T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	20mバルーン型 ジャコメッティアームを用いたモックアップ施設における機能検証実験
Title(English)	A function verification test at a mock-up facility using 20-m-long Giacometti Arm with Balloon Body
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)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2017, 5

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

20m バルーン型ジャコメッティアームを用いたモックアップ施設における機能検証実験

A function verification test at a mock-up facility using 20-m-long Giacometti Arm with Balloon Body

学　武市　将（東工大）　○正　鈴森　康一（東工大）
正　遠藤　玄（東工大）　正　難波江　裕之（東工大）

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

As a part of our researches on several types of Giacometti robots, a 20-m-long, very light, and very simple robot arm called Giacometti arm with balloon body is discussed in this paper. Although Giacometti arm is not suitable for precise positioning, rapid motion, and high load capacity, which are the aspects most conventional robots focus on, it is designed for very specific purposes such as inspection using a small camera at its tip and is designed to be essentially safe even if it falls down or hits an object. It is realized using helium-filled balloon bodies and thin pneumatic muscles.

We created a 20-m-long robot arm. It weights 940g and has 20 degrees of freedom. We confirmed its usability at a mock-up facility.

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

1.　緒言

これまで開発されてきたロボットの多くは，金属製のボディにモータ・センサ・リンク機構を用いて構成されている．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問題につながり，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極めて軽量でシンプルなロボットの実現を目指している．Giacometti Robotics におけるロボットは誰でも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，細径なロボットアーム[3]を提案・試作した．筆者らはインフレータブルな構造材を用いた軽量で安全なロボットアームであるバルーン型ジャコメッティアームを試作しており[4, 5, 6]，本稿では文献[6]のバルーン型ジャコメッティアーム 2 号機を 20m まで延長させたものを開発し，楢葉遠隔技術開発センターにて実験を行なった．

このロボットアームの類似研究は 2 つの観点から考えられる．1 つ目はインフレータブルロボットとして，2 つ目は災害用ロボットとしての観点である．インフレータブルなロボットは，柔らかさや軽さから安全性の高いロボットとして研究されているが，中でもアームの形状をしたロボットとして CMU のロボットアーム[7]や CEA のロボットアーム[8]がある．しかしこれらはワイヤ駆動で動いているため，長尺化した際には，摩擦により張力が先端まで伝わらない，張力が根本節で集中し，座屈してしまうといった問題が考えられ，長尺化には向いていない．ヘリウムの浮力を利用した Festo のロボット[9, 10]があるが，既存のモータ，バッテリを用いているため重くなり，その補償のために体が大きくなってしまう．そのため狭隘地での観察には向いていない．災害用ロボットの観点から考えると，従来の長尺ロボットアーム・無人小型飛行機（ドローン）・クローラ型・脚型ロボットが考えられるが，ジャコメッティアームはこの中でも非常に安全性の高いロボットであり，ドローンと比べても稼働時間，静音性に優れている．また，粉塵を撒き散らすことがないため，繊細な現場でも作業可能であるといった利点もあげられる．

2.　20m バルーン型ジャコメッティアーム概要

ジャコメッティアームは我々が開発した空気圧駆動の細径 McKibben 型人工筋肉で駆動させている[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」を示す．

アクチュエータ自体が数 g であることから，インフレータブルな構造材を用いて内部にヘリウムを充填した場合に発生する浮力によってアームの自重を支えることが出来る．

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．関節部は熱溶着により風船を窄めることで生成する．この関節構成は CMU のインフレータブルアーム[7]と同じ方法になっている．アームはピッチ軸とヨー軸が交互に存在し，熱溶着する箇所を 90 度ずつずらしながら熱溶着を行うことにより生成する．アームの中心部分は熱溶着を行わないことで，節間の気体の行き来を自由にした．これにより，根本から気体を注入すると全ての節に気体を充填することが出来る．

人工筋肉のモデルとロボットアーム 1 関節のモデルを構築し，上下あるいは左右に取り付けられた人工筋肉に適切な圧力を加えることで関節角度を制御している[6]．

3.　モックアップ施設での実験

モックアップ施設（楢葉遠隔技術開発センター）内で実験を行った（図 1）．モックアップ施設は屋内であったが空調の影響で僅かに風が流れていた．アームの先端がおよそ 0.2m/s で

流れていることを確認したので，同程度の風が吹いていると考えられる．アーム長さと各モックアップの計測に 3D スキャナ（FARO LASER SCANNER FOCUS 3D X 130, FARO, USA）を用いた．20m ロボットアームの仕様を表 1 に示す．以下，実験とその結果について述べる．

まず，建物壁面に描かれた模様をターゲットとし，その観察を試みた．その実験結果を図 2 に示す．(A)から(B)でターゲットにむけて上昇したが，一度施設内の風に流された．しかし，風に逆らうように制御することで，先端に取り付けたカメラによるターゲットの捕捉に成功した(D).

その後，水槽上部に開いた穴から内部を観察する実験を行なった．水槽の高さは 8.5m，アーム根本から水槽天井窓枠までの距離は 14m，天井窓枠は 2m×2m であった．PC 上の GUI あるいは PC と接続したゲームパッドを用いて，ロボットアームの 20 個の関節角度を操作する．目視によるフィードバックを行いながらアームを操作し，天井にある穴から内部を観察した．約 12 分経過後に目標地点の到達，及び内部の観察に成功した（図 3, 4）．目標地点まで到達する過程で，アームと構造物の接触が見られたが，アームのコンプライアンス性と柔らかさにより，アーム・構造物ともに全く損傷は見られなかった．

4. 結言

長さ 20m，重さ 940g，20 自由度の非常に安全で軽量なロボットアームを開発した．モックアップ施設でこのロボットアームの機能性を検証した．ロボットアームの根本から 14m，高さ 8.5m 離れた所にある水槽建屋の天井窓からロボットアーム先端に取り付けたカメラを用いて内部の観察に成功し，その有用性・安全性を確認した．今後の課題として，このロボットアームを実際の現場で運用することが考えられる．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K13907 の助成を受けて実施しました．

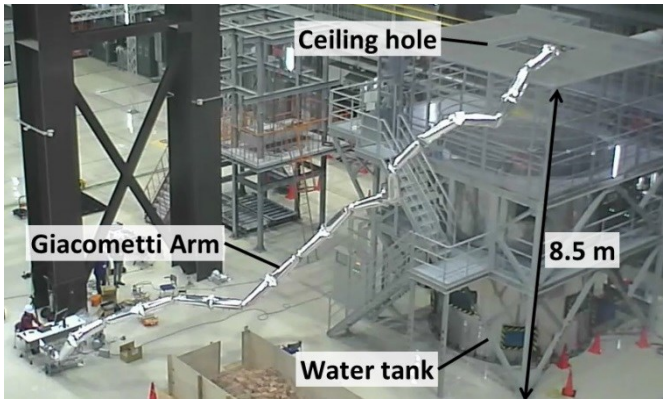

Fig. 1 The schematic of the 20-m-long arm at the mock-up facility (Naraha remoto technology development center).

Table 1 Specifications of 20-m-long Giacometti arm.

	length	diameter	weight	DOF	Movable range	Weight / length
Giacometti	19.8 [m]	300 [mm]	940 [g]	20	±60 [°]	47 [g/m]

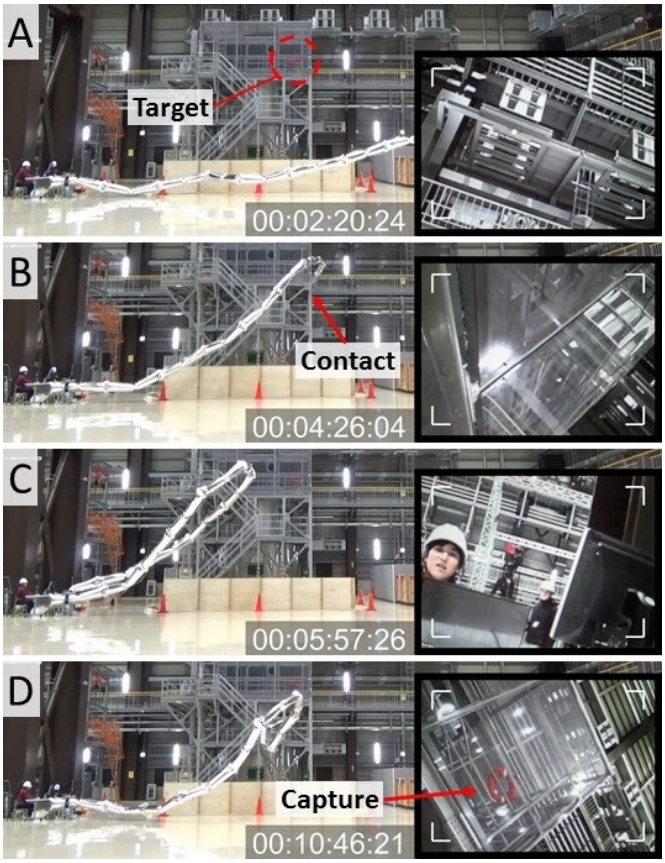

Fig. 2 Inspection test of the target written on the facility wall using the 20-m-long Giacometti arm. The inset image shown at the right part of each photo is from the camera mounted at the arm tip. The arm moves upward (A)-(B). However, the arm was swept by the wind blowing from the right to the left (B)-(C). The camera succedded in captureing the target (D). Tip balloon touch the water tank facility (B), but the arm and the facility are not damaged owing to the essential safety of Giacometti arm.

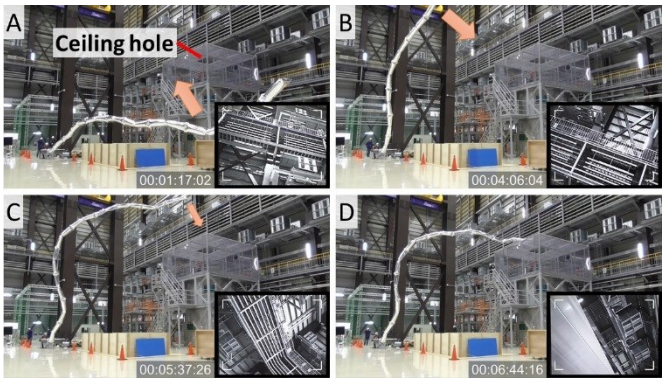

Fig. 3 Inspection test inside the water tank facility using the 20-m-long Giacometti arm. The inset image shown at the bottom right part of each photo is from the camera mounted at the arm tip. The arm moves upward (A)-(B) and approaches the ceiling hole (B)-(D). Two tip balloons touch the housetop of the water tank facility (D). The arm and housetop are not damaged owing to the essential safety of Giacometti arm.

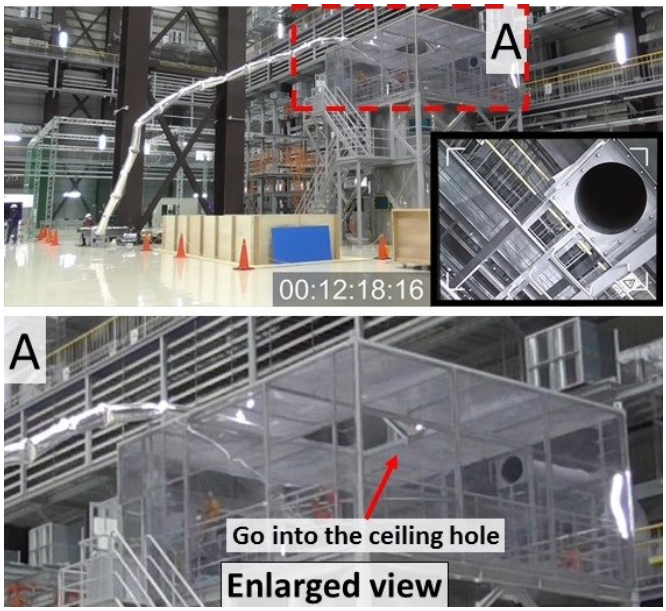

Fig. 4　Inspection test inside the water tank facility using the 20-m Giacometti Arm. The inset image shown at the bottom right part of top photo is from the camera mounted at the arm tip. The arm tip successfully enters the ceiling hole and obtains the image of the pipe inside it.

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)-(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*, 1A1-06b6(1)-(3), 2016-06-10

[5] M. Takeichi, K. Suzumori, G. Endo, and H. Nabae, “Development of Giacometti Arm with Balloon Body”, *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 2, issue 2, April 2017, pp. 951-957

[6] 武市将，鈴森康一，遠藤玄，難波江裕之，”バルーン型ジャコメッティアーム２号機の試作”，*第 34 回日本ロボット学会学術講演会*，RSJ2016AC2U1-05，2016

[7] S. Sanan, M. H. Ornstein, and C. G. Atkeson, “Physical human interaction for an inflatable manipulator”, *in 33rd Annu. Int. Conf. IEEE EMBS*, Boston, Massachusetts, USA, 2011, pp. 7401-7404

[8] 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.