

# 複雑形状加工時の切削加工と金属積層造形のコスト比較

Cost comparison of Milling and AM , when making complex shapes

南相馬技術支援センター 機械加工ロボット科 安齋弘樹  
 応募企業 ロボコム・アンド・エフエイコム株式会社

複雑曲面の加工として、切削加工のみの場合と、メタルデポジション式積層造形と切削加工を組合せた場合によりブレード形状を作製した際に、加工時間及び加工前後の材料の重量を比較した。今回作製したプロペラ形状には、金属積層造形と切削加工を組合せた方が、加工時間及び除去重量ともにメリットがあった。

**Key words:** 金属積層造形、ワイヤーク、ハイブリッド複合加工機

## 1. 緒言

複雑曲面の加工には、主に5軸加工機が用いられるが、近年は金属積層造形装置が普及し、さらに使用可能な金属材料が増加してきたこともあり、これを用いた加工も行われるようになってきている。特に金属積層造形装置については、金属粉末を敷き詰め、必要な個所にレーザー等を照射することで形状を作製するパウダーベッド式が主流であるが、最近では必要な個所のみ金属素材を供給して積層させるメタルデポジション式も普及してきている。パウダーベッド式では複雑形状の作製も可能であるが、製品全体の製作を想定しているため、既存部品への付加加工は困難である。一方で、メタルデポジション式では、既存部品への付加造形も行える。近年では、5軸加工機と組合せた装置も販売されており、これにより複雑形状においてもニアネットシェイプ形状を作製でき、さらに切削加工も行うことができるため、時間及び材料の削減ができ、コスト低減も図ることが可能となる。

今回は、スクリュープロペラ形状を例として作製し、切削加工のみ（以下、プロセスAとする）と、メタルデポジション式積層造形と切削加工を組合せたとき（以下、プロセスBとする）の加工時間及び加工前後の材料の重量比較を行った。

## 2. 実験

### 2. 1. 実験方法

今回作製する形状は、円柱形状の周囲に羽根のついたスクリュープロペラ形状とした。形状を図1に示す。サイズとしては、直径179mm、高さ50mmであり、翼の長さは、最大77mm、厚さは2mm程度とした。

プロセスAは、被削材として直径180mm、高さ50mmのアルミニウム合金A7075を用いた。

一方、プロセスBでは、中心部分の円柱部の周囲に金属積層造形により翼形状を作製し、その後に切削加工により形状を整えた。円柱部には直径35mm、高さ50mmのアルミニウム合金A5052、金属積層造形にはア

ルミ溶接用MIGワイヤであるA5356を用いた。

これら2つの方法でスクリュープロペラ形状を作製した際の加工時間及び除去した材料の重量について比較を行った。

ここで、プロセスAとプロセスBにおいて使用材料が異なっているが、申請企業の要望によりプロセスAではA7075を使用した。一方で、A7075のワイヤが市販されておらず、また溶接性が乏しいため、プロセスBでは5000系の材料を用いることとした。

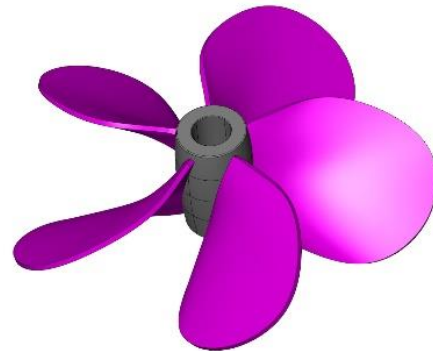


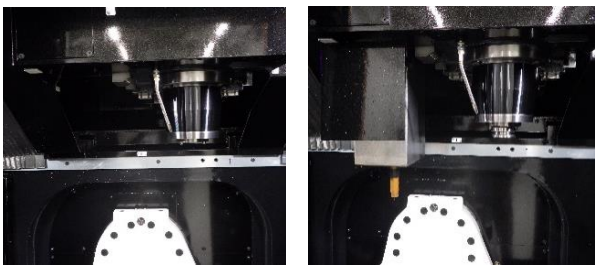
図1 作製するプロペラ形状

### 2. 2. 装置

加工には、5軸マシニングセンタとメタルデポジション式積層造形の1つであるワイヤーク式金属積層造形のハイブリッド複合加工機であるヤマザキマザック製VARIAXIS j-600/5X AM ワイヤーク式を用いた。この装置では、5軸マシニングセンタに加え、Mコードによりトーチを呼び出し、ワイヤーク式金属積層造形が行える仕組みとなっている。また、この操作により、工具補正を刃物先端からトーチ先端に切り替えることで、切削加工と金属積層造形を同一の座標系で行うことが可能である。なお、金属積層造形は、MIG溶接によって行われる。図2に装置の外観を、切削加工時及び積層造形時の加工室内の様子を図3に示す。



図2 装置外観



(a) 切削加工時 (b) 積層造形時

図3 加工室内部の様子

### 2. 3. プロセス A

今回は、フラットエンドミルを用いた荒加工、ボールエンドミルを用いた中仕上げ加工、仕上げ加工の3工程で加工した。

荒加工は、割り出し加工とし、使用工具はφ10mmのスクエアエンドミル、削り残しを0.5mmに設定し加工パスを作成した。

中仕上げは、φ4mm及びφ10mmのボールエンドミルを用い、削り残し0.5mmに設定した。なお、翼面の加工は、ブレード先端からスパイラル状に加工することとした。

仕上げ加工は、中仕上げ加工と同じ工具を用いた。ただ、翼面の加工については、中仕上げ加工と異なり、片面毎に走査線加工により行っている。これは、翼形状が大きく、スパイラル状の加工を行うと傾斜回転軸の動きが大きくなったためである。

なお、CAMにはOPEN MIND製のhyperMILLを用いた。

### 2. 4. プロセス B

金属積層造形のパス作成には、プロセスAと同様にhyperMILLを用いており、金属積層造形に用いる際には、切削加工により作成したパスをZ方向に反転させることで作成する。CAM上では、積層造形のシミュレーションも確認することができ、積層造形後の形状を切削加工時のストック形状とすることも可能である。

金属積層造形の条件を、表1に示す。電流値については、朱らの研究を参考に100A以上とした<sup>1)</sup>。ここで、

積層造形は6層毎に隣の羽根に移動することとし、5枚の羽根に対して積層造形を行った後に冷却時間を設けた。積層造形時のパスは、翼部分を走査線加工した際のパスを用いた。

積層造形後の切削加工については、プロセスAで用いた加工方法及び切削条件をそのまま用い、ストック形状についてはhyperMILLでシミュレーションした金属積層造形後の形状を用いている。これを図4に示す。

表1 積層造形条件

	1～2層目	3層目以降
電流 [A]	107	106
電圧 [V]	18.4	9.9
ワイヤーフィード [m/min]	7	6
トーチ送り [mm/min]	400	400
シールドガス	Ar	Ar

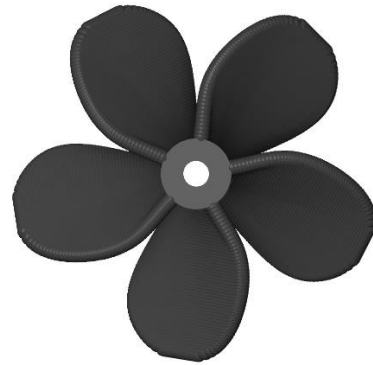


図4 使用したストック形状

## 3. 結果

### 3. 1. 形状の比較

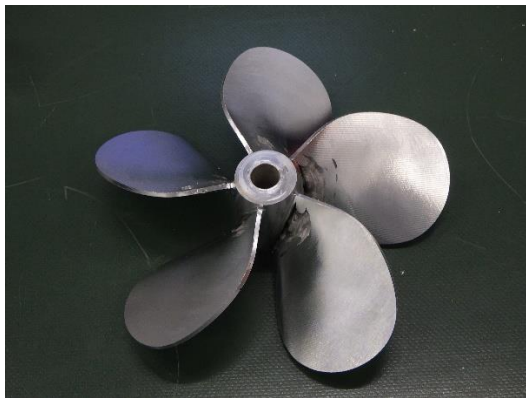
プロセスAで作製した形状を図5に、プロセスBで作製した形状を図6に示す。本来であれば、両者で作製した形状は同じになるはずであるが、羽根の根元部分に積層造形した形状の残りが見られる。これは、積層造形前の温度が造形される形状に影響を与えているためである。つまり、1層目を積層造形する際には、母材(治具を含む)の温度が低いため、積層造形された金属がすぐに冷却される。一方、積層造形を繰り返すことにより母材温度が高くなるため、積層造形された金属において温度が高い状態が保持される。これにより、初めに積層造形されたものと、ある程度積層造形された後の積層造形物において幅や高さに違いが発生しているためと考えられる。そのため、再現性良く積層造形を行うためには、温度計測により積層造形直前の母材温度を一定に保つ必要がある。



図5 プロセスAにより作製したスクリュープロペラ形状



(a) 積層造形前 (b) 積層造形後



(c) 切削加工後

図6 プロセスBにより作製したスクリュープロペラ形状

### 3. 2. 加工時間の比較

プロセスAとプロセスBにおける加工時間の比較を表2に示す。プロセスAの加工時間が長いのは、荒加工の時間が長いためであり、ブレード形状に沿って行う中仕上げ加工及び仕上げ加工での加工時間は、両者で同じである。

今回の形状においてアルミニウム合金を加工した場合、プロセスBの方が短時間で加工が可能であった。ここで、他の金属について検討してみる。金属積層造形においては、ワイヤーフィードとトーチ送りにより積層造形される断面積が決まるため<sup>2)</sup>、金属の種類による積層造形時間に大きな変化はない。一方で、切削加工においては被削材により切削速度は大きく異なっており、インコネル等の難削材においては、加工時間

が数倍必要となる。また、除去重量を減少させることにより、必要となる切削工具の本数も削減できるといったメリットもある。

表2 加工時間

	プロセスA	プロセスB
積層造形時間		2h51m54s
切削加工時間	16h57m2s	12h25m30s
総加工時間	16h57m2s	14h17m24s

### 3. 3. 除去重量の比較

プロセスAにおいて、加工前の重量は3,561g、加工後の重量は267gであった。ここで、被削材の形状を直径180mm、高さ50mmとしたが、市販材では寸法にばらつきが見られたため、前述の円柱形状への加工が必要であった。この際、固定用の穴等を加工する必要もあったため、円柱形状での重量計測が行えず、加工前の重量は体積と比重から計算した。なお、比重には2.8を用いた。

一方、プロセスBでは、加工前の円柱形状の重量が129g、これに固定用の穴等を加工した金属積層造形前の重量が111g、積層造形後の重量が555g、切削加工後の重量が248gである。ここで、加工前の円柱形状の重量は、プロセスAと同様に計算から求めており、比重には2.68を用いた。

この結果より、プロセスAでは除去重量が3,294gであり、プロセスBの325gと比べて約10倍である。材料費として比べると、プロセスBの方が約1万円以上安価となっている。今回はアルミニウム合金で実施しているが、材料によっては、さらにメリットが得られる。

### 3. 4. 金属積層造形と組合せる判断

今回は複雑形状としてスクリュープロペラ形状について検討を行ったが、それ以外の形状を作製する場合においてプロセスAとプロセスBのどちらに優位性があるかの判断が必要となる。判断材料として、加工時間及び材料費が挙げられる。

加工時間については、CAM等により加工時間を計算する方法がある。今回用いたhyperMILLによる加工時間の計算結果を表3に示す。表3に示すように、加工時間の内訳として、G00(早送り)とG01(切削送り)が表示される。ここで、表2と表3の結果に差が見られるが、これはG00時間によるものが大きい。今回の加工において、早送りの設定を10%として加工しており、これを考慮すると計算値と大きな違いはない。一方で、積層造形時間では、起動及び停止に各5秒程度要しており、これに加え冷却時間を考慮する必要がある。

一方、材料費では、3DCADデータ等から必要な被削

材のサイズを知ることができ、これから想定できる。  
また、加工前後の形状から除去体積を求めることにより、加工に必要なエンドミルの数も想定することができる。

これらを、金属積層造形を組合せるかどうかの1つの判断材料として利用できると考える。

表3 CAMにおける加工時間

	プロセスA	プロセスB
積層造形時間		1h8m19s
切削加工時間	12h23m20s	8h47m46s
(G00時間)	(18m40s)	(16m41s)
(G01時間)	(12h4m41s)	(8h31m5s)
総加工時間	12h23m20s	9h56m5s

#### 4. 結言

スクリュープロペラ形状を切削により加工する際に、プロセスAとプロセスBの比較を行い、次の結果を得た。

- ・今回作製したスクリュープロペラ形状においては、加工時間及び除去重量ともにプロセスBが少なく、メリットがあった。特に除去重量では、メリットが大きい。
- ・プロセスBを用いるかの判断材料として、加工時間及び材料費が挙げられるが、これらはCAM等を用いることにより、プロセスAとの比較が可能である。
- ・ワイヤーク式金属積層造形では、母材温度により積層される金属の幅や高さにばらつきが発生する。再現性良く積層造形を行うためには、温度計測により積層造形直前の母材温度を一定に保つ必要がある。

#### 参考文献

- 1) 朱小金、阿部荘志、高木悠貴、笹原弘之、“アルミニウム合金を用いた熔融金属積層造形物の造形条件最適化に関する研究”、第22回精密工学会学生会員卒業研究発表講演会論文集(2015)、pp. 91-92
- 2) 鶴巻尙直、千葉原宏幸、塚本晋士、笹原弘之、“ワイヤ材料とアーク放電を用いた Additive Manufacturing による造形物の温度モニタリングと薄肉板端部への付加造形”、第24回精密工学会学生会員卒業研究発表講演会論文集(2017)、pp. 103-104