

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25年 5月15日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21300092

研究課題名（和文） 身体運動の協調構造の抽出と運動補助システムへの展開

研究課題名（英文） Extraction of synergetic structure of whole body movements and its application to human assisting system

研究代表者

阪口 豊（SAKAGUCHI YUTAKA）

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授

研究者番号：40205737

研究成果の概要（和文）：本研究では、ヒトの身体動作の協調構造を抽出してヒトの動作を先読みする手法を開発し、それを下肢麻痺患者の運動補助システムの制御に応用した。本研究の主たる成果は、①UCM 解析をはじめとする種々の手法を用いて課題遂行中の身体動作の協調構造を明らかにしたこと、②主動作に先行する身体パーツの動きから主動作の内容とタイミングを予測する手法を構成したこと、③患者身体各部の動きから患者の意図する歩行パターンをリアルタイムで推測し、歩行補助を行なうロボットを実現したことである。

研究成果の概要（英文）：In the present study, we analyzed and extracted the motor synergy of human whole body movements and developed an algorithm for predicting body movement based on the extracted synergy, as well as applying the algorithm to control of a walking assistance system for the subjects with leg paralysis. Three primary outcomes have been achieved. First, we revealed the motor synergy in several motor tasks using various analysis methods including UCM analysis. Second, we built a system which could predict the content and timing of the main action from its accompanying predecessor body movement. Third, we developed a robotic system which estimated the subject's walking pattern from his/her body movement in a real-time manner and assisted his/her walking.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2011年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2012年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	13,300,000	3,990,000	17,290,000

研究分野：生体情報論

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：運動メカニズム，全身動作，協調構造，シナジー，スパース表現，先読み，障害者補助

1. 研究開始当初の背景

高齢化社会を迎えて、身体運動機能の低下や麻痺を患う人が増えている。障害の程度が軽微であっても、それが原因で寝たきりになったり認知能力が低下したりしてしまうことがある。したがって、身体動作を補助して

身体を動かせる状態を維持するシステムの実現は社会的に意義が高い。

研究代表者らは、ヒトの運動制御メカニズムの解明を目的として、腕運動に関わる計算モデルと行動実験の研究を行ってきた。近年は特に「運動指令の情報表現」に焦点をあ

て、指令表現に立脚した運動計画モデル、筋活動に含まれる運動指令の協調構造（シナジー）の抽出の研究を行ない、脳が発する運動指令の構造を明らかにしてきた。シナジー抽出とは、複数の筋活動パターンを少数の基本パターン（筋シナジー）の荷重和で近似したとき、近似誤差が最小になるような基本的パターンを求める解析である。この基本パターンは複数の筋を同時に駆動する基本単位であり、筋活動相互の協調関係を与えるものである。

一方、運動障害者を補助する装置の開発研究は国内外で盛んに進められている。その中で、研究分担者の宇野は、脊髄損傷等が原因で下肢機能が麻痺し車椅子での生活を余儀なくされている患者が二本足で歩行できるシステムの開発を行なっている。

ヒトの身体は多数の骨と筋肉から構成された多自由度系であるが、個々の骨や筋は独立して動作する訳ではなく、それらのあいだには一定の協調関係がある。そして、種々の動作はその協調構造を切り替えることにより実現されている。このことを逆に考えれば、そのような協調関係を利用することにより、身体の一部の動きから残りの身体の動きを推測し運動の内容を推定したり、先読みしたりできると考えられる。

本研究は、このようにヒトの身体動作の協調構造を抽出することによりヒトの動作を先読みし、それを運動補助システムの動作に応用することを目指すものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、人間の身体パーツの動きに含まれる協調構造（シナジー）の解析・抽出と、その構造を利用して障害者等の動作の補助を行なう方式の開発である。この目的を実現するために、本課題申請時は以下の具体的な課題を設定した。

(1) 身体運動の協調構造抽出に向けた非拘束身体運動計測システムの構築

ヒトの自然な動きに含まれた協調構造を抽出するため、日常生活における人間の動きを長時間にわたって計測・推定するシステムを構築する。このシステムは、地磁気、加速度、角速度センサからの情報を統合して身体パーツの姿勢（向き）を計測することを基本とし、得られた姿勢情報を人体のモデルに組み合わせることで人体の動きを推定できる点に特徴がある。

(2) 身体パーツの相互関係についてのデータベースの構築

(1)のシステムを利用して身体パーツの動きの相互関係に関するデータを収集、蓄積する。本研究では特に頭部、体幹と上肢、下肢の動きを計測する計画である。特に、日常動

作を対象として幅広い年齢層からデータを収集し、身体運動のデータベースを構築する。

(3) 身体運動の協調構造と運動意図の抽出

研究代表者らがこれまでにこなってきた筋シナジー解析を土台とし、主成分分析、独立成分分析などの処理手法や学習手法に基づき、二足歩行運動や立ち上がり運動を中心に下肢・上肢、体幹など身体パーツの動きの関係を解析し、それらの協調構造を抽出する。

(4) 協調構造を利用したヒト動作補助システムの設計・試作

上記研究で得られた手法を、下肢機能の麻痺した患者の二足歩行を補助するシステムに適用しその有効性を検証する。具体的には、下肢麻痺者の身体と杖への加重や位置の情報を統合して歩行様式を含めたユーザの意図や下肢の動きを実時間で推定し、その動作をアシストするシステムを設計・試作する。

3. 研究の方法

(1) 全身運動計測システムの構築

当初計画通り、地磁気、加速度、角速度センサからの情報を統合して3次元空間内の姿勢を推定するセンサモジュールを組み合わせることにより、複数の身体パーツの動きを長時間にわたって自然な状態で計測するシステムを構築した。また、計測データを統合することによって全身の姿勢や運動を観察、解析するソフトウェアを構築した。

(2) 協調運動の抽出と先読みへの応用

上記システムにより得られたデータを用いて、複数の身体パーツの動きの時空間的關係性を解析した。従来の全身運動解析においては、各時刻に得られた姿勢ベクトル（関節角度を並べてできる多次元ベクトル）に対して主成分分析等を適用することにより、姿勢ベクトル空間において大きく変化する軸を抽出し、関節相互の変化の關係性（つまり、時間情報を捨てた空間次元だけの協調性）を取り出すことが多かった。これに対して、本研究では、動きの予測をすることを目的として、異なる関節間の時間方向での關係性に焦点を絞って身体運動の解析を行なった。

また、人間が身体の多くの関節を巧みに協調させている仕組みにアプローチするために、非制御多様体（UCM: UnControlled Manifold）解析の手法を用いて身体関節間のシナジーを抽出し、与えられた運動課題を実現するための関節運動の關係を解析した。

(3) 補助システムの開発

下肢麻痺患者が下肢に歩行補助ロボットを装着し、歩行器で身体を支えながら二足歩行を可能にするための運動補助システムを

開発した(図1)。特に、下肢麻痺患者の身体各部の動きから患者の意図する歩行パターン(歩幅、接地離脚のタイミングなど)を推測し、麻痺している下肢の運動を補助するセンサ・制御系を構築した。具体的には、歩行器に3軸角度センサと加速度センサを搭載するとともに、補助ロボットの足底に小型力覚センサを挟み込んだ。これらのセンサ系を利用して、下肢に連動する上肢や体幹の動き、足底の圧力情報や歩行器の状態などに従って、以後の患者身体の動きをリアルタイムで予測し、歩行を制御する機構を組込んだ。あわせて、段差面においても歩行器のセンサ情報と足底圧情報に基づいてその高さを推定し、安定な昇段歩行のパターンを生成する制御法を考案した。さらに健康者による動作テストを行なってシステムの有効性を検証した。



図1 装着型ロボットと歩行器を用いた二足歩行

(4) 運動情報表現の数理的解析

身体の協調構造が生じる本質的原因には、課題が要請する運動内容のほかに、筋骨格系に内在する運動学・動力学的制約(身体性)と脳の運動指令計算メカニズムがある。本研究では、後者の理解を進めることを目的として、数理的な観点からも検討を行なった。

あらゆる身体運動の指令は脳内で計算されることから脳内には身体運動を記述するための効率のよい表現が存在すると予想される。近年、情報処理の分野では情報表現に0が多いことを「スパース」と呼び、スパース性を用いた情報処理法の研究が進みつつある。こうしたスパース性を用いた方法と脳内の表現に関する関係に注目し、運動指令計算メカニズムを構築する研究を行なった。

4. 研究成果

(1) 全身運動計測システムの構築

全身運動計測システムとして、Xsens社の3次元姿勢センサMTxをセンサスーツ上に17個装着することで、身体全17パーツの姿勢を計測できるシステムを構築した。全センサ同時計測時の最大サンプリング周波数は120Hzであり、通常の動作の計測には十分な

時間解像度のデータが得られた。センサ出力を組み合わせて身体関節(の関節角を計算し、身体全体の姿勢を復元するソフトウェアをMatlab上で製作した。姿勢計算には四元数を用い、安定した計算が実現できるようにした。

構築したシステムを用いて種々の計測を行ない、下記(2)の成果を上げることができた。しかし、試験的計測の過程で、3次元姿勢センサを構成する地磁気センサの出力が計測環境の影響(スチール製家具など)を少なからず受け、長時間計測時に安定した姿勢推定が困難であることが明らかになった。そのため、残念ながら日常生活での身体動作を自然な状態で追跡することは断念し、安定した環境内での計測実験を行なうのにとどめることにした。

(2) 協調運動の抽出と先読みへの応用

上述した計測システムの制約の下で、動作の解析対象を立ち上がり、歩き出し、足の踏みだし、到達運動など短時間の動作に限定したうえで、動作を行なう際の身体パーツの動きの時間的關係に焦点を絞って解析を行なった。具体的には、身体が動き始めてから動作を完了するまでの時間中に100ms幅の時間窓を設定し、その時間窓における姿勢ベクトルを用いて動作の内容やタイミングを推定する機能を機械学習の手法を用いて実現し、どの時点のどの姿勢情報を用いると高い精度の推定が可能かを探索的に調査した。

その結果、動作内容を定める主たる身体パーツの動き(例えば、到達運動における腕の動き)に先んじて他の身体パーツ(脚や体幹などの動き)が動くこと、そして、先行動作に関わる姿勢情報から主動作の内容やタイミングを正しく予測できることが明らかになった。例えば、踏み出し動作では腰の向きの情報から左右どちらの脚をあげるかを0.5秒前に予測でき、また、到達運動では到達点の水平位置を予測するうえで脚や腰の動きの情報が有効であった。

このように、本研究の結果からは身体パーツの動きの關係性が動作の内容に依存して大きく変化することが明らかになった。このことは、身体パーツ間の協調關係を抽出する際に時間情報を捨象してしまう従来の解析手法だけでなく、動作中の時間帯ごとに協調關係を抽出する新たな分析手法の必要性を示唆している。

なお、本研究では、動作の先読みに利用できる身体動作構造について検討する中で、動作の先読みを防ぐ武術における身体操作法についてあわせて検討を行なった。武術では、相手に自分の意図を悟られないようにするため「起こり」(動作の開始)が知覚されにくい動きをすることが求められる。そのような先読みが困難な動きの計測を行ない、有益

な示唆を得た。今後の研究の中でその原理を明らかにしていきたい。

UCM 解析による身体関節間シナジー抽出については、身体のある部分のゆらぎを抑える課題に着目して複数関節の動きの関係を解析した。具体的には、水の入ったコップを持って歩く課題を題材として身体各部位の動作を計測・解析した。課題遂行中の身体各部分の躍度を計算したところ、腰から手先に向かうにつれて小さくなっていることを見出した。また、UCM 解析を用いて各関節角度の分散を評価した結果、手先の姿勢が一定となるように腕の各関節の動きが協調していることも明らかになった。すなわち、ヒトが手先の振動を抑制する際には、身体的全関節を一定姿勢に保つような「堅い制御」ではなく、各関節の動きが多少ばらついても全体として協調的に動作し、最終的に手先のゆらぎを小さくしコップの角度を一定にする「柔軟な制御」が行なわれているという示唆が得られた。このほか、視覚情報はリアルタイムなフィードバック制御のためではなく、定常状態でのコップの角度の校正のために利用されていることが明らかになった。

(3) 補助システムの開発

歩行器に搭載した慣性センサの信号から患者の腕運動軌道を間接的に計測し、下肢麻痺患者の意図する歩幅、接地のタイミング、つま先の最高点などを推定した後、歩行のための滑らかな関節角軌道を生成した。また、補助ロボットの足底にとりつけた床反力センサの信号から患者の運動状態を推定し、後方に転倒しないような脚のスイング動作のトリガを出す機構を組み込んだ。さらに、平地面に加え段差のある面での歩行も可能となるように、歩行補助の制御アルゴリズムを改良した。健常者による動作テストの結果、3cm および 6cm の段差を乗り越えたり降りたりできることを確認した(図2)。さらに斜面での立位姿勢やつまづきへの回復動作の実験も行った。その結果、補助ロボットの制御系が上肢(すなわち歩行器)の動きに協調して、足首角度を調整し直立姿勢をサポートすること、また、足底圧情報に従って遊脚の上昇または下降のパターンを選択し、転倒することなく歩行を継続できることを確認した。

また、車椅子からの起立動作を補助するセンサ制御系も試作した。まず、起立動作の計測実験を行って、足裏および歩行器の床反力と身体姿勢のデータに基づいて下肢の運動開始のタイミングを検出できることを明らかにした。次に、この結果に基づき、下肢麻痺患者の意図するタイミングとスピードで立ち上がりを補助する制御システムを構成し、起立動作試験により安定な動作が実現されることを確認した。

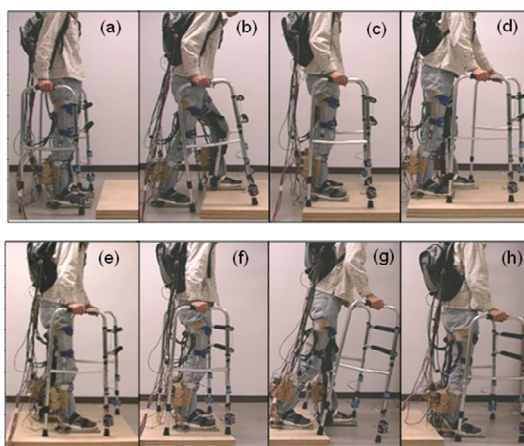


図2 昇段(上図(a)～(d))と降段(下図(e)～(h))

歩行補助ロボットに関するこれまでの多くの研究では、歩行パターンが予め決まっていた患者はいわば機械的に歩かされるだけであった。これに対して本研究で開発された運動補助システムでは、上肢と下肢の動きの協調関係を反映して歩行パターンが生成されるので、下肢麻痺患者の望む歩行が実現できる。また、健常者による動作テストではあったが、この運動補助システムにより段差面や斜面でも転倒することなく歩行を継続できたので、今後、理学療法士の協力を得ながら下肢麻痺患者に対する臨床試験を行って、実用化へのプロセスを進めることが期待される。

(4) 運動情報表現の数理解析

脳内から身体各筋に送られる身体運動指令はなんらかの時系列の信号と考えられる。こうした時系列信号が脳内でスパースに表現されていると仮定し、どのような運動計画の方法が考えられるかを考察した。

ここで最も重要な問題はどのような基底の上でスパース表現を考えるかである。スパース性に関する情報処理法では基底の選択は常に大きな問題である。視覚や聴覚など外界から受動的に受け取る情報処理系ではデータから基底を学習できるが、運動指令は脳が能動的に発する情報であるためこうした方法は使えない。本研究では、時間的にバースト的な振る舞いをもつ基底を仮定し、その基底上で運動はスパース性をもって表現されると仮定した。こうした問題設定の下で① 2 関節腕の運動による到達運動をうまく記述できること、② 複数の筋が協調して動作するシナジーを作り出すこと、③ 多様な運動指令を少ないパターンの組合せによる簡単な計算で構成できること、の3点を示した。

今後の課題として、身体運動データから脳内の基底を明らかにすることがあげられる。

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 12 件)

- 1) 杉村僚介, 香川高弘, 田地宏一, 宇野洋二: 情報統合の神経回路モデルを用いたヒューマノイドの全身リーチング姿勢の決定, 電子情報通信学会論文誌, J96-D, 1048-1057, 2013. 査読有.
- 2) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: 冗長関節アームの協調動作のための UCM 参照フィードバック制御法, 電子情報通信学会論文誌, J96-D, 346-356, 2013. 査読有.
- 3) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行中の手先振動抑制に対する視覚情報の役割, 電子情報通信学会論文誌, J95-D, 314-322, 2012.
- 4) 大谷将司, 田地宏一, 宇野洋二: 逆ダイナミクスモデルを用いた反復制御による運動適応, 電子情報通信学会論文誌, J95-D, 305-313, 2012. 査読有.
- 5) Togo, S., Kagawa, T. & Uno, Y.: Motor synergies for dampening hand vibration during human walking, *Experimental Brain Research*, 216, 81-90, 2012. 査読有.
- 6) Kagawa, T., Ohta, Y. & Uno, Y.: State-dependent corrective reactions for backward balance losses in human walking, *Human Movement Science*, 30, 1210-1224, 2011. 査読有.
- 7) 小田佑樹, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行補助ロボットによる段差歩行のためのセンサ制御系の開発, 電気学会論文誌 C, 131, 2181-2188, 2011. 査読有.
- 8) 北村仁, 香川高弘, 宇野洋二: 装着型ロボットの歩行補助における後方転倒予防のための方策, 電気学会論文誌 C, 131, 2000-2008, 2011. 査読有.
- 9) Hourii, N., Arita, H. & Sakaguchi, Y.: Audiolizing body movement: Its concept and application to motor skill learning, Proc. 2nd Augmented Human International Conference (AH-2011), 2011. 査読有.
- 10) Kagawa, T. & Uno, Y.: Necessary condition for forward progression in ballistic walking, *Human Movement Science*, 29, 964-976, 2010. 査読有.
- 11) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行中の手先振動抑制を抑制する方策に対する UCM 解析, 電子情報通信学会論文, J93-D, 2666-2674, 2010. 査読有.
- 12) Ikeda, S. & Sakaguchi, Y.: Motor planning as an optimization of command representation, Proc. 48th IEEE Conf. on Decision and Control, (ThB09.3), 4499-4504, 2009. 査読有.

[学会発表] (計 36 件)

- 1) 西田泰明, 阪口豊: 身体運動の協調構造を利用した到達運動の先読みシステム, 電子

- 情報通信学会 NC 研究会, 2013/3/14, 町田.
- 2) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: 軌道追従タスクにおける多関節腕の協調制御, 電子情報通信学会 NC 研究会, 2013/3/14, 町田.
- 3) Inoue, Y. & Sakaguchi, Y.: Mechanism of body operation in Japanese classical material arts: Motion analysis of quiet standing and walking, BPES2012, 2012/9/20, Sapporo.
- 4) Kagawa, T. & Uno, Y.: Interlimb coordination to avoid backward falling in perturbed walking, BPES2012, 2012/9/20, Sapporo.
- 5) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: UCM 空間を用いた冗長マニピュレータの協調制御, 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会, 2012/9/20, 札幌.
- 6) Togo, S., Kagawa, T. & Uno, Y.: Coordinated motion control of a redundant joint arm using an Uncontrolled Manifold, JNNS2012, 2012/9/14, Nagoya.
- 7) Togo, S., Kagawa, T. & Uno, Y.: UCM analysis of human multi-joint coordination and mechanical arm impedance, 22nd NCM Annual Meeting, 2012/4/25, Venice (Italy).
- 8) 西田泰明, 藤原祐介, 阪口豊: 準備動作の違いによる左右踏み出し運動の識別~全身運動の時間的構造に基づく行動の先読みに向けて~, 電子情報通信学会 NC 研究会, 2012/3/15, 町田.
- 9) 後藤謙治, 香川高弘, 宇野洋二, 阪口豊: 床反力情報に基づく装着型ロボットによる起立補助, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2012/3/15, 町田.
- 10) 周広宇, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行補助ロボットのつまずきに対応するセンサ制御系の開発, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2012/3/15, 町田.
- 11) 橘鮎郎, 香川高弘, 宇野洋二: 外乱に対する補償動作に基づく歩行安定性の評価, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2012/3/15, 町田.
- 12) 石野智晴, 阪口豊: 打ち下ろし動作における最適運動パタンの探索, 電子情報通信学会 NC 研究会, 2012/3/14, 町田.
- 13) 杉村僚介, 香川高弘, 田地宏一, 宇野洋二: 感覚運動統合モデルを用いたヒューマノイドの全身リーチング姿勢の生成, 電子情報通信学会 NC 研究会, 2012/3/14, 町田.
- 14) Sung, C.H., Kagawa, T. & Uno, Y.: Planning of kicking motion with via-point representation for humanoid robot, URAI 2011, 2011/11/24, Seoul (Korea).
- 15) Kagawa, T., Goto, T. & Uno, Y.: Posture adjustment of standing on a slope with a wearable robot, URAI 2011, 2011/11/24, Seoul (Korea).
- 16) Kagawa, T., Oda, Y. & Uno, Y.: Human interface of a wearable robot for walking on a

- step, CLAWAR 2011, 2011/9, Paris (France).
- 17) Togo, S., Kagawa, T. & Uno, Y.: A role of visual information for joint coordination to dampen hand vibration during human walking, Progress in Motor Control VIII, 2011/7, Cincinnati (USA).
- 18) 宝里直幸, 有田浩之, 阪口豊: 身体運動の可聴化: その概念と運動学習支援への応用, インタラクション 2011, 2011/3/12, 東京.
- 19) 藤原祐介, 阪口豊: 多変量単位四元数のための因子分析モデル, 電子情報通信学会 NC 研究会, 2011/3/8, 町田.
- 20) 小田佑樹, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行補助ロボットによる昇段歩行における後方転倒予防, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2011/3/8, 町田.
- 21) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行中の手先振動を抑制する関節間協調に対する視覚情報の働き, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2011/3/8, 町田.
- 22) 小田佑樹, 香川高弘, 宇野洋二: 段差歩行実現のための歩行補助ロボットのセンサ制御系開発, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2010/12/19, 名古屋.
- 23) 香川高弘, 太田雄, 宇野洋二: 歩行中の後方転倒誘発刺激に対する状態依存の姿勢制御応答, 第 25 回生体生理工学シンポジウム, 2010/9/24, 岡山.
- 24) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行中の手先振動の抑制に対する視覚の働き, 第 25 回生体生理工学シンポジウム, 2010/9/23, 岡山.
- 25) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行中の手先振動を抑制する関節間協調の解析, Neuro 2010, 2010/9/2, 神戸.
- 26) Kagawa, T., Kitamura, H. & Uno, Y.: Fall prevention control of a wearable robot using ground reaction force sensors, CLAWAR 2010, 2010/8/31, Nagoya.
- 27) Kagawa, T., Ohta, Y. & Uno, Y.: Postural responses of backward balance loss during walking on a treadmill, 4th Intl. Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions, 2010/6/15, Prague (Czech).
- 28) Togo, S., Kagawa, T. & Uno, Y.: Analysis of synergy for dampening hand vibration during walking, 4th Intl. Symposium on Measurement, Analysis and Modeling of Human Functions, 2010/6/15, Prague (Czech).
- 29) 北村仁, 香川高弘, 宇野洋二: 床反力センサを用いた歩行補助ロボットの転倒予防制御, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 2010/3/10, 町田.
- 30) 東郷俊太, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行中の手先振動を抑制する協調動作の解析. 電子情報通信学会 NC 研究会, 2010/3/10, 町田.

- 31) 阪口豊: 感覚フィードバックと実時間性, 電子情報通信学会身体性情報学研究会平成 21 年度第 2 回シンポジウム, 2009/12/19, 調布.
- 32) 北村仁, 香川高弘, 宇野洋二: 歩行補助ロボットの床反力計測システムの開発. 第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2009/12/14, 東京.
- 33) 小田佑樹, 香川高弘, 宇野洋二: 腕運動の予測に基づく歩行補助ロボットの制御. 第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2009/12/14, 東京.
- 34) 日比野瑛, 香川高弘, 宇野洋二: 人間の重心軌道を手本としたヒューマノイドの起立動作の生成. 第 10 回計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2009/12/14, 東京.
- 35) Kagawa, T. & Uno, Y.: A human interface for stride control on a wearable robot, IROS2009, 2009/10/14, St. Louis (USA).

[図書] (計 2 件)

- 1) 香川高弘, 宇野洋二: 下肢麻痺者用歩行補助ロボットのセンサ・制御系, 最先端メディカルエンジニアリング, 一粒書房, 106-111, 2012.
- 2) Kagawa, T., Tachibana, A. & Uno, Y.: Evaluation of gait stability based on recovery steps in perturbed gait, in "Treadmills", Nova Science Publisher, 69-85, 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阪口 豊 (SAKAGUCHI YUTAKA)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授

研究者番号: 40205737

(2) 研究分担者

宇野 洋二 (UNO YOJI)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 10203572

池田 思朗 (IKEDA SHIRO)

統計数理研究所・推理・推論研究系・准教授 (H 2 2 → 2 4 の 3 年間のみ参画)

研究者番号: 10203572

石田 文彦 (ISHIDA FUMIHIKO)

富山高等工業専門学校・専攻科・准教授 (H 2 1 の 1 年間のみ参画)

研究者番号: 20345432

島井 博行 (SHIMAI HIROYUKI)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・助教 (当時: H 2 1 の 1 年間のみ参画)

研究者番号: 10361833

(3) 連携研究者

石川 正俊 (ISHIKAWA MASATOSHI)

東京大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号: 40212857