

令和 5 年度実績報告書

令和 6 年 3 月 15 日

公立千歳科学技術大学
学長 宮永 喜一 様

公立千歳科学技術大学特別研究等助成要綱第 7 条に基づき、下記のとおり報告いたします。

報告者	所属	電子光工学科	職名	教授
	氏名	長谷川 誠	ふりがな	はせがわ まこと
研究課題名	光ファイバ出射光スポット内のスペックルパターン変動の自動検出アルゴリズムの構築とセンシングへの応用			
本研究費による発表論文、著書 など	(1)千葉孝登，長谷川誠，“光ファイバ出射光スポット内のパターン変動の PIV 法を利用した解析（第 2 報）”，電子情報通信学会機構デバイス研究会，信学技報 EMD2023-5（2023-6） (2)千葉孝登，長谷川誠，“Development of detection scheme for speckle pattern changes in an output light spot from an optical fiber with a PIV method”，電子情報通信学会機構デバイス研究会，信学技報 EMD2023-35（2023-12） (3)佐藤琉聖，長谷川誠，“MMF スペックルパターンの回転変動現象におけるディープラーニングを用いた解析の検討”，電子情報通信学会機構デバイス研究会，信学技報 EMD2023-41（2024-3） (4) Ryusei Sato and Makoto Hasegawa, “Analysis of rotation phenomena of speckle patterns in an output light spot from multi-mode optical fiber with deep learning scheme”，SPIE Optics + Photonics, Application of Machine Learning 2024, 投稿中			

I. 研究の背景

マルチモード光ファイバにコヒーレント光を入射して他端からの出射光をスクリーンに投影すると、投影された出射光スポット内に、図1に示すような光強度の不均一パターン（粒状パターン）が観測される。これを一般的にはスペックルパターンと呼び、光ファイバに対する外乱の印加により、パターンに変動が生じる。このような光ファイバへの外乱印加によって生じるスペックルパターンの変動現象は、センシング用途へ応用できる可能性があり、これまでも特性の検討結果や具体的なセンシング用途への適用の試みが報告されてきた。しかし、スペックルパターンの変動は様々な要因により発生することから十分な再現性を実現することが難しく、これまでは現象が十分に検討・解析されてきたとは言えない状況であった。

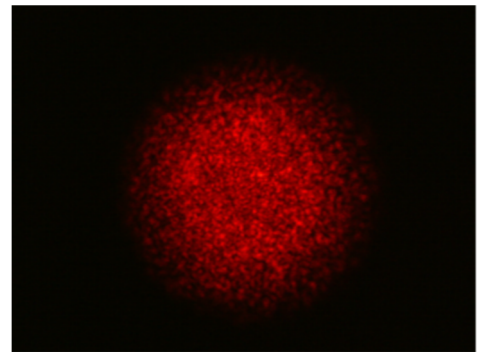


図1 スペックルパターン

当研究室でも、このようなスペックルパターンの外乱印加による変動現象に着目して、センシングへの応用可能性も視野に入れながら、安定した応答特性を得るための検討を進めてきた。これまでに、光ファイバをファイバ設置板の上にループ状またはリ字状に設置した上でファイバ設置板を所定の方向に傾斜（回転）させると、出射光スポット内のスペックルパターンが回転するように変動することを見出した。このとき、スペックルパターンの変動を一般的な光強度の変動によってではなく画像データとして解析することで、パターンの回転特性に比較的良好な再現性及び線形性を得ることができた。ただし、これまでの検討ではパターン変動の検出・解析手法に改善の余地があった。すなわち、パターンの回転現象に関して言えば、パターン内の個々の粒状形状が消滅や新たな発生を含む複雑な変動を呈するために、回転角度をリアルタイムで計測・算出することが難しく、実際のセンシング用途を実現するための障害になっていた。

そこで本研究では、スペックルパターンの回転変動現象において、パターンの回転角度を自動的に検出できるアルゴリズムの構築を試みた。

II. 得られた結果

本研究では、2通りの異なる手法による解析アルゴリズムの構築を進めた。

このうち第1の手法は、主に流体力学計測の分野で用いられる粒子画像流速測定法（Particle Imaging Velocimetry=PIV法）と呼ばれる計測手法を利用したものである。PIV法の中でもFFT相関と呼ばれる手法を利用することで、相関領域と呼ばれる小区間において、スペックルパターンの回転変動現象をベクトル量で表現することが可能となった。さらに、適切な統計処理手法を用いて統計処理を行うことで、経過時間を横軸、パターン回転角を縦軸とする2次元グラフ上でスペックルパターン回転現象を表現することが可能になり、適切にパラメータを設定した上で解析した結果、現実視認されるパターン回転現象の回転方向及び回転角度を反映した解析結果の出力が可能になった。

一方、第2の手法は、ディープラーニング手法を利用したものである。具体的には、転移学習を使用して事前学習済みの畳み込みニューラルネットワークであるResNet-18の再学習を行い、スペックルパターンの回転画像から、それらに対応するファイバ設置板の傾斜変位角度を分類して推定する手法である。実際のアルゴリズムを構築・実装した結果として、測定範囲である -10° から $+10^{\circ}$ までのファイバ設置板の傾斜変位角度において、約95%の分類精度をもつネットワークを得ることができた。このとき、各角度ラベルからランダムにデータセットを分割することで、分類精度を大幅に向上させることができた。これは、過学習の解消が要因であると考えられる。その一方で、特定の傾斜変位角度（具体的には -1° と 0° のパターン）に対して誤分類の割合が多いという結果となり、さらなる改善が必要となっている。

III. 今後の展望

上述した2通りの手法のそれぞれにおいて、スペックルパターン回転現象の解析効率を大幅に改善させることができた。今年度は、主にアルゴリズムの構築・実装で終わってしまったので、今後は、これらの手法を活用することでスペックルパターン回転現象の解析を進めて、現象の発現メカニズムの解明や具体的なセンシング技法の実用化を進める予定である。