

Supported by  日本 THE NIPPON
財団 FOUNDATION

簡易型波高計測装置の開発

報告書

平成 28 年 3 月

一般社団法人 日本船舶品質管理協会

目 次

1.	開発の目的	1
2.	開発の目標	2
3.	開発の内容	3
3.1	開発の概要	3
3.2	開発計画	4
3.3	超小型 (MEMS) 加速度計による波高センサーの開発設計	5
3.4	波高センサーパッケージの試作	9
3.5	波高計測ブイの試作	13
3.6	波高センサーパッケージの性能試験	15
3.7	波高計測ブイの評価試験	19
4.	あとがき	25
4.1	開発の成果	25
4.2	おわりに	26

1. 開発の目的

MALPOL条約及び我が国の規制において、船舶からのCO₂の排出量を抑制するための規制であるエネルギー効率設計指標（EEDI）の基準が、2013年1月1日以降の契約船から強制化されたことにより、従来は海上試運転時の波高計測は目視により行っていたものが、波高計測装置又は目視によることとなった。

このため、基準に厳密に適合することを望む船主は、波高計測装置を使用して正確に計測することを強く要請することになり、建造造船所からはこの要請に応えるため、従来非常に高価で煩雑な取り扱いを要する波高計測装置に代わり、小型軽量で安価な波高計測装置の出現が強く望まれている。

波高計には、ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）に代表される海底設置型の超音波式や水圧式のように海面までの時間差や圧力差による計測、ブイなどの海面浮体に搭載した加速度計の変位による計測、衛星からの電波の反射距離によるリートセンシング、最近ではGPSによる測位の変化による計測などの方式が知られている。

現状の波高計測は限定的な観測目的と使用環境からすべての波浪情報（最大、有義、平均、波数、波向、方向スペクトル etc）を長期間高精度に要求されるため、このニーズに対応するようメーカーにおいてもより正確に精密なデータを提供できる仕様、性能の波高計測装置を製造する必要がある。このことから、波高計測装置は高価な製品となっており、潜在ニーズはあるものの普及していないのが現状である。

従って、最近ユビキダス社会への普及とその技術進歩が著しいMEMS（Micro Electro Mechanical Systems：微細電気機械システム）加速度計を海洋における波高センサーとして計測装置に組み込み、小型軽量で安価な誰でも使える無線方式による波高計測装置として開発し、船舶及び船用品の製造者の強い要望に応え、広く普及を図ることにより、船舶・船用品の安全確保及び海洋環境の保全に役立たせることを目的とする。

また、波高計測装置は海上工事、港湾工事などでも広く使用されており、小型軽量で安価な波高計測装置が開発されればこれらの施工管理、安全管理の面においても広く普及することが期待される。

2. 開発の目標

本開発の具体的な目標を下記に掲げる。

・目標性能	測定範囲	→ 波高 30cm～3m（最大、有義、平均） 周期 3 秒～10 秒 波向（有義）
	計測時間	→ 連続計測で 20 分間（当該 1 時間の統計値を算定するのに必要な波データを得るための時間）
	電池寿命	→ 連続計測で 10 日間、毎時計測で 2 カ月
・目標サイズ	直径 φ 50cm 以下	→ 宅配便で輸送できる（現状 1m）
・目標重量	20kg 以下	→ 1 人で扱える（現状 50kg : 木箱要）
・目標価格	200 万円以下	→ 現有の半額以下
・通信費	不要	→ 無線 LAN、特定小電力 （現状 5,000 円～10,000 円/月）

本開発では、海上に浮かべて波高を計測する装置を開発するものであり、波高としては最大、有義、平均の 3 種類、それぞれの波高に対する周期、波向きを計測し、測定範囲は上述の通りとする。波高の計測時間は連続して 20 分間に設定し、装置に搭載する電源の寿命は連続波高計測で 10 日以上、毎時計測で 2 カ月以上を目標とする。

開発する波高計測装置は、取り扱いやすく 1 人で作業できるよう小型・軽量化を目指し、装置の大きさは直径 φ 50cm 以下、全体の重量は 20kg 以下に抑える。そして、装置を普及しやすくなるよう保守・管理費用をなくして全体の価格を抑えて安価にし、価格を 200 万円以下、運用後の通信費が掛からないようにする。

3. 開発の内容

3.1 開発の概要

本開発では、まず波高を計測するための核となる MEMS 加速度センサーの選定が非常に重要であり、選定したセンサーを使用して得られる加速度を陸地または所有するパソコンへ伝送させ、波高に演算するためのソフトを開発して波高を計測するシステムを構築する。次に搭載する各機器が正常に機能できるようシステム全体を制御するための波高センサーパッケージを設計試作し、また海上で安定して波高計測ができるよう波への追従性の良い小型軽量化を図った波高計測ブイを設計試作する。

そして、海上でのブイの運動と同様な動きが出来る疑似波高動揺試験機を使用して、波高センサーパッケージの性能試験を行い、計測した波高・周期の精度評価し更なる高精度化を図る。更に試作した波高計測ブイを実際の海上に浮かべての評価試験を行い、実使用環境における性能、信頼性を同場所に超音波式波高計を設置して比較検証する。

主な開発項目は下記の通りである。

- ① 超小型 (MEMS) 加速度計による波高センサーの開発設計
- ② 波高センサーパッケージの試作
- ③ 波高計測ブイの試作
- ④ 波高センサーパッケージの性能試験
- ⑤ 波高計測ブイの評価試験
- ⑥ 事業成果報告書の作成

3.2 開発計画

本事業の実施予定ならびに実績は以下の表に示す。

実施項目	平成 27 年度											
	1 / 4			2 / 4			3 / 4			4 / 4		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①波高センサーの開発設計	←→											
②波高センサーパッケージの試作		←→										
③波高計測ブイの試作				←→								
④波高センサーパッケージの性能試験							←→					
⑤波高計測ブイの評価試験								←→				
⑥報告書作成										←→		↔

注記) 上段 黒線 ←→ 当初計画を表す。

下段 赤線 ↔ 実績を表す。

3.3 超小型 (MEMS) 加速度計による波高センサーの開発設計

本開発を進めるにあたり、まずは目標性能を満たす波高を計測することが可能な MEMS 加速度センサーの選定が必要となる。世の中には数多くの様々な種類の MEMS 加速度センサーが存在しており、小型で高性能なものがいろいろな用途で使用されている。MEMS 加速度センサーを取り扱っている国内外メーカーにヒヤリングを行ったが、使用範囲が高周波数帯のものが多く、目標性能である波の周期が 10 秒とした低周波数帯のものは数が少ない。その中から今回の目標性能を満たすことができる MEMS 加速度センサーを調査し、メーカーの生産数量状況、入手性、流通経路、価格面等を考慮して数社のセンサーを選定した。選定したセンサーを写真 1. に示す。

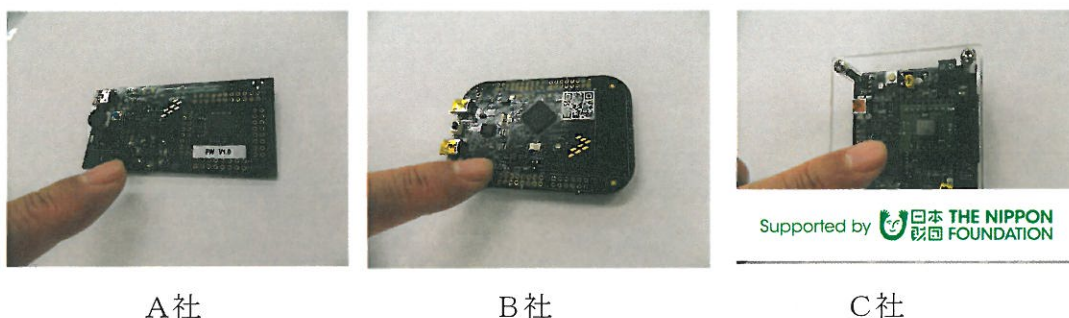


写真 1. 選定した MEMS 加速度センサー

次に選定した MEMS 加速度センサーが波高計測できるかどうかセンサー単体での評価試験を実施した。各センサーを簡単に上下方向に手動で動かす治具を製作して約 80cm 程度の変位を与え、得られた加速度を 2 回積分する試験的な変位換算ソフトを作成して変位を得て評価することとした。

結果として高周波数帯でノイズによる影響があり、少し変位が小さくなる結果ではあったが、その影響はフィルタ解析を考慮して検証していく必要が考えられるものの波高相当の変位を得ることができ、波高計測センサーとして使用可能であることが把握できた。そこで、MEMS 加速度センサーを波高計測センサーとする波高計測装置のシステム構成の構想設計を行い、図 1. に示す。

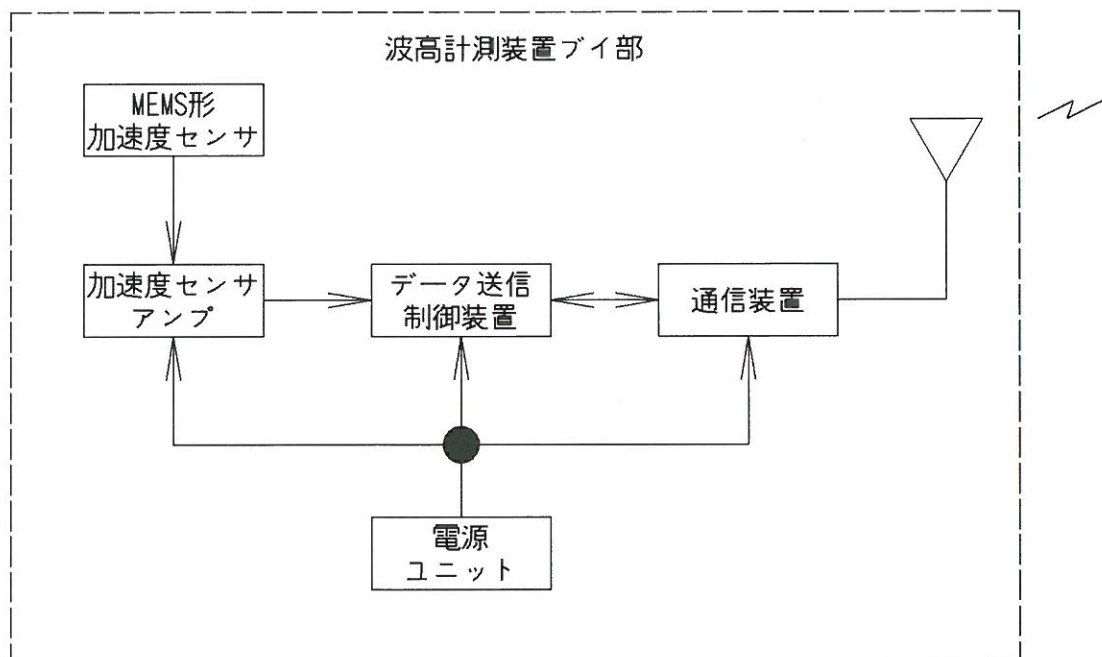


図 1. 簡易型波高計測装置 システム系統図

更に数種類に絞り込んだ MEMS 加速度センサーに対して詳細に精度を検証するための評価試験を行った。高さと周期を自動的に制御できる上下方向に運動する装置（上下スライダー）を製作し、その装置に 2 種類の MEMS 加速度センサーを固定する。条件設定した高さと周期に対して上下方向にセンサーを運動させて得られる加速度を有線それぞれパソコンに取り込む。計測時間は 10 分として得られた加速度より演算ソフトを使用して上下方向の変位に換算する。加速度はサンプリング間隔 $\Delta t=5\text{Hz}$ 、 50Hz 、 100Hz の 3 種類行い、演算ソフトはフィルタ解析できるものを予め作成し、変位換算することとする。その状況を写真 2.～3 及び図 2. に示す。

試験結果より、全てのサンプリング間隔でフィルタ解析することにより正弦波に近似した波形となることが確認でき、特にサンプリング間隔 $\Delta t=50\text{Hz}$ 、 100Hz でより正弦波に近似した波形となり、省電力を考慮してサンプリング間隔は $\Delta t=50\text{Hz}$ に定めた。また、今回の試験では装置の能力より最大上下変位が 100cm までであるが、変位精度の判定基準を $\pm 10\%$ 以内と設け、変位の結果が判定基準内になることを確認した。

最終的に本試験結果及びセンサーの入手性、波高センサーを波高計測装置としてアセンブリのしやすさ、価格などから評価して 1 つの MEMS 加速度センサーを絞り込んだ。今回の試験結果に対する課題として、作成したフィルタを含めた演算ソフトでは波形や精度にバラツキが生じており、さらなる安定化を図るため、今回選定の MEMS 加速度センサーに最適なフィルタの開発及びより厳密な波浪中の動揺に近似させる動揺試験装置を使用するの検証が必要である。



写真 2. 装置に固定した MEMS 加速度センサー

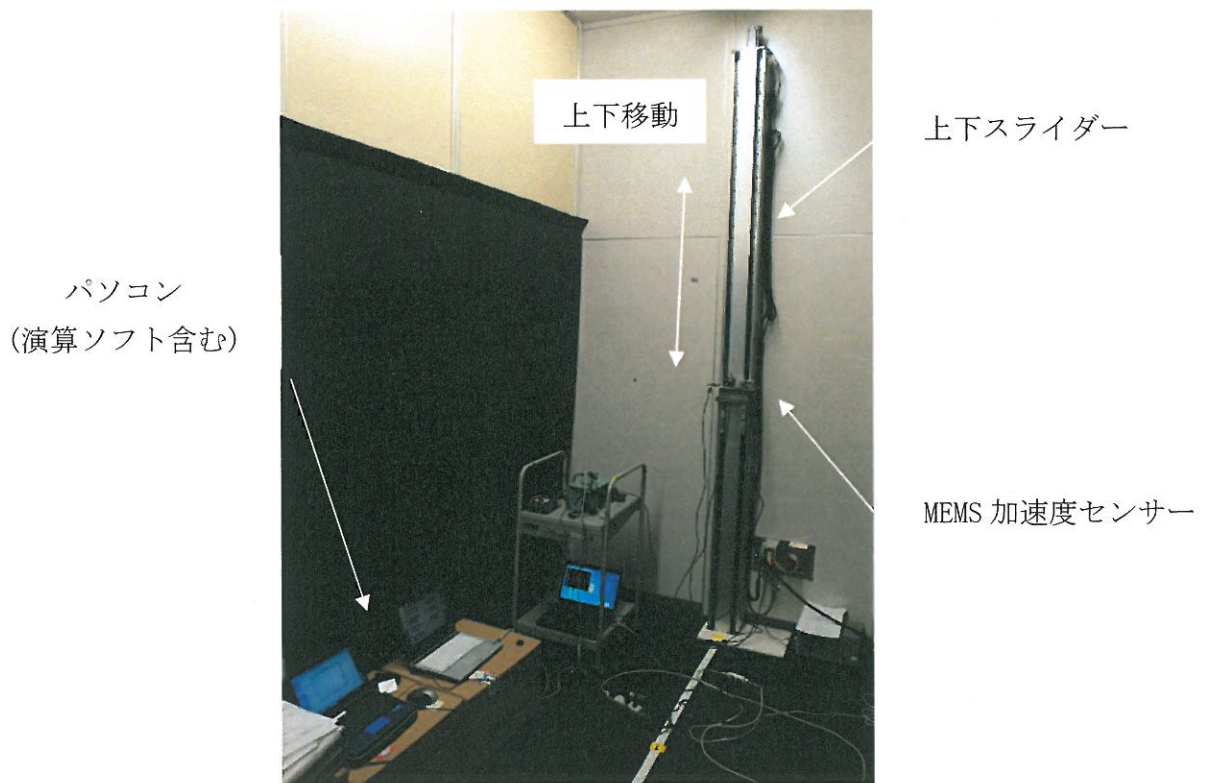
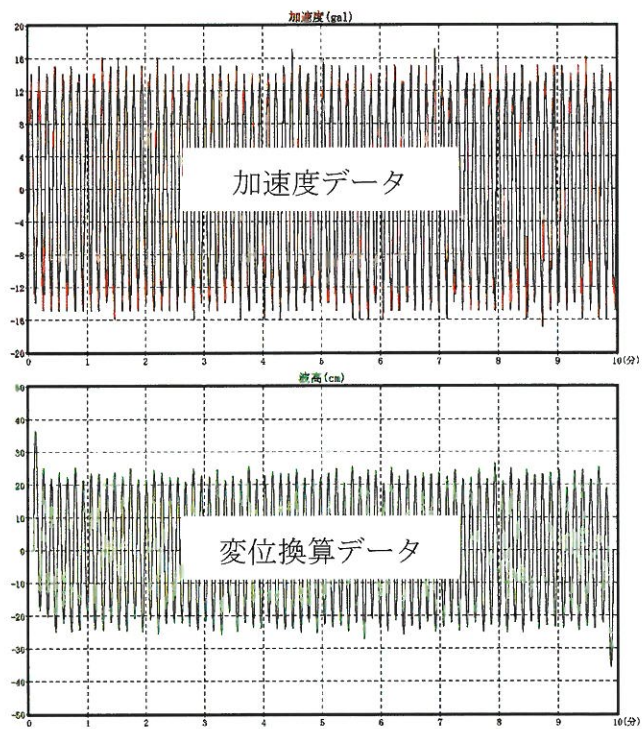


写真 3. MEMS 加速度センサー検証評価試験

試験例)
 試験条件
 変位 H=50cm
 周期 T=8s
 サンプルング間隔 $\Delta t=50\text{Hz}$



H1/3 (cm)	T1/3 (sec)	Hmax (cm)	Tmax (sec)	Hmean (cm)	Tmean (sec)	波数	開始 時刻	終了 時刻	欠測数
49	8.3	51	8.2	47	8.2	71			0

図2. 演算ソフトによる波高解析結果

3.4 波高センサーパッケージの試作

まずは、MEMS 加速度センサーから得られる加速度より波高ならびに周期に換算する波高換算プログラムの開発を行った。加速度の計測時間を 20 分とし設定したサンプリング間隔で取得した加速度を 2 回積分して波高（変位）に換算する。それにフィルタを掛けることにより、時系列に並べて正弦波に近似した波形に処理する。解析した結果から、有義波高、最大波高、平均波高ならびに有義波周期、最大波周期、平均波周期、波数を入力する。また、本システムは無線による通信装置を使用するため、通信によるデータの欠測数も出力するようにする。また、波向きについては MEMS 加速度センサーから得られる加速度で演算するには技術的に難しく、解析するには時刻情報を必要とすることから GPS 受信機を本システムに取り入れることにした。GPS 受信機から取得できる情報として進行方向データがあり、そのデータを解析して波向きを算出するソフトを開発した。

最終的に波高を演算するソフトとして開発作成して、パソコンで波高計測を開始することにより、得られた加速度を無線通信装置にてパソコンにデータを取得し、そのデータから解析した結果を出力するソフトが完成し、そのソフトを図 3. ~4. に示す。演算ソフトのフィルタ処理は波高センサーパッケージの性能試験で厳密に検証し調整して、最適化を図ることにする。



図 3. 波高演算ソフト（通信による加速度データ取得及び結果一覧表示）

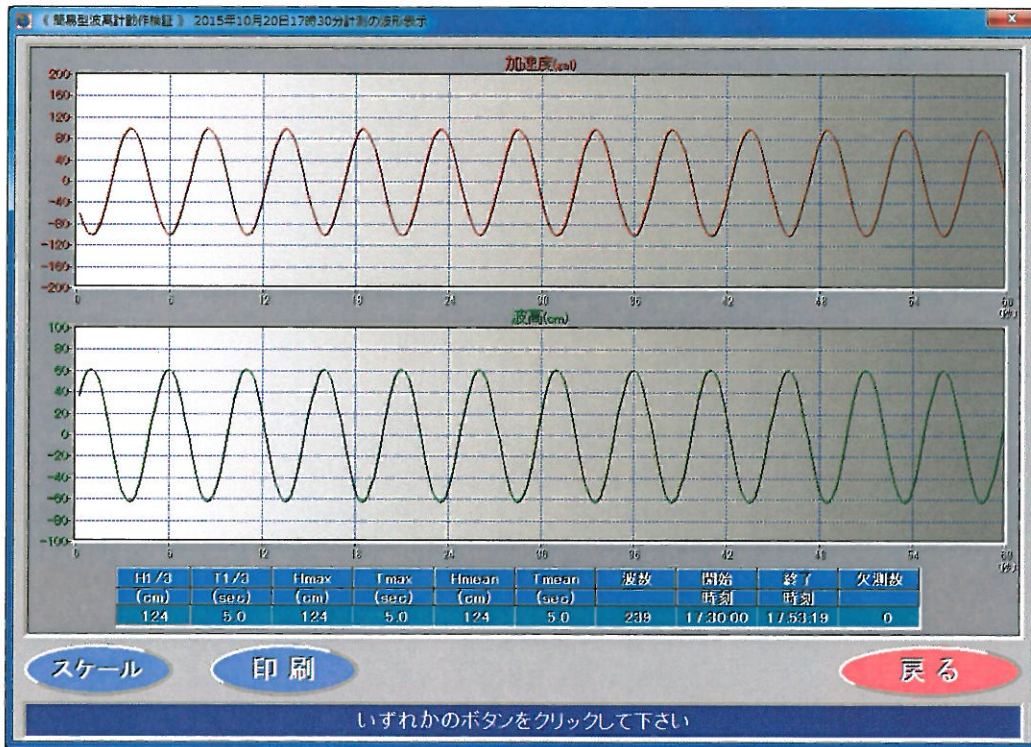


図 4. 波高演算ソフト（解析結果表示）

次に波高計測の核となる MEMS 加速度センサーを組み込んだ全システムを制御するための波高センサーパッケージを試作した。波高センサーパッケージを設計・試作するにあたり、波高を計測するためのシステムを構築し、それぞれ搭載する機器の仕様決めを行い、そのシステム構成図を図 5. に示す。

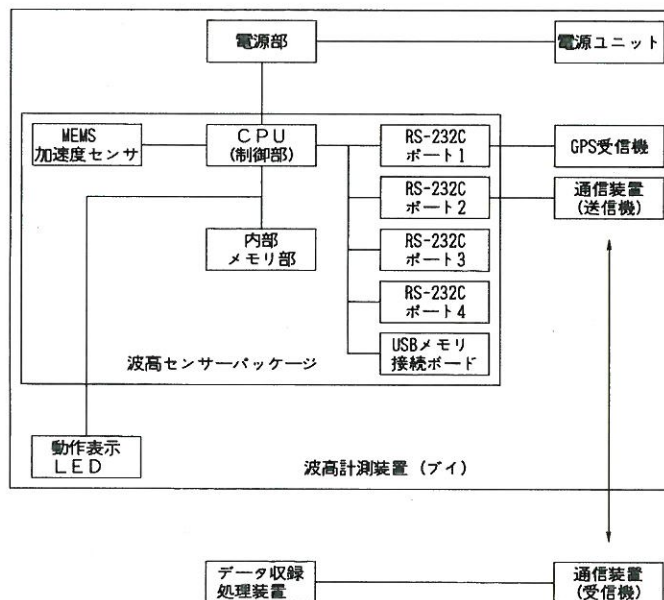


図 5. 簡易型波高計測装置 システム構成図

最初に MEMS 加速度センサーを実装するための基板、CPU 基板及び全体を制御する制御装置基板の回路設計・パターン設計を行い基板を製作した。制御装置基板には動作用スイッチと動作が分かるように LED を設けるようにし、各基板への部品実装を行った。また、制御装置基板へ接続する MEMS 加速度センサー及び GPS 受信機からのそれぞれの取得ソフトを作成、通信装置からの送受信ソフトの作成を行った。それから、各機器の配線がやりやすいよう各ポートを設けて、各基板を金属フレームを用いて組み合わせてユニット化した波高センサーパッケージを試作した。ユニット化することで、形状がコンパクトになり波高計測ブイへの収納がしやすかつ基板や接続部がしっかりと固定できるようになり、取扱いなどの操作性が向上した。また、波高計測ブイにはシステムを動作させるための電源が必要となることから、電源は単一乾電池を組み合わせた 6V 電圧の電源ユニットとして波高センサーパッケージと一体化させ、さらなる操作性向上を図り、海水や湿気から保護するため防水性能のある樹脂ケースに収納させ、それを写真 4.～5. に示す。

通信装置は通信費用が掛からず出来る限り小さいものにして波高計測装置へ収納しやすいものとし、1216MHz 帯の特定小電力無線装置を選定した。また、時刻情報ならびに今回の仕様を満たす進行方向データを出力する GPS 受信機を選定し、それぞれを購入・製作し、写真 6.～8 に示す。

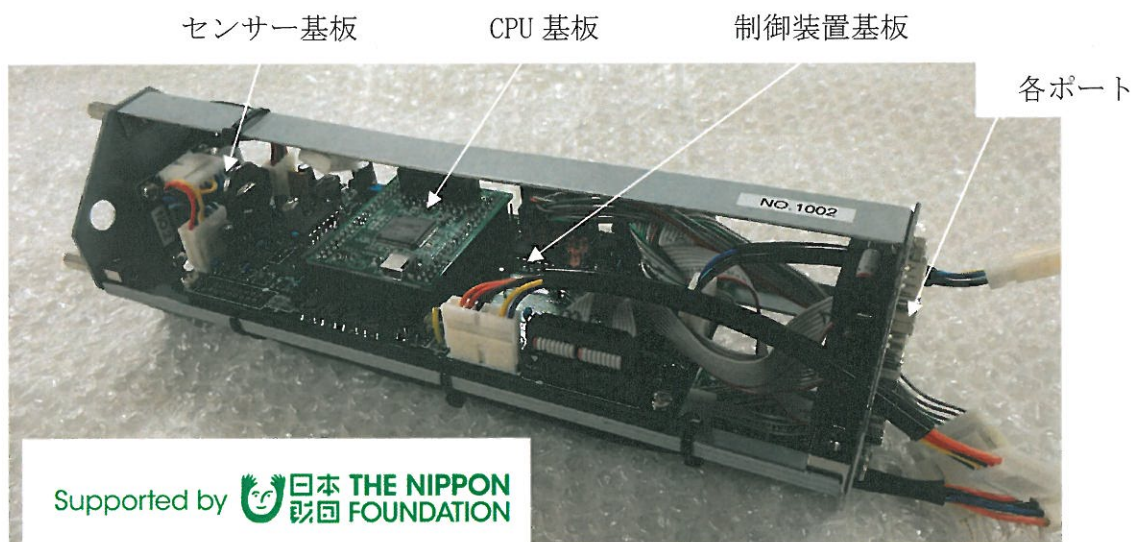


写真 4. 波高センサーパッケージ試作

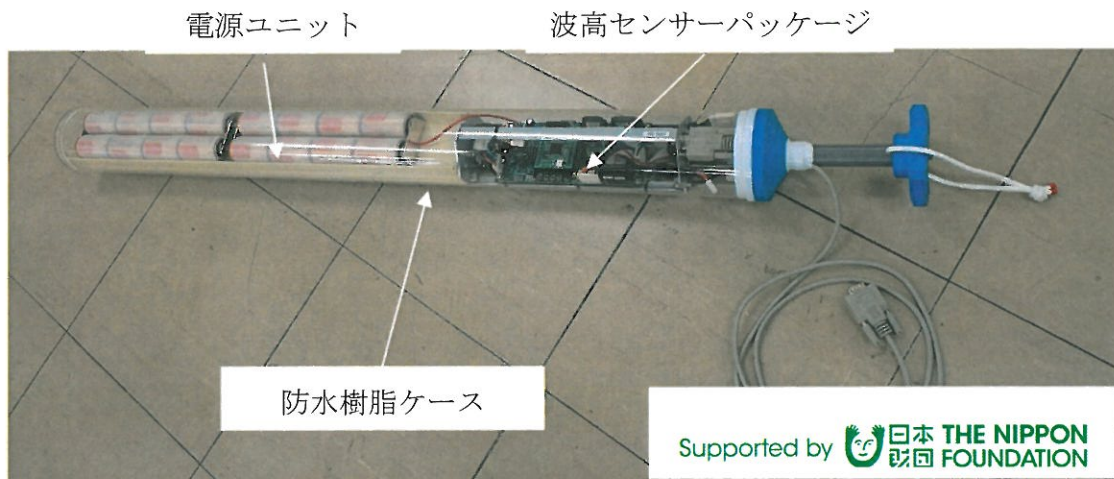


写真 5. 電源ユニット一体型波高センサーパッケージ試作

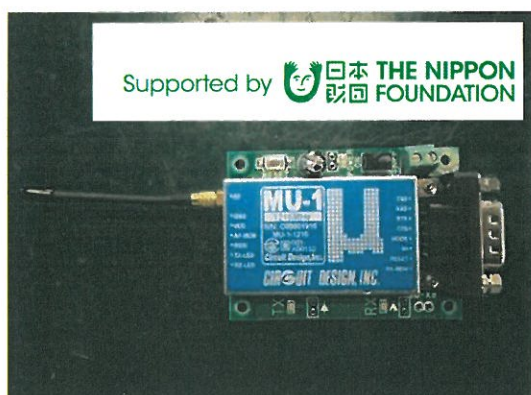


写真 6. 通信装置 (ブイ側送信局)
特定小電力無線

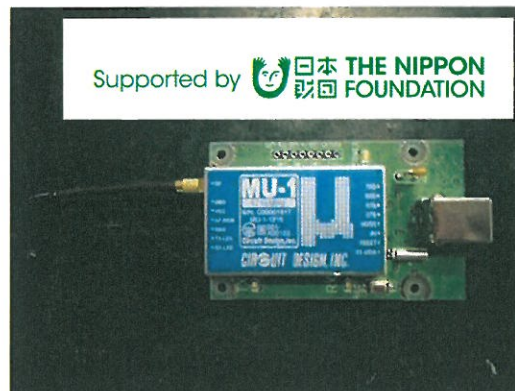


写真 7. 通信装置 (PC側受信局)
特定小電力無線



写真 8. GPS 受信機

3.5 波高計測ブイの試作

MEMS 加速度センサーの波高計測性能にマッチングし、かつ波に対して追従性能が良い最適な動揺特性を有して、小型・軽量化を考慮した波高計測ブイを設計し、試作を行う。まずは、ブイの小型化を図るため、搭載する機器が収納できる最小限の大きさで形状を設計した。また、ブイの軽量化を図るため、強度を必要とする箇所には金属を使用し、使用する金属は海水に対して耐食性良好な軽いアルミ製のものを使用する。その他には出来る限り樹脂材料を使用することとし、特にブイのフロート(浮力体)にも樹脂を使用してブイ全体の重量を軽くするよう設計した。

ブイの下端にはブイの安定性能を向上させるための調整用ウェイトを取付けて最適な動揺特性にし、重量の重い電源ユニットもブイ下端へ配置するよう設計した。そして、ウェイトを調整しながら波高計測ブイの重心位置と MEMS 加速度センサーの位置が重なるようにして、波高計測性能にマッチさせるよう設計した。ブイ上部には GPS 受信機と特定小電力無線装置を配置し、波による電波障害の影響を受けないような高さに位置した。

ブイが波に対して追従性能が良い最適な動揺特性を有しているか、波浪中の運動解析を行い、図 6. に示す。

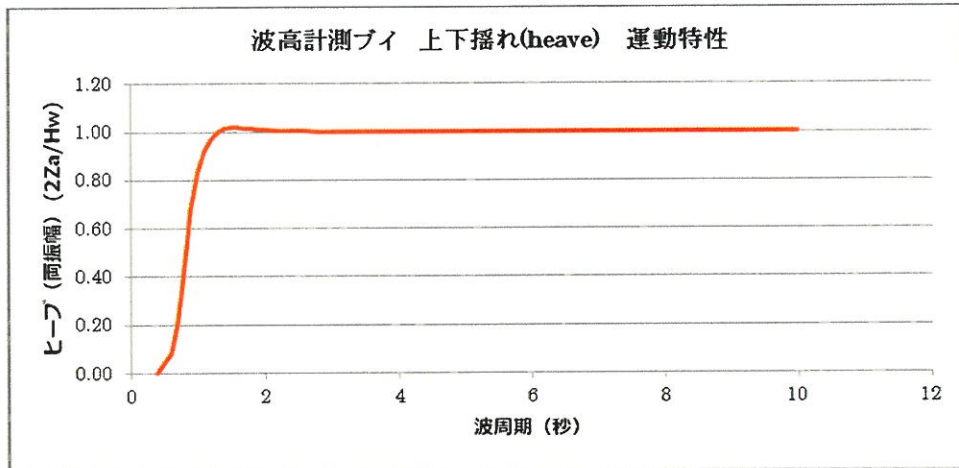


図 6. 波高計測ブイ 上下揺れ(heave) 運動特性

結果より、波高計測ブイは波浪中において波との同調がほとんど見られず、波に追従して安定した動揺特性を有した設計となる。最終的にブイの全長は約 2m、横幅は約 ϕ 0.5m、全重量は約 20kg となり、1 人で持ち運びできる形状となった。

設計したブイを試作するため、材料を購入してブイの製作を行い、搭載する機器や配線材をブイへ装着して組立てを行い、写真 9. に示す。ブイの標体内には電源ユニット一体型波高センサーパッケージを収納し、標体外部にはブイを浮かべるための浮力体となるフロートを装着した。また、ブイ頂部には防水性能を有した樹脂ケース内に GPS 受信機及び通信装置を収納して波高計測ブイ試作が完成した。



写真 9. 波高計測装置試作

3.6 波高センサーパッケージの性能試験

波高センサーパッケージが波高計測システムとして問題なく動作し、波高変換プログラムによる波高演算データが精度よく計測できることを検証評価する。ブイが海上の波浪中で円運動を行うのと同様な動きが出来る疑似波高動揺試験機を準備した。この試験機は、自由に回転を調節できるモータの先端に樹脂のアームを取付けて等速にアームを回転させることが出来るものであり、アームの長さでモータの回転数の設定によりそれぞれ波高と周期を自由に設定できるようになる。今回の計測目標は波高 30cm～3m、周期 3s～10s であり、目標性能に対して幅を持たせて検証出来るよう用意したアーム長さは 1m、2m、3m の 3 種類を設定し、周期は 3s～10s の間で 1s 毎に試験条件を設定することにした。以上の設定条件に対してそれぞれ試験を行い、結果を得て検証することで、目標性能を満足することができるかを評価する。この試験機の片側に波高センサーパッケージを固定し、もう片側にはそれと釣り合いが取れる重りを固定して等速に回転できるようにする。

そして、試験機を回転させて波高センサーパッケージから得られる加速度データをそれに装備している特定小電力通信装置よりデータを送信し、受信側のパソコンにデータを取得して波高演算する。本試験で選定した 1216MHz 帯の特定小電力の無線による通信が欠測することなく、加速度データを送受信でき、問題なく通信できることも合わせて検証評価する。

波高センサーパッケージの性能試験状況を写真 10. に示す。

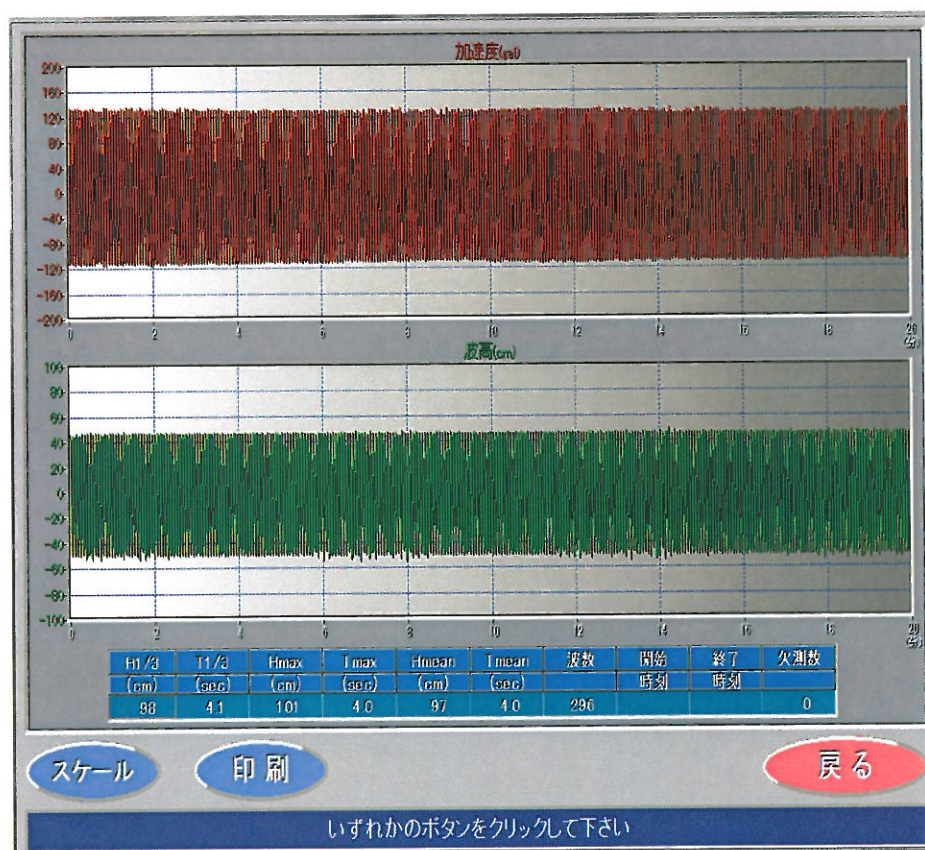


写真 10. 波高センサーパッケージの性能試験

性能試験は、それぞれ設定した全ての波高及び周期に対して 20 分間データを計測し、そのデータを演算処理して出力された結果に対して、その精度を評価する。計測時間を 20 分に設定しているのは、計測するデータに対して統計的に計算処理するためある程度のデータが必要であり、データのバラつきを押さえてより信頼のあるデータとするためである。得られた結果をもとに精度向上を図るため、ハイパスフィルタ及びローパスフィルタの各フィルタを調整して最も良い安定した波高精度となるよう各フィルタを最終設定した。

今回の性能試験で、波高 1m、2m、3m、及び周期 3s～10s の計測条件に対して問題なく波高・周期を計測することができ、簡易型波高計測装置として良好な計測結果が得られた。その結果を図 7. に示す。また、特定小電力無線による通信装置はほとんど欠測することはなく加速度データを送受信することができ、選定した通信装置が問題なく運用できることが検証できた。

目標性能である波高 30cm～3m、周期 3s～10s を満たし、特定小電力無線通信による計測可能な波高計測装置であることが評価できた。



性能試験結果 1

(設定条件)

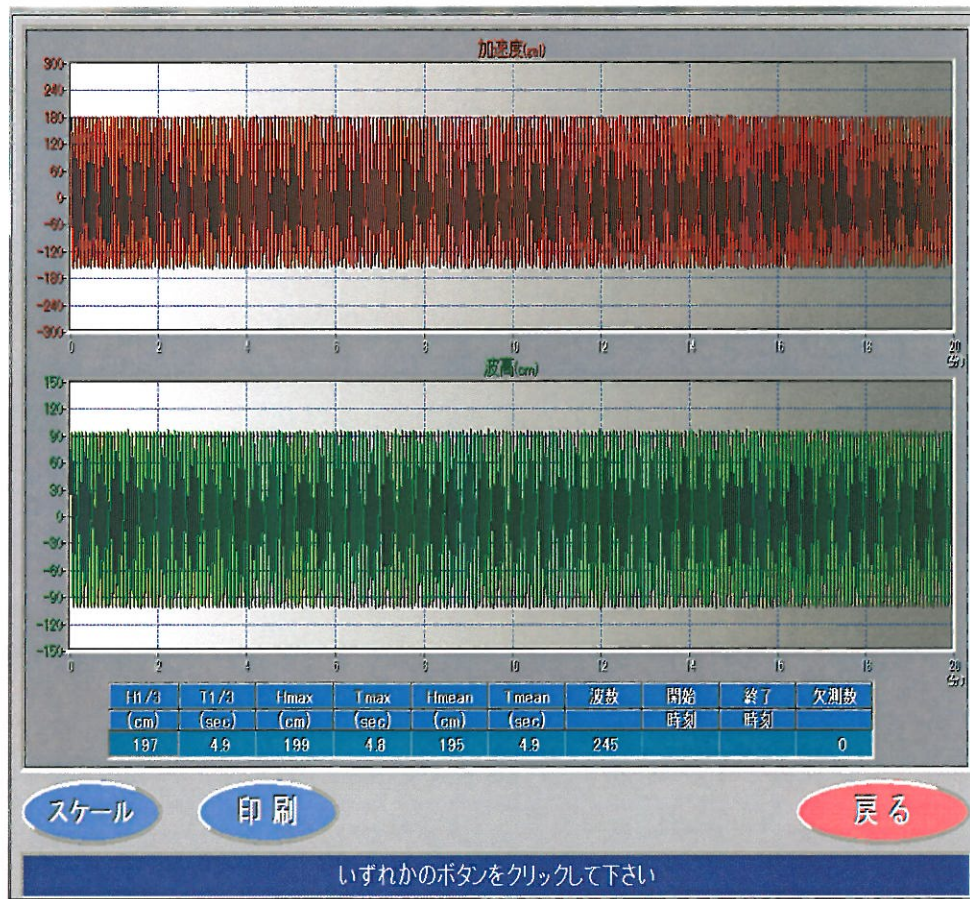
波高：1m (100cm)

周期：4s

(演算結果)

波高：98cm (誤差 2%)

周期：4.1s (誤差 0.1s)



性能試験結果 2

(設定条件)

波高 : 2m (200cm)

周期 : 5s

(演算結果)

波高 : 197cm (誤差 1.5%)

周期 : 4.9s (誤差 0.1s)

図 7. 波高センサーパッケージの性能試験結果

3.7 波高計測ブイの評価試験

試作した波高計測ブイの評価試験を行うため、実際に海にブイを浮かべて波高計測システム全体が問題なく機能し、計測した波高演算データが精度よく計測できることを検証評価する。まずは、評価試験を行うための実海域の場所を選定し、図8.に示すように神奈川県三浦半島南部の宮川湾内に波高計測ブイ(送信局)を設置し、受信局のパソコンは陸の建屋内に設置し、計測データを受信することとする。



図8. 波高計測ブイ設置場所(神奈川県三浦半島南部)

また、今回開発した波高演算データが精度よく計測出来ているかを比較検証するため、超音波式波高計(記録式海底設置型)を用意して同じ場所の海底に設置して波高データを計測する。実験の期間は約1カ月間、波高計測システムとして運用し、送信局として海上には波高計測ブイ2基を係留し、海底には超音波式波高計を設置する。受信局として陸上の建屋に通信装置(特定小電力無線装置)及びパソコンをそれぞれ2台置き、波高計測データを収集した。その状況を写真11.~14.に示す。



写真11. 波高計測ブイ(海上局)

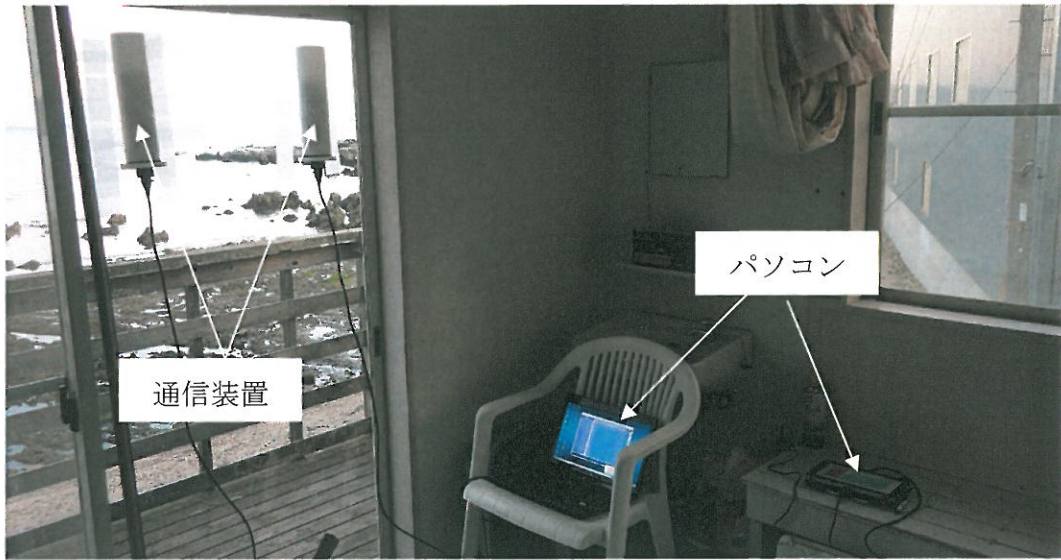


写真 12. 通信装置及びパソコン (受信局)

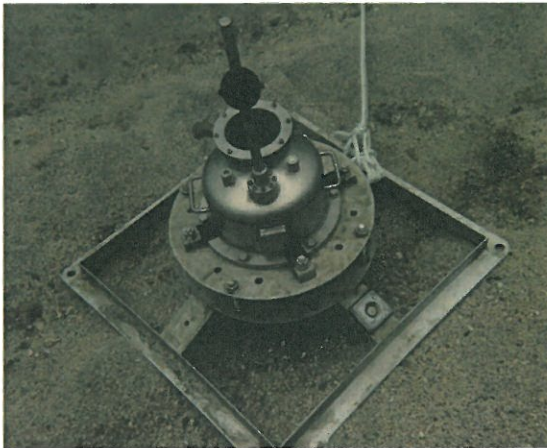


写真 13. 超音波式波高計



写真 14. 受信局 PC 画面

実海域評価試験を実施した結果、最初に波高計測システムとして波高計測ブイ (送信局) で取得した計測データを通信装置にて送信し、受信局の通信装置よりパソコンに計測データを受信して、波高演算ソフトより波高計測した結果を出力するシステムが正常に動作することを確認した。また、波高計測ブイによる運用は連続して行うことが出来、10 日以上連続して正常に動作して波高を計測することができた。

次に特定小電力無線装置による通信について、まずは使用海域における無線装置の環境確認を行い、通信性能を確認した。使用海域でのノイズを計測して悪影響を及ぼすノイズは見られず、通信距離約 500m の場所における無線装置自体の電界強度を計測して無線通信を行うには支障がなく、使用海域で今回の無線装置が問題なく使用できる環境であることを確認した。そして、送信局と受信局の距離を約 500m と設定し通信装置による計測データを送受信した結果、データの欠測は発生するが波高演算を行うには問題ない計測データを送受信し、安定した波高計測結果を得ることが出来た。

そして、実海域の波浪中における波高計測ブイの動揺性能が波面に追従して波高計測に適しているかを目視にて確認した。ブイの近くで確認できるのは船を出して船から確認するため、1m 以下の比較的穏やかな海の状況にはなるが、ブイが波に対して同調し大きく上下動することなく、波面傾斜に追従しており、波高計測に適した動揺特性を有していることを確認した。その状況を写真 15. に示す。



写真 15. 実海域における波高計測ブイ

さらに波高計測ブイには GPS 受信機を搭載しており、ブイが海上で運動することによりその GPS 受信機から進行方向データを取得でき、ブイ側送信局から陸上の受信局へ通信装置によりその計測データを送受信する。取得した進行方向データは波向きに演算するソフトにより解析して波向きを算出することができる。

本評価試験では、係留している波高計測ブイ 2 基とも進行方向データを取得でき、そのデータを解析した結果、波向きのデータを算出することができることを確認した。その解析した結果を図 9. に示す。

以上の結果より、GPS 受信機による波向きの演算システムを確立することができた。



図 9. 波向き演算ソフト（解析結果表示）

本評価試験で得られた波高計測ブイによる波高計測データ結果と超音波式波高計の波高計測データ結果を比較して検証評価した。波高データを比較してみると、2/19～2/20にかけて波高及び周期の計測データは、何らかのノイズの影響により通信装置による欠測が多く見られ、その結果得られた計測データと比較した超音波式波高計の計測データに大きなバラツキが見られたものの、その他の数値のバラツキは小さく、2基のブイの波高データと超音波式波高計の波高データの傾向は同様な結果を得られた。また波周期についても同じように比較してみると2/19～2/20にかけて通信装置の欠測により周期の計測データにも大きなバラツキが見られ、2/25以降からは超音波式波高計の波周期が、波の高さがほとんど変化しないにもかかわらず大きく変動しており、波高計測ブイの計測した波周期は大きな変動はなく安定しているものの同様な傾向が得られなかった。それ以外の周期の傾向についてはバラツキが小さく同様な結果を得ることができた。

以上の結果より、簡易型波高計測装置としては実用上問題なく波高・波周期を計測することができ、本評価試験で、今回開発した波高計測装置が問題なく動作し、安定した波高計測データを得られることが評価できた。その結果を図 10. 及び図 11. に示す。

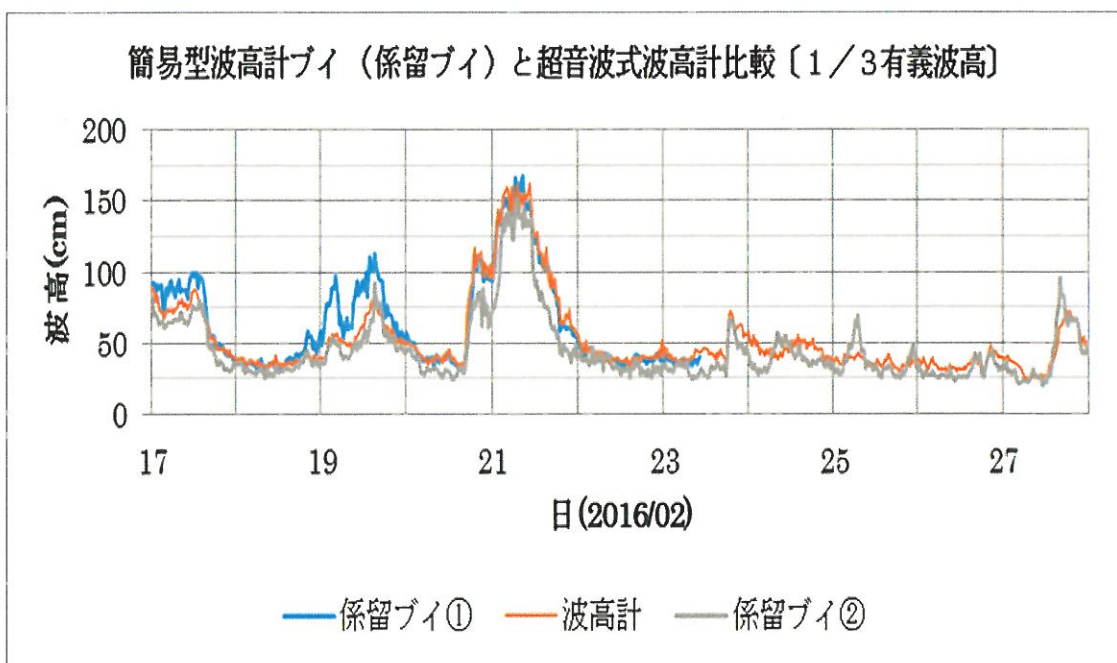


図 10. 波高計測結果比較 (1/3 有義波高)

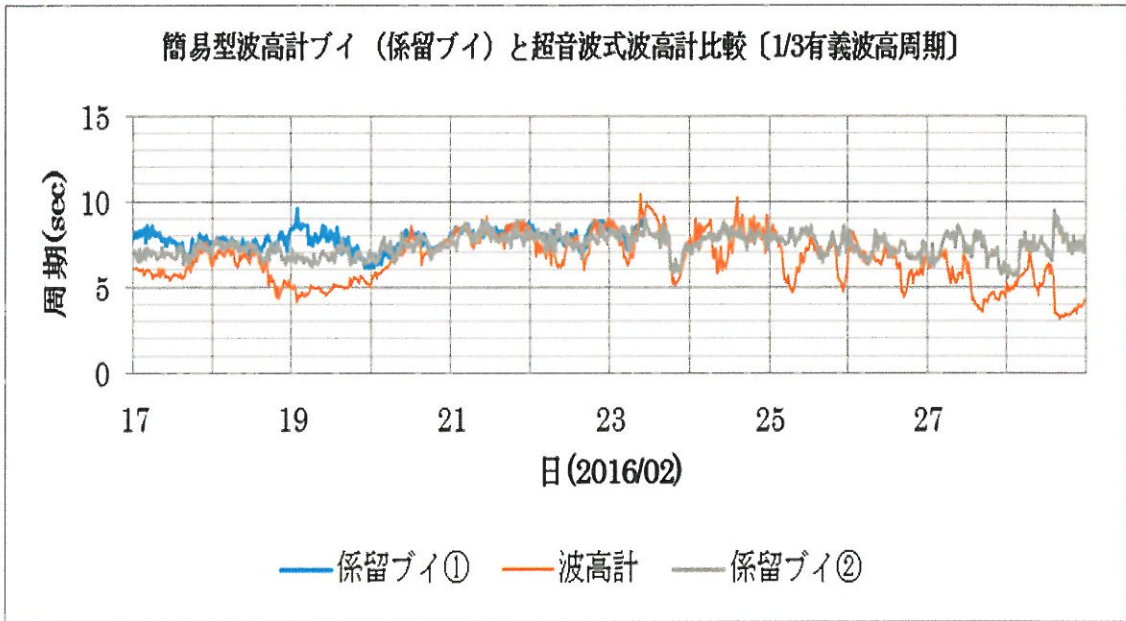


図 11. 波高計測結果比較（1/3 有義波高周期）

4. あとがき

4.1 開発の成果及び課題

今回の簡易型波高計測装置の開発において、波高計測システムを構築して波高計測ブイを設計試作し、性能評価試験を行い種々の成果を得ることが出来た。具体的な成果を以下にまとめる。

- ・MEMS 加速度センサーを波高計測センサーとした波高演算ソフトの開発を行い、目標性能である波高 30cm～3m、周期 3 秒～10 秒、波向きを計測範囲とした波高計測システムを構築した。
- ・今回開発した波高計測システムは、信頼性のある波高データとするため連続して 20 分間データを計測し、実海域での評価試験において連続して 10 日間以上計測することが達成できた。
- ・波高計測ブイは小型・軽量化を目指した設計をして、直径は ϕ 50cm で目標サイズである ϕ 50cm 以下を達成した。そして、ブイを組立てた時の総重量は約 20kg となり、目標重量である 20kg 以下を達成した。
- ・目標価格は、見通しとして波高計測装置量産時の試算ではあるが 200 万円以下となり、目標価格 200 万円以下を達成できる低価格な波高計測装置となった。
- ・特定小電力無線装置による海上での計測データの伝送性について、伝送距離、信頼性を海上実験で確認し、実用性に問題がないことを把握した。
よって、通信費の掛からない特定省電力での無線通信が可能であり、目標である運用後の通信費用が掛からない通信システムが完成した。
- ・設計試作した波高計測ブイを実海域に設置して評価試験を実施し、実測した波高データを検証評価して妥当性を確認した。本開発の目標である簡易型波高計測装置の開発が達成できた。

4.2 おわりに

今回開発した波高計測装置が顧客へ広く普及していくことを目指し、更なる製品の改良・改善に取り組んでいきたいと考える。

最後になりましたが本開発を行うにあたり、日本財団様からの多大なご支援を頂き、深く感謝申し上げます。