

令和元年6月5日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04302

研究課題名(和文) 受動的力学機序を規範としたミニマル2脚歩行・走行機構の開発

研究課題名(英文) Development of Minimal Two-legged Walking and Running Mechanism Based on Passive Dynamical Mechanism

研究代表者

佐野 明人 (Sano, Akihito)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80196295

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、蛇管ワイヤによる遠隔手動操作をベースに最小限の介入によってミニマル操作ポイントを見出し、より良く歩行・走行できる2脚機構を開発した。簡単な介入操作以外は受動的力学機序を規範とした。新しい骨盤・脊椎機構により上体と脚が上手く相互作用し滑らかな運動を達成し、より自立性の高い3次元平地歩行を実現した。また、アスリート的な高速走行を実現し、ヒトのレバー操作をパワーアシストから自動操作に転換してヒトが一切介入しない完全自動走行を達成した。さらに、受動歩行は歩ける原理が存在しロバスト性もあるが、単なる自然現象であるが故に調子維持などで新たなデータ駆動型手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

受動的な力学機序(力学メカニズム)を規範とすることは普遍性があり、これを持続的に発展させたことは学術的意義がある。本研究では、最小限の介入(アシスト)によって、より良く歩行・走行できるようにした。思い通りに動かせたではなく、より良く動いてくれたかを重視した。また、受動歩行はヒト(高齢者)にも通じる歩行機構の繊細さがしっかり表現されており、貴重なデータとしてデータ駆動型手法が活かせ、歩行支援などに応用できる可能性があり社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we found a minimal operation point with minimal intervention based on remote manual operation with tube-wire, and developed a two-legged mechanism that can walk and run better. Except for simple interventions, passive dynamical mechanisms were the criterion. The new pelvis-spine mechanism allows the upper body and legs to interact well and achieve smooth movement, achieving more autonomous 3D level-ground walking. In addition, athlete-like high-speed running was realized, and the lever operation of human being was changed from power assist to automatic operation, achieving completely automatic running without human intervention. Furthermore, although passive walking has the principle of being able to walk and has robustness, we proposed a new data-driven method for maintaining walking condition.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ロボティクス 受動的力学機序 歩行・走行 データ駆動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 2015年のDARPA Robotics Challenge (DRC) Finalsでは、Boston Dynamics社が複数供給したヒューマノイドAtlasや我が国から参戦したロボットなどが転倒の苦境に立たされ、2足歩行制御の難しさが改めて浮き彫りになった。Boston DynamicsやSCHAFTなどのベンチャー企業の活発な動きの中、我が国においては、100年後にも残る歩行・走行ロボット技術の開発を目指すべきである。そのキーテクノロジーが「受動歩行・走行技術」である。

(2) ヒューマノイドに代表される歩行・走行ロボットは最先端テクノロジーの結晶であり、その制御の要になっているのがZMP (Zero Moment Point) である。ZMP規範の歩行制御方法では、高効率を実現することは困難であり、またヒトの歩容などとも大きく異なる。一方、受動歩行ロボットは、モータ、センサおよび制御を一切用いずに、緩やかな下りスロープを歩くことができる。また、エネルギー効率が高いことで知られ、ヒトの歩行に近いとも言われる。研究代表者らは、10年以上に亘り受動歩行の安定化原理および脚の振り運動に関わる力学的メカニズムの解明と独自開発のロボットによる実機実証を積極的に進めて来た。

ロボットを支えながら、脚に位相差を付けてスロープに解き放つと力強く歩み出す。ロボットが手元から離れて行く時、本質的に「歩ける」ことを実感する。受動歩行は、重力効果のみによって、遊脚膝が自然に曲がり、脚の振り抜きが行われる。脚軌道があらかじめ決められているわけではなく、ロボットのもつダイナミクスと環境との相互作用のみによって歩容を生成する。したがって、動いているけれども、必ずしも動かしているわけではない。

(3) 世界的研究拠点としては、コーネル大学(米国)やデルフト大学(オランダ)が挙げられる。フルボディを有し、3次元の2脚受動歩行あるいは受動歩行を規範とした能動歩行を実現している。受動歩行に関しては、2009年、世界で初めて東北大学のチームが実機により成功させた。国外では、2005年から毎年、受動歩行等に関する専門会議Dynamic Walkingが欧米で開催されている。国内では、同じく2005年から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において、受動的歩行に関するOSが企画され活発な議論を重ねていた。また、2012年からは、OS「受動歩行の新展開」が立ち上げられ、工学的応用研究の重要性も指摘され始めた。特に、ヒト歩行機能の再建に向け、ロボット工学などの工学的観点からのアプローチが盛んになり始めた。

2. 研究の目的

(1) 受動的な力学機序(力学メカニズム)を規範とすることは普遍性があり、これを持続的に発展させる意義がある。本研究では、最小限の介入(アシスト)によって、より良く歩行・走行できるようにする。なお、思い通りに動かせたではなく、より良く動いてくれたかを重視する。さらに、発展段階のロボットは、調子の良し悪しがあり、不意に転倒するなどの側面を持っているが、ヒトにも通じる歩行機構の繊細さがしっかり表現されていると捉えることができる。このような運動データは、他に類をみない貴重なデータである。

(2) 本研究では、受動的な力学機序を規範として、ミニマルな2脚歩行・走行機構を次の三つの観点から開発し、実機実験によりその有用性を示す。ミニマルな介入手法の確立として、ヒトによるミニマルな介入(手動操作型)によって、2脚ロボットがより良く歩行・走行できるようにする。能動システムへの過度の依存や力技の能動制御を回避することで、必然的に自然な動きと高いエネルギー効率を担保する。データ駆動型手法の確立として、有用なデータを適切に取得できる実験環境を整備し、データ駆動型アプローチを導入する。得られたデータを深層学習等の手法を使って、ロボットの調子や転倒に至るケースを特徴量と共にNN(ニューラルネットワーク)により学習して獲得する。また、で検討する種々の手動操作スキルを学習対象とする。ミニマルな支援手法において、ミニマル・デザインの思想は、歩行支援機に強く望まれる。なお、受動歩行由来の無動力歩行支援に関する研究は、社会的意義が極めて高い。

3. 研究の方法

(1) 実験者がロボットの歩行・走行に介入し、その状態を体(触覚)で感じながら改良を図ってきたことは、通常のロボット開発プロセスとは大きく異なり、独自性が高い。ただし、実験者が直接ロボットに触れてアシストする場合は、アクチュエータを介した能動化(自立化)への移行が困難である。そこで、蛇管ワイヤによる遠隔手動操作を積極的に導入し、ミニマル操作ポイントを見出す。その後、ヒトによる操作スキルを順次アクチュエータ制御に置き換え、最終的にこれをロボットに搭載して自立化する。一見遠回りに見えるが有望なアプローチだと確信している。なお、対象とする平地歩行、3次元歩行および高速走行では、簡単な介入操作以外は全て受動的な振る舞いをさせ、本研究の主題である受動的力学機序を規範とする。

(2) これまで、ヒト歩行における下記の3特性に着目して平地歩行の実現を図ってきた。

上体が常に鉛直に保たれている(上体鉛直保持)。

遊脚大腿部がある一定の角度で保持されて着地する(遊脚大腿部保持)。

平地でも支持脚を前方に転倒させて歩行が可能(平地歩行)。

これらの3特性は相互に担保し合っている。たとえば、大腿部後方と上体に弾性体を配置し、着地時の前傾を抑制しつつ蓄積された弾性エネルギーを支持脚前倒に利用する。また、遊脚大腿部を着地前にある角度で保持するためには、何らかの保持力が必要となる。そこで、レバー

操作による蛇管ワイヤ駆動により遊脚大腿部を保持して平地歩行を行わせているが、これまで安定性や効率性が不十分であった。また、上体が前傾するなどの変動を伴っており、さらなる改良が必要である。そこで、ヒト足機構や骨盤機構などを改良すると共に新たな3次元歩行ロボットを開発する。

たとえば、アキレス腱を模擬した機構を導入して着地時に衝撃力を吸収し、蓄積された弾性エネルギーにより滑らかな重心移動を可能としてより効率的な歩行が達成できるか検証する。また、これまでヒトの骨盤回旋に伴う臀部の左右揺動を模擬し、スロープ上で10歩の3次元完全受動歩行を達成した。しかし、ロバスタ性が低いのが問題となっている。また、ヒトの足裏の筋は、可動域が皮膚によって制限された弾性体であると捉えることができる。そこで、本研究では、拇指球および小指球の粘弾性特性に着目する。さらに、得られたワイヤ駆動の知見をミニマルな歩行支援へと活かす方策も検討する。

(3) 走行ロボットは、蛇管ワイヤで外部から実験者によりレバー操作する。実験者が着地のタイミングを見計らってレバーを引くと、走行ロボットがスロープ面を蹴る。ここで、着地の衝突現象でワイヤを介して実験者の手に伸張反射が起きている可能性もある。本研究では、伸張反射を含めたヒトの操作スキルを開発初期段階として最大限活用する。なお、トレッドミル上で走行ロボットが後方へ流れてしまうため、これまでは実験者がこれを軽く防いでいる。この問題を解決し、より自立性の高い安定した高速走行を目指す。

平行してヒトによる操作を順次アクチュエータ制御に置き換える。なお、素早く滑らかに歩行・走行するとより軽やかな手動操作ですむ傾向にあるが、歩行に比べて走行のアクチュエータは高応答性が求められる。

(4) 受動歩行は、調子の良し悪しがあり、不意に転倒するなどの側面を持っているが、見方によっては、ヒトにも通じる歩行機構の繊細さがしっかり表現されている。これは、繰り返し精度の高い産業用ロボットや高度に制御されたヒューマノイドロボットにはない特徴である。また、調子の良し悪しを人為的に作り出すのは作為的で無意味である。さらに、高齢者の歩行中の転倒はQOLの著しい低下につながるが、簡単には転倒データを取得することはできない。そこで、有用なデータを適切に取得できる実験環境を整備し、深層学習等のデータ駆動型アプローチを導入する。

4. 研究成果

(1) 歩行に関しては、まず外部フレームにより重力補償された揺動慣性体(3.0[kg])を脊椎に接続し、実験者による姿勢アシストのない3次元平地歩行を実現した(図1参照)。ここで、足裏の拇指球や小指球には、形状や素材等いろいろ工夫を凝らし、またこれまでは脚はアルミ製であったが3Dプリンタによるカーボン製に切り替えた。速度は3.5[km/h]で49歩の連続歩行にも成功した。

ヒトが歩くと4.0[km/h]前後が最も歩き易く、ピッチはあまり変化せず脚の伸展角度(歩幅)が歩行速度に伴い増大していく。そこで、ピッチを一定にしてレバー操作のストローク、すなわち股関節の伸展角度

を増大させた。なお、脚の振り出しと連動して骨盤が回旋することで70[cm]程度の大きなストライドを生んでいる。従来は、上体に見立てた剛体支柱におもりを付けることはあったが、本機構では脊椎のしなやかさと揺動慣性体の慣性効果が実験者の姿勢アシストを不要にしたと考えている。しかし、大掛かりな外部フレームに接続されており、その分自立性が低かった。

そこで次に、外部との接続を排除して自立性を高めた。おもりを含めた上体の質量は1.5[kg]である。なお、脊椎前方に蛇管ワイヤを左右2本、脊椎後方に輪ゴムをそれぞれ配置し、ワイヤをレバー操作することで、やや後傾した上体(脊椎)が着地の少し後にやや前傾するようにした。なお、揺動慣性体ありの実験では、股関節カム・バネ機構を一旦取り外したが(代替機構の導入)、当該機構は歩幅(脚可動域)の調整および脚の振り出し促進に加え、股関節周りの剛性を効果的に高める上で重要であると考えて復活させた。

図2に3次元平地歩行の様子の一例を示す。ベルト速度は3.5[km/h]である。外部フレームや揺動慣性体はなく、数歩ではあるがより自立性の高いミニマルな歩行を実現した。なお、新しい脊椎機構により上体と脚が上手く相互作用し、滑らかな脚運動を実現している。これまでは一瞬後退する動きも見られた。また、おもりのある上体上端の辺りの動きは、頭をもたげるようにはならず比較的並進に近い動きとなっている。より安定した連続歩行を達成するにはまだ課題があるが、歩行機の横の実験者の介入はこれまでになく小さくなっている。これは、股

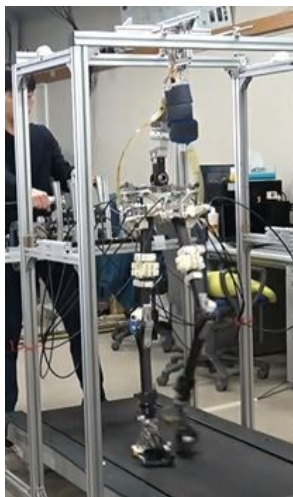


図1 慣性体を用いた歩行



図2 3次元平地歩行

関節周りの剛性が高まったことから歩行機全体がしっかりとて、骨盤の前後傾が緩和された感じで安定感が高まったと考えられる。また、ロボットにアクチュエータを搭載しての実験も色々試みたが、ヒトによるレバー操作の代替までには至らなかった。ワイヤ駆動の知見を歩行支援へと活かすには、さらなる検討が必要であった。

(2) 走行に関しては、最小限(ミニマル)のヒトの介入のみで、遠隔蛇管ワイヤ駆動し、弾性体やバネ付ワイヤ拘束(アキレス腱など)を複合して用いることで、受動的な振る舞いを規範とした走行を実現した。まず、姿勢アシストのない平地走行を実現した。速度は12.0[km/h]、平均ピッチは4.12であり、連続50歩程度の安定走行を達成した(図3参照)。なお、完全には上体の後傾を防げておらず、紐を介して前方から水おもり(0.5~1.0[kg]程度)での抑制を掛けている。

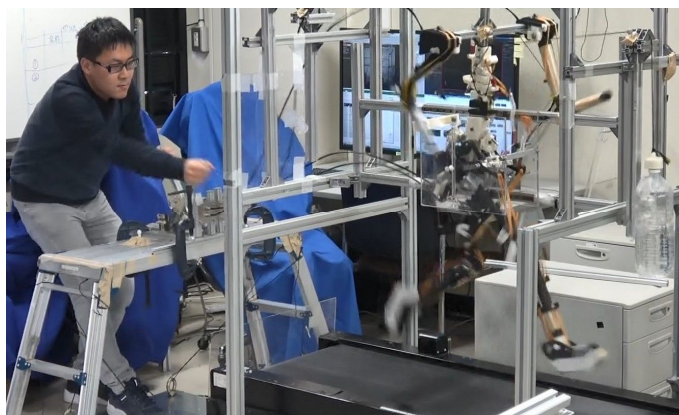


図3 高速走行

当初、脚の運動を腕の操作で行うのは直感的でなく良くないと思われたが、ヒトはかかと着地でブレーキが掛かるような脚運動になりがちなので、むしろ腕によって脚をしっかりスウィングさせる方が理に適っていた。また、レバー操作という自在に歩行機を動かせるイメージを抱くかもしれないが、実際は歩行機の動きに操作者が引き込まれてしまう感じになる。

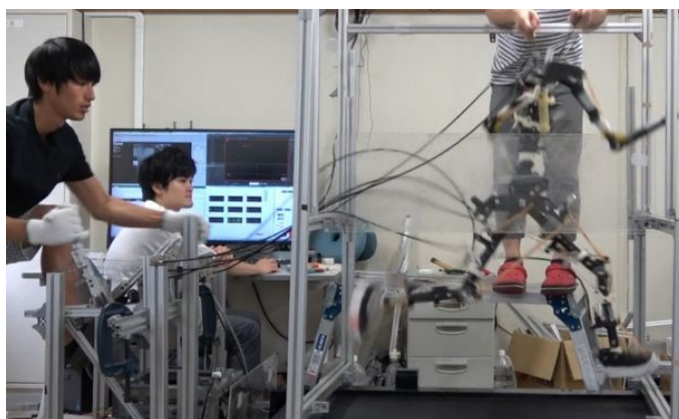


図4 パワーアシスト走行

次に、通常レバー操作で操作トルクを測定し、測定データを基にレバー角度および角速度(正負)に対応したフィードフォワード制御によるパワーアシスト(左脚)を行った。実験の結果、操作に違和感はなく、アスリートの様なダイナミックな走行を実現した(図4参照)。また、操作力に余裕が生まれたことから力任せの操作にならず、より繊細な操作が可能になった。もちろん、より長い時間の操作も可能となった。

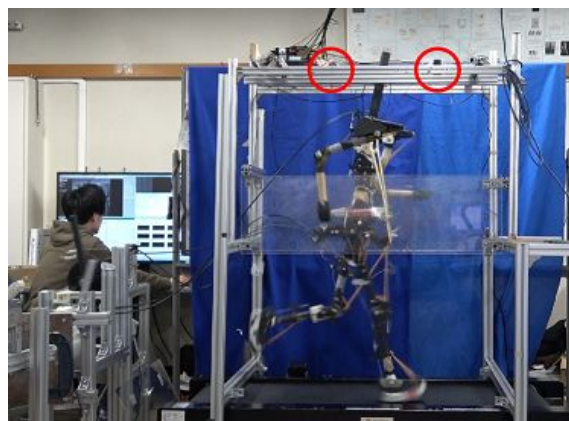


図5 自動走行

さらに、ヒトによる遠隔蛇管ワイヤのレバー操作を電動化による自動操作に転換した。左レバーはレバー角度に対するトルクパターンを入力としたフィードフォワード制御を行い、右レバーは逆位相で位置制御することとした。なお、位置制御には、プロクシベースト・スライディングモード制御を採用した。効き足の如く左右で制御モードが異なることは、一つの可能性としてあり得る。また合わせて、上方からの紐アシストを自動操作に切り替えた。レバー操作用DDモータは左側に配置され、蛇管ワイヤがロボット後方から大腿部および腕部に接続されている。トレッドミルを囲むように設置されたアルミフレームに2次元拘束用のアクリルボードが取り付けられている。そこで、ヒトアシストを考慮して当該フレームの上部2箇所(図5の赤丸)、サーボモータを配置し、プーリを介してケブラー紐を自動操作した。実験の結果、ヒトが一切介入しない完全自動走行を実現した(図5参照)。これにより、今後再現性の向上や定量的な解析が可能になると考えている。

(3) 統合実験環境で各種データが蓄積され、安定化制御、動作推定と転倒予測、異常検知による破損予測、調子評価などの領域でデータ駆動型アプローチを活かした。受動歩行は歩ける原理が存在しロバスタ性もあるが、単なる自然現象であるが故に、同じように歩いていても調子の良し悪しがあり、転倒は不意に起きる。研究室の等身大の受動歩行機は数時間の連続歩行が可能であり、実環境のみでも多様なデータが得られ強化学習を効率的に行えると考えた。

Variational Auto Encoder (VAE) は、教師なし学習で生成モデルを作成する際に用いられるモデルであり、歩行(走行)の調子の良いときの学習データの本質的特徴を取得することができる。入力とこの学習モデルの出力との誤差を調子の評価値と捉える。図6に受動歩行の調子の様子を示す。色が濃くなるほど調子が悪化し、最後に転倒に至るケースである。歩行実験では普通に歩いているように見えるが、調子のゆらぎや転倒の予兆が把握できる。これまで歩行の調子を整えるために、状況に応じて各種調整を実験前に実験者の感覚を頼りに行っていた。本研究では、歩行の調子が評価値で表現され、良い調子を維持するように深層強化学習を行い、受動歩行機のパネやダンパおよびスロープ角度の微調整をオンラインで行うことが可能となった(図7参照)。

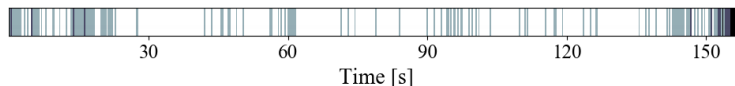


図6 受動歩行の調子の様子



図7 受動歩行の調子の維持

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計34件)

秋田武蔵, 小林和真, 岡本一将, 鈴木幹久, 棚橋亮太, 服部誠司, 池俣吉人, 佐野明人, 受動的力学機序を規範としたアスリートのな走行 - パワーアシストから自動操作に向けて -, 第19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, 2018年12月13日, 大阪.

鈴木幹久, 服部誠司, 小林和真, 棚橋亮太, 池俣吉人, 佐野明人, 受動的力学機序を規範としたアスリートのな走行 - 膝を活用した蹴り動作 -, 第19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, 2018年12月13日, 大阪.

木田宏平, 富田真穂, 鈴木涼平, 池俣吉人, 佐野明人, 受動歩行に対するデータ駆動型アプローチ - オープン化を念頭に置いた実験システム -, 第19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, 2018年12月13日, 大阪.

富田真穂, 木田宏平, 鈴木涼平, 池俣吉人, 佐野明人, 受動歩行に対するデータ駆動型アプローチ - 機械学習を用いた歩行の調子評価 -, 第19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, 2018年12月13日, 大阪.

丹羽貴士, 野々下絢斗, 池俣吉人, 佐野明人, 受動的力学機序を規範とした3次元平地歩行の自立性向上, 第19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, 2018年12月13日, 大阪.

服部誠司, 秋田武蔵, 棚橋亮太, 池俣吉人, 佐野明人, 受動的力学機序を規範としたアスリートのな走行 - 走行中の腕振り制御 -, 第19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, 2018年12月13日, 大阪.

岩本好未, 佐野明人, 無動力歩行支援機の膝粘性と歩行タイプに関する一考察, 第19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, 2018年12月13日, 大阪.

池俣吉人, 佐野明人, アスリートの走行運動の基礎解析, 第19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, 2018年12月13日, 大阪.

佐野明人, 秋田武蔵, 富田真穂, 木田宏平, 受動的力学機序を規範としたヒトに近い歩行・走行におけるデータ駆動型アプローチ, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018, 2018年6月2日, 北九州.

野々下絢斗, 小川尊寛, 丹羽貴士, 池俣吉人, 佐野明人, 受動的力学機序を規範としたヒトに近い3次元平地歩行の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018, 2018年6月2日, 北九州.

小林和真, 錦見祥平, 秋田武蔵, 棚橋亮太, 服部誠司, 鈴木幹久, 池俣吉人, 佐野明人, 受動的力学機序を規範としたヒトに近い高速な平地歩行の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018, 2018年6月2日, 北九州.

池俣吉人, 佐野明人, ヒト歩行の簡易モデルにおける平衡点とその安定性の解析, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018, 2018年6月2日, 北九州.

佐野明人, ヒトに近い歩行におけるダイナミクスベース深層強化学習に向けて, 第18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, 2017年12月20日, 仙台.

小川尊寛, 丹羽貴士, 野々下絢斗, 池俣吉人, 佐野明人, ヒトに近い速い3次元歩行 - 手動ワイヤ操作 -, 第18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, 2017年12月20日, 仙台.

錦見祥平, 秋田武蔵, 小林和真, 池俣吉人, 佐野明人, ヒトに近い高速な平地歩行 - 手動ワ

イヤ操作 - , 第 18 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, 2017 年 12 月 20 日, 仙台 .

伊勢佳祐, 小川尊寛, 丹羽貴士, 池俣吉人, 佐野明人, ミニマルな介入によるヒトに近い 3 次元歩行, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2017 年 5 月 10 日, 郡山 .

纈織修平, 錦見祥平, 秋田武蔵, 橋本翔, 池俣吉人, 佐野明人, ミニマルな介入によるヒトに近い高速走行, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2017 年 5 月 10 日, 郡山 .

池俣吉人, 中山裕基, 新井翔太, 小林直也, 佐野明人, 受動歩行機による超高効率な水平面歩行の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2017 年 5 月 10 日, 郡山 .

池俣吉人, 佐野明人, ヒト走行の簡易モデルから導かれる極速走行とその実現可能性, 第 17 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, 2016 年 12 月 15 日, 札幌 .

佐野明人, 池俣吉人, 歩行・走行現象と人工暗黙知, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, 2016 年 9 月 7 日, 山形 .

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

(1) 受賞

秋田武蔵, 小林和真, 岡本一将, 鈴木幹久, 棚橋亮太, 服部誠司, 池俣吉人, 佐野明人, 受動的力学機序を規範としたアスリートのな走行 - パワーアシストから自動操作に向けて -, 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 SI2018 優秀講演賞 2019 年 3 月 5 日 .

鈴木幹久, 服部誠司, 小林和真, 棚橋亮太, 池俣吉人, 佐野明人, 受動的力学機序を規範としたアスリートのな走行 - 膝を活用した蹴り動作 -, 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 SI2018 優秀講演賞, 2019 年 3 月 5 日 .

(2) 招待講演

佐野明人, 歩行・走行ロボットと ACSIVE・aLQ の双方向開発, 第 17 回日本フットケア学会年次学術集会, 2019 年 2 月 10 日, 名古屋 .

佐野明人, 重力で歩き, 重力で倒れる, 日本人間工学会東海支部 2018 年研究大会, 2018 年 10 月 20 日, 津 .

佐野明人, 歩行・走行のダイナミクスから歩行支援へ, 第 62 回システム制御情報学会研究発表講演会, 2018 年 5 月 18 日, 京都 .

佐野明人, ヒトに近い走行におけるダイナミクスベースド深層強化学習に向けて, 第 18 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, 2017 年 12 月 20 日, 仙台 .

Akihito Sano, Wearable Walking Assist Device ACSIVE based on Passive Walking, 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2017 年 9 月 24 日, Vancouver .

(3) イベントデモ

佐野明人 岩本好未 無動力歩行支援機 ACSIVE, 日中大学フェア&フォーラム in CHINA 2018, 2018 年 5 月 12 日, 広州 .

佐野明人, ロボットってなんだろう?, 名古屋市科学館, 2017 年 7 月 15 日, 名古屋 .

(4) テレビ番組放映など

朝日新聞「先端人」, 2018 年 6 月 17 日 .

BS ジャパン「未来 EYES」, 2017 年 9 月 24 日 .

テレビ朝日「スーパー J チャンネル」, 2017 年 6 月 17 日 .

(5) ホームページ

<http://rah.web.nitech.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 池俣 吉人

ローマ字氏名: IKEMATA, yoshito

所属研究機関名: 帝京大学

部局名: 理工学部

職名: 講師

研究者番号 (8 桁): 70467356