

レーザー散乱光による加工品表面計測

小豆島 明*

1. はじめに

表面粗度は、工業製品や機械部品の表面機能に関する重要な量である。従来、このような表面粗度の測定には触針式の表面粗度測定装置が広く使用されてきた。しかし、近年のオンライン粗度管理に使用するには測定速度・測定範囲の点で不向きであり、また接触式であるため表面に傷が付くという問題もあった。

これらの理由から、非破壊・非接触的手法であり、しかも高速測定ができる工学的測定手法とりわけ空間的にコヒーレントであるレーザー光線を用いたものが研究開発されてきた。

そこで、本研究においては、散乱光分布の画像処理による測定システムを提案し、この測定システムを実際の圧延におけるオンライン計測に利用できるまで高速化した。さらに、高速化した本測定システムを用いて、オフラインで表面粗さと2値化面積の関係における油膜の影響を調べた。

2. 計測システム

2.1 測定装置

測定装置の概略を図1に示す。装置の基本動作は次の通りである。光源は出力5mWのHe-Neレーザーで入射角 20° で試験片表面に照射される。試験片表面におけるレーザースポット径は約1.2mmである。反射した散乱光は試料台から325mm離れた半透過性のスクリーン状に投影され、スクリーンの

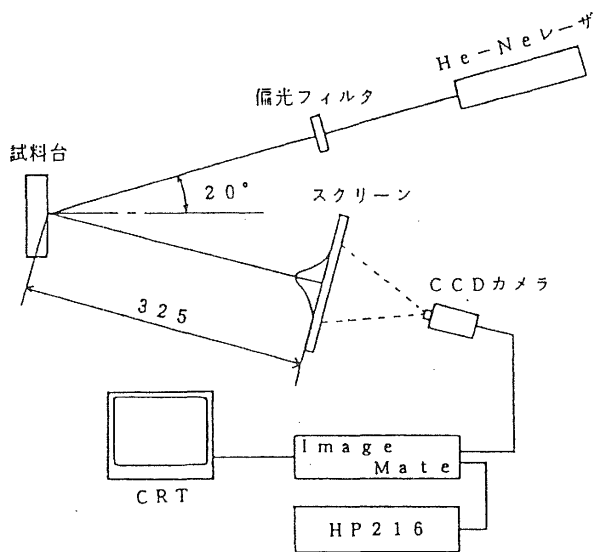


図1 測定系概略図

裏側からCCDカメラにより1枚の映像として捉える。その映像は、日本アビオニクス製のイメージプロセッサImage Mateへ送られ、イメージプロセッサは画像をA/D変換してパソコンHP216へ転送する。この動作はHP216によって制御される。パソコンに転送された散乱光の画像は、レベル0~255までの2次元整数配列としてコンピュータ内に存在する。コンピュータへの画像転送領域はデータ処理速度を決定する重要な項目であるが、本研究の場合画面の中央に縦300ピクセル、横300ピクセルの合計9万ピクセルをとることにした。この結果データ転送時間は90秒となった。またこれはスクリーン上において縦横それぞれ90mmにあたり約0.05'の高分解能を得た。

2.2 試験片

2.2.1 表面粗度パラメータ

本研究では表面粗度を表すパラメータとして振幅、周波数、傾斜角の3種類の情報について、触針式粗さ計で以下の3つのパラメータを測定した。

- (1) 2乗平均粗さ R_{rms}
- (2) 自己相関距離 T

$$C(\tau) = \Psi(\tau) / \Psi(0)$$

$$\Psi(\tau) = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} z(x) \cdot z(x+\tau) dx$$

$z(x)$: 表面プロフィール関数

T : $C(\tau)$ が $1/e$ になる時の τ の値

$$C(T) = C(0) / e \approx 0.37$$

- (3) 平均傾斜角 δa

$$\delta a = \frac{1}{L} \int_0^L |\delta - \delta_m| dx$$

δ : dz/dx

δ_m : 中心線 (表面プロフィールの単純平均角度)

2.2.2 試験片

本研究では測定対象表面を2次元ランダム表面に絞り、試験片は、単純引張、および流体潤滑圧延によって周波数の異なる以下の3種類の自由変形表面を作成した。

- (1) Aシリーズ 引張アルミキルド鋼

コイル状の体炭素アルミニウムキルド鋼焼きなまし調質材を300mm程度の短冊に切断し、引張試験機で単純引張したもので、表面粗度は

$$R_{rms} = 0.050 \sim 0.238 \mu m$$

$$T \approx 13 \mu m$$

$$\delta a = 0.429 \sim 1.432 \text{ deg}$$

(2) Bシリーズ 引張ステンレス鋼

フェライト系ステンレスSUS430をAシリーズと同様に単純引張したもので、表面粗度は

$$R_{rms} = 0.020 \sim 0.227 \mu\text{m}$$

$$T \approx 19 \mu\text{m}$$

$$\delta a = 0.218 \sim 0.997 \text{ deg}$$

(3) Cシリーズ 圧延ステンレス鋼

短冊状に切断したSUS430を比較的粘度の高い潤滑油(パラフィン系鉱油, 340cSt at 20°C)を用いて一定速度(12m/min)、一定圧下率(7.5%)で圧延することにより、流体潤滑に近い状態で自由変形させたもので、直径76mmの圧延ロールの粗さを変化させることにより試験片の表面粗さを変化させた。

$$R_{rms} = 0.059 \sim 0.091 \mu\text{m}$$

$$T \approx 6 \mu\text{m}$$

$$\delta a = 0.850 \sim 1.128 \text{ deg}$$

これともう一つ、600cSt at 20°Cの潤滑油を用いて同じ条件で圧延し、さらに自由変形させた試験片を作成した。

$$R_{rms} = 0.212 \mu\text{m}$$

$$T \approx 10 \mu\text{m}$$

$$\delta a = 1.486 \text{ deg}$$

これらの試験片はランダムとはいうものの測定方向によって粗さが異なるので、測定は各試験片について引張、圧延

方向およびそれに垂直な方向それぞれ5回ずつ測定し、その平均値を表面全体の粗さの代表値とした。また、レーザ光の回折に直接的に関わりの薄い表面の低周波成分を除去するためCut Offは0.25mmとした。

2.3 実験

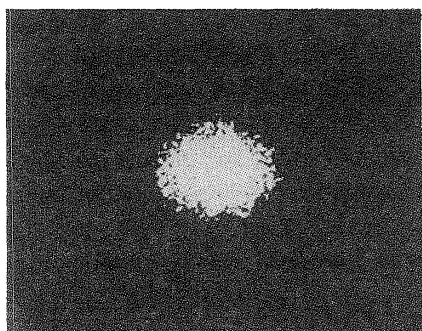
2.3.1 データ処理方法

従来、散乱光のデータ処理方法としてはピーク強度や半値幅、拡がりの標準偏差や分散などが測定され、表面粗度との関係が調べられてきたが、ここでは新しく散乱光の拡がりを評価する方法として、取り込んだ散乱光の画像を一定のしきい値(=10)で2値化して、その拡がり面積(画素数)を測定し表面粗度との関係を調べた。(写真1)

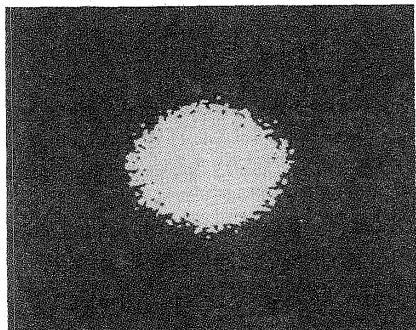
2.3.2 測定結果

測定は各試験片について近傍の3点を測定し、その平均値を代表値とした。2値化面積と R_{rms} および δa との関係を図2、図3に示す。

図2から周波数の異なる各表面に対して、それぞれ2値化面積は R_{rms} と比例関係にあることが分かる。またその傾きは3種類ともほぼ同じである。そして、図3から2値化面積は表面の傾斜角に応じて広がっているのが分かる。また傾斜角が小さいすなわち鏡面に近い領域において相関性が高くなっている。Aシリーズのみ多少他シリーズと異なるが、これは鋼とステンレスの反射率の違いから生じたものではないかと思われる。



原画像



2値画像

写真1 原画像と2値画像

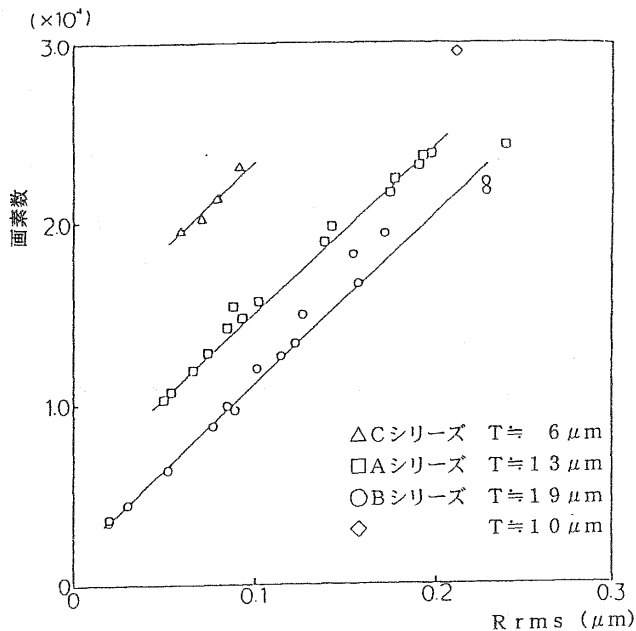


図2 2値化面積と R_{rms} の関係

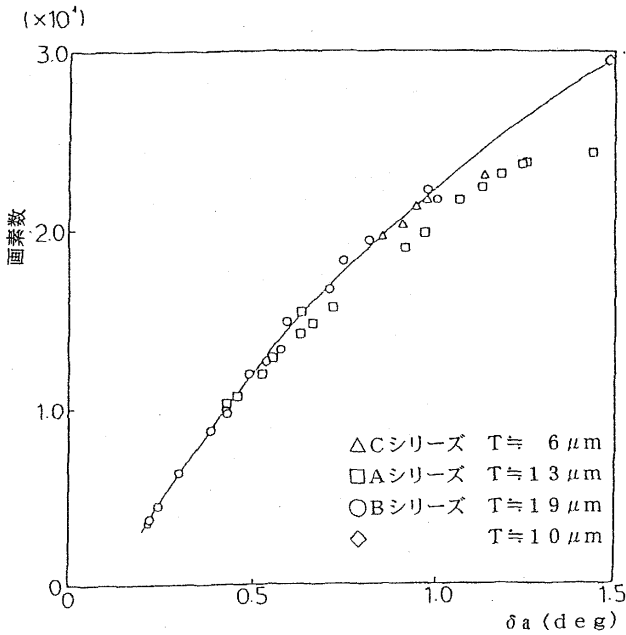


図3 2値化面積と δa の関係

3. 計測システムの高速度化

図1の測定系は、イメージプロセッサIMAGE-MATEを使用しており、HP-IBでのデータ転送時間に必要以上に時間を要していた。そこで、本研究では、新しい画像入出力ボードMT-9801-FMMをPC9801VXに組み込みI/Oバンク切り替え方式にすることによりデータ転送時間のロス無くした。さらに、HP-BASICでプログラムを組んでいたので計算速度が低かった事により、画像処理時間が数分間かかってしまった。そこで、本研究では、HP-BASICでのプログラムを参考にしてC言語での画像処理プログラムを開発し画像処理時間を短縮する事にした。変更後の画像処理装置部の概略図を図4に示す。

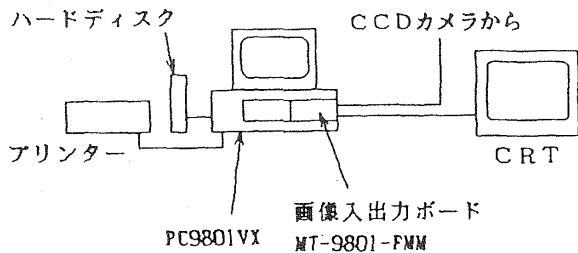


図4 高速化した測定計

本測定システムについて説明する。He-Neガスレーザー出力装置から出力したレーザーは、光量調節の変更フィル

タを通過し入射角 20° で試験片表面に照射される。試験片表面での反射散乱光は、半透過性のスクリーン上に投影され、裏側からCCDカメラでとらえられ、その画像は画像入出力ボードへ送られる。画像入出力ボードは画像をA/D変換してパソコンPC-9801VXへ転送する。この画像状態はCRTでリアルタイムにモニターすることができる。パソコンに転送された散乱光の画像は、レベル0~255までの2次元正数配列としてコンピュータ内に存在し、2値化や数値解析グラフィックス処理等の操作が行われる。従来との画像処理時間の比較を表1に示す。

表1 画像処理時間の比較

	従来法	本研究
データ転送時間	1分30秒	1/30秒
中心を求める計算	4分	4秒
2値化面積の計算	1分30秒	1.5秒
散乱光の分散の計算	4分	0.1秒

4. オフライン計測での油膜の影響を調べる実験

オンライン計測で油膜の影響を調べる前に、あらかじめ様々な粗さの材料を作成してオフラインで調べた。

4.1 試験片および実験方法

フェライト系ステンレスSUS430、板厚0.4mm、板幅25mm、長さ200mm、表面粗さRa0.018 μ mに、引張ひずみを与えることにより作成した。試験片は、0~0.1の引張ひずみの範囲で10本作成した。上記の様な試験片に油膜を付着させるためには以下の方法を取った。まず、所定の濃度までヘキサンで薄めた潤滑油中に試験片を十分に浸す。潤滑油はP30(80cSt, 20 $^\circ$ C)を用いた。つぎに、これらを一日以上吊るして置いて潤滑油が均一に付着されているようにした後、油膜厚さを測定する。実験では、油膜厚さ2.8 μ mのもの5.1 μ mのものを作成し、これら試験片を、本測定システムで計測した。尚、油膜を付着させない状態のものを、油膜厚さ無しのものとして計測した。

4.2 結果および考察

計測結果を図5に示す。結果より、ひずみの大きさつまり表面粗さRaの大きさと2値化面積との間には比例関係があることが分かる。これは、ひずみ及び表面粗さRaの大きい表面の荒れたものほど散乱光が広がっている事を表している。また、油膜厚さを持った試験片では、油膜を持たないものに比べて全体として2値化面積は大きくなっている。このことより、油膜は2値化面積を大きくする影響を持つことが分かる。また、油膜の有無による2値化面積差は、ひずみ及び表面粗さRaによらず、ほぼ一定であることが分

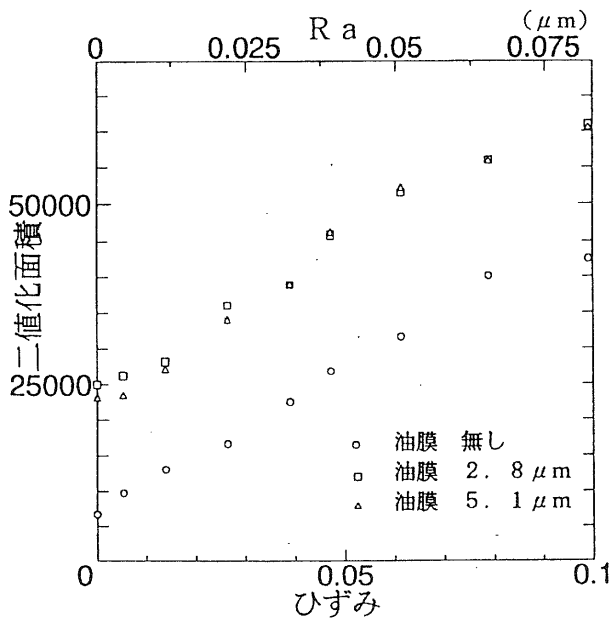


図6 油膜の影響

かる。また、 $2.8\mu\text{m}$ と $5.1\mu\text{m}$ 程度の範囲では、2値化面積の増加は油膜厚さに関係ないものと思われる。

5. まとめ

本研究では、画像処理装置を用いた新しいレーザ散乱光による表面計測システムおよび評価方法を考慮し、その有効性を検討した。更に、本計測システムを用いてオンライン計測を行う際、問題となっていたシステムの高速化に対し、画像入出力ボードを高速処理可能なものにする事、また画像処理プログラムを高速なものに変更することにより、実験室レベルでのオンライン計測が可能までに成功した。

このことは、さらに、計測システムの各部分について、より高速処理可能なものに変更していくことによって、一層の高速化が望めることを示した。さらに、オンライン計測において問題となる、油膜の影響、振動の影響、表面変化への追従性に対し、これまでの実験より次のことが分かった。

- 1) 油膜がある場合は2値化面積を大きくする。
- 2) 圧延における通常の振動に対し、本計測システムは影響を受けない。
- 3) 材料表面の変化に対し、高い追従性を持つ。

文献

- 1) 鈴木、小豆島：平3年塑加講論、(1991)、385.
- 2) 小豆島他2名：塑性と加工、19 (1978)、958.