

既に開発されたCCD水平設置型非接触距離センサ¹⁾は、性能試験の結果有効であることが確認できた。しかしながら物体表面上のレーザ光スポットのCCD面実像はスペckルノイズを含み、ピーク位置判定の精度は阻害される。この報告はスペckル抑制のためにこれまでに行われた対策の効果を再評価し、その問題点を考慮した上で新しい対策について検討をするものである。

1. 緒言

このセンサは、光軸上にCCDピクセルラインが設置されており、物体距離の高頻度測定 (355times/sec) が可能である。しかし物体表面のレーザ光スポットからの反射散乱光を投影してみると、不規則で明瞭な粒状模様が見られる。これはレーザ光をあてた粗面物体からの散乱光が干渉しあつて生ずるもので、スペckルといわれている。このためCCD出力の波形はスペckルによる付随峰を伴い、ピーク位置判定の精度は阻害される。このスペckル抑制のために、これまでいろいろな対策が提案され試験されてきたが、どれも十分な効果を得ていない²⁾。この報告は、スペckル効果の抑制のために必要な条件や、過去の実験における問題点等を整理し、新しい方法の模索について述べるものである。

2. センサの仕様

このセンサは2枚のレンズを天体望遠鏡型に固定したレンズ系(ケプラー型アフォーカル光学系)を持ち、レンズ系前方の対象物空間の点群はレンズ系後方の実像空間の点群へ線形写像される。主な値は以下に示す。

第1レンズ焦点距離: $f_1 = 240.7\text{mm}$, 第2レンズ焦点距離: $f_2 = 35.7\text{mm}$,

軸方向倍率: $(f_1/f_2)^2 = 45.45$, 分解能: 0.5mm/pixel (調整後は 0.518), 測定距離範囲: $L = 0 \sim 1296\text{mm}$
また、CCDの掃引時間は 355Hz である。

3. スペckルノイズ

図1に示すように、CCD出力は通常(a)のようなスペckルノイズが(b)の幾何光学成分(点線)に重なつて太線のようにになっている。中央部のスペckルピークのうちどれが卓越して来るかによって、(b)のピーク位置は跳躍的に遷移することがある。CCD面上のスポット実像の赤外線顕微鏡写真観察によれば、スペckルサイズは二つある。即ち、約 $5\mu\text{m}$ と約 $90 \sim 110\mu\text{m}$ のものである。後者は前者のスペckルのクラスターの明暗パターンを生ずるという状況を呈している。 $11 \times 11\mu\text{m}$ のピクセルサイズの故に小さい方は検出されないが、大きい方は、図1の複峰サイズに対応する。

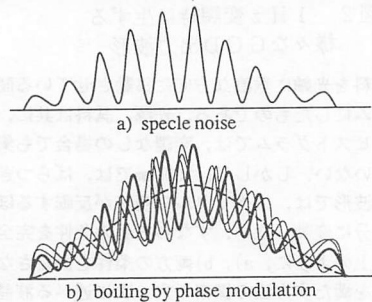


図1 CCD出力波形に生ずる付随峰

4. スペckルノイズの抑制

単純に、CCDの一掃引時間内 ($1/355\text{sec}$) に、数サイクルの頻度でスペckルに十分なボイルングが生じれば、CCD出力におけるスペckルの影響は平均化されてしまい、現れないであろうと考えられる。つまり以下の条件を満たすことが必要である。a)物体表面で起こる光散乱に匹敵するほど十分に強い拡散(あるいは何らかの周期的攪乱)を投射ビーム側に与えてやる。b)a)の周期的変動を、CCDの一掃引時間内に最低1サイクル、つまり 355Hz の整数倍の頻度で与えてやる。これまで、いろいろなスペckル対策方が提案され試験されているが、どれも十分な効果を得ていない。その中のいくつかについて、原因をまとめてみる。

1)空気擾乱³⁾: 熱風などで空気を擾乱させレーザ光にランダムな拡散を与えると、実際に付随峰の盛んな変動が確認できる。しかしb)の条件を満たさない。

2)レーザガンの振動: ビームプロジェクタを光軸方向あるいは、光軸と垂直方向に振動させる方法である。この方法はb)については満足するが、a)について不十分であった。

3)光弾性実験⁴⁾: ピエゾ素子を用いてエポキシ樹脂に数百Hzの変形振動を与え、透過レーザ光の位相に変調を与える。図2は、第1レンズ前方焦点位置から試料までの距離 Z_1 を変えたときに得られるCCD出力波形、図3は

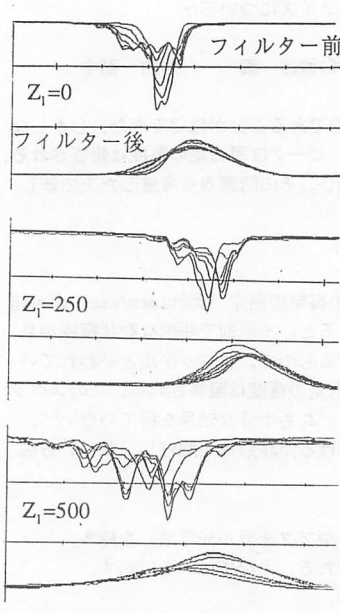
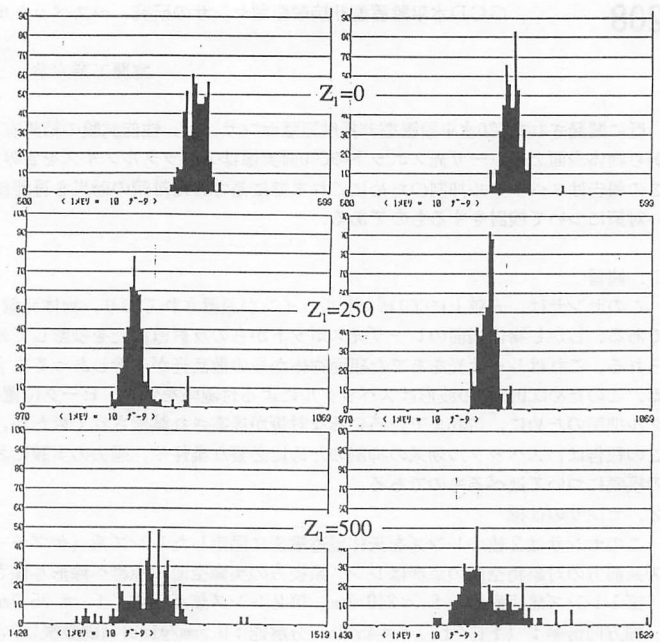


図2 1 Hz 変調時に生ずる
様々な CCD 出力波形



(a) 変調なし (b) 3 5 5 Hz 変調
図3 移動試料面距離測定ヒストグラム

試料を光軸に垂直な方向に移動させている間にフィルターを通して500値のピーク位置データを採集し、ヒストグラムにしたものである。光源、試料は共に、半導体レーザー（波長670nm，出力10mW）鏡肌を用いた。

ヒストグラムでは、変調なしの場合でも集中度が良くなっているため、変調を与えた場合の効果は顕著に現れていない。しかし $Z_1=500\text{mm}$ では、ばらつきの範囲はあまり変化が無いが、集中度は良くなっている。一方 CCD 出力波形では、スペックルの明暗が反転するほどの変化が部分的に生ずることが確認できたが、全般にわたっては十分に変動しない。すなわち a) の条件を完全には満たしていない。

以上のように、a), b) 両方の条件を満たさなければスペックルの影響を完全に消し去ることはできない。この条件を満たす方法の探索の末、次に述べる液晶の電気光学効果に応用するのが、有効であると思われる。

5. 液晶による光拡散

液晶は、一般に誘電率や電気伝導率に異方性を有するために、電界を印加すると電界方向にこれらの値が増加するように分子配向が変化する。このような配向の変化に伴って複屈折、光拡散、偏光の回転等の光学的特性が変化するので、これを電気光学効果と呼ぶ⁵⁾。この効果の中で特に注目するのは、動的散乱モードと呼ばれる現象である。ネマチック相型の液晶に電圧を印加すると、電気流体力学的不安定性によって対流が生じる。電界を増加させると次々と新しい対流構造を生じて最終的には乱流へと遷移していく。乱流状態になると、液晶はその光学的異方性と流体運動にともなって、強く光を拡散する。この状態を動的散乱モードという⁵⁾。この現象が起こるしきい値電圧 V_c は、周波数が $f < f_c$ では約 10V、 $f > f_c$ では 100V 近傍である。また f_c は液晶の電気伝導率によるが、だいたい 100Hz 近傍である。すなわち、355Hz 程度の周波数であっても電圧を増加することによって、液晶に乱流を起こし光を散乱することが可能である。

6. 結言

スペックル効果の抑制の条件を満たす新たな方法として、ネマチック相型液晶に電圧を印加し、液晶層内に乱流を起こすことによる光散乱が有効であることを検討した。しかし、現在実験を計画準備中であるが、このタイプの液晶は入手が非常に困難であることが判った。

参考文献

- 1) 横内弘宇、藤岡誠他：CCD 水平設置型非接触距離センサの研究—物体表面傾斜の影響、1989 年度精密工学会春期大会学術講演論文集
- 2) 横内弘宇、藤岡誠他：CCD 水平設置型非接触距離センサにおけるスペックル対策について、1990 年度精密工学会秋期大会学術講演論文集
- 3) 藤岡誠：非接触距離センサの開発研究、1990 年度修士論文
- 4) 横内弘宇：CCD 水平設置型非接触距離センサの研究—スペックルノイズ対策について、1991 年度精密工学会秋期大会学術講演論文集
- 5) 日本学術振興会情報科学用有機材料第 142 委員会液晶部会編：液晶辞典、培風館