

補助事業番号 2023M-324

補助事業名 2023年度 アルミ伝熱面をもつプレート式熱交換器の海水耐食に関する研究  
補助事業

補助事業者名 佐賀大学海洋エネルギー研究所海洋熱エネルギー部門熱エネルギー変換基  
盤分野有馬研究室 准教授 有馬博史

## 1 研究の概要

本研究では、申請者がこれまで培ってきた海洋温度差発電(Ocean Thermal Energy Conversion, 以下OTEC)用プレート式熱交換器の研究成果を基に、アルミニウム製伝熱プレートの開発研究の一つとして海水耐食性に関する学術的研究を行う。

これまで、アルミニウムの表面処理の違いによるアンモニアの沸騰伝熱性能およびアンモニア耐性の比較実験を行い、陽極酸化の表面処理を行うことで、アンモニアでの使用可能性が高くなることを明らかにした。一方で、熱交換器におけるアルミニウム材料の海水耐性についてはこれまで検証されていない。そこで、アルミニウム伝熱プレートの海水耐性を明らかにすることが必要である。本事業の実験では、アルミニウム製伝熱面をもつプレート式熱交換器を海水循環装置に接続し、長期間の連続通水を行い、通水による伝熱面の変化について観察を行う。実験に用いる伝熱面は、過去の研究で製作した2種類のヘリンボーン型および1種類の平滑型の3種類の表面形状の異なるアルミプレートを使用する。さらにプレート表面を①未処理および②陽極酸化処理した2種類を準備し、合計6種類のテスト用の熱交換器を構成する。通水期間は6か月間とする。伝熱面状態の変化は、表面分析機器を用いて分析を行い、海水による腐食の有無を確認し、海水での使用可能性について明らかにする。

## 2 研究の目的と背景

海洋温度差発電(OTEC)では熱交換器としてプレート式熱交換器、作動流体としてアンモニアと海水が使用されている。本研究では、これまで培ってきたプレート式熱交換器の研究成果を基に、アルミニウム製伝熱プレートの開発研究の一つとして海水耐食性に関する学術的研究を行う。OTECは、海洋表層水と深層水の持つ熱エネルギーで発電を行うが、海水淡水化や水産養殖、化粧品製造といった複合利用も可能である。現在OTECは沖縄県久米島とハワイ島に100kW級の実証プラントが稼働しているが、将来の実用化に向けた研究が進められている。ところで、OTECの性能向上のためには熱交換器の性能向上が不可欠となっている。また、熱交換器はOTECプラント製造コストの約1/3を占めるため、その高性能化はプラント全体の低コスト化につながる。これまで、熱交換器の性能向上の研究として、「プレート式熱交換器のアンモニア沸騰伝熱性能評価」「熱伝達率向上に向けた伝熱面形状に関する研究」「伝熱面の表面処理によるアンモニア沸騰熱伝達促進」などが行われてきた。我々は熱交換器の伝熱プレートの材料について注目し、現在使用されているチタンに代わる材料としてアルミニウムの使用可能性について研究を行ってきた。これまで、アルミニウムの表面処理の違いによるアンモニアの沸騰伝熱性能およびアンモニア耐性

の比較実験を行い、陽極酸化の表面処理を行うことで、アンモニアでの使用可能性が高くなることを明らかにした。一方で、熱交換器におけるアルミニウム材料の海水耐性についてはこれまで検証されていない。そこで、アルミニウム伝熱プレート（PHE）の海水耐性を明らかにする。

### 3 研究内容（URL） <https://www.ioes.saga-u.ac.jp/~arima/jka-hojo/2023/jka-hojo-2023.html>

本研究では、試験体として、ヘリンボーン型2種類および平滑型1種類の表面形状の異なる3種類と、未処理および陽極酸化の表面処理が異なる2種類、合計6種類のアルミプレートを用いる。これらのプレート（PHE）を表面処理別に2台のプレート式熱交換器に組み込みテストセクションとする。これらの熱交換器を、佐賀大学海洋エネルギー研究所久米島サテライトに設置したアルミプレート海水耐水評価システムに接続する。実験では、プレート式熱交換器に海洋深層水を6か月連続で通水し、海水でアルミプレート表面を常に曝した状態とする。通水試験終了後に各アルミプレートを取り出し表面分析を行うことで、海水の耐食性について確認する。

#### ○海水連続通水実験（6か月）

6種類の伝熱プレート（PHE）を挿入したプレート式熱交換器を用いて海水の連続通水実験を行った。図1に実験装置概略図を示す。実験装置は、2台のテストセクション（熱交換器）および海洋深層水（DSW）供給系で構成される。テストプレートとして用いた6種類の伝熱プレート（PHE）を図2に示す。実験では、海洋深層水を任意の流量でテストセクションに6か月連続で通水させた。途中、1か月、3か月の時点でテストプレートの取り出しを行い、質量および表面分析により伝熱面の経時変化を観察した。1か月通水後の伝熱プレートの様子を図3に示す。また、図4には表面分析により得られた観察画像の例を示す。

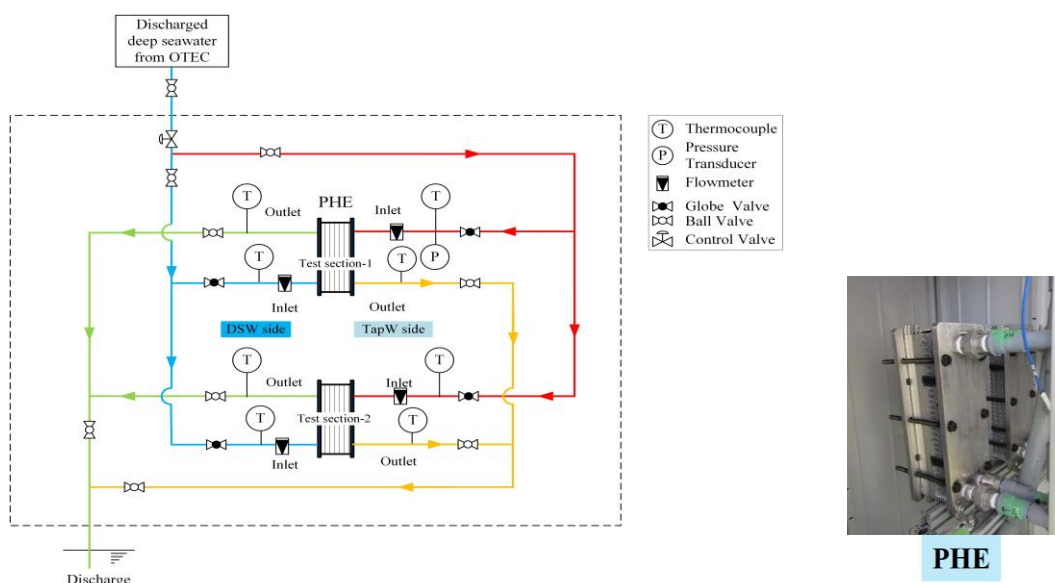
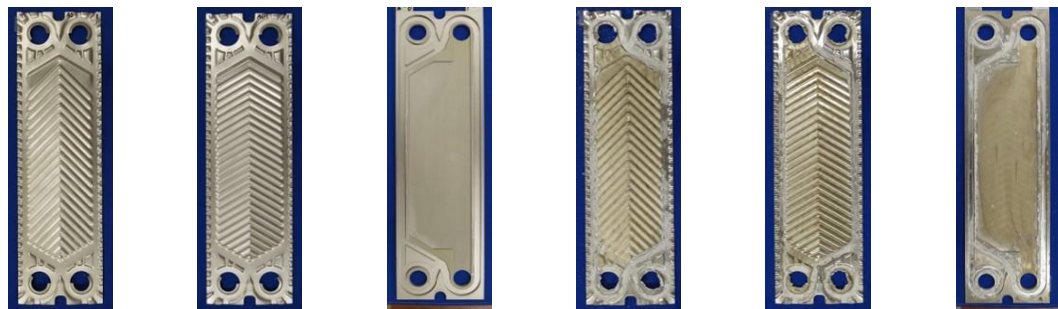


図1 実験装置概略図



(a) A1050 (CA-45) + 陽極酸化  
 (b) A1050 (CA-60) + 陽極酸化  
 (c) A5052 (平板) + 陽極酸化  
 (d) A1050 (CA-45) + 未処理  
 (e) A1050 (CA-60) + 未処理  
 (f) A5052 (平板) + 未処理

図2 テストプレート



(a) A1050 (CA-45) + 陽極酸化  
 (b) A1050 (CA-60) + 陽極酸化  
 (c) A5052 (平板) + 陽極酸化  
 (d) A1050 (CA-45) + 未処理  
 (e) A1050 (CA-60) + 未処理  
 (f) A5052 (平板) + 未処理

図3 テストプレート (1か月通水後)

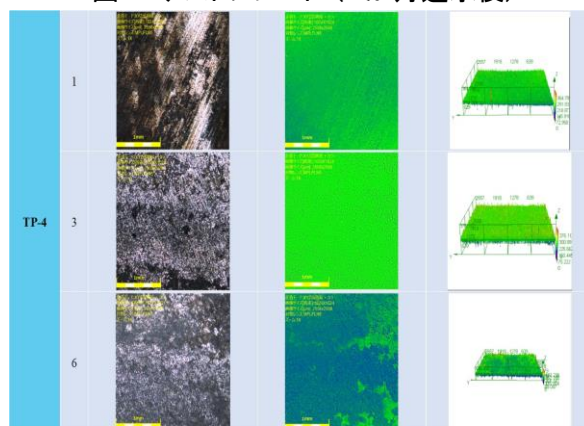


図4 表面分析結果 (レーザー顕微鏡, 1x, 左: 2D画像, 中: 表面粗さ, 右: 3D画像)  
 (A1050 (CA-45) + 未処理)

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業を完了することによって、海洋温度差発電プラントの建設に関する産業と、その複合利用である海水淡水化プラントや海洋深層水を利用した新たな産業の創出が見込まれる。海洋温度差発電は、既存の化石燃料の発電プラントとは異なり発電ではCO<sub>2</sub>が発生しないことから、CO<sub>2</sub>の減少にも寄与することになり、環境負荷の低減に大きく貢献する。海洋温度差発電の実用化には、熱交換器などの要素装置の低コスト化と高性能化が必須である。本事業では海洋温度差用熱交換器の新しい材料の開発により、熱交換器の性能向上を目指す。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者は、これまで海洋温度差発電用プレート式蒸発器に関する研究を行ってきた。プレート式熱交換器は海洋温度差発電の伝熱効率を上げるのに最適な熱交換器であり、また、その他の多くの工業にも使用されていることから、応用の幅が広いと知られている。プレート式蒸発器の研究では、アンモニアの熱伝達及び水の熱伝達の測定、可視化による沸騰伝熱現象の観察を行い、多くのデータを得ている。一方、プレート式熱交換器への新材料の適用を目指して、アルミ材を用いたプレート式熱交換器への使用可能性について、複数の実験による検証も行ってきた。その中で、表面処理を行ったアルミプレートを用いて、アンモニアの耐性の確認とアンモニアの熱伝達、水の熱伝達について測定を行うことで、プレート式熱交換器への使用可能性が確認された。本研究ではその知見を活かして、これまで検証が行われていない海水耐性についての研究を行った。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. 有馬 博史, 熊谷 隼真, 「表面処理によるアルミ板の海水腐食への影響 (1 か月通水結果の報告) 」, OTEC, Vol. 28, (2024), pp.47-52.
2. 有馬博史, 井田悠生, 松田昇一 (琉球大学工学部), 「海洋深層水を用いた冷熱冷房システム用熱交換器の伝熱性能」第27回海洋深層利用学会全国大会 海洋深層水2023佐渡大会, 2023年10月(新潟)

#### 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://www.ioes.saga-u.ac.jp/~arima/jka-hojo/2023/jka-hojo-2023.html>

##### (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： 佐賀大学

(サガダイガク)

住 所： 〒840-8502

佐賀市本庄町1番

担 当 者： 准教授 有馬博史 (アリマヒロフミ)

担 当 部 署： 海洋エネルギー研究所 (カイヨウエネルギーケンキュウシヨ)

E - m a i l： [arima@ioes.saga-u.ac.jp](mailto:arima@ioes.saga-u.ac.jp)

U R L： <https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/>

<https://www.ioes.saga-u.ac.jp/~arima/jka-hojo/2023/jka-hojo-2023.html>