

# 光ファイバセンサ

## (ガラスで作る広域防災・構造物の神経網)

小川雅英

### 1. はじめに

我が国では多雨化傾向が強まり、大雨による洪水、地震や津波による自然災害が多発しております。このような状況から防災の考え方も「防災から減災へ」と、発想の転換が求められており、迅速でかつ、きめ細かな情報の収集と正確な情報提供が、国民の生命と財産を守るために重要になっています。今回、御紹介する光ファイバセンサは、センサ自体が強度的に保護されているガラス(光学受動部品)の新しいセンサで、道路・河川に整備されている光ファイバ網に直接接続し、各種の情報を収集して広域防災の情報提供に資することが期待されているものです。

### 2. 光ファイバセンサとは？

従来型の電気式センサと光ファイバセンサとの違いを示します(図-1)。従来型の電気式センサは、半導体、抵抗、コンデンサといった電子部品で構成されるのが一般的です。また電子部品で構成するため、これらを駆動するための電源(電圧/電流)が必要となります。電源から電圧/電流を加え、センサ部での温度、歪、圧力といった物理量の変化を電圧/電流の変化として捉えるのが電気式センサです。これに対

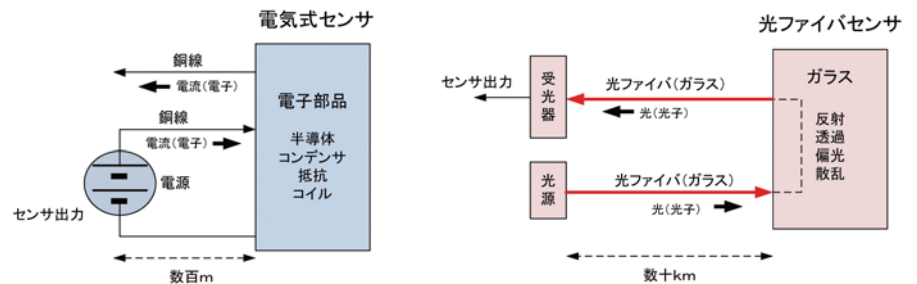


図-1 電気式センサと光ファイバセンサとの違い

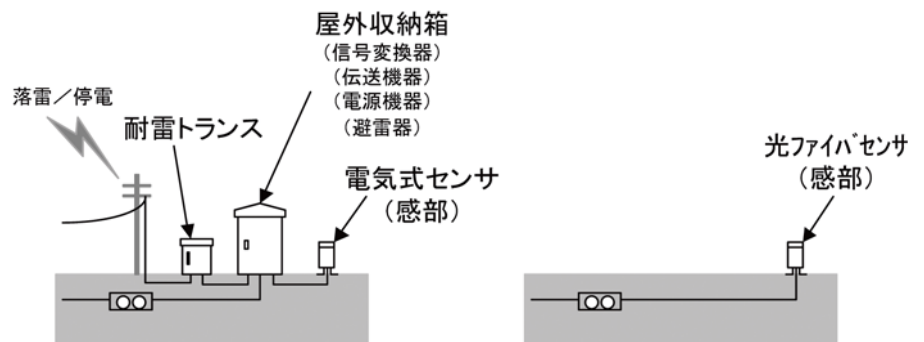


図-2 電気式センサと光ファイバセンサの設置個所機器構成の違い

し、光ファイバセンサでは、センサ部がガラスで、半導体、コンデンサ等の電子部品を使いません。光ファイバセンサの駆動には光源を使います。光源の光を光ファイバセンサに入射させ、周囲の物理量によって生じる透過光や反射光の変化を受光器で捉えます。電気式センサにおける「電流」が「光」に変わったと考えるとイメージしやすいと思います。光ファイバセンサを利用して広域のモニタリングシステムを構築することは、屋外の設備を銅線や電子部品ではなく、ガラスで構築できることを

意味しています。

### 3. 光ファイバセンサの特長

- ・電源が不要で停電に影響しない(光源から入射した光の変化を捉えるので、センサ部に電源は必要としません)
- ・センサ部に銅線、電子部品を使わないので雷に強い(素子にガラスの線を接続した構成なので、高電圧、電氣的ノイズ、落雷に対しても高い耐性を持っている)
- ・電源機器、避雷器、伝送・信号変換器、収納箱、局舎が不要となる

表-1 光ファイバセンサの種類

| センサ種別              | タイプ |               | 歪 | 温度 | 振動<br>加速度 | 圧力 | 電流<br>磁界 | 曲げ | 断線 | ON/OFF<br>光スイッチ | 用途／応用例   |
|--------------------|-----|---------------|---|----|-----------|----|----------|----|----|-----------------|--|
|                    | 分布  | ポイント<br>単点 多点 |   |    |           |    |          |    |    |                 |  |
| FBG                |     | ● ●           | ● | ●  | ●         | ●  |          |    |    |                 | ■FBGに加わる歪を計測<br>構造物の歪、水位計、温度計、圧力計、振動計、<br>構造物ヘルスマモニタリング  |
| ファラデー<br>(偏光)      |     | ● ●           |   |    |           |    | ●        |    |    | ●               | ■電線に流れる電流を計測<br>・光CT、電流センサ等<br>■磁石の近接を検知<br>・開閉検知、浸水検知、雨量計、光スイッチ等<br>■光ファイバに加わる振動を計測<br>・落石、土砂崩壊検知、衝撃検知等 |
| 干渉                 |     | ●             |   |    | ●         |    |          |    |    |                 | ■高感度で振動、加速度、衝撃等を計測<br>・光ファイバジャイロ、ソナー等  |
| レイリー散乱<br>(OTDR)   | ●   |               |   |    |           |    |          | ●  | ●  |                 | ■光ファイバの断線、曲げ、伝送損失を計測<br>・落石検知、侵入検知、土砂崩壊検知等   |
| ラマン散乱<br>(ROTDR)   | ●   |               |   | ●  |           |    |          |    |    |                 | ■光ファイバの長手方向の温度分布計測<br>・ケーブル／プラント温度監視、火災検知  |
| ブリルアン散乱<br>(BOTDR) | ●   |               | ● | ●  |           |    |          |    |    |                 | ■光ファイバの長手方向の歪分布計測<br>・構造物の歪計測、ヘルスマモニタリング   |

(光ファイバセンサで変化した光は、道路や河川に敷設した光ファイバで長距離伝送できる)(図-2)

- ・光ファイバで接続するので外来電氣的ノイズの影響を受けにくい(センサ信号を送信機器を介して送信する必要がありません)
- ・1心の光ファイバに多点のセンサを配置することができる(光ファイバ網を有効に活用できる)
- ・光ファイバの長手方向の温度や歪の分布量を計測できる

4. 光ファイバセンサの種類(表-1)

■FBG型(Fiber Bragg Grating)

FBGは、光ファイバ内に微細加工したセンサ(図-3)で、屈折率の異なる層を光ファイバ内に多段に作り込んで回折格子の役割をさせることで、ある特定の波長の光のみを反射させ、それ以外の波長の光を透過します。もともとは光通信機器用の光フィルタとして工業化されていましたが、反射波長が層の間隔に依存するので、構造物やダイヤフラムにFBGを張り付けることで、応力、歪、圧力、温度等を遠方から計測することができます。また1本の光ファイ

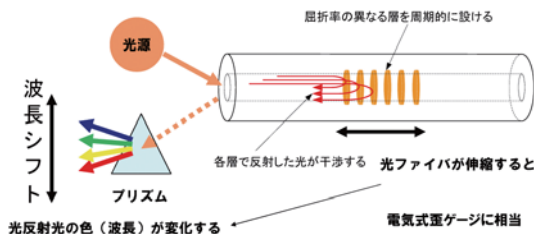


図-3 FBG光ファイバセンサ

バに直列にFBGを接続し、各々のFBGの反射波長を変えておくことで、1心の光ファイバ上に多点にFBGを配置することができます。現在世界で最も広く応用されている光ファイバセンサです。

■ファラデー(偏光)型

光の進行方向と同じ方向の磁界によって光の偏光面が回転する現象を利用したセンサで、電流計測、振動、磁石の近接等を計測できます。ファラデー型近接センサは、光ファイバの先端に取り付けたファラデー素子(磁界によって偏光角が変化する結晶素子)により磁石の磁界によって光を透過／反射する特性を持ち、ON/OFF信号を遠隔検知できます。電氣的ノイズの大きな箇所でのスイッチや転倒マス式雨量計、道路冠水センサ等に利用されています。

■干渉型

光ファイバ内に2つの波を入れる

と干渉光が発生します。干渉は光波の重なりで発生し、光の波長は数μmと非常に短いため、干渉型センサは非常に敏感なセンサとなります。光ファイバジャイロやソナーなどに利用されています。

■散乱光型(分布型)

光ファイバ自体をセンサとし、長手方向の温度や歪の分布を計測します。光ファイバ内で散乱される光には、レイリー散乱、ラマン散乱、ブリルアン散乱の3種類があり、これらの散乱光を検知することで、光ファイバ長手方向の断線、温度、歪等を計測することができます。

■その他

断線検知(光ワイヤーセンサ)、鉄道ガード下への衝突検知、光パルス型の風速計等への応用も検討されています。

## 5. 光ファイバセンサの動向

ファラデー型電流センサのように、古くから存在していた光ファイバセンサもありますが、海外では、石油掘削時の地層内温度や、風力発電機のプロペラの歪計測、電力ケーブルの温度監視等への適用が進んでいるようです。国内では光電流センサ、光ファイバジャイロ、データセンタサーバーラームの温度監視をはじめ光雨量計(写真-1)、冠水センサなどへの適用が始まっています。

2011年5月に開催された第21回光

ファイバセンサ国際会議(OFS-21)の論文数は363件、このうち、ポイント型/多点型センサは84%、分布型は16%でした。採択論文の地域別割合では、アジア太平洋地域(169件)、ヨーロッパ(113件)、アメリカ(75件)、中東(6件)で、国別では、第1位中国(95件)、第2位日本(38件)となっています。広域モニタリングへの適用はこれからですが、道路、河川や地域情報化等で光ファイバ網が整備されたのはごく最近で、これら光ファイバ網を活用して遠方、広域の様々な物理量をリモート



写真-1 光ファイバ式雨量計  
(ファラデー型応用センサ)

センシングすることが可能な時代となりました。また老朽化した橋梁等の構造物の維持管理(橋梁のヘルスマニタリング)への応用も検討が進んでいます。

(おがわまさひで：古河電気工業(株))