

## 光ファイバセンサを利用した積雪計及び路面温度計の開発

NTT アクセスサービスシステム研究所 正会員 小松宏至、奥津大、藤橋一彦  
 (株)東電通 江田晃一

### 1. はじめに

日本の国土の約6割が積雪寒冷地域で、そこに全人口の約4分の1の人々が生活しており、安全な社会生活を確保する上で、雪氷災害を軽減化することは今日でも重要な課題である。NTTにおいても、雪氷災害の軽減化に貢献することを目指し、光ファイバセンシング技術を活用した雪氷災害モニタリングシステムの開発に取り組んでいる。モニタリングシステムを構成するセンサとしては、積雪計、路面温度計、雪崩検知計、吹雪検知計などがあり、これらは給電不要な光ファイバセンサで開発を行い、現在実現場での試験を実施中である。本稿では、この中で積雪計、路面温度計の開発について述べる。

### 2. 光ファイバセンサの概要

光ファイバセンサにはいくつかの方式があるが、積雪計・路面温度計ともに、ブリルアン散乱光を測定解析するBOTDRを利用したセンサ構造とした。BOTDRはブリルアン散乱光の周波数シフト量が光ファイバに作用するひずみおよび温度と比例関係にあることを利用する計測器であるが、積雪計および路面温度計に関しては、いずれも温度依存性に着目した構造となっている。

#### 2.1 積雪計の測定原理および基礎実験

積雪計の概要を図1に示す。パイプ状の低熱容量材の高さ5cmに対して、3mの長さの光ファイバをらせん状に、均一間隔に、かつ一定のテンションで巻き付けてある。雪中と空気中とでは温度差があり、その温度差によるブリルアン散乱光の周波数シフトを高さ換算することにより、積雪の深さを測定する方式である。道路管理者のヒアリングを踏まえ、目標精度を±5cmに設定した。

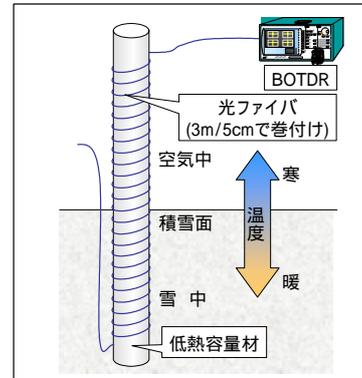


図1 積雪計概要

基礎実験の結果を図2に示す。積雪計を恒温恒湿槽内に設置し、雪の代わりに水を使用して気温・水温を変化させた。図2は、水深30cm・水温一定状態で気温を変化させたものである。気温の上昇に伴い、光ファイバのひずみが増大しているのが読み取れる。気温と水温の温度差によるひずみ差の最大地点が水面であり、光ファイバの分布データより境界面の判別が可能である事が明らかになった。また、温度差が大きいほどひずみ差は大きくなり、その境界面は明確になる。

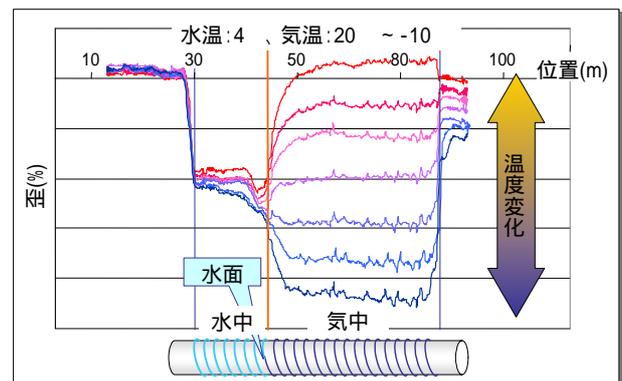


図2 積雪計基礎実験結果

基礎実験における、気中-水中の温度差と誤差の関係を図3に示す。温度差5以上の場合、100%の確率で目標精度をクリアするという良好な結果を得た。ただし、温度差が小さい場合には誤差が大きくなるため、実計測にあたっては、計測時間に注意する必要がある。

Key Word : 雪氷災害、光ファイバセンサ、BOTDR、積雪計、路面温度計

連絡先 : 〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 Tel : 029-868-6240、 Fax : 029-868-6259

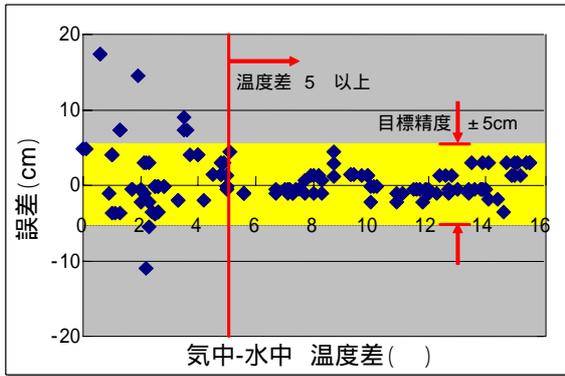


図3 積雪計基礎実験結果（温度差と誤差の関係）

## 2.2 路面温度計の測定原理及び基礎実験

路面温度計の概要を図4に示す。温度測定にあたり、光ファイバ単体でも温度変化に伴うブリルアン散乱光の周波数シフトが発生するため、そのまま光ファイバを設置しても計測は可能である。しかし、BOTDRの持つ計測誤差により、十分な精度は期待できない。そこで、高精度な温度測定を可能にするため、温度により伸縮する部材に光ファイバを巻き付け、部材の温度伸縮と光ファイバ自体の温度変化の合成によるブリルアン散乱光の周波数シフト量を測定して、温度を計測することとした。部材の選定にあたり、実験を実施し、最も感度が良好な硬質ビニル材を採用した。また、路面凍結の検知を目的としていることから、目標精度は $\pm 1$ に設定した。

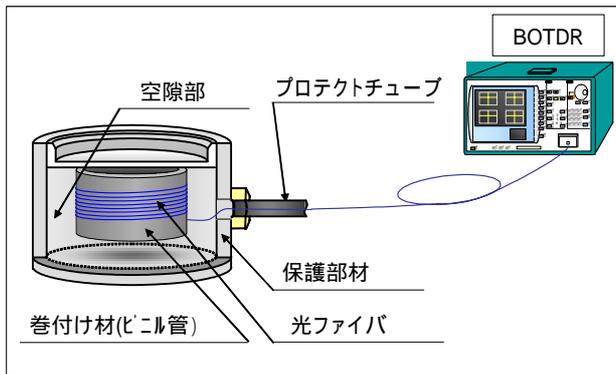


図4 路面温度計概要

基礎実験の結果を図5に示す。路面温度計を恒温恒湿槽に入れ、温度を変化させて計測を行った。計測の結果、温度とひずみは直線関係にあり、95%以上のデータが目標精度の誤差 $\pm 1$ 以内を上回るという良好な結果を得た。

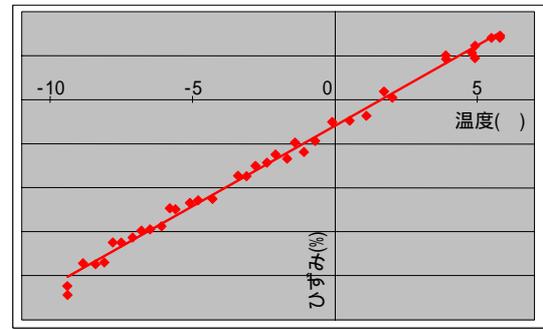


図5 路面温度計基礎実験結果

実現場での適用を目指し、研究所内で仮設舗装を作成し連続計測を行った。光ファイバ路面温度計は、その構造から、路面より若干内部に設置されるため、内部温度から路面温度を算出する必要がある。連続計測の結果を図6に示す。図6はある一日の温度変化を示している。図のように、内部温度と路面温度の関係は1対1に対応していない。また、その関係は天候等の条件により異なってくることが予想されるため、データを蓄積して算出手法を確立する。

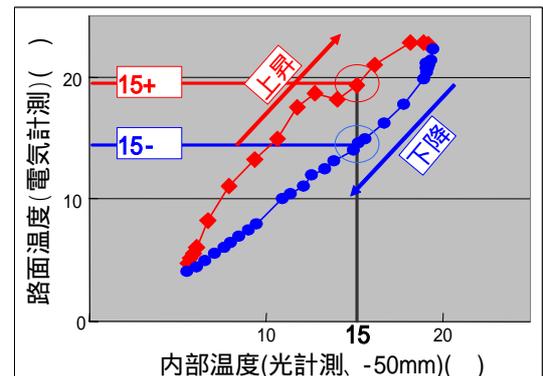


図6 路面温度計連続計測結果

## 3. おわりに

ブリルアン散乱光の温度依存性を利用した、光ファイバ積雪計および路面温度計の開発を行った。基礎実験の結果、両センサ共に良好な結果を得られた。路面温度計に関しては、地中温度から地表面の温度を算出する手法について課題が残ったため、引き続き実験を行い算出手法を確立する。さらに、現在実施中の実現場でのモニタリング<sup>1)</sup>において、厳しい条件下での精度および長期安定性の検証を進めていく予定である。

### 【参考文献】

- 1) 藤橋、佐々木ら：光ファイバセンサを利用した災害モニタリングシステムの開発、土木学会平成15年度全国大会（投稿中）