

光周波数シフターを含む周回ループ光源を用いた 光波コヒーレンス関数の合成による遠方監視用 リフレクトメトリー

保立 和夫・才田 隆志*

光回路内部での反射の様子を知ることは、光回路の特性評価・故障診断を行う上で重要であり、リフレクトメトリーは高度な光通信ネットワークを構築していく上で必須のツールである。すでに、光ファイバー伝送路など長距離レンジのリフレクトメトリーとして OTDR (optical time domain reflectometry) 法が使われており、また光部品など短距離レンジのリフレクトメトリーとしても低コヒーレンス干渉を利用した製品が市販され始めた。一方、光加入者網の進展とともに、加入者宅内やその近くに設置された光回路を局舎からモニターできる中距離レンジのリフレクトメトリーが必要となってきている。ここでは数 km 遠方での反射光分布をセンチメートルの分解能で診断できる性能が求められる。しかし、従来の手法でこのような性能を達成することは、かなり困難である。

本稿では、当研究室で発明した「光波コヒーレンス関数の合成」技術を応用して、上記の要求に応える中距離レンジの測定技術を開発したことを紹介させていただく。

1. 干渉性（光波コヒーレンス関数）の合成

最近市販されている波長可変レーザーには、コヒーレンス制御スイッチが付いている。これは電流により半導体レーザーの発振光周波数を変調し、擬似的にスペクトルを広げてコヒーレンスを低下させる原理に基づいている。

筆者らの研究室で発明した「光波コヒーレンス関数の合成」とは、コヒーレンス長の制御だけでなく、光路長に対する干渉性能の関数、つまりコヒーレンス関数を任意に合成することを目的とする技術である¹⁾。

図1に干渉性合成の原理を示す。ポイントは光周波数を高速に変調できる光源を用いて干渉計を構成し、参照光路に位相変調器を設置するところにある。光源の光周波数はデジタル的に変調され、これに同期して参照光の位相もデジタル的に変調される。

瞬時には、図1のスクリーン上には瞬時の光周波数（光波長）に応じたピッチの干渉縞が観測される。干渉縞の位

相は光位相変調器で与えた位相差となる。したがって変調が観測時間よりも十分高速であれば、スクリーン上には各ステップにおける干渉縞の和が合成される。これは干渉縞をフーリエ合成していることに相当し、本技術により任意の干渉特性が実現できる²⁾。例えば図1のような特定の位置でだけ干渉する特性を合成でき、逆に特定の位置でだけ干渉しない特性も実現できる。ここで光路長差ゼロの点でも干渉しないことに注意されたい。

筆者らはこの「光波コヒーレンス関数の合成技術」を用いて、機械的可動部分が不要な高分解能リフレクトメトリー、遠方監視用のリフレクトメトリー、光トモグラフィへの応用を念頭においた2次元光情報処理、偏波保持光ファイバーを利用した分布型光ファイバー応力センサー、複

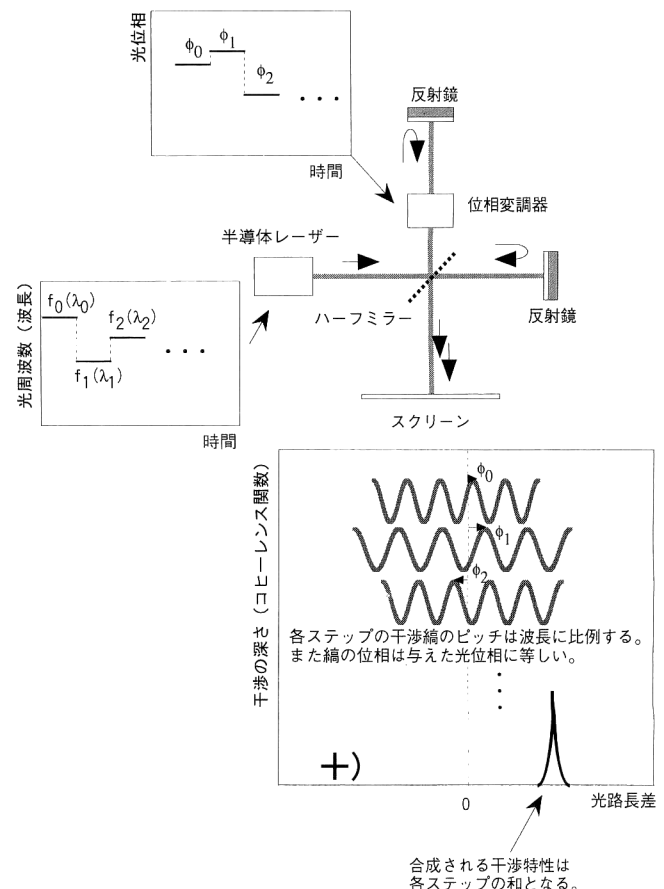


図1 光波コヒーレンス関数の合成法の原理図。

東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: hotate@sagnac.t.u-tokyo.ac.jp

*現在: NTT 光エレクトロニクス研究所光複合部品研究部 (〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根 162)

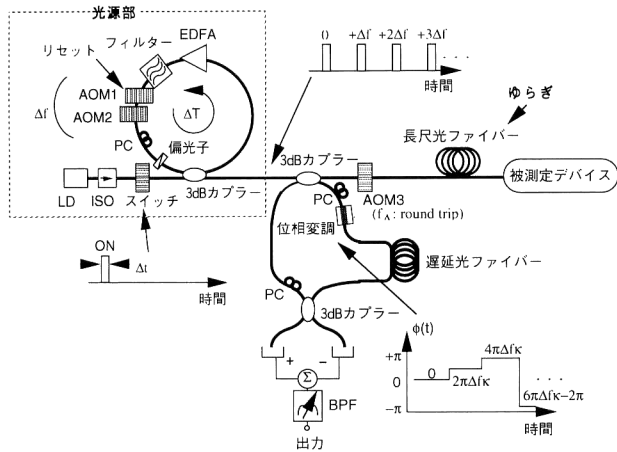


図2 コヒーレンス関数の合成による遠方監視用リフレクトメトリーの実験系構成図。

数面の中のある面の形状を測定する位相シフト干渉計などについて研究を進めてきた¹⁾。本稿ではこのうち、遠方監視用のリフレクトメトリーについて紹介する。

2. 周波数シフトを含む周回ループ光源を用いた遠方監視用リフレクトメトリー

遠方監視用リフレクトメトリーの基本実験構成図を図2に示す³⁾。光源には周波数シフターを含む光ファイバーループを用いている。光回路からの反射戻り光と参照光を干渉させる構成である。光ファイバーループ光源には外部からループ周回時間より幅の短い光パルス（光周波数 f_0 ）が入射する。光パルスはループ中を周回しながら一部が外に出てくるので、ループからの光パルス列の光周波数は、 f_0 , $f_0 + \Delta f$, $f_0 + 2\Delta f$, ... と順次変化する。すなわち、この構成でデジタル的な光周波数変調を実現することができる。

上記のように光パルスを用いているので、干渉するためには反射光パルスと参照光パルスがほぼ同時に受光器に達する必要がある。したがって、参照光路長を被測定デバイスの中央付近からの反射光の光路と同じ程度にしておけば、中央付近の反射光だけが取り出されることになる。一方、コヒーレンス関数の合成技術を用いてこの領域の中のある箇所からの反射光だけが干渉するようにすれば、詳細な反射光分布が得られる。

これに対して被測定デバイスの奥のほうを測定するときは、ヘテロダイン検波するときの電気段でのフィルター周波数を変化させる。例えば、信号光のほうが参照光よりも Δf だけ低いという条件で中間周波数フィルターを設定すれば、これはループ中を m 周回した信号光と、 $(m+1)$ 周回した参照光との干渉をみていることに相当する。言い換えれば、このときの光路長差ゼロの点は、中央付近からループ長 L だけ遠くにあることになる。2つの光はバイアス

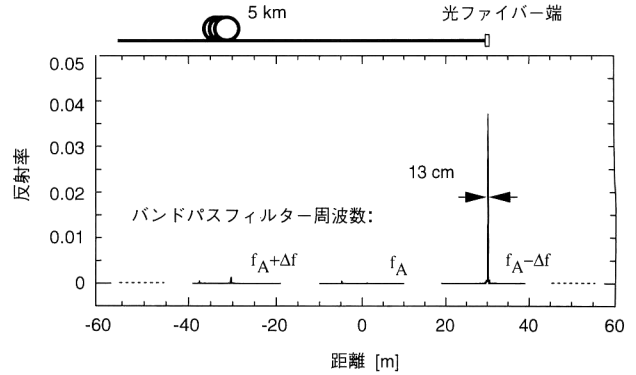


図3 実験により得られた反射光分布。ヘテロダイン検波出力段のバンドパスフィルター周波数を f_A , $f_A + \Delta f$, $f_A - \Delta f$ と切り替えている。

分 Δf を無視すれば、やはり光周波数変調と位相変調を受けており、コヒーレンス関数が合成されている。したがって、これにより詳細な反射光分布が得られる。電気段でのフィルター周波数を変えれば、逆に手前での反射光分布を得ることも可能である。

開発した遠方監視用リフレクトメトリーを用いて、5 km の光ファイバ遠端付近を測定した結果を図3に示す。電気段でのフィルター周波数を変化させてみる位置をスイッチし、そこでの反射光分布をコヒーレンス関数の合成技術により得ている。中央に光ファイバ端面からの反射が観測されている。S/N 的にまだ余裕があるので、さらに遠方での測定も可能である。測定の空間分解能は約 13 cm である。ここで、空間分解能はデジタル的な光周波数変調の変化幅で決まり、この幅が 1.5 GHz のとき 10 cm となる。光が光ファイバ周回ループ中を伝搬するのに伴い光増幅器での雑音が増加し、周回数、つまり光周波数変化幅が制限される。しかし、分解能数 cm は十分達成可能である。

この手法は、光源に変調特性が要求されないので光源を選ばないという特長がある。インサービスで通信路をモニターするために、より損失に敏感な 1.6 μm 帯を用いようという試みもあるが、筆者らの開発した手法では光源を 1.6 μm に変えるだけで、この要求に応えることができる。

文 献

- 1) 例えば、保立和夫、何 祖源、才田隆志：精密工学会誌，64，(1998) 1279-1284，およびその参考文献を参照されたい。
- 2) T. Okugawa and K. Hotate: Photonics Technol. Lett., 8 (1996) 1710-1712.
- 3) T. Saida and K. Hotate: Proc. IOOC/ECOC '97 (Edinburgh, 1997) pp. 283-286.

(1998年11月20日受理)