

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12174

研究課題名（和文）歩行意欲を促進できる駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の開発と補助効果の評価

研究課題名（英文）Development of an Active Driving Rollator for Enhancing the Effectiveness of Walking Assistance

研究代表者

黄 健 (Huang, Jian)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：10282956

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、利用者の歩行意欲を能動的に促進できる駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の開発を行った。試作した歩行車では、身長180cm、体重100kgまでの利用者を想定して設計されており、支持パッドに力センサ4個を取り付けることで体重による圧力を計測できる。また、駆動モータの制御系とセンサ計測系を連動するためのシステム構築を行い、さらに外部電源のコードレス化を実現した。歩行車補助効果の評価としては、膝伸展角および足首回転角度の変動が胸部支持パッドの回転と連動していることがパワースペクトル解析によって明らかになっており、相関係数の結果から下肢部の運動が支持パッドの回転と強く関連したことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、従来の歩行車の受動型一軸回転可能な胸部支持パッドをアクティブな駆動機構にすることによって、病気で歩きたくても歩けない高齢者でも利用可能な新型歩行車を開発するとともに、回転型胸部支持パッドを有する歩行車の歩行補助効果の評価手法の提案を目的とする。本提案の介護リフト型歩行車には、座位からの起き上がりという移乗サポートを行える機能だけではなく、利用者の歩行意欲を促すことで歩行運動を能動的にアシストできるという特徴がある。本提案の歩行車を開発することによって、自宅で生活している高齢者でも自立してトイレや物取りなどの日常行動を行えるようになり、より多くの高齢者が自ら動ける喜びを実感できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a rollator with a motor-driven chest support pad that can actively assist walk and promote the walking motivation of users. The novel rollator is designed for users up to 180 cm in height and 100 kg in weight. Four force sensors are attached to the chest support pad to measure the body weight of the user during walk. The control system of the motor and sensor measurement system are synchronized, and cordless of external power supply for various devices are also realized. As a result of evaluating the assistant effect of the rollator, it was clarified by the power spectrum analysis that the rotation of the chest pad and the knee extension and ankle rotation angle are linked. The results of the correlation coefficient showed that the motion of the user's lower limbs was strongly associated with the rotation of the chest pad.

研究分野：医療福祉工学関連

キーワード：歩行支援機器 歩行リハビリテーション機器 歩行車

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

病気や加齢で下肢部の弱い高齢者の多くは、立ち上がれば歩けるにもかかわらず、車いすに乗せられるケースが多い。高齢者の自立歩行を支援するため、これまでに様々な支援機器が開発されてきた。しかしながら、これまでに開発された歩行支援機器には、高価でありながら使い勝手が悪いものが多いため、自宅で生活している高齢者が利用したいという意欲を掻き立てるものがなかった。そこで、(株)ミハマが H26 年度に厚労省の研究助成を受け、本研究の申請者らと共同で介護リフト（アルファローラ、(株)ミハマ）に改良を加え、胸部支持パッドに 1 自由度のフリージョイント回転機構を取り付けた。この歩行車の胸部支持パッドの背部に取り付けられるフリージョイントが、歩行中に回転することで利用者上半身のスイングを自然に引き出し、腰部と大腿部に取り付けたベルトを介して利用者の下肢を引っ張ることによって利用者の歩行意欲を促す効果を図る。一方、従来型の歩行車の胸部支持パッドの回転は受動的な機構であり、腰部のスイングを自然に引き出すことを特徴としているが、歩行車の支えで少しなら歩ける利用者に限定しており、歩きたくても足を踏み出せない利用者の自立歩行まで励起するものではない。

2. 研究の目的

本研究は、従来の歩行車の受動型 1 軸回転可能な胸部支持パッドをアクティブな駆動機構にすることによって、病気で歩きたくても歩けない高齢者でも利用可能な歩行車を開発するとともに、回転型胸部支持パッドを有する歩行車の補助効果の定量評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 駆動型回転機構を有する胸部支持パッドの設計と製作

胸部支持パッドの背部に DC モータを取り付けることによって駆動型支持パッドを新たに設計し、製作する。本提案では、最大体重 100kg の利用者を想定し、胸部支持パッドを回転させるための定格出力を満たす DC モータの選定を行い、現有歩行車の機構を参考にしながら、モータ、ドライブユニット、バッテリーなどの部品が取り付けられるように新型歩行車の設計・試作を行う。

(2) 利用者の体重による圧力の計測

歩行する際に歩行者が身長や姿勢に合わせて胸部支持パッドの角度を調整する。歩行中の胸部支持パッドのロール回転角は駆動モータのエンコーダから取得できる。また、歩行車の利用者は自分の体を胸部支持パッドに預けており、歩行運動中の歩行者上半身の姿勢変化によって下肢部の踏み出しをアシストするので、歩行時の体圧は重要なデータと考えている。歩行者の体圧変化を検出するため、小型力センサ 4 個を支持パッドに取り付ける。

(3) 駆動モータ制御系とセンサ計測系の連動

歩行中に利用者の膝関節と足首関節の回転角を測るためゴニオメータ 4 個と、利用者上半身による圧力の変化を測るため小型力センサ 4 個を用いる。一方、ゴニオメータと力センサのデータ収集にそれぞれが独立なコントローラを持っている。したがって、計測センサ系と支持パッド駆動モータの制御系の連動を行うためのシステムを新たに構築する必要がある。さらに、モータ駆動やセンサ計測に外部電源を利用しており、電源供給とケーブルの長さなどの原因で計測場所が限定される。本提案では、外部電源を利用しない方法を検討し、コードレス化を図る。



(a) 本体

(4) 回転型胸部支持パッドを有する歩行車のアシスト効果の評価

本提案では、支持パッドの回転による上半身の姿勢変化、膝関節伸展角と足首関節回転角などの下肢部の運動情報を算出し、歩行運動を評価する。特に力覚センサの情報から算出された歩行者上半身の姿勢変化や下肢部の運動情報との関連に注目し、支持パッド回転の有無での測定結果に対して時間域および周波数域での解析を行うことで歩行特徴の変化とその関連を定量的に評価する。



(b) 駆動型支持パッド

4. 研究成果

(1) 駆動型胸部支持パッドを有する歩行車の設計と製作

図 1(a) に示す新型歩行車では、身長 180cm、体重 100kg

図 1 試作した新型歩行車

の利用者を想定している。そのため、胸部支持パッドの高さの調整を可能とするリニアモータ (LA31、リナック株) のストロークを旧型歩行車に比べて長くし、使用し続けることで変形する可能性があった下部のフレームの強度を上げるよう設計する。さらに、大きな横揺れを防ぐためにキャスターの車輪の大きさを揃え、歩行しやすいように後輪部の幅を伸縮可能とする。

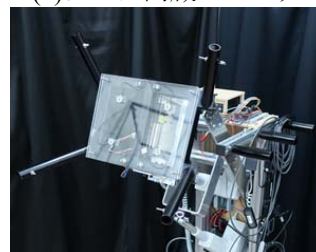
胸部支持パッドを駆動するモータの選定では、利用者の身長と体重などの条件で必要な駆動トルクを算出することで小型高出力モータ(EC-4pole 30、マクソンジャパン社)と、ギアヘッド(GP 32 HP、マクソンジャパン社)とエンコーダ(HEDL 5540、マクソンジャパン社)を選定した。また、図 1(b)に示すようにこの駆動モータは、歩行車利用者の身体に干渉しないよう胸部支持パッド背部の中心くらいの高さに設置される。



(a)ロードセル



(b)アンプ内蔵レコーダ



(c)センサの取り付け

図 2 圧力測定センサ系

(2)利用者の体重による圧力の計測

胸部支持パッドをモータで能動的に動かすことで、歩行動作を行うことが困難な高齢者でも歩行意欲の向上を期待できる。しかしながら、能動的に胸パッドを動かした際、歩行車と使用者との間にどのような力関係となるかまだ明らかになっていない。そこで、本研究で使用するロードセル (LMB-A-500NM1Z2R、共和電業) とアンプ内蔵型コンパクトレコーダ (EDS-400A、共和電業) を図 2 に示す。上下にかかる力の分布を計測するため、ロードセルの数を 2 個から 4 個に変更した。

(3)モータ制御系とセンサ計測系の動作連携システムの構築

①駆動モータの制御

図 1 に示すように胸部支持パッドの背部に小型 DC モータが取り付けられており、歩行運動をリズム的に行うため胸部支持パッドを一定の周期で回転させる必要がある。本研究では、マイコン Arduino DUE を用いてモータの回転角を検出し、速度制御を行う。また、制御系の有効性を確認するために、図 3 に示すように負荷(22Kg)の有無別でのモータ制御実験を行った。支持パッドの初期位置は可動範囲の中間にあり、初期位置から 20[deg]まで回転した後、-20[deg]に回転して初期位置に戻る。実験によってモータ制御系が正常に動作したことを確認した。

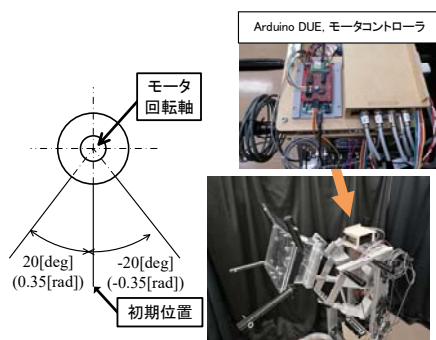


図 3 駆動型胸部支持パッドの制御実験

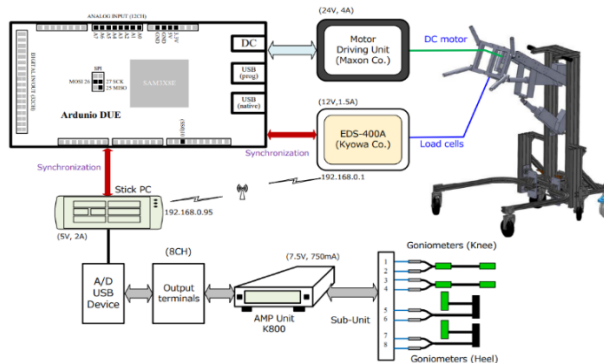


図 4 モータ制御系と計測系の連動

②計測系と制御系の動作連携

図 4 に示すように、歩行車の計測制御システムは、支持パッドを駆動する DC モータ制御系、支持パッドに掛かる圧力計測系と下肢部運動情報計測系の計 3 つのサブシステムから構成される。支持パッドに掛かる圧力を測るためのロードセルが小型レコーダに接続されており、利用者の足首と膝関節の回転角を測定するゴニオメータの情報が、USB 型 AD 変換ユニット (AIO-160802AY-USB、コンテック) を介してスティック PC (DG-STK5S、Diginos) によって集計される。本研究では、小型 DC モータの制御に用いられたマイコン Arduino DUE を利用し、センサ計測系との連動に必要なとされる同期信号を生成する。これを実現するための回路制作とソフトウェアを開発することでシステムの構築を行った。

③電源システムのコードレス化

モータの駆動と各種計測機器の動作に多種の電源供給が必要となる。一方、従来の歩行車のように外部電源を用いる場合、計測場所が限定されることになり、さらにケーブルの長さによって

歩行距離も制限される。そこで本研究では、小型高出力のリチウムバッテリーを用いることによって計測制御系の外部電源のコードレス化を図る。具体的には、Arduino DUE とロードセルのデータ集計用アンプ、支持パッド駆動用の DC モータとアンプはリチウムバッテリー（1224VC400、日泉）から取得し、スティック PC とゴニオメータ用アンプはリチウムバッテリー（12VC150、日泉）から取得することで、外部電源のコードレス化を実現した。

④試作した歩行車の確認実験

構築された計測制御系の動作を確認するため、歩行実験を行った。歩行時間は 15 秒とし、実験は計 4 回行った。図 5 に示すように、利用者左右の膝関節と足首関節のそれぞれに 1 つのゴニオメータを取り付け、下肢部関節の回転角を計測する。さらに、胸部支持パッドに取り付けられる 4 個のロードセルによって、支持パッドにかかる力の変化を計測する。

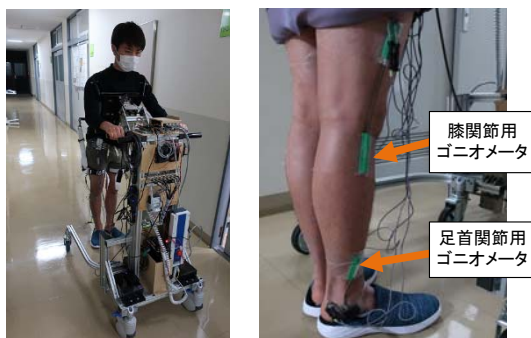
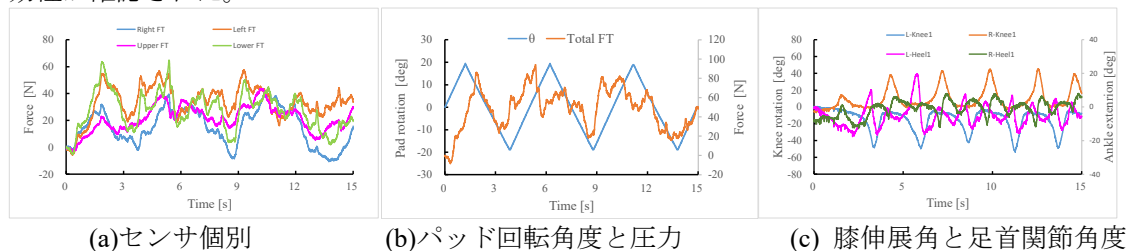


図 5 歩行実験の風景

測定した結果を図 6 に示す。図 6(a)より胸部支持パッドに掛かったセンサ別の圧力が周期的に変化したことが確認された。また、図 6(b)に示すように支持パッドに掛かった総圧力が支持パッドの回転に追従しながら変化している。さらに、支持パッドの回転に伴い、膝と足首関節の回転角が周期的に動作していることが図 6(c)により観察された。これらの実験結果から、試作された歩行車の機構と計測制御系の有効性が確認された。



(a)センサ個別

(b)パッド回転角度と圧力

(c) 膝伸展角と足首関節角度

図 6 歩行実験の時系列結果

(4)回転型胸部支持パッドを有する歩行車のアシスト効果の評価

これまでの研究では、胸部支持パッドの回転と下肢部運動の関連性を考察するために、胸部支持パッドに力センサを、被験者の膝関節側面にはゴニオメータを取り付けて歩行計測を行った。一方、足の踏み出しには足首関節が関係しており、足首関節の運動に支持パッドの回転による影響を確認する必要がある。本研究では、上記のセンサ類に加え、足首関節側面にゴニオメータを取り付けたのち、支持パッド回転の有無別で歩行実験を行った。また、得られた支持パッドの回転角と下肢部の運動情報に対して解析を行うことによって、支持パッドの回転と下肢部運動の関連を明らかにする。

①測定方法

図 7 に示すように、膝伸展角計測用のゴニオメータ(SG150、Biometrics Ltd)を被験者の膝関節に左右 1 個ずつ、ゴニオメータ(SG110A、Biometrics Ltd)を被験者の足首関節に左右 1 個ずつ取り付けた。歩行計測では、4 名の健常者（平均年齢 22 歳）が実験に参加した。全被験者には近畿大学工学部生命倫理委員会の規定に基づいた説明を受けたのち、同意書に署名してもらった。図 7 に示すように、歩行する前に被験者は、上半身を支持パッドに密接させるためベルトと支持パッドの高さと傾斜を適宜に調整する。

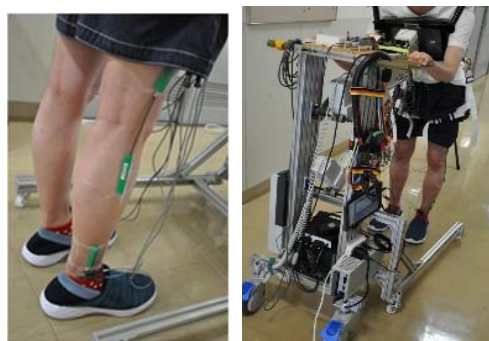
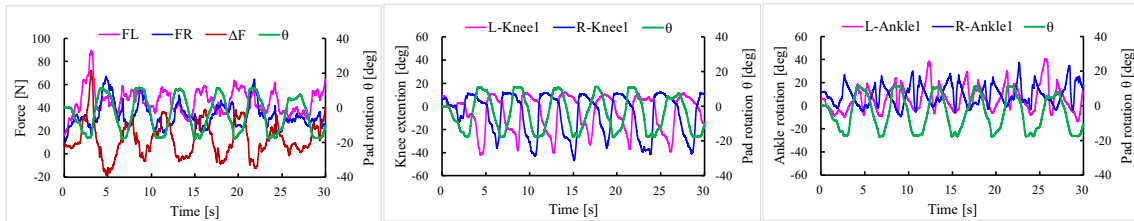


図 7 歩行実験の風景

②時系列結果

胸部支持パッドの回転角と圧力の結果が図 8(a)に示されており、支持パッドの左右力センサの結果が周期的に変動しており、位相が反転している。また、図 8(b)に示すように、左右膝関節の伸展角が周期的に変化しており、支持パッド回転角の変動と類似している。さらに、図 8(c)に示すように、左右足首関節の回転角が支持パッド回転角の変動に連れられて周期的に変化しているが、より高い周波数成分の信号も含まれることが確認された。

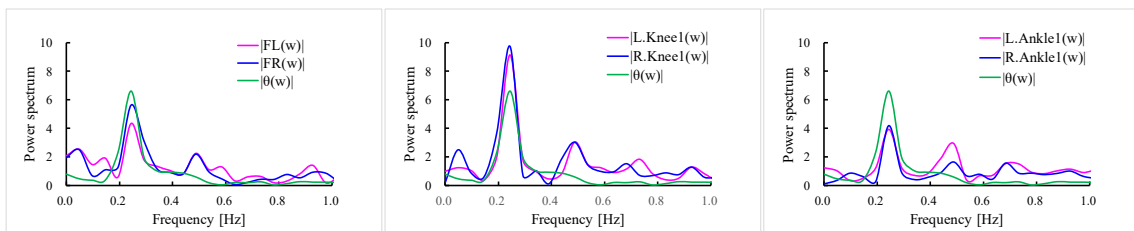


(a) カセンサの結果 (b)膝伸展角 (c)足首関節の回転角

図8 歩行測定の時系列結果

③周波数解析の結果

得られた測定結果に対して周波数解析を行い、パワースペクトル S_x を求めた。図 9(a)に示された圧力と回転角のパワースペクトルの結果から、支持パッドに掛かった圧力の周波数主成分が支持パッド回転角の周波数主成分とほぼ一致していることが明らかである。支持パッド回転角のパワースペクトルが大きいため、利用者上半身のリズム的な重心移動が支持パッドを周期的に回転させていると考えられる。また、図 9(b)に示すように、左右の膝関節伸展角の周波数主成分が支持パッド回転角の周波数主成分とほぼ一致しているため、膝関節の伸展は胸部支持パッドの回転に強く影響されたことを示唆する。さらに、左右足首関節回転角の周波数主成分が支持パッド回転角の周波数主成分とほぼ一致していることが図 9(c)より分かった。このため、足首関節の回転も胸部支持パッドの回転に強く影響されたことを察知できる。



(a) カセンサの結果 (b)膝伸展角 (c)足首関節の回転角

図9 パワースペクトルの結果

④相関係数による下肢部運動と支持パッド回転との関連性の評価

一般に2種類のデータの関連性を定量的に評価するため、相関係数が広く用いられる。本研究では、支持パッド回転の有無別での歩行実験で得られた支持パッドへの圧力、膝伸展角、足首関節回転角のパワースペクトルの結果に対して、胸部支持パッド回転角との相関係数を求めた。得られたそれぞれの結果を表1と表2に示す。表2に示されるように、支持パッドが固定された場合、圧力、下肢部の運動が支持パッド回転角とほぼ関連しないことが分かった。一方、表1に示されるように、支持パッドが回転された場合、圧力、膝伸展角、足首関節回転角が支持パッドの回転と強く相関している結果が示された。このため、支持パッドの回転が利用者下肢部の運動リズムのつくりに関与していることを確認できた。

表1 相関係数結果 (支持パッド回転)

	SubA	SubB	SubC	SubD	Ave.±SD
FL-θ	0.512	0.755	0.875	0.597	0.685 ±0.162
FR-θ	0.804	0.870	0.863	0.829	0.842 ±0.031
L.Knee-θ	0.694	0.915	0.769	0.520	0.724 ±0.164
R.Knee-θ	0.688	0.907	0.737	0.599	0.733 ±0.129
L.Ankle-θ	0.677	0.745	0.692	0.511	0.656 ±0.101
R.Ankle-θ	0.676	0.764	0.811	0.451	0.675 ±0.160

表2 相関係数結果 (支持パッド固定)

	SubA	SubB	SubC	SubD	Ave.±SD
FL-θ	0.101	0.127	0.197	0.124	0.137 ±0.042
FR-θ	0.161	0.136	0.348	0.148	0.199 ±0.101
L.Knee-θ	0.040	0.149	0.367	0.096	0.163 ±0.143
R.Knee-θ	0.096	0.151	0.302	0.101	0.163 ±0.096
L.Ankle-θ	0.170	0.095	0.300	0.095	0.165 ±0.097
R.Ankle-θ	0.134	0.110	0.324	0.037	0.151 ±0.122

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Jian Huang, Hiroaki Ashida, Noriho Koyachi and Takashi Harada
2. 発表標題 Walk Measurements Using a Novel Rollator with a Free Rotating Chest Pad and an Analysis of its Effectiveness in Walk Assistance
3. 学会等名 Proc. of 2019 IEEE the 5th International Conference on Mechatronics System and Robots (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jian Huang, Hiroaki Ashida, Ryosuke Abe, Noriho Koyachi, Takashi Harada
2. 発表標題 Development of a Novel Rollator with an Active Driving Chest Pad to Achieve the Effectiveness of Walk Assistance
3. 学会等名 Proc. of The 17th International Conference on Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蘆田宏明, 黄健, 小谷内範穂, 原田孝
2. 発表標題 駆動型一軸回転可能な胸部支持パッドを有する歩行車の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会'19
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蘆田宏明, 阿部 凌輔, 黄健, 小谷内範穂, 原田孝
2. 発表標題 1軸回転可能な胸部支持パッド型歩行車による歩行計測と解析
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部凌輔・蘆田宏明・黄健・小谷内範穂・原田孝
2. 発表標題 駆動型一軸回転可能な胸部支持パッドを有する歩行車の開発
3. 学会等名 近畿大学工学部研究公開フォーラム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黄健
2. 発表標題 回転式支持パッドにより高齢者の自立歩行意欲の促進を図る歩行車の開発
3. 学会等名 第2回ヘルスケア・医療福祉機器技術研究交流会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黄健，小谷内範穂
2. 発表標題 回転機構付き胸部支持パッドを有する歩行車の歩行促進効果の評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボットメカトロニクス部門講演会'18
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 蘆田宏明，黄健，小谷内範穂，原田孝
2. 発表標題 回転型胸部支持パッドを有する歩行車を用いた歩行運動の解析
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黄健, 小谷内範穂, 原田孝
2. 発表標題 1軸回転式胸部支持パッドを有する歩行車を用いた歩行測定
3. 学会等名 近畿大学認知症Core研究(DoIK)シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黄 健, 小谷内 範穂
2. 発表標題 回転型胸部支持パッドを有する歩行車を用いた歩行計測と解析
3. 学会等名 近畿大学工学部研究公開フォーラム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 蘆田宏明, 阿部凌輔, 黄健, 小谷内範穂
2. 発表標題 回転型支持パッドつき歩行車を用いた下肢部負荷有無歩行の測定と解析
3. 学会等名 日本機械学会ロボットメカトロニクス部門講演会'20
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部凌輔, 渡部亮, 小谷内範穂, 黄健
2. 発表標題 駆動型胸パッドを有する歩行車の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボットメカトロニクス部門講演会'20
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 向井敬太, 前田敦史, 阿部凌輔, 宮本空, 黄健, 小谷内範穂
2. 発表標題 駆動型支持パッドを有する歩行車のモータ制御系の構築
3. 学会等名 第29回計測自動制御学会中国支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部凌輔, 小谷内範穂, 黄健, 向井敬太, 宮本空
2. 発表標題 駆動型胸部支持パッドの力計測システムの開発
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	小谷内 範穂 (Koyachi Noriho) (50357034)	近畿大学・工学部・教授 (34419)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------