

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	エレクトレットを用いたセルフパワー口腔内ヘルスマニタリングシステムの開発
Title(English)	
著者(和文)	市川健太
Author(English)	Kenta Ichikawa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12357号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:土方 亘,岡田 昌史,初澤 毅,西田 佳史,八木 透
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12357号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	市川 健太		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main) 土方 亘
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub) 岡田 昌史

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

口腔内は唾液の成分や咬合状態など、健康状態を診断する際に有用な生体情報を豊富に有する。これら口腔内生体情報を無拘束かつ連続的に計測することによって、セルフヘルスケアや未病の早期検知などが実現され、健康寿命の延伸が期待される。このような口腔内ヘルスマonitoringを実現するデバイスとして、マウスガード型などのウェアラブル口腔内センサが開発されているが、誤飲時の危険性から計測やデータ通信の電力源として化学電池を使用することは困難で、実用化の障壁となっている。本論文では、ウェアラブル口腔内ヘルスマonitoring実現のため、咬合力を利用し、身の回りの微小なエネルギー源から発電するエナジーハーベスティング技術によってセンサ駆動に必要な電力を自ら発電する、セルフパワーード口腔内ヘルスマonitoringシステムを開発した。

第1章「緒論」では口腔内ヘルスマonitoringの現状及び展望について概観した。また、セルフパワーードシステム実現のために活用するエナジーハーベスティング技術についても概観し、口腔内デバイスへと適用する場合における課題として、小型化と低周波駆動および高出力特性の両立について述べた。

第2章「エレクトレットを用いた口腔内エナジーハーベスティングの提案と原理検証」では、薄型発電シートをマウスガード内部に埋め込んだ口腔内発電システムを提案した。提案する口腔内発電システムを実現するためには、厚さ 0.2mm 以下の超薄型かつ、咬合力のような低周波な動作からであってもセンサ駆動に資する高出力特性を有する発電シートを実現する必要がある。本章ではこのような発電シートを実現するため、半永久的に電荷を保持するエレクトレットと誘電エラストマーを積層した静電誘導型発電シートを提案した。等価回路に基づく発電量試算の結果、提案原理は口腔内発電システムとして有効な発電性能を実現可能であると示された。また、提案原理に基づく厚さ 2.1mm の原理検証用厚型シートを試作し、別途設計・試作した咬合力相当の圧縮力を負荷可能な咬合力シミュレータによって圧縮し、その発電性能を実験的に評価した。原理検証実験の結果、提案原理に基づく厚型シートは、従来エナジーハーベスティング原理として広く用いられている圧電効果と比較して、最大 560 倍の発電量を達成し、口腔内発電システムとしての有効性を実証した。

第3章「マウスガード型エナジーハーベスタの設計と評価」では、第2章で提案した静電誘導型発電原理に基づく薄型発電シートを埋め込んだマウスガード型デバイスを開発した。薄型発電シートの試作においては、提案発電原理の等価回路モデルに基づく発電量最大化設計を実施し、厚さ 82 $\mu$ m の発電シートを試作した。この発電シートを埋め込んだマウスガード型デバイスについて、歯列模型および咬合力シミュレータを用いた in-vitro 実験によって発電性能を評価した結果、最大で 2.5 $\mu$ W の発電量を達成した。また、ウェアラブル口腔内ヘルスマonitoringシステムとしての実用を想定した蓄電性能評価実験を実施し、5分毎に口腔内センサによるデータの計測および通信を実現可能な性能を確認した。

第4章「マウスガード型咬合力センサの設計と評価」では、セルフパワーード口腔内ヘルスマonitoringシステムの一環として、第3章までに提案した静電誘導型発電シートを利用したマウスガード型咬合力センサを開発した。従来のロードセルや感圧フィルムを用いた咬合力センサは、そのサイズや測定原理によってウェアラブルセンサとして実用化することは困難である。提案するマウスガード型咬合力センサでは、発電シートに負荷された咬合力と出力された電圧との関係をモデル化することによって、計測される電圧から咬合力を推定する。両者の間には強い非線形性が存在するものの、誘電エラストマーのゴム弾性モデルおよび発電シートの等価回路モデルから構築した推定モデルによって咬合力推定が実現可能であることを、厚型シートおよびマウスガード型デバイスをを用いた検証実験によって確認した。この結果より、従来困難であった咬合力のウェアラブル計測の実現可能性を示した。さらに、測定レンジ拡大のため、発電シート誘電エラストマー層に用いる材料について実験的に検討し、材料の剛性に応じて測定レンジを調整可能であることを示した。誘電エラストマー層材料としてポリエチレン樹脂を用いた発電シートによって、2.5MPa まで測定可能であることを確認し、マウスガード型デバイスにおいて最大 1000N の咬合力を計測可能であることを示した。

第5章「結論」では本論文を総括し、本論文における成果と今後の課題および展望について述べた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	市川 健太		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	土方 亘	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	岡田 昌史	

### 要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Mouthguard-type sensors have been developed for monitoring intraoral health-related information such as saliva composition and occlusion. These sensors are expected to be used in preventive medicine and self-healthcare, which will lead to the extension of health expectancy and improvement of quality of life. However, long-term monitoring has not been realized because batteries cannot be used for these sensors due to the risk of accidental ingestion. In order to realize intraoral health monitoring with a mouthguard-type sensor, this thesis proposed a self-powered system in which a mouthguard-type device generates electrical energy for driving the intraoral sensor by utilizing bite force as an energy source.

Chapter 1 reviewed an overview of wearable health monitoring and conventional self-powered sensors with energy harvesting technology which generates electrical energy from ambient energy sources.

Chapter 2 proposed a mouthguard-embedded intraoral energy harvesting system. In order to generate a high enough power to drive a sensor in a tiny space inside a mouthguard, an electrostatic sheet form harvester with laminated electret and dielectric elastomer was proposed. In a principle validation experiment using a thick prototype, the proposed harvester generated 560 times higher power than that of a piezoelectric material.

Chapter 3 evaluated a prototype mouthguard-type device embedding a thin proposed electrostatic sheet harvester. The prototype device achieved 2.5  $\mu$ W power generation and demonstrated energy storage performance sufficient to drive a sensor every 5 minutes.

Chapter 4 proposed a wearable bite force sensor utilizing a mouthguard-type harvester. Applied bite forces were estimated from the output voltage of a mouthguard-type harvester by a theoretical model consisting of a rubber elasticity model of the dielectric elastomer and an equivalent circuit model of a harvester.

Chapter 5 concludes the results of this thesis and described future works.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).