

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656525

研究課題名(和文) 海底でのエネルギー確保のための熱水発電の研究開発

研究課題名(英文) Development of an electric power generation system from deep sea hydrothermal vent

研究代表者

浦 環 (Ura, Tamaki)

九州工業大学・社会ロボット具現化センター・教授

研究者番号：60111564

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：深海の熱水地帯の生態系と環境を広域にわたり長時間観測するには、自律型水中ロボット(AUV)と海底観測ステーションを用いた熱水地帯の長時間・広域自動観測が有効である。観測に必要なエネルギーの安定供給のため、熱水環境における熱水と海水の温度差を利用したコンパクトで伝熱性能の高い発電システムのプロトタイプを開発、沖縄トラフの人工熱水地帯において実海域試験を実施した。ROVの潜航中に海底に設置した装置から最大60W、平均45Wの発電が確認され、1時間半で24V17Ahのバッテリーの一部を充電できた。並行して進めているAUVのドッキングステーションへの組み込みを想定したロバストな実用機の開発が期待される。

研究成果の概要(英文)：For investigating hydrothermal ventic areas, long-term and wide-area observations using AUVs (AUV: Autonomous Underwater Vehicle) and underwater stations are essential. To supply energy stably to AUVs/stations, a new power production method by utilizing the thermal energy discharged from hydrothermal vent is proposed. The field experiments using a prototype were carried out at artificial hydrothermal vent in the Okinawa Trough. Maximum 60 watts and average 45 watts were generated from the system and a 24V17Ah battery was partly recharged in one and half hour. The performance of a prototype using TEM modules and its availability for most hydrothermal vent sites were verified. Development of a robust system for an AUV docking station that was simultaneously developed is expected for the observations of the hydrothermal ventic areas.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：船舶海洋工学

キーワード：熱水地帯 熱水発電 熱水噴水孔 発電モジュール(TEM) AUV ROV ドッキング 充電

1. 研究開始当初の背景

深海のオアシスとも呼ばれる熱水地帯は、海底火山活動や海底鉱床形成など地球誕生のダイナミクスを紐解く鍵であり、高温・高圧の特異な化学環境には固有な生態系が存在する。熱水活動と生態系の変化の様相を長時間にわたり広範囲観測を行うことで、固有な生態系と地球環境変動への科学的見地が得られると考えられる。

2. 研究の目的

深海の熱水地帯を長時間にわたり広域観測するには、自律型海中ロボット(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)と海底観測ステーションを組み合わせた総合観測システムが有効である。このため、海底ステーションの動力源として熱水環境を有効利用、熱水と海水の温度差に着目したユニークな熱水発電装置を研究開発する。また、AUVのドッキングのための海底ステーションの研究開発を行う。

3. 研究の方法

熱水地帯の高圧の海中環境下において、熱水発電装置を研究開発するために、熱水環境における熱水と海水の温度差をエネルギー源とする発電システムのプロトタイプを開発する(図1)。このため、TEM (Thermoelectric module) モジュールを組み合わせた発電システムおよび電力制御システムを開発する(図2)。流体伝熱を考慮した数値計算により、効率的な TEM の形状や組合せおよび発電システムから最大電力を取り出すことができる電力制御システムを検討し、プロトタイプを開発する。開発したプロトタイプによる水槽試験および実海域試験により機能を検証する。AUV と海底観測ステーションを組み合わせた総合観測システム開発のために、AUV(図3)のドッキングシステムの開発とドッキングステーションの開発を行う。

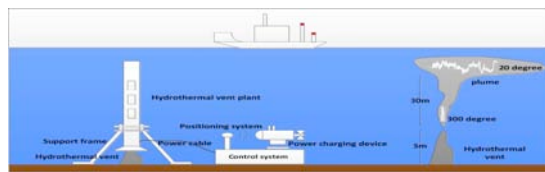


図1 熱水発電システム  
コンセプト

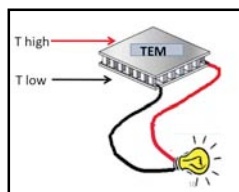


図2 TEMシステム概念図

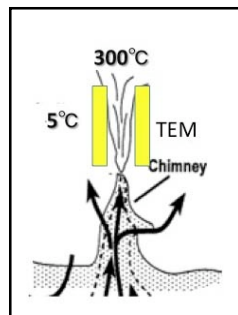


図3 AUV Tri-TON

4. 研究成果

平成24年度には、TEMを用いた発電システムの有効性検証のために、様々な温度・圧力条件下における TEM のパフォーマンスを試験するためのシステムを製作し、試験を行った(図4)。試験において TEM システムの有効性を確認した。その後、図5に示す TEM による熱水発電システムを構築し、実際の熱水地帯で発電試験を行うことで発電システムプロトタイプ開発のための基礎データの取得を行った。

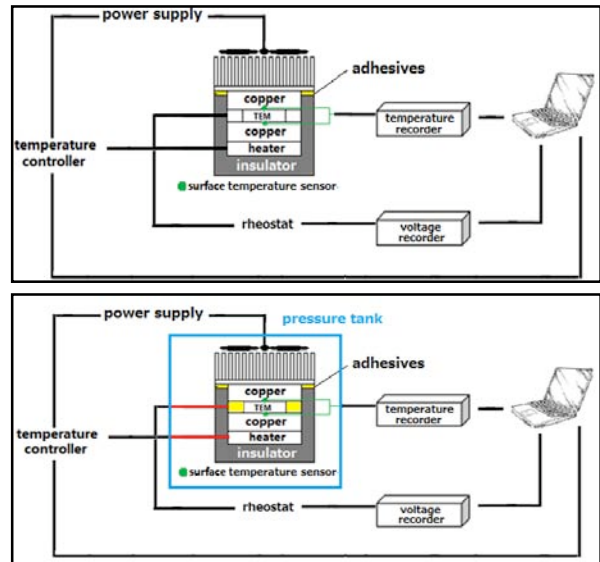


図4 TEMの温度および圧力試験システム

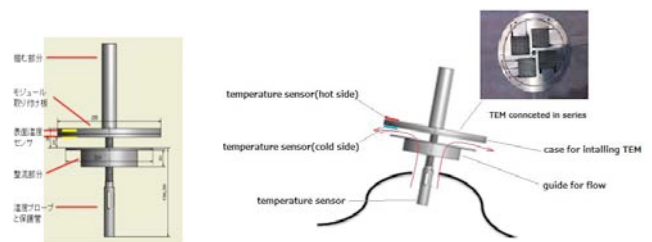


図5 実海域試験用 TEM による発電システム

実海域試験は、2011年4月、鹿児島湾内の熱水地帯を対象として実施された。主要試験項目は、TEMが十分に発電し充電できるだけの機能を有することを検証する事である。図6は、試験の様子を示す写真である。発電システムは、ROVにより熱水噴出孔に差し込まれ、発電量は熱交換機に記録され、流速計により熱水の流速が計測される。



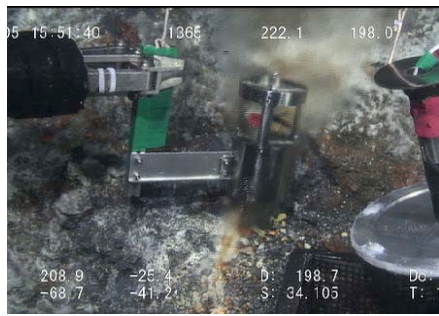


図 6. 熱水発電システム 上から発電システム、流速計測

実海域試験の計測データから、面積あたりの電力密度で換算すると1平方メートルあたり80Wの電力が得られることが確認された。

結果を受け、現場での計測データ(図7)に基づいた流体伝熱を考慮した数値計算を行い、TEMを用いた新しい発電システムの設計と発電性能と熱電素子の使用量の関係について検討した。熱流体解析により数値計算を行い、非定常RANS法により、熱交換器に流入する単相高度熱流および水蒸気と水の混合流体の乱流モデルを使用、熱交換システムの熱交換器部分と流体間の伝熱現象を考慮したシミュレーションを実施した。また、熱交換器の周りに海流により起こる混合対流についてはLES法による数値計算を行った。数値解析方法と乱流モデルの妥当性を検証するために鹿児島湾での実験から測定された値と数値解析結果を比較、誤差10%程度の範囲内と高精度であることが示された。

一方、海底から噴出する熱エネルギーには時間による変動があり、このため熱電素子の発電特性も変動する(図8)。熱電発電システムから最大電力を取り出すには、熱電素子から得られる電流と電圧の積が最大となるように電圧制御する必要がある。このため、常に最適な電圧と電流を自動追従制御できる電圧制御システムを開発した。水槽試験の結果は、定格出力の70%まで変換効率が向上した。



図 7 熱水噴出孔の温度と TEM の両サイドの温度

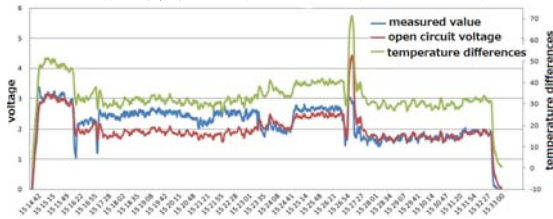


図 8 熱水噴出孔から発電できた電力値 (1.7watts)

初年度の研究成果を受けて、平成25年度には、熱水発電を行うのに最適な構造を有するTEMシステムの設計と開発を行った。図9に示すのは、熱水噴出孔全体を覆うことができる円錐形の形状を有する発電システム概設計基本概念図である。フラットな形状を有するTEMを本形状に合わせて組み合わせることで、効率的な熱伝導を行うため、最適な組合せのシミュレーションを行った。

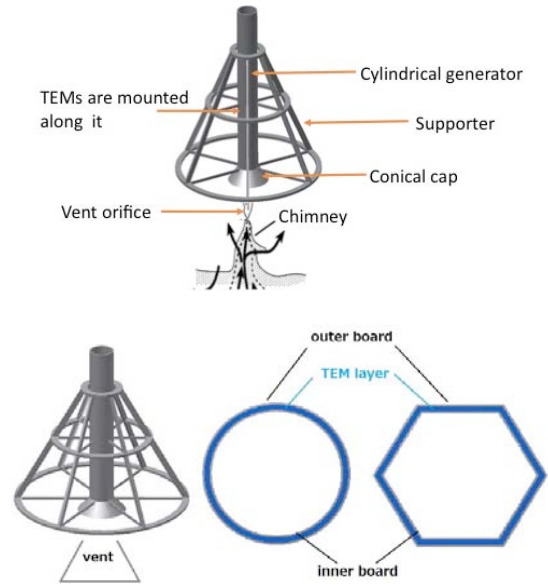


図 9 熱水発電システムプロトタイプ概念図

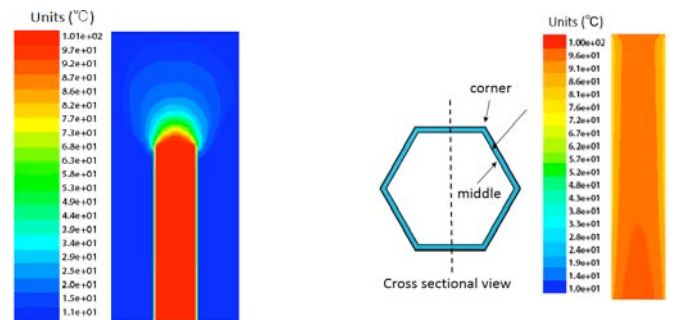
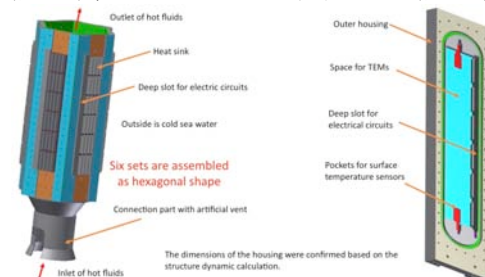


図 10 最適な形状の TEM 発電システム開発のためのシミュレーション例

円錐形の中のパイプの中にどのようにTEMを組み込むのがもっとも効率的な伝熱効果をもたらすのか、様々なシミュレーションを行い(図10)、六角形の形状を構成するフラットなTEMによる発電システムを設計(図11)、プロトタイプを開発した(図12)。



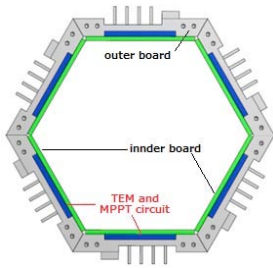


図 11 発電システムプロトタイプ設計図

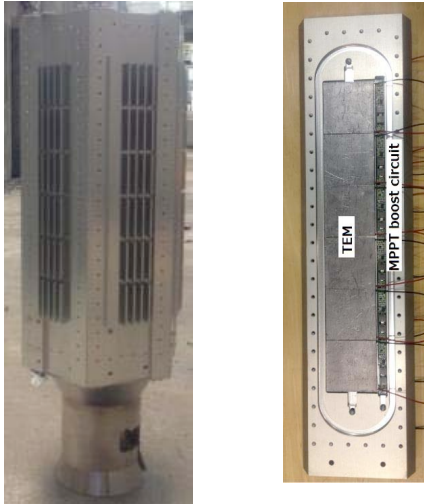


図 12 開発した発電システムと TEM モジュール

新たに開発した発電システムプロトタイプを用いた実海域試験を 2013 年に沖縄トラフの人工熱水地帯において実施した。図 13 に示すように、発電装置は、発電部と海底に設置する人工噴水孔への接続部と ROV に取り付ける計測容器から構成される。発電するエネルギーは ROV に取り付けた計測容器に組み込んだバッテリーに充電される。発電装置は ROV の潜航始めに海底に設置し、潜航終了時には回収した。設置中、最大で 60W、平均で 45W の発電が確認され、1 時間半で 24V17Ah のバッテリーの一部を充電することができた (図 14)。

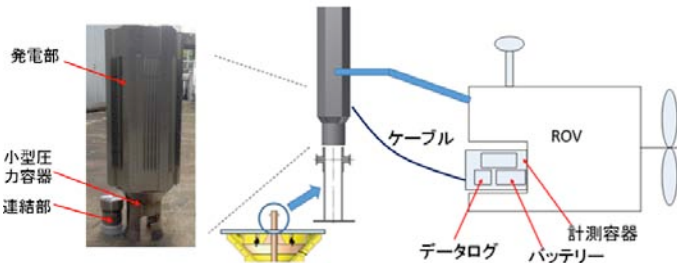


図 13 沖縄トラフ人工熱水孔での試験システム

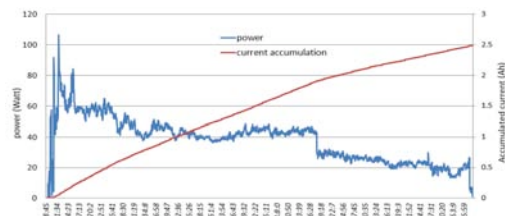


図 14 実海域試験で最大 60W、平均 45W の発電を記録

実海域試験での試験により TEM を用いた発電システムの有効性が証明された。TEM を用いた熱水発電でその有効性が実証されたのは初めての事であり、今後、実用システム開発が期待される。また、本研究では非接触型 AUV ドッキングシステムアルゴリズム開発および AUV ドッキングステーションの開発も並行して進めてきており (図 15)、AUV ドッキングステーションへの組み込みを想定したロバストで長期運用が可能な総合システムの開発が期待される。



図 15 開発した海底ステーション

## 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 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

浦 環 (URA Tamaki)

九州工業大学・社会ロボット具現化センター・教授

研究者番号：60111564

### (2) 研究分担者

巻 俊宏 (MAKI Toshihiro)

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：50505451