

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289061

研究課題名(和文) 受動的力学機序を活かしたヒト規範型歩行・走行ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of Human-referred Walking and Running Robots 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) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、受動的な力学機序を活かし、ヒトの歩容を規範とした歩行・走行ロボットを開発した。また、ヒト歩行の特徴を解析的に明らかにした。従来の受動ロボットでは実現が困難であるヒト固有の特徴を考慮し、格段にヒトに近い3次元受動歩行および平地歩行を実現した。また、時速14.5kmの滑らかでダイナミックな連続走行を実現した。若干のアシストを伴っているものがあるが、モータ、センサおよびコンピュータを用いず、過度の能動制御は避けて受動的な力学メカニズムを最大限活かすことができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, the walking and running robots which referred a gait of human being a model have been developed by usage of a passive dynamical mechanism. Furthermore, the characteristics of the human walking were clarified analytically. By considering the specific characteristics of human having difficulty in realization with the conventional passive robot, the 3D autonomous passive walking on the slope and the walking with minimum assist on the level ground were accomplished. Those gait performance improved remarkably well. As high-speed locomotion, a natural, dynamic and continuous running of 14.5 km/h has been realized. Though some assists of human were accompanied, we avoided the excessive active control and were able to make use of passive dynamical mechanism without motor, sensor and computer to the maximum.

研究分野：ロボティクス

キーワード：受動歩行 受動走行 力学機序 ヒト規範型 ロボット

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内では、ヒューマノイドに代表される歩行・走行ロボットが、最先端テクノロジーの結晶として数々登場している。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・走行制御方法では、高効率を実現することは困難であり、またヒトの歩行・走行の様子とも異なる。一方、米国では、DARPA からの巨額の資金を背景に、軍用の脚式移動ロボットの開発が急ピッチで行われている。Boston Dynamics 社が開発した PETMAN は、高い運動性能および安定化性能が備わっており、一般社会からも非常に高い関心が寄せられている。しかし、やはりエネルギー効率は高いとは言えない。そこで、我が国においては、独自路線で 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) 受動歩行は、T. McGeer によって 1990 年に提唱され、脚軌道があらかじめ決められているわけではなく、歩行機のもつダイナミクスと環境との相互作用のみによって、理想とする自然な歩容を形成する。受動歩行ロボットは、アクチュエータ、センサおよび制御を一切用いずに、緩やかな下り坂を歩くことができる。これは、本質的に「歩ける」ことを意味している。したがって、受動歩行は、歩ける力学的原理(歩行の力学)を探究する上で、非常に重要である。また、受動歩行は自然でエネルギー効率が非常に高いことで知られ、ヒトの歩行に近い。

(3) 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において主要な研究成果を挙げている。特に国内外から高く評価されているのは、ヒトに近い歩行や走行を実機により実現し、一歩先行く独創的なロボット開発を持続的に行っていることにある。受動歩行研究の一環として歩行記録にチャレンジし、小型の歩行ロボットで 13 時間 45 分の連続歩行を達成し、2009 年 5 月「世界でも長く歩いた受動歩行ロボット」として、ギネス世界記録に認定された。本成果は、研究代表者らが見出した平衡点の大域的安定化原理に裏付けされたものであり、以降の研究の礎になっている。

2. 研究の目的

(1) 2010 年、アシスト受動歩行を提唱し、歩くアンドロイドなどに対して、人が適切なアシスト力(軽い力)を加えることで、平地歩行を含めた応用可能性を様々な視点から探求した。2012 年、ヒトサイズの膝有り 2 脚受動歩行ロボットにより、27 時間(13 万歩、72km)の連続歩行を達成した。本ロボットには、股関節バネ機構が組み込まれており、支持脚の膝折れや遊脚のつまずきなどによる転倒リスクが低減したことで飛躍的に記録が伸びた。歩くアンドロイドは、一見す

るとヒトの歩行と見間違えるほどであり、存在感や気配さえ感じる。しかし、実際に様々な観点から脚の動きを対比すると、これまで長らく再現が困難であった挙動がいくつか浮き彫りになってきた。そこで、本研究では、革新的な技術でこの差を埋めるべきとの考えに至った。走行においても同様である。また、アシスト受動歩行で歩行のダイナミクスを肌で感じることができたが、歩行を純粹に力学現象として扱う上では、やはりスロープ上での受動歩行の実験が不可欠であると判断した(原点回帰)。

(2) 本研究では、受動的な力学機序(力学メカニズム)を活かし、ヒトの歩容を規範とした歩行・走行ロボットを開発する。従来の受動歩行・走行ロボットでは困難である、すなわち、ヒト固有の特徴として、次の点が挙げられる。瞬間的でない脚の切換え現象(歩行・走行)、着地前の支持脚の倒れ込み抑制と遊脚大腿部の姿勢保持(歩行)、骨盤の回旋運動と効率的な蹴り動作(歩行・走行)、

効率的なエネルギー供給と利用(歩行・走行)。本研究期間内で、力学メカニズムを解明し、実際にロボットによりこれを実現する。ここで、力技の能動制御は避け、受動的な力学メカニズムを最大限活かす。さらに、歩行で 100 時間、走行で 50 歩を越える安定した歩行・走行を同時に達成する。

(3) 機構的な受動性に重きを置き、一から独自開発する歩行・走行ロボットで研究を推進する。ヒトっぽい歩行から脱却し、格段にヒトに近い歩行を達成する。獲得した受動歩行技術は、社会的ニーズが非常に高い歩行リハビリテーション・歩行支援への応用が可能である。一方、走行の実機実験は難易度が高く、走行スピードを活かした Bouncing Rod Dynamics に基づく走行技術は斬新な着眼点であり、的確なエネルギー供給が実現できれば、より安定な連続歩行が可能となると思われる。

3. 研究の方法

(1) 通常の受動歩行では、脚の切換えが瞬間的に行われるが、本研究では、まずヒト規範として両脚支持期を有する受動歩行を安定的に実現する。具体的には、受動歩行機特有の円弧足に代えて、ヒト形足に着目し、瞬間的でない脚の切換え現象を力学的に解明し、両脚支持期を有する安定な連続歩行を実現する。次に、着地前の支持脚の倒れ込み抑制や遊脚大腿部の姿勢保持を実現するために、力学的解析も含めて足首トルクの設計手法を確立し、実機実験でその有効性を確認する。なお、足機構は、着地の衝撃を繰り返し受けることから、衝撃吸収などにより耐久性を向上させ、確実に機能させる。また、足質量は遊脚の振り運動に大きく影響するため、軽量化を図る。

(2) 27 時間の連続歩行を達成したロボットには、足首関節バネ機構と同様の原理の股関

節バネ機構が搭載されている。この股関節バネ機構が発生する腰トルクにより、脚運動に加えて膝関節の屈曲・伸展が調整・制御できることが、力学的にわかっている。特に、膝関節への効果から、膝折れやつまづきなどによる転倒リスクが大幅に低減している。

通常、能動化する場合、関節を直接モータ駆動するが、この場合、減速機によりバックドライバビリティが低下するため、脚があくまでも受動的に振る舞うように、受動的な力学機序を活かしつつ、体幹（上体）側を能動的に制御することで、従来の完全受動では困難であったヒト固有の歩容特性を実現する。また、遊脚大腿部を最大に振り出した直後から当該姿勢を保持した受動歩行を実現する。なお、大腿部を保持することにより、下腿部の伸展速度が抑制でき、膝衝突が緩和されると考えられる。また、腰トルクを正確に計測することで、効率的なトルク伝達を行う。

(3) 受動歩行ロボットの股関節は同軸で連結されているのがほとんどであり、ゴリラ歩きと称されることがある。一方、歩くアンドロイドには、人のアシスト操作を前提にした骨盤の回旋機構が組み込まれており、ヒトらしい歩行ができるようになっているが、単独では歩くことができない。そこで、腰軸を左右独立にして機械要素で前後保持した骨盤を開発する。そして、体幹と脚の力学的な相互作用から、骨盤の回旋運動が発現するかを実験的に検証する。また、足先端に受動的な指部等の構築も含め、エネルギー効率を高めることができる蹴り動作の最適化を図る。最終的に、個々の開発機構をインテグレーションし、次世代の歩行ロボットを完成させる。

(4) 2008年、1脚受動走行機により、平地での5回の連続起こし回転を実現し、2012年、膝有り2脚走行ロボットにより、スロープ上で7歩の連続歩行に成功した。しかし、数年来、歩数が数歩に留まっており、大きな課題となっている。接地時間の短い歩行（30～40ms）の場合は、スロープ上と言えどもすぐに失速している可能性が高い。したがって、効果的なエネルギー供給による前進（水平）速度の維持が急務となっている。本研究では、ユニークな手法として、腰部のみを一定力で牽引するなどのアシスト歩行を導入し、適宜アシスト力の低減化に努める。

受動歩行の平衡点の解析から、水平速度の維持は、脚の鉛直着地および足先と床面との相対速度ゼロが条件である。しかし、跳ね返り係数が限りなくゼロに近い理想状態を前提にしているが、実際はそうではない。そこで、本研究では、着地姿勢や接地状態などに着目し水平速度の維持を図る。最終的に、50歩を越える安定したヒト規範型歩行を達成する。

4. 研究成果

(1) 図1に開発した平地歩行ロボットの歩行の様子を示す。中央の実験者は、ロボットの

左右バランスのみを取っている。脚長は0.9m、脚質量は5.5kg、上体は全長0.5m、質量は6kgである。本ロボットは、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いる。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、左右の大腿部後方と上体には弾性体であるウレタンシートが配置されており、着地時の前傾を抑制し、蓄積された弾性エネルギーが支持脚を前方に転倒させるのに利用される。

遊脚大腿部を着地前のある角度で保持するために、本ロボットでは遊脚大腿部の屈曲および支持脚大腿部の伸展が一对となっており、位相差付運動機構（1入力2出力）を介して、各対角脚を一つのレバーで蛇管ワイヤ駆動している。実験者（図1の左側に控えている）がレバーを引くと、まず遊脚大腿部に屈曲力が作用し、その後支持脚大腿部に伸展力が作用して、遊脚大腿部の姿勢を保持するものである。この簡単な手動操作でヒトに近い平地歩行を実現した。また、円弧足を蝶番を介して下腿部に連結し、アキレス腱を模擬したウレタンシートを配置して固定した。これにより、衝撃力が吸収されてより滑らかな重心移動が可能となった。

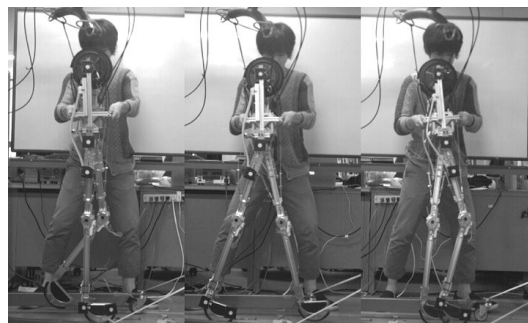


図1 平地歩行

さて、上記特性に基づいてモデル化すると、上体を有する支持脚の運動は、倒立振り子の運動と等価となった。さらに、特性から遊脚大腿部の姿勢保持角度が決まると、幾何学的関係から着地の姿勢角度が一意に決まる。このことから、ヒトの矢状面における歩行運動は、リムレスホイールの運動として扱うことができる。また、支持脚を前方に倒すためには、足首トルクもしくは相当トルクが必要となる。着地直後にエネルギーを瞬間的に供給して数値シミュレーションを行った結果、ヒト歩行の実験結果とよく一致した。そこで、エネルギー供給方法として後脚の蹴り運動に着目して、同運動をモデル化した。その結果、図2に示すように、数理モデルにより自由歩行を再現し、力学メカニズムを明らかにした。

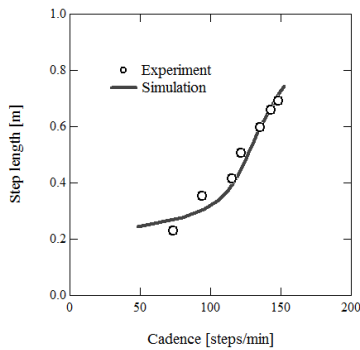


図2 ヒト自由歩行モデル

(2) 従来、受動歩行機の特徴の一つである円弧足を左右にも拡張することで、前額面内で固有振動を励起し、矢状面内の運動をシンクロさせて3次元歩行を実現するアプローチがある。これは、足部が3次元運動を主導していると言える。一方、本研究では、骨盤の回旋に伴う臀部の左右揺動に着目した。

図3に開発した3次元受動歩行ロボットの歩行の様子を示す。スロープ上で10歩の3次元完全受動歩行を実現した。骨盤回旋機構およびヒト形足機構を備えており、格段にヒトに近い歩行を達成した。ヒト形足により瞬間的でない脚の切換え現象を実現し、両脚支持期を有するヒト規範型歩行を達成した。また、円弧足とは異なりヒト足では前後2箇所接地グリップ可能なため、3次元歩行におけるヨー軸周りの旋回を抑制することができた。なお、構造設計の検討とマグネシウム合金の採用で、軽量化と高剛性を両立した。



図3 3次元受動歩行

ヒトの2脚3次元歩行の簡易モデルは、図4に示す3Dリムレスホイールとなる。足部は点形状であり、バネ要素を有していない。トレッドミル上で転がしたところ、左右方向に転倒することなく、姿勢をほぼ鉛直に保って、一定速度で転がり続けた。この実験結果は、着地時の左右足の間隔（または歩幅）を一定にすると、2脚3次元歩行（周期運動）は安定化することを示唆している。なお、最適な脚の左右幅とスロープ角度が存在する。左右幅を狭くし過ぎると、車輪のように徐々

に傾いて転倒する。また、スロープ角度を大きくし過ぎると、着地の衝撃により左右に大きく揺れて側方転倒することがわかった。さらに、モデル解析も行った。ここで、3Dリムレスホイールの運動を2次元運動に分けてモデル化するのではなく、3次元運動としてモデル化し、脚運動および脚の切換え現象の妥当性を確認した。

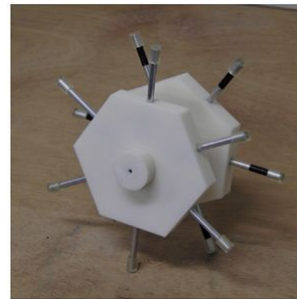


図4 3次元歩行モデル

3次元歩行機と平地歩行機を機構的にインテグレーションする道筋は付けられたと考えているが、さらに歩数増大など安定性向上が不可欠である。そこで、本研究では、ヒトの拇指球・小指球の機能が参考になると考えている。拇指球・小指球に相当する箇所に弾性体を取り付け、ワイヤ張力を利用して弾性体の剛性を変化させ、踏ん張り動作を実現した。その結果、拇指球により前傾の抑制効果が現れると同時に、膝折れの抑制効果も見られた。また、足首ロール軸周りの自由度凍結を解除し、ウレタンシートを配置した結果、左右方向の揺動が抑えられ、センタを維持し続けようとする現象が見られた。

(3) 本研究では、バウンス・ロッド・ダイナミクス（起こし回転）という現象に着目し、1本の紐を介して上方から外部モータによる単純な操作をして受動的な走行現象を引き出した（アシスト受動走行）。その後、自立性の高い受動的走行に向けたアプローチとして、足部ワイヤ駆動による蹴り動作を行った。図5に開発した走行ロボットの歩行の様子を示す。脚長は0.6m、質量は約4kgである。なお現状では、中央の実験者が、紐によりややアシストを行っている。記録的には、スロープ角度10degで、時速14.5km、歩数157歩を得ているが、完全自立には至っていない。

ヒト（実験者）の伸張反射も利用した手動型の足部ワイヤ駆動機構により、効率的にスロープ面を蹴ることが可能となった。足裏形状はヒト足を参考に、踵、土踏まずおよび拇指球のアーチ形状となっている。なお、拇指球から踵までの距離が脚長に対して約20%になっており（実験により最適化した結果）、ヒトのそれと近い。また、ワイヤ拘束機構（受動的力学機序）により、上体鉛直保持、脚の振り出し抑制・着地時の膝伸展保持、さらに両脚運動を同時に実現することで、極めてヒ

トに近いインパクトのある走行を達成した。また、従来に比べて水平速度の維持も良好となっている。なお、完全自立走行に向けての方策を継続して検討していく予定である。

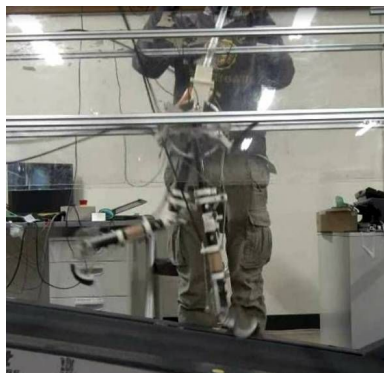


図 5 高速走行

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計26件)

小川尊寛,伊勢佳祐,池俣吉人,佐野明人,自由度凍結の解除と弾性体によるヒトに近い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2016,2016年6月10日,横浜

錦見祥平,纈纈修平,池俣吉人,佐野明人,自由度凍結の解除とワイヤ拘束によるヒトに近い走行,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2016,2016年6月10日,横浜

纈纈修平,錦見祥平,福永大輝,池俣吉人,佐野明人,自立性の高い受動的走行に向けた新アプローチ,第16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,2015年12月16日,名古屋【優秀講演賞受賞】

池俣吉人,佐野明人,平地歩行における移動効率の理論限界,第16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,2015年12月16日,名古屋

伊勢佳祐,小川尊寛,池俣吉人,佐野明人,安定な3次元歩行に向けた足部可変剛性機構の開発,第16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,2015年12月16日,名古屋

水野智博,梶田剛,池俣吉人,佐野明人,弾性体を有する可動円弧足による平地歩行,第16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,2015年12月16日,名古屋

池俣吉人,戸塚優哉,佐野明人,3D リムレスホイールの実験的研究,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015,2015年5月19日,京都

伊勢佳祐,池俣吉人,佐野明人,3D リムレスホイールのモデル化,日本機械学会ロボ

ティクス・メカトロニクス講演会2015,2015年5月19日,京都

福永大輝,纈纈修平,池俣吉人,佐野明人,バックドライバブルな2脚走行機のオープン制御,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015,2015年5月19日,京都

池俣吉人,戸塚優哉,佐野明人,ヒトの2脚歩行メカニズムの仮説と2脚受動歩行による仮説検証,第15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,2014年12月17日,東京

伊勢佳祐,池俣吉人,佐野明人,3次元運動の平面への投影と妥当性の検討,第15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,2014年12月17日,東京

福永大輝,池俣吉人,佐野明人,時速14.5kmのアシスト受動歩行と遷移歩行,第15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,2014年12月16日,東京

渡辺啓仁,池俣吉人,佐野明人,3次元受動歩行に向けた新アプローチ,第15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,2014年12月16日,東京

山本朋典,池俣吉人,佐野明人,ヒト歩行の3特性を考慮した平地歩行の実現,第15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,2014年12月16日,東京

福永大輝,佐野明人,田中由浩,伊勢佳祐,吉田智哉,池俣吉人,アシスト受動歩行システムの開発,日本機械学会シンポジウム:スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス2014,2014年10月29日,新潟

渡辺啓仁,山本朋典,池俣吉人,佐野明人,骨盤回旋とヒト足を有する受動歩行の実現,第32回日本ロボット学会学術講演会,2014年9月5日,福岡

山本朋典,渡辺啓仁,池俣吉人,佐野明人,ヒト歩行の3特性を考慮した平地歩行の実験実証,第32回日本ロボット学会学術講演会,2014年9月5日,福岡

戸塚優哉,池俣吉人,佐野明人,簡単なリムレスホイールによる3次元運動の実現,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014,2014年5月27日,富山

佐野明人,福永大輝,馬場文哉,池俣吉人,アシスト受動歩行に関する研究,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014,2014年5月27日,富山

池俣吉人,佐野明人,自由歩行におけるエネルギー供給のモデル化,日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014,2014年5月27日,富山

福永大輝,馬場文哉,池俣吉人,佐野明人,バウンシング・ロッド・ダイナミクスに基づく走行現象に関する研究,日本機械学会東海学生会第45回学生員卒業発表講演会,2014年3月17日,名古屋

22 池俣吉人,佐野明人,最も簡単なヒト歩行モデルによる自由歩行の再現,第14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,2013年12月20日,神戸
23 山本朋典,池俣吉人,佐野明人,受動歩行から見たヒト歩行の3特性の関係性,第14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,2013年12月20日,神戸
24 馬場文哉,池俣吉人,佐野明人,牽引を併用した完全受動走行の走行性能向上,第14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,2013年12月18日,神戸
25 依慎太郎,渡辺啓仁,池俣吉人,佐野明人,受動的な骨盤回旋機構の動特性設計,第14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,2013年12月18日,神戸
26 渡辺啓仁,依慎太郎,池俣吉人,佐野明人,受動的なヒト足機構と骨盤回旋機構の統合,第14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,2013年12月18日,神戸

〔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

瀧藤修平,錦見祥平,福永大輝,池俣吉人,佐野明人,自立性の高い受動的歩行に向けた新アプローチ,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 SI2015 優秀講演賞,2015年12月16日

佐野明人,人間を中心とした触覚および歩行に関わる基礎から応用までの研究,計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術業績賞,2015年12月15日

(2) 招待講演

佐野明人,ACSIVEで歩行も心も前へ,日本機械学会第51期東北支部大会,2016年3月11日,仙台

佐野明人,シニアに愛用される受動歩行由来の歩行支援機 ACSIVE,日本機械学会東海支部シニア会通常総会,2016年1月23日,刈谷

佐野明人,受動歩行由来の歩行支援機 ACSIVE の実用化(生活の中の歩行支援),日本機械学会2015年度年次大会「先端技術フォーラム」,2015年9月13日,札幌

佐野明人,ロボット技術の進化と未来-無動力歩行支援機 ACSIVE の可能性-,ビジネストレンド研究部会第3例会,2015年7月14日,各務原

佐野明人,臨床現場での歩行支援ロボットの実際(受動歩行由来の ACSIVE の利活用),

第5回日本ロボットリハビリテーション・ケア研究大会,2015年7月11日,沼津

佐野明人,受動歩行技術と歩行支援の民主化,第2回医・薬・工連携フォーラム-医薬品・医療機器講演会-,2015年6月23日,名古屋

佐野明人,受動歩行由来の無動力歩行支援機 ACSIVE,日本生体医工学会,2015年5月7日,名古屋

佐野明人,コンパスを頼りに目指すライフイノベーション-受動歩行由来の歩行支援で拓く新しい世界-,中部地域医療機器関連産業支援フォーラム in みえ,2014年12月11日,津

佐野明人,歩けることで喜びを~産学連携による無動力歩行支援機 ACSIVE の研究開発~,研究交流クラブ 科学技術交流財団20周年記念事業 健康長寿シンポジウム~元気な高齢社会を支えるモノづくり~,2014年11月10日,名古屋

佐野明人,知られざる歩行・走行ロボットの世界,夢ナビライブ2014 in 名古屋,2014年7月22日,名古屋

Akihito Sano,New Paradigm on Robotics, The Establishment of the NITech Europe Liaison Office Kickoff Symposium,2014年3月20日,Nagoya

佐野明人,歩行機能再建の背景と実際-工学的観点からの歩行-,第10回日本神経理学療法学会学術集会,2013年12月14日,京都

佐野明人,持続的二足歩行研究-基礎と応用のバランス-,第78回ロボット工学セミナー,2013年6月27日,名古屋

佐野明人,歩ける原理に基づく受動歩行ロボット開発の将来性,国際ロボット・カンファレンス2013,2013年6月25日,東京

(3) イベントデモ

研究最前線!『ふれる』研究と私たちの生活~新しい医療・福祉機器をめざして~,静岡科学館る・く・る開館10周年記念企画展,2014年5月11日,静岡

(4) テレビ番組放映

BS フジ「革新のイズム」,2016年4月1日

NHK 名古屋「東海モノ語り」,2014年10月8日

TBS「夢の扉+」,2014年8月17日

(5) ホームページ:

<http://drei.mech.nitech.ac.jp/~sano/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐野 明人 (SANO AKIHITO)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号: 80196295

(2) 研究分担者

池俣 吉人 (IKEMATA YOSHITO)

帝京大学・理工学部・講師

研究者番号: 70467356