

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18914

研究課題名（和文）光コムのオフセット周波数を用いた偏光状態の精密計測

研究課題名（英文）Precise measurement of polarization state using offset frequency of optical frequency comb

研究代表者

大久保 章（Okubo, Sho）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員

研究者番号：30635800

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、まず偏波多重・ゲイン媒質共有型の偏波保持デュアルコムレーザーを開発し、そのノイズ特性を評価した。その結果、強度雑音スペクトルには、2つのモード同期の繰り返し周波数の差とその高調波に相当する周波数に鋭いピークが観測された。続いて、機械共有型の偏波保持デュアルコムレーザーを開発した。2つの光コムの繰り返し周波数差およびオフセット周波数差の安定度を評価した。その結果、2つのレーザーの励起光源を共通化する、レーザー共振器を筐体に収めて環境外乱の影響を減らすといった方法で周波数安定度が向上することが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、2つの光コムを発生するデュアルコムレーザーのキャリアエンベロープオフセット周波数差を精密計測に応用するというアイデアのもと、2種類のデュアルコムレーザーを開発してその特性を評価した。その結果、本研究のアイデアを実現するためにはデュアルコムレーザーの発振機構に依存するノイズ特性を考慮する必要があるという重要な知見が得られた。今後は適したデュアルコムレーザーの機構を模索するとともに、偏光計測や磁場計測などへの応用を検証していく。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a polarization-maintaining dual-comb laser with polarization multiplexing and gain-sharing. We evaluated its noise characteristics, revealing sharp peaks in the intensity noise spectrum corresponding to the repetition frequency difference and their harmonics between the two optical frequency combs. Subsequently, we developed a mechanically-shared polarization-maintaining dual-comb laser. By commonizing the pump LDs for both combs and enclosing the laser cavity in a housing to reduce environmental disturbances, we observed improved frequency stability in terms of the repetition frequency difference and offset frequency difference between the two combs.

研究分野：光計測

キーワード：光周波数コム デュアルコムレーザー オフセット周波数

## 1. 研究開始当初の背景

物理研究において測定される物理量は多様であり、物理量によってその測定精度も様々である。長さ、温度など SI 単位系を構成する基礎物理量のなかで、最も高精度に測定可能な量は周波数あり、現在では  $10^{-18}$  を超える相対不確かさが光格子時計によって実現されている。これを言い換えると、評価したい物理量を周波数で測定できれば非常に高い精度で測定できる、ということでもある。

近年、光コムを分光光源として利用する研究が盛んになってきており、デュアルコム分光計を利用したガス計測、物性計測、距離計などの様々な計測手法が開発されている。従来のデュアルコム分光では光コムを 2 台用いるが、最近、繰り返し周波数の異なる 2 つの光コムを 1 つのレーザー共振器で発生させるデュアルコムレーザーも盛んに研究されている。

本研究では、偏波多重型のデュアルコムレーザーが発生する 2 つの光コムのオフセット周波数差を利用することで、レーザー共振器内部の偏光状態を精密に測定できるのではないかと着想した。光の偏光状態は物質の光学応答の変更依存性や光学素子の評価、生体資料の解析などに重要な物理量である。従来、偏光子で精度が制限されていた偏光測定に対し、光コムを用いた周波数ベースの偏光測定の実現を目指す。

## 2. 研究の目的

本研究では、偏光状態を周波数計測に落とし込むという新しい発想に基づく高精度な偏光計測手法を提案・検証する。図 1 に本研究の概念を示す。偏波保持ファイバーで構成される光コムの横偏光状態と縦偏光状態の両方で同時にモード同期し、各偏光状態のキャリアエンベロープオフセット周波数をそれぞれ計測する。オフセット周波数に偏光状態が反映されることを利用して、高精度・高感度に偏光状態を測定する。光ファイバー中を伝搬する光の偏光状態はファイバーに加わる応力や、熱、磁場などの影響で変化する。光コムのレーザー共振器中を伝搬する光の偏光状態の外部摂動による変化を、光コムのオフセット周波数を計測することで高精度に測定する新奇手法の確立を目指す。

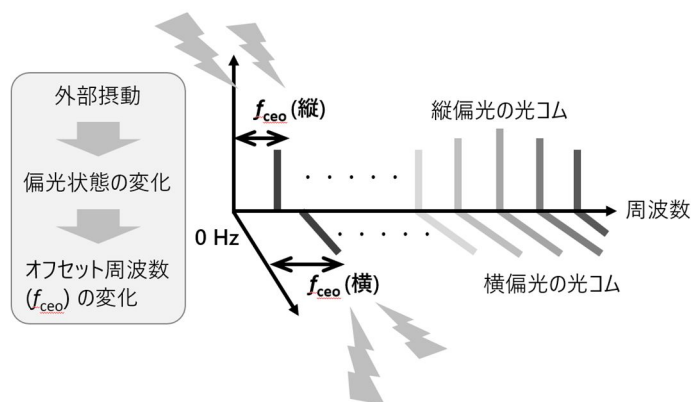


図 1: オフセット周波数計測による偏光状態の精密測定

### 3. 研究の方法

#### (1) ゲイン共有・偏波多重型デュアルコムレーザーの開発とノイズ特性評価

図1に示す構成で、ゲイン共有・偏波多重型デュアルコムレーザーを開発し、出力されたコムの強度雑音特性、位相雑音特性を評価した。

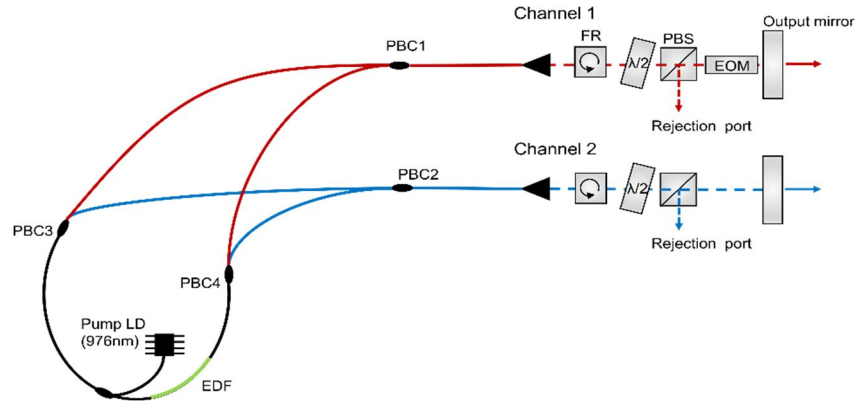


図1: ゲイン共有・偏波多重型デュアルコムレーザーの構成

#### (2) 機械共有型ファイバーレーザーの開発とオフセット周波数相対安定度の評価

図2に示す構成で、機械共有型ファイバーレーザーを開発し、出力されたコムのオフセット周波数の相対安定度を評価した。

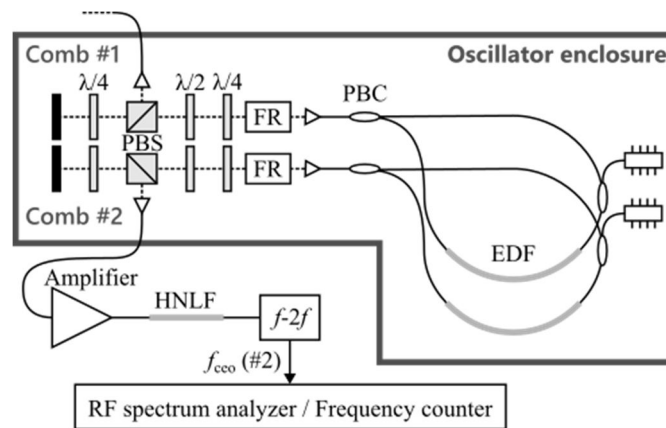


図2: 機械共有型ファイバーレーザーの構成

### 4. 研究成果

#### (1) ゲイン共有型偏波多重型デュアルコムレーザーの開発とノイズ特性評価

図3は、デュアルコム動作時とシングルコム動作時の強度雑音と位相雑音特性を示す。デュアルコム動作時は、強度雑音に2つのモード同期の繰返し周波数の差  $\Delta f_{rep}$  (100 kHz 前後) とその高調波に相当する周波数に鋭いピーク (-90 dB/Hz から -100 dB/Hz 程度) が観測された。一方で、繰返し周波数の位相雑音は、 $\Delta f_{rep}$  に現れるピーク以外はシングルコム動作時と同等で十分に小さいことが確認された。結論として、偏波多重・ゲイン媒質共有タイプのNALM型デュアルコムレーザーの偏波間クロストークの影響が取り除けないことが分かった。

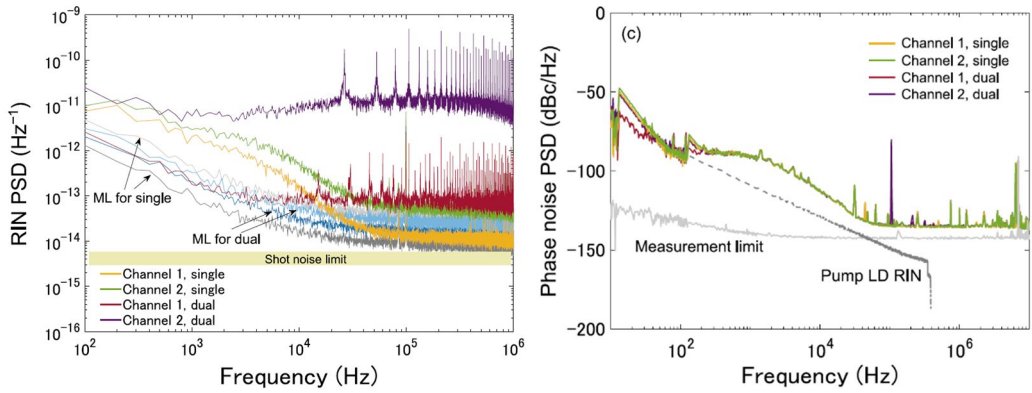


図 3: ゲイン共有・偏波多重型デュアルコムレーザーの強度雑音(左)と位相雑音(右)

(2) 機械共有型デュアルコムレーザーの開発とオフセット周波数相対安定度の評価

図 4 は、2 つのモード同期のフリーラン時における繰り返し周波数差  $\Delta f_{rep}$  およびオフセット周波数差  $\Delta f_{ceo}$  の時間変化とアラン偏差を示す。測定時の条件は、下表に示す。

条件	LD ドライバ	筐体への収納 (フタ無し)	筐体のフタを閉める
	高ノイズ	×	×
	低ノイズ	×	×
	高ノイズ	○	×
	高ノイズ	○	○
	低ノイズ	○	○

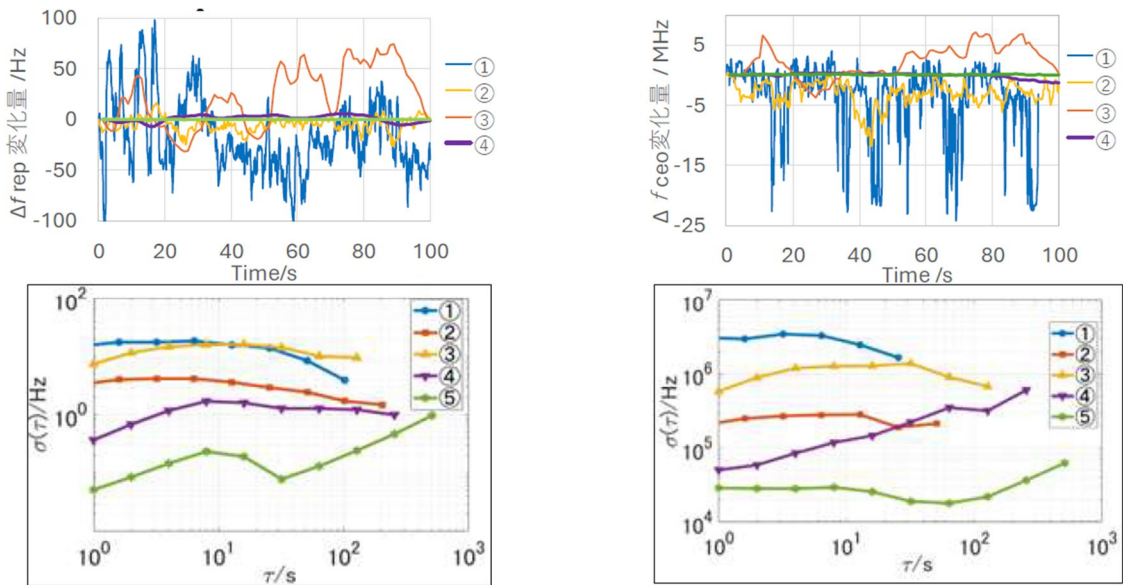


図 4: 機械共有型デュアルコムレーザーの  $\Delta f_{rep}$  および  $\Delta f_{ceo}$  の安定度評価

これらの測定の結果から、2 つのレーザーの励起光源を共通化する、レーザー共振器を筐体に収めて環境外乱の影響を減らす、といった方法で繰り返し周波数差およびオフセット周波数差の安定度が向上することが確認できた。

今後は、機械共有型ファイバーレーザーを用いてオフセット周波数差を用いた偏光計測の実演を目指す。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kana Iwakuni, Aki Takahashi, Sho Okubo	4. 巻 12
2. 論文標題 Noise characteristics of a polarization-duplex dual-comb fiber laser based on a single gain fiber	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Results in Optics	6. 最初と最後の頁 100476
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.rio.2023.100476	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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 佐藤寛樹、大久保章、岩國加奈
2. 発表標題 機械共有型ファイバーコムのカリヤ・エンベロープオフセット周波数の相対安定度評価
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Aki Takahashi, Sho Okubo, Kana Iwakuni
2. 発表標題 Polarization multiplex dual-comb fiber laser for precise spectroscopy
3. 学会等名 CLEO-Pacific Rim (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 亜稀, 岩國 加奈
2. 発表標題 デュアルコム分光に向けた偏波保持NALM型ファイバーコムの開発
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担 者	岩國 加奈  (Iwakuni Kana)  (80837047)	電気通信大学・レーザー新世代研究センター・准教授   (12612)	

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
---------	---------