

# AM (Additive Manufacturing) を活用した軽量・内部給油式切削工具

Lightweight and Through-Coolant Cutting Tools Produced Using Additive Manufacturing

吉田 智也\*  
Tomoya Yoshida

片山 きりは  
Kiliha Katayama

力宗 勇樹  
Yuki Rikiso

福永 由加  
Yuka Fukunaga

村上 大介  
Daisuke Murakami

切削工具に対するニーズは年々変化しており、電動化が進む自動車産業ではアルミ合金製部品をより高効率で加工するため工具の軽量化が求められている。航空機産業では、エンジンの騒音低減や燃費向上のため、切削熱の発生が著しい難削材であるニッケル基合金やチタン合金の使用量が増えており、刃先をより効果的に冷却可能な内部給油式工具が求められている。当社ではこれら市場ニーズの変化に対応するため、Additive Manufacturing (AM) を活用した革新的な工具の開発を進めている。今回、AMによる複雑な内部構造の形成を活用し、肉抜きで軽量化しつつ刃先剛性を維持したアルミ加工用カッタ、および、内部流路の最適化で刃先全体を均一に冷却可能な難削材用カッタを実現した。

Cutting tool requirements change from year to year. In the automotive industry, the shift to electrification is increasing the demand for lightweight tools that enable highly efficient machining of aluminum alloy components. In the aerospace industry, the use of difficult-to-cut materials such as nickel-based alloys and titanium alloys to reduce engine noise and fuel consumption is increasing, as is the need for through-coolant tools that can efficiently cool cutting edges when machining these materials. In response to these shifting market demands, we are employing additive manufacturing (AM) to develop innovative cutting tools. This time, by utilizing AM to form a complex internal structure, we have realized a lightweight cutter for aluminum machining that maintains the rigidity of the cutting edge while reducing the weight, and a cutter for difficult-to-cut materials that enables uniform cooling of the entire cutting edge by optimizing the internal flow path.

キーワード：Additive Manufacturing (AM)、3Dプリンタ、トポロジ最適化、アルミ合金加工、難削材加工

## 1. 緒 言

切削工具に対するニーズは年々変化しており、電動化が進む自動車産業では、電動車部品の主要材料であるアルミ合金をより高効率で加工するため、工具の軽量化が求められている。航空機産業では、耐熱性・耐食性に優れたニッケル基合金やチタン合金などの難削材の使用量が増えており、加工点の温度が高くなることから、より効果的に工具刃先を冷却可能な内部給油式工具が求められている。

当社ではこれら市場ニーズの変化に対応していくため、Additive Manufacturing (以下、AM) を活用した革新的な切削工具の開発を進めている。AMは、[図1](#)のように3D形状データを複数層にスライスし、そのデータをもとに3D

プリンタで1層ずつ材料を積層して造形物を得る技術である。従来の除去加工では困難な複雑な内部構造を形成できることから、軽量化のための肉抜きや内部給油構造の最適化に極めて有効である。本稿では、AMを活用したアルミ加工用軽量カッタボディと難削材加工用多刃カッタボディの開発について報告する。

## 2. 各AM方式とその特徴

金属材料に対する代表的なAM方式 ([表1](#)<sup>(1)~(3)</sup>) として、金属粉末を平坦に敷き詰め、そこに必要な部分にレーザーを照射して熔融・凝固させ、これを繰り返して造形するSLM (Selective Laser Melting) 方式、金属粉末を局所的に供給し、レーザーにより下地材料とともに熔融・凝固させ、これを繰り返して造形するDED (Directed Energy Deposition) 方式がある。今回、カッタボディの造形に対して、造形精度の観点からSLM方式を使用した。金属材料は、剛性・強度が十分にあるマルエージング鋼を使用した。

3Dプリンタは3D形状データさえあればあらゆる形状が簡単に造形できる設備と思われているが、実際には、造形時に加わる熱により変形が生じるため、狙い通りの形状を得るためには工夫が必要である。SLM方式では、[図2](#)のよ

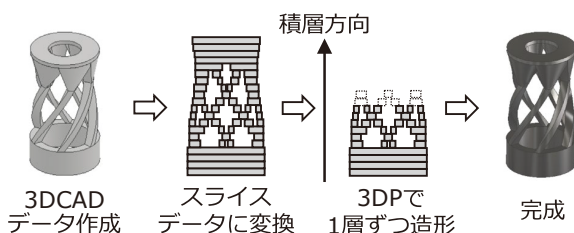
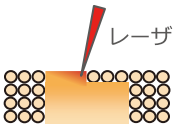
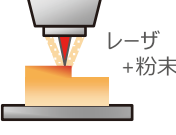


図1 AMプロセスの概要

表1 金属材料に対する代表的なAM方式

AM方式	SLM	DED
	 レーザ 粉末積層毎に レーザで溶融・固化	 レーザ +粉末 局所的に粉末を供給 レーザで溶融・固化
造形精度	~0.2 mm	~2 mm
表面粗さ	Ra 4-20 μm	Ra 10-20 μm
造形サイズ	~400 mm	~1 m

うなオーバーハングと呼ばれる形状は、レーザーによる熱がこもりやすく、また下層による拘束がないため、冷却時の収縮によって反りが発生しやすい傾向にある。一般的に積層方向に対して造形角度が45°以下の場合、造形が続行不能になるほどの大きな反りが発生する。反りを抑制するには、サポート材と呼ばれる低密度の支持構造を合わせて造形する必要があるが、造形後にサポート材の除去が必要となりコストが増加する。また、構造内部のサポート材は除去自体が困難である。そのため、できる限りサポート材を必要としない形状で設計することが望ましい。

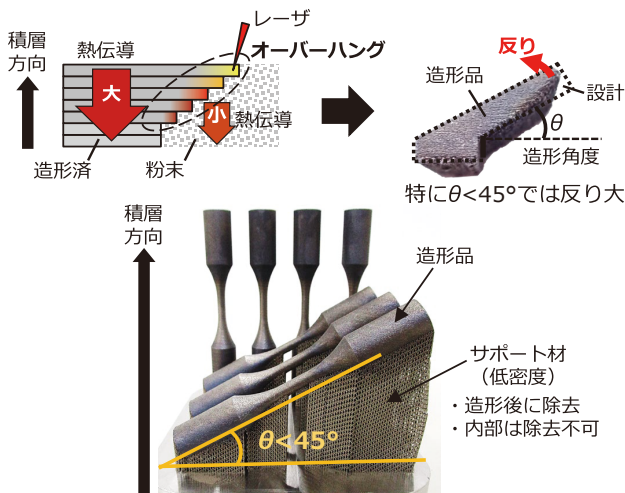


図2 オーバーハング形状とサポート材

また、従来の機械加工に対し、3Dプリンタでは、溶製材より高価な金属粉末を用いること、比較的lowエネルギーで設備償却費用が高くなることから製造コストが高くなる。そのため、従来の機械加工では実現できない形状の造形に活用することが望ましい。そこで当社は、従来製造方法では実現不可能な形状を持つアルミ加工用軽量カッタ、および、より効率よく冷却可能な難削材用内部給油式多刃カッタの開発に取り組んだ。

### 3. アルミ加工用軽量カッタボディ

アルミ合金は加工時の切削抵抗や切削熱が小さいため、大径カッタを高速で回転させて、高能率加工を行うことが一般的である。しかし、アルミ合金加工によく用いられる小型マシニングセンタでは、工具を取り付ける主軸に重量制限があり、鋼製の大径カッタが使用できないことがある。そのため、軽量化のためにアルミ合金製カッタボディが用いられることが多いが、鋼製カッタボディと比較して剛性と硬度が低いため、加工時に弾性変形したり、切りくずの擦過で摩耗したりする問題があった。そこで、AMを活用し、当社のアルミ合金加工用の鋼製カッタボディALNEX (ANXS 16000R型、直径100 mm) 1.9 kgをアルミ合金製カッタボディ同程度の1.0 kg以下まで軽量化することを試みた。

軽量化手法としてトポロジ最適化を用いた。トポロジ最適化とは、図3のように設定した荷重・制約条件に対して目標重量で剛性が最大となる材料分布を計算する手法である。

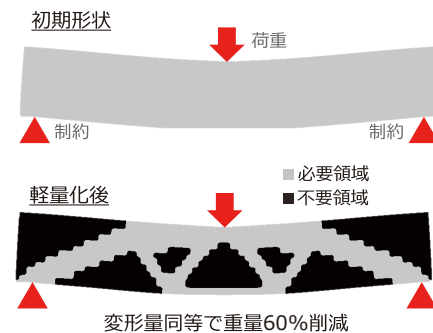


図3 トポロジ最適化の概要

現行の鋼製カッタボディ形状に、正面フライス加工を想定した荷重・制約条件を設定し、トポロジ最適化を実施した。その結果、図4に示す重量0.9 kg相当の軽量カッタボディ形状が得られ、応力解析で図5のように中実のアルミ合金製ボディの約1.5倍の剛性があることを確認した。

図6に開発した鋼製軽量カッタを示す。複雑な内部構造を有するため3Dプリンタで造形し、精度が必要な部分は機械加工により仕上げた。図7に示す加工条件で正面フライス加工試験を実施した結果、加工面粗さは鋼製の標準品と同等であることを確認した。

顧客の加工現場でも評価を行い、従来はマシニングセンタの主軸の重量制限により小径カッタで複数パスでしか加工できなかったところ、大径の鋼製軽量カッタにより1パスで加工することで、加工精度は同等のまま能率を6倍以上とすることに成功した。

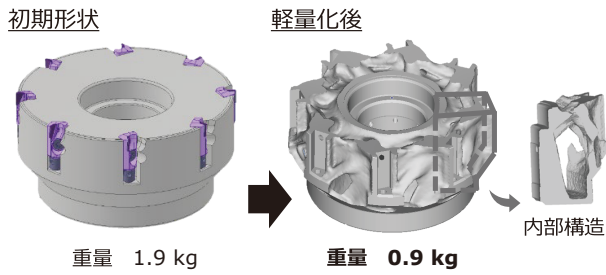


図4 鋼製カッタボディの軽量化結果

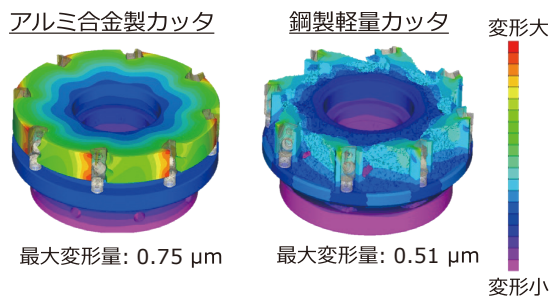


図5 カッタボディの応力解析結果



図6 開発品の外観と切削加工風景

工具: カッタ Φ100 8枚刃カッタ  
 インサート ANB1600R-G (DA1000)  
 被削材: ADC12  
 切削条件:  $V_c=2,513$  m/min  
 (N=8,000 min<sup>-1</sup>)  
 $f=0.10$  mm/tooth  
 $a_p=0.50$  mm,  $a_e=80$  mm  
 Wet

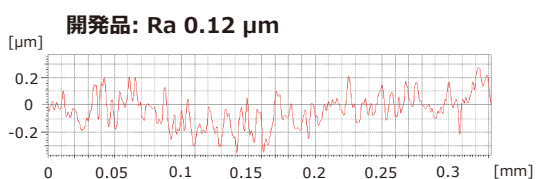
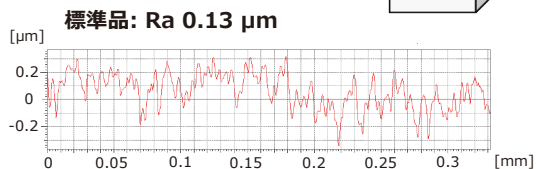


図7 高速加工での表面粗さ比較結果

#### 4. 難削材加工用多刃カッタボディ開発

ニッケル基合金やチタン合金といった難削材は前述のアルミ合金と異なり、加工時に発生する切削熱が大きいので、切削液を刃先全体へ供給することが重要である。

図8に示す複数のインサートが多段に配置された直径63 mmの多刃カッタは、難削材の立壁加工によく用いられている。従来品では、刃先を冷却する切削液の流路は各イン

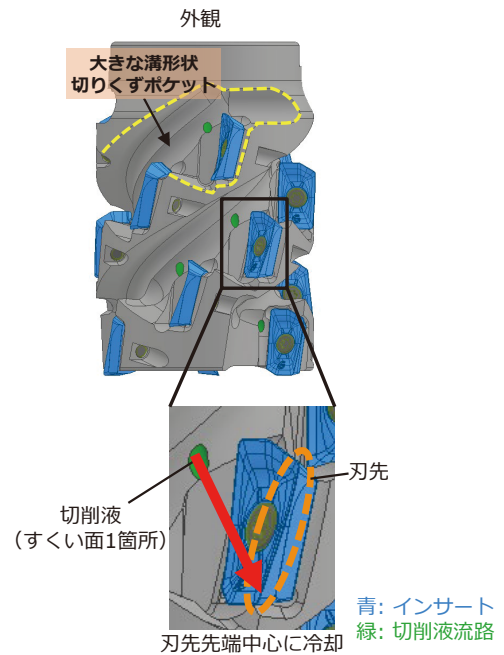


図8 従来品

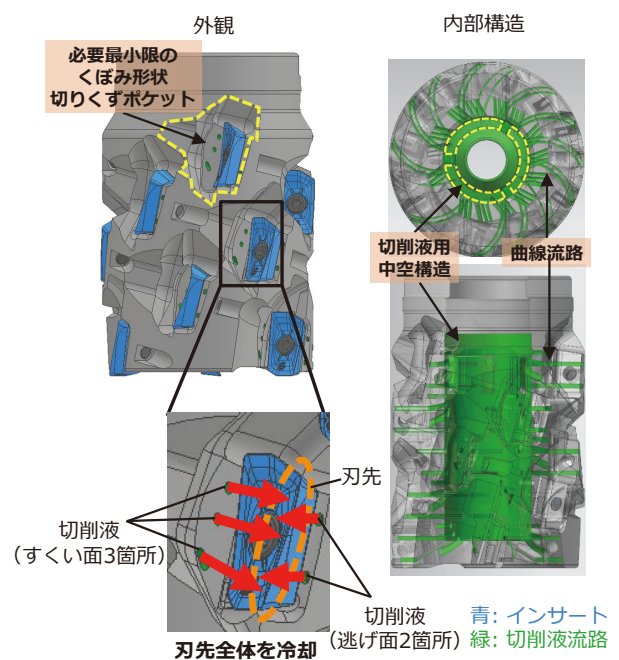


図9 開発品

サートに対してすくい面に向けた1箇所しか設けられておらず、刃先先端を中心に冷却している。これは、従来の製造プロセスでは、直線流路しか作製できないことによる。また、流路ごとに切削液吐出量に差があり、各インサートの寿命がばらつく問題もあった。そこで今回AMを活用することで、刃先全体をより均一に冷却できる多刃カッタの実現を試みた。

図9に3Dプリンタ専用設計に変更した多刃カッタボディのモデルを示す。曲線流路を用いて、インサートのすくい面3箇所と逃げ面2箇所の計5箇所に対する流路を設けた。ボディ内部は切削液専用の中空構造とすることで、刃先全体へ均等に切削液を供給できる構造とした。また、立壁加工を想定すると、標準品のような大きな切りくずポケットは不要のため、必要最小限とし、ポケット部をサポート材なしで造形可能な形状とした。これにより剛性も従来品比1.2倍となった。

図10に開発した多刃カッタと各段の切削液の吐出量の試験結果を示す。各段における吐出量のばらつきが少ないことがわかる。図11の加工条件でチタン合金の立壁肩削り試験

を実施した。その結果、従来品と比較して開発品では、刃先近傍からの複数吐出により、溶着・チッピングを抑制できており、刃先の冷却性能が向上していることを確認した。

### 5. 結 言

本稿では、AMを活用した切削工具の事例として、アルミ加工用軽量カッタボディと難削材加工用多刃カッタボディの開発について報告した。今後、電動化によりアルミ部品は増加するものと考えており、特にモータハウジングの加工では大径の軽量切削工具が望まれているため、当社では、カッタ以外でもAMを活用した切削工具の軽量化に取り組んでいる。また、航空機分野では、エンジンの低騒音化や省燃費化のためにニッケル基耐熱合金・チタン合金に代表される難削材の使用量が増加すると見込まれており、刃先をより効率よく冷却するための内部給油最適化が重要と考えているため、長寿命、高能率加工を実現する革新的な切削工具開発に取り組んでいく。

・ALNEXは住友電気工業㈱の登録商標です。

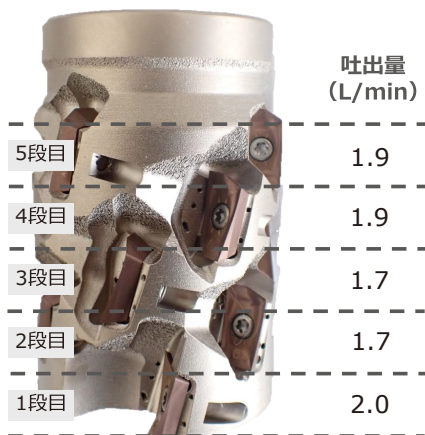
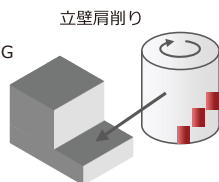


図10 開発品の外観と切削液の吐出量試験結果

### 参 考 文 献

- (1) 技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構開発機構、「～設計者・技術者のための～金属積層造形技術入門」、(株)ウィザップ、p. 72 (2016)
- (2) Jian-Yuan Lee, Arun Prasanth Nagalingam, S. H. Yeo, "A review on the state-of-the-art of surface finishing processes and related ISO/ASTM standards for metal additive manufactured components," Virtual and Physical Prototyping, vol. 16, p. 68-96 (2020)
- (3) Nikolaos Kladovasilakis, Paschalis Charalampous, Ioannis Kostavelis, Dimitrios Tzetzis, Dimitrios Tzovaras, "Impact of metal additive manufacturing parameters on the powder bed fusion and direct energy deposition processes: a comprehensive review," Progress in Additive Manufacturing, Vol. 6, p. 349-365 (2021)

工具: カッタφ63 5段-15枚刃  
 インサート AOMT170502PEER-G (ACU2500)  
 被削材: Ti6Al4V  
 切削条件:  $V_c=80$  m/min  
 $f=0.10$  mm/tooth  
 $a_p=40$  mm  $a_e=6$  mm  
 Wet



	従来品	開発品
7 pass	溶着	微小溶着
10 pass	チッピング	微小チッピング

図11 チタン合金加工での工具損傷比較

---

執 筆 者

吉田 智也\* : アドバンストマテリアル研究所



片山きりは : アドバンストマテリアル研究所 主査



力宗 勇樹 : アドバンストマテリアル研究所



福永 由加 : 解析技術開発センター 主幹



村上 大介 : 精密工学会フェロー  
アドバンストマテリアル研究所 室長  
博士 (工学)



---

\*主執筆者