

海洋深層水研究

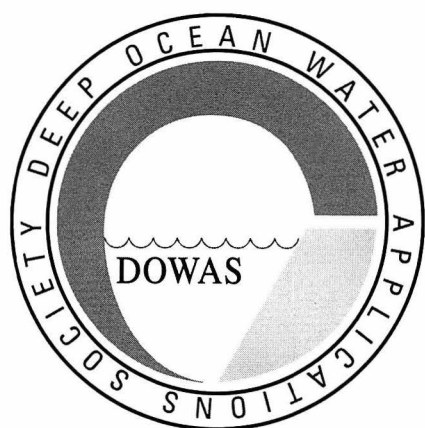
DEEP OCEAN WATER RESEARCH

第18回全国大会(伊万里大会)
特集号

第15卷第2号
2014年11月

海洋深層水利用学会
Deep Ocean Water Applications Society

第18回海洋深層水利用学会全国大会



海洋深層水 2014 伊万里大会

講演要旨集

主 催：海洋深層水利用学会
共 催：伊万里市
後 援：文部科学省・水産庁

海洋深層水研究

第15卷第2号(2014)目次

Deep Ocean Water Research Vol.15 No.2 Contents

目 次

第18回 海洋深層水利用学会全国大会 2014 伊万里大会 講演論文 57-98

共催先案内 99

CNTENTS

Proceedings in 18th Annual Meeting in IMARI of Saga Prefecture	57-98
Venue Guidance	99

第18回 海洋深層水利用学会 全国大会
海洋深層水2014伊万里大会
プログラム

11月20日(木)

I. オープニング

- 9:00— 9:05 開会挨拶 海洋深層水利用学会会長
高橋 正征 (東京大学名誉教授・高知大学名誉教授)
- 9:05— 9:10 実行委員長挨拶 海洋深層水2014伊万里大会実行委員長
池上 康之 (佐賀大学海洋エネルギー研究センター教授)
- 9:10— 9:15 来賓祝辞
塚部 芳和 (伊万里市市長)
- 9:15— 9:30 休憩

II. 一般講演1〈海洋・水質／生物・水産／農業・畜産関連〉

57(1)

座長 鈴木 達雄 ((株)人工海底山脈研究所)

- 9:30— 9:45 1. 沖ノ島島海域における海洋深層水利用のための海洋調査 58(2)
○荒木 謙伸・植田 貴宏・一瀬 純弥・西田 哲也 (独立行政法人
水産大学校) 浦田 和也・池上 康之 (佐賀大学海洋エネルギーセン
ター)
- 9:45—10:00 2. 韓国鬱陵島海洋深層水の特性とせりの水耕栽培研究 59(3)
○金庸桓・朴賢基・全得山・金昌坤 (慶北海洋バイオ産業研究院・研
究開発部、韓国)、魚再善 (京東大学 海洋深層水学科、韓国)
- 10:00—10:15 3. パイロシーケンス法による日本各地の海洋深層水の微生物群集構造解析 60(4)
○梁 太熙・山田 勝久・今田 千秋 (東京海洋大学・院)、
中山 二郎 (九州大学)、五十嵐 康弘 (富山県立大)、
池上 康夫 (佐賀大学海洋エネルギー研究センター)
- 10:15—10:30 4. 海洋深層水を用いた水耕栽培技術の検討 61(5)
○野村 道康・伊東 智恵・鈴木 正宏・山田 勝久 ((株)ディーエ
イチシー)、今田 千秋・小林 武志・寺原 猛 (東京海洋大学・院)
- 10:30—10:45 5. 海洋深層水の冷熱を利用した島ラッキョウの価格高騰期生産 62(6)
○兼島 盛吉 (沖縄県海洋深層水研究所)、谷合 直樹 (沖縄県農業研
究センター)

Ⅲ. 一般講演2 〈健康・医療関連〉		63(7)
座長 白石 學 (一般社団法人 マリノフォーラム21)		
10:45—11:00	6. 海洋深層水を利用したバブル型天然洗顔料の満足度調査	64(8)
	○魚 再善 (京東大学海洋深層水学科・韓国)、金 怜希 (京東大学海洋深層水融複合学科・韓国)、金 仁淑・金 濟東・崔 秉哲 (パインリッジリゾート・韓国)、金 庸桓 (慶北海洋バイオ産業研究院・研究開発部、韓国)	
11:00—11:15	7. 海洋深層水基礎化粧品の原料開発およびその保湿効果について	65(9)
	李 士畦 (台湾工業技術研究院)、○黄 秉益 (台湾石材・資源センター)	
11:15—11:30	8. 海洋深層水飲用マウスの免疫賦活(腫瘍増殖抑制効果)とその候補蛋白	66(10)
	○端口 佳宏・中川 光司・池上 良成 (赤穂化成(株))、竹内 啓晃・杉浦 哲朗 (高知大学 医学部)	
11:30—11:45	9. 海洋深層水の摂取によるピロリ菌増殖の低下はカスパーゼ-1／インフラマソーム／ピロトーシス・シグナル伝達の抑制による効果	67(11)
	鄭 劍廷 (台湾師範大学)、林 怡汝・○黄 秉益 (台湾石材・資源センター)、楊 智欽 (台湾大学付属病院)	
11:45—12:00	10. Ca/Mgおよび海洋深層水が線維芽細胞に及ぼす影響	68(12)
	○山田 勝久・鈴木 正宏・野村 道康・柴田 雄次 ((株)ディーエイチシー)、今田 千秋 (東京海洋大学・院)	
12:00—12:15	11. 津波被害水田において稲作は可能か (育苗実験)	69(13)
	○木村 美恵子 (タケダライフサイエンスリサーチセンター、京都府立医科大学)、竿本新太郎・武田 隆久 (タケダライフサイエンスリサーチセンター)、中川 光司・池上 良成 (赤穂化成(株))、吉川 敏一 (京都府立医科大学)	
12:15—13:15	昼食	
Ⅳ. 海洋深層水利用学会式典		
13:15—13:30	「学会賞」授与式	
Ⅴ. 特別シンポジウム：次世代の海洋深層水大規模利用への挑戦		
13:30—13:35	趣旨説明・司会	71(15)
	大内 一之 (東京大学大学院新領域創成科学研究科特任研究員)	
13:35—14:05	S 1. 今、なぜ“海洋深層水”か？	72(16)
	○高橋 正征 (海洋深層水利用学会会長、東京大学・高知大学名誉教授)	
14:05—14:35	S 2. 新しいステージに向かう OTEC 開発の国内および海外の動向	73(17)
	○池上 康之 (佐賀大学海洋エネルギー研究センター教授)	
14:35—15:05	S 3. 海洋温度差発電用熱交換器の開発と久米島実証プラントへの適用	78(22)
	○實原 定幸 ((株)ゼネシス・代表取締役社長)	
15:05—15:15	休憩	

15:15—15:45	S 4. ジャパン マリンユナイテッドの浮体技術と海洋温度差発電 および洋上風力発電への取り組み ○栗島 裕治・北小路 結花・吉本 治樹 ((株)ジャパン・マリン・ユナイテッド)	79(23)
15:45—16:15	S 5. 陸上設置型取水技術の検討 ○清水 勝公・堀 哲郎・白枝 哲次 (清水建設(株))	83(27)
16:15—16:45	S 6. 台湾東部の海洋深層水産業発展の挑戦 ○劉 金源 (台湾国立台東大学学長、台湾深層海水資源利用会 理事長)、 黄 秉益 (台湾石材・資源センター研究員、台湾深層海水資源利用学会事務局長)	89(33)
16:45—16:55	休憩	
16:55—18:00	質疑の部 司会：大内 一之／応答者：講演者各位	

VI. 懇親会

18:30— (21:00) 「伊万里迎賓館」

11月21日(金)

VII. 一般講演3〈利活用システム関連他〉		91(35)
座長 山下 和則 ((株)エコニクス)		
9:00— 9:15	1 2. 腸管モデル細胞による海洋深層水の β -クリプトキサンチン吸収促進作用 ○白倉 義之・向井 克之 (ユニチカ(株))、野村 道康・ 山田 勝久 ((株)ディーエイチシー)	92(36)
9:15— 9:30	1 3. 海産食品衛生における海洋深層水の利用と羅臼漁港の事例 ○山内 繁樹・山下 和則・筒井 浩之 ((株)エコニクス)、 長野 章 (全日本漁港建設協会)、高橋 正征 (東京・高知大学名誉教授)	93(37)
9:30— 9:45	1 4. 2段ランキンサイクル海洋温度差発電システムの最適運転条件に関する実験 ○森崎 敬史・楠田 英佑・池上 康之 (佐賀大学海洋エネルギー研究センター)	94(38)
9:45—10:00	1 5. 久米島における海洋深層水複合利用に関する調査 ○浦田 和也・永江 壽光・廣 智恵・池上 康之 (佐賀大学海洋エネルギー研究センター)	95(39)
10:00—10:15	1 6. 漁港内に放流した深層水の挙動解析 ○多部田 茂・加藤 孝義・鈴木 翔太・大内 一之 (東京大学・院)	96(40)
10:15—10:30	1 7. 海洋深層水を活用したカキ浄化システム ○鷺足 恭子 ((株)ヒューマンウェブ)	97(41)

- 10：30—10：45 18. 人工海底山脈による補償深度付近での鉛直混合について 98(42)
○鈴木 達雄 ((株)人工海底山脈研究所)、武田 真典 (一般社団法人
水産土木建設技術センター)、本田 陽一 ((株)環境風土テクノ)
- 10：45—11：00 休憩

VIII. 閉会挨拶

- 11：00—11：10 海洋深層水利用学会理事
大内 一之 (東京大学大学院新領域創成科学研究科特任研究員)

- 11：10—11：30 昼食配布

- 見学会 11：30—16：30
- | | |
|-------------|-------------------------|
| 11：30— | 市民センター発 (大型バス 1 台・車内昼食) |
| 11：45—12：45 | 佐賀大学海洋エネルギー研究センター視察 |
| 13：05—14：30 | 大川内山視察 (現地ボランティアガイド案内) |
| 14：40 | 伊万里駅 |
| 15：10 | 武雄温泉駅 (博多行みどり号 15：27 発) |
| 16：30 | 佐賀空港 (羽田行 18：50 発) |

Deep Ocean Water Research, 15 (2), 57, 2014

一般講演 1

〈海洋・水質／生物・水産／農業・畜産関連〉

座長 鈴木 達雄
(株式会社 人工海底山脈研究所)

1. 沖ノ島海域における海洋深層水利用のための海洋調査

○荒木 謙伸・植田 貴宏・一瀬 純弥・西田 哲也（独立行政法人 水産大学校）
浦田 和也・池上 康之（佐賀大学 海洋エネルギーセンター）

1. はじめに

現在、海洋エネルギーを利用する再生可能な代替エネルギーの開発が検討されており、その1つとして海洋熱エネルギーを利用する海洋温度差発電（OTEC）システムが考えられている。OTEC システムは、再生可能エネルギーを利用した発電システムのうち、唯一安定した電力を供給するベースロード型発電システムになり得ると考えられている。日本周辺には、OTEC 設置に適する海域は複数箇所存在するが、特に沖ノ島は日本国内で唯一熱帯に区分され、OTEC システムに有望な海域と考えられる。本研究では、OTEC システムの設置と海洋深層水を利用した海洋肥沃化を目的として、2013 年に沖ノ島において海洋調査を行った。また、調査結果を元に 2006 年の調査結果との比較を行った。その結果を示す。

2. 調査場所および採水方法

調査は、沖ノ島周辺の $20^{\circ} 21.9' N \sim 20^{\circ} 26.9' N$, $136^{\circ} 01.94' E \sim 136^{\circ} 09.03' E$ の範囲で水産大学校練習船天鷹丸により行った。St. 1~5 の 5 箇所の調査点において、水深、水温および塩分について、電気伝導度水温水深計（以下 CTD）を用いて計測した。また、CTD に取り付けられた採水器により各層で採水を実施し、採取したサンプル水は凍結保存後、陸上にて栄養塩の分析を行った。各調査点での差異があまり認められなかったため、代表的な結果として St. 1 の結果を記述する。

3. 結果と考察

3.1 水温

図 1 に、2013 年、2006 年の St. 1 における水温の鉛直分布を示す。図より 2013 年においては、表層で $27.5^{\circ}C$ 、水深 600 m 付近で $7.2^{\circ}C$ となり、水深とともにさらに徐々に低下し、水深 1000 m 付近で約 $4^{\circ}C$ となった。表層と水深 1000 m の間の温度差は約 $23^{\circ}C$ であった。また、2006 年の調査結果とはほとんど差異がみられなかった。水温差は OTEC の可否を決める重要な条件であるが、本調査結果より、その条件は満たしていると考えられる。

3.2 塩分

図 2 に、2013 年、2006 年の St. 1 における塩分の鉛直分布を示す。図より 2013 年においては、表層で 34.6 PSU、水深 100 m でいったん 35.0 PSU に上昇した後、緩やかに下降し水深 600 m で 34.1 PSU となった後、再び上昇して水深 1000 m で表層とほぼ等しい値となった。また、2006 年の調査結果とはほとんど差異がみられなかった。

3.3 栄養塩（ケイ酸塩）

図 3 に St. 1 および 2 における栄養塩（ケイ酸塩）の鉛直分布を示す。水深が深くなるに従いケイ酸塩濃度は上昇し、水深 1000 m では $113 \mu mol/l$ であった。また、St. 1 と 2 の間に濃度の差は認められなかった。

4. まとめ

OTEC システム設置と海洋深層水を利用した海洋肥沃化を目的として、2013 年に沖ノ島において海洋調査を

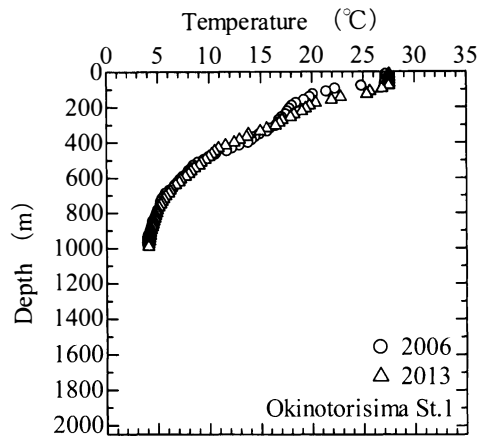


図 1 水温鉛直分布

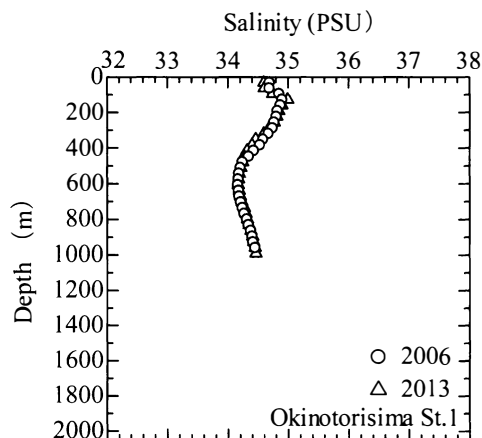


図 2 塩分鉛直分布

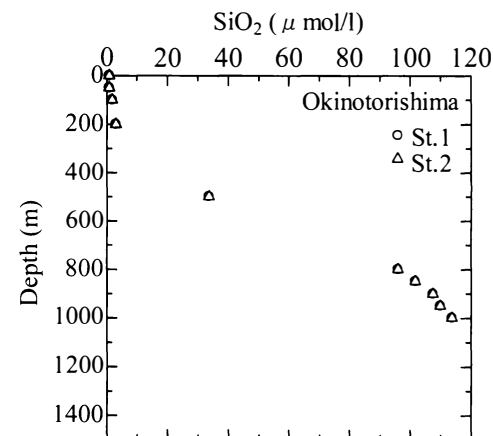


図 3 栄養塩（ケイ酸塩）

行った。

- 1) 調査点の水温の鉛直分布は OTEC の温度条件を満たしていると考えられる。
- 2) 調査点の塩分の鉛直分布は、表層で 34.6 PSU、水深とともに緩やかに下降し水深 600 m で 34.1 PSU となり、それより深くなると上昇して水深 1000 m で表層とほぼ等しい値となった。
- 3) ケイ酸塩濃度は、水深 1000 m で $113 \mu mol/l$ であった。

2. 韓国鬱陵島海洋深層水の特性とせりの水耕栽培研究

○金 庸桓・朴 賢基・全 得山・金 昌坤(慶北海洋バイオ産業研究院・研究開発部、韓国)
魚 再善(京東大学 海洋深層水学科、韓国)

1. はじめに

消費者保護や海洋深層水関連産業育成のため、海洋深層水の水質を把握することは重要である。今回、韓国鬱陵島海洋深層水について、無機物濃度や放射線等の変動及び特性について調べた。さらに、海洋深層水を利用した水耕農業の可能性と効率性を検討した。すなわち、海洋深層水を利用してせりを栽培し、その成長及び生理活性から FTA 代替作物としての可能性を検討した。

2. 実験方法

鬱陵島では、水深1,500m (HP)、720m (JD) 及び418m (TH) の3つの水深から海洋深層水を取水している。調査では、海洋深層水取水海域の上記3水深において、CTD(Sea Bird Electronics社SBE911plusモデルIDRONAUT)を用いて、水温、pH、Turbidity、塩分、DOを測定し、同時に、GoFlow採水機により採水して、栄養塩(NO₃-N、NO₂-N、PO₄-P、SiO₂-Si)を栄養塩自動分析機(Bran-Lubbe ACCSV)により分析するとともに、大腸菌数を調べた。微量金属は、ICP(Varian 720ES)で、主要元素のNa、Mg、Ca、Kおよび有害金属のCd、Pb、Cu、Hg等を分析した。また、放射能の汚染物質においては、Caesium(Cs-137)、Strontium(Sr-90)、Tritium(3H)を測定した。せりの研究では敷地165㎡規模のビニルハウスを設置して、その内部に、水耕栽培及び土耕栽培システムを構築した。水耕栽培システムは、200L容培養液タンクとベッド部から成り、配管と循環ポンプにより培養液を循環させた。ベッド部には長さ10mの循環式ベッドが5つあり、さらに各ベッドは16口ホールあるベッド計10個から成る。循環ポンプの供給パイプは規格25mmを使用し、自動制御システムで駆動時間をコントロールした。せりの栽培には、種類別に青道(CD)在来種と蔚珍(UJ)せりを活用しており、成長や栽培のために海洋深層水20%、海洋深層水10% 脱塩水、海洋深層水及びミネラル水を用い、いずれもpH 6.4、EC1.3に調整した。二つ品種のせりを用いて成長実験を行い、せりの生理活性特性を評価した。生理活性の方法でSOD測定は以下 図1のように行いました。

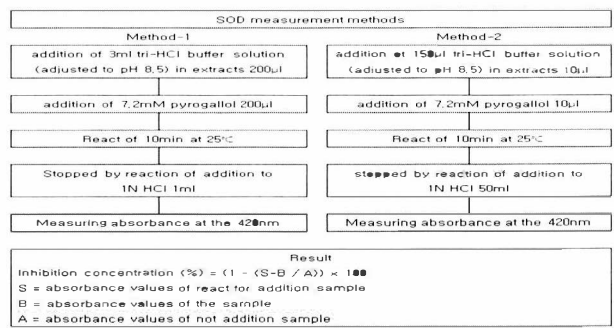


Fig.1. Superoxide dismutase(SOD) measurement method

3. 結果

TH、JD 及び HP の水温はそれぞれ、0.918、0.569 及び 0.226℃、塩分濃度は、34.1、34.1 及び 34.1(PSU)、水素

イオン濃度は、7.61、7.52 及び 7.45、Na 濃度は、11,004、10,467 及び 10,768mg/L、Mg 濃度は、1,304、1,263 及び 1,299mg/L、Ca 濃度は、426、399 及び 407mg/L、K 濃度は、393、374 及び 381mg/L で、いずれの項目も 3 水深間に差はなかった。また、大腸菌は不検出、酸化窒素濃度は、0.217、0.253 及び 0.269mg/L、リン酸濃度は、0.040、0.046 及び 0.052mg/L、ケイ酸濃度は、0.878、1.403 及び 0.878mg/L であった。Cd、Pb、Cu 及び Hg 等の有害金属はいずれも基準値以下であった。放射能物質は、3H が MDA 値以下であり、137Cs は、1.527、1.372 及び 1.051mBq/l、90Sr は、1.221、1.039 及び 0.625mBq/l であり、いずれも基準値以下であった。

せりの水耕栽培では、いずれの水を用いても、青道(CD)在来種、蔚珍(UJ)せりが一番良い成長を示した。また、土耕栽培でも、いずれの水を用いても、青道在来種、蔚珍 1 号せりがもっとも良好な成長を示した。せりの生理活性は、図 2 に示すように、総 ポリフェノール含量では、海洋深層水 20%の溶液で、もっとも高い値を示した。ラジカル消去能と SOD 測定結果でも、海洋深層水 20%の溶液で、最高の活性を示した。総ポリフェノール含量とラジカル消去能の相関性を分析したところ、総ポリフェノール含量が多いほど、ラジカル消去能は高いことが分かった。また 総ポリフェノール含量とラジカル消去能との間には 57.95%の相関があった。

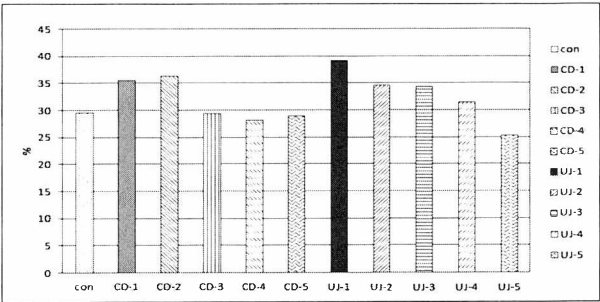


Fig. 2. Superoxide dismutase like activity of dropwort extracts

以上から、海洋深層水 20%溶液を水耕栽培に用いると一番良い結果を得られることが示されたが、それは、海洋深層水に豊富に含まれる栄養塩やミネラルが、せりの成長により影響を与えられたことによると考えられる。今後、栽培方法および実験結果について農家に広報し、農家所得の増大を図っていきたい。

参考文献

1. 金庸桓, 朴賢基, 金衡坤, “鬱陵島海洋深層水の水質特性”, (社)韓国海洋深層水研究会(2014).

2. Yong-Hwan Kim, “Study on Water Culture System by Water Dropwort production using Deep Sea Water, (社)韓国海洋深層水研究会(2013).

3. パイロシーケンス法による日本各地の海洋深層水の微生物群集構造解析

○梁 太熙・山田 勝久・今田 千秋(海洋大)・中山 二郎(九州大)
・五十嵐 康弘(富山県立大)・池上 康夫(佐大海エネ)

1. 目的

近年、陸上微生物由来の新規有用物質の発見は極めて少なくなっている。その為、海洋由来微生物に関する研究が活発に行われている。特に最近では海洋深層水(以下 DSW)中の微生物に注目が集まってきている。DSW は表層水(以下、SSW)に比べ微生物数が少ないことが知られているが、現場に生息する微生物は低温、高圧、暗黒という特殊な環境に適応していると考えられることから新しい有用微生物の発見が期待される。そこで産業上有用な微生物の探索に向けて、DSW と SSW 中の微生物群集構造を解析し、それらを比較検討して DSW 中の微生物群集構造の特異性を検証することを目的とした。

2. 実験方法

本研究では日本各地(久米島、甕島、室戸、伊豆赤沢、富山、岩内、羅臼)から SSW および DSW (2013 年 5 月、8 月)を入手し、微生物群集構造解析の試料として用いた。各試料を $3.0\mu\text{m}$ フィルターにて濾過後、その濾液を更に $0.2\mu\text{m}$ フィルターにて濾過し、そのフィルター上に集菌された微生物の DNA を常法により抽出後、細菌用プライマーを用いて PCR 増幅を行い、得られた PCR 産物を常法により精製後、パイロシーケンサー (GS FLX Titanium,

Roche) を用いて微生物群集構造を解析した。

得られた生データは QIIME ソフトにより分析を行い、サンプルごとに OTU (Operational Taxonomic Unit、分類操作単位)に分類し、これらのデータを集計し、各サンプル間の微生物群集構造をクラスター解析した。

3. 結果及び考察

クラスター解析の結果、日本各地 DSW の群集構造は太平洋側のグループと日本海・オホーツク海側グループの 2 つに大きく分かれた。一方、SSW の群集構造は何れの海域グループでも関連性が見られなかった。これらのサンプル中の微生物を同定した結果、全海域の DSW 中には *Planctomyces* 属、また SSW 中には *Flavobacteria* 属の細菌が普遍的に確認された。図 1 に示すように、日本各地の全海域において、未同定の微生物が SSW よりも DSW に多く見られたことから、DSW からの新規微生物の分離が期待される。

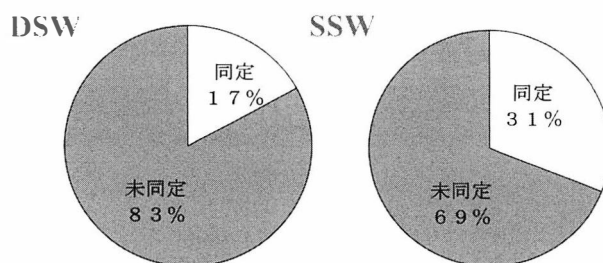


図 1 日本各地 DSW 及び SSW の微生物同定結果

4. 海洋深層水を用いた水耕栽培技術の検討

○野村 道康・伊東 智恵・鈴木 正宏・山田 勝久（㈱ディーエイチシー）

今田 千秋・小林 武志・寺原 猛（東京海洋大学・院）

1. 目的

海洋深層水の原水（以下、DSW）は低温・清浄・富栄養などの資源性を有していることから様々な分野への利用が期待されているが、農業分野への利用研究例はまだ少ない。我々はこれまで DSW を用いた各種野菜の栽培試験を行い、DSW 由来のミネラルの付与や、硝酸態窒素含量の減少などの傾向を見出した。しかし、DSW による長期間の栽培では野菜の生長が阻害される現象が確認され、産業利用上の課題となっている。

そこで本研究では伊豆赤沢 DSW を用い、DSW による栽培期間を変えて野菜を栽培し、DSW に含まれる主要ミネラルを指標に、野菜の生長を阻害することなく DSW 中のミネラルを野菜に移行させる栽培方法を検討した。

2. 方法

京水菜、小松菜、ほうれん草の計 3 品種の種子を水道水で発芽させた後、完全閉鎖型の野菜プラントにて、電気伝導度 (EC) が 1.5 dS/m となるように肥料（大塚 A 処方）を添加した養液で栽培した。収穫まで 30 日間とし、それぞれ収穫前の 2、4、6、8 および 10 日間を 20% DSW となるように調整した養液（以下、20% DSW 養液）に切替えて栽培する各試験区を設定した。なお、対照区は DSW を用いない養液で 30 日間栽培した。

収穫後、各野菜の可食部を細切し、常法に従って野菜 1g に対して 1%塩酸 50mL を加え、室温で 1 時間振盪抽出した後、ICP 発光分析装置（ICPE-9000、島津製作所）により Na、K、Ca 及び Mg 含量を分析した。

3. 結果及び考察

実験の結果、20% DSW 養液による栽培期間を通して野菜の生長に顕著な阻害は見られなかった。また、3 種の野菜ともに 20% DSW 養液による栽培期間の長さに相関して Na 含量が増加した。Na 以外のミネラルについて、ほうれん草では栽培期間の長さに相関して Mg 含量は緩やかに増加し、K と Ca 含量は減少した。一方、京水菜と小松菜では、20% DSW 養液による栽培が 2 日間の区で K、Ca および Mg 含量が増加した。これらのことから、20% DSW 養液による栽培が短期間でも各野菜のミネラル含量に変化が見られ、最も短い 2 日間においても DSW 中のミネラルが野菜に吸収されることが確認された。一方、京水菜とほうれん草の 20% DSW 養液による栽培が 4 日間以上の区では Mg 含量は増加せず、K と Ca 含量は減少する傾向が見られた。

以上をまとめると、DSW による栽培期間の長さと相関して、全ての野菜において Na と Mg 含量が増加し、K と Ca 含量が減少する傾向が見られた。また、このことから野菜のミネラル吸収に際し、Na と K 及び Mg と Ca にそれぞれ拮抗作用がある可能性が推察される。

今回の結果から、2 日間という短期間でも DSW 中のミネラルが野菜へ吸収されることが確認され、これまで DSW による栽培において懸念されてきた塩分による生長抑制のリスクを最小限に抑えつつ、DSW 中のミネラルを含有する野菜を栽培する可能性を示すことができた。今後はヒトの健康に寄与するその他の成分についても DSW による栽培における含有量の変化を測定し、高付加価値野菜の栽培方法について検討を行っていく予定である。

5. 海洋深層水の冷熱を利用した島ラッキョウの価格高騰期生産

○兼島 盛吉・谷合 直樹※（沖縄県海洋深層水研究所）

1. はじめに

沖縄県の島ラッキョウは、人気の島ヤサイとして急激に消費が伸び、それに伴って栽培面積、生産量とも拡大してきた（図1）。しかし、島ラッキョウは、高温により休眠に入るため、盛夏期の8～12月の生産量は極端に少なくなる（図2）。この時期に市場価格は高騰するが、飲食業などの業務用を中心に需要が増加しており、周年出荷が要望されている。

そこで、海洋深層水（10℃前後）との熱交換で得られる約12℃の冷淡水を利用した地中冷却栽培条件下で、盛夏期に島ラッキョウを栽培し、その生育状況を調査し価格高騰期における生産の可能性を検討した。

2. 方法

沖縄県の在来系統（石川系統・農研センター分譲種球）とラクダ種（本土系統・伊江島産購入種球）の2系統を供試した。

栽培試験は、沖縄県海洋深層水研究所内鉄骨ハウス（240m²（8×30m））で、1区2.16m²（180cm×120cm）、栽植密度：条間20cm×株間20cm（54株/区）で実施した。

植付けは、地中冷却区と非冷却区の種球の重量差が無いように調整（株長20cm）し、3月、5月、7月、9月の4回、畝底（地表面より10cm下）に行った。植付け後8週目に平培土、10週目に高培土（地表面より10cm覆土）を行った。

地中冷却条件は、冷水温度12℃（熱交換水）、送水管埋没深度10cm、送水管配置間隔20cm、送水管1本あたり流量20/minとした。送水管は、塩ビ管（VE22mm）を用いた。

生育調査は、植付け後12週目から、3週間置きに6回（27週目まで）、それぞれ9株について生存株数、株重、調整重量、分球数などを計測した。調整重量は、根部1cm、地上葉部20cmで切除した残りとした。生存株率は、

定植後27週目までの54株当たりの生存株数を基に算出した。

3. 結果

非冷却区の地温は、気温とほぼ同様の変化を示したが、地中冷却区の地温は、施設内の平均気温が30℃を超える7月から9月期においても、非冷却区よりも9～10℃低く推移した。生存株率は、いずれの植付け月においても、非冷却区に比べ地中冷却区の方が高くなり、特に、3月～7月植付けではその差が大きくなった。3月から7月に植付けたものでは、夏季に非冷却区では生長が見られなかったが、地中冷却区では休眠に入ることなく生長が続いた。

今回の結果から、海洋深層水を用いた地中冷却栽培により島ラッキョウを栽培することで、価格高騰期に当たる8月～12月にも、島ラッキョウを生産できる可能性が示された。今後、地中冷却栽培法に要するコスト面からの検討も重要であると考えられる。

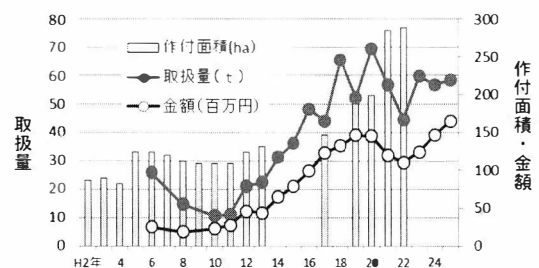


図1. 島ラッキョウの作付面積および取扱量と金額

園芸・工業作物市町村別統計書（内閣府沖縄総合事務局）
沖縄県中央卸売市場年報 より作成

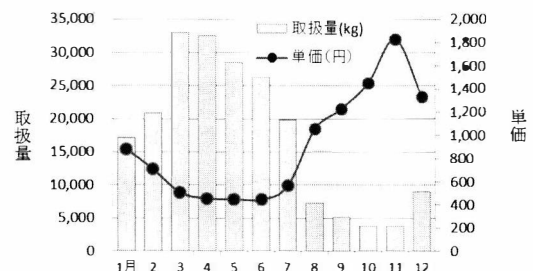


図2. 島ラッキョウの月別取扱量と平均単価
沖縄県中央卸売市場（平成21～25年平均）

※沖縄県農業研究センター

一般講演 2

〈健康・医療関連〉

座長 白石 學
(一般社団法人 マリノフォーラム 21)

6. 海洋深層水を利用したバブル型天然洗顔料の満足度調査

○魚再善（京東大学 海洋深層水学科、韓国）、金怜希（京東大学 海洋深層水融複合学科、韓国）

金仁淑・金濟東・崔秉哲（パインリッジリゾート、韓国）、金庸桓（慶北海洋バイオ産業研究院・研究開発部、韓国）

1. はじめに

最近のトレンドは、食生活からファッション・ビューティーまで、環境に優しい、オーガニック、自然主義を標榜しながら、生活全般に化学成分が少ない製品を探す人が増えてきている。化粧品市場での自然主義的な傾向は、天然素材、有機材料、環境に優しい素材の開発に影響を与え、海洋深層水の自然化粧品に活用し、効果的に海洋深層水の化粧品の原料として適用しようとする。

2. 方法

アンケートは、海洋深層水を用いたバブル型天然洗顔剤使用した後の満足度を調査した。アンケートの回答者は、京東大学の在学学生を対象に実施した。先行研究のアンケートをもとに、本研究の目的に合うように再構成した。アンケートの質問の構成は、一般的な事項(2問)と洗顔料を乳購入した一般的な特性(3問)、皮膚や洗顔料に対する関心度(6問)、海洋深層水を利用したバブル型天然洗顔剤の満足度(9問)などで構成した。

3. まとめ

総回答者数は106人で、性別は男性が58%で、女性が42%となった。年齢は20歳～29歳が80%、30歳～39歳は14%、40～49歳が5%、50～59歳が1%となった。

洗顔料を購入した一般的な特性について調査したところ、洗顔料購入頻度は1ヶ月毎に18%、3か月毎45%、6ヶ月毎に28%、12ヶ月毎に9%であった。また、洗顔料購入費用は5000ウォン未満が10%で、5000ウォン～1万ウォン以下40%で、1万ウォン～2万ウォン以下43%で、その他で7%として現われた。洗顔料購入タイプは、クリームタイプが46%、石鹸タイプ16%、粉タイプ5%、液体タイプ14%、バブルのタイプ19%で、調査された。

皮膚と洗顔剤に対する関心度を調査した結果、まったく関心がないが6%、関心がない13%、通常であるが

38%、少し興味があるが26%となった。自分の肌のタイプは乾燥肌が22%、中性肌が16%、脂性(オイリー)肌39%、多重度の皮膚18%、敏感肌が5%として現われた。皮膚問題で病院治療の経験があると答えた対象は20%で、ないと答えた対象は80%と調査された。洗顔料の要素に対する質問では、要素のほとんどを知っているが4%、一部の要素だけを知っているが38%、ほとんど知らないが38%で、興味がないが20%で、調査された。また、洗顔料を購入際に、重視する点は、ブランド、または会社が40%で、価格が23%で、要素が18%、その他が15%で、容器が4%で、調査された。洗顔料を購入する場所としては、化粧品店が56%、インターネットショッピングモールが26%で、デパートまたは、マートが13%、訪問販売4%、その他が1%として現われた。

使用した後、最も良い点は、皮膚問題が改善されたが20%、肌の保湿力が良くなったが48%、毛穴が改善されたが4%、皮膚がホワイトニング(美白)になったが28%に調査された。今後の使用意思に対するアンケートでは、使用するが73%、使用しないが27%と調査された。また、適正な価格としては5000ウォン～1万ウォンが37%、1万ウォン～1万2千ウォンが43%、1万3千ウォン～1万5千ウォンが14%、その他が6%で、調査された。洗顔料の適正容量は、100mlが8%、150mlが42%、200mlが43%、その他が7%で、調査された。

海洋深層水を用いたバブル型天然洗顔料の使用した後の満足度調査結果は、満足度はよいのとしてランク付けされた。本研究では、ウォーター類の原料として海洋深層水を用いたバブル型天然洗顔料に対する関心を高め、海洋深層水を用いたバブル型天然洗顔料開発の基礎資料として活用しようとする。

本研究は、中小企業庁（中小企業技術振興院）が実施している中小企業契約学科(海洋深層水融複合学科)のサポートで実行された産学研究結果の一部である。

7. 海洋深層水基礎化粧品の原料開発およびその保湿効果について

李 士哇(台湾工業技術研究院)、[○]黄 秉益(台湾石材・資源センター)

1. はじめに

皮膚は加齢、紫外線、喫煙や環境汚染などで機能が衰退し老化する。皮膚の老化の指標には保湿力がよく使われ、表層皮膚の場合は水分含量が指標となる。本研究では海洋深層水から得たミネラルを原料に調製した化粧水で保湿効果を検討した。具体的には海洋深層水で作製した化粧品試料が皮膚の保湿力または質の改善効果の有無やそれによる悪影響を調べた。

2. 実験方法

(1) 化粧品試料の調製および実験条件

本研究に用いた化粧水試料は一定成分のエッセンシャル・リキッドを逆浸透水で濃度が30~40%になるように希釈したものをベースにして、さらに海洋深層水の原水から作製したミネラル組成の異なる原料水(低塩分低ミネラル水(Aw)、低塩分高ミネラル透析水(Bw)、低塩分高ミネラル水(Cw)と高塩分低ミネラル透析水(Dw))を添加して、4種類を調製した。それぞれの試料に添加された海洋深層水原料水の割合はL1でAw 40~50%、L2でAw 20%+Bw 20~30%、L3でAw 20%+Cw 20~30%、L4でAw 25%+Dw 20~30%である。上記のL1~L4とは別に逆浸透水を40~50%の割合で添加した試料をコントロールとして準備した。被験者は20~30歳の女性25名をランダムに5グループに分けて保湿力、皮脂量とpH、さらにしわテストを行った。全てのテストは相対湿度が60±5%、温度が25±1℃の状態に保っている室内で行った。

(2) 保湿力テスト

皮膚の保湿力テストは角質水分測定器(corneometer, コルネオメーター)と経表皮水分蒸散量メーターを用いて、頬皮膚の角質水分含量を部位ごとに短時間周期と長時間周期に分けて測定した。短時間周期は使用直後に10分ごとに測定し、長時間周期は毎朝晩使用して、毎週1度測定して、4週間を続けた。

(3) 皮脂量とpHテスト

皮脂量が高いと酸化して毛のうが塞がり、やがてにきびや吹き出物などの原因になるので、ここではスキンpHメーターを用いて、額の皮脂量とpHを測定した。化粧品を使用した後の皮膚のpHは4.5~6.5が正常である。

(4) しわテスト

ここでは目尻のしわを対象に、化粧水試料の使用前後の形や大きさの変化を調べた。

3. 結果と考察

保湿力テストの結果、海洋深層水を添加した化粧水試料は逆浸透水のみを添加したものに比べて、ほとんどの試料で保湿力の向上効果が確認された。結果が最も顕著なL2試料は短時間テストで最大28%、長時間テストで最大47%の保湿力が向上した。一方で、L3試料は長時間テストで保湿力がやや低下した。

表1 海洋深層水原料の添加による化粧水試料が皮膚含水率に与える影響。結果はコントロールを基準にした比較値で示す。

使用時間	L1	L2	L3	L4	Control
使用前	103%	105%	115%	122%	100%
使用直後	97.3%	100%	101%	102%	100%
10分後	118%	128%	127%	124%	100%
20分後	114%	114%	116%	121%	100%
30分後	108%	104%	106%	114%	100%
40分後	125%	121%	123%	127%	100%
1週間後	104%	123%	91.5%	104%	100%
2週間後	124%	147%	97.8%	115%	100%
3週間後	117%	131%	95.1%	107%	100%
4週間後	114%	133%	94.8%	108%	100%

皮脂量については化粧品の使用後に増加しないことが望ましい。実験の結果、海洋深層水原料を添加した化粧水の使用後に皮脂量が増加せず、使用前後に皮膚pHの変化は0.26以下に抑えられた。

しわテストの結果、表層皮膚の保湿力が向上したため、しわの深さや大きさが明らかに改善した。真皮層の修復に微量元素が必要なため、海洋深層水のミネラルがそれを補ったと推察される。

台湾では化粧品の原料はほとんど輸入に頼っているため、原料の取得や処方の確保は中小規模の業者の最重要な課題である。本研究では海洋深層水のミネラル成分を用いた原料処方大幅に使用効果を向上させ、基礎化粧水の皮膚浸透や保湿力の評価において、重要な根拠を提供した。

8. 海洋深層水飲用マウスの免疫賦活(腫瘍増殖抑制効果)とその候補蛋白

○端口 佳宏・中川 光司・池上 良成(赤穂化成㈱)、
竹内 啓晃・杉浦 哲朗(高知大学 医学部)

1. 目的

我々はこれまでに、海洋深層水より調製した高ミネラル水の飲用によるヒトの健康に与える有益な効果として、循環器系疾患の改善、免疫の賦活、ピロリ菌の増殖抑制があること、また動物実験では腫瘍細胞の増殖抑制効果などを認め本学会で報告してきた。

本報告では、現在実施している腫瘍細胞の増殖抑制機序を解明するために、高ミネラル水飲用時に腫瘍組織内で発現量が変化した蛋白の解析経過を報告する。

2. 方法

5 種類の高ミネラル水(マグネシウム/カルシウム(mg/L)、A : 100/200、B : 150/150、C : 200/70、D : 240/0、E : 0/350)を高知県室戸沖より採水した海洋深層水を用いて調製し、試験水として用いた。コントロールには精製水を用いた。試験は、試験水または精製水を2週間摂取させたヌードマウス(雄、4週齢)後頸部皮下に、腫瘍細胞(MNN-45:ヒト胃ガン由来細胞、または HeLa : ヒト子宮ガン由来細胞) 1×10^7 細胞を移植し、さらに2週間試験水または精製水を自由摂取させた後に、腫瘍組織・血清を取得した。

摘出した腫瘍組織の超音波破碎物と血清および抗マウス IgG 抗体を用いてウェスタンブロットを実施し、高ミネラル水摂取群とコントロール群で抗体反応プロファイルと比較した。

抗体反応プロファイルで、差が認められた箇

所のゲルを LC-MS/MS 分析に供し、差を認めた箇所に含まれる候補蛋白を得た。

それら各候補蛋白の mRNA から cDNA を作製し、候補蛋白遺伝子と His タグ付の融合蛋白を遺伝子組換え法にて作成した(His 融合蛋白産生プラスミド)。プラスミドは大腸菌内で誘導発現させ、超音波破碎後に得られた各融合蛋白を同じ血清および抗マウス IgG 抗体を用いてウェスタンブロットを実施し、その反応性から絞り込みを行った。

現在は、FLAG と各候補蛋白遺伝子の融合蛋白産生プラスミドを作製し、それらを導入した腫瘍細胞を作製している(transfectant)。今後はそれら transfectant を使用し、目的蛋白を発現誘導することで、腫瘍細胞増殖抑制効果の確認を MTT 試験で実施する。

3. 結果・考察

コントロール群と比較して高ミネラル水摂取群は、腫瘍サイズが MKN-45 および HeLa ともに有意に小さく、抗体反応プロファイルでは、MKN-45 は約 50kDa、HeLa は約 50kDa と約 30kDa にコントロールでは認めないバンドを確認した。そのバンドの LC-MS/MS 解析の結果、MKN-45 は 44 種類、HeLa は 31 種類の腫瘍増殖抑制に関与する可能性のある候補蛋白が得られた。ウェスタンブロットで MKN-45 は 9 種類、HeLa は 5 種類まで絞り込み、さらに現在は数個の transfectant が作製でき、MTT 試験にて viability の評価を進めている。

9. 海洋深層水の摂取によるピロリ菌増殖の低下はカスパーゼ-1/インフラマソーム/ピロトーシス・シグナル伝達の抑制による効果

鄭 劍廷(台湾師範大学)、林 怡汝・[○]黄 秉益(台湾石材・資源センター)
・楊 智欽(台湾大学付属病院)

1. はじめに

水深 200m 以深から汲み上げられる海洋深層水は清浄かつ性質が安定していることから、含有資源が様々な商品に利用されている。近年は深層水に含まれているイオンが着目され、これまでに多くの研究によって血中脂肪の減少、アレルギー反応や胃潰瘍症状の軽減効果が確認された。医学的に高濃度のマグネシウム摂取はピロリ菌 (*Helicobacter pylori*) の感染を防ぎ、胃潰瘍や胃食道逆流の症状を改善することが知られ、深層水から製造したマグネシウムイオンが多く含まれた飲料水にも同様の効果があると報告されている。そこで、本研究では海洋深層水由来の飲料水による、ピロリ菌が原因である胃潰瘍症状の改善の仕組みについて解明を試みた。

2. 材料と方法

本研究ではピロリ菌による胃病変に重要であるインフラマソーム/カスパーゼ-1・シグナル伝達に着目し、ピロリ菌増殖実験、細胞実験 (*in vitro*)、動物実験 (*in vivo*) および臨床実験によって、海洋深層水由来の硬度の異なる飲料水による影響を調べた。細胞実験は AGS 細胞、動物実験は BALB/c ラットが用いられ、臨床実験は実際にピロリ菌の感染

が確認されている患者で行った。試料水は海洋深層水原水を減圧濃縮して、途中で生成する固体物を取り除いて濃縮液を得、それに逆浸透水を使って必要な硬度に調整して実験に提供した。

3. 結果と考察

細胞実験および動物実験の結果、ピロリ菌の増殖は海洋深層水由来飲料水の硬度の増加にしたがって減少し、さらにインフラマソーム/カスパーゼ-1・シグナル伝達が抑制されることによって胃上皮細胞の損傷が軽減した。細胞実験と動物実験ではピロリ菌によるカスパーゼ-1 とカスパーゼ-1/IL-1 β 活性の上昇の抑制、NADPH オキシダーゼ gp91phox、CD68 およびアポトーシスの増加、さらにオートファージの減少が確認され、ラットの胃粘膜損傷の軽減が確認された。臨床実験では、海洋深層水由来の飲料水を 14 日間摂取した患者に、ピロリ菌の感染症状が低減したことが明らかとなった。以上の結果から、ピロリ菌による胃病変はインフラマソーム/カスパーゼ-1・シグナル伝達に関係すると考えられ、適切な海洋深層水由来飲料水の摂取はこのシグナル伝達を抑制し、ピロリ菌感染を有効に根絶できることが示唆された。

10. Ca/Mg および海洋深層水が線維芽細胞に及ぼす影響

○山田 勝久・鈴木 正宏・野村 道康・柴田 雄次 (株DHC)、
今田 千秋 (東京海洋大学)

1. 目的

ヒトの健康への利用では、海洋深層水 (DSW) に豊富に含まれるミネラル類の特徴 (Ca/Mg 含有比が陸水と逆転する) について非常に興味を持たれるところであるが、その摂取意義を考慮した基礎的な研究報告は未だ少ない。なお、ヒトの健康と Ca/Mg 摂取比の関係については、Karppanen *et al.* (1978) の研究が有名である。彼らは食事から摂取する Ca/Mg 比が増大すると、虚血性心疾患による死亡リスクが上昇することを世界的規模の研究で明らかにした。彼らの報告に端を発して今日に至るまで、ヒトや動物による研究報告は数多く見られるが、生体を構成する最小単位である細胞に関する研究は殆ど見られない。そこで本研究では、ヒト由来の培養線維芽細胞 (以降、NB1RGB) を用いて Ca/Mg 比が細胞活性に及ぼす影響と細胞活性が低下する Ca/Mg 比における DSW 添加効果について調査することを目的とした。

2. 方法

NB1RGB を培養シャーレでコンフルエント状態まで培養後、常法で細胞を剥離して新しい培養シャーレ 2 枚に継代した。この操作を重ねて継代回数とした。なお NB1RGB の培養は、全て 37 °C, 5 % CO₂ の条件で行い、細胞の増殖及び前培養は 10 % FBS 含有イーグル MEM 培地を用いた。上述の NB1RGB を 96 穴マイクロプレートに 2×10⁴ 個/穴になるように播種し、1 日間前培養を行った。前培養後、培地中の Ca 濃度が、概ね健常なヒトの血清中の濃度の範囲 (2.0~3.5 mM) となるように CaCl₂ を用いて調製後、各 Ca 濃度における Ca/Mg 添加比が 0~4 となるように MgCl₂・6H₂O で調整

して 1 日間培養した。なお細胞活性は MTT 還元法により測定した。さらに Ca/Mg 添加比の増大とともに細胞活性の低下が見られる継代回数が 19 回の NB1RGB を用いて各 Ca/Mg 比における DSW 添加 (終濃度, 0.5%) の影響を調べた。

3. 結果および考察

継代回数が 10 回及び 12 回の NB1RGB では、Ca 濃度の増加および Ca/Mg 添加比に関わらず高い細胞活性が確認された。しかし、継代回数が 14 回以上では Ca 濃度に関わらず Ca/Mg 添加比の増大に伴って細胞活性が低下し、Ca/Mg ≥ 2 では細胞活性がほぼ消失した。そこで継代回数が 19 回の NB1RGB を用いて、各 Ca/Mg 添加比における DSW 添加の影響を調査した結果、Ca/Mg ≤ 2 において DSW の添加が細胞活性の低下を抑止する効果が観察された。

本研究に供した NB1RGB は分裂寿命を有する正常細胞であり、その継代回数はすなわち細胞の老化を意味するとされている。本研究において継代回数が多い老化した細胞は Ca/Mg 添加比の増大に伴って細胞活性が顕著に低下したことから、若い細胞では全く影響のない Ca/Mg 比であっても、老化した細胞にとっては致命的な負荷因子となる可能性が示唆された。さらに老化した NB1RGB で DSW の添加効果を調査した結果、DSW 添加により Ca/Mg ≤ 2 の範囲ではあったが、細胞活性の低下を抑止する効果が確認された。

参考文献

Karppanen, H., R. Pennanen and L. Passinen (1978) Minerals, coronary heart disease and sudden coronary death. *Adv. Cardiol.*, 25, 9-24.

1 1. 津波被害水田において稲作は可能か(育苗実験)

○木村 美恵子 (タケダライフサイエンスリサーチセンター、京都府立医科大学)

竿本 新太郎・武田 隆久 (タケダライフサイエンスリサーチセンター)

中川 光司・池上 良成 (赤穂化成㈱) 吉川 敏一 (京都府立医科大学)

1. 目的

海洋国日本に生きる我々は海と深い関係のもとで生活してきている。2011 年 3 月の東日本大震災により岩手県、宮城県などの田畑は大きな津波被害を受けた。その後、海水の塩分被害を受けた田畑は除塩処理が必須と考えられ、農業従事者の大きな難題となった。しかし、除塩処理をしない水田において塩害なく、寧ろ、例年より豊作であったとの実態も散見される。今回、水田稲作の海水による塩害とミネラル成分の動向について、深層海水を用いて水稻育苗実験を行なったので報告する。

2. 方法

本実験には、蒸留水で洗浄した砂を用いて砂栽培を行なった。種籾は京都産コシヒカリを用い、次の 5 群(5 種類の水耕水)、① 対照群(蒸留水)、② 低 Na 深層海水群(Na;74, K;69, Ca;70, Mg;200 ppm)、③ 深層海水 10 倍希釈群(Na;1080, K;41, Ca;46, Mg;130 ppm)、④ 深層海水 6 倍希釈群(Na;1800, K;69, Ca;76, Mg;217 ppm)、⑤ 深層海水 4 倍希釈群(Na;2700, K;104, Ca;114, Mg;325 ppm)とした。

播種後 16 日目、23 日目に草丈、葉(葉身+葉鞘)重量および総根重を測定した。それらの試料をマイクロウェーブサンプル分解装置(MULTIWAVE, Perkin Elmer 社製)を用い硝酸にて湿式灰化処理後、ミネラル 6 元素(Na、K、Ca、Mg、P、Zn)を、誘導プラズマ発光分析装置(ICP-AES Perkin Elmer 社製)にて測定した。統計処理は危険率 5%で一元配置分散分析を行い、有意なものについて Bonferroni 型多重比較検定を行った。

3. 結果

草丈; 播種後 16 日目の草丈は、低 Na 深層海水群は対照群に比較して有意に高値であった。深層海水 10 倍希釈群、深層海水 6 倍希釈群、深層海水 4 倍希釈群の草丈は水耕水の Na 濃度が高値になるに従い有意に低値となった。23 日目も同様の傾向が見られた。**葉(葉身+葉鞘)重量**; 播種後 16 日目の深層海水 4 倍希釈群葉重量はいずれの群と比較しても有意に低値であった。23 日目も同様の傾向が見られた。**総根重**; 播種後 16 日目では低 Na 深層海水群、深層

海水 10 倍希釈群および深層海水 6 倍希釈群は深層海水 4 倍希釈群に比較し有意に高値であった。23 日目は各群間に有意な差は見られなかった。

ミネラル濃度についてみると、**Na 濃度**; 播種後 16 日目の葉および総根ともに深層海水 4 倍希釈群の Na 濃度は対照群に比較して有意に高値であった。水耕水の Na 濃度依存的に高値傾向があった。23 日目も同様の傾向が見られた。**K 濃度**; 播種後 16 日目の葉および総根ともに、低 Na 深層海水群は、Na 濃度とは異なり、対照群に比較して有意に高値であった。23 日目も同様の傾向が見られた。**Ca 濃度**; 播種後 16 日目の深層海水 4 倍希釈群葉中濃度はいずれの群と比較しても低値であった。23 日目は各群間に有意な差は見られなかった。**Mg 濃度**; 播種後 16 日目の低 Na 深層海水群葉中濃度はいずれの群と比較しても高値であった。播種後 23 日目の深層海水 4 倍希釈群葉中濃度はいずれの群と比較しても高値であった。対照群総根中濃度はいずれの群と比較しても有意に低値であった。**P 濃度**; 播種後 16 日目の深層海水 4 倍希釈群葉中濃度は対照群に比較して有意に低値であった。23 日目は各群間に有意な差は見られなかった。**Zn 濃度**; 播種後 16 日目は各群間に有意な差は見られなかった。播種後 23 日目の深層海水 10 倍希釈群、深層海水 6 倍希釈群および深層海水 4 倍希釈群総根中濃度は低 Na 深層海水群に比較して低値であった。

4. 考察とまとめ

津波被害を受けた水田での稲作は例年より豊作であったと報じられている。通常、海水による塩害が課題であるが、水田は河川水の導入により希釈され塩害無く、海水中のミネラルが痩せた土地の肥料となっている可能性が考えられる。稲において Na は濃度依存的に吸収されるが、他の必須ミネラルは高塩により寧ろ吸収が低下し、植物の栄養であるミネラルバランスを崩し、これらが加わって塩害による植物生長を阻害している可能性がある。塩害について Na のみではなく、他の栄養源であるミネラルを総合的に検討することが今後の課題であろう。

特別シンポジウム

次世代の海洋深層水大規模利用への挑戦

司会 大内 一之

(東京大学大学院新領域創成科学研究科特任研究員)

S1. 今、なぜ“海洋深層水”か？

○高橋 正征

(海洋深層水利用学会会長、東京大学・高知大学名誉教授)

1. はじめに

人類は、産業革命以前は、身の回りにある薪炭・水力・風力などの“再生資源”エネルギーを主として利用した(図1)。17・18世紀の産業革命以降、石炭・石油・天然ガス・ウランウムといった地下資源に代わった。地下資源からは大量のエネルギーが得られ、20世紀は食糧生産や人々の物質的豊かが飛躍的に伸びた(図1)。しかし、地下資源は非再生のため資源量が有限で、その上、利用によって廃棄物が出、地球の環境変化が起こった。21世紀に入り、資源を再生型に転換して持続性を強化する方向へと世界的な大転換の機運が生まれている。

再生資源の多くは、資源密度が低く、効率的な利用が難しかった。しかし、知識の蓄積と技術開発が進み、以前は利用できなかった低密度資源の効率的利用が可能となり、20世紀に享受した地下資源で支えられた豊かな社会の維持・発展の可能性が見えてきた(図1)。

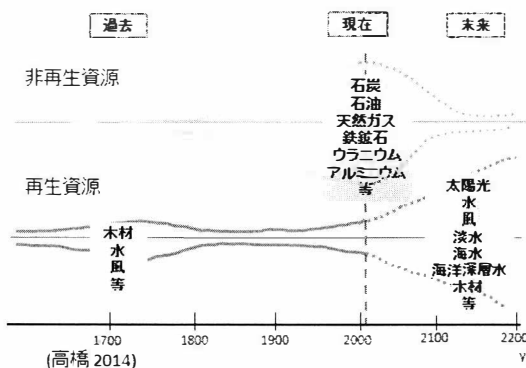


図1. 人類が利用してきた非再生と再生のエネルギー資源の過去から現在への変遷(実線)と未来予想(点線)。

再生資源で良く取り上げられる太陽光・風力はいずれもエネルギーだけだが、海水からはエネルギーをはじめとして必要な各種金属類、肥料、水、ミネラルなども取り出せる。

2. 海洋深層水の資源とその利用

海水の90%以上を占める海洋深層水(以下、深層水)は、エネルギー・水・肥料・各種金属・レアメタル・ミネラル・塩などの資源を低濃度だが大量に安定して含み、これらの資源は1~数1,000年で再生する。

深層水は資源密度が低いため、資源利用では一般に巨大量が必要になる。これまで日本で開発されてきた深層水の資源利用は、どちらかといえば少量での事業利用と、大規模利用のための実験が主であった。今後も、引き続き少量を対象とした利活用は鋭意検討していく必要があるが、今や、海洋温度差発電・深層水冷房・水産生物生産・金属やレアメタル抽出などの深層水を大量に必要とする本格的な事業利用を考える時期に来ている。これらの利用では、日量で数100万~数1000万トン規模の深層水が必要となる。国内の深層水取水規模は、最大の沖縄県久米島で日量13,000トン、国内16か所の深層水施設の全取水能力は日量5万トン未満である。

日量数万トン以上の大容量の深層水を恒常的に陸上揚水する技術の確立が急がれる。

S 2. 新しいステージに向かう OTEC 開発の国内および海外の動向

ー再生可能エネルギーにおける安定電源の役割を目指してー

池上 康之（国立大学法人 佐賀大学 海洋エネルギー研究センター）

1. はじめに

海洋温度差発電(Ocean Thermal Energy Conversion: OTEC)の系統連系が沖縄県久米島で世界に先駆けて 15 年ぶりに始まった。現在、海洋温度差発電の研究開発は、オイルショック以降の第一次ブームにつづく、世界的な第二次ブームが到来したと言われている。

オイルショック以降、他の自然エネルギーと同様に OTEC も欧米や我が国を中心として精力的に行われた。しかし、オイルが下落すると、我が国を除いて、ほとんどの国で研究が停滞した。1990 年代の米国の OTEC の評価は、「海洋温度差発電は、技術的には、可能であるが、現在の原油価格では、経済的には、採算が取れない。少なくとも、1 バレル 49 ドルを超えないと経済的でない」と言うものだった。それ以降、OTEC の商用化は 20 年先、50 年先と長年言われてきた。

一方、2008 年に 1 バレル 140 ドルを超えるなど、原油価格の高騰とともに、エネルギー問題や環境問題が世界的な緊急課題として顕在化し取り沙汰されるなか、近年 10MW 級の商用プラントを目指して、米国やフランスを初め海外でも始まっている。この動向は、海洋温度差発電が、再生可能エネルギーのなかで地熱発電のような「安定性」が期待されることが大きな要因であるとされている。いわゆる変動が大きい再生エネルギーとの組み合わせにおいてベース電源の役割が担えるような技術の確立が求められている。さらに、海洋温度差発電の特徴として、「高稼働率」、海洋深層水との「複合利用」、メガワット級の「スケールメリットによる経済性」などが挙げられる。

さらに、商用化を目指した国際的なプロジェクトに合わせて、2011 年、韓国は海洋温度差発電の国際標準の規格化を目指して、海洋エネルギーの国際規格を行っている国際電気標準会議(IEC)の IEC/TC114 に、「海洋温度差発電」の提案を行った。その後本提案は承認され、2012 年よりその規格化作業が始まっている。このように、これまでの課題を乗り越えて、海外において本格的な商用化を目指した様々な動きが、実証プロジェクトとともに始まっている。

我が国でも、2010 年 7 月に、(独行) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が我が国で初めてとなる本格的な「再生可能エネルギー技術白書」を発表した⁽¹⁾。2030 年に向けた再生可能エネルギーの技術的な課題とともにロードマップとその展望が示されている。その再生可能エネルギーのなかで、海洋温度差発電は、太陽光発電、風力発電などとともに紹介されている。さらに、2011 年度、NEDO は、海洋温度差発電を含む海洋再生エネルギーの本格的

な「海洋エネルギー技術研究開発」を 5 年間のプロジェクトとしてスタートさせた。一方、沖縄県は、2012 年度に通年の連続運転を目指した 100kW 規模の海洋温度差発電のプロジェクトをスタートさせ、2013 年 6 月には 50kW の正式な実証試験が世界に先駆けて始まっている⁽²⁾。現在、我が国で長年培われた基盤的な海洋温度差発電技術と「拓海」や「福島洋上風力プロジェクト」における世界的に大型浮体技術の実績が融合して、新しい OTEC の世界に向けたイノベーションが注目されている。

本稿では、我が国で始まった実証試験の動向と新しい海洋温度差発電の技術開発、さらには海洋温度差発電の実用化に向けた課題について概説する。

2. 海洋温度差発電の特徴とポテンシャル

海洋温度差発電は、海洋の表層部の温海水と深層部約 600~1,000m の冷海水との間に約 10~25℃の温度差として蓄えられている熱エネルギーを、電気エネルギーに変換する発電システムである。

図 1 に、基本的な海洋温度差発電システムの原理を示す⁽⁷⁻⁹⁾。主な構成機器は、蒸発器、凝縮器、タービン、発電機、ポンプからなる。これらの機器はパイプで連結され、作動流体としてアンモニアが封入されている。作動流体は、液体の状態でポンプによって蒸発器に送られる。そこで、表層の 25~30℃の温海水によって加熱され、蒸発し、蒸気となる。蒸気は、タービンを通過することによって、タービンと発電機を回転させて発電する。タービンを出た蒸気は、凝縮器で深層より汲み上げられた 4~10℃の冷海水によって冷却され、再び液体となる。この繰り返しを行うことで、化石燃料やウランを使用することなく海水で発電することができる。

海洋温度差エネルギーのポテンシャルとしての資源量については、種々の試算があるが、IEA(国際エネルギー機関)は、理論的な資源量の見積もりとして 10,000TWh と発表している。W.A.Wolff は、世界各地の海水の温度分布を調査し、海洋温度差発電の設置に適している海域を発表している。表層と深度 1000m の海水との温度差が 22℃以上ある海域だけでも、6 千万 km²になる、としている^(4, 10-12)。

日本の経済水域での海洋温度差エネルギーの総量は、2010 年度に NEDO が発表した「海洋エネルギーポテンシャルの把握に関わる業務報告書」によると、47TWh となっている。なお、特にポテンシャルの高い地域は、南方地域に限られていることや、需要地と比較的距離があることには、留意が必要である。

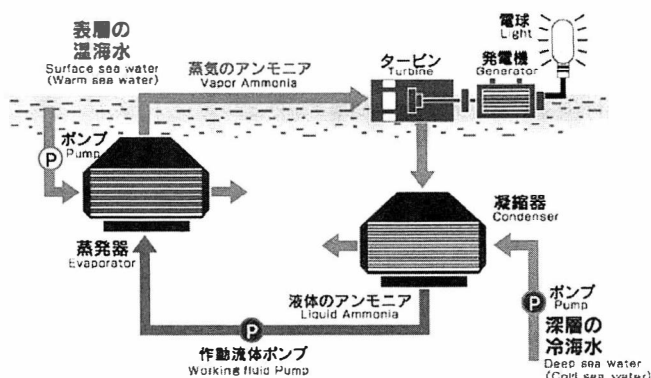


図1. 海洋温度差発電の原理
(佐賀大学理工学部ホームページより)

さらに、海洋温度差発電は、発電とともに持続的に海水淡水化や水素製造、リチウム回収などの複合利用が可能である(図2.)。この海洋温度差発電のエネルギーの源は、地球の3分の2に降り注いだ太陽からのエネルギーである。このエネルギーの量は膨大であるが、化石燃料と比較するとそのエネルギー密度は極めて小さいため、その複合利用が重要である。特に、海洋温度差発電の適地は、多くの地域が水問題を抱えており、海水淡水化との複合利用は、実用化推進の大きな力となっている。この淡水化された水と海洋温度差発電で発電された電気での水素製造によって、電力貯蔵のみならず、エネルギー輸入に頼ってきた地域にとっては、エネルギー輸出に繋がる可能性もある。

また、情報化社会に不可欠なリチウムイオン電池の原料であるリチウムは、我が国にその資源はなく、100%南アメリカや中国より輸入しているのが現状である。さらに、発電の際に利用する海洋深層水を用いて、乱獲や環境変化で水産資源が減少している魚場を回復し、持続可能な水産資源の確保を目指した海洋牧場などへの複合利用も期待され、多くのプロジェクトが進められている。

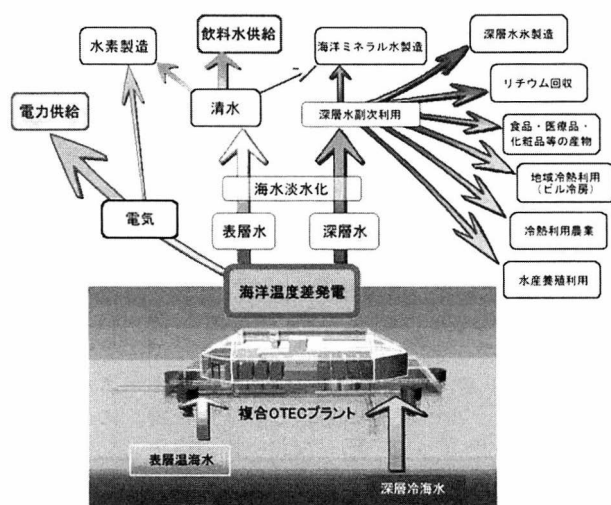


図2. 海洋温度差発電の複合利用
(海洋政策研究財団ホームページより)

3. 海洋温度差技術の発電方式と国際標準化

3.1 発電方式

海洋温度差発電の発電方式には、オープンサイクル方式とクローズドサイクル方式と大きく分けて2種類ある。クローズドサイクルは、図1のようにアンモニアなどの作動流体を循環させる。一方、オープンサイクルは、アンモニアなどの作動流体を用いず直接海水を蒸発させる。我が国のサンシャイン、ニューサンシャインプロジェクトでは、オープンサイクルが主に採用された。米国でも当初オープンサイクルが採用された。一方、佐賀大学では、OTECの実用化推進のためには、クローズドサイクルが不可欠であると考え、その技術に特化した。オープンサイクルのメリットとして、アンモニアを用いないことと、淡水が同時にかつ容易に得られることが挙げられるが、タービンの出入口圧力差が小さいこと、不凝縮ガスの問題が課題として指摘されている。これまでの成果として、オープンサイクルによりクローズドサイクルの方が有望との評価を得ており、現在は、クローズドサイクルが国際的に主流である。なお、我が国において、オープンサイクルにおける評価が海洋温度差発電の評価基準となっており、誤解されている面は否めない。

クローズドサイクルにおいて、海洋温度差発電のサイクル熱効率の向上を目指して、種々のアンモニア/水を用いたサイクルが提案されている。関連の技術として、100℃以下の低温熱源温度差発電、いわゆる廃熱発電、バイナリーの温泉水発電などでは、アンモニア/水を用いた数千kW規模の発電システムがすでに実用化され、12年以上の長期間運用されているものもある。一方、アンモニア/水は非共沸混合媒体であり、伝熱性能の低下や相変化の際の急激な物性の変化などといった特徴を有するため、これらを十分に考慮したシステム全体の評価と最適設計が極めて重要であり課題である。さらに、近年では、多段ランキンサイクルなど種々の新しいサイクルも検討されている。今年度NEDOプロジェクトにおいて、世界で初めての15kW多段OTECシステムが構築され性能試験を始めている。

3.2 国際標準化

IECは、IEC/TC114を2007年に立ち上げ、欧米各国を中心に海洋発電分野の国際標準化に向けた取り組みが開始された⁽³⁾。この国際標準化では、波力発電や潮流発電が先行しており、かなり完成度の高いものとなってきている。一方、海洋温度差発電に関しては、長く本IEC/TC114のなかで取り組まれてこなかったが、2011年韓国が、本分野のリーダーシップを発揮すべく「114/78/NP: Guideline for design assessment of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) system. (海洋温度差発電システムの設計評価のためのガイドライン)」として提案を行い、規格番号TS62600-300として承認された。

その項目は、

1. Scope
2. Normative references
3. Terms, definitions, symbols and abbreviated terms

4. General requirements and conditions
5. Principles of limit states design
6. Basic variables
7. Analysis
8. Design requirement for waterducting system
9. Design of heat pump system
10. Platform design
11. The other considerations
12. References

となっているが、今後のその詳細についての検討が2014年から始まる。特に、機器の規格にISOの石油・天然ガスの規格を基準にする過度な傾向があるが、海洋温度差発電に適合した基準が望まれる。なお、IEC/TC114に関して、我が国では(一社)電気学会が国内審議団体(事務局：J-POWER)となり対応している。

4. 国内および海外の動向

4.1 アメリカの動向 ⁽¹³⁾

アメリカでは、50kW クローズドサイクル「Mini-OTEC」、200kW のオープンサイクルシステムの実証試験以降、原油の価格低迷とともに約15年近く海洋温度差発電の研究も、低迷していた。当時、アメリカでは原油1バレル49ドル以上にならないと海洋温度差発電の経済性はないと評価していた。しかし、2007年からのアメリカのエネルギー政策の転換に伴い、エネルギー省を中心に海洋温度差発電の本格的な導入の検討を始めている。

特に、アメリカエネルギー省の海洋エネルギー推進プロジェクトに、海洋温度差発電が盛り込まれ、アメリカ国防総省も参加するNAVFAC(Naval Facilities Engineering Command)とともに進めている。民間では、1970年代に世界で最初の浮体式の海洋温度差発電実証設備「Mini-OTEC」を建設したロッキード・マーチン社が上記のような政府の支援を得て、本格的な取り組みを再開した。2008年にはエネルギー省から120万ドル、2009年には国防総省から812万ドル、さらに2010年にもエネルギー省からの助成金を得て、ハワイやグアムにおいて10MW海洋温度差発電を目指した要素技術開発(取水管や熱交換器など)を実施している(図3)。

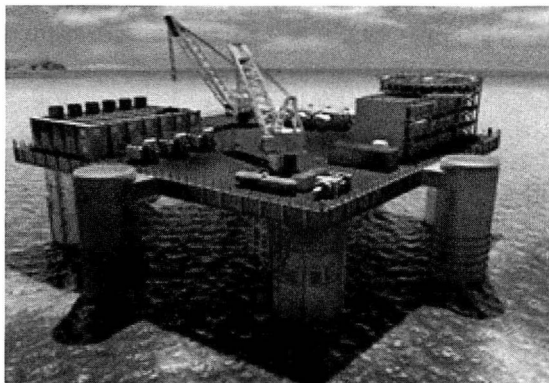


図3 ロッキード社のハワイにおける10MW OTEC 構想
(<http://www.lockheedmartin.com/products/OTEC/>)

ロッキード社は、取水管に従来のHDP(高密度ポリエチレン)ではなくFRP(繊維強化プラスチック)を使った新しい取水管技術に取り組んでいる。一方、

熱交換器について、我が国は、日本が国際競争力を有する耐海水性に優れた薄板チタンを用いた熱交換器を主に採用している。これに対して、アメリカは、自国が国際競争力を有するアルミニウムを用いた熱交換器の開発に主力をおいている。

ハワイ州の海洋温度差発電は、再生可能エネルギーの導入計画に基づくもので、ハワイ電力やエネルギー省とともに、海洋温度差発電を2015年までに35MW、2030年までに365MW以上の導入計画が盛り込まれている。このような状況のなか、NELHA(ハワイ州立自然エネルギー研究所)が、既存の1MW用の取水管を用いた1MWプラントプロジェクトの国際公募を2011年9月に行い、米国のOTEC Internationalが採用された。NELHAは、2014年までに1MWを完成させると発表している。このOTEC Internationalは、これまで25MWおよび100MW浮体式OTECの商用化に必要なABS認証を得ている。

2013年10月には、ロッキード社と中国のレイノウッド・グループが、両社協力のもと中国に世界最大級の海洋温度差発電(OTEC)プラントを建設することを発表している。計画によれば発電所は10MWの規模である。

4.2 フランスの動向

波力、海流の分野では、イギリスがヨーロッパにおける海洋再生可能エネルギーのリーダー的役割を担っているなか、フランスは、海洋温度差発電の研究において政府主導でヨーロッパにおける先導的役割を担っている。なかでも、フランス政府造船局(Direction des Constructions Navales:DCN)を前身とするDCNS社が、2016年までに10MW規模の実証機を建設する計画を発表した(図4)。

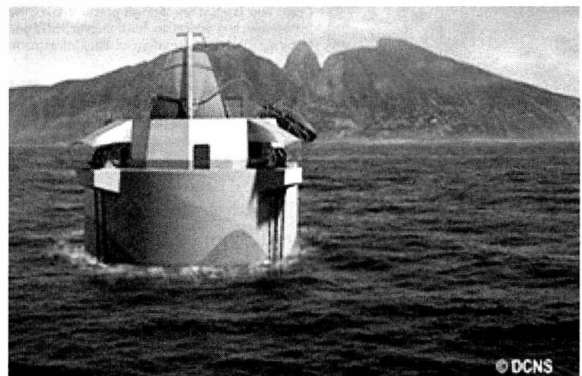


図4. フランス DCNS 社のレ・ユニオン島における10MW OTEC の構想(<http://en.dcnsgroup.com/>)

2009年4月にインド洋のフランス領レ・ユニオン島地方政府とR&Dに関する合意を締結し検討を開始するとともに、2010年からはタヒチ島における実施可能性調査も行っている。特に、このタヒチにおける5MW規模の海洋温度差発電のFSでは、日本の海洋温度差発電のエンジニアリング会社が、フランス政府からの依頼で協力・参画している。日本の海洋温度差発電技術は、現在、このようにフランスをはじめ、多くの海外プロジェクトで国際的連携を推進している。

[テキストを入力]

フランスの海洋エネルギー開発の中心的な役割を担っている海洋開発研究機構(IFREMER)は、2020 年までに最終消費エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合を20%に引き上げるという環境グレネル会議6で提示された目標の達成を前提に、海洋エネルギーの寄与度について試算している。試算は4つのシナリオ別に行われており、ベストシナリオにおいて、200MW の海洋温度差発電が導入されると試算されている。

4.3 韓国の動向

図5に、韓国の海洋温度差発電のロードマップを示す。韓国は、2010年より国家プロジェクトとして、6年間の海洋温度差発電プロジェクトを、韓国海洋科学技術院(KIOST)を中心にスタートさせた。総額26億円(円換算)で、アメリカ海洋大気庁(NOAA)と連携している。現在、20kW の試験装置を完成させ、最終的には100MW の商用化を目指している。韓国は、温かい表層海水が年間を通して得難いが、本 OTEC の事業は、火力・原子力発電の温排水の利用や南太平洋など海外への展開が期待されている。

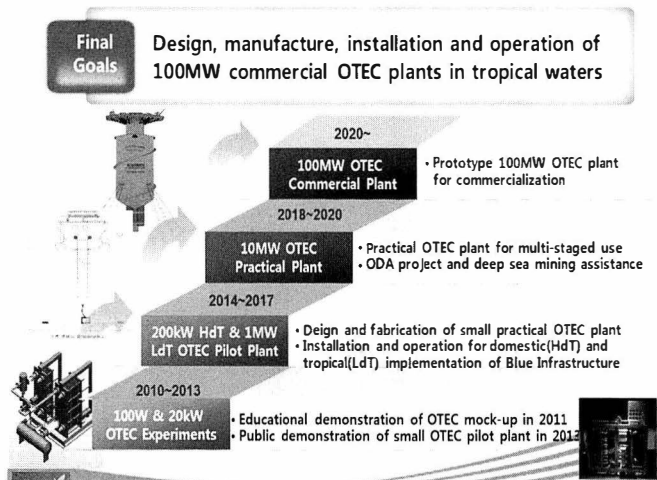


図5. 韓国の海洋温度差発電のロードマップ (2013 OTEC International Symposium より)

4.4 日本の動向

沖縄県は、エネルギー自給率の向上、エネルギー供給源の多様化を図る必要があり、その一環として海洋深層水を利用する海洋温度差発電について、将来の1MWおよび10MWへの大型化、商用化に向けた実証事業を2012年度から実施している。プロジェクトは、IHIプラント(IHI-PC)、横河電機、ゼネシスのJVで製作されている。2013年3月に世界に先駆け発電に成功し、6月より本格的な運転が開始された。発電した電力は、既に系統連系されている。一方、本事業は、沖縄県海洋深層水研究所において取水している海水(表層水および深層水)の余剰分を利用することにより、現状の海水利用者(研究所および民間企業)に影響を与えないことを優先し、その範囲内でデータ取得が行われている。今後は、無人連続運転に向けて調整を行いながら、これらの実験結果をもとに、1MWおよび10MWのプラントの経済性

の信頼性を高める予定である(図6.)。

佐賀大学海洋エネルギー研究センターにおいては、海洋温度差発電の高性能化に向けて、作動流体として従来のアンモニアからアンモニア/水を用いた研究が行われている。これまでの成果として、アンモニア/水を用いた30kWシステムで2週間の連続運転を行い、安定した運転を確認している。紙面の都合上種々の結果は省略するが、温度差23℃の実験データ条件において、理論的な最大出力に対して、約25%程度の正味出力が得られている。ここで、最大正味出力とは、利用する海水の流量と温度に対して、理想的なカルノーサークルを利用して得られる最大の出力である。これまでの実験において、正味出力比(正味出力/発電出力)として最大70%を得ている。また、海洋温度差発電を推進するための複合利用に取り組み、海水淡水化、リチウム回収など、実際の海水を用いて実証試験を行い、その可能性を示している。特に、リチウム回収においては、約半年の連続運転で実海水からのリチウム回収に成功している。最終評価として、11000倍の濃縮結果が得られた。詳細については、参考文献を参照していただきたい。

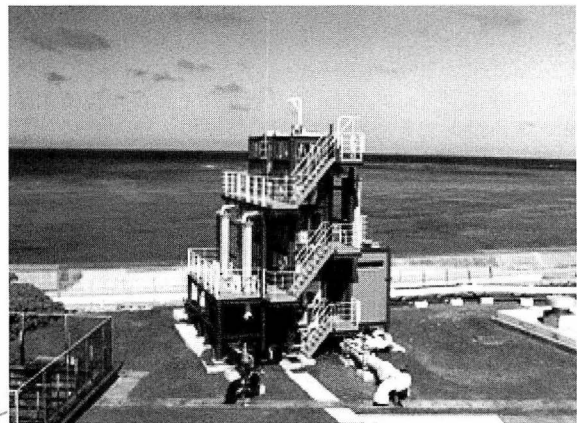


図6. 沖縄県の海洋温度差発電実証プロジェクトの概要

4.5 我が国からの OTEC イノベーション

OTEC の本格的な商用化は、浮体式 OTEC である。近年、米国やフランス、韓国などは、独自の10MWおよび100MWの浮体式 OTEC のコンセプトを発表している、このような状況の中、平成25年9月に、ジャパン・マリン・ユナイテッド株式会社(JMU)は、佐賀大学と「海洋温度差発電」の研究開発の成果を用いて、世界で初めて浮体式の没水型海洋温度差発電で型式認証(AIP)をNK(海事協会)より取得した(図7)。これらの方式は、世界的な海洋肥沃化装置「拓海」や「福島洋上風力プロジェクト」等の実績とともに、国内および海外が注目されている。この方式は、海外のどの方式より安価で高性能は方式と期待されている。このように、我が国で長年培われた基盤的な海洋温度差発電技術と大型浮体技術の実績が融合して、新しい OTEC の世界に向けたイノベーションの推進が重要である。



図7 型式認証(AIP)を取得した浮体式 OTEC の概念図

5. 海洋温度差発電の経済性

再生可能なエネルギーの経済性は、その地域によって大きく異なる。同様に、海洋温度差発電の経済性、いわゆる発電コストも、設置する地域において得られる温度差、その季節的変動や設置形式、海底地形、送電方法等によって大きく変わるため、一概には算出できない。これを踏まえて、海洋エネルギー資源利用推進機構(OEA-J)の海洋温度差発電部会は、海洋温度差発電の経済性を算出している。参考文献⁽¹⁾。数百 kW 以下の規模では、発電のみで経済性を成立させることが困難であるため、他の海洋深層水利用と複合させることが推奨されている。1,000kW 規模では、太陽光発電並みで、離島など、ディーゼル発電を用いている地域では、その電力の安定性と合わせてメリットが活かせる。一方、スケールメリットが大きい発電設備であることから、100MW 以上の規模では 10 円/kWh 程度の競争力のある発電コストが見込まれている。また、安定性を活かした太陽光発電や風力発電とのハイブリッド化は、電力システムの安定性向上に貢献できるため、これらを融合させた経済性の評価も重要と考えられる。

一方、経済産業省は 2015 年までに海洋エネルギーの実用化を目指す方針を打ち出した。NEDO が 2010 年 7 月に刊行した「再生可能エネルギー白書」では、海洋温度差発電の目指す姿が、以下のように掲げられている。

○海洋温度差発電の商用化に向けた技術開発を加

速し、海外市場を創出するとともに世界最先端の技術的地位を維持し、国内企業の育成、国際競争力の強化を図る。

○国内産業の育成、低炭素社会の実現、エネルギーセキュリティ等の観点から、国内での導入促進、新規産業の創出を実現する。

これを受け、同白書では技術開発のロードマップを示している。NEDO は本ロードマップにおいて、2010 年までに、1MW 規模で 40 円～60 円/kWh、2020 年までに 10MW 規模で 15～25 円/kWh、2030 年までに 50MW 規模で 8～13 円/kWh を示している。

6. おわりに

我が国の海洋エネルギー資源の利用推進は、エネルギー問題及び環境問題が世界的に深刻化するなか、我が国の持続可能な発展および環境エネルギー分野での国際貢献の点からも不可欠であり、極めて重要である。なかでも、海洋温度差発電は、地熱発電のような「安定性」と「高稼働率」、海洋深層水との「複合利用」、「スケールメリットによる経済性」などの特徴を有し、我が国に膨大に存在する。一方、海洋温度差発電の特徴である「スケールメリット」が、商用化が実現したときは大きな優位性であるが、海洋温度差発電の実用化推進の初期の段階では「大

きな壁」となっていた。この「大きな壁」は、概説したように、様々な新しい技術、社会的環境、信頼ある実証研究の成果などによって、乗り越えられる状況に近づいている。特に、米国やフランスなど多くの国々で、その壁を乗り越えて海洋温度差発電の実用化を目指した様々な動きがあり、早期の実用化が期待されている。このような状況にあるなか、我が国においても、沖縄県をはじめ多くのプロジェクトが立ち上がりつつある。しかし、海洋温度差発電をはじめとして海洋エネルギーは、様々な技術の融合と集積が重要であり不可欠である。海洋エネルギー利用推進のために、多くの関係者の参画・協力によって、「海洋温度差発電」の研究開発および実用化が一層加速されることを強く期待する。真に新しいステージの海洋温度差発電における我が国の国際競争力の維持が深層水利用の推進が All-Japan で求められている。

文 献

- (1) NEDO 再生可能エネルギー技術白書 (2010)
- (2) 緑の分権改革推進事業「久米島海洋深層水複合利用基本調査」調査報告書 (2011)
- (3) 平成 23 年度 海洋発電システムの標準化に関する調査研究 報告書
- (4) IEA-OES Annual Report 2006, 2007, 2008, 2009
- (5) The Ocean Energy Report: Tidal Wave - Ocean Thermal - Marine Current (Edition 3 - 2007)
- (6) 永田・池上, 海洋エネルギー, 電気科学技術奨励会編, 現代電力技術便覧, オーム社 (2007)
- (7) 上原泰男, 海洋温度差発電読本, オーム社 (1982)
- (8) 近藤淑郎編著, 海洋エネルギー利用技術, 森北出版(1996)

- (9) 本間琢磨他, 海洋エネルギー読本, オーム社, (1980)
- (10) 21 世紀の海洋エネルギー開発技術, 日本海洋開発建設協会, 山海堂 (2006)
- (11) NEDO 海外レポート No.1001 (2007)
- (12) 国際海洋エネルギーセミナー論文集, 佐賀大学海洋エネルギー研究センター (2007)
- (13) 池上康之, 海洋温度差発電, 海洋エネルギー資源フォーラム 2010

池上 康之

いけがみ・やすゆき

1988 年 3 月佐賀大学大学院理工学研究科修士課程卒

1991 年 3 月九州大学大学院総合理工学研究科博士後期課程卒

現 佐賀大学海洋エネルギー研究センター 副センター長・教授

S 3. 海洋温度差発電用熱交換器の開発と久米島実証プラントへの適用

● 實原 定幸 (株ゼネシス)

1. 実証事業の概要

2013 年 4 月、沖縄県久米島町の東海岸に位置する沖縄県海洋深層水研究所構内に設置された海洋温度差発電実証プラントで発電が確認された。これは、沖縄県が目指すエネルギー自給率の向上とエネルギー供給源の多様化の一環として、海洋深層水を利用する海洋温度差発電に着目し、将来の大型化、商用化に向けて 2012 年度からの実証事業として建設されたものである。事業の実施期間は、2014 年度まで予定されており、現在も実証運転が行われている。

この実証プラントは、IHI プラント建設株式会社 (IPC)、横河電機株式会社、および当社の JV として建設が行われたもので、当社は主に発電装置の製造組立と実証運転管理を担当している。また、佐賀大学が本事業に関して、立ち上げ時から沖縄県および JV に協力されている。

図 1 は、実証プラントの写真を示す。プラントは、最大 50kW 発電実証用と、50kW 発電相当の熱交換器やタービン発電機等の実験が可能な実験用の二つのユニットで構成されている。

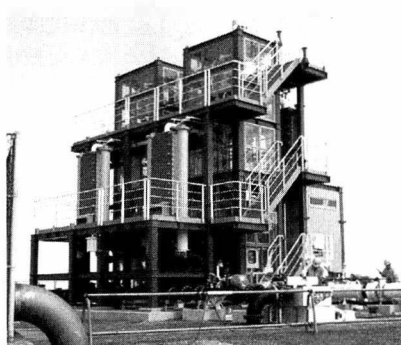


図 1 実証プラント全景

2. 海洋温度差発電用熱交換器の開発

実証プラントの中には、当社が海洋温度差発電用に開発してきた全溶接プレート式熱交換器が蒸発器、および凝縮器として組み込まれている。このプレート式熱交換器は、それぞれ縦 2,434mm × 横 734mm × 厚 0.6mm のプレート 90 枚で構成されていて、枚数を増やすことで 10MW 規模のプラントにそのまま適用できるように設計されてい

る。プレートの材質は、海水による腐食が無く、伝熱性能の高い神戸製鋼所製の純チタンプレートを使用している。

海洋温度差発電では、熱交換器の性能が、そのままプラントの性能を左右する。また、10MW 規模では、設備費全体に占める熱交換器 (蒸発器、凝縮器) のコストの割合は約 1/4 で、その割合は発電規模が大きくなるほど高くなる。さらに、プラント全体に占める熱交換器の占有面積が大きく、プラントの大きさを左右し、構造物のコストにも重大な影響を及ぼす。したがって、経済性の高いプラントを実現させるためには、如何にして性能が良く、コンパクトな熱交換器にするかが大きなカギとなる。

当社は、海洋温度差発電プラントにおける熱交換器の重要性に着目し、それに適した熱交換器の開発を進めてきた。表 1 に海洋温度差発電用熱交換器の課題と当社が取り組んだ解決策を示す。

表 1 課題と解決策

課題	解決策
●コンパクト (OTECプラントの設置スペースの決定主因)	✓コンパクトなプレート式熱交換器の採用
●海水による腐食対策と長寿命化	✓対海水で素錆が多いチタン製プレートの採用
●高耐圧 (蒸発圧力 10bar を超える設計圧)	✓プレートパターンによる構造強化 ✓全溶接型構造 (ガスケットなし)
●レスメンテナンス (膨大なプレート枚数→メンテナンス頻度低減が必要)	✓全溶接型構造 (ガスケットなし)
●媒体側の相変化条件での高性能化 (蒸発および凝縮)	✓相変化を考慮したプレートパターンの追及
●海水側圧力損失の低減 (自己消費電力の削減)	✓低圧力損失のプレートパターン ✓流路設計の工夫

図 2 は、久米島実証プラント用熱交換器のうちの蒸発器の写真を示す。この蒸発器が 2 基、同サイズの凝縮器が 2 基設置されている。設置後、現在まで約 1 年半順調に運転されている。

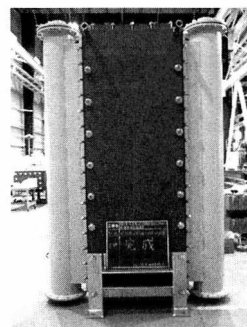


図 2 蒸発器

S 4. ジャパン マリンユナイテッドの浮体技術と海洋温度差発電

および洋上風力発電への取り組み

JMU's Approach to Floating Structures for Ocean Energy Generator,
OTEC and Ocean Wind Firm

栗島 裕治・北小路 結花・吉本 治樹
(ジャパン マリンユナイテッド株式会社)

Yuji Awashima, Yuka Kitakoji, Haruki Yoshimoto

Japan Marine United Corporation, 36-7, Shiba 5-Chome, Minato-ku, Tokyo 108-0014

This paper describes some types of existing suitable hull shapes of floating structures which are dedicated to each special purpose and especially, suitable hull shapes for floaters for ocean energy utilization, e.g. floating wind turbines and OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion). Comparing some hull shapes, Mono-Hull type (Submerged Type) is generally suitable for floating structures which are required to bear harsh environmental conditions since it can make the motion in waves minimum. In addition, some technical themes to be overcome for floating OTEC facilities are shown.

Key Words: IOES, Proceedings, Mono-hull, Semi-Submersible, Offshore Structures, Wind Turbine, OTEC

1. はじめに

近年、海洋温度差発電、浮体式洋上風力発電等の海洋エネルギーの利用が本格化してきている。これらの実現のためには、波浪等による浮体の動揺をいかに抑制できるかがポイントとなる。本論文では、これまで我々がパッシブな動揺制御技術として開発してきた、モノハル型セミサブ浮体の開発経緯について紹介するとともに、海洋温度差発電 (OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion) や浮体式洋上風力発電への適用を述べる。

2. 動揺抑制技術の必要性と浮体形式

浮体式の設備において、波浪による動揺を抑える理由は以下の通りである、

- 1) 取水管、発電機など、動揺に弱い機器の破損を防止、さらにそれらの動揺対策としてのコストアップをできるだけ小さくできる。
- 2) 動揺による稼働率の低下を抑える。

浮体の形式としては、Fig.1 のように分類される⁽¹⁾。

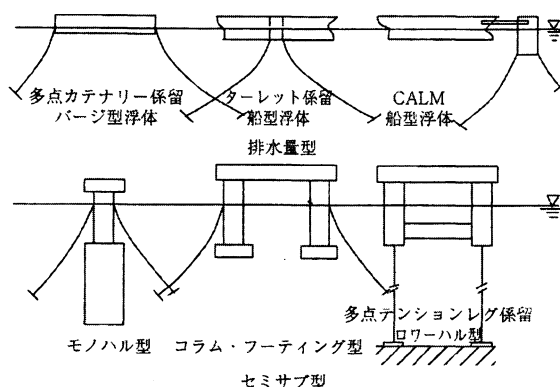


Fig.1 Various types of floating structures

水線面付近に浮かぶいわゆる船型またはバージ型は、排水量型と言われ、スタビリティは保持し易く、建造コストも少なく抑えられるものの、波浪の影響が

大きいので、動揺は大きい。

一方、セミサブと総称される浮体は、排水量の大部分を水中深くに配するもので、同じサイズならばバージよりはコストが嵩むが、波浪動揺を小さく抑えることができるので、石油・ガス開発分野で広く活用されてきた。(Fig.2 参照⁽²⁾)

モノハル型とコラムフーティング型の相違については、いわゆる浮体のスタビリティを重心と浮心の位置でキープするタイプか、水線面による浮体の断面形状に依存するタイプかという定義もできる。

この中でモノハル型 (セミサブ型と区別して、サブマージブル型とも呼ばれる) は、下記の特長がある。

- 1) 多点テンションレグ係留 (TLP) よりも動揺が大きいものの、同じ排水量ならば、もっとも深い喫水が取れるので、コラムフーティング型よりも動揺が小さい。
- 2) TLP よりも、設置コストを含めた建造コストは大幅に安い。

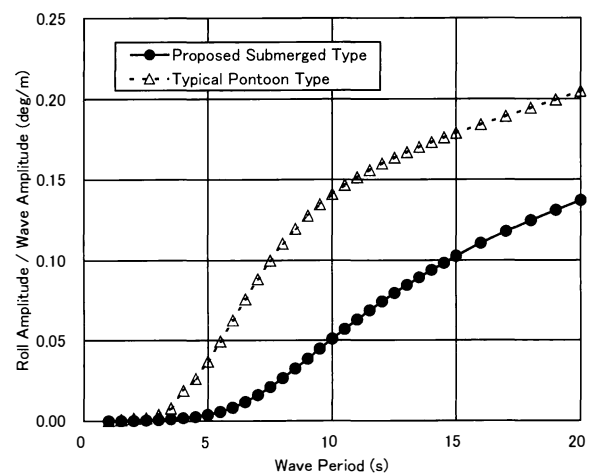


Fig.2 Rolling of the floating vessel in waves

一方、下記の欠点もある。

- 1) 喫水が深いので、建造方法等に工夫が必要.
- 2) デッキ面積を確保しにくい.

以上のことから、モノハル型は、比較的デッキ面積を必要としないが、搭載機器が動揺に弱い、またはその対応にコストが嵩む用途において、もっともコストが安い浮体型式であることが判る.

3. モノハル型セミサブ浮体の例

3.1 石油生産用 SPAR

Fig.3 に示す通り、石油ガス生産の分野で、既に多数の SPAR と呼ばれるモノハル型セミサブ浮体が利用されている⁽³⁾.



Fig.3 An example of SPAR

3.2 海洋肥沃化装置「拓海」

弊社では、2003 年に社団法人マリノフォーラム 21 殿からの受託研究として海洋肥沃化装置「拓海」を建造し相模湾に設置した。これは栄養分に富む深層水の湧昇域を人工的に発生させることによって、沖合に新しい漁場造成を実現しようとする試みであり、長い取水管を通して深層水

(約 10 万トン/日)を汲み上げるという点で、OTEC と大変よく似た設備である⁽²⁾⁽⁴⁾.

(「拓海」の設計に当たっては、当初ポンプの駆動力として OTEC を採用する検討も行ったが、予算の都合により断念した。)

本構造物では、深層水の取水管長さは約 170m であり、OTEC の取水管長さ約

1,000m には及ばないが、これに先

立って 1989 から富山湾で行われた、バージ型「豊洋」による深層水散布試験では、早々に取水管が波浪中動揺により破損し中止になったこともあり、この「拓海」プロジェクトでは波浪中動揺を抑えるために、取水管の材料、サイズについて慎重に検討するとともに、浮体はモノハル型を採用した。相模湾における実験は約 5 年間行われ、大型の台風が数回通過したが、結果として取水管も破損することなく実験を終了した。後述するが、この「拓海」型モノハル浮体の実績は、OTEC 用浮体の開発に直接生かせると考えている。

Fig.4.5 に原理と建造・稼働風景を示す。

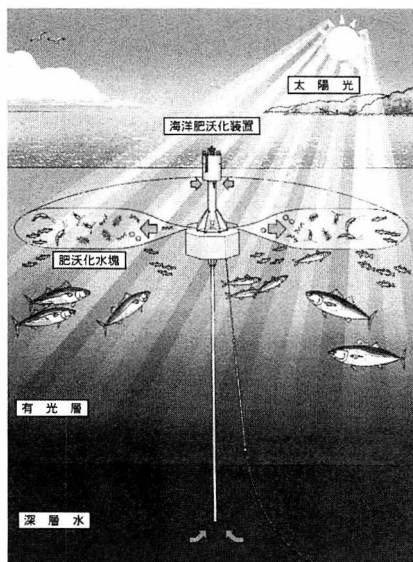


Fig.4 Image of Ocean Nutrient Enhancer



Fig.5 Operation and construction of TAKUMI

3.3 CO₂ 深海貯留用浮体

2005 年から 3 年間、(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構(JR TT)殿の研究制度に基づき、(独) 海上技術安全研究所(MNRI) 殿と(独) 産業技術総合研究所(AIST) 殿とともに、CO₂ をシャーベット状にして深海に貯留するための CO₂ 投入システムの研究開発を実施した⁽⁵⁾。弊社で担当した浮体の開発に関し、本船も同じく CO₂ を安定的に海中に投下するための約 200m のライザーが水中に伸びており、また水深が 3,000m もあるため、TLP は不適であり、コラムフーティング型とモノハル型で開発を進めた。いずれの場合も、CO₂ の巨大なタンクを内蔵するため水中部の船体は巨大になるが、当初 6 本のコラムでデッキを支えるコラムフーティング型で計画したところ

(Fig.6), ROLL, PITCH の同調点が長くなりすぎ波が実在する範囲で動揺が大きくなること、また没水部の天井の上で波が非線形な形状となり上部浮体の底面をたたきおそれがあることがわかった。そこで、最終的にはモノハル型とすることした。(Fig.7)

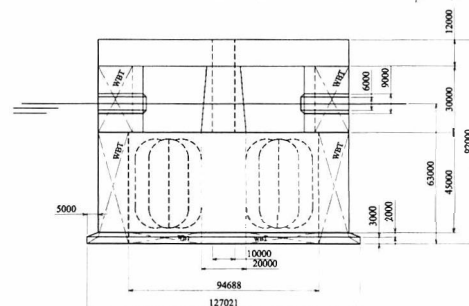


Fig.6 Column-footing type

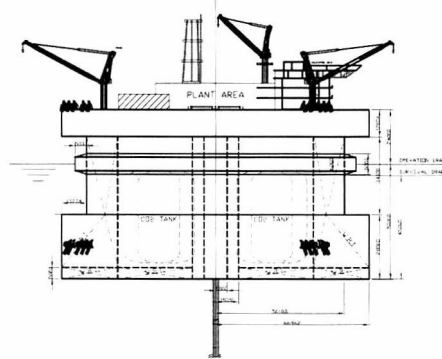


Fig.7 Monohull type

4. 浮体式洋上風力発電設備への応用

浮体式洋上風力発電設備は現在、世界中で実証が進められている。

浮体型式については、風車のコストアップ緩和を狙い、波浪中動揺の低減のため、ほとんどのコンセプトはセミサブ型（モノハル型、コラムフーティング型、TLP 型）になっている。

Fig.8 に、ノルウェーで実証中の Hywind プロジェクトを示す⁽⁶⁾。これは、モノハル型の中でも 3.1 に示したいわゆる SPAR 型でありコスト的にもっとも競争力があると思われる。また、Statoil 社のレポートによると Hywind の年間稼働率は 40% 以上と言われており、安定性および動揺性能の良さが実証試験で示されつつあると言える。

一方、この SPAR 型では、その全長が 80m 以上となり、風車の搭載作業時には、港内や浅海域では作業できないので、作業可能海域まで水平に浮かせて曳航していき洋上で立ち上げ（Upending 作業）、それからフローティングクレーンで風車を搭載する。ノルウェーでは、フィヨルドという静穏かつ水深がある海域が無数にあるので、そこで安全にこの風車搭載作業を行うことができる。

しかしながら、日本は比較的急激に深くなる海域が多いが、ほとんどが外海に面しており、風車搭載作業が可能な静穏な期間が少ないので、この SPAR 型を国内で設置するには設置方法を工夫する必要がある。

弊社では、10 年前より複数の風車を搭載するコラムフーティング型の浮体式風力発電設備を開発してきたが、2 年前より、東京

大学の鈴木英之教授と共同で単数の風車を搭載したモノハル型の開発をスタートした。その中でこの SPAR 型の欠点を補うため、Upending 作業を行わず立てたまま曳航するために喫水は敢えて 50m に抑え、その代り通常の SPAR 型にない水平に太らせた部分（HULL 部と呼んでいる）を複数設け、コラムフーティング型同様のいわゆる波なし点効果とさらに水線部の HULL による 2 点波なし効果を生かし波浪中動揺を抑える浮体を考案した。さらに浮体下部にフィン



Fig.8 Hywind

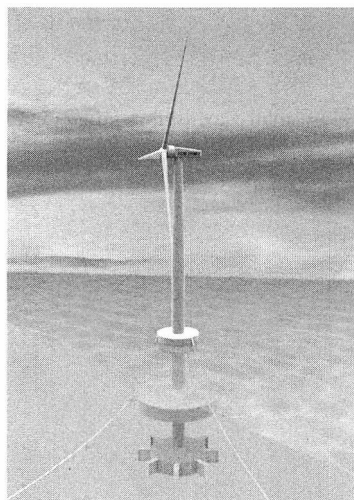


Fig.9 2MW Floating Wind Turbine

を設け、動揺をさらに抑えるとともに、風車の YAW コントロール時に浮体側の反動を押さえる構造とし、「アドバンストスパー型」と名付けた。

2012 年 1 月、（株）日本製鋼所殿と共同で、その 2MW ダイレクトドライブ方式の風車（J82-2.0）を搭載したアドバンストスパー型洋上風力発電設備を開発し、（財）日本海事協会殿より AIP(Approval in Principle)を取得した⁽⁷⁾。（Fig.9）

2011 度からスタートした、福島沖の浮体式洋上ウインドファーム実証研究事業では、弊社はアドバンストスパー型浮体を採用した世界初の洋上変電所（サブステーション）を建造した。サブステーションは 2013 年 11 月の運用開始後、数回の台風を経験しながら、長時間の停止もなく稼働中である。今後、本実証事業において、弊社はアドバンストスパー型浮体を採用した 7 MW 級の大型風力発電設備の建造を予定している。

Fig.9 にサブステーション概略図と実際の外観（水面上）を示す。

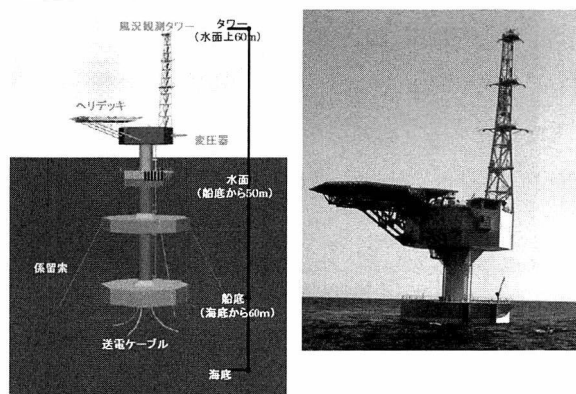


Fig.9 Floating Substation "Fukushima Kizuna"

5. 海洋温度差発電設備（OTEC）への応用

最近ますます注目されている太陽光発電、風力発電、地熱発電、バイオマス等の再生可能エネルギーの中で、海洋温度差発電(OTEC)は、①エネルギー源が無尽にあること、②メンテナンス時以外ほぼ 100% の稼働率が期待できること、③設備の大型化による発電コスト低減効果が大きいこと、④真水の造水、深層水の利用等、他の再生可能エネルギーにない大きな特長がある⁽⁸⁾。

発電コストを下げるべく大型の OTEC を設置する場合、取水管径も大きくなり、プラントそのものを洋上に設置するために浮体を使うこととなる。その場合、①1,000m 程度の長大な取水管を保持しなければならない、②国内では沖縄等台風による厳しい海象の海域に設置しなければならない、というハードルがある。

これらの課題の克服のためにはやはり波浪中動揺を抑える浮体型式が必要であり、2, 3 のコンセプトが発表されている⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。（Fig.11, Fig.12）

弊社としては、波浪中動揺による取水管へのダメージを防ぎまた OTEC のプラントの性能ダウンを防ぐために、これまでの実績を生かし、波浪中動揺がより小さなモノハル型の OTEC 用浮体の開発を行うべきと考えている。

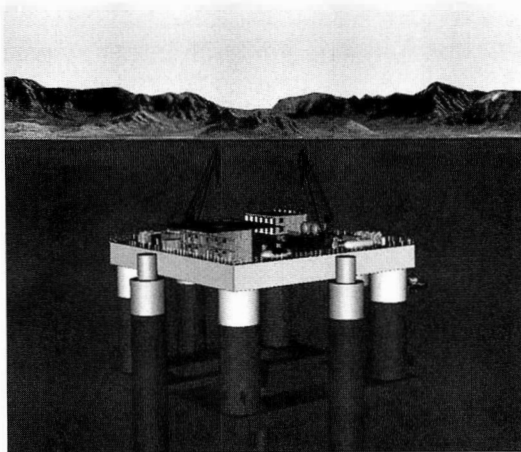


Fig.11 Column-footing type OTEC

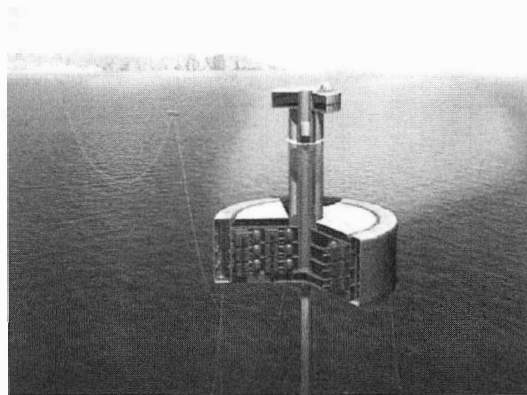


Fig.12 Monohull type OTEC

その際に留意すべき点は以下の通りである、

- 1) コスト、性能両面で最適な取水管の素材、工法を選択
- 2) その取水管の強度に合わせた低動揺の浮体の開発
- 3) 巨大な OTEC のプラントの最適な配置
- 4) アンモニアガスへの対応等安全に十分に留意した設計
- 5) コスト的にも安全の面でも最適な係留方式の選定
- 6) 洋上設置工事も含めたトータルコストを最小にする建造および設置方法の確立

6. まとめ

波浪中動揺を最小にできるモノハル方式が多くの海洋エネルギー利用のための浮体に最適であることが多いこととその開発のこれまでの流れを示し、また浮体式洋上風力発電や海洋温度差発電用浮体への適用の現状について述べた。

上述の通り多くの課題があるが、弊社は海洋エネルギー利用の実現のため、モノハル型を中心とした最適な浮体の研究開発を続ける所存である。

参考文献

- (1) 吉田宏一郎, 海洋構造力学の基礎, 2010
- (2) 宮部他, 海洋肥沃化装置「拓海」の開発, 石川島播磨技報, Vol.44 No.3(2004-5)
- (3) <http://www.offshore-technology.com/>
- (4) 荻原他, 深層水洋上汲み上げ装置の概念設計-新しい漁場の造成を目指して-, 第 16 回海洋工学シンポジウム, 2001
- (5) 栗島他, 洋上投入システムの試設計, 二酸化炭素海洋貯留に関するシンポジウム, 2008
- (6) <http://www.statoil.com/>
- (7) <http://www.ihl.co.jp/ihimu/>
- (8) 池上康之, 海洋温度差発電, KANRIN 日本船舶海洋工学会誌 第 41 号, 2012
- (9) <http://www.lockheedmartin.com/>
- (10) <http://www.xenesys.com/>

《連絡先・問合せ先》

〒108-0014 東京都港区芝5-36-7
 ジャパン マリンユナイテッド株式会社
 海洋・エンジニアリング事業本部
 海洋・エンジニアリングプロジェクト部
 E-mail : awashima-yuji@jmuc.co.jp

S 5. 陸上設置型取水技術の検討

清水 勝公・堀 哲郎・白枝 哲次（清水建設㈱）

1. はじめに

近年、海洋深層水の低温特性を活用した諸施設として、深層水空調施設や海洋温度差発電施設への利用が考えられ、それに伴い日量数 10 万から数 100 万 m^3 級の取水量が求められている。

ここでは弊社において、大量取水向けに考えられている「取水管路の構造設計と施工法」に関して述べる。

ただし、実用化に当っては現状の技術レベルを配慮し、管路の設置構造形式としては「着底管路形式」に限定するとともに、特に立地する海底地質・地形条件については「一般土質・比較的に平坦な地形」を対象として検討を行ったものである。

2. 取水路の設計法

1) 取水方式

取水方式としては図 1. に示すように①ポンプ揚水方式と②自然流下方式の 2 方式が一般的である。

①ポンプ揚水方式においては 1 条の管路に対して 1 対のポンプを配置して取水する方法となるが現有ポンプ能力的に対応制限を受けることとなり、加え、1 条の管路に対して複数台のポンプを配置する方法ではポンプ性能低下に直結する。

従って、大量取水においては既設発電所のように比較的に低揚程となるが大量送水が可能な斜流ポンプや軸流ポンプを用いた「②自然流下方式」を採用することにした。

2) 管材料と補強構造

深層水取水管路の最大の特徴の一つに、使用可能な管材料が制約されることである。このことは取水管路の設置される地盤が“人の手が届かない整形できない地形に置かれる”ことに起因するからであり、当然のことであ

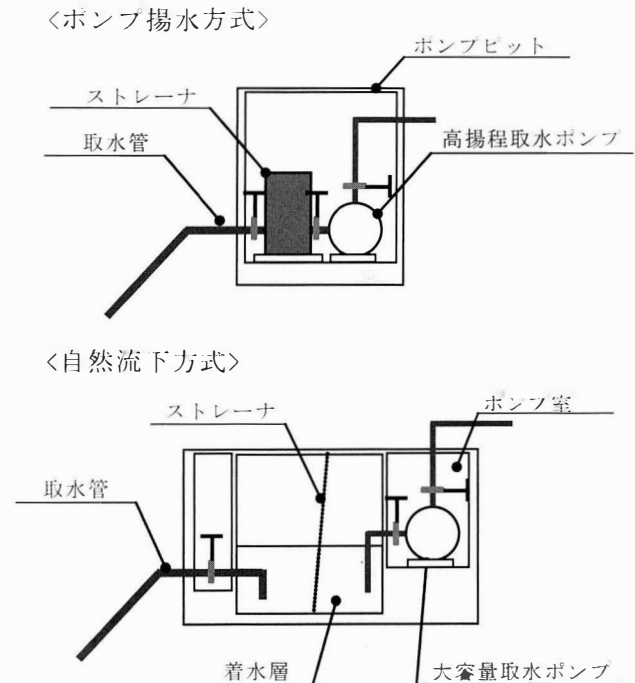


図 1. 取水方式概念図

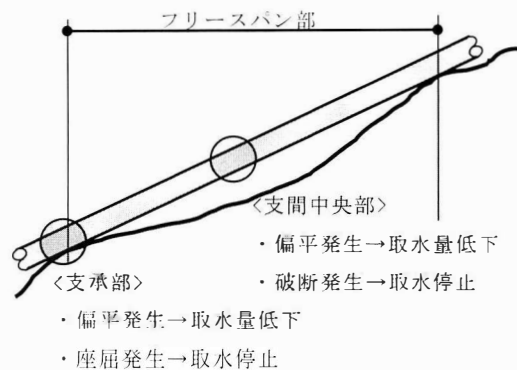


図 2. フリースパン部で発生する不具合

るが自然の地形に設置される管路は図 2. に示すように「フリースパンが発生」することになり、フリースパン部での偏平・座屈や破断の発生が安定取水を阻害する上での最大要因となるからである。

そのために取水管の要求品質としては「断面剛性が高く、かつ可撓性に優れ、軸耐力の

大きい」材料が求められることになる。また、加えて取水管材料には地盤上に設置された際の作用外力に対して移動安定重量を確保する必要が生じるために「自重調整の容易」な材料が求められる。

「断面剛性が高く・軸耐力に優れ、かつ可撓性に優れる」と言う相矛盾する要求性能に対して対応可能な管材料として、ここでは図3. に示す“特殊な補強を施した管材料”を新規に考案して対応することとした。

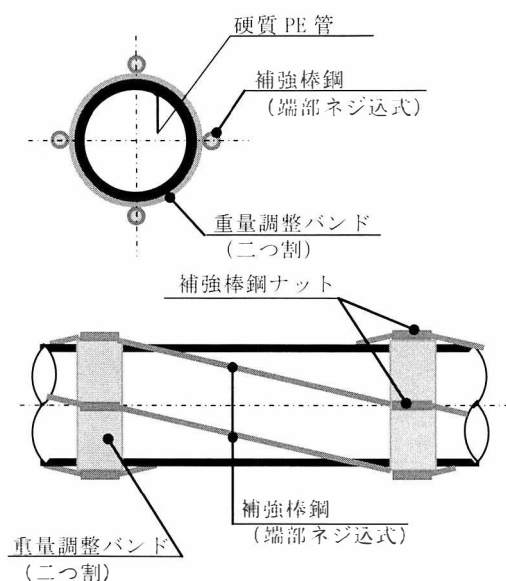


図3. 補強付管材料概念図

新規考案の補強付管材料は以下に述べる特徴を有している。

- ・断面剛性はPE管の板厚で確保。
- ・軸耐力は補強棒鋼の太さと本数で確保。
- ・可撓性はPE管材と補強棒鋼を斜めに配置することで確保。
- ・自重は重量調整バンドの板厚と板幅及び補強棒鋼の太さと本数で調整。

なお、補強棒鋼ナット付自重調整バンド及び補強棒鋼は現場取付けで計画しており、補強棒鋼の配置本数を増やすことは支承部の支点反力を緩和させるが、手間を増大させるため、適度の本数選定が必要と考える。

3) 取水路の水理設計

取水路の水理設計に関しては既存の基準類に準拠して設計することで対応可能となる。一般的には管路部に対して①密度差による損失

水頭、②摩擦損失水頭、③流入による損失水頭、④流出による損失水頭、⑤屈折による損失水頭、⑥弁類による損失水頭を考慮し、また、開水路部に対しては⑦漸縮による損失水頭や⑧スクリーンによる損失水頭を考慮し、結果として配管レベルや着水槽内水位、送水ポンプの設置レベルを決定することになる。これらの損失水頭の中で、基準類に記載されていない損失水頭として①がある。①は図4. に示すように取水口の設置水深の海水密度（取水管内水の密度）と管路外の海水密度の差によって考慮すべき水頭であり、取水深度が深くなるほど大きくなるので見落としに注意が必要である。

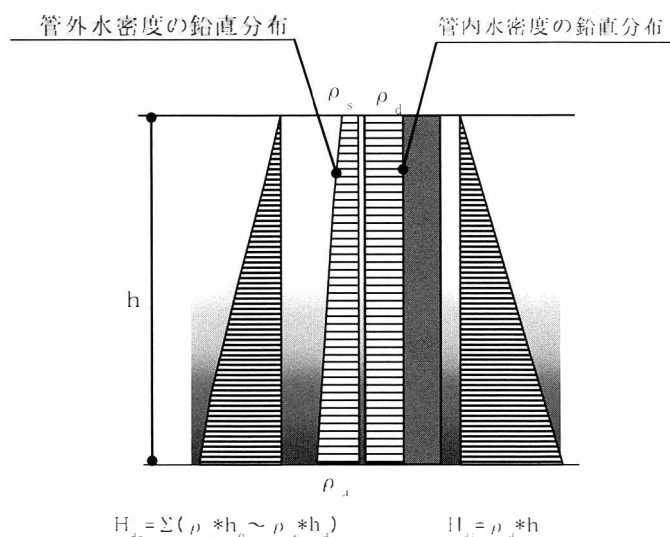


図4. 密度差水頭の考え方

また、着水槽の設計に当っては取水の急停を踏まえ、サージタンクとしてのサイズ決定が必要となるとともに、海生生物の連行に対して除去できる機構を有するよう計画することが不可欠となる。

4) 取水路の構造設計

取水路の構造設計において、特に配慮が必要となるのが海中中部管路の設計である。海中中部管路の設計に関しては既設設計指針や基準類が整備されていないことに加え、その設置形態が主に防護方法（施工方法）に関連するからであり、一般的な設置形態は以下の通りとなる。

①水深 20、30m以浅

：推進工法（取水ピットから護岸下を

貫通させて地中配管)

：開削工法（取水ピットから護岸部を通じて掘削・埋設配管）

②水深 50m 以浅：開削工法（護岸前面から浚渫・埋設配管）

③水深 50m 以深：露出配管

従って、水深 50m 以浅の区間の構造設計は

①土被り荷重に対する断面設計となる。しかし、水深 50m 以深の露出配管部に対しては②移動安定設計、③フリースパン部構造設計、④静水圧・水撃圧等の内外圧に対する断面設計が最小限必要であり、施設用途を踏まえるに⑤地震力に対する構造設計も必要と考える。

一方、これらの構造設計の手法に関しては関連技術基準類を参考に解析・対応しているが、荷重状態の設定が出来ない③については海底地質・地形条件を配慮して決定することになるが、一般土質・平坦な地形においてでも「フリースパン長≒数十m」に仮定し、管内流及び管外の流れによる振動に対する構造設計も含めて検討する必要がある。なお、岩質地盤や転石層で急峻地形条件では「フリースパン長≒100m 以上」となるので、特に留意する必要がある。

5) その他関連事項の設計

その他の設計関連事項としては「取水海水の昇温設計」があり、既存文献を流用して解析しているが、大量取水であることから 0.1、0.2℃ 程度に治まるのが一般的である。

3. 取水路の施工法

取水路の施工方法について、陸上工事として行われる取水ピットの構築や汀線部配管工事となる推進工の施工・配管、水深 50m 以浅におけるトレント浚渫・埋設工に関しては既存の施工技術で対応可能であり、ここでは省略し、海中部管路の敷設工に限定して述べることにする。

“最大口径 2m 程度×管路延長 3km 程度×取水口深度 1000m 程度”となることが想定される海中部管路の敷設方法に関しては未だ我が国において実績は無く、唯一、米国ハワイ州の NELH において口径 1.5m の取水管路が現存しているのが実情である。

一方、海中部管路の敷設方法としては①浮遊曳航法、②海底曳航法、③敷設船法が一般的に用いられている。しかし、現有の作業船や敷設専用機資材を使用して敷設するには①工法あるいは②工法で対応することが現実的となる。

ここでは①工法及び②工法で施工する場合の敷設システム概念を図 5. 及び図 6. に示す。ただし、同図において管路仕様や海域の海象・気象条件を特定して使用作業船を選定し、また、管路の発生断面力を試算・精査した結果ではないので参考資料として参照されたい。

各布設法の特徴として、②工法は比較的にシンプルな敷設方法であり、主に管路引出しに伴う所要摩擦力に対して牽引力を算定し、現有機器・作業船での対応性を照査することと、管路移動に伴い表面に発生する外傷が設計上の要求品質以内に治まるかの 2 点が重要な事項となる。なお、牽引関連の現有機器の最大規模としては 500 t 程度と考えられ、管路全重量が 500t を超える場合は仮設フロートを取付ける等の方策が必要となる。

一方、①工法は敷設時各ステップ毎の管路に発生する断面力を照査し、許容管路線形を確保するよう支持・沈設させるための方法に最大主眼が置かれる。具体的に概説すると、イ. 管路を海面上に引出す場合は流れと風等の外力に対して管路が斜路より脱落せず、かつ許容線形を確保するための水平牽引力（＝長管引出し引船の所要馬力）を検討、ロ. 陸側から管路内に注水して沈設させる段階は沖側 S 字状の沈下線形が許容線形を確保するよう中間支持の位置と吊荷重及び水平牽引力を算定し、沈下線形が S 字から J 字になるまで検証する。また、ハ. 取水口沈設段階は取水口が着底するまでの J 字状の許容線形に関して算定し、長管引出し台船と引船の船位と牽引力を検討することになり、現有作業船での対応可能性を検証することになる。なお、現有機器・作業船で対応できない場合は先に述べた耐圧用の仮設フロートを取付けて管路の重量調整を行うことも一策として考え

られるが、施工時海象条件の制約を大きく受けることに注視が必要となる。

加え、両工法に共通して重要な事項として、ニ. 管路のエア抜き対策とホ. フリースパン支承部の防護がある。敷設時管路のエア抜きについてはサイホンの原理を利用して取水する管路であり、エアの残留が致命的となることから、確実なエア抜き方策を敷設計画上に盛り込むことが不可欠である。また、管路のフリースパン支承部の緩和防護についてはROVで対応可能な方策での検討が必要

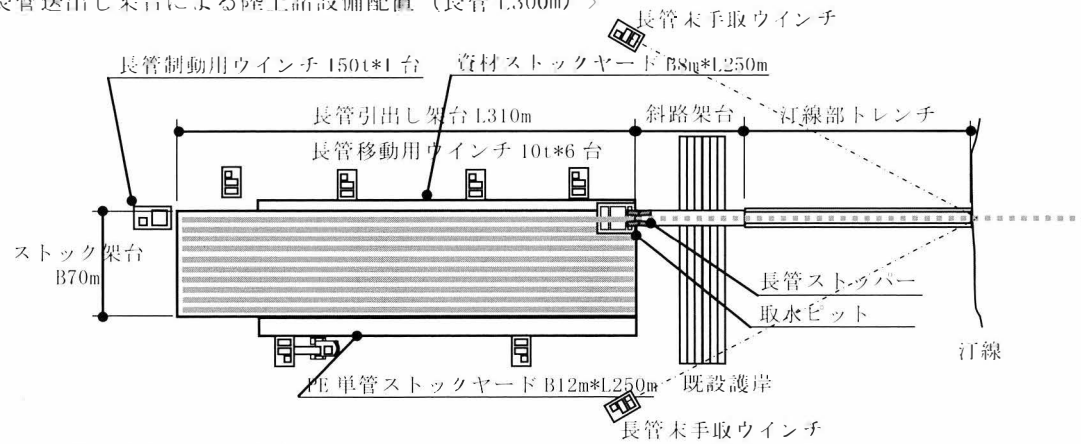
と考える。

4. おわりに

以上、大量取水用の大口径取水管路の設計と施工法に対する弊社の現況に関して述べたが、実用化と言うには研究・開発の初期段階である。

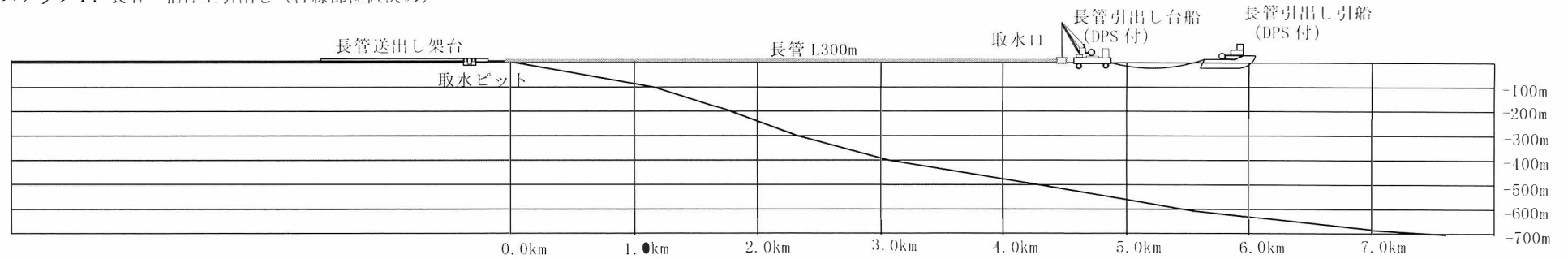
今後は関連技術開発に関するパイロット事業等に積極的に参加し、 $\phi 1\text{m}$ 級の取水管路における実証開発と実績を持ち、次いで $\phi 2\text{m}$ 級管路の実証・実績と段階的な開発を行うことで実用化を目指したいと考える。

<長管送出し架台による陸上諸設備配置（長管 L300m）>



<海中部敷設法（浮遊曳航法）>

ステップ1. 長管一括浮上引出し（江線部位置決め）



ステップ2. 長管沈設（岸側→沖合側）／ステップ3. 取水口沈設

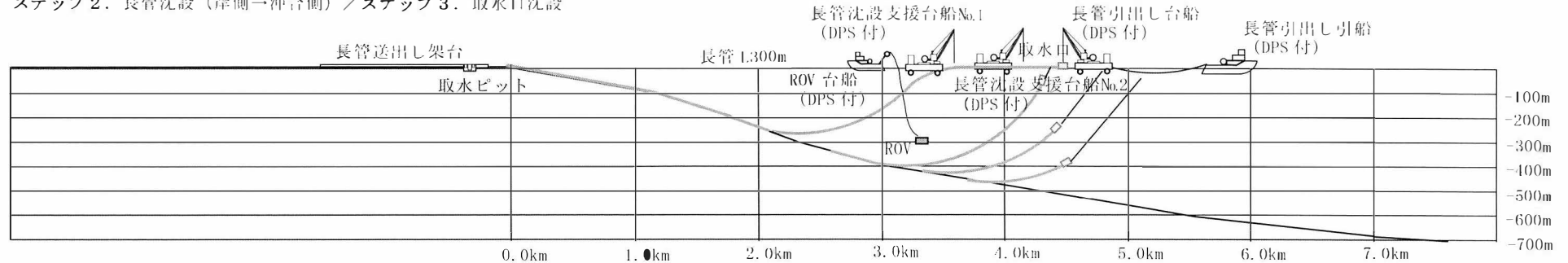


図 5. 浮遊曳航法による海中部管路の敷設法案

く台船による長管送出し方法による諸設備配置 (長管 L100m) >

50m

10,000 t 級台船

昇降斜路架台

ミニクレーン

係留用 W ウインチ

長管移動用 W ウインチ

長管送出し用ウインチ

長管移動用 W ウインチ

アコモデーション

倉庫

コントロール室

引込み斜路

送出し斜路

接続台

ステップ 1. 長管製作 (砂浜)

※バット融着

↓

長管浮上運搬

ステップ 2. 長管接続 (10,000 t 台船)

※フランジ接続

↓

ステップ 3. 長管牽引・海上引出し

※アンカー牽引

150m

図 6. 海底曳航法による海中部管路の敷設法案

S 6. 台湾東部の海洋深層水産業発展の挑戦

○劉 金源(台湾国立台東大学学長、台湾深層海水資源利用学会理事長)、
黄 秉益(台湾石材・資源センター研究員、台湾深層海水資源利用学会事務局長)

台湾では2006年1月に行政院が制定した「深層海水資源利用および産業発展実施計画」に基づき、2011年前後に台東県太麻里郷美和村に「經濟部東部深層海水創新研發センター」、知本川北岸に「農業委員会水産試験所東部海洋生物研究センター水産生物種原庫」が建設された。残念なことに実は両研究所は2012年5月と2013年9月に相次いで取水問題が起こり、未だに取水不能になっているので、台東地区の海洋深層水の資源利用と産業発展が大きく影響されている。

台湾での海洋深層水の資源利用は民間会社が先行し、花蓮県で最も規模の大きい台湾肥料社は2004年の取締役会で「花蓮工場における海洋深層水投資計画」を通し、2007年に日本の前田建設に依頼して、陸側において台湾で初めてのトンネル工法によって、七星潭海域662m深まで取水管を敷設した。その後、台湾肥料社は「肥料で植物を健康に育てる台湾肥料から、海洋深層水で人を健康にする台湾肥料へ」とスローガンを掲げ、2013年に合弁会社であった台湾海洋深層水社を100%出資の子会社にし、生産能力を上げたり、体験テーマパークも建設し、深層水の資源利用に全力を注いでいる。しかし一方で、台湾の他社と同じ、台湾肥料社も商品の位置付け、価値、ブランド力、特色や消費者の認知度などの問題に遭い、決して良い成績を出しているとはいえない。

以上のように、台湾の海洋深層水産業の発展にいくつかの挑戦がある。政府に関しては国立の研究所の取水問題、または工事の失敗で、産業の発展が停滞していること、民間に関しては、花蓮県の3社の民間企業は両国立研究所の開設によって資源利用が促進され、次いでは産業全体が発展すると期待していたが、取水問題で窮境が開開できず、産業全体が不安に満ちていることである。

そこで、国の監察院黄煌雄監察委員はこの問題を重要視し、2012年8月から1年間で調査し、報告書を纏めた。この報告によると、台湾での海洋深層水産業に直面している問題は1.基礎研究

の不足、2.基本技術の不十分、3.専門的人材の不足、4.担当政府機関の能力不足、5.監督制度の失敗、6.連携、協力機能の欠如、の6点を挙げた。幸いなことに政府の担当者はこの調査報告で相当地にプレッシャーがかけられ、問題の解決により一層に慎重かつ真剣に取り組むようになり、取水工事を担当する經濟部は取水管の再敷設は失敗が許されない心構えができた。実はこの報告書では問題の原因を提起しただけでなく、国が東部地区に海洋深層水産業を推進する政策は変わっていないことが再確認され、第2段階の3年間の実施計画がスタートし、2020年までに年間売り上げを40億元にする目標を明確にした。

筆者は海中工学が専門で、かつ台東地区で唯一の大学の学長なので、実は2年前から産官学研各界の専門家を招いて、台湾で起こっている取水問題に関して、詳細に検討した。多くの専門家は經濟部東部深層海水創新研發センターの取水問題の原因は河川から多量の土砂の輸送や不安定の地形に起因すると判断しがちであるが、実際には工事設計、施工技術や経験の不足も重要な原因である。これらの失敗経験を教訓に、再敷設工事のために只今台東県沿岸で詳細な海洋環境調査が行われている最中で、次いでは工事の設計を終え、2015年年末の取水施設の完成を目標に向かっている。

謝辞:台湾で海洋深層水産業の発展を支えるため、2年ほど前から立ち上げを計画されていた「台湾深層海水資源利用学会」が2014年9月に正式に設立され、本文の第一著者が理事長、第二著者が事務局長に勤めさせていただいております。設立大会の際には海洋深層水利用学会高橋正征会長にもお越しいただき、心より感謝申し上げます。今後、台湾と日本の両学会の連携によって、海洋深層水資源利用を促進させ、次いでは産業の発展に繋がると切望しております。

一般講演3

〈利活用システム関連他〉

座長 山下 和則
(株式会社 エコニクス)

12. 腸管モデル細胞による海洋深層水のβ-クリプトキサンチン吸収促進作用

○白倉 義之・向井 克之（ユニチカ㈱）、野村 道康・山田 勝久（㈱DHC）

1. はじめに

β-クリプトキサンチンは温州みかんに豊富に含まれるカロテノイドであり（図1）、抗酸化作用、血流改善作用、骨代謝改善作用、体脂肪低減作用など多岐にわたる機能を持つことが報告されている。また、最近の検討でβ-クリプトキサンチンはレチノイン酸受容体を直接活性化して、ビタミンA様作用を持つことが明らかとなっている。

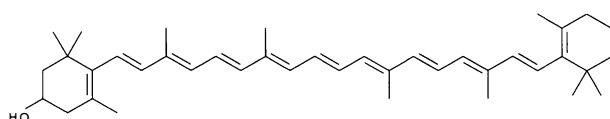


図1 β-クリプトキサンチン

一方、海洋深層水はビタミンCの吸収を促進することが示唆されており、海洋深層水は腸管に対して様々な形で作用すると考えられる。そこで、腸管のモデル細胞であるCaco-2細胞に対して海洋深層水を作用させることにより、β-クリプトキサンチンをはじめとしたカロテノイド類の吸収性を向上できないか検討した。

2. 実験方法

ヒト結腸モデル細胞Caco-2を、コラーゲンコートした6ウェルプレートに 2.0×10^5 細胞/ウェルとなるように播種し、コンフルエントまで培養を行った。コンフルエントに達した日を0日目として、2日に一度培地交換を行いつつ、14日間培養を行い、細胞を腸管様細胞へと分化させた。この間、海洋深層水を培地に対して終濃度0.5、2.0%になるように細胞へと作用させた。14日後、β-クリプトキサンチンを0.66、2、6μMとなるよう緩衝液又は培地に添加した。一定時間経過後、細胞を回収し、ヘキサンを用いて抽出し、β-クリプトキサンチンの細胞への吸収量をHPLC法を用いて解析した。また、同様の方法で培養を行ったCaco-2細胞に対してアスタキサンチン、ルテ

インを添加して、細胞への吸収性を比較した。さらに、海洋深層水によるCaco-2細胞の遺伝子発現に対する影響を検証するため、Real-time PCR法、マイクロアレイ法（Agilent社）を用いて解析を行った。

3. 結果および考察

β-クリプトキサンチンを添加して、2時間後の細胞への吸収量は、超純水を添加したコントロールに対して海洋深層水の添加によって1.2倍程度に有意に上昇した（ $p < 0.01$ ）。また、作用させる海洋深層水は、終濃度が2.0%よりも0.5%の方がβ-クリプトキサンチンの吸収量が高くなった。さらに、海洋深層水の作用時間について調べたところ、β-クリプトキサンチン添加時に海洋深層水を同時に添加しても効果は観察されず、培養8日目から6日間海洋深層水を作用させる条件が最も吸収量が高くなった。他のカロテノイドの吸収量に関する海洋深層水の影響を調べたところ、アスタキサンチンについては吸収性を向上させたが、ルテインに対しては影響を及ぼさなかった。また、Real-time PCR法によりカロテノイド吸収に関与している可能性のある遺伝子発現量を解析したところ、Scavenger receptor class B, type I (SR-B1)の発現を海洋深層水は有意に上昇させた（ $p < 0.05$ ）。SR-B1は、コレステロール吸収に関する受容体であるが、カロテノイドの吸収にも関与することが報告されている受容体である。さらに、マイクロアレイ法による網羅的解析の結果、Zinc finger protein等の発現を上昇させることが明らかとなった。カロテノイド吸収には亜鉛が必要であることが知られており、海洋深層水はその構成成分である亜鉛と、SR-B1等受容体の発現上昇によって相乗的に、β-クリプトキサンチンの腸管への吸収を向上させていることが示唆された。

1 3. 海産食品衛生における海洋深層水の利用と羅臼漁港の事例

○山内 繁樹・山下 和則・筒井 浩之（エコニクス）、長野 章（全漁建）、
高橋 正征（東京・高知大学名誉教授）

1. はじめに

海産食品（魚介類等）は水揚げ時点から大量の海水が洗浄に利用される。食品衛生法に基づく生食用生鮮魚介類の加工基準では「原料用鮮魚介類は飲用適の水、殺菌した海水又は飲用適を使用した人工海水で十分に洗浄」することとされ、地方自治体の食品衛生法施行条例では魚介類セリ売りを含む営業施設の給水設備基準で「作業場には飲用に適する（飲用適）水を供給できる設備を設けること。水道以外の水を使用するときは除菌又は殺菌装置を設けること」（北海道の例）と、清浄性への注意が指摘されている。羅臼漁港では衛生管理を重視して海洋深層水を汲み上げ、洗浄と低温管理等に利用している。本発表では漁港における海水利用の必要性和海洋深層水の衛生的適性を羅臼漁港の事例で評価する。

2. 魚介類の陸揚げと海水利用

魚介類の衛生は鮮度と一体的に管理される。これは魚介類の商品価値として鮮度が最優先されているためである。定置網によるサケ漁が9月上旬から操業される羅臼では、漁獲されたサケは海洋深層水で洗浄されたステンレスの選別台に陸揚げ選別され、ステンレスタンクに入れられる。ステンレスは、一般に使われるFRP、木等に比較して傷がつきにくく、傷の部分に付着し洗浄しづらい細菌の増殖を軽減することができる。選別台のサケはオス・メス、サイズやギン・Aブナ・Bブナ等と呼ばれる成熟度合いによる体色変化に応じて区分・仕分され定低温の深層水と氷を入れた複数のタンクに分散され、魚体温度と清浄性が保たれた状態でセリにかけられる。別途、各種水産物がセリにかけられる荷捌所は床面に常時深層水が流れるように給水管が配置されている。海洋深層水の得られない地域では海面から汲み上げた海水を洗浄に利用している。また、海水を利用しているのは魚介類だけではなく海藻類の洗浄にも重要でこの後に乾燥等に回される。

3. 洗浄等使用海水の衛生条件

海産魚介類の水揚げから荷捌きまでの間に専ら海水が使用される理由は浸透圧の差による品質や鮮度の低下を防止するためである。この間での洗浄水に関する基準はないが、衛生管理の観点から

は生食用魚介類の加工で求める飲用適の水や飲用適水を用いた人工海水、滅菌海水あるいは同等海水の使用が適切である。産地魚市場品質管理の手引き（大日本水産会・全国漁業協同組合 2000）では、いけす、選別、洗浄、解凍に使用する水は清浄（殺菌）海水、または飲用（適の）*水を使うことを指導している。清浄海水は食品の衛生状態に直接又は間接の影響を与える量の微生物、有害物質、有毒海洋プランクトンを含んでいない海水又は汽水（天然、人工又は精製）と定義されている（対EU輸出水産物食品の取扱要領：厚生労働省・農林水産省・水産庁通知 2014）。また、水産食品の衛生基準としては最も厳しいといわれる対EU輸出水産物取扱要領では、丸のまま及び除頭や内臓除去をした水産物並びに切り身や薄切りの水産物、さらに活二枚貝・棘皮動物・被囊動物・海洋性腹足類動物には清浄海水を使用することができるとされており、品質・鮮度に配慮したものと思われる。

4. 海洋深層水の衛生適正

深層水の衛生適正に関する評価は飲用適の水との比較により得られる。飲用適の水は水道により供給される水又は食品添加物等の規格基準（s 34. 厚告 370 号）の第1食品D各条○清涼飲料水の製造基準に掲げられた一般細菌・大腸菌とカドミウム・水銀・鉛など26項目の基準に適合するものである。26項目のうち深層水で不適合となるのは、フッ素、塩素イオン、硬度、蒸発残留物であるが、これらは海水の特徴となるものであり滅菌海水の使用を認める食品衛生上の問題となるものではない。深層水の一般細菌や大腸菌群に対する清浄性、さらには低温特性が深層水の衛生適正を高めている。

5. おわりに

海洋深層水は温度差発電から化粧水まで多様な利用がされているが、清浄性と定低温で水産食品の衛生保持の資源としても重要な位置を占めている。漁業での利用期待が大きくありながら十分な利用がされておらず、水産養殖などでの技術開発と併せて利用拡大が期待される。

* 著者挿入

14. 2 段ランキンサイクル海洋温度差発電システムの 最適運転条件に関する実験

○森崎 敬史・楠田 英佑・池上 康之（佐賀大学海洋エネルギー研究センター）

1. 諸言

エネルギー問題および環境問題が深刻化するなか、海洋温度差発電 (Ocean Thermal Energy Conversion: OTEC) の有効利用が期待されている。再生可能エネルギーの一つの OTEC は、利用できる温度差が小さいため、サイクル熱効率は原理的に低くなる。そのため、効率を向上させる手法として 2 段ランキンサイクルが提案されている。2 段ランキンサイクルについては、その特性が理論的に検討されているが、実験的には十分に行われておらず、システム特性と最適な運転条件は明らかにされていない。

本研究では、多段サイクルの一例として 2 段ランキンサイクルを対象とし、各段の作動流体流量の比に注目して実験的に検討を行い、その最適な運転条件およびシステム特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は、図 1 に示す単段 (S-R) と 2 段ランキンサイクル (D-R) の実験装置を用いた。作動流体は HFC134a とし、温水温度 28°C、冷水温度 7°C、温・冷水流量 0.5t/h、作動流体流量 0.1t/h を基本条件とした。蒸発器と凝縮器における総伝熱面積をそれぞれ 0.064m² とし、D-R の高温側 (Cycle No. 1) と低温側 (Cycle No. 2) のサイクルの流量比を変化させた。なお、実験装置にはタービンを設置しておらず、タービンを模擬した減圧弁により差圧を生じさせているため、出力およびサイクル熱効率については議論せず、熱交換過程における熱源と作動流体の温度および不可逆損失の評価を行った。この評価については、エントロピー生成速度を用いた。

3. 実験結果

D-R の Cycle No. 1 と Cycle No. 2 との作動流体流量の比を変化させて実験を行い、S-R との比較もあわせて、システム特性について検討を行った。

その結果、D-R の Cycle No. 1 の作動流体蒸発温度は S-R より高く、D-R の Cycle No. 2 の作動流体凝縮温度は S-R より低くなることが確認された。

さらに、D-R の Cycle No. 1 および Cycle No. 2 の作動流体流量が等しいとき、他の作動流体流量比に対してエントロピー生成速度、つまり熱交換過程における不可逆損失が小さくなることが確認された。このとき、S-R に対して D-R のエントロピー生成速度は小さくなり、作動流体流量の比が等しい条件から離れるほど、エントロピー生成速度は大きくなる。

4. 結論

D-R の作動流体流量の比が等しい条件では、S-R に対してエントロピー生成速度、つまり熱交換過程における不可逆損失が小さくなる。このため、S-R に対して D-R のサイクル熱効率の向上と出力が増加することが期待される。

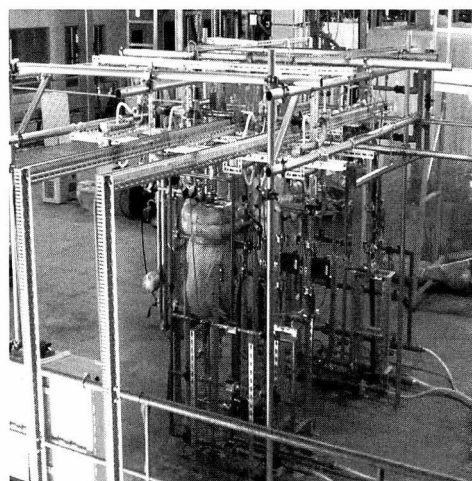


図 1 2 段ランキンサイクル実験装置

15. 久米島における海洋深層水複合利用に関する調査

○浦田 和也・永江 壽光・廣 智恵・池上 康之（佐賀大学 海洋エネルギー研究センター）

1. はじめに

海洋温度差発電（OTEC）は、海洋の表層海水と海洋深層水との温度差を利用し、電気エネルギーが得られる環境にやさしい再生可能エネルギーであるため、将来のエネルギー問題に貢献できる発電方法として期待されている。特に、久米島では世界に先駆けて実海水を用いた OTEC の実証研究が沖縄県のプロジェクトとして 2013 年 6 月より始まり注目されている。久米島は、島の東側海域の海底地形が海洋深層水の取水管設置に有利な形状をしているため、OTEC 商用プラント設置の国内での最有力候補地となっている。また、再生エネルギー法案が成立後、海洋深層水利用による海洋エネルギーの実証研究に注目が集まっている。OTEC では、発電だけではなく、海洋深層水の性質を有効に利用し、海水の淡水化、水素の製造、海洋の肥沃化、希少金属の回収などの複合利用が出来る特徴がある。この有用性を最大限に生かすためには、海洋環境や海水の成分等を把握する必要があり、そのための様々なデータを取得する海洋調査は、必要不可欠となる。

一方、OTEC では比較的小さい温度差を効率良く利用し、イニシャルコストを低減するために高性能でコンパクトなプレート式熱交換器を使用する必要がある。しかし、シェル&チューブ型の熱交換器に比べて海水の流路断面積が小さく、バイオフィウリングや大型の汚損生物の付着による伝熱性能の低下が懸念されている。そのため、海水中の微生物や細菌が多く、運転中に熱交換器の性能の低下が著しい地域においては、伝熱面に付着する阻害物質を除去するための防汚対策が課題となっている。著者らのこれまでの研究により、熱交換器や配管等の汚れ付着には、海水温度や海水中の微生物や細菌の量が大きく関与していることがほぼ明らかになってきている。一方、清浄性が高い海洋深層水の流路では生物系の汚れ付着はほとんどないことや微生物が多い地域と少ない地域では、汚れ付着の進行に違いがあることが確認されている。

そこで、本調査では、海洋深層水複合利用に関する海洋調査を久米島周辺海域において実施した。また、OTEC 用蒸発器の模型を作製し、久米島の海水と伊万里湾の海水を通水し、伝熱面に付着する汚れの成長を観察した。

2. 久米島周辺海域における海洋調査

2014 年 9 月 2 日～9 月 3 日に CTD センサーを用いて久米島周辺海域の 13 地点において観測を行った。測定項目は、水温、塩分、深度である。

今回観測を行った代表地点の水温の鉛直分布は、表層付近では 30℃を超えており、約 30.4℃、水深 200m で 20.2℃、400m で 14.3℃、600m では 8.8℃、800m では 5.4℃、1,000m になると 4.2℃であった。これらの値は、2010 年 9 月 9 日～10 日に実施した観測結果と比較すると、水深 200m 以深では、ほぼ同じ値を示しているが、表層付近において約 0.8℃程度高い値であった。以上のことから、久米島の 9 月期における温度差は、表層と深層約 600m で 20℃以上得られることが確認され、800m 以深になると約 25℃以上の温度差がある。OTEC の商用プラントを経済的に成立させるためには、最低でも約 15℃以上の温度差が必要であると考えられているが、この時期の久米島における海洋の温度差エネルギーのポテンシャルの高さを示している。

3. 熱交換器に付着する汚れに関する調査

プレート式熱交換器に海水を連続通水すると汚れが付着し、伝熱性能に大きな影響を与えるため、その付着状況を把握する必要がある。今回、プレート面を可視化し、汚れ量を観察できる装置を 3 基作成し実験を行った。実験装置は OTEC 蒸発器を想定しているため、伝熱板はチタンであるが、押え板に実用機とは異なるアクリル板を用いた。実験では、それぞれの装置には、①久米島の表層水、②久米島海洋深層水、③佐賀県伊万里湾表層水を連続的に通水し、定期的に可視化を行い、プレート面に付着した汚れ量や細菌数の分析を実施した。可視化の結果、久米島の表層水及び深層水を通水したプレートには、ほとんど汚れが付着しないことが明らかになった。比較対照用に設置した伊万里湾海水を通水した装置では、通水後約 1 週間で汚れ付着が確認された。

この調査結果より、久米島の表層水及び海洋深層水は清浄性が高く、汚れ付着による OTEC 用熱交換器において懸念材料であった汚れ付着による伝熱性能の低下はほとんどなく、メンテナンスフリーで運転できる可能性が示唆された。

16. 漁港内に放流した深層水の挙動解析

○多部田 茂・加藤 孝義・鈴木 翔太・大内 一之（東京大学）

近年日本の沿海で磯焼けによる藻場の減少が顕著であり、生産性豊かな海が失われつつある。著者らは、窒素・リンなどの栄養塩を豊富に含む海洋深層水を閉鎖海域に放流し滞留させ、藻場造成や海藻養殖を行なうことによって、磯焼けの防止や水産物生産の増大、海域環境の向上に資することを目的とした実証実験を計画している。その準備として、実験候補海域における深層水の放流シミュレーションおよび深層水を滞留させるための設備に関する模型実験を実施した。

本研究では、効率的に藻場造成を行うためには深層水を滞留させる必要があると考えられるため、漁港等の閉鎖的な海域を実験対象海域として設定している。まず、当初の計画での対象海域であった伊豆大島泉津漁港周辺海域における深層水の放流シミュレーションモデルを構築した。モデルはMEC-NEST（日本船舶海洋工学会海洋環境研究会にて開発）をベースとし、深層水放流点近傍をネスティングによって高解像度にするとともに指定したグリッドに深層水を注入できるようにした。水平格子サイズは広領域（港外を含む沿岸域）で10m、狭領域（放流点を含む港内）で3.3mとし、鉛直方向は15層とした。外洋側の境界で潮汐を与えて潮流を再現し、それによる放流深層水の挙動を計算した。泉津港の深層水取水施設のデータに基づいて、水温6.4℃、NO₃濃度32.5μmol/Lの深層水を10ton/hourで放流した。深層水の放流地点によって港内への滞留に差異が認められることや、深層水の拡散を防ぐ仕切りを設けるとより滞留しやすくなることがわかった（図1）。

実海域でより効率的に深層水を滞留させる方法として、箱形の容器を海底に設置してそこに深層水を注入する方法を考案した。この方法の有効性を検討するために、佐賀大学海洋エネ

ルギー研究センターの成層海流水槽を用いて、周辺海水に比べて低温な模擬深層水を箱形形状容器に注入したときに、周辺の流れと密度差による滞留性能への影響を調べた。模型は実機の1/10スケールとし、実験条件は水平流速に関するフルード数と模擬深層水と周辺水の温度差に関する内部フルード数を考慮して決めた。冷却した模擬深層水を着色して滞留・拡散の様子をビデオカメラで観察するとともに（図2）、熱電対によって容器内から直上にかけての温度分布を計測した。水平流速が大きくなると容器内外の水が混合して容器内外の温度差がほぼなくなること、その臨界流速は深層水と周辺水温の差に伴って小さくなることが確認された。

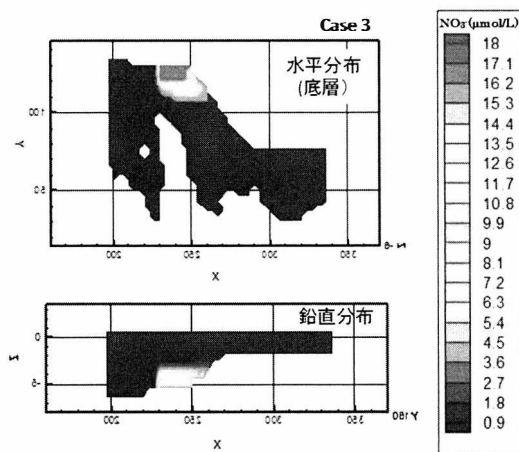


図1：泉津港内の深層水放流シミュレーション結果の例

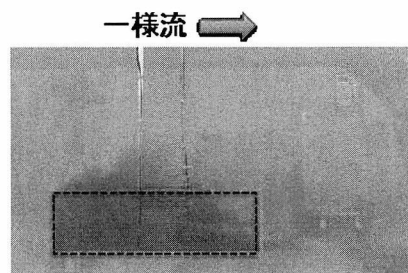


図2：箱形容器内の模擬深層水の滞留実験

17. 海洋深層水を活用したカキ浄化システム

〇驚足 恭子（㈱ヒューマンウェブ）

1. 目的

海洋深層水の特徴のひとつである「清浄性」に着目し、自然の力でカキを浄化するシステムを富山県入善町にて開始した。これにより、カキがより活性化されることで鮮度が保たれると考え、更なる「カキの安全性」構築を目的に取り組んでいる。

2. 方法

カキ一粒は1時間に約20L以上の海水を体にとりこみ、その海水中にいるプランクトンを食べ、排泄する。大量の海水を吸って吐くことから、これをカキの浄化機能と呼び、海水を浄化（ろ過）する機能があるといわれている。

この生態を利用し、紫外線で海水中の雑菌を殺菌した、ほぼ無菌の海水にカキを投入すればカキの体内は綺麗になり、これが通常行われている、当社も行ってきた浄化システムである。

今回の浄化方法は、その海水を人工的なものではなく、人に害を及ぼす細菌、ウイルスが存在しない清浄性をもつ、綺麗な「海洋深層水」を利用することで、カキをより安全にさせる方法である。

これまでアワビの陸上養殖に取り組んでいた富山県入善町の海洋深層水施設を借り受け、（アワビの養殖も4槽で継続）近隣企業が海洋深層水を空調目的で水冷利用だけに利用しているものを、カキの浄化用として利用している。当該海洋深層水はカキの活動に適した温度に加温されており、全国の産地から集めたカキの浄化用としてかけ流し方式で利用することで、安全なカキに仕上げている。

全国に海洋深層水を利用した養殖施設が15か所あるが、入善町の施設を使うメリットは、適切な水温の海洋深層水が通年利用可能なこと、地理的に地盤が強く、台風や地震などの自然災害のリスクが低いこと。且つ新幹線の開通や首都圏からの

アクセスが良いことが上げられる。

また、海洋深層水の清浄性を活用した浄化のみではなく、富栄養性がカキに及ぼす影響も探れないか、と取り組んでいる。その始めとして入善町の海洋深層水のミネラル成分分析を行った。これは、当社がこれまで浄化センターとして稼動してきた（現在も同業他社向け浄化センターとして稼動）広島県呉市にあるセンターの表層水を紫外線殺菌、濾過した海水と、入善の海洋深層水、また湾から汲んだ表層水を比較し行った。更に、これまで当社の沖縄県久米島の研究所で実験に取り組んできた海洋深層水の富栄養性を活かした微細藻類の培養、カキへの給餌によるカキの成長促進や、水温コントロールによるカキの栄養蓄積（生殖腺発達）のコントロール技術を入善にて導入し、新たな蓄養のスタイルを構築していきたいと考える。

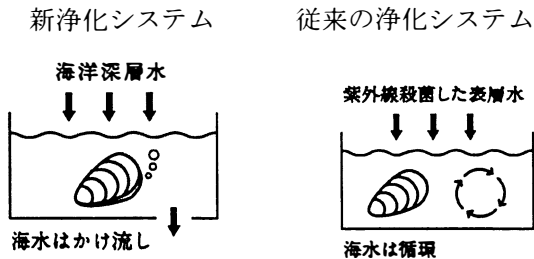
3. 結果

海洋深層水と表層水のミネラル成分分析は

（単位 $\mu\text{g/ml}$ ）	Ns	Mg	Ca	k
入善深層水	12532	1169	604	662
入善表層水	9503	801	479	516
広島表層水	8696	801	487	497

【東北大学大学院農学研究科栄養学研究室調べ】

この様に、深層水の富栄養性を把握出来た。今後、これらカキに及ぼす影響を入善と広島で蓄養したカキの比較分析にて明らかにする。



18. 人工海底山脈による補償深度付近での鉛直混合について

○鈴木 達雄（㈱人工海底山脈研究所）

武田 真典（一般社団法人 水産土木建設技術センター）

本田 陽一（㈱環境風土テクノ）

1. はじめに

海洋温度差発電や海域肥沃化の目的で汲み上げられた海洋深層水は、最終的に放流され、周辺の水塊と混合し環境に影響を与えられられる。放流による冷水塊形成の抑制、海洋肥沃化の促進の検討は、海洋深層水利用における重要な課題である。しかし、これまでの放流規模における観測や解析では、その影響を明確に把握するのが困難であった。

一方、日本沿岸の基礎生産増加を促すため、海底に人工の山脈を構築する公共事業が展開され漁業者から好評価を得てきた。しかし、ここでも自然地形と比較して微小な構造物が起す物理現象の解明は不十分であった。近年、新たな視点による観測および流動解析方法によって、真光層以深の海水に含まれる栄養塩類の真光層への局所的な混合を示唆する現象が捉えられたので、その方法を紹介する。

2. 人工海底山脈で想定される鉛直混合

海底の小規模人工構造物に起因する微小な影響を、科学的に評価するためには高度な技術が必要である。既往の観測や流動解析から、①水深100m程度の海底山脈で発生した内部波エネルギーは、密度成層内を上方にも伝わり、混合層下端付近の臨界層に達し局所的な鉛直混合を起こしやすく、②流れや密度の鉛直分布に着目すると、上下層の流速勾配が大きく、密度勾配が不連続部で局所的な鉛直混合を起こすことが示唆されている。この海底山脈による補償深

度付近での鉛直混合を観測するには、水温、塩分、流況の鉛直分布の変化を、上流から下流まで高精度かつ高密度に測定するのが有効である。また、流動解析では、LESモデルなどを用いた乱流計算が有効である。

3. 鉛直混合の観測と流動解析

複数の海域観測で、海底山脈直上の表層混合層下端の水深に逆流域が見られた。また、別の観測では、成層状況において構造物直上で密度逆転が確認され、混合層以深の下流側では流速分布が大きく乱れていることが観測できた。これら逆流域や乱れ域の発生は、人工海底山脈の存在が要因であると考えられる。また、観測された流速や密度分布を入力条件とした高精度の数値解析の結果、成層流中にある海底山脈に流れが作用することで地形性の内部波が発生し、そのエネルギーが上方および下流に伝搬し、表層混合層下端が内部波の臨界層となり反射や砕波が発生することにより乱れと混合が生じると推察された。

今後、観測と解析モデルの精度をさらに向上させ、両者がより整合するよう改良を進め、水温、塩分、栄養塩類などの鉛直混合を適正に評価できる手法を確立したい。

4. 参考文献

武田真典ほか、人工海底山脈による鉛直混合現象の実態把握、土木学会論文集 B3(海洋開発) Vol. 70, 2014. (投稿中)



佐賀大学海洋エネルギー研究センター



観光地である大川内山

海洋深層水利用学会

■役員

会長	高 橋 正 征	東京大学名誉教授、高知大学名誉教授
副会長	深 見 公 雄	高知大学大学院
会計監査	白 石 學	一般社団法人 マリノフォーラム21
理事	池 上 康 之	佐賀大学海洋エネルギー研究センター
	井 関 和 夫	広島大学名誉教授
	大 内 一 之	東京大学大学院
	大 塚 耕 司	大阪府立大学大学院
	尾 高 義 夫	大成建設株式会社
	清 水 勝 公	清水建設株式会社
	田 中 祐 志	東京海洋大学大学院
	藤 田 大 介	東京海洋大学大学院
	山 田 勝 久	株式会社ディーエイチシー
	鹿 熊 信一郎	沖縄県海洋深層水研究所
	若 林 洋	富山県農林水産総合技術センター
	浜 田 和 秀	高知県海洋深層水研究所

■研究発表企画委員会

委員長	清 水 勝 公	清水建設株式会社
副委員長	大 内 一 之	東京大学大学院
	池 田 知 司	株式会社環境総合テクノス
	白 石 學	一般社団法人マリノフォーラム21
	吉 川 昌 之	静岡県水産技術研究所
実行委員長	池 上 康 之	佐賀大学海洋エネルギー研究センター
	東 嶋 陽 一	伊万里市(佐賀県)
	田 中 克 典	伊万里市(佐賀県)

海洋深層水研究 Vol. 15 No. 2

印 刷 2014年11月10日 印刷所 株式会社国際文献社

発 行 2014年11月15日 〒169-0075 東京都新宿区高田馬場
4-4-19

Tel. 03-3362-9742

Fax. 03-3364-0041

発行所 海洋深層水利用学会

〒108-8477 東京都港区港南4-5-7

東京海洋大学浮遊生物学研究室内 海洋深層水利用学会

E-mail : dowas.tokyo@gmail.com

