

# モーションキャプチャシステムを用いたロボットの開発

林 憲玉\*

Title

Hun-ok LIM\*

## 1. 概要

昨今、人の住環境で稼働し生活支援することを目的とするロボットの開発が盛んに行われている。その中でも、住環境に適応して動作可能な機構を持つ人型のロボット開発が注目されている。人と同様の運動機構を持つことは一般的な住環境における汎用ロボットとしてタスクを実行する上で重要である<sup>[1]</sup>。

本研究室でも住環境や医療・福祉分野での利用を目指し、ヒューマノイドロボットや一脚のジャンピングロボットおよび遠隔操作ロボットを開発してきた。これらの研究開発においてロボットの運動制御と人体運動の様相との比較解析を行うことは、人の住環境での運用を想定する上で必要である。

本報告では2014年度工学部特別予算重要機器整備費備品で購入した Phoenix Technologies (PT 社) 製モーションキャプチャシステム (通称 Visualeyez) および nac Image Technology (nac 社) 製アイマークレコーダー (通称 EMR-9) について説明する。

Visualeyez の写真を図1に示す。Visualeyez は人やロボットなどに LED マーカーを貼り付け、トラッカーにて読み取ることで人やロボットの動きを三次元的に高精度で計測することが可能なシステムである。また、人型に限定されず、構造物等の計測も可能である。Visualeyez の特徴として、Real-Time オペレーションを強く意識し

た設計が施されており、複雑で正確性が求められる人体の運動解析に適している。本研究室では、このモーションキャプチャシステムにより歩行動作と跳躍動作における人体の運動データを計測している。Visualeyez の仕様は表1の通りである。

表1 Visualeyez の仕様

計測範囲	上下左右90°
計測分解能	0.03mm
計測精度	0.8~1.2mm
計測可能距離	0.25~7.0m
重量	2.2kg

次に EMR-9 の写真を図2に示す。EMR-9 はカメラで人の視線を判定し、環境内のどこを見ていたかを計測するためのシステムである。EMR-9 の仕様は表2の通りである。EMR-9 はコントローラが小型化されており、被験者の行動を妨げずに高精度で視線を計測することが可能である。これにより、ロボットと相互作用する際の人の志向性や認識行動の解析が可能となる。本研究室では、このアイ



図1 モーションキャプチャシステム Visualeyez  
(PT 社ウェブサイトより)



図2 アイマークレコーダーEMR-9  
(nac 社ウェブサイトより)

表2 アイマークレコーダー EMR-9

計測分解能	上下左右0.1°
測定範囲	40°円
記録映像	640×480
計測データ	重畳視野映像、眼球拡大映像
重量	帽子：150g コントローラ：590g

\*教授 機械工学科

Professor, Dept. of Mechanical Engineering

マークレコーダーを用いて操縦者の視線を計測し、適切な動作を行う遠隔操作型の移動ロボットを開発している。

上記2つの機器備品を使用することで、人とロボットの認知・行動機能の差異を理解し、人と共存するロボットの研究を行うことを目的としている。最終的には家庭や公共の施設などで人とロボットが共存してより安心で便利に暮らせる社会を築くことを目指している。以下、モーションキャプチャシステムの応用例として二足ヒューマノイドロボットと一脚ジャンピングロボットの詳細を述べ、アイマークレコーダーの応用例として遠隔操作ロボットの詳細を述べる。

## 2. 研究への応用例

### 2.1 二足ヒューマノイドロボットの開発

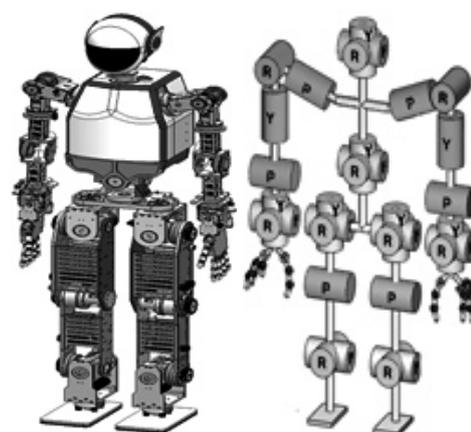
現在、本研究室のヒューマノイドロボット開発では、人の住環境に適応したロボットの制御を確立することを目的としている<sup>[2]</sup>。特に、二足歩行を行うことで階段や小さな段差などを乗り越えることが可能になり、ロボットのためのインフラを用意する必要が無いなどの利点がある。しかし、階段や廊下などの段差や床面状態などの様々な条件が同時に存在する家庭内を想定すると、二足歩行の制御技術は更なる高度化が必要となる。そこで人の歩行に着目し、人のように柔軟に適応可能な歩行制御を実現することが目的となる。

図3に2016年度に開発した二足ヒューマノイドロボットの Kanagawa Biped Humanoid Robot (以下 KBHR) の全体像およびその自由度配置を示す。KBHR は全長が1.66 [m]、重量が55.4 [kg] であり、骨格の主な材料はアルミニウム (A7075) である。骨格の表面には白アルマイト加工が施されており他部位への通電を防いでいる。自由度配置は片脚6自由度、腰部3自由度、片腕7自由度、手部5自由度、首部3自由度となっており、合計42自由度で構成されている。また、各関節の可動角は人間とほぼ同等となるように設計している。KBHR は、制御用コンピュータに使用する OS に ART-Linux を採用している。これにより、安定したハードリアルタイム制御を可能にしている<sup>[3-5]</sup>。図4に KBHR の通信制御の概要を示す。

KBHR には各関節にエンコーダ、腰部に6軸モーションセンサが搭載されており、歩行状態を計測している。6軸モーションセンサは x, y, z (横, 前後, 縦) 軸方向それぞれの加速度 [G] と x, y, z 軸方向の角速度 [deg/sec], 合わせて6軸分を同時に計測できるように設計されている。センサのサンプリングタイムは10~10000 [msec] の間で10 [msec] 刻みの指定ができる。また測定範囲も加速度  $\pm 2, 4, 8, 16$  [g] と角速度 (ジャイロ)  $\pm 250, 500, 1000, 2000$  [deg/sec] の中から指定し、実験に応じた数値の計測と算出ができる。これらのセンサから読み取った KBHR の歩行データと Visualizeyaz から読み取った人体の歩行データを比較することで、歩行制御と人の歩行動作とで異なる運動量の特徴を解析し、歩行制御の設計にフィードバックすることが可能である。

### 2.2 一脚ジャンピングロボットの開発

本研究室では人間の脚の筋骨格を模したロボットを開発している<sup>[6]</sup>。図5に開発した一脚ジャンピングロボットを示す。人間の筋肉に近い特性の空気圧アクチュエータを駆動源とし、それを単関節筋と二関節筋となるよう配置している。単関節筋は関節一つを跨ぐ筋肉で、関節の曲げ角度を調節する。また二関節筋は関節二つを跨



a 全体概略図 b 自由度図

図3 Kanagawa Biped Humanoid Robot

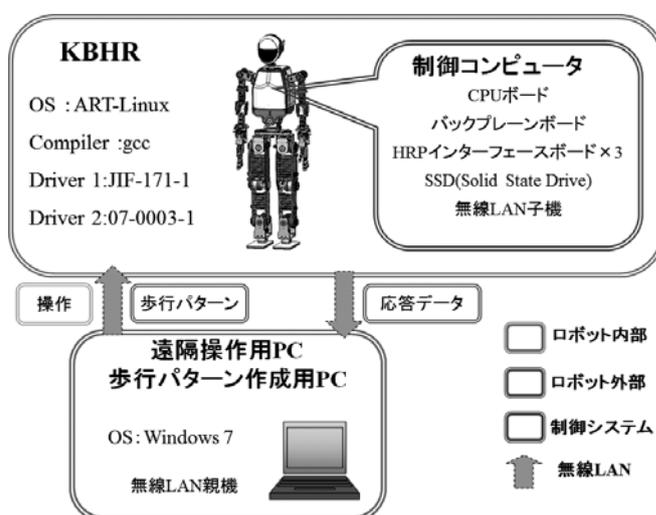


図4 KBHR の通信制御概要

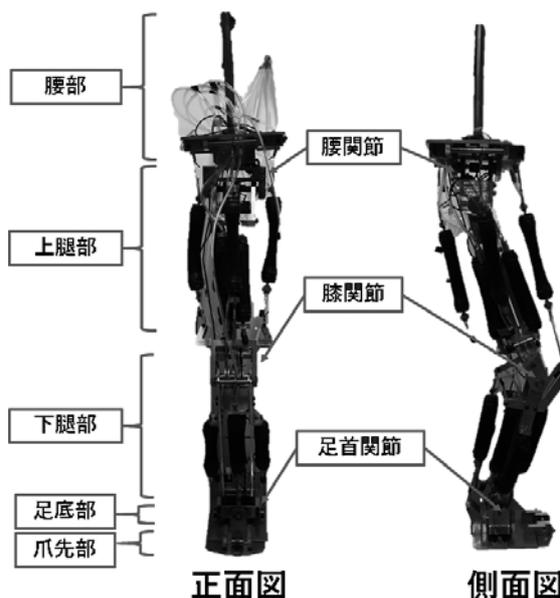


図5 一脚ジャンピングロボット

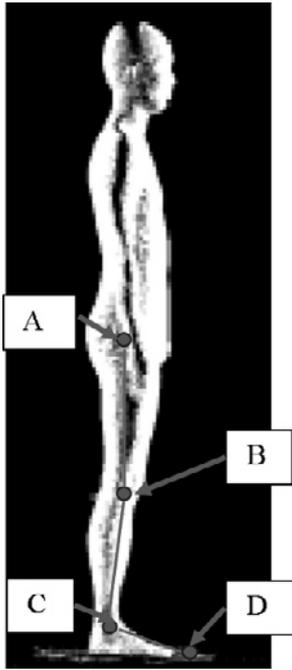


図6 マーカー取り付け位置

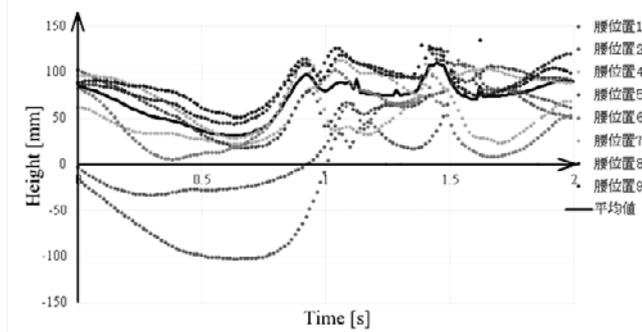


図7 跳躍時の腰位置高さの測定

ぐ筋肉で、力伝達要素として作用する。空気圧アクチュエータとして McKibben 型人工筋肉を用いており、人の筋肉と似た特徴を持っているため生物に近い滑らかな動作を実現することができる。人のようなダイナミックかつ滑らかな跳躍を実現するため、人の跳躍運動をモーションキャプチャーで測定し、跳躍に適した関節角度を解析した。図6に示すように人の腰、膝、踵、つま先部の4つの位置 A

～D にマーカーを取り付け、真上への跳躍時における位置情報を測定した。被験者には足の力だけで真上になるべく高く飛んでもらうように指示し、計9回の跳躍と測定を行った。図7に測定で得られた腰位置（図6での A 点）高さの遷移を示す。図7には9回分の跳躍とそれらの平均値を示している。関節ごとに測定される9回分のデータの平均値をロボットの運動制御の目標値として適用することで人体動作に近い自然な跳躍動作が可能となる。図8に一脚ジャンピングロボットによる跳躍動作の様子を示す。跳躍後の安定した着地が実現できており、人体の跳躍動作特徴の解析と応用に基づく動作制御の有効性が確認できた<sup>[7-9]</sup>。

### 2.3 遠隔操作型ロボット

自律動作する人型ロボットとは違い、遠隔操作型のロボットの場合、操作者から受け取った指示に応じて適切な行動をとらなければならない。ところが、ロボットの操作には知識や熟練が必要であり、操作者の意図をロボットに反映させにくいといった問題がある。遠隔操作における人の操作指示は、目標物の観察や巡回など、特定の作業を遂行することを意図してなされている。このような意図を解釈し、制御に反映することができれば、操作者は遠隔操作におけるロボットの危険回避や狭路進入時の車体制御などの操作目的と直結しない操作タスクから解放され、より直感的な操作の実現が期待できる<sup>[10]</sup>。

そこで、本研究の遠隔操作型ロボットシステムでは操作端末と環境計測センサを搭載した移動ロボットの開発と、アイマークレコーダーEMR-9を用いた自律動作と手動操作の融合システムを構築する。図9に開発した遠隔操作型ロボットの概要図を示す。このロボットの動作システムは、操作者の意図を反映する手動操作とロボット自身が判断して移動する自律動作の行動調停により構成されている。ロボットの移動方向や速度などの操作者の意図を操作端末とアイマークレコーダーからの視線動作の特徴から推定し、障害物回避や狭路進入の際の適切な制御量を出力することを目指している。

### 3. まとめ

モーションキャプチャシステムとアイマークレコーダーの概要を紹介し、これらを応用した研究結果の一例を示した。従来の人間共存型ロボット、特に人体を模したロボットの動作制御においては人体構造の生物学的知見や経験則および運動学から制御則を構築し

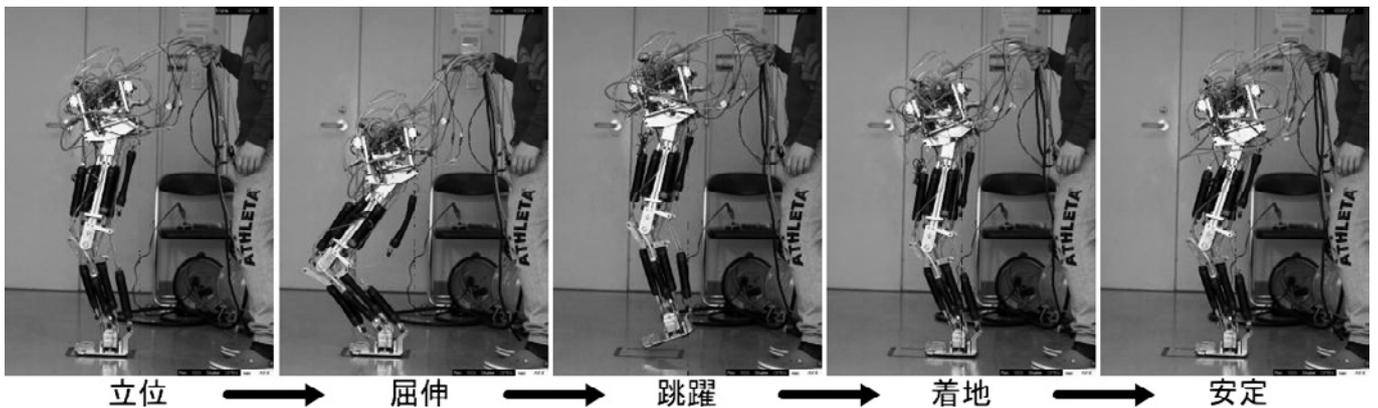


図8 一脚ジャンピングロボットによる跳躍動作

ていたが、モーションキャプチャシステムによる人体動作特徴の解析によってこれまでのロボット動作との差異から改善点の抽出が可能となった。人体の動作特徴の解析をさらに進めることで、人型ロボットでは前方への跳躍や連続跳躍などの実現が期待される。また、遠隔操作型ロボットでは操作者の意図を視線の動作から推定することで、操作端末のみと比べてより直感的で簡便な遠隔操作システムの実現が期待される。

#### 参考文献

- [1] 奥石健, “新型 ASIMO のデザイナー人と相手をし続けるための進化-,” Honda R&D Technical Review, Vol.25, No.1, pp.7-12, 2013.
- [2] 鴨川雄樹, 桑原陽平, 林憲玉, “腱駆動機構を用いたヒューマノイドロボットハンドの開発,” ロボティクス・メカトロニクス講演論文集, RM14-0869, 2014.
- [3] 小澤理央, 梶原滉一郎, 高西淳夫, 田村泰人, 林憲玉, “2足ヒューマノイドロボットの7自由度アームの軌道生成に関する研究,” ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A1-12b3, 2016.
- [4] Yuki Kamogawa, Kouhei Yamada, Hiroyuki Masuta and Hun-ok Lim, “Stability Control and Pattern Generation for Biped Humanoid Robot,” Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation and Systems, pp.910-915, 2013.
- [5] Rio Ozawa, Yuki Kamogawa, Yasuto Tamura, Hun-ok Lim, “Gait Pattern Generation under Disturbance Force,” 16th International Conference on Control, Automation and Systems, WA03-1, pp. 1127-1131, Gyeongju, Korea, Oct, 2016.
- [6] 飯島秀樹, 小室勇貴, 酒井慶次郎, 林憲玉, 高西敦夫, “人工筋肉を用いたジャンピングロボットの開発,” ロボティクス・メカトロニクス講演論文集, 3A1-E07, 2014.
- [7] 西晴義, 飯島秀樹, 瀬野洸太, 林憲玉, “人工筋肉を用いたジャンピングロボットの機構及び制御,” ロボティクス・メカトロニクス講演論文集, 1P2-C01, 2015.
- [8] Hideki Iijima, Keisuke Sayama, Hiroyuki Masuta, Atsuo Takanishi and Hun-ok Lim, “Mechanism of One-Legged Jumping Robot With Artificial Musculoskeletal System,” Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Control, Automation and Systems, pp.869-874, 2013.
- [9] Yuya Yamamoto, Haruyoshi Nishi, Yusuke Torii, Atsuo Takanishi, Hun-ok Lim, “Mechanism and Jumping Pattern of One-Legged Jumping Robot with Pneumatic Actuators,” 16th International Conference on Control, Automation and Systems, pp.1132-1136, 2016.
- [10] 田村泰人, 鈴木孝二郎, 増田寛之, 林憲玉, “移動ロボットを用いた遠隔操作と自律動作の行動調停に関する研究,” ロボティクス・メカトロニクス講演論文集, 2A1-07a3, 2016.