

## 4. 実証試験用設備の運転データ解析

### 4.1 発電使用後海水の利用による、エネルギー消費量低減効果の算出手法について

前章で述べた設備で得られた運転データから、次の2つのシナリオのエネルギー収支を算定し、エネルギー消費量低減効果を算出することを計画している。

- シナリオ 1: 発電使用後海水を利用したシナリオ = 本実証試験でデータを取得したもの
- シナリオ 2: 発電使用後海水を利用せず、発電と並列で利用したシナリオ = 本実証試験で取得したデータを基に、本シナリオにおける発電、および養殖での利用水量を仮定して算出する。

前章で述べた設備で得られた運転データから、次の2つのシナリオのエネルギー収支を算定し、エネルギー消費量低減効果を算出することを計画している。

例として、海ぶどう養殖場での利用を示す。

海ぶどう養殖場では、水温調整のため、表層水（表層水）と深層水（DSW）を混ぜて 23℃の水温の海水を作りだし、それを養殖に用いている（図 4-1）。表層水は夏季には最高 30℃まで水温が上昇するため、深層水の使用量が増え、第一章で述べた通り深層水供給の圧迫要因になっている。

そこで、海洋温度差発電で使用した後の冷えた表層水を用いることで、深層水の使用量を下げることができる（図 4-2）。

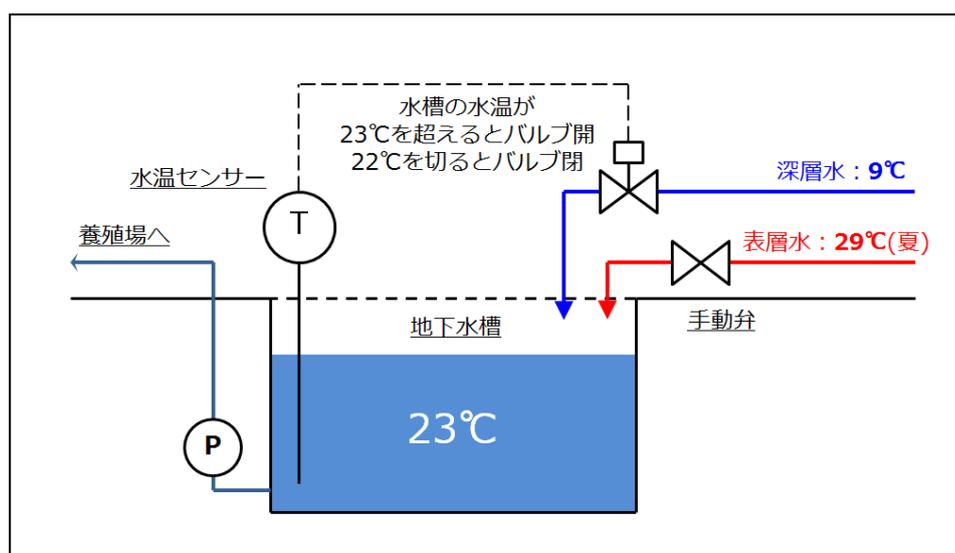


図 4-1 海ぶどう養殖場の表層水・深層水利用（現状）

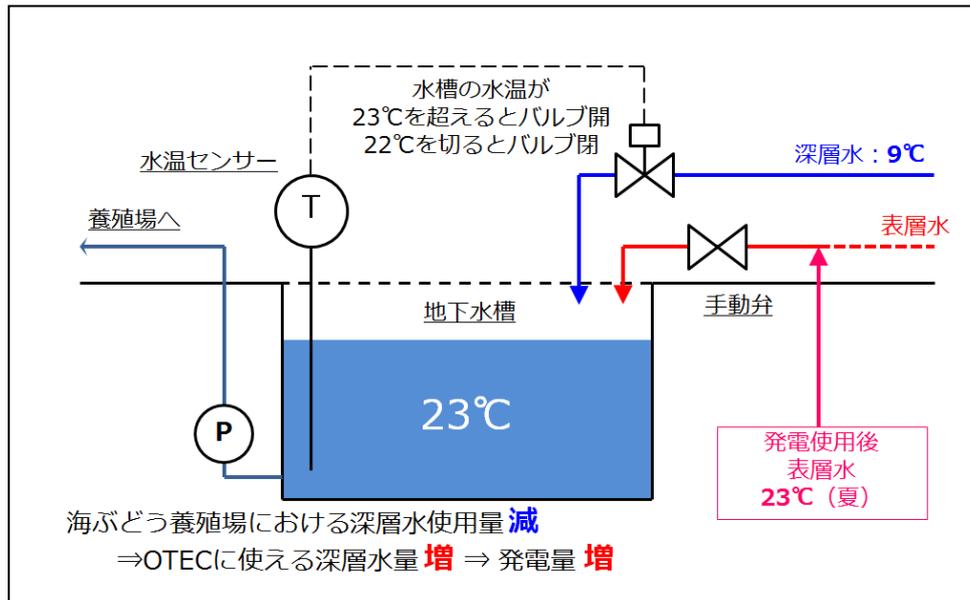


図 4-2 海ぶどう養殖場の表層水・深層水利用（発電後海水利用案）

図4-2を上記のシナリオ1とし、流量・温度の熱バランスから、図4-1とした場合の深層水、表層水の流量を逆算する。その差分を用いて、発電出力がどれほど増えるかを算定し、一次エネルギー消費量低減効果の算出につなげる。

#### 4.2 発電使用後海水の利用による、経済性向上効果の算出手法について

前節で算出した、海水の流量の違いやエネルギー消費量の違いは、次の通り経済性向上効果の算出に換算できる。

【手法①】 <エネルギーから>前節で得られたエネルギー消費量低減効果を、現在および将来の電力単価や燃料単価を用いて金額に換算し、経済性向上効果を算出する。

【手法②】 <海水使用単価から>前節で用いる表層海水は、発電で利用したものであることから、使用単価を割り引く（発電とコスト分担する）と想定し、その単価の違いを経済性向上効果として算定する。（第6章に述べる検討委員会意見より）

【手法③】 <生産物の増産から>現在久米島では、夏季の深層水供給が産業の拡大のボトルネックとなっている。そこで、前節で節減できた深層水を用いて生産物の増産を図った場合の経済性向上効果を算定する。（第6章に述べる検討委員会意見より）

#### 4.3 発電使用後海水の利用による、放水による環境負荷低減効果の評価

シナリオ 1 および 2 の放水温度および量について比較する。

また、水温の面だけでなく、深層水放水の環境負荷要素であると言われる無機栄養塩濃度や pH の違いについて、次の計測および検討を行う。今年度は、次の通り計測および検討を実施した。

なお、無機栄養塩濃度の計測結果の整理については、第 2 章で述べた通り、(株)沖縄エネテックへの再委託により実施している。本データについては、民間企業のノウハウに係るため、数値自体は本報告書では割愛する。

##### 4.3.1 放水中の無機栄養塩濃度等

###### (1) 水質分析データの収集および整理

本調査で対象とした海洋深層水及び表層水の利用システムの概略とデータサンプリングの位置を図 4-3、水質分析試料一覧及び水質分析項目一覧を表 4-1、表 4-2 に示す。本調査では OTEC 使用後の表層水 1 検体、OTEC 使用後の深層水 1 検体、環境水として深層水研究所沿岸の表層水 1 検体及び養殖海水 3 検体の計 6 検体について実施された 11 項目の水質分析項目のデータを集計した。

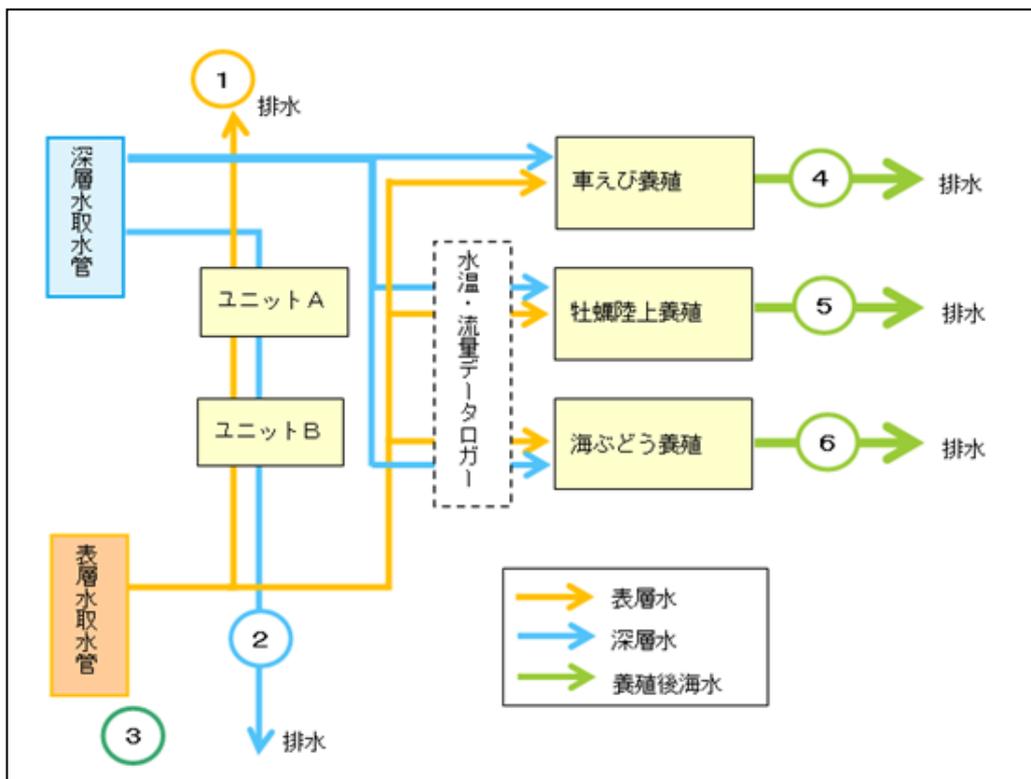


図 4-3 海水利用システム概略とデータサンプリング位置

表 4-1 水質分析試料一覧

	詳細	採水位置	備考
表層水	OTEC 使用後	①	・海洋深層水研究所から約 600m 沖、水深 15m ・取水口から OTEC 後の採水まで大気開放なし
深層水	OTEC 使用後	②	・海洋深層水研究所から約 2300m 沖、水深 612m ・取水口から OTEC 後の採水まで大気開放なし
環境水	海洋深層水研究所沿岸付近	③	・海洋深層水研究所付近の岸壁から採取 ・上記 OTEC 使用後海水との比較用
養殖後 海水	車えび養殖後	④	
	牡蠣養殖後	⑤	
	海ぶどう養殖後	⑥	

表 4-2 水質分析項目一覧

測定項目名		単位	排水基準	環境基準 (海域)
1	水素イオン濃度 (pH)	—	5.0~9.0	7.8~8.3 (生活環境項目)
2	浮遊物質 (SS)	mg/L	200mg/L以下 (日平均150mg・L)	
3	化学的酸素要求量 (COD)	mg/L	160mg/L以下 (日平均120mg・L)	2mg/L以下 (生活環境項目)
4	全窒素 (T-N)	mg/L	120mg/L以下 (日平均60mg・L)	0.2mg/L以下 (生活環境項目)
5	硝酸態窒素 (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	(NH <sub>4</sub> -N × 0.4) + (NO <sub>3</sub> -N) + (NO <sub>2</sub> -N) 100mg/L以下	10mg/L以下 (健康項目)
6	亜硝酸態窒素 (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L		10mg/L以下 (健康項目)
7	アンモニア態窒素 (NH <sub>4</sub> -N)	mg/L		
8	全りん (T-P)	mg/L	16mg/L以下 (日平均8mg・L)	0.02mg/L以下 (生活環境項目)
9	りん酸態りん (PO <sub>4</sub> -P)	mg/L		
10	溶存酸素量 (DO)	mg/L		7.5mg/L以上 (生活環境項目)
11	溶解性鉄 (S-Fe)	mg/L	10mg/L以下	

## (2) 環境負荷に係る事業データの収集および整理

深層水及び表層水利用状況について、投入される水量、投入物（肥料など）、製品量など環境負荷の評価に関わるデータを収集した。本調査では、海ぶどう養殖事業にかかるデータを事業者への聞き取りにより収集した。

## (3) 分析結果

分析に供した6検体は、いずれの項目も排水基準を満足していた。以下、特徴を述べる

### ①水素イオン濃度(pH)

沖縄近海の表層海水のpHは通常8.1～8.3である。OTEC使用後表層水及び研究所沿岸のpHは8.1～8.2で通常の表層海水の値であった。一方、OTEC使用後深層水及び養殖海水はpHが低くなる傾向があった。<sup>1</sup>

### ②浮遊物質(SS)

車えび養殖海水は他の検体に比較して高い値となっている。

### ③化学的酸素要求量(COD)

SS同様車えび養殖海水は他の検体に比較して高い値となっている。

### ④窒素(全窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素)

溶存態窒素(硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素)で環境基準を超過した検体はなかったが、全窒素は深層水と各養殖海水で若干高い。

窒素量の多かった深層水及び養殖海水の各検体における特徴をみると、海ぶどう養殖後の海水では溶存態窒素特にアンモニア態が高くなっており、全窒素量が全検体中で最も高くなっている。深層水及び牡蠣養殖海水では、溶存態の中でも硝酸態窒素が高くなっていた。一方、車えび養殖後の海水では全窒素に対して溶存態窒素は低くなっていた。このことから、海ぶどう、牡蠣および深層水では溶存態窒素が主な要素であるのに対し、車えび養殖では懸濁物等に含まれる有機態窒素が主な要素となっていることが考えられる。

なお、研究所沿岸の環境水でアンモニア態窒素が水産用水基準を上回る値となっているが、アンモニア態窒素は降雨などによる陸域からの流入の影響で変動が大きい項目である。海域の特徴として考えるには経時的な変化を考慮する必要がある。

### ⑤りん(全りん、リン酸態りん)

---

<sup>1</sup>海域における各類型は以下の通り指定されている。A類型—水産1級（マダイ、ブリ、ワカメ等の水産生物用など）・水浴・自然環境保全及びB以下の欄に掲げるもの、B類型—水産2級（ボラ、ノリなどの水産生物用）・工業用水及びC以下の欄に掲げるもの、C類型—環境保全。なお、沖縄県の公共用水域（海域）ではC類型は指定されておらず、羽地内海の一部を除く全海域でA類型に指定されている。

全りんは深層水と各養殖海水で高い数値となっている。

窒素の多かった深層水及び養殖海水の各検体における特徴をみると、海ぶどう、牡蠣養殖後及び深層水では溶存態りんが多く、車えび養殖後の海水では全りんに対して溶存態りんは低くなっていた。このことから窒素同様、海ぶどう、牡蠣および深層水では溶存態りんが主な要素であるのに対し、車えび養殖では懸濁物に含まれる有機態りんが主な要素となっていることが考えられる。

#### ⑥溶存酸素量 (DO)

溶存酸素量は深層水で環境基準を下回ったが、全ての検体で水産用水基準を超える値であった。

#### ⑦溶解性鉄 (S-Fe)

溶解性鉄は全ての検体で定量下限値未満であった。

以上の結果から分析対象とした各産業における水質性状変化の特徴を以下にまとめた。

- ① 養殖海水の pH は深層水と同程度である。ただし、車えび養殖後の海水では pH の上昇がみられる。
- ② 濁りは車えび養殖後の海水で高く、その他の海水では環境水と同程度である。
- ③ COD は車えび養殖後が高く、海ぶどう養殖海水でもやや高い。
- ④ 窒素、りんの栄養塩類は牡蠣、海ぶどうで溶存態が高く、特に海ぶどうではアンモニア態窒素が高い値を示し、全体的な窒素量が高い。車えびは溶存態の量が低いことから有機態の栄養塩類の量が高いと考えられる。
- ⑤ 溶存酸素量は各事業とも環境水と同程度の酸素量だが、特に車えびでは高い値となった。

### (4) 分析結果の評価

養殖事業による表層水及び深層水の性状変化について以下の通り評価した。

- ① 車えび養殖では、表層水よりも負荷が上がっているものの、深層水と比較して pH、全窒素、全りんの負荷は上がっていない。一方、SS、CODの負荷量が深層水よりも高くなっている。このことから、車えび養殖では事業実施により懸濁態の有機物量が増加したことが示唆される。
- ② 牡蠣養殖では、表層水よりも負荷が上がっているが、深層水とほぼ同様の性状を示している。

- ③ 海ぶどう養殖では、表層水よりも負荷が上がっており、深層水と比較してpHが下がり、全窒素、全りんなど栄養塩濃度が増加していた。一方、SSは増加しておらず、CODは若干の増加に留まっている。このことから、海ぶどう養殖では事業実施により海水に溶解する栄養塩量が増加したと考えられる。

## (5) 事業プロセスと水質への影響

各事業の事業プロセスと水質性状の変化との関係を考察した。

### ①海ぶどう養殖

海ぶどう養殖事業における月別の表層水および深層水の利用量と平均水温の推移を図9に示す。

海ぶどう養殖事業では、表層水を年間約128万t、深層水を年間約29万t利用している(平成28年実績)。利用量は月によって異なり、表層水温が28℃を超える6月～9月にかけての夏季では深層水の割合が高くなる。水質調査を実施した1月は、深層水利用は非常に少なくなっている。一方、海ぶどう養殖ではヤイトハタ飼料と海ぶどう専用飼料が肥料として使用されている。

水質をみると、全りん、全窒素などの栄養塩による負荷が高く、SS、CODも若干高くなっている。栄養塩は深層水の利用量が少ないため、肥料に由来するものであると考えられる。栄養塩の内訳をみると溶存態の窒素の割合が高いが、窒素については有機態も一定量含まれている。参考として深層水と比較すると、深層水はほぼすべてが溶存態となっている。

こうしたことから、海ぶどう養殖後の海水は、施肥による影響が大きいと考えられる。

### ②牡蠣養殖

牡蠣養殖海水の水質をみると、深層水と同様の傾向を示していたが、溶存酸素量が増加していた。栄養塩の内訳をみても、深層水とほぼ同様であったが、若干の有機態窒素の増加がみられた。牡蠣養殖における深層水利用量、表層水利用量及び投入物については未調査であるため、詳しい分析には更なる調査が必要となるが、深層水の性状をほぼ保持した状態である可能性が高いと考えられる。

### ③車えび養殖

車えび養殖海水の水質の特徴は、有機態の懸濁物が多くなっていることである。一方、栄養塩の内訳をみると、深層水と栄養塩の総量はほとんど変わらないが、有機態の割合が多くなっていることがわかる。さらに溶存酸素量は表層水よりも高い値であった。

要因として、車えびの残餌や糞等に由来する有機物と曝気あるいは低水温の影響により溶存酸素量が増加したことが考えられるが、可能性として植物プランクトンなどを含んでいることも考えられる。何が要因となるかを特定するためには海水利用量や投入物、詳細な事業プロセスなどのデータ分析が必要である。

## (6)まとめと今後の課題

### まとめ

- 養殖海水は、沿岸の表層海水よりも栄養塩等の負荷が高くなっているが、その性状は事業種により異なる。
- 車えび養殖では、懸濁物と有機態の栄養塩量が多く、溶存酸素量が高い。車えびの残餌や糞、水温の影響等が考えられるが、可能性として植物プランクトンが含まれることも考えられる。
- 牡蠣養殖では、栄養塩量が多いが、懸濁物等は少ない。溶存酸素量が多いが、水質性状は深層水とほぼ同様であった。
- 海ぶどう養殖では、懸濁物量は大きく増加はしないが、栄養塩類の増加が見られる。冬季の海水利用状況から、本調査時には深層水利用は少ないと考えられ、深層水由来の栄養塩ではなく施肥による影響と考えられる。

### 今後の課題

#### ① 事業特性とプロセスの把握

事業特性及びプロセスを把握することで、負荷の要因や負荷が高くなるプロセスを特定することができると考えられる。特に深層水利用の影響評価をするためには、深層水による影響とそれ以外の事業特性による影響を分けて考える必要があると考えられる。

#### ② 水質性状の多角的な分析

養殖海水性状は事業特性によって異なる。排水処理検討の為には、排水の性状について本調査分析項目以外にも適宜検討の余地がある。例えば、溶存シリカの量、アルカリ度、あるいはプランクトンなどの生物量等の分析により養殖海水の特性を把握し、適切な処理検討につながると考えられる。

#### ③ 事業影響評価

深層水利用事業の普及と促進のためには、負荷と効果の両面から影響を適切に評価する必要がある。深層水利用の環境影響を考えた場合、水域環境への負荷は大きいですが、地球環境に対してはCO<sub>2</sub>削減効果などが考えられ、空間スケールによってさまざまな評価ができる(図4-4)。

複合利用によって得られる効果を最大限にし、負荷をできる限り低減していくためには、システム全体の総合的な影響評価を実施することが重要である。

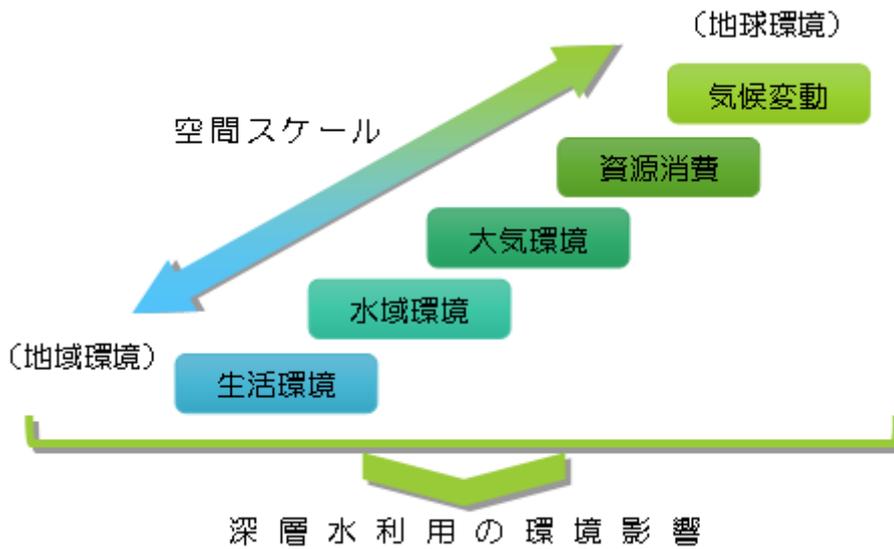


図 4-4 深層水利用に係る環境影響項目のイメージ

#### 4.3.2 深層水の pH 特性の把握（予備試験）

##### (1) pH 特性把握の背景

海洋深層水(深層水)は、その特徴である冷温性、富栄養性、清浄性を世界中のさまざまな企業や事業で利用されている。その一方で、深層水のpHの値は表層水と比較して小さいことに留意する必要がある。この差異は、CO<sub>2</sub>の吸収や、原水を含む深い水中の物質のさまざまな要素が原因である<sup>2</sup>。海水の酸性化や地球温暖化といった環境問題とともに、取水後の深層水、表層水のpHの変化への理解は、水産養殖業の実現性や、海洋温度差発電(OTEC)や海水による空調施設(SWAC)のような技術が潜在的に環境へ与える影響を決定するのに極めて重要である。

海表面でのCO<sub>2</sub>の水平分布およびTCO<sub>2</sub>(全CO<sub>2</sub>量)は、主に温度に依存しているCO<sub>2</sub>の溶解度に影響される。一般的に、暖かい低緯度の表層水は、高緯度の冷たい表層水よりCO<sub>2</sub>の含有量が少ない。これは、低温下ではCO<sub>2</sub>の溶解度が大きくなるためである。大量の海水質量の移送を伴う深層水の循環は、北大西洋からインド洋と太平洋の南側を流れるものがほとんどであり、この流れはTCO<sub>2</sub>および全アルカリ度(TA)の水平方向の勾配を生じさせる。深海の循環は一般的に非常に複雑である一方で、北太平洋の深層水は最も多くのCO<sub>2</sub>を取り込み、最大のTCO<sub>2</sub>を示す<sup>3</sup>。

日本で最大の深層水パイプライン(約 15、000t/日)を持つ久米島の沖縄海洋深層水研究所は、独

<sup>2</sup> Kemker, C. (2013, November 19). "pH of Water." (Fondriest Environmental, Inc.) Retrieved August 7, 2015, from Fundamentals of Environmental Measurements

<sup>3</sup> Pytkowicz, C. C. (1968). Effect of Pressure on Carbonic Acid, Boric Acid, and the pH in Seawater. *Limnology and Oceanography*, 403-417

自の環境にてこの研究を行っている。当研究所では、この豊富な深層水を利用した車エビや海ブドウ、カキの養殖の研究を主に行っている。また、温かい表層水と冷たい深層水の温度差を利用した海洋温度差発電(OTEC)の実証試験も行われている。これまで、OTEC の発電に利用した海水は、そのまま海へと排水を行っていた。しかしながら、これらの海水は発電後に温度が変化しており、この温度が変化した表層水と深層水の水産養殖業への再利用が期待されている。現在、OTEC 発電後の海水の利用推進事業が立ち上げられ、海ブドウやカキの養殖への再利用が試みられている。深層水は多くの水産養殖業において利用されているが、表層水と比較して低い pH が貝類などの成長を阻害する可能性が存在する。また、空気にさらされていない海水がパイプから排出されさまざまな環境にさらされたときに、pH を含む水質に何らかの影響を与えるであろうことが予想される。

本報告では、海水中の pH が大気中にさらされたときに、海水に含まれる CO<sub>2</sub> が吸収・排出されることで起こる pH の変化を計測し、その挙動の概要を把握することを目的として、以下の4つの実験と検討を行った。

- ① OTEC 入口部分の深層水と表層水の pH の時間経過による変化
- ② 研究所内外のさまざまな地点における海水の pH の比較
- ③ 空気との攪拌と真空引きを繰り返し行った海水の pH の変化
- ④ 深層水と表層水の塩分濃度の測定

また、研究所外の検査機関に海水成分の解析を依頼した。この結果から得られたデータと(4)の塩分濃度の測定結果から、深層水と表層水の TCO<sub>2</sub> を算出した。

## (2) 実験方法

今回の試験では、サンプルの水温が大気温度よりも低い状態での pH も測定するために、pH 測定機に備え付けられている温度計の校正をあらかじめ行っておく必要がある。実験に用いる pH 測定器は、WM-32EP を用いる。本測定器はガラス電極を用いた pH 測定器で、主な仕様は表 4-1 に示す。海水の pH は大体 7.4-8.2 程度となるため、測定器は pH=7.0 と 9.0 の標準液を用いて校正した。また、本器に併設されている温度計も標準温度計を用いて校正した。

表 4-3 pH 測定器 WM-32EP 仕様

	pH	温度[°C]
測定範囲	0.00 – 14.00	0.0 – 10.0
分解能	0.01	0.1
繰り返し性	±0.02	±0.2

### (a) OTEC 入口部分の深層水と表層水の pH の時間経過による変化

この試験では、OTEC 入口部分の深層水と表層水のサンプルを採取し、時間経過による pH の変化を調べた。この採取地点はサンプルの採取が容易であり、採取時までサンプルが空気に触れておらず、熱交換器を通過していないためほとんど温度変化していない。サンプルは、100ml のプラスチック製の容器で採取する。サンプルは容器に一杯になるまで採取し、蓋をして密閉することで空気と接触しないようにする。このサンプルは表層水と深層水で6個ずつ採取され、うち1つを「変化サンプル」、それ以外のサンプルを「制御サンプル 1-5」とする。採取後に、サンプルはすぐに実験室に持ち帰られ、変化サンプルと制御サンプル 1 はすぐに開封し、pH と水温の測定を行う。測定後、これらのサンプルは蓋をせず、大気に触れた状態のままにする。また、全てのサンプルは太陽光に極力当たらないように保管する。最初の測定後、約 24 時間経過した時点で、変化サンプルと制御サンプル 1、そして新たに制御サンプル 2 を開封し pH の測定を行う。以降は 24 時間ごとに、新しいサンプルを 1 つ開封し、同様に測定を行う。この試験は 5 日間にわたって行い、再現性の確認のため、同様の採取方法と実験方法で 2 回目の実験を行った。

### (b) 研究所内外のさまざまな地点における海水の pH の比較

この試験では、研究所内外のさまざまな場所から海水のサンプルを採取し、その場ですぐに測定した pH と、室内に保管して温度を均一にした場合の pH を測定し、場所と温度の違いによる比較を行った。採取場所は表 4-4 に示す 8 ヶ所となる。また、図 1-図 3 に実際のサンプルの採取場所と、現場での pH 測定の写真を記載する。

サンプルの採取は、直接採取が困難な場所ではバケツなどで汲み上げる。サンプルは 2-1 の試験と同じ容器で採取した。また、その場で pH 測定器を用いて直接サンプルの pH と温度を測定した。容器に保管したサンプルは実験室に持ち帰り、2 日ほど室温でかつ日光が当たらないように保管し、全てのサンプルの温度を均一にした状態で pH と温度を測定した。

表 4-4 pH 測定実験のサンプルの採取場所

No.	採取場所	分類
1	表層水タンク	研究所敷地内
2	深層水タンク	研究所敷地内
3	深層水タンク (熱交換器通過後の温かい状態)	研究所敷地内
4	排水ピット	研究所敷地内
5	河口	研究所外(研究所北約 50m)
6	海岸	研究所外(研究所東約 20m)
7	カキ養殖タンク	ジーオー・ファーム(外部施設)
8	カキの餌であるプランクトンの 培養タンク	ジーオー・ファーム(外部施設)



図 4-5 サンプルの採取場所(河口:表 4-4 の 5)



図 4-6 サンプルの採取場所(海岸:表 4-4 の 6)



図 4-7 サンプルの pH 測定風景 (排水ピット:表 4-4 の 4)

### (c) 空気との攪拌と真空引きを繰り返し行った海水の pH の変化

この試験では、採取した海水を空気と攪拌し、攪拌後に空気を真空引きして新鮮な空気を再度取り入れ、その空気とさらに攪拌するという工程を繰り返すことで、海水中の CO<sub>2</sub> が空气中に放出されることによる pH の上昇効果を確認した。サンプルは 2-1 の試験と同じ場所の深層水と表層水を採取した。サンプルはバキュームポンプを取り付けられるガラス瓶が満タンになるまで採取し、実験室に持ち帰り、すぐに開封して pH の測定を行う。pH 測定後、サンプルを半分廃棄し、蓋を閉じた状態で 5 秒間ほどしっかりと攪拌する。そして瓶の中の空気をポンプで吸い出した後、蓋を開けて新しい空気を取り入れ、再度蓋を閉じて 5 秒間攪拌して pH を測定する。この工程は 3 分以上の間、pH が変化しないか、2-1 の実験で得られた pH の 5 日間の総変化量の約半分の変化を示すまで繰り返し行われる。

### (d) 海水の塩分濃度

海水の塩分濃度は、深層水、表層水ともに研究所で毎年計測されている。海水は、大気にさらすことで水分が蒸発し、塩分濃度が増加することが予測される。この塩分濃度の増加を測定するため、深層水と表層水のサンプルをそれぞれ 2 つずつ用意し、大気に 10 日間さらしたのち、塩分濃度の計測を行った。

## (3) 実験結果

以下に、今回の実験で得られた pH の測定結果を示す。

### (a) OTEC 入口部分の深層水(DSW)と表層水(SSW)の pH の時間経過による変化

図 4-8 に深層水の 1 回目の実験結果を、図 4-8 に 2 回目の実験結果を示す。図の横軸はサンプル採取時刻からの経過時間となる。また、図には各計測時におけるサンプルの平均水温も併せて示す。pH の温度の変化に対する変化は、Pytkowicz<sup>4</sup>の定義した、式(1)が用いられる。

$$\text{pH}_{T_2} = \text{pH}_{T_1} + 0.011(T_2 - T_1) \quad \text{式(1)}$$

式(1)より、海水の pH は 5°C の温度変化に対して 0.055 変化する。

<sup>4</sup> Pytkowicz, C.C. (1968). Effect of Pressure on Carbonic Acid, Boric Acid, and the pH in Seawater. *Limnology and Oceanography*, 403-417.

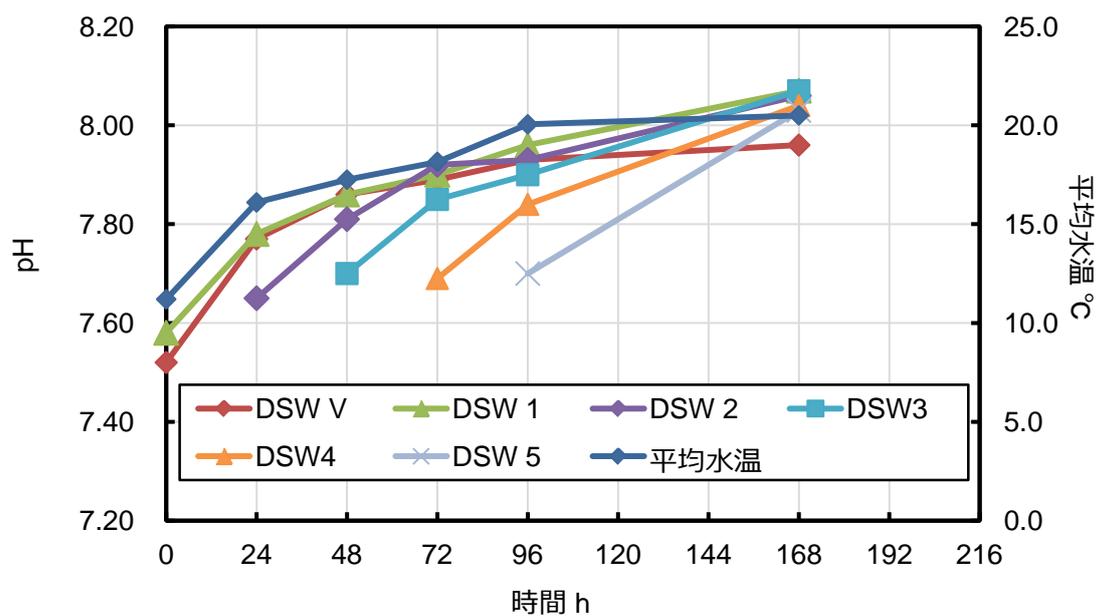


図 4-8 各深層水サンプルの時間変化(1 回目)

表 4-5 各深層水サンプルの pH(1 回目)

時間	深層水 V	深層水 1	深層水 2	深層水 3	深層水 4	深層水 5
0	7.52	7.58	-	-	-	-
24	7.77	7.78	7.65	-	-	-
48	7.86	7.86	7.81	7.7	-	-
72	7.89	7.9	7.92	7.85	7.69	-
96	7.93	7.96	7.93	7.90	7.84	7.7
168	7.96	8.07	8.06	8.07	8.04	8.03

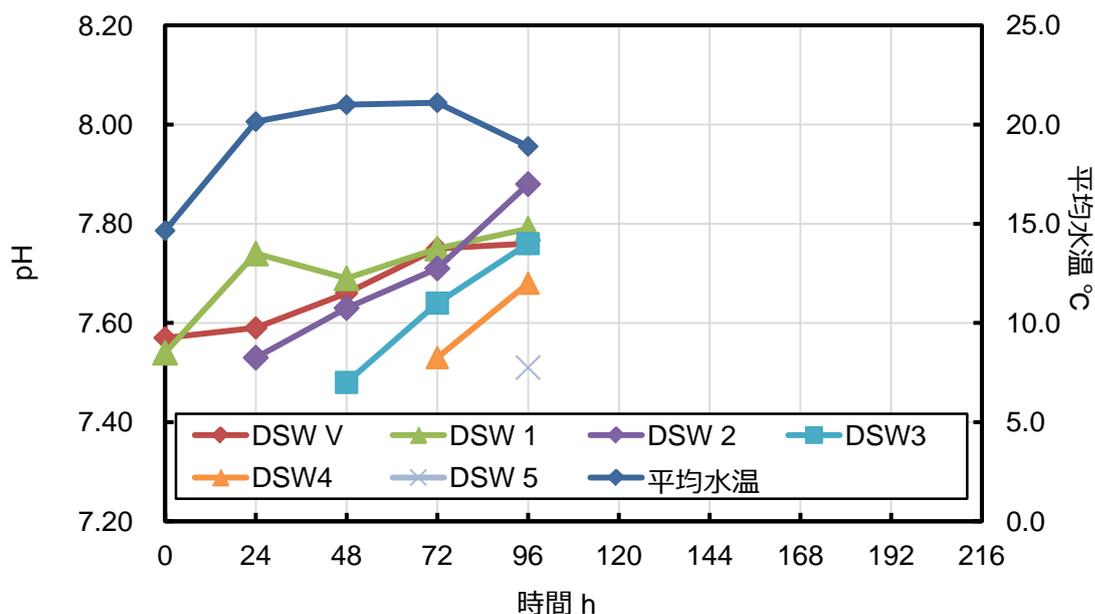


図 4-9 各深層水サンプルの時間変化(2 回目)

表 4-6 各深層水サンプルの pH(2 回目)

時間	深層水 V	深層水 1	深層水 2	深層水 3	深層水 4	深層水 5
0	7.57	7.54	-	-	-	-
24	7.59	7.74	7.53	-	-	-
48	7.66	7.69	7.63	7.48	-	-
72	7.75	7.75	7.71	7.64	7.53	-
96	7.76	7.79	7.88	7.76	7.68	7.51

1 回目の試験では、初めに計測した変化サンプルと制御サンプル 1 の pH は、その後測定したサンプルと比較して低い値を示している。24 時間以降に計測したサンプルは、初回の pH の値はほぼ同等の値を示した。また、全てのサンプルは時間の経過とともに pH が上昇し、最終的に pH≒8.0 となった。これに対して 2 回目の試験では、全体的に 1 回目のサンプルよりも pH は低い値を示した。また、変化サンプルと制御サンプル 1 の初めに計測した pH は、それ以降に試験したサンプルでもほぼ同等の値を示した。その一方で、1 回目の試験と同様に、全てのサンプルの pH は時間の経過とともに上昇する傾向を示した。表層水については、1 回目、2 回目ともに pH はほとんど変化しなかった。

## (b) 研究所内外のさまざまな地点における海水の pH の比較

研究所内外のさまざまな地点で、その場で計測した pH と、実験室に持ち帰り 2 日間密閉状態で保管したサンプルの pH を比較したものを図 4-10 に示す。

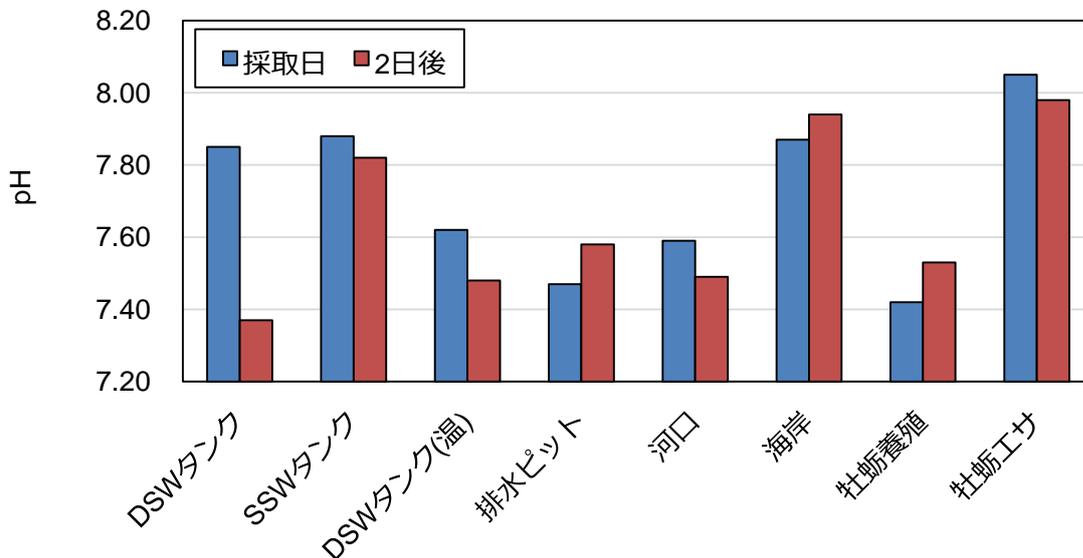


図 4-10 研究所内外のさまざまな地点における海水の pH

図 4-11 より表層水タンクと海岸、そしてカキの餌の培養タンクが特に高い pH を示しており、表層水タンクと海岸で採取した海水の pH はほぼ同等の値を示している。また、これらの地点では、2 日後の計測でも pH の値はほとんど変化していない。それ以外の地点では pH の値は変化しており、2 つの深層水タンクと河口部分では pH は低くなり、排水ピットおよびカキの養殖タンクでは pH が上昇した。これらの中で特に深層水タンクは、その変化が大きく、再現性の確認もかねて再度計測することが望ましい。

## (c) 空気との攪拌と真空引きを繰り返し行った海水の pH の変化

攪拌実験では、前述したように pH の上昇が安定状態になるまで攪拌と測定を繰り返した。深層水の平均値は 5 日間で 0.29 上昇したため、その半分の約 0.15 上昇した時点で試験を終了する。その結果、安定状態になるまでの時間は深層水で 17 分、表層水で 13 分経過した。図 7 に深層水を、図 4-12 に表層水の pH と水温の変化を示す。空気との攪拌を行った結果、深層水と表層水の両方で pH が上昇した。この試験中に、pH が時間あたりに増加した割合は、約 0.01/分である。また、水温については、深層水は約 3.9°C 上昇し、表層水は 19.5°C でほぼ安定した。

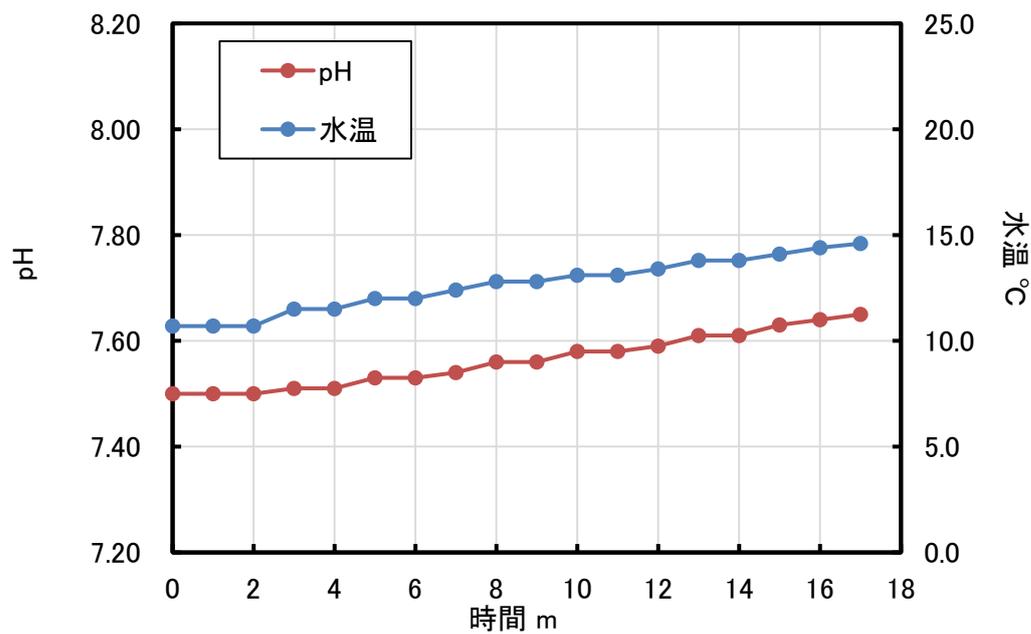


図 4-11 空気との攪拌と真空引きを繰り返し行った深層水の pH の時間変化

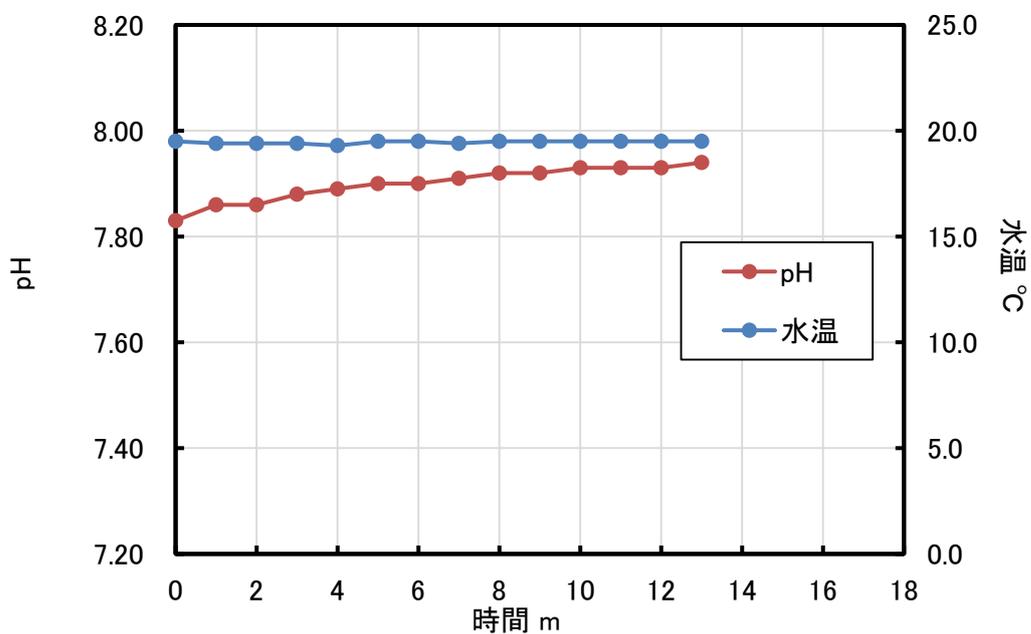


図 4-12 空気との攪拌と真空引きを繰り返し行った表層水の pH の時間変化

#### (4) 海水の塩分濃度

表 4-7 は、研究所で測定された平成 26 年、27 年の深層水と表層水の塩分濃度の値を示している。表 4-8 は、今回測定した深層水と表層水の塩分濃度を示す。

表 4-7 平成 26 年、27 年の研究所で使用した深層水と表層水の塩分濃度

測定年	深層水	表層水
H27 年	35.2%	34.2%
H26 年	35.6%	33.4%
平均	35.4%	33.8%

表 4-8 深層水と表層水の塩分濃度

サンプル名	塩分濃度
深層水	4.02%
深層水(10 日後)	4.08%
表層水	4.09%
表層水(10 日後)	4.15%

#### (5) 海水のアルカリ度と全 CO<sub>2</sub> 量

表 4-9 は、沖縄環境分析センターに分析を依頼した深層水と表層水のアルカリ度から、海中の全 CO<sub>2</sub> 量(TCO<sub>2</sub>)を算出したものである。TCO<sub>2</sub>はアルカリ度と、塩分濃度、温度、pH から、アメリカ地質調査所(USGC)の開発した CO<sub>2</sub>calc を用いて算出した。今回は、3-1 の実験と同じように、採取したサンプルを 5 日間大気にさらした状態にし、その間の TCO<sub>2</sub> の変化を比較した。

表 4-9 より、 $\text{TCO}_2$  の変化量はサンプルによって異なるが、深層水は排出、表層水は吸収する傾向を示した。また、変化量自体は深層水の方が表層水よりも大きくなった。今回は、このような結果が得られたが、気象庁の海洋調査などでは、 $\text{TCO}_2$  の値が  $2300[\mu\text{mol}/\text{kg SW}]$  前後であり、それと比較すると今回の値は非常に小さいことから、今後、さらなる検討が必要であると考えられる。

表 4-9 深層水と表層水のアルカリ度と全 CO<sub>2</sub> 量

項目名	単位	深層水 Sample 1		深層水 Sample 2		表層水 Sample 1		表層水 Sample 2	
		1 日目	5 日目						
塩分濃度	%	35.4	35.6	35.4	35.6	33.8	34.0	33.8	34.0
温度	℃	11.3	20.0	13.8	18.9	19.3	20.0	21.7	18.8
気圧	atm	1							
アルカリ度	mg/L	110							
	μmol/kg SW	1077.462							
pH	-	7.52	7.93	7.57	7.76	8.07	8.03	7.91	7.85
全 CO <sub>2</sub> 量	μmol/kg SW	1058.77	941.67	1044.03	990.44	909.5	918.12	947.71	974.2
	mL/kg SW	24.57	22.53	24.44	23.61	21.71	21.97	22.81	23.21
pCO <sub>2</sub>	μatm	674.16	238.34	602.51	376.35	163.89	183	255.57	300.25
FCO <sub>2</sub>	μatm	676.72	239.15	604.73	377.65	164.45	183.62	256.41	301.28
ΔCO <sub>2</sub>	μmol/kg SW	-117.10		-53.59		8.62		26.49	
	mL/kg SW	-2.04		-0.84		0.26		0.40	

#### (4) 今後の課題と予定

今回の報告で、研究所内外の海水の pH 試験から、さまざまな試験結果が得られたが、結果の不正確さ等懸案点も多い。この結果と反省を基に次年度(平成 29 年度)の実施内容案を表 4-10 の通り策定している。

表 4-10 今後の実施内容案

No	試験案	試験内容と目的
1	pH 測定器の校正の検証と、再実験	中間報告で使用した pH 測定器の校正について検証し、中間報告の実験内容について試験回数を増やして再実験を行う。
2	攪拌実験(攪拌方法の多様化)	海洋深層水の実際の使用において海水が空気と攪拌される場合を想定して、より実際的な攪拌方法を検討、実行し、海水と空気との間の CO <sub>2</sub> の交換の割合を検証する。
3	空気との接触面積が pH の変化に与える影響の検証	海水と空気との接触面積を変化させることで、空気中に排出される CO <sub>2</sub> 量の変化を検証するため、異なる大きさの容器による pH 測定実験を行う。
4	アルカリ度、CO <sub>2</sub> 量の測定	pH に対する CO <sub>2</sub> 量の寄与度(あるいは CO <sub>2</sub> 以外の寄与度)を把握するため、pH を測定した海水と同ポイントで採取した海水のアルカリ度、CO <sub>2</sub> 量の測定を行う。(測定機器がないため水質検査と同様に専門機関に依頼する。)
5	沖電開発(サンゴ養殖)等へのヒアリング	海水の pH データを提供いただいた沖電開発等にヒアリングを行い、pH の変化や影響に関する情報収集を行う。

#### 4.4 取水量を増大させた際のエネルギー・経済性・環境効果に関する予測

取水量を増大させた際の海洋深層水および表層水需要予測は、これまで「久米島モデル」の検討において明らかとなっている。大規模取水時は取水量だけでなく深層水取水温度(取水深度)も異なるため、その要因も考慮に入れた上でエネルギー・経済性・環境面の効果に関する予測を、平成29年度の取得データを基に行う予定としている。

実施にあたっては、久米島町等関係機関と連携し、関連事業(沖縄県「海洋深層水利用高度化に向けた発電利用実証事業」や沖縄総合事務局「離島地域における海洋深層水を活用した地域活性化可能性調査」)等の最新検討状況も随時反映しながら実施するものとする。