

《目次》

国際ウェルディングショー・・・1～4 p	OTC 2016・・・・・・・・・・・・・・5～6 p
Techno Frontier 2016・・・・・・7～10 p	水素・燃料電池展・・・・・・・・・・・・11～15 p
人と車のテクノロジー展・・・・16～17 p	蠟梅 Now・・・・・・・・・・・・・・18 p

2016 国際ウェルディングショー、スマートプロセスフォーラム

神鋼リサーチ (株) 宮内 重明

「2016 国際ウェルディングショー」は世界の三大ウェルディングショーのひとつであり、溶接・接合技術ならびに関連分野における最新の製品と先端溶接加工システム技術を一堂に結集して、商取引や技術習得、内外交流の場として活用する日本唯一の溶接専門展である。東京と大阪で交互に開催されており、本年度は4月15～17日にインテックス大阪で開催された。

同展示会には技術動向などを議論するフォーラム（講演会）が設けられている。小職が参加した「スマートプロセスフォーラム」は「新時代の構造材料とその加工プロセス」をテーマとして、「CFRP」、「異種材料接合」、「積層造形法」における最新の話題が提供された。本報告ではこれらの話題のうち「積層造形法」に関するトピックスを述べる。

積層造形法とは3次元CADデータを実体化する方法であり、「立体をある軸に直交する多数の面で切断したときに生ずる薄片を積み重ねる」ことにより造形する。1990年代に携帯電話ケースなどの短時間試作に活用された「ラピッドプロトタイプング」もその一種である。当時、積層造形法に使用された材料は樹脂であったが、工業用製品として使用されるためには強度が不十分であった。近年、金属を用いた積層造形法が実用化されて、航空機エンジン部品、医療製品などへの適用が開始された。鍛造、鋳造、切削加工に続く造形技術として注目されている。

薄片を実体化して重ねて接合する積層方法には様々なものがあり、それらは接着、溶接など従来の接合方法が利用されている。

ASTMでは付着方法を下記の7つのカテゴリーに分類している。

- ① 液槽光重合法 (Vat Photopolymerization: VP)
- ② 粉末床溶融結合法 (Powder Bed Fusion: PBF)
- ③ 結合材噴射法 (Binder Jetting: BJ)
- ④ 材料押出法 (Material Extrusion: ME)
- ⑤ 材料噴射法 (Material Jetting: MJ)
- ⑥ 指向性エネルギー堆積法 (Directed Energy Deposition: DED)
- ⑦ シート積層法 (Sheet Lamination: SL)

これらの方法は大きく、製品となる部分のみ選択的に材料を固化させる「選択的材料固化方式」(①、②、③)、製品となる部分にのみ選択的に材料を供給する「選択的材料供給方式」(④、⑤、⑥)、シートを積層させる「シート積層方式」(⑦)に分類できる。

以上、積層造形法について、分類、材料形状、供給材料形態などをまとめて表1に示す。

これらの方法のうち、金属材料に適用されている積層造形法は「③ 結合材噴射法」、「② 粉末床溶融結合法」、「⑥ 指向性エネルギー堆積法」である。

結合剤噴射法は、粉末を敷き均したシートの特定期域に液状の結合材（バインダー）を噴射して粉末を結合させる積層造形法である。金属鑄造用砂型の製造などに適用されており、中空鑄物を製造する場合にも中子を省略できるなどの利点がある。また、金属粉末を原料とする場合は粉末床より取り出した製品を焼結して最終製品を得ることができる。

粉末床溶融結合法は、粉末を敷き均したシートの特定期域をレーザーや電子ビームの熱エネルギーにより選択的に溶融・結合させる積層造形法である。熱エネルギー源としてレーザーを使用する方法はレーザー焼結法（Laser Sintering: LS または Selective Laser Sintering: SLS）、選択的レーザー溶接法（Selective Laser Melting: SLM）、電子ビームを使用する方法は電子線溶融法（Electron Beam Melting: EBM）と称される。

指向性エネルギー堆積法は金属材料を供給しながらレーザー等で熱エネルギーを与えて溶融・堆積させる積層造形法である。エネルギー源として、レーザー、電子ビーム、プラズマ（アーク）が適用されており、レーザーをエネルギー源とする方法は商標として LENS、LAMP と称される。また、供給金属材料の形態として粉末、ワイヤーの 2 通りがある。ワイヤーと供給する方法は、肉盛溶接の延長線上にあるものと考えられ、金属部品の補修にも適用できる。

表 1 積層造形法の 7 つのカテゴリーおよびその概要

大分類	分類	代表的な材料	材料の形態	加工法の例	概要
選択的固化方式	液槽光重合法 Vat Photopolymerization: VP	光硬化性樹脂、セラミックス	液体	・光造形法	液槽に溜めた光硬化性樹脂をレーザー等により部分的に選択、効果させて積層する造形方法
	粉末床溶融結合法 Powder Bed Fusion: PBF	金属、樹脂、セラミックス	粉末	・レーザー焼結（Laser Sintering: LS ） ・レーザー溶融（Selective Laser Melting: SLM ） ・電子線溶融（Electron Beam Melting: EBM ）	レーザーや電子ビームの熱エネルギーにより粉末材料の特定期域を選択的に溶融・結合させる積層造形方法
	結合剤噴射法 Binder Jetting: BJ	樹脂、金属、砂、石膏、セラミックス	粉末	・3DP（Three Dimensional Printing）	液状の結合材（バインダー）をノズルより噴射して、粉末材料を結合させる積層造形方法
選択的材料供給方式	材料押出法 Material Extrusion: ME	熱可塑性樹脂	フィラメント	・溶融物堆積法（Fused Deposition Modeling: FDM ）	加熱することにより溶融状態になる樹脂をノズルより押し出して積層させる造形方法
	材料噴射法 Material Jetting: MJ	光硬化性樹脂、ワックス	固体または液体		液体材料をノズルより噴射して選択的に堆積させていく積層造形方法
	指向性エネルギー堆積法 Directed Energy Deposition: DED	金属	粉末または固体	・Laser Engineered Net Shaping: LENS 、 ・Laser Additive Manufacturing Process: LAMP	金属材料を供給しながらレーザー等で熱エネルギーを与えて溶融・堆積させる積層造形方法

				など	法
	シート積層法 Sheet Lamination: SL	紙、樹脂など	シート または テープ	・Laminate Object Modelling: LOM など	シート状の材料を層ごとにレーザーやカッターで切断しながら積み重ねていく積層造形方法

出典) みずほ情報総研レポート Vol.9 2015、新野俊樹;型技術 第29巻 第2号 2014年2月号 p.18より神鋼リサーチで整理した。

積層造形法のメリットとして、

- ・ 鍛造、鋳造では実現できない複雑形状物が作製可能である。
- ・ 高融点金属、鍛造が困難な材料の造形が可能である。
- ・ 切削法と比較して、造形に必要な原材料が少量ですむ。
- ・ 複数のモデルを一度に製造することができる。
- ・ 複数の異なる材料を使用して一体造形が可能である。
- ・ 何度でも毎回同じ製品を製造できる。

ことが挙げられる。一方、デメリットとしては

- ・ 造形に長時間を要する。(大量生産への適用が困難である。)
- ・ 要求される精度が高くなると作製時間が増加する。
- ・ オーバーハングを有する立体では、サポートを使用する必要があり、後工程で除去する必要がある。
- ・ 特に金属積層造形では、造形物に微細孔などの欠陥が残存するため、後工程（焼鈍、HIP など）が必要である。

ことが挙げられる。

金属積層造形法は宇宙航空分野、医療分野などに適用されている。

GE は粉末床溶融結合法により LEAP エンジンの燃料噴射ノズル (Co-Cr 合金製) を作製している。従来は 20 個の個別部品を組み立ててノズルを作製していたが、本法によると 1 個のノズルがそのまま完成するため、コスト低減、信頼性向上を達成することができる。これらの燃料噴射ノズルを搭載した LEAP エンジンの飛行試験が始まっており、実用化に近づいている。

Avio S.P.A は、難加工性材料である TiAl を用いてタービンプレードを試作している。積層造形法として、粉末床溶融結合法を用いており、現在特性を評価中である。また、Airbus 社は粉末床溶融結合法を用いて部品取付金具 (bracket) を作製している。強度に必要な部分を肉抜きした複雑な形状の作製が可能であるため、従来部品途比較して部品重量の低減が可能となった。

Lockheed Martin は人工衛星に使用する Ti 製球形タンクを、指向性エネルギー堆積法により作製している。積層造形法によって作製された部品は半球状タンクのニアネットシェイプであり、作製後に切削加工を施す必要がある。従来は塊状の Ti から削り出しによって作製しており、完成までに 20 ヶ月を要したが、積層造形法を利用することにより 6 ヶ月まで作製時間が短縮された。

医療材料分野では、Co-Cr 合金製の歯冠が作製されている。患者個人の歯の形状に適合させることができるため、患者の歯に無理な力を及ぼすことがない。

一般工具においては、指向性エネルギー堆積法を用いて刃先にタングステンカーバイドを積層した大型カッターブレードを STANLEY 社が販売している。従来のカッターブレード

ドに対して、歯の寿命が 5 倍に伸張して、内装業者などに好評であるという。

このような積層造形法の金属材料への適用は、ファイバーレーザーの登場により可能となった、また、切削加工などと組み合わせたハイブリッド加工装置も開発されている。量産性、製品の完全性（内部ポア、充填率など）に課題は残るが、鋳造・鍛造、切削加工とともに、金属加工法の有力な手法になると考えられる。また、従来加工法では達成不可能な形状の立体を作製することができ、部品の設計方法などを含めて、今後の発展が見込まれる。

以上