

1 2. 海洋温度差発電のポテンシャル (熱力学的考察)

○安永健・森崎敬史・池上康之 (佐賀大学海洋エネルギー研究所)

1. はじめに

海洋温度差発電 (OTEC) は, 海洋の表層と深層の温度差を利用して発電する. 利用できる温度差は 20~25 °C程度と既往の発電設備に比べ非常に小さい. そのため, 計画する発電出力が大きい程, 海水流量を増加させる必要がある.

熱効率 η_{th} は熱機関に流入した熱量 Q_{in} と熱機関の仕事 (発電出力) W を用いて与式で定義される.

$$\eta_{th} = \frac{W}{Q_{in}} \quad (1)$$

ところが, η_{th} を大きくする熱バランスで計画すると, 熱機関の発電出力および送電端出力 (正味出力) は非常に小さくなる矛盾がある. これは, 1950年代から議論されている熱力学的考察から得られる知見であるが^{(1),(2)}, 未だに基礎的な熱力学の教科書には殆ど示されておらず, 工学的に活用されていない. OTEC の研究においても, 大変残念ながら未だ式 (1) を大きくする研究が散見される. 即ち, 熱機関の出力が最大となる熱バランスの熱効率 $\eta_{th,Wmax}$ は与式となる^{(1),(3)}.

$$\eta_{th,Wmax} = 1 - \sqrt{\frac{T_{CS}}{\phi T_{WS}}} \quad (2)$$

ここで, T_{CS} , T_{WS} は深層と表層の海水温度[K], f は熱機関内の総括的な不可逆損失を示す ($T_{CS}/T_{WC} < f \leq 1$)⁽³⁾. 式(2)は式(1)の理想的なカルノー効率 ($1 - T_{CS}/T_{WC}$) の半分程度である. つまり, 式(1)の熱効率は OTEC の性能指標になり得ない.

本研究では, 熱力学の基礎は割愛し, OTEC の計画での初期段階で有効となる海水から得られる有効エネルギー (エクセルギー) の算出方法を整理し, 発電出力から簡易的に必要な海水流量を算出する方法を提案する.

2. 海水の有効エネルギー (エクセルギー)

地球内の海水量は莫大であるが, OTEC で取水する流量は当然有限量である. OTEC では, 海水の顕熱を利用するため, 熱エネルギーが散逸した状態は, 熱平衡 (一定温度) となった状態である. 深層に対する表層の絶対温度の比 q を用い, 海水が保有するエクセルギー $E_{x,OTEC}$ は与式となる⁽³⁾.

$$E_{x,OTEC} = m_{CS} c_{pCS} T_{SW} \left[\gamma + \theta - (\gamma + 1) \theta^{\frac{1}{\gamma+1}} \right] \quad (3)$$

ここで, m_{CS} , c_{pCS} および g は深層海水の質量流量[kg/s], 比熱[kJ/(kgK)] および表層の海水に対する深層の海水の熱容量の比を示す.

3. 簡易的な必要海水流量の算出方法の提案

海水中から海面や地上へ温度 (水深) の異なる海水をくみ上げる動力は無視できない. 熱機関の出力に対するポンプ動力の割合を p とすると, 式 (3) から, 正味出力 W_{net} [kW] の OTEC に必要な深層の海水流量 M_{CS} [t/h] が簡易的に算出できる.

$$M_{CS} = \frac{3.6 W_{net}}{a(1-p)c_{pCS} T_{SW} \left[\gamma + \theta - (\gamma + 1) \theta^{\frac{1}{\gamma+1}} \right]} \quad (4)$$

ここで, a は実熱機関と理想的熱機関の出力の比率を示す. 飽和ランキンサイクルの場合, 理想状態で a は 0.5 であり, 現実的には 0.3 程度, p はポテンシャルの算出の際に 0.3 が用いられている⁽⁴⁾.

4. まとめ

本研究では, OTEC の熱力学特性の概説と簡易的な必要海水流量の算出方法を提案した.

参考文献

1. Chen, J. et al, *Energy Convers. Manag.* (2001) 42, 173–181.
2. Wu, C. *Ocean Eng.* (1987) 14, 349–354.
3. 安永, 池上, *日本機械学会論文集* (2020) 86 (866).
4. Nihous, G.C. *Ocean Eng.* (2007) 34, 2210–2221.