビーム金属3Dプリンタの特徴

前項で述べた電子ビーム加工の特徴が電子ビームによる積層造形にも引き継がれている。図5に示すように電子ビームの場合は精密な入熱制御が可能であることにより造形後の金属組織が細密なものに対してレーザーの場合は通常の铸造組織に近いとの報告がある¹⁾。また、造形プロセスの中に予熱、後熱のプロセスがあることにより残留応力を生じない(非常に少ない)などの特徴もある。装置面ではビームの電磁的な制御により非常に精密な高速制御、走査が可能であるだけでなく、大出力化が容易で高速造形が可能である。

一方、電子ビーム特有の課題としてスモーク現象(図6)がある。これは金属粉末の温度が低い状態で電子ビームを照射すると金属粉末が帯電し飛散することにより Powder Bed の形成が困難になる現象である。これは金属粉末表面の酸化膜の半導体的性質によるものである²⁾と報告されている。これを避けるために金属粉末の温度を上昇させるとともに仮焼結により接触面を確保することを目的とした粉末の予熱と後加熱のプロセスを各層毎に行っている。

5. 大型高速電子ビーム3Dプリンタの開発

5.1 開発の成果

当社は TRAFAM の装置開発メンバーの一員として大型高速電子ビーム3Dプリンタの開発を担当し研究用途を目的とした小型の「要素技術研究機」(以降小型機と呼称)と大型の「一次試作機」(以降大型機と呼称)の両方の装置開発を

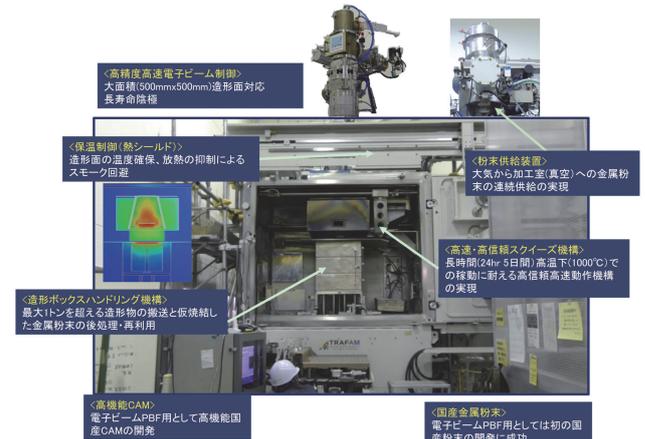


図7 大型機の内部構造と開発課題

行った。この小型機は後に述べる市販開始した国産初の電子ビーム金属3DプリンタEZ300の原型になるものである。また大型機は造形サイズ、造形速度ともに電子ビームPBF方式の3Dプリンタとしては本稿作成の現時点(2020年10月)において世界最大級、最速クラスである(当社調べ)。本プロジェクトでの開発成果を表1に示す。

5.2 開発の課題

国産で初めてしかも世界最大級の造形サイズを有する電子ビーム金属3Dプリンタの開発を行うためには数多くの課題があり、プロジェクト開始時から装置本体の開発に加えて国産の専用CAM、金属粉末などの開発を TRAFAM メンバー各社と取り組んできた。図7に大型機の内部構造と開発の課題との関連について示している。金属粉末供給機構は真空チャンバ内の高温環境下において粉末の定量供給安定動作を実現させるために簡素で信頼性の高い機構を開発し実証を行っている。造形面の温度確保は極めて重要な課題であり、保温を目的とする熱シールドに関してはシミュレーションにより種々形状を確認し最適化している。以下に他の主要な開

表1 開発成果

	要素技術研究機	一次試作機 (大型機)
状況	開発完了	試作評価完了 商用仕様検討中
造形ボックスサイズ(WxHxD) (ベースプレートサイズ) (mm)	300X300X380 (最大250X250)	550 × 550 × 650 ^{(*)1} (最大500X500) ^{(*)1}
造形速度(cc/h)	250 ^{(*)2}	367 ^{(*)2}
造形精度(μm)	+/-100 ^{(*)2}	+/-50 ^{(*)2}
ビーム出力(kW)	6	6 (最大9)

EZ300として商品化(2019/9/2)

*1 電子ビーム方式PBF/3Dプリンタとしては世界最大級サイズ(当社調べ)
*2 TRAFAM標準試験方法により測定

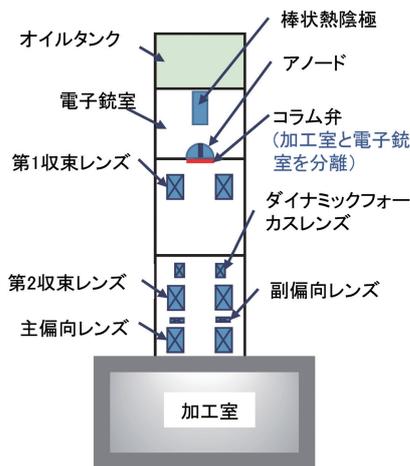


図8 電子銃構造

発項目について述べる。

5.3 高性能電子銃の開発

PBF タイプの 3D プリントの場合、造形面が大きくなった場合には造形面の各座標におけるエネルギー発生源からの入射角度の偏差が大きく造形面中心と端部において同じ形状の焦点像を確保することは極めて難しい。本開発においては詳細な電磁界解析シミュレーションを駆使し、照射範囲 500 mm×500 mm、最小ビーム径φ100 μm 以下、走査速度 15,000 m/s 以上の世界でも例のない高性能の電子銃を開発した。また、棒状熱陰極の採用により造形用途での陰極加熱寿命は 1,000 時間以上となっている。電子銃の構造を図 8 に示す。

5.4 3D データ制御装置の開発

前述の高性能電子銃の性能を発揮させるためには造形領域の各座標毎に電子ビームを数多くの電磁レンズを正確かつ高速に制御することにより照射しなければならない。また、造形面が大きいことにより 1 層あたりの制御データ量は膨大なものになる。今回の開発では図 9 に示す専用の 3D データ制御装置を開発し、電子ビームを制御している。

5.5 専用 CAM の開発

電子ビーム PBF 方式 3D プリントの場合はプロセスがレーザー PBF/3D プリントの場合とは異なることもあり開発開始時点では Build Processor (CAD データを加工装置側が造形を行える形式のデータに変換するソフトウェア：図 10) は存在しなかった。このため、本プロジェクトでは TRAFAM メンバーであるシーメット(株)が国産電子ビーム PBF 3D プリント用としては初の専用 CAM (CAM 3 S) を開発した。この CAM は従来の Build Processor が保有していないサポートの付与 (従来は Preparation と呼ばれている機能で実現) などの機能も含む高性能なものである。本 CAM については国内企業の提供によることもあり顧客の要望により電子ビームに特徴的な機能の追加を含む改善を随時行っていく予定である。

5.6 造形物交換・後処理技術開発

大型機の場合、造形物の重量は最大 1 トン近くになることもあり使用される粉末も大量である。このため造形物の交換・搬送や金属粉末の後処理に必要な要素技術の開発を行った。概要を図 11 に示す。使用する金属粉末により大気中での後処理が難しい場合にも対応できるようにブラスト装置は低酸素雰囲気中で作動可能な装置となっている。

5.7 産業用部品への適用評価

TRAFAM ユーザーメンバーの協力を得て実際の産業用部品への適用評価を行っている。大型機として想定される火力発電用機器、ガスタービン、航空機宇宙部品及び産業用部品への適用実証を行っている (表 2)。今後金属粉末を含む運

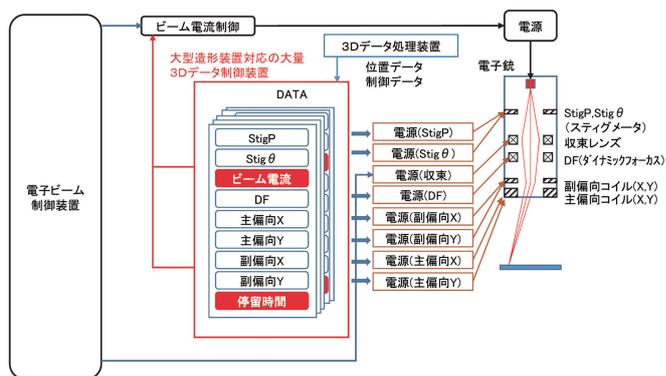
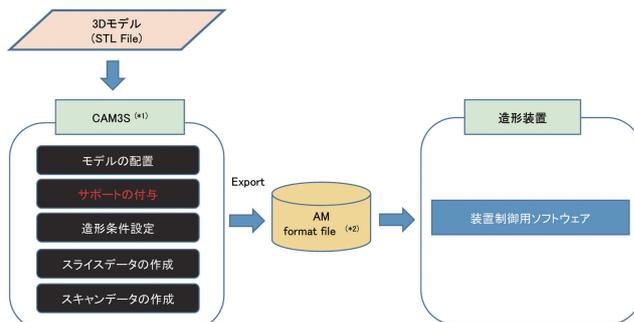


図9 大型装置対応の 3D データによる高精度制御



*1 CAM3S: TRAFAM (GMET (株)) で開発された CAM. Preparation の機能と Build Processor の機能を併せ持つ
*2 AM Format File: TRAFAM で開発された EB 用データフォーマット

図10 高性能国産 3D プリント用 CAM の開発

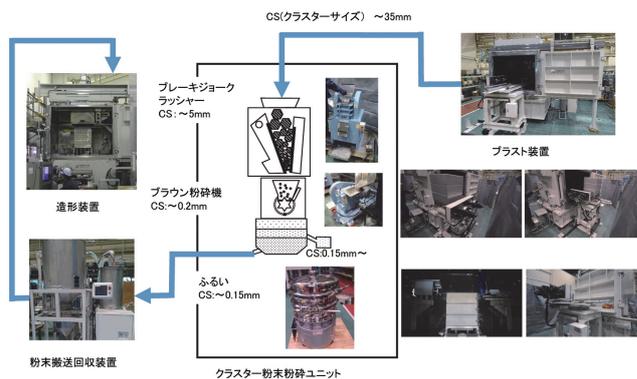


図11 造形物交換・後処理要素技術開発

用コスト低減の課題もあり引き続き開発を継続していく予定である。実造形の状況の一例を写真 7 に示す。特徴的なのはほとんどヒスパッタを発生させていないことである。

6. 三菱電機電子ビーム金属 3D プリントの紹介

TRAFAM での開発成果をもとに 2019 年から販売開始した三菱電機電子ビーム金属 3D プリントについて紹介を行う。その外観を図 12 に、主たる仕様を表 3 に示す。デザインに関しては 2020 年度グッドデザイン賞を受賞している。本機は小型ながら出力は電子ビーム金属 3D プリントとしては世界最大クラスの 6 kW を確保しており業界最高レベルの造形速度 250 cc/h (当社標準試験方法による) や長時間の安定造形を可能とする棒状熱陰極の採用で陰極加熱寿命 1,000 時間を実現している。加えてハードウェアに関しては既存の電子ビーム加工機との共通化も行い他の加工機と同様

表 2 大型機により造形評価を行った部品

モデル名	4連翼モデル	静翼機縦形状	ステータ	タービンロータ
材質	高Cr鋼	インコネル718	Ti6Al4V	TiAl合金
寸法	最大330mm	最大220mm	φ265xH99	φ100

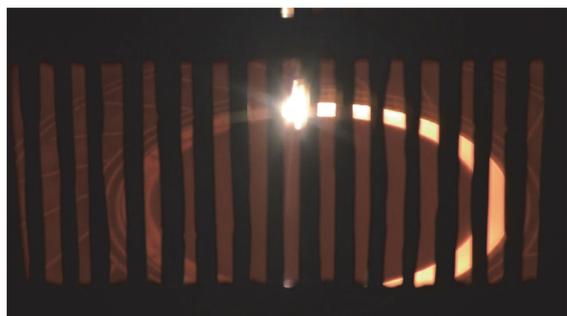


写真7 造形状況の一例 (ステータ)



写真8 EZ 300 による造形サンプルの一例



図12 三菱電機電子ビーム金属3Dプリンタ (EZ 300) 外観

表3 三菱電機電子ビーム金属3Dプリンタ (EZ 300) 仕様

製品型式	造形ボックスサイズ(WxDxH) (ベースプレートサイズ)	電子ビーム 出力(kW)	発売開始時期
EZ300	300mm x 300mm x 380mm (最大250mmx250mm)	6	2019年9月2日 (三菱電機8月22日発表)

に全て迅速な国内保守が可能である。また、ユーザによる条件設定の自由度が高い設計となっている。

現在供給可能なレシピは Ti-6 Al-4 V 用であるが今後顧客ニーズの高い他の金属粉末対応も行う予定である。造形サンプルの一例を写真8に、高速偏向による造形状況を写真9に示す。三菱電機としては電子ビーム3Dプリンタを単体の生産設備としてだけでなくスマート工場を実現する e-F@ctory の中の一つのソリューションと考えて開発を進めている。これにより三菱電機が培ってきたFAの技術力とFAとITをつなぐ連携技術を最大限に活用してものづくり全体を最適化していくことを目指している (図13)。

7. おわりに

電子ビームによる積層造形は付加製造 (AM) の中では特徴のある分野であるが、用途開発は未だ途上であり、現状は先進的な一部の用途に限定されている状況である。当社は電子ビーム加工機での豊富な経験をもとに今後開発を継続し、使いやすい装置の開発により一般産業分野での普及に微力ながら力を尽くしていきたい。

また、この場を借りて本開発および事業化にあたり多大な



写真9 高速偏向による造形例 (EZ 300)



図13 スマート工場を実現する e-F@ctory

ご支援をいただいた NEDO, TRAFAM 関係者に深く感謝して結言としたい。

参考文献

- 1) 千葉：計測と制御, 第54巻 第6号 2015年6月号
- 2) 千葉：まてりあ, 第57巻 第4号 (2018)

□ 特集2 AM技術を用いた工作機械・装置の産業展開 □

三菱重工工作機械株式会社
二井谷 春彦

1. はじめに

Additive Manufacturing (AM) は、設計を変える革新的な製造技術として注目されている。AMにより除去加工や成型加工では困難な形状の実現による軽量化や部品の一体化、デザイン性の向上、また異種材料の複層造形によりもたらされる部品の高機能化などが可能になる。AMの中でも金属3Dプリンタは製造コストや材料品質がさほど問題とならない開発試作や治具類の製作に使用され始め、近い将来量産への適用も期待されている。しかし金属3Dプリンタは小さな鋳物工場と言われるように従来の製造ノウハウが適用できない新しい金属材料製造プロセスである。鋳造、鍛造など既存の材料製造プロセスを前提とした品質システムで成立している現状のサプライチェーンに金属3Dプリンタで造形した部品を適用するためには、品質システム全体の見直しが必要になる。当社は装置メーカーの立場で金属3Dプリンタを量産に適用するために造形安定化システムの開発に注力してきた。造形品質のトレーサビリティ確保と品質安定化につながるシステムを開発、金属3Dプリンタ LAMDA (ラムダ) に組み込み販売を開始した。本稿では、当社のパウダDED方式金属3Dプリンタ LAMDA の造形安定化技術を紹介する。

2. 金属積層造形の種類

金属粉末を用いた3次元積層造形には主としてパウダベッド方式 (Powder Bed Fusion (略称 PBF)), デポジション方式 (Directed Energy Deposition (略称 DED)), バインダージェット方式 (Binder Jetting (略称 BJT)) がある。LAMDA システムが使用するパウダDED方式 (以下 DED) は積層ヘッドの位置制御を行いながら、金属粉末を局所的に供給してレーザーにより基材とともに溶融・凝固させることで、任意の位置に肉盛溶接して3次元形状を造形していく方法である (図1)。DEDはその積層原理から次の特徴を持っている。

- ① 造形速度が早い。
- ② 造形サイズの制約がなく、大型部品の造形が可能。
- ③ 既存部品に形状を付加することが可能。
- ④ 造形途中に供給する金属粉末の種類を切り換えることで、異種金属を複層造形することができる。

これらの特徴から、既存部品の補修や形状付加による部品強度の向上、表面コーティングによる機能向上、複雑形状で高機能な大型部品の造形への適用が期待されている。

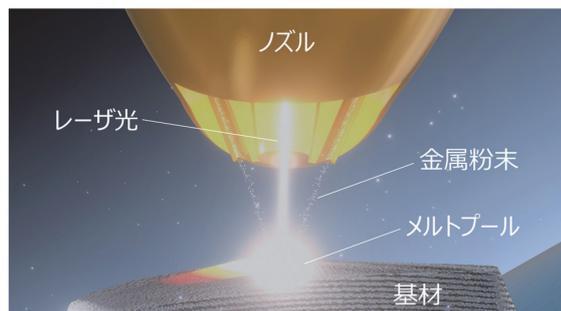


図1 DEDの原理

3. LAMDAの積層技術

DEDでは金属粉末とレーザー光の正確な供給と照射、金属の溶融・凝固プロセスのコントロールが、高精度・高品質な金属積層造形の実現に不可欠となる。当社はDEDの造形精度と品質をコントロールする積層ヘッド (レーザー光学系と粉末供給ノズル) を自社開発している。図2に積層ヘッドの構成を示す。レーザー光は積層ヘッドを通してノズル中心から照射され、正確に基材上に集光される。金属粉末はレーザー光の焦点位置で収束するように、ノズルを通じてレーザー光の周辺から供給される。また、レーザー光と同軸上にカメラを設置することにより、造形方向によらず金属の溶融・凝固部の真上からの観察が可能となっている。

3.1 ローカルシールド

造形中に金属粉末が溶融・凝固する過程で大気中の酸素と結合 (酸化) することにより、機械特性が劣化してしまう場合がある。これを防止するために溶融部への大気流入を抑制するローカルシールドノズルを開発している。図3に本ノズルのシールドガス噴射シミュレーション結果の一例を示す。ガス噴射によるノズル端部から基材上面までのシールド効果により、大気流入を抑制している。本ノズルを用い大気環境中でTi-6Al-4V試験片を造形した結果、従来の鍛造品と同等の疲労強度を達成した。

3.2 モニタリングフィードバック

DED方式では金属粉末の種類や供給量、造形物の形状、造形中の放熱による基材の冷却の程度などにより、レーザー出

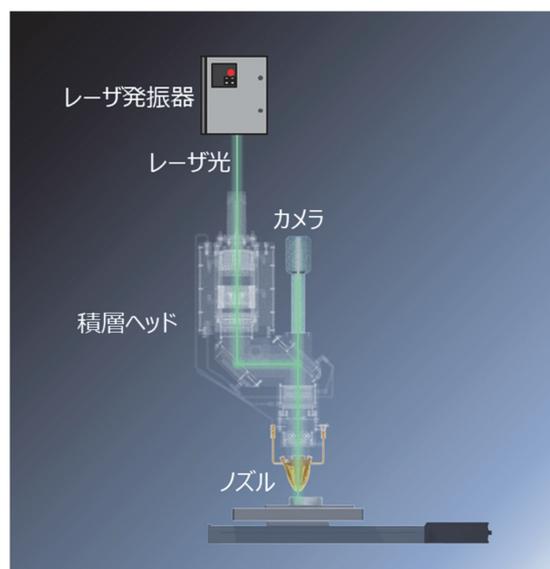


図2 積層ヘッドの構成

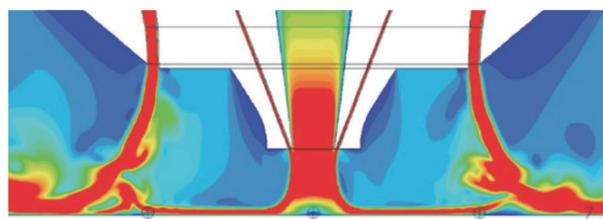


図3 シールドガスの噴射シミュレーション

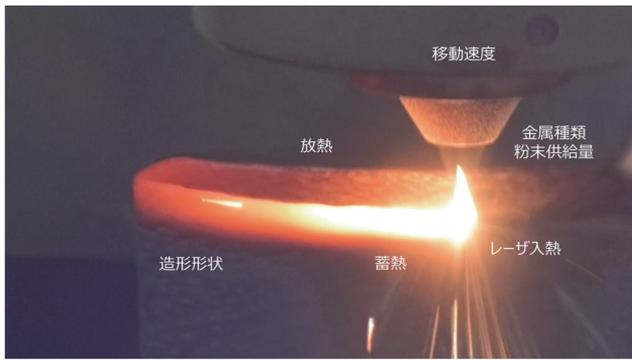


図4 DED 積層造形の外乱要素

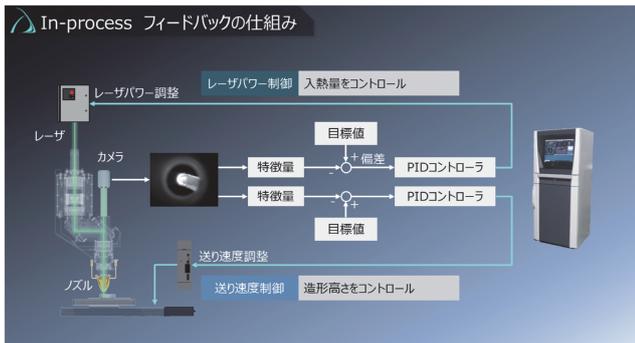


図5 モニタリングフィードバックの仕組み

力が一定でも金属が溶融する程度が変化する (図4)。従ってDED方式での高精度造形には、溶融・凝固の適切なコントロールが装置に求められる。LAMDAはこの課題を解決するためにモニタリングフィードバック機能を有している。フィードバック機能の仕組みを図5に示す。レーザー光と同軸上にカメラを設け、造形中にメルトプール(溶融池)を真上から観察できるようにしている。撮影したメルトプール

画像から当社独自の画像処理アルゴリズムを用いて特徴量を造形中にリアルタイムに算出し、レーザーパワー制御と送り速度制御により入熱量と造形高さをコントロールする。

3.3 AI 異常検知

DEDで長時間造形を行った場合、シールドガス切れや条件不良に起因するスパッタの過剰な発生、ノズルへの異物付着、金属ヒュームによるノズル内保護ガラスの汚れ、スパッタの過剰な発生による造形部周辺やノズルへの付着は、造形品質の悪化やノズルの損傷を引き起こす場合がある。量産に適用するためには、これらを造形中に検知し、安全に装置を停止させる仕組みが必要と考え、AIによる異常検知と異常種類の識別を可能にする仕組みをLAMDAのモニタリング機能に搭載した。(図6)

4. DED方式金属3Dプリンタ LAMDA 2000

LAMDAシステムを搭載した2mクラスの大型部品を造形可能なLAMDA 2000を開発、当社のラインナップに追加した。(図7) 自社内にプロトタイプ機を完成させて顧客の受託造形試作を開始している。

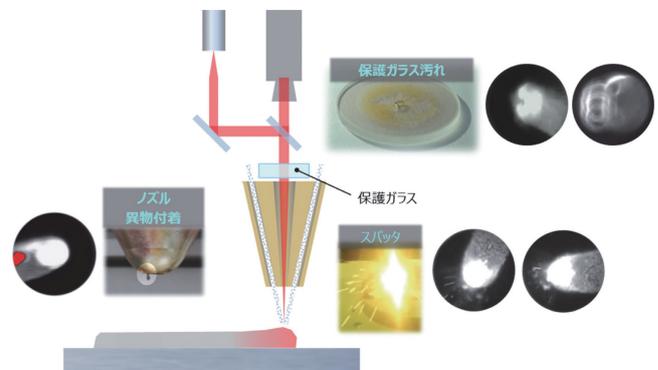


図6 長時間造形の過程で発生する異常



	LAMDA 200	LAMDA 500	LAMDA 2000	
最大造形サイズ [mm]	200 x 200 x 200	500 x 500 x 500	2,000 x 1,500 x 1,600	2,500 x 900 x 1,000
レーザー出力 [kW]	1, 2, 4, 6			
粉末供給ポット数	1 (オプションで最大2ポットまで対応)			
不活性ガスシールド	対応可能			
主軸仕様	対応可能			N/A
NC軸テーブル	1軸・2軸テーブル対応可能			
治具冷却	対応可能			
機械サイズ(設置スペース) [mm]	4,000 x 2,600	4,100 x 5,000	12,000 x 6,500	7,000 x 5,500
機械質量 [kg]	2,500	7,500	44,000	12,000
金属材料	チタン合金、インコネル、ステンレス、マルエージング鋼、コバルトクロム合金、インバー			

図7 LAMDA シリーズ

今後も LAMDA システムを活用し様々な産業分野に向けたアプリケーション開発と造形性能の向上に取り組んでいく。

本研究開発は、経済産業省の委託事業“三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム（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開発）”，及び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）の助成事業の成果を活用している。

□ 特集 3 積層造形装置を用いる国内サービスビューロの動向 □

金属技研株式会社
増尾 大慈

1. はじめに

2012年にオバマ元米国大統領が一般教書演説で言及したことを契機に産業界で注目されるようになった金属積層造形技術は、日本でも2014年に技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構（TRAFAM）が設立される等、各国で研究開発が進んでいる。当時は金属積層造形に対する過熱的な期待度の高まりにより「なんでも早く、安く作れる“魔法の箱”」という誤った認識が広がったが、現在はブームも落ち着き、現実的な製造プロセスとして活用がされ始めている。本稿では、積層造形技術・装置を用いるサービスビューロの現状と今後の動向について紹介する。

2. 金属積層造形装置を用いるサービスビューロの歴史

積層造形技術は今でこそ『3Dプリンター』や『Additive Manufacturing: AM』と呼ばれて広く認知されているが、その歴史は意外と古く1980年代まで遡る。当時は『光造形: Stereo lithography』と呼ばれ、紫外線硬化樹脂をレーザー光で3次元に硬化させる方法であった。その技術を発展させ、金属積層造形装置が誕生するのは2000年始めの頃、第二次ブームとして『Rapid Prototyping: RP』や『Rapid Manufacturing: RM』として注目された時期である。当時の積層造形装置は、レーザー出力の低さ故に直接金属を溶融させることが出来ず、金属粉末に樹脂をコーティングした原料粉末を用い、表面の樹脂を溶融・接着させることで3次元形状を形成する技術であった。そのため、高密度の造形品とはならず、造形品内部の空間にブロンズを含浸して高密度化を図る必要があった。この当時からサービスビューロは弊社を含め数社あり、樹脂成型用試作金型や金型レスの試作用部品として造形対応を行っていたが、大きな市場へ成長するには至らなかった。

その後、照射熱源の技術革新に合わせて積層造形技術は著しく向上し、品質要求が高い航空・宇宙業界分野にも活用が期待されるレベルに到達する。それにより産業界の関心が急速に高まり、現在の積層造形技術の第三次ブームが到来することとなる。第三次ブームの初めである2012年は、金属造形装置を使用したサービスビューロの数は国内で2~3社と少ない状況であったが、その後、ブームに後押しされる形でその数は増え、現在は大小合わせて20社以上にまで拡大している。

3. 国内サービスビューロの動向について

2013年から数年間、造形技術やサービスビューロに対する評価はブームに反して決して高くはなく、依頼する顧客、サービスビューロ共にまさに黎明期であった。要因は高くな

りすぎてしまった「顧客の期待」に対して「品質」と「コスト」のバランスが悪かったことに起因する。サービスビューロとして受託生産するメーカーは、機械加工を主事業とし「造形品+仕上げ加工」をセットとして提供するメーカーや、鋳造を主事業とし「鋳造型不要で成形する」手法として提供するメーカー、熱処理を主事業とし「造形品+後熱処理」をセットとして提供するメーカー、材料販売を主事業とし、「素材製造工法の一つ」として、造形品を提供するメーカー等、過去のモノづくりにおいては業体区分として分かれていた様々な業界から『積層造形』という一つの同じ土俵の上で部品提供を行う事となった。当然、積層造形設備が同じであっても、各社品質に関する考えの相違があるので、あるメーカーでは高品質の造形品が出来るが他メーカーでは品質が安定しない等、サービスビューロ間で品質に偏りが生じることとなった。

また各社が管理する品質レベルと相関してコスト面でも大きく差が出たことにより、顧客を更に混乱させることとなった。サービスビューロが急増した時期に顧客から金属積層造形についての相談を受けた際、他社で試作した結果「高すぎる」や「品質が悪い」というコメントが多く、結果として「実運用には早すぎる技術」という認識をしている顧客もあった。同じ時期、いままで企業間B to Bの取引が主体であった金属造形業界において、B to Cの個人向け造形サービスを行うサービスビューロも登場した。個人向けを想定しているので当然コストは低く、短納期で納品されることを特徴としていたため、スタートアップとして造形技術を試してみたいという多くの顧客が依頼をしたと推察する。実際に出来上がる造形品を見ると、外観上大きく違いが出るかというところではない。ただ時折、強度が低い部品があったり、内部欠陥が多かったりと量産時を意識した時の素材としてのトラブルが多いように見受けられた。実際、多くのサービスビューロで造形品質を保証しているメーカーは少ない。形状だけであれば寸法測定さえすれば合否判定が出来、必要があれば機械加工で修正することが出来るので形状を保証することは出来ても、『素材』という観点で保証することが出来ないからであろう。積層造形の品質を定義することは非常に難しい。なぜならば、図に示すように造形品質が複数の要素が絡み合っており、最終製品の品質に影響を与えており、各項目を管理しようとすればそれに比例してコストが上がる傾向にあるからである。これら黎明期の経験で顧客、サービスビューロともに「造形装置≠魔法の箱」と強く痛感したのではないだろうか。

現在、国内のサービスビューロを品質の面から分類すると2つのグループに分かれつつある。1つ目のグループは既存工法と比較してコストは高いが、高い品質で部品製作し量産部品受託が可能なメーカー、2つ目のグループは、品質面よ

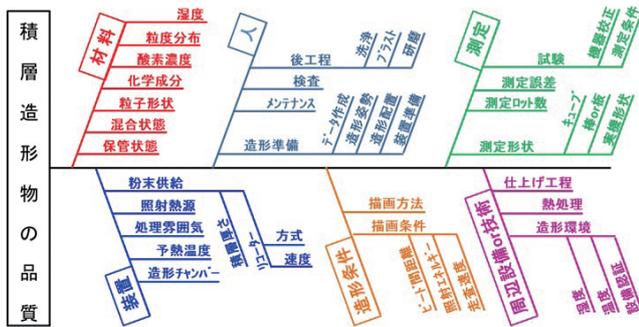


図 積層造形品質に影響を与える項目

り低コストを特徴とし、個人向けや試作を短納期で対応可能なメーカーである。この流れは、国内顧客の要望ともいえる。現に量産を希望する顧客は、長期安定生産を必要とするため、多少金額が増えたとしても品質管理を要望し、試作を希望する顧客は、ある程度の品質が確保されることを前提に低コストかつ短納期を要望する。場合によっては、品質は不問で徹底的に低コストを望む場合もあるだろう。当然、顧客とサービスビューロのミスマッチが生じると、両社メリットが得られぬまま一向に良い方向には進まない。顧客とサービスビューロはそれぞれで自社が望むグループはどちらかを明確にしてからパートナー選びを実施する必要があるといえるだろう。

4. サービスビューロの今後

サービスビューロの動向は、造形技術の開発動向に大きく影響を受ける。現在サービスビューロの多くが所有している装置群は『粉末床溶融結合 Powder Bed Fusion : PBF』である。本タイプの積層造形装置は、高密度で高い造形品質が得られる反面、装置価格が1~2億円と高額であり、原料粉

末も高く一度に造形できる処理数量にも限りがあるため、どうしても部品単価が上がる傾向にある。各装置メーカーは上記課題を解決するため、複数レーザーを搭載し同時にビーム照射をすることで造形速度を上げる、高出力レーザーを搭載し一度に造形する積層厚さを増やすことで造形速度を上げる、装置サイズを大きくして一度に処理できる数量を増やす等、日々技術開発に励んでいる。その開発速度は非常に速い。従来の装置性能と比較して顕著に高い性能を持つ装置が販売された場合、その装置を導入したサービスビューロが品質、価格面で優位になることは明らかであり、業界のマップが大きく書き換わることとなる。

また、新しい造形方式の登場も大きくサービスビューロの動向に影響を与える。現に、既存の『金属粉末射出成形：Metal Injection Molding : MIM』の技術を応用した、『熱溶解積層法：Fused Deposition Modeling』や、『バインダージェット方式』が開発、装置販売がされている。両方式ともにPBF方式と比較して造形後の密度は低いが、前者は設備価格が数百万円台と安く、設備サイズも小さいため導入しやすいのが特徴で、後者は、造形速度の速さと大量生産を達成できるのが特徴である。上記特徴から、PBF方式と比較して部品単価が1桁ないし2桁下がる傾向があり、PDF方式では対応しづらかった大量生産も可能となるため、本装置を導入し受託生産するサービスビューロが増え始めている。PBF方式とは異なる選択肢が増えたことで、国内の造形市場が広がれば良いが、そうならない場合は小さい市場を多数のサービスビューロが取り合う事となりかねない。今後、顧客とサービスビューロのミスマッチが解消され、装置性能の向上や新しい方式の積層造形装置が市場投入されることで造形品質とコストのバランスが顧客要望通りになれば国内市場は急速に広がり、ますますサービスビューロの役割は高まると期待する。

□ 特集4 WAAM方式の金属AM技術 □

東京農工大学
笹原 弘之

はじめに

周知のように、アディティブ・マニュファクチャリング (AM) の手法は多岐にわたっており、使用可能な材料、精度、能率、コストなどが異なるため、適所適材の利用が必要となる。本稿では、指向性エネルギー堆積に分類される手法の一つとして、供給したワイヤーをアークにより溶融・固化積層するワイヤー・アーク方式のアディティブ・マニュファクチャリング (WAAM) の特徴と造形事例について紹介する。

指向性エネルギー堆積の原理は、基本的には肉盛 (cladding) プロセスと同様であり、金属をワイヤもしくは粉末として供給し、それをレーザー、電子ビームまたはアーク放電により溶融し、いわゆるビードとして固化・堆積することにより造形を行うものである。レーザーや電子ビームを利用する場合、システムコストが増大する。また、金属粉末を用いる場合、その材料コストが高いことも否めない。それらに対し、ワイヤ素材をアーク放電による溶接技術で溶融・固化・積層する技術は、熱源装置がレーザーや電子ビームによるより単

純かつ低廉である。

一般的に、ワイヤ素材をアーク放電により溶融・固化・積層する技術では、粉末床溶融結合に比べて造形後の表面あらさが大きいので、切削や研削などによる仕上げ加工が必要である。一方で、粉末床溶融結合に比べて造形の能率は高い。また、一般的に普及しているアーク溶接が可能な多種の金属

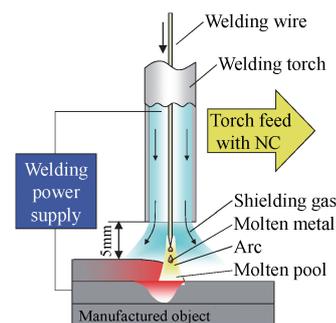


図1 WAAMの概略

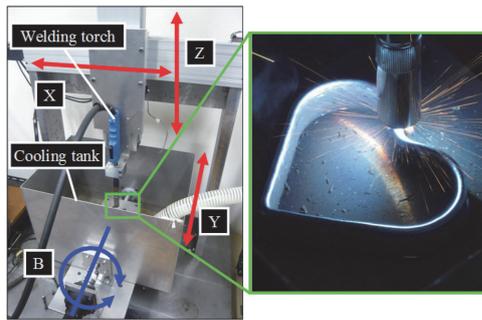


図2 造形装置と造形中の様子

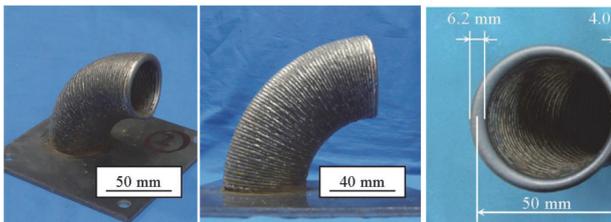


図3 テーブル傾斜 (B 軸) を利用したエルボ管の造形



図4 マグネシウム合金を用いたプロペラ形状の造形

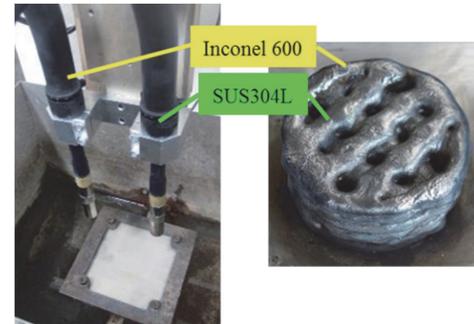


図5 Inconel 600 と SUS 304 L の異種金属造形

を用いることができる。それにより金属の造形物を迅速に製作する AM として期待される。特に、難加工材として知られる Ni 基耐熱合金などの適用も可能であるので、切削加工を最小化し材料の歩留まりを高めることも期待できる。

造形のプロセスと装置

図1にMIG (Metal Inert Gas)・MAG (Metal Active Gas) 溶接によるWAAMの概要を示す¹⁾。溶接トーチよりワイヤが供給され、トーチ内のコンタクトチップを介して溶接ワイヤと基板間に溶接電源からの電圧が付加される。溶接ワイヤは送給装置から連続的に供給され、造形物との間に発生するアーク熱とジュール発熱とによって熔融して熔融金属となる。熔融した金属は、下部の熔融池と呼ばれる液相金属部分に落下し、数秒後に凝固して積層体を形成する。熔融池では造形物と滴下するワイヤからの金属の両方が熔融した部分であり、一旦その両者が溶け合った後に凝固することになる。したがって、一般には付加される金属が単に上に乗っているわけではなく一体化している。溶接トーチ先端のノズルからはシールドガスが供給され、熔融金属とアーク発生部分を大気から遮蔽し酸化や窒化を防止する。シールドガスとしては、75~80%のアルゴンガスに20~25%の炭酸ガスを混合したガスや、アルゴン、ヘリウムといった不活性ガスが用いられる。

著者らの研究グループにおいて試験機として製作した造形装置を図2に示す¹⁾。XYZの直進軸に加えて、造形物を設置するテーブルを傾斜できる旋回軸 (B 軸) を有する。Z 軸まわりの旋回軸 (C 軸) を付加して5軸制御とし、自由度を高めることも可能である。Z 軸に溶接トーチを取り付け、造形物を積層する基板を固定するためのベースブロックをテーブル上に設置している。アーク放電により熔融させた金属をXY平面上で一層分積層し、Z軸を上昇させ次の層を積層することを繰り返すことにより三次元構造物を造形する。

積層が進むにつれて、アーク放電により発生した熱が造形物に蓄積し、その一部は基板、テーブルを通して直動転がり案内に伝わる。造形装置自体の過熱の防止と、いわゆる層間温度や熔融状態からの冷却速度をコントロールする目的でXYテーブル上に水冷タンクを設置し、造形物とベースブロックを冷却できる構造となっている。造形物の温度分布と温度履

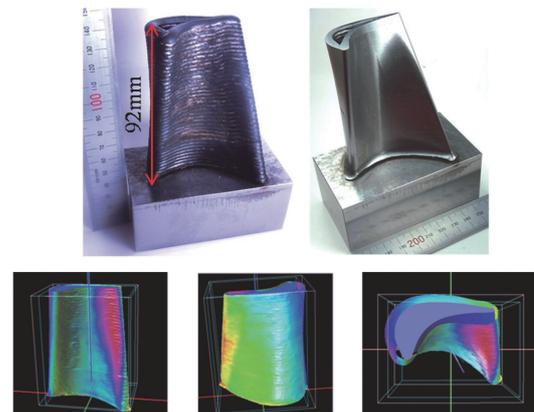


図6 WAAMによる造形後の切削領域最適化

歴は造形品質や金属組織の状態、残留応力状態に影響する。

現在、国内ではヤマザキマザックから5軸制御マシンングセンタにアーク溶接トーチを搭載し、造形と切削仕上げが可能な複合加工装置が上市されている。国外でもワイヤとアーク放電を用いる造形機が上市されている²⁾³⁾。

WAAMの特徴を活かした造形事例

1) 上記のようなWAAMの特徴を活かした造形例の一つとして、図3にエルボ管形状の造形を示す。造形の要点として、積層1層あたりの高さや幅がトーチ送り速度に依存して制御できる特性を利用している。トーチ送り速度が高いと単位移動距離あたりの溶融量が少ないため、積層ビードの1層ごとの高さが小となる。逆に送り速度が低いとビードの高さは大となる。従って、水平面でスライスデータを作成するのではなく、エルボ管の中心軸線に対して垂直にスライスデータを作成し、曲がり管の外側は送り速度を低くして層の高さを大とし、内側は送り速度を高くして層の高さを小さくすればよい。このように、造形物を傾斜させてオーバーハング形状を造形することや、1層の高さを敢えて可変としそれを制御しながら造形するといったフレキシビリティの高い造形が可能である。

2) マグネシウム合金はアルミニウム合金に比べて比強度が約2倍と軽量・高強度である。リサイクル性も高く、資源として地球上に豊富に存在する。機械加工も容易である。一方で、微細な粉末や切りくずは発火しやすいという欠点もある。したがって、粉末をレーザーで焼結することは容易ではない。しかしながら、WAAMでMg合金の造形が可能である。図4にAZ31をワイヤ化したもの(ジャパンファインスチール社製)を用いて、Mg合金製のハブに3枚の翼部分を積層し、さらに切削仕上げしたものを示す。内部は中空である。切削仕上げ後には十分な精度と表面あらさが得られている。近年難燃性マグネシウム合金の開発が進んだこともあり、用途の拡大が期待される。

3) 堆積させる金属材料を局部的に変更することにより、異なる複数種類の金属材料を使用した一体形状の造形も可能である。しかし、異種金属の組み合わせや接合条件によっては接合強度が低下するあるいは接合できないこともある。Ni基合金 Inconel 600 とステンレス鋼 SUS 304 L の溶着金属で引張試験片を作製し、境界部の接合強度を調査したところ、十分な接合強度を有していることがわかった⁴⁾。図5に2本のトーチを交互に用いて、外周部は耐食性の高いNi基合金を堆積させ、内部は比較的安価で耐食性もあるステンレス鋼を用いた一体造形物を示す。内部は格子状に造形されており、材料消費量を抑制して造形物重量を低減し、冷却気体や液体を通す事も可能な構造となっている。異種金属を組み合わせた造形は、使用する金属材料の組み合わせや構造によっては、従来の加工方法では実現が難しい高機能製品の造形が可能となる。

4) 切削加工との連携システム

AMによる造形物には熱変形や残留応力による変形が生じたり、溶融金属が偏在して固化するなどにより、想定した形状からずれて造形される場合がある。造形後の切削や研削

による仕上げ加工の際に、除去すべき表層は全て除去し、シェル構造の造形物の場合には肉厚を均一化することを可能とするための三次元形状測定と仕上げ加工時の位置調整法についても開発を進めている⁵⁾。図12はその例である。

WAAMでは、高強度の金属素材の造形が迅速にかつニアネットシェイプに行えることが利点であり、一品ものの強度部材の試作や金型素材造形に適していると考えている。用意する素材は造形のベース材料と溶接ワイヤだけであり、無駄なく造形に用いることができ歩留まりも高い。切削、塑性加工、あるいはAMで製作した部材の上にさらに付加造形することも可能である。また、切削加工などの除去加工のみでは加工不可能な形状も容易に造形できる。専用の造形用NCデータを自動作成するシステムの開発や、切削仕上げとの複合化などが今後の課題である。

文献

- 1) 笹原弘之, 松丸哲史, 上岡利人, 他2名, 溶融金属積層による傾斜壁の造形, 日本機械学会誌論文集(C編), 75, 757(2009)2435-2439.
- 2) <https://www.gefertec.de/start/>
- 3) <http://prodways-raf.com>
- 4) T. Abe and H. Sasahara, Dissimilar metal deposition with stainless steel and nickel based alloy by wire and arc based additive manufacturing, Precision Engineering 45(2016)pp.387-395.
- 5) H. Nagamatsu, H. Sasahara, T. Hamamoto, Y. Mitsu-take, Development of a cooperative system for wire and arc additive manufacturing and machining, Additive Manufacturing 31(2020), 100896.

□ 特集5 コールドスプレーによるアディティブ・マニュファクチャリングの現状 □

国立大学法人信州大学学術研究院(工学系)
榊 和彦

1. はじめに

レーザーや電子ビームによる金属のアディティブ・マニュファクチャリング(以下, AM)が国内においても普及しはじめています。一方で、厚膜創生技術である溶射技術の一つであるコールドスプレー(Cold Spray 以下, CS)を用いたAMも、関係者以外にはあまり知られていないが実用化が進んでいる。その取り組みの成果が、昨年5月に横浜で行われた国際溶射会議ITSC2019などでもセッションとして取り上げられ、Cold Spray Additive Manufacturing (CSAM)⁽¹⁾として認知されている。本報では、CSAMについて紹介する⁽²⁾。

2. コールドスプレーによるAM

まず、CSについて簡単に紹介する。CSは材料粒子の融点よりも低い高々1000℃程度の作動ガスを先細末広形ノズルで超音速流にして、その流れの中に粒子を投入して加速加熱して、基材に高速で衝突させて成膜する。他の溶射法と異なり材料粒子を溶かさないため、皮膜は酸化などの熱変質が抑制され、圧縮性の残留応力を帯びているため、10mm以

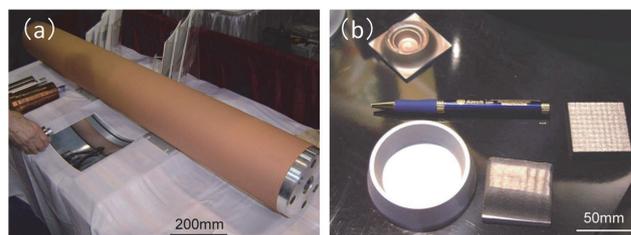


図1 国際溶射会議 ITSC 2003 (米国・オーランド) の展示会でコールドスプレーによる造形体の出展の一部: (a) アルミニウムの基材上への直径約200mm, 長さ約2mの銅の皮膜(米国・ASB Industries, Inc.), (b) 各種の造形体(米国・Ktech Corporation)



図2 コールドスプレーを利用した部材直接造形技術⁽³⁾

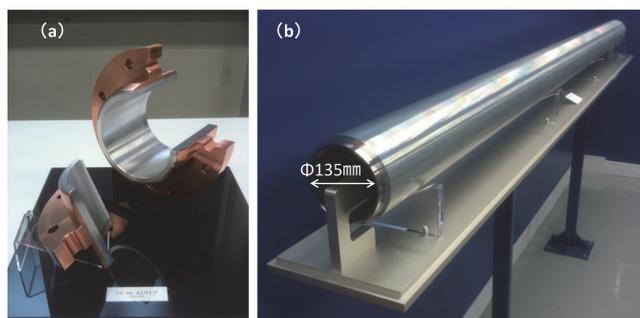


図3 実用化されたCS法による造形体の例：(a) ϕ 100 mm アルミニウムパイプ（肉厚 10 mm）上に、5 mm の純銅皮膜を成形後に約 50 mm の純銅フランジ部を成膜後、機械加工仕上げした導電部材、(b) ϕ 135 mm \times 3 m の SUS パイプ上に、10 mm の ZnAl 皮膜を成形した円筒ターゲット（プラズマ技研工業（株）提供）

上の厚膜が容易に作製できる。よって、CS の研究者の一部は、研究開発の始まった当初からその成膜速度の高さからも、金属造形技術に使用しようとしていた。2002 年の ASM 主催のワークショップ Cold Spray 2002 において、Pratt & Whitney Space Propulsion 社の Jeffrey D. Haynes は、“Potential Cold Spray Applications for Aerospace Industry, Cold Spray Technology” と題して、ジェットエンジンやロケットエンジンノズルの部材製造への適用を検討中であることが報告された。また、図 1 に示すように 2003 年の国際溶射会議 ITSC 2003（米国・オランダ）の展示会にも CS による造形体が出展されていた。国内でも、産学共同で行われ筆者も加わった（財）機械システム振興協会の平成 16 年度に調査研究で、図 2 に示す造形体の検討例が掲載されている⁽³⁾。その後、図 3 に示すようにプラズマ技研工業（株）が CS による造形体を実用化している。

国際溶射会議 ITSC 2018（米国・オランダ）では、航空宇宙関連国際会議の AeroMat との共催もあって AM が一番ホットな話題となっており、初日の最初のセッションが『Additive Manufacturing and Cold Spray Processing』であった⁽⁴⁾。展示会場でも、CS を出展するブースでは CS による AM の部材が多数展示されていた（図 4）。また、PLENARY 講演で、Dr. JAMES RUUD（GE Global Research Principal Scientist）の発表の中にも、CS による航空機エンジンの補修とともに、CSAM が報告されていた。

CSによる金属造形の長所と短所は以下になると思う。

<長所>

- (1) 大気中での造形で、寸法の制約が少ない
- (2) 高い粉末供給量と付着率で、造形速度が高い
- (3) 2 種以上の金属材料の造形も比較的容易

<短所>

- (a) 造形パターンが大きい（およそノズルの内径で直径約 5~8 mm 程度）
- (b) 圧縮性の残留応力が大きい



図4 国際溶射会議 ITSC 2018 での Impact Innovations GmbH の CS による造形体の出展の一部：(a) と (b) ロケットモーターのノズル（内面の銅：成膜速度率 10 kg/h, 付着率 99% 以上, 外周面のニッケル：10 kg/h, 97% 以上, 造形総質量 41 kg（加工後の質量：36 kg）, 造形時間 4 時間 10 分）と銅の井形の造形体（6 kg/h, 90% 以上, 造形質量 5 kg, 1 時間）、(c) チタン製の円形造形体（3 kg/h, 97% 以上, 7 kg（加工後の質量：5.5 kg）, 2 時間 25 分）。これらの造形状況は動画で閲覧できる⁽⁵⁾

- (c) 粒子間の結合力が CS の作動ガス条件や施工条件に依存する（必要に応じて熱処理が必要）
- (d) 造形用のガンとロボットなどの制御用ソフトの開発がこれから

レーザや電子ビームほどビーム幅を絞れないので小型の部材には限度があるが、大型の部材を作製するには CS が適しており、図 1, 3, 4 にも示したように特に、円形部材の造形には強い。例えば、オーストラリアの Titomic 社は、自転車のフレーム、直径 1.8 m を超えるドローンの機体や航空機部品を自社開発の 9 \times 6 \times 1.5 m の大型の CSAM 装置で製作している⁽⁶⁾。一方、図 4 (b) のような I 型、井型や L 形などの形状は、まだまだ開発の余地が残されているように思う。また、CS 特有の残留応力や CS 条件による粒子間結合力の差異などの問題点はあるものの、AM としてのポテンシャルは十分有しており、さらなる技術開発に期待したいし、筆者も取り組みは始めている。

3. おわりに

溶射技術の一つである CS による AM について紹介した。細かな部品が不適であるが、大型の部品は適しており、比較的付加価値の高い航空宇宙用の部材には、海外で適用検討が進んでいる。国内においても一部で実用化されており、今後が期待される。

参考文献

- (1) 例えば、Progress in Materials Science, 110(2020) 100633 (doi:10.1016/j.pmatsci.2019.100633)
- (2) 榊和彦, 溶射技術, 38, 3(2019)22-24.
- (3) システム技術開発調査研究 16-R-17 高速粒子衝突を利用した革新部材創製に関する調査研究報告書-要旨-, 機械システム振興協会, (2005).
- (4) 例えば, 榊和彦, 溶射技術, 38, 1(2018)79-82.
- (5) Impact Innovations GmbH の CSAM の動画 Cold Spray Additive Manufacturing-Part 2: https://www.youtube.com/watch?v=DnVny_pioJ8 (参照日 2020 年 10 月 18 日)
- (6) Titomic Limited の CSAM の動画 Titomic's Past, Present & Future-<https://www.youtube.com/watch?v=fpFhjuSV2is> (参照日 2020 年 10 月 18 日)

機械材料・材料加工部門「部門賞・一般表彰」公募のお知らせ

第3技術委員会(表彰担当)
委員長 小林 秀敏(大阪大学)

機械材料・材料加工部門では、第98期部門賞および部門一般表彰候補を下記の要領で公募します。自薦他薦を問わず奮ってご応募下さい。

*公募締切:2020年11月27日(金)厳守

*推薦書類:部門賞の推薦には、部門ホームページ(<https://jsmempd.com/award/awardnotification>)より申請用紙をダウンロードし、ご記入後下記へお送り下さい。

また、一般表彰の推薦には、件名を「部門一般表彰推薦」としたメールに、(1)賞の種別(優秀講演論文、奨励講演論文、新技術開発)、(2)M&Pでの講演番号と登壇者、(3)講演表題を記入して、下記にお送り下さい。

*被推薦者資格:各賞とも日本機械学会会員であることが受賞資格となります。

*推薦書提出先:日本機械学会機械材料・材料加工部門(担当者 市原涼平)
下記宛に郵送ならびに電子メール(PDF)にてご提出ください。
〒160-016 東京都新宿区信濃町35信濃町煉瓦館5階
電話 03-5360-3506, E-mail: ichihara@jsme.or.jp

推薦された候補者は第3技術委員会で審査され、部門運営委員会で受賞者を決定します。結果は今年度中に本人に連絡し、次期(2021年度)のニュースレターに掲載するとともに、受賞者を2021年度年次大会開催時に表彰する予定です。なお、本件に関するご質問・お問合せ等は、第3技術委員会委員長(小林秀敏, E-mail: hkoba@me.es.osaka-u.ac.jp)までお願いします。

各賞の概要

- (1) 功績賞:機械材料・材料加工分野に関する学術、教育、出版、内外の交流など諸般の活動において、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。
(2) 業績賞:機械材料・材料加工分野に関する研究または技術開発において、顕著な業績のあった者に授与する。

- (3) 国際賞:機械材料・材料加工分野における学術、教育、出版などに関する国際的な活動を通し、本部門の発展と進歩に積極的な貢献または顕著な業績のあった者に授与する。
(4) 部門一般表彰(優秀講演論文部門):2020年度に開催された機械材料・材料加工技術講演会において発表された機械材料・材料加工分野の講演論文中、学術・技術の進歩発展に寄与したと認められる論文の著者を対象とする。
(5) 部門一般表彰(奨励講演論文部門):2020年度に開催された機械材料・材料加工技術講演会において発表された機械材料・材料加工分野の講演論文中、将来当分野の学術・技術の進歩発展に寄与すると期待される若手講演登壇者(2021年4月1日現在において32歳以下の者)を対象とする。
(6) 部門一般表彰(新技術開発部門):機械材料・材料加工分野において本部門企画、担当、主催または共催の集会、出版物等において発表された新技術、新製品の開発者中、工業技術の進歩発展に特に貢献した者を対象とする。

2020年次大会報告

第1技術委員会委員長
野老山 貴行(名古屋大学)

2020年度の年次大会は2020年9月13日(日)~9月16日(水)の4日間名古屋大学東山キャンパス(名古屋市千種区不老町)を中心として、Webによるオンライン開催にて行われました。

コロナ禍による開催で、オンライン(Zoom及びYouTube配信)での学会開催となりましたが、講演者への質疑は従来の発表と遜色なく行われているように感じられました。このような難しい開催を運営していただいた実行委員をはじめとする皆様に感謝申し上げます。

例年のような部門同好会は開催できませんでしたが、このコロナ禍が早く終息し、以前のように皆様と同好会にて熱い情報交換できる日が来ることを祈っております。

機械材料・材料加工部門の関係する講演セッション、基調講演、先端技術フォーラム、ワークショップは以下の通りです。各セッションの講演発表数は括弧内に記載の通りです。

S:部門単独セッション

J:部門横断セッション

[S 041] 次世代3Dプリンティング(19)

[S 042] 伝統産業工学(4)

[J 041] 超音波計測・解析法の新展開(11)

[J 042] 異種材料の界面強度評価と接合技術(17)

[J 043] セラミックスおよびセラミックス系複合材料(10)

[J 021] バイオマテリアルおよび細胞/組織のプロセス・力学・強度(25)

[J 031] 工業材料の変形特性・強度およびそのモデル化(45)

[J 033] 先進複合材料の加工と力学的評価(31)

[J 121] 価値共創に繋げる1DCAE・MBD(13)

[J 131] マイクロナノ理工学:nmからmmまでの表面制御とその応用(21)

[J 181] 交通・物流機械の自動運転(24)

[J 233] マイクロ・ナノ機械の信頼性(18)

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」(7)

先端技術フォーラム:「バーチャルエンジニアリングにおける形状設計・計算・加工技術の現状と未来」(6)

2021 年度年次大会のご案内と企画のご提案のお願い

第1 技術委員会 (年次大会担当)

山崎 泰広 (千葉大学)

野老山貴行 (名古屋大学)

2021 年 9 月 5 日 (日) から 8 日 (水) までの 4 日間 (ただし、5 日 (日) は市民開行事の開催を予定) にわたり千葉大学西千葉キャンパス (千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33) を会場として、日本機械学会 2021 年度年次大会が開催される予定です。2021 年度年次大会では「グローバル社会の分岐点に機械工学は何をすべきか?」をキャッチフレーズとして、「5 GIoT における機械」、「ダイバーシティ&インクルージョン」、「新産業革命」の 3 テーマを掲げ、講演および各種企画を実施する予定です。名古屋大学で開催された 2020 年度大会は残念ながら新型コロナウイルスの影響を受けてオンライン形式での開催となってしまいましたが、2021 年度大会は通常の対面形式の講演会と懇親会および部門同好会の開催に向け、現在、準備を進めているところです (開催形式の正式決定は年明けを予定しているとのこと)。

これまで本部門では単独で、あるいは、他部門と協力しながら多数の企画を提案・実施してきました。最近の年次大会で本部門が参画した主なオーガナイズドセッションを下記に示します。下記に示す通り幅広いテーマのセッションが多数開催されており、貴重な情報交換の場となってきました。

- 次世代 3D プリンティング
- 伝統産業工学
- セラミックスおよびセラミックス系複合材料
- 減災・サステナブル工学
- 粉末成形とその評価
- バイオマテリアルおよび細胞/組織のプロセス・力学・強度
- 工業材料の変形特性・強度およびそのモデル化
- 先進複合材料のプロセスと力学的特性評価
- 超音波計測・解析法の新展開
- 異種材料の界面強度評価と接合技術
- セラミックスおよびセラミックス系複合材料
- 価値共創に繋げる 1 DCAE・MBD
- マイクロナノ理工学：nm から mm までの表面制御とその応用
- 交通・物流機械の自動運転
- マイクロ・ナノ機械の信頼性
- 材料力学・機械材料・材料加工とバイオエンジニアリング
- エネルギー材料・機器の信頼性
- ソフトマター・イノベーション
- 実験力学、数値解析を連成させる高品位皮膜創成技術

- 知的材料・構造システム
- 自己治癒材料・システム (順不同)



千葉大学西千葉キャンパス 工学部・工学研究院

現在、2021 年度年次大会のオーガナイズドセッションのご提案を募集しており、皆様からの多数のご提案をお待ちしております。また、オーガナイズドセッションの他にも、①基調講演、②先端技術フォーラム、③ワークショップ、④市民フォーラム他、市民向け・子供向け行事 (9 月 5 日 (日) 開催) 等の各種企画を募集しております。(お申込み、お問い合わせについては文末をご参照いただきますよう、お願いいたします。)

末筆になりますが、2021 年度年次大会の会場となる千葉大学西千葉キャンパスは JR 総武線・西千葉駅前 (徒歩約 3 分) で都内からも 1 時間程度と交通の便が良く、広い敷地に緑が多いキャンパスです。また、千葉県は海の幸に代表される食はもちろん、実は多数の造り酒屋の地酒も楽しめます。是非、この機会に千葉大学西千葉キャンパスに足をお運び頂ければ幸いです。実行委員はじめ千葉大学スタッフ一同、多数の方のご参加をお待ちしております。

各種企画のお申込み・お問い合わせ先：

第1 技術委員会

2021 年度担当

千葉大学 山崎泰広：Y.yamazaki@chiba-u.jp

編集後記

はじめに機械材料・材料加工部門ニュースレター No.60, AM 技術最前線の発行にあたり、ご多忙の中、ご執筆・ご協力を頂きました皆様に心より感謝申し上げます。本特集号の AM 技術は巻頭におきまして京極先生もご指摘の通り、デジタル・マニュファクチャリング技術の一つであり、対面でのやり取りが難しくなったアフターコロナの「ものづくり」に於いても、デジタル図面から直接 3 次元造形物を造形できることから、主要な加工技術となると考えられます。本特集号が読者の皆様のアフターコロナの一助になればと思います。また、本誌に関しましてご意見・ご要望等が御座いまし

たら、赤坂 (akasaka@mech.titech.ac.jp) までご連絡ください。
(広報委員会 赤坂大樹)

発行

発行日 2020 年 11 月 30 日

〒160-0016 東京都新宿区信濃町 35 信濃町煉瓦館
一般社団法人 日本機械学会 機械材料・材料加工部門
第 98 期部門長 大津 雅亮
広報委員会委員長 赤坂 大樹
Tel.03-5360-3500 Fax.03-5360-3508