

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月11日現在

機関番号：22303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500189

研究課題名（和文） 人間・機械システムにおける適応的役割分担制御の構築

研究課題名（英文） Construction of Adaptively Assigning Control Roles
in Human-Machine System

研究代表者

朱 赤 (ZHU CHI)

前橋工科大学・工学部・准教授

研究者番号：20345482

研究成果の概要（和文）：

人間・機械システムが相互的に作用する性質を調べ、そのシステムをモデル化し、本研究室に開発している全方向移動支援ロボットと2関節の腕型のパワーアシスト装置を対象とし、それぞれの制御を構築し、実機実験に成功した。更に、脳波（EEG）信号を用い、運動想起によって1関節のロボットアームを連続的に制御することにも成功した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, firstly the characteristics of interaction in human-machine system is investigated. Then the human-machine system is modeled. Further, the different control systems and control laws are established with respect to the omni-directional mobile robot and 2-joint power assist robotic arm developed in our lab, and the experiments are successfully implemented and the proposed approach are verified. Moreover, the continuous control of one-joint arm using EEG signals from motion imagery is also experimentally implemented.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：感覚行動システム・知能ロボット

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化社会が急速に進んでいる日本では、筋力が低下した高齢者や運動機能障害を有する患者のリハビリテーションや自立生活支援、また重労働となる介護負担を軽減することのできる機器やロボットの開発が急務となっている。これらの福祉ロボットや

パワーアシスト装置の使用者は特定されていないため、それぞれの使用者の遂行能力（歩行能力、体力、ものを持ち上げる能力など）が異なる。従って、異なる使用者それぞれの遂行能力にどう適応的に応じるかという問題は、福祉ロボットやパワーアシスト装置などの人間と直接接している機械システ

ムにおいては、極めて重要である。ところが、これまでの福祉ロボットやパワーアシストに関する研究では、この問題の解決策はまだ報告されていない。

2. 研究の目的

人間の力信号や筋電位信号を計測、認識したうえで、人間の行動意図を認識し、学習機能と適応機能を導入することにより、人間・機械システム（福祉ロボットや福祉機器など）を相互的かつ適応的な役割分担制御の確立及び実機検証を本研究の目的とする。このような人間の力信号や生体信号を用いた複雑な人間・機械システムを役割分担制御により適応的に制御することのできた成功例は、まだ報告されていない。

3. 研究の方法

(1) 人間・機械システムが相互的に作用する性質を調べた上で、そのシステムをモデル化し、適応的役割分担制御手法を理論上で構築する。それと同時に、本研究室に開発している歩行支援ロボットを改良し、実機検証に向けて準備する。次に、実験室で使用者が歩行支援ロボットに加えた力・トルク情報を用い、実験室に歩行支援ロボットにより、提案した制御手法を実機で検証・改善し、人間・機械システムをより正確的にモデル化し、実機で検証・改善する。また、使用者の筋電位信号を用い、現在開発している2自由度のパワーアシスト装置により、再び制御手法を実機で実証・改善する。更に、脳波（EEG）信号を用い、脳の興奮度によって4つのタスクを設計し、短時間高速フーリエ変換（STFFT）によって、 α 波と β 波を抽出し、運動想起によって1関節のロボットアームを連続的に制御する。また、専門医の指導に従い、実機で病院で実際の使用者である高齢者や障害者（介助者を含む）による評価試験を行い、制御手法を更に改善する。

4. 研究成果

(1) まず、人間・機械システムが相互的に作用する性質を調べた上で、そのシステムをモデル化し、パラメータを適応的に自動調節機能を有するアドミッタンス制御を提案し、本研究室に開発している全方向移動支援ロボットの全方向の歩行支援及び介護者のパワーアシスト、また2関節のパワーアシスト装置により持ち上げ動作に応用し、実験に成功した。これを踏まえて拡張し、ネガティブアドミッタンス制御を提案し、2関節のパワーアシスト装置の持ち下げ動作に応用し、実験にも成功した。これにより、1関節1筋電センサという非常にユニークな制御手法を確立した。さらに、運動想起によるリアル

タイム BMI（ブレイン・マシン・インターフェース）制御システムを構築し、1関節のロボットアームを連続的に制御することに成功した。

(2) 全方向移動支援ロボットの開発を開発した。図1に示したように移動支援ロボットは、高齢者や障害者の歩行支援及び介護者へのパワーアシストが両立できる車いす型全方向移動支援ロボットである。この移動支援ロボットは、(a)前後駆動、左右の横駆動、その場の回転の全方向移動、(b)高齢者や障害者がハンドルバーを握って歩く時の歩行支援、(c)患者（高齢者や障害者など）が椅子に座る時に介護者が押す時の介護者へのパワーアシストができる新たな車いす型全方向移動支援ロボットである。独自の提案された制御手法を用いることによって使用者の負荷感覚を自由に変更できることを確認し、平面上だけではなく、斜面の上りではパワーアシスト、下りでも使用者をロボットが引っ張らず使用者の感覚で操作できることにも成功した。図2は前進方向の実験結果を示している。ロボットの始動時の大きな押す力や停止時の大きな引く力がなくなり、任意のパワーアシスト（実験では安定時の半分に軽減するように設定した）に成功した。



図1 全方向移動支援ロボット

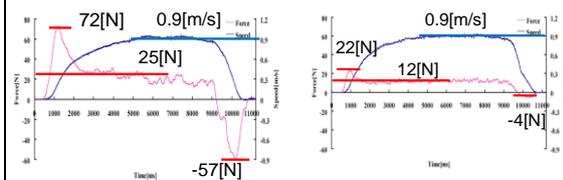


図2 前進方向の実験結果。(左)パワーアシストなし；(右)パワーアシストあり

(3) 2関節のパワーアシスト装置を開発した。この研究では、提案したアドミッタンス及びネガティブアドミッタンス制御により、最少EMG信号に基づき、人間の上肢運動を支援するパワーアシスト装置/障害者のリハビリテーション装置を開発した。元々、人間の上肢の運動は拮抗筋の同時の働きによりバランスを維持するが、本研究は、独自の制御手法で、関節の屈筋の筋電だけを用いて任意のパワーアシストを実現できた。従来の人によって個人差がある筋電信号を正規化(キ

ャリブレーション)せずに、肘関節のパワーアシストに成功した。図3には開発された2関節のロボットアームおよびEMG電極の貼り付け位置を示している。このロボットアームは負荷 30Kg のものを持ち上げられるように設計されている。図4に示すように、20kgの重りを持ち上げる時には、人間の負荷感覚4kgと軽減されている。

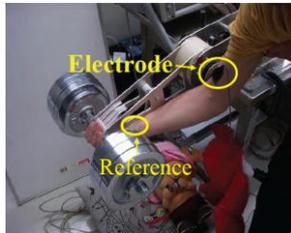


図3 20Kgの重りを持ち上げる時のパワーアシスト

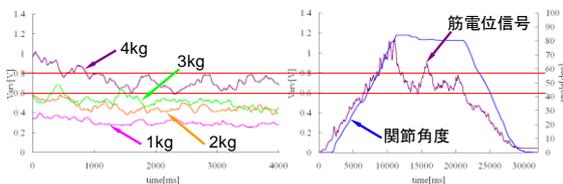


図4 (a)各重りを持つ時 (b)パワーアシスト時
負荷の負担感覚
(20kg を持ち上げ)

(4) 運動想起によるリアルタイムBMI(ブレイン・マシン・インターフェース)制御システムの構築。具体的には、左腕の運動および運動想起について着目した際に、目を閉じ呼吸にのみ集中する(task1)、ただロボットアームに張ったマーカーを注目する(task2)、マーカーを注目して腕は動かさないながら、左腕を“動かそう”と意識を集中する(task3)、マーカーに注目しながら、左手で3kgの重りを持ち、腕を90度で支える(task4)との脳の興奮度が順に高まる4つの運動想起タスクを設計したうえで、短時間高速フーリエ変換を用いて、 α 波の減衰度合いと β 波発生との関係からロボットアームの関節目標角度を算出して制御を行う。この制御により、人の意識レベルでロボットアームの制御ができ、100ms周期でEEGを解析しリアルタイム性を向上させることが出来た。

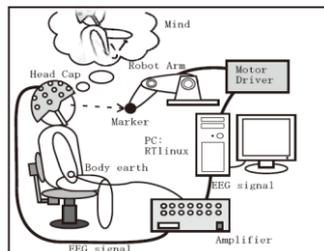


図5 脳波によりロボットアームを制御するBMI

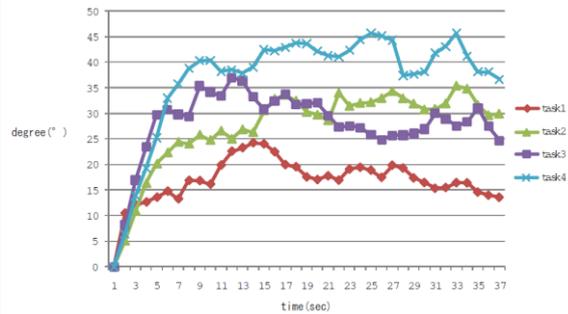


図6 各タスクのロボットアームの出力

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3件)

- ① Xiang Luo, W. Li, and Chi Zhu, "Planning and Control of COP-Switch-Based Planar Biped Walking", Journal of Bionic Engineering, Vol.8, Issue 1, March 2011, pp.33-48, DOI: 10.1016/S1672-6529(11)60010-3, 査読有
- ② Chi Zhu, and Atsuo Kawamura, "The Development of Biped Robot MARI-3 for Jumping", Advanced Robotics, Vol. 24, No.11, 2010, pp. 1661-1675, DOI:10.1163/016918610X512640, 査読有
- ③ 朱赤、相山康道、新井民夫、河村篤男、原川哲美、リリース型マニピュレーションにおける位置決め用の繰り返し学習制御、日本ロボット学会誌、査読有、Vol. 27, No. 2, 2009, pp.47-55, URL:https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrsj/27/2/27_2_169/_pdf

〔学会発表〕(計41件)

- ① Yuling Yan, Gan Du, Chi Zhu, and Gerard Marriott, "Snake Based Automatic Tracing of Vocal-Fold Motion From high-Speed Digital Images", The Proceedings of the IEEE international Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2012), March 25-30, 2012, Kyoto, Japan.
- ② 鈴木俊活、小田真史、吉岡将孝、島津翔太、西川知宏、吉川祐一郎、朱赤、渡邊秀臣、アドミタンス制御を用いた歩行支援及び負担軽減の両立ができる全方向移動支援ロボットの開発、第17回ロボティクスシンポジウム講演資料集、pp. 345-350、2012年3月14日-15日、山口県萩市
- ③ 島津翔太、朱赤、岡田有司、吉岡将孝、西川知宏、鈴木俊活、吉川祐一郎、最小

- 限筋電センサによる昇降動作時における肘関節のパワーアシスト、第17回ロボティクスシンポジウム講演資料集、pp. 244-249、2012年3月14日-15日、山口県萩市
- ④ 吉岡将孝、吉川祐一郎、島津翔太、西川知宏、今村一之、王峰、朱赤、運動および運動想起時の脳波によるリアルタイムBMIを用いたロボット制御システムの構築、第17回ロボティクスシンポジウム講演資料集、pp. 224-229、2012年3月14日-15日、山口県萩市
- ⑤ 岡田有司、島津翔太、吉岡将孝、吉川祐一郎、鈴木俊活、朱赤、アドミッタンス制御と1関節1センサによる腕のパワーアシスト技術の開発、第2回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会資料集、pp. 195-198、2012年3月1日、群馬県桐生市
- ⑥ 吉川祐一郎、吉岡将孝、島津翔太、岡田有司、朱赤、主成分分析を用いたBrain-Machine Interfaceによるリアルタイムパワーアシストに関する基礎研究、第2回電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会資料集、pp. 199-201、2012年3月1日、群馬県桐生市
- ⑦ Masataka Yoshioka, Chi Zhu, Youichiro Yoshikawa, Tomohiro Nishikawa, Shota Shimazu, Kazuyuki Imamura, Feng Wang, Haoyong Yu, and Yuling Yan, "Construction of Real-time BMI Control System Based on Motor Imagery", The Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011), pp. 198-203, December 7-11, 2011, Phuket Island, Thailand.
- ⑧ Haoyong Yu, S.M. Mizanoor Rahman, and Chi Zhu, "Preliminary Design Analysis of a Novel Variable Impedance Compact Compliant Actuator", The Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011), pp. 2553-2558, December 7-11, 2011, Phuket Island, Thailand.
- ⑨ 朱赤、平成23年度日本ペインクリニック学会北関東地方会群馬支部会、生体信号を用いた介護福祉ロボットシステムの開発の動向及び技術紹介、2011年11月26日、群馬県前橋市
- ⑩ 朱赤、第13回首都圏北部4大学新技術説明会ー産業用ロボットに関する応用・要素技術、首都圏北部4大学連合、普通のタイヤにより全方向移動技術及びそれに基づいたパワーアシスト、2011年11月4日、群馬県桐生市
- ⑪ 鈴木俊活、朱赤、小田真史、吉岡将孝、島津翔太、西川知宏、吉川祐一郎、全方向移動支援ロボットの開発(第3報)、第29回日本ロボット学会学術講演会講演概要集、pp. 114、2011年9月7日-9日、芝浦工業大学豊洲キャンパス
- ⑫ 吉岡将孝、吉川祐一郎、島津翔太、西川知宏、今村一之、王峰、朱赤、運動および運動想起時の脳波を用いたリアルタイムBMI制御システムの構築、第29回日本ロボット学会学術講演会講演概要集、pp. 204、2011年9月7日-9日、芝浦工業大学豊洲キャンパス
- ⑬ 島津翔太、朱赤、岡田有司、吉岡将孝、西川知宏、鈴木俊活、吉川祐一郎、最小限筋電センサによるアドミッタンス制御を用いた上肢パワーアシスト装置の開発、第29回日本ロボット学会学術講演会講演概要集、pp. 114、2011年9月7日-9日、芝浦工業大学豊洲キャンパス
- ⑭ Chi Zhu, Shota Shimazu, Masataka Yoshioka, and Tomohiro Nishikawa, "Power Assistance for Human Elbow Motion Support Using Minimal EMG Signals with Admittance Control", The Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA2011), pp. 276-281, August 5-8, 2011, Beijing, China.
- ⑮ 島津翔太、朱赤、小田真史、吉岡将孝、西川知宏、アドミッタンス制御を用いた最小限筋電センサによる上肢パワーアシスト装置の開発、ロボティクス・メカトロニクス講演会2011、講演論文集、2A1-E05、2011年5月26日-28日、岡山県岡山市
- ⑯ 西川知宏、朱赤、島津翔太、吉岡将孝、2足歩行ロボットにおけるつま先関節の機能解析に関する基礎研究、ロボティクス・メカトロニクス講演会2011、講演論文集、2P2-I01、2011年5月26日-28日、岡山県岡山市
- ⑰ 吉岡将孝、島津翔太、西川知宏、今村一之、王峰、朱赤、運動想起による脳波を用いたリアルタイムBMI制御システムの構築に関する基礎研究、ロボティクス・メカトロニクス講演会2011、講演論文集、2P2-L12、2011年5月26日-28日、岡山県岡山市
- ⑱ 朱赤、第4回の上肢の機能回復セミナー、第4回上肢の神経機能回復セミナー実行委員会、生体信号を用いた介護福祉ロボットシステムの開発、2011年5月21日-22日、秋田県仙北市角館町仙北市交流センター、市立角館総合病院
- ⑲ Chi Zhu, Masashi Oda, Masataka Yoshioka, Tomohiro Nishikawa, Shota Shimazu, and Xiang Luo, "Admittance Control Based Walking Support and Power Assistance of an Omnidirectional Wheelchair Typed Robot", The Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics

- and Biomimetics (ROBIO2010), pp. 381-386, December 14-18, 2010, Tianjin, China.
- ⑳ 吉岡将孝、朱赤、脳波を用いたロボットアーム制御に関する基礎研究、平成22年度先端ロボット工学合同ワークショップ、pp. 39-40、2010年11月27日、千葉県柏市
- ㉑ 島津翔太、朱赤、アドミッタンスおよび筋電位信号を用いた腕型パワーアシスト装置の開発、平成22年度先端ロボット工学合同ワークショップ、pp. 9-10、2010年11月27日、千葉県柏市
- ㉒ Chi Zhu, Masayuki Suzuki, Masashi Oda, Masataka Yoshioka, Tomohiro Nishikawa, and Yuling Yan, "Real-time Control of Power Assist Device for Human Elbow Motion Support Using EMG Signal", The Proceedings of the 8th France-Japan and 6th Europe-Asia Congress on Mechatronics (Mechatronics2010), November 22-24, 2010, Yokohama, Japan.
- ㉓ 島津翔太、小田真史、吉岡将孝、西川知宏、朱赤、アドミッタンスおよび筋電位信号を用いた腕型パワーアシスト装置の開発、第31回バイオメカニズム学術講演会、2C4-2、2010年11月7日、静岡県浜松市
- ㉔ 小田真史、西川知宏、吉岡将孝、島津翔太、朱赤、アドミッタンス制御を用いた車椅子型全方向移動支援ロボットにおける歩行支援及びパワーアシストに関する研究、第31回バイオメカニズム学術講演会、2A1-1、2010年11月6日、静岡県浜松市
- ㉕ Chi Zhu, Masashi Oda, Xiang Luo, Hideomi Watanabe, and Yuling Yan, "A New Type of Omnidirectional Wheelchair Robot for Walking Support and Power Assistance", The Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Intelligent Robots and System (IROS2010), pp. 6028-6033, October 18-22, 2010, Taiwan.
- ㉖ 島津翔太、鈴木将之、小田真史、吉岡将孝、西川知宏、朱赤、筋電位信号を用いた腕型パワーアシスト装置の開発、第28回日本ロボット学会学術講演会予稿集、2J1-3、2010年9月23日、名古屋
- ㉗ 小田真史、朱赤、西川知宏、吉岡将孝、島津翔太、全方向移動支援ロボットの開発(第2報)-アドミッタンス制御を用いたロボット操作-、第28回日本ロボット学会学術講演会予稿集、1J3-04、2010年9月22日、名古屋
- ㉘ Masashi Oda, Chi Zhu, Masayuki Suzuki, Xiang Luo, Hideomi Watanabe, and Yuling Yan, "Admittance Based Control of Wheelchair Typed Omnidirectional Robot for Walking Support and Power Assistance", The Proceedings of the 19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 159-164, September 12-15, 2010, Viareggio, Italy.
- ㉙ 朱赤、第3回の上肢の機能回復セミナー、第3回上肢の神経機能回復セミナー実行委員会、筋電位による上肢のパワーアシストおよびリハビリのリアルタイム制御、2010年5月14日-15日、秋田県仙北市角館町仙北市交流センター、市立角館総合病院
- ㉚ Xiang Luo, and Chi Zhu, "Principle analysis and simulation for biomimetic biped walking", The 11th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (AMC2010), March 23, 2010, Nagaoka, Japan.
- ㉛ 朱赤、第21回産・官・学交流フォーラム、群馬地区技術交流研究会、北関東産官学研究会、これから産業として成立ちそうなロボット技術の紹介、2010年3月16日、群馬県前橋市
- ㉜ 朱赤、NPO法人群馬県ものづくり研究会新春技術講演会、ロボット技術一群馬で産業として成立ちそうなロボットと技術の提案、2010年2月5日、群馬産業技術センター、群馬県前橋市
- ㉝ Chi Zhu, Masashi Oda, Xiang Luo, Hideomi Watanabe, and Yuling Yan, "Platform Development of an Omnidirectional Mobile Robot for the Elderly's Walking Support and the Caregiver's Power Assistance", The Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2009), pp. 1900-1905, December 19 -23, 2009, Guilin, China.
- ㉞ Xiang Luo, Rui Guo, and Chi Zhu, "An Orbit Based Control for Biomimetic Biped Walking", The Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2009), pp. 2349-2355, December 19 -23, 2009, Guilin, China.
- ㉟ 朱赤、平成21年度第2回医工連携事業、イノベーション創出による地域活性化に向けたシンポジウム、医工連携による安全・安心な地域医療の確保に向けて一福祉ロボット、2009年12月17日、群馬県前橋市
- ㊱ 朱赤、産学連携フォーラム、前橋工科大学においてロボットの研究」2009年11月18日、前橋工科大学、群馬県前橋市
- ㊲ Masashi Oda, and Chi Zhu, "The Development of Omnidirectional Locomotion Assistive Robot -The implementation of Omnidirectional Locomotion", The 2nd International Symposium on MONODZUKURI, October, 2009, Kusatu, Gunma, Japan.
- ㊳ Shigefumi Nara, and Chi Zhu, "Basic Study on the Fast Walking of a Biped Robot", The 2nd International Symposium on MONODZUKURI, October, 2009, Kusatu, Gunma, Japan.

- ③⑨ 小田真史、坂本理隆、朱赤、全方向移動支援ロボットの開発（第1報）—全方向移動の実現、第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集、1C2-06、2009年9月15日、横浜
- ④⑩ 奈良重史、朱赤、2足歩行ロボットの高速歩行に関する基礎研究、第27回日本ロボット学会学術講演会予稿集、1C2-06、2009年9月15日、横浜
- ④⑪ 朱赤、テーマ探索の視点からロボットの研究、2009年9月9日、サンデン株式会社技術本部、群馬県伊勢崎市

〔図書〕（計2件）

①Chi Zhu, Masashi Oda, Haoyong Yu, Hideomi Watanabe, and Yuling Yan, Mobile Robots - Current Trends, Chapter 5: Walking Support and Power Assistance of a Wheelchair Typed Omnidirectional Mobile Robot With Admittance Control. pp. 89-104, Edited by: Bojana Zelenika. I-Tech Education and Publishing. 2011.

②Feng Duan, Jeffrey Too Chuan Tan, Ryu Kato, Chi Zhu, and Tamio Arai, Operations Management Research and Cellular Manufacturing Systems: Innovative Methods and Approaches, Chapter “Multi-Modal Assembly-Support System for Cellular Manufacturing”, pp. 412-427, edited by Drs. Vladimir Modrák and R. Sudhakara Pandian, IGI Global publication. 2011.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.maebashi-it.ac.jp/~zhu/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

朱 赤 (ZHU CHI)

前橋工科大学・工学部・准教授

研究者番号：20345482

(2) 研究分担者

渡辺秀臣 (WATANABE HIDEOMI)

群馬大学・医学部・教授

研究者番号：40231724