

光点変位法による表面あらさの実時間測定装置の試作について

On a Development of Real Time Surface Roughness Sensor

三井 公之*・佐藤 寿芳*

Kimiyuki MITSUI and Hisayoshi SATO

1. まえがき

機械加工において精度の向上は、加工能率の向上と並んで最も重要な課題となっている。近年機械加工の高度の自動化を促進するために開発、研究が進められている、各種の工作機械システムにおいても、高精度加工を行うことが重要な目標であることに変わりはない。

工作物の加工精度は一般に寸法精度、形状精度、表面あらさに代表されるが、これらを加工中に測定しようにすることが、自動化工作機械システムの効果的な稼動のために要求される。特に、表面あらさを実時間で測定することが可能となれば、これまで困難であった仕上げ面の質を考慮した自動化をはかりうるであろう。さらに工具の摩耗、損傷、自励振動の発生等を検知することも期待される。

切削中に生ずる自励振動が、表面あらさに悪影響を及ぼすことはいままでのないが、定常的な加工状態においても、電動機、主軸の回転等が振動源となっている強制振動により励起される工具と被削材間の相対的な変動が表面あらさに影響を及ぼす可能性があることの指摘もされている¹⁾²⁾。表面あらさの実時間測定により、機械の振動と仕上げ面の質との関係を定量的に把握することの可能性が高まり、加工精度向上に寄与することが期待される。

以上の述べたように、表面あらさの実時間測定に対する期待が大きいため、筆者らはその装置の開発をすすめてきた。まず、レーザ光をレンズ系により細く絞って工作物表面に当て、反射スポット位置の変化を連続的に測定することによる、表面あらさの実時間測定装置を試作し、報告した³⁾。

しかしこの試作装置では、表面の傾き角を測定し、さらに傾き角に対応する信号を積分して表面波形を求めているために、動作の安定性にやや欠けること、表面あらさ曲線に含まれる、低い周波数成分の検出が困難であるという難点があった。

本研究では、これらの点を考慮に含め、あらたに光切断法を応用し光点変位を用いた表面あらさ実時間測定装

を試作し、基本的な特性を調べた結果について述べる。

2. 測定原理

レーザ光をレンズ系を用いて細く絞り、物体表面に照射する。図1において、表面の移動に伴い、表面上の光点は直線OA上を移動する。光点の移動量は微小

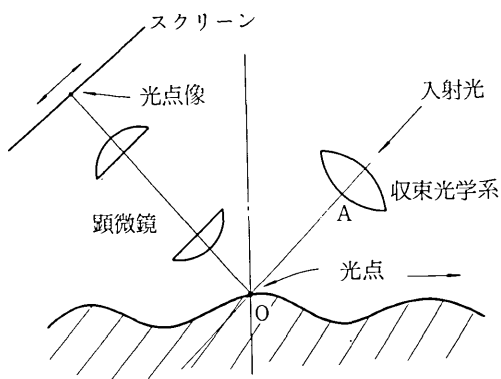


図1 測定原理説明図

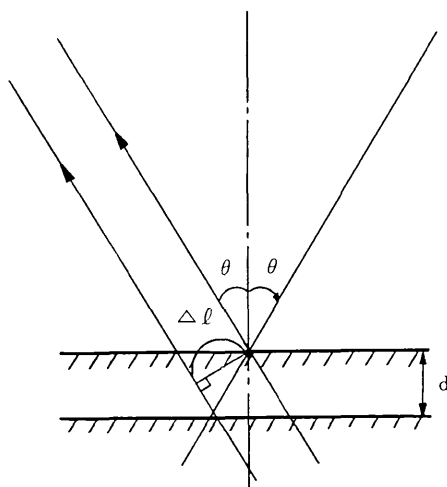


図2 拡大倍率

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報
置であるが、これを顕微鏡で拡大してスクリーン上に結像させ、像点の変位を観測すれば、表面波形を測定することができる。

図2で入射光及び顕微鏡光軸の中心軸に対する角度を θ とする。簡単のため、表面を平面として、距離 d だけ変位したとすれば、光点移動量の顕微鏡光軸に対する直角方向成分 Δl は

$$\Delta l = \frac{d}{\cos\theta} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - 2\theta\right) \quad (1)$$

となる。よって表面変位の拡大倍率を α とすれば

$$\alpha = \frac{\sin 2\theta}{\cos\theta} \quad (2)$$

と表わされる。 $\theta = \pi/4$ のとき α は $\sqrt{2}$ 、 $\theta = \pi/6$ のとき $\alpha = 1$ となる。 $\theta = \pi/4$ の場合には、光点移動量の顕微鏡光軸方向成分が生じないので、一般に θ は $\pi/4$ に選ばれる。

表面が平面の場合には、表面の変位量と光点移動量は正比例する。しかし表面が図3に示されるような曲線の場合には、表面変位量 $\overline{OP_0}$ と光点移動量の $\overline{OP_1}$ は完全には対応しない。図3で表面波形を振幅 5μ 、波長 100

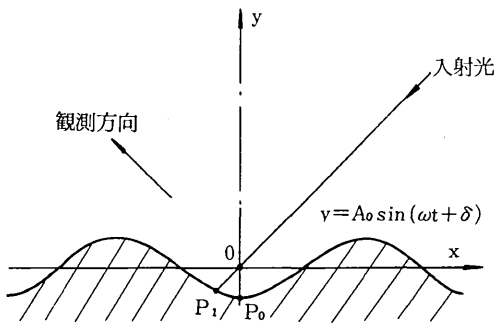


図3 正弦波状の表面波形

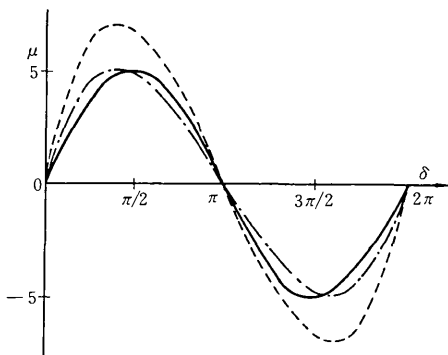


図4 光点移動量と正弦波の比較

μ のサイン波であるとし、 $\theta = \pi/4$ とする。 δ を0から 2π まで変化させ、光点移動量を逐次計算すると、図4の破線が求められる。これを $\theta = \pi/4$ に対する拡大倍率 $\sqrt{2}$ で除したものを一点鎖線で示す。実線で示される原表面波形との間に若干の位相差が生じている。機械加工面の表面波形は一般に、波長に比較して、振幅の小さい、ゆるやかな曲線であるので、この位相差を無視しようと考えられるが、波長に対し、振幅の大きい表面波形の測定に際しては、位相差の補正が必要となる。

3. 測定装置

前節において、表面における光点の移動量を顕微鏡で拡大し、連続的に測定すれば、表面波形を求めうることを示した。

本研究では、受光点像の位置検出に、1次元フォトダイオードアレイ (レティコン製) を使用した。図5

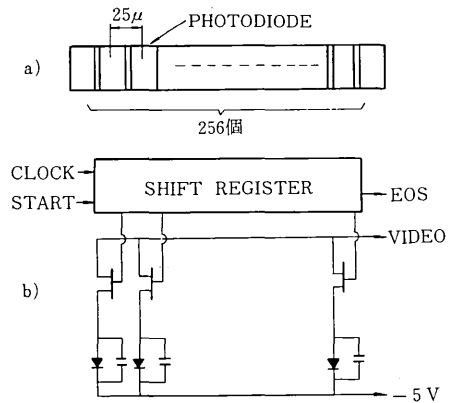


図5 1次元フォトダイオードアレイ

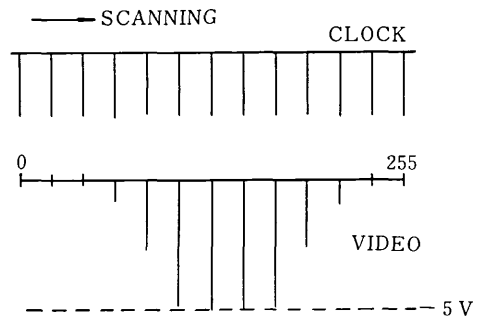


図6 クロックパルスとビデオパルス

に示すように、各フォトダイオードの中心距離は25 μ 、素子の数は256個である。スタートパルスによりスキヤニングを開始し、受光している素子があると、クロックパルスに同期したビデオパルスが出力される。フォトダイオードアレイ上に光点像が結像している場合、ビデオパルスは図6のように出力される。

光点像の中心位置検出方式を図7に示す。スタート

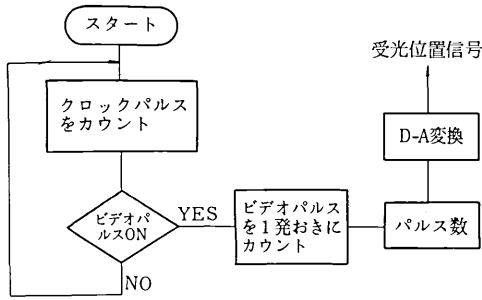


図7 光点位置検出の方式

パルスにより、各フォトダイオードのスキヤニングを開始する。スキヤニングと同期して、クロックパルスが出力されるので、これをカウントしてゆく、受光した素子があるとビデオパルスが出力されるので、クロックパルスのカウントをやめ、ビデオパルスを1発おきにカウントする。このようにして全素子のスキヤニングを終ったとき、カウンターに記録されたパルス数は、光点像の中心位置に対応するデジタル量となる。これをD-A変換すれば表面波形信号となるが、D-A変換せずにコンピューターの入力とすることもできる。図8に回路例を示す

図8に回路例を示す

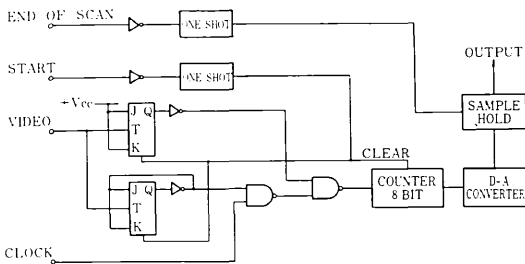


図8 回路図

工作物の表面あらさを実時間測定する場合、精度とともに測定速度を高めることが必要となる。測定速度に影響するものは、フォトダイオードアレイのスキヤニングスピードである。スキヤニングスピードの上限、すなわちクロックパルスの最高共振周波数は5MHzとされているが、そのとき256素子のアレイのスキヤニングに要する時間は 5.12×10^{-5} secとなる。この間に

ける、表面移動距離と測定速度の関係を表1に示す。測定速度を100mm/sとした場合、1回のスキヤニングを完了するまでに、表面は約5 μ 移動するから、5 μ

表1 測定速度と表面移動距離の関係

測定速度mm/s	100	500	1000	3000
表面移動距離	5.12 μ	25.6 μ	51.2 μ	153.6 μ

以下の波長の表面波形成分は遮断される。すなわち表面波形の波長が長いほど、測定速度を高めることが可能である。なお64素子のフォトダイオードアレイを用いる場合には、1回のスキヤニングを完了するための時間が1/4となるために、測定速度を4倍に高めることができる。

4. 実験結果

前節で述べた測定装置による、工作物表面波形の測定例を図9に示す。図9の曲線は、真鍮丸棒を突っ切

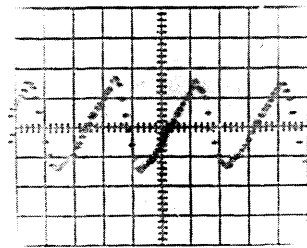


図9 ビビリマークの測定例

りバイトで切削する際に生じた、ビビリマークを測定したものである。測定速度18.5mm/sである。図9の横軸は185 μ /divで、ビビリマークの波長は約550 μ と求められる。なお顕微鏡の対物レンズ、接眼レンズは、それぞれ10倍のものを使用した。図9は測定波形の一部を写真撮影したものであるが、オシロスコープによる観察から、被削材の偏心、旋盤主軸の軸ぶれ等に対応する、低い周波数成分の測定が可能であることも確認した。

図10は工作物表面のキズの検出例である。真鍮丸棒をダイヤモンドバイトで仕上げた後、ケガキバリにより丸棒の長手方向に平向にキズをつけた。図11はこのキズを触針式表面あらさ計を用いて測定したものである。図10で正弦波状の波形は丸棒の偏心、旋盤主軸の軸ぶれ等による低い周波数成分で1周期が丸棒の1回

研究速報

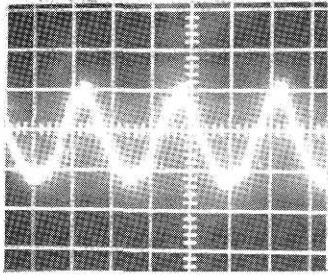


図10 表面のキズの検出

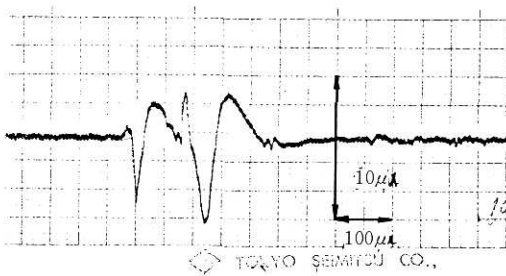


図11 触針式あらさ計によるキズの測定

転に対応している。表面のキズはパルス状の立下り信号として検出されている。なおこのときの測定速度は0.6m/secである。

5. まとめ

本研究では、光点変位による表面あらさの実時間測定原理を述べ、試作装置の概略、および実験結果を示した。

光源として、本研究では出力1mWのHe-Neレーザー発振器を使用した。レーザー光は平面波であるので、レンズ系で収束する際、細く絞れるという利点があるが、通常のタングステンランプ、水銀灯、発光ダイオード等を光源として用いることも可能である。レーザー発振器の出力は1mWと小さいが、表面での反射光を対物レンズで収光しているため、反射率の悪い被削材に対

しても有効である。

測定速度については、3節でふれたように、表面波形の波長と密接な関係があるが、一般的にはスキニングのスピードを高め、素子数の少ないアレイを使用すれば測定速度を高めることができる。また、精度を高めるためには、入射光をできるだけ細く絞ること、ならびに倍率の高い顕微鏡対物レンズを使用することが必要である。20倍の対物レンズを使用すると、1μ程度の表面変位を測定できると考えられるが、さらに精度を高めるためには、対物レンズの作動距離の面から、単鏡筒式の光点変位法を検討する必要がある⁶⁾。

また本研究では、装置と測定表面間の距離の変化として、表面あらさを測定するために、表面あらさ曲線に含まれる、低い周波数成分の測定が可能であり、この特性を利用すれば、真円度、円筒度、真直度等の形状精度のインプロセス測定へ応用することも考えられよう。さらに、表面あらさ、形状精度測定他に、物体表面の傷の検出、工具摩耗の検出、三次元形状の測定への応用も考えられる。

最後に、本研究に対し御協力された、鈴木浩平元講師(現都立大)、ならびに、佐藤研究室の職員・院生各位に感謝いたします。

なお、研究費の一部を日本機械学会RC-SC31研究分科会より受けたことを付記し、関係各位に感謝いたします。(1975年1月7日受理)

参考文献

- 1) 佐田ほか：切削加工における振動と表面あらさへの関連、工作機械の剛性および切削性能の向上に関する研究分科会研究成果報告書、機械学会、(昭49-2)225。
- 2) 安井ほか：工作機械振動と仕上面あらさについて、機械学会MTV分科会G-1資料、(昭48.3)
- 3) H. SATO and N. H. Cook: An Experimental Study on the Effect of Machine Tool Vibration on Surface Finish, Material Proc. Lab., Dept. of Mech. Eng. MIT, (1966-7)
- 4) 三井, 佐藤：レーザー光による表面あらさの実時間測定装置の試作について、機講論, No740-15, (昭49), 193。
- 5) 同上：生産研究, 26-8, (昭和49), 22
- 6) 中村, 和田：高倍率光切断法について, 精密機械22-2, (昭31-2)20。