

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 18 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23700233

研究課題名（和文）筋骨格赤ちゃんロボットを用いた漸次的運動発達モデルの構築

研究課題名（英文）Modeling of incremental motor development utilizing a musculoskeletal infant robot

研究代表者

成岡 健一 (NARIOKA KENICHI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・特任研究員

研究者番号：30588356

研究成果の概要（和文）：

本研究では、漸次的な運動発達メカニズムの構成的解明に向けたロボットプラットフォームとして、空気圧人工筋骨格系および視触覚系を有する赤ちゃん型ロボットを開発した。まず、柔軟な人工皮膚の中にひずみゲージを埋め込んだセンサシステムを開発し、ロボットの静的および動的な状態判別に利用可能であることを確認した。次に、視覚系を利用してロボットの運動を自己評価させ、主観的視覚がハイハイ運動の発達に及ぼす役割について実験的に明らかにした。さらに、四足ロコモーションをより深く理解するための生物規範型四脚ロボットを開発し、動的走行を実現させた。

研究成果の概要（英文）：

In this study, an infant robot that has a pneumatic artificial musculoskeletal system and a visual and haptic sensor system has been built as a platform to investigate an incremental development of a human infant from constructive approach. Haptic sensor is realized by implanting strain gauges into a flexible artificial skin, and evaluated in static and dynamic ways. It is also investigated how subjective visual information affects the developmental process of the robot's crawling behavior. Moreover, a bio-inspired quadruped robot was developed as an expansion of the infant study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット

1. 研究開始当初の背景

ヒトの認知や運動の能力は乳幼児期に発達的に形成される。この発達メカニズムの解明は、ヒトの知能原理についての理解の深化、知的人工物の創造、臨床現場への応用など、多面的な意義を持つ。近年、認知発達ロボティクスが提唱され、ロボット等の人工エージェントを利用した構成的手法によって、新しい角度からの発達の理解が進められている。

発達現象の理解を深める際、脳神経系のメカニズムを熟慮することは必要であるがそれだけでは十分ではない。乳幼児が環境との複雑で多様な相互作用を通じて発達することを考えれば、その相互作用を規定し構造を与える身体性は発達において重要な役割を担い、とりわけ身体運動の基盤となる筋骨格系の影響は大きいと考えられる。しかし、既存の構成的研究においては筋骨格系を含む身体性の観点から運動発達を扱ったものはほとんど存在していなかった。

2. 研究の目的

本研究では、発達を形成する主要素として赤ちゃんの柔軟な身体性に着目し、運動発達におけるその役割を構成的に明らかにすることを目的とする。ヒト型の皮膚・筋骨格系と視触覚系を備えた乳児サイズのロボットによる実環境中での運動実験を通じて、人工筋肉と人工皮膚の柔軟性が環境にどのように作用するかを調査し、対象となる運動を創発させる計算モデル、身体構造、環境要因を明らかにする。その際、異種の運動間の関連性について調査し、それらの漸次的な発達モデルについて考察する。

3. 研究の方法

運動発達の問題を構成的に扱うためには、ヒトの赤ちゃんに近い身体構造と運動能力、および知覚能力を持つロボットプラットフォームが不可欠である。

そこで、実際の赤ちゃんの筋骨格構造、運動自由度、関節可動域、質量分布などを参考に、ほぼ同サイズのロボットを設計、製作する。筋骨格系は、直動式アクチュエータの一種であるマッキベン型空気圧人工筋を利用して再現する。同アクチュエータの持つ機械的柔軟性や低発熱性といった特徴により、環境と物理的相互作用を繰り返しながらの長時間の発達実験が可能となる。また、超軟質ウレタンゲルなどの柔軟材料を用いて人工皮膚を構成し、複数のひずみゲージを埋め込んだ皮膚・触覚センサシステムを開発する。さらに、頭部にカメラの搭載し、汎用的な画像処理ライブラリを利用しながら、画像特徴量を用いて環境中から対象物を切り出し、自身との距離を計測する視覚注意モジュールを実装する。

また、開発したロボットを用いて実環境内で発達実験を行い、実装した視触覚系を利用しながら、運動発達における計算モデル、身体構造、環境要因について調査する。

4. 研究成果

開発した筋骨格赤ちゃんロボットプラットフォームを図1に示す。胸部と腹部に筋を集中配置して筋ストロークを確保しつつ、腱駆動方式によって関節を駆動させることが可能になっている。頭部にはカメラを実装し、四肢は触覚センサシステムを着脱可能なよう、円筒型に設計した。

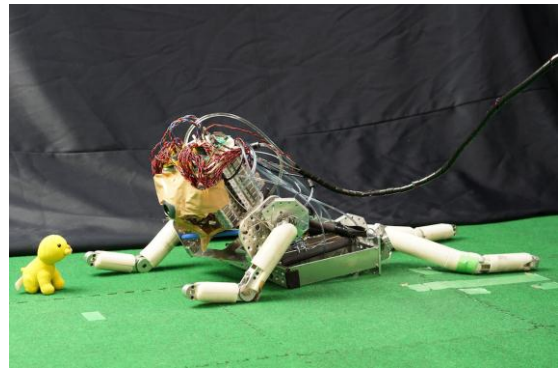
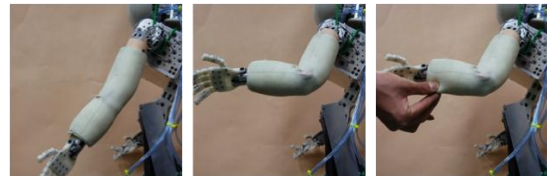
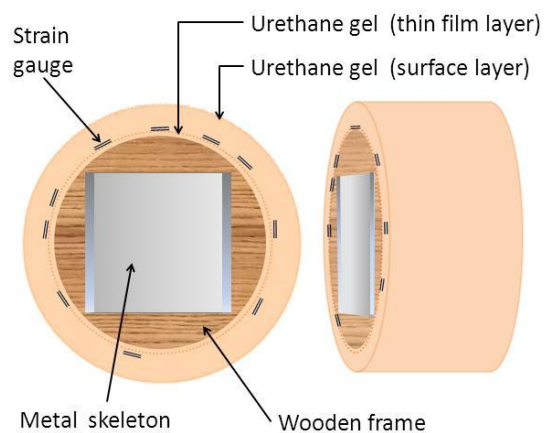


図1 開発した筋骨格赤ちゃんロボット



(a) 柔軟性を有する人工皮膚



(b) 皮膚センサの構造

図2 人工皮膚と触覚センサの構造

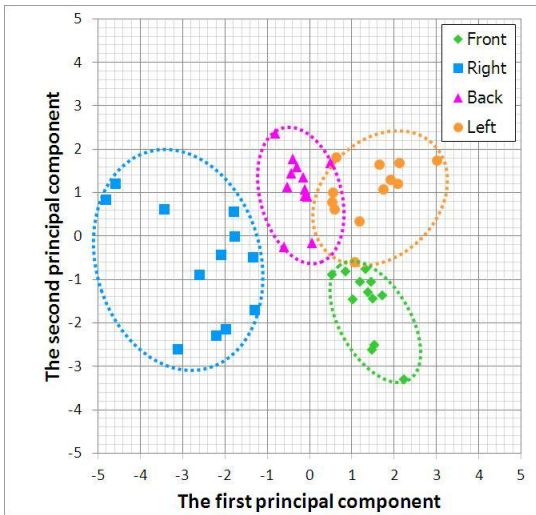


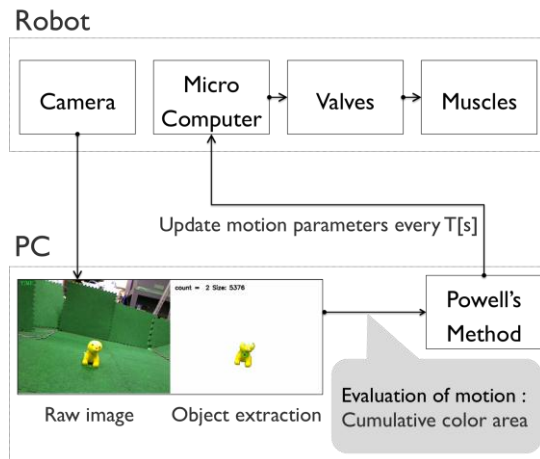
図 2 触覚センサシステムを用いた状態判別の例

まず、超軟質ウレタンゲル中にひずみゲージを埋め込んだ触覚センサシステムを試作し、その機能を評価した。柔軟な皮膚の外観を図 2(a)に、触覚センサの基本構造を図 2(b)にそれぞれ示す。赤ちゃんロボットの腕部に人工皮膚シートを巻きつけた状態で地面に押し付ける実験を行い、センサデータから静的な押し付け方向が判別できることを示した。結果の一部を図 2(b)に示す。次に、触覚センサを内蔵した人工皮膚を筒状に成形してロボットの四肢に固定し、皮膚に様々な物理刺激を与え、動的触覚機能を評価した。ロボットの四肢を周期的に運動させた際のセンサ情報から、環境との接触および自身の運動状態に関する識別が可能であることが示された。

また、ロボットに実装した視覚系を利用して運動をロボットに自己評価させ、主観的視覚が運動発達に及ぼす役割について調査した。図 3 に示すような学習アーキテクチャおよび神経振動子ネットワークを設計し、ロボットの興味をひく対象物の相対位置を変化させながら発達の様子を調べた。その結果、感覚の主観性と環境条件の関連性が明らかになった。また同実験を通じ、身体性と環境要因の組み合わせによって発達が漸次的に促進されるメカニズムについて考察した。

さらに発展的成果として、四足ロコモーションをより深く理解するための生物規範型筋骨格ロボットプラットフォーム (図 4) を開発し、赤ちゃんロボットの動作生成法を応用して動的走行を実現させた。同プラットフォームにより、歩容遷移メカニズムの解明が期待される。今後は、漸次的運動発達と関連させつつ調査を進める予定である。

Learning architecture



Neural oscillators' network

$$\dot{\phi}_i = \omega_i + \sum_j w_{ij} r_j \sin(\phi_j - \phi_i - \psi_{ij})$$

Motion parameter

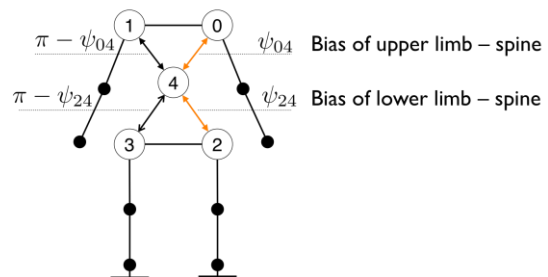


図 3 学習のアーキテクチャと神経振動子系

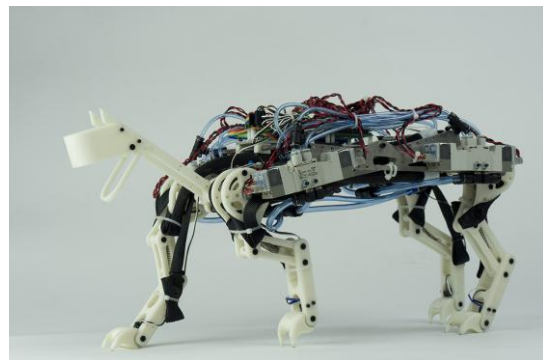


図 4 生物規範型四脚ロボット

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

成岡健一, 稲田健人, Andre Rosendo, 細田耕, “高速走行に向けた空気圧駆動式四脚ロボットの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2013 年 05 月 23 日, つくば

森山想一郎, 成岡健一, 細田耕, “柔軟な筋骨格系を有する乳児型ロボットの開発と運動発達を促進する環境条件の構成的解明”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2013 年 05 月 23 日, つくば

Kenichi Narioka, Andre Rosendo, Alexander Sproewitz, Koh Hosoda, “Development of a Minimalistic Pneumatic Quadruped Robot for Fast Locomotion”, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics 2012 年 12 月 11 日, 広州, 中国

石原慎也, 成岡健一, 森山想一郎, 細田耕, “触覚センサを内蔵した人工皮膚による赤ちゃんロボットの動作判別”, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 2012 年 09 月 20 日, 札幌

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成岡 健一 (NARIOKA KENICHI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・特任研究員

研究者番号 : 30588356