

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*** 増田伸二*

Multi-point/purpose optical fiber sensing for saving energy and disaster prevention

KOMATSU Yasutoshi**, NAKANO Masayuki**, CHINONE Naoki***, MASUDA Shinji*

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偏波依存損失を実験で検証し、BOFの加熱処理によりセンサの特性均一化に成功し、センサの環境試験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32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ため、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、センサの特性の改善、振動センサの開発を進め、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。

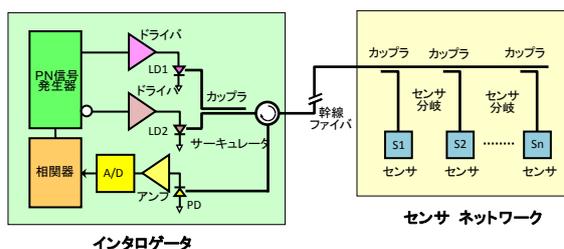


図1 DWPR システム構成

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。

* 現 北部研究所 技術支援交流室

** (株)渡辺製作所

*** 愛知工科大学

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波長のレーザー光に対する反射率が温度によりプッシュプルに変化する。このプロ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。

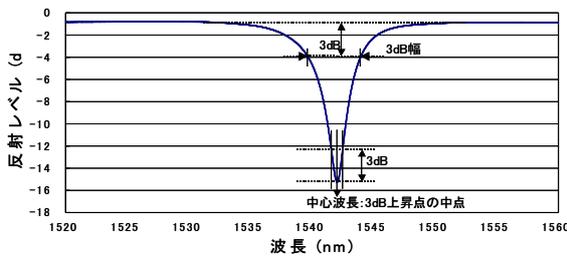


図3 BOFの反射特性

2 実験方法

2.1 32連温度測定システム

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。

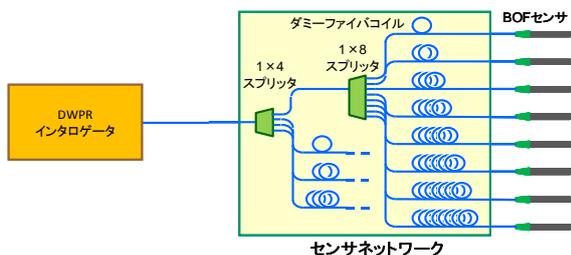


図4 ツリー型センサネットワーク

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変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を必要とするので、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4に示すように4分岐と8分岐を組み合わせる32点の測定を可能にするトポロジーを検討した。昨年度反射光レベルについて検討したの続き、今年度は偏波依存損失(PDL)について実測した。図5にセンサネットワークのPDL測定系を示す。

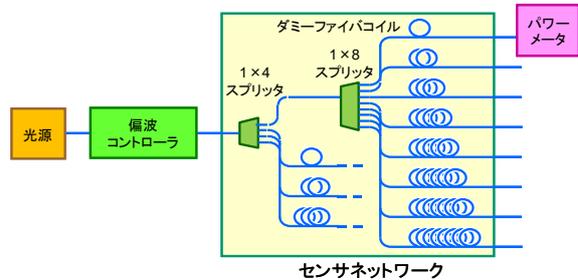


図5 PDL測定系

偏波コントローラを通して偏波がランダムに変化する光をネットワークに通し、出力レベルの変化をパワーメータで測ってPDLを測定する。

2.2 センサ特性の改善

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⁾、スタブ端面に成膜されたBOFを加熱処理することを検討した。図6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。

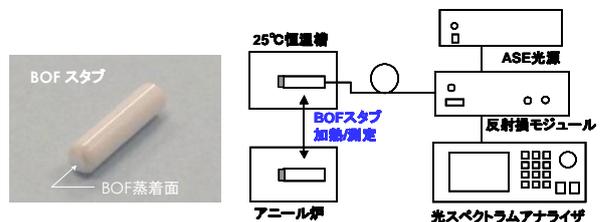


図6 BOFスタブと加熱処理方法

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。

また、センサ特性改善の一環としてセンサの信頼性について検討した。埼玉県産業技術総合センターの装置を利用し、-40℃で保存する低温試験、100℃で保存する高温試験、-50℃～100℃まで繰り返し変化させる温度変化試験を行った。

2.3 BOF 振動センサ

データセンタでは省エネと同時に地震の際のサーバ停止など、防災の必要性も増している。防災上は地震対策が最も重要である。

BOF は端面に垂直な力を加えることにより中心波長が短波長側へシフトするので、その原理を振動センサに応用することが可能である。例えば BOF をラックなどに突き当てる機構を設けることにより、ラックの振動を中心波長変化に変換することができ、DWPR 方式を用いて 2 波長の反射率比に変換することができる。今回は原理的な確認を行うために、図7に示すような機構を用いて BOF にかかる荷重と中心波長変化の関係を求めた。

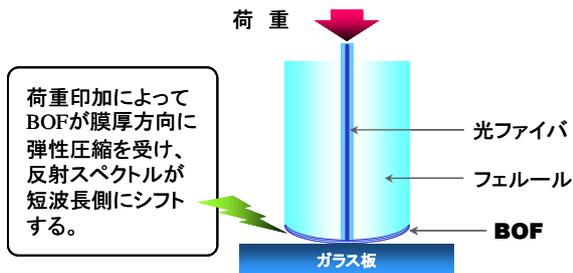


図7 BOF 振動センサの原理

3 結果及び考察

3.1 32 連温度測定システム

4 分岐と 8 分岐を組み合わせたツリー型のネットワークの PDL を測定した。結果を図8に示す。

ネットワークにおける PDL の主要因はネットワーク内部の 4 分岐スプリッタ、8 分岐スプリッタである。スプリッタでは分岐をする部分の素子がファイバのように軸対称でないために、偏波により損失が異なる現象が発生する。製品レベルで

は PDL ができるだけ少なくなるように設計されているが、通常 PDL は 0.1dB が仕様となっている。0.1dB は温度変化にして 1℃に相当するため誤差要因として無視できない。実測した結果 PDL は 0.01dB から 0.07dB に分布しており、図8のように温度にして 0.1℃から 0.7℃の測定誤差となり 1℃以下に収まっている。

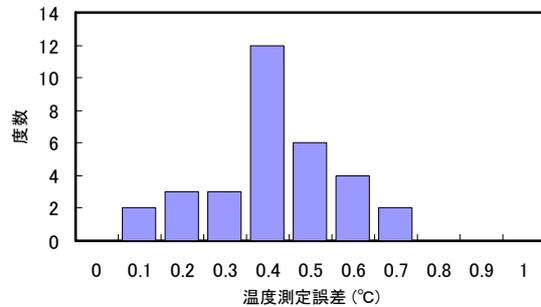


図8 PDL による温度誤差のバラツキ

3.2 センサ特性改善

加熱処理により中心波長の均一化を図った結果を図9に示す。左側に1534nmから1541nm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以下のバラツキでは100%、±0.02nm以下では約60%と大幅にバラツキが低減できている。

また、同時に行った信頼性試験でも良好な結果が得られた。

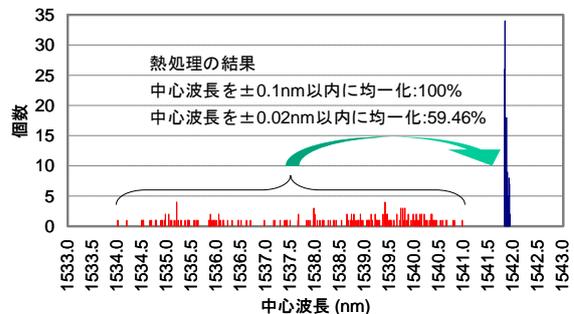


図9 加熱処理による中心波長のチューニング

3.3 BOF 振動センサ

図7の構成で荷重を変化させてBOFの中心波長変化を測定した結果を図10に示す。

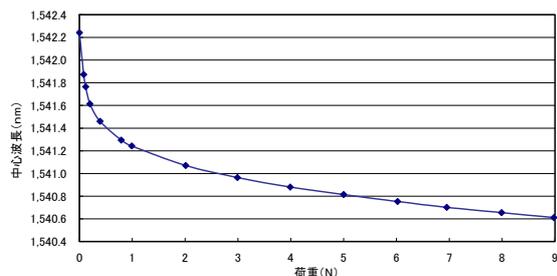


図 10 膜にかかる荷重と中心波長変化の関係

弾性球の接触の場合に使われるヘルツの公式を用いると中心波長が球面半径の 1/3 乗に反比例することが分かる。図 10 では実際に 1/3 乗に反比例する様子が現れており、理論とよく合っているといえる結果が得られた。

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ポロジ、センサの特性改善、BOF 振動センサの動作原理確認を行い、実用的なセンシングシステムが構築できる可能性を実証できた^{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 32 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。

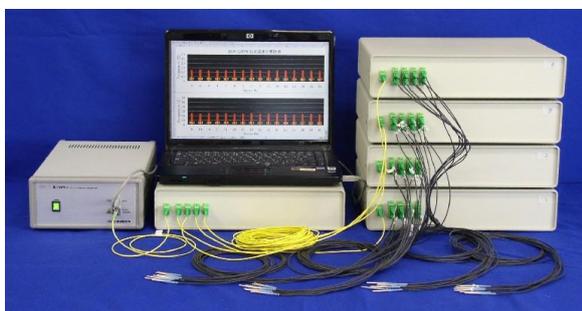


図 11 32 連 BOF/DWPR 温度センシングシステム

さらに、幸運なことに今回試作したシステムを実際のデータセンタに適用する機会が得られた。32 本のセンサをラックごとに設置し 11 日間にわたって温度変化を観測した。電気式センサでも BOF センサと同じ場所で同時に計測を行い、温度データを比較することができた。データの一例

を図 12 に示すが、電気式センサと非常によい一致が得られており、今回試作したシステムの完成度の高さが実証できた。結果として、空調電力量の 20%削減が期待できる見通しが得られた。

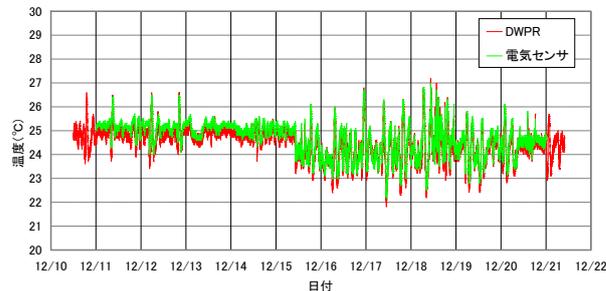


図 12 データセンタにおける温度測定例

参考文献

- 1) 井上恵一, 塚本信夫, 荻野, 山下喜市, 湯本攻, 斧田誠一: 2 波長疑似ランダム符号相関方式による 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)