

令和 4 年 5 月 21 日現在

機関番号：92668

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14936

研究課題名（和文）連続して跳躍と打撃を行うヒト型ロボットの開発

研究課題名（英文）Toward a humanoid robot which jumps and hits a ball sequentially

研究代表者

田中 一敏（Tanaka, Kazutoshi）

オムロンサイニックス株式会社・リサーチアドミニストレイティブディビジョン・シニアリサーチャー

研究者番号：10805774

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：連続して跳躍して打撃するヒト型ロボットの実現を目指し、柔軟で俊敏なヒト型身体  
の機構系の設計、柔軟な身体の運動を活かした知覚、柔軟なロボットの制御の学習について研究を進めた。  
新しい柔軟で俊敏な身体の機構を開発した。柔軟な身体が生む複雑な運動を計算に利用する手法を探究した。人  
手のモデル化が難しい柔軟な身体の運動を自動でモデル化する効率的な方法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

連続して跳躍して打撃するヒト型ロボットの実現を目指し、柔軟で俊敏なヒト型身体  
の機構系の設計、柔軟な身体の運動を活かした知覚、柔軟なロボットの制御の学習について研究を進めた。  
柔らかい複雑な動きができるロボットのアーキテクチャが本研究によって進展した。これにより、柔らかさを活  
かして作業するロボットや移動するロボットの有用性に貢献した。柔らかいロボットは安全で安心であり、柔らか  
いロボットが賢くなることで、今ある人間の手作業を代替できるようになる。

研究成果の概要（英文）：Toward the realization of a humanoid robot that jumps and hits an object  
sequentially, I researched the design of a soft and agile humanoid body mechanism system, perception  
utilizing soft body motion, and learning to control a soft robot.  
I developed a new soft and agile body mechanism, a methods to utilize the complex motions produced  
by a soft body for computation, and an efficient method for automatically modeling soft body motions  
that are difficult to model manually.

研究分野：ソフトロボット

キーワード：ソフトロボット 運動学習 機械設計

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ヒト型ロボットは、人間に似た形態を備え、人間の行う多様な作業を代替するロボットである。これまで、不整地の歩行や車の運転など、ヒト型ロボットによる様々な作業が実現されてきた。しかし人間と比較して、現在のヒト型ロボットの運動は非常に遅い。このため現在、環境の動的な変化に対する反応も含めて、ヒト型ロボットの機動力を高める試みが活発化している。

人間が高い機動力を発揮して行う運動として、バドミントンなどで見られるような、跳躍や打撃などの、過渡的で高速な全身運動が挙げられる。このため、連続した跳躍と打撃を行うヒト型ロボットを開発することで、機動力の高いヒト型ロボットの構成法を明らかにする。すなわち下記を本研究の目的とする。

### 2. 研究の目的

ヒト型ロボットは、人間が行う作業を代替するロボットである。しかし現状、ヒト型ロボットの運動速度は大きく人間に劣る。このため、機動力を高める方法が模索されている。

本研究では機動力の高いヒト型ロボットの構成法を明らかにするため、連続した跳躍と打撃を行うヒト型ロボットの要素技術を開発する。この開発を通じて、状況に応じた過渡的で高速な全身運動を瞬時に行うヒト型ロボットの構成法を明らかにすることが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

この目的を達するためには、速度と加速度の大きい運動を行うヒト型ロボットの設計法を明らかにする必要がある。加えて、ヒト型ロボットによる過渡的で高速な全身運動の生成方法を明らかにする必要がある。

課題を解決するため、軽量で俊敏なヒト型ロボット四肢を開発する。加えて、シミュレーションを併用するなどして効率的に学習し、高速な計算によって、過渡的で高速な全身運動を生成する。

### 4. 研究成果

初年度、目的を達成するため、(1)速度と加速度の大きい運動を行うヒト型ロボットの身体設計法、および(2)過渡的で高速なヒト型ロボットの全身運動を生成する方法の2つの問いに答えを出すことを考えた。

初年度は、速度と加速度の大きい運動を行うヒト型ロボットの身体設計法の構築に向けて、連続して跳躍と打撃を行うヒト型ロボットのシミュレーションを行い、そのようなロボットを実現するために必要な仕様を調べた。次に、そのような仕様を満たす駆動方法について検討し、新規な駆動方法を発想した。続いて、その駆動方法の実効性を調べるため、原理検証のための駆動装置を試作し、改良を重ねた。

さらにこの年度、過渡的で高速なヒト型ロボットの全身運動を生成する方法の構築に向けて、ロボットが試行錯誤を通じて制御則を獲得する手法を新たに発想し、原理検証のための実験環境およびシミュレーションを構築し、ロボット実験を通じて有効性を検証した。その中では、モデル最適制御および深層強化学習などの技術を活用して、研究を進めた。

次年度は、速度や加速度の大きい運動を行うロボットアームの設計に取り組んだ。モータを根本に配置することで、アームを軽量化し、樹脂を構造材に利用することで軽量化した。

次年度、ヒト型ロボットによる過渡的で高速な全身運動の生成に向けて、ロボットの運動学習手法を開発した。長いホライズンを予測するモデル予測制御のための学習手法を検討した。シミュレーションを利用した転用学習手法を提案した。過去に学習したダイナミクスモデルを利用する転用学習手法を提案した。データの特性に基づいて、複数のダイナミクスモデルを用いて状態遷移を近似する学習手法を提案した。瞬時に跳躍して打撃する動作を生成するための、少数試行からの学習手法を開発した。これらについて、論文を投稿し、採択され、発表した。

最終年度、連続した跳躍と打撃を行うヒト型ロボットを実現することを目指して、柔軟で俊敏な機構設計を探求し、柔軟な機構を備えたロボットのための知覚方法を探求し、手動で正確に物理をモデル化することが難しい柔軟ロボットの制御則の学習法を探求した。

俊敏なヒト型ロボットを作るため、ヒト型ロボットに求められる多数の関節を有しても、全体を軽く構成でき、四肢を軽くできる、腱駆動機構を開発した。ベースリンクにすべてのモータを配置し、アーム全体をベースリンクから駆動することで、軽量にアームを構成する機構の設計法を構築した。

柔軟な身体が生み出す複雑な運動を使って計算を行うことができる。その一種に、物理リザバ-計算がある。本研究では、物理リザバ-計算の一種として、遠隔地にある柔軟な物体と、水を介して柔軟なアームがカップリングすることで、遠隔地の物体を計算に利用できることを示した。

ロボットの物理を正確にモデル化するのが難しい柔軟な身体を備えるロボットが、代わりに自身の制御則を獲得する方法を探求し、単純なモデルを分割して学習することで、実機の激しい

運動を学習しやすい方法を開発した。コンタクトジャグリングの学習を扱い、接触状態の切り替えを自動で抽出することで効率的な学習を行った。

時系列の感覚パターンからイベントを予測する方法として、接触力を用いたロボットの柔軟物体把持学習を扱った。これはヒト型ロボットの足裏接触力にも応用できる。

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 2件）

1. 著者名 Kazutoshi Tanaka; Satoshi Nishikawa; Ryuma Niiyama; Yasuo Kuniyoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Immediate generation of jump-and-hit motions by a pneumatic humanoid robot using a lookup table of learned dynamics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1~1
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Kazutoshi, Yang Shih-Hsin, Tokudome Yuji, Minami Yuna, Lu Yuyao, Arie Takayuki, Akita Seiji, Takei Kuniharu, Nakajima Kohei	4. 巻 3
2. 論文標題 Flapping Wing Dynamics as a Natural Detector of Wind Direction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁 2000174 ~ 2000174
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/aisy.202000174	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kazutoshi Tanaka; Ryo Yonetani; Masashi Hamaya; Robert Lee; Felix von Drigalski; Yoshihisa Ijiri;
2. 発表標題 TRANS-AM: Transfer Learning by Aggregating Dynamics Models for Soft Robotic Assembly
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 学習装置、学習方法、学習プログラム、制御装置、制御方法、及び制御プログラム	発明者 田中一敏、濱屋 政志、米谷 竜	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-146401	出願年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

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