

課題番号 06-027

平成 20 年度シーズ発掘試験（発掘型）研究報告書


報告日：平成 21 年 4 月 8 日

技術分野	21
------	----


課題名：レーザ光を用いた実時間表面形態計測法の開発

研究期間：平成 20 年 7 月 4 日～平成 21 年 3 月 31 日

1. 担当コーディネータ

氏名（役職）	清水 信孟（テクノコーディネータ）		
所属機関名	財団法人長野県テクノ財団浅間テクノポリス地域センター		
連絡先	所在地	〒386-8567 長野県上田市常田三丁目15番1号（信州大学繊維学部内）	
	TEL/FAX	0268-23-6788 / 0268-23-6673	
	E-mail	shimizu@asatech.or.jp	

2. 代表研究者（代表研究者のみ記入してください。）

氏名（役職）	石澤 広明（准教授）		
所属機関名	信州大学繊維学部		
連絡先	所在地	〒386-8567 長野県上田市常田三丁目15番1号	
	TEL/FAX	0268-21-5400 / 0268-21-5400	
	E-mail	zawa@giptc.shinshu-u.ac.jp	

3. 共同研究者（JST と委託研究契約を締結した共同研究機関の場合のみ記入してください。）

氏名（役職）			
所属機関名			
連絡先	所在地		
	TEL/FAX		
	E-mail		

4. 試験研究の結果報告

(1) 試験内容

1. 計測システムの試作

(a) 試験項目と試験内容/目的 : 光学系を簡便化し, 半導体固体レーザー (473 nm) および He-Ne レーザー (632.8nm) を光源とし計測システムを試作し, 金属板試料の表面状態を計測し, 試作システムを最適化する。

(b) 実施内容 : バフ研磨により表面粗さ変えたステンレス板を試料とした。レーザー光源からの照射光をアフォーカルビームエキスパンダで拡大平行光とし, 試料対象部に照射し, その反射光を CCD カメラにより撮像する方式を採用した。計測システムは, 光源, 光軸調整用光学ステージ (x-y ステージ, あおり可変), ビームエキスパンダ (3, 5, 20 倍), 試料ステージ (自作, x-y ステージ, 入射角可変), リレーレンズ+CCD, PC (100ms/frame) から構成する。試料表面の表面状態 (研磨#800 ~ 未研磨までの 8 段階) の試料のスペックルパターンの比較により, レーザー光源 (発信波長) の選択, 光学系の小型化, 光軸調整や試料把持・調整の安定化などの項目で最適化を試験した。

2. 計測システムの適用試験

(a) 試験項目と試験内容/目的 :

- ・ 表面粗さ計測 : 表面粗さの異なる金属板試料および素材を試作・調製し, 触針式表面粗さ計測により参照値を取得する。参照値の表面粗さパラメータ (JIS-B0601) をスペックル情報から推参し検量する検量線を開発する。表面粗さ検量精度は, 数 nm を目標値とする。ポリゴンミラーを試料として表面粗さの実計測を試みる。

- ・ 表面欠陥検出 : ブルーレイディスクなどメディア媒体表面に残留異物や欠陥を持つ異常試料および正常試料を入手・調製し, 実体顕微鏡観察およびレーザスペックル計測を行う。実体顕微鏡によりこれら表面欠陥/異物の寸法や種類を同定し, スペックルパターンの特徴との対応関係により, 異物寸法の検出感度 (目標値サブミクロン以下) や計測効率を検証する。

(b) 実施内容 :・ 表面粗さ計測 :

バフ研磨を施したステンレス板と 7 試料をそれぞれ 2 試料ずつ調製 (試作) し, 試料とした。また, 未研磨のものも供試した。試料の表面粗さを表面粗さ測定機 (Mitutoyo, SVC-628, JIS B 0601 準拠, 長野県工業技術総合センタ) により測定した (依頼分析)。測定された粗さ曲線の二乗平均平方根高さ R_q を試料の表面粗さの参照値 (代表値) とし, スペックルパターンから算出したスペックルコントラスト (CNT) との相関関係を検討し, CNT から表面粗さを推定する検量線を開発した。

開発した検量線を用いて, スキャナーやレーザープリンタに搭載されているポリゴンミラー (回転多面鏡・長野県内 A 社提供, 表面粗さ既知) を表面粗さの計測に供し, 検量線の妥当性を試験した。

・ 表面欠陥検出 :

不良検出用の擬似的な傷が付けられているモデル試料 (CD, DVD, 県内 A 社提供) を用い, スペックルパターン計測, 実体顕微鏡観察を行った。モデル試料の欠陥はデータ再生時に特定部分で読み取りが不可能になる程度のものである。また, CD-R には先端 $1\mu\text{m}$ の超硬金属針を用いて傷をつけ, 欠陥試料を調製し同様の計測を行った。正常部のスペックルパターンを同条件で計測し, 正常部と異常部 (欠陥部) のスペックルの相互相関関数を, 科学技術ソフトウェア MATLAB (Ver.6.5) で作成したオリジナルプログラムを使用し算出し試験した。

(2) 得られた成果

1. 試作計測システムの概要

従来の試作計測システム系よりも小型化したシステム系を図 1 に示す。光源、光軸調整用光学ステージ（位置および入射角可変）、ビームエキスパンダ（3, 5, 20 倍）、試料ステージ（自作、位置および入射角可変）、リレーレンズ+CCD、PC（100ms/フレーム）より構成される。据え置き面積（500mm×300mm；光源を除く）、試料・レンズ間距離 100mmmax（可変）、ビームエキスパンダ・試料間距離（100mm 可変）となった。これまでのシステムの 30% 程度の小型化と計測の簡易化を実現した。なお、感度は、維持され、光軸調整の簡易化、ならびに安定化が可能となった。試料の位置調整の高精度化により、面分解能の再現性が向上した。また、計測部の可搬化を実現した。試料ステージの自作により、適用可能な使用の範囲が拡大した（金属板、メディア、ミラーなど奥行きのあるもの、など生体試料）。なお、発振波長の異なる 2 つのレーザー光源を使用した。スペckルパターン上の違いは顕著ではなかった。実視野は 0.680mm×0.860mm（最小）～6.80mm×8.60（最大）であった。

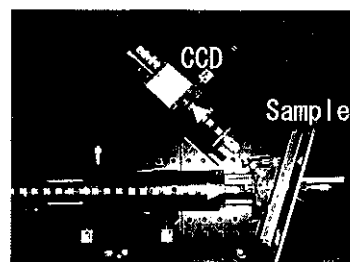


図 1 試作システム外観(立面方向)

2. 計測システムの適用試験

・ **表面粗さ計測**：コントラスト CNT から表面粗さパラメータ Rq の値を決定することができることが明らかとなった（図 2）。なお、図 2 の計測点の最小値は Rq で 4nm，最小点に隣接する Rq 値は 11nm であった。したがって、当初目標とした計測精度はほぼ達成できた。ポリゴンミラーの鏡面粗さ計測に開発した検量線を適用したところ、参照値（粗さ 16nm～20nm）に対して、検量線による推定値は 8nm～9nm で誤差が大きかった。したがって、開発した検量線の汎用性には課題が残った。材料や表面仕上げが異なる試料は、検量線を最適化するなどの検討が必要であった。

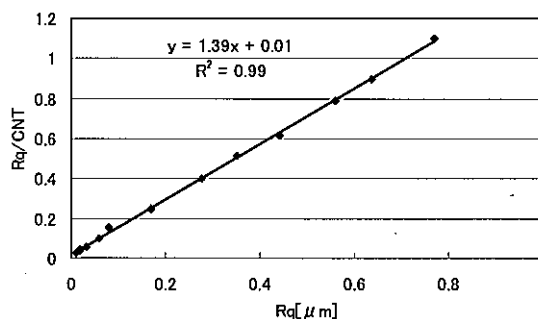


図 2 二乗平均平方根高さ Rq の検量線
(ステンレス板, 473nm 入射・反射角 22.5°)

・ **表面欠陥検出**：欠陥部分のスペckルパターンには正常部分ではみられない干涉縞などの特徴的なパターンがのみに現れることから、試料の欠陥に由来するものである（図 3,4）。欠陥の大きさは、CD で 50 μm，DVD, CD-R で 300 μm～400 μm であることが判明した。正常部分と欠陥部分の積算輝度値の間には有意な差があり、このことから欠陥検出の可能性を見出すことができた。なお、欠陥検出の分解能について、欠陥サイズに関するデータを広く収集する必要がある、今後実用化する上での課題である。以上、本計測法による材料表面欠陥の高速検出が可能であることが判明した。



図 3 欠陥部の例 (実体顕微鏡像)
(左から：CD, DVD, CD-R2 種)



図 4 表面欠陥のスペckルパターン
(図 3 に対応)

3. 論文/発表、特許等

広範囲（光束 30 φ）を高速で（100m 秒）で表面粗さや表面欠陥を検出可能な点が明らかになった。特に表面粗さ計測の安定性・汎用性を確認し、特許出願、論文発表の検討を進める。

(3) 今後の展開**①平成 21 年度内に、本結果を受けて予定する具体的な活動**

- ・表面粗さ計測の安定性・汎用性を確認し、特許出願の検討を進めたい。
- ・本試験の結果を踏まえ、企業との共同開発を検討したい。現在候補企業を募集中である。
- ・特許出願後に、本試験に関する論文投稿（計測自動制御学会英文論文誌）を検討している。

②今後の実用化に向けた長期的な展望（平成 21 年度にかぎらず）

本試験により開発した計測システムは、サブミクロンスケールの材料表面形態、紡績系構造、あるいは植物生育状態計測への適用など、多様な応用が期待できる。さらに学術的には先進的な分野を拓き、これまでにない計測法を提案可能である。また、地域産業が抱える品質向上に関するニーズへの対応が可能であり、これら工業製品・半製品の表面形態や異物の実時間計測・管理のためのインライン、オンマシンシステムを提案するなど、広い産業分野で地域産業に対し成果の実用化を期待できる。したがって、この面での企業との連携を積極的に進展させたい。

(4) 知的財産権について**①試験の結果得られた知的財産権：**

広範囲（光束 30φ）を高速で（100m 秒）で表面粗さや表面欠陥を検出可能な点が明らかになった。特に表面粗さ計測の安定性・汎用性を確認し、知的財産権確保を進める。

②今後の知財権確保について、計画・方針・展望：

- ・上記①の展開においては、企業連携を前提とする。この際、計測システムを商品化する企業、およびシステムを実施する企業が異なる場合も想定する。
- ・上記①の確認試験を 21 年度内に終了し、22 年以降に企業との連携、知財確保等を速やかに進捗させる。

(5) 今後のフォローアップ等について（コーディネータ記載）

本研究は、加工技術の精密化（微細化）や高品質化に伴い、表面の機能や寿命を評価する上で表面粗さおよび表面欠陥計測の重要性は一層高まっており、これまでの研究成果をもとに、表面粗さおよび表面欠陥計測を非接触で実時間測定するシステムを開発しようとするものであった。

上記報告にあるように、レーザスペckル法による計測システムを試作し、試料の表面粗さ・表面欠陥を非接触での実時間測定に関するいくつかの新しい見通し・成果が得られ、表面粗さ計測等、当初目標をクリアーできたものも多く、また今後の課題対応への提起が出来る状況となった。しかし、今回の期間では、表面欠陥検出の分解能について、欠陥サイズに関するデータを広く収集する必要があり、今後実用化する上での課題が判明した。今後については、H21 年度の研究予定と、実用化に向けた長期的な展望の研究継続が提起されている。現時点でも実用可能な分野も考えられるが、さらに課題が解決されることにより、実用化への目標に近づくものと期待できる内容である。本技術での特許出願、積極的な企業との共同研究、新たなテーマについての提案公募制度等への申請等支援を行うこととする。