

H26 年度第 1 回研究会「3D プリント技術」

赤木 与志郎

講演(1) アディティブ・マニュファクチャリング (AM) の光造形法

シーメット(株) 営業部営業グループ リーダー 中山智氏

シーメット(株)は横浜市に R&D 拠点をもち光造形装置および光硬化樹脂の製造販・保守を手がけている。ファブレスとするも試作・量産品製造を特徴とした越業後 26 年、資本金 4 億円の開発型企业である。シーメット(株)の社名の由来は CMET: Computer Modeling and Engineering Technology。

同社は 1988 年国産 1 号機を開発し、1990 年にシーメット(株)を設立。1997 年に NTT データシーメット(株)に、また 2000 年にはシーメット(株)に社名変更し 2001 年には帝人製機(株)オプトイメージングカンパニーと事業統合し現在に至っている。この間、光造形装置を開発販売し経産省 3 次元砂型積層造形装置開発 PJ 受託 (2013 年)、日経最優秀製品・サービス賞受賞 (2014 年) と着実な成果を上げてきた。

事業開発戦略は多数の特許に基づき装置・材料・ソフトの三位一体開発によりアジアで多くの販売実績としているが特許の権利範囲が米国や EU に及ばないためアジアに限定されるという課題もある。

シーメット(株)装置開発の経緯

光造形装置は原理的には材料・スピード以外は 25 年間変化が少ないが応用分野としては試作が主であったため、従来は Rapid Prototyping (RP) としてきた。しかし現在では試作に留まらないレベルまで来たことを反映し Additive Manufacturing (AM) と呼ばれる

に至っている。

またソフトウェアの進歩も著しく、従来別々であった 3D データ作成と造形加工は、2009 年以降一体で完結・稼働するレベルまで来た。

光造形樹脂も開発当初から現在では第 6 世代の開発途上とした。第 2 世代までは形状保持を目的としてきたが第 3 世代では耐久性、第 4~5 世代では透明性・耐湿性を進め、第 6 世代では汎用プラスチックに近づけることをめざしている。

光造形プロセス

光造形では造形プロセスのみならずプリ・ポストプロセスの比重がプロセス的にも時間的にも高い。プリプロセスでは z 方向のピッチが 0.1 mm 程度であり STL データから CMET データベースへの変換処理、光硬化樹脂の余剰硬化分やレーザビーム径との調整が重要である。同時に造形に不可欠な形状サポート作成がプロセス上不可欠であり同社のノウハウの蓄積が高いとした。ポストプロセスではサポートの除去、未硬化樹脂の洗浄乾燥、ポスト露光、ポストベークが欠かせない。これらの集大成として 2014 年日経最優秀製品・サービス賞受賞対象となった ATOMm-4000 がある。造形対応大きさは 400×400×300 mm と他の成形法に比べて大型である。

試作から製造へ

RP から AM への概念の変遷からも明らかのように光造形法の試作から製造へのシフトは今後益々重要になっている。2020 年までにはデザイン確認等の光造形法の活用域は約現在の 30% 台から 15% 程度に縮小すると予測さ

れている。一方、製品製造の占める割合は現在首位の機能性能評価を抜いて現在の 20% から 50% 近くに拡大するとの話であった。

シーメット(株)の開発事例

透明性を生かした可視化ソリューションおよび易消失性を生かした精密鑄造が応用の中心である。例として EV 用モーターケース冷却水流れの確認やエンジンのシリンダヘッド冷却水の流れ確認および CAE 計算結果との比較検証があった。また、光造形品からの精密鑄造を挙げ複雑形状のマニフォールド、ランナー、ターボインペラ、インバータ放熱フィンを紹介があった。易消失成形品のための光造形品は易消失性を増すための構造上や材料上の工夫も成されている。また、羽モデル 6 個を製造したときのリードタイム、コスト試算の結果を既存ワックスモデルと比較し各々 50% 以下の低減を可能とした。しかし、当然のことであるが鑄造品ではリードタイムやコストに加えて寸法精度や面粗度の管理が不可欠である。現状では寸法精度は光造形品では ± 0.1 mm 以内、鑄造品では ± 0.25 mm 以内とのことであった。

種々の成形法との比較と今後の課題

光造形法とロスト WAX 鑄造、粉末積層、熱溶解堆積、インクジェットと比較した結果、光造形法はリードタイム、複雑形状への対応でやや競争優位が見られるという話があった。また、寸法精度や面精度では光造形法が ± 0.1 mm \sim ± 0.25 mm でポスト加工が必要なのに対してインクジェット法が 16 ミクロンと光造形法を上回る結果であった。大型加工対応ではインクジェット法以外はほぼ対応可能であり寸法精度と造形品寸法とはトレードオフとなる。また、光造形法で用いるエポキシ系を中心とした UV 硬化樹脂材料は材料の途中からの変更が難しい。また、可視化品の場合研磨処理がポスト処理の多くを占めることの指摘があり寸法精度、面精度向上が依然として技術課題となっている。また、光硬化樹脂であ

るため大型成形品になるほど寸法の経時変化も課題となるとの指摘もあった。

コストを抑えるためには材料を有効に使う必要があるため材料の長期安定性や完成品の透明度、湿度・温度安定性を含めた材料面の課題、さらにはポスト処理での課題が残ると印象を受けた。

講演では開発事例は評価モデルが中心であったが、今後は製品製造に向けた比重が高まるとの話があった。今後の進展を期待したい。

講演(2) 金属粉末積層造形法を活用したものづくりと研究開発

(地独) 大阪府立産業技術総合研究所加工成形科 主任研究員 中本貴之氏

大阪府立産業技術総合研究所は加工成形科、金属材料科、金属表面処理科、制御・電子材料科、製品信頼性科、化学環境科、繊維高分子科、皮革試験所からなる技術専門科を有する大阪府の試験研究機関である。同所では 1999 年から金属粉末積層造形法を活用した研究開発を進めてきた。

金属粉末積層造形法(AM)の特徴と造形事例

同法では 3 次元データから 2 次元スライスデータを作成し積層造形により 3 次元形状を作成するものである。ここでは金属粉末を 1 層分 (0.02~0.05 mm) ブレードで供給し 2 次元 STL データに基づき造形部分にレーザー (0.4 mm 径) を照射して金属粉末を熔融・焼結するものである。本手法の利点は金属粉末を 100% 利用する点であり樹脂を用いた光造形法とは全く異なり原料の劣化等の問題はない。

同法の特徴は複雑形状の短時間造形であり短所は寸法精度、面粗度、サポート切断除去である。これは樹脂を用いた光造形法と基本的には同じである。樹脂を用いた光造形法と異なる点はその重量故の金属固有の応力集中がある。これを解決するために応力集中が予想される箇所を設計時や加工時に多孔質化し

たりプロセス条件を調整する必要がある。

加工事例としてはインペラー、スクリーなどがあつた。これらは5軸の加工機を使つても出来ない構造を対象とし、外形100~180mmでは22時間程度が必要となる。この点は樹脂を用いた光造形法と基本的には同じである。携帯電話の成形金型例、冷却水路のカットモデル等の事例も紹介があつた。

造形形状でオーバーハングは造形が容易ではなく内部応力から反りやクラックが生じるため3次元CADデータから2次元STLデータ変換時に相当な工夫が必要となる。また、サポート除去は金属であるため容易な問題ではなく大きな課題として残るため設計時に相当な工夫が必要となる。

鋼系粉末のAMによる造形物の高強度化・高硬度化

同所では2000年のAM装置導入以降アルミニウムダイカスト製品、2005年からは炭素鋼粉末を用いた高強度造形を開始し、2007年からプレス金型、表面硬化処理を手がけてきた。課題としては強度・硬度不足であり成形品表面にスクラッチ傷が入るため後加工が不可欠となる点である。

レーザー照射条件、炭素量、金属組織、機械的性質、プレス金型特性、表面硬化処理

鋼系粉末の空隙分布、マイクロ組織化および機械的強度につきレーザー照射条件、炭素量依存性の詳細な検討例の紹介があつた。

CO₂レーザー200W、照射径0.4mmにて走査ピッチと走査速度を検討した結果、炭素量減少により空隙体積は増加した。このことから炭素量増加により緻密化に必要なレーザーエネルギー密度は減少することが分かつた。炭素量増加に伴って鉄-炭素合金の表面張力が減少すること、融点降下により溶融領域が増大することが予想され溶融部分の濡れ性を向上させるためAM造形物の空隙体積が減少すると考えることが出来る。マイクロ組織化については鋼系表面部はマルテンサイト組織が見ら

れることからレーザー照射により焼き入れされていることが分かる。内部は積層形成時に繰り返す熱的影響を受けるためパーライト組織が見られることから焼き戻しが顕著となっている。これらの検討から造形したままで高強度・高硬度な造形を実現するためにはレーザー照射条件としては空隙密度を低減しつつ投入エネルギー密度を低減することが必要となることが分かつた。

これらの結果、S33粉末のAM金型はビッカース硬度や降伏応力が溶融材と比べて大きな値となり耐久性の向上も実現した。造形物のプラズマ窒化処理結果では表面硬度は680HVに達し造形のみと比べて2倍となり耐摩耗性も向上することが分かつた。

チタン粉末のAMによる高強度かつ低弾性率インプラントへのアプローチ

・金属インプラントの課題

チタンは生体適合性が優れており整形外科や歯科で広く利用されている。研究所では2008年より取り組んできた。チタン材料をこれらの用途に用いる場合の課題としては骨の成熟阻害の問題がある。これは骨の弾性率(10~30GPa)が金属の弾性率(100~200GPa)と大きく異なるため、骨と金属が併存した場合、加重の大半を金属が受け止めてしまうため骨に荷重がかからず骨の成熟が阻害され脆弱化するためである(骨吸収、骨退化)。

・高強度低弾性率多孔体形成による低弾性率の実現

積層造形法によりチタンのポーラス構造体を形成し低弾性率化をめざし、造形物のレーザー照射条件による相対密度と形状、相対密度とヤング率と降伏応力とを検討した結果、相対密度60%程度の空隙率を有する造形物のヤング率は30GPa程度あり、骨と同程度を示すことが分かつた。降伏応力は130GPaで骨よりは高くなることも示した。

産技研装置の特徴

従来のCO₂レーザー200WからFBL(ファイバ

ーレーザ)400 W で造形時間の短縮をめざし、
ビーム径 0.1 mm～ 0.5 mm により寸法精度の
向上を実現し新規材料を造形可能としている。
課題としてはアルミニウム系合金では熱伝導
が大きいため走査速度による熱変形の回避が
必要となる。これは航空機部品への応用を考
えたとき重要とした。

材料的には鉄系、鋼系、アルミニウムやチ
タンなどの軽合金など多岐に亘る。一方、活用
例はまだまだ模索中と言う印象を受けた。
医療応用や航空機応用では溶融材と比べてよ
り高い構造信頼性は勿論、長期信頼性も求め
られる。金型応用についても十分な強度・硬
度を実現しつつあるがポスト処理コストを含
めた比較検討が不可欠となるであろう。

講演(3) 計算解剖と 3D プリンタ～医療分野に 於ける 3D プリンタの活用法

名古屋大学情報統括連携本部情報戦略室 名
古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学
専攻 教授 森健策氏

森健策氏は MRI, CT, us などの医用 2D 画像
情報を基づく解剖構造理解を通じた外科向け
診断支援と手術ナビゲーションを手がけてき
た。一方、FDM: fused deposition modeling
(熱溶融物堆積法) を開発してきた
Stratasys 社 (3D 造型機/3D プリンタ全体で
40%の市場占有) の基本特許が切れたこと
により低価格帯 3D プリンタが一挙に登場し、い
ろいろな応用法が模索されている。本講演で
は、医療分野での応用、特に外科分野におけ
る 3D プリンタの応用に関する紹介があった。
医用 2D 画像情報を用いた解剖構造理解

画像情報は MRI, CT, us など種々あるが白
黒出力画像からなる 2 次元画像である。これ
らから臓器領域を認識し特定する臓器セグメ
ンテーションが不可欠となる。臓器領域情報
のみならず血管名情報、血管分岐パターン情
報も必須である。内視鏡像そのものは基本的
に視野が狭く 2 次元のため遠近感に乏しい。

このため内視鏡像とともに自動追従する仮想
化内視鏡像を提示する内視鏡手術ナビゲー
ションが重要となっている。仮想化内視鏡像は
セグメンテーションがすでに可能となり内視
鏡像では見えない臓器位置を仮想内視鏡で確
認することも出来る。森健策氏はこれらの 2
次元手術ナビゲーションを立体造型機を用い
た臓器モデル作成でさらに高度な 3 次元の手
術ナビゲーションまでをも可能とするため、
すでに普及していた工業用 3D プリンタ技術
を導入し 2008 年から立体臓器モデル造形を
手がけてきた。

3D プリンタ技術の医療応用

画像情報は 2 次元であるのに対して 3D 情報
では遠近感もあり解剖構造の把握が容易とな
ることが期待できる。そのため、診断支援で
は解剖学的構造把握が可能となり、治療支援
では手術プランニング、手術トレーニングが出
来ることとなるため患者個別治療が可能とな
る。

森研究室に於ける 3D プリンタの活用

2008 年の粉体造形、2011 年の FDM、2013
年のインクジェット方式を採用し透明樹脂の
中に不透明材質を造形可能となっている。こ
れにより臓器中の血管組織やリンパ組織の造
形も可能となっている。具体的には医療用画
像 DICOM(Digital Imaging and Communication
in Medicine: CT, MRI, 内視鏡, us, 医用画
像診断装置、医用プリンタ、医用画像システ
ム共通国際画像・通信規格) データをボリュ
ームレンダリングで 3 次元化し不透明感の調
整や伝達関数による可視領域の調整を行い造
形用の STL ファイルとして造型機に渡して造
形を開始する。紫外線硬化樹脂を用いた造形
法では表面粗度が粗いため先の CMET 社の中
山氏の発表と同様、表面研磨やサーフェイサ
ー塗布などの後処理が不可欠となるとのこと
であった。

3D プリンタによる造形方法

腎臓モデルや血管構造モデルのように臓器

形状をそのままの形で造形する形状露出法、肺モデルや肝臓モデルのようにモデルの中に血管系などを造形する内部構造造形法、微細血管などをそのまま形状露出法により造形することが容易ではない場合は形状露出モデルを反転させたような形状モールド法、形状モールド法中に解剖学的名称を文字表示するメタアノテーション造形法などがあり用途に応じて使い分けている。

医用3Dプリンタに求めるもの

材料開発課題としては生体適合性、滅菌法開発、可色性、があり、3Dプリンタへの要求としてはキーワードで「安透軟色生滅」を挙げた。臓器モデルは現在の診療報酬「実物大臓器立体モデルによるもの」が収録されているが2000点加算(20000円)である。また、透明材料を用いて臓器内部の構造を見たいというニーズも本来の医療分野応用の目的の一つである。更に部位ごとに異なる人体の柔らかさを再現する必要もある。これらの部位はたとえば肝臓切除の手術シミュレーションにも使えるように必要であれば切断可能である

ことも望まれる。また、現在は赤や青を含む3色で造形可能となっているがフルカラーで臓器が再現できることも重要である。毒性試験などに適合するような材料であることも不可欠であろう。最後の滅菌については術中使用を前提とするためには130度のオートクレーブ滅菌、ガス滅菌、放射線滅菌があるが現在は手間や材料の制約や毒性試験等の制約があるため樹脂製の袋への収納で対応している。

今後の課題としては材料の開発と並んでより精緻な臓器モデルの造形を挙げた。

本手法は、臓器立体モデルにより3D実空間での手術ナビゲーションが可能となり手術前トレーニング、シミュレーションを含めて、現行の内視鏡のみによる手術形式を大きく変えるものとなる可能性は大である。一方、高度な手術ナビゲーションにどこまで迫れるか、迫れるとすれば何が必要か、どのような医療情報や臓器モデル材料が必要となるか、モデル臓器の重要な順位は何か、も含めて今後の進展が興味深い講演であった。