

筋骨格赤ちゃんロボットの開発

成岡健一 (JST, 阪大) 新山龍馬 (東大) 細田耕 (JST, 阪大) 國吉康夫 (JST, 東大)

A Baby Robot with an Artificial Musculoskeletal System

*Kenichi NARIOKA (JST, Osaka University), Ryuma NIIYAMA (University of Tokyo), Koh HOSODA (JST, Osaka University), Yasuo KUNIYOSHI (JST, University of Tokyo)

Abstract— Motor skills and cognitive abilities of a human are acquired during its infancy, while the mechanism of their development is still a big mystery. Our goal is to clarify the role of embodiment in the early stage of the development through experiments with a real baby robot. To study full-body and compliant interaction with the environment, we build a baby-size musculoskeletal robot driven by McKibben pneumatic artificial muscles. The robot can move in a long period of time without mechanical troubles or thermal problems. This paper describes a design concept of the baby robot, especially about the characteristics of the human-like skeletal structure including bi-articular muscles. This robot can be useful platform for many researches associated with cognitive developmental robotics.

Key Words: Baby Robot, Musculoskeletal System, Cognitive Developmental Robotics

1. はじめに

ヒトの認知能力と身体運動は、赤ちゃん期において発達の形成される。赤ちゃんの認知と運動の発達を解明するための構成論的アプローチ [1] として、小型ヒューマノイドロボットの開発 [2][3] や、赤ちゃんモデルの計算機シミュレーション [4] が行われている。

本研究では、初期の運動発達に重要な要素として、全身で環境と接触する運動、および赤ちゃんサイズの筋骨格身体に焦点を当て、赤ちゃんロボットを開発する。本研究の目的は、筋骨格系を備えた赤ちゃんロボットによる運動発達実験を通じて、赤ちゃんの身体性が運動発達に果たす役割を明らかにすることである。

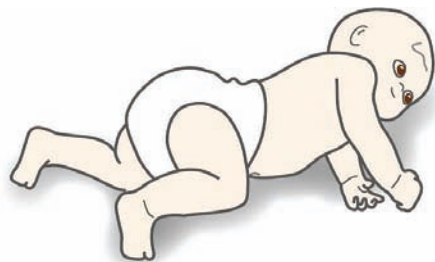


Fig.1 Infant movement involving complicated contacts

環境との複雑な接触をともなう運動として、寝返りやハイハイが挙げられる (Fig.1)。柔軟な表面を持った内骨格構造・多リンク系の正確な計算機シミュレーションは非常に困難であり、実ロボットによる実験が有効である。ところが、これまでに開発されている赤ちゃんロボット [5][6] の運動能力は限られており、ヒトの赤ちゃんのような多様な全身運動を実現するには至っていない。また、過負荷や衝撃に対する脆弱性、電磁モータの発熱は、長時間の運動発達実験の大きな妨げとなっていた。

本研究では、出力/重量比が大きく過負荷に強い空気圧人工筋で構成した人工筋骨格系によって、これらの

問題点の解決を図る。また、ヒトのような筋骨格構造を備えていることで、運動における拮抗駆動や二関節筋の効果を考慮することができる。

2. 赤ちゃんロボット “Pneuborn”

2.1 概要

筋骨格赤ちゃんロボット “Pneuborn” の主な設計仕様を Table 1 に示す。重量および体格は生後 7ヶ月程度のヒトの赤ちゃんを想定している。筋配置や関節可動域の設計は、機能解剖学やバイオメカニクス分野の知見、および実際の赤ちゃんの観察に基づいている。

Table 1 Spec of the baby robot.

サイズ	重量 7 kg, 身長 0.7 m
骨格	合計 21DoF: 腕 5×2(肩 3, 肘 1, 手首 1) 首 1, 脚 5×2(股 3, 膝 1, 足首 1)
筋肉	38 本 (追加可能)
制御系	内蔵 (CPU, 周辺回路, 空気圧弁)
動力源	内蔵 / 外部供給の切り替え式

ロボットは、制御機器や電源、空気圧源 (小型 CO₂ カートリッジ) を全て内蔵した自立システムとなっている。ただし、長時間の運動探索実験時にはコンプレッサを用いて外部から圧縮空気を供給する。運動に必要な感覚情報を得るため、接触センサや姿勢センサなど運動に重要なセンサの搭載を目指す。

2.2 空気圧人工筋骨格系

筋骨格系を工学的に実現するアクチュエータとして、McKibben 型空気圧人工筋肉を用いる。これによって、以下の特長を持ったロボットの実現を目指す。

- 機械的な柔らかさを備え、過負荷に強く、接触をともなう運動が可能
- 出力/重量比が大きく運動性能が高い
- 電磁モータと比較して発熱が少なく、長時間稼働できる

空気圧人工筋は圧縮空気の給気により軸方向に収縮し、その収縮率は約 25~30% である。また、内圧に従って剛性を制御できることが知られている。Fig.2 に人工筋を用いた関節駆動機構を示す。ひとつの関節に対して 2 本の人工筋を拮抗に配置することにより、関節の角度および剛性を制御することが可能になる。筋骨格構造に特有のメカニズムとしては、二関節筋を導入することができる。二関節筋はふたつの関節にまたがって作用する筋で、関節間の協調を担い、全身運動の獲得に影響していると考えられる。

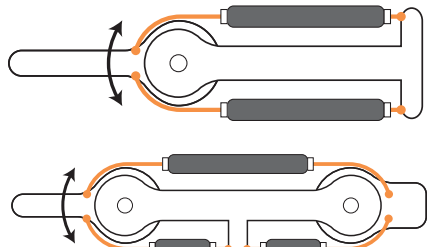


Fig.2 Antagonistic drive and mixture of bi-articular and mono-articular muscle..

また、二関節筋は単関節筋よりも大きな筋長を確保でき、関節可動範囲を広げられるという利点がある。これは、赤ちゃんサイズの小型ロボットの設計において工学的観点からも重要である。筋骨格赤ちゃんロボットでは、具体的に、ハムストリングス、大腿直筋、上腕二頭筋といった主要な二関節筋を実装する。

2.3 骨格系

赤ちゃんロボットの骨格系の CAD モデルを Fig.3 に、股関節を屈曲・外転・外旋したお座りの姿勢、およびハイハイの姿勢を Fig.4 に示す。コンパクトで可動角の広い 3 自由度関節を実現するため、股関節と肩関節はボールジョイントを用いる。ボールジョイントは、角度をつけて取り付けることにより、赤ちゃんの運動範囲をカバーするよう工夫した。これは、ヒトの解剖学的構造とある程度一致している。環境との接触を考えると、骨格と筋肉による身体形状は重要な要素である。そこで、体幹部には丸みをおびた構造(肋骨)を持たせた。

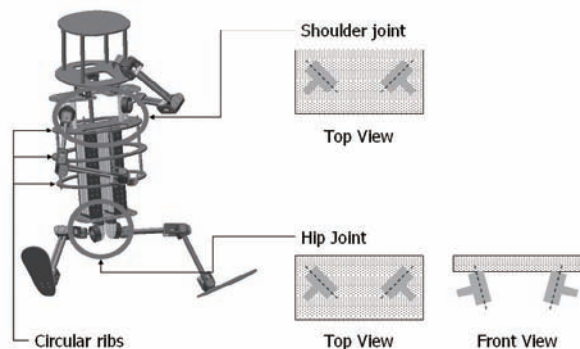


Fig.3 Configuration of the hip joint and shoulder joint.

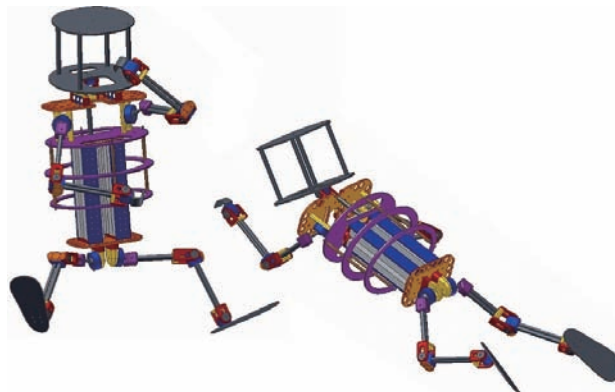


Fig.4 Skeletal structure of the baby robot "Pneuborn".

3. 今後の課題

本稿では、ヒトの初期運動発達を調べるための筋骨格赤ちゃんロボット“Pneuborn”の基本的な設計コンセプトについて述べた。ロボットの特長は、ヒトに近い人工筋骨格系を備えていること、空気圧アクチュエータを採用することで環境との接触をとまなう全身運動の試行を長時間実行できることである。身体運動の基盤として二関節筋をふくむ筋骨格系を備えていることからヒトの運動との類似と差異について議論することができる。

現在、骨格に空気圧人工筋を配置したプロトタイプが完成し、基礎実験を行っている。今後は、柔軟で丸みをもった外装の製作、体幹自由度の追加、運動プリミティブの実装、および実環境での運動の試行と探索の実験を行っていききたい。展望としては、人間が直接働きかけられる実ロボットの特性 [6] を活かして、母子間インタラクションや社会的コミュニケーションの初期発達に関する研究を行うことも考えられる。

参考文献

- [1] 浅田稔: “認知発達ロボティクスによる赤ちゃん学の試み”, ベビーサイエンス, Vol.4, pp.2-27, 2004.
- [2] 高妻真吾, 保坂紗智子, 大村吉幸, 長久保晶彦, 國吉康夫: “全身で運動する赤ちゃんロボットの触覚情報取得・解析”, ロボティクス・メカトロニクス 2007(ROBOMECH2007), 1A2-M08, 2007.
- [3] 石黒浩, 港隆史, 吉川雄一郎, 野田智之, 池本周平: “社会的共創知能”, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会, 3B14, 2007.
- [4] Yasuo Kuniyoshi and Shinji Sangawa: “Early Motor Development from Partially Ordered Neural-Body Dynamics – Experiments with a Cortico-Spinal-Musculo-Skeletal Model”, Biological Cybernetics, Vol.95, No.6, pp.589-605, 2006.
- [5] Giulio Sandini, Giorgio Metta and David Vernon: “The iCub Cognitive Humanoid Robot: An Open-System Research Platform for Enactive Cognition”, In: 50 Years of Artificial Intelligence, LNAI 4850, pp. 359-370, Springer-Verlag, 2007.
- [6] Hideki Kozima, Cocoro Nakagawa, Hiroyuki Yano: “Using robots for the study of human social development”, AAAI Spring Symposium on Developmental Robotics (DevRob2005), pp.111-114, 2005.