

博士論文の要旨

専攻名 システム創成科学 専攻
氏名(本籍) 森崎 敬史(熊本) 印
博士論文題名
多段熱機関を用いた海洋温度差発電システム
に関する研究

要旨

海洋温度差発電 (Ocean Thermal Energy Conversion : OTEC) は、自然エネルギーの中でも安定的な発電および複合利用が可能な特徴を有するため、その実用化が期待されている。OTEC は、表層海水と海洋深層水との間の小さい温度差を用いる発電システムであり、従来の火力発電等と比べ、そのサイクル熱効率率は原理的に非常に小さくなる。OTEC の効率向上に関しては、従来より種々の方法が検討されているが、その一つとして多段熱機関を用いたシステムがある。このシステムは、各々が独立の構成要素を持つ複数の熱機関を熱源に対して直列に設置し、熱源が各段の熱交換器を順次通過することで熱源と作動流体の温度範囲を分割し、熱交換過程での不可逆損失を低下させることを目的としている。一方、多段熱機関を用いることで単段より必要な機器の数が増えることでシステムが複雑になる。さらに、同一面積の熱交換器を用いると熱源側の流路が長くなり圧力損失が増え、必要なポンプ動力が増大することなどが懸念されている。多段熱機関に関する従来の研究は、熱力学的に無限段など理想的なサイクルや一条件のみでの検討に留り、多段熱機関のシステム特性やその有効性、評価方法、最適化などについて、ほとんど明らかにされていない。

そこで本研究では多段熱機関を用いた OTEC システムの高性能化とその有効性を明らかにするために、その最適化手法の確立および評価方法の構築を目的とする。そのため、OTEC システムの評価方法を提案し、システム特性について2段ランキンサイクルを対象として解析および実験を実施した。

本論文は、次の7つの章から構成されている。

第1章では、本研究の背景とともに従来の研究を整理し、本研究の目的とその意義について述べている。

第2章では、多段熱機関の評価方法として、最大出力を理論的に導出した。この理論式を用いて熱機関の段数と出力の増加割合について検討を行った。その結果、最大出力は海水の温度、熱容量流量および多段熱機関の段数の関数となり、各段で最適な熱源温度変化(有効温度差)が存在することを明らかにした。多段熱機関の最大出力および熱源の温度変化は、段数とともに増加し、段数が10段付近ではその増加はほぼみられなくなり、その増加量は単段に

対して最大で2倍程度であることを示した。このとき、多段熱機関の最大出力におけるサイクル熱効率は、段数に関係なく一定となることを明らかにした。

第3章では、熱交換器の伝熱性能を考慮し、海水ポンプ動力を含めた単段の発電システムの最大正味出力を理論的に導出した。この最大正味出力は熱交換器の性能に依存し、温熱源側もしくは冷熱源側の一方の伝熱性能を向上させる場合より、両方をバランスよく向上させることで正味出力が増加することを示した。

第4章では、本研究で提案した理論式の検証および実流体を用いた多段熱機関のシステム性能について検討した。一例として2段ランキンサイクル(D-R)を対象とし、単段のランキンサイクル(S-R)と比較し、サイクル解析を行った。その結果、S-Rのサイクル解析において最大出力、その熱源出口温度およびサイクル熱効率は、提案した評価式によってほぼ示されることが確認された。さらに、D-Rのサイクル解析において、各段の熱交換器の伝熱性能に対して最大出力となる高温側(Cycle-No.1)と低温側(Cycle-No.2)の作動流体の流量比が存在し、その流量比では各段のサイクルの熱効率が等しいことを明らかにしている。また、多段熱機関の正味出力に関して、単段のOTECシステムの解析結果を用いて海水ポンプ動力および各種圧力損失に着目して評価を行い、2段ランキンサイクルを用いることで正味出力が1.2倍以上となることを示した。

第5章では、実験に用いた30kW OTEC 発電装置、2段ランキンサイクル実験装置およびその評価式について説明している。

第6章では、30kW OTEC 発電装置の正味出力およびD-Rの熱源と作動流体の温度範囲について実験的に検討を行った。その結果、従来のシェル&プレート式の蒸発器を用いた実験結果および本研究で新たに開発された蒸発器を用いた最大正味出力率を比較し、性能の向上が確認された。さらに、D-RのCycle-No.1の作動流体蒸発温度はS-Rより高く、Cycle-No.2の作動流体凝縮温度はS-Rより低くなっており、S-Rに対してD-Rの熱交換過程における不可逆損失が低下しているものと考えられている。この不可逆損失の低減に関してエントロピー生成速度を用いて定量的に明らかにした。

第7章では、本研究で得られた成果についてまとめている。

以上、本研究により、多段熱機関を用いた OTEC システムについてその最大出力を理論的に導出し、多段熱機関の特徴を明らかにした。さらに、実流体を用いた多段熱機関の有効性を正味出力および海水ポンプ動力による評価から示した。導出された多段熱機関の評価式は、実プラントの設計の指標の一つとして用いられることが期待される。さらに、一例

博 士 論 文 の 要 旨

専攻名 システム創成科学 専攻

氏 名 森 崎 敬 史

として 2 段ランキンサイクルを対象とし、実験的に単段のランキンサイクルと比較を行った。その結果、多段熱機関は、熱交換過程における熱源温度および作動流体温度より、不可逆損失の低減が期待される。その熱交換過程の不可逆損失は、エントロピー生成速度を用いて定量的に示された。