

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25390087

研究課題名(和文)全干渉型ヘテロダイン分光立体映像法の実現

研究課題名(英文)Development of super-wide band heterodyne interferometry for hyper-multispectral three-dimensional imaging

研究代表者

吉森 久 (Yoshimori, Kyu)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：40322961

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：自然光で照明された多色物体からの光波を干渉計測し、信号処理を施すことにより、多数の波長バンド毎の立体像を同時に取得する技術を開発し、その3次元空間結像特性と分光特性を理論的に解明した。特に、3次元分光立体像の3次元結像特性と分光特性を同時に指定する4次元インパルス応答関数を解析的に導出した。この4次元インパルス応答関数に基づいて新規な奥行き分解能を評価する規範を導くことに成功した。

研究成果の概要(英文)：A method has been developed to obtain spectrally decomposed three-dimensional images for usual polychromatic objects under illumination of natural light. The method uses interferometric measurement and signal processing only. Theoretical analysis gives an impulse response function defined over four-dimensional space that determines simultaneously three-dimensional imaging property and spectral resolution of the method. A new criteria to estimate depth resolution of coherent and incoherent holographic techniques are also given.

研究分野：応用光学・量子光工学

キーワード：3次元イメージング コヒーレンスイメージング 分光イメージング 計算イメージング

### 1. 研究開始当初の背景

多色物体から伝搬した光波のパッシブ干渉計測に基づいて物体情報を得る計測法としては、フーリエ分光法が有名である。しかし、物体の3次元立体形状情報(3D情報)と分光情報を同時に得るパッシブ干渉計測法に関する研究報告は、代表者の知る限り

1999年以前にはみられない。

代表者は、光が伝達する物体情報から3D情報と分光情報を同時取得する光干渉イメージングに関する研究に従事してきた。その成果として、1999年に初めて発表したアイデア(吉森, 伊東, 日本光学会年次学術講演会講演予稿集 p.201 1999)に基づいて、2001年に物体の3D情報と分光情報をパッシブに取得する計測原理を発表した(Yoshimori, J. Opt. Soc. Am. A p.765 2001)。この考え方を発展させて、2004年に、2光波折り畳み干渉計と2次元光センサーで空間コヒーレンス関数のデータセットを得て合成開口処理を適用する方法を考案し(Yoshimori, Proc. of SPIE "Holography 2005" p.6252)、最近、準単色点光源を用いた原理検証実験に成功した(Sasamoto and Yoshimori, Jpn. J. Appl. Phys. **48**, p.09LB03 2009)。また、この方法の多色で広がりのある物体への適用にも極最近、成功している。しかし、この方法を一般の物体へ適用し実用化を目指す場合、以下の問題がある。(1) 2次元光センサと合成開口処理を利用するため、データ量が膨大である、(2) 物体光のコヒーレンス(可干渉性)が低いため、干渉縞のコントラストが低く、信号対雑音比の改善が必要である、(3) 被測定物体を移動させるため、応用が限られる。これらの問題を全て解決するため、単一光センサを利用する改良型2光波折り畳み干渉計の着想を得、超広帯域ヘテロダイン変調技術との融合システムを考案した。

### 2. 研究の目的

(1) 改良型2光波折り畳み干渉計を試作し、超広帯域ヘテロダイン変調技術と融合させた新規な高感度干渉計測システムを開発する

(2) 開発した干渉計測システムの性能を評価し、高品質な分光立体映像のファーストイメージを取得する。

### 3. 研究の方法

平成25,26年度は、改良型2光波折り畳み干渉光学計と、多色光にも適用可能な超広帯域ヘテロダイン変調干渉光学計を融合することにより、分光立体映像再生のための超広帯域ヘテロダイン計測システムを開発する。新システムを構成する改良型2光波折り畳み干渉光学計と超広帯域ヘテロダイン変調干渉光学系は、代表者らの先行研究に基づいて代表者の組織で開発する。それぞれの干渉計の

性能評価、調整、検証実験を行った後、融合させてシステムとしての動作を確認する。平成27年度は、システム全体の最終調整を行い、一般物体での高品質分光立体映像取得を試みる。

### 4. 研究成果

従来の2光波折り畳み干渉計を改良することにより、分光立体映像取得に必要な双曲面型体積インターフェログラムを直接測定できることを確認し、分光立体映像が再生できることを理論的・実験的に示した。しかし干渉計の残留位相が重畳されることが新たにわかったため、この問題を回避する手法も開発した。ヘテロダイン検出を行う第2干渉計は正常に動作することを確認したが、光ファイバーで接続した場合光の損失が大きく、予想されるSN比の向上はみられなかったため接続損失を小さくすることが今後の課題である。

一方、本手法の基礎となる理論研究面では取得される分光立体像の3次元結像特性と分光特性を同時に指定する4次元インパルス応答関数の解析的導出に成功した。この4次元インパルス応答関数に基づいて計算されたスペクトル分解能・3次元点広がり関数は実験と良く一致することが確認された。さらに、この4次元インパルス応答関数から導かれる3次元点広がり関数は本手法だけでなく従来のコヒーレントホログラフィーの3次元結像特性の評価にも利用できるため、一般のホログラフィック3次元イメージングにおける奥行きに関する正確な分解能を評価する上で有用であることがわかった。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5件)

Masaki Obara and Kyu Yoshimori, "3D spatial resolution and spectral resolution of interferometric 3D imaging spectrometry," *Applied Optics* Vol. **55**, No. 10 pp. 2489-2497 (2016)

M. Obara, K. Yoshimori, and K. Itoh, "Coherence-based 3D spectral imaging," *Asian Journal of Physics* Vol. **24**, No. 12 pp. 1667-1677 (2015)

Masaki Obara and Kyu Yoshimori, "Coherence Three-Dimensional Imaging Spectrometry Based on Measurement of Rotated-Hyperbolic Volume Interferograms," *Optical Review* Vol. **21** pp. 479-485 (2014)

Tetsuya Hashimoto, Akiko Hirai, and Kyu Yoshimori, "Fully interferometric three-dimensional imaging spectrometry using

hyperbolic-type volume interferogram," Applied Optics Vol. **52**, No. 7, pp. 1497-1504 (2013)

Sirawit Teeranutrannont and Kyu Yoshimori, "Digital holographic three-dimensional imaging spectrometry," Applied Optics Vol. **52**, No. 1, pp. A388-A396 (2013)

〔学会発表〕(計 21件)

Kyu Yoshimori, "Coherence-based 3D imaging spectrometry," 波動場補償光学シンポジウム: Super adaptive optics with wave field correction: Toward perfect imaging of the universe and live organisms, 応用物理学会, 国立天文台 三鷹キャンパス 2016年3月23日【招待講演】

吉森久 "コヒーレンス計測に基づく 3D イメージング分光法" 基礎生物学研究所 NIBB 第 10 回バイオイメージングフォーラム「新世代のバイオイメージングの開発」 p. 10, 基礎生物学研究所 光学解析室 2016年2月16日【招待講演】

吉森久 "デジタル分光ホログラフィー" 日本光学会 第 42 回冬期講習会 テキスト「デジタル時代のホログラフィー」 pp. 111-128 日本光学会, 東京大学 2016年1月14日【招待講演】

小原 正樹, 吉森 久, "干渉分光 3次元イメージングにおける奥行き分解能評価," 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2015 (OPJ2015), 29pE7 (2015.10.28-30, 筑波大学 文教キャンパス)

齋藤 崇浩, 小原 正樹, 吉森 久, "干渉分光 3D イメージングの再生像におけるスペククル統計," 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2015 (OPJ2015), 29pE7 (2015.10.28-30, 筑波大学 文教キャンパス)

吉森久 "3次元分光イメージング" ユネスコ国際光年記念シンポジウム, 日本精密工学会, 東北大学 2015年9月4日【招待講演】

Thanyarat Thong-on, Tawipon Prakobsang, Watsuphat Pethsanthad, Chantria Boonsri, Swan Plaipichit, Prathan Branasiri and Kyu Yoshimori, "The investigation of thermal effect on dynamical shape changing of soldering paste using double view digital holography," Proc. SPIE 9659, International Conference on Photonics Solutions 2015, 965912 (July 6-8, 2015)

Knittha Sidakum, Swan Plaipichit, Prathan Branasiri and Kyu Yoshimori, "Imaging enhancement of digital holography using photorefractive effect," Proc. SPIE **9659**, International Conference on Photonics Solutions 2015, 965911 (July 6-8, 2015)

Prathan Branasiri, Swan Plaipichit and Kyu Yoshimori, "Digital holography system for undergraduate student laboratory," Proc. SPIE **9659**, International Conference on Photonics Solutions 2015, 96590Z (July 6-8, 2015)

Masaki Obara and Kyu Yoshimori, "Three-dimensional imaging characteristics and depth resolution in digital holographic three-dimensional imaging spectrometry," Proc. SPIE **9659**, International Conference on Photonics Solutions 2015, 96590R (July 6-8, 2015)

Saki Ogasawara, Masaki Obara and Kyu Yoshimori, "Multi spectral three-dimensional imaging by hyperbolic holography using single detector," Proc. SPIE **9659**, International Conference on Photonics Solutions 2015, 96590Q (July 6-8, 2015)

Kyu Yoshimori, "Multi-dimensional imaging by coherence measurement," Proc. SPIE **9659**, International Conference on Photonics Solutions 2015, 965915 (July 6-8, 2015)【招待講演】

Kyu Yoshimori and Masaki Obara, "Three-dimensional imaging spectrometry by coherence measurement," Proceedings of 14<sup>th</sup> International Workshop on Information Optics 2015 (WIO2015) Kyoto, Japan, 1-5 June, pp. 7-11 July (IEEE Digital Library, doi: 10.1109/WIO.2015.7206893) (2015)【招待講演】

齋藤 崇浩, 吉森 久, "デジタル分光ホログラフィーの 3D 再生空間におけるスペククル統計," 計測自動制御学会 東北支部 第 294 回研究集会, 294-8 (2015.5.29)

竹澤 優太, 吉森 久, "分光立体画像干渉計測システムにおける多次元インターフェログラム取得の最適化," 計測自動制御学会 東北支部 第 294 回研究集会, 294-7 (2015.5.29)

Kyu Yoshimori, "Coherence-based hypermultispectral three-dimensional imaging," Proceedings of 13<sup>th</sup> International Workshop on Information Optics 2014

(WIO2014) École polytechnique fédérale de Lausanne:EPFL, Neuchâtel, Switzerland, pp. 7-11 July (IEEE Digital Library, doi: 10.1109/WIO.2014.6933298) (2014) 【招待講演】

Kyu Yoshimori and Masaki Obara, "A new technique in digital holographic three-dimensional imaging spectrometry," Technical Digest of International Symposium on Optical Memory (ISOM2014) Hsinchu, Taiwan, 20-23 October pp. 78-79 (2014)

Kyu Yoshimori, "Coherence-based three-dimensional imaging spectrometry," Proceedings of SPIE Vol. **8883** International Conference on Photonics Solutions 2013 (May 26-28, 2013) pp. 88830Q-1-88830Q-4 (2013) 【招待講演】

Tetsuya Hashimoto, Akiko Hirai and Kyu Yoshimori, "A new heterodyne tandem-interferometer for fully interferometric three-dimensional imaging spectrometry," Proceedings of SPIE Vol. **8883** International Conference on Photonics Solutions 2013 (May 26-28, 2013) pp. 88830T-1-88830T-4 (2013)

Masaki Obara and Kyu Yoshimori, "Digital holographic three-dimensional imaging spectrometry based on rotated-hyperbolic type volume interferogram," Proceedings of SPIE Vol. **8883** International Conference on Photonics Solutions 2013 (May 26-28, 2013) pp. 888319-1-888319-4 (2013)

(21) Sirawit Teeranutrannont and Kyu Yoshimori, "Digital holographic three-dimensional imaging spectrometry and depth imaging properties," Proceedings of SPIE Vol. **8883** International Conference on Photonics Solutions 2013 (May 26-28, 2013) pp. 88831C-1-88831C-4 (2013)

〔図書〕(計 2件)

山口一郎, 吉森久, 他 “デジタル分光ホログラフィー” 日本光学会 第42回冬期講習会 テキスト「デジタル時代のホログラフィー」pp. 111-128(日本光学会 2016年1月14日 ISBN: 978-4-908236-06-8)

伊東一良, 津村得道, 渡邊歴, 井上卓, 平井亜紀子, 吉森久, 有本英伸: 光学ライブラリー6 分光画像入門(朝倉書店, 2013年12月10日初版第1刷, ISBN: 978-4-254-13736-1)

〔産業財産権〕

取得状況(計 1件)

名称: 分光立体形状測定装置及び分光立体形状測定方法  
発明者: 吉森久  
権利者: 岩手大学  
種類: 特許  
番号: 第 5454769 号  
取得年月日: 2014年1月17日  
国内外の別: 国内

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
吉森久 (YOSHIMORI KYU)  
岩手大学・工学部・准教授

研究者番号: 40322961