

機関番号：32710

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20592291

研究課題名(和文)柔軟性運動を再現する導電性高分子アクチュエータを用いた人工舌の開発

研究課題名(英文) Development of artificial tongue with conductive polymer to reproduce sinuous movements

研究代表者

大久保 力廣(OHKUBO CHIKAHIRO)

鶴見大学・歯学部・教授

研究者番号：10223760

研究成果の概要(和文): 人工舌の開発にあたり, まず CT 画像から日本人の平均的な舌の大きさおよび形態を計測した結果, 下顎骨体積は平均 87,806 mm<sup>3</sup>, 舌体積は平均 78,990 mm<sup>3</sup>, 舌の位置・可動範囲を決定する一つの要因となる舌/下顎骨比率は平均 91%であった。

舌容量の測定後, 空気圧とナイロンストリングの張力を利用した 2WAY 方式の軟性アクチュエータを舌の柔軟性運動を再現する最適モデルと決定した。また, 人工舌に適切な形態・位置変化を行わせるためのアクチュエータの配置や相互干渉を検証し, 軟組織モデルを構築するのに適した軟性空気圧アクチュエータモデルを試作した。開発したプロトタイプモデルはアクチュエータ同士の干渉もまったくなく, 従来までの多関節ロボットでは到達できない舌固有の曲線でリズムカルな柔軟性運動と形態の多様化を再現することが可能であった。さらに, 駆動源を必要としない自己駆動機構を有し, リズムカルな嚥下を実現する人工舌を考案した。

研究成果の概要(英文): To investigate the factors that influence tongue volume, morphological features and the volume of the tongue and mandible in Japanese males were measured with Computed tomography (CT) data. The subjects were 40 Japanese males (Age: 52.6±12.5 years, Body Mass Index: 25.4±3.4 kg/m<sup>2</sup>). With all subjects, the tongue and mandible volume (mean±SD) were 78,990±10,607.8 mm<sup>3</sup> and 87,806±12,079.6 mm<sup>3</sup>, respectively. The mean of T/M ratio would be important to determine the position and range of motion of the tongue was 91%.

After measurement tongue volume, two-way sinuous actuator using air pressure and nylon strings was applied to fabricate the artificial tongue. Arrangement and interference of the each actuate were also verified so that artificial tongue can perform appropriate the form and position change. The curvaceous and rhythmical movements like a real tongue can be done by the prototype model without interference. Alternatively, self-moving artificial tongue was developed to achieve the swallowing without any power sources.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：顎顔面補綴, CT, 人工舌, アクチュエータ, VR 舌モデル, フィジカルモデル, 軟組織モデル

## 1. 研究開始当初の背景

舌は口腔内で最も大きな領域を占めており、吸綴、咀嚼、嚥下や嘔吐などの行動に関与する消化器官、呼吸器官、あるいは発音・言語を媒体としたコミュニケーション器官としての役割を担う多機能器官である。ところが、歯科領域において極めて重要な役割を担う器官でありながら、瞬時にその形態を3次元的に変化させることから、形態機能的にはほとんど解明されていないのが現状であり、舌切除後の舌再建においても人工代用は全く試みられていない。

## 2. 研究の目的

(1) 舌運動の正確な測定方法については、いまだ確立されていないが、突出、上下、左右、回転運動、舌体の口蓋への接触運動などは高い精度で記録できるようになった。そこで、不定形である舌の容積をまず計測し、舌の位置、可動範囲を決定する要因となる舌/下顎骨比率を算出する。また、発音・発語時、摂食・嚥下時における舌の限界運動と形態変化に関する幾多の報告を参考に、舌シミュレーターの製作を行う。

(2) 各種アクチュエータを用いて2次元、3次元の柔軟性運動を実現する。最終的には試作したアクチュエータの性能を検証し、伸縮可能な骨材や表面材と複合化することにより伸縮率や応答速度の向上を検討する。

本研究は、柔軟性運動を行うアクチュエータを利用して三次元的舌運動を再現する人工舌を開発するものである。

## 3. 研究の方法

### (1) 舌容積の測定

人工舌の開発にあたり、日本人の平均的な舌の大きさ、および形態を把握し舌の標準三次元モデルを作成した。三次元モデルの作成にあたり、有歯顎を有する日本人男性40名、年齢が25~77歳(52.6±12.5歳)、BMIが20.1~35.8kg/m<sup>2</sup>(25.4±3.4kg/m<sup>2</sup>)を対象に、舌および下顎骨の体積、舌/下顎骨比率を算出した。算出には、Spiral CT(Radix Prima)、ソフトウェアはImage analysis software(Amira 3.1)を用いた。下顎骨の体積はCT値200HU(軟組織を除くため)から最大値までのボクセルをオートマティックに抽出し、その数から算出した。舌の体積はセミオートマティックツールを用い、注意深く辺縁を抽出し、その辺縁に囲まれたボクセル数から算出した(図1)。舌/下顎骨比率は上記の両者から算出した。

### (2) フィジカルモデルの製作

本研究では、導電性高分子膜を付与した織

維状アクチュエータを人工筋繊維とすることを当初企画した。しかしながら、発生力を左右する素子サイズ、変位方向を規定する素子形状、各種運動を微細に制御する電気絶縁溝、変位方向を変更する素子同士の接続など制御因子が多種複雑に存在し、舌のしなやかで曲線的なリズミカル運動を再現することは困難であった。

一方、舌のフィジカルモデル製作に際し、舌固有の形態・位置変化の検証が必要不可欠であるが、まずは軟組織の動態を正しく表現するために最も適したアクチュエータを選択し、舌モデルとして検証を行った。

他方において、複数のアクチュエータを個別に制御すると、それぞれのアクチュエータ間の相互干渉によって制御性能が劣化し、ハンチングを起こすことを経験した。そこで、アクチュエータ同士の干渉が少なく、軟組織モデルを構築するのに適した軟性空気圧アクチュエータモデルを試作した。また、過去の文献(2008,横江)等を参考に、アクチュエータを実際に配置し、適切な舌運動に近似した形態変化・位置的变化が生じることを肉眼的に観察した。

アクチュエータの配置や相互干渉を確認するためには、最もシンプルな軟組織モデルが適切であり、軟性空気圧を使用したアクチュエータの開発を行なった。

しかしながら、空気圧を利用して舌本来の動態を実現するためには、駆動源および圧搾機構部の確保が必要である。基本的には超小型バッテリー(内蔵式)を採用するか、将来的には無線電力供給システムを応用することを視野にいれる必要があるが、実際の臨床応用へのハードルは高い。そこで、駆動源を必要としなくても自己駆動機構を有し、口腔中央付近に存在する食物を運搬し、リズミカルな嚥下を再現する人工舌を考案した。

## 4. 研究成果

### (1) 舌容積の測定

舌および下顎骨の容積とその比率を表1、2に示す。下顎骨体積(mm<sup>3</sup>)は最小値62,453、最大値112,682、平均87,806、標準偏差12,079.6であった。また、舌体積(mm<sup>3</sup>)は最小値60,594、最大値115,806、平均78,990、標準偏差10,607.8であった。さらに、舌/下顎骨比率(%)は最小値65、最大値131、平均91、標準偏差16.4を示した。

2006年、Okuboらは51名の日本人男性の舌体積をMR画像上で3次元的に計測し、平均78cm<sup>3</sup>であったと報告している。本研究データもほぼ近似した値が得られた。また、舌の位置・可動範囲を決定する一つの要因となる下顎骨との比率の平均は91%であった。

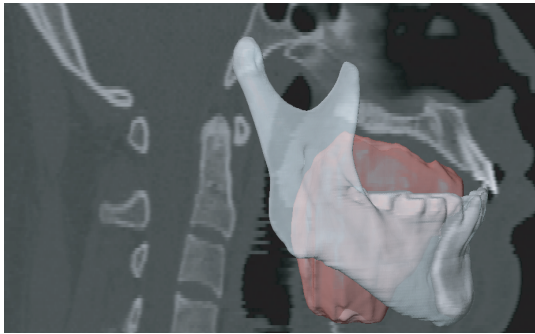


図1 CTデータより3次元構築した舌と下顎骨

表1 舌と下顎骨の容量

Variables	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
Mandible volume	62453	112682	87806	12079.6
Tongue volume (mm <sup>3</sup> )	60594	115806	78990	10607.8
T/M ratio (%)	65	131	91	16.4

表2 BIM, 舌と下顎骨およびその比率の相関

Variables	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Mandible volume (mm <sup>3</sup> )	Tongue volume (mm <sup>3</sup> )	T/M ratio (%)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )		0.042 (p=.799)	0.474 (p=.002)*	0.358 (p=.023)*
Mandible volume (mm <sup>3</sup> )			0.096 (p=.556)	0.677 (p=.000)**
Tongue volume (mm <sup>3</sup> )				0.661 (p=.000)**
T/M ratio (%)				

Spearman's test: \* p<.05  
\*\*p<.01

(2) フィジカルモデルの製作

軟性空気圧アクチュエータの製作に際しては、いくつかのプロトタイプを試作した結果、空気圧とナイロンストリングの張力を利用した2WAY方式の軟性アクチュエータを舌の柔軟性運動を再現する最適モデルと決定した。

開発した2WAY方式プロトタイプモデルは、アクチュエータ同士の干渉もまったく無く、従来までの多関節ロボットでは到達できない、舌固有の曲線でリズムカルな柔軟性運動と形態の多様化を再現することが可能であることを確認した。

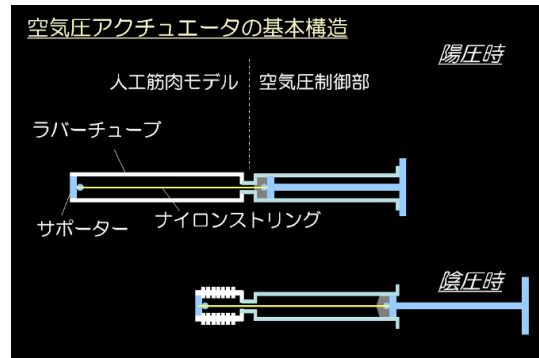


図2 試作した空気圧式プロトタイプモデル



図3 試作した空気圧式プロトタイプモデルの全景



図4 a,b 試作した空気圧式プロトタイプモデルの舌尖挙上時の側方面観

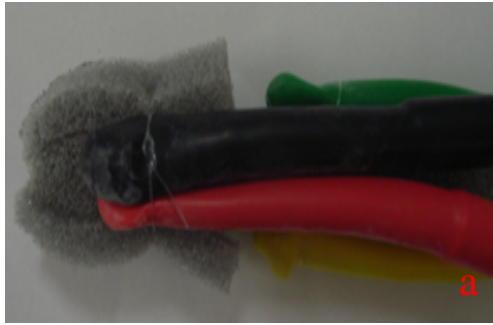


図5 a,b 試作した空気圧式プロトタイプモデルの側方運動時の上方面観

### (3)自己駆動型嚥下補助人工舌の考案

将来的に臨床応用を目指し、動力源を必要としなくても自己駆動し、食物移動と嚥下を補助する人工舌の原理を考案した(図6)。

本人工舌は、口蓋に適合する舌が3分割(前舌、中舌、後舌)され、中央から前後方に設けられた可動部から成る。可動部はサポート部の基部に連結機構を有し、上面は前舌部材とアームを介して運動可能に接続された後舌部材により構成される。アームの一部には停止位が設置され、その上面には中舌部材があり、弾性をもって連結されている。

この人工舌の動作は、中舌部材と口蓋の間に食塊が位置し下顎が閉じられると、中舌部材がわずかに回転し、なおかつ中舌部材が全体的に下がり、食塊が後方に移動すると同時に後舌部に保持される。その後、後舌部材が前方移動し、咽頭が開かれ、食塊は移動、最終的に食道に運搬される。

この人工舌によれば、嚥下時の舌形態を再現できるため、嚥下補助が可能と成る。また残存した舌や軟口蓋が刺激され嚥下反射を惹起することが期待される。さらに、鼻咽腔を閉鎖して、口腔内で食塊を一時的に保持することも可能なため、鼻咽腔への食塊の流入や誤嚥を防止できることになる。

なお、本考案は添付のとおりの特許出願を行った。

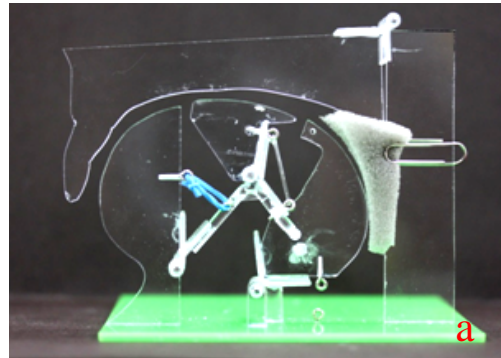


図6 a 安静状態(食塊なし)

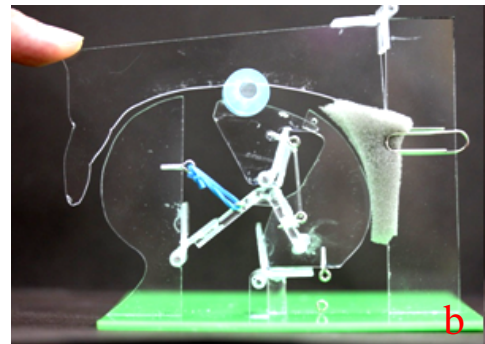


図6 b 閉口により舌中央上に食塊が保持され、咽頭は閉ざされている(青丸は食塊を示す)

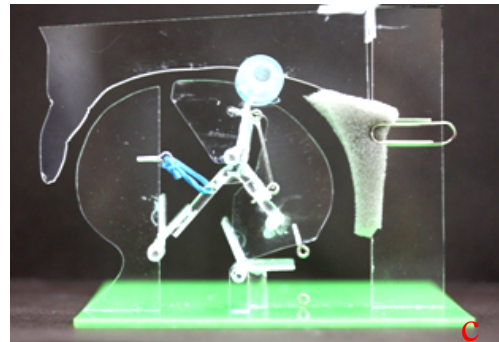
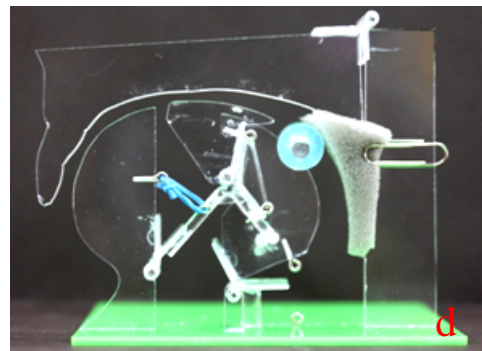


図6 c 舌根が拳上され、咽頭が開放される



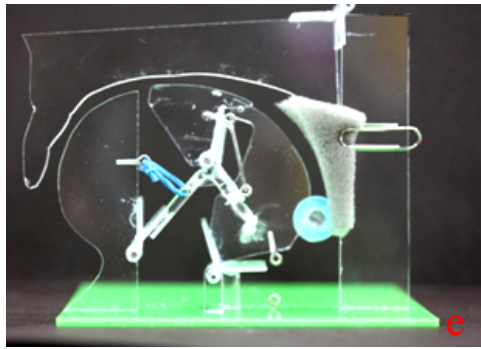


図 6 d,e 食塊は開いた咽頭に送り込まれる

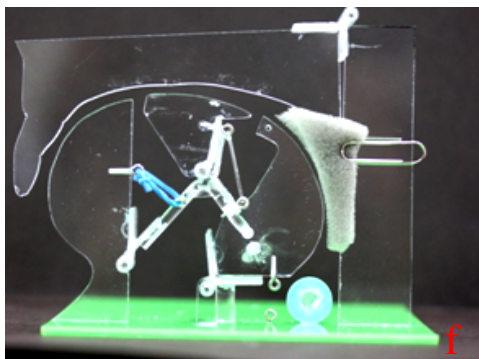


図 6 f 舌根圧により咽喉頭中に食塊送り込まれる

図 6 自己駆動型人工舌の原理

今後は舌本来の嚥下，発語機能の回復を目指し，本研究にて開発した柔軟性アクチュエータと自己駆動型補助装置を用いて，積極的に嚥下，構音機能が可能な人工舌を完成し，臨床応用を目指す。

#### 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 1 件)

Sato Y, Shigeta Y, Ogawa T, Ohkubo C, Fukushima S. Morphological Analysis of Tongue and Mandible in Japanese Males. International College of Prosthodontics. 2009.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称：人工舌

発明者：重田優子

権利者：重田優子，小川 匠，大久保力廣，  
有限会社横浜テクノス

種類：特許

番号：特願 2010-289031

出願年月日：22年12月25日

国内外の別：国内

#### 6．研究組織

##### (1)研究代表者

大久保 力廣 (OHKUBO CHIKAHIRO)

鶴見大学・歯学部・教授

研究者番号：10223760

##### (2)研究分担者

小久保 裕司 (KOKUBO YUJI)

鶴見大学・歯学部・講師

研究者番号：20225410