

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04057

研究課題名(和文) 階段昇降ならびに健常者に近い平地歩行が可能な無動力大腿義足

研究課題名(英文) Non-energized above-knee prosthesis capable of ascending & descending stairs

研究代表者

小金澤 鋼一 (Koganezawa, Koichi)

東海大学・スポーツ医科学研究所・研究員

研究者番号：10178246

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)：本研究では独自の閉管路油圧システムを用い、外部動力なしで階段の昇降が可能な大腿義足の開発を目的とした。膝関節と足関節の動きを油圧システムで連動させることにより、平地歩行に加え段の昇降が可能になることを実証した。2018-2019年度においては試作機1号を完成させ、健常者による歩行実験(平地歩行および階段歩行)を成功させた。この成果を踏まえ、より細部の改良を加えた試作2号機の設計を開始したが、COVID-19蔓延のため中断を余儀なくされた。しかしながら、2021年度に試作2号機が完成し、歩行実験を行い性能を確認した。2022年度には提携する企業と共同し、製品化を視座に入れた設計に着手している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

市販の大腿義足で階段昇降が可能なものは存在するが、その歩行様式は健常者の歩容とは異なり、両足での交互歩行は困難である。本研究で開発を進めている大腿義足は外部パワー源を必要とせずに階段昇降を可能とするものであり、市販化された暁には多くの大腿切断者に使用されると予想される。現在、油圧製品の専門企業および義肢装具の専門メーカーとタイアップして製品化を展望する義足を開発しており、2023年度中にフィールドテストを行う予定である。

研究成果の概要(英文)：The aim of the research is to develop an Above-Knee Prosthesis that allows handicapped users to descend and ascend stairs as well as to walk on a flat surface. In the previous research we verified that a novel hydraulic circuit allows the stair's walking without external energy source.

In 2018 and 2019, we have completed the design and construction of the first test machine, followed by the walking experiments with a no-handicapped subject, which certified the prescribed performances of the machine. We started to design a second machine that envisages a lighter and higher performance machine. However the research flow was interrupted by the COVID-19 pandemic. Nevertheless, in 2021 we have developed a second machine and verified the prescribed performances by the experiments.

From 2022 to nowadays, we have designed a new machine that envisages a commercialization with some companies tying up. A mock-up model was completed by using 3D printer.

研究分野：ロボット工学

キーワード：大腿義足 油圧 階段昇降

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、先進国を中心とした高齢者の人口比率の増加、生活習慣の変化に伴う糖尿病患者の増加により、下肢切断者の人口が増加している。現在、世界では約700万人[Maurice LeBlanc: Estimates of amputee population, Presentation slide, pp.2 (2008)]、うち日本では約6万人[厚生労働省 社会・援護局傷害保険福祉部企画課：平成18年身体障害児・者実態調査結果、pp.4-8 (2006)]が確認されている。上記の数字は今後大幅な増加が予測され、このことから義足・膝継手に対する需要の増加と要求性能の高度化が課題となる。またこれを受け、日本を始めとした各国の政府機関では今後重要となる技術の1つとして義肢を挙げている[経済産業省、日本の中長期ビジョンの検討に関する調査、pp.409-410、(2017)][National intelligence council: Global trends 2030 - Alternative words-, pp.99-100, (2012)]。

義足装着時の下肢切断者の歩行能力は断端の残存長さに依存し、膝/足関節を損失した大腿切断者が日常生活において受ける制約は大きく、要求される性能も高度となる[澤村誠志、田澤英二、内田充彦：義肢学第3版、医歯薬出版株式会社、pp.37 (2015)]。申請者がこれまでに開発した大腿義足実験機は、足関節の背屈と膝関節の屈曲を考案した油圧管路で拮抗させることで、平地歩行に加え、無動力で機械要素のみで交互歩行での階段昇段を可能としている。さらに健常者の平地歩行にみられるダブルニーアクションなどの歩容の再現が可能である。しかしながら、階段降り歩行においては絞り弁自動調節機構の不具合により不安定な歩容となることが観測された。

2. 研究の目的

本研究は、大腿義足の研究を通して下肢切断者の生活の質(Quality Of Life 以下QOL)向上を目的とする。大腿義足・膝継手に求められる主な性能は立脚期の安定性、遊脚期の下腿部振り出し動作の円滑性の2点であるが、加えて本研究では以下の性能に着目した。

- 1) 交互歩行による階段昇降が可能
- 2) 平地歩行立脚期始めにおける膝関節の軽度屈曲が可能
- 3) 電子制御を用いずに上記全ての動作が可能

1)を満たさない場合、1段ずつ両足を揃えながら階段の昇り降りをしなければならない。これは義足使用者が日常生活において最も不便に感じる要因の1つとされる[二宮誠：階段や坂を歩ける大腿義足、第18回日本義肢装具学会セミナー、pp.15-188 (2002)]。2)は義足接地時の脚部への衝撃と立脚期の重心の上下動を抑え、歩行効率の向上につながる[澤村誠志、田澤英二、内田充彦：義肢学第3版、医歯薬出版株式会社、pp.200-202 (2015)]。3)はバッテリーの充電、交換を不要とし、長時間の連続使用において利点を持つ。

現在、上記の要求 1-3)全てを満たす市販の大腿義足・膝継手は存在しない。よって、目標 1-3)を満たす大腿義足の開発による QOL 向上を研究目標とする。

3. 研究の方法

(1) 義足ハードウェアの製作

Table 1 Specifications of the model

実験機と油圧システムの外観を Fig.1、Fig.2、Fig.3 に、設計値を Table1 に示す。膝関節部と足関節部のそれぞれに油圧シリンダを配置し、各関節の受動抵抗を膝

Height (min)	Over 360 [mm]
Weight	2.68 [kg] (Expected pipe)
Range of knee joint rotation	Flexion: 130 [deg]
Range of ankle joint rotation	Dorsiflexion: 33 [deg] Plantar flexion: 20 [deg]

シリンダに内蔵された油圧システムにより制御する。

油圧システムは絞り弁 (Flow Control Valve 以下 FCV) とダイアフラム式オイルタンク (Accumulator) で構成される (Fig.2)。FCV は開きの量により外力に対する関節剛性とシリンダの運動性を制御する。FCV 開放時 (Fig 3 (a)), 各シリンダは独立して伸縮する。FCV 閉鎖時 (Fig 3 (b)), 一方のシリンダのロッドが内部に侵入したとき他方のロッドを押し出すように連動して伸縮する。FCV と並列に配置した逆止弁 (Check valve) は順方向からの作動油のみを通し, 膝シリンダ側からの逆流を防ぐ。ダイアフラム式オイルタンクは各シリンダの容積変化に応じてゴム膜が伸縮し, 作動油の排出, 吸収を行う。

足部には引張バネを配置し, 足関節の底屈抑制により, LR に下腿を前方に引き寄せることによる衝撃吸収, 下方から前方への運動量変換 (ヒールロッカー) の補助, 遊脚期にトゥクリアランス確保による躓き防止を担う。

(2) 歩行シーケンス

[階段昇段]

Fig.4 (a) に階段昇段時のシーケンスを示す。なお, 記述がない限り歩行周期は義足側のものとする。初期接地 (Initial Contact 以降 IC) 時, 膝関節屈曲/足関節底屈状態で上段に接地する。接地後 FCV を手動にて閉鎖する。

(i) 立脚期中, 足関節背屈と連動して膝関節が伸展し, 身体を上方へ移動させる。

(ii) 遊脚期, 義足側の股関節屈曲と対側の膝/足関節伸展により上段に接地する。

[階段降段]

Fig.4 (b) に階段降段時のシーケンスを示す。

(i) IC 時, 膝関節屈曲/足関節背屈状態で下段に接地する。

(ii) 立脚期, 足関節背屈と連動して膝関節屈曲を妨げ, 体重を支える。

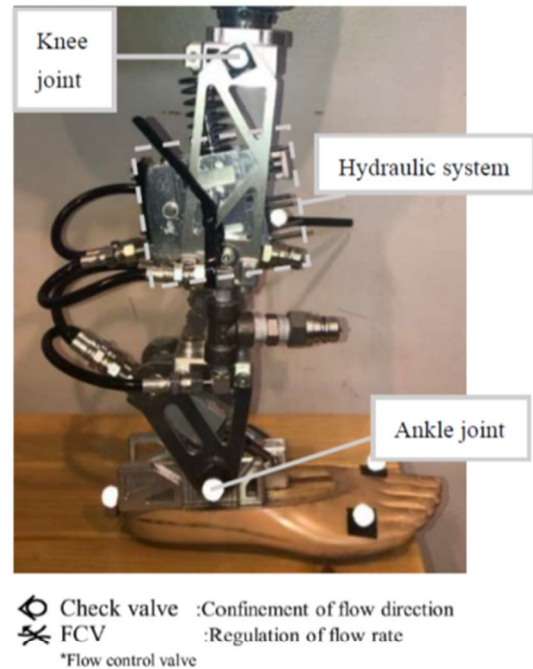


Fig.1 Appearance of our AKP

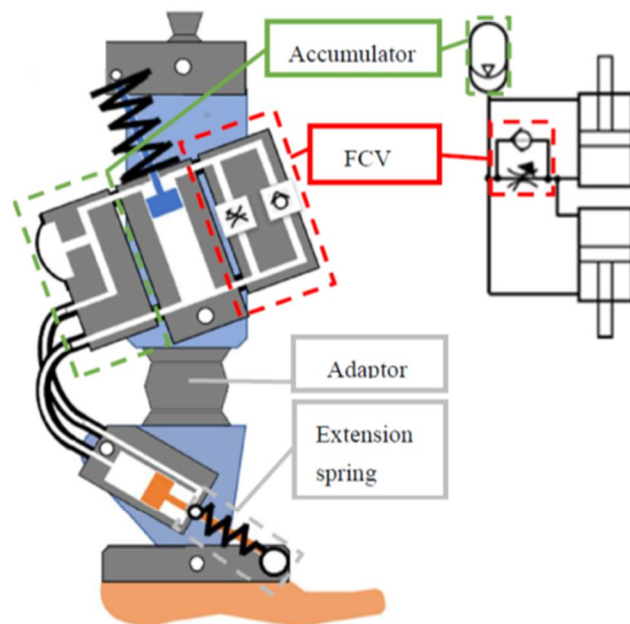


Fig.2 Structure model of AKP

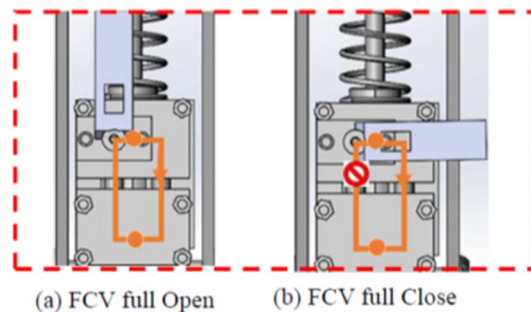


Fig.3 Flow control by the check valve

(iii) 遊脚期, 義足側の股関節屈曲と反対側の膝/足関節屈曲により下段に接地する。

(3) 歩行実験 条件

実験機の検証として階段昇段, 階段降段の2 試技における膝関節の屈伸, 足関節の底背屈角度の時間変位を測定した([東海大学倫理委員会承認番号: 18127])。

実験には赤外線カメラ11 台と3D モーションキャプチャーシステム (Mac3D system, Motion analysis) を用いた。モーションキャプチャーのマーカー貼付位置は被験者の解剖学的骨棘上点と末端部39 点 (SIMM モデル, 義足は対応する位置) と実験機膝上部閉軸両端 2 点とする。被験者は非切断者の男性 (年齢23, 身長174[cm], 体重80[kg]) で, 非切断者用の模擬ソケットを用いて右脚に実験機を装着した(Fig. 5)。階段の段数は昇り4 段, 降り2 段とし, 蹴上, 踏面をそれぞれ0.18 [m], 0.28[m]とし, 階段降段時は手摺を使用した。解析範囲は階段昇段時の2段目から4段目, 降段時の1段目から地面までとし, 右脚ICから次周期の右脚IC直前までの1歩行周期 (Gait cycle 以降GC) とする。

4. 研究成果

(1) 歩行実験結果

Fig.6 に各関節の屈伸, 底背屈の定義を, Fig.7 に階段昇段・降段時の関節角度の時間変位, Fig.8 に各 GC 時の動作を示す。Fig.7 は本義足, 非切断者の測定データを比較し考察する。膝, 足関節中心は内外側の測定点の midpoint, 股関節中心は Bell 等の式より導出した。

[階段昇段]

0 ~ 30%GC 間は絞り弁の操作を行うため, 非切断者の動作とは異なる。

(a) 膝関節: 絞り弁閉鎖 ~ 立脚終期(30 ~ 75%

GC)に大きく伸展し, 遊脚期から IC までわずかに伸展した。

(b) 足関節: 絞り弁閉鎖 ~ 立脚終期(40 ~ 70%GC)に大きく背屈し, 90 ~ 100%GC に底屈した。

[階段降段]

(a) 膝関節: 絞り弁を 75%程度閉鎖した状態で固定, 40~100%GC 間で非切断者と比べて緩やかな屈曲伸展が確認できた。

(b) 足関節: 上記の絞り量の関係から IC 時(0%GC)の底屈不足, 引張バネの作用により 65%GC

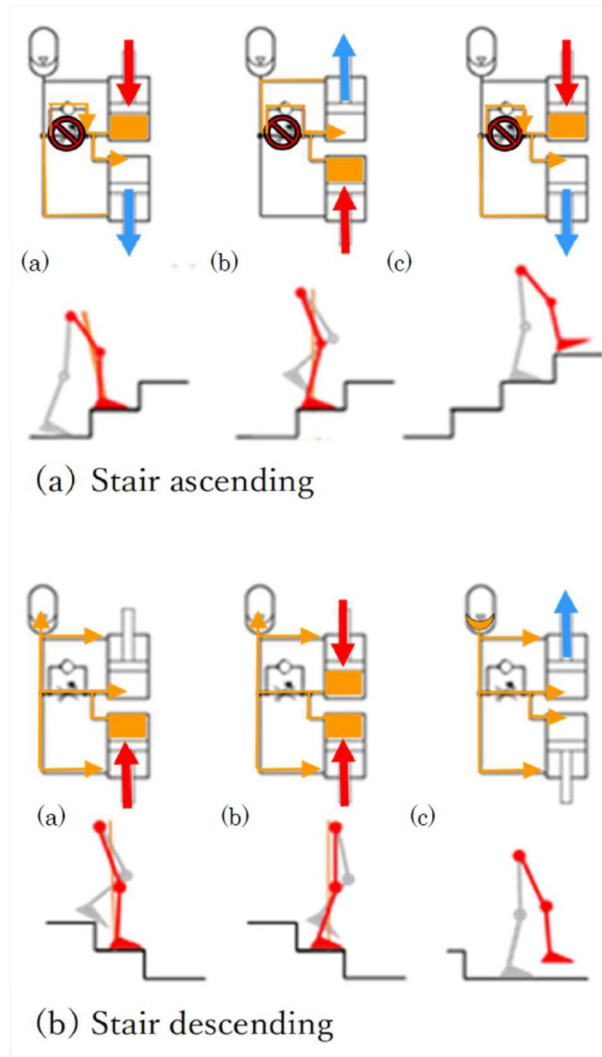


Fig.4 Walking sequences on ascending/descending stairs

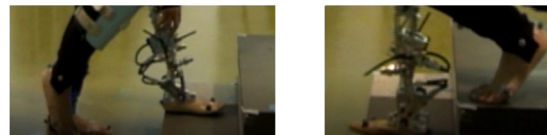


Fig.5 Subject during experiments

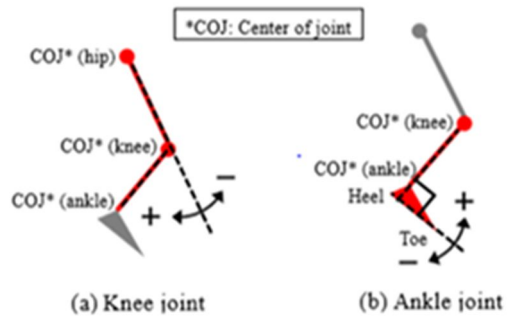


Fig.6 Definition of joint angles

の背屈不足が見られたが、全体的に非切断者に近い底背屈運動が確認できた。

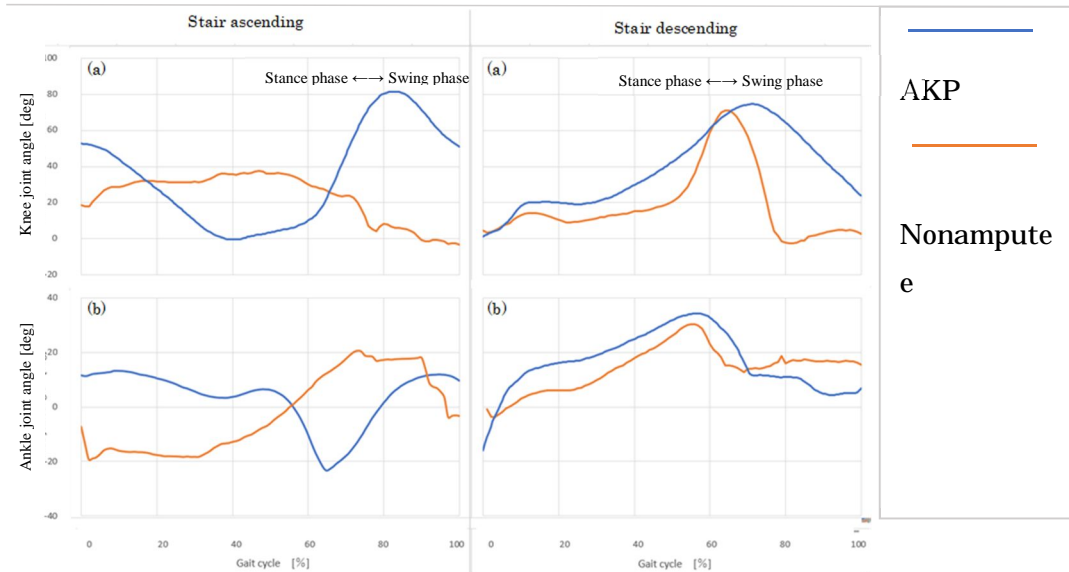


Fig. 7 Stick pictures of the AKP's walking on the stairs

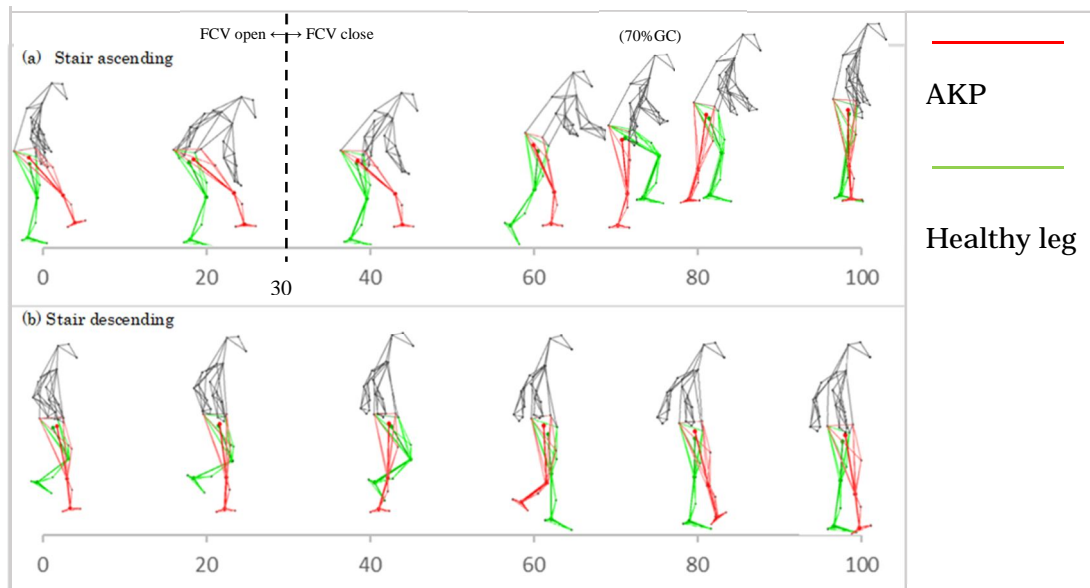


Fig. 8 Stick pictures of the AKP's walking on the stairs

(2) 考察

実験機は交互歩行による階段昇段、階段降段を可能とし、要求(a)、(c)を達成した。しかし、階段昇段時、足関節屈曲角度と膝関節伸展の関係から前傾姿勢となり、非切断者の歩行とは異なる。これは足関節の背屈と連動して膝関節の伸展が起きるためであるが、立脚期における膝関節の伸展角度が 24[deg]程度と小さく、油圧回路内部のオイルリークやエアの混入による連動性の低下が考えられる。改善策としては膝シリンダと足シリンダの容積比を変更し、階段昇段立脚期の足関節背屈角度を小さくする、油圧システム内部の、特に可動部は流出しやすいため絞り弁の密閉方法の改良等が考えられる。

但し、階段昇段立脚期の膝関節トルクは膝シリンダと足シリンダの内径の比によって決まるため、義足使用者に与える身体的負担を考慮する必要がある、必ずしも非切断者の歩行が義足歩行の理想的なモデルとは成り得ない。そのため、最適な挙動を取らせる必要がある、義足使用者の主観的評価、関節トルク等の客観的評価が今後必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Reo Takahashi, T.Kikuchi, K. Igarashi, Y. Fukuzawa, Y. Saitou and K. Koganezawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Above-Knee Prosthesis for Stairs Ascending/Descending -New Design for Practical Usage-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration	6. 最初と最後の頁 777-783
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤野良太、菊地 喬之、小金澤 鋼一	4. 巻 24
2. 論文標題 膝関節と足関節の運動による階段昇降可能な無動力大腿義足の提案	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 バイメカニズム	6. 最初と最後の頁 115-123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayuki Kikuchi, Ryota Fujino, Kenta Igarashi and Koichi Koganezawa	4. 巻 Vol.30, No.6
2. 論文標題 Non-energized Above Knee Prosthesis Enabling Stairs Ascending and Descending with Hydraulic Flow Controller	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 892-899
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayuki Kikuchi, Ryota Fujino, Kenta Igarashi and Koichi Koganezawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Non-energized Above Knee Prosthesis for Stairs Walking with Synergetic Interaction between Knee and Ankle Joints	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics	6. 最初と最後の頁 674-679
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayuki Kikuchi, Ryota Fujino, Kenta Igarashi and Koichi Koganezawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Above knee prosthesis for ascending/descending stairs with no external energy source	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 9th Asian Conference on Multibody Dynamics	6. 最初と最後の頁 28-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 高橋 澗生, 齊藤 靖, 福沢 祐二, 荒川 拓也, 五十嵐 健太, 小金澤 鋼一
2. 発表標題 階段昇降可能な無動力油圧システムを有する大腿義足
3. 学会等名 第41回バイオメカニズム学術講演会 予稿集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 澗生, 齊藤 靖, 福沢 祐二, 小金澤 鋼一
2. 発表標題 階段昇降可能な無動力油圧システムを有する大腿義足
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会S I部門講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 歩行補助装置	発明者 齊藤 靖、福沢祐二、 荒川拓也、小金澤鋼 一、高橋 澗生	権利者 KYB-YS株式会 社、学校法人東 海大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2021-014333	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 歩行補助装置	発明者 齋藤靖、小林信行、 福沢裕二、西沢真 一、小金澤鋼一、菊	権利者 KYB-YS株式会 社、学校法人東 海大学
産業財産権の種類、番号 特許、2019-161098	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	山田 洋 (Yamada Hiroshi) (30372949)	東海大学・体育学部・教授 (32644)	

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
---------	---------