

## 1.2. 海洋温度差発電を核とした海洋深層水複合利用の評価方法に関する研究

○小久保芽衣・池上康之・森崎敬史（佐賀大学）

### 1. 緒言

海洋温度差発電（OTEC）では大規模な表層海水および海洋深層水を利用することから、海洋深層水を他の産業で利用する複合利用の形態が注目されている。

海洋深層水は、低温安定性、清浄性、富栄養性などの特性を有しており、現在では多くの産業に利用されている。Fig.1 に海洋深層水を用いた複合利用の例を示す。沖縄県久米島においては、車エビや海ぶどうの養殖、農業、飲料水、化粧品、浴用などの産業に海洋深層水が利用されており、関連事業の年間売上は約 25 億、300 人以上の雇用に繋がっている。1MW の OTEC による再生可能エネルギーでの活用後、海洋深層水を別の産業に利用する複合的な多段階利用の形態が「久米島モデル」として提唱されている<sup>1)</sup>。

一方、海洋深層水複合利用について様々な検討がなされているが、トータル最適システム設計やそのシステムの評価方法は確立していないのが現状である。そこで、本研究では、複合利用システム全体のコスト削減および最適化法の構築を目的として海洋温度差発電を核とした海洋深層水複合利用の評価方法について検討する。

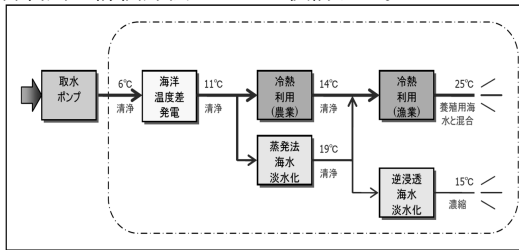


Fig.1 Cascading use of OTEC

### 2. 設計条件および計算手法

本研究における海洋深層水複合利用モデルの一例として設計条件を Table 1 に示す。

本研究では海洋温度差発電を核とした海洋深層水複合利用の評価式として以下の式を用いる。

$$\gamma_{m,u,1} = \frac{W_{net} + Q_L}{Q_E \times (A_{ESum} + A_{CSum})} \quad (1)$$

$$\gamma_{m,u,2} = \frac{W_{net} + Q_L}{A_{ESum} + A_{CSum}} \quad (2)$$

$$Q_L = m_{CS} c_p (T_0 - T_{CSO}) \quad (3)$$

ここで  $A$  は伝熱面積 [ $m^2$ ]、 $W_{net}$  は正味出力 [kW]、 $Q_L$  は冷熱利用 [MW]、 $Q_E$  は蒸発器の交換熱量 [kW] を示している。 $m$  は質量流量 [kg/s]、 $c_p$  は定圧比熱 [kJ/kg]、 $T_0$  は環境温度 [K]、 $T_{CSO}$  は冷海水出口温度 [K]、添字の  $E, C$  はそれぞれ蒸発器、凝縮器を示す。OTEC の場合、低い温度の熱源を利用するため原理的に熱交換器が大きくなることから、システム全体の装置コストに占める熱交換器の費用割合が高い。そのため、本研究では正味出力と冷熱利用に対する OTEC の熱交換器の総伝熱面積の比を考える。一方、海洋深層水複合利用の冷熱利用を評価する場合、その利用に必要な熱交換器のコストとして冷熱利用等に用いる伝熱面積等を評価に含めるべきであるが、本研究では第一ステップとして代表的なコストは OTEC の熱交換器のみとした。

Table 1 Calculation condition

Parameter	Unit	Value
Warm source inlet temperature	°C	30.0
Cold source inlet temperature	°C	4.0
Heat Transfer Performance of Evaporators	—	0.1~2.0
Heat Transfer Performance of Condensers	—	1
Warm source flow rate	kg/s	3000
Cold source flow rate	kg/s	2000
Generator output	kW	1200
Overall transfer coefficient of Evaporator	kW/m <sup>2</sup> K	10.0
Overall transfer coefficient of Condensers	kW/m <sup>2</sup> K	5.0

そこで本研究における海洋温度差発電システムと海洋深層水複合利用における経済性を示す目的関数として  $\gamma_{m,u,1}$  と  $\gamma_{m,u,2}$  を用いる。

### 3. 結果と考察

Fig. 2 および 3 に伝熱性能  $(UA/Q)_E$  に対する  $\gamma_{m,u,1}$  の変化を発電端出力  $W_G$  および温海水質量流量  $m_{WS}$  の各条件に対してそれぞれ示す。Fig. 4 および 5 に伝熱性能  $(UA/Q)_E$  に対する  $\gamma_{m,u,2}$  の変化をそれぞれ示す。

Fig. 2 および 3 より、伝熱性能  $(UA/Q)_E$  の増加とともに  $A_{CSum}$  が減少するため  $\gamma_{m,u,1}$  は増加する。 $(UA/Q)_E = 0.5$  (蒸発器の対数平均温度差  $(\Delta T_{lm})_E = 2^\circ C$ ) 以上のとき、 $A_{CSum}$  がほぼ一定となり、 $A_{ESum}$  が増加するため、 $\gamma_{m,u,1}$  には最大値が存在する。このとき正味出力および冷熱利用量に対して  $A_{ESum} + A_{CSum}$  が最小となり、正味出力 1,187.5kW、冷熱利用量 117.5MW、蒸発器および凝縮器の伝熱面積は 1,000m<sup>2</sup> および 3,500m<sup>2</sup> となる。

Fig. 4 および 5 より  $\gamma_{m,u,2}$  では  $(UA/Q)_E = 0.35$ 、つまり  $(\Delta T_{lm})_E = 2.8^\circ C$  のときに最小値となっていることが確認できる。このとき、正味出力 1,188kW、冷熱利用量 110MW、蒸発器および凝縮器の伝熱面積は 500m<sup>2</sup> および 4,000m<sup>2</sup> となる。

本設計条件において伝熱性能  $(UA/Q)_E$  に対して正味出力  $W_{net}$  および冷熱利用量  $Q_L$  はほぼ一定となるが、 $A_{ESum} + A_{CSum}$  には最小値が存在することが確認された。そのため、 $\gamma_{m,u,1}$  および  $\gamma_{m,u,2}$  には極値が存在し、海洋深層水複合利用における伝熱面積の最小化により複合利用システム全体の評価を行うことが重要であることが明らかとなった。

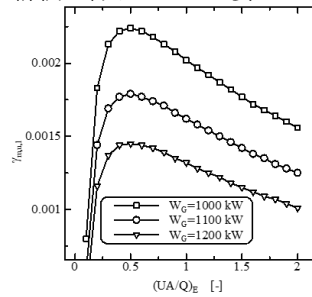


Fig.2 Relation between  $\gamma_{m,u,1}$  and  $W_G$

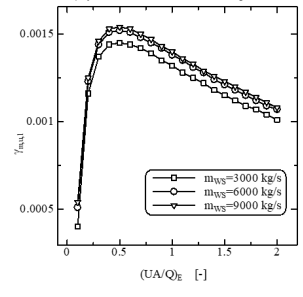


Fig.3 Relation between  $\gamma_{m,u,1}$  and  $m_{WS}$

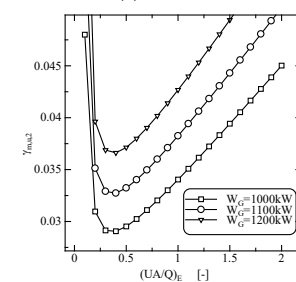


Fig.4 Relation between  $\gamma_{m,u,2}$  and  $W_G$

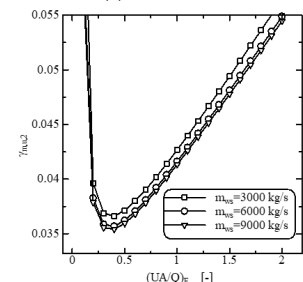


Fig.5 Relation between  $\gamma_{m,u,2}$  and  $m_{WS}$

### 4. 結言

本研究では、複合利用システム全体のコスト削減および最適化を目的として海洋温度差発電を核とした海洋深層水複合利用の評価を 2 種類の目的関数を用いて行った。その結果、本設計条件において伝熱性能  $(UA/Q)_E$  に対して、OTEC の総伝熱面積を最小にし、提案した目的関数の極値が存在することが明らかとなった。今後、複合利用システム全体の最適化のためには従来の手法とは異なり、海洋深層水複合利用、特に冷熱利用を含めたシステム全体の最適化のために、冷熱利用に必要な伝熱面積等を含む評価手法の構築が重要と考える。

### 参考文献

- 1) 浦田ほか (2021) 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. Deep Ocean Water Research, 22(2), 39-47.