

光ファイバセンサの最近の進歩と動向

群馬大学工学部電気電子工学科
芳野俊彦

Recent Progress and Trend in Optical Fibere Sensors

Toshihiko Yoshino

1. はじめに

ファイバジャイロの誕生を「近代ファイバセンサ」の誕生とすると、今年は21年目にあたる。この間にファイバセンサに関して多くの研究開発が行われ、ファイバを用いることで多種類の物理量、化学量が電磁ノイズを受けずに、オンラインで計測できるようになった。ファイバセンサの応用例として、ファイバジャイロによる移動体のナビゲーション、ファイバヒドロホン、電力プラントにおける磁界・電流・電圧計測、化学物質のその場・実時間検出、通信用光ファイバの監視などがよく知られている。Table 1は、現在知られている光ファイバセンサの測定対象、センサ原理・方式および測定感度を一覧表に示したものである。そのうち、製品化されたり、実用化になっているものには、温度、歪み、圧力、音波、振動、変位、回転（ジャイロを含む）、速度、磁界、電流、電圧、化学成分・濃度などの多数のセンサがある。ファイバセンサには、ファイバ自身をセンサとするファイバ機能型とファイバを光の伝送路とするファイバ伝送路型とがある。前者に関しては、この数年でセンサ原理・方式がさらに増え、ファイバブラッググレーティング、ブリュアン散乱応用、ファイバレーザ応用などのセンサ原理

が新たに加わった。一方、ファイバ伝送線利用型に関しては、強度変動の補償、ヘテロダイン干渉計測によるセンシングの精度向上、センサシステムの簡便化、高感度センサ物質の開発など行われた。両型のファイバセンサに共通するファイバ干渉センサ原理としても、従来多かったインクリメンタル（変化分）測定から、絶対測定へとニーズの高度化があり、それに応える有効な手法の一つとして、従来のレーザ干渉計測から低コヒーレンス（白色）干渉計測に対する関心が強まってきた²⁾。また、ファイバ干渉センサにおける温度／歪みの分離同時計測など、クロストークの除去を含めたより高精度の計測を目指した研究が増えてきた。本稿では、最近見られるファイバセンサの最近の進展と研究動向³⁻⁷⁾を概観する。

2. 最近のファイバセンサの進歩

(1) 温度

ファイバのラマン散乱を利用した温度センサは既に実用化されているが、シングルモードファイバのブリュアン散乱を利用する分布型温度センサが新しい。ブリュアンシフトの温度依存係数は、 $1.3 \mu\text{m}$ 帯の光に対して、 1.3MHz/K 前後である。 $1.3 \mu\text{mLD}$ 光源で、 50km の距離範囲で温度分解能 1K 、距離分解能 5m が得られている。課題は、 10GHz 程度の

Table 1 Measurands, principles and sensitivities of optical fiber sensors

測定対象	セ ン サ ー 原 理 方 式		測 定 感 度
	ファイバー機能形	ファイバー伝送線形	
温 度	ファイバーの伸縮、偏波面保存ファイバーのリターデーション、2モードファイバーの群速度差、ラマン散乱、レーリ散乱、ドーパントの光吸収・蛍光曲げ損失、液体クラッドファイバーの放射損失、ファイバー内黒体放射、ブリュアン散乱、ファイバードープグレーティング	結晶のリターデーション、エタロンの反射率、固体の蛍光スペクトル、半導体の光吸収、透光体の移動、外部黒体放射、相変化	熱電対より高感度なものが多く、分布計測が可能
圧力・歪み・荷重	ファイバーの伸縮、偏波面保存ファイバーのリターデーション、2モードファイバーの群速度差、曲げ損失、ブリュアン散乱、ファイバードープグレーティング、ファイバードープレーザー	ダイアフラムの変位（干渉または非干渉検出）、固体の光発生効果、マイクロ共振器の共振周波数、マイクロチップレーザー	簡易式圧力計や歪みゲージと同程度の分解能が可能
音 波	ファイバーの伸縮、サニャック干渉計の非相対位相、曲げ損失	ダイアフラムの変位（干渉または非干渉検出）	マイクロフォンやPZTと同程度の感度
振動速度	ファイバーの伸縮、多モードファイバーのスペクトル、ファイバードープグレーティング	カンチレバーの変位、固体の光弾性効果、ドップラー効果、スペクトルパターンの変位	ng の高感度
変位・位置	曲げ損失、偏波面保存ファイバーの偏光変換、ダブルコアファイバー干渉計	外部干渉計（フィゾー、白色、ドップラー、周波数変調などの各干渉計）、強度変調連続波による距離測定、乱反射、レンズやミラーによる光ビーム変調、透光体の移動、光リニアエコーダー、光ポンプレーザー駆動干渉計	nm の高感度、広範囲の測定が可能
回転	サニャック干渉計、ファイバードープレーザー、ブリュアンレーザー	光ロータリーエンコーダー	機械式レートジャイロと同程度の分解能
流速・流量	ファイバードープグレーティングまたはファイバースペクトルによる渦振動周波数検出	ドップラー効果、散乱光の相関、ファイバードープグレーティングによる熱線流量計、ファイバードープ圧力計、タービン回転数の光ピックアップ、フレネルドラッグ	非接触・高空間分解能
磁界	磁歪効果またはローレンツ力によるファイバーの伸縮、ファイバードープグレーティング	固体のファラデー効果	超伝導量子干渉計に近い感度が期待できる
電流	ファイバードープグレーティングのファラデー効果、ファイバードープレーザー、ブリュアンレーザー	ガラスブロックまたはリングコア内固体のファラデー効果	感度は mA 程度だが非接触測定
電圧	電歪効果によるファイバーの伸縮、液晶クラッドファイバーの放射損失、ポリアリウムファイバーの電気光学効果	圧電結晶のポッケルス効果、フォトクロミック素子の光吸収、発光ダイオード	感度は mV 程度だが高絶縁・高速測定
成分・濃度	ファイバーの伸縮、光音響効果、エバネッセント波の吸収・蛍光・散乱、クラッドモードの放射損失、ファイバードープ物質の光吸収、曲げ損失	吸収、蛍光、化学発光、散乱、屈折率変化、曲げ損失	高感度でその場計測
レベル	クラッドモードの放射損失、端面反射	ファイバードープ圧力計、ファイバードープ位置センサー、プリズムの全反射	フロート式と同程度の感度
膜厚	偏波面保存ファイバーによる偏光変調エリブソメーター	偏波面保存ファイバーによるヘテロダインエリブソメーター	高感度で非接触
光・像	ファイバードープグレーティング・ドープ干渉計またはサニャック干渉計による分光、ドープ物質の蛍光、曲げファイバーの光ピックアップ、フォトクロミックファイバー	フーリエ分光、イメージファイバー	フリースペクトルレンジの小さい高分解分光が可能
放射線	光吸収、蛍光、チェレンコフ放射	シンチレーター	分布計測が可能

大きさをもつブリュアンシフトの簡便、ローコストな高精度検出であり、種々検討されているが現在のところいずれも高価で複雑なものである。

最近登場したタイプとしてファイバードープグレーティング (FBG) センサがある。Fig. 1 は FBG の模式図とその機能を示す。単一モードファイバにエキシマレーザーの干渉縞を照射し、光化学反応によって周期的な屈折率分布を誘起することで作製する (Fig. 2)。FBG は、格子の光学的ピッチの外部

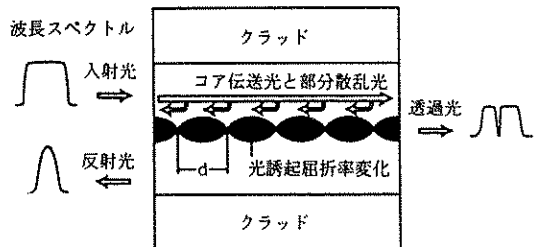


Fig. 1 Schematic diagram for fiber Bragg grating

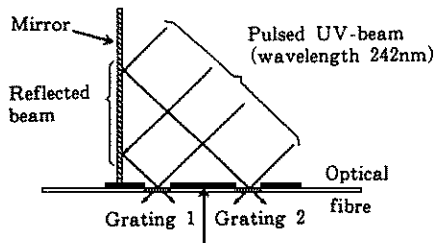


Fig. 2 Optical arrangement for fiber Bragg grating fabrication

摂動（歪み、温度、磁界など）による共鳴波長のシフトを利用するセンサである。FBGはまた、インラインファイバミラーやフィルターとしてファイバ干渉計センサの構成素子としても利用できる。FBGセンサの特徴としては、

- (1) 単純で安定な「自己干渉計」である。
 - (2) 波長検波である。
 - (3) ダイナミックレンジが広い。
 - (4) 光路長の絶対測定ができる。
 - (5) 格子間隔の調節や重ね書きによる多様なセンサ機能を付与できる。
 - (6) 波長多重による準分布センサに適す。
- などが挙げられる。

FBG温度センサの温度感度は、通常のGeドープ石英ファイバに対して共鳴波長のシフトとして、 $0.01\text{nm}/^\circ\text{C}$ 程度である。波長シフトの検出には、まず高分解能が必要であるが、実用面からは簡便であることが望ましく、そのため様々な波長シフト測定法の研究がなされてきている。現在よく使用されているは、固定型または走査型（含むロックイン型）の光路差のある干渉計（ファイバまたはバルク型のファブリペロ干渉計や光路差のあるマッハツェンダ干渉計）を用いる検出法であり、この方法は高分解能を確保するのに優れている。必要なファイバの位相走査には、PZTによる長尺ファイバの伸縮（数cmに及ぶものもある）がよく利用される。広帯域光源には、SLD、Erドープファイバンプ、LEDなどが多用され、波長多重化（WDM）など

を可能とする。DFBレーザの周波数変調分光によるAM検出も利用される。高圧トランス内の温度計測などが報告されている。

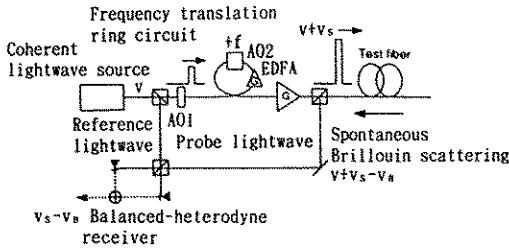
温度の絶対測定には、固体の蛍光寿命の温度変化の利用が便利である。種々の蛍光物質をドープしたファイバが開発されている。Cr:YAG(635nmLD 励起)の蛍光を使って、 $-25^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ の範囲で 0.1°C 精度を得ている。

(2) 圧力・歪み・荷重センサ

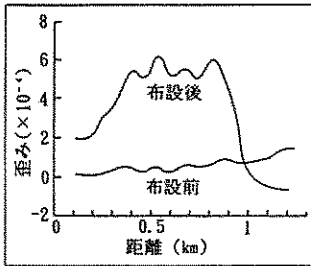
ファイバ干渉計による高感度の歪み計測に関しては、白色干渉を中心とする歪みの絶対測定の研究が盛んである。微小ギャップ（ $2\mu\text{m}$ ）の単一モードファイバ端面突き合わせの高フィネスFP干渉計（ゲージ長1cm）の位相を白色干渉で検出すると共鳴波長が顕著にシフトするので、 $0.015\mu\text{e}$ の高分解能が得られる。サファイアファイバ・ファブリペロ干渉計による 2000°C 以上の高温下での歪み測定もなされている。白色干渉で必要となる光路長の走査に反射ミラーの移動ではなく2モードファイバによる音響光学走査法も開発されている。

ファイバブリュアン散乱光のスペクトルシフトを適当な手法で検出すると、歪みの空間分布が測定できる。ブリュアンシフトの歪み依存係数は、 $1.3\mu\text{m}$ 帯の光に対して $0.5\text{MHz}/\mu\text{e}$ 程度である。この技術は、目下のところ高価なので、用途は通信用ファイバのモニタリング（Fig. 3）など特殊なものに限られている。交流（1Hz）の歪みの測定も行われている。

FBGのセンサ応用で現在最も関心を集めているのが簡便な歪みセンサとしての応用である。実際の歪みセンサでは、cmオーダの長さのファイバグレーティングセンサを対象物に固定する。波長シフトは、通常のGeドープ石英ファイバに対しては $0.001\text{nm}/\mu\text{e}$ 程度である。システムとして得られる歪み測定の分解能は、 $10\mu\text{e}$ 程度であり、 $0-1000\mu\text{e}$ 以上の広い範囲に亘って良い線形が得られる。



(a) Setup

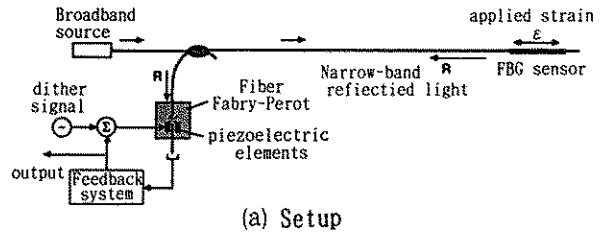


(b) Measurement

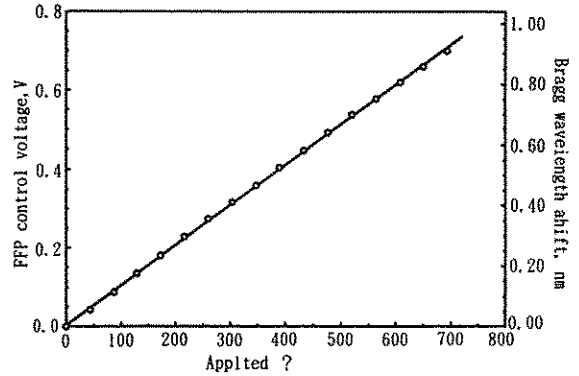
Fig. 3 Distributed strain sensing using fiber Brillouin scattering³⁾

スマートストラクチャとして、カナダでは実際の橋梁構造に組み込み、長期間に亘り変形のモニターとして良好な結果を得ている。波長多重と空間多重によるセンサの多点化（12個×5本）も実現されている。低コヒーレンス反射干渉法を組み合わせ歪みの空間連続分布を測定し、位置分解能 $150\mu\text{m}$ で、歪み分解能 $50\mu\epsilon$ を得ている。Fig. 4はFBG歪みセンサの構成と特性例を示す。

静的な歪み測定には温度の変動が誤差要因となる。FBG歪みセンサの場合、温度感度は $0.01\text{nm}/^\circ\text{C}$ 程度であるので、 $10\mu\epsilon$ の歪みと 1°C の温度変化が同程度の波長シフトをもたらす。そのため温度と歪みの分離測定が種々研究されている。必要な2つの独立な情報を得るために、シールドされた参照グレーティング、重ね書きした2波長グレーティング、異なるクラッド径の2つのFBGの連結その他の方法によって、 ϵ 、 ΔT を分離測定することが研究されている。最後の例では、最大誤差として、 $\pm 17\mu\epsilon$ 、 $\pm 1\text{K}$ を得ている。長周期ファイバグレーティングの現象を合わせ



(a) Setup



(b) Measurement

Fig. 4 Strain sensing using fiber Bragg grating⁹⁾

て利用したFBG歪み・温度の同時計測では最大分離誤差 $10\mu\epsilon/1\text{K}$ を得た。ブリュアン散乱センサにおいても、温度、歪みの分離計測が検討されており、ブリュアンパワーは温度のみによることに注目し、ブリュアンシフトの測定と合わせて温度、歪みを分離することなどが報告されているが得られている精度は十分ではない。

レーザ型の歪みセンサも研究されている。ファイバガイド光励起マイクロチップレーザを歪みセンサとすると、直交偏光2周波発振光のビート周波数の変化から荷重による歪みが検出できる。

ファイバのマイクロバンド損失に基づくセンサは構造が単純なので、早くから歪み、変形センサとしての利用が考えられきたが、複雑な損失特性の故、明確な設計理論もなく、用途もオン・オフ型のモニターに限られてきた。最近、金属スプリングに沿って単一モードファイバを接着するスパイラルファイバセ

ンサを構成する方式が開発された。その方式は、設計理論が明確であり、実験的にも0-10%の歪み範囲で優れた線形性、再現性を示す。

光弾性効果による圧力、荷重センサに関しては、構成の簡便化と安定化が行われている。感度を最大にするために通常の構成では必要になる1/4波長板の機能を、反射ミラーとして用いる2個のコーナーキューブ（全反射プリズム）で得、偏光子の波長依存性を利用した2波長法で安定性を高めた例がある。

(3) 音波

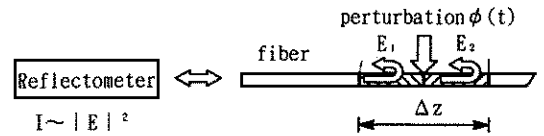
ファイバ干渉計ハイドロホンが実用化され、多点分布（40点以上）センサとして実用化されている。ヘアピン形状ブラチックファイバによる強い音場の空間分布測定もなされた。

(4) 振動、加速度センサ

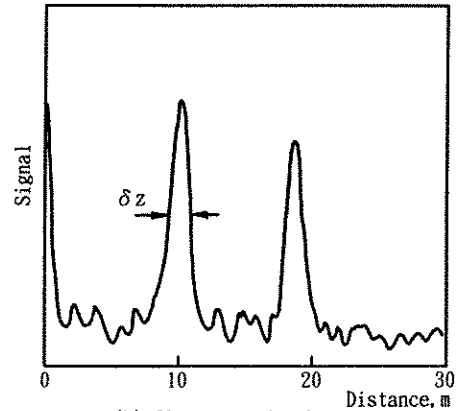
加速度センサとしては、1cm長のFBGを振動カンチレバーとして用いて、通常のSiセンサでは破損が起きるような100,000gの高g（9.8m/s²）を100μsの応答速度で測定した例がある。ファイバのレーリ後方散乱光の干渉をLDのFMCW法で検出し、分布型振動センサを構成した例もある（Fig. 5）。

(5) 回転

低コヒーレント光源（SLD）を使用した干渉型のファイバジャイロは実用期に入り、信号検出にオープンループ方式とクローズドループ方式（零位法）が開発され、位相変調器も光導波路型が開発されている。検出性能は0.02°/hから100°/hと種々存在する。カーナビゲーション用途には、月産5000台の大量生産ラインも完成している。飛行体、船舶、トラクターなど各種の移動体、地中探査などに応用される。Fig. 6は、ファイバジャイロの真北センサへの応用例である。また、10m以下の長さのファイバの利用で済むリング共振器型、FM検出にもつながる希土類ドーパファイバレーザやブリュアンリングレーザによるジャイロの研究も行われている。ファ



(a) System



(b) Characteristics

Fig. 5 Distributed interferometry using Rayleigh backscattering in optical fibers ; signal at perturbation frequency $f=70\text{Hz}$, $\phi=0.5\text{rad}$. Perturbation points are at 10m and 18m from the input end.¹⁰⁾

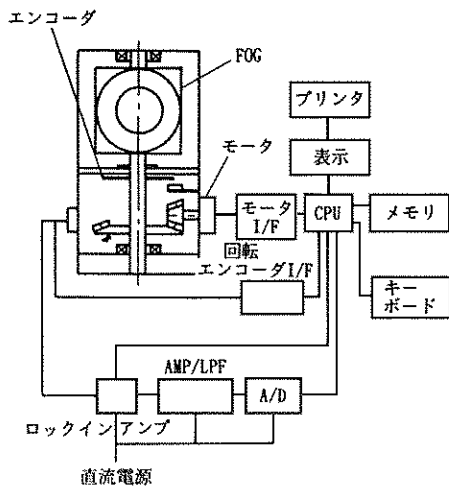
イバジャイロの基本原理であるサニャック効果の検出は、科学的な興味からも次々と新しい検出法のアイデアが発表されるテーマでもある。

(6) 変位、位置センサ

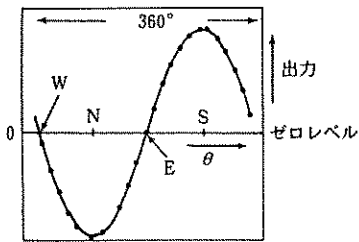
種々の形態のファイバプロープ型の変位、位置センサが開発されている。精密な変位計測には、ヘテロダイン干渉法が最も優れるが、ファイバ伝送に伴う2周波のクロストークによる混合による位相出力-変位関係の非線形性が課題であった。最近、これを解決する方法として、ファイバガイドを使ってマイクロチップレーザを遠隔、その場発振させて、伝送ファイバを必要としない構成ヘテロダイン変位センサが実現された（Fig. 7）。

(7) 速度、流量

フレネルドラッグをファイバリング干渉計で検出する流量計が新しく、性能も良い



(a) Setup



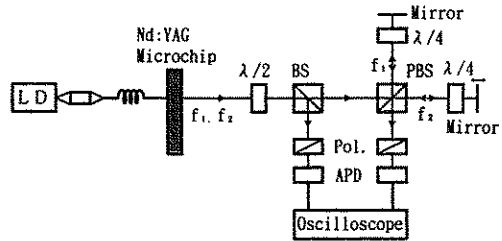
(b) Characteristics

Fig. 6 Full-automatic fiber gyro north sensor

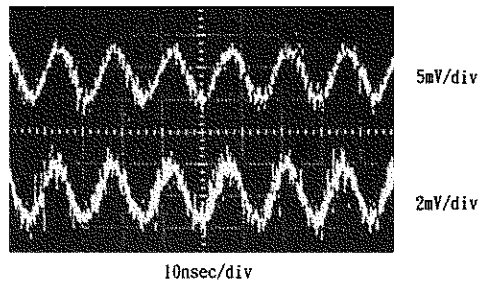
(Fig. 8)。

(8) 電流、磁界

電力応用の電流センサの性能向上に関する研究が盛んである。耐振動性、良好な温度特性、周辺電流の影響の除去、感度向上、さらに新しい測定法が研究されている。現在実用化されている電流センサには、ガラスブロック方式や高感度を特徴とする鉄芯リングコアギャップ・ファラデーセル方式がある。全ファイバ型に関しては、従来から、振動、温度変動、ファイバ曲げによる不安定さが課題で、多くの対策が研究されてきたが根本的な解決に至らなかった。最近、この不安定性の源である光弾性効果を殆ど生じない低光弾性係数の単一モードファイバがフリントガラスを素



(a) Setup



(b) Signal and reference beats

Fig. 7 Low crosstalk heterodyne interferometric displacement sensing using fiber-remote operated Nd:YAG microchip laser^{1,2)}

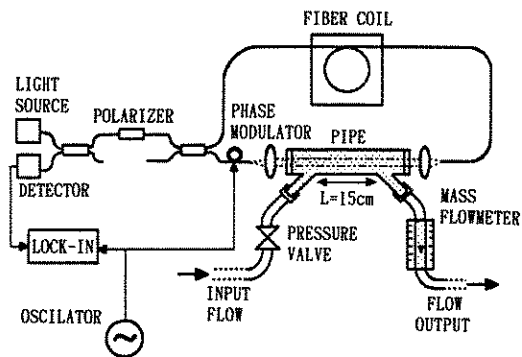


Fig. 8 Flow meter using fiber Sagnac interferometer^{1,3)}

材として開発され、ブレイクスルーをもたらすものとして注目されている。このファイバをセンサとすると、 $-20^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ の範囲で、 $\pm 0.5\%$ の安定度を得られ、振動の影響を殆ど受けない (Fig. 10)。ファラデーミラーを用いた振動による複屈折除去電流センサも報告されている。

ファイバの誘導ブリュアン散乱リングレーザを用いると、ファラデー効果による光ビー

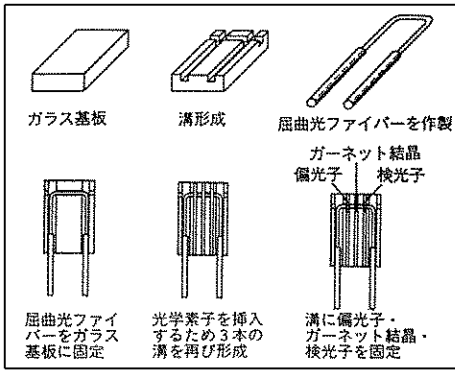
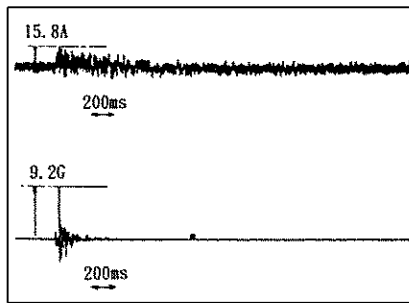
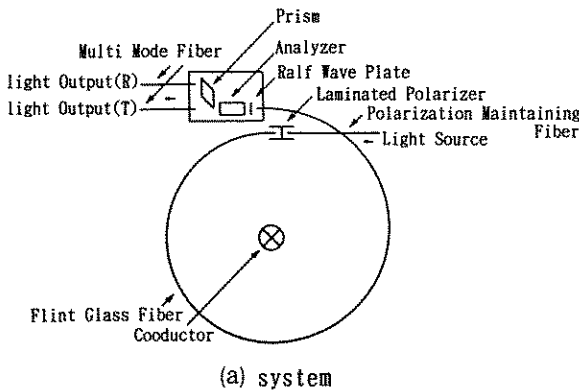


Fig. 9 Fabrication process of RIG optical flux meter¹⁴⁾



(b) Vibration characteristics

Fig. 10 Optical current transformer using a flint glass fiber for a gas circuit breaker¹⁵⁾

ト周波数の検出から、電流計測（感度126Hz/A）ができる。

送電線の地絡検出のために、ツイストファイバ（クラッド径80 μ m、ねじり70/m）を高圧ケーブルにピッチ25cmで螺旋状に巻いて

分布センサを構成し、ファラデー回転角および両端から流れ込む電流の光CTによる測定から地落位置を検出する実験が、25m長の高圧ケーブルに対して行われた。

光電流センサは、アンペールの周回積分則をベースとしているので、電流を正確に測定するためには「完全等方的な閉光路」条件の実現が前提となる。もしもこの条件が満たされないと、周辺電流や周辺磁界、さらに測定対象電流の位置にも影響を受け、誤差要因となる。従来これを原理的に完全に充足する方法はなかった。最近、この条件を理論的に完全に満たす方式が考案され、特殊に設計した誘電体反射膜をもつ多角形光CTで初めて実現された (Fig. 11)。

磁界センサに関しては、センサ素材が重要であるが、高感度ファラデー素材として希土類鉄ガーネット (RIG) 系の研究が種々なされて、良好な温度特性をもつものが得られるようになった。実用に際しては、磁区移動、抗磁界、磁気飽和など磁性体特有の現象を考慮する必要があり、センサとしての非線形応答の改良、ダイナミックレンジの拡大、さらに構成法の簡便・低コスト化が研究されている。Fig. 9は、RIG磁界センサの一つの簡便な構成方法を示す。

FGBの円複屈折性による共鳴波長の変化をERドープファイバを光源とするパスアンバランス干渉計によって検出することで1Gの磁界が検出された。

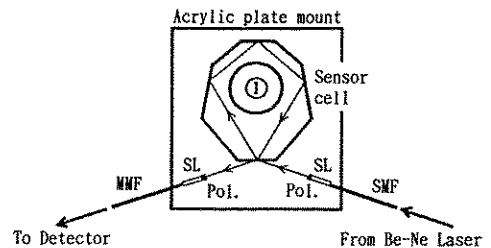


Fig. 11 Homogeneous isotropic closed optical circuit current sensor¹⁶⁾

(9) 電界、電圧

ファラデー効果と違ってポッケルス効果は通常のファイバには存在しない。しかし最近、ファイバの熱、放電または紫外線照射 (Fig. 12) を利用した電界ポーリング効果によって、半波長50V程度のポッケルスファイバが実現された。液晶クラッドファイバも、伝送損失が電圧で変調できる (Fig. 13)。

(10) 成分・濃度

光ファイバによる化学物質のセンシング方式には、ファイバ機能型とファイバ伝送線型 (オプトロード) それぞれが多くの化学物質

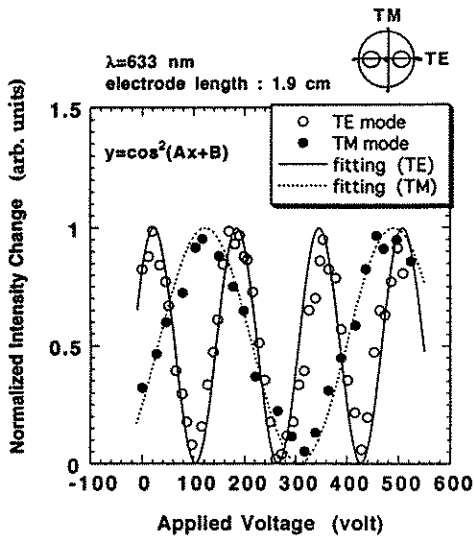


Fig. 12 Electro-optic modulation in germanosilicate fibre with UV-excited poling¹⁷⁾

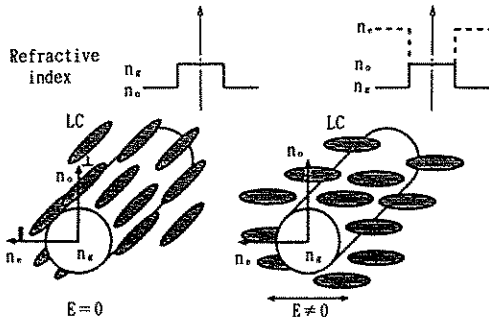


Fig. 13 Liquid crystal clad fiber¹⁸⁾

に対して研究されている。検出法は分光法が基本である。ファイバ機能型では、エバネセント波吸光・蛍光を利用し、クラッドをポーラスな感応物質で構成し、測定対象によるエバネセント波のスペクトル変化を検出する方式 (Fig. 14) が増えてきた。両タイプによる地下水、土壌、H⁺イオン、その他の多数のイオン、中性物質の検出がなされ、環境計測、バイオ医学計測に応用される。赤外ファイバ (フッ化物ファイバ、カリコゲナイトファイバ)、紫外ファイバ (純粋石英ファイバ) が実用的になり、ファイバによる分光計測の適用スペクトルの範囲が広がってきた。

クラッド屈折率変調タイプとして新しいものとしては、酸化ポリエチレンクラッド石英ファイバによる水分センサがある。酸化ポリエチレンをクラッドとして使用し、その屈折率が水蒸気の存在によって石英の屈折率の上から下へ変化することを利用して、オンオフタイプの水分センサ (80% RHと乾燥状態) を実現した。

また、ファイバ近接場顕微鏡の先端チップに蛍光体を付けたサブμmの空間分解能をもつpHセンサなどが研究されている。

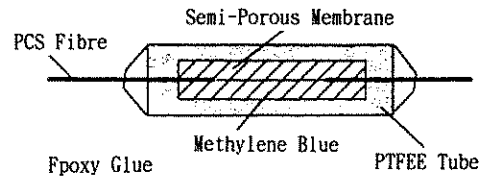
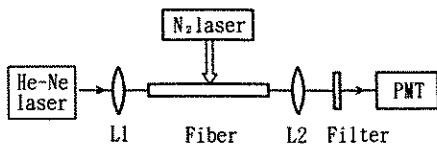


Fig. 14 Evanescent wave fiber pH sensor¹⁹⁾

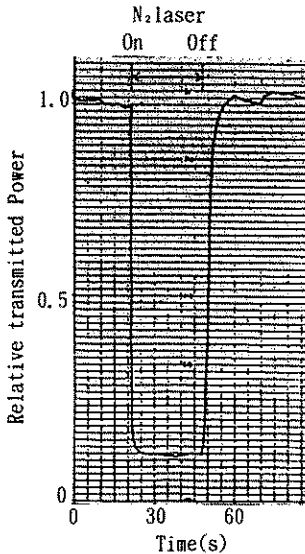
(11) 膜厚、光、像

赤外ファイババンドルの実用化による熱画像の伝送が可能となった。

ファイバチップをカンチレバー振動子とし、蒸着物質の堆積による共鳴周波数の変化を光で検出する方法で、蒸着物質の膜厚を測定した。レバーの振動エネルギーは、ファイバに断続光パルスを入射することで与えた。



(a) 実験装置



(b) 特性

Fig. 15 Photochromic fiber^{1,8)}

ホトクロミック素材によるファイバが作られており、それは紫外線センサとなる (Fig. 15)。X線やプロトンビームを単一モードファイバに照射し、光吸収による温度上昇をファイバ干渉計で検出すると実時間線量センサとなる。

3. おわりに

昨今のファイバセンサの研究状況は世界的に依然として活発であり、新しいセンサデバイスやセンサ方式の発表が絶えることなく続いてきている。今後も、新しい提案や新製品が登場して行くものと思われ、ファイバセンサ技術一般がその円熟期、完成期を迎えるのはまだまだ先になりそうである。

参考文献

- 1) 芳野 俊彦：ファイバセンサ・最近の話題、O plus E, No.205, pp.69-74(1996)
- 2) P.G. シンハ、芳野俊彦：低コヒーレンスファイバ干渉計—技術展望と新しい試み、O plus E, No.205, pp.85-91(1996)
- 3) Proc. 9th Optical Fiber Sensors Conference (Firenze) OFS-9 (1993)
- 4) Proc. 10th Optical Fiber Sensors Conference (Glasgow) OFS-10 (1994)
- 5) Proc. 11th Optical Fiber Sensors Conference (Sapporo) OFS-11 (1996)
- 6) 芳野 俊彦：ファイバセンサの最近の進歩と動向、システム/制御/情報、Vol.40, No.10, pp.437-443(1996)
- 7) 芳野 俊彦：最近の光ファイバ、光アライアンス、Vol.8, No.1, pp.1-5 (1997)
- 8) N.Tomita and M.Tateda: Monitoring system: optical fiber sensors for faults and water penetration and strain measurement equipment; Proc. OFS-11, pp.34-35 (1996)
- 9) A.D. Kersey, T. A. Berkoff and W. W. Morey: Fiber Fabry-Perot demodulator for Bragg grating strain sensors, Proc. OFS-9, pp.39-42 (1993)
- 10) R. Juskaitis, A. M. Mamedov, V. T. Potapov and S.V. Shatalin: Distributed interferometry using Rayleigh back scattering in optical fibers, Proc. OFS-9, pp.83-87 (1993)
- 11) T.Tanaka, M.Nara and T.Yoshino: Automatic north sensor using fiber-optic gyroscope, Appl. Opt., Vol. 33, pp.120-123(1994)
- 12) T.Yoshino, M. Kawata, M. Hayashi and Y. Takahashi: Frequency stabilized Nd:YAG microchip heterodyne laser, Proc. CLEO/Pacific Rim (Makuhari), PD2.10 (1995)
- 13) R.T. de Carvalho, J. Blake and W.V. Sorin: A Fresnel drag flow meter, Proc. OFS-9, pp.397-400 (1993)
- 14) 石塚 訓：希土類ガーネット結晶を用いた光磁界センサ、O plus E, No.205, pp.101-107

(1996)

15) S. Yoshida, K. Kurosawa and O. Sano: Development of an optical current transformer using a flint glass fiber for a gas circuit breaker, Proc. OFS-11, pp.172-176 (1996)

16) T.Yoshino, M.Gojyuki and Y.Takahashi: High isolation bulk Faraday effect current sensor; Proc. OFS-11, pp.292-295 (1996)

17) T. Fujiwara, D. Wong, Y. Zhao, S. Fleming, S. Pole and M. Sceats: Electro-optic modulation in

germanosilicate fibre with UV-excited poling, Electron. Lett., Vol. 31, pp.573-574 (1995).

18) T. Yoshino, Y. Takahashi, H. Tamura and N. Ohde: Some special fibers for distributed sensing of uv, electric field or strain, Proc. SPIE Vol. 2017, pp.242-254(1993).

19) B. J.-C.Deboux, E. Lewis, P.J. Scully and R. Edwards: A time division multiplexed multiwavelength optical fiber pH sensors, Proc. OFS-11, pp. 466-469 (1996).

若手懇談会の会員募集

ニューガラスフォーラムの若手懇談会では会員を募集しています。当懇談会は、若手がフランクに話し合える場を設けて、今後のニューガラスの研究課題や当フォーラムの運営などについて、忌憚のない意見交換を行うことを目的として平成2年に発足したもので、今年で7年目を向かえました。会員は産・官・学の若手により構成され、現在の会員数は60名、所属団体数は38にもものぼっており、人脈作りに大いに成果を上げています。

活動は2か月に1回開催される例会が中心で、そこでは主に会員の方々による話題提供が行われます。一般の講演会と違って、遠慮がなく質問できる雰囲気は若手懇談会ならではのものです。さらに、その後には講師を囲んで出席者全員による懇親会が行われます。担当者直々の苦労話や開発エピソードは、きっと会員の皆さんのお役にも立つはずで。昨年の例会では、SiO₂薄膜における青色電界発光、光ファイバグレーティング、プラズマディスプレイ用ガラス部材など多岐に渡る話題が紹介されました。また、会議室から飛び出して、東京理科大学の土谷先生の研究室の見学会も実施しました。

今年度の例会は、3月、5月、7月、9月および11月の開催を予定しています。話題は生体活性結晶化ガラス、抗菌砂、電気粘性流体などを予定しております。また、泊まり掛けでの見学会も計画中です。

例会の当日から入会できますので、下記にお問い合わせ下さい。

記

○会員資格 当フォーラム会員企業、官庁または大学に所属されている若手の方。

○問い合わせ先 ニューガラスフォーラム事務局（山口）

TEL 03-3595-2775 FAX 03-3595-0255

E-mail masayama@mxh.meshnet.or.jp