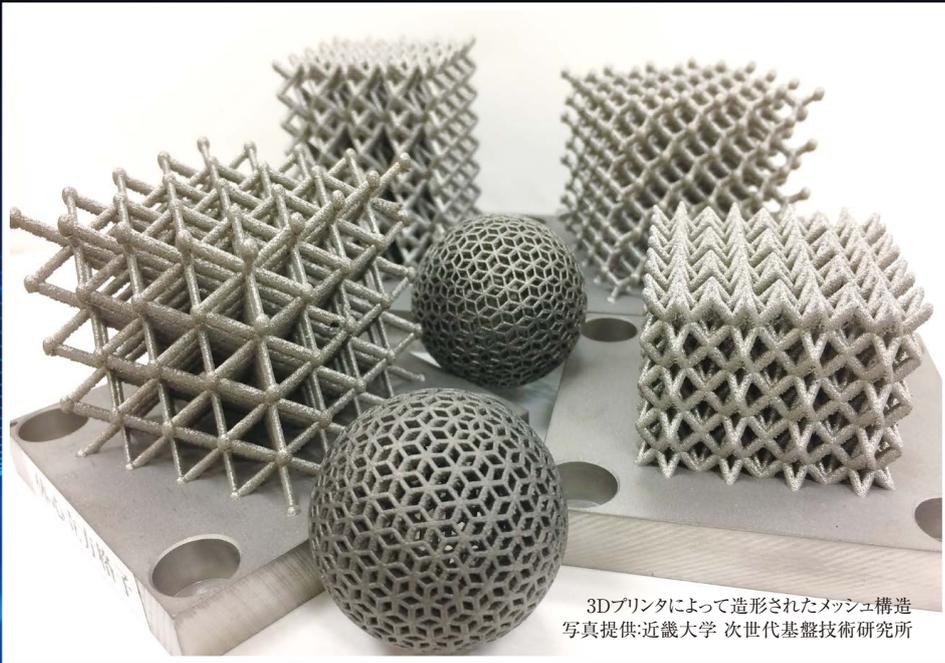


Techno Scope



3Dプリンタによって造形されたメッシュ構造
写真提供:近畿大学 次世代基盤技術研究所

コンピュータ等で設計したデジタルデータから三次元複雑形状品を直接造形できる 3D プリンタは、従来の加工では困難な造形が可能であったり、金型を省略できることから納期を短縮したり、少量、多品種の製造に適している。

これまで材料は樹脂が中心であったが、近年では金属材料を用いた活用が盛んになってきている。

金属3Dプリンタが拓く 次世代のものづくり

いよいよ本格化。金属3Dプリンタの活用

NEDOは2019年2月、金属材料を積層造形する3Dプリンタに関する市場が2030年には3兆円を超えるという予測を出した。現在の市場は、造形装置が1,223億円(2017年)、金属粉末材料が110億円(2016年)であるのに対し、2030年には造形装置が6,500億円、金属粉末が5,000~6,500億円に増え、そ

●量産化された航空機用 LEAPエンジン*の燃焼ノズルチップ(図1)



3Dプリンタで製造することで20個のパーツを一体化している。

*LEAPエンジンは、GEと仏スネクマ社(サフラン・グループ)が50%ずつ出資した合弁会社、CFMインターナショナルが開発しているもの。

写真提供:GEアディティブ

して新たに造形品の市場が約2兆円の規模で開拓されるという。

いち早く金属3Dプリンタの適用が実用化段階まで進んでいるのが航空機分野である。例えばボーイング737MAXとエアバスA320neoのエンジンの燃焼ノズルは3Dプリンタで量産されている。従来は20点のパーツを溶接してできていた燃焼ノズルを、3Dプリンタで一体成形し、25%の軽量化、

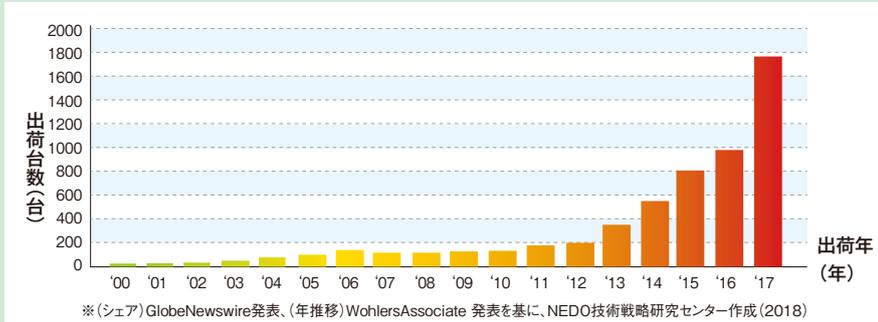
5倍の耐久性向上、30%のコスト削減を達成している(図1)。この他にも医療機器や自動車分野などでも金属3Dプリンタの適用が進んでおり、用途は確実に広がりを見せている。

金属3Dプリンタ装置の出荷台数は2010年頃から増え、特に2017年には前年比2倍近く増加した(図2)。そのシェアはドイツ製、米国製、英国製の装置が占めている。本技術に関して発表された論文数は米国、中国、ドイツが多い。日本においては欧米レベルの装置が国内に存在せず、海外製の装置を導入して研究開発を進めているが、遅れをとっているのが現状である。本技術で国際競争力を獲得していくには、国産の装置を導入し、造形条件やノウハウ等の貴重なデータを蓄積していくことが重要であるため、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(Technology Research Association for Future Additive Manufacturing, TRAFAM))が設立され、装置の開発をはじめとして、使用する材料から制御等のプログラム開発まで、オールジャパンで総合的な研究開発が進められている。

研究開発が活発な二つの方式

現在、様々な種類の金属3Dプリンタ装置の開発が進んでいるが、なかでも積極的に開発が進んでいるのが「パウダーベッド」

●金属3Dプリンタ装置の出荷台数の推移(図2)



出典:2019年NEDO『TSC Foresight』セミナー(第3回) TSC Foresight金属積層造形プロセス概要

※(シェア)GlobeNewswire発表、(年推移)WohlersAssociate発表を基に、NEDO技術戦略研究センター作成(2018)

●金属3Dプリンタ装置の主な方式



パウダーベッド方式(図3)

敷き詰められた金属粉末に電子ビームやレーザーを照射して、選択的に溶融させて造形する



デポジション方式(図4)

金属粉末あるいはワイヤを供給しながら電子ビームやレーザーを照射し、溶融・堆積して造形する

資料提供:TRAFAM

(Powder Bed Fusion,粉末床溶融)方式と「デポジション」(Directed Energy Deposition, 指向性エネルギー堆積)方式である(図3、4)。また金属粉末を焼結・溶融するためのエネルギーを与えるための熱源として、電子ビームとレーザービームの2つがある。

パウダーベッド方式(図3)は、敷き詰められた金属粉末に電子ビームやレーザーを照射して、選択的に溶融させて造形する。小型から中型の製品の製造に適し、従来の方法では製造困難な三次元複雑形状を実現でき、また造形物の表面粗さや精度が優れているのが特長である。多くのメーカーから装置が開発・販売されており、特にレーザーを用いた装置が医療機器から航空宇宙分野やエネルギー分野、自動車分野の部品製造に利用され始めている。

一方、デポジション方式(図4)は金属粉末あるいはワイヤを供給しながら電子ビームやレーザーを照射し、溶融・堆積して造形する。造形速度が速いため、ニアネット形状の高効率造形に向いている。また連続的に材料を噴射して造形することから、異種材料を積層する複層造形への適用も検討されている。航空宇宙分野やエネルギー分野など付加価値の高い大型の部品を製造する場合、付加的な造形や補修に利用されている。

それぞれの方式によって得意とする材料や加工品質、生産性等が異なるため、TRAFAMでは両方式の技術開発を進めた。研究開発の目標は世界最高水準となる値を設定しており、例えば造形速度500cc/h(単位時間あたりの造形体積)は従来比で約10倍速く、製品の精度±20μmは従来比で約5倍精度が高

い。5年経過した成果としては、レーザーを使用したデポジション方式が早くも造形速度500cc/hを達成し、製品化が進んでいる(図5)。

3Dプリンタに最適な金属粉末を求めて

金属3Dプリンタでの造形には、純金属や合金粉末が材料に使用されている。金属粉末の特性は造形プロセスの安定性や造形物の品質に影響を及ぼすため、装置によって求められる粉末特性を明らかにし、制御された粉末を作りこんでいくことが重要となっている。

粉末に要求される特性は装置によって異なるが、主に流動性、拡がり性、粉末形状(真球度)、粒度分布、酸素量、リサイクル性などが求められる。パウダーベッド方式ではタンクから粉末を供給し、これをスキージと呼ばれる板で引きのぼして粉末を薄く一定厚で敷き詰めるのに対して、デポジション方式では粉末をノズル噴射して直接必要部位に供給するなど、粉末を搬送する機構が多いため、特に粉末の流動性が重要となる。また粉末形状は未溶融欠陥などを作らないように、真球度の高いものが求められる。さらに今後、装置の高速化、高精度化が進むに伴って、より微細な粉末が使用されていくと考えられている。現在の粉末の粒径は、出力の大きい電子ビームを熱源に使用する場合は比較的大きい百μm前後、低出力のレーザーを熱源に使用した場合は数十μmの粉末が使用されることが多い。

3Dプリンタに使用される金属粉末は、一般的には「ガスアトマ

●開発された国産の
金属3Dプリンタ装置 (図5)

レーザによるデポジション方式の金属3Dプリンタ装置が国内メーカーにより製品化され、初号機が納品された。同装置はカメラやセンサを用いて造形状態を監視し、自動で造形条件を最適化する「モニタリングフィードバック機能」を

付与することができる。従来は製品形状が変わるたびにトライアルアンドエラーで条件を最適化してきたが、リアルタイムに制御することができ、金属の熔融凝固を安定化させることができる。



モニタリングフィードバック機能

フィードバック無効



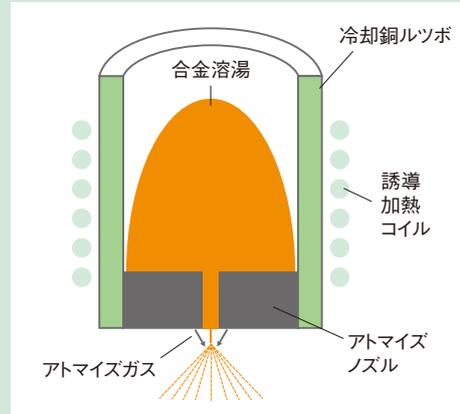
フィードバック有効



資料提供:三菱重工工作機械(株)

●レピテーション溶解・
ガスアトマイズ法 (図6)

高温の熔融金属が水冷銅に接触し、熔融金属自体が急冷されて直ちに薄い凝固層(スカル)が形成され、スカルの内側に熔融金属が保持されるため、坩堝と反応しにくい。



●TRAFAMによる電子
ビーム造形用チタン
アルミ合金粉末(粒
度:45/105μm)の
試作(図7)

試作した粉末の方が粒子形状が非常に優れている。

製造元	円形度	粒子形状			
試作した粉末	0.90				
海外粉末サプライヤーの粉末	0.88				

資料提供:大同特殊鋼(株)

イズ」法で製造されている。これは高周波誘導加熱炉で溶解した金属をタンディッシュの底のオリフィスから出湯させ、窒素、アルゴン等の不活性噴出ガスを衝突させて、粉末を製造する。Ni基超合金、マルエージング鋼、ステンレス鋼などの金属粉末が製造されている。

反応しやすいTi合金などは、従来のガスアトマイズ法で粉末化しようとする、耐火物坩堝と反応し不純物が溶解金属に溶け込むために清浄な粉末の製造が難しい。そこで不純物の混入を防ぐ製法の一つとして、「レピテーション溶解・ガスアトマイズ法」が採用されている(図6)。これは高温の熔融金属が水冷銅に接触し、熔融金属自体が急冷されて直ちに薄い凝固層(スカル)が形成され、スカルの内側に熔融金属が保持されるため、坩堝と反応しにくい。TRAFAMでは本プロセスを用いて、チタン合金をはじめとした高融点活性金属粉末の製造プロセス開発が進められている(図7)。

国際競争力の獲得のために

材料である金属粉末の開発の他にも、制御ソフトウェアの開発や造形条件、材料データおよびシミュレーションを含んだ積層造形データベースの開発も重要となる。なかでもシミュレーション

技術の構築は、欧米では国家レベルで開発に注力している。現在、造形条件決定のために膨大な試行錯誤と実験が行われているが、シミュレーション技術によってこれを削減し、適用に要する時間短縮を図る。TRAFAMでは、マイクロ熔融凝固解析、マクロ熔融凝固解析、微細構造(組織)解析、熱応力解析、熱変形シミュレーション解析を体系的に行い、現象論的な積み上げにより、プロセス機構の解明とパラメータ(造形条件)の評価の基盤については構築できた。

また制御ソフトウェアの開発では、溶解メカニズムに関する要素技術研究で得られた知見を設計データに自動補正する事により、求める造形サイズや精度、最適なサポート付与等を可能とする機能の実現が求められている。これには装置メーカー、材料メーカー、大学等の研究機関、ソフトメーカー、実際に装置を使用するユーザが連携して取り組んでおり、特にユーザが参加することで、ソフトの操作性やアウトプットの評価が行え、ユーザ目線のシステムを実現できることになる。

TRAFAMがスタートした2014年、日本は金属3Dプリンタの技術開発において、他国にかなり遅れていた。高い目標設定は実現不可能という声も挙がったが、オールジャパンで研究開発を進めたところ、いくつかの目標は達成しつつある。関係者は「世界の先頭集団の後方には追いついた」と表現する。最近

では中国等の追い上げも激しい。工作機械では世界トップレベルの技術を保有する日本が、3Dプリンタのメリットを理解し、本格的な開発に踏み出したなら、新しいものづくりの可能性は一気に広がっていくことだろう。

- 取材協力 技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構 (TRAFAM)、近畿大学次世代基盤技術研究所 京極秀樹特任教授
- 文 藤井美穂

Interview

新しい発想による製品開発に活かしてこそ、3Dプリンタは活きる

今後の展開が期待される金属3Dプリンタの可能性について、TRAFAMのプロジェクトリーダーである近畿大学次世代基盤技術研究所・京極秀樹特任教授にお話をうかがった。

——研究開発を始めたきっかけは何ですか。

2001年に、世界で初めて金属3Dプリンタ装置を製作したテキサス大学オースティン校に留学した際に、この技術に出会いました。鋳造や鍛造、切削ではできない、製品の機能を大幅に変える、新しい加工技術として魅力を感じました。帰国後、装置を改造して造形を試みたり、実際にパウダーベッド方式の金属3Dプリンタ装置の開発も行いました。当初はなかなかうまく造形ができなかったですが、レーザが2005年頃からCO₂レーザからファイバレーザに変わり、レーザの高出力化と低コスト化、これに相応しい金属粉末やソフトウェアの開発が進み、造形技術が飛躍的に向上しました。

——金属3Dプリンタの魅力はどんなところですか。

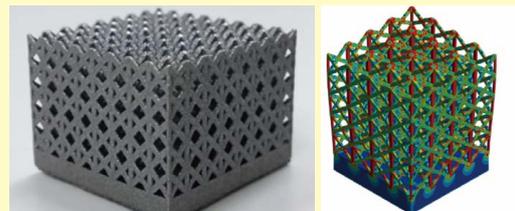
例えば、3Dプリンタによってできる「トポロジー最適化」は、シミュレーションを繰り返すことで不要な部分を削り、最も効率のよい形状を設計していくことができます。これまで考えつかなかったような新しい構造の製品が実現するのです。また細かいラティス(格子状)の構造体ができ、軽量化や断熱効果、生体適合性などの機能を付与することもできます。さらには異種材料の造形も可能ですし、傾斜構造・複層構造体も製造できます。これまでの製造方法の代替えではなく、3Dプリンタは、新しい発想による構造、新しい製品開発に活かしてこそ、そのメリットが活きるのです。



京極秀樹 特任教授
近畿大学 次世代基盤技術研究所

——国際競争力の獲得に必要なことは何ですか。

樹脂と違って、金属を3Dプリンタで造形する場合、金属を溶かして固めていくのに、多くの因子が複雑に関係してきます。鋳造技術が多くのノウハウの基に確立しているように、この技術も経験とノウハウが必要となります。3Dプリンタ装置を扱う人材が不足しており、海外では人材育成プログラムが開始されています。日本は早く国産の装置を導入し、ノウハウを蓄積して、使いこなす技術を育てていかなければいけません。TRAFAMでは中小企業が装置を導入しやすいよう、装置の価格目標を従来の約半値に抑えました。今後、造形条件やノウハウ等の貴重なデータを持つところが、競争力を獲得していくことが予想されます。そのため、一日も早く、日本のものづくりの現場に国産の3Dプリンタ装置が導入されることを望みます。



写真提供:近畿大学 次世代基盤技術研究所