

## 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 22 年 5 月 23 日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19500479  
 研究課題名 (和文) 起立動作を支援することで要介護者を自立へ導くインテリジェント型手すりの開発の研究  
 研究課題名 (英文) Development of a Sit-to-Stand Assistance System (Intellectual handrail)  
 研究代表者  
 新田 収 (NITTA OSAMU)  
 首都大学東京・人間健康科学研究科・教授  
 研究者番号：80279778

研究成果の概要 (和文) :我々は運動機能が低下した高齢者の、起立動作を助けることを目的に、インテリジェント手すりの開発を行った。手すりのデザインは以下である。68cm のストロークを持つ直線運動アクチュエータを直角に組み合わせ、アクチュエータはコンピュータ制御とし、使用者の起立動作に同期して駆動するようプログラムした。なお起立動作と同期するためのトリガーとして足下に圧センサーを設置した。駆動実験の結果、起立不可のパーキンソン患者が独力で起立可能となった。

研究成果の概要 (英文) : A Sit-to-Stand Assistance System that can provide functional assistance to stand up was developed. Two 650 mm stroke AC servo motor driven linear actuators were squarely combined. The handrail was installed at the intersection of these actuators. When the user stands up from the chair, the handrail leads the user's motion. A personal computer (PC) is used to control the handrail motion. And the force plates are put under the feet. Parkinson's disease sufferers (PD) subjects were participated in this experiment. Subjects were not able to stand up with a fixed handrail. But they were able to stand up using this system without help.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

## 研究分野：

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：手すり，アシスト機構，起立動作，高齢者，パーキンソン，リハビリテーション，機能低下，介助

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 福祉用具の1つである手すりは、下肢の

運動機能が低下した高齢者や障害者の立ち上がりや伝い歩き，移乗動作などの補助に有

効な器具である。また、手すりは福祉用具の中で最も身近なものであり、導入率が高く、住宅改造に関する項目で最も基本的な住宅項目となっている。退院後の住宅改造項目に関する先行研究では、トイレ、階段に関しては手すりをもっとも導入率が高くなっている。また、浴室でも導入率が高く、導入後の使用率も高い。

このように手すりは、広く住宅に設置されているが、設置には壁面に対する十分な固定が必要である。そのため、加齢や進行する疾患による障害の変化に対応した設置後の調整は容易ではない。

また、手すりに関しては多く研究されてきたが、最適な形状や配置位置に関するものがほとんどである。起立動作補助を行うために、手すりにアシスト機能を持たせて姿勢を誘導するものは開発されていない。

(2) 起立支援装置としては、「起立便座」「起立椅子」「起立車椅子」といった福祉用具は既に開発されている。しかし、これらは座面がある高さになるなどの補助が多い。起立しても勢いで前に倒れるなどが考えられ、動作が強制的であるといえる。このような椅子は、一定の高さに座面が上がるだけであり、強制的であると考えられる。また、個々の症状、機能低下の程度の違いや起立パターンに対し最適な補助は異なると考えられる。従来の起立支援装置では、当然このような違いに対応できていない。また、体全体を固定し持ち上げる装置も開発されているが、使用者が運動をしようとしないうえ、症状の進行を早めるなどの指摘もされている。

## 2. 研究の目的

本研究ではパーキンソン病患者等運動機能が低下した高齢者に対し、手すりを駆動させることで姿勢を誘導し、起立動作の補助を行うインテリジェント型手すりの開発を目的とした。具体的に手すりに装着した力覚センサーと床反力センサーから使用者の姿勢を算出し、起立動作に同期して手すりを駆動させるシステム開発を行った。

### (1) 起立動作時の垂直反力実験

垂直反力計のデータを用いて軌道を生成するための基礎データ収集を目的とする。健常者の遅い起立動作時の足部に発生する垂直反力と姿勢、重心との関係性を計測した。

### (2) 軌道生成プログラムによる健常者の起立動作実験

健常者を対象に垂直反力計と軌道生成プログラムを用いて実験を行った。実験目的は、垂直反力の値を体重の百分率で示した40[%]、50[%]、70[%]、80[%]で軌道が変

化するように関値を設定し、そのときの手すりに加わる力を検討し、どの程度の上肢の力が発揮されているかを調べる。また、このプログラムで生成される軌道を確認した。

### (3) 軌道生成プログラムによるパーキンソン病患者の実験

垂直反力計と軌道生成プログラムを用いて、パーキンソン病患者に本装置による起立動作への影響を検討した。重心軌跡、体幹の角度、膝関節モーメント、手すりに加わる力を計測することで、起立動作時の身体への負荷、重心の安定性を評価し、有効な軌道を検討した。また、健常者の力制御戦略を利用した起立動作と比較した。

## 3. 研究の方法

### (1) 起立動作時の垂直反力実験

被験者は健常成人男女12名（男性5名、女性7名）とした。平均身長は163.7±7[cm]、平均体重57.5±8[kg]であった。三次元動作解析装置（Oxford Metrics社製VICON370）と床反力計を用いて、重心位置と足部の垂直反力を計測した。踵の先端の位置をX軸方向とY軸方向の原点とした。被験者の座位姿勢は、起立動作を容易に行うために足を座面側に引くことが指摘されているため、下腿部角度を水平方向から80[deg]とした。また様々な椅子の高さを想定するために、大腿部角度が水平から+10[deg]、0[deg]、-10[deg]となるように3通りに椅子の高さにし、力制御戦略で起立動作を行うためゆっくりとした起立動作を2試行ずつ行った。

### (2) 軌道生成プログラムによる健常者の起立動作実験

被験者は健常者が2名とした。健常者の平均身長は1.75±0.045[m]、平均体重は66.5±4.5[kg]であった。

背もたれのない椅子を使用し、初期姿勢を股関節の屈曲方向の角度が90[deg]、膝関節の伸展方向の角度が80[deg]となるように椅子の高さを調節した。膝関節を80[deg]とした理由は、便器における座位を想定した場合、市販されているトイレの高さは370~390[mm]であり、高齢者の下肢の長さ、座位大腿厚を考慮すると膝が80°程度屈曲するからである。上肢は肘関節の屈曲方向の角度が110[deg]、前腕が水平となる位置に手すりの位置を設定した。この条件で、装置を用いた起立動作1回を行った。起立動作の開始時は装置駆動開始時、起立動作の終了時は装置が停止したときとした。

装置の動きは、今回作成した垂直反力計と軌道生成プログラムを用いて制御した。斜め上軌道へ変化させるための閾値は、体重を百分率で示したときの40%、50%、60%、70%、

80%の5つの値のときで設定した。手すりの速度は進行方向に向かって、100[mm/sec]とした。

手すりの軌道はモータボードを用いてプログラムにより計測した。手すりに加わる力はパワーアシスト型手すりに付属した6軸力覚センサーを使用して計測した。

### (3) 軌道生成プログラムによるパーキンソン病患者の実験

垂直反力計と軌道生成プログラムを用いて、パーキンソン病患者に本装置による起立動作への影響を検討した。重心軌跡、体幹の角度、膝関節モーメント、手すりに加わる力を計測することで、起立動作時の身体への負荷、重心の安定性を評価し、有効な軌道を検討した。また、健常者の力制御戦略を利用した起立動作と比較した。

被験者はパーキンソン病患者2名、健常者2名でとした。パーキンソン病患者の平均身長は $1.60 \pm 0.03$ [m]、平均体重は $48.5 \pm 5.5$ [kg]である。患者の2名のパーキンソン病の重度はYahr-StageIVであった。2名は、手すりを使用しても起立動作ができなかった。健常者の平均身長は $1.73 \pm 0.01$ [m]、平均体重は $70.5 \pm 1.5$ [kg]であった。

背もたれのない椅子を使用し、初期姿勢を股関節の屈曲方向の角度が $90$ [deg]、膝関節の伸展方向の角度が $80$ [deg]となるように椅子の高さを調節した。

パーキンソン病患者はこの姿勢でインテリジェント型手すりを使用して実験を行った。手すりの軌道は床反力データをもとに生成プログラムを用いた。このプログラムは左右の足元に設置した垂直反力計の値が閾値を超えたときに軌道を変化させるプログラムとした。設定した閾値は体重を百分率で示したときの $50$  [%]、 $70$  [%]、 $80$  [%]の値とし三通りで実験を行った。健常者はパワーアシスト型手すりを使用せず、力制御戦略を利用した起立動作を行わせるためにゆっくりとした起立動作を指示した。実験はそれぞれ2試行を行った。計測はOxford Metrics社製Vicon動作解析システムを用いた。

手すりにはNitta社製6軸力覚センサが付属しており、手すりに加わるX軸およびY軸方向の力を計測した。サンプリング周波数は $30$ Hzであった。

また、手すりの軌道生成に使用する垂直反力の情報を計測するために、垂直反力計を左右の足元に一基ずつ設置した。サンプリング周波数は $30$ Hzとした。

得られた3次元座標のデータと床反力のデータより、股関節の角度、重心の位置、膝関節モーメントを算出した。各体節の慣性モーメントや質量中心は、高齢者の各体節のデータを参考にした。これらのデータに $7$ [Hz]のバ

ターワースのローパスフィルタで処理を行った。

パーキンソン病患者の場合は装置が動き始めてから停止するまで、健常者は開始の合図から肩峰のマーカの位置が停止するまでを計測した。開始から終了するまでの時間を終了時間で除算し起立割合を求めた。座面から殿部が離床した殿部離床時は、椅子の下に設置した床反力計のY軸方向の力が $0$ [N]となったときとした。

## 4. 研究成果

### (1) 起立動作時の垂直反力実験

重心のX軸方向の位置が踵（原点）と一致したときをP1（足部に重心が移動した瞬間）とし、肩峰の軌跡が後方に移動を始めるときをP2とした。

図1に一例として、大腿骨の角度が $0$ [deg]における足部の垂直反力の経時的な変化を示す。横軸は時間、縦軸は床反力を体重で除算し正規化した値である。足底の垂直反力は座面から殿部が離床するにつれ増加し、その間にP1となった。殿部離床後には一定の値に収束し、一定になり始めたときP2となった。

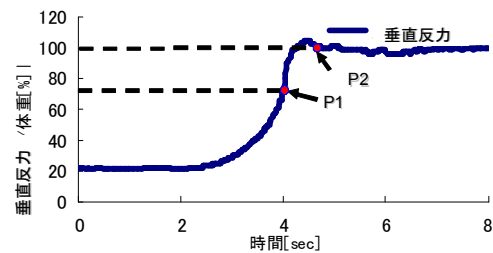


図1 垂直反力の経時的変化

下腿部角度が $-10$ ,  $0$ ,  $+10$ [deg]の椅子の高さにおけるP1, P2の時の正規化した床反力の値の平均値を求めた。予お結果 $0$ [deg]では、P1の時の垂直反力の平均値は $74$  [%]となった。下腿部角度が $-10$ [deg]の時は $76$  [%]、 $+10$ [deg]の時は $69$  [%]の垂直反力の平均値を示し有意な差は見られず、いずれも $74$  [%]前後で足部に重心が移動していた。

P2における正規化した垂直反力の値は、椅子の高さにかかわらず約 $100$  [%]を示した。これは、P2では足関節、膝関節の伸展により、股関節が伸展しているにもかかわらず肩峰は水平方向の位置は止まっているので立位した状態と同じように荷重が足部に加わっているためと考えられた。

この結果より、軌道生成プログラムによる軌道を斜め上方向に移動させる閾値を約 $70$  [%]を軸に設定することとした。

### (2) 軌道生成プログラムによる健常者の起立動作実験

図2に手すりの軌道の一例を示す。X軸方向、Y軸方向の原点は実験時の手すりの初期位置とした。手すりの軌道は閾値が大きくなるにつれて軌道もX軸方向への移動量も増加していた。40%~60%の間の手すりの前方の移動量の差は大きくなっていったが、閾値が60%と70%、70%と80%の間ではX軸方向の移動量の差は小さくなった。

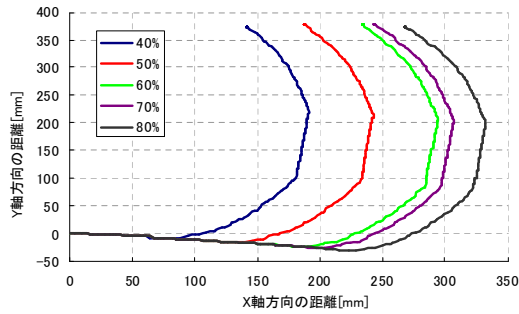


図2 手すりの軌道

手すりにかかる力の分析を行った結果、健常者の起立動作では装置の駆動開始直後に手すりに力を大きく加えていた。40[%]、50[%]の閾値のときでは、他の場合に比べて力が増加した。60[%]、70[%]、80[%]のときにおいて、それぞれ手すりに加わる力に違いはなかった。

(3) 軌道生成プログラムによるパーキンソン病患者の実験

生成した手すりの軌道の一例を図3に示す。原点は手すりの初期位置である。また、表1に設定した閾値を超えたときのX軸方向の手すりの位置の平均値を示す。閾値を50[%]と設定したときと70[%]と設定したときで閾値を超えたときの手すりの位置に約130[m]の差があった。3通りの閾値の中では、80%の場合で、もっとも前方に進んでいた。

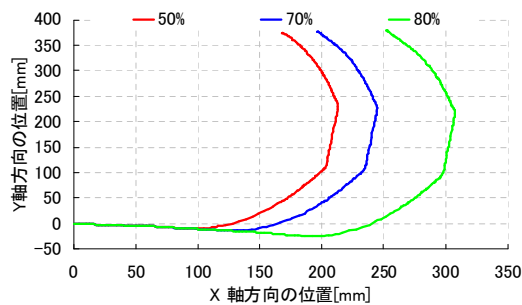


図3 生成した手すりの軌道

図4に起立時の重心軌跡の一例を示す。原点は起立動作を開始した位置とした。また、X軸方向、Y軸方向の位置を被験者の身長で除算し正規化した。健常者の重心は、斜め下に進み、その後で曲

線的に上方向に移動していた。殿部離床時には足底面踵後縁から足長における10[%]に位置で殿部離床していた。

50%の場合では、起立動作はできず、重心軌跡は上方向に移動しなかった。このときの最大の重心位置は平均で-18[%]で足部の支持基底面内に重心が移動していなかった。

70%の場合では起立動作はできたが、重心が上方向に移動し始めたときに前方へは移動せず重心軌跡が直線的となった。このときの最大の重心位置は平均で37[%]で健常者の起立動作時に比べて前方に進んでいなかった。

80%の場合、起立動作が可能で、上方向に移動し始めた後にも前方に移動し続けた。このときの最大の重心位置は平均で54[%]で健常者の起立動作時の値とほぼ同じだった。そのため、曲線的に上方向に進む健常者の重心軌跡に似た軌跡となった。

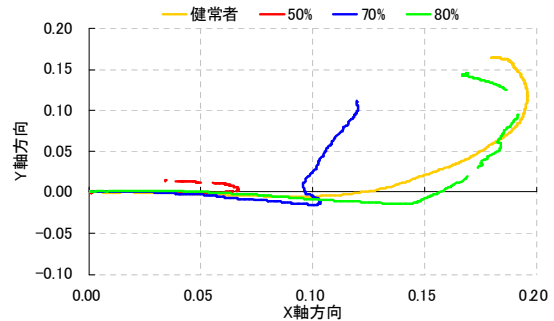


図4 重心軌跡

図5に起立時膝関節のモーメントの一例を示す。膝関節モーメントの屈曲方向が正、伸展方向が負となり、関節モーメントは被験者の体重で除算し正規化した。表12.4に伸展方向膝関節モーメントの最大値の平均を示す。

健常者の伸展方向の膝関節モーメントの最大値は、パーキンソン病患者に比べて増加した。50%の場合ではもっとも膝に負荷の加わる殿部離床まで移行していないために膝関節モーメントの負荷は小さくなった。また、70[%]、80[%]の場合の膝関節モーメントに大きな違いはなかった。

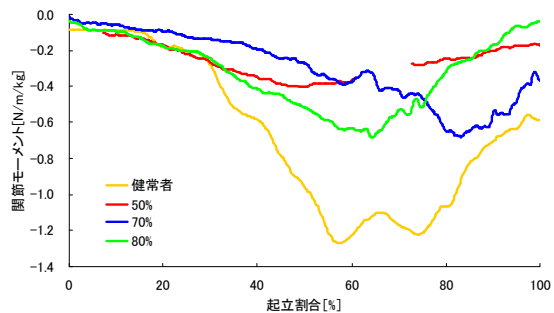


図5 膝関節のモーメント

図6にX軸方向の手すりに加わる力の一例を

示す。力の正、負の方向は図 12.1 の X 軸の向きと同様である。また、表 12.5 X 軸方向の手すりに加わる力の最大値の平均を示す。手すりに加わる力の最大値は 50[%], 70[%], 80[%] の場合において差は見られなかった。

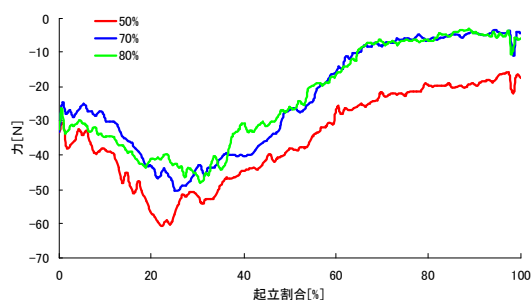


図 6 X 軸方向の手すりに加わる力

以上、床反力データより算出した体重心をもとに手すり軌跡を生成した。独力起立不可、また固定型手すり使用においても起立不可であったパーキンソン患者 2 名はインテリジェント型手すり使用により起立可能となった。床反力に体重がどの程度ひかされた時に手すり軌道を上方へ駆動させるか検討し、結果では、体重の 80% が足部へ移動したときとすることで、健常者同様の体重心移動軌跡を得ることが可能であった。

#### 考察

健常者の起立動作時の重心軌跡は殿部離床後に曲線を描き起立動作を行っていた。このときの体幹の動きは前傾してから、殿部離床後に垂直に戻り始めていた。そのために殿部離床時の X 軸方向の重心位置は足長に対して 10[%] の位置にあり、また健常者の X 軸方向の重心移動の最大値は平均で 54[%] となり、健常者の安定限界である 71.4[%] 内に収まっていたので安定した起立動作が行えていたと考えられる。また、伸展方向の膝関節モーメントの最大値は平均で  $1.19[\text{N} \cdot \text{m}/\text{kg}]$  となり、健常者の筋力で発揮できる膝関節モーメント  $1.48[\text{N} \cdot \text{m}/\text{kg}]$  以下となった。パーキンソン病患者がインテリジェント型手すりを利用して起立動作を行う場合、垂直反力の 50[%] で軌道を変化させた場合では起立動作ができていなかった。これは、X 軸方向の重心位置は最大で -18[%] までしか移動しておらず、足部の支持基底面まで重心が移動しなかったために起立動作ができなかったと考えられる。

70[%] では、起立動作が行えていた。しかし、重心軌跡は上方方向に移動する軌跡は、前方へは移動せず直線的な軌跡となった。これは、体幹の前傾を垂直に戻り始めるタイミングが早かったと考えられる。インテリジェント型の手すりが後方に戻り始めると体幹も垂

直に戻り始めていた。手すりが後方に戻り始めるタイミングが殿部離床前であり、同時に殿部離床前に体幹も垂直に戻り始めた。この動きは健常者の起立動作の体幹の動き比べて異なっており、重心が後方にある状態で上方方向に移動しているため手すりにのしかかり Y 軸方向の手すりを下に押す力が増加したと考えられる。このことより、70[%] の閾値で設定すると重心を後方に残したまま不安定な姿勢で起立動作を行い、上肢への負荷が増加すると考えられる。

80[%] では、起立動作が行えておりパーキンソン病患者の重心軌跡と健常者の重心軌跡と似ていた。体幹の動きも健常者の動きと似ており、殿部離床後に体幹を垂直に戻り始めていた。これは、手すりが後方に動いたときに殿部離床後であったためと考えられる。殿部離床時の X 軸方向の重心位置は足長に対して 20[%] となり、重心を足部の支持基底面に移動させた上で殿部離床に移行していた。X 軸方向の重心位置の最大値は 54[%] となり、パーキンソン病患者の安定限界である 60[%] を満たしていた。また、伸展方向の膝関節モーメントは  $0.94[\text{N} \cdot \text{m}/\text{sec}]$  となり、パーキンソン病患者などの部分介助を要する高齢者が発揮できる膝関節伸展モーメント  $1.02[\text{N} \cdot \text{m}/\text{sec}]$  を下回った。

これらのことから、体重の 80% の力が支持基底面に加わるまで手すりを斜め下方方向に移動させて、その後殿部離床に移行するまで、斜め上方方向に移動させることで体幹の傾きを利用でき、安定した起立動作が可能となることが示唆された。

図下は今回の成果を応用して試作した小型インテリジェント手すり試作機である。



#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

① K Tomuro, O Nitta, Y Takahashi, Komeda : Development of a Sit-to- Stand Assistance System, 4th European Congress for Medical and Biomedical Engineering

2008, 2157-2160, 2008 査読有

② Ryo Yonetsu, Osamu Nitta, Joth Surya, “ Patterning ” standards of sit-to-stand movements with support in cerebral palsy, Neuro Rehabilitation, 25, 2009, 289-296. 査読有

③永井将太, 新田收(2), 他 5: 回復期脳卒中患者における入院時重症度別のFIM運動細項目の経過分析, 理学療法科学, 25(1), 2009, 1-6 査読有

④中村篤弘, 藤本泰成, 新田收, 山口亨, : 人とインタラクションする日常支援型電動車いす, 情報処理・産業システム情報化合同研究会資料, 19-22, 2009, 査読なし

⑤新田收, 移乗動作における動作支援のバイオメカニクス, 理学療法, 27(1), 2010, 43-49 査読なし

⑥Atsuo Nakamura, Yasunori Fujimoto, Osamu Nitta, Toru Ymaguchi : Intelligent Powered Wheelchair Assistance IN Daily Use, Journal of Advanced Computational Intekkigence and Intelligent Informatics, 14(3), 2010, 281-287 査読有

[学会発表] (計 11 件)

①新田收, 戸室宏介, 高橋良至, 米田隆志 : パーキンソン患者における起立動作時の体重心移動軌跡の特徴, 第 28 回バイオメカニクス学術講演会, 平成 19 年 11 月 10 日-11 日, 岐阜大学 (岐阜)

②戸室宏介, 新田收, 高橋良至, 米田隆志 : パワーアシスト型手すりの開発研究, 第 5 回生活支援工学系学会連合大会, 平成 19 年 10 月 1 日-3 日, 産業技術総合研究所 (茨城)

③戸室宏介, 新田收, 高橋良至, 米田隆志 : パワーアシスト型手すりの開発研究, 第 18 回バイオフロンティア講演会, 平成 19 年 10 月 6 日-7 日, 九州産業大学 (福岡),

④苅部大輔, 新田收 (2), 他 3 : 起立姿勢の動きを用いたインテリジェント型手すりの開発研究, 第 8 回計測自動制御学会, 平成 19 年 12 月 20 日-22 日, 広島国際大学 (広島)

⑤O Nitta, Y Furukawa, Y Ikeda1, H Kuruma1, K Yanagisawa, J Surya : THE CORRELATION OF MOBILE TRACING OF SOMATIC GRAVITY CENTER AT THE TIME OF STANDING UP WITH ACTING SPEED, The Congress of the International Society of Electropysiology and Kinesiology, 2008/6/21, カナダ

⑥ R Yonetsu, O Nitta : “ PATTERNIZING ” STANDARDS OF SIT-TO-STAND MOVEMENT IN CEREBRAL PALSY WITH SPASTIC DIPLEGIA, “ PATTERNIZING ” STANDARDS OF SIT-TO-STAND MOVEMENT IN CEREBRAL PALSY WITH SPASTIC DIPLEGIA, 2008/6/21, カナダ

⑦戸室宏介, 新田收, 高橋良至, 米田隆志 : パワーアシスト型手すりの開発研究-パーキ

ンソン病患者による検討-, ライフサポート学会 日本生活支援工学会, 2008/9/18, 山口大学,

⑧Osamu Nitta, Yoshiyuki Takahashi, John Surya : Development of a Sit-to-Stand Assistance System for Parkinson's disease sufferers, Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting 2009, 2009 8 月 15 日, 香港

⑨ Gen Ohbayashi, Osamu Nitta(2), Toru Yamaguchi(3), 他 2 : “Development of Intelligent Power Wheelchair to assist in minimizing care,”, the 8th IFAC Symposium on Advances in Control Education, 2009 8 月 21 日, 熊本

⑩ Nobuyuki Sekine, Atsuhiko Nakamura, Yasunari Fujimoto, Toru Yamaguchi : “Development of Intelligent Power Wheelchair Assisting for People on Daily Life using Motion Recognition,” The 11th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2010 3 月 21 日, 長岡

⑪鈴木智子, 新田收, 柳澤健 : 車椅子と便座間の移乗において便座座面の回転機能が介助負担に及ぼす影響, 第 44 回日本理学療法学術大会, 2009, 5 月 29 日, 東京,

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称 : 移動動作支援装置、移動動作支援プログラム、及び移動動作支援方法

発明者 : 新田收, 山口亨

権利者 : 首都大学東京

種類 : 特許

番号 : 特願 2008-306914

出願年月日 : 20 年 12 月 1 日

国内外の別 : 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新田 收 (NITTA OSAMU)

首都大学東京・人間健康科学研究科・教授  
研究者番号 : 80279778

(2) 研究分担者

高橋 良至 (TAKAHASHI YOSHIYUKI )

東洋大学・人間環境デザイン学部・講師

研究者番号 : 30396931

山口 亨 (YAMAGUCHI TOORU)

首都大学東京・システムデザイン学部・教授  
研究者番号 : 40251079

米田 隆志 (KOMEDA TAKASHI)

芝浦工業大学・システム工学部・教授  
研究者番号 : 90011030

(3) 連携研究者

なし