

腰部・頸部の姿勢変換動作を支援する装着型ソフトロボット

Wearable Inflatable Robot for Assisting Postural Transition in Lumbar and Neck

○ 山本健寛（筑波大学） 鈴木健嗣（筑波大学/JST）

Takehiro YAMAMOTO, University of Tsukuba

Kenji SUZUKI, University of Tsukuba / JST

**Abstract:** We propose a wearable inflatable robot for supporting postural transition motion between lying and sitting posture. Inflatable and shape-changing soft actuators powered by pneumatic energy assist dominant joints in changing posture from lying to sitting. In a previous work, we focused on the lumbar joints to support and described a kinetics model of human as a simple 2-link model. However, children with severe motor disabilities, e.g. cerebral palsy, which are future target users of our proposed inflatable robot, are unable to fix their neck joint. The weight of head is relatively heavy with other parts of upper body, especially in the case of small infants. For this reason, we redesign the simplified kinetics model and develop a new type of inflatable actuator for assisting neck joint. Functions of the developed actuator are verified by experiments with dummy doll which is unable to fix the neck joint.

**Key Words:** Soft Robotics, Wearable Robot, Postural Transition, Neck Joint Support, Welfare Equipment

1. はじめに

脳性麻痺に代表される先天的な肢体不自由を持つ小児らは、自身の姿勢の保持や変換、調整を行う能力が低く、適切な姿勢を取らせることが側弯症などの姿勢異常や褥瘡の予防のみならず、運動機能の改善および発達のためにも重要である。そのため姿勢保持を支援する座位保持器に代表される器具の利用が効果的であるが、姿勢間の変換を行うには介護者による介助が必要である。装着型ロボットを用いれば、関節位置に適切に配置したアクチュエータにより関節運動の支援とその帰結としての姿勢変換を行わせることは可能である。しかし関節位置や姿勢、麻痺の度合に個人差が著しい肢体不自由児に対しては剛体外骨格の装着や適切なアクチュエータの配置が難しい。また、装着時には寝返りや臥位姿勢を含む運動を行わせることの困難も考えられる。

そこで我々は小児への適用を想定し、着用者の臥位・座位間の姿勢変換を支援する、柔軟素材のみで構成された装着型ソフトロボットを開発した<sup>(1)</sup>。これを図1に示す。関節の運動を支援する装着型ソフトロボットとしては、Oguntosinらの肘関節の屈曲・伸張を対象としたもの<sup>(2)</sup>や、Polygerinosらによる手指動作支援用グローブ<sup>(3)</sup>などが挙げられる。これらはいずれも空気圧の印加によって一定方向に膨張・収縮や屈曲をする柔軟なアクチュエータを関節の回転に利用している。図1の装着型ソフトロボットは、図1右側に示されたような、膨張時に蛇腹状に形状を変え接触面に対して回転指向性を持った力を発生させる空気圧アクチュエータにより主に腰関節周辺の支援をし、臥位・座位間の姿勢変換を支援する。また膨張するソフトアクチュエータを接地面に用いることにより、関節の回転のみならず運動時の支持基底面の増大による姿勢安定化にも寄与する。本稿では、臥位・座位間の姿勢変換運動の更なる効果的な支援を目指し、姿勢変換に際しての身体運動の簡便なモデル化と、新たに開発した首関節の支援を行うアクチュエータについて述べる。

2. 姿勢変換動作の身体運動モデル

本研究では、片側の前腕部で体幹を支持しつつ臥位・座位間の姿勢変換を行う動作を対象とする。これは、腰部の前屈のみによる姿勢変換に比べ、変換動作中の支持基底面が広くなり安定性が増すためである。対象の動作を3次元動作解析により計測し、重心位置の変化と全身の関節角度変化の相関を調べたところ、腰関節と股関節の屈曲・伸張が重心変化に対して高い相関を持つという知見が得られた。対象となる小児の体格の小ささも考慮し、姿

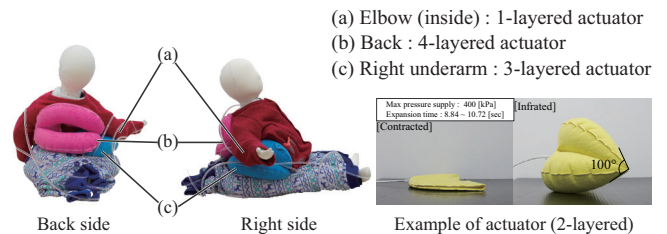


Fig.1 Wearable inflatable soft robot for postural transition between lying and sitting and its actuator

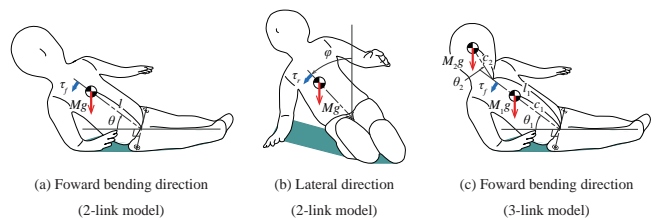


Fig.2 Simplified link model of the body motion

勢変換中の身体動作を表現する最も簡便なモデルとして腰部周辺に1関節を持つ2リンクモデルを考える。これを図2(a), (b)に示す。図2において、角度 $\theta$ ,  $\varphi$ はそれぞれ腰関節の屈曲角と、長座位姿勢時( $\theta = 90^\circ$ )の冠状面上における上半身の傾斜角度である。臥位姿勢時は $\theta = 0$ ,  $\varphi = 0$ であり、座位姿勢時は $\theta$ が $90^\circ$ 程度となる。また姿勢変換の際中に片側の肘で体幹を支える姿勢を取るため、 $\varphi$ の時間変化はいずれかの方向に凸になる。以降、 $\theta$ 方向を前屈方向、 $\varphi$ 方向を体側方向と呼ぶ。

これまで我々は最も簡単な2リンクモデルに基づき、腰部を中心に支援することでソフトロボットによる姿勢変換の支援を試みてきた。しかし肢体不自由児は定頸能力が低いことと、特に乳幼児は全体重の内、頭部の重量が占める割合が大きいことから、図2(a), (b)に首関節を加え、上半身リンクを頭部とそれ以外に分割した3リンクモデルを考える。前屈方向に関しての3リンクモデルは2(c)の通りである。このとき臥位から座位への変換時に腰部にかかる前屈方向の重力トルクを求める。問題を簡単にするため、体側方向の傾斜角度は腰関節・首関節が共に $0^\circ$ である時を考えると、

$$\tau_f = g(M_1c_1 + M_2l_1) \cos \theta_1 + gM_2c_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

となる．式 (1) の第 2 項より，座位への変換時に首関節が背部へ伸展したときはより大きなトルクが腰部に必要なとわかる．体側方向も同様で，重力方向への首の側屈角度が大きいほど腰関節へのトルクが増大する．以上より首関節の角度は臥位・座位間の姿勢変換運動に影響を及ぼすと考えられるため，定額及び首の回転を支援するアクチュエータを開発する．

### 3. 首関節支援用ソフトアクチュエータ

首関節の屈曲および固定を目的として図 3 に示す首関節支援用アクチュエータを開発した．本アクチュエータは複数の異なる性質を持つソフトアクチュエータにより構成される．いずれも材質は厚さ 0.1[mm] の PVC である．図 3 の各図において，左側の部分は図 1 のアクチュエータと同様に蛇腹状に形状変化し接触面を回転させる効果を持つ．この部分を首の後ろ側に来るよう配置することで，背部に伸展してしまう首関節を持ち上げる．

一方，図右側の円環状の部品は，主に首の一定角度での固定を行う．これは図 4 に示す構造のソフトアクチュエータを 2 つ連結したものである．図 4 は 2 枚の PVC シートを張り合わせたものであるが，シート (B) のみ，一定間隔で内側に織り込んだうえで接着をしている．これにより空気圧印加時にシート (B) 側が (A) 側に比べ伸びづらくなり，膨張後の形状も一定となる．アクチュエータ全体としては (A) 側のみ膨らむように形状変化をするため，シート (B) 側だけを見れば，空気圧によって膨張せず剛性のみが大きくなるように振る舞うといえる．そのため図 3 のように (B) 側を向い合わせるよう円環状に連結し，首に巻くように装着した場合でも，装着者の首を過度に締め付けずにアクチュエータの剛性の変化により定額の支援が行うことができると考える．

### 4. 動作検証実験

開発した図 3 のアクチュエータによって首関節の運動支援が可能であるかを検証するために，首関節が固定できないダミー人形を利用して動作実験を行った．なおこのダミー人形は 1 歳児の体格を模したものである．実験に使用したダミー人形は図 6(a) に示すように，支持が無い場合は首を鉛直方向に固定することができない．これに図 3 のアクチュエータを取り付け，首関節の挙上と固定が可能であるかの検証を行った．空気圧源として，市販の 74g の CO<sub>2</sub> 新瓶ボンベを使用し，レギュレータによって 0.4[MPa] に調圧して供給した．ダミー人形の首関節は背中側へ伸展させた状態を初期位置とした．動作の様子を図 5(b)，(c) に示す．図 5 より，開発した首関節支援用ソフトアクチュエータによってダミー人形の頭部が挙上され，さらに首関節が固定されることが確認できた．その後，ダミー人形の頭部に重りを取り付けて再度実験を行った．使用した重りのはの質量は合計 2.3[kg] であり，これは Sun らの乳幼児の身体部位に関する研究成果<sup>(4)</sup>に基づき算出した 1 歳児の頭部の質量に相当する．実験の結果，2.3[kg] のダミー人形の頭部を用いた場合も，開発したアクチュエータにより頭部を挙上の後に首関節の固定が可能であった．このとき首関節の角度変化量は最大で約 60.1° であった．

### 5. おわりに

本研究では，柔軟物の形状や剛性の変化を利用して着用者の臥位・座位間の姿勢変換を支援する装着型ソフトロボットを開発し，姿勢変換動作支援の更なる改善のために新たに首関節を支援するアクチュエータを開発した．首関節を鉛直に固定することが不可能なダミー人形に対し開発したアクチュエータを装着させ動作させることにより，1 歳児の頭部と同等の質量をもつ頭部の挙上並びに首関節の固定が可能であることを確認した．今後はより詳細なアクチュエータの性能評価や，首関節の支援の有無が実際に臥位・座位間の姿勢変換動作支援に寄与するかを調査するほか，実際の小児や肢体不自由児に装着型ソフトロボットを適用した際の安全性や姿勢変換支援の実現可能性を検証していきたい．

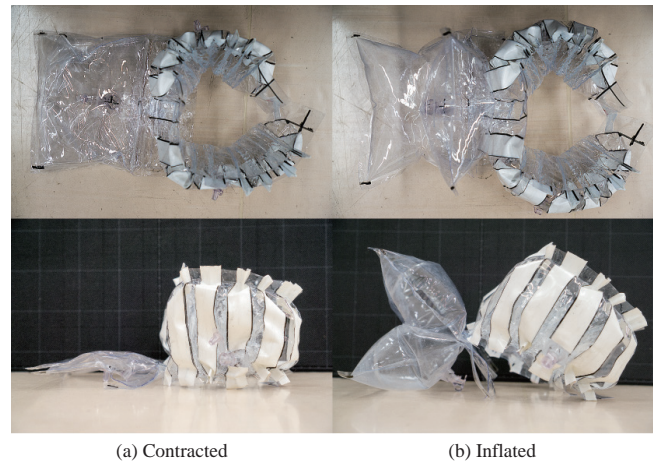


Fig.3 Inflatible actuator for assisting neck joint (top view / side view)

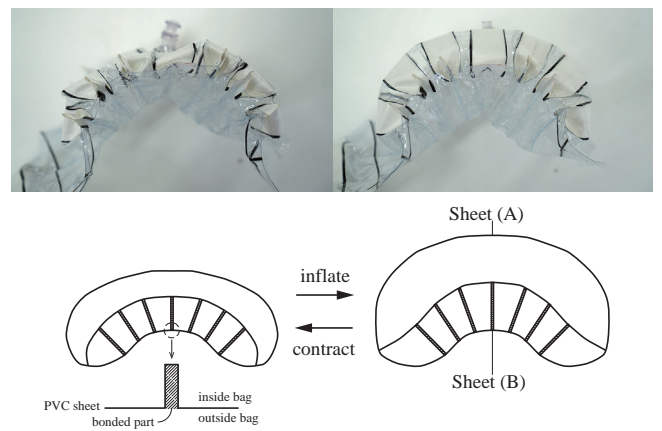


Fig.4 Component of the actuator for stabilizing neck posture

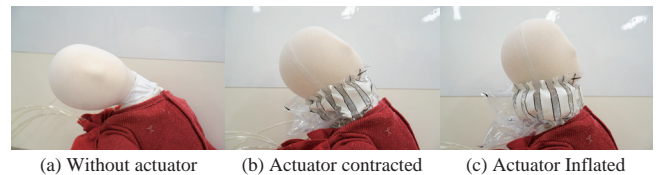


Fig.5 Assisting neck joint by using proposed actuator

### 参考文献

- (1) Yamamoto, T., Kadone, H., and Suzuki, K., “Wearable Inflatible Robot for Supporting Postural Transitions in Infants between Sitting and Lying”, *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2015)*, pp. 2289-2294, 2015.
- (2) Oguntosin, V., Harwin, W. S., Kawamura, S., Nasuto, S. J., and Hayashi, Y., “Development of a wearable assistive soft robotic device for elbow rehabilitation”, *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR 2015)*, pp. 747-752, 2015.
- (3) Polygerinos, P., Wang, Z., Galloway, K. C., Wood, R. J., Walsh, C. J., “Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation”, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 73, pp. 135-143, 2015.
- (4) Sun, H., Jensen, R., Body segment growth during infancy, *Journal of Biomechanics*, Vol. 27, No. 3, pp. 265-275, 1994.