

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 30 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24300203

研究課題名(和文)単体多機能型自立生活支援ロボットの本質的安全技術と知能化技術の開発

研究課題名(英文)Multi-function Type Independent Life Support Robot

研究代表者

王 碩玉 (WANG, Shuoyu)

高知工科大学・工学部・教授

研究者番号：90250951

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：現在、様々な生活支援ロボットが開発されている。しかし、これらのほとんどは、単一機能しか持っていない機器であるため、自立生活に必要な基本的動作群(ADL)には対応できていない。また、狭い自宅に多数の単一機能型機器を備えることが困難であるとともに、使い方が統一されず煩雑である。

そこで今回の研究は、単体多機能型生活支援ロボットを提案し、具体的に安全性保証技術、作業意図推定法、トータルシステムの構成法を開発することにより、下肢障害者や弱体高齢者の自立生活支援を目的とする、単体多機能型生活支援ロボットを完成させ、実環境での支援実験を行い、有用性を示す。

研究成果の概要(英文)：Currently, various Life Support Robots are under development. However, most of the robots can perform a specific daily task well only. In the daily the life of lower-limb handicapped and the elderly, more than one task of Activities of Daily Living (ADL) are necessary. Therefore, it's inevitable to utilize more than one robot in their living environments.

In this study, a Multi-Function Type Independent Life Support Robot is proposed for serving the lower limb handicapped and the elderly with legs weakness in daily life. For the development of this robot, 3 specific research contents are contained: 1, safeguard technology for human, 2, human task intention reasoning method, 3, development of robotics system integration method. Based on these 3 specific contents, the Multi-Function Independent Life Support Robot was completed in our laboratory.

研究分野：福祉工学

キーワード：生活支援 介護予防 支援機器 安全技術 ロボット 知能化 単体多機能 意図認識

## 1. 研究の背景

近年、介護の人手不足で、本来軽度の高齢者は「寝かされ老人」となり、結局急速に寝たきり状態に陥ってしまうという問題が起きている。そこで、軽度の高齢者の重度化予防に有効で且つ手軽に使える自立生活支援機器の開発は急務である。現在、国内・国外では、商品化されている福祉介護機器例えば、移動用シルバーカーや歩行車や車いす、訓練用歩行器や平行棒、立ち上がり支援椅子、移乗用リフトなどが多数ある。しかし、これらの生活支援機器では、個別機能対応型が多く、その使い方が統一されていないので、各々の個人にとっては操作法をマスターするのが難しい。また、狭い自宅や施設の個室では多数の機器を収納するのが現実的には困難である。実際の現場では、移乗用リフトのような利用率が非常に低い物も多い。結局介護士の力任せに抱え込んで移乗させている。その結果、介護者の8割は腰痛があり大問題となっている。

したがって、本研究では、操作しやすく移動・移乗・訓練・作業支援を一体化させる自立生活支援ロボットを開発して、高齢社会問題解決の新たなパラダイムを拓くことに貢献する。

## 2. 研究の目的

本研究は、廃用症候群予防の観点から、下肢障害者や立位バランス能力不足な弱体高齢者のために、上半身の運動器機能を最大限に生かす、自立生活支援ロボットを開発する。現在、様々な生活支援ロボットが開発されている。しかし、これらのほとんどは、単一機能しか持っていない機器であるため、自立生活に必要な基本的動作群 Activities of Daily Living, ADL) には対応できていない。また、狭い自宅に多数の単一機能型機器を備えることが困難であるとともに、使い方が統一されず煩雑である。

そこで今回の研究は、単体多機能型自立生活支援ロボットを提案し、具体的に①安全性保証技術、②作業意図推定法、③トータルシステムの構成法を開発することにより、下肢障害者や弱体高齢者の自立生活支援を目的とする、単体多機能型生活支援ロボットを完成する。

## 3. 研究の方法

**3.1 全体構想：** 具体的には、下肢に障害がある者は寝たきりにはならないように、上半身の運動器を最大限に生かす自立生活支援ロボットを開発する。その基本的構造と機能を図1に、全方向移動機能を備え、狭い屋内での移動(図2, 3)、移乗(図4~6)、様々な作業(図7~10)、立ち上がり(図11)、更に座位での歩行訓練(図12)を支援できる。



図1



図2



図3



図4



図5



図6



図7



図8



図9



図10



図11



図12

また、姿勢センサーや重心センサーを設置して、下肢障害者や立位バランス能力不足な弱体高齢者の作業意図や重心位置をリアルタイムで計測することができる。電気コードやマイコンなどは見せないようにコントロール・ボックスやパイプ中に入れ、使用者に優しいデザインを心がけている。

## 4. 研究成果

**4.1 安全性の確保：** 写真1に示すように、本質的安全性を保証するオムニホイールの開発に成功した。実験により、安全性を確保できることを確認した。



写真1 安全ホイール

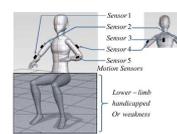


図13 作業意図同定法

**4.2 作業意図の同定法：** 下肢障害者は、上半身の作業動作により作業を実施する。作業意図は作業動作中に含まれるので、作業動作から作業意図を抽出することができる。たとえば、写真2に示すテーブルを拭く動作と、写真3に示す双臂による物品を運搬する動作とは、各関節の角度・速度の時系列が異なる。すなわち、これらの異なる時系列データを適切に利用すれば、作業の意図を同定することが可能である。本研究では、作業意図をファジィ集合で定量化し、分離規則を満たす距離型ファジィ推論法に基づいて、作業意図

の同定法を開発した。

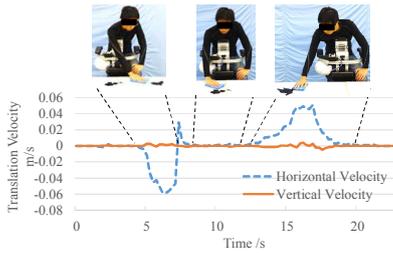


写真2 テーブル拭き作業とその動作

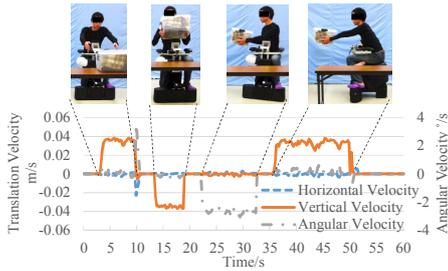


写真3 双腕による運搬作業とその動作

- 具体的には、次の4ステップから構成される。
- Step 1: 各事実集合と各前件部集合との距離を求める。
  - Step 2: 事実と全前部の距離値を求める。
  - Step 3: 各作業意図に対して最大可能性を計算する。
  - Step 4: 作業意図を同定する。

4.3 全体システムの構成法：物を取り扱う産業用ロボットは、図14に示すように、高精度・高速度を迫及している。

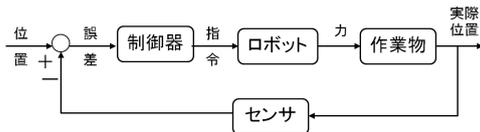


図14 産業ロボット制御系

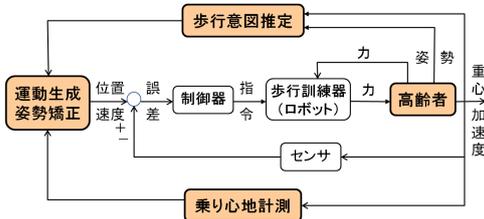


図15 生活支援ロボットの全体系

これに対して、本研究は、図15に示すように、下肢障害者や弱体高齢者の作業意図推定、乗り心地計測、運動生成を加えたトータルシステム（人～機械系）の構成法を開発した。

4.4 単体多機能型生活支援ロボット：単体多機能型生活支援ロボットを構成する三つ

の核技術として、本質的安全性確保メカニズムの開発、作業意図の推定法の開発、トータルシステム構成法の開発は予定のとおり完成したので、これらによって開発した単体多機能型生活支援ロボットを写真4に示す。外径寸法は W630×D670×H760~1070 [mm]、座面高度の可調整範囲は 400~710 [mm]、台車重量は約 40kg、電源は鉛蓄電池で連続駆動満充電にて4時間、搭乗者重量は最大 80kg、移動速度は 1.07km/h~2.73km/h である。



写真4 生活支援ロボット

4.5 生活支援動作の実験：安全性確保メカニズム、作業同定法、生活支援ロボットの有用性を確認するために、実際の生活環境において、移動、移乗（写真5）、掃除（写真6）、テーブルを拭く（写真7）、双腕による運搬（写真8）、立ち上がり支援、高所にある物を取る、流し台作業、食事づくりなど自立生活に必要なとされる基本的な動作の支援実験を行った。



写真5 移乗

写真6 掃除



写真7 テーブル拭き

写真8 物品運搬

実験では、多種多様な支援動作を行ったが、代表的な7種類の支援動作の同定結果を表1に示す。

表1 同定結果

No.	ADL	Accuracy
1	寝る	100%
2	座る	90%
3	手を洗う	100%
4	掃除する	70%
5	野菜を切る	80%
6	前の物を取る	100%
7	地面の物を拾う	90%
8	知識ベース以外の動作	

これらの成果は、IEEE ROBIO2015 と、第28回バイオ・メディカルファジィシステム学会 2015 年次大会にて受賞し、国内特許と国際特許をそれぞれ一件取得した。

単体多機能型生活支援ロボットが社会に広く普及すると、下肢障害者や立位バランス

能力不足な弱体高齢者の介護者の労働量が減り、被介護者の社会性も拡大する。生活の質向上と寝たきり人口の減少によって、活気のある社会づくりに貢献できる。

## 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 6 件)

- (1) Bo Shen, Shuoyu Wang, Real Time Identification of User's Activity of Daily Life by Distance Type Fuzzy Reasoning Method, ICIC express letters, 査読有, Vol. 10, No. 2, 2016, pp. 524-527  
[http://www.ijcic.org/el-10\(2\).htm](http://www.ijcic.org/el-10(2).htm)
- (2) Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Yo Kobayashi, and Masakatsu G. Fujie, Directional Control of an Omnidirectional Walking Support Walker: Adaptation to Individual Differences with Fuzzy Learning, Advanced Robotics, 査読有, Vol. 28, No 7, 2014, pp. 479-485, DOI: 10.1080 / 01691864. 2013. 876935
- (3) Bo Shen, Shuoyu Wang, Yinlai Jiang, Yina Wang, Rengpeng Tan, Kenji Ishida, Yo Kobayashi, and Masakatsu G. Fujie, Motion Control Method of Seat-Style Omnidirectional Mobile Walker Using a Digital Acceleration Control Method, ICIC express letters, 査読有, Vol. 8, No. 1, 2014, pp. 87-93  
[http://www.ijcic.org/el-8\(1\).htm](http://www.ijcic.org/el-8(1).htm)
- (4) Shuoyu Wang, Yuto Watanabe and Rengpeng Tan, Adaptive Controller for Motion Control of Seat-style Omnidirectional Mobile Walker, ICIC express letters, 査読有, Vol. 6, No. 12, 2012, pp. 3183-3188  
[http://www.ijcic.org/el-6\(12\).htm](http://www.ijcic.org/el-6(12).htm)
- (5) Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Takeshi Ando and Masakatsu G. Fujie, User Control Intention Recognition of an Omnidirectional Walking Support Walker: Considering Both Directional and Rotational Intentions, ICIC Express Letters, 査読有, Vol. 6, No. 2, 2012, pp. 479-484  
[http://www.ijcic.org/el-6\(2\).htm](http://www.ijcic.org/el-6(2).htm)
- (6) Yina Wang, Shuoyu Wang, Rengpeng Tan, Yinlai Jiang, Kenji Ishida and Masakatsu G. Fujie, Motion Control for an Intelligent Walking Support Machine, ICIC Express Letters, 査読有, Vol. 6, No. 1, 2012, pp. 145-149  
[http://www.ijcic.org/el-6\(1\).htm](http://www.ijcic.org/el-6(1).htm)

[学会発表]

(計 39 件：内訳国際 9、国内 30 件)

- (1) 藩博, 王碩玉, 王義娜, 上半身の動作情報による下肢障害者の掃除作業意図推論法, 日本機械学会中国四国支部第 54 期総会・講演会講演論文集, 2016 年 3 月, 愛媛県・松山市・文京町.
- (2) 狩野雄史, 王碩玉, 王義娜, 日常生活における腕の動きに合わせた移動支援システムの開発, 日本機械学会中国四国支部第 54 期総会・講演会講演論文集, 2016 年 3 月, 愛媛県・松山市・文京町.
- (3) 本山貴元, 王碩玉, 王義娜, 加速度・角速度情報を用いた被支援者の方向意図同定法の開発, 日本機械学会中国四国学生会第 46 回学生員卒業研究発表講演

演会講演論文集, 2016 年 3 月, 愛媛県・松山市・文京町.

- (4) 石原竜治, 王碩玉, 王義娜, 室内移動支援ロボットの遠隔操作方法の開発, 日本機械学会中国四国学生会第 46 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 2016 年 3 月, 愛媛県・松山市・文京町.
- (5) Bo Shen, Shuoyu Wang, An Independent Life Support Robot for the Lower-Limb Handicapped and Elderly, Task-Intention-Identification and Assistive- Motion-Planning Algorithm, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2015), pp. 1169-1176, Dec, 2015, Zhuhai(China).
- (6) 狩野雄史, 王碩玉, 王義娜, 腕の動作と姿勢による移動支援タスクの認識, 第 28 回バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会 講演論文集 (BMFSA2015), pp. 5-6, 2015 年 11 月, 熊本市・渡鹿.
- (7) 石原竜治, 王碩玉, 王義娜, ハンドサインによる室内移動支援機の操作, 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究会第 13 回ポトラック&ワークショップ, 1-1, 2015 年 11 月, 高知県・高知市・永国寺町.
- (8) 本山貴元, 王碩玉, 王義娜, 加速度・角速度センサを用いた歩行支援者の方向意図同定法の開発, 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究会 第 13 回ポトラック&ワークショップ, 1-2, 2015 年 11 月, 高知県・高知市・永国寺町.
- (9) Bo Shen, Shuoyu Wang, Real Time Identification of User's Activity of Daily Life by Distance Type Fuzzy Reasoning Method. International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 10th ICICIC, September, 2015, Dalian(China).
- (10) 藩博, 王碩玉, 上半身の動作情報による下肢障がい者の掃除作業支援法, LIFE2015, 1B2-07, 2015 年 9 月, 福岡市・東区松香台.
- (11) 藩博, 王碩玉, 上半身動作による日常作業の意図認識法, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC2A1-08, 2015 年 9 月, 東京都・足立区千住旭町.
- (12) 石原竜治, 王碩玉, 王義娜, ハンドサインによる室内移動支援ロボットの遠隔操作機能の開発, 第 20 回 知能メカトロニクスワークショップ 講演論文集(CD), A2-3, pp. 27-30, 2015 年 7 月, 東京都・足立区千住旭町.
- (13) Yina Wang, and Shuoyu Wang, Directional Intention Recognition for the People with Walking Disability when Using an Intelligent Walking Support Robot, The 9th ICME International Conference on Complex Medical Engineering (CME 2015), pp. 66, June, 2015, Okayama and Kyoto(Japan).
- (14) 高橋ももえ, 王碩玉, 王義娜, 上半身の動きに基づく下肢障がい者の日常生活動作認識方法の開発, 機械学会中国四国学生会第 45 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 2015 年 3 月, 広島県東広島市高屋うめの辺.
- (15) 山本雅之, 王碩玉, 王義娜, 力覚情報を利用した下肢障害者用歩行支援機の操作法, 日本機械学会中国四国学生会第 45 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 2015 年 3 月, 広島県東広島市高屋うめの辺.
- (16) Bo Shen, Shuoyu Wang, Yina Wang, User's Moving Intention Identification for Human Support Robot, Joint 7th International Conference on Soft Computing and

- Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS 2014), pp. 1073-1077, Dec, 2014, Kitakyushu(Japan).
- (17) Yina Wang and Shuoyu Wang, Motion Control of a Walking Support Robot Considering Pressure and Thrust from Users, Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS 2014), pp. 392-397, Dec, 2014, Kitakyushu(Japan).
- (18) 山本雅之, 王碩玉, 王義娜, 重心移動を用いた下肢障害者用歩行支援機の移動方法の提案, 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究会 第 11 回ポトラック&ワークショップ, 2014 年 12 月, 高知県・香美市・土佐山田町.
- (19) 高橋もえ, 王碩玉, 王義娜, 加速度センサを用いた日常生活動作認識方法の開発, 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究会 第 11 回ポトラック&ワークショップ, 2014 年 12 月, 高知県・香美市・土佐山田町.
- (20) 本山貴元, 王碩玉, 王義娜, 加速度センサを用いた移動方向の認識, 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究会 第 11 回ポトラック&ワークショップ, 2014 年 12 月, 高知県・香美市・土佐山田町.
- (21) 王義娜, 王碩玉, 歩行支援ロボットにより疑似障害者移動の方向意図の同定, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, P-15, 2014 年 9 月, 北海道・虻田郡留寿都村.
- (22) 狩野雄史, 王碩玉, 王義娜, ニューラルネットワークを用いた移動意思識別方法の検討, 第 30 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集 (FSS2014), TF2-2, pp.686-689, 2014 年 9 月, 高知県・高知市・丸ノ内二丁目.
- (23) Yina Wang and Shuoyu Wang, Identification of Directional Intention for a Wheelchair Robot Using a Distance Fuzzy Reasoning Algorithm, Proceedings of the 2014 International Conference on Advanced Mechatronic Systems(ICAMECHS2014), pp. 260-263, August, 2014, Kumamoto (Japan).
- (24) 須賀惇介, 王碩玉, 姜銀来, 前腕荷重の個人差を考慮した方向意図認識, 日本機械学会中国四国支部第 52 期総会・講演会講演論文集, cs52-713, 2014 年 3 月, 鳥取県・鳥取市・湖山町.
- (25) 玉井智章, 王碩玉, 姜銀来, 操縦者の体重移動による室内移動支援機の操作, 日本機械学会中国四国学生会第 44 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, cs44-608, 2014 年 3 月, 鳥取県・鳥取市・湖山町.
- (26) 狩野雄史, 王碩玉, 姜銀来, 上半身の動きによる室内移動支援機の操作, 日本機械学会中国四国学生会第 44 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, cs44-702, 2014 年 3 月, 鳥取県・鳥取市・湖山町.
- (27) 狩野雄史, 王碩玉, 姜銀来, 上半身の動きによる室内移動支援機の操作, 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究会 第 9 回ポトラック&ワークショップ, 2013 年 11 月, 高知県・香美市・土佐山田町.
- (28) 玉井智章, 王碩玉, 姜銀来, 操縦者の体重移動による室内歩行支援機の操作, 日本知能情報ファジィ学会 ソフトロボティクス研究会 第 9 回ポトラック&ワークショップ, 2013 年 11 月, 高知県・香美市・土佐山田町.
- (29) Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Rengpeng Tan, Kenji Ishida, Yo Kobayashi and Masakatsu G. Fujie, Speed control of an omnidirectional walker by forearm pressures: considering features in force exertion with forearms, Proceedings of the 8th International Conference on Body Area Networks, No. R3-4, Sep. 2013, Boston (USA).
- (30) Bo Shen, Shuoyu Wang, Yinlai Jiang and Yina Wang, Control Method of a Human Support Robot for Independent Living by Center of Gravity Information of Upper Body, 2013 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, pp. 384-389, Sep. 2013, Luoyang (China).
- (31) 瀋博, 王碩玉, 姜銀来, 王義娜, 石田健司, 小林洋, 藤江正克, 安藤健, 上半身重心情報による自立生活支援ロボットの操作法, 日本機械学会 2013 年度年次大会, J241033, 2013 年 9 月, 岡山県・岡山市北区.
- (32) 瀋博, 王碩玉, 姜銀来, 王義娜, 石田健司, 小林洋, 藤江正克, 運動意図による自立生活支援ロボットの走行制御, 第 31 回日本ロボット学会学術講演会論文集, RSJ2013AC3C2-06, 2013 年 9 月, 東京都・八王子市.
- (33) 狩野雄史, 王碩玉, 姜銀来, 上半身捻りによる室内移動支援機の操作, 第 18 回知能メカトロニクスワークショップ講演論文集, M2-1, 2013 年 8 月, 香川県・高松市・郷東町.
- (34) 須賀惇介, 王碩玉, 姜銀来, 歩行支援機に掛ける前腕荷重の個人差を考慮した方向意図認識, 第 18 回知能メカトロニクスワークショップ講演論文集, M3-4, M2-1, 2013 年 8 月, 香川県・高松市・郷東町.
- (35) 渡辺悠人, 王碩玉, 譚仁鵬, 姜銀来, 石田健司, 藤江正克, 座位歩行訓練機の重心位置変化に対し適応制御を用いた走行制御, 機械学会中国四国支部第 51 期総会・講演会講演論文集, cs51-903, 2013 年 3 月, 高知県・香美市・土佐山田町.
- (36) 福岡優輝, 王碩玉, 姜銀来, 加速度信号による特定動作認識法の開発, 機械学会中国四国学生会第 43 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 2013 年 3 月, 高知県・香美市・土佐山田町.
- (37) Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Yo Kobayashi, and Masakatsu G. Fujie, User Directional Intention Identification for a Walking Support Walker - Adaptation to Individual Differences with Fuzzy Learning, Proceedings of the 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and the 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS 2012), pp. 1207-1210, Nov. 2012, Kobe (Japan).
- (38) 渡辺悠人, 王碩玉, 譚仁鵬, 姜銀来, 石田健司, 藤江正克, 重心位置を考慮した座位歩行訓練機の適応制御法による走行制御, 第 55 回自動制御連合講演会論文集, pp.841-845, 2012 年 11 月, 京都市・左京区・吉田本町.
- (39) 姜銀来, 王碩玉, 石田健司, 小林洋, 藤江正克, 歩行支援機のための利用者の方向意図同定法～距離型ファジィ学習による個人特性への対応, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2012AC4C1-8, 2012 年 9 月, 札幌市・白石区.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：座位歩行訓練機の適応制御法  
発明者：王碩玉、渡辺悠人  
権利者：公立大学法人高知工科大学  
種類：特許  
番号：特許 2013-020863  
出願年月日：2013年1月17日  
国内外の別：国内

○取得状況（計2件）

名称：歩行訓練機  
発明者：王碩玉、石田健司、永野敬典、猪野真吾、藤江正克  
権利者：公立大学法人高知工科大学  
種類：特許  
番号：ZL 201080039137.8  
取得年月日：2016年01月20日  
国内外の別：国外（中国）

名称：歩行訓練機  
発明者：王碩玉、石田健司、永野敬典、猪野真吾、藤江正克  
権利者：公立大学法人高知工科大学  
種類：特許  
番号：特許 2009-202077  
取得年月日：2014年10月10日  
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等  
<http://www.lab.kochi-tech.ac.jp/robotic>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

王 碩玉 (WANG, Shuoyu)  
高知工科大学・工学部・教授  
研究者番号：90250951

(2) 研究分担者

井上 喜雄 (INOUE, Yoshio)  
高知工科大学・工学部・教授  
研究者番号：50299369

石田 健司 (ISHIDA, Kenji)  
高知大学・学内共同利用施設等・教授  
研究者番号：10274367

片岡 万里 (KATAOKA, Mari)  
高知大学・医歯学系・教授  
研究者番号：40273792

藤江 正克 (FUJIE, Masakatsu)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：20339716

江丸 貴紀 (EMARU, Takanori)  
北海道大学・工学(系)・研究科(研究院)・  
准教授  
研究者番号：30440952

向殿 政男 (MUKAIDONO, Masao)  
明治大学・公私立大学の部局等・研究員  
研究者番号：00061987

姜 銀来 (JIANG, Yinlai)  
電気通信大学・学内共同利用施設等・准教  
授  
研究者番号：70508340