

多元多点光ファイバセンシングによる省エネ・防災システムの開発

小松康俊** 中野正行** 茅根直樹*** 篠崎 誠*

Multi-point/purpose Optical Fiber Sensing for Saving Energy and Disaster Prevention

KOMATSU Yasutoshi**, NAKANO Masayuki**, CHINONE Naoki***, SHINOZAKI Makoto*

抄録

データセンタの省エネ・防災の観点から、データセンタ内の多点温度・振動計測を目的としてBOF/DWPR方式のシステムを開発した。開発の中でスプリッタとダミーファイバコイルを用いたセンサネットワークトポロジーの特性を計算と実験で検証し、BOFの加熱処理によりセンサの特性均一化に成功し、BOF膜の断面観察を行って耐環境性に問題ないことを確認して当初の課題を解決した。最終的に8本のファイバを実装したシステムを試作し、実用的なセンシングシステムが構築できる可能性を示した。

キーワード：省エネルギー，省電力，CO₂削減，光ファイバセンシング，防災

1 はじめに

省エネ・防災の社会的重要性が増す中でデータセンタや工場等の省電力化と防災は喫緊の課題となっている。データセンタでは部屋全体を冷却する従来の温度管理は無駄な電力消費が多いので、ラックごとに温度を測って高温の部分を局所的に冷却する方法が検討されている。

この温度計測に最適なのが疑似ランダム符号関連方式を用いたDWPR(Dual Wavelength Push-pull Reflectometry) と BOF(Band-pass filter On Fiber-end)を応用した光ファイバセンシングである^{1),2)}。この方式は多点計測が可能で電磁ノイズにも強い特長がある。そこでデータセンタ内の多点温度・振動計測を目的として、ファイバネットワークトポロジーの最適化、センサの特性均一化、長期連続使用に耐えるセンサの高安定化を進め、実用的なセンシングシステムの開発を行った。

疑似ランダム符号関連方式を用いた DWPR のシステム構成を図1に示す。

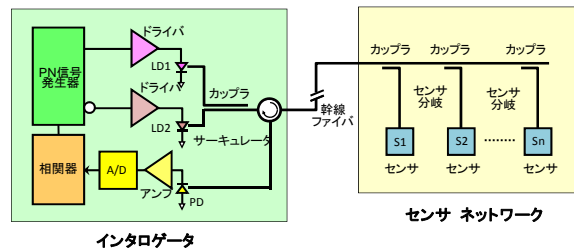


図1 DWPR システム構成

計測部であるインタロゲータからは疑似ランダム符号で変調された2波長のレーザー光が送出され、センサネットワークでカップラを介してセンサ分岐に分配される。センサでは BOF の特性により2波長に対する反射率が温度によってプッシュプルに変化する。センサからインタロゲータに戻った2波長のレベルを A/D 変換して疑似ランダム符号関連処理すると、OTDR(Optical Time Domain Reflectometer)の原理によりインタロゲータからセンサまでの距離とセンサの温度を同時に測定することができる。

** 株式会社 渡辺製作所

*** 愛知工科大学

* 試験研究室 金属材料・評価担当

図2にセンサに用いるBOFの構造を示す。BOFは誘電体多層膜により光学的バンドパスフィルタを光ファイバの先端に形成したもので、インタロゲータから送出される2波長のレーザ光に対する反射率が温度によりブッシュプルに変化するのでプローブタイプの温度センサに適している。

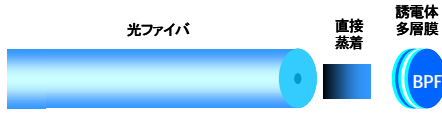


図2 BOFの構造

BOFの反射特性は図3に示すようにV字型をしている。実用的な多点測定システムでは全てのセンサが同一の特性を持っていることが要求されるが、成膜直後のBOFでは中心波長が6nmもばらついている。このバラツキの低減が必要である。

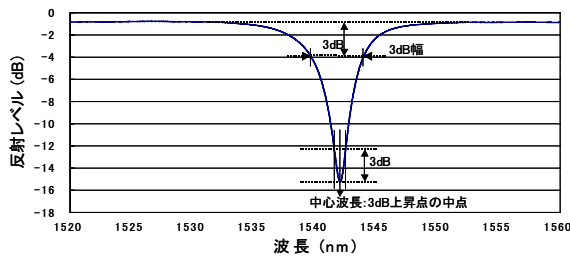


図3 BOFの反射特性

2 実験方法

2.1 多点測定トポロジー

多点測定を目的とするセンサネットワークのトポロジーには図1に示すバス型のほかに、図4に示すようにスプリッタとダミーファイバコイルを用いるツリー型も考えられる。

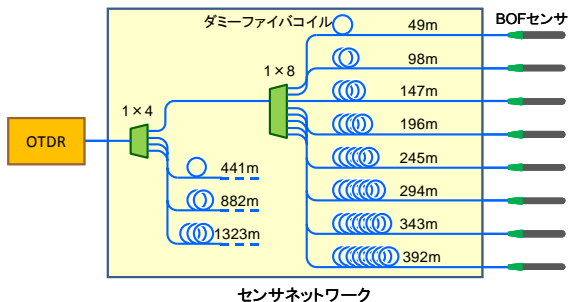


図4 ツリー型センサネットワークの測定

ツリー型の特長は全てのセンサからの反射光レベ

ルが本質的に同一となることで、バス型では全てのセンサからの反射光レベルを等しくするためにはカップラの分岐比を順次変える必要がある。また、DWPRではセンサを識別するのにセンサ間に距離差が必要となるので、スプリッタのほかにダミーファイバコイルが必要である。ダミーファイバコイル長は擬似ランダム信号のチップレートに依存し、今回のシステムでは49mの整数倍の長さを使用している。

光通信用のスプリッタには通常4分岐、8分岐、16分岐、32分岐があり、組み合わせ方で種類のトポロジーが考えられる。今回は図3に示すように4分岐と8分岐を組み合わせることで32点の測定を可能にするトポロジーを検討した。分岐が多いため反射光レベルが低くなりすぎることが懸念されるので反射レベルを計算で求め、OTDRによる実測で検証した。計算はネットワークを構成するデバイスのカタログデータを用いて行い、レベルダイヤグラムを作成した。実験による検証にはOTDRを図4のように接続して測定した。OTDRはネットワークを構成する光ファイバからの反射レベルを正確に測定できる。

2.2 センサ特性均一化

BOFの中心波長バラツキを低減するため、ファイバの代わりにファイバが埋め込まれたスタブを用い³⁾、スタブの端面に成膜されたBOFを加熱処理することを検討した。加熱処理によりフィルタの中心波長が長波長側へシフトすることはすでに知られている。スタブは図5のように電気炉を用いて加熱し、常温に戻して中心波長を測定した。

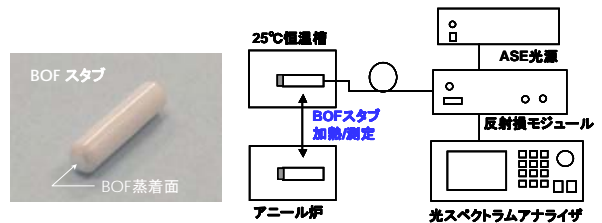


図5 BOFスタブと加熱処理方法

加熱は500℃～600℃の高温で行い、1分～2分加熱しては中心波長を測るサイクルを繰り返して中心波長をチューニングした。

なお、スタブを利用すると加熱処理が可能だけでなく、蒸着が容易になり、蒸着後のBOFの管理も容易になるといった大きな効用もある。

2.3 センサ高安定化

スタブに成膜されたBOFは光通信に広く用いられる材料から成り、化学的に安定である。とはいえ蒸着プロセスによって成膜されるため単結晶のように稠密ではなく、温度や湿度の影響により膜質が変化する可能性がある。そこで信頼性を試験するため、温度85℃、湿度85%の恒温恒湿状態に300時間以上曝す試験を行い、試験前と試験後の膜断面の変化を埼玉県産業技術総合センターにてSEMにより比較観察した。実用上はもっと長時間の試験が要求されるが、今回は探りテストなので300時間程度にとどめた。BOFの膜断面を観察するため、成膜されたスタブの端面は図6に示すように斜めに研磨されている。

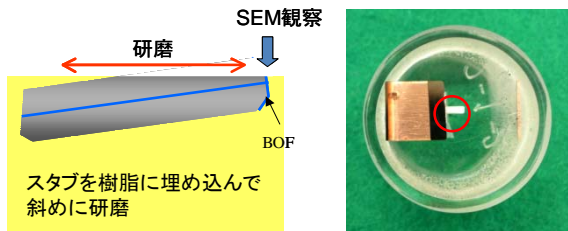


図6 スタブの斜め研磨とSEM観察

スタブを斜めに研磨するためにはスタブを傾けた状態で樹脂に埋め込み左図のように研磨する。右図は樹脂に埋め込まれたスタブを丸印で示している。

3 結果及び考察

3.1 多点測定トポロジー

4分岐と8分岐を組み合わせたツリー型の構成で反射光レベルを計算により推定した。LDの出力を6dBmとし、カプラ、サーキュレータなどのデバイスには市販品のカタログデータを使用した。結果のレベルダイヤグラムを図7に示す。

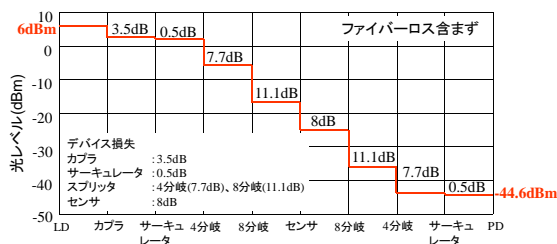


図7 ツリー構造のレベルダイヤグラム

インタロゲータ内のPDに戻る光のレベルは-44.6dBmで往復の全損失は50dBを超える。これは2段のスプリッタを往きと帰りに通ることによる損失が大きいためである。100点以上の測定を行うためにさらに4分岐すると反射光レベルが低くなりすぎて実用的でない。100点以上の測定にはマルチカード型の構成を導入する必要がある。

実験ではOTDRを用いて図4のように最初の8点のみセンサを設置して反射特性を測定した。結果を図8に示す。

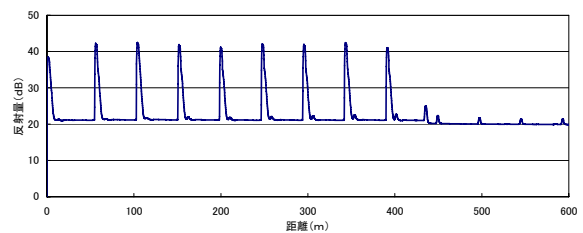


図8 OTDRによるツリー型構成の反射特性

0m付近にあるピークはOTDR装置パネルにあるコネクタからの反射を示し、それに続く8本のピークがセンサからの反射を示す。ダミーファイバコイルによる距離差でピークが等間隔に並んでいる。ピークの間に見える20dB程度のレベルは光ファイバのレーリー散乱によるものである。BOFセンサの測定には十分なマージンがある。

3.2 センサ特性均一化

加熱処理により特性の均一化を図った結果を図9に示す。左側に1533nmから1539nmまでばらついているのは成膜直後の中心波長のヒストグラムで、右側に集まっているのはチューニング後の中心波長ヒストグラムであり±0.1nm以下のバラツキに低減されている。

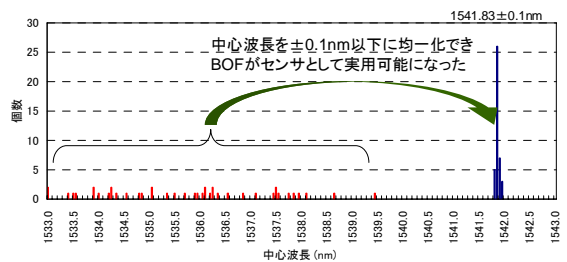


図9 加熱処理による中心波長のチューニング

3.3 センサ高安定化

恒温恒湿試験前後で膜断面の状態に変化がないかSEMで測定した結果を図10に示す。

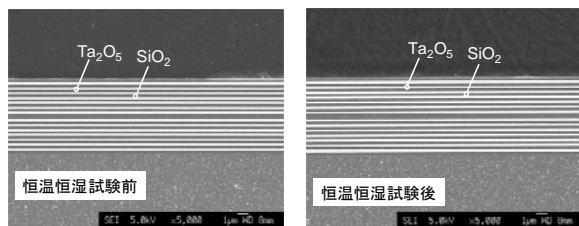


図10 恒温恒湿試験前後の膜断面 SEM 写真

SEMによる観察のためにスタブを研磨する必要があり、恒温恒湿試験前後では異なったサンプルを観察せざるを得ないが、写真を見る限り膜の状態、 Ta_2O_5 と SiO_2 の膜厚の比に変化はない。従って恒温恒湿試験前後で膜質に変化はないと考えてよい。また、別サンプルで試験前後の中心波長変化を調べたがこれも変化がなかった。

4 まとめ

データセンタの省エネ・防災の観点から、データセンタ内の多点温度・振動計測を目的として、センサネットワークトポロジー、センサの特性均一化、長期連続使用に耐えるセンサの高安定化の検討を行い、実用的なセンシングシステムが構築できる可能性が実証できた^{4),5)}。実際に、4分岐と8分岐で構成したツリー型センサネットワークに8本のセンサを実装した温度センシングシステムを試作することができた。図11に試作システムを示す。



図11 8連 BOF/DWPR 温度センシングシステム

今回の検討結果を踏まえ今後は次の展開を計画している。

(1) 32連の多点測定システムの試作

4分岐と8分岐を用いて32連のシステムを次の試作目標とする。32連のシステムを4枚のマルチカード型システムに拡張すれば128点の測定が可能になる。32連化のためセンサネットワークの損失バラツキ、偏波依存損失の低減といった改善および耐環境性を検討する。

(2) センサの均一性向上

今回センサの均一性向上についてBOFの中心波長バラツキを $\pm 0.1\text{nm}$ 以内に低減したが、均一性をさらに $\pm 0.02\text{nm}$ まで改善する。

(3) 振動センサの開発

防災の観点から今後の計画としてシステムに組み込む振動センサの開発にも取り組む。

参考文献

- 1) 井上恵一, 塚本信夫, 荻野峰夫, 山下喜市, 湯本 攻, 斧田誠一: 2波長疑似ランダム符号関連方式による BOF 温度センシングの試み, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, **CS-4-3**, (2007)
- 2) Komatsu, Y., Inoue, K., Nakano, M., Onoda, S.: Optical fiber temperature sensor using a thin film band pass filter and dual wavelength push-pull reflectometry, OFS19, Proc. SPIE, **7004-62**, (2008)
- 3) 小松康俊, 中野正行, 山口正剛, 斧田誠一: スタブ型 BOF を用いた温度センサプローブ, 電子情報通信学会総合大会, **C-5-5**, (2009)
- 4) 斧田誠一, 井上恵一, 小松康俊: 2波長プッシュプル反射計測方式による多点温度観測システム, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, **CS-3-3**, (2009)
- 5) 小松康俊, 永井竜二, 山口正剛, 斧田誠一: 高性能温度センサプローブの実用化, 電子情報通信学会総合大会, **CS-4-3**, (2010)