

## 5-2 海洋温度差発電システム導入構想

### (1)導入構想の背景と当ビジョンでの対応

久米島の海洋は太陽エネルギーが豊富に蓄えられ、表層水の温度と深層水の温度差が15℃以上あることから、予てより海洋温度差発電に適した地域と目されてきた経緯がある。

海洋温度差発電ではないが、久米島にはすでに沖縄県の海洋深層水研究所があり、深層水の産業用利用、公共用利用が進んでいて、その利用を一步進めて温度差発電の可能性の議論が行なわれてきた。

しかし、現状の深層水は海底 600 mからの取水であり、水温も 12 度、取水量も日量 13,000 トンに過ぎないことから、現状の施設では海洋温度差発電は無理であり、温度差発電を行なうには、より深い深層水を大規模に取水することが必要との判断がなされてきた。

海洋深層水の需要は産業用に旺盛であり、すでに品不足に陥っていることから、地元では取水施設の増強が取りざたされている。

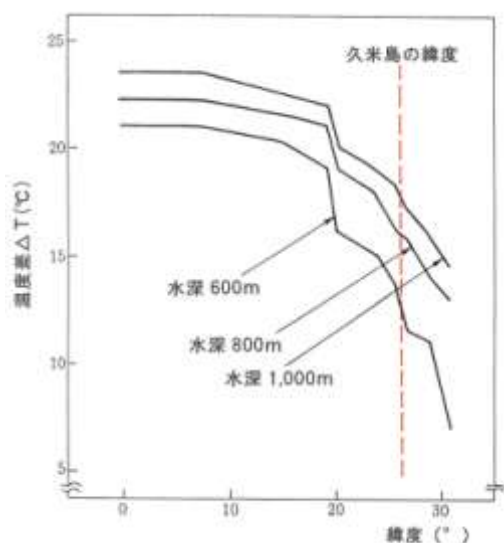
こうした中、地域新エネルギービジョンでは、化石燃料にのみ依存している久米島の電源に、久米島の地域特性を持った自然エネルギーである海洋温度差発電を、将来構想として取り上げることにした。

しかしながら、海洋温度差発電については、いまだ研究調査の段階であり、パイロットプラントの建設実績は過去に数例あるものの現在稼働中のプラントはなく、またエンジニアリングデータも最新のものは公表されていない。

そこで、以下では、現在入手可能な唯一のエンジニアリングデータである「太陽エネルギー学会：新太陽エネルギー利用ハンドブック（2001.10）」に掲載されている『海洋温度差発電技術』を利用し、データなどを引用しながら久米島での構想立案を試みた。

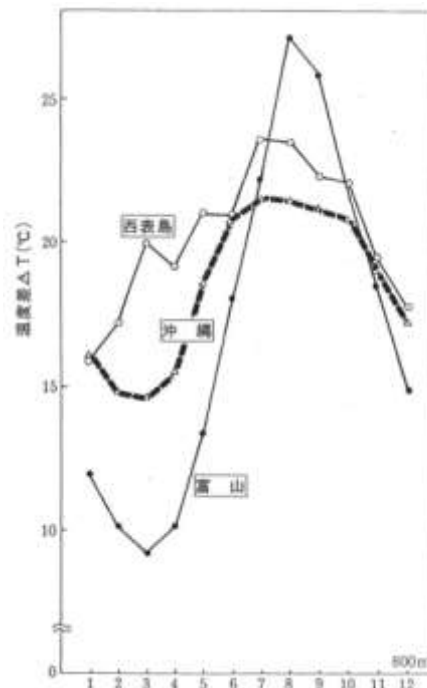
### (2)海洋温度差からみた久米島の特性

- ・久米島(仲里庁舎)は北緯 26° 20' 東経 126° 48' にあり、海洋の表層水温は年間 23℃～26℃を持つ亜熱帯に近い海域にあり、日射量も豊富である。久米島に降り注ぐ太陽エネルギーの一部は海洋の表層 0～100 m程度に熱として蓄えられ、量としては膨大な熱エネルギーの貯蔵庫になっているが、熱エネルギーの密度が低いためにそれを効率よく取り出すことが難しい。
- ・海水温は深くなればなるほど、極地からの冷却海水の地球規模での循環と潜り込みで水温は低くなる。
- ・海洋温度差発電は表層水温と深層水温の温度差をエネルギーとしてとらえ、カルノーサイクルを利用した熱機関によって動力エネルギーに変換するシステムであるので、温度差をいかに確保するかがシステムの効率の良し悪しを左右する。
- ・しかし、以下の二つのグラフに示したように、久米島の緯度からみて、久米島で確保できそうな温度差は年間平均してせいぜい 20℃どまりであり、すべての温度差が利用



温度差の水深による変化と緯度による変化  
[東経 137 度の場合]

出典：太陽エネルギー学会「新太陽エネルギー利用ハンドブック」



表層と水深 800 m との間の温度差（月別変化）

出典：太陽エネルギー学会「新太陽エネルギー利用ハンドブック」

できたとしても最大変換効率は潜在的にみて 6.6%程度で、熱機関でのエネルギー損失や深層水の汲み上げ動力、循環用動力でのプロセス内部消費を考えると、外部で利用可能なエネルギーへの最終的な変換効率は 3%程度ではないかと考えられている。

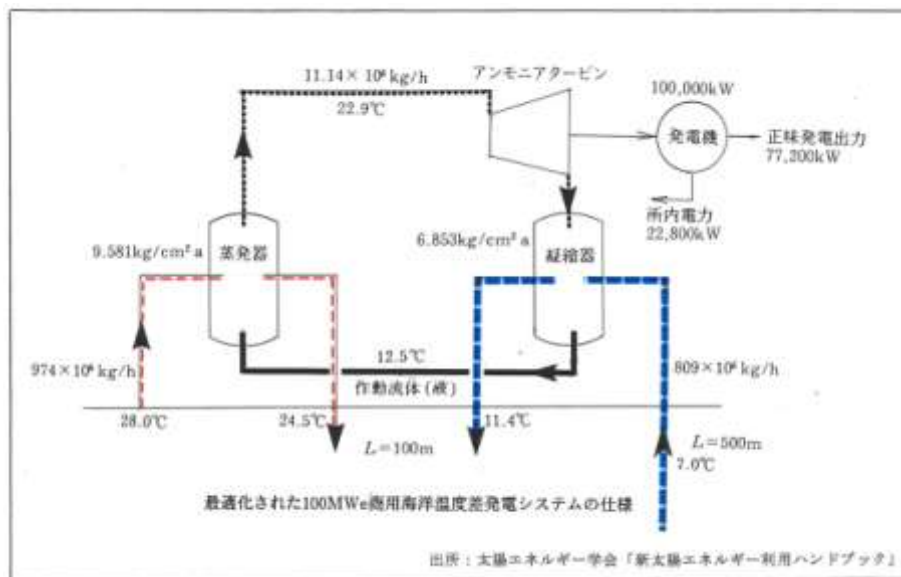
- ・また、海洋温度差発電施設には取水施設を中心に膨大なインシヤルコストが必要で、試算例によれば発電容量（発電端）1 kW あたり 1 千万円以上ともいわれ、また新聞報道（日経産業新聞 2006. 2. 14）によれば「小規模プラントでも開発には 100 億円はかかる」とされていて、インシヤルコストを発電プラントとしてまるまる負担した場合の発電システムとしての経済性はない。
- ・しかし、久米島での海洋深層水事業にみられるように、深層水そのものに商品価値が生まれてきていることは事実であり、深層水の持つ冷熱を様々な産業用に活用するなど、取水施設のインシヤルコストを関連産業で持ち合う方式をとれば、経済性は様変わりする可能性がある。
- ・久米島で可能性のある将来の関連産業プロジェクトとしては、
  - 久米島で近い将来民間ベースでの開発が期待されている大型観光リゾート施設における冷房用エネルギーとして、潜熱蓄熱剤を利用した低温深層水の活用、あるいは低温深層水のパイプライン輸送利用（JFEが類似の事業に乗り出している）
  - 深層水からのリチウム回収事業（深層水の場合、その清浄性から効率よくリチウムを回収でき、その市場はきわめて有望である）
  - 深層水に含まれる栄養塩を利用した大規模養殖漁業（深層水を有光層中に放流することにより植物プランクトンが増殖され、海洋肥沃化により集魚効果が向上する）などが考えられる。

- ・久米島は地下水が豊富なので、海洋温度差を利用した海水淡水化プロジェクトは成立が難しく、また水素への利用も風力発電の水素貯蔵利用の構想との兼ね合いで取り上げにくく、考えられるプロジェクトは上記の3点にとどまる。
- ・これまでの深層水利用分野の成長と、今後の利用分野の拡大により、そしてまた全体システムのエンジニアリング技術の大幅向上により、そして何よりも深層水の公共事業としての利用分野拡大によって、イニシャルコストの負担・分担低減と関連プロジェクトへの分散化＝相互持合いが進めば、海洋温度差発電のコストは現在の商用電力会社の発電コストを下回ることも十分考えられよう。
- ・なお久米島に海洋温度差発電を導入するメリットとしては、
  - 沿岸部に無尽蔵の資源があり、導入規模の制約がない。
  - 昼夜の別がない安定した電源であり、他の不規則不安定な電力を平滑化する効用がある。
  - 将来大規模な風力発電が導入された場合でも、出力平滑化のための電力貯蔵装置などは温度差発電の存在によって必要最小限にとどめ得るメリットがある。
  - 季節変動は十分に予測可能であり、計画的な発電ができることから、離島用発電設備としては運用しやすい。
  - 仮に既設の火力発電所の冷却水に冷熱を利用すると、発電効率の上昇により発電所側は大きなメリットを享受できる。
  - また、将来大型のリゾート施設などが普及し、冷房用の冷熱を深層水冷熱から供給することになると、その面でもメリットが生まれる可能性がある。

### (3)海洋温度差発電システムの構想

すでに述べたようにこのシステムを組むに際して利用可能なエンジニアリングデータはほとんどないが、唯一、太陽エネルギー学会の資料（以下、「学会資料」と略称する）にやや古いデータではあるが存在しているので、それを活用する。

そのデータは以下のように要約されている。



これを久米島で活用する仕方は次の通り。

- 学会資料は、海水の温度差を機械エネルギーとして取り出す熱機関としてカルノーサイクルを前提とし、そのサイクルがシステム上最適に近い形で実現した場合を想定しているのものでそのままでは利用できない。
- 学会資料では最適に近い姿を描くために、全体の規模を大型化し、発電容量（発電端）を 10 万 kW に設定してシステムデータを作成している。
- 発電容量 10 万 kW の場合の深層水汲み上げ量は、1 時間あたり 80 万トンに及び、その量は久米島では想定困難である。
- 学会資料で想定している発電効率は、

冷水入力 809,000 t/h  
温水入力 974,000 t/h  
計 1,783,000 k/h → 熱機関・発電 → 発電容量 100,000 kW

投入冷温水量を  $G$  (kg/秒)、熱機関のシステム効率を  $\eta$ 、比熱を  $C$ 、凝縮器および蒸発器での入出力温度差  $\Delta T$  を  $4.5^{\circ}\text{C}$  と読み取れば、

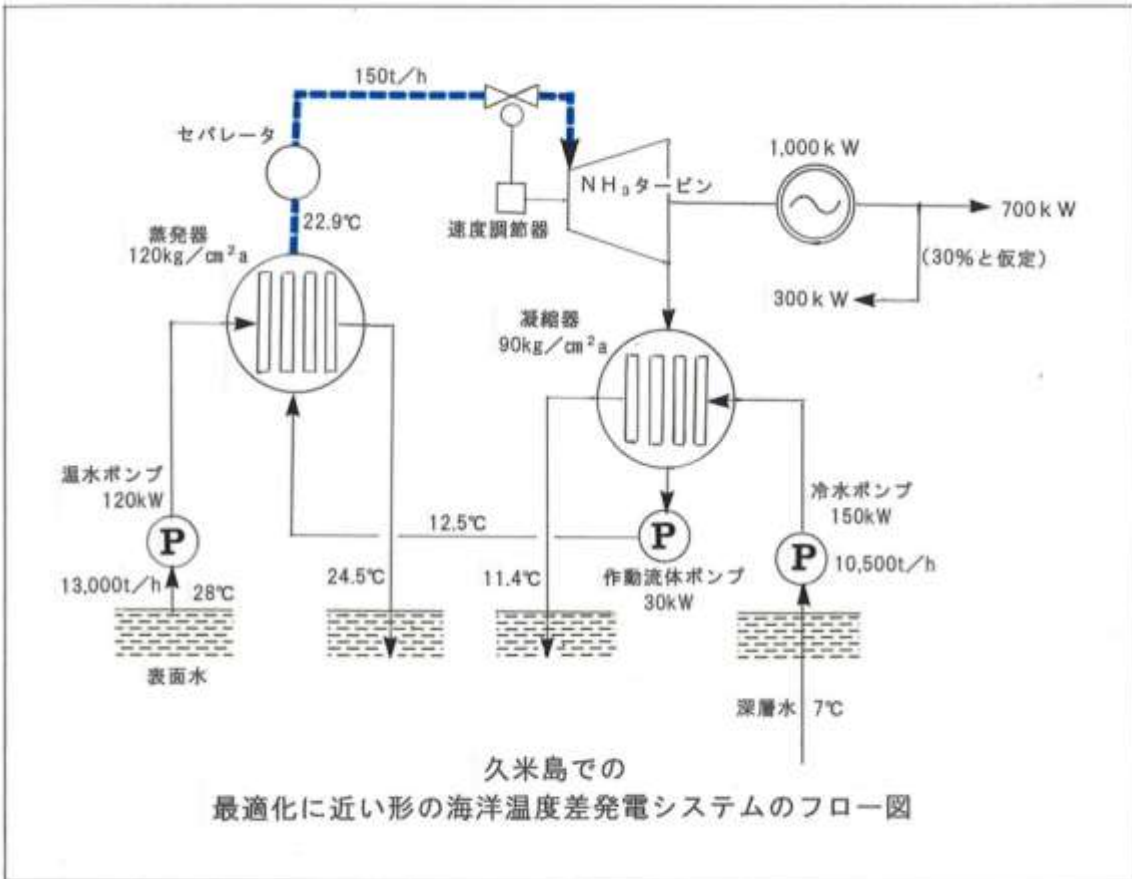
$$C \cdot G \cdot \Delta T \cdot \eta = \text{kW} = 100,000 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{これより、} \eta &= 100,000 \text{ kW} \div (1 \times 1,783,000 \div 3,600 \text{ 秒} \times 4.5^{\circ}\text{C}) \\ &= 100,000 \div 2,227,500 \\ &= 0.045 = \underline{4.5\%} \end{aligned}$$

と推計される。

学会資料では発電効率は明記されていないが、この 4.5% のシステム効率をもって「最適な姿」としているものと考えられる。

- 久米島で想定する発電容量を 1,000 kW とする。  
これは、現在の久米島町の電力需要ピークが 10,000 kW 以下であるので、その 1/10 を想定したものである。
- 規模が学会資料の 1/100 になったことを受けて、システム効率は「最適な姿」の 30% アップで「最適に近い形」のシステムと仮定し、発電容量に対する取水量も、ポンプ容量もすべて 30% アップでシステム全体を組み直す。
- こうして描かれた姿が次ページのフロー図である。
  - 要点を挙げれば：
    - 取得すべき温度差は深層水温  $7^{\circ}\text{C}$ 、表層水温  $28^{\circ}\text{C}$  でその差は  $21^{\circ}\text{C}$  である。
    - 深層水汲み上げ量は、1 時間あたり 10,500 t である。
    - 表層水利用量は、1 時間あたり 13,000 t である。
    - 熱機関としてのシステム効率は、 $4.5 \div 1.3 = 3.46\%$  である。
    - 自家消費・所内電力は発電端電力の 30%、300 kW である。
    - よって外部にて利用可能な送電端出力は 700 kW である。
    - 総事業費は少なくとも 500 億円以上と推察される。



海洋温度差発電研究会資料より抜粋  
 Courtesy: OTECA Japan  
 陸上型海洋温度差発電施設と深層海水の多目的利用イメージ図