

## 2 波長擬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 Trial of BOF Temperature Sensing on Dual Wavelength PNCR

井上 恵一<sup>1)</sup> 塚本 信夫<sup>2)</sup> 荻野 峰夫<sup>3)</sup> 山下 喜市<sup>4)</sup> 湯本 攻<sup>1)</sup> 斧田 誠一<sup>1)</sup>  
Keiichi Inoue Nobuo Tsukamoto Mineo Ogino Kiichi Yamashita Osamu Yumoto Seiichi Onoda

(株)渡辺製作所<sup>1)</sup> ディーエスピー技研<sup>2)</sup> (株)リンク<sup>3)</sup> 鹿児島大学<sup>4)</sup>  
WATANABE Co.,Ltd DSP Tech. Associates Inc. LINK Lab. Co., Kagoshima University

### 1. まえがき

筆者らはさきに 2 つの波長に対する反射率が非測定物理量によってプラスマイナス相補的に変化する反射センサを前提とした 2 波長プッシュプル反射計測方式 (DWPR: Dual Wavelength Push-pull Reflectometry) を提案した<sup>1)2)3)</sup>。FBG に代表されるように、従来のファイバセンシングの多くは測定量が単一であることから、系の外乱に対する耐性が十分でないことが多いが、提案方式では測定量が異なる波長に対する反射率の 2 つになり、さらにその比を取ることで、耐外乱性の高い計測が可能となる。そこで今回、かねて開発してきた PNCR<sup>4)</sup> (Pseudorandom Noise code Correlation Reflectometry: 擬似ランダム符号相関反射計測方式) を 2 波長に拡張した DW-PNCR (Dual Wavelength Pseudorandom noise code Correlation Reflectometry) を装置試作し、同じく DWPR センサとして製作した BOF<sup>5)</sup> (BPF On Fiber-end) と合わせて温度センシング動作を検証したので報告する。

### 2. DW-PNCR 方式

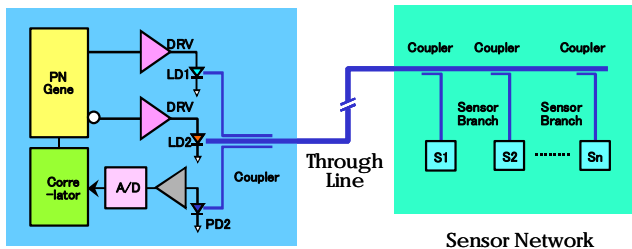


図1 DW-PNCRによるDWPRシステム図

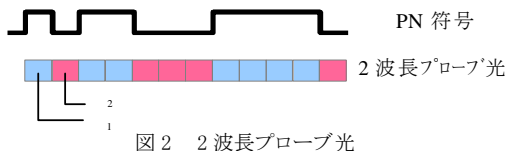


図2 2 波長プローブ光

DWPR のプラットフォームとしては、基本的に 2 波長の反射率比が取れて反射イベントの距離同定ができるものであれば何でもよい。ここでは方式的自由度があることとプローブ光のピークパワが小さくてすむことから、擬似ランダム符号相関方式を 2 波長に拡張した DW-PNCR 方式を採用する。基本構成を図 1 に示す。2 波長プローブ光の変調方式としては、図 2 のように PN 符号で 2 つの波長出力を切り替えてファイバ本線に送出する方式とした。BOF センサは本線からカプラ分岐した支線終端に設置する。各センサからの反射光は逆ルートを進んで送信側のカプラに戻り、OE 変換された後 ADC より相関処理部に入る。計

測シーケンスとしては、上記により 2 波長による反射レベル差を求め、別途第 1 の波長のみを動作させて得られる反射レベルと併せて 2 波長反射率比を演算する。

### 3. DW-PNCR のシミュレーション

系の試作に先立ってシミュレーションによる検証を試みた。BOF の反射スペクトル温度特性は試作 BOF<sup>5)</sup> の実データを用いた。シミュレーションの主要条件を表 1 に纏める。

表 1 シミュレーション主要諸元

プローブ光	波長 1	1,540.7nm
	波長 2	1,547.9nm
ファイバ本線	伝送損失	0.3dB/km
	送出パワ	0dBm
	挿入曲げ損失	2dB
	レーリ散乱レベル	-40dBm
センサ支線	カプラ分岐比	10dB
	カプラ反射減衰量	30dB
	分岐間隔	1,000m
	分岐点からのセンサ位置	200/100/300m
PN 変調	チップ速度	100MHz
	PN 符号長	2 <sup>16</sup> -1
	変調方式	PN 波長交番
受光系	S/N 比 (電気レベル)	70dB

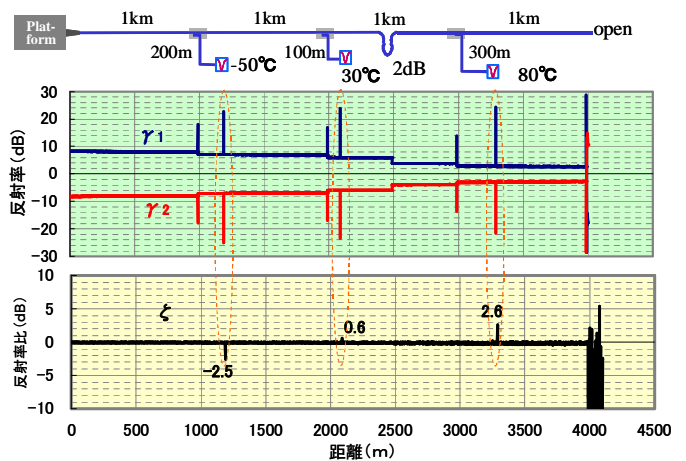


図3 シミュレーションによる反射応答と 2 波長反射率比

シミュレーション結果を図 3 に示す。同図上段にカプラとセンサおよび曲げ損の挿入位置を示した。下段は各波長に対応する反射応答とそのデシベル差を取った 2 波長反射率比の応答である。温度に比例した反射率比出力が得られている。

上図に見られるように、2 つの波長に対するファイバの伝送損 (レーリ散乱) やコネクタ反射、さらにはファイバの途中に挿入され

た曲げ損によるレーリ散乱レベルの段差などは、デシベル差(反射率比)を取ることによってすべてキャンセルされる。これは両波長の間隔が10nm程度と狭いことから、波長による有意差がないためである。このように、DWPR方式ではファイバ上に生ずる曲げや光接続条件の外乱に対して高い耐性をもつことが大きな方式的特長の一つになっている。なお遠距離ほど雑音の影響が出てくるのはセンサからの反射レベルが低くなることにより受光S/Nが落ちることによる。

#### 4. DW-PNCR の試作

表2 装置およびセンサ系諸元

DW-PNCRプラットフォーム	光源	DFB LD×2
	発振波長	1,529.9/1,542.6nm
	スペクトル線幅	<0.2nm
	チップ速度	6.25MHz
	PN符号長	$2^{21}-1$
	PN変調	PN波長交番
	光送信パワ	-6dBm ave
センサ系	BOFセンサ	TiO <sub>2</sub> /SiO <sub>2</sub> 2キャビティBPF (平面研磨SiO <sub>2</sub> フェルール)
	BOFセンサ数	1
	ファイバ	単一モードファイバ
	ファイバ長	1,000m

DW-PNCRのプラットフォーム装置を試作し、別途製作したBOF温度プローブと併せてDWPRによる温度センシングの実験を行った。表2に装置およびBOFの主要諸元を示す。写真1は装置外観である。



写真1 装置外観

実験結果を図4に示す。上段は2つの波長に対する相関応答波形である。近端における反射ピークは装置出口のコネクタ反射によるものである。同図下段は両波長応答のデシベル差を求めたものである。センサにおける反射率比のみが出力されていることから、DWPR機能が達成されていることがわかる。

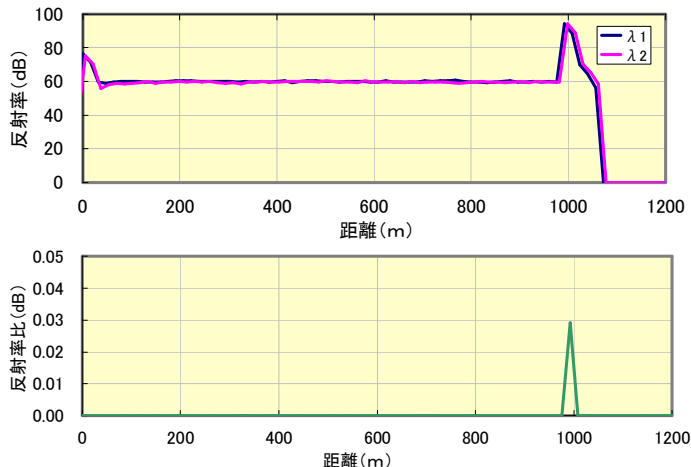


図4 2波長反射相関応答

図5はBOFセンサの温度を振ったときの熱伝対温度と2波長反射率比と(dB)の関係をプロットしたものである。両者はさきに解析報告したようにリニアな関係にある<sup>1)</sup>。最小2乗直線による1℃あたりのデシベル変分は0.027dBであった。

図6は最小2乗直線からの偏差をプロットしたものである。ほぼ±1℃の精度で温度計測できていることがわかる。この偏差は反射率および温度の読み取り誤差によるものである。

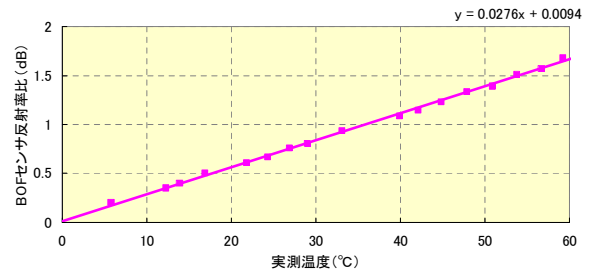


図5 温度検出特性

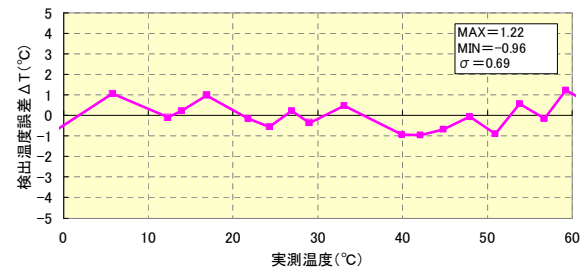


図6 温度検出偏差

#### 5. あとがき

DW-PNCRをプラットフォームとしたBOF温度センシングの可能性をシミュレーションと実験から検証した。外乱に強い方式的特長に加えて従来のFBG方式に比べて大幅なコスト低減を狙っている。早期に実用に供すべく、引き続き方式の完成度を高めていきたい。

#### < 謝辞 >

本研究に関しつねに有益なアドバイスを頂くNTTフォトニクス研究所長瀬亮主幹研究員に深く感謝申し上げます。また、装置試作に協力を惜しまなかった渡辺製作所開発部の会田、中田両氏にも感謝します。なお、本研究の一部は2005年度の経済産業省地域新生コンソーシアム事業の一環として実施されたものであることを付記したい。

#### < 参考文献 >

- 1) 信学総大 2007.3 C-5-13 斧田、塚本、荻野、丸山、山下 “2波長プッシュプル反射計測方式(DWPR)の提案”
- 2) 信学総大 2007.3 C-5-14 斧田、井上 “BOFによるファイバ温度センシングの提案”
- 3) 信学総大 2007.3 C-5-15 斧田、中野、井上 “SDFによるファイバ変位センシングの提案”
- 4) 信学総大 2006.3 C-5-12 斧田、井上、中田、湯本、塚本 “擬似ランダム符号相関方式によるファイバレーリ散乱の検出”
- 5) EMD研 2007.8 斧田他 “BOF反射スペクトルの温度依存性”