

解説

新しい海洋温度差発電システム

New OTEC



上原 春男

Haruo UEHARA

◎1940年3月生まれ

◎1963年山口大学文理学部理学科卒業。九州大学生産科学研究所助手、講師を経て、佐賀大学理工学部助教授、教授。研究・専門テーマは海洋温度差発電、凝縮熱伝達、エネルギー工学

◎正員、佐賀大学理工学部（〒840 佐賀市本庄町1）

1. はじめに

エネルギーは、人類の存続と進化のためには欠くことの出来ないものの一つである。この人類の命の源ともいべきエネルギーを我々は、現在化石燃料と原子力に依存している。

最近、地球の温暖化や酸性雨という地球環境問題がクローズアップされている。このため、石油や石炭などの化石燃料の利用を制限する動きが急速に活発になっている。

一方、世界の人口の増加も急激で、現在約55億人であるが、2030年には100億人に達すると予測されている。また、これまで発展途上国であった国々の経済の発達も急速で年率約10%の経済成長をとげている。これらの人口増加、経済成長や環境問題を考えると、21世紀には、世界のエネルギー源を、現在主体をなしている石油、石炭、ガス、ウラン（原子力）のみに依存することができないことは、もはや自明のことである。石油やウランに代わるエネルギー源としては、太陽熱、太陽光、地熱、風力などが考えられ、その方面の開発も進んできているが、21世紀のエネルギー源としては、海洋熱エネルギーは、見落としはならない重要なエネルギー源である。

ここでは、従来の海洋温度差発電の研究成果について述べるとともに、最近新しく発明された新しい発電方式について述べる。

2. 海洋の温度差と海洋温度差発電

熱帯および亜熱帯地域の海洋の上下方向の海水の温度分布を測定してみると、図1に示すように、表層部では暖かく20~30°Cで、表面から約700mの深層部のところでは冷たく2~7°Cである。

この海洋の表層部の温海水と深層部の冷海水の温度差による熱エネルギーを利用して、電気エネルギーを取り出す発電システムを海洋温度差発電という。この海洋温度差発電は、英語ではOTEC（オテック：Ocean Thermal Energy Conversion）といわれている。

従来、熱エネルギーを電気エネルギーに変換す

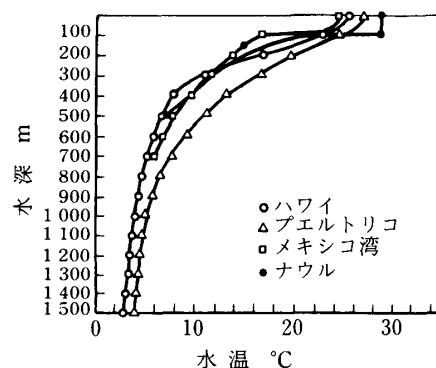


図1 海洋の上下方向の海水の温度分布（表層の海水の温度は暖かく24~28°C、水深800mの深層海照水の温度は冷たく4~6°Cである。これは赤道近くの熱帯、亜熱帯海域ではほぼ同じ傾向である）

る方法は、1851年にイギリスのランキン氏(Rankine)が発明したクローズド・ランキン・サイクルが基本的なものである。海洋温度差発電もこれまでは、クローズド・ランキン・サイクルを用いたシステムとフランスのクロード氏(Cloude)が用いたオープン・サイクルについて研究が主になされてきた。

図2にクローズド・ランキン・サイクル方式を用いた海洋温度差発電の原理を示す。

海洋温度差発電は、原理的に火力発電や原子力発電と同じであるが、海洋温度差発電では海水のみを使用して発電するので、火力発電や原子力発電のように燃料費がかからない。

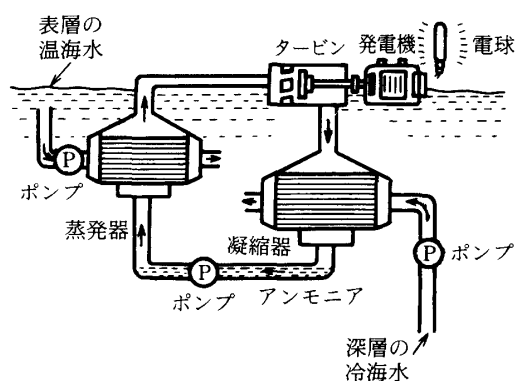


図2 クローズドサイクルを用いた海洋温度差発電の原理 (クローズドサイクルを用いた海洋温度差発電は、温熱源に表層の温海水を、冷熱源に深層の冷海水を用いるが、温熱源に石油やガス、原子炉の冷却水を用いる従来の火力発電や原子力発電と本質的に変わらない)

しかし、海洋温度差発電では利用できる温度差が小さいために、海水流量は大きくなり蒸発器や凝縮器の伝熱面積も大きくなる。このために、火力発電や原子力発電と同程度の発電原価(10~12円/kWh)で、海洋温度差発電の電力をつくるためには、火力発電や原子力発電以上に高度の技術開発を必要とする。したがって、これまでに数多くの研究が行われてきたし、現在も行われている。

3. 海洋温度差発電の開発史⁽¹⁾

海洋温度差発電の開発の歴史は古く、今から124年前の1881年(明治14年)に、フランスのダルソンバル氏⁽²⁾(J. D'Arsonval)が最初に考案したものである。その後、多くの人達によって研究が受け継がれている。

その後の主な研究成果を表1に列挙する。

表1に示すように、近年相次いで海洋温度差発電の実験プラントが建設され、実験が行われている。

これらの実験プラントやその他の実験装置を用いて、海洋温度差発電の総合的性能や発電プラントの構成機器(蒸発器、凝縮器、タービンなど)の性能の測定がなされた。

海洋温度差発電は、利用できる温度差が小さいので、サイクル熱効率が小さく、蒸発器と凝縮器の面積は従来の火力発電や原子力発電に比較してかなり大きくなる。それで、これまで多くの研究

表1 海洋温度差発電の歴史

1881年	ダルソンバル(フランス)海洋温度差発電を考案	1979年	Mini-OTEC(アメリカ)50 kWの発電成功
1926年	クロード(フランス)実験に着手	1980年	佐賀大学、島根県沖で海上実験を行う
1933年	クロード発電船を建造	1981年	東京電力(株)、ナウル共和国で120 kWの発電に成功
1964年	アンダーソン海中発電所を提案	1982年	九州電力(株)、徳之島で50 kWの発電に成功
1970年	新発電方式調査会(日本)で海洋温度差発電の研究成果を調査	1985年	佐賀大学に、75 kWプラント完成
1974年	サンシャイン計画(日本)で海洋温度差発電の研究開始	1988年	海洋温度差発電研究会発足(日本)
1974年	ERDA計画(アメリカ)で開始	1989年	工業技術院電子技術総合研究所、富山港で3 kWの発電に成功
1974年	第1回 OTEC 会議(アメリカ)	1990年	国際海洋温度差発電研究会(IOA)発足(台湾)
1977年	佐賀大学で1 kWの発電に成功	1993年	ハワイで210 kW オープンサイクルシステム完成

者によって、蒸発器と凝縮器の性能を向上させる研究がなされて来た。

著者らは、種々の蒸発器と凝縮器について実験的および理論的研究を行ってきた。その結果、伝熱性能、圧力損失、海水流量、経済性の総合評価において、プレート式蒸発器と凝縮器が OTEC には適していることがわかった。

海洋温度差発電では、膨大な温海水と冷海水を利用する。しかし、発電にはその海水が保有するエネルギーのうち、わずかな量しか利用しない。また、海水の中には、有用な物質が多数含まれている。このことから、OTEC では、発電のみではなく水素製造、海水の淡水化、冷水による冷房、魚貝類の養殖、熱帯地方での寒冷地野菜の生産など多目的に利用するほうが、経済的である。それで、OTEC プラントを建設する際には、これらの多目的利用を当初から組み入れて検討する必要がある。

これまでオープンサイクルやランキンクローズドサイクルを利用した OTEC システムの発電単価については、種々の計算がなされている。それによると、50~100 MW の大形プラントでは発電単価は 15~17 円/kWh になる。

4. 新しい海洋温度差発電システム

これまでの議論は、1851 年にランキンが発明したクローズド・ランキン・サイクルを利用した OTEC についての研究成果について述べた。

最近、カリナ氏⁽³⁾(Kalina) は、従来の発電サイクルとは異なった新しい発電システムを発明した。この新しい発電システムは、従来のランキンサイクルを基本とした発電システムに比較して、サイクル熱効率が飛躍的に高くなることから、最近注目されている。

図 3 は、カリナサイクルを用いた OTEC システムである。従来のランキンサイクルでは作動流体に純粋の物質（アンモニア、フロン 22）が用いられるのに対して、このカリナサイクルでは、作動流体に水/アンモニアの混合媒体が用いられる。その原理を図 3 にそって説明する。

蒸発器にはアンモニア+水の混合媒体が通され、そこで蒸発する。分離器でアンモニア+水の

蒸気とアンモニア水とに分離される。アンモニア+水の蒸気はタービンで仕事をした後、タービンを出てくる。一方分離器で分離されたアンモニア水は、再生器で熱を若干失った後、タービンを出てきたアンモニア+水の蒸気と吸収器で再び混合され凝縮器に戻る。凝縮器で冷海水により凝縮された後、ポンプで再生器を通して蒸発器に送られる。

著者らは、このカリナサイクルに注目し、理論的考察を行った。その結果、温海水入口温度 28°C、冷海水入口温度 4°C のとき、ランキンサイクルでは、サイクル熱効率は約 3% であるが、図 3 のカリナサイクルでは、約 5% にもなる。このカリナサイクルを利用すると、温海水と冷海水の流量は、ランキンサイクルより約 20% 減少し、正味出力は約 20% 高くなる。このように、カリナサイクルの効率が高くなるのは、蒸発器と凝縮器の中で蒸気温度が濃度の変化とともに変化し、タービンの入口と出口の温度差が大きくなるためである。

しかし、カリナサイクルでは、作動流体に水/アンモニアの混合媒体を用いるので、純粋のアンモニアを利用するランキンサイクルの場合に比較して、蒸発器と凝縮器の性能は、かなり悪くなる欠点がある。

それで、著者ら⁽⁴⁾は、カリナサイクルの欠点を補うために、図 4 のサイクルを用いた新しい発電システムを考案した。図 4 の SU サイクルは、カリナサイクルが 1 個のタービンしかないのに

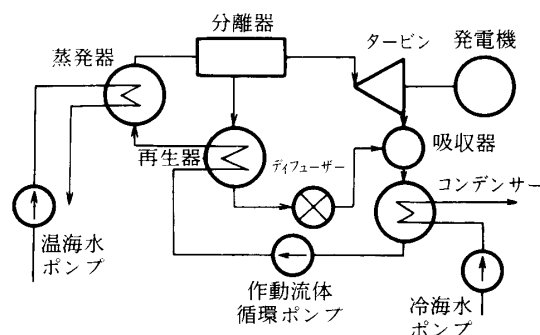


図 3 カリナサイクルの概念図（このサイクルでは、アンモニア+水の混合媒体が作動流体として使用される。そしてタービンを出たところで吸収過程という化学的な操作が行われる）

