

補助事業番号 2022M-291

補助事業名 2022年度 超撥水膜模様を有する高性能プレート式凝縮器を用いた

小型低エンタルピー熱利用発電装置の開発 補助事業

補助事業者名 佐賀大学 海洋エネルギー研究所 准教授 安永健

1 研究の概要

バイナリー地熱発電や工業などから排出される150℃未満の”低エンタルピー熱”を用いた低温度差発電は、設置可能な敷地が狭く装置の小型化が重要である。本研究では、タービン出口の蒸気を液化する凝縮器の中でも小型で低温度差発電に利用されるプレート式凝縮器に着目し、凝縮伝熱面に撥水模様を施すことにより、凝縮器の性能を飛躍的に向上させることを目的とする。凝縮性能が向上することで、装置に必要な伝熱面積を低減させ、装置全体の小型化を目指す。熱交換器プレート表面の前処理を行うことにより、超撥水性膜を複数の模様として合成させることができた。また、結果として表面処理を施したプレートは、未処理のプレートに対して最大2.2倍の凝縮熱伝達係数の向上および、冷却水側とプレート板の熱移動を考慮した熱通過係数は最大1.2倍の向上となった。これは、装置に必要な伝熱面積を17%低減する可能性に相当する。今後は、本補助事業で製作した性能評価装置を駆使し、凝縮熱伝達係数の向上のメカニズムを解明することで、更なる伝熱性能の向上が期待される。

2 研究の目的と背景

工場、自動車、船舶などで使用している熱の約65%以上は未利用であり、特に、工場からの廃熱温度は100～150℃が多くを占めている。今後、エネルギー利用の高効率化に伴い、ますます100℃以下の低温度廃熱(温水顕熱としての廃熱、以下“低エンタルピー熱”)は増加することが予想される。この低エンタルピー熱利用形態としてバイナリー発電、吸収式冷凍機、ヒートポンプ、空調などの技術への適用が考えられている。特に廃熱利用分野では、電力関連が70%を占めている状況であり、日本において、100から150℃の温度範囲の廃熱量が最も大きく、この熱利用が極めて重要である。この廃熱利用技術は、既往の設備に追設するため狭隘な敷地内に設置する必要があり、装置の小型化は導入の要である。小型の装置を実現するためには、高い伝熱性能を有するプレート式凝縮器が有効である。しかし、プレート間の狭い流路内では、凝縮液膜が支配的な熱抵抗となり、その凝縮液が表面張力でプレート間に留まり、発電性能の低下を招いている。この熱抵抗の有効的な解決策として、伝熱面の濡れ性、即ち超撥水伝熱面が有効である。これまで、ブラスト処理後の凹凸面にネオ放電モード型スパッタにより超撥水性膜を合成し、微細な凹凸構造を有する超撥水成膜を塗布する技術が確立されている。しかし、超撥水成膜を全伝熱面に施すのではなく、部分的に塗布することでより伝熱性能が向上するという研究報告があり、塗布模様の違いによる凝縮性能の関係が未だ確立されていない。本研究では、プレート式凝縮器の伝熱面表面に、複数の模様の超撥水性膜を合成し、伝熱性能の測定と共に、低エンタルピー熱利用時の伝熱性能を飛躍的に向上させることを目的とする。

3 研究内容

超撥水膜模様を有するプレート式凝縮器の開発

(<https://takeshi-yasunaga.hp.peraichi.com/research>)

SUS304製の平滑プレート（幅4 cm、長さ8 cm、厚さ0.6 mm）を機械加工で製作し、前処理を行ってプラズマによる超撥水膜塗布を行った（図1）。超撥水膜の塗布は共同研究者である大津康徳教授（佐賀大学）の協力により、ネオ放電モード型スパッタ装置を用いた。本研究では、本プレートへの超撥水膜の塗布の前に、予備試験としてネオ放電モード型スパッタ装置の安定した動作条件の確認、超撥水成膜合成とその評価を実施した。

本研究では、作動流体としてHFO7000およびHCFO1224y(d)を作動流体として用いた。プレートを交換して計測するための試供体および試験装置（図2）を製作し、凝縮時の伝熱性能および流動状態を可視化して計測を行った（図3）。

その結果、撥水処理を施したプレートが平滑プレートに対して凝縮熱伝達係数が最大2.2倍向上した。冷却水の熱伝達を含めた熱通過係数としては、最大1.2倍の向上であった。これは、同じ熱交換量を処理するために必要なプレート伝熱面積を最大17%低減させることに相当し、飛躍的な凝縮熱伝達の向上を示すことが出来た。

また、本研究では、凝縮器の伝熱面形状が発電装置全体の性能に与える影響を明確にするため、発電装置の発電端出力（正味出力）熱交換器の性能の関係をモデル化することで、ヘリンボーン型プレート式熱交換器の伝熱面形状の最適化を行った。

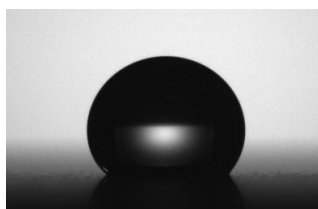


図1 撥水処理面上の水滴



図2 熱交換器試験装置外観

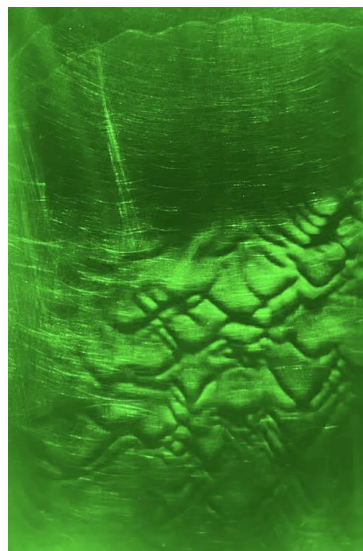


図3 凝縮液膜が降下する様子

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発した凝縮伝熱面の研究結果は、低温度差発電装置の小型化や高性能化に貢献する可能性を示した。プレート式凝縮器は冷凍・空調や海水淡水化等でも利用されていることから、それらの凝縮器の性能向上や装置の性能向上又は小型化に貢献できる可能性がある。また、本研究では熱交換器とプロセス性能を示すモデルを提案した。各プロセスの用途に応じた熱交換器の性能評価を適切にモデル化することで、従来の熱伝達と圧力損失の性能評価に留まらない熱交換器の性能評価方法となることを期待する。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者は、これまで海洋の表層と深層の温度差を中心とし、温泉水や排熱などの未利用熱を用いた発電システムや海水淡水化システムの高性能化に関する研究に携わってきた。特に、温度差が小さいプロセスでは、熱交換器の容量が装置全体のサイズに占める割合が高くなる。そのため、熱力学的視点から、システム内で熱を高効率に利用するプロセスや性能評価、最適化手法の提案およびプレート式熱交換器の高性能化に関する研究を行っている。熱交換器の性能評価においては、共同研究者である大津康德教授(佐賀大学)が有するスパッタプラズマを用いた撥水成膜合成技術によって、超撥水成膜を付したプレートの伝熱性能評価を実施している。今回の研究において、撥水成膜模様を施したプレートを製作し、その伝熱性能が向上する効果を検証することで、今後の熱交換器の飛躍的な性能向上の礎としたい。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

論文・報告書・講演要旨

1. 安永健, 海洋温度差発電システムの基礎発電特性と海水資源利用, 日本海水学会誌 (2024.03) Vol. 78, No. 1, pp. 38-43.
2. 安永健, Kevin Fontaine, 大津康德, 池上康之, Sathiabama T. Thirugnana, Abu Bakakar Jaafar, 低エンタルピー熱発電向けリンボーン型プレート式熱交換器の形状最適化(熱源側の熱伝達および圧力損失の考察) (2024.02) OTEC, Vol. 28, pp. 63-73.
3. Yasunori Ohtsu, Kousuke Hara, Shoma Imoto, Julian Schulze, Takeshi Yasunaga and Yasuyuki Ikegami, Spatial structures of rf ring-shaped magnetized sputtering plasmas with two facing cylindrical ZnO/Al₂O₃ targets, Japanese Journal of Applied Physics (2023.04) Vol. 62, SI1007.
4. 久野凌平、大津康德、安永健、池上康之、フッ素樹脂ターゲットを用いた高周波マグネトロンプラズマの空間分布計測 (2023.09) 第84回応用物理学会秋季学術講演会, 23p-A301-13.

口頭発表

1. 安永健, 海洋温度差発電 (OTEC) システムおよびプレート式熱交換器の高性能化に関する研究 (2024. 03), 令和5年度佐賀大学海洋エネルギー研究所成果発表会.
2. 安永健, 海洋温度差発電向けプレート式熱交換器の高性能化ー熱交換器伝熱面形状の最適化ー (2023. 03) 令和4年度佐賀大学海洋エネルギー研究所成果発表会

7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの (<https://takeshi-yasunaga.hp.peraichi.com/research>)
研究成果を取り纏め、研究概要を作成した

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 大阪電気通信大学工学部(オオサカデンキツウシンダイガクコウガクブ)
(佐賀大学(サガダイガク))

住 所: 〒572-8503
大阪府寝屋川市初町18-8

担 当 者: 准教授 安永健(ヤスナガ タケシ)

担 当 部 署: 工学部機械工学科(コウガクブキカイコウガクカ)

E - m a i l: yasunaga@osakac.ac.jp

U R L: <https://takeshi-yasunaga.hp.peraichi.com/research>