

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H06630

研究課題名(和文)可食アクチュエータ：超生体適合性を有する体内進入口ポット実現のための駆動素子

研究課題名(英文)Edible Actuator:

研究代表者

小松 洋音(KOMATSU, Hirone)

東北大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：30783295

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、消化可能な素材で構成された生体適合性が著しく高い「可食アクチュエータ」の試作・実験を通して、可食アクチュエータの可能性を追究した。その結果、型成型によるゼラチン製可食アクチュエータの製作手法を確立し、もっとも基本的な機能を実現可能な膨張式アクチュエータ、屈曲式アクチュエータを試作し、動作実験により各動作の生成を確認した。また、より軽量のアクチュエータを構成する手法として、寒天性の可食性フィルムを用いる手法についても確立した。さらに、可食という概念をアクチュエータだけでなく、ロボット要素一般へ拡張することを目指し、可食機械要素、可食センサの具現化方法についても検討した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the possibility of "edible actuator" composed of digestible material which have high biocompatibility through prototyping and experiments. As a result, we have established a fabrication method of gelatine based edible actuators by mold forming, prototypes of soft bag actuators and bending actuators which can realize the most fundamental functions, and confirmed the generation of each motion by experiments. In addition, as a method of constructing a lighter actuator, a method using an agaric edible film was also established. Furthermore, we aimed at expanding the concept of edible not only to actuators but also to robot elements in general, and also examined methods of realizing edible mechanical elements and edible sensors.

研究分野：知能機械学・機械システム

キーワード：アクチュエータ 食品 可食

1. 研究開始当初の背景

近年、ソフトロボティクスに関する研究が盛んに行われている。ソフトロボットはその柔軟性により複雑な力制御をすることなく接触対象の形状に適応できるという特徴から、医療・福祉分野における応用を目指した研究が進められている。

従来開発されてきた空気圧アクチュエータの多くは素材としてゴムを用いているが、ゴムの代わりに機械的特性が類似したゼラチンなどの可食素材で構成することで、消化可能な「可食アクチュエータ」が実現できると考えられる。

消化可能な素材で構成されたアクチュエータは生体適合性が著しく高いことから、人体内部で使用する際に安全性が高く、作業目的を達成した後はそのまま吸収することが可能である。したがって、可食アクチュエータを発展させることで、自ら物を飲み込むことが困難な嚥下障害患者へ栄養を供給するロボットの実現が考えられ、将来的に災害救助・医療などへの応用が期待できる。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、アクチュエータを食材で構成することで生体適合性が著しく高い「可食アクチュエータ」の試作・実験を通して、可食アクチュエータの可能性を学術的に追及することを目的とする。

(2) さらに、可食という概念をアクチュエータのみならず、ロボット要素一般にも拡張して将来的に可食ロボットを構築するための基本的知見を得るために、機械要素、センサの具現化方法について検討する。

3. 研究の方法

本研究では、食材により袋状構造を構成し、エネルギーの媒体を空気として媒体の印加量を調整する、空圧式の可食アクチュエータを複数試作し、動作実験により各アクチュエータの基本運動性能および、アクチュエータの入出力特性について計測実験により評価した。

また、可食という概念はアクチュエータ以外のロボット構成要素についても拡張することが望ましい。そこで、柔軟な機械要素として吸盤の構成方法について検討し、その吸着特性について定量的に評価した。また、硬質な可食機械要素を構成する第一段階として、狭窄管路を押し広げるためのカプセル部材を試作し、その有効性について実験により検証した。

また、可食センサの実現を目指し、その第一段階として静電容量式の力・変位センサを試作し、入出力特性を計測実験により評価した。

4. 研究成果

(1) アクチュエータの試作と動作実験

まず、可食アクチュエータのうち、もっとも基本的な機能を実現可能な膨張・収縮のみを行うことが可能な膨張式アクチュエータ、また、屈曲動作が可能な屈曲式アクチュエータを試作した。各試作ユニットの外観を図1、2にそれぞれ示す。シリンジにより、各ユニットに空気を注入することで、膨張・収縮動作(図3)および屈曲動作(図4)をそれぞれ生成できることを確認した。

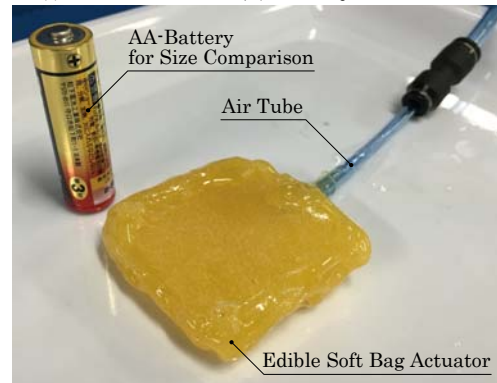


図1 ゼラチン製膨張式アクチュエータの外観

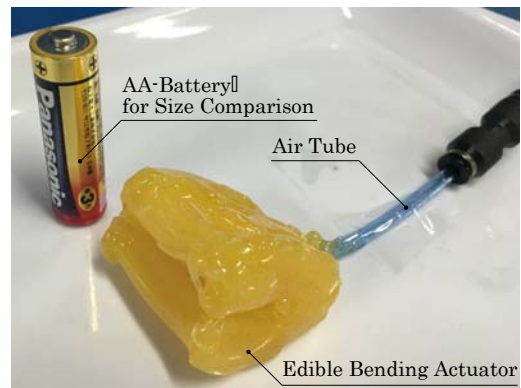


図2 ゼラチン製屈曲式アクチュエータの外観

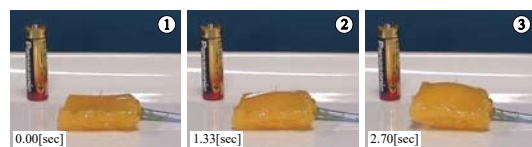


図3 ゼラチン製膨張式アクチュエータの動作

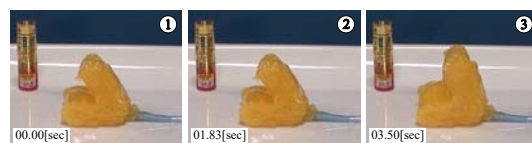


図4 ゼラチン製屈曲式アクチュエータの動作

さらに、型を製作してゼラチンと溶媒（水もしくはグリセリン）を混合し、型へと流し込み、冷却することで目的形状のゲルについて再現性を高く作製する方法を確立した。本手法を用いて試作した膨張式アクチュエータの外観を図5に示す。

また、試作した膨張式アクチュエータの基本的特性として、印加圧力と生成力との関係を図5に示すアクチュエータを用いた実験により計測した。図6に計測結果を示す。本実験では 0.006MPa の圧力を印加した際に空気漏れが発生したため、印加圧力の最大値は 0.005MPa となっている。実験の結果より、計測範囲では圧力と生成力間で線形性が高いことが明らかになった。

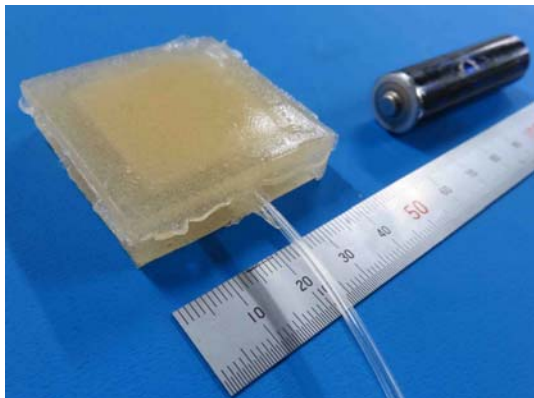


図5 型成形したゼラチン製膨張式アクチュエータの外観

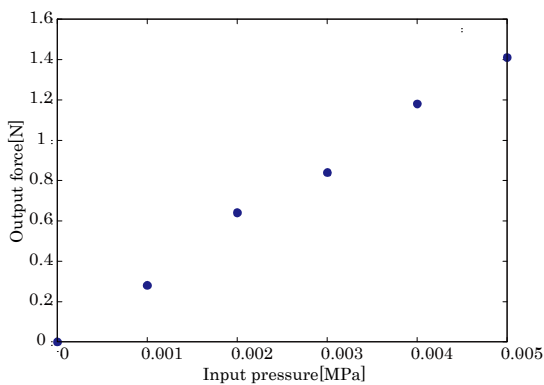


図6 ゼラチン製膨張式アクチュエータの印加圧力-力特性に関する計測結果

また、ゼラチンを用いるよりも軽量の可食アクチュエータを構成する方法についても検討した。その結果、寒天で構成された可食性フィルムを材料として使用し、2枚の可食性フィルムを熱溶着することで袋状アクチュエータを構成する手法を確立した。可食フィルム製アクチュエータについても図6、7に示す膨張式アクチュエータと屈曲式アクチュエータをそれぞれ試作し、シリンジにより、各ユニットに空気を注入することで、膨張・収縮動作（図9）および屈曲動作（図10）

を生成できることを確認した。

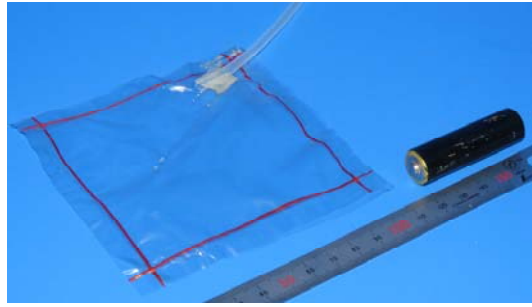


図7 可食フィルム製膨張式アクチュエータの外観

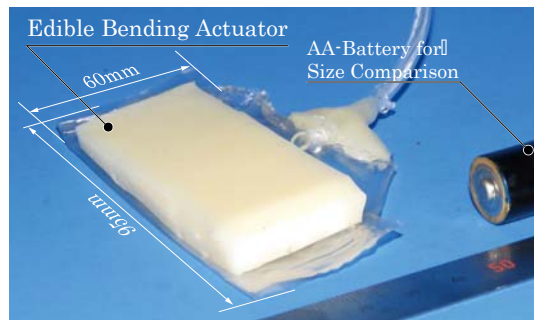


図8 可食フィルム製屈曲式アクチュエータの外観



図9 可食フィルム製膨張式アクチュエータの動作

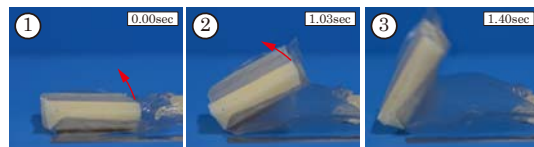


図10 可食フィルム製屈曲式アクチュエータの動作

(2) 可食機械要素の試作と動作実験

可食という概念を機械要素に拡張する第一段階として、図11に示すゼラチン製の可食吸盤を試作した。また、試作した吸盤の吸着性能を確認するため、一般的な CD ケース（本サンプルは 35.12g）を錘として使用し、実験を行い、CD ケースを持ち上げるだけの吸着力を生成可能であることを確認した。

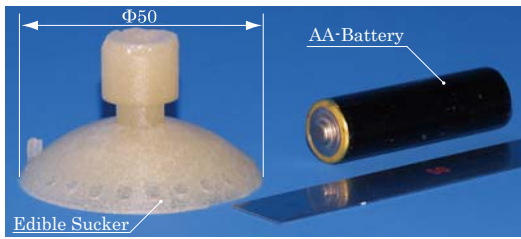


図 1.1 可食吸盤の外観

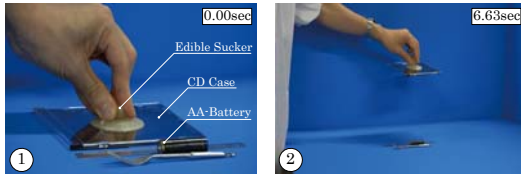


図 1.2 可食吸盤を用いた
サンプルの持ち上げ

(3) 可食センサの試作と特性計測実験

可食という概念をセンサへ拡張することを目指し、図 1.3 に示す可食性の力・変位センサを試作した。本センサは、ゼラチンゲルを金箔製の 2 枚の極板で挟みこんだ平行平板コンデンサで構成されている。したがって、本センサに外力が付加されると極板間距離が変化し、その結果生じた静電容量の変化を検出することで力・変位を計測する。

試作した可食力・変位センサの変位-静電容量特性を明らかにするため、計測実験を行った。図 1.4 に可食センサの変位-静電容量の入出力関係の理論値と実験結果を示す。この図より、変位を増加させることで静電容量が増加する、という基本的傾向、および静電容量値のオーダーは同様であるが、絶対値としては差が生じていることが分かった。

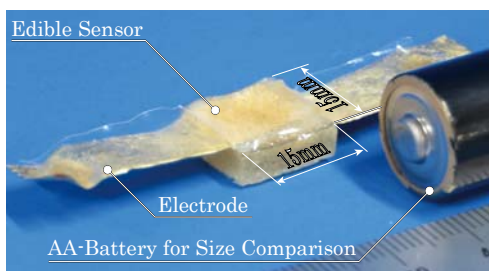


図 1.3 可食センサの外観

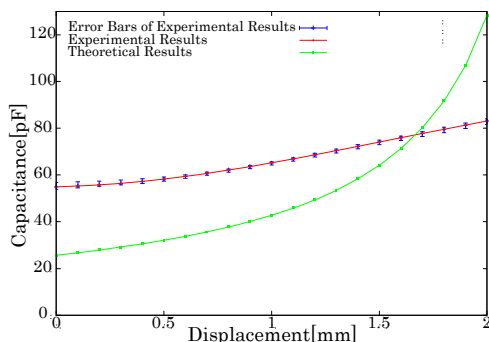


図 1.4 変位-静電容量特性の計測結果

(4) 硬質可食素材製のロボット要素の検討
リンク、シャフト、ベアリング、歯車などの硬質な可食機械要素の将来的な実現を目指し、その第一段階として狭窄な消化管へのロボットの進入を容易にする、図 1.5 に示す先端テーパ形状部品を硬質可食素材で構築した。硬質可食素材として、ここでは乾燥容易性という観点から、牛乳に含まれるカゼインを用いた。狭窄部進入実験を実施し、柔軟なゼラチン製の先端テーパ部品では、挿入時に部品が座屈変形して挿入抵抗が増大し、約 20mm 挿入した時点でそれ以上の挿入が困難となった(図 1.6)。一方で、カゼイン製の硬質可食素材では、管路内を進入する際に部品の変形が微小であるため、管路を押し開きながら挿入を継続可能であることを確認した(図 1.7)。

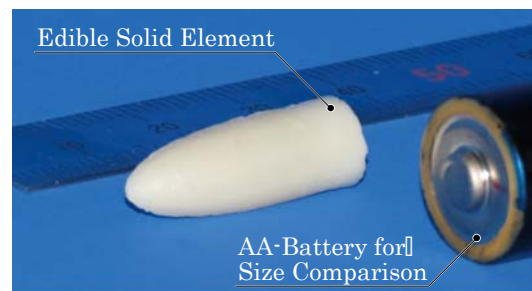


図 1.5 先端テーパ型挿入機構の外観

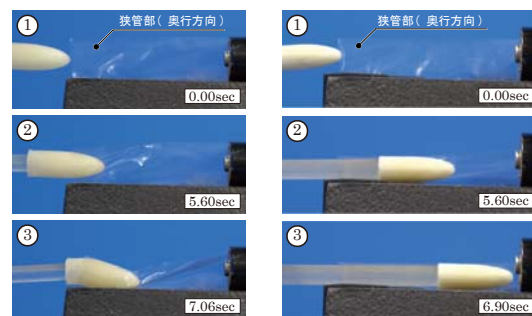


図 1.6 柔軟部品の
狭窄部挿入実験

図 1.7 硬質部品の
狭窄部挿入実験

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 10 件)

① 小松洋音、藤田政宏、藤本敏彰、鉄井光、西村礼貴、野村陽人、高根英里、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食硬質メカニズム要素、第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、査読無、2017 年 12 月 21 日、仙台国際センター(宮城県・仙台市)、2A4-11

② 小松洋音、藤田政宏、藤本敏彰、鉄井光、西村礼貴、野村陽人、高根英里、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食屈曲アクチュエータ-可食シートを用いた駆動素子の構成例として-、第 18 回計測自動制御学会シス

テムインテグレーション部門講演会、査読無、2017年12月22日、仙台国際センター（宮城県・仙台市）、3B4-10

③ 小松洋音、藤田政宏、高根英里、藤本敏彰、鉄井光、西村礼貴、野村陽人、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食センサー力・変位センシング機能を有する可食メカニズムー、第35回日本ロボット学会学術講演会、査読無、2017年9月12日、東洋大学 川越キャンパス（埼玉県・川越市）、1J2-04

④ 藤田政宏、藤本敏彰、鉄井光、西村礼貴、野村陽人、高根英里、小松洋音、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食アクチュエーター可食フィルム・羊腸を用いた各バルーン機構の構成ー、第35回日本ロボット学会学術講演会、査読無、2017年9月13日、東洋大学 川越キャンパス（埼玉県・川越市）、2F2-06

⑤ 藤田政宏、藤本敏彰、西村礼貴、鉄井光、野村陽人、高根英里、小松洋音、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食センシング要素ーロボット要素としての可食感知・検出器ー、計測自動制御学会東北支部 第310回研究集会、査読無、2017年7月21日、秋田大学 手形キャンパス（秋田県・秋田市）、310-8

⑥ 西村礼貴、藤本敏彰、鉄井光、藤田政宏、野村陽人、高根英里、小松洋音、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食アクチュエータ第4報ー羊腸膜を用いたバルーン機構の構成ー、計測自動制御学会東北支部 第309回研究集会、査読無、2017年6月23日、弘前大学 文京町キャンパス（青森県・弘前市）、309-13

⑦ 多田隈建二郎、小松洋音、藤田政宏、野村陽人、高根英里、昆陽雅司、田所諭、可食ロボット用全周開張式トーラス機構、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017、査読無、2017年5月12日、ビッグパレットふくしま（福島県・郡山市）、2A1-A09

⑧ 小松洋音、藤田政宏、高根英里、野村陽人、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食アクチュエータ 第3報：ベローズ状アクチュエータの具現化と基本的特性、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017、査読無、2017年5月12日、ビッグパレットふくしま（福島県・郡山市）、2A2-A05

⑨ 小松洋音、高根英里、藤田政宏、野村陽人、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食アクチュエーター第2報：バルーン式機体の基本的特性の計測および可食吸盤の具現化ー、第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、査読無、2016年12月15日、札幌コンベンションセンター（北海道・札幌市）、1I3-1

⑩ 小松洋音、高根英里、藤田政宏、野村陽人、多田隈建二郎、昆陽雅司、田所諭、可食アクチュエーター消化可能な柔軟駆動体ー、第34回日本ロボット学会学術講演会、査読無、2016年9月7日、山形大学 小白川キャンパス（山形県・山形市）、1X1-01

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小松 洋音 (KOMATSU, Hirone)
東北大学・情報科学研究科・助教
研究者番号：30783295

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし