

令和 3 年 6 月 28 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01455

研究課題名(和文)ファイバブリルアン光相関領域歪・温度分布測定法の機能高度化とシステム簡素化の両立

研究課題名(英文)Function enhancement and system simplification of fiber Brillouin optical correlation domain strain/temperature distributed measurement system

研究代表者

保立 和夫 (Hotate, Kazuo)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60126159

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：光ファイバに沿う温度・歪分布を高空間分解能で計測でき、橋梁等の大型構造物の健全性診断を実現する、独自の「ファイバブリルアン光相関領域リフレクトメトリ法」に関して、システム構成を簡素化しつつ機能・性能は維持する為の研究を展開した。システム出力中の雑音成分を低減する2簡素化手法を提案し、その機能向上を果たした。光ファイバ長を延伸する独自2手法により増加する雑音も上記簡素化手法を併用することで低減可能なことも実証できた。シミュレーションと実験を並走させて、これら手法を融合したシステム中で重要となる光強度変調や光周波数変調を適正化する波形合成技術ならびに新たな分布計測原理等の提案・実証による成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の対象は、独創性の高い光ファイバ分布型センシング技術である。分布計測法として一般的な手法は、光パルスを入射して後方散乱光を時間分解測定するものであるが、空間分解能数cmといった高性能を実現するには高速エレクトロニクスが必須であり、また計測原理となる光ファイバ中の物理現象が計測性能に限界を与える。これに対して、本方法では上記の問題が解決され、ミリメートルオーダの空間分解能や任意複数点での動的・同時歪計測等のユニークな高機能が提供される。また、本技術は、持続可能社会の実現に必要な社会インフラ構造物等の活用年限の延伸を図る為に要求される構造物健全性診断技術を提供するものである。

研究成果の概要(英文)：We have accumulated research results to simplify a system configuration of our original technology “Brillouin Optical Correlation Domain Reflectometry” with keeping measurement functions. The system can realize a distributed measurement capability of strain and/or temperature along an optical fiber with a high spatial resolution to provide structural health monitoring function for large-scale ones, such as bridges. Two schemes for reducing the noise components in the system have been proposed, and these performances have been improved. It has been confirmed that the additional noise components introduced by two other original schemes for elongating the fiber length can also be reduced with using the two noise reduction schemes. These results have been obtained through the two research ways of simulation and experiment in fabricating appropriate waveforms to modulate the optical intensity/frequency and a new distributed measurement mechanism used in the total measurement system.

研究分野：センシングフォトニクス

キーワード：計測システム 光ファイバセンサ 分布型センシング スマート材料・構造

1. 研究開始当初の背景

持続可能な社会を実現する為に、ビル、橋梁、パイプライン等の社会インフラの稼働時間の延伸と健全性診断技術の開発が望まれる。光ファイバを伝搬する光波特性は加わる歪や温度をセンシングする機能を提供する。光ファイバに沿うこれら物理量の分布を計測できれば、光ファイバは人体での神経網のように作用し、大型構造物の健全性診断技術を提供することになる。

研究代表者は、独自の「ブリルアン光相関領域リフレクトメトリ法 (BOCDR 法)」に関して、基盤研究(S)等による研究で成果を蓄積し、2016 年度末、光ファイバに沿う歪・温度分布を、光ファイバ長と空間分解能の比 134,000 (5,280m/3.95cm) にて測定できる高機能システムを構築・稼働させていた。これは、4つの機能向上要素手法の統合による成果であり、システム構成は若干複雑となっていた。一方、申請年度前年には、要素手法のひとつを簡素化できる新アイデアも創案するに至り、BOCDR (Brillouin Optical Correlation Domain Refletometry) 法の機能・性能を維持しつつシステム簡素化も同時に達成する研究を進めることとした。

2. 研究の目的

本研究は、航空機や橋梁等に「光ファイバ神経網」(図 1) を張り巡らせ「構造物健全性診断技術」として実装し安全・安心な社会を実現する目的で提案・研究してきた独自技術 BOCDR 法において、高機能化とシステム簡素化を両立させる為の研究である。

図 2 に BOCDR 系を示す。光ファイバ各部分からの微弱な後方自然ブリルアン散乱と参照光とを干渉させる。両光にはブリルアン周波数シフト (BFS) 相当 (約 10GHz) の周波数差が生じ、系出力として電気スペアナ (ESA) で観測される。BFS から温度と歪変化が分かる。半導体レーザの光周波数を電流変調にて FM 変調すると、1 箇所 (相関ピーク位置) からの散乱は参照光と FM が同期し ESA 上に BFS と等しい周波数を示す。他の位置では散乱光と参照光で FM が同期せず、広いスペクトラムとなり、光ファイバに沿う 1 箇所での BFS を位置選択的に測定できる。この位置は FM 周波数を変えることで簡単に掃引でき、独自分布測定原理となる。

図 2 に示したように、相関ピーク位置の前後にはサイドローブが生じ、そこからの散乱も出力されて背景光雑音を形成して、歪測定ダイナミックレンジを劣化させる。この背景光雑音は富士山型のスペクトラムとなる。大きな歪位置に相関ピークを合わせると、BFS の変化によって信号スペクトラムは富士山の裾野へ滑り落ち背景光雑音ピークより低くなって誤測定となる。本雑音低減用に 2 つ性能向上手法を提案・研究してきた。参照光位相を変調する「PM 法」と、光源強度を変調する「IM 法」である。PM 法では参照光への PM で信号スペクトラムを減じ、元のスペクトラムとの除算で、信号のみを取得する。PM 法の原理を数式表現して、基本 BOCDR 系のスペクトラム出力への計算処理で背景光雑音の低減機能が実現できることを実証した。この「計算 PM 法」で PM 変調器なしでも背景光雑音が低減でき、系の簡素化が図られる。

本研究では、「計算 PM 法」に加えて IM 法でもシステム中のデバイスを減らしつつ機能を維持する「簡素化 IM 法」も提案・研究する。前述の高機能 BOCDR 系では、測定レンジを延伸する 2 つの手法も併用した。テンポラルゲート法「TG 法」と二重光周波数変調法「DM 法」である。本研究で、上述の 2 簡素化背景光雑音低減法が 2 測定レンジ延伸法と組み合わせた際にも機能することを精査して、BOCDR システムの機能向上と簡素化の両立を検証する。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、以下の具体的研究方法を計画した。

(1) BOCDR 法の分布測定原理を表す基本式の導出

BOCDR 法は光ファイバ中で生じる自然散乱を分布測定する技術である。研究代表者は、誘導散乱を分布測定する技術として BOCDA (Brillouin Optical Correlation Domain Analysis) 法も提案・研究してきた。両者は同様の出力スペクトラムを示す。しかし、両者の出力を表す基本式が同一であることは証明されていない。これが証明できれば、BOCDA 法で実証された機能・性能向上策が BOCDR 法でも活用可能である。例えば、BOCDA 法の基本式から導出されていた「計

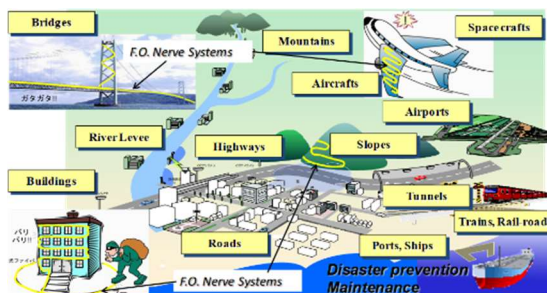


図 1 光ファイバ神経網による安全・安心社会の実現

算 PM 法」で PM 変調器なしでも背景光雑音が低減でき、系の簡素化が図られる。

本研究では、「計算 PM 法」に加えて IM 法でもシステム中のデバイスを減らしつつ機能を維持する「簡素化 IM 法」も提案・研究する。前述の高機能 BOCDR 系では、測定レンジを延伸する 2 つの手法も併用した。テンポラルゲート法「TG 法」と二重光周波数変調法「DM 法」である。本研究で、上述の 2 簡素化背景光雑音低減法が 2 測定レンジ延伸法と組み合わせた際にも機能することを精査して、BOCDR システムの機能向上と簡素化の両立を検証する。

上記の研究目的を達成するために、以下の具体的研究方法を計画した。

(1) BOCDR 法の分布測定原理を表す基本式の導出

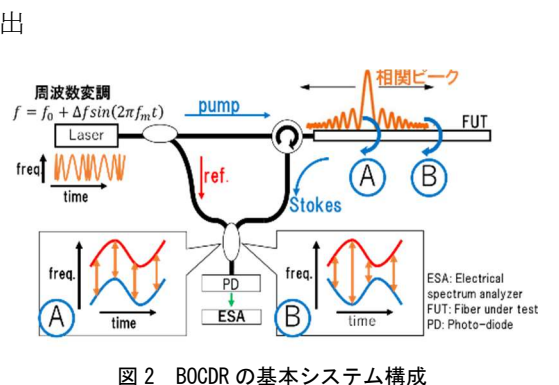


図 2 BOCDR の基本システム構成

算 PM 法」の計算式が BOC DR 法でも厳密に適用可能となる。

(2) 簡素化技術の機能向上と新たな手法の提案

計算 PM 法は BOC DR 出力にある畳み込みフィルタを施すことを意味する。フィルタ形状をシミュレーションと実験で最適化する研究を実施する。さらに、光強度変調器を含まない簡素化システムでも IM 法と同等の背景光雑音が低減できるというアイデアの実証研究を行う。

(3) PM 法と IM 法の簡素化技術と測定レンジ延伸法との整合性の実証研究

独自測定レンジ延伸法の「TG 法」と「DM 法」が 2 つの簡素化背景光雑音低減法、つまり「計算 PM 法」と「簡素化 IM 法」に整合することを実証する。DM 法では背景光雑音が増大するので計算 PM 法と簡素化 IM 法で増大分も低減できることをシミュレーションと実験で実証する。

これら研究を通して、BOC DR 法の高機能化と簡素化が両立できることを示す。

4. 研究成果

(1) BOC DR 法の分布測定原理を表す基本式の導出

BOC DR 法および BOC DA 法に関して出力スペクトラムの基本式を導出していたが、両基本式は類似しているが同一ではなかった。一方、実験ではスペクトラムが酷似している。本研究では、ブリルアン散乱を計算する原理式をより根本まで遡り、改めて BOC DR 法の基本式の導出に挑戦した。その結果、従来の BOC DA 法の基本式と完全に一致する式の導出に成功した。

この結果、BOC DA 法の機能・性能向上策が BOC DR 法でも活用可能なことが確かになった。BOC DA 法の基本式から導出されていた「計算 PM 法」の計算式も、BOC DR 法にも厳密に適用可能である。この成果により、本研究での一部の実験的検討は BOC DA 実験系にて実施することとして、本研究の実施速度を向上させることができた。

(2) 簡素化技術の機能向上と新たな手法の提案

① 計算 PM 法

計算 PM 法の雑音低減効果を向上させる検討を行った。図 3 では、図(a)から(c)は PM 法に於いて得られる BOC DR 出力スペクトラム (ブリルアンゲインスペクトラム : BGS) である。(i)は無歪部に、(ii)は歪部に、相関ピーク位置を設定した場合のスペクトラムである。図(a)は PM なしの BGS で、富士山型背景光雑音の上にタワー型信号が乗っている。図(b)は参照光に PM を施した場合で、信号成分がほぼ無くなり BOC DR 出力は背景光雑音に近くなる。(a)から(b)を減算すると(c)のスペクトラムが得られ、信号スペクトラムピークが明瞭に測定できる。これが PM 法の雑音低減原理であるが、PM 変調器が必要でありシステムが複雑化する。図 3(d)は計算 PM 法の原理である。システム出力の理論式を展開した結果、BOC DR の基本システム出力 (例えば図 3a-ii) に理論式から導出される形状のフィルタ (図(d)参照) を畳み込み演算すると、実験 PM 法と同じスペクトラム (例えば図 3c-ii) が得られる。

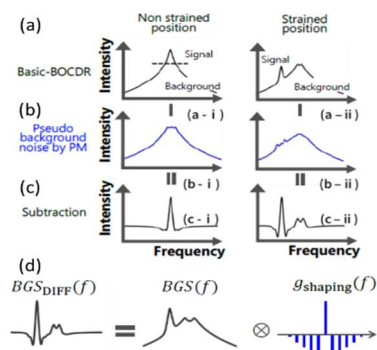


図 3 PM 法と計算 PM 法の原理

本研究では、より優れた雑音低減効果を示すフィルタ形状をシミュレーションと実験で検討した。図 4(a)は、歪が加わった位置に相関ピークを設定したときの BOC DR 出力の計算結果である。図 4(b)は計算 PM 法による結果であり、青は搬送波成分を零にする振幅条件の正弦波での PM 変調に対応したフィルタによる結果で、赤は本質的に搬送波成分が零となるバイナリー位相シフトキーイング (BPSK) を施したフィルタによる結果である。いずれも、背景光雑音の低減に成功し信号ピークを明瞭に捉えている。BPSK 変調ないし搬送波成分を抑圧した PM 変調に基づくフィルタ形状が好ましいことが分かった。図 4(c)と(d)は実験結果で、シミュレーションと良く対応している。バンドパスフィルタ効果を有するフィルタ形状にすることで、実験データに通常見られる速い揺らぎ成分を除去することも示せた。

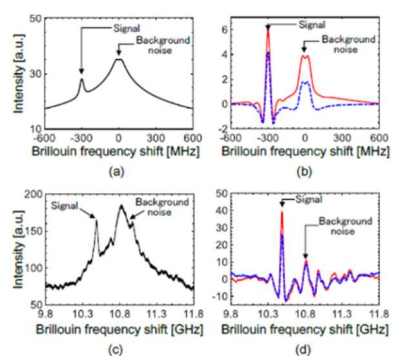


図 4 計算 PM 法のシミュレーションと実験

② 簡素化光強度変調法

BOC DR 法の位置選択原理である FM は、通常、正弦波により施される。このとき光源のパワースペクトラムは周波数両端部分でパワーが高い。BOC DR 出力形状は、近似的に光源パワースペクトラムのフーリエ変換なので、FM 波形に同期した IM を施して両端の強度を減じるとサイドローブも減る。ただし、富士山の山頂付近が低減され過ぎて、無歪部分の測定では信号スペクトラムが見えなくなる。そこで、図 5 の右の図のようなパワースペクトラム形状が有効であることを提案・実証してきた。

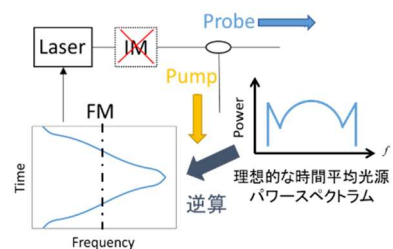


図 5 簡素化 IM 法用の FM 波形の形成



本研究では、この形状を光源 FM 波形の整形のみで IM 変調器なしで実現する手法を提案する。これは我々の別の研究プログラムにて BOCDA 法で検討してきており、ここでは BOCDA 系に導入する計画であった。しかし、本研究にて両基本式が一致することが証明でき、BOCDA の研究プログラムが 2019 年度で終了したことから、「簡素化 IM 法」については BOCDA 系にて研究することとした。

(3) PM 法と IM 法の簡素化技術と測定レンジ延伸法との整合性の実証研究

① 計算 PM 法と二重光周波数変調法

図 6(a)に示すように、FM 周波数が低いと相関ピーク間隔が広く、測定レンジも広い。FM 周波数が低いとレンジは狭いが、空間分解能は高い。そこで、図 3(c)のように、互いに整数倍の 2 周波数で同時に FM を施すと空間分解能は高いままでレンジ延伸ができる。これが DM 法である。ただし、図 6(c)に示したように副ピークが残存し背景光雑音を増加させる。この増加分も計算 PM 法で低減できることを精査する。

図 7(a)では、速い方の FM 周波数で相関ピークを作り 15 個のピークが存在する長尺の光ファイバで歪部の信号スペクトラム(矢印)を測定した。雑音の為に歪部は鮮明ではない。DM 法を施して長尺光ファイバ中にひとつの相関ピークしかない状況を作ったのが図 7(b)であるが、副ピークと背景光雑音により信号スペクトラムピークは雑音よりも低い。計算 PM 法を適用したのが図 7(c)で、図(b)に見られた速い変動の雑音も低減され信号ピークが明瞭に見えている。

② 計算 PM 法とテンポラルゲート法

TG 法は、システム出力強度は減少させるが、TG 法の方式由来の問題は生じない。そこで、本研究プログラムではこの組み合わせについては特に検討はしない。

③ 簡素化光強度変調法とテンポラルゲート法

図 8(a) は簡素化 IM 法用の FM 波形の合成結果である。本系では、半導体レーザ (LD) への注入電流に比例して光周波数が線形に変化する直接周波数変調特性を活用する。したがって、光源 FM 用の入力 は LD への注入電流波形である。図 8(a)の波形はシミュレーションで探索した優れた合成 FM 波形と同じ形の電流波形である。しかし、実システムでは LD の時間応答等により LD 出力の光周波数波形を測定すると図(a)とは異なる。そこで、その周波数波形を実測する系を作成した。LD の応答を線形近似すると注入電流波形と出力光周波数波形の間の伝達関数が求められる。それにより入力電流波形を補正した。その補正入力によって得られた出力光周波数波形が図(b)であり、図(a)と良く一致している。この FM 波形により背景光雑音が低減できることを実験により示した結果が図 9(b)であり、効果が実証された。

通常、FM 周波数を変化させて相関ピーク位置を変える。合成した FM 波形ではその基本周波数を変えると LD 特性の為に最適波形が保てない。そこで FM 波形の周波数は固定して相関ピーク位置を変化させる新手法を提案・実証した。本 FM 波形にて、まずポンプ光を  $n$  周期送り出し、次のタイミングでプローブ光を  $n$

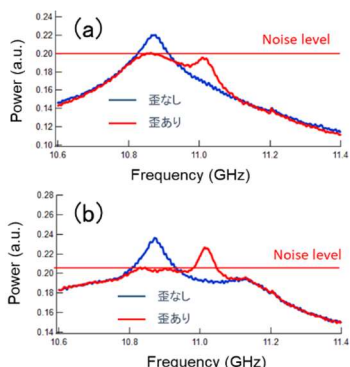


図 9 簡素化 IM 法での背景雑音低減

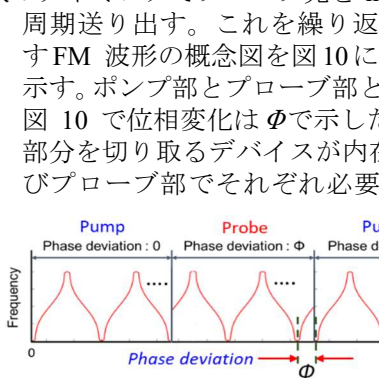


図 10 FM 波形の位相変化による測定位置の掃引法

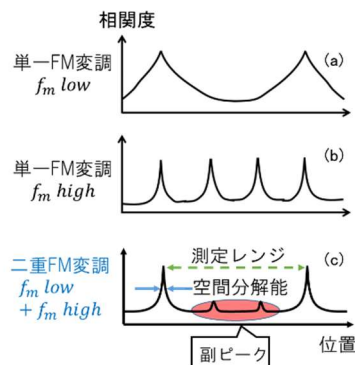


図 6 DM 法の測定レンジ延伸原理

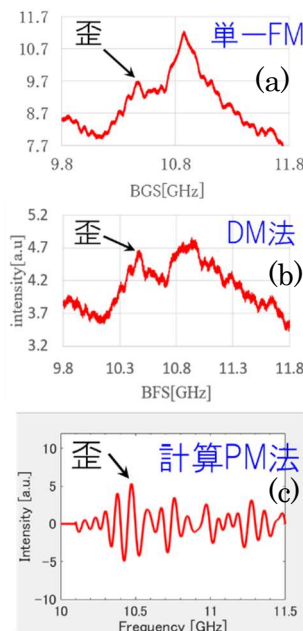


図 7 DM 法誘起雑音の計算 PM 法による低減

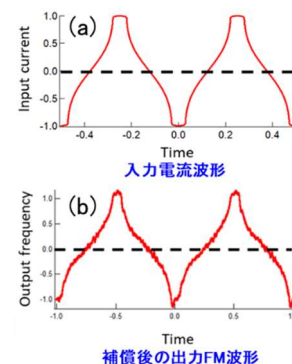


図 8 簡素化 IM 法用の FM 波形

周期送り出す。これを繰り返す FM 波形の概念図を図 10 に示す。ポンプ部とプローブ部とで、FM 波形の位相を変える。図 10 で位相変化は  $\Phi$  で示した。システム中には連続光の一部分を切り取るデバイスが内在しているので、ポンプ部およびプローブ部でそれぞれ必要な部分のみをゲートして光ファイバに送る。ここで、 $n$  周期中の 1 周期のみをゲート抽出すれば TG 法が実装でき測定レンジは  $n$  倍になる。こ

れを図 11 に示した。

図 12 に簡素化 IM 法と TG 法を組み合わせた BOCDA システムで測定した歪部分周辺の BFS 分布と、歪部ならびに無歪部の BGS 形状を示した。測定レンジは 3 倍に延伸されている。本組み合わせの効果の実証に成功した。

#### ④ 光強度変調法と二重光周波数変調法

DM 法での副ピークによる増加雑音を IM 法で低減する効果を高めるパラメータ設定を検討する為に、本研究では DM 法と通常の IM 法を組み合わせたシステムに関して、シミュレーションならびに実験による精査を実行した。

DM 法と IM 法を含むシステムでパラメータを柔軟に設定できるシミュレーション法を構築し、背景光雑音と DM 法により増加する雑音の総和が IM 法により低減される様子を詳細検討した。図 13 がその成果である。図 (a) は DM 法の場合で、背景光雑音が大きく歪部に対応した信号成分は低く小さい。図 (b) は、FM の低い周波数に同期した正弦波強度変調で光源スペクトラム両端のパワーを減じているが、信号は鮮明でない。図 (c) では速い FM に同期して IM を実施しているが、無歪部で欠落が深くなり、無歪部測定は不可能となっている。図 (d) では、二つの FM 周波数に同期した IM 変調を施した。信号は雑音ピークを越えているが、欠落部はまだ大きい。そこで、図 5 の光源スペクトラム両端部分の強度を戻す IM 波形を速い方の FM に同期して付与すると、図 5 (e) となった。ここでは欠落部も埋まり信号ピークが単純な最大値検出法でも測定できる状態となった。DM 法による雑音に特化した IM 法用の光強度変調波形を探索することに成功した。

図 14 は実験で、測定光ファイバ長は 100m、DM 法の速い周波数で決まる理論分解能は 13cm、歪部長は 24cm である。図 (a) は遅い方の FM 周波数でのみ変調した実験で、空間分解能は 1.1m で、歪部分は全く見えない。図 (b) は 8 倍の周波数との DM 法であり、歪部が辛うじて見えているが、背景光雑音の影響が大きい。図 (c) はシミュレーションで判明した最適な IM 波形を施した場合で、背景光雑音が低減されて 24cm の歪部分が鮮明に分布測定されている。

簡素化 IM 法の為の FM 波形を合成するには更なる研究が必要であるが、本研究にて両手法の組合せで背景光雑音の影響を大きく低減する方法が判明し、進展が得られたと考える。つまり、強度変調には両方の FM 周波数に対応した波形がよく、さらに高い周波数に関してはスペクトラム端部に戻り部を設ける波形が必要であることが明確になった。

#### (4) 関連して実施した研究成果

本研究では、当初計画を上記の通り進めて成果を得た。また、新たなテーマも設定し成果を蓄積した。BOCDA 系中でブリルアンダイナミックグレーティング (BDG) を分布測定する際の空間分解能劣化を改善する新手法を考案し、機能を実証した。これで、BDG 分布測定の分解能は BGS 分布測定のそれと同等にできた。BOCDA 系で新たな分布測定原理も提案・実証した。加えて、BOCDR と BOCDA の分布測定原理の基盤である「光波コヒーレンス関数の合合法 (SOCF)」において、サイドローブを極限的に低減する実験に成功し、フレネル反射存在下の光ファイバ中の微弱レーラー散乱分布の測定にも成功している。

#### (5) まとめ

複数の性能向上手法で高性能を達成した BOCDR 系において、構成要素デバイスの低減で簡素化を実現する手法として、背景光雑音低減法を二つ提案し検討を深めた。これら 2 手法の機能を向上させたのに続き、測定レンジ延伸用の 2 要素手法との組み合わせでも、これら手法が機能する様子を精査できた。

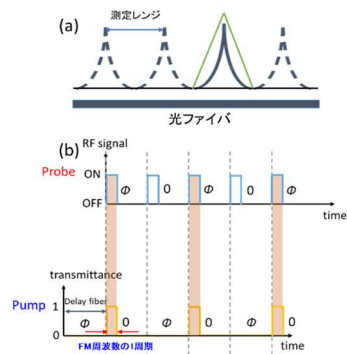


図 11 TG 法の実装

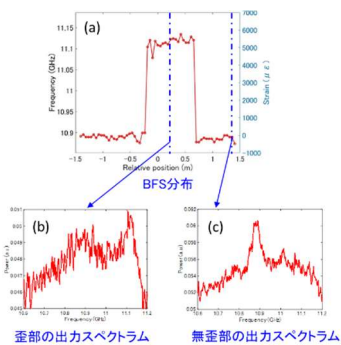


図 12 簡素化 IM 法と TG 法の実験

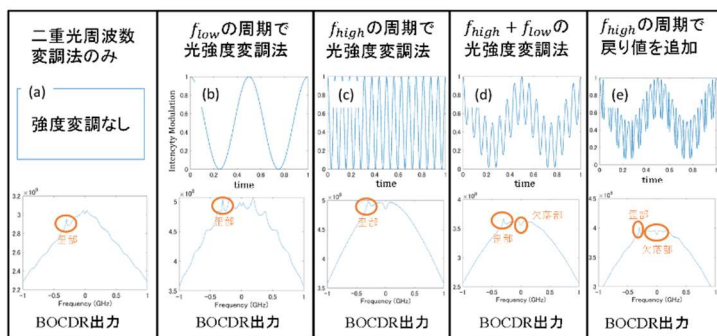


図 13 DM 法と IM 法実装時の変調波形の最適化

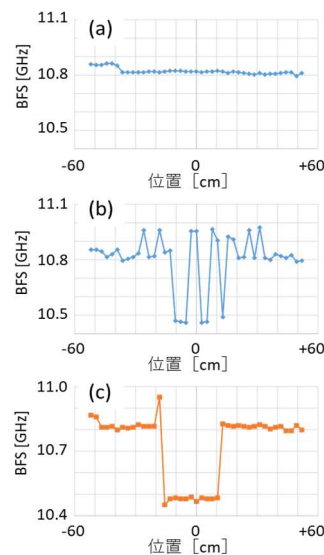


図 14 DM 法付加雑音の IM 法による低減

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hotate Kazuo	4. 巻 9
2. 論文標題 Brillouin Optical Correlation-Domain Technologies Based on Synthesis of Optical Coherence Function as Fiber Optic Nerve Systems for Structural Health Monitoring	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Sciences (Feature Paper)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app9010187	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Okawa Youhei, Hotate Kazuo	4. 巻 37
2. 論文標題 Brillouin optical correlation-domain reflectometry theory using stochastic representation of spontaneous Brillouin scattering light	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America B	6. 最初と最後の頁 2157 ~ 2162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/JOSAB.394598	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Okawa Youhei, Kendy Yamashita Rodrigo, Kishi Masato, Hotate Kazuo	4. 巻 28
2. 論文標題 Distributed measurement of Brillouin dynamic grating spectrum localized by an intensity-modulated correlation-domain technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 21310 ~ 21317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.396811	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Okawa Youhei, Hotate Kazuo	4. 巻 4
2. 論文標題 Distributed measurement of the Brillouin dynamic grating spectrum using the correlation-domain method with a fixed correlation peak position	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 990 ~ 999
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.419270	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 井立聖二、保立和夫
2. 発表標題 BOCDR歪分布測定システムにおける計算位相変調法と二重光周波数変調法の併用による測定レンジの延伸
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Hotate
2. 発表標題 Fiber Optic Nerve Systems Based on Brillouin Optical Correlation Domain Technologies - from Basic Principle to Recent Achievement -
3. 学会等名 International Conference on Information Optics and Photonics, CIOP2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇山康太、清水 龍、岸 真人、保立和夫
2. 発表標題 光位相変調手法を中心としたBOCDR歪分布測定技術のシステム構成簡素化
3. 学会等名 第63回 応用物理学会光波センシング技術研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Uyama, R. Shimizu, M. Kishi, and K. Hotate
2. 発表標題 Performance Improvement of Phase Modulation Scheme in Brillouin Optical Correlation Domain Reflectometry
3. 学会等名 24th Microoptics Conference, MOC2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Hotate
2. 発表標題 Fiber optic nerve systems by use of optical correlation domain techniques for structural health monitoring to enhance safety and security of the society
3. 学会等名 Optics and Photonics International Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Hotate
2. 発表標題 Fiber optic nerve systems based on Brillouin scattering for structural health monitoring
3. 学会等名 International Conference on Information Optics and Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Shimizu, M. Kishi, and K. Hotate
2. 発表標題 Enhancement of strain measurement dynamic range in basic BOCDR system with background noise reduction by simple filtering calculation scheme
3. 学会等名 International Conference on Optical Fiber Sensors (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宇山康太、清水 龍、岸 真人、保立和夫
2. 発表標題 光位相変調にBPSKを用いたBOCDRの歪ダイナミックレンジ拡大
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 保立和夫
2. 発表標題 光ファイバ - センシング
3. 学会等名 第150回記念応用物理学会微小光学研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宇山康太、清水 龍、岸 真人、保立和夫
2. 発表標題 BOCDR法の背景光雑音低減に用いるフィルタ形状の最適化
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大川洋平, 保立和夫
2. 発表標題 BDG-BOCDA歪/温度分離・分布測定系の機能向上に関する検討
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 畔柳 景, 大川洋平, 保立和夫
2. 発表標題 光波コヒーレンス関数の合成における光強度変調波形の最適化によるサイドローブ抑圧法の研究
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本留生, 大川洋平, 保立和夫
2. 発表標題 BOCDR 歪分布測定システムにおける二重光周波数変調法と光強度変調法の併用による性能向上
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

豊田工業大学研究者情報 <a href="http://ttiweb.toyota-ti.ac.jp/public/user.php">http://ttiweb.toyota-ti.ac.jp/public/user.php</a> 豊田工業大学システム光波工学研究室ホームページ <a href="https://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Denshi/SystemsPhotonics">https://www.toyota-ti.ac.jp/Lab/Denshi/SystemsPhotonics</a>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------