

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	バルーン型ジャコメッティアームの試作
Title	A prototype of a Giacometti Arm with Balloon Body
著者	武市将, 鈴森康一
Author	Masashi Takeichi, Suzumori Koichi
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 予稿集, Vol. , No. , 2A1-17a6
Journal/Book name	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , 2A1-17a6
発行日 / Issue date	2016, 6
URL	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。

バルーン型ジャコメッティアームの試作

A prototype of a Giacometti Arm with Balloon Body

○学 武市 将（東工大） 正 鈴森 康一（東工大）

Masashi TAKEICHI, Tokyo Institute of Technology, takeichi.m.aa@m.titech.ac.jp
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

As one of Giacometti Robots, the potential of a very long, very light and very simple robot arm with balloon body is discussed in this paper. While this robot is not suitable for precious positioning, rapid motion, and big load capacity, which most of conventional robots have been seeking, it is designed for very specific purposes such as inspection with a small camera at the tip and it is essentially safe even if it falls down or hits something. Helium filled balloon bodies and thin pneumatic muscles realize this robot.

The arm fulfills a self-weight compensation and the possibility of design of very long arm is shown theoretically. The prototype of a 7-m-long cantilever arm is designed, developed and tested.

Key Words: Inflatable Robot, Manipulator, Robot arm, Giacometti Robotics, Artificial Muscle, Soft Robot

1. 緒言

現在使われているロボットの多くはモータ・センサ・リンク機構を用いたものである。これらのロボットは年々高性能化・高機能化が進む一方、重量の増加やシステムの複雑化も伴う。これらは扱いづらい・暴走時に危険であるといったことにつながり、しばしば現場投入の弊害になる。そこで我々は、こうしたロボットとは真逆ともいえる新しい考え方として「Giacometti Robotics」を提案している[1]。Giacometti Roboticsでは、そのロボットが持つ本質機能のみに特化し、他のあらゆる機能を削ぎ落としたとても軽量でシンプルなロボットの実現を目指している。これらのロボットは扱いやすく周りに危害を加えにくいので、今後のロボティクス分野の新たな一領域になるのではないかと考えている。Giacometti roboticsの例として、これまで長尺軽量細径な6脚のロボット[2]や長尺、細径なアーム[3]を提案しており、本稿では超長尺、超軽量なアームを提案する。

これまでに開発された長尺アームの例として、CEALISTのAIA[4]、OCロボティクス社のSnake-arm Robots[5]、東工大のMini 3D CT-Arm[6]がある。これらは高機能で環境耐性も高いが、その分かなりのパワーを必要とし操作も慎重にならざるをえない。また、長さも長くて10m程度であり、それ以上のものは存在しない。また、近年インフレータブルなロボットに関する研究が盛んに行われている。これはインフレータブルな構造が非常に軽く柔軟いので人に対する危険が少ないことによる。インフレータブルな構造材を使用したアームもあるが数mオーダーであり特別長いものは存在しなかった[7][8]。

本稿では、インフレータブルな構造材と後述する細径McKibben型人工筋肉を用いることで、軽量で安全なロボットの実現を目指した。また、インフレータブルな構造材の中にヘリウムを充填し浮力を発生させることで、今まで実現しえなかった長さのアームの実現も目指し、このアームをジャコメッティアームと名付けその試作と実験を行なった。

2. 開発概念

現在開発されている様々な長尺ロボットアームは、主にワイヤ駆動が用いられるが、この場合根元で非常に大きな圧縮力が生じてしまう。一方、ジャコメッティアームはアクチュエータに我々が開発した細径McKibben型人工筋肉を用いている[9]。この細径McKibben型人工筋肉は、直径1.8mm、質量1g/m、0.3MPa印加時に最大収縮率26%、最大収縮力14Nと従来のアクチュエータに比べ非常に大きな「発生力/自重比」を示し、さらに空圧駆動の特性上、関節部のみで圧縮力が発生するので、剛性の低い構造材も使用可能である。

アクチュエータ自体が数gであり1節あたり40g程度であることから、その構造材内部に充填する気体をヘリウムにすることで、浮力による自重補償を行い根元で発生するアームの自重によるモーメントをゼロにした。

ジャコメッティアームは先端に数gのカメラを搭載し、観察のみを行う。図1に3節のジャコメッティアームの概観図を示す。1節に2つの人工筋肉を拮抗させる形で配置させているが根元の人工筋肉以外は3つの節にまたがっており2関節筋のような配置にしている。これは、構造材どうしの干渉によ

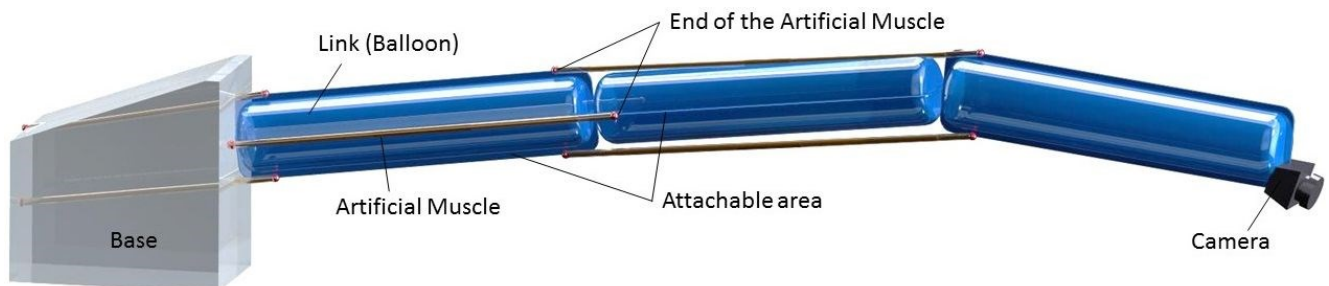


Fig. 1 Schematic design of Giacometti arm

る可動域の制限があるため、1つのジョイントにピッチ軸とヨー軸の2自由度をもたせ可動域を総合的に広げるとともに、アクチュエータの数を最小限にし、軽量化を達成するためである。将来的には、20節、20m、20自由度のロボットアームを開発予定である。ジャコメッティアームは高精度な位置制御はせず、むしろ高いコンプライアンス性と周りへの影響の少なさから途中にある壁・床等にぶつかりつつも支えられながら進むことも想定している。

3. ロボットアーム設計

3.1 構造体直径の決定

まず全体で必要となるモーメントを見積もる。 n 番目のリンクがアームの先端だとすると、

$$M_{all} = \frac{nl}{2} [n(m_m + m_l + m_j) - m_j]g - n f_b] + n l m_c g +$$

$$\sum_{k=1}^n (k-1) l a_k m_p g + \sum_{k=1}^n 2(n-k) \left(k - \frac{1}{2}\right) l m_t g \quad (1)$$

となる。ここで、フィルム風船の長さ l 、半径 r 、質量 m_m 、人工筋肉の質量 m_p 、 i 番目のアーム(先端が n 番目)を動かすのに必要な本数 a_i 、人工筋肉に空気を送るためのチューブの単位長さあたりの質量 m_t 、関節を曲げる機構の質量 m_j 、先端に搭載するカメラの質量 m_c 、カメラからつなぐケーブルの単位長さあたりの質量 m_l 、フィルム風船の中にいれるヘリウムの単位体積あたりの浮力 f_b とする。ここで、単位長さと単位体積は1節の長さ l と体積 V を指す。フィルム風船の質量は半径に比例し、浮力は半径の2乗に比例するため、完全な自重補償を行うためには、構造材の直径が重要となる。各関節の重さを比べた時に、最も重くなるのは送気チューブの本数が最も多い根本部分である。よって根本部分について重さの釣り合いを考えると以下の式が成り立つ。

$$f_b \frac{l_n r_1^2}{l r^2} = \left(m_m \frac{l_n r_1}{l r} + 38 m'_t + m'_l + m_j + 2 m_p\right) g \quad (2)$$

よってそれぞれ具体的に数値を代入していくと、 $r_1 = 114.8\text{mm}$ となる。添字は n 番目でのパラメータを表す。ここで、 $m'_t = m_t l_n / l$ 、 $m'_l = m_l l_n / l$ である。今回は、プロトタイプとして十分浮力を得られるであろう直径約300mmのフィルム風船を用いて実験を行う。

3.2 関節部の設計

関節部では軽重視のために樹脂ワイヤ(ダイニーマ®)を用いて各節どうしを結ぶという方法を採用した。フィルム風船の端部と樹脂ワッシャを接着させることによって、フィルム風船どうしがワイヤで結べるようになっている。この方法ではジョイントは球対偶のような形となるので、ピッチ、ヨー、ロール軸に自由度を持つ。ピッチ軸とヨー軸に関しては人工筋肉で動きを制御し、ロール軸はワイヤを用いて人工筋肉の構造材周方向の移動をある程度制限することで動きを抑えた。

3.3 人工筋肉印加圧力の設定

アームについて図2のようなモデルを設定し、角度に応じた必要な人工筋肉の長さ l とトルクを計算した。上下の人工筋肉が0.3Nmずつトルクを発生させ拮抗させる形を取った。可動範囲がなるべく大きくなるように人工筋肉の初期長さ l_0 を決定し、アーム角度と人工筋肉の収縮率と人工筋肉の発生力の関

係を計算した。その後で角度ごとにそれぞれの人工筋肉に必要な印加圧力を算出し、その値をマイコンに格納させた。

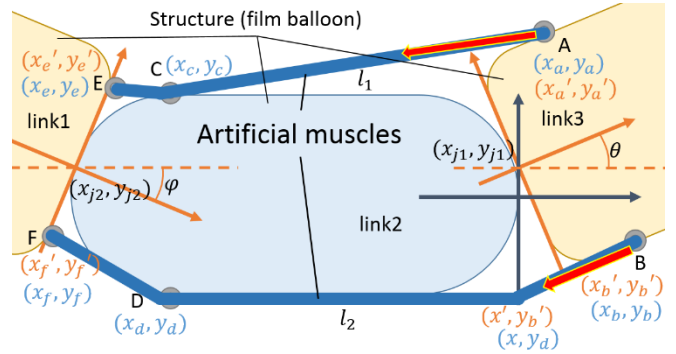


Fig. 2 Kinematic model of robot joint

3.4 制御系の設計

センサを取り付けて制御するとそれだけ重く複雑になってしまうので、このロボットは正確な位置決めは行わずに、最もシンプルなオープンループ制御を行っている。制御系は図3のようにになっている。PCもしくは操作基盤上のスイッチからアーム関節角度の指令を送るとそれに応じてアナログバルブの圧力値が変化するようにになっている。

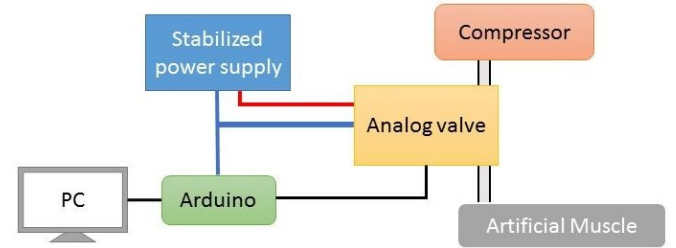


Fig. 3 Schematic diagram of the control system

4. 実験

まず3節のアームによる実験をおこなった。実験の様子を図4に示す。ここでは指令値と実際の角度がどのようになっているのかを調べた。その結果が図5である。概ね一致することがわかったので、これを7節に延長させて実験を行なった。また先端にカメラを搭載し、その映像も撮影した。その実験の様子を図6に示す。多少応答に時間がかかってしまったが重大な問題になるようなものではなかった。途中の節でフィルム風船の密閉不足による動作不良やロール軸の傾きが発生したが、意図した動作が行えることがわかった。また、先端の浮力を過剰にした際、初期位置が上側になり鉛直方向の可動域が増加した。このため浮力を調整することでも可動域を変更することが可能であるとわかった。またジャコメッティアームは現場での取り付け、取り外しを想定しているため、今回の実験で節どうしの取り付け方法や人工筋肉の取り付け方法をなるべく簡易なものにする必要があるとわかった。また、空圧チューブやカメラ配線の取り回しが面倒で容易に修正できるものではなかったため、その取り回しも再設計が必要である。さらに操作方法に関してもGUIベースでわかりやすい操作方法に変更するなどの検討も必要であると感じた。

5. 結言

3 節のアームを製作し、実験から十分に動作が可能であり、設計の妥当性を確認した。さらに 7 節のアームを製作し、カメラによる観察を行うことで、20 節への展開の可能性を示した。今後は、可動域を大きくするためパラメータを再検討し、組立てやすさも考慮した設計の見直し、GUI の構築による簡単な制御、20 節のアームを製作し、動作検証・カメラによる映像の確認を行うことがあげられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K13907 の助成を受けて実施しました。

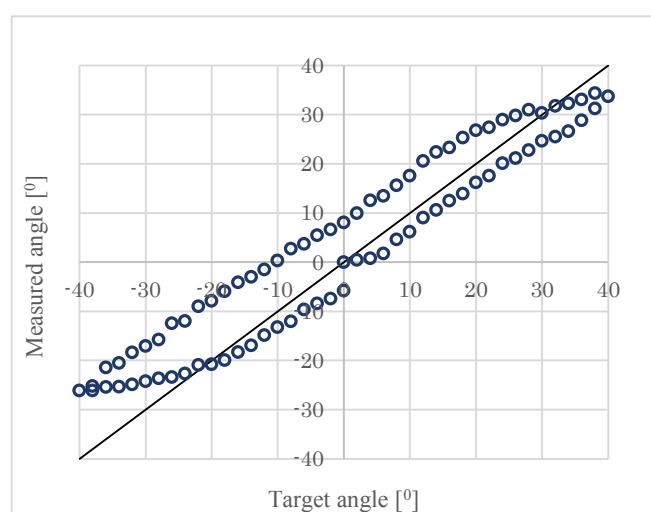


Fig. 4 Comparing the measured angle between first link and third link with the target angle

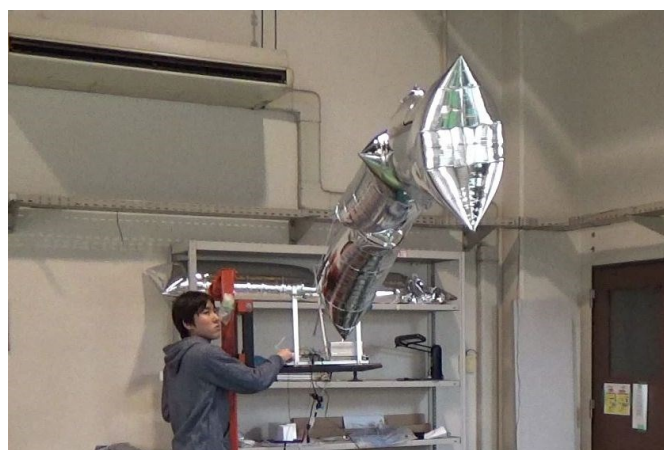


Fig. 5 Three link prototype, 3 m long

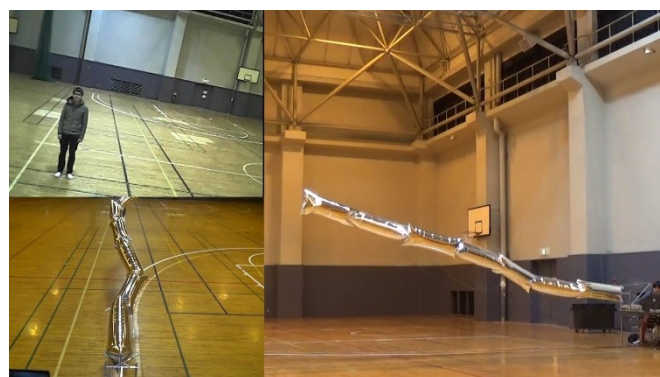


Fig. 6 Motion of the 7 link arm, 7 m long (upper left: a view from a camera mounted at the arm tip, lower-left: arm motion viewed from the robot base, right: whole view of the arm)

参考文献

- [1] K. Suzumori, "New Pneumatic Artificial Muscle Realizing Giacometti Robotics and Soft Robotics", in Okinawa, Japan, The 6th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT 2015), 2015, No.15 – 204, pp. 4 – 5.
- [2] S. Kurumaya, F. Ni, and K. Suzumori, "Design of Hexapod Giacometti Robot with Very Long, Light, and Thin Legs" in Tokyo, Japan, Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2015), 2015, No. 15-210.
- [3] 稲岡敬之, 鈴森康一 "超長尺軽量細径ロボットアームの試作", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2015, 1A1-A10(1)~"1A1-A10(3), 2015.
- [4] Y. Perrot, J. J. Cordier, J. P. Friconeau, L. Gargiulo, E. Martin, J. D. Palmer, A. Tesini, "ITER articulated inspection arm (AIA): R&d progress on vacuum and temperature technology for remote handling", Fusion Engineering and Design, Volumes 75–79, November 2005, Pages 537–541, Proceedings of the 23rd Symposium of Fusion Technology — SOFT 23
- [5] OC Robotics, <http://www.ocrobotics.com/>, accessed: February 29, 2016.
- [6] A. Horigome, H. Yamada, G. Endo, S. Sen, "Development of a coupled tendon-driven 3D multi-joint manipulator", Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on, pp.5915 – 5920, 2014.
- [7] S. Voisembert, N. Mechbal, A. Riwan, and A. Barraco, "A NOVEL INFLATABLE TENDON DRIVEN MANIPULATOR WITH CONSTANT VOLUME", Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE 2011, August 28–31, 2011, Washington, DC, USA, DETC2011-47432.
- [8] 金慧鍾, 西岡靖貴, 川村貞夫, "インフレイタブル構造を持った極軽量ロボットアームの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2013, 1P1-F05(1)~"1P1-F05(2)", 2013-05-22
- [9] 高岡真幸, 鈴森康一, 脇元修一, 他, "生体模倣ロボット機構実現に向けた多繊維構造マッキベン人工筋", 第 14 回システムインテグレーション部門講演会(SI2013) システム構成学論文集第 6 巻, pp.1767-1770, 2013.