

## 工具自動補正機能を持つオープン CNC システムの開発\*

若槻 正明\*\*、堀田 昌宏\*\*、飯村 崇\*\*

細田 俊英\*\*\*

摩耗した工具の刃先後退量を定量化し、工具摩耗による加工誤差との相関関係を確立できれば工具摩耗の自動補正をシステム化することが可能となる。そこで今回、レーザー変位計を使用し摩耗工具の刃先形状の測定を行い、摩耗計測の可能性と刃先後退量と加工誤差との相関について調べた。

キーワード：工具摩耗、自動補正、オープン CNC システム

## Development of Open CNC System with an automatic adjustability to tool-wear

WAKATUKI Masaaki, HOTTA Masahiro, IIMURA Takashi  
and HOSODA Toshihide

If we can fixed quantity of tool-wear and throw light on mutually related of dimensional error of work and tool-wear, it is possible to get automatic adjustability system to tool-wear. Therefore, we measured shape of tool-edge by laser-scan, in order to examine to possibility of tool-wear measurement and mutually related of dimensional error of work and backed width of tool-edge.

**key words: Tool-wear, Automatic Adjustability, Open CNC System**

### 1 緒 言

生産機械を 24 時間連続で稼働させることは、生産機械の精度的な品質の安定と生産効率を高める上で非常に有益な手段である。また、無人化を行うことは、人件費の節約となり生産コストを低く押さえる上で非常に有益な手段となる。しかし、24 時間無人加工を行う場合、工具の摩耗により徐々に刃先が後退し、加工仕上がり寸法に狂いが生じるため、大量の不良品を生産する危険性がある。

このため、予め補正值を決め、一定のサイクルで補正をかけることが行われている。しかし、この補正值を決めるためにはある程度の量の加工を行い、その製品の仕上がり寸法の変化を測定することで、統計的に補正值を推定する必要がある。このため、この方法は大量生産の場合には有効であるが、中小企業のように少量多品種生産を主とする

生産の場合には不適當である。また、AE や切削動力計によって工具摩耗の監視が可能であるが、工具摩耗量を直接計測するものではなく間接的な方法であるため、工具寿命などの推測に利用することはできても、工具切込み量を補正し、製品寸法を維持することは出来ない。このようなことから、24 時間無人加工を行うことは困難な状況となっている。

本研究ではレーザー変位センサを用いて工具刃先形状を走査することで、摩耗による工具刃先の後退量を算出し、自動で切り込み量の補正が可能なオープン CNC システムを開発することを目的としている。

レーザー変位センサによる工具摩耗の計測については、従来の研究<sup>1),2)</sup>において可能であることが判明しているが、正確な工具補正を行うためには、実際の加工仕上がり寸法

\* 公設試共同研究（生産機械システムのオープン化）

\*\* 電子機械部

\*\*\* (株)小林精機

の変化が工具刃先後退の度合いにより、どのように変化するか、その相関関係を明確にする必要がある。

このことから、本研究では、工具摩耗の実験を行い、その工具形状をオフライン測定することで、工具刃先後退量と加工寸法誤差との相関関係について検討を行った。

## 2 実験方法

### 2-1 実験装置

本実験はCNC旋盤(株森精機、SL-153MC)を用い加工を行い、工具形状の測定はオフラインにて行った。測定装置の構成を図1に示す。

測定装置はレーザ変位センサ(株キーエンス、LK-010)、XYステージ(中央精機(株)、ALD-904-H1P)、パソコンで構成した。レーザ変位センサをXYステージ上方に、工具ホルダをXYステージにそれぞれ固定し、XYステージを動かすことで工具形状を走査した。使用したレーザ変位センサは三角測量法を応用したもので、対象物の高さに応じてアナログ電圧(±10Vp-p)を出力し、測定不能時に+12Vを出力する。この出力されたアナログ電圧をアンプ、高速A/D変換ボードを介してパソコンへ取り込んだ。XYステージはマイクロステップドライバ、二軸パルスコントローラを介してRS-232Cでパソコンと接続し、A/D変換ボードからの信号取り込みと共に、LabVIEW National Instruments、ver.4)で作成したプログラムにてパソコン上から制御した。作成プログラムにより計測範囲、計測ピッチ、XYステージ速度の設定、取込んだデータの配列表示、256色階調のグレイスケールによる工具形状表示が可能となっている。

摩耗計測実験は、規定切削回数毎に被削材の加工寸法を測定し、工具形状の走査を行った。形状走査ピッチ2μm、計測範囲1.5mm×1.0mm(750×500点)とし、1回の走査時間は約6分30秒であった。また、比較として200倍のデジタルマイクロスコープ(株キーエンス、VH-7000)で工具形状の観察を行った。

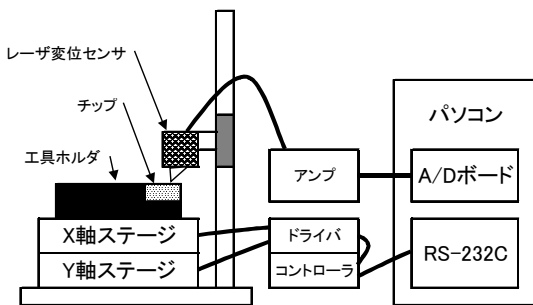


図1 測定装置構成図

### 2-2 使用工具、及び被削材

使用工具はスローアウェイチップとし、寸法精度が高く、ブレーカーがないTNGA160404を、また工具ホルダは端面切削用のPTFNR2020K-16を用いた。

工具材種による影響を確認するため、工具材種をサーメット(京セラN、タンガロイNS520)、PVDコーティング(タンガロイGH110)、超硬合金(京セラKW-10、タンガロイTH03)、セラミック(タンガロイLX21)の4材種とし、サーメット、超硬合金については2メーカーのものを用了。切削条件は適当な摩耗が得られるように材種毎にそれぞれ決定し、周速一定で加工を行った。工具材種と切削条件の組み合わせを表1に示す。被削材は外径98、内径12、材種SKD11とした。

表1 工具材種と切削条件

材種(品名)	メーカー	色	切削速度	切込み	送り
-	-	-	m/min	mm	mm/rev.
サーメットA(N)	京セラ	輝灰	300	0.2	0.06
サーメットB(NS520)	タンガロイ	輝灰	300	↑	↑
PVDコーティング(GH110)	タンガロイ	金	200	↑	↑
超硬合金(KW-10)	京セラ	輝灰	100	↑	↑
超硬合金(TH03)	タンガロイ	輝灰	100	↑	↑
セラミック(LX21)	タンガロイ	黒	500	↑	↑

工具はすべてブレーカーなし、コーナーR0.4を使用

### 2-3 加工寸法誤差の測定

加工は外径から中心へ無潤滑にて端面切削を行った。初めに基準面を加工し、この基準面を残したまま一定の切込みで切削を繰り返し、試験面を加工した。基準面とした試験面の高さを加工寸法とし、切込み量に切削回数を掛けた理論寸法との差を加工寸法誤差とした。

$$\text{加工寸法誤差} = \text{理論寸法} - \text{加工寸法}$$

なお、

$$\text{理論寸法} = \text{切込み量} \times \text{切削回数}$$

$$\text{加工寸法} = \text{試験面高さ} - \text{基準面高さ}$$

被削材の取外しによる寸法測定誤差をなくするため、一連の試験はワンチャックとし、加工に際しては工具のチップングを防ぐために、試験工具とは別の工具で被削材外周部

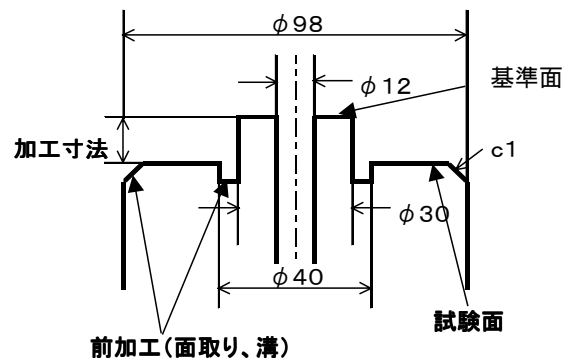


図2 被削材の加工形状

と基準面の周りに溝加工を行った。被削材の加工形状を図2に示す。加工寸法誤差の測定は旋盤ターレットに取付けたダイヤルゲージを手動で動かすことで測定を行った。

#### 2 - 4 工具刃先後退量の算出

レーザ変位センサより得られた工具形状データを用いて工具刃先後退量を算出するため、Visual Basic (マイクロソフト、Ver.6) でプログラムを作成した。工具の被削材への切れ刃角度は使用するホルダの種類と外径、端面、倣い、内径等の切削方法によって決まる。仕上げ寸法へ影響を与えるのは仕上げ面と接する前逃げ面の摩耗による刃先の後退であると考え、工具刃先後退量は、この仕上げ面と未使用工具輪郭との接点を基準に、仕上げ面の放線方向の工具摩耗幅とした。今回の実験で使用したバイトの横切れ刃角は1度であるので、この横切れ刃角に対して1度傾いた線上の刃先摩耗幅を具刃先後退量として算出した。

#### 2 - 5 レーザ変位センサ計測誤差の確認

レーザ変位センサによる工具摩耗の計測精度を確認するため、超精密研削盤 (株)岡本工作機械製作所、UPG-63NC) を用いて工具刃先を研削することで均一な摩耗面を作り、レーザ変位センサとデジタルマイクロスコップで刃先後退量の計測を行いその値を比較した。その測定結果を図3に示す。これより、レーザ変位センサを使用した刃先後退量の計測誤差は、 $\pm 10 \mu\text{m}$ であった。

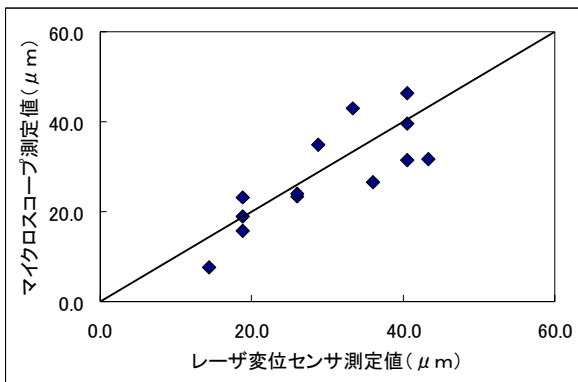
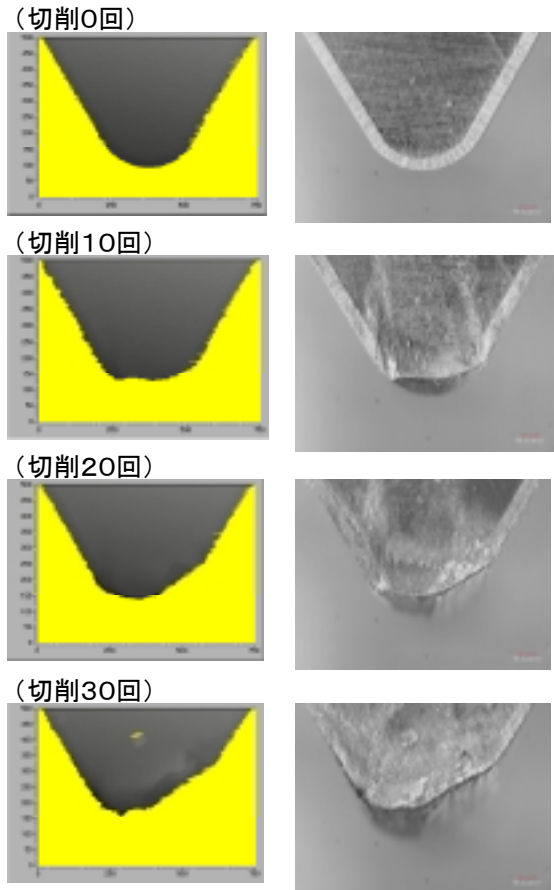


図3 レーザ変位センサ計測誤差

### 3 実験結果、及び考察

#### 3 - 1 工具摩耗による工具刃先形状の変化

サーメットAの切削回数と工具形状変化を図4に示す。デジタルマイクロスコップと同じ形状が検出されており、切削回数の増加と共に徐々に工具摩耗が進行している様子が確認できる。その他の材種についても同様な結果が確認された。また、すくい面上の構成刃先も検出可能であり、グレイスケール表示により、その起伏が確認できた。

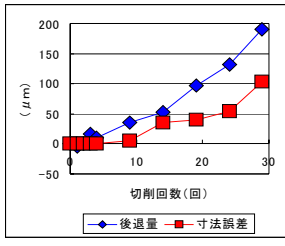


サーメットA (京セラN)  
v300m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.

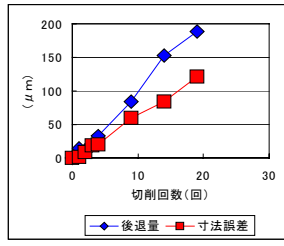
図4 工具刃先形状の変化

#### 3 - 2 工具刃先後退量と加工寸法誤差

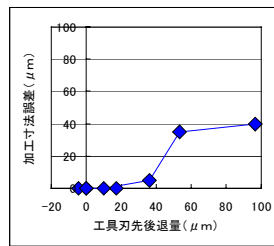
切削回数と工具刃先後退量ならびに加工寸法誤差の関係を図5に示す。形状と同様に切削回数が多くなるにつれ工具摩耗が増加し、これに比例して加工寸法誤差も増加することが判る。サーメットA、B、及びPVDコーティングでは、ある切削回数以上になると、工具刃先後退量が急激に増加し、加工寸法誤差との差が広がる現象が見られた。この摩耗状態を確認した結果、工具逃げ面が溶融状態となっており、切削回数が少ない場合の摩耗面と異なっていた。一般に、工具摩耗の進行に伴い、工具の切れ刃がなくなり切削抵抗が増加するため、摩擦熱で工具刃先や切り屑が赤熱し熱溶融状態となり、急激に工具摩耗が進行する。今回のサーメットA、B、及びPVDコーティングにおける工具刃先後退量の急激な増加は、この熱溶融摩耗による結果であると考えられる。このような熱溶融摩耗は工具寿命を越えた場合の現象であり、切り込み補正の対象となる工具摩耗範囲からはずれるため、熱溶融摩耗が確認されたデータは削除し、工具刃先後退量と加工寸法誤差との関係を検討した。実験では大きな摩耗が得られるように比較的過酷



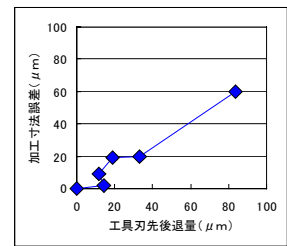
サーメット A (京セラN)  
v300m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



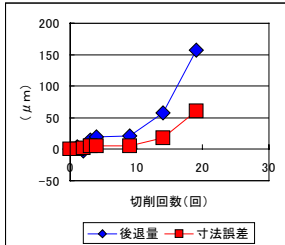
サーメット B (東芝タングロイ NS520)  
v300m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



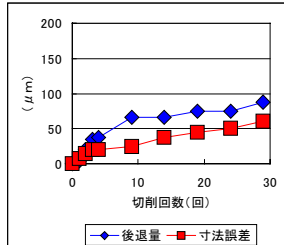
サーメット A (京セラN)  
v300m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



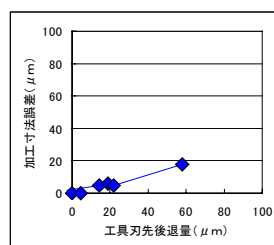
サーメット B (東芝タングロイ NS520)  
v300m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



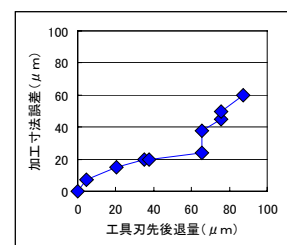
PVDコーティング (東芝タングロイ GH110)  
V200m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



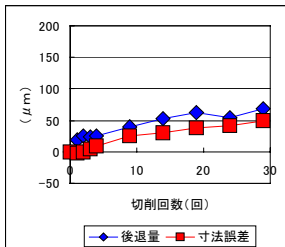
超硬合金 A (京セラ KW-10)  
v100m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



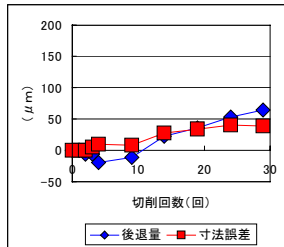
PVDコーティング (東芝タングロイ GH110)  
V200m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



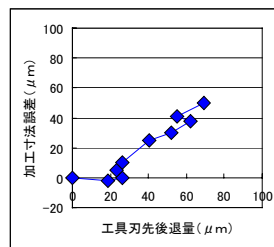
超硬合金 A (京セラ KW-10)  
V100m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



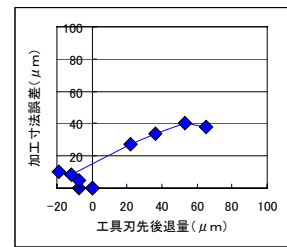
超硬合金 B (東芝タングロイ TH03)  
V100m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



セラミック (東芝タングロイ LX21)  
V500m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



超硬合金 B (東芝タングロイ TH03)  
V100m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.



セラミック (東芝タングロイ LX21)  
V500m/min, a0.2mm, f0.06mm/rev.

図5 切削回数と刃先後退量及び加工寸法誤差

図6 刃先後退量と加工寸法誤差の関係

な切削条件を設定したが、実用範囲での切削条件の設定も必要である。セラミックでは、切削回数の少ない段階で工具刃先後退量がマイナスとなっている。このように刃先後退量が減少する原因としては構成刃先の生成が考えられるが、顕微鏡による観察では構成刃先は確認されなかった。これ以外の原因としては、工具取り付け時の位置ずれなど機械的な精度が考えられる。しかし、セラミックのみに位置ずれが生じるとは考え難い。したがって、構成刃先の生成が一番有力であり、計測時に構成刃先が消滅したと考えることが妥当である。

工具刃先後退量と加工寸法誤差との関係を図6に示す。理論的には工具刃先後退量と加工寸法誤差は1:1の関係、つまり45度の直線となるべきであるが、実験結果では切削条件の異なるすべての工具材種で工具刃先後退量が加工寸法誤差を上回るほぼ直線的な関係となっている。

#### 4 まとめ

本研究により以下の結果が得られた。

- ・レーザ変位センサにより工具摩耗形状や、構成刃先の検出が可能である。
- ・切削条件の異なるすべての材種で工具刃先後退量は加

工寸法誤差に比べて大きくなり、その相関関係は直線的である。

今後は、レーザ変位センサより得られる工具形状の画像処理により、その位置ズレを補正することで測定データの精度向上を検討する。

なお、本研究は平成12年度公設試共同研究事業「生産機械システムのオープン化制御技術の研究開発」として実施したものである。

#### 文献

- 1) 若槻正明, 野川健: レーザ変位計による工具摩耗の測定, 岩手工技セ研究報告, No.4, 1997
- 2) 若槻正明, 野川健: レーザ変位計による工具摩耗の測定(第2報), 岩手工技セ研究報告, No.5, 1998
- 3) 若槻正明, 野川健: レーザ変位計による工具摩耗の測定, 岩手技術バイオニア報告書, 1998
- 4) 内館道正: レーザ変位計によるバイト損耗計測システム, 共同研究報告書, 岩手大学, 1999
- 5) 清水友治他: バイト損耗モニタリングシステムの研究開発, 共同研究報告書, 岩手大学, 2000
- 6) 本田巨範他: 旋盤加工マニュアル, 大河出版, 1986