

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：25403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25630442

研究課題名(和文)水飲み鳥の揺動原理に基づく熱機関からの利用可能な余剰エネルギー回収システムの開発

研究課題名(英文)Development of the surplus energy recovery system from heat engines based on the swinging motion principle of Drinking Birds

研究代表者

小作 敏晴 (Kosaku, Toshiharu)

広島市立大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：90295840

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：水飲み鳥と呼ばれる玩具は熱機関であり、水の蒸発を利用して揺動と水飲み動作を連続的に繰り返すことができる。本研究では、水飲み鳥のエネルギープラントとしての可能性を検討するために、揺動中の余剰エネルギーを推定し、その回収装置を開発した。始めに揺動を計測する実験装置を構成した。次に実験データを収集・解析して、余剰エネルギーを推定する方法を確立した。それらの結果に基づいて、市販品の約3倍の大きさの水飲み鳥を設計・製作したが、同じ運動は得られなかった。また、水飲み鳥に適した発電機を考案し、原理模型を製作して有効性を実証した。

研究成果の概要(英文)：A toy called "drinking bird" is a heat engine that continuously repeats swinging motion and a mimicry of drinking motion by evaporation of water. In this study, we estimated the surplus energy of the drinking bird in the swinging motion and developed a recovery device in order to examine the possibility as an energy plant. First, we constructed an experimental system to measure the toy's motion. Then, we established an estimation method of the surplus energy by analyzing experimental data. Finally, based on those results, we designed and produced a drinking bird about three times as large as commercially supplied drinking birds, but could not obtain the same motion as them. In addition, we devised a generator suitable for the drinking bird and demonstrated its effectiveness by making the principle model of it.

研究分野：機械工学

キーワード：水飲み鳥 平和鳥 運動解析 シミュレータ 熱機関 余剰エネルギー 発電機構

1. 研究開始当初の背景

(1) 平成23年3月に発生した福島第一原子力発電所事故によって、原子力の廃止・推進の議論が活発になり、それと同時に再生可能エネルギーへの転換が叫ばれていた。再生可能エネルギーにはそれぞれに一長一短があるため、どれかが単独で原子力や化石燃料を代替し、現代社会のエネルギー需要を賄うということは現実的に不可能であることから、エネルギー源の多様化と新しいエネルギー変換機構に期待と要請が高まっていた。

(2) 水飲み鳥（平和鳥）と呼ばれる鳥の形状をしたガラス製の玩具（図1）は、頭部からの水の蒸発によって持続的な揺動運動を繰り返す。熱力学の観点からみると、水飲み鳥は周囲に微小な温度差を形成して本体内部と外気の間で熱サイクルを引き起こす外燃機関であることから、動力発生機構として大変興味深く、工学的応用の可能性に着目した。研究開始当初では学術的な研究報告は少なく、取得可能動力を定量的に評価した文献は、確認した範囲では2件程度であった。



図1 水飲み鳥（平和鳥）

2. 研究の目的

本研究の開始までに、振動学的、熱力学的な観点から水飲み鳥の運動に関する基礎研究を実施し、重心位置の時間変化、揺動の持続に必要な蓄積熱量を定量的に評価していた。本研究では、それまでの成果を基に、以下に示す研究内容の遂行を目的とした。

(1) 市販の水飲み鳥について、さらに詳細な運動計測と解析を実施し、実験データに基づいて数理モデルを構成する。

(2) 水飲み鳥の動作原理に基づいた熱機関モデルを設計、製作して、最適形状と寸法効果を明らかにする。

(3) 製作した熱機関モデルの揺動運動から余剰エネルギーを回収するためのシステムを開発し、エネルギープラントとしての可能性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 市販の水飲み鳥の運動計測と解析

① 運動計測に必要な実験装置を構成する。水飲み鳥の揺動運動は、温度、湿度、大気圧な

どの周囲環境に依存し、広範囲の条件でデータを収集するためには、それらを制御する必要がある。しかし、全ての実験装置を収納できる恒温恒湿器を用意することは困難であったため、年間を通して長期的にデータ収集を実施することによって対応することにした。また、水飲み鳥の運動は極めて繊細なので、センサー等の取付けは系に影響を与えるため好ましくない。そこで、Webカメラとサーモグラフィ装置を使用して揺動運動を撮影し、画像処理による運動解析から、揺動角度、本体表面温度等を非接触計測する。さらに、水の蒸発量を推定するため、水飲み鳥と水の容器を秤にのせて、系の重量変化を計測する。

② 収集したデータを解析する。まず、揺動角度の計測データを時系列解析手法によって解析する。その結果から重心位置の変動波形を推定し、揺動系の力学的エネルギーの収支と余剰エネルギーについて考察する。次に、本体表面と外部空気の温度データを基に、有限要素法を用いて、外部温度場の非定常熱伝導解析を行って、頭部から外気へ流出する熱量を推定する。水飲み鳥がカルノー機関であるとすると、単位時間当たりの蓄熱量（仕事量）を推定することができる。

③ 数理モデルを構成する。振動工学と熱力学の観点から水飲み鳥の揺動運動を説明する数理モデルを構成し、計測データを用いてパラメータの推定を行う。また、シミュレータを作成し、熱機関モデル設計・製作のための基礎資料として活用する。

(2) 熱機関モデルの設計・製作

構成した数理モデルとそのシミュレータを利用して、市販品の2～3倍程度の水飲み鳥の揺動運動に関する数値シミュレーションを実施し、本体の形状、寸法効果、本体内部の有機溶媒の容量など、各種パラメータの特性を数値的に検証する。数値的な検証結果を踏まえて、熱機関モデルを設計・製作する。当初は銅などの金属材料による製作を想定したが、動作保証が無い中で、内部液体の状態が確認できないことが再設計に支障をきたすと判断し、金属部分とガラス管部の結合による融合体として設計・製作することにした。製作後、熱機関モデルの動作テストを行い考察する。

(3) 余剰エネルギー回収システムの開発

熱機関モデルは市販品の2～3倍程度で製作するが、それでも揺動運動時の余剰エネルギーは非常に微小であると予想されることから、その取出しと蓄積に一工夫を要する。本研究では、最も単純と考えられる誘導起電力による取出しを検討し、機械エネルギーから電気エネルギーへの変換機構を試作する。また、電気エネルギー蓄積には、最小限のロス以外を排除するため、ダイオードとキャパシタから成る「コッククロフト＝ウォルトン回

路」やチャージポンプの役割を果たす「スイッチト・キャパシタ回路」の利用を試みる。

4. 研究成果

(1) 市販の水飲み鳥の運動計測と解析

① 揺動運動の自動計測・データ収集システム(図2上)を部分的に構成した。数理モデルの構成に必要な実物の揺動運動の自動計測・データ収集システムの構成に取り組んだ結果、揺動角と重量の自動計測システム(図2左下)、本体の表面温度の半自動計測システム(図2右下)など、部分的な機器構成はできたものの、環境計測、簡易温度湿度制御システムなどのシステムが未完成で、全体構成には至らなかった。そのため広範囲データの収集・解析および数理モデルの構成は未達成となった。

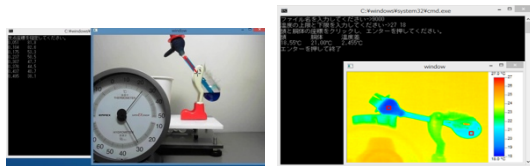
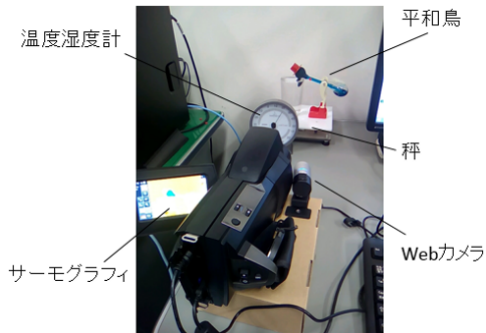


図2 運動計測システムの構成

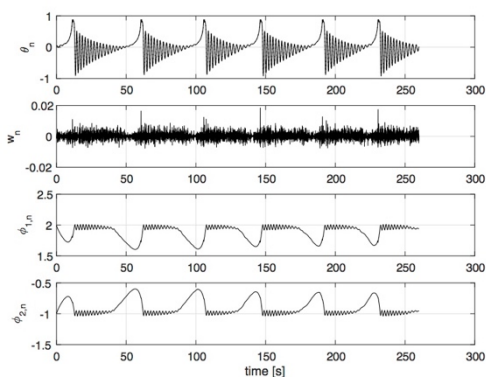


図3 揺動角波形の時系列解析

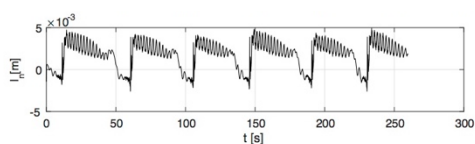


図4 重心変動の推定波形

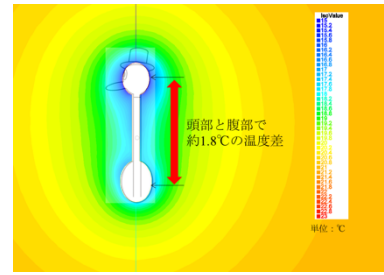


図5 外部温度場の有限要素法解析

② 部分的に収集したデータを解析し、余剰動力を計算する手法を開発した。まず、提案する揺動運動モデルに基づいて、揺動角の時系列解析を行い(図3)、その結果から重心変動波形を推定した(図4)。室温 22°C、相対湿度 45%の条件下で計測された揺動系に供給されている平均動力を 16.7 [μW]と推定した。このうち 15.4 [μW]は粘性摩擦によって散逸するが、残り 1.3 [μW]はそれ以外で消費されており、余剰動力の上限と考えられる。次に、外部温度場の有限要素法解析(図5)と熱画像解析(図2右下)により、水飲み鳥がカルノー機関であると仮定した場合の平均動力を 7.2×10^3 [μW]と推定した。揺動系と熱力学系の平均動力の推定値を比較すると約 400 倍の差がある。この原因を考察するためには、さらに多くのデータを収集、解析する必要がある、自動計測・データ収集システムの整備が今後の課題である。

③ 数理モデルは構成できなかったが、これまでの先行研究と本研究の実験結果を基に、簡易シミュレータを作成した(図6)。

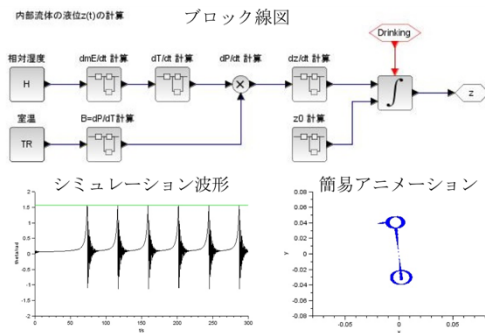


図6 揺動運動の簡易シミュレータ

(2) 熱機関モデルの設計・製作

簡易シミュレータを用いて、市販品の3倍程度の大きさの熱機関モデルの設計・製作の可能性について検証した。シミュレータでは市販品と同等の動作を行うことが確認できたので、プロトタイプ的设计・製作を外部メーカーに依頼した。製作された3倍熱機関モデル(図7)は、納品後に改良を施したものの、結果として持続的な揺動運動を行うことができなかった。原因としては、頭部と胴体部の

結合部の形状設計が内部流体のスムーズな移動を行うには不十分であったことと、頭部からの十分な伝熱性能を確保するのに有効な濡れ状態を保持する有効な手段を施すことができなかつたことが挙げられる。



図7 製作した3倍熱機関モデル

(3) 余剰エネルギー回収システムの開発

水飲み鳥の不規則で繊細な揺動運動に適した発電機構として、静電誘導方式による新しい電荷蓄積手法を考案した(図8)。すなわち、Wimshurst起電機およびKelvin水滴発電機に着想を得て、機械的な揺動の変位により静電容量を変化させ、それと同期した機械的の接点による整流機構と組み合わせることによって、低い動作速度においても効率的に電荷を蓄積し、高電圧・微弱電流の電源として機能することを、原理模型を用いて実証した(図9)。熱機関モデルが完成しなかつたため、本研究期間中に実機の熱機関モデルと組み合わせて動作検証し、エネルギープラントとしての可能性を検討するには至らなかつたが、DCモータを用いて水飲み鳥の模倣動作を行った検証では、数ギガオーム程度の高インピーダンス入力バッファを介し、揺動運動によって、主コンデンサに電荷が蓄積していく様子をリアルタイムで観測することに成功した。

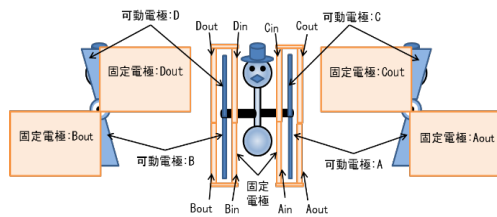


図8 静電誘導方式による電荷蓄積原理

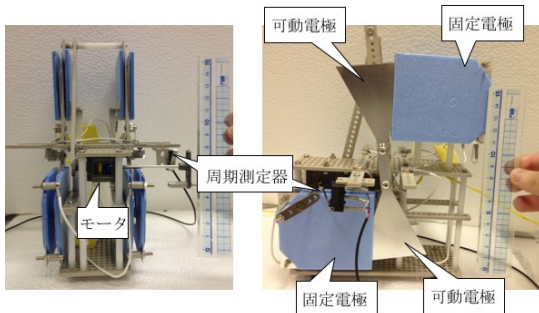


図9 試作した原理模型

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計1件)

- ① 小作 敏晴、佐野 学、厚海 慶太、水飲み鳥の揺動運動解析と熱力学的考察、日本機械学会中国四国支部 第54回総会・講演会、2016年3月9日、愛媛大学城北キャンパス(愛媛県・松山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小作 敏晴 (KOSAKU, Toshiharu)
 広島市立大学・情報科学研究科・助教
 研究者番号: 90295840

(2) 研究分担者

佐野 学 (SANO, Manabu)
 大阪学院大学・情報学部・教授
 研究者番号: 10092785

厚海 慶太 (ATSUUMI, Keita)
 広島市立大学・情報科学研究科・助教
 研究者番号: 80453207