

海洋温度差で真水と発電の双方を得る

インドで大規模実用化へ、世界98カ国に建設可能

海洋温度差



効率的に蒸気を冷やして液体に戻すチタン製の板状プレート

海水を脱塩し、真水を造る。世界規模で水資源危機が深刻となってきた昨今、存在感を増している技術である。技術自体は幾つか確立されており、中東地域など、降水量が少ない海岸地帯で大いに活用されている。ただ、そのほとんどは、石油やガスを用いて水を造り出す。逆に言えば、化石燃料がなくなってしまうえば、水資源を確保することも難しくなるという事だ。さらに化石燃料の使用は、温暖化ガスの発生にも直結する。

地球環境を保全し、近未来の水資源危機を回避するためには、化石燃料に頼らない海水の脱塩技術の実用化が必要不可欠である。というところ、かなり無茶な話に聞こえるかもしれない。だが、その「無茶」を実現できる上、電力まで同時に獲得できる技術が存在する。佐賀大学海洋エネルギー研究センターが手掛ける「海洋温度差発電(OTEC)」だ。

既に実用化段階にきており、水不足に悩むインド国立海洋技術研究所(NIOT)では、2007年4月、佐賀大学の技術協力により、海洋温度差エネルギーを利用した海水淡化装置の洋上実証実験に世界で初めて成功した。さらにNIOTは「同タイプで10倍の処理能力を持つ新しいプラントを近々建設したい」としている。

ほかにサウジアラビアをはじめとした約50カ国から実用化に向けて問い合わせや視察団が来ているという。佐賀大学の池上康之准教授に、そのシステムと潜在能力について伺った。

(文・多様正芳)

佐賀大学海洋エネルギー研究センター 准教授
池上康之

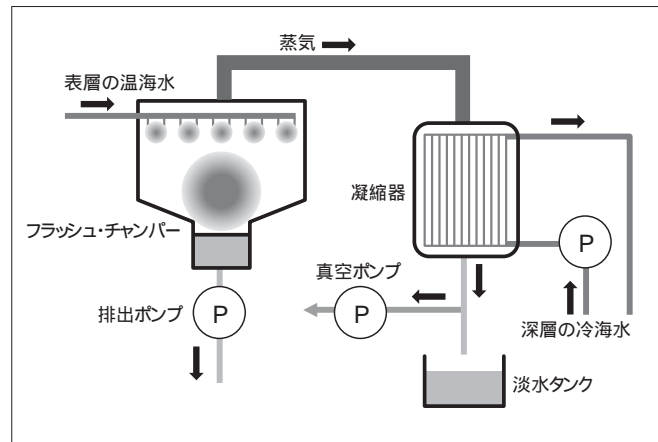
太陽と海水をエネルギー源とし、しかも世界98カ国で安定して得られる

九州の西部、伊万里湾の奥の奥に位置する佐賀県伊万里市。300有余年の歴史を誇る伊万里焼や、秘窯の里・大川内山で育まれる大河内焼などが生産される磁器の町だ。また、伊万里湾には、生きた化石といわれるカプトガニが棲息するなど、自然環境に恵まれた土地でもある。

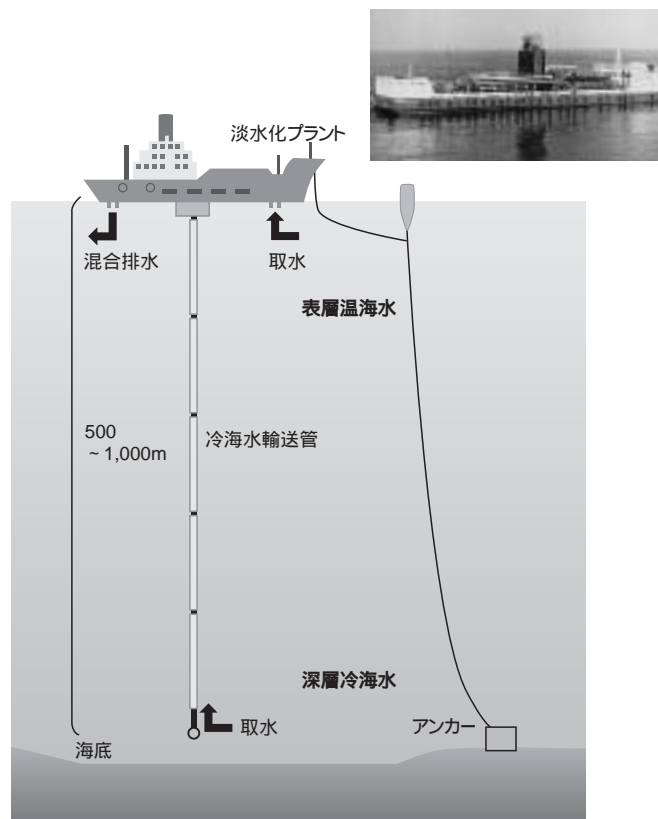
豊かな自然環境と伝統産業が息づくこの小さな街に、世界最先端のエンジニア技術を追及する研究機関がある。佐賀大学海洋エネルギー研究センター。OTEC(Ocean Thermal Energy Conversion)を本格的に研究している世界唯一の機関だ。文部科学省の「21世紀COEプログラム」に採択された研究拠点で、次世代型再生可能エネルギーの一つとして期待されている海洋温度差発電と、自然エネルギー利用による海水淡水化のハイブリッド化を中心とした先導的研究が行なわれている。

それにして、海洋温度差発電

[図1] スプレーフラッシュ蒸発式海水淡化化システムのフロー



[図2] 海水淡化化プラント船の外観とシステム・フロー



とは、いったい、どんな技術なのか。

「太陽熱をたっぷり受ける海洋表面の水(表層水)と、水深1000mほどの深層水では、同一海域でも、ときに30 ほどの温度差が生じます。この温度差を利用して発電し続けるシステムがOTECです」

例えば水力発電では、高低差によって生じるパワーでタービンを回し、電気を作る。火力発電や原子力発電であれば、石油やウランを燃やしたり、反応させることによって生じるエネルギーで水を蒸気に変えて、その蒸気でタービンを

回す。タービンを回した蒸気は復水器によって冷却されて液体に戻された後、蒸気を作るボイラーへ送り返される。そして海洋温度差発電の場合、表層水の温度で蒸気を作ってタービンを回し、タービンを回し終わった蒸気は深層水の冷たさで冷却する。

「つまり、基本的な発電システムは火力発電や原子力発電と変わりません。石油やウランの代わりに海水の表層水を使うだけ。火力や原子力は化石燃料からエネルギーを押し出すわけですが、

OTECは海水からエネルギーを引き出すといえるでしょう」

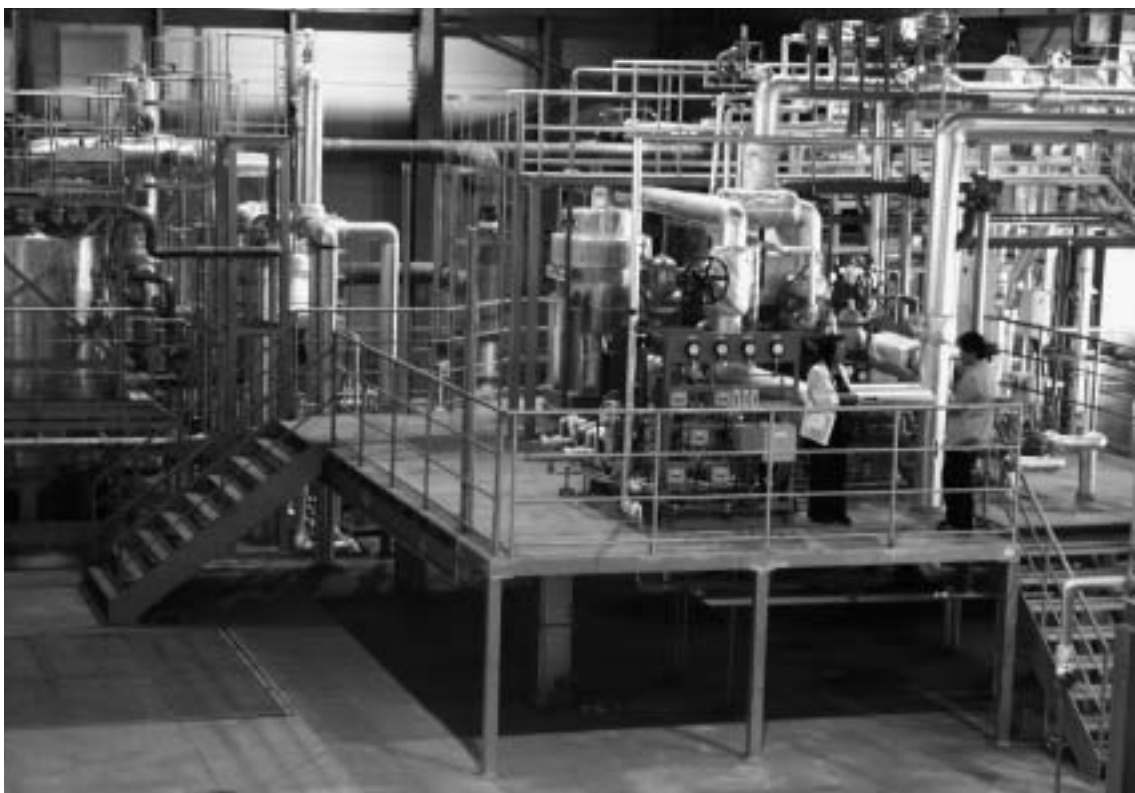
海水であれば、温暖化ガスを排出することもないから、環境に対する負荷は極めて小さい。その上、エネルギーの源は太陽と海水だから、いくら使っても、無料・無制限である。また風力や太陽光などの他の自然エネルギーと比較して、年間を通して安定している点が大きな特長である。世界各地に幅広く分布する未利用エネルギーで、建設可能国は98カ国に及び、1兆kWのポテンシャルがあると考えられ

ている。離島、遠隔地など、電力インフラの未整備地域でも、本技術を用いて海水を淡水化することができるとなれば、多くの発展途上国で深刻化している水資源の確保に貢献する可能性がある。これだけ聞くと、まさに理想のエネルギー源だ。

沸点の低いアンモニアでタービンを回し、海面と深海の温度差で水やエネルギーを得る

ただ、ここで根本的な疑問を感じる人も少なくはないはずだ。ただか30 程度の海水を元手に、タービンを回して果たして発電できるほどのエネルギーを得ることができると、という疑問である。

「確かに、沸点の半分の温度もない海水から蒸気を作るといふのは、不可思議に思えるでしょう。しかし、液体が気化する温度、つまり沸点は物質によつてさまざまです。そして、タービンを回す作動流体として沸点が低い物質を使えば、表層水程度のエネルギーでも十分に発電が可能です。」



30kW海洋温度差発電装置と海水淡水化装置

化を妨げているという。「なかでもやっかいなのは、熱効率が悪く、大規模発電には向かない」といふ説です。

熱効率とは、投入した熱エネルギーが電力などに変換される割合のこと。火力発電の場合は、45%

海洋エネルギー研究センターでは、沸点が氷点下33 程度(1気圧下)である上、圧力が変化すれば簡単に液体に戻るアンモニアに着目。さらに高性能化を目指して、水とアンモニアを混ぜた物質を作動流体として繰り返し活用する手法を開発した。蒸気を作る蒸発器や、蒸気を冷やして液体に戻す凝縮器を、単純なチューブ式からチタン製の板状のプレート式に変更することで、効率的にエネルギーを引き出すことにも成功している。

さらに海洋エネルギー研究センターでは、OTECと海水淡水化装置を組み合わせて使う手法も編み出した。

「OTECと組み合わせるのは、真空状態の管に海水を通し、蒸気と塩分を分離するスプレーフラッシュ式蒸発器を活用した淡水化プラントです。このプラントでは、まずOTECで使った表層水をそのまま蒸発器に通して塩分と蒸気に分離します。そして、分離した蒸気は、OTECでも活用した深層水で冷やし、真水を取り出すのです。」
実際、海洋エネルギーセンターの実験用OTECは、1日に30kWの出

力と10トンの真水を生産できる。そのほか、淡水化プラントで造った純度の高い淡水を、OTECプラントで発生した電力を使って電気分解して水素をつくらしたり、深層水に含まれる希少金属・リチウムを採取するなどの計画も実証・研究されている。栄養豊富な深層水を表層海域まで汲み上げ、放出することで、海域を富栄養化させ、新たな漁場を創る計画まで検討されているという。

いまだに払拭されないOTECに対するさまざまな誤解

水問題はもちろん、エネルギー問題や食糧問題まで解決してくれる上、地球環境に対する影響はほとんどない。そこまで分かっているのなら、なぜOTECを利用した発電所が世界中で稼働していないのか。

「技術面では、いつ実用化しても問題ないくらいに完成していますよ。ただ、OTECは、設備を整えるのに相当なお金が掛かります。その初期投資を捻出しよう

という声は、なかなか上がらないのです。」

OTECの場合、発電プラントや1000mほどの取水管など、大掛かりな設備が必要だから、初期投資は決して安くはない。その費用が実用化の足かせになっているというわけだ。

とはいえ、まずは小型のOTECを作り、実績を重ねていけば、いずれば大型の発電所を設置しようという機運も盛り上がるのではないかと。ところが、OTECに関しては、小型発電所を建設しようという声もほとんど聞かれない。

「既に、小さい設備で海の温度差だけで海洋温度差発電が可能なのは実証されています。しかし、OTECは設備が大きければ大きいほど効率よく経済的に発電できます。逆に100kW以下など設備が小さいと、全く採算は取れない。1000kW以上は発電できるプラントじゃないと赤字になってしまうでしょう。だから、小さい設備から実績を重ねていくという方法を選ばせません。」

さらに、いまだに払拭できないOTECへの誤解や無理解が実用

「しかし、熱効率という概念だけでOTECと他の発電を比較するのは、一面的に過ぎます。例えば火力の場合、採掘・精製した石油を購入しなければ動かせません。一方、OTECの場合、燃料を採掘・精製する労力も要らなければ、購入する資金も必要もない」ともともとある太陽と海からエネルギーを引き出すのですから」

確かに従来の熱効率では、エネルギーを発生させる瞬間の効率だけしか比較できない。原料(海水)に掛けるコストやエネルギーがほとんど必要ない、持続可能なOTECの特性を考えれば、熱効率だけを見て非効率的、というのはほとんど意味がない気がする。

もう一つ、大きな誤解がある。OTECでは、発電所として利用できるほどの電力を確保できない、という誤解である。誤解は、これだけ小さい20 前後の温度差で実際に発電できるのかということである。

「実は海洋温度差発電の原理は、1881年にフランスで完成していたのです。以後、さまざまな国の研究者や機関が実験を繰り返して

きました。1世紀以上にわたって海洋の温度差だけで電力を得ることができなかつたので、そもそも原理が無理ではないかと言われた時期があります。ところが、1979年にハワイで50kWの発電システムが15kWの正味電力(発電量からポンプ動力を引いたもの)を得てから、この誤解は解消しました。その後、海洋の温度差のみで発電に成功したプラントが生まれました。しかし規模が小さかつたため、経済的でないという評価でした。」

日本でも1974年に始まった『サンシャイン計画』によって実用化を目指したことがあります。しかし、採用されたシステムがオープン・サイクル、現在のシステムとは異なる(で十分な結果が得られていません)。

OTECの場合、作動流体を循環させたり、海水を汲み上げるときに電力が必要となる。経済性を高めるさらなる高効率化が求められていた。

「しかし、この経済性の点でも、新しいアンモニア水の混合物とプレート式熱交換器を活用する、ウ

「エナジーサイクル」によって解消されることが期待されています。かつての設備とは全くものが違うのです。実際、佐賀大学の原教授（当時）と私のグループが考案した『エナジーサイクル』であれば、発電した電力の50〜80%は余剰電力として活用できる可能性があります。1万kW以上を発電できる大型プラントなら、火力に負けない採算性を実現できるでしょう」

インドがまず実用化で先鞭、 サウジなど50カ国が OTECに熱い視線

初期投資の大きさと、誤解に



いけがみ やすゆき：1963年、福岡県柳川市生まれ。1986年、佐賀大学工学部生産機械工学科卒業。1988年、同大学大学院理工学研究科生産機械工学専攻修士課程修了。1991年、九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻博士後期課程修了。1991年、工学博士（九州大学）。1991年、佐賀大学工学部生産機械工学科講師。1991年、同大学工学部附属海洋熱エネルギー変換実験施設講師。1992年、同大学工学部附属海洋温度差エネルギー実験施設講師。1993年、同大学工学部附属海洋温度差エネルギー実験施設助教授。2002年、同大学海洋エネルギー研究センター助教授（副センター長、2007年4月末まで）。2007年4月、同准教授、現在に至る。1986年、日本機械学会島山賞受賞。1992年、アメリカ機械学会最優秀論文賞受賞（Best Paper Award）、2005年、「愛・地球賞 - Global 100 Eco - Tech Awards」（日本国際博覧会協会）

よって実用化の目的が立たないままにOTEC。しかし海外に目を向ければ、思い切った規模でOTECの導入を試みている国もある。その代表格がインドだ。「インド政府が海洋温度差発電の実用化のために佐賀大学と協定を結んだのは1997年。電力というより、真水を確保したいという側面が強かったようです。以後、インド国立海洋技術研究所（NIOT）とともに、インド南部の沖合いの島などにスプレッドラッシュ淡水化装置を併設したプラントを設置しました」

技術は、順調に成果を上げています。2005年には、インド南部の離島・ラクシャドウィープ諸島で1日100トンの水を造ることに成功した。同諸島には、真水の水源がほとんどない。そのため島の住民は、船で運んだ水を飲料水として使っていたが、この技術の完成以降は、船で水を運ぶ必要はなくなったという。

さらに2007年4月、インド南東部にある都市・チェンナイの沖35kmの洋上に浮かべた1000kW用に開発されたOTECプラント船で、1日1000トンの真水を精製することに成功している。ちなみに、採算ラインとされる規模だ。それだけに、この実験の成功は極めて大きい意味を持つ。実際、インドでは、この成果を受け、1000基に及ぶOTECの商用プラントを国内に建設する方針を固めた。いずれも2万〜5万kWクラスの大規模プラントである。

「インド側のコスト」

「残念ながら、OTECは地球上のどこでも実現できるわけではありません。表面水と深層水の温度差が大きい北緯20度から南緯20度までの海域が最適です。それより少し高緯度地方でも発電することができずから、実施可能な国は98カ国に及びます。その全域を電力で換算すれば約1兆kWのポテンシャルがあるはず。特に、パフオやミクロネシアのように海に囲まれた国であれば、国内のどこでもOTECによる発電を実施す

国家予算の3倍以上の エネルギーが 日本の経済水域に眠っている

「そういえば、経済水域の広さでは世界第6位を誇る日本も海に囲まれた島国だ。そして南西諸島や小笠原諸島なら、OTECを実施できるのだ。そして、わが日本の経済水域がもつポテンシャルを石油で換算すれば86億トンの油に匹敵するらしい。86億トンの石油を購入するとなると、必要な金は300兆円を軽く超えるだろう。つまり国家予算の3倍以上の金に相当するエネルギーが日本の経済水域には眠っているわけだ。もちろん、そのすべてを利用することはできないだろう。しかし、1%でも活用できれば、日本は何兆円分



総合監視室

かの石油を買わずに済むはずだ。日本政府は2007年7月、海洋基本法を施行した。この新法施行を受け、政府は、総理大臣が本部長を務める総合海洋政策本部を設置したほか、海洋の資源開発や排他的経済水域（EEZ）の治安維持などにも本腰を入れ始めた。それはそれでいい。ただ、EEZの治安を維持したり、海底の化石燃



模擬脱塩装置

料を確保するなど、守りの姿勢を強化するだけでは、少しさびしい。池上准教授は、こう指摘する。

「50億円もあれば十分。1000kWクラスの淡水化や水素製造、漁場造成、リチウム回収まで行なう複合利用システムOTECを造り、挑戦することができはります。日本はこの分野で世界をリードする技術とポテンシャルを持っていま

す。まさに、日本から世界に向けたイノベーションが生まれる可能性があるのです」

せつかく30年余り掛けて培った世界一の技術がわが国にあるのだ。そろそろ、四方を海に囲まれた日本としては、新しい資源・水と石油に代わるエネルギー確保に向けて、本腰を入れて取り組んでもよい時期ではないか。