

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 ( 共通 )

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 5 年 6 月 1 5 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04385

研究課題名(和文) バイオマスを食べるエネルギー自給型移動ロボットの実証と特性評価

研究課題名(英文) Study of Biomass Eating Energy Sustainable Robot

研究代表者

土居 隆宏 (Doi, Takahiro)

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：40410633

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究では、機械システムが、自身の行動のエネルギーを得るために、周囲環境の中を移動しながら搭載センサによってエネルギー源を探し、取り込み、エネルギーを継続的に得る仕組み「エネルギー自給型移動ロボット」について研究を行った。  
コンセプトを提案し、実際に製作したロボットは、枯葉を回収し、燃焼熱によるエネルギーを得ることができる燃焼炉と、発電のための熱電モジュール、蓄電のためのコンデンサ、地面に落ちている葉を燃焼炉に運ぶためのアーム、二輪型の移動機構、これらを制御し、現在の状態を示すログを出力するためのマイコンからなる。これらが遠隔操作により駆動できること、エネルギー収支について明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、従来の機械であったような、グローバルな大量のエネルギーと資源の投入に基づく考え方から脱却し、持続可能性を実現するために、センサを搭載した知能機械システムによる「賢い」ローカルエネルギーの獲得と利用を示唆する点である。

今回の研究成果により単純な構成のロボットで、枯葉バイオマスの回収と燃焼、熱電発電によりエネルギーが獲得できること、そのエネルギー収支の定量的評価が実現でき、今後の課題を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：Research on "energy sustainable mobile robots" in which the mechanical system searches for and absorbs energy sources using on-board sensors while moving around the surrounding environment to obtain the energy necessary for its own actions, and acquires energy continuously was performed.

We proposed the concept and actually built the robot. It consists of a combustion furnace to burn dead leaves, thermo modules to generate energy, capacitors to charge electric energy, an arm to carry dead leaves biomass to the combustion furnace, a two-wheeled movement mechanism, and a microcomputer to control robot system and output a log that shows the current state of the robot system. We clarified that these system can be driven by remote control and evaluated the energy balance of it.

研究分野：Robotics

キーワード：エネルギーハーベスティング 移動ロボット センシング バイオマス 熱電発電

## 1．研究開始当初の背景

従来の機械は、原油、石炭、核物質等の海外のグローバルなエネルギー源を利用し、「より強く、より速く」動作することを良しとし、厳しい経済競争を勝ち抜くために、大量のエネルギーを投入することで、製品を大量に安く生産できるような機械が多く作られてきた。しかしながら、グローバルなエネルギー源には環境問題やエネルギー枯渇、国際関係の悪化によるロジスティクスの断絶、為替変動の影響といった問題もあり、これだけに頼ることは有事の際には危険であり、また持続可能性にも疑問が残る。

そこで野生生物に目を向けると、ローカルなバイオマスだけを活用して、持続可能な形で命を繋いでいる例が多くみられる。この鍵は生物の感覚器に基づく賢いものを「食べる」機能であり、この機能は単純なアメーバのような微生物から哺乳類にいたるまですべての生物が等しく持っており、工学的に実現できる余地があると考えられる。

そこで本研究で設定した問いは、現在の技術で機械システムが持つセンシングの機能を活用し、野生生物が行っているような、エネルギー源の選択と回収、エネルギー変換、蓄積を繰り返すことで継続的に動けるような仕組みは作れないか、ということである。

## 2．研究の目的

本研究の目的は、機械システムが、自身の行動のエネルギーを得るために、周囲環境の中を移動しながら搭載センサによってエネルギー源を探し、取り込み、エネルギーを継続的に得る仕組み「エネルギー自給型移動ロボット」について、その実現可能な形態を提案し、実験により明らかにすることである。

## 3．研究の方法

### （1）枯葉バイオマスを利用したエネルギー自給型移動ロボット

エネルギー自給型移動ロボットを実現するにあたり、エネルギー源として比較的容易に入手でき、燃やすことで熱エネルギーを得ることができる枯葉を、エネルギー変換の方法として、機械的可動部分がなく、温度差を使って発電ができる熱電モジュールを選定した。これを使った機構、制御系、電装系を構築し、開発した実機により移動と枯葉回収、燃焼と発電の実験を行った。

### （2）システム構成

#### 全体構成

できるだけシンプルな移動と回収機構を実現するため、駆動輪2輪とアーム、制御装置からなる構成とし、全体の形としては引っ掛かりが少ない俵型とした（図1）。

#### 移動機構

半球の車輪を左右に取り付けることで、全体の形を俵型とした。車輪内部は半球型のスペースがあり、ここにコンデンサなど格納できるようにした。移動方式は対向2輪による前後、旋回が可能である。また、補助輪を装備しており、斜面や走行抵抗の大きいところでは、補助輪からの復元トルクが利用できる。推力は、コンデンサの耐圧である2.5Vを印加した状態で、1.3kgfが得られた。

#### バイオマス回収装置

左右から枯葉バイオマスを挟んで持ち上げ、燃焼炉に運ぶことができる。モータは2個使用している。

#### 燃焼炉

枯葉バイオマスを導入し、点火、燃焼させる炉である。アルミ板を組み合わせた箱型とし、その底にはニクロム線を用いた点火装置を設置した。エネルギー効率を高めるためには、エネルギーを要する点火はできるだけ少なくし、枯葉に着いた炎が次の枯葉に燃え移る連鎖的な燃焼が必要である。また、熱電モジュールとしては、吸熱側に金属棒、放熱側にヒートシンクを備えたものを使用した。実験により、最短5秒（6.3V-2.3A）で点火ができること、燃焼中は熱電発電が可能であることを確認した。

#### 充放電系

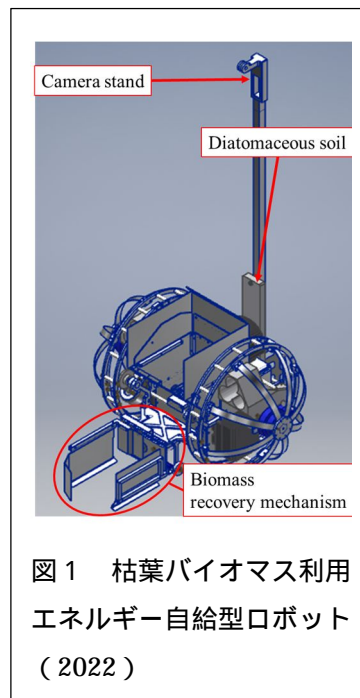


図1 枯葉バイオマス利用  
エネルギー自給型ロボット  
（2022）

充電のためのコンデンサは 2.5V, 220F のものを 3 個並列につないだセットとして使用した。熱電モジュールからの発電で、最大 2V までの充電が確認できた。スイッチにより充電・放電（モータ駆動）が切り替えられることを確認した。コンデンサは 2 セットロボット上に搭載しており、片方は充電、他方は放電として使用する形とした。

制御系

ESP32 マイコンとモータドライバを使用し、モータ 4 つの駆動と、Bluetooth 接続でゲームコントローラからの遠隔操作ができるようにした。

### （３）性能検証実験

製作したエネルギー自給型ロボットを用いて、回収動作をしながら発電を行い、エネルギー収支の実験を行った（図 2）。その結果、500mm 前進して回収動作を行ったとすると、7.39J のエネルギー消費があり、その結果得られた枯葉から生成されたエネルギーは 2.50J となり、この動作だけを見ると、消費の 1/3 程度のエネルギー収入となった。しかしながら、エネルギー回収と発電の一連の動作と、データを取得できるシステムが完成していることは確認できた。今後はこのシステムをベースに、回収量の増加、燃焼炉の断熱、回収機構の改良、機構を休める時間確保等の工夫でエネルギー収支は改善できるものと考え



図 2 枯葉バイオマス燃焼実験

## 4. 研究成果

本研究の成果は以下の通りである：

枯葉バイオマスをエネルギー源とするエネルギー自給型ロボットの機体を設計・製作した。

製作したロボットを用いて、移動動作・回収動作実験、点火実験、燃焼実験を行い、エネルギー収支を定量的に計測した。

今後の課題としては以下が挙げられる：

エネルギー収支の改善のため、機構、ソフト、動作パターンの改善

多様な環境での動作試験、長時間の耐久試験

実機のパフォーマンスを反映したシミュレーション

2023 年 6 月現在で、世界的に見て同様の研究例はまだ見られず、本テーマの新規性は変わらない。今年度成果をまとめ、欧文学会誌への論文投稿を目指す。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1 . 発表者名 土居隆宏
2 . 発表標題 ものを食べて動くロボット
3 . 学会等名 2021年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会（招待講演）
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 見邨怜央奈、土居隆宏、岡田和樹、仲秋匠真、廣澤百真
2 . 発表標題 エネルギー自給型ロボットの不整地移動および枯葉バイオマス燃焼発電システムの開発
3 . 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4 . 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://www2.kanazawa-it.ac.jp/doi-lab/research/index.html#energy">http://www2.kanazawa-it.ac.jp/doi-lab/research/index.html#energy</a>
---

6 . 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------