

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	バルーン型ジャコメッティアーム 2 号機の試作
Title(English)	
著者(和文)	武市将, 鈴森康一, 遠藤玄, 難波江裕之
Authors(English)	Masashi Takeichi, Koichi Suzumori, Gen Endo, Hiroyuki Nabae
出典(和文)	第34回日本ロボット学会学術講演会 予稿集, Vol. , No. , RSJ2016AC2U1-05
Citation(English)	Proceedings of the 34th Annual Conference of the Robotics Society of Japan, Vol. , No. , RSJ2016AC2U1-05
発行日 / Pub. date	2016, 9
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

2. バルーン型ジャコメッティアームの構成

バルーン型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[8]. 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」比を持つ.

また、構造材をインフレータブルなものし、内部にヘリウムを充填させた. この細径 McKibben 型人工筋肉とインフレータブルな構造材の組み合わせは

- ・アクチュエータ自体が数 g なのでヘリウムの浮力による自重補償が可能
 - ・ワイヤ駆動のように基部でプーリ軸間に働く莫大な圧縮力が発生しないため、インフレータブルな構造材も座屈することなく使用可能
 - ・アームの自重を全てヘリウムで補償しているため、節の延長時も各関節の駆動に必要なトルクに変化がなく、出力が限定された細径 McKibben 型人工筋肉でも駆動可能
- といった利点がある.

3 節のバルーン型ジャコメッティアーム 2 号機の概観図を図 1 に示す. このロボットアームは全ての節が一体となっている. 関節部では熱溶着により、アームを窄めることでピッチ軸あるいはヨー軸まわりのみ回転可能な構造となっている (図 2). 先端に取り付けたカメラ (CP-100B, 本体は 2g) で観察を行う. 人工筋肉は構造材の上下あるいは左右に関節をまたぐように配置されており、その中間にリニアブシュ (オイレス #80 ブッシュ(80B)) のガイドを付けることで、内側に曲がる時は人工筋肉の経路長が短くなることを防ぎ、外側に曲がる時は構造材の中心軸を通る回転軸に垂直な面からズレないようにする役割を果たしている. 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.

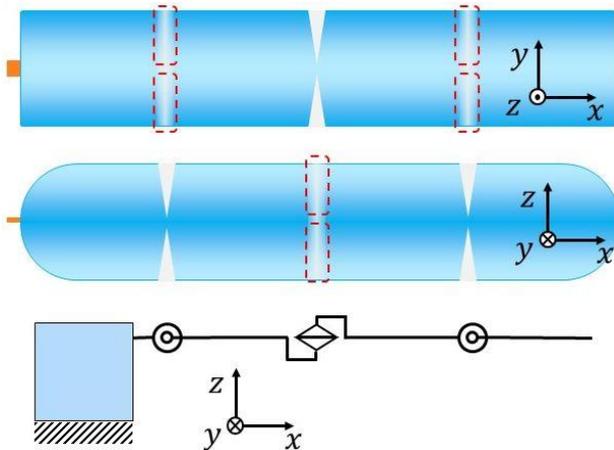


図 2 バルーン型ジャコメッティアーム 2 号機熱溶着部分 (点線囲い) と軸配置概略図

3. 運動学モデル

人工筋肉は収縮率・収縮力・印加圧の 3 つのパラメータが相互に作用しあう. 収縮率・収縮力決定時に要求される印加圧は既に実験的に求めた[4]. 関節角度に応じ、適切な収縮率・収縮力を求めるために、ロボットアームのリンクと人工筋肉の経路に関するモデルを構築した. 入力印加圧のみで出力は収縮力・収縮率である. 関節が曲がった時に人工筋肉が内側にある場合 (図 3) と、外側にある場合 (図 4) の 2 種類について考察した. 人工筋肉は図 3 では A-H-C を通り、図 4 では M-P-O-Q-N を通っている. 常に関節に 0.3Nm のトルクを発生させることとした. 図 3 では、幾何的な関係から、

$$AH = (1 - \epsilon)L_{\text{pam}}/2 \quad (1)$$

$$BH = L_{\text{wire}}/2 \quad (2)$$

が得られる. ここで ϵ は人工筋肉の収縮率, L_{pam} は人工筋肉の長さ, L_{wire} は点 H にあるリニアブシュを通した両端が B, D で結ばれているワイヤの長さである. また、静力学的な釣り合いから

$$\mathbf{F}_{\text{in}} + \mathbf{F}_{\text{w}} = t\mathbf{AC} \quad (3)$$

$$\mathbf{L}_{\text{EC}} \times \mathbf{F}_{\text{in}} + \mathbf{L}_{\text{ED}} \times \mathbf{F}_{\text{w}} = [0 \ 0 \ 0.3 + \alpha]^T \quad (C_y > H_y) \quad (4)$$

$$\mathbf{L}_{\text{EC}} \times \mathbf{F}_{\text{in}} = [0 \ 0 \ 0.3 + \alpha]^T \quad (C_y > H_y) \quad (5)$$

が成り立つ. ここで t は式(3)を満たすスカラー量, α は実験から得られる補正項, \mathbf{L}_{AB} は点 A から点 B に向かう長さ AB のベクトル, A_y は点 A の y 座標である.

図 4 に関しても同様に幾何学的な関係から、

$$MP + PO = (1 - \epsilon)L_{\text{pam}}/2 \quad (N_y > P_y) \quad (6)$$

$$MO = (1 - \epsilon)L_{\text{pam}}/2 \quad (N_y < P_y) \quad (7)$$

が得られる. また、静力学的な釣り合いから

$$\mathbf{F}_{\text{pm}} = \mathbf{F}_{\text{out}} \times \left(\frac{L_{\text{QN}}}{QN} + \frac{L_{\text{QP}}}{QP} \right) \quad (8)$$

$$\mathbf{L}_{\text{EN}} \times \mathbf{F}_{\text{out}} + \mathbf{L}_{\text{EQ}} \times \mathbf{F}_{\text{pm}} = -[0 \ 0 \ 0.3 + \beta]^T \quad (N_y > P_y) \quad (10)$$

$$\mathbf{L}_{\text{EN}} \times \mathbf{F}_{\text{out}} = -[0 \ 0 \ 0.3 + \beta]^T \quad (N_y < P_y) \quad (11)$$

が成り立つ. ここで β は実験から得られる補正項である. これらのモデルから得られた人工筋肉の経路長 $(1 - \epsilon)L_{\text{pam}}$ と収縮力 $F_{\text{in}}, F_{\text{out}}$ を図 5 に示す. 図 5 では、 α, β は 0 としてある.

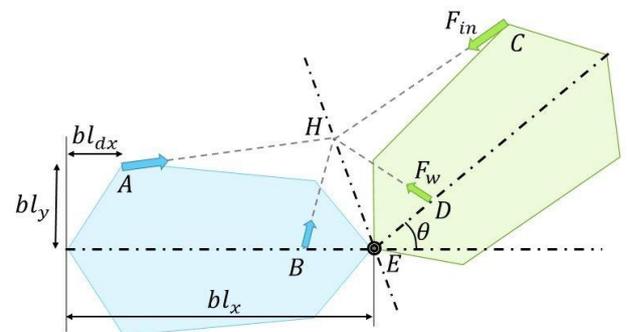


図 3 関節が曲がった時に内側にある人工筋肉の経路と力の関係を表したモデル図

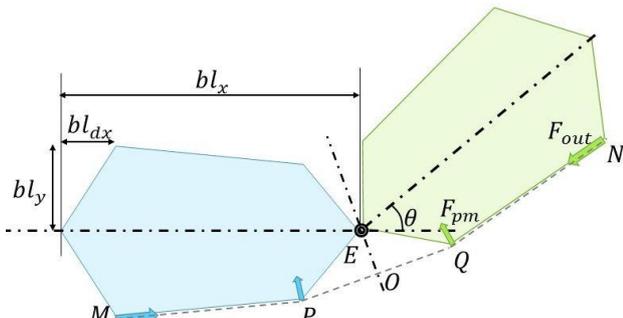


図 4 関節が曲がった時に外側にある人工筋肉の経路と力の関係を表したモデル図

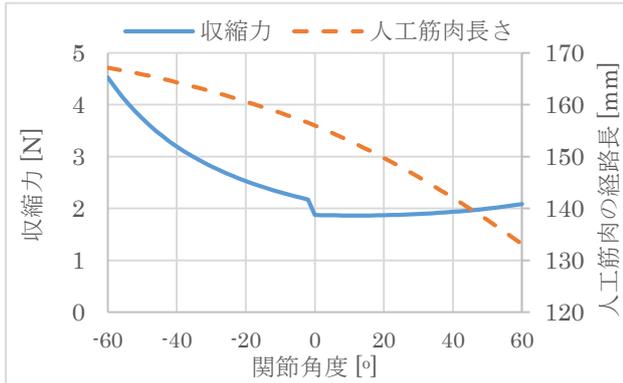


図 5 モデルから得られた関節角度に応じた収縮力と人工筋肉の経路長の関係

また実際の関節に 0.3Nm のトルクを与え、そのときの角度と人工筋肉の経路長、収縮力の関係を調べる実験を行った。この結果を図 6 に示す。モデルと実験では大きく離れている部分が 2 つあった。0 度～40 度付近で真ん中が凹んでいるが、モデルではその影響が若干しか現れていない。50 度～60 度の付近の差はバルーンどうしの干渉による影響と考えられる。この影響は -60 度～-50 度にも現れるとみられる。バルーンの干渉による抵抗は釣り合いに用いている 0.3Nm のトルクと同程度以上発生するので、外側の人工筋肉の出力を減らし、内側の人工筋肉の出力を高めればよいといえる。この 2 つと 0 度付近を滑らかに繋ぐ補正項を加えた。加えた補正項は以下の項目である。

$$\alpha = 0.05 \times \frac{(\theta - 20)^2}{400} - 0.05 \quad (0 \leq \theta \leq 40)$$

$$\alpha = 0.15 \times \frac{(\theta - 20)^2}{400} - 0.25 \quad (50 \leq \theta)$$

$$\beta = 0.3 \times \theta / 2 \quad (0 \leq \theta \leq -2)$$

$$\beta = -0.3 \quad (-40 < \theta \leq -2)$$

$$\beta = -0.25 \times \frac{(40 - \theta)^2}{400} - 0.3 \quad (\theta \leq -40)$$

この結果は同じく図 6 に示してある。これにより、人工筋肉の経路長から算出した収縮率と収縮力に応じた適切な圧力を加えることで関節角度を任意に変更可能となった。

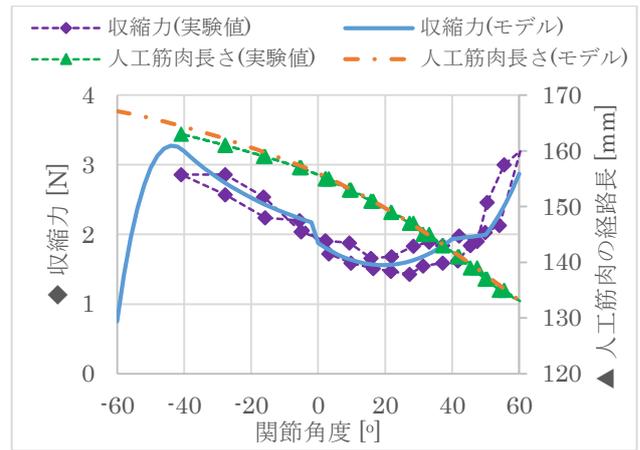


図 6 実験から得られた関節角度に応じた収縮力と人工筋肉の経路長の関係とそれを元に補正項を加えたモデルから得られた収縮力と人工筋肉の経路長

4. 実験

4.1 1 節による基礎特性確認

3 章でモデル化を行ったので、そのモデルをもとに 1 節を用いて指令角度と実際の角度の関係について調べた。その様子を図 7 に、結果を図 8 に示す。0 度付近は ±15 度程度ずれているが、それ以外は概ね一致しており、これによりリンクのモデルの有用性を確認できた。0 度付近で大きくずれている理由としては、0 度が特異点で不安定な状態になりやすいということと、人工筋肉の往復運動にヒステリシスがあることがあげられる。



図 7 バルーン型ジャコメッティアーム 2 号機の 1 節を用いた指令角度と実際の角度の比較実験の様子

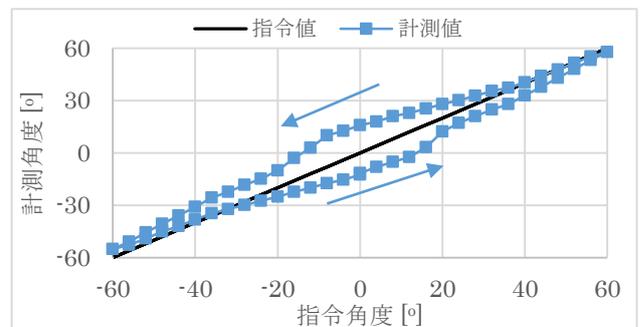


図 8 モデルから得られた情報を用いた指令値と計測値の比較実験

4.2.3 節による節延長時の動作実験

4.1 でモデルを適用した場合の有用性を確認できたので、これを延長し 3 節のバルーン型ジャコメッティアーム 2 号機で動作実験を行った。その様子を図 9 に示す。また、先端にカメラを取り付け、初期観察に十分な映像を取得可能か検証した。その様子を図 10 に示す。組み立てに際し、人工筋肉を印加前の構造材に取り付けた状態であれば、根本節からヘリウムを加えるだけで組み立て可能であるので、1 号機の 1/3 ほどに時間を短縮できた。この実験では、4.1 の実験同様 0 度付近においては指令値と異なる関節角度であったが、目視で修正可能な範囲であり、各関節の良好な動作が確認できた。また、シミュレーション上ではおおよそ高さ 4m、幅 3m のワークスペースがあり、実際の実験では高さ 3m 幅 2.8m の廊下全てにアーム先端が行き届くことを確認した。カメラ映像では天井や壁際・床の様子を観察することが出来たことから有用性を確認できた。



図 9 3 節の動作実験の様子

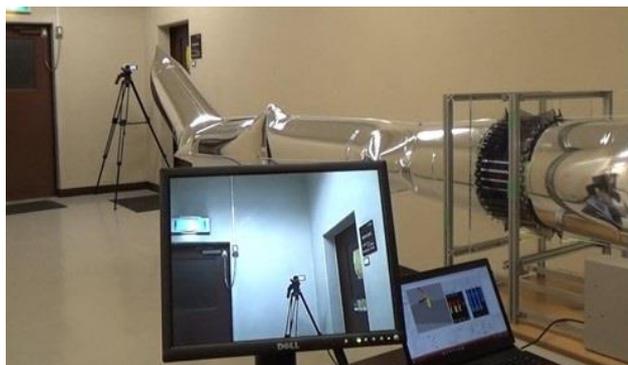


図 10 先端にカメラを搭載し、カメラから周囲の状況を確認する実験の様子

5. 結果

今回バルーン型ジャコメッティアーム 2 号機について、節のモデル化と 1 節・3 節モデルの試作・実験を行った。これらにより以下のことが確認できた。

- ・ 関節角度に応じた人工筋肉の長さや収縮力を算出するモデルを構築し、実機でほぼ予想どおり

動作することを確認した

- ・ 全ての節を一体で設計することで、組み立て時間の短縮を確認した

今後の課題として、以下のことがあげられる。

- ・ 0 度付近の動作に関し、ヒステリシスを考慮したより精度の高いモデルの構築
- ・ 実際に 20 節を繋げた片持ち 20m のバルーン型ジャコメッティアーム 2 号機の製作・実験

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K13907 の助成を受けて実施しました。

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] Ahmad Athif MOHD FAUDZI, Koichi SUZUMORI, Satoshi KITANO, Shunichi KURUMAYA, "Giacometti Six-legged Walking Robot - Leg Design Mechanism using Soft actuator - " ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2016, 1A1-06b6(1)"-"1A1-06b6(2)", 2016-06-10
- [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] 武市将, 鈴森康一, "バルーン型ジャコメッティアームの試作" ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2016, 2A1-17a6(1)"-"2A1-17a6(3)", 2016-06-10
- [5] 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
- [6] OC Robotics, <http://www.ocrobotics.com/>, accessed: February 29, 2016.
- [7] 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.
- [8] 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.