

# 自動工具先端偏心装置を備えた傾斜プラネタリ加工機の開発

上智大学理工学部 ○福島 郁, ◎田中 秀岳

## 要旨

著者らは CFRP 穴あけ加工用の可搬型加工機として傾斜プラネタリ加工装置を提案している。本報では自動工具軸傾斜機能を備えた傾斜プラネタリ加工機を開発するために、新規の傾斜機構を考案し、試作することでその実現性を検証した。また、新規の加工機が満たすべき加工条件の検証を行った。その結果、新規傾斜プラネタリ加工機に用いる機構及び仕様を決定した。

## 1. 緒言

CFRP は難削材として知られ、ドリルを使った穴加工においてはバリや層間剥離が発生しやすい。高品質かつ高精度な穴あけ加工方法として、現状では、マシニングセンタを用いたヘリカル加工や、専用加工機を用いるオービタル加工<sup>1)</sup>がバリや層間剥離の発生を抑えることが報告されている。

本研究室は CFRP の穴あけ加工法として、傾斜プラネタリ加工を提案している。図 1 に傾斜プラネタリ加工の模式図を示す。傾斜プラネタリ加工は工具の自転運動に主軸を傾斜させて行う歳差運動を加えた穴あけ加工方法である。傾斜プラネタリ加工を用いることで、加工穴の品質向上と加工機の振動の抑制が可能であることが明らかとなっている。<sup>2)</sup>

傾斜プラネタリ加工の課題として加工時間の短縮がある。そこで、さまざまな加工条件を実験できる改良された傾斜プラネタリ加工機を開発を行う必要がある。本研究では、新たな傾斜プラネタリ加工機に求められる機能を検討する。また、その機能を実現する加工機の構造を考案する。

の角度を調整することで、工具に傾斜をつけ、スピンドルで自転を、旋盤の主軸で公転を再現できる。表 1 は実験の加工条件を示している。図 3 は工具傾斜角を  $3^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $8^\circ$  に取った場合の加工穴の外観を示している。各傾斜角の加工穴出口側においてバリとデラミネーションが観察された。しかし、バリおよびデラミネーションが傾斜角により発生しているかを判断することはできなかった。

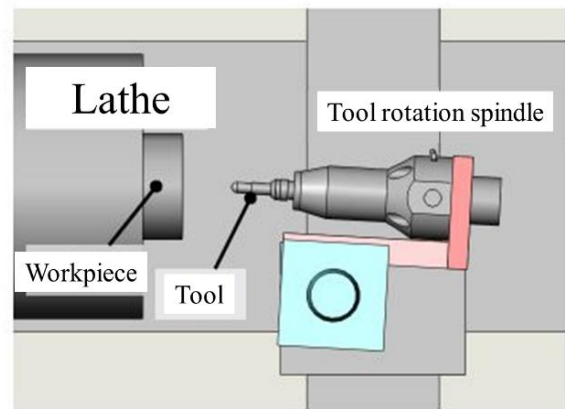


Fig 2 Experimental setup

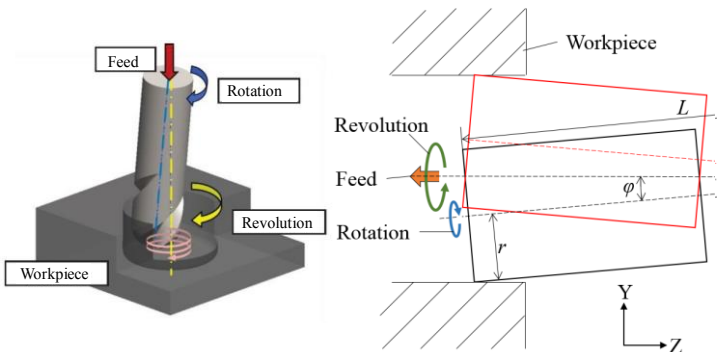


Fig 1 Schematic of inclined planetary motion milling

Table 1 Cutting condition

Cutting direction	Conventional cut
Rotation speed [ $\text{min}^{-1}$ ]	30000
Revolution speed [ $\text{min}^{-1}$ ]	395
Feed speed [ $\text{mm/rev}$ ]	0.105
Tool length [mm]	22.7
Cooling method	Dry

## 2. 自動工具軸傾斜機能を備えた傾斜プラネタリ加工機に求められる機能の検討

穴径を機械制御により設定するためには工具傾斜角、工具突き出し長さ、工具径のいずれかを機械により制御する必要がある。制御項目の検討を行ったところ、連続的に広範囲の穴径を加工可能な制御を実現するためには、大きな加工穴径の変更には工具の交換を行い、工具突き出し長さまたは工具傾斜角を機械により詳細に制御する必要があることが示された。

工具傾斜角及び工具突き出し長さの制御範囲を大きく取ることで、単一工具により加工可能な穴径の範囲を広く取ることが可能となる。

先行研究において傾斜プラネタリ加工の確認実験を行っているが、工具傾斜角は最大で  $2^\circ$  までしか確認実験を行っていない。

## 3. 高傾斜角での穴加工

工具傾斜角を従来よりも大きく取った切削実験を行った。切削工具は直径 3mm、刃先 R0.2mm、2 枚刃の超硬ラジラスエンドミルを用いた。図 2 は実験装置の外略を示している。汎用旋盤の刃物台にスピンドルを取り付け、主軸に被削材を保持する。刃物台

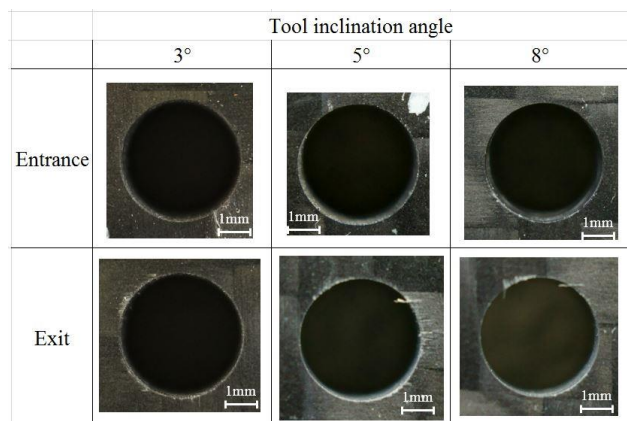


Fig 3 Appearances of drilled holes

#### 4.傾斜プラネタリ加工に適した加工機の構造の考案

図4は先行研究<sup>2)</sup>にて製作した傾斜プラネタリ加工機の構造を示している。スピンドルを囲む円筒の中心軸が傾斜して挿入されることで、円筒間の位相角を変更することでスピンドルを傾斜させ、傾斜プラネタリ加工が可能になる構造である。新たな傾斜プラネタリ加工機は従来の加工機に比べ小型かつ軽量であることが求められる。

新たな傾斜プラネタリ加工機の構造が満たすべき要目を検討した。検討の結果、工具突き出し長さ調整装置は、加工穴径に対する影響が少なく、穴品質に悪影響を及ぼすことが予想された。また工具傾斜角調整装置は加工穴径に対する影響が大きく、穴品質に及ぼす影響は小さいことが予想された。よって、工具突き出し長さ調整装置は、加工機外部に設置し、加工機内部では工具傾斜角のみを制御することが望ましいと考えられる。

この要目を満たす新たな構造を考案した。図5は考案した構造を示している。自動調心軸受を主軸前方の結合に用いる。また、スピンドルを囲む円筒を短く切り詰めている。切り詰めた円筒の位相角を変更することでスピンドルを傾斜させ、傾斜プラネタリ加工が可能になる構造である。

先行研究にて製作した傾斜プラネタリ加工機の構造と比較すると、自動調心軸受を主軸前方の結合に用いることで、円筒が短縮され構造の全長を短縮でき、加工機の小型化、軽量化が可能であるといえる。また、主軸がハウジングに直接結合されるため、加工精度が向上されるといえる。

この構造が傾斜プラネタリ加工の動作を行うことが可能であるかを、Creo Mechanismの機構解析を用いて検証した。図6は機構解析により得られた工具先端の軌跡を示している。解析によって考案した構造が傾斜プラネタリ加工の動作を行うことが可能であることが確認された。また、機構の幾何学モデルが先行研究にて製作した傾斜プラネタリ加工機の構造と同様であることが確認された。これにより、加工機の制御に用いる計算式を流用することが可能であることが示された。

次に、考案した構造が傾斜プラネタリ加工の動作を行うことが可能であるか、実際に部品を製作し組み立て可能であるかを確認した。確認方法はモックアップを製作する方法をとった。図7は設計したモックアップを示している。製作の難易度が高い部品の製作に、3Dプリンタを用いることで、コストと製作に必要な時間を短縮することとした。図8は実際に製作したモックアップを示している。モックアップから、考案した構造が実際に動作可能であることが確認された。また、考案した構造を用いれば、先行研究で製作した傾斜プラネタリ加工機よりも小型かつ軽量の傾斜プラネタリ加工機が製作可能であることが示された。

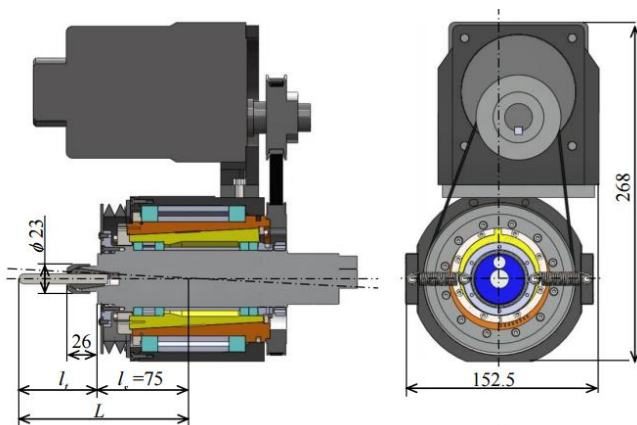


Fig 4 Configuration of current model

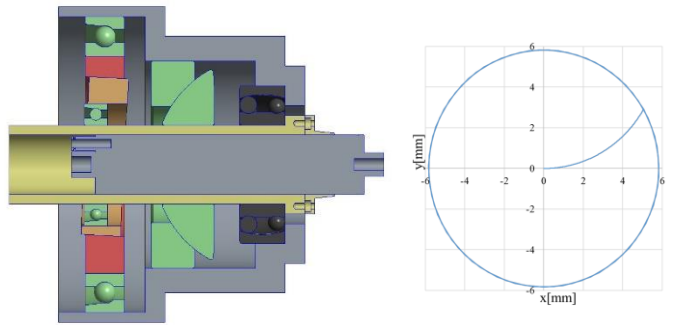


Fig 5 configuration of new model

Fig 6 trajectory of eccentricity

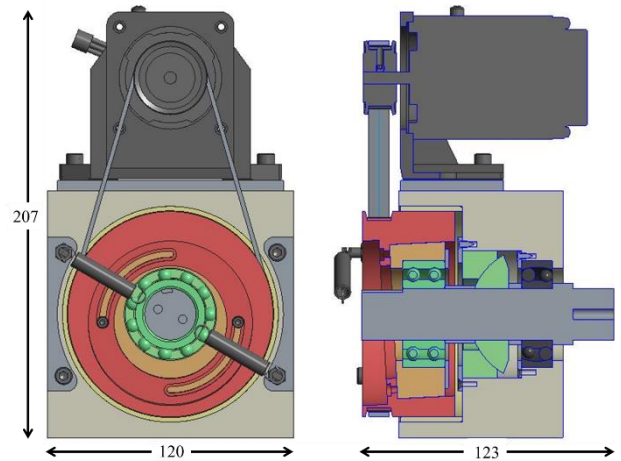


Fig 7 3D model of prototype

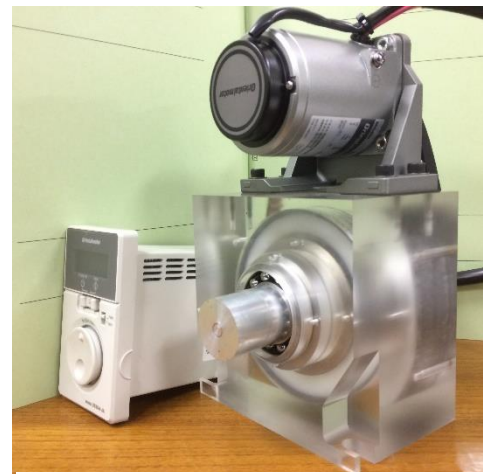


Fig 8 Appearance of prototype

#### 4.結言

今回、自動工具先端偏心装置を備えた傾斜プラネタリ加工機の開発を行った結果、以下の知見を得た。

- (1)新たな傾斜プラネタリ加工機では、傾斜角を従来よりも大きくとることが求められる。
- (2)新たな傾斜プラネタリ加工機は、工具突き出し長さ調整装置を加工機外部に設置し、加工機内部では工具傾斜角のみを制御することが望ましい。
- (3)新たな傾斜プラネタリ加工機は自動調心軸受を用いることで加工機の小型化、軽量化が可能である。

#### 参考文献

- 1) <http://www.novator.eu> 2/2/2017
- 2) 太田和樹, 田中秀岳, 柳和久, 滝澤亮: 傾斜プラネタリ加工装置の開発, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, (2012)