

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656538

研究課題名(和文) 水素吸蔵合金アクチュエータを利用した新しい地熱発電

研究課題名(英文) Novel power generation system using metal hydride alloy actuator

研究代表者

加藤 昌治 (KATO, Masaji)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10250474

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で開発した自律駆動型水素吸蔵合金アクチュエータは、実質的にゼロランニングコスト、ゼロエミッションを実現した未来型のエネルギー変換装置である。特筆すべきは、100 以下の温泉熱を高熱源として機械動力や電力を得られることである。この技術が実用化されれば、地熱利用に限らず、工場やごみ焼却場から出る廃熱の利用にも適用できるため、産業界への大きな波及効果が見込まれる。

研究成果の概要(英文)：The autonomous metal hydride actuator developed in this study is a new energy conversion device of the future model that realize zero running cost and zero emission substantially. Its great advantage is that it can efficiently obtain mechanical and electric power using low-enthalpy hot spring heat less than 100 degrees Celsius in temperature.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学 地球・資源システム工学

キーワード：地熱エネルギー

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震で発生した津波による福島第一原子力発電所の事故により、電力需給のバランスが崩れ、国家的な心配事となっている。そのような中、自然エネルギーが脚光を浴び、その活用に大きな期待が寄せられている。日本は火山国であるので、自然エネルギーの活用の中で地熱発電に焦点を絞ると、従来の天然蒸気でタービンを回す地熱発電では 200 前後の熱水・蒸気が必要であり、低沸点流体を用いた熱交換方式のバイナリー発電でさえも 100 前後の熱水(温泉水)が必要とされている。しかし、100 以下の中低温の熱水はエンタルピーが低く、量的には多いにもかかわらず、そのエネルギーの多くは捨てられているのが現状である。この低エンタルピー地熱資源を有効利用することができれば、日本のエネルギー供給に大きく貢献することになると確信している。

筆者らは、平成 21~23 年度に水素吸蔵合金アクチュエータを用いた温泉水送水ポンプの開発に成功した。この成果を踏まえ、本研究では、低エンタルピー地熱エネルギーの有効利用を目指し、水素吸蔵合金アクチュエータを用いた新しい地熱利用技術の開発に挑戦している。

2. 研究の目的

本研究では、従来の地熱発電では利用できなかった低エンタルピー地熱資源(中低温の熱水)の有効活用を目指している。そこで、水素吸蔵合金アクチュエータを用いた新しい原理に基づく発電システムを開発することを目的としている。本研究で提案する発電システムは、従来の動作流体の相変化を利用したランキンサイクルとは根本的に異なる新しい原動機サイクルに基づいている。

本研究の具体的な達成目標は、まず、水素吸蔵合金アクチュエータを利用した発電システムを組み上げ、その装置の熱効率を評価し、ついで地熱現場にこの発電システムを設置した場合の中期的な実証試験を模擬した室内試験を実施することである。

本研究では、100 以下の中低温の地熱水(温泉水)を利用した自律駆動型の地熱発電システム(出力数百 W)の開発を目的としている。当発電システムは、低エンタルピーの地熱エネルギーを水素吸蔵合金アクチュエータを用いて力学エネルギーに変換し、それで発電機を回して発電するシステムである。

3. 研究の方法

実験室において、水素吸蔵合金アクチュエータと発電機をギヤボックスで接続して発電システムを組み上げ、その動作確認と出力および熱効率の評価を実施し、発電システムの出力と熱効率が最大となるような最適化条件を検討する。ついで、地熱現場にこの地熱発電システムを設置して、中期的な実証試験を実施することを想定し、現場の環境を模

擬した室内試験を実施する。このとき、必要なデータを取得して、室内実験で得られた最適化条件と照らし合わせながら、発電システムの改良点や適用可能範囲を明確にする。最終的に、現場の状況も考慮した場合の地熱発電システムの平均出力と熱効率を評価し、当システムの汎用性について検討する。

具体的な研究方法は以下の通りである。

(1) 水素吸蔵合金アクチュエータの組み立てと動作確認： 水素吸蔵合金アクチュエータの本体は現有しているもので、交換が必要な水素吸蔵合金容器のみ合金粉末を充填し、水素ガス流動用の配管を継手とバルブで接続する。合金は、使用する熱源の温度範囲から AB5 型の合金を使用する。当アクチュエータがスムーズに動作するためには、合金と水素ガスの熱伝達が重要となる。そのため、合金粉末の容器への充填の仕方については検討が必要である。これは、実験的な評価とともに、水素吸蔵合金の空隙の幾何特性と伝熱特性との関連性を理論面から考察することも重要である。

(2) 発電システムの組み上げと動作確認： 水素吸蔵合金アクチュエータと発電機(今回製作)をギヤボックス(今回製作)でつなぎ、発電システムを組み上げる(概略図は図 1 の通り)。そして、室内実験により、発電システムの動作を確認する。室内実験では、温水と冷水を用意しておき、それらを熱源として発電機を回し、そのときの出力と熱効率の評価を実施する。

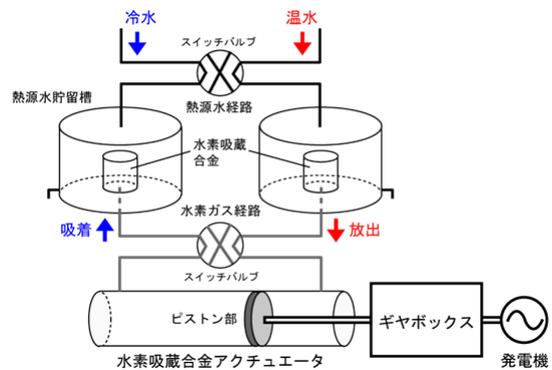


図 1 製作した水素吸蔵合金アクチュエータを利用した発電システムの概略図

(3) 発電システムの最適化： 発電システムの能力を最大限に引き出すために、可能な限りシステムとしての最適化をおこなう。最適化が必要となるのは、温水と冷水の流れを切り替えるタイミングや水素ガスの吸放出を切り替えるスイッチバルブの制御である。これらは、水素吸蔵合金容器内での合金の水素ガスの吸収・放出挙動を考慮して実験的に検討する必要がある。そして、発電システムとしての最大出力と熱効率の評価を実施する。なお、室内実験においては、現場での使用環

境を念頭において実験条件を調整する必要がある。その上で、発電システムの出力と熱効率が最大となるような最適化条件を明らかにする。

(4) 現場実証試験を模擬した室内試験：現時点で現場の対象としているのは、地熱井の掘削された地熱地域といくつかの温泉地である。ここで選定したサイトに地熱発電システムを設置することを考える。高温側熱源として地熱水を、低温側熱源として沢水を利用して、水素吸蔵合金アクチュエータを稼働させ、その動力によって発電機を回すことを想定する。このとき、発電機はなるべく長時間稼働させて、必要なデータ（地熱水と沢水の温度、地熱水・沢水の切り替え周期、アクチュエータのピストン周期、出力など）を取得する。そして、現場で発電システムを稼働した場合の問題点を洗い出す。

(5) 実験データの解析と本研究の総括：実証試験で取得したデータを詳細に検討し、室内実験で得られた最適化条件と照らし合わせながら、発電システムの改良点や適用可能範囲を明確にする。最終的に、現場の状況も考慮した場合の地熱発電システムの平均出力と熱効率を評価し、当システムの汎用性について検討する。

4. 研究成果

(1) 水素吸蔵合金アクチュエータの組み立て：水素吸蔵合金アクチュエータを組み立てるため、それに接続する水素ガス経路切替器（クロスオーバーバルブ）を設計し、製作した。水素吸蔵合金容器への合金粉末の充填に際しては、容器周囲の熱が合金に素早く熱伝導するように、そして合金と水素ガスの熱伝達も考慮して、さらに水素ガスの流動性を確保するために、合金容器の内部構造はステンレスネットを用いて多重構造とした。そして合金粉末の容器への充填の仕方については工夫を凝らした。水素吸蔵合金としては、熱源の温度範囲に対応した AB5 型のものを使用した。配管の接続には、必要に応じてロウ付けを実施し、継手とバルブも使用している。

(2) 水素吸蔵合金アクチュエータに適した低速回転に対応可能な多極式発電機を自作した。併せて、アクチュエータと発電機を接続するためのギヤに工夫を凝らし、製作した連結架台に固定している。

(3) 発電システムの最適化：発電システムの能力を最大限に引き出すために、アクチュエータと発電機をギヤボックスを介して適切に接続する必要がある。また、温水と冷水の流れを切り替えるタイミングや水素ガスの吸放出を切り替えるスイッチングバルブの制御が重要である。これらは、水素吸蔵合金容器内での合金の水素ガスの吸収・放出挙動

を考慮して実験的に検討する必要がある。ここで明らかとなった事項は、次の課題である。

(4) 発電システムの能力を最大限に引き出すために、3 連非同期型のアクチュエータの動作を評価し、アクチュエータと発電機の接続の最適化について検討した。

(5) 本研究で開発した水素吸蔵合金アクチュエータを利用した地熱発電システムを地熱地域に設置する場合に考慮しなければならない条件を検討した。現場で地熱・温泉水を利用するためには、スケールの問題、配管の腐食の問題等、考慮しなければならない点がいくつもあることがわかった。

(6) 地熱開発サイトに本発電システムを設置した場合に考えられる動作上の問題を実験的に検討した。高温側熱源として温水を使用し、低温側熱源として雪氷水を利用して、水素吸蔵合金アクチュエータを動作させ、発電機を回して、発電システムの出力と熱効率が最大となるように検討した。

(7) 本研究の総括：他の再生可能エネルギーと比較したときの地熱の長所、そして本地熱発電システムの利点を整理して示すことができた。

(8) 本研究で提案するこのような低エンタルピーの熱源の利用技術が実用化されれば、地熱利用に限らず、工場の廃熱やごみ焼却場から出る廃熱の利用にも適用できるため、コージェネレーションシステムに組み込むことも可能であり、産業界への大きな波及効果が見込まれる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

加藤昌治，自律駆動型水素吸蔵合金アクチュエータを用いた温泉熱発電技術の開発，FC EXPO 2014 水素・燃料電池研究発表大会～FC アカデミック フォーラム～，2014 年 2 月 26 日～28 日，東京ビッグサイト（東京都江東区）

加藤昌治，水素吸蔵合金アクチュエータを利用した温度差発電技術の開発，FC EXPO 2013 水素・燃料電池研究発表大会～FC アカデミック フォーラム～，2013 年 2 月 27 日～3 月 1 日，東京ビッグサイト（東京都江東区）

加藤昌治，吉田静男・吉田 晋，高橋徹哉・柴田智郎，水素吸蔵合金アクチュエータを利用した温度差発電の試み，日本地熱学会平成 24 年学術講演会（湯沢大会），

2012年10月24日～26日,湯沢文化会館
(秋田県湯沢市)
加藤昌治,吉田静男・吉田 晋,近藤紀雄,
須田孝徳,藤本和徳,自律駆動型水素吸
蔵合金アクチュエータを利用した温泉水
送水ポンプの開発,日本地熱学会平成2
4年学術講演会(湯沢大会),2012年10
月24日～26日,湯沢文化会館(秋田県
湯沢市)

〔図書〕(計0件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

なし

取得状況(計0件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 昌治(KATO, Masaji)

北海道大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 10948971

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし