

光ファイバの動きに伴うスペックルパターンと受光レベルの変動

中 道 義 忠 波々伯部 圭 佑

Fluctuation of the Speckle Pattern and Laser Power Level Detected through Moving Optical Fiber

Yoshitada NAKAMICHI · Keisuke HOHKABE

This paper describes that laser power level detected through moving optical fiber is affected due to the speckle pattern fluctuation which is caused by the mode conversion in the optical fiber.

This occurs when the light detector accept directly a part of the laser beam that is irradiated through the moving optical fiber and a part of the scattered light from the object irradiated by laser beam through the moving optical fiber.

1. ま え が き

筆者らはレーザと光ファイバを用いた繊維機械用の「糸切れ検知装置」を提案し¹⁾²⁾、その開発を行ってきた。

本装置では、一端にレーザ装置を接続した光ファイバケーブル（全長15m）の他端に送・受光共用の光学系を装着し、光学系を装着した側のファイバケーブル数mを凹形溝内を糸に沿って往復走行させ（図1参照）、レーザ光を各糸に照射する。糸からの散乱光は送光用ファイバの周囲にある多数のファイバを通してPINフォトダイオードで受光し、信号処理を行って電子式カウンタにより糸の本数を計数している（図2参照）。

本装置では、光学系が糸のないところを走行しても光学系からの反射によって生ずる直流的な受光レベルは変動する（図2(a)参照）。糸のあるところでは糸からの散乱光受光信号が変動する直流レベルの上に重なった形の信号が得られる（図2(b)参照）³⁾。

そこで、糸からの受光信号⁴⁾が小さいときは計数ミスにつながることもある。なお、図2(a)、(b)の0レベルは電流—電圧変換回路において調整できる。

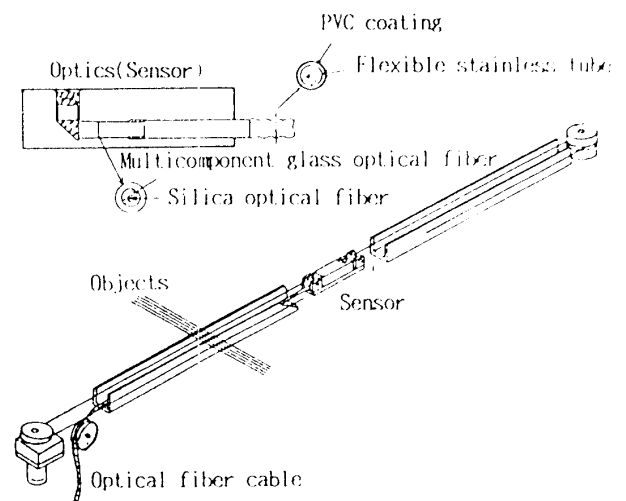


図1 光学系（センサー）と走行部の構造

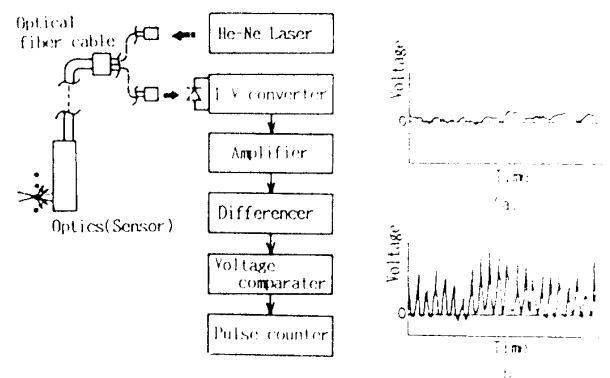


図2 「糸切れ検知装置」の構成と増幅回路の出力波形

本論文では、上述の直流的受光レベルの変動が光ファイバケーブルの動きによるスペックルパターン⁵⁾の変動に起因していると考え、直接受光および散乱光受光でのレベル変動を実験的に調べたので報告する。

2. 光ファイバの動きによるスペックルパターンの変動

He-Ne可視光レーザをモードファイバに接続し、その出力端からの出力光を観測するとその中に光の強弱の斑点が観測される。この斑点のことをスペックルと呼び、このスペックルの現れた像のことをスペックルパターンと呼んでいる。このスペックルパターンは多モードファイバ内の種々の伝搬モード間の干渉によって生じるとされ、スペックルの数は一般にはNA（開口数：Numerical Aperture）の大きいファイバの方が多いと言われている⁵⁾。

筆者らが注目するところの光ファイバの動きによって生ずるファイバ出射レーザ光のスペックルパターンの変動は、ファイバが動くことによってファイバ内の種々の伝搬モードがモード変換をおこす結果、種々の伝搬モード間の干渉によって生ずるスペックルパターンが変動するものと考えられる。

ここでは、コア径 $200\mu\text{m}$ のSI (Step Index) 型ファイバとコア径 $50\mu\text{m}$ のGI (Graded Index) 型ファイバに軽く衝撃を加えてスペックルパターンの変化の様子を観測した。それぞれの光ファイバケーブルはHe-Neレーザ(日本レーザ製：JLH-RT 20U)の出射口にコリメーター（三菱電線型：D-80HL）を装着し、光ファイバケーブル(全長15m)の一端のプラグ(三菱電線製：D-80P)を介してコリメーターに接続される。一方、レーザ光出射端はSI型ファイバ(「糸切れ検知装置」の送光用ファイバ)においてはステンレス管にて、GI型ファイバでは上述のプラグにて保護されておりホルダ(マグネットベース付)に固定されている。これらの光ファイバのほぼ中間部に軽く衝撃を加え、光ファイバからの出射レーザ光をスクリーンに投影してスペックルパターンの変化を観測した(図3(a)参照)。

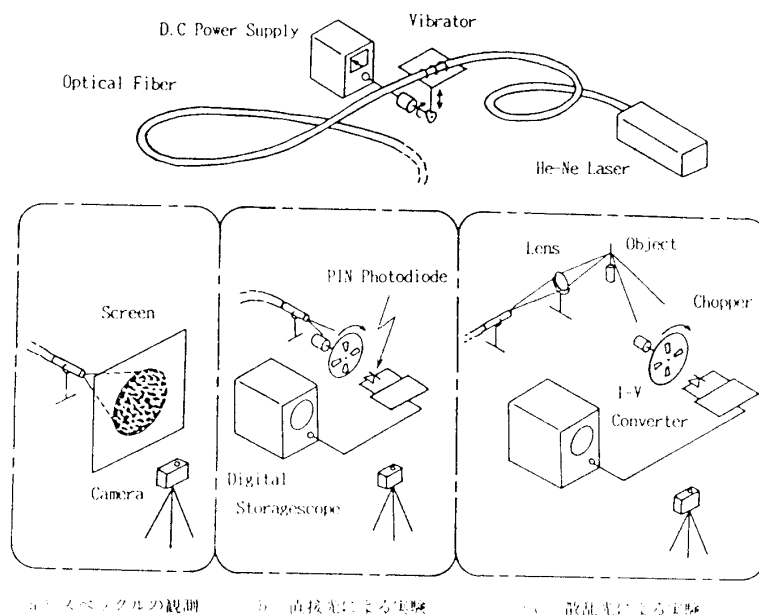
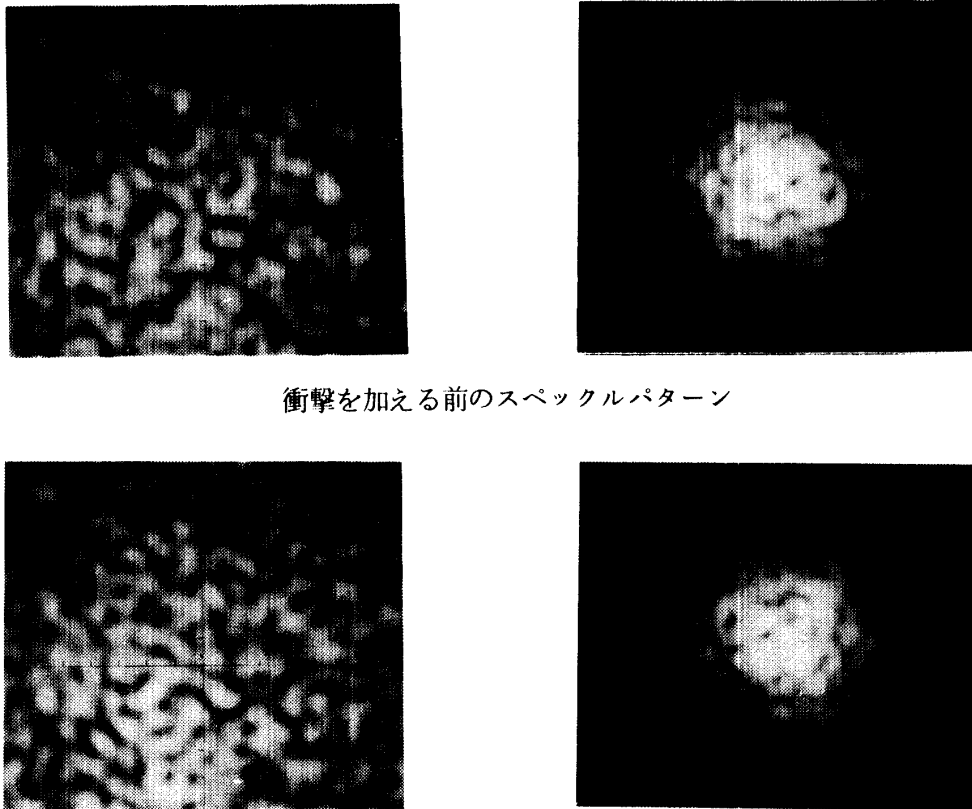


図3 実験装置の構成

それぞれの光ファイバーに衝撃を加えた前後のスペックルパターンの一例を図4に示す。同図(a)はSI型ファイバ,同図(b)はGI型ファイバのスペックルパターンの一例であり,上が光ファイバケーブルを静止させた場合,下が衝撃を加えて静止した後のスペックルパターンである。



衝撃を加える前のスペックルパターン

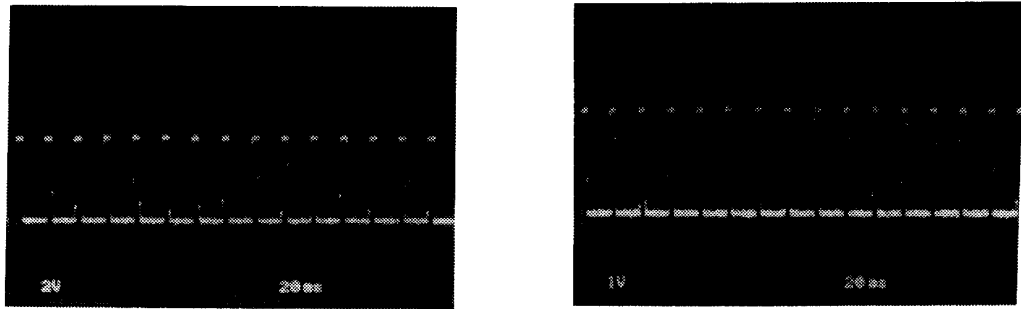
図4 光ファイバケーブルに衝撃を加えた前後のスペックルパターン

3. スペックルパターンの変動による受光量の変化

3. 1 直接光の受光実験

上述の光ファイバケーブルのほぼ中間部を上下に機械的・連続的(振幅12mm, 60回/min)に動作する振動装置を配し,この振動板に光ファイバケーブルを固定する。このとき振動装置自体の振動が実験台を通して光ファイバケーブルの両端に伝わらないように配してある。光ファイバケーブルから出射したレーザ光はチョッパーを通して直接PINフォトダイオード(受光面3×3mm)で受光する(図3(b)参照)。なお,励振条件はスペックルパターン観測の場合と同じである。

レーザ出射口からPINフォトダイオードまでの距離を5cmから5cmごとに30cmまで変え各位置での振動装置の停止時および動作時における電流-電圧変換回路の出力電圧波形を観測した。この結果の一例を図5に示す。同図はレーザ出射口からPINフォトダイオードまでの距離が30cmのときの例である。同図(a)はSI型ファイバ,(b)はGI型ファイバの一例である。それぞれ上が振動装置停止時すなわちスペックルパターンが静止している場合であり,下が振動装置動作時すなわちスペックルパターンが変動している場合の例である。



振動装置停止時（スペックルパターン静止時）

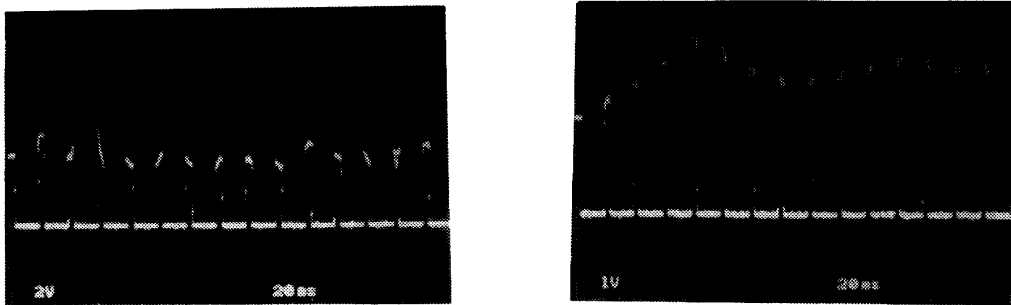


図5 出力観測波形の一例

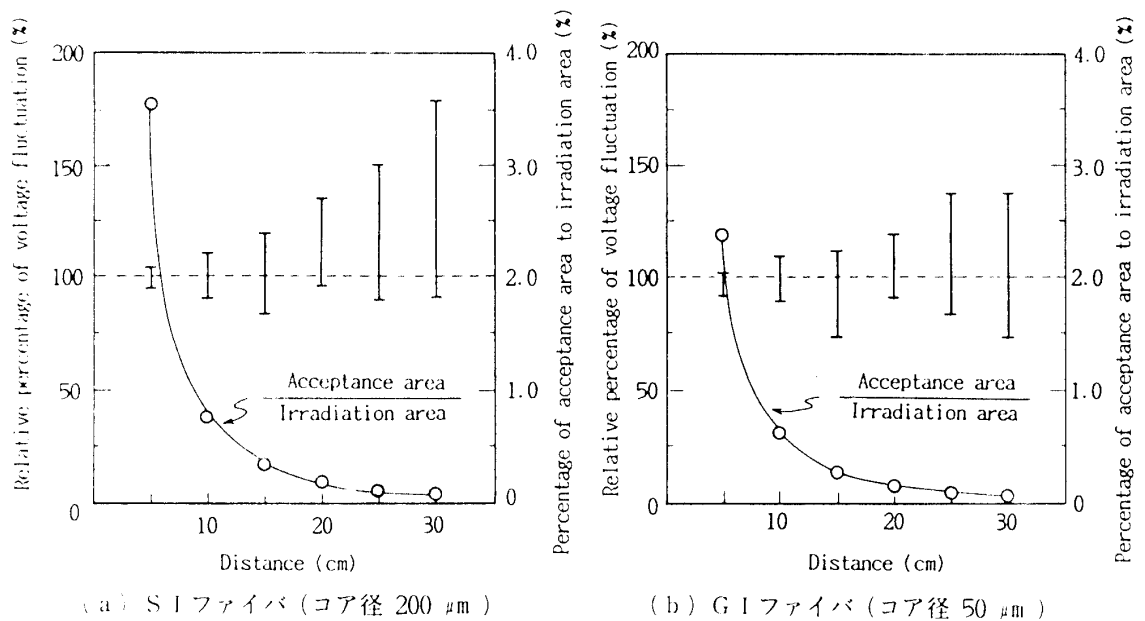


図6 スペックルパターンの変動による受光量の変動と受光面積の割合

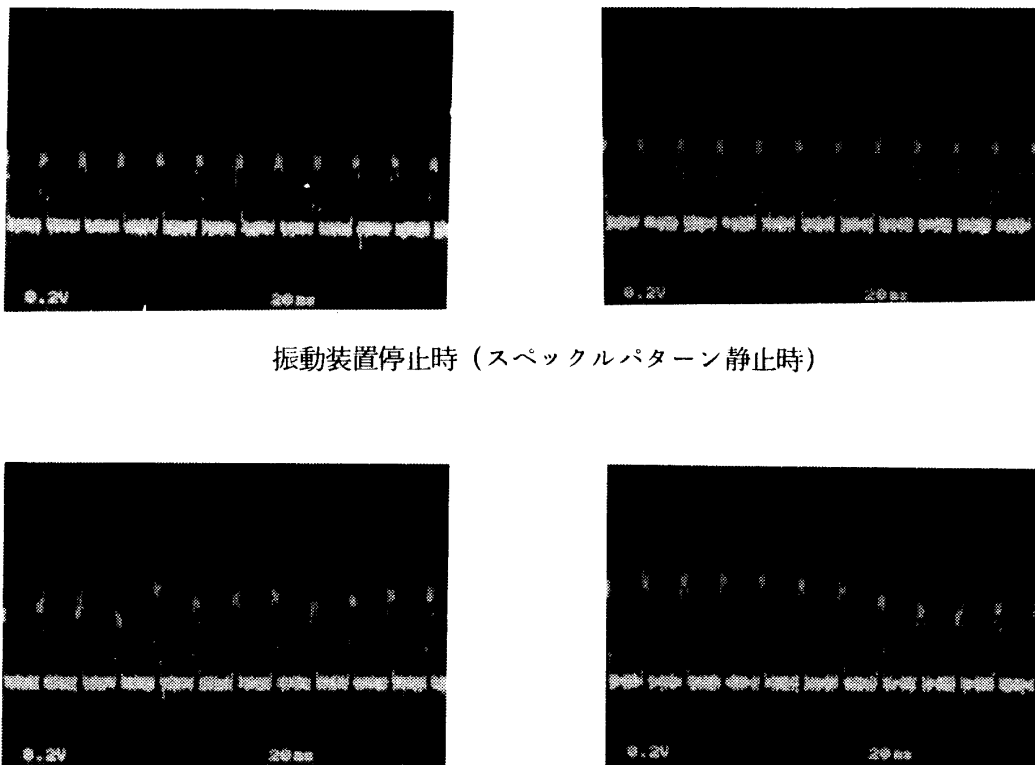
PINフォトダイオードがそれぞれの距離にある場合のスペックルパターン静止時の波高値に対するスペックルパターン変動時の波高値の割合を“スペックルパターンの変動による受光量の変動”として図6に示す。同図(a)はSI型ファイバの例であり、(b)はGI型ファイバの例である。

また、同図中には本実験でのレーザ照射面積に対する受光面積の割合を示した。ちなみに、光ファイバからのレーザ光の出射角はSI型ファイバでは約22.2度、GI型ファイバでは約24.5度であった。

3. 2 散乱光の受光実験

図3(c)に本実験装置の構成を示す。光ファイバケーブルから出射したレーザ光をレンズにより針状金属($\phi 0.9\text{mm}$ (以下、照射物体とする))に集光し、その散乱光をチョッパーを通しPINフォトダイオードで受光する。このとき、出射光軸と受光軸は約75度の角度をもって配置している。

照射物体とPINフォトダイオードの距離を5cmから5cmごとに30cmまで変え、各位置での振動装置の停止時および動作時における電流-電圧変換回路の出力電圧波形を観測した。この結果の一例を図7に示す。同図は照射物体からPINフォトダイオードまでの距離が20cmのときの例である。同図(a)はSI型ファイバ、(b)はGI型ファイバの一例である。それぞれ上が振動装置停止時すなわちスペックルパターンが静止している場合であり、下が振動装置動作時すなわちスペックルパターンが変動している場合の例である。



振動装置停止時（スペックルパターン静止時）

図7 出力観測波形の一例

照射物体とPINフォトダイオードがそれぞれの距離にある場合のスペックルパターン静止時の波高値に対するスペックルパターン変動時の波高値の割合を“スペックルパターンの変動による受光量の変動”として図8に示す。同図(a)はSI型ファイバ、(b)はGI型ファイバの例である。

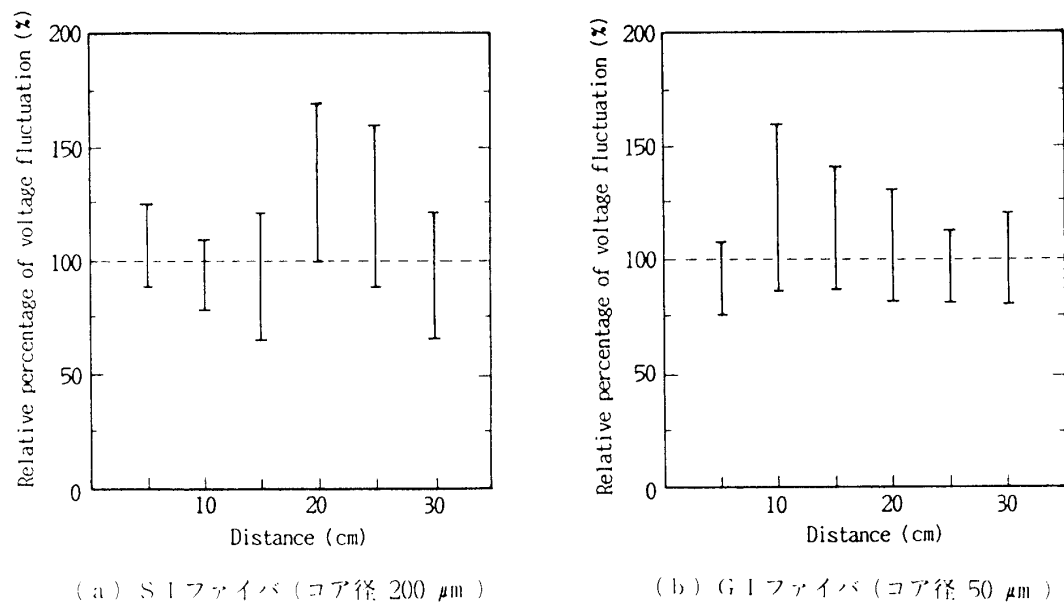


図8 スペックルパターンの変動による受光量の変動

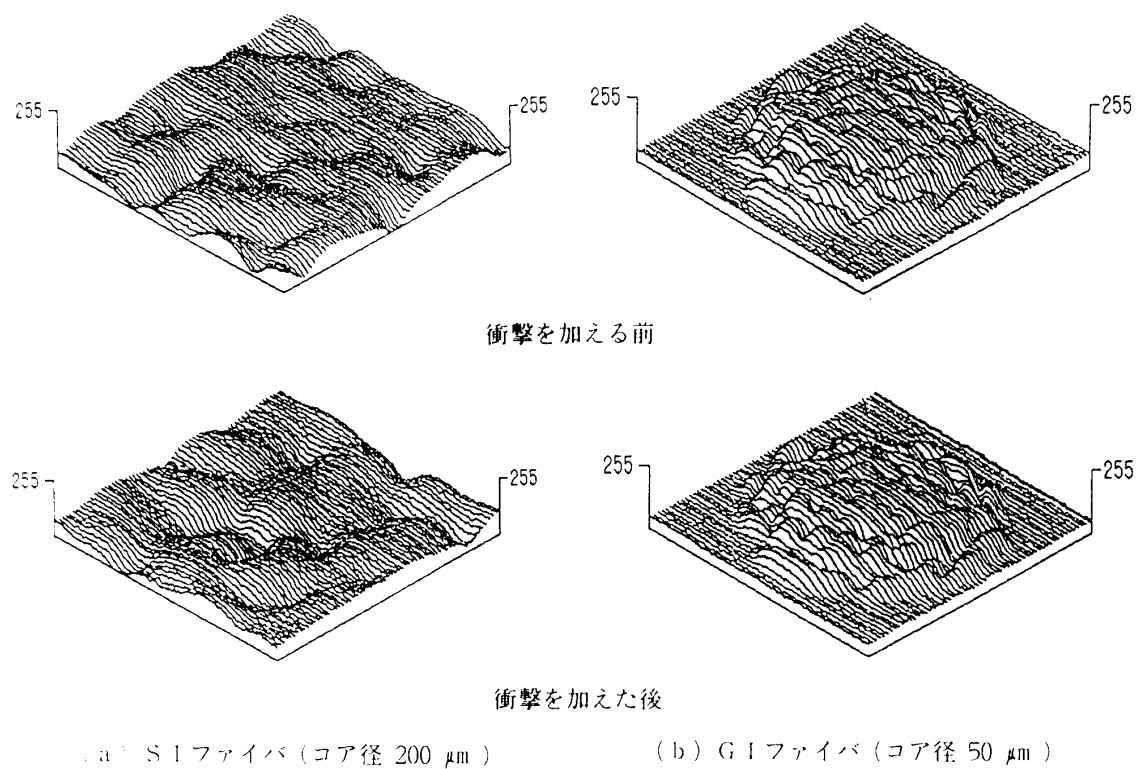


図9 光ファイバケーブルに衝撃を加えた前後のスペックルパターンの光強度分布

4. 検 討

4. 1 スペックルパターンの変動に対する検討

SI型ファイバ ($NA=0.2\pm0.02$) およびGI型ファイバ ($NA=0.21$) を通り出射されたレーザー光のスペックルパターンは図4で示すように著しく違った形態を示す。また、ファイバケーブルに軽く衝撃を加えるとスペックルパターンはSI型、GI型ともに変動するが、それぞれ変動する様子も違うように観測された。SI型ファイバでは衝撃をくわえると中心に近いスペックルの不規則な動きがめだち衝撃の影響がなくなるとスペックルは任意の位置に静止するように観察された。GI型ファイバでは衝撃を加えるとパターンの周囲付近のスペックルの動きがめだち、スペックルパターン全体を観察するとパターンの中心を軸として一方向にねじられるように変動し、衝撃の影響がなくなると逆方向にねじれ元の状態に戻るように観察された。

図9は図4の各スペックルパターンの光強度分布を画像処理システム（日本アビオニクス：EXCEL TVIP-4100）にて求めたものである。同図(a)は図4(a)のスペックルパターンの第2象限を、同図(b)は図4(b)のスペックルパターン全体を画像処理したのである。この結果より、SI型ファイバでは衝撃を加える前と加えた後ではスペックルパターンは変化するが、GI型ファイバでは衝撃を加えた後での静止したスペックルパターンは衝撃を加える前のスペックルパターンにほぼ完全に戻っていることが確認できる。

SI型ファイバおよびGI型ファイバによるスペックルパターンの形態の違いおよびスペックルパターンの変動する様子の違いは、それぞれの光ファイバによる光の伝送形態の違いによるものと考えられる。SI型ファイバおよびGI型ファイバの光伝送形態を図10に示す。

4. 2 受光レベルの変動に対する検討

図5および図7において振動装置動作時（スペックルパターン変動時）では電圧波形の波高が変動していることにより直接光受光の場合および散乱光受光の場合ともに光ファイバケーブルの動きに伴うスペックルパターンの変動により受光量が変動することが確認できる。

直接光受光の場合、SI型およびGI型ともに受光面が出射口から離れるにつれて受光量の変動が大きくなる傾向にある（図6参照）。同図(a)、(b)において。受光量の変動の最大と最小の差（以後、変動率差とする）を計算すると、受光面と出射口との距離が15cmまではほぼ同程度の変

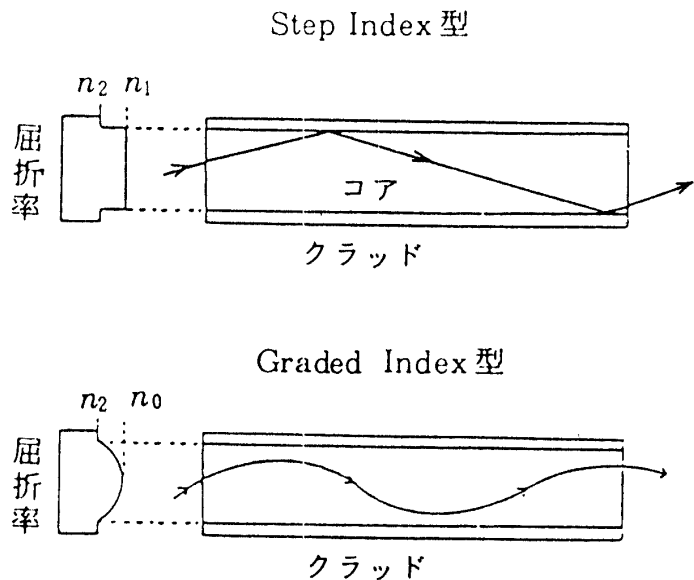


図10 光ファイバの光の伝送

動率差を示すが、15cmを超えるところではSI型の変動率差に比べて約10～25%程度GI型の変動率差が小さくなる。15cmまではSI型およびGI型ファイバを通過したレーザ光によるスペックルパターンの形態およびスペックルの変動の仕方には違いはあるものの、受光面での相対的な明暗模様には大差がなく同程度の変動率差となるものと考えられる。しかし、15cmを越すところではスペックルの大きさと受光面の大きさの関係がスペックルの形態およびスペックルの変動の仕方に大きく影響され受光量の変動率に差ができるものと考えられる。

散乱光受光の場合、SI型では出射口と受光面の距離が10cmまでの変動率差および10cmを越すところでの変動率差はそれぞれ同程度の変動率差となるが、GI型では10cmまでは距離の増加とともに変動率差が増加し、10cmを超えるところでは距離の増加とともに変動率差が減少する傾向にある。10cmを超えるところではGI型の変動率差がSI型の変動率差より約15～30%減少している。この原因を議論するには本実験データでは不十分であるが散乱光によるスペックルパターンの形態（図11参照）の違いが少なからず影響しているものとおもわれる。

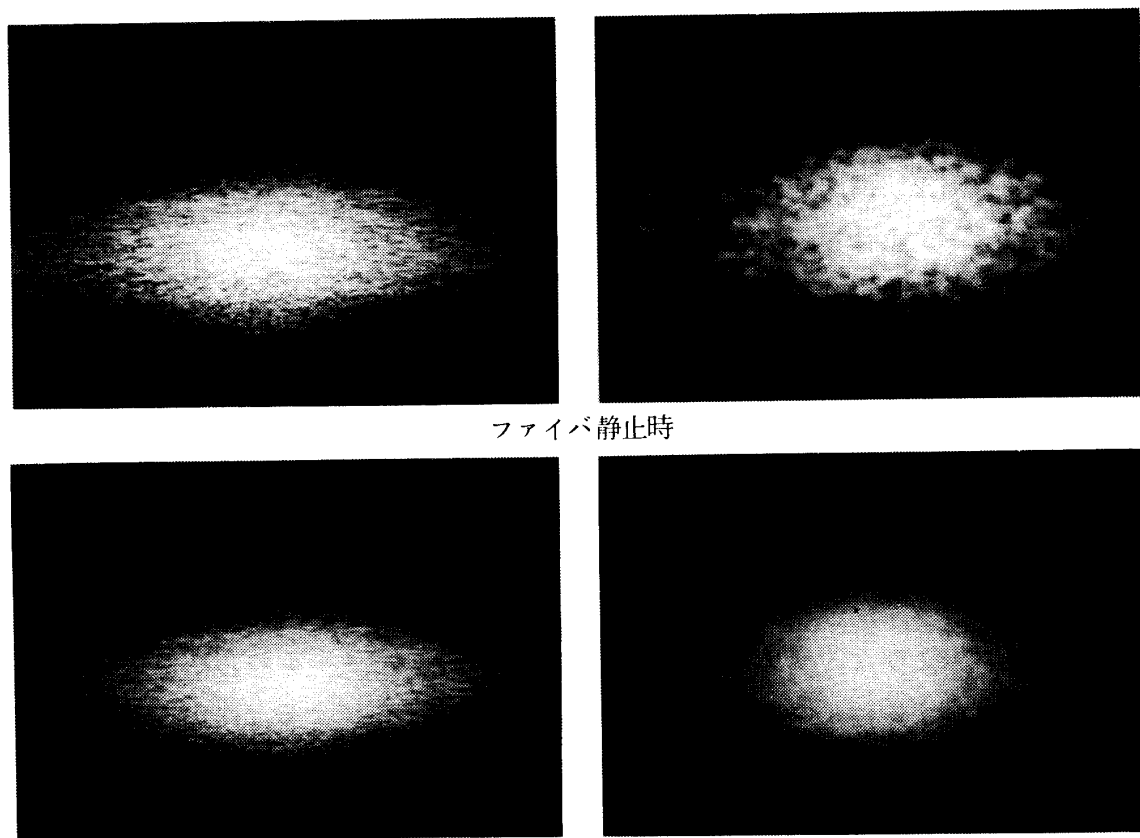


図11 針状金属からの散乱光によるスペックルパターン

5. あ と が き

本研究では、光ファイバを通して出射したレーザ光の一部あるいは照射物体からの散乱光の一部を受光するシステムにおいて光ファイバを動かす場合スペックルパターンが変動し、これが受光レベルの変動につながるということがわかった。

今回の各種実験ではSI型とGI型の比較を行ってきたが、筆者らが開発を進めている「糸切れ検知装置」では糸からファイバ先端までの距離が10cm以下であるためSI型をGI型に変えることが受光レベルの変動を軽減することにはならないと考えられる。しかし、散乱光を10cm以上の位置で受光し、かつファイバに動きがあるシステムを設計する場合はGI型が有効と思われる。

筆者らは、光ファイバの動きに伴うスペckルパターンの変動に起因する受光レベルの変動をスペckル雑音としてとりあつかい、これを軽減することを目的とし現在研究を進めているが、将来はこのスペckルパターンの変動を利用したファイバセンサの開発に取り組むことを考えている。

参 考 文 献

- 1) 金井兼造，波々伯部圭佑，山田健治：整列糸の糸切れ探知方法および同方法に用いるフィーラ，国内特許出願，1985
- 2) 金井兼造，波々伯部圭佑，山田健治：整列糸の糸切れ探知方法および同方法に用いるフィーラ，米国特許取得，1988
- 3) 中道義忠，波々伯部圭佑，山田健治：走行する光ファイバによる受光直流レベルの変動，昭60北陸連大，C-24,1985
- 4) 波々伯部圭佑，中道義忠，山田健治：レーザ・光ファイバ計測システムを用いた糸状目標物の反射特性の測定，昭60北陸連大，c-23,1985
- 5) 辻井重男，杉山峯夫，高原幹夫：光ファイバ情報ネットワーク，昭晃堂，1984