

令和元年6月14日現在

機関番号：32511

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12914

研究課題名（和文）高磁場MRI下で機能するレーザー駆動モータの開発

研究課題名（英文）Development of the Laser driven motor actuator functioning under higher field MRI

研究代表者

大森 繁 (OMORI, Shigeru)

帝京平成大学・健康メディカル学部・教授

研究者番号：60759603

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：高磁場MRI装置の導入が医療現場で進んでおり、診断のみならず治療の場で用いることも期待されている。高磁場化により画像の解像度が向上することのメリットは大きい反面、高周波磁場の影響により治療用のデバイスは制約を受け、ロボット・マニピュレータ等を導入する場合には、その構成要素において金属材料を用いたモータ・アクチュエータの使用は困難となる。本研究では、電気配線が不要でオール樹脂化が可能となる新たなモータ・アクチュエータの構造として、レーザー誘起バブルを駆動源に用いることを提案し、原理確認実験を通じてその実現可能性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電気配線を用いないモータ・アクチュエータは現時点では空気圧駆動のものに限られている。ロボット・マニピュレータ等を構成するには、フレキシビリティの優れる配線系統の実現と実用的な応答特性が求められ、レーザーによる駆動方式はその可能性を有する選択肢であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The higher field magnetic resonance imaging system has been introduced in clinical field. It is expected to be applied not only for diagnostics but also therapeutics. Although the great advantage has been achieved by higher static magnetic field, it becomes difficult to use the device having metallic parts or wire by high frequency magnetic field. In this work, the use of laser-induced bubble as a driving source for motor actuator has been proposed and the principle confirmation experiments performed for investigating the possibility.

研究分野：レーザー医療応用開発

キーワード：高磁場核磁気共鳴装置 MRI レーザー モータ アクチュエータ 光ファイバ バブル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

医療現場で画像診断を行う際、X線CTと共に核磁気共鳴装置(MRI装置)が広く用いられている。使用されている静磁場強度は従来1.5T(テスラ)が一般的であったが、近年高磁場化が進み、3Tを保有する施設が増えており、一部の施設では7Tの装置も導入されている。高磁場化に伴って解像度が向上するメリットは大きく、将来的にリアルタイム動画像が標準化されれば、被爆の心配のない画像誘導下での治療が可能になるものと期待される。

一方で、MRI下での治療を想定したデバイスや装置の開発を行う場合においては、使用できる材料は制約を受ける。金属部品は画像にアーチファクトをもたらすと同時に、ワイヤー状のものは高周波磁場による発熱の危険性が指摘されており(引用文献)、血管内治療においては樹脂製のガイドワイヤーが検討されている(引用文献)。外科的治療でロボット・マニピュレータ等を導入する場合には、電気配線を用いたアクチュエータを使用することは困難であると考えられ、オール樹脂製の空気圧駆動のもの(引用文献)が提案されているが適用は限られている。

### 2. 研究の目的

本研究では、高磁場MRI下でも駆動できる電気配線を用いないモータ・アクチュエータの新たな方式の提案とその原理確認を目的とした実験を行い、その可能性を検討することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) アクチュエータ機構の基本コンセプト

本研究では、電気配線を不要とする新たなモータ・アクチュエータの機構として、レーザー誘起バブルを用いることを提案した。以下にその基本コンセプトを述べる。

水への吸収が高い波長のレーザー光を光ファイバ導光させて水中で照射すると、ファイバ端部で水蒸気による気泡(バブル)が発生することが知られている。発生したバブルは水を押しつける作用をすることにより、細径パイプ内でバブルを発生させ、水をジェット流として噴射させて用いる外科用メスの報告がある(引用文献)。レーザー光源は、水への吸収が優れるHo: YAGレーザー(波長2.1 $\mu$ m)が用いられる。パルス幅数百 $\mu$ sのパルスレーザーであり、レーザー誘起パルス液体ジェットと呼ばれている。

本研究におけるアクチュエータ機構の基本コンセプトは、レーザー照射により誘起されたバブルを利用して液体の代わりに機械部品を動かすことであり、レーザー誘起バブルアクチュエータと呼ぶことにする。

#### (2) レーザー誘起バブルアクチュエータの構成

動作原理の確認を行うことを目的としたレーザー誘起バブルアクチュエータの実験系の基本構成を図1に示した。光ファイバ先端部にシリンダ部とピストンを取り付け、シリンダに入れた液体に向かってレーザーを照射し、発生したバブルによりピストンを直線運動させるものである。シリンダ内の液体は外部へ出ることはなく、作動流体としての役割となる。また、エネルギー伝送は光ファイバのみで行うため電気配線は不要となる。

エネルギー源となるレーザー光源は、レーザー誘起パルス液体ジェットでは水との組み合わせとしてHo: YAGレーザーが用いられてきたが、モータ・アクチュエータを構成するためにはコンピュータ制御により出力時間波形を制御できることが望ましく、駆動電流の変調により出力制御が容易な半導体レーザー(LD)を用いた。波長は、高出力品の入手性より近赤外光である970nm(最大出力180W)を選定した。この波長は、水に対する吸収が低いため、アクチュエータに使用する作動流体として水をそのまま用いることができない。このため、水に色素を混入させ、レーザー光をこの色素に吸収させることで水の温度上昇を得るようにした。色素としては、熱伝導性が高く、焼き付きが起りにくい素材として、カーボンパウダーを用いた。

#### (3) アクチュエータの原理確認実験方法

図1で示したアクチュエータの基本構成において、レーザー照射によりシリンダ内のピストンを駆動させる実験を行った。

光ファイバ先端部に組み付けるアクチュエータユニットは、原理確認実験において着脱が容易となるよう、市販の光ファイバコネクタ(SMA型)を用いた。LDモジュールと一体化したコア径200 $\mu$ mの石英光ファイバ先端部にコネクタを取り付け、アダプタを用いて別のコネクタ(コア径1mm用)を単体で端面結合させた。このコネクタには、先端部にファイバ素線を固定する孔(1mm $\times$ 13mm)が、また基端部にはファイバジャケットを挿入固定する中空部分(2.3 $\times$ 12mm)が存在し、これらをそれぞれ作動流体の溶液溜めおよびシリンダ部として用いた。

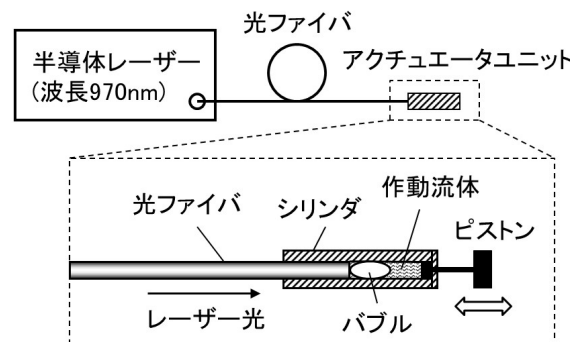


図1. レーザー誘起バブルアクチュエータの基本構成

作動流体用の色素として選定したカーボンパウダーは水に不溶である。このため、表面活性剤を用いて水に懸濁させた。本実験では、粒径  $20\mu\text{m}$  のパウダーを用い、中性洗剤を数滴添加してカーボン懸濁液とした。

組み立てたバブル発生部分を垂直に固定し、予め調整した作動流体をシリンダ内に注入した後、 $2.3\text{mm}$  のステンレスロッドを上部より挿入しピストンとした。ステンレスロッドは長さ  $30\text{mm}$  ( $1.0\text{g}$ ) と  $60\text{mm}$  ( $2.0\text{g}$ ) の2種類を用いた。図2に組み立てたアクチュエータユニットの外観写真を示す。

レーザー照射条件は、光源である LD の出力時間波形として、電流変調により矩形波パルスを成形し、1パルスあたりの出力エネルギーを  $300\text{mJ}$  前後に設定した。今回用いた LD の最大出力は  $180\text{W}$  であるため、出力パルス幅は  $2\text{ms}$  前後となる。バブル発生実験は、繰り返し  $10\text{Hz}$  および単パルスで実施した。  $10\text{Hz}$  駆動時において LD の電流変調を行うために用いた時間波形を図3に示した。

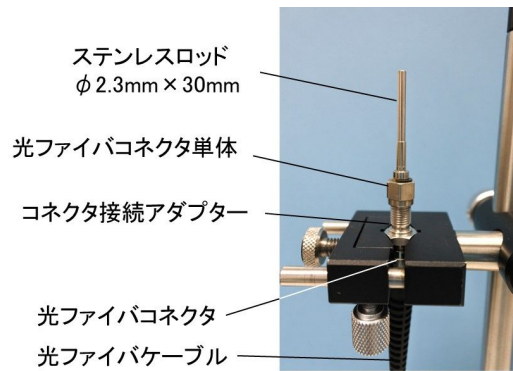


図2. 原理確認実験用アクチュエータユニットの外観

#### 4. 研究成果

原理確認実験系を用いて実施したレーザー照射実験において以下の結果が得られた。

ピークパワー  $180\text{W}$ 、パルス幅  $2\text{ms}$  のレーザー照射条件において、ピストンとして用いたステンレスロッドの上下運動（往復運動）が観察された。ストロークは  $3\text{mm}$  前後であった。動作タイミングはレーザー照射のタイミングと同期しており、目視困難な移動速度を有し、フレームレート  $1200\text{fps}$  の高速度カメラを用いることにより観察可能となった。レーザー変位計を用いて  $10\text{Hz}$  駆動時の応答特性を測定したところ、図4に示す結果が得られた。これは、長さ  $60\text{mm}$  のステンレスロッド上端面の変位を計測したものであり、往復時間は約  $15\text{ms}$  であることが分かる。また、一度元の位置に戻った後、次のパルス入力があるまでバウンドしている様子が観察された。これは、バブル消失時に生じた陰圧により、一旦上昇したステンレスロッドが急激に下方に引き戻されたためと考えられる。

以上の原理確認実験の結果より、レーザー誘起バブルを利用することで機械部品を動かすことは可能であり、電気配線が不要な新たなモータ・アクチュエータを構成できる可能性が得られたものと考えられる。同時に、実用化に向けた課題も明確化した。最も大きな課題は、シリンダとピストン間に封入している作動流体のリークの問題であり、現状ではストローク長を不安定にしている。また、初期位置に復元した後のバウンド現象についても、次段のメカニズム設計に影響を及ぼすファクターとなるため、これを低減させるべく、部品材料および機構面での検討が不可欠である。

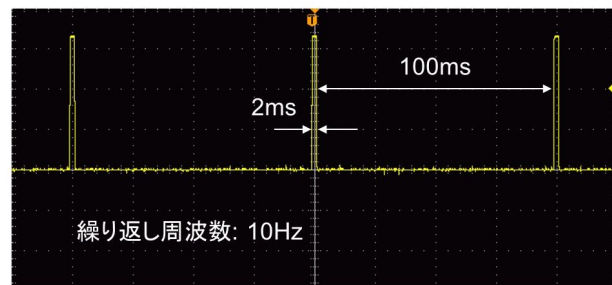
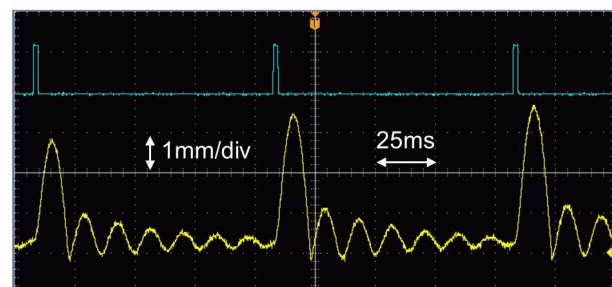


図3. LDの電流変調に用いた時間波形



上:LD駆動電流波形 下:レーザー変位計出力

図4. レーザー変位計による応答特性測定結果

#### < 引用文献 >

Wolfgang R. Nitz, Arnulf Oppelt, Wolfgang Renz, Christoph Manke, Markus Lenhart, and Johann Link, On the Heating of Linear conductive Structures as Guide Wires and Catheters in Interventional MRI, Journal of Magnetic Resonance Imaging, Vol.13, 2001, pp.105-114.

Sebastian Kos, Rolf Huegeli, Eugen Hofmann, Harald H.Quick, Hilmar Kuehl, Stephanie Aker, Gernot M.Kaiser, Paul J.A.Borm, Augustinus L.Jacob, and Deniz Bilecen, MR-compatible polyetheretherketone-based guide wire assisting MR-guided stenting of iliac and supraaortic arteries in swine: Feasibility study, Minimally Invasive Therapy, Vol.18, No.3, 2009, pp.1-8.

Yakar D, Schouten MG, Bosboom DGH, Barentsz JQ, Scheenen TWJ, and Futterer JJ, Feasibility of a pneumatically actuated MR-compatible robot for transrectal prostate biopsy guidance, Radiology, Vol.260, 2011, pp.241-247.

Atsuhiko Nakagawa, Takayuki Hirano, Makoto Komatsu, Mariko Sato, Hiroshi Uenohara, Hideki Ohyama, Yasuko Kusaka, Reizo Shirane, Kazuyoshi Takayama, and Takashi Yoshimoto, Holmium:YAG laser-induced liquid jet knife: Possible novel method for dissection, Lasers in Surgery and Medicine, Vol.31, 2002, pp.129-135

中川 敦寛、隈部 俊宏、金森 政之、斎藤 竜太、平野 孝幸、高山 和喜、富永 悌二、パルスレーザージェットメス - 神経腫瘍手術への臨床応用、脳神経外科、Vol.36, No.11, 2008, pp.1005-1010

## 5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

大森 繁、レーザー誘起バブルを用いたアクチュエータの基礎実験、電気学会 光・量子デバイス研究会、2019年4月13日

Shigeru Omori, Development of the laser-induced water bubble actuator, International Conference on Mechatronics, Automation and Systems Engineering, November 28, Tokyo, Japan, 2018.

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。