様　式　C－19、F－19－1、Z－19　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　元 年　 6 月 10 日現在

機関番号：１１３０１
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2015～2018
課題番号：１５Ｈ０３０５０

研究課題名（和文）能動運動を引き出す教示支援型在宅下肢リハビリテーションシステムの開発

研究課題名（英文）Development of at-home lower limb rehabilitation system based on teaching support to induce active movements

研究代表者
渡邉　高志（Watanabe, Takashi）

東北大学・医工学研究科・教授

研究者番号：９０２５０６９６

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　12,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では下肢の運動障害に着目し，在宅リハビリテーションシステムの実現を目指した．まず，慣性センサ信号から下肢運動機能の評価指標を算出する方法を構築した．次に，能動運動を引き出す電気刺激教示法を構築し，下垂足矯正の歩行リハビリテーションを想定した試験で有効性を確認し，足こぎ車いすリハビリテーションでも利用できるように教示タイミングを決定した．また，リハビリテーションで動作補助を行えるように，機能的電気刺激（FES）による歩行時の足部運動補助や足こぎ車いす走行補助の方法を構築した．そして，在宅リハビリテーションへ応用する携帯型システムの開発，少数の慣性センサによる運動計測・評価法の開発を行った．

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究は，運動リハビリテーションにおいて，運動の計測・評価から，運動補助，運動指導の教示まで行えるシステムの実現を目指しており，慣性センサによる3次元運動の計測と評価指標の算出法を構築する点，FESによる動作補助と運動指導の教示をシームレスに提供する技術を開発する点に学術的な意義がある．本研究の成果を実用に向けて発展させることで，理学療法士らの的確な指導のもとにリハビリテーションの効果の向上や期間短縮が可能になると期待され，ニューロリハビリテーション技術の体系化へ貢献し，将来的には，入院の短期化，新しい在宅リハビリテーション法の提供，そして医療費削減につながるという点に社会的意義がある．

研究成果の概要（英文）：This study aimed to realize a home rehabilitation system focusing on motor dysfunction in the lower limbs. First, methods of calculating evaluation indexes of lower limb motor function from inertial sensor signals were developed. Then, an electrical stimulation teaching method to induce active movements for rehabilitation was constructed and its effectiveness was examined in foot drop correction during walking. The stimulation timing of the teaching in pedaling wheelchair rehabilitation was also determined. In addition, in order to assist movements in rehabilitation, methods of assisting foot movements during walking and propulsion of the pedaling wheelchair were developed by using functional electrical stimulation (FES). Finally, a portable system applied to home rehabilitation was developed. Motion measurement and evaluation methods using a few inertial sensors were also proposed for home rehabilitation and shown to be useful in experimental tests.

研究分野：生体医工学

キーワード：リハビリテーション工学　電気刺激　慣性センサ　片麻痺　歩行　足こぎ車いす

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９、ＣＫ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

高齢者数や生活習慣病患者数の大幅な増加により，脳血管障害による後遺症を伴う患者数も増加し，医療費の増加等の問題が生じる．その後遺症の１つとして運動機能麻痺があり，特に下肢の運動機能麻痺は日常生活の自立や社会参加の障害になり，重度の場合には寝たきりにもなる．後遺症からの機能回復や再発防止を図るためには，様々なリハビリテーションを継続する必要があり，下肢のリハビリテーションでは，理学療法士らの補助のもとに起立や歩行の訓練を行うが，療法士らの身体的，時間的負担が大きいといった問題がある．近年，ロボティクス技術を用いたリハビリテーション機器の研究開発が行われており，その臨床的効果も期待されるが，機器が大型化する，手軽に扱えない，在宅では利用できないといった課題も残されている．これに対し，中枢の運動制御系の再構築の促進を図るニューロリハビリテーションの一手法として，機能的電気刺激（FES）の応用が期待されている．FES は，患者自身の筋を活性化させて運動訓練を行うので，筋力の回復や廃用性筋委縮の予防，末梢循環系の改善といった治療的効果もあり，FES を用いて運動リハビリテーションを行うことで，麻痺肢の随意制御能力の改善や運動再学習に効果があることも報告されている．しかし，試行錯誤的に FES をリハビリテーション訓練に適用した症例研究が多く，電気刺激の適用方法は未だ確立されていない．一方，運動リハビリテーションで適切な訓練指導を行う上で，患者の運動機能の評価が重要であり，慣性センサを利用する研究も行われているが，リハビリテーションのための限られた時間の中で，簡便に，かつ的確に実施できる方法の実現には至っていない点も課題である．さらに，リハビリテーション効果の向上のためには１週間の実施回数を増やすことが有効であること，入院の短期化，医療費削減が求められていることから，在宅リハビリテーションの重要性が高まっており，簡便に扱えて，評価から訓練まで行える携帯型在宅リハビリテーションシステムの実現が期待されている．

２．研究の目的

本研究では，上記の背景から，寝たきりにも関わる下肢の運動機能障害に着目し，慣性センサ情報による下肢運動機能の臨床評価指標算出法の確立，下肢運動機能の回復を図るための能動運動を引き出す電気刺激教示法の構築と有効性の検証，リハビリテーションにおける機能的電気刺激（FES）による動作補助方法の構築, 少数の慣性センサによる運動計測・評価法の開発, 在宅リハビリテーションへ応用する携帯型システムの開発を目的とする．

３．研究の方法

(1) 慣性センサ情報による下肢運動機能の評価指標算出法の確立

① 複数の無線センサを身体に装着して運動を計測するために, センサ間の無線通信の時間差が小さい高精度同期式無線型慣性センサを導入し，運動計測システムを構築する．そして，構築した計測システムで得られる慣性センサ情報（加速度，各速度）だけを用いて，臨床で利用されている評価指標（角度，歩行事象タイミング，ストライド長，歩行速度等）の算出方法を検討し，慣性センサによる運動計測の精度を検証して方法を確立する．

② 慣性センサに基づく複数の臨床評価指標について，構築した算出アルゴリズムを統合し，自動処理，および複数の評価指標を組み合わせた評価が可能なシステムとして実現する．そして，健常者歩行の計測・解析から各指標の標準値を求め，歩行評価の基準データとしてリハビリテーション訓練効果の評価に利用可能にするための課題を検討し解決を図る．

③ 病院等で，早期の段階から適用可能な新しい評価指標算出法を開発する．

(2) 能動運動を引き出す電気刺激教示支援型運動リハビリテーション法の開発

① 歩行訓練や足こぎ車いす訓練を対象とし, 歩行運動中や足こぎ車いす駆動時の筋電図と慣性センサとの同時計測を基に, 各筋の活動タイミングを慣性センサ情報から検出する方法を構築し，電気刺激教示タイミングデータを作成する．また，動作が十分に行えない患者のために，リハビリテーションで動作を補助するための FES 制御法を開発する．

② 作成した教示タイミングや FES 制御法を利用し，教示や FES 適用時の運動の変化を調査し，リハビリテーションにおける教示や FES の有効性を検討する．

(3) 在宅リハビリテーションシステムへ展開するための検討

① 在宅での利用を考慮し，少数センサで簡便に状態を把握する方法を実現するため，少数センサで推定可能な指標の決定と，推定方法の開発を行う．特に，下腿部に装着した単一センサから下腿部と大腿部の傾斜角度を推定する方法, 単一センサから歩行の異常動作を検出する方法を開発する．また，センサの装着状態の影響を受けにくい指標についても検討し，実用性の高い計測・評価方法を開発する．

② 電気刺激教示支援型運動リハビリテーションへ応用可能なプロトタイプシステムを構築する．

４．研究成果

(1) 慣性センサ情報による下肢運動機能の評価指標算出法の確立

① 高精度同期式無線型慣性センサを導入し，運動計測システムを構築した．このシステムを用

いて計測した結果から歩行時の角度を算出する方法として,カルマンフィルタのパラメータを自動調整する方法を検討した.角速度積分による方法では,矢状面内角度の計測精度を改善できたが,クォータニオンによる方法では大きな改善は見られなかった.しかしクォータニオン法は精度が比較的良好であり,健常者による運動機能障害者に近い歩行速度でのトレッドミル歩行中の角度計測では,矢状面角度の二乗平均平方根誤差(RMSE)が概ね平均 3deg 以下となった.前額面内の角度も 4deg 未満の平均 RMSE を達成したが,被験者毎,試行毎のばらつきがあり,参照信号の座標系との不整合が影響していることを示唆する結果も得た.また,回旋運動の計測について,角速度信号の高域通過フィルタ(HPF)処理を検討し,短距離歩行では 2〜8deg 程度の平均 RMSE となった.HPF は有効であるが,角速度のドリフト成分が一定しないことが誤差のばらつきの原因であることが示唆された.

② 足部に装着したセンサを用いた歩行事象タイミング検出法,1 歩毎のストライド長計測法を構築し,健常者では平均 5%未満のストライド長推定精度を得た.また,運動麻痺者でも概ね健常者に近いストライド長推定精度が得られたが,一部の被験者では誤差が大きい場合があることを確認し,過大な衝撃が一因となることを考察した.これらの方法を基に,10m 歩行時の平均歩行速度推定法を検討し,健常者で平均 5%程度以下の推定精度の達成可能性を示した.フットクリアランスについても,既存の方法を調査し,プログラム実装を行った.

③ 慣性センサの装着状態の計測精度への影響についてモデル解析を行い,矢状面内角度への影響は小さいことを確認し,矢状面内角度が利用可能な根拠を示した.また,前額面内角度の推定精度のばらつきを改善するために座標系の校正方法を検討し,回旋歩行での推定精度を改善するためにカルマンフィルタの適用方法を改良した.回旋歩行を含む複数の歩行条件で身体部位ベクトルと関節角度の評価を行い,推定誤差がベクトル値 6%程度,角度 3deg 未満となった.

④ 慣性センサによる運動評価指標の算出アルゴリズムを MATLAB 上で実装し,自動処理と複数指標を組み合わせた評価が可能なアプリケーションを構築した.

⑤ 検討してきた運動評価指標を訓練効果の評価に利用するために,標準値として健常者の各指標の平均値を算出し,また,健常者での共通性の高い指標を検討した.歩行事象タイミングや足部傾斜角度の左右差の大きさは個人差の影響が小さい指標であり,運動機能障害者と直接的に比較可能であることを明らかにした.

⑥ 病院等で早期の段階から詳細な評価が可能になるように,慣性センサと床反力計による関節モーメント推定法を提案し,片麻痺者を模擬した歩行での立脚期の関節モーメントが,3 次元動作解析装置を用いた報告と同様の傾向になることを確認した.

(2) 能動運動を引き出す電気刺激教示支援型運動リハビリテーション法の開発

① 健常者の歩行と足こぎ車いす走行において,筋電図と慣性センサによる運動の同時計測を行い,その結果から,健常者の筋活動タイミングについて,歩行事象や足こぎ車いすクランク角度との関係を明らかにした.これらの結果に基づいて FES 制御で実験的に検討し,慣性センサ情報によるリアルタイム検出に基づく電気刺激教示タイミングデータとして利用可能であることを確認した.

② FES により動作を補助する方法として,数回の繰り返し動作制御を行う中で電気刺激パラメータを自動設定する方法を,歩行時の下垂足矯正,足こぎ車いすの FES 走行に適用できるように実装し,動作を確認した.また,実時間閉ループ FES 制御器をファジィ制御器で実装し,座位での膝関節制御で実験的検証を行った.加えて,足こぎ車いすの FES 走行制御の試験を行い,実時間閉ループ制御が有効になることを確認し,さらに,刺激タイミングの修正,微分器の導入により,低速度走行時の制御が改善できることを確認した.一方,足関節部の筋の電気刺激応答の非線形性が特に強く,電気刺激による筋の応答の遅れも大きいために,適切な制御が困難になる場合があったため,電気刺激装置や制御器の改良を実施した.また,他の方法として学習型 FES 制御法を検討し,任意の運動を制御するための動作軌跡の生成法を提案し,その適用可能性を確認した.

③ FES と教示のリハビリテーション応用のために,片麻痺者に FES 下垂足矯正を適用した歩行,足関節背屈タイミングの教示を行った場合の歩行を計測・解析し,異常歩行に関連すると考えられる股関節運動を教示と EFS の両方で改善する可能性が示唆された.この結果から,教示や FES 動作補助によるリハビリテーションの有効性が確認されたが,教示による歩行では動作のばらつきが大きくなる傾向もあった.また,下垂足 FES 矯正の場合,歩行動作の改善傾向があったが,筋疲労により異常運動に戻る傾向も確認された.

④ 患者の能動的な運動を考慮しながら下垂足矯正 FES を行う方法として,構築した繰り返し制御法を健常者によるトレッドミル上での片麻痺模擬歩行で試験し,片麻痺者の FES 下垂足矯正時と同様に,足関節運動補助により股関節角度の変化を誘発することを示唆する結果を得た.片麻痺者と健常者の結果から,教示と FES を用いて能動運動を引き出す方法の有効性が示唆された.

(3)在宅リハビリテーションシステムへ展開するための検討

① 在宅リハビリテーションでは,簡便に扱える携帯型システムが望まれるため,少数のセンサと小型電気刺激装置,タブレット型コンピュータで構成し,慣性センサ情報によりタイミン

グをリアルタイム検出し，電気刺激を印加する携帯型のシステムとして，リハビリテーション用プロトタイプシステムを構築した．これを用いて電気刺激教示の予備試験を実施し、情報提示による動作の変化を誘発可能であることを確認した。

② 少数センサでの計測について，歩行中のぶん回し運動を対象に，大腿部に装着した単一センサから異常運動を検出する方法を検討し，大腿部姿勢ベクトルの先端軌跡の進行方向に対する距離を用いる方法を提案して，センサ装着状態の影響を受けにくい指標算出が可能であることを確認した．また，足部に装着した単一センサを用いて歩行時の足部の異常運動を検出する方法を検討し，着床時の矢状面傾斜角度と足底接地付近の前額面傾斜角度を指標として用いる方法を提案し，センサ装着状態の影響を受けにくい検出が可能になることを示す結果を得た．この他，下腿部に装着したセンサから下腿部と大腿部の傾斜角度を推定する方法を理論的に検討し，その実現可能性を実験的に確認した．

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計２１件）

1) Yoshitaka Nozaki, Takashi Watanabe, A Basic Study on Detection of Movement State in Stride by Artificial Neural Network for Estimating Stride Length of Hemiplegic Gait Using IMU, Proc. 41st Ann. Int. Conf. IEEE EMBS, 査読有, 2019. (in press)
2) 塩谷真帆，渡邉高志，村上克徳，久家直巳，慣性センサを用いた大腿部３次元運動計測による歩行時の異常運動検出法の検討，生体医工学，査読有，57巻，1号，pp.1-7, 2019. DOI: 10.11239/jsmbe.57.1
3) 塩谷真帆，渡邉高志，慣性センサを用いた大腿部ベクトル推定による片麻痺者歩行の3次元的運動異常の検出可能性，バイオメカニズム学会誌，査読有，Vol.43, No.1, p.67-70, 2019. DOI: 10.3951/sobim.43.1_67
4) Takashi Watanabe, and Taukmi Tadano, An Examination of Stimulation Timing Patterns for Mobile FES Cycling under Closed-loop Control of Low Cycling Speed, Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation III, 査読有, Volume 21 of the series Biosystems & Biorobotics, pp.1106-1110, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-01845-0_221
5) Kei Kikuchi, Takashi Watanabe, Ryusei Morita, Katsunori Murakami, and Naomi Kuge, A Pilot Study of Relationship between Hip Joint Movement and FES Foot Drop Correction with a Hemiplegic Subject, Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation III, 査読有, Volume 21 of the series Biosystems & Biorobotics, pp.243-247, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-01845-0_48
6) Takuma Ando and Takashi Watanabe, A Basic Test of Calibration Methods for Measurement of Three-dimensional Movements of Lower Limbs With Inertial Sensors, Proc. 2018 IEEE Life Sciences Conference, 査読有, pp.211-214, 2018. DOI: 10.1109/LSC.2018.8572202
7) Takashi Watanabe and Takumi Tadano, Experimental Tests of a Prototype of IMU-based Closed-loop Fuzzy Control System for Mobile FES Cycling with Pedaling Wheelchair, IEICE Trans. Inf. & Syst., 査読有, Vol.E101-D, No.7, pp.1906-1914, 2018. DOI: 10.1587/transinf.2017EDP7299
8) Takashi Watanabe and Naoya Akaike, A computer simulation test of feedback error learning-based FES controller for controlling random and cyclic movements, IFMBE Proc., 査読有, Vol.68/3, pp.53-57, 2018. DOI: 10.1007/978-981-10-9023-3_10
9) Takashi Watanabe, Tasuku Miyazawa, and Jun Shibasaki, A Study on IMU-based Stride Length Estimation for Motor Disabled Subjects: A Comparison under Different Calculation Methods of Rotation Matrix, Proc. 2018 IEEE EMBS Int. Conf. Biomedical and Health Informatics, 査読有, 2018. DOI: 10.1109/BHI.2018.8333372
10) Takashi Watanabe, and Takumi Tadano, Design of Closed-loop Fuzzy FES Controller and Tests in Controlling Knee Extension Movements, IEICE Trans. Inf. & Syst., 査読有, Vol.E100-D, No.9, pp.2261-2264, 2017. DOI: 10.1587/transinf.2017EDL8061
11) Takashi Watanabe and Takumi Tadano, Determination of Stimulation Timing Pattern based on EMG Signals for FES Cycling with Pedaling Wheelchair, 査読有, IFMBE Proceedings, vol 65, pp 394-397, 2017. DOI: 10.1007/978-981-10-5122-7_99
12) 森田竜生，渡邉高志，携帯型歩行リハビリテーションシステムの片麻痺者の日常生活歩行への応用に関する基礎的検討，電子情報通信学会技術研究報告，査読無，Vol.116, No.312, pp.35-38, 2016.
13) 海老原 匠，塩谷真帆，渡邉高志，日常生活における自由歩行評価のための慣性センサを用いた膝関節角度の計測に関する基礎的検討，電子情報通信学会技術研究報告，査読無，Vol.116, No.312, pp.29-34, 2016.
14) Takashi Watanabe, Shun Endo, Ryusei Morita, Katsunori Murakami, and Naomi Kuge, A Preliminary Test of a Portable Prototype System of FES Foot Drop Correction and Gait Measurements with a Hemiplegic Subject, Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation II, 査読有, Volume 15 of the series Biosystems & Biorobotics,

pp.1217-1221, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-46669-9_198
15)渡邉高志, FESによる麻痺肢の運動制御とそのリハビリテーション応用に向けて, 電気学会誌, 査読無, Vol.136, No.10, pp.670-673, 2016.
16)Takashi Watanabe, Shun Endo, Ryusei Morita, Development of a Prototype of Portable FES Rehabilitation System for Relearning of Gait for Hemiplegic Subjects, Healthc. Technol. Lett., 査読有, Vol.3, Issue 4, pp.284-289, 2016. DOI: 10.1049/htl.2016.0045
17)Takashi Watanabe, Yuta Karasawa, Comparison of Muscle Stimulation Groups for Simplified Practical FES Cycling Control with Cycling Wheelchair: An Experimental Test with Healthy Subjects, IEICE Trans. Inf. & Syst., 査読有, Vol.E99-D, No.5, pp.1345-1352, 2016. DOI: 10.1587/transinf.2015EDP7135
18)阿部光司, 遠藤 駿, 渡邉高志, 慣性センサを用いた歩行事象検出アルゴリズムの臨床応用のための問題点抽出に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.115, No.317, pp.5-8, 2015.
19)只野卓巳, 渡邉高志, 足こぎ車いすのFES走行制御のためのEMG信号に基づく刺激開始タイミングに関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.115, No.317, pp.1-4, 2015.
20)Maho Shiotani, Takashi Watanabe, A Basic Study on Quantitative Evaluation of 3-dimensional Foot Movements with an Inertial Sensor during FES Foot Drop Correction, Proc. 37th Ann. Int. Conf. IEEE EMBS, 査読有, pp.6684-6687, 2015. DOI: 10.1109/EMBC.2015.7319926
21)T. Watanabe and T. Miyazawa, A Validation Test of a Simple Method of Stride Length Measurement Only with Inertial Sensors and a Preliminary Test in FES-assisted Hemiplegic Gait, IFMBE Proc., 査読有, Volume 51, pp.1111-1114, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-19387-8_270

〔学会発表〕(計２１件)
1) 野崎善喬, 渡邉高志, ANNによる運動区間自動検出に基づく慣性センサによるストライド長推定の基礎的検討, 第58回日本生体医工学会大会, 2019.
2) 内藤望実, 渡邉高志, 慣性センサを用いた足部傾斜角度による初期接地時の足圧中心位置の推定, 第52回日本生体医工学会東北支部大会, 2019.
3) 野崎善喬, 渡邉高志, 慣性センサによるストライド長計測のためのANNによる運動区間推定に関する検討, 第52回日本生体医工学会東北支部大会, 2019.
4) 田口雄大, 渡邉高志, 下垂足矯正FES適用時の足底圧変化による歩行評価の基礎的検討, 第39回バイオメカニズム学術講演会, 2B-4-1, 2018.
5) 内藤望実, 渡邉高志, 慣性センサと床反力計による立脚期の下肢関節モーメントの推定法の検討　―初期接地時の圧力中心点を用いた足部重心位置推定の影響―, 第39回バイオメカニズム学術講演会, 1A-1-3, 2018.
6) Takashi Watanabe and Shinya Yasuhara, A Feasibility Study on Thigh Inclination Angle Estimation With an Inertial Sensor Attached on the Shank Segment, 2018 IEEE Life Sciences Conference, 2018.
7) Takashi Watanabe, Naoya Akaike, A Preliminary Test of Online Learning FES Control by Feedback Error Learning Using Fuzzy Controller in Controlling Knee Extension Movement, the 44th ESAO and 7th IFAO Congress, 2017.
8) 森田竜生, 渡邉高志, 片麻痺者の歩行評価における評価基準設定のための健常者の歩行解析, 第25回バイオメカニズム・シンポジウム, 2017.
9) Takashi Watanabe, Takumi Tadano, A preliminary test of closed-loop FES control using fuzzy controller for propelling cycling wheelchair, Ann. Conf Int. FES Soc. 2017, 2017.
10)赤池尚也, 渡邉高志, ファジィFES制御器を用いたフィードバック誤差学習法の膝伸展制御におけるモデルシミュレーションによる検討, 第56回日本生体医工学会大会, 2017.
11)森田竜生, 渡邉高志, 村上 克徳, 久家 直巳, 免荷式リフトとFES下垂足矯正の併用による片麻痺者の歩行改善に関する基礎検討, 第56回日本生体医工学会大会, 2017.
12)只野卓巳, 渡邉高志, FESを用いた足こぎ車いす走行の閉ループ制御のためファジィ制御器に関する基礎的検討, 第50回日本生体医工学会東北支部大会, 2017.
13)海老原匠, 武田優帆, 渡邉高志, 慣性センサを用いた角度計測のための簡便な校正方法に関する基礎的検討, 第50回日本生体医工学会東北支部大会, 2017.
14)菊地 圭, 森田竜生, 渡邉高志, 村上克徳, 久家直巳, 教示支援型FES歩行リハビリテーションシステムの開発　～歩行事象検出アルゴリズムの検討と慢性期片麻痺患者に対する有効性評価～, 第37回バイオメカニズム学術講演会, 2016.
15)森田竜生, 渡邉高志, Development of a portable gait rehabilitation system using functional electrical stimulation-Construction of a fundamental system and performance evaluation test with healthy subjects-, SICE ライフエンジニアリング部門シンポジウム2016, 2016.

16)塩谷真帆，渡邉高志，3次元運動計測精度評価における異なる計測システム間の座標系設定法に関する検討，第55回日本生体医工学会大会，2016.
17)阿部光司，渡邉高志，芝崎淳，リハビリテーション支援のための慣性センサ信号を用いた歩行解析アプリケーションの試作，第14回姿勢と歩行研究会，2016.
18)Tasuku Miyazawa，Takashi Watanabe，A Basic Study on Walking Speed Estimation Using Inertial Sensors for Gait Rehabilitation，12th Int. Conf. Ubiquitous Healthcare，2015.
19)Takumi Tadano，Takashi Watanabe，Measurement of EMG signals for Determination of Stimulation Timing Pattern for FES Cycling with Cycling wheelchair，12th Int. Conf. Ubiquitous Healthcare，2015.
20)渡邉高志，機能的電気刺激（FES）による運動制御とリハビリテーション，第25回インテリジェント・システム・シンポジウム，2015.
21)阿部光司，渡邉高志，慣性センサを用いた歩行リハビリテーション支援のための評価指標算出・可視化アプリケーションの構築，第54回日本生体医工学会大会，2015.

〔産業財産権〕
○出願状況（計２件）

名称：歩数計測装置、歩数計測方法及び歩数計測方法をコンピュータに実行させるためのプログラム
発明者：渡邉高志，裴　艶玲
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2015-087001
出願年：2015 年
国内外の別：国内

名称：歩行測定装置、歩行測定方法及び歩行測定方法をコンピュータに実行させるためのプログラム
発明者：渡邉高志，小林大亮，塩谷真帆
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2015-085114
出願年：2015 年
国内外の別：国内

６．研究組織

(2)研究協力者
研究協力者氏名：半田　康延
ローマ字氏名：(HANDA，yasunobu)

研究協力者氏名：関　和則
ローマ字氏名：(SEKI，kazunori)

研究協力者氏名：古瀬　則夫
ローマ字氏名：(FURUSE，norio)

研究協力者氏名：芝崎　淳
ローマ字氏名：(SHIBASAKI，jun)

研究協力者氏名：久家　直巳
ローマ字氏名：(KUGE，naomi)

研究協力者氏名：村上　克徳
ローマ字氏名：(MURAKAMI，katsunori)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。