

卒業論文要旨

EFPI 微小ひずみセンサのひずみ計算手法の改良

システム工学群

先端機械・航空材料工学研究室 1230087 高階 岳斗

1. 緒言

長期間の寸法安定性を保証するために微小熱ひずみを測定する方法として光ファイバセンサを用いた手法が提案されている。他の測定方法に比べてひずみの測定精度が高く温度ドリフトも起こさないことから長期安定性に優れている。これらの特徴から CFRP の微小熱ひずみを測定することに最適であり、長期安定性が優れているため長期間の寸法安定性の保証が可能であると考えられる。

本研究では先行研究で開発された EFPI センサの絶対ひずみ測定精度を向上させることを目的に、ひずみ解析アルゴリズムの改良を試みた。

2. 実験方法

2. 1 EFPI 光ファイバセンサ

EFPI 光ファイバセンサの基本的な形状を図に示す。EFPI センサはキャピラリ内部で入射側と反射側の光ファイバ 2 本を間に空隙(ギャップ長 d)を構成する形で突き合わせるように配置し、キャピラリ端部を接着剤等で固定することで製作されている。キャピラリの接着端点間の距離をゲージ長 L といい、ギャップ長の長さとは関係なく任意に設定できる。

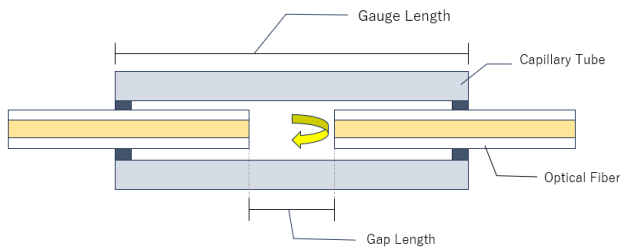


Fig.1 Structure of an EFPI sensor

次に EFPI センサのひずみ測定に使用する測定系を図 2 に示す。光帯域光源からの光出力は EFPI センサ内の両端でそれぞれ反射しあって干渉波を生み出し、そこで現れるスペクトルをスペクトルアナライザで測定している。測定されたスペクトルに FFT をかけることでギャップ長を求めることができる。

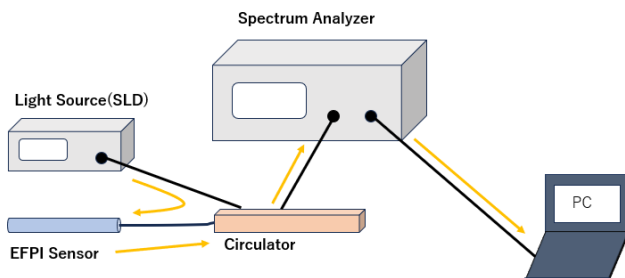


Fig. 2 Strain measurement optics for an EFPI sensor

2. 2 センサシステム

測定される干渉スペクトルは、SLD 光源のガウシアン型スペクトルに干渉信号が載る。これまではこのスペクトルに直接 FFT 処理を行っていた。本研究では、バックグラウンドである光源スペクトルを除去する方法と、移動平均によるノイズ除去を試みた。測定スペクトル(図 3(a))を対数化して(図 3(b))、バックグラウンドを除去すると図 3(c)に示す干渉信号が得られる。これを端数空間に変換してウィンドウをかけると図 3(d)の信号を得る。これを用いて FFT 解析を行った。

また、3 点または 4 点移動平均によるノイズ除去も試みた。さらに、FFT 処理をおこなう際に追加するゼロデータ点数の影響も調べた。

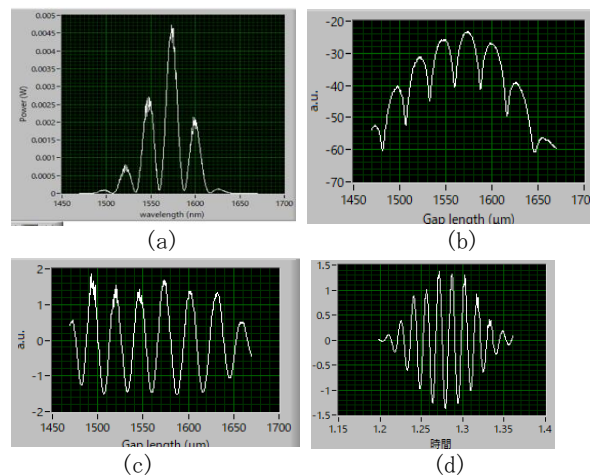
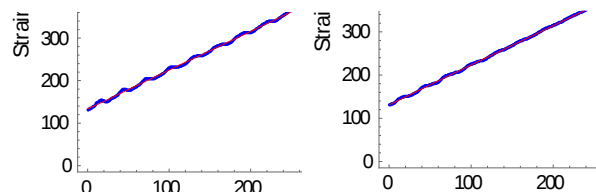


Fig.3 Subtraction process of back ground from measured spectrum

3. 実験結果及び考察

3. 1 バックグラウンド除去の影響

図 4 は、初期ギャップ長 $50\mu\text{m}$ のセンサのバックグラウンド除去前、および除去後のスペクトルを用いて計算したの引張ひずみ履歴の一部である。図より、変動が小さくなっていることが分かる。



(a) With back-ground (b) Subtraction of Back ground
Fig.4 Tensile strain measured by EFPI ($d=50\mu\text{m}$) with and without subtraction of background

図 5 に、ひずみ変動成分のみを取り出したグラフを、バックグラウンド除去プロセスの有無の 2 種類の処理結果について示す。図より明らかな周期性がみられ、これがノイズではなく FFT に起因するものであることが分かる。その振幅は、バックグラウンド除去により大きく改良されていることが分かった。

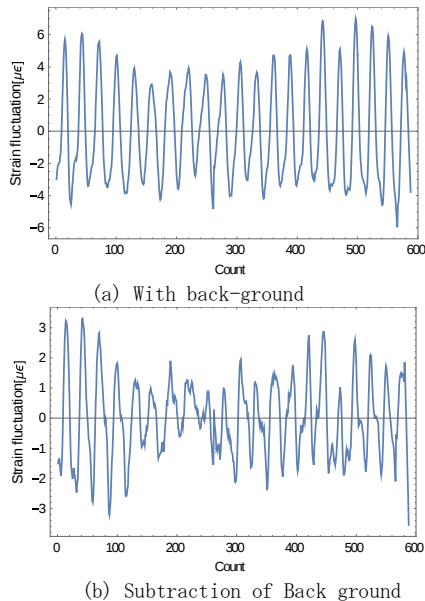


Fig.5 Tensile strain fluctuation ($d=50\mu\text{m}$)

図 6 に、ギャップ長とひずみ変動振幅の関係を示す。図より、 $50\mu\text{m}$ の初期ギャップ長の場合は、バックグラウンド除去によって変動振幅が大きく改善されることが分かった。一方で、初期ギャップ長が $100\mu\text{m}$ 以上では、変動振幅の改善はほぼ見られなかった。これはギャップ長が大きいと干渉信号の周期が短くなって測定波長範囲内の波の数が増加し、最終的に得られる空間スペクトルにおいてバックグラウンドであるガウシアン型のスペクトルの影響が相対的に小さくなるためである。またこれらの結果から、現在の FFT の処理では絶対精度として $1.5\text{--}2\mu\epsilon$ のひずみ誤差が残ってしまうことが分かった。今後さらに絶対精度を向上させるためには、別の追加処理が必要になると思われる。

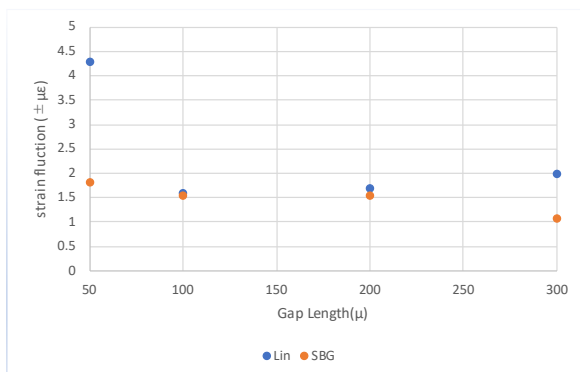


Fig.6 Amplitude of strain fluctuation measured by EFPI during tensile test

3.2 移動平均の影響

図 7 に、移動平均処理をおこなったときのギャップ長とひずみ変動振幅の関係を示す。移動平均点数による絶対精度の改善は見られず、また図 6 と比較しても、改善されていないことが分かる。よって、本研究で測定される EFPI で

は、移動平均によって変動がほぼ変わらないことが分かった。もっとも本研究で測定されるスペクトルはもともとノイズが小さいので、センサや計測系によっては重要となるだろう。

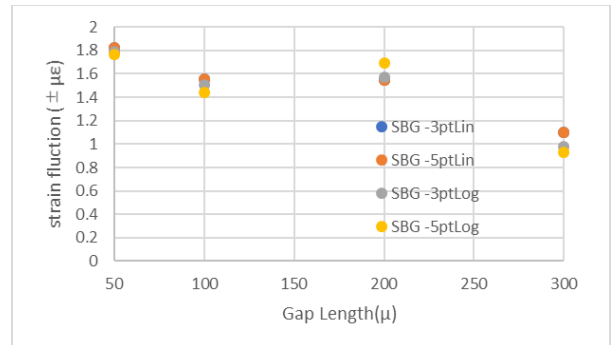


Fig. 7 Amplitude of strain fluctuation with applying moving average measured by EFPI during tensile test

3.2 追加データ点数の効果

追加データ点数を 10,000、1,000,000 点として、ひずみ解析を行った。図 8 に示すように、どちらの追加データでもひずみ解析値に変化が見られなかった。これより、1 万点の追加データで高速に FFT 処理できることが分かった。

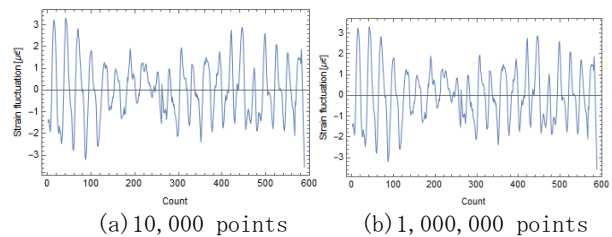


Fig.8 Strain fluctuation measured by EFPI using additional data points (10,000, 1,000,000)

4. 結言

本研究では EFPI センサの測定の計算手法について以下の知見を得た。

- (1) バックグラウンド除去による改善で、ギャップ長 $50\mu\text{m}$ の場合のように、測定波長範囲内で山数が少ない信号、つまり絶対測定誤差が大きいデータについては大きく改善されることが分かった。しかしギャップ長 $100\mu\text{m}$ 以上では改善効果がみられず、絶対測定誤差として $1.5\text{--}2\mu\epsilon$ 程度のひずみ誤差が残ることが分かった。
- (2) 移動平均によるノイズ除去の処理は、ひずみの絶対測定誤差にほとんど影響を与えなかった。ただしこれは元スペクトルのノイズが元々小さいためであり、質の悪い EFPI から得られるようなノイズが大きい信号についても検証が必要だろう。
- (3) 追加ゼロデータを 10,000 から 1,000,000 点まで変更してその影響を調べたところ、その範囲では絶対測定誤差に与える影響は見られなかった。これは、追加ゼロデータは 10,000 点で十分であることを意味している。これによって、FFT 処理は高速化される..

文献

- (1) E. Kappel. C, Vol.3(2020),100059
- (2) K, Ogi, M. Tsutsumi, B.Nasrullah, Y. Tanaka, Y. Watanabe, inter. J, Lightweight Mater. Manufacct, 4(2021), pp.27-36
- (3) 高坂達郎, Vol.67, No8(2018), pp.819-825
- (4) 谷寛子, “2020 年度卒業論文”, 2020