

氏名	BISWAS BISWAJIT
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	自博甲第3号
学位授与年月日	令和5年9月22日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
文部科学省報告番号	甲第796号
学位論文題目	Amplified-Spontaneous-Emission Feedback Circuit Technique with Improved Optical Power Resolutions (改善された光パワー分解能を有する増幅自然放出光帰還回路技術)
論文審査委員	主査 島根大学教授 藤田 恭久 島根大学教授 増田 浩次 島根大学教授 影島 博之

## 論文内容の要旨

Optical power resolution (OPR) is one of the critical factors of an optical power meter in a fiber-optic sensing/measurement system. In the first part of this study, a novel amplified spontaneous-emission feedback circuit (ASEFC) is used in front of a conventional optical power meter to create a fiber-optic sensing technique known as the "ASEFC technique." The technique significantly improves the OPR due to the nonlinearity of the ASEFC, which operates close to the lasing threshold. The characteristics of the OPR using an ASEFC scheme have been experimentally demonstrated. The OPRs were less than 0.14 mdB, and the sensitivity or improvement factor was greater than 67, where mdB stands for milli dB (10-3 dB).

A temperature control ASEFC is proposed in the second part of the study with a high-resolution and stable optical power measurement. The optical power of the lights emitted from the two different light sources is measured using the proposed technique with a remote distance of 20 km. The repeatability of the temperature-controlled ASEFC technique with an improved OPR is experimentally evaluated. The small time variations in the optical power of the light sources are accurately measured for one hour, with improvement factors greater than 97. The OPRs are better than 0.10 mdB when the temporal power fluctuation uncertainty of an optical power meter set after the temperature-controlled ASEFC is assumed to be 10 mdB.

Finally, this study experimentally demonstrates the operating bandwidth and dynamic range characteristics of ASEFC. The technique operates successfully in a wide wavelength range of 1530–1560 nm, where the maximum sensitivity is approximately greater than 100. Implementing a temperature-controlled ASEFC technique at a lowest input power level of approximately  $-5.2$  dBm, the small loss variation of a variable optical attenuation has been measured in a remote optical distance of 50 km. When a display resolution of the optical power meter 10 mdB is set after the ASEFC in remote sensing measurement, the improvement factor of the proposed ASEFC measurement technique is larger than 61, and the improved OPR is achieved

less than 0.17 mdB.

## 論文審査結果の要旨

本論文は、光計測分野における最も基本的なデバイス・装置である光検出器に関し、その光パワー分解能(OPR)を顕著に改善する技術に関するものである。その改善における指数(IF)は、10～100のオーダーを有する。その技術は、本論文の著者である Biswas 氏が所属するフォトニクス研究室において、2017年に研究が開始されているが、新原理で動作する革新的な光回路技術であり、「増幅自然放出光帰還回路(ASEFC)技術」と呼ばれている。Biswas 氏が本論文に関する研究を開始する時点において、その ASEFC 技術に関して、動作原理確認実験および基本特性評価実験の検討を実施していたが、具体的な光回路構成法、OPR 改善特性、および設計技術の明確化などが、その後の取り組むべき課題であった。Biswas 氏は、その課題解決に取り組み、これまでに 3 編のジャーナル論文(関連論文)と 4 編の査読付き国際会議論文(参考論文)を、筆頭または共著者として達成している。また、上記の論文以外に、17 件の国内学会発表を達成している。本学位論文は、それらの論文および予稿に基づいて執筆されたものである。上記の 3 編のジャーナル論文について、初めの 2 編は電子情報通信学会(IEICE)の ComEX (Communications Express, WoS ESCI)に掲載されたもの、また、3 編目は同学会の ELEX (Electronics Express, WoS IF=0.709)に掲載されたものである。

本論文の第 1 章では、研究の背景、目的・目標、応用における重要性が具体的に述べられている。続いて第 2 章では、上記の「ASEFC 技術」の動作原理、基本構成および基本特性が具体的かつ明確に示されている。特に、本提案技術の主要構成要素である「増幅自然放出光帰還回路(ASEFC)」が、レーザ発信閾値近傍で動作し、従来技術であるレーザや LED とは異なる動作原理を有することが具体的に説明されている。第 3～5 章では、上記 3 編のジャーナル論文(関連論文(a),(b),(c))の検討結果に関する内容が述べられている。まず第 3 章では、それまでの検討に加え、ASEFC 技術の具体的な応用例として、光通信システムで用いられる光部品の挿入損失を、従来技術の 61 倍の光パワー分解能 OPR で測定できることが示されている。すなわち、OPR の改善指数 IF は 61、従来技術の OPR を 0.01dB としたときの ASEFC 技術による OPR は、0.00014dB(0.14mdB)という画期的な値であった。次に第 4 章では、ASEFC 内に設置した利得媒質(エルビウム添加ファイバ: EDF)の温度制御を初めて行い、長時間(1 時間)の測定を初めて実現した(関連論文(b))。一方、関連論文(a)における測定時間は、約 5 分であった。2 種類の光通信システム用の光源(FP 型および FBG 型励起光源)の光パワーを、IF=97, OPR=0.10mdB で 1 時間測定することに成功した。最後に第 5 章では、ASEFC の新規構成を用いることにより、ASEFC の入力光波長の波長範囲を、EDF の信号光波長域(1530～1560nm)とすることに初めて成功している(関連論文(c))。一方で、関連論文(b)における入力光波長は、EDF の励起光波長(1455 および 1472nm)に限られていた。また、この手法を用いた光ファイバセンシングのシステム実験を行い、50km の遠隔位置に設置した光部品の挿入損失の高 OPR 測定に成功した。このシステム実験における IF は 61、OPR は 0.17mdB であった。

本論文で得られた結果は、今後の発展が期待される高度な光ファイバセンシングシステムにおける重要な知見をもたらすものであり、学術的および産業・社会的に有益な成果と考えられる。本論文の内容はレフェリーシステムで確立された学術誌に3件の研究論文として掲載されている。以上を総合的に評価して当該論文は学位論文に値すると認め、合格と判定した。