

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420204

研究課題名(和文)車を運転するロボットドライバーの研究

研究課題名(英文)Development of Robot Driver drives human operated vehicle

研究代表者

滝田 好宏(Takita, Yoshihiro)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・その他部局等・教授)

研究者番号：60546050

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人間が操作する車両を運転するロボットドライバーを提案した。ロボットドライバーが運転する最初の車両として、一般の車両では近づけない場所において探索調査が可能な八輪式水陸両用車ARGOを選んでいる。ロボットドライバーはスロットル、ハンドル、ギヤシフト、ブレーキを4個のモータで行えるようにし、2個のマイクロコンピュータで遠隔制御システム構成をした。人間が操作するハンドルとブレーキレバーには遊びやヒステリシスあるため、6軸力センサを用いたカフィードバック系を用いることで、操縦可能となった。本制御装置を搭載してARGOの遠隔操縦実験により、加速減速、方向変換が自由に行えることがわかった。

研究成果の概要(英文)：This research proposed a robot driver which drives the human operated vehicles such as car. For the first application of the robot driver, this research selected an amphibious vehicle ARGO 4 by 4. Robot driver sit on the seat and controls the throttle, the handle, the gear shift and the hand brake with four motors in total. Motors are controlled by a microcomputer based system with radio receiver for remote control. The human operated system is included the hysteresis characteristics caused by the backlash and play. In order to solve the problem, the force control is applied to this system using a 6 axis force torque sensor. Experimental run of ARGO is demonstrated in the outdoor environment using the constructed robot driver and control system.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：運動制御 ロボットドライバー 遠隔操縦

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災後の原発事故では被爆の危険性が伴う放射線量状況を無人で移動し調査できる車両が無かったという問題点が浮かび上がった。極限環境でも人間に依らず移動可能なロボットカーを早急に開発することが望まれる。

車の自動運転の技術に関して、米国国防高等研究計画局 (DARPA) は Grand challenge と Urban challenge によって市街地での自動走行を実現し、その後 Google はそのような技術を元にして、同国ネバダ州において公道走行実験車の登録を行って、ロボットカービジネスに乗り出している。当研究室では、つくばチャレンジで得られた制御技術を Prius ベースのロボットカーの自動運転に応用する研究を開始した。

自動運転のベースとなる車体は 2009 年以前の Prius (TOYOTA 製) で、車内 CAN 通信を解析して、車体の状況を把握すると同時に外部のコンピュータから制御信号を送って、ハンドル、スロットル、ブレーキを操作することで自動走行を可能にしている。新型のハイブリッド車では車内 CAN 通信が高度化してロボット化するための信号解析は不可能に近く、製造会社からの情報提供がなければ、ロボットカーとして利用するのは難しい状況である。そこで、人間が運転する操作を人間型ロボットがハンドル、ブレーキ、スロットル、シフトレバー、パーキングブレーキ、サイドブレーキを操作することができれば、どのような車でも運転できる可能性が生まれる。

一方、AB Dynamics 社、Stahle 社、小野測器社は人間と同じような操作入力を与えるように設計された機器を搭載して、車の耐久性評価または自動運転の実績がある。自動運転装置はステアリング、ブレーキ、スロットルそれぞれの操作性能は優れているが、汎用的に用いることが難しくまた高価となっている。車メーカーは車自体を自動化する方向であるが、車の改造が難しい一般の研究者にはロボットドライバーが必要と考えられ、本研究開発を行う意義がある。

### 2. 研究の目的

提案当初において、本研究で開発を目指したロボットドライバーの概要を図 1 に示す。オートマチック仕様車の運転席に設置して、ハンドル、アクセル、ブレーキ、シフトレバー、パーキングブレーキを操作して、自動運転することを目的としている。ここで、重要な項目は大きく二つあり、一つは人間と同じような力と応答速度が得られるアクチュエータと構造を持つことであり、二つ目は自律制御装置から制御信号を受け、自ら認識した操作箇所を適切に制御できるロボットを開発することである。

このようにロボットドライバーが運転する車両として自動車を考えていたが、ここ数

年で車の製造会社が自動運転の研究を行なうようになり、自動運転ができる環境が整ってきたため、車以外でロボットドライバーの有効性を示す必要があると考えた。そこで、災害現場に投入できる車両として注目されている 8 輪式水陸両用車 ARGO 8×8 (ODG Ltd. 製) に注目した。ARGO は遠隔操縦が試みられたが、有効な制御方式の検討がなされていない。そこで、ハンドル、スロットル、ブレーキおよび前後進のギヤシフトを操作するロボットドライバーを試作し、ARGO に搭乗させて遠隔操縦を可能にした。

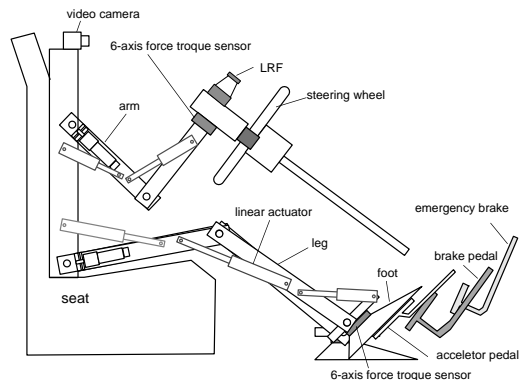


図 1 ロボットドライバーの概要

### 3. 研究の方法

ARGO を運転するロボットドライバーを設計にあたって、次の点を考慮した。(1) 制御する自由度を極力少なくする。(2) 搭乗、撤去が容易な構造とする。(3) 車体の構造変更は最小限とする。(4) 遠隔操縦システムを搭載する。なお、ARGO 8×8 を動かすために、エンジンの始動、サイドブレーキの解除を必要とするが、本操作はオペレータが行うものとする。

このような考え方に基づいて、ロボットドライバーの機構部、制御回路および制御プログラムの製作試作を行い、運転する車両に搭載し、人間と同じような制御が行えるかを確かめ、遠隔操縦が行なえるようにシステムを構築する。

### 4. 研究成果

#### (1) ロボットドライバーの概要

図 2 に試作した ARGO ドライバーの構成を示す。

##### ① ハンドルとブレーキ

ハンドル旋回する面内で、接線方向に駆動するリニアアクチュエータで押し引きすることにより、ほぼ線形な力を伝達することが可能となる。ここで、ハンドル左のグリップに取り付けた 6 軸力センサの Z 軸中心に作用するように取り付けたボールねじは本体と接続されている。ハンドルに作用する力は 6 軸力センサの Z 方向の力で検出される。なお、

ブレーキを操作するアクチュエータにも同様のボールねじを用いているが、ブレーキレバーの操作力は6軸力センサのZ軸に干渉しないような構造として、X軸のトルクによって検出している。

### ② スロットル

スロットルグリップの回転角は平歯車を用いた2段減速機を介してDCモータで制御している。ハンドルが前後に動いている時でも回転角が変化しないことが求められるため、スロットルリップ中心の接続方向にリニアスライドを設置し、旋回運動を拘束しないように本体との接合にボールジョイントを使用している。また、グリップを回転させるスロットルは最も繊細な制御を要求される操作で、エンジンのスロットルバルブのばねの反力で制御機構が戻るバックドライブ性を保つように、コアレスタイプのDCモータを使用した。

### ③ ギヤシフト

前後進のギヤシフトを操作する機構を新たに設計して取り付けている。人間の操作で一番大きな力を必要とするのがこのシフトレバーの操作である。そこで、シフトノブを外し、シフトアームを0.4mほど延長することで、10Wのモータで駆動できるようにした。モータの支持はハンドル支柱とロボット本体を固定するためのアルミ構造材に固定するようにした。DCモータとギヤボックスが一体であり、出力軸に回転するアームを取り付け、シフトアームの先端を接続して回転角を制御する構造として。なお、回転角はギヤボックスの出力軸にポテンショメータを取り付けて検出した。

### (2) 制御システム

図3に本研究で試作した遠隔操縦方式のARGOドライバーと制御システムの外観を示す。図4に制御システムの構成を示す。本制御システムは2個のワンチップマイクロコンピュータRX621(Renesas Electronics製)で構成した。本制御プログラムの開発を容易にするために、有機ELディスプレイパネルを用いて、内部パラメータ等を表示するようにしている。

6軸力センサは6軸全てのデータを921.6kbpsで入力する必要があるので、RX621-subで入力し、必要なデータのみを別のRX621-mainに送信することにした。

遠隔操縦の無線送受信受信器には10JとR3008SB(双葉電子製)の組み合わせを採用した。R3008SBの受信信号はシリアルバスとPWMの両方が出力されるので、PWM信号をRX621-mainのインプットキャプチャモードで検出して使用する。10Jのスティックと目標値の関係は、右の上下スティックをスロットルの角度、左の左右スティックをハンドルの押し付け力、左の上下スティックの下方でブレーキとした。

モータ駆動回路は耐圧30VのPチャンネル5AとNチャンネル7AのMOSFETアレーでHブ

リッジ回路を構成した。基板内には6個のモータを制御できるようになっているが、3個のロータリエンコーダ付モータと1個のポテンショメータ付モータの制御と力センサからの入力および電流を検出するように回路構成した。回路への電圧は12Vで鉛蓄電池から供給できるようになっている。なお、ARGOドライバーに使用したモータは24Vタイプであるため、モータの駆動トルクは本来の半分の性能になっている。

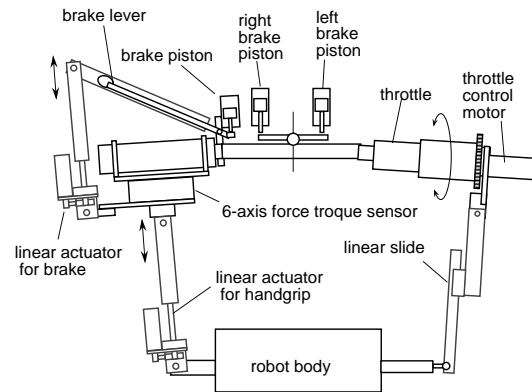


図2 試作したロボットドライバーの概要



図3 ARGOに搭乗したロボットドライバー

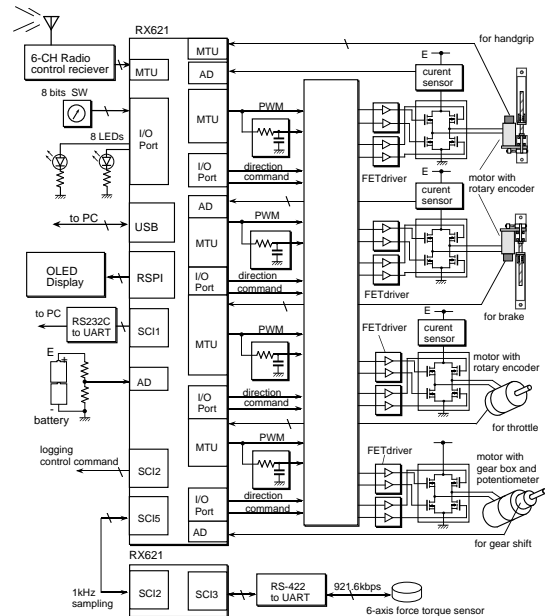


図4 ロボットドライバーの制御回路構成

### (3) 制御プログラム

スロットルとギヤシフトは PD 制御による角度制御を、ハンドルとブレーキには P 制御による力制御を適用してソフトウェアサーボを構成した。制御のサンプリング周波数は 5kHz に設定した。

メインの CPU は受信器から送られた目標値になるように、各モータの制御方式に基づいて制御量を決定している。なお、プログラム内の制御パラメータは、実験的に求めて設定した。

### (4) 走行実験

本ロボットドライバーの制御システムを搭載して実験走行を行った。ARGO に搭載されたロボットドライバーの外観を図 5 に示す。実験走行中のデータを取得するために、ロボットドライバーの制御パラメータに加えて、慣性方法装置として AU7554N (多摩川精機製) を用いてヨー角を、ARGO の左右の出力軸に減速比 2 で増速したロータリエンコーダにより回転角を各々 100Hz のサンプリング周波数で取得した。また、ssV-102 (Hemisphere 製) GPS により NMEA データを 10Hz のサンプリング周波数で取得して記録した。

図 6 には、Google map 上に実験走行中の軌跡をプロットしている。走行場所は防衛大学校理工学 4 号館中庭であるため、GPS の測位精度を悪くしているが、走行の概要を表している。図 7 には本実験において取得したデータをまとめて示している。ここでは、上から順に走行距離、走行速度、ヨー角、アクセルの回転角、ハンドル操作力、ブレーキ力、ギヤシフト角を示している。無線送信機からは、前進直進、左 90 度旋回、右 180 度旋回、停止、後進ギヤ変更、右 180 度旋回、直進、右 90 度旋回、直進して補正のための左旋回の指示を行っている。この結果、図 6 に示す走行結果が得られている。図 7 において、ブレーキ力とハンドルの力を検出する 6 軸力センサに  $\pm 3N$  程度のノイズが乗っているため不必要な電流を消費していることから、ノイズ対策が今後必要である。

### (5) 結論と今後の課題

本研究では、人間が操作する車両を運転するロボットドライバーを提案し、設計方針を示した。ロボットドライバーが運転する最初の車両として、一般の車両では近づけない場所において探索調査が可能な八輪式水陸両用車 ARGO を選んでいる。ロボットドライバーは ARGO のスロットル、ハンドル、ギヤシフトおよびブレーキを 4 個のモータで行えるようにし、2 個のマイクロコンピュータで制御システム構成をした。ハンドルとブレーキレバーには遊びやヒステリシスがあるため、6 軸力センサを用いた力フィードバック系を用いることで、人間の操作系が操縦可能になることがわかった。本制御装置により、ARGO の遠隔操縦実験を行って、加速減速、方向変

換が自由に行えるようになった。今後はより操作性の良い制御系となるように、改良を加える必要がある。



図 5 ARGO を運転するロボットドライバー

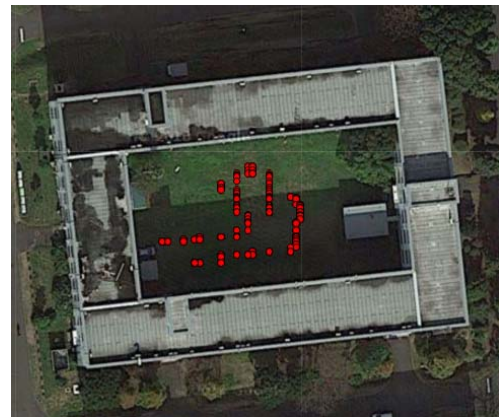


図 6 Google マップにプロットした軌跡

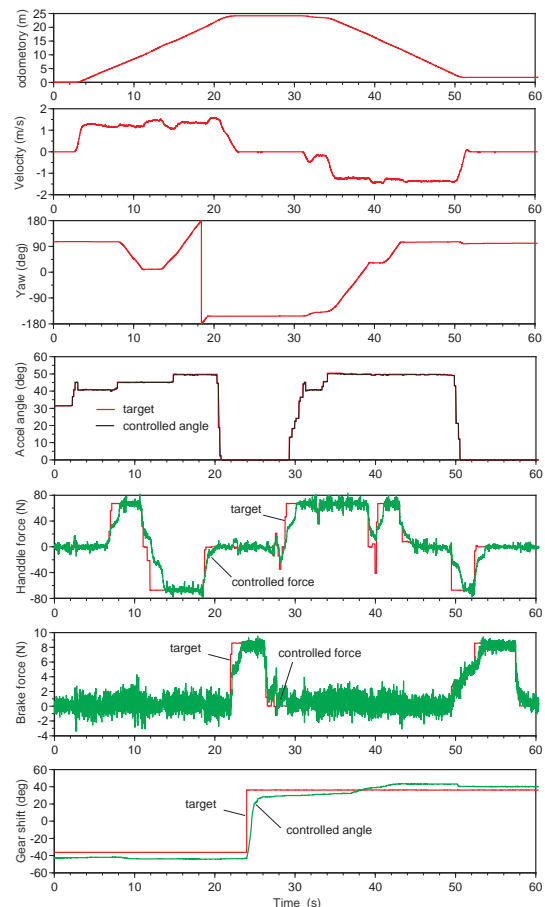


図 7 走行結果のログデータ

なお、本研究ではつくばチャレンジに参加することで、ロボットドライバーの自律制御を行うための制御方法の研究を行ってきた。ここで得られた成果は論文として発表しているため、詳述していない。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

- ① S. Ohkawa, Y. Takita, H. Date and K. Kobayashi, Mobile Robot Using Articulated Steering Vehicle and Lateral Guiding Method, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol. 4, No. 4, 2015, 337-345.
- ② 大川 真弥, 滝田 好宏, 伊達 央, 刈払ロボットのための LIDAR の受光強度情報を用いた植生に含まれる石質障害物の検出手法(環境光及び計測対象の湿潤条件を考慮した反射強度の補正式の提案), 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, 80 巻, 819 号, 2014, 1-15.
- ③ 大川 真弥, 滝田 好宏, 伊達 央, LIDAR の地表面反射輝度を活用した道路標示の検出法の提案, 日本技術会論文集, 査読有, 45 巻, 6 号, 2014, 1165-1170.
- ④ 大川 真弥, 滝田 好宏, 伊達 央, アーティキュレート式操舵車両による自動刈払ロボットの開発, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, 80 巻, 812 号, 2014, 1-11.
- ⑤ 滝田 好宏, 伊達 央, 大川 真弥, カメラ固定によるアーティキュレート式車両の軌道誘導 SSM の実現と高速化, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, 80 巻, 812 号, 2014, 1-13.
- ⑥ 滝田 好宏, 伊達 央, 大川 真弥, 一モータ駆動同軸二重反転機構を用いた Trirotor 型ヘリコプタによるホバリング, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, 80 巻, 812 号, 2014, 1-10.

〔学会発表〕(計 23 件)

- ① 滝田 好宏, 大川 真弥, 自律移動ロボット Smart Dump 9 によるつくばチャレンジ 2015 への取り組み, つくばチャレンジ 2015 シンポジウム, 2016 年 1 月 5 日, 筑波大学
- ② 大川 真弥, 滝田 好宏, Smart Dump 9 による横断歩道の安全な通過に関する研究, 第 16 回システムインテグレーション部門講演会(SI2015), 平成 27 年 12 月 14 日~16 日, 名古屋国際会議場
- ③ 滝田 好宏, ロボットドライバーによる水陸両用車 ARGO の遠隔操縦, 第 16 回システムインテグレーション部門講演会(SI2015), 平成 27 年 12 月 14 日~16 日, 名古屋国際会議場
- ④ 滝田 好宏, 榎谷 賢士, VTOL 性能を有する UAV の研究 第 2 報 風洞モデルと予備実験, 第 33 回日本ロボット学会講演会, 平成 27 年 9 月 3 日~5 日, 東京電機大学
- ⑤ 滝田 好宏, ロボットドライバーの研究 第

2 報水陸両用車 ARGO の遠隔操縦, 第 33 回日本ロボット学会講演会, 平成 27 年 9 月 3 日~5 日, 東京電機大学

- ⑥ Y. Takita, S. Ohkawa and H. Date, Development of Wheel Chair with Center Articulated Body and Autonomous Control System, Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, 査読有, DETED2015-46970, 平成 27 年 8 月 2 日~4 日, Boston, USA
- ⑦ 大川 真弥, 滝田 好宏, 逆相四輪操舵車両による自律移動ロボットの開発, 第 14 回「振動と運動の制御」シンポジウム, 平成 27 年 6 月 22 日~24 日, 栃木県総合文化センター
- ⑧ 滝田 好宏, 平江 泰己, 榎谷 賢士, VTOL 型 UAV の開発: 機体の設計とホバリング安定化, 第 14 回「振動と運動の制御」シンポジウム, 平成 27 年 6 月 22 日~24 日, 栃木県総合文化センター
- ⑨ 小林 和弘, 伊達 央, 大川 真弥, 滝田 好宏, 遊歩道内における物体の検出及び追跡, 第 20 回ロボティクスシンポジウム, 平成 27 年 3 月 15 日~16 日, 軽井沢プリンスホテル
- ⑩ 滝田 好宏, 大川 真弥, 伊達 央, 小林 和弘, 階段昇降可能車椅子型ロボットの開発ーアーティキュレート式車体による歩道の自律走行ー, 第 20 回ロボティクスシンポジウム, 平成 27 年 3 月 15 日~16 日, 軽井沢プリンスホテル
- ⑪ 小林 和弘, 伊達 央, 大川 真弥, 滝田 好宏, 人物と物体の認識を強化した自律走行, つくばチャレンジ 2015 シンポジウム, 2015 年 1 月 6 日, 筑波大学
- ⑫ 滝田 好宏, 伊達 央, 大川 真弥, 小林 和弘, アーティキュレート式自律移動ロボット AR Chair によるつくばチャレンジ 2014 の完走, つくばチャレンジ 2015 シンポジウム, 2015 年 1 月 6 日, 筑波大学
- ⑬ 滝田 好宏, 大川 真弥, 伊達 央, 小林 和弘, アーティキュレート式 8 輪車による階段昇降ロボットの自律移動, 第 15 回システムインテグレーション部門講演会(SI2014), 平成 26 年 12 月 15 日~17 日, 東京ビックサイト
- ⑭ 小林 和弘, 伊達 央, 大川 真弥, 滝田 好宏, 遊歩道内を安全に走行するための物体の検出及び追跡, 第 15 回システムインテグレーション部門講演会(SI2014), 平成 26 年 12 月 15 日~17 日, 東京ビックサイト
- ⑮ 滝田 好宏, 大川 真弥, 伊達 央, 小林 和弘, 階段昇降機能を有するアーティキュレート式 8 輪車による自律移動ロボットの開発, 日本機械学会第 23 回交通・物流部門大会, 平成 26 年 12 月 01 日~03 日, 東京大学生産技術研究所
- ⑯ 滝田 好宏, 榎谷 賢士, 伊達 央, VTOL 性能を有する UAV の研究(第 1 報 風洞モデル

と予備実験), 第 32 回日本ロボット学会講演会, 平成 26 年 9 月 4 日~6 日, 九州産業大学

- ⑰ 小林 和弘, 伊達 央, 菊地 淳, 大川 真弥, 滝田 好宏, 川瀬 通哲, 自律移動ロボットに搭載した LIDAR 情報を用いた歩道上の歩行者と自転車の認識, 第 32 回日本ロボット学会講演会, 平成 26 年 9 月 4 日~6 日, 九州産業大学
- ⑱ 滝田 好宏, ロボットドライバーの研究 (第 1 報 分散配置可能な小型大電流モータ駆動ユニットの開発), 第 32 回日本ロボット学会講演会, 平成 26 年 9 月 4 日~6 日, 九州産業大学
- ⑲ 大川 真弥, 滝田 好宏, 伊達 央, LIDAR 受光強度情報を用いた植生内に混在する障害物検出手法, 第 32 回日本ロボット学会講演会, 平成 26 年 9 月 4 日~6 日, 九州産業大学
- ⑳ 滝田 好宏, 小林 和弘, 大川 真弥, 伊達 央, 一モータ駆動同軸二重反転機構を持った Trirotor 型 UAV の定点ホバリング, 日本機械学会 D&D2014, 平成 25 年 8 月 26 日~29 日, 上智大学
- 21 小林 和弘, 伊達 央, 菊地 淳, 大川 真弥, 滝田 好宏, 川瀬 通哲, 実環境を走行する自律移動ロボットのための 3 次元 LIDAR を活用した歩行者と自転車の認識, 日本機械学会 D&D2014, 平成 25 年 8 月 26 日~29 日, 上智大学
- 22 大川 真弥, 滝田 好宏, 伊達 央, 刈払ロボットのための LIDAR 受光強度情報を用いた障害物検出手法の屋外作業における検証, 日本機械学会 D&D2014, 平成 25 年 8 月 26 日~29 日, 上智大学
- 23 S. Ohkawa, Y. Takita, and H. Date, Development of the Autonomous Brush-cutting Robot using Articulated Steering Vehicle, Proceedings of ISR ROBOTIK 2014, 査読有, pp.164-169, 平成 25 年 6 月 2 日~4 日, Munich, Germany

〔図書〕 (計 3 件)

- ① 滝田 好宏, 上昇下降! 方向変換! 加減速! ドローンのサーボ回路と姿勢制御能力, トランジスタ技術, 平成 27 年 12 月 1 日, pp. 99-111, CQ 出版社
- ② 滝田 好宏, 実験研究! RC サーボモータの応答特性, インターフェース, 平成 26 年 7 月 1 日, pp. 108-117, CQ 出版社
- ③ 滝田 好宏, FPU 内蔵 RX マイコンで 3 プロペラ・ヘリのホバリング制御, インターフェース, 平成 26 年 4 月 1 日, pp. 20-31, CQ 出版社

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

- 受賞 (計 4 件)
- ① 計測自動制御学 SI2014 優秀講演賞 受賞, 平成 26 年 12 月
- ② つくばチャレンジ 2014 つくば市長賞, 平成 26 年 11 月
- ③ 日本機械学会日本機械学会論文賞 受賞 平成 26 年 4 月
- ④ つくばチャレンジ 2013 つくば市長賞, 平成 25 年 11 月

ホームページ等

<http://www.nda.ac.jp/cs/robotics/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

滝田 好宏 (TAKITA YOSHIHIRO)

防衛大学校電気情報学群・教授

研究者番号: 60546050