

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	超高速・超広帯域光ファイバ光源を用いたリアルタイム光断層計測とその医用応用
研究機関・部局・職名	東京大学・先端科学技術研究センター・教授
氏名	山下 真司

【研究目的】

本研究の目的は、申請者が進めてきた独創的な新しいモード同期法による超高速・超広帯域光ファイバ光源を利用して光コヒーレンストモグラフィ(OCT)による超高速・超高分解能リアルタイム光断層計測システムを構築し、さらにその医用応用を図るものである。ここでの新しいモード同期法とは以下の2つ、

① 共振器内の分散を利用した分散チューニング法による超高速・広帯域波長可変光発生

② ナノカーボン可飽和吸収素子による受動モード同期による超短パルス発生であり、どちらも申請者が最近提案した独自技術である。これらの超高速・超広帯域光ファイバ光源を利用すれば、他の光源では為し得なかった超高速・超高分解能でのリアルタイムOCTシステムを実現でき、網膜や動脈内部など超高速・超高分解能での断層計測が必要とされている医用分野へと応用ができる。

本研究の第一の柱は、申請者のオリジナル技術である分散チューニングによる波長掃引OCT(SS-OCT)用の超高速・超広帯域波長可変モード同期光ファイバレーザである。本研究では、従来からある波長可変レーザ光源では実現し得なかった波長チューニング速度と帯域を両立させることを目指す。さらに、実現した超高速・超広帯域波長可変レーザ光源をSS-OCTシステムに応用してその優れた性能を実証してゆく。本研究の第二の柱は、申請者がこれまで進めてきたカーボンナノチューブ(CNT)受動モード同期光ファイバレーザからの高安定・高繰り返し短パルスを非線形光ファイバと組み合わせることで、超広帯域かつ低雑音なスーパーコンティニウム(SC)光を発生させ、それをスペクトル領域OCT(SD-OCT)システムに応用することである。

【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】
① 総合所見
<p>研究代表者が独自に提案した分散チューニング法を用いて、超高速・超広帯域波長可変光ファイバレーザを開発、この光ファイバレーザを光源として、企業と共同で波長掃引型光コヒーレンストモグラフィ (SS-OCT) を構築、モルモット蝸牛の OCT イメージを実証した。独自のアイデアに基づく首尾一貫した研究で論文発表も多く、高く評価される。ただ、本研究課題で開発した SS-OCT と海外における同種の研究成果を対比して、本研究課題の成果を客観的に評価すべきである。</p>

② 目的の達成状況
<p>・所期の目的が (<input checked="" type="checkbox"/> 全て達成された ・ <input type="checkbox"/> 一部達成された ・ <input type="checkbox"/> 達成されなかった)</p> <p>本研究課題の第一テーマは、研究代表者が独自に提案した分散チューニング法を用いて、超高速・超広帯域波長可変光ファイバレーザを開発、この光ファイバレーザを光源としてリアルタイム光断層計測システム (波長掃引型光コヒーレンストモグラフィ (SS-OCT)) を構築、その医療応用を目的とする。最終目標性能 (スキャン速度 200-300kHz、深さ分解能 7-10 μm、最大深さ 2mm、感度 100dB) も達成されている。</p> <p>第二の研究テーマは、独自に考案したカーボンナノチューブを用いた SC 光発生 (人工的な自然光) を用いたスペクトルドメイン OCT (SD-OCT) の構築である。最終目標性能 (スキャン速度 50kHz、深さ分解能 5 μm、最大深さ 5mm、感度 100dB) が達成されている。</p> <p>現在までに、企業と共同で SS-OCT 装置を開発、モルモットの蝸牛の OCT イメージなどを取得している。しかしながら、スキャン速度 > 50 kHz では、光ファイバレーザの出力および時間コヒーレンスが劣化するため、ごく表面近傍の断層イメージが得られるにすぎない。今後、光ファイバレーザ自体の性能改善が必要であろう。</p>

③ 研究の成果
<p>・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が (<input checked="" type="checkbox"/> ある ・ <input type="checkbox"/> ない)</p> <p>・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が (<input checked="" type="checkbox"/> 創出された ・ <input type="checkbox"/> 創出されなかった)</p> <p>・当初の目的の他に得られた成果が (<input checked="" type="checkbox"/> ある ・ <input type="checkbox"/> ない)</p> <p>第 1 の研究目標である分散チューニング光源については、これまで実現したことのない 250kHz での SS-OCT 画像の取得に成功しており、極めて先進性が高いものと判断される。第 2 の研究目標であるナノカーボン短パルスレーザーについても、長さ 10mm 繰り返し周波数 10GHz という高性能を実現しており、世界的にみても先進性は高い。</p> <p>当初計画においては、主として、従来から OCT が応用されてきた眼科領域への応用</p>

を試みるようになっていたが、研究途上において、耳鼻科領域、とりわけ、内耳蝸牛の形態観察への応用へと研究が拡大して、顕微鏡画像に匹敵する情報が得られていることは特筆すべきであろう。

なお、本研究課題が目指す超高速・超広帯域波長掃引 OCT (SS-OCT) の光源として、海外ではフィルタと半導体アンプを組み込んだ光ファイバレーザ(フーリエドメインモードロック (FDML) レーザ) が精力的に開発されている。現状では、中心波長 $1\mu\text{m}$ 、波長掃引幅 72nm (or 43nm) で波長掃引速度 $>600\text{kHz}$ (or 1.37MHz) が実現されている。また、MEMS で面発光レーザの共振器長を調整するタイプの波長掃引光源では、波長 $1.3\mu\text{m}$ で波長掃引幅 150nm 、波長掃引速度 500kHz である。これら海外の SS-OCT 用光源の仕様・性能はいずれも本研究課題の数値目標と同等または越えており、本研究課題の成果と比較すべきである。また、本研究課題の分散チューニング光ファイバレーザは小型・低価格が利点とされているがこの点からも本研究課題の成果と海外の現状を比較検討する必要があるだろう。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

動きの激しい網膜や動脈内部などの断層計測で必要とされる 100kHz という超高速スキャン速度を、分散チューニングにより 250kHz で SS-OCT 画像取得に成功している。さらに耳鼻科領域の医療分野の研究者との共同研究によりその有用性も確認済みである。ナノカーボンモード同期光ファイバレーザは、低コスト・安定化をはかり、太陽電池などの半導体産業検査用として、大きなインパクトが期待できる。

本研究課題で開発した分散チューニング光ファイバレーザは、既存のフィルタと半導体アンプを用いた高速波長可変光ファイバレーザ (FDML レーザ) と比べて、小型・低価格という利点をもつ。従って、高速スキャン時の時間コヒーレンスを改善できれば、分散チューニング光ファイバレーザは超高速 SS-OCT の有力な光源となり、網膜や動脈硬化の臨床診断に大いに利用される可能性があり、眼科、消化器内科、歯科および耳鼻咽喉科などで汎用の診断装置として普及する可能性がある。また、OCT そのものは、必ずしも医用応用のみが唯一の応用範囲ではなく、広くセンシングの分野において今後の発展が期待されるものであるから、現在、想像できないような応用の広がりがあり得るので、広範な社会的、経済的課題の解決に貢献するものと期待される。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

論文発表などについては、適切になされたと評価する。現在まで知的財産権の出願

が無いというのは問題である。素子・デバイスで原理的には公知であっても、新たな応用のための計測システム構成の新しさなどで特許申請・取得は可能ではないか。特許に対してもっと積極的になって頂きたい。特許申請を試みているようであるが、その成果に期待したい。

国民との科学技術対話も平均的に行われており、また大学オープンキャンパス等での対話も積極的に行っている。