

平成 27 年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「同時 5 軸制御 Additive Manufacturing（加法的製造）による Light  
Weight Structure（軽量構造）の実現」

研究開発成果等報告書

平成 28 年 3 月

担当局 関東経済産業局  
補助事業者 公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構

## 目次

第1章 研究開発の概要	
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	3
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5
第2章 本論	
2-1 プリンタ本体の開発	6
2-1-1 ハードウェアの開発	6
2-1-2 制御ソフトの開発	9
2-1-3 熱溶解積層モジュールの開発	11
2-2 同時5軸制御 AMM 用 CAM の開発	11
2-2-1 熱溶解積層造形のデータベースの開発	11
2-2-2 荒造形用 CAM の開発	12
2-2-3 仕上げ造形用 CAM の開発	12
2-2-4 造形シミュレーション	14
2-3 同時5軸制御 AMM のハードとソフトの評価及び LWS の設計・造形	15
2-3-1 評価モデルの設計	15
2-3-2 評価モデルの造形実験	15
2-3-3 造形物の物理的評価テスト	16
2-3-4 LWS の設計と施策	18
第3章 全体総括	20

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

3D プリンタはものづくりの新しい手段としてこれからの発展が期待されているが、以下の3つの大きな問題を抱えている。

- (1) 上に広がった形状を積層造形する場合、サポート(支え)を造形する必要がある。
- (2) 一般的な3D プリンタは、仕上がり表面に凹凸があり、面粗度や寸法公差が大きい。
- (3) 日本のユーザーが、欧米の3D プリンタメーカーと緊密に連携することは難しい。

静岡文化芸術大学の望月達也教授は、同時5軸加工技術は日本の風土や国民性に合い、更にこの技術を啓発、発展させる事が日本固有のものづくりにつながる事を提唱してきた。上記の3つの問題を解決するため、同時5軸制御技術を応用した3D プリンタ開発することを教授が呼びかけ、榎本工業株式会社と株式会社C&G システムズが応じ、本プロジェクトがスタートした。

本プロジェクトは、同時5軸制御技術を“付加加工”に応用することであり、軽量化が特に重要な航空・宇宙や医療健康の分野でのLWS(Light Weight Structure)の造形・加工技術の確立を目指す。

### 1-2 研究体制

#### ①研究組織・管理体制

本研究開発事業は、2 民間企業と1 大学の3 機関からなる。関東経済産業局から、戦略的基盤技術高度化支援事業に対する補助金の交付決定を受けた補助事業者(事業管理機関)である公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構が、実際の研究開発に携わる間接補助事業者の榎本工業株式会社、株式会社C&G システムズ、公立大学法人静岡文化芸術大学を管理し全体の事業を推進した。図 1-1-1 は本プロジェクトの管理体制を示す。研究全体を総括的に管理するプロジェクトリーダー(PL)とそのフォローをするサブプロジェクトリーダー(SL)を設け、アドバイザーを含めた全体で行う研究開発推進委員会と、効率的に事業を進めるための研究実務者会議を開催した。

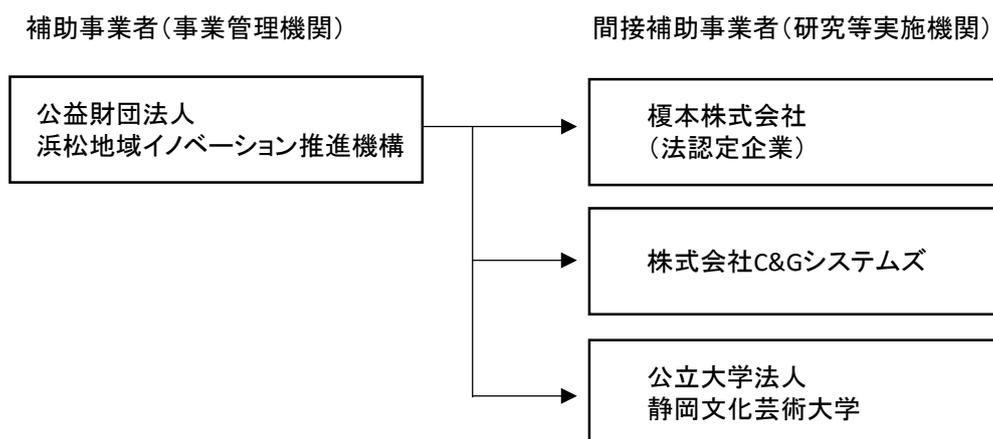


図 1-1-1 管理体制

②研究者氏名

榎本工業株式会社

氏名	所属・役職
川村 健広	部長 統括研究代表者 (PL)
小平 紀和	課長
杉浦 佳之	シニアアドバイザー
森本 直人	係長
窪田 道康	課員
中村 安寿	課員

株式会社 C&G システムズ

氏名	所属・役職
小泉 哲	統括部長
秋吉 直	課長
丸野 孝	テクニカルマネージャー
諏訪 修	
松本 隆一	

公立大学法人静岡文化芸術大学

氏名	所属・役職
望月 達也	デザイン学部 教授 副統括研究代表者 (SL)

(3) 協力者 (アドバイザー)

氏名	所属・役職
伊藤 芳典	静岡県工業技術研究所 浜松工業支援センター 機械科 科長
大野 敏則	株式会社エムシースクウェア 代表取締役・主任研究員
坂本 修	ヤマハ発動機株式会社 UMS 事業推進部 部長
北井 勝徳	浜松貿易株式会社 第4 営業部長
大木 誠	有限会社オフィス・エムアンドケイ 代表取締役

## 1-3 成果概要

### 1-3-1 同時5軸制御 AMM のハードウェアの開発

#### ①ハードウェアの開発

主軸とノズルを X、Y 方向に、テーブルを Z 方向に直行移動し、Y 軸まわり(B 軸)と Z まわり(C 軸)に回転揺動する機構とした。溶解樹脂を射出するノズル(ノズル径φ0.3mm)と加工ヘッドを本体の上部に設置した。追加積層の密着性を確保するために、加熱部とノズル清掃部を設けた。

#### ②ソフトウェアの開発

A 軸をフィラメントの送り制御に割り当て、樹脂フィラメントの送り速度(すなわち、溶解樹脂の吐出量)を X、Y、Z、B、C 軸の動きに対応させた。

#### ③熱溶解積層モジュールの開発

ABS または PLA の樹脂フィラメントは、サーボモータ駆動の送り装置により、ノズルに送られ、ノズル内部で溶かされた後、ノズルから吐出される構造とした。

### 1-3-2 同時5軸制御 AMM 用 CAM の開発

#### ①熱溶解積層造形(FDM)のデータベースの作成

溶解樹脂の吐出量を積層速度に応じて制御することにより、安定した積層構造を可能にした。

#### ②荒造形用 CAM の作成

切削加工用 CAD/CAM システムに積層モードを追加し、切削加工と積層造形が可能な「AMM-CAM」を開発した。

#### ③仕上げ造形用 CAM の作成

CADデータから寸法精度の高い積層構造のNCデータ(G コード)を生成する同時5軸制御 AMM用CAMを開発した。

#### ④造形シミュレーションの開発

積層造形の確認及び造形物と機械の構造物やノズルとの干渉をチェックするために、積層造形のシミュレーションを開発した。

### 1-3-3 同時5軸制御 AMM のハードとソフトの評価及び LWS の設計・造形

#### ①評価モデルの設計

同時5軸制御 AMMの基本仕様を評価するために、「丸もの」と「角もの」の2つのモデルを設計した。

#### ②評価モデルの造形実験

積層造形と切削加工が組み合わされた複数の工程で回転部品を作成した。またサポート構造を用いずに「プロペラ」を同時5軸制御で造形・切削した。

#### ③造形物の物理的評価テスト

複数の試作品を用いて、幾何精度、位置精度、表面粗さを測定し、積層造形品に加工を施すことにより精度が1桁向上することを確認した。

#### ④LWSの設計と試作

軽くて丈夫な Light Weight Structure(LWS)を実現するために、部品の内部構造や形状を検討し、試作品を製作した。

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人 浜松地域イノベーション推進機構  
事業推進部 米谷俊一  
〒432-8036 静岡県浜松市中区東伊場二丁目7番1号  
浜松商工会議所会館8階  
TEL:053-489-8111 FAX:053-450-2100  
E-mail: [kometani@hai.or.jp](mailto:kometani@hai.or.jp)

## 第2章 本論

### 2-1 プリンタ本体の開発

#### 2-1-1 ハードウェアの開発

従来の3Dプリンタでは、造形途中で形状が崩れるのを防ぐ目的でサポート材を内部に付加する必要があり、後に除去して廃棄されるサポート材がモデルの材料より多くなる例もある。3Dプリンタで各種メッシュ構造、多方向トラスや軽量柔構造を造形する場合、3軸制御方式であるために、サポート構造の付加が必要になり、部品形状の制約が多い。また、積層方向により、外力の加わる方向によって強度が異なってくることも問題であった。部品加工の生産性から見た場合、長い積層時間を要することもコストを上昇させ、利用上の制約要因となっていた。

表面の滑らかさを向上させるために、積層造形後に別の加工機に取付け直し、切削等の除去加工を加える場合、積層造形の原点と切削加工の原点を一致させることは難しい。可塑性材料からなる柔構造にあっては、構造や工作物保持姿勢によってはテーブルの一端による支えだけでは、切削加工負荷によって形状精度の維持が難しくなるばかりでなく、加工能率も大きく損なわれてしまう。

新たに開発した同時5軸AMM（Additive Manufacturing Machine）の3Dプリンタは、現在の問題点を解決するだけでなく、立体メッシュに代表される軽量構造の生産もできるように、コンセプトが全く異なる立体造形技術の確立を目指した。図2-1-1に本年度に開発試作したAMM2号機の外観と内部を示す。事務所の戸口からの出し入れを可能にするため、装置の奥行きは775mmとした。



図2-1-1 AMM2号機の外観と内部

図2-1-2にAMM2号機の構成を示す。主軸とノズルをX、Y方向に、テーブルをZ方向に直行移動し、Y軸まわり(B軸)とZまわり(C軸)に回転揺動する機構とした。溶解樹脂を射出するノズル(ノズル径φ0.3mm)と加工ヘッドを本体の上部に設置した。追加積層の密着性を確保するために、加熱部とノズル清掃部を設けた。重力(下)方向に落下する液体樹脂のドット(または細線)に対して、印写面が常に垂直であるように、X・Y・Z・B・Cの5軸を同時制御する。樹脂の同時5軸制御による積層造形と切削加工を実現するために、剛性、精度、切削粉対策を満足する仕様とした。また、部品のモジュール化やジュラルミン素材の採用により軽量化を図った。同時5軸制御による積層のメリットを生かして成形上での制約となる障害を排除し、組み込まれた高速回転主軸による切削加工により、成形精度を積層だけの従来品から1桁上を実現できた。

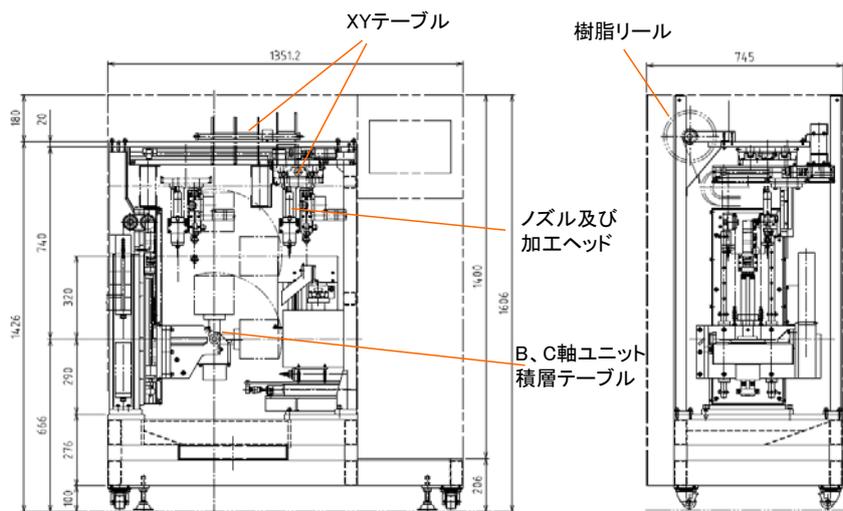


図2-1-2 AMM2号機の構成

初年度（平成26年度）に製作したAMM1号機を用いて造形及び加工のテストをしたところ、表2-1-1に示す3つの主な課題が明らかになり、対策を折り込んで、本年度、AMM2号機を製作した。表2-1-1にAMM1号機の課題とAMM2号機による対策を示した。

表2-1-1 AMM1号機の課題とAMM2号機による対策

AMM1号機の課題	AMM2号機による対策
1.幾何精度と位置精度の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ステージの倒れをソフトで補正できる軸構成に変更</li> <li>・構成部品の剛性アップと軽量化</li> </ul>
2.樹脂の吐出制御性の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・樹脂吐出量制御をA軸に割り当てX、Y、Z、B、C軸に同期する吐出制御を可能とした。</li> <li>・フィラメントの送りにサーボモータを採用することにより、吐出と引き込みをプログラムにより任意に設定可能とした。</li> </ul>
3.追加積層の強度アップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・射出ノズルをブラッシングするためにノズル清掃部を設置</li> <li>・積層体を加熱するために加熱部を設置</li> </ul>

一つ目の課題は、積層テーブルに荷重がかかったときの倒れを防止し、精度を向上させることであった。AMM2号機では、テーブル支持を片持ちから両端支持に変更するとともに、Z軸ユニットを左側面に配置し、テーブルに荷重がかかった場合でもB軸中心軸が影響を受けにくい構造とした。同時に、構成部品の剛性アップと軽量化により精度の向上を図った。二つ目の課題は、熔融樹脂の吐出の制御性の向上であった。特に、吐出を停止したときの樹脂の引きずりを防止する必要があるため、樹脂吐出量制御をA軸に割り当てX・Y・Z・B・C軸に同期する吐出制御を可能とした。また、フィラメントの送りにサーボモータを採用し、吐出と引き込みをプログラムにより任意に設定可能とした。三つ目の課題は、積層造形後に切削加工して、再度積層するときの密着強度を高めることであった。このため、射出ノズルをブラッシングするためのノズル清掃部を設置し、更に積層体を加熱するための加熱部を設置した。表2-1-2に、AMM1号機とAMM2号機の仕様の主な違いを示す。

表 2-1-2 AMM1 号機と AMM2 号機の仕様の主な違い

項目	AMM1 号機	AMM2 号機
X/Y/Z 軸 移動量	450 / 150 / 350 mm	425 / 135 / 320 mm
最大造形サイズ	120 x 120 x 300 mm	150 x 150 x 150 mm
フィラメントの送り制御	送り軸と独立制御	送り軸と連動制御
フィラメント送り	ステッピングモータ	サーボモータ
テーブルサイズ	120 x 120 mm	φ150mm
フィラメントリールの取付位置	向かって左側面	上面
使用材料	ABS 直径 1.75mm	ABS、PLA 直径 1.75mm 直径 3.0mm
幅×奥行×高さ	1,382×755×1,450 mm	1,355×755×1,610 mm
重量	580 kg	755 kg

① 回転軸ユニット及び積層テーブルの開発

BC 軸の動作制御機構は、精度、剛性、耐久性に優れたローラギア機構を採用する事によってゼロバックラッシュ機構とし、特性、精度、動作制御の応答性を向上させた。ステージはアルミ製 (A5052) で、内部に AC200V 100W のヒータを設置した。

図 2-1-3 は、B、C 軸ユニット及び積層テーブルの設計イラスト、図 2-1-4 は、組立後の写真を示す。C 軸は無限に回転することができ、B 軸は $-105^{\circ}$ ~ $+15^{\circ}$  を揺動する。

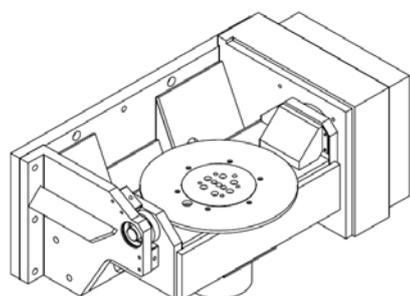


図 2-1-3 B、C 軸ユニット及び積層テーブル 図 2-1-4 組み立てられた積層テーブル

② 加熱部・ノズル清掃部の開発

図 2-1-5 にノズルとフィラメント供給装置で構成される熱溶融積層モジュールを示す。積層の材料として、リールに巻きつけられた ABS と PLA の樹脂フィラメントを使用する。フィラメントは供給装置を経てノズルに送られる。ノズルヒータは、AC120V 150W を用いた。ノズルは垂直方向に配置され、ノズルから排出される溶融樹脂は重力方向に落下し、垂直方向に平面を積み重ねて立体を造形する。図 2-1-5 の加熱部は、装置の正面から見て右側に配置し、加工面上に途中から積層を行う場合、B 軸を 90 度回転させテーブルを傾斜、移動させることにより積層体を加熱できる。追加積層の前に積層体を加熱することにより、再度積層するときの密着強度を向上できた。図 2-1-6 の射出ノズルのブラッシング部は、積層造形用ノズル先端の清掃を行い、新鮮で清浄な溶融樹脂を供給することにより積層品の品質を向上することができる。



図2-1-5 加熱部

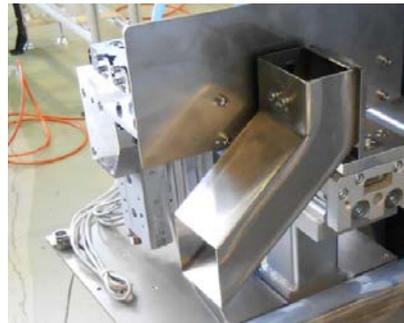
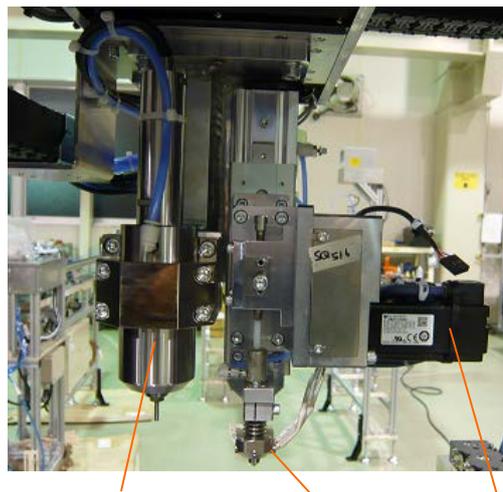


図2-1-6 射出ノズルのブラッシング部

### ③ ヘッド部（XYテーブル及びノズル・加工ヘッド）の開発

図2-1-7は、AMM2号機のヘッド部を示す。サーボモータによる送り速度調節機構により、フィラメントの送りを精度よく制御できるようになった。PLA（ポリ乳酸）は、熱収縮が小さく積層用材料に向いた樹脂であるが、切削が難しく使用用途が限定されていた。今回、地元工具メーカーと共同で専用工具を開発することにより、工具への樹脂の溶着や、バリの無い良好な切削面を得ることができた。



加工スピンドル      射出ノズル      サーボモータ

図2-1-7 AMM2号機ヘッド部

### 2-1-2 制御ソフトの開発

本システムは、加工ユニットとプリンタユニットのハイブリット構造で構成されている。加工ユニットとの切替えは、プログラム上のMコードで行う。現時点では、NCプログラム上でプリンタ用パラメータを直接指令することで、プリント動作を実現している。今後更に操作性の改善を図る為、条件設定他専用アプリケーションソフトの開発を進める。

#### ① システム構成

図2-1-8にAMM2号機の概略システム構成を示す。5軸制御3Dプリンタ用アプリケーションソフトで作成されたGコードプログラムにより軸制御を行う。X・Y・Z軸は直行軸の組合せにより構成し、B・C軸は回転軸により構成される。Y軸に配置された材料供給ヘッドには熔融した樹脂を供給するノズルが配置されており、作成されたプログラムに基づいた軌跡を駆動する。熔融される材料は、A軸によりノズルに供給される。ノズルに供給された材料は、温度コントロールされたノズ

ルヒータにより溶融され、造形物に供給される。

AMM1号機の供給送り制御は、軸送りと独立したS指令制御で実施していたが、製品の成形品質に安定性を欠く場合があった。AMM2号機ではこの点を解消する為、軸制御コントローラの制御軸数を5軸から6軸に変更し、送り速度に連動し、溶融材を供給することにより、成形品質の向上を図った。また、成形時の製品・製品周辺環境温度コントロールも実施した。その結果、成形品質を向上することができた。

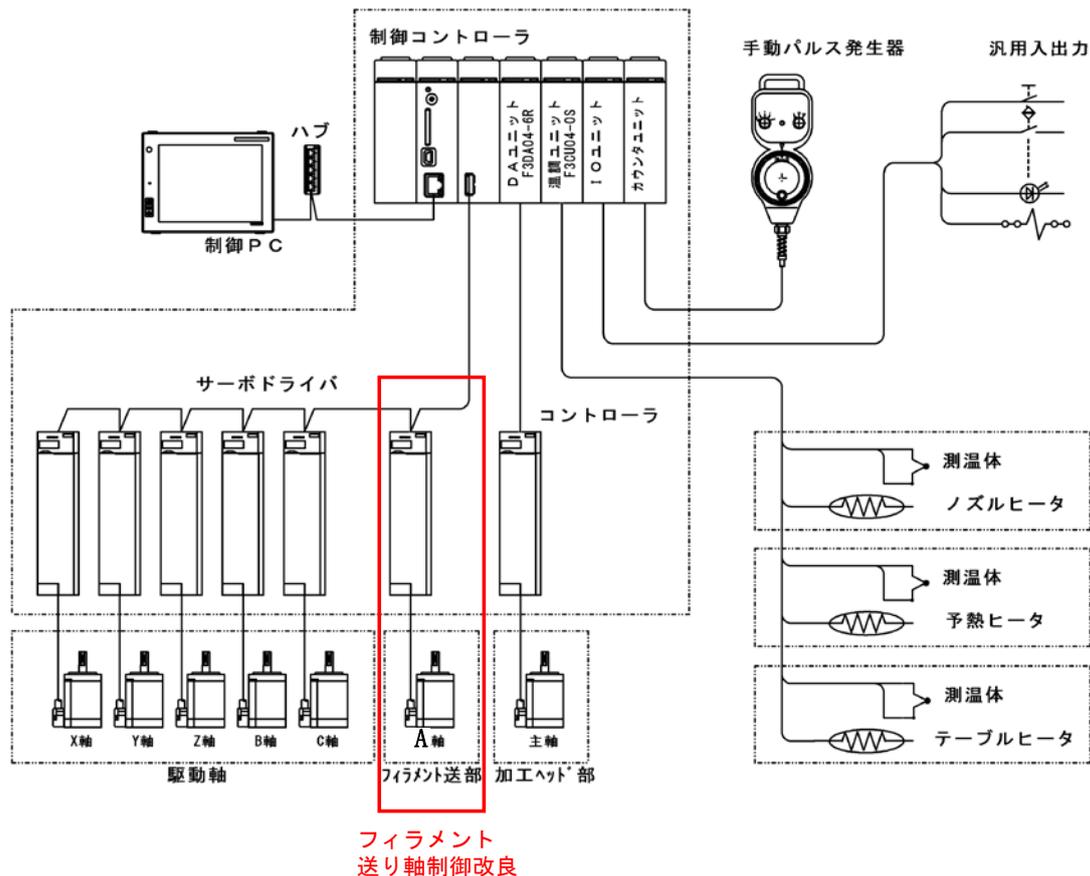


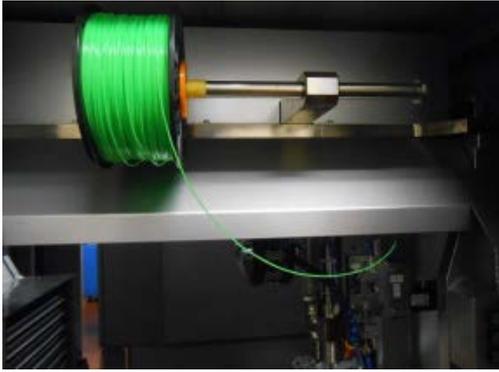
図 2-1-8 AMM2 号機の概略システム構成

## ② 制御コード事例

NCプログラム上のMコードには、主軸や工具保管部の回転/移動、ヒータのON/OFF、冷却ブローアのON/OFFなどの機能を持たせた。冒頭で加工機とプリンタのモードの切り換えを行い、それぞれのモードに沿った機能を選択し、所定の作業を実施する。

### 2-1-3 熱溶融積層モジュールの開発

図 2-1-9 に、AMM2 号機のノズルとフィラメント供給装置で構成される熱溶融積層モジュールを示す。フィラメントはサーボモータによる送り速度調節機構を備えた供給装置を経てノズルに送られる。フィラメントはノズル内部でヒータにより溶融され、溶融樹脂が吐出される。

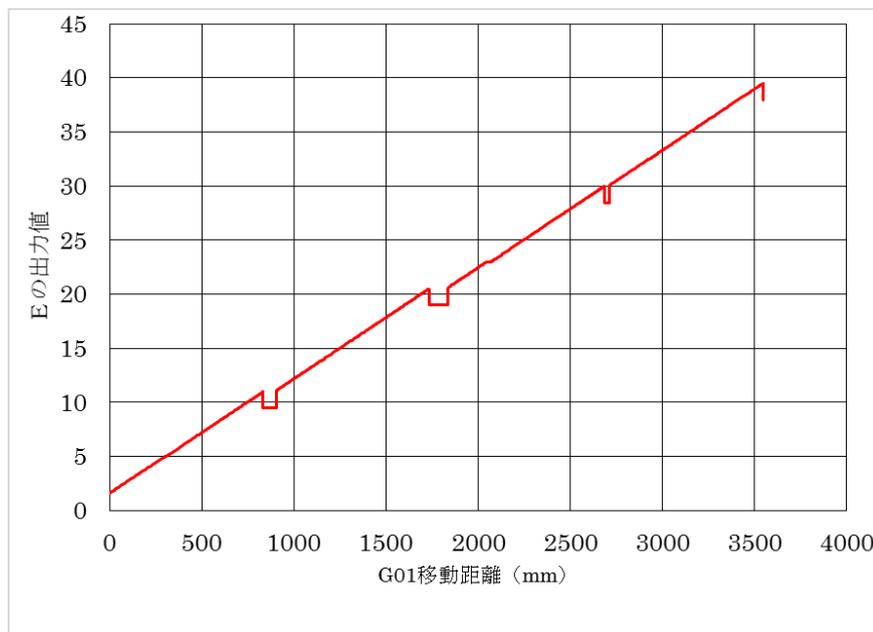


2-1-9 樹脂フィラメントのリールとフィラメントの供給装置

## 2-2 同時5軸制御 AMM用CAMの開発

### 2-2-1 熱溶解積層造形のデータベースの作成

熱溶解積層法(FDM)において、フィラメント状の樹脂をノズルの中で溶融させ、安定した状態でノズルから吐出させることが重要である。本開発では 120V-150W のヒータを用いて積層ノズル温度を 170°Cに保持し、積層速度と吐出量をパラメータに吐出体積が一定になるように制御している。図 2-2-1 に一定時間におけるノズルの移動距離と樹脂の吐出量の関係を示す。



2-2-1 積層距離 (G01 移動距離) と樹脂吐出量 (E の出力値) の関係

### 2-2-2 荒造形用CAMの作成

積層造形は何もない状態から徐々に材料を積み重ねて目的となる形状を作り出していく「付加加工」である。積層造形のパスは、切削加工ではパスを計算する必要がない形所内部にパス経路を生成する必要がある。図 2-2-2 に切削加工と積層造形の違いを示す。

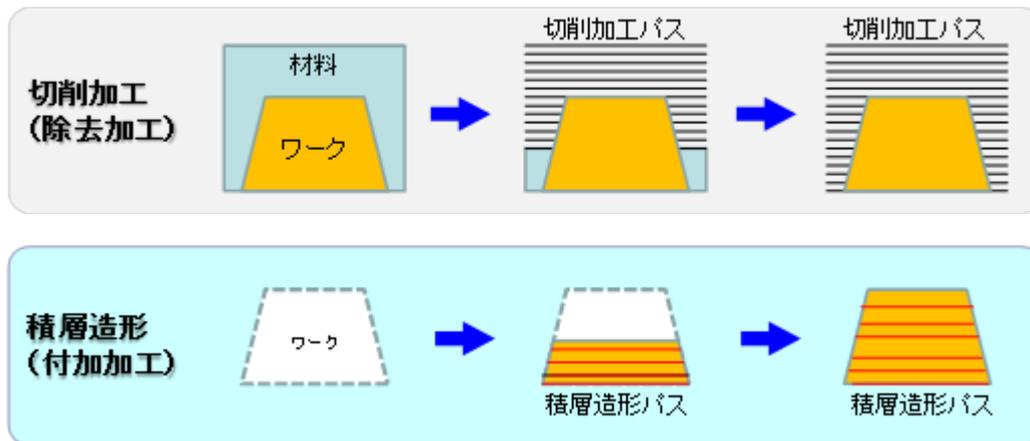


図 2-2-2 切削加工と積層造形の違い

積層造形の実験から、単位時間あたりの樹脂の吐出量はノズルの断面積と造形速度の積にほぼ同等で制御することが望ましいことがわかった。そして、積層の XY ピッチはノズルの断面積と等しい楕円の長径より多少小さくすることで、隙間や盛り上がりのない積層が可能になった。積層領域間の移動時は樹脂を引き込む動作を入れることで、樹脂の引きずり現象を抑制することができた。積層順序は、形状の輪郭から始めることが望ましく、また内側は走査線方式の方がパスの影響を受けにくく、積層を制御しやすいことがわかった。

ノズルが冷えた状態から加熱して積層すると、ノズル部に樹脂が十分に充填されないため、樹脂の吐出が安定しない。そのため、捨てパス（別の個所での積層）を用いて、吐出を安定させてから積層することにより、1 層目の積層が安定することを確認した。追加積層部の強度を向上させるために、1 層目の積層ピッチを細かくすることと、積層前に樹脂の吐出を安定させることが有効であった。

### 2-2-3 仕上げ造形用 CAM

3次元 CAD データから寸法精度の高い積層造形の NC データ (G コード) を生成する同時 5 軸制御 AMM 用 CAM (AMM-CAM) を開発した。2-2-2 の実験で得た積層造形のパラメータを「FDM」という名称として株式会社 C&G システムズが保有する「CAM-TOOL」に搭載した。これにより、単一の操作性で切削と積層の両方をハンドリングできる CAM システムを開発することができた。AMM-CAM の利点と機能を以下に示す。

- CAD データをそのまま使用することができる。
- 加工工程作成のための形状編集が容易に行える。
- 積層及び切削の形状誤差が小さい。

- 機能 1. モデルデータのインポート
- 機能 2. 積層造形用 CL データ作成
- 機能 3. 切削加工用 CL データ作成
- 機能 4. 造形工程作成処理
- 機能 5. ポストプロセッサ処理
- 機能 6. NC データの出力

本研究開発の特長は、(1) 切削を前提とした積層であるため積層の状態は形状モデルより 0.4~0.5mm 大きめになるようなパスを発生すること (図 2-2-3; 形状 (紫色部) の外側 (緑色部) までパスを作成)、(2) 形状の輪郭の周回パスと形状の内部を走査線で埋めるパスを生成、形状輪郭のパスはオフセットパスの回数を指定することができ、走査線のパスは Z の値ごとに走査線の方向を変更することができること (図 2-2-4)、(3) テーブルと積層体の密着性を向上させるために最初の積層条件を調整できること (図 2-2-5)、(4) 積層体の充填密度を制御するために、走査線パスのピッチ、送り速度を個別に調整でき、さらに、形状表面となる樹脂の厚みを調整ができること (図 2-2-6; 図のピンク部の厚み) である。

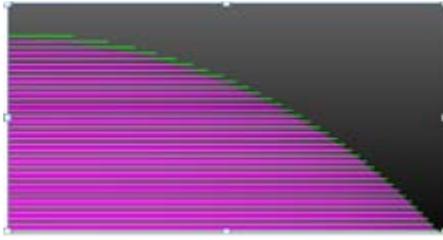


図 2-2-3 仕上造形パスのイメージ

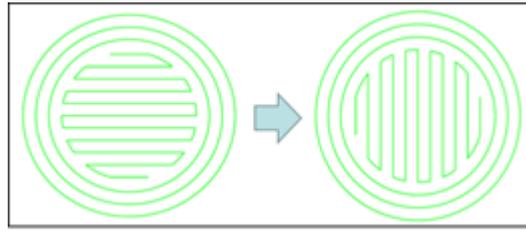


図 2-2-4 充填パスのイメージ

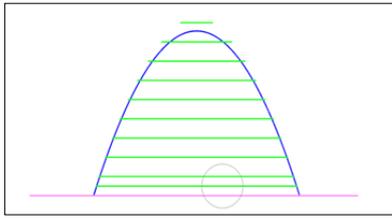


図 2-2-5 密着面パスイメージ

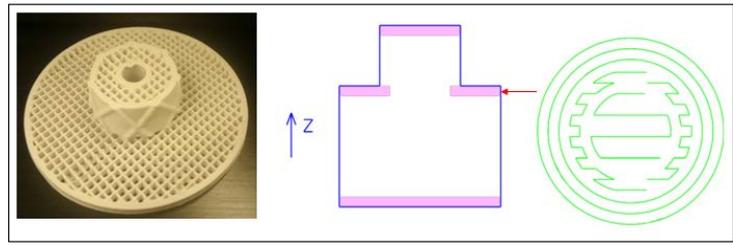


図 2-2-6 低い充填密度のパスイメージ

本研究開発では、積層用ポストで機械及びノズルの仕様に合わせた吐出コードの出力を実現している。それから、造形物の高さや、積層条件（ピッチ、送り速度等）、樹脂充填条件（ピッチ、送り速度）、ノズル移動時（積層無関係）の送り速度を設定できる。テーブル面と密着する1層目の積層条件（ピッチ、送り速度、積層回数）、モデル外側の積層条件（周回数、積層順序等）、内部塗りつぶし層指定（各ピッチ回数）、計算条件（計算球、面粗度、リダクション）、曲率精度（判別角度、トランス）、樹脂吐出条件（フィラメント直径、積層幅、リトラクション長さ等）を設定できるGUI（図 2-2-7）を作成した。さらに、5軸の積層データを生成する5軸変換機能を開発した。

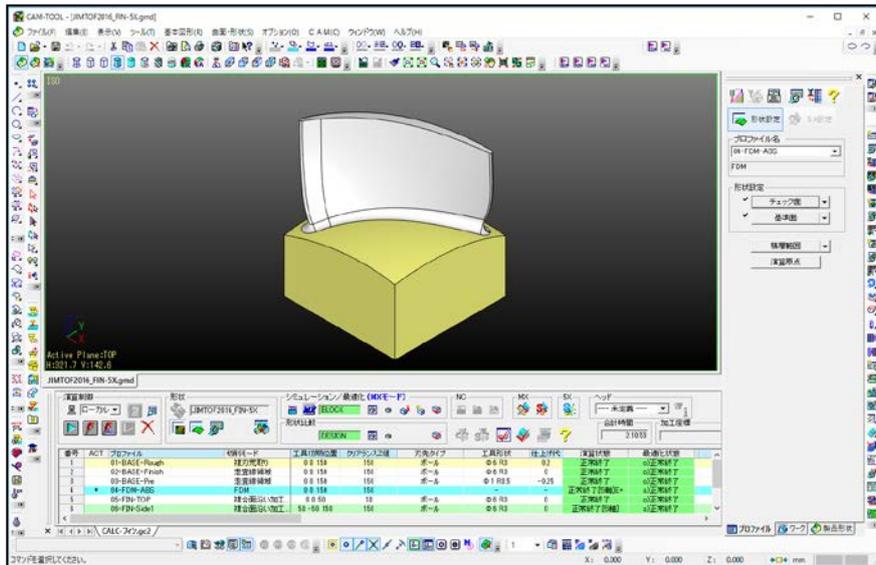


図 2-2-7 FDM モードインターフェイスの GUI

## 2-2-4 造形シミュレーション

積層造形シミュレーションの開発の目的は、大きく 2 つある。ひとつは、積層造形機で実際に積層する前に概略の形状を確認すること、もうひとつは、同時 5 軸で動作するので機械上の構造物や積層中の造形物と射出ノズル部が干渉するか否かを事前に確認することである。図 2-2-8 に積層造形のシミュレーション結果を示す。

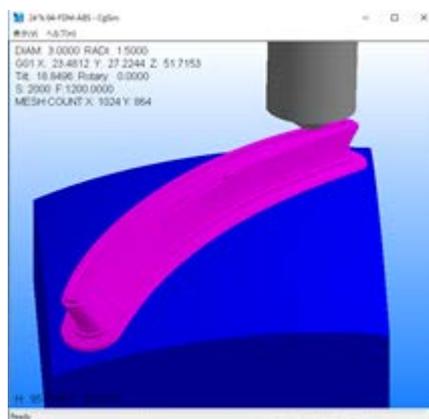


図 2-2-8 積層造形シミュレーション

## 2-3 同時5軸制御AMMのハードとソフトの評価及びLWSの設計・造形

### 2-3-1 評価モデルの設計

AMMの評価は積層造形と機械加工を合わせて考える必要がある。AMMの基本仕様を評価するモデルを図2-3-1に示す。モデルの形状は、「丸もの」、「角もの」の2つある。丸ものでは、直径の大きい円筒と直径の小さい円筒のそれぞれの寸法精度（外形の直径と内径の直径）と、円筒面の幾何公差（真円度、同心度、円筒度）を評価する。一方、角ものでは、穴の直径寸法と原点から穴中心までの寸法と、穴の中心の幾何公差（位置度）を評価する。

5軸の積層造形・機械加工を評価するモデルは、AMMのB軸とC軸を回転して5軸の精度を評価する。評価項目として、穴と円筒ボスの直径、原点から穴および円筒ボスの中心までの寸法、穴と円筒ボスの真円度と位置度、5面の平面度、対面の平行度、同心度など多様な幾何公差を評価する。

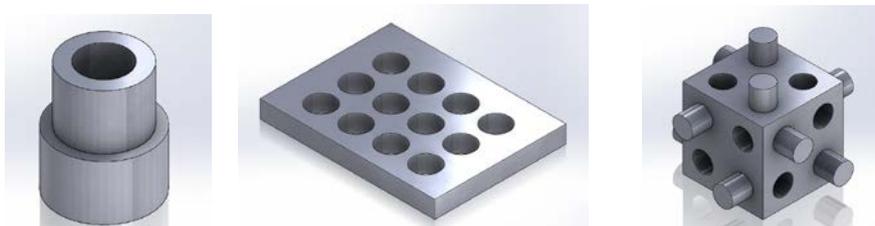


図2-3-1 評価モデル 3軸の造形・加工（左、中）、5軸の造形・加工（右）

機械部品を対象に考えると、造形・加工の工程を交互に実行する必要がある。そこで、図2-3-2に示すプロペラの評価モデルでは、(1)円筒、(2)1枚目の羽、(3)2枚目の羽、(4)3枚目の羽の順に積層造形・機械加工のプロセスを考えた。このように積層造形と機械加工を繰り返すので、その部位における密着強度を確認する必要がある。図2-3-3に示す直方体を用いて引張試験を実施した。

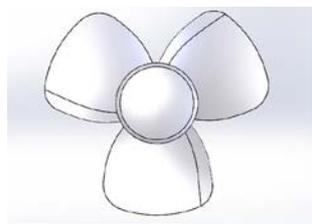


図2-3-2 プロペラの評価モデル

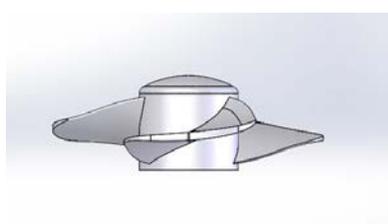


図2-3-3 引張試験片

### 2-3-2 評価モデルの造形実験

樹脂フィラメントの送り速度やステージの移動速度などを変えて、熱溶融積層造形のデータベースを作成し、図2-3-4に示す回転体の「コーン」を積層造形と切削加工を組み合わせた複数工程にて同時5軸制御で造形・切削した。また、従来の3Dプリンタではサポート構造が必要なプロペラモデル（図2-3-5）を、サポート材なしで製作する実験も実施した。

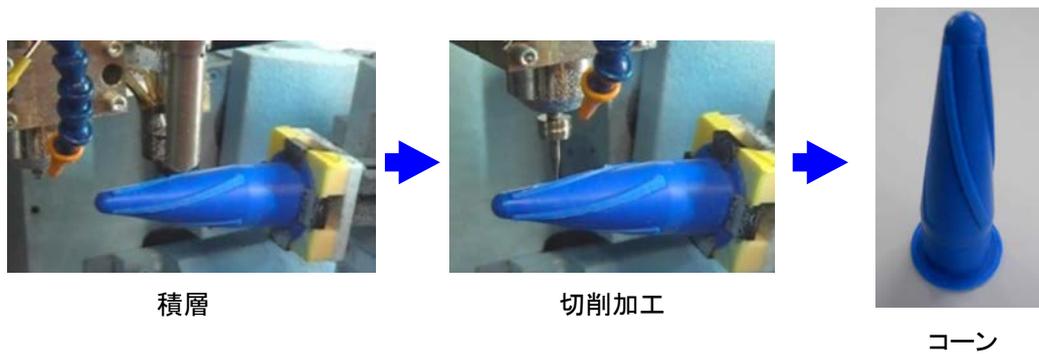


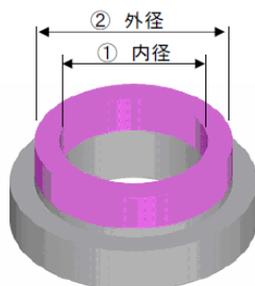
図 2-3-4 コーンの積層造形と切削加工



図 2-3-5 プロペラ

### 2-3-3 造形物の物理的評価テスト

図 2-3-7、図 2-3-8 および図 2-3-9 に寸法と幾何公差の測定結果を、図 2-3-10 に表面粗さ Ra の測定結果をそれぞれ示す。



検証モデル1 二重円筒



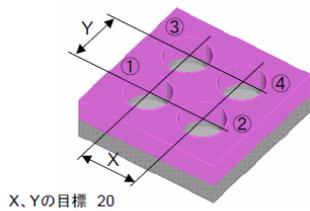
試作品(積層+3軸加工)

表 検証モデル1の幾何精度

	積層のみ (加工代を含む)mm	3軸加工後 mm
①内径 目標 Φ30	29.029	30.004
①真円度	0.195	0.037
②外径 目標 Φ40	40.450	39.987
②真円度	0.297	0.037
①②同芯度	0.079	0.020

- ・N=5
- ・直径はスキャニング測定値の平均
- ・材料はPLA
- ・1号機にて製作、但しヘッドまわりは2号機仕様

図 2-3-7 二重円筒モデルの精度測定結果



X、Yの目標 20

検証モデル2 穴あき平板



試作品 (積層+3軸加工)

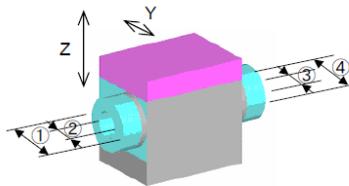
表 検証モデル1の位置精度

	積層のみ (加工代を含む)mm	3軸加工後 mm
①内径 目標Φ15	14.261	14.982
②内径 目標Φ15	14.210	14.991
③内径 目標Φ15	14.264	14.986
④内径 目標Φ15	14.262	14.985
② X	19.895	19.983
② Y	0.048	0.004
③ X	0.019	0.019
③ Y	19.940	19.992
④ X	19.953	19.965
④ Y	19.934	19.996

- ・N=5
- ・直径はスキャニング測定値の平均
- ・材料はPLA
- ・1号機にて製作、但しヘッドまわりは2号機仕様

23

図2-3-8 穴あき平板の精度測定結果



検証モデル3 円筒付き直方体



試作品 (位置決め5軸 積層+加工)

表 検証モデル3の位置精度

①に対する同芯度	積層(含む加工代)	3軸加工
②	0.059	0.018
③	0.621	0.358
④	0.530	0.334

- ・N=5
- ・直径はスキャニング測定値の平均
- ・材料はPLA
- ・1号機にて製作、但しヘッドまわりは2号機仕様

製作工程(一方は3工程まで)  
 1工程:3軸で直方体を積層  
 2工程:位置決め5軸で円筒の積層面を切削  
 3工程:位置決め5軸で円筒を積層  
 4工程:位置決め5軸で円筒の内外径を切削

図2-3-9 円筒付き直方体精度測定結果

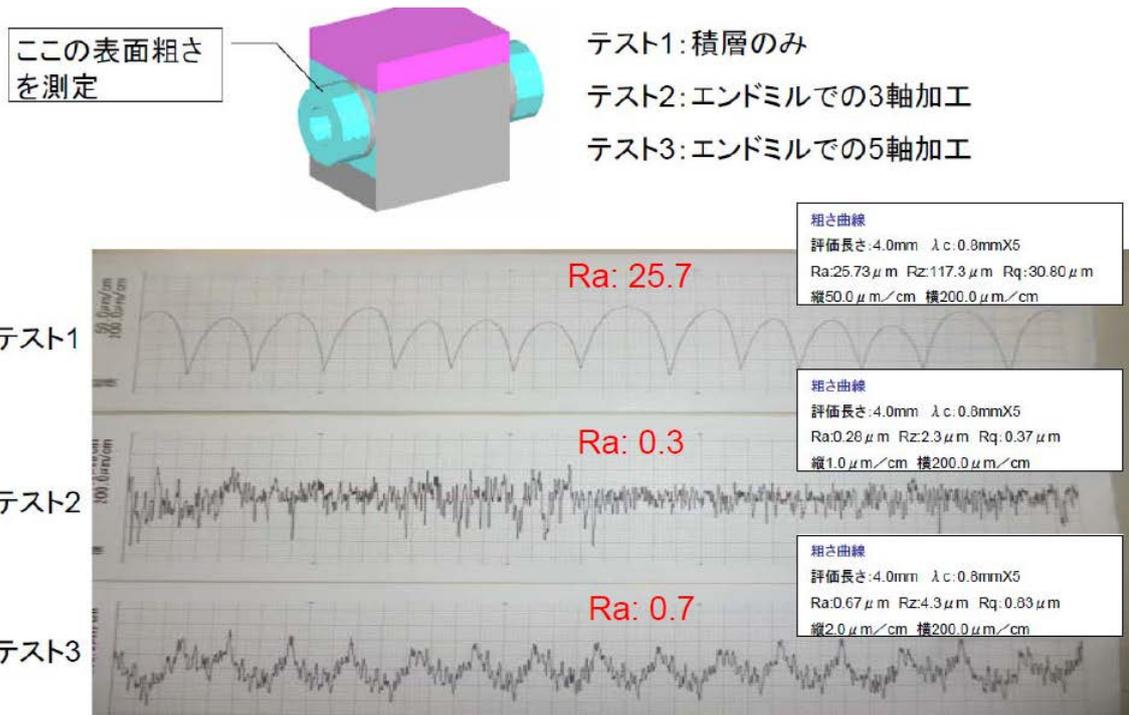


図2-3-10 Raの計測結果

### 2-3-4 LWS の設計と試作

Light Weight Structure (LWS) の目的は軽くて丈夫なものを設計することである。部品の内部をどのようにすれば、軽くて丈夫な構造が実現できるか、図2-3-11に示す4つのモデルを検討し試作品を製作した。

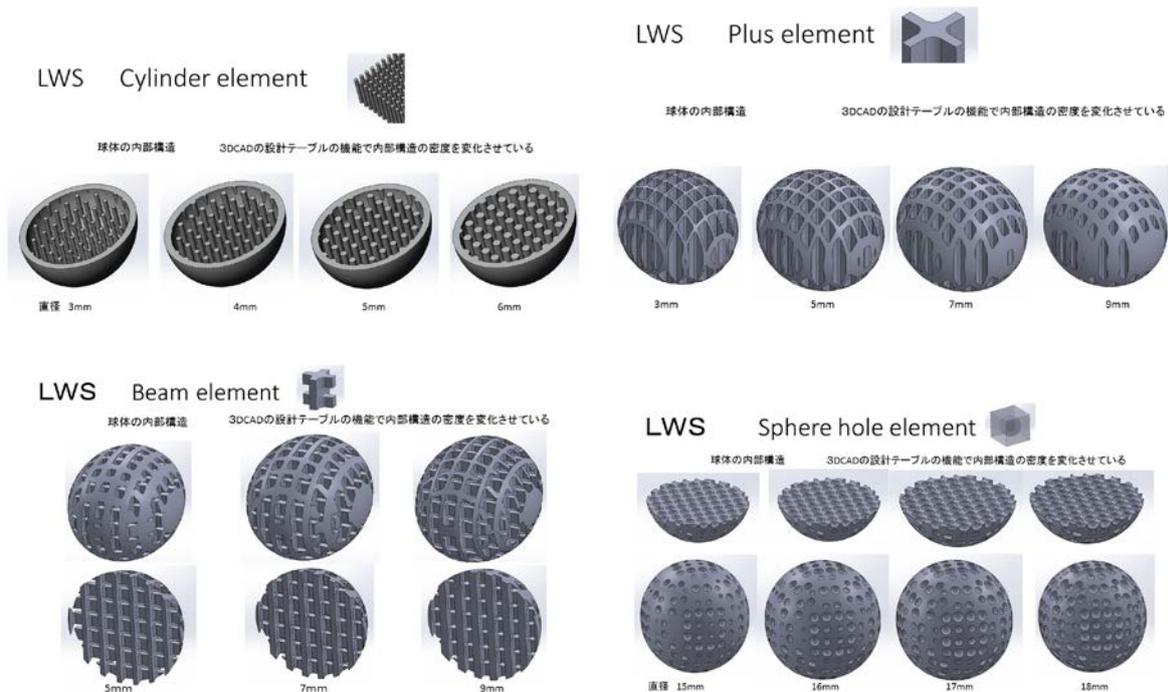


図2-3-11 LWSの要素とモデル

プラスエレメントの LWS を用いて、AMM で試作した結果を図 2-13-12 に示す。3 軸 X・Y・Z で積層造形し、5 軸加工にて内部と淵を仕上げ加工した。

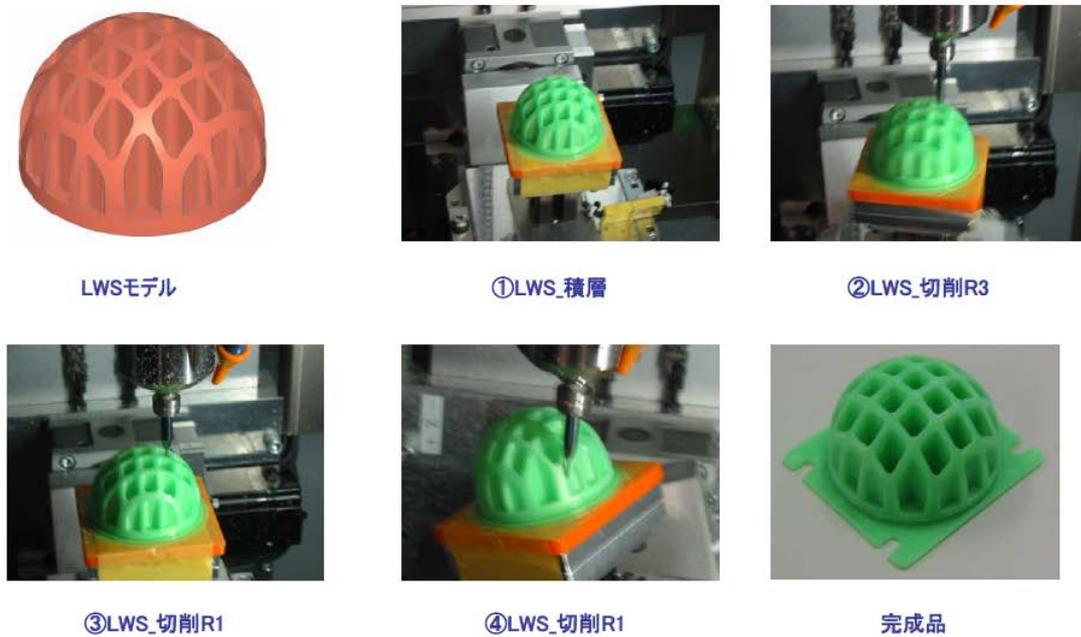


図2-13-12 LWSの積層・加工例

機械部品では造形と加工の工程を設計することが必要になる。図 2-3-13 に示す試作モデルでは、(1)ベースの造形、(2)フランジの造形・加工、(3)穴の加工、(4)円錐面の造形・加工、(5)フランジの造形・加工、(6)ボスの造形・加工のプロセスで形状を定義している。

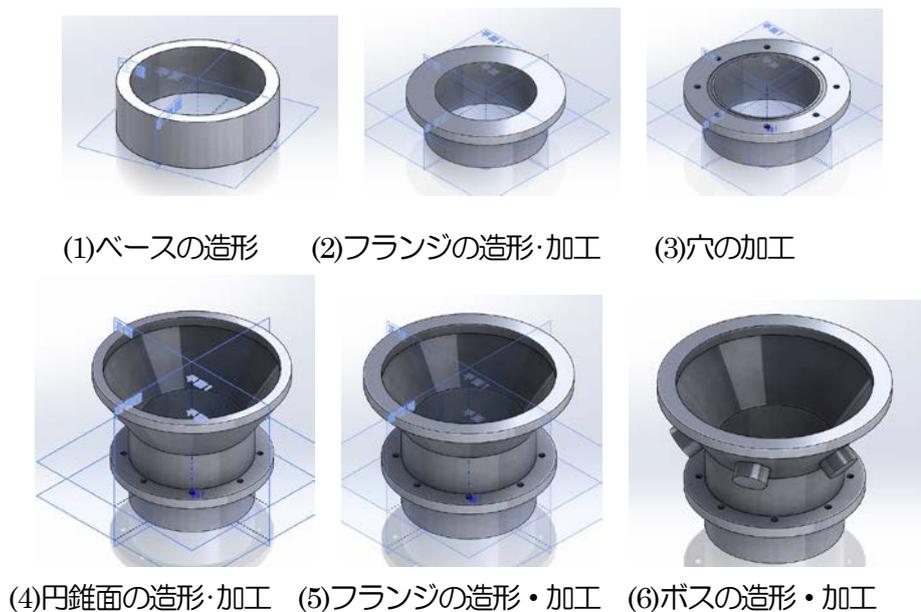


図 2-3-13 機械部品の試作モデル

### 第3章 全体総括

平成 26 年度と平成 27 年度の 2 年間、同時 5 軸制御 AMM のハードウェアと AMM-CAM を開発し、評価モデルを実際に製作して評価した。アンダーカットの形状をサポート材なしで同時 5 軸積層造形することができ、積層時の原点を動かさずにそのまま同時 5 軸加工することにより、従来の 3D プリンタの造形品と比べて、1 ランク上の精度と表面あらしを実現した。AMM-CAM は、STL を用いてスライスデータに変換することなく、図形データをより正確に再現でき、積層と切削が組み合わさった工程を可能にした。AMM を用いることにより、容易に Light Weight Structure (LWS) を製作できることを実証した。

平成 27 年度に、開発の成果を記者発表して、3 回の展示会に AMM を展示した。平成 27 年 6 月東京ビッグサイトで開かれた第 26 回設計・製造ソリューション展に出展したときの様子を図 3-1 に示す。多くのユーザーから興味を持ってもらい、実用化に向けて貴重な意見を聞くことができた。今後は事業化に向けて、応用分野を定めてユーザーと共同して商品開発を進める。



図 3-1 第 26 回設計・製造ソリューション展に出展（平成 27 年 6 月、東京ビッグサイト）