

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月19日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06191

研究課題名(和文) 頑健な自律ヒューマノイドロボットプラットフォームの開発

研究課題名(英文) Development of a Robust Autonomous Humanoid Robot Platform

研究代表者

林原 靖男 (HAYASHIBARA, Yasuo)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：20298293

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)：頑健な自律型の小型ヒューマノイドロボットプラットフォームを構築して、その技術を公開することを目的としている。ロボットの設計と改良を繰り返したが、その成果は学会発表などを通じて一般に公開した。また、ウェブページで設計データを公開した。転倒試験で頑健さを検証したが、さらにRoboCup世界大会のサッカー競技において、7試合で消耗品の交換以外の故障が無いことも確認した。ちなみに、RoboCup2017、RoboCup2018世界大会のサッカーキッドサイズリーグテクニカルチャレンジ部門において2年連続1位となった。また、RoboCup2019アジア・パシフィック大会では総合優勝している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒューマノイドロボットの研究をするにあたり、プラットフォームとなるロボットの有無は重要な要素となる。仕様が公開されており、頑健で壊れにくいプラットフォームロボットにより、ロボットの実験が行いやすくなるため、研究を加速させることができる。その点で、本ロボットは転倒しても壊れない頑健さとサッカーで世界1位になる程度の運動能力を有しており、さまざまな研究のプラットフォームとして活用されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to build a robust autonomous small humanoid robot platform and to release the technology. We designed and improvement of the robot, and the results were opened through conference presentations. We also opened design data on the web page. Although the robustness was verified in the fall test, it was also confirmed that there were no broken other than replacement of consumables in 7 games in the RoboCup World Championship soccer competition. Furthermore, in the RoboCup2017 and RoboCup2018, the robot placed first prize for two consecutive years in the Soccer Kid Size League Technical Challenge. In addition, the robot won in the RoboCup 2019 Asia Pacific.

研究分野：工学

キーワード：ロボット ヒューマノイド ロボカップ 頑健 自律

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

人の手を借りること無く、自律的に作業を行うことができるロボットが世の中で期待されている。その標準問題として、RoboCupがあり、世界中の研究者が、サッカーをテストベッドとしながらロボットの自律化に取り組んでいる。1997年に第1回大会が開催されてから、2015年まで19回の大会が行われている。その中で、さまざまな技術が生まれ、ロボットの自律化を加速させてきたという経緯がある。例えば KIVA System などのベンチャー企業や DARPA Robotics Challenge などへの参加チームは、RoboCup を経験して得た技術を応用している例が多々見られる。本研究室は2007年から RoboCup に参加して、2014年（ブラジル開催）と2015年（中国開催）にはヒューマノイドリーグキッドサイズ部門で世界1位となっている。RoboCup には「2050年までに人のサッカーチャンピオンチームに勝つ」という目標があるが、それに向かって先頭に位置するリーグであり、多くの技術的課題が提示されている。例えば、人工知能に関しては、ヒューマノイドに搭載できる程度の限られたハードウェアリソースで、リアルタイムに認識・判断・行動することが求められている。また、転倒時にはロボットに100G近い加速度が加わることもあるが、そのような条件でも継続的に動作するハードウェアも必要となる。本学では、これらの問題を8年間の歳月をかけて解決して、世界でもトップレベルに頑健なヒューマノイドロボットシステムを構築してきた。

2. 研究の目的

頑健な自律型の小型ヒューマノイドロボットプラットフォームを構築して、その技術を公開することを目的とする。本学では、2007年から自律ロボットの標準問題である RoboCup に参加して、2014年と2015年のヒューマノイドキッドサイズリーグでは世界1位となっている。RoboCup ではサッカーを題材として、限られたハードウェアリソースの中で、自律的に認識・判断・行動することが求められる。また、10分間試合を継続するために、転倒しても故障せず、起き上がって試合を継続するという頑健さも要求される。これらの開発を通じて得られた知見と技術について整理を行い、頑健さを重視したロボットプラットフォームを構築する。また同時に、その知見と技術を公開することで、この分野の研究を加速させることを目指す。

3. 研究の方法

平成28年度中に、情報公開を前提とした80cm程度の自律型小型ヒューマノイドロボットを設計・製作する。カメラや慣性計測装置などで周囲の情報を検出して、人工知能により行動を選択して、自律的に動作するロボットを開発する。頑健さを保つように、衝撃吸収機構を随所に入れながら、メカニズムと電子回路を構築する。平成29年度は、自律化のためのプログラムのポーティングを行いながら、歩行速度、転倒時の故障率などの諸元をまとめる。平成30年度には、ウェブページを作成して、それまでにまとめた情報を公開する。ウェブページの情報と実ロボットに関して、頑健さと扱いやすさという観点から、満足できるものであるかを、ロボット研究者や初学者である学生にアンケートを行い、本システムを評価する。

【平成28年度】

ハードウェアとソフトウェアの公開を前提とした80cm程度の小型ヒューマノイドロボットを設計・製作する。ロボットは、カメラや慣性計測装置などのセンサ群で周囲の情報を検出して、人工知能により行動を選択して、モータにより動きを制御する。歩行やキックなど様々な動きを行うことができ、0.5m/s程度の速度で歩行できるようにする。さらに、サッカーのようにぶつかりや転倒が生じる条件においても、頑健に動き続けるロボットを目指す。計画は以下の通りである。

- 4月～7月 ロボットのメカニズムの設計、部品発注
- 8月～10月 部品の加工、メカニズムの製作
- 11月 電子回路の設計・部品発注
- 12月～1月 電子回路の製作、ハードウェアの動作チェック
- 2月～3月 不具合部分の改良

ロボットのハードウェアの設計にあたり、現ロボットにおける問題点をリストアップする。また、プラットフォームに求められる仕様を明らかにする。リストアップの段階で、研究分担者の上田が情報システムのリストアップを行い、林原がハードウェアの設計を統括する。概念設計・詳細設計は、林原及びロボカップでロボットを開発している院生・学生が行う。設計の方向性としては、

1) できるだけシンプルに構成して、製作の容易性やメンテナンス性を高める

2) 部品は入手性が高く、継続的に入手できるものを選定する

3) 特殊な部品を選定するときには、提供方法をできるだけ用意する

ことを重視する。特殊な部品の提供方法に関しては、例えば業者と連携して、型番を指定すれば製作してもらえ環境を整えることなど検討する。電子回路に関しては、型番を登録して製作してもらえ業者がいるため、登録して他の方でも利用できる環境を整える。

製作は本学工作センタスタッフと学生で行う。既に多くのロボットを製作しているため、製

作の過程で深刻な問題は発生しないと考える。ハードウェアの動作チェックに関しては、頑健性を主題にしているため、まずはロボットを直立させた状態で、あらゆる方向に転倒させて、故障が発生しないかを検証する。転倒時の衝撃力に関しては、加速度センサを使用して定量化する。転倒時に1/10程度の確率でギアが破損するなど、問題が発生した場合は、衝撃吸収部品のバネ長を変更するなど部分的な改良を行う。

【平成 29 年度】

プログラムのポータリングと、歩行速度、転倒時の故障率などの客観的な諸元を採取する。計画は、以下の通りである。

- 4 月～ 5 月 従来から開発している自律サッカープログラムを公開するにあたり、ソフトウェアの構造を再検討する。できるだけモジュール化することで再利用性を高める。
- 6 月～12 月 モジュール毎に新しく開発したロボットにポータリングしていく。
- 1 月～ 3 月 ポータリングを終了したロボットに対して、歩行速度や転倒時の故障率などのデータを計測する。前年度が直立時の耐衝撃性を計測したのに対して、平成 29 年度は動いている状況での転倒時の故障率を求める。

従来から開発している自律型サッカーロボットのソフトウェア構成を示す。ソフトウェアは十分な計画のもので増設したものではないため、モジュール化されておらず、再利用性も低い。ソフトウェアを公開するにあたり、粒度やインターフェイスを調整して、再利用性を高めるようにする。モジュールとインターフェイスを定義した上で、モジュールごとに従来のプログラムをポータリングしていく。ポータリングは林原、上田、サッカーロボットの開発に携わっている学生で行う。サッカーロボットの自律化プログラムは、従来から林原と学生を中心に開発しており、開発に際して特に問題となるものはないと考える。なお、サッカーロボットは4世代に渡りバージョンアップをしてきたが、その中で OS を NetBSD, Windows, Linux と変えてきた経緯があり、その度にポータリングを繰り返している。

ポータリングの終了後に、ロボットの歩行速度、歩行時に転倒させたときの故障率や歩行速度、画像処理のフレームレートなどを含めた諸元を採取する。

【平成 30 年度】

ウェブページを作成して、本ロボットプラットフォームに関する情報を公開する。また、ウェブページの情報と実ロボットに関して、頑健さが求められるロボットプラットフォームという観点から、満足できる仕様になっているかを、ロボット関連の研究者や初学者である学生にアンケートを行い、本システムを評価する。また、得られた成果を、日本ロボット学会や日本機械学会にて講演する。計画は以下の通りである。

- 4 月～ 5 月 ロボットのハードウェア、ソフトウェアに関するデータをまとめる。
- 6 月～ 8 月 ウェブページの作成、日本機械学会ロボメカ講演会での講演
- 9 月～10 月 ロボット関連の研究者や学生へのアンケート調査
- 11 月～ 2 月 調査報告書の作成

4. 研究成果

(1)頑健な自律ヒューマノイドロボットプラットフォームを研究・開発した。転倒試験やロボカップ世界大会での検証を通じて、頑健さを確認した。また、転倒時の加速度や故障の有無のデータを計測して、学会発表やウェブページを通じて公開した。

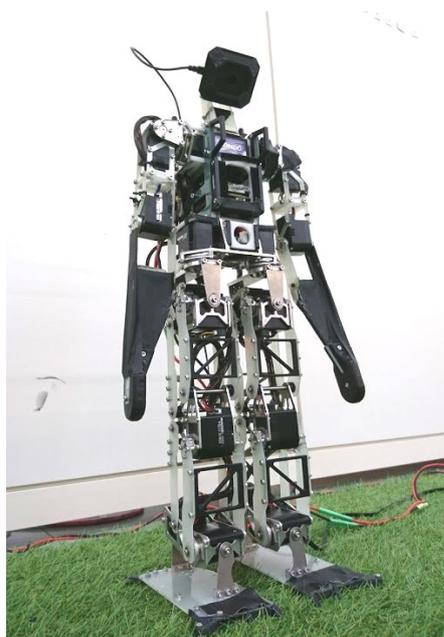


図 1 自律ヒューマノイドロボットプラットフォーム

(2) 自律型のヒューマノイドロボットとしての検証のため、RoboCup2017, RoboCup2018 世界大会に参加した。サッカーキッドサイズリーグテクニカルチャレンジ部門で開発したロボットが2年連続1位という結果となった。また、RoboCup2019 アジア・パシフィック大会ではヒューマノイドキッドサイズリーグで総合優勝した。



図 2 RoboCup アジア・パシフィック大会での表彰式の様子

(3) 製作に必要なデータをウェブで公開することにより、比較的容易に頑健な自律型ヒューマノイドロボットを製作できる環境を提供した。千葉工業大学の1,2年生がウェブの情報に基づいてヒューマノイドロボットを製作しており、従来に比べて製作しやすい環境を提供できたと考える。



図 3 公開されたデータに基づき卓上 CNC で部品を切削している様子

(4) 計算機のリソースが少なくても高度な歩行理論に基づいて歩行パターンを生成する手法を提案して、学会発表等でその技術を公開した。ウェブページでソースコードを公開しており、提案する理論に基づく歩行制御を行いやすい環境を提供した。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3件)

- (1) 山本龍、田辺輝、林原靖男、上田隆一，“計算負荷軽減を考慮した多項式近似による実時間歩行パターン生成法の提案 第2報 サッカーロボットへの応用”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'18 予稿集，2P2-L12 (2018)
- (2) 下吉拓明，林原靖男，“ロボカップ用オープンプラットフォームヒューマノイドロボットの開発 一第1報 メカニズムの設計と製作一”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'17 予稿集，2P1-J07 (2017)
- (3) 山本龍，上田隆一，林原靖男，“計算負荷軽減を考慮した多項式近似による実時間歩行パターン生成法の提案”，第22回ロボティクスシンポジウム予稿集，pp.73-78 (2017)

[その他]

ホームページ等

(1) OpenPlatform

<https://github.com/citbrains/OpenPlatform>

(2) GankenKun

<https://sites.google.com/a/p.chibakoudai.jp/cit-brains/home/robot/openplatform>

(3) citbrains/GankenKun_0_5

https://github.com/citbrains/GankenKun_0_5

(4) citbrains/GankenKun_0_5_dxf

https://github.com/citbrains/GankenKun_0_5_dxf

(1)(3)(4)では、CNC用の加工データも含めた全ての設計データを公開している。複数のウェブページがあるのは、バージョンごとにデータを分けてアップロードしたためである。

(2)はロボットを紹介するページであり、経緯や実績などを公開している。

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名： 上田 隆一

ローマ字氏名： UEDA, Ryuichi

所属研究機関名： 千葉工業大学

部局名： 先進工学部

職名： 准教授

研究者番号 (8桁)： 20376502

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。