

光ファイバリング共振器を用いた多点型温度センサ

Multipoint Temperature Sensor Using Fibre-Optic Ring Resonator

加藤 考利*・藤井 陽一*

Takatoshi KATO and Yoichi FUJII

1. ま え が き

光ファイバセンサは、光ファイバの持つ特徴を、うまく利用して、従来とは異なる形の計測を可能にしてきた。たとえば、干渉型の温度センサは、光ファイバの熱膨張による位相変化を利用するため、きわめて高感度、高速熱応答のセンサを構成することができる。

さらに、最近では、光ファイバの持つ長尺性を利用して、分布型、多点型センサの開発が盛んに行われている。このようなファイバセンサを、センサシステムとして利用する場所としては、工場、化学プラント、発電所など、多数のセンサが必要な場所が考えられている。このような目的のために、現在では、OTDR を利用した温度センサが実用化されているが、S/N 比が小さいため、温度分解能の限界、平均化処理に時間がかかるなどの問題を抱えている。一方、多点型温度センサは、干渉計を用いることにより、きわめて高感度なセンサとなり得るが、いまだ実用化には至っていない。

そこで、われわれは、温度分解能の向上を目指すために、干渉型の温度センサを基にした多点型の温度センサとして、リング共振器を用いた多点型の温度センサを新たに提案し、その基礎的な実験を行い、検討を行った。

2. 測定 の 原理

リング共振器は、一組のシングルモードファイバと光ファイバ・カップラで構成することができるが、その動作特性は、共振点で出力光が零、その他は、最大透過になる。リング共振器の温度が ΔT 変化すると、光ファイバの実効的な光路長 nL が、 $\Delta(nL)$ 変化するため、リング共振器の共振周波数もそれに伴い変化する。したがって、この共振周波数の温度変化を測定することによって、高感度な温度センサを作ることができる。リング共振器による干渉方式は、参照光路を必要としないので、構成が簡単になり、参照光路の揺らぎによる測定誤

差を軽減することができる。

共振周波数の温度変化の測定には、光源の発振周波数を掃引する方法や共振器内で位相変調を行い等価的に周波数を掃引する方法があるが、リング共振器には、光源にコヒーレンスの高いレーザが必要なため、今回の実験では、光源に、単一周波数 He-Ne レーザを用い、共振器内で位相変調を行う方法を取る。

一方、多点化は、異なる長さのリング共振器を N 段直列に接続することによって行われる。その場合、透過光の強度特性は、それぞれのリング共振器の特性を重ね合わせたものとなり、共振周波数は独立に変化する。したがって、それぞれのリング共振器の共振周波数の変化を測定することによって、それぞれの温度変化を測定することができる。

共振点を区別する方法としては、図 1 に示すように、次の 3 つが考えられる。

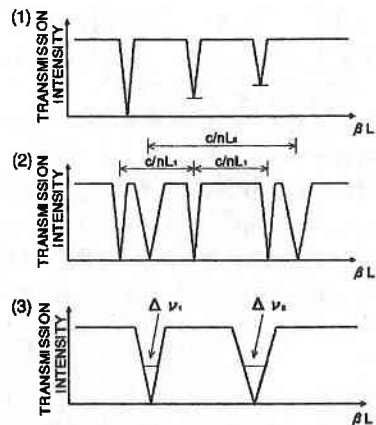


Fig. 1 The method to distinguish the sensor location by using the difference of

- (1) the transmission intensity by the loss
- (2) the interval of the resonant points
- (3) the full width at half maximum of the resonance peak

*東京大学生産技術研究所 第3部

研究速報

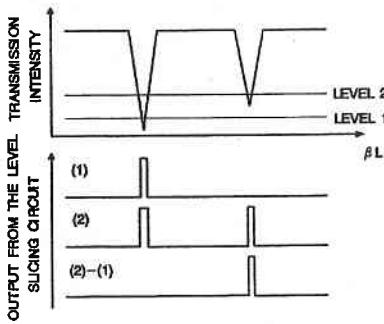


Fig. 2 the signal processing with the level slicing circuit

- (1) 共振器内の損失の大きさによる共振点での透過光の強度差を利用する方法,
- (2) 共振点の間隔の差を利用する方法,
- (3) 共振ピークの半値幅の差を利用する方法

今回行った実験では、(1)の方法を用いて共振点の区別を行う。図2に、例として、2点型のセンサの場合について、その測定原理を示す。フォトダイオードからの出力は、レベル・スライス回路を用い、2つの異なる基準値を設定することによって、2つのパルス列に変換される。この場合、その変換されたパルス列の一つは、二つのリング共振器に対応するパルス列となるが、もう一方の変換されたパルス列に対応するパルス列を取り除くことによって、一つのリング共振器だけに対応するパルス列を得ることができる。

3. 測定

2点型の温度センサの動作の確認を行うために、図3の光学系で実験を行う。光源は、安定化した単一周波数He-Neレーザを用いる。レーザから出た光は、対物レンズで集光し、光ファイバに入射される。リング共振器は、2個直列につなぎ、共振器長は、それぞれ、リング共振器1は、1.5m、リング共振器2は、1.0mとする。位相変調を行うために、リング共振器の一部を、円筒型のピエゾセラミックスに巻き付け、50Hzの正弦波を加える。光ファイバから出射した光は、フォトダイオードで検出され、変調信号とともに、オシロスコープで観測される。

温度変化の測定は、光ファイバの一部（リング共振器1, 2とも10cm）をあたため、残りは、温度が変化しないように、十分覆いをし、リング共振器1, 2を別々に、1フリンジごとの温度を測定した。実験に使用した、U. V. 素線のシングルモードファイバでは、ファイバ長10cmの温度による位相変化は、 $3.7\pi\text{rad/K}$ となり、1フリンジの温度変化は、リング共振器1, 2とも0.54K

に相当する。今回の実験では、ピエゾセラミックスやファイバカップラの熱膨張による影響を避けるため、感受部を共振器の一部10cmに設定したが、光ファイバの熱膨張を利用した温度センサの場合、感受部の長さを長くすることによって必要なだけ感度を高めることができる。

図4、図5は、その測定結果である。この結果では、温度を変化させない方の、共振器の共振点のわずかな変化から、補正を加えてある。図の測定結果から、リング共振器1, 2の温度による位相変化は、それぞれ、

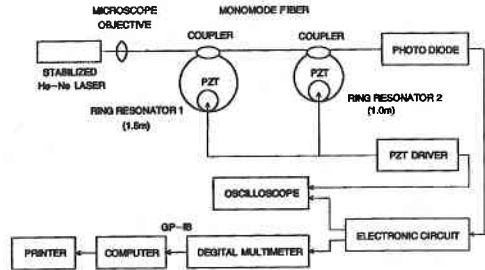


Fig. 3 Experimental setup for the multipoint temperature sensor using two series of ring resonators

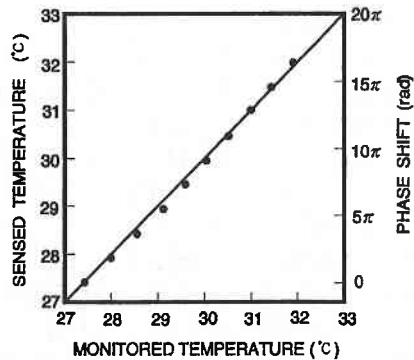


Fig. 4 Experimental result for ring resonator 1

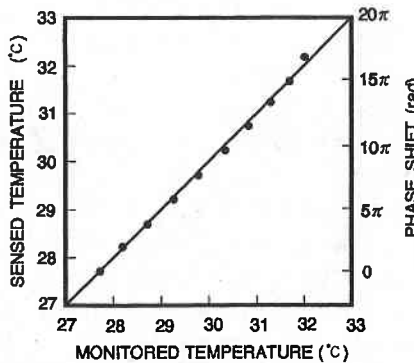


Fig. 5 Experimental result for ring resonator 2

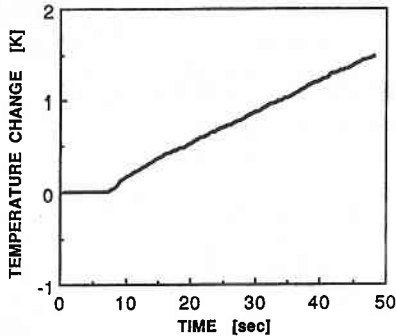


Fig. 6 Experimental result for ring resonator 2

3.6 π rad/K, 3.8 π rad/K となり, 理論値とほぼ一致する. 1 フリンジごとの温度変化の誤差も, ほぼ0.1K 以内におさまっている. 測定における最大の誤差は, 共振点が, ちょうど1 フリンジ変化したところを読みとる際に生じていると考えられる.

次に, 図3の光学系でレベル・スライス回路を用いて, 温度の変化を自動的に測定した結果を図6に示す. 温度分解能は, 3×10^{-3} K 程度であり, これは, 一波長の1/200程度の光路長変化に相当する.

4. 結 論

リング共振器を直列につないだ構成の多点型温度センサを提案し, 2点型の温度センサについて, 基礎的な実験を行った. その結果, 位相変化量は, 理論値

3.7 π rad/K に対し, それぞれ3.6 π rad/K, 3.8 π rad/K と, 両リング共振器ともよく一致した値が得られた. 次に, レベル・スライス回路を用いることにより, 自動的な温度変化の測定も可能となった.

また, この実験では, ピエゾ素子を用い位相変調を行うことにより, 共振点の変化を測定したが, 原理的には, 光源の発振周波数を掃引させることによっても測定は可能である. センシング部分 (リング共振器) は, できるだけ簡略化した方が, 余分な擾乱を受けることが少なくなるので, 実際のシステムとしては, 線幅が細く安定に周波数を掃引できる半導体レーザが存在すれば, その使用が望まれる.

(1993年2月13日受理)

参 考 文 献

- 1) L. F. Stokes, M. Chodorow, and H. J. Shaw, "All-singlemode fiber resonator," *Opt. Lett.* 7, 288 (1982)
- 2) T. Yoshino, K. Kurosawa, K. Itoh, and T. Ose, "Fiber-Optic Fabry-Perot Interferometer and Its Sensor Applications," *IEEE J. Quantum Electron.* QE-18, 1624 (1982)
- 3) S. M. Tseng, C. L. Chen, "Optical fiber Fabry-Perot sensors," *Appl. Opt.* 27, 547 (1988)
- 4) T. Ito, "Precise measurement of the change in the optical length of a fiber-optic Fabry-Perot interferometer," *Appl. Opt.* 25, 1072 (1986)
- 5) Y. Seki, K. Noda, "Linearity Stabilized Fiber-Optic Thermometer Using Pseudo-Heterodyne Phase Detection," *IEEE J. Lightwave Technol.* LT-5, 961 (1987)