

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

石原慎也 (阪大) 成岡健一 (阪大) 森山想一郎 (阪大) 細田耕 (阪大)

1. はじめに

人間はさまざまな高度な運動を行うことができるが、生まれたばかりの赤ちゃんの頃からできるわけではなく、脳や身体の成長とともに獲得される。近年、赤ちゃんの発達メカニズムの理解に向け、認知発達ロボティクスという構成的手法が提案されている [1]。そのプラットフォームとして様々な赤ちゃん型のロボットが開発され、発達研究が進められている [2][3][4][5]。

赤ちゃんの発達には周囲の人間や地面、物などの環境とのインタラクションが大きな影響を与えていると考えられる。そのため赤ちゃんと同様のインタラクションを生み出し知覚する身体が重要となる。著者たちのグループでは筋骨格系を基盤とする身体構造に着目し、筋骨格を持つ赤ちゃんロボットの開発を進めてきた [6]。また、柔軟な素材からなる人工皮膚を赤ちゃんロボットに実装し、皮膚に埋め込んだ触覚センサ情報を用いて状態識別を行った [7]。しかし、皮膚および識別手法の問題から、実験者が人工皮膚を床面に押し付けた際の静的な状態識別にとどまっている。

本論文では、上記の人工皮膚の形状とセンサ密度を改良しロボット自身が運動した際の動的な動作の識別を目標とする。触覚センサの多次元の時系列データを南里らの異常動作検出 [8] を応用して解析し、複数の動作の判別を試みる。

2. 赤ちゃんロボットの概要

2.1 Pneuborn-7III

本研究で用いる赤ちゃんロボット Pneuborn-7III の外観を図 1 に示す。このロボットは生後 7ヶ月前後の赤ちゃんを参考にして作られている。身長約 85cm、重量は皮膚を含め約 8.0kg である。Pneuborn-7III の自由度構成を図 2 に示す。肩および股関節にボールジョイント

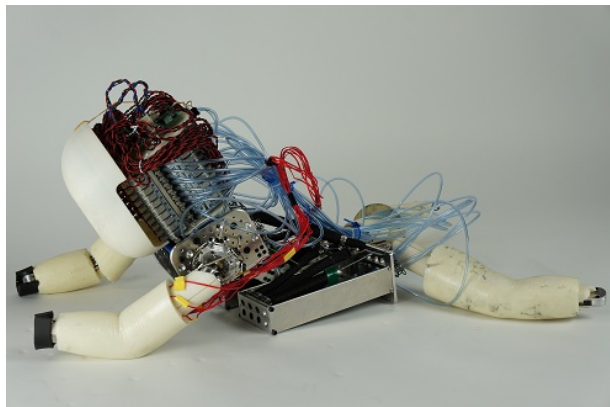


図 1 Pneuborn-7III の外観

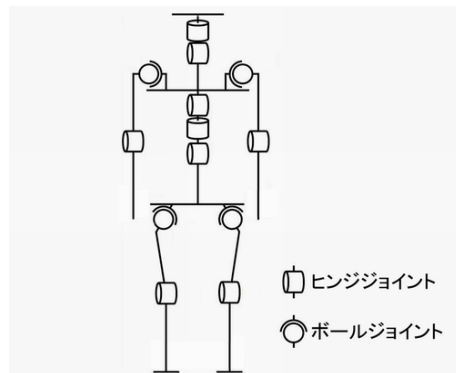


図 2 Pneuborn-7III の自由度構成



図 3 マッキベン型空気圧人工筋

トを用い、肘、膝にヒンジジョイント、首に上からヨー軸、ピッチ軸方向のヒンジジョイント、背骨に上からピッチ軸、ヨー軸、ピッチ軸のヒンジジョイントがあり、合計 21 自由度を有する。また、アクチュエータとしてマッキベン型空気圧人工筋 (図 3) を使用している。マッキベン型空気圧人工筋は電磁モータと比べて、筋の重量に対して出力が高く、柔らかいので環境との物理的接触に耐え、故障しにくい。また空気を圧縮して動作するので排熱の問題が少なく長時間駆動できるという利点がある。

2.2 触覚センサシステム

従来の人工皮膚 [7] はシート状で、2 枚重ねたシートの間にはひずみゲージ (センサ) を配置していた。この方式ではロボットの腕への固定が困難なうえ、センサが内部でずれて位置が変わり正確に情報をとれないという問題があった。今回はウレタンゲルを筒状に固め、腕にはめて装着できるように変更した。また、皮膚内部に直接センサが配置されるようにセンサをゲル内に配置した上で硬化させた。さらにセンサを 10 個から 30 個に増量し、図 4 右のように肘関節および前腕部に長手方向に 6 列、円周方向に 5 列の格子状に並べた。これは図 5 に示す通りロボットがうつぶせの体位の時に地面と接触する配置である。これらの改良により皮膚

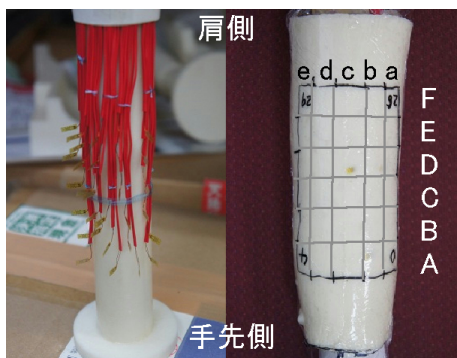


図4 製作した人工皮膚 (左: ひずみゲージ配置後 右: 完成品) 図右の黒い矩形で囲まれた部分に 30 個のひずみゲージが集中的に配置されている。

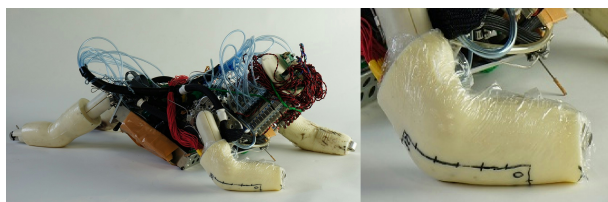


図5 人工皮膚を取り付けた Pneuborn-7III

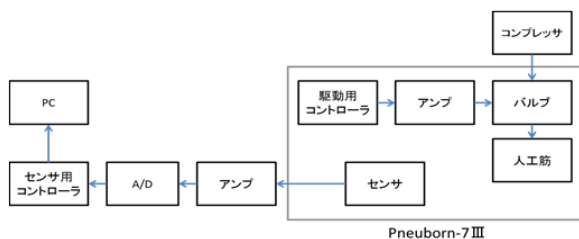


図6 全体のシステム構成

の変形が伝わりやすく、より確実にデータが取れると期待できる。なお皮膚は左右兼用で、今回はロボットの右腕に装着した。

皮膚を製作する手順は以下のとおりである。

1. 図4左のように皮膚の型の芯部分にひずみゲージを配置する
2. 型の外壁部分を固定し、ウレタンゲルを流し込む
3. 固まったら取り外して、表面コート剤を塗って保護する

図6のように赤ちゃんロボット、各種マイコン基盤、アンプ回路、PC、バルブ、コンプレッサを繋いだ。同図上側の駆動用コントローラによって給排気が制御され運動が生成される。皮膚内の触覚センサからくる30次元データはA/D変換され同図左下のセンサ用コントローラを介して20fpsでPCに送られる。

3. 動作判別手法

PCに送られてくる30次元のセンサデータを処理してロボットが行っている動作を分類する手法は南里らの異常動作検出[8]を参考にした。この手法ではCHLAC

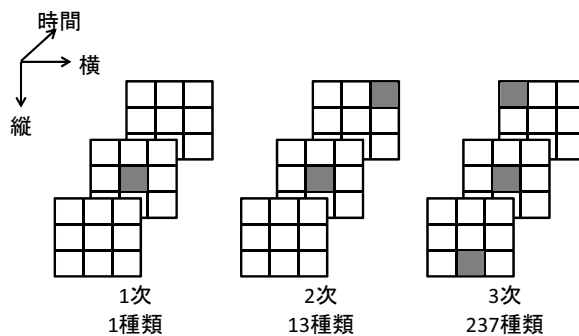


図7 CHLAC のマスクの例

特徴と主成分分析を用いて、動作特徴空間を通常動作中に特徴量が変動する空間とその直交補空間に分け、直交補空間での原点からのユークリッド距離を異常性を表す指標として使用する。本研究では2つの動作からそれぞれ指標を作り、それらを組み合わせて動作の分類を行った。

3.1 CHLAC 特徴について

CHLAC 特徴は、2次元画像を対象とする高次局所自己相関特徴 (Higher order Local Auto-Correlation: HLAC) に時間軸を追加して縦、横、時間の3次元に拡張したものであり、局所的な各方向への画素の連なりを特徴として導き出すことができる。具体的には図7のような $3 \times 3 \times 3$ のマスクパターンを対象の各画素と掛け合わせて特徴量を計算する。マスクパターンは各方向への連なりを過不足なく探し出すために1次では1種類、2次では13種類、3次では237種類の計251種類ある。あるマスクパターンについてある時間のすべての画素と掛け合わせた値を積分し、毎時間251次元のベクトルを作る。

CHLAC 特徴は、場所ではなくマスクパターンでまとめるので、検出したい刺激の場所を問わない、加法性を持っている、などの特徴を持っている。今回は皮膚から得られるセンサ値データを縦6ピクセル、横5ピクセルで20fpsの3次元データとみなし、二値化してCHLAC特徴を計算した。

3.2 判別指標の算出

通常状態のデータ列を主成分分析によって分析し、寄与率99%までの主成分の固有ベクトルで張られた部分空間を通常動作部分空間と定め、残り1%分の主成分の固有ベクトルでできる直交補空間を異常動作検知に使う。通常状態のデータ列のばらつきは99%が通常動作部分空間内で表現されていて、直交補空間内ではほとんどばらつきがない。すなわち直交補空間は通常状態中に共通している要素であると考えられる。あるデータが与えられた時、直交補空間内で原点からの距離が大きいなら、そのデータは通常動作とされている動作とは異なっていると言える。この論文の中では直交補空間内での原点からの距離を乖離度と表記する。

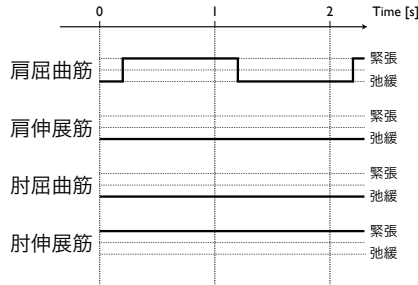
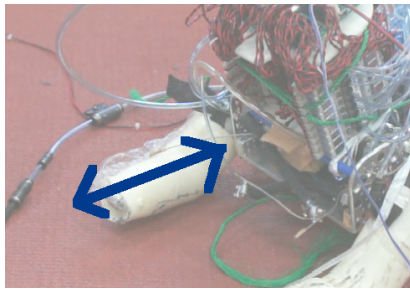


図 8 すりつけ動作：腕を前に出し前後にこすりつける
0 ms 300 ms 600 ms 900 ms 1200 ms 1500 ms 1800 ms



図 9 すりつけ動作時の触覚刺激 (一部)

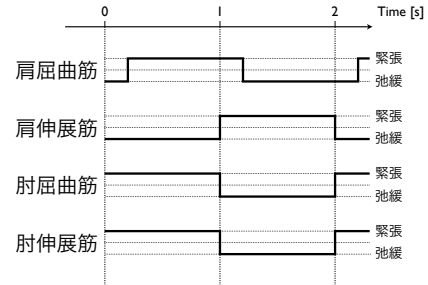
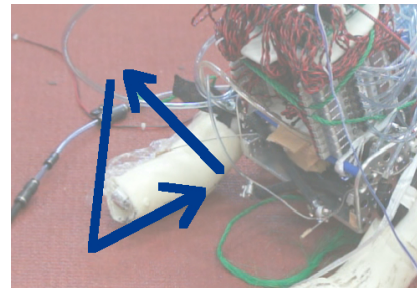


図 12 ずりばい動作：肘を曲げた状態で腕を前に振り下ろし引き寄せる
0 ms 300 ms 600 ms 900 ms 1200 ms 1500 ms 1800 ms

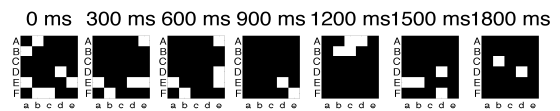


図 13 ずりばい動作時の触覚刺激 (一部)

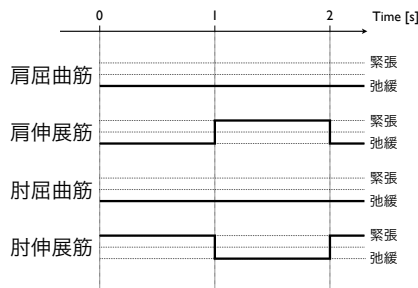
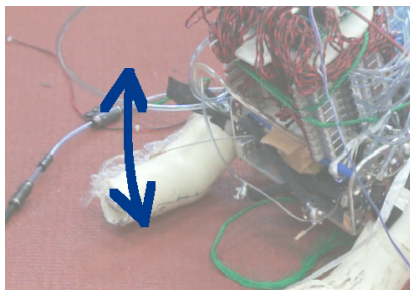


図 10 ふりおろし動作：肘を伸ばし上下に動かす
0 ms 300 ms 600 ms 900 ms 1200 ms 1500 ms 1800 ms



図 11 ふりおろし動作時の触覚刺激 (一部)

4. 動作判別実験

4.1 実験設定

ロボットに図 8, 図 10, 図 12 の 3 つの周期運動をさせ、その際の触覚刺激を計測した。運動は約 2 秒周期

で、各図下側の駆動パターンを繰り返す。図 8 は肘を駆動せず肩関節の屈伸のみを行う。この時ロボットは腕を肩から手先方向へ交互に動かして腕をこすりつける、この動作を本稿ではすりつけ動作と呼ぶ。図 10 は肘の伸展と肘の屈伸を交互に行い、腕を地面にたたきつける動作であり、これをふりおろし動作と呼ぶ。図 12 は肘の関節を固めて肩を屈曲させ、肩を伸展させるときにひじ関節を緩めることで、腕を振りおろし、内側に引き寄せ、持ち上げる動作である。ロボットの腕はロボットの体幹方向にこすり付けられることになる。これをずりばい動作と呼ぶ。

各運動時の触覚センサからのデータを二値化し、300ms 毎に並べたものを図 9, 図 11, 図 13 に示す。データは皮膚内の配置通りに並んでおり、下方向が肩、上方向が手先で、黒が 0 (非接触)、白が 1 (接触) を表している。

4.2 実験結果

計測した各動作のデータから 20 周期分 (約 40 秒間) のデータを抜き出して、各時刻の CHLAC 特徴ベクトルを算出した。次にすりつけ動作の CHLAC 特徴に主成分分析を行い、3.2 で述べた判別指標を作成した。同様にふりおろし動作を基準とする判別指標を作成した。続いて、各動作の CHLAC 特徴の 1 周期分を平均し、2 つの判別指標によりそれぞれ乖離度を計算した。2 つの乖離度を縦、横軸にとった空間上にプロットしたものを図 14 に示す。3 つの動作は明確に区別できている。すりつけ動作、ふりおろし動作はそれぞれを基準にして作った判別指標で乖離度が小さく、他方では大きい。左右すりつけ特徴とふりおろし特徴を持つずりばい動

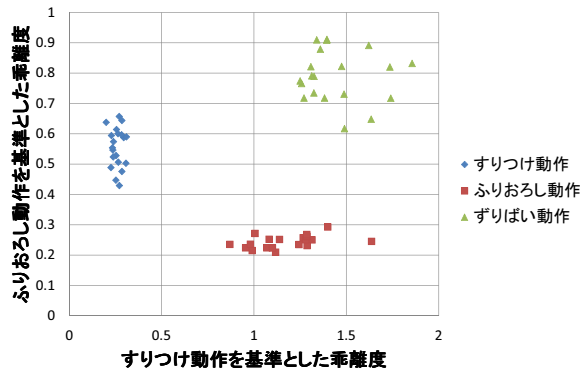


図 14 動作分類結果 基準とした動作と異なる動作は乖離度が大きくなる

作はどちらの指標でも乖離度が大きくなった。

5. まとめと今後の展望

本論文では触覚センサを内蔵した人工皮膚を改良し、ロボットに実装した。また製作した皮膚を用いて赤ちゃんロボットの運動の触覚刺激を計測し、運動の違いを特定の動作からの乖離度で表現して動作の分類を行い、その結果 3 つの周期動作を判別することができた。

今後は動作の特徴ごとに分類することを目標に、動作分類のための空間の生成法を見直し、より多くの動作のバリエーションの判別を可能にする判別指標を考えたい。そして、皮膚感覚を利用した運動発達モデルの構築を目指す。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、科学研究費補助金 (特別推進研究: 課題番号 24000012) および科学研究費補助金 (若手研究 (B): 課題番号 23700233) の補助を受けた。

参考文献

- [1] 浅田稔, 石黒浩, 國吉康夫: "認知ロボティクスを目指すもの", 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.1, pp.2-6, 1999.
- [2] 石原尚, 浅田稔: "子供酷似型ロボット Affetto の小型で柔軟な上半身機構", 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 1A3-8, 2011.
- [3] 林摩梨花, 石坂唯, 植田亮平, 吉海智晃, 稲葉雅幸: "全身分布三軸力覚センサを有する柔軟外装ロボットの密着インタラクション", 第 25 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 2L13, 2007.
- [4] 池本周平, ベン・アモルヘニ, 港隆史, 石黒浩, ユング・バーンハード: "物理的な人間 - ロボット間インタラクションを利用した柔軟関節ロボットの運動学習", 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 3S1-05, 2009.
- [5] 安本雅啓, 鍋島厚太, 國吉康夫: "赤ちゃんロボットを用いた物体志向動作の獲得", 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 3A2-2, 2010.
- [6] 成岡健一, 細田耕: "筋骨格系赤ちゃんロボットの運動発達における脊椎姿勢の影響" ロボティクス・メカトロニクス講演会 '10 予稿集, Vol.CD-ROM, 2010.
- [7] 成岡健一, 森山想一郎, 細田耕: "柔軟な筋骨格系および皮膚を有する赤ちゃんロボットの開発" ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 2P2-M01, 2011.
- [8] 南里卓也, 大津展之: "複数人動画からの異常動作検出", 情報処理学会論文誌 コンピュータビジョンとイメージメディア 46, 43-50, 2005.