

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：13401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K13487

研究課題名（和文）ヒューマノイドロボットの動作生成の高速化のための人体腰準備行動データベース拡充

研究課題名（英文）Expansion of Preparation Behavior Database in the Human's Torso for Speeding up Motion Generation of Humanoid Robots

研究代表者

築地原 里樹 (Tsuichihara, Satoki)

福井大学・学術研究院工学系部門・講師

研究者番号：00835548

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではヒューマノイドロボットの動作生成に役立てるための、冗長性のある人間生活動作における準備姿勢を抽出することを目的とした。生活を模擬した実験環境にモーションキャプチャシステムで被験者を計測し、4点以上のマーカを貼付した6軸力覚センサ付きの靴を履いて動作することで、動作解析と全身のバランスを同時に評価した。重量物体棚出し中の持ち上げ姿勢の直前に準備姿勢として胴体を僅かに後傾させ、設置姿勢時に腕の負担を軽減するため胴体を近づける動作特徴を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間の家事に対する解析は家事労働時間や各人の割合など大まかな評価に留まり、各家事タスクにおける動作解析は多く存在しない。家事動作の解析についても手先の位置や全身バランスなどは評価されるが、これらを副次的に表現する冗長自由度の解析に至っておらず、ヒューマノイドロボットで家事を代行する際に十分な効率や力を発揮できない。本研究では人間の冗長部位の動作を解析することでヒューマノイドロボットによる代替、また人間の家事労働における身体負担の可視化を狙う。

研究成果の概要（英文）：This study extracted preparation postures in human's redundant bodies of daily-life motions to use for the motion generation of humanoid robots. The movement of subjects was measured using a motion capture system in a simulated daily-life environment with shoes equipped with six-axis force/torque sensors and four markers, which allowed for simultaneous evaluation of motion analysis and whole-body balance. We found a feature of the preparation postures where the torso slightly leans backward just before the lifting posture during the shelving of heavy objects and a motion feature where the torso moves closer to the object to reduce arm load during the placement posture.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：家事動作計測 モーションキャプチャ ヒューマノイドロボット

### 1. 研究開始当初の背景

従来ヒューマノイドロボットの生活環境への参入については、運動学モデルベースの正確な動作生成を達成しているが、人間と同等の自由度を持つヒューマノイドロボットでの全身動作には至っていない。運動学の簡素化により計算の高速化に取り組み、小型ロボットや動力学シミュレータでの高速な動作生成は達成しているが、実機では運用しておらず、実時間制御の可能性が低い。人間の動作を模倣しヒューマノイドロボットに適用する研究は存在するが、双方の冗長性を活用し巧みで力強い動作を抽出することはできていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、冗長性を活用したヒューマノイドロボットの動作生成に役立てるための、生活環境における人間動作を計測・解析した。具体的には、人間が物体操作をする際に冗長性のある肘や胴体がどのように活用されているかを抽出することを目的とした。実験では目的となる動作の前の準備段階の姿勢（以降、準備姿勢と呼ぶ）に着目した。家庭環境で必要な対象動作に着目し、ヒューマノイドロボットが家庭環境で活躍する際に必要となる重量物体操作動作の準備姿勢を抽出した。

重量物体操作動作に必要な力を発揮する動作の仮定として下記の2点を検討した。

- 高重量の場合には腕以外に胴体も利用する
- 腕の負担を軽減しようとする



図1：重量物体操作動作における各姿勢

図1に解析対象の重量物体操作動作における各姿勢を示す。2つの仮定を用い胴体を調節することで発揮力を増やしつつ、腕の負担を減少させる。

1. 持ち上げ姿勢の直前に、準備姿勢として胴体を僅かに後傾させる
  2. 設置姿勢時には腕の負担を軽減するため胴体を近づける
- 冗長部位である胴体を活用し、これら2つの動作特徴が現れることを検証した。

### 3. 研究の方法

目的で記載した2つの動作特徴を検証するため、構築したモーションキャプチャシステムを用い被験者の動作を解析した。モーションキャプチャシステムには、光学式モーションキャプチャカメラ Natural Point 社の OptiTrack PrimeX13 を4台構成した。解析に用いる指標として下記の3つの数量を用いた。

- A) 胴体傾斜角度  $\theta_1$  : 腰座標から見た肩座標の位置を基に計算
- B) 手首と肩の距離  $L$  : 人間の作業域 (人間が身体を動かした時に到達可能な空間)
- C) Zero Moment Point (ZMP) : 足裏が床面から受ける反力の圧力中心点

図2に本実験における環境と各数量の説明を示す。C)のZMPについては図2右の6軸力覚センサ (Leptrino社のFF080YS) とモーションキャプチャのマーカを組み合わせ、同座標系において評価した。被験者には棚の手前1mから歩いて棚に近づき、上段から中段まで、全身を使って対象物を移動させるよう依頼した。



図2：実験の環境と各数量の説明

本研究の目的は、重量物体操作動作中の準備動作・姿勢の抽出である。図3に胴体傾斜角度 ( $\theta_1$ ) と手首、肩の距離 ( $L$ ), ZMP, 各姿勢のタイミング ( $t_0$  から  $t_3$ ) と両足の前方方向の位置

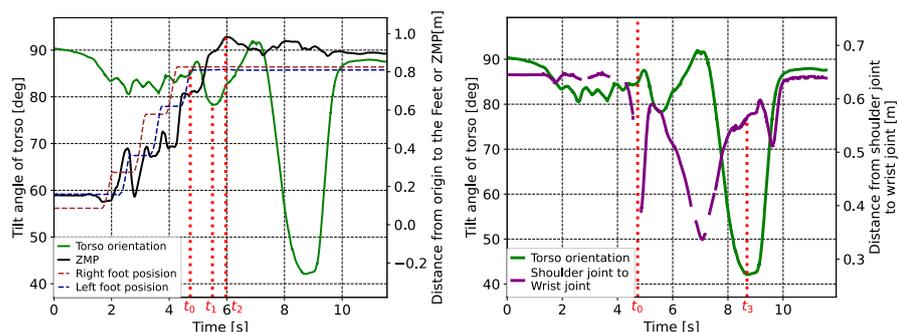
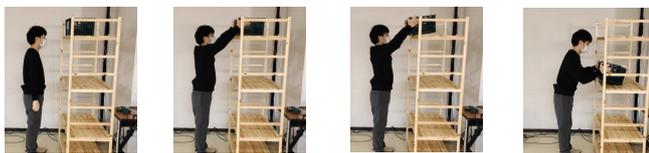


図3：胴体傾斜角度と手首、肩の距離、ZMPと各姿勢のタイミング

を示す。  $\theta_1$  と  $L$  と ZMP を比較し、重量物体操作動作中に生じる各イベントを抽出した。図4に各イベントと各時刻の定義を示す。図4の時刻の定義を元に、図3の各数値を用いて判別できるように、各数値の条件を下記の要領で設定した。



$t_0$ : 歩行終了  $t_1$ : 準備姿勢  $t_2$ : 持ち上げ姿勢  $t_3$ : 設置姿勢

図4: 重量物体操作動作中の各イベントと時刻の定義

- $t_0$ : 両足が停止
- $t_1$ : 持ち上げ前までの胴体の傾斜角度が最小の時刻
- $t_2$ : ZMP が最大の時刻
- $t_3$ : 持ち上げ後に胴体の傾斜角度が最小の時刻

以上の定義を用いて、本研究では準備姿勢 ( $t_1$ ) と設置姿勢 ( $t_3$ ) に生じる下記の現象を検証した。

[1] 準備姿勢の時刻 ( $t_1$ ) と持ち上げ姿勢の時刻 ( $t_2$ ) のずれが増大する

[2] 設置時 ( $t_3$ ) に胴体  $\theta_1$  が前傾し、手首と肩の距離  $L$  が近くなる

被験者実験として、21歳から24歳の男性9名を対象に計測し、箱に入れるおもりの重量を0kg, 5kg, 10kgと変化させ、動作を比較した。

#### 4. 研究成果

冗長性を活用したヒューマノイドロボットの動作生成に役立てるための、重量物体操作動作の準備姿勢として、持ち上げ前と設置前のための構える姿勢を抽出できた。

[1] 持ち上げ直前に、胴体を引いて構え身体全体で物体を持ち上げる。図5に各重量における全被験者の  $t_1$  と  $t_2$  の差を、図6に重量なしに対する各重量における時間の差の有意差 (\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ )を示す。操作物体の重量が大きくなるほど、有意に構える時間が早くなることが確認できた。

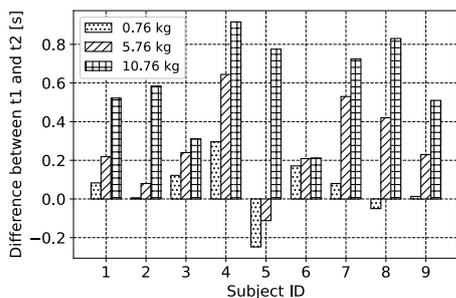


図5: 全被験者における時間の差

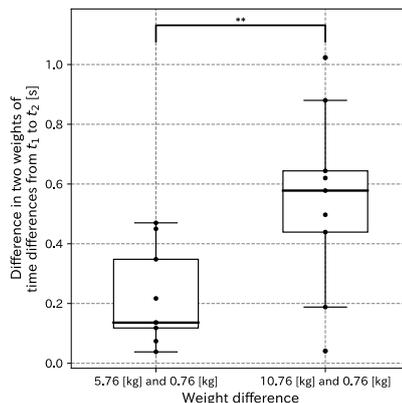


図6: 時間の有意差

[2] 物体を設置する時の重量物体を降ろす反動で前方に転げないために後方に構える姿勢として、胴体の傾斜、手首と肩の距離を調整する。図7に重量なしに対する各重量における胴体の傾斜角度の有意差を、図8に手首と肩の距離の有意差を示す。操作物体の重量が大きくなるほど、有意に胴体の傾斜角度が増大し、手首と肩の距離が小さくなることが確認できた。重量物体に対しては胴体を近づけて手首と肩の距離を縮める姿勢をとることが確認できた。

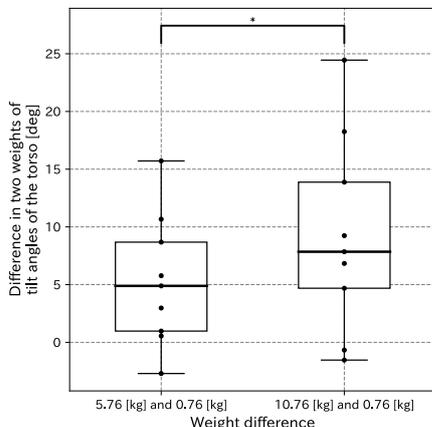


図7: 胴体の傾斜角度の有意差

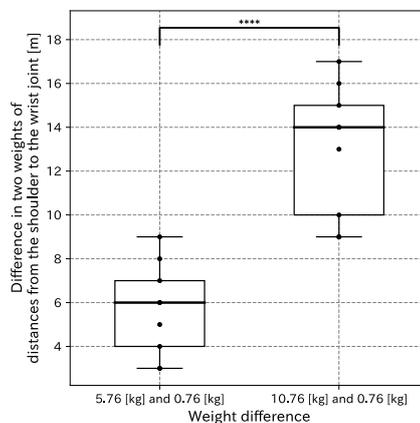


図8: 手首と肩の距離の有意差

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hara Kaito, Tsuichihara Satoki, Takahashi Yasutake	4. 巻 17
2. 論文標題 Motion Analysis of the Torso and the Elbow During Picking and Placing Heavy Object on Shelf	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 226-236
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/ijat.2023.p0226	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tsuichihara Satoki, Watanabe Yuto, Hara Kaito, Takahashi Yasutake	4. 巻 LNCS 13522
2. 論文標題 Effect Analysis of Each Reach Zone in Ergonomics During Putting and Pulling Movement of Shelf on VR Experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 24th International Conference of HCI International 2022	6. 最初と最後の頁 336-347
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-031-21704-3_21	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9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 原 快人, 築地原 里樹, 高橋 泰岳
2. 発表標題 ヒューマノイドロボット動作教示に向けた人間の柵出し動作中の胴体の屈みタイミングのずれおよび肘の開き角度の解析
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原 快人, 築地原 里樹, 高橋 泰岳
2. 発表標題 ヒューマノイドロボットのための人間の重量物体操作における胴体の屈みと手先作業域の相互関係
3. 学会等名 The 6th Workshop of Robotics Ongoing Breakthroughs (ROOB2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野 博貴, 築地原 里樹, 高橋 泰岳
2. 発表標題 VR機器を用いたバドミントンのハイクリアにおけるフォームフィードバックシステムの開発
3. 学会等名 The 6th Workshop of Robotics Ongoing Breakthroughs (ROOB2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 二村大成, 築地原里樹, 高橋泰岳
2. 発表標題 バドミントンのハイクリア動作におけるフォームの上達によって生じる肘関節への負担軽減の検討
3. 学会等名 日本生体医工学会北陸支部
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田 誠之, 築地原 里樹, 湯口 彰重, GARCIA RICARDEZ Gustavo Alfonso, 高松 淳, 和田 隆広, 小笠原 司
2. 発表標題 重量物体保持におけるヒューマノイドの胸部を用いた両腕のトルク負荷の低減
3. 学会等名 第22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 (SI2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原快人, 築地原里樹, 高橋泰岳
2. 発表標題 ヒューマノイド動作教示のための上下運び動作中における胴体・肘の準備姿勢の解析
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会 合同シンポジウム2021 第30回 北信越支部シンポジウム & 第30回 人間共生システム研究会 講演論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原 快人, 築地原 里樹, 高橋 泰岳
2. 発表標題 ヒューマノイド動作教示のための上下運び動作中における冗長部位の準備動作の解析
3. 学会等名 The 5th Workshop of Robotics Ongoing Breakthroughs (ROOB2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 誠之, 築地原 里樹, 湯口 彰重, GARCIA RICARDEZ Gustavo Alfonso, 高松 淳, 和田 隆広, 小笠原 司
2. 発表標題 重量物体保持におけるヒューマノイドの胸部を用いた両腕のトルク負荷の低減
3. 学会等名 The 5th Workshop of Robotics Ongoing Breakthroughs (ROOB2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野坂和矢, 築地原里樹, 高橋泰岳
2. 発表標題 上下運び動作中の動作高速化と安定性維持のための胴体と股の働きの検証
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

福井大学工学部機械・システム工学科インタラクティブ・ロボティクス研究室  
<http://ir.his.u-fukui.ac.jp>

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

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