

ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター
“AZ600”林 真育*
Maiku Hayashi
鷲見信行†
Nobuyuki Sumi
橋本 隆†
Takashi Hashimoto木場亮吾*
Ryogo Koba

Wire - Laser Metal 3D Printer "AZ600"

*産業メカトロニクス製作所
†同製作所(博士(工学))

要 旨

製造業で、Additive Manufacturing(AM, 付加製造, 3Dプリンティング)の適用が進んでいる。

三菱電機では、材料に金属ワイヤ、熱源にレーザーの組合せを国内で初めて(注1)採用した、ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター“AZ600”を開発した。各種センサーで造形状態を検知し、加工条件や軸速度を協調させる造形プロセス制御機能を搭載し、造形の安定化と高精度化を実現している。また、当社独自の点造形を使用することで、熱歪(ひずみ)の抑制と酸化の抑制が可能である。AZ600によるAMの適用事例では、加工時間、製造コスト、材料廃棄量の削減が期待でき、カーボンニュートラルへの貢献が見込まれる。さらに、属人化された作業の品質安定化や自動化・省人化のニーズへの対応も期待できる。

(注1) 2022年2月24日, 当社調べ

1. ま え が き

近年、製造業では、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大や、地政学リスクの高まりを受けて、原材料の価格高騰や長納期化が発生している。また、世界各国でカーボンニュートラルへの注目が高まっている。AMは、ニアネットシェイプ(完成品に近い状態)で素材を仕上げられることから、廃棄材料削減によるコスト低減、納期短縮、消費エネルギー量の削減などが期待できる。さらに、DfAM(Design for Additive Manufacturing, ディーフアム)と呼ばれるAMの特徴を最大限に生かしたAM専用設計を行えば、省資源化だけでなく高機能化も可能である。AMは、3D-CADデータなどのデジタルデータを使用して造形することから、装置と加工条件さえあれば、人と場所を選ばずに造形が可能なデジタル製造技術である。そのため、DX(Digital Transformation)を実現する技術としても注目されている。

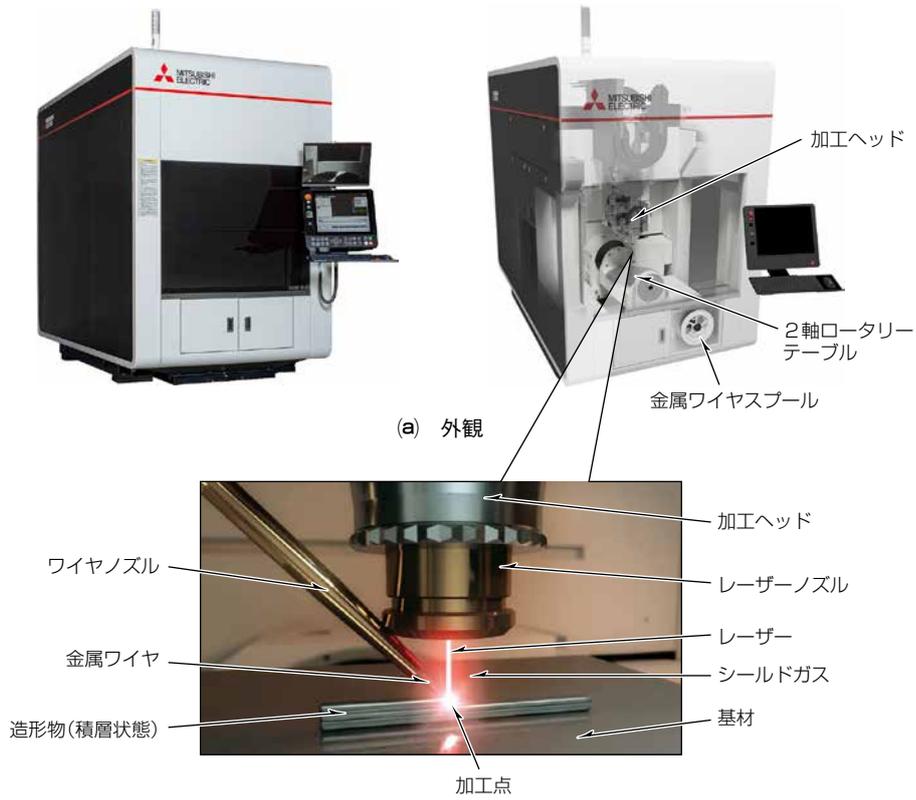
これらの背景から、AMでのものづくりによって生産の課題解決から環境対応まで大きく社会貢献が可能なワイヤ・レーザー金属3DプリンターAZ600を開発した。金属ワイヤ(材料)とレーザー(熱源)を組み合わせた指向性エネルギー堆積法(DED: Directed Energy Deposition方式)には、種々のユーザーメリットがありながらも高難度な制御開発が必要なため参入可能な装置メーカーは限られている。当社の製品である“数値制御装置(CNC)”“レーザー加工機”“ワイヤ放電加工機”の技術シナジーを発揮することによって、国内で初めて(注1)ワイヤ・レーザー金属3Dプリンターを実現した。AZ600は、2022年3月から国内向けに販売開始している。

2. ワイヤ・レーザー金属3DプリンターAZ600の特徴

2.1 加工機仕様

AZ600の外観を図1(a)に、諸元を表1に示す。造形方式はDED方式を採用している。この加工機は、加工ヘッド側にXYZの直交3軸、ワーク側に傾斜軸と回転軸の2軸ロータリーテーブルを搭載し、当社製CNCによって同時5軸制御を行う。これによって、複雑な曲面やオーバーハングを持っている形状でもワーク側の姿勢を変化させることで液垂れなく安定した造形が可能である。熱源のレーザーは、連続波タイプのファイバーレーザー発振器を搭載し、出力は2kWと4kWの2機種が選択可能である。

加工点近傍の様子を図1(b)に示す。鉛直に照射されるレーザーと、ワイヤノズルから供給される金属ワイヤの交点が加工点になる。加工点では、レーザーと同軸で供給されるシールドガス(アルゴン)で酸化を抑制しながら基材と金属ワイヤを同時に熔融することで一体の金属になる。金属ワイヤには市販のφ1.2mmの溶接ワイヤが使用可能である。また、金



(a) 外観
(b) AM造形中の加工点近傍の様子
図1. 金属3DプリンターAZ600

表1. 金属3DプリンターAZ600の諸元

造形方式	DED方式	
供給材料	金属ワイヤ(標準径: φ1.2mm)	
熱源	ファイバーレーザー(CW)	
レーザー定格出力	2kW又は4kW	
外形	幅×奥行×高さ(mm)	1,600×2,900×2,500
	本体質量(kg)	約7,000
軸移動量	X×Y×Z軸(mm)	600×600×600
	B(A)軸(°)	±120
	C軸(°)	360
ワーク	最大サイズ(mm)	500×500×500(φ500×500)
	最大質量(kg)	500

属ワイヤのスプールは作業者足元に設置することで、交換作業の効率化と安全性を実現した。

供給材料にワイヤを用いることで、粉末の方式と比較すると、材料の取扱いがクリーンかつ安全で、造形歩留りが高く、造形物内の気孔の生成確率も低い⁽¹⁾。材質の切替えも比較的容易である。

熱源にレーザーを用いることで、他のDED方式で採用されているアークや電子ビームと比較すると、高精度な造形まで可能になる。また、電子ビームのように真空チャンバーの搭載が不要である。

2.2 モニタリング機能と造形プロセス制御機能⁽²⁾

加工ヘッドには、各種センサーやカメラが搭載されており、ワーク側の高さや、加工点に形成される溶融池の状態などをモニタリングし、加工機の操作画面に表示している。また、CNCには、造形プロセスを制御する機能を搭載している(図2)。この機能では、NC(Numerical Control)プログラムによる軸移動指令や、レーザー出力やワイヤ送給速度といった加工条件の初期の出力指令に対して、先に述べたモニタリング結果を反映する。また、造形中のワイヤ先端位置やビード幅・ビード高さなどを適正に保つように、軸移動制御・レーザー出力制御・ワイヤ送給制御を協調させて、軸移動指令や加工条件出力指令を行う。これによって、造形プロセスの安定化や造形物の高精度化を図っている。

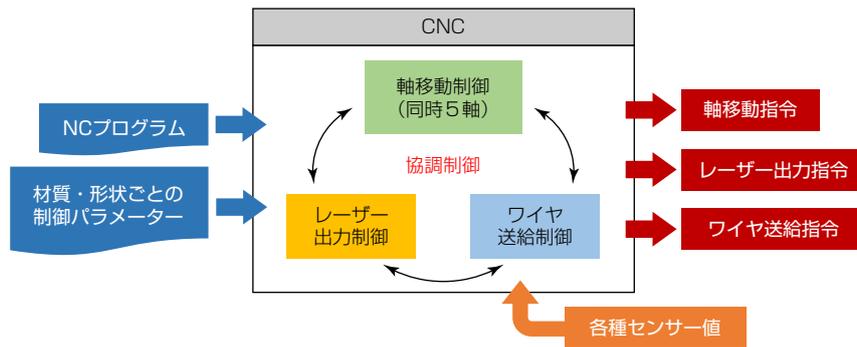


図2. 造形プロセス制御機能

2.3 造形プロセス“線造形と点造形”

この加工機では、ワイヤ送給とレーザー照射をパルス的に実施して点状のビードを形成する点造形⁽³⁾が可能である。図3に、一般的な線造形プロセスと点造形プロセスの一層の造形プロセスを示す。この層を積み重ねたり並べたりすることによって三次元に造形物を形成する。

線造形は、図3(a)のとおり、レーザー照射とワイヤ送給と軸移動を連続的に行うことで一層の線状のビードを形成する。

一方、点造形では、図3(b)のとおり、軸移動が停止中に所定時間だけレーザー照射とワイヤ送給を行うことで点状のビードを形成する。その後、NCプログラムによって指定された次の位置まで軸移動し、同じプロセスで点状のビードを形成する。これを繰り返すことで一層を形成する。

線造形は、点造形に比べると単位時間当たりの入熱量が多いため蓄熱が大きくなり、熱歪による造形精度が低下する場合があるものの、造形速度は大きいというメリットがある。

一方で点造形は、線造形に比べて造形速度は小さいものの、蓄熱による造形物への熱歪は小さく、造形精度が高い。また、加工点のシールド時間を長くできるため、チタン合金のように酸化を嫌うような材料でも酸化を抑制しながら造形できる。

それぞれの造形プロセスの特徴に基づいて、造形形状や造形箇所、要求品質に応じて線造形と点造形を使い分けて造形を行う。

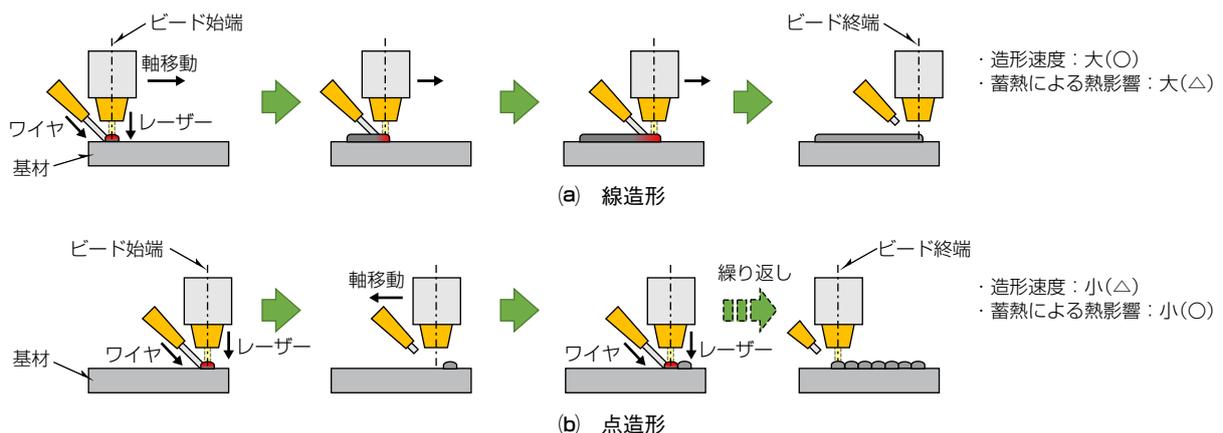


図3. 一層の造形の模式図

3. 適用効果

3.1 ニアネットシェイプ

船舶用プロペラを想定したニアネットシェイプ適用事例を図4に示す。SUS(ステンレス鋼)304のφ99mm円筒形状の基材に、SUS630のワイヤを用いて翼部分を線造形と点造形で積層造形している。なお、円筒基材も積層造形で製作する

ことは可能であるが、この場合は旋削で製作した方が早く安価に製作できる。このようにAM以外の工法を上手に組み合わせてAMのメリットを最大限に引き出すことがDEDのDfAMとして一つの要素になる。

翼先端の外径でφ300mmであり、造形時間は3翼合計で約9時間である。その後、製品精度を得るために積層造形後の後工程として切削をしており、切削加工時間は3翼合計で約31時間である。

従来工法(切削だけ)とAM工法(積層造形+切削)の比較結果を図5に示す。図5(a)は総加工時間の比較を示している。従来工法はφ312mmのSUS630無垢(むく)材から削り出すため、加工には約168時間かかる。一方で、AM工法はニアネットシェイプ翼を形成し、後工程の切削は荒加工を省いた仕上げ加工だけにすることで加工時間が大幅に短縮でき、合計で約40時間になる。積層造形を適用することで、従来工法に比べて約80%の加工時間短縮が可能である。

次に、材料廃棄量の比較を図5(b)に示す。従来工法は約95%が切粉とほとんどが廃棄材料になってしまう。AM工法では従来工法より材料廃棄量を96.5%も削減できるため、エネルギー消費量を抑えて、炭素排出量の削減に貢献が可能である。

最後に、製造コストの比較を図5(c)に示す。図5(b)の材料廃棄量は切削量としても見ることができ、ステンレス鋼は難削材のため、従来工法の場合は、超硬などの比較的高価なエンドミルを多量に消費して切削していく必要がある。一方で、AM工法は、消耗品としてワイヤやシールドガスが必要になるが、切削量を減らせるためエンドミル消費量が少なく、それに加えて素材体積も小さいため、78%の製造コスト削減が可能である。

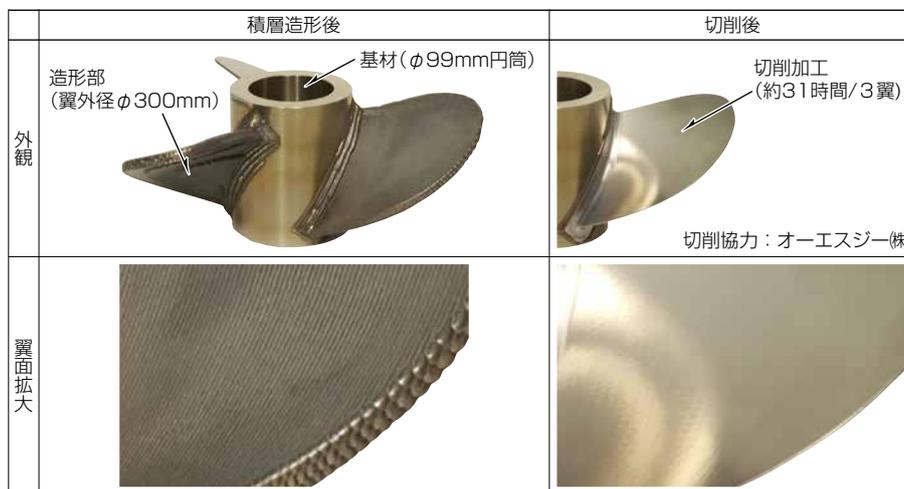


図4. AM工法による船舶プロペラ

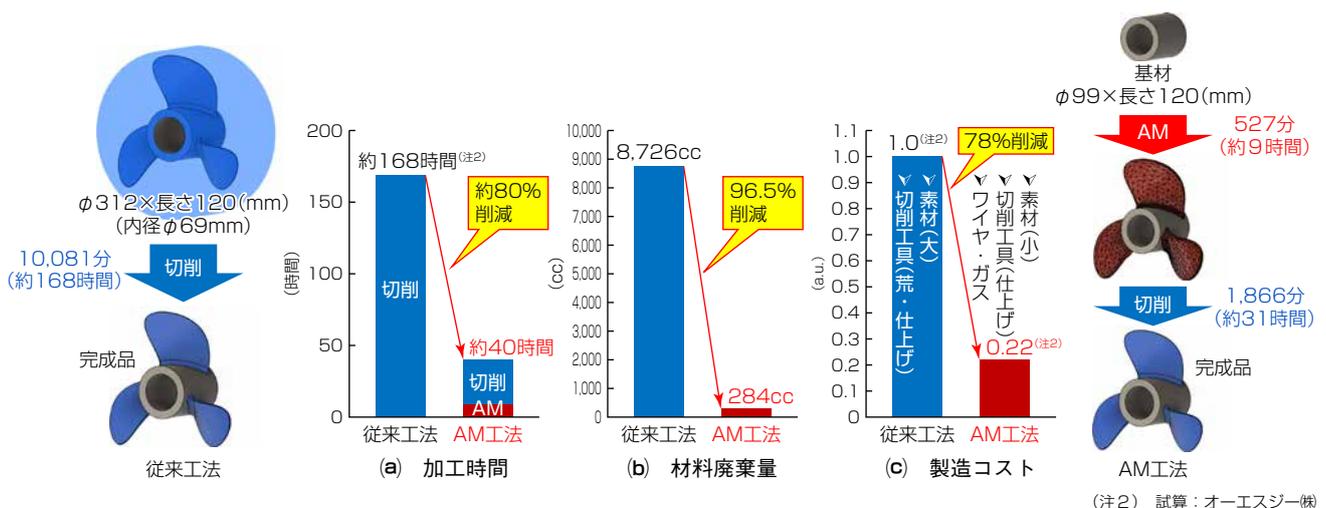


図5. 従来工法とAM工法の比較

3.2 マルチマテリアル

石油や天然ガス産業などで使用される掘削用のドリルを想定した適用事例を図6に示す。掘削ドリルは、被削材が高硬度の土砂であることに加えて、高温の海水と腐食性の高いガスが噴き出す過酷な環境で使用される。従来工法では耐摩

耗・耐食性を備えた難削材を削り出して製作することが検討されているが、時間とコストがかかって非現実的である。このためコストと長寿命化のトレードオフが課題になっている。

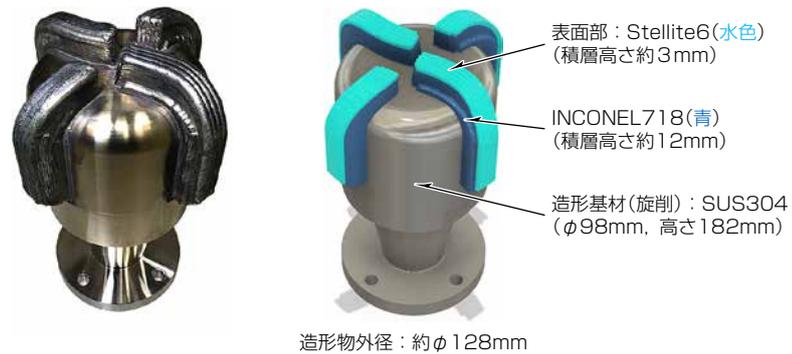


図6. 異種材によるAM工法

この適用事例では、高温下で多くの媒体に優れた耐食性を持つニッケル基合金INCONEL^(注3)718のワイヤを用いて刃本体部を積層造形後、さらに刃表面部には耐摩耗性に優れたコバルト基合金Stellite^(注4)6のワイヤを用いて積層造形でコーティングした。造形時間は合計で約2.5時間である。なお、基材には材料コスト・加工性・耐食性を勘案しSUS304を使用した。

このように必要な箇所を必要な材質にするマルチマテリアル化によって、部品の高機能化と製造コストの削減も実現できる。

(注3) INCONELは、Huntington Alloys Corp.の登録商標である。

(注4) Stelliteは、Kennametal Inc.の登録商標である。

3.3 肉盛補修及び溶接

ダイカスト金型の補修を想定した適用事例を図7(a)に示す。熱間工具鋼SKD61ワークの角部にC10の模擬欠損部を作製し、マルエージング鋼のワイヤを用いて積層造形で肉盛補修を行った。造形時間は、4分/角である。その後、造形部の一部を切削・研磨し、補修部にクラックやボイドなどの欠陥は見られず、元のワーク形状を復元できることを確認した。

また、図7(b)は開先溶接の適用事例である。開先角度が30°と狭く、深さが15mmと深いため、開先溶接の中でも難易度が高い。この事例では、長さ200mmのSUS304ワークの開先部をSUS308Lのワイヤを用いて17層の多層盛りで溶接しており、加工時間は約10分である。

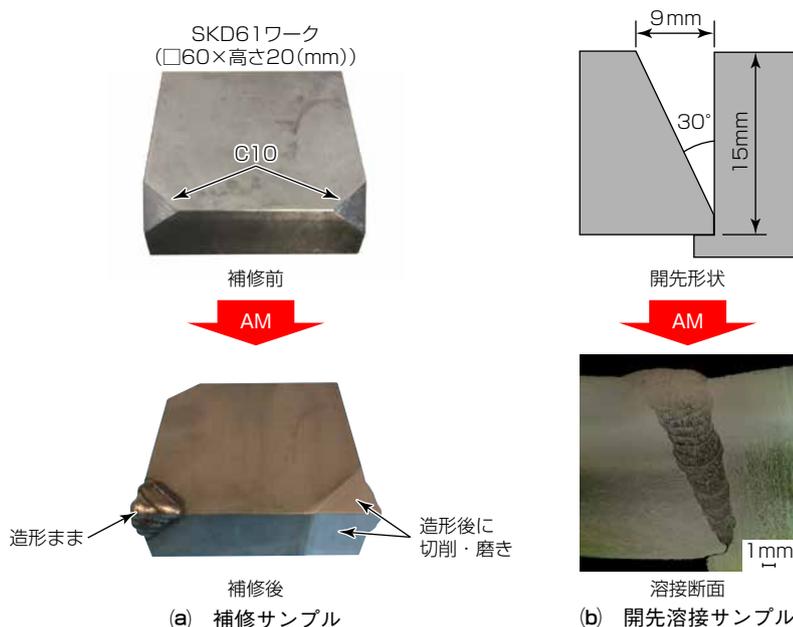


図7. 肉盛補修及び溶接

どちらの事例も、経験とノウハウを要する作業のために属人化されており、人手不足や品質が安定しないといった課題がある。これをAZ600で実施することで、品質安定化だけでなく、自動化・省人化のニーズに対応することが可能である。

4. む す び

当社のワイヤ・レーザー金属3DプリンターAZ600の特徴と適用効果について述べた。この技術は、製造時間短縮だけでなく、材料廃棄量や工具消費量を抑えることができ、カーボンニュートラルへの貢献が期待できる。

AM技術の普及のためには、AM技術の特徴を正しく認識することが必要である。当社でも、顧客とAM技術の相互理解の下、AZ600を用いたAM工法の適用を拡大していく。また、市場ニーズに合わせて加工機の高機能化に取り組んでいくことで、より大きな利用価値を顧客へ提供できるよう開発を進める。

参 考 文 献

- (1) 小泉雄一郎, ほか: 金属系材料の3次元積層造形技術の基礎, mattered, **56**, No.12, 686~690 (2017)
- (2) 鷺見信行: ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター「AZ600」の特徴と適用効果, 型技術, **37**, No.6, 58~61 (2022)
- (3) 森田大嗣, ほか: レーザーワイヤ指向性エネルギー堆積法 (DED) 方式金属3Dプリンタによる点造形技術, レーザー学会誌, **48**, No.8, 431~435 (2020)