

ENAA2014-ODF1

(26-85) 平成 26 年度  
沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング装置・  
システムの要素技術の検討補助事業

報告書

平成 27 年 3 月  
一般財団法人エンジニアリング協会



**RING!RING!**

プロジェクト

競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助金により作成しました。

<http://ringring-keirin.jp>





## 序

「平成 26 年度 沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング装置・システムの要素技術の検討補助事業」は、公益財団法人 JKA 補助事業として一般財団法人エンジニアリング協会に「沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング技術調査研究委員会」（渡邊豊委員長：北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授）を設置して調査研究を実施したものである。

沿岸域においては、底質や淡水の流入、生物活動によって CO<sub>2</sub> の鉛直分布が大きく変化することが予想される。そのため、沿岸域における温暖化ガスの挙動を正確に捉えるためには、鉛直方向の濃度変化を連続的に観測し、時空間的な評価を行う必要がある。しかしながら、国内では CO<sub>2</sub> に関する表層の観測例はあるものの、鉛直・連続観測の事例はなく、新たな観測システムの開発が望まれていた。本調査研究では、沿岸域におけるこのような観測を可能にするため、温暖化ガスを中心に様々な海水中の成分を測定できる観測プラットフォームの開発を目的とした。

本調査研究は、実用化までに 5 年間に要する計画であり、平成 25 年度（初年度）の概念設計に続いて、今年度は試設計を行う上での要素技術について整理した。調査においては先ず、公開されているモニタリングポスト等のデータや立地条件をもとに対象海域を定め、その地点に観測プラットフォームを設置することを想定して検討を行った。

調査方法は、文献やインターネット、カタログ等で情報を収集するとともに、有識者やメーカーへのヒアリングを行い、沿岸域を対象とした海水中温暖化ガスの連続モニタリングシステムについて考慮されるべき項目を取りまとめた。また、事業の実施期間中には委員会を 3 度開催し、整理された項目についての信憑性や妥当性を検討した。また、各委員からの助言や提案を報告書に反映させ、その有用性の向上に努めた。

最終的な成果を得た後は、沿岸域の観測プラットフォームとして、現場海域における温暖化ガスをはじめとした水質等の鉛直・連続自動観測が行えるとともに、地上基地との常時双方向通信が確立されることにより、特定の観測項目をリアルタイムで監視することや、地上基地からの制御指令に基づいた観測プラットフォーム動作制御が可能となる。

これによって、沿岸域における物質循環や水質変化の解析が、より現実のデータに即して行えるようになり、沿岸域を利用した地球温暖化の抑制や、水質改善のための施策立案等に有用な情報を提供できると考える。

本調査研究にご協力いただいた関係各位に対して心から謝意を表するとともに、本報告書の成果が各方面で有効かつ広範囲に活用されることを心より期待する次第である。

平成 27 年 3 月

一般財団法人 エンジニアリング協会

理事長 高橋 誠



## 委員名簿

### 沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング技術調査研究委員会

| 区分  | 氏名     | 機関名           | 所属役職               |
|-----|--------|---------------|--------------------|
| 委員長 | 渡邊 豊   | 北海道大学         | 大学院地球環境科学研究院 准教授   |
| 委員  | 鶴島 修夫  | (独)産業技術総合研究所  | 環境管理技術研究部門 主任研究員   |
| 委員  | 桑江 朝比呂 | (独)港湾空港技術研究所  | 沿岸環境研究領域 チームリーダー   |
| 委員  | 所 立樹   | (独)港湾空港技術研究所  | 沿岸環境研究領域 研究官       |
| 委員  | 江頭 毅   | 紀本電子工業(株)     | 技術部技術課 主任          |
| 委員  | 中村 哲也  | 日油技研工業(株)     | 開発営業部海洋機器 グループリーダー |
| 委員  | 吉田 基   | (株)ゼニライトブイ    | 特販部特販課 課長          |
| 委員  | 乾 悦郎   | 海洋エンジニアリング(株) | 技術部 部長             |
| 委員  | 中野 善之  | (独)海洋研究開発機構   | 海洋工学センター 技術研究主任    |



平成 26 年度  
沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング装置・  
システムの要素技術の検討補助事業

目 次

|                        |       |    |
|------------------------|-------|----|
| 序                      | ----- | i  |
| 委員名簿                   | ----- | ii |
| 図表リスト                  | ----- | v  |
| 1 章 調査概要               | ----- | 1  |
| 1.1 調査目的               | ----- | 2  |
| 1.2 調査項目               | ----- | 2  |
| 1.3 調査方法               | ----- | 3  |
| 1.4 実施体制               | ----- | 3  |
| 2 章 対象海域の設定            | ----- | 5  |
| 2.1 対象海域の選定基準          | ----- | 5  |
| 2.2 候補対象海域の概要          | ----- | 8  |
| 2.3 対象海域の詳細            | ----- | 13 |
| 3 章 既存データの解析と機器スペックの検討 | ----- | 17 |
| 3.1 観測データの解析結果         | ----- | 17 |
| 3.2 機器スペックの検討          | ----- | 22 |
| 4 章 昇降ブイと昇降装置の検討       | ----- | 26 |
| 4.1 昇降ブイの検討            | ----- | 26 |
| 4.2 昇降装置の検討            | ----- | 35 |
| 4.3 設置および回収方法          | ----- | 39 |
| 4.4 開発要素の検討            | ----- | 41 |
| 4.5 製作費用               | ----- | 42 |

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 5章  | 高機能型標識ブイと灯標ブイの検討       | 43 |
| 5.1 | 高機能型標識ブイの仕様            | 43 |
| 5.2 | ブイの配置による安全の確保          | 48 |
| 5.3 | ブイの全体構造                | 50 |
| 5.4 | 設置および回収方法              | 52 |
| 5.5 | 開発要素の検討                | 53 |
| 5.6 | 製作費用                   | 54 |
| 6章  | データ通信に関する検討            | 55 |
| 6.1 | データ形式                  | 55 |
| 6.2 | システム構成                 | 58 |
| 6.3 | 通信媒体                   | 60 |
| 7章  | メンテナンスの検討              | 69 |
| 7.1 | 既運用モニタリングポストにおけるメンテナンス | 69 |
| 7.2 | メンテナンス方法の検討            | 71 |
| 8章  | 商用化に向けての開発要素           | 72 |
|     | 参考文献リスト                | 75 |

資料1 海域選定のための参考資料

資料2 千葉灯標観測データの月別平均値、最大・最小値（2009年～2013年）

資料3 関係機関からのヒアリング結果



## 図表リスト

### 1章

- 図1 ロードマップ
- 図 1.4-1 実施体制

### 2章

- 図 2.2-1 3海域のモニタリングポスト
- 図 2.3-1 東京湾におけるモニタリングポスト
- 図 2.3-2 東京湾奥における有義波高 (2011年 第二海堡)
- 図 2.3-3 東京湾における船舶航跡図
- 図 2.3-4 国立環境研の野尻らによる  $p\text{CO}_2$  観測結果 (相模湾)
- 表 2.1-1 6海域の選定項目
- 表 2.2-1 3海域の選定項目一覧
- 表 2.2-2 3海域モニタリングポスト一覧

### 3章

- 図 3.1-1 千葉灯標の位置および概観
- 図 3.1-2 千葉灯標モニタリングポスト観測結果 (夏季; 2012/08/25)
- 図 3.1-3 千葉灯標モニタリングポスト観測結果 (冬季; 2012/12/08)
- 図 3.1-4 千葉灯標モニタリングポスト観測結果 (夏季; 2012/08/25)
- 図 3.1-5 東京湾湾奥部における  $p\text{CO}_2$  と塩分の関係 (神田ら 2011)
- 図 3.1-6 相模湾で観測された実験所供給海水の  $p\text{CO}_2$  (野尻ら 2011)
- 図 3.2-1  $\text{pH}$  センサと  $p\text{CO}_2$  測定結果の比較 (岡村ら 2012)
- 図 3.2-2  $p\text{CO}_2$  変動に対応した  $\text{pH}$  変動
- 表 3.2-1 水質項目と各センサの性能および精度
- 表 3.2-2  $\text{pH}$  センサ及び  $p\text{CO}_2$  センサの長所、短所

### 4章

- 図 4.1.1-1 昇降ブイと昇降装置のシステム構成図
- 図 4.1.3-1 昇降ブイの想定サイズ
- 図 4.1.4-1 昇降ブイ形状の比較
- 図 4.1.4-2 シミュレーション内容
- 図 4.1.4-3 ブイ外形1による繰り出しロープ長への影響
- 図 4.1.4-4 ブイ外形2による繰り出しロープ長への影響
- 図 4.1.4-5 ブイ外形3による繰り出しロープ長への影響

- 図 4.1.5-1 回収した直後の昇降ブイ（水深 150mに 3 ヶ月間設置後回収）
- 図 4.1.5-2 回収した直後の昇降装置（水深 150mに 3 ヶ月間設置後回収）
- 図 4.1.6-1 昇降ブイの全体構造（フィンを除く）
- 図 4.1.6-2 センサーの配置図
- 図 4.2.1-1 水中ウインチ機構部
- 図 4.2.2-1 昇降装置主要部の外観
- 図 4.2.2-2 昇降装置の全体構造
- 図 4.3-1 設置回収概要（ロープコンテナなしの場合）
- 図 4.3-2 設置回収概要（ロープコンテナありの場合）
- 表 4.1.2-1 昇降ブイに搭載するセンサーと消費電力
- 表 4.1.4-1 シミュレーション結果
- 表 4.2.1-1 販売実績

## 5 章

- 図 5.1.1-1 高機能型標識ブイのシステム構成図
- 図 5.1.3-1 アルミダイキャスト製コンテナの一例
- 図 5.1.4-1 引上げたブイと作業用の足場
- 図 5.1.4-2 生物が付着していない部分
- 図 5.2-1 ブイの配置図
- 図 5.2-2 標識ブイ
- 図 5.2-3 灯標ブイ
- 図 5.3-1 標識ブイの全体構造
- 図 5.3-2 灯標ブイの全体構造
- 図 5.4-1 ブイと作業用の台船
- 図 5.4-2 クレーンによるブイの引上げ
- 図 5.4-3 係留部品の構成
- 表 5.1.2-1 高機能型標識ブイに搭載するセンサーと消費電力

## 6 章

- 図 6-1 データ通信のイメージ
- 図 6.3.1.3-1 通信カードが組み込まれた制御ボート（左）と制御部（右）
- 図 6.3.2.3-1 稼働中アルゴフロートの分布図（JAMSTEC HP より）
- 図 6.3.3.3-1 小型イカ釣り漁船内の装備
- 図 6.3.3.3-2 留萌沖の海底地形図
- 図 6.3.4.2-1 遠隔監視システムの初期画面と運転状態のトレンド表示画面
- 表 6.1.1-1 標識ブイから地上基地へ送信するデータフォーマットの例

- 表 6.1.2-1 昇降ブイから地上基地へ送信するデータフォーマットの例
- 表 6.3.1.2-1 モバイル Wi-Fi ルーターの製品例 (2014 年 9 月 1 日現在)
- 表 6.3.2.2-1 観測データの送信に利用可能な人工衛星
- 表 6.3.3.2-1 無線 LAN の種類
- 表 6.3.3.3-1 無線 LAN の仕様
- 表 6.3.5-1 無線通信媒体の比較表

## 7 章

- 図 7.1-1 国交省モニタリングポスト (伊勢湾)

## 8 章

- 図 8 完成イメージ



## 1章 調査概要

本調査研究では、沿岸域における CO<sub>2</sub> 等温暖化ガスのモニタリングを、効果的に行うための、沿岸域に特化した観測装置の開発を最終目標としている。これは、近年、海洋性生物の光合成活動によって固定されるブルーカーボンに、大きな注目が集まっているからである。日本の海岸線の総延長は、先進国でもトップレベルであり、ブルーカーボンによる大気中 CO<sub>2</sub> の削減効果が国際的に認められれば、日本はブルーカーボンの主要な貯蔵国になる可能性が高い。

一方、ブルーカーボンがカーボンオフセットのメニューとして国際的に認められるためには、より詳細に、そのメカニズムを解明するとともに、対象海域における年間の生産量や蓄積量を正しく推定するための、「透明かつ再現性のある方法」を確立しておかなくてはならない。

沿岸域においては、淡水の流入や水質・底質の違い、生物活動などに加え、潮流や水塊の鉛直混合によって影響を受けるため、日変動や季節変動が大きいことが予想される。そのため、海洋生物による物質生産や分解等による炭素の動きを明確に捉えるためには、定点のみの観測だけでは十分ではなく、垂直的な連続観測が必要であると考えられる。

本調査研究では、上記観測が可能な装置の開発と、長期間の海域運用においても運用開始当初の性能を維持しうる商用機的设计を目指しており、図 1 に示すロードマップに即した調査研究を進めている。

開発期間は5年間であり、前段 2 年の基礎研究と、後段 3 年の応用研究で構成されている。基礎研究では、文献調査やヒアリングを中心に概念設計や要素技術のとりまとめを行い、応用研究では水槽実験や海域試験を取り入れ、実用に近い状況で運用試験を行い、最終的に商用機的设计を完了させる計画である。

平成 26 年度は、ロードマップの 2 年目にあたり、観測装置の要素技術について検討を行った。なお、本報でいう沿岸域とは、海岸線から水深 50m 程度までの海域とした。

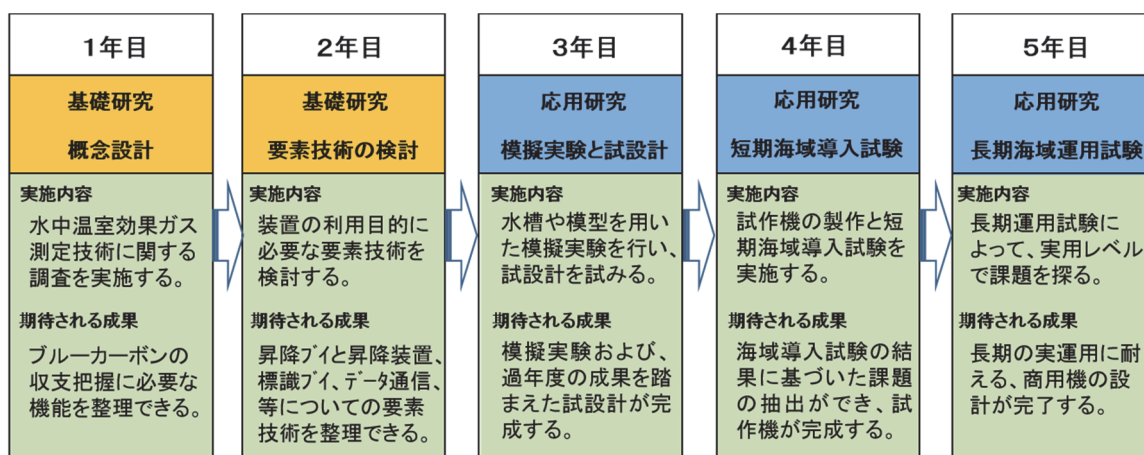


図1 ロードマップ

## 1.1 調査目的

平成25年度の概念設計で得られた知見を基に、対象海域を定めた机上検討を行い、後段の試設計で必要となる要素技術について、その洗い出しと整理を目的とした。

## 1.2 調査項目

以下に、本報で実施した調査項目を記す。

### 1) 対象海域の設定

机上検討を行うための、対象海域を設定した。以後の調査項目については、この対象海域での運用を前提として検討を行った。

対象海域の設定では、モニタリングポストの運用状況や観測項目、海象条件、水深、流入河川のほか、藻場や干潟等の生育状況、船舶航行状況、漁業利用、既存の知見（文献の有無）などを判断材料とし、作業を行った。

### 2) 既存データの解析と機器スペックの検討

これまでに対象海域で取得された種々のデータを解析するとともに、既存の論文等を参考に、 $p\text{CO}_2$ センサーのスペックや取得すべきデータ項目について検討した。また、機器のスペックとしては、観測精度と測定レンジ、分解能について検討した。なお、温室効果ガスセンサーとしては、 $p\text{CO}_2$ センサーのみを対象とした。

その他の水質等のセンサーについては、水温、塩分、DO、pH、クロロフィル a、濁度、栄養塩について、要求される性能について調査した。

### 3) 昇降ブイと昇降装置の検討

海底に設置し、鉛直方向の連続観測を実現するための昇降ブイと昇降装置について要素技術を整理した。昇降ブイでは、搭載装置全体の構成を検討するとともに、対象海域での運用を想定して、昇降ブイの最適な形状についてシミュレーションを行った。

また、昇降装置については、昇降を適切にコントロールすることで、ロープを絡ませないための仕組みや、ロープの材質による違い、ウインチの能力、設置・撤去方法等について検討を行った。

### 4) 標識ブイと灯標ブイの検討

標識ブイは観測エリアの目印としてだけではなく、内部に制御装置や通信装置、バッテリー等を搭載するほか、外部にも各種観測装置や GPS、太陽電池パネル、アンテナ等を配している。そのため、標識ブイは、昇降ブイと一体となった観測装置として、また陸上と海上（現場）とを繋ぐ中継点として検討した。

一方、標識ブイ本来の目的である船舶の安全航行に関する配慮も不可欠であるため、灯標ブイとあわせてブイの色彩やフラッシュライトに関する規定のほか、アンカーの種類や係留方式についても、過去の事例を参考に整理した。また、標識ブイについては、塗装による生物付着対策についても触れた。

#### 5) データ通信に関する検討

海上で収集した観測データは随時地上基地に送信され、また海中で収集したデータについても、一定の時間間隔で地上基地に送信することを前提とした。外洋からのデータ通信では衛星通信が不可欠となるが、本報の対象海域は陸域に近いことから、利用可能な複数の選択肢を取上げて比較を行った。

送受信されるデータには、現場海域から送られてくる観測データのほか、地上基地から現場へ送られる制御コードがある。そのため、双方向通信であることが必要条件となる。通信媒体の検討では、通信速度や信頼性、費用のほか、海洋調査等での実績（適用事例）についても参考にしながら取りまとめを行った。

#### 6) メンテナンスの検討

国交省等で運用されているモニタリングポストでのメンテナンス事例を示すとともに、本報の装置で必要となるメンテナンスについて述べた。

#### 7) 商用化に向けての開発要素

現在のところ、完成形が全く同じ装置は存在しないが、本報の装置が有する機能を、部分的に実現しているものはある。そのため、商用化にあたっては、本装置の利用が、他の装置を使うよりも、十分メリットがでるよう工夫することが求められる。そのような観点から開発要素を整理した。

### 1.3 調査方法

調査は、論文や報告書等の文献ならびにインターネットから情報を収集するとともに、研究機関や関連企業でヒアリングを行い、情報の分析と取りまとめを行った。なお、「昇降ブイと昇降装置の検討」ならびに「標識ブイと灯標ブイの検討」にあたっては、報告書の執筆に際し、日油技研工業株式会社と株式会社ゼニライトブイから複数の写真や図面の提供を受けるとともに、運用実績を踏まえた種々のコメントをいただき、当該報告内容に反映させた。

なお、調査の結果ならびに執筆した報告書については、「1.4 実施体制」で記す委員会において内容を審議し、品質の確保と向上に努めた。

### 1.4 実施体制

一般財団法人エンジニアリング協会（ENAA）に、大学等の研究機関ならびに企業の有識者から成る「沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング技術調査研究委員会」（渡邊豊委員長：北海道大学 大学院地球環境科学研究院 准教授）を設置し、調査検討に関する指導・助言・評価等を行った。

事業の実施責任者は、ENAAの事務局長とし、運営責任者には海洋開発室長をあてた。また、委員会の運営、調査の実施ならびに委託調査機関の監督等の業務については、海洋開発室の研究員（2名）をあてた。

調査業務は、ENAAの海洋開発室ほか、一部を調査機関に委託し実施した。図1.4-1に、実施体制を示す。

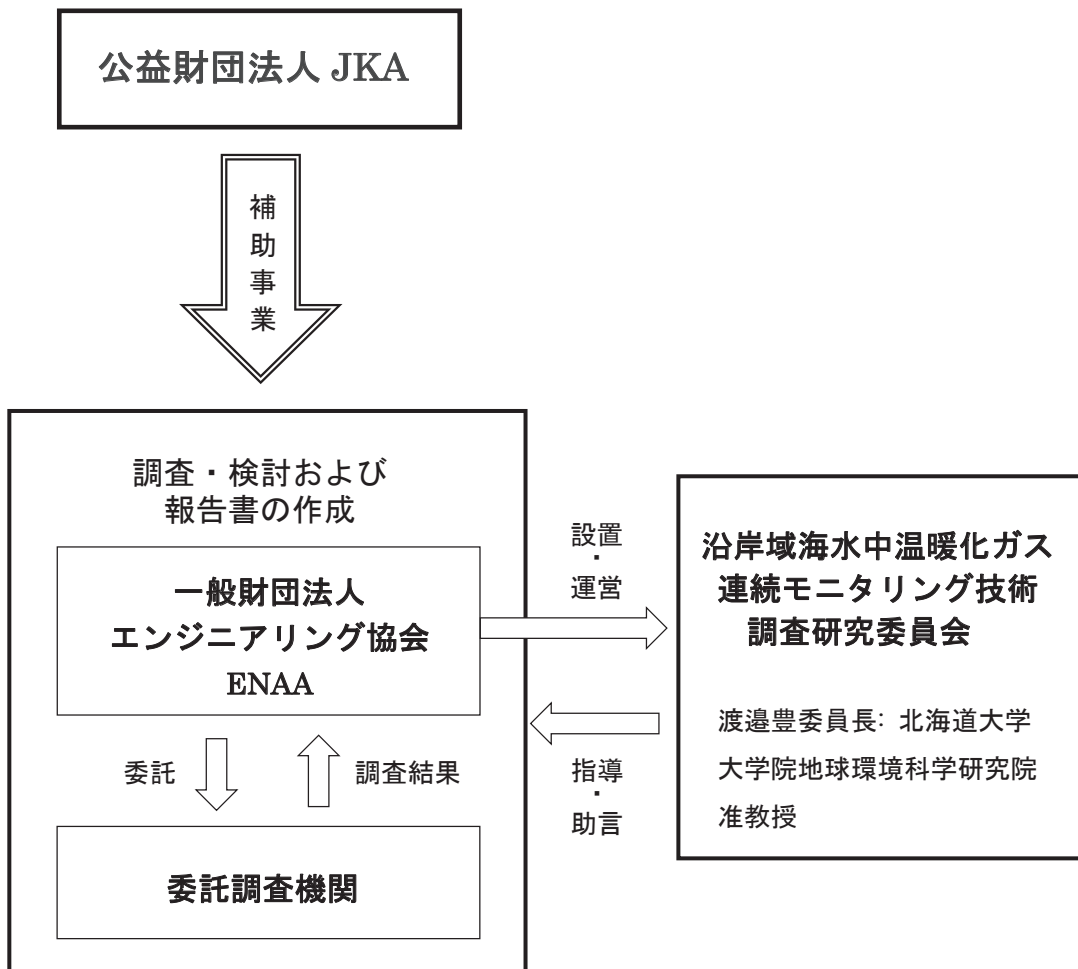


図1.4-1 実施体制



## 2章 対象海域の設定

平成25年度事業において、国内の水質鉛直自動モニタリングが実施されている地点が整理され、東京湾、伊勢湾、英虞湾、大阪湾、有明海、八代海の6海域で合計22基の昇降式鉛直観測システムが運用されていることがわかった。6海域では、本事業の目的に類似した長期観測が実施され観測データの蓄積がすでに行われている。

上記6海域では既に実運用がされていることから、波浪や流況などの課題や海域利用者（漁業者等）との合意等の課題がクリアされていることと予想される。

本調査では前述の6海域から3海域を候補として選定し、その中から対象海域を設定することとした。

### 2.1 対象海域の選定基準

対象海域の選定において、以下の点を重要と考えた。

- ・ 国交省等が設置したモニタリングポストが運用され、多項目の海洋環境データが既に取得されている。
- ・ 河川流入や藻場等によりブルーカーボン蓄積が期待できる。

また、モニタリングポスト設計に不可欠な海象条件、水深、船舶航行状況についても整理を行った。

6海域の選定項目の結果について表2.1-1に、またその参考資料を資料1に示す。

利用目的では、藻場や干潟など局所的にブルーカーボン蓄積が期待できるエリアは6海域に存在するが、港湾の環境改善に積極的取り組みが行われており、CO<sub>2</sub>の大規模排出源が多くある東京湾、大阪湾、伊勢湾がモニタリングの効果が大きいことが期待できる。

モニタリングポストは6海域で運用されているが、国交省によるモニタリングポストが複数箇所運用されているのは、東京湾、大阪湾、伊勢湾である。観測項目では、CO<sub>2</sub>関連の観測項目として重要なpHはあまり観測がされていない。有明海で行われているpH観測は海苔養殖に活用されているものと思われる。

モニタリングポストの観測データが活用できるか（比較的容易に入手できるか）という点については、有明海では申請が必要なこと、八代海ではグラフのみの提供でデジタルデータの提供ができないことがわかった。東京湾、大阪湾、伊勢湾では、一部の観測データを準リアルタイムで確認することができ、過年度データについても入手可能なことがわかった。

海象条件は、東京湾、大阪湾、伊勢湾の湾口部では外海の影響により波高が高いが、湾奥部では波高も低く、比較的穏やかである。

水深は、東京湾、大阪湾、伊勢湾の湾口部では水深がやや深い地点もあるが、湾奥では50m以浅の水深で平坦な海底地形である。国交省等で運用されているモニタリングポストの大部分は、水深が浅く海象が穏やかな湾奥部に設置されている。

藻場は、各海域とも局所的に存在するが、ブルーカーボン蓄積が期待できる大規模な藻

場は少ない。

流入河川による影響は、東京湾、大阪湾、伊勢湾の湾口部では影響が少ないが、湾奥やその他の海域では影響が大きく、ブルーカーボン蓄積が期待できると思われる。

船舶航行状況は、重要港湾である東京湾、大阪湾、伊勢湾で非常に多く、モニタリングポストを設置する上での制限条件となるが、航路ブイ近傍など船舶航行に支障のない場所を選定することで対応できると考えられる。

既存知見では、日本国内の沿岸域における CO<sub>2</sub> 観測例は非常に少ない。近年、サンゴ礁での観測例や海洋酸性化研究の観測例が見られるが、港湾域での CO<sub>2</sub> 観測はほとんど行われていない。研究論文は非常に少ないが、東京海洋大学教授神田穰太氏の東京湾での観測例や、奈良教育大学准教授藤井智康氏らによる大阪湾での観測例がそれぞれ、2011 年と 2012 年に論文として発表されている。

以上の検討結果を「第 1 回沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング技術調査研究委員会」において議論し検討した結果、東京湾、大阪湾、伊勢湾の 3 海域を候補対象海域として選定した。

表 2.1-1 6 海域の選定項目

| 選定項目                                   | 東京湾         |             | 大阪湾         |             | 伊勢湾         |              | 英虞湾他               | 有明海            | 八代海         |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------------|----------------|-------------|
|  | 湾奥          | 湾口          | 湾奥          | 湾口          | 湾奥          | 湾口           |                    |                |             |
| 利用目的への適合<br>(ブルーカーボン蓄積、港湾の環境改善など)      | ◎           | ○           | ◎           | ○           | ◎           | ○            | ○                  | ○              | ○           |
| モニタリングポスト運用状況                          | ◎           | ○           | ◎           | ○           | ◎           | ○            | ○                  | ○<br>pHあり      | ○           |
| モニタリングポスト観測データの活用<br>(ウェアプでのデータ入手が容易か) | ◎           | ◎           | ◎           | ◎           | ◎           | ◎            | ○                  | ○<br>佐賀大への申請必要 | △<br>グラフのみ  |
| 既存知見の有無<br>(文献、過去の観測データなど)             | ○           |             | ○           |             | △           |              |                    |                |             |
| 海象条件<br>(波高)                           | 有義波高<br>～3m | 有義波高<br>～4m | 有義波高<br>～3m | 有義波高<br>～8m | 有義波高<br>～3m | 有義波高<br>～12m | 波浪穏やか<br>(参考データなし) | 有義波高<br>～2m    | 有義波高<br>～2m |
| 水深                                     | ～35m        | ～60m        | ～50m        | ～70m        | ～35m        | ～40m         | ～40m               | ～20m           | ～20m        |
| 藻場等の生態系の有無                             | 少ない         | 点在          | 少ない         | 点在          | 少ない         | 点在           | 点在                 | 点在             | 点在          |
| 流入河川による影響                              | 影響大きい       | 影響小さい       | 影響大きい       | 影響小さい       | 影響大きい       | 影響小さい        | 影響小さい              | 影響大きい          | 影響大きい       |
| 船舶航行状況                                 | 非常に多い       | 多い          | 非常に多い       | 多い          | 非常に多い       | 多い           | 少ない                | 少ない            | 少ない         |

注；湾奥、湾口の区分は以下ラインを目安とした。

- ①東京湾 木更津－横浜ラインより内側を湾奥
- ②大阪湾 小豆島－和歌山ラインより内側を湾奥
- ③伊勢湾 伊良湖－松坂ラインより内側を湾奥

## 2.2 候補対象海域の概要

候補対象海域として選定した東京湾、伊勢湾、大阪湾に共通した特徴を以下に示す。

- ・ 国内有数の重要港湾である。
- ・ 海域は湾口と湾奥に区分され、海底地形や海況が異なる。
- ・ 湾奥では工業地帯が発達し船舶の航行が多い。
- ・ 湾口は外海に面し、湾奥に比べて波が高い。
- ・ 湾奥は湾口に比べて、波高が小さく海況が穏やかである。
- ・ 湾奥では河川流入等による炭素蓄積が期待できる。

ここでは CO<sub>2</sub> モニタリングシステムの対象海域を「湾奥」に限定した。湾奥は、国交省モニタリングポストが多く運用されている（図 2.2-1）ので既存データが多く、湾口に比べて河川流入等によるブルーカーボン蓄積が期待できる海域のためである。（表 2.2-1）

### ① モニタリングポスト

各海域のモニタリングポストについて整理した。（表 2.2-2）

既に運用されているモニタリングポストは、東京湾が 5 地点、伊勢湾が 4 地点、大阪湾が 14 地点となっている。そのうち、自動昇降型が運用されているのは、東京湾で 4 地点、伊勢湾で 2 地点、大阪湾で 6 地点となっており、1 時間に 1 回の頻度で鉛直観測が行われている。

観測項目は、多くの地点で、水温、塩分、溶存酸素（DO）、クロロフィル、濁度が観測されている。大阪湾には、水温、塩分、流況のみ観測している地点がある。

### ② 海象条件

波高については、有義波高でみると最大で 3m、平均 0.5m 以下と小さくなっている。通年でみても台風などのイベントを除けば、海況は比較的穏やかである。

流速は最大で 60cm/sec 以下、平均で 10 cm/sec 以下と小さく、湾奥においては潮流による影響は小さいと考えられる。

### ③ 流入河川

3 海域ともに流量の大きい河川が流入しており、年間数百億トン以上の流入があると推定されている。3 海域の湾奥部ではこれら河川由来の有機物等が流入していると推定される。

- ・ 東京湾の主な河川は、江戸川、荒川、多摩川などがあり、千葉側にも養老川などが流入している。
- ・ 伊勢湾の主な河川は、木曾川、長良川、庄内川などがある。
- ・ 大阪湾の主な河川は、淀川、武庫川、大和川などがある。

### ④ 水深

3 海域ともに湾奥では水深が浅く平坦な浅海域となっているが、航路等では浚渫が行われ、水深がやや深い海域もある。湾口部にかけては水深が深くなり、東京湾では水深

50m以上を示している。

#### ⑤ 船舶航行状況

3 海域ともに国内有数の重要港湾が多く、船舶の航行が非常に多い。

モニタリングポスト設置場所として、船舶の航行が多い場所（航路筋等）は許可申請上、困難である。短期間の係留調査でも関係箇所との調整に時間を要する。現場海域試験を実現するには、設置場所を既存モニタリングポスト近傍にするなどの対応策が必要と考えられる。

#### ⑥ 利用目的への適合

3 海域ではブルーカーボンや環境改善に関する取り組みが行われてきた。

- ・ 東京湾では、横浜での横浜ブルーカーボン（海洋生物によるカーボンオフセット）事業が 2011 年から実施され、様々な取り組みがなされている。
- ・ 伊勢湾では、三河湾における海域環境改善事業としてシーブルー事業（1991 年～2001 年）などが実施されてきた。
- ・ 大阪湾では、堺市臨海部等において海域環境改善事業が実施されている。

#### ⑦ 生態系の存在

3 海域の沿岸域においては、藻場や干潟といった重要な生態系が点在している。

- ・ 東京湾内では、野島海岸、神奈川県横須賀沖、千葉県竹岡沖などに藻場が存在し、千葉県側には盤州干潟などの干潟も存在している。
- ・ 伊勢湾内の藻場は、主に、大王崎から松阪市、知多半島周辺、及び湾奥部を除く三河湾の沿岸に存在している。干潟は、湾奥部を除く三河湾の沿岸や松阪沖に存在している。
- ・ 大阪湾の藻場は、湾奥部には存在せず、大阪湾南部から西部にかけての沿岸部に存在している。干潟は、甲子園浜、成ヶ島、男里川河口に存在している。

#### ⑧ 漁業利用

3 海域では漁業権が存在し、漁業が営まれている。魚類をはじめ、貝類や海苔養殖なども行われている。船舶航行が多い港湾域では自由漁業となり、一部操業が制限されている海域も存在する。

現場海域試験を実施する場合は、地元漁協との調整が必要となる。

#### ⑨ 既存知見

研究論文は非常に少ないが、東京海洋大学教授神田穰太氏の東京湾での観測例や、奈良教育大学准教授藤井智康氏らによる大阪湾での観測例がそれぞれ、2011 年と 2012 年に論文として発表されている。

神田氏らの科研費研究成果報告書「東京湾における二酸化炭素収支の時空間変動」では、東京湾表層海水の CO<sub>2</sub> 分圧の連続計測結果から海水－大気間 CO<sub>2</sub> 収支の季節変動や空間変動について解析している。

藤原氏らの論文では、pH、水温、塩分の採水分析結果から計算した pCO<sub>2</sub>（二酸化炭素

分圧) を使って、大阪湾における海水中 CO<sub>2</sub> の短期変動について解析している。



(図中の凡例)  
赤丸；国交省管理  
緑丸；国交省以外が管理

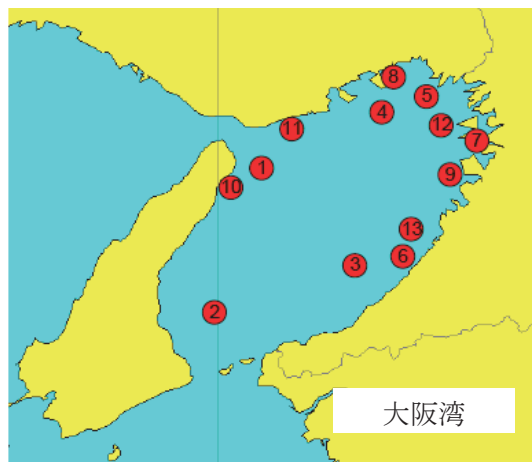
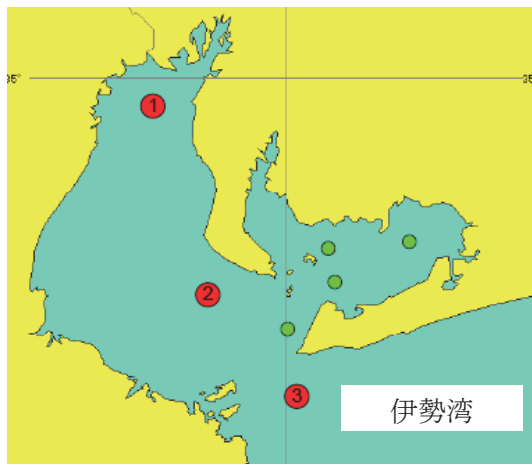


図 2.2-1 3 海域のモニタリングポスト

表 2.2-1 3 海域の選定項目一覧

| 項目        | 内容                                | 東京湾                       | 伊勢湾                         | 大阪湾                   |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| モニタリングポスト | モニタリングポスト地点数                      | 5                         | 4                           | 14                    |
|           | 観測項目                              | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度       | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度         | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度   |
| 海象条件      | 有義波高:最大/平均(m)                     | 3/0.25                    | 3/0.25                      | 3/0.40                |
|           | 流速:最大/平均(cm/sec)                  | 31/7                      | 51/9                        | 57/9                  |
| 流入河川      | 主な河川                              | 江戸川、荒川、多摩川、鶴見川<br>小櫃川、養老川 | 木曾川、長良川、庄内川、鈴鹿川、矢作川         | 淀川、神崎川、武庫川、大和川        |
|           | 河川流量(億m <sup>3</sup> /年)          | 140                       | 180                         | 90                    |
| 水深        | モニタリングポスト地点の水深                    | 6~27m                     | 16~30m                      | 6~58m                 |
| 船舶航行状況    |                                   | 非常に多い                     | 非常に多い                       | 非常に多い                 |
| 利用目的への適合  | ・ブルーカーボン蓄積<br>・港湾の環境改善への取り組み<br>他 | 横浜ブルーカーボン                 | シーブルー事業                     | 堺市臨海部                 |
| 生態系の存在    | 藻場、サンゴ礁、干潟など                      | 藻場(野島海岸他)<br>干潟(盤州干潟他)    | 藻場(松名瀬海岸他)<br>干潟(松阪沖河口他)    | 藻場(関空周辺)<br>干潟(北池干潟他) |
| 漁業利用      | 漁業権、許可漁業、自由漁業                     | アサリ・バカガイ(青柳)・赤貝<br>海苔養殖他  | アサリ・バカガイ(青柳)・海苔養殖・<br>刺し網漁業 | イカナゴ漁他                |
| 既存知見      | 文献                                | ・神田氏論文                    |                             | ・藤原氏論文<br>・岡山大による観測例  |

表 2.2-2 3 海域モニタリングポスト一覧

| 海域       | 予一夕提供機関                            | 観測海域                 | 位置          |              | 水深                       | 自動昇降        | 観測項目                         |                   |
|----------|------------------------------------|----------------------|-------------|--------------|--------------------------|-------------|------------------------------|-------------------|
|          |                                    |                      | 緯度          | 経度           |                          |             | 水質                           | 気象・海象             |
| 東京湾      | 東京湾環境情報センター<br>(国土交通省関東地方整備局港湾空港部) | 浦安沖観測塔               | 35° 38' 24" | 139° 56' 30" | -6m                      | ○           | 水深、水温、電位伝導度、塩分、DO、クロロフィルa、濁度 | 気温、流向・流速、風向・風速    |
|          |                                    | 千葉港波浪観測塔             | 35° 36' 39" | 140° 1' 24"  | -8m                      | ○           | 水深、水温、電位伝導度、塩分、DO、クロロフィルa、濁度 | 気温、流向・流速、風向・風速    |
|          |                                    | 千葉港口第一号灯標            | 35° 32' 13" | 139° 57' 15" | -19m                     |             | 水深、水温、電位伝導度、塩分、DO、クロロフィルa、濁度 | 気温、流向・流速、風向・風速    |
|          |                                    | 川崎人口島                | 35° 29' 24" | 139° 50' 03" | -27m                     | ○           | 水深、水温、電位伝導度、塩分、DO、クロロフィルa、濁度 | 気温、流向・流速、風向・風速    |
|          |                                    | 千葉灯標                 | 35° 34' 05" | 142° 2' 45"  | -10m                     | ○           | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度          | 流向・流速、風向・風速       |
| 伊勢湾      | 中部地方整備局<br>名古屋港湾空港技術調査事務所          | 伊勢湾湾奥                | 34° 55' 35" | 136° 44' 27" | -24m                     | ○           | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度          | 気温、風向・風速          |
|          |                                    | 伊勢湾湾中央               | 34° 40' 07" | 136° 50' 29" | -29m                     | ○           | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度          | 気温、風向・風速、波高、流向・流速 |
|          |                                    | 中山水道航路               |             |              | -16m                     |             | 水温、塩分、DO                     | 気温、風向・風速、流向・流速    |
|          |                                    | 伊勢湾湾口                | 34° 30' 34" | 137° 1' 06"  | -30m                     |             | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度          | 気温、風向・風速、波高、流向・流速 |
|          |                                    | 明石海峡航路東方灯浮標          | 34° 34' 59" | 135° 4' 55"  | -47m                     |             | 水温、塩分                        | -                 |
| 大阪湾      | 近畿地方整備局<br>神戸港湾空港技術調査事務所           | 洲本沖灯浮標               | 34° 21' 20" | 135° 0' 30"  | -88m                     |             | 水温、塩分                        | -                 |
|          |                                    | 関空MT局                | 34° 25' 54" | 135° 11' 52" | -21.0m                   | ○           | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度、水中光量     | 流向・流速、風向・風速       |
|          |                                    | 神戸港波浪観測塔             | 34° 38' 50" | 135° 16' 36" | -17.0m                   | ○           | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度、水中光量     | 流向・流速             |
|          |                                    | 淀川河口                 | 34° 39' 41" | 135° 22' 2"  | -11.0m                   |             | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度、水中光量     | 流向・流速、風向・風速       |
|          |                                    | 阪南沖窪地                | 34° 27' 38" | 135° 19' 35" | -25.0m                   | ○           | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度、水中光量     | 流向・流速、風向・風速       |
|          |                                    | 堺浜(水質)               | 34° 35' 59" | 135° 26' 19" | -15m                     | ○           | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度、水中光量     | -                 |
|          |                                    | 堺浜(流況)               | 34° 36' 12" | 135° 26' 8"  | -12m                     |             | -                            | 流向・流速             |
|          |                                    | 大甲アイランド<br>東水路中央第三灯標 | 34° 42' 0"  | 135° 17' 29" | -14.2m                   |             | 水温                           | -                 |
|          |                                    | 浜寺航路第十号灯標            | 34° 33' 18" | 135° 23' 34" | -14.9m                   |             | 水温                           | -                 |
|          |                                    | 淡路交流の翼港              | 34° 33' 30" | 135° 0' 51"  | -7.1m                    |             | 水温、塩分                        | -                 |
| 須磨海釣り公園  | 34° 38' 11"                        | 135° 6' 11"          | -6.0m       |              | 水温、塩分                    | -           |                              |                   |
| 大阪港波浪観測塔 | 34° 36' 42"                        | 135° 22' 44"         | -12.0m      | ○            | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度、水中光量 | 流向・流速、風向・風速 |                              |                   |
| 岸和田沖     | 34° 29' 42"                        | 135° 20' 43"         | -12.6m      | ○            | 水温、塩分、DO、クロロフィルa、濁度      | 水中光量、流向・流速  |                              |                   |



### 2.3 対象海域の詳細

2.2章で取り纏めた内容について、「第2回沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング技術調査研究委員会」において議論し、対象海域の選定を行った。その結果、東京湾、大阪湾、伊勢湾の3地域では各項目において大差がないという結論になったが、現場海域試験を実施する上での利便性を考慮して、東京湾を対象海域として選定した。

対象海域とした東京湾（湾奥部）の詳細について詳述する。

#### ① 対象海域

東京湾湾奥部で運用されているモニタリングポスト5地点のうち自動昇降型で運用している地点は4地点ある。そのうち3地点は千葉港周辺であり、千葉港周辺海域には既存データが多いと予想されるので、千葉港周辺海域を対象海域に設定した。

千葉灯標近傍のモニタリングポストは海上保安庁が運用しており、過年度データを入手することができる。データは、自動昇降装置による鉛直観測データ（水温、塩分、DO\*、クロロフィル、濁度）と気象データ（風向、風速）、ADCP（超音波多層流向流速計）による流況データを入手することができる。

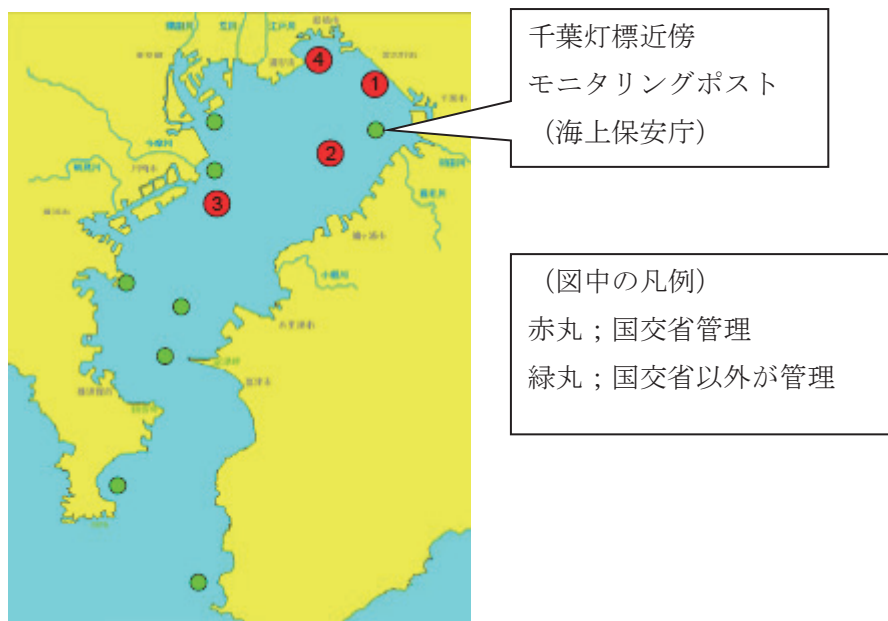


図 2.3-1 東京湾におけるモニタリングポスト

#### ② 海象条件（資料2）

千葉灯標近傍モニタリングポストの過年度データから、風速は最大で 31m/sec 以下、平均で 7m/sec 以下となっている。

千葉港周辺における波高データが入手できないため、東京湾（第二海堡）のデータを参考にした。有義波高でみると最大 3m、平均 0.25m と湾奥のため比較的小さい値とな

\*DO: 溶存酸素量

っている。流速は、最大で 31cm/sec 以下、平均で 7cm/sec 以下を示し、こちらも小さい値となっており、東京湾奥は湾口部に比べて穏やかな海況であることを示している。

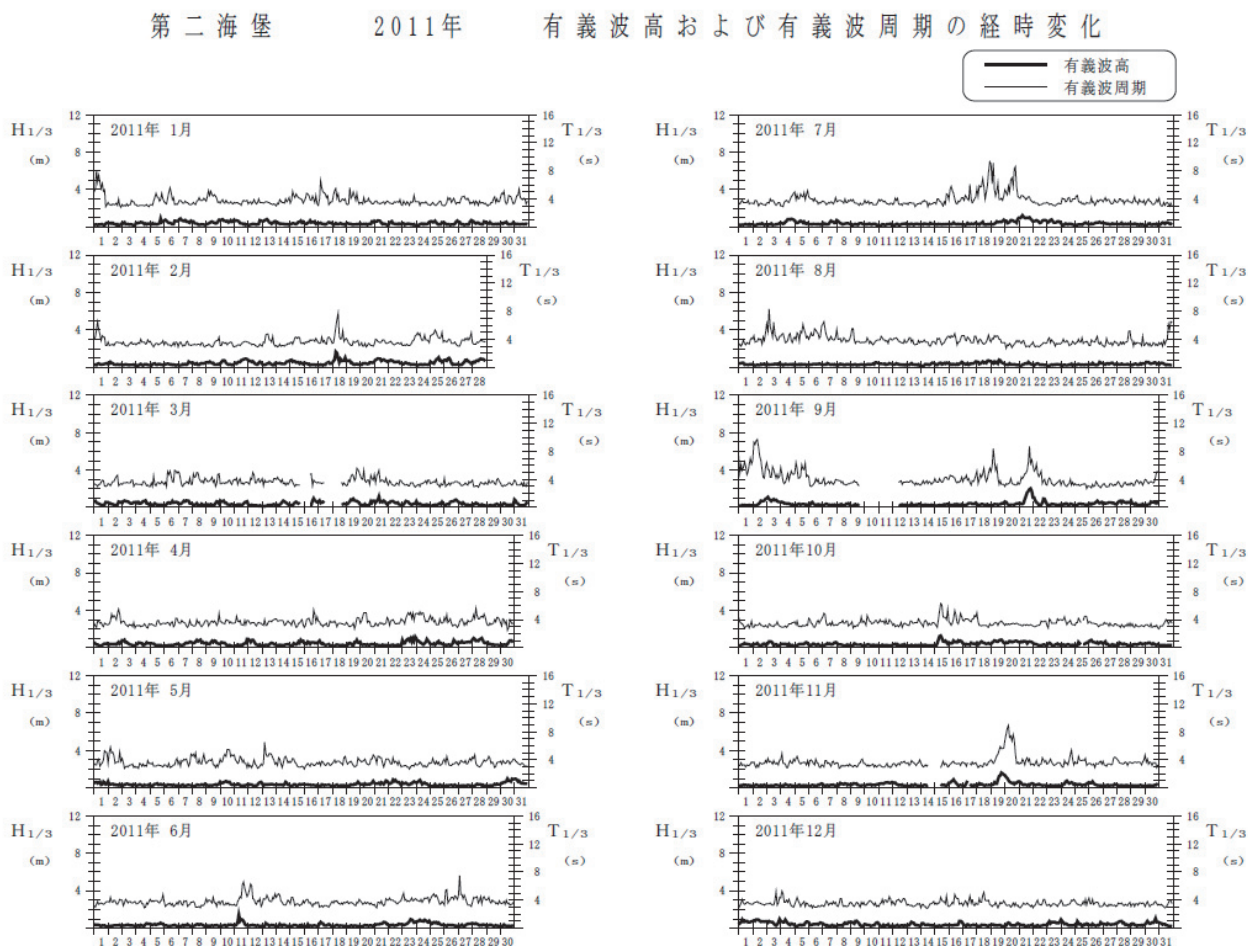


図 2.3-2 東京湾奥における有義波高 (2011年 第二海堡)

### ③ 流入河川

東京湾湾奥部に流入する主な河川は、江戸川、荒川、多摩川、鶴見川などがあり、年間約 140 億トン以上の流入があると推定されている。

千葉港周辺では小堰川、養老川などが流入しており、海洋環境に影響を及ぼしていると考えられる。

### ④ 水深

東京湾湾奥は水深 40m より浅く、平坦な海底地形である。

港湾における航路等は浚渫による深掘が行われ、水深がやや深い場所がある。

千葉灯標近傍モニタリングポストの水深は約 10m となっており、底質は砂泥で、比較的軟らかい泥であると推定される。



⑦ 生態系の存在

東京湾内に存在する代表的な自然干潟として、盤州干潟、富津干潟、三番瀬など千葉県側に多く点在している。

東京湾内に存在する藻場は、盤州干潟、富津干潟にアマモ場があり、岩礁性藻場は千葉県富津以南や神奈川県三浦半島周辺などに点在している。

⑧ 漁業利用

東京湾では、魚類（アナゴ、スズキ等）をはじめ、貝類（アサリ、青柳、赤貝等）や藻類（海苔養殖）などが漁獲されている。湾奥では、三番瀬周辺と木更津周辺に漁業権が設定されている。

⑨ 既存知見

東京海洋大学の神田らの科研費研究成果報告書「東京湾における二酸化炭素収支の時空間変動」では、東京湾表層海水の  $\text{CO}_2$  分圧の連続計測結果から海水-大気間  $\text{CO}_2$  収支の季節変動や空間変動について解析している。

その他には、国立環境研の野尻らの研究課題「海洋酸性化が石灰化生物に与える影響の実験的研究」では、相模湾（中央水産研究所横須賀支所）ではあるが海水  $\text{pCO}_2$  の時系列観測を実施している。本研究では海水  $\text{pCO}_2$  の時間的変動（日変動や季節変動）を捉えており、海水は変動が大きいものの年間を通じると大気レベルよりやや低く、海洋が大気中の  $\text{CO}_2$  を吸収していることが示唆される。

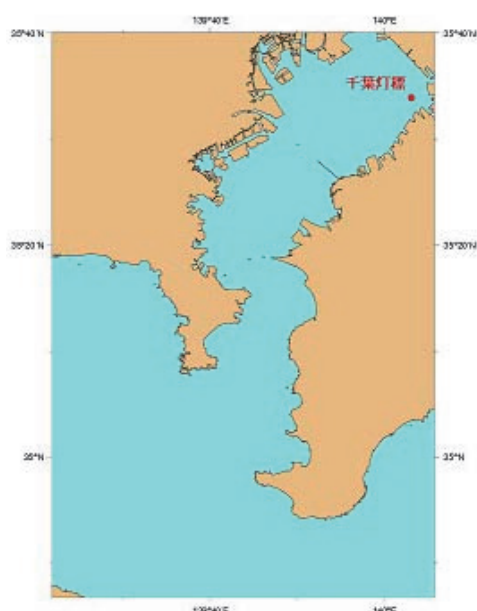
### 3章 既存データの解析と機器スペックの検討

#### 3.1 観測データの解析結果

##### ① 既存観測データの解析

対象海域とした千葉港周辺海域の既存観測データとして、千葉灯標モニタリングポストの5年間の観測データ（2009年～2013年）を海上保安庁海洋情報部（日本海洋データセンター）より入手した。入手した観測データを使って、対象海域における環境要因の変動範囲を把握した。特に自動昇降装置による水質データは、海水中の二酸化炭素との関連性が高く重要である。

観測データの各年、各月、各季節の最大値、最小値、平均値を求め、各季節における変動範囲を計算した。計算結果を資料2に示す。水質項目は、水温、塩分、溶存酸素（DO）、クロロフィル a、濁度である。



千葉灯標の位置図



千葉灯標の写真

図 3.1-1 千葉灯標の位置および概観

夏季および冬季の千葉灯標モニタリングポストにおける水温、塩分、DO の鉛直分布図を図 3.1-2、図 3.1-3 に示す。

夏季は温度躍層が発達し成層化するため、底層の DO が低くなる。これは有機物の分解に DO が消費されていることを示唆している。有機物分解の過程において CO<sub>2</sub> が生成されることから、夏季の底層に分布する低 DO 水は高 CO<sub>2</sub> である可能性が高い。

冬季は表層から底層までほぼ一様水温分布を示し、表層から底層までが混合しやすい時期である。DO については、水温同様に表層から底層までほぼ一様の分布を示し、夏季に底層でみられた低 DO 水はあまり観測されない。この時期の CO<sub>2</sub> 分布は海表面で溶けこんだ CO<sub>2</sub> が鉛直混合によって底層まで運ばれると示唆される。

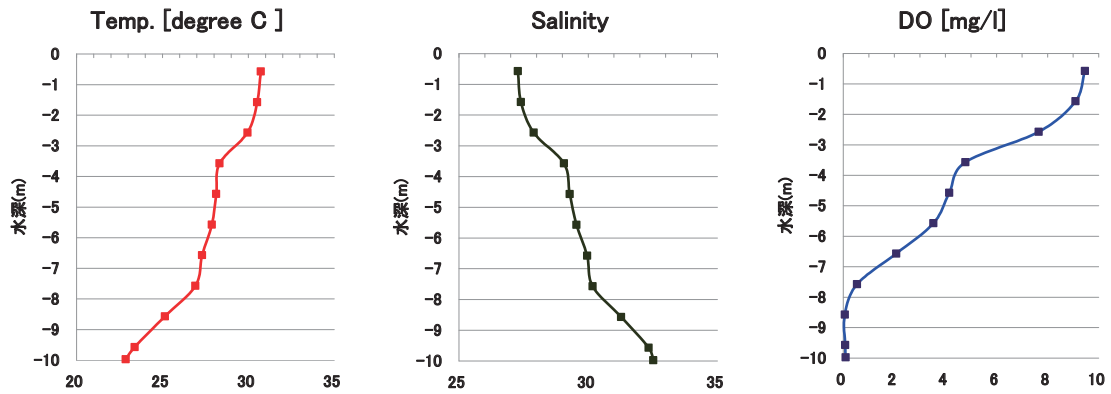


図 3.1-2 千葉灯標モニタリングポスト観測結果（夏季；2012/08/25 20 時）

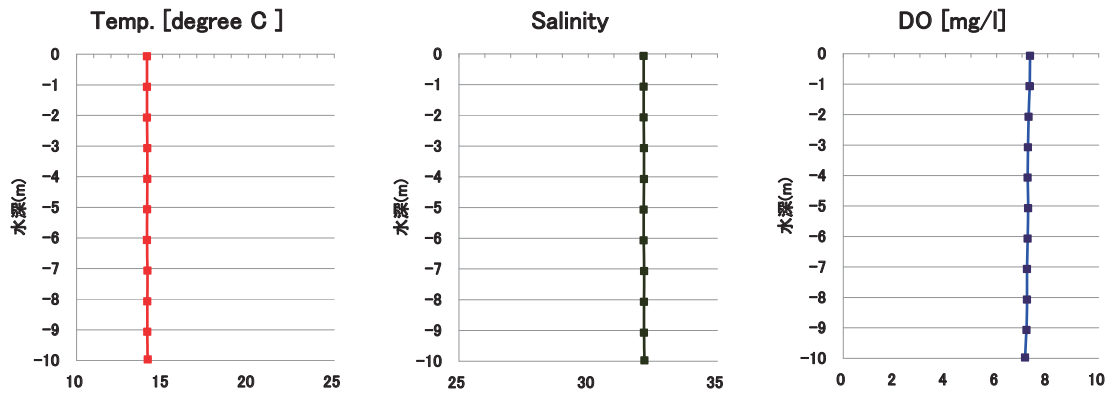


図 3.1-3 千葉灯標モニタリングポスト観測結果（冬季；2012/12/08 5 時）

千葉灯標モニタリングポストにおける水温、塩分、DO 鉛直分布の夏季における日周変動例を図 3.1-4 に示す。日周変動をみると、夜間（青色）において水温躍層の水塊構造が崩れ、底層の DO 値がやや高くなっている。本データは、夏季の東京湾においては日単位で鉛直分布に大きな変動があることを示唆しており、自動昇降による観測が重要なことを示している。

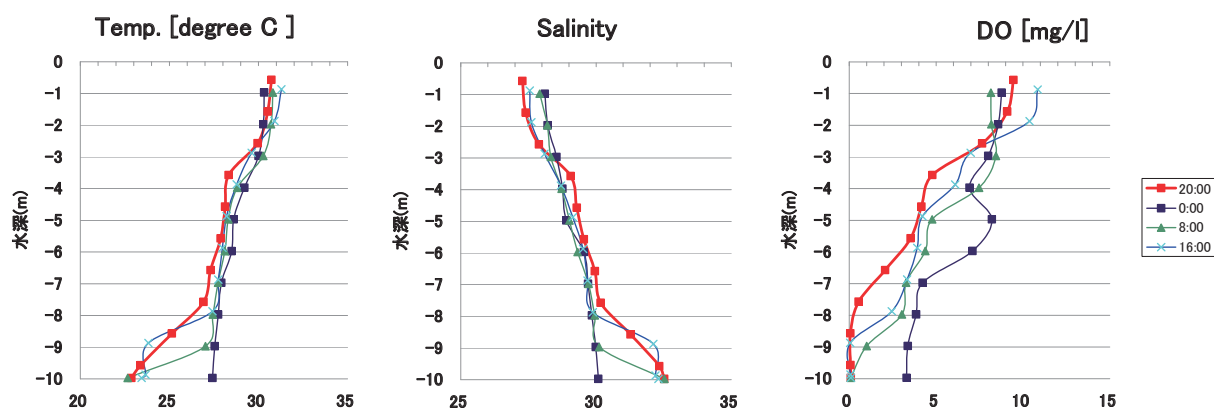


図 3.1-4 千葉灯標モニタリングポスト観測結果（夏季；2012/08/25）

沿岸域では一義的には DO と  $\text{CO}_2$  の分布特性が逆相関となり、低 DO 水の挙動＝高  $\text{CO}_2$  水の挙動となる可能性が高い。（H25 報告書 神田先生ヒアリング結果より）

モニタリングポストの既存データから  $\text{CO}_2$  分布特性を推定するためには、DO との関係性を把握することが重要である。しかし、海水中の  $\text{CO}_2$  は、有機物分解以外の要因によって変動するため、 $\text{CO}_2$  関連項目の鉛直観測が必要である。 $\text{CO}_2$  関連項目のうち、アルカリ度は塩分から計算することが可能（田口ら）だが、東京湾における pH や全炭酸の観測例は少なく、 $\text{pCO}_2$  の分布を推定することが難しい。

Chen (1993) の方法をもとに DO から有機物由来の  $\text{CO}_2$  を計算する方法があるが、沿岸においては計算の誤差が大きいと考えられる。その理由は海表面あるいは水深が浅い海域では DO が過飽和となり、海水中のみかけの酸素消費量 (AOU) との僅かの差で換算することになるため、有機物由来の  $\text{CO}_2$  を正確に推定することが難しいためである。また、沿岸域での生物由来有機物は海洋の平均化学量論比である Redfield 比から大きくはずれた値となっている可能性が高いことも理由としてあげられる。

以上のことから、モニタリングポスト観測値から海水  $\text{CO}_2$  の変動範囲を推定することは難しいと判断される。

② 既存観測結果による  $p\text{CO}_2$  の変動範囲

東京湾における既存観測事例から、海水  $p\text{CO}_2$  の変動範囲を推察した。

神田ら（2011）の東京湾湾奥の広範囲にわたる2年間の観測結果（図 3.1-5）では、変動範囲が  $0 \mu\text{atm} < p\text{CO}_2 < 7500 \mu\text{atm}$  となっている。5000  $\mu\text{atm}$  以上の高い値は塩分が低く、京浜運河を介して流入した陸水由来と報告されている。陸水によって大量の有機物が流入し、分解過程で発生した  $\text{CO}_2$  を捉えたと考えられる。また、 $p\text{CO}_2$  と塩分の指数関数的な相関関係が見られ、海洋への  $\text{CO}_2$  蓄積（ブルーカーボン）が示唆される。

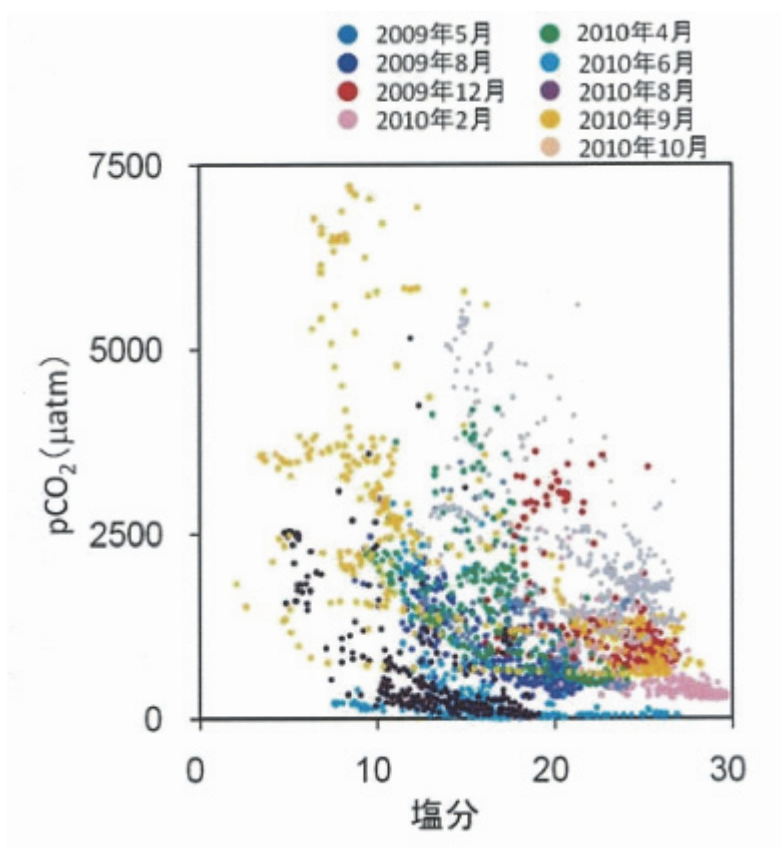


図 3.1-5 東京湾湾奥部における  $p\text{CO}_2$  と塩分の関係（神田ら 2011）



野尻ら（2011）は、相模湾（中央水産研究所横須賀支所）において実験所供給海水の  $pCO_2$  連続観測を行った。本観測結果の  $pCO_2$  変動範囲は、 $200 \mu atm < pCO_2 < 800 \mu atm$  となっている。

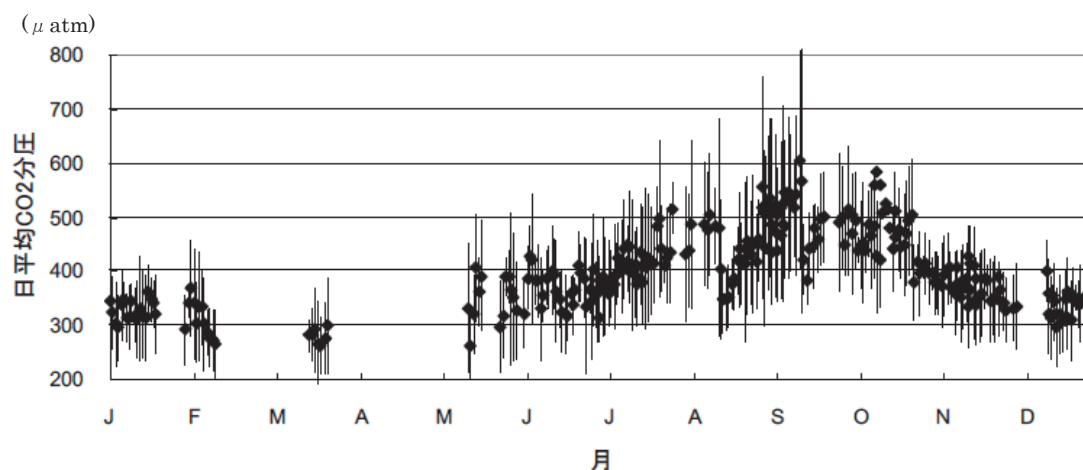


図 3.1-6 相模湾で観測された実験所供給海水の  $pCO_2$ （野尻ら 2011）  
（2008～2011 年を重ねてプロットしている）

藤原ら（2012）は、大阪湾で塩分から計算したアルカリ度と pH 採水分析値を使って  $pCO_2$  を計算した。大阪湾の淀川河口域から沖合域における表層～底層の  $pCO_2$  変動範囲は、大気濃度を  $400 \mu atm$  と仮定すると、 $300 \mu atm < pCO_2 < 800 \mu atm$  となっている。

3 件の観測事例から、東京湾湾奥における  $pCO_2$  の最大変動幅を  $0 \mu atm < pCO_2 < 7500 \mu atm$  と推定した。

### 3.2 機器スペックの検討

#### ① センサーに必要な性能および精度

沿岸域での CO<sub>2</sub> モニタリングの観測目的として、(1) CO<sub>2</sub> 吸収量把握（ブルーカーボン観測および沿岸域モニタリング）、(2) 海底下 CO<sub>2</sub> 貯留（海底下 CCS）モニタリングが検討されてきた。（平成 25 年度報告書参照）

観測目的によってセンサーに必要な性能や測定精度は違ってくるが、ここでは 3.1 で既存観測例から推定した東京湾湾奥における海水 pCO<sub>2</sub> 変動範囲（0 μ atm < pCO<sub>2</sub> < 7500 μ atm）に対応できるセンサー性能と必要精度について考察した。また、本調査で検討しているモニタリングシステムは、海表面から底層までをカバーできることが前提である。

観測目的に必要な水質項目と各センサーの性能および精度を表 3.2-1 にまとめた。

水温、塩分、溶存酸素、クロロフィル、濁度については、モニタリングポストで運用されているセンサーのスペックを示した。このスペックであれば、ブルーカーボン観測や CCS モニタにも適用可能な性能および精度であると考えた。

栄養塩センサーや pH センサーは実績が少なく、センサー自身のドリフトや長期安定性に課題がある。

pCO<sub>2</sub> センサーの測定範囲は、東京湾湾奥の測定範囲をカバーできる 0 μ atm < pCO<sub>2</sub> < 10000 μ atm とした。この測定範囲を 1 種類のセンサーで高精度にカバーすることは難しい。ここでは、高精度低濃度用センサー（0~1000 μ atm）と低精度高濃度用センサー（0~10000 μ atm）の 2 種類のセンサーを併用することで、大気レベルでの測定精度（10 μ atm）を確保するとともに、広い測定範囲をカバーできるようにした。

表 3.2-1 水質項目と各センサーの性能および精度（pCO<sub>2</sub> は推定値）

| 項目               | 運用実績      | 必要性     |        | 性能および精度                         |                           |                       |
|------------------|-----------|---------|--------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                  | モニタリングポスト | ブルーカーボン | CCSモニタ | 測定範囲                            | 測定精度                      | 分解能                   |
| 水温               | 現在稼動中     | ○       | ○      | -3~45℃                          | ±0.01℃<br>(0~35℃)         | 0.001℃                |
| 塩分               | 現在稼動中     | ○       | ○      | 2~42                            | ±0.01<br>mS/cm            | 0.001                 |
| 溶存酸素             | 現在稼動中     | ○       |        | 0~18ml/L                        | 0.15ml/L                  | 0.003ml/L             |
| クロロフィル           | 現在稼動中     | ○       |        | 0~400ppb                        | ±1%FS<br>ゼロドリフト±0.1ppb    | 0.01ppb               |
| 濁度               | 現在稼動中     | ○       |        | 0~500mg/L                       | ±0.1%                     | 0.1mg/L               |
| 栄養塩(硝酸塩)         | 実績少ない     | ○       |        | 0~10mg/L                        | ±5%                       | 0.01mg/L              |
| pH               | 実績少ない     | ◎       | ◎      | 6~9pH                           | ±0.1pH                    | 0.01pH                |
| pCO <sub>2</sub> | 研究事例のみ    | ◎       | ◎      | ①0~1000 μ atm<br>②0~10000 μ atm | ①±10 μ atm<br>②±100 μ atm | ①1 μ atm<br>②10 μ atm |

平成25年度の調査では7種類の $p\text{CO}_2$ センサーについて検討している。このうち、東京湾湾奥の測定範囲をカバーできるセンサーは簡易型 $\text{CO}_2$ センサー( $\text{CO}_2$  Optode)のみである。これは、 $p\text{CO}_2$ センサーの大部分が外洋観測を目的として設計されているため、外洋の比較的狭い測定範囲に合わせているためと考えられる。外洋観測用センサーをモニタリングシステムに適用するためには沿岸の測定範囲をカバーできるように改良が必要である。

$p\text{CO}_2$ センサーは外洋観測用に製作されたものが多いが、 $\text{pH}$ センサーは一般の環境モニタリング用として市販されているものがある。

$\text{pH}$ センサーが沿岸のモニタリングポスト等に採用されない理由として、海水に対する長期安定性に課題があることがあげられる。市販の $\text{pH}$ センサーはガラス電極を採用しており、ドリフトが発生しやすく、系統的な誤差の原因となっていた。近年、CCSモニタリングや海底熱水鉱床の調査目的で、海水専用 $\text{pH}$ センサー(紀本電子工業製SP-11)が開発され、市販されている。この $\text{pH}$ センサーは海水に対してドリフトが小さく、長期安定性に優れている。現場海域での係留試験結果では、 $\text{pH}$ の変動と $p\text{CO}_2$ の変動が一致し、安定して観測できることが報告されている。(岡村ら 2012)

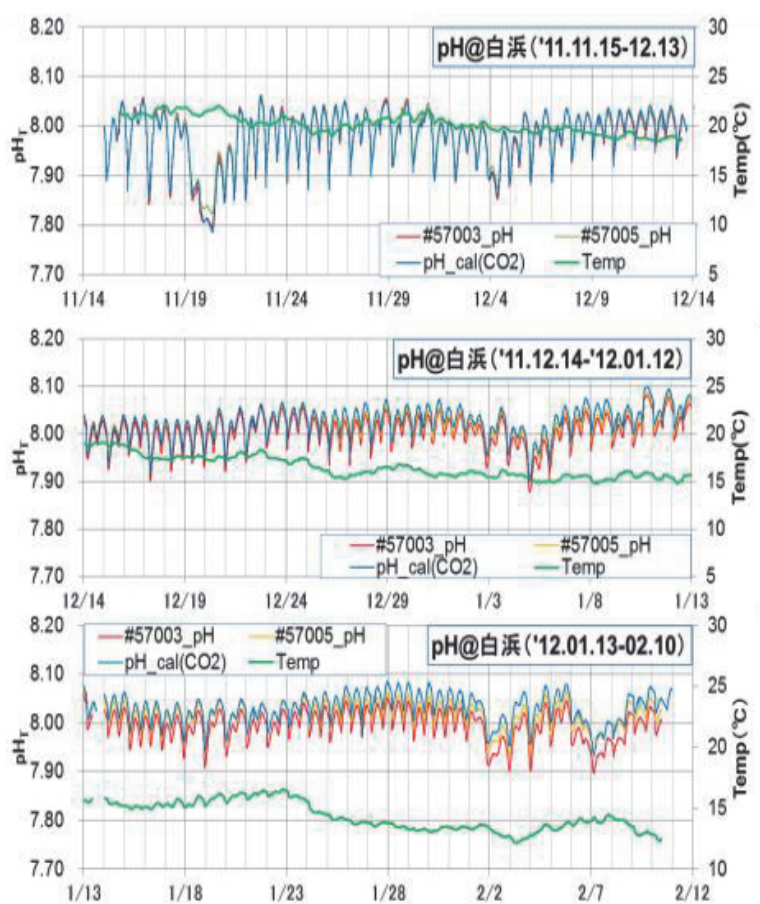


図 3.2-1 pH センサーと  $p\text{CO}_2$  測定結果の比較 (岡村ら 2012)

海水における  $p\text{CO}_2$  変動範囲に対応した pH 変動範囲を理論式から推定した。

アルカリ度 ( $A_t=2200 \mu \text{ eq/kg}$ ) と塩分 ( $S=33$ ) を一定とし、 $10^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C}$ 、 $30^\circ\text{C}$  の  $p\text{CO}_2$  変動に対応した pH を図 3.2-2 に示す。計算には  $\text{CO}_2$  sys program (Lewis and Wallace, 1998) を利用した。

$p\text{CO}_2$  が  $0 \mu \text{ atm} < p\text{CO}_2 < 10,000 \mu \text{ atm}$  の範囲で変動した場合、pH は  $6.7 < \text{pH} < 8.5$  の範囲で変動する。水温が異なっても変動範囲はほぼ同じである。また、 $p\text{CO}_2$  が  $400 \mu \text{ atm} \sim 500 \mu \text{ atm}$  で変動した場合の pH 変動幅は、 $0.07\text{pH}$  である。

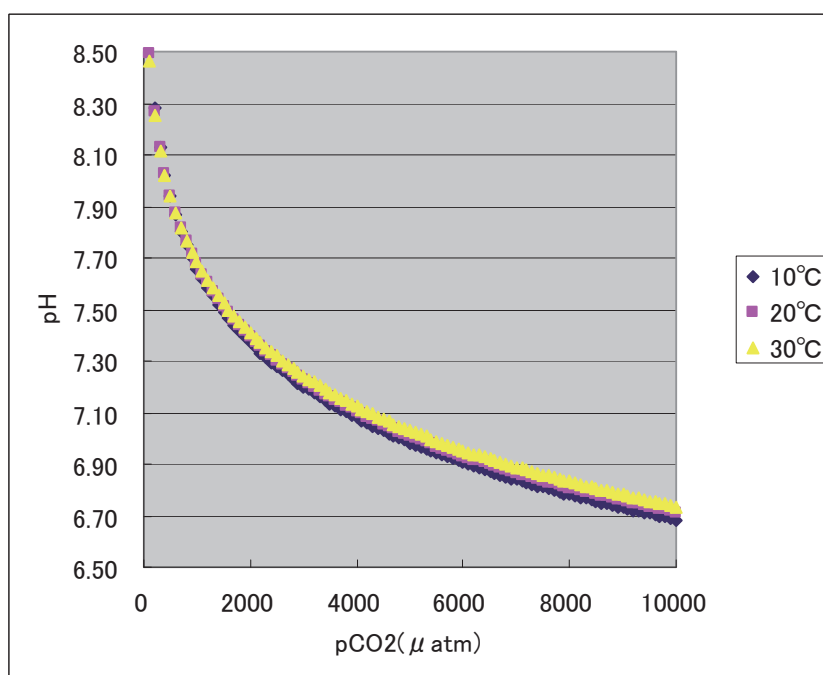


図 3.2-2  $p\text{CO}_2$  変動に対応した pH 変動  
(塩分 33、アルカリ度  $2200 \mu \text{ eq/kg}$  と仮定)

表 3.2-2 に pH センサーと pCO<sub>2</sub> センサーの長所、短所を整理した。

pCO<sub>2</sub> センサーの欠点は応答速度である。海水濃度によるが、応答するのに 3～5 分かかってしまう。pH センサーは、pCO<sub>2</sub> センサーに比べて精度や感度は劣るが、応答速度が早い。また、広い測定範囲に対応できるので沿岸観測には適していると思われる。

自動昇降型モニタリングシステムには、応答速度の早い pH センサーと高精度 pCO<sub>2</sub> センサーを併用することが望ましい。併用することによって、鉛直観測時の課題である応答速度をカバーでき、より広い測定範囲に対応できると考えられる。

表 3.2-2 pH センサー及び pCO<sub>2</sub> センサーの長所、短所

| 項目               | 長所  | 短所  |
|------------------|---|---|
| pH               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・オペレーションが簡単</li> <li>・応答速度が早い</li> <li>・省電力</li> <li>・比較的廉価</li> <li>・測定範囲が広い</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・長期安定性</li> <li>・感度が悪い</li> <li>・校正溶液</li> </ul>                                 |
| pCO <sub>2</sub> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・感度が良い</li> <li>・高分解能、高精度</li> <li>・大気とのフラックスが評価できる</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>・応答速度が遅い</li> <li>・測定範囲が狭い</li> <li>・省電力でない装置もある</li> <li>・オペレーションが複雑</li> </ul> |

## ② 追加項目の検討

沿岸域では栄養塩濃度が高く pH はその影響を受けやすいため、pH から pCO<sub>2</sub> を計算すると誤差が大きくなる可能性が高い。ブルーカーボン観測において海水中の CO<sub>2</sub> 挙動を pH から正確に把握するには栄養塩を測定する必要がある。

栄養塩の影響を受けずに CO<sub>2</sub> 全量を正確に把握するため方法として、DIC（全炭酸）を測定する方法がある。しかし、現場型の DIC センサーは開発されておらず、採水分析による限定的な把握しかできていないのが現状である。将来的には、高精度で時間的に連続測定ができる現場型 DIC センサーの開発が望まれる。

現場型 DIC センサーを開発することで、変動幅が大きく変動要因が多様な沿岸域において、正確な CO<sub>2</sub> 観測を実現することができる。

## 4章 昇降ブイと昇降装置の検討

### 4.1 昇降ブイの検討

#### 4.1.1 システムの全体構成

海中で昇降するブイによって水質等を調べるためには、観測装置を搭載する昇降ブイと、機械的にブイを上下させる海底設置型の昇降装置が必要となる。図 4.1.1-1 に昇降ブイと昇降装置のシステム構成図を示した。

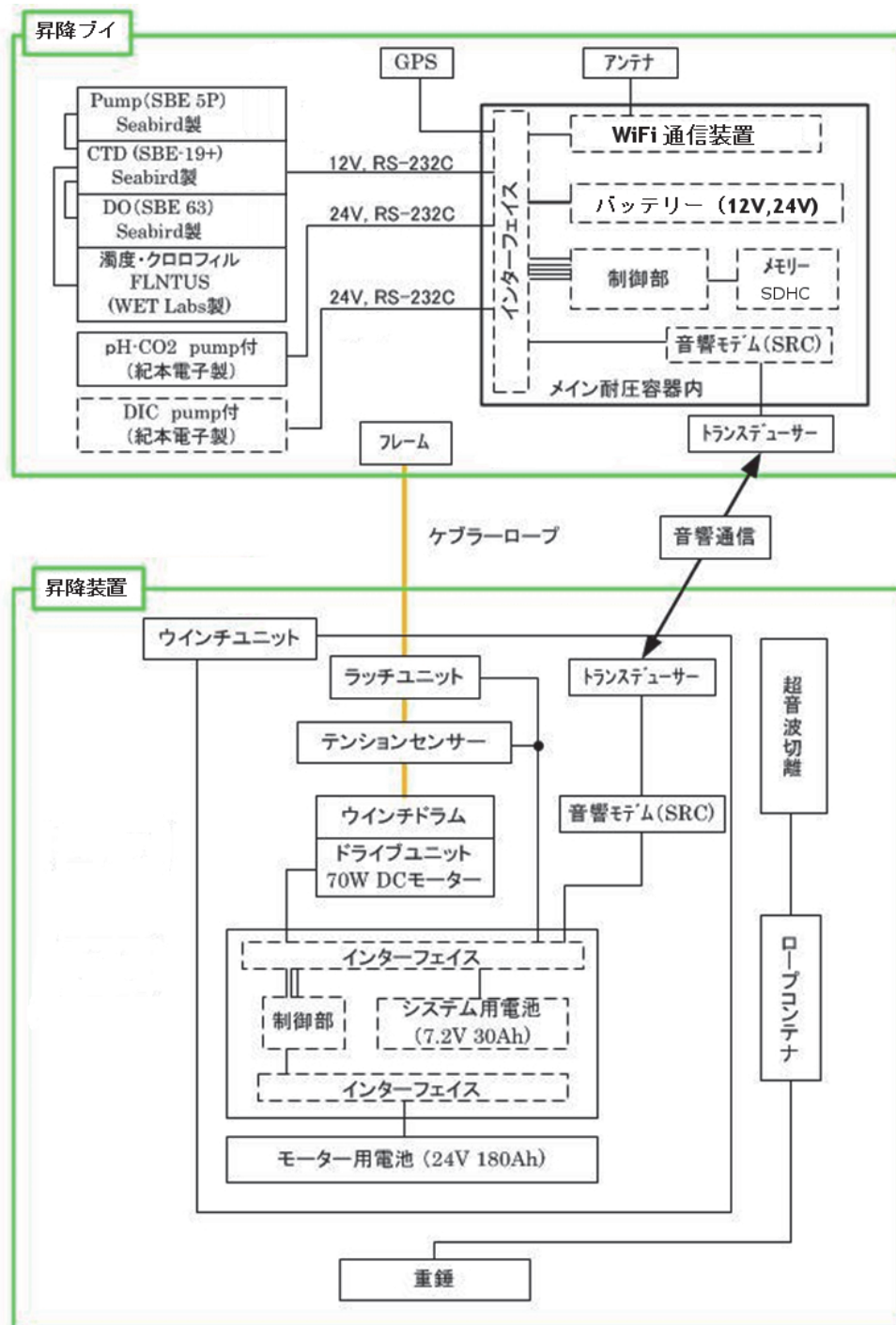


図 4.1.1-1 昇降ブイと昇降装置のシステム構成図

(日油技研工業株式会社 提供)

昇降ブイでは、複数の観測装置について、インターフェイスや電源負荷を考慮してセンサーの組み合わせを行っている。DO センサーや濁度・クロロフィル計のデータは、CTD センサーのデータとあわせて、1つのセンサーパッケージとして扱った。また、電源負荷の大きい pH-CO<sub>2</sub> 計については、1つのセンサーパッケージとした。さらに、将来の拡張性を考え、DIC センサー等の接続が可能なよう、予備のインターフェイスを確保した。

#### 4.1.2 電源容量

昇降ブイの電源は、① 制御システムおよび CTD センサーパッケージの用途に 12 V 系、② pH-CO<sub>2</sub> 計の用途に 24 V 系の 2 系統を準備する。①および②でそれぞれ電気容量を検討すると以下ようになる。

条件：1日2回昇降させるものとし、4ヶ月間連続観測する場合を想定する。1回の鉛直測定に要する時間は、上昇時と下降時のそれぞれで観測を実施する場合、約30分必要である。(50 m の上昇に約3分+下降に約6分+観測に10分×2(上下) ≒ 30分)

$$\textcircled{1} 12 \text{ V 系} \quad 0.3 \text{ A} \times (30 / 60) \text{ hr} \times 2 \text{ 回} \times 120 \text{ 日} = 36.0 \text{ Ah}$$

$$\textcircled{2} 24 \text{ V 系} \quad (0.2+0.2) \text{ A} \times (30 / 60) \text{ hr} \times 2 \text{ 回} \times 120 \text{ 日} = 48.0 \text{ Ah}$$

実際の運用には、上記に加えて制御システムや、通信装置に要する電力も必要となるため、その考慮も必要となる。現在市販されている1次バッテリーでは、Electrochem 製の 3B0076 が、電気密度や温度特性で良好な数値を示していることから、これを必要数組んで構成するのが一案としてあげられる。ただし、バッテリーの性能向上は急速に進んでいるため、利用の時点で最もパフォーマンスの高い製品を選ぶのがよいだろう。

表 4.1.2-1 昇降ブイに搭載するセンサーと消費電力

| 構成品目                     | 形状 (mm)                | 重量               | 消費電力          |
|--------------------------|------------------------|------------------|---------------|
| CTD SBE-19+              | 136×103×808            | 7.3 kg           | 12 V、0.3 A 程度 |
| Pump (SBE-5P)            | 51×51×235              | 0.5 kg           |               |
| DO (SBE-63 / SBE-43)     | 70×40×300              | 0.7 kg           |               |
| 濁度・Chl-a(FLNTUS)         | 63×63×133              | 0.5 kg           |               |
| pH-CO <sub>2</sub> 計     | 90×90×326<br>87×87×570 | 5.8 kg           | 24 V、0.2 A 程度 |
| DIC                      | 90×90×326<br>87×87×570 | 5.8 kg           | 24 V、0.2 A 程度 |
| センサー容積 概算 21 L (DIC 除く)、 |                        | 概算 28 L (DIC 含む) |               |
| メイン耐圧容器<br>(制御部・電池 等)    | 容積として約 30 L            |                  |               |

#### 4.1.3 昇降ブイの容量

昇降ブイの容量については、DICを除いた場合の容積が約51Lであり、それを含んだ場合は約58Lである。空間利用率を約0.5とした場合、見積もられる体積は、DICを除いた場合で約102L、それを含んだ場合で約116Lである。但し、これには浮力材は含まれていない。

上記の条件からDICを含めた昇降ブイのサイズを定めると、図4.1.3-1のようになる。ただし、このサイズでは運用上、扱いやすいとはいえないため、詳細設計の際には、ある程度小型化を考慮すべきであろう。

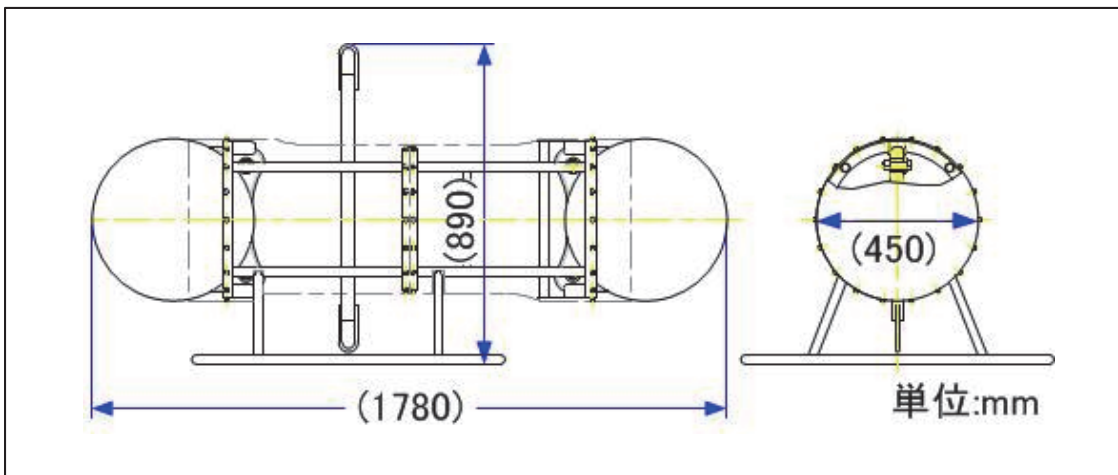


図 4.1.3-1 昇降ブイの想定サイズ

(日油技研工業株式会社 提供)

#### 4.1.4 昇降ブイの形状

対象海域の流況等を考慮し、昇降ブイの形状が水平移動量にどう影響するかをみるためシミュレーションを実施した。検討した形状は以下の3タイプである(図4.1.4-1)。

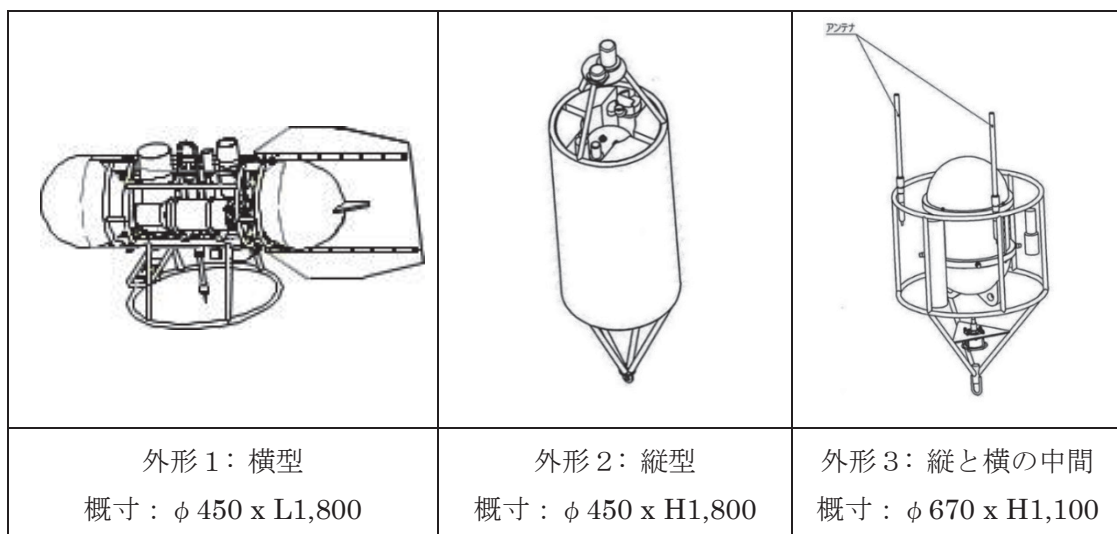


図 4.1.4-1 昇降ブイ形状の比較

(日油技研工業株式会社 提供)



対象海域の候補である東京湾・伊勢湾・大阪湾の情報を基に、水深 50 m、水平流速 60 cm/sec（海面～海底まで一定）と仮定して、昇降ブイを水面まで移動させるために必要な繰り出しロープ長及び水平移動量を予測した。その結果を以下に示す。

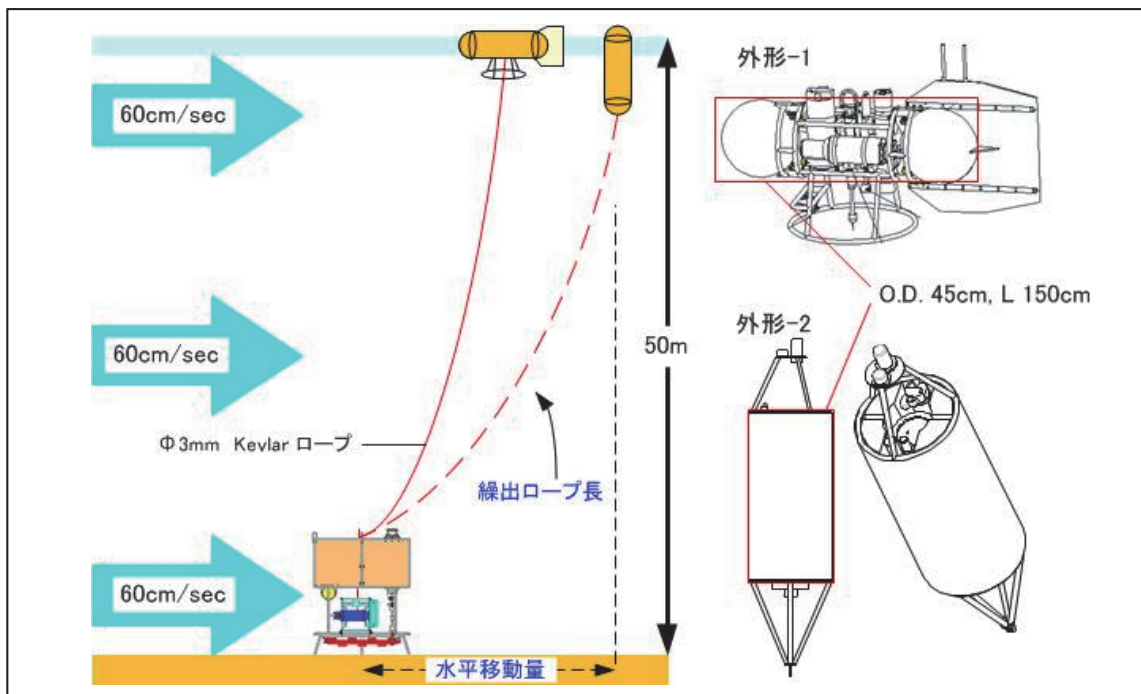


図 4.1.4-2 シミュレーション内容

(日油技研工業株式会社 提供)

沿岸域での運用を考えた場合、浮上した際に、水面で存在する範囲がなるべく小さいほうがよい。計算の結果、水平流に対して抵抗面を少なくするような横型円筒形ブイが、昇降ブイの形状として、最も適することがわかった（表 4.1.4-1 および図 4.1.4-3～5）。

また昇降ブイの浮力も、大きい方が流れの影響を受けにくい。ただし、水中ウインチの巻き込み能力やモーターの選定に影響を与えるので、ここでは外形 1・浮力 10 kgf のものを選定した。

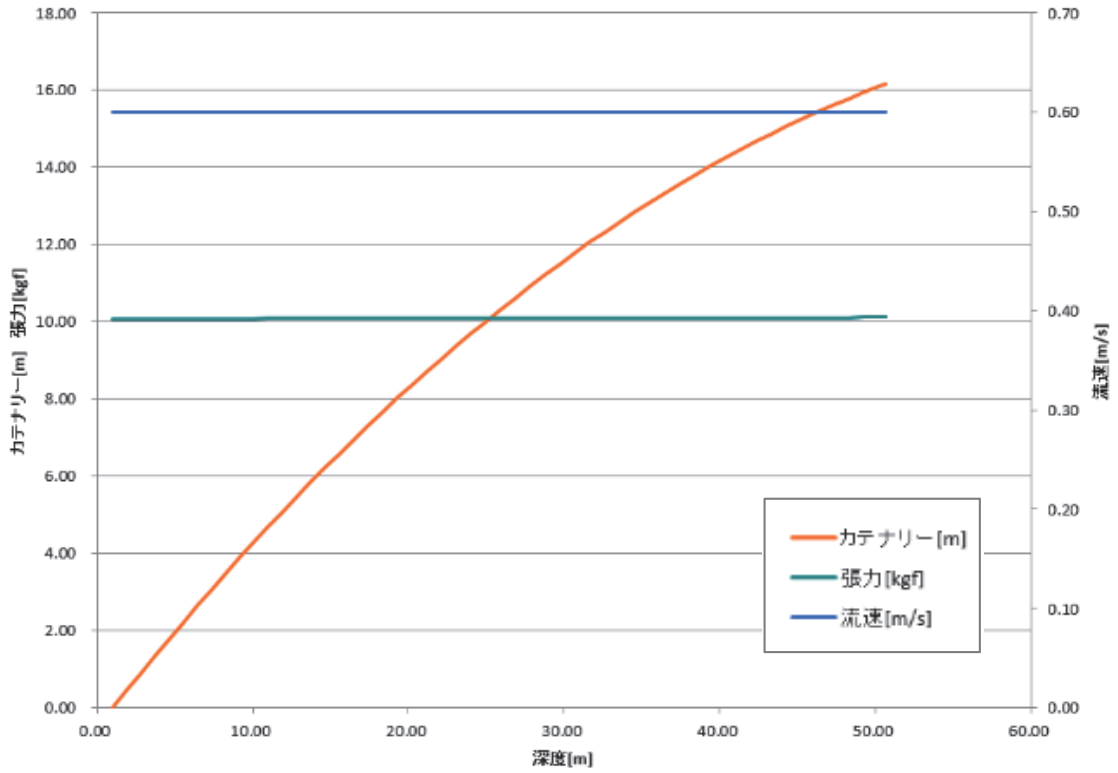
表 4.1.4-1 シミュレーション結果

|                            | 外形 1<br>横型昇降ブイ   |                   | 外形 2<br>縦型昇降ブイ   |                   | 外形 3<br>昇降ブイ <sup>1)</sup> |                   |
|----------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
|                            | 10 kgf<br>(98 N) | 15 kgf<br>(147 N) | 10 kgf<br>(98 N) | 15 kgf<br>(147 N) | 10 kgf<br>(98 N)           | 15 kgf<br>(147 N) |
| 昇降ブイ浮力<br>(浮上力)            | 10 kgf<br>(98 N) | 15 kgf<br>(147 N) | 10 kgf<br>(98 N) | 15 kgf<br>(147 N) | 10 kgf<br>(98 N)           | 15 kgf<br>(147 N) |
| 水面浮上に必要な<br>繰出ロープ長 (m)     | 53               | 51                | 75               | 64                | 69                         | 60                |
| 浮上時の水平移動量 (m)<br>(中心からの距離) | 16               | 10                | 57               | 41                | 48                         | 34                |

<sup>1)</sup> O.D. 50 cm, L100 cm

(日油技研工業株式会社 提供)

外形1 横型昇降ブイ 浮力 10 kgf



外形1 横型昇降ブイ 浮力 15 kgf

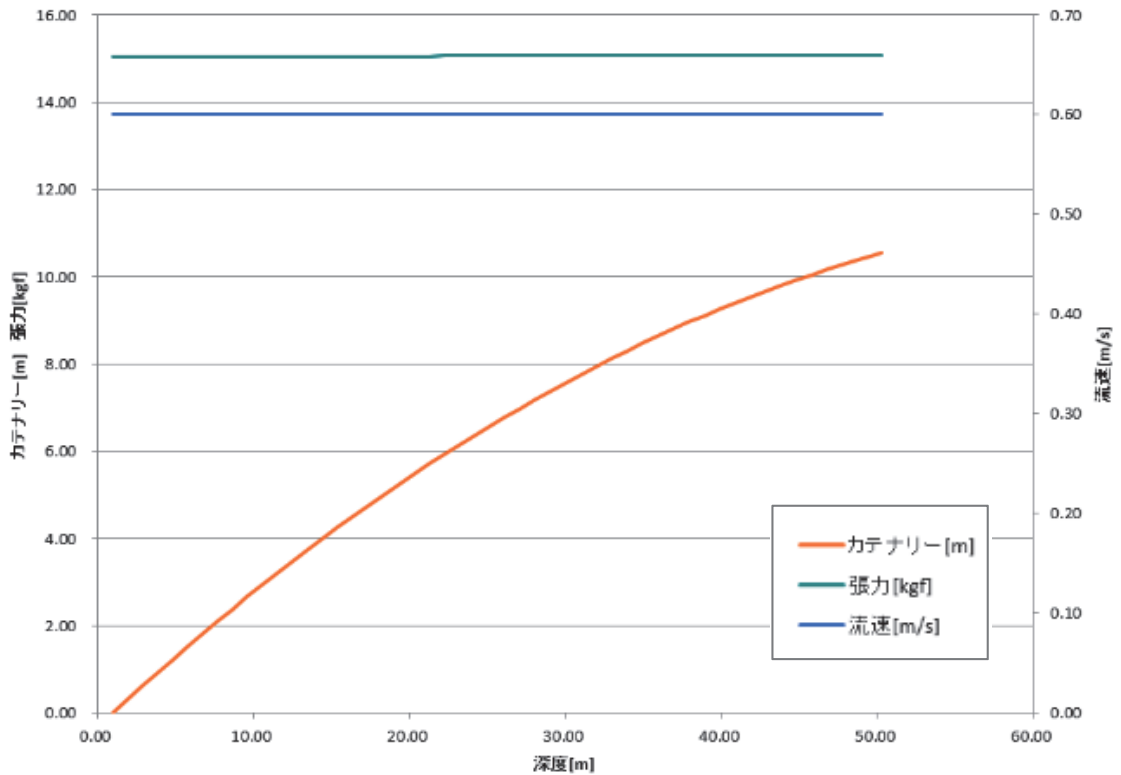
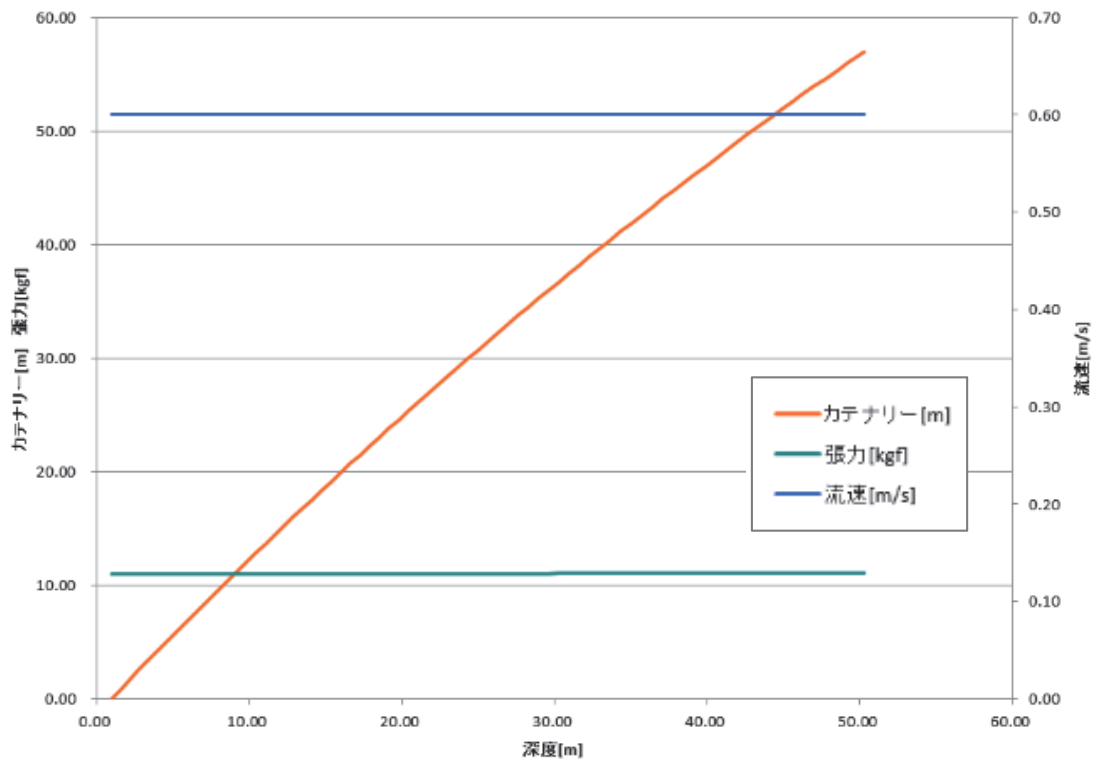


図 4.1.4-3 ブイ外形1による繰り出しロープ長への影響  
(日油技研工業株式会社 提供)

外形2 縦型昇降ブイ 浮力 10 kgf



外形2 縦型昇降ブイ 浮力 15 kgf

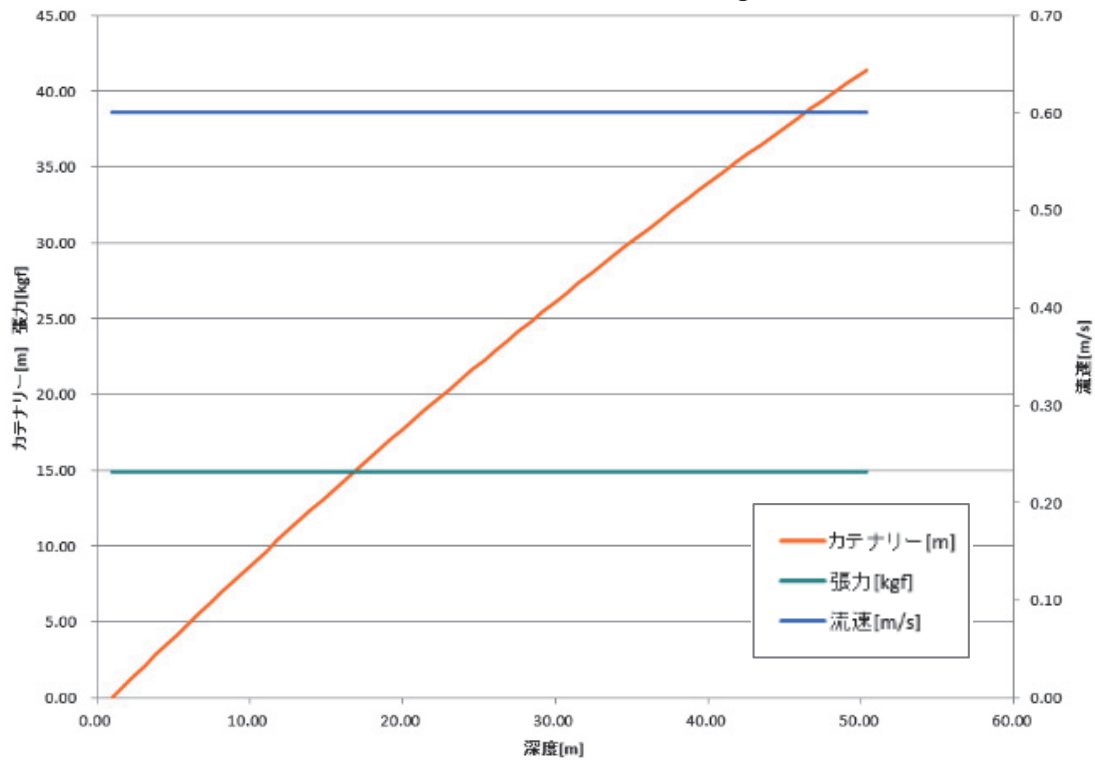
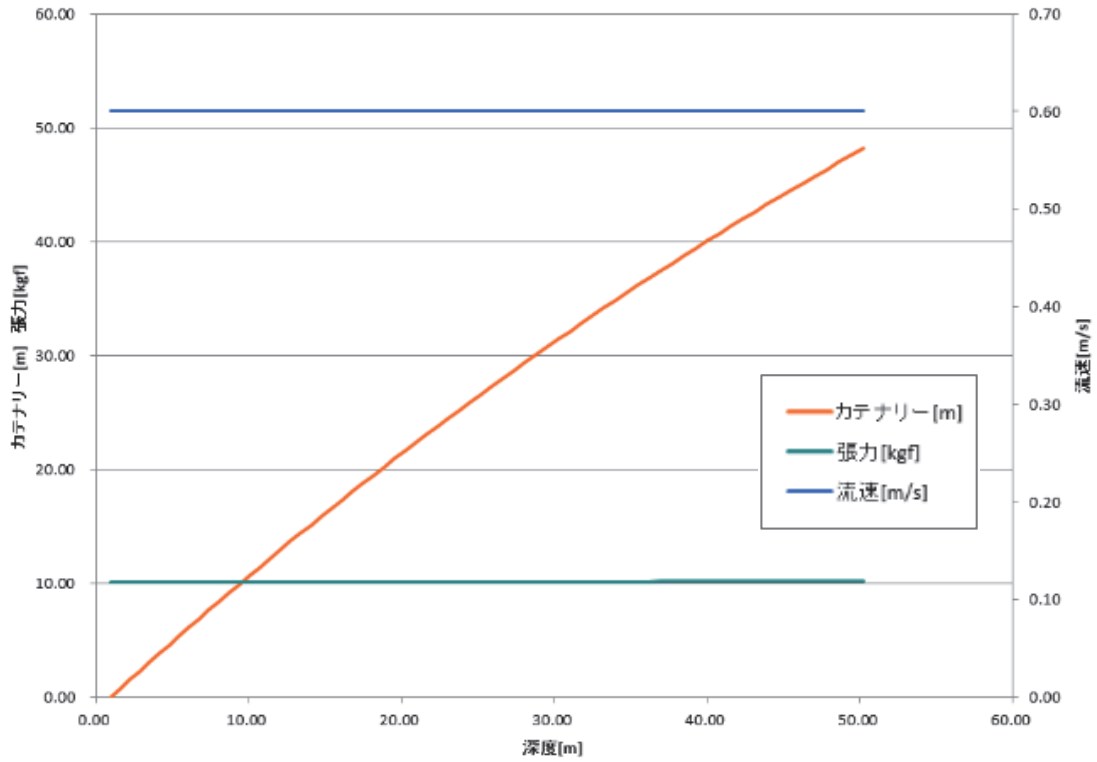


図 4.1.4-4 ブイ外形2による繰り出しロープ長への影響

(日油技研工業株式会社 提供)

外形3 昇降ブイ 浮力 10 kgf



外形3 昇降ブイ 浮力 15 kgf

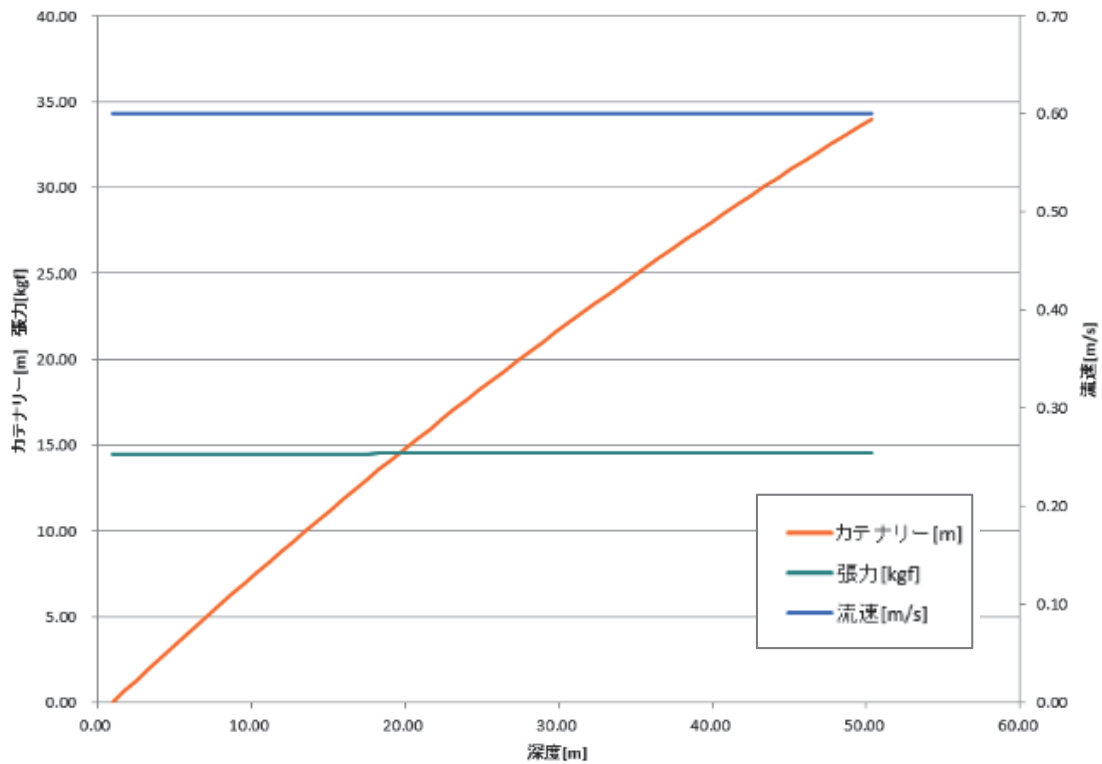


図 4.1.4-5 ブイ外形3による繰り出しロープ長への影響

(日油技研工業株式会社 提供)

#### 4.1.5 昇降ブイの材質

メーカー（日油技研工業株式会社）の見解では、定点に置かれている装置と比較すると、短時間のうちに垂直移動を繰り返す装置や、頻繁に動きを伴う装置は、遊泳能力の乏しい付着生物による影響は少ないとしている。これは、水圧差やワイパーのような効果が働くためと考えている。

また、昇降ブイを下層で待機状態にしておくことにより、生物の影響をより抑えることができることから、センサー側からの要求が無ければ、付着生物対策や腐蝕対策のための特別な材料は必要としない。

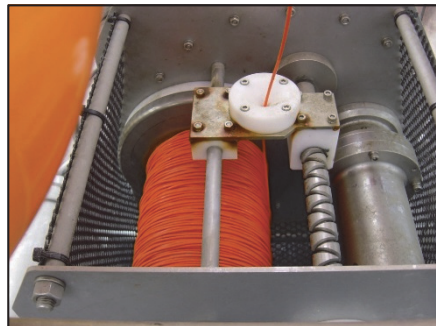
フレームには普及原材料ステンレス 316 や 304 を用いて、電蝕防止のための犠牲電極（亜鉛やアルミニウムの塊）を数個配置する。軽量化を図るために、耐圧容器は樹脂を利用することが望ましい。



図 4.1.5-1 回収した直後の昇降ブイ（水深 150m に 3 ヶ月間設置後回収）



昇降装置本体



ウインチドラム

図 4.1.5-2 回収した直後の昇降装置（水深 150m に 3 ヶ月間設置後回収）

（日油技研工業株式会社 提供）



## 4.2 昇降装置の検討

昇降ブイを上下させるための昇降装置について、必要な能力や構造、設置方法等について検討を行った。

### 4.2.1 昇降装置の能力

水質観測用に調整された、長期無人運用実績のある水中ウインチ機構部（ウインチドラムとドライブユニット）を基に検討する。図 4.2.1-1 に水中ウインチ機構部を、表 4.2.1-1 に当該製品の販売実績（日油技研工業株式会社）を示す。

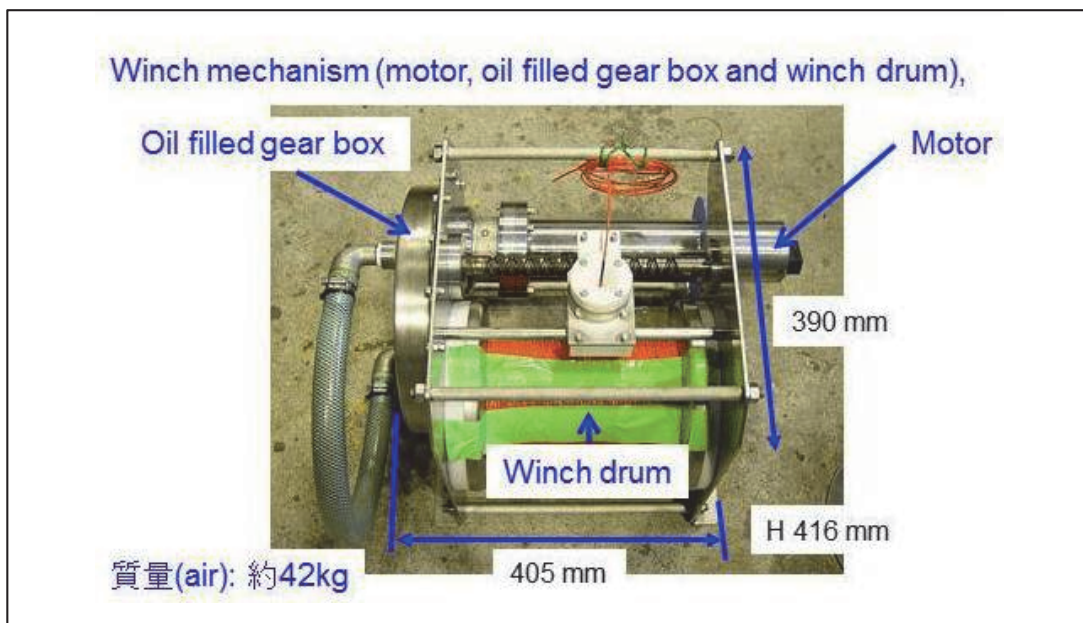


図 4.2.1-1 水中ウインチ機構部

(日油技研工業株式会社 提供)

表 4.2.1-1 販売実績

| 年度   | 国内          |    | 海外   |    |
|------|-------------|----|--|----|
|      | 納入先         | 台数 | 納入先  | 台数 |
| 2006 | 国土技術政策総合研究所 | 1  | Alfred-Wegener-Inst. (ドイツ)                             | 2  |
|      | 日本海区水産研究所   | 1  |  |    |
|      | 東北区水産研究所    | 1  |  |    |
| 2007 |             |    | Univ. of Victoria (カナダ)                                | 1  |
| 2010 | 水産工学研究所     | 1  | The Leibniz Institute for<br>Baltic Sea Research (ドイツ) | 1  |
| 2011 |             |    | Korea Inst. of Ocean Sci. and Tech (韓国)                | 1  |
| 2012 | JAMSTEC     | 3  | IFM-GEOMAR (ドイツ)                                       | 1  |
|      |             |    | Alfred-Wegener-Inst. (ドイツ)                             | 1  |
| 2013 |             |    | OSU/NOAA (アメリカ)  | 1  |
|      |             |    | CNR-ISMAR (イタリア)                                       | 1  |
| 2014 |             |    | National Inst. of Oceanog. (インド)                       | 1  |

(日油技研工業株式会社 提供)

- 1) 昇降速度：センサーの時定数に大きく委ねられ、鉛直速度はおおよそ 1 m/sec 以下に抑えられている。NO<sub>2</sub> 栄養塩センサーなどの場合では、0.5 m/sec 以下が望ましい。

上昇速度： 0.2 ～ 0.3 m/sec (参考)

下降速度： 0.1 ～ 0.2 m/sec (参考)

昨年度の報告書にも記載したが、pCO<sub>2</sub> センサーの時定数は大きく、それが小さいものでも 3～5 分を要する。この場合、センサーの時定数に合わせて、昇降ブイを測定深度で停止させる必要がある。

なお、測定のタイミングについては、上昇時と下降時のいずれでも測定は可能である。ただし、上昇時の方がウインチに力がかからず、昇降ブイを滑らかに、かつ一定速度で上昇させることができる。一方、下降時は、ウインチに大きな力がかかり、ギクシャクしながら巻き取るため、時間がまちまちになる。そのため、どちらか一方のみで観測する場合は、上昇時の方がよい。また、上昇時であれば海面にでて、直ぐにデータを送信できる。

- 2) 消費電力： ウインチ駆動のための消費電力は下記の通りである。

上昇時： 約 24 V、50 mA (最大： 300 mA)

下降時： 約 24 V、2000 mA (最大： 3000 mA)

- 3) ウインチロープ： 海底から水面まで繋がっているウインチロープが、最も係留系の挙動に影響を与える。流体抵抗を少なくするためには極力細くて軽いロープを選択する必要がある。以下に候補とする直径 3 mm 以下の 2 種類のロープを示す。

ケブラーロープ :  $\phi$  2.7 mm、破断強度 約 316 kgf

ダイニーマロープ :  $\phi$  2.2 mm、破断強度 約 450 kgf



#### 4.2.2 昇降装置の全体構造

海中で動作するウインチは、人による監視が困難なことから、無人運転用に特化したユニットが開発されている。ここでは、その構成要素と各パーツの役割について述べる。

##### 1) ラッチユニット

動作休止時に昇降ブイを繋ぎ止めておくための装置である。この装置が無いと、昇降ブイの浮力と流速などの影響を受けて、ウインチロープが引き出されてしまう可能性がある。ウインチロープが引き出された状態では損傷を受けやすいため、それを防止するために昇降ブイをこのラッチユニットを使って機械的に結合させる。

測定時はこの結合を解いて、ウインチロープに昇降ブイの浮力（張力）が掛かるようにした状態でウインチを動作させる。

##### 2) テンションセンサー

繰り出しているウインチロープがたるんだ時に、モーターの動作を即時に停止するための監視センサーである。ウインチは所定の長さのロープを繰り出そうとするが、引潮等で水面が低い場合、ウインチの動作中にブイが海面に到達するためロープが弛む。これによって、ウインチドラムの中で遊んだロープが膨れ上がる。テンションセンサーはロープの弛みを検知し、ドラムでロープが絡まるのを防ぐ。

##### 3) ドライブユニット

70 W 以上の DC モーターと、その回転速度を検出するためのセンサーが入っている。ウインチロープの繰り出し/巻き取り速度はここで監視する。PAM（パルス振幅変調）制御にすると大掛かりになるため、PWM（パルス幅変調）制御を用いてウインチを動作させる。

##### 4) 制御部

ウインチの動作管理を行う。昇降ブイと同期をとって動作するよう、昇降ブイと超音波で交信を行う。そのため、内部に音響モデムが組み込まれているほか、写真にはないが、外部にトランスデューサが取り付けられている。

##### 5) モーター用電池

大容量・高出力の EI リチウム電池を利用する。耐圧容器 1 個につき、24 V、60A の組電池を格納する。耐圧容器を並列に繋ぐことによって、測定回数を増やすことができる。写真では 2 個の耐圧容器を繋いでいるが、ドイツやアメリカでは 6 個、イタリアでは 3 個繋いで、長期の運用や高頻度の観測に対応している。

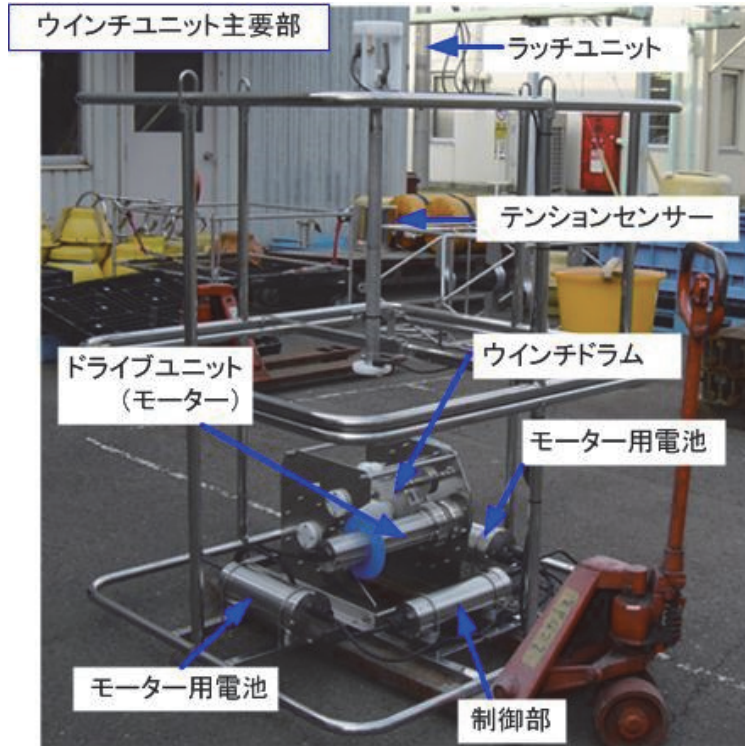


図 4.2.2-1 昇降装置主要部の外観

(日油技研工業株式会社 提供)

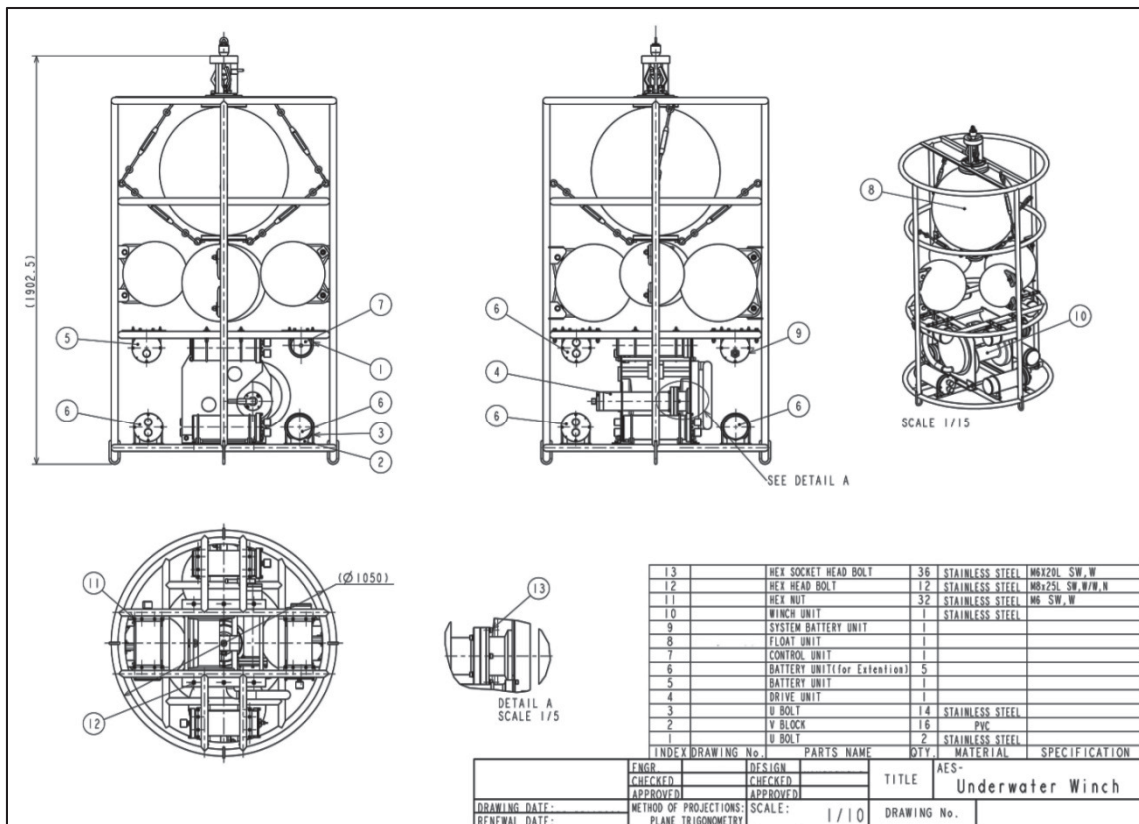


図 4.2.2-2 昇降装置の全体構造

(日油技研工業株式会社 提供)

#### 4.3 設置および回収方法

昇降ブイと昇降装置について、現場への設置作業および現場からの回収作業について、標準的な方法を記す。なお、回収時においては、重錘を海底に残す場合（ロープコンテナがない）と、重錘も同時に回収する場合（ロープコンテナがある）の2通りについて記述する。

##### 1) 設置方法：

①船のクレーンを用いて、昇降ブイと昇降装置を一体化させた状態で海底直上まで降下させる。

②超音波切離装置を用いて、吊具（吊点）から切り離す。

海底が泥質の場合、切り離すタイミングは海底から数m上部とし、そこから自由落下により、脚部が海底にある程度沈み込むようにする。ただし、海底が礫質や岩質の場合は、海底面で切り離す。

\*水深が浅い場合は、装置を自由落下させず、ダイバーが支援しながら海底に正しく設置する。

##### 2) 回収方法：

###### 1. ロープコンテナなしの場合

①昇降装置に搭載されている超音波切離装置を用いて重錘を切り離す。

②重錘がフレームから分離され、本体が浮上する。

③水面に浮上後、本体を回収する。

###### 2. ロープコンテナありの場合

①昇降装置に搭載されている超音波切離装置を用いて、ロープコンテナの蓋を外し、続いて重錘を切り離す。

②重錘がフレームから分離され、重錘以外は浮上する。その際、重錘はロープで本体と繋がっている。

③水面に浮上後、本体を回収する。続いてロープをひき重錘を回収する。

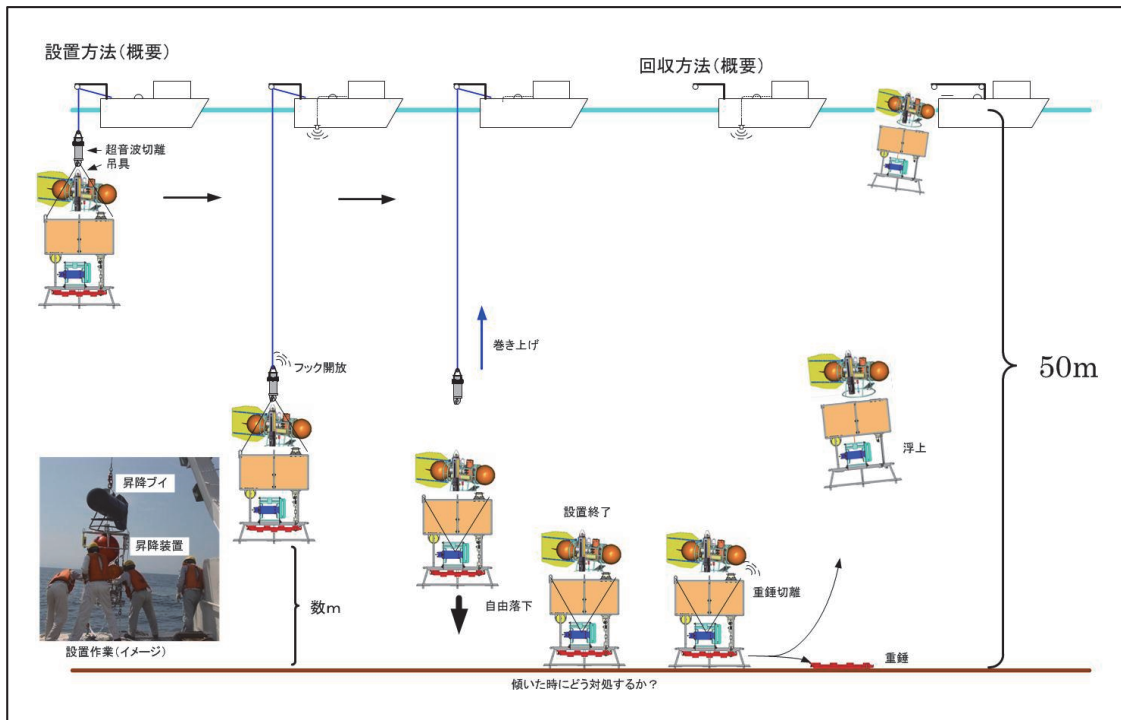


図 4.3-1 設置回収概要 (ロープコンテナなしの場合)

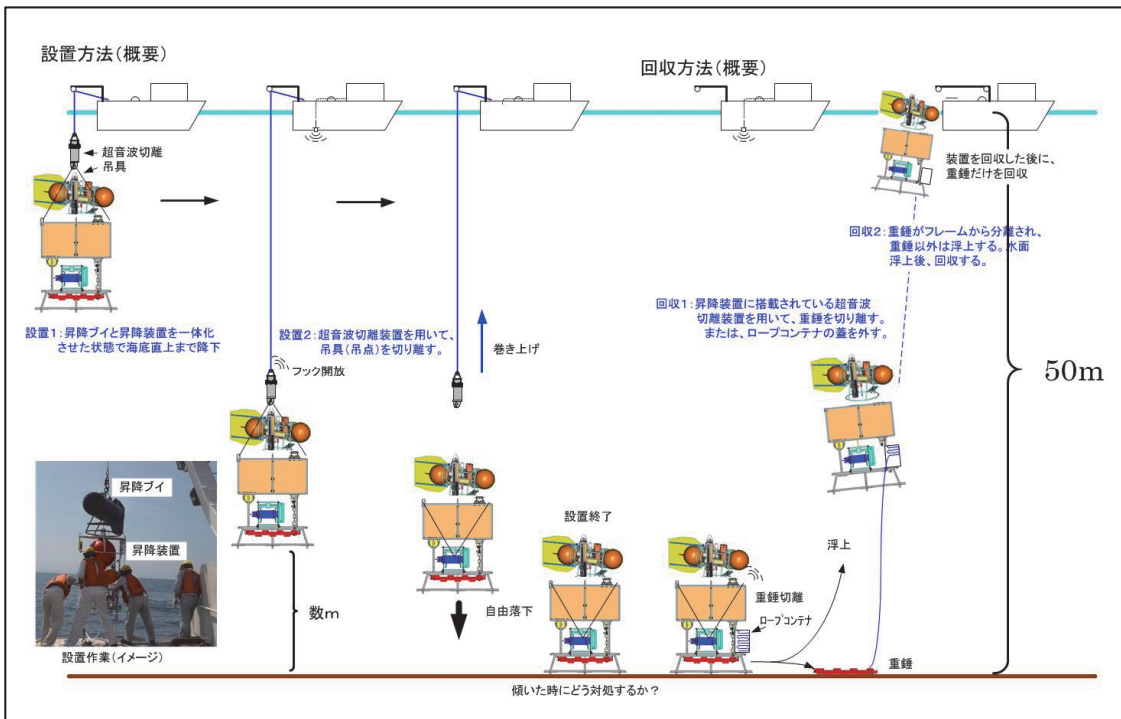


図 4.3-2 設置回収概要 (ロープコンテナありの場合)

(日油技研工業株式会社 提供)

#### 4.4 開発要素の検討

開発後の普及を促進するには、設置や回収をより効率的にすすめるため、下記項目について、さらなる検討が必要であると考えられる。

##### 1) 傾斜設置された場合の対応（再設置ではなく）

ダイバーが支援できる深度では、海底の状況をダイバーが適切に判断して、装置を水平に設置することができる。しかし、水深が深いところでは、ダイバーを利用できないため、傾けて設置してしまう可能性がある。傾きが大きいと、ロープの出し入れが円滑にできない。そのため再設置が必要となるが、これには回収と同様の作業が発生する。こうしたことから、再設置をしなくとも、ロープの出し入れが円滑にできるよう対策を講じる必要がある。

アイデアの一つとしては、ジンバル機構の適用が考えられる。ウインチとテンションセンサー、ラッチユニット、昇降ブイの台座を一つのまとまりと捉え、それらが水平に維持されるように、フレームとの間にジンバル機構を設けるというものである。これによって、フレームが傾いて設置されても、ウインチ等は水平を維持することができる。

ただし、ウインチが稼働することで、重力以外の力が発生するため、ジンバル機構に影響が及ぶ。これを回避するためには、ウインチ等が水平を捉えた段階で、ジンバルを固定する機構をつければよい。

##### 2) 装置の全高を下げる

昇降ブイと昇降装置をあわせた全高を下げることで、設置・撤去の作業性を改善することができる。また、魚網等が絡まる頻度もある程度は改善することができるため、浅海域では特に重要だろう。

観測の面からも、海底に近いところのデータが望まれるが、本報で検討の昇降装置は1.8 mあり、高さを下げるのが課題である。それより深い部分については、パラメタリゼーションによって外挿することになる。

#### 4.5 製作費用

本報で検討を行った昇降ブイと昇降装置について、概算費用を求めると以下の通りとなる。

##### 1) 本体費用

- |                            |          |
|----------------------------|----------|
| ・昇降ブイ本体（初回開発費 1,500 千円を含む） | 5,500 千円 |
| ・昇降装置本体（初回開発費 1,000 千円を含む） | 9,500 千円 |

##### 2) 設置・回収費用

- |                    |        |
|--------------------|--------|
| ・設置費用（ブーム付き定置漁船使用） | 305 千円 |
| ・回収費用（ブーム付き定置漁船使用） | 305 千円 |

##### 3) 年間メンテナンス費用

- |                          |          |
|--------------------------|----------|
| ・中間点検 (605 千円×2 回)       | 1,210 千円 |
| ・全機材回収総点検 (3,110 千円×2 回) | 6,220 千円 |

## 5章 高機能型標識ブイと灯標ブイの検討

高機能型標識ブイは、海面での気象や水温等の観測の他、通信装置を搭載して地上基地と海中とを結ぶ中継点としての機能を持つ。これらが高機能型標識ブイを設置する第一の理由である。さらに、高機能型標識ブイは、灯標ブイと連係して、昇降ブイが浮上する可能性のある領域を示し、付近を航行する船舶の安全を確保するという役割も担っている。

本章では、両ブイについて、先ず高機能型標識ブイの仕様について述べた後、船舶の安全確保やブイの全体構造等について記すものとする。

### 5.1 高機能型標識ブイの仕様

#### 5.1.1 システム構成

高機能型標識ブイのシステム構成図を図 5.1.1-1 に示した。システムは、観測装置と通信装置、制御装置に大きく分けることができる。さらに GPS 受信機やバッテリー、ソーラーパネル等によってシステム全体が構成されている。

観測装置は、搭載するセンサー類であり、観測対象によって、それらが異なる。図 5.1.1-1 では、海面での気象ならびに水温に関するセンサーを搭載するものとした。また、必要に応じて観測機能を拡張できるように、予備のセンサーポートを備えるものとした。なお、センサーによっては 24V 電源を要求する装置もあるため、予備のセンサーポートでは、12V および 24V のいずれでも選択できるものとした。

通信装置は、空中用と水中用に分けられる。地上基地や浮上中の昇降ブイとの通信には、電波による WiFi 通信装置を利用するものとし、水中の昇降ブイおよび昇降装置との通信には、水中音響通信を可能にするため、音響モデムとトランスデューサーを搭載するものとした。

高機能型標識ブイでは、電波と水という 2 種類の伝送媒体を利用することに加え、WiFi 通信装置に IEEE802.11j を採用することで、長距離伝送が可能になることから、地上基地からの信号を、海中に存在するの昇降ブイや昇降装置に伝えたり、逆にそれらからの信号を地上基地に伝える中継点としての機能を実現している。

制御装置は、インターフェースを介して観測装置を自動で制御するとともに、地上基地からの制御信号によりそれに応じた動作を行うための装置である。さらに各種センサーや昇降ブイから送られてきた観測データを、一定のフォーマットに加工して通信装置に送ったり、メモリーに格納したりする機能も担っている。

GPS 受信機は、本来その地点の地理座標を知るためのものだが、正確な時刻を知ることから、地上基地や水中にある装置類の時刻調整を行うことが狙いである。また、万が一係留装置の故障等でブイが漂流することになっても、電波が到達する範囲内（約 10km）であれば、地理座標が送られてくるため、早期発見に役立つものと思われる。

バッテリーは装置類への電力供給に利用し、必要な電圧のバッテリーを搭載するとともに、消費電力を考慮して容量を定める。また、ソーラーパネルは発電のための機材であり、バッテリーの電圧低下を補う。

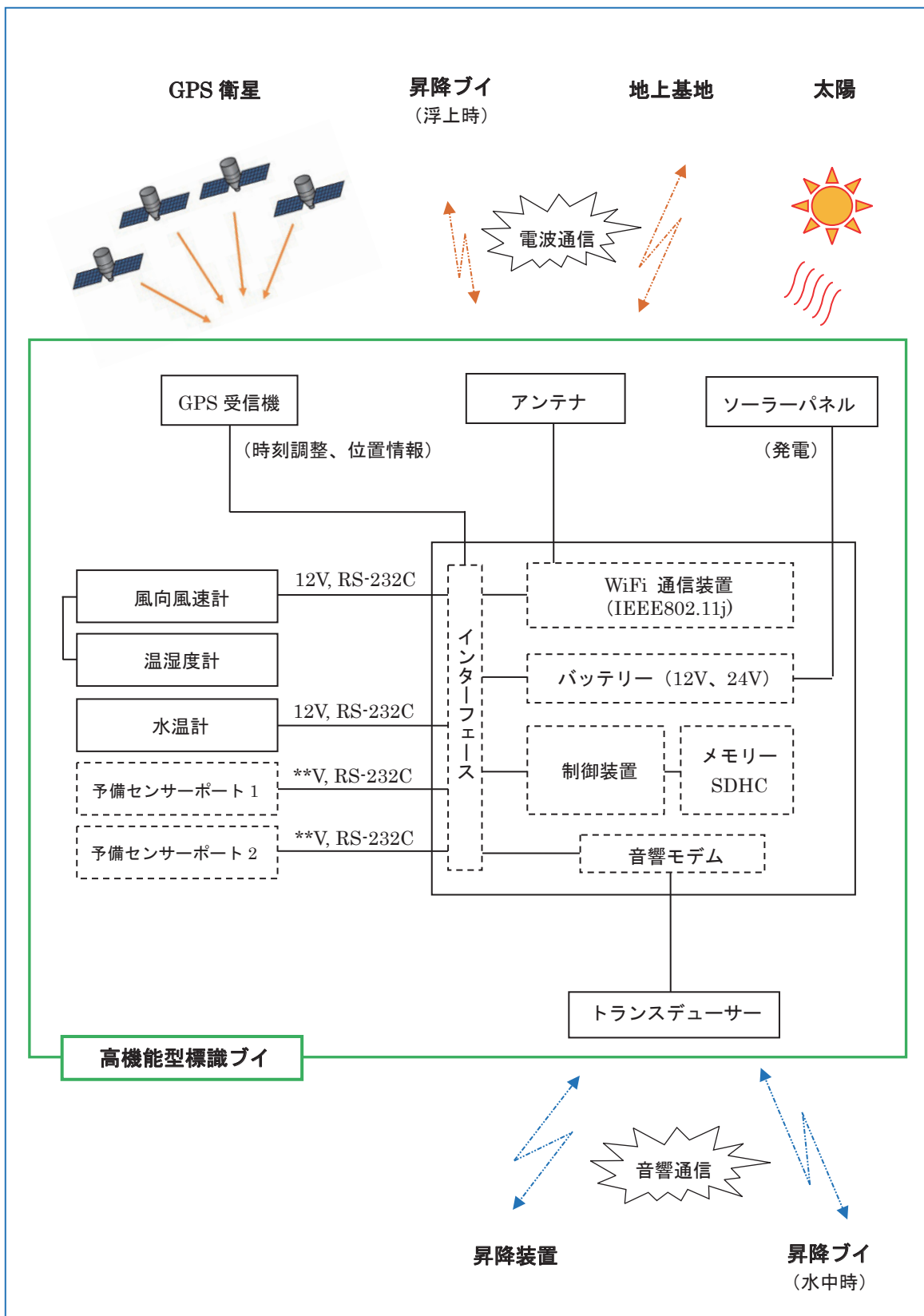


図 5.1.1-1 高機能型標識ブイのシステム構成図



### 5.1.2 電源容量

電力を多く要する装置は、観測装置と通信装置ならびに制御装置である。メンテナンス等で、バッテリーを交換するまでの間、これらの稼働に見合うだけの電源容量がなくてはならない。ただし、ブイにはソーラーパネルを取り付けることができるため、消費した電力をある程度補うことが可能である。また、バッテリー交換等のメンテナンスにおいて、ブイが常に海上にあるという点で、昇降ブイ等にくらべて容易であるため、それも考慮の上、最適な容量を検討するのがよいだろう。

以下に、昇降ブイにおける測定と同期して高機能型標識ブイのセンサーを稼働させるものとして、センサーに要する電源容量の見積もり例を示した（12V系のみ）。

条件：1日2回の昇降に合わせ、4ヶ月間連続観測する場合を想定する。1回の鉛直測定に要する時間は、上昇時と下降時のそれぞれで観測を実施する場合、約30分必要である。（50mの上昇に約3分+下降に約6分+観測に10分×2（上下）≒30分）

$$0.1 \text{ A} \times (30 / 60) \text{ hr} \times 2 \text{ 回} \times 120 \text{ 日} = 12.0 \text{ Ah}$$

表 5.1.2-1 高機能型標識ブイに搭載するセンサーと消費電力

| 構成品目            | 形状 (mm)     | 重量     | 消費電力          |
|-----------------|-------------|--------|---------------|
| 風向風速計 (AD 変換器付) | 300×20×500  | 3.0 kg | 12 V、0.1 A 程度 |
| 温湿度計            | 50×50×20    | 0.1 kg |               |
| 水温計             | 20×20×300   | 0.1 kg |               |
| 予備1             | 100×100×300 |        |               |
| 予備2             | 100×100×300 |        |               |

なお、制御装置や通信装置に要する電源容量についても、使用する機器の消費電力や稼働率等に応じて、上記と同様の検討が必要である。

### 5.1.3 機器室等の容量

装置類をブイの内部に搭載するのにどの程度の容量が必要かを検討する。観測に利用するセンサー類はブイの外部に取付けることから、内部に設置するものとしては、制御装置と通信装置およびバッテリーが対象となる。

装置類は、ブイの内部に直接置くこともできるが、ある程度、機能別にコンテナにまとめた方が、メンテナンス性の向上や漏水時における沈水防止等に役立つものと考えられる。ただし、ブイ本体としては構造的に、防水や漏水対策が施され、機密性が確保されていなくてはならない。

コンテナは、制御・通信装置用にひとつと、バッテリー用にひとつが必要である。制御・通信装置用はプラスチック製でもよいが、バッテリー用には金属性が望まれる。バッテリ

一は、日中ソーラパネルにより充電されるため、もし過充電防止装置が機能しなかった場合に、発火する危険性があるためである。

コンテナは、ブイメーカーにブイの形状に合わせて特注するのが理想であるが、経費節減のために、防水加工された市販品を利用してもよい。ただし、その場合は、装置を固定するベルト等の取り付けや、通信および電源ケーブルを通す穴、コンテナを固定する金具等の加工が必要である。以下に市販されているコンテナの一例を示す。

#### アルミダイキャスト製のコンテナ

|          |                      |     |
|----------|----------------------|-----|
| 制御・通信装置用 | (下図左：400×300×340 mm) | 410 |
| バッテリー用   | (下図右：400×300×180 mm) | 220 |



図 5.1.3-1 アルミダイキャスト製コンテナの一例

高機能型標識ブイにおける機器室および電源室の内部容量は、上記で検討したコンテナのサイズを十分に上回るものである。従って、特に小型のブイを利用しない限り、ブイの内部容量について慎重すぎる必要はないだろう。ただし、ブイのハッチのサイズや形状については、考慮しておく必要がある。

#### 5.1.4 ブイの材質と塗装

ブイに利用される材料には、アルミ合金のほか、プラスチックや FRP、それらの組合せなど様々であるが、利用目的に応じた使い分けもある。特に、回収が難しいラグランジュ型（浮遊型）のブイについては、環境負荷の小さいアルミ合金が利用されることが多い。

一方、本報で利用するブイについては、湾内設置型であり、プロジェクト毎に回収や移設が発生すると考えられることから、湾内の海象条件に応じた耐久性を持つ軽量なタイプがよいだろう。さらに、研究機関や漁業関係者らの利用を考えれば、安価であることも重要な条件である。

ブイの塗装については、外面と内面、さらに外面は喫水上と喫水下で、それぞれ異なる塗装方法をとる。外面の喫水上では、エポキシ樹脂系塗料で下塗をした後、ポリウレタン樹脂系塗料で、指定色の上塗を 2 度行う。一方、喫水下では、下塗の後に、塩化ゴム系塗

料による中塗を行う。その上で、研磨性防汚塗料による上塗りを行う。この研磨性防汚塗料については、生物付着対策が狙いである。この塗装により、貝等がある程度付着すると、塗装ごと薄く剥がれ落ち、生物の付着を抑えることができる。

ブイ内面の塗装は、外面の喫水上と同じであるが、上塗は1度のみである。なお上記は、ブイの耐用年数が2年の場合であるが、5年の場合は喫水上および内面における上塗回数を2回、喫水下は3回実施する。(ゼニライトブイ塗装仕様)



図 5.1.4-1 引上げたブイと作業用の足場

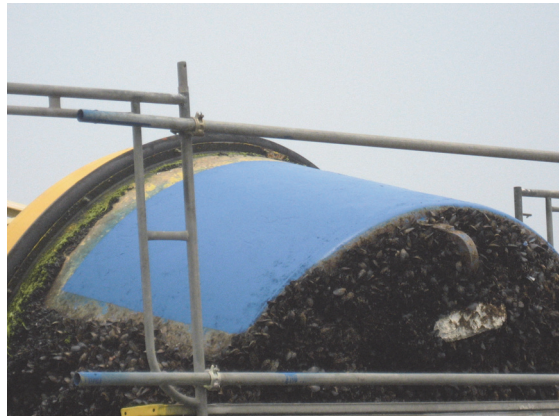


図 5.1.4-2 生物が付着していない部分  
(株式会社ゼニライトブイ 提供)

電食対策については電食板によって対応する。その際の注意としては、電食板をブイの素材と密着させることである。塗装の前に、ブイ本体に溶接するのが最も効果が高い。後付けをする場合は、塗装を剥がしてボルトで止める。その際に、菊座ワッシャーを利用すると、金属の表面が磨かれ通電効果が高まる。

## 5.2 ブイの配置による安全の確保

4章で述べた昇降ブイは、時間によって昇降のスケジュールが制御されているものの、船舶で航行するサイドから考えれば、いつ出現するかも知れない障害物といえる。そのため、昇降ブイが海面に現れる可能性のある領域をブイによって囲み、船舶が入り込まないようにして、安全対策を図ることが必要である。各ブイは、図 5.2-1 ブイの配置図のように配置する。

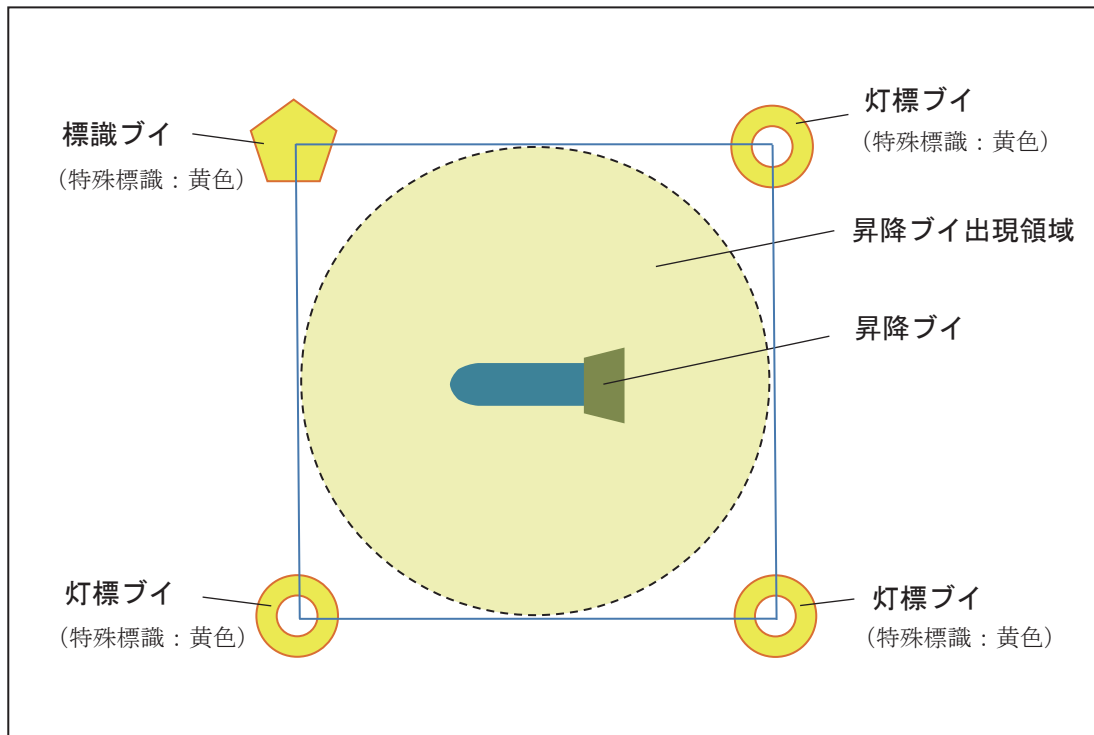


図 5.2-1 ブイの配置図



図 5.2-2 標識ブイ



図 5.2-3 灯標ブイ

安全対策に利用するブイは、既に述べた標識ブイと一緒に利用する灯標ブイである。これらのブイが協調して昇降ブイの出現領域を示す。図 5.2-2 と図 5.2-3 に各ブイの写真を示した。

観測や通信の中継等も行う多機能型の標識ブイと比較して、灯標ブイは航路を示したり、障害の存在を示すことが主体であるため、比較的シンプルな形状をしている。

一方、これらのブイを港湾に設置するためには、その海域を所管する海上保安部の指導を仰いで定められた基準を満たさなくてはならない。指導は主に、航路標識法に基づいた内容である。

#### 1) 標識ブイに求められる事項

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| 形状          | : 定めはない                  |
| サイズ         | : 定めはないが、航行する船舶の操舵室の高さ程度 |
| 色彩          | : 黄色（特殊標識）               |
| コーナリフレクタの設置 | : 必要                     |
| フラッシュライト    | : 20 秒 5 閃光              |
| その他         | : 同期点滅                   |

#### 2) 灯標ブイに求められる事項

|             |                          |
|-------------|--------------------------|
| 形状          | : 定めはない                  |
| サイズ         | : 定めはないが、航行する船舶の操舵室の高さ程度 |
| 色彩          | : 黄色（特殊標識）               |
| コーナリフレクタの設置 | : 必要                     |
| フラッシュライト    | : 3~4 秒 5 閃光             |
| その他         | : 同期点滅                   |

### 5.3 ブイの全体構造

これまでの検討を基に、本報の目的に適合する標識ブイと灯標ブイの設計図面を、それぞれ図 5.3-1 および図 5.3-2 に示す。これらは、すでに運用実績のあるモデルであり、搭載機材の選定のみで利用が可能である。

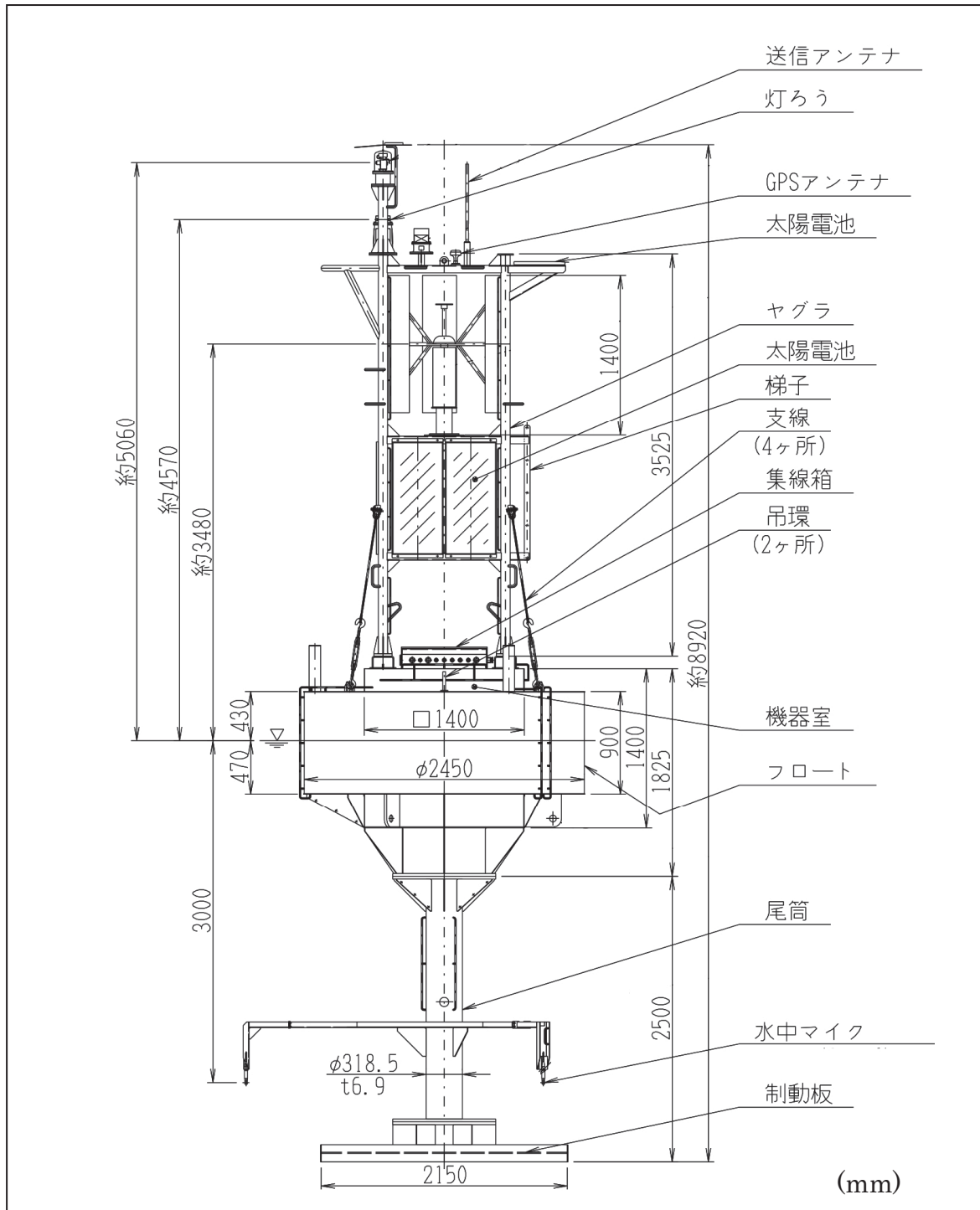


図 5.3-1 標識ブイの全体構造

(株式会社ゼニライトブイ 提供)

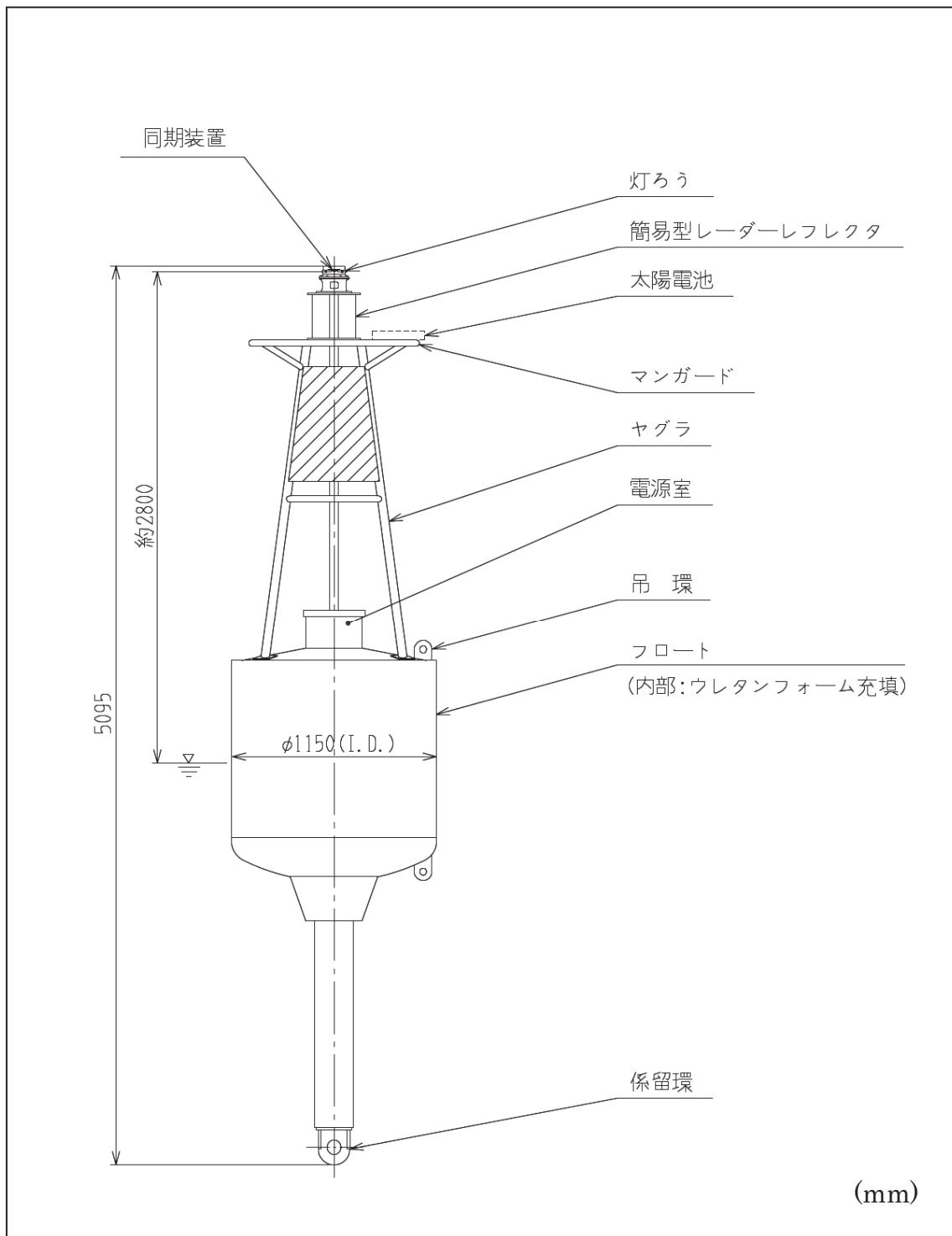


図 5.3-2 灯標ブイの全体構造

(株式会社ゼニライトブイ 提供)

#### 5.4 設置および回収方法

ブイの現場への設置作業および回収作業について、標準的な方法を記す。作業前に、現場の正確な水深や海底の地形地質等を調べておくことはいふまでもない。なお、標識ブイと灯標ブイとは、サイズや形状等は多少異なるが、作業手順は同じである。

##### 1) 設置方法：

- ①ブイとシンカーを結ぶ（係留索の長さは、水深の 1.5 から 2 倍）
- ②クレーンでブイ本体を海面に下ろす
- ③シンカーを海底におろす
- ④GPS で確認し位置を調整する

##### 2) 回収方法：

- ①クレーンでブイを船上に引上げる。
- ②クレーンでシンカーを船上に引上げる。



図 5.4-1 ブイと作業用の台船



図 5.4-2 クレーンによるブイの引上げ  
(株式会社ゼニライトブイ 提供)



### 3) 係留方式：

ブイから信号線や電力供給のためのケーブルがでておらず、海中でケーブル類が絡まる恐れがないことから、係留方式はブイとシンカーを1対1で結ぶ、カテナリー係留とする（図 5.4-3）。

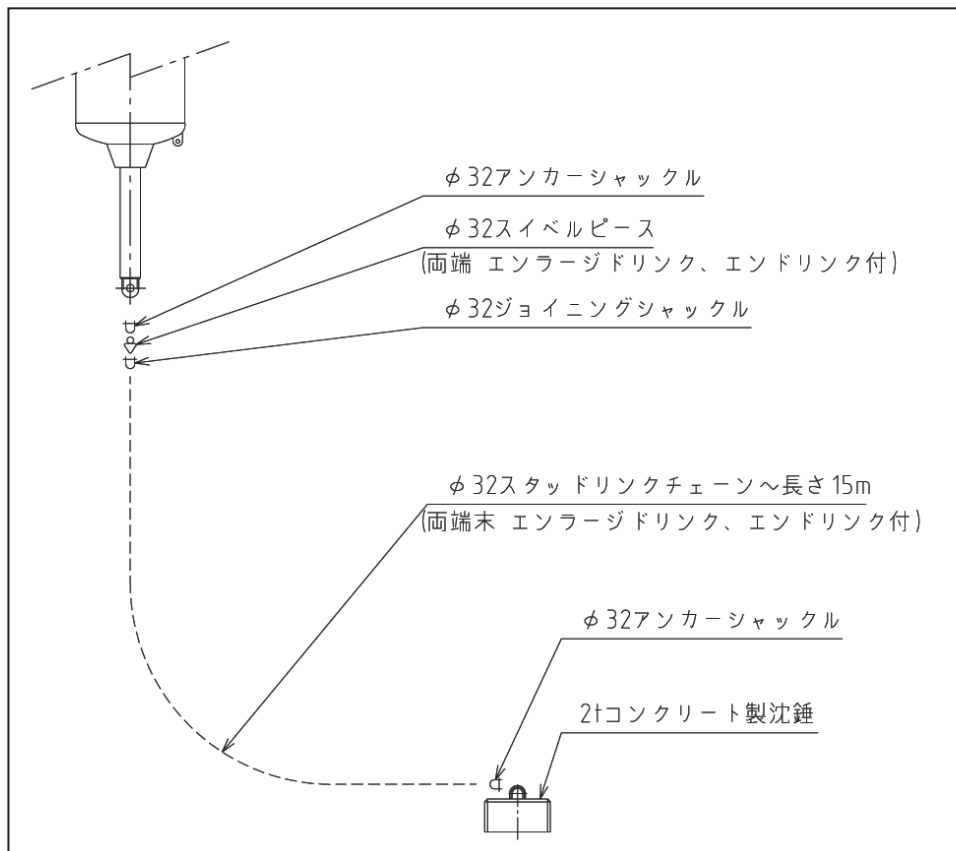


図 5.4-3 係留部品の構成

(株式会社ゼニライトブイ 提供)

### 5.5 開発要素の検討

開発後の普及を促進するには、メンテナンス性の改善や、設置・回収の効率的化、低価格化等が考えられる。海外では近年、プラスチックの製品が増えている。この材料の利点は、軽量であり、成型しやすく量産もしやすい。さらに錆びないという特徴がある。しかし、分解しにくいいため、環境負荷が大きかったり、決まった形しかできず、一品生産に向かないなど、不利な面もある。そのため、国内メーカーでは、環境負荷が小さく、一品生産に対応しやすいアルミが使われているのが現状である。

上記の観点から、両者の利点を兼ね備えた特徴を持つ素材の開発が望まれる。

## 5.6 製作費用

本報で検討を行った標識ブイと灯標ブイについて、概算費用を求めると以下の通りとなる。

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 1) 本体費用                      |           |
| ・ 標識ブイ                       | 15,000 千円 |
| ・ 灯標ブイ (3,000 千円×3 基)        | 9,000 千円  |
| 2) 設置・回収費用                   |           |
| ・ 設置費用 (標識ブイ×1 基 + 灯標ブイ×3 基) | 10,000 千円 |
| ・ 回収費用 (標識ブイ×1 基 + 灯標ブイ×3 基) | 10,000 千円 |
| 3) 年間メンテナンス費用                |           |
| ・ 整備点検 (500 千円×4 回/年)        | 2,000 千円  |

## 6章 データ通信に関する検討

収集したデータや、機器の状態に関する情報を、測定現場から定期的に地上基地へ送信する必要がある。また、地上基地からはコマンドの送信によって、機器類の遠隔操作が可能であることが望まれる。そのためには、測定現場と地上基地との間で、双方向のデータ通信を行う必要がある。図6-1に、本報で扱うデータ通信のイメージを記した。

この章では、上記通信の実現のために考慮すべきデータ形式やシステム構成についてふれた後、利用可能な通信媒体について述べる。なお、本報のデータ通信には、空中での電波による通信と、水中での水中音響通信の2種類がある。空中での通信には、観測装置によって収集した多量のデータを送信する必要があるが、水中での通信では、制御信号を送る程度であり極めて軽微なデータ量となる。水中でのそのような通信については、これまでに十分な実績があることから、この章では空中での電波による通信のみを対象とする。

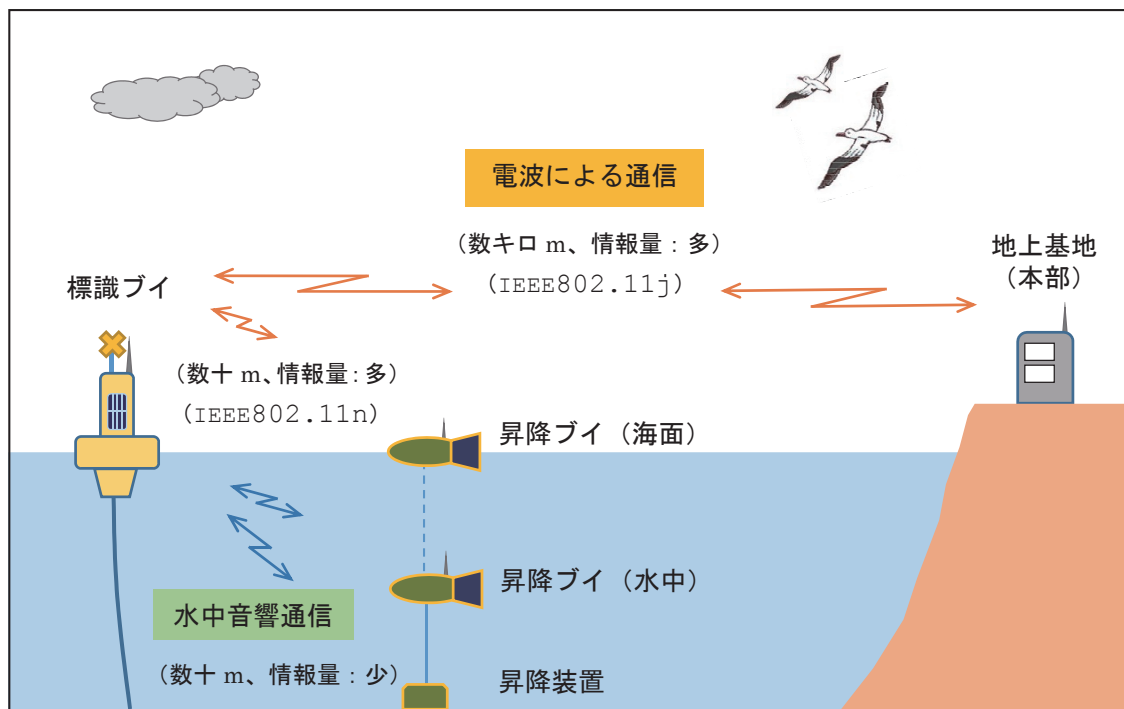


図 6-1 データ通信のイメージ

### 6.1 データ形式

観測データは送信時に、データの圧縮や暗号化等の処理を施されることも少なくない。ただ、その場合であっても、送信データ量は元のデータサイズに依存するため、ここでは、各データの形式をテキストベースで検討するものとする。なお、通信プロトコルについても、適切な方式が選択されているものとし、ここではそれについて言及しない。

データの種類としては、標識ブイから地上基地へ送信するデータと昇降ブイから地上基地へ送信するデータ、および地上基地から各ブイへ送信する制御信号の3つに大別することができる。以下、それらについて順に述べる。

### 6.1.1 標識ブイから地上基地へ送信するデータ

標識ブイには、気象観測装置が取り付けられており、メンテナンス情報とあわせて地上基地へ送信するものとする。また、標識ブイにはADCPの本体またはケーブルが接続されており、この情報についても、標識ブイから送信することができる。表6.1.1-1にデータフォーマットの例を示す。

表 6.1.1-1 標識ブイから地上基地へ送信するデータフォーマットの例

| 項目      | フォーマット                                 | 例        | バイト数(小数点含む) | 単位等       |
|---------|--|----------|-------------|-----------|
| ブイID    | ###                                    | 009      | 3           | ブイ固有のNo   |
| 日付      | #####                                  | 20140901 | 8           | yyyymmdd  |
| 時刻      | #####                                  | 172636   | 6           | hhmmss    |
| 気温      | -##.##                                 | 22.40    | 6           | ℃         |
| 水温(海面)  | ##.##                                  | 14.50    | 5           | ℃         |
| 風向      | ###                                    | 127      | 3           | °         |
| 風速      | ##.#                                   | 05.3     | 4           | m/s       |
| バッテリー電圧 | ##.#                                   | 18.5     | 4           | V         |
| 太陽電池発電量 | ###                                    | 120      | 3           | W         |
| 漏水検知    | #                                      | 0        | 1           | 漏水あり:1    |
| ADCPデータ | 水深、(日付、時間)、流向・流速ベクトルデータ <sup>注1)</sup> |          |             | 水深毎の観測データ |

注1) ADCPデータは観測のインターバルや層数によってデータ量が変わる。

データのフォーマットは機器の精度（分解能）等によって変わり、項目によっては1~2バイト増減するものもある。なお、ADCPデータについては、同一時刻において異なる水深のベクトル情報を持っている。また、装置自体で取得情報をバイナリデータに加工し、日付や時間情報も有するため、他の情報と切り分けて送信する方が、ブイ側での処理が少なく済む。ただし、その場合は、時刻の同期をとる関係上、ADCPデータの先頭に標識ブイの時刻を付加して送信する。

表〇〇のデータをみると、3つに区分することが可能である。ブイID～時刻は、取得データを識別するための情報である。次の、気温～風速までの項目が観測データである。さらに続く、バッテリー電圧～漏水検知は、メンテナンス情報である。これらを一組のデータとして送信する。データ量はこの場合、43バイトとなる（データ間の区切りは除く）。

標識ブイは海面上にあるため、通信媒体上の制約がなければ、送信は常時可能である。後の分析において必要なインターバルで送信すればよい。また、ADCPデータは、他の通信と重複しないタイミングで送信すればよいが、観測のインターバルや層数によっては、かなりの量になることが予想される。

### 6.1.2 昇降ブイから地上基地へ送信するデータ

昇降ブイは海中にある時間が長く、海面に浮上したときのみ、通信が可能となる。観測は、海底からスタートし、定められた水深毎のデータを取得しながら浮上する。浮上した

タイミングで、蓄積したデータを地上基地へ送信する。複数の水深でデータが得られることから、データフォーマットは表6.1.2-1のようになる。

表6.1.2-1 昇降ブイから地上基地へ送信するデータフォーマットの例

| 項目               | フォーマット | 例        | バイト数(小数点含む) | 単位等          |
|------------------|--------|----------|-------------|--------------|
| ブイID             | ###    | 009      | 3           | ブイ固有のNo      |
| 日付               | #####  | 20140901 | 8           | yyyymmdd     |
| 時刻               | #####  | 172636   | 6           | hhmmss       |
| 水深               | ##.#   | 15.5     | 4           | m            |
| 水温               | ##.##  | 13.80    | 5           | ℃            |
| 塩分               | #.##   | 3.45     | 4           | ‰            |
| pH               | ##.##  | 08.45    | 5           | 単位なし         |
| DO               | ##.##  | 09.20    | 5           | mg/l         |
| pCO <sub>2</sub> | #####  | 00350.5  | 7           | ppm          |
| 濁度               | ###.#  | 003.5    | 5           | mg/l (SSに換算) |
| クロロフィルa          | ##.#   | 01.1     | 4           | μg/l         |
| バッテリー電圧          | ##.#   | 18.5     | 4           | V            |
| 漏水検知             | #      | 0        | 1           | 漏水あり:1       |

ブイID～水深までが、取得データを識別するための情報である。次の、水温～クロロフィルaまでの項目が観測データである。バッテリー電圧と漏水検知は、メンテナンス情報である。標識ブイから送信するデータと比較して、識別情報に水深が加わり、また観測項目も増えることから、一組のデータ量は61バイトとなる（データ間の区切りは除く）。

昇降ブイの場合も、機器の精度によってバイト数が変わるほか、観測項目の種類や数によって、一組のデータ量が増減する。送信の際は、上記の量に層数を乗じた値となり、10層ある場合は、610バイトとなる。

### 6.1.3 制御信号

制御信号は、地上基地から標識ブイまたは昇降ブイに送るコマンドである。従って、機械制御を行うためには、双方向通信が可能であることが条件となる。データとしては、制御対象となるブイIDと対象機器のID、ならびに制御コード（させたい動作の内容）である。制御コードには、動作量等を伴うものもある。

なお、制御信号のやりとりには、誤動作を防ぐために制御対象となったブイと地上基地とで、制御内容の確認手続きを自動で行い、正しければ実行するという方式もある。

通信はシンプルであるが、ブイ側では命令に応じた機械制御を行うための仕組みが要求される。

## 6.2 システム構成

データ通信には、通信そのものを行う通信媒体の他に、通信を制御する仕組みが必要である。さらにデータを保存あるいは加工するための処理や、Webからの要求に答えるための処理等が付随する。ここでは、そうしたデータ通信の全般にわたって必要となるシステムやデータ処理の概要について述べる。

### 6.2.1 サーバの構築

通信の制御やデータベース更新のほか、統計処理やWebからの要求対応などは、地上基地に設置するサーバで行う。サーバはその機能によって幾つかに分けられ、通信の制御、データベースの更新、統計処理、制御コードの送信などは、アプリケーションサーバで行う。また、データ自体の保存はデータベースサーバで行う。その他、メールでデータが送られてくる場合は、メールサーバの構築も必要である。

サーバの操作やデータの閲覧を外部から行いたい場合は、Webサーバを構築する。これによって、世界中のどこからでも、データベースに保存済みの観測データやメンテナンス情報を確認したり、機器を制御したりすることが可能となる。ただし、外部から、閲覧以外のアクセスを許可する場合には、セキュリティー面での対策が十分でなくてはならない。

一方、サーバを設置するには、スペースやハードウェアの導入費用のほか、メンテナンス費用も必要となるため、近年ではレンタルサーバを利用するケースも増えている。国内にも多数のレンタルサーバ会社があり、PHP、Perl等の言語や、MySQL（データベース）が使用できるほか、データのバックアップやセキュリティー対策が組み込まれたプランもある。レンタルサーバの使用は、初期費用を大きく抑えられるだけでなく、運用経費の削減にも効果が期待できそうである。

### 6.2.2 データベースの更新方法

現場からのデータをもとにデータベースを更新するには、幾つかの方法がある。古くから行われている方法としては、①「現場でデータを編集してメールで送り、地上基地のメールサーバからデータを取り出して、データベースを更新する方法」である。この方式は、現場と地上基地が常時繋がっている必要はなく、送信可能な時に送ればよいため、通信頻度が限られる場合によく利用される。

一方、ある程度、通信速度が速く、安定した通信が可能な場合は、②「現場から送ったデータにより、直接データベースを更新する方法」がある。リアルタイムでデータが更新されるため、有線や無線LANが利用できる環境下では、この方法が利用される。ただし、データベース更新中に回線が切れたり、データベースが停止するなどのトラブルが発生すると、その時のデータが失われる可能性があるため、データの再送を可能にする等のトラブル対策も考慮しておく必要がある。

また、①の方法と類似するが、③「現場でデータを編集してファイル転送プログラムでデータを送り、適時ファイルサーバからデータを取り出して、データベースを更新する方法」もある。①や③の場合は、メールサーバやファイルサーバに原データが残るので、一定期間置くようにすれば、データの消失を防ぐことができる。

### 6.2.3 現場側での通信制御

地上基地ではサーバで通信制御を行うが、現場においても、複数の観測装置のデータを取りまとめたり、タイミングを見計らってデータを送信するための、通信制御装置が必要となる。現場では、サイズや消費電力の制限から、これまでマイコンを主体とした構成が中心であったが、近年Wi-Fi（ワイファイ）を搭載した小型で安価なタブレットPC（WINDOWS、ANDROID）が登場したことから、機械制御にも、これらのPCを利用しようとする動きもみられる。

マイコンとタブレットPCの比較では、マイコンの場合、消費電力を相当小さく抑えられるが、プログラムの容量が少ないため、複雑な処理を行うのは難しい。一方、タブレットPCでは、プログラムの容量が十分にあるため、多少複雑な処理でも構築が可能である。消費電力はマイコンより大きいですが、①画面のLEDを消す、②演算速度を落とす、③待機中の消費電力を極力減らすようコーディングする等の、通信制御や機械制御に徹した対策をすることで、通常使用時と比べ、なかりの節電が可能と思われる。

## 6.3 通信媒体

### 6.3.1 携帯電話網

#### 6.3.1.1 概要

近年、スマートフォンで多用されているように、携帯電話網によるデータ通信は、全国各地に普及しており、通信速度も向上し、また通信料も安価になる傾向にある。また、災害時等の緊急時以外は不通になることも少なく、安定した通信を行うことができる。

一方、携帯電話網の利用を考えると、そのサービスエリア内に観測装置があることが条件となる。携帯端末の出力は0.6W程度であり、半径3~5kmの範囲に届く。また、基地局は携帯端末よりも出力が大きく2~3Wで送信しているが、基地局は扱える端末数の制限から、カバーするエリアを半径1.5~3kmとして配置されている。ただし、通信距離は障害物の有無に大きく影響されるため、見通しのよきく海山等では、建物が多い市街地とは異なり、通信距離が伸びると考えてよいだろう。

本報ではブルーカーボンを対象とした観測を行うため、観測装置は沿岸域（水深50m以内）に設置される。そのため、港湾に近接した基地局があれば、携帯電話網の利用が可能であり、効果的な通信手段のひとつと考えられる。

携帯電話網でのデータ通信には、PCやマイコン基盤に通信端末（カード）を挿入して、インターネット接続する方法や、スマートフォン上でANDROIDやiPhoneのアプリを開発し、その端末から直接携帯電話網に通信する方法、さらにはWiFi専用の通信端末を利用して、PCやタブレット、ZigBee等のWiFi機能により通信する方法などが挙げられる。

いずれの方法であっても、PCやタブレット、マイコン等と各種観測機器との接続や、通信を制御する仕組みが必要となる。

#### 6.3.1.2 サービスの内容

携帯電話会社によって、サービスエリアが異なる。また、カタログ等では、サービスエリア内とされていても、実際には通信状況が悪く、データ通信が成り立たない場所もある。そのため、複数社の端末を現地で試し、最も通信状況の良い携帯電話会社と契約するべきであろう。会社によっては、無料で試験機を貸し出してくれるところもある。

表6.3.1.2-1に、モバイルWi-Fiルーターの一例を示す。月々の支払い額は、4千円台から5千円台が標準であり、各社とも顧客獲得のためキャッシュバック等のキャンペーンを頻繁に実施している。料金が大幅に安い会社はサービスエリアが都市域に限られていたり、品質が良くない等が考えられるため、事前の確認は必至である。なお、表中の回線速度はベストエフォート値であり、理論上の最高速度で示されている。

なお、ここではWiFiでPCやタブレットと接続するWi-Fiルータータイプを例に示したが、スマートフォンや通信カードタイプであっても、料金的にはそれほど大差はない。開発の都合にあわせて選択すればよいだろう。



表 6.3.1.2-1 モバイル Wi-Fi ルーターの製品例（2014 年 9 月 1 日現在）

| 携帯会社         | UQ WiMAX   | ワイモバイル   | ドコモ  | ソフトバンクモバイル   |
|--------------|--|--|--|--|
| WiFi ルータ     | Aterm WM3800R<br> | GL10P<br> | FS010W<br> | ULTRA WiFi 4G 102HW<br> |
| 回線速度(下り)(*1) | 最大 40Mbps  | 最大 110Mbps   | 最大 100Mbps   | 最大 110Mbps   |
| 回線速度(上り)(*1) | 最大 15.4Mbps  | 最大 10Mbps  | 最大 37.5Mbps  | 最大 15Mbps  |
| プロバイダ        | GMOとくとくBB  | GMOとくとくBB  | So-net   | ソフトバンクモバイル   |

\*1 ベストエフォート

### 6.3.1.3 携帯電話網による機器通信の事例

ホタテ養殖の支援を目的に、携帯電話網による水温監視が行われた例（和田ら、2006）を紹介する。北海道留萌郡の臼谷はホタテ養殖が盛んである。ここでは、毎年夏季に養殖海域に流入する塩分濃度の低い冷水塊による被害が問題となっている。ホタテは急激な温度変化に弱く、水深を調整して冷水塊を避けなければ、ホタテの体力が低下し成長の妨げとなるだけでなく、最悪の場合は斃死に至る。これには水温のリアルタイム計測が有効であるが、既存のブイは高価でかつ大型であるため、多点多層の水温計測を目的に、漁業者個人で導入するのは困難である。そこで、小型の観測ブイが開発され、携帯電話網を利用した通信試験が行われた。

ホタテ養殖は、海岸線から約 5 マイル（約 8 km）離れた海域で行われており、本報で観測装置の設置を想定している海域よりも、さらに沖合いである。平成 18 年 6 月 24 日から平成 18 年 7 月 23 日までの期間に実施された結果では、アンテナ高を 1.1m で設置したブイの場合、メール送信回数 337 回に対し、受信回数 331 回であり、通信の成功率は 98% であった。しかし、アンテナ高 0.1m の地点では送信回数 727 回に対し、受信回数 361 回となり、成功率は 49% となった。通信エラーを分析したところ、時化の日にエラーが集中していることから、通信の安定性はアンテナ高に大きく影響されることが確認された。なお、観測された水温データは、メールのフォーマットに編集され、送信されている。その後、製作された新型ブイでは、アンテナのある制御部を海面から 2.3m のところに取り付けられ実験が行われた。その結果、問題なく順調な通信が確認されている。以上のことから携帯電話網は、本報の目的にも十分適用が可能と考えられる。

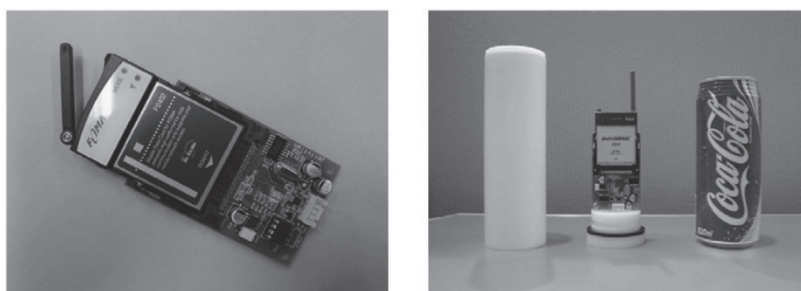


図 6.3.1.3-1 通信カードが組み込まれた制御ボード（左）と制御部（右）

（和田ら 2006）

## 6.3.2 衛星通信

### 6.3.2.1 概要

観測装置と地上基地との間を人工衛星を介して通信する方法である。基本的に上空が開けた地点（イリジウムの場合、仰角 8.2 度より上空が見渡せる場所を推奨）であれば、地球上のどこからでも通信が可能である。商用や研究目的に複数の衛星が運用されており、それぞれの衛星によって、利用できる時間や通信速度、費用等に違いがある。

### 6.3.2.2 サービスの内容

表 6.3.2.2-1 に観測データの送信に利用可能な人工衛星を示した。アルゴスは地球環境の観測に古くから利用されているシステムであるが、衛星の通過時しかデータの送信ができず、常時観測には不向きである。また、一度に転送できるデータ量も少ない。

インマルサットは、表 6.3.2.2-1 中で最速であるが、静止衛星であるため地上局のアンテナが正確に衛星方向に向いていなくてはならない。海上ブイにおいて、それを期待するのは困難であろう。一方、イリジウムは周回衛星で運用されており、衛星高度が低いいためアンテナの向きに影響されない。通信速度からも利用は可能と考えられるが、通信費用は従量制であるため、かなりの高額となる。

衛星通信は地球上のあらゆる場所と通信ができる反面、機器導入のための費用や通信費用は携帯電話網と比べ高額である。しかも通信速度は、桁違いに遅い。そのため、ADCP の利用も考えた場合、衛星通信は適切でないといえる。

表 6.3.2.2-1 観測データの送信に利用可能な人工衛星

| 衛星通信の名称  | イリジウム  | インマルサット   | アルゴス   |
|----------|--|---|--|
| 国内運営会社   | KDDI   | KDDI  | (株)キュービック・アイ   |
| 衛星の形態    | 周回衛星<br>(66機で運用)   | 静止衛星  | 周回衛星(極軌道)<br>NOAA、ADEOSII、SARAL等<br>多様な衛星が装置を搭載  |
| 衛星の高度    | 約780 km  | 約36,000 km  | 約790 kmほか様々  |
| 提供エリア    | 全世界  | 全世界   | 全世界  |
| 通信速度(送信) | 最大128 kbps   | 最大492 kbps  | 0.4~4.8 kbps   |
| 機器導入費用   | 50万円~*a)   | 15万円~*a)  | 75,000円* <sup>b)</sup>   |
| 利用料金     | 150円/Kbyte(Type-B)* <sup>c)</sup>  | 430円~850円/MByte* <sup>d)</sup>  | 220円~880円/日* <sup>e)</sup>   |
| 特徴       | 音声通信を主とするが、データ通信にも利用されている。66機の低高度衛星で運用されており、静止衛星と比較してリンクがとり易く、衛星との距離も近いためタイムラグが小さい。特に、静止衛星のように、アンテナ方向に影響されないため、ブイ上での利用に有利。 | 災害時通信ほか多様な用途に利用が可能。<br>赤道上空36,000kmの静止衛星と通信を行う。車載型や船舶搭載型装置のアンテナには衛星自動追尾機能があるが、すえ置き型はそれがないため、衛星方向にアンテナを向ける必要がある。 | 地球環境に関するデータ収集が本来の目的である。通信は衛星通信時に行うため、常時監視には不向き。<br>少量のデータ向き(最大数十KB/日)。アルゴス3からデータ送信完了の確認ができるようになった。 |

\*a) 参考: 日本デジコムHP

\*b) 参考: 株式会社キュービック・アイ

\*c) 別途基本料金が必要。

\*d) スタンダードIP通信の場合。別途基本料金等が必要。

\*e) 係留ブイ仕様の場合。別途基本料金等が必要。

<http://www.jdc.ne.jp/index.html>

<http://www.cubic-i.co.jp/inquiry.html>

<http://www.kddi.com/business/cloud-network-voice/satellite/iridium/sbd/char>

[http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/chosa/eisei\\_inet/pdf/bosai\\_06.pdf](http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/chosa/eisei_inet/pdf/bosai_06.pdf)

<http://www.cubic-i.co.jp/argos/estimation.html>

### 6.3.2.3 衛星による機器通信の事例

衛星通信を利用して、全球レベルで展開されている研究計画に、Argo 計画がある。Argo 計画には世界気象機関、ユネスコ政府間海洋学委員会 (IOC) 等の国際関係機関の協力の下、2006 年時点で 24 の国と地域 (23 カ国と EU) が参加している。

日本では政府によるミレニアムプロジェクト VI 「地球温暖化のための次世代技術開発」の一つ「高度海洋監視システム (ARGO 計画) の構築」として取り上げられた。

Argo 計画では、水深 2000 m から海面までの水温・塩分を約 10 日毎に観測するアルゴフロートを全世界の海洋に 3000 本 (約 300 km 間隔) で配置し、その観測データを人工衛星を介してリアルタイムに配信する。

アルゴフロートの投入が開始された 2000 年以降、アルゴフロートからの通信は全て ARGOS を介して行われてきたが、JAMSTEC では 2013 年度からイリジウム通信型のフロートに移行を開始した。国際的にも移行が進行しており、2013 年 9 月末現在では、3606 台のアルゴフロートのうち、958 台 (約 27%) が、イリジウム通信型のフロートとなっている。

JAMSTEC はイリジウム通信型に変更したことで、以下の利点を挙げている。

- ・ ミッション変更が可能、海面滞在時間の短縮
- ・ 送信データ量の増大 (データ数増量が可能)
- ・ 1 台あたりのプロファイル数が約 2 倍 (150 ---> 300)
- ・ 性能に比して価格が割安 (概算で 3~4 割程度増)

一方、欠点としては、稼働台数が一次的に減少したり、センサーの長期ドリフト等の情報が無いなどが挙げられている。

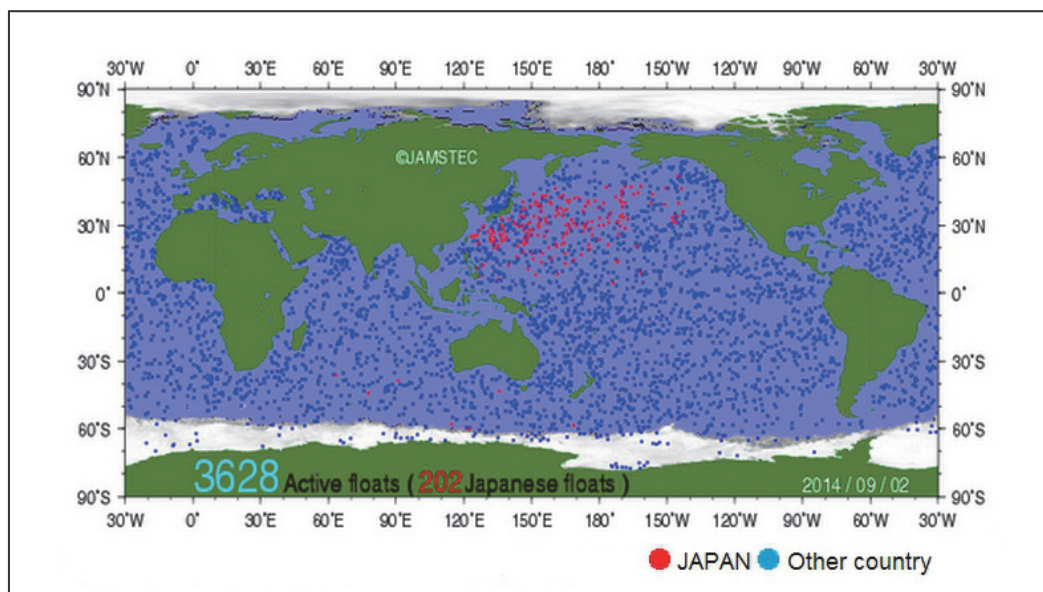


図 6.3.2.3-1 稼働中アルゴフロートの分布図 (JAMSTEC HP より)

### 6.3.3 無線 LAN

#### 6.3.3.1 概要

近年、広くに普及している無線 LAN に、Wi-Fi と呼ばれている IEEE 802.11 シリーズの規格がある。本来 Wi-Fi とは、IEEE 802.11 機器に関する業界団体である Wi-Fi Alliance による相互接続性の認定の名称である。

Wi-Fi は、オフィスや住宅をはじめ、空港やホテルなどの公共施設、さらに新幹線や航空機などでも利用できるようになってきており、通常は、数メートルから数十メートルの範囲が通信エリアである。一方、IEEE 802.11 シリーズには、さらに詳細な複数の規格が作られている。その中で IEEE 802.11j については、最大伝送距離が数 km に及ぶことから、本報の目的にも利用できる可能性がある。

その他、無線 LAN には個人用途で使われる IEEE 802.15 (ZigBee、BlueTooth 等) も含む場合もあるが、基本的に短距離での通信が主であるため、ここでは扱わない

無線 LAN を利用する利点は、ネットワーク化できるため、1 つ陸上にアクセスポイント (親機) があれば、複数の観測装置 (子機) と通信が可能となる。しかも、一度システムを構築すれば、無線通信に一切費用がかからないことも大きなメリットである。なお、陸側のアクセスポイントについては、サーバ上での処理 (データベースへの登録、解析) を可能にするため、建物に敷設された LAN に接続する必要がある。

#### 6.3.3.2 無線 LAN の種類

無線 LAN の種類を表表 6.3.3.2-1 に示す。表から明らかなように、本報の目的において、伝送距離が満足できる規格は IEEE802.11j のみである。伝送距離が長い理由としては、他の規格での最大出力が 10mW 以下であるのに対し、IEEE802.11j は最大 250mW 以下とされており、大幅に出力が強化されているためである。なお、電波法上 10mW を超えると無線局の登録が必要となるほか、802.11j の技術操作には第 3 級陸上特殊無線技士以上の資格が必要である。

表 6.3.3.2-1 無線 LAN の種類

| 規格名称                  | IEEE80211b    | IEEE80211g     | IEEE80211a     | IEEE80211n                 | IEEE80211j        |
|-----------------------|---------------|----------------|----------------|----------------------------|-------------------|
| 利用周波数帯                | 2.4GHz        | 2.4GHz         | 5.2/5.6GHz     | 2.4/5.2/5.6GHz             | 4.9/5GHz          |
| 変調方式                  | DSSS/CCK      | OFDM           | OFDM           | OFDM                       | OFDM              |
| 最大伝送速度<br>(理論/実効)     | 11Mbps/約5Mbps | 54Mbps/約20Mbps | 54Mbps/約20Mbps | 300Mbps/約100Mbps           | 54Mbps/約20Mbps    |
| 最大伝送距離                | 約10m          | 約10m           | 数10m           | 数10m                       | 数km               |
| チャンネル数<br>(設定/同時利用可能) | 14ch/4ch      | 13ch/3ch       | 19ch/19ch      | 2.4GHz:14ch<br>5.2GHz:19ch | 7ch/7ch<br>※地域による |
| チャンネル幅                | 20MHz         | 20MHz          | 20MHz          | 20MHz or 40MHz             | 20MHz             |

### 6.3.3.3 無線 LAN による機器通信の事例

沿岸域で操業する小型漁船との通信を目的に、IEEE802.11j によるマリンプロードバンドを構築した例を示す(和田ら、2006)。近年、小型漁船においても操業や航海を支援するための様々な計測機器が搭載されている。図 6.3.3.3-1 は、小型イカ釣り漁船のブリッジ内の写真である。



図 6.3.3.3-1 小型イカ釣り漁船内の装備 (和田ら、1996)

ブリッジには、自動イカ釣りロボットの集中制御盤類の他、魚群探知機、ソナー、GPS、プロッター、潮流計、水温計、レーダ等が搭載されている。これらの機器により得られた情報は、通常、必要時にその船で利用されるにとどまり、他船との情報共有は行われていない。

データには、GPS による平面座標があるため、ネットワークにより情報共有ができれば、空間的な広がりを持ったデータの共有ができるようになり、計測データの相対的な評価が可能となる。また、魚群探知機により、船が通過した地点の水深(鉛直座標)がわかるため、データが集まれば海底地形図の作成も可能である。

また、生産性向上に役立つ、魚群の分布や気象海況に関する情報も共有できるほか、陸側からは、産地相場などの市場情報などを各漁船に送信することも可能である。さらに、マリンプロードバンドは、安全性の向上にも大きく寄与すると考えられている。急な気象海況の変化や、地震による津波の発生などを早期に把握し、対処することが可能になるためである。

表 6.3.3.3-1 には利用した無線 LAN の仕様を示す。また、図 6.3.3.3-2 に、679,800 件のレコードを用いて作成された、留萌沖の海底地形図を示す。エラーデータの除去等が行われており、海上保安庁刊行の海の基本図との比較において、約 90%の範囲で水深差が 5m未満であった。

表 6.3.3.3-1 無線 LAN の仕様

|           |                         |
|-----------|-------------------------|
| 型 式       | OWS2400 (Strix Systems) |
| 規 格       | IEEE802.11j             |
| 変 調 方 式   | OFDM                    |
| 周 波 数     | 4.9GHz 帯                |
| 空 中 線 電 力 | 250mW 以下                |
| 信 号 速 度   | 54Mbps                  |
| 伝 送 距 離   | 最大 22km                 |

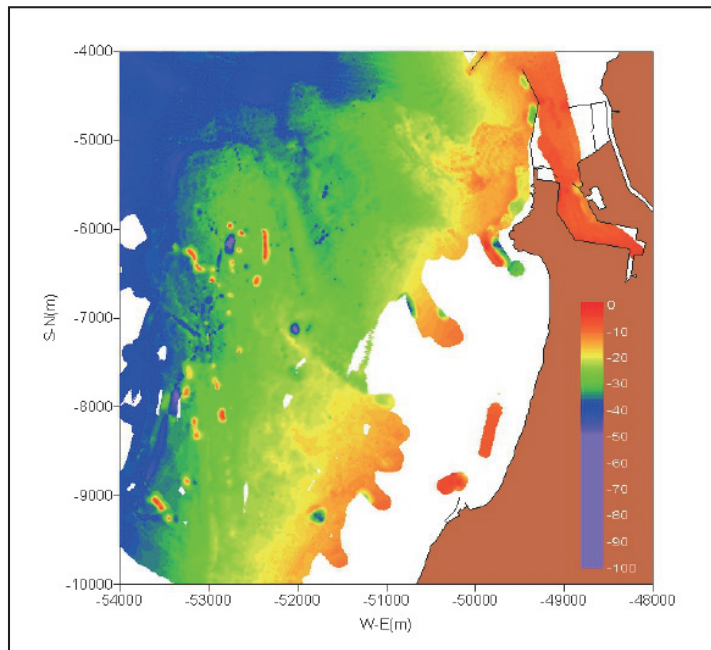


図 6.3.3.3-2 留萌沖の海底地形図 (和田ら、1996)

#### 6.3.4 有線通信

##### 6.3.4.1 概要

有線通信は無線通信のように、天候等によって不安定になることはなく、また一般に無線通信よりも高速かつ安価であるため、接続環境が整っていれば、最有力候補となる。

市街地やその周辺地域等では、気象観測データ等を地上基地に送信する場合、インターネットプロバイダやケーブルテレビ等が運営する公共の接続サービスを利用してデータ通信を行うことが可能で、安価かつ品質も保証されている。データも VPN によってセキュリティーも確保できる。

しかし、そのようなサービスを受けることができない山岳地帯や海上において、有線通信を望む場合、最短のアクセスポイントまで私設線を敷設する他はなく、そのために膨大な費用が必要となる。さらに私設線の場合、敷設する際の許可申請や台風等による断線時の補修も全て自前で行うことになり、小規模なプロジェクトでの実施は困難と考えられる。

一方、一部のモニタリングポストや洋上風力発電設備等の、私設線のある設備のそばで観測する場合、もしその利用が許されれば、最良の手段となるだろう。

##### 6.3.4.2 有線による機器通信の事例

風力発電の経済性を確保するには、風車が故障することなく安定して運転を続けることが重要である。風力発電設備は自然環境下で稼働する回転機械であるため、所定の発電性能を維持したまま、設計寿命（20年）を全うするためには、適切な運転保守が必要となる。そのため風力発電施設には、発電した電力を消費地へ送るための送電線ケーブルと同時に、通常、通信用ケーブル（光ファイバーケーブル等）が敷設されている。

これによって、風力発電施設の常時運転監視が実現されており、発電量等の稼働状況の他、風車塔内のビデオ画層、気象・海象の状況等、インターネットを通してチェックすることができるようになっている。さらにコントロールセンターから風力発電施設に制御信号を送り、運転を停止させたり再稼働させることが可能である。

図 6.3.4.2-1 に遠隔監視システムの初期画面と、運転状態のトレンド表示画面を示す。これらの画面はインターネット接続をすることで、どこからでも表示させることが可能である。

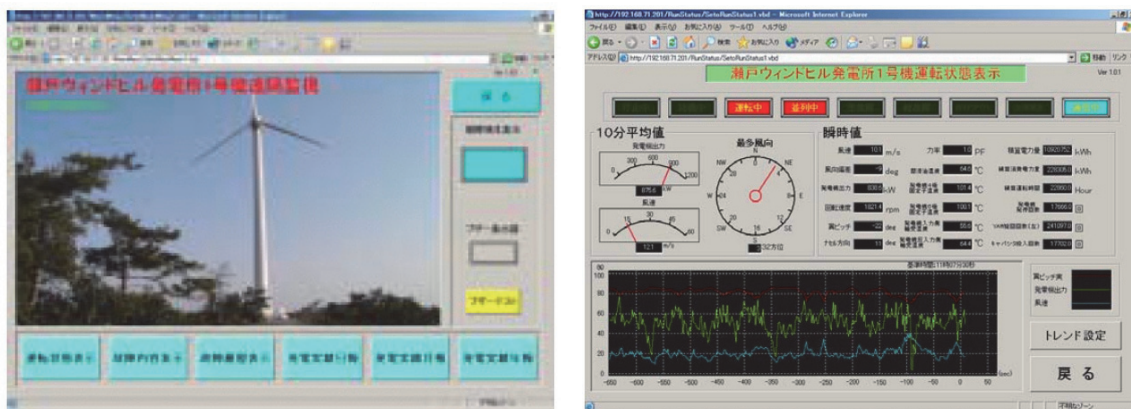


図 6.3.4.2-1 遠隔監視システムの初期画面（左図）と運転状態のトレンド表示画面（右図）（上田ら、2010）

現在の風力発電設備では、ナセル内の制御装置によって無人で運転されている。風車の運転状況を遠隔地から日常的に監視して、異常が発生すればすばやく対処することが、稼働率向上の鍵とされている。このようなシステムは、SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）と呼ばれており、複数の風力発電設備や地理的に分散したシステム群を集中的に管理する際、特に有効である。

本報の観測装置は、現時点では一箇所にのみ設置する構想であるが、上記のようなシステムを構築できれば、オペレーションやメンテナンスにおいて有効であることはいうまでもない。装置を複数個所に設置することになれば、その有効性はさらに拡大するだろう。

### 6.3.5 本報のシステムに適した通信媒体

有線通信が利用可能であれば、その利用が最適である。しかし、それがなければ、ケーブルの敷設が必要となり、膨大な費用がかかる。そのため、有線については自らの判断で採用を決められないことから、無線通信のみの比較を行う。

表 6.3.5-1 に無線通信媒体の比較表を示す。通信速度や費用、海洋での実績などを総合すると、本報のシステムには、携帯電話網または無線 LAN が利用可能である。初期導入費用は、無線 LAN が携帯電話網をやや上回るが、その後は通信費がかからないため、長期的な運用には無線 LAN が有利である。また、災害等の発生時においては、携帯電話網

の場合、膨大な負荷の発生により、通信速度が低下する可能性があるが、無線 LAN ではそのような心配はない。

表 6.3.5-1 無線通信媒体の比較表

| 通信媒体              | 通信距離 | 通信速度 | 初期費用 | 通信費 | 沿岸での実績 |
|-------------------|------|------|------|-----|--------|
| 携帯電話網 WiFi ルーター   | ○    | ◎    | ◎    | ○   | ◎      |
| 衛星通信 イリジウム        | ◎    | ×    | △    | △   | ◎      |
| 無線LAN IEEE802.11J | ○    | ◎    | △    | ◎   | ○      |

◎：良好、○：普通、△：やや難、×：難

一方、携帯電話網は本来的に移動中の通信や、振動に対する対策が十分にとられているため、洋上の動揺が激しい状況下でも比較的安定した通信が行える。しかし、無線 LAN については、固定局（移動せず、揺れも無い）どうしの通信が主であるため、海域によっては携帯電話網ほどの安定性が得られない可能性がある。携帯電話網、無線 LAN のいずれについても、導入を決める際には現場での試験が不可欠である。



## 7章 メンテナンスの検討

### 7.1 既運用モニタリングポストにおけるメンテナンス

国交省等で運用されているモニタリングポストでは、定期的にメンテナンスを行い、センサー等の性能を維持している。通常のメンテナンス実施頻度は1回/3ヶ月で、ウインチ動作チェック、バッテリー交換、センサー清浄・交換など基本的な項目についてメンテナンスが行われている。メンテナンス作業は、主に作業船でモニタリングポストに上陸し実施されており、場合によっては潜水士等による作業が行われる。

国交省モニタリングポストで運用しているセンサーは、3ヶ月程度の期間であれば、メンテナンスなしで性能を維持することが可能である。水温センサーに比べて塩分センサーは付着物の影響を受けるためワイパー等による清浄が自動で行われている。また、自動昇降装置付のモニタリングポストはセンサーユニットを空中で待機させることにより、生物付着を最小限にしている。

モニタリングポストにおいてセンサー異常が発生した場合は、準リアルタイムで地上局に送信されたデータで確認することができる。異常値が確認された場合は、定期メンテナンスの実施を検討する。

#### 伊勢湾湾奥観測機器概要

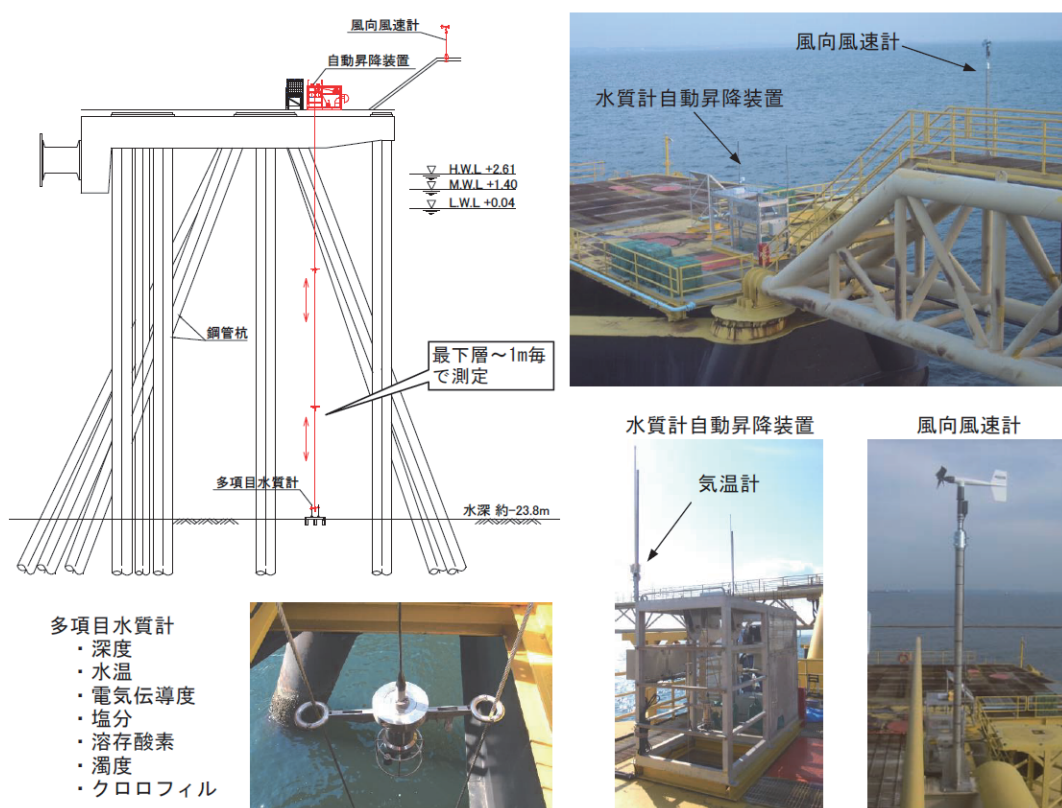


図 7.1-1 国交省モニタリングポスト (伊勢湾)

pCO<sub>2</sub>センサーや pH センサーについては、モニタリングポスト等で長期運用された実績が少なく、メンテナンスに関する情報はほとんどない。ここでは、研究レベルで実施された係留試験のメンテナンスを参考に記述する。

近年、海洋観測用 pH センサーとして、紀本電子工業製 SP-11 が開発された。海洋観測専用 pH センサーは、ガラス電極や内部溶液が工夫され、従来の pH センサーと比べて海水に対して安定であることが報告されている。しかし、1ヶ月以上の係留期間となると、安定性に課題がある。また、内部溶液を使わない ISFET センサーについても長期係留実績があるが、未だ研究段階にあり汎用性について課題がある。

漂流ブイ型 pCO<sub>2</sub>センサーとして、色素による pH-pCO<sub>2</sub>センサーが（独）海洋研究開発機構で運用されている。海洋に投入後はメンテナンスなしで運用されるが、安定性は数～数十  $\mu$  atm 程度である。

pCO<sub>2</sub>センサーや pH センサーの適正運用の課題は、メンテナンス頻度とセンサー校正である。メンテナンス頻度については1回/月程度が適正と思われるが、研究レベルでの観測実績では最大で1回/週のメンテナンスを実施している。要求精度を低くすることにより、メンテナンス頻度を少なくすることが可能である。センサー校正については海水専用のバッファ等を使うことでセンサー交換による系統的誤差を抑えることができるが、現場での校正が難しいため、設置前後での校正を効率的に実施することが課題である。

## 7.2 メンテナンス方法の検討

本事業で試設計しているモニタリングシステムはブルーカーボン観測や CCS モニタリングを目的としている。観測に必要な精度については表 3.2-1 に整理した。ここでは、精度を維持することを前提条件として効率的かつ低コストに運用できるメンテナンス方法について検討を行った。

以下に、モニタリングシステムを適正に運用するためのメンテナンスの課題を記す。

### ①省電力化、記憶媒体の大容量化による長期観測の実現

センサーを省電力化し、記憶媒体を大容量化することで、メンテナンス頻度（交換頻度）を少なくする。

### ②現場での校正システム構築

pH センサーや pCO<sub>2</sub> センサーはドリフトによる測定値への影響が懸念される。ドリフトによる影響を最小限にするためには、現場海域で効率的かつ正確に実施できる校正システムを構築する必要がある。

### ③生物付着対策

東京湾では生物付着対策を施さないとセンサーの性能維持に大きく影響する。特に水温の高い時期は大量に生物付着が発生することが考えられる。

生物付着対策として、省電力 LED による紫外線照射やシリコン塗料などの活用を検討する必要がある。

### ④交換作業の効率化

モニタリングシステムをいくつかのユニットにモジュール化することで、トラブル発生時の交換作業を効率化できる。同時に、モジュール間の通信を無線で行えるようにすることで、海水中での交換も容易となる。

これらの課題をクリアし、メンテナンス頻度を3ヶ月以上に伸ばすことができれば、効率化および低コスト化を実現することができる。

## 8章 商用化に向けての開発要素

図1のロードマップで示した概念設計（平成25年度）と要素技術の検討（平成26年度）を終え、いよいよ基礎研究から応用研究に移行する段階となった。現在のところ、完成形が全く同じ装置は存在しないが、本報の装置が有する機能を、部分的に実現しているものはある。そのため、商用化にあたっては、本装置の利用が、他の装置を使うよりも、メリットが大きくなることが重要である。本章はそのような観点から開発要素を整理した。

装置の導入を検討する場合、通常、比較対象となるのは下記の項目である。

- ・装置の性能（特に運用中の性能維持）
- ・設置撤去作業の容易性（装置の小型軽量化）
- ・メンテナンス性
- ・導入および運用費用

### 1) 運用中の性能維持

装置の性能のうち、センサーの性能に由来するものはここでは除き、プラットフォームとしての性能を対象とする。これが十分に満足され、かつ長期間の使用に及んでも低下しないことが重要である。

水深50mまでを対象とした沿岸域において、設置後の性能低下に影響する大きな要因としては、生物の付着が考えられる。昇降ブイに付着すると、その形状や浮力が変化するため、設計どおりの性能が得られなくなる可能性がある。また、ウインチのギヤやドラムに付着すると、ウインチが回転できなくなったり、ロープが絡まって動かなくなるなどの問題が生じる。

可動部分や水圧変化が伴う部分には生物付着は起こりにくいとするメーカ側の見解もあるが、専門家の中には、生物付着こそが最大の問題として危惧する声も多い。そのため、沿岸域において年間を通した実証試験または模擬試験（観測はしない）を行い、付着の程度を調べ、必要な対策をとる必要がある。

また、本報の装置には、センサー類の制御や観測データの記録の他、電波や音響による通信、GPS信号による時刻合わせ等、様々な機能を有する電子装置が搭載されている。このような装置の基盤に直接海水が触れると、その基盤は壊れ交換を余儀なくされる。同様に、高湿度も電子装置に不具合をもたらす。その他、潮流や波、風によって起こる振動は、部品の故障やハンダ割れ、ハンダ剥離の原因となる。これらの理由から、電子装置類は防水、防振対策に十分な配慮が求められる。

### 2) 設置撤去作業の効率化

設置する装置のサイズや重量、形状等によって、作業船の種類や、必要な作業員の数が異なる。小型で軽量であれば、漁船レベルでの作業も可能であるが、装置が大きくなると作業船も大きくなり、設置撤去の費用に影響する。

同じ材質で相似形の場合、サイズを1割小さくできれば、重量は73%になる。2割小さくなると、重量は約半分になる。材質を変えることで軽量化を図ることもできる。また、小さくなることで、扱いが楽になるため、作業効率が上がる。

必要なセンサーや機材を搭載するためには適切な容量があり、物理的な強度も十分検討

した上で、装置の小型軽量化を図ることが重要であろう。

### 3) メンテナンス性の向上

メンテナンスでは、各ブイの本体について損傷がないかや動作状況等をチェックする他、7章で詳述した通り、定期的にセンサーをクリーニングしたり、バッテリー交換等の作業を行う。特に、センサーのクリーニングやバッテリー交換については、海上や船上での手作業となるため、できるだけ単純かつ確実にできるよう配慮する必要がある。

センサーのクリーニングではモジュールごと交換する場合も少なくないため、センサーモジュールと電源を内蔵し、ワイヤレス通信を可能にしたコンテナを開発することが望まれる。これをセンサー毎に準備するとともに、昇降ブイのフレームに簡単に取付けられるようなアタッチメントを準備できれば、メンテナンス性はかなり向上するものと思われる。

### 4) 導入および運用費用の低減

搭載すべきセンサーを厳選し、装置を小型化できれば、製造や輸送、設置に関わる費用を抑えることができる。また、本報の装置は設置型であるため、ラグランジュ型のようにミッション終了後、回収不能になるケースは少ない。そのため、材料に樹脂やFRPを利用することも可能であり、軽量化を図ることができる。また、樹脂の利用は、成型を一度作れば同じタイプのを、安価に量産することができる。

一方、先にも述べたセンサーやバッテリー等のメンテナンス性の向上は、運用費用の削減に期待できる。定期的な点検をなくすことはできないが、ブイから送られてくるデータを、自動的にチェックするシステムの導入や監視カメラの設置により、装置が正常に動作していることや、不具合の発生を地上基地にしながら把握することが可能となる。このことは、点検のインターバルを広げることや、不具合の早期発見に貢献するものであり、費用の削減に繋がる。

### 5) 結びにかえて

開発した装置が設計通りに動作し、観測値において一定の評価が得られたとしても、市場に定着するまでには、まだかなりの難関がある。一般には「ダーウィンの海」といわれる試練であり、多くのライバル製品の中での厳しい生き残り競争が待っている。

一方、本報の装置については、特殊性が高いことからライバルは決して多くない。むしろ、ライバルは自分自身である。昇降ブイや昇降装置、標識ブイ、灯標ブイ等、海洋に設置すべき機材が複数あり、それら本体に要する費用のほか、輸送や設置・回収に要する費用等も、相当のものがある。そのため、本報の装置を導入できる機関やプロジェクト自体を、限定する結果を招いている。

今後、本報の装置を商品化して、年間に一定台数を販売するという計画を立て、遂行するには、本章で述べたような改良ならびに創意工夫を継続するとともに、市場を開拓することも怠ってはならない。

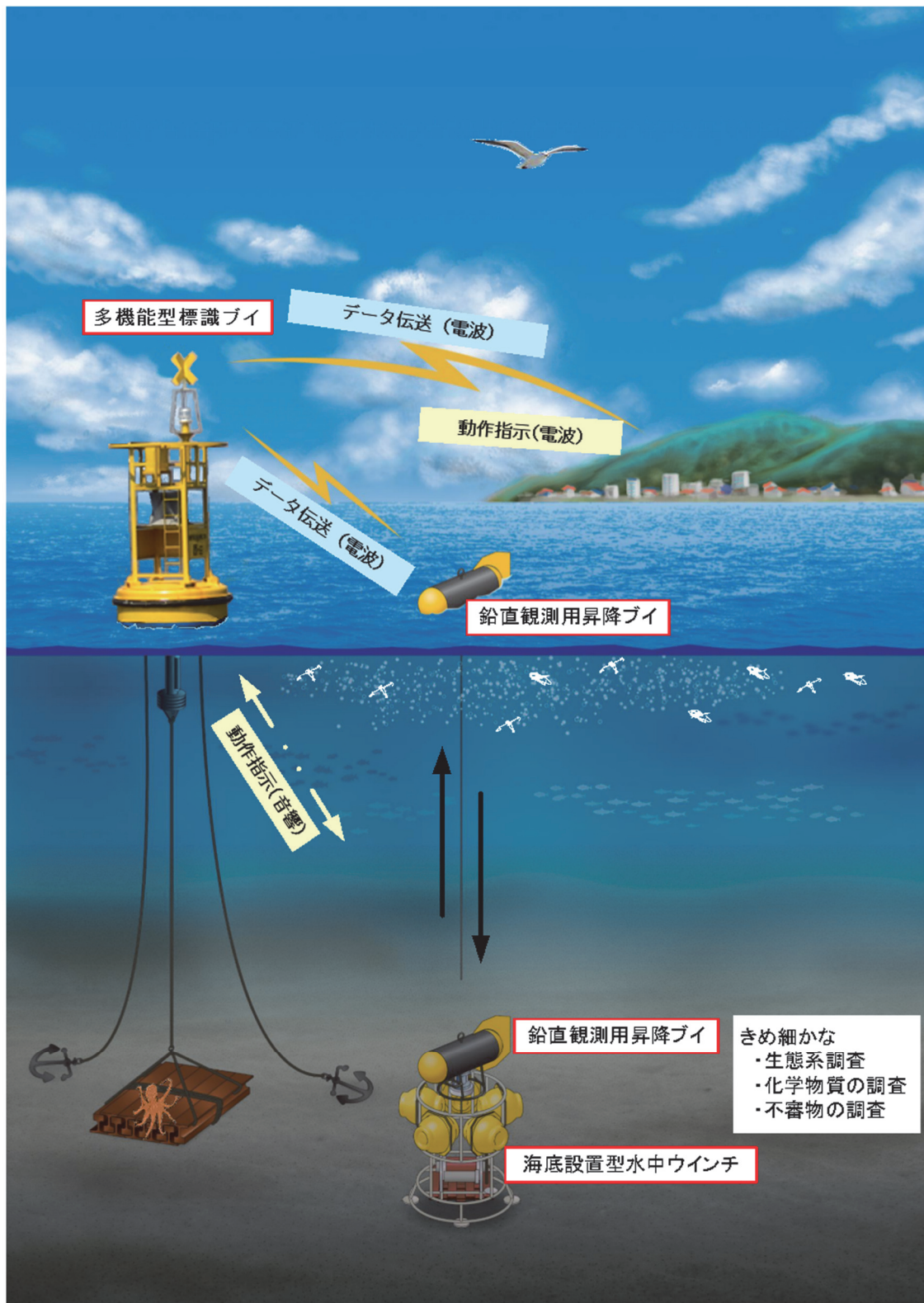


図8 完成イメージ

## 参考文献リスト

### 2章

- 1) 神田穰太：東京湾における二酸化炭素収支の時空間変動、科学研究費補助金研究成果報告書、2011
- 2) 野尻幸宏：海洋酸性化が石灰化生物に与える影響の実験的研究、科学研究費補助金研究成果報告書、2011
- 3) 藤井智康、藤原建紀：大阪湾奥部における二酸化炭素の長期連続観測、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.68、No.2、I -1061-1065、2011、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.67、No.2、I -911-915、2011

### 3章

- 1) CHEN-TUNG ARTHUR CHEN : Anthropogenic CO<sub>2</sub> Distribution in the North Pacific Ocean、Journal of Oceanography , Vol. 49, pp. 257 to 270. 1993
- 2) 岡村 慶・野口拓郎・八田万有美・紀本英志・鈴江崇彦・江頭 毅・飯笹幸吉・後藤浩一・藤井武史・野尻幸宏・河野裕美：海水用 pH センサーの開発、日本海洋学会、2012 春季
- 3) 田口二三生、藤原建紀、山田佳昭、藤田弘一、杉山雅人：沿岸海域のアルカリ度、沿岸海洋研究 第 47 巻, 第 1 号, 71-75, 2009

### 6章

- 1) 上田悦紀、風力発電装置、新環境特集 II 風力発電システム、日本電設工業協会誌、No688、2010
- 2) 和田雅昭、畑中勝守、戸田真志、ホタテ養殖支援のための小型海洋観測ブイの開発、ユビキタスコンピューティングシステム、情報処理学会研究報告、2006-UBI-10、387-392、2006
- 3) 和田雅昭、畑中勝守、戸田真志、ホタテ養殖海域における小型海洋観測ブイの実用性評価、ユビキタスコンピューティングシステム、情報処理学会研究報告、2006-UBI-12、45-52、2006
- 4) 和田雅昭、畑中勝守、宮下和士・鉄村光太郎、IEEE802.11J によるマリンプロードバンドの構築、情報処理北海道シンポジウム（函館市）（平成 18 年 10 月 13 日）

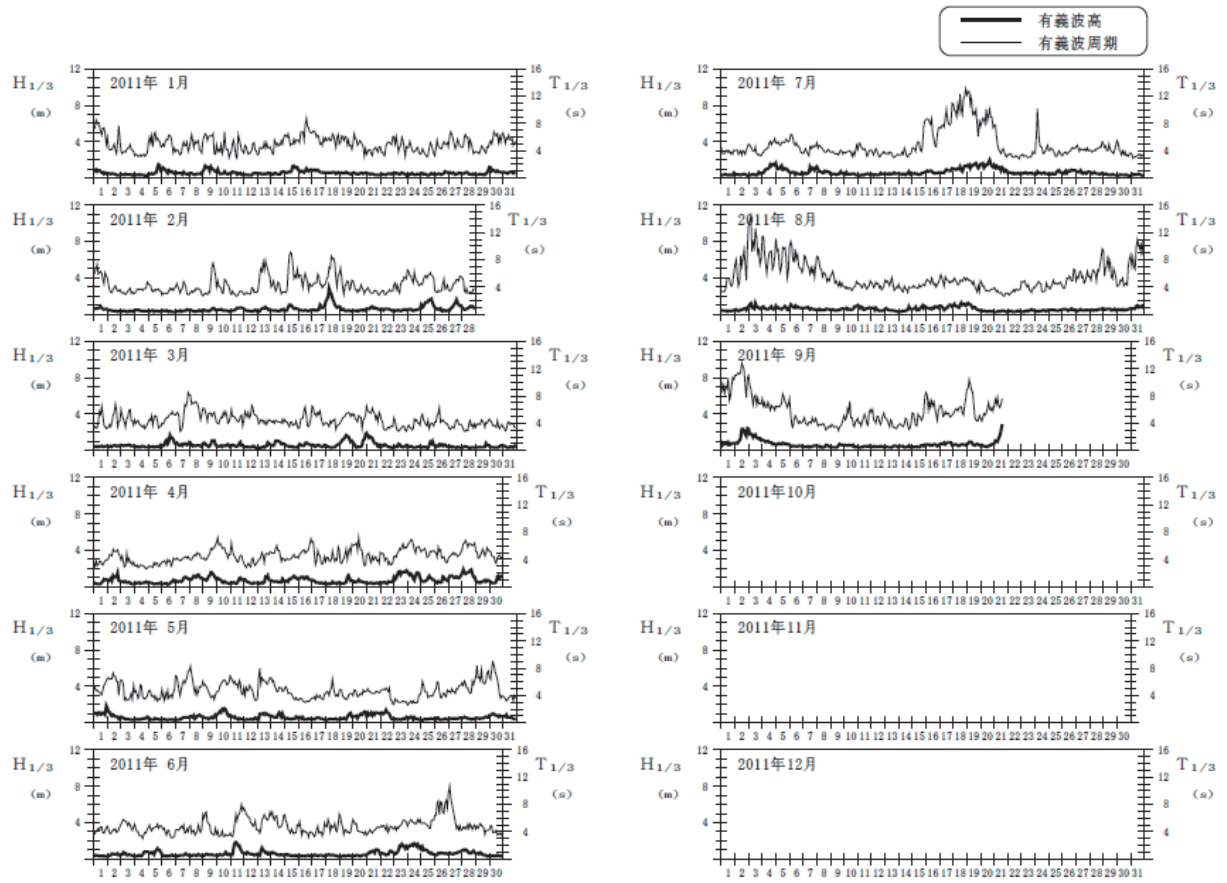




## 資料 1

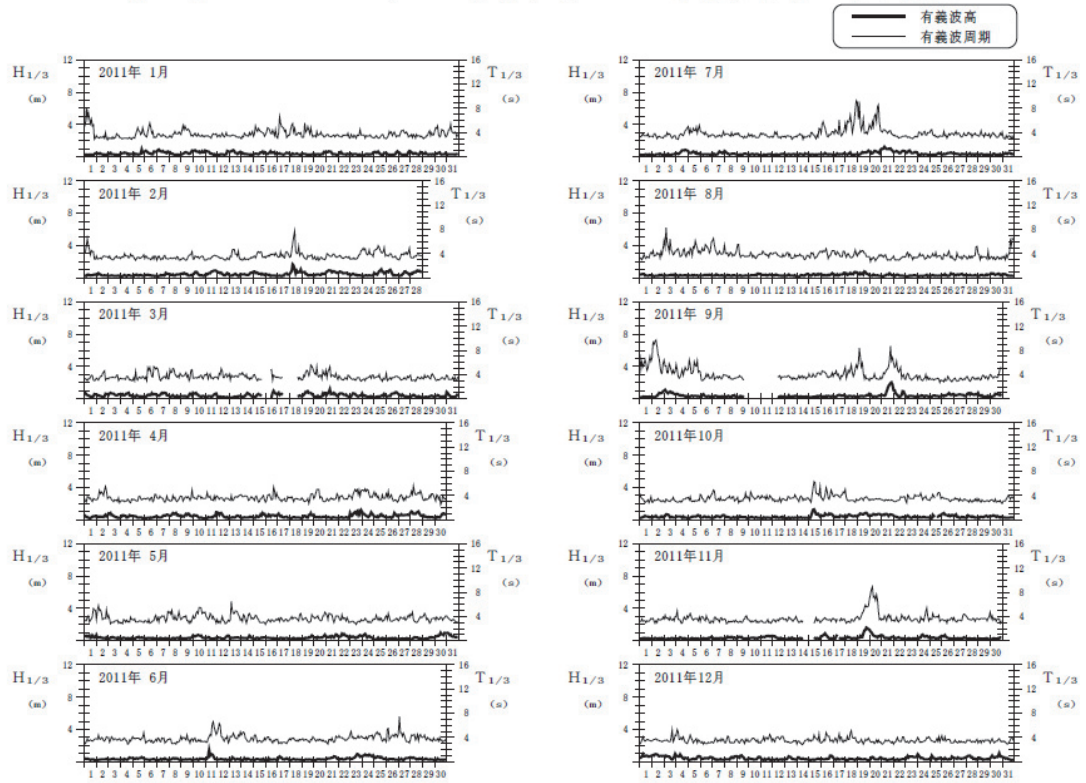
海域選定のための参考資料

アシカ島 2011年 有義波高および有義波周期の経時変化



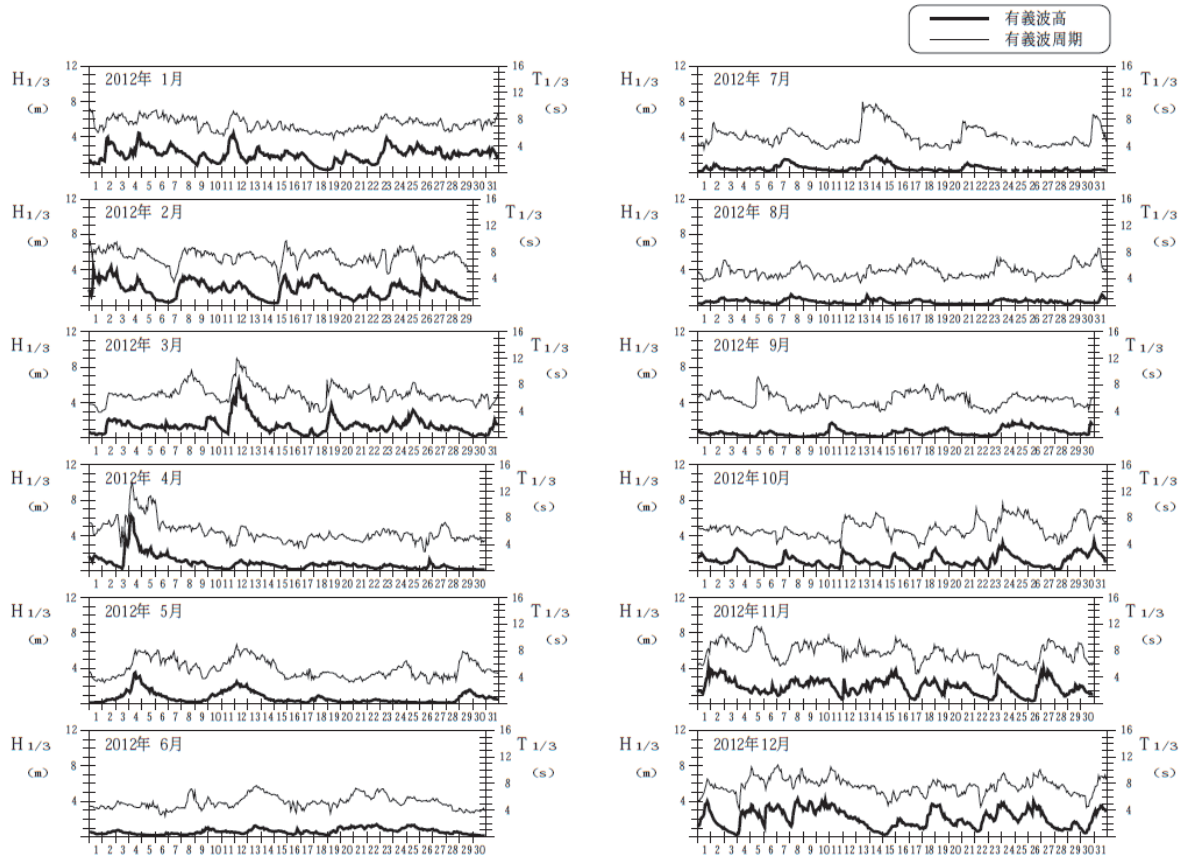
資料 1 - 1 東京湾口の有義波高および周期

第二海堡 2011年 有義波高および有義波周期の経時変化



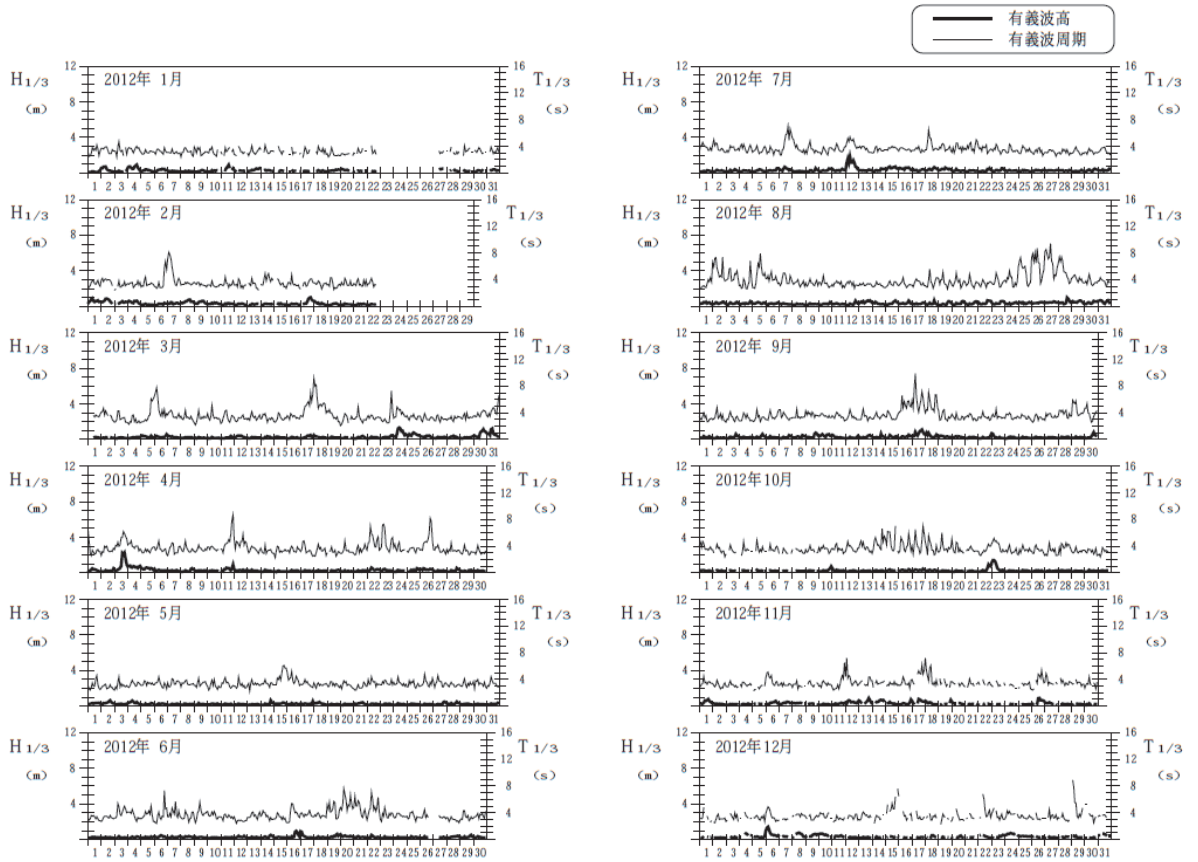
資料 1 - 2 東京湾奥の有義波高および周期

柴山 2012年 有義波高および有義波周期の経時変化



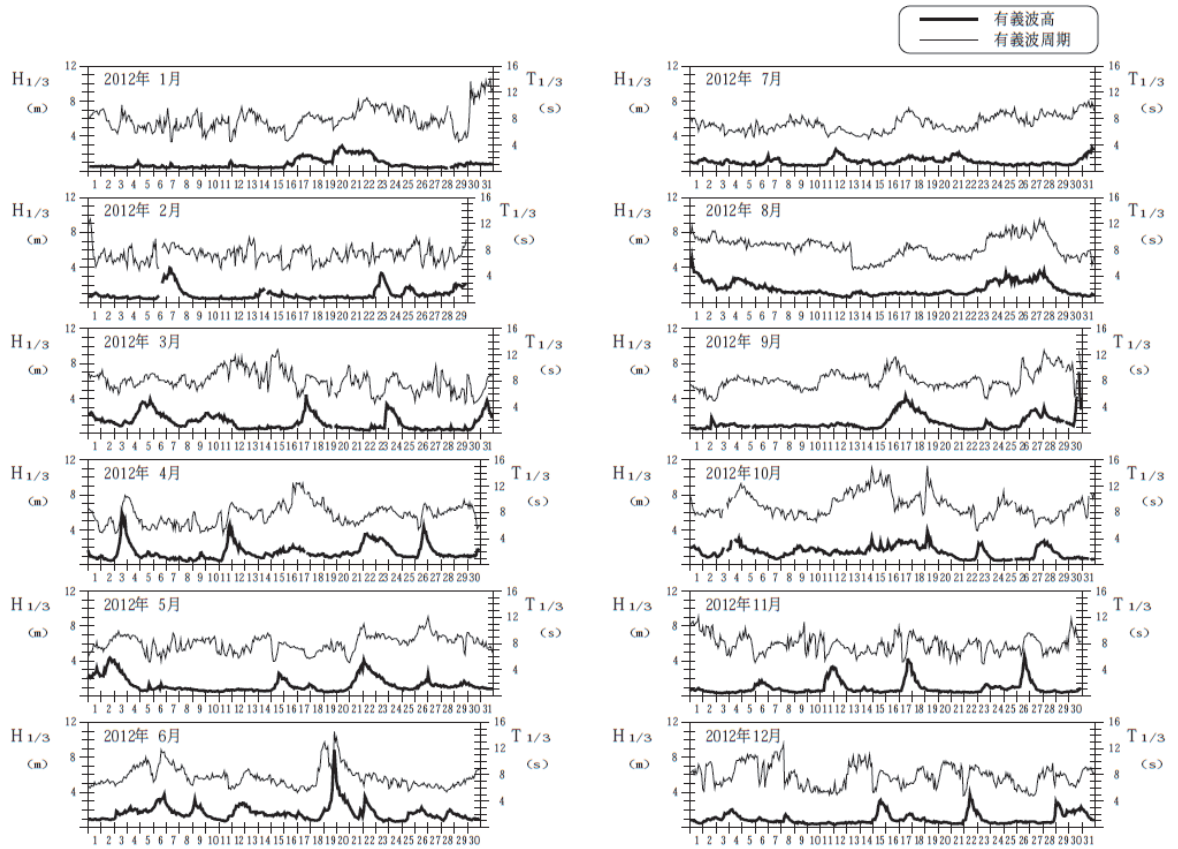
資料1-3 大阪湾口の有義波高および周期

神戸 2012年 有義波高および有義波周期の経時変化



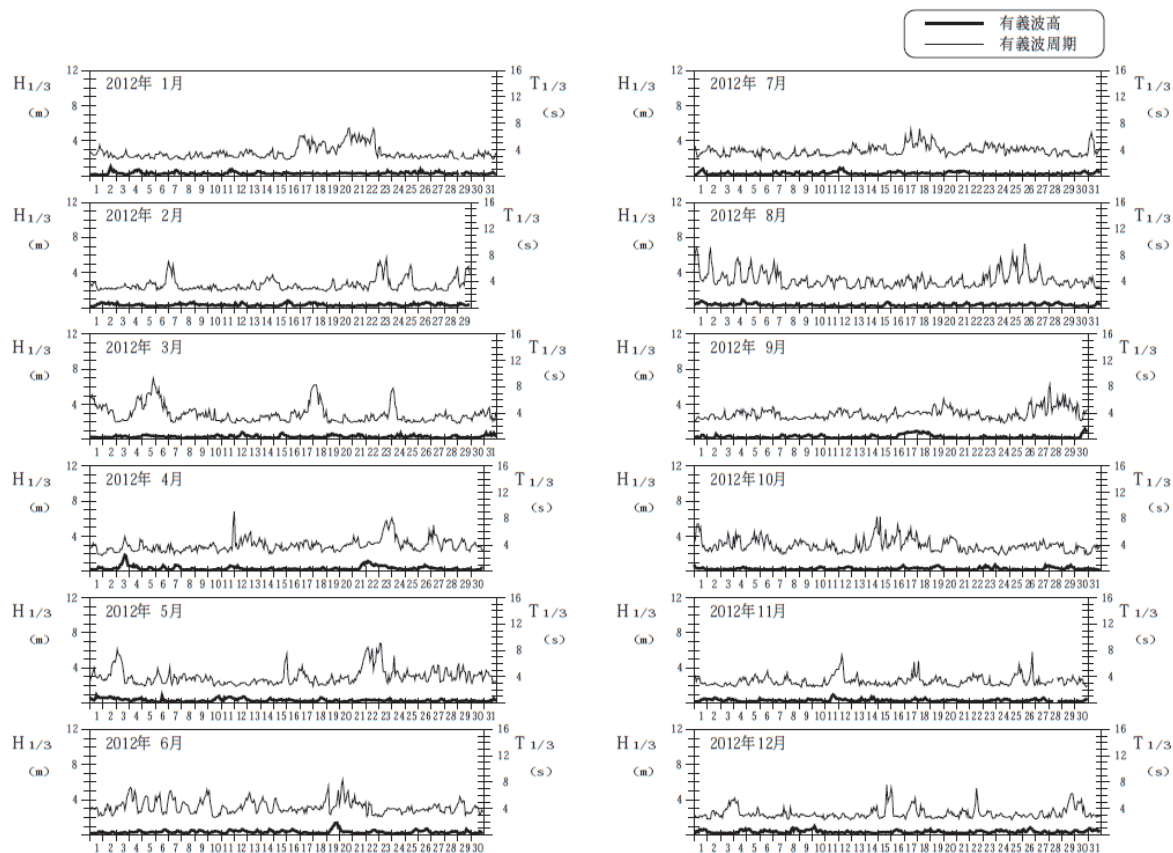
資料 1 - 4 大阪湾奥の有義波高および周期

三重尾鷲沖 2012年 有義波高および有義波周期の経時変化



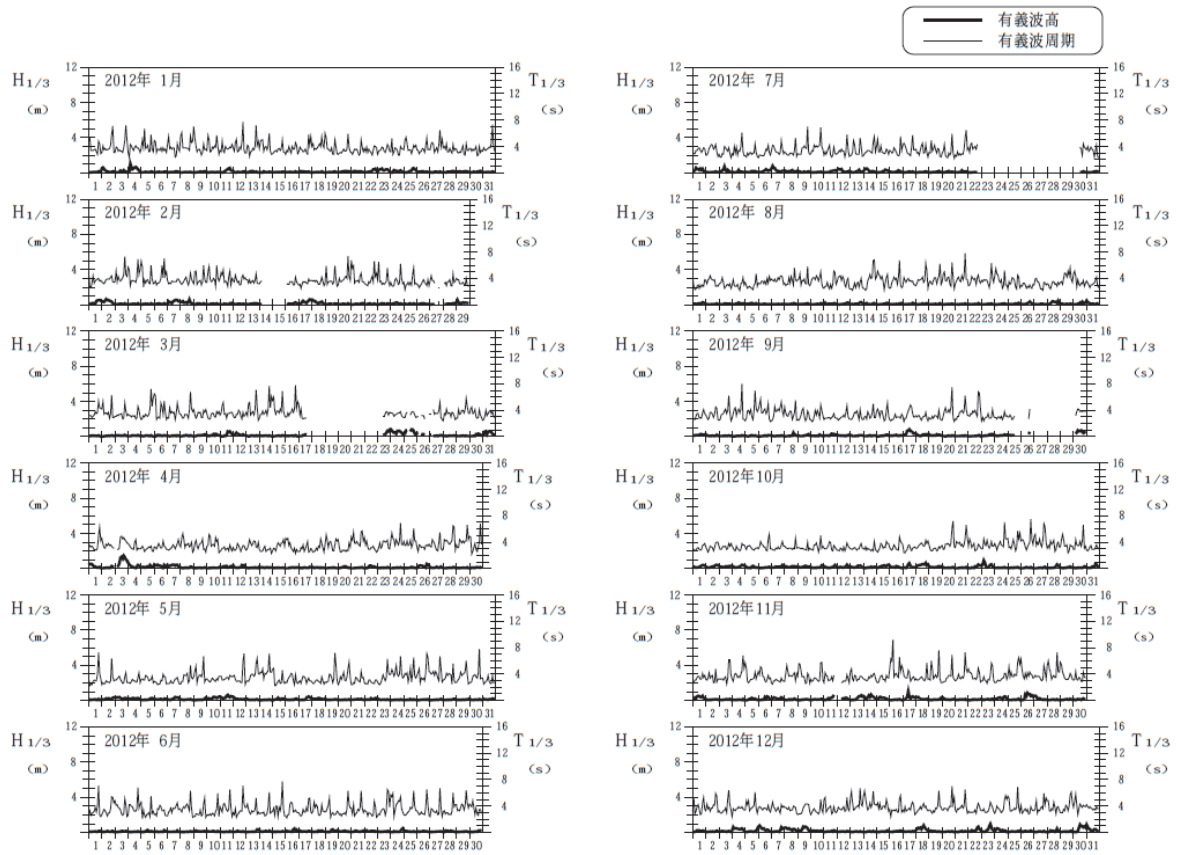
資料 1 - 5 伊勢湾口の有義波高および周期

伊勢湾 2012年 有義波高および有義波周期の経時変化



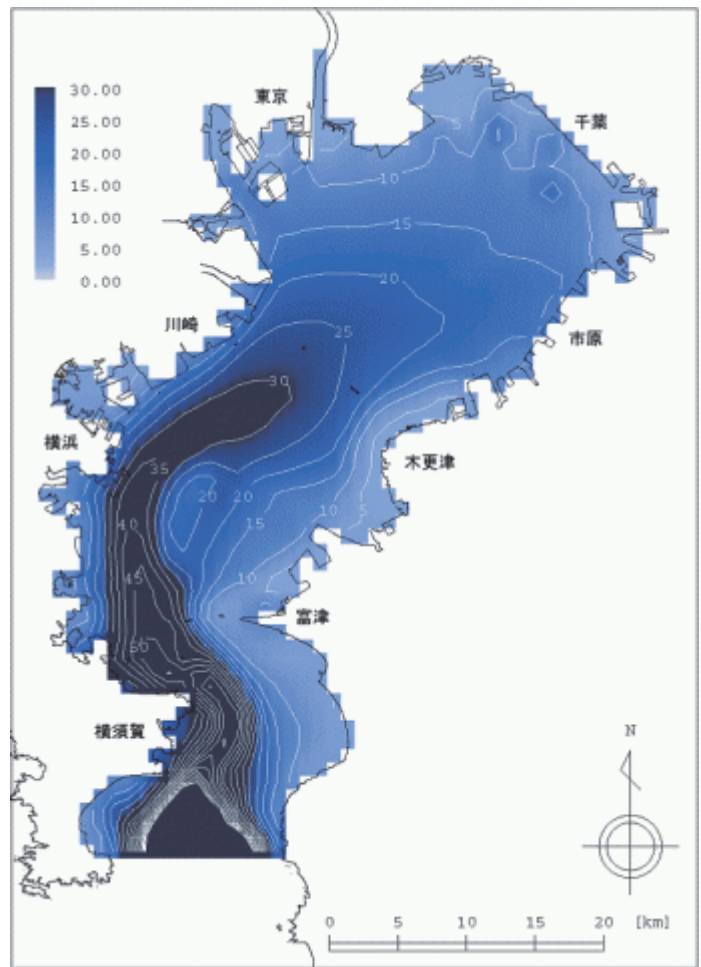
資料 1 - 6 伊勢湾奥の有義波高および周期

熊本 2012年 有義波高および有義波周期の経時変化

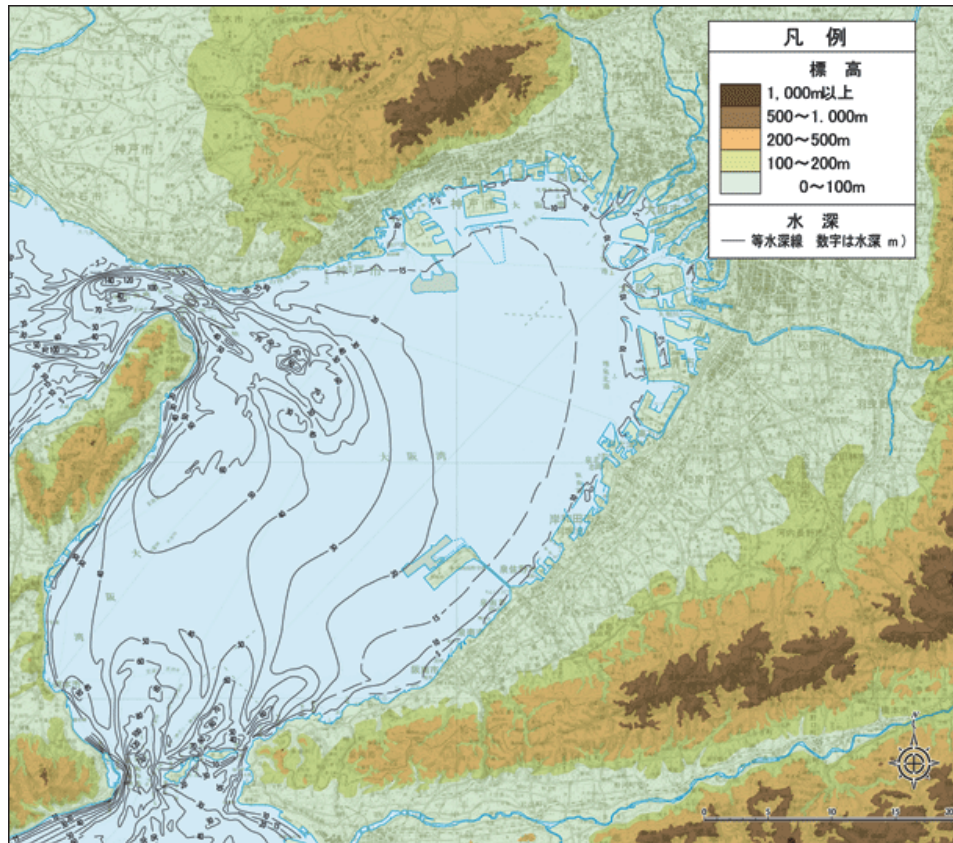


資料 1 - 7 有明海、八代海の有義波高および周期





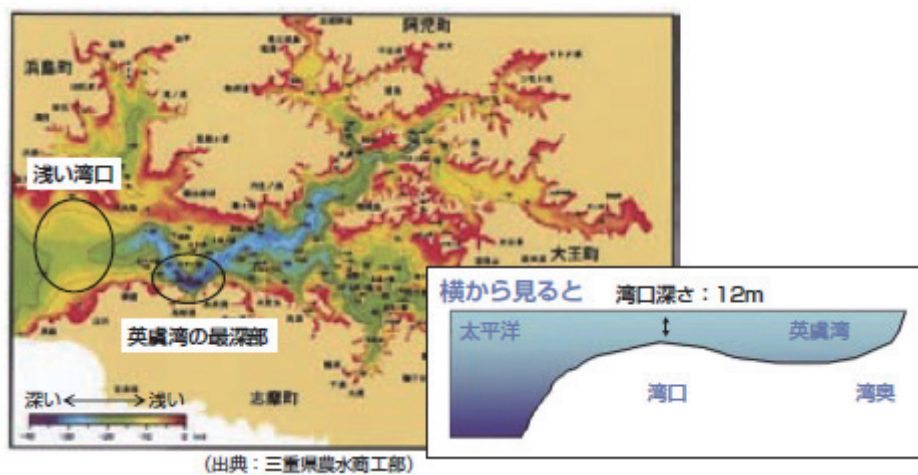
資料 1 - 8 東京湾海底地形図



資料 1 - 9 大阪湾海底地形図



資料 1 - 1 0 伊勢湾海底地形図



資料 1 - 1 1 相模湾海底地形図



## 資料2

千葉灯標観測データの月別平均値、最大・最小値  
(2009年～2013年)

資料 2-1 千葉灯標データ (2009 年)

| 分類 | 項目     | 単位   | 2009年 |       |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |        |       |       |        |
|----|--------|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
|    |        |      | 1月    |       | 2月     |       | 3月    |        | 4月    |       | 5月    |        | 6月    |       |        |       |       |        |
|    |        |      | 平均    | 最大    | 最小     | 最大    | 平均    | 最大     | 最小    | 最大    | 平均    | 最大     | 最小    | 最大    |        |       |       |        |
| 水質 | 水温     | °C   | 11.60 | 13.34 | 9.87   | 11.39 | 13.54 | 10.18  | 14.90 | 14.36 | 19.17 | 11.64  | 23.98 | 14.77 | 20.04  | 25.59 | 16.38 |        |
|    | 塩分     |      | 32.34 | 33.65 | 30.94  | 31.84 | 33.01 | 25.93  | 33.2  | 31.6  | 33.68 | 24.01  | 33.67 | 21.52 | 29.79  | 33.49 | 21.50 |        |
|    | 溶存酸素   | mg/l | 8.2   | 13.0  | 4.8    | 9.7   | 14.5  | 6.5    | 13.2  | 4.6   | 8.9   | 18.4   | 0.3   | 7.8   | 17.0   | 6.7   | 19.2  | 0.1    |
|    | 硝酸イオン  | μg/l | 12.6  | 29.2  | 2.9    | 10.4  | 51.8  | 2.6    | 30.60 | 0.00  | 16.4  | 51.5   | 0.0   | 11.8  | 71.0   | 15.1  | 83.9  | 0.5    |
|    | 濁度(SS) | mg/l | 3.7   | 90.1  | 1.6    | 3.1   | 174.8 | 0.7    | 59.2  | 0.0   | 1.8   | 94.2   | 0.0   | 2.3   | 259.3  | 2.8   | 137.1 | 0.6    |
| 流況 | 流速(東向) | cm/s | -0.07 | 53.90 | -62.20 | 0.92  | 24.70 | -16.50 | 17.80 | 0.32  | 17.80 | -17.30 | 0.70  | 27.00 | -39.00 | 0.23  | 30.20 | -36.00 |
|    | 流速(北向) |      | -1.24 | 42.60 | -51.50 | -1.49 | 20.50 | -34.90 | 29.80 | -2.52 | 29.80 | -43.30 | -1.91 | 25.10 | -48.70 | -2.54 | 42.50 | -39.80 |
| 気象 | 風速(平均) | m/s  | 5.6   | 16.6  | 0.0    | 5.9   | 23.8  | 0.0    | 21.1  | 6.2   | 18.8  | 0.0    | 5.6   | 19.9  | 4.4    | 19.3  | 0.0   |        |

- ; データなし

| 分類 | 項目     | 単位   | 2009年 |       |        |       |       |        |       |       |       |        |       |       |         |       |       |       |       |        |
|----|--------|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
|    |        |      | 7月    |       | 8月     |       | 9月    |        | 10月   |       | 11月   |        | 12月   |       |         |       |       |       |       |        |
|    |        |      | 平均    | 最大    | 最小     | 最大    | 平均    | 最大     | 最小    | 最大    | 平均    | 最大     | 最小    | 最大    |         |       |       |       |       |        |
| 水質 | 水温     | °C   | 24.20 | 28.08 | 18.33  | 24.13 | 30.02 | 17.88  | 26.47 | 22.19 | 26.47 | 20.88  | 20.70 | 25.36 | 18.24   | 17.66 | 13.57 | 11.39 |       |        |
|    | 塩分     |      | 28.16 | 33.03 | 19.63  | 29.77 | 33.34 | 15.95  | 33.25 | 31.93 | 33.25 | 22.42  | 31.40 | 33.28 | 26.59   | 25.68 | 31.49 | 22.10 |       |        |
|    | 溶存酸素   | mg/l | 6.5   | 16.8  | 0.2    | 5.4   | 16.1  | 0.2    | 22.2  | 3.8   | 22.2  | 0.2    | 5.5   | 14.7  | 0.2     | 3.3   | 8.2   | 9.6   | 5.2   |        |
|    | 硝酸イオン  | μg/l | 12.0  | 125.6 | 0.9    | 7.4   | 58.4  | 0.4    | 45.1  | 7.7   | 45.1  | 0.5    | 6.9   | 48.1  | 0.0     | 0.0   | 3.5   | 94.4  | 0.9   |        |
|    | 濁度(SS) | mg/l | 3.3   | 112.7 | 0.8    | 2.2   | 108.1 | 0.3    | 16.3  | 2.1   | 16.3  | 0.4    | 2.7   | 134.9 | 0.0     | 0.0   | 2.2   | 97.5  | 0.8   |        |
| 流況 | 流速(東向) | cm/s | 0.03  | 36.40 | -45.40 | 1.08  | 37.20 | -36.60 | 31.30 | 0.25  | 31.30 | -33.10 | 0.02  | 30.80 | -104.30 | 0.89  | 41.80 | 1.23  | 49.20 | -43.20 |
|    | 流速(北向) |      | -1.47 | 52.50 | -36.50 | -0.42 | 39.10 | -39.70 | 33.40 | -1.01 | 33.40 | -48.50 | -2.12 | 81.80 | -50.60  | -1.44 | 44.80 | -1.49 | 61.20 | -42.90 |
| 気象 | 風速(平均) | m/s  | 6.7   | 18.8  | 0.0    | 4.6   | 18.5  | 0.0    | 13.0  | 4.7   | 13.0  | 0.0    | 5.1   | 23.5  | 0.0     | 5.8   | 17.0  | 0.0   |       |        |

- ; データなし

資料 2-2 千葉灯標データ (2010 年)

| 分類 | 項目     | 単位   | 2010年 |       |        |       |       |        |       |       |        |       |       |        |       |       |       |       |        |     |
|----|--------|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-----|
|    |        |      | 1月    |       | 2月     |       | 3月    |        | 4月    |       | 5月     |       | 6月    |        |       |       |       |       |        |     |
|    |        |      | 平均    | 最大    | 最小     | 最大    | 平均    | 最大     | 最小    | 最大    | 平均     | 最大    | 最小    | 最大     |       |       |       |       |        |     |
| 水質 | 水温     | °C   | 10.59 | 13.76 | 9.34   | 9.86  | 12.60 | 8.77   | 13.84 | 10.03 | 13.24  | 18.48 | 11.28 | 23.46  | 14.35 | 21.18 | 28.06 | 16.21 |        |     |
|    | 塩分     |      | 31.67 | 33.35 | 24.26  | 31.81 | 33.22 | 25.01  | 33.8  | 19.0  | 31.40  | 33.88 | 22.74 | 33.28  | 23.21 | 29.64 | 33.13 | 21.51 |        |     |
|    | 溶存酸素   | mg/l | 10.0  | 15.6  | 5.5    | 9.4   | 14.5  | 4.5    | 13.3  | 4.3   | 8.3    | 16.7  | 3.4   | 20.1   | 2.0   | 7.9   | 19.5  | 0.4   |        |     |
|    | 硝酸窒素   | μg/l | 12.5  | 150.0 | 0.6    | 8.2   | 85.7  | 1.0    | 52.20 | 0.70  | 9.7    | 42.9  | 0.0   | 66.4   | 0.0   | 10.3  | 174.8 | 0.0   |        |     |
| 流況 | 濁度(SS) | mg/l | 3.2   | 155.5 | 0.6    | 2.4   | 190.8 | 0.5    | 151.2 | 0.7   | 2.4    | 187.2 | 0.0   | 166.7  | 0.0   | 2.9   | 252.6 | 0.0   |        |     |
|    | 流速(東向) | cm/s | 1.38  | 17.90 | -31.70 | 0.39  | 22.20 | -39.80 | 0.30  | 51.30 | -35.10 | 0.71  | 39.10 | -38.30 | 0.25  | 27.90 | 0.77  | 30.30 | -46.10 |     |
|    | 流速(北向) |      | -1.22 | 44.80 | -47.90 | -1.61 | 52.40 | -35.60 | -2.74 | 54.80 | -52.50 | -0.75 | 37.30 | -43.70 | -1.27 | 34.20 | -0.64 | 32.40 | -43.10 |     |
| 気象 | 風速(平均) | m/s  | 5.1   | 19.3  | 0.0    | 5.6   | 19.6  | 0.0    | 6.4   | 27.8  | 0.0    | 5.9   | 26.2  | 0.0    | 5.6   | 17.4  | 0.0   | 5.3   | 19.7   | 0.0 |

- ;データなし

| 分類 | 項目     | 単位   | 2010年 |       |        |       |       |        |       |        |        |       |       |        |       |       |        |        |         |     |
|----|--------|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|-----|
|    |        |      | 7月    |       | 8月     |       | 9月    |        | 10月   |        | 11月    |       | 12月   |        |       |       |        |        |         |     |
|    |        |      | 平均    | 最大    | 最小     | 最大    | 平均    | 最大     | 最小    | 最大     | 平均     | 最大    | 最小    | 最大     |       |       |        |        |         |     |
| 水質 | 水温     | °C   | 25.82 | 32.78 | 18.75  | 27.48 | 32.58 | 22.18  | 32.02 | 20.72  | 21.55  | 23.92 | 18.36 | 19.69  | 16.32 | -     | -      | -      |         |     |
|    | 塩分     |      | 26.94 | 32.90 | 10.18  | 27.38 | 32.82 | 22.59  | 33.65 | 14.64  | 32.20  | 33.59 | 18.54 | 33.49  | 17.90 | -     | -      | -      |         |     |
|    | 溶存酸素   | mg/l | 7.0   | 18.5  | 0.0    | 6.3   | 18.8  | 0.0    | 5.1   | 21.8   | 0.0    | 5.6   | 25.9  | 0.0    | 8.4   | 15.1  | 2.5    | -      |         |     |
|    | 硝酸窒素   | μg/l | 16.0  | 252.6 | 0.5    | 14.1  | 71.3  | 0.5    | 37.0  | 0.3    | 4.9    | 50.1  | 0.5   | 28.3   | 0.0   | -     | -      | -      |         |     |
| 流況 | 濁度(SS) | mg/l | 4.4   | 138.7 | 0.7    | 3.1   | 57.4  | 0.5    | 55.1  | 0.4    | 1.9    | 50.3  | 0.4   | 54.9   | 0.0   | -     | -      | -      |         |     |
|    | 流速(東向) | cm/s | 0.24  | 28.80 | -24.60 | 0.80  | 66.40 | -77.30 | 0.32  | 106.30 | -63.20 | 0.12  | 46.70 | -50.00 | -9.92 | 95.70 | -15.12 | 106.00 | -105.40 |     |
|    | 流速(北向) |      | -4.46 | 28.00 | -52.00 | -2.66 | 57.50 | -57.60 | -1.48 | 60.60  | -74.70 | -1.03 | 45.30 | -40.30 | -5.92 | 99.10 | -14.50 | 99.20  | -112.90 |     |
| 気象 | 風速(平均) | m/s  | 6.5   | 19.9  | 0.0    | 5.7   | 20.6  | 0.0    | 5.4   | 15.6   | 0.0    | 5.3   | 15.0  | 0.0    | 4.8   | 20.2  | 0.0    | 5.8    | 21.2    | 0.0 |

- ;データなし

資料 2-3 千葉灯標データ (2011 年)

| 分類 | 項目      | 単位   | 2011年  |       |       |       |         |       |        |       |       |        |       |       |       |        |
|----|---------|------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
|    |         |      | 1月     |       | 2月    |       | 3月      |       | 4月     |       | 5月    |        | 6月    |       |       |        |
|    |         |      | 平均     | 最大    | 平均    | 最大    | 平均      | 最大    | 平均     | 最大    | 平均    | 最大     | 平均    | 最大    |       |        |
| 水質 | 水温      | °C   | -      | -     | 10.01 | 14.01 | 9.00    | 12.52 | 9.62   | -     | -     | -      | -     | -     | -     | -      |
|    | 塩分      |      | -      | -     | 31.93 | 33.09 | 25.86   | 33.0  | 27.6   | -     | -     | -      | -     | -     | -     | -      |
| 水質 | 溶存酸素    | mg/l | -      | -     | 9.3   | 32.1  | 4.1     | 17.8  | 0.2    | -     | -     | -      | -     | -     | -     | -      |
|    | クロロフィルa | μg/l | -      | -     | 7.6   | 87.9  | 0.7     | 27.50 | 0.50   | -     | -     | -      | -     | -     | -     | -      |
| 流況 | 濁度(SS)  | mg/l | -      | -     | 1.7   | 102.0 | 0.5     | 73.1  | 0.4    | -     | -     | -      | -     | -     | -     | -      |
|    | 流速(東向)  | cm/s | -26.20 | 79.50 | -2.69 | 59.30 | -108.70 | 99.40 | -25.50 | 0.44  | 25.10 | -34.10 | 31.90 | 1.39  | 32.50 | -39.80 |
| 流況 | 流速(北向)  | cm/s | -13.71 | 99.80 | -3.49 | 73.30 | -99.70  | 57.50 | -27.50 | -1.25 | 38.60 | -36.50 | 42.50 | -0.86 | 33.20 | -37.90 |
|    | 風速(平均)  | m/s  | 5.5    | 17.7  | 5.6   | 17.5  | 0.0     | 17.4  | 0.0    | 6.6   | 19.4  | 0.0    | 19.2  | 4.7   | 22.2  | 0.0    |

- ;データなし

| 分類 | 項目      | 単位   | 2011年 |       |      |       |        |      |     |     |      |     |     |        |       |        |
|----|---------|------|-------|-------|------|-------|--------|------|-----|-----|------|-----|-----|--------|-------|--------|
|    |         |      | 7月    |       | 8月   |       | 9月     |      | 10月 |     | 11月  |     | 12月 |        |       |        |
|    |         |      | 平均    | 最大    | 平均   | 最大    | 平均     | 最大   | 平均  | 最大  | 平均   | 最大  | 平均  | 最大     |       |        |
| 水質 | 水温      | °C   | -     | -     | -    | -     | -      | -    | -   | -   | -    | -   | -   | 13.08  | 16.76 | 10.36  |
|    | 塩分      |      | -     | -     | -    | -     | -      | -    | -   | -   | -    | -   | -   | 32.22  | 33.54 | 28.20  |
| 水質 | 溶存酸素    | mg/l | -     | -     | -    | -     | -      | -    | -   | -   | -    | -   | -   | 7.7    | 10.7  | 2.6    |
|    | クロロフィルa | μg/l | -     | -     | -    | -     | -      | -    | -   | -   | -    | -   | -   | 5.0    | 18.7  | 0.7    |
| 流況 | 濁度(SS)  | mg/l | -     | -     | -    | -     | -      | -    | -   | -   | -    | -   | -   | 1.7    | 43.6  | 0.5    |
|    | 流速(東向)  | cm/s | 1.99  | 35.80 | 1.60 | 32.70 | -24.00 | -    | -   | -   | -    | -   | -   | -1.34  | 88.10 | -69.60 |
| 流況 | 流速(北向)  | cm/s | -1.33 | 42.20 | 1.14 | 23.30 | -30.80 | -    | -   | -   | -    | -   | -   | -28.37 | 13.50 | -81.00 |
|    | 風速(平均)  | m/s  | 6.5   | 18.4  | 5.3  | 15.2  | 0.0    | 27.1 | 0.0 | 5.0 | 16.2 | 0.0 | 6.0 | 5.3    | 13.4  | 0.0    |

- ;データなし



資料 2-4 千葉灯標データ (2012 年)

| 分類 | 項目               | 単位   | 2012年         |                |                  |               |                |                  |               |       |       |        |        |       |        |        |       |        |        |       |
|----|------------------|------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
|    |                  |      | 1月            |                |                  | 2月            |                |                  | 3月            |       |       | 4月     |        |       | 5月     |        |       | 6月     |        |       |
|    |                  |      | 平均            | 最大             | 最小               | 平均            | 最大             | 最小               | 平均            | 最大    | 最小    | 平均     | 最大     | 最小    | 平均     | 最大     | 最小    | 平均     | 最大     | 最小    |
| 水質 | 水温               | °C   | 9.61          | 12.35          | 7.41             | 8.72          | 11.41          | 7.49             | 10.62         | 14.46 | 8.88  | 13.73  | 19.53  | 12.00 | 17.77  | 23.75  | 14.21 | 19.51  | 24.82  | 16.65 |
|    | 塩分               |      | 32.26         | 32.91          | 26.51            | 31.92         | 33.24          | 22.59            | 31.9          | 33.3  | 21.4  | 31.81  | 33.85  | 29.12 | 29.68  | 33.64  | 22.16 | 30.82  | 33.66  | 20.39 |
|    | 溶存酸素             | mg/l | 10.25         | 14.89          | 6.57             | 9.1           | 14.0           | 5.4              | 9.2           | 14.8  | 2.5   | 8.07   | 14.19  | 3.32  | 7.64   | 25.15  | 0.14  | 6.01   | 17.26  | 0.16  |
| 流況 | カド7/μa           | μg/l | 13.09         | 39.70          | 0.60             | 6.6           | 113.3          | 0.5              | 10.97         | 68.60 | 1.40  | 7.37   | 37.70  | 0.40  | 10.00  | 226.90 | 0.30  | 6.92   | 80.50  | 0.40  |
|    | 濁度(SS)           | mg/l | 2.43          | 125.96         | 0.55             | 2.5           | 137.4          | 0.6              | 2.9           | 247.8 | 0.6   | 3.13   | 240.21 | 0.37  | 3.13   | 247.48 | 0.37  | 2.80   | 249.76 | 0.30  |
|    | 流速(東向)<br>流速(北向) | cm/s | 1.13<br>-0.46 | 15.20<br>15.20 | -22.50<br>-21.00 | 0.42<br>-1.76 | 17.10<br>30.70 | -31.00<br>-29.10 | 1.03<br>-0.83 | 20.90 | 29.70 | -23.70 | 0.71   | 34.90 | -44.70 | 1.31   | 36.90 | -35.80 | 0.73   | 56.80 |
| 気象 | 風速(平均)           | m/s  | 5.5           | 17.3           | 0.0              | 5.3           | 18.6           | 0.0              | 5.8           | 24.0  | 0.0   | 5.2    | 24.6   | 0.0   | 4.8    | 16.9   | 0.0   | 5.0    | 28.0   | 0.0   |

- ;データなし

| 分類 | 項目               | 単位   | 2012年         |                |                  |               |                |                  |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |
|----|------------------|------|---------------|----------------|------------------|---------------|----------------|------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    |                  |      | 7月            |                |                  | 8月            |                |                  | 9月    |       |       | 10月   |        |       | 11月   |       |       | 12月   |       |       |
|    |                  |      | 平均            | 最大             | 最小               | 平均            | 最大             | 最小               | 平均    | 最大    | 最小    | 平均    | 最大     | 最小    | 平均    | 最大    | 最小    | 平均    | 最大    | 最小    |
| 水質 | 水温               | °C   | 23.48         | 30.72          | 18.09            | 27.16         | 31.94          | 21.57            | 26.19 | 32.64 | 20.72 | 21.24 | 25.83  | 18.74 | 17.25 | 20.61 | 14.18 | 12.72 | 17.71 | 9.70  |
|    | 塩分               |      | 30.02         | 33.24          | 19.62            | 29.40         | 32.74          | 22.86            | 30.07 | 34.04 | 19.32 | 31.75 | 33.39  | 22.18 | 31.43 | 33.65 | 24.36 | 31.98 | 33.84 | 20.05 |
|    | 溶存酸素             | mg/l | 7.42          | 20.57          | 0.06             | 5.87          | 15.59          | 0.04             | 4.26  | 17.47 | 0.02  | 5.51  | 13.76  | 0.04  | 6.99  | 10.35 | 1.42  | 7.6   | 9.3   | 3.3   |
| 流況 | カド7/μa           | μg/l | 9.46          | 469.50         | 0.40             | 8.65          | 41.60          | 0.60             | 6.20  | 37.80 | 0.30  | 3.00  | 188.80 | 0.20  | 3.94  | 14.80 | 0.40  | 2.0   | 7.6   | 0.0   |
|    | 濁度(SS)           | mg/l | 3.72          | 249.76         | 0.35             | 2.57          | 249.76         | 0.50             | 4.37  | 35.39 | 0.80  | 3.08  | 261.17 | 0.54  | 2.57  | 51.58 | 0.84  | 2.7   | 75.1  | 0.6   |
|    | 流速(東向)<br>流速(北向) | cm/s | 0.29<br>-0.93 | 76.00<br>42.60 | -46.90<br>-42.30 | 0.40<br>-2.10 | 34.60<br>35.20 | -50.20<br>-28.00 | -     | -     | -     | -     | -      | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| 気象 | 風速(平均)           | m/s  | 5.4           | 16.8           | 0.0              | 5.1           | 17.1           | 0.0              | -     | -     | -     | -     | -      | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |

- ;データなし

資料 2-5 千葉灯標データ (2013 年)

| 分類 | 項目     | 単位   | 2013年 |       |       |    |    |       |       |      |       |        |       |    |  |  |
|----|--------|------|-------|-------|-------|----|----|-------|-------|------|-------|--------|-------|----|--|--|
|    |        |      | 1月    |       | 2月    |    | 3月 |       | 4月    |      | 5月    |        | 6月    |    |  |  |
|    |        |      | 平均    | 最大    | 最小    | 最大 | 平均 | 最大    | 最小    | 最大   | 平均    | 最大     | 最小    | 最大 |  |  |
| 水質 | 水温     | °C   | 9.70  | 12.99 | 8.53  | -  | -  | 11.05 | 15.84 | 8.39 | 14.78 | 18.54  | 11.78 |    |  |  |
|    | 塩分     |      | 31.71 | 32.81 | 22.85 | -  | -  | 31.7  | 33.7  | 21.4 | 30.83 | 33.72  | 18.16 |    |  |  |
|    | 溶存酸素   | mg/l | 9.81  | 15.72 | 6.54  | -  | -  | 9.7   | 14.5  | 4.7  | 8.98  | 15.26  | 2.67  |    |  |  |
|    | 硝酸7/ha | μg/l | 14.58 | 73.50 | 1.50  | -  | -  | 6.72  | 36.70 | 0.60 | 9.23  | 38.50  | 0.60  |    |  |  |
|    | 濁度(SS) | mg/l | 3.46  | 58.21 | 0.82  | -  | -  | 2.3   | 253.0 | 0.4  | 2.97  | 213.45 | 0.66  |    |  |  |
| 流況 | 流速(東向) | cm/s | -     | -     | -     | -  | -  | -     | -     | -    | -     | -      | -     |    |  |  |
|    | 流速(北向) |      | -     | -     | -     | -  | -  | -     | -     | -    | -     | -      | -     |    |  |  |
| 気象 | 風速(平均) | m/s  | -     | -     | -     | -  | -  | -     | -     | -    | -     | -      | -     |    |  |  |

- ;データなし

| 分類 | 項目     | 単位   | 2013年 |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
|----|--------|------|-------|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|--|--|
|    |        |      | 7月    |    | 8月 |    | 9月 |    | 10月 |    | 11月 |    | 12月 |    |  |  |
|    |        |      | 平均    | 最大 | 最小 | 最大 | 平均 | 最大 | 最小  | 最大 | 平均  | 最大 | 最小  | 最大 |  |  |
| 水質 | 水温     | °C   |       |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
|    | 塩分     |      |       |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
|    | 溶存酸素   | mg/l |       |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
|    | 硝酸7/ha | μg/l |       |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
|    | 濁度(SS) | mg/l |       |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
| 流況 | 流速(東向) | cm/s |       |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
|    | 流速(北向) |      |       |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
| 気象 | 風速(平均) | m/s  |       |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |  |  |

### 資料 3

関係機関からのヒアリング結果

## 実施計画ヒアリング 紀本電子工業株式会社

日 時：平成26年6月2日（月）

場 所：紀本電子工業（社長室）

相手先：紀本社長、江頭氏、木下氏

訪問者：黒川、末国

内 容：

はじめに実施計画書案を説明した後、業者側からの意見について質問した。紀本電子工業からのコメントは以下の通り。

Q：海域の設定についてご意見をお聞きしたい。

A：海水の大きな流れで見れば、熱帯近くで海水から CO<sub>2</sub> が放出され、その結果、日本近海を流れる黒潮域は CO<sub>2</sub> のシンクになっている。

調査の作業性を考慮して、西日本で行うのであれば、瀬戸内海か伊勢湾、富山湾あたりがいいだろう。富山湾だと比較的近いところから水深が 100m を超えるので、ブルーカーボンの蓄積過程を調べるのにも都合がいいかもしれない。ブルーカーボンは深いところに降りてゆく。

Q：現在、販売もしくは開発中の装置で、どの程度のレンジ幅で pCO<sub>2</sub> を測定できるか。

A：熱水で実績のある装置（pH-CO<sub>2</sub> ハイブリッドセンサー）があり、それだとレンジ幅を自由に変えることができる。最大 100% まで設定が可能だ。原理的には、pH で変わる試薬の色を計測するもので、膜を透過したガスが pH を変化させる。試薬が海水で薄まることはないので、試薬を交換する必要もなく長期的に利用できる。

応答速度は、ガスが膜を通して平衡に達するまでの時間で、約 10 分である。

Q：pCO<sub>2</sub> と同時に測定するのが望ましい項目は

A：pCO<sub>2</sub> は生物活動以外に、水温や塩分、pH など様々な要因で変化するため、何によって変化したのかを捉えにくい。ちなみに pH が下がれば、pCO<sub>2</sub> は 80,000~90,000ppm まで上がる。できれば、DIC（溶存無機炭酸濃度）を一緒に測るのがいいだろう。

Q：プロファイラーの昇降頻度について

A：海中での変化は、空気中と比較すると緩やかである。1 時間に 1 度の昇降は必要ないかも知れない。4 時間毎（6 回/日）程度でよいのではないかな。

Q：装置全体に関する問題点は。

A：水深 50mだと、直ぐにウインチにカキガラが張り付いて動かなくなるだろう。おそらくこれが、最大の問題点だ。したがって、メンテナンス（カキガラ取り）が重要だ。

また、プロファイラは通常深いところに待機させておき、測定時のみ上昇させて、海面でのデータ送信が終わると、すぐに深いところに戻すのがいいだろう。

以上

## 大阪大学大学院 ヒアリング結果

日 時：平成26年6月3日（火） 10時～11時30分

場 所：大阪大学大学院（会議室）

相手先：加藤教授

訪問者：黒川、末国

内 容：

はじめに実施計画書案を説明した後、海中で使用する装置について、研究者側からのコメントをいただいた。

Q：海中で使用する機械装置について陸上と比較して考慮すべき点は。

A：外壁の素材としてはアルミ合金を使用している。水深によって外壁の厚さを設計する。形状やサイズにもよるが、水深50mであれば、5mm以下だろう。

通常、浅海域であればプロファイラー全体を耐圧容器にして、中に装置類を入れる。しかし深海域になると、個々の装置を耐圧容器の中に入れ、それらを連結させるような構成にする。

陸上と比較という意味では、電食対策や生物付着対策が必要になる。電食はアノードの取り付けで防ぐことが可能だが、生物の付着については、近年、塗料による対策が難しくなっていることから、なかなか有効な手段がない。

Q：電動ウインチ等を長期間利用することについての注意点は。

A：最大の問題は先にも述べた生物付着対策である。この水深では、生物がびっしり付着すると思われる。そのため定期的にダイバーによって、取り除く作業が不可欠となる。

特に注意する点は、プロファイラにたくさんの生物が付着すると浮力が変わるとともに、形状が変化するので波力の影響も変わる。これによって、設計通りの動作が行えなくなる可能性がある。

Q：通信手段で推奨される方法は

A：基本的に衛星による通信は推奨できない。送れるデータ量が少なすぎる。1ラインしか送れない。漂流中のブイが、自分の位置情報を送る程度である。沿岸域なので携帯電話網を使うのがよいだろう。また、予備の回線を考えるにしても、携帯電話網で2回線準備するのがよい。

また、水中での通信には音波が利用できる。阪大では、これによって海中ロボットからのデータを取得している。

Q：電力供給について良いと考えられる手段は

A：SOTABでは、一つの（一組の）リチウムイオンバッテリーから供給している。ガスセンサーだけでなく、ADCP や通信装置等も同じバッテリーから供給している。SOTAB の場合、1日に1度中充電を行っている。

Q：リチウムイオンバッテリーを選ばれた理由は

A：信頼性が高いことである。海中ロボットに使うため、海水に対する信頼性や、ガスが発生しないなども重要である。

バッテリー容量とは別に、バッテリーを節約する運用方法を考えるのも重要だ。ウインチは非常に電力を消費する。そのため、SOTAB やアルゴフロートで採用している浮力調整法を検討されてみてはどうか。浮上速度はオイルの体積で調整することができる。

なお、SOTAB やアルゴフロートの形状は、上昇や下降時における水の抵抗を抑えるため、筒状になっている。

Q：ADCP をブイの下に設置することについては

A：ブイの動揺によるピッチ、ロールおよび方位の補正が必要になる。水深が浅いので、海底に設置し、上向きに観測の方が補正の必要もなく正確だろう。ただ、メンテナンスは引き上げて行うことになるだろう。

Q：プロペラやフィンなどの可動部分から、ロボット内部への浸水を防止するには

A：水圧にあわせて、油圧で均圧をとる仕組みになっている。また、プロペラには DC ブラシレスモーターが使用されている。フィンにはサーボで制御されており、O リング等で浸水を防止している。

Q：圧力容器の中へ、測定のための海水を導入する際に、容器内の他の部分に海水が浸入する恐れはないか

A：阪大で利用している分析器は、引き込んだ海水をメンブレンに接触させ再び海水中に放出するので、圧力容器内に海水が浸水することはない。

Q：その装置はどのようなものか

A：米国の SRI 社が開発したもので、CO<sub>2</sub> やメタン、酸素ほか、海水中に溶存している様々なガスや油成分の質量を質量比で 200 まで測定できる。しかも応答速度は 7 秒である。ただし、現時点ではまだ販売はしておらず、レンタルしかできない。近い将来、阪大には販売してもよいと言っている（約 2000 万円）。

Q：SOTAB が油塊を追跡できるのは、この応答速度の寄与が高いのではないか。

A：その通りだ。また SOTAB は浮力調整とフィンの角度を組合わせて鉛直移動ばかりでなく、水平移動もできる。垂直方向の 1.3 倍だけ水平方向に移動できる（100m 上昇の場合、130m 水平移動）。そのため、縦横に広がるブルームを捉えることができる。

Q：どのような仕組みで測定しているのか

A：センサーはメンブレン方式と呼ばれており、膜に接触したイオンを計測する。世界でもこの方式で高精度のものは、SRI 社しか作れない。ドイツのメーカーも、類似品を作ったが精度が悪い。

Q：SOTAB は全て阪大で製作しているのか

A：阪大のオリジナルだが、設計は東京の海洋工学研究所（佐尾社長）に依頼している。

Q：ブルーカーボンに関連したご研究について

A：海藻の生長をモニタリングする研究を行っている。GPS とスラスタ、フィン等で構成された AUV にサイドスキャンソナーとデジタルカメラが搭載されている。これに航行のデータをセットしておけば、自動的に水深と藻の上端の位置情報がわかるので、藻の高さを推定できる。これによって、藻の成長量をモニタリングできる。もし、ご興味があれば、後で論文を送る。（既に受領済み）

Q：重油流出に関する研究では、どのような予算をご利用されているのか

A：文部科学省の基盤研究 S というもので、5 年計画で実施している。

（配分総額：156,200 千円 日本学術振興会 HP より）

以上



## 日本電業工作株式会社 ヒアリング結果

日 時： 2015 年 1 月 30 日（金） 15:30～16:30  
場 所： 日本電業工作 坂戸工場  
相手先： 澤田課長、光成氏  
訪問者： 黒川主幹、末国主幹

内容：はじめに当方で想定している通信の概要について述べた後、下記のコメントをいただいた。

Q：当方の目的に合致するような製品はあるか。

A：その通信内容であれば、小型で消費電力も小さく、非常にピッタリの製品があった。しかし、現在は生産中止になっている。

後継機は、様々な機能を追加した関係で、消費電力が以前の 3.5W から 30W に増大した。これは、長距離伝送を行うために送信電力を大きくしたため、消費電力を抑えることについては検討外としたためである。この関係で、ブイ等のバッテリーで使用するの、ちょっと難しくなった。

Q：何か省電力化の方法はないか。

A：送信をしない時に、電源を切るなどの対応が可能である。なお、一度電源を切ると、次の立ち上げには2分程度必要である。

Q：送信時以外無線機の電源を切ってしまうと受信もできなくなるので、地上からの緊急通信に対応できない。そのため、実際にはバッテリーの容量を増やすことや、太陽電池で多少容量の減りを抑えるくらいしかできないと考えてよいか。

A：新製品を使うのであれば、そうなるだろう。

この装置は、山岳地などでの防災監視カメラの動画を伝送するのが目的であり、後継機では、16km の距離で 16Mbps、30km でも 7Mbps を実現している。最大 1 対 4 までの複数地点と通信が可能である。

Q：価格は前機種より随分上がったのか。

A：価格的には前の機種と同等で、1セットが 200 万円～220 万円である。ただし、サイズはかなり大型化してしまい、W340×D262×H125mm となった。重量は本体のみで 5.2kg であり、金具等をつければ 8kg 程度になる。

Q：御社製品で 11j 以外のタイプで、通信距離が長いものはないか。

A：現在販売中の小型省電力のタイプで、11g のものもある。2.5W なので、ブイの電力でも十分使えるだろう。ただし、距離は 2km が限度だと思う。価格的には 70 万～80 万円である。ただし、11j や 11g とともに、海洋の動揺する環境下で実際に利用できるかどうかは、試してみるしかない。

Q：通信の検証実験をする際に、数日間、借りることは可能か。

A：陸上の場合は、当社から期限付きでお貸しすることはあるが、海で利用するとすると、海水等の問題もあり、すぐにはお答えできない。

以上

書名 平成 26 年度 沿岸域海水中温暖化ガス連続モニタリング装置・システムの  
要素技術の検討補助事業 報告書

発行 平成 27 年 3 月  
一般財団法人 エンジニアリング協会  
〒105-0001  
東京都港区虎ノ門三丁目 18 番 19 号  
TEL 03-5405-7204  
FAX 03-5405-8201

印刷 ホクエツ印刷株式会社