

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：平成20年度～平成22年度

課題番号：20240058

研究課題名（和文）運動の個人差、環境の変化に対応できる移動支援ロボットシステムの開発

研究課題名（英文）Development of transport assistance robot adjusted to difference among individuals in motion and changes in environment

研究代表者

藤江 正克 (MASAKATSU G. FUJIE)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20339716

研究成果の概要（和文）：本研究では、個人差対応知能と環境認識知能の2つの知能を有する高齢者、障害者用の移動支援機器の開発手法を標準化することを目的とした。基礎となる人間の歩行特性等のモデリング研究と、個別の研究事例を包括する視点から、機器の移動範囲により「屋内・近距離・遠距離」と分類され行われた複数の機器開発を通して、身体的、認知的な個人差に対応するための手法、障害物などの環境の認識を行うための手法が体系的に構築された。

研究成果の概要（英文）：This study is conducted toward the standardization of the development method of transport assistance robot for elderly or disabled people adjusting to difference among individuals and changes in environment. Through the research of human modeling and development of various robots categorized according to the range of use, the methods for adjusting physical or cognitive difference among individuals and recognizing environment like obstacles are structured methodologically.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	26,300,000	7,890,000	34,190,000
2009年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2010年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
年度			
年度			
総計	39,600,000	11,880,000	51,480,000

研究分野：医療福祉工学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：移動支援ロボット、個人差対応知能、環境認識知能

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会背景

近年、少子高齢化・人口減少という社会的背景から、高齢者や障害者を含む多くの人の活発な社会活動参加が大きな課題となっている。この課題の解決方法の一つとして、高齢者、障害者の健康維持や自立支援を目的とした、人間が行う作業の支援または代替を可能とする知能を有するロボットの必要性が高まっている。

(2) 研究背景

それに伴い、食事支援用、自立移動支援用

など生活支援ロボットの研究開発、実用化が国内外で数多く行われている。しかし、現状として生活支援ロボットは実社会生活に入り込むまでには至っていない。この理由として、使用者のニーズを満たす機能を有していない、そして生活支援ロボット普及の事例が皆無であり十分な社会的環境が未整備であることの2つに大別される。

2. 研究の目的

本研究では高齢者と障害者のそれぞれを対象とし、移動を中心とした生活支援型ロボットの普及に向け必要な(1)機能の構築と

(2)社会システムの整備を行うための方法論を構築することを大きな目的とする。

3. 研究の方法

研究目的の効率的な達成のために各研究者がこれまで十分な実績がある分野において、また各機関が繋がりや有した形で研究ができるように研究体制は以下のようにする。

複数の機器で個人差対応知能、環境対応知能を構築し、その設計基準を一般化するため、機器の移動範囲により、(1)屋内 Gr. (藤江, 王), (2)近距離 Gr. (山海, 井上), (3)遠距離 Gr.(藤江, 鎌田)と分類する。ただし、移動環境に限られる(1),(2)では個別差対応知能のみを、(3)ではそれに加えて環境対応知能を対象とする。また、すべての基となる(4)人モデルリング Gr. (藤本, 高西)を設ける。

4. 研究成果

(1) 屋内移動担当

①寝たきり支援機器：H20 年度は、がん転移患者の寝返りを支援するロボットを開発し、EMG をもとに体幹回旋動作が抑制できることを X 線画像により確認した。H21 年度は、寝返り動作を正確、かつ早期認識するアルゴリズムを開発した。H22 年度は、外部環境が寝返り動作時の筋電信号に与える影響を評価し、開発したマイクロニューラルネットワークが外部ノイズに影響を受けにくいことを示した。総括として、がん患者の寝返り支援システムにおいて、患者の筋電信号の個人差および電極位置などの環境の変化に対応できる信号処理および個人の体格差に対応できる機構を開発した。

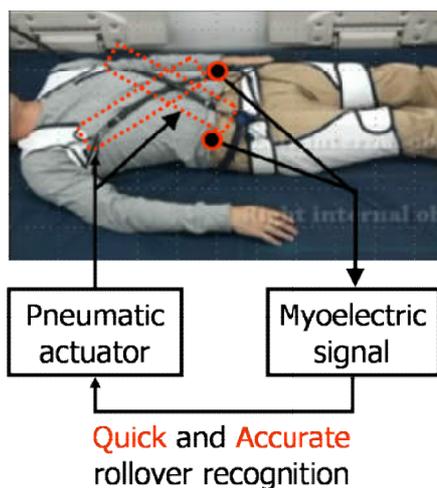


図1 寝返り支援システム

②転倒予防歩行訓練機器：H20 年度は、転倒の原因と場所と年齢との相関性について調査し、制御工学の立場から予見機能と推論機

能を考慮した転倒メカニズムを提案した。H21 年度は、機器使用時の個人の重心のズレを考慮した適応制御アルゴリズムを開発し、その有効性を実験により示した。H22 年度は、これまでに開発した機器使用時の個人の重心のズレを考慮した適応制御アルゴリズムに対して、実際の対象となる高齢者などによる評価結果により、有用性が認められた。総括として、筋力や身長や体重など個人特性を重心ずれ問題に帰着することにより、個人特性に応じた適応制御法の開発が成功した。今後、本手法を実装した全方向移動型歩行訓練機を室内歩行支援機に発展できると考える。



図2 異なる被験者の個人特性に応じた歩行訓練試験

(2) 近距離移動担当

①歩行機能拡大機器：H20 年度は、個人差や環境パラメータの差異に対応できるように、知的処理系を有する歩行移動・下肢動作支援システム、パラメータ調整アルゴリズムの開発を推進した。H21 年度は、環境の変化や個人差に対応できるようにするために、治験のプロセスを基にした人支援技術開発のための実験プロトコルの策定法などについて検討した。H22 年度は、残存能力に応じた制御アルゴリズムをもとにして、健康維持、歩行能力向上、快適な移動など使用目的の変化に対応できる評価関数をつくり、実験的に評価した。歩行障害者に対する歩行支援手法の確立と実用化に向けた国際水準の評価手法を考慮したプロトコルの検討を行ない、先導的研究を推進した。



図3 適用実験例

②車いす：H20年度は、脳性マヒ児を対象として、脚部動作の加速度を計測し、3動作の識別を可能とする自己組織化アルゴリズムを開発した。H21年度は、個人特性に合わせてオンラインで自動的に操作インタフェースを構築する自己組織化アルゴリズムを提案した。H22年度は、個人の運動特性を考慮した追加学習型操作系構築アルゴリズムにより、重度脳性マヒ児の脚の動作による電動車いす操作を可能とする操作系を開発した。人と機械の相互学習アルゴリズムを構築し、重度脳性マヒ児の個別性が高く、曖昧な脚動作から、3動作を識別し、電動車いすの操作を可能とするシステムを開発した。

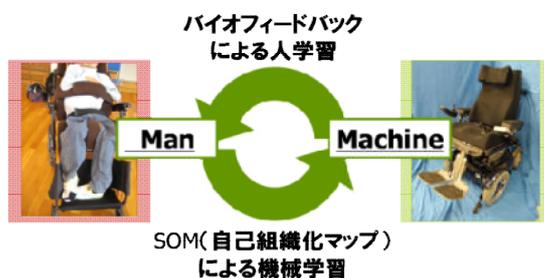


図4 人と機械の相互学習による車いす操作系の構築

(3) 遠距離移動担当

①移動範囲拡大機器：H20年度は、Tread-Walkを片麻痺患者に適用するために、個人の左右の歩行能力を定量化するトレッドミルを開発し、片麻痺模擬の健常者により効果を検証した。H21年度は、環境の変化に安全に対応できるような機器旋回アルゴリズムを開発し、その有効性を示した。また、個人差に依存せず直感的操作が可能となるような操作系の開発を行った。そして、個人の歩行特性に応じて、最適な操作系を実現するトレッドミル制御を開発し、対象となる高齢者などにより評価を行った。総括として、高齢者や障害者用の新しいパーソナルモビリティTread-Walkにおいて、歩行動作の蹴り力を強さに対応したトレッドミル制御アルゴリズムを確立することで、個人差に対応した直感的操作が可能となった



図5 パーソナルモビリティ Tread-Walk

②電動スクータ：H20年度は、安全性と円滑性を両立する衝突回避を実現するため、ステレオカメラとレーザレンジセンサを用いて、将来の速度ベクトル変化を推定できる歩行者行動予測システムを開発した。H21年度は、安全についてリスクの概念から定量的な定義を行い、安全をもとにしたパーソナルモビリティの挙動についてバーチャルリアリティ技術を用いた実験的検証を行った。H22年度は、これまでの歩行者行動予測・障害物回避安全システムのアルゴリズムに加え、自己位置推定を単眼カメラで行うシステムを開発し、これらを統合した自律移動システムを検討した。歩道等での自律移動では、これまでのロボットでの位置検出や障害物回避では実用上うまくいかず、今回新たに開発した障害物の移動予測や簡易な位置検出システム等が非常に有用である。

自己位置推定補正手順

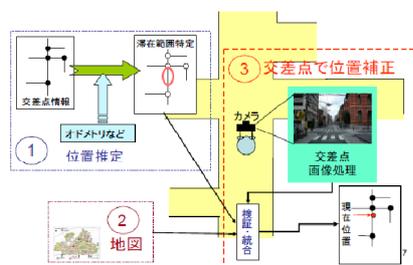


図6 開発したシステムの概要

(4) 人モデリング担当：H20年度は、歩行運動中の足関節内返し軸の推定方法を提案し、歩行中の内返し方向モーメントを算出する手法を確立し、不整地路面歩行時の安定性を定量的に評価することができた。また、人間の足部と同等の足幅を持ち、アーチ構造をモデル化した人間形足部機構を開発し、2足ヒューマノイド・ロボットWABIAN-2Rによる人間らしい歩行に成功した。H21年度は、歩行運動中、特に段差を乗り越える際の運動学的な解析を行い、歩行の進行方向と障害物の相対的角度が歩行へ与える影響を定量的に評価した。また、ウィンドラスメカニズムなど人間の足部と同等の機能を有する足部を2足ヒューマノイド・ロボットWABIAN-2Rに付加し、人間歩行の解析をした。また、リアルタイムに障害物を回避するオンライン歩行生成アルゴリズムを開発した。H22年度は、人間は着地時の力学的エネルギーに基づき歩行中の両足間隔を決定しているという歩行解析結果より、WABIAN-2Rは歩行制御の点からも人体運動の模擬が可能になった。歩行特性の解析においては、属性の異なる属性の被験者で歩行実験を行った結果、高齢者の場合には障害物に進入する角度によっては、側

方支持面が狭くなって転倒の危険性が増大することが確認された。

総括として, WABIAN-2R は, 構造だけでなく, 歩行安定化制御の点からも人体運動の模擬が可能になった. 今後は, ロボットによる移動支援機器の定量的評価が期待される. また, ヒトが二本足で障害物を乗り越える際の歩行特性が明らかになり, 特に高齢者では筋のアクチュエータ特性の低下により, 側方の安定余裕が減少する条件が存在し, バランスを崩し転倒する危険性が高くなることが確認できた.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 29 件)

- ① 中島康貴, 大木英一, 安藤健, 小林洋, 藤江正克, 歩行支援機 Tread-Walk 2 の操作性向上のための制御アルゴリズムの構築 - 摩擦を考慮したトレッドミルの力学的モデルを用いたモータ電流値からの蹴り力推定 -, 日本ロボット学会誌, 有, 7 月 28 日, 2010, 776-782
- ② Takeshi Ando, You Kobayashi, Jun Okamoto, Mitsuru Takahashi, Masakatsu G. Fujie, Intelligent Trunk Corset to Support Rollover of Cancer Bone Metastasis Patients, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 有, 2 月 15 日, 2010, 181-190
- ③ Takeshi Ando, Jun Okamoto, Masakatsu G. Fujie, Micro Macro Neural Network to Recognize Rollover Movement, Advanced Robotics, 有, 25-2, 3, 2011, 253-271
- ④ Takeshi Ando, Jun Okamoto, Mitsuru Takahashi, Masakatsu G. Fujie, Response Evaluation of Rollover Recognition in Myoelectric Controlled Orthosis Using Pneumatic Rubber Muscle for Cancer Bone Metastasis Patients, Journal of Robotics and Mechatronics, 有, 2 月 25 日, 2011
- ⑤ Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Takeshi Ando and Masakatsu G. Fujie, Directional Intention Identification for Running Control of an Omni-directional Walker, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 有, 14, 2010, 784-792
- ⑥ Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Rengpeng Tan, Kenji Ishida, Takeshi Ando and Masakatsu G. Fujie, The Possibility of Quickening Walking Rehabilitation by Imaginary Walking, ICIC Express Letters, Part B: Applications, 有, 1, 2010, 189-194
- ⑦ Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Takeshi Ando and Masakatsu G. Fujie, Directional Intention Identification Based on the Force Interaction between an Omnidirectional Walker and a Human, ICIC Express Letters, Part B: Applications, 有, 1, 2010, 195-200
- ⑧ Rengpeng Tan, Shuoyu Wang, Yinlai Jiang, Kenji Ishida, and Masakatsu G. Fujie, Adaptive Control Algorithm with Parameter Optimization Using Neural Networks for an Omni-directional Walker, ICIC Express Letters, Part B: Applications, 有, 1, 2010, 201-208
- ⑨ 二瓶美里, 木下悟朗, 酒井美園, 佐藤春彦, 井上剛伸, 重度障害児の発達を促す電動車いすの開発, バイオメカニズム, 有, 20, 2 010, 99-109
- ⑩ Misato NIHEI, Kazuya KITAMURA, Misono SAKAI, Haruhiko SATO, Motoki SHINO, Minoru KAMATA, Takenobu INOUE, Development of a powered wheelchair interface using a neural network system for people with disabilities, Assistive Technology and Research Series, 有, 印刷中, 2011
- ⑪ Yoshiyuki Sankai, Voluntary Motion Support Control of Robot Suit HAL Triggered by Bioelectrical Signal for Hemiplegia, IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 有, Proc. of 31st Annual International Conference, 2010, 462-466
- ⑫ 山海 嘉之, バイオフィードバックを用いたポリオ経験者の筋神経系制御能力の改善とロボットスーツ, HAL による麻痺肢動作支援, 日本機械学会誌(C 編), 有, 76, 2010, 3630-3639
- ⑬ Yoshiyuki Sankai, Sit-To-Stand and Stand-To-Sit Transfer Support for Complete Paraplegic Patients with Robot Suit HAL, Advanced Robotics, 有, 24, 2010, 1615-1638
- ⑭ 安藤健, 藤江正克, 表層筋と深部筋の表面筋電位の SVM による識別 (肩外転動作と外旋動作の識別) 日本機械学会論文集 C 編, 有, 076 卷 762 号, 2009, 297-303
- ⑮ 土井幸輝, 荻野愛実, 和田勉, 藤本浩志, 加齢がスクリーン印刷による触知記号の識別特性に及ぼす影響に関する研究, ライフサポート学会誌, 有, 4 月 21 日, 2010, 25-32
- ⑯ 高瀬翔, 土井幸輝, 藤本浩志, 対象物の

- 硬さに応じた指腹自体の変形の違いが硬さ感覚特性に及ぼす影響, 日本感性工学会誌, 有, 8月4日, 2009, 1105-1111
- ⑰ 土井幸輝, 小玉千明, 藤本浩志, 和田勉, 触知記号のサイズが識別容易性に及ぼす影響に関する研究, 日本生活支援工学会誌, 有, 9月1日, 2009, 22-28
- ⑱ 和田勉, 土井幸輝, 天野真衣, 片桐麻優, 藤本浩志, 触知案内図のドットパターン及びストライプパターンの粗密感覚特性に関する研究 日本機械学会論文集C編, 有, 75-752, 2009, 1041-1046
- ⑲ 土井幸輝, 萱島裕幸, 藤本浩志, 和田勉, 点字ディスプレイの盤面の特性が点字の識別容易性に及ぼす影響, 日本機械学会論文集C編, 有, 75-752, 2009, 1009-1015
- ⑳ Yoshiyuki Kobayashi, Hiroshi Fujimoto, Kimitaka Nakazawa, Masami Akai, Foot Position Tends to Be Sensed as More Medial Than the Actual Foot Position, *Journal of Motor Behavior*, 有, May-41, 2009, 437-443
- 21 津田大作, 王碩玉, 三浦直樹, 姜 銀来, 案内ロボット用リード開発と安心性の検証, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, 有, 11, 2009, 43~48
- 22 T. Takahashi, H. Yanagita K. Niizeki, S. Wang et. al., Economical Estimates of Oxygen Uptake as a Function of Gait Parameters for an Ambulatory Monitoring System, *THERAPEUTIC RESEARCH (Ther. Res.)*, 有, 30, 2009, 219-225
- 23 Tashiro Y, Hashizume M, Iwamoto Y et al. Quantitative Assessment of Rotatory Instability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction, *Am J Sports Med*, 有, 37, 2009, 909-916

(他、6件)

[学会発表] (計 127件)

- ① 安藤健, がん骨転移患者の寝返りを支援するインテリジェントコルセットの開発—空気圧ゴム人工筋による体幹回旋可動域の制限機構—, 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2009. 6, 福岡
- ② 安藤健, 寝返り動作認識のための Micro Macro Neural Network の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2009. 6, 福岡
- ③ 安藤健, 上肢負担が軽減される路面環境適応型多脚型杖の開発, 日本機械学会 2009 年度年次大会, 2009. 9, 岩手
- ④ 中島康貴, 歩行支援機 Tread-Walk2 の操作性向上のための制御アルゴリズムの構築—モータ電流値からの蹴り力推定—, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2009. 9, 横浜
- ⑤ 渡邊峰生, 片麻痺者を対象とした歩行支援ロボットの開発— 立位時及び歩行時の安定性向上を目的とした介助力制御—, 第 7 回生活支援工学系学会連合大会, 2009. 9, 高知
- ⑥ 小島康史, 重度脳性まひ児用電動車いすの操作アルゴリズムの構築, 第 7 回生活支援工学系学会連合大会, 2009. 9, 高知
- ⑦ 安藤健, 筋電制御によるゴム人工筋を用いたがん骨転移患者の寝返り支援コルセットの開発, 福祉工学シンポジウム 2009, 2009. 9, 高知
- ⑧ 西尾直樹, インテリジェント膝装具開発のための粘性パラメータの検討, 第 30 回バイオメカニズム学会学術講演会, 2009. 1, 北海道
- ⑨ 関 雅俊, ウェアラブルロボットの未来情報提示を行なうインタフェースの開発, 第 30 回バイオメカニズム学会学術講演会, 2009. 1, 北海道
- ⑩ Wataru Toyoda, Research on the Perceptual Size of Tactile Dots and Bars International Federation for Medical and Biological Engineering, 2009. 9, ミュンヘン/ドイツ
- ⑪ Kouki Doi, Influence of Base Material of TRUCT Braille on Readability of TRUCT Braille, International Federation for Medical and Biological Engineering 2009. 9, ミュンヘン/ドイツ
- ⑫ Kouki Doi, Influence of Aging on Discriminability of Tactile Symbols, International Federation for Medical and Biological Engineering, 2009. 9, ミュンヘン/ドイツ
- ⑬ Yoshiyuki Kobayashi, Foot Position Tends to Be Sensed as More Medial Than the Actual Foot Position International Society for the Postural and Gait Research, 2009. 7, Bologna, Italy
- ⑭ Yoshiyuki Kobayashi, How Accurately People Can Discriminate the Differences of Floor Materials with Various Elasticities International Society for the Postural and Gait Research 2009. 7 Bologna, Italy
- ⑮ 豊田航, 凸バー及び凸点の識別容易性に関する研究, 第 51 回福祉情報工学研究会電子情報通信学会, 2010. 1, 東京
- ⑯ 土井幸輝, 熱可塑性エラストマーを用いたヒトの指先の硬さ感覚特性及び弁別特性の定量化, 日本ゴム協会, 2009. 12, 東京

- ⑰ 豊田航, 凸点の高さが携帯電話の操作性に及ぼす影響, 日本リハビリテーション工学協会, 2009. 8, 埼玉
- ⑱ 土井幸輝, 受動触によるベルベット感呈示因子と発生率の関係, バイオメカニズム学会, 2009. 8, 神奈川
- ⑲ 豊田航, 凸バーの識別容易性に関する研究, 日本人間工学会, 2009. 6, 茨城
- ⑳ 片桐麻優, 触知経験がストライプパターンの識別特性に及ぼす影響, 日本人間工学会 2009. 6, 茨城
- 21 土井幸輝, 加齢が触覚記号・文字の識別容易性に及ぼす影響, 日本人間工学会, 2009. 6, 茨城
- 22 小林吉之, 感触の異なる床仕上げ材間の識別容易性に関する研究～視覚障害者が白杖を用いた際の識別性について～, 日本リハビリテーション工学協会, 2009. 8, 埼玉
- 23 Hideki Kondo, Realization of Walking by FFT-based Online Pattern Generation, 12th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2009), 2009. 9, Istanbul, Turkey
(他、104件)

[図書] (計8件)

- ① Misato Nihei, Takeshi Ando, Yuzo Kaneshige, Masakatsu G. Fujie, In-tech Cutting Edge Robotics 2009, 2009, 15
- ② Takeshi Ando, Jun Okamoto, Masakatsu G. Fujie, In-tech Recent Advances in Biomedical Engineering, 2009, 15
- ③ 黒澤尚, 石田健司, 王碩玉, 岸孝司, 金原出版社, 運動療法, 2009, 300
- ④ Hashizume M, The McGraw-Hill Companies Inc, New York Robotic Surgery, 2009, 7
- ⑤ Suzuki N, Hattori A, Hashizume M et al., IOS Press Medicine Meets Virtual Reality, 17, 2009, 6
(他、3件)

[産業財産権]

○出願状況 (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: 高知工科大学

種類: PCT/J P

番号: 2010/64849

出願年月日: 2010, 8, 10

国内外の別: 国際
(他、1件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

橋爪 誠 (MAKOTO HASHIZUME)
九州大学・医学研究科・教授
研究者番号: 90198664

高杉 紳一郎 (SHIN-ICHIRO TAKASUGI)
九州大学・大学病院・助教
研究者番号: 40253447

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

井上 剛伸 (TAKENOBU INOUE)
国立障害者リハビリテーションセンター・福祉機器開発部・部長
研究者番号: 40360680

山海 嘉之 (YOSHIYUKI SANKAI)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授
研究者番号: 30183833

鎌田 実 (MINORU KAMATA)
東京大学・工学系研究科・教授
研究者番号: 20224644

高西 淳夫 (ATSUO TAKANISHI)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 50179462

藤本 浩志 (HIROSHI FUJIMOTO)
早稲田大学・人間科学学術院・教授
研究者番号: 60209103

(3) 連携研究者

山内 繁 (SHIGERU YAMAUCHI)
早稲田大学・研究推進部・参与
研究者番号:

杉本 旭 (NOBORU SUGIMOTO)
明治大学・理工学部・教授
研究者番号: 90347667