

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04313

研究課題名(和文) コンストラクタル法則に基づく低エンタルピー熱利用発電システムの最適化

研究課題名(英文) Optimization of Low Enthalpy Power Generation System Based on Constructal Law

研究代表者

安永 健 (YASUNAGA, TAKESHI)

佐賀大学・海洋エネルギー研究所・助教

研究者番号：50758076

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：工場排熱、温泉水、海洋温度差等の熱エネルギーは、熱源間の温度差が極めて小さく、利用可能な流量が制約され、これまで十分に活用されていない。本研究では、熱源の温度、流量の有限性を考慮したFinite-time thermodynamics (FTT)モデルを構築し、新たな視点から発電システム内のエクセルギー解析を行う事で、発電システムの性能を予測し、より詳細なデータ解析によって構成機器が出力に与える影響を明確にした。更に、FTTモデルを発電装置の運転制御およびプレート式熱交換器の性能評価指標に展開した。この性能評価指数を伝熱面形状最適化の目的関数に用い、伝熱面形状を最適化する手法の基礎を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、低位で未利用な熱エネルギーを利活用して発電するシステムの研究である。低位の熱エネルギー利用では、従来の火力発電とは設計条件が大きく異なり、熱機関の出力は、熱交換時の温度ロス(非平衡)、熱機関が利用可能な温度差等のバランスが重要である。本研究は、熱源・冷却側が熱的平衡になる状態を基準とした熱効率やエクセルギーを算出するという、これまでに無い、独創的な考えを導入し、プロセス全体の視点から発電性能だけでなく構成機器個別の性能評価に発展させた。この熱力学モデルの基礎構築は、学術的および工業的に大きな意義があり、発電装置の性能向上に必要なだけでなく、社会実装に重要な視点となり得ると考える。

研究成果の概要(英文)：For the thermal energy such as factory exhaust heat, hot spring water, the ocean thermal energy is not utilized enough until now because the temperature difference between the heat source and the sink is extremely small, and the available flow rate is limited. In this study, we built a finite-time thermodynamics (FTT) model in consideration of the low temperature of heat source, and finiteness of the heat capacity. And the exergy analysis using FTT predicts the net power output from the system, and gives the detail performance of components based on net power output. Furthermore, the operation control model and the novel performance evaluation index of the plate-type heat exchanger have proposed by extended the FTT model. In addition, the performance evaluation index of the plate-type heat exchanger was applied to the objective function for optimizing the surface geometry of the heat exchanger to be applied in the power generation system.

研究分野：熱工学

キーワード：低エンタルピー 低温度差発電 FTT エクセルギー コンストラクタル最適化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

燃料が有する約 50%以上のエネルギーが、工場やエンジン等から『熱』として排出される。特に全体排熱のおよそ 50%以上の熱量が 150 以下の温度で、未利用のままである。今後のエネルギー高効率化のため、これらの排熱エネルギーを如何に有効活用することが極めて重要である。さらに地熱バイナリ、温泉水、海洋温度差等の自然エネルギーは、熱源間の温度差が極めて小さく、かつ入手可能な流量が制約されており、これまで十分に活用されていない。これらの熱源、低エンタルピー熱源(Low Enthalpy Heat : 以下、LEH)を用いた発電(Low-grade Thermal Energy Conversion : 以下、LTEC)は、従来の火力発電と設計条件が大きく異なる。

火力発電では、燃料の燃焼温度は 1,000 を超え、熱機関が利用可能な温度は、ボイラやタービン等の各材料の耐熱温度にて設計条件が決定され、その結果、外燃機関は実際の現象は非平衡であるが、平衡熱力学の範囲で扱うことが可能である。即ち、「作動流体」のタービン出入口温度のみを考えた熱機関の発電出力について議論するだけで十分であった。一方、LTEC の設計は、LEH は主に液体や気体等の『流体の顕熱』として蓄えられることから、熱機関の出力は、熱交換時の温度ロス(非平衡)、熱機関の利用可能な温度差(熱効率はこの温度差とほぼ比例関係)等のバランスが重要である。伝熱プロセス(時間)を考慮した熱力学は、非平衡熱力学の中でも Finite-Time Thermodynamics (FTT) の学術分野で扱われ、この FTT においてもデッドステートとして半無限である大気を用いられている。研究代表者は、LTEC では高温・低温の両熱源が等温度となる平衡状態をデッドステートとして考えることが適切ではないかと考え、熱源の平衡状態を基準とした熱効率やエクセルギーを算出するという、これまでに無い、独創的かつ新規の「考え」を提案し、有効性を検証している(文献、文献)。

プラント全体のエネルギー収支において、LTEC が対象とする熱源は、熱源を発電システム内の熱交換器や配管に高温・低温の熱源を流すためのポンプやファン等の流体機械の動力がタービン出力に対して無視出来ない大きさである。特に、熱源から熱機関に熱交換器で熱エネルギーを伝達する熱交換器内の圧力損失は、全ての LTEC に必ず必要な所内動力(ポンプ・ファン等の動力)であり、この熱交換器に関する設計や運転を誤ると所内動力が発電出力を上回る可能性も生じる。

これまで様々な構成を有する LTEC が提案されてきたが、発電システムの設計は主に従来の火力発電で用いられてきた熱効率や発電量に基づいており、多くの過剰な装置の設計が原因で多くの有効エネルギーがシステム外へ放出され、いわゆる「エクセルギーの散逸」が生じている。LTEC の発電システムの設計や運転において熱機関の内・外のエネルギーバランスを考えた不可逆損失の最小化が極めて重要であり、LTEC の構成機器の性能とシステム全体の不可逆損失の関係を定量的に表示することが出来れば、過剰設計の防止、効果的改善さらには正味仕事の向上にも寄与すると考えられる。この蒸気機関の基礎理論にて発電装置の制御や構成機器単体性能のみならず、システム全体の発電性能を考慮した性能向上、即ち最適化への応用が可能であると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、LEH を利用した LTEC の高効率化を目指し、LTEC 特有の熱機関内・外の不可逆損失を考えた熱力学的基礎モデルを新たに構築することを第一の研究目的(FTT 基礎理論の構築)とし、この基礎モデルを駆逐することで発電システム内の熱源の最適流量制御および最重要構成機器の一つである熱交換器の伝熱面形状の最適化を確立することを第二の研究目的(工学の実用性の検証)とする。

3. 研究の方法

本研究は、以下の 3 点について研究分担者と共同で研究を実施した。

- (1) 熱機関内の各構成機器の不可逆損失と各構成機器の性能との関係を検証し、パラメータ解析にて構成機器と不可逆損失の関係を比較する。さらに各構成機器の性能と不可逆損失係数の関係を明らかにし、LTEC システム全体の熱力学的基礎モデル(FTT モデル)を構築する。
- (2) (1) で構築した FTT モデルを基に、作動流体流量および熱源流量を制御し、正味出力を最大化する制御方法へ適用することで、システム全体の正味の発電出力の制御手法を確立する。
- (3) (1) で構築した FTT モデルを基に、LTEC の主要機器である熱交換器の性能評価指標の構築、および同指標を目的関数とするプレート伝熱面の形状最適化を行う。形状最適化では、プレート式熱交換器伝熱面の凹凸形状の熱伝達および圧力損失の実験式を用いた。

4. 研究成果

LTEC システムとして、海洋の 20 程度の表層と深層の温度差を利用して駆動する海洋温度差発電(OTEC)を中心に、熱機関内の各構成機器の不可逆損失と各構成機器の性能との関係の FTT モデルを新たに構築し、(1)パラメータ解析にて構成機器と熱機関内の不可逆損失の関係、

(2)各構成機器の性能と不可逆損失係数の関係をそれぞれ明らかにし、30 kW および 15 kW の OTEC 実験装置の試験結果との比較を行った。FTT モデルにおいて、熱機関の正味出力 $W_{m,NTU,\phi,net}$ は与式となる(文献)

$$W_{m,NTU,\phi,net} = \frac{\phi C_H C_L \varepsilon E \varepsilon_C}{\phi C_L \varepsilon_C + C_H \varepsilon E} - R_H C_H^{K+1} - R_L C_L^{n+1} \quad (1)$$

ここで、右辺第一項は 30 kW OTEC 実験装置の熱機関の出力、右辺第二項、第三項は熱源流体と冷却流体を取水するためのポンプ動力を示す。また、 ϕ は熱機関内の不可逆損失係数(<1)、 C は熱源および冷却の熱容量(kW/K)、 ε は伝熱性能を示す有効係数、 R はポンプ動力に対する比例係数を示し、添え字の H 、 L 、 E 、 C は熱源側、冷却側、蒸発器、凝縮器をそれぞれ示す。ここで、熱容量 C および伝熱性能を示す有効係数 ε は、質量流量 m (kg/s)、比熱 c_p (kJ/(kg·K))、熱通過係数 U および伝熱面積 A を用いて定義した。

$$C = m c_p \quad (2)$$

$$\varepsilon = 1 - e^{-\frac{UA}{c}} \quad (3)$$

図 1(a)に熱機関の出力と熱源の熱容量の関係、図 1 (b)に発電システムの正味出力と熱容量の関係をそれぞれ示す。ここで、中空丸は海洋温度差発電の実験装置によって得られた実験結果、実線は式 (1) の右辺第 1 項の熱機関の出力内の不可逆損失 f を実験結果から定数として近似して得られた熱機関の出力と正味出力をそれぞれ示す。

図 1(a)から、熱源の流量を増加させることによって、熱容量が増加すると、熱機関の出力も単調に増加しており、熱機関の出力と FTT モデルの結果は定量的に一致している。一方、図 1 (b)から、正味出力は放物線を描き、熱容量が 350 kW/K 付近で最大となり、熱容量 600 kW/K 付近で零になる。これは、熱源流量が増加することで、熱源を送水するポンプ動力は流量の約 3 乗に比例して増大するため、流量を過剰に流すとポンプ動力が熱機関の出力を上回ること示す。図 1(b)から、LTEC の出力制御では、正味出力が最大となる熱源の流量を把握することが非常に重要であることがわかる(文献)。そのため、システム全体の流量制御に応用し、正味出力が最大となる制御モデルを構築した(文献)なお、この正味出力の傾向は、別の 15 kW の OTEC 実験装置でも定量的に一致した(文献)。

式(1)右辺第一項の熱機関の出力における不可逆損失係数 ϕ に影響を与える要因は、タービン、作動流体ポンプ、作動流体の熱物性(特に潜熱比)、熱機関内の作動流体の圧力損失が考えられる。研究代表者は、エクセルギー効率の分析を行い、熱交換器で約 44%、タービンで約 15%、作動流体ポンプで約 3%の損失が有ることを示した(文献)。

一方、熱交換器が LTEC の式 (1) の正味出力に与える影響は、右辺第一項の伝熱性能を示す有効係数 ε 、蒸発、凝縮器内の作動流体側の圧力損失、右辺第二項、第三項の熱源、冷却側の圧力損失のバランスによって決定される。熱交換器は、通常、熱伝達、熱伝導などから構成される熱通過係数による伝熱性能と流動に伴う圧力損失として性能評価される。LTEC の熱交換器を採用する際、従来からその伝熱性能と圧力損失を考慮し、システム全体の正味出力を算出して比較している。ところが、正味出力は複数の熱交換器の性能のバランスから決定されることから、熱交換器単体の性能が正味出力に与える影響が明確でなく、熱交換器単体の総合的な性能を評価する指標がない。そのため、LTEC では、熱源と冷却流体の温度差が小さいため、蒸発器・凝縮

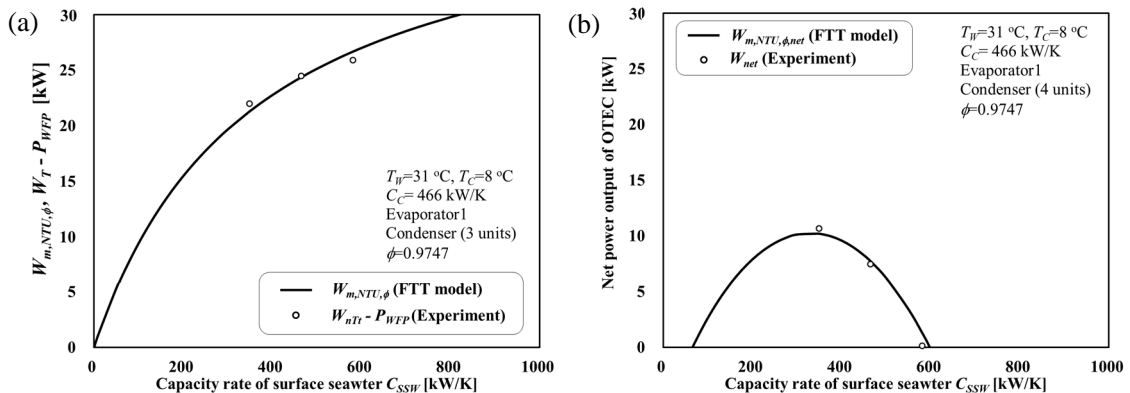


Fig. 1 Power output as function of heat capacity. (a) Power output of the heat engine, (b) net power output of the system. Hollow circles and a line show the experimental results and FTT model analysis results, respectively. W_T and P_{WFP} represent the turbine power and working fluid circulation pump power, respectively.

器の伝熱性能が正味出力に与える影響は等しいと仮定し、作動流体内の圧力損失は、熱機関内の蒸発・凝縮温度に影響を与えることから、圧力損失にともなう相当温度損失を取り入れ、式(4)に示す性能評価指標 ω を提案した(文献)。

$$\omega = \frac{1}{A} \left[\frac{\phi \varepsilon}{1 + \phi} \left(\frac{1 - \sqrt{\theta}}{1 - \sqrt{\theta}} \right)^2 - \frac{4RC^{k+1}}{C_{HS} T_H (1 - \sqrt{\theta})^2} \right] \quad (4)$$

ここで、 θ は熱源と冷却流体の絶対温度の比(T_L/T_H)を示す。 ϕ は作動流体の圧力損失から算出した沸騰温度の降下または凝縮温度の上昇が熱機関の不可逆損失係数に等価となる値を算出し、作動流体側の圧力損失の影響を考慮した。

式(4)から、温度一定の場合は、熱伝達係数および圧力損失はプレート内の平均流速の関数となる。図2に既往の熱交換器の単位伝熱面積当たりの正味出力 $W_{m,net}/A$ とプレート内部の熱源、冷却流体の平均流速 V_{HS} の関係を示す。ここで、熱源は30、冷却流体は5と仮定した。

図2から、 $W_{m,net}/A$ は V_{HS} の増加に伴い放物線を描く。これは、図1と同様に、流量(プレート間平均流速)の増加によって、熱通過係数が増加し、熱機関の出力が向上するが、流動抵抗に伴う動力は V_{HS} の約3乗に比例し、ポンプ動力が大きくなるためである。熱交換器によって、流路断面積が異なることから、熱源流量から得られる最大仕事(エクセルギー)を算出して、式(4)によって性能を比較した結果を図3に示す。

図3から、 ω を用いて熱交換器単体の定量的な性能評価ができことが分かる。また、 ω を目的関数とした熱交換器の伝熱面形状最適化を実施した。ヘリンボーン型プレート式蒸発器・凝縮器について、アンモニアを作動流体とした場合の伝熱面形状最適化をそれぞれ実施し、最適化されたプレート形状を用いた発電システムの正味出力が向上したことから、 ω を目的関数とした伝熱面形状最適化の有効性を示した(文献)。

Table 1 Herringbone plate heat exchanger specification.

PHE	Plate 1	Plate 2	Plate 3	Plate 4
Length (m)	1.83	1.83	1.83	1.47
Width (m)	0.82	0.82	0.82	0.55
Clearance (mm)	3.91	3.91	3.91	3.40
Chevron angle (deg)	High	Low	Mix	58
Working fluid	Ammonia	Ammonia	Ammonia	R-22
Number of plates	100	100	100	30
Reference	Panchal, 1984 文献	Panchal, 1984 文献	Panchal, 1984 文献	Uehara, 1990 文献

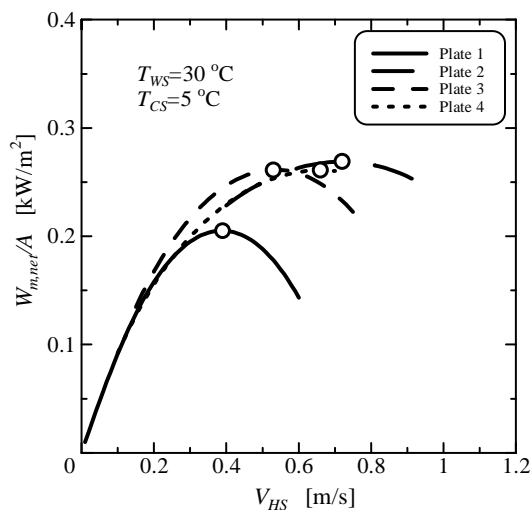


Fig. 2 Unit are net power as function of mean velocity of heat or sink fluid.

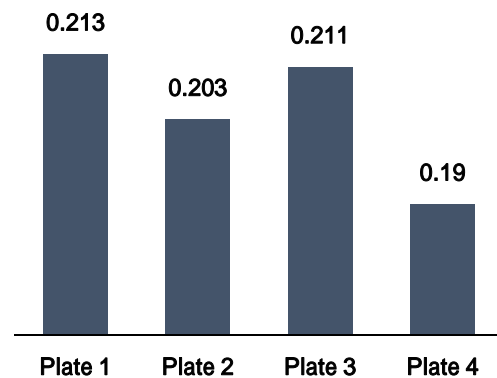


Fig. 3 Heat exchanger performance ω in four plates.

< 引用文献 >

- Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami, Finite-time thermodynamics model for evaluating heat engines in ocean thermal energy conversion, *Entropy*, Vol. 22 (2) 2020, doi: 10.3390/e22020211.
- 安永健、森崎敬史、池上康之、OTECの有効熱エネルギーに関する研究、*日本機械学会論文集*、Vol. 84 (859)、2018、doi: 10.1299/transjsme.17-00398.
- 安永健、池上康之、海洋温度差発電の基礎発電特性(熱力学的モデルの構築と熱源流量の影響) *日本機械学会論文集*、Vol. 86 (886)、2020、Doi:10.1299/transjsme.19-00383.
- 井筒遼、松田吉隆、杉剛直、後藤聡、森崎敬史、安永健、池上康之、海水ポンプ動力を考慮したランキンサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの作動流体流量調節による正味発電量制御、第67回システム制御情報学会研究発表講演会論文集、2023、pp.655-660.
- Takeshi Yasunaga, Taisei Nakamura, Tomoya Okuno, Yasuyuki Ikegami, Exergetic performance evaluation of ocean thermal energy conversion system with crossflow plate heat exchangers, *Proc. 6th Int. Seminar ORC Power Systems*, 2021, doi: 10.14459/2021mp1633113.
- akeshi Yasunaga, Akira Miyazaki, Kevin Fontaine, Yasuyuki Ikegami, Comprehensive heat exchanger performance evaluation method on ocean thermal energy conversion for maximum net power, *Proc. 6th Int. Seminar ORC Power Systems*, 2021, doi: 10.14459/2021mp1633024.
- 宮崎彬、海洋温度差発電用熱交換器の伝熱面形状最適化及びハイブリッドサイクルを用いた海洋温度差発電の最適設計に関する研究、*佐賀大学大学院修士論文*、2023.
- Panchal, C. B., Hillis, D. L., OTEC Performance Test of the Alfa-Laval Plate Heat Exchanger as an Ammonia Evaporator, 1984, ANL/OTEC-PS-13.
- Haruo Uehara, Yasuyuki Ikegami, Optimization of a Closed-Cycle OTEC System, *J. Sol. Energy Eng.*, Vol. 112, 1990, pp.227-239.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 浦田和也, 安永健, 池上康之, 小見聡史, 富賀見清彦, 田中辰彦, 鎌野忠, 石田雅照, 大原順, 西田哲也, 中岡勉	4. 巻 22
2. 論文標題 久米島沖における海洋温度差発電と海洋深層水複合利用のための海洋調査	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 海洋深層水研究	6. 最初と最後の頁 39-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takeshi Yasunaga, Akira Miyazaki, Kevin Fontaine, Yasuyuki Ikegami	4. 巻 -
2. 論文標題 Comprehensive heat exchanger performance evaluation method on ocean thermal energy conversion for maximum net power	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th International Seminar on ORC Power Systems	6. 最初と最後の頁 48-1-48-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14459/2021mp1633024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Takeshi Yasunaga, Taisei Nakamura, Tomoya Okuno, Yasuyuki Ikegami	4. 巻 -
2. 論文標題 Exergetic Performance Evaluation of Ocean Thermal Energy Conversion System with Crossflow Plate Heat Exchangers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 6th International Seminar on ORC Power Systems	6. 最初と最後の頁 87-1-87-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14459/2021mp1633113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Yasunaga Takeshi, Fontaine Kevin, Ikegami Yasuyuki	4. 巻 14
2. 論文標題 Performance Evaluation Concept for Ocean Thermal Energy Conversion toward Standardization and Intelligent Design	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 2336 ~ 2336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en14082336	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 宮崎 彬, 安永 健, Kevin Fontaine, 池上 康之	4. 巻 26
2. 論文標題 熱力学的視点からの海洋温度差発電向け熱交換器の性能評価手法の提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 OTEC	6. 最初と最後の頁 19-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yasunaga Takeshi, Ikegami Yasuyuki	4. 巻 86
2. 論文標題 Fundamental characteristics in power generation by heat engines on ocean thermal energy conversion (Construction of finite-time thermodynamic model and effect of heat source flow rate)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 19-00383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.19-00383	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami	4. 巻 N/A
2. 論文標題 Theoretical model construction for renewable low-grade thermal energy conversion: an insight from finite-time thermodynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IIR Rankine Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18462/iir.rankine.2020.1185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takeshi Yasunaga, Tomoya Okuno, Yasuyuki Ikegami	4. 巻 N/A
2. 論文標題 Parametric analysis of novel self-water supply ORC power system for hot spring thermal energy conversion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IIR Rankine Conference 2020	6. 最初と最後の頁 1184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18462/iir.rankine.2020.1184	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 安永健, 中村泰誠, 奥野智也, 池上康之	4. 巻 25
2. 論文標題 直行型プレート式熱交換器を持ちチア海洋温度差発電の性能評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 OTEC	6. 最初と最後の頁 69-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Akira Miyazaki
2. 発表標題 Comprehensive heat exchanger performance evaluation method on ocean thermal energy conversion for maximum net power
3. 学会等名 The 6th International Seminar on ORC Power Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taisei Nakamura
2. 発表標題 Energetic Performance Evaluation of Ocean Thermal Energy Conversion System with Crossflow Plate Heat Exchangers
3. 学会等名 The 6th International Seminar on ORC Power Systems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮崎 彬
2. 発表標題 Finite-time Thermodynamics に基づく海洋温度差発電用熱交換器の性能評価指標の提案
3. 学会等名 第 25 回動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山 雅士
2. 発表標題 画像処理を用いた透明樹脂プレート式蒸発器の可視化による ポイド率測定 低ポイド率域の気泡流動
3. 学会等名 日本機械学会熱工学コンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami
2. 発表標題 Thermodynamics for the Standardization of Performance Evaluation on OTEC
3. 学会等名 8th International OTEC Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fontaine Kevin, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami
2. 発表標題 Simplification of Heat Exchanger Selection for OTEC Using Carnot Cycle Based Maximum Power Output Assessment
3. 学会等名 8th International OTEC Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoya Okuno, Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami
2. 発表標題 Parametric Analysis on Novel Self-water Supply ORC Power System for Hot-Spring Thermal Energy Conversion (in Japanese)
3. 学会等名 Thermal Engineering Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Yasunaga, Taisei Nakamura, Tomoya Okuno, Yasuyuki Ikegami
2. 発表標題 Fundamental Characteristics of Power Output on Ocean Thermal Energy Conversion System Using Cross-flow Heat Exchangers (in Japanese)
3. 学会等名 Thermal Engineering Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Yasunaga, Yasuyuki Ikegami
2. 発表標題 Theoretical model construction for renewable low-grade thermal energy conversion: an insight from finite-time thermodynamics
3. 学会等名 IIR Rankine Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeshi Yasunaga, Tomoya Okuno, Yasuyuki Ikegami
2. 発表標題 Parametric analysis of novel self-water supply ORC power system for hot spring thermal energy conversion
3. 学会等名 IIR Rankine Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井筒遼, 松田吉隆, 杉剛直, 後藤聡, 森崎敬史, 安永健, 池上康之
2. 発表標題 海水ポンプ動力を考慮したランキンサイクルを用いた海洋温度差発電プラントの作動流体流量調節による正味発電量制御
3. 学会等名 第67回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

マレーシアにおける革新的なOTECの開発による低炭素社会のための持続可能なエネルギーシステムの構築
https://www.jst.go.jp/global/kadai/h3003_malaysia.html

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	足立 高弘 (Adachi Takahiro) (60344769)	秋田大学・理工学研究科・教授 (11401)	
研究分担者	松田 吉隆 (Matsuda Yoshitaka) (00578429)	佐賀大学・海洋エネルギー研究所・准教授 (17201)	

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
---------	---------