

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 24 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500510

研究課題名（和文） 起立・歩行をアシストし要介護者を自立へ導くインテリジェントシルバーカーの開発研究

研究課題名（英文） Development of a Sit-to-Stand Assistance System (Intellectual silver-car)

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）：

本研究では、このような運動機能が低下した高齢者を対象として、起立・歩行を支援する「インテリジェントシルバーカー」開発を行った。開発した試作機は姿勢情報を用いることで、起立支援、歩行支援、そして操作支援を実現する。起立支援とは、利用者が腰を入れ上半身を前傾させた姿勢（前傾姿勢）を認識することで、椅座位からの起立の支援を行う。歩行支援とは、利用者が足を踏み込み出した姿勢（踏み込み姿勢）を認識することで、歩行の支援を行う。

研究成果の概要（英文）：

In this research, the authors propose a Sit-to-Stand Assistance System (Intellectual silver-car) which has the functions assisting an elderly person. These care functions are the assistance for standing up and walking assistance by user's posture information. These functions also have effects of minimizing care by using the own force. It is a a Sit-to-Stand Assistance System which is improved by adding some sensors.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

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：(1)起立動作, (2)歩行支援, (3)シルバーカー, (4)パーキンソン病, (5)高齢者, (6)機能維持, (7)コンピューター制御, (8)電動車椅子

1. 研究開始当初の背景

起立・歩行が困難な高齢者を助ける装置はこれまでも開発されている。これらは、利用者（高齢者）の体重を機械的に持ち上げる「リフター」、移動を助ける「電動車椅子」などである。これらは利用者に対するアシス

ト量が大きく、使用者は殆ど自ら力を発揮することなく移動が可能である。しかし高齢者の運動機能維持・向上といったリハビリテーションの立場からは、できる限り高齢者自身の機能を生かすことが非常に重要である。大きすぎる介護量は高齢者の機能を低下させ、

廃用症候群を引き起こすからである。リハビリテーションを理解するベテラン介護職員、理学療法士、看護師等は高齢者自身の機能を引き出すことで、起立・歩行動作を可能とすることこのことは介助方法の基本である。機能低下した高齢者に対し、介助者はわずかに上肢を誘導する程度で、起立動作を引き出すことが可能である。現在利用者の運動機能を最大限に利用することで、機能低下を防ぐリハビリテーションの立場に適応した、起立・歩行支援装置は現在存在しない。こうした現状を背景として、機能低下を防ぎ高齢者がいつまでも健康に自立して生活することを助ける、支援機器への期待は大きい。

2. 研究の目的

本研究では、運動機能低下のために日常的に介助を必要とする高齢者を対象とし、起立・歩行をシームレスにアシストする装置の開発を行う。装置は動力とセンサーを持ち、使用者の姿勢を装置が感知することで、使用者の動き同期して動作をアシストする。装置の特徴は安易に使用者の負荷軽減を図るのではなく、使用者の残存機能の最大限に引き出す点にある。このことでリハビリテーションの効果が得られ、使用者の機能維持・向上が期待できる。このアシストの考え方はベテラン介護士の介助動作を装置に置き換える方法と言える。

ところで、高齢期に起立・歩行困難の原因となる疾患としてパーキンソン病がある。パーキンソン病 (Parkinson's disease: PD) は、運動機能や認知機能に障害をもたらす神経変性疾患の1つである。厚生労働省による平成20年患者調査では、PD患者は約13万9千人と推計されており、今後の高齢化社会の進展に伴い増加が予想される。PDの典型的な臨床症状には、振戦、固縮、無動、姿勢反射障害、歩行障害が挙げられる。起立・歩行が困難なパーキンソン患者を対象としてシステム設計を行い、動作装置が完成すれば、今後パーキンソン患者に限定されることなく、広く機能低下を示す高齢者へ装置の応用が期待できる。

本研究では、PD患者の起立動作をシミュレーションできるコンピュータモデルの開発を行う。その後、シミュレーションモデルを参考として、利用者に対して必要最低限の支援を行う装置としての「インテリジェントシルバーカー」の開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 起立動作シミュレーションモデルの開発

①実験方法

PD患者では多くの実験が困難なため、初めに健常者の起立動作実験より様々な初速

および離床位置に対する起立の可能/不可能を含む重心軌跡と床反力データを取得することとした。次に、健常者の結果より、任意の初速および離床位置に対応した床反力を予測し、これらを入力として起立動作中の重心軌跡から起立の可能/不可能を判別する起立動作シミュレーションモデルを構築した。最後に、PD患者の起立動作と同条件で行ったシミュレーションの結果を実験結果と比較検討し、本モデルが有効であることを確認した。

具体的には、健常者6名を対象に、様々な初速と離床位置に対する起立動作実験を行い、起立動作における初速と離床位置の組み合わせと起立の可能/不可能との関係を検討した。PD患者4名(yahrの重症度分類III, IV)には通常 of 起立動作を指示した。本実験は首都大学東京倫理審査委員会の承認を受け、実験の目的と内容について被験者に説明し、参加の同意を得た。

実験システムは、座面高が調整可能な椅子、床反力計(日本キスラー)、カメラを有する光学式三次元動作分析装置(VICON NEXS)より構成される。10箇所のマーカセットをDIFF変換し、臨床歩行分析研究会が提供する分析ソフトDIFFGAITによって重心軌跡を描出、臀部離床時の重心座標(離床位置)と重心速度(初速)を算出した。床反力および反射マーカ位置のデータは100Hzでサンプリングし、座標原点は被験者および椅子の下に設置した床反力計の中間とした。床に対して水平方向をX軸、鉛直方向をZ軸とした。被験者の着座の初期姿勢は、膝部角度および腰部角度が90度とし、腕は胸の前で組み起立動作開始のタイミングは被験者の任意とした。健常者には、起立動作開始時の重心位置を変化させるために、初期姿勢の肩峰位置から20-30cm前方の位置まで体幹を前傾させた後に臀部を離床するよう指示した。さらに、自然な起立速度に対し、遅い速度、速い速度の3条件で各2回の起立を指示した。PD患者には特に指示を与えず、初期姿勢から特に条件設定をおこなわず、自然な条件での起立を指示した。

②シミュレーション方法

健常者およびPD患者の起立動作における起立の可能/不可能をシミュレートできるコンピュータモデルを開発した。本シミュレーションでは、任意の初速と離床位置から起立の可/不可を判別するため、初速と離床位置から予測した床反力をTelescopic Inverted Pendulum (TIP)モデルに入力し、重心軌跡を出力する。TIPモデルは原点-質点間の長さが変化する倒立振り子であり、原点回りにトルクを、軸方向に力を入力することで質点の挙動が決定される。本研究では、身

体挙動を身体重心に集約し、矢状面の運動を表現するため、重心および足首を質点および原点とした。Fig1 に示すように、TIP モデルの原点を座標軸の原点として水平方向を X

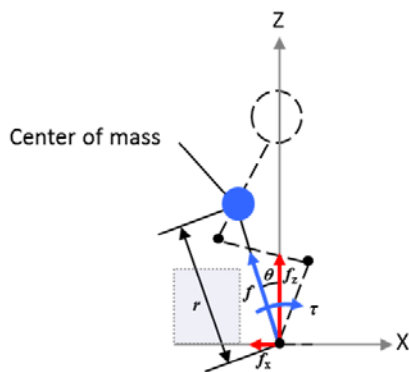


Fig. 1. Simulation model of STS movement
 r : the distance between origin and COM, θ : the angle of rotation, τ : the torque of rotation, f : the ground reaction force, M : the body mass, g : the acceleration of gravity

$$r^2 \ddot{\theta} + 2r\dot{\theta} - gr \sin \theta = \tau(t)/M \quad (1)$$

$$\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 + g \cos \theta = f(t)/M \quad (2)$$

$$f = f_x \sin \theta + f_z \cos \theta \quad (3)$$

$$\tau = (f_x \cos \theta - f_z \sin \theta)r \quad (4)$$

軸、鉛直方向を Z 軸と定義した。回転角度 θ 、原点-質点間距離 r 、体重 M 、重心座標 (x, z) 、回転トルク τ 、床反力 f 、重力加速度 g とした。 θ は前傾を正方向とした。ラグランジュ法を用いて導出した運動方程式を式 (1)、(2) に示す。初期座標、初期速度を臀部離床時の重心座標（離床位置）、重心速度（初速）とし、臀部離床以降の時系列床反力を入力として重心軌跡を算出する。床反力 (f_x, f_z) を式 (3)、(4) より f 、 τ に変換した後、式 (1)、(2) に代入し、4 次のルンゲ・クッタ法を用いて数値積分することで重心軌跡 (r, θ) を出力させた。

(2) インテリジェントシルバーカー開発

①姿勢判別システム

日常支援を行う際に用いる人の姿勢情報を求めるための方法を以下に示す。複数の赤外線カメラによる三次元動作解析装置は、身体各部位の測定と体重心の導出が高精度であると知られているが、カメラを配置した部屋が必要なため、日常的に利用するのは難しい。そこで本研究では、解析する姿勢によっては、非接触で簡易に体重心を解析することを目

的とし、リンクモデルから身体各部位の質点を導出し、こちらの静岡大の鳥居らの体重心の導出法を利用して、リンクモデルからの体重心を導出する方法を採用した。その手順はまず、人の姿勢を解析するにあたって、健康者の起立や歩行、操作の際の動作を、センサにより測定し、測定したデータを基に、各動作時の人をリンクモデル化する。人のリンクモデルを基に、体重心の位置を求め、体重心の移動と体の各部位との関係をもとに、人の姿勢に関する解析を行う。解析した人の姿勢を基に、起立と歩行時の人の姿勢の評価式を導出する。

②人の姿勢の測定

本研究では、人の姿勢の測定のために、レーザレンジファインダー（以下 LRF）を使用した。使用した LRF は、北陽電機株式会社製の URG-04LX (Fig.2-1) とした。このセンサは、2 次元の測域センサであり、Fig.2-2 のように物体との距離情報を広い視野角で取得してくる。LRF によるデータは、USB 経由で PC へ渡される。この URG-04lx は用いる利点としては、

- ・高精度、高分解能で 240° の広い視野角を持つこと。
 - ・小型であるために取り付け位置にも応用が利くこと。
 - ・光走査型であるために、周囲の明るさに影響を受けず物体の検知ができること。
- などの 3 点が挙げられる。



Fig.2-1 URG-04lx



Fig.2-2 LRF の測定画面

LRF を Fig.2-3 のように車椅子の後方に設置し、起立や歩行の際の人の姿勢の測定を行った。測定の周期は、100msec 毎である。起立歩行時の姿勢を測定するために、3 台の LRF を用いる。上半身の姿勢を測定するために、1 台の LRF を床に対し垂直に走査するように設置した。また、利用者の足元を測定するために、LRF を床に対し水平に設置した。また、足の角度から利用者の膝の位置を計算するために、足元の LRF の 20 cm 上にもう 1 台 LRF を水平に設置した。これらの LRF を基に、人の頭頂、胸元、腰、膝、足首の位置を求め、リンクモデル化した。胸元と腰は、頭頂を基準に日本人男性の体の各部位の平

均寸法を用いて導出する。また、膝は足首の位置と足の角度から、同じく日本人の足から膝にかけての平均寸法を用いて導出した。

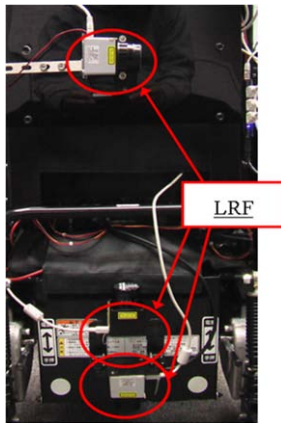


Fig.2-3 センサー位置

③人のリンクモデルからの体重心の導出
リンクモデルから体重心を導出するために、人のリンクモデルの各関節間に質点が存在するものとした。本研究では日本人男子の平均体重の相対質量比と重心の

位置を用いた。質量比は、体重に対する各部分の質量の割合である。重心の位置は頭、頸、体幹は頭頂端から、四肢は中枢端から重心までの距離の長軸長に対する割合である。この重心の位置の平均値と、リンクモデルの各部位の座標から、体の各部位の質点の位置を決定した。

各質点の座標は (x_i, y_i) で、 k_i は身体各部位の質量比とする。人体の各部位の集中質量の座標から、体重心の座標 (x, y) は、(1)式によって求められる。

$$\begin{cases} x = \sum_{i=1}^N k_i x_i \\ y = \sum_{i=1}^N k_i y_i \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

各導出法を比較するために起立の際の重心の動き

を記したのがこちらのグラフである。青い線の三次元動作解析装置 (VICON) による体重心の軌跡とピンクの線のリンクモデルからの体重心の軌跡とが、上昇のタイミングが一致し、リンクモデルの最小限の測定で体重心を導出できることを確認した。次に、非接触に各リンクの位置を測定するために 3 台の LRF を用いて、人の姿勢の測定を行った。こちらの 3 つの LRF の測定データをリンクモデルに適用した結果がこちらの赤線となり、VICON による導出やリンクモデルによる導出と同様に起立のタイミングが一致していた。

④歩行姿勢解析

②で示した人の姿勢の測定システムを用いて、その前方で歩行する健常者の姿勢を測定した。測定箇所は、胸元、腰、脛、そして足首である。体重心は式(1)により導出される。

歩行時における体重心と各部位の軌跡を比較すると、Fig.3 のように体重心よりも、左右の足をそれぞれ前へ踏み込んで歩行して

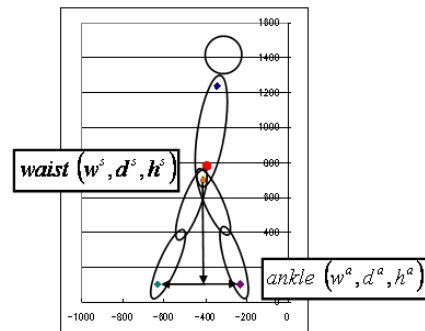


Fig.3. 体重心と左右の足の移動量

いることがわかることから、人の歩行を検知するために、利用者の踏み込み姿勢に着目した。また、Fig.2-9 は健常者の歩行時の体重心を基準としたとき、重心に対して 100mm から 200mm 程度踏み込んでいることがわかる。そこで人が体重心に対してどの程度、前足を踏み込んだかで人の歩行を検知することとした。また、立位時の重心の位置は腰の付近にあるため、重心の代わりに直接観測できる腰を用い、腰に対しての前足の踏み込み距離 d を式(2)により導出した。

$$d = d^a - d^w \dots\dots\dots (2)$$

踏み込み距離 d が 100mm 以上となったときに、人の踏み込みを検知することとした。

4. 研究成果

(1) シミュレーションモデルの構築

①起立動作シミュレーション

起立動作シミュレーションでは、任意の初速と離床位置の組み合わせにおいて、起立が可能かどうかを判別した。起立動作は両足の接地面内である支持基底面内に重心が移動しバランスを保つことで完了する。本モデルは支持基底面内を考慮していないため、バランスを保とうとする力は発揮されず入力した床反力通りに重心は移動する。よって本シミュレーションでは、重心が支持基底面内に移動可能であることを起立可能の判別条件とした。初速 0.45m/s と離床位置 0.15m の組み合わせでは、起立完了後に身体重心が支持基底面内に移動し起立可能であると判別され、健常者が初速 0.43m/s、離床位置 0.15m で起立した場合の結果と一致した。同様に、初速 0.20m/s と離床位置 0.20m の組み合わせでも起立可能であると判別され、PD 患者が初速 0.20m/s、離床位置 0.21m で起立した場合の結果と一致した。一方、初速 0.15m/s と離床位置 0.125m の組み合わせでは、支持基底面内に移動する前に身体重心が後退し、

起立不可能であると判別され、健常者が初速 0.15m/s、離床位置 0.12m で起立した場合の結果と一致した。また、0.10-0.50m/s の範囲の初速と 0.05-0.25m の範囲の離床位置の組み合わせにおいて起立可/不可を判別した結果を図 12 に示す。離床位置が後方であれば速い初速で、離床位置が前方であれば遅い初速で起立が可能であることが示され、起立動作実験の結果と同様の傾向であることが認められた。

以上から TIP モデルを用いた本シミュレーションを用いて、起立動作における初速と離床位置の組み合わせより起立が可能かどうかを判別し、起立が不可能な使用者もしくは起立が難しい使用者に対してインテリジェントシルバーカーの駆動パターンを決定することが可能であると考えられた。

(2) インテリジェント型シルバーカーのシステム構築

①起立支援機能

提案の起立支援は、まず患者の体重心を前に移動させる。そして、足に体重が十分にかかったところで、患者の足の筋力も利用して、患者を持ち上げる。これにより患者自身の筋力を生かした支援となる。起立支援機能では、インテリジェントシルバーカーが使用者の動作に同期して前方へ使用者を牽引することにより、利用者の前方への体重心の移動を促すことで起立を助ける。座位状態の利用者が前傾姿勢となるまで牽引することで前方へ体重心を誘導し、身体を持ち上げることで自体は本人の筋力に任せる。センシングする身体部位は、足首と胸元で、そこから式(2)により導出される足首と胸元を結んだ線と床とのなす角度 θ が 90 度となるまで牽引する。起立支援機能の動作の流れ (Fig.12) は以下のとおりになる。

後方の利用者の姿勢が座位であるときに、インテリジェントシルバーカーのグリップを握ることで、起立支援を開始する。

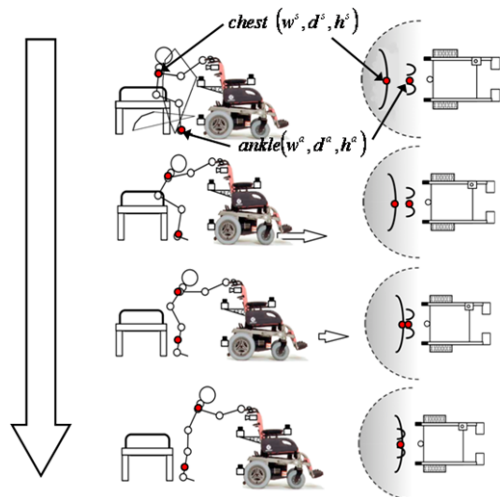


Fig12. 起立までの流れ

- 1) インテリジェントシルバーカーが、利用者を牽引することで、利用者の体重心の前方への移動を助ける。
- 2) 利用者の足首と胸元とを結んだ線と床とのなす角度が 90 度となるところで、利用者が前傾姿勢をとったのだと検知し、インテリジェントシルバーカーは動作を停止する。
- 3) 利用者は自身の筋力により体を持ち上げ、起立は完了する。
- 4) 起立が完了した後は、歩行支援機能や起立支援機能に移る。

②歩行支援機能

歩行支援器などによる歩行の支援を行う際、問題となるのは利用者の転倒などの事故を起こすことである。転倒の例を挙げると、歩行の際に、歩行支援機器に利用者の足がついていけずに、体が倒れるほどに前傾してしまいそのまま転倒してしまう、というような事である。そこで歩行支援機能では、利用者の歩行の際に、前方に踏み込まれた足を検知し、

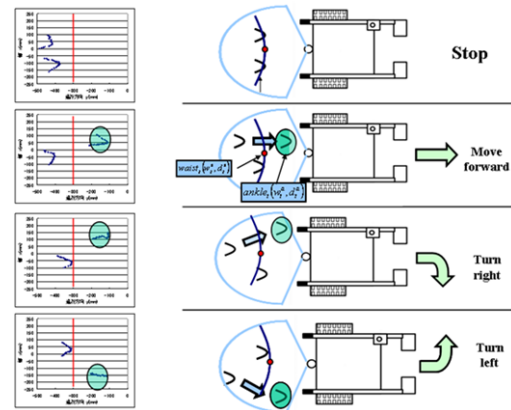


Fig13. 歩行支援の機能

その分だけ前方へ進む。このように歩行支援機器が利用者の歩行に合わせて動作し、前足が踏み込まれないときには動作を停止することで、利用者が歩行支援機器についていけずに転倒してしまうことを防ぐシステムとした。

具体的にインテリジェント型シルバーカーでは、Fig.13 に示す駆動システムを構築した。利用者の上半身よりも前に、前足が踏み出されたときに、その前足とインテリジェントシルバーカーとの距離を測定し、その歩幅に合わせてインテリジェント型シルバーカーは前進する。これにより、利用者とインテリジェント型シルバーカーの距離が離れて、利用者の姿勢が前のめりにならないようにする。また、前足がインテリジェント型シルバーカーの左右に外れて踏み込まれたときは、踏み込まれた方向とは逆に旋回し、利用者を常に真後ろに捕らえるように動作をするようプログラムした。

③起立支援実験

起立支援機能の動作を確認するために、パーキンソン患者を被験者にした支援実験を行った。被験者は2名で共に支援なしでの起立が困難であった。本実験は、首都大学東京倫理審査委員会の承認を得たうえで実施し、被験者には事前に説明し同意を得た。

実験の結果、被験者2名ともが、起立支援機能により起立できたことを確認した。被験者の起立支援利用時の起立タイミングである。赤い実線が体重心の高さ、青い実線が胸元と足首を結んだ線が床となす角度 θ を示す。体重心が上昇を始めるタイミングと、角度 θ が90度となるタイミングが一致し、体重心を直接計測せずとも健常者と同様のタイミングで起立できていることがわかる。また、前方への重心の誘導だけで起立できていることから、本人の筋力を用いて身体を持ち上げていることがわかる。

④歩行支援実験

歩行支援機能の動作を確認するために、パーキンソン患者を被験者にした支援実験を行った。被験者は2名で共に支援なしでの歩行が困難であり、小刻み歩行の症状が見られた。本実験は、首都大学東京倫理審査委員会の承認を得たうえで実施し、被験者には事前に説明し同意を得た。

実験の結果、被験者2名ともが、歩行支援機能により歩行できたことを確認した。被験者の歩行支援時の体重心を基準とした左右の足の相対距離である。被験者が前足を踏み込んだときに、歩幅が200mm以上となっていることがわかる。被験者には、小刻み歩行の症状が見られたが、歩行支援機能を利用することによって、健常者と同様に前方へと足を踏み込み、自然な歩行が可能となっていた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1) 中橋 浩康, 青村 茂, 大林 永幸, 新田 収: パワーアシスト型手すり設計のための起立動作シミュレーションモデルの開発, 日本機械学会論文集(C編), 78巻794号, 2012, 3504-3514.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic/78/794/78_3504/_pdf

2) Yoshiyuki Tkahashi, Osamu Nitta, Takashi Komeda: Improving Transfer of Parkinson's Disease Patients -Sit-to-Stand Motion Assistance, Diagnostics and Rehabilitation of Parkinson's Disease, 2011, 2011,419-432
Doi:10.5772/17378

3) 松田雅弘, 塩田琴美, 小山貴之, 山元佐和子, 高梨晃, 宮島恵樹, 野北好春, 川田教

平, 橋本俊彦, 新田収: 健常成人の背部筋疲労が重心動揺に及ぼす影響について, 理学療法の科学と研究, Vol12 (No1) pp27-30, 2011 [学会発表] (計4件)

1) Osamu Nitta, Ysunari Fujimoto, John Surya, Yoshiyuki Tkahash: Development of a Sit-to-Stand Assistance System for Parkinson's disease sufferers (Intellectual handrail), BIOSIGNALS2012, 1-4st February 2012, Portuguese

2) Osamu Nitta, Ken Yanagisawa, John Surya: The development of a standing support system for Parkinson disease patients: 9th Congewss of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, 19-21st July, 2012, Australia

3) Nitta O, Tawara N, Kuruma H, Yanagisawa K, Surya J: MRI (T2) ANALYSIS OF ACTIVITIES OF DEEP MUSCLES OF THE BODY TRUNK IN RELATION TO BALANCE EXERCISE IN A SITTING POSITION, International WCPT Congress, 20-23st June 2011, Holland

4) 大林永幸, 青村茂, 中橋浩康, 新田収: パーキンソン病患者の立ち上がり動作解析に関する研究, スポーツアンドヒューマンダイナミクス, 2011年10/31-11/2, 京都

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計1件)

特願 2008-3061914

起立移動支援装置

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 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

(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 TOURU)

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