

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「海洋ユビキタスセンシングのための球状太陽電池を用いた
小型電源モジュールの開発」

研究開発成果等報告書

平成26年 3月

委託者 北海道経済産業局

委託先 一般財団法人函館国際水産・海洋都市推進機構

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成１１年法律第４２号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	2
1-3 成果概要	2
1-3-1 球状太陽電池を用いた小型電源モジュールの開発	2
1-3-2 省電力センサノードの開発	3
1-4 当該研究開発の連絡窓口	5

第2章 本 論

2-1 球状太陽電池を用いた小型電源モジュールの開発	6
2-1-1 球状太陽電池(スフェラー)	6
2-1-2 耐環境性(特に紫外線)、製造コストを考慮したモジュールの形状 と素材の検討	8
2-1-3 海面反射等を積極的に活用し高効率を実現するセル配列の検討	9
2-1-4 出力を自由に設定することのできる連結型モジュールの開発	9
2-2 省電力センサノードの開発	15
2-2-1 リアルタイム潮流計の試作・実証	15
2-2-2 ユビキタスプロッタの試作・実証	19
2-2-3 定置網モニタの試作・実証	21
2-2-4 多機能漂流ブイの試作・実証	36

最終章 全体総括

(1) 球状太陽電池を用いた小型電源モジュールの開発	40
(2) 省電力センサノードの開発	40

第 1 章 研究開発の概要

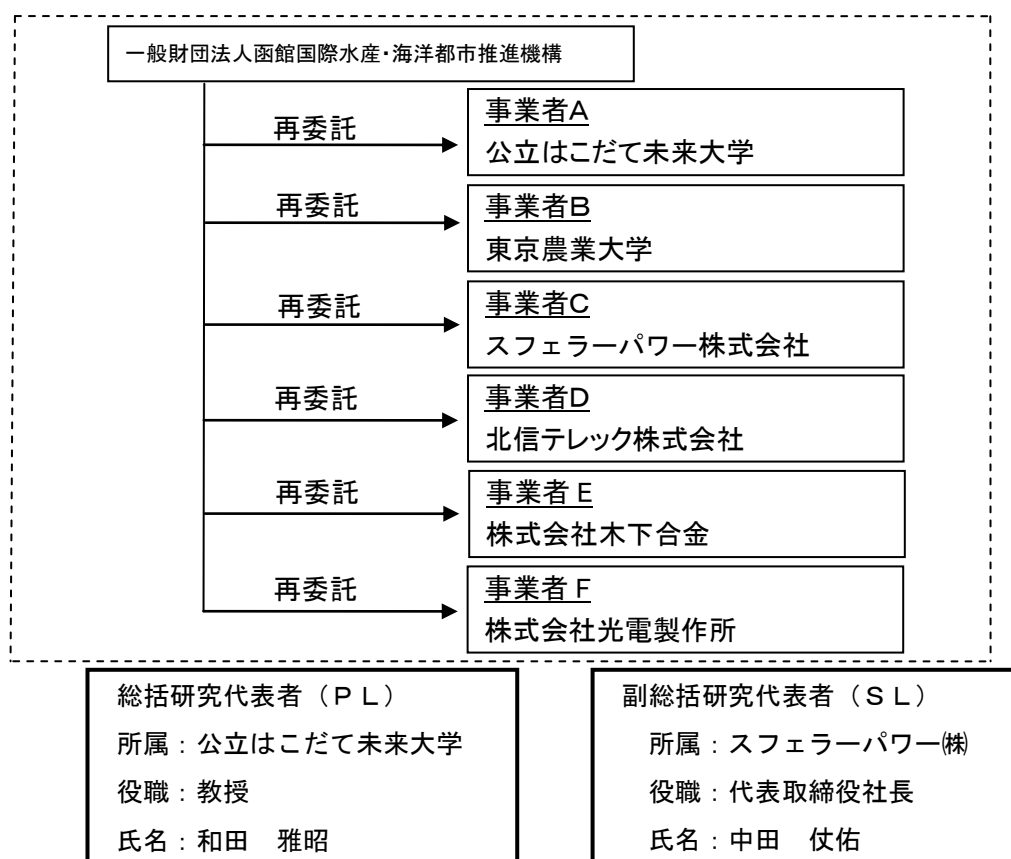
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

海の IT 技術である海洋センシングの発展により、沿岸漁業に重要な海洋情報(海水温、潮流等)、さらには、漁船位置、定置網の魚影等の情報が陸上にいながら取得できるようになってきた。しかしながら、海洋観測においては、観測機器を製造する川下企業は電源の確保という共通した課題を抱えている。具体的には、十分な電源を確保すると浮体が大きくなり、製造コスト、設置コストが増大し、一方で、浮体を小さくすると十分な電源が確保できないことから、高頻度でのバッテリー交換が必要となり運用コストが増大する。

そこで、「電源の確保と装置の省電力化」の課題解決に取り組む。自然エネルギーである太陽光を活用し、無指向性による高効率、マトリクス結線による三次元形状といった特長を持った球状太陽電池を実装することで、製造コスト、設置コスト、運用コストのすべてのコストを削減し、メンテナンスフリーとユビキタスを両立した海洋センシング機器を実現する。

このことにより、多点観測による海洋センシングの普及促進、すなわち、海洋ユビキタスセンシングの実用化を目指す。

1-2 研究体制



1-3 成果概要

1-3-1 球状太陽電池を用いた小型電源モジュールの開発

(1) 耐環境性(特に紫外線)、製造コストを考慮したモジュールの形状と素材の検討

省電力センサノード用太陽電池として提案した、風の抵抗を受けにくい円筒型スフェラーモジュールの製作をおこなった。製作したモジュールで紫外線による促進耐候試験をおこない、10年以上の品質保持が可能であることを確認し、予定通り課題を完了した。

(2) 海面反射等を積極的に活用し高効率を実現するセル配列の検討

極小の太陽電池セルによるスケールモデル実験を行い、海面反射による発電量の差異を定量化し、予定通り課題を完了した。

(3) 出力を自由に設定することのできる連結型モジュールの開発

漁場での取り扱いにも耐えられるよう強度を考慮した円筒型連結モジュールを製作し、小電力センサノードと組合せた発電特性評価を実施することができた。

試作したモジュールの電氣的接続(半田付け)・実装はすべて手作業でおこなっており、

本研究開発成果を事業化するためには実装工程の機械化・自動化が必須であることが分かった。

1-3-2 省電力センサノードの開発

「省電力センサノードの開発」では、図 1-3-1 に示す 4 種類のセンサノードの試作・実証に取り組んだ。

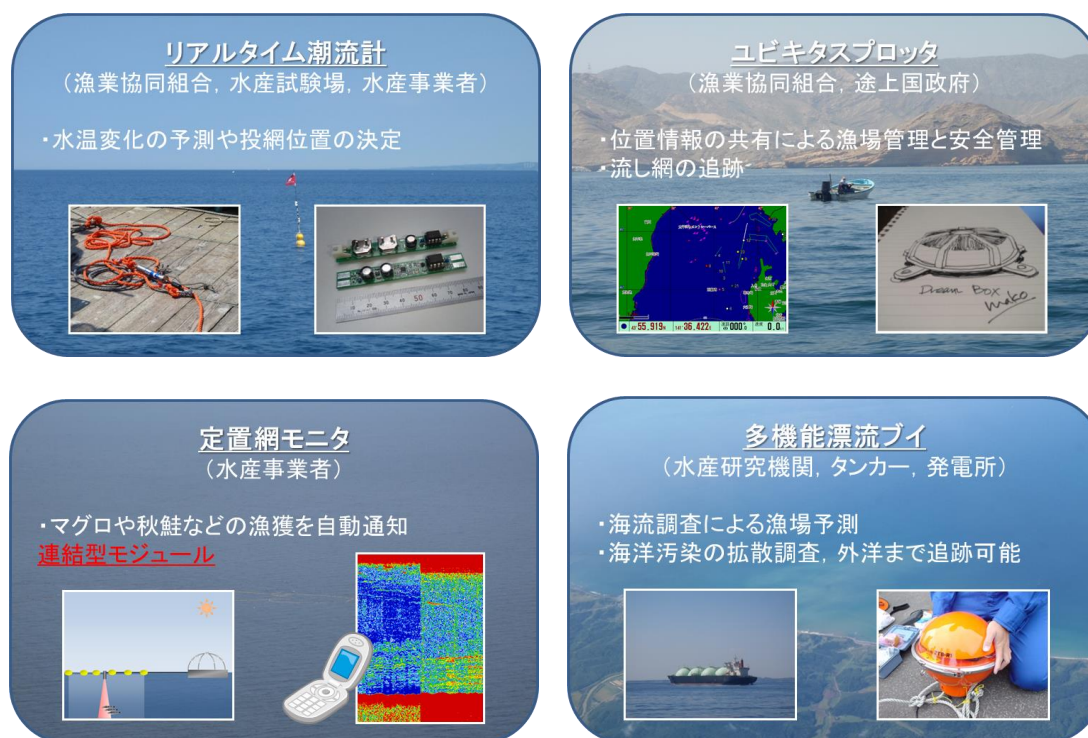


図 1-3-1 4 種類のセンサノードの試作・実証

いずれのセンサノードも自然エネルギーである太陽光による通年の運用を目指した海洋観測機器であり、省電力化が解決すべき共通の課題であった。また、観測したデータは携帯電話回線、または、衛星通信回線でサーバに伝送する必要があることから、通信の信頼性も重要な評価指標となる。球状太陽電池は自由な形状に加工でき、また、入射角に依存しない発電ができる点が最大の特徴であるが、従来の板状太陽電池に比べ単位面積当たりの発電量は小さい。3 年間の研究開発の結果、球状太陽電池は浮体の表面積が比較的大きく、かつ、間欠動作をする海洋観測機器に適していることがわかった。具体的には、リアルタイム潮流計は球状太陽電池が適しており、ユビキタスプロッタと多機能漂流ブイは浮体の表面積が小さいことからメンテナンスフリーでの通年運用に必要な発電量を得ることができず、球状太陽電池は不適であった。一方、定置網モニタは連続動作であることから球状太陽電池では通年の運用に必要な発電量は得られないものの、メンテナンス可能な海洋観測機器であることからバッテリー駆動時間を延長する目的での利用が適していることがわかった。

また、省電力センサノードの開発では、センサが観測したデータを蓄積するためのデータベース（DB）を開発した。4種類のセンサノード（リアルタイム潮流計、ユビキタスプロッタ、定置網モニタ、多機能漂流ブイ）にてそれぞれのセンサが測定した記録を電子メールで受信し、リアルタイムにDBに蓄積しデータ提供するためのプラットフォームとして、クラウドコンピューティングサービスを使用し仮想マシン（VB）技術を使い2種類の仮想サーバを構築した。1つは、DB本体を運用するためのDBサーバであり、オープンソースのPostgreSQLを使いPHP言語にてオリジナルのプログラム群を作成し開発した。もう一方は、DBのデータを種々のアプリやWebサービスに配信するためのサーバとして、オープンソースのApacheを使ったHTTPサーバを構築し、PHP言語によるオリジナルプログラム群を作成し開発した。2つのサーバは2つの仮想ネットワークにより外部向けと内部専用のネットワーク構成として分離させ、データコリジョン（衝突）を防ぐことでデータ転送の遅延に配慮した。平成23・24年度で試作を完了し、平成25年度の運用試験を行った結果、十分実用可能なシステムであることが確認できたことから、当初の研究目標は達成できたと考えられる。

（１）リアルタイム潮流計の試作・実証

リアルタイム潮流計は円筒モジュールとして成形した球状太陽電池を用いて51日間のフィールド実験を行い、技術面での実用性を示すことができた。また、通信エラー率は0.9%であり目標とする1.0%以下を達成することができた。

（２）ユビキタスプロッタの試作・実証

ユビキタスプロッタは省電力化を実現するためのハードウェア、ならびに、ソフトウェアの開発に時間を要したことから、フィールド実験を実施するに至らなかった。しかしながら、フィールド実験に向けた準備を進めており、平成26年3月以降フィールド実験による評価を実施する計画である。

（３）定置網モニタの試作・実証

定置網モニタの試作及び実証は、低消費電力化をはかった2次試作機の試作を用い、長期運用の実証を行った。実証実験は2箇所にて行った。一方はバッテリーだけを用い定置網業者が操業する期間の約6か月間の運用実績を得た。またもう一方は筒状太陽電池モジュールとバッテリーの併用により運用実績を得た。

3年目の課題は、製品レベルの品質を確保することであるが、携帯電話モジュールの通信によるノイズ干渉を抑えるために、音響送受信部と携帯電話モジュールの電源部を分離した3次試作を行い、さらなる製品化を目指した。この3次試作では、従来はリレースイッチによる切換え方式で2つのトランスジューサーに対応していたが、製品化に向けて耐久性を高めるために送受信部を2系統に分ける改良や、FPGAを用いた信号処理

を CPU によるソフトウェア処理とすることで低消費電力化を行った。これらにより消費電力も当初の目標である平均 2.5W 以下を達成することができた。さらにリモート操作で定置網監視装置の設定値を変更できるようにする運用面の利便性を高める改良も行った。以上により当初研究目標を達成できたと考える。

定置網モニタの機能として、エコー反射強度の特性を分析し漁獲量推定と魚種判別を行うアルゴリズムの開発を行った。検討の結果、魚探のエコー反射強度を 10m ごと、5 分ごとに分析し指標化することで、指標の組み合わせにより得られた重回帰分析の回帰式から漁獲量を推定することが可能であることが分かった。漁獲量を回帰式から計算された推定値で表示するのではなく、3 段階の漁獲クラスで表現する場合には、現地から得た漁獲量情報に対し 93%の正解率で推定可能であることを確認した。魚種判別のアルゴリズム開発では、漁獲量推定に使用したものと同一パラメータにより、2 種類の判別関数から 3 種類の魚種を 83%程度の正解率で判別できた。今後、定置網モニタを実用化し漁獲データを多数蓄積して行くことにより、上記機能の正解率は向上することが期待できる。以上から、定置網モニタの機能である漁獲量推定と魚種判別のアルゴリズムは当初目標を達成できたと考える。

また、定置網モニタのうち閲覧ソフトウェアについては、漁業者によるプロトタイプの評価を繰り返し、改良と機能拡張により実用的な iPad アプリケーションとして完成させることができた。

(4) 多機能漂流ブイの試作・実証

多機能漂流ブイは、従来型の板状太陽電池を用いた 3 基による最大 17 日間のフィールド実験を行い、技術面での実用性を示すことができた。また、通信エラー率は 0.0%であり目標とする 1.0%以下を達成することができた。

(5) その他の成果

定置網モニタにおいて、システム構成とユーザインタフェースに関する新たな発明が創出されたことから、特許出願した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

一般財団法人函館国際水産・海洋都市推進機構 総務・経理部門 伊藤 晶

TEL : 0138-43-0220 FAX : 0138-42-6223

e-mail: a.ito@marine-hakodate.jp

一般財団法人函館国際水産・海洋都市推進機構 調査・研究部門 福田 覚

TEL : 0138-43-0220 FAX : 0138-42-6223

e-mail: s.fukuda@marine-hakodate.jp

第2章 本 論

2-1 球状太陽電池を用いた小型電源モジュールの開発

2-1-1 球状太陽電池(スフェラー)

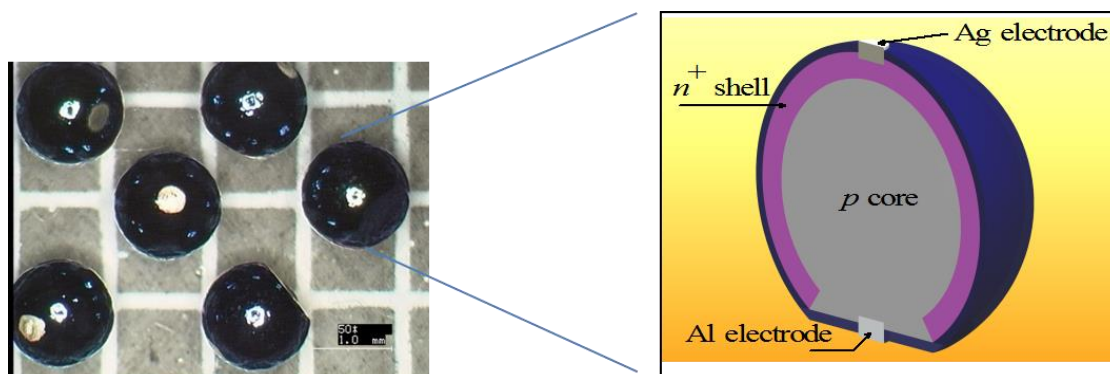


図 2-1-1 球状太陽電池モジュールの構造

図 2-1-1 に示すように、球状太陽電池スフェラーは直径 1～2mm の p 型結晶シリコンの表面に拡散により n 層を形成している。pn 接合が球のほぼ全面を覆っているため、あらゆる方向からの光を受光して発電に利用できる。

また、スフェラーは球の中心に対して対向する位置に正電極と負電極が配置されており、これが太陽電池セルのモジュール化において自由度を増す特徴となっている。

すなわち、正電極と負電極が接するように直列に接続することにより、シリコン太陽電池セル単体では 0.6V でしかない出力電圧 V_{oc} (開放電圧)を増大させることができる。たとえばスフェラーを 12 個直列に接続したモジュールでは 24×9.5mm の実装面積で $V_{oc}=7.2V$ が得られる。平面型太陽電池を用いたモジュールではこの面積で同等の電圧を得ることは難しい。正電極と正電極、負電極と負電極同士を繋ぐ並列接続とすることにより電流を増加させることもできる。

このように mm サイズのスフェラーセルを直列・並列に組み合わせたメッシュ状に接続することにより、所望の電圧及び電流を選択することが可能で自由度の高い電気特性を持つモジュールを容易に構成できる。

そして、細径のワイヤでセルの間隔を離して接続することによりセルの間を光が通り抜ける透過性、モジュールを自由な曲面に沿わせる立



図 2-1-2

体形状が得られる。前者は窓ガラスなど従来太陽電池の設置箇所とは考えられていなかった場所への応用が可能となった。後者は全周からの受光が可能というスフェラーセル単体の特長をさらに引き出すデザインを可能とするものであり、本研究ではこの点を特

に重視したモジュール開発を計画した(図 2-1-2)。

さらに、スフェラーモジュールは部分日陰に強いという特長を持つ。太陽電池セルが日陰になると発電が止まり抵抗分となるが、メッシュ接続のスフェラーモジュールは日陰の比率に比例した出力源となるにとどまる。

しかし、1 セルの面積が大きい通常の平面型モジュールは並列度が低く、一部の影響がモジュール全体に及んでしまう(図 2-1-3)。

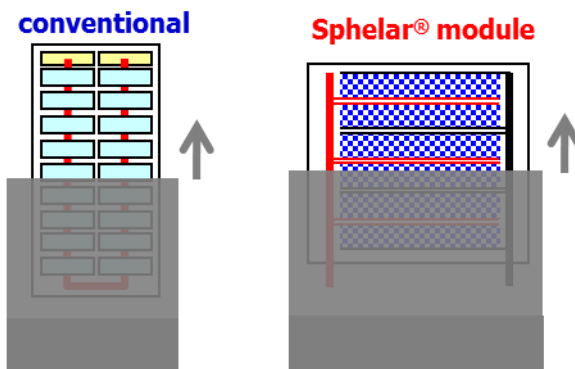


図 2-1-3

(1) 球状の利点

これまでの太陽電池は、材料の違いはあれど平板状の半導体ウェハを用いて製造しているため、その形状はすべて平面である。このため光を受ける受光面は上面しか無く、反射光や散乱光を充分に利用することができない。

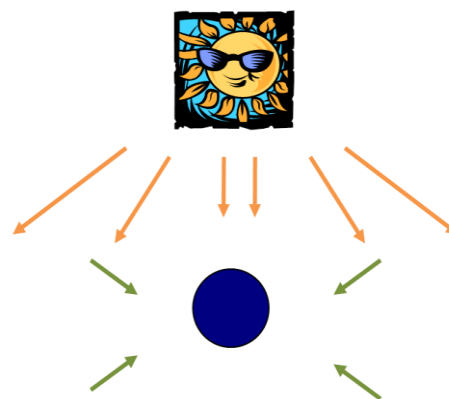


図 2-1-4(1)

しかし、球面を全て受光面とすればあらゆる方向からの光を発電に利用することができ、光の利用範囲が広くなり発電能力を高めることができる。特に曇天や室内で太陽電池を使用する場合、この特徴は有利に働く。



全周から光が照射された場合の評価結果を以下に示す。右写真(図 2-1-4)の積分球を用いて太陽電池特性の測定をおこなった。積分球内では外部から導入された光が多数回反射を繰り返し、受光素子を 360°全周から均等に照射する。球状太陽電池スフェラーと通常の平面型太陽電池の発電電流－電圧特性(I-V 特性)を測定し、実装面積(断面積)で規格化した結果をグラフに示す(図 2-1-5)。スフェラーは平面型の 4 倍近い発電量となっている。球の表面積は断面積の 4 倍であるこ

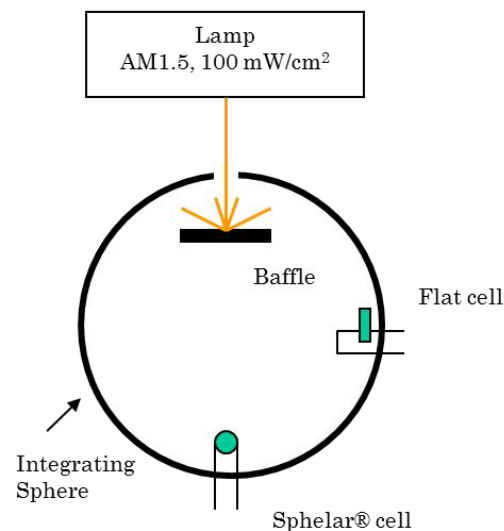


図 2-1-4(2)

とから妥当な結果といえる。

また、太陽は時刻や季節に応じて刻々と位置を変えるため、発電にとって理想的な照射条件である垂直入射を満たす時間は非常に限られる。大方の時間帯は斜め方向からの入射となる。平面型太陽電池では入射角度に応じて単位面積当たりのエネルギー密度が低下し、受光できるエネルギー総量が減少する。しかし球状のスフェラーは入射角によらず受光面積は一定である。

太陽電池の性能定格値は、実際の設置状況ではほとんど無い垂直照射の条件で測定するよう規定されている。つまり定格

値は年に1度か2度得られる瞬間最大値(ワットピーク)となっている。しかし、発電において重要な性能は1日や年間を通して得られる積算発電量である。つまり発電時間の大半を占める斜め入射時の発電性能が支配的となる。

スフェラーと平面型太陽電池の日出から日没までの発電量を以下のグラフに示す(図2-1-6)。発電量はワットピークで規格化している。この結果から判るように球状のスフェラーは斜め入射に強く、最大に近い出力が得られる時間帯が長くなっている。

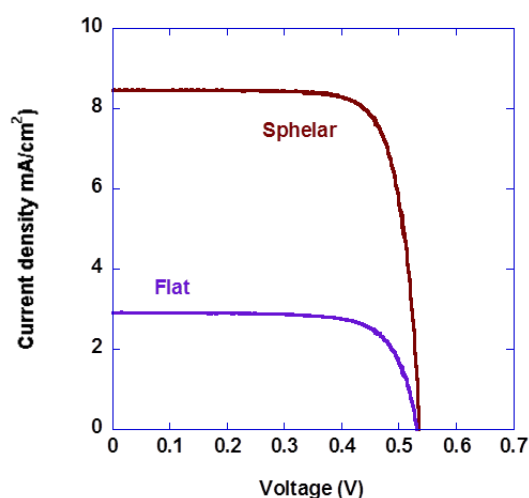


図 2-1-5

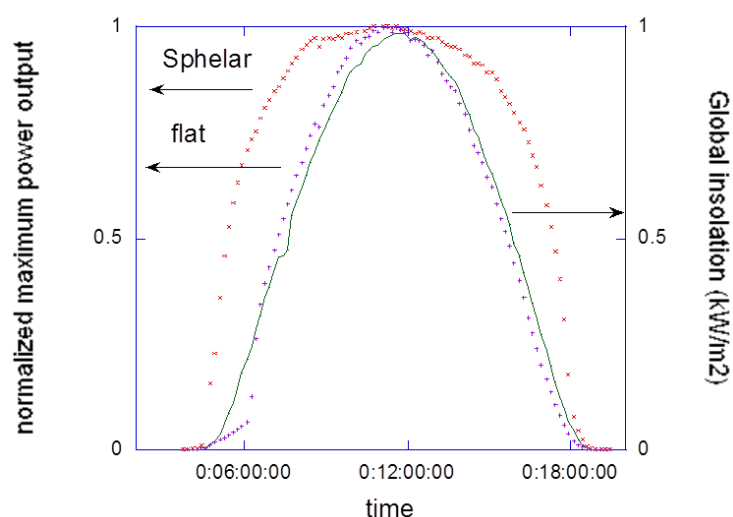


図 2-1-6

2-1-2 耐環境性(特に紫外線)、製造コストを考慮したモジュールの形状と素材の検討

海洋ユビキタスセンシングでは、直径30~50cmの小型の浮体が利用されることから、モジュールが受ける風の抵抗を抑えるため、風を受ける面積が小さく、抵抗係数が小さ

な形状を検討する。また、モジュール表面の汚れは発電効率を低下させることから、汚れの付き難く、付いた場合でも汚れの落ち易い形状と素材、更には、加工方法を検討し、発電量の実測により評価する。

本課題は、上記を踏まえ、スフェラーパワー㈱において、省電力センサノード用太陽電池として提案した、風の抵抗を受けにくい円筒型スフェラーモジュールの製作を行った。製作したモジュールで紫外線による促進耐候試験を行い、10 年以上の品質保持が可能であることを確認し、予定通り平成 24 年度に完了した。

2-1-3 海面反射等を積極的に活用し高効率を実現するセル配列の検討

海洋においては、海面反射を積極的に利用することによって、無指向性という球状太陽電池の特長を引き出すことが可能となる。そこで、直接日射と間接日射の和が最大となるセル配列を決定し、直接日射の 1.25 倍の発電量を目指す。このため、過去に報告例の無い、海面反射による発電量増加の定量化に取り組む。検討にあたっては、反射をシミュレートするモデルを構成し、セル配置を変えたモジュールを用いた実測により評価を行う。なお、間接日射を増幅するためのミラーの利用についても検討を行う。

本課題は、スフェラーパワー㈱において極小の太陽電池セルによるスケールモデル実験を行い、海面反射による発電量の差異を定量化し、予定通り平成 24 年度に完了した。

2-1-4 出力を自由に設定することのできる連結型モジュールの開発

(1) 本年度の課題

漁場での取り扱いにも耐えられるよう強度を考慮した円筒型連結モジュールを製作し、発電特性評価を実施する。

(2) 実施内容

1) シールド円筒型モジュール

昨年度開発した円筒型連結モジュールを図 2-1-7 に示す。このモジュールに対し、アドバイザーの野村水産㈱より「丁寧に扱わなければ壊れそうで怖い」とのコメントがあった。

そこで強度改善案を検討し、㈱ゼニライトブイに既存ブイ製品のケースに関しヒアリングを実施した。その結果、太陽光の透過を妨げない透明樹脂の円筒シールドを外挿する方式を採用した。樹脂材

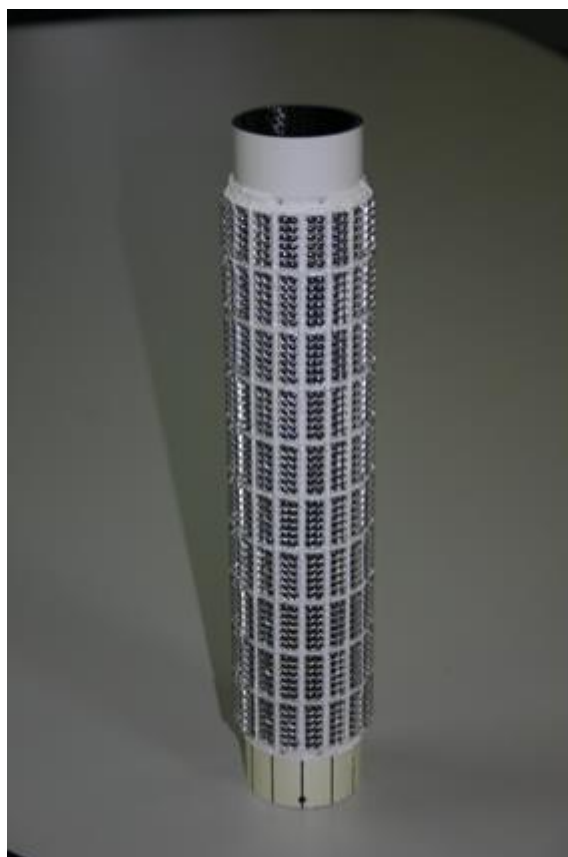


図 2-1-7

料としてポリカーボネート及びアクリルを用いて試作を行い発電特性を比較した。両者の発電性能に差異は無く、コストを勘案してポリカーボネートを使用することとした。

透明シールドを外挿した円筒型モジュールの外観を図 2-1-8 に示す。シールド肉厚は 5.5mm、外径は $\phi 76\text{mm}$ でありシールド端を耐水性シリコン樹脂でコーキングしている。これにより十分な強度を確保することができた。

2) 発電特性評価

①電流-電圧特性

シールドを外挿した円筒モジュールの特性を以下に示す。また電流-電圧特性を図 2-1-9 に示す。

$$P_{\text{max}} = 0.88 \text{ W}$$

$$V_{\text{pm}} = 3.97 \text{ V}$$

$$I_{\text{pm}} = 221 \text{ mA}$$

$$V_{\text{oc}} = 4.74 \text{ V}$$

$$I_{\text{sc}} = 230 \text{ mA}$$

$$[\text{@}100 \text{ mW/cm}^2, \text{AM}1.5, T_a = 25^\circ\text{C}]$$

測定は太陽電池の標準試験条件である照射光強度: 100mW/cm^2 ・大気層厚補正值(AM): 1.5・測定温度: 25°C ・測定系内面: 黒色吸収体として行った。

上記条件は一般的な平板太陽電池を想定して規格化された方法であり、一方向からの太陽光照射をシミュレートしている。

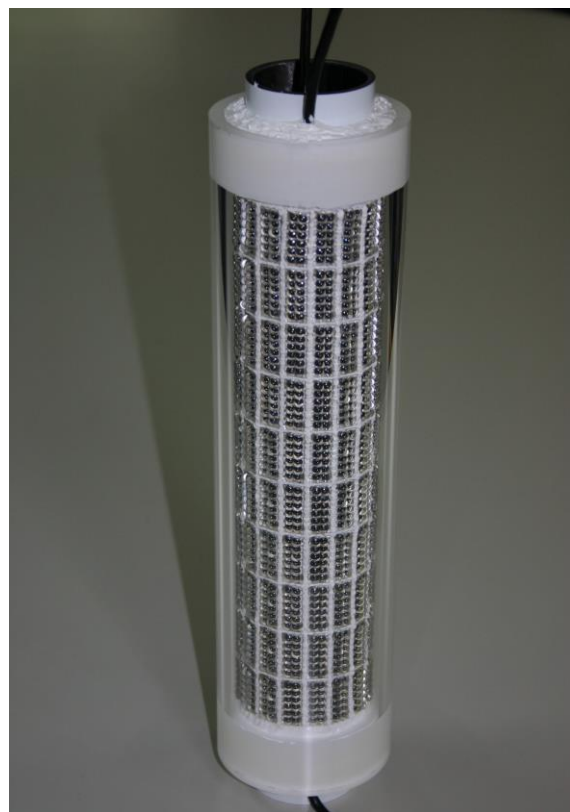


図 2-1-8

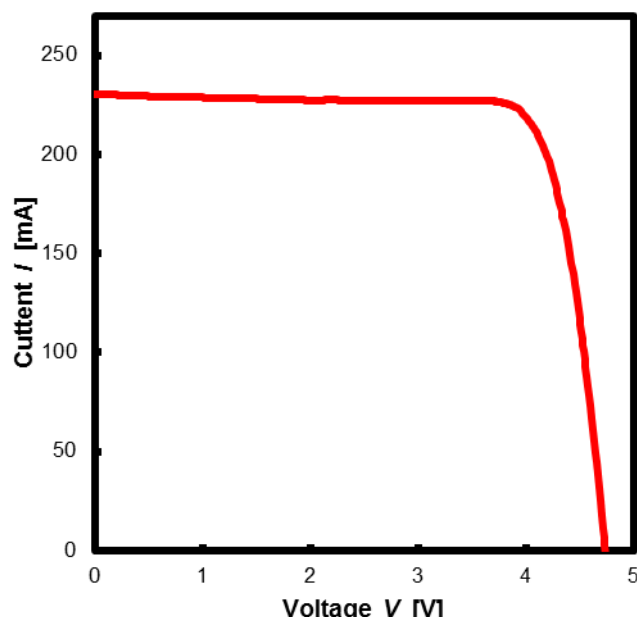


図 2-1-9

②フィールド試験

製作したシールド円筒型モジュールを弊社屋上に設置し、発電特性評価を行った。

1. 設置環境

設置位置から東西南北を望んだ写真を示す(図 2-1-10)。北面に建屋出入口があり視界が遮られるが日差しへの影響は無く、日出から日没まで安定した日照が得られる。



東



南



西



北

図 2-1-10

2. 発電量評価

図 2-1-11 に測定結果を示す。横軸は時間経過(単位: day)を、縦軸は一日あたりの発電量(単位: W 時/日)を示している。期間は 4 月 22 日より 2 月 15 日までの 300 日である。天候による発電量のばらつきはあるものの、発電量最大値を比較すると夏至と冬至で発電量に大きな差は見られない。これは受光角度の広い球状太陽電池の効果によるものである。

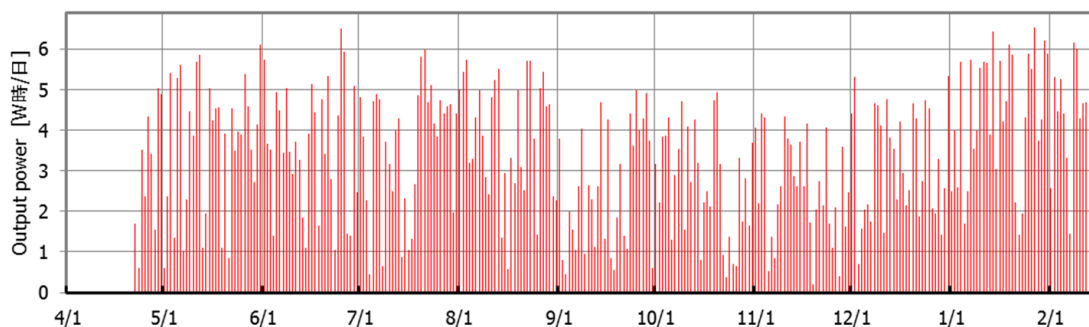


図 2-1-11

2-1-1(1)でも説明したが、この効果を図 2-1-12 に示す冬至前後の発電量で説明する。横軸は時間で朝 6 時から夕方 17 時までとなっている。縦軸は各時刻の発電量(単位: W)を示している。測定期間は冬至をはさむ 12 月から 1 月の 62 日間である。雲による日照変化の影響を除くため、各時刻とも測定期間中の最大値をプロットしている。スフェラーを用いた受光角度の広いモジュールでは日出後の発電量立ち上がりが早く朝 9 時頃には最大に近い出力が得られ、この状態が 14 時頃まで継続する。従来の平面太陽電池は正午をピークとしたガウス曲線を描く発電特性であり、最大出力の得られる時間は短い。このようにスフェラーは太陽高度が低くても有効に日照を取り込むことができるため、夏至・冬至の南中高度の違いに影響されず年間を通して安定した発電が出来ている。

図 2-1-12 に示した冬至期間の一日あたりの発電量は 8.42 W 時/日であり、最大出力は 1.26 W であった。

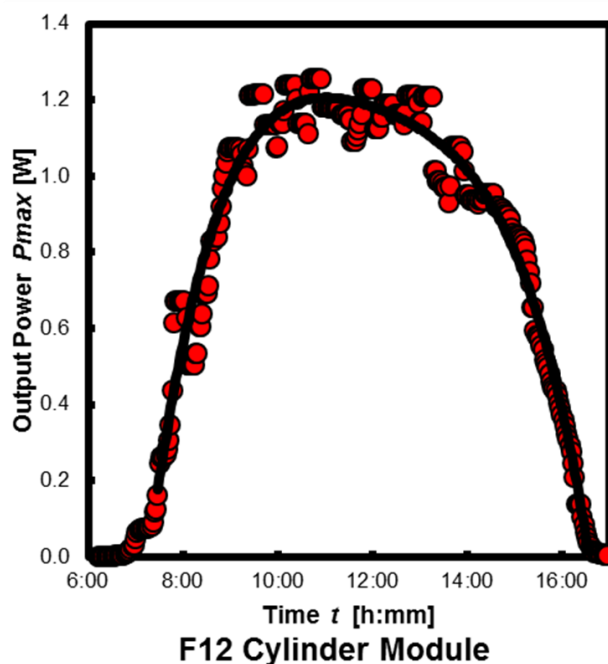


図 2-1-12

3) 円筒型連結モジュール

ユビキタス潮流計及び定置網モニタに搭載する円筒型連結モジュールを製作した。

①4.8V モジュール

ユビキタス潮流計向けに最大出力電圧 4.8 V の円筒型モジュール 2 本を連結し、ブイ支柱に実装した。外観を下写真(図 2-1-13)に示す。



図 2-1-13

②18V モジュール

定置網モニタ用に出力電圧 18V の円筒型モジュール 12 本連結し、浮体の実装した。

浮体の外観を図 2-1-14～図 2-1-16 に示す。浮体の横棧にモジュールを 2 本ずつ配置している。さらに船舶等との接触による破損を避けるため、外側にガードパイプを設けている。さらに陸上評価用にもう 1 セット(12 本)のモジュールを製作している。



図 2-1-14



図 2-1-15

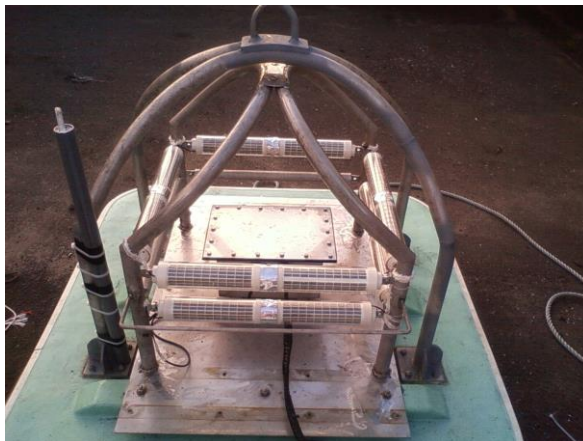


図 2-1-16

(3) まとめ

フィールドでの取り扱いを考慮した円筒型連結モジュールを製作し、発電特性評価を実施した(図 2-1-17)。



図 2-1-17

2-2 省電力センサノードの開発

2-2-1 リアルタイム潮流計の試作・実証

(1) サーバプログラム

平成 24 年度までに、潮流情報をテキスト及びグラフ形式で表示するサーバプログラムを開発した。平成 25 度は実証実験を通じ、これらサーバプログラムが正常に動作することを確認し、必要に応じてユーザインタフェース部分の修正を行った。図 2-2-1 は、携帯電話を利用するユーザからの要望に応じ、潮流データをテキスト表示したものである。また、図 2-2-2 は Web ブラウザにより潮流の速度をベクトル表示したものである。実証実験から、サーバプログラム群は動作に問題がなく、十分に実用可能であることを確認した。以上から、サーバ構築に関するすべての開発が完了し、当初目標を達成した。

日付	時刻	水温	流速	流向	電圧
2013-10-06	00:47	18.69	0.30	➤ (65.6)	3.39
2013-10-06	00:17	18.75	0.12	➤ (331.1)	4.11
2013-10-05	23:47	19.05	0.10	➤ (42.5)	4.27
2013-10-05	23:17	19.13	0.26	➤ (54.5)	4.32
2013-10-05	22:47	19.13	0.15	➤ (357.6)	4.24
2013-10-05	22:17	18.84	0.13	➤ (93.2)	4.39
2013-10-05	21:47	18.97	0.17	➤ (118.2)	4.41
2013-10-05	21:17	18.92	0.08	➤ (160.9)	4.43
2013-10-05	20:47	18.83	0.10	➤ (14.2)	4.44
2013-10-05	20:17	19.98	0.21	➤ (15.2)	4.46
2013-10-05	19:47	20.27	0.11	➤ (266.5)	4.47

図 2-2-1 潮流データテキスト表示の例

(矢印は潮流の方向を示したもの)

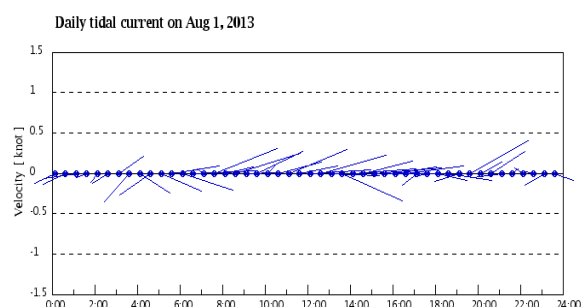


図 2-2-2 一日の潮流変化のグラフ表示例

(2) フィールド実験

平成 24 年度に球状太陽電池での通年運用を想定した省電力化が実現できたことから、平成 25 年度は出力 2W の円筒モジュールを 2 本並列に接続したものを発電部、2.5V500F の電気二重層コンデンサを 2 本直列に接続したものを蓄電部とした電源を用いて、フィールド実験を行った。図 2-2-3 に発電部と蓄電部を示す。発電部は浮体となる柵ゼニライトブイ社製の小型灯浮標 (15-P 型) を改良し、一体化させている。また、球状太陽電池を保護するため、ポリカーボネート素材のアウトター (外径 76mm、内径 65mm) を装着した。実験の期間は平成 25 年 9 月 10 日から 10 月 30 日までの 51 日間であり、鹿部漁業協同組合青年部の協力により実施した。図 2-2-4 に設置作業の様子と設置後のリアルタイム潮流計を示す。設置場所は北緯 41 度 48 分 06 秒、東経 140 度 43 分 21 秒である。

図 2-2-5 に期間中の電圧の変化を示す。平均電圧は 3.99V であり、最小電圧と最大電圧はそれぞれ 3.00V と 4.45V であった。また、最小電圧は 10 月 17 日の 3 時に観測されたものであった。リアルタイム潮流計は電源電圧が 3.00V 未満の場合には、誤動作を防止するため起動しないようにプログラムを記述している。10 月 17 日の 4 時と 5 時のデ

ータが欠損しているのは、電源電圧の低下が原因であると考えられる。なお、6時には日射により電源電圧が 3.12V にまで回復し、観測を再開している。図 2-2-6 に電圧のヒストグラムを示す。フィールド実験期間中の 95%以上が 3.50V 以上の電源電圧を保持しており、リアルタイム潮流計は安定して動作していたと言える。

また、通信の評価についてはエラー率が 1.0%以下となることを目標としていた。平成 24 年度はエラー率が 4.6%であったことから、平成 25 年度は海面からのアンテナ高さを 120cm から 160cm に変更した。期間中の観測回数は 1,174 回であり、受信回数は 1,164 回であった。電源電圧の低下による 2 回のデータ欠損を含む合計のデータ欠損は 10 回であり、エラー率は 0.9%となり、改善することができた。

リアルタイム潮流計は省電力化と球状太陽電池による運用、通信エラー率 1.0%以下という目標を達成できたものの、運用期間は当初計画の 90 日間に及ばず 51 日間となった。鹿部漁業協同組合青年部では平成 26 年度も継続してリアルタイム潮流計を活用する予定であり、研究期間終了後も評価を継続する計画である。

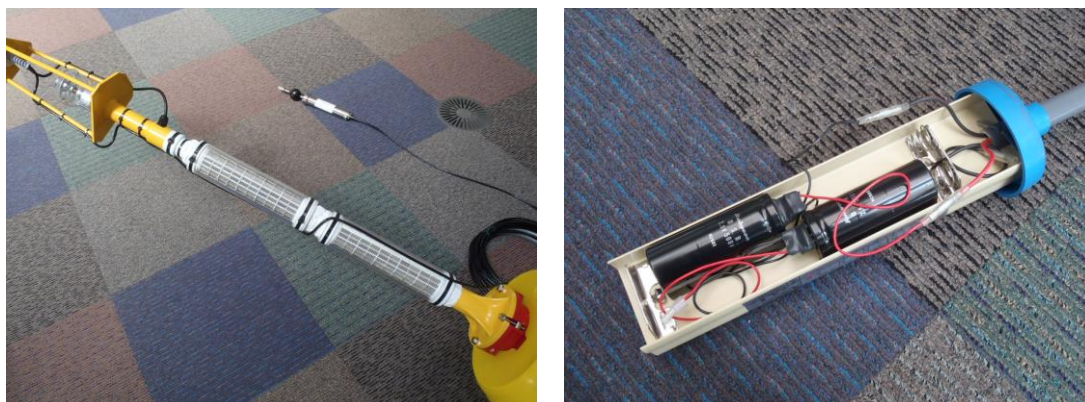


図 2-2-3 発電部(左)と蓄電部(右)



図 2-2-4 設置作業の様子(左)と設置したリアルタイム(右)潮流計

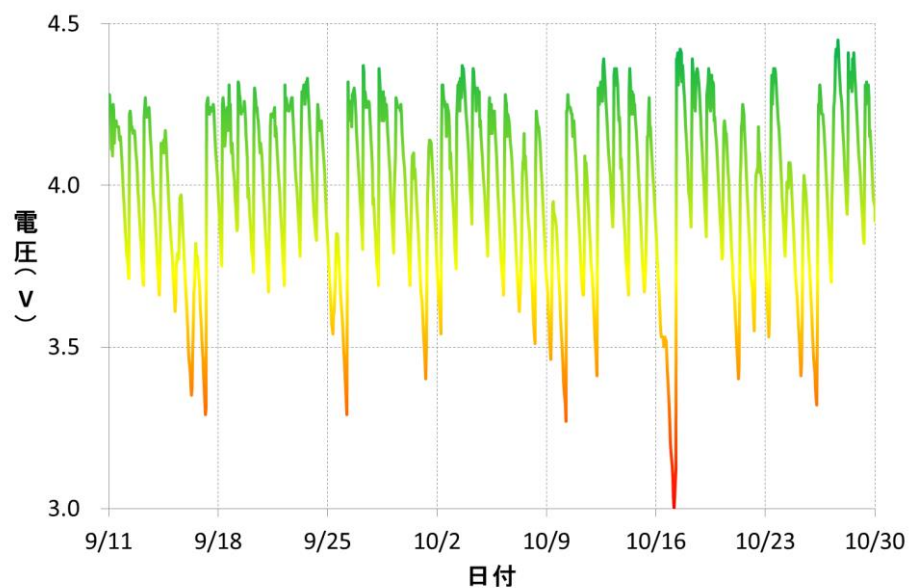


図 2-2-5 フィールド実験期間中の電源電圧の推移

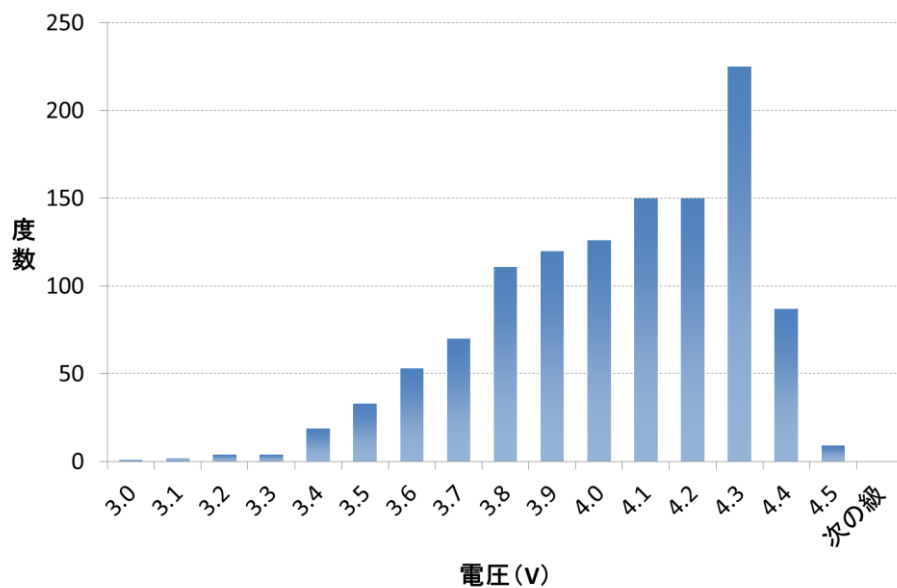


図 2-2-6 電圧のヒストグラム

銭亀沢漁業協同組合、鹿部漁業協同組合青年部協力のもと、フィールド実験を行った(図 2-2-7、図 2-2-8)。

付着物や潮流による浮体の沈降が発生し、浮体頭頂部の発信装置部や電源部が水面より沈まないよう、漁業者アドバイスのもとロープと海底、浮体から両サイドへの張りの取り方を調整し潮汐による水深の変化、潮流への対処を行った。ロープ本体へは船底塗料を塗布し付着物への対処を行った。約 2 ヶ月間ではあるが、陸揚げ時の効果はあった。



図 2-2-7 鹿部漁業協同組合青年部・設置作業



図 2-2-8 銭亀沢漁業協同組合 陸揚げ時のロープ及びセンサーケーブル

2-2-2 ユビキタスプロッタの試作・実証

(1) サーバプログラム

これまでの開発において位置情報をテキスト、マップ形式で表示するサーバプログラムを開発した。平成 25 年度は、実証実験によりこれまでに開発したサーバプログラム群の動作確認と改良を行った。他共同研究機関（公立はこだて未来大学）が iPad アプリの開発を担当しており、このアプリとのデータ送信において連携をはかった。試験運用の結果、特にシステムに支障なく動作確認できたことから、サーバ構築に関するすべての開発が完了し、当初目標を達成した。

(2) フィールド実験

平成 24 年度に開発したユビキタスプロッタは、省電力化を実現したものの低電圧時に動作が不安定になる課題を抱えていたことから、平成 25 年度は課題の解決を図った。調査の結果、GPS の起動時に動作が不安定になることが判明したことから、計測器を用いて波形を計測した。図 2-2-9 に計測結果を示す。緑線が CPU の電源電圧、青線が GPS に電源を供給する FET のゲート電圧、赤線が GPS の電源電圧を示している。この波形から GPS の起動時に CPU の電源電圧が低下していることがわかる。この対策として、最初にソフトウェアを改良し、FET のゲート電圧を制御することにより CPU の電源電圧の低下を回避する方法を試みた。図 2-2-10 にソフトウェアによる対策後の波形を示す。CPU の電源電圧の大きな低下は確認されないもののリップルが生じ不安定な状態となっていることがわかる。さらに、GPS の電源電圧も FET のゲート電圧の制御に同期して変動しており、GPS の起動が不安定となる可能性が残った。次に、ハードウェアを改良し、RC 回路を追加することで FET のゲート電圧を滑らかに変化させ、CPU の電源電圧の低下を回避する方法を試みた。図 2-2-11 にハードウェアによる対策後の波形を示す。CPU の電源電圧は安定しており、GPS の電源電圧も瞬時に立ち上がっていることがわかる。このことから、ハードウェアによる対策を施した。

平成 25 年度は、当初計画では北海道、ならびに、沖縄においてユビキタスプロッタを小型漁船に搭載しフィールド実験による評価を行う予定であったが、対策に時間を要したことから、運用と通信エラー率の評価を行うことができなかった。図 2-2-12 にハードウェアによる対策箇所と製作したユビキタスプロッタを示す。Q5 が FET であり、R106 を $1\text{k}\Omega$ の抵抗から $10\text{k}\Omega$ の抵抗に、R109 を $910\text{k}\Omega$ の抵抗から $0.1\mu\text{F}$ のコンデンサに変更している。また、ユビキタスプロッタには、出力 1.1W の太陽電池 1 枚を発電部とし、 $2.5\text{V}500\text{F}$ の電気二重層コンデンサを 2 直列に接続したものを蓄電部とした電源を採用した。平成 26 年 2 月 28 日現在、フィールド実験の準備を進めており、研究期間終了後に評価を実施する計画である。

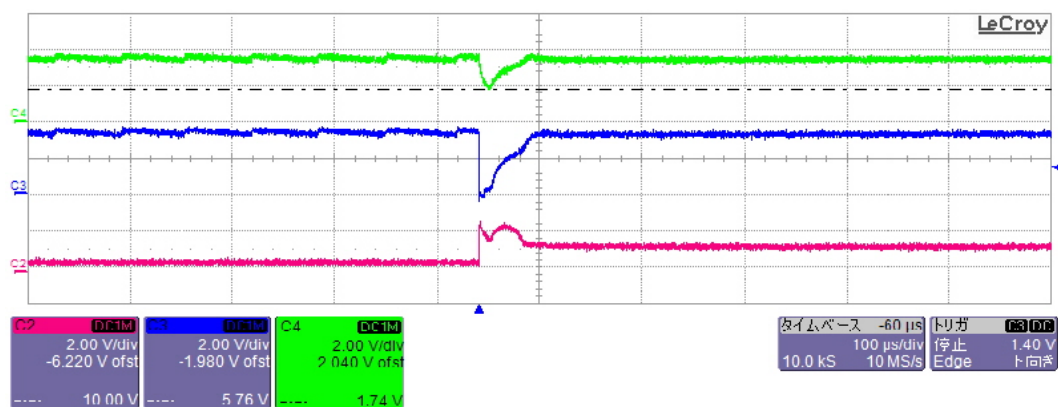


図 2-2-9 CPU の電源電圧と GPS の電源電圧の関係(対策前)

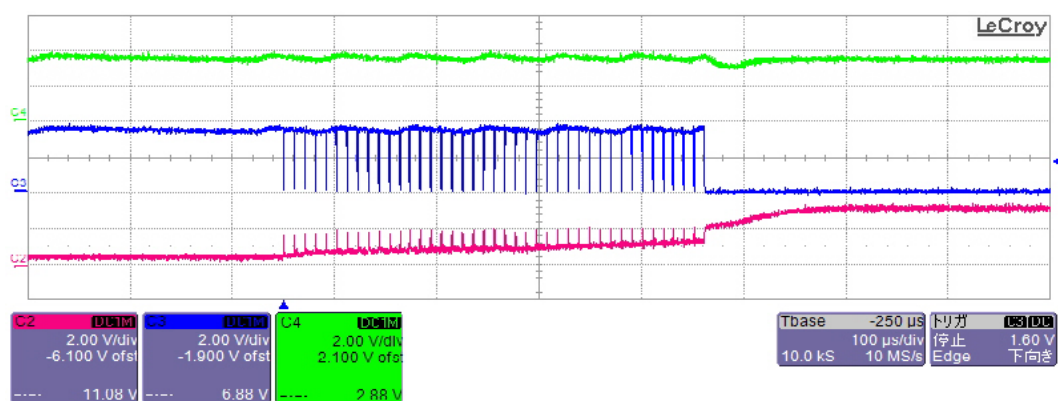


図 2-2-10 CPU の電源電圧と GPS の電源電圧の関係(ソフトウェアによる対策)

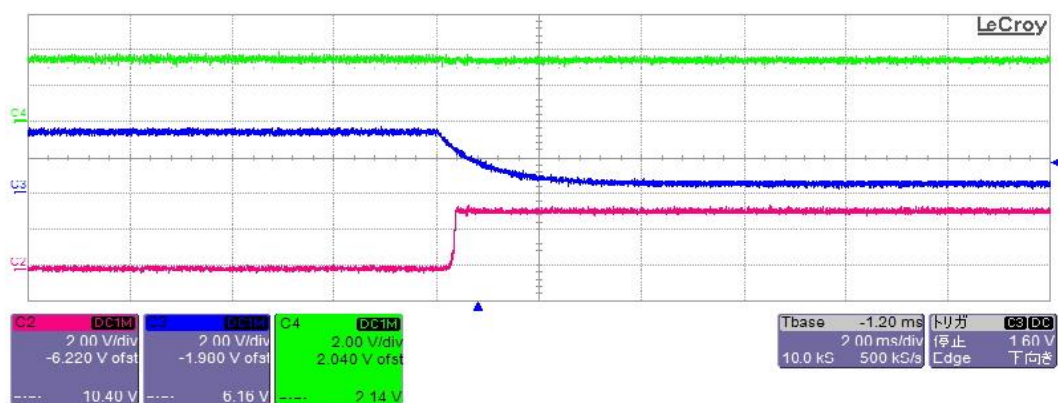


図 2-2-11 CPU の電源電圧と GPS の電源電圧の関係(ハードウェアによる対策)

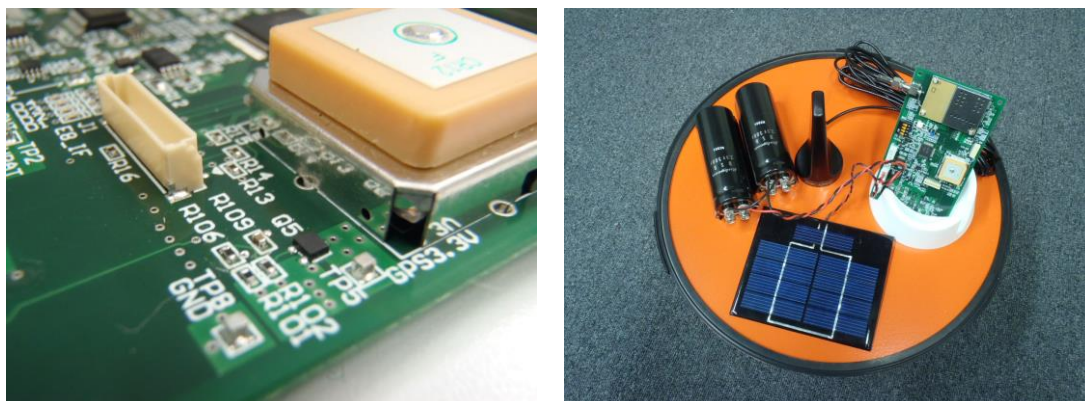


図 2-2-12 ハードウェアによる対策(左)と製作したユビキタスプロッタ(右)

2-2-3 定置網モニタの試作・実証

(1) フィールド実験

(株)光電製作所の所有する技術シーズである魚群探知機をベースに、定置網モニタ用に送受信部を 2 系統用意し、利用深度や海底の監視を行なう周期に合わせた送信電力の低減など省電力の音響計測機のハードウェア、並びにソフトウェアを開発する。球状太陽電池での動作を実現するために、平均消費電力を 2.5W 以下とすることを目標とする(図 2-2-13)。

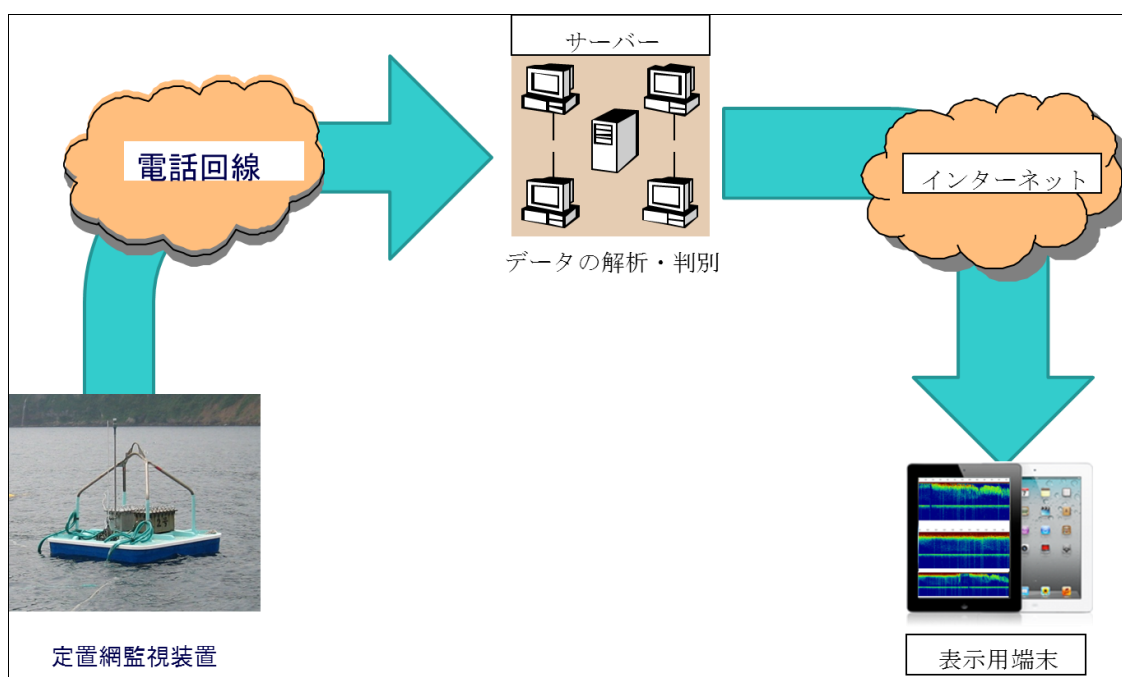


図 2-2-13 定置網モニタのシステム構成

定置網モニタは 3 部で構成されている。魚群探知機の原理をベースに超音波により定置網の中の資源量を測定する定置網監視装置と、その測定結果データを蓄積・解析、判別するサーバ部、及び利用者に表示する端末とからなる。定置網監視装置とサーバ間は定置網装置内に組み込まれた携帯電話モジュールを利用し電話回線網を使用してサーバにデータを伝送する。また、サーバと表示用端末はインターネットに接続しており随時データの交換が可能となっている。

定置網監視装置は、浮体（イカダ）、太陽電池、防水ボックス、トランスジューサーより構成されており、防水ボックス内部にバッテリーと送受信部がある(図 2-2-14)。

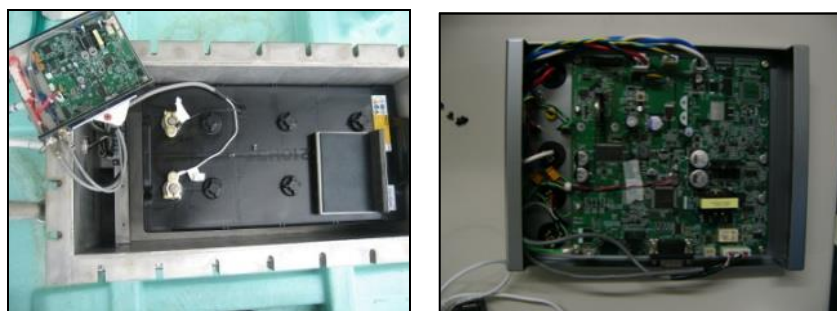


図 2-2-14 定置網監視装置 防水ボックスの内部

昨年度は、球状太陽電池との動作を実現するために、音響計測機は低消費電力化を目指し、平均消費電力は 1 送受波器あたり 1W 未満を目標とする 2 次試作機を作成した。

本年度は、この 2 次試作機を定置網に取り付けて実際の運用を 1 シーズン行い、実運用上の問題点を検証しながら改善を行いつつ実証実験を行った(図 2-2-15)。

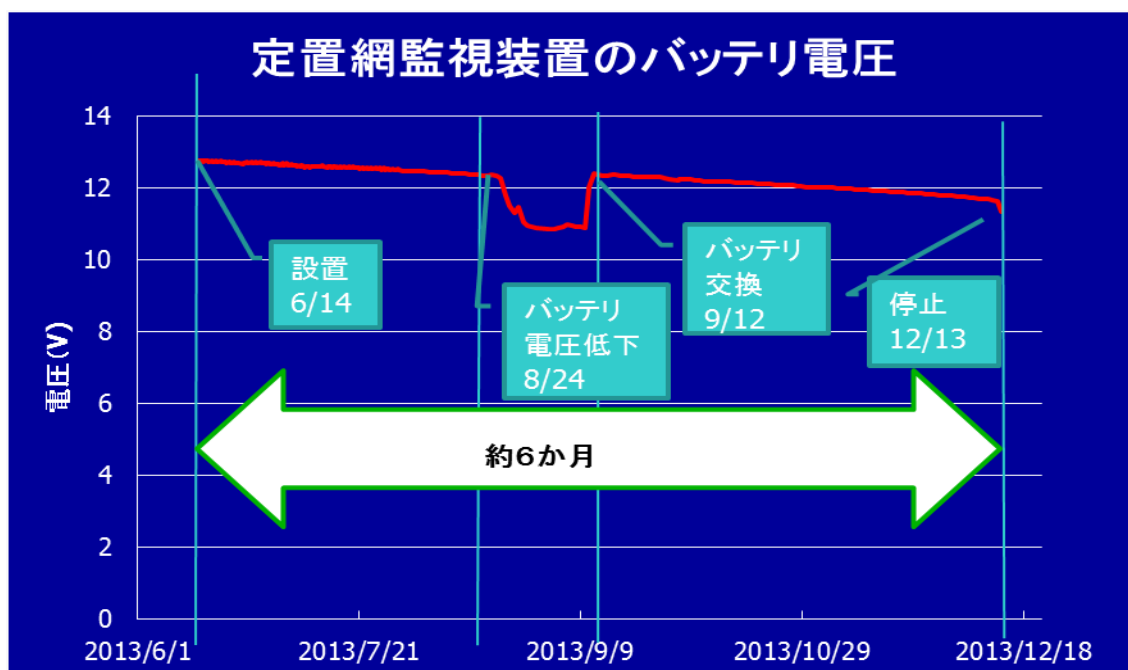


図 2-2-15 定置網監視装置のバッテリー電圧

定置網漁は 6 月から 12 月の 6 か月間運用されるが、これに実装し 1 シーズンの試験を行った。試験を行った定置網には同じ周波数帯のテレサウンダーが使用されているため、超音波の干渉を避けるために定置網モニタの運用は夜間に 1 日 9 時間の動作となった。この間、定置網モニタは故障・停止することなく動作を続けており、バッテリーの交換も 9 月 12 日の 1 回のみであった。従来のテレサウンダーが 1 か月に 1 回程度のバッテリー交換を行っていることを考えると、メンテナンス上の取り扱いもきわめて利便性が高いと言える。太陽電池での運用を前提として設計した送受信機は従来のテレサウンダーに比べて非常に消費電力が少ないことが証明された。この 1 回の交換も 8 月 24 日ごろバッテリー電圧の低下が見られたため、異常が起きる前にバッテリーの交換を 9 月 12 日に行えた。バッテリー電圧をモニタしていたことで予見できたことであり、ネットワークを使った効用と言える。

先の試験とは別に太陽電池も装備して試験を行った。筒状太陽電池の製造と天候の影響のため試験は 11 月 9 日から 12 月 22 日の約 40 日となった。図 2-2-16 は実験前の筒状電池を装備した定置網監視装置である。



図 2-2-16 太陽電池を装備した定置網監視装置

次に試験中の定置網監視装置の太陽電池とバッテリーの電圧の変化を示す(図 2-2-17)。

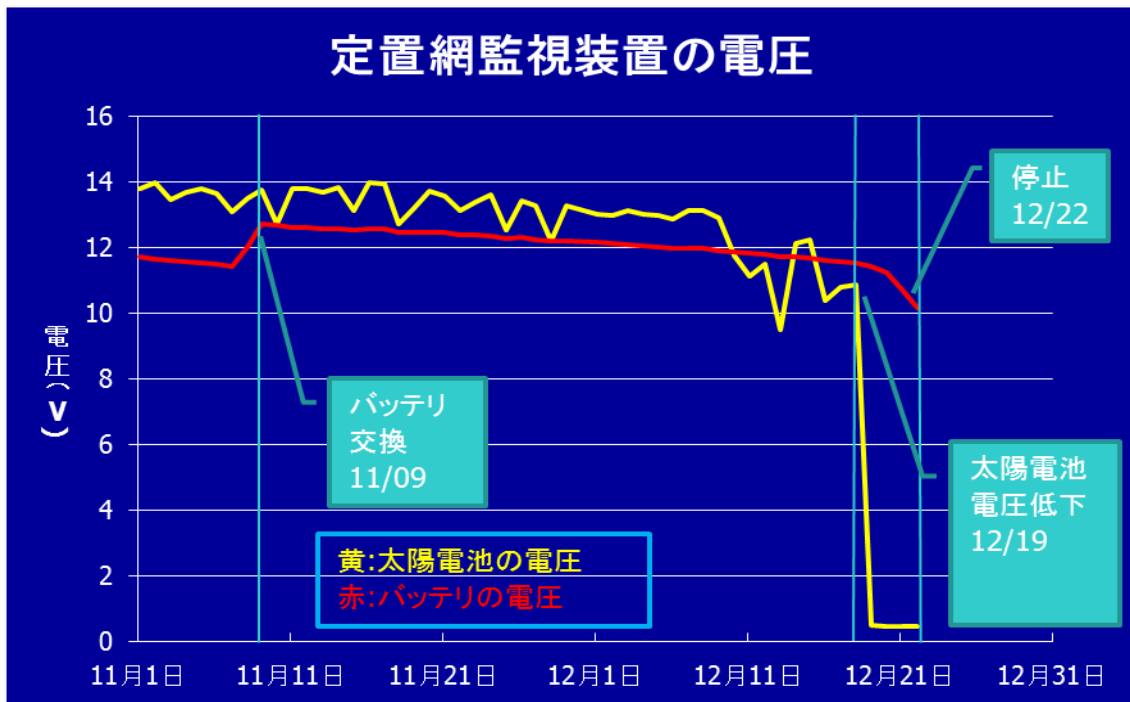


図 2-2-17 定置網監視装置のバッテリー電圧(太陽電池あり)

太陽電池の電圧は測定中（5時から17時）の電圧の平均のため日照時間や発電時の電圧に依存する。このため、冬至まで減少傾向を示している。12月19日に電圧が低下した理由は、ケーブル接合部の浸水による短絡のためであった。

これら過去の経験を生かし、送受信部に次の改良を行った。

1) 送信部を2チャンネル化

一般的に魚群探知機はトランスジューサーを1基使用するが、定置網の場合1箇所には2つのトランスジューサーを設置する。1次試作、2次試作ではこれを踏襲し1チャンネルの送受信回路にリレースイッチを使って切り替えてシーケンシャルに処理を行っていた。しかし、リレースイッチは機械的に動作を行うために使用回数に限界があり、定置網モニタの利用回数から考えると2年から3年で交換が必要となる。このため、耐久性の向上とメンテナンスフリー（部品の保守交換が不要）を目指して、送信回路を2チャンネル用意することにより機械的な部品を使用しないことにした。

2) 電源の分離

超音波の送受信回路の電源と携帯電話モジュールの電源を同じ電源回路から供給していたが、通信状況により超音波の受信回路に影響することがあったため、2つの回路の電源を分離して影響がないように改良した。

3) 部品の省力化

従来超音波の送受信回路にはFPGAを使用した回路で信号処理を行っていたが、定置網モニタでは比較的サンプリング周期が長いために高速に行う必要がなく、CPUで

処理しても十分に間に合うことが分かったため、信号処理を CPU で行うようにして FPGA を使用せず、省力化を図った。

以上の改良を行った結果、図 2-2-18 のようにデータの欠落もノイズの影響もないクリアな映像が可能となった。

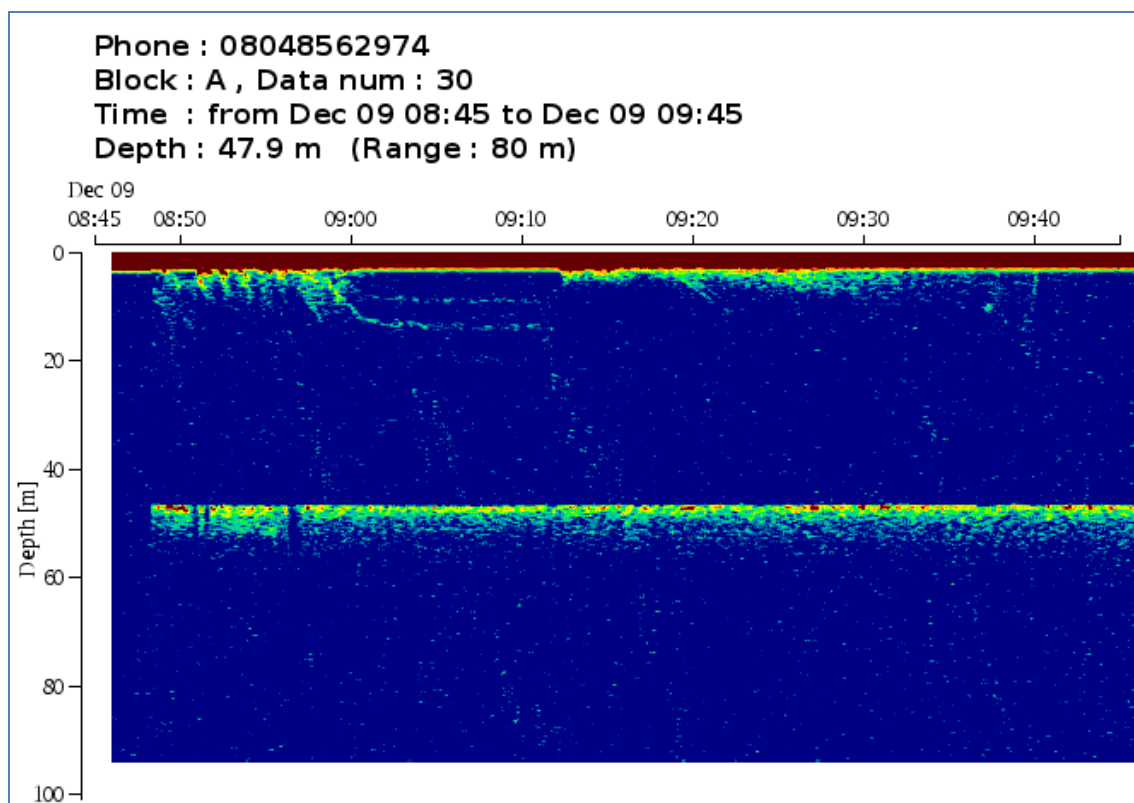


図 2-2-18 3 次試作での映像例

以上により球状太陽電池を用いた小型太陽電池モジュールの使用を前提とした定置網モニタの当初研究目標を達成できたと考える。

実証実験は、北海道函館市臼尻地区の定置網漁業者の協力のもと、設置及び実施した(図 2-2-19、図 2-2-20)。

洋上にある定置網上の 2 地点に魚群探知機のトランスジューサーを設置し、太陽電池及び蓄電池を搭載した浮体とトランスジューサーの間のケーブルを既存の定置網のロープに結束する作業を行った。

また、浮体の太陽電池の面が多い部分を南向きになるように浮体の 4 つ角をロープで固定し定置網上へ設置した。



図 2-2-19 ロープを船上へ引き上げケーブルをロープへ結束

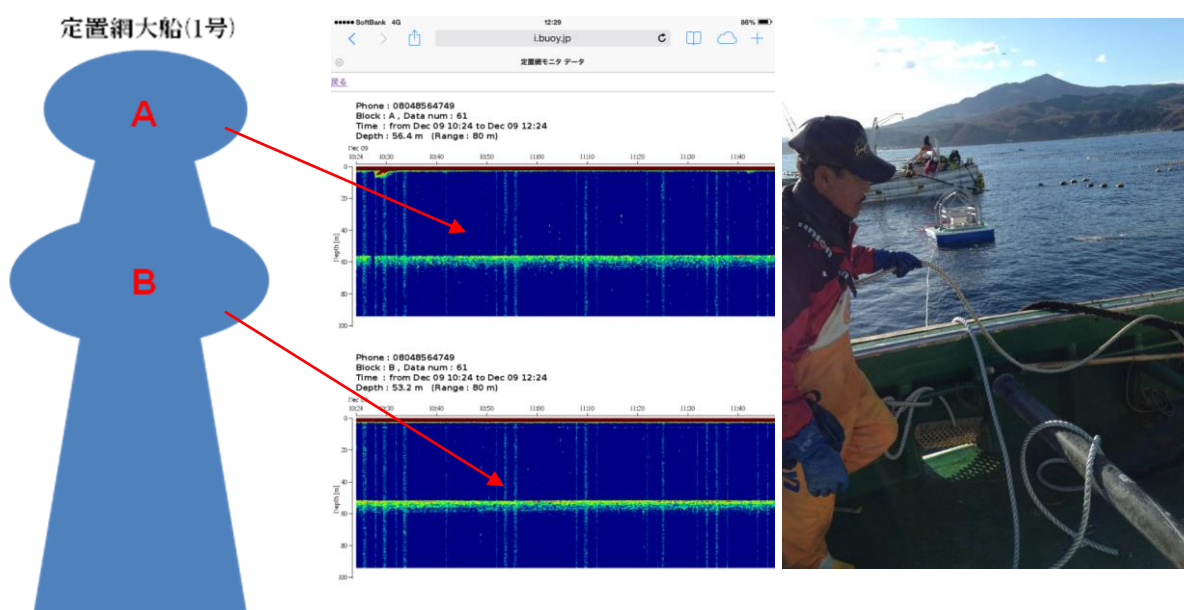


図 2-2-20 定置網の上からの挿絵・iPad 映像・浮体設置

(2) 魚探画面表示及び漁獲量推定と魚種判別のアルゴリズム開発

定置網モニタの開発では、データ受信／蓄積／配信に加え、魚探画面表示と iPad アプリ表示との連携と漁獲量推定、魚種判別のアルゴリズム開発に関する研究を行った。

平成 24 年度までの研究において、DB サーバに関する試作が完了していたことから、

平成 25 年度は実証実験による動作確認を行った。その結果、動作に支障はないことが確認され、当初目標は達成できた。図 2-2-21 は、実証実験（北海道函館市臼尻地区）にて取得したデータを独自に開発したプログラムで描画した画像の例である。

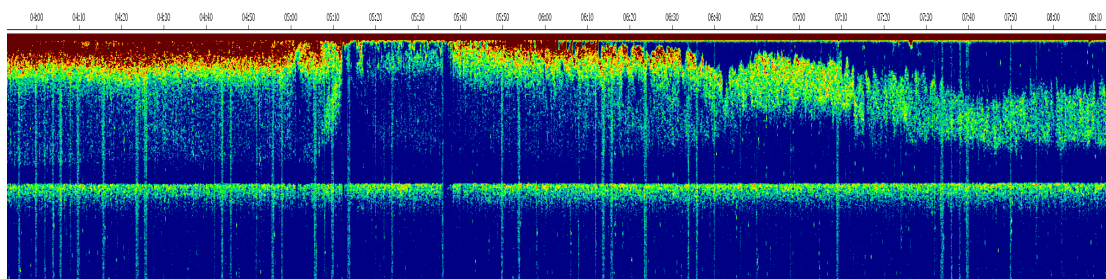


図 2-2-21 定置網モニタの現地実験における画像例

次に、平成 24 年度で検討を行った漁獲量推定と魚種判別に関するアルゴリズムの検討を行った。まず、アルゴリズムの開発にあたり、ソナー反射強度の指標化を検討した。ソナー反射強度は定置網モニタにて ping（ソナーの 1 回あたりの反射波）ごとに 0～255 の数値で計測される。ping あたりのデータ量は、レンジ（設定深度）を 256 分割した層の数値となり、その強度は魚群の密度に比例すると考えられる（すなわち、魚群密度が強度と線形な関係にあることが期待できる）。そこで、ある一定水深ごとの層において反射強度の基本統計量を求め、単位時間あたりの指標として利用することで、漁獲量推定ならびに魚種判別を行うことを検討した。事前のヒアリングから、漁業者は季節ごとの漁獲目標魚種の水深帯を確認して魚種を推定しており、その際の目安は 10m 程度であることから、指標化では 10m ごとに水深帯を設定することとした。また、漁獲量は反射強度の色（すなわち強度）と海底の鮮明度を比較し、特に海底が識別できないほどであるときは漁獲量が極めて多いと推定していることなどから、海中の反射強度の最大値だけでなく海底を含む層の最低値も指標として有効であると推察された。以上の事前調査と予備解析から、漁獲量推定と魚種判別では、次の水深帯を層としてそれぞれの基本統計量を組み合わせることとした。

層 の 水 深 帯：0～10m, 5～15m, 10～20m, 15～25m, ・ ・ ・ , 50～60m で検討
層の基本統計量：最大, 最小, 分散を検討
測定時間間隔：5 分, 10 分の 2 組を検討

次に、図 2-2-22 に予備調査で取得した日別漁獲量（北海道函館市臼尻地区における 11 月 20 日から 12 月 25 日の漁獲情報）のグラフを示す。同グラフにより、漁獲量は魚種により大きく異なり、調査地では特にイワシとサバが主要な漁獲目標魚種であることがわかる。このグラフに示された漁獲量と指標化したエコー反射強度の基本統計量より、重回帰分析を行った。重回帰分析に使用した計算式は、次の通りである。

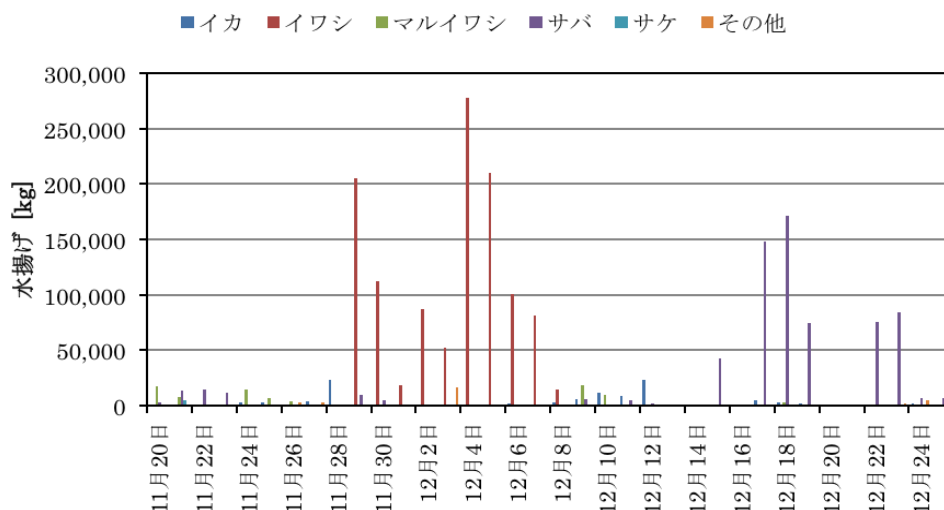


図 2-2-22 定置網モニタ実験地(北海道函館市臼尻)における漁獲情報
(平成 25 年 11 月 20 日～12 月 15 日, 出所: 野村水産㈱)

$$y = c_0 + \sum_{i=1}^m c_i x_i + \varepsilon \dots\dots\dots (2-1)$$

ここに、 y は一日あたりの漁獲量、 c_i は重回帰分析の係数、 x_i は i 番目の指標 (変数) であり、 m は水深帯・測定時間・基本統計量の組み合わせによる指標の数である。また、 ε は推定誤差である。指標を種々組み合わせて重回帰を行い、決定係数と赤池情報量基準 (AIC) によりモデルの良否を比較したところ、時間間隔 5 分にて水深 50m まで層ごとの 5m オーバーラップで最大値を求め、50～60m (海底を含む) 層のみは最低値を使用し推定する組み合わせが最も結果が良く、決定係数 R^2 は 0.8997 (修正 R^2 は 0.8556) であった。得られた重回帰式を使い漁獲量を推定し、漁獲情報と比較したものが図 2-2-23 である。

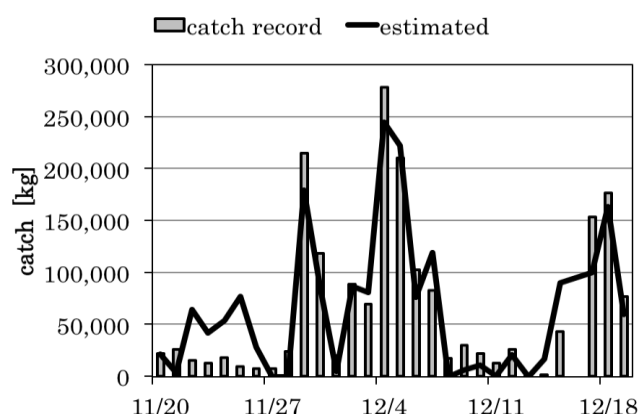


図 2-2-23 重回帰分析より推定した漁獲量(estimated)と現地調査より得られた漁獲量 (catch record)の比較

図 2-2-23 から、11/20～11/27 の比較的漁獲量が少ない区間における推定結果は、漁獲情報の倍以上の漁獲と推定しており、誤差が大きいことがわかる。しかし、それ以外の期間では推定量と漁獲情報は良い一致を示していると考えられる。なお、重回帰式は近似式であるため普遍的なものではなく、漁獲情報をさらに増やせば係数が変化するため本報告では詳細は割愛するが、回帰に使用した変数のうち 50～60m の水深帯の最低値が有意水準 0.001 で最も有意であり、水深 15～25m の最大値が有意水準 0.01 で有意、水深 20～30m と 25～35m の最大値がそれぞれ有意水準 0.05 で有意であった。この結果は、事前調査において「海底面が不鮮明な時は漁獲量が多い」とするヒアリング結果とよく一致しており興味深い。

以上により、漁獲量推定は水深帯ごとに計算された指標をもとに重回帰式より推定できることが確認できたが、漁獲量の推定値が実測値と大きく異なる危惧があり、実用においては推定値をそのまま漁業者に提示するのではなく、推定漁獲量を段階的に表示すべきであると考えた。そこで、推定された漁獲量を 50t ごとに 300t まで 6 段階に表示する場合と、100t ごとに 300t まで 3 段階で表示する場合について正解率を計算した(表 2-2-1)。表中のランクは、漁業者に提示する際の漁獲区分の呼称例である。表より、6 段階では平均正解率が 66%と低く、今回の推定では 3 段階(平均正解率 93%)で提示する方が良いと考えられた。なお、今回の現地調査ではおよそ 1 ヶ月のデータのみで推定を行ったため平均正解率はあまり高くないが、漁獲情報量を増やせば正解率も向上するものと考えられる。

表 2-2-1 推定量の段階表示と正解率

漁獲区分	ラ ン ク	推定	漁獲記 録	正解率
250t >	A	0	1	0%
200-250t	B	2	2	100%
150-200t	C	2	2	100%
100-150t	D	2	2	100%
50-100t	E	9	4	-25%
0-50t	F	14	18	78%
(平均 : 66%)				
漁獲区分	ラ ン ク	推定	漁獲記 録	正解率
200t >	A	2	3	95%
100 - 200t	B	4	4	100%
100t <	C	23	22	67%
(平均 : 93%)				

次に、魚種判別のアルゴリズムを検討した。漁獲情報では、最も漁獲が多い魚種はイワシとサバであったが、それ以外の魚種は漁獲量が桁違いに少なく、また、混獲であることから、ソナー反射強度をもとにした指標だけで分類を行うことは極めて困難である。そこで、この季節で最も漁獲量の多いイワシ、サバをその他の魚種と判別することを目標に、判別分析により魚種判別することを検討した。判別分析は、次に示す線形判別関数を使用することとし、変数は漁獲量推定に使用したのと同じ指標を用いることとした。

$$z_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^m \beta_{ij} p_j \dots\dots\dots (2-2)$$

ここに、 z_i は判別関数（判別得点）であり、 α_i は定数項、 β_{ij} は指標 p_i （2-1 式における x と同じ指標）の係数である。また、 m は指標の数である。なお、今回の判別では 3 種類（イワシ、サバ、その他）を判別することから、2 つの判別関数 z_1, z_2 をそれぞれ求めることになる。判別分析の結果は図 2-2-24 の通りである。図より、イワシは判別得点 z_2 が正である場合、サバは z_1 と z_2 がともに負である場合として判別可能であることがわかる。また、このときの正解率は表 2-2-2 に示す通りである。表より、判別の正解率は 82% 以上であるが、正解率は漁獲情報をさらに増やすことで改善されるものと考えられる。

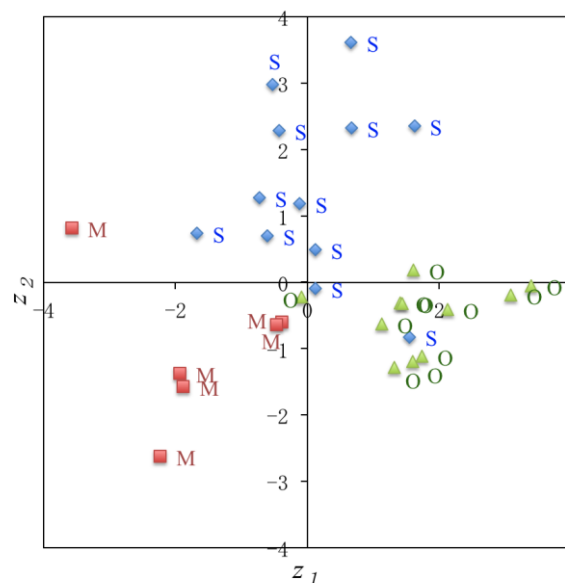


図 2-2-24 判別分析の結果（横軸 z_1 ，縦軸 z_2 ，S：イワシ，M：その他，O：その他）

表 2-2-2 判別分析の正解率

	イワシ	サバ	その他	正解率
イワシ	10	0	2	83%
サバ	1	5	0	83%
その他	1	1	9	82%

以上より、漁獲量推定、魚種判別とも限定的ではあるものの、アルゴリズムについてはほぼ開発が完了し当初目標を達成できたと考える。なお、実用化における課題として、今後、現地の漁獲情報をさらに多く収集し、推定式を修正して行く必要があると考えられる。また、このアルゴリズムを用いる場合には、定置網モニタを利用する現地において関係式を構築して行く必要があり、これらも実用化における課題であると考えられる。

（３）定置網モニタ閲覧ソフトウェア

定置網モニタの閲覧ソフトウェアは、定置網漁業における魚群探知機のユースケース研究から得られた知見に基づいて iPad アプリケーションとして開発した。現在、漁業現場において、その状況に応じた様々な電子機器が活用されている。その中でも魚群探知機は代表的な電子機器の 1 つとなっており、我々が調査対象とした北海道の道南地域の定置網漁業者においても、テレサウンダーと呼ばれる魚群探知機を導入しており、重要な役割を担っている。北海道道南地域函館市臼尻地区の定置網漁業では、海上にある定置網内の 2 地点、すなわち定置網の入り口付近の地点と定置網本体内部の魚群が滞留する魚溜まりの地点にそれぞれ魚群探知機のトランスジューサーが設置してある。そして、

それぞれの魚群探知機から得られた信号がそこから数 km 離れた陸上にある事務所施設へ送信され、事務所施設内の表示装置にそれぞれの魚群探知機の画像として表示される。定置網漁業者は、この 2 地点の魚群探知機から得られる画像情報の推移から魚種の推定や漁獲高の予測を行い、その予測に基づいて出漁の判断などを行なっているが、現状では魚群探知機の画像情報は、無線方式や表示手段等の制約から前述の事務所施設内のように、特定の場所に出向いて確認する必要がある。

本アプリケーションは、定置網内の 2 箇所に設置された魚群探知機の画像情報を、サーバと通信回線を介してリアルタイムかつ過去に遡って確認できることを目的に開発された iPad 用のアプリケーションである。本アプリケーションを使用すれば、定置網内の魚群の状況を「いつでも、どこでも、誰でも」確認できるようになり、定置網漁業における事業運営の柔軟性をこれまでよりも高められることが期待できる。本アプリケーションのユーザインタフェース（以下 UI）のデザインコンセプトは「いつでも、どこでも、誰でもが使うことができる」ということである。そのために、以下のような UI デザインの基本方針をたてた。

- ・操作性はできる限り単純かつ直感的なものにする
- ・ユーザが魚群探知機の画像情報に集中できるように、できる限り UI 上から余計な情報となるような要素を排する
- ・ランドスケープモードで使用するアプリケーションとすることにより、限られた UI 面積の中でも必要な情報の表示比率が高まるような UI レイアウトを実現する
- ・文字情報に頼らず操作できるように、ボタン上のラベル表示にはアイコン（絵文字）を活用する
- ・通信及び描画処理の負担とならないような UI 表現と UI 要素のレイアウトを心がける

この方針に基づきデザインした UI 画面が図 2-2-25 である。この UI 画面は図 2-2-26 のように操作部と魚群探知機画像表示部に分かれる。

操作部には「画面キャプチャ」「リロード」「日付移動」の三つの操作ボタンが存在している。画面キャプチャボタンは、このボタンを押すことで、現在 iPad 上に表示されている画面を静止画像として iPad 内の特定ディレクトリに保存することができる。保存された画像は iPad の内蔵アプリケーションである「写真」で閲覧することができる。なお、本ボタンのラベル表示には、「画面キャプチャ」と文字で表現するのではなく、静止画像を撮影するイメージを喚起できるように「カメラ」をシンボライズしたアイコンを用いた。リロードボタンは、操作中に通信が途切れるなど何らかの事情で、魚群探知機画像表示部の画像に欠損が生じた場合、このボタンを押すことで、通信回線を介して、もう一度現在表示中の魚群探知機画像表示部の画像を更新することができる。なお、本ボタンのラベル表示には、「リロード」と文字で表現するのではなく、もう一度情報を読み取

りにいくようなイメージを喚起できるように「一周する矢印」をシンボライズしたアイコンを用いた。日付移動ボタンは、魚群探知機画像表示部の画像を左右にフリックすることによっても、過去やその後の魚群探知機画像を表示することができるが、本ボタンを操作することにより、指定の日時を直接表示することができる。

魚群探知機画像表示部には、2箇所から送られてくる魚群探知機の画像情報を上下に並べて表示する。この画像は6秒ごとに更新され、順に左へ1ピクセルずつスクロールし、このエリア上で左右に画像をフリックすることにより、過去またはその後の時刻を行き来した魚群探知機画像を表示することができる。この場合、上下の魚群探知機画像は時刻を同期して一緒に動く。また、上下それぞれの魚群探知機画像左下には水深が表示されている。大量の魚群が入った場合にこの水深の値が大きく変動することがあって、それを目安にして出漁機会を決定することがあったり、潮流が早く、定置網の設置状況に影響を与えるような場合にもこの水深の値が通常時とは異なる数値を示すことがあり、漁業者にとってはこの水深の値が確認できることは重要である。



図 2-2-25 iPad に表示された UI 画面

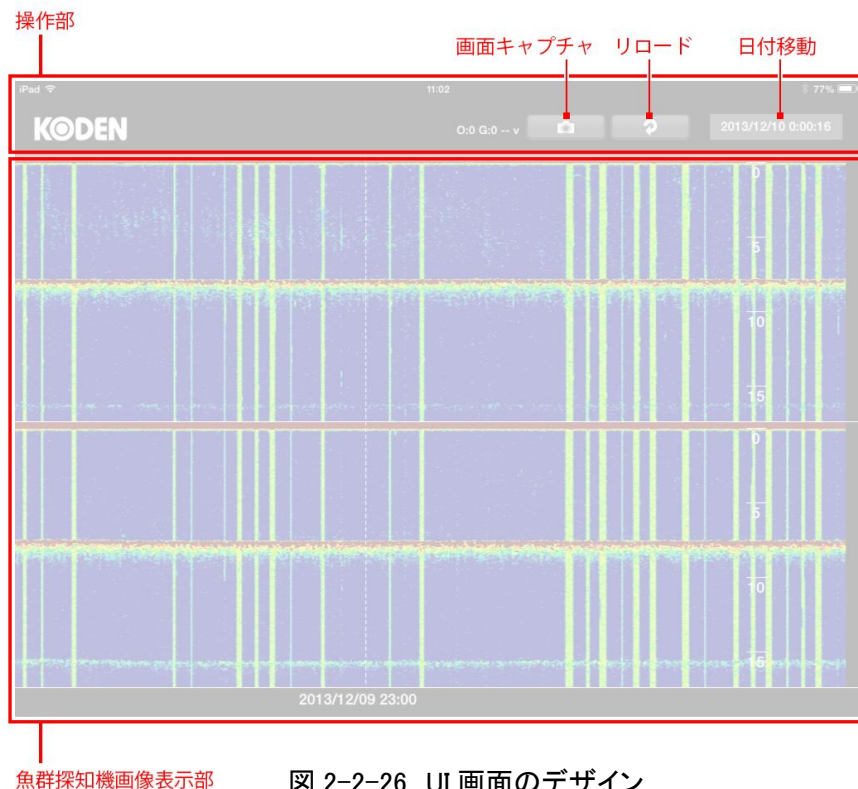


図 2-2-26 UI 画面のデザイン

(4) 防水ボックスと浮体（イカダ）の試作

平成 25 年度は、流通販売を視野に入れ、コンパクトでコスト低減を目指し、定置網監視装置及びそのバッテリー等を収納するための防水ボックスを試作した(図 2-2-27～図 2-2-30)。また、防水ボックスを搭載し、かつ定置網監視装置の電源を確保するための球状太陽電池モジュールを搭載可能な浮体の設計と試作を行った。

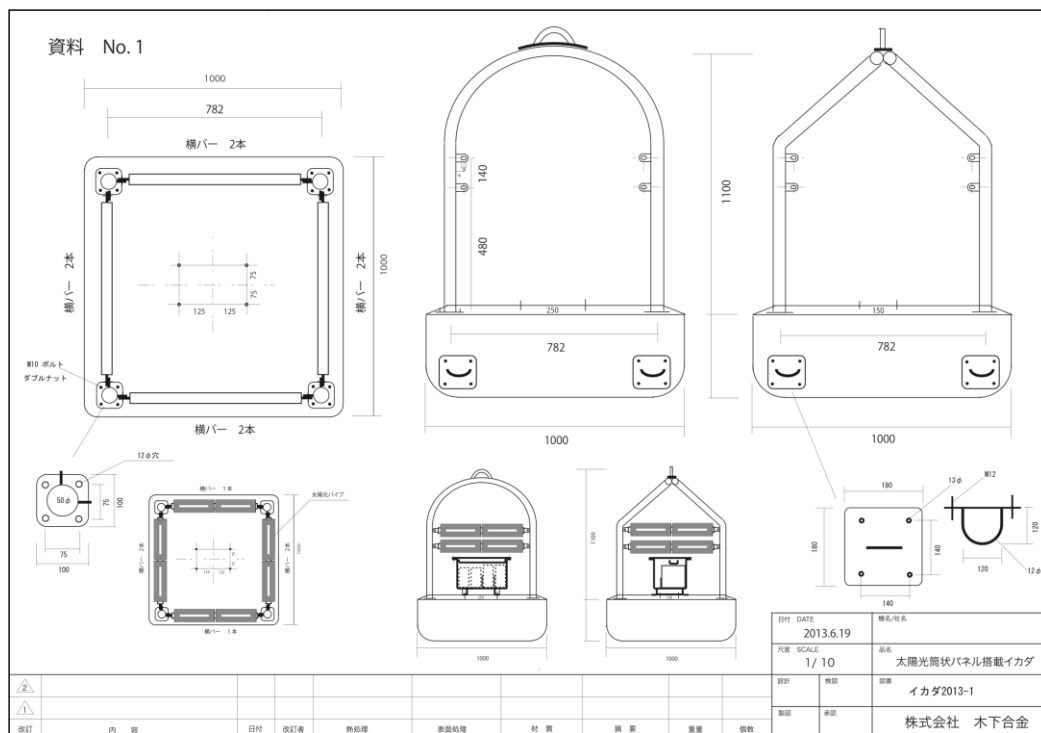


図 2-2-27

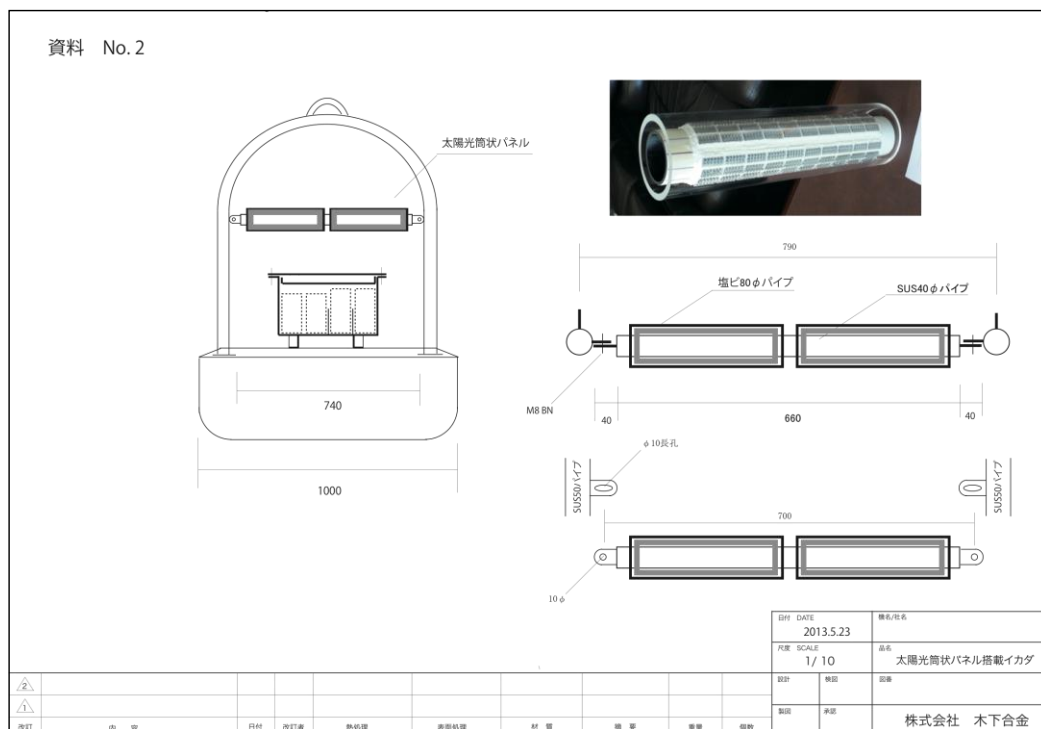


図 2-2-28



図 2-2-29 収納ボックス・バッテリー及び監視装置



図 2-2-30 球状太陽光パネル設置



図 2-2-31 大船漁港フィールド実験



図 2-2-32 浮体のフィールド実験

フィールド実験では、太陽電池モジュールを搭載するためのアーム及びモジュール等の重量が大きくなり、浮体の安定性に問題があった(図 2-2-31、図 2-2-32)。これを解決する為には、フロート（浮き）を 2～4 箇所を設置することや、浮体海中部（底面）に安定板を設置すると、より安定度が増し、販売に則して行けることが判明した。引続き、試作した浮体を用いてコストと耐久性の最適化を図り、今後の製品化に繋げる。

2-2-4 多機能漂流ブイの試作・実証

(1) サーバプログラム

漂流ブイの測定情報は、人工衛星経由の通信網を使用し電子メールで送信される。このため、フォーマットは通常の電子メールとは異なり、データはエンコードされた添付ファイルとして送信される。そこで、平成 24 年度に電子メールのフォーマットに対応した受信プログラムを作成し、平成 25 年度の実証実験にて動作を検証した。同時に、受信・蓄積された漂流ブイのデータをテキスト、マップ形式で表示するサーバプログラムを開発した。試験運用の結果、特にシステムに支障なく動作確認できたことから、サーバ構築に関するすべての開発が完了し、当初目標を達成した。

(2) フィールド実験

平成 24 年度までに多機能漂流ブイの開発を終えたことから、平成 25 年度は実際の漂流によるフィールド実験を行った。多機能漂流ブイはゼニライトブイ社製の漂流ブイ (ZTB-R6-P3) を改良し 3 基製作した。また、2 種類の電源を評価した。1 種類は出力 1.1W の太陽電池 1 枚を発電部とし、2.5V500F の電気二重層コンデンサを 2 直列 2 並列に接続したものを蓄電部とした電源であり、これを 2 基に採用した。もう 1 種類は出力 0.99W の太陽電池を 2 枚並列に接続したものを発電部とし、9V500mAh のリチウムイオン二次電池を蓄電部とする電源であり、これを 1 基に採用した。多機能漂流ブイの外形は直径 341mm、高さ 305mm、重さは約 4.8kg である。また、底部から水温計のケーブルを引き出しており、水深 5m の水温を観測することができる。

当初計画ではフィールド実験によりエチゼンクラゲをトラッキングする予定であったが、平成 25 年度は大規模なエチゼンクラゲの発生が確認されなかったことから、冬季の対馬暖流の観測に目的を切り替え、対馬北東沖に多機能漂流ブイを投入した。実験の期間は平成 26 年 1 月 27 日から 2 月 12 日までの 17 日間であり、(株)ゼニライトブイの協力により実施した。図 2-2-33 に投入前後の多機能漂流ブイを示す。また、表 2-2-3 にフィールド実験の結果を示す。iridium02 の蓄電部がリチウムイオン二次電池であり、iridium03 と iridium04 の蓄電部が電気二重層コンデンサである。

3 基の多機能漂流ブイは船舶で対馬北東部の海上に運び、移動しながら順次投入した。1 月 27 日に投入した 3 基の多機能漂流ブイのうち、iridium04 は 1 月 28 日に、iridium02 は 2 月 5 日に通信が途絶えた。図 2-2-34 に多機能漂流ブイの航跡を示す。緑線が iridium04、赤線が iridium02、青線が iridium03 の航跡を示しており、丸印は最後に受信した場所を示している。iridium02、及び、iridium04 は多くの船舶が往来する海域で、かつ、夜間に通信が途絶えていることから、船舶との衝突によりトラブルが生じたものと考えられる。投入した多機能漂流ブイはいずれも進路を東に向けるものと予想していたが、iridium03 は停滞したのち、2 月 7 日以降進路を南西に向け、2 月 11 日に対馬南東部沿岸の定置網に絡まり、2 月 15 日に現地の漁業者に回収された。iridium03 の漂流距離は 319km であった。

図 2-2-35 にフィールド実験期間中の電源電圧の推移を示す。多機能漂流ブイの最低動作電圧は 3.6V であり、安定して動作していたことがわかる。また、通信の評価についてはいずれの多機能漂流ブイもデータ欠損はなく、エラー率は 0%であった。図 2-2-36 に iridium03 で観測した水深 5m の水温図を示す。対馬南東の沿岸部は水温が低く、対馬北東沖の海域では、暖水と冷水が複雑な分布をしている様子が見られる。

多機能漂流ブイは省電力化と太陽電池による運用、通信エラー率 1.0%以下という目標を達成できたものの、運用期間は当初計画の 30 日間に及ばず 17 日間となった。平成 26 年 2 月 28 日現在、回収した iridium03 の再投入に向けてメンテナンスを実施しており、準備の整い次第、対馬北東沖から再投入する計画である。



図 2-2-33 投入前の多機能漂流ブイ(左)と投入後の多機能漂流ブイ(右)

表 2-2-3 フィールド実験の結果

ID	iridium02	iridium03	iridium04
開始日時	1 月 27 日 17 時	1 月 27 日 11 時	1 月 27 日 18 時
終了日時	2 月 5 日 2 時	2 月 12 日 6 時	1 月 28 日 19 時
漂流期間	8 日間+9 時間	15 日間+19 時間	1 日間+1 時間
漂流距離	207km	319km	38km
平均速度	1.0km/h	0.8km/h	1.5km/h
速度の範囲	0.1-2.1km/h	0.0-2.6km/h	0.3-2.5km/h
平均電圧	8.5V	4.6V	4.4V
電圧の範囲	8.2-8.7V	4.1-4.9V	4.0-4.9V
通信エラー率	0% (0/202)	0% (0/384)	0% (0/26)

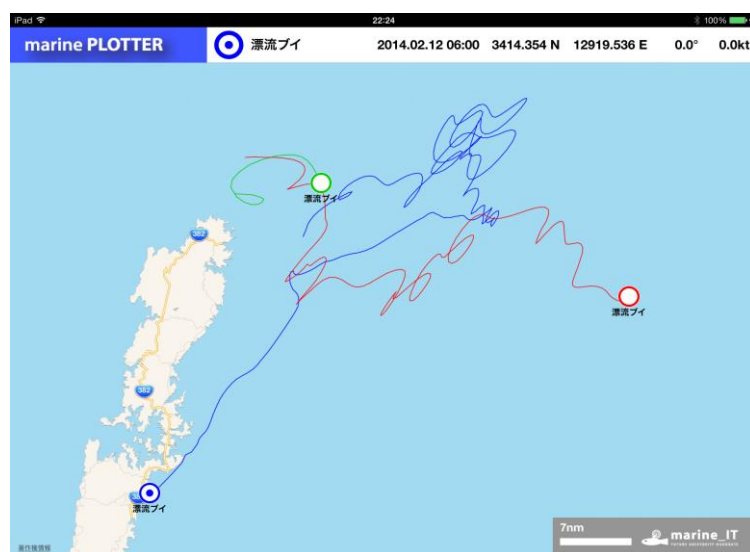


図 2-2-34 多機能漂流ブイの航跡

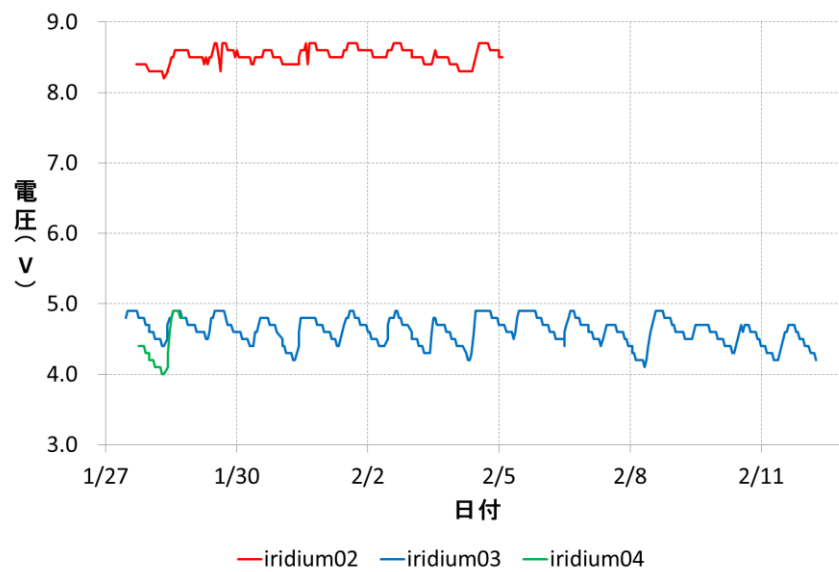


図 2-2-35 フィールド実験期間中の電源電圧の推移

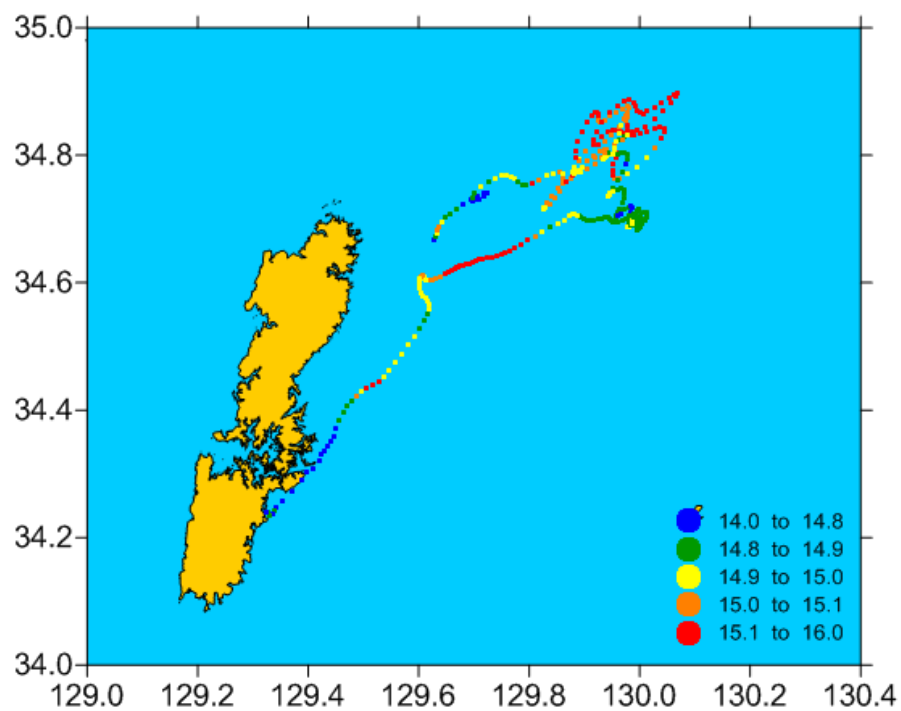


図 2-2-36 iridium03 で観測した水深 5m の水温図

最終章 全体総括

(1) 球状太陽電池を用いた小型電源モジュールの開発

3年間にわたる本研究開発事業の成果として、球状太陽電池スフェラーを用いて海洋ユビキタスセンシングのための円筒型連結モジュールを開発し、フィールド試験を実施することができた。

試作したモジュールの電氣的接続(半田付け)・実装はすべて手作業でおこなっており、製作時間を時間工数換算するとモジュール原価の大部分を占める。本研究開発成果を事業化するためには実装工程の機械化・自動化が必須であり、来年度以降取り組む予定である。

(2) 省電力センサノードの開発

地球温暖化に起因する海水温の上昇は水産業に大きな変化をもたらしている。3年間の研究期間内にもフィールド実験に協力をいただいた複数の漁業者から、魚種や漁獲時期、漁獲量が年々変化しており、勘と経験だけでは漁の予測がつかなくなったとの声が聞かれた。このような状況において、情報の活用、すなわち、海洋ユビキタスセンシングによる海洋環境、ならびに、水産資源の可視化は重要な役割を担うものと考えられる。本研究開発では、小型電源モジュールとセンサノードの開発に取り組んだ。小型電源モジュールの開発は高効率化を目標とし、センサノードの開発は省電力化を目標とすることで、これらの組み合わせによりメンテナンスフリーでの海洋ユビキタスセンシングの実現を目指した。

センサノードの開発については、リアルタイム潮流計、ユビキタスプロッタ、定置網モニタ、多機能漂流ブイの4つのサブテーマに取り組み、いずれのサブテーマにおいても目標とする省電力化を達成することができた。小型電源モジュールとの組み合わせについては、浮体の表面積が比較的大きく、間欠動作をするリアルタイム潮流計との組み合わせにおいて、実用的な運用が可能であることを示した。

省電力センサノードの開発におけるデータベースの構築では、平成23年度に試作を開始し平成24年度に試作を完了、平成25年度には運用試験にて動作検証を行うことで、実用上の問題点がないことが確認でき、当初目標を達成することができた。特に、クラウドコンピューティングサービスを利用した仮想マシン、仮想ネットワークを使用したことで、データ遅延の少ないシステム構築ができ、実用化をにらみ運用上の経費にも配慮した成果をあげることができた。また、他研究機関と連携し、データベースから各種機能に取得データを提供するシステムを構築でき、実用化が可能なことを確認した。

定置網モニタについては、初年度、魚群探知機をベースに1次試作機を作成した。魚群探知機に携帯電話モジュールを制御できるようにし、サーバとの通信を確立した。しかし、船舶に取り付けることを前提とした魚群探知機は、定置網モニタに要求される深

い深度までの測定や LCD などの表示機能も併せ持っているため、当初予定の 10 倍の消費電力であった。部品の削減や送受信シーケンスの見直しを行い目標の約 2 倍まで消費電力を削減することができた。しかし、通信不良によるデータの欠落やノイズの影響が見られ、機器としても送受信部分、電源部、モデムと 3 部構成となっており小型化の必要性があった。

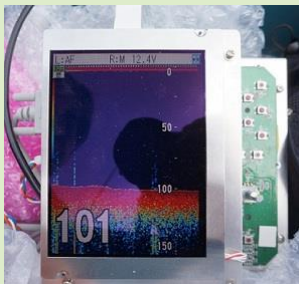
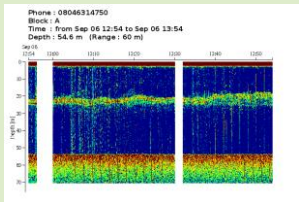
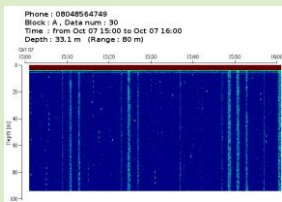
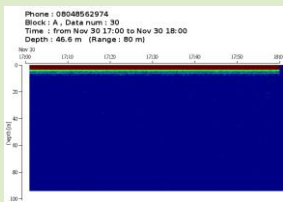
2 年目には初年度の結果をもとに新規に基板設計を行い小型化、省力化を進めた。結果、144 mm 四方の基板にすべての回路を実装した 2 次試作が完成した。また、ソフトウェアの改良を行い、通信の不良時に再送を行うことにより、データの欠落はほとんど発生することがなくなった。消費電力も目標の 2.5W を下回ることができた。しかし、携帯電話の通信状態によるノイズの影響は低減したものの若干残る形となった。

最終年には 2 次試作を使った定置網漁の 1 シーズンを通した試験を行いつつ、最終改良として耐久性の向上、メンテナンスフリー、品質向上のために 3 次試作を行った。耐久性向上のために行った改良により 2 次試作よりも若干消費電力が増えたが、2.5W 以下とする当初目標は達成できた。

電波法の改正により現行のテレサウンダーが使用している無線周波数は、平成 34 年 11 月末までしか使用でない。また、これにかかわる免許の更新は平成 29 年 11 月までしか行われない。このため、従来の無線方式に変わる新たな方式の定置網モニタが現場で望まれている。今回の研究開発はこれらの背景により行ってきたため、早急な事業化が望まれている。

従来の無線通信方式に替わり携帯電話網やインターネットのインフラを使用する定置網モニタは、周波数割り当ての変更など行政的な制約の影響は受けにくくなる一方、めまぐるしく世代交代をつづける通信インフラに対応していく必要がある。そのため今後は絶え間ない開発が必要となる。また、通信インフラとのインターフェイスを極力標準的な方法で行うことにより、インターフェイスが使用できる期間を延ばすことにより開発コストを抑えるなどの工夫が必要となると考える。

また、従来は独自の無線通信を行っていたため通信にかかるコストはわずかであったが、今後は携帯電話網、インターネットなどの通信インフラに費用が発生することとなる。昨今はほとんどの個人でも携帯電話などを所持しているので、通信に費用が掛かること自体は一般化しており、顧客の理解も得られると考えられるが、新たに発生する費用に見合う付加的なサービスの価値を創造する必要があると考える。これらのサービスとしてメールを使った漁獲量や魚種の推定とその自動通知、稼働状況の定期通知、異常や故障時の非常通知などが行えるようにするなどしていく必要があると考える。インターネット上のサーバを使ったシステムでは、顧客にサービスを提供しながら顧客の要望に応じてサービスを追加、変更していかなければならない。以上が今後の事業を展開していくうえでの課題と考える。なお、本研究開発で行った内容を以下の表にまとめた。

	計画目標	第 1 試作(初年度)	第 2 試作(2 年目)	第 3 試作 (3 年目)
				
構成	小型一体化	LCD 付 3 部構成 送受信部、電源、モデム	小型一体化 1 枚基板構成	小型一体化
方式	2 CH パラレル方式	1CH シーケンシャル方式	同左	2 CH パラレル方式
開発課題	商品化	通信システムの確立 (通信状態が悪い時データの欠落が発生)	省力化 (再送処理により欠落はなくなったが、小型省力化のためにノイズの影響あり)	品質・耐久性向上 (すべての課題をクリアし製品化に耐えうる映像の画質を確保)
映像例				
消費電力	平均電力 2.5W	2.5W×2	2W	2.2W (160mA×13.5V)

定置網モニタの機能として、漁獲量推定と魚種判別のアルゴリズムを開発した。現地での実証実験が平成 25 年度に行われ、現地における実測データが 1 ヶ月分と十分ではなかったことから、漁獲量推定、魚種判別とも平均正解率はあまり高いとは言えない結果となった。しかし、これらはデータ量が増えることで改善が可能であることから、実用

化に向けた試作としての目標は十分に達成できた。本研究開発の特筆できる成果としては、従来、漁獲量推定や魚種判別は計量魚探などの高性能・高価格装置でなければ不可能であった魚種判別や漁獲量推定を、省電力のために機能を制限した魚探で実現させたことである。これにより漁業者が購入しやすい価格の機種に高機能を付加することが可能となり、事業化展開を支援できたことであると考ええる。

定置網モニタのうち iPad アプリケーションとして開発した閲覧ソフトウェアは漁業者による十分な評価を行っており実用性が確認できたことから、平成 26 年度中に App Store での配布を開始し、キャプチャ画面の積極的な活用方法など、運用ノウハウに基づいてユーザエクスペリエンスの向上に繋がる提案を実現し、現場の事業者の期待に応えるためのバージョンアップを随時行う計画である。

多機能漂流ブイはフィールド実験により十分な実用性を示すことができた。製品化のための技術的課題は全て解決しており、今後はコストダウンを図り、1～2 年以内に㈱ゼニライトブイが製品化する計画である。

海洋ユビキタスセンシングに対する漁業者の関心は高く、本研究開発の成果は国内にとどまらず海外においても持続可能な水産業の実現に寄与するものである。一日でも早い製品化を目指すとともに、要素技術を応用した新製品の開発にも挑戦したいと考えている。