

平成21年06月02日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2008

課題番号：16078205

研究課題名（和文） 機能性流体を応用したニューアクチュエータの研究

研究課題名（英文） New Microactuators Using Functional Fluids

研究代表者

横田 眞一 (YOKOTA, SHINICHI)

東京工業大学・精密工学研究所・教授

研究者番号： 10092579

研究成果の概要：

本研究ではミリメートルサイズでパワー密度が高いマイクロアクチュエータの実現を目的とし、機能性流体を用いたニューアクチュエータの具現化を行った。(1) 高電圧の印加によって活発なジェット流を発生する電界共役流体 (ECF) を駆動源としたマイクロアクチュエータ、(2) 電圧印加による粘度変化で電気粘性流体 (ERF) の流れを制御するフレキシブル ER マイクロバルブとシリコンゴム PDMS の液圧室から成るマイクログリッパ、(3) この ER アクチュエータの駆動源として、マルチリードバルブを用いたマイクロポンプを開発した。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|------|------------|
| 2004年度 | 15,100,000 | 0 | 15,100,000 |
| 2005年度 | 14,800,000 | 0 | 14,800,000 |
| 2006年度 | 15,200,000 | 0 | 15,200,000 |
| 2007年度 | 8,100,000 | 0 | 8,100,000 |
| 2008年度 | 8,500,000 | 0 | 8,500,000 |
| 総計 | 61,700,000 | 0 | 61,700,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 / 設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：機能性流体、アクチュエータ、マイクロマシン、流体デバイス

1. 研究開始当初の背景

機能性流体とは、電界や磁界の印加によりジェット流の発生や見かけの粘度の変化を生じる液体で、これを応用すると単純で微小化に適した構造で高パワー密度のフルードパワーを制御できる。

ECF (電界共役流体) は、新しい機能性流体で、線状電極などにより直流高電圧を印加すると強いジェット流を生じるもので、単純な構造で軽量の細い電極線によりジェット発生部を構成でき、しかも、小形化を図ると

出力パワー密度が増大することが明らかにされており、ECF を応用した新しいマイクロアクチュエータは潜在的に高い実用性を有している。

ERF (電気粘性流体) および MRF (磁気粘性流体) は、電界や磁界の印加で見かけの粘度が著しく増大する機能性流体で、近年の開発研究により流体自体の特性が著しく向上しており、これらの流体を作動流体として用いることにより、固定電極あるいは固定磁極から成る単純構造のデバイスで高パワー

密度の流体の流れを制御できる。

マイクロマシン技術、マイクロアクチュエータ技術は、これまでの精力的な研究により、情報を取り扱うデバイスを中心に多くの優れた成果をあげてきているが、ミリメートルサイズで高パワー密度の実用的なマイクロアクチュエータに関する研究は、未だ不十分である。機能性流体を応用したニューアクチュエータは、このような用途に最も適していると考えられる。

2. 研究の目的

本研究課題では、上記の検討を受けて、具体的に以下に挙げる課題の解決を図る。

(1) ECF を応用した高出力なマイクロモータ、マイクロジャイロスコープ、マイクロミニピュレータの創成と応用: ECF は直流高電圧を印加すると強いジェット流を生じる機能性流体であり、微小なジェット発生部を構成できるうえ、小形化を図ると出力パワー密度が増大する。このため、駆動源を内蔵したマイクロアクチュエータが実現可能である。

(2) ERF, MRF を応用したマイクロアクチュエータの創成と応用: ERF および MRF は、電界や磁界の印加で見かけの粘度が著しく増大する機能性流体であり、作動流体として用いることにより、固定電極あるいは固定磁極から成る単純なデバイスで高パワー密度の流体流れを制御できる。

(3) マイクロフルードパワーシステムの流体パワー源となる高出力マイクロポンプの創成と応用: 管路内の流体慣性による液柱分離を利用し、吐出行程だけでなく吸入行程でも吐出を行うことで高出力化を図った圧電マイクロポンプが実現できる。

3. 研究の方法

(1) ECF マイクロモータ

表面に電極対を配置した円板形ロータを ECF に浸した構造で、線状電極間に直流高電圧を印加したとき生じる強いジェット流の反力により回転するマイクロ ECF モータに対し、円板形ロータを高い密度で積層化し、高集積化による高出力化を図る。微細な構成部品は 3D モデリングマシン等により製作する。また、ノコ歯状電極対など多様な形状の電極パターンをフォトリソグラフィにより製作する。試作モータは既存の高電圧電源等を用いて駆動し、出力特性を実験的に検討する。これにより、各設計パラメータの出力特性への影響を明らかにし、高出力マイクロモータの実現を図る。

(2) ECF マイクロポンプ

ECF マイクロポンプは MEMS 技術で形成された多数のマイクロ電極対が基板に配置されている構造である。ECF はこのマイクロ電極対で誘導される極端に不均一な電界の

下でより強力なジェット流を発生することがわかっている。このため、強力なジェット流を発生させる不均一電界を実現するための電極形状について検討する。くし状電極対のほかに不均一な電界を形成することができるノコギリ状電極対、弧状電極対などを二次元 MEMS 技術で製作する。

(3) ECF マイクロジャイロスコープ

ECF を用いる液体レートジャイロは微小な電極対によって電界共役流体に発生した流動 (ECF ジェット) に対して角速度が加わった際に、コリオリ力によって生じる偏流を検出することによって角速度を測定する。ECF ジェットの流速分布を把握することによって偏流検出位置などのパラメータを最適化する。

(4) ECF マイクロミニピュレータ

フレキシブルチューブの内部は電界共役流体で満たされて、根元部に配置された電極対に数 kV の高電圧を印加すると電界共役流体にジェットが発生し、各部屋で差圧が生じる。この差圧を用いてマイクロミニピュレータを実現する。この駆動原理の確認し、設計指針を得ることを目的としてラージモデルを試作し、基本特性を評価する。また、ラージモデルの試作によって、その製作方法を検討する。

(5) ERF, MRF マイクロアクチュエータ

ERF, MRF を制御するバルブの制作方法として、加工と組み立てを融合した再現性のよい、小形化に優位な MEMS 技術を用いる。また、曲管通過を可能にするため、フレキシブル ER マイクロアクチュエータ (FERMA) を提案し、その制御要素となるフレキシブル ER マイクロバルブ (FERV) を開発し、このバルブをベローズに内蔵した FERMA の試作を行う。

(6) 高出力マイクロポンプ

ERF あるいは MRF を作動流体としたマイクロバルブを用いたマイクロフルードパワーシステムの高出力流体パワー源として共振駆動形圧電マイクロポンプに対し、能動的に開閉が可能なアクティブバルブを適用し、さらなる高出力化を図る。試作は 3D モデリングマシン等を用いて行う。試作ポンプの特性実験は、ピエゾドライバ、高精度レーザ変位計、および圧力センサ等を用いて行う。また、吐出チェック弁の代わりに管路要素を有し、その管路での流体慣性を利用してポンプ室吸入時でも吐出を継続できる高出力マイクロポンプについても試作し、共振駆動形圧電マイクロポンプと同様に特性実験を行う。

4. 研究成果

(1) ECF マイクロモータ

ECF を円筒状ステータ内に充填し、円盤状ロータ表面に電圧印加用の微小な電極対を

配置すればジェット流を利用した ECF マイクロモータを構成できる。モータ出力に影響する電極形状を検討し、マイクロモータの高効率を実現した。DP-RE 形 ECF マイクロモータに対して従来数%であった効率を 17% に向上した。また、ECF マイクロモータの高出力化を実現した。DP-RE 形 ECF マイクロモータに対して出力パワー密度を 6.3 W/kg に向上した。これは従来モータの 21 倍の当たる。

(2) ECF マイクロポンプ

並行電極が複数配置された電極基板を用いて ECF にジェット流を発生させる平面形 ECF ポンプを開発し、ノート PC 用 CPU 液冷システムを提案した。また、電極形状を検討し、より低い電圧で高い圧力、流量が得られる電極形状を実験的に検討し、従来ポンプに比べ 16 倍の出力パワー密度を実現した。

(3) ECF マイクロジャイロスコープ

高電圧の印加によって活発なジェット流を発生する電界共役流体 (ECF) を利用した ECF マイクロレートジャイロを提案し、プロトタイプを試作した。上記ジェット流に角速度に起因するコリオリ力が作用した際の偏流をホットワイヤによって検出する新たなレートジャイロであり、機械的可動部を必要としないため、小型で長寿命、耐振動性に優れると考えられる。特性試験の結果、少なくとも $\pm 400^\circ/\text{s}$ の範囲で良好な角速度検出が可能であることを明らかにした。また、ECF マイクロレートジャイロの小形化および低電圧駆動化を行った。角速度検出が可能な最小駆動電圧は従来の 1.1kV から 0.62kV に低電圧化できた。小形化として、流路体積を従来の $\frac{3}{2}$ である $8.5 \times 14 \times 1.5 \text{ mm}^3$ にできた。

(4) ECF マイクロマニピュレータ

ECF に発生するジェット流を圧力駆動源としてシリコンゴムチューブの内圧を制御し変形させる ECF フレキシブルアクチュエータを開発した。すなわち、直径 1 mm の湾曲チューブの内圧を制御しチューブ先端変位を得る ECF マイクロマニピュレータ、および直径 5 mm の繊維強化チューブの内圧制御により収縮変位を得る ECF マイクロ人工筋を開発し、駆動特性を明らかにした。

マイクロ人工筋セルを実現した結果、直径 13 mm、高さ 10 mm のセル単体で収縮変位 1.2 mm、発生力 0.22 N を実現した。また、マイクロ人工筋セルの集積化による出力向上を確認した。直径 10 mm、高さ 12.5 mm のセルを 4 個 (2×2) 直並列化した ECF 人工筋を実現した。

ECF 人工筋を用いた小形軽量の ECF マイクロマニピュレータを提案した。具体的には、収縮動作を行う (a) ECF マイクロ人工筋セルおよび (b) ECF-MFHA (ECF-Micro Flexible Hydraulic Actuator) により関節を駆動し、

屈曲動作を行う (c) ECF マイクロフィンガで構成された把持動作をおこなう ECF マイクロマニピュレータを実現した。

(5) ERF, MRF マイクロアクチュエータ

MRF を作動流体とした MR シリンダを開発し、2 軸マニピュレータの駆動に応用した。

電界の印加によって見かけの粘度が変化する ER 流体を用いたマイクロアクチュエータを提案した。本アクチュエータの構成部である直径 2 mm 程度のドーム形状を金属ガラスを用いて製作し、その MEMS プロセスを開発するとともに、ER 流体を用いたバルブを製作した。

電界印加で見かけの粘度が増大する ERF (電気粘性流体) を応用したフレキシブル ER マイクロアクチュエータを実現するため、フォトレジスト SU-8 のカンチレバー形構造体で構成され、柔軟に屈曲できるフレキシブル ER マイクロバルブを提案、試作し、その特性を実験的に明らかにするとともに、フレキシブルアクチュエータを構成しその動作を確認した。

電界で粘度制御できる電気粘性流体 (ERF) を用いた ER バルブの一方の電極を間隔方向に可動とし出力変位を得る構造で、外力による変位を抑制する位置フィードバック機構を内蔵したスマートアクチュエータを提案し、直径 10 mm、厚さ 2.5 mm のアクチュエータを試作し、その特性を実験的に明らかにした。

樹脂材料 SU-8 の流路と薄膜電極から成る薄いカンチレバー形の柔軟な構造で電圧印加による粘度変化で電気粘性流体 (ERF) の流れを制御するフレキシブル ER マイクロバルブとシリコンゴム PDMS の液圧室から成るマイクログリッパを提案、MEMS プロセスを用いて試作し、その動作を実験的に確認した。

(6) 高出力マイクロポンプ

ERF を用いた液圧駆動管内走行マイクロマシンの開発のために、アクティブスプール弁を利用した圧電共振駆動型ポンプを提案し、直径 9 mm のマイクロポンプを開発した。

管路慣性を用いた全波整流形圧電マイクロポンプを提案し、プロトタイプを試作した。本ポンプは吐出側チェック弁の代わりに流体のイナータンスが大きくなる細長い管路要素を有することによって慣性効果を用いて継続的な吐出を実現した。加えて、2 つのポンプ室を 1 つの積層圧電素子によりポンピングする構造とし、高出力化を図った。この結果、ポンプ体積約 1 cm^3 で約 0.4 MPa の吐出圧力を実現した。

管路内の流体慣性による液柱分離を利用し、吐出行程だけでなく吸入行程でも吐出を行うことで高出力化を図った圧電マイクロポンプにより比較的粘度の高い ERF をポン

ピングするため、吸入側チェックバルブとしてマルチリードバルブを提案、試作し、高出力パワー密度化を実験的に確認した。

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 25 件)

- [1] Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, Mamoru Suzuki, Kazuya Edamura, Hideo Kumagai and Tsunehiko Imamura, A liquid rate gyroscope using electro-conjugate fluid, Sensors and Actuators A: Physical, 149, pp.173-179 (2009), 査読有
- [2] 横田眞一, 鈴木守, 竹村研治郎, 枝村一弥, 熊谷秀夫, 今村恒彦, 電界共役流体を用いたマイクロ液体レートジャイロの研究, 日本機械学会論文集. C 編, 75, pp.496-502 (2009), 査読有
- [3] Kenjiro Takemura, Fumiya Yajima, Kazuya Edamura, and Shinichi Yokota, Integration of micro artificial muscle cells using electro-conjugate fluid, Sensors and Actuators A: Physical 144, pp.348-353 (2008), 査読有
- [4] Shinichi Yokota, Micro actuators by making use of jet flows due to electro-conjugate fluid, Mechanics Based Design of Structures and Machines, 36, pp.330-345 (2008), 査読有
- [5] 横田眞一, 吉田和弘, 電界共役流体 (ECF) を応用した強制液冷用薄形平面ポンプ, 日本フルードパワーシステム学会誌, 39, pp.277-280 (2008), 査読無
- [6] Kenjiro Takemura, Hiroto Kozuki, Kazuya Edamura, and Shinichi Yokota, A micromotor using electro-conjugate fluid - Improvement of motor performance by using saw-toothed electrode series, Sensors and Actuators A: Physical, 140, pp.131-137 (2007), 査読有
- [7] Ryutaro Abe, Kenjiro Takemura, Kazuya Edamura and Shinichi Yokota, Concept of a micro finger using electro-conjugate fluid and fabrication of a large model prototype, Sensors and Actuators A: Physical, 136, pp.629-637 (2007), 査読有
- [8] 吉田和弘, 小木曾太郎, 横田眞一, 均一系 ER 流体を用いたフレキシブル ER マイクロアクチュエータ, 日本機械学会論文集 C, 73, pp.2508-2513, (2007), 査読有
- [9] 横田眞一, 洪榮杓, 竹村研治郎, 枝村一弥, 電界共役流体により駆動されるミミズ型ぜん動駆動マイクロマシン, 日本ロボット学会誌, 25, pp.140-145, (2007), 査読有
- [10] 横田眞一, 阿部竜太郎, 竹村研治郎, 枝村一弥, ECF ジェット駆動マイクロフィングの提案とラージモデルの特性評価, 日本フルードパワーシステム学会論文集, 38, pp.65-70, (2007), 査読有
- [11] Ryutaro Abe, Kenjiro Takemura, Kazuya Edamura and Shinichi Yokota, Concept of a Micro Finger using Electro-conjugate Fluid and Fabrication of a Large Mode Prototype, Sensors & Actuators A, 136, pp.629-637 (2007), 査読有
- [12] W.-S. Seo, K. Yoshida, S. Yokota and K. Edamura, A High Performance Planar Pump Using Electro-Conjugate Fluid with Improved Electrode Patterns, Sensors and Actuators A, 134, pp.606-614 (2007), 査読有
- [13] Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura, Development and Control of a Micro Artificial Muscle Cell using Electro-conjugate Fluid, Sensors & Actuators A, 133, pp.493-499 (2007), 査読有
- [14] 阿部竜太郎, 横田眞一, 竹村研治郎, 枝村一弥, ECF ジェットによる発生圧力を応用したチューブ形 ECF マイクロアクチュエータ, 日本フルードパワーシステム学会論文集, 37・5, pp.55-60 (2006), 査読有
- [15] Shinichi Yokota, Ryuta Nishizawa, Kenjiro Takemura, Kazuya Edamura, Concept of a Micro Gyroscope using Electro-conjugate Fluid (ECF) and Development of an ECF Micro Gyro-motor, Journal of Robotics and Mechatronics, 18・2, pp.114-120 (2006), 査読有
- [16] 横田眞一, 河村清美, 竹村研治郎, 枝村一弥, 電界共役流体 (ECF) を用いたマイクロモータの高出力化, 電気学会論文誌 E, 126・4, pp.137-143 (2006), 査読有
- [17] M. De Volder, K. Yoshida, S. Yokota and D. Reynaerts, The Use of Liquid Crystals as Electrorheological Fluids in Microsystems: Model and Measurements, J. of Micromechanics and Microengineering, 16・3, pp.612-619 (2006), 査読有
- [18] 吉田和弘, 高橋寛如, 朴重濠, 横田眞一, 河内仁, 枝村一弥, フェライト粒子を用いた MR 流体を作動流体とした制御弁, 日本機械学会論文集 (C 編), 72・714, pp.457-463 (2006), 査読有
- [19] Shinichi Yokota, Kiyomi Kawamura, Kenjiro Takemura, and Kazuya Edamura, A High-integrated Micromotor using Electro-conjugate Fluid (ECF), Journal of

- Robotics and Mechatronics, 17 · 2, pp.142-148 (2005), 査読有
- [20] Kazuhiro Yoshida, Jung-Ho Park, Hiroshi Yano, Shinichi Yokota and Sonam Yun, Study of Valve-Integrated Microactuator Using Homogeneous Electro-Rheological Fluid, Journal of Sensors & Materials, 17 · 3, pp.97-112 (2005), 査読有
- [21] 竹村研治郎, 横田眞一, 枝村一弥, 電界共役流体に発生するジェット流を用いたマイクロ人工筋アクチュエータ, 日本機械学会論文集(C), 71・708, pp.2571-2577 (2005), 査読有
- [22] 吉田和弘, 高松 環, 米田裕一, 横田眞一, MR 流体を作用流体としたマイクロバルブ, 日本機械学会論文集(C), 71・708, pp.1355-1360 (2005), 査読有
- [23] J.-H. PARK, K. Yoshida, C. Ishikawa, S. Yokota, T. Seto, K. Takagi A Study on High-Output Resonance-Driven Piezoelectric Micropumps Using Active Check Valves, Journal of Robotics and Mechatronics, 16 · 2, pp.171-177 (2004), 査読有
- [24] 吉田和弘, 鄭 淵午, 瀬戸 毅, 高城邦彦, 朴 重濠, 横田眞一, 管路慣性を応用したマイクロポンプの最適構造, 日本機械学会論文集 (C), 70 · 697, pp.2668-2673 (2004), 査読有
- [25] 横田眞一, 桑嶋 崇, 枝村一弥, 積層 DP-RE 形 ECF マイクロモータの高集積化, 日本機械学会論文集 (C), 70 · 693, pp.1463-1469 (2004), 査読有
- [学会発表] (計 1 3 1 件)
- [1] Shinichi Yokota, Tsunehiko Imamura, Kenjiro Takemura, Kazuya Edamura, Hideo Kumagai, A Liquid Rate Gyroscope Using Electro-Conjugate Fluid, Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP2008), 2008.12.17, Sydney, Australia
- [2] Joon-wan Kim, Yoshitsugu Ogawa, Shinichi Yokota, Kazuhiro Yoshida, Kazuya Edamura, ECF Microactuator with Needle-Ring Electrodes by MEMS Technology, 12th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT 2008), 2008.10.15, Sudbury, Ontario, Canada
- [3] Fumiya YAJIMA, Kenjiro TAKEMURA, Shinichi YOKOTA, Kazuya EDAMURA, A cell integrated ECF-jet driven artificial muscle actuator, 12th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT 2008), 2008.10.15, Sudbury, Ontario, Canada
- [4] Yutaka Tanaka, Masafumi Ebisawa, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura, Miniaturized and High - Powered Micro Pump Using Functional Fluid ECF, 12th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT 2008), 2008.10.14, Sudbury, Ontario, Canada
- [5] Haruo Kozono, Shinichi Yokota, Tetsuro Mori, Mechatronics Coined by Tetsuro Mori, 12th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT 2008), 2008.10.14, Sudbury, Ontario, Canada
- [6] Shinichi Yokota, Kenjiro Takemura, Mamoru Suzuki, Kazuya Edamura, Hideo Kumagai, Tsunehiko Imamura, A Liquid Rate Gyroscope using Electro-conjugate Fluid - Practical Design and Characterization, IEEE/RSJ 2008 International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008), 2009.9.25, Nice, France
- [7] Kazuhiro YOSHIDA, Kazuhito KAMIYAMA, Joon-wan KIM, Shinichi YOKOTA, Proposition of an ER Microactuator with Inherent Position Feedback Mechanism, the Seventh JFPS International Symposium on Fluid Power (ISFP 2008), 2008.9.17, Toyama, Japan
- [8] K. Takemura, Y. Hong, K. Edamura, S. Yokota, Earthworm type Robot driven by Electro-conjugate Fluid, 17th CISM-IFTToMM Symposium on Robot Design, Dynamics, and Control (RoManSy 2008), 2008.7.6, Tokyo, Japan
- [9] Rohan Raghavan, Jiaying Qin, Leslie Y. Yeo, James R. Friend, Kenjiro Takemura, Shinichi Yokota, Kazuya Edamura, Electrokinetic actuation of low conductivity dielectric liquids, Proceedings of the Sixth International ASME Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels, 2008.6.25, Darmstadt, Germany
- [10] S. Yokota, K. Yoshida, W.-S. Seo, K. Koizumi, J.-W. Kim, K. Edamura, Forced Liquid Cooling System Using Thin Planar ECF Pump for High Power Electronic Chips, ACTUATOR 2008, 2008.6.9 Bremen, Germany
- [11] Shinichi Yokota, Mamoru Suzuki, Kenjiro Takemura, Kazuya Edamura, Hideo Kumagai, Tsunehiko Imamura, Concept of a liquid rate gyroscope using an electro-conjugate fluid, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2008.5.21 Pasadena, Conference Center, Pasadena, CA, USA

- [12] S. Yokota, K. Yoshida, and J-W. Kim, New Microactuators Using Functional Fluids, MEXT Grant-in-Aid for Scientific Research on Priority Areas, The 2nd International Symposium on Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs, 2008.4.17, APA Hotel & Resort Tokyo Bay Makuhari, Chiba, Japan
- [13] Shinichi Yokota, Micro-Actuators By Making Use Of Jet Flows Due To Electro-Conjugate Fluid, 3rd International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics (MUSME 2008) 2008.4.9 San Juan, Argentine

— その他 118 件 —

[図書] (計 1 件)
アクチュエータシステム技術企画委員会 (横田眞一, 吉田和弘 他), (株) 養賢堂, アクチュエータ工学, 2004 年 12 月 18 日, pp.33-38, pp.42-51, pp.131-148, pp.186-194

[産業財産権]
○出願状況 (計 6 件)

- ①
名称: 流体レートジャイロ
発明者: 横田眞一 他
権利者: 東工大 他
種類・番号: 特願 2008-132214
出願年月日: 2008.5.20
国内外の別: 国内
- ②
名称: 流体レートジャイロ
発明者: 横田眞一 他
権利者: 東工大 他
種類・番号: 特願 2008-138134
出願年月日: 2008.5.27
国内外の別: 国内
- ③
名称: 熱拡散装置
発明者: 横田眞一 他
権利者: 東工大 他
種類・番号: 特願 2008-297890
出願年月日: 2008.11.21
国内外の別: 国内
- ④
名称: 放熱板
発明者: 横田眞一 他
権利者: 東工大 他
種類・番号: 特願 2008-323661
出願年月日: 2008.12.19
国内外の別: 国内
- ⑤
名称: 流体レートジャイロ

発明者: 横田眞一 他
権利者: 東工大 他
種類・番号: 特願 2007-19859
出願年月日: 2007.11.21
国内外の別: 国内

⑥
名称: 電気粘性流体アクチュエータ
発明者: 吉田和弘
権利者: 東工大
種類・番号: 特願 2007-19859
出願年月日: 2007.07.31
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横田 眞一 (Shinichi Yokota)
東京工業大学・精密工学研究所・教授
研究者番号: 10092579

(2) 研究分担者

吉田 和弘 (Kazuhiro Yoshida)
東京工業大学・精密工学研究所・准教授
研究者番号: 00220632

金 俊完 (Joon-wan Kim)

東京工業大学・精密工学研究所・助教
研究者番号: 40401517

(3) 連携研究者

竹村 研治郎 (Kenjiro Takemura)
慶應義塾大学・理工学部・講師
研究者番号: 90348821