

光ファイバのスペckルノイズとその変形との 相関に関する実験的検討

Speckle Noise of Optical Fiber and It's Experimental Study on the Correlation of Deformation

中山紀仁*、谷口正成*、鈴木祥介*、高木 相**
Norihiro NAKAYAMA*、Masanari TANIGUCHI*、Shosuke SUZUKI*
and Tasuk TAKAGI**

* 東北文化学園大学大学院健康社会システム研究科
** 東北文化学園大学科学技術学部

* Graduate School of Health and Environment Science, Tohoku Bunka Gakuen Univ.

** Faculty of Science and Technology, Tohoku Bunka Gakuen Univ.

キーワード：光ファイバ(Optical fiber)、スペckルノイズ(Supeakle noise)
パターン計測(Patern measurement)、センシング(Sencing)

連絡先：〒 981-8551 仙台市青葉区国見 6-45-1 東北文化学園大学大学院
健康社会システム研究科 生活環境情報専攻 谷口研究室 中山紀仁
Tel:022-233-3797、Fax:022-233-3797、E-mai:taniguti@ait.tbgu.ac.jp

1. まえがき

光ファイバは外来からの電磁ノイズの影響を受けずに大量の情報を伝送できる。^{[1][2]}
また、その伝搬特性や物理的定数の変化を利用したセンサへの応用は不可欠である。^{[3][4]}

一方、光ファイバにコヒーレントな光を入射した場合、光可干渉性による各伝搬モード間の干渉に起因するスペckルノイズが大きな問題となる場合がある。^{[5][6]}

本研究では、光ファイバの機械的、物理的変化とスペckルノイズとの相関について調査し、その特徴の一部を明らかにした。^{[7][12]}

今般、スペckルノイズのセンサーへの応用の可能性について検討を進めるため、デジタル画像計測によるスペckルノイズの定量化計測を試みた。

2. 被測定光ファイバと実験方法

本実験で使用した被測定光ファイバは表 1 に示すように、S I 系石英系光ファイバとし、小コア径と大コア径の 2 種類とした。小コア径は 50 μ m、長さは 500mm とし、S I 系と G I 系について比較した。また、大コア径については S I 系、コア径、200 μ m、400 μ m、ならびに、600 μ m について比較、検討することとした。

本研究では、被測定光ファイバのスペckルノイズの特徴を解析するため、図 1 に示すように実験を行った。本実験では、被測定光ファイバの一端にレーザ光を直接入射し、その他端の出力光をスクリーンに照射した。そのスクリーンに写り出された出力光像を観測、記録した。

光源には、He-Ne ガスレーザ(発振波長 6328 \AA 、2 mW)を使用した。また、光ファイバの出力光の光強度の変化を光パワーメータ(ANDO AQ-1111)で測定した。

表1 被測定光ファイバ

被測定光ファイバ		コア径 [μm]	長さ [mm]
石英系	SI型	50	500
	GI型	50	500
石英系	SI型	200	1000
	SI型	400	1000
石英系	GI型	600	1000

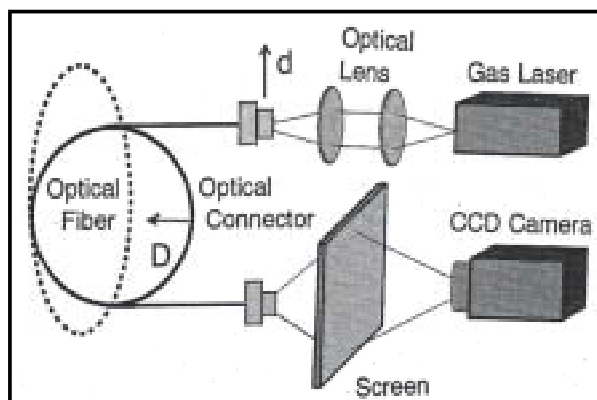


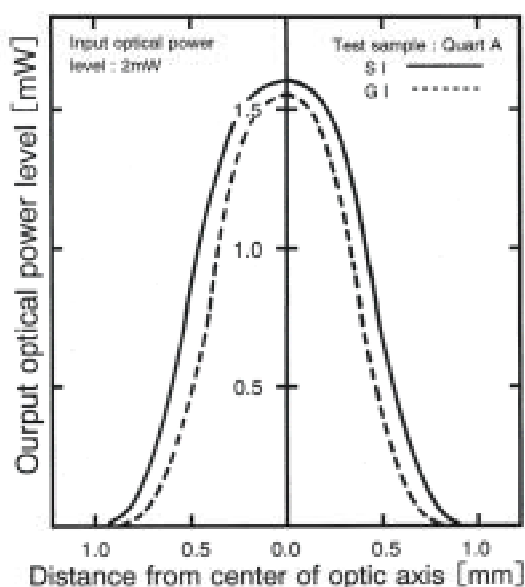
図1 実験方法概略構成図

3. 光軸を変化した場合

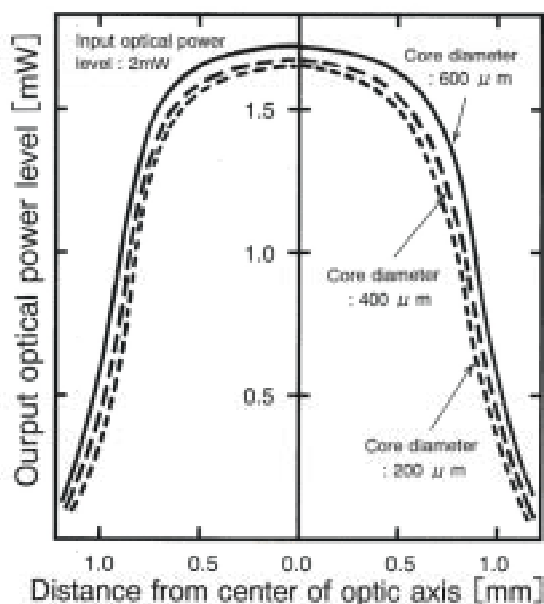
3.1. 伝搬特性の測定

2種類の石英系光ファイバ（小コア径と大コア径）を被測定ファイバとして、その受光側の光軸を移動した場合の伝搬特性の測定結果の一例を図2に示す。

図2に示すように、本実験では、小コア径の場合、光軸を中心より0.4mm以上移動すると出力光の強度は急激に減少した。また、大コア径では、0.6mm以上移動した場合、小コア径と同様、出力光の強度は減少した。



(a) 小コア径の光ファイバ



(b) 大コア径の光ファイバ

図2 光軸を移動した場合の伝搬特性測定結果

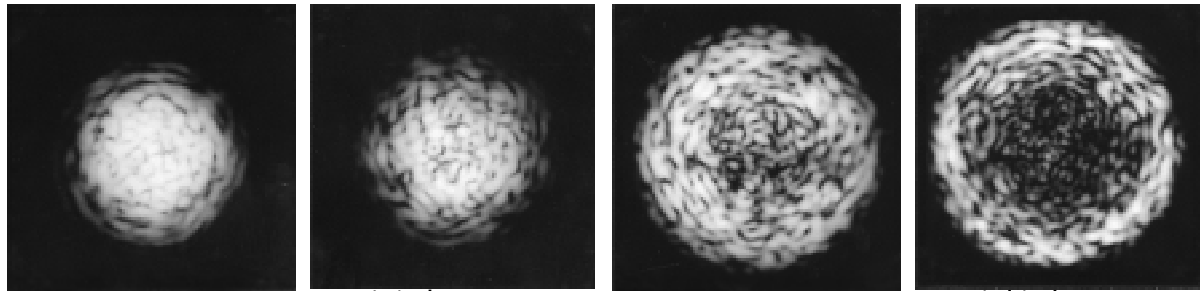
3.2. スペックルノイズの観測

小コア径の被測定光ファイバ（SI型とGI型）の入射側の光軸 d を移動した場合の出力光像をスクリーンに照射し、その結果を光学カメラで記録した結果の一例を図3と図4に示す。いずれも、光軸を一致させた場合 ($d=0.0\text{mm}$) と光軸を中心より、0.2mm、0.4mm、0.6mm 移動した場合を示す。

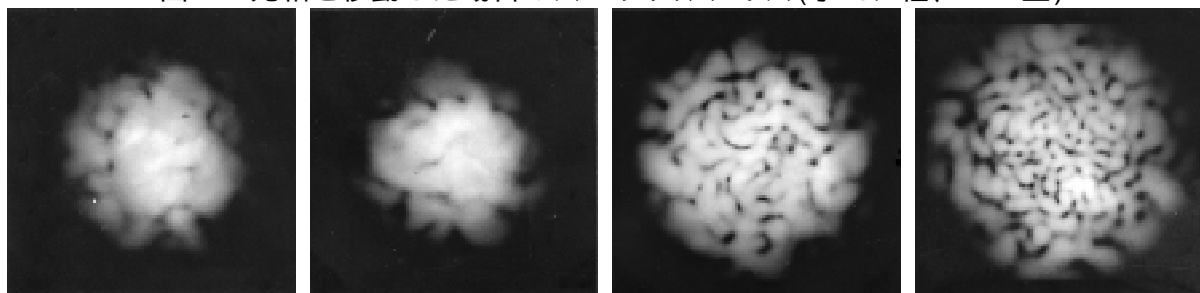
図3と図4に示すように、光軸を一致させた場合、いずれも、出力光像は小さく、中央部分の輝度の高い傾向を観測した。また、光軸を中心より移動した場合、出力光像は拡大するとともに、スペックルノイズの増加とともに、輝度は低下し、とくに、光軸中央部分の輝度の減少する傾向を観測した。

一方、大コア径の3種類のS I系被測定光ファイバ(コア径、200 μm 、400 μm 、600 μm)の入射側の光軸dを移動した場合の出力光像をスクリーンに照射し、その結果を光学カメラで記録した結果の一例を図5から図7に示す。図5はコア200 μm 、図6は400 μm 、図7は600 μm 径の場合を示す。また、いずれも、光軸を一致させた場合($d=0.0\text{mm}$)と光軸を中心より、0.2mm、0.4mm、0.6mm、0.8mm移動した場合を示す。

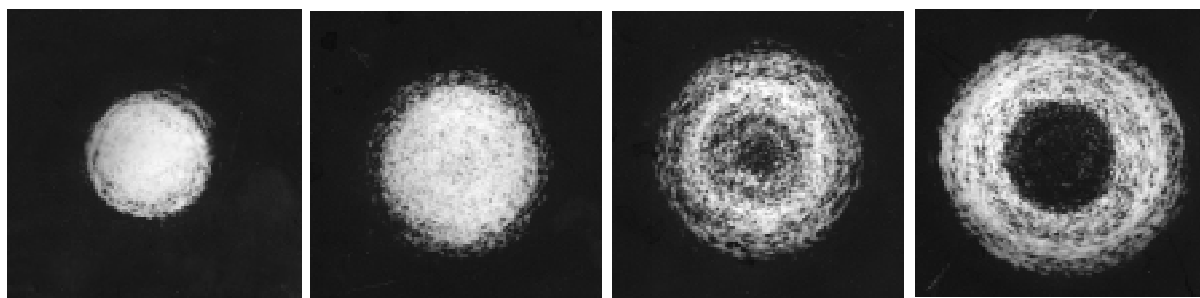
図5、6、7に示すように、光軸を一致させた場合、いずれも、出力光像は小さく、中央部分の輝度の高い傾向を観測した。また、光軸を中心より移動した場合、出力光像は拡大するとともに、スペックルノイズの増加とともに、輝度は低下し、光軸中央部分の輝度の減少する傾向を観測した。なお、コア径が太くした場合、細かいノイズが観測された。



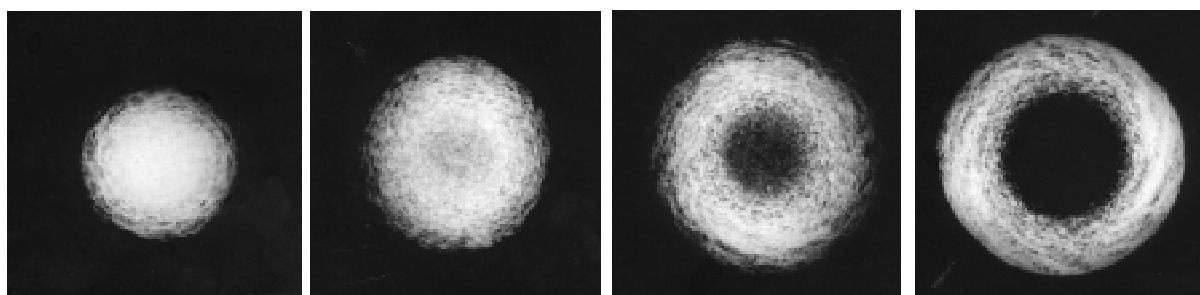
(a) $d=0.0\text{mm}$ (b) $d=0.2\text{mm}$ (c) $d=0.4\text{mm}$ (d) $d=0.6\text{mm}$
 図3 光軸を移動した場合のスペックルノイズ(小コア径、S I型)



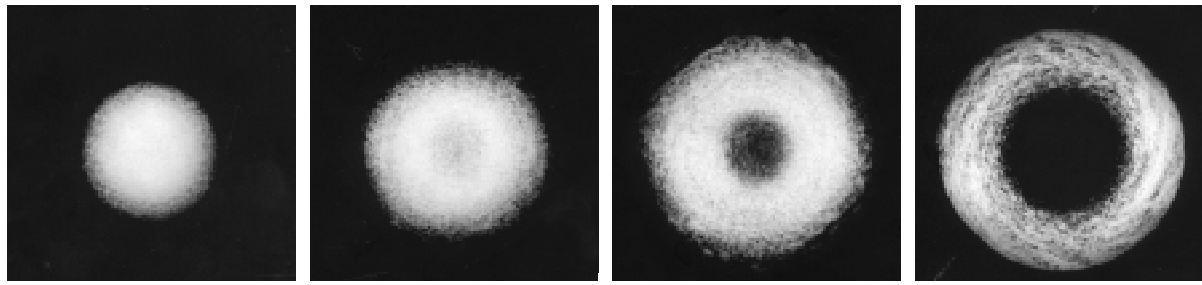
(a) $d=0.0\text{mm}$ (b) $d=0.2\text{mm}$ (c) $d=0.4\text{mm}$ (d) $d=0.6\text{mm}$
 図4 光軸を移動した場合のスペックルノイズ(小コア径、G I型)



(a) $d=0.0\text{mm}$ (b) $d=0.4\text{mm}$ (c) $d=0.6\text{mm}$ (d) $d=0.8\text{mm}$
 図5 光軸を移動した場合のスペックルノイズ(コア径：200 μm 、S I型)



(a) $d=0.0\text{mm}$ (b) $d=0.4\text{mm}$ (c) $d=0.6\text{mm}$ (d) $d=0.8\text{mm}$
 図6 光軸を移動した場合のスペックルノイズ(コア径：400 μm 、S I型)



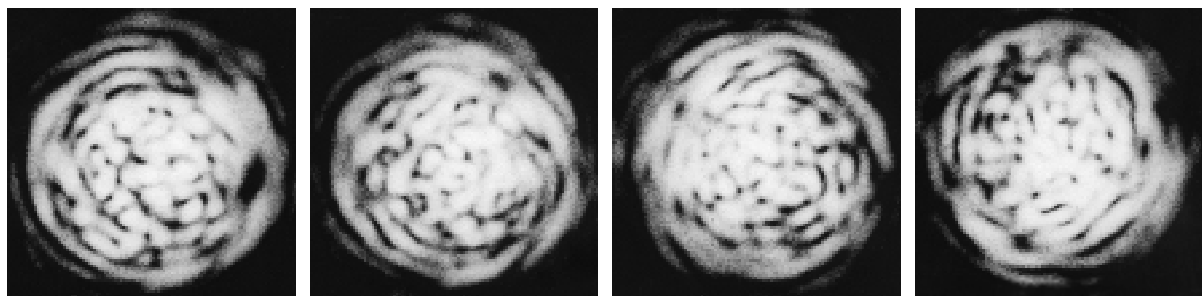
(a) $d=0.0\text{mm}$ (b) $d=0.4\text{mm}$ (c) $d=0.6\text{mm}$ (d) $d=0.8\text{mm}$

図7 光軸を移動した場合のスペックルノイズ(コア径: $600\ \mu\text{m}$ 、S I型)

4. 光ファイバを変形した場合

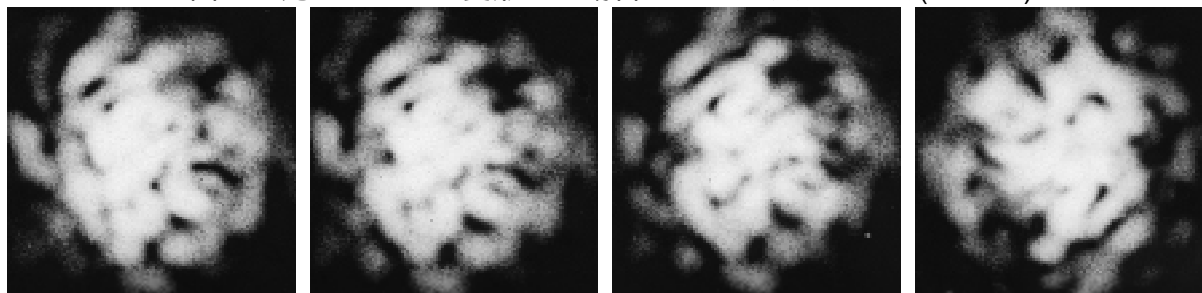
被測定光ファイバを変形した場合、出力光の光強度の変化は観測されなかったが、出力光像(スペックルノイズのパターン)の変化は観測された。それらを、光学カメラで撮影、記録した結果の一例を図8と図9に示す。図8はS I型、図9はG I型とした場合を示す。

図8と図9に示すように、光ファイバを変形した場合のスペックルノイズのパターンを光学カメラで観測、記録した結果から、その変化を定量的に解析することは非常に困難であった。また、大コア径については、スペックルノイズが微小なため、変化を明確に観測することが困難であった。



(a) $D=0\ \text{mm}$ (b) $D=2\ \text{mm}$ (c) $D=4\ \text{mm}$ (d) $D=6\ \text{mm}$

図8 光ファイバを変形した場合のスペックルノイズ(S I型)



(a) $D=0\ \text{mm}$ (b) $D=2\ \text{mm}$ (c) $D=4\ \text{mm}$ (d) $D=6\ \text{mm}$

図9 光ファイバを変形した場合のスペックルノイズ(G I型)

5. スペックルノイズの画像計測

5.1. デジタル画像計測システム

本研究では、光ファイバのスペックルノイズのパターンの特徴を解明する目的として、デジタル画像計測システムを開発した。その概略構成を図10に示す。

本計測システムでは、光ファイバの出力光像を入力するための光学系とデジタル画像処理ボード(DISP)、ならびに、パーソナルコンピュータとその周辺機器などで構成されている。DISPには、A-D変換器、D-A変換器、フレームメモリ(256×256 画素)、および、デジタル演算処理プロセッサ(DSOP)などが実装されている。また、入力画像、あるいは、処理画像については必要に応じてマルチバスを通じてパーソナルコンピュータに転送され、定量化計測が可能である。

5.2. スペックルノイズの抽出とその変化量の測定

図3の(a)と(c)で示した出力光像から、その中央の1ラインの輝度分布と像全体の輝度分布を観測した一例を図11に示す。図11の(a)は光軸を一致させた場合、(b)は光軸を中心より0.4mm移動した場合を示す。

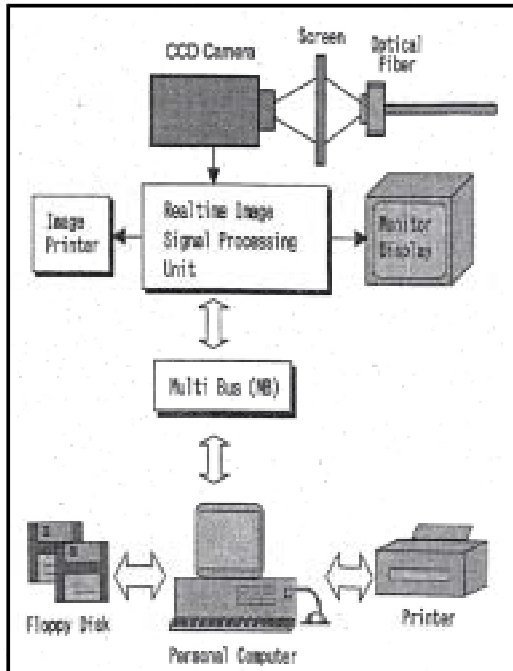
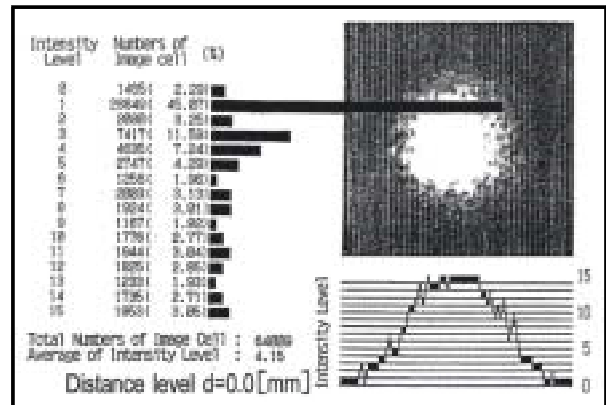
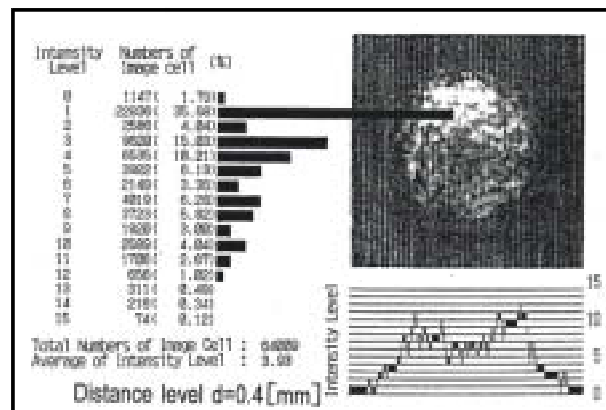


図10 デジタル画像計測システム概略構成図



(a) 光軸を一致した場合



(b) 光軸を0.4mm移動した場合

図11 デジタル画像処理システムによる出力光像

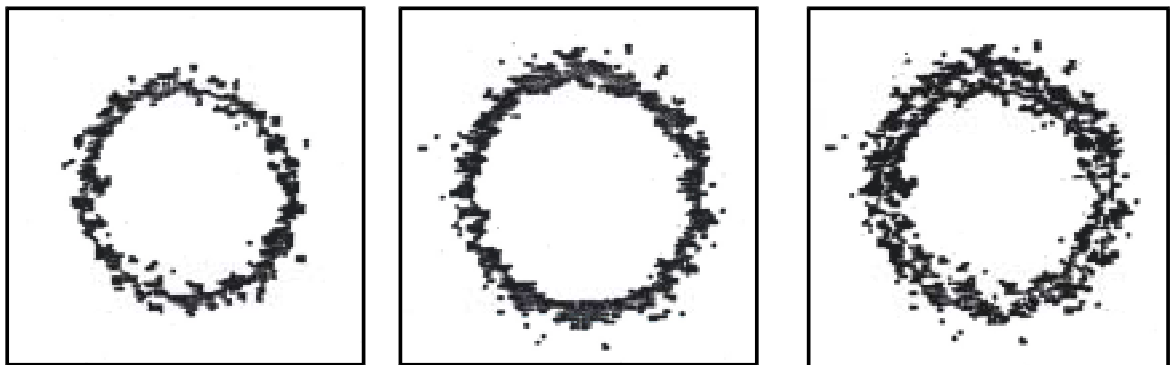
図11に示すように、光軸の移動に伴って、出力光像の中央部分の輝度が低下する様相を観測した。なお、光ファイバを変形した場合、輝度分布の変化を明確に測定することは困難であった。

一方、図8の(a)と(b)で示したように、光ファイバを変形した場合の出力光像の輝度値を16段階に分割し、その輝度値6のみを抽出、2値化処理した像を図12の(a)と(b)に示す。さらに、図12の(a)と(b)の画像の各画素を排他的論理和(XOR)で論理演算処理した結果の一例を図12の(c)に示す。

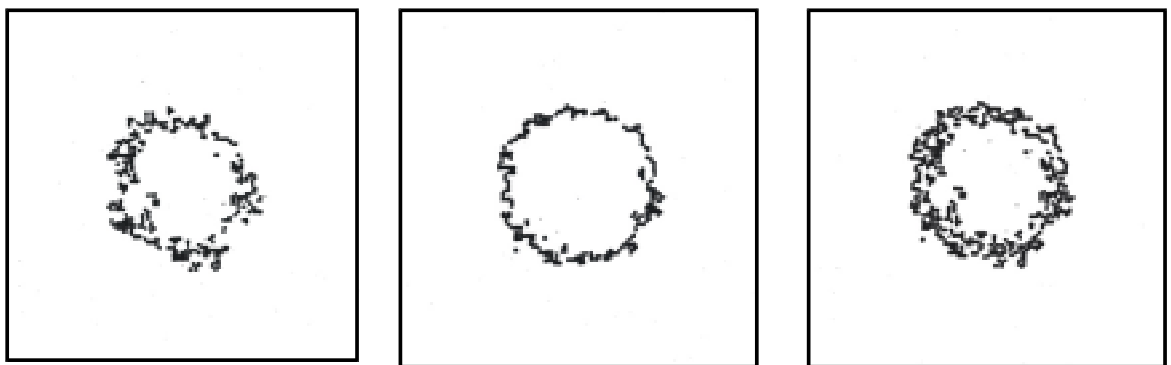
また、図5の(a)と(b)の光像の輝度値10のみを抽出し、2値化処理した結果を図13の(a)と(b)に、さらに、各画素をXORで論理演算処理した結果の一例を図13の(c)に示す。

図12と図13に示すように、被測定光ファイバに変位を与えない場合と与えた場合の出力光像を2値化処理後、各画素について論理演算処理することによって、スペックルノイズの変化分を測定できた。

さらに、同じ条件で、被測定光ファイバへの変形量を変化した場合の各出力光像を論理演算処理した後の画素数の変化を測定した結果の一例を図14に示す。図14に示すように、光ファイバの変形・歪みに応じて、スペックルノイズの変化分を定量的に解析できる見通しが得られた。



(a) 変形前の出力光像 (b) 変形後の出力光像 (c) 演算処理後の出力光像
 図9 スペックルノイズの抽出と論理演算処理結果(輝度値6)



(a) 変形前の出力光像 (b) 変形後の出力光像 (c) 演算処理後の出力光像
 図10 スペックルノイズの抽出と論理演算処理結果(輝度値10)

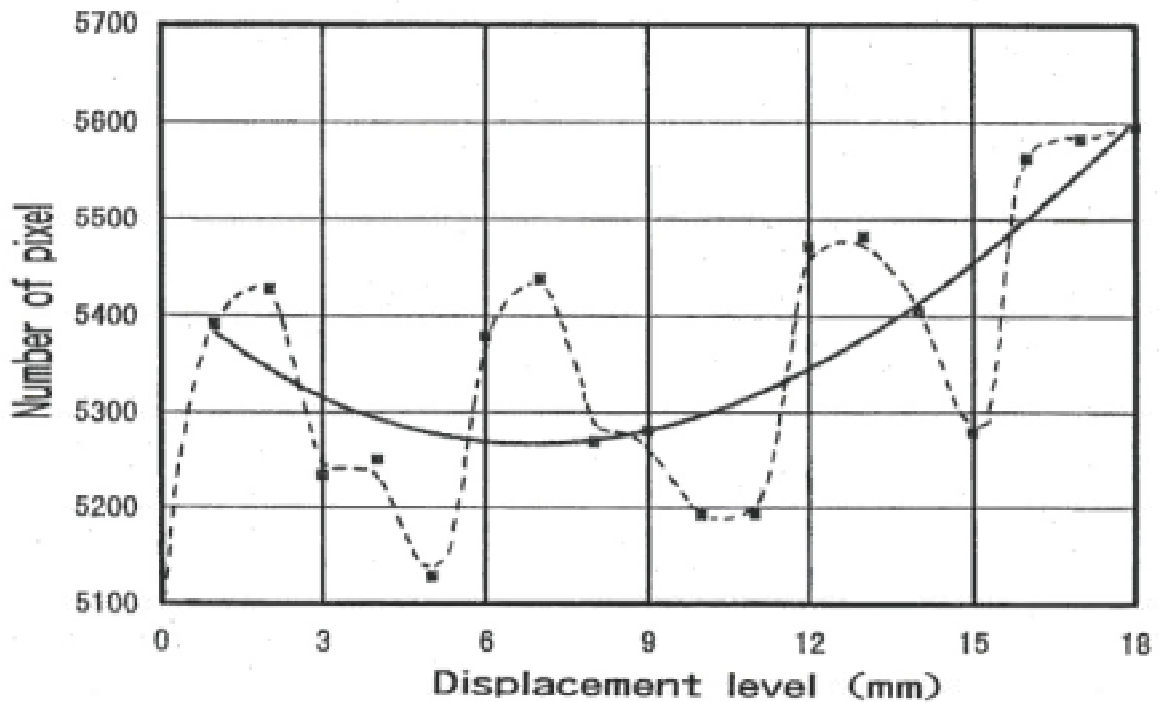


図11 光ファイバの変形量とスペックルノイズの変化量との関係

6. むすび

今回、2種類の石英系光ファイバを被測定光ファイバとして、そのスペックルノイズの特徴を明らかにするため、ファイバの光軸を変化した場合とファイバを変形した場合のスペックルノイズへの影響について実験的に調査した。

その結果、光軸の移動量に応じて出力光像の光強度が変化する傾向とスペックルノイズの変化する様子を観測した。また、光ファイバを変形した場合、出力光像の光強度は変化しないが、スペックルノイズの変化する様子を観測した。

さらに、スペックルノイズの特徴抽出、ならびに、定量的に解析するため、デジタル画像計測システムを応用した。その結果、光ファイバの変形に伴うスペックルノイズの変化分を論理演算手法で定量的に解析できる見通しが得られた。

文 献

- [1]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,(1986-4)
- [2]金田哲也："光ファイバを使った映像伝送"テレビジョン学会誌,45(5),pp618-623,(1991-5)
- [3]V.I. Busurin, A.S. Semenov and N.P. Udalov："Optical and Fiber-Optic Sensors (Review)", Sov.J.Quantum Electron,15(5),pp.595-621,(May. 1985)
- [4]高木 相："電気、電子応用計測",朝倉書店,(1989-4)
- [5]K.Sato and K.Asatani："Speckle Noise Reduction in Fiber Optic Analog Video Transmission Using Semiconductor Laser Diode",IEEE Trans. on COM,29(7),pp.1017-1024,(Jul. 1981)
- [6]R.E.Epworth："Model Noise-Causes and Cures", Laser Focus, pp.109-115,(Sep. 1981)
- [8]谷口正成,萩原一昌,沖 允人,高木 相："光ファイバの伝搬損失とスペックルノイズパターンとの相関に関する実験的検討",電子情報通信学会技術研究報告,91(436),pp.23-28,[R90-45],(1991-12)
- [9]谷口正成,川本幸則,二宮雅人,高木 相："石英系光ファイバと樹脂系光ファイバのスペックルノイズに関する比較検討",電子情報通信学会技術研究報告,91(399),pp.33-38,[EMC91-66],(1991-12)
- [10]谷口正成,牧野浩貴,沖 允人,高木 相,赤崎 勇："光ファイバの端面処理とスペックルノイズとの相関に関する実験的検討",照明学会全国大会(第 26 回)講演論文集,140,p.182,(1993-7)
- [11]谷口正成,三輪秀明,高木 相,赤崎 勇："光ファイバのスペックルノイズの変位計測への応用とコア径との相関に関する実験的検討",電気関係学会東海支部連合大会講演論文集,670,p.335,(1993-10)
- [12]M.Taniguchi, H.Makino and T.Takagi："Experimental Study in Speckle Noise in Optical Fiber by Pattern Measurement Technique",Proc. of LUX Pacifica Lighting Conf.,pp.F31-F36,(Nov. 1993)