

最近の技術から

光ファイバセンサー技術の動向

光強度変動による誤差の除去

芳野俊彦

東京大学生産技術研究所 〒106 東京都港区六本木 7-22-1

1. はじめに

光ファイバは、電気における電線にたとえられるが、電流の電線に対するのと違い、ファイバの曲げ損失や光学コンポーネントとの結合係数が外部刺激に敏感で、伝送される光強度が変動しやすい。この事実は、光ファイバセンサーを構成する上で留意すべき事項であり、信頼性のあるファイバセンサーを実現するためには適切な対策が必要である。本稿では、光強度の変動による測定誤差の軽減、除去に関する最近の研究動向を紹介する。

2. 光強度誤差

ファイバセンサーにおいて、光強度の変動をもたらす要因としては、

- (1) 光源の出力変動
- (2) ファイバの曲げ損失の変化
- (3) ファイバの経時的な特性変化
- (4) 結合係数の変化

がある。これらの要因によって生じる光強度誤差を取り

除くためには、

- (A) 光強度の変動の補償機構を具える。
- (B) 本質的に光強度に依存しないファイバセンサーを開発する。

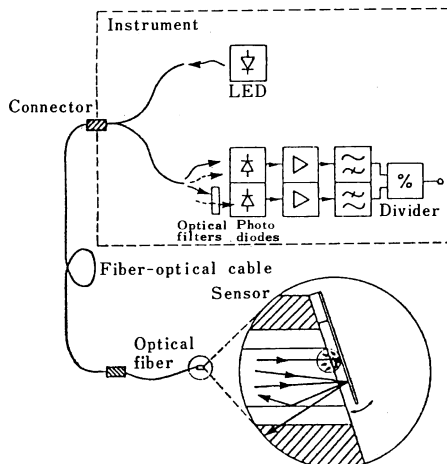
のいずれかのアプローチをとる必要がある。

3. 光強度の変動補償

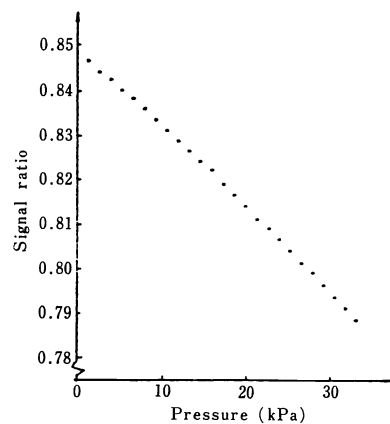
これを実現する方法としては信号と参照信号の差分法が実用的である。差分法としては

- (i) 入出力光強度の比
- (ii) 2波長法
- (iii) 光ブリッジ法
- (iv) 遅延パルス法

が知られている。(i)は、出力信号を入力信号で割り算をするもので、光源の出力、光源と入力ファイバとの結合の変化などを簡単に除去するのに役立つ¹⁾。(ii)は、光スペクトルを利用して独立な2信号を得、その差分によって光強度の変動を除去する技術である。2波長法の例として、ASEAで開発されたファイバ加速度計を示



(a) システム



(b) 特性例

図1 蛍光を用いたファイバ加速度計

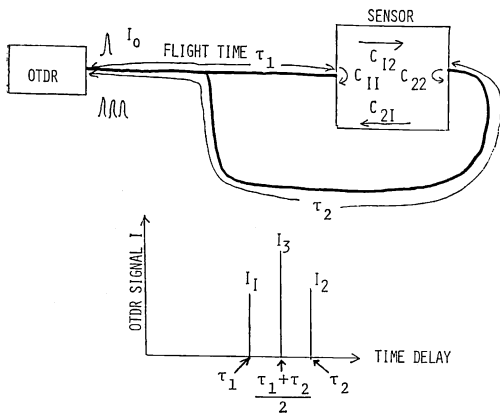


図 2 時間領域ファイバセンサーの原理

す²⁾。ファイバチップ上に具備したカンチレバーの動きによって生じる反射光量の変化から圧力を検出する。レバー上には蛍光体が塗布してあり、蛍光成分は正反射光と異なり放射角に方向性がないことを利用して、ファイバ端への到達光量のモニターとする。動作例を図 1 (b) に示す。(iii)は、センサー部を光のブリッジ構成にしたものである³⁾。(iv)は、光パルスを信号キャリアとし、パルスの遅延時間差を利用して参照信号を発生させる方法である。この方式の原理的な構成を図 2 に示す。セン

サーでのファイバの結合係数を C_{ij} で表わすと、 $\tau_1 \ll \tau_2$ のとき時間領域で三つの分離した光パルスが発生する。そのうち、時間軸の両端に現われる信号 I_1, I_2 はセンサー部での反射光量を、中央の信号 I_3 は透過光量を表わす。この三つの信号間には

$$I_3^2 / (I_1 I_2) = (C_{12} + C_{21})^2 / C_{11} C_{22}$$

なる光強度に依存しない関係がある。この関係を利用すると、たとえば透過率 C_{12} は光強度の変動を受けずに安定して計測できる。この原理に基づいた OTDR(optical time domain reflectometry)⁴⁾ 温度センサー、変位センサー⁵⁾ などが発表されている。

4. 光強度に無関係なセンサー

測定原理からして本質的に光強度に依らないセンサー方式としては

- (i) 偏光利用
- (ii) 光ヘテロダイン位相検波
- (iii) ビームポジション利用

などが開発されている。(i)のタイプでは、偏光保持ファイバを光の送・受信に用いた電磁界センサーがその例である。磁界の変化によって生じるファラデー回転角を直交偏光強度の比から測定することによって、光強度に

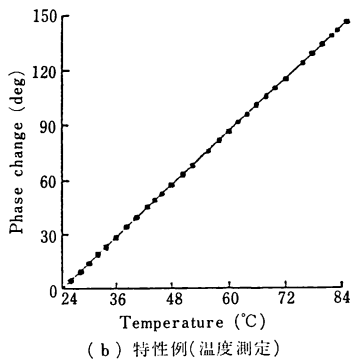
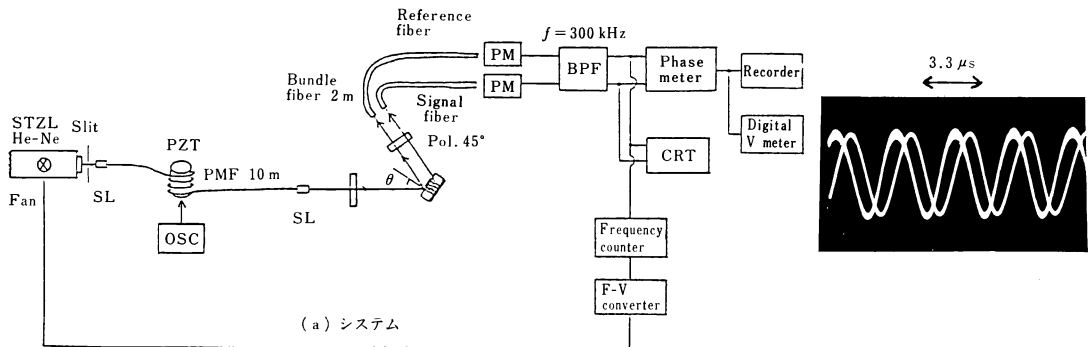


図 3 光ヘテロダインファイバセンサー

よらない磁界測定が可能となる⁶⁾。光ヘテロダイン法に基づく直接的な位相検波を用いたファイバーセンサーは、光強度の影響を受けない高精度・高感度のセンサーとなる。図3(a)には光ヘテロダイン方式による複屈折利用ファイバセンサーの基本的検出方式を示す⁷⁾(例として温度測定)。偏光保持ファイバの偏光軸に沿って、異なる角周波数 ω_1, ω_2 のレーザー光(光源として周波数安定化横ゼーマンレーザー)を偏光保持ファイバの立軸に沿ってセンサー部(水晶)にまで伝送し、水晶の速い軸、遅い軸に平行に ω_1, ω_2 を入射し、反射光を 45° 方位の検光子を通して多モードファイバに入射し、検出部で光電変換する。これにより、電気信号

$$I_s = A_s \cos \{(\omega_1 - \omega_2)t - \Gamma - \Phi\}$$

を得る。 Γ は水晶のリターデーションで、その温度依存性を用いて温度を測定する。 Φ は偏光保持ファイバのリターデーションで、これは一般的にファイバの温度と圧力によって変動する。これによる誤差をなくすために水晶の表面反射光から得た参照信号との位相差を測定する。この方式による測定例を図3(b)に示す。位相計の位相測定は 0.1° くらいまで測定可能なので高精度の温度センサーが実現できる。この方式は、リモート干渉計⁸⁾、ファラデー回転による磁界測定、ポッケルス効果による電圧測定その他に利用できる汎用性を有する⁷⁾。

(iii)の例としては、プリズムを用いた液体屈折計が発表されている⁹⁾。これは屈折率の変化によって生じるレ

ーザー光のビーム位置をファイババンドルとポジションセンサーによって 0.001 の精度で液体の屈折率を遠隔計測できる。

5. あとがき

上に述べた手法は、外部的要因による強度変動を除去するのに役立つ。外部的ノイズを取り除いた後に残る雑音すなわち量子雑音の影響を軽減し、センサーとしての S/N 比を向上させるためには、(1)センサー感度を向上させる(例:多重反射セルの利用)、(2)光パワーを向上させる(高出力光源、低損失ファイバの使用)、結合率の向上、(3)検波を狭帯域化する(同期検波など)ことが効果的な対策となる。

文 献

- 1) 芳野俊彦, ほか: 1982年春季応用物理学会講演会(1982) p. 99.
- 2) L. Jonsson, *et al.*: *OFS '84* (1984) p. 191.
- 3) J. Foley, *et al.*: *OFS '84* (1984) p. 117.
- 4) T. Yoshino, M. Nara and K. Kurosawa: *ICO-13* (1984) p. 324.
- 5) D. E. N. Davis, *et al.*: *OFS '84* (1984) p. 387.
- 6) 芳野俊彦: システムと制御, 28 (1984) 18.
- 7) T. Yoshino, *et al.*: *OFS '84* (1984) p. 236.
- 8) 吉田宣昭, ほか: 1985年春季応用物理学会講演会(1985) p. 100.
- 9) 芳野俊彦, ほか: 1984年春季応用物理学会講演会(1984) p. 63.

(1985年1月10日受理)