航空機製造に向けて前進する積層造形技術

ピーター・サンダー

エコロジカル・フットプリント（環境フットプリント）の高い削減効果が期待される。

独エアバス社（Airbus）が積層造形（AM：Additive Manufacturing、付加製造）プロセスを検討し始めたのは20年以上前のことである。まずは、プラスチックとラピッド・プロトタイピングを導入し、その数年後には、レーザ積層造形（LBM：Laser Beam Melting）と電子ビーム積層造形（EBM：Electron Beam Melting）を金属に適用した。同社にいまだやや残る問題は、確かなビジネスケースをともなう積層造形ソリューションを確立することで、ほぼすべての産業的意思決定がビジネスケースに関する議論を中心に進められる中で、いかにしてそれに踏み切るかということである。

今後の選択肢を慎重に検討することによって基本的な数値を絶えず改善していくことを試みるよりも、積層造形を導入すれば95%の確率で、プロジェクトを簡単に、安価に、迅速に開始することができる。

迅速な製品開発

積層造形の能力を示す1つの例が、装置そのものである。同社は2012年に、250W（250×250×280mm）のLBM装置をまずは1台導入したが、現在では400W/1kWのレーザ（800×400×500mm）が2～4台稼働している。今後10年間で、まったく新しい種類のマルチレーザシステムが登場し、この動きをますます後押しすることになるだろう。

低コスト製品に対するビジネスケースも、中期的に（2020年以降まで）は同社にとって実行可能性を示すものになる見込みである。250を超える金属積層造形プロジェクトを手掛けてきたこの7年間で学んだ最大の教訓は、積層造形が、統合性に優れた多機能製品の製造を可能とし、将来的にはエコロジカル・フットプリント（環境フットプリント）の面で、大きな可能性をもたらすということである。

図1　レーザ積層造形（LBM）によってチタンで製造されたバイオニックデザインのキャビンブラケット。

図2　完全に積層造形によって製造されたTHORの航空機が飛行する様子。

材料、プロセス、装置

材料：将来のビジネスケースに基づき、エアバス社は最初にチタン（Ti6-4）、続いてイノックス（Inox）を採用し、2018年末までにアルミニウムの適用を計画している。Ti6-4を用いたLBM/EBMに基づく積層造形は、2015年末以降、技術成熟度レベル（TRL：Technology Readiness Level）6で行われており、2015年末には、独プレミアム・エアロテック社（Premium AEROTEC、エアバス子会社）から初となる少数生産のシリアル部品が供給された。

2018年以降のシリアル生産に向けて、可能性を秘めたもう1つの材料がScalmalloyである。Scalmalloyとは、エアバス社子会社の独APワークス社（AP-Works）が管理する高性能アルミニウム合金である。エアバス社は2018年以降、実質的なシリアル生産の開始に利用可能な、初となる一連の積層造形材料を入手する予定になっている。将来の積層造形シリアル生産における最大の課題の1つが、低コストの金属粉末の入手可能性なので、その将来のニーズに向けて、あらゆる取り組みが世界中で進行しているのは喜ばしいことである。

図3　LBMによって製造された垂直尾翼用のアルミニウム製カメラカバー。

プロセス：熱溶解積層法（FDM：Fused Deposition Modeling、米ストラタシス社[Stratasys]のFortus装置に採用されている）は、2年前から「Airbus A350」の部品に対してシリアル・モードで適用されている。ポリアミド（PA）を用いた粉末焼結積層造形法（SLS：Selective Laser Sintering）は、デモ用部品に使用されているほか、同社の新しい貨物輸送機「Beluga」用のヘリコプターやブラケットの最初のシリアル生産に適用されている。耐火性が高くないことから、今のところ旅客機にはまだ適用されていない。

金属に対するLBMとEBMは現在、

図4　このチタン製二重壁燃料コネクタで、溶接鋳造部品アセンブリを置き換えることにより、約50%のコスト削減効果が得られた。鋳造工具が不要になったためである。

図5　積層造形によって製造され、35%の軽量化を達成したこの飛行安全性に関連する油圧部品は、A380航空機に搭載された。

最初のシリアル生産に入っており、大型プレートからの部品を圧延するための、線材や粉末を供給する高蒸着速度（HDR：High Deposition Rate）のプロセスが、2018年末をターゲットに導入される予定になっている。

装置：積層造形装置を提供するメーカーの数は急速に増加しており、世界市場における競争は高まっている。産業的な観点からは、プロセス内の高品質ツールが、将来の自動積層造形設備において重要な役割を担う。今後10年間で、さまざまなサイズや特定部品用の積層造形装置に加え、多機能積層造形システムが登場することが予測される。たとえば、オランダのある積層造形装置供給メーカーは、熱処理機能を装備する装置を提供しており、DMG森精機のミリングセンターには、粉末供給のHDR積層造形ツールが搭載されている。

航空機に搭載された初めての部品

エアバス社は2014年2月、30年前に手書きで描画された客室乗務員用座席部品を3Dで再設計する2年間にわたるプロジェクトを終え、初めての3Dプリントによる FDMスペア部品を航空会社に供給した。現在は、純粋にデジタル製品となっており、ほぼオンデマンド形式でエアバス社が自ら製造している。それまでは、20年前の「シリアル工具」を用いたプレス成形によって製造されていたために、10年分の在庫が用意されていた。

FDMを適用した数百個の飛行試験用ブラケットが、初めて新しいA350のテスト航空機に搭載されたのは2014年のことである。2014年6月には、LBMプロセスと、トポロジを最適化した新しい設計手法を採用して、初めて積層造形で製造されたバイオニックデザインのチタン製キャビンブラケットが、2年間のテスト期間を経て、A350に搭載された（**図1**）。こうした取り組みはいずれも、エアバス社におけるその後の積層造形に大いに役立っている。それらは2016年以降、積層造形を実際に産業用途に適用するにあたっての技術的な実行可能性と将来の機会を実証するものだったからである。

飛行の安全性に関連する油圧部品においても、積層造形の能力が実証されている。これまでに、ほぼ全体的にLBMが適用された部品が製造されている。そのうちの95%が、エアバス社と提携する独レーザ・センター・ノース社（LZN：Laser Centre North）、独ホフマン・イノベーション・グループ社（Hofmann Innovation Group）、米ツールクラフト社（Toolcraft）、APワークス社などによって製造された。

応用例

高速開発プロセス：THOR（Testing High-tech Objectives in Reality）の航空機は、ほぼ完全にプラスチックを材料とする3Dプリントによって製作された、3.7mの飛行可能プラットフォームである。少しだけアルミニウム部品が使われており、機体重量は25kg未満である。理論的な調査結果に匹敵する積層造形の能力を実証することがその目的だった。**図2**は、その実証に成功して飛行するTHORの航空機を示したものである。

LBMによる飛行試験用ハードウエアの製造：チタン、イノックス、アルミニウム製の各部品が、複数のA350/A330NEOテスト航空機に搭載されて、実環境でテストされた。垂直尾翼用のアルミニウム製カメラカバーは、その一例である（**図3**）。

航空機システムに対する、チタンを用いた初めてのシリアル生産：2016年に供給開始されたプレミアム・エアロテック社（PAG）のチタン製二重壁燃料コネクタは、溶接鋳造部品アセンブリを置き換えることによって、約50%のコスト削減効果をもたらした。鋳造工具が不要になり、リードタイムが数

カ月から11週間に短縮されたためである（**図4**）。

トポロジを最適化したシリアル生産による初めてのチタン製ブラケット：PAGが初めて積層造形でシリアル生産し、30%の軽量化を達成したA350航空機用部品は、2017年第4四半期に供給開始された。

積層造形によって製造された飛行安全性に関連する油圧部品：2017年3月30日、積層造形によって製造され、35%の軽量化を達成した飛行安全性関連の部品を搭載する「A380」航空機が初めて飛行した（**図5**）。

最初の部品に対する適用を経て、ゼロからの設計へ

積層造形という新しい時代に突入するための最初の一歩は、1対1で交換可能な積層造形部品を製造することだったが、その次の一歩は、部品全体を再考することである。

積層造形によって実現される多機能で統合性に優れた「ゼロからの設計」の自由度を最大限に活用することがその目標である。それは油圧装置かもしれないし、これまで126ものパーツやリベットで構成されていたものに置き代わる、3つのパーツからなるブラケットかもしれない。それは、約120のパーツのコストが浮き、アセンブリコストが95%削減することを意味する（工具の保守、備蓄、物流も不要になる）。これについては、2019年以降のシリアル生産に向けて検討を進めている段階にある。

積層造形によってエアバス社は、本当の意味で製品を再考することができる。たとえば、3D設計ソフトウエアを提供する米オートデスク社（Autodesk）をはじめとするパートナー企業と共同で実施したバイオニックパーティション（Bionic-Partition）プロジェクトでは、大きなスイレンの構造を模倣したスポイラーを製造したり、粘菌類の成長をデザイン数学に取り入れたりといったことを実際に行った。このプロジェクトは、将来の積層造形製造に関連付けられた、ジェネリックな設計手法の能力を実証するもので、45%の軽量化を達成した。それによって「A320」航空機の年間燃料使用量は、約3トン削減されると試算される（**図6**）。

図6　バイオニックパーティション・プロジェクトは、将来の積層造形製造に関連付けられた、ジェネリックな設計手法の能力を実証するもので、A320航空機の年間燃料使用量を約3トン削減すると試算されている。

2025年の展望

エアバス社は2016年、2025年の達成目標を定めて、10の大学や機関の支援を受けた取り組みをスタートさせた。迅速な製品開発を目指し、工具の必要性をなくし、オンデマンド製造を実現し、必要原材料を削減し、軽量化に向けた変革を導入するなど、積層造形によって実現されるさまざまな成果の達成を目指す。

積層造形市場が今後も成長し続けるためには、産業化に向けた体制全体を整備して発展させていくことが必要である。最大の課題は、将来の製品の可能性を開拓するための「ゼロからの設計」を理解して、必要なすべての設計原則を定めて産業用ソフトウエアソリューションを開発することである。そして、新しい要件や各種当局の許可を含めて、そのすべてを検証する必要がある。

著者紹介
ピーター・サンダー（PETER SANDER）は、独エアバス社（Airbus Operations GmbH）のEmerging Technologies & Concepts（新興技術およびコンセプト）担当副社長。
email：peter.sander@airbus.com URL：www.airbus.com

ILSJ