

# 洋上型海洋深層水取水システムに関する一考察

大塚 耕司<sup>\*1</sup>, 板東 晃功<sup>\*1</sup>, 井上 久嗣<sup>\*1</sup>

## A Study on Floating-Type Deep-Seawater Upwelling System

Koji OTSUKA, Akiyoshi BANDO and Hisatsugu INOUE

In this paper, literatures on OTEC economics were reviewed, and comparisons of capital costs of deep-seawater upwelling systems between land-based and floating-type were performed. The results showed that the total cost strongly depends on the cold water pipe cost, and the total cost of floating-type is almost a half of that of land-based. A floating-type/land-based hybrid system, which consists of a submerged deep-seawater supply station, OTEC-hydrogen plantship, small-size deep-seawater application branches and deep-seawater shuttle tankers, was also proposed.

Key words: Deep-seawater upwelling system, Cold water pipe, Floating-type, Land-based, Economic analysis, OTEC-hydrogen plantship

### 1. 緒言

海洋深層水利用のための関連施設は、陸上設置型と洋上設置型に大別できる。OTEC (海洋温度差発電) 研究が盛んに行われていた 1970 年後半~1980 年代には、アメリカ、日本、フランスなどで多くの洋上型 OTEC プラントの提案がなされ、実際に OTEC-1 や Mini-OTEC などの洋上実験も行われた。我が国でも 1989~1990 年に富山湾でバージ船「豊洋」を使った深層水散布実験が行われたが、現在稼働している施設は国内外を問わずほとんどが陸上設置型であり、洋上型取水施設はわずかに沖縄の「海ヤカラ」のみとなっている。

しかし、建設・設置コストの多くを占める深層水取水管の長さが短縮されることから洋上型施設の方が経済的に有利であると言われており<sup>1)</sup>、今後商業ベースでの大規模な深層水利用施設を考えていく上で、洋上型の検討を行うことは重要であると思われる。そこで本研究では、これまでに行われた経済性評価に関する文献のレビューを行い、洋上型

(Floating-type)、陸上型 (Land-based)、沿岸タワー型 (Tower-mounted) の 3 タイプについてコスト比較を行うとともに、洋上型、陸上型それぞれの特長を活かした深層水利用施設のコンセプト提案を行う。

### 2. 経済性評価

これまでに行われた商業規模での深層水利用施設に関する経済性評価は、ほとんどが OTEC および OTEC を中心とする複合施設に関するものであり、1970~1980 年代に集中して行われている<sup>2), 3), 4)</sup>。

今回は、深層水取水装置に着目したコスト比較を行うことを目的としたので、コストの内訳が示されている 20 の施設のみを取り上げ (全て OTEC 関連施設となった)、さらに熱交換器やタービンなどの発電施設を除いた、構造物 (Structure)、深層水取水管 (Cold Water Pipe, CWP)、ポンプ (Pump) のみのコストについて分析した。Table 1 に各タイプの施設と、それぞれのコスト、1kW あたりのコストを示す。

原稿受付 平成11年2月15日

\*1 大阪府立大学工学部海洋システム工学科

(〒599-8531 大阪府堺市学園町 1-1)

Table 1 List of OTEC plants used in the economic analysis

Type	Name	Structure(Mt)	Structure (\$/kW)	CWP(Mt)	CWP(\$/kw)	Pump(Mt)	Pump(\$/kW)	Total(Mt)	Total (\$/kW)	Reference
Land-based	Vega I (1MW)	4.40	4,400	12.30	12,300			16.70	16,700	Vega (1992)
	Nihous (1MW)	5.10	5,100	9.90	9,900	0.90	900	15.90	15,900	Nihous et al. (1994)
	French (5MW)	33.60	6,730	20.50	4,100			54.10	13,780	Avery (1994)
	Vega II (10MW)	15.00	1,500	60.00	6,000			75.00	7,500	Vega (1994)
	OTC (40MW)	55.90	1,398	84.70	2,118	14.00		154.60	3,865	Avery (1994)
	Vega III (50MW)	75.00	1,500	120.00	2,400			195.00	3,900	Vega (1992)
Tower-mounted	GE (40MW)	114.00	2,850	65.90	1,648	7.60	190	187.50	4,688	Avery (1994)
	PREFA (40MW)	26.60	665	23.60	590	16.30	408	66.50	1,663	Avery (1994)
Floating-type	SOLARAMCO (40MW)	66.00	1,650	15.10	378	11.20	280	92.30	2,308	Avery (1994)
	George (46MW)	43.60	948	10.90	237	11.20	243	65.70	1,428	Avery (1994)
	Vega IV (50MW)	90.00	1,800	40.00	800			130.00	2,600	Vega (1992)
	CMU (100MW)	119.30	1,193	8.40	84	34.30	343	162.00	1,620	Homma (1980)
	EUROCEAN (100MW)	94.70	947	9.50	95	23.70	237	127.90	1,279	Homma (1980)
	Japanese (100MW)	116.00	1,160	49.40	494			165.40	2,099	Homma (1980)
	Andersons (100MW)	56.30	565	6.90	69	26.00	260	89.40	894	Homma (1980)
	TRW (100MW)	102.60	1,026	41.50	415	13.80	138	157.90	1,579	Homma (1980)
	Locheed (160MW)	156.80	980	6.00	38	54.60	341	217.40	1,359	Homma (1980)
	Avery I (200MW)	148.00	740	30.80	154	42.70	214	221.50	1,108	Avery (1994)
	Avery II (368MW)	182.00	495	47.00	128	65.00	177	294.00	769	Avery (1994)
	Umass (400MW)	124.00	310	33.50	84	95.50	239	293.00	633	Homma (1980)

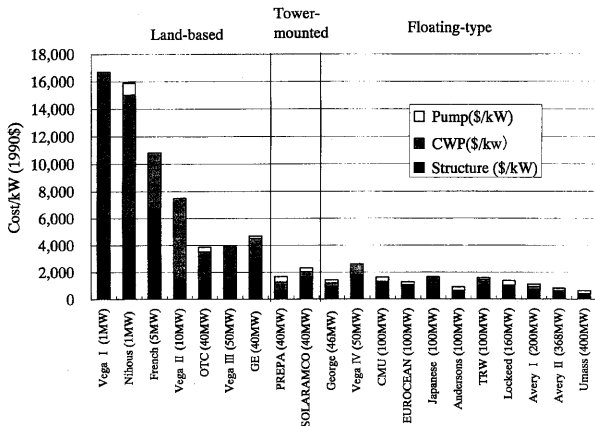


Fig. 1 Structure, CWP and pump costs of land-based, tower-mounted and floating-type OTEC plants

分析した全ての施設について 1kW の発電量あたりのコスト比較を行ったものが Fig. 1 である。ただし、それぞれの文献で経済性評価を行う際の通貨や年代が異なるため、最も多くの文献で扱われている 1990\$ で統一することにした。この際、\$1 を ¥110 および F (フラン) 5.5 として換算し、平均のインフレ率を 3% として計算した。陸上型の結果を見ると、10MW までの施設のコストが非常に高く、小規模施設がいかに経済的に不利であるかが理解できる。

陸上型施設について、サイズと全体のコストの関係を示したものが Fig. 2 である。なお、1kW あたり 260T/day と仮定した場合の深層水供給量による整理も行った。図中の直線は最小二乗近似法でフィッティングした値であり、1kW あたりのコストはサイズが小さくなるにしたがって、指数関数的に増加していることがわかる。これが、小規模な OTEC が、従来の発電施設と競争できない 1つの理由である。

ここで、全てのタイプで経済性評価が行われている 40～50MW クラスの施設についてタイプ毎に平均を取ってみた。Fig. 3 に示すように、構造物およびポンプのコストはいずれのタイプもほぼ同じような値となっており、全体のコストを

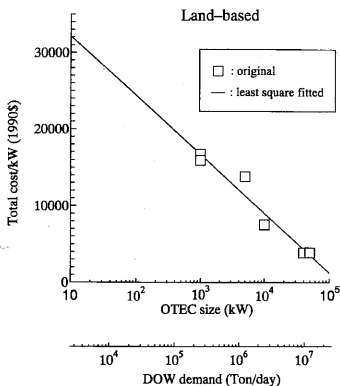


Fig. 2 Total costs of the land-based OTEC plants relating to the size

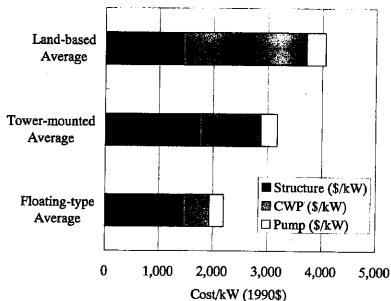


Fig. 3 Averaged structure, CWP and pump costs for 40 - 50 MW OTEC plants

大きく左右するのが取水管のコストであることがよくわかる。40～50MW クラスの施設の場合、洋上型施設の全体のコストは、陸上型施設の約1/2であり、その差は\$71 million (約78億円)となる。この結果からも、洋上設置型取水施設は取水管のコストが大幅に抑えられるため、陸上型施設に比べてかなり経済的に有利であることがわかる。

### 3. 水中ステーション式深層水取水システム

前節では、洋上型深層水取水施設の経済的有利さを定量的に明らかにした。しかし、洋上型施設において発電を行うにしても陸域への送電が問題となる。1つの解決策として、Nihousら<sup>5)</sup>は洋上で生産した電力を効率よく貯えて陸上へ輸送する方式として、OTEC電力で水素を生産し、貯蔵・輸送するシステムを提案している。

ここで、次のような沖合潜水式取水装置を考える。すなわち、海洋深層水 (Deep Ocean Water, DOW) が取水可能な沖合に、波浪外力の低減をはかる目的で潜水式とした取水/給水ステーション (Submerged DOW Supply Station) を置き、その上部水面に OTEC と水素生産施設を備えたプラント船 (OTEC-Hydrogen Plantship) を設置する。このプラント船は荒天時には取水/給水ステーションから切り離して回避することができる。

このシステムの最大の特長は、経済面で最も問題となる

取水管のコストを大幅に削減できることである。また、取水/給水ステーションを潜水式にし、さらにプラント船を荒天時に回避できるようにすることで設計外力を抑えられ、構造物そのもののコストも削減できる。

### 4. ハイブリッド式深層水供給システム

深層水利用の方法は様々であるが、OTEC のように常に大量の深層水を供給しなければならないものと、水槽での使用や食品生産などのように間欠的に供給してもかまわないものがある。洋上型取水施設に隣接して設置したほうが有利なもの前者であり、取水管の短縮は、コストの削減と冷熱保存の両方で有利である。Fig. 4 に様々な利用施設の深層水供給量を示す。OTEC の深層水供給量は、小さな利用施設にくらべ4桁の差がある。このことは大きな取水システムで、何千もの小規模施設に深層水を供給できることを意味する。

このことを考慮し、洋上・陸上ハイブリッド設置型の深層水供給システムを考えた。このシステムは Fig. 5 に示すように、前節の水中ステーション式海洋深層水取水システムを中心とし、いくつかの小規模な陸上型海洋深層水利用施設で構成される。なお、陸上設置型の深層水利用施設 (Land-based DOWA Facilities) へは深層水タンカー (DOW Tanker) を用いて簡潔供給する。

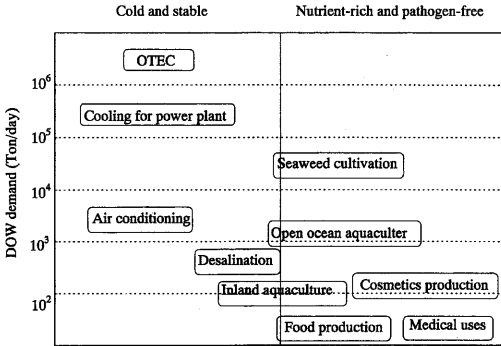


Fig. 4 DOW requirements of various applications

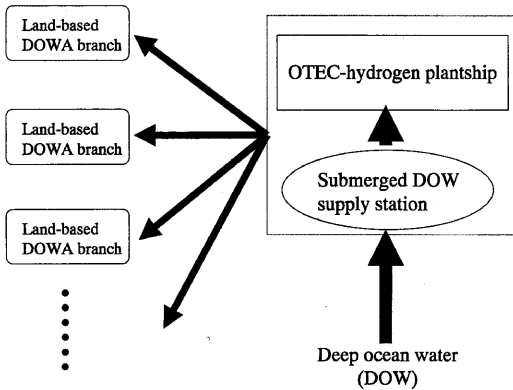


Fig. 5 Conceptual diagram of floating-type/land-based hybrid DOWA system

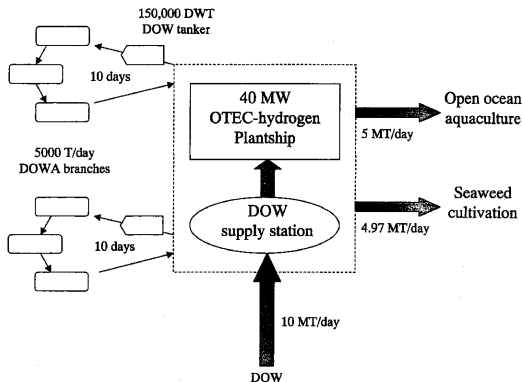


Fig. 6 DOW flows for an example of floating-type/land-based hybrid DOWA system

Fig. 6 は 40MW OTEC-Hydrogen Plantship を仮定した場合の深層水の流れを示している。40MW クラスの OTEC は日量約 10MT の深層水を必要とする。これを Submerged DOW Supply Station で取水し、Plantship に供給する。このような大規模取水になると小規模陸上施設に供給する深層水の割合はごくわずかになり、冷熱利用した後の排水はほとんどが海洋牧場や海藻生産に回されることになる。一方、陸上施設での深層水利用量が 1 ヶ所 5000T/day とすると、150,000DWT タンカー 2 隻で 6 つの施設に 10 日分の深層水を供給することになる。

## 5. おわりに

本報告では、文献調査を基に洋上型深層水取水施設の経済的有利さを定量的に明らかにするとともに、洋上設置、陸上設置双方の利点を損なわないシステムとして洋上・陸上ハイブリッド設置型の深層水利用システムの提案を行った。今回は一例として洋上型施設に OTEC と水産生産を目的としたプラント船を上げたが、用途や地域性などをさらに吟味すれば、様々なハイブリッド施設が考えられるであろう。また、取水/給水ステーションについても取水管の挙動など工学的に検討すべき点が多い。今後はこのような課題についても取り組んでいきたい。

## 参考文献

- 1) Vega, L.A., "Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)", Ocean Energy Recovery -The State of the Art-, Chapter 9, ASCE, 1992
- 2) 本間琢也, 黒木敏郎, 梶川武信: 海洋エネルギー読本, オーム社, 1980
- 3) Avery, W.H. and Wu, C., "Renewable Energy from the Ocean -A Guide to OTEC-", Oxford University Press, 1994
- 4) Nihous, G.C., Syed, M.A., Davis, R.L. and Vega, L.A., "Conceptual Design of a Small OC-OTEC Plant for the Production of Electricity and Fresh Water for a Pacific Island," Report of PICHTR, 1989
- 5) Nihous, G.C. and Vega, L.A., "Design of a 100 MWe OTEC-Hydrogen Plantship," Proc. of the 1st International Workshop on VLFS, pp.405-420, 199