報告日 2018 年（平成 30 年）　5 月 28 日

報告者　津山工業高等専門学校　総合理工学科　助教
西川　弘太郎

１．　研究概要

（和文）

⑴課題名（日本語）

感覚フィードバック機能を備えた空気式筋電義手の開発

⑵研究者氏名

西川弘太郎・津山工業高等専門学校総合理工学科・助教

⑶研究概要（日本文）

わが国において，上肢切断者は 8.2 万人存在し，そのほとんどが手の機能を代替するために義手を使用している。近年，筋電義手が注目されており，研究開発が活発に行われている。しかし，筋電義手は，電動アクチュエータが使用されているため，義手自体の重量が大きく，構造が複雑でコストが高い。そこで，空気圧アクチュエータのベローズを各関節に組み込んだ空気圧駆動義手を提案する。本義手の特徴は，一般的な空気圧駆動義手よりも把持力が大きく，また，重量が 240g と軽量であるため，使用者の疲労が少ない。義手の基本的な制御性能は，目標角度および圧力に対して素早く応答した。筋電位による対象物把持実験では，500ml(500g)のペットボトルを把持することが可能である。また，消しゴムのつまみ動作や，柔軟なゴムボールと紙コップも把持することが可能である。それに加えて，本義手は，感覚フィードバック機能を備えており，対象物と義手の指が接触した感覚や把持力を使用者が知覚できるものである。

⑷キーワード　空気圧，筋電義手，ベローズ，感覚フィードバック

（英文）

(1) Research title

Development of Pneumatic Myoelectric Hand with Tactile Feedback

(2) Name of researcher with title of position

Kotaro Nishikawa, National Institute of Technology Tsuyama College Dept. of Integrated Science and Technology, Assistant Professor

(3) Summary

Of the 82thousand upper-extremity amputees in our country, the majority use prosthetic hands. Recently, research and development of myoelectric hand have come to the forefront. However, due to the usage of electric actuator, the myoelectric hand is heavy, structurally complicated and expensive. Thus, the authors propose a pneumatically-driven prosthetic hand with bellows incorporated in the joint. A remarkable point of the proposed prosthetic hands is grip force. This grip force

exceeds that of general pneumatically-driven prosthetic hands. Also it is lightweight of 240g, reducing user fatigue. The hand's basic control performance showed quick response to the reference angle and pressure. In the next grasping experiment using EMG envelope, the test subject with this prosthetic hand was able to grasp a 500ml (500g) PET bottle. The test subject could grasp an eraser, a flexible rubber ball, and a paper cup. Moreover, this prosthetic hand is equipped with tactile feedback functions enabling users to perceive contact or reactive force from physical objects.

(4) Key Words　pneumatic, myoelectric hand, bellows, tactile feedback

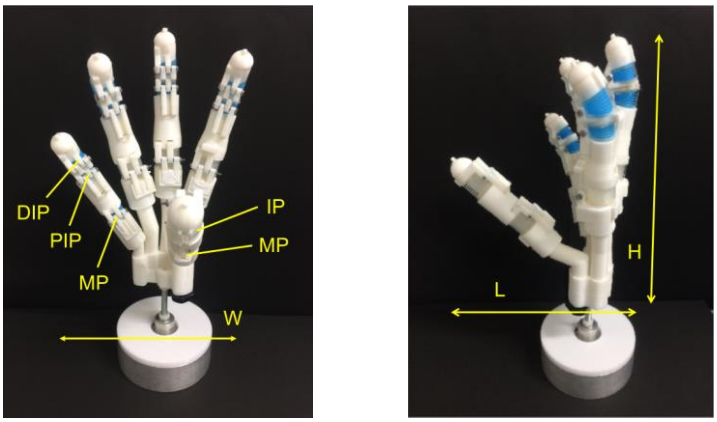
２．本研究の意義・特色

筋電義手は，重量が大きく構造が複雑でコストが高い問題により，ほとんど社会に普及していない。義手使用者は，把持機能のない装飾用義手を使用しており，軽量・安価な義手が必要とされている。本研究では，電動アクチュエータよりも出力/重量比が高い，空気圧ベローズをラピッドプロトタイピングにより製造した義手の各関節に，直接組み込んだ構造とすることにより，軽量・安価で高機能な義手を提案する。これに，空気圧駆動の感覚フィードバック機能を付加することにより，ペットボトルからパウチゼリー等の幅広い対象物の把持を実現する。

３．実施した研究の具体的内容、結果（本文）

(1)　提案する空気式義手

空気式義手の外観を Fig.1 に示す。本義手は，各関節が独立な 5 指義手であるため，つかむ，つまむ等の複数の把持動作が可能である。義手の仕様を Table1 に示す。一般的な筋電義手の重量は，約 500g 以上であるが，本義手は PLA 製で 240g と比較的軽量なものとなっており，使用者の疲労が少ないと考えられる。ベローズは，柔軟であるため，指の屈曲動作に適しており，指関節に直接組み込むことが可能である。関節の駆動原理を Fig.2 に示す。義手の指を屈曲させる場合は，ベローズに圧縮空気を印加する。すると，ベローズ



(a) Front view　　(b) Side view

Fig.1 Pneumatic prosthetic hand

Table1 Specifications

Weight	240g
Maximum supply pressure	100kPa
Maximum angle of joint	Approx. 90deg
Size	H 211.0mm x W 128.1mm x L 107.4mm

は圧力 P によって長手方向に膨張し，推力 F を発生する。その側面を蝶番で拘束することにより，拘束した方向へ蝶番を回転中心とした駆動トルク τ（推力 F とモーメントアーム c の積）が発生し，このトルク τ が関節を角度 θ 屈曲させる。一方，指を伸展させる場合は，ベローズ内部の圧縮空気を大気中へ開放し，拘束側と反対に設置したゴムの復元力で指を伸展させる。したがって本義手では，ベローズの内圧 P によって，関節の駆動トルク τ ないし，屈曲角度 θ を制御することが可能である。

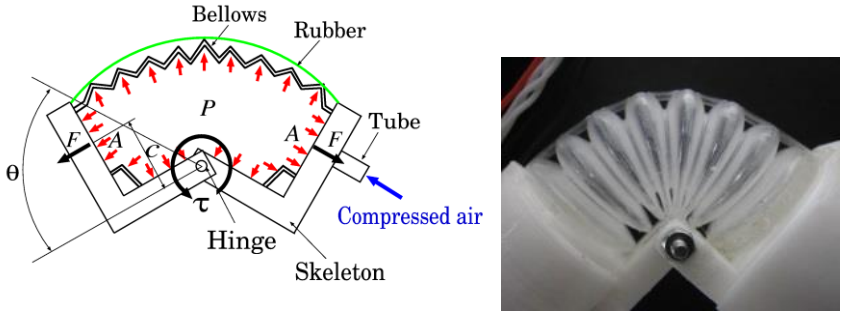


Fig.2 Drive principle of joints

義手の指 1 本あたりの空気圧回路を Fig.3 に示す。空気圧回路は，DIP・PIP 関節と MP 関節の 2 系統で構成される。センサーは，関節の屈曲角度を測定するための曲げセンサー（Spectra symbol 社製 2.2inch）とベローズ圧力を測定するための，圧力センサー（SMC 社製 PSE540-01）である。電磁弁は，3 ポート直動型電磁弁(コガネイ社製 G010)である。制御器は，12bit の分解能で A/D 変換(インターフェース社製 PCI-3166) および D/A 変換(インターフェース社製 PCI-3346A）が可能なインターフェースを備えた，実時間 Linux で動作する PC とマイコン(ARM 社製 NXP-LPC1768）であり，PI 制御に基づいた制御信号 u により，電磁弁のスプールの開口面積を PWM 制御し，ベローズに印加する圧縮空気の流量を調整する。供給圧力 P_s は，最大で 100kPa とする。本義手には，7 個の電磁弁を使用しており，駆動する電磁弁を切替えることにより複数の把持動作を行う。

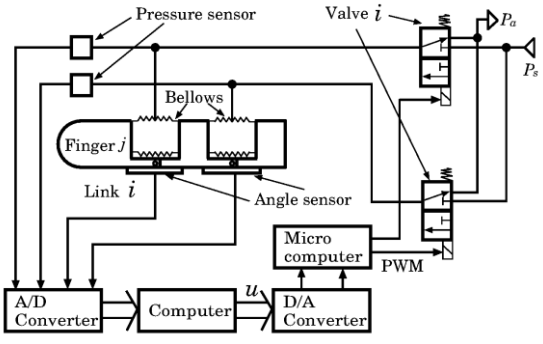
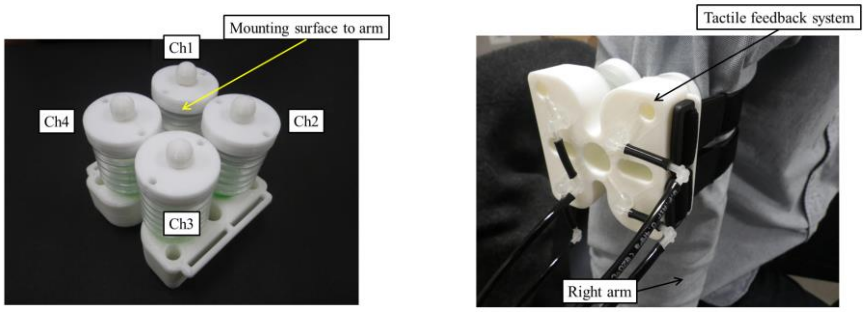


Fig.3 Pneumatic circuit

(2)　提案する感覚フィードバックシステム

感覚フィードバックシステムの外観および右腕に装着した時の様子を **Fig.4** に示す。本システムは，義手の指先が対象物に接触した感覚および把持力を使用者にフィードバックするものである。示指の指先に設置した **PAW** センサー（**RT** 社製）は，対象物に接触するとセンサー部のウレタンスポンジが押し込まれ，その密度変化から押し込み量を検出する。本センサーは，ウレタンスポンジ内部の仮想座標である **4** つの **ch** の押し込み量を同時にセンシングすることが可能である。この各 **ch** での押し込み量から算出した把持力を，感覚フィードバックシステムに取付けた **4** 個のベローズに圧力（圧覚）としてフィードバックする。**4** 個のベローズの駆動パターンから接触状況を，ベローズの押し付け力から把持力を知ることが可能である。また，感覚フィードバックシステムの重量は，**123g** と軽量である。

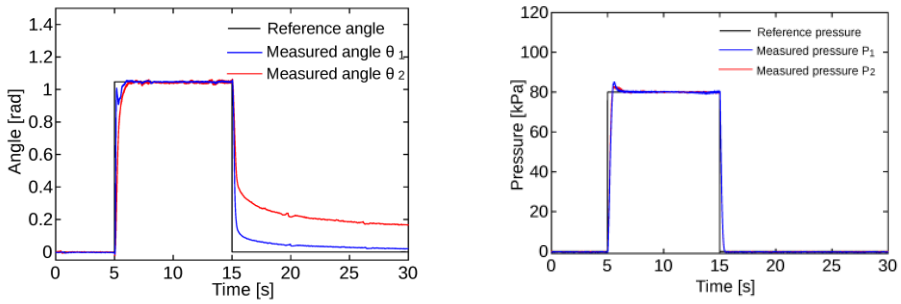


(a) Overview　　(b) Installation of tactile feedback system

Fig.4 Tactile feedback system

(3)　義手の基本的な制御性能

対象物の安定した把持を実現するために義手の角度および圧力制御には，**PI** 制御を採用した。代表例として，ステップ応答性能を **Fig.5** に示す。角度制御および圧力制御において，目標値へ素早く追従していることがわかる。



(a) Angle control　　(b) Pressure control

Fig.5 Response to step input

(4)　筋電位による対象物把持実験

対象物把持実験では，健常な成人男性を被験者とした。**Fig.6** の連続写真 **A** から **E** より，被験者は，圧力制御にて，中身の入った **500ml** のペットボトルを把持し，所望の位置へ移動することが可能である。また，その下に示すベローズ圧力と筋電位の時間推移では，**EMG**

envelope に閾値を設定することにより，滑りやすいペットボトルを安定に把持できている。目標圧力は，MP 関節圧力 P_{r1} = **90kPa**，**DIP・PIP** 関節圧力 P_{r2} = **30kPa** であり，平均圧力は，**60kPa** である。先行研究では **500g** 程度の対象物の把持には **150kPa** の圧力を必要としていた。したがって，本義手は先行研究の **1/2** 以下の圧力で柔軟ハンドの特長を活かして対象物を安定に把持できているため，把持性能が高いといえる。同様に，消しゴム，ゴムボール，紙コップも把持・移動に成功した。その様子を **Fig.7** に示す。

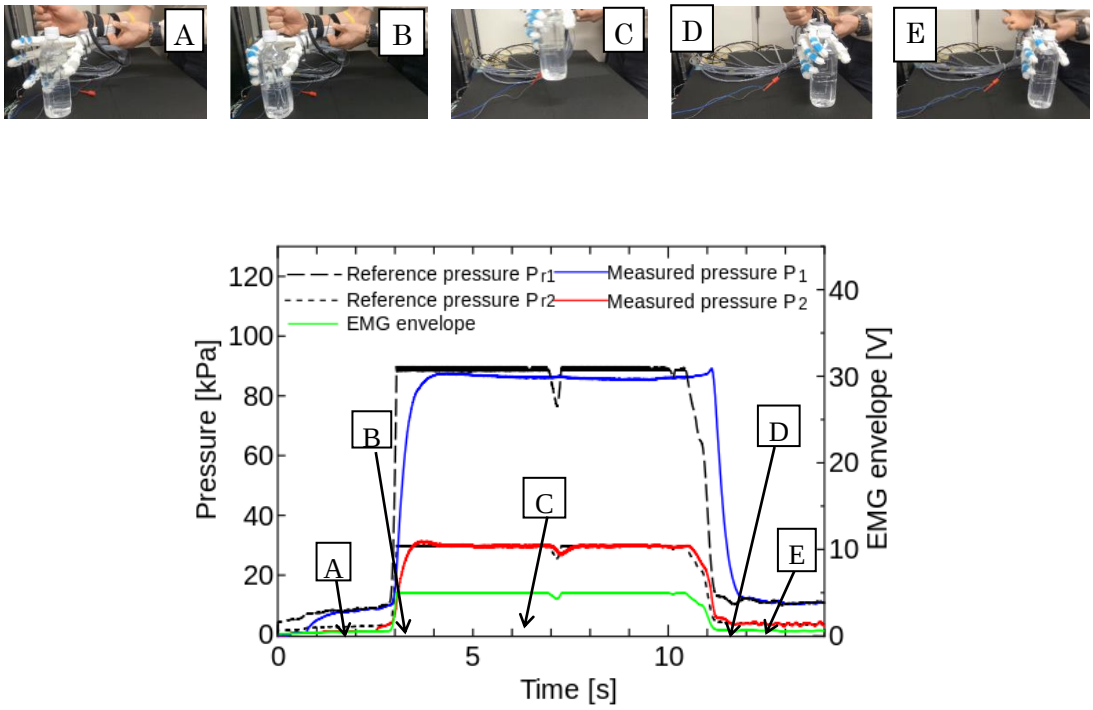
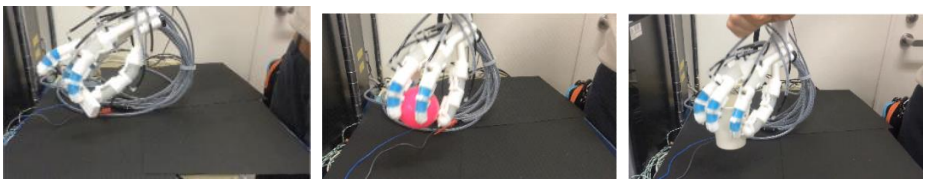


Fig.6 Grasping of a PET bottle



(a) Eraser (b) Rubber ball (c) Paper cup

Fig.7 Pinching and soft grasping

(5)　感覚フィードバックシステムの導入によるパウチゼリーの把持

把持力制御実験では，ゴムボールや紙コップよりもさらに柔軟なパウチゼリー（180g）を対象物とした。被験者は，先の実験と同様である。パウチゼリーは，過大な把持力で把持すると中身が噴き出してしまう。反対に，過小な把持力の場合は，パウチが義手から落下する。つまり，過不足のない把持力でパウチを把持する必要がある。したがって，被験者が感覚フィードバックシステムを用いてパウチゼリーを過不足のない把持力で把持できるかを検証する。この過不足のない把持力とは，キャップを外して開封したパウチが義手から滑り落ちず，中身のゼリーが噴き出さない状態を定義し，パウチを把持する **Grasp** からゼリーが噴き出す **Spout out** までの把持力の範囲は，**0.3N** から **1.9N** となった。実験は，その範囲内の任意の力でパウチを把持し，この時の感覚フィードバックシステムの圧覚を覚えておく。次に，筋電位で義手を制御し，パウチに **PAW** センサーを接触させ，最初の感覚フィードバックシステムの圧覚になるように筋電位を調整し，把持力を制御する。実験結果を **Fig.8** に示す。最初の圧覚と把持力が **1.2N** でほぼ一致しており，中身のゼリーが噴き出すことなくパウチを把持できている。一方，感覚フィードバックシステムがない場合，目視のみのオープンループの制御となるため，過大な把持力によりゼリーが噴き出した。したがって，感覚フィードバックシステムの有用性が確認された。

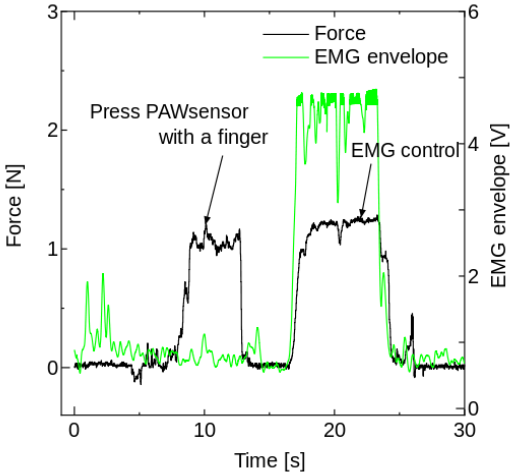


Fig.8 Grip force control experiment

４．本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

西川弘太郎・津山工業高等専門学校総合理工学科・助教

平田健太郎・岡山大学大学院自然科学研究科・教授

高岩昌弘・徳島大学大学院理工学研究部・教授

赤対真行・トヨタ自動車株式会社

５．研究実施時期

2016 年（平成 **28** 年）**3** 月 **31** 日から **2018** 年（平成 **30** 年）**3** 月 **31** 日

６．本研究に関連して発表した主な論文等

西川弘太郎，赤対真行，平田健太郎，高岩昌弘：感覚フィードバック機能を備えた空気圧ベローズ式筋電義手の開発，電気学会論文誌 **C**，**Vol.137**，**No.1**，**pp.127-135 (2017)**

７．内外における関連研究の状況

筋電義手の研究は，電動アクチュエータによって駆動するものがほとんどである。一方，空気圧駆動のものは，**McKibben** 型人工筋肉や空気圧バルーンを用いたものがあるが，これらはワイヤー等を介して指関節を間接的に腱駆動するものであり，機械効率が低く，把持力が小さい。

８．今後の発展に対する希望

空気圧システムは，軽量であるがバルブ・コンプレッサ等の外部機器が必須である。義手を空気圧駆動とする場合，これらを義手本体に内蔵する必要があるため，外部機器の小型・軽量化が課題である。