

レーザ変位計を用いた工具摩耗測定法の検討

飯村 崇**、若槻 正明**、和合 健**、
堀田 昌宏**、多田 三郎**

加工精度の向上を考える際、製品の測定のみではなく、工具の損傷度合いを測定することも必要である。その方法の1つとして、レーザ変位計を用いる工具摩耗測定について検討した。検討の結果、工具測定部分からの反射光の受光量測定により、逃げ面摩耗幅の測定が可能であることが分かった。しかし、工具の表面形状測定については光の乱反射対策のための物理的なフィルタや、データの統計処理方法など、今後の研究を要する。

キーワード：レーザ変位計、工具摩耗

Estimation of Measuring Tool Wear with Laser Displacement Meter

IIMURA Takashi, WAKATUKI Masaaki, WAGO Takeshi,
HOTTA Masahiro and TADA Saburo

To improve precision of cutting, it is essential to measure not only products but also tool damage. As one of the measurement, we tried to measure tool wear with Laser Displacement Meter. And we can estimate tool wear of relief surface by measuring an amount of laser refraction with Laser Displacement Meter. But we need more study to obtain the shape of tool surface because of turbulence of Laser refraction.

key words : laser displacement meter, tool wear

1 結 言

製品の小型化・高機能化により、新素材など高硬度難加工金属材料が素材として用いられるようになり、これらの被削材に対する高精度加工技術の導入・修得が必須となってきている。高硬度難加工材の加工では、工具への負担が通常より大きいことから、工具損傷による不良の発生を未然に防ぐために、工具状態を測定する必要がある。また、高い加工精度を必要とする場合、製品の寸法精度や表面粗さの測定は不可欠である。そのため、この工具や製品に対する測定を自動もしくは半自動で行うことができれば、労力の削減を図ることができる。さらに、これらのデータを自動で整理保管し、データベースを構築できるシステムがあれば、新しい素材に対しても実作業の中でデータの積み上げが可能となる。著者らは、

この問題を解決する一環として、レーザ変位計で工具の摩耗状況（摩耗量や摩耗部分の表面状態）を正確に把握し、良否判定の基準にできるかどうか検討を行った。

2 実験方法

今回検討を行ったレーザ変位計は、レーザ光を用いて三角測量を行い被測定物までの距離を測定する装置である。レーザの受光部にはPSD素子（光位置検出素子）を使用しているため、光が乱反射するような場合、測定バラツキが大きくなる。このため、表面状態が変化するような箇所の測定には適さない測定機器であるが、非接触で測定可能であることから、インライン測定に向いていると判断し検討を行った。また、レーザ変位計には補助的機能としてPSD素子の受ける光量を2¹⁶段階に表示する機

* 高硬度難加工金属材料の高精度加工技術の開発（東北ブロック広域共同研究）
計測評価システム及び加工条件のデータベース構築（第1報）

** 電子機械部

表1 使用測定機器

測定器名	メーカー名	型式	仕様
レーザ変位計	KEYENCE	LC-2450	測定範囲: ±8(mm) 最小スポット径: 45×20(μm) 分解能: 0.5(μm)
非接触式表面粗さ計 (3次元 表面構造解析顕微鏡)	Zygo	New View 100	分解能(Z方向): 0.1(nm) (X方向): 4.4(μm) 測定範囲: 100(μm)
接触式表面粗さ計 (表面形状粗さ測定機)	Taylor Hobson	Form Talysurf S5C	分解能: 20(nm) 測定範囲: 12(mm)
工具顕微鏡	OGP	SMART SCOPE 200	

表2 測定したバイト及び切削条件

	切削速度 (m/min)	切り込み (mm)	送り (mm/rev)	被削材	
バイト1	コーナ1	180	1	0.1	S45C (焼入れ)
バイト2	コーナ1	70	0.5	0.1	SKD11 (焼入れ) HRC48~52
	コーナ2	100	0.5	0.1	
	コーナ3	120	0.5	0.1	
	コーナ4	未使用			

JIS P10(-6, -6, 6, 6, 15, 15, 0.8)

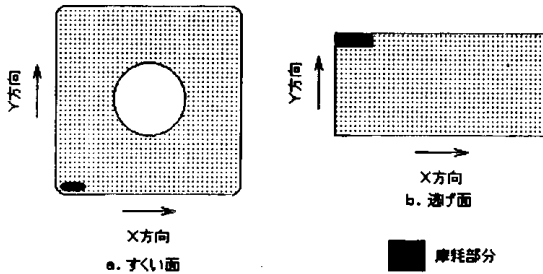
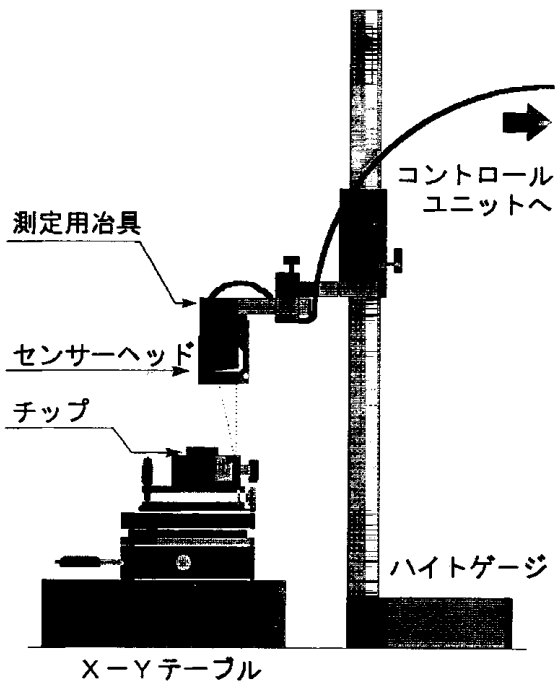


図1 レーザ変位計とX-Yテーブル上の工具方向

能があり、これを使用して受光量の測定も行った。(この機能は、レーザ変位計が変位測定時に受光量の異常なポイントで測定値にバラツキをもつため、この異常なポイントを除外するために、目安として変位量と併せて測定するためのもので測定値は無次元の値である。)

検討の方法は、実際に摩耗した工具をレーザ変位計で測定し、他の測定機器と比較する形で行った。レーザ変位計及び比較を行った測定機器を表1に示す。レーザ変位計による測定は、図1に示すレーザ測定装置の形で行った。このレーザ測定装置は、ハイトゲージに固定されたレーザ変位計と、X-Yテーブルから構成され、ハイトゲージでレーザ光の径が最小となる高さにレーザ変位計を調整し、X-Yテーブルにより工具に送りを与える。そして、各点において高さ及び受光量を測定し、工具形状をとらえる。なお、測定した工具は JIS P10(-6, -6, 6, 6, 15, 15, 0.8)の旋盤用バイトチップを表2の条件で摩耗させたものである。

実験手順を以下に示す。

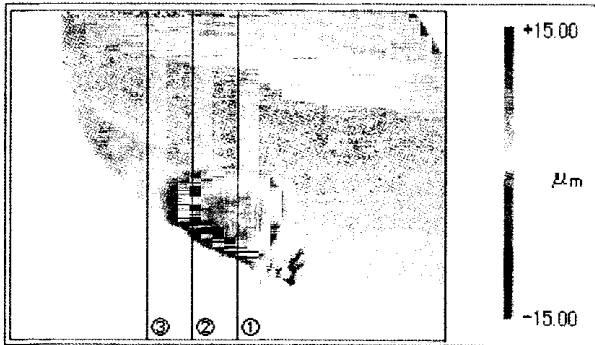
- ① 表2の条件で被削材を削り、工具摩耗を生成する。
- ② ①で生成したすくい面と逃げ面の摩耗部分に対し、レーザ変位計により、形状とレーザ光の受光量を測定する。測定は、バイトチップをX-Yテーブル上に置き、X方向・Y方向に50μm(レーザの最小スポット径より大きい値)ずつ送りを与え、それぞれのポイントで行い、測定結果は市販の表計算ソフトで3次元グラフの形に表示する。
- ③ 他の測定機器についても、すくい面と逃げ面の工具摩耗部を測定する。
- ④ ②、③の結果より、レーザ変位計と他の測定機器による測定結果を比較し、レーザ変位計が利用可能か否かを判断する。

本実験において、非接触式表面粗さ計は、レーザ変位計と同様に光を使った測定機器であり、被測定物表面の光の反射状態により測定値にバラツキが現れる可能性がある。そこで、非接触式表面粗さ計と接触式表面粗さ計を用い、工具摩耗部の形状を測定・比較した結果を図2に示す。図2-aは非接触式表面粗さ計、図2-bは接触式表面粗さ計で測定した結果を示しており、a.の①②③の断面がそれぞれ、b.の①②③に相当する。

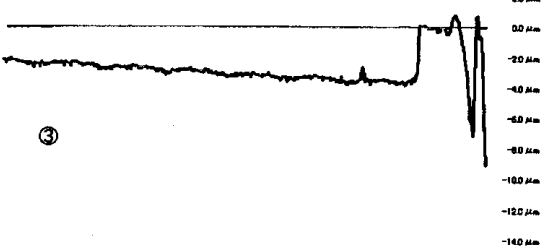
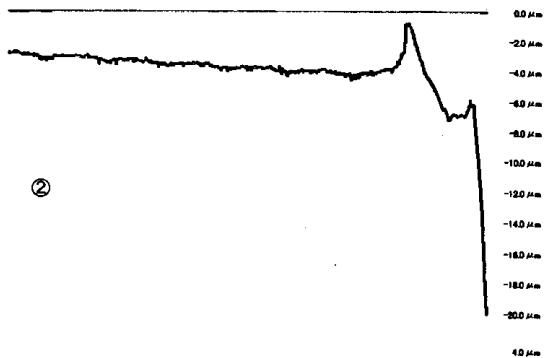
- ①: クレータ摩耗の中央を測定した結果で、a., b. ともにバイトの平面部分から15μm程度のくぼみが確認された。
- ②: 同じくクレータ摩耗の一部である。クレータのへこみ及びその周辺の凸部が確認された。
- ③: a., b. ともに平面部分より5μm程度高くなっている

部分が確認された。

以上の結果、非接触式及び接触式表面粗さ計による測定値は、互いに良く一致しており、工具摩耗の測定に非接触式表面粗さ計を用いることができる。

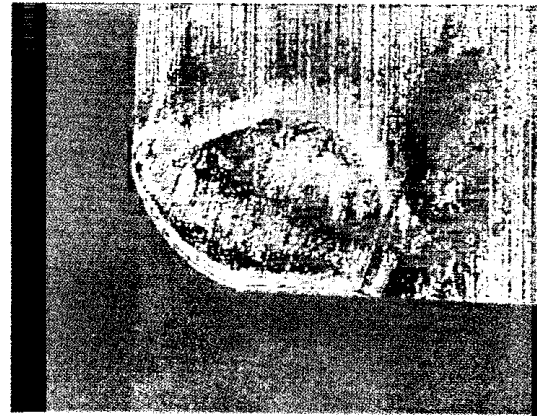


a. 非接触式表面粗さ計の測定結果

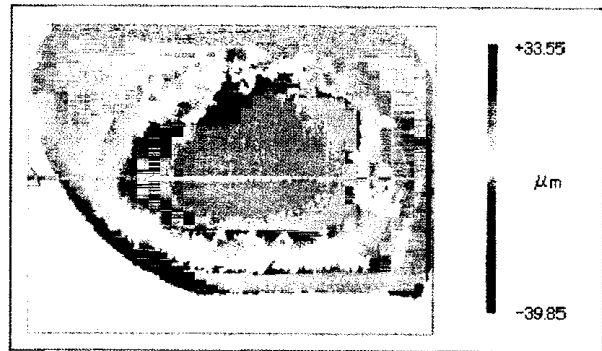


b. 接触式表面粗さ計の測定結果

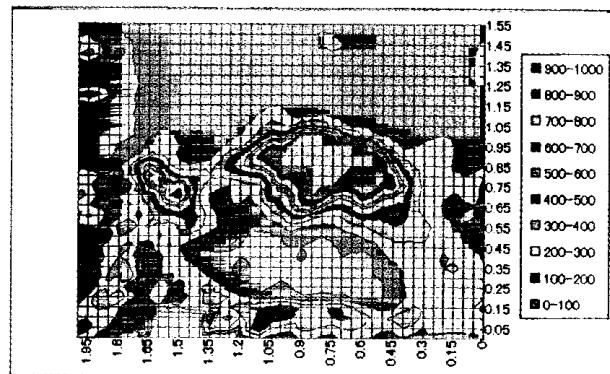
図2 非接触表面粗さ計と接触式表面粗さ計の比較



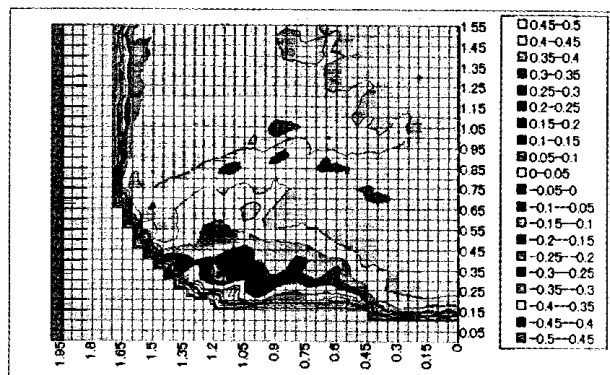
a. CCDカメラによる画像



b. 非接触式表面粗さ計による測定結果



c. レーザ変位計による受光量測定結果



d. レーザ変位計による、表面形状測定結果

図3 すくい面工具摩耗のレーザ変位計及び非接触式表面粗さ計による測定結果

3 結果及び考察

表2に示すバイトの中で、摩耗がもっとも顕著に現れたバイト1について、レーザ変位計及び他の測定機器で工具のすくい面摩耗及び逃げ面摩耗を測定した結果をそれぞれ図3、4に示す。

3-1 すくい面摩耗の測定

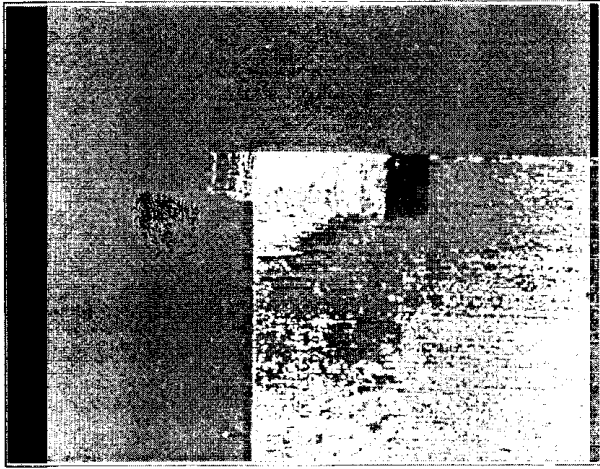
図3-aはCCDカメラによりバイトチップ先端を観察した結果である。工具先端部分にはクレータ摩耗が現れており、その周辺には切削の際、熱の影響により黒く変色し、光沢が他の部分と異なった部分が見られる。これを、非接触式表面粗さ計で観察した結果が図3-bである。クレータの深さは $50\mu\text{m}$ 程度、またバイト先端は、周囲より $10\mu\text{m}$ 程度高くなっていることが分かる。

これに対し、図3-cはレーザ変位計による受光量測定の結果で、クレータ摩耗と思われる部分で、測定値が大きく複雑に変化している。この原因は、反射の度合いが異なる部分(摩耗部、容着金属部、熱の影響を受けた表面部など)が存在するためと考えられる。これは、切削時に高温になった切粉がすくい面上を移動する際に起きる現象で、この現象を安定化し一様な表面状態を得るのは難しく、このことから、受光量測定でクレータ摩耗をとらえるのは難しい。

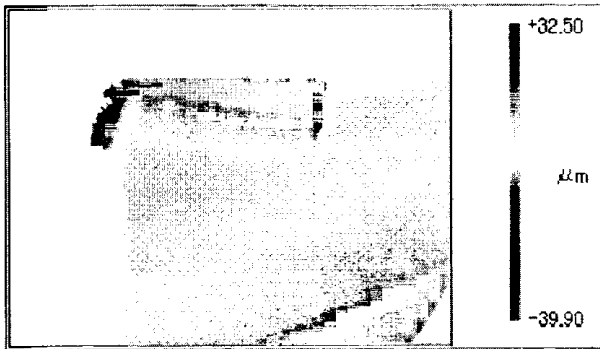
また、図3-dはレーザ変位計による形状測定の結果である。非接触式表面粗さ計では、クレータ摩耗と確認されている部分が、レーザ変位計では(受光量が高く測定されている部分は特に)、周囲の平滑な部分と同等もしくは周囲よりも高く測定される傾向にある。そこで、この受光量と高さの関係を明らかにするため、非接触式表面粗さ計で、 $5\mu\text{m}$ 程度の高低差しかない平滑な部分について、レーザ変位計で測定を行った。図5はその測定結果を比較したものである。両者の間には定量的な関係は見られない。そのかわり、同じ受光量でも、高さで $50\mu\text{m}$ 程度のバラツキが確認される。以上のことから、表面状態が安定していない部分において、深さで $50\mu\text{m}$ 程度の凹凸の測定は、現状の装置では難しい。対策として、フィルタを通して反射光の弱い(拡散している)成分を除外したり、複数の測定値を直接コンピュータに取り込み、受光量を絡めて統計処理する方法などを検討中である。

3-2 逃げ面摩耗の測定

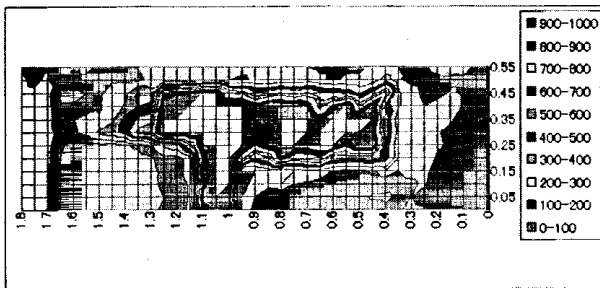
逃げ面摩耗部測定結果(図4-aのCCDカメラによる画像)を見ると、バイト先端に光沢のある摩耗部分が確認できる。摩耗部分の周囲には、熱により変色した部分なども見られるが、摩耗部分は付着物や大きな凹凸は見られない平面となっている。図4-bはこの逃げ面摩耗部分を非接触式表面粗さ計で測定した結果で、摩耗部分が緩やかな



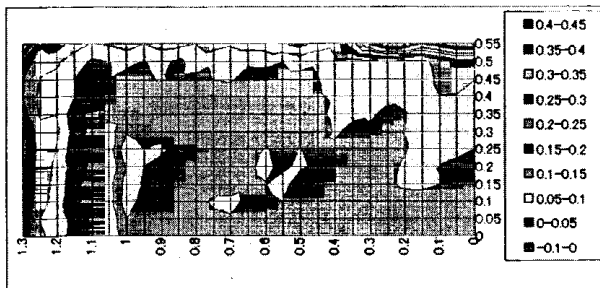
a. CCDカメラによる画像



b. 非接触式表面粗さ計による測定結果

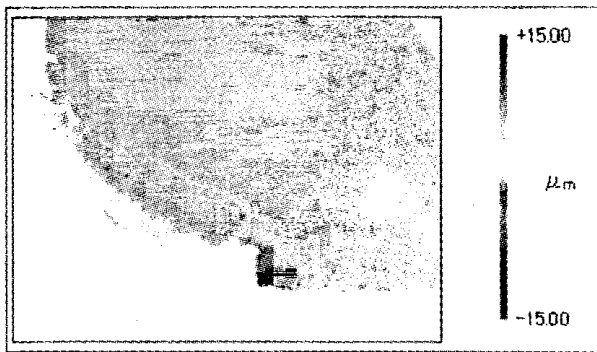


c. レーザ変位計による、受光量測定結果

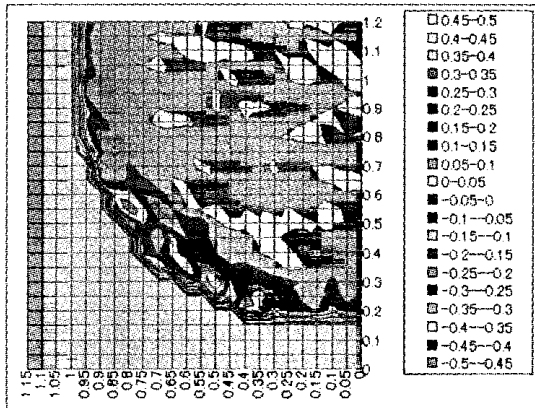


d. レーザ変位計による、表面形状測定結果

図4 逃げ面工具摩耗のレーザ変位計及び非接触式表面粗さ計による測定結果

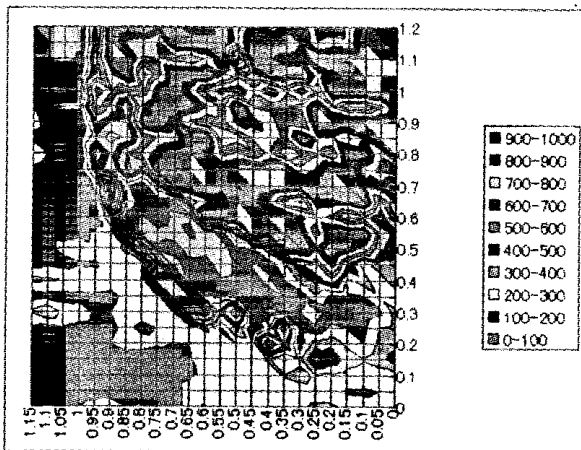


a. 非接触式表面粗さ計

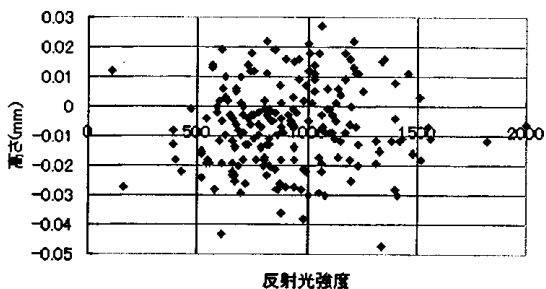


b. レーザ変位計 (表面形状)

※ a. において平滑な面 (凹凸が $5\mu\text{m}$ 程度) が、b. においては $50\mu\text{m}$ 程度ばらついている。



c. レーザ変位計 (受光量)



d. 受光量=工具形状 (mm) 相関グラフ

図5 工具表面の凹凸と受光量の関係

傾きを持った平面で最大で $10\mu\text{m}$ 程度の摩耗があることが分かる。

この部分についてレーザ変位計で受光量測定を行った結果が、図4-cである。逃げ面摩耗部の受光量分布は、すくい面での分布のように複雑ではなく均一であり、かつ数値は周囲より高くなっている。この原因として、すくい面摩耗が、切粉 (高温で形状が不安定) との接触で起こるのに対し、逃げ面摩耗は母材 (体積が大きいため比較的低温で、形状も安定している) との接触によって起こるため、摩耗部分の表面形状が安定すること及び、熱による影響 (付着物、表面の変色など) が少ないことが考えられる。得られた結果から、レーザ変位計の受光量測定機能による摩耗部分の検知が可能であることを確認した。また、このことを利用し、レーザで摩耗部分の検知を行いながらレーザ変位計に送りを与え、その送り方向の移動距離を、他の測定機器 (マイクロメータ、リニアスケールなど) で測定することにより、逃げ面摩耗幅の測定を行うことが可能である。 (ex. 図4-cの場合、摩耗部分は $0.15\sim 0.5\text{mm}$ の間にあり、摩耗幅が 0.35mm であることが分かる) ただし、摩耗した部分とそうでない部分との区別を付ける際の基準値は、工具の材質やメーカーなどによって変化することが考えられ、今後データの積み上げが必要となる。

図4-dのレーザ変位計による摩耗深さの測定については、摩耗部分と非摩耗部分の表面状態の違いから、すくい面同様バラツキの大きい測定結果となり、今後の検討が必要である。

4 結 言

- ① 切削後の工具表面は表面状態のバラツキが大きく、形状の測定値に大きな影響を及ぼす (今回は $50\mu\text{m}$ 程度のバラツキが確認された)。そのため、レーザ変位計で直接工具摩耗深さを測定するには、フィルタの使用、測定値の統計処理などの方法を検討する必要がある。
- ② 逃げ面の摩耗部分と非摩耗部分の受光量の著しい変化を利用し、レーザ変位計で逃げ面摩耗部分を検知することが可能である。そこで、この受光量測定機能と装置の送り方向変位を測定できる測定機器 (マイクロメータ、リニアスケールなど) を併用することで、逃げ面の摩耗幅測定が可能である。

5 今後の予定

- ① レーザ変位計を用いた逃げ面摩耗幅測定装置を製作し、実際の加工現場での、測定について検討を行う。

② 上記の測定データを自動で取り込み、製品の良否判定及び工具交換の判定を自動で行うシステムを構築し、測定労力の削減を図る。

③ 製品・工具の測定だけでなく、工作機械や作業員、測定機器の区別及び来歴などもデータの一部として、中小企業における品質管理システム構築の一助となるデータベースを作成する。

本研究は、平成8年度から3年間の技術開発研究費補助事業として実施したものです。

なお、今回使用した3次元表面解析顕微鏡は、平成8年度日本自転車振興会の補助事業で導入したものです。

文 献

1) 笠島永吉, リアボフ オレグ, 森 和男: レーザセンサを用いたインプロセス工具モニタリング法