

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：56302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04619

研究課題名(和文) 離島工学に基づいたロケットストーブ-スターリング発電・温水器の防災活用研究

研究課題名(英文) Research on Disaster Prevention Utilization of Locate Stove Stirling Power Generation and Water Heater Based on Remote Island Engineering

研究代表者

伊藤 武志 (ITO, TAKESHI)

弓削商船高等専門学校・総合教育科・教授

研究者番号：10435472

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は災害時の利用を想定し、ロケットストーブを用いた発電システムの改良と温水器の作製をおこなった。両システムとも可搬式で作製し、災害時での移動を可能とした。スターリングエンジン発電システムは、設計製作した焼却炉を用いることで強い燃焼が可能であった。しかし、初期の発電は確認されたが、持続的な電力供給は困難であった。

温水システムは、直径8mm、全長140cmの銅管を用いることで、安定した燃焼と温水の獲得ができ、水流速を1.0 L/minにすることで水蒸気も得ることができた。さらに、木炭蓄電器を用いた可動式LED街灯の製作も行い、これらを出前授業などで公開することで防災の意識を高めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロケットストーブは簡単に製作できるため、東日本大震災でも使用され、その活用方法は注目されている。災害時には、電気や水だけでなく、シャワー利用できる温水も必要であり、本研究はそれら解決を目指したものである。

発電機にはまだまだ課題点が残るが、スターリングエンジンを用いた可搬式の発電機は、これまでなく、外部機関の評価は高かった。また、温水器は、水蒸気までつくすることで、蒸留水の獲得も可能で、避難所での活用だけでなく、発展途上国での簡易かつ低コストで安全な水の確保もできる画期的なシステムである。

研究成果の概要(英文)：In this study, an improved power generation system using a rocket stove and a water heater were developed for use in times of disaster. Both systems are portable and can be moved in times of disaster. The Stirling engine power generation system was capable of strong combustion by using an incinerator that was designed and fabricated. However, although initial power generation was confirmed, continuous power supply was difficult.

The hot water system used a copper tube with a diameter of 8 mm and a total length of 140 cm, which enabled stable combustion and hot water production, as well as steam production by increasing the water flow rate to 1.0 L/min. In addition, a movable LED streetlight using a charcoal accumulator was also produced, and these were shown to the public at classes and other events to raise awareness of disaster prevention.

研究分野：防災教育

キーワード：ロケットストーブ スターリングエンジン発電 温水システム 水蒸気 蒸留 防災・現先 防災教育

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究者が所属する弓削商船高等専門学校(以下弓削商船)は、離島である上島町弓削島に所在している。離島の問題を解決するために上島町と協力し、工学的な観点からそれらを解決するための取り組みを「離島工学」と名付け、地域創生や地域活性化を目指し活動・研究を実施している。

予算が少ない地方では、災害時に低コストで利用できるインフラシステムの研究や地域住民に対する防災・減災教育などの事前準備は最重要課題である。また、昨今のコロナウイルスを例に避難所での感染防止が課題である。特に離島では災害時、孤立しやすく、独自の防災・減災の確立は急務である。

(2) ロケットストーブは、一斗缶等にL字型の長い煙突を設置することで、従来の焚き火よりも高効率で熱を伝えることができ、東日本大震災時に、使われ注目されている。ロケットストーブは島の問題である放置竹林や漂着ゴミさらには災害ごみも燃料にすることができる。

また、10kW未満のスターリングエンジン発電が、規制緩和されたことで、中規模のスターリングエンジン発電が研究開発されている。そこで、本研究者は災害時に火と電気を同時に確保手段として、ロケットストーブとスターリングエンジンを組み合わせた発電システムの構築を行なっているが、発電機の冷却システム・運搬、耐久性などに課題があり、システムの改良が必要であった。さらに、ロケットストーブは災害時における瞬間温水器や蒸留装置への応用等が期待できるが、そこまで至っていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、離島工学に基づいた防災・減災活動である。避難所での電気・水の確保、感染予防を目的とした、ロケットストーブ-スターリングエンジン発電の改良と過熱水蒸気の精製が可能なロケットストーブ温水システムの開発を行った。同時に上島町で問題になっている放置竹林を燃料として利用することも目的とし、ロケットストーブ温水システムと組み合わせることで、シャワーなど個人で利用可能な生活水の確保を行う。本研究は、これまで調理や暖炉でしか利用されなかったロケットストーブを使って、災害時に入手困難な電気と生活水・個人利用可能なシャワー・過熱水蒸気を利用した殺菌の確保ができるといったこれまで報告例がない研究である。また、ロケットストーブと発電機を別々にすることで、コストがかからず、ロケットストーブは取り換えることができる。ロケットストーブは誰でも身近な材料で製作することができ、災害時に低コストなインフラシステムの確保ができる画期的な研究である。

またこの研究は、災害ゴミも応用することができ、放置竹林・漂着ごみ等島の問題と防災、新しい燃料開発による地域活性化と同時に複数の課題を解決できる離島工学に基づいた独自性・創造性が非常に高い研究である。さらにこれらを地域住民に対して出前講座することで、島民全員の防災・減災の認識の促進を行なう。災害時に孤立する地方の欠点を島全体で対策することで、島以外での僻地の地域活性化と防災減災活動のモデルケースとなることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究(1)ロケットストーブ-スターリングエンジン発電の改良(2)ロケットストーブ温水・過熱水蒸気システムの開発(3)地域住民への出前授業から構成される

(1) ロケットストーブ-スターリングエンジン発電の改良

ADMIX社と設計したスターリングエンジン発電機は教育使用も考慮した中程度の大きさで、回転数最大1200rpmで300Wである。この発電機にコントローラとカーバッテリー・インバーターを中継して安定した電気を供給する。このスターリング発電機を回転させるには、強い火力が必要であり、前研究段階では、耐熱レンガで燃焼部を囲む必要があった。そこで、本研究では、強い火力出力と熱の持続が可能なロケットストーブとスターリングエンジンの加熱部分の改良を行った。ロケットストーブは一斗缶でなく、2mmの鉄板を溶接して、縦×横×高さを234mm×234mm×585mmで作製し、断熱材としてパーミキュライトを用いた。ヒートライザー部分は直径120mmのステンレス煙突を使用し、スターリング加熱部分を、鉄板と断熱材を組み合わせた焼却炉を作製することで、強い燃焼を可能とした(図1)。スターリングエンジン発電機は、エンジン内部の高熱が続くと変形するため、冷却水を循環させる必要がある。しかし、開発の当初の発電機は耐熱プラスチックではあるが、冷却水搬入口が炎の影響を受け、その耐久性が課題であった。さらには冷却水の供給の仕方やその温度等維持も課題である。そこで、本研究では、断熱素材を耐熱アルミテープで保護することで、冷却部を保護した。また、冷却水の流入温度等の検討も行った。さらには、災害時の運用を考え、ロケットストーブとスターリングエンジン発電機を運搬が可能な可搬式で設計し、作製した。



図1 製作した焼却炉

(2) 簡易ロケットストーブ温水・過熱水蒸気システムの開発

本システムの構成を図2に示す。使用するロケットストーブは、本体がペール管を二つ合わせたもので全長750mmでヒートライザーは直径160[mm]のステンレス煙突、断熱材にパーミキュライトを用いて作製した。

本研究では、ヒートライザー部に水が通過できるコイル状の熱交換器で製作することで、温水および過熱水蒸気の取得の検討を行った。事前研究で、熱交換器の材質の検討を行ったところ、アルミ・ステンレスより銅の方が耐久性もあり熱効率が良かったため、銅管でパイプの長さや直径と水の流速

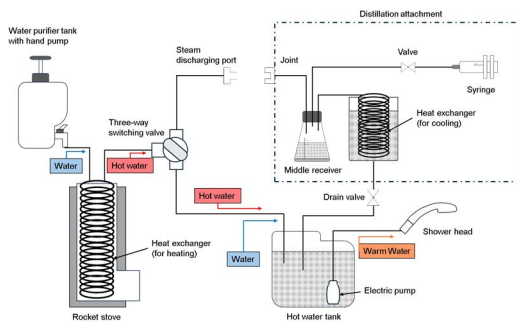


図2 温水・加熱水蒸気システムの構成

の検討を行った。熱交換器は、燃焼の妨げにならないように中心部に配置した。流速の測定は、水道水で調整して、温度の測定を行ったが、流速決定後は、濾過システムも兼ねた手押しポンプ付き浄水器「コックン飲めるゾウミニ (MJMI-02 株式会社ミヤサカ工業製)」を用いて、実際の避難所の運用が可能であるかの検討を行った。また、過熱水蒸気を取得した後は、切り替え式や蒸留装置への取り付けの検討を行った。水蒸気の精製において、水分や金属塩等が混じることが予想される。そこで、水蒸気出口にそれらを取り除く瓶を設置することで、純度が高い水蒸気の獲得を目指した。さらにそれら水蒸気を冷却する蒸留システムの設置も検討した。

(3) 地域住民への出前授業

上島町弓削島には、小学校1校、中学校1校、高校1校(弓削高校)が所在する。弓削商船は、本研究以前より小学校に環境や防災に関する出前授業を行なっている。そこで、本研究においても、小学5・6年生(各学年15名程度)に対し、ロケットストーブ製作や上記温水システム体験、竹炭の利用方法について出前授業を行った。弓削高校は、約80名の生徒が在籍しており、令和5年度には愛媛県の学校防災教区実践モデル校に指定され、弓削高校は、避難所にもなっている。そこで、弓削高校生を対象とした弓削商船の上記防災研究に関する講演、ロケットストーブ製作や上記研究の実演・展示、簡易段ボールベッド・トイレ製作も行なった。また、令和6年3月に弓削商船の練習船が新しくなり、一般公開のお披露目会において、同様にロケットストーブ、可搬式温水システム等の展示を行い地域住民にも防災・減災への意識向上に取り組んだ。

4. 研究成果

(1) ロケットストーブ-スターリングエンジン発電の改良

本研究で製作した可搬式ロケットストーブスターリングエンジン発電システムを図3に示す。従来の一斗缶2缶で製作したロケットストーブは500から700前後で稼働し、15分すぎると緩やかに温度が減少していたが、今回製作したロケットストーブは700の高温域で安定した稼働をした。しかし、強い燃焼だったため同じ量の燃料が約10分で消費した。組み立てた発電システムを実際に走行させたところ、すべての搭載した状態はやや重く、成人男性1人で平地では、移動させることは可能だが、坂道で楽に移動させるには2人必要であった。しかし、研究の目的である災害時に移動させることは達成できたと言える。



図3 可搬式システムの外観

本発電システムを稼働したところ、当初は回転し、発電機は起動していたが、急にブレーキがかかり、動かなくなりました。また、これら不作動を何回か繰り返し、最終的には、燃焼前から手動でモーターを動かすことも不可能になりました。これら原因を調べるため、分解やADMIEX社への修理依頼等を行なったところ、特にシリンダー内部の汚れがひどく、煤的なものが多量についていた。また、ADMIEX社の解析によると燃焼温度による接続金属の熱膨張なども一因であることが示唆され、修理後冷却恣意の温度を低く維持し、同発電実験を行ったところ、初めは上手く回転し、発電していたが、しばらく燃焼を続けると同様の現象が見られた、現在も解析するとともに、新しい小型のスターリングエンジン発電機を制作中である。

(2) 簡易ロケットストーブ温水・過熱水蒸気システムの開発

最初に、熱交換器の材質に銅管を用いて金属管の長さや直径の検討を行った。直径を 8 mm 未満の金属管で行うと、燃焼時に圧力がかかるため、お湯にするための水流で押し出すことができず、耐圧ホースを用いても、ホースやその接続部で破裂が見られた。また直径を 8 mm 以上にすると、ヒートライザー部分の大半を熱交換器が占めてしまうため、安定した加熱が難しかった。そこで本研究では、直径 8 mm、肉厚 0.8 mm の銅管を使用した。全長 700 mm で金属管を直径 100 mm の螺旋上に巻いた熱交換器を用いて温水生成実験を行ったとき、流量を上げると目標温度の 50 に届かず、流量が少しでも少なくなるとすぐに蒸気になってしまい、安定してより多くの流量で温水を生成することができなかった。そこで、金属管の長さを本システムで使用するロケットストーブの排気管に収まる限界の長さである 667 mm に格納できるように全長 1,400 mm の金属管で熱交換器を製作し使用した結果、多くの流量で目標温度を満たした温水を生成することができた。また、少しの流量の減少で蒸気になってしまうこともなくなり、流量の調整で蒸気と温水を切り替えることがしやすくなった。

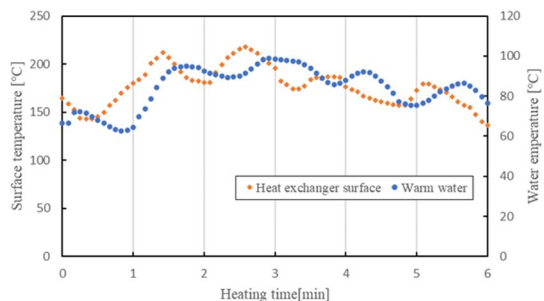


図 4 流量 1.0 L/min の温度変化

次に流速の検討を行った。安定した流速を保てるように、実験は水道蛇口で行い、流量を 1.0 L/min・1.5 L/min・2.0 L/min と変化させて、燃焼温度と、温水の温度を測定した。熱交換器の表面温度に追従して、生成される温水の温度も変化することが確認され、問題なく熱交換が行われていることが分かった。また、流入流量が少なくなると温度の変化が少なくなり、安定して一定の温水を生成できていることが分かった。流量 1.0 L/min において、温水の温度が 100 [] を超えており、蒸気が確認できた(図 4)。このことから、実際の稼働実験では 1.0 L/min 以下の流入流量で蒸気生成を行ない、錠類推を得ることができた。また、流量 2.0 L/min では、30 ~50 の温水の取得に対し、1.5 L/min では安定して 40°C~60 の温水を得ることができた。



図 5 システムの外観

本システムの外見を図 5 に示す。本システムを実際に屋外で組み立て、稼働したところ、タンクに 30 L にたまるまで約 28 分必要であった。しかし開始より 5 分経過したあたりから、安定して 60 前後の温水を生成できており、熱交換器表面温度が大きく増減を繰り返しても溜まっている温水の温度はあまり変動しないことが確認され、温水タンク満水だと、約 10 分間連続してシャワー利用が可能であった。蒸気確認実験では、温水から蒸気に切り替わる際に、システム全体に強い振動が発生していたが、蒸気はしっかり確認できた。蒸留水確認実験では、蒸気が噴出されるようになってから約 28 分で約 90 mL の蒸留水を確認できた。

(3) 地域住民への出前授業

(2) の方法で記述した通り、近隣の弓削高校で、講演・展示に関する出前授業を行った。また、スターリングエンジン発電機が稼働しないこともあり、木炭蓄電器を用いた可動式 LED 街灯の製作を行った。木炭蓄電器は木竹材を原料に、松江工業高等専門学校が産学官連携で研究開発された蓄電池で、劣化後も炭肥料や燃料として利用することができ、廃棄問題を解決した電池である。

ソーラーパネルは 50W 単結晶ソーラーパネル「AT-MA50A」、LED ライトは昼白色 NNY20323LE1 を使用した。幅 44 x 奥行 74 x 高さ 43 cm のコンテナボックスにタイヤと伸縮可能な電柱を取り付け、その中に炭蓄電器とコントローラを入れた。現在弓削高生にそのデザイン等をしてもらっており、出前授業時に避難所である弓削高校の自転車置き場に設置した。



図 6 可動式 LED 街灯

<引用文献>

福島志斗、福間眞澄、岸田悟、李相錫、吉野勝美：木炭 EDLC を用いた屋外照明用電源装置、電気設備学会 論文誌、38 巻、3 号、p17-p22、2018 年

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 倉田直樹, 森耕太郎, 伊藤武志 |
| 2. 発表標題 ロケットストーブを用いた災害時給湯システムの検討と機能性の評価 |
| 3. 学会等名 超異分野学会 東京大会2023 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 森耕太郎, 伊藤武志, 鈴木 香穂, 川上航平 |
| 2. 発表標題 スターリングエンジン・ロケットストーブ搭載可搬式発電設備の教育的活用法 |
| 3. 学会等名 超異分野学会 大阪大会2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 伊藤 武志, 倉田 直輝, 森 耕太郎 |
| 2. 発表標題 離島工学に基づいたロケットストーブの活用研究 |
| 3. 学会等名 超異分野学会 東京大会2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 森 耕太郎, 内海 優作, 倉田 直輝, 鳴川 匠, 伊藤 武志 |
| 2. 発表標題 スターリングエンジンとロケットストーブを組み合わせた可搬式発電設備の開発 |
| 3. 学会等名 超異分野学会 東京大会2022 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 伊藤 武志、森 耕太郎 |
| 2. 発表標題 離島工学に基づいた商船高専の地域と連携した防災教育活動 |
| 3. 学会等名 防災教育学会 |
| 4. 発表年 2024年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 倉田 直輝, 森 耕太郎, 伊藤 武志 |
| 2. 発表標題 ロケットストーブを用いた可搬式温水・蒸気供給システムの開発 |
| 3. 学会等名 第29回高専シンポジウム |
| 4. 発表年 2024年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>ものづくり研究センター賞、ロケットストーブとスターリングエンジンを組み合わせた可搬式発電設備の開発, 超異分野学会 東京大会2022</p> <p>若手研究者に聞く 『学べる“可搬式発電設備”を生み出しながら、“離島工学”のポテンシャルを広げる』 森耕太郎 リバネス出版「研究応援(冊子)」 vol.26 p3 (2022年6月発行) 掲載</p> |
|---|

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 |
|-------|--|--|----|
| 研究分担者 | 森 耕太郎 (MORI KOTARO) (00804519) | 弓削商船高等専門学校・電子機械工学科・助教 (56302) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|