

PPP-AR 型 GPS 海洋ブイの開発

Development of New GPS Ocean Wave Meter Using PPP-AR



山田浩章	Hiroaki Yamada	①
松下泰弘	Yasuhiro Matsushita	②
三宅寿英	Toshihide Miyake	③
井岡良太	Ryota Ioka	③
林稔	Minoru Hayashi	①
杉本淳	Jun Sugimoto	①
衣川美沙	Misa Kinugawa	④
平野辰昇	Tatsunori Hirano	④
和田晃	Akira Wada	⑤

あ ら ま し

GPS海洋ブイは、現在、国土交通省港湾局のナウファスの「GPS波浪計」として日本全国に18基設置され、沖合の大水深海域で波浪の定常観測を実施している。GPS海洋ブイは津波観測も可能であり、東日本大震災による大津波発生時には、気象庁の津波警報の更新に利用された。津波の早期観測をするためには沖合数100kmの震源地付近にGPS海洋ブイを設置する必要があるが、従来のGPS海洋ブイでは設置可能距離は沖合20km程度までであった。

当社では、さらなる沖合観測を実現するために新しいGPS海洋ブイを開発しており、2014年11月から港湾空港技術研究所と共同で実海域での海象観測の実証実験を開始した。本報では、新型GPS海洋ブイの概要と実海域での実証実験について報告する。

Abstract

The GPS ocean wave meter (GPS buoy) is installed at 18 sites around Japan to measure offshore ocean waves for NOWPHAS (The Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS) operated by the Ports and Harbours Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism. In the Great East Japan Earthquake of 2011, the buoys helped the Japan Meteorological Agency to update its tsunami warnings. To ensure early detection of tsunami, it is necessary to install the buoys 100 kilometers offshore. However, the existing GPS ocean wave meter can only be installed up to some 20 kilometers from the coast, because it employs the real-time kinematic (RTK) method and wireless data transmission.

We have developed a new GPS ocean wave meter, and are conducting offshore demonstrations in partnership with the Port and Airport Research Institute since November 2014. This paper provides a summary of the new GPS ocean wave meter and a report on the demonstration experiments.

1. 緒 言

GPS海洋ブイは、現在、国土交通省港湾局のナウファスの「GPS波浪計」として日本全国に18基設置され、沖合の大水深海域で波浪の定常観測を実施している。GPS

海洋ブイは津波観測も可能であり、東日本大震災による大津波発生時には、岩手県釜石沖などに設置されていたGPS波浪計が津波を観測し、気象庁の津波警報の更新に利用された。

津波の早期観測をするためには沖合数100kmの震源地付近にGPS海洋ブイを設置する必要があるが、従来のGPS海洋ブイではGPS測位法と無線通信によるデータ伝送の制限から設置可能距離は沖合20km程度までであった。

当社では、さらなる沖合観測を実現するため、新しいGPS海洋ブイの開発を行っている。また、2014年11月から港湾空港技術研究所と共同で実海域での海象観測の

① Hitz日立造船㈱ ICT推進本部 ICT事業推進部

② Hitz日立造船㈱ 社会インフラ事業本部 風力発電事業化推進室 技術士(建設部門)

③ Hitz日立造船㈱ 技術開発本部 ものづくり基盤研究センター

④ Hitz日立造船㈱ 社会インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 海洋プロジェクト部

⑤ Hitz日立造船㈱ 機械事業本部 電子制御ビジネスユニット 衛星測位ビジネス部

実証実験を開始した。本報では、新型GPS海洋ブイの概要と実海域での実証実験について報告する。

2. 開発システムの概要

今回の開発では、国内外での通信インフラや電子基準点の整備環境に適したソリューション事業の展開が可能となるように、サーバ解析型とクライアント解析型の2種類のシステムを開発した。

2.1 サーバ解析型 サーバ解析型は、GPS海洋ブイに設置したGPS受信機が受信したGPS衛星から観測データを陸上側設備に送信し、陸上側設備に設置した解析サーバで解析を行うことで、GPS海洋ブイの波浪と潮位を観測する方式である。既存のGPS海洋ブイと比較して、解析に大きな処理能力を持った装置を使えるため、従来よりも高度な解析が可能となり、従来のGPS海洋ブイでは出来なかった設置後の解析パラメータの調整が可能となる。さらに、解析で使用した観測データが陸上側設備に保存されるため、後処理での精密解析や、波浪観測以外の解析でも利用することが可能である。



図1 サーバ解析型

2.2 クライアント解析型 クライアント解析型は、複数の座標が既知の基準点の観測データを用いて生成した補正データをGPS海洋ブイに送信し、GPS海洋ブイに設置した解析用端末で解析を行うことで波浪と潮位を観測し、解析結果だけを陸上側設備に送信する方式である。

本開発で採用しているGPS測位法であるPPP-AR測位方式は、従来のRTK測位方式と比較して解析に必要な補正データのサイズが小さいため、衛星通信で補正データを送信することが可能である。これにより、従来のGPS海洋ブイで必要となる陸上局が不要になるという特徴がある。

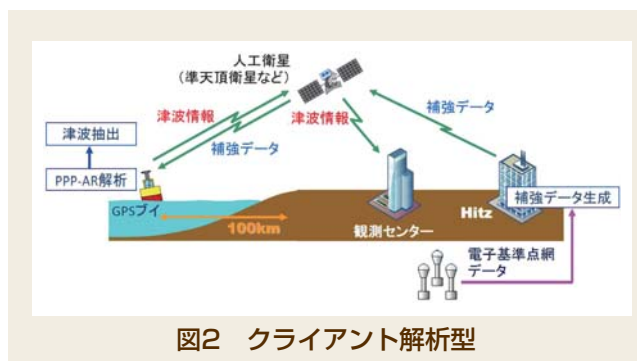


図2 クライアント解析型

3. 適用技術

3.1 PPP-AR 従来のGPS海洋ブイのほとんどは、GPS測位方式としてGPS受信機に搭載されたRTK (Real Time Kinematic) 測位方式を採用している。RTK測位方式は、座標が既知となる基準点の観測データを用いて、GPS衛星とGPS受信機間の電離層、対流圏による伝搬誤差量を推定する。推定された誤差量を補正データとしてGPS海洋ブイに適用し、衛星と観測点間の誤差量として相殺することで、リアルタイムに数cmの精度の測位が可能となる方式である。しかし、GPS受信機によるRTK測位方式は、基準点と衛星間、GPS海洋ブイと衛星間のそれぞれの伝搬経路上の誤差量が同程度であると仮定の上に相殺する測位法であるため、基準点とGPS海洋ブイ間の距離が20km以上になると、誤差量が相殺出来ない場合が増え測位精度が低下する問題があるため、GPS受信機に搭載されたRTK測位方式を採用しているGPS海洋ブイは陸地の基準点から20km程度の設置範囲で運用されている。

上記の問題を解決するため、新型GPS海洋ブイのGPS測位方式として、陸上の基準点から最大1000km離れていてもリアルタイムに数cm精度の測位が可能となるPPP-AR (Precise Point Positioning with Ambiguity Resolution) 測位方式を採用した。PPP-AR測位方式は、複数の座標が既知の基準点の観測データを用いて、衛星軌道、衛星時計の誤差情報、電波送信器等のハードウェアに依存する未知情報を正確に推定し、補正データとしてGPS海洋ブイの観測点に送ることで、リアルタイムに数cmの測位が可能となる測位方式である。

PPP-AR測位方式では、複数の座標が既知の基準点より求めた衛星毎の誤差情報を補正データとして使用し測位するため、RTK測位方式と比較して基準点からの距離による制約を受けにくいという特徴があるため、例えば北日本の基準点で生成した補正データで四国沖のGPS海洋ブイの解析を行うということが可能である。また、図3のように複数のエリアの補正網を構成しておくことで、

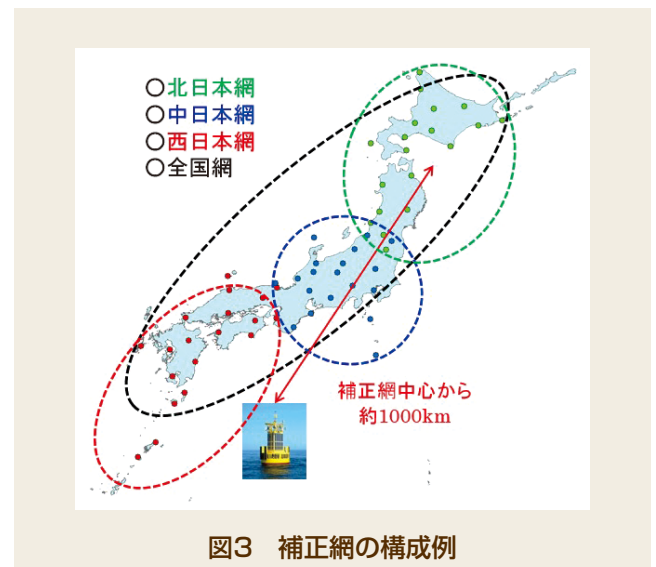


図3 補正網の構成例

地震等が原因でGPS海洋ブイ付近の基準点座標が大きく変動した場合でも、地震の影響を受けていない地域の補正網を使用することで、GPS海洋ブイの観測を継続することが可能である。

PPP-AR測位方式の測位精度を評価するため、座標が既知である基準点による精度評価を行った。観測データとして電子基準点950107（下川）のデータを用いた。観測データと北日本網、中日本網と西日本網から作成した補正データを用いてPPP-AR解析を行い、電子基準点の座標との差を比較した。2011年12月28日から2012年1月5日のPPP-AR解析結果と既知座標の差を図4、標準偏差を表1に示す。

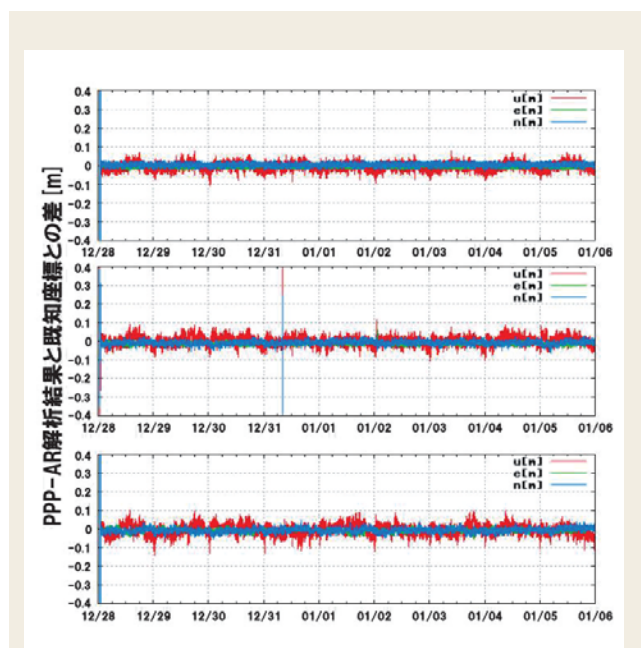


図4 2011/12/28から2012/1/5のPPP-AR解析結果と既知座標との差
(上段:北日本網、中段:中日本網、下段:西日本網)
(青:南北方向、緑:東西方向、赤:高さ方向)

表1 PPP-AR解析結果と既知座標との差の標準偏差

	北日本網 (約150km)	中日本網 (約1,000km)	西日本網 (約1,500km)
南北方向	8.9 mm	11.0 mm	13.2 mm
東西方向	8.1 mm	7.5 mm	11.4 mm
高さ方向	18.3 mm	22.6 mm	26.3 mm

この結果からPPP-AR測位方式は、観測点が補正網から約1,500km離れていてもRTK測位方式と同レベルの精度で解析できることが確認された。

次に、GPS海洋ブイでの測位精度を評価するために、室戸沖約36kmに設置(図5)されていたGPSブイの観測データを用いて、RTK測位方式とPPP-AR測位方式の精度比較を行った。PPP-AR測位方式の補正網は北日本網を使用している。

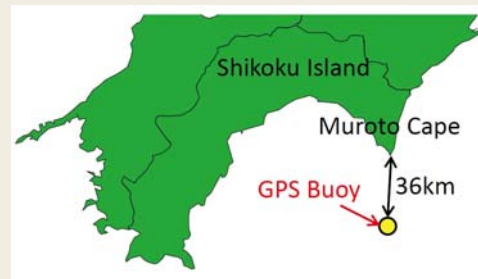


図5 室戸沖GPSブイ

2013年5月23日のPPP-AR測位方式による解析結果を図6、RTK測位方式による解析結果を図7に示す。2つの潮位解析の差の標準偏差は36mmであった。この結果より、PPP-AR測位方式が海上においてもRTK測位方式と同レベルの精度であることが確認された。

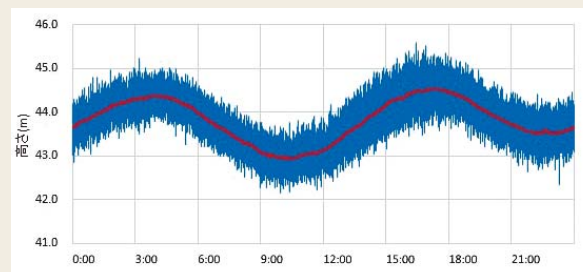


図6 2013/5/23 室戸沖GPSブイのPPP-AR解析結果
(赤:潮位、青:座標)

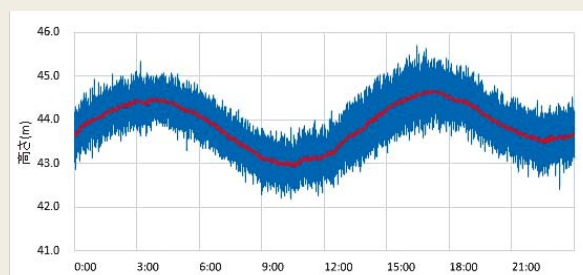


図7 2013/5/23 室戸沖GPSブイのRTK解析結果
(赤:潮位、青:座標)

3.2 PPP-AR解析用端末

本開発では、PPP-AR解析機能を搭載したPPP-AR解析用端末を開発した。本端末は、陸上設備から送られてくる補正データと内蔵されたGPS受信装置で受信した観測データからPPP-AR解析を行い、結果を陸上設備に送信することが出来る機能を有する。

また、GPS海洋ブイに設置されている各種センサーデータを収集することが可能であり、従来のGPS海洋ブイでは、複数の機器で実現している機能を1台で実現することが可能であるため、海洋ブイ本体の消費電力の削減にも効果が期待できる。



図8 PPP-AR解析用端末

3.3 ブイ本体及び係留設備 ブイ本体は、従来のGPS海洋ブイが銅製であるのに対して、新型GPS海洋ブイでは、国内外で多数の観測ブイの納入実績のあるメーカー製品を使用し、浮体部はポリエチレン製、上部構造はアルミ製とした。図9にブイ本体の形状、図10にブイ本体の全景を示す。ブイ本体の諸元は、浮体部φ3.6m、高さ11.0m、重量約4.9tonである。

係留設備は、従来のGPS海洋ブイと同様に一点緩係留方式とした。係留設備の基本検討条件は、水深500m、10分間平均風速50.4m/s、潮流4.7knot、有義波高

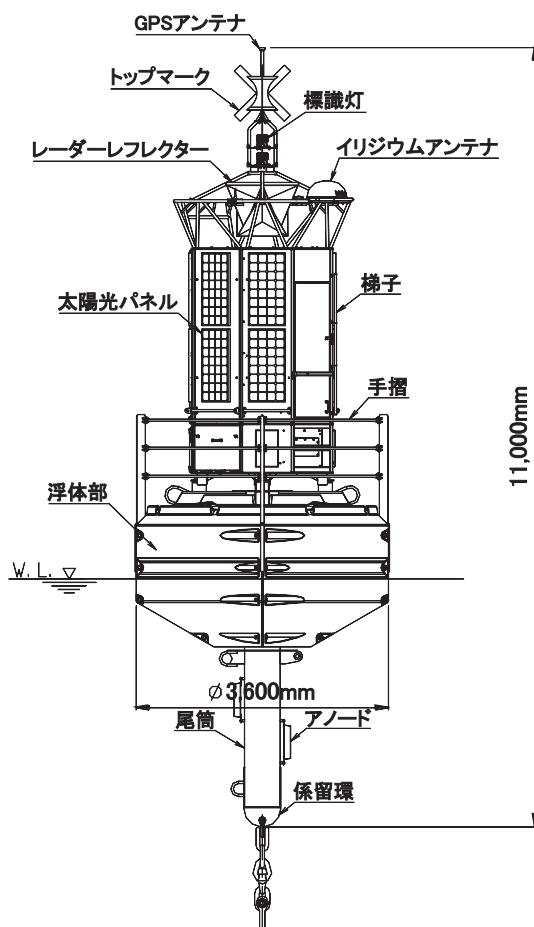


図9 ブイ本体の形状



図10 ブイ本体の全景

13.5m、有義波周期16.1秒、耐用年数2年とした。係留索は、係留環接続部にチェーンφ36mm×25m、懸垂部に繊維ロープφ40mm×441m、海底部にチェーンφ40mm×433 mの複合係留ラインとし、アンカーには、ダンフォース型4tonを用いた。係留索の懸垂部は、海水より比重の小さい繊維ロープを使用することで浮力を節約でき、浮体部を巨大化せずに大水深域での設置を可能とした。

3.4 衛星通信 従来のGPS海洋ブイでは、陸上局とGPS海洋ブイ間のデータ通信に無線を採用している。このため、GPS海洋ブイの設置には無線通信のための陸上局の設置が不可欠であり、GPS海洋ブイの設置場所が陸上局から無線が届く場所に制限されている。また、陸上局から陸上設備間の通信は有線回線を利用するため、被災時に通信が途絶える可能性があった。

これらの問題を解決するため、新型GPS海洋ブイでは通信方式として、イリジウム衛星による衛星通信を採用した。衛星通信装置を図11に示す。

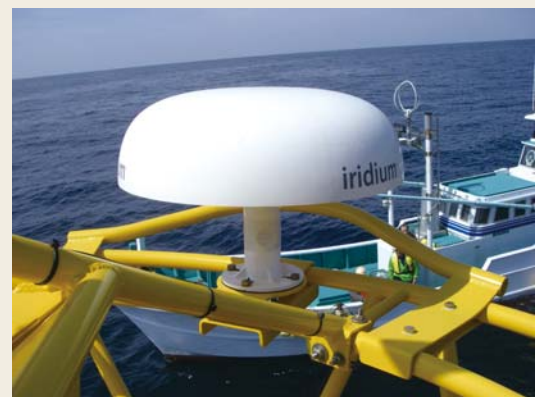


図11 衛星通信装置

イリジウム衛星は、現在66基の衛星で運用されており、海上であれば世界中のどこでもデータ通信を行うことが可能であるため、従来のGPS海洋ブイのような設置場所の制限が無くなるという特徴がある。また、衛星通信アンテナが無指向性であるため、GPS海洋ブイのようにアンテナの向きを固定出来ない場合でも利用が可能である。

従来のGPS海洋ブイでは、1秒毎の測位結果を陸上設備に送信し、陸上設備で波浪、潮位等の解析を行っているが、新型GPS海洋ブイで採用している衛星通信装置は通信費用が高く、通信量も限られているため、ブイ内部で波浪、潮位等の解析を行い、解析結果のみを陸上設備に送る。

4. 実証実験

開発した新型GPS海洋ブイの実海域での性能評価のため、和歌山県田辺の沖合で実証実験を実施している。実証実験は2014年11月に開始し、1年間の実験を予定している。本実証実験では、PPP-AR解析を始めとするシステムの調整、ブイ本体や係留設備の評価などを実施している。

4.1 システム構成 今回の実証実験では、クライアント解析型を採用している。また、陸上の通信には通信衛星を採用しているため、従来のGPS海洋ブイのような陸上局は設置していない。実証実験のシステム構成を図12に示す。

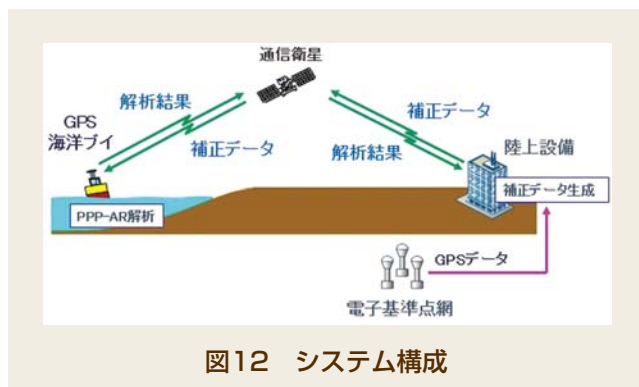


図12 システム構成

陸上設備では国土地理院の電子基準点網のGPSデータを収集し、PPP-AR解析用の補正データを生成する。生成した補正データは、衛星通信を経由してGPS海洋ブイへと送信する。GPS海洋ブイでは補正データを受信し、GPS海洋ブイで受信したGPS観測データと補正データを用いてPPP-AR測位方式による解析を行い、1秒間隔でGPS海洋ブイの変位量を計測する。計測した変位量から潮位を解析し、10秒ごとに衛星通信を経由して陸上設備に送信する。また、波浪を解析し、20分ごとに陸上設備に送信する。

陸上設備では、送信されてきたデータを収集し、収集したデータからWebページを作成し、一般に向けて潮位データと波浪データなどのデータを公開している (URL: <http://www.bousainet.jp/>)。Webページの表示例を図13、図14、図15に示す。

4.2 設置工事 新型GPS海洋ブイを2014年11月16日に和歌山県田辺の沖合約27.8km、水深約500mの地点に設置した。図16に設置位置、図17に設置工事の様子を示す。

設置工事は、ブイ本体の着水、チェーン及びアンカーの艀装、繊維ロープの展張、設置位置調整、レッコの順



図13 一般向け公開Webページ

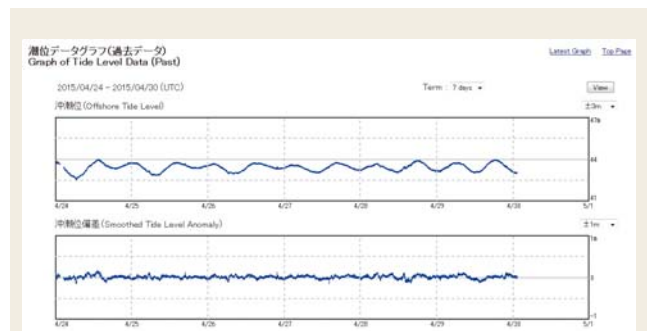


図14 潮位データ表示画面



図15 波浪データ表示画面

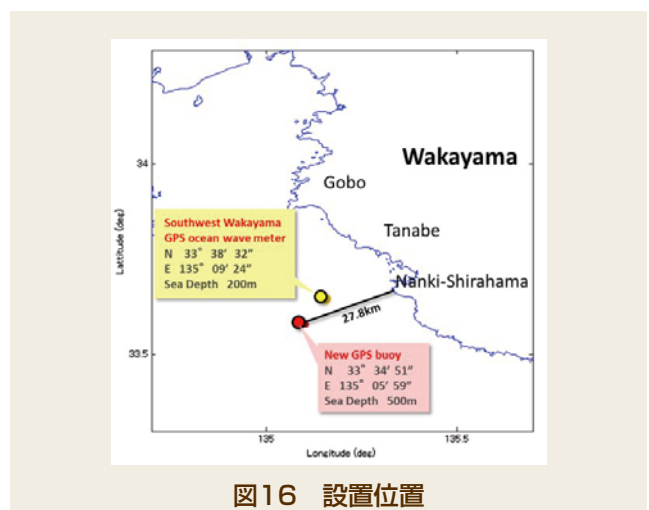


図16 設置位置



図17 設置工事の様子

に実施された。係留索にワイヤケーブルを使用した従来型のケースでは、安全な展張作業のため、ワイヤケーブルにフロートを取り付けながら慎重に繰出し作業を行う必要があるが、今回使用した繊維ロープは海水より比重が小さく、作業船を用いて比較的簡単に展張可能で、工事時間を従来の1/3程度に抑制できた。

4.3 実証実験の状況 設置当初は、システムのトラブル等により解析結果を安定して取得することが出来なかったが、GPS海洋ブイと陸上設備での調整作業を行った結果、2015年1月以降は連続して結果を取得している。

今後、実験期間中に取得したデータからデータ取得状況や解析結果の状況を検証し、製品化に向けた調整作業を実施する。

5. 結 言

本システムの開発により、従来のGPS海洋ブイよりも沖合に設置することが可能となった。また、PPP-AR測位方式と衛星通信によるデータ伝送を採用することで、専用の陸上局が不要となった。さらに、係留設備に繊維ロープを使用したことで、従来型に比べ設置時間を大幅に短縮できた。

和歌山沖実証実験では、引き続き、台風シーズンのデータなどを取得することで、製品化に向けたデータ取得・調整作業を実施する。

6. 謝 辞

和歌山県田辺での実証実験では、和歌山県ならびに和歌山南漁業協同組合をはじめ周辺の漁業協同組合の方々に、ご協力をいただいで実施している。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 丸山忠明, 川村幸男, 武田純男, 永田修一, 三宅成司朗, 藤田孝: 浮体式橋梁の波浪中動揺に関する水理実験, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.896-900, 1997.
- 2) 河合弘泰, 佐藤 真, 川口浩二, 関 克己: GPS波浪計で捉えた平成23年東北地方太平洋沖地震津波, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 67, pp.1291-1295, 2011.
- 3) 清水勝義, 永井紀彦, 里見茂, 李在炯, 久高将信, 藤田孝: ブイ動揺特性を考慮した大水深波浪観測データ処理システムの構築, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1406-1410, 2006.

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) ICT推進本部
ICT事業推進部 情報科学技術グループ
山田浩章
Tel : 06-6551-9128 Fax : 06-6551-9841
e-mail : yamada_h@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Information Science & Technology Section
Information & Communication Technology
Business Promotion Department
Hiroaki Yamada
Tel : +81-6-6551-9128 Fax : +81-6-6551-9841
e-mail : yamada_h@hitachizosen.co.jp



山田 浩章



松下 泰弘



三宅 寿英



井岡 良太



林 稔



杉本 淳



衣川 美沙



平野 辰昇



和田 晃