

光ファイバセンサによる金型の最新測定技術*

高橋 久範¹⁾ 名取 孝¹⁾ 松山 裕志¹⁾

Measurements Technologies of a Mold by Optical Fiber Sensor

Hisanori Takahashi Takashi Natori Hiroshi Matsuyama

KEYWORDS : (Standardized)production • manufacture, die/mold, measurement, (Free)fiber Sensing, distributed Sensing[D4]

1. まえがき

最近の製造業において、高品質・高信頼性に加えて、安全・環境を満足する必要がある、それに対応するための製品開発が進められている。そのために、製品の様々で複雑な現象を理解し設計開発する中で計測技術は必須である。また一方で数値シミュレーション、すなわち CAE(Computer Aided Engineering)は実験と共になくてはならないものとなっており、近年では生産技術、加工性評価にも使われている⁽¹⁾。いずれにしても、どちらかのみではなく、V&V(Verification and Validation)のように CAE で用いる数学的モデルと実験で行う物理モデルの定量的な比較の重要性が増々高まってきている⁽²⁾。その中で、物理モデルとの定量的な比較のため、または、物理モデルを理解するために変形、応力、ひずみ、温度、音、振動、圧力等といった様々な計測技術が進化し続けてきた。

従来のひずみや温度の測定はひずみゲージ、熱電対に代表されるように、センサー一つに対し一点で測定するものが主流を占めている。実際の実験では大量のひずみゲージや熱電対を用いて測定を行っているが、多チャンネルになる煩雑さやケーブルのとり回し制限、所有している機器の絶対量から代表点の測定を行うことに限られる。しかし、製造業における製品開発、とりわけ自動車の製品開発は現象も複雑であり、代表点だけでは現象理解が難しい場合がある。また、既知の現象であっても測定者作業による測定点の揺らぎ、形状変更による代表点のずれなども考えられる。

弊社では、このことに着目し、光ファイバをセンサとして活用した分布型計測手法の検討を進めてきた。光ファイバをセンサとして活用することより、①ファイバ自体が細い(150~200 μ m)ため貼付位置の制限が少ない、②センサ部分に電気が必要ないことから電磁波ノイズ等の周囲環境に強いといった利点がある。光ファイバをセンサとして用いた測定

手法は幾つか存在するが、代表的なものとして、ラマン散乱光、ブリリアン散乱光を用いた光学的時間領域反射計測法(Optical Time Domain Reflectometry)や光通信の分野でフィルタとして開発されたファイバ・ブラッグ・グレーティング(Fiber Bragg Grating, 以下 FBG)を利用したセンサがある⁽³⁾。本論文では、レイリー後方散乱光を用いた光学的周波数領域反射計測法(Optical Frequency Domain Reflectometry)を用いた分布型測定について紹介する。

2. 光ファイバ測定の原理と測定システム

光ファイバのレイリー後方散乱光は、ファイバのコア層(図 1)における、密度の不均一性、コア層の直径の不均一性及び不純物に起因する⁽⁴⁾。距離による散乱の振幅は不均一性によりランダムであるが、固有のものとして現れるため、弱い FBG のモデル化とすることができ固有指紋情報と呼ばれる。この散乱光は温度変化やひずみ変化に起因するファイバの伸縮のような外力に対し、それぞれの部位ごとに周波数に変化する(図 2)。

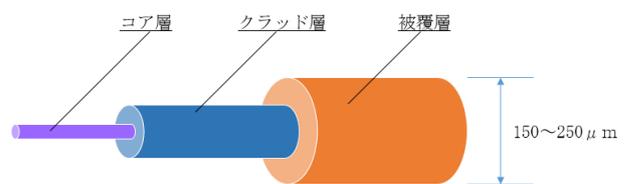


図 1. 光ファイバの断面

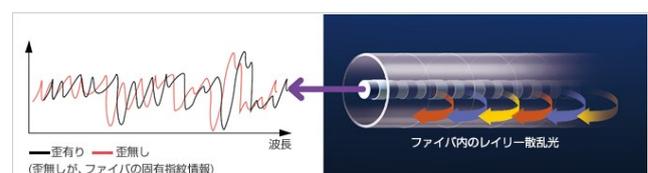


図 2. ファイバ内のレイリー散乱光波長分布

*2013 年 12 月 13 日自動車技術会シンポジウムにおいて発表。

1) 榊富士テクニカルリサーチ(220-6215 神奈川県横浜市西区みなとみらい 2-3-5 クイーンズタワー C15F)

今回の測定器はこのレイリー後方散乱光を活用して図 3 の

ような測定ネットワークを用いている。まず、光源からの周波数可変レーザを分光器により一方を検出器、もう一方を光ファイバに入射する。光ファイバに入射されたレーザは、各部位の固有指紋情報に則り、部位毎に固有のレイリー後方散乱光を散乱させる。この散乱光はファイバに外力が働いた場合は周波数が微小に変化する。この散乱光による反射光と分光器で分けた入射光を干渉させることにより、どの位置がどのくらい周波数変化したかを取得する。

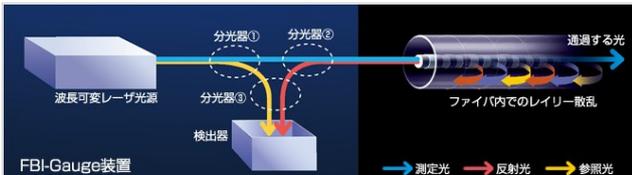


図 3. 測定ネットワーク

例えばファイバの任意の位置の温度が $\Delta T^{\circ}\text{C}$ だけ変化した時、温度変化に比例して反射光の波長分布が変化する。この時の測定データから変化前後の波長分布を比較する。温度変化はそれぞれの部位からの反射光に対し、波長ピークの変化量として現れる(図 4)。この変化量を各ファイバの部位ごとに取得することで分布型温度測定を行うことができるようになる(図 5)。

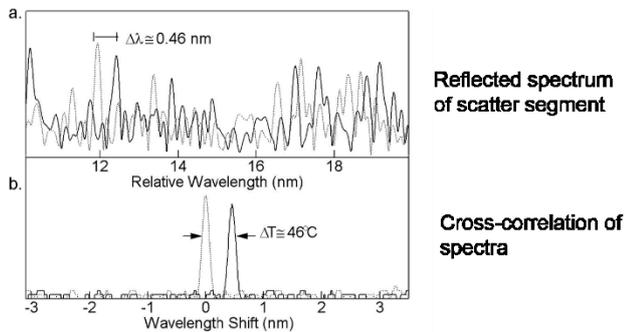


図 4. 各部位の変化前後の波長分布

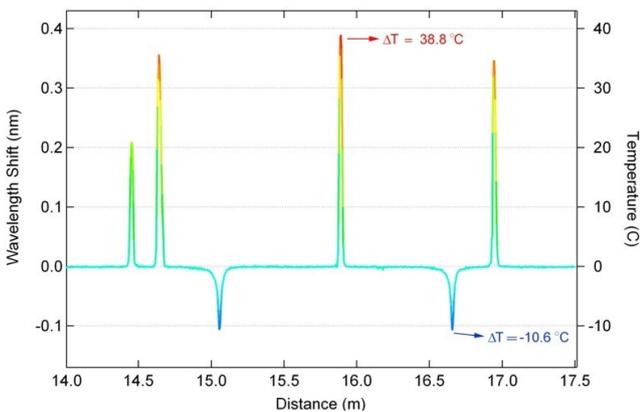


図 5. ファイバに沿った波長分布と温度分布

ひずみ測定においても同様である。図 6 は片持ち梁の実験機でファイバセンサ及びひずみゲージで比較した例である。ファイバセンサを片持ち梁の上面及び下面に貼付している。この片持ち梁の先端に荷重をかけると、ファイバに沿った位置のひずみを取得することができる。



図 6. 片持ち梁の実験器具

図 7 は結果例であり、片持ち梁の先端に荷重をかけた場合、上面には引張のひずみ、下面には圧縮のひずみが現れる。中央のひずみ変化量が 0 の部分は荷重点より先の部分及び、上面から下面へのとり回し部分となる。通常このような測定をひずみゲージで取得した場合、数点を代表点として測定するが、ファイバセンサを用いると連続的なひずみ分布を測定することが可能となる。

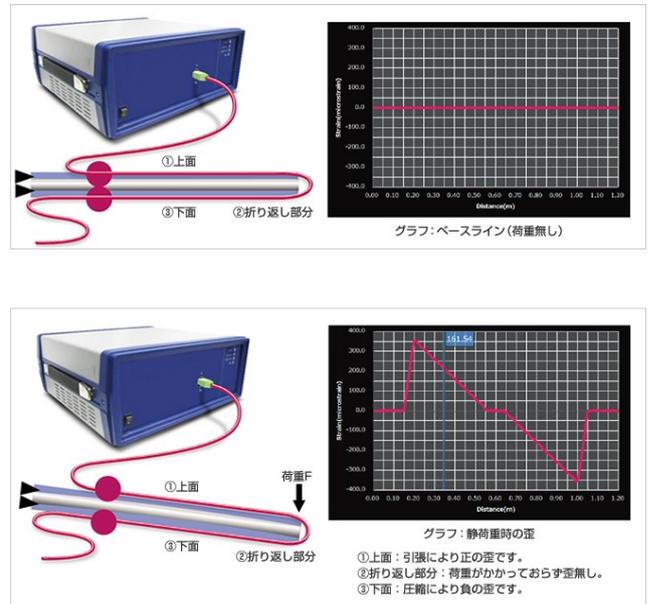


図 7. 片持ち梁に荷重をかけた時のひずみ分布

測定システムの外觀は図 8 の通り。青い測定器の中には光源及び検出器が内蔵されており、ファイバセンサまでの間は接続用の光ファイバ 10m でつながっている。接続用光ファイバより先の部分は全て光ファイバセンサとなっており、センサ部分の長さは 1m~50m。全ての位置において 1mm ピッチで結果を取得することができる。青い測定器の制御はノート PC から行い、同時に結果処理用としても使用することが

できる。測定器の仕様を表1に示した。



図 8. 機器外観

表 1. 機器仕様

【測定性能】	
機器モデル名	A-50
最大測定ファイバ長さ	50[m]
データ取得率	1~5[Hz]
最小センサ間隔	0.4[mm]
最小ゲージ長さ	1.0[mm]
接続ケーブル	10[m]
【ひずみ測定】	
測定範囲	±12,000[$\mu \epsilon$]
繰返し精度	±2[$\mu \epsilon$]
【温度測定】	
測定範囲	-50~300[$^{\circ}\text{C}$]
	-200~800[$^{\circ}\text{C}$] (金ファイバ使用時)
繰返し精度	±0.2[$^{\circ}\text{C}$]
【測定器本体】	
寸法	36x32x17[cm]
重量	8[kg]
消費電力	50[W]

3. 実験方法

実験では、図 9,10 のような金型を製作し、樹脂射出成型機を用いて金型の型締め時の金型ひずみ分布、及び射出成型時の金型ひずみ分布を測定した。成形品の寸法は 100x296mm になるようにした。ファイバの貼付位置は、固定金型と移動金型の合わせ面を用いているため、ファイバ径 150 μm に対し、0.5mm 程度の溝を作成している(図 11)。ファイバの貼付には通常のひずみゲージの貼付に使用される接着剤(高温用)を使用した。また、射出成型機は 220ton を使用し、中央から二か所ゲートを取り付けている(図 12)。

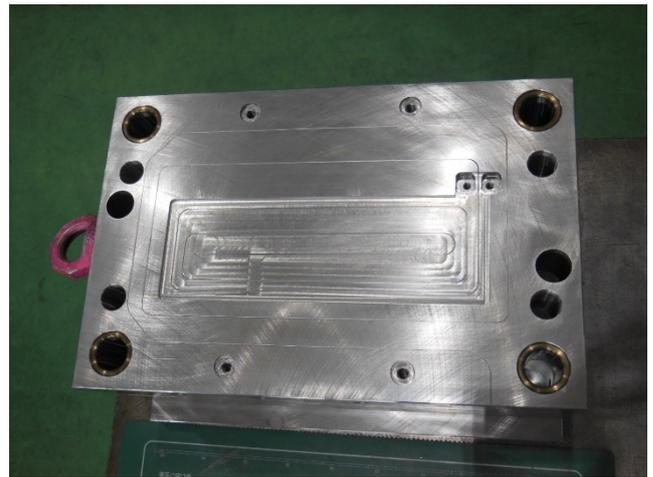


図 9. 実際の金型

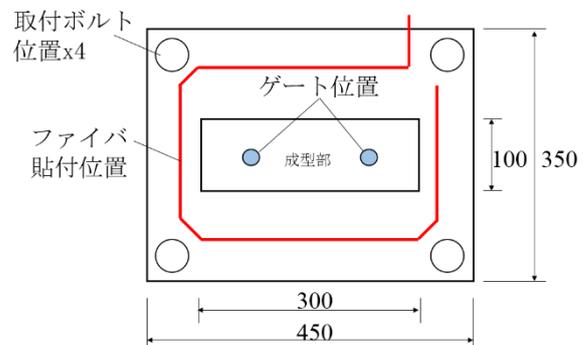


図 10. 金型図面



図 11. ファイバ貼付位置



図 12. 射出成型機

4. 実験結果

射出成型機に金型を取付け、図 13 における位置の型締めから射出成型までの時系列ひずみ変化を図 14、代表時間における貼付位置の分布を図 15 に示す。型締め時(9~25 秒)、金型の取付けボルト位置まわりでは引張のひずみが、ある程度離れた場所からは圧縮のひずみが発生している。これにより、金型合わせ面上での引張ひずみから圧縮ひずみへの変化点の位置を確認することができる。また、その後射出成型中(26~30 秒)において金型合わせ面上は一様に圧縮ひずみがかかり始める。これは射出圧によるひずみで射出終了から冷却期間(30~65 秒)にかけて小さくなっていく。

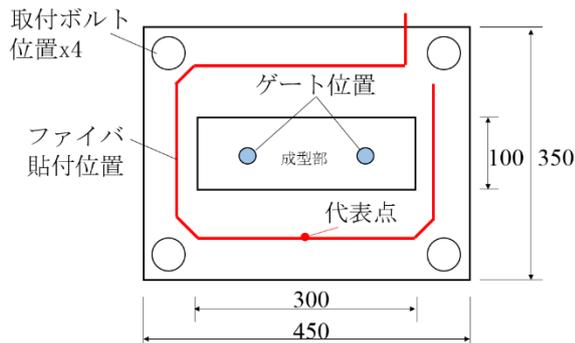


図 13. 代表点の位置

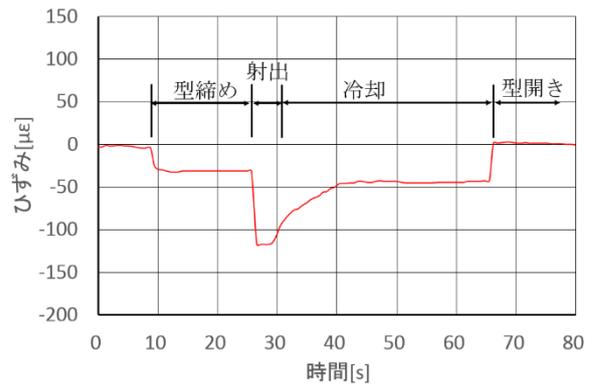


図 14. 代表点でのひずみ時系列変化

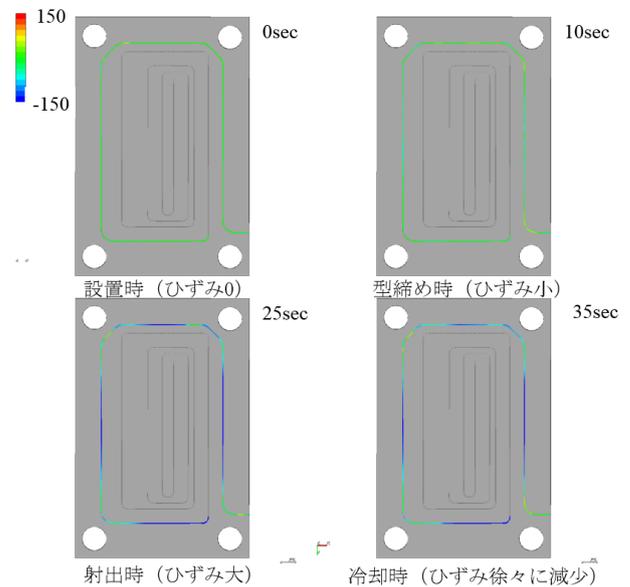


図 15. 各時刻でのひずみ分布

5. まとめ

今回の実験により、金型等でのひずみ分布を取得することができた。今回は合わせ面の部位のみを測定対象としたが、ファイバは 50m まで測定できるため、同時に側面なども測定することができる。また、今回測定を実施した測定システムを用いるとファイバの一部をひずみ測定、一部を温度測定と同時に測定することができる。今後は金型面のひずみのみではなく、射出成型面の温度も合わせて検証していく。

現在、製造業全体において、様々な計測技術が非常に広範囲にわたって存在する。既存技術を基にした弛まない努力と工夫による取組だけでなく、従来にはなかった新しい計測技術開発の取組も求められている。新しい計測技術のおかげで新たな現象がわかった。と言われるような計測技術開発に挑戦したいと考えている。

6. 参考文献

- (1) 早川要：シミュレーション技術の現状と今後，デ
ンソーテクニカルレビュー，Vol.5，No.1， p.9-
15,2000
- (2) 白鳥正樹他：日本計算工学会におけるシミュレー
ションの品質保証基準づくり，日本計算工学会
HQC 委員会 HP，
<http://www.jsces.org/research/hqc/documents.html>,No.9,
(2012)
- (3) 根本勇他：FBG を用いた光ファイバセンサについ
て，共和技法，No.533，p.4109-4116,2005
- (4) Dawn K. Gifford 他：Distributed Fiber-Optic
Temperature Sensing using Rayleigh
Backscatter,ECOC,Vol.5,2005
- (5) 徳永法夫他：光ファイバセンサを用いた計測シス
テム等の検討，土木計画学研究・講演集，27 卷，
p.248-251，2003
- (6) B. J. Soller 他：Measurement of Localized Heating in
Fiber Optic Components with Millimeter Spatial
Resolution，Optical Fiber Communication Conference
and Exposition and the National Fiber Optic Engineers
Conference Technical Digest，Paper OFN3. CD-ROM-
3，2006
- (7) J. R. Pedrazzani 他：Fiber Optic Distributed Strain
Sensing used to Investigate the Strain Fields in a Wind
Turbine Blade and in a Test Coupon with Open Holes，
SAMPE Tech. Conf. Proc., Charleston, SC, 2012.