

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：53301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20176

研究課題名（和文）位相共役光の時間反転原理を利用した新たな反射型生体内部イメージング手法の開発

研究課題名（英文）Development of new reflective bioimaging technique based on the time-reversal principle of phase-conjugated light

研究代表者

任田 崇吾（Toda, Sogo）

石川工業高等専門学校・電子情報工学科・講師

研究者番号：50847382

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：これまでの位相共役光の生体応用に関する検討では、透過型の実験系が用いられてきたが、実用性が低いといった問題があった。そこで本研究では、より実用的な実験系として後方散乱光に対する位相共役光の生成を実現し、その散乱抑制効果を検討することを目的とした。はじめに、位相共役光システムを再構築し、システム全体の最適化を試みた。さらに、干渉縞のコントラストをフィルタとして、位相共役光による散乱抑制効果の向上に取り組んだ。これにより、位相共役光を利用した新たな生体イメージング手法の実現が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、位相共役光の時間反転性を利用した生体イメージング手法の開発につながる研究である。本期間内の成果は、十分とはいえないが、得られた知見は今後の研究を推進する上で指針となるものもある。今後、研究が進展することで、後方散乱光に対して、位相共役光が生成できれば、位相共役光の生体応用が飛躍的に進む。将来的には、皮膚表層部の高分解能なイメージングや、光線力学的療法への応用、血液の非侵襲流速計測につながることを期待できる。

研究成果の概要（英文）：In previous studies of biological applications of phase conjugated light, transmission-type experimental systems have been used, but these systems have not been practical. The purpose of this study is to realize the generation of phase conjugated light for backscattered light as a more practical experimental system, and to investigate the effect of the phase conjugated light on scattering suppression. First, we reconstructed the phase conjugate light system and attempted to optimize the entire system. Furthermore, we tried to improve the scattering suppression effect of the phase conjugated light by using the contrast of the interference fringes as a filter. This is expected to lead to the realization of a new biological imaging technique using phase conjugated light.

研究分野：生体医用光学

キーワード：位相共役光 時間反転 生体イメージング 光散乱

1. 研究開始当初の背景

光を利用した多くの生体計測技術が実用化され、様々な研究が進められている。光を用いる利点としては、生体への無侵襲性や、組織の光吸収特性を利用した機能イメージングが挙げられる。しかし、生体組織の強い光散乱特性により、得られた透視画像にボケが生じる。そのため、散乱抑制手法が重要となる。

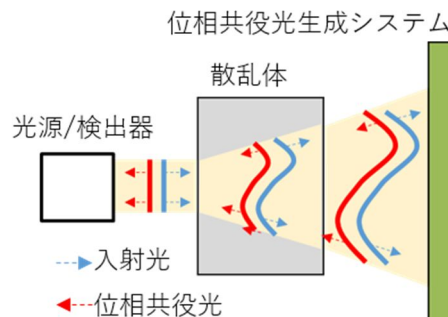


図 1.

近年、散乱抑制手法として、位相共役光の時間反転性を利用した手法が提案されている。位相共役光とは、ある信号光に対しその位相を反転させた光のことで、信号光の経路を逆伝搬する時間反転性を有する(図 1)。この位相共役光の時間反転性を利用したイメージング手法としては、X. Xu らが提案した超音波による光の周波数変調を組み合わせた手法がある。

しかし、従来の位相共役光の生体応用に関する検討では、生体から出射した信号光の強度情報は均一であるとみなし、位相変調のみの位相共役光生成システムを用いてきた。理想的な位相共役光では、その強度情報は信号光と同一である必要がある。申請者は強度と位相の同時変調が可能な位相共役光生成システムを構築し、強度変調の影響を検討した。その結果、従来の位相変調のみの位相共役光に比べて、強度情報を加えた位相共役光では、復元像が鮮明となり、散乱抑制効果が大きく向上することを明らかにした。しかし、生体試料を介した場合、厚さ 0.45 mm までの適用にとどまり、生体応用においてはその適用範囲の狭さが課題として残っている。

これまでの検討では、図 2(a)のように対象物体を透過してきた光を利用する透過型の配置が用いられてきた。この配置は、構築が容易であり、初期検討には適しているが、生体組織の平均自由行程を考えると実用性は低いといった問題があった。これに対し、図 2(b)に示すように、光源と位相共役光生成システムを同一側に配置し、後方散乱光に対し位相共役光を生成する反射型の配置を考える。これにより、生体応用など、より実用的な応用が期待できる。しかし、後方散乱光に対する位相共役光の生成は、表面反射光の除去など光学系の調整が格段に難しい。

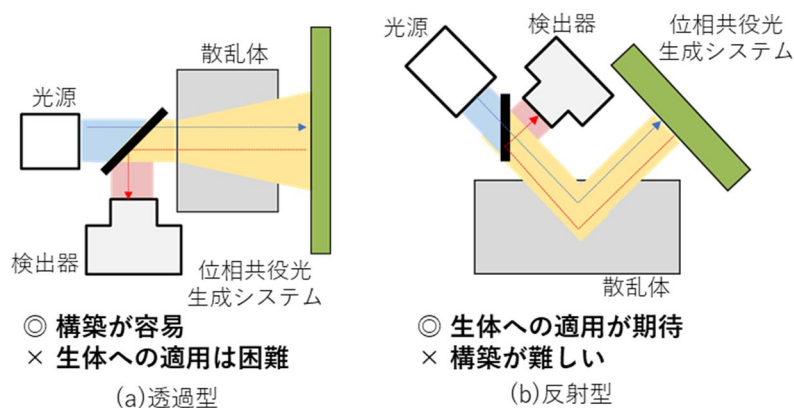


図 2 透過型と反射型の実験システムの比較

2. 研究の目的

本研究は、後方散乱光に対する位相共役光が生成可能な実験系を構築し、その散乱抑制効果の検討および生体への適用可能性を明らかにすることを目的とする。

この目的を達成するために以下の 2 点について、検討を進める。

(1) 反射型の実験系の構築

散乱体からの後方散乱光に対して、位相共役光を生成するための実験系を構築する。実際に散乱体を介して位相共役光を生成することで、提案手法の有効性を確認する。さらに、散乱体に対

する入射角などの要素を検討することで最適な条件を求める。

(2) 後方散乱光による位相共役光の性能評価

対象とする散乱体の散乱係数や吸収係数を変えながら位相共役光を生成する。この検討から、提案手法の適用範囲を検討する。

3. 研究の方法

(1) 反射型の実験系の構築

(1-1) 実験系の構築

後方散乱光に対する位相共役光の生成を行うために、図3の実験系を構築する。図3中の右上部分が位相共役光生成システムであり、2台の空間光変調器を用いることで強度変調と位相変調を実現している。生成した位相共役光は、信号光の経路を逆伝搬し、CMOSカメラ2に入射される。位相共役光の時間反転性が作用していれば、信号光と同様の形状の光が観測されるが、時間反転性を持たない光であれば、散乱により拡がった光が観測される。この観測結果から位相共役光の時間反転性による散乱抑制効果を評価することができる。

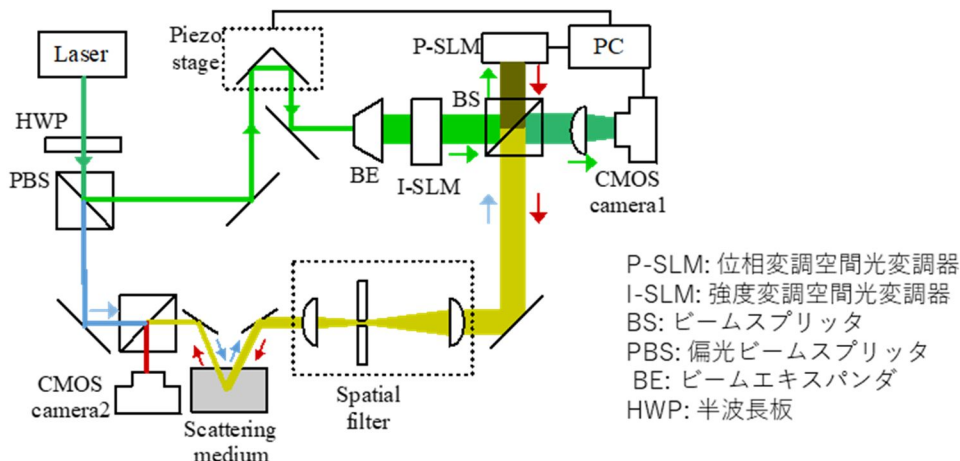


図3 反射型の実験系

(1-2) 後方散乱光に対する位相共役光の生成

実験系の構築を行った後、実際に位相共役光の生成を試みる。初期検討では、均一なポリプロピレン製散乱体を用いる。位相共役光を逆伝搬させた場合と変調を加えていない光の場合を比較し、構築した実験系で位相共役光が生成可能であることと、散乱抑制効果を有していることを確認する。

(1-3) 最適な散乱体への入射角の決定

散乱体への信号光の入射角の影響は大きいと考えられる。そこで、様々な入射角の信号光に対して、位相共役光を生成し、その性能を比較することで最適な実験条件を明らかにする。

(2) 後方散乱光による位相共役光の性能評価

提案手法は、散乱体の光学特性に大きな影響を受けるものである。そこで、特に影響を与えることが考えられる散乱係数と吸収係数を変化させた散乱体を用いて、提案手法の性能評価を試みる。

(2-1) 散乱係数の検討

この検討では、散乱体に寒天とイントラリピッド懸濁液の混合物を用いる。散乱係数の異なる散乱体に対して、位相共役光を生成し、その性能を評価することで、提案手法の適用範囲を明らかにする。

(2-2) 吸収係数の検討

透過型において、散乱体の吸収係数が位相共役光の時間反転性に与える影響は検討されている。この検討では、散乱体に寒天、イントラリピッド懸濁液と黒インクの混合物を用いて、吸収係数に対する提案手法の有効範囲を検討する。

4. 研究成果

本研究においては、新型コロナウイルスの感染拡大や、令和6年能登半島地震の影響があり、(2)後方散乱光による位相共役光の性能評価は十分な成果が得られなかった。

(1) 反射型の実験系の構築

図3の実験系を構築するために、強度変調と位相変調が可能な位相共役光システムを再構築した。構築したシステムの写真を図4に示す。

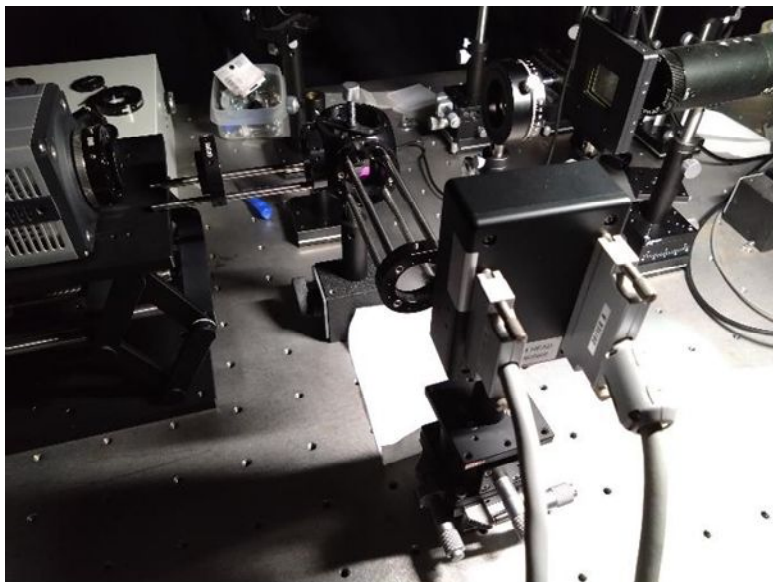


図4 位相共役光生成システム

図4のシステムを用いて、位相共役光の生成実験を行った。これまで得られた結果と同様で、強度変調を加えることで、時間反転性による散乱抑制効果が向上することが確認できた。

また、強度変調時に、これまでは信号光の強度パターンをそのまま用いて位相共役光を生成していたが、干渉縞のコントラストをフィルタに加えることで、散乱抑制効果の向上を試みた。

反射型の実験系を構築するにあたって、散乱体への入射角度は非常に重要な要素となる。当初予定では、実験的に最適な角度を調べる予定だったが、地震のため実験系が損傷を受けたことや、より効率的に検討を進めるために、シミュレーションによる解析を進めることにした。

今後は、FDTD法によるシミュレーションで最適な入射角度を同定し、反射型の実験システムの構築を進め、後方散乱光による位相共役光の性能評価や生体への適用可能性を検討する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 任田崇吾
2. 発表標題 デジタル位相共役光による生体内部イメージングの試み
3. 学会等名 第25回（第2期第14回）光音響イメージング技術専門委員会（招待講演）
4. 発表年 2024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
---------------------------	-----------------------	----

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