

大型船舶向け横揺れ周期・傾斜角表示システムの開発

生産システム工学専攻 井上 修輔

Development of a System for Measuring the Rolling Cycle and the Indication Angle for Sea Vessels

Shusuke Inoue

Advanced Course of Production System Engineering, National Institute of Technology, Toba College.

Abstract

A rollover and submergence accident involving a Korean vessel occurred on April 16, 2014. There are multiple causes of this accident but the main cause was due to a loss of stability. Stability is the factor that returns a ship to its original position when tipped by an external force. However, it is difficult to determine stability on board because the center of gravity and center of buoyancy of car ferries and cargo boats are necessarily measured using a numerical value. Therefore crew do not always measure stability. The lack of measurement of the inclination angle and the rolling cycle causes ships to lose their balance and can possibly lead to terrible accidents, such as grounding or overturning.

Therefore a system for measuring the indication angle and the rolling cycle for vessels has been developed. This system measures the angle of inclination and the rolling period from acceleration data measured from the bridge of the vessel. This system consists of an Android terminal with a measurement application, a web server and a web page. Sailors can read the web page by accessing an Android terminal such as a smartphone or a personal computer equipped with this system.

Keywords : Indication Angle, Rolling Cycle, Stability, Measurement System, FFT

1. はじめに

2014年4月16日、韓国籍の旅客船が転覆・沈没を起こす事故が起こった。この事故は過積載やバラスト水の調節ミスなどによる復原力の喪失が原因として考えられている。復原力とは、航行中に波などの外力によって船体が傾けられたとき、元の姿勢に戻ろうとする力である。したがって、復原力が小さい船は少しの外力でも転覆する可能性がある。この復原力の算出には船体の重心の高さと浮力の中心である浮心の位置関係を利用する。しかしながら、貨物船やカーフェリーなどの積み荷の状態が一定でない船では重心位置・浮心位置を特定することが難しく、正確な計測は困難である。そのため、カーフェリーなどでは、横揺れ周期、傾斜角等の指標を用いて復原力の推定を行い、運航の安全性の確保に努めているが、定常的な記録は行っていない。

そこで私は、船上で定量的に計測することが難しい復原力を推定するために船橋で観測される加速度データを利用して横揺れ周期・傾斜角を計算し、船員が自身の所有するスマートフォンやPCから簡単に確認できるシステムの作成を行った。

本システムはAndroid端末一台で構成し、計測アプ

リケーション、Webサーバ、Webページを内蔵している。Webページでは、横揺れ周期や傾斜角など現在の船体の状況を数値で確認できることはもちろん、現在の傾斜角を視覚的に確認できるイラストや過去からの推移をグラフで確認できる機能も盛り込んだ。

また、Webページへのアクセス方法としてはテザリングを利用している。システムを導入した端末をテザリング機能で無線基地局とすることで、船員はPCやスマートフォンを端末に接続することができ、船員は自身のスマートフォンやPCでシステムを搭載したAndroid端末にアクセスすることによって船員向けWebページを閲覧することができる。

なお、開発したWebページにはPC向けとスマートフォン向けが用意しており、接続した端末を自動で判断し、端末に適したWebページを表示する。

2. システムの構成

2.1 概要

大型船舶向け横揺れ周期・傾斜角情報表示システムとは、船員が船上で船の横揺れ周期・傾斜角情報を確認するためのシステムである。図1に今回作成したシステムの構成を示す。

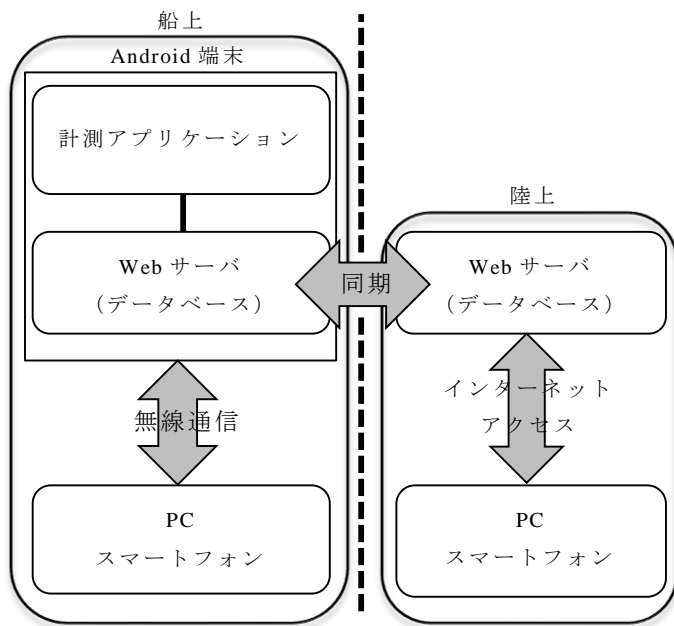


図 1 システムの構成

Android 端末には、計測アプリケーションプログラム、Web サーバ、データベースがインストールされている。システムを導入した Android 端末を船橋に設置し、加速度データを収集しながら 3.1 節で示す横揺れ周期や 3.3 節で示す傾斜角を計算し、船員所有の携帯端末や PC から図 2 に示す船体情報の提供を行う。

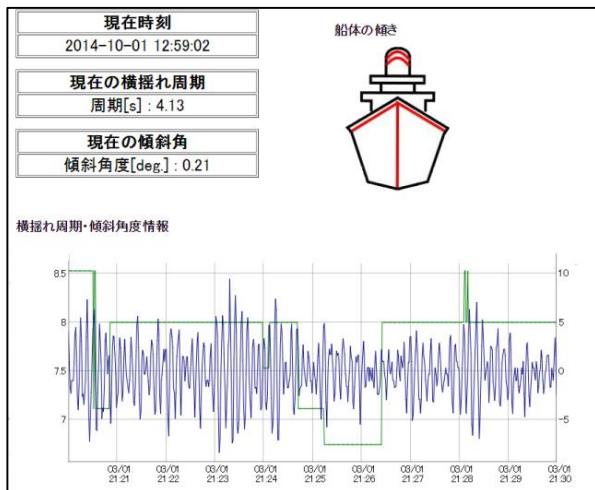


図 2 船員に提供する Web ページの例

この機能の実現のために KSWEB[2]という Web サーバの機能を持つ Android アプリケーションを搭載した.KSWEBでは Web (http) サーバ、MySQL、PHP の機能が利用可能である。また、船上で計測されたデータは陸上の船会社で解析できることが望ましいため、あらかじめ用意した陸上のデータベースサーバに

MySQL のレプリケーション機能を使用し同期・保存を行う。端末としては Nexus7 を使用した。Nexus7 ではデータ通信の SIM カードを指すことにより 4G ネットワークで通信することができる。このため、船上で記録した陸上のデータベースサーバと通信することができる。また、システムのデータベースと陸上サーバのデータベースは MySQL のレプリケーション機能を用いて同期している。そのため、電波のつながらない海上で計測したデータも陸上に戻り、電波が受信できるようになれば陸上サーバに同期される。陸上サーバへデータを同期することにより、運行情報が陸上からも確認できる。

次に Web ページの閲覧方法に説明する。本システムの計測アプリケーションは起動すると図 3 のような起動画面を表示する。この起動画面には QR コードを表示している。この QR コードにはサーバまでのアドレスを書き込んであり、システムを導入した端末とデザリングを行った状態で QR コードを撮影するだけで Web ページを閲覧することができる。



図 3 計測アプリケーションの起動画面

2.2 使用機器

本システムで使用した Nexus7 の外観を図 4 に示す。また、Nexus7 が搭載している加速度センサ (MPU-6050) の仕様を表 1 に示す。



図 4 Nexus7 の外観

表 1 加速度センサ (MPU-6050) の仕様

項目	仕様
センシング範囲	±4g
電圧供給	3.3 ~ 5.0V
軸数	3 軸

3. 横揺れ周期・傾斜角の算出方法

3.1 横揺れ周期と復原力

船の復原力は一般的に船体重量と浮心位置を利用して算出する。しかしながら、積み荷の位置が一定でなく、重心位置、浮心位置の特定が難しいカーフェリーなどでは正確な計測は難しい。ここで、「基本運用術 [3]」には船体の横揺れ周期は式 (1) によって求めることができると記されている。

$$T = 0.8 * \frac{B}{\sqrt{GM}} \dots (1)$$

B : 船幅 (m)

GM : 復原力

T : 横揺れ周期 (sec)

つまり横揺れ周期が分かればおおよその復原力が推定できるといえる。

なお、式 (1) 中で述べている横揺れ周期とは、図 5 のように船が両側に傾き、元の姿勢に戻るまでを一周期とし、揺れ始めから揺れ終わりまでにかかる時間のことである。

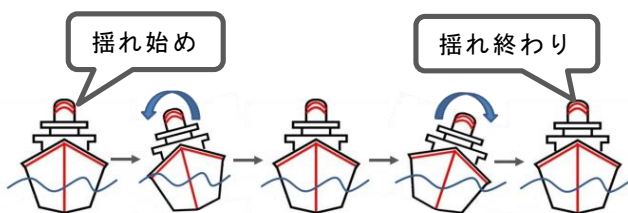


図 5 船体における横揺れの一周期

3.2 横揺れ周期の算出方法

現在、復原力は船員がストップウォッチを利用して、横揺れ周期を測定し、推定している。しかしながら、常時計測するわけには行かず、これらを記録することも煩雑である。本システムでは Android 端末で計測した加速度データを連続信号とみなし、高速フーリエ変換 (以下、FFT[4]) をかけることによって船体の挙動に含まれる周波数成分を算出し、その最大値から横揺れ周期を推定することとした。

まず、FFT の流れと横揺れ周期の算出方法について

説明する。今回横揺れ周期の算出を行うに当たって FFT 変換は計測アプリケーションによって 0.1 秒間隔でサンプリングされた時間重複なしの加速度データ 256 点データで行う。ここで FFT を施した例を図 6 に示す。FFT の結果はパワースペクトルの強度と周波数分布で得られる。また、図 6 で示した結果は縦軸がパワースペクトルの強度、横軸は周波数となっている。

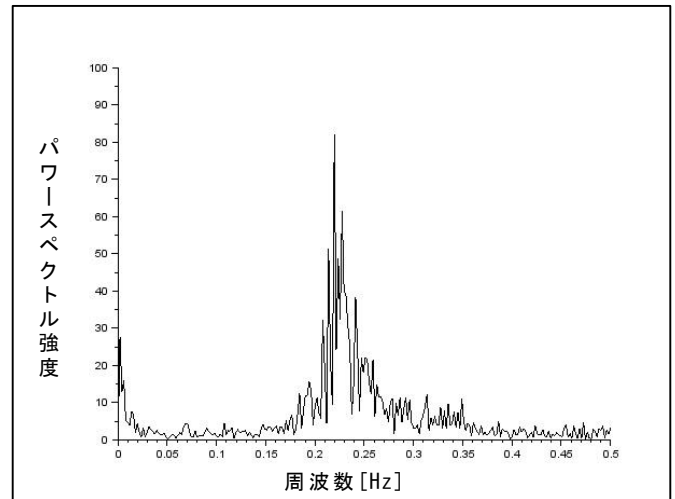


図 6 FFT を施した例

次に、得られた FFT の結果に対してパワースペクトルが最大となる点を調べる。本システムではパワースペクトルが最大となった点に対応する周波数を横揺れの周波数とし、逆数をとることで横揺れ周期の算出を行う。

3.3 傾斜角の計測方法

はじめに図 7 に船体軸方向を、図 8 に Android 端末の加速度センサの軸方向を示す。

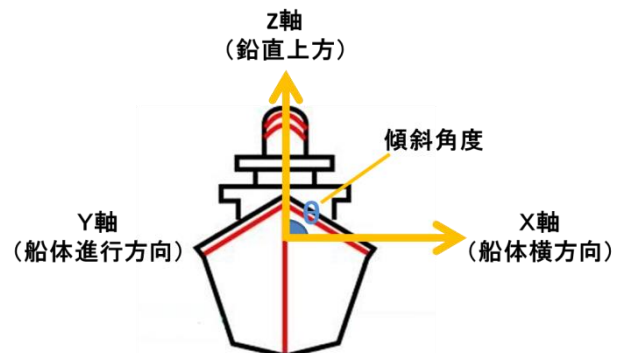


図 7 船体の軸方向の定義



図 8 Android 端末の加速度センサの軸方向

本システムでは図 8 で示した Android 端末の Y 軸を進行方向，鉛直上方を Z 軸，船体横方向を X 軸に向くように設置し，式 (2) を用いて傾斜角 θ の算出を行った。

$$\theta = \arctan\left(\frac{X}{Z}\right) \dots (2)$$

X : X軸加速度 (m/s²)

Z : Z軸加速度 (m/s²)

4. 横揺れ周期・傾斜角情報表示システムの構築

4.1 データ計測の流れ

計測アプリケーションは，プログラム言語 Java と Android SDK[5]を用いて開発を行った。本節ではデータの計測と保存の流れについて説明する。

まず船員が計測用アプリケーションを起動すると，アプリケーションは加速度計測のための定期処理を開始する。この定期処理は 0.1 秒間隔で実行され，Android 端末の加速度データを計測し，256 個の加速度データに対して 3.2 節で述べた横揺れ周期の検出処理を行う。また，傾斜角については前後の加速度データを平均化して算出している。

開発した計測アプリケーションには，加速度データを計測する観測モジュールと FFT などにより横揺れ周期や傾斜角を算出する計算モジュールが含まれている。これらは，アプリケーション上でそれぞれ別のスレッドとして動作させることで，加速度データの観測が途切れないように実装を行った。

また，今回利用した KSWEB では，Java からデータベース (MySQL[7]) へのデータ書き込みが直接行えなかったため，データの保存は図 9 のように計測アプリケーションから KSWEB 内のデータ保存プログラムに横揺れ周期・傾斜角・加速度・計測日時のデータを送信し，PHP で MySQL へ記録する。

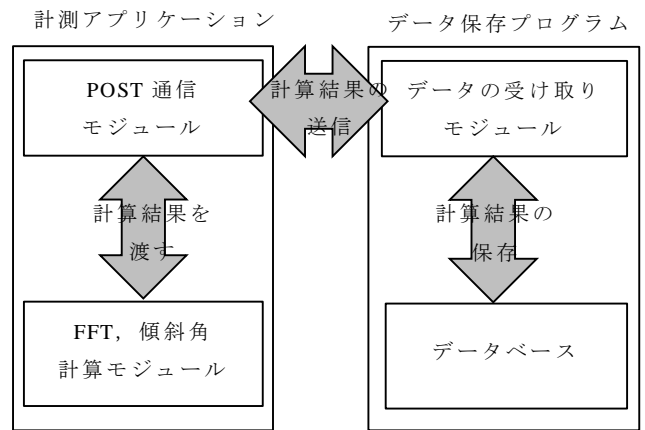


図 9 プログラムのデータ計測・保存の流れ

計測アプリケーションで送信した各種データはシステム内にあらかじめ設置してある PHP プログラムによって受信される。このプログラムはデータベースへ接続し，受信したデータの書き込みを行うプログラムである。

4.2 データベースの構成

本システムでは横揺れ周期・傾斜角の保存・管理を行うために，KSWEB 内に内蔵されている MySQL を利用した。データベース内には表 2，表 3 に示すテーブルを作成し，横揺れ周期や FFT による解析結果などの Web ページで表示する情報を保存する。また，陸上に設置してあるデータベースサーバにも同じ構造のテーブルを作成した。

表 2 加速度保存テーブルの構造

内容	カラム名	型
登録 ID	id	int
登録時刻	record_time	datetime
X 軸加速度	x_axis	double
Y 軸加速度	y_axis	double
Z 軸加速度	z_axis	double

表 3 傾斜角・横揺れ周期保存用データベースの構造

内容	カラム名	型
登録 ID	id	int
登録時刻	record_time	datetime
横揺れ周期	period	double
傾斜角	angle	double

5. 船員向け Web ページ

5.1 Web ページの構成

本節で解説する Web ページは、船員が所有するスマートフォンや PC の Web ブラウザでシステム内の Web サーバにアクセスすることで閲覧することができる。作成した Web ページの構成を図 10 に示す。

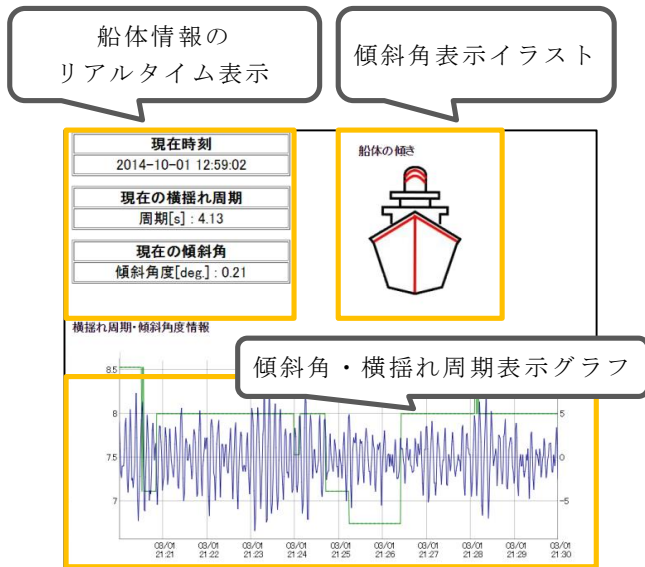


図 10 Web ページの構成

Web ページは船体情報のリアルタイム表示、傾斜角・横揺れ周期表示グラフ、傾斜角表示イラストを表示する。また、Web ページは 1 分に 1 度自動更新を行い、常に最新のデータを表示するようになっている。

また、この Web ページにはスマートフォン用と PC 用を用意した。スマートフォンでアクセスすると表示される Web ページの画面を図 11 に示す

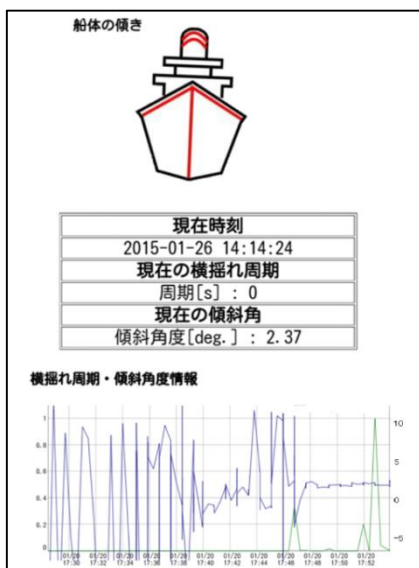


図 11 スマートフォンでの表示例

5.2 船体情報のリアルタイム表示

船体情報のリアルタイム表示とは現在の時刻、横揺れ周期、傾斜角を確認するための表である。表の外観を図 12 に示す。なお、この表示は Web ページ左上部に行われる。



図 12 船体情報のリアルタイム表示

Web ページの表示もしくは更新が行われた場合、Web ページ左上部に図 12 に示す船体情報のリアルタイム表示を行う。この表示は図 12 に示す通り、上から現在の時刻（アクセス時刻）、現在の横揺れ周期情報、現在の傾斜角情報を表示する。これらの値は Web ページが表示されたときにデータベースから最新の情報を取得し、出力される。

5.3 横揺れ周期・傾斜角グラフ

傾斜角と横揺れ周期を記録された時刻ごとにグラフ表示することで、それぞれの経時的な変化を見ることができる。実際に Web ページで表示されるグラフを図 13 に示す。

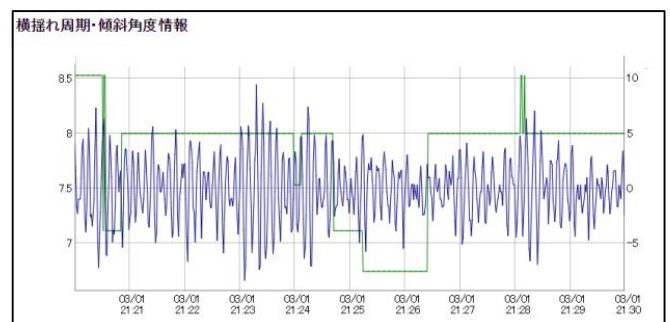


図 13 横揺れ周期・傾斜角グラフ

このグラフは横軸をデータの計測日時、縦軸を横揺れ周期・傾斜角の大きさとし、最新 10 分間の横揺れ周期・傾斜角情報を表示する。横揺れ周期と傾斜角情報は 1 つのグラフ内で同時に確認することが望ましい

ため、このグラフ内に描画されている緑色の線を横揺れ周期、青色の線を傾斜角とし、横揺れ周期と傾斜角を同時に表示している。そのため、縦軸の目盛を左右に分けて、横揺れ周期を読むときは左、傾斜角を読むときには右の目盛を見る。

図 13 に示したグラフは、実際に新日本海フェリーの所有する「フェリーしらかば」に本システムを搭載した際に得られた計測データである。このデータは、海象が比較的荒れている状況をあえて抽出した。横揺れ周期は概ね 8 秒程度であるが、時折変化がみられることや、傾斜角は ± 4 度を中心にうねりなどによって変化があったということが読み取れる。つまり、船員はこれらを複合的に勘案して船舶が安全に航行しているかの参考情報として利用することができる。

なお、グラフはオープンソースのグラフ描画スクリプトである Dygraphs[8]を使用している。このグラフは MySQL から計測日時・横揺れ周期・傾斜角データを Dygraphs に渡すことで描画する。

5.4 傾斜角表示イラスト

傾斜角は Web ページ左上の船体情報やグラフによって数値で確認することができるが、数値を見るだけでは船がどの程度傾斜しているのか感覚的に分かり辛い。そこで、Web ページの画面右上に、現在の進行方向正面から見た船のイラスト画像を表示する図 14、15 として傾斜 0 度と傾斜 10 度の場合のイラストを示す。

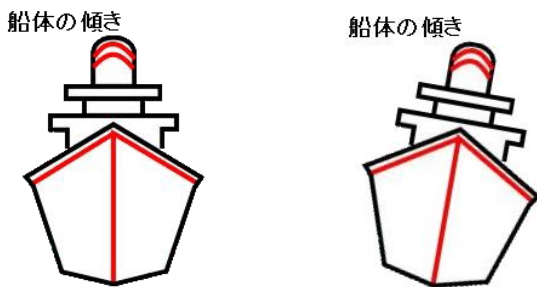


図 14 傾斜角 (傾斜 0 度) 図 15 傾斜角 (傾斜 10 度)

イラスト画像の回転処理は jQueryRotate[9]を利用した。jQueryRotate は回転させたい角度をデータベースから引出し、プログラムに引数として渡すことによって画像の回転を行う Javascript ファイルである。この回転処理は Web ページが表示されると毎回行われ、最新の傾斜角情報を表示する。これにより、船員は現在の船の傾きを直感的に確認することができる。

6. フェリーしらかばでの利用

本アプリケーションで計測を行っている横揺れ周期・傾斜角の有効性について検証するために平成 25 年 3 月 1 日～3 月 10 日の間、新日本海フェリーの「フェリーしらかば」にて計測したデータを使用し、検証を行った。検証対象とした期間中、しらかばは約 8 時間の航海を毎日行っており、約 80 時間分のデータを記録していた。

また、図 16 には 20:50 から 21:50 までの 1 時間の横揺れ周期だけを表示したグラフ、図 17 には 21:00 から 21:10 までの 10 分間のデータを拡大表示したグラフを示す。これらのグラフは 3 月 1 日の 20 時 50 分頃、しらかばが苫小牧東港を出港後、しばらく航行を行った際に得られた結果である。

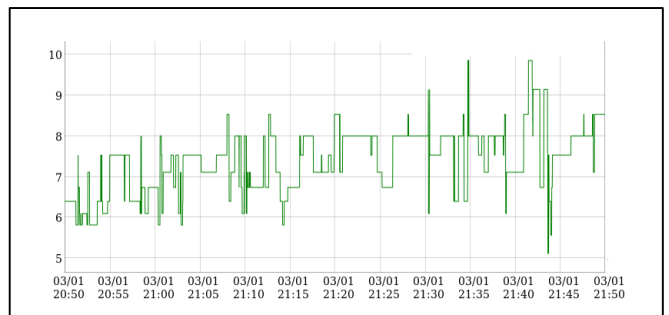


図 16 横揺れ周期の変化 (1 時間)

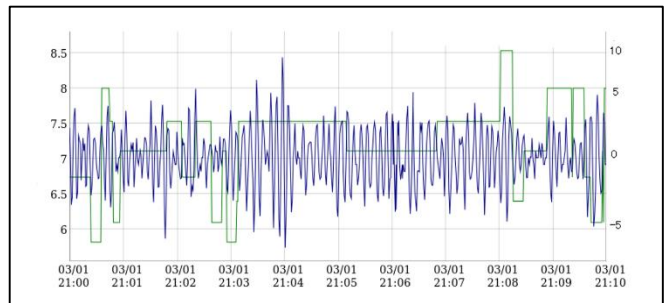


図 17 拡大画像 (10 分間)

図 16 に示した該当時間の横揺れ周期の変化を見ると、時間の経過に伴い、横揺れ周期の振れ幅が大きくなり、横揺れ周期が長くなっていっていることがわかる。このため、バラスト排水に伴い、長くなっていく横揺れ周期を確認することができたといえる。

次に、図 17 の傾斜角の推移を示したグラフを見る。図 16 で確認したしらかばの横揺れ周期は約 8 秒程度となっている。そのためこの間に 1 度船は左右に傾き、元の姿勢に戻っていることがわかった。

この結果によって、本システムを用いて、復原力の把握に必要な横揺れ周期を観測することができ、バラスト排水時の船体の特徴を確認することができた。

7. まとめ

本研究では自動で Android 端末の加速度を計測し、横揺れ周期と傾斜角を算出し、データベースに保存する計測アプリケーションを作成した。また、PHP, html を用いることでデータベースからデータを引出し、船体情報、傾斜角・横揺れ周期表示グラフ、傾斜角表示イラストを表示するスマートフォン・PC 用の Web ページを作成した。

船員は本システムを利用することにより、これまで記録することが難しかった横揺れ周期・傾斜角情報を自動で計測することができ、船員は船の安全に関する指標である横揺れ周期・傾斜角情報をより簡単に閲覧できる。

今後の課題としてはシステムを船員に使用してもらい、船員の意見を聞くことによってより利用しやすいシステムに改良したいと考えている。また、実際にフェリー会社にデータの計測を依頼し、加速度データを計測することで、計測したデータを基に横揺れ周期・傾斜角の精度向上を目指す。

文 献

- [1] 濱地義法, 江崎修央, 石田邦光, 中井一文, “大型カーフェリーの復原性の把握と確保”, 日本航海学会, 第 126 回講演会, I-06, 2012.5
- [2] KSWEB : KSWEB A Developer’s Suite For Android Platform, <http://kslabs.ru/>
- [3] 本田啓之輔: 基本運用術, pp.243, 1974.12
- [4] 萩原将文: デジタル信号処理, pp.81-91, 2001.4
- [5] Android SDK : Android SDK | Android Developers, <http://developer.android.com/sdk/index.html>
- [6] 竹形誠司: Java + MySQL + Tomcat で始める Web アプリケーション構築入門, pp.125-162, 2006.3
- [7] MySQL : 世界でもっとも普及している, オープンソースデータベース, <http://www-jp.mysql.com/>
- [8] Dygraphs : tutorial page, <http://dygraphs.com/tutorial.html/>
- [9] jQuery Rotate : Project home, <https://code.google.com/p/jqueryrotate/>