

# レイリー散乱型光ファイバ分布センサによる VaRTM 成形の樹脂流動モニタリング

## Resin Flow Monitoring of RTM by Rayleigh Scattering Optical Fiber Distributed Sensor

航空宇宙工学コース

先端機械・航空材料工学研究室 1235096 秋澤 秀夫

### 1. 緒言

軽量で高強度、高剛性という特徴を持つ FRP 製品は、その応用分野の広がりとともに大型、複雑形状化し、成形工程の開発コストの上昇が問題となっている。それを解決する手法として、成形中の FRP 内部状態のその場モニタリング手法が注目されている<sup>(1)</sup>。その中でも我々は VaRTM 成形における、樹脂含浸のモニタリングに着目した。

VaRTM 成形では、含浸工程で未含浸部が欠陥として生じることがあるため、樹脂流動のモニタリングは大変有効である。我々はこれまで、分布ひずみセンサであるレイリー散乱型光ファイバ分布センサによる樹脂流動モニタリングに関する研究を行ってきた。本研究では、このセンサを用いて樹脂流動の二次元モニタリングを試みた。

### 2. フローフロント検出方法

含浸方向に対して水平に本センサを設置し、VaRTM 成形でプリフォームに樹脂を含浸させてひずみを測定すると、図 1 のような分布が得られる。時刻  $t_1$  で測定したひずみは樹脂注入口付近で引張になった後圧縮となり、フローフロント付近では圧縮ひずみは減少して未含浸部ではゼロひずみとなる。含浸が少し進んだ時刻  $t_2$  では、フローフロント位置が移動して、ひずみが圧縮からゼロに変化する位置も移動する。しかし、それ以外のひずみ分布は時刻による変化が小さく、ひずみ分布の差分を取ることでフローフロント位置が差分のピークとして現れる (図 1 の  $\Delta\varepsilon$ )。これがフレーム間差分法であり、本研究ではこれを用いてフローフロント位置の検出を行った。

### 3. 実験方法

#### 3.1 ひずみセンサ

本研究で使用したセンサは、レイリー散乱型光ファイバ分布ひずみセンサ (ODiSI A-50 / Luna Technologies) である。このセンサはレイリー散乱光強度分布を測定し、その分布の空間周波数スペクトルを FFT で求め、規準となるスペクトル分布からのピーク周波数シフトがひずみと比例することを利用して、ひずみ分布を求めるセンサである<sup>(2)</sup>。光ファイバの直径は 0.125mm であり、ひずみ測定の空間分解能は 1mm、ひずみ測定精度は  $1\mu\varepsilon$  である。また実験では、光ファイバセンサのゲージ長を 1cm、空間分解能を 1mm に設定し、2 秒間隔で測定した。

#### 3.2 含浸試験

本研究では、図 2 に示すようにガラス繊維プリフォームに光ファイバセンサを埋め込み、含浸実験を行った。なお、図中の  $L$  は光センサの長さに沿った測定位置である。強化繊維にガラスクロス (平織、目付 200g/m<sup>2</sup>) を、樹脂の代わりにシリコンオイル (KF96-500CS, 信越シリコーン, 動粘度 500 mm<sup>2</sup>/s) を使用した。25cm×25cm のガラスクロスに 8 枚積層

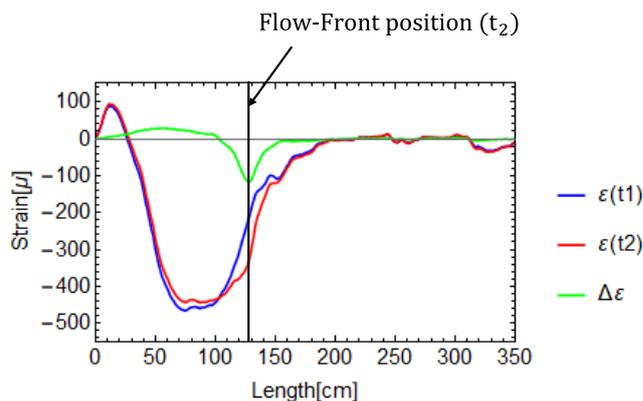
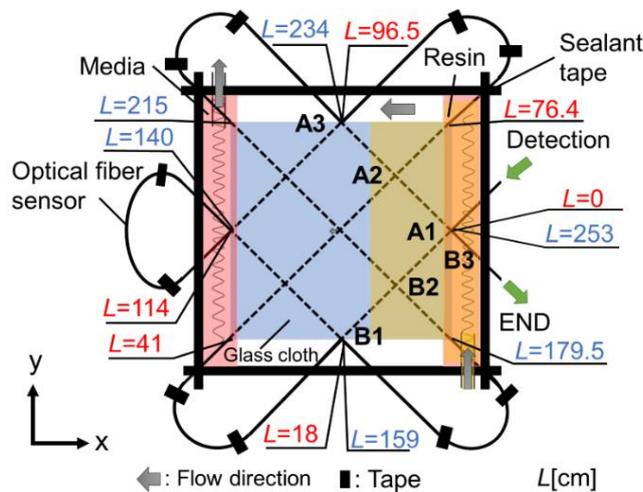


Fig.1 Strain in preform during impregnation process.



A1	L=0 ~ 18cm	B1	L=140 ~ 159cm
A2	L=41 ~ 76.4cm	B2	L=179.5 ~ 215cm
A3	L=96.5 ~ 114cm	B3	L=234 ~ 253cm

Fig.2 Experimental equipment ( $L$ : position in optical fiber sensor[cm])

し、一本の光ファイバを 4 枚目と 5 枚目の間に、含浸方向に対して 45°になるように格子状に配置した。また光ファイバは 1cm 間隔でガラスクロスに縫い込み、テープで複数ヶ所を金型に固定した。その後、真空引きを行い、このときのひずみを 0 とした。シリコンオイルの含浸が完了するまで測定を行い、また含浸の様子を撮影して、得られた画像から目視によるフローフロントの位置を求めた。

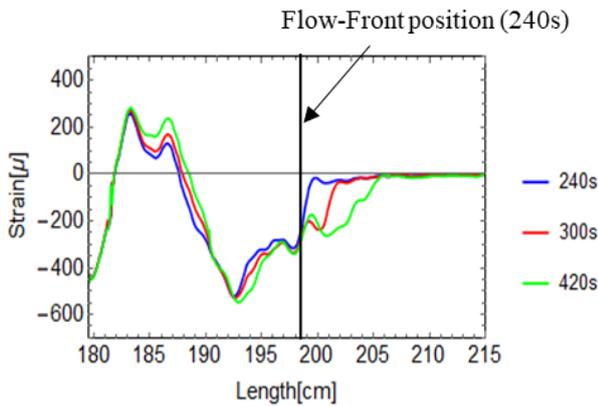


Fig.3 Strain distribution obtained in the range of X=179.5 to 215[cm] from distortion at 240, 300,420 seconds

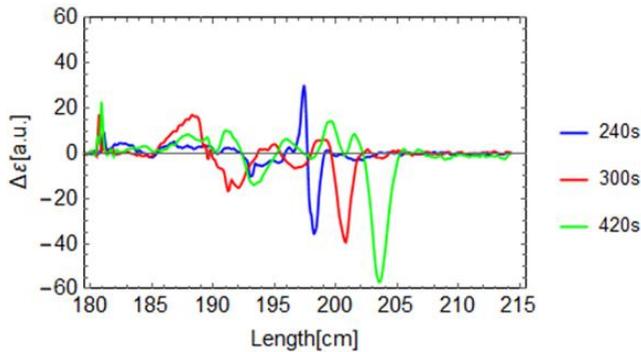


Fig.4  $\Delta\epsilon$  obtained in the range of x=179.5 to 215.5 [cm] from distortion at 240, 300,420 seconds

#### 4. 実験結果および考察

##### 4.1 プリフォームのひずみ分布

図3に測定開始から240s, 300s, 420sのB2(L=179.5~215[cm])の範囲)で得られたひずみ分布を示す。240sにおけるフローフロントは198cmである。図1と図3を比較すると、含浸方向に対してセンサを45°傾けた場合でも、0°の場合とよく似たひずみ分布を得られた。フローフロントによるひずみ変化は200 $\mu$ 程度であった。また、ひずみ分布全体の中に生じた周期的なひずみ分布は、センサの縫込みによる影響であると考えられる。

##### 4.2 フローフロント検出

図4に2.に記載のフレーム間差分法を用いて、測定開始から240s, 300s, 420sのL=179.5~215[cm]の範囲で得られたひずみ分布から得られた $\Delta\epsilon$ の分布を示す。負のピークに注目すると、含浸の進行とともにピーク位置が移動し、これがフローフロント位置を示すと考えられる。また他の区間においても同様の結果が得られた。

図5に、光ファイバセンサと目視によるフローフロント位置と成形時間の関係を示す。ただし、図のフローフロント位置は、光ファイバの長さに沿った位置に変換したものである。図より、最初にA1,A2,B2,B3の測定部でフローフロントが検出され、試験片中央部でA1とB3の端に樹脂が到達するためにそれ以後は検出不能になり、それ以降は代わりにA3, B1によってフローフロントが検出されることが示されている。図より、光ファイバセンサと目視によるフローフロント位置は互いによく一致していることが分かる。これより、一本の光ファイバを格子配置することによって、複数個所のフローフロントを同時に検出することが出来ることが分かった。

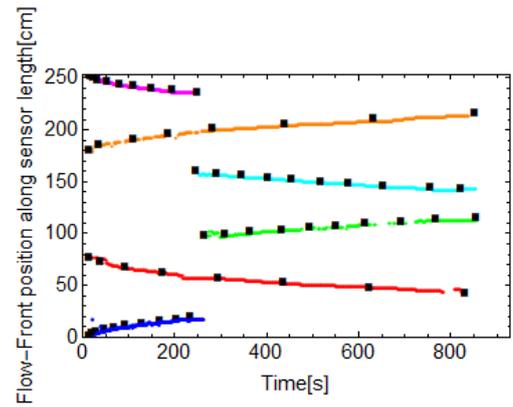


Fig.5 Flow-Front position along fiber length detected by sensor and video camera.

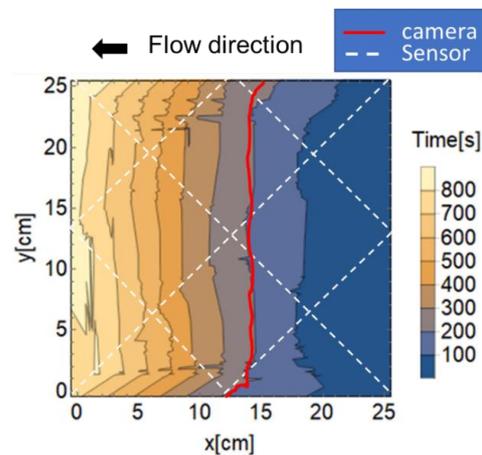


Fig.6 Flow-Front shape at arbitrary time detected by sensor and video camera.

得られたフローフロント位置の情報から、時間ごとの等高線プロットを作成した。その結果を図6に示す。図より、時間の経過とともにフローフロントを示すラインが含浸方向へ移動して行くことがわかった。200sにおける目視によるフローフロントの観測ではy=0cmの端部では先流れが生じており、y=25cmでは遅れが生じていることがわかる。200sにおける目視で得られた形状と比較するとよく一致しており、本手法でフローフロントの二次元形状のモニタリングが可能であることが分かった。

#### 5. 結言

本研究では、樹脂流動を二次元的に捉えることを試みた。そのため本研究では、プリフォームにレイラー散乱型光ファイバセンサを格子状に埋め込み、得られたプリフォームのひずみ分布にフレーム間差分法を適用し、フローフロント検出を行った。その結果、本センサで含浸挙動を二次元的に捉えることができることがわかった。

#### 文献

- (1) 高坂達郎, "複合材料成形技術の最前線 3.近年のFRP成形モニタリング技術とその応用", 日本材料学会, Vol.67, No.8 (2018), pp.819-825
- (2) 大越孝敬, "光ファイバセンサ", オーム社, 東京, 1986, pp.196-201