

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	水分解 / 合成制御による自立型ソフトラバーアクチュエータ
Title(English)	
著者(和文)	和田晃
Author(English)	Akira Wada
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10466号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鈴森 康一,遠藤 玄,松永 三郎,吉田 和弘,塚越 秀行
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10466号, Conferred date:2017/3/26, 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

専攻： Department of	機械宇宙システム	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested	Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	和田 晃		指導教員 (主)： Academic Advisor(main)	鈴木 康一
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)	遠藤 玄

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「水分解／合成制御による自立型ソフトラバーアクチュエータ」と題し、以下の 6 章よりなる。

第 1 章「緒言」では、まず近年のロボティクスにおけるソフトアクチュエータの重要性を述べこれまでの研究開発状況を概観した後、その中で最も発生エネルギー密度が高いガス圧駆動ソフトラバーアクチュエータに注目し、その実用化に向けた重要な技術課題が高効率の自立型ガス圧制御系の実現にあると指摘した。そしてソフトラバーアクチュエータ用の自立型ガス圧制御系に関する従来研究を調査した結果、大きさや質量、制御性、エネルギー効率、発生ガス容量の点で従来のものはいずれも大きな問題を有していることを述べた。これらの問題を解決する新しい方法として本研究では、固体高分子形燃料電池 (Polymer electrolyte fuel cell, PEFC) における水の電気分解／合成反応を利用した新たな自立型ガス圧制御系と、これを用いた自立型ソフトラバーアクチュエータの構成を提案し、その設計法および特性を明らかにすることが目的であると述べた。

第 2 章「水分解／合成によるガス圧制御」では、本論文で提案する PEFC における水の分解／合成反応を利用したガス圧制御系の動作原理と制御法を具体的に示した後、化学反応速度および熱力学的考察に基づいて理論動作特性を導出した。次に提案した動作原理と制御法に基づいてガス圧制御系を試作して実験を行い、提案通りシステムが動作してガス圧を外部電流で容易に制御できること、理論動作特性が実験結果とほぼ一致すること、および、ソフトラバーアクチュエータの駆動で一般に要求される 0-700 kPaG の広い圧力範囲にわたって問題なく動作することを示し、提案するガス圧制御系の有用性を示した。また、ガス圧制御系内部の気体と液体の割合、およびガス圧制御系の内容積変化に伴うガス圧制御系の特性パラメータ変動を理論と実験で定量的に比較して、理論の妥当性を示した。

第 3 章「エネルギー回生」では、水合成の過程で発生する電気エネルギーを回収することでエネルギー効率の高いガス圧制御系が構成できる点を指摘し、エネルギー回生プロセスを含んだガス圧制御アルゴリズムと理論回生率を示すとともに、それを実現する駆動回路を設計試作しエネルギー回生の効果を実証した。具体的には、ガス圧をステップ状に制御する場合を対象として、回生エネルギーを蓄積するコンデンサを、ガス吸収時には並列に接続してエネルギー回収を行い、ガス発生時にはこれらを直列に接続して電圧を上げて利用する手法と、ステップ動作 2 回につき 1 回の割合で回収エネルギーを利用するアルゴリズムを提案し、これらを併用することでシステムの効率が 20% 上昇することを実証するとともに、導いた理論特性の妥当性を示した。

第 4 章「柔軟電極の開発」では、柔軟な PEFC を実現するために、プロトン交換膜の表面電極に着目して、その構成および製作法について実験的に検討を行っている。具体的には、Pt&C 触媒とプロトン交換樹脂の配合および厚み、ならびに集電体形状を設計パラメータとして種々の電極を試作し、評価し、柔軟でかつ水合成時も分解時にも一定以上の反応速度を実現できる PEFC を実現し、その製作条件を具体的に示した。また、この柔軟性を利用して円筒型 PEFC を試作し、代表的なソフトラバーアクチュエータである McKibben 型人工筋肉への提案するガス圧制御系の適用可能性を示した。

第 5 章「自立型ソフトラバーアクチュエータの実現」では、第 2-4 章で示した結果を基に、PEFC を組み込んだ各種のソフトラバーアクチュエータを試作し、その特性を実験で明らかにしている。具体的には、PEFC を内蔵したソフトラバーアクチュエータを電流によって駆動できること、エネルギー回生が行えること、サーボ系を構成することにより安定した位置制御が行えること、柔軟な PEFC を用いることで全体が変形可能なアクチュエータや円筒状の McKibben 型人工筋肉が実現できること、ならびに、電源や制御回路を内蔵した自立型ソフトロボットが実現できることを実証した。

第 6 章「結言」では、本研究で得られた結論を総括するとともに、今後の展望を述べた。

以上を要するに、本論文は、水分解／合成制御による自立型ソフトラバーアクチュエータの構成と制御法を提案し、理論と実験の両面からその特性と設計法を明らかにすることで、従来のガス圧駆動ソフトラバーアクチュエータの適用範囲を格段に広げるものであり、工学上、工業上貢献するところが大きい。

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

専攻： Department of	機械宇宙システム	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	和田 晃		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	鈴木 康一	
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	遠藤 玄	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis proposes new portable soft pneumatic actuator using reversible chemical reaction, therefore increases the opportunity of its soft robot.

A soft robot using pneumatic actuator has big pneumatic control system. This makes them difficult to be used on mobile apparatus. To solve this problem, we propose new portable gas control system that uses the electrolysis/synthesis of water as a reversible chemical reaction, which controls the generation/absorption of gas through an electric current supplied to a polymer electrolyte fuel cell (PEFC).

The advantages of this principle are, compact, light-weight, precise control by electron, and recovering energy compared to other research. The recovering energy is that the generated gas by electrolysis produces electrical power when the synthesis reaction occurs. The energy can be stored and used in secondary electrolysis energy. This thesis achieves the following subjects.

Chapter 2 presents the theoretical formula and the experimental results of this principle. The formula is developed by both the reaction rate and the thermodynamic model. In the experiment, we confirmed the good agreement with the theoretical value. Additionally, the system works in 0-700 kPaG which is generally used in pneumatic actuator, and the system also works in negative pressure.

Chapter 3 shows the method of recovering energy, and gives the theoretical formula and the experimental results to verify its power consumption. In this result, we achieve 20% energy reduction compared to that without the method of recovering energy.

Chapter 4 describes the development of the flexible PEFC for embedding this principle to the soft pneumatic actuator. By changing the combination ratio and the thickness of platinum catalyst and polymer electrolyte membrane, or changing the shape of current collector, the device efficiency can be improved.

Chapter 5 shows the development of the portable soft pneumatic actuator. This principle applied to the typical soft pneumatic actuator, for example a flexible microactuator (FMA), a McKibben artificial muscle.

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).