

29-5 航空機エンジンにおける Additive Manufacturing の動向

1. 緒言

3D プリンタとして近年注目されている Additive Manufacturing は 1980 年代に開発された紫外線レーザーと光硬化用樹脂を用いた Rapid Prototyping に端を発している。1980 年代後半には CO₂ レーザーと金属粉を用いることで金属の造形が可能となった。しかしながら当初は加工できる金属の種類が限定されており造形された金属も焼結が不十分で密度も低かったことからデザイン確認などの用途に限られていた。その後、高出力のファイバーレーザーや電子ビームなどが熱源として用いられるようになりチタン合金やニッケル合金といったジェットエンジン材料として幅広く用いられる金属への適用が可能となった。2009 年にはフィラデルフィアで開催された ASTM (The American Society for Testing and Materials) の 国際標準化会議において Rapid Prototyping や Additive Fabrication など様々な名称で呼ばれていた付加製造技術の総称が Additive Manufacturing に統一された。更に 2012 年に米国のオバマ大統領が一般教書演説で NNMI (National Network of Manufacturing Innovation) として 10 億ドルの予算を投じると公表。同年に NAMII (National Additive Manufacturing Innovation Institute) が設置されたのをはじめとして各国でも政府の後押しを得た Additive Manufacturing の研究開発が活発となった。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) が設立されるなど国の後押しを得た研究開発が進められている。

本稿ではジェットエンジン部品の新しい製造技術として開発が進められている金属を対象とした Additive Manufacturing を取り上げていく。

2. Additive Manufacturing の分類

2. 1 材料の供給方式による分類

金属の Additive Manufacturing は材料の供給方式の違いにより図 2. 1-1 に示すように Powder Bed 方式と Feed 方式とに大別される。Feed 方式は使用する材料によって Powder Feed 方式と Wire Feed 方式に分けられる。以下にそれぞれの特長について解説する。

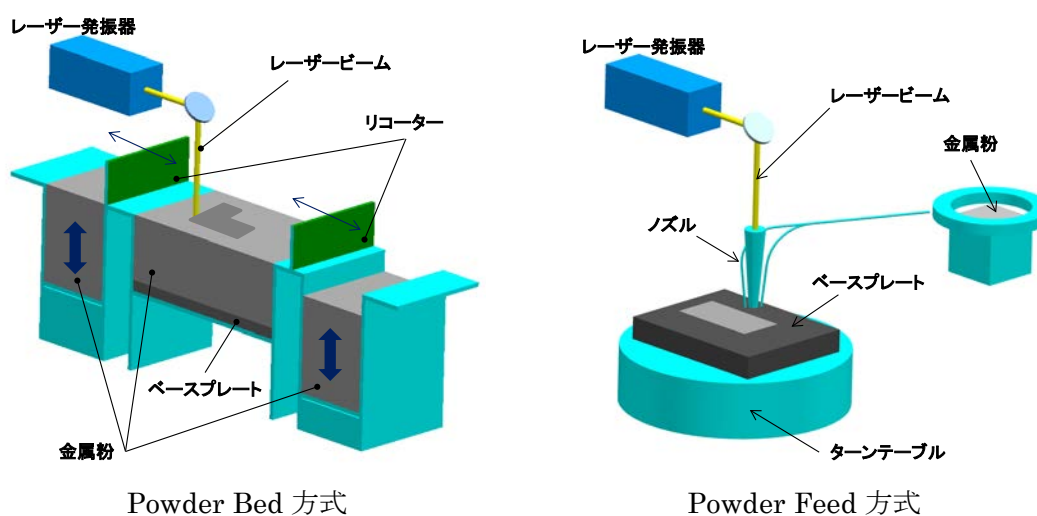


図 2. 1-1 材料供給方法による分類

(1) Powder Bed 方式の特長

Powder Bed 方式はチャンバー内に微細な金属粉を薄く何層も敷き詰めながら一層ごとに部品となる部分へレーザー等を照射して熔融凝固させていくことで製品を造形する手法である。図 2. 1-1 に示した装置例では左右の貯蔵タンクからリコーターで金属粉末を掻き出しベースプレート上に薄く一様に金属粉を敷いていく構造となっている。その後レーザー等の熱源により部品となる部分を溶かし固めると貯蔵タンク内の金属粉を一層分だけ上方にせりあげ、リコーターでその一層分の金属粉末を新たに敷きつめ、部品となる部分を熔融凝固するといった工程を繰り返す。この手法はネットシェイプで複雑な形状の部品を製造できることが特長であり、微細なラティス構造など従来の加工方法では不可能な形状も作ることができる。

ただ無制限に自由な形状が作れるわけではなくオーバーハングや中空となる部分には支柱が必要であるし表面粗さも機械加工などと比較すると粗い。そのため造形後に支柱を取り除いたり表面粗さを出すための磨き工程を入れたりできるよう配慮する必要がある。また 1 時間あたりの造形速度が 20cm³ 程度と遅いことも課題である。

近年では造形速度の遅さを解決するために複数の熱源を搭載した装置の開発が各社で進められている。また表面粗さについても鋳物と比較できる程度には改善されてきている。

(2) Feed 方式の特長

Feed 方式は金属粉やワイヤーといった材料をレーザー等で熔融させてノズルから吹き付けることで部品形状に盛って行く手法である。Powder Bed 方式に対して造形速度が 10~100 倍と圧倒的に速いことが特長である。一般的にワイヤーは金属粉末より安価で造形速度が速いため Wire Feed 方式のほうが Powder Feed 方式よりコスト面では優位である。しかしながら造形精度やワイヤーを作れないチタンアルミなどの素材対応といった点では Powder Feed 方式が有利である。

Feed 方式全般の課題としては形状の制約が大きく造形精度が低いためネットシェイプ部品の製造が難しいとされていることである。

ただし近年では部品を乗せたターンテーブルの姿勢を変化させながら造形していくなどの工夫により複雑な中空部品の製造も可能となってきた。

2. 2 熱源による分類

熱源として最も広く用いられているのはレーザーである。レーザーは出力が大きく扱いやすいためレーザー式の Additive Manufacturing 装置の種類は豊富でユーザーにとっては選択の幅が広い。粒子径の小さい金属粉を扱うことが出来るため比較的粗さが良い製品を作ることができる。

電子ビームも代表的な熱源としてよく用いられるが施工には真空チャンバーが必要となる点がレーザーより扱いにくい。また金属粉を用いる場合はスモークを押さえるために比較的粒径の大きいものを使用する必要があるため面粗さを出すのには不利である。ただしレーザーより大出力で照射速度も速いことから造形速度上は有利である。また Powder Bed 方式では敷き詰めた粉の表面全体を予熱することも可能で造形温度のコントロールの幅を広げることができる。

他には Feed 方式で Plasma Transfer Arc や Gas Tungsten Arc などが用いられている例がある。

3. ジェットエンジンにおける Additive Manufacturing の事例と取組

3. 1 Additive Manufacturing による部品試作事例

各社で試作されている代表的なジェットエンジン部品を図 3. 1-1 に示す。図に示すように燃料ノズルや圧縮機翼など複数の子部品からなる部品を一体化構造にしたものやタービン翼など複雑な内部流路を持つ中空部品への適用が多く Additive Manufacturing の特長を生かしたものになっている。

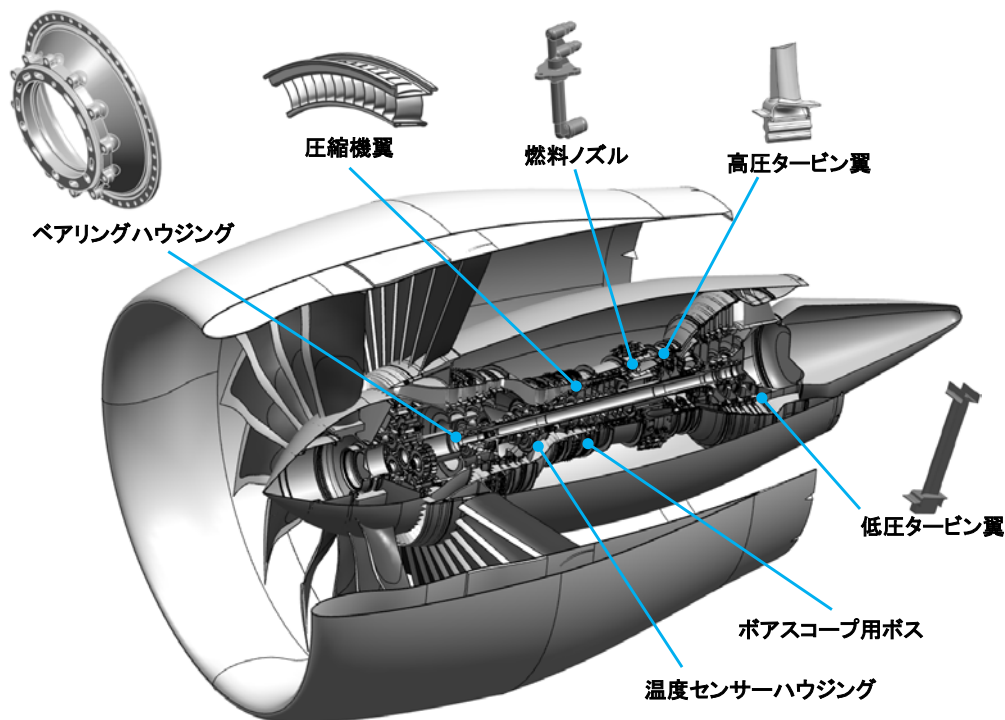


図 3. 1-1 Additive Manufacturing で試作されている代表的な部品例

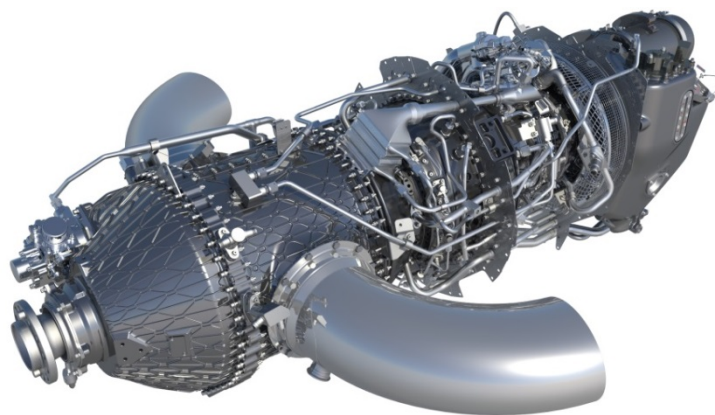
3. 2 ジェットエンジンメーカーにおける取組

ジェットエンジンでは最大手の General Electric 社（以下、GE 社）が最も Additive Manufacturing に力を入れているとみられる。図 3. 2-1 に示す LEAP 用燃焼器の燃料ノズルと GE90 用の温度センサーハウジングの型式承認を取得。燃料ノズルについては量産も始まっている。また GE90 の後継である GE9X 向けにチタンアルミ製の低圧タービン翼も開発中である。更に図 3. 2-2 に示す Advanced Turbo Prop Engine のデモ機製造において部品の 35% に Additive Manufacturing を適用して 845 点の部品を削減できたとしている。



出典：GE 社ホームページ³⁾、⁴⁾

図 3. 2-1 LEAP 用燃焼器ノズル（左）と GE90 の温度センサーハウジング（右）



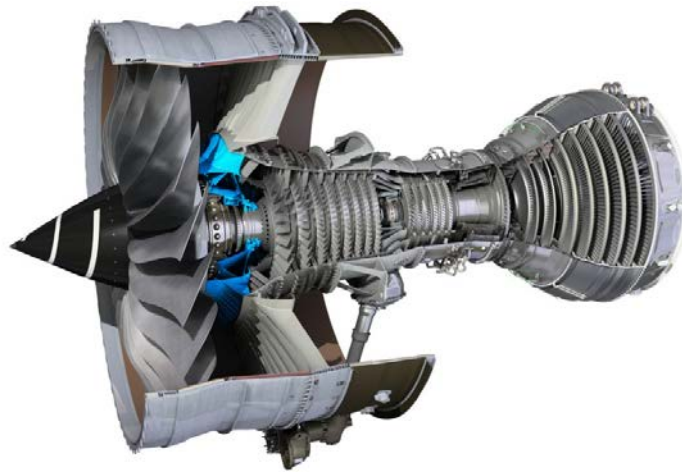
出典：GE 社ホームページ⁵⁾

図 3. 2-2 Advanced Turbo Prop Engine

GE 社は Additive Manufacturing の大手サービスビューロであった Morris Technology 社の買収を手始めとし、電子ビームを熱源とした唯一の Powder Bed 方式の大手装置メーカーである ARCAM 社、レーザーを熱源とした Powder Bed 方式の大手装置メーカーである Concept Laser 社を傘下に収めた。更に原料である金属粉末メーカーの AP&C もグループに加え、上流の原材料から下流の装置販売や部品製造まで幅広い分野を押さえている。

また GE Additive 社を設立し造形領域が 1000mm×1000mm×1000mm に及ぶ世界最大の Powder Bed 方式の装置を開発。ジェットエンジンのみならず医療や一般産業においてもサービスを展開する方針を打ち出し積極的な活動を展開している。

ジェットエンジンで GE に次ぐシェアを持つ Rolls Royce 社（英）では A350 用として開発中の Trent XWB-97 エンジンのベアリングハウジング及び静翼（図 3. 2-3 の青色部分）を試作している。開発は Manufacturing Technology Center（英）等との共同で行われた。また彼らは Feed 方式の Additive Manufacturing を翼の肉盛等の修理に適用する方針である。



出典：3D PRINTING INDUSTRY ホームページ 6)

図 3. 2 - 3 Additive Manufacturing による Trent XWB-97 の試作部品

GE 社や Rolls Royce 社と並んでジェットエンジン大手 3 社の一角を占める Pratt & Whitney 社（米）でも 450 万ドルを投じて Additive Manufacturing Innovation Center を設立し研究開発を進めている。同社が中心となり国際共同開発された PW1100G-JM には図 3. 2 - 4 に示す Additive Manufacturing 製のボアスコープ用のボスが採用されている。この部品は MTU 社(独)が中心となり EOS 社と協力して開発したものである。



出典：EOS 社ホームページ 7)

図 3. 2 - 4 ボアスコープ用ボス

4. まとめ

Additive Manufacturing は装置や原材料となる金属粉末の価格が高く造形速度も遅いため、現状は生産性やコスト的な観点から適用できる部品が限られている。また面粗さの改善や品質保証方法の確立などエンジンの重要部品への適用には解決すべき課題も多い。しかしながら各国のエンジンメーカーや部品サプライヤーでは Additive Manufacturing による部品開発が幅広く進められており、前述の課題解決に向けた取り組みも進められている。これらの活動により様々な課題が解決されることによって Additive Manufacturing は近い将来ジェットエンジン部品の主要な製造手法の一つとなる可能性がある。

参考文献

- 1) 経済産業省ホームページ：「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 プリンタ等技術開発）」
http://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/c00/C0000000H27/160329_3Dprinter1/3dprinter1.html
- 2) GE 社ホームページ：「GE Is Building The World's Largest 'Additive' Machine For 3D Printing Metals」
<https://www.ge.com/reports/ge-building-worlds-largest-additive-machine-3d-printing-metals/>
- 3) GE 社ホームページ：「Mind Meld: How GE And A 3D-Printing Visionary Joined Forces」
<https://www.ge.com/reports/mind-meld-ge-3d-printing-visionary-joined-forces/>
- 4) GE 社ホームページ：「The FAA Cleared the First 3D Printed Part to Fly in a Commercial Jet Engine from GE」
<https://www.ge.com/reports/post/116402870270/the-faa-cleared-the-first-3d-printed-part-to-fly-2/>
- 5) GE 社ホームページ：「Mad Props: A 3D-Printed Airplane Engine Will Run This Year」
<https://www.ge.com/reports/mad-props-3d-printed-airplane-engine-will-run-year/>
- 6) 3D PRINTING INDUSTRY ホームページ：「Rolls-Royce Flies Largest 3D Printed Part Ever Flown」
<https://3dprintingindustry.com/news/rolls-royce-flies-largest-3d-printed-part-ever-flown-61608/>
- 7) EOS 社ホームページ：「Customer Case Study Aerospace」
https://cdn0.scrvt.com/eos/878b31e2ecc7370d/e46459f41495/CS_M_Aerospace_MT_UAeroEngines_en_WEB.pdf