

広い可動域を有する空気圧駆動小型ヒューマノイドの5自由度肩機構の開発

Design of 5-DOF Pneumatically Actuated Shoulder with wide ranges of motion for Miniature Humanoid

○ 横尾 亮輔 (大阪大) 石原 尚 (大阪大)
正 浅田 稔 (大阪大)

Ryosuke YOKOO, Osaka University, ryosuke.yokoo@ams.eng.osaka-u.ac.jp

Hisashi ISHIHARA, Osaka University, ishihara@ams.eng.osaka-u.ac.jp

Minoru ASADA, Osaka University, asada@ams.eng.osaka-u.ac.jp

Humanoid robots with a large number of compliant joints with wide ranges of motion is durable, because they can avoid postures that may destroy their surroundings and their own bodies. However, it is difficult to equip robots with such joints similar to humans due to space limitation. For this problem, a child type robot “Affetto” has been developed and a large number of compliant joints has been realized in its small body by using both rotary and linear pneumatic cylinders. However, particularly in its shoulder, ranges of motion is not sufficient to show several human-like postures. In this paper, we aim at the development of compact shoulder mechanism having five degree of freedom and wide range of motion by using air cylinders.

Key Words: Humanoid, Pneumatic, Shoulder

1 緒言

可動域が広く、且つバックドライバブルな関節自由度を多く備えるヒューマノイドロボットは、接触対象や機構自体を破壊してしまうような力が発生するような無理な姿勢になることを避けることができるため、安全性や耐久性の面で有利である。また、取りうる姿勢のバリエーションが多いことは、操作範囲の拡大だけでなく、様々なジェスチャをより幅広く表現可能であることを意味する。しかし、小型のロボットに人と同等の自由度数と可動域を備えさせることは、スペースの制約上簡単ではない。上記の問題に対して、回転型と直動型のエアシリンダを併用した手法により幼児型ロボット Affetto が開発された [1](図1)。エアシリンダは減速機なしに速く、力強い運動だけでなく、また柔らかい運動を実現でき、また駆動部と空気圧制御部を離して設置可能であるためにロボット本体を小型にできるという利点がある。Affetto は、身体スペースや要求されるトルクに合わせて回転、直動型エアシリンダを使い分けることで、肩幅 20cm 程度ながらも 22 自由度の上半身機構と 10 自由度の脚部機構を実現している [5, 6]。しかし、特に肩部において、人と比較して自由度数と可動域が不足しており、実現不可能な姿勢が多かった。

本研究では、エアシリンダを用いて小型かつ広い可動域を有する片側 5 自由度の肩機構の開発を目指し、アクチュエータの形状や出力の選定や配置について検討することを目的とする。Affetto の設計を基にしつつ、構造部品の一体成形により部品点数を削減することでスペースのさらなる有効利用を図る。その上で、アクチュエータの選定や配置を全体に渡って見直し、機敏に腕を動作させるのに十分なトルクを有しながらも人並みの広さの可動域の実現を目指す。

2 設計目標

大きさは Affetto と同じく 20ヶ月齢児の寸法データ [2] を目標とする。これらの値は全体的なプロポーションを幼児の上肢に近づけるための目安であり、大きく形状を損なわない程度であれば、変動しても構わない。

関節可動域は様々な姿勢を再現できるように、ヒトの関節可動域を参考とする。本研究では、測定法が詳細に記述されている上肢の関節可動域の測定結果 [3] を目標とする。

関節に対する負荷が最も大きい姿勢をとった状態からでも、その負荷に対抗する向きに 0.5 秒で 90° 回転させられるだけのト



Fig.1 Appearance of Affetto

ルクが発揮出来ることを目標とする。関節に大きな負荷がかかる姿勢は、外転 90° の姿勢と屈曲 90° の姿勢である。トルクの計算手順は以下の通りである。

1. 各部位の慣性モーメント I [kg] を算出
2. 回転方向に重力が作用する場合、関節に対する負荷が最も大きい姿勢をとった際にかかる抵抗負荷 $T_f = mgL$ を算出 (T_f :抵抗負荷 [N·m], m :負荷の質量 [kg], g :重力加速度 9.8[m/s²], L :揺動中心から重力の作用点までの距離 [m])
3. 慣性を持つ負荷を回転させる場合にかかる慣性負荷 $T_a = I \cdot \ddot{\theta} = I \cdot \frac{2\theta}{t^2}$ を算出 (T_a :慣性負荷 [N·m], θ :揺動角度 $\pi/2$ [rad], t :揺動時間 0.5[s])
4. 必要トルク $T = T_f + T_a$ を算出

計算した結果、目標トルクは肩部ヨー軸は 1.6[N·m]、肩部ロール軸は 1.8[N·m]、上腕部ピッチ軸とロール軸は 1.3[N·m]、上腕部ヨー軸は 0.1[N·m] となった。

3 設計

自由度の配置の順番は Affetto と同じく回転型と直動型エアシリンダを用い、肩に 5 自由度を有しているロボット [4] を参考とし、同じ順番で配置した。具体的には、体の中心に近い方から肩のヨー軸、ロール軸、上腕部のピッチ軸、ロール軸、ヨー軸の順に配置した (図2)。CAD 上でエアシリンダの型や配置場所を変

更しながら幾つかのパターンを作成し、それぞれについて可動域やトルクを見積もった。その結果、肩部ヨー軸、上腕部の3軸のエアシリンダを回転型に、肩部ロール軸のエアシリンダを直動型のものにすると、可動域とトルクにおいて設計目標を満たすことがわかった。次に構造部材の設計について述べる。部品点数が多いと、その分締結部品も多くなり無駄なスペースが増えるため、本研究では部品を一体成形することにより部品点数の削減を図った。構造部材においてはアクチュエータ間の各リンクを可能な限り1つの部材で作ることを目標とした。組み付けの都合上、全てのリンクを1つの部材で作ることは出来なかったが、構造部品点数は8となり以前の Affetto の構造部品点数 17 に対しおよそ半分に減らすことが出来た。

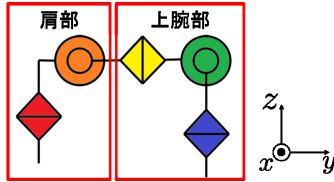


Fig.2 Kinematic diagram of the developed shoulder

4 設計結果・評価

設計した左肩用の試作機の外観を図3に示す。試作においては3Dプリンタを用いた。各部寸法は図4に示す。なお、単位は[mm]である。

製作した試作機を各部寸法、可動域及びトルクについて評価する。目標寸法と試作機寸法を比較すると、大幅に異なる点はない(表1)。目標値よりも大きくなってしまった肩峰幅についても+6.5%に収まっており、肩部として違和感はない。関節可動域に関しては全ての部位において以前の Affetto よりも向上させることが出来た(表2)。また、実際の人の動作における目標値[3]と比較しても、全ての部位において目標値を満たしていることが確認できる(表3)。また、各関節トルクにおいては全ての部位で目標値を満たし、安全率は少なくとも1.3を達成した(表4)。上腕部ヨー軸は以前の Affetto よりもトルクが下がってしまったが、安全率は5.0あるため、十分であると考えている。



Fig.3 Appearance of prototype

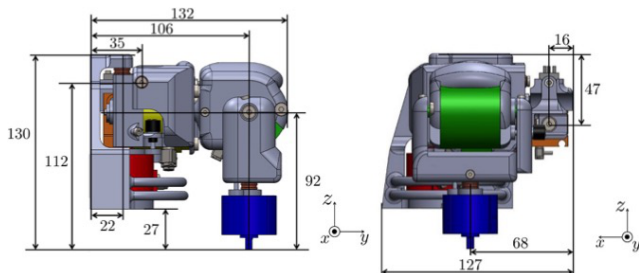


Fig.4 Dimensional outline drawing of the developed shoulder in front (left) and side (right) views

Table 1 Size comparison(unit:mm)

名称	旧	新	目標	差 [%]
肩峰幅	217	212	199	+6.5
胸部横幅	177	144	169	-14.8
胸部厚み	135	112	126	-11.1

Table 2 ROM comparison between Affetto and the developed shoulder

部位 / 軸	旧 [°]	新 [°]	差 [%]
肩 / ヨー	-	57	-
肩 / ロール	22	80	+264
上腕 / ピッチ	100	270	+170
上腕 / ロール	90	100	+11
上腕 / ヨー	100	180	+80

Table 3 ROM comparison between desired value and the developed shoulder

名称	目標値 [°]	試作機 [°]
屈曲伸展	180-50	180-90
外転内転	180-0	180-0
水平屈曲伸展	135-30	143-94
外旋内旋	60-80	90-90

Table 4 Torque comparison(unit:N·m)

部位/軸	旧	新	目標	安全率
肩/ヨー	-	2.1	1.6	1.3
肩/ロール	5.5	5.6	1.8	3.1
上腕/ピッチ	2.1	2.6	1.3	2.0
上腕/ロール	3.5	5.2	1.3	4.0
上腕/ヨー	0.9	0.5	0.1	5.0

5 結言

本研究では部品の一体成形と回転及び直動型エアシリンダの併用により、20ヶ月齢児と同程度の寸法の制約のもとでも、人並みの可動域と1.3以上の安全率を実現可能であることを確認した。今後は耐久性及び制御性の向上、また、柔軟皮膚の実装のための表面形状の平滑化が必要である。

6 謝辞

本研究は、科学研究費補助金 特別推進研究(24000012)及び科学技術人材育成費補助金 テニュアトラック普及・定着事業の補助を受けた。

文 献

- [1] Hisashi Ishihara and Minoru Asada. Design of a 22 dof pneumatically-actuated upper body for a little child android 'affetto'. Advanced Robotics. to appear.
- [2] 人間生活工学研究センター, 子どもの身体寸法データベース. <http://www.hql.jp/database/children/>.
- [3] 米本恭三, 石神重信, 近藤徹. 関節可動域表示ならびに測定法. リハビリテーション医学, Vol. 32, No. 4, pp. 207-217, 1995.
- [4] Takashi Minato, Yuichiro Yoshikawa, Tomoyuki Noda, Shuhei Ikemoto, Hiroshi Ishiguro, and Minoru Asada. CB2: A child robot with biomimetic body for cognitive developmental robotics. In Humanoid Robots, 2007 7th IEEE-RAS International Conference on, pp. 557-562. IEEE, 2007.
- [5] 豊山翔平, 石原尚, 浅田稔. エアシリンダを用いた幼児型ロボットの脚部開発. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2014. 3A1-C05.
- [6] 豊山翔平. スライダクランク機構を用いた空気圧駆動による小型脚部機構の可動域向上. 大阪大学修士論文, 2015.