

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18132

研究課題名（和文）人間の運動時の角運動量補償メカニズムに基づく人間型ロボットの上半身運動制御手法

研究課題名（英文）Upper body motion control method of humanoid robot based on angular momentum compensation mechanism of human

研究代表者

大谷 拓也（Takuya, OTANI）

早稲田大学・理工学術院・次席研究員（研究院講師）

研究者番号：70777987

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人間の運動時の角運動量補償メカニズムに基づく上半身運動制御手法を明らかにした。提案手法では、脚の運動を行った際の角運動量を計算し、立脚中には上半身により同等の角運動量を発生させることで全身の角運動量が小さい状態を維持し、跳躍中には全身の角運動量が保存されることから、ロボットの腰部の回転を防ぐように上半身により角運動量を発生させる運動制御とした。動力学シミュレーションを用いて、提案手法を用いない場合は跳躍中に腰部が大きく回転し着地に失敗してしまうが、提案手法を用いることで複数回の連続跳躍を行ってもその都度空中にて腰部姿勢を安定化させられることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、人型ロボットの運動能力向上を目指したものであり、特にダイナミックな運動における上半身利用を確立するとともに、その重要性を示したものである。従来研究では、下半身の動作に重きを置いたものが多いため、上半身も重要な要素であることを示す本成果は、今後の人型ロボット運動制御および人型ロボット設計論に影響を及ぼしていくと考えられる。また、これまでに問題とされている安定性の向上も達成できることが明らかになったため、人型ロボットの実環境での実用化にも貢献できると考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we revealed an upper body motion control method based on the angular momentum compensation mechanism during human motion. In the proposed method, the angular momentum when the leg is exercised is calculated. Next, during landing, the equivalent angular momentum is generated by the upper body to maintain a small angular momentum of the whole body, and during the jump, we adopted motion control to generate angular momentum by the upper body to prevent rotation of the waist of the robot.

Using dynamics simulation, when the proposed method is not used, the waist will rotate greatly during jumping and will fail to land. However, by using the proposed method, even if multiple continuous jumps are made, it will be in the air each time. It was confirmed that the lumbar posture could be stabilized.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボティクス ヒューマノイド 走行 角運動量 上半身

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人間型ロボットは人間が生活する様々な環境における活躍が期待されている。この理由は、まず、人間に近い形状である人間型ロボットは人間に合わせて設計された生活環境に適合しやすいことが挙げられる。加えて、他のロボットは制御可能な関節を数箇所程度しか持たないのに対し、人間型ロボットは20箇所以上有するため、それらを使い分けることで様々な場面に対応できることによる。様々な場面で作業するには移動能力が必要であり、これまでは、安定した歩行動作生成手法について国内外問わず数多くの研究が行われているが、近年では、歩行に比べ移動速度の速い移動形態である走行も注目され、人間型ロボットの移動能力向上に向けた走行動作生成手法の研究が進められている(長崎ら, 2003; Grizzle ら, 2009; Martin ら, 2017)。しかし、人間のジョギングの速度(4m/s)程度でも転倒しない走行運動は実現されておらず、人間型ロボットの実用化の障害となっている。人間であれば、身体の重心部(腰付近)が10度以上傾くことはなく安定しているが、人間型ロボットでは整備された平坦な場所に限定しても、安定性の問題から3m/s(竹中ら, 2011)が限界である。

この最大の原因は、既存の人間型ロボットの運動制御法は脚の動きにのみ注目しているためであると考えられる。既存の歩行や走行動作生成手法では脚および腕をそれぞれ移動手段・作業手段として独立に捉え、移動する際には腕を固定し、脚の動きのみを考慮しロボットが床から受ける反力に応じて安定化を行っていた。この手法の問題点として、脚しか操作出来ないことにより脚の動作で大きな角運動量が発生してしまうとロボットは回転し転倒するため、ロボットの脚の動作を小さく遅くする必要があった(Orin ら, 2013)。

一方、人間は体幹や腕の振りを巧みに制御することで安定性の高い運動を実現していることが、人間科学・スポーツ科学分野の研究において示唆されている。具体的には、Hinrich ら(1988)は、人間の走行時において体幹や腕・脚それぞれが発生する角運動量を計測し、脚により発生する角運動量と同程度で逆向きの角運動量を腕や体幹が発生させていることより、脚が発生する角運動量を体幹・腕を用いて相殺することで全身の安定化を実現していることを明らかにしている。よく知られているような、「右脚が前に出るときは左腕が前に出る」という動作は、腕や脚が発生する角運動量から定量的に重要性が示唆されている。

2. 研究の目的

人間の動作が角運動量の点から議論できることから、角運動量を制御するために体幹および腕を用いる人間の運動メカニズムを人間型ロボットの制御に取り入れることで、運動時の安定性を大きく向上させられるという仮説を立てた。ロボットの運動時に脚の動作により角運動量が発生すると機体が回転し不安定となるため、脚の角運動量を体幹・腕により相殺することは、人間に近い形態を持つ人間型ロボットにおいても力学的に有用であると考えられる。以上から本研究では、人間の運動時の角運動量補償メカニズムに基づく人間型ロボットの上半身運動制御手法を確立することを目的とする(図1)。

3. 研究の方法

具体的な研究方法として、計画通り、初年度に、提案手法の具体化およびシミュレーションを用いた有効性検証を行い、次年度に、提案手法を人間型ロボット(図2)に適用し運動時の安定性を評価した。

4. 研究成果

<得られた成果>

人間の角運動量補償メカニズムに基づく上半身運動制御手法の確立

走行のための下半身の運動制御手法は申請者のこれまでの研究で構築しているため、本研究では、「脚が発生する角運動量を算出し、これを相殺する角運動量を発生する体幹・腕運動制御法」を構築する。具体的な手法を下記にまとめる。

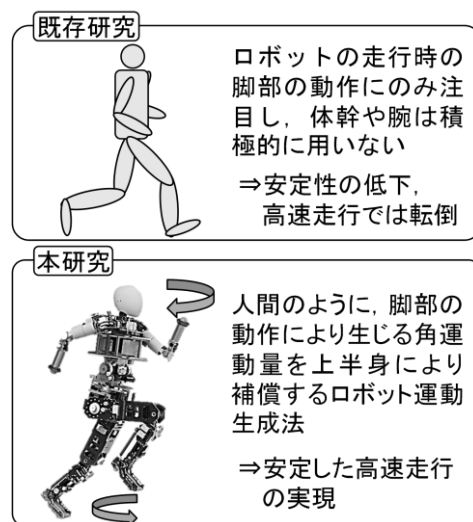
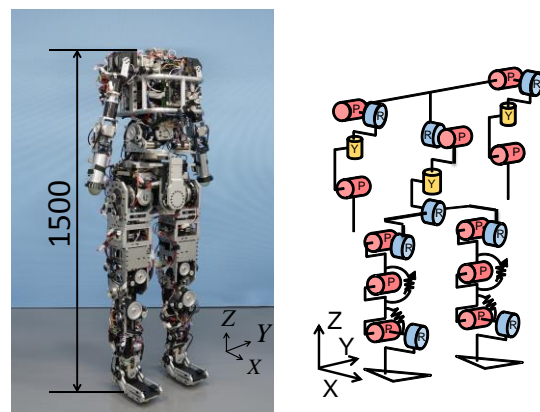


図1 研究概要



(a) 写真

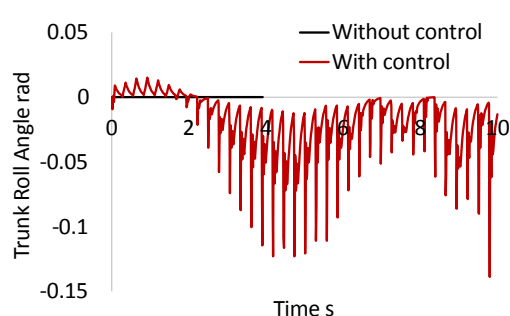
(b) 自由度構成図

図2 本研究に用いた人間型ロボット

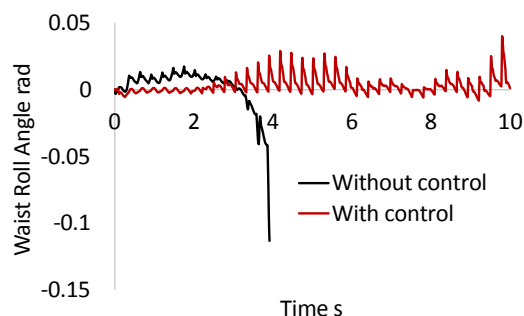
- A) 脚の動作を目標走行速度から決定する
- B) 脚動作により生じる角運動量を、各関節角度・角速度データなどを用いて算出する
- C) 脚の角運動量を相殺する上半身の目標発生角運動量を求める
- D) 上半身の目標発生角運動量を、腕と体幹の目標発生角運動量に分配する
- E) 目標角運動量を各部の慣性行列で除算することで各関節の目標角速度を算出し、各関節の動作を生成する

提案した上半身運動制御手法の有効性確認

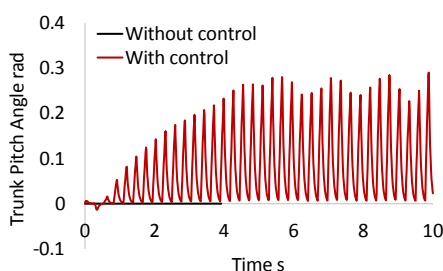
動力学シミュレータ MapleSim を用いて、走行シミュレーションを行い、提案手法の有無によって安定した走行の継続時間を比較した。実験結果として、提案手法を用いない場合は 4 秒程度で転倒してしまうが、提案手法を用いることで 10 秒間安定走行を継続できることを確認した。実験時における体幹部および腰部の傾き、各部の角運動量を図 3 に示す。



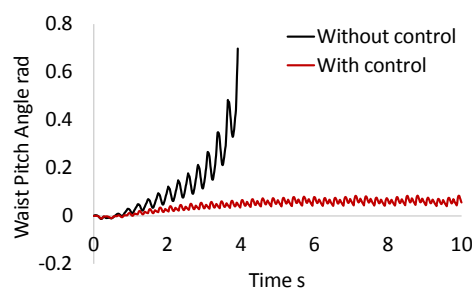
(a) 体幹の前後方向傾き



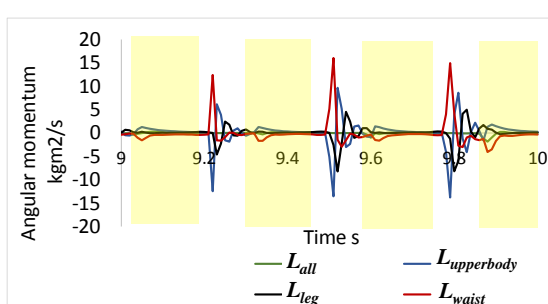
(b) 腰部の前後方向傾き



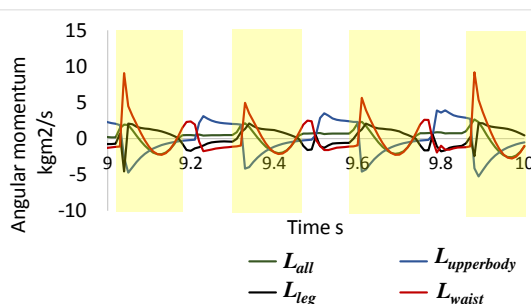
(c) 体幹の左右方向傾き



(d) 腰部の左右方向傾き



(e) 左右方向の角運動量



(f) 前後方向の角運動量

図 3. シミュレーション結果

<得られた成果の国内外における位置づけとインパクト>

近年では、人間型ロボットの実用化に向けた研究が世界的に進められ、BostonDynamics 社の Atlas は雪道などでの安定した移動を実現している。走行に関する様々な研究が進められているが、既存の歩行研究を拡張し脚のみを用いるものが多い。先進的な研究として、本田技研工業(株)の ASIMO は、体幹部を回転させることで安定性を向上し、現状の人間型ロボットでは最速の 3m/s の速度での走行を実現している。しかし、腕は体幹と一体として考えられ振られておらず、空中に浮いている時間は体幹も用いないため高速走行は行えない。他には、脚に注目しているが角運動量が小さくなるように地面を蹴る下半身運動生成手法が提案されている(梶田ら、

2003).

これらに対し本研究では、人間を参考に腕を含めた上半身を用いて全身の角運動量を制御する手法を提案し、安定性向上への有効性を示した。

<当初予期していなかった知見>

走行運動以外の運動における、提案した上半身運動制御手法の有効性確認

提案手法は主に跳躍中に上半身を用いることで安定性を向上させるものであるため、跳躍期間を含む走行以外の運動でも有効ではないかと考え、その場跳躍（垂直跳び）シミュレーションを行い、提案手法の有無によって安定した跳躍が可能かを検証した。実験結果として、提案手法を用いない場合に比べ、跳躍中に姿勢変化を少なく出来るだけでなく、提案手法により安定性を向上できる分、下半身を用いて地面を蹴る際に、安定性が少し低下しても跳躍力が向上する跳躍が可能となるため、総じて跳躍量も向上できることが確認された。本結果は現在論文執筆中である。

<今後の展望>

本提案手法により、走行運動の安定性向上が実現されたため、本提案手法を用いて他のダイナミックな運動の実現を目指す。その上で、ヒューマノイドロボットを活用したスポーツ工学など、新領域の開拓を進める。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Otani Takuya, Hashimoto Kenji, Isomichi Takaya, Natsuhara Akira, Sakaguchi Masanori, Kawakami Yasuo, Lim Hun-ok, Takanishi Atsuo	4. 巻 32
2. 論文標題 Trunk motion control during the flight phase while hopping considering angular momentum of a humanoid	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 1197 ~ 1206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1080/01691864.2018.1526709	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0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

骨盤運動に着目した2足走行ロボットの開発 WATHLETE-1 http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/top/research/running/index_j.htm https://sites.google.com/view/takuya-otani/research

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