

平成 22 年 4 月 1 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19360032
 研究課題名(和文) フェムト秒光パルス伝播の3次元動画像記録・観察とその超高速現象観察への応用
 研究課題名(英文) Three-dimensional moving picture recording and observation of femtosecond light pulse propagation and its application

研究代表者
 粟辻 安浩 (AWATSUJI YASUHIRO)
 京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授
 研究者番号：80293984

研究成果の概要(和文)：

持続時間 130 フェムト秒の近赤外光パルスを再生増幅により出力を向上させ、さらに第2高調波発生を行うことにより、可視のフェムト秒光パルスを生成し、そのパルスを光源とするホログラム記録光学系を構築した。構築した光学系により可視のフェムト秒光パルスが空气中を伝播する様子の動画像および、拡散体中を伝播する3次元の様子の動画像の記録と観察に成功した。さらに、書き換え可能ホログラム材料を用いて動画像として記録観察することに成功した。

研究成果の概要(英文)：

An optical system for recording hologram using a femtosecond laser and a regenerative amplifier, and second-harmonic generation was constructed. The optical system generates visible femtosecond light pulse with 130 fs duration. Moving picture recording and observation of three-dimensional images of visible femtosecond light pulse were successfully demonstrated. Also moving picture recording of femtosecond light pulse propagation using a rewritable medium was successfully demonstrated.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2007年度 | 10,200,000 | 3,060,000 | 13,260,000 |
| 2008年度 | 3,800,000 | 1,140,000 | 4,940,000 |
| 2009年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,800,000 | 4,440,000 | 19,240,000 |

研究分野：システムフォトリニクス

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用光学・量子光工学

キーワード：(1) 応用光学・量子光工学 (2) ホログラフィ (3) フェムト秒技術

(4) 可視化 (5) 三次元画像

1. 研究開始当初の背景

光は $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ の速さで真空中を伝播し世界で最も速く進む。そのために光の伝播は直接見ることができないだけでなく、通常の撮像方法でも観察が極めて困難である。近年、フ

ォトリニク結晶をはじめとする新たな光デバイスや光学材料の解析・設計・評価のために、光が空間を伝播する時間発展情報を時間領域有限差分(FDTD)法などの数値計算によって解析する研究が精力的に行われている

が、数値結果を実験的に検証した例は無い。光の伝播を観察できる技術は、これらの実験的評価を実現できるだけでなく、超高速の現象を可視化する技術として有用である。本研究の基礎になっている技術はホログラフィによる light-in-flight recording と呼ばれている。

この技術を用いて媒質中での光の伝播の様子を動画として観察することに成功した (T. Kubota and Y. Awatsuji, *Opt. Lett.* **27**, 815-817, (2002)). さらに、フェムト秒光パルスが光学媒質中を伝播する様子や超高速光エレクトロニクスデバイスから生成されるフェムト秒光パルス列の発生と伝播の様子を時間的にも空間的にも連続な動画像として世界で初めて観察に成功した. (Y. Awatsuji, et al., *Proc. SPIE* **5580**, 543 (2005)., M. Yamagiwa, A. Komatsu, Y. Awatsuji, and T. Kubota, *Opt. Express* **13**, 3296 (2005)). これまで基盤としていた技術では、超短パルス光が伝播する超高速現象の観察は全て光パルスのある平面に投影した像となってしまう2次元画像の動画としてしか観察できない。

2. 研究の目的

(1)可視光のフェムト秒光パルスが伝播する様子を時間的にも空間的にも連続な動画像として記録・再生できる技術を確立し、実験的に検証する。

(2)フェムト秒光パルスが伝播する様子を3次元画像として時間的にも空間的にも連続な動画像として記録・再生できる技術を確立し、実験的に検証する。

(3)書き換え可能なホログラフィック材料にフェムト秒光パルスの伝播の様子を動画像として記録する技術を確立し、実証する。

3. 研究の方法

(1)可視のフェムト秒光パルスを発生させるためにフェムト秒パルスレーザーからの近赤外の超短光パルスをベータバリウムボライト(β -BaB₂O₄: BBO)結晶を用いてフェムト秒光パルスの第2高調波を発生させる。発生した可視光のフェムト秒パルスレーザーを光源として、light-in-flight ホログラフィの記録光学系を構成する。記録材料には、可視光に感度をもつホログラフィック乾板を用いる。

(2)フェムト秒光パルスが伝播する様子を3次元画像として時間的にも空間的にも連続な動画像として記録するために、適切な拡散性を持つ3次元拡散体を作製する。物体に、3次元拡散体を用いて light-in-flight ホログラフィを行う光学系を構成する。

(3)書き換え可能なホログラフィック材料にフェムト秒光パルスの伝播の様子を動画像として記録するために、光導電性プラスチックホログラム(Photo-conductor Plastic

Hologram: PPH, Chuo Precision Industrial Co., LTD.)を記録材料とし用いた light-in-flight ホログラフィ記録光学系を構成し、所望の動画像が得られるかを試験する。

4. 研究成果

(1)中心波長 400nm のフェムト秒光パルスが伝播する様子の動画像の記録と観察に成功した。得られた伝播するフェムト秒光パルス伝播の動画像から抜き出した4コマの写真を図1に示す。

レンズによりコリメートされ、拡散板を横切りながら左から右へと伝播する可視光フェムト秒光パルス物体とした。青い背景光の中に縦に長い弓形の輝度の高い部分が観察できる。この部分が拡散板を横切りながら伝播する可視フェムト秒光パルスである。再生には、波長 442nm の連続波レーザー光を用いた。

(2)中心波長 400nm のフェムト秒光パルスが伝播する様子の3次元動画像の記録と観察に成功した。物体光側のフェムト秒光パルスをコリメートするとパルスの光強度が低下したために、レーザーから射出されるビームをコリメートせずそのまた拡散体に導入した。得られた伝播するフェムト秒光パルスの動画像から抜き出した4コマの写真を図2に示す。3次元拡散体を通過しながら写真中左から右へと伝播する可視光フェムト秒光パルス物体とした。緑色の背景光の中に縦に長い楕円形の輝度の高い部分が拡散体中を伝播するのが観察できる。この部分が可視フェムト秒光パルスである。再生には、波長 532nm の連続波レーザー光を用いた。

(3)書き換え可能なホログラフィック材料に中心波長 400nm のフェムト秒光パルスの伝播の動画像の記録と観察に成功した。得られた伝播するフェムト秒光パルスの動画像から抜き出した4コマの写真を図3に示す。

レンズによりコリメートされ、拡散板を横切りながら左から右へと伝播する可視光フェムト秒光パルス物体とした。青い背景光の中に縦に長い弓形の輝度の高い部分が拡散板を横切りながら伝播するのが観察できる。この部分が可視フェムト秒光パルスである。再生には、波長 633nm の連続波レーザー光を用いた。各画像間の時間は 110ps である。得られた動画の長さは 767ps であった。

以上のようにフェムト秒光パルスが伝播する超高速現象の3次元動画像記録と観察に成功した。現段階では、フェムト秒光パルスをコリメートして記録すると、その伝播の様子を3次元動画像が肉眼では観察できるが、データとしてデジタルカメラで撮影できるだけの光強度とコントラストが得られていない。回折効率を向上させさらにノイズを低減できる最適記録条件を明らかにして、記録

と再生を行うことが今後の課題である.

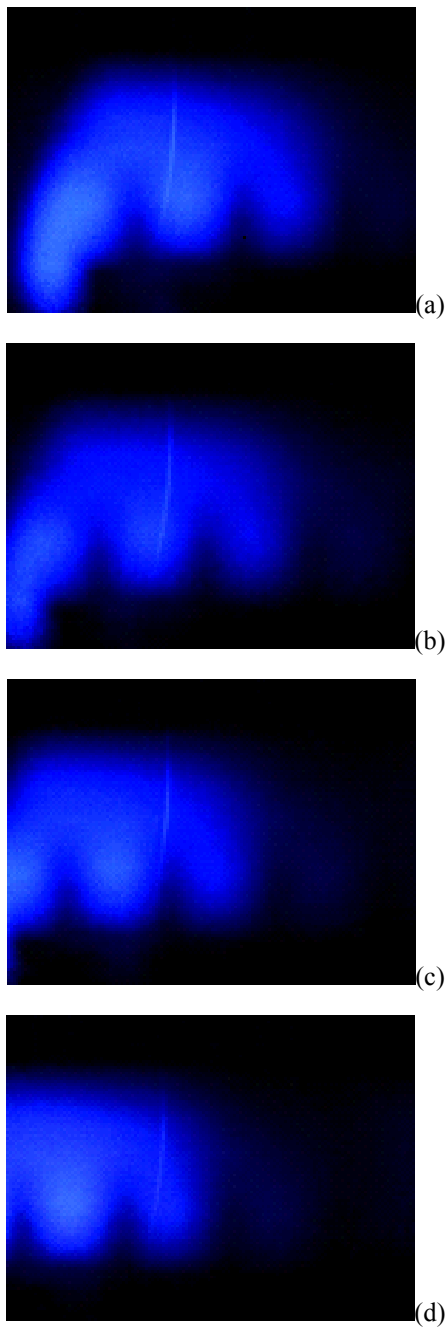


図 1 可視光フェムト秒光パルスが伝播する様子の動画像から抜き出した写真. (a)–(d)の順に左から右に向かってフェムト秒光パルスが伝播している様子が観察できる. 各写真の時間間隔は 35ps.

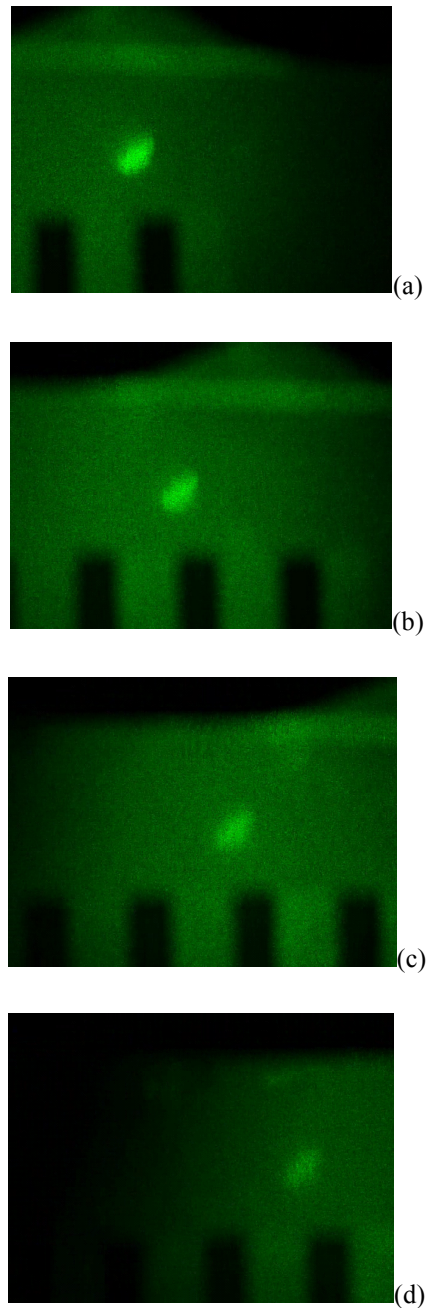


図 2 可視光フェムト秒光パルスが伝播する様子の 3 次元動画像から抜き出した写真. (a)–(d)の順に左から右に向かってフェムト秒光パルスが伝播している様子が観察できる.

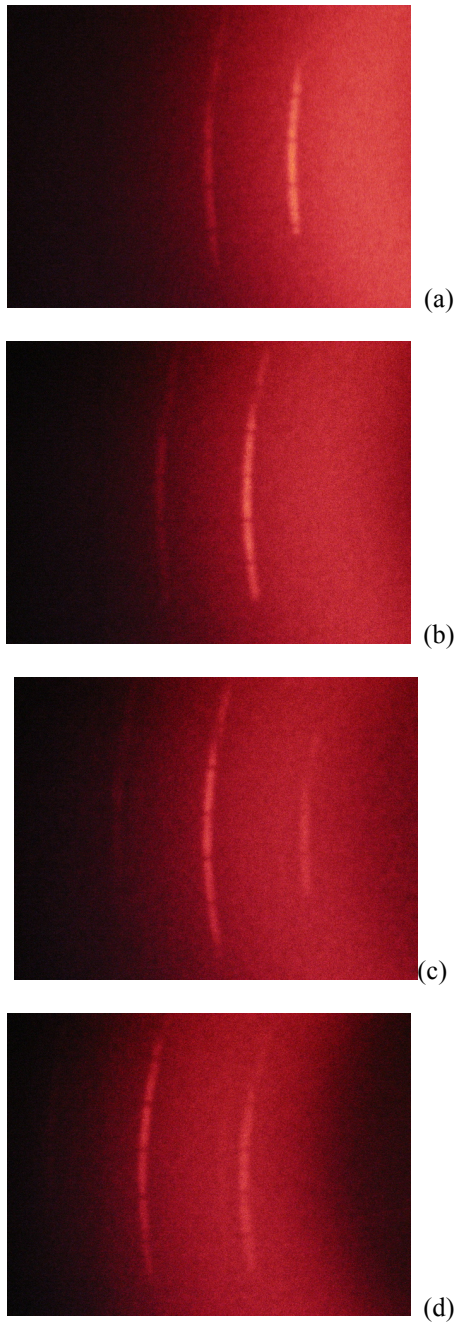


図3 可視光フェムト秒光パルスが伝播する様子を書き換え可能記録材料を用いて記録した動画像から抜き出した写真。(a)–(d)の順に右から左に向かってフェムト秒光パルスが伝播している様子が観察できる。各画像間の時間は110psである。得られた動画の長さは767psであった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① T. Kakue, M. Makino, M. Aihara, A. Kuzuhara, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, and T. Kubota, "Light-in-flight recording by holographic microscope and its numerical verification," Jpn. J. Appl. Phys. **48**, pp.09LD01-1-5 (2009). 査読有
- ② Y. Awatsuji, T. Takimoto, S. Nakajima, M. Makino, K. Tosa, Y. Moritani, T. Kakue, K. Nishio, S. Ura, and T. Kubota, "Moving picture recording and reconstruction of visible ultrashort light pulse propagation in diffusive medium," 22nd Annual Meeting of the IEEE Photonics Society (LEOS 2009) Conference Proceedings, 123-124, Belek-Antalya, Turkey, Oct. 3-8, 2009. 査読有
- ③ 粟辻安浩, 久保田敏弘, "フェムト秒光パルス伝播の時空間連続動画像記録と観察技術," 化学工業 **60**, 58-63 (2009). 査読無
- ④ 粟辻安浩, 久保田敏弘, "光の伝わる様子を三次元動画像としてとらえる -ホログラム技術の応用," 未来材料 **9**, pp.6-10 (2009). 査読無
- ⑤ S. Nakajima, M. Makino, M. Aihara, T. Kakue, A. Kuzuhara, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, and T. Kubota, "Three-dimensional moving picture recording and observation of visible femtosecond light pulse propagation by means of light-in-flight recording by holography," International Topical Meeting on Information Photonics (IP2008) Technical Digest, pp.82-83, Awaji, Nov.11-20, 2008. 査読有
- ⑥ K. Tosa, M. Aihara, T. Kakue, A. Kuzuhara, M. Makino, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, and T. Kubota, "Moving picture recording of femtosecond light pulse propagation with rewritable recording material," International Topical Meeting on Information Photonics (IP2008) Technical Digest, pp.140-141, Awaji, Nov. 11-20, 2008. 査読有
- ⑦ M. Makino, T. Kakue, M. Aihara, A. Kuzuhara, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, and T. Kubota, "Numerical study on moving picture recording of ultrashort light pulse magnified by microscope objective lens in light-in-flight recording by holography," International Topical Meeting on Information Photonics (IP2008) Technical Digest, pp.186-187, Awaji, Nov. 11-20, 2008. 査読有
- ⑧ Y. Awatsuji and T. Kubota, "Moving picture of three-dimensional image of femtosecond light pulse propagating in three-dimensional

space," AIP Conf. Proc. **949**, pp.218-225 (2007). 査読無

- ⑨ . Aihara, M. Makino, T. Kakue, A. Kuzuhara, Y. Awatsuji, K. Nishio, S. Ura, and T. Kubota, "Motion picture recording of visible femtosecond light pulse propagation," 13th Microoptics Conference (MOC'07) Technical Digest, pp.122-123, Takamatsu, Oct. 28-31, 2007. 査読有
- ⑩ A. Kuzuhara, K. Komai, T. Katayama, K. Nishio, Y. Awatsuji, S. Ura, and T. Kubota, "Numerical shape analysis of reconstructed three-dimensional images of femtosecond pulse propagation recorded by light-in-flight recording by holography," 13th Microoptics Conference (MOC'07) Technical Digest, pp.196-197, Takamatsu, Oct. 28-31, 2007. 査読有

〔学会発表〕(計7件)

- ① 滝本哲也, 中島真一, 牧野正宏, 土佐和也, 守谷友里, 角江 崇, 粟辻安浩, 西尾謙三, 裏 升吾, 久保田敏弘, "フェムト秒可視光パルスの3次元像の動画記録と観察," 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム 2009 論文集, 63-66, 吹田市, 2009年12月10日.
- ② 粟辻安浩, "ホログラフィが可能にする新しいイメージング技術," 大阪電気通信大学 視覚情報基礎研究施設 平成 21 年度 第2回研究会, 寝屋川市, 2009年7月10日.
- ③ 粟辻安浩, 久保田敏弘, 西尾謙三, 裏 升吾, "ホログラフィによる超短パルスレーザー光伝播の動画像記録と観察," 日本光学会((社)応用物理学会) 光波シンセシス研究グループ研究会 第16回研究会 講演資料集 pp.8-9, 千葉市, 2009年7月3日.
- ④ 粟辻安浩, "ホログラフィと先端技術の組み合わせによる新しいイメージングと計測技術 -超高速動画像記録・三次元動画像計測-, " 第2回 NEDO 光集積ラボラトリー公開セミナー, 京都市, 2009年4月17日.
- ⑤ 土佐和也, 栗飯原雅之, 角江 崇, 葛原あゆみ, 牧野正宏, 粟辻安浩, 西尾謙三, 裏 升吾, 久保田敏弘, "書き換え可能材料を用いたフェムト秒光パルス伝播の動画像記録と観察," 第69回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, p.879, 春日井市, 2008年9月4日.
- ⑥ 中島真一, 牧野正宏, 栗飯原雅之, 角江 崇, 葛原あゆみ, 粟辻安浩, 西尾謙三, 裏 升吾, 久保田敏弘, "可視フェムト秒光パルス伝播の3次元動画像記録と観

察," 第69回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, p.880, 春日井市, 2008年9月4日.

- ⑦ 粟辻安浩, 西尾謙三, 裏 升吾, 久保田敏弘, "超短パルスレーザー光伝播のホログラフィック動画記録と観察," レーザー学会学術講演会第28回年次大会講演予稿集, pp.201-202, 名古屋市, 2008年2月1日.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cis.kit.ac.jp/~awatsuji/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

粟辻 安浩 (AWATSUJI YASUHIRO)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・
准教授
研究者番号：80293984

(2) 研究分担者

裏 升吾 (URA SHOGO)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授
研究者番号：10193955

(3) 連携研究者

()

研究者番号：