

レーザセンサを使用した工具摩耗計測装置の開発*

若槻 正明**、高橋 勉***、相原 孝彦***

細田 俊英***、藤根 正美****

レーザセンサを使用して摩耗した工具の刃先後退量を計測し、工具摩耗の自動補正が可能な計測装置の開発を行う。計測装置はCNC旋盤内へ取り付けするためコンパクトなものとし、計測結果をコンピュータ上でモニタリングできるものとした。

キーワード：工具摩耗、自動補正、オープンCNCシステム

Development of Measuring Equipment for detecting Tool-Wear using Laser Sensor

WAKATUKI Masaaki, TAKAHASHI Tutomu, AIHARA Takahiko

HOSODA Toshihide and FUJINE Masami

We have developed a measuring equipment for detecting tool-wear using laser sensor. About hardware, we examined size of the equipment to downsize, in order to install in CNC-lathe. About software, we examined calculate of tool-edge backed width and monitoring of tool-wear.

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

1 緒 言

工具摩耗に伴う仕上がり寸法の狂いを防止するため、摩耗による工具刃先後退量を算出し、工具切り込み補正を自動的に出来るオープンCNCシステムの開発を目標に、これに組み込む工具摩耗計測装置の開発を行った。レーザ変位計により工具刃先部分を縦横にスキャンし、工具輪郭形状と工具刃先部の摩耗形状を取り込む。また、この取り込んだデータから刃先の後退量を算出し、切り込み値の補正量を求める。装置の開発にあたり、工具刃先後退量を 10 μm 以上の精度で計測が可能なこと、工作機械の加工室内部へ取り付け使用するため、工具や刃物台などと干渉しないよう可能な限りコンパクトなサイズとすることや、コンピュータ上での刃先の状態のモニタリングが可能なシステムとなるよう、ハードウェア、ソフトウェアの両面から検討した。この結果、初期の目標を満足する工具摩耗計測装

置の開発ができた。

2 計測ハードウェア

2-1 開発装置の構成

開発装置は工具刃先の摩耗を検知するレーザセンサ、工具刃先をスキャン動作さ

せる機構部、機構を駆動させる駆動部、駆動を制御する制御部、計測データを処理・モニタする計測部から構成される（図1）。

2-2 センサ

工具刃先形状ならびに摩耗を計測するセンサとして、(株)キーエンス製のレーザ変位計 LK-010 を使用した。レーザ変位計は三角測量法の原理にもとづくもので、レーザビームを、被測定面に照射して反射、拡散した光の一部をセン

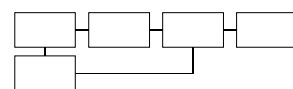


図1 装置の構成

* 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

**** IMS

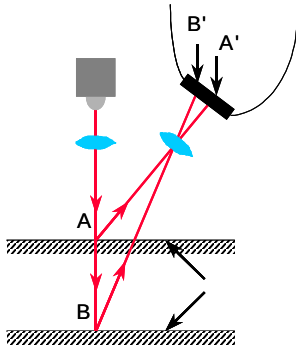


図2 レーザ変位計の原理

度が得られる¹⁾。このセンサの仕様を表1に示す。

表1 LK-030の仕様

基準距離	10mm
測定範囲	±1mm
波長	670nm（赤色半導体レーザ）
出力	0.95mW
スポット径	約20μm
直線性	±0.25% of F.S.
分解能	0.1μm
電圧出力	±10V（0.1μm/mV）
出力インピーダンス	100Ω

2-3 センサ姿勢制御機構の検討

今回は、現在、旋盤加工で多用されているスローアウェイチップを測定の対象とした。チップには定まったホルダがあり、これにより刃先の諸角度が決定され、(図3) 工具とワークが接する角度が決まる。本開発では、予め取り付け工具の諸条件を入力し、これに基づき、センサ姿勢を制御し、常に工具と刃物が定位置の関係となるようにした。このため、工具形状全体を測定するためのXY軸方向の移動に加え、レーザ光を工具すくい面に対して垂直に照射できるように、切刃傾き角に対応した角度でレーザ受光面に合わせるθ軸、前・横切刃角に対応した角度でレーザ光軸に合わせるη軸を付加し、センサ姿勢を調整する動作機構を持たせた。なお、各軸の動作範囲はそれぞれX軸0～10mm、Y軸0～10mm、θ軸±15°、η軸±180°とした

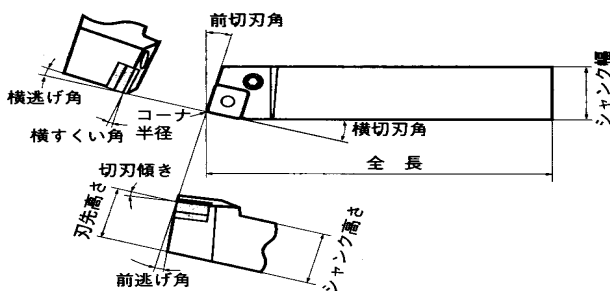


図3 バイト各部の名称

(図4)。

また、機構部の大きさはCNC旋盤内への取り付けを考慮し、100mm×100mm×100mm以下とした。

2-4 送りネジの選定

送りネジは、回転運動を直線運動に変換する

ために用いられる運動伝達要素であり、ネジ軸への運動伝達メカニズムの違いにより、すべりネジ、ボールネジ、静圧ネジの3種類に分類される。これらの内、比較的摩擦係数が小さく、駆動トルク

やトルクむらが小さく、規格化され、各種寸法のものが市販ベースで入手が容易なボールネジを採用した。

採用したボールネジはリードが1mm、外径6mm(図5)で、XY軸の繰り返し精度が±5μm以下となるようにした。また、送り機構のレイアウトをコンパクトにするため、モータ動力の伝達方法としてタイミングベルトを使用することとした。図6に機構部完成写真を示す。

2-5 アクチュエータの選定

開発装置は、レーザ変位センサをスキャン動作させるアクチュエータをいかに高精度、かつコンパクトに作るかが重要なポイントになる。高精度位置決め用の代表的な制御モータとして、サーボモータならびにステッピングモータがある。サーボモータはモータ、エンコーダおよびドライバの3要素で構成され、モータの状態を常にエンコーダの位置・速度情報から検出するクローズループ制御方式となっている。したがって、高精度な位置決めが必要な装置等に適するが、位置決め距離が短い場合、位置偏差による遅れの問題や低回転速度域でトルクが小さいことや、モー

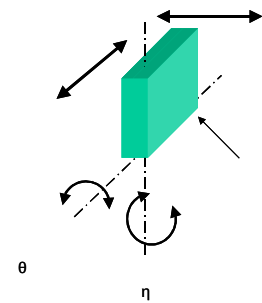


図4 ヘッド位置決め機構



図5 ボールネジ



図6 機構部

表2 サーボモータ&ステッピングモータ

	サーボモータ	ステッピングモータ
制御方式	クローズドループ	オープンループ
ゲイン調整	負荷に応じてゲイン調整必要	ゲイン調整不要
トルク	高速で大	低速で大
停止時	ハンチング有り	ハンチング無し
同期性/応答性	位置偏差による遅	パルスに同期

表3 PMC33A-MG10 の仕様

励磁最大静止 トルク N・m kgfcm	ローター慣性 モーメント J:kg・m ² gfcm ²	基本ス テッ プ 角	定格電 流 A ／相	励磁方式		電源入力	減速比	許容トルク N・m kgfcm
				フルステップ	ハーフステッ			
0.21 2.1	9×10^{-7} 9	0.072 °	0.35	0.072 ° /step	0.036 ° /step	DC24V/36V ±10% 0.7A	1:10	0.21 2.1

タとエンコーダが一对のため、大きさに問題がある。また、負荷によるゲイン調整が必要で、停止時のハンチング現象もある。一方、ステッピングモータは、入力パルスに同期、比例してある定まったステップ角ずつ回転し、直接位置決めを行うオープンループ制御方式である。このため高精度な位置決めのためには他の位置検出機構が必要となるが、それ単体でも高精度な位置決めが可能であり、構造が簡単でモータ自体を小さくでき、同トルクを発生するモータと比較した場合、取り付け寸法が小さくなることから、ステッピングモータを使用することとした。（表2）

選定したステッピングモータはオリエンタルモーター製の5相のPMC33A-MG10（1/10ギア付、本体サイズ28mm□×61mm、シャフト長20mm）で、ギヤが付加されたものを使用した。

2-6 制御装置の製作

今回使用したステッピングモータの仕様を表3に示す。ドライバはモータ付属のものを使用し、ハーフステップによる駆動とした。モータは一回転あたり1,000パルスであるが、1/10のギヤの付加により一回転あたり10,000パルスの分解能を持つ。今回、使用したボールねじのリードが1mmであり、1パルスあたり0.1μmの制御が可能である。

モータコントローラは4軸制御対応のコンテック製のPCIバス用コントロールボードSMC-4Pを用いX、Y、θ、η軸を制御した。このボードは速度等、位置決めに必要な情報をフレーム単位に、最大1000フレームまで記憶でき、現フレームから次フレーム開始の制御をすべてボード上で行うため、複雑な連続位置決め動作をCPUの負担なく高速にできる。また、S字加減速機能を持ち、加減速の開始

時と終了時の加速度を小さくする機能を持ち、動作開始時や、停止時の振動を軽減できる特徴を持っている。

駆動部はNC工作機械加工室内部へ取り付けられ、一方、モータ制御ドライバ、ならびにコントローラは加工室外部へ取り付けられる。このため、モータから制御装置までの配線の長さが問題となる。4台のモータの動力線を束にして配線する必要があることから、各々の動力線へのノイズの影響を考慮し、また、モータの定格電流は0.35A／相であることから、配線には5芯0.5mm²のシールド線を使用し、ケーブル長は5mとした。

ドライバ入力回路は外部ノイズの影響を受けにくいフォトカプラを採用しているが、コントローラとの距離があることから、配線時には動力源やノイズ源からなるべく離し、20芯0.5mm²のシールド線を使用した。図7に制御装置外観写真を示す。ノイズ対策のために内部の配線には全てシールドメッシュを使用した。

2-7 制御プログラム

X軸、Y軸ともスタートする位置（ORG）を原点とし、-L（一方向オーバーラン）、+L（＋方向オーバーラン）のリミットスイッチがONした時にモータが緊急停止する。また、各軸の速度、位置のデータ（パルス数）はプログラム内部のデータベースに書き込まれており、そのデータを読み込んで動作する。角度調整（θ軸、η軸）は刃先角度をデータベース化し、摩耗計測画面でチップを選択することでデータが読み込まれ調整を行う。

NC旋盤からのバイトの位置決め完了信号はI/Oボードを使用しコンピュータに取り込み、その後X軸、Y軸が起動する。同時にレーザ変位センサも計測開始。X軸が停

止後、Y軸が移動。Y軸が停止したところでX軸が再度起動、という動作を繰り返す。繰り返す動作回数はスキャン範囲、及びピッチによって決まる。動作終了後、レーザ変位センサの計測は完了となりセンサ停止。X軸、Y軸、θ軸、η軸の4軸すべてが原点復帰となる。（図8）



図7 制御装置

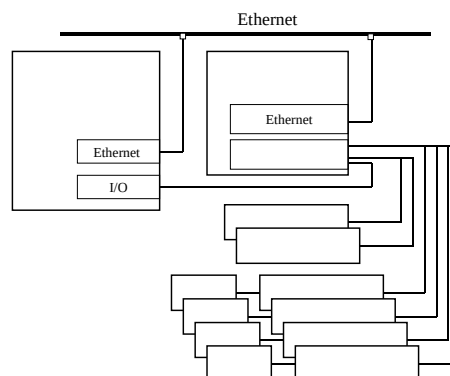


図8 制御構成図

3 計測ソフトウェア

3-1 開発ソフトウェア概要

レーザセンサにより工具をスキャンしたデータをもとに工具形状ならびにその摩耗状況を視覚的に表すためのグラフィックス表示や工具刃先後退量を算出し、その情報(摩耗の度合いなど)をシステム制御用コンピュータへ受け渡す。

3-2 工具情報のデータベース化とデータの呼び出し

工具の切れ刃がワークに対してどのように接するかで工具摩耗箇所が異なり、工具刃先後退量を算出する位置が異なる。この刃物のワークへの接し方は、使用するホルダに依存する。このことから、加工に使用するホルダ、チップの工具情報を予めデータベースに登録し、算出に必要な条件(角度等)を必要に応じて、工具情報から呼び出し算出する方式とした。また、工具形状寸法等の入力を必要とせず、画面に表示

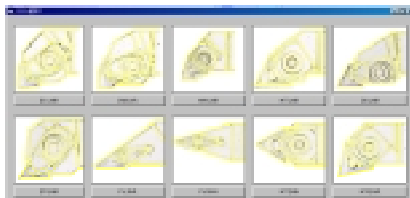


図9 ホルダ選択画面

された形状を選択するだけで、使用工具の詳細(寸法値)を確認することができるようにした。(図9)

3-3 計測データの取り込み、保存

測定開始、終了位置(計測範囲)、および、測定ピッチを設定し計測装置の動作開始の指令により、パソコンから計測制御装置へ信号が送られ、測定が開始される。測定データは、アンプ、A/Dボードを介し計測用コンピュータに取り込まれる。取り込まれたデータは、計測範囲を配列とした形状解析用データに変換され、ディスクに保存される。

3-4 工具形状のグラフィック表示

ダイアログボックスで選択された測定データファイルを読み込み、工具輪郭とともに256階調の色の濃淡で工具の起伏を表示し、摩耗状態を視覚的に確認することができる。得られた工具画像に対し、その工具の規格寸法値を基に稜線、先端R、中心線を描画し、実際に計測したものとの比較を行い、現在のチップの形状変化を算出することにより工具の補正量を算出し、この補正量を上位コンピュータに転送する。(図10)

3-5 工具刃先後退量の算出、予測

後退量の算出は、加工前後のチップ形状を比較することで行う。まず、加工前後の輪郭線を重ね、工具の傾き等を一致させ、次に工具姿勢を元に、ワーク平面に相当する直線を引き、その直線に対して垂直に交わる直線と工具先端Rに接する直線を引く。そして、工具刃先との接点を通る垂線上の摩耗距離を刃先後退量として算出する。

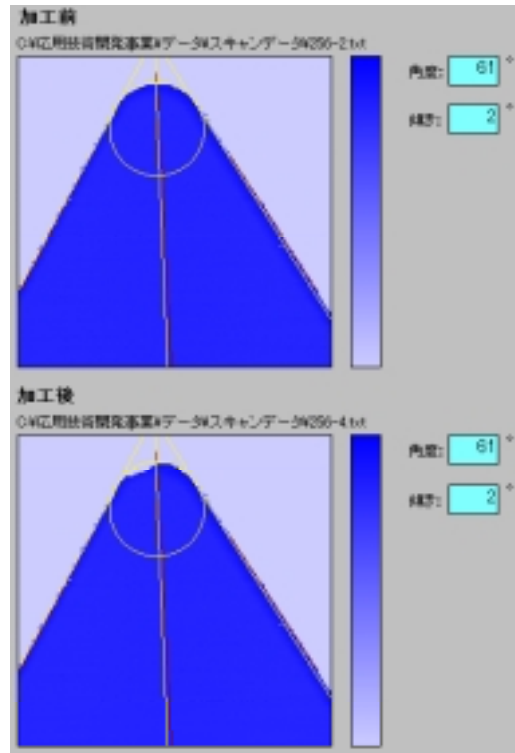


図10 工具形状表示

また、算出した刃先後退量は随時ディスクに保存され、データベースを構築する。そのデータベースの摩耗推移から次回加工終了時の後退量を自動的に予測できるようにした。また、後退量のデータはネットワーク(Ethernet)を介して上位コンピュータに転送される。

4 結 論

開発したハードウェアとソフトウェアを組み合わせ、目標性能を満足しているか評価を行った。

$n=5$ の繰り返し計測の結果、工具先端のばらつきは $10\mu\text{m}$ 以内であった。

計測精度の確認のため200倍マイクロスコープ(キーエンス、VH-7000)による刃先後退量計測値と比較した結果、最大計測誤差は $4\mu\text{m}$ であった。

以上、目標の性能を満足した計測装置が得られた。今後は、算出した工具刃先後退量から工具補正値を求め、その値をCNCへ送ることで工具摩耗の自動補正を行う。

文 献

- 1) 若槻正明, 野川健: レーザ変位計による工具摩耗測定、岩手工技セ研究報告、No.4、1997
- 2) 金藤仁, 自動計測システムのためのVB6入門、技術評論社
- 3) Visual Basic画像処理プログラミング2D 編, RodStephens、松葉素子、ソフトバンク