

貨物輸送中の衝撃値(加速度)に関する データベースの作成

平成24年度報告書

一般社団法人日本海事検定協会
(検査第一サービスセンター)

目 次

1. 目的	... 2
2. トラック・鉄道・航空機などで発生する衝撃値	... 3
2-1 事業実施方法	... 3
2-2 トラックの発進、急停止、カーブ走行中の加速度計測	... 3
2-3 陸上輸送中において発生する荷扱いの衝撃値計測	... 5
2-4 陸上輸送中の衝撃値・加速度データの統計処理 及びその活用策に関する報告	... 6
3. 船舶の揺れにより貨物に発生する加速度	... 7
3-1 事業実施方法	... 7
3-2 本計測のための準備	... 7
3-2-1 計測・設置用ボックスの選択	
3-2-2 計測機器の適切な設定条件	
3-3 計測結果の収集と解析	... 8
3-3-1 加速度の最大値	
3-3-2 設置場所による加速度の大きさの違い	
3-3-3 加速度が発生しやすい海象	
3-4 まとめ	... 9
4. 来年度以降の事業について	... 10

添付資料

2. トラック・鉄道・航空機などで発生する衝撃値 関連
 - ・「陸上輸送による衝撃値(加速度)の測定」(公 3-03 H24 早稲田大学報告書.pdf)
3. 船舶の揺れにより貨物に発生する加速度 関連
 - ・「船舶加速度・衝撃値データの統計処理等の理論化及びその活用案に関する研究」
(公 3-03 H24 神戸大学報告書 1 本文.pdf)
 - ・実験データの解析結果 9月分 (公 3-03 H24 神戸大学報告書 2 資料.pdf)
 - ・実験データの解析結果 10月分 (公 3-03 H24 神戸大学報告書 3 資料.pdf)
 - ・実験データの解析結果 11月分 (公 3-03 H24 神戸大学報告書 4 資料.pdf)
 - ・実験データの解析結果 12月分 (公 3-03 H24 神戸大学報告書 5 資料.pdf)

1. 目的

本事業は、船舶・トラック・鉄道・航空機等の輸送モード別、貨物の単体輸送・コンテナ輸送別に輸送中に発生する衝撃値(加速度)を一定期間にわたって計測・収集し、その結果を取りまとめたうえでデータベース化して公表するものである。

2 . トラック・鉄道・航空機などで発生する衝撃値

2 - 1 事業実施方法

トラック・鉄道・航空機のジャンルでは、平成 23 年度の陸上輸送中の加速度計測の計画を継続して、トラック輸送の走行における急発進、急ブレーキ、カーブ走行を実際に行い発生した加速度の状況を調査した。また、昨年度から製作を始めた計測機を収納した梱包物を利用して陸上輸送中において発生する荷扱いの衝撃値を計測した。荷扱いの衝撃値データは、早稲田大学理工学術院にて統計処理を実施した。

2 - 2 トラックの発進、急停止、カーブ走行中の加速度計測

トラック走行中の加速度を直接に計測するにあたり、トラック荷台上に貨物を積載して、加速度がかかる設定を発進時、急停止、カーブ走行中と分類して加速度を計測した。

- (1) 旋回中の加速度計測： 試験場既設の旋回ライン半径 15m、20m、30m、50m、70m、140m を使用して一定速度の走行により計測
- (2) 発進時の加速度計測： 通常の発進と急発進に分けて計測
- (3) 急停止時の加速度計測： 直進の走行速度時速 20km、30km、40km から急停止による計測

上記の計測法案に基づき、旋回中の加速度計測、発進時の加速度計測、急停止時の加速度計測の順に実施した。



旋回試験実施状況

(1) 旋回中の加速度

等速度での旋回のため、加速度は前後方向には発生せず、左右方向に発生する。また、路面の凹凸や傾斜は無いものとするので、上下方向も発生しない。

左右方向の加速度は速度と旋回半径の関係から以下の通りであった。

半径 \ 時速	20km	27km	30km	37km	40km	50km
15m	-0.182	-0.311		-0.482		
20m	-0.179		-0.361		-0.524	
30m	-0.139		-0.281		-0.403	-0.486

半径 \ 時速	40km	50km	55km	60km	67km	70km	80km
50m	-0.302	-0.433	-0.468	-0.526			
70m	-0.251	-0.308		-0.400	-0.474	-0.479	
140m	-0.122	-0.160		-0.252		-0.328	-0.396

(2) 発進時の加速度

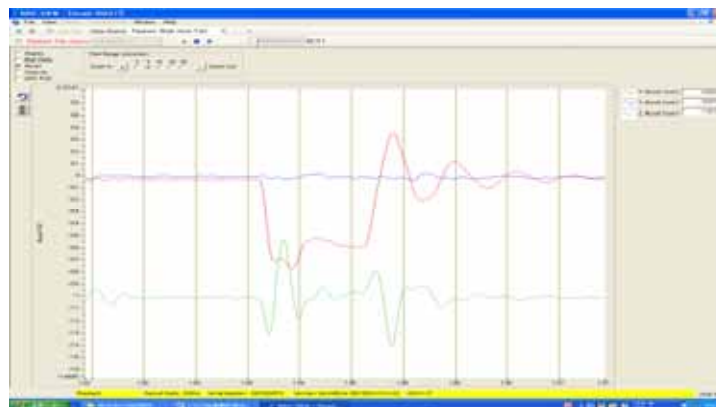
通常発進はエンジン回転数を 1,000~2,000 回転で発進し、急発進はエンジン回転数を 2,000 回転以上にして発進した。

通常発進では、進行方向に緩やかに 0.2G(X 軸(赤線))がかかり、上下方向(Z 軸(緑線))の変化はなかった。

急発進では、急激に 0.6G がかかり、上下方向に $\pm 0.1G$ がかった。

(3) 急停止時の加速度

時速 20km からの急停止でさえ、前後方向の加速度(G)は、(-)0.75G (+)0.35G と 1.1G の変化がある。



	前後方向の加速度(G)		上下方向の加速度(G)		
20km からの急停止	(-)0.75G	(+)0.35G	(-)0.30G	(+)0.47G	(-)0.40G
30km からの急停止	(-)0.85G	(+)0.48G	(-)0.28G	(+)0.42G	(-)0.53G
40km からの急停止	(-)0.97G	(+)0.24G	(-)0.30G	(+)0.55G	(-)0.28G

2 - 3 陸上輸送中において発生する荷扱いの衝撃値計測

現在の物流は梱包物をユニタイズしたパレット等による輸送が主で、フォークリフト等による機械荷役が一般的であるが、梱包個品は物流過程の開始から終了までにおいて単体で扱われることが多く、陸上輸送のあらゆる場面で梱包品単体荷役が行われていることから、もっとも頻繁に個品輸送が行われる宅配便による輸送中の衝撃値を計測した。

カートンは一般的かつ普遍的な種類が望ましいことから、大手宅配便業者の規格カートンを使用し、反復利用できる強度を確保することを基本に下記 3 種類のボックスを作成。



計測した陸上輸送中に生じる衝撃・加速度データは、早稲田大学理工学術院総合研究所で統計処理等が実施された。なお、早稲田大学理工学術院総合研究所と協議を行い、等価落下高さ 10cm 未満のデータは、今回の計測方法による信頼性の低さより未処理とした。一方で上記の等価落下高さ 91.232cm の結果は波形等を確認した結果、統計処理に含めることとした。

ダミーボックス毎の解析結果

等価落下高さ 10 cm 以上の統計結果を整数(単位 cm)で表示

	最大値(cm)	平均(cm)
ボックス A	91	24
ボックス B	58	22
ボックス C	74	25

2 - 4 陸上輸送中の衝撃値・加速度データの統計処理及びその活用策に関する報告

計測記録計を貨物内部に設置し、宅配便を利用したトラック輸送荷扱い時の衝撃値・加速度値を取得する。これらのデータをもとに、統計処理を施し、その活用策について研究を行う。この成果はトラックによる輸送機材の安全、輸送中の貨物の損害防止、危険回避策の構築などのために有用な情報になると考えられる。

計測記録計(EDR-3C)を3種類のダミーボックス貨物内部に設置し、主に2社の宅配便を利用したトラック輸送荷扱い時の衝撃値・加速度値を取得し、データ解析ソフト(DynaMax)を用いて「等価落下高さを」求めて考察を加えた。得られた計測データを統計処理したことで、以下の結論を得た。

ボックスは重く、大きいほうが対象となる等価落下高さ 10cm 以上のイベント数が多くなる傾向がある。

一方でボックスは軽く、小さいほうが落下高さの平均や標準偏差が高くなっている。つまり等価落下高さが発生する事象のとき等価落下高さは大きな値となる。

経路は等価落下高さに依存しない。

往路復路では違いは見られない。

運行会社の比較ではB社のほうが、荷扱いが丁寧であるといえる。

分布図をつくることで、等価落下高さの低いものの発生確率が高く、等価落下高さの高いものの発生確率が低いことがわかる。

対数軸を用いたグラフを作成したことで、サンプル数がまだ十分でないことがわかる。

落下事象の発生確率を整理することで、面から落下する確率が80%以上であり、角から落下するのは全体の約2%と少なかった。

詳細は添付の神戸大学との共同研究の報告書を参照のこと

3 . 船舶の揺れにより貨物に発生する加速度

3 - 1 事業実施方法

調査対象は輸送時に発生する衝撃値(加速度)の数値であるので、その数値を実際の船舶において計測することとする。あくまでも実測値をデータとすることとし、その計測は環境データレコーダー等と呼ばれる、所謂、加速度記録計で実施される。

計測は平成23年度事業により選定された計測機器、米国ランスモント社の SAVER 3D15 を採用し、これを昨年度に引き続き、上海スーパーエクスプレス株式会社様のご協力をいただき、同社運航の RORO 船に設置して計測を行った。

計測結果はデジタルデータで神戸大学大学院海事科学研究科へ送付し、同大学河口信義教授の指導のもと、同教授研究室において解析が実施された。

解析の結果は逐一当会検査第一サービスセンターに報告され、担当者協議のうえ、方針が決定されていった。

最終的に神戸大学と弊会の共同研究による、添付の「船舶加速度・衝撃値データの統計処理等の理論化及びその活用案に関する研究」(以下「神戸大学報告書」)が成果品として提出された。

3 - 2 本計測のための準備

計測は平成 24 年度の当初より実施したが、前半は計測器の適切な設置方法及び計測設定条件の策定が行われ、その結果を踏まえて、後半は継続的な測定が実施出来た。

概要は以下の通りである。

3-2-1 計測・設置用ボックスの選択

計測機器は本船内の貨物艙のようなあまり環境の良くない場所に設置する必要があり、裸のまま設置する訳にはいかないため専用のボックスに計測機器を収納のうえ計測しなければならない。

当協会ではプラスチックのボックスとメタルのボックスの2種類を用意した。当然プラスチックのボックスのほうが軽量であり扱いは簡単であり、メタルのボックスのほうが頑丈で耐力が有る。特性としては一長一短である。

そこで、この2種類のボックスに同じようにセットした計測器を入れ、実際に計測してみて、2種のボックスの適否を確認した。

その結果、「神戸大学報告書」2.5 解析結果に記載のように、プラスチックボックスでは振動を計測する際に、その振動から新たな固有振動を発生させている傾向が見られるため、メタルボックスのほうが計測に適していると判断された。

3-2-2 計測機器の適切な設定条件

加速度計測にあたっては、計測すべき加速度の特性に合わせ様々な設定条件を指定する必要がある。例えば、計測を加速度の大きさにセットするのか、それとも一定時間毎にセットするのか？計測の密度は何回 / 秒にするのか？何G以上の加速度を計測するのか？等々を計測機器の記憶容量と電源の継続時間とバランスしながら設定しなければならない。

23年度事業で計測した結果と本年6月に計測した結果から、本計測器及び計測目的には以下のような条件を設定することが妥当であると認められた。

- ・ メモリ記憶領域の割り振りは加速度の大きさに計測する部分を20%、一定時間毎に計測する部分を80%とする。
- ・ 加速度の大きさは0.05(G)以上の加速度を計測するようにしておけば実用上問題ない
- ・ 一定時間は1分毎の計測で大丈夫
- ・ 計測密度(サンプリング周波数)は50Hzで大丈夫だが、5Hz程度でも問題ない
- ・ 内部でのフィルターはかけずに生データを解析したほうが良い

詳細は添付の神戸大学との共同研究の報告書を参照のこと

3 - 3 計測結果の収集と解析

前述の準備、設定を行い、平成24年9月より本格的に継続的な計測を開始した。データは神戸大学に毎月を送付し解析を実施した。データは何らかの形で解析を行い、その結果を見える形にして公開する必要があるため、平成24年度の事業として、このデータをどのように解析して利用すべきかを検証する必要があり、本年度は特に9月のデータを集中的に解析し、今後の方針を決定した。

最終的な目的としては、各輸送のシチュエーションによって、どの程度の加速度を考慮すれば貨物が安全に輸送されるのかということであるため、当月の博多～上海間の気象・海象条件と船内各所に発生する加速度を関係付ける解析を試みに実施した。

上海スーパーエクスプレス株式会社様のご好意により、本船においてログブックから気象・海象条件をご教示いただき、本船から見た相対的な風向、波高を時系列的に計測した加速度と付き合せ、その関係を調査してみた。

9月の4往復航海を対象としており、海面状況はビューフォースケールで最大8であるが、かなり短時間で稀である。風向は北東風、波、ウネリの進行方向は南西向きで風向と一致しており、上海へ向かう航海では右舷前方から、博多へ帰る航海では左舷船尾方向から主に風、波を受けている。

当然、海が荒れた時は大きい加速度が発生しているが、Gにして最も大きい加速度は上下方向に発生していることや、本船内での計測場所によって、同じ船の中でも波の影響を受けやすい場所と受けにくい場所があることが判った。

3-3-1 加速度の最大値

本年9月の計測データではX、Y、Zの3方向の加速度の最大値は以下の通りであった。

X方向	0.05(G)
Y方向	0.11(G)
Z方向	0.15(G)

今後の継続的な計測により、各月の最大値を含む通年の最大値を知ることが出来るものと考えられる。

3-3-2 設置場所による加速度の大きさの違い

計測場所の違いによる傾向は以下のようなものが見られた。

- ・ 船首部ではY方向とZ方向の加速度が大きくなる
- ・ 船尾部では後方よりウネリを受けるとZ方向の加速度が大きくなる
- ・ 中央部では海面状況が変化しても加速度の大きさはそれほど変化しない

3-3-3 加速度が発生しやすい海象

海象条件との付き合せの結果は以下のような傾向が見られた。

- ・ 基本的に海面状況が悪くなるほど加速度値は大きくなる
- ・ 海象条件が変化してもX方向の加速度はそれほど変化しないが、Y方向は波風の方向に相当影響を受ける

3 - 4 まとめ

本年度前半で確定された計測機器の設置方法及び計測設定により、後半9月以降はほぼ順調に加速度が計測された。詳細の解析が実施されたのは9月だけであるが、これにより解析手法もほぼ決定され、その内容を見ると今までに考えられてきたセオリーと大きく乖離することなく、妥当な計測が実施されているものとする。

4. 来年度以降の事業について

海上輸送の方面では来年25年度も本年度と同様に同型船によって、継続して加速度を計測し、神戸大学との共同研究により、博多～上海間の通年の情報が収集解析出来、有意のデータが公表出来るものとする。本年度の研究の結果からも、可能な限り長期に亘った計測をするほど有効な結果が導き出せるとされているので、状況の許す限り計測を継続したい。

陸上輸送の方面では、来年度は列車(貨車)輸送時の衝撃値に注目し、加速度記録計を実際に貨車に取り付け、加速度計測を実施し、その結果を解析する。

以上

平成24年度報告書

船舶加速度・衝撃値データの統計処理等の理論化
及びその活用策に関する研究

神戸大学大学院

海事科学研究科

一般社団法人日本海事検定協会

検査第一サービスセンター

目 次

1 . 研究目的および経緯	... 1
2 . 評価実験	
2.1 目的	
2.2 方法	... 1
2.3 実験航海概要	... 3
2.4 計測データ	... 4
2.5 解析結果	... 6
2.5.1 航海全般加速度の時系列特性	
2.5.2 航海全般加速度の周波数特性	
2.5.3 インパルス的な現象	
2.5.4 群発的な現象	
2.5.5 フィルターの効果	
2.6 まとめ	... 17
3 . 実験データの解析方法（9月分を例として）	
3.1 航海スケジュールと解析期間区分	... 18
3.2 加速度センサー設置条件および船内設置場所	... 18
3.3 気象・海象情報	... 20
3.4 加速度情報	... 26
3.4.1 解析範囲の限定	
3.4.2 加速度の時系列および周波数特性	
3.4.3 海面状態と加速度の関係	
3.4.4 解析結果の利用に向けて	
4 . まとめ	... 35
5 . 実験データの解析結果	
5.1 9月分	... 36
5.2 10月分	... 63
5.3 11月分	... 90
5.4 12月分	... 116

1．研究目的および経緯

貨物輸送を行う際に不特定多数の者が有意な資料として活用できるようにするための研究を行うことを主たる目的とし、船舶輸送中の加速度・衝撃値の実態調査、統計処理等の理論化及びその活用策に関する研究を行い、データの整理・解析とともに当該研究成果を報告書としてまとめ、公表する。

昨年度、一般社団法人検査第一サービスセンターにおいて、下記の2つの主たる事業を実施した。

- ・計測機器の選択及び購入
- ・購入計測機器の初期運用および基礎的試験

その結果、船舶動揺計測では米国ランスモント社製 SAVER 3D15 を選定し、さらに上海スーパーエクスプレス株式会社の運航する上海-博多航路のRORO船の船橋、貨物室、機関室の3カ所に上記計測器を設置して基礎的な加速度測定を行った。その結果、選定した計測機器による船体動揺加速度の計測が可能であるとの結論を得た。

そこで、本年度は、船舶動揺計測を実施するためにメタルボックスを開発し、次年度より本格的に開始される船体動揺加速度のデータベース化に向けて、以下の事業を実施した。

- ・メタルボックスの評価実験
- ・センサーの適切な計測値を得るための評価実験
- ・長期間データ処理のため解析法の検討

2．評価実験

2.1 目的

ここでは、船体動揺計測において、NKKKが開発したプラスチックボックスおよびメタルボックスにおける動揺計測特性の比較検討を行い、さらに適切なデータ解析および処理を実施するための、Signal Triggered Dataにおいて50Hzと500Hzサンプリング周波数による収集データの比較検討を併せて実施する。

2.2 方法

2つのプラスチックボックスと1つのメタルボックスを用意し、それぞれのボックスに同一の3軸加速度センサーを内蔵している。これら3つのセンサー内蔵ボックスを船舶（上海スーパーエクスプレス）内に設置し、それぞれで計測したデータを比較検討する。

2012年6月9日から6月16日の間に、博多港-上海港の往復航路において、2つのプラスチックボックスはFrame No.170, Keel Height9.6mのDeck Storeに、1つのメタルボックスはボースンストアー入り口付近に設置した。それぞれのボックスの設定条件の違いを表1に、実験への共試船の要目を表2.1に、また船舶の写真を写真2.1に船内への各ボックス設置状態を写真2.2および2.3に示す。3種類の計測ボックスの設置条件を表2.2に示す。

表 2.1 共試船要目

総トン数	全長	航海速力	船種
16,350	145.65m	20.8 ノット	RORO 船



写真 2.1 SHANGHAI SUPER EXPRESS
(<http://www.ss-express.biz/company/04.html> より)



写真 2.2 プラスティックボックス

写真 2.3 メタルボックス

表 2.2 3種類のボックスの設定条件

センサー番号	ボックス種類	設置場所	Sampling 周波数	フィルター
No.01	プラスチック	デッキストアー	500 Hz	無し
No.02	プラスチック	デッキストアー	50 Hz	10 Hz
No.03	メタル	ボースンストアー	50 Hz	10 Hz

2.3 実験航海概要

実験航海における Voyage Data を表 2.3 に示す。6月4日から6月16日の航海において、往航では風力3から6、海面状態2-3と概ね穏やかな航海であったと思われるが、復航では風力4-6、海面状態も、4-5波向きNEと往航に比べて左舷より波浪を受けており、ローリングと小さなピッチングを受けていたものと考えられる。

ただし、1日毎の気象関連データであることから、実験データとの関連性を見つけることは困難であり、今後は1時間毎の気象関連データの収録が望ましい。

表 2.3 Voyage Data

Date	Noon position			Wind		Weather	Sea condition	Wave direction	Scale	Max. rolling	
	Lat.	Long.	Course	Speed	Direction						Force
6月9日	Barthed at Hakata		-	-	N	4	O	-	-	-	-
6月10日	31° .59.6 N	124° .20.2 E	252	18.5	SE	4	O	SE/3	SE/2	-	-
6月11日	VSL ANCHARED AT CTK				E	4	F	E/3	E/2	-	-
6月12日	CAPTAIN PILOT ORDER			-	SE	3	C	SE/2	SE/2	-	-
6月13日	33° 22.1. N	128° .59.8 E	67	19.1	NE	6	C	NE/4	NE/4	-	-
6月14日	31° .47.2 N	125° .04.4 E	252	19.1	NE	5	C	NE/4	NE/3	-	-
6月15日	CAPTAIN PILOT ORDER				E	4	O	-	-	-	-
6月16日	33° .13.0. N	128° .33.7 E	67	19.3	NE	6	R	NE/5	NE/4	-	-

2.4 計測データ

本実験で用いる加速度計は3軸方向の加速度センサーLansmont社 SAVER 3 D15を用い、船首方向をx軸、左舷方向をy軸、上方向をz軸とし、Full Scale 5Gを16ビットのA/D変換を用いて50Hzと500Hzのサンプリング周波数によって3軸加速度を記録した。本装置の加速度データ収録法には、設定した一定の時間間隔で設定した時間長のデータ収録が行えるTimer Triggered Data（以下、Timerデータと言う。）と、設定した加速度以上になった時のデータを設定した時間長で計測出来るSignal Triggered Data（以下、Signalデータと言う。）の2つの記録方法がある。

本実験では、SignalデータとTriggerデータともに、Full Scale 5G、Trigger level 0.05Gに設定し、ファイルA09だけはデータ数/秒を10倍の500Hzに設定しました。図2.1および図2.2に本実験において設定した各種設定値を示す。

CH	Active In Signal Partition	Active In Timer Partition	Channel Description	Full Scale	Trigger	Trigger Level	Filter	Ext Sensitivity	Input Source
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	X	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	10 Hz	---	Charge Amp
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Y	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	10 Hz	---	Charge Amp
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Z	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	10 Hz	---	Charge Amp

図 2.1 センサーNo.01 および No.2 の設定値

Advanced Instrument Setup - SAVER 3X90

Memory Storage Partitions

Signal Triggered Data

Record Time: 30 sec

Samples / Sec: 500 | Sample Size: 15000

Signal PreTrigger: 20 %

External Trigger: OFF - Disable

Data Retention Mode: Max Overwrite

Memory Allocation: 269 events

Timer Triggered Data

Record Time: 30 sec

Samples / Sec: 50 | Sample Size: 1500

Wakeup Interval: 1 Minutes

Time to Fill: 7.2 days

Data Retention Mode: Max Overwrite

Memory Allocation: 10322 events

Disable PushButton On/Off (Requires Computer to Stop Acquisition)

LED Alarm

Temperature Alarm

50 °C | -40 °C

Humidity Alarm

90 % RH | 10 % RH

Acceleration Alarm

2.5 G's

LED Heartbeat

Cell Phone Alarm

SMS Alarm Alerts

Target Phone Number: _____

Requires Cell Phone Interface Accessory

GPS Tracking

GPS Enable

Requires GPS Interface Accessory

Print | Cancel | OK

Channel Information

Copy Channel Setting | Paste Channel

CH	Active In Signal Partition	Active In Timer Partition	Channel Description	Full Scale	Trigger	Trigger Level	Filter	Ext Sensitivity	Input Source
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	X	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Y	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Z	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp

図 2.2 センサーNo.03 の設定値

2.5 解析結果

2.5.1 航海全般加速度の時系列特性

図 2.4 から図 2.6 にそれぞれのボックスに設置された加速時計によって、航海全般に渡って計測された加速度の時系列概観を示す。本結果は衝撃 (Shock) モードと振動 (Vibration) モード別に示す。

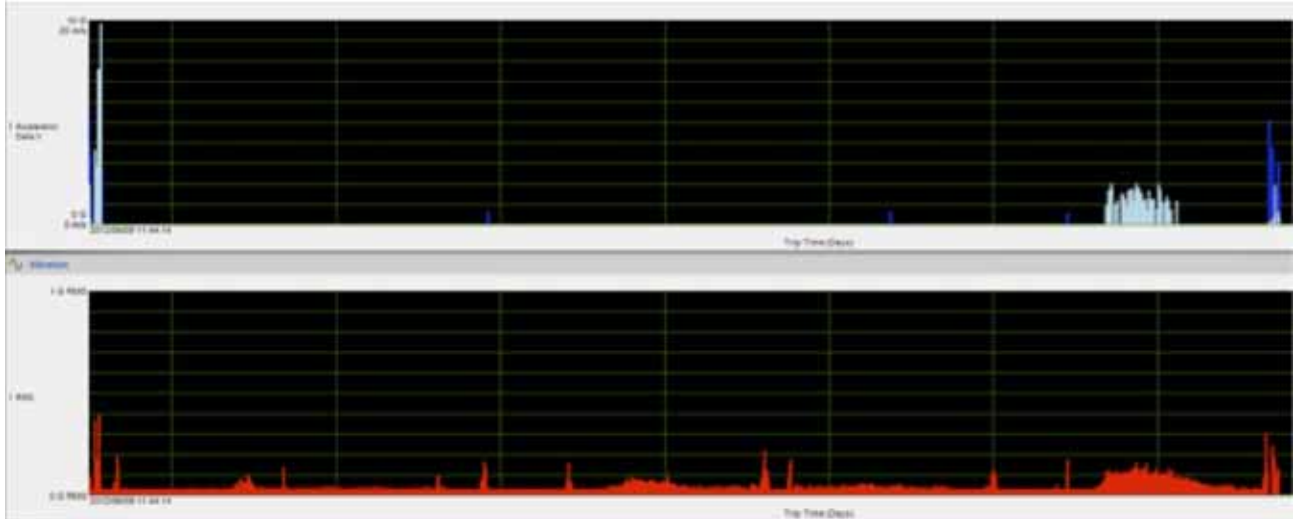


図 2.4 No.01 における計測加速度時系列概観 (上図：衝撃モード，下図：振動モード)

図 2.4 の上図は衝撃モードに分類された 0.5G 以上の加速度の概略の位置を示す。縦軸は重力 (0~10G) 一目盛り 1G で有り、下図は振動モードによる重力 (0~1G) を RMS 値で示しており、一目盛り 0.1G で示しています。横軸は時間に相当し、左端は博多出港時、真ん中は上海入出港着岸時、右端は博多入港時を表す。

図 2.4 はプラスチックボックスでサンプリング周波数を 500Hz とした結果である。上下の図博多出港時に 3G を超える衝撃モードに分類された加速度が多発しており、同時に 0.3G(RMS)以上の振動モードに分類されたによる加速度が発生している。博多-上海間では衝撃モードに分類された 0.5G 以上の加速度は発生していないが、振動モードによる加速度は定期的とは言えないが数回の発生が見られる。また、博多入港前に衝撃および振動モードの加速度が群発した後に、博多入港時に両モードの加速度が発生していることがわかる。これらの中で、上海から博多間にある群発の加速度は表 2.3 の Voyage Data にも見られるように、NE の波浪による加速度と一致している。

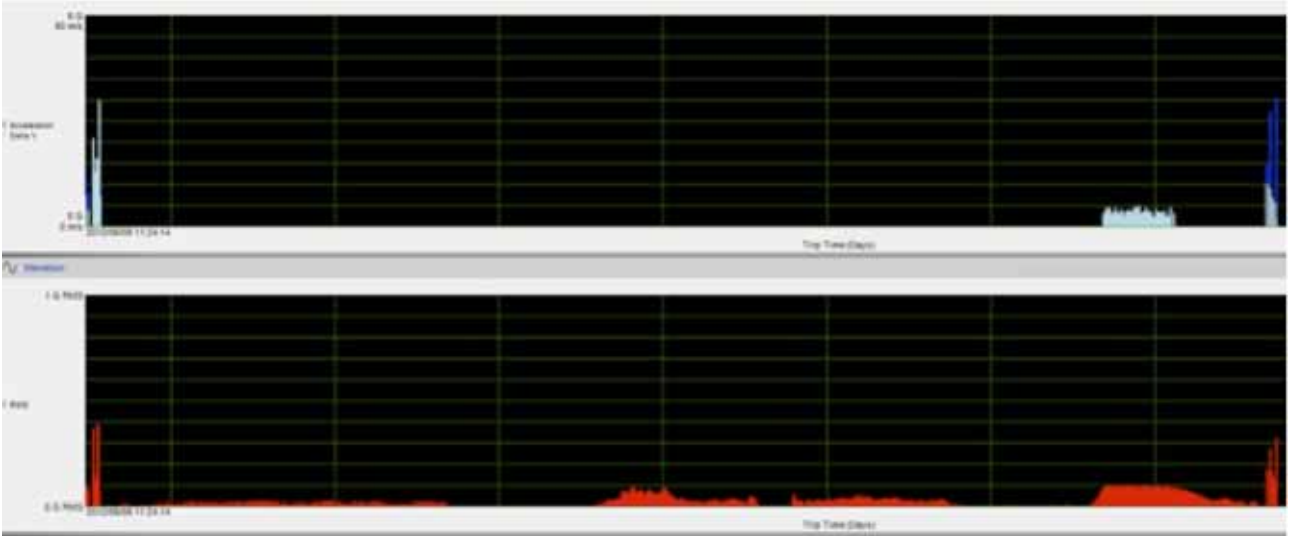


図 2.5 No.02 における計測加速度概観（上図：衝撃モード，下図振動モード）

図 2.5 は図 2.4 と同じプラスチックボックスでサンプリング周波数 50Hz，10Hz の低域通過フィルターを施した結果を示す．博多出港および入港時に大きな衝撃モードと振動モードの加速度が計測されているが，図 2.4 と比較すると振動モードに分類された加速度の中で時折見られたインパルス的な現象が全く見られていない．図 2.4 と同様に博多入港前に両モードの群発する加速度が計測されている．

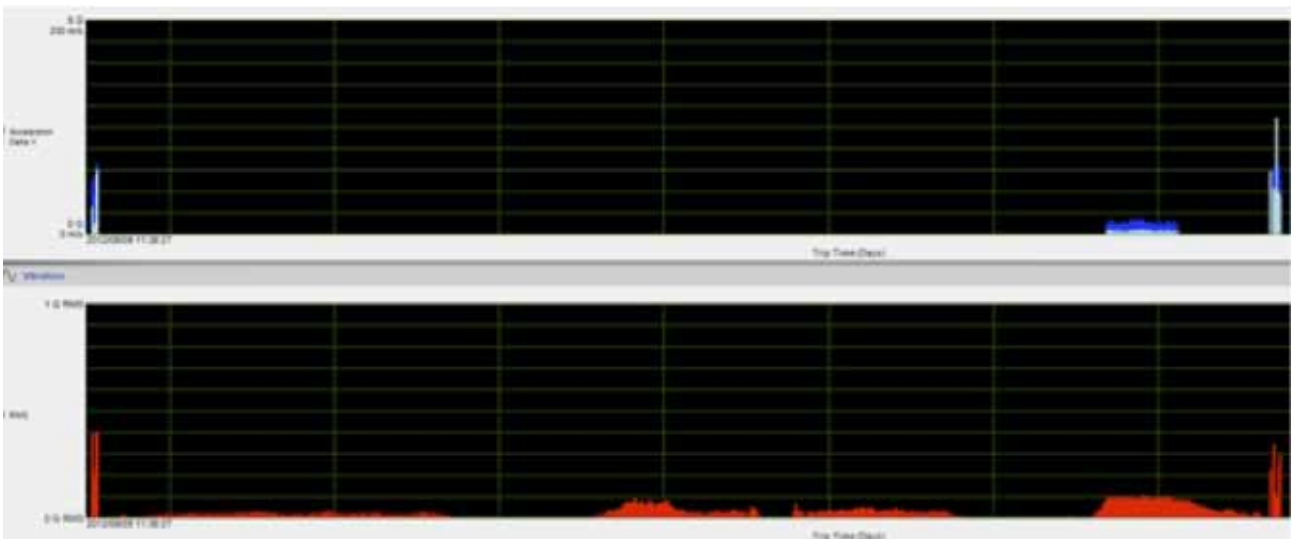


図 2.6 No.03 における計測加速度概観（上図：衝撃モード，下図振動モード）

図 2.6 に異なる場所（ボースンストアー前）に設置したメタルボックスにおいて，サンプリング周波数 50Hz，10Hz の低域通過フィルターに設定によって計測した結果を示す．図 2.5 は図 2.4 と良く似た結果を示しており，図 2.4 に見られた振動モードに分類されたインパルス的な加速度が見受けられない．

以上の時系列による実験結果より，本研究の2つの目的である，

- 1) プラスチックボックスおよびメタルボックスにおける動揺計測特性の比較検討を行う。
- 2) 50Hzと500Hzサンプリング周波数による収集データの比較検討を行う。

を考慮すると，一つは2)の目的のために500Hzサンプリングデータの特徴と考えられる。博多-上海の航行中に見られた振動モードに分類されたインパルス的な加速度，もう一つは1)の目的のために博多入港前に3つのファイル共に見られた衝撃および振動の両モードにおける群発した加速度に着目してその詳細を検討する。

2.5.2 航海全般加速度の周波数特性

図2.7から図2.9にそれぞれのボックスに設置された加速時計によって，航海全般に渡って計測された加速度の周波数特性の概観を示す。本結果はTimerデータとSignalデータ別に示す。なお，赤色は前後(x軸)，緑色は左右(y軸)，黄色は上下(z軸)をそれぞれ示す。

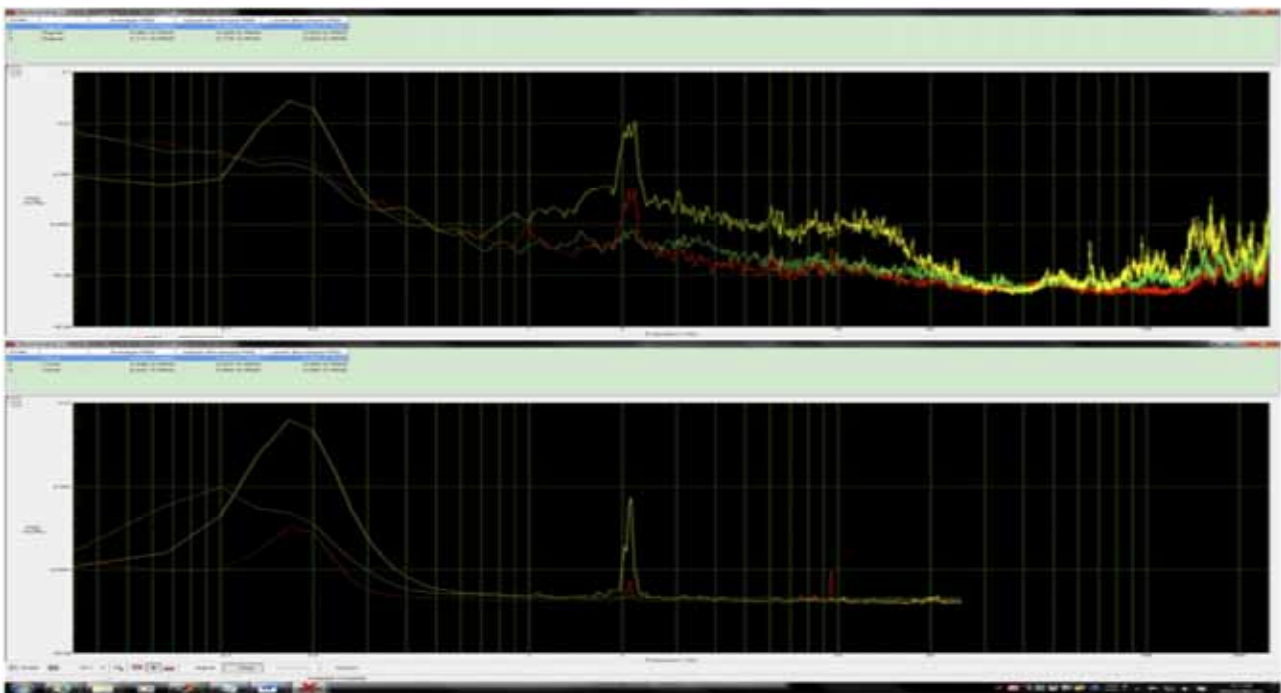


図 2.7 No.01 における計測加速度周波数特性概観（上図：Signal 下図：Timer）

図2.7よりTimerおよびSignalデータともに0.2Hz，2Hz付近に卓越したスペクトルが見られる。0.2Hz（周期5秒）付近のスペクトルは船体動揺，2Hz（120r.p.m.）付近のスペクトルはプロペラ回転数に伴うものと考えられる。特に，前後動（赤）に10Hz付近にインパルス的なスペクトルが見られるが，前後動が大きな単調な周波数を示すような振動の要因については船舶の特性を詳細に調査する必要がある。さらに，サンプリング周波数500Hzでフィルター無しに設定した結果，Signalデータには100Hz以上の高周波数域スペクトル

が見られるが、全データによる平均的な結果からその要因の特定は困難である。

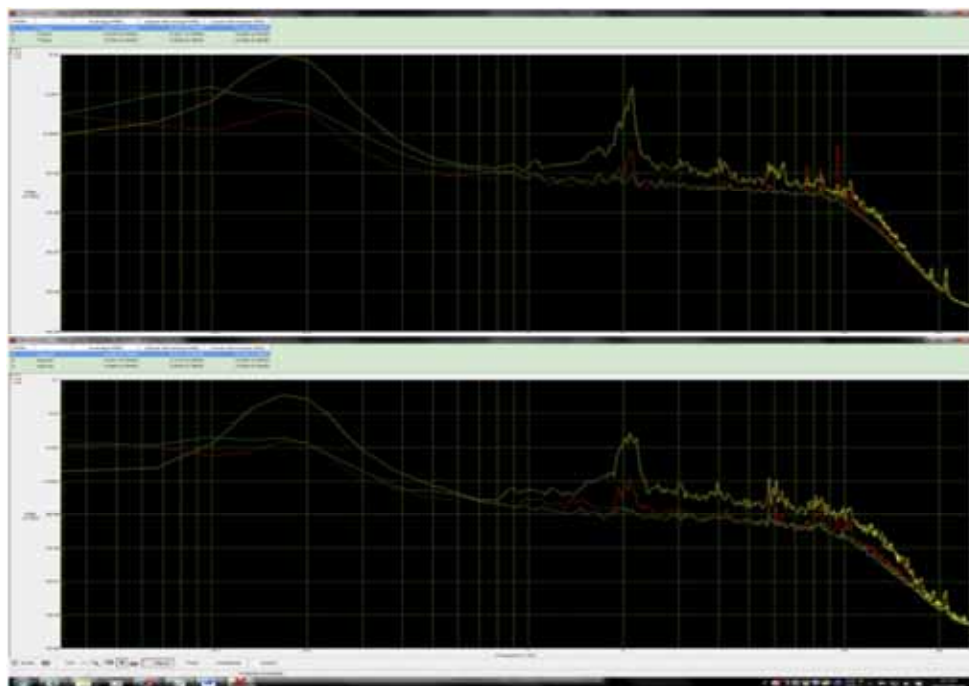


図 2.8 No.02 における計測加速度周波数特性概観（上図：Timer，下図：Signal）

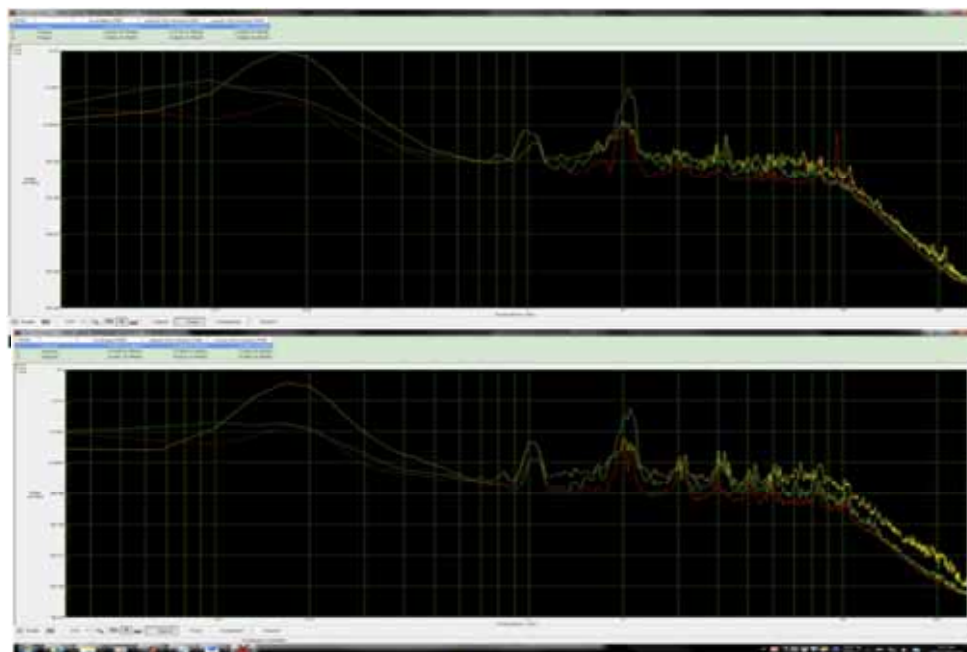


図 2.9 No.03 における計測加速度周波数特性概観（上図：Timer，下図：Signal）

図 2.9 は図 2.8 と同じプラスチックボックスでサンプリング周波数 50Hz，10Hz の低域通過フィルターを施した結果，図 2.9 は同一条件でメタルボックスを用いた結果を示す。

図 2.8, 図 2.9 の違いは

1. 図 2.9 にだけ 1Hz のスペクトルが見られる .
2. 図 2.8 は黄色 (上下動) によるスペクトルが優勢であるのに対して, 図 2.9 は緑色 (左右動) のスペクトルが優勢である .
3. 図 2.9 の Signal データには, 3, 4, 5Hz にスペクトルが見られ, スペクトルの分解能に優れているように見受けられます . 逆に, プラスティックボックスはボックス自体が振動を吸収している可能性がある .

であり, 両図の特徴として, 10Hz の低域通過フィルターの効果が良く表れている .

2.5.3 インパルス的な現象

ここでは, 2.5.2 で述べたようにプラスチックボックスに設置された 500Hz サンプリングを行った振動モード時系列データに生じたインパルス的な現象を詳細に検討する . そこで, 図 2.10 に時系列解析結果を再度示す .

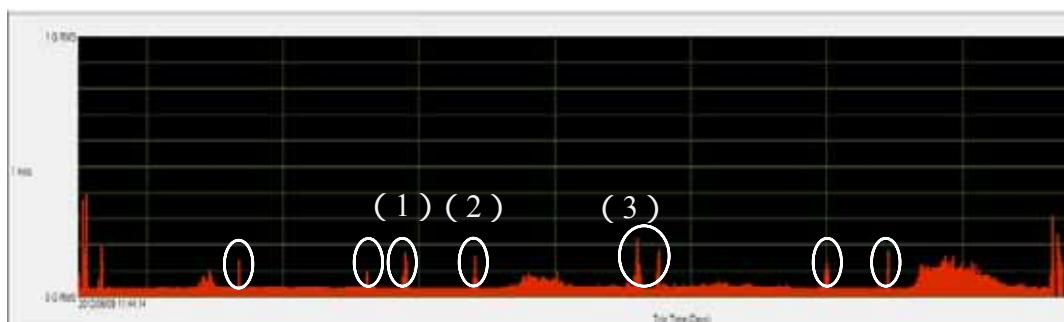


図 2.10 No.01 振動モードにおけるインパルス現象

図 2.10 の白丸で示されたインパルス現象の中から(1), (2), (3)の 3 カ所を選択して, 各インパルス的な振動を時系列および周波数特性を図 2.11 から図 2.13 に示す .

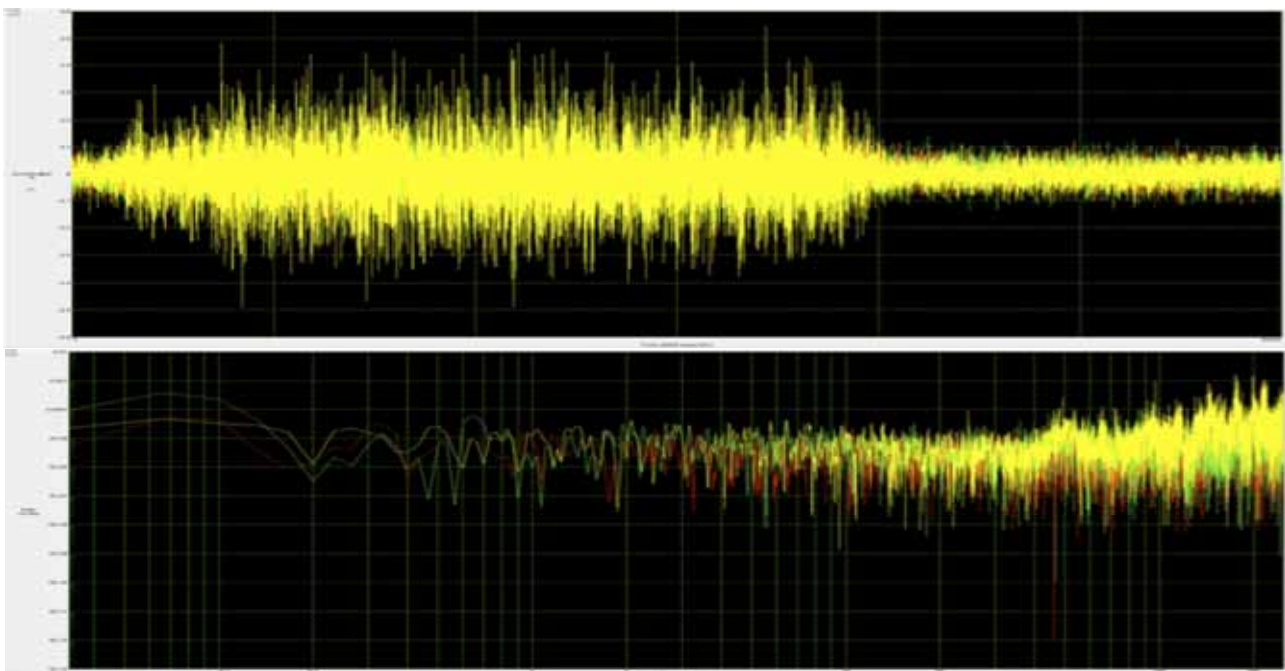


図 2.11 No.01 におけるインパルス現象の一例 (1) (上図 : 時系列, 下図 : スペクトル)

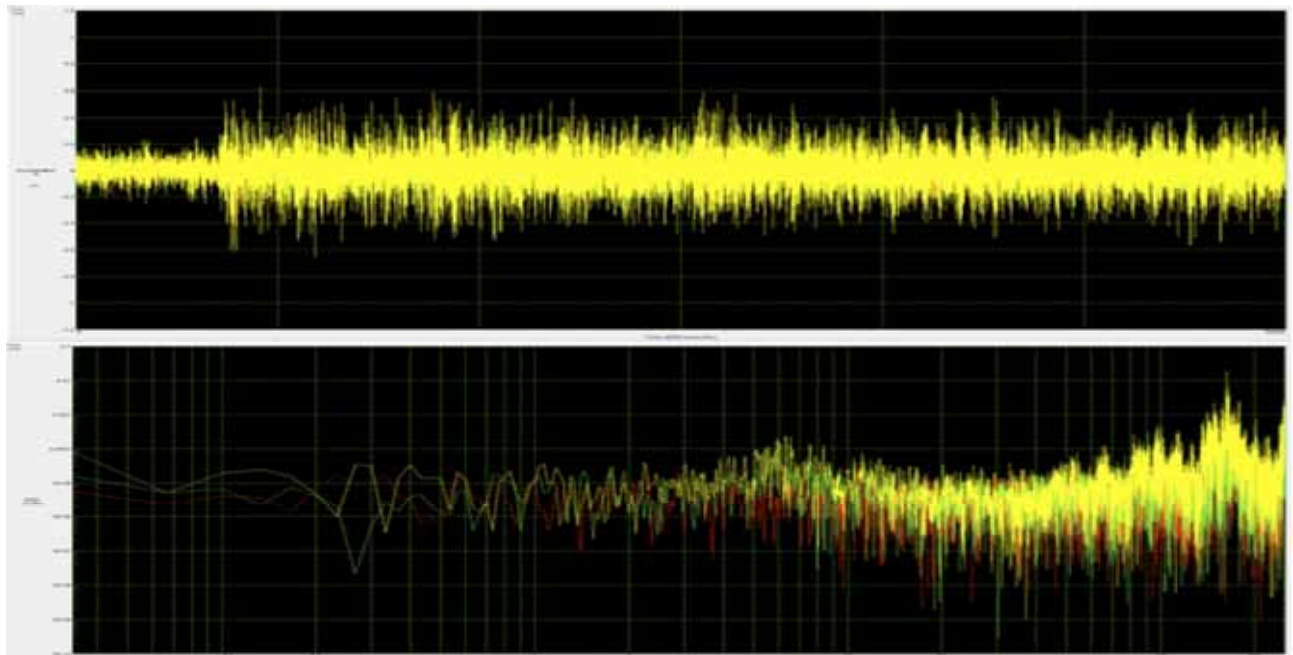


図 2.12 No.01 におけるインパルス現象の一例 (2) (上図：時系列，下図：スペクトル)

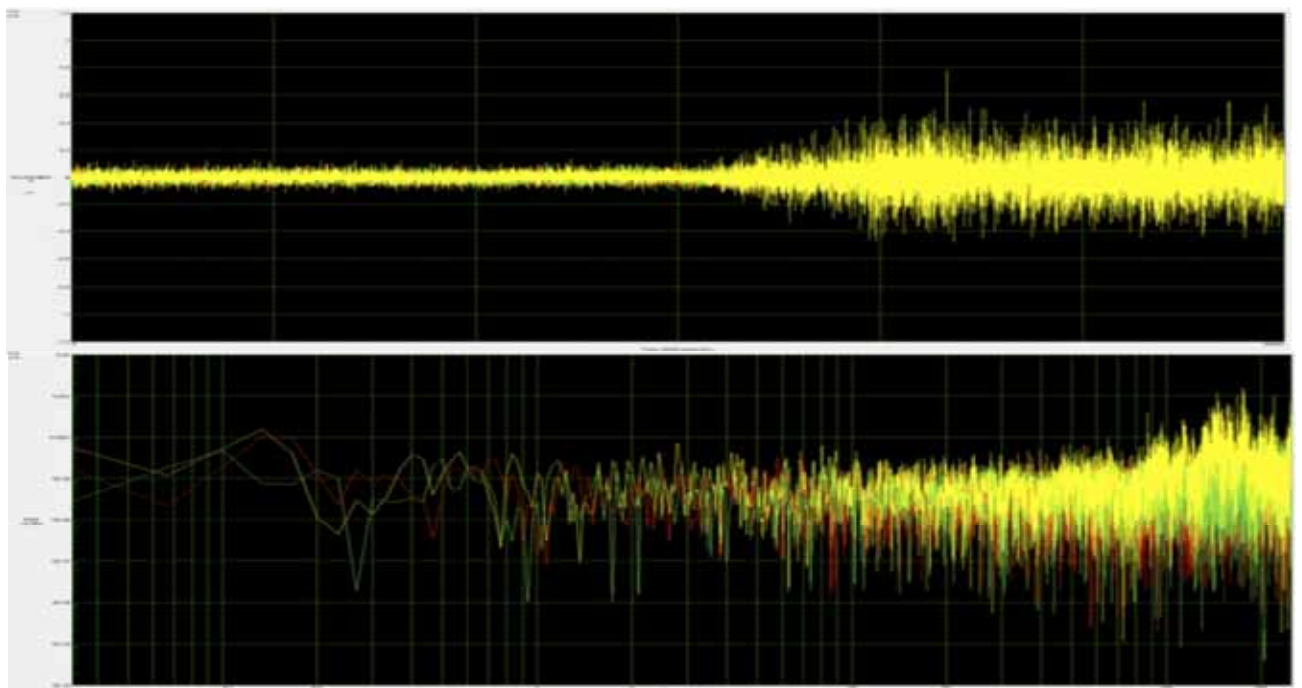


図 2.13 No.01 におけるインパルス現象の一例 (3) (上図：時系列，下図：スペクトル)

図 2.11 から図 2.13 の結果より，全体的に見るとインパルスのな加速度であるが，記録時間である 30 秒を超えたバースト的な加速度が記録されており，時系列およびスペクトルともに黄色（上下動）が優勢と考えられる．スペクトルからは特に卓越した周波数領域が見

られず，全周波数領域に渡って一定の白色性加速度であり，加速度以外の何か別の雑音的な電気信号が記録されている可能性が考えられる．これらを特定するためには，同一場所に同じ条件で記録された2つ以上の計測結果を比較する以外に特定することは困難である．

2.5.4 群発的な現象

ここでは，2.5.2 で述べたように全ての記録に見られた群発的な現象を詳細に検討する．そこで，再度図 2.5 の時系列解析結果を，さらに図中に群発的な現象の解析箇所を(1)，(2)と破線で示す．

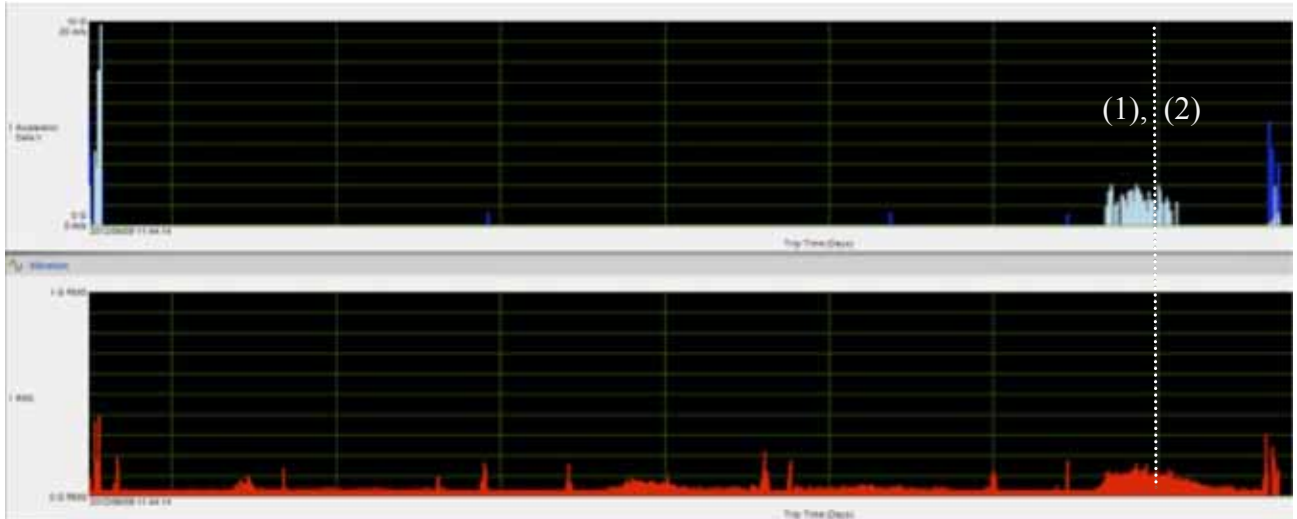


図 2.14 No.01 における計測加速度時系列概観（上図：衝撃モード，下図：振動モード）

これらの加速度は衝撃および振動モードともに計測されていることから，出来るだけ同一時刻における両モードの加速度を以下に示す．

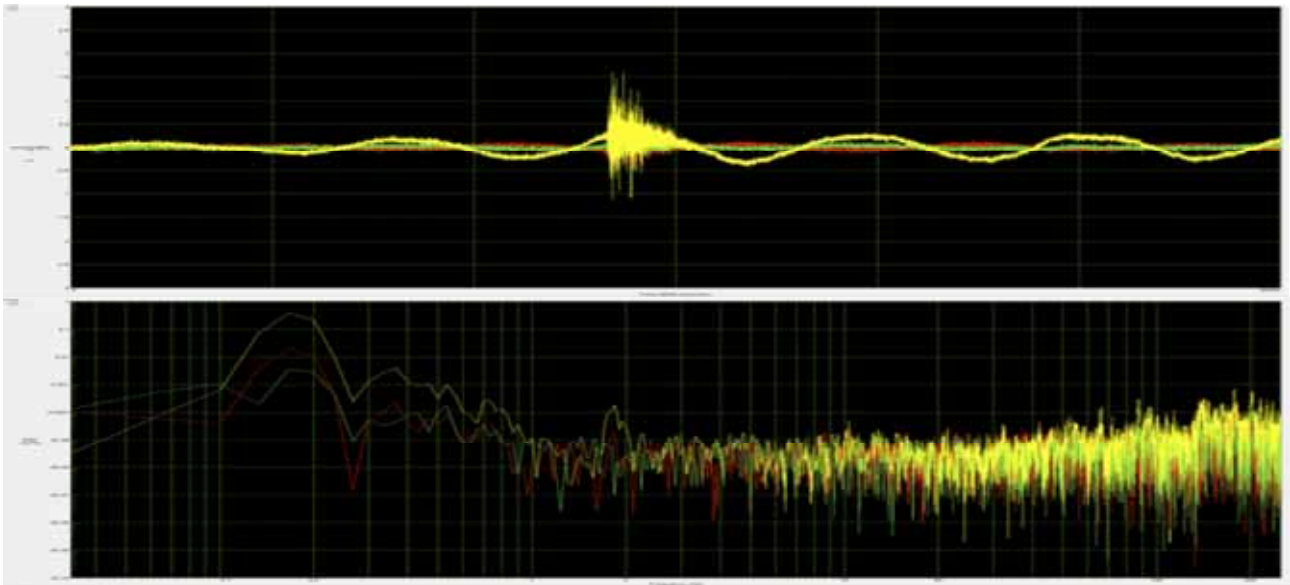


図 2.15 No.01 における群発現象の一例(1) 衝撃モード（上図：時系列，下図：スペクトル）

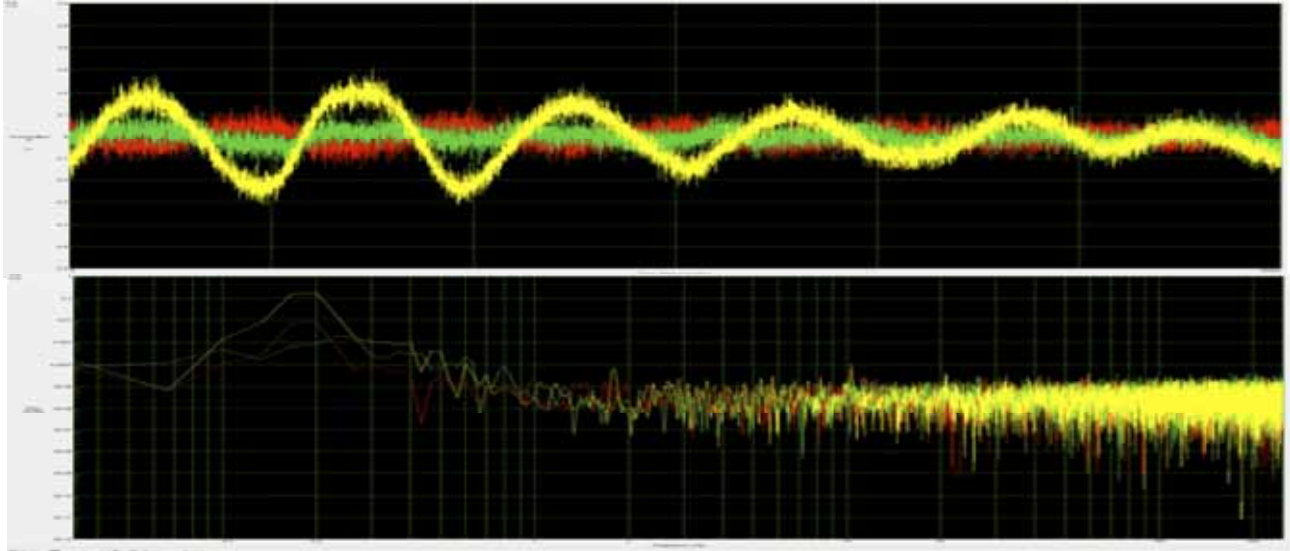


図 2.16 No.01 における群発現象の一例(1) 振動モード (上図：時系列，下図：スペクトル)

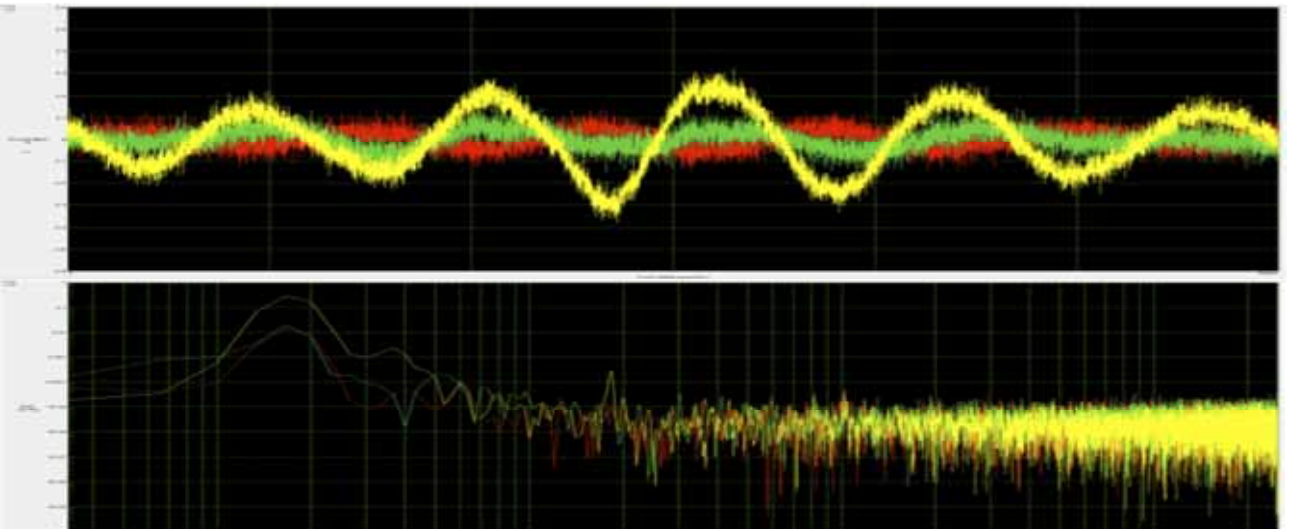


図 2.17 No.01 における群発現象の一例(2) 衝撃モード (上図：時系列，下図：スペクトル)

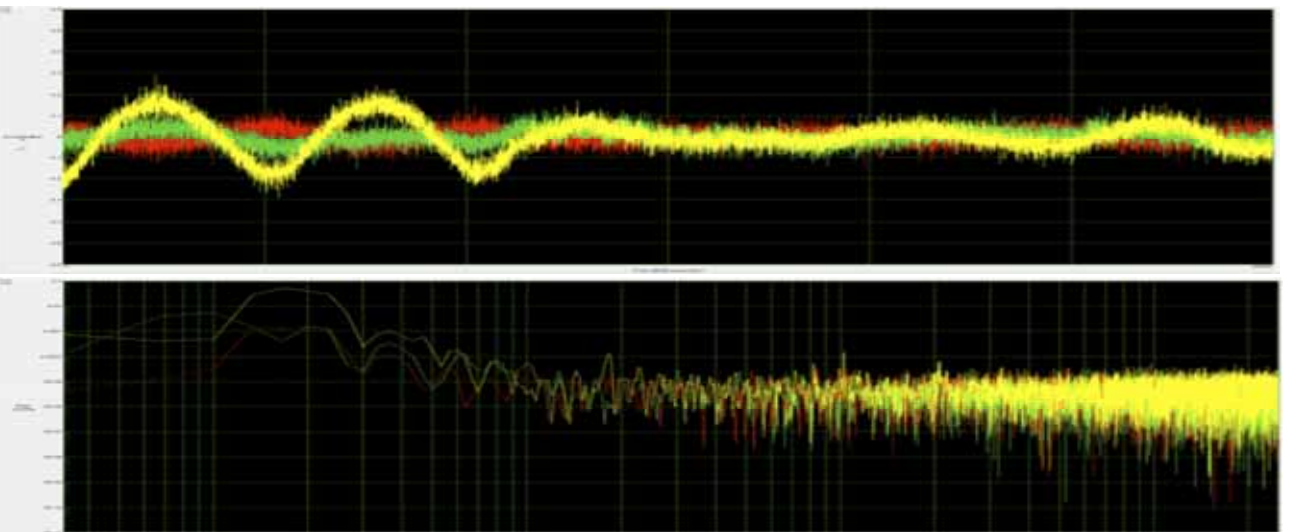


図 2.18 No.01 における群発現象の一例(2) 振動モード (上図：時系列，下図：スペクトル)

図 2.15 から図 2.18 までの群発現象の結果から，各群発現象はいずれも黄色（上下動）の加速度が卓越しており，また各方向における周波数は 0.2Hz 付近の船体固有の動揺が主として見られる。ただし，図 2.15 には衝撃的な加速度が見られるために縦軸の縮尺が異なる。

2.5.5 フィルターの効果

次に本ソフトウェアに添付しているソフトウェアフィルターの特性を調べる。初めに，フィルター無しの場合の x 軸（前後動）の加速度を図 2.19 の上段に示す。次に，本研究室で作成した低域通過フィルター（10Hz，-3dB，バターワースフィルター）を通した場合を図 2.19 の中段に，最後にさらに狭い帯域（1Hz，-3dB，バターワースフィルター）を通した場合を図 2.19 の下段に示す。

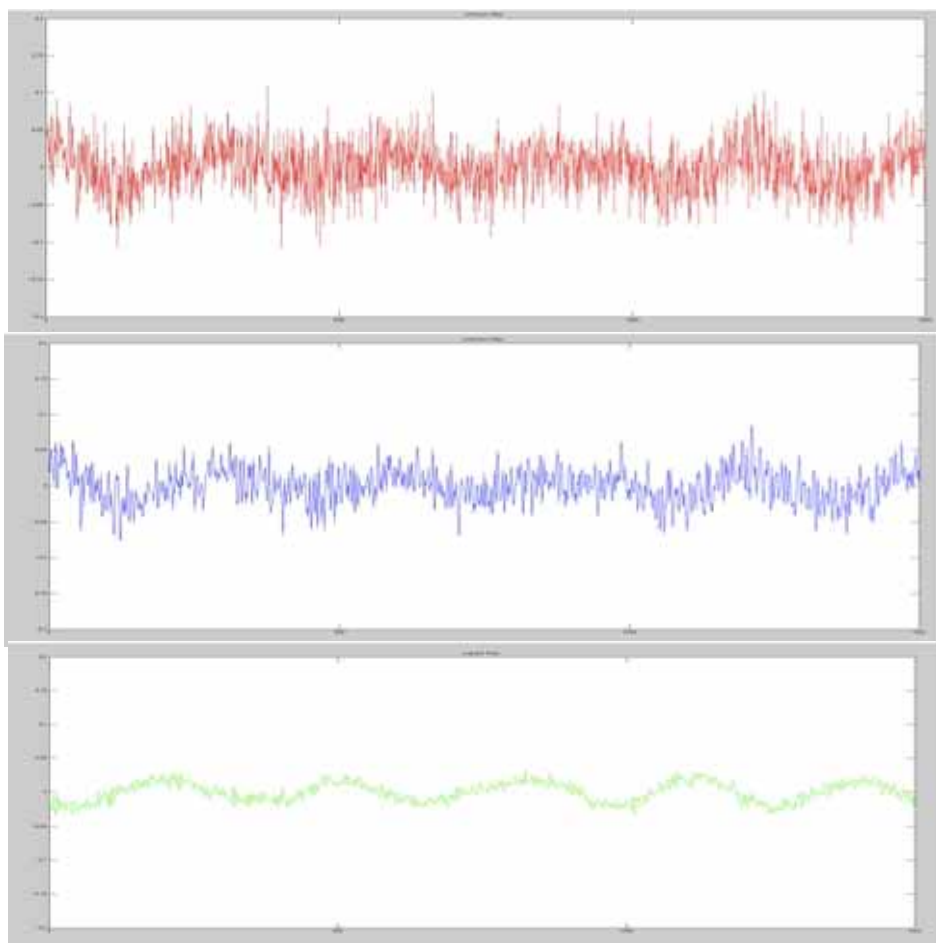


図 2.19 フィルターの効果（上段：フィルター無し，中段：10Hz L.P.F，下段：1Hz L.P.F.）

これらの結果より，添付の 10Hz 低域通過フィルターは 10Hz よりかなり狭い通過帯域を有していると考えられる。参考として図 2.20 に各時系列加速度の周波数特性を，2 つのフィルター特性を図 2.21 と図 2.22 に示す。

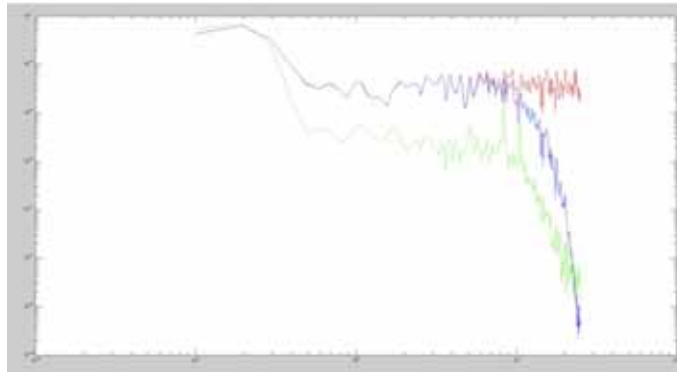


図 2.20 周波数特性から見たフィルターの効果

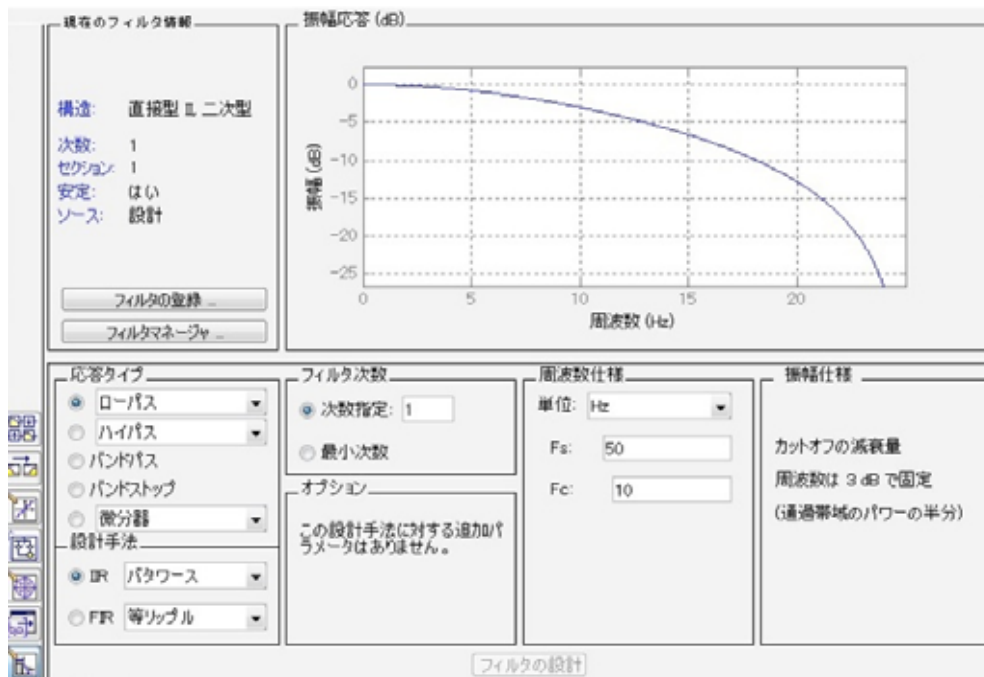


図 2.21 10Hz 低域通過フィルター特性

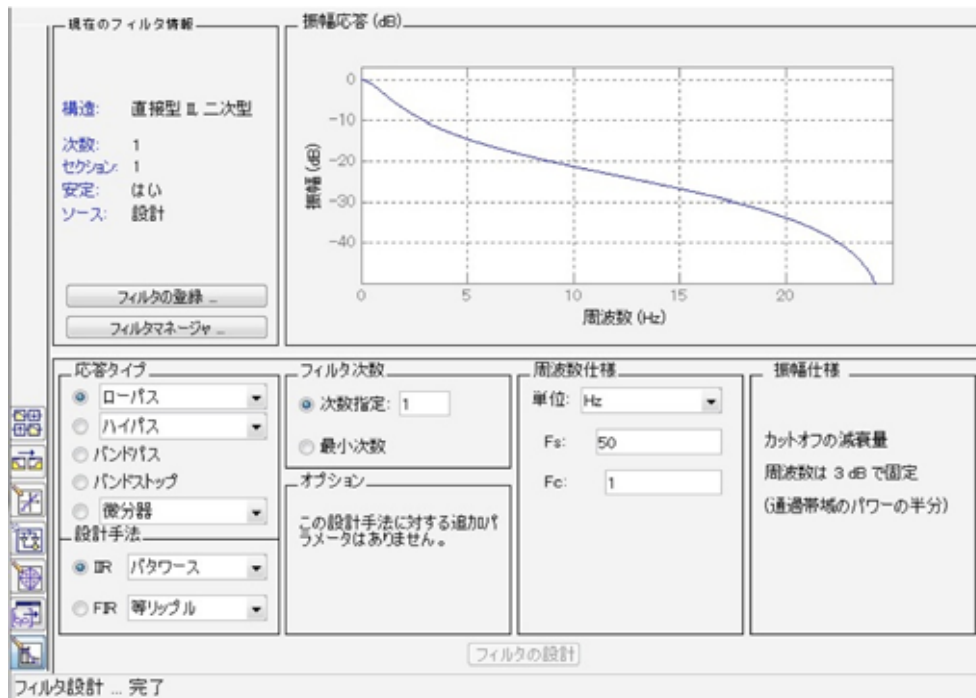


図 2.22 1Hz 低域通過フィルター特性

2.6 まとめ

今後実施予定である実験の前段として、様々な必要情報および機器設定に関する評価のための実験から得られた結果を以下にまとめて示す。

- (1) プラスチックボックスは必要な振動を吸収するとともに、それら振動を新たな固有振動に換えている可能性があり、今後の計測にはメタルボックスの使用を薦める。
- (2) 設置場所は船体動揺による振動を直接計測できるような甲板上が良いです。出来れば個別の固有振動を持つ網などの上は避ける。
- (3) サンプリング周波数 500Hz の解析結果より、振動とは直接無関係な雑音を計測している可能性があるため、出来れば同じ場所に 500Hz に設定したメタルボックスを設置して再度計測する必要がある。
- (4) 複数箇所における計測を行う場合には、計測結果の同一時刻による比較が可能となるようにセンサー内部時計を整合させ、Timer Trigger Data の Overwrite は行わないよう設定を行う。
- (5) 内部フィルターはかなり狭い周波数帯域になっている可能性があり、今後はフィルター無しの計測を行う。
- (6) 気象関連情報は出来れば 1 時間毎の記録が望ましい。

3 . 実験データの解析方法 (9月分を例として)

3.1 航海スケジュールと解析期間区分

平成 24 年 9 月における航海スケジュールを表 1 に示す . このように , 博多-上海間をほぼ 1 日かけて航海し , 9 月分では双方向で 4 回の航海を解析対象とする . また解析期間を 1 ヶ月単位とするために , 航海の途中で月の終わりとなる場合にはそれ以降の航海時間は翌月回しとする .

表 3.1 9 月分航海スケジュール

Voyage Schedule in September				
	From Hakata to Shanghai		From Shanghai to Hakata	
Voyage	Departure date & time	Arrival date & time	Departure date & time	Arrival date & time
No. 1	Sep.15th, 15 o'clock	Sep.16th, 17 o'clock	Sep.18th, 07 o'clock	Sep.19th, 05 o'clock
No. 2	Sep.19th, 11 o'clock	Sep.20th, 09 o'clock	Sep.21th, 11 o'clock	Sep.22th, 09 o'clock
No. 3	Sep.22th, 19 o'clock	Sep.3th, 17 o'clock	Sep.25th, 07 o'clock	Sep.26th, 01 o'clock
No. 4	Sep.26th, 11 o'clock	Sep.27th, 05 o'clock	Sep.28th, 07 o'clock	Sep.29th, 05 o'clock

3.2 加速度センサー設置条件および船内設置場所

表 3.2 センサー設置場所と条件

センサー番号	ボックス種類	設置場所	Sampling 周波数	フィルター
No.01	メタル	ボースストア	50 Hz	無し
No.02	メタル	貨物倉	50 Hz	無し
No.03	メタル	ラダー室	50 Hz	無し

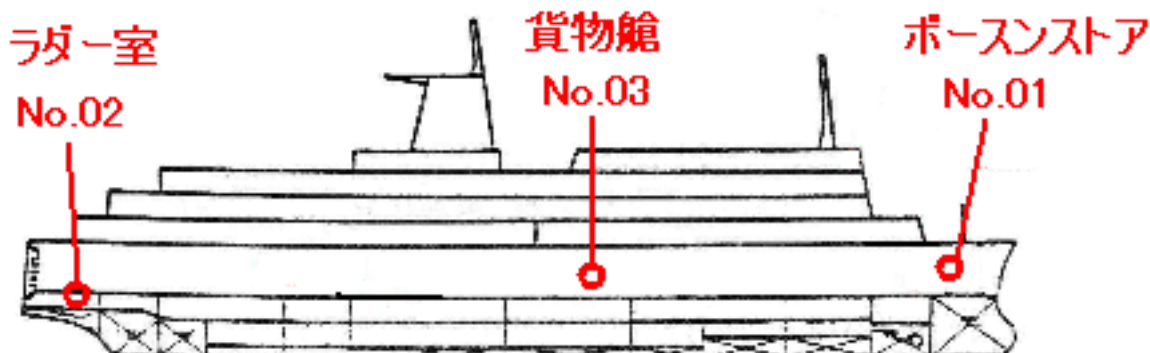


図 3.1 センサー設置場所

Advanced Instrument Setup - SAVER 3X90

Memory Storage Partitions

Signal Triggered Data

Record Time: 30 sec

Samples / Sec: 500 | Sample Size: 15000

Signal PreTrigger: 20 %

External Trigger: OFF - Disable

Data Retention Mode: Max Overwrite

Memory Allocation: 269 events

Timer Triggered Data

Record Time: 30 sec

Samples / Sec: 50 | Sample Size: 1500

Wakeup Interval: 1 Minutes

Time to Fill: 7.2 days

Data Retention Mode: Max Overwrite

Memory Allocation: 10322 events

Disable PushButton On/Off (Requires Computer to Stop Acquisition)

LED Alarm

Temperature Alarm

50 °C | -40 °C

Humidity Alarm

90 % RH | 10 % RH

Acceleration Alarm

2.5 G's

LED Heartbeat

Cell Phone Alarm

SMS Alarm Alerts

Target Phone Number: _____

Requires Cell Phone Interface Accessory

GPS Tracking

GPS Enable

Requires GPS Interface Accessory

Print | Cancel | OK

Channel Information

Copy Channel Setting | Paste Channel

CH	Active In Signal Partition	Active In Timer Partition	Channel Description	Full Scale	Trigger	Trigger Level	Filter	Ext Sensitivity	Input Source
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	X	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Y	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Z	5.0 G	<input checked="" type="checkbox"/>	0.05 G	UnFiltered	---	Charge Amp

図 3.2 センサーの設定値

3.3 気象・海象情報

平成 24 年 9 月における気象・海象情報を記載したログブックの一部を表 3.2 に示す。ログブック記載情報は、出発・到着時間、船位、針路、速力、機関回転数、風向、風力、波方向、波高、ウネリ方向、海面状態、天候、最大横傾斜角を 4 時間毎に記載されている。ただし、風力、波高はビューフォート階級の階級値を整数記す。

表 3.2 気象・海象 (9 月分)

Time	Position & Movement	Co. (deg.)	Sep.ed (knots)	Eng. Rev. (rpm)	Wind Direction	Wind Force	Wave Direction	Wave Height	Swell Direction	Sea Condition	Weather	Max. Rolling Angle (deg.)	Remarks
Sept. 21, 2012													
0:00													
1:00													
2:00													
3:00													
4:00	departure at shanghai												
5:00													
6:00													
7:00													
8:00		var											
9:00													
10:00													
11:00													
12:00	31-14.5N/123-04.2E	68	18.4	128	SE	4	SE	4	SE	2	0	1	
13:00													
14:00													
15:00													
16:00		57	18.6	128	SE	4	SE	3	SE	2	0	1	
17:00													
18:00													
19:00													
20:00		73	18.1	128	SE	4	SE	3	SE	2	0	1	
21:00													
22:00													
23:00													
24:00		73	18.5	128	ENE	4	ENE	3	ENE	2	C	1	

これら気象・海象に関する情報は、本研究目的である船舶輸送中の加速度・衝撃値に対して最も影響すると考えられることから、上記情報を時系列の図で順に表す。はじめに、風向、波向き、ウネリ向き、針路を図 3.1 にそれぞれ示す。定義によると、風向は風の到来方向、波およびウネリの向きは伝搬方向を表すために、風向と波・ウネリ向きが反方位となっていることに注意が必要である。

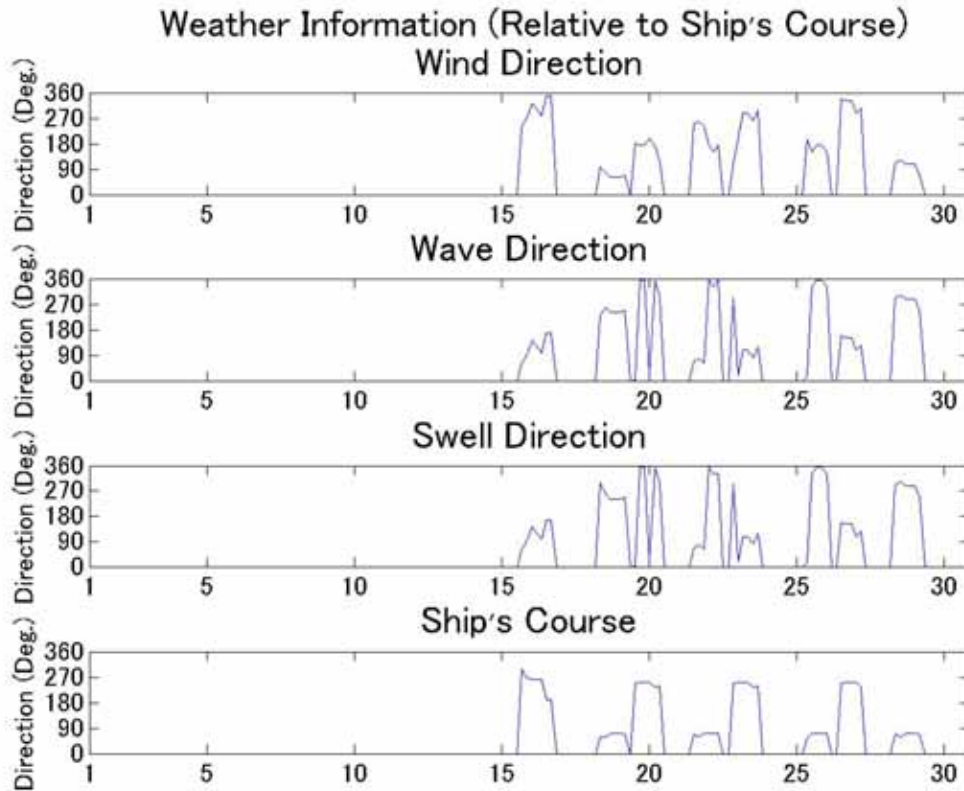


図 3.1 相対方位で示した気象・海象情報

本船の針路は博多-上海間では西向き，逆に上海-博多間では東向きの針路となることから，季節風の影響を調査する以外では，これら気象・海象の向きを絶対方位で表すよりも，船の船首方位を基準とした相対方位で表す方が，より適切であると考え，風向，波向き，ウネリ向きは相対針路で表すこととする。

また，風，波，ウネリ，を1ヶ月間の時系列データとして表しても，相対方位で見てどちらからどの程度の割合でこれらの影響を受けているかを一目で理解することは困難である。そこで，以下では相対方位を16主要方位別に分け，各方位におけるビューフォースケール値または海面状態値の割合をローズグラフで同時に表す。

図 3.2 に 9 月分の風向・風力の時系列値 , 図 3.3 に相対方位別割合をそれぞれ示す .

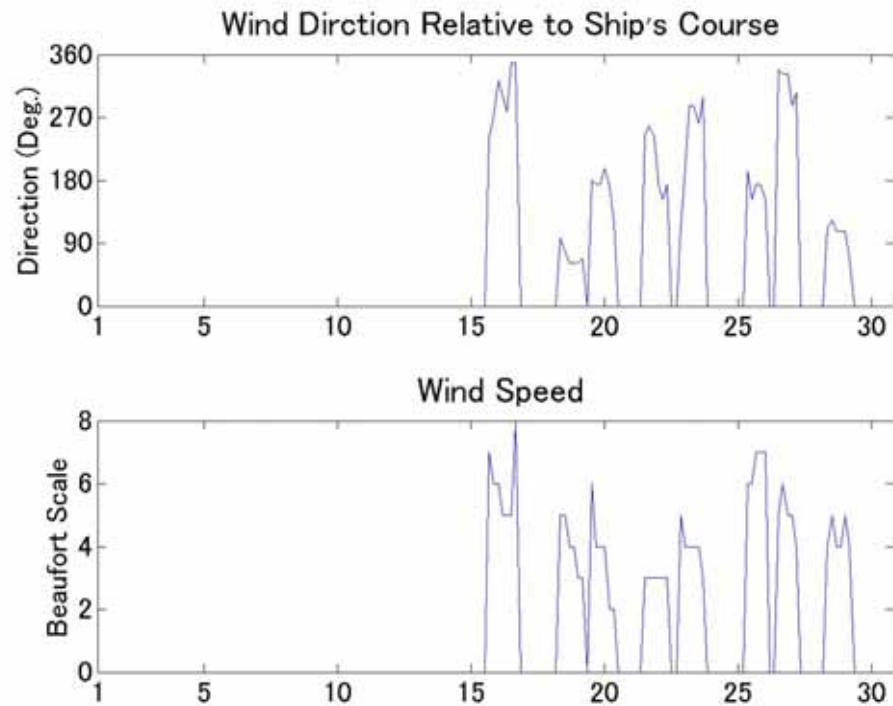


図 3.2 風向・風力の時系列データ (9 月分)

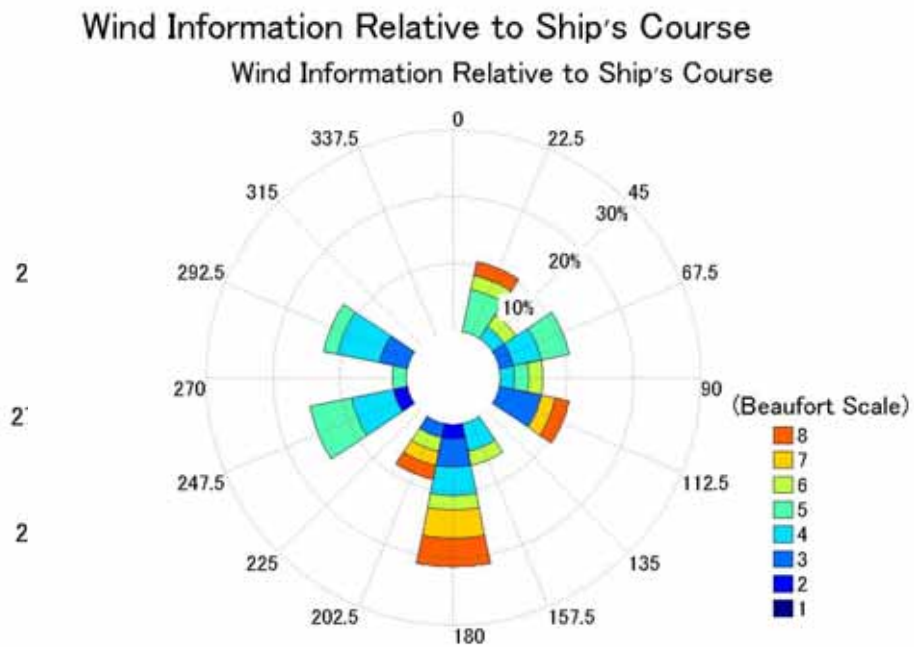


図 3.3 風向・風力の相対方位別割合 (9 月分)

次に、博多-上海および上海-博多間の航海は2-3日離れた航海であることから、これら気象・海象の影響が反対向きに影響することも考えられ、これら航海を往航と復航別に図3.4および図3.5に示す。

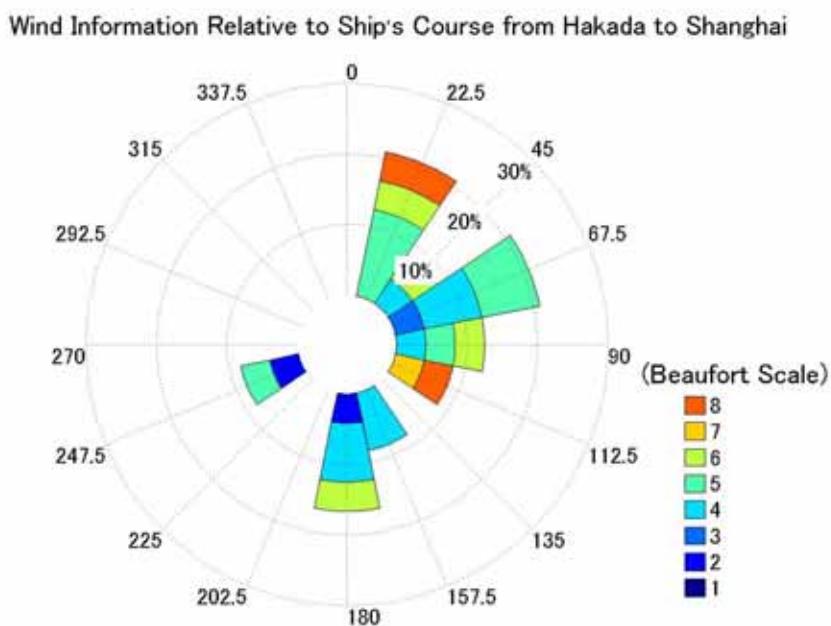


図 3.4 博多-上海間における風の相対方位別頻度

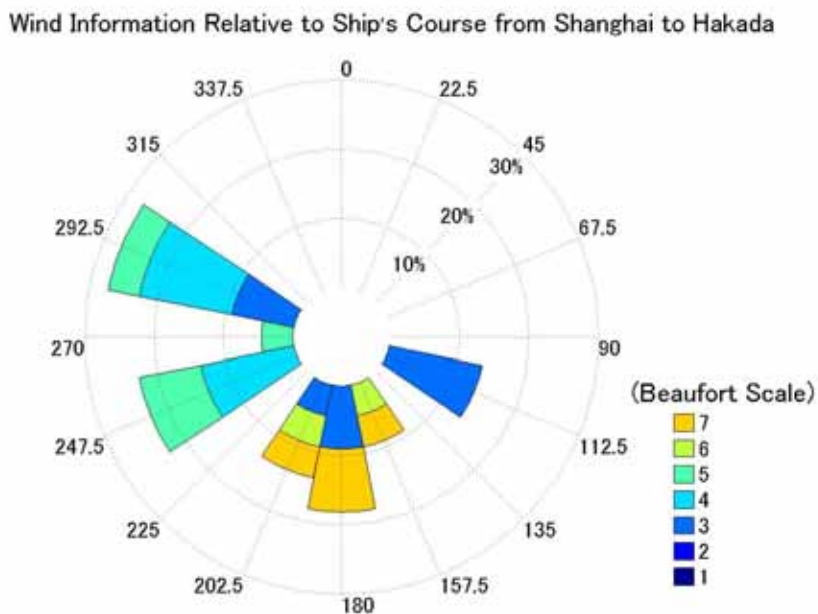


図 3.5 上海-博多間における風の相対方位別頻度

同様に，波の相対方位別頻度を図 3.6，3.7 に示す．

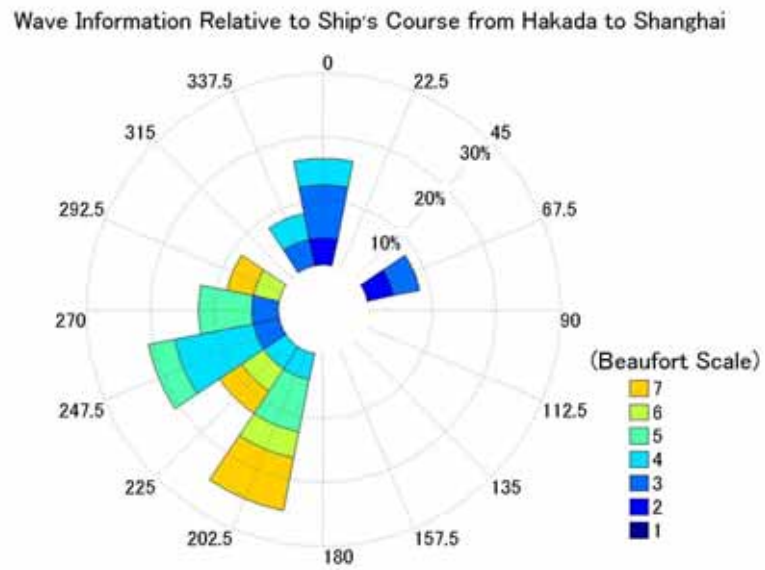


図 3.6 博多-上海間における波の相対方位別頻度

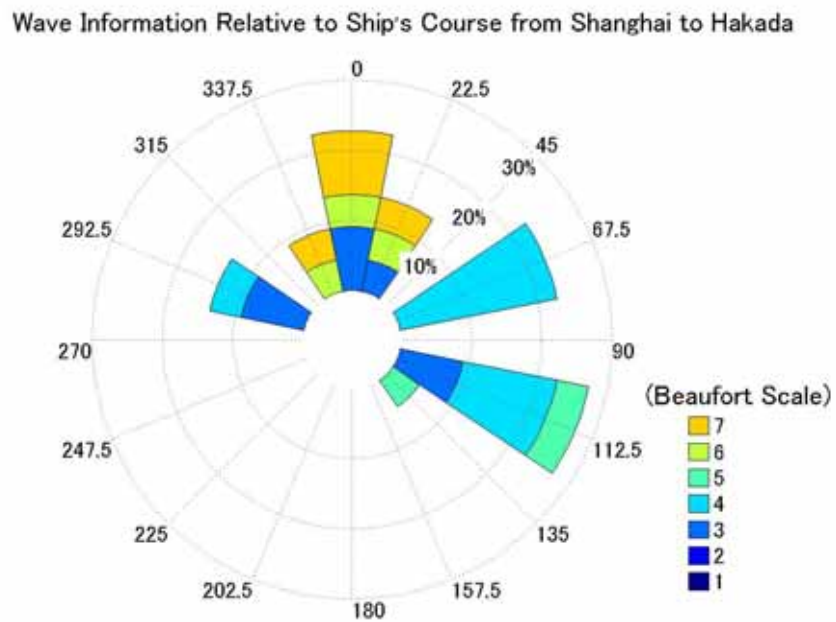


図 3.7 上海-博多間における波の相対方位別頻度

同様に，ウネリの相対方位別頻度を図 3.8，3.9 に示す．

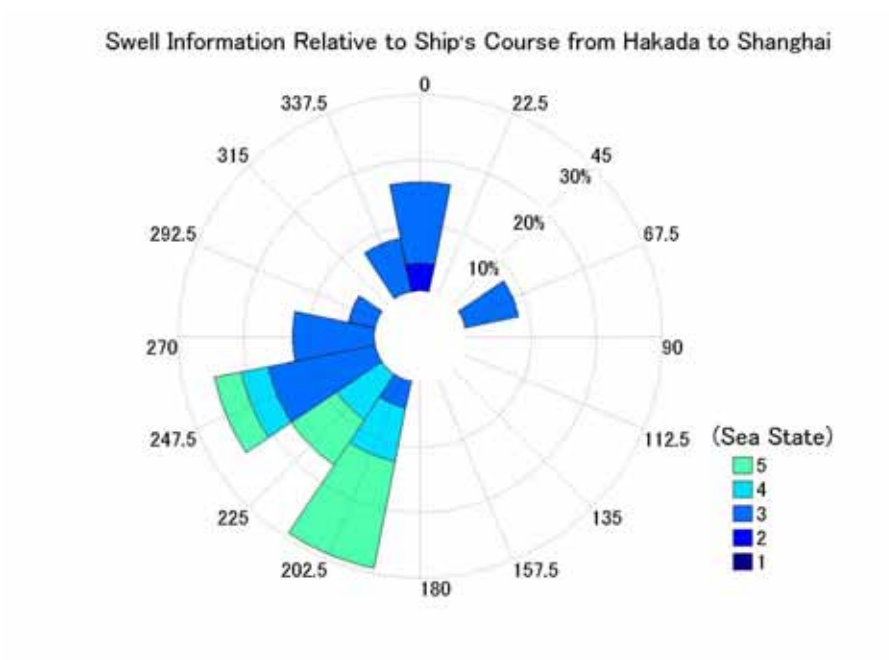


図 3.8 博多-上海間におけるウネリの相対方位別

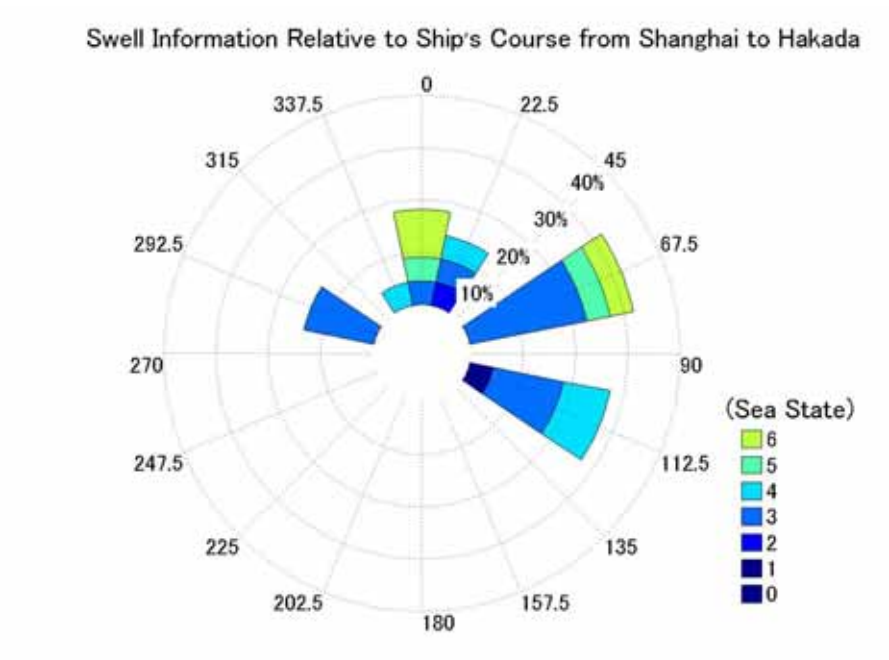


図 3.9 上海-博多間におけるウネリの相対方位別

3.4 加速度情報

3.4.1 解析範囲の限定

船体に生じる加速度には主として2種類が考えられる。一つは、船体動揺の固有振動周期で正弦的に変動する加速度と、パンチングなどによって衝撃的に変動する加速度である。両種の加速度ともに、その大きさは海面状態に応じて変化する。そこで、ここでは全ての航海中の加速度を調査するのではなく、船舶乗組員が目視から得たビューフォースケールに従った海面状態4（小さな波が立ち、白波が増える）以上を示している航海中の加速度を対象とする。

図 3.10 に9月の航行中の海面状態の変化を示す。図中の赤で示された範囲は海面状態4以上の期間であり、4つの期間に分割される。

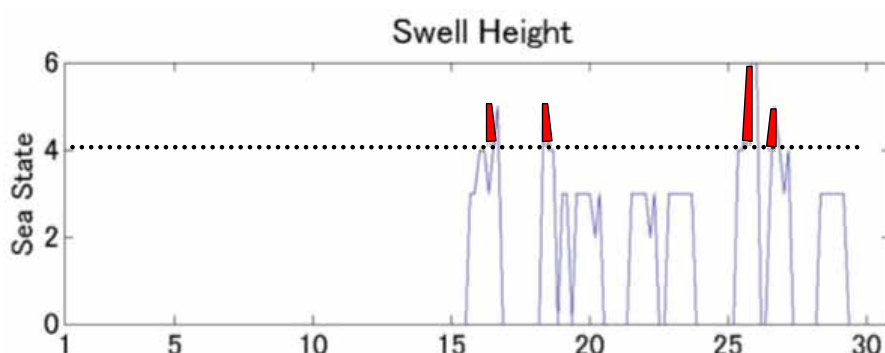


図 3.10 9月の海面状態

3.4.2 加速度の時系列および周波数特性

次に、この海面状態4以上の期間内で3カ所に設置された加速度センサーで計測されたX、Y、Z軸方向の加速度データは莫大な量となることから30秒毎に区切り、最大の加速度値を有する30秒間を抽出する。一例として、No.1センサーのx軸最大値を有する30秒間の加速度値に変動を図 3.11 に示す。

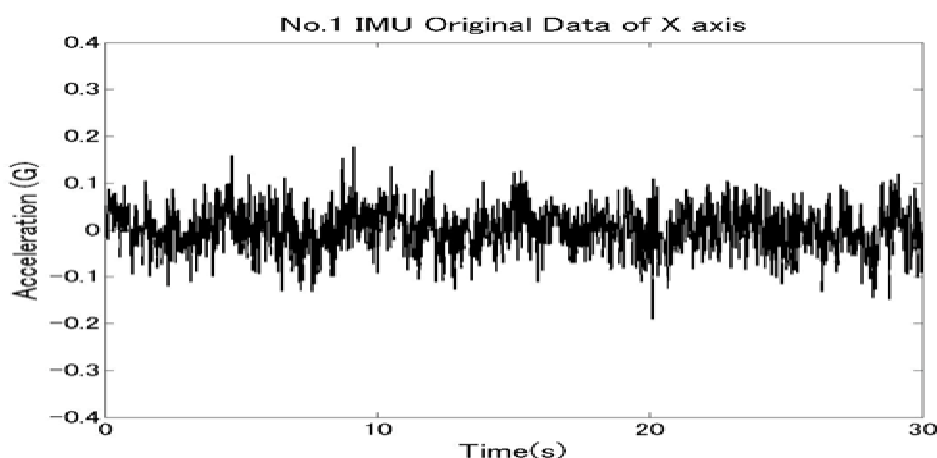


図 3.11 最大値を示す X 軸加速度時系列データ例

さらに，この 30 秒間加速度の有するスペクトルを図 3.12 に黒線で示す．

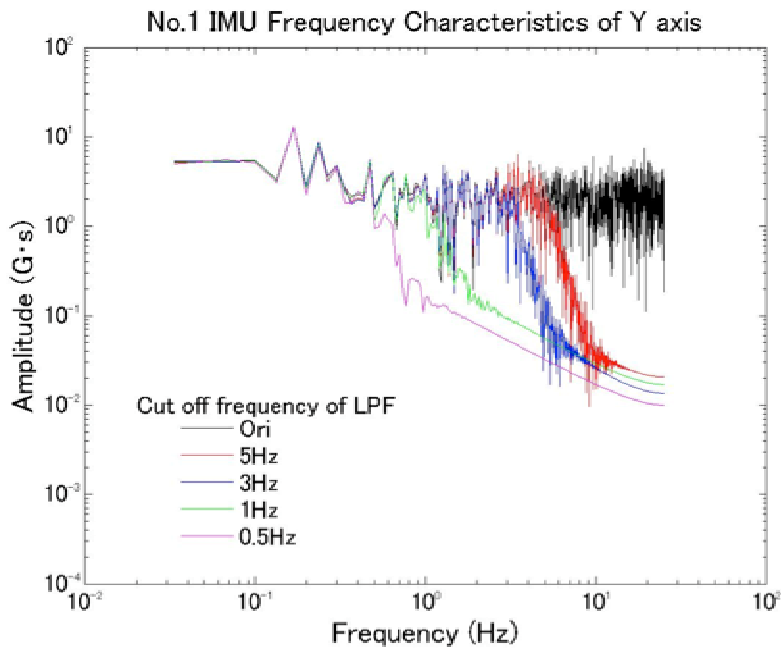


図 3.12 最大値を示す Y 軸加速度時系列データ例

図 3.12 の黒線で示されているスペクトルから，この加速度の変動では 1Hz 以下の成分が主たる周波数成分であることがわかる．そこで，図 3.12 には，5Hz，3Hz，1Hz および 0.5Hz の低域通過フィルター（ローパスフィルター）を施した結果を併せて示す．

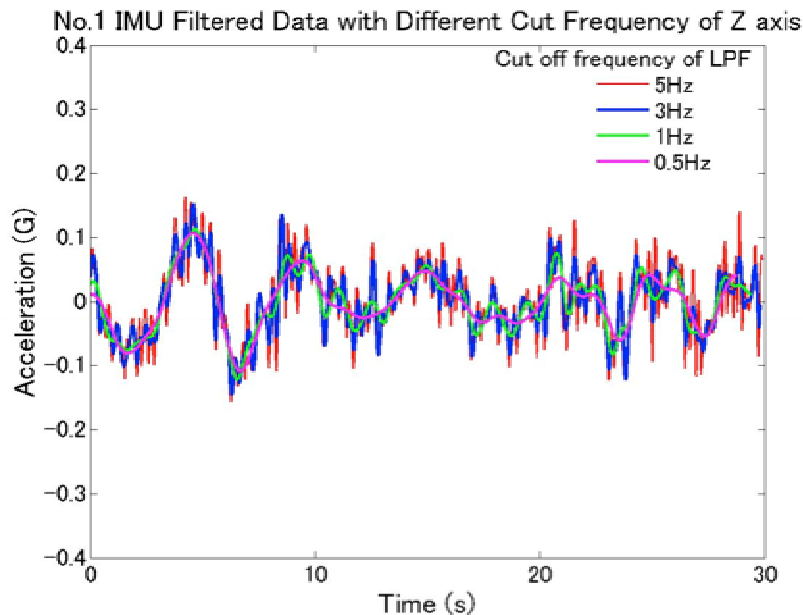


図 3.13 最大値を示す X 軸加速度時系列データ例

同様に，時系列加速度に対して，同種のフィルターを施した結果を図 3.13 に示す．フィルターの効果より，通常の船体動揺による加速度計測では，サンプリング周波数は 5Hz 程度で十分であると考えられる．

3.4.3 海面状態と加速度の関係

図 3.10 および 3.11 より，船体動揺によって生じている加速度は約 1Hz 以下の正弦的に変動する成分で与えられていることがわかり，加速度を正弦的な変動をしている交流信号と仮定でき，その加速度の大きさを表すために電流の実効値を用いて，以下の式から得られる．

$$I_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i)^2} \quad (1)$$

ここで， x は各軸の加速度， N はデータ数である．これは，自乗平均値（root mean square: R.M.S.）であって，交流信号の場合にはその最大値は次の式で求められる．

$$I_{max} = \sqrt{2} \times I_x \quad (2)$$

以前に，海面状態 4 以上の加速度計測値を 30 秒間隔で分けることを述べたが，ここではその 30 秒間の加速度の実効値を(1)式から求め，さらに，海面状態 4 以上の間における加速度実効値の統計値を以下の平均値および標準偏差の式で求める．さらに，各軸が受ける加速度はウネリの向きに依存することも考えられるために，図 3.12 に示されるようなウネリの相対方向別に分けて処理する．

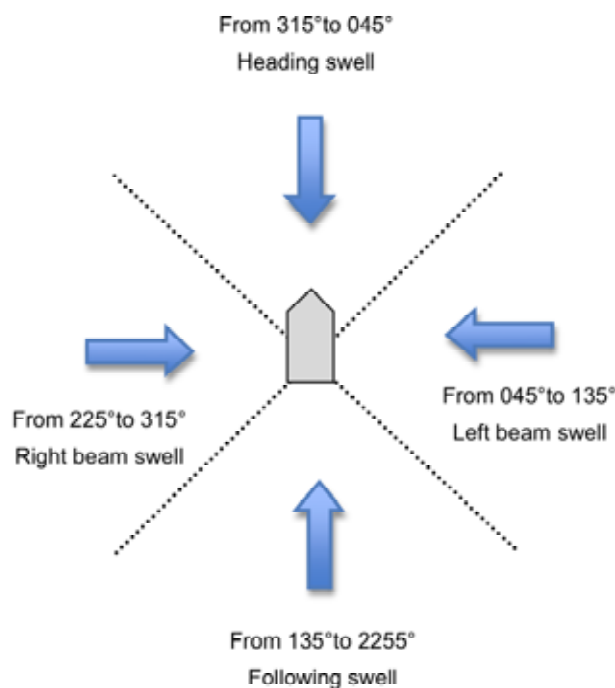


図 3.12 ウネリの向き別の区分

最後に，No.1 位置に設置した加速度センサー計測値の加速度実効値の平均値と標準偏差をウネリの向き別で示した一例を図 3.13 に示す．残念ながら 9 月は比較的平穏な航海が続き，海面状態 4 を超える航海期間も短く，かつ海面状態は 4 が最大であった．そこで，図中の赤丸が加速度実効値の平均値を示し，赤丸から上下に引き延ばされた棒が標準偏差の範囲をしめしている．そこで，この海面状態 4 を超える航海期間内では向かい，右横および左横からのウネリをそれぞれ受け，Y 軸の加速度実効値は前からウネリを受ける場合（図中の赤色）で海面状態が 4 では平均 0.08G，最大加速度は約 0.11G，海面状態が 5 および 6 でも平均加速度実効値は 0.08G とほとんど変化していないことがわかる．また左横からウネリを受ける場合で海面状態が 4 では平均 0.09G，海面状態が 5 では平均 0.1G と増加する傾向がわかる．また，上下の棒で示される間隔は標準偏差を示しており，間隔が小さい程度平均か速度実効値のバラツキが少ないことを表す．従って，同図より船首方向からウネリを受ける場合には，海面状態が 4，5 および 6 でほとんど実効値に変化が無く，測定された実効値にばらつきが少なく計測確度が良いことが示されている．

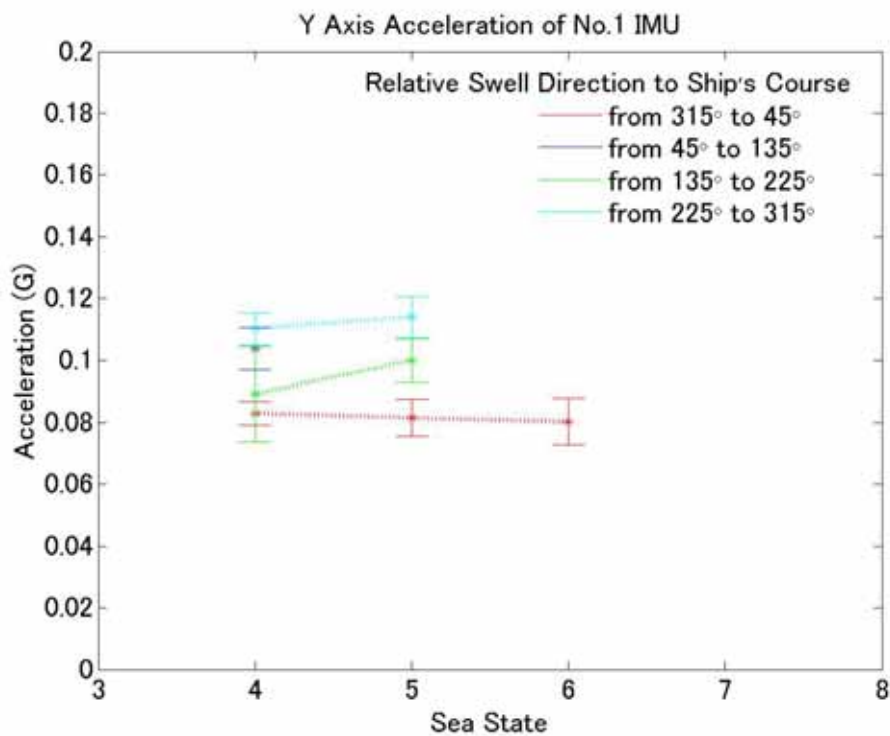


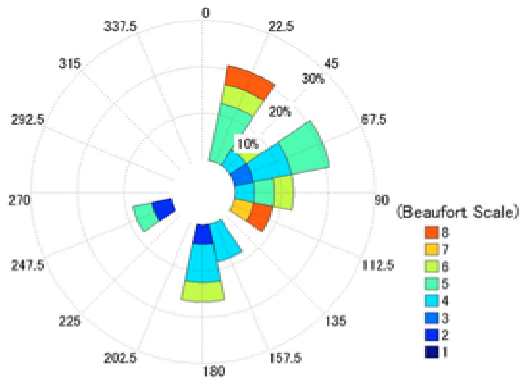
図 3.13 海面状態と加速度実効値特性の一例

3.4.4 解析結果の利用に向けて

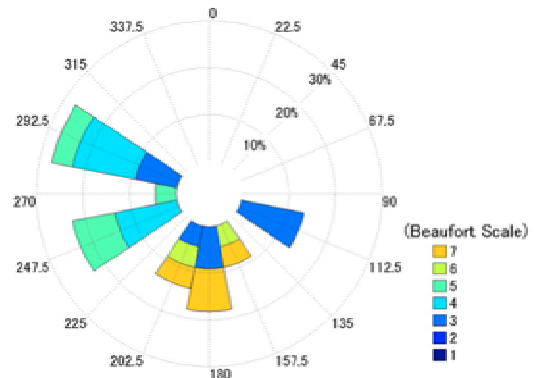
ここまでで気象・海象情報および船内の3カ所で計測した3軸方向の加速度に関する解析法および結果を示した。次に、これら解析結果をどのように用いることができるかについて考える。

はじめに、気象・海象情報に関する風・波・ウネリの相対方位別頻度について、往復航海別で示した図を同時に示す。

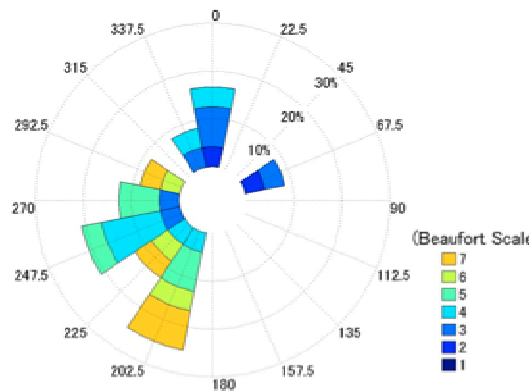
Wind Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai



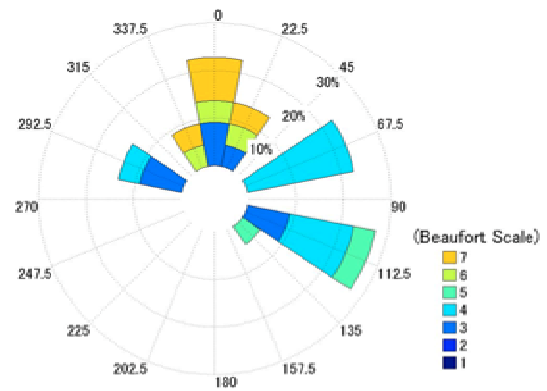
Wind Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



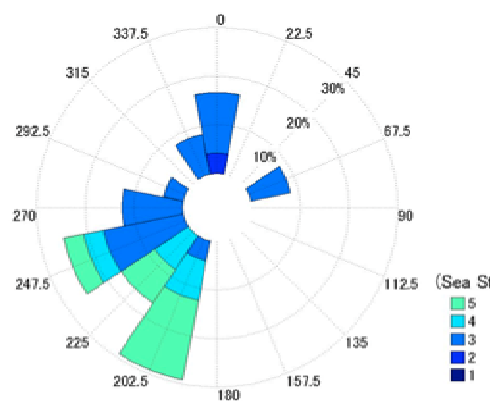
Wave Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai



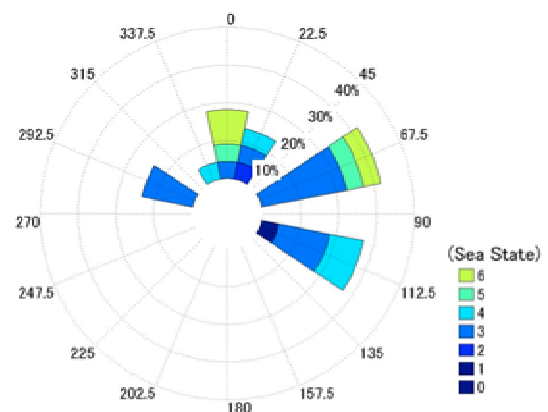
Wave Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



Swell Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shan

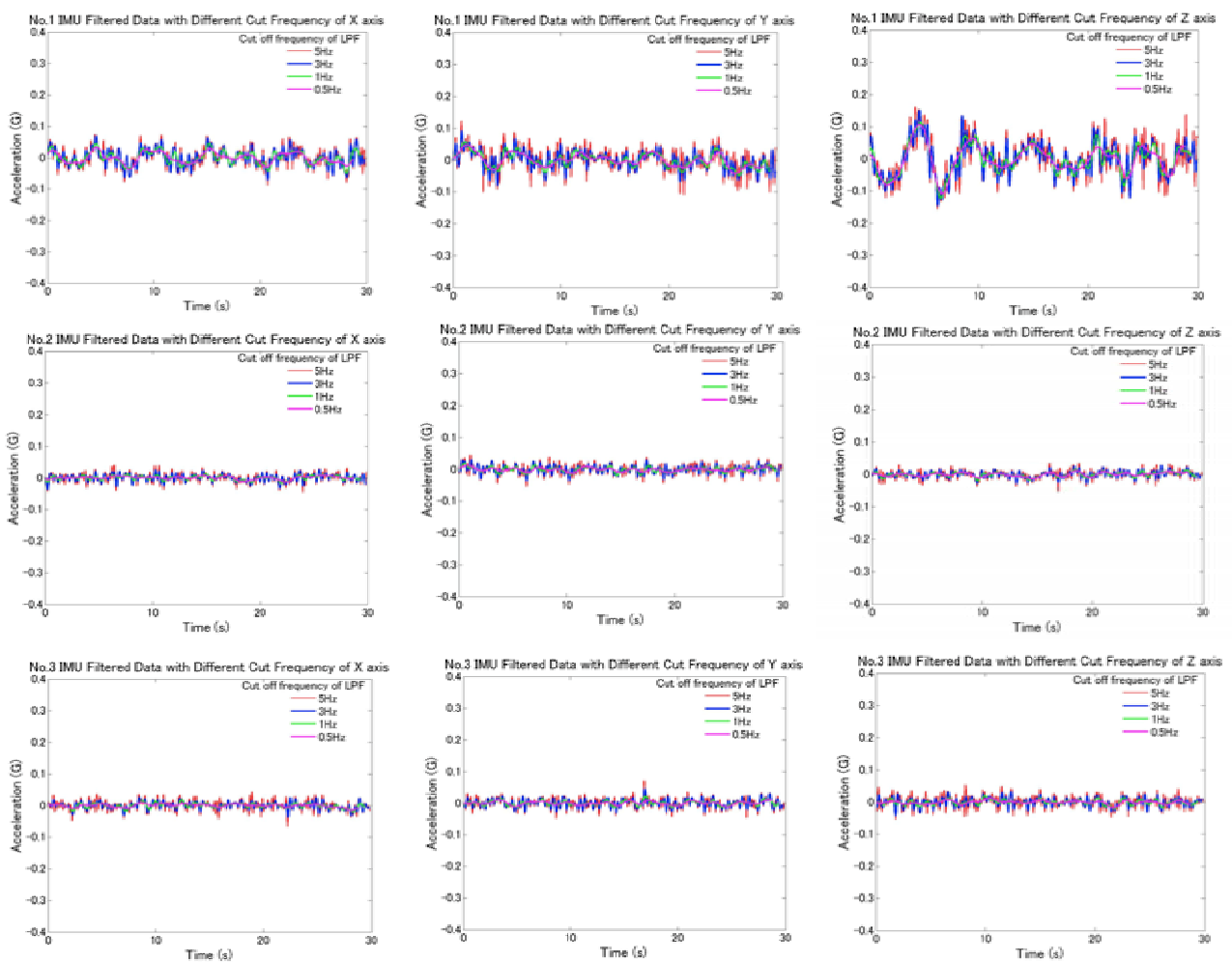


Swell Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



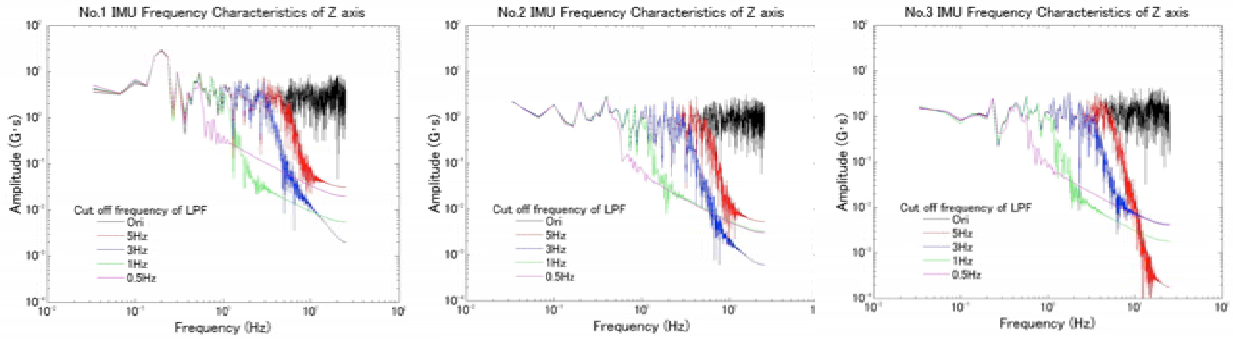
このように、平成 24 年度単年度ではあるが 6 つの図を同時に掲げ比較することで、この年の 9 月は全体として、博多-上海の往航では船首から風・波・ウネリを受け、逆に上海-博多の復航では船尾から風・波・ウネリを受けて航海したことがわかる。また、おおよそではあるがそれぞれの割合を知ることができる。これらの解析結果を最低でも複数年の測定結果と比較し、さらに長期間にわたる変化割合などを示すことで、博多-上海間の航路における気象・海象の状況を示すことができ、本航路航行する船舶あるいは運航管理者にとって大変有用で貴重な情報となりうる。

次に、9 月の航海中海面状態が 4 以上を示している間に、最大値を有する 30 秒間のフィルター処理した加速度を示す。



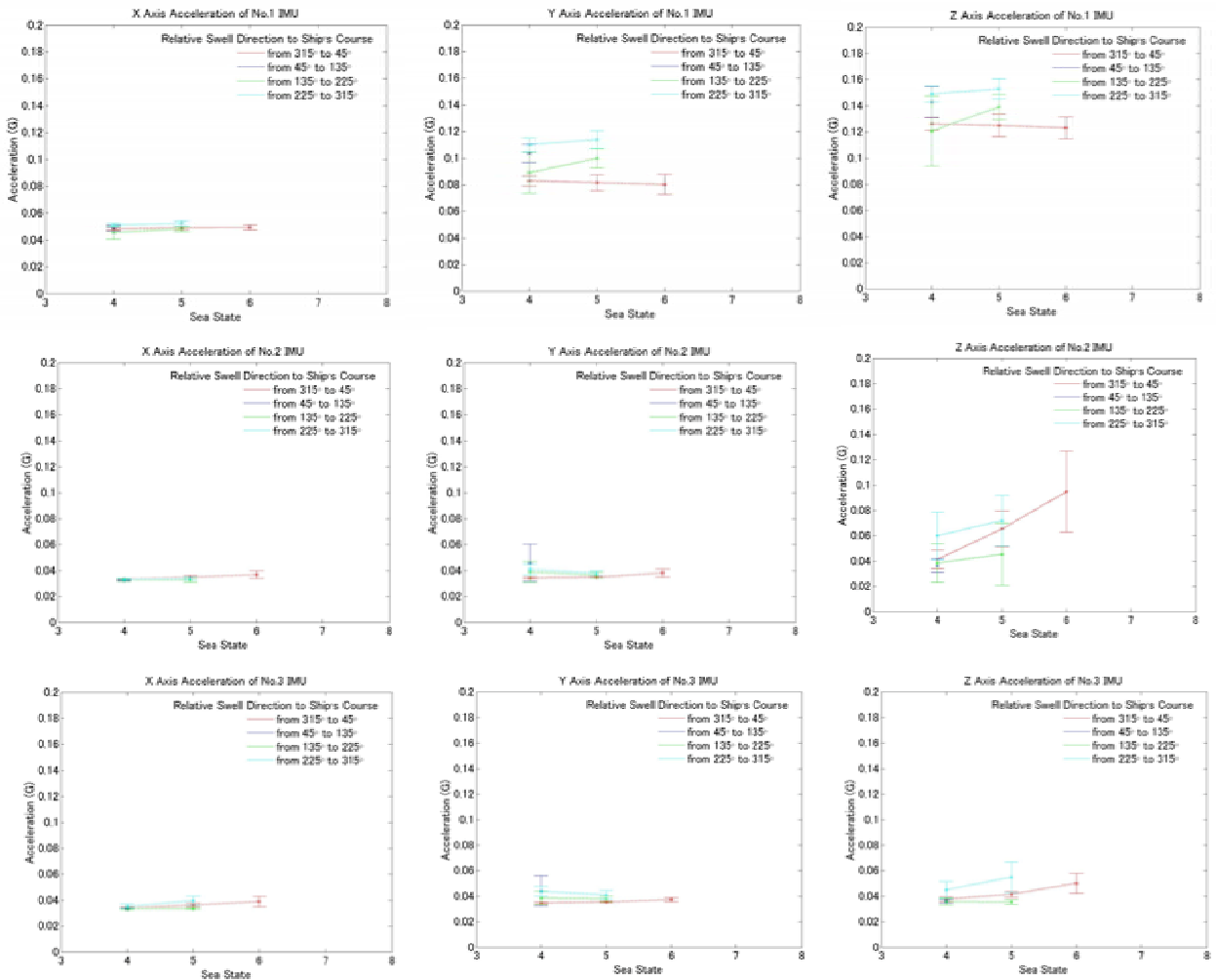
このように、同時に船内の各所における最大値を有する時系列加速度を比較することで、1カ所だけでなく船内の様々な場所における加速度変化を考察することも可能となる。

さらに、各所におけるZ軸加速度のスペクトルを示す。



これらの図を比較することで No.1 位置では 0.2Hz 付近の低周波加速度が卓越しているが、No.2 および No.3 位置では見られない。このことは、No.1 位置は船体の上下揺れに特に注意し、積み荷の固縛などが必要となることがわかる。

また、本船はアンチローリングのためにフィンスタビライザーを設置している。今まで収集している情報にフィンスタビライザー使用時間が無いので、詳細な関係を示すことは困難である。しかし今後フィンスタビライザー使用時間がわかり、その時間得られた加速度を除去することができれば、3カ所において3軸の加速度実効値と海面状態（ウネリの方向を含む）の関係は大変有効な情報を船舶運航者に提供できると考えられる。



これら 9 つの図を比較することで、No.1 位置における Y (左右揺) および Z (上下揺) の加速度実効値の平均値が大きく、実効値の標準偏差も大きいことがわかる。これは No.1 位置における積み荷の固縛は前後方向にはあまり気にかけることは必要が無いけれど、他の場所に比べて左右および上下方向の加速度には注意が必要であることもわかる。特に、左右舷からウネリを受ける時に注意が必要である。また、No.2 の場所では後方よりウネリを受ける場合 (From 315 to 045) に Z 軸方向の加速度が海面状態に比例して大きくなる傾向があり、この場所では Z 軸方向に対する積み荷を固縛することに特に注意が必要である。最後に、No.3 の場所では、ウネリの向きおよび海面状態が変わっても加速度実効値にさほど大きな変化が無く、加速度を受けては困る積み荷などはこの場所に積みつけることで船体動揺の影響が少なくなることもわかる。

4. まとめ

本年度は、初めに船舶動揺計測を実施するためにメタルボックスを開発し、次年度より本格的に開始される船体動揺加速度のデータベース化に向けて実施した。

メタルボックスの評価実験から、

- (1) プラスチックボックスは必要な振動を吸収するとともに、それら振動を新たな固有振動に換えている可能性があり、今後の計測にはメタルボックスの使用を薦める。
- (2) 設置場所は船体動揺による振動を直接計測できるような甲板上が良いです。出来れば個別の固有振動を持つ網などの上は避ける。
- (3) サンプリング周波数 500Hz の解析結果より、振動とは直接無関係な雑音を計測している可能性があるため、出来れば同じ場所に 500Hz に設定したメタルボックスを設置して再度計測する必要がある。
- (4) 複数箇所における計測を行う場合には、計測結果の同一時刻による比較が可能となるようにセンサー内部時計を整合させ、Timer Trigger Data の Overwrite は行わないよう設定を行う。
- (5) 内部フィルターはかなり狭い周波数帯域になっている可能性があり、今後はフィルター無しの計測を行う。
- (6) 気象関連情報は出来れば 1 時間毎の記録が望ましい。

また、センサーの適切な計測値を得るための評価実験および長期間データ処理のため解析法の検討から、

- (1) 本供試船における加速度計測は、船体動揺による加速度情報を収集するためのサンプリング周波数は 5Hz で十分である。
- (2) 航行中の気象・海象情報は 1 時間毎が理想的であるが、4 時間毎でも加速度計測値との関係を求めることが可能である。また、航行海域の気象・海象情報を提供するためには長期間にわたる情報収集が必要である。
- (3) 船内の複数箇所における最大時系列加速度を比較することで、船内の様々な場所における加速度変化を考察することも可能となる。
- (4) 船内複数箇所における加速度スペクトルを比較することで、各所で卓越しているスペクトルが予想可能となり、各所で特に注意が必要な加速度変化やそれにより必要とされる積み荷の固縛などがわかる。
- (5) 海面状態と加速度実効値の関係を図示することにより、各所において海面状態とともに注意が必要な加速度方向の特性や、海面状態の変化と無関係な場所の特定などがわかる。

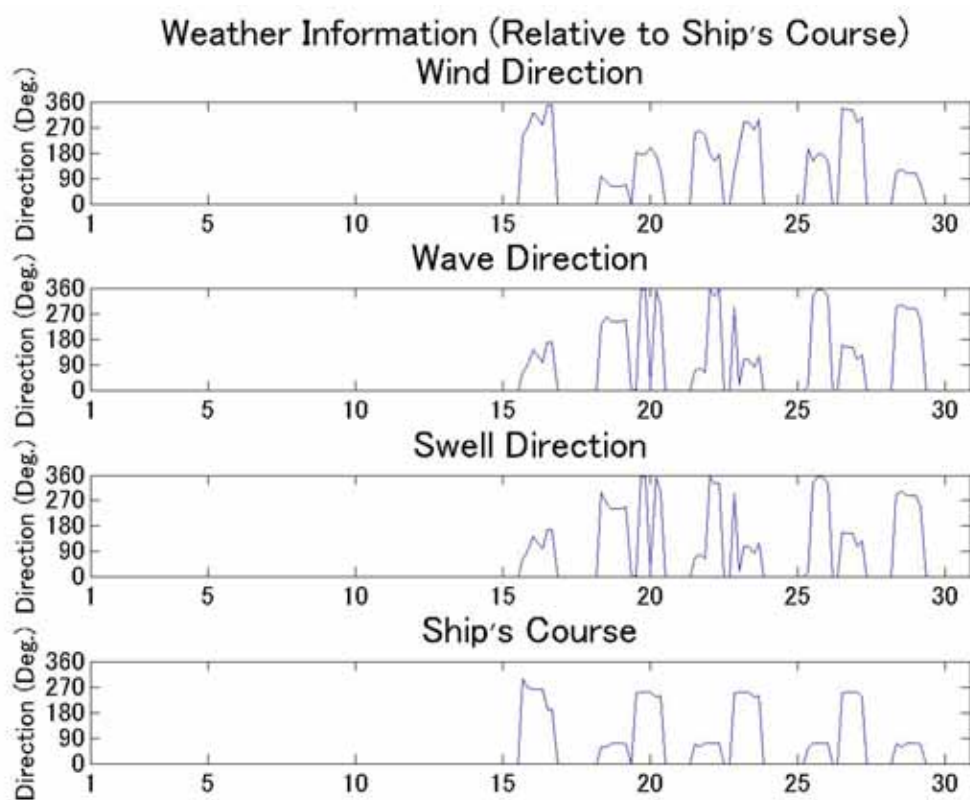
以上のことから、本研究課題への取り組みは着実に成果を上げつつあり、上述したように長期間にわたる計測結果によって、船舶運航者および陸上における関係者への有効な情報提供が可能となることから、ここで行ったデータ収集、解析および評価（利用）方法は非常に有効であると言える。

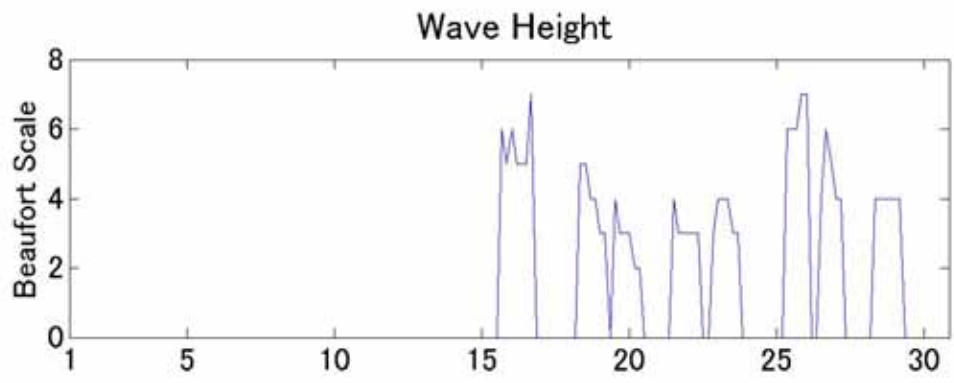
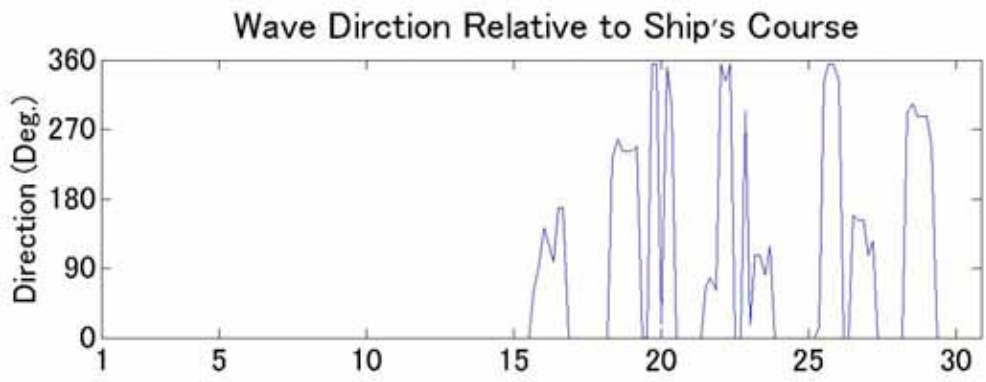
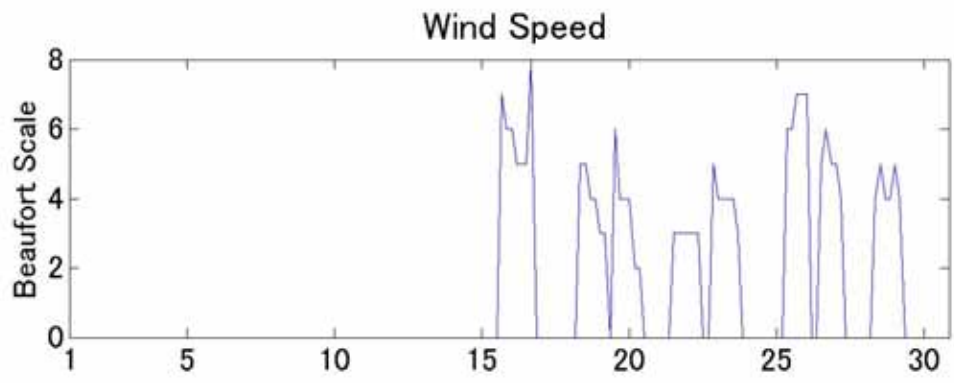
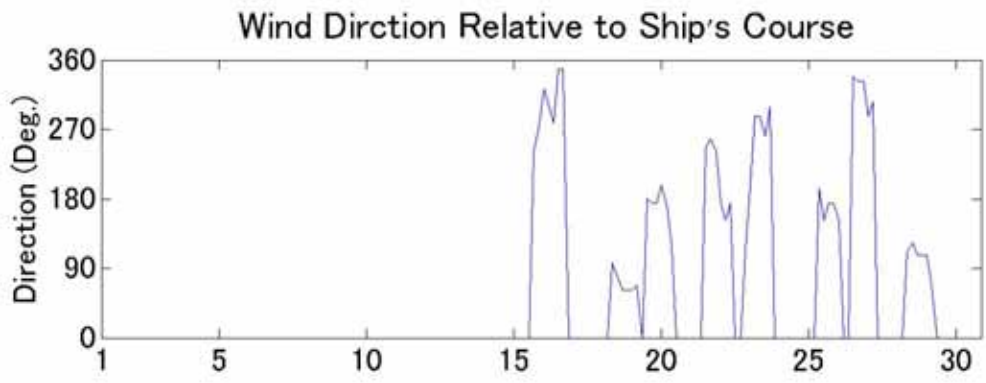
5 . 実験データの解析結果

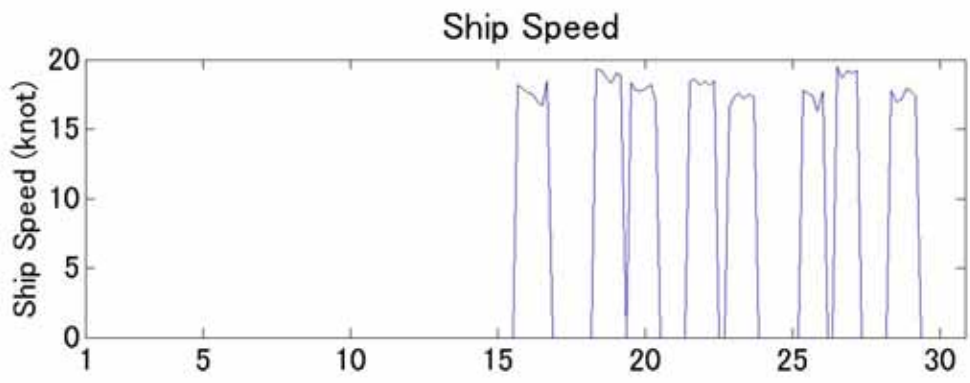
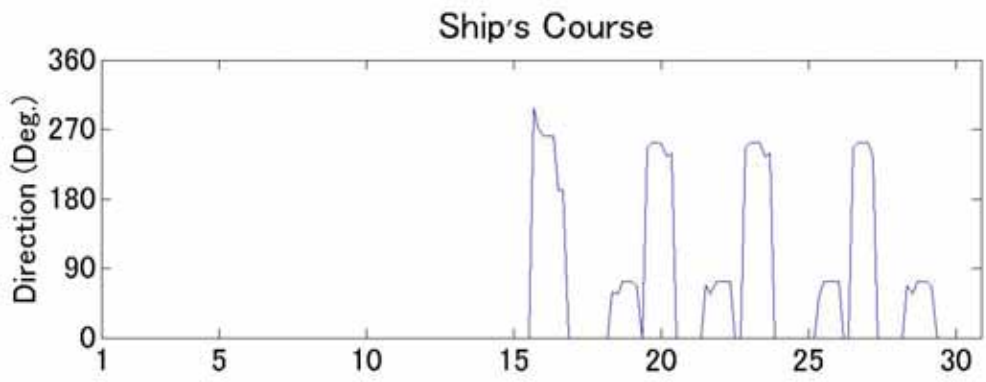
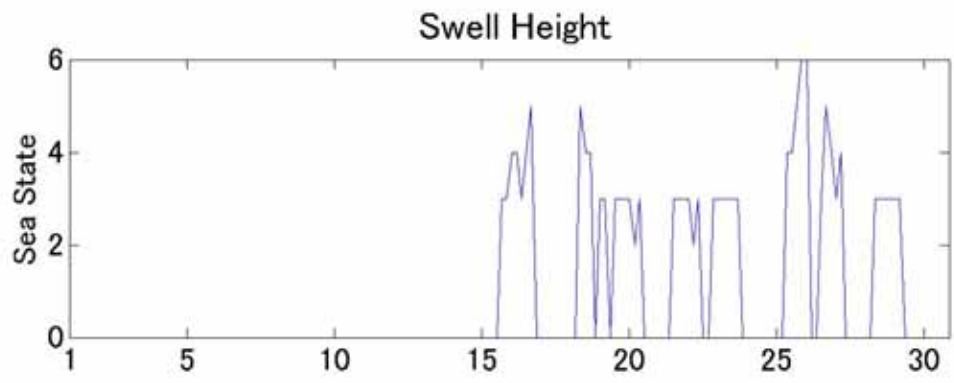
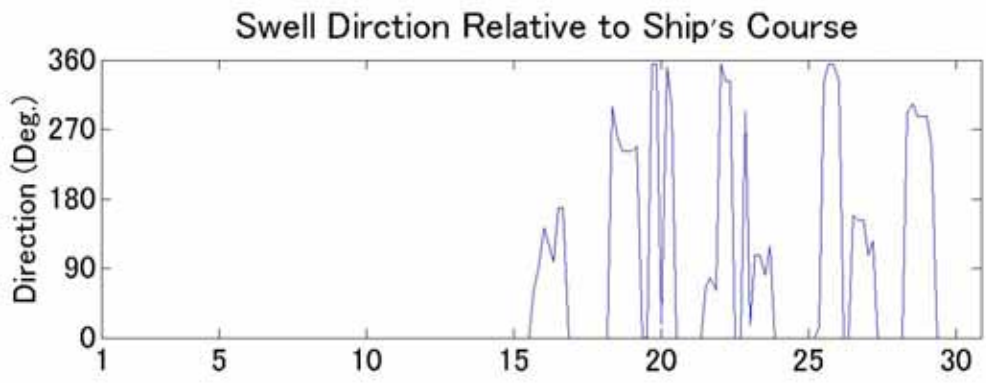
以下に解析方法で示した手法によって得られた結果を9月から12月までの月別に示す .

5.1 9月分

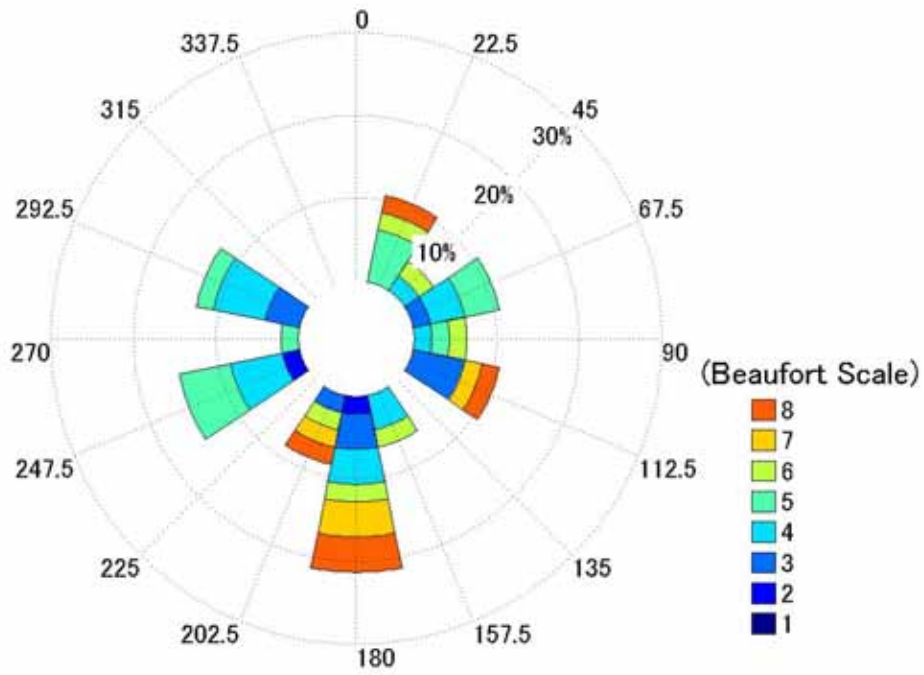
Voyage Schedule in September				
	From Hakata to Shanghai		From Shanghai to Hakata	
Voyage	Departure date & time	Arrival date & time	Departure date & time	Arrival date & time
No. 1	Spe.15th, 15 o'clock	Spe.16th, 17 o'clock	Spe.18th, 07 o'clock	Spe.19th, 05 o'clock
No. 2	Spe.19th, 11 o'clock	Spe.20th, 09 o'clock	Spe.21th, 11 o'clock	Spe.22th, 09 o'clock
No. 3	Spe.22th, 19 o'clock	Spe.23th, 17 o'clock	Spe.25th, 07 o'clock	Spe.25th, 25 o'clock
No. 4	Spe.26th, 11 o'clock	Spe.27th, 05 o'clock	Spe.28th, 07 o'clock	Spe.29th, 05 o'clock



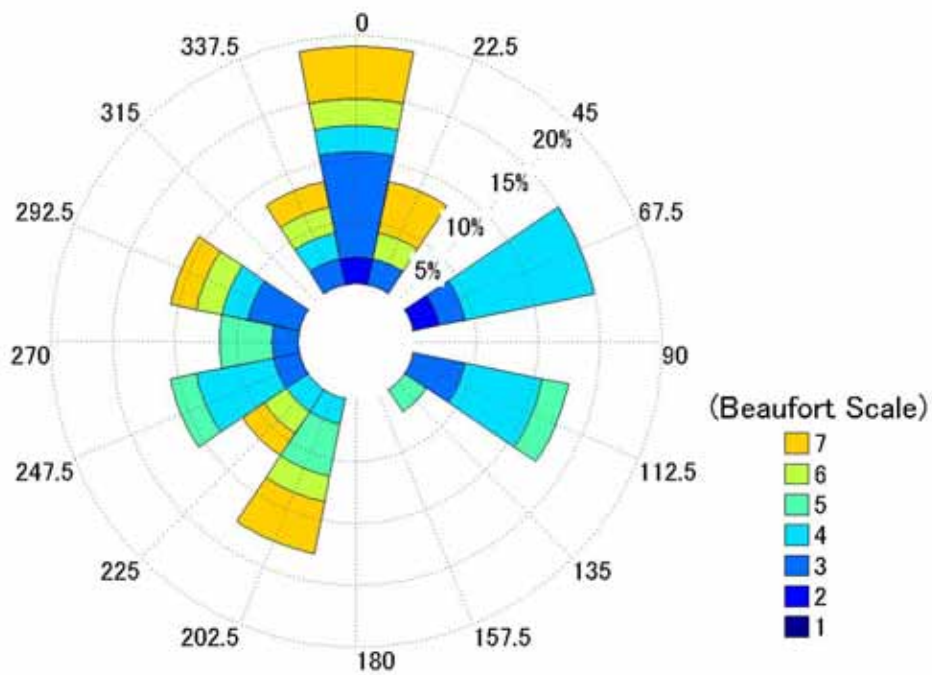




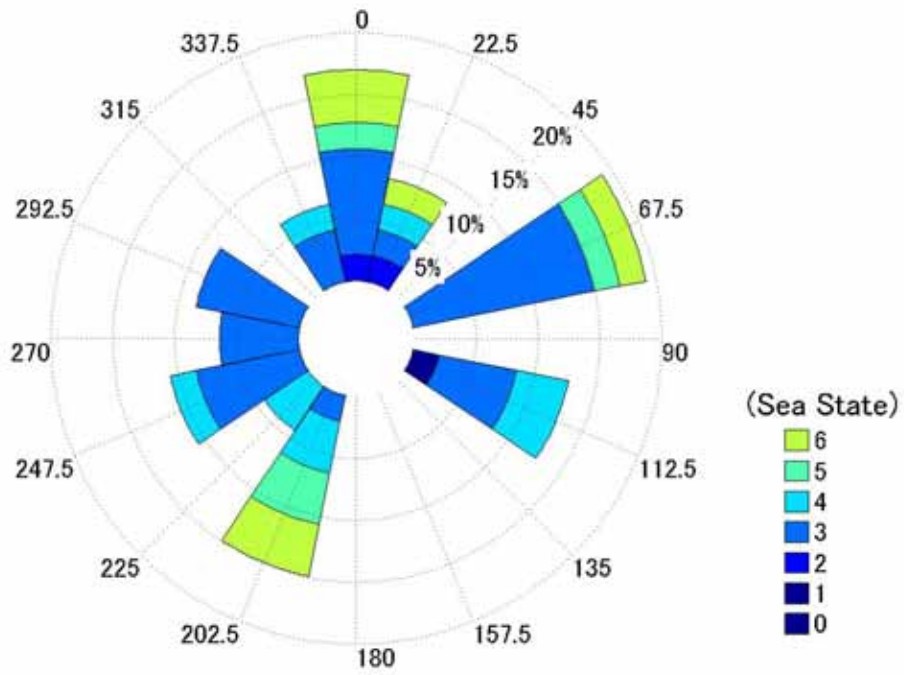
Wind Information Relative to Ship's Course



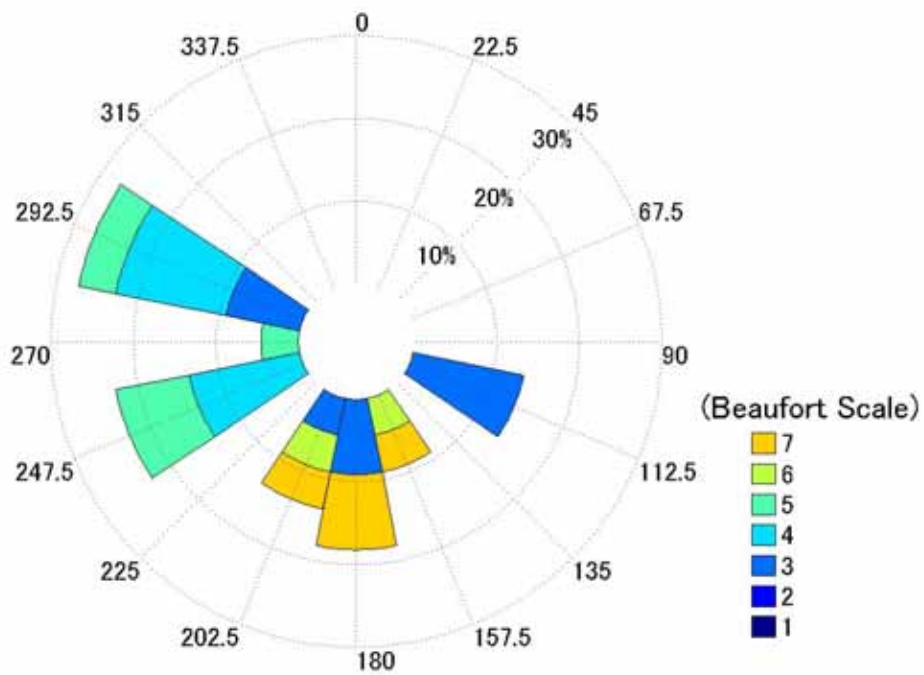
Wave Information Relative to Ship's Course



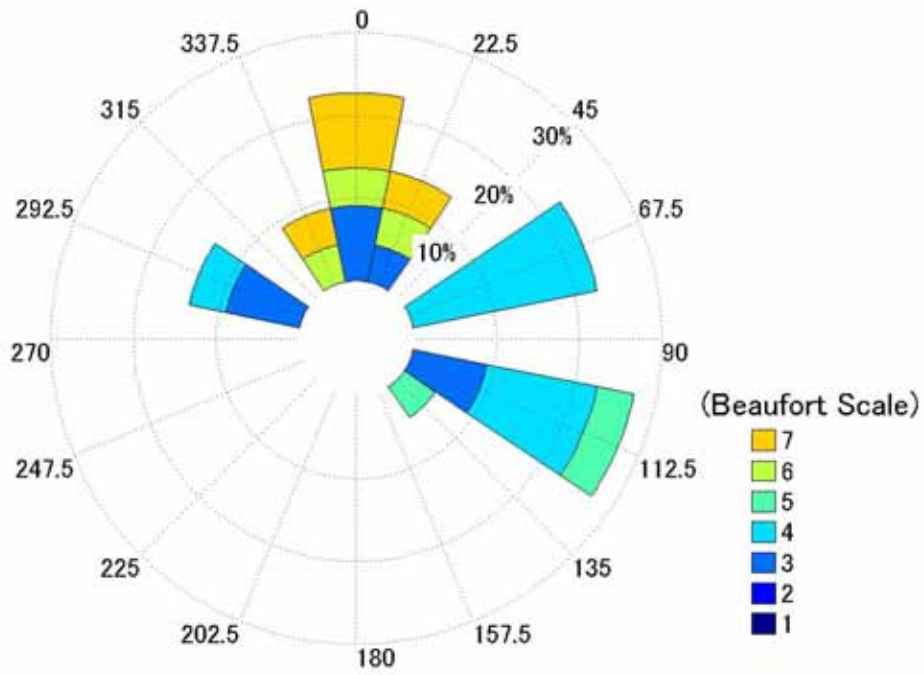
Swell Information Relative to Ship's Course



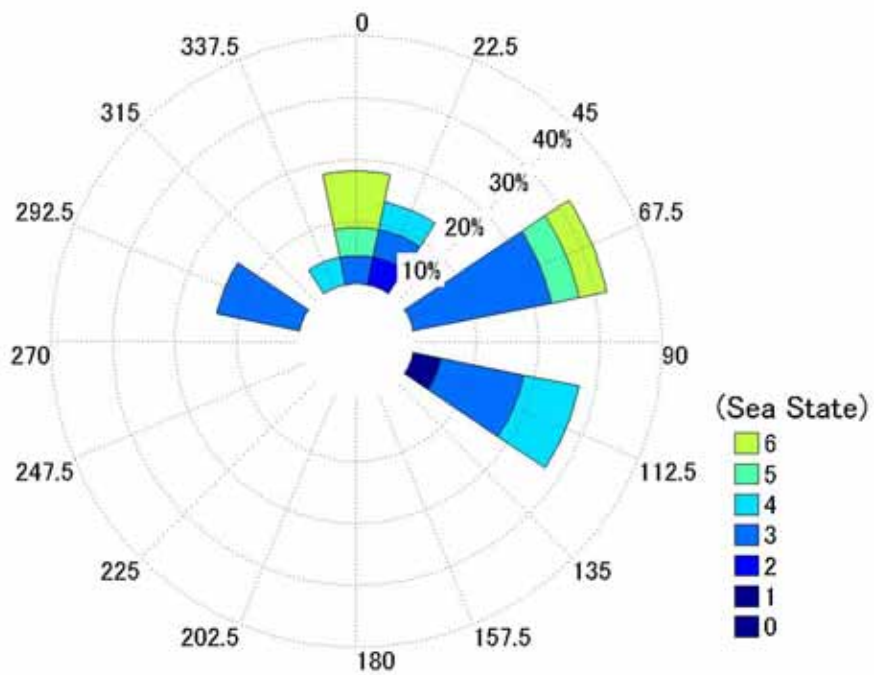
Wind Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



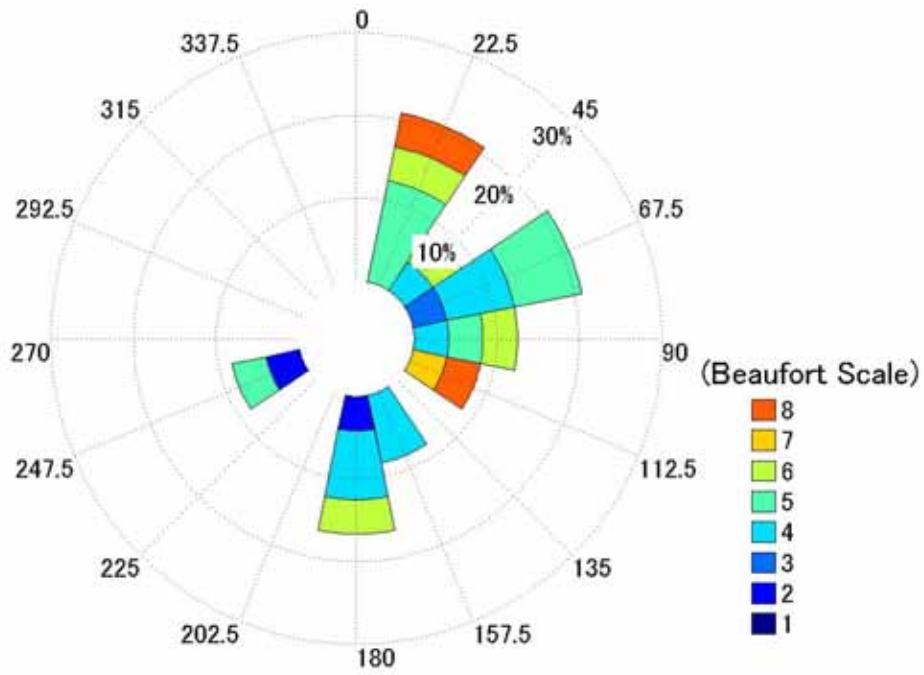
Wave Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



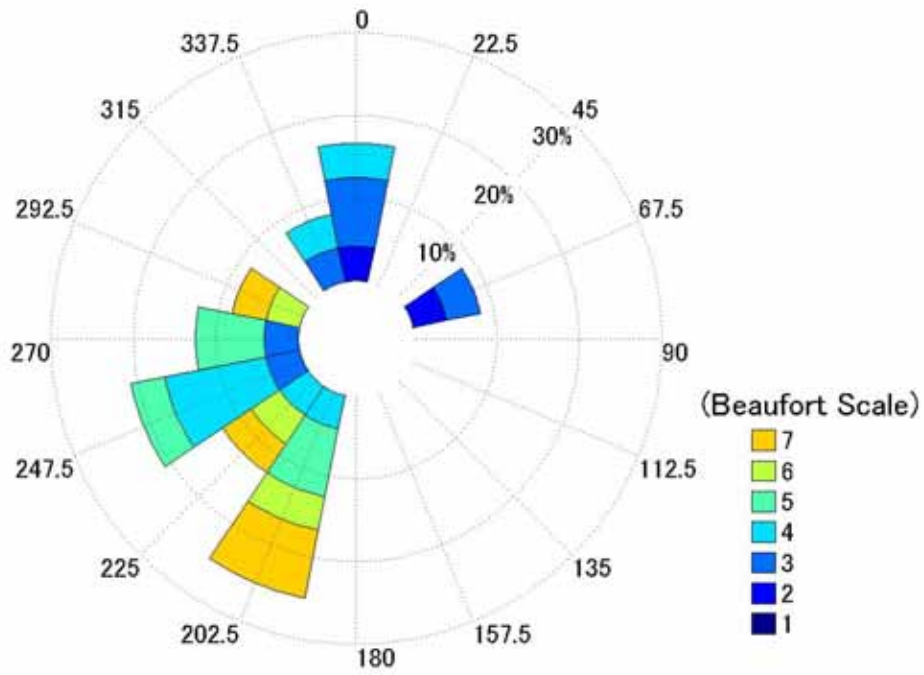
Swell Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



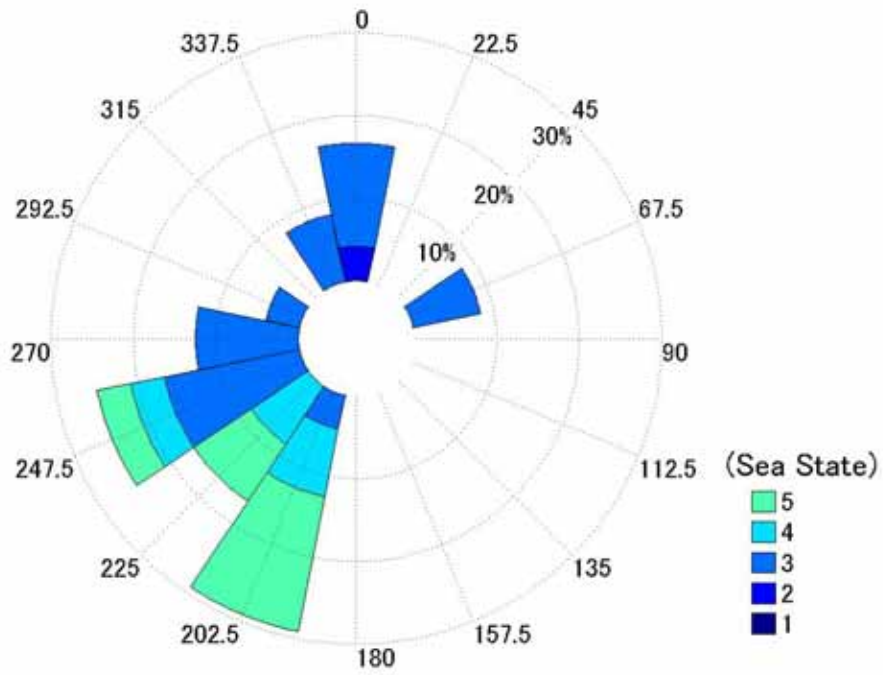
Wind Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai

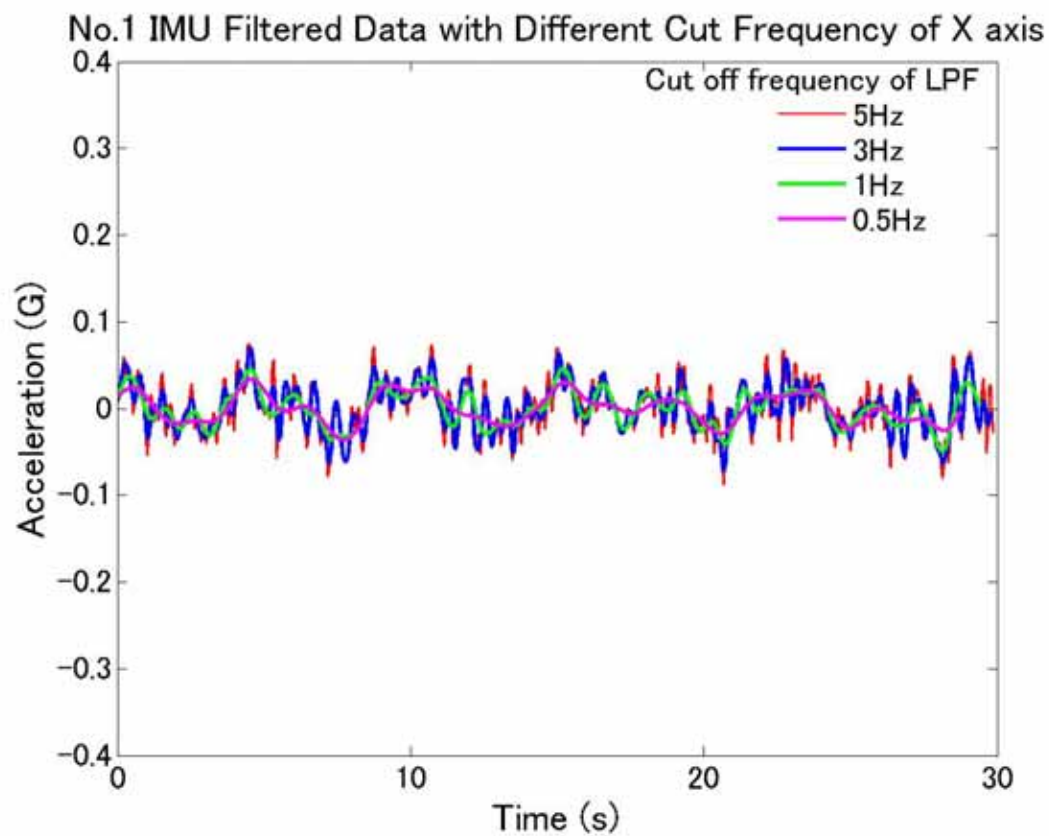
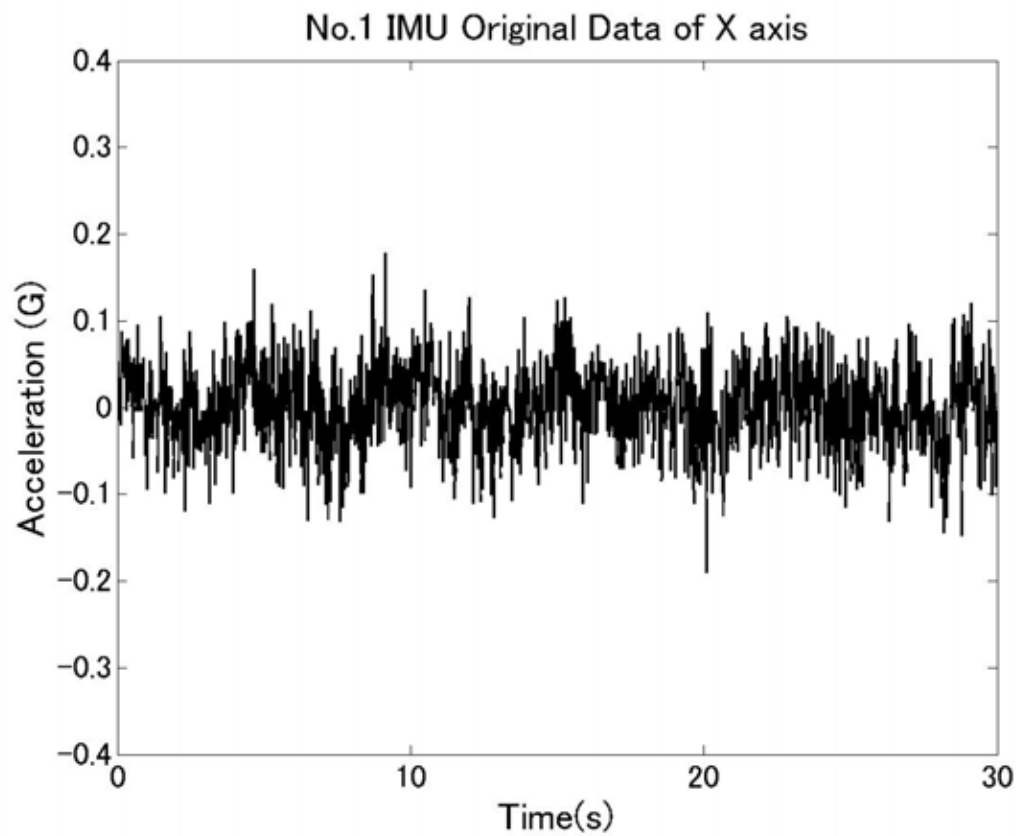


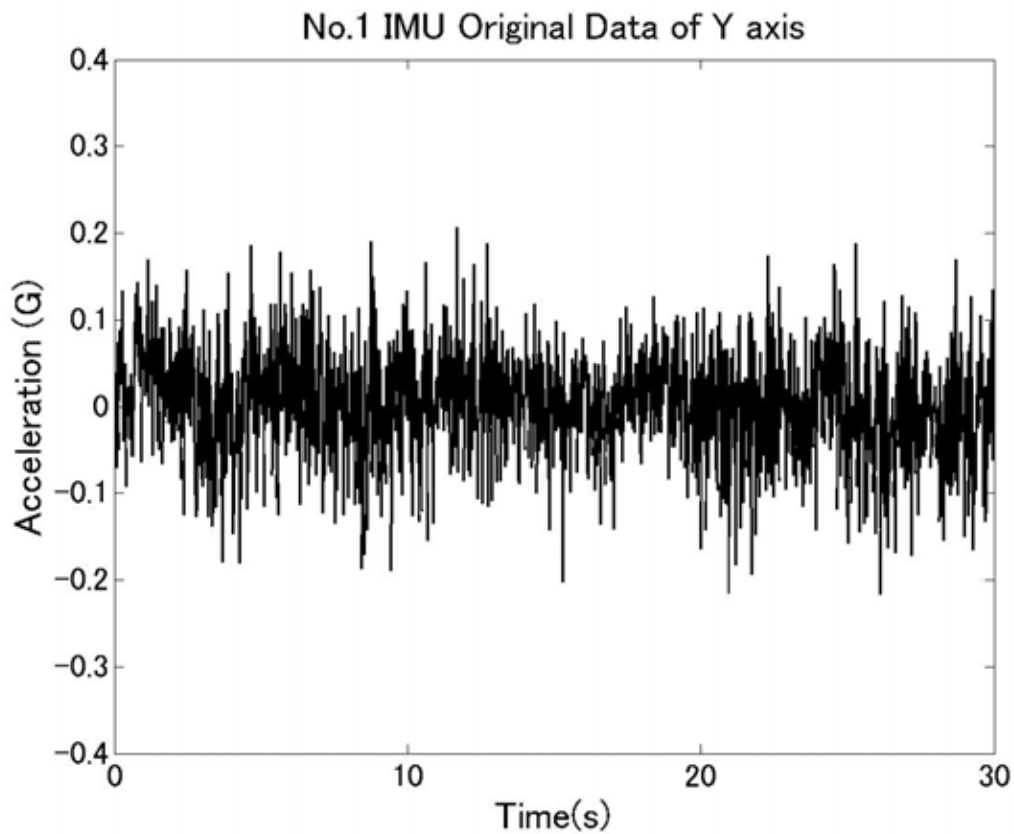
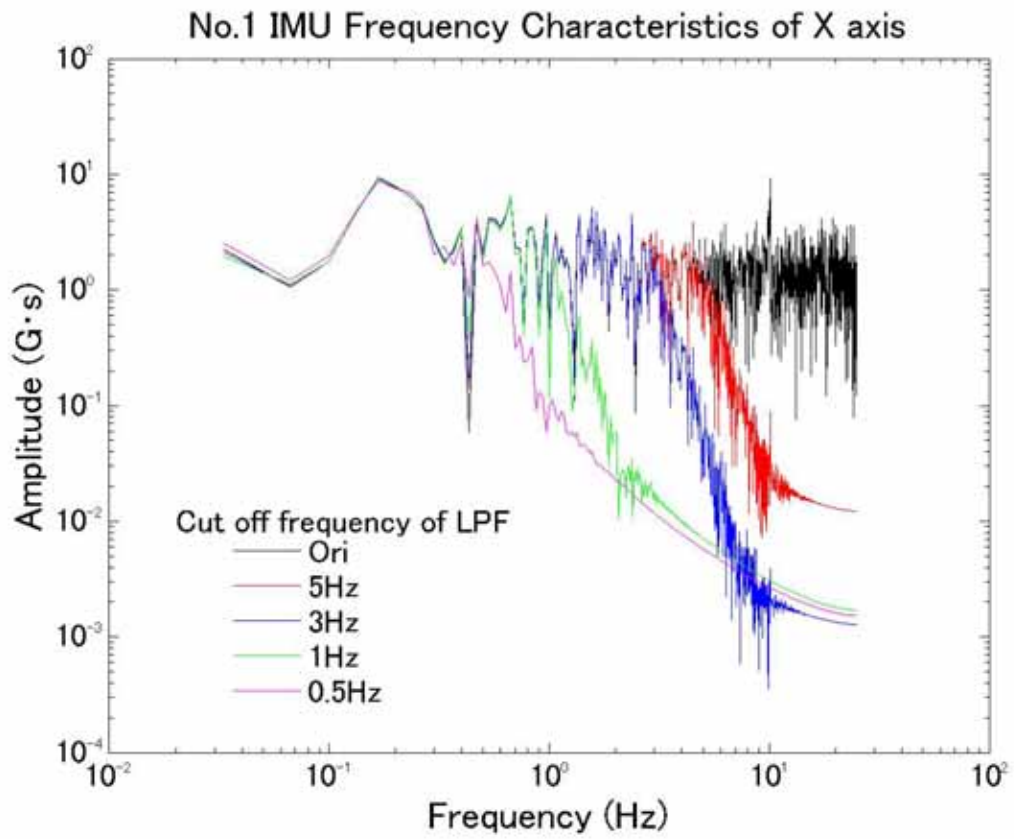
Wave Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai

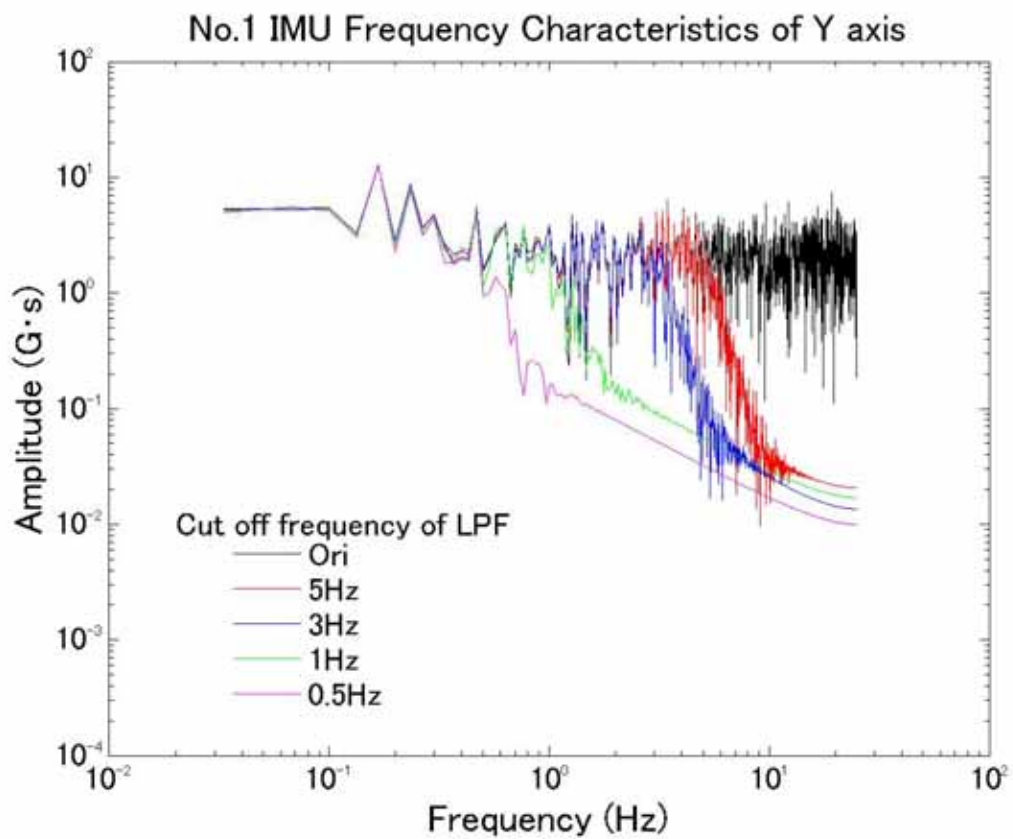
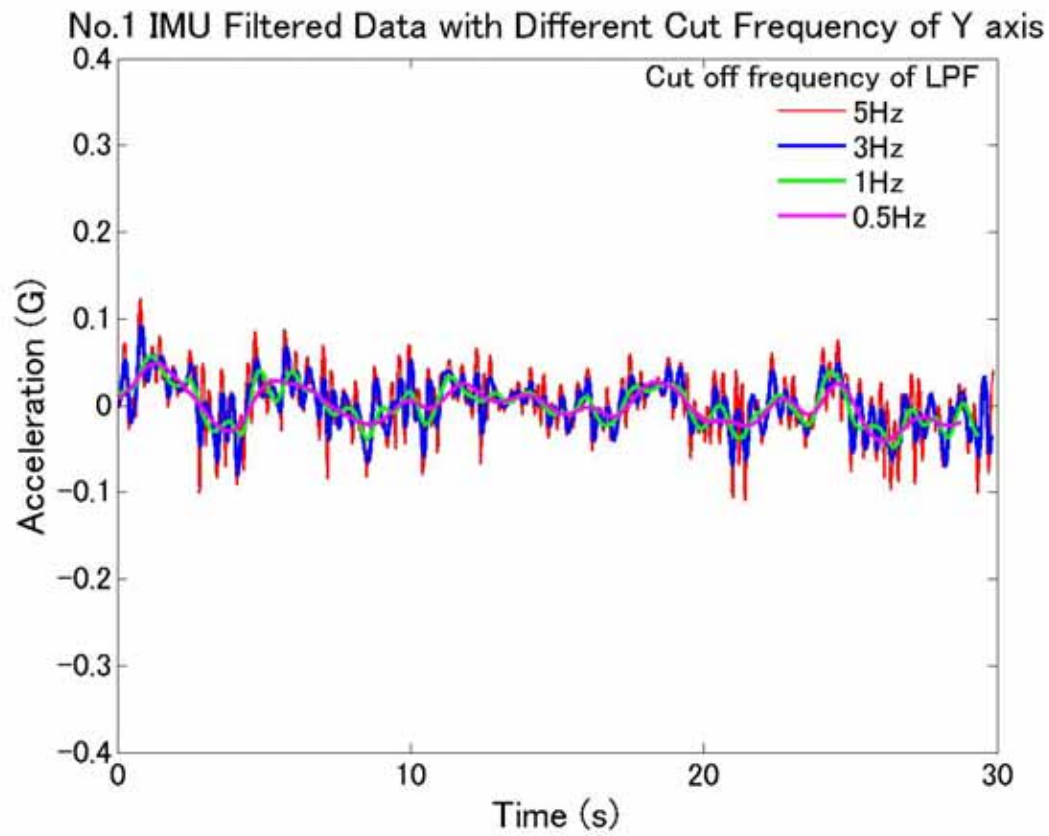


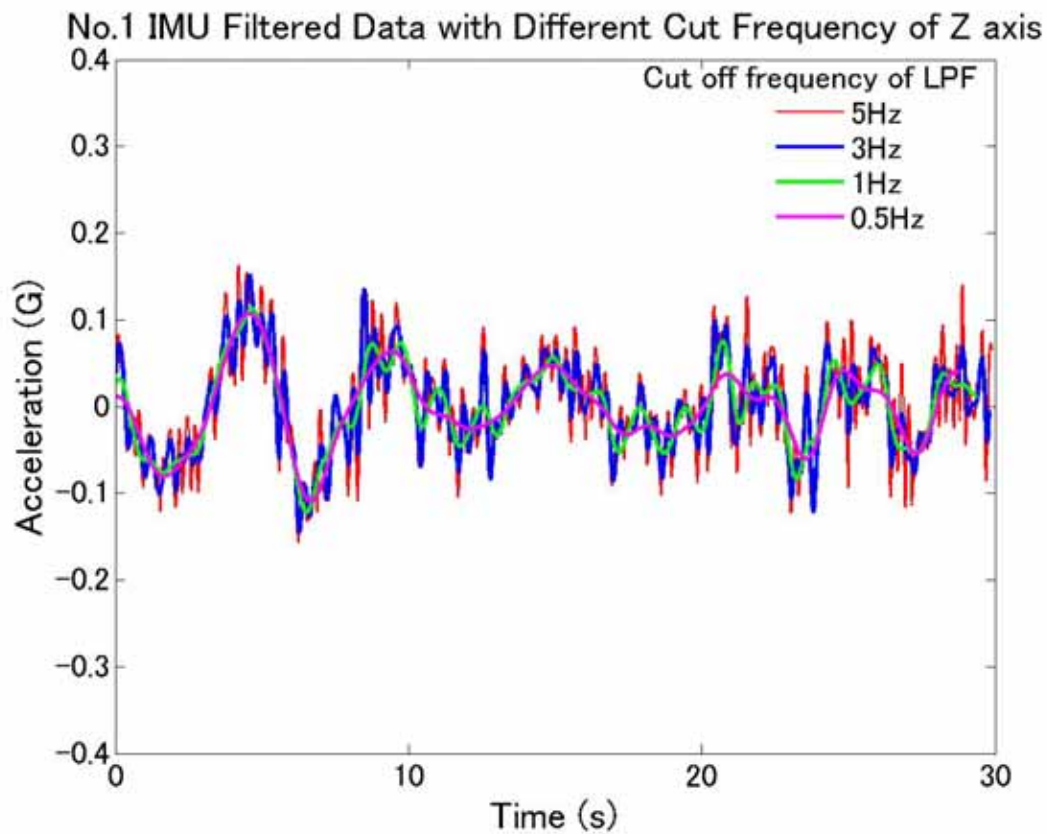
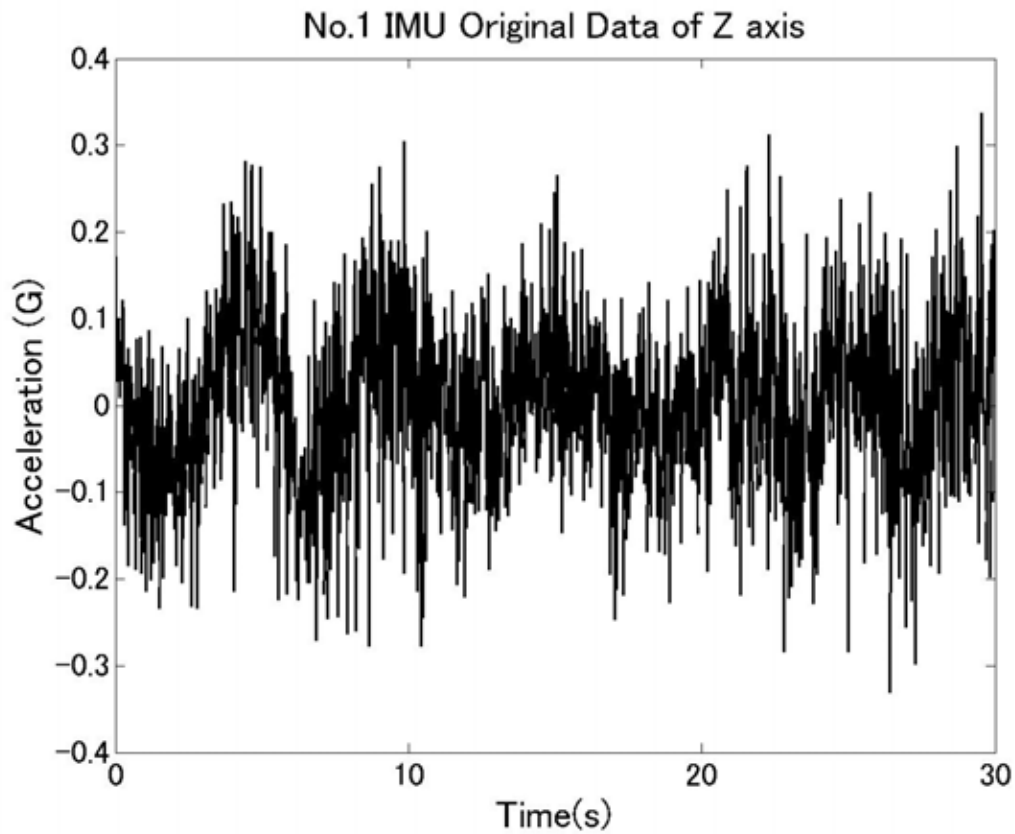
Swell Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai

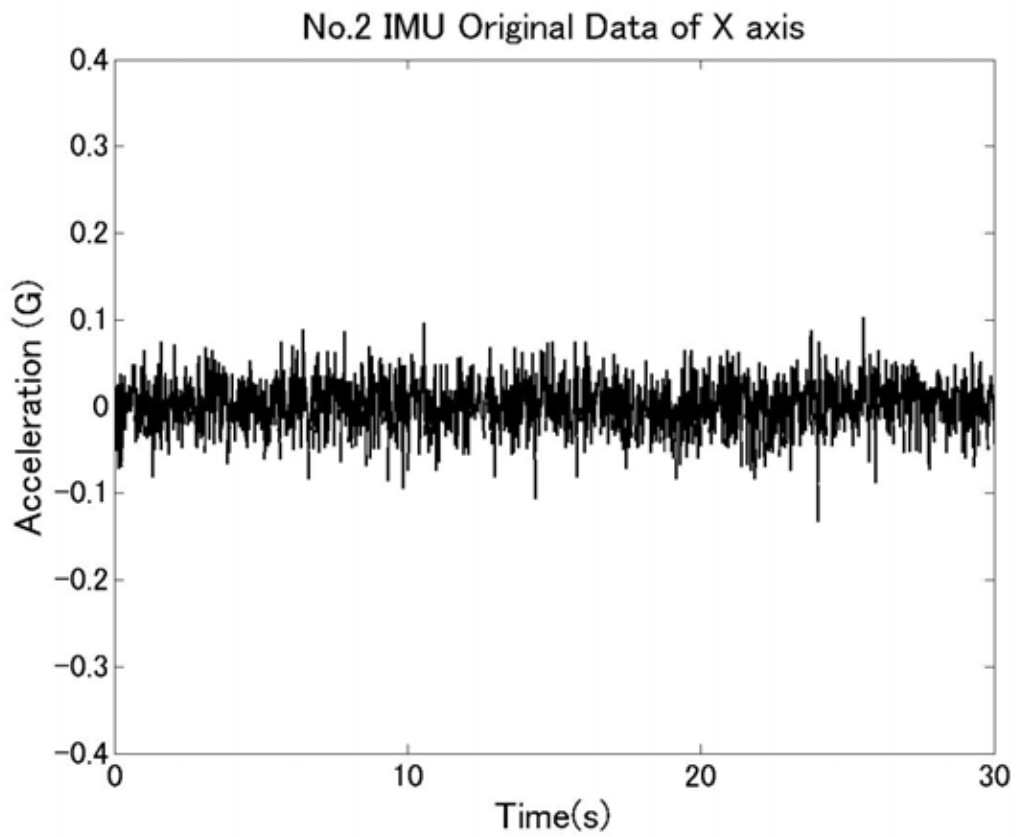
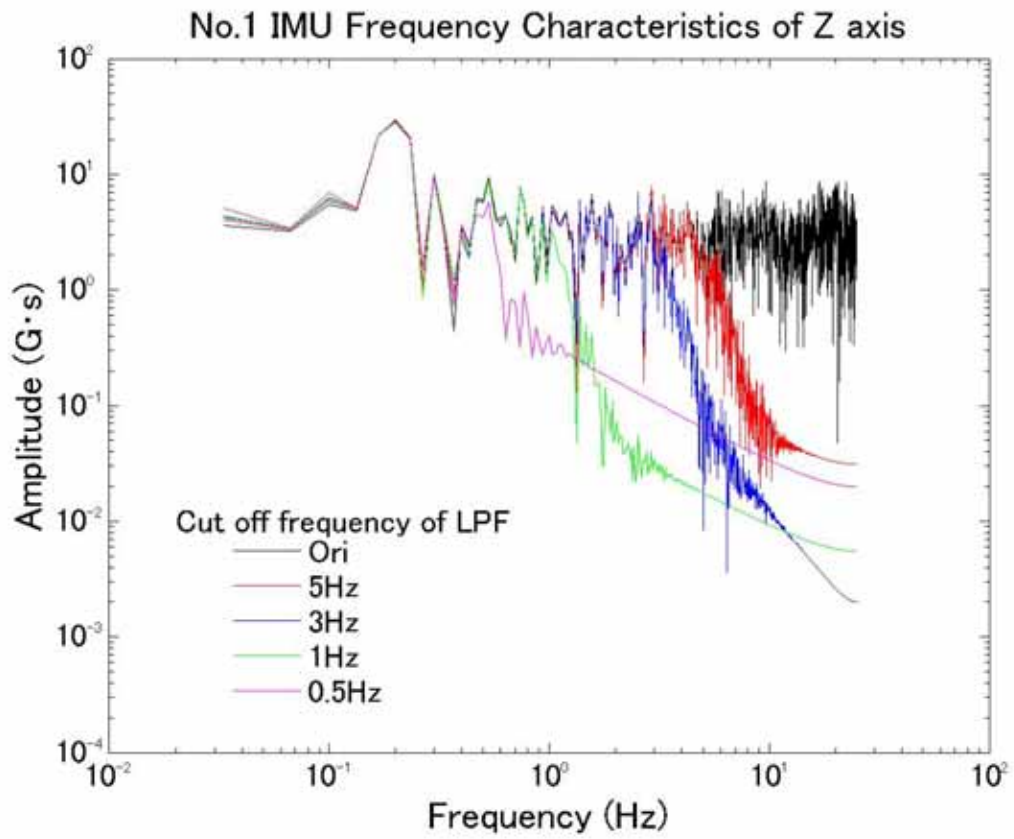


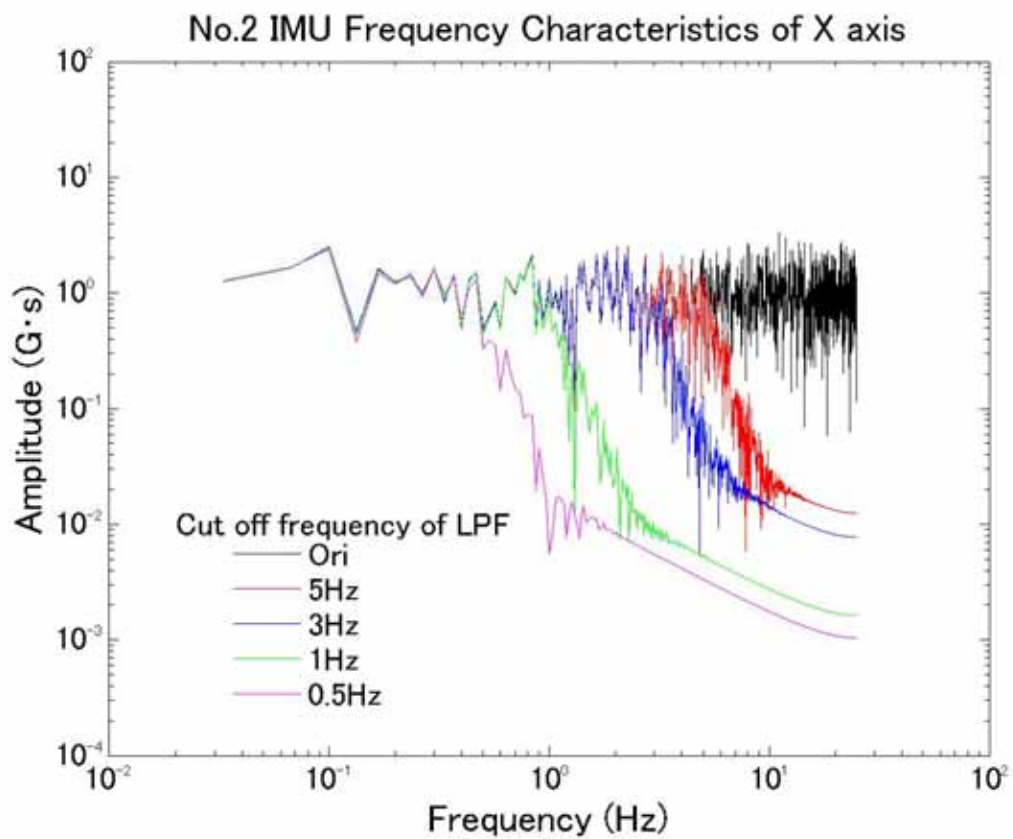
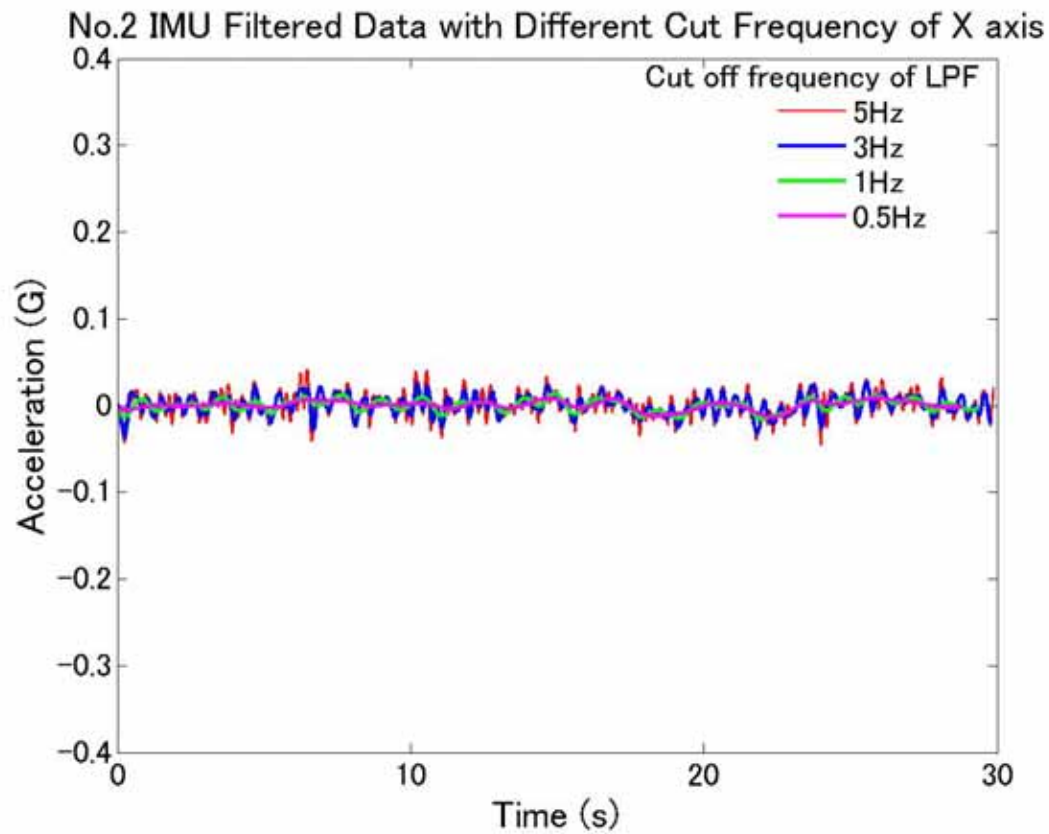


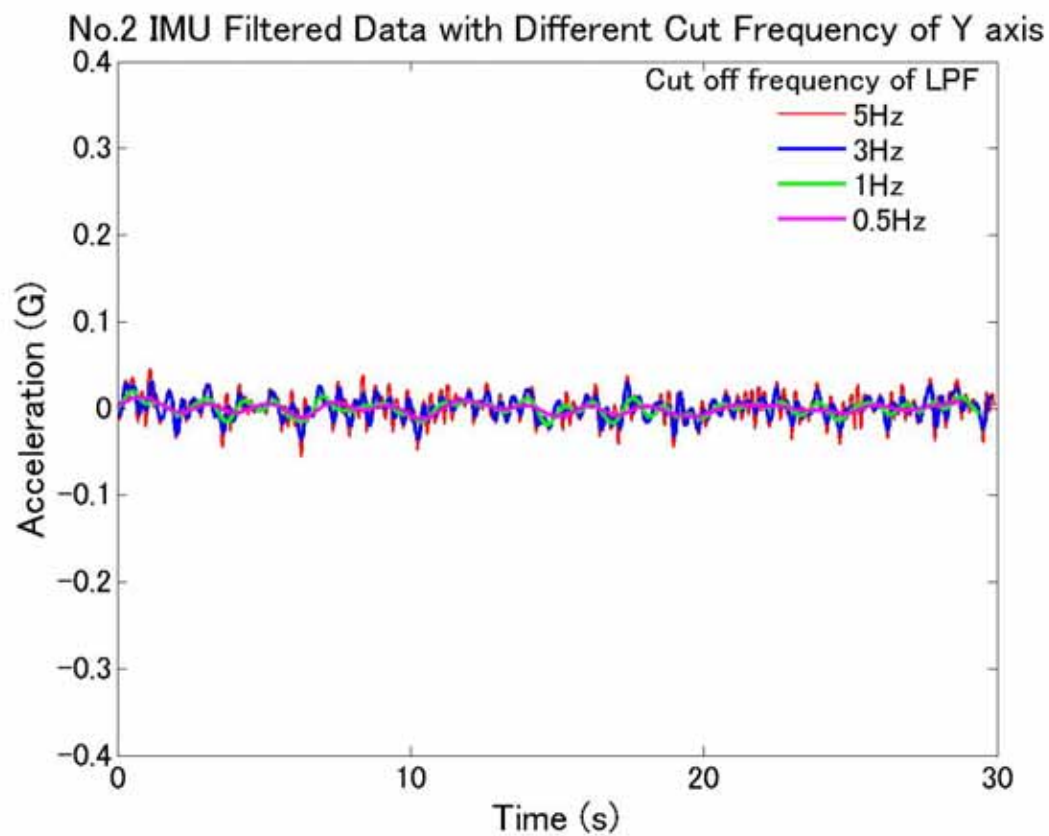
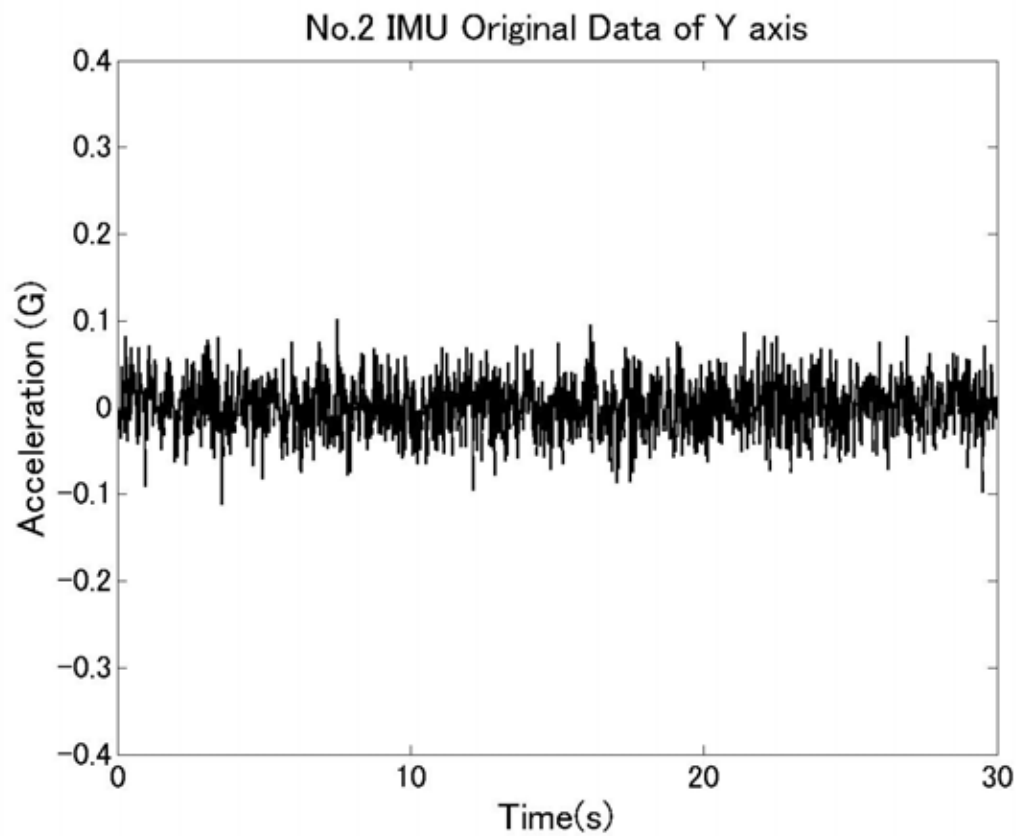


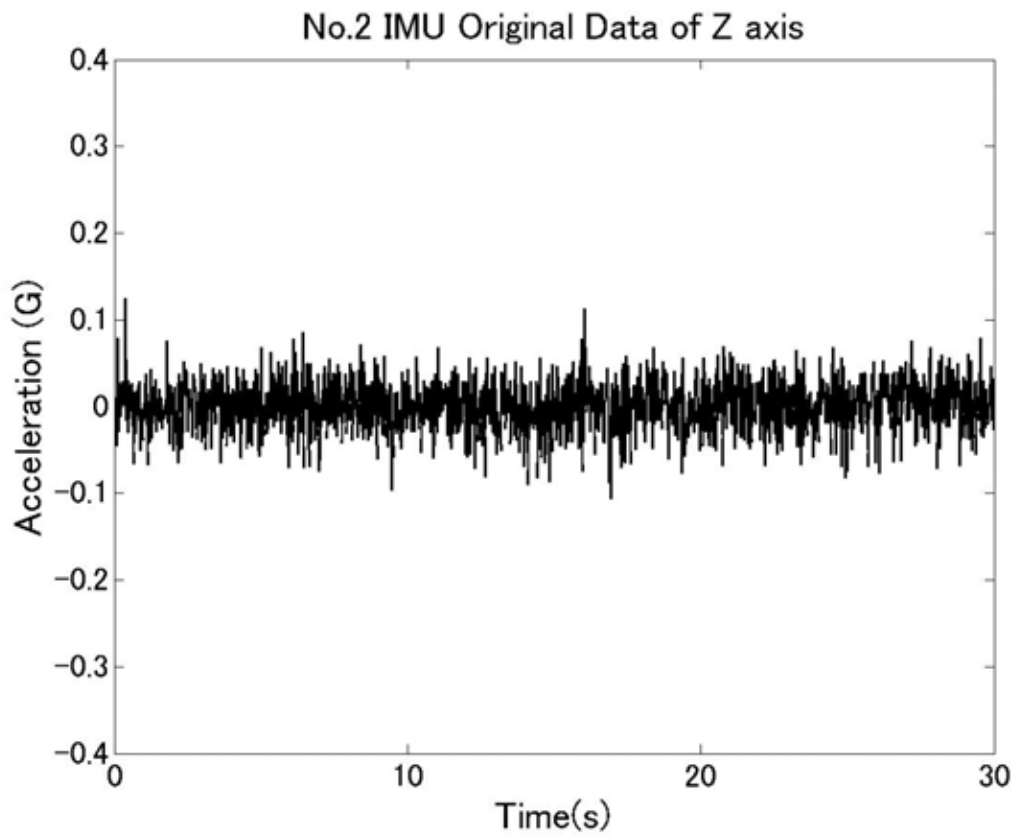
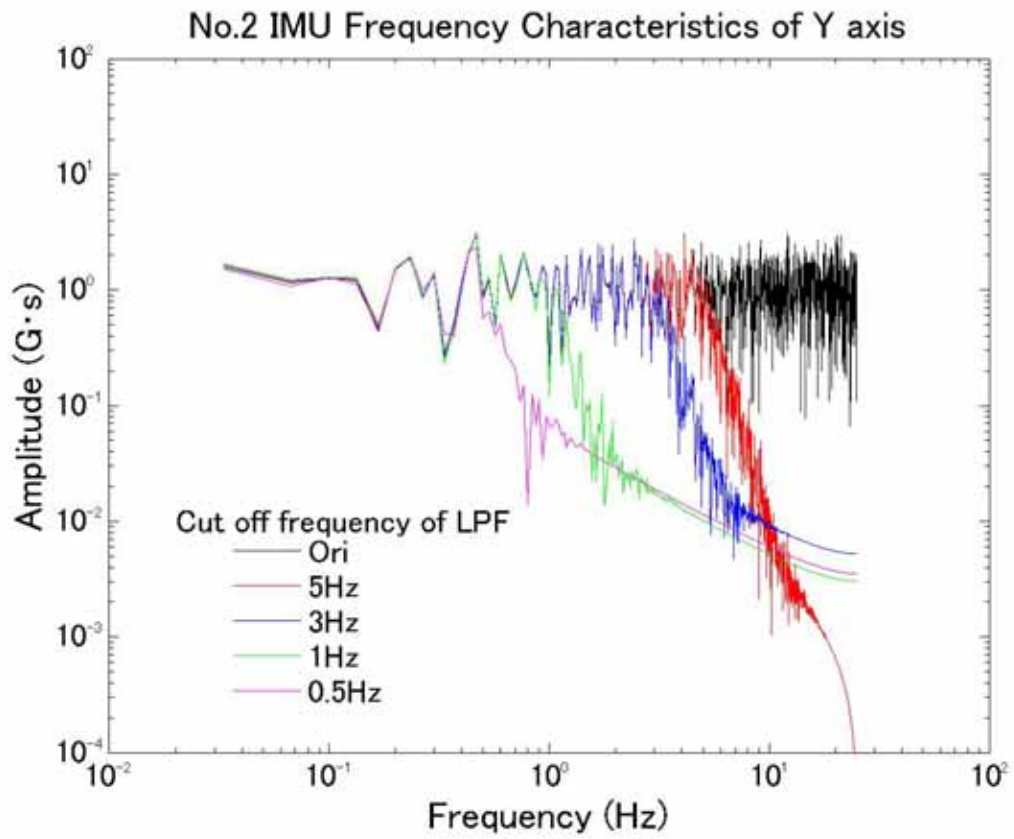


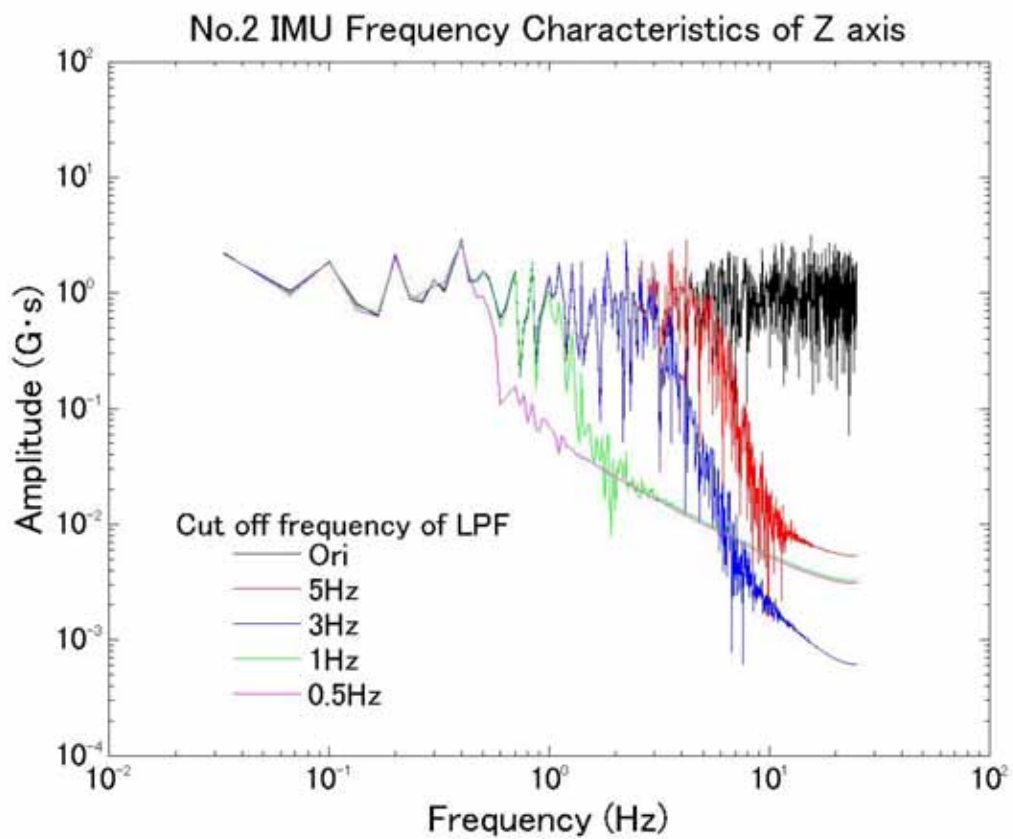
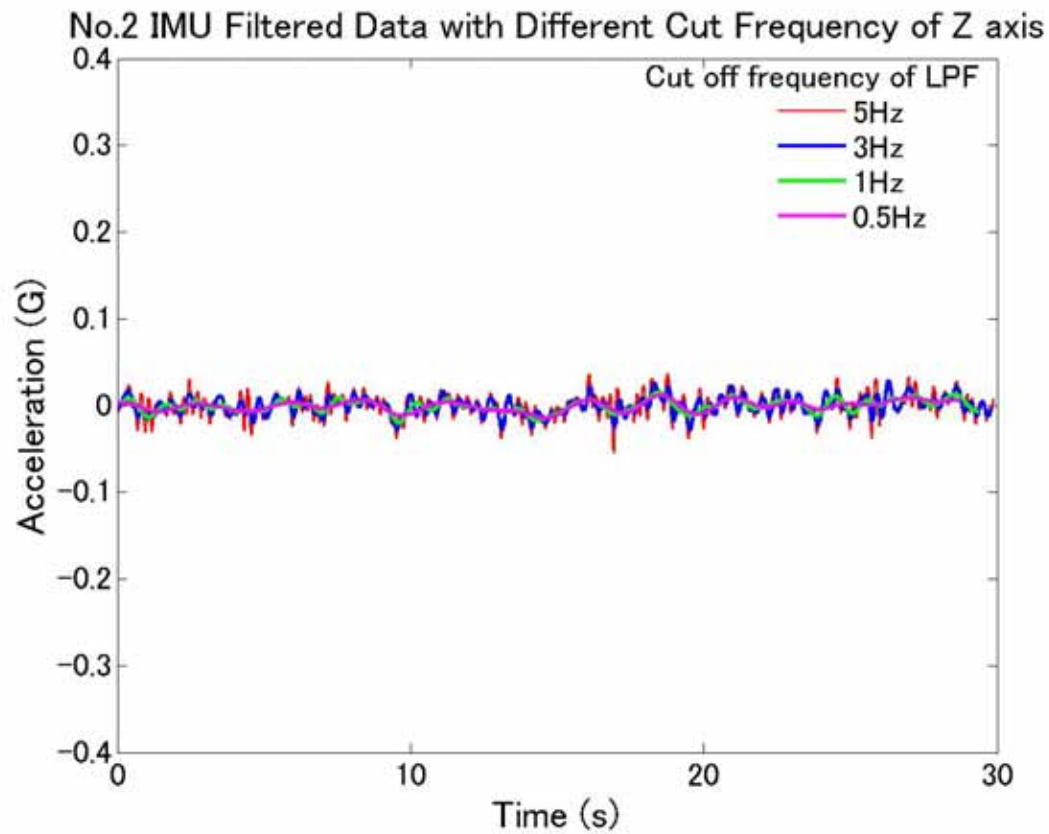


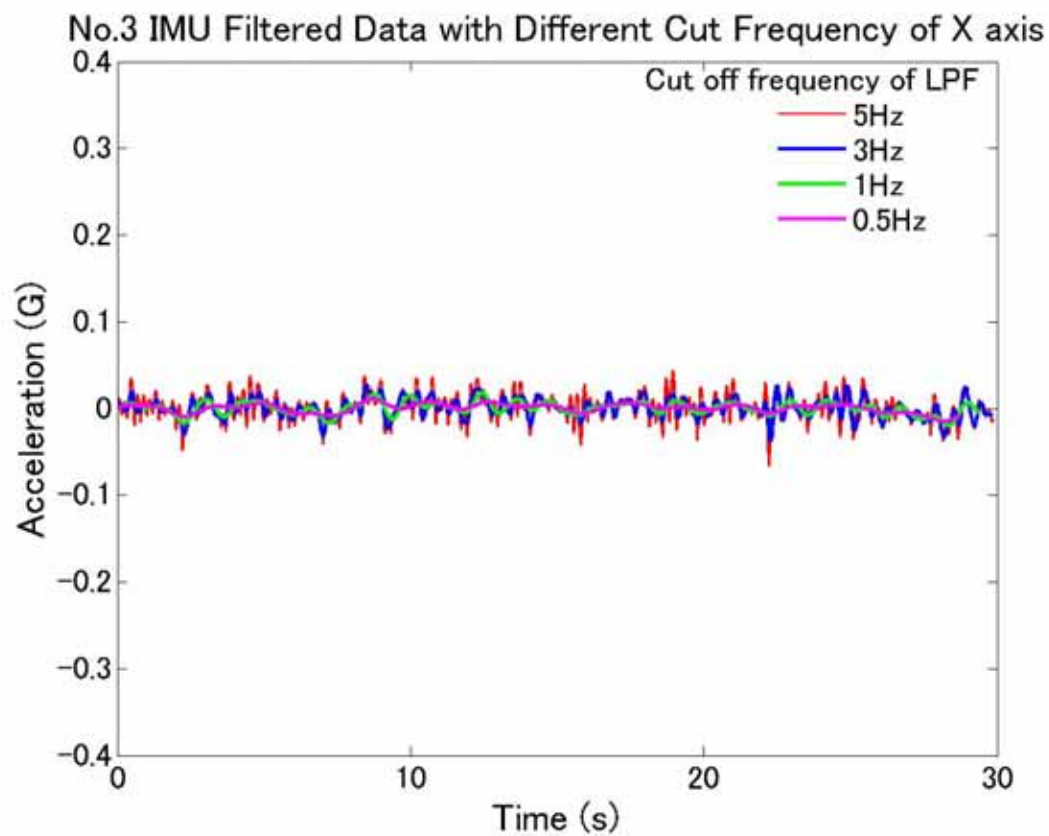
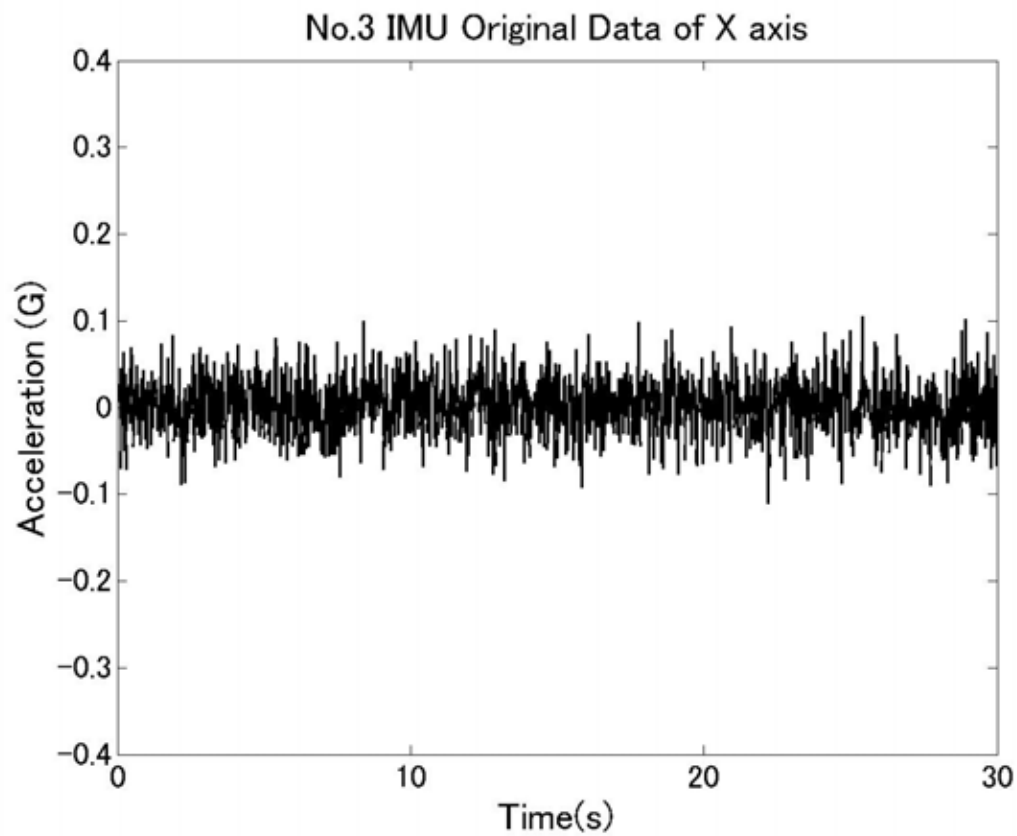


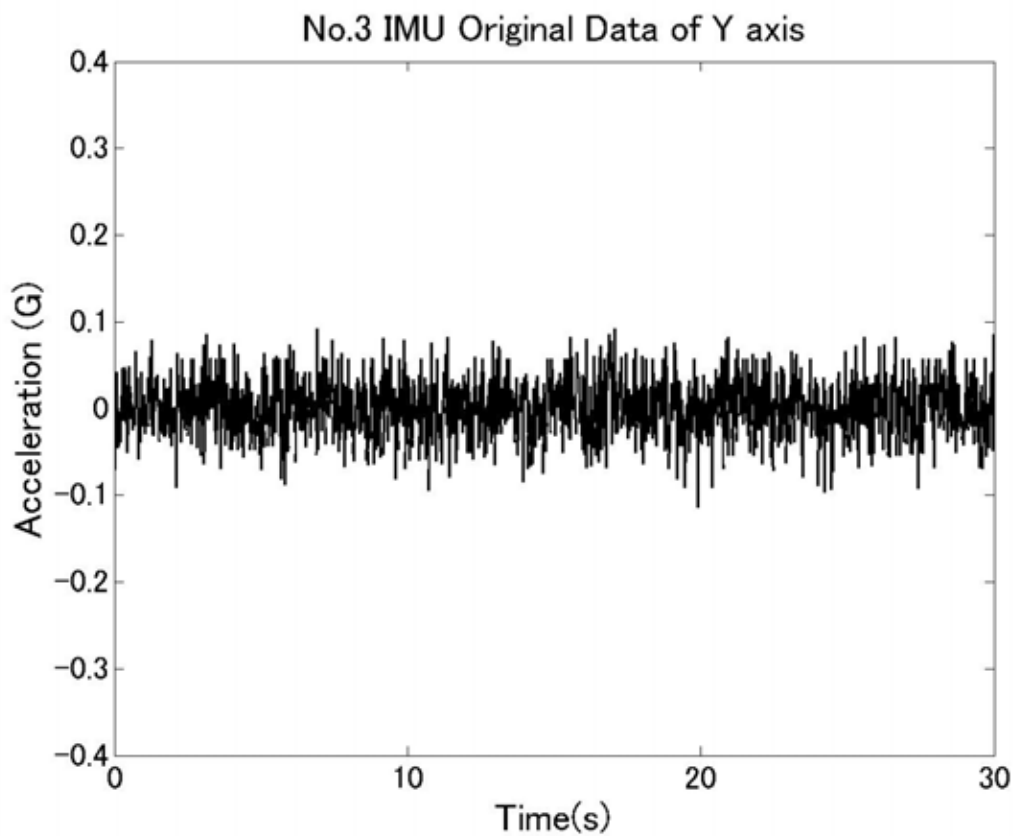
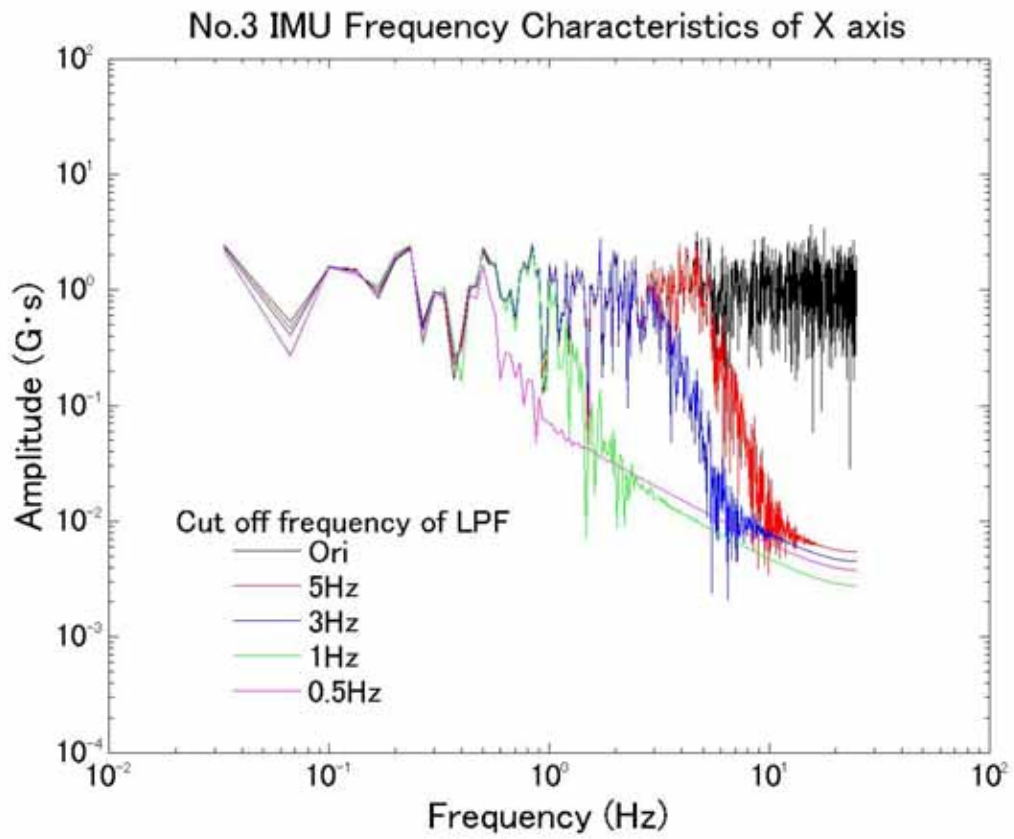


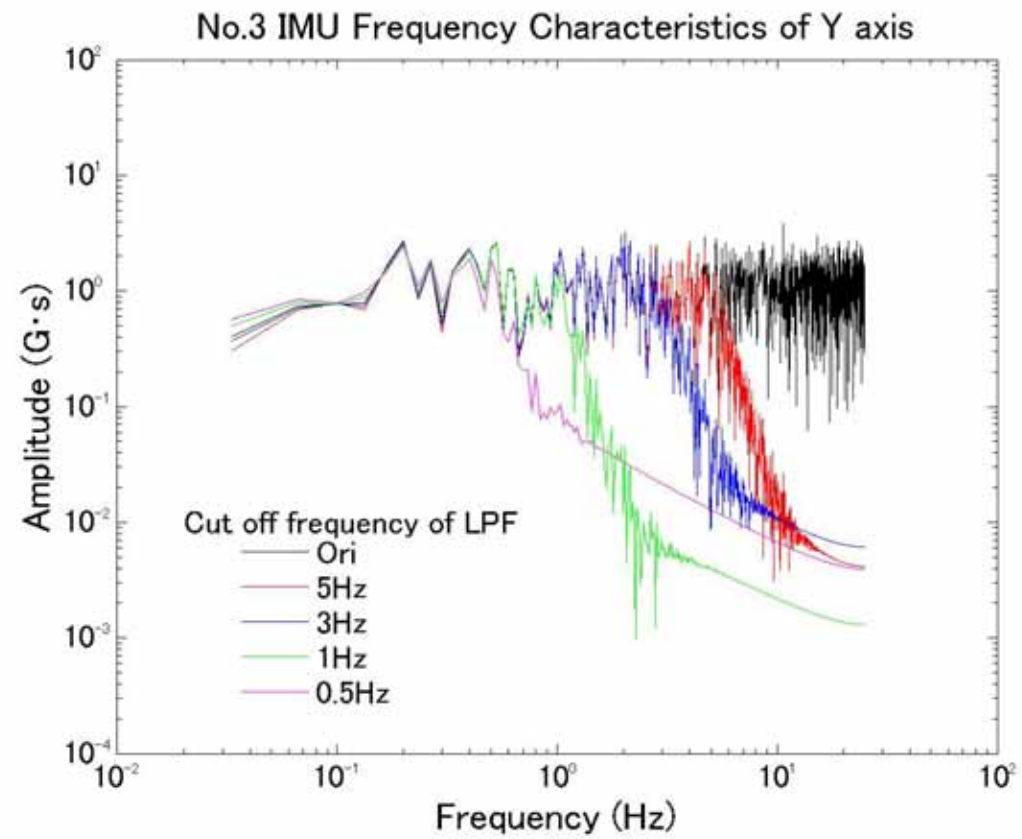
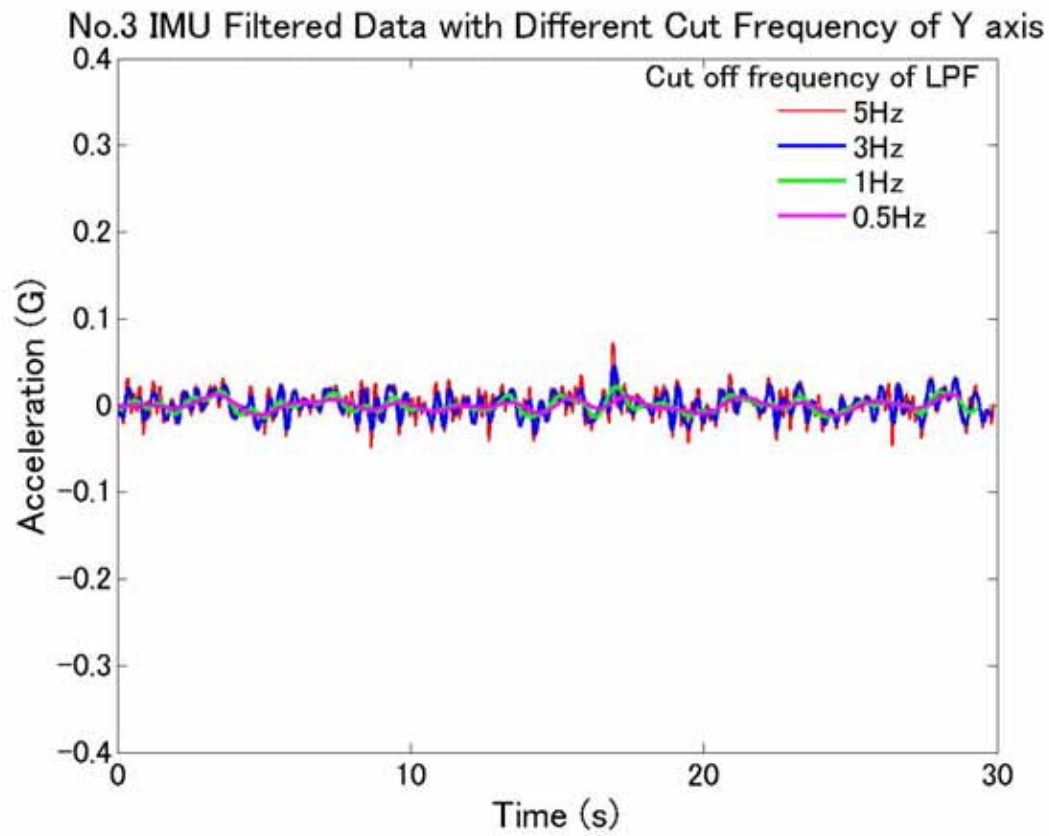


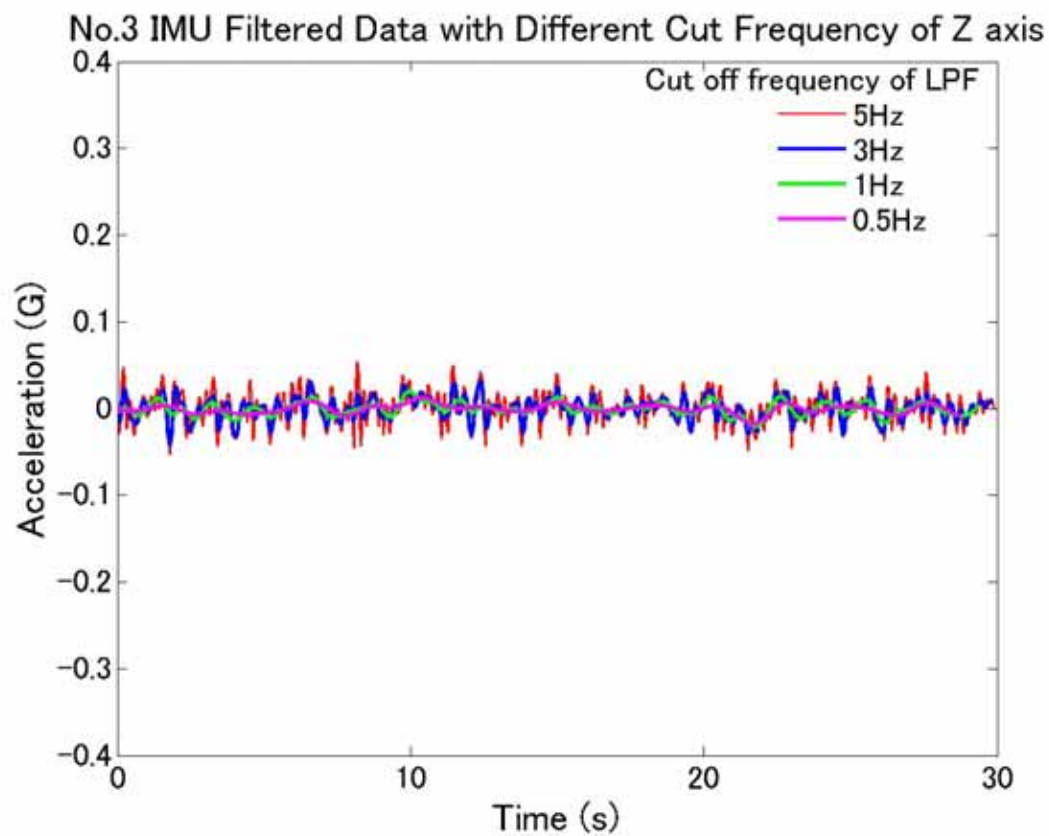
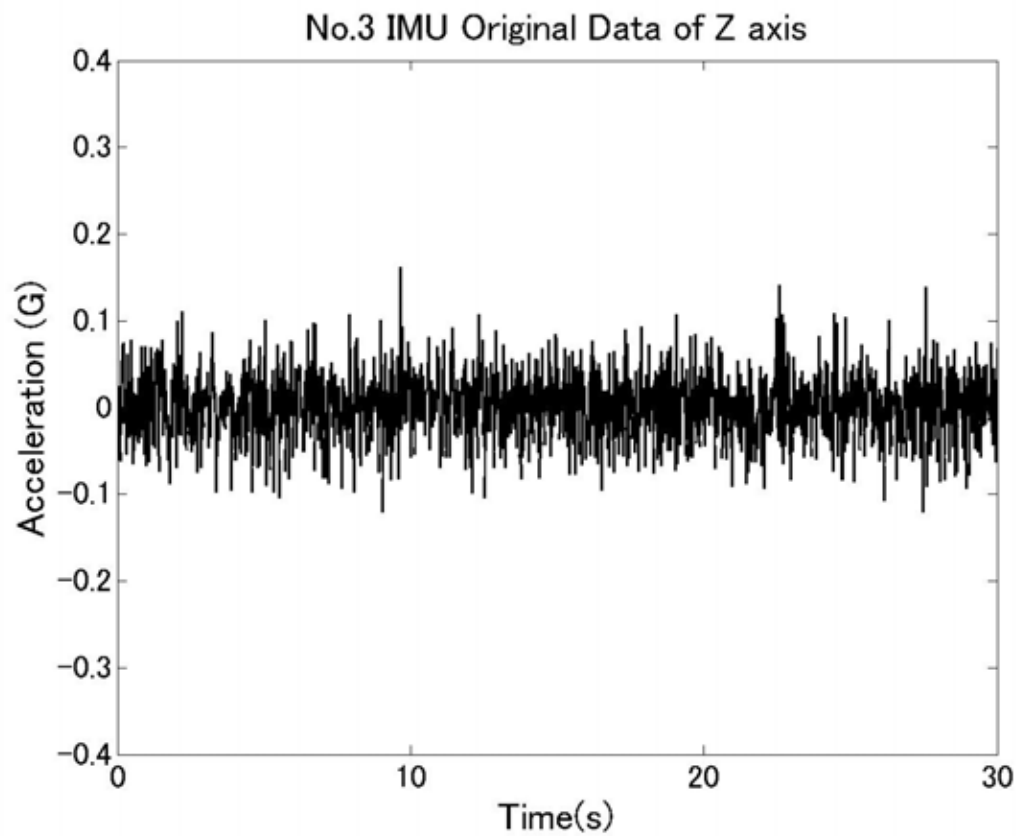




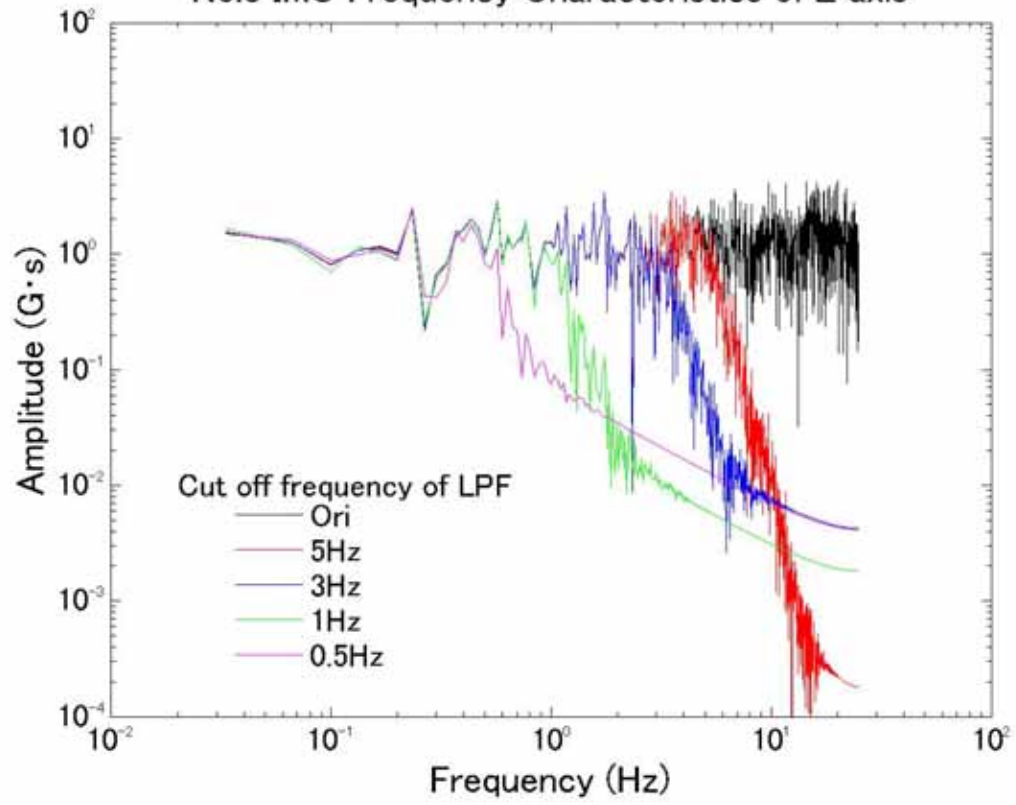


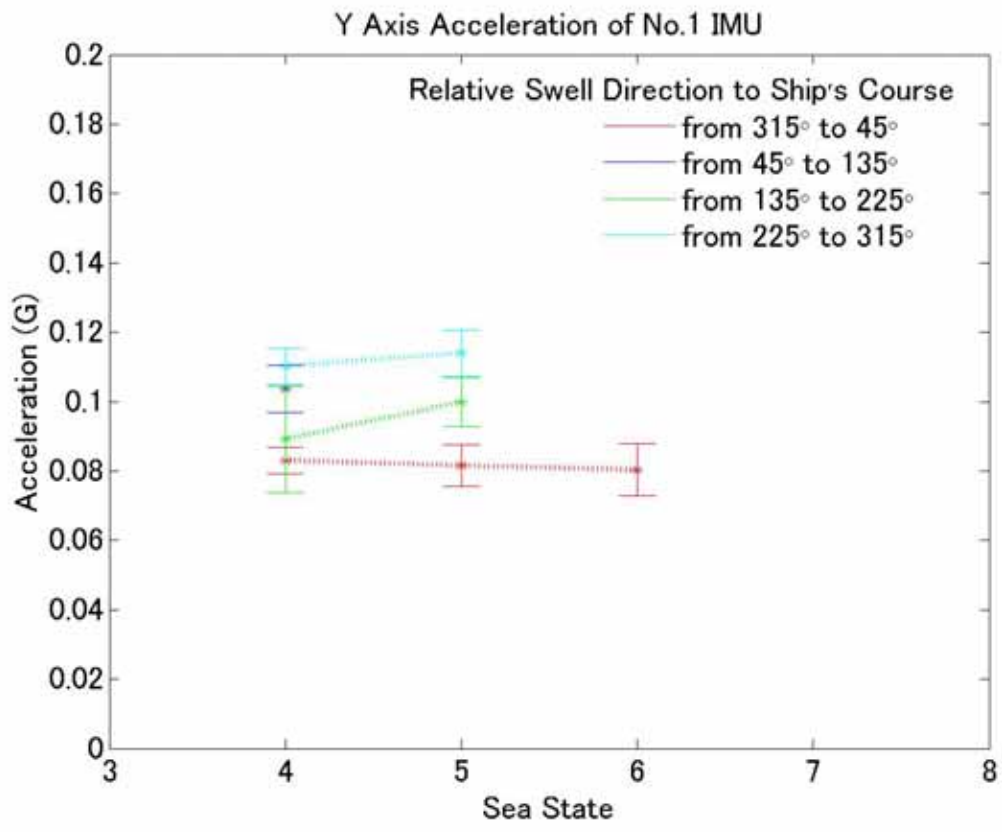
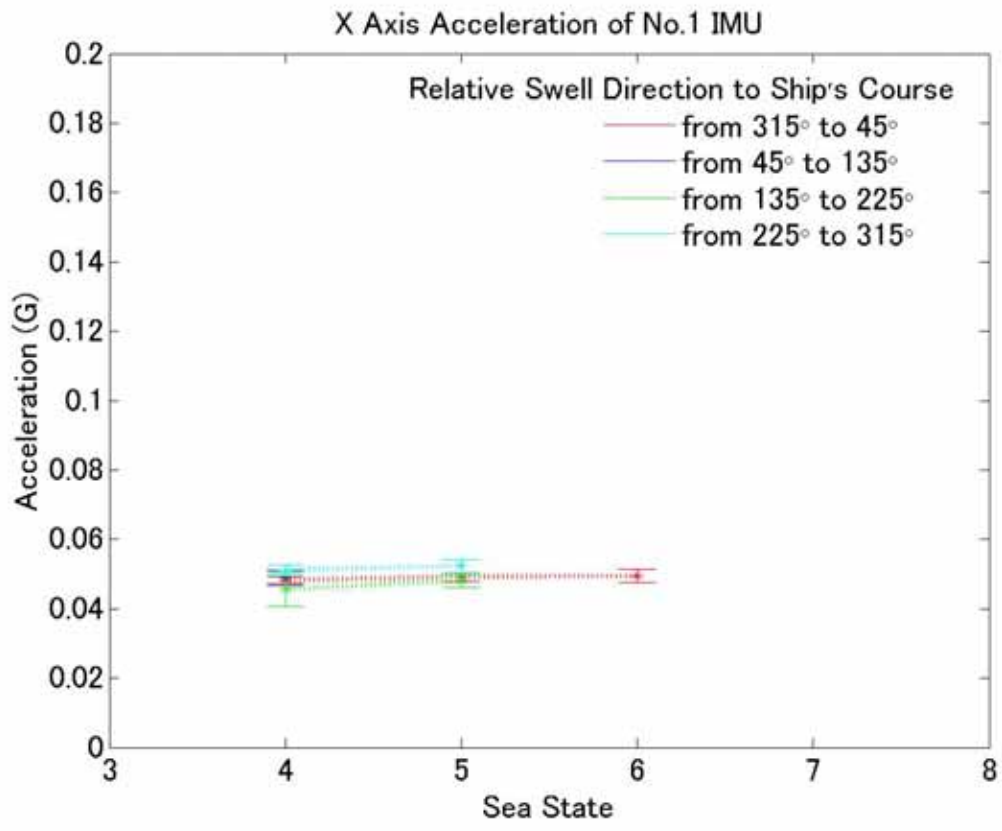


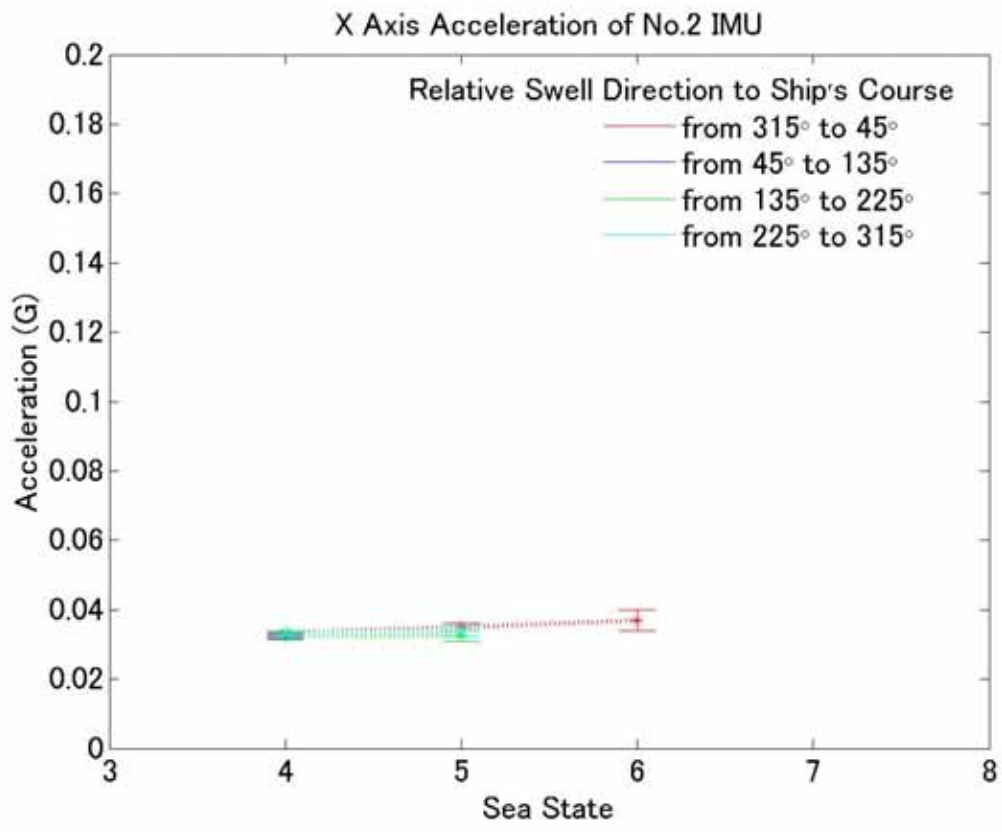
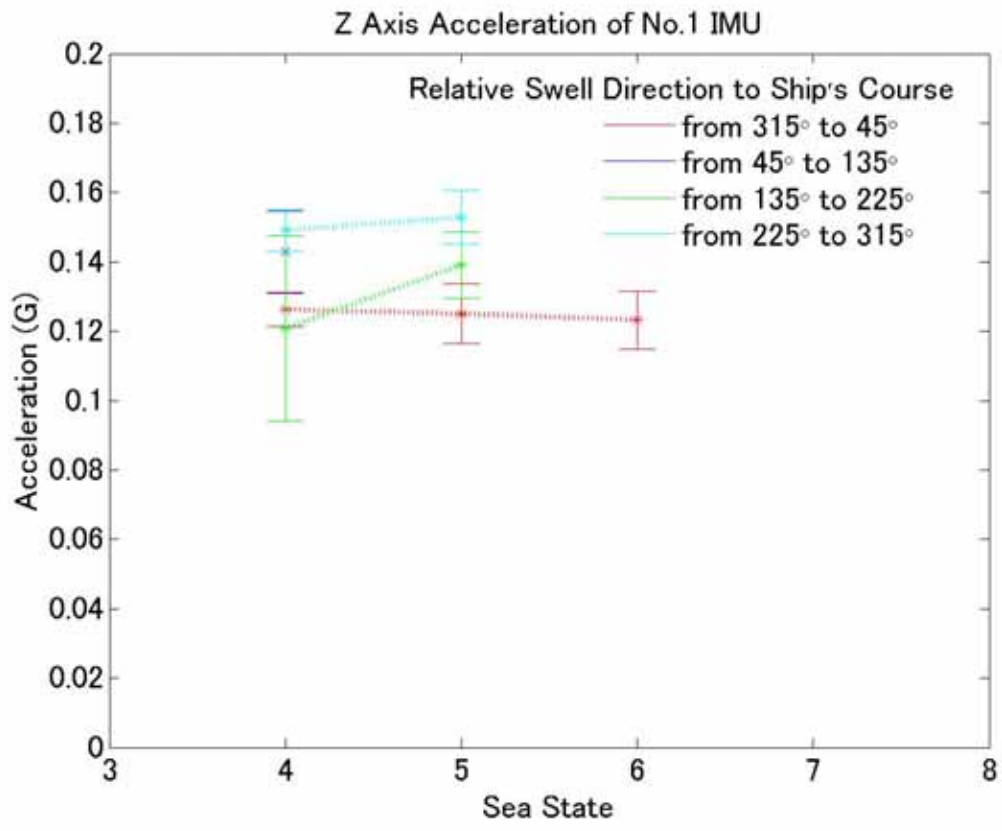


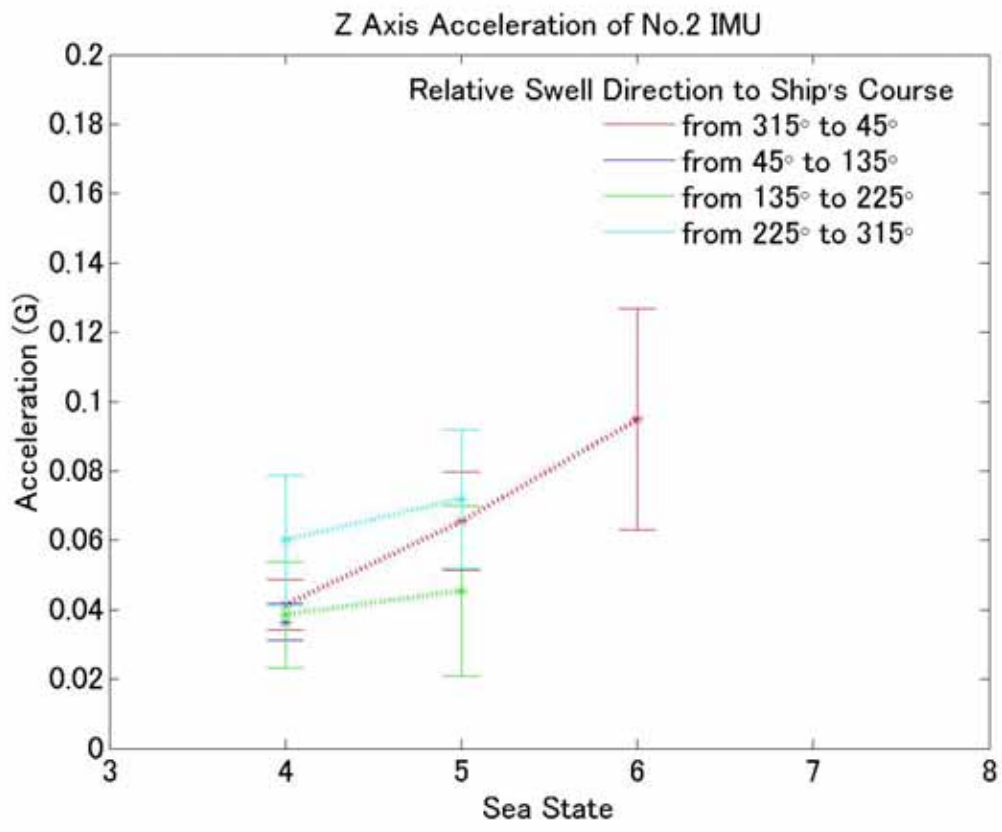
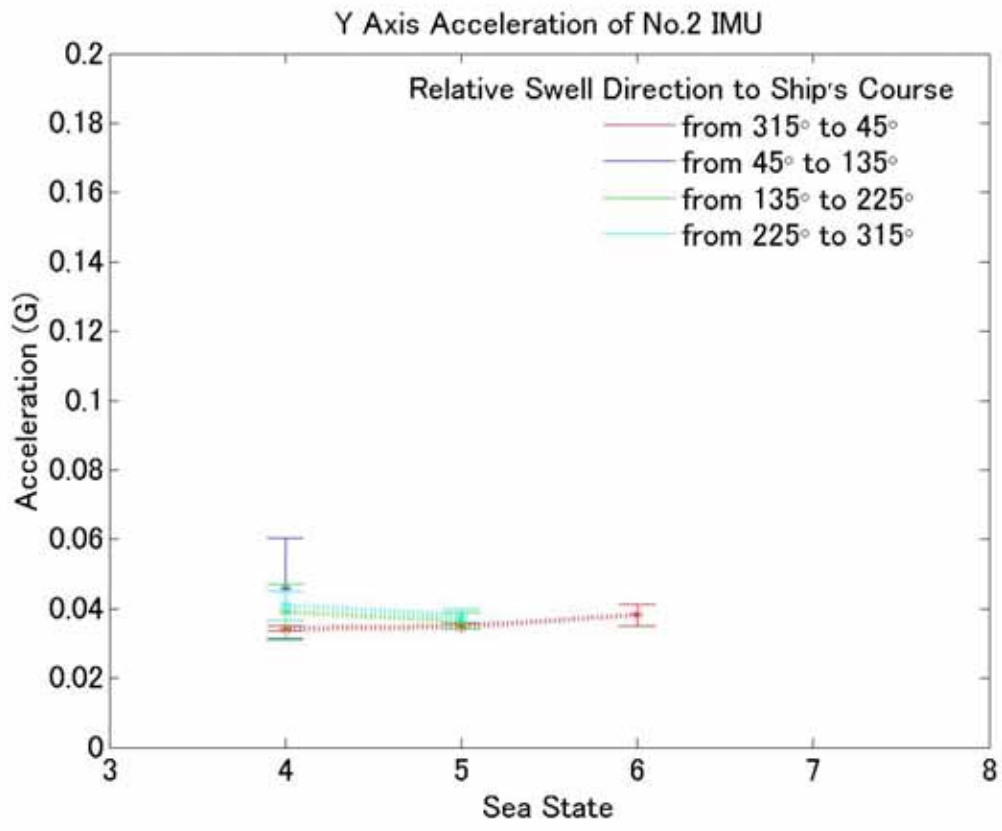


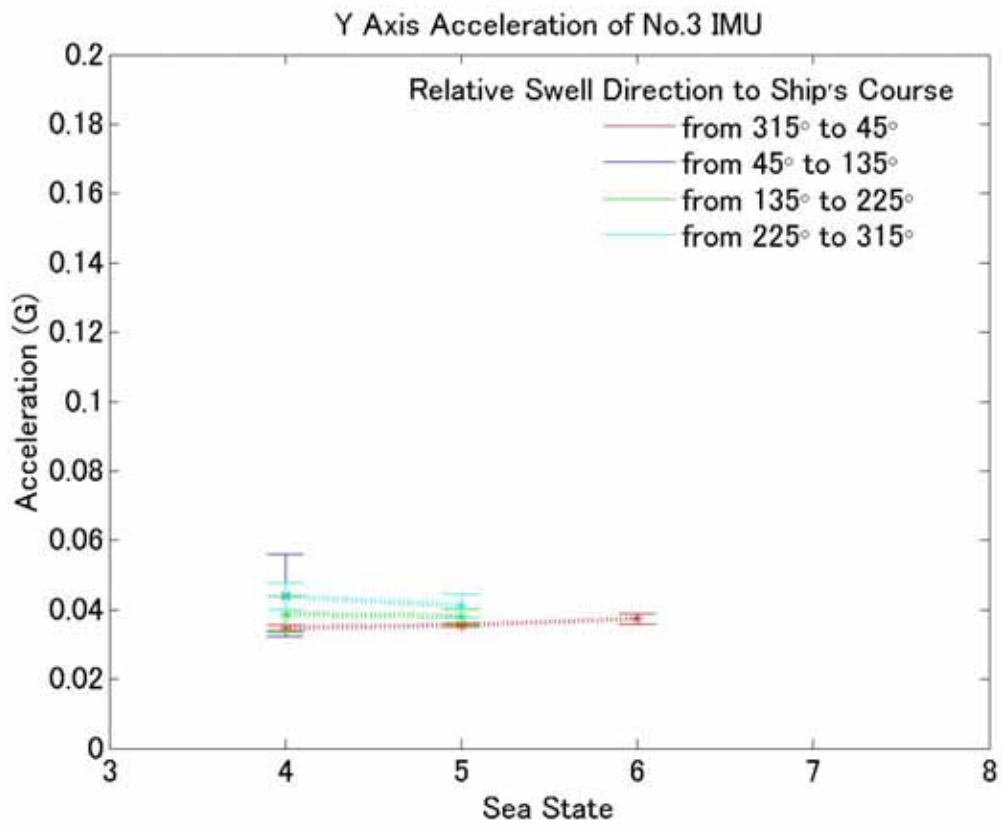
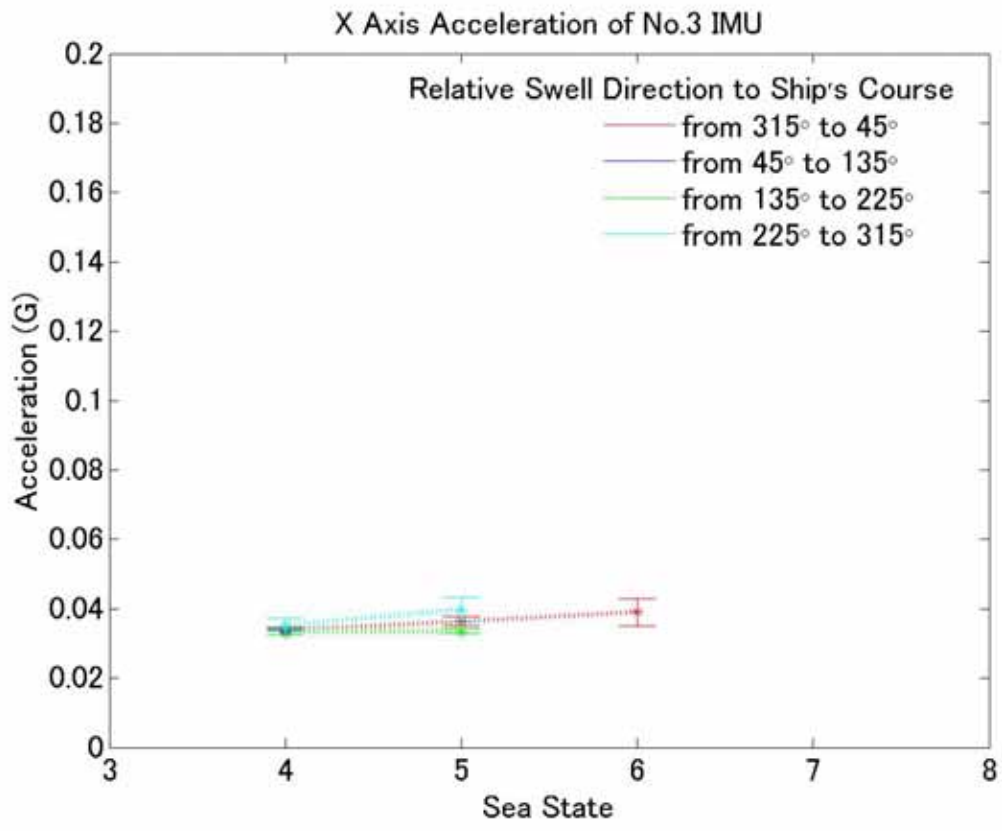
No.3 IMU Frequency Characteristics of Z axis

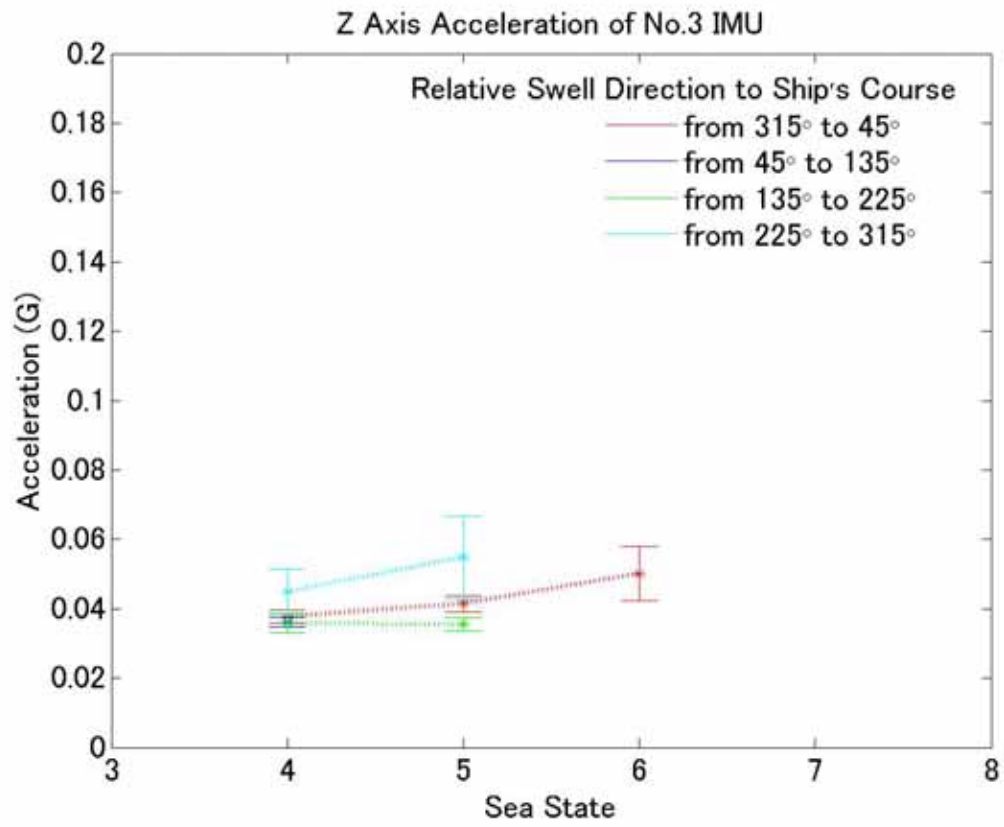






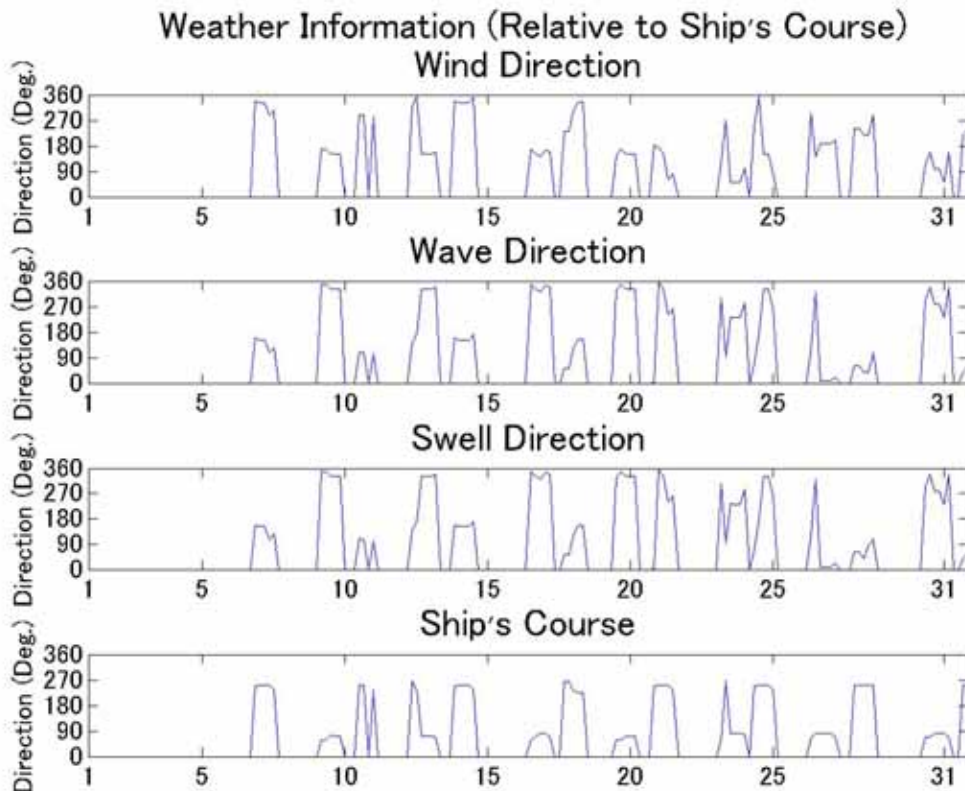


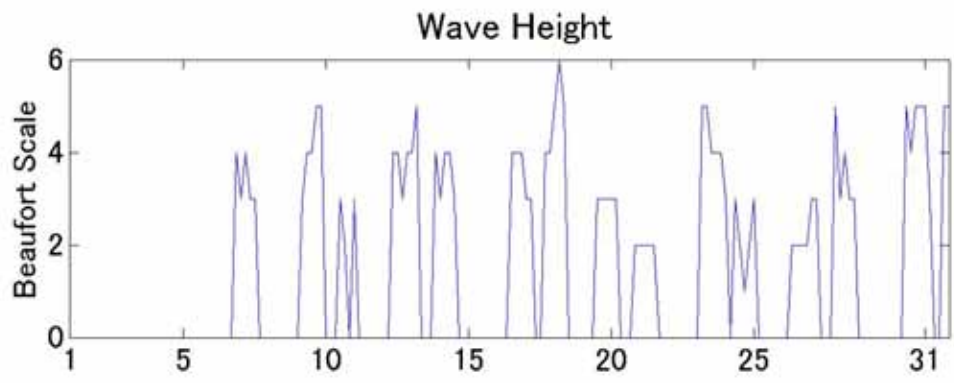
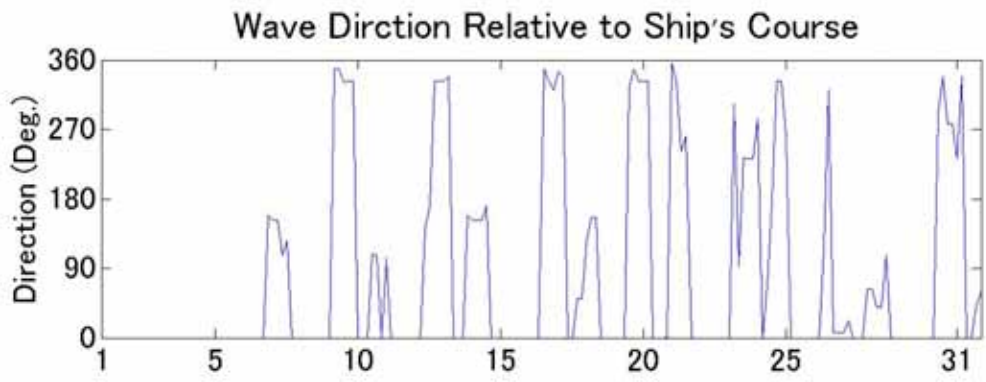
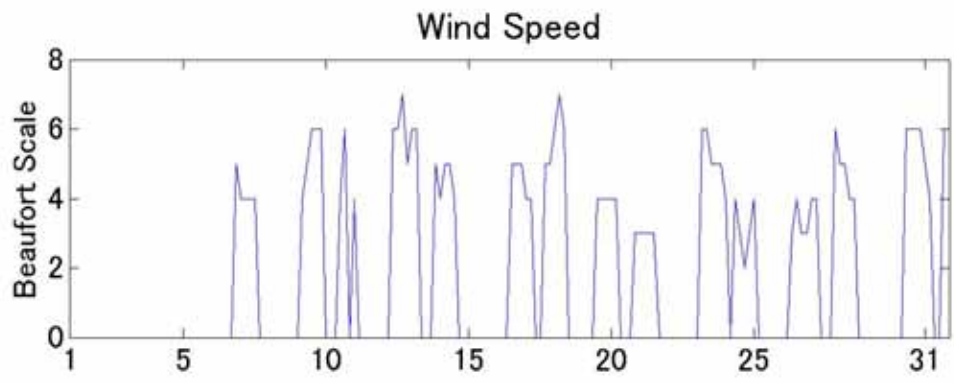
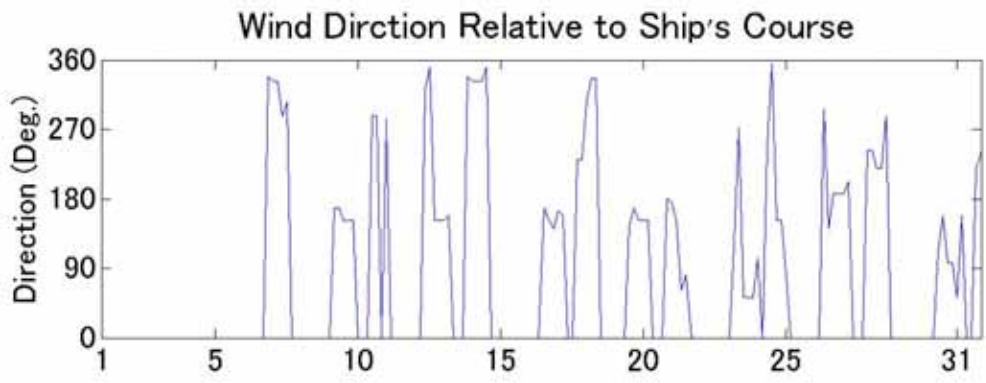


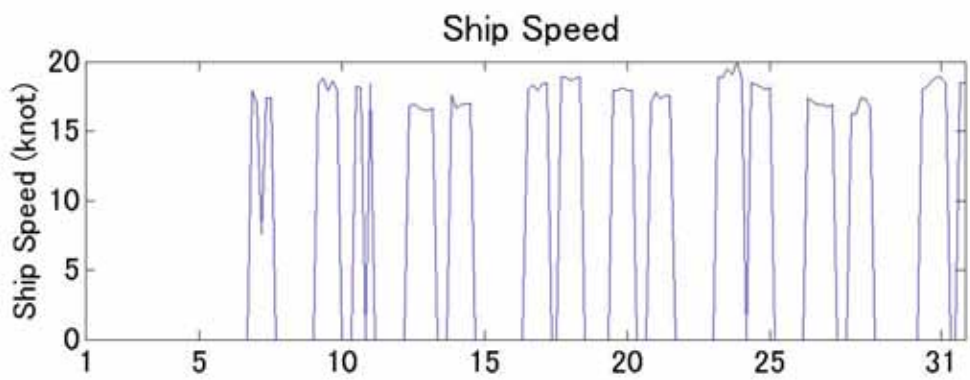
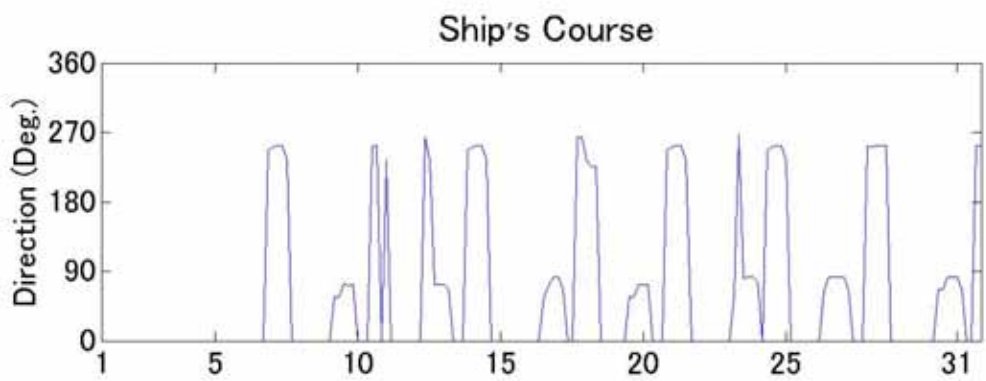
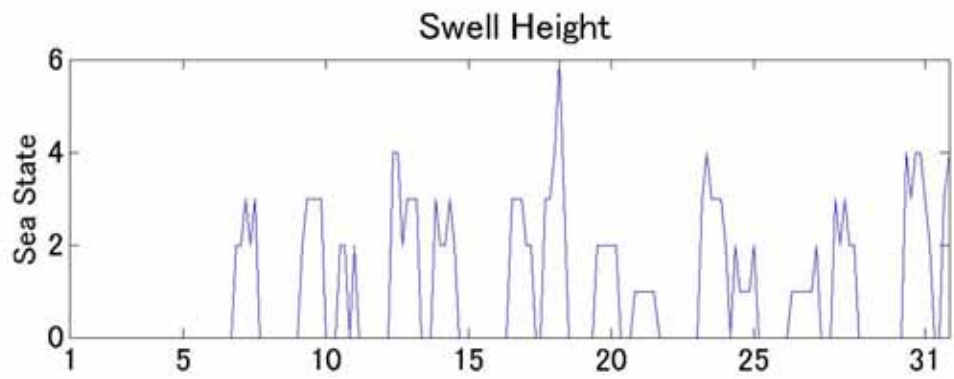
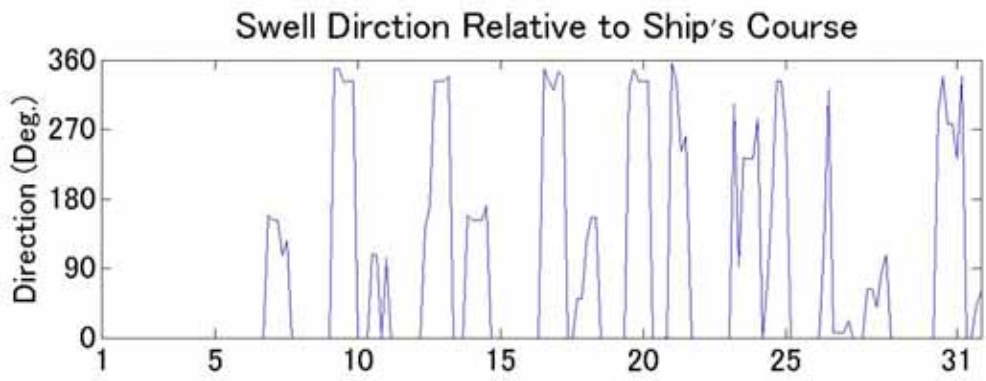


5.2 10月分

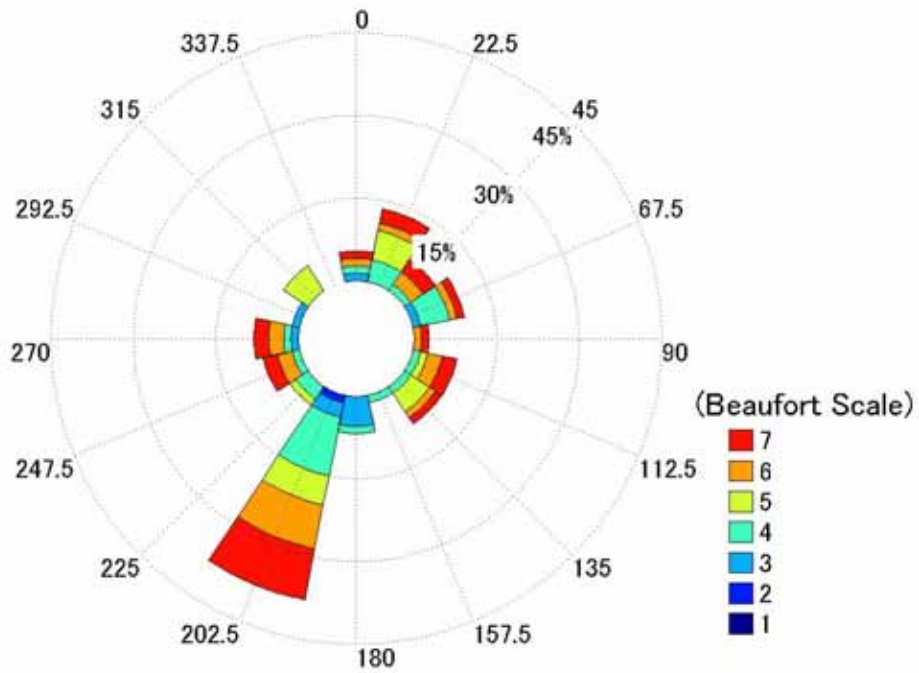
Voyage Schedule in October				
Voyage	From Hakata to Shanghai		From Shanghai to Hakata	
	Departure date & time	Arrival date & time	Departure Date & time	Arrival date & time
No. 1	Oct.06th, 21 o'clock	Oct.07th, 13 o'clock	Oct.09th, 03 o'clock	Oct.09th, 21 o'clock
No. 2	Oct.10th, 11 o'clock	Oct.11th, 01 o'clock	Oct.12th, 07 o'clock	Oct.13th, 09 o'clock
No. 3	Oct.13th, 19 o'clock	Oct.14th, 13 o'clock	Oct.16th, 11 o'clock	Oct.17th, 05 o'clock
No. 4	Oct.17th, 15 o'clock	Oct.18th, 09 o'clock	Oct.19th, 11 o'clock	Oct.20th, 05 o'clock
No. 5	Oct.20th, 19 o'clock	Oct.22th, 01 o'clock	Oct.23th, 03 o'clock	Oct.24th, 01 o'clock
No. 6	Oct.24th, 07 o'clock	Oct.25th, 01 o'clock	Oct.26th, 07 o'clock	Oct.27th, 05 o'clock
No. 7	Oct.27th, 19 o'clock	Oct.28th, 13 o'clock	Oct.30th, 07 o'clock	Oct.31th, 09 o'clock
No. 8	Oct.31th, 15 o'clock	Nov.01th, 09 o'clock	-	-



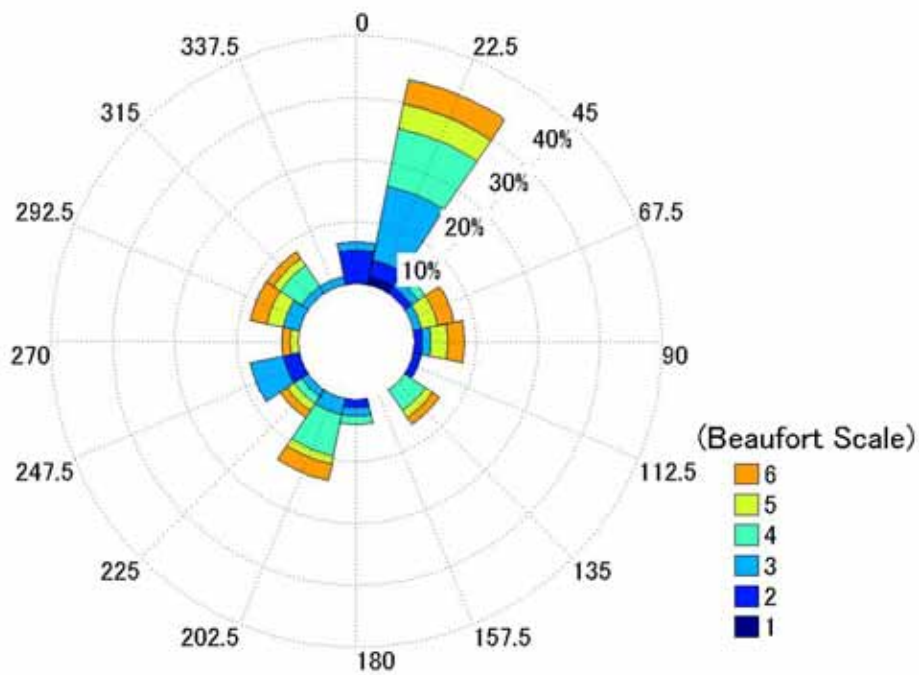




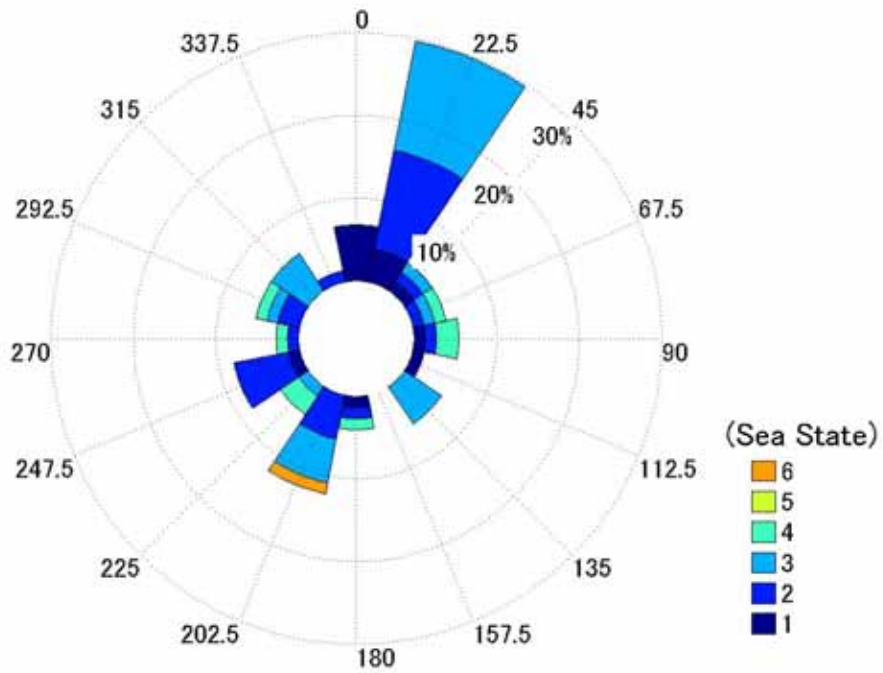
Wind Information Relative to Ship's Course



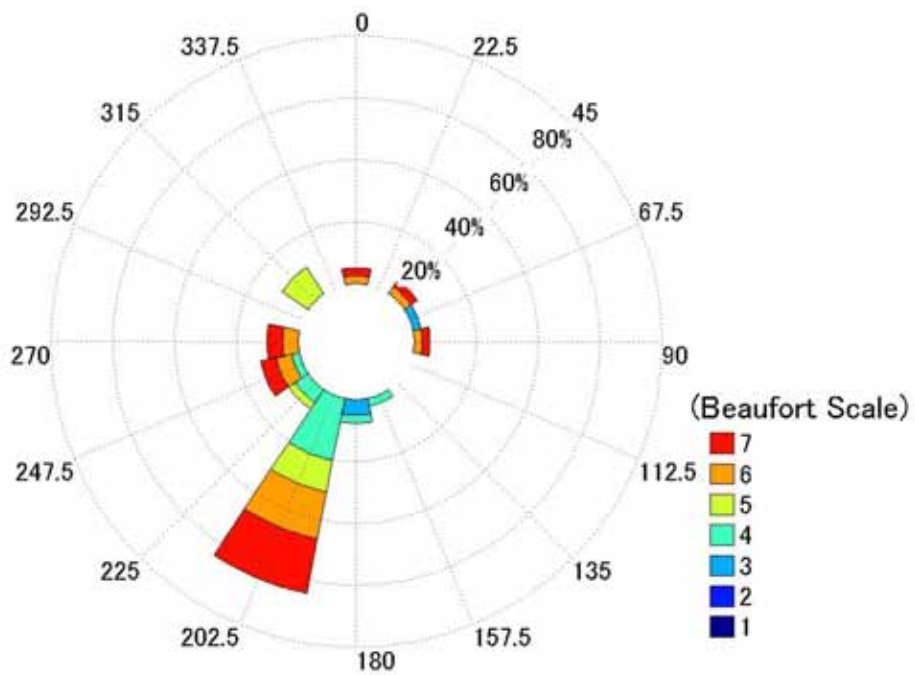
Wave Information Relative to Ship's Course



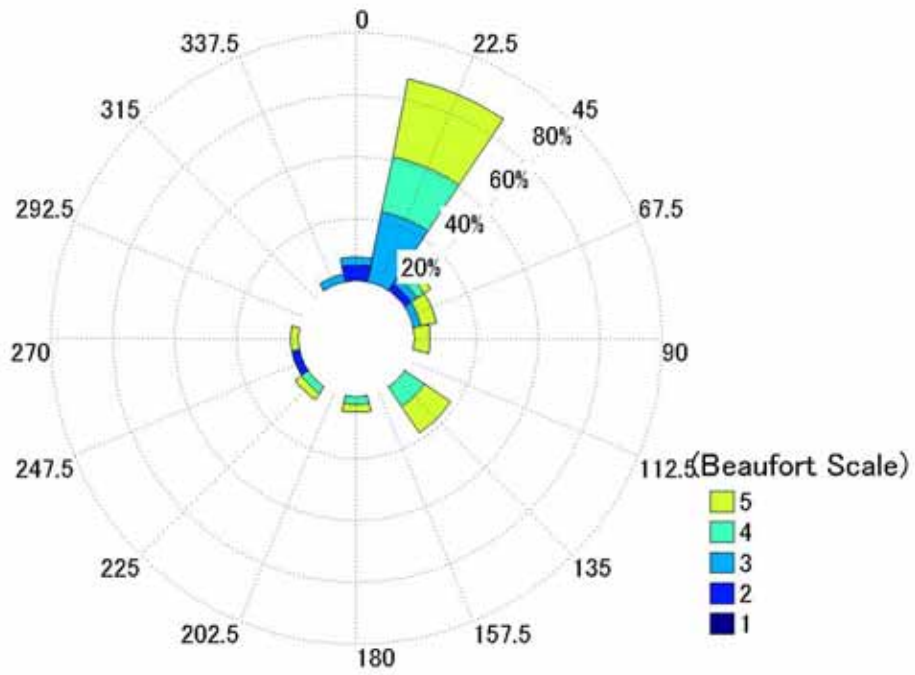
Swell Information Relative to Ship's Course



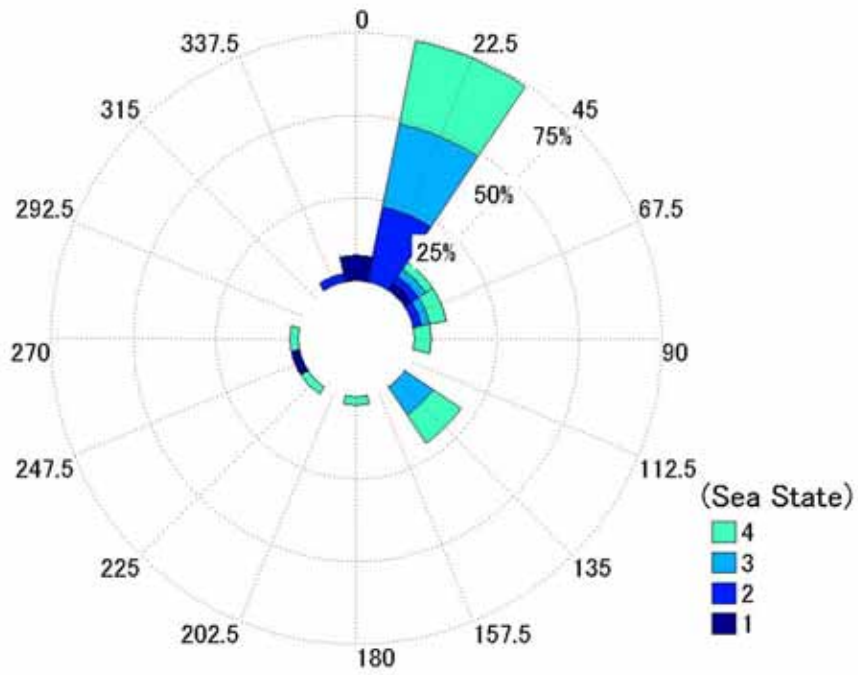
Wind Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



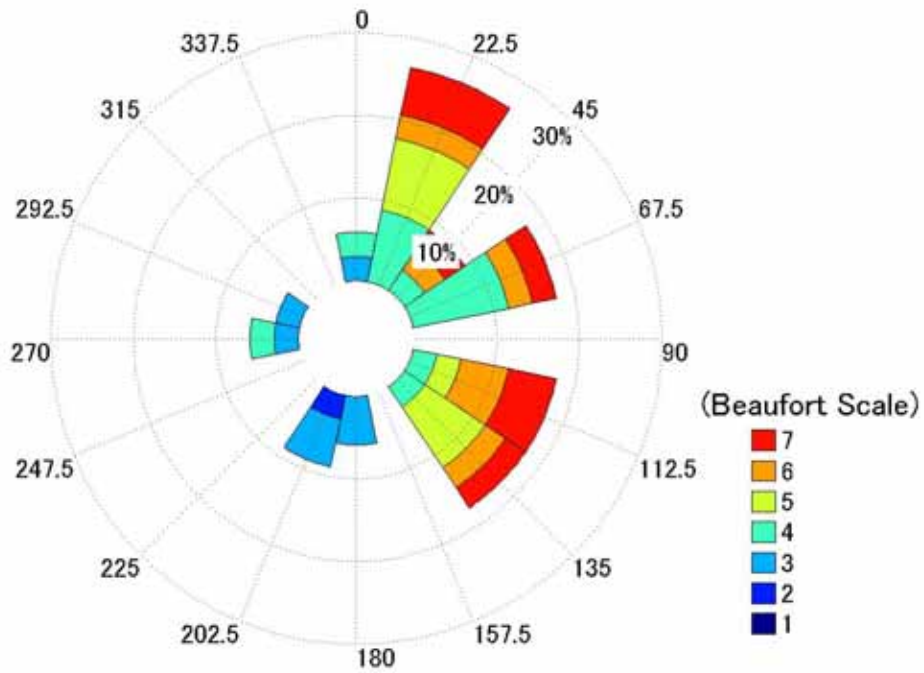
Wave Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



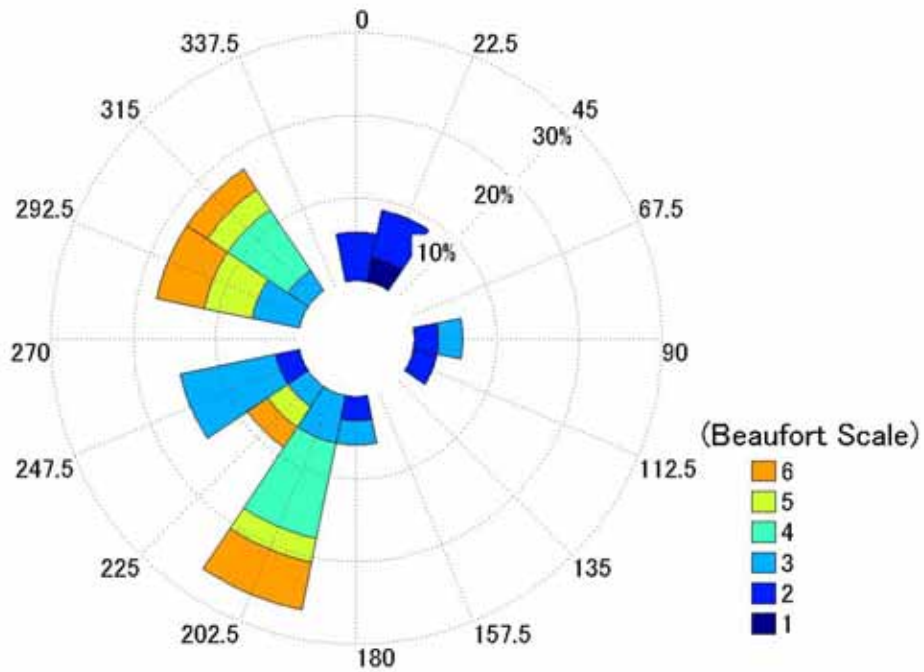
Swell Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



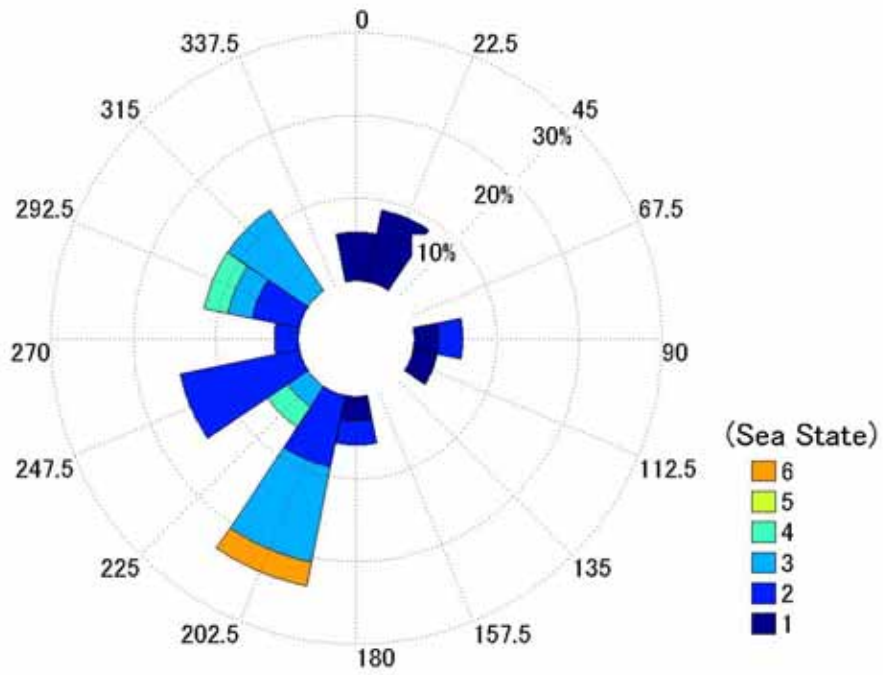
Wind Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai

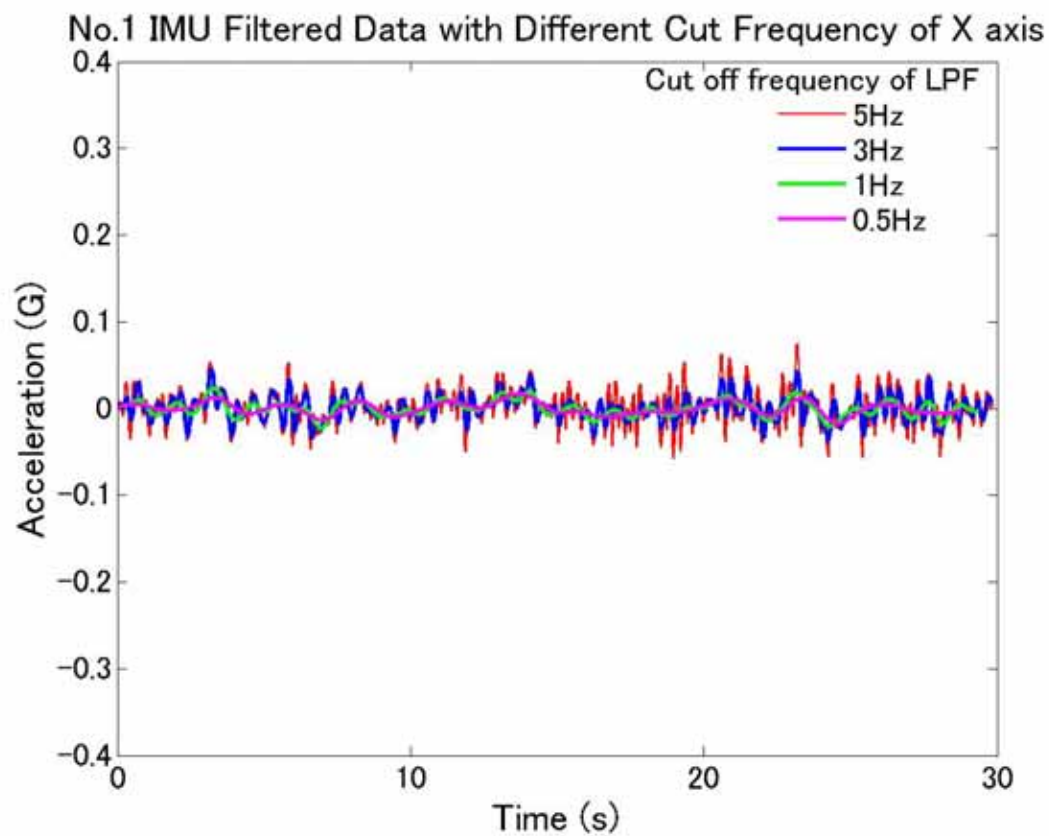
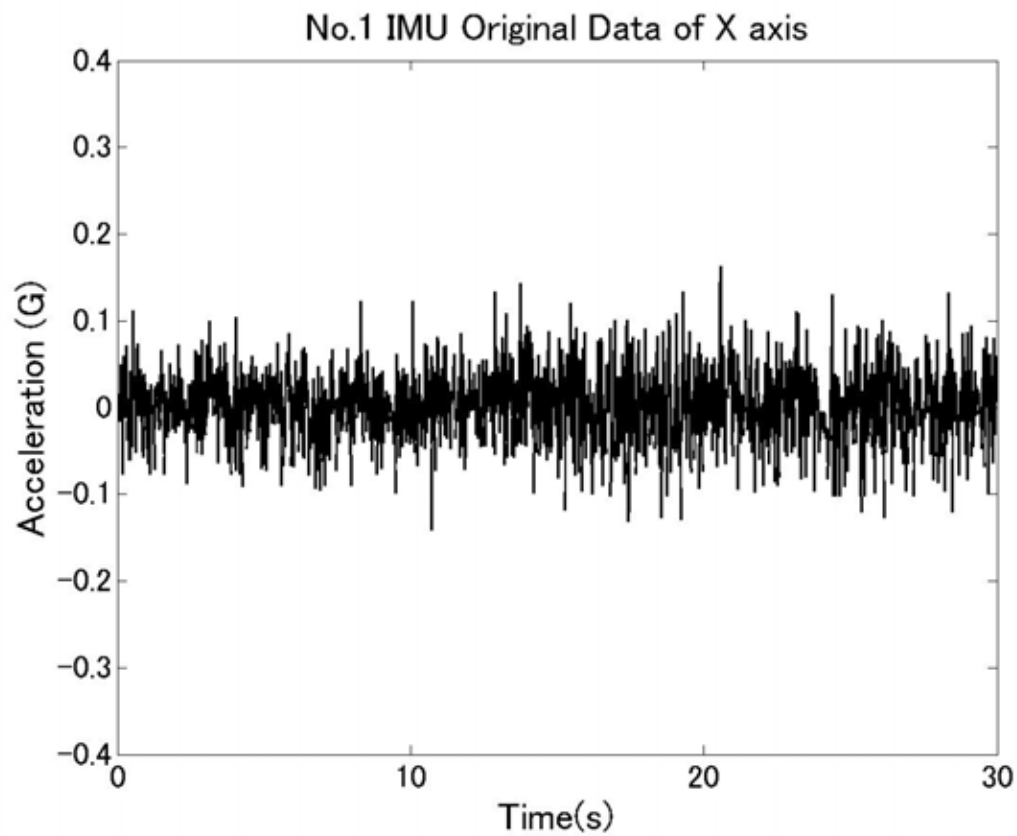


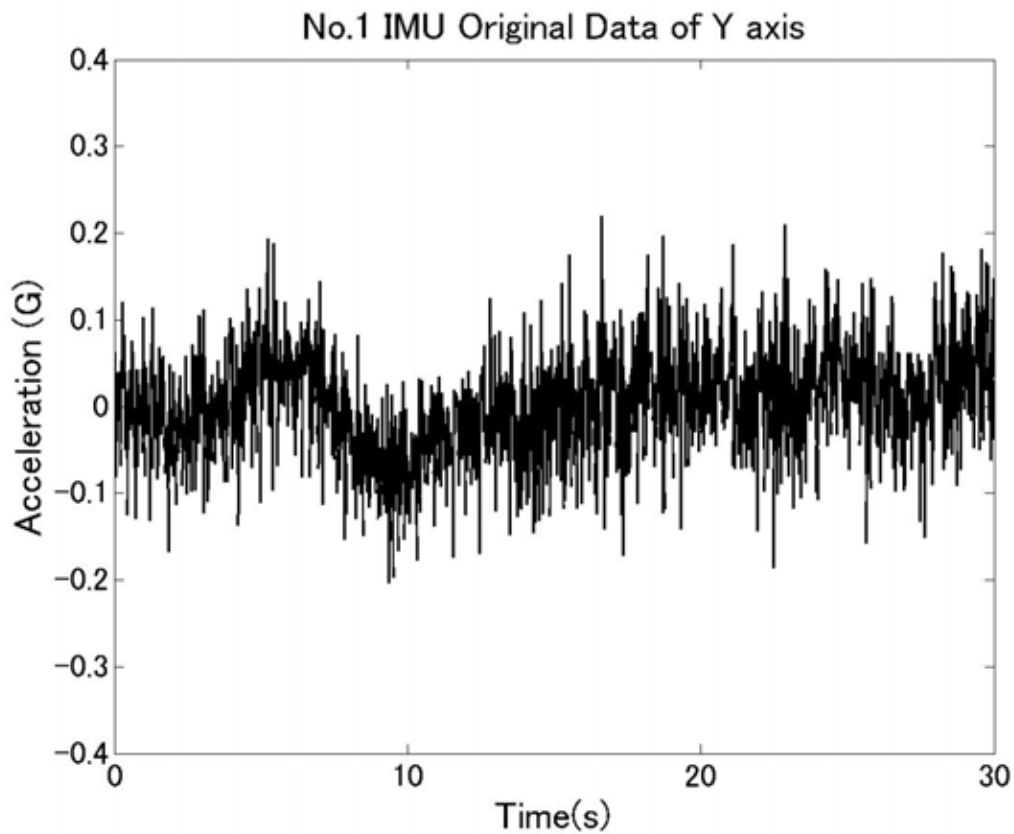
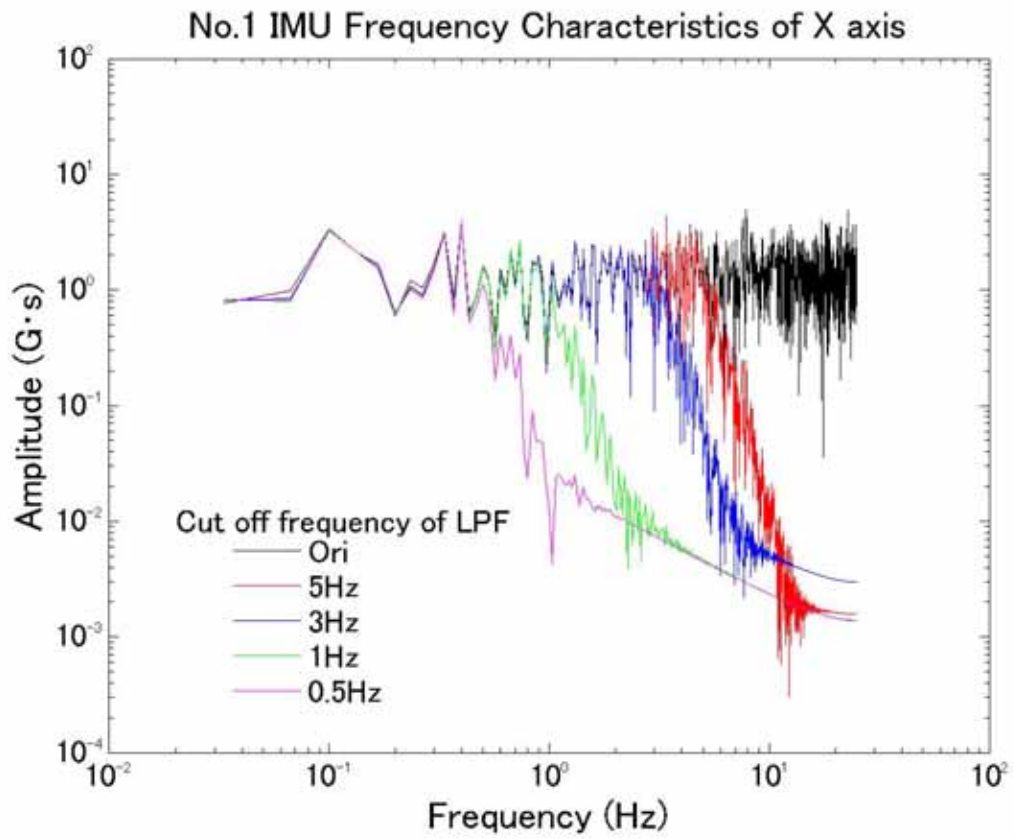
Wave Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai

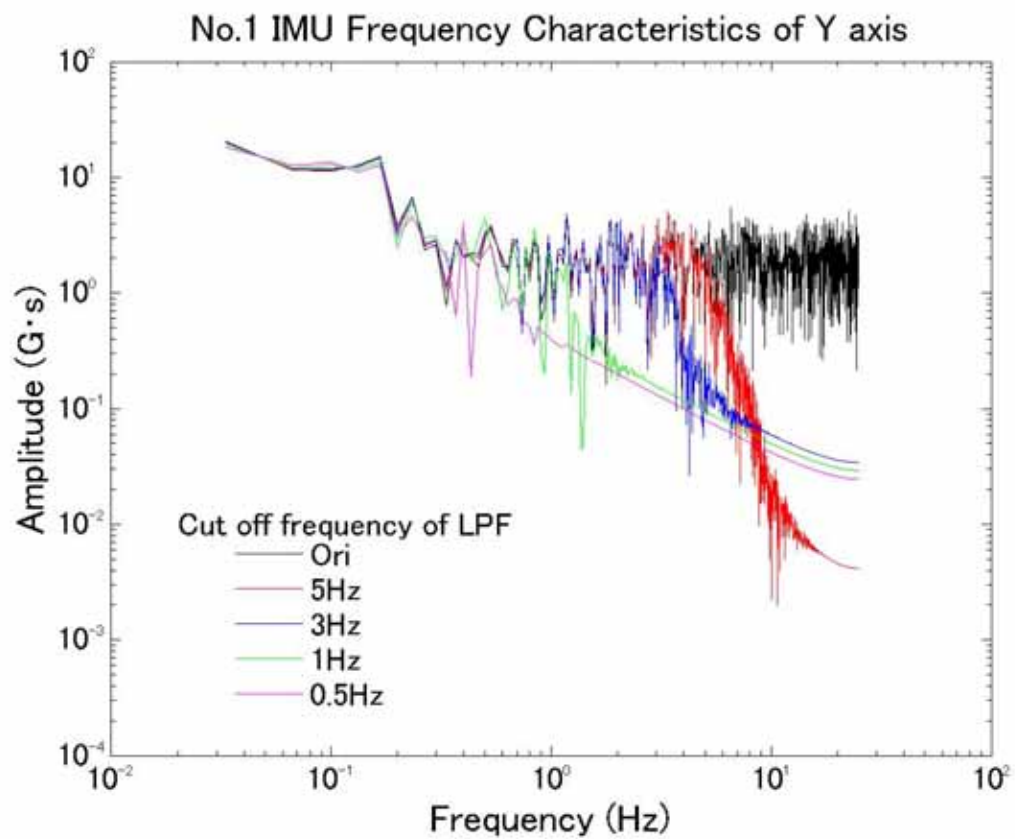
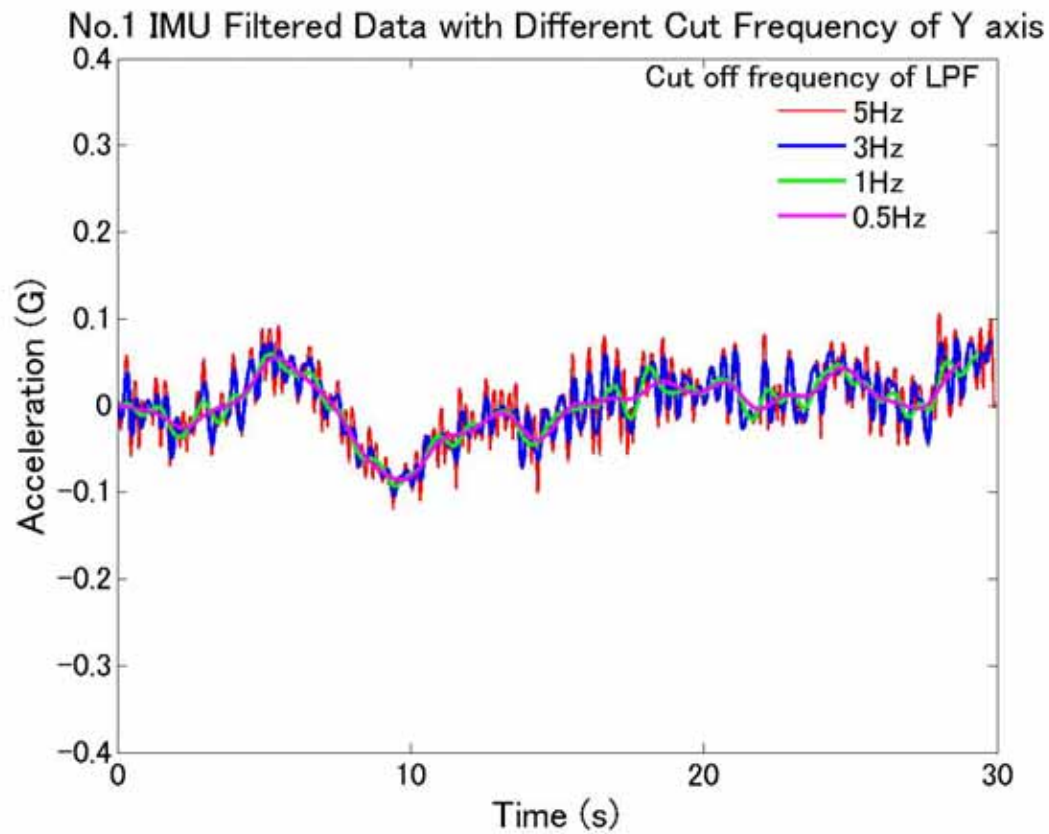


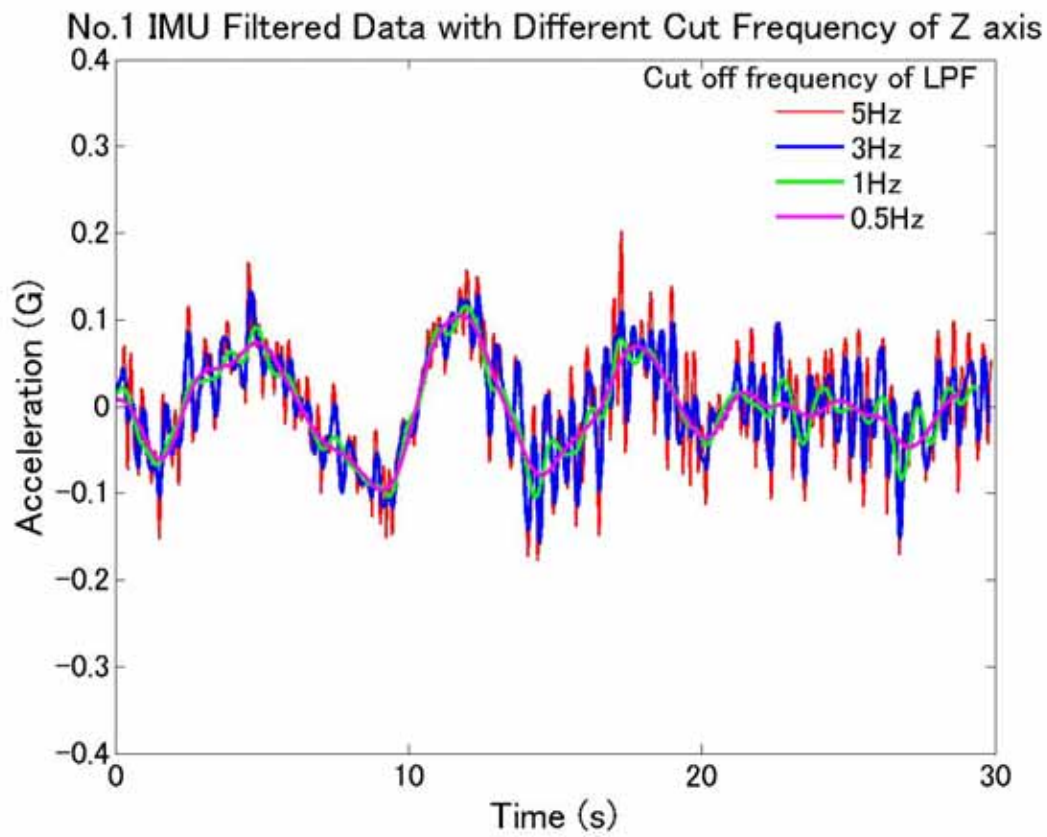
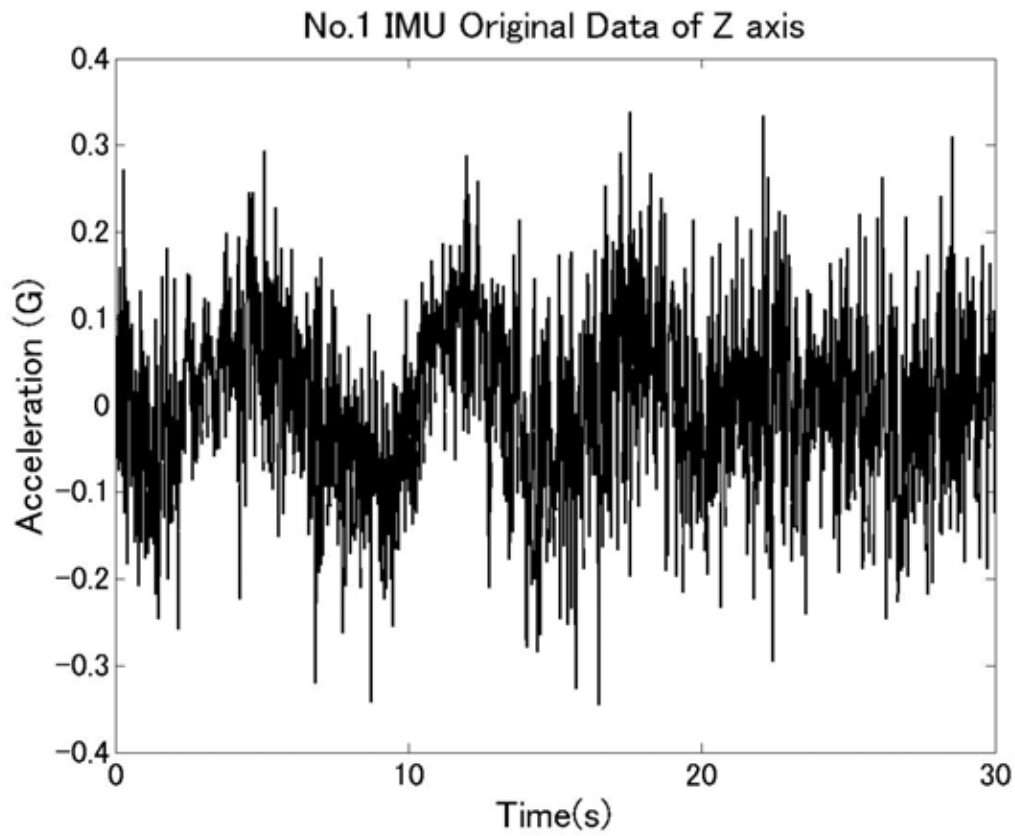
Swell Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai

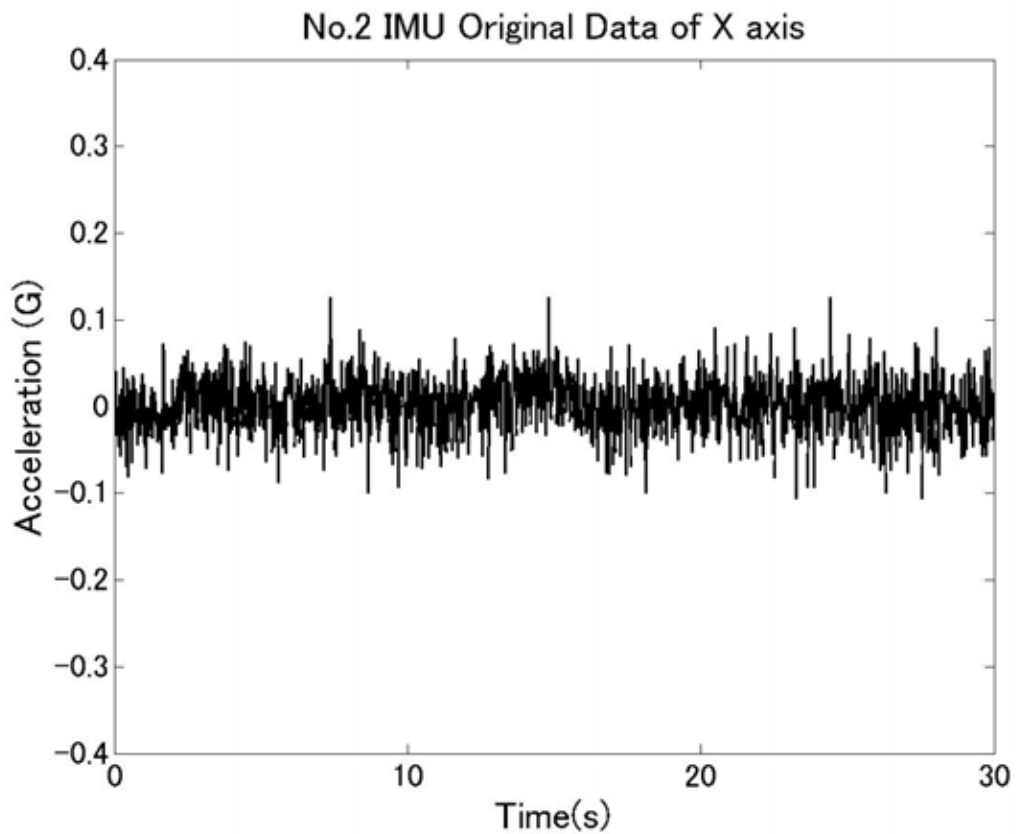
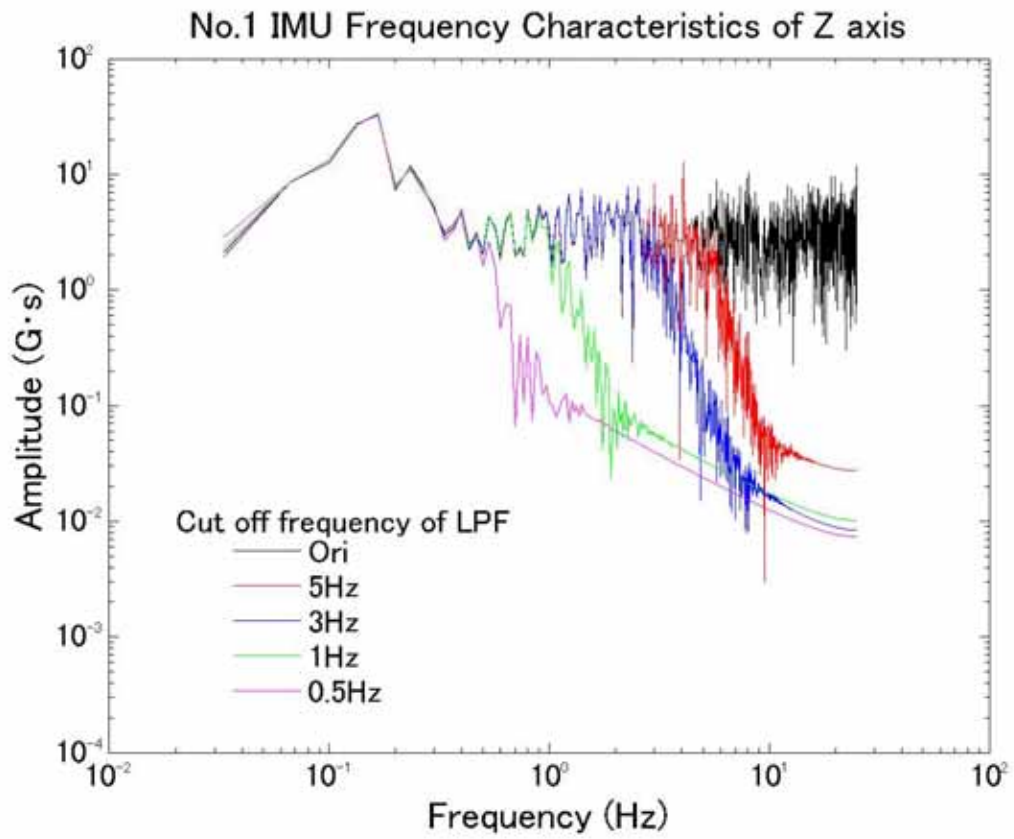


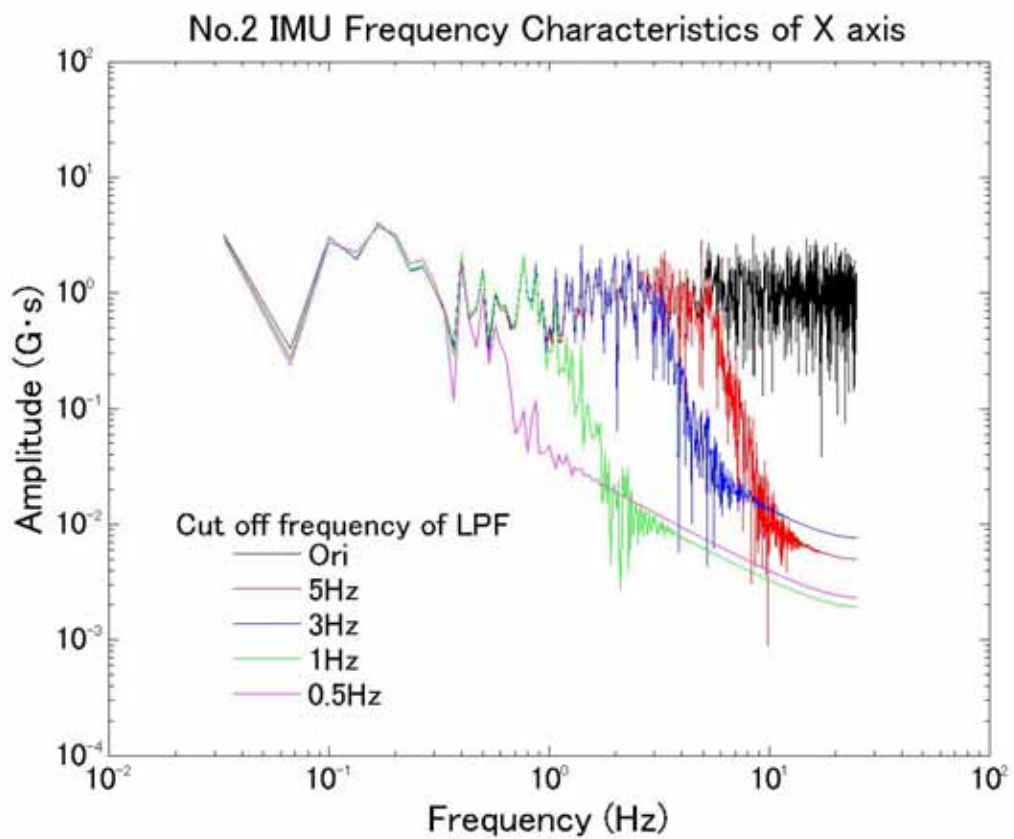
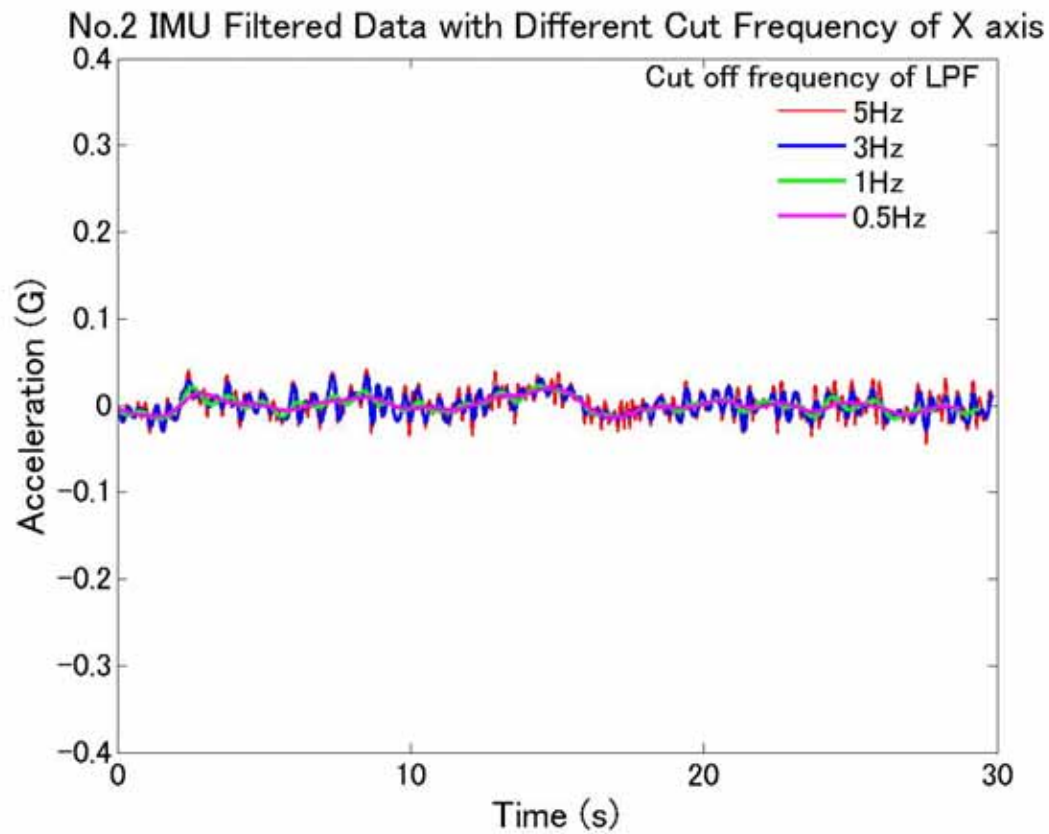


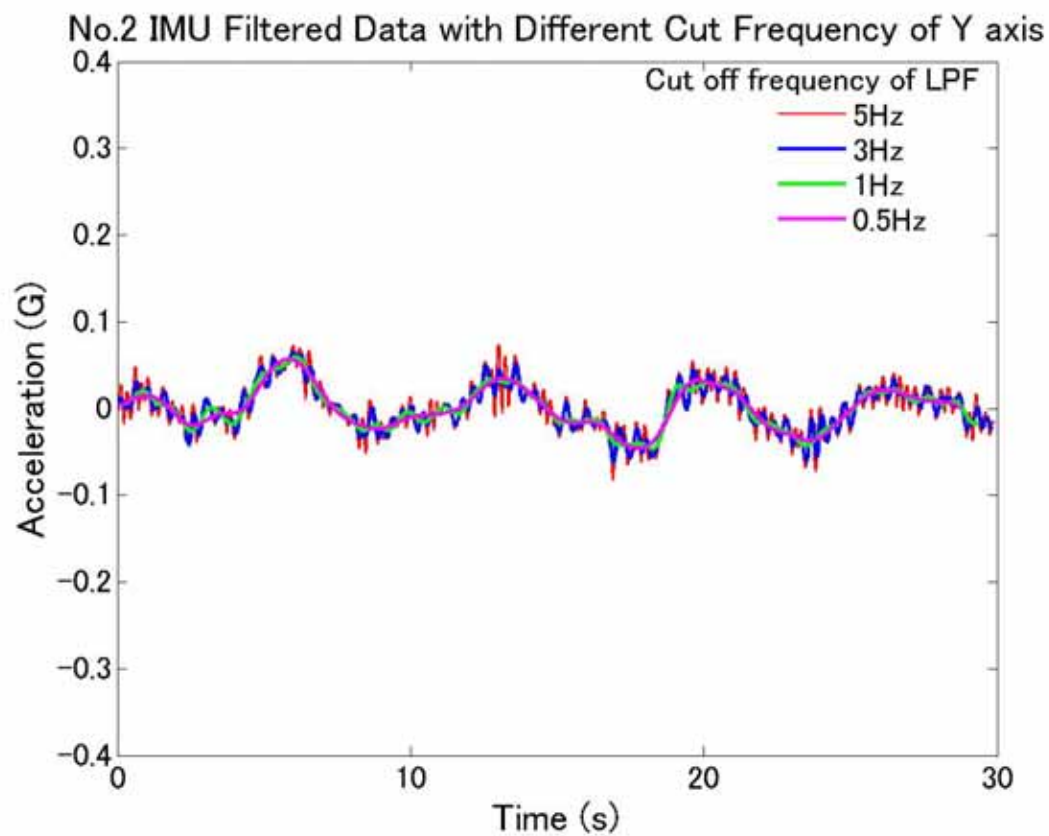
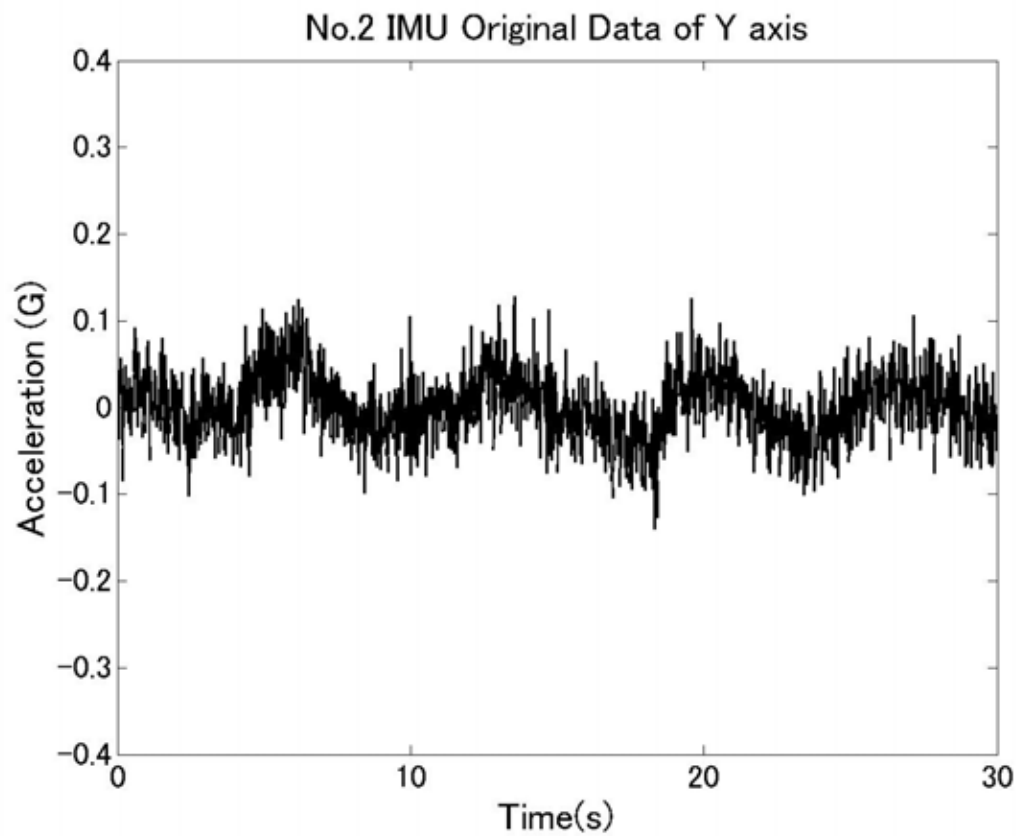


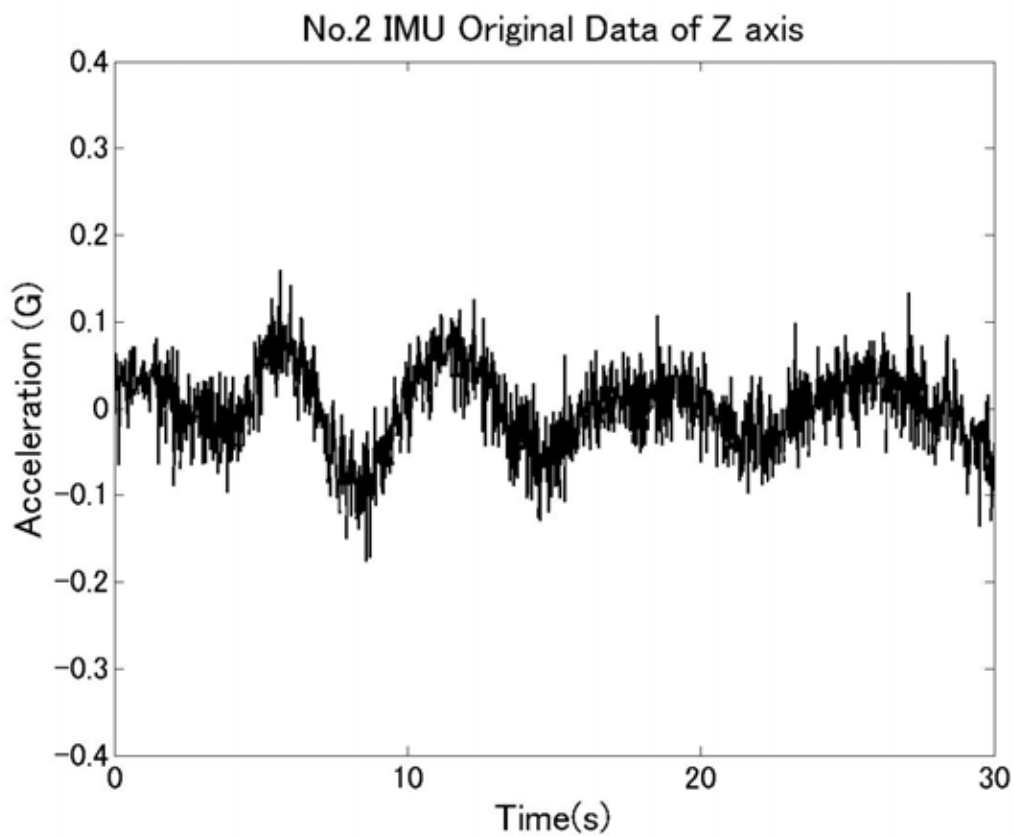
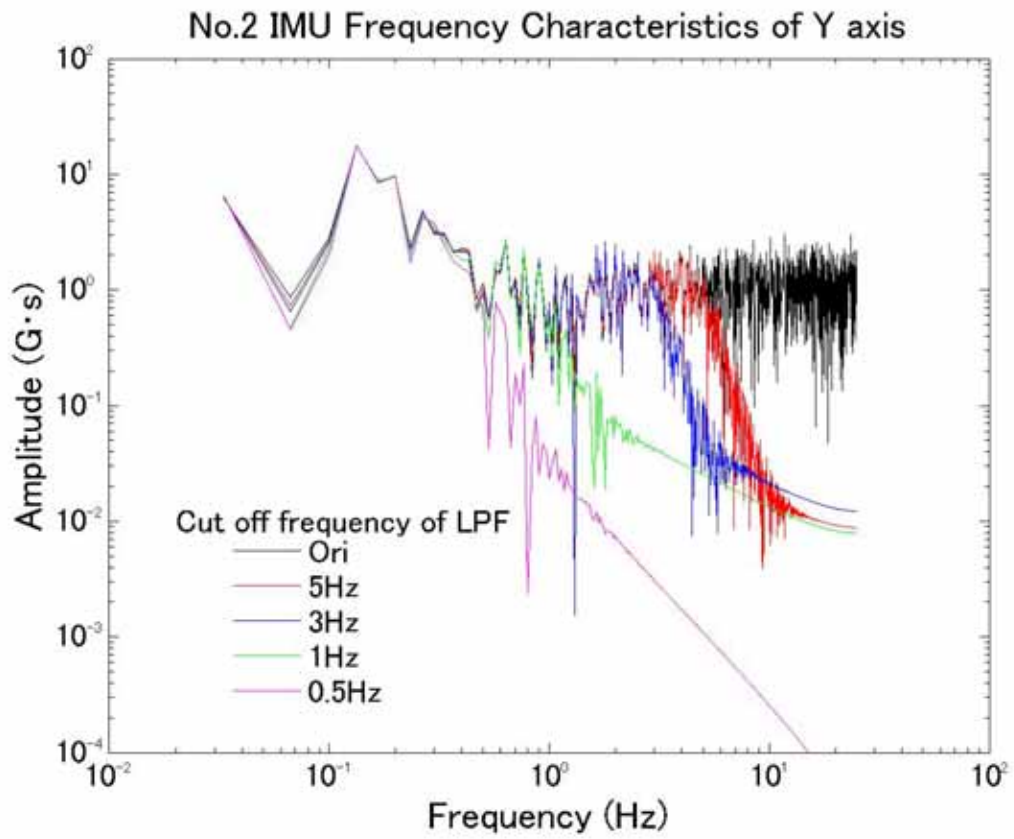


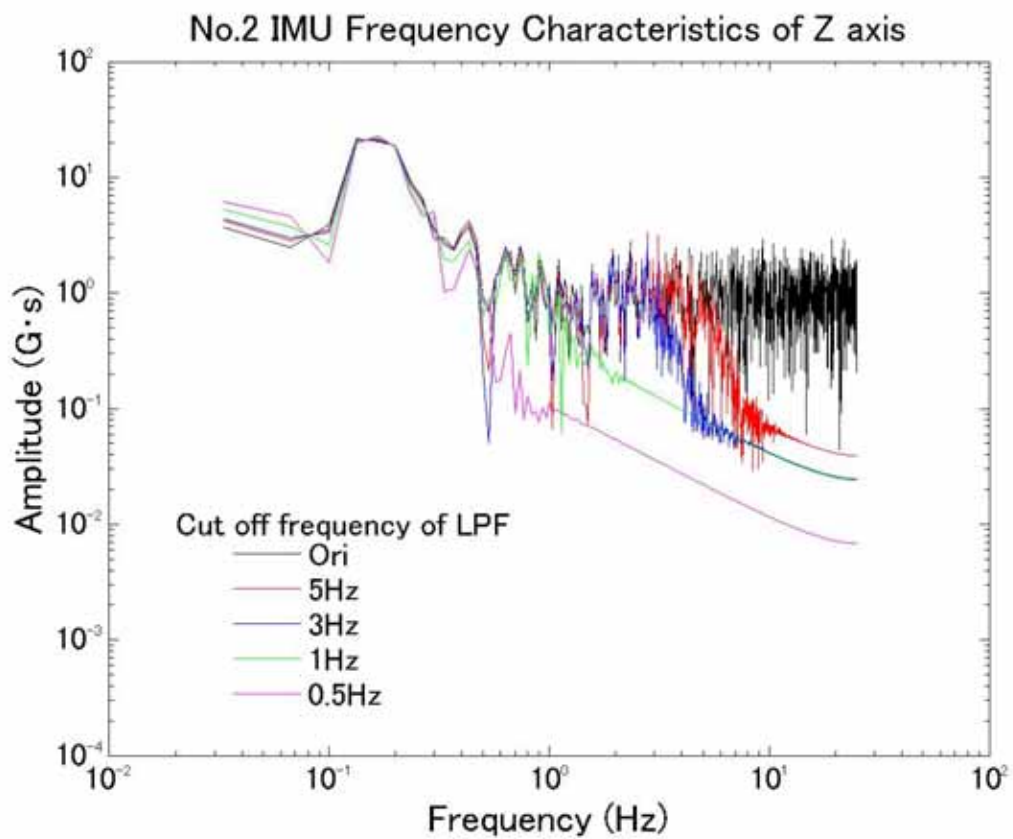
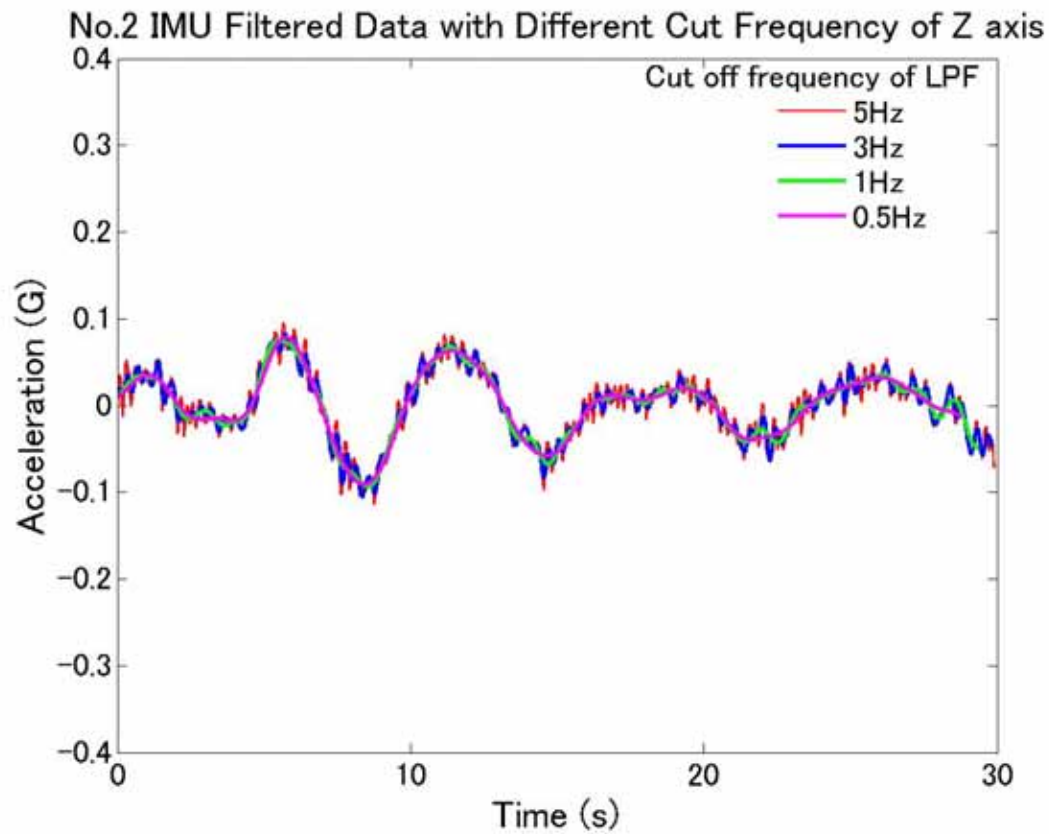


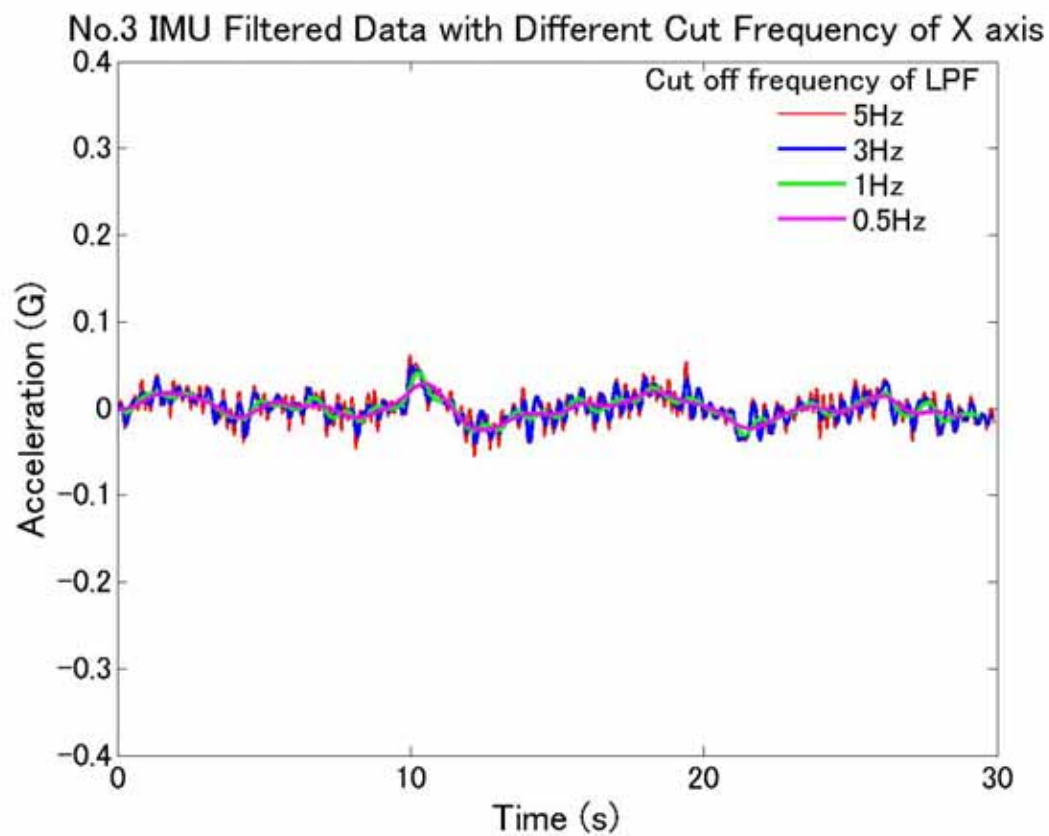
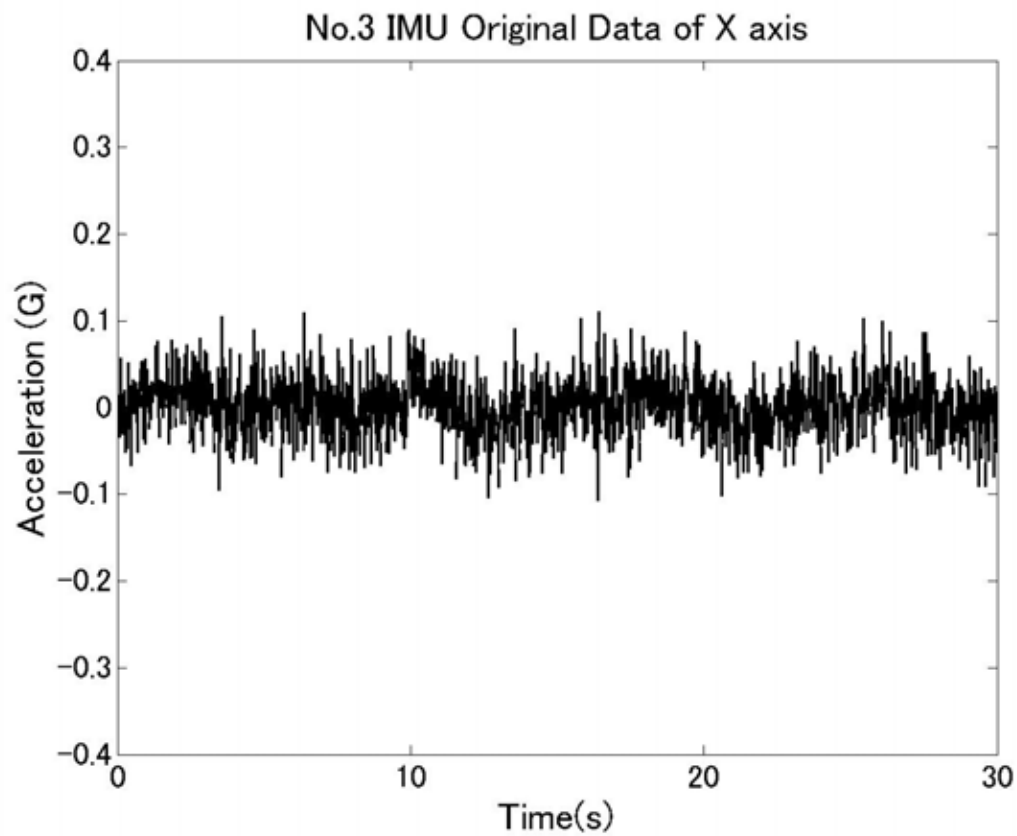


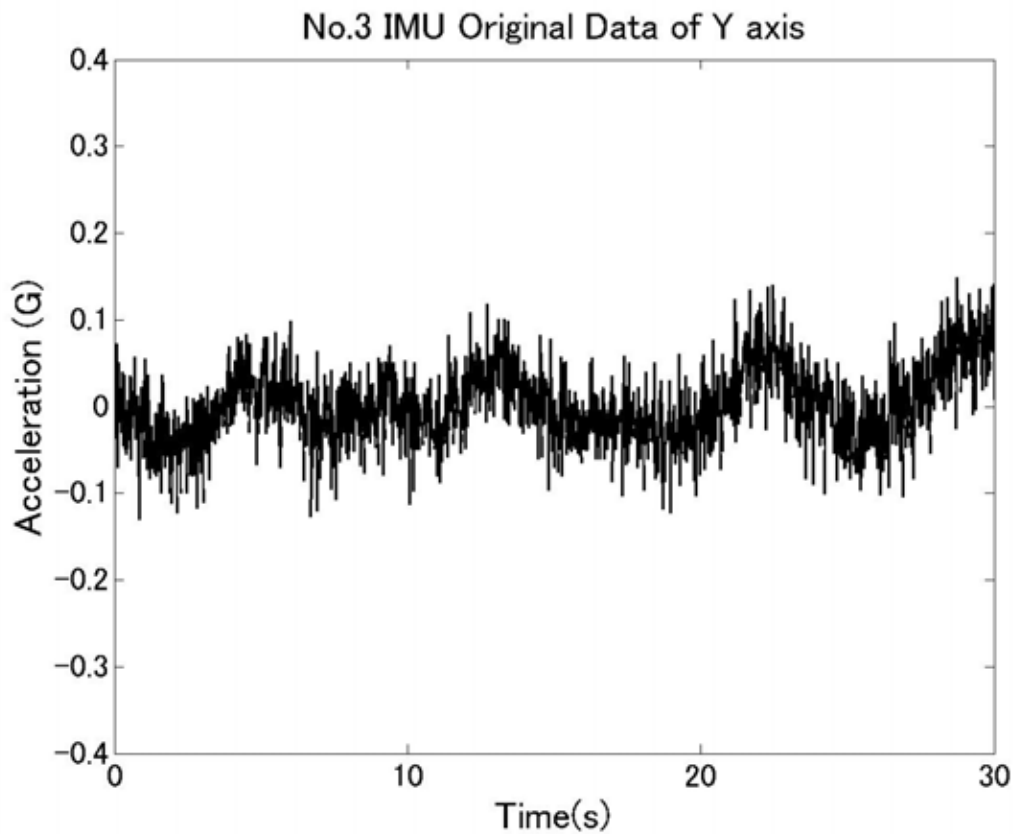
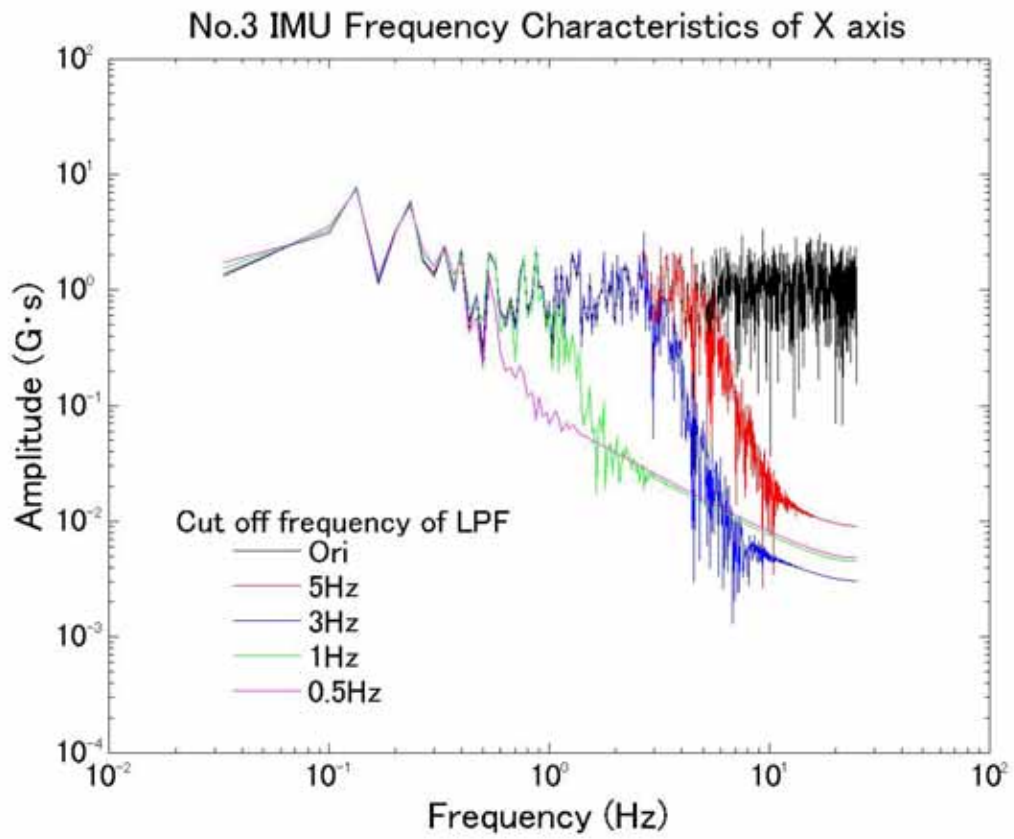




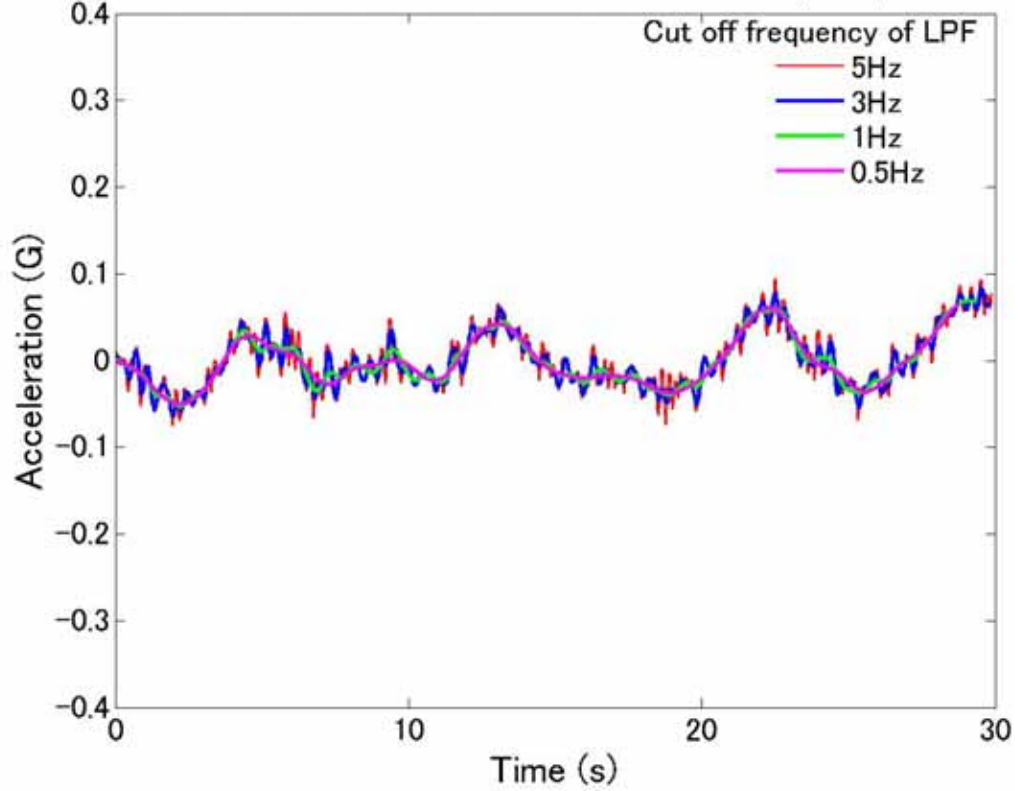




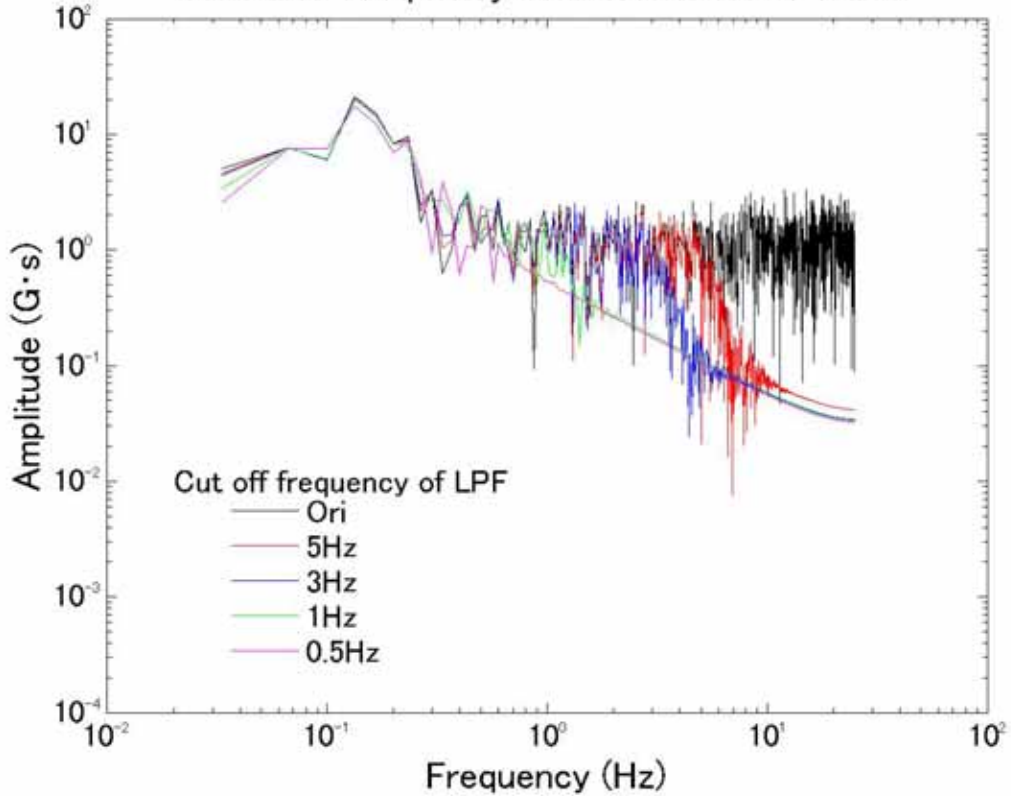


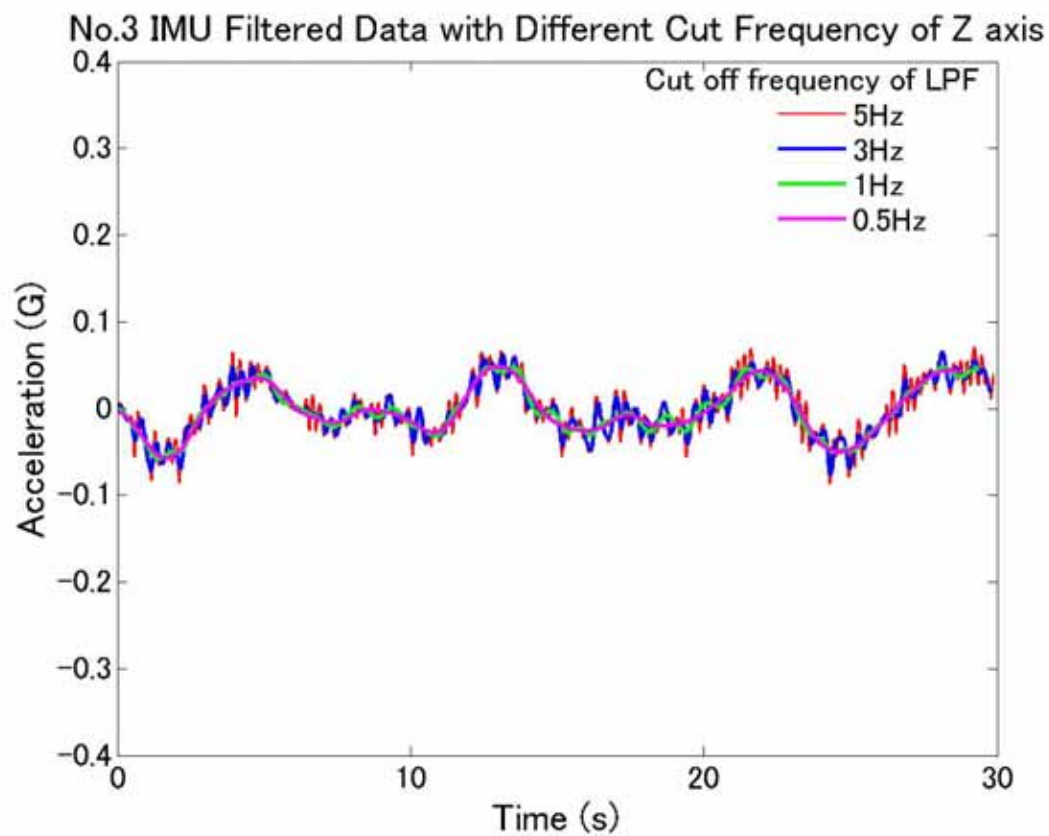
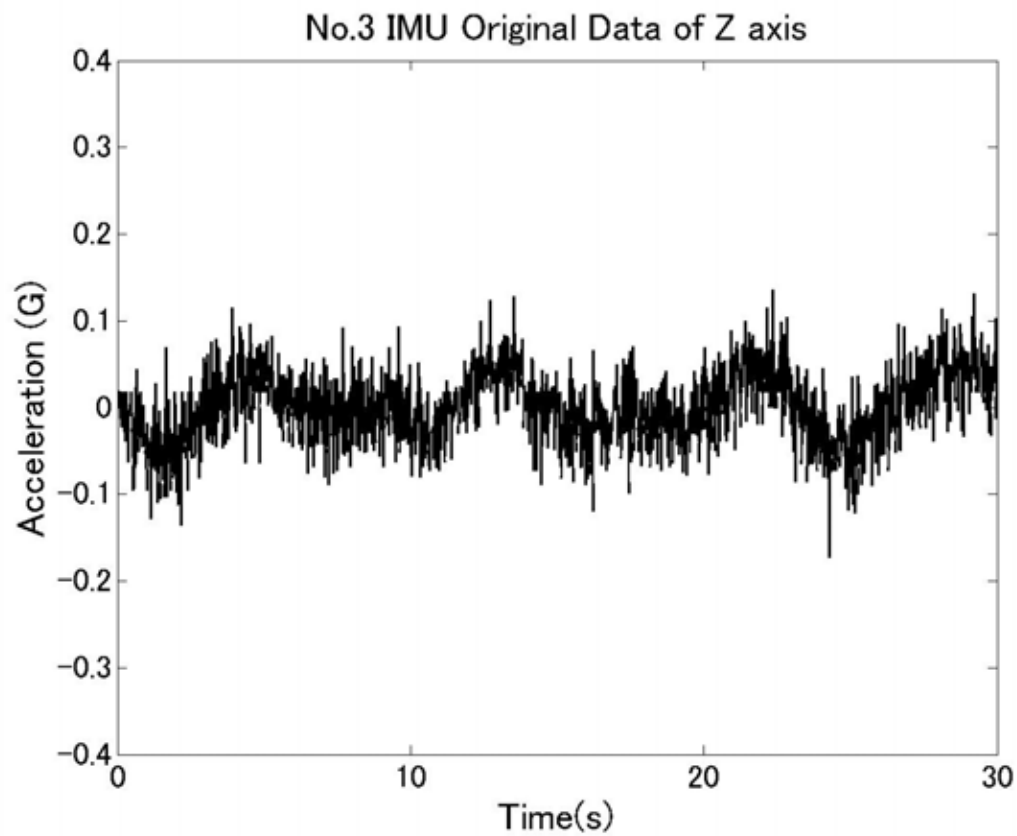


No.3 IMU Filtered Data with Different Cut Frequency of Y axis

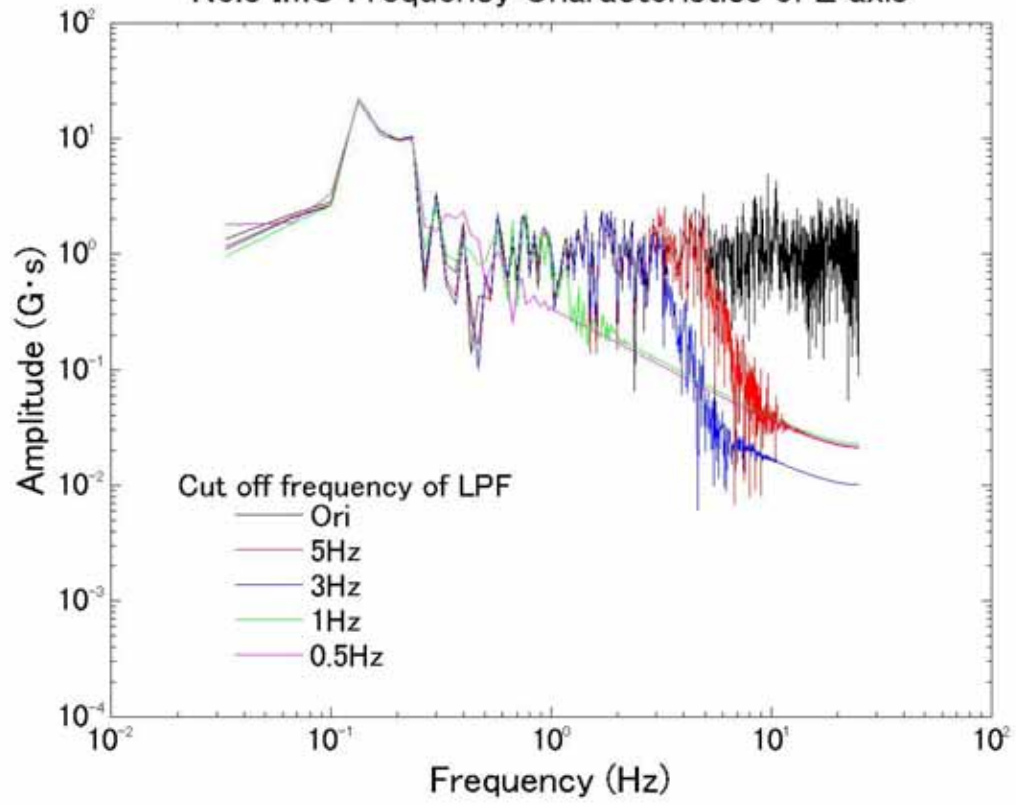


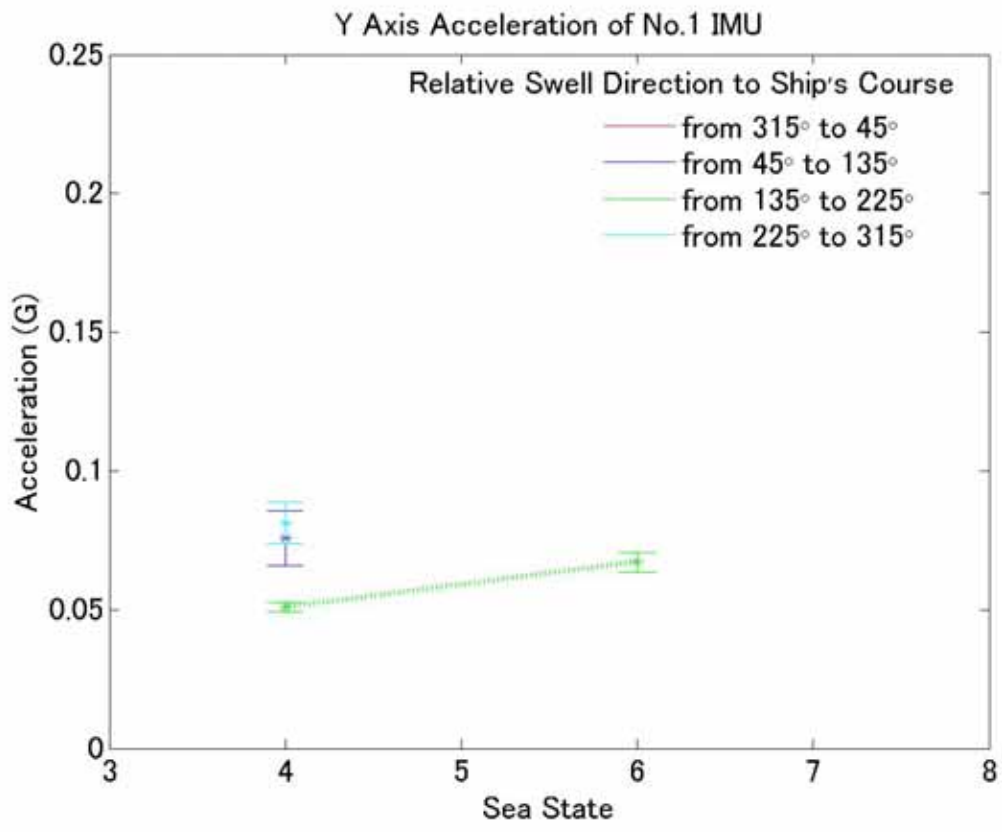
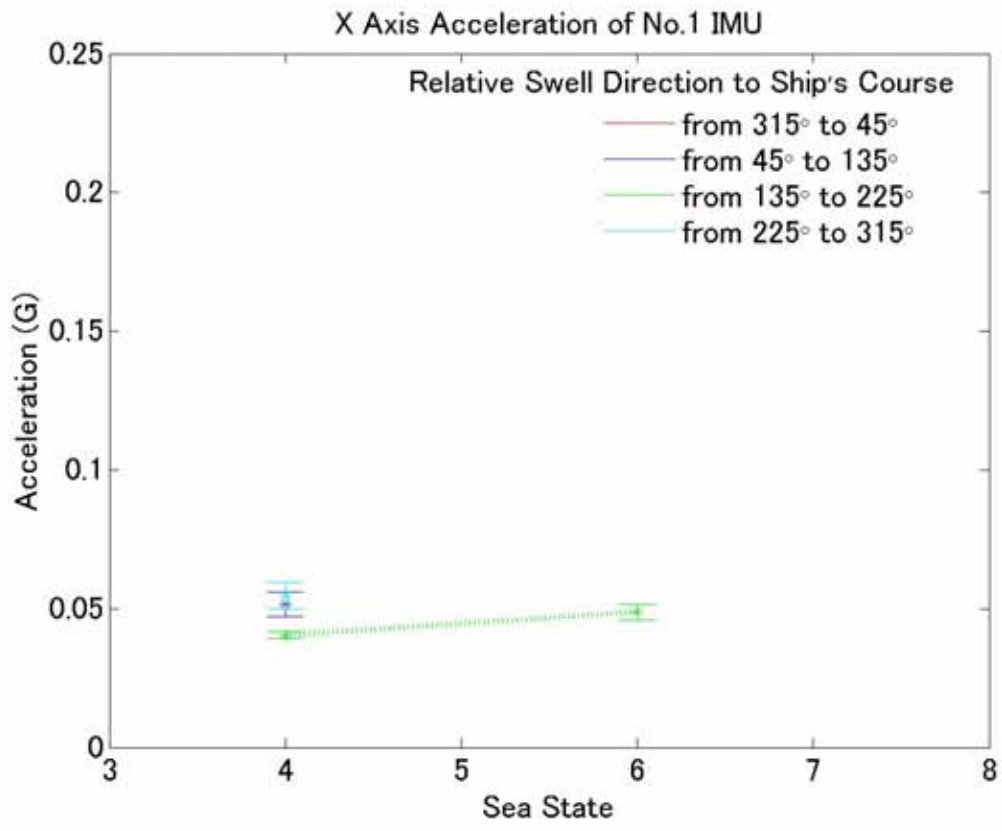
No.3 IMU Frequency Characteristics of Y axis

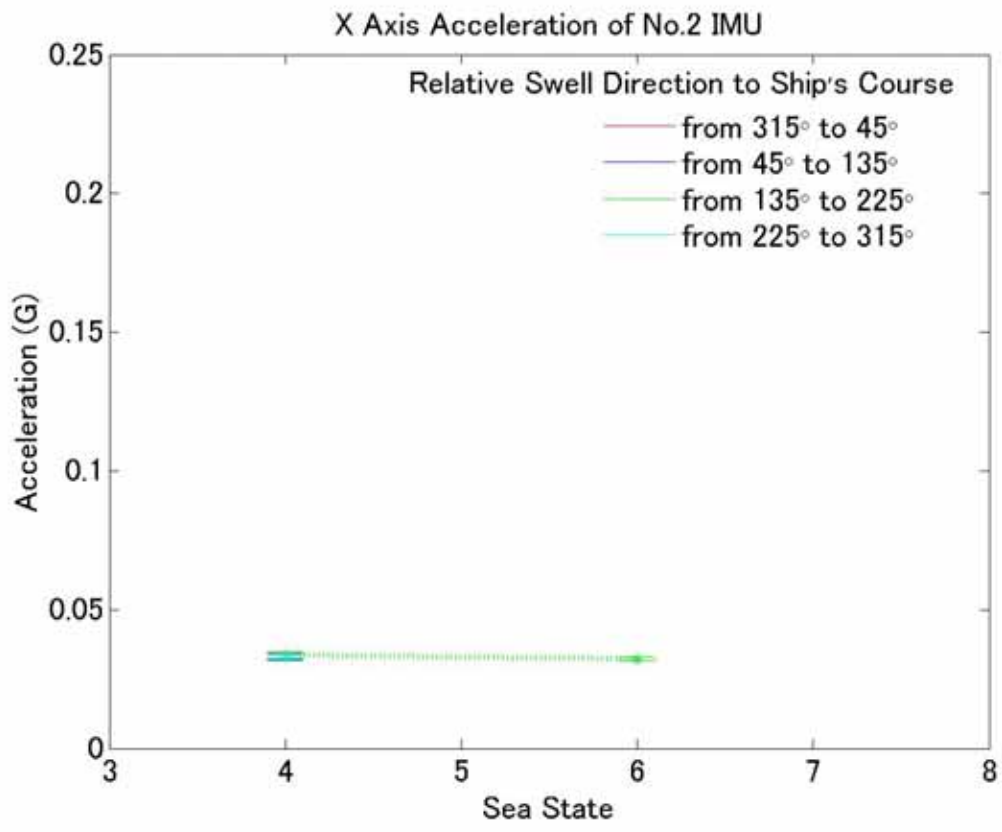
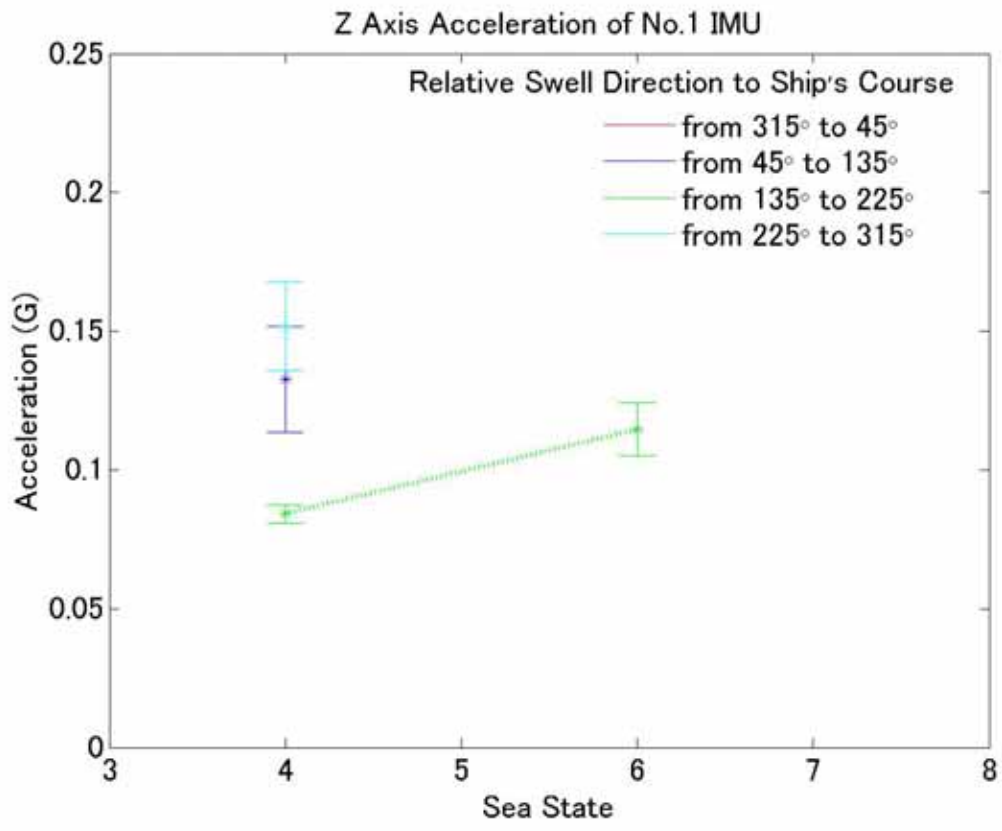


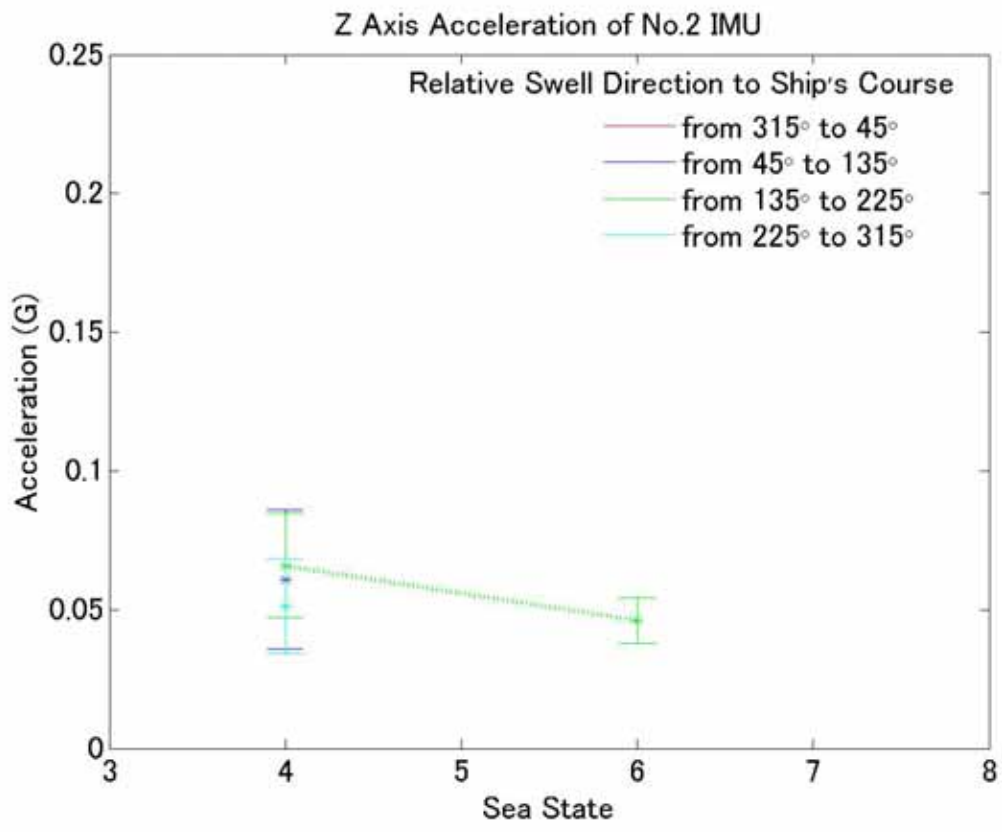
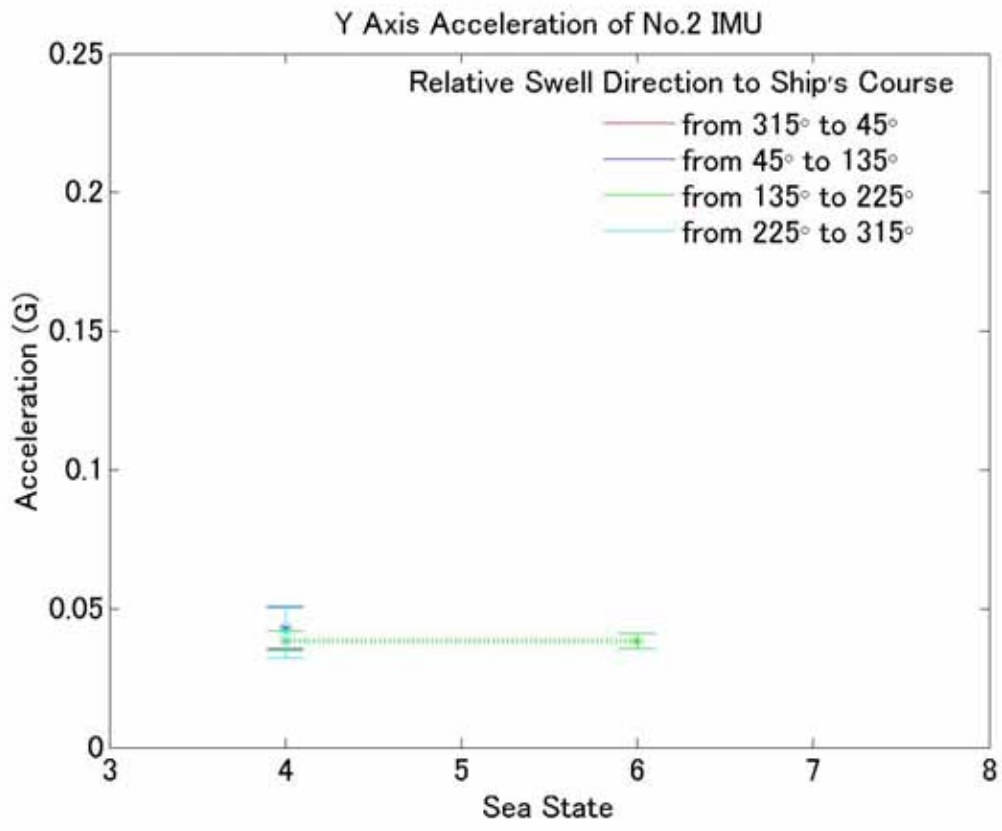


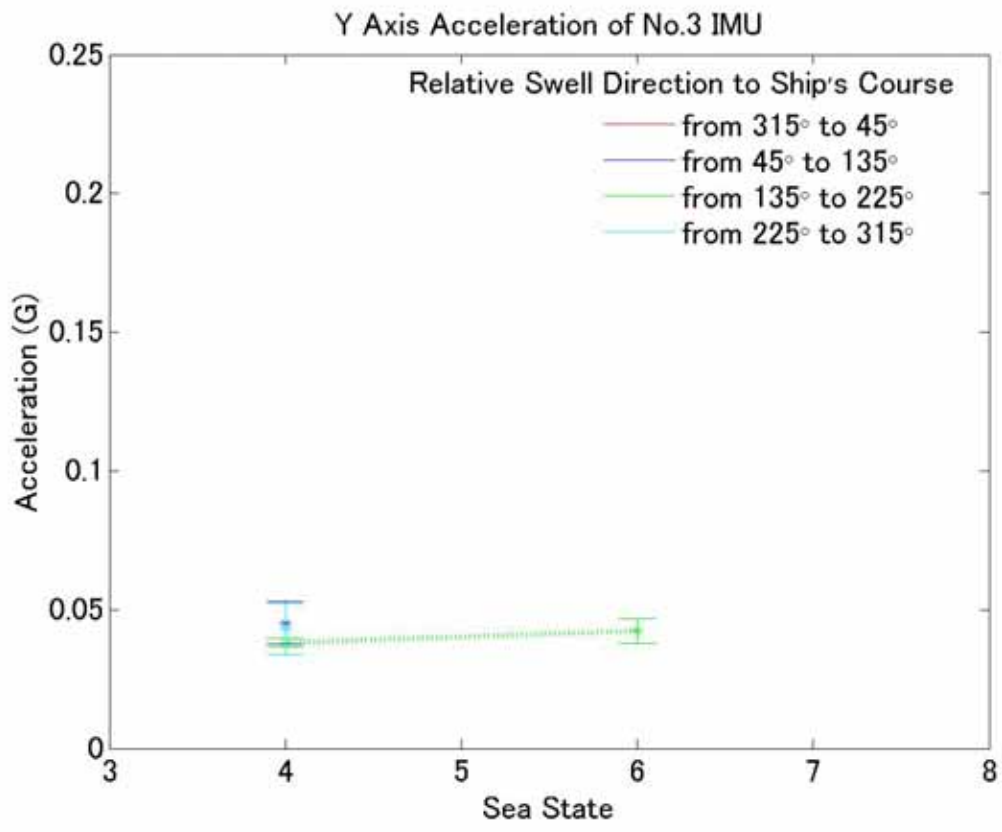
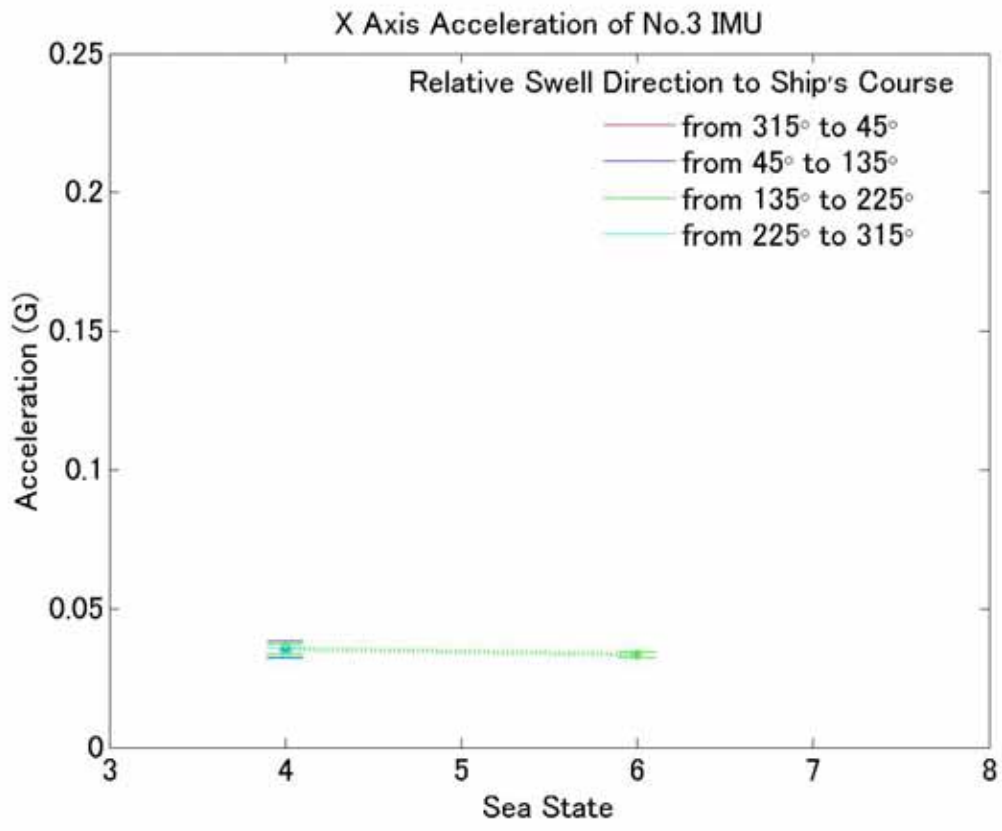
No.3 IMU Frequency Characteristics of Z axis

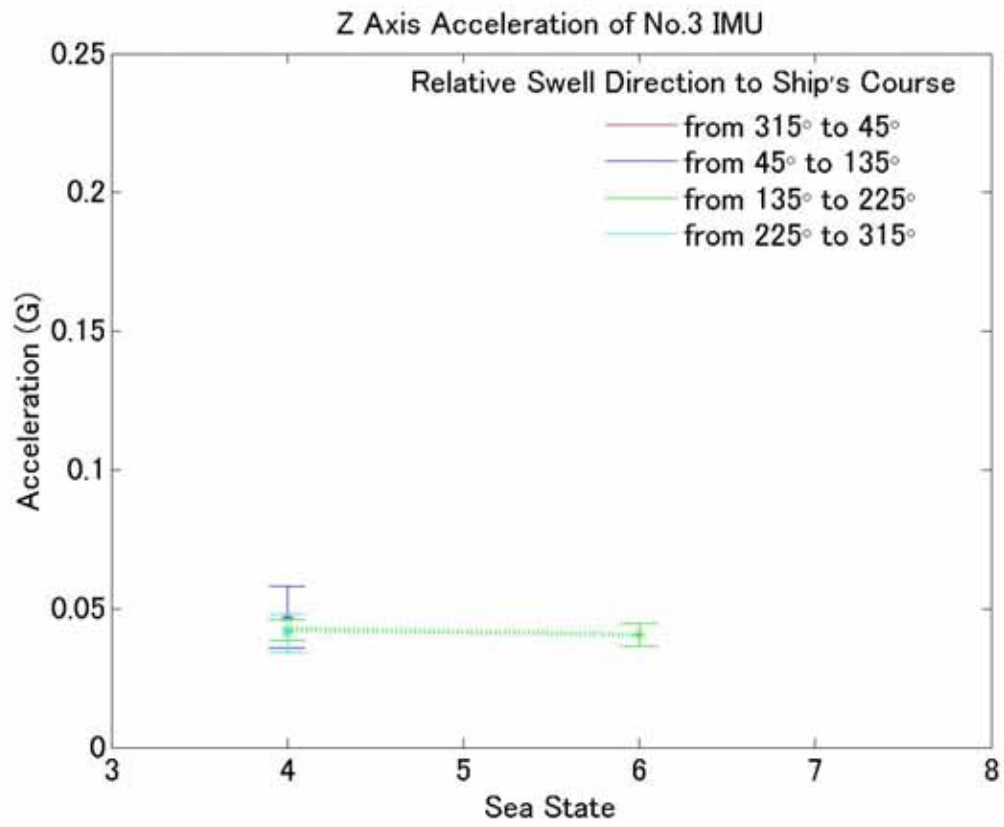






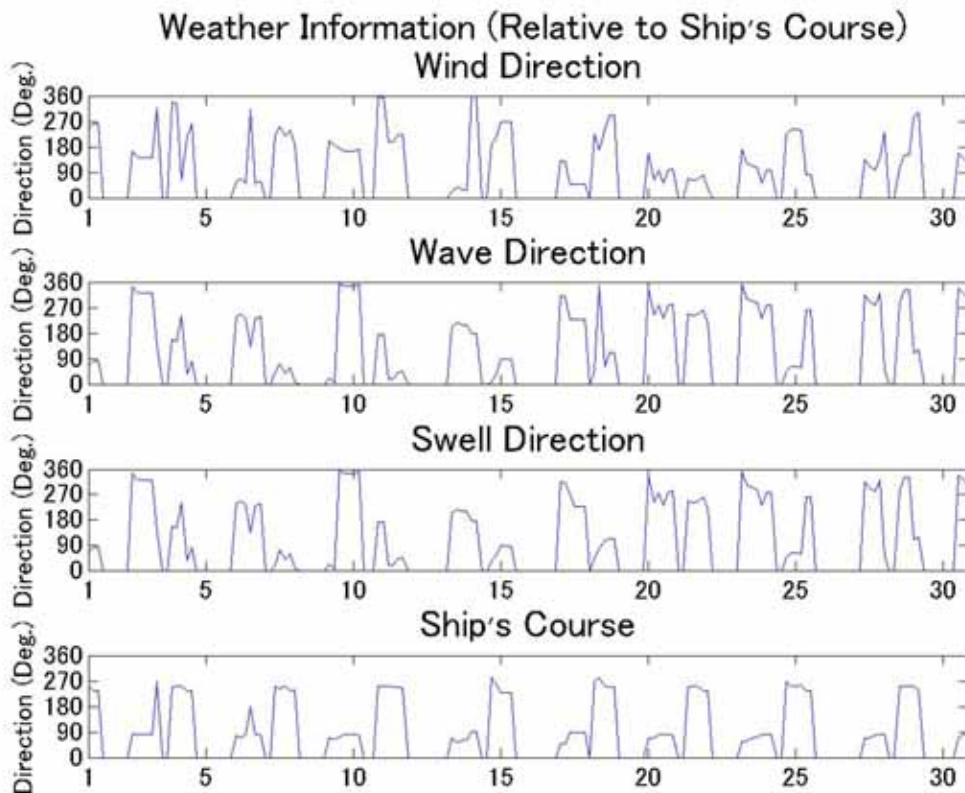


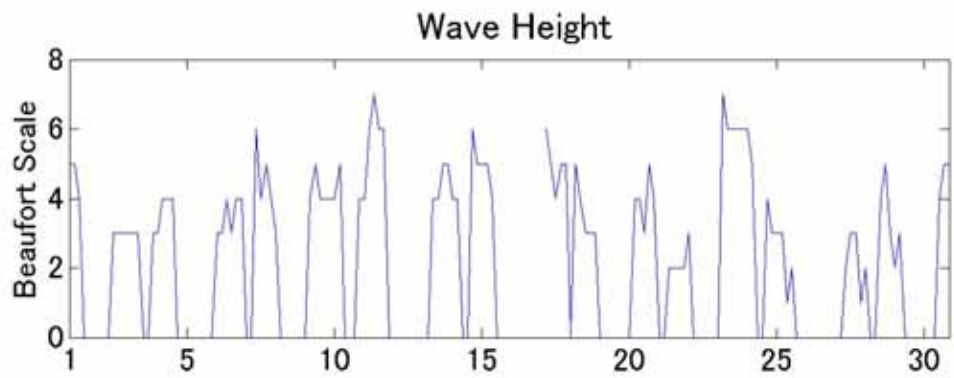
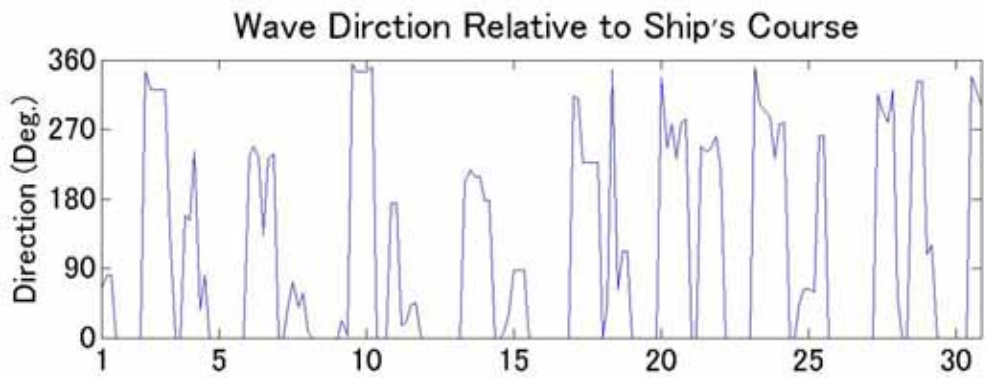
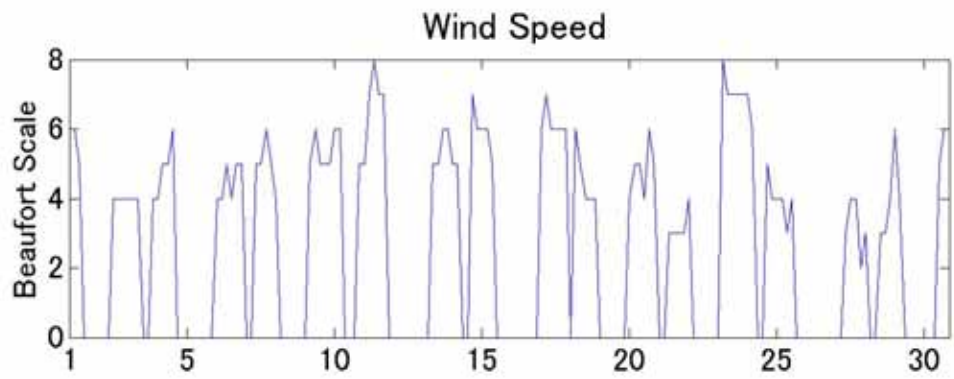
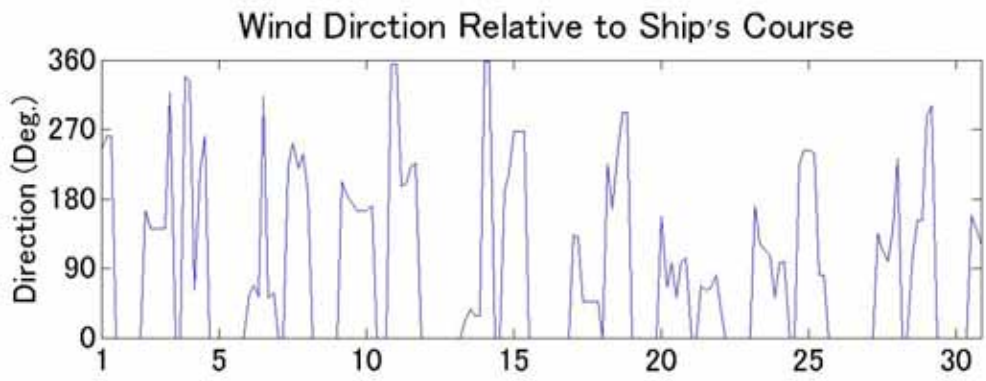


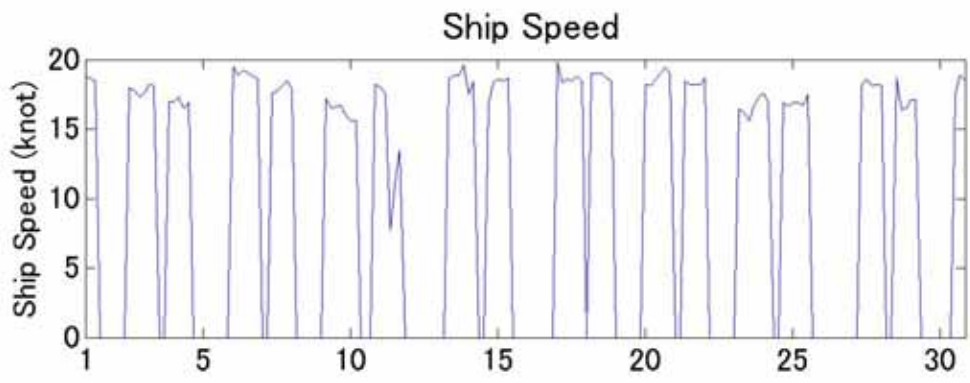
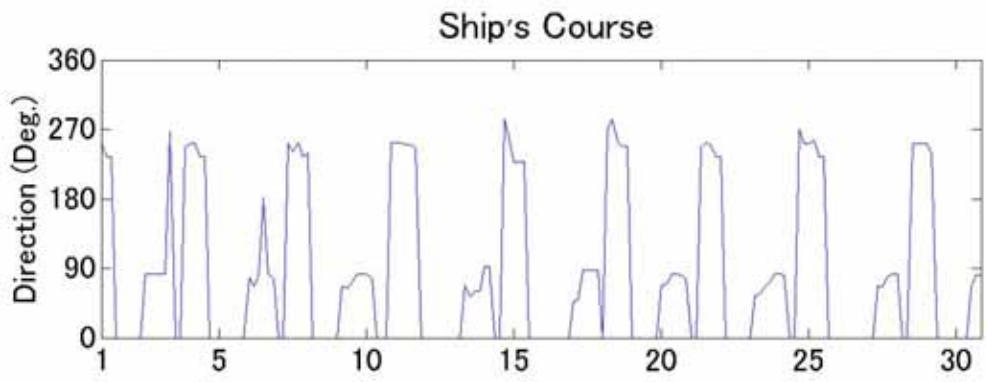
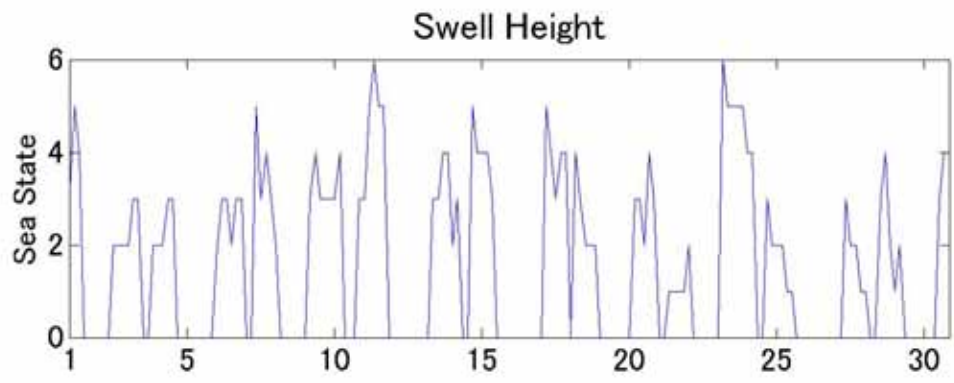
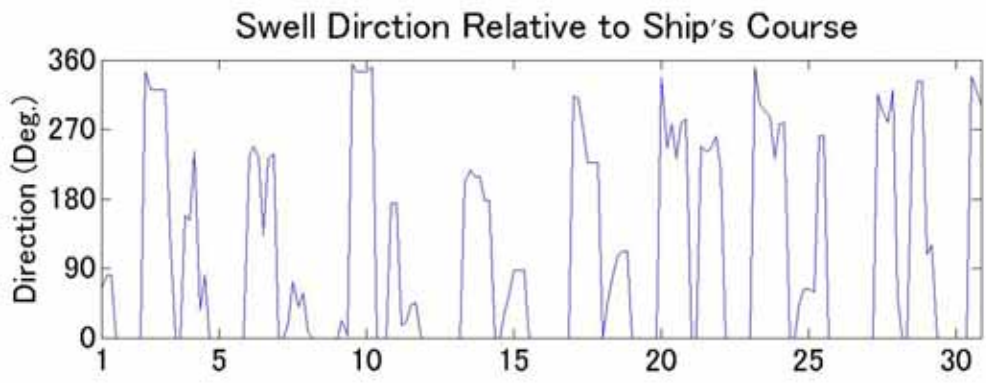


5.3 11月分

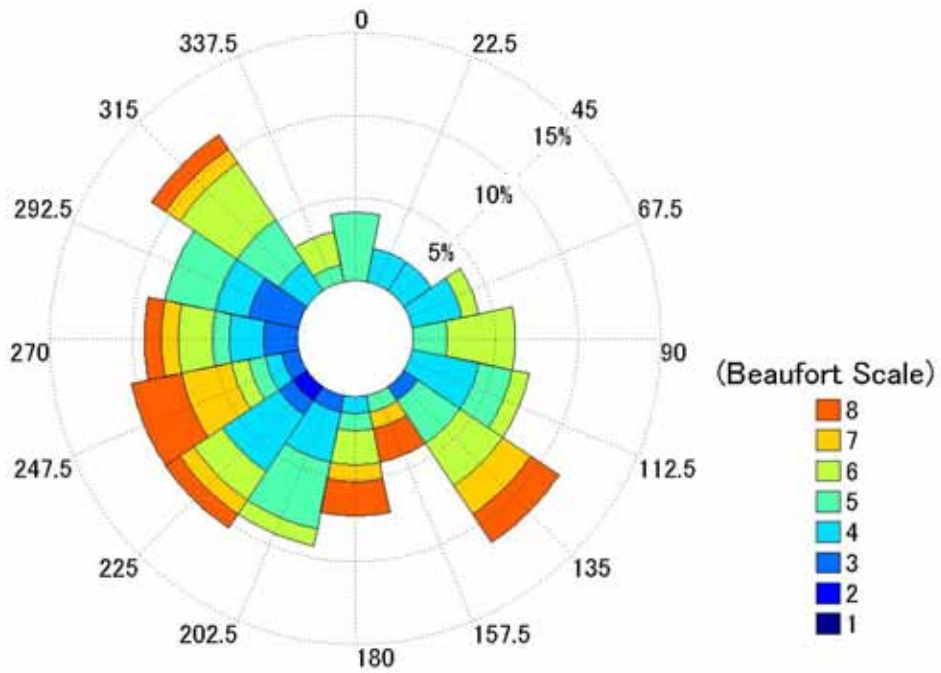
Voyage Schedule in November				
	From Hakata to Shanghai		From Shanghai to Hakata	
Voyage	Depart date & time	Arrive date & time	Depart Date & time	Arrive date & time
No. 1	-	-	Nov.02th, 11 o'clock	Nov.03th, 05 o'clock
No. 2	Nov.03th, 07 o'clock	Nov.04th, 13 o'clock	Nov.05th, 23 o'clock	Nov.06th, 21 o'clock
No. 3	Nov.07th, 03 o'clock	Nov.08th, 01 o'clock	Nov.09th, 03 o'clock	Nov.10th, 05 o'clock
No. 4	Nov.10th, 15 o'clock	Nov.11th, 17 o'clock	Nov.13th, 07 o'clock	Nov.14th, 05 o'clock
No. 5	Nov.14th, 15 o'clock	Nov.15th, 09 o'clock	Nov.16th, 23 o'clock	Nov.17th, 21 o'clock
No. 6	Nov.18th, 03 o'clock	Nov.18th, 21 o'clock	Nov.19th, 23 o'clock	Nov.20th, 21 o'clock
No. 7	Nov.21th, 07 o'clock	Nov.22th, 01 o'clock	Nov.23th, 03 o'clock	Nov.24th, 05 o'clock
No. 8	Nov.24th, 15 o'clock	Nov.25th, 13 o'clock	Nov.27th, 07 o'clock	Nov.28th, 01 o'clock
No. 9	Nov.28th, 11 o'clock	Nov.29th, 05 o'clock	Nov.30th, 11 o'clock	Dec.01th, 01 o'clock



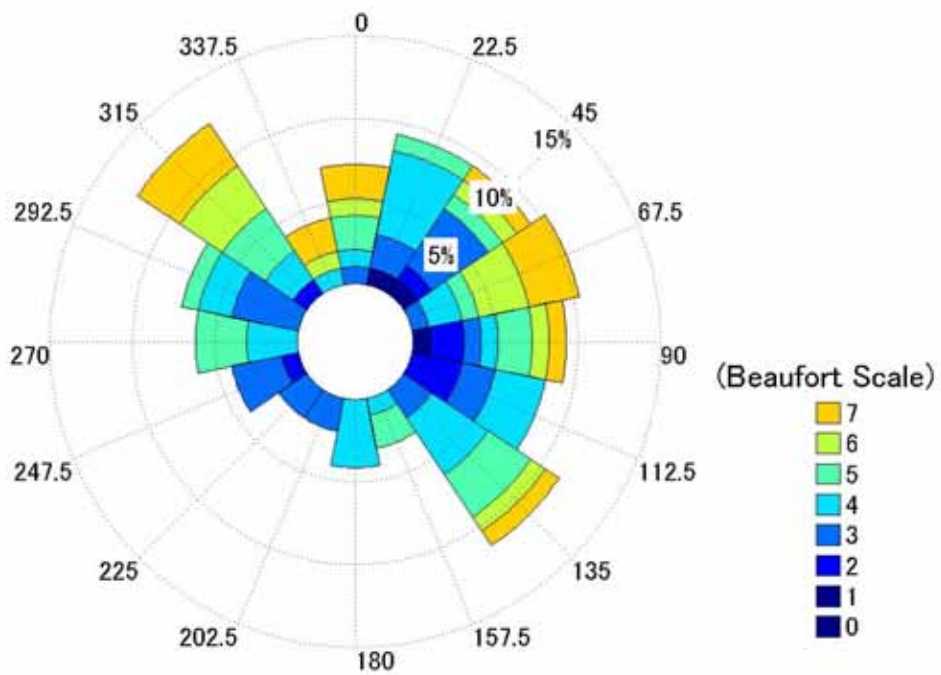




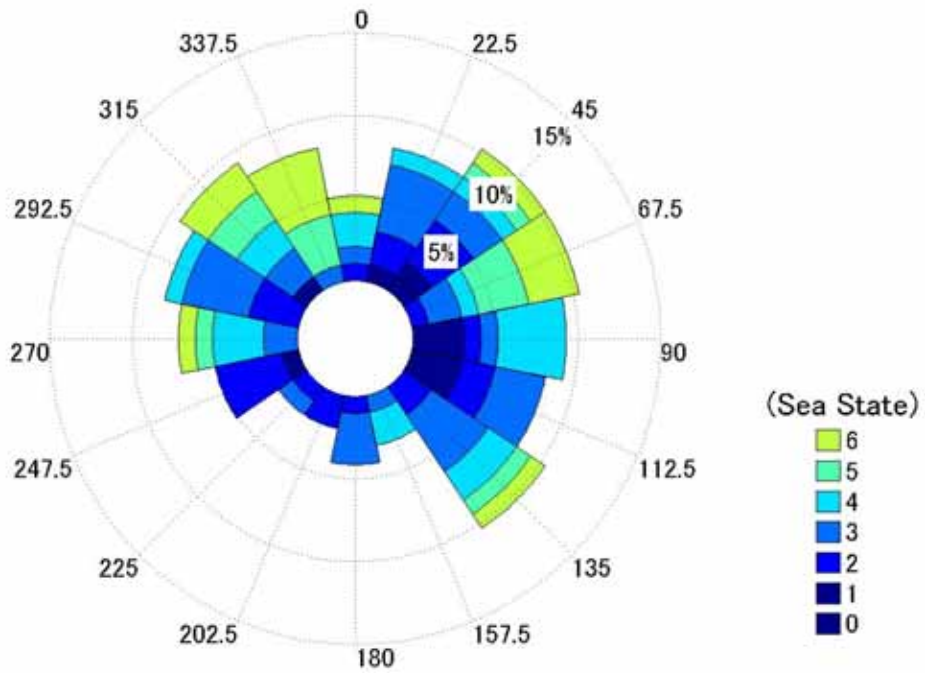
Wind Information Relative to Ship's Course



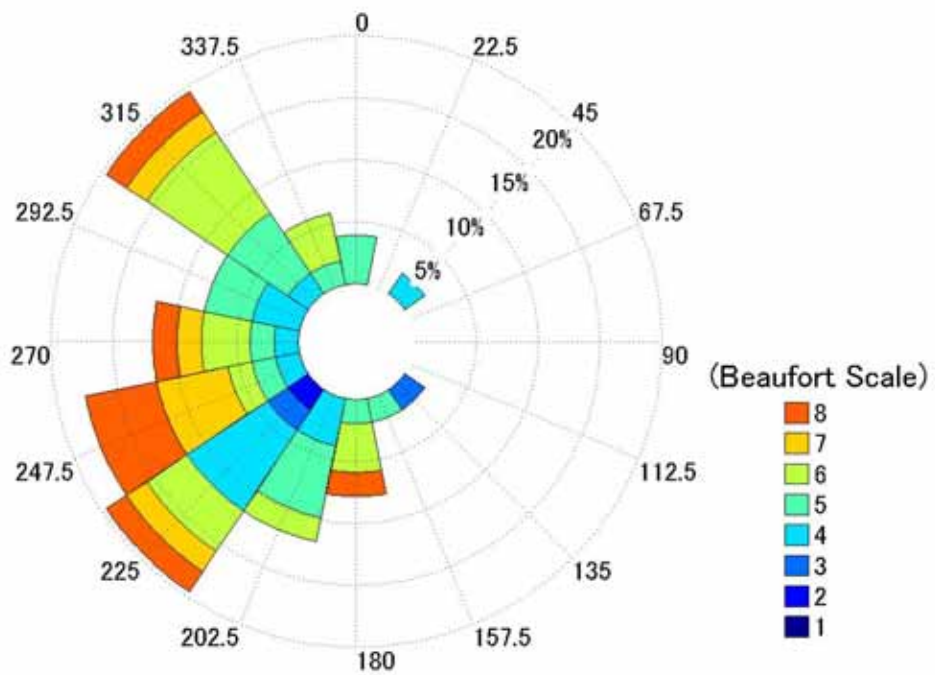
Wave Information Relative to Ship's Course



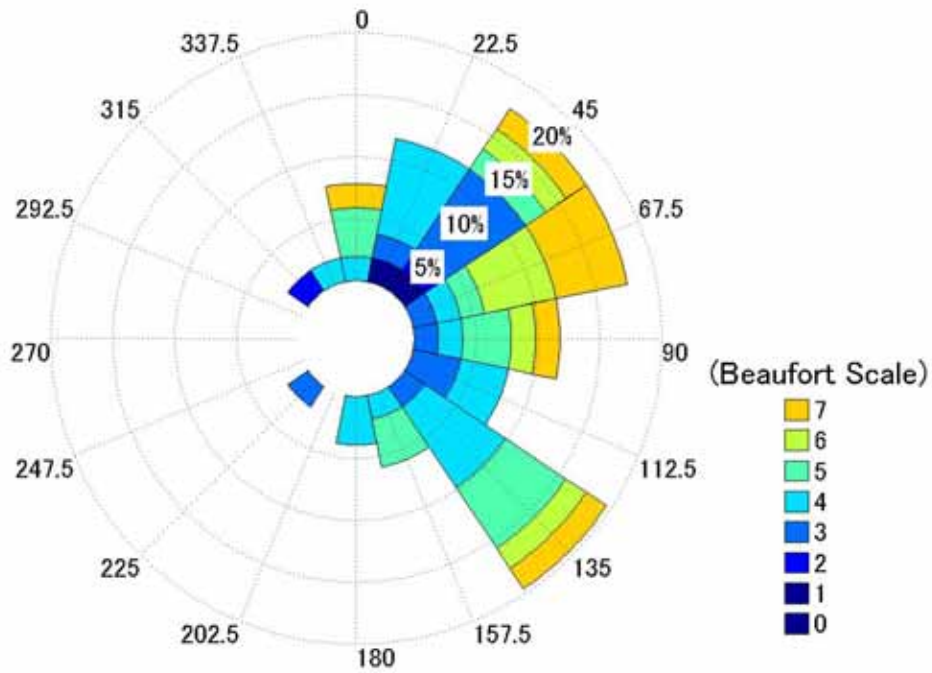
Swell Information Relative to Ship's Course



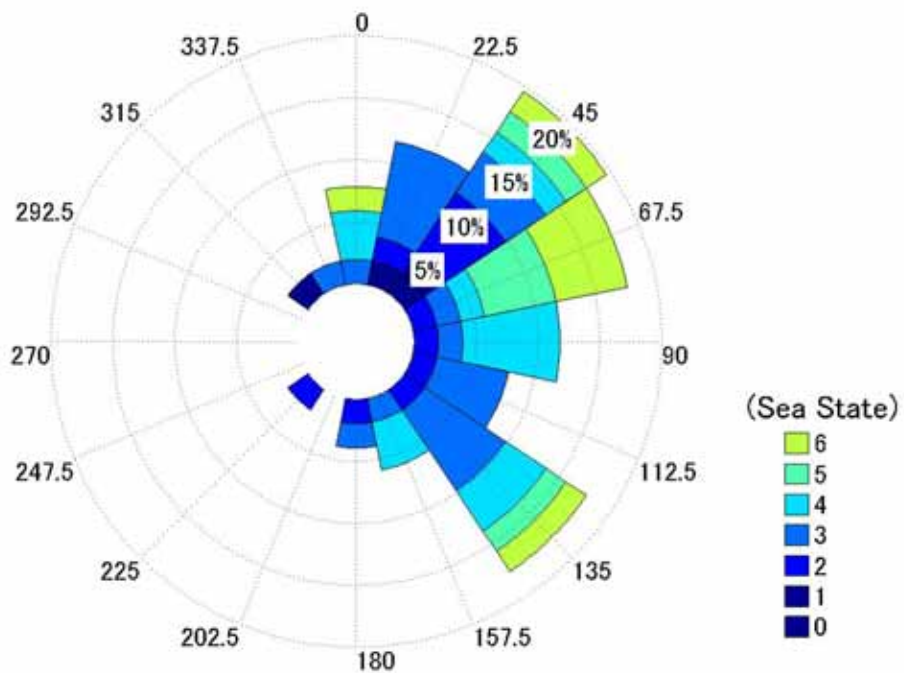
Wind Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



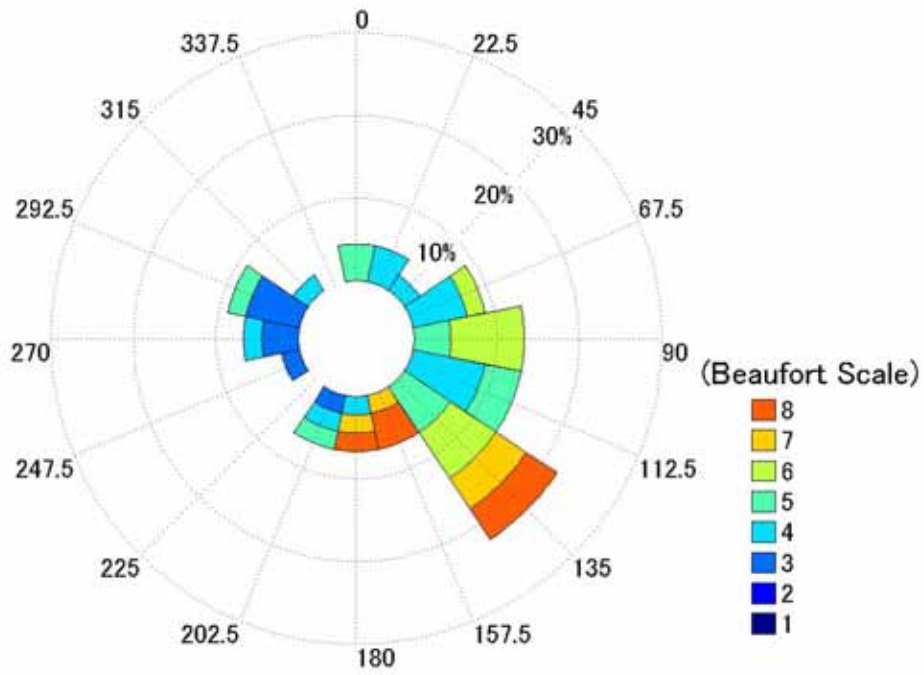
Wave Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



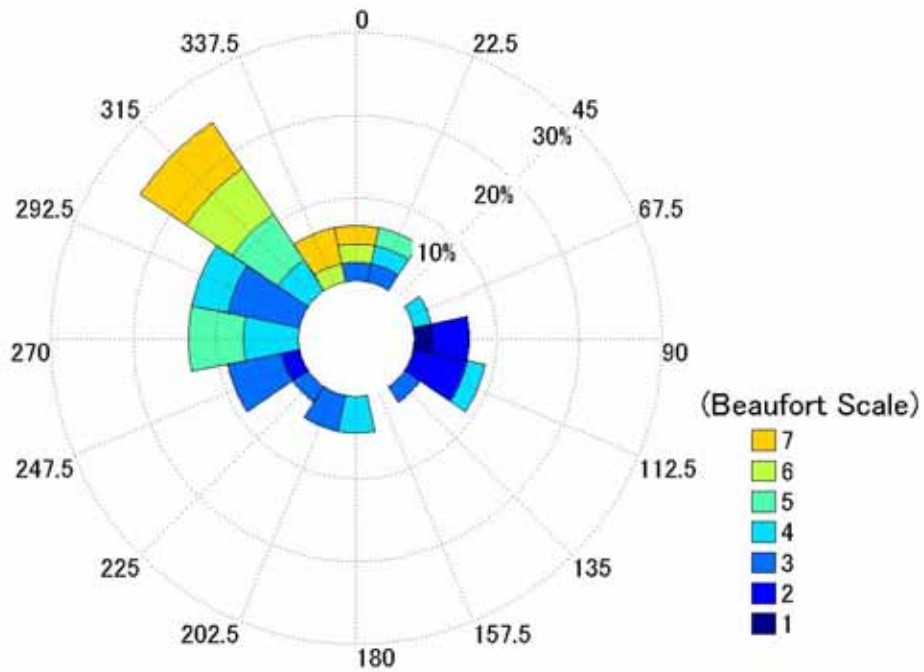
Swell Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



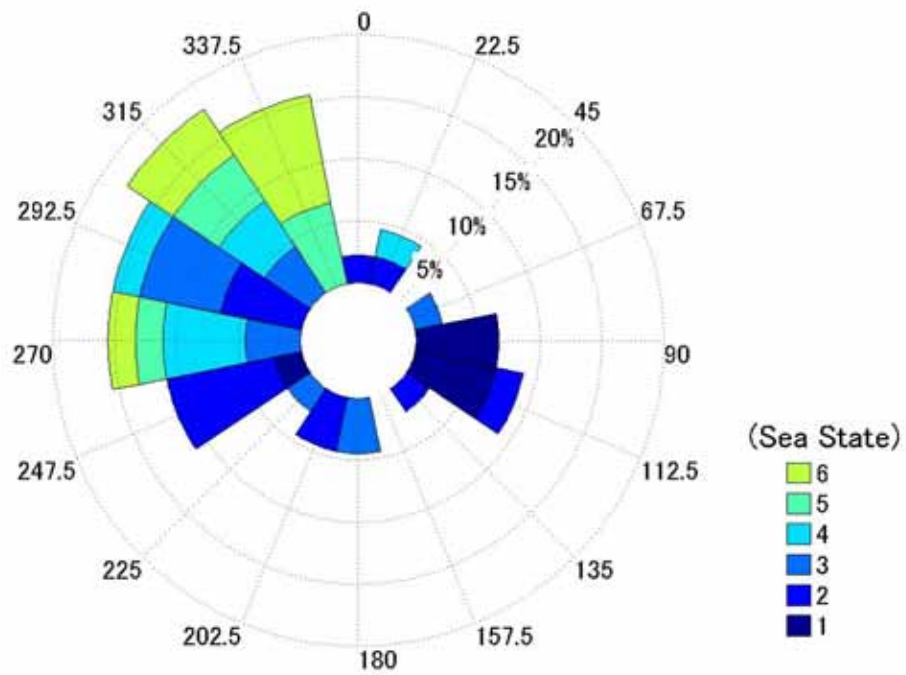
Wind Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai



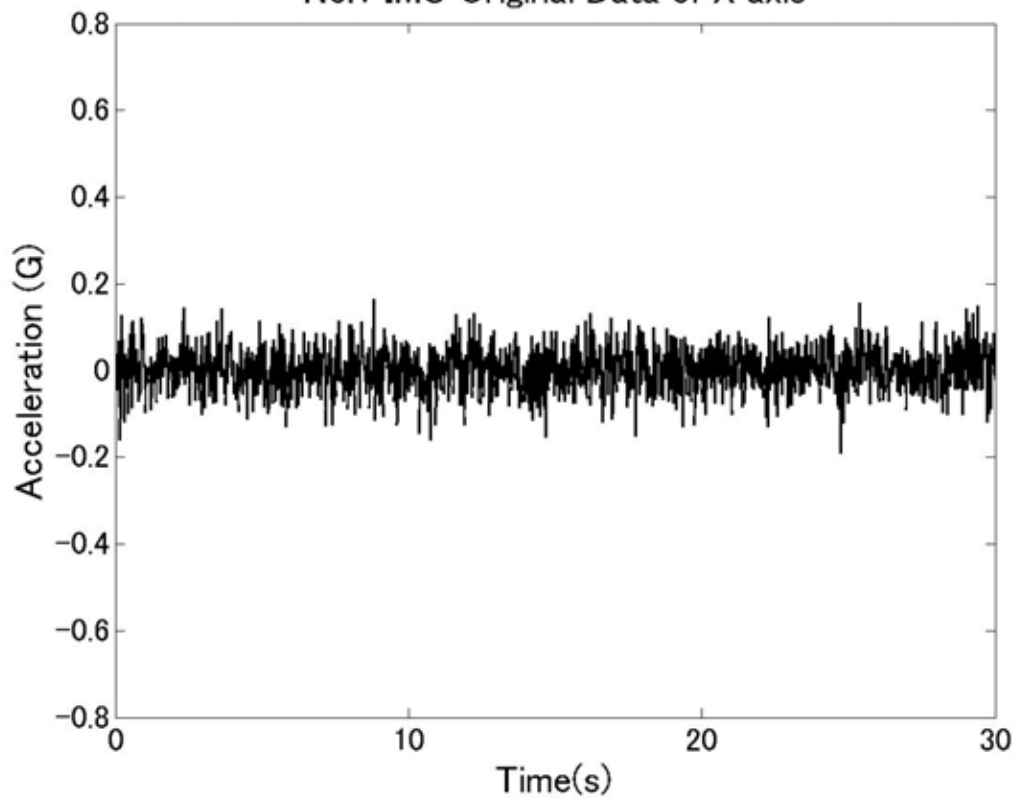
Wave Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai

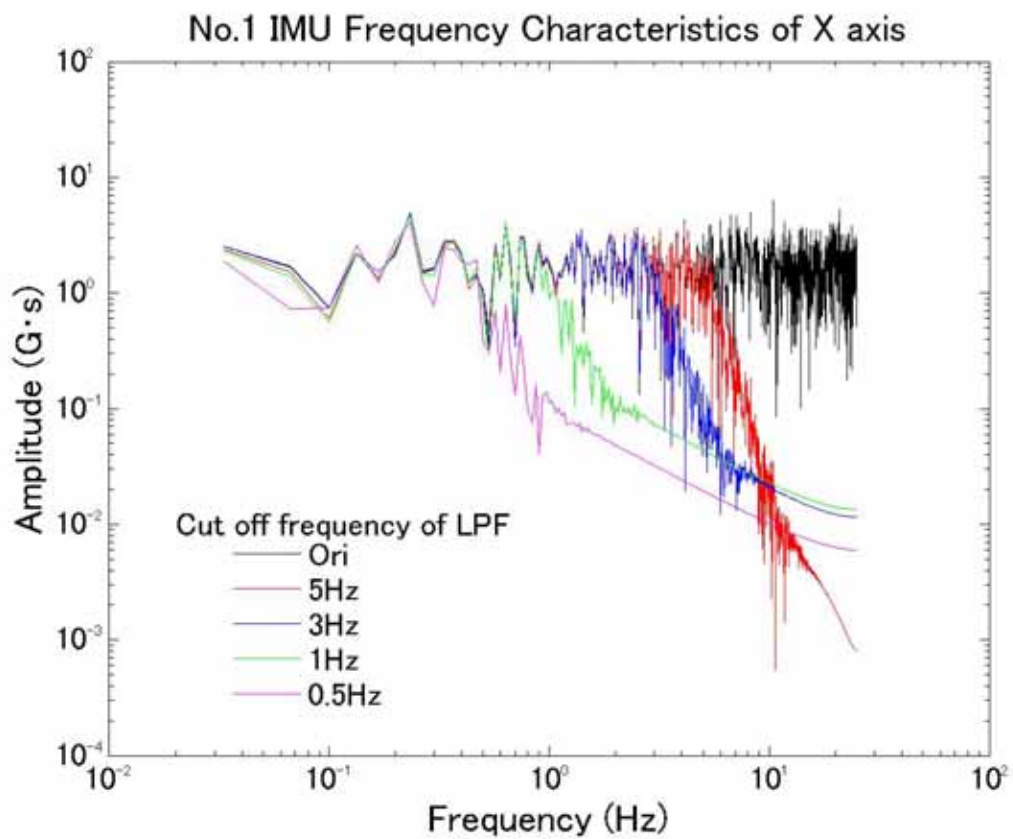
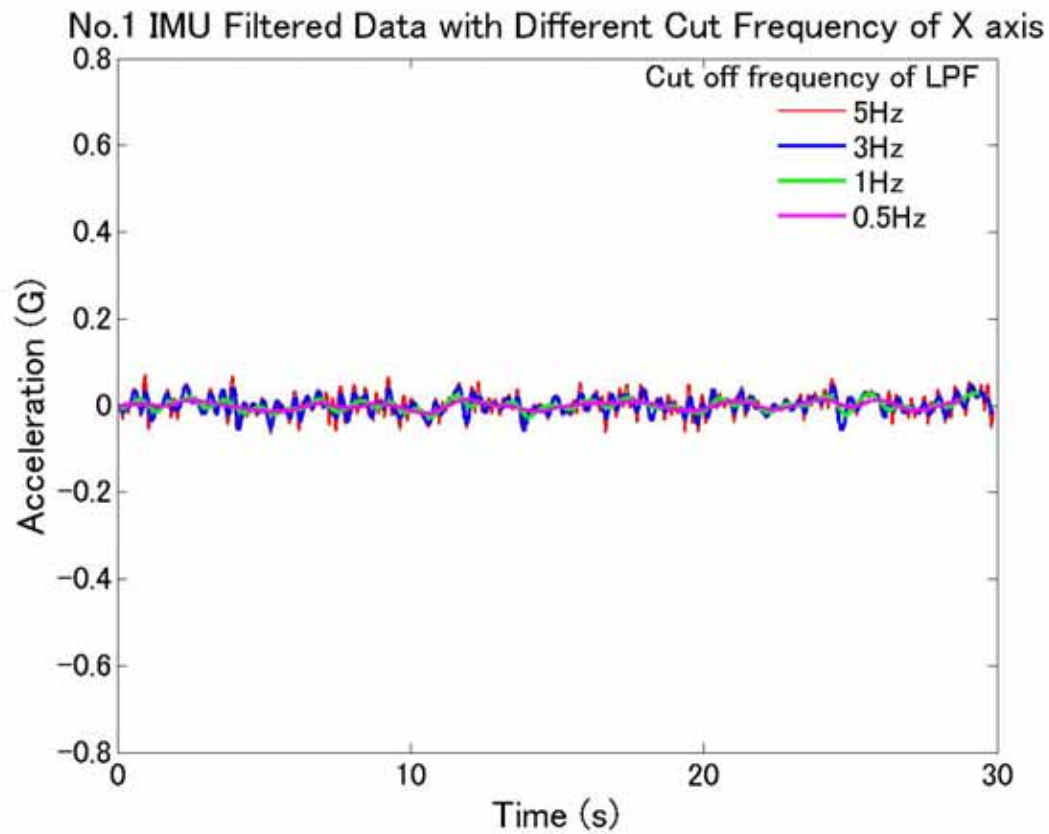


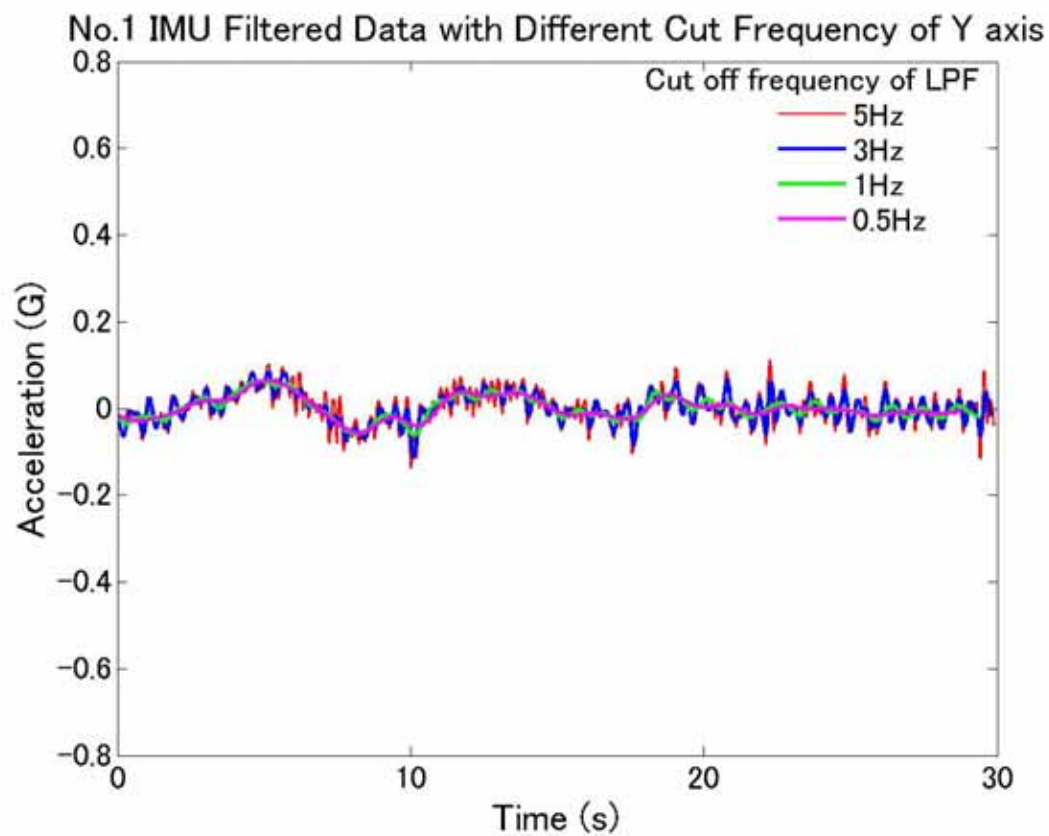
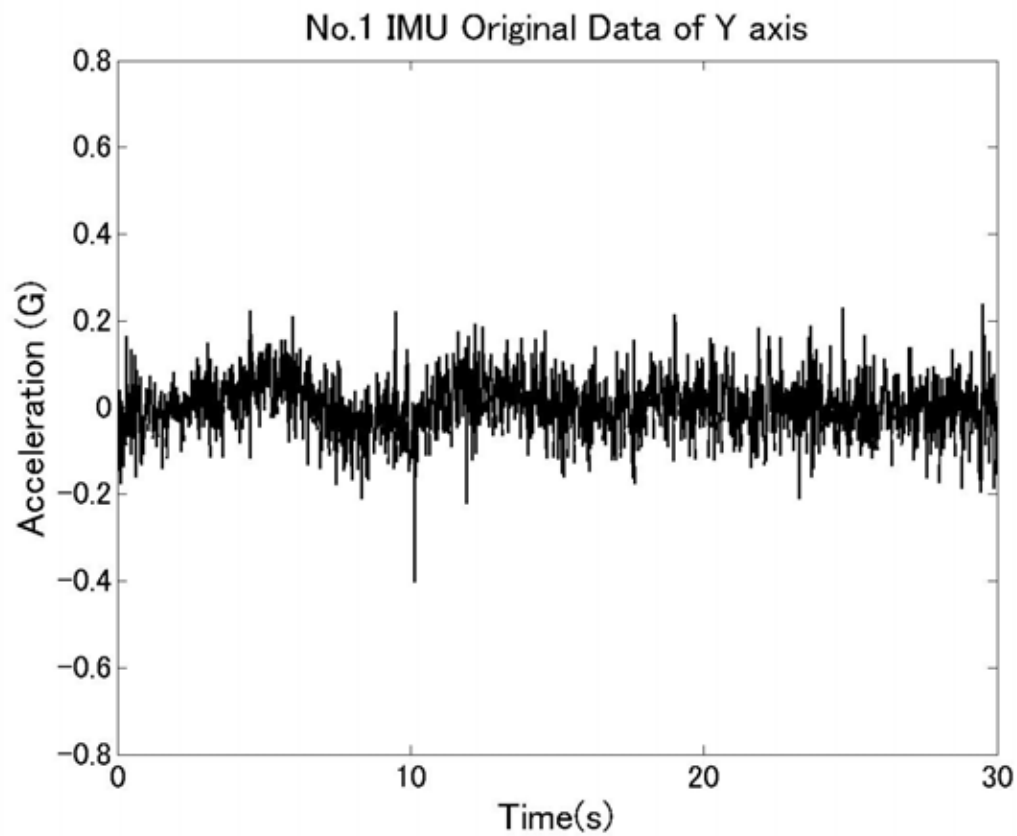
Swell Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai

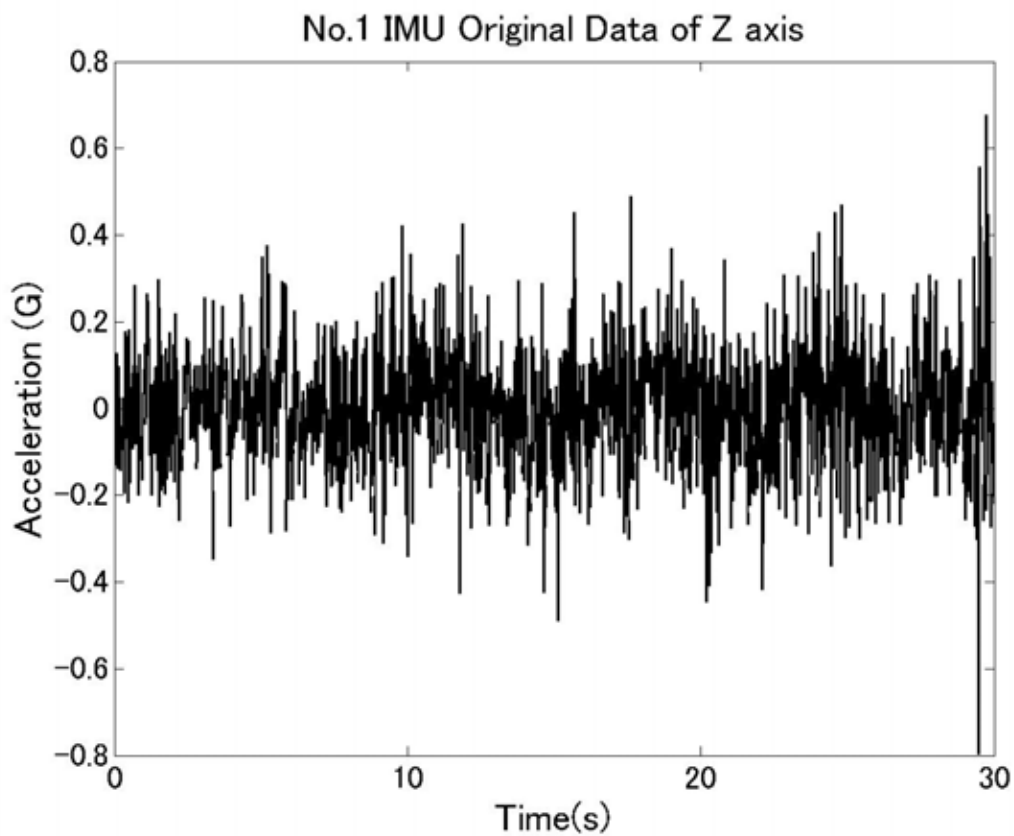
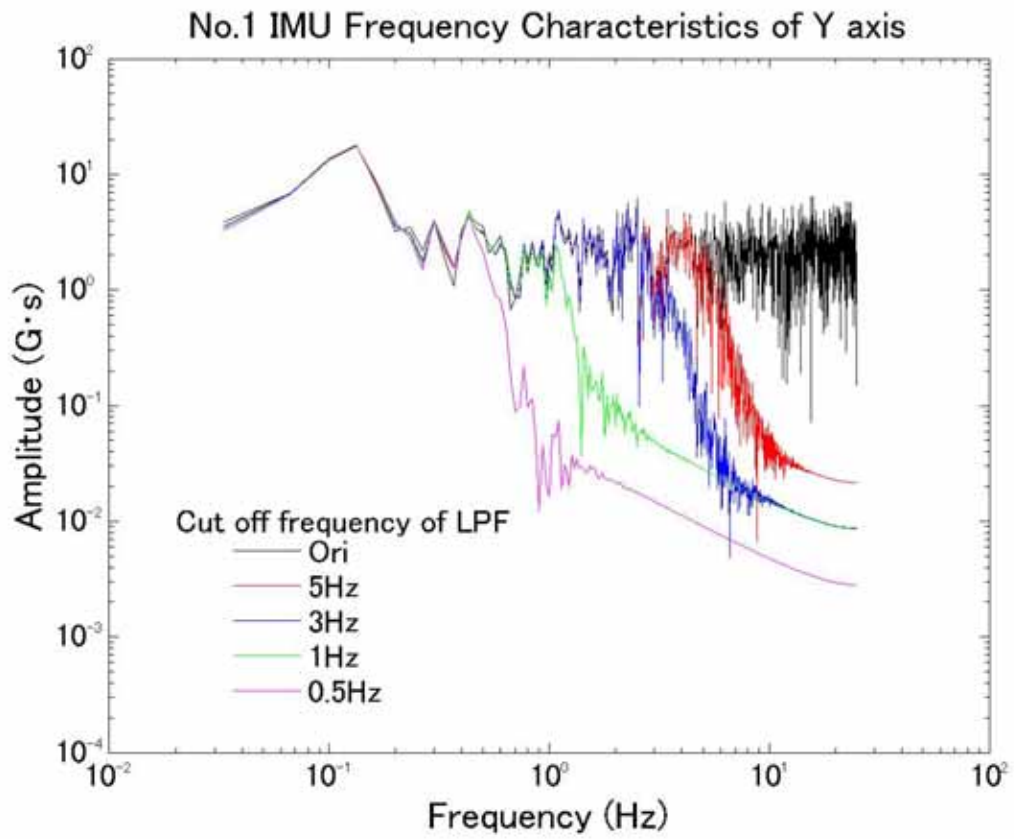


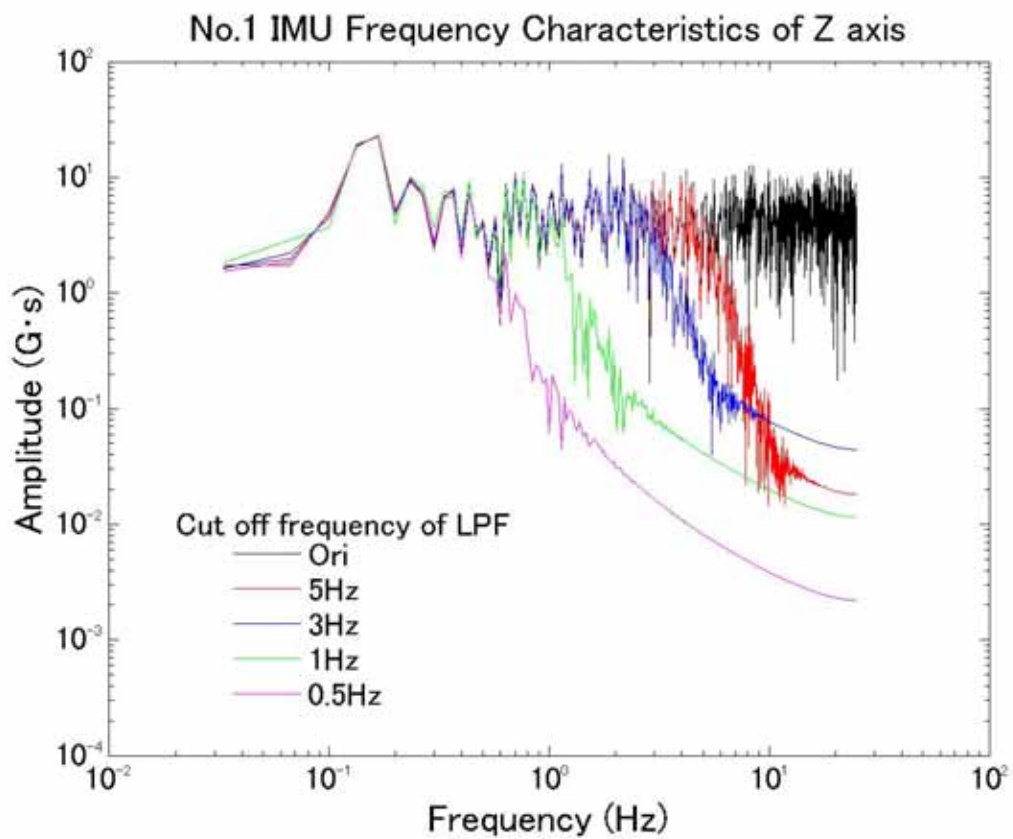
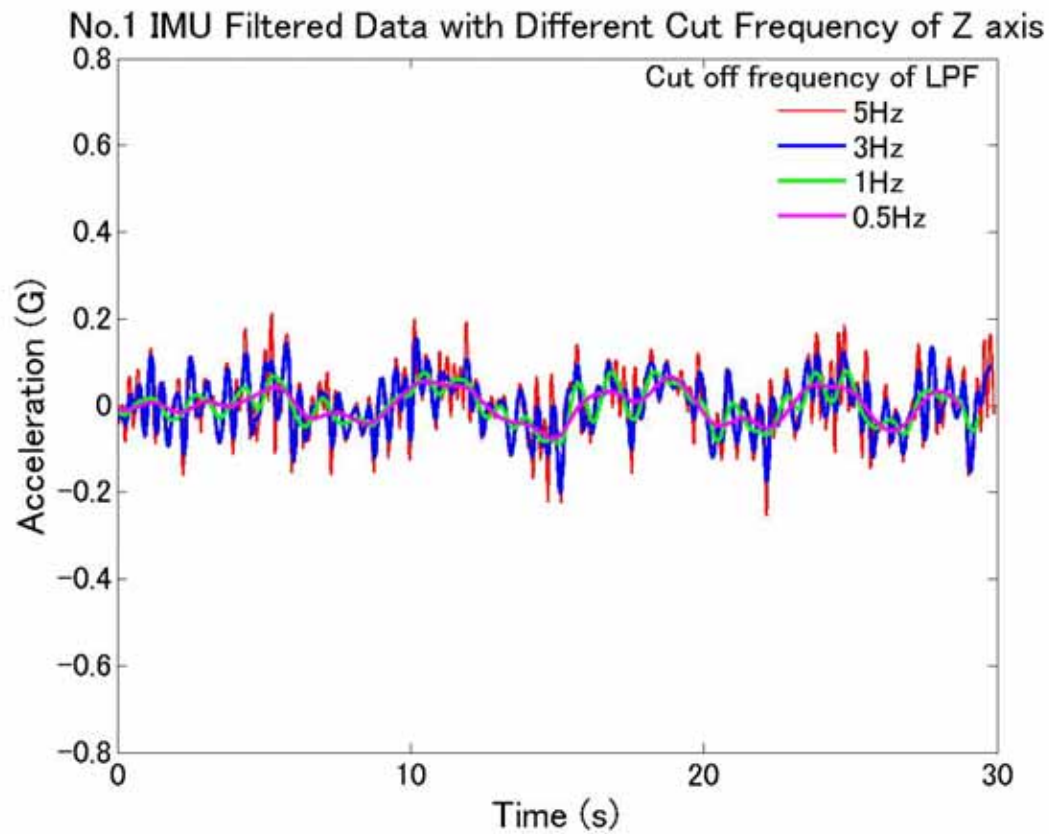
No.1 IMU Original Data of X axis

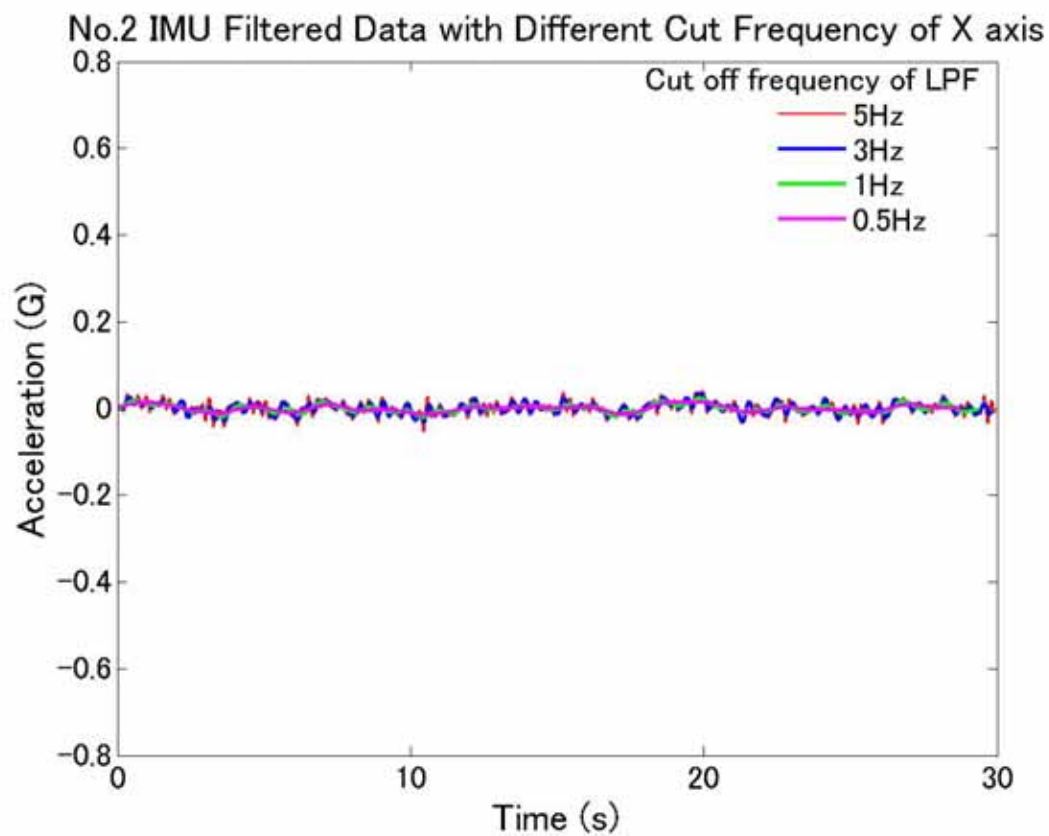
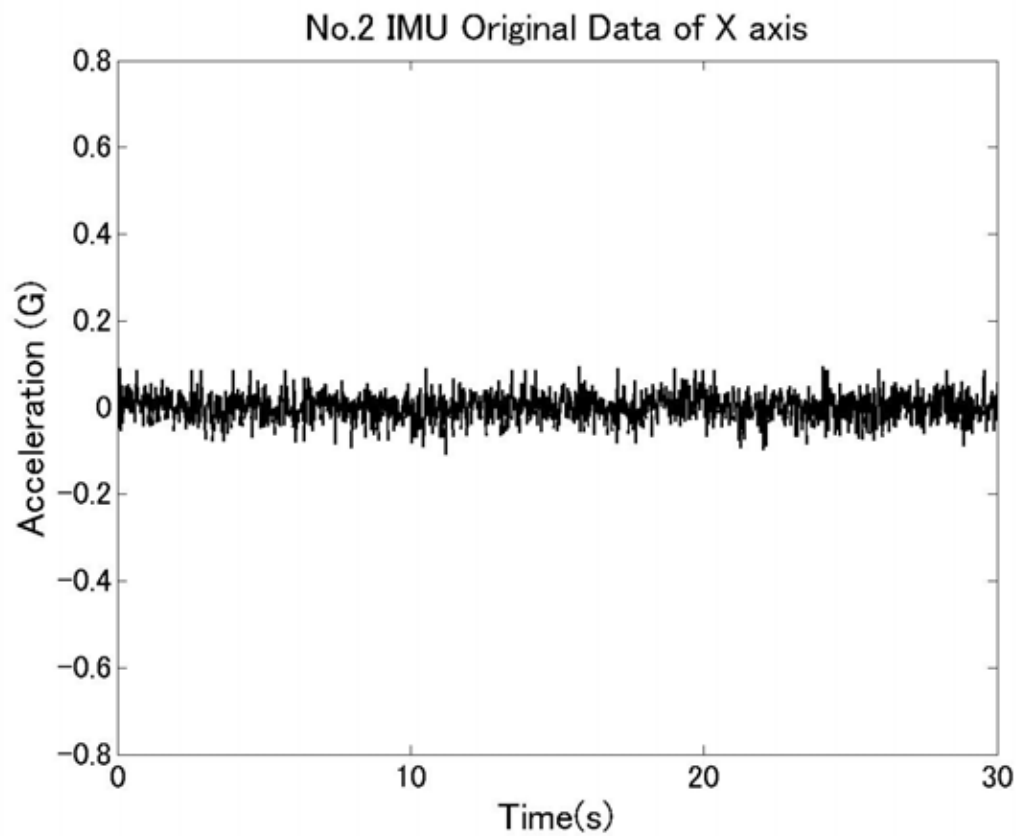


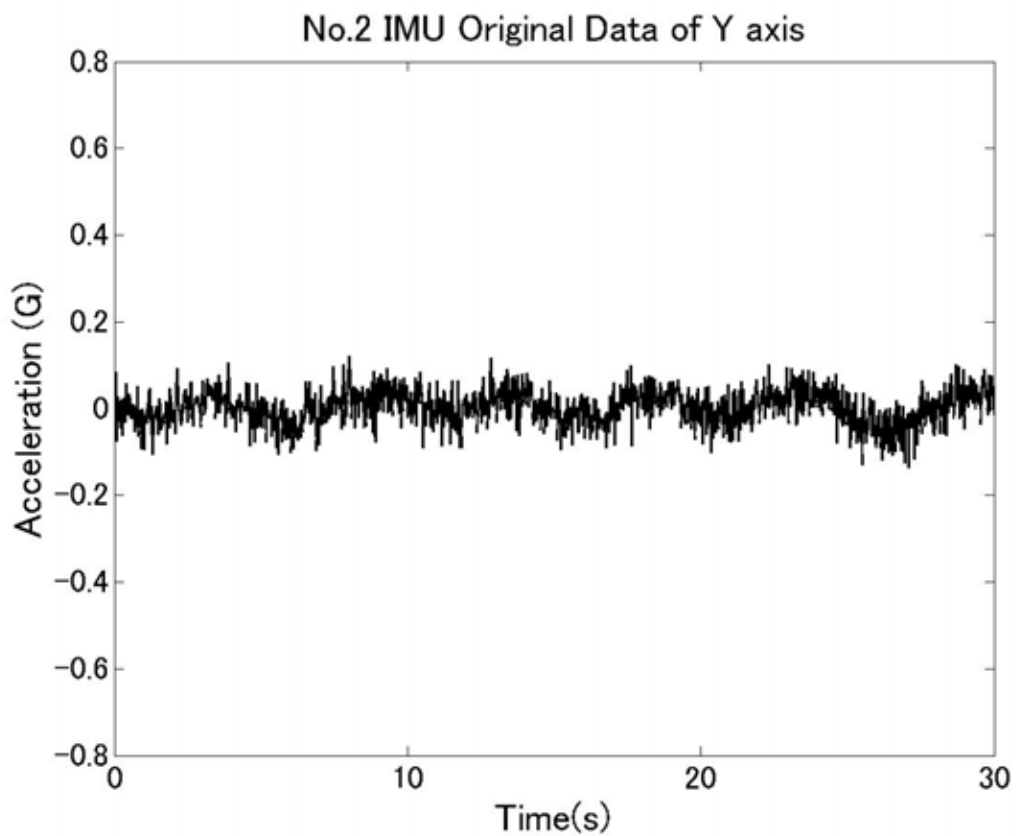
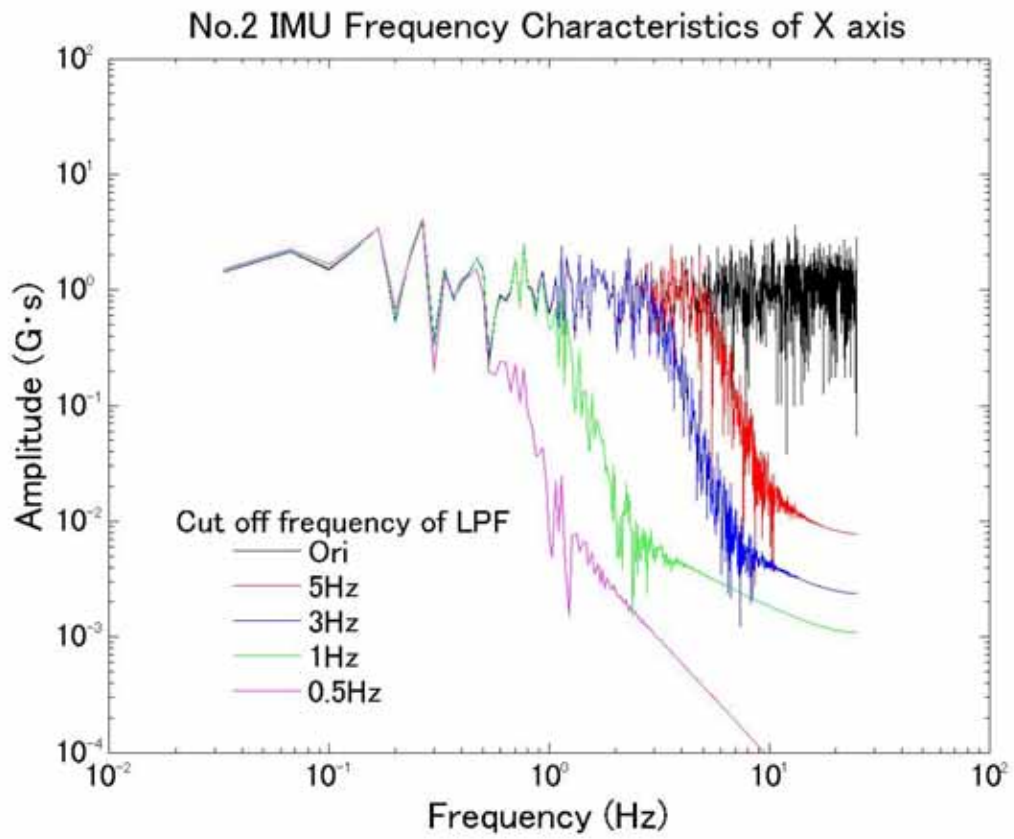


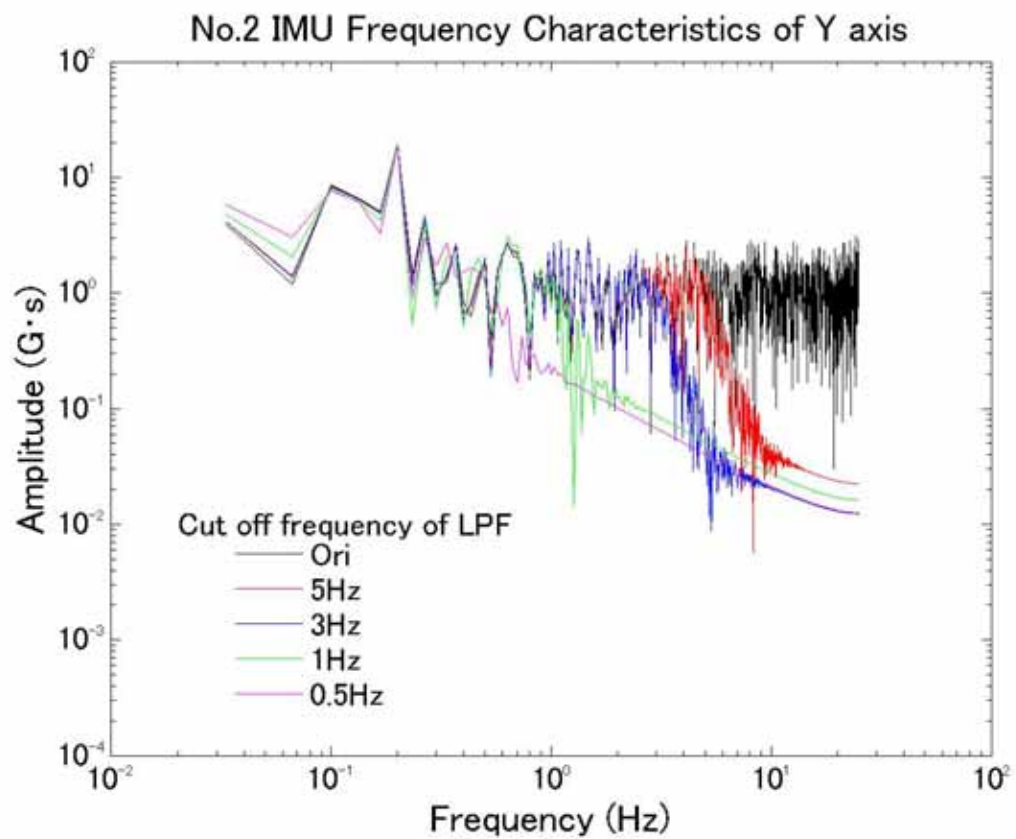
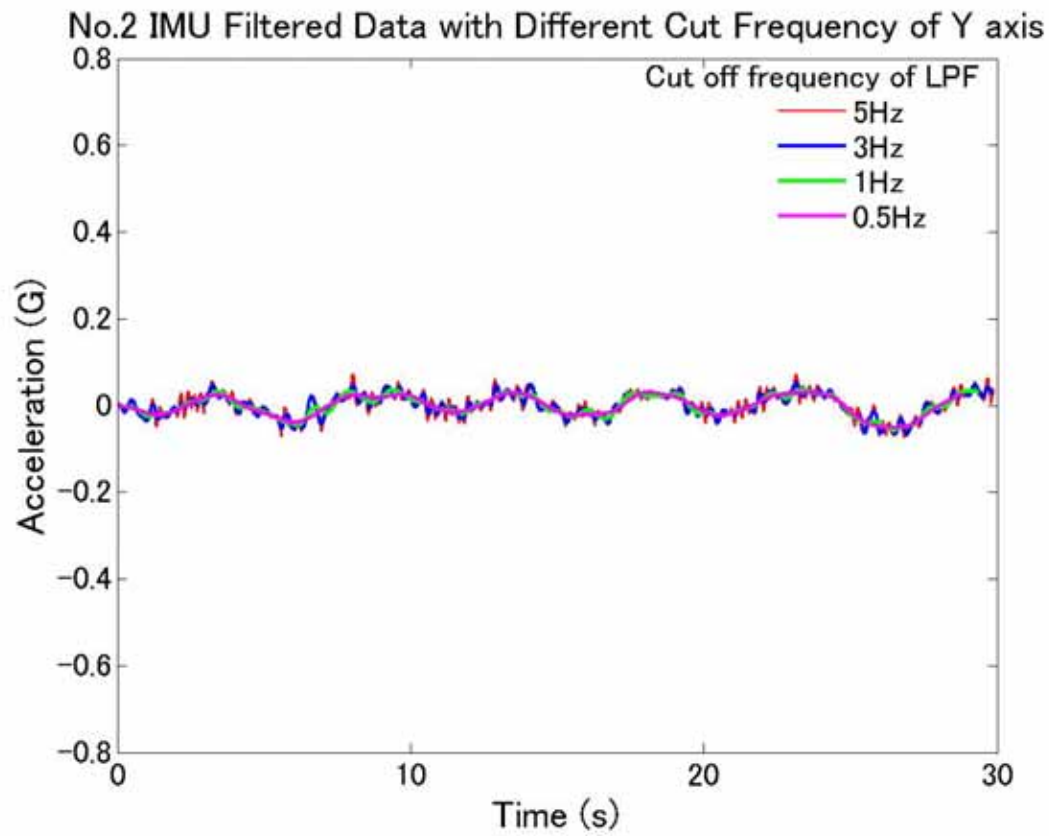


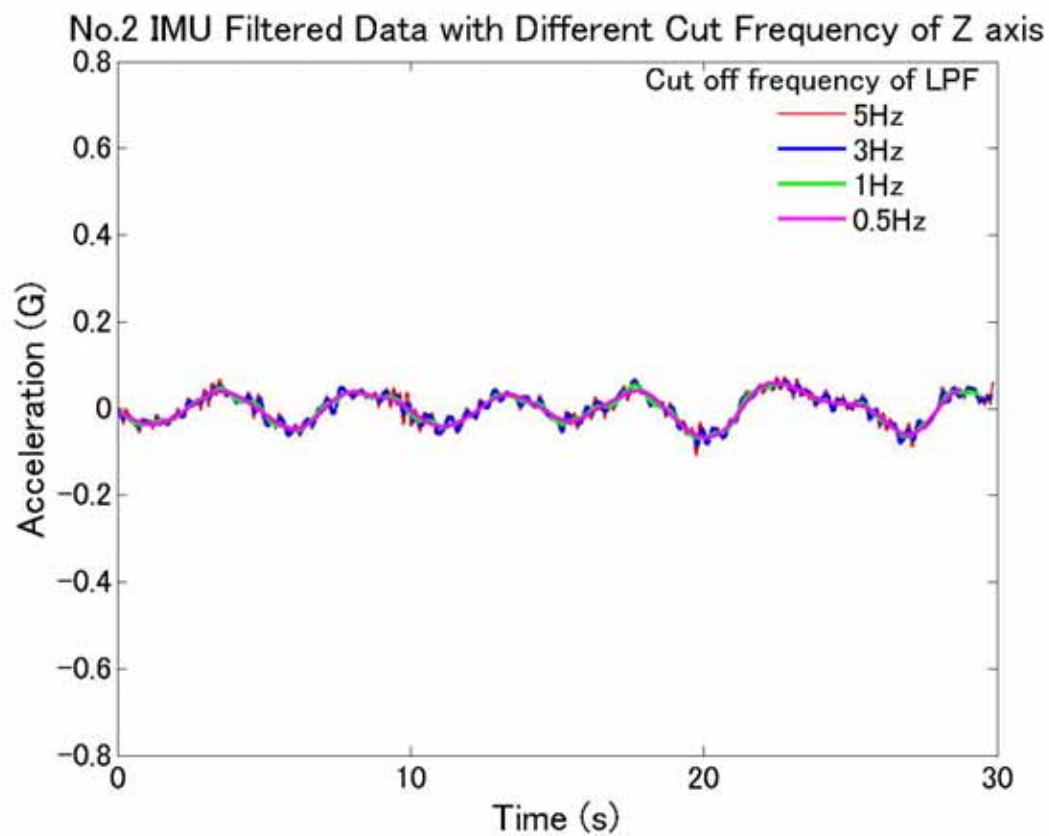
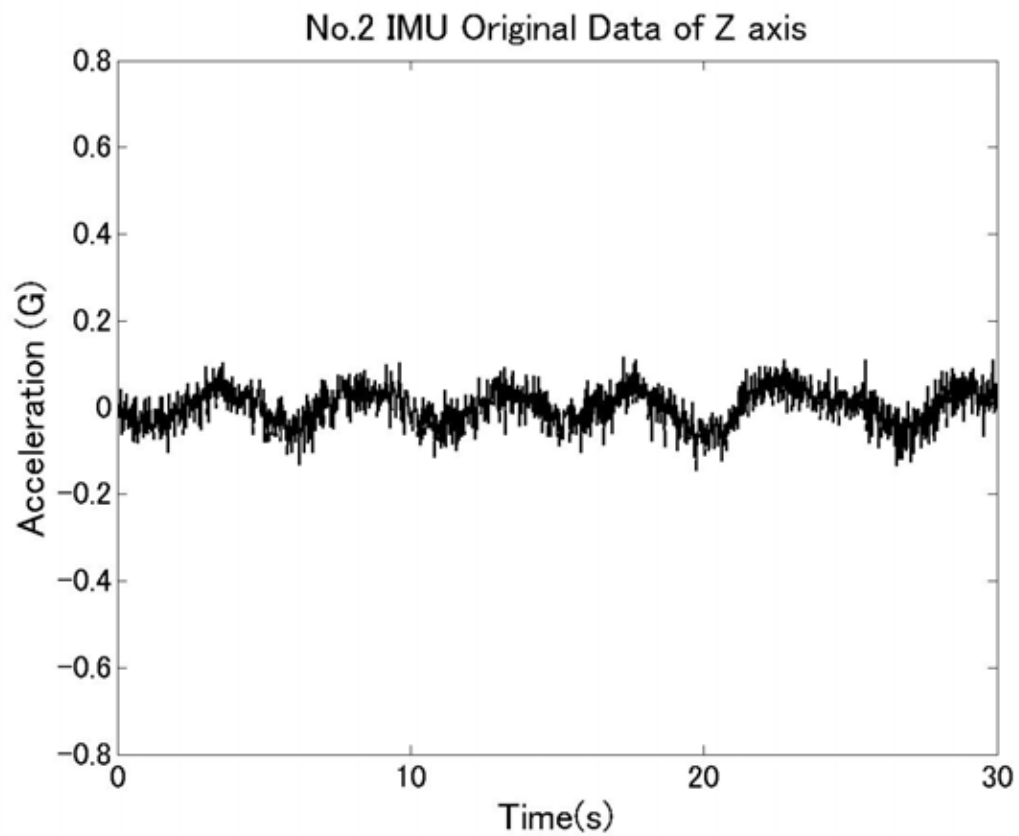


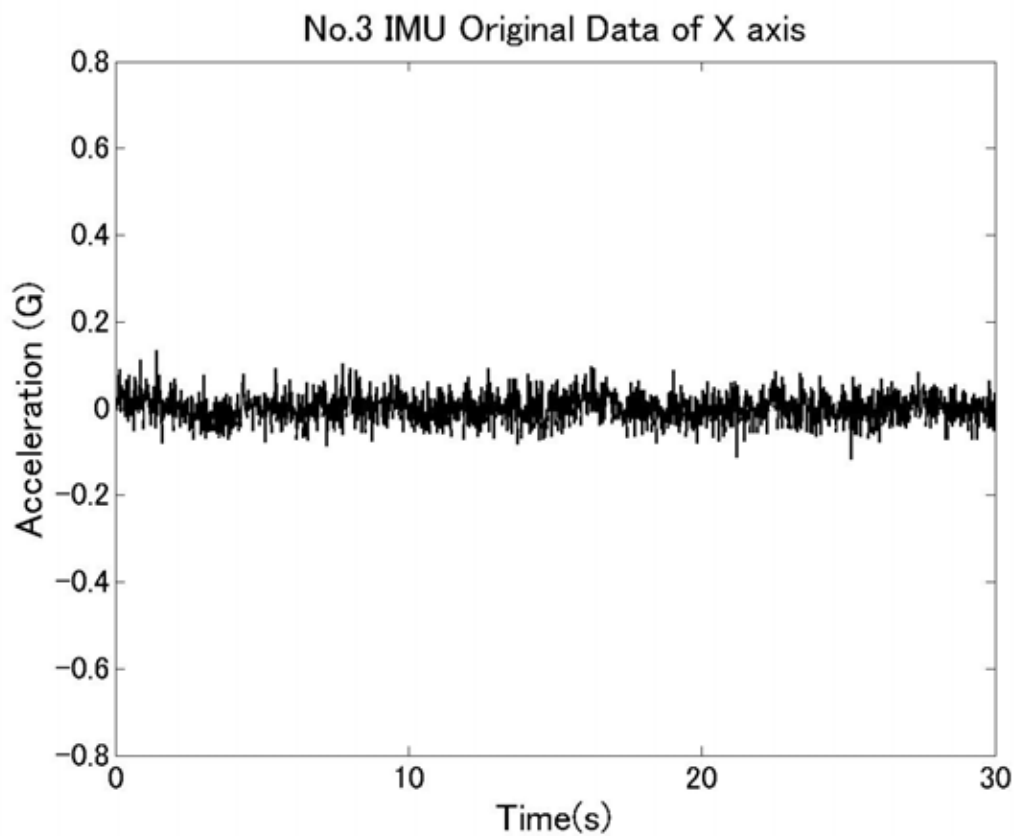
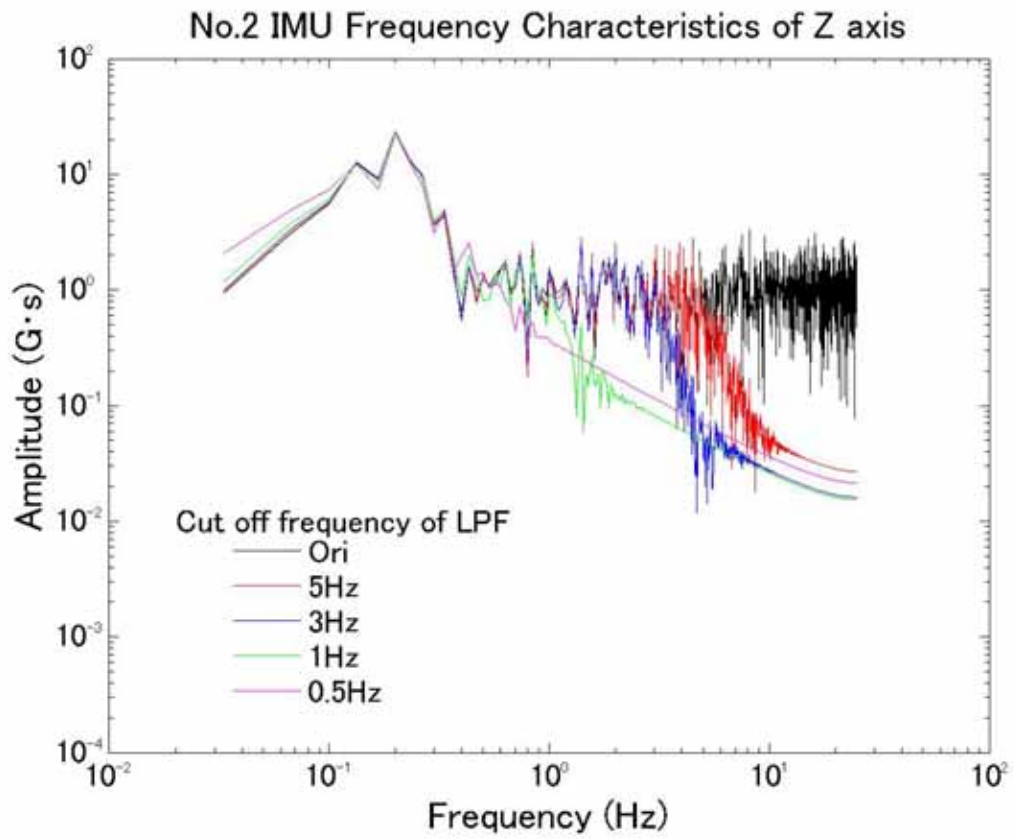




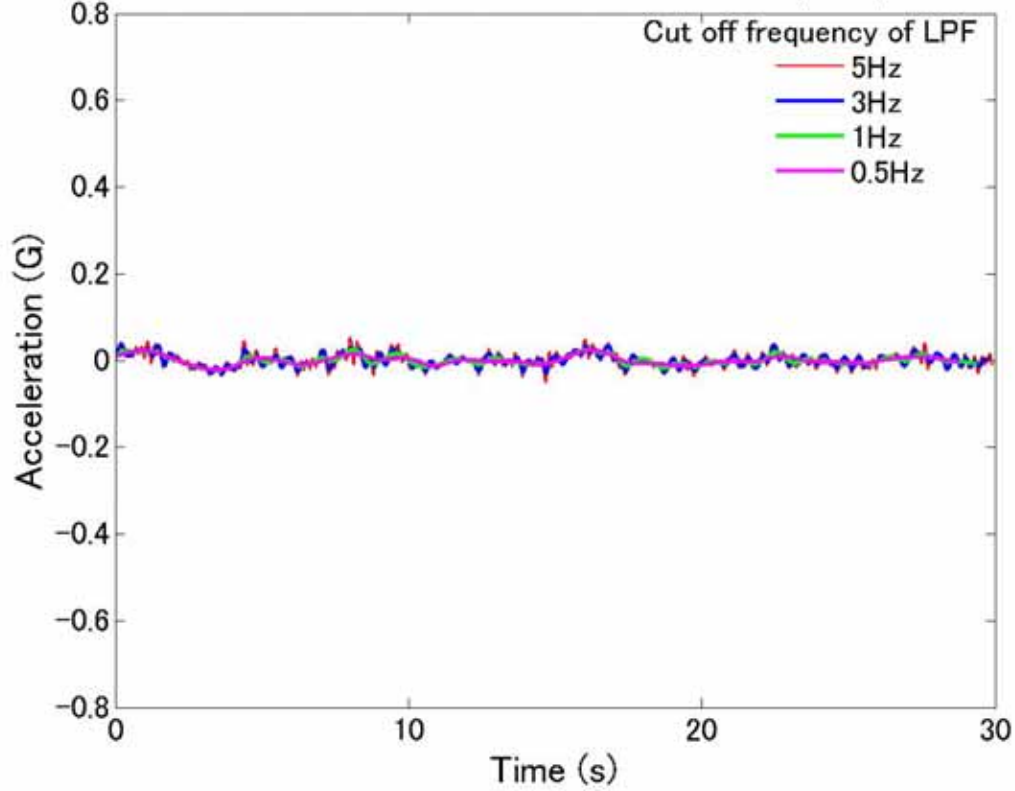




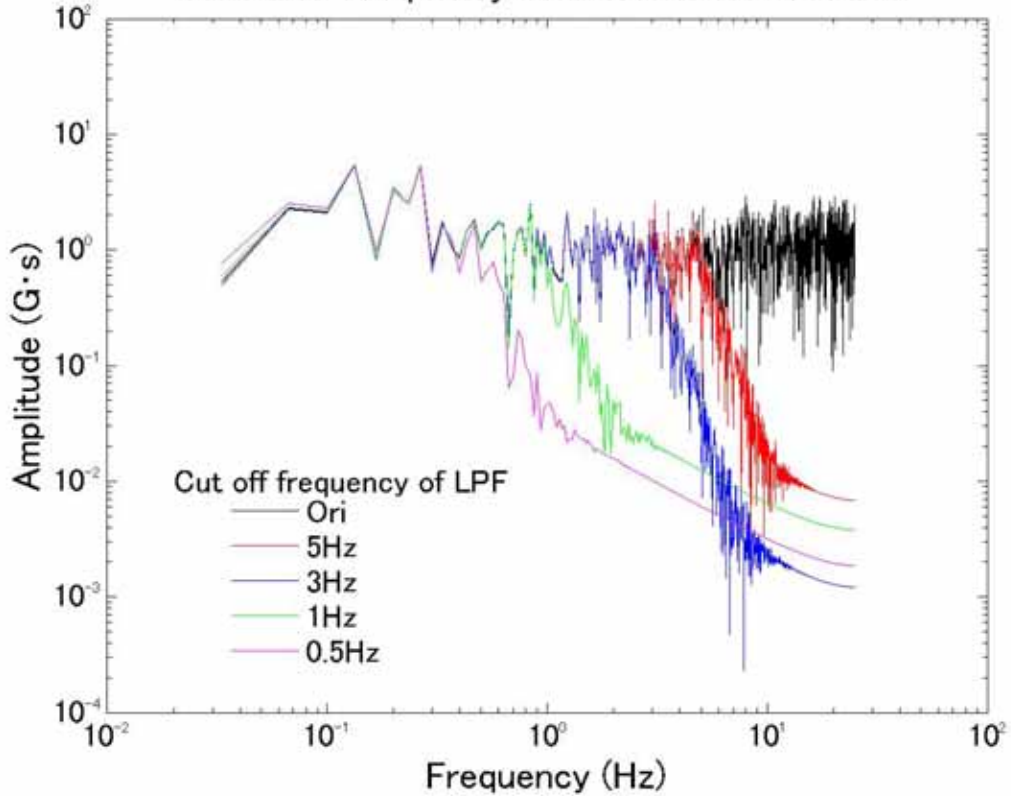


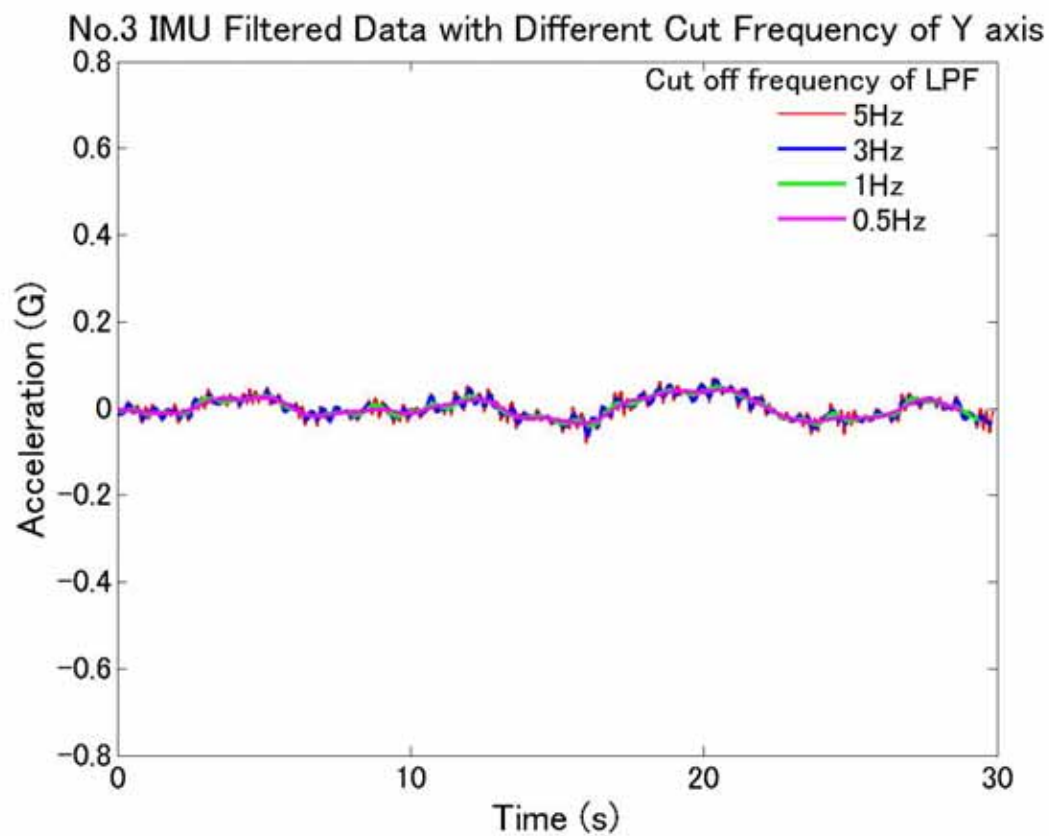
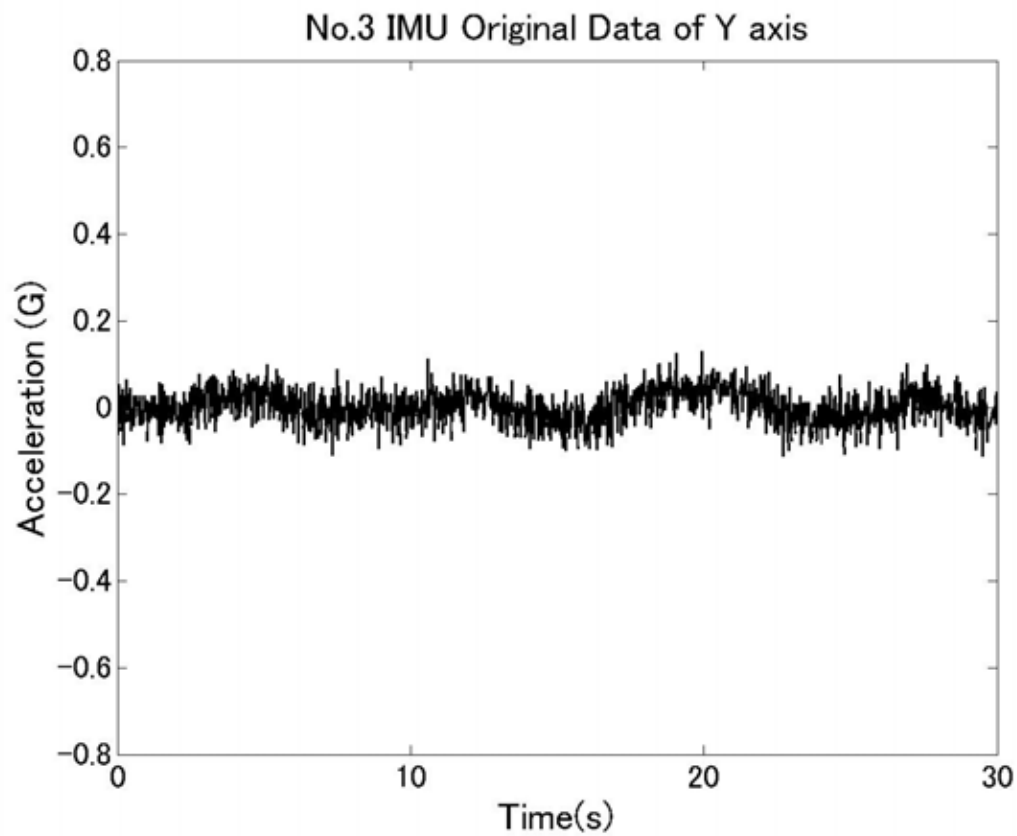


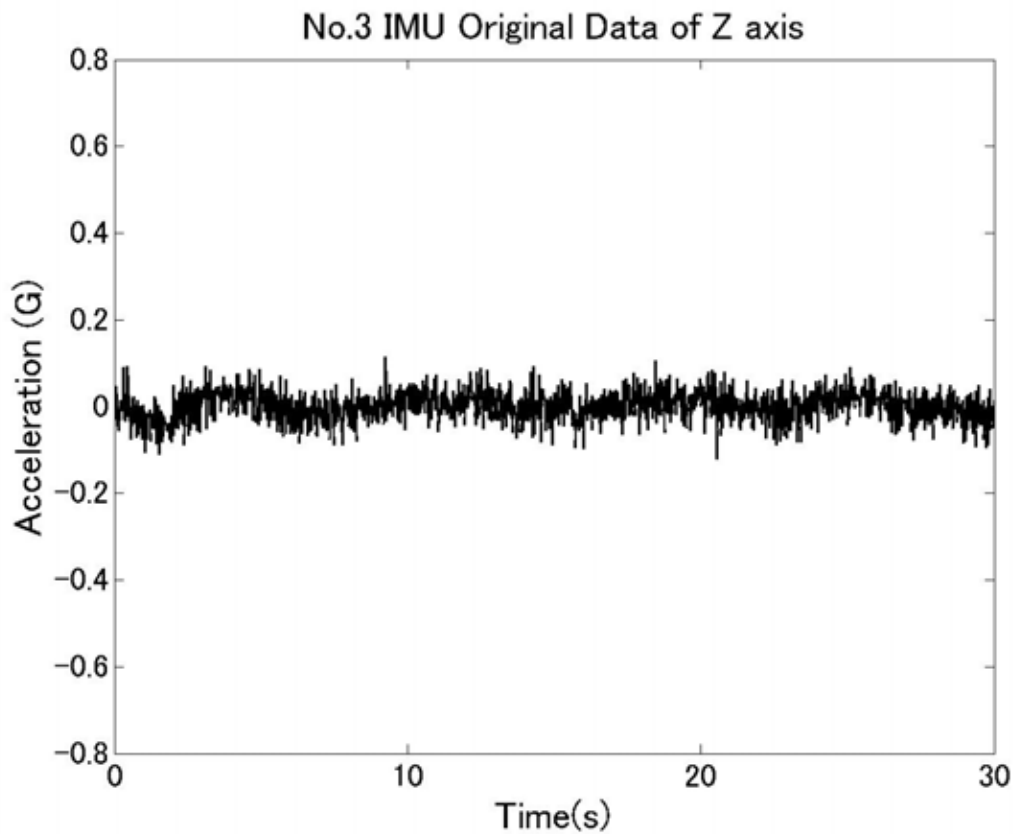
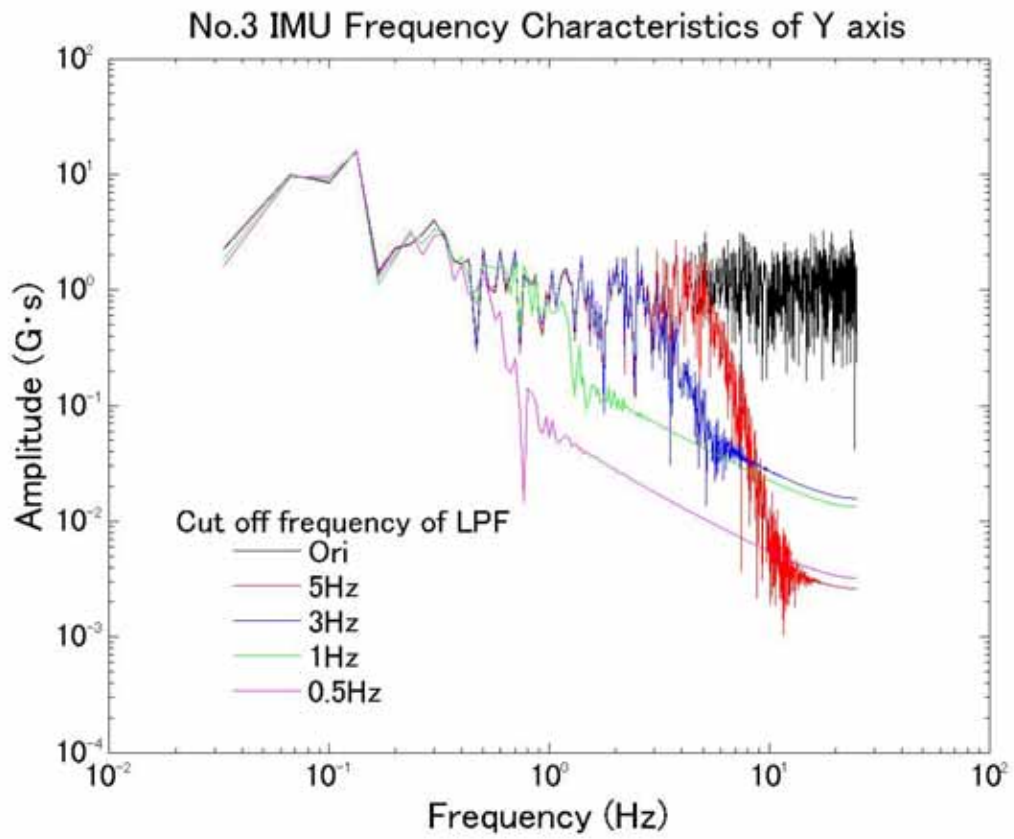
No.3 IMU Filtered Data with Different Cut Frequency of X axis

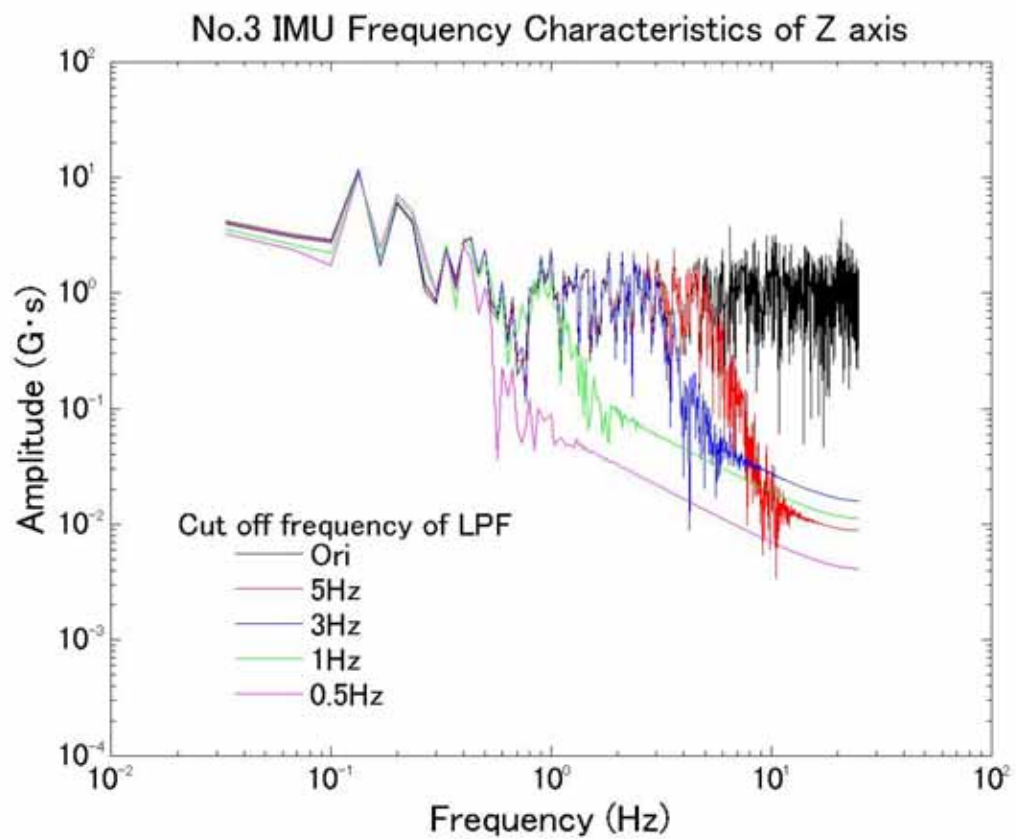
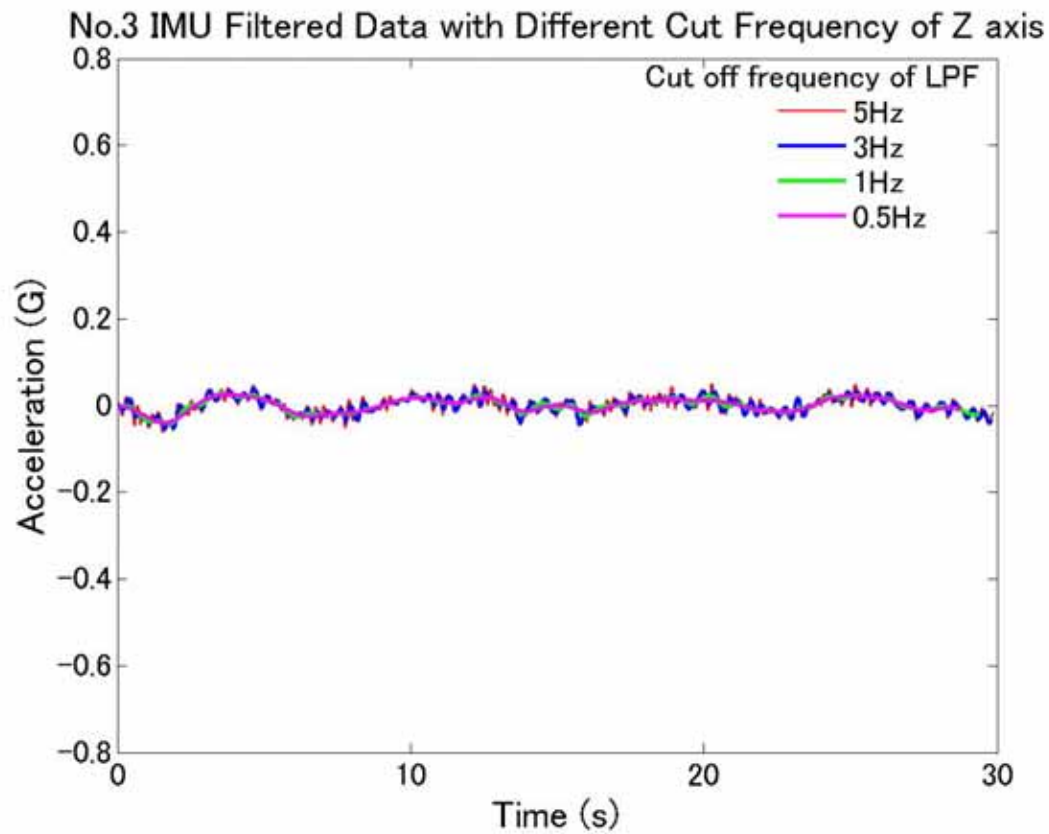


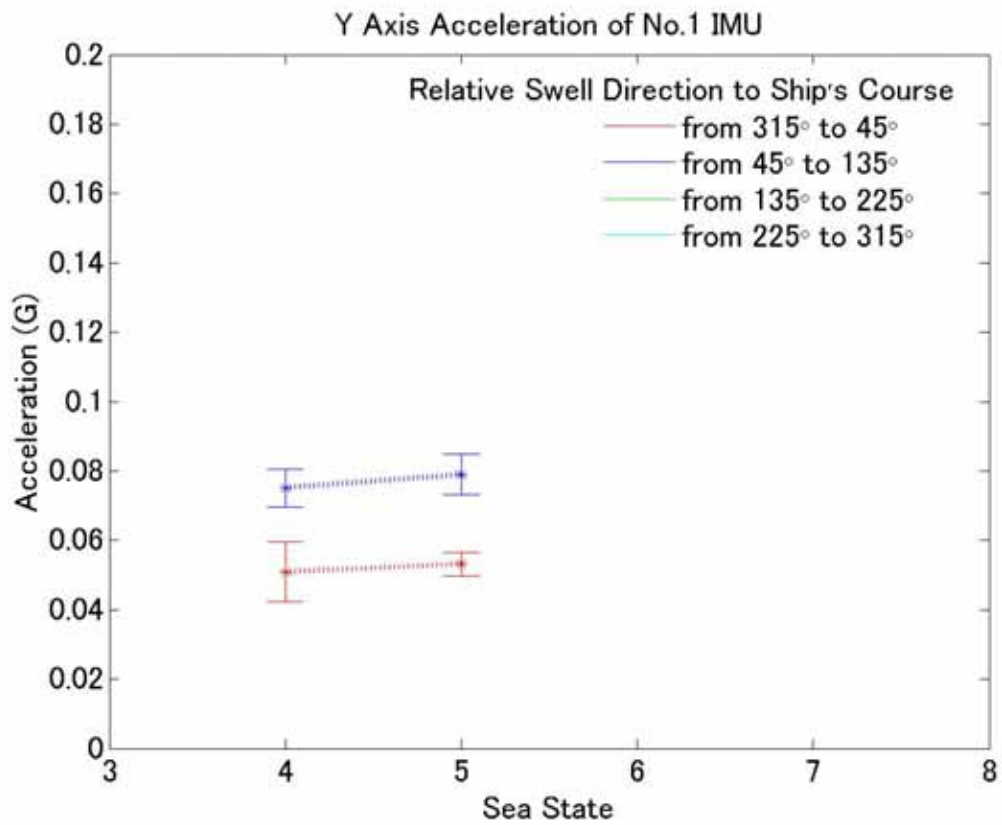
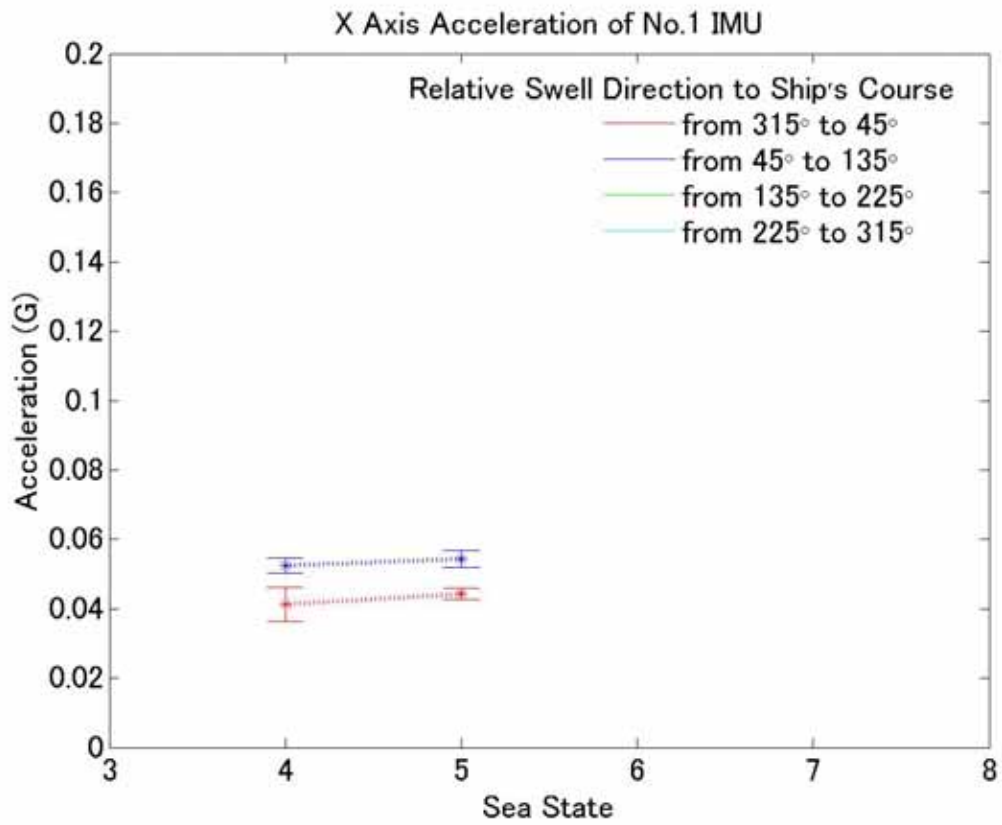
No.3 IMU Frequency Characteristics of X axis

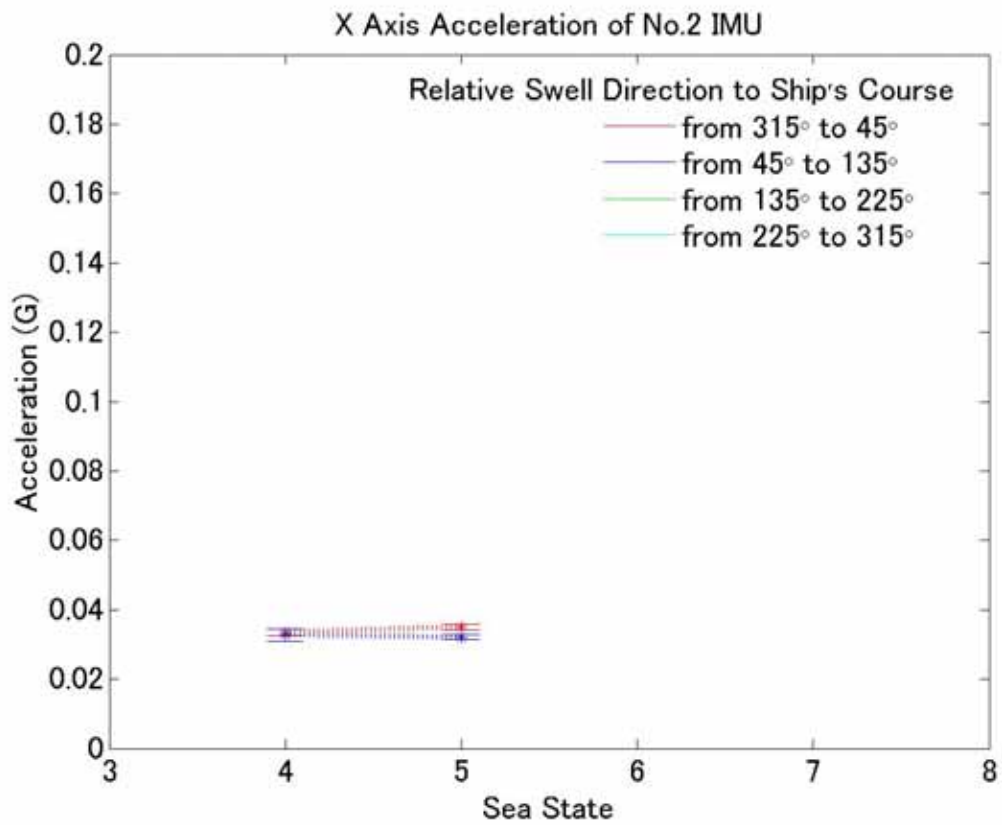
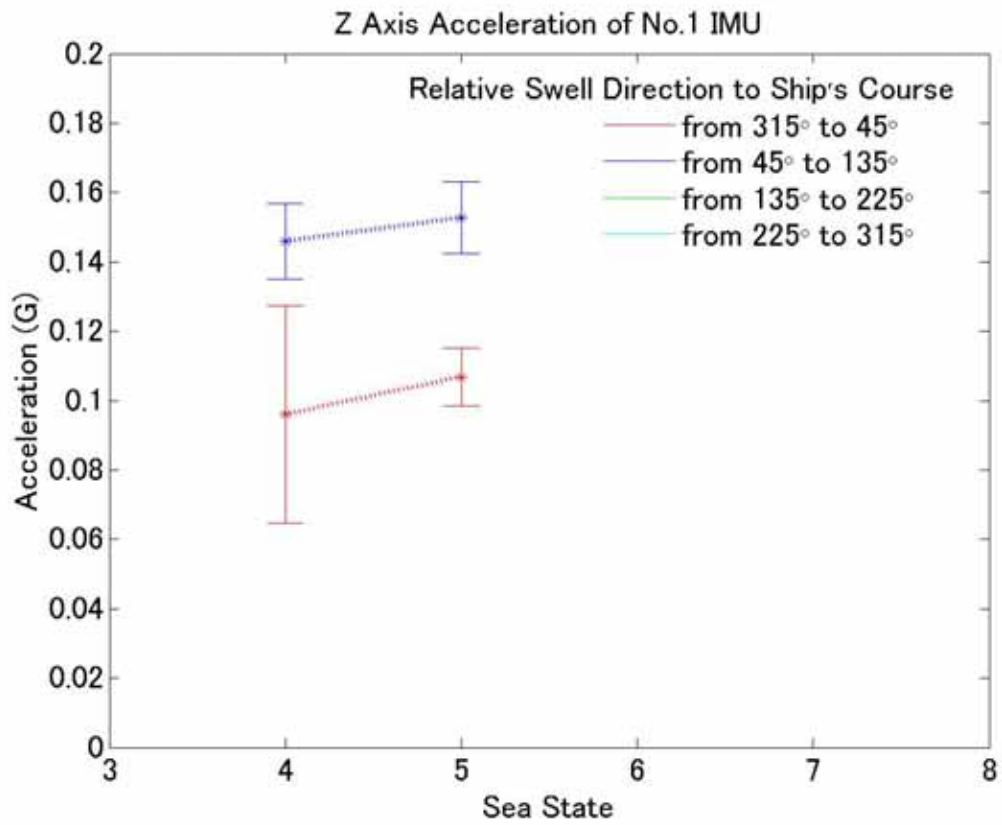


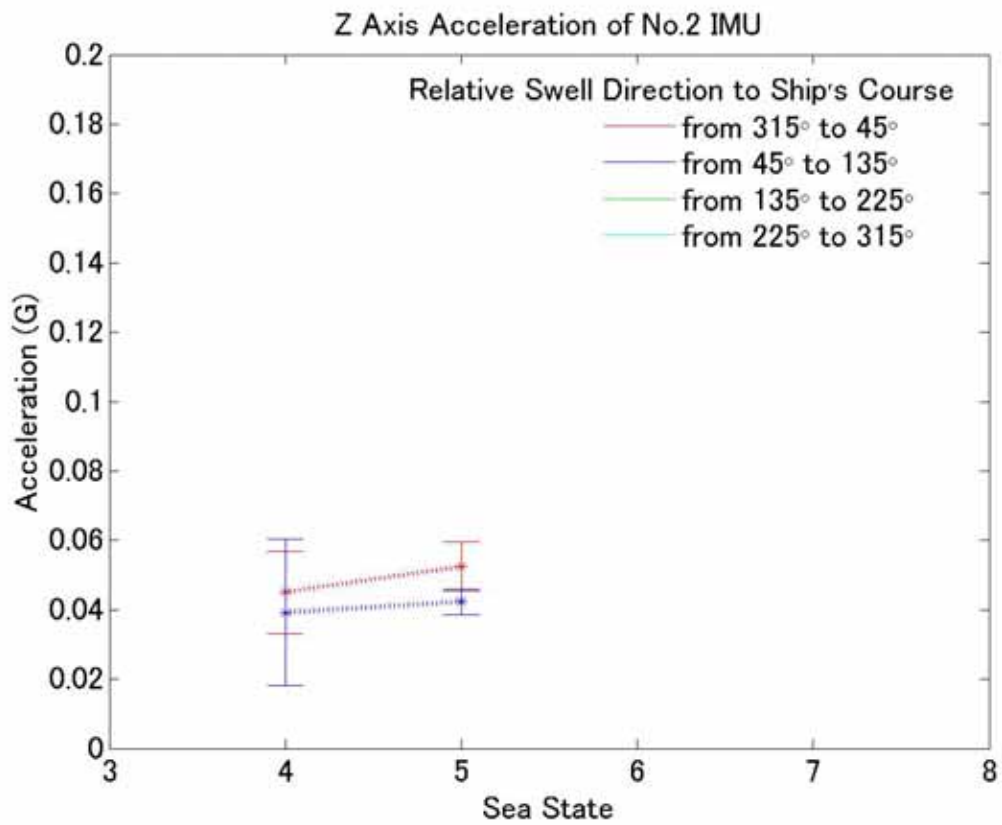
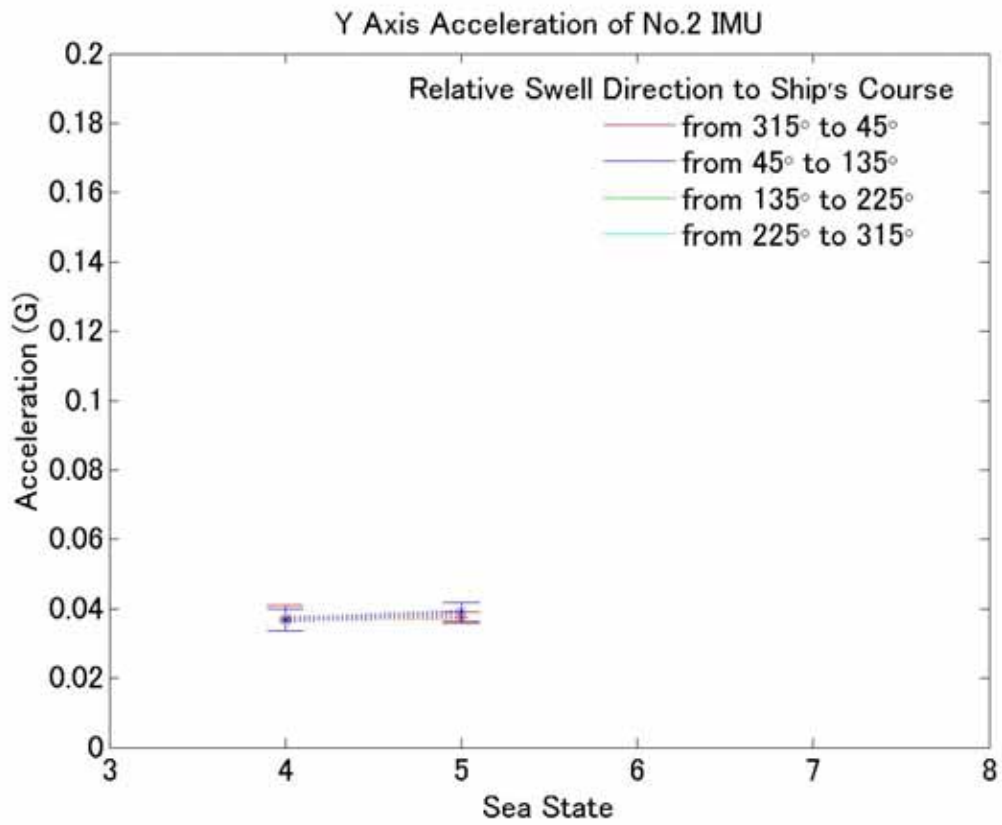


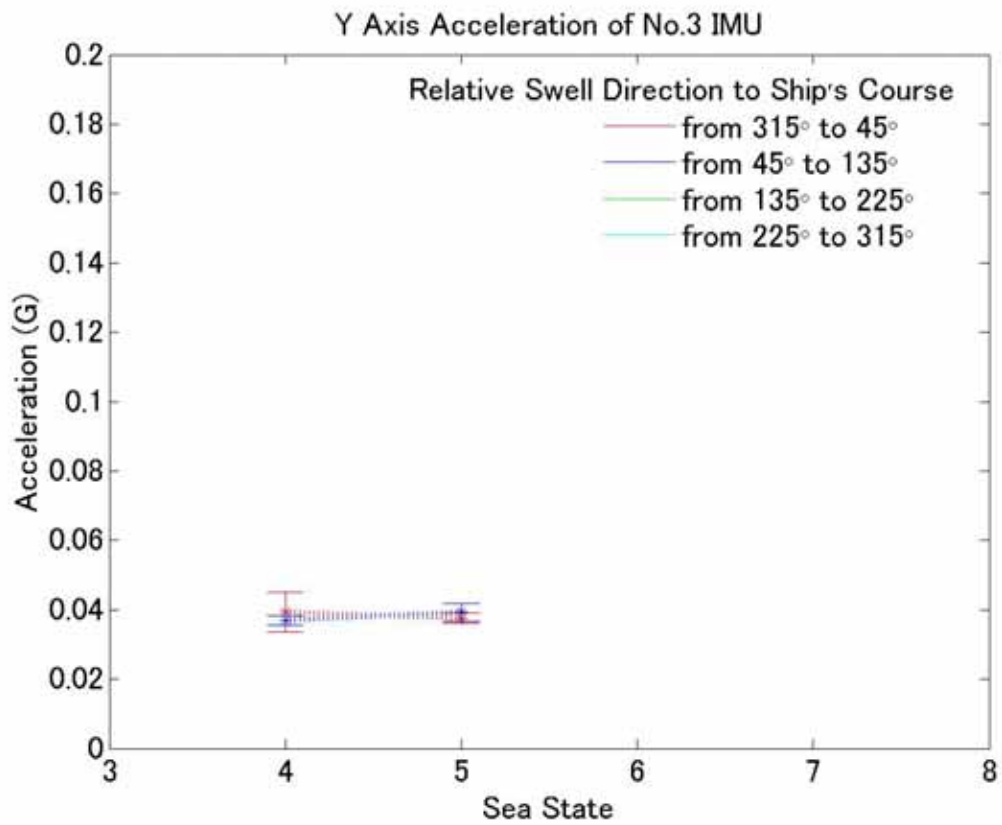
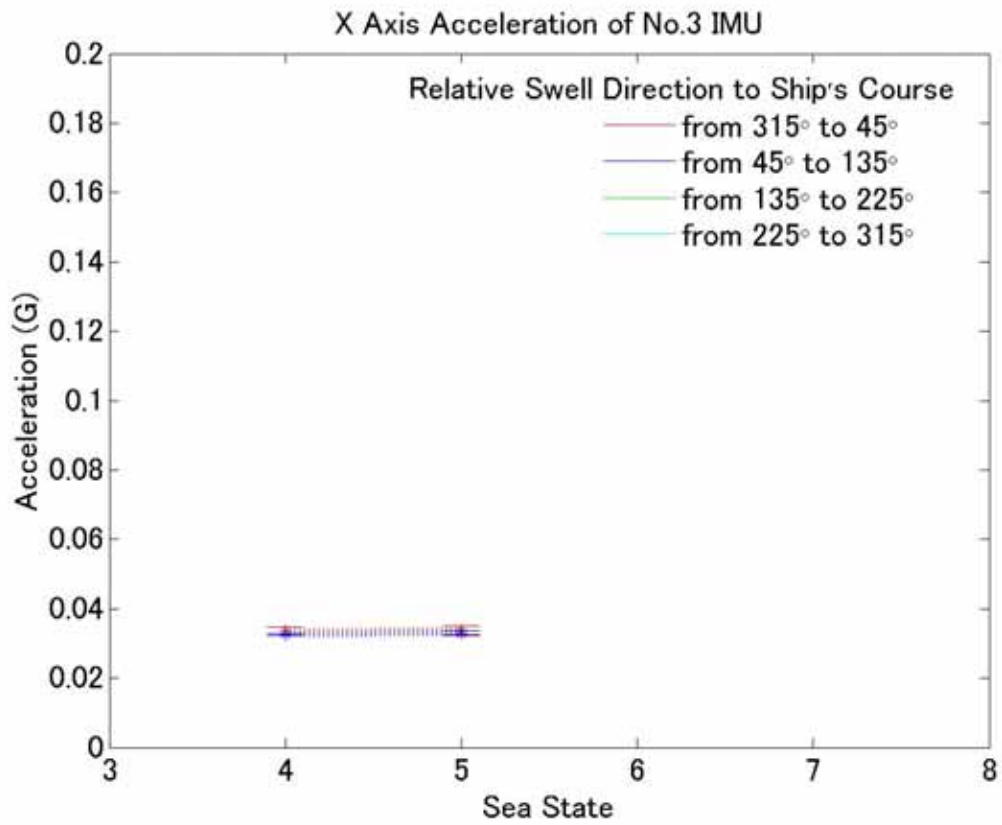


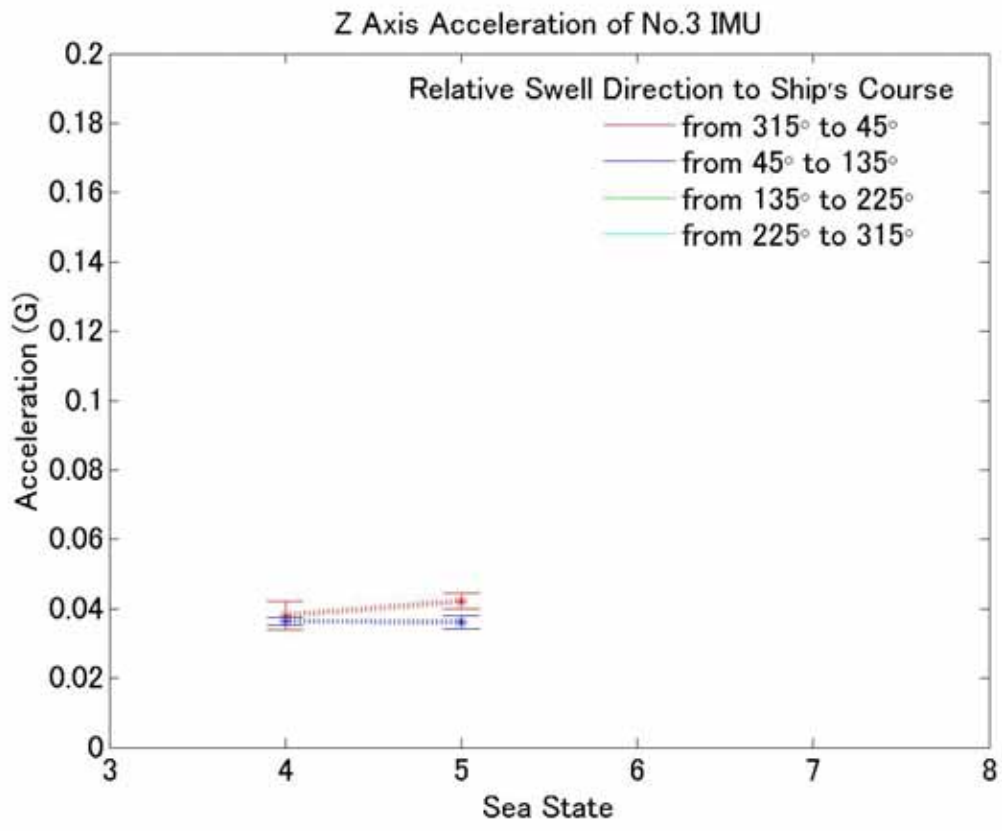








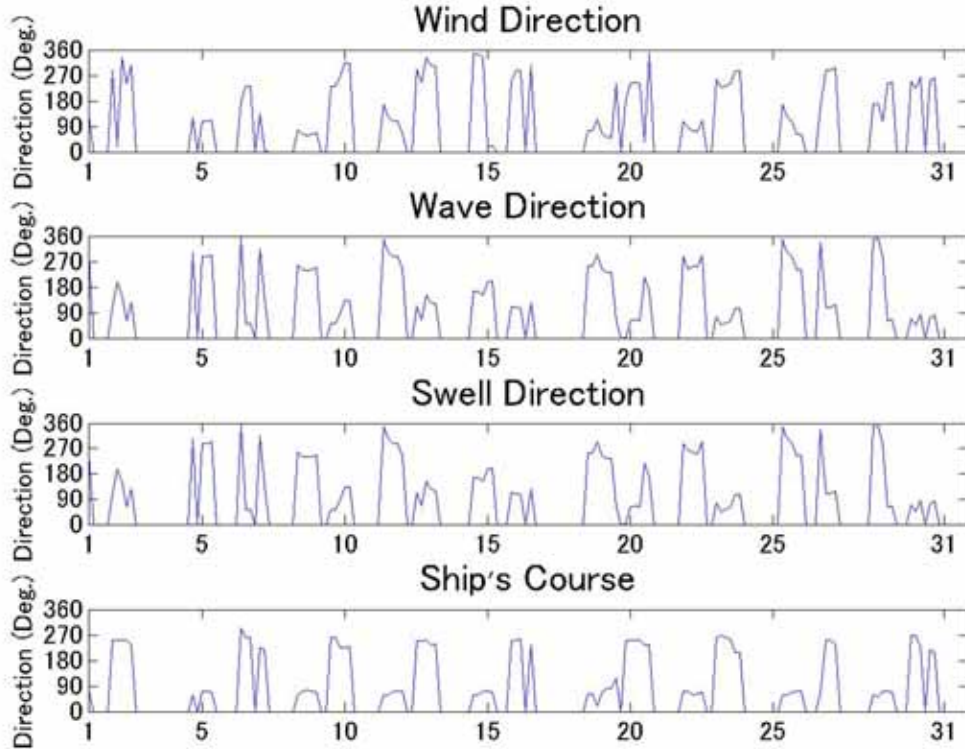


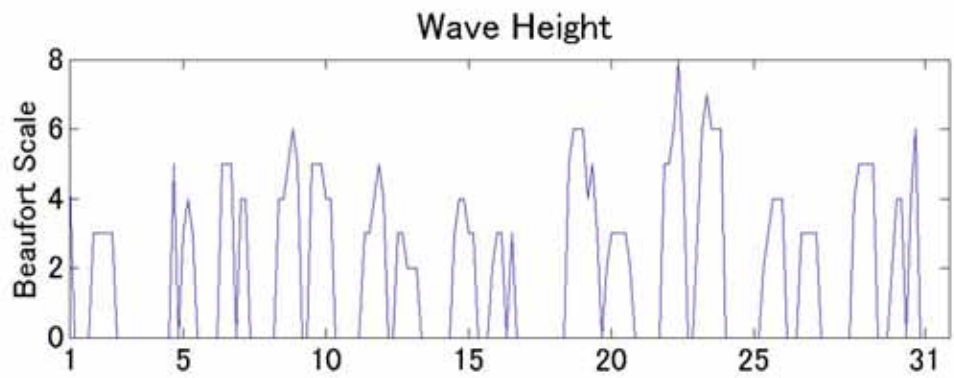
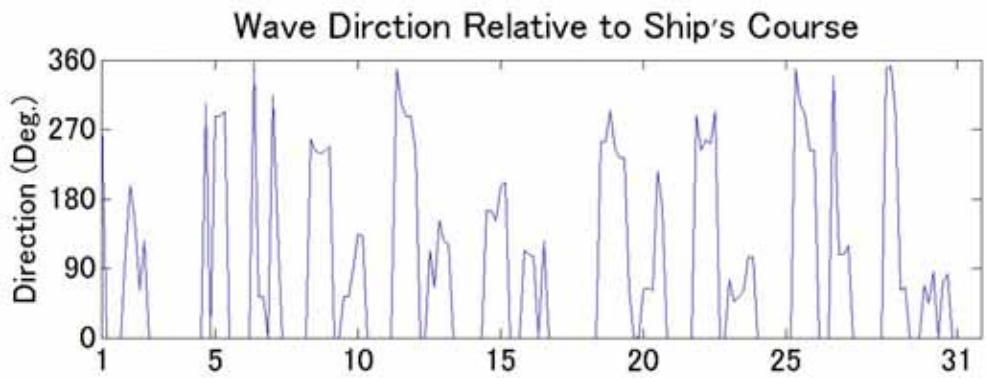
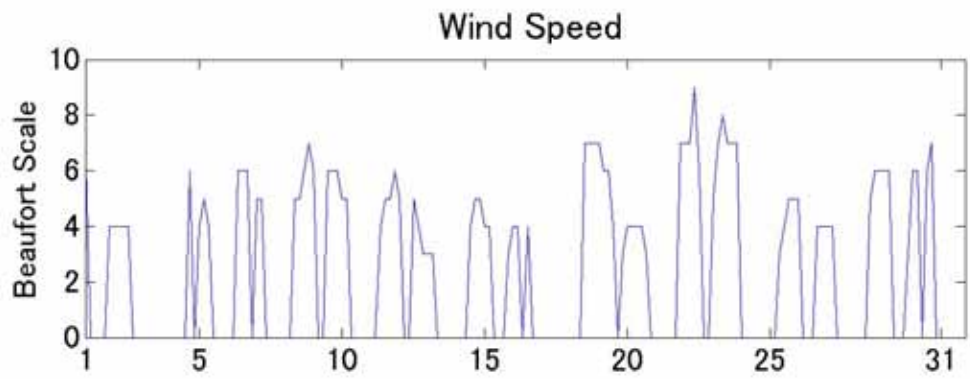
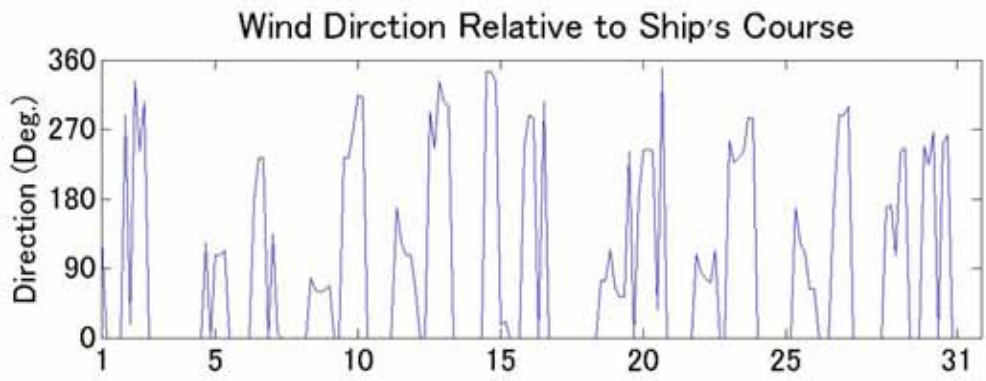


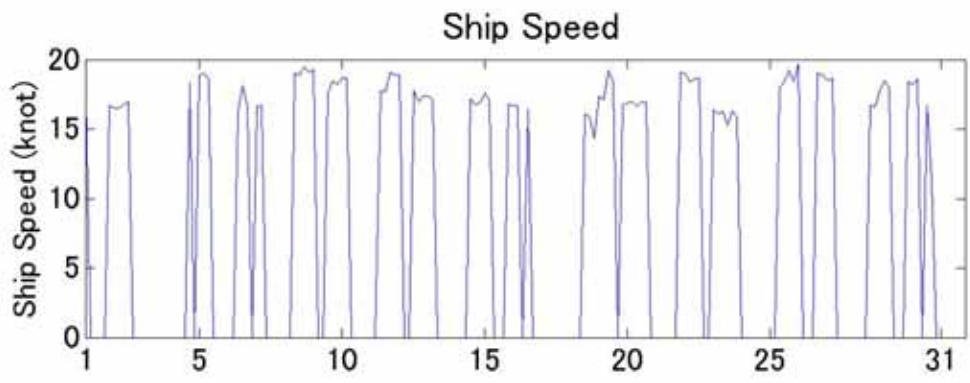
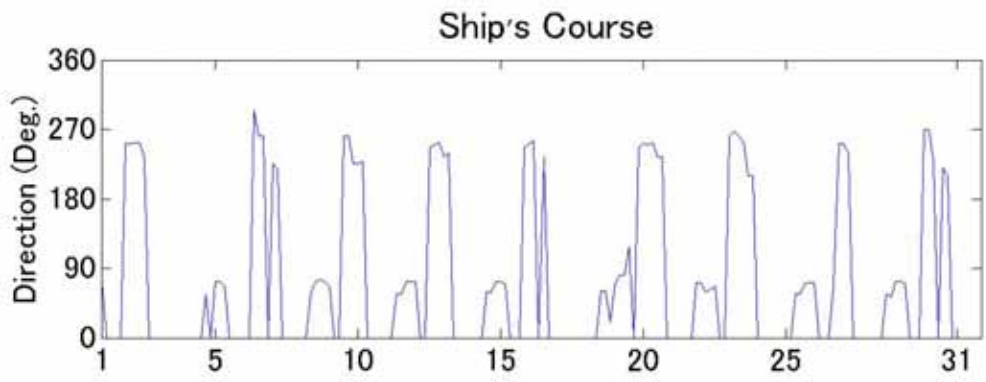
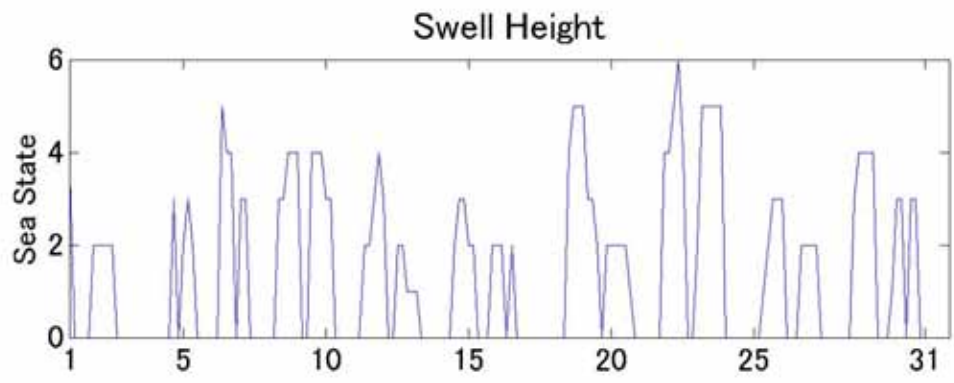
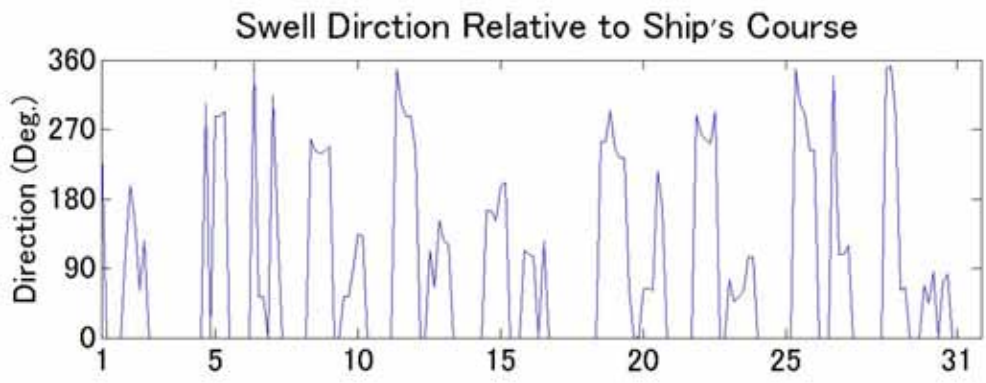
5.4 12月分

Voyage Schedule in December				
	From Hakata to Shanghai		From Shanghai to Hakata	
Voyage	Depart date & time	Arrive date & time	Depart date & time	Arrive Date & time
No. 1	Dec.01th, 19 o'clock	Dec.02th, 13 o'clock	Dec.04th, 15 o'clock	Dec.05th, 09 o'clock
No. 2	Dec.06th, 07 o'clock	Dec.07th, 05 o'clock	Dec.08th, 07 o'clock	Dec.09th, 01 o'clock
No. 3	Dec.09th, 11 o'clock	Dec.10th, 05 o'clock	Dec.11th, 07 o'clock	Dec.12th, 01 o'clock
No. 4	Dec.12th, 11 o'clock	Dec.13th, 05 o'clock	Dec.14th, 11 o'clock	Dec.15th, 05 o'clock
No. 5	Dec.15th, 19 o'clock	Dec.16th, 13 o'clock	Dec.18th, 11 o'clock	Dec.19th, 13 o'clock
No. 6	Dec.19th, 19 o'clock	Dec.20th, 17 o'clock	Dec.21th, 19 o'clock	Dec.22th, 13 o'clock
No. 7	Dec.22th, 23 o'clock	Dec23th, 21 o'clock	Dec.25th, 07 o'clock	Dec.26th, 01 o'clock
No. 8	Dec.26th, 15 o'clock	Dec.27th, 05 o'clock	Dec.28th, 11 o'clock	Dec.29th, 05 o'clock
No. 9	Dec.29th, 19 o'clock	Dec.30th, 17 o'clock	-	-

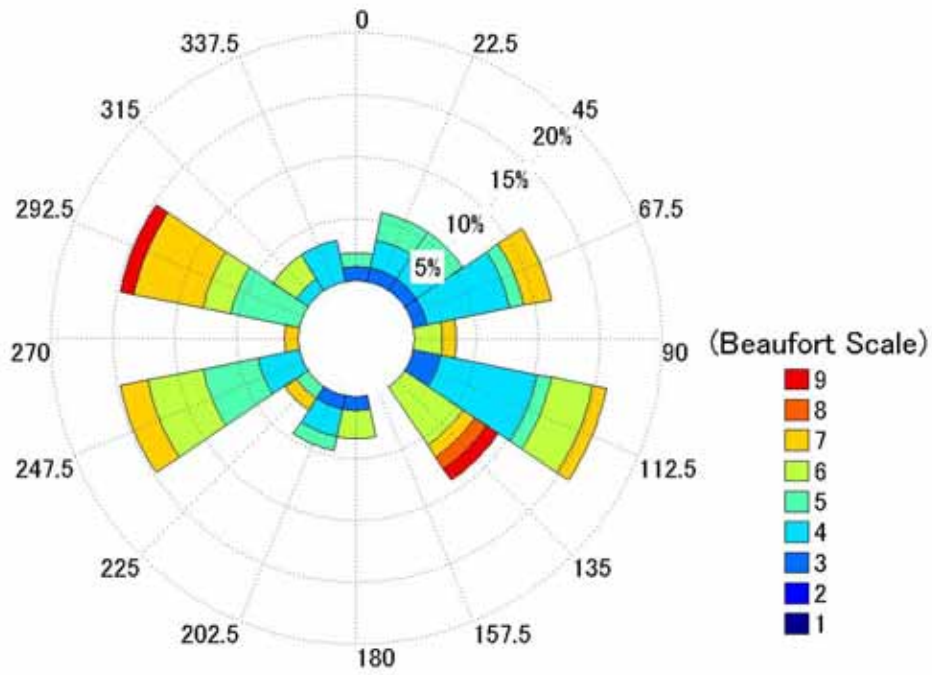
Weather Information (Relative to Ship's Course)



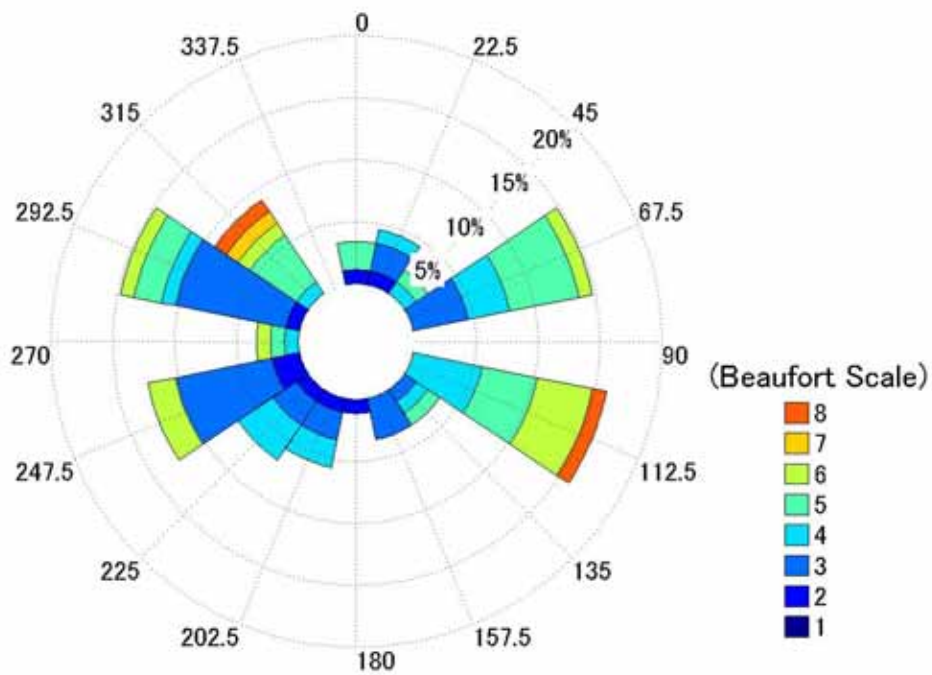




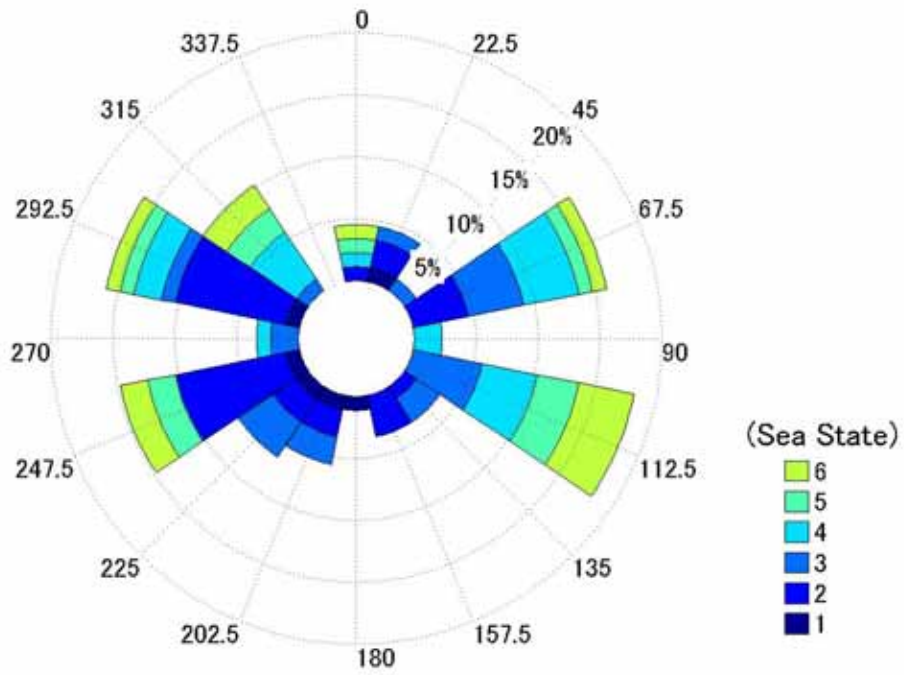
Wind Information Relative to Ship's Course



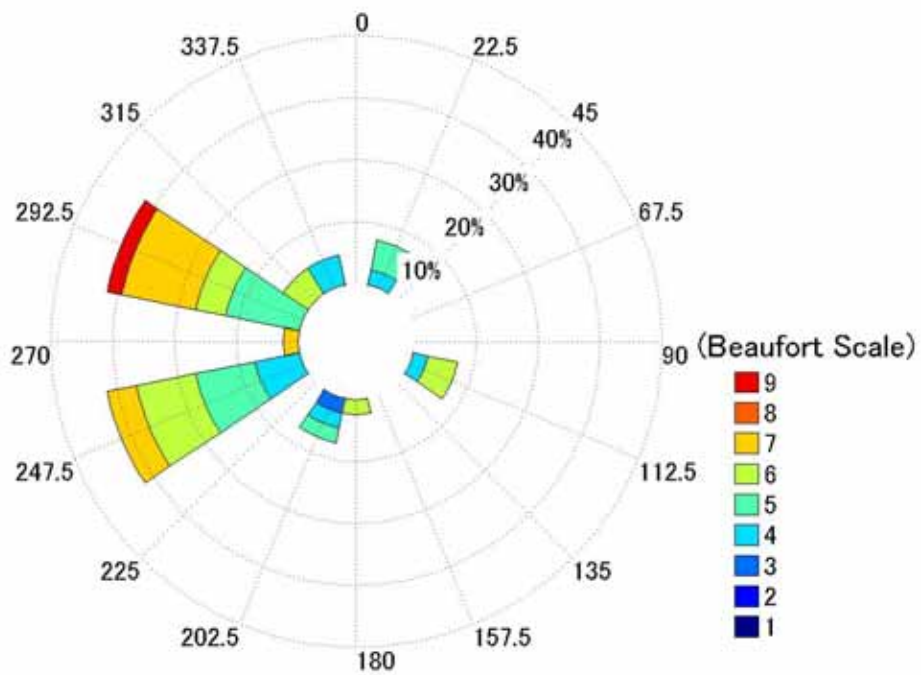
Wave Information Relative to Ship's Course



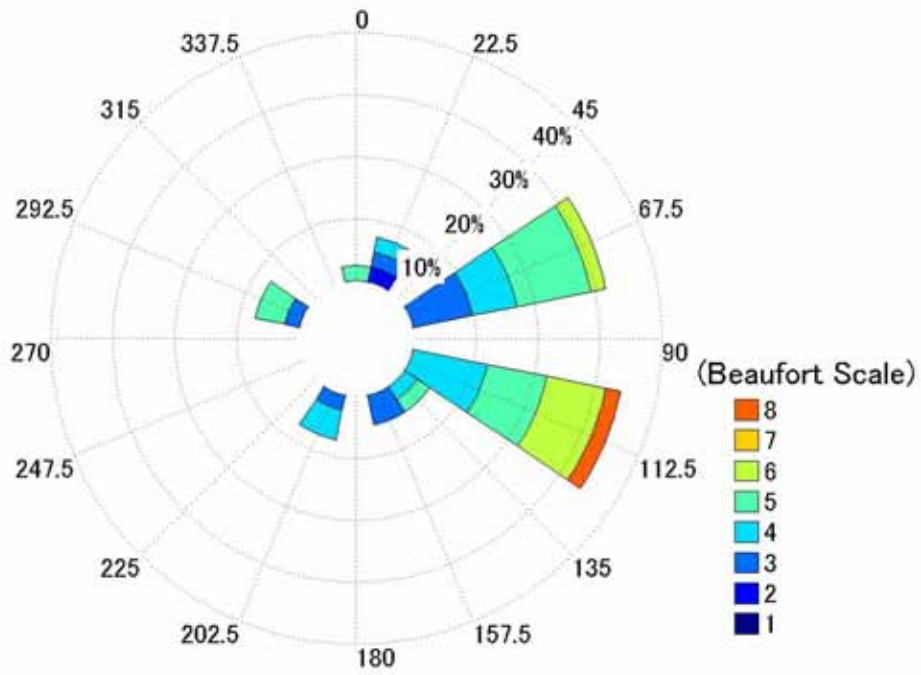
Swell Information Relative to Ship's Course



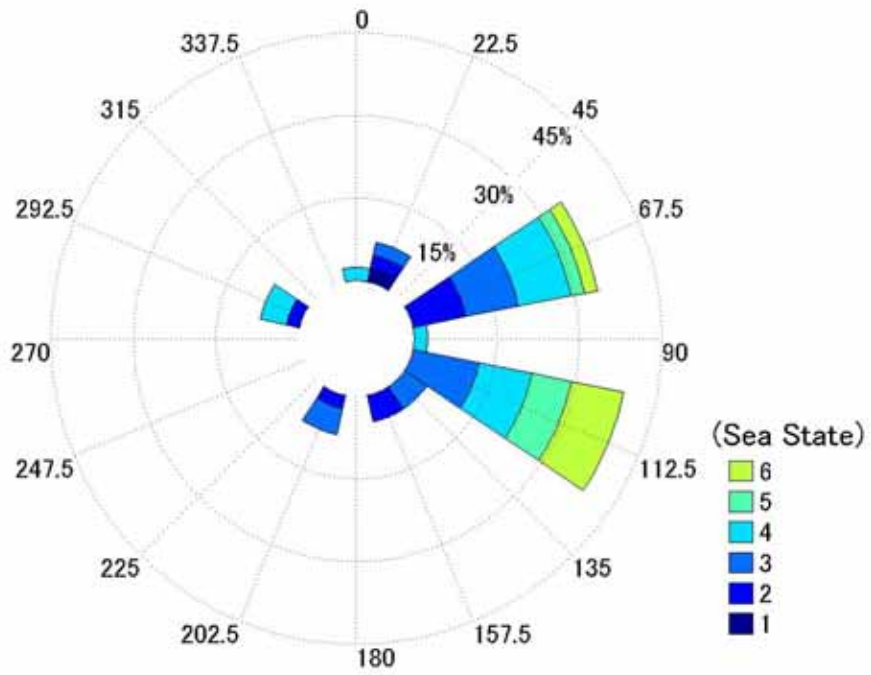
Wind Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



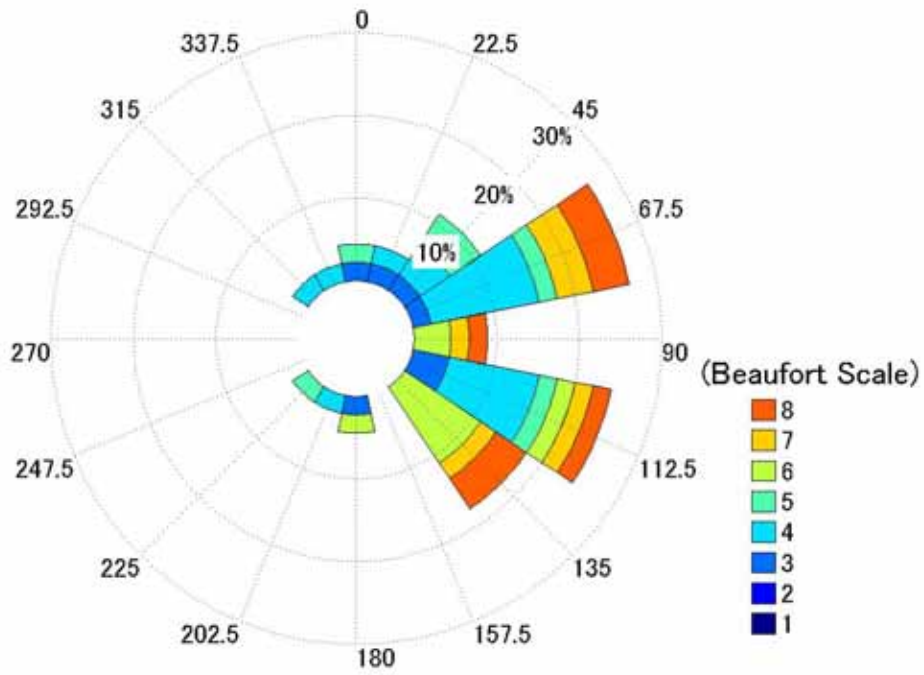
Wave Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



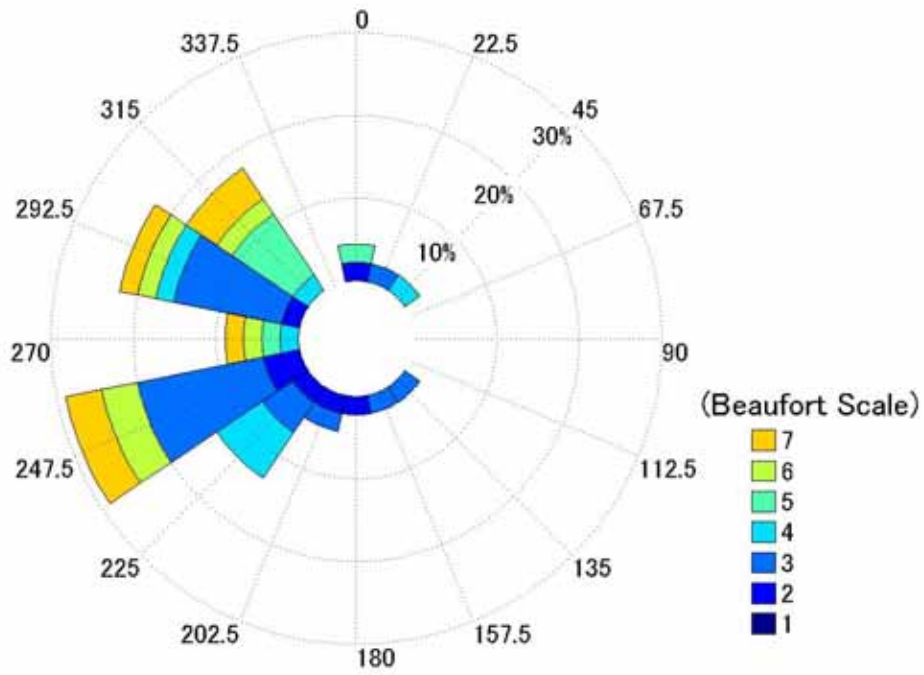
Swell Information Relative to Ship's Course from Shanghai to Hakada



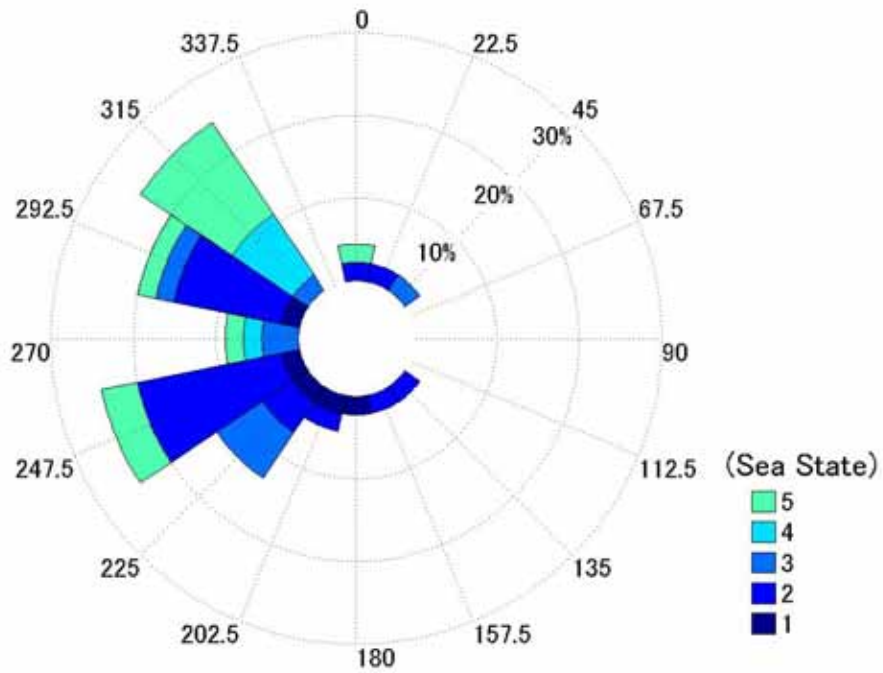
Wind Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai



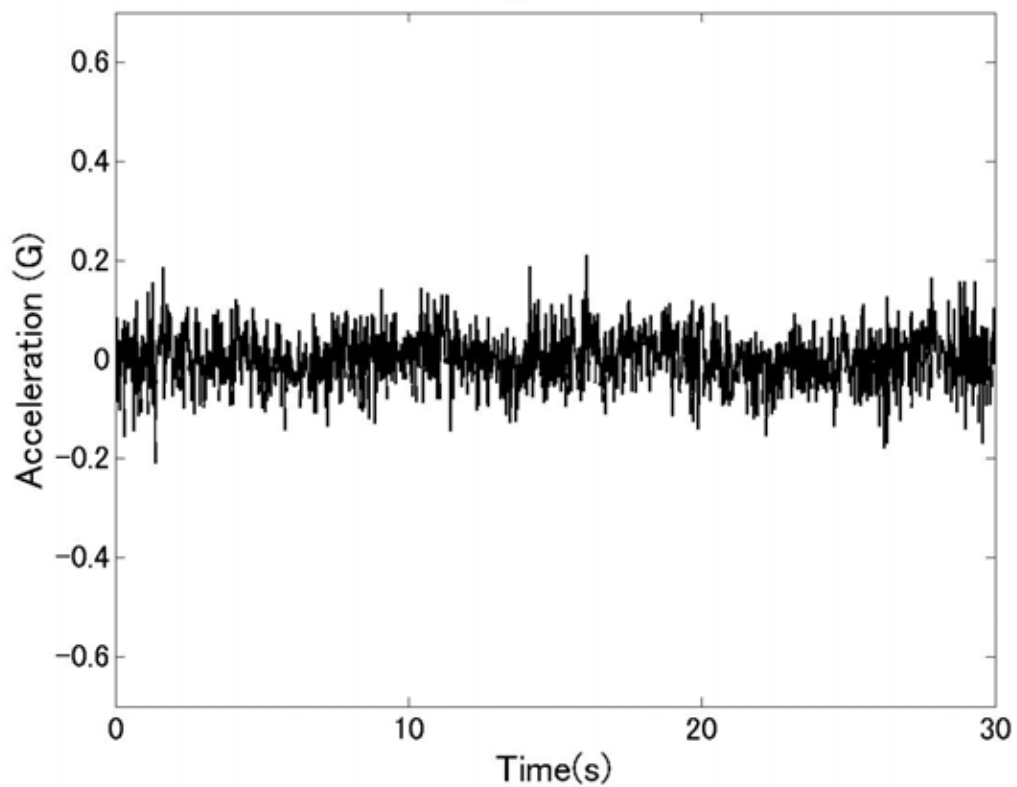
Wave Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai



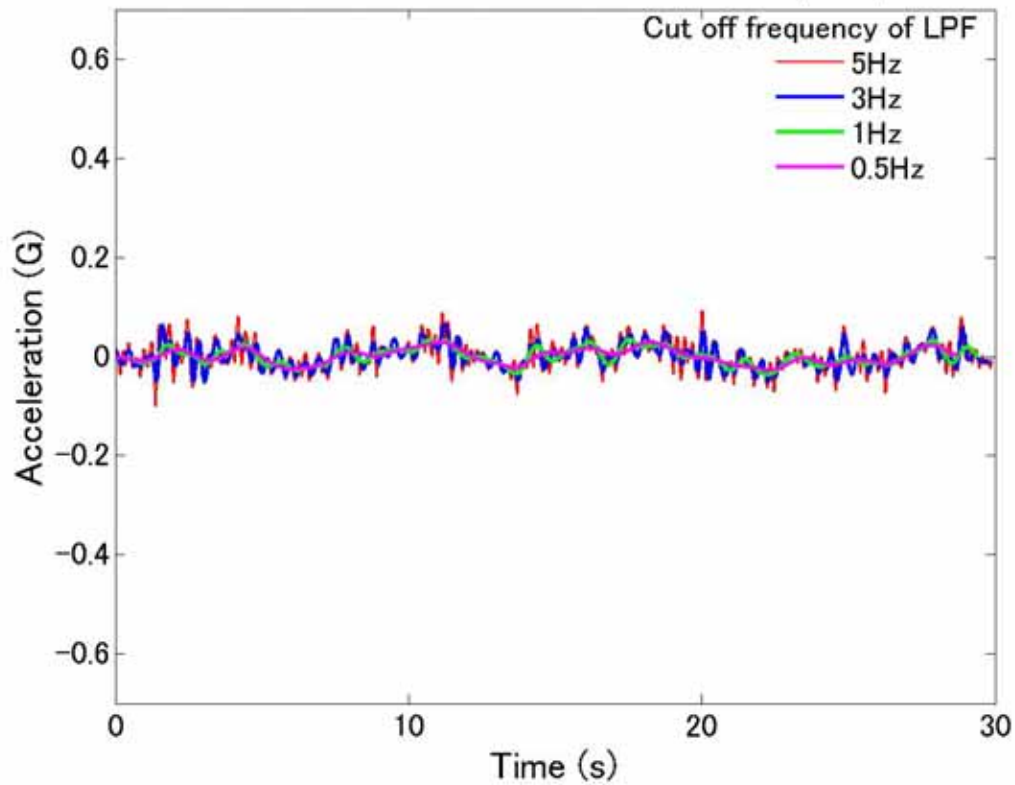
Swell Information Relative to Ship's Course from Hakada to Shanghai



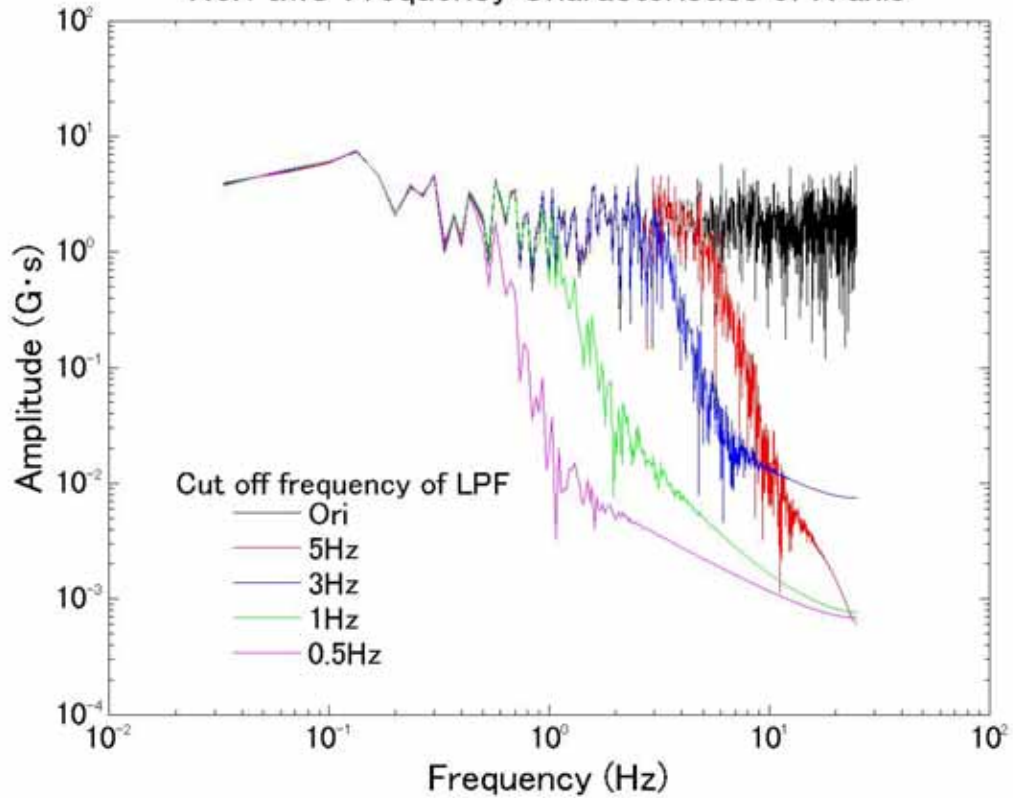
No.1 IMU Original Data of X axis

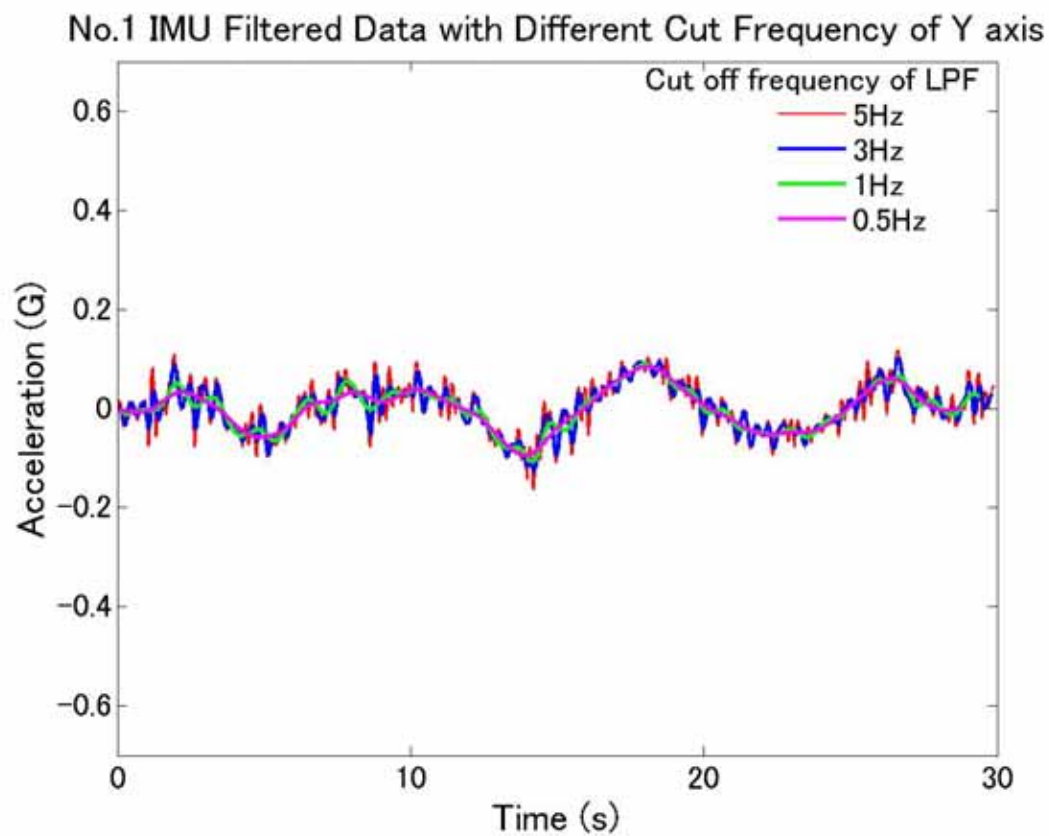
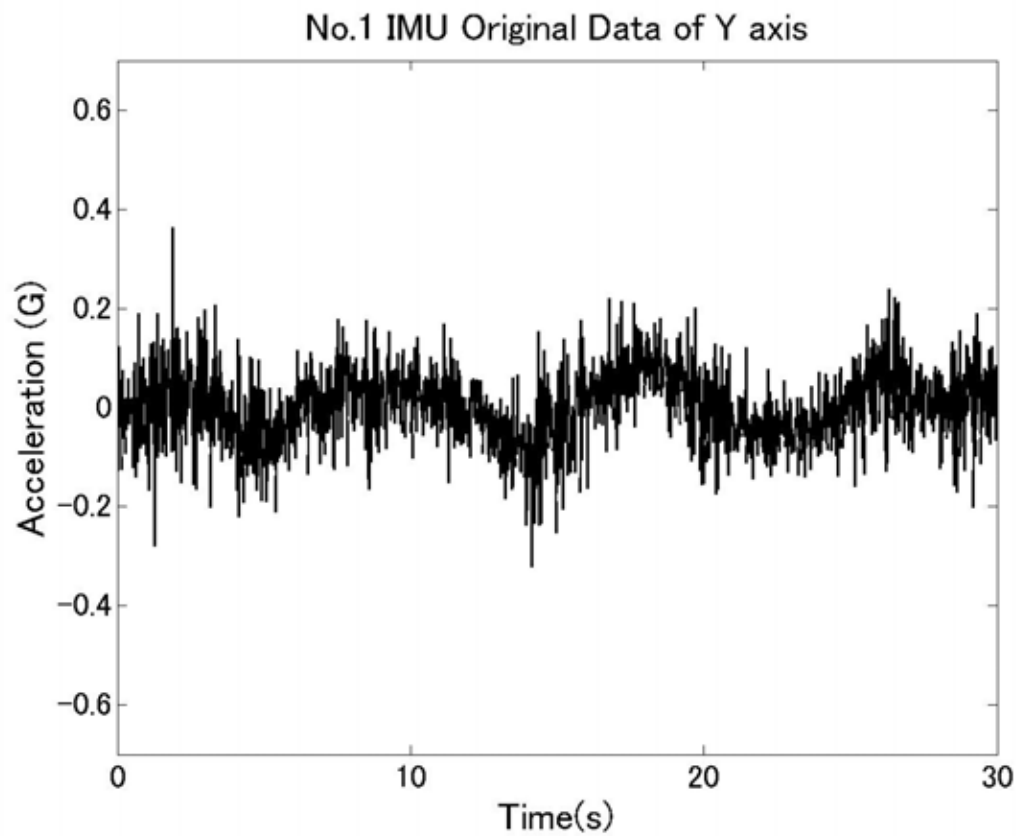


No.1 IMU Filtered Data with Different Cut Frequency of X axis

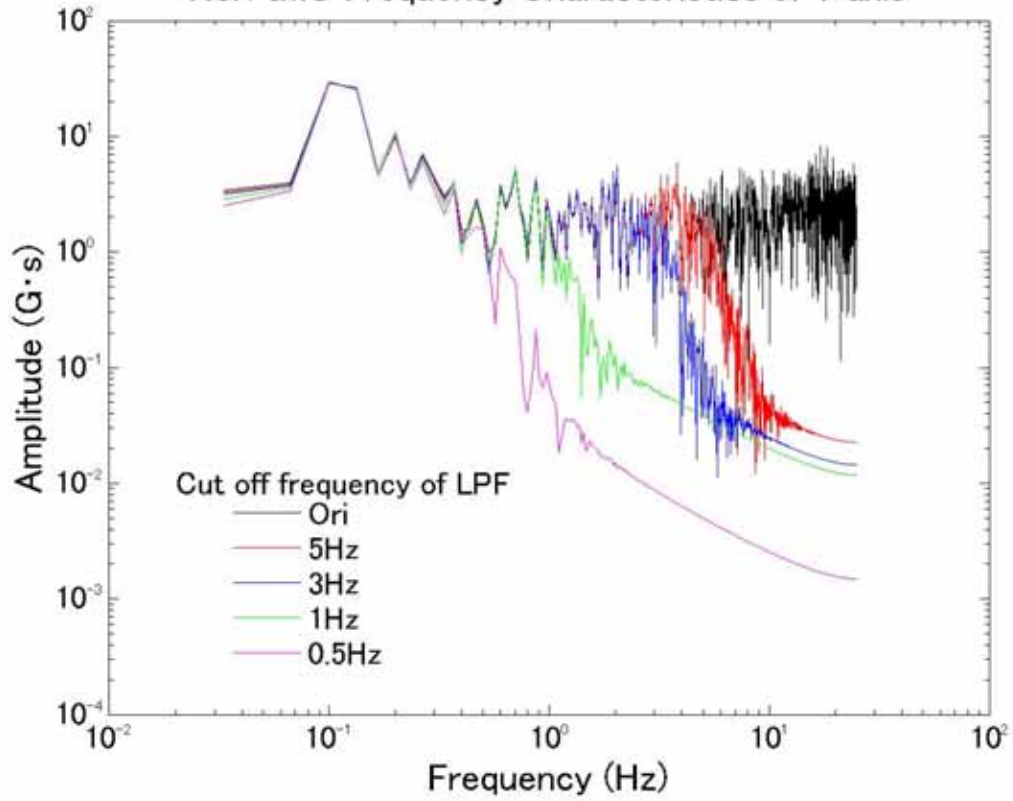


No.1 IMU Frequency Characteristics of X axis

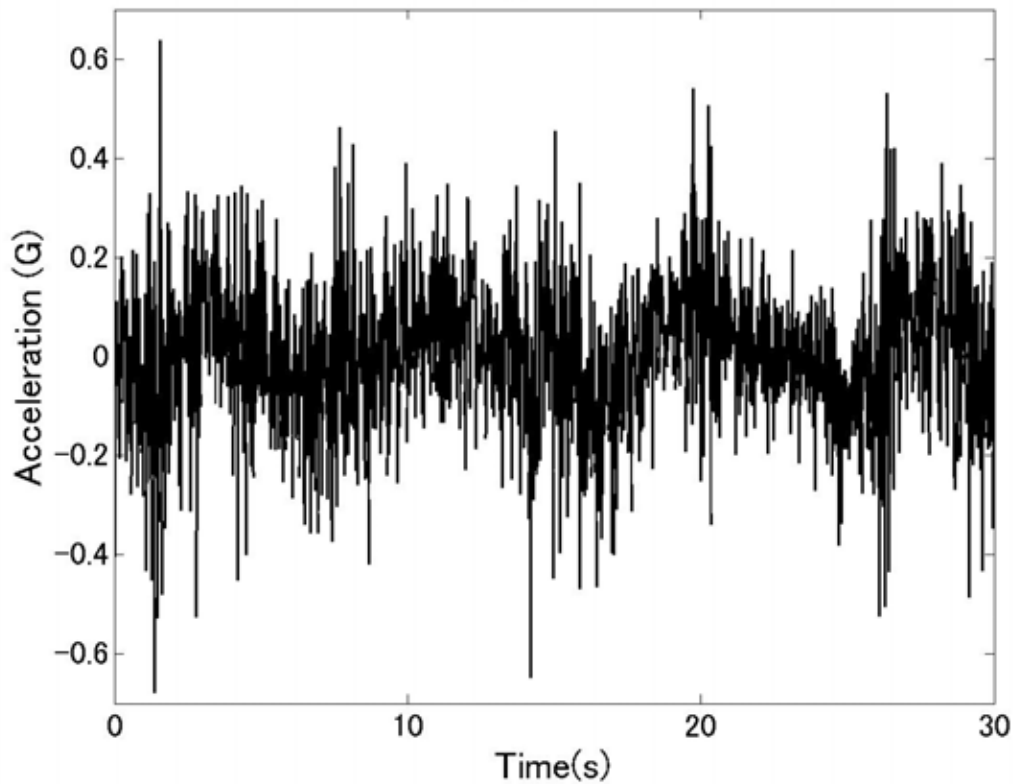




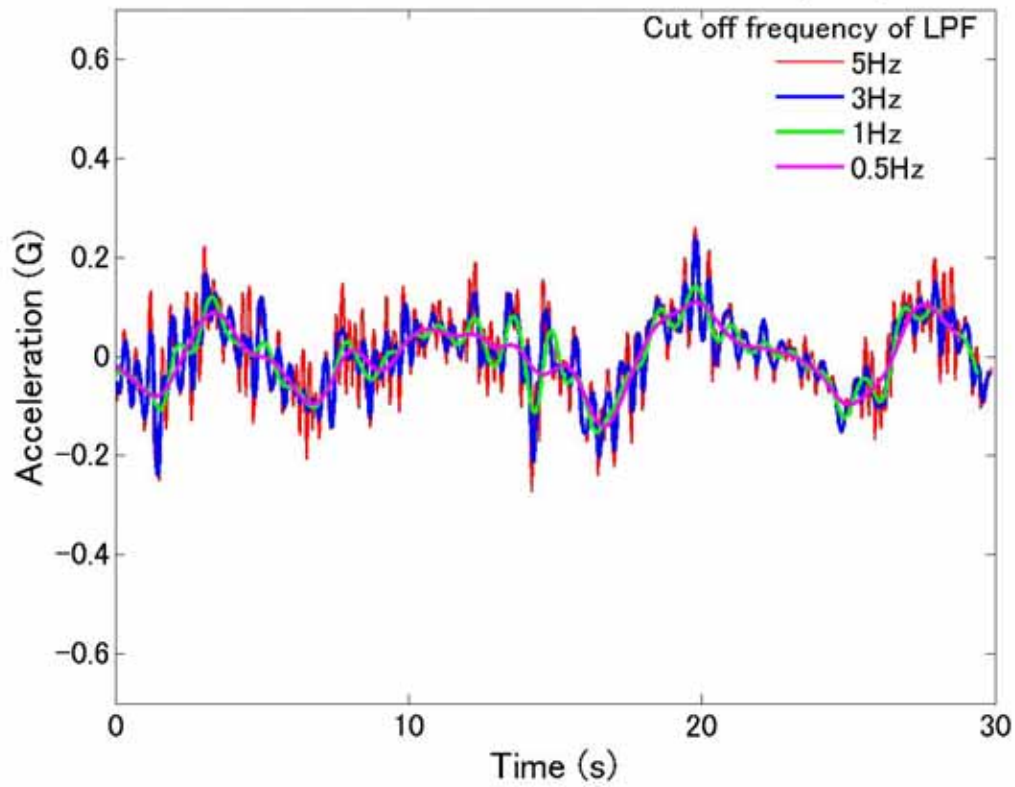
No.1 IMU Frequency Characteristics of Y axis



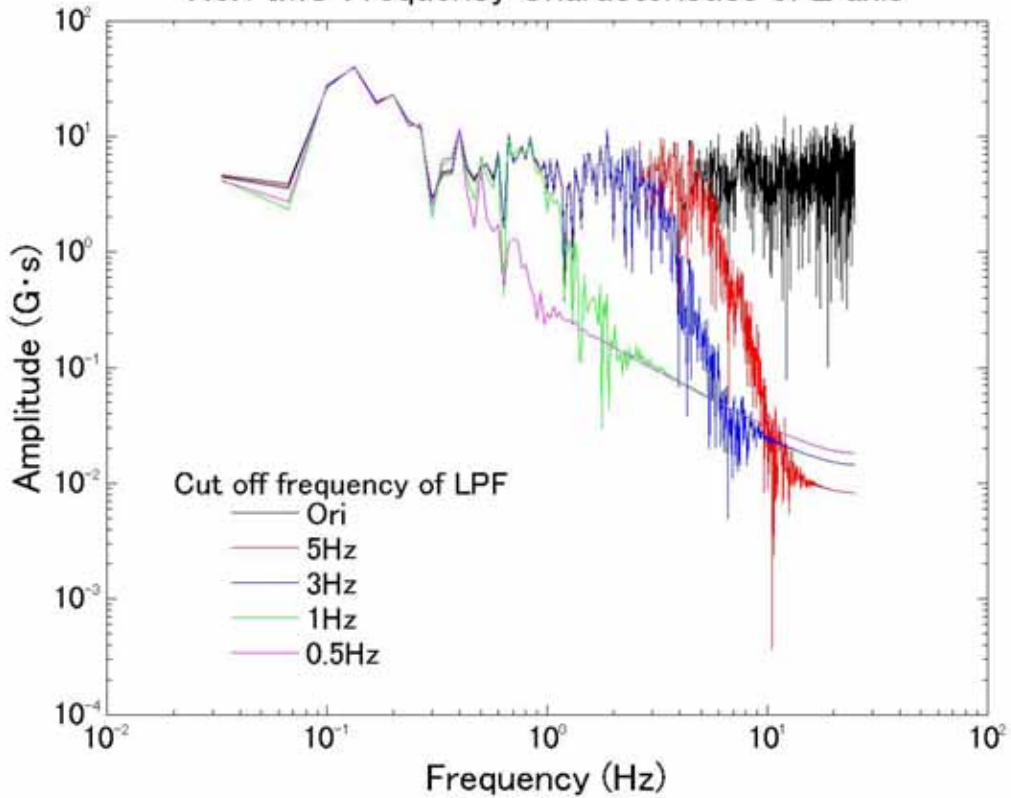
No.1 IMU Original Data of Z axis

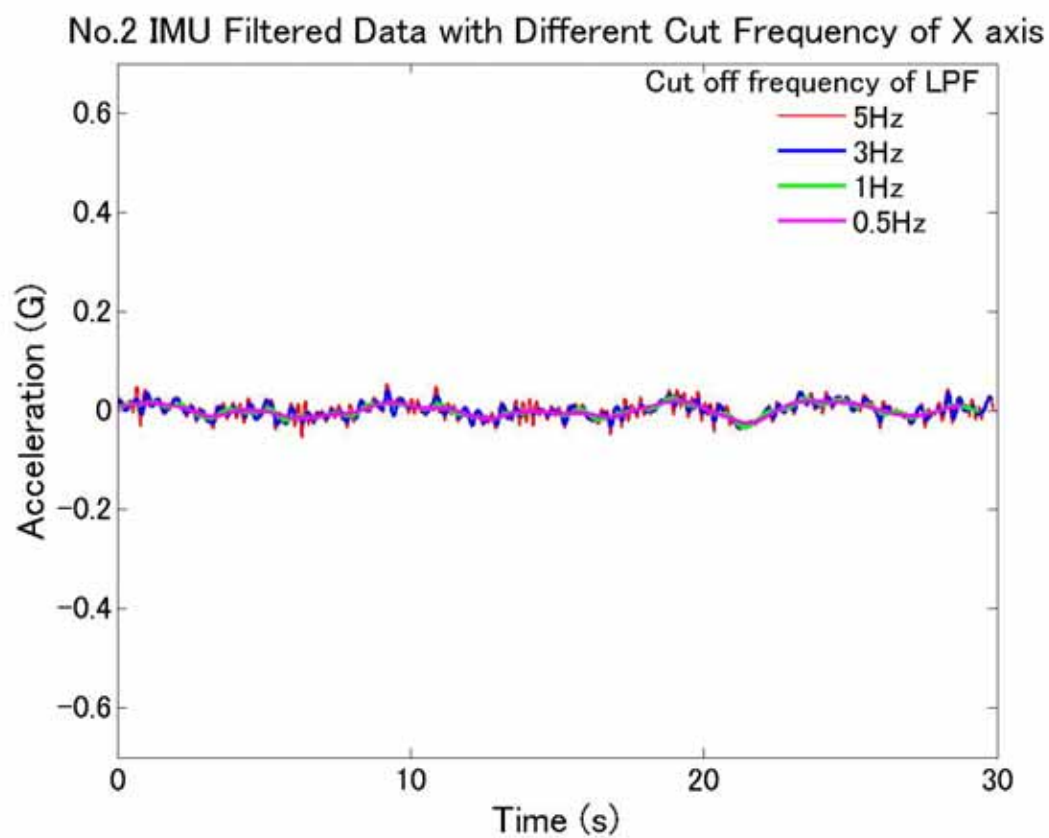
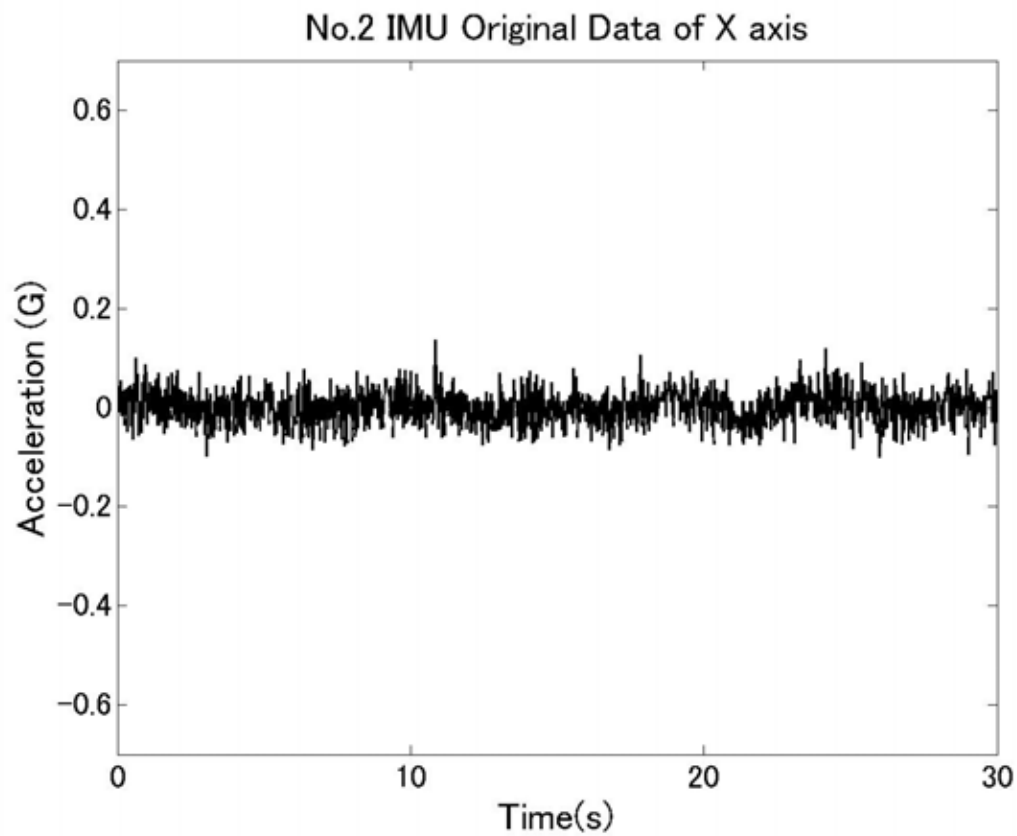


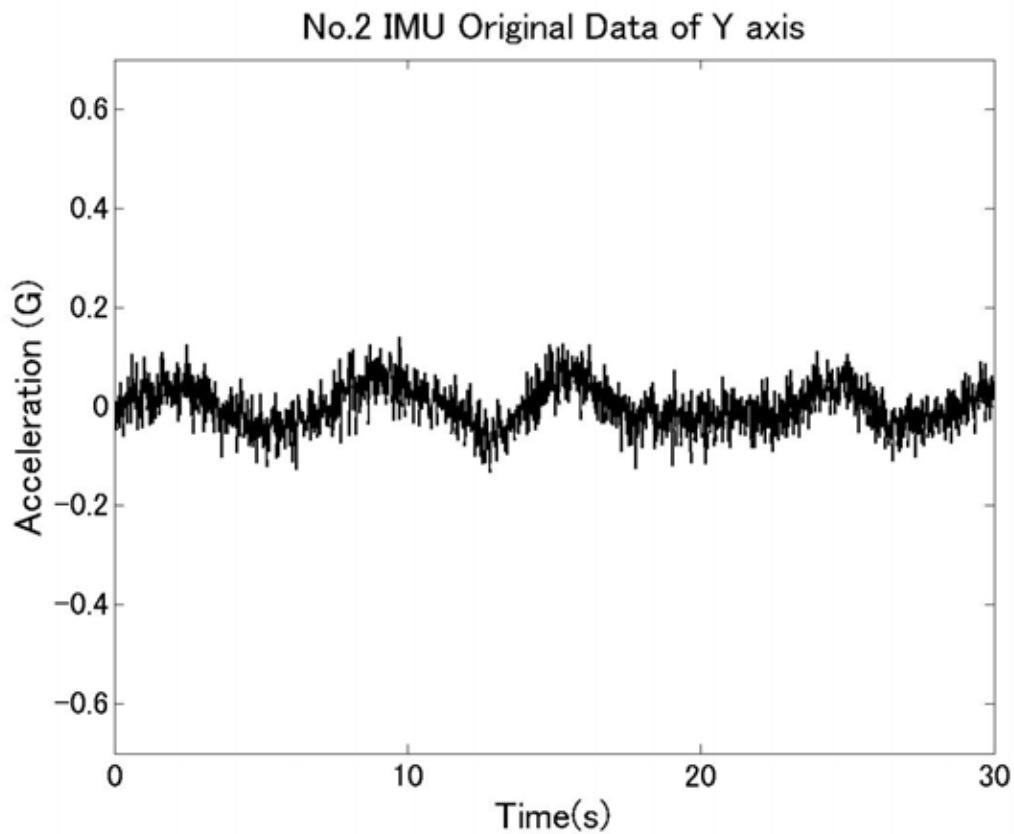
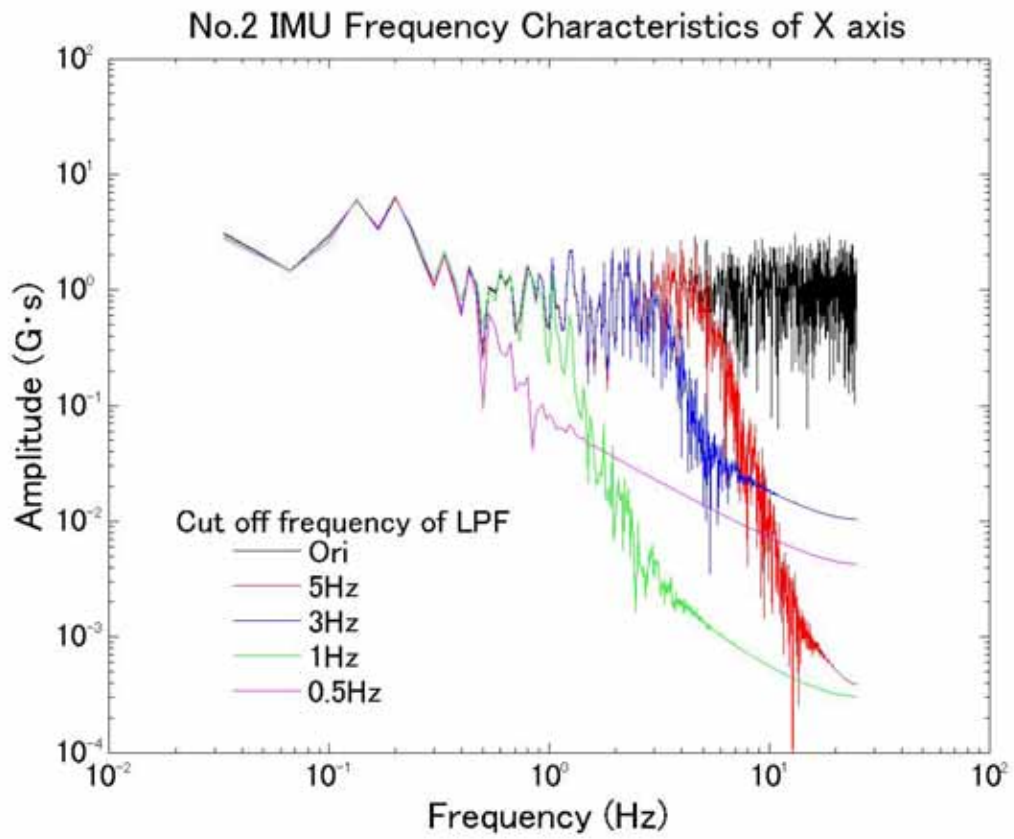
No.1 IMU Filtered Data with Different Cut Frequency of Z axis



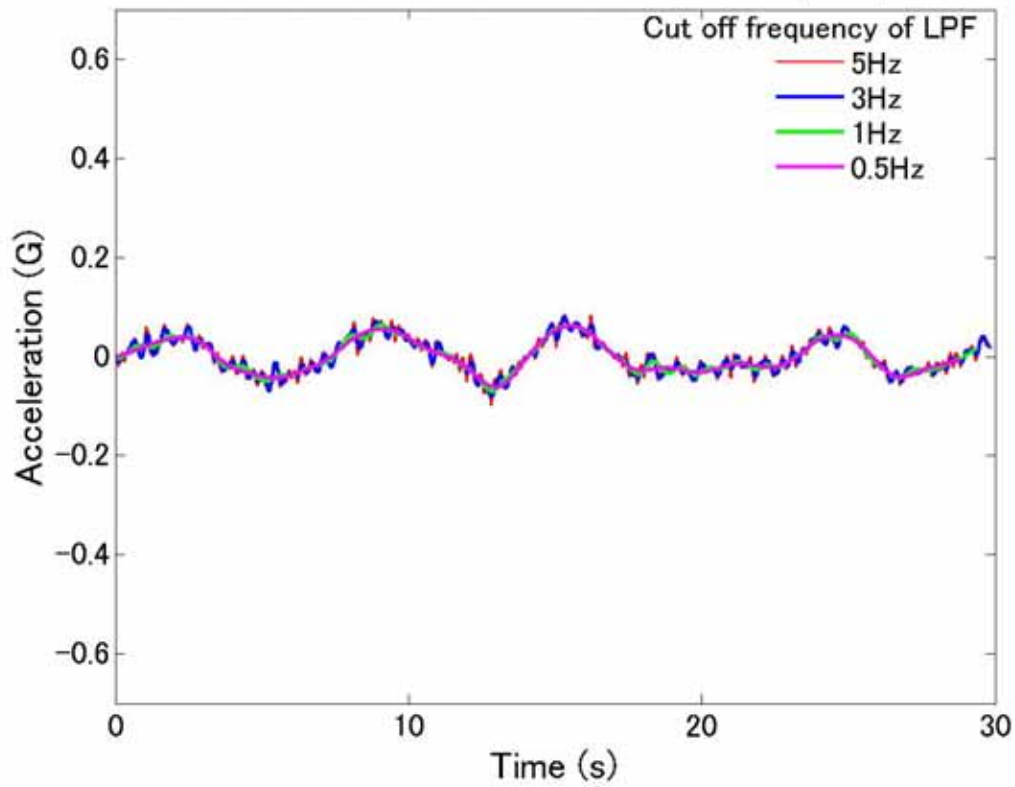
No.1 IMU Frequency Characteristics of Z axis



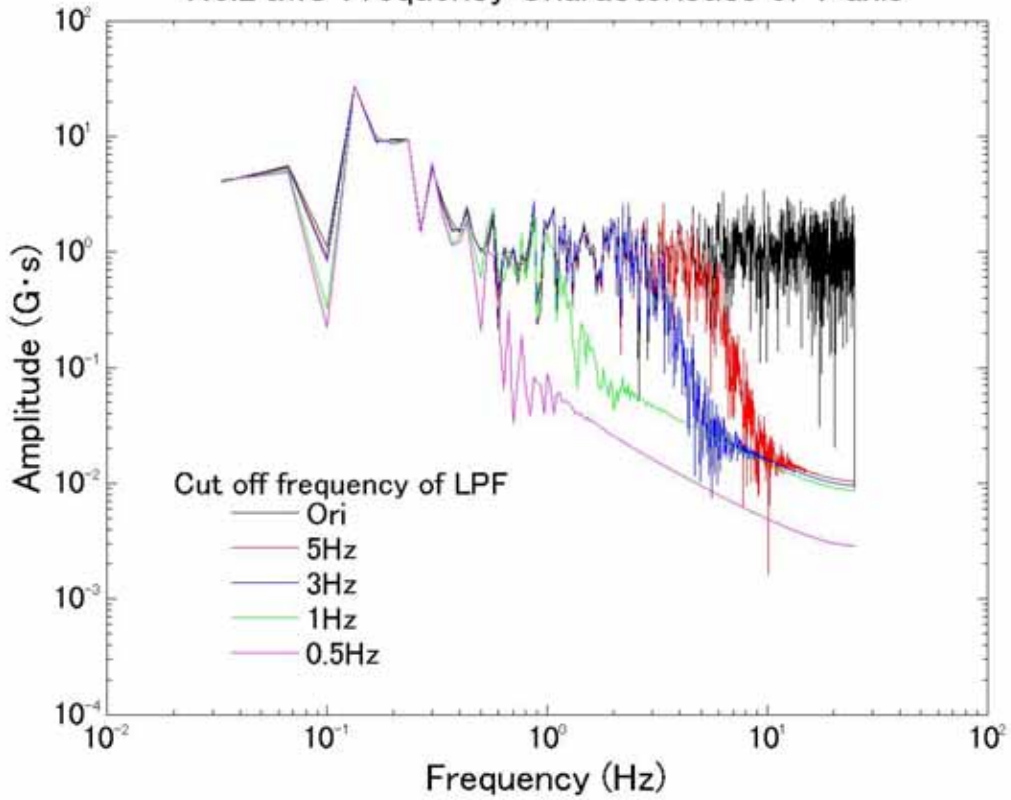


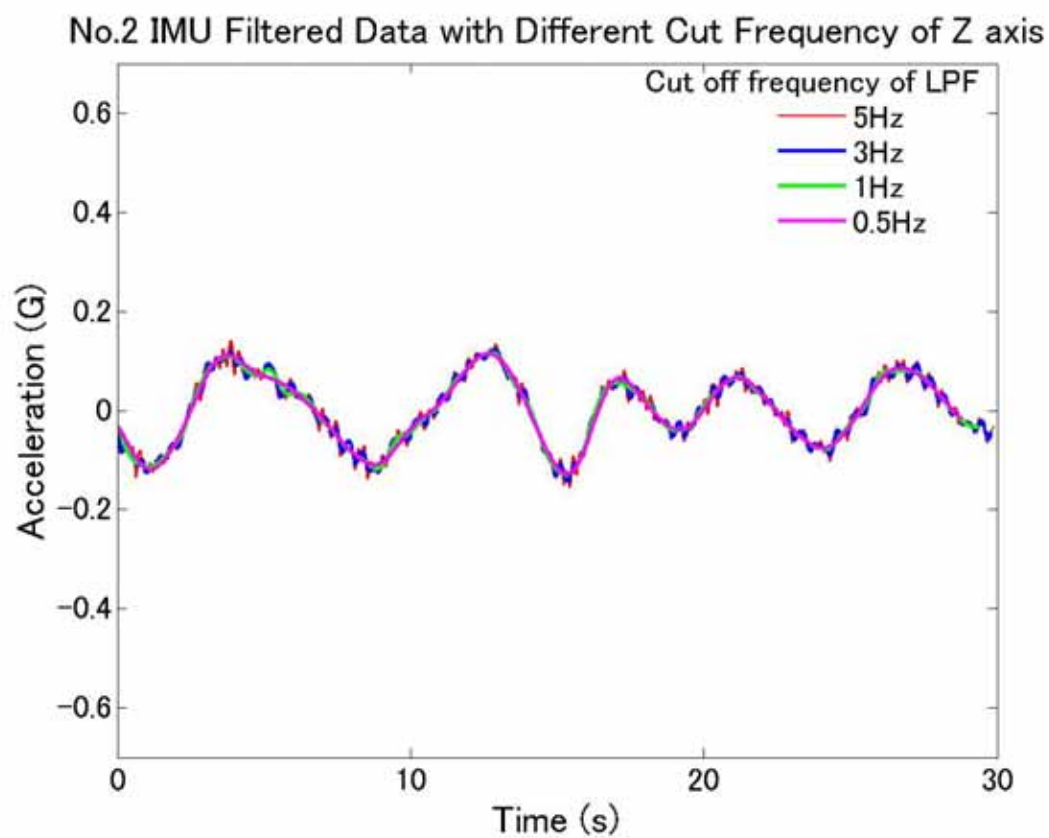
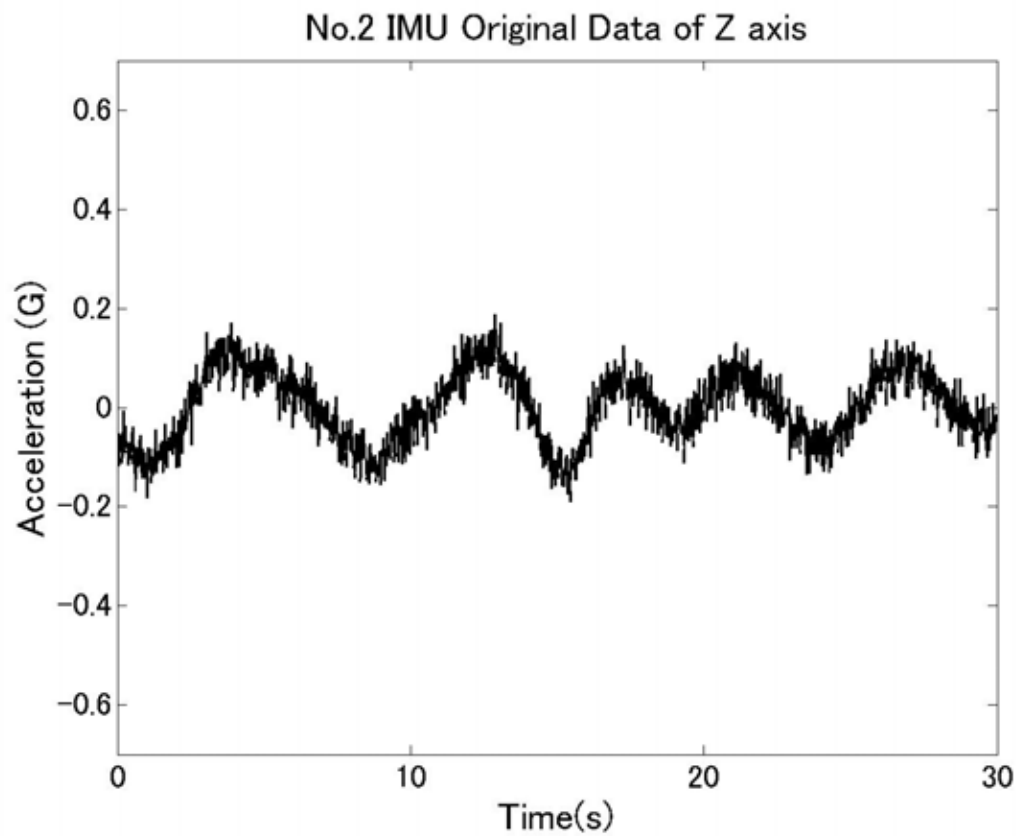


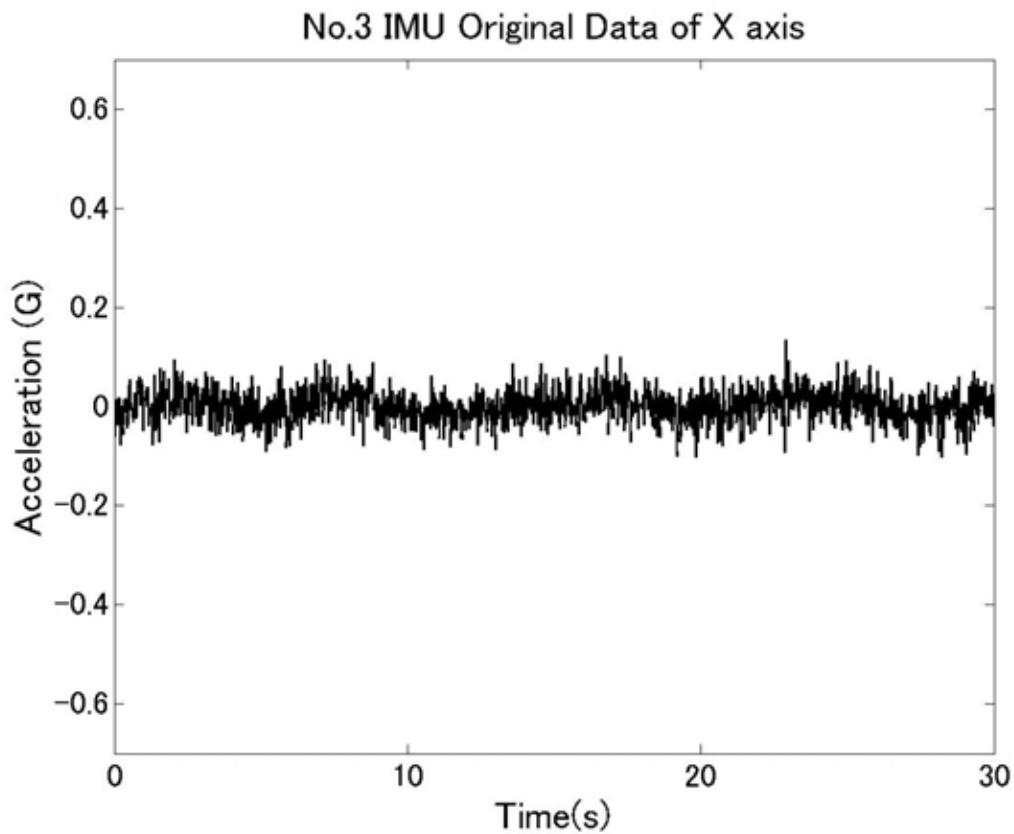
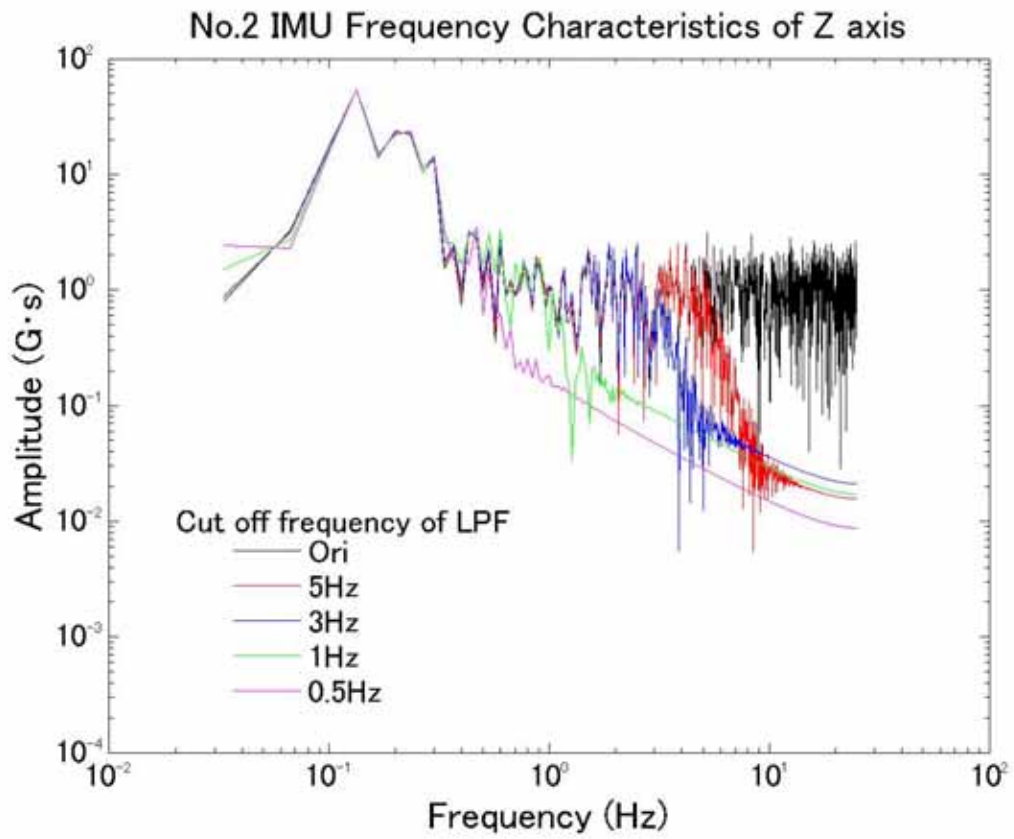
No.2 IMU Filtered Data with Different Cut Frequency of Y axis



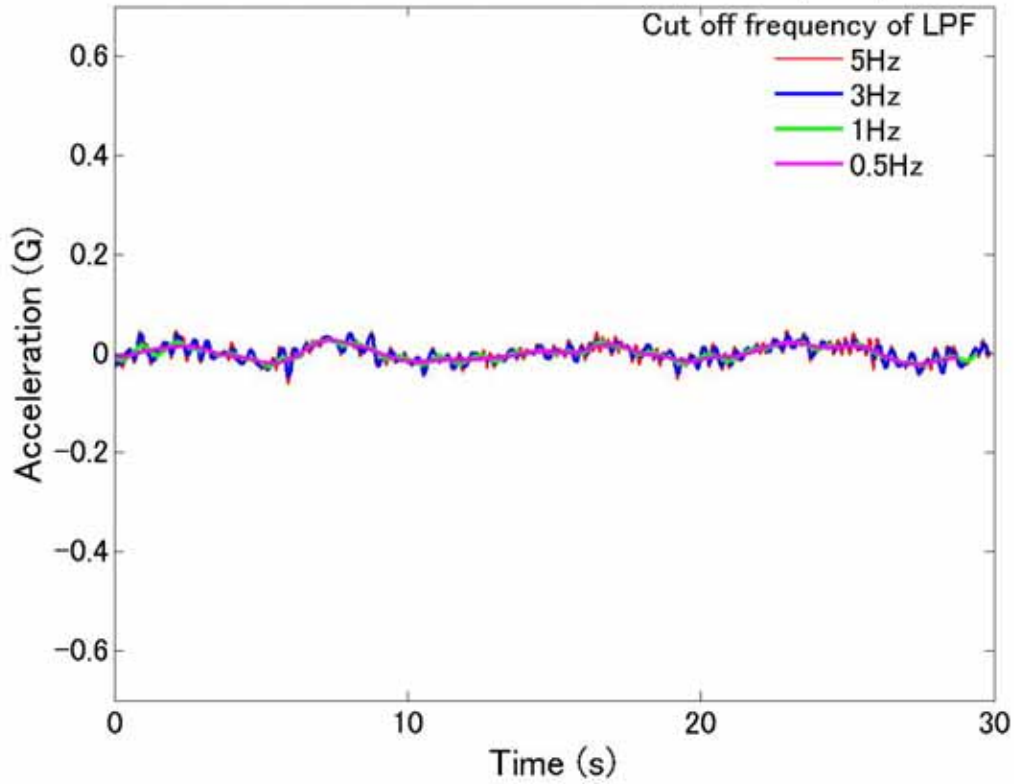
No.2 IMU Frequency Characteristics of Y axis



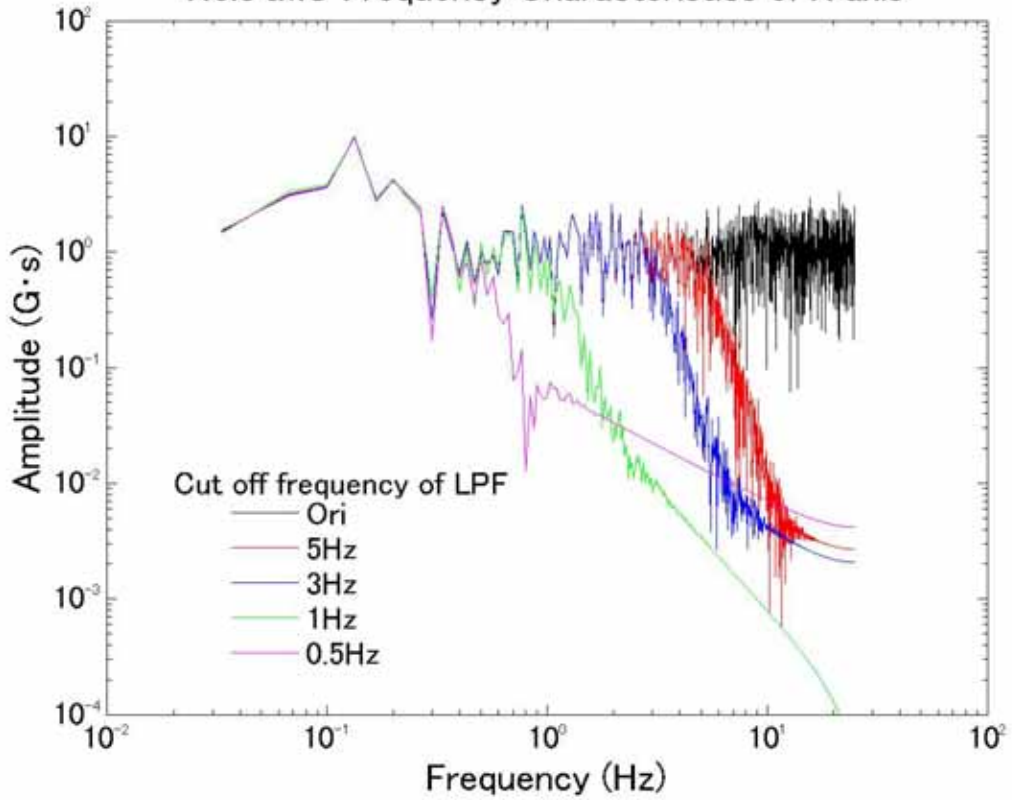


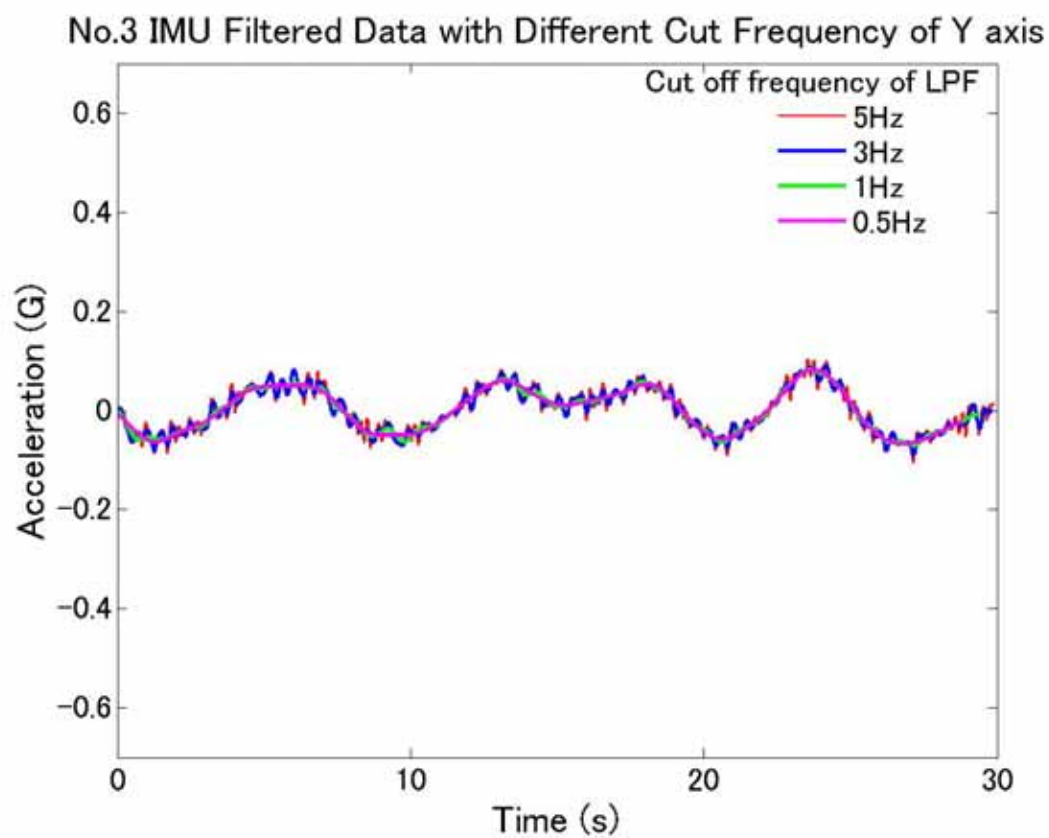
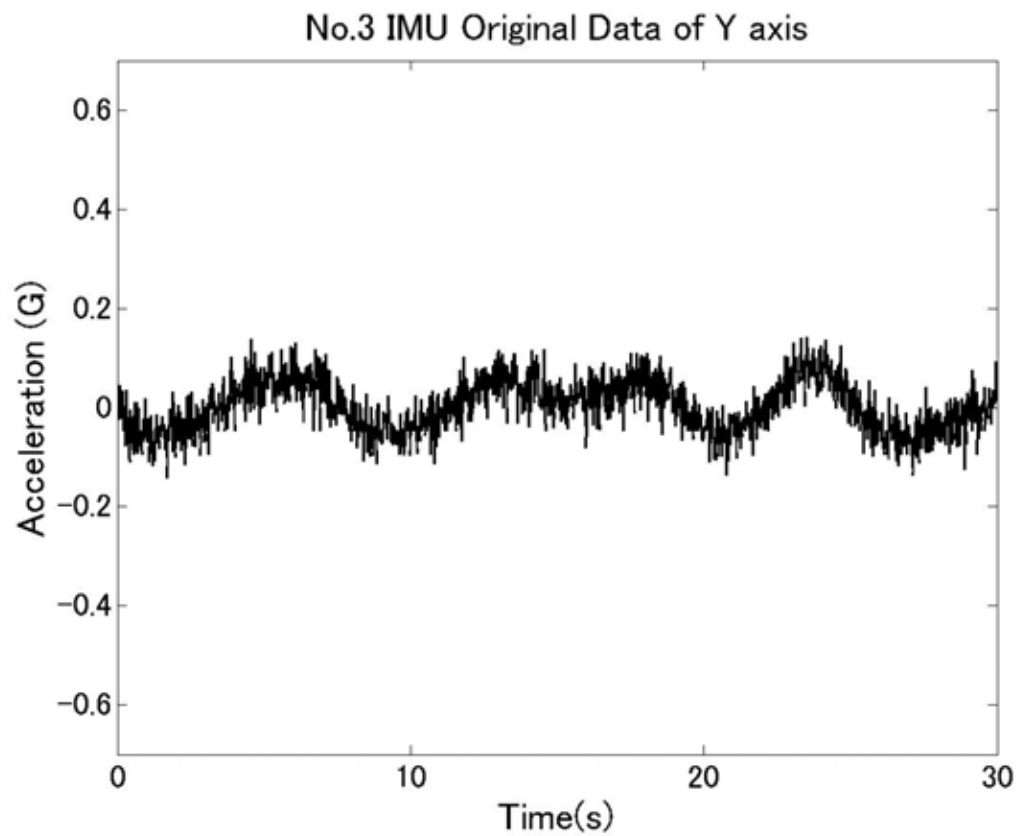


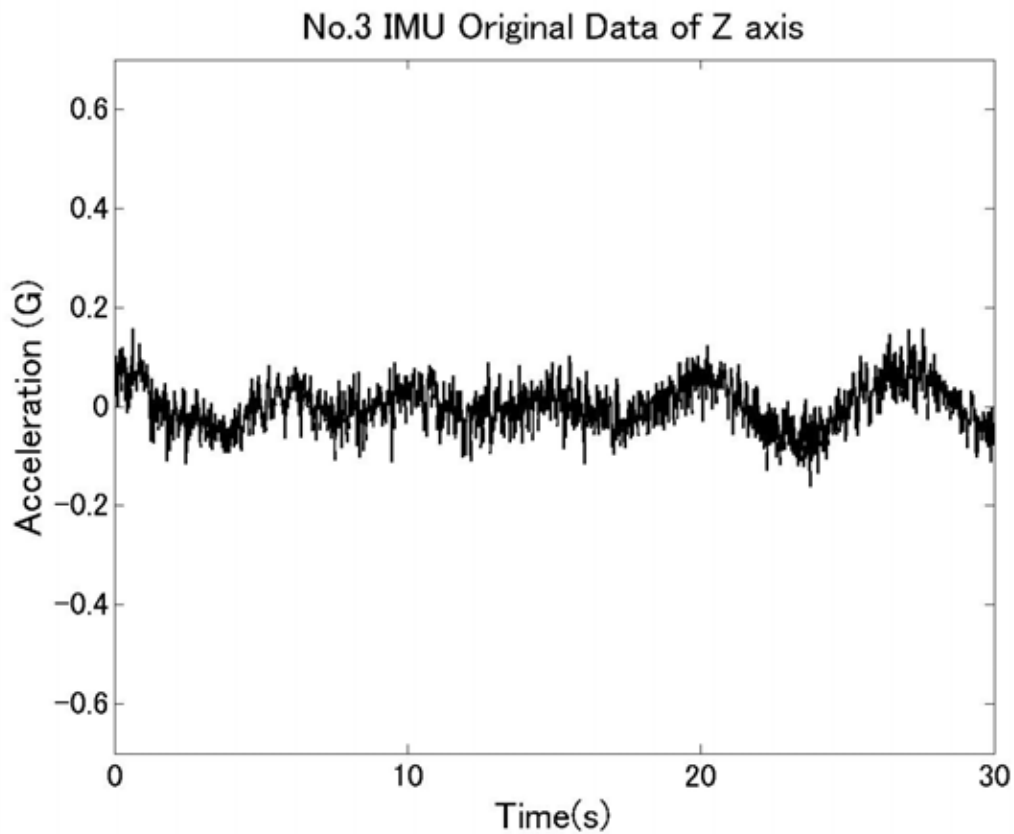
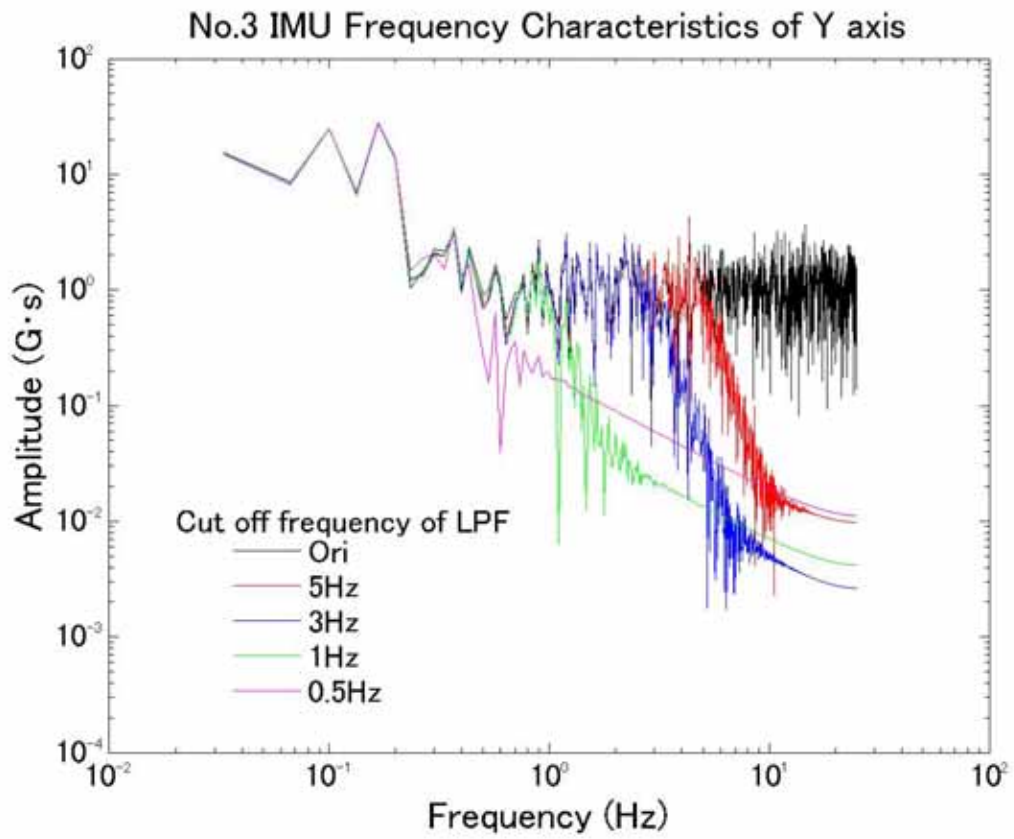
No.3 IMU Filtered Data with Different Cut Frequency of X axis



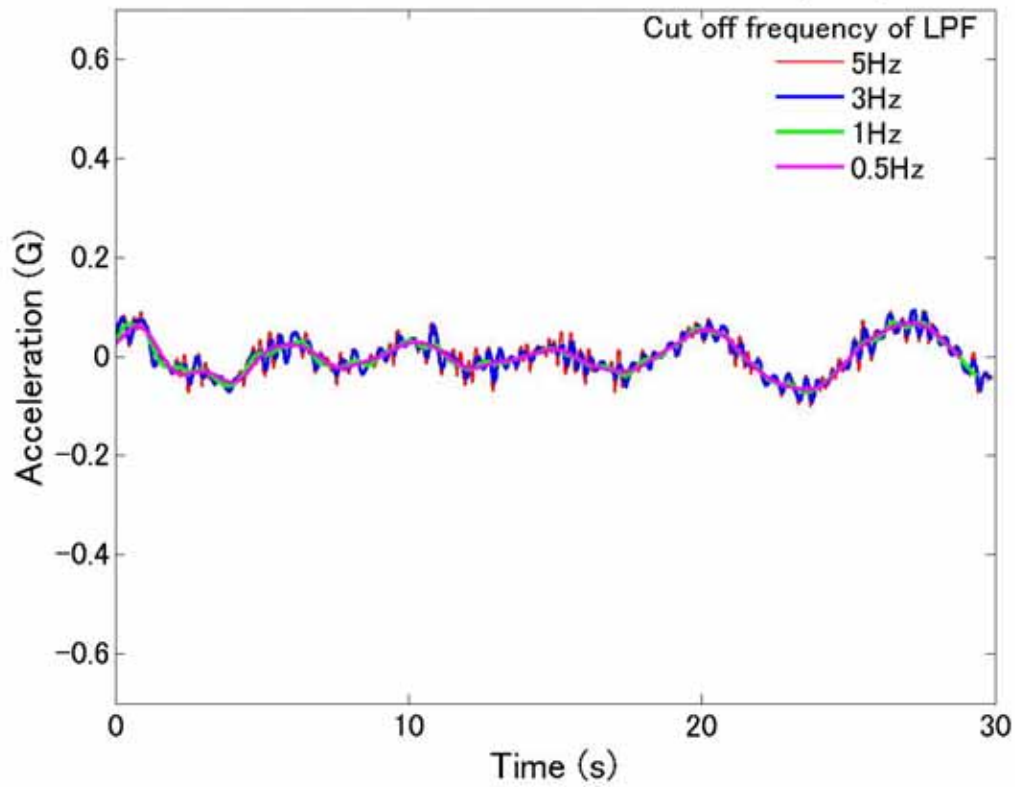
No.3 IMU Frequency Characteristics of X axis



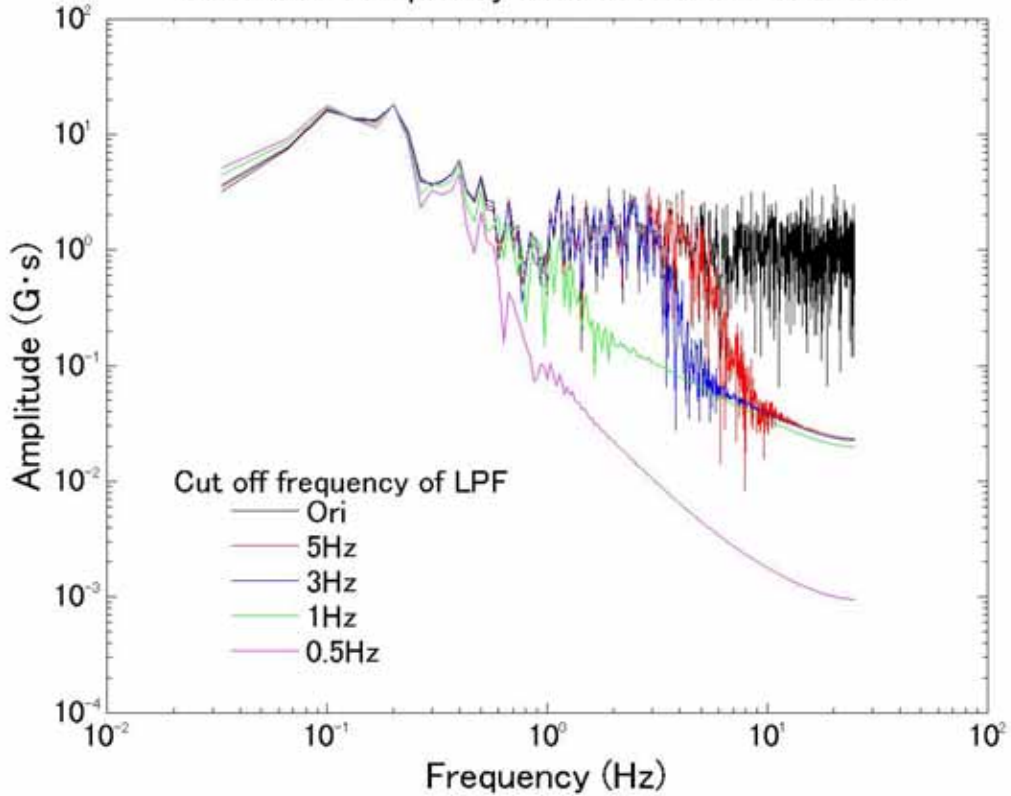


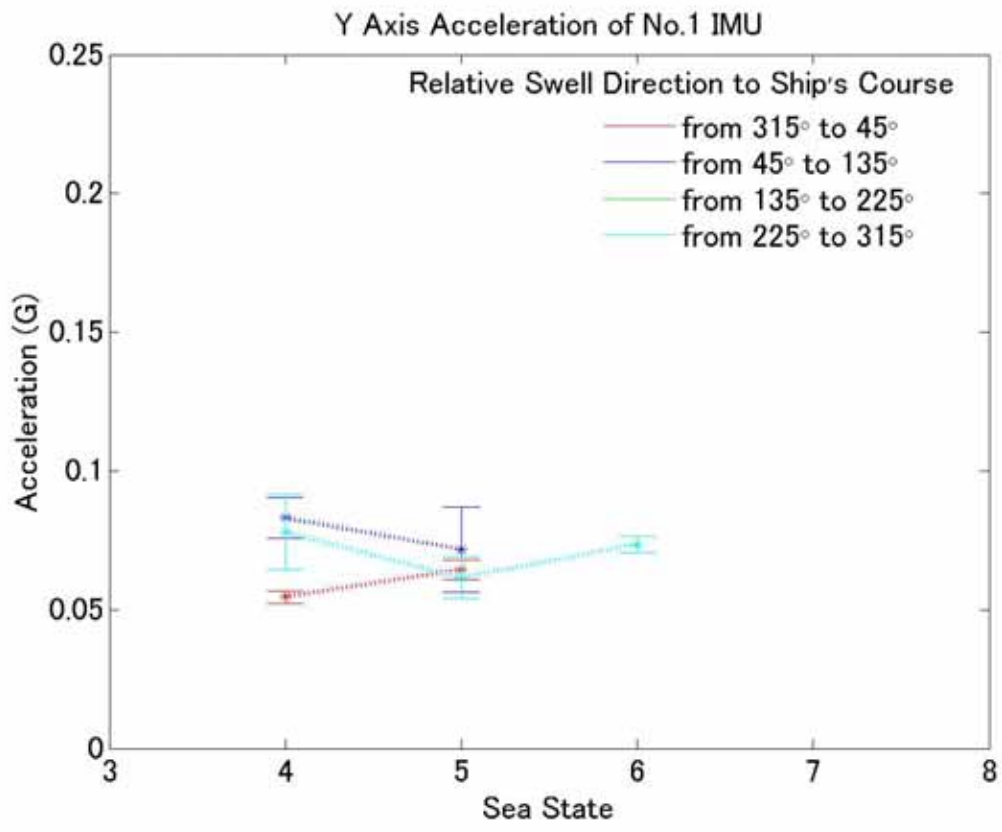
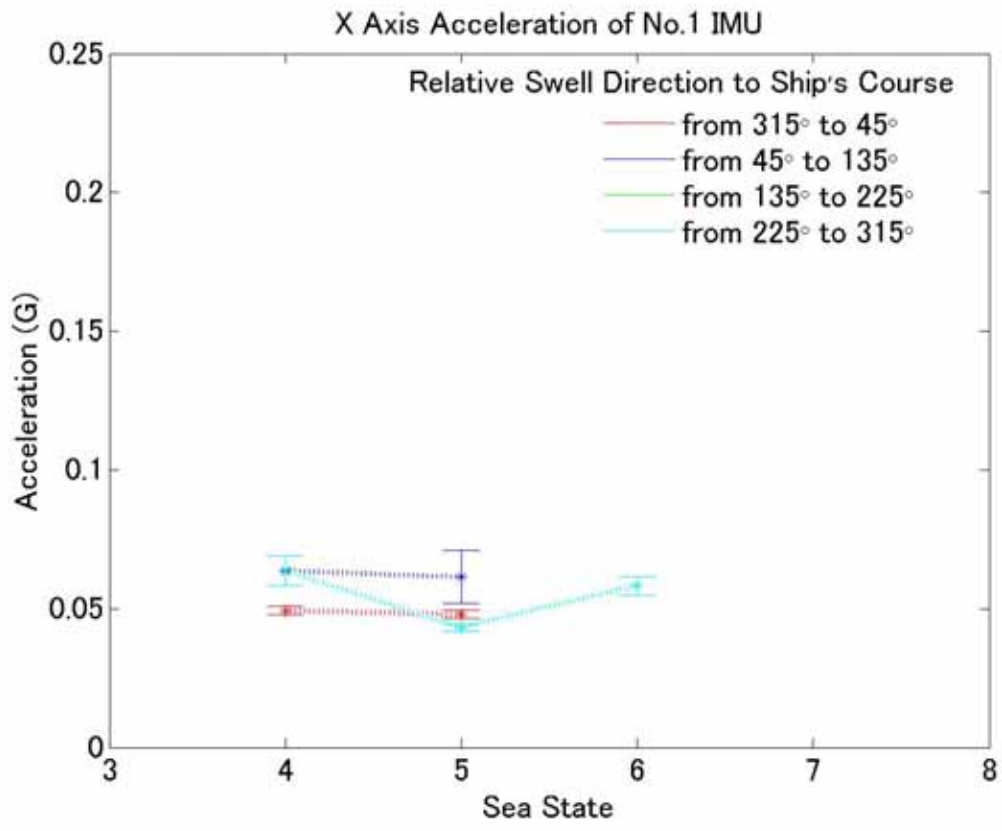


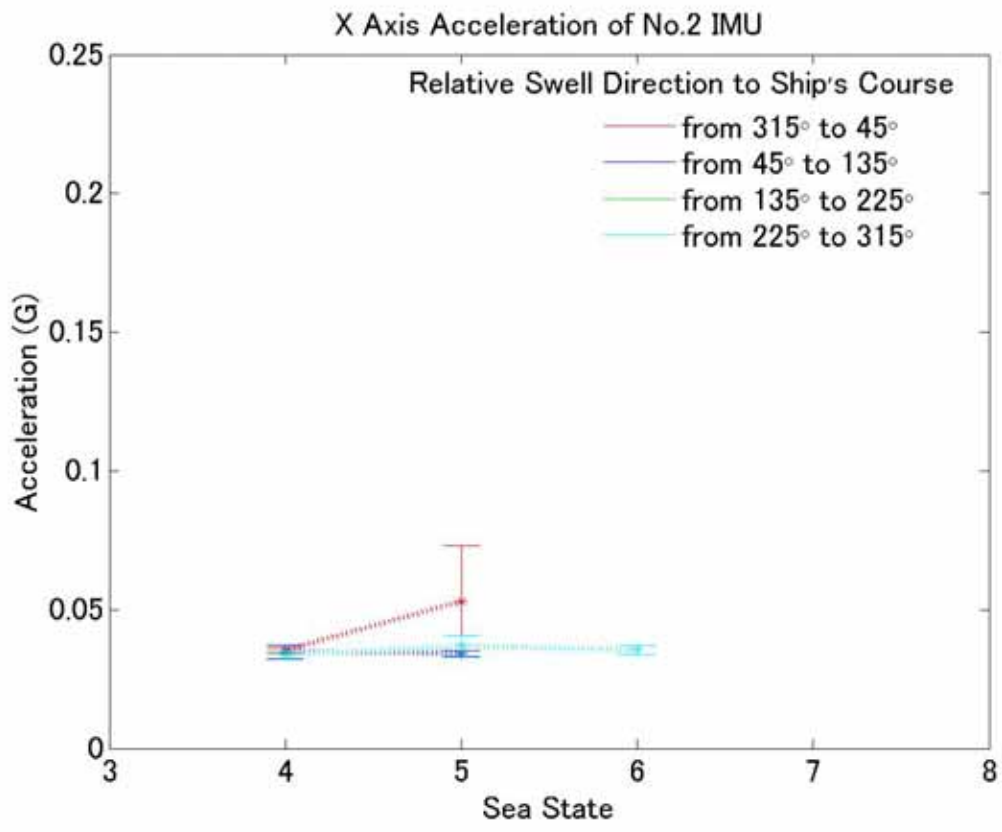
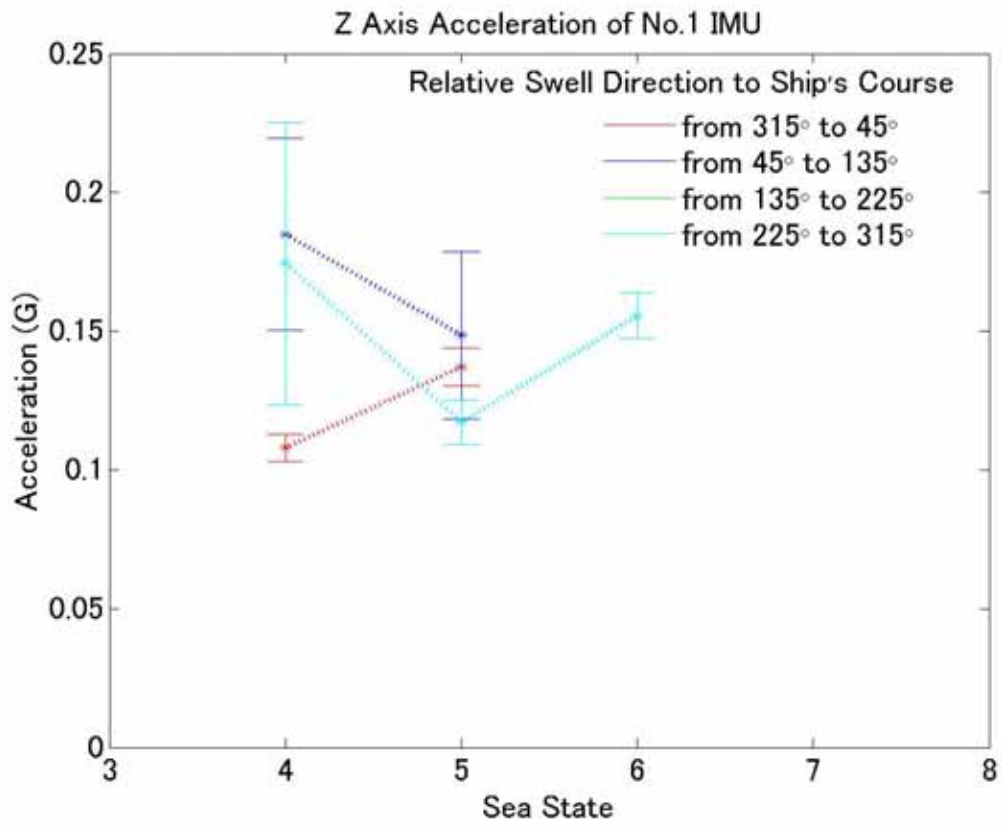
No.3 IMU Filtered Data with Different Cut Frequency of Z axis

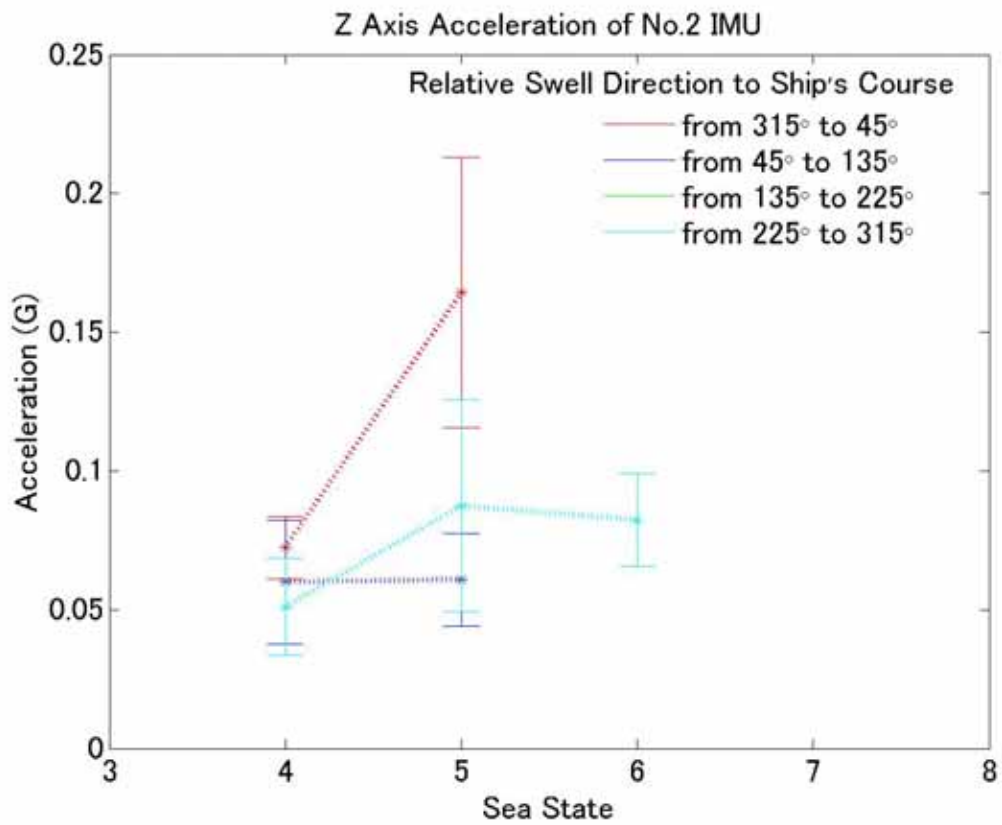
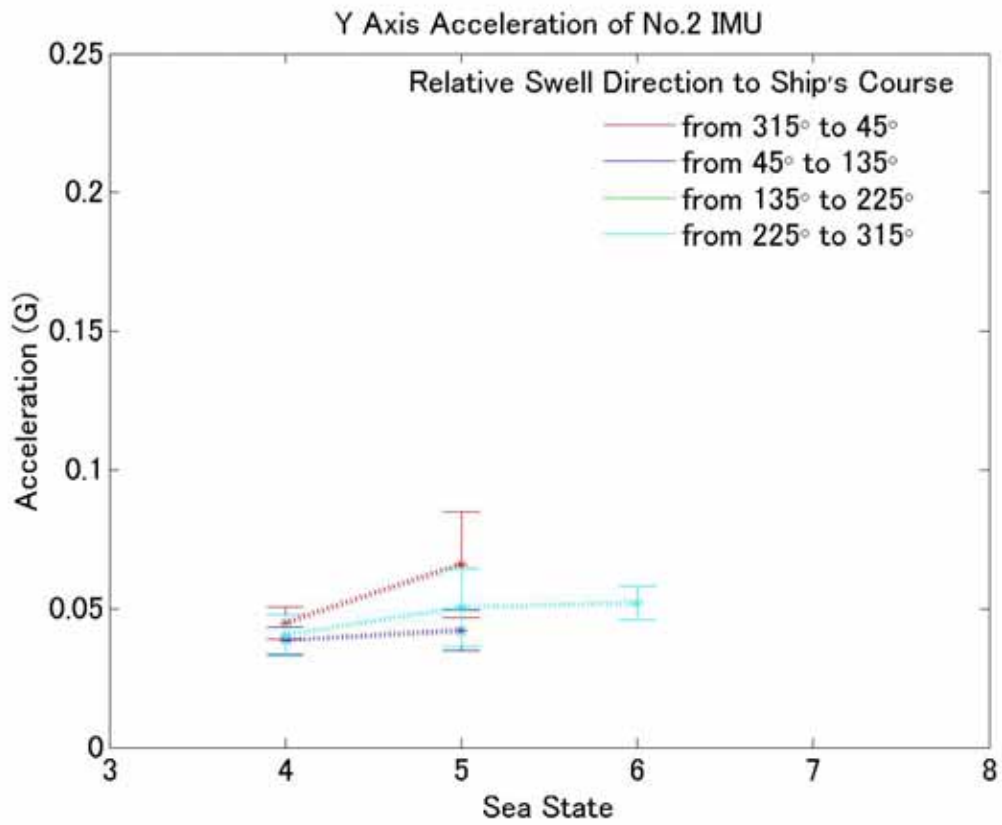


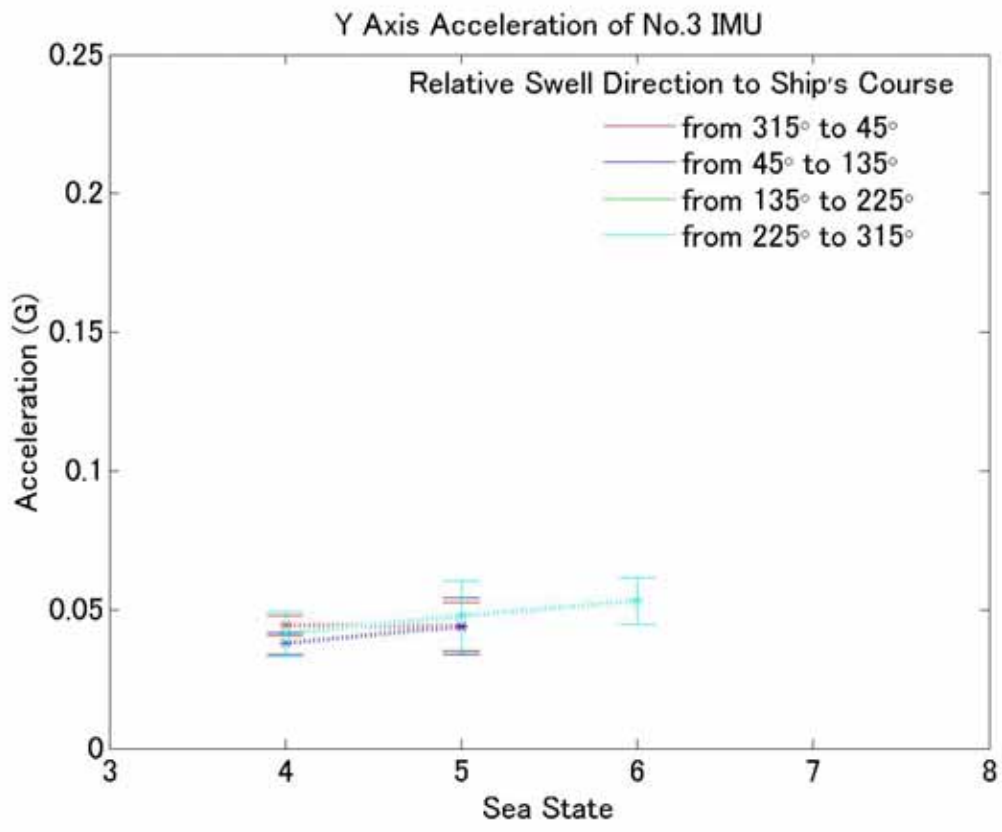
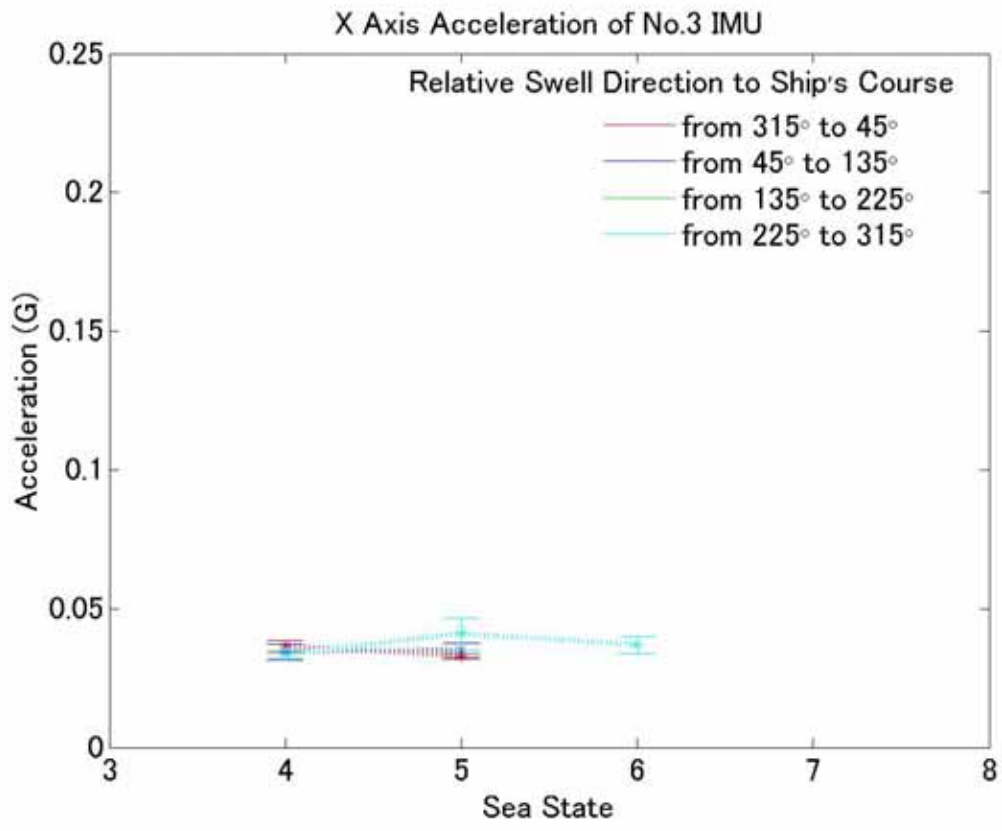
No.3 IMU Frequency Characteristics of Z axis

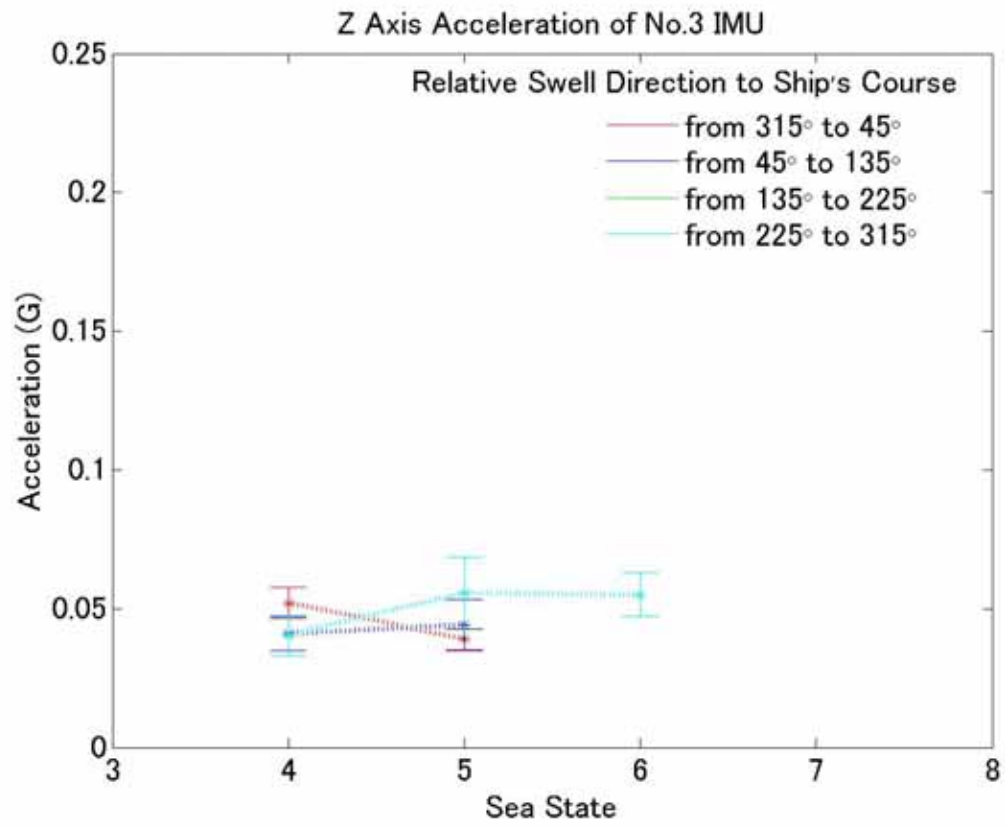












平成24年度報告書

陸上輸送による衝撃値（加速度）の測定

早稲田大学理工学術院総合研究所

一般社団法人日本海事検定協会
検査第一サービスセンター

目 次

1 . 調査の概要	... 2
2 . トラックの発進、急停止、カーブ走行中の加速度計測	
2 - 1 計測日時	... 2
2 - 2 計測法案	... 3
2 - 3 計測実施の状況	... 4
2 - 4 計測結果	... 5
3 . 陸上輸送中において発生する荷扱いの衝撃値計測	
3 - 1 計測期間	... 14
3 - 2 ダミーボックス詳細	... 14
3 - 3 ダミーボックス毎の計測回数及びイベント数（記録数）	... 16
3 - 4 計測器	... 17
3 - 5 計測時の設定ファイル	... 17
3 - 6 計測データと解析	... 18
4 . 4 . 陸上輸送中の衝撃値・加速度データの統計処理およびその活用策に関する報告	
4 - 1 研究目的	... 20
4 - 2 使用機器・使用ソフト	... 20
4 - 3 計測データ	... 21
4 - 4 計測データの評価と統計処理	... 21
4 - 5 統計処理結果	... 22
4 - 6 研究の結論	... 30
4 - 7 今後の課題	... 31

1. 調査の概要

本事業の目的は、船舶・トラック・鉄道・航空機等の輸送モード別、貨物の単体輸送・コンテナ輸送別に輸送中に発生する衝撃値(加速度)を一定期間にわたって計測・収集し、その結果を取りまとめたうえでデータベース化して公表するものである。

トラック・鉄道・航空機のジャンルでは、平成 23 年度の陸上輸送中の加速度計測の計画を継続して、トラック輸送の走行における急発進、急ブレーキ、カーブ走行を実際に行い発生した加速度の状況を調査した。また、昨年度から製作を始めた計測機を収納した梱包物を利用して陸上輸送中において発生する荷扱いの衝撃値を計測した。荷扱いの衝撃値データは、早稲田大学理工学術院にて統計処理を実施した。

本報告書は、早稲田大学の報告書と合わせて一体の報告書として作成した。

1. トラックの発進、急停止、カーブ走行中の加速度計測

2 - 1 計測日時

トラック走行中の加速度を直接に計測するにあたり、トラック荷台上に貨物を積載して、加速度がかかる設定を発進時、急停止、カーブ走行中と分類して加速度を計測した。

計測日時	: 平成 24 年 11 月 19 日 13 時~17 時
天候	: 曇
計測場所	: 一般社団法人 日本自動車研究所「城里テストコース」 茨城県東茨城郡城里町大字小坂字高辺多 1328 番 23 旋回試験場の使用(路面はアスファルト舗装)
計測器	: CROSSBOW 社の NAV440CA
使用トラック	: 弊会使用中の「いすゞエルフ」 4 トン車、平ボディ、リーフ式サスペンション 走行距離 7,152km
貨物の積載状態	: 荷台に貨物を 2 トン積載 分銅 2 個を荷台前方に積載して木材にて四方を釘固縛した後、上部から固縛バンドにて保定
計測器の設置場所	: トラックの荷台中央(上記貨物の後方)に設置
タイヤ空気圧	: 前輪 2 個並びに後輪 4 個の計 6 個のタイヤ空気圧すべてを 600 kpa で調整



図 2-1 使用トラック



図 2-2 荷台前方が積載貨物（1t 基準分銅を 2 つ）
計測機（黄色）は荷台の中央部に両面テープにて設置
計測器用電源、プレートース及びケーブルはガムテープで保定

2 - 2 計測法案

- 発進時の加速度計測 : 通常の発進と急発進に分けて計測
計測回数は通常発進と急発進をそれぞれ 2 回
- 急停止時の加速度計測 : 直進の走行速度時速 20km、30km、40km から急停止による計測
計測回数はそれぞれの走行速度で 2 回
- 旋回中の加速度計測 : 試験場既設の旋回ライン半径 15m、20m、30m、50m、70m、140m を使用して一定速度の走行により計測
半径 15m ~ 70m は半周旋回中の計測
半径 140m は扇形約 150 度の旋回中の計測

計測旋回速度の予定は下記とし、予定以上の速度で旋回可能か否かは実運転の上で判断することとした

半径 15m、20m、30m は時速 20km、30km、40km

半径 50m、70m、140m は時速 40km、50km、60km、70km、80km

左旋回で実施し計測回数は1回

上記の計測法案法に基づき、旋回中の加速度計測、発進時の加速度計測、急停止時の加速度計測の順に実施した。

2 - 3 計測実施の状況

(1) 旋回中の加速度計測：左旋回

表 2-1 表中の 印は計測実施を示す

半径 \ 時速	20km	30km	40km	50km	備考
15m		* 1	* 1		(* 1) 30,40km 未満の走行となる
20m					50km トライするも断念
30m					

半径 \ 時速	40km	50km	60km	70km	80km	備考
50m			* 2			(* 2) 60km 走行が 55km 走行となり、55km を追加 70km トライするも断念
70m				* 3		(* 3) 70km 走行が 67km 走行となり、67km を追加
140m						



図 2-3 旋回試験実施状況



図 2-4 旋回試験実施状況

(2) 発進時の加速度計測

通常発進はエンジン回転数を 1,000 ~ 2,000 回転で発進した。

急発進はエンジン回転数を 2,000 回転以上にして発進した

(3) 急停止時の加速度計測

走行速度時速 20km、30km からの急停止は 2 回計測

走行速度時速 40km からの急停止 1 回目計測は後輪がスリップして横滑りした。貨物固縛の木材が浮き上がった為、計測を終了した。

(4) 計測器の設置軸方向

- X 軸 トラックの前後方向 (グラフ表示 赤線)
 座標系は前方向が (+)
- Y 軸 トラックの左右方向 (グラフ表示 青線)
 座標系は右方向が (+)
- Z 軸 トラックの上下方向 (グラフ表示 緑線)
 座標系は下方向が (+)



図 2-5

トラック荷台中央部に両面テープで設置の計測器
X 方向が前方

2 - 4 計測結果

(1) 旋回中の加速度

旋回中の加速度計測において最も気をつけた点は、速度を一定に保つことで注力したが、旋回ラインマークに沿いながら一定速度を維持し続ける事はなかなか難しいことであった。

トラックの走行速度の変化による影響で、左右方向の加速度値(G)はそれぞれの計測において概ね 0.08(G)の最大最小差があり、下記は加速度ラインが安定している状態の加速度値(G)を採用したが、平均して ± 0.04 (G)の上下巾は有している。

また、半径 15m の旋回計測にて時速 30km 及び 40km 走行は各々時速 30km 未滿、40km 未滿であったため、表示はそれぞれ 27km、37km とした。

旋回中の加速度計測 : 単位 (G)

表 2-2 左旋回 左右方向の結果

半径 \ 時速	20km	27km	30km	37km	40km	50km
15m	-0.182	-0.311		-0.482		
20m	-0.179		-0.361		-0.524	
30m	-0.139		-0.281		-0.403	-0.486

旋回中の加速度計測 : 単位 (G)

表 2-3 左旋回 左右方向の結果

半径 \ 時速	40km	50km	55km	60km	67km	70km	80km
50m	-0.302	-0.433	-0.468	-0.526			
70m	-0.251	-0.308		-0.400	-0.474	-0.479	
140m	-0.122	-0.160		-0.252		-0.328	-0.396

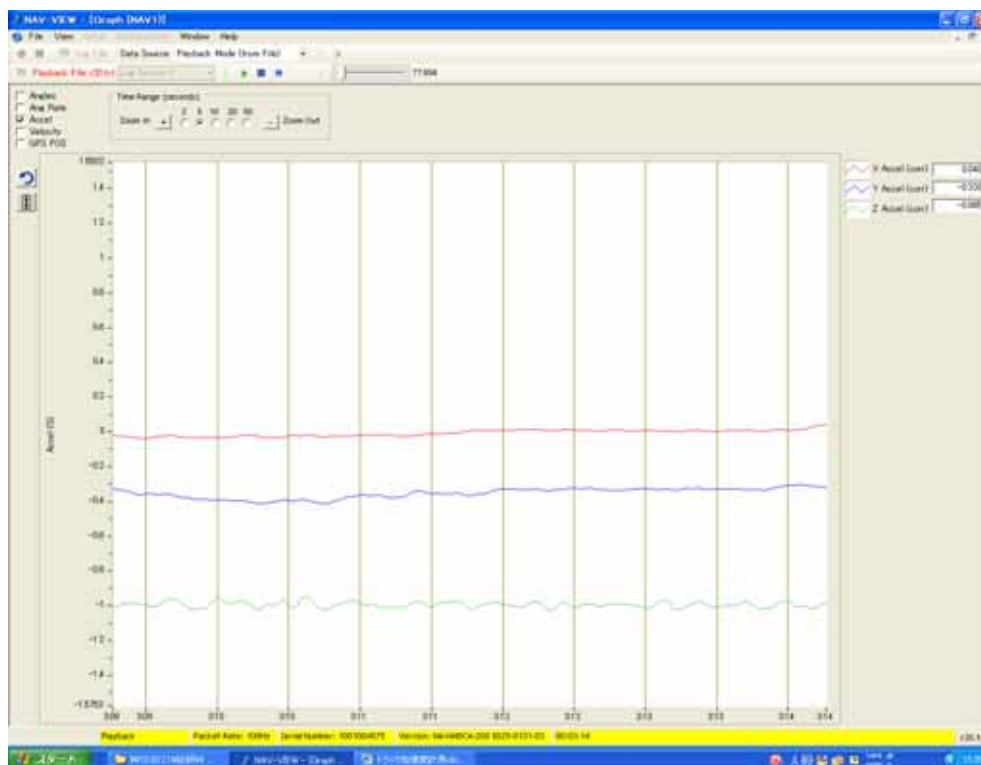


図 2-6 半径 20m を時速 30km 走行の加速度

左右方向加速度は Y 軸 (青線)

加速度ラインが安定している後半の加速度値 (G) を採用

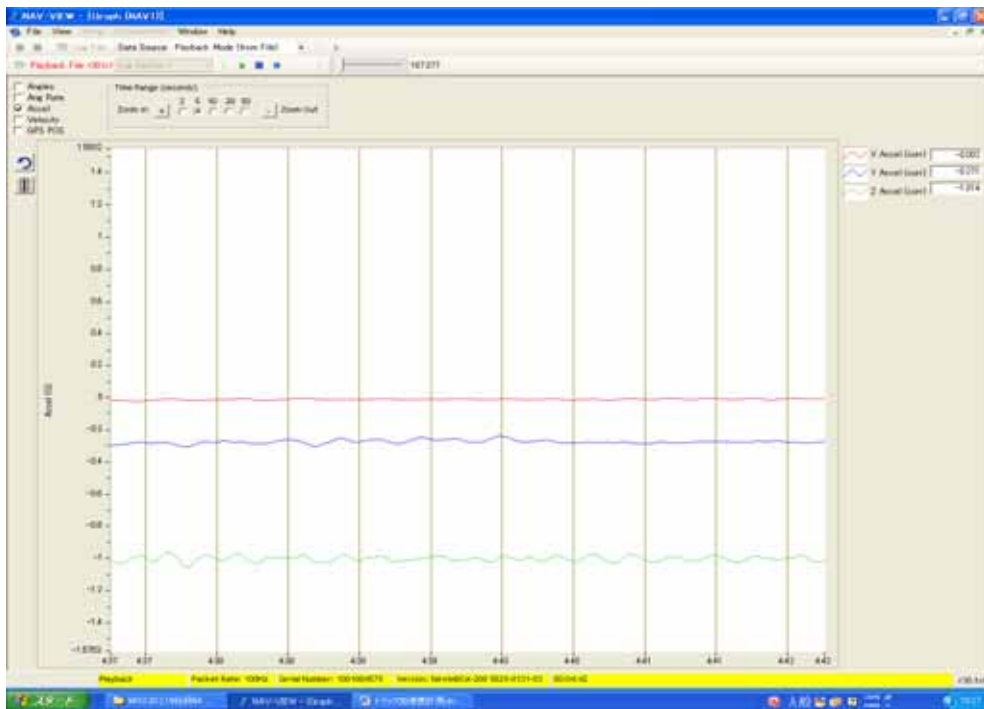


図 2-7 半径 30m を時速 30km 走行の加速度
Y 軸（青線）で加速度ラインが安定している後半の加速度値（G）を採用

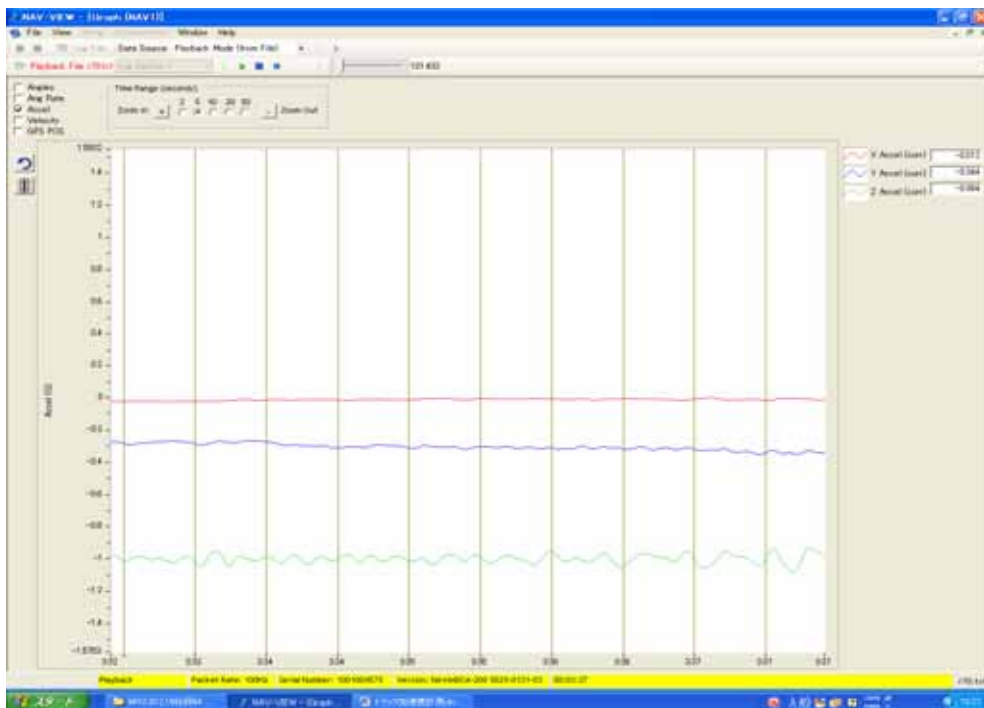


図 2-8 半径 70m を時速 50km 走行の加速度
Y 軸（青線）で加速度ラインが平均にある中間の加速度値（G）を採用

(2) 発進時の加速度

通常発進はエンジン回転数を 1,000~2,000 回転で発進し、急発進はエンジン回転数を 2,000 回転以上にして発進した。

通常発進では、進行方向に緩やかに 0.2G (X 軸(赤線))がかかり、上下方向 (Z 軸(緑線)) の変化はなかった。

急発進では、急激に 0.6G がかかり、上下方向に $\pm 0.1G$ がかった。

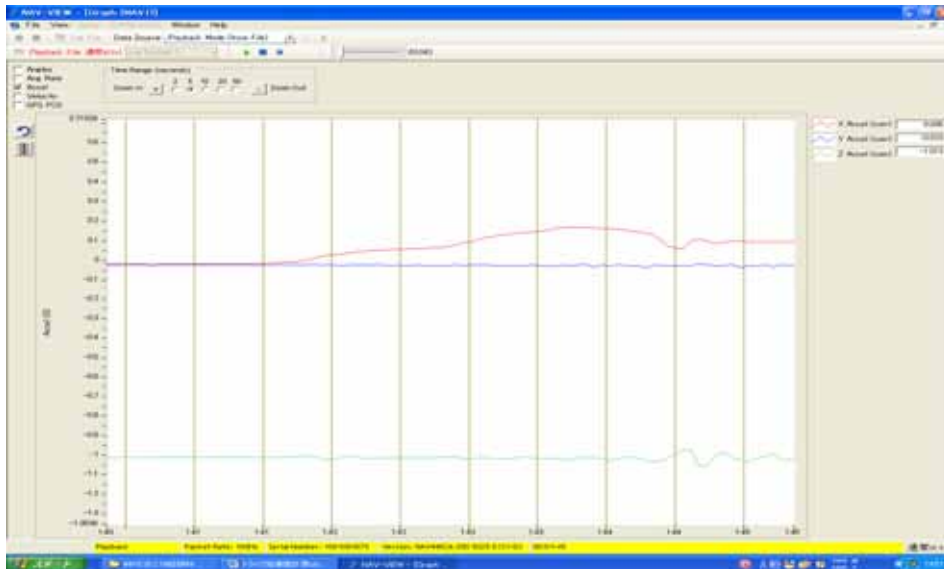


図 2-9 通常発進

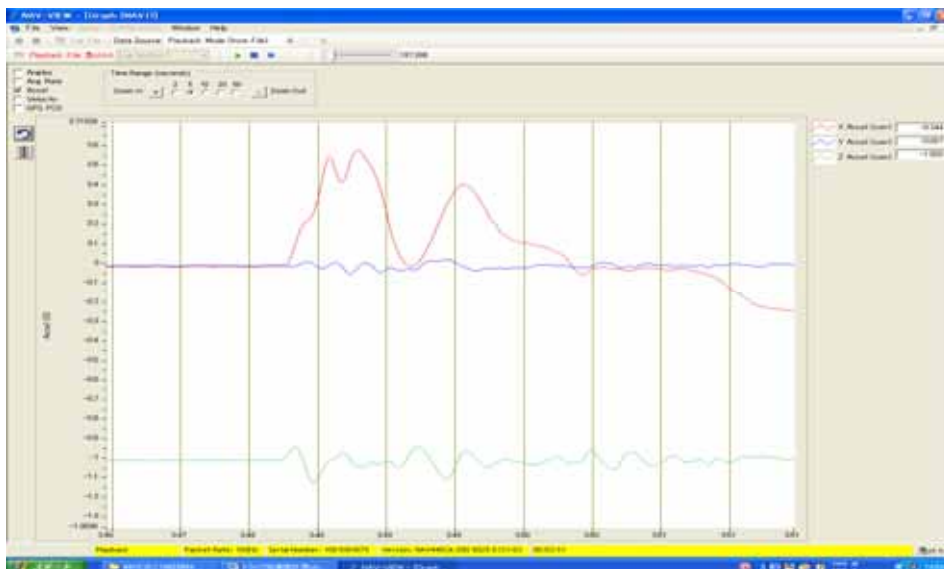


図 2-10 急発進

(3) 急停止時の加速度

時速 20km からの急停止でさえ、前後方向の加速度(G)は、(-)0.75G (+)0.35G と 1.1G の変化がある。

表 2-4

	前後方向の加速度 (G)	上下方向の加速度 (G)
20km からの急停止	(-)0.75G (+)0.35G	(-)0.30G (+)0.47G (-)0.40G
30km からの急停止	(-)0.85G (+)0.48G	(-)0.28G (+)0.42G (-)0.53G
40km からの急停止	(-)0.97G (+)0.24G	(-)0.30G (+)0.55G (-)0.28G

加速度座標系：前後方向：トラックの前方向が (+)

上下方向：下方向が (+)。上記値は(-)1G を基準にした変動値を記載。

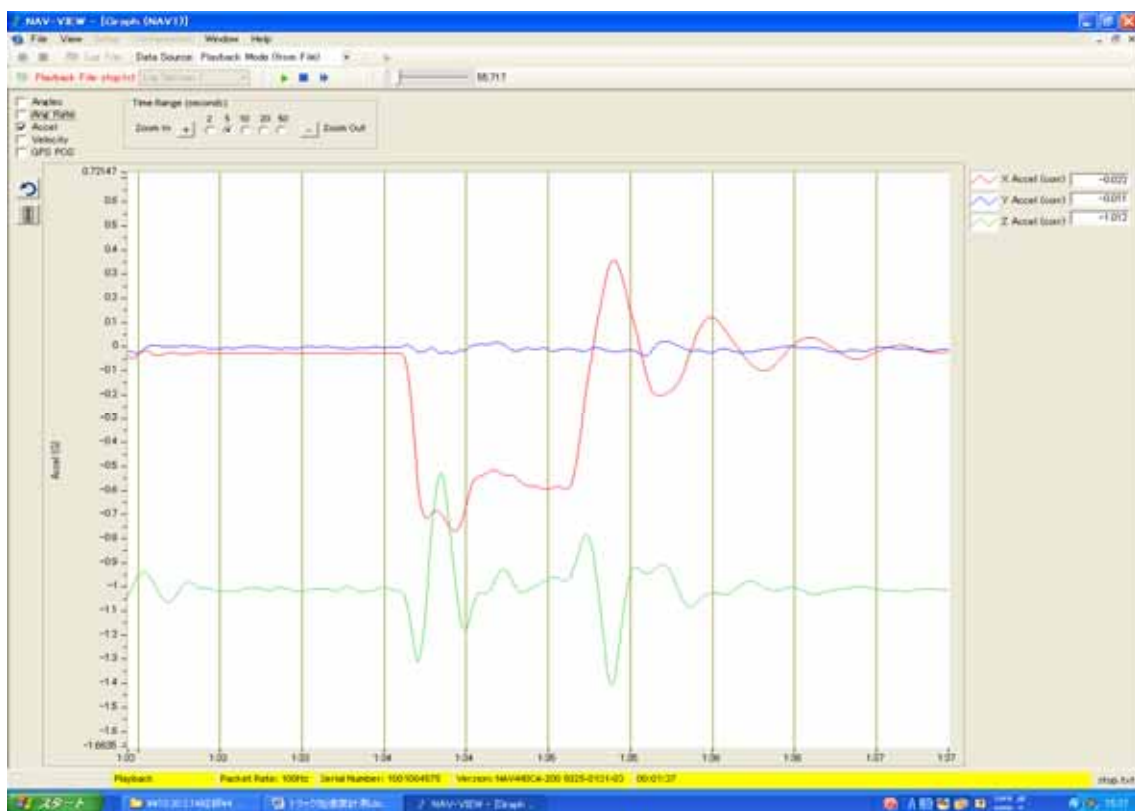


図 2-11 時速 20km からの急停止

時速 20km からの急停止では、

1:34 から 1:36 の 2 秒間において、前後方向加速度 (X 軸(赤線))は、急激に後方(-)への加速度がかかり、その後進行方向(+)、後方(-)、進行方向(+)と変化しながら収斂していく。

グラフ上 G の値は、(-)0.71G、(-)0.75G、(-)0.59G、(+)0.35G、(-)0.2G、(+)0.12G と変化し、G の最大変化は 1.10G であった。

上下方向加速度 (Z 軸(緑線))は、(-)1G 基点から (-)0.30G (上方向) が一旦かかり、後方への加速度がピーク(-)0.75G(X 軸) に向かう時に (+)0.47G (下方向) がかかり、進行方向(+)0.35G(X 軸)かかる時に (-)0.4G(上方向)がかかる。グラフ上 G の値は(-)1.30G、(-)0.53G、(-)1.40G と変化し、G の最大変化は 0.87G であった。

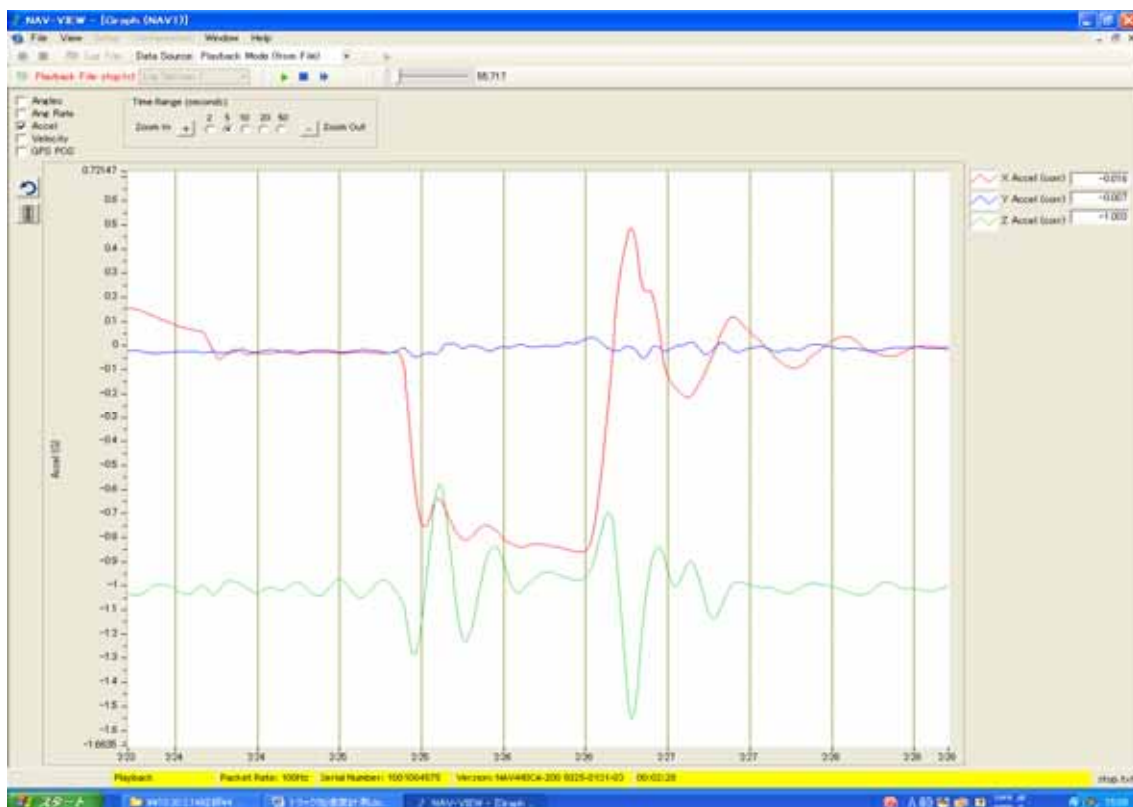


図 2-12 時速 30km からの急停止

時速 30km からの急停止では、2:25 から 2:27 の 2 秒間に加速度がかかっている。前後方向加速度 (X 軸(赤線))は、急激に後方(-)への加速度がかかり、その後進行方向(+)、後方(-)、進行方向(+と変化しながら収斂していく状態は 20km からの急停止と同様である。グラフ上 G の値は、(-)0.75G、(-)0.65G、(-)0.85G、(+0.48G、(-)0.21G、(+0.12G と変化し、G の最大変化は 1.33G であった。

上下方向の加速度 (Z 軸(緑線))が生じる前後方向加速度との関係は時速 20km からの急停止と同様であり、(-)1G 基点から (-)0.28G (上方向) が一旦かかり、すぐに (+)0.42G (下方向) がかかり、(-)0.53G (上方向) がかかる。グラフ上 G の値は、(-)1.28G、(-)0.58G、(-)1.53G と変化し、G の最大変化は 0.95G であった。

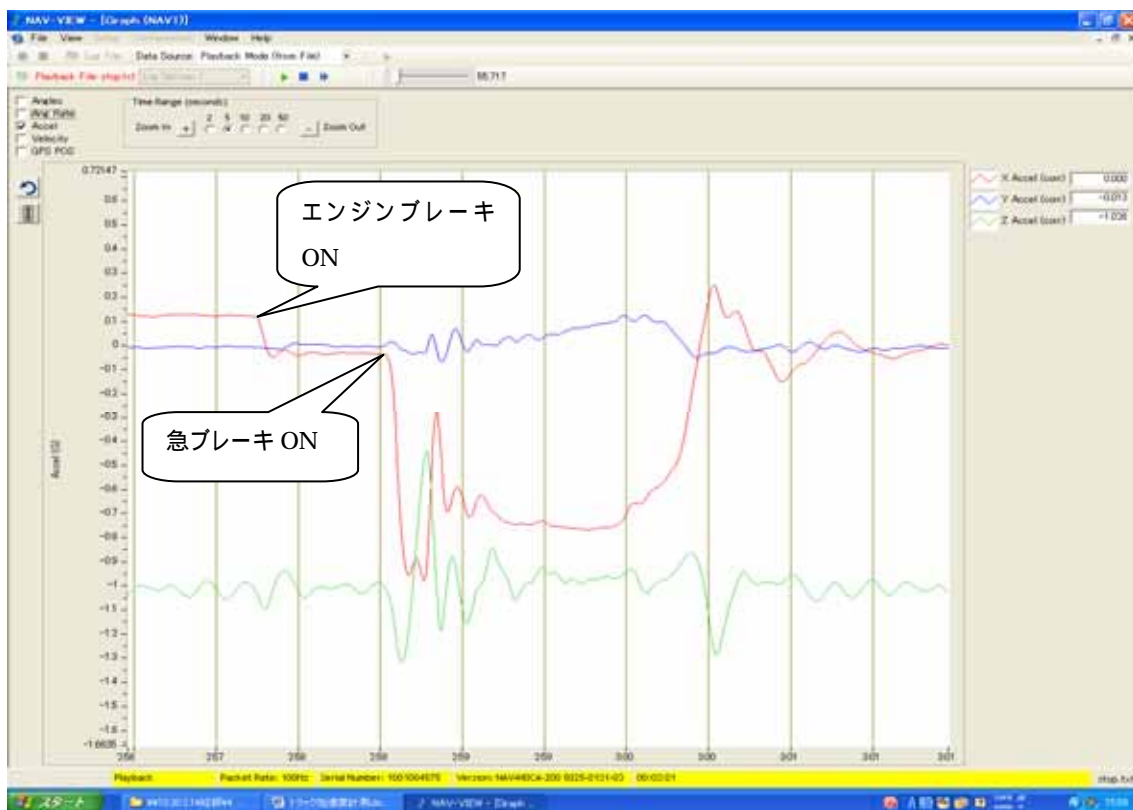


図 2-13 時速 40km からの急停止

時速 40km からの急停止では、後輪がスリップして後部が横滑りしたので停止まで約 3 秒ほどかかっている。2:58 から 3:01 の 3 秒間である。

前後方向加速度 (X 軸(赤線))は、急激に後方(-)への加速度(-)0.97G がかかるが、一旦減少 (-)0.30G して再び後方への加速度(-)0.76G がかかっている状態が前記と相違している点であり、その後、進行方向(+)、後方(-)、進行方向(+と変化しながら収斂していく状態は前記と同様である。グラフ上 G の値は、(-)0.95G、(-)0.97G、(-)0.30G、(-)0.76G、(+0.24G、(-)0.15G、(+0.05G と変化し、G の最大変化は 1.21G であった。

上下方向の加速度 (Z 軸(緑線))が生じる前後方向加速度との関係は前記と同様であり、(-)1G 基点から (-)0.30G (上方向) が一旦かかり、すぐに (+)0.55G (下方向) がかかり、(-)0.28G (上方向) がかかる。グラフ上 G の値は、(-)1.30G、(-)0.45G、(-)1.28G と変化し、G の最大変化は 0.85G であった。

横滑りした影響で 20km 及び 30km からの急停止では変化が無かった横方向加速度 (Y 軸(青線) に+0.12G がかかっている。



図 2-14 時速 40km からの急停止により前方に移動した貨物



図 2-15

時速 40km からの急停止により浮き上がったチョッキング角材

下図は、時速 20km、30km 及び 40km からのそれぞれの急停止における角度、角速度、加速度を上から表示している。角度 Angle(deg)、角速度 Ang Rate(deg/s)、加速度 Accel(G)である。角度 Pitch(青線)はどの速度においても急ブレーキにより先ず(-)1.5(deg)を示し、角速度 Y Rate(青線)は、先ずほぼ同じの(-)9 ~ -10(deg/s)を示しているが、角速度 Z Rate(緑線)が時速 40km からの急停止においては後部が横滑りしたため (+)9 (deg/s)を示している。

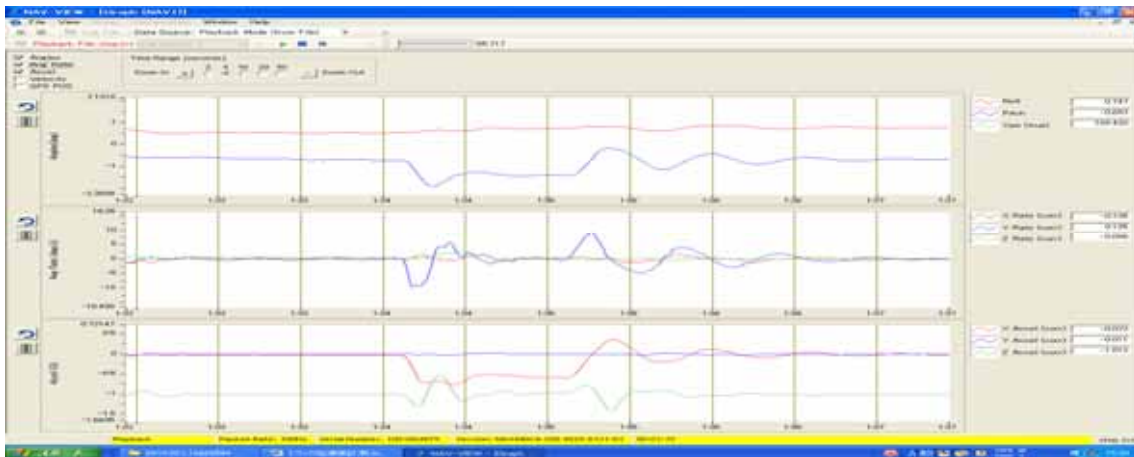


図 2-16 時速 20km からの急停止 上から角度、角速度、加速度

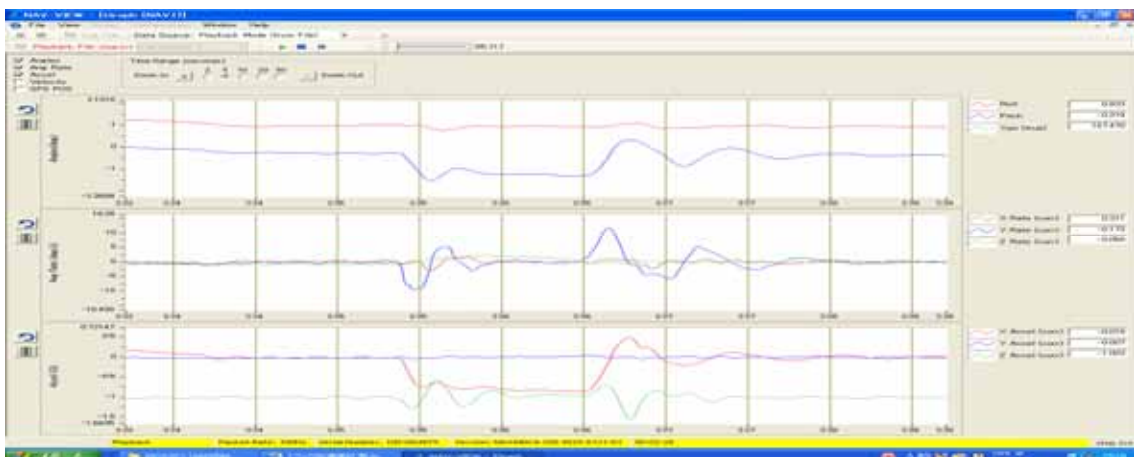


図 2-17 時速 30km からの急停止 上から角度、角速度、加速度

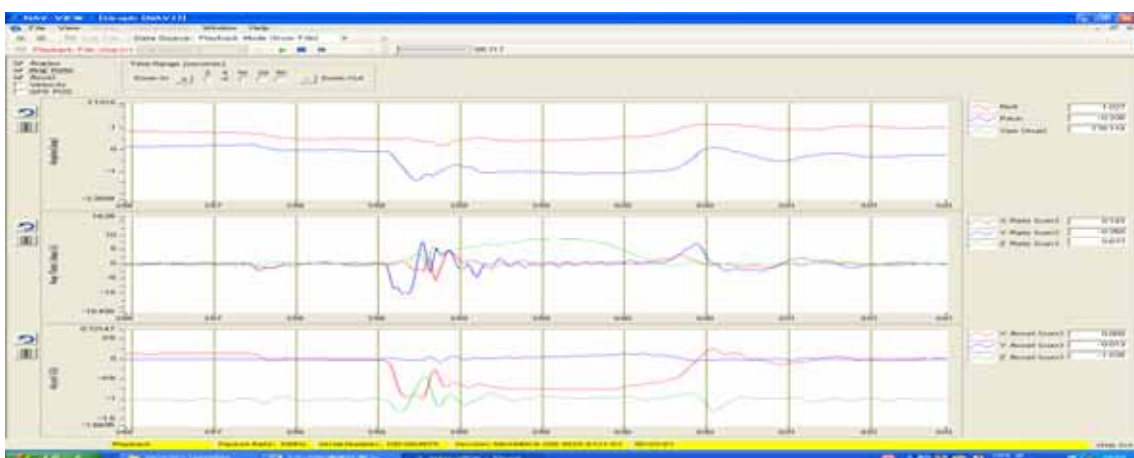


図 2-18 時速 40km からの急停止 上から角度、角速度、加速度 角速度が(+9 (deg/s)を示す

3 . 陸上輸送中において発生する荷扱いの衝撃値計測

現在の物流は梱包物をユニタイズしたパレット等による輸送が主で、フォークリフト等による機械荷役が一般的であるが、梱包個品は物流過程の開始から終了までにおいて単体で扱われることが多く、陸上輸送のあらゆる場面で梱包品単体荷役が行われていることから、もっとも頻繁に個品輸送が行われる宅配便による輸送中の衝撃値を計測した。

3 - 1 計測期間

平成 24 年 3 月 ~ 平成 25 年 1 月

3 - 2 ダミーボックス詳細

カートンは一般的かつ普遍的な種類が望ましい事から、大手宅配便業者の規格カートンを使用し、反復利用できる強度を確保することを基本に下記 3 種類のボックスを作成。

左から

ボックス C

B

A

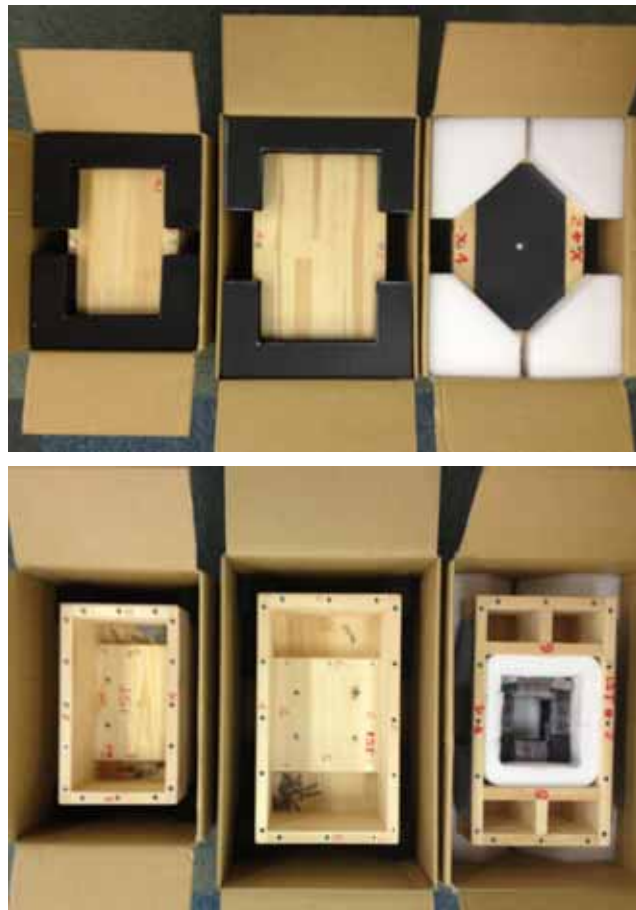


図 3-1



図 3-2 ボックス A (L) 32cm x (W) 46cm x (H) 29cm 11.0 kg



図 3-3 ボックス B (L) 32cm x (W) 46cm x (H) 29cm 5.8 kg



図 3-4 ボックス C (L) 27cm x (W) 38cm x (H) 29cm 5.2 kg

ダミーボックス A と B は同じ外観寸法で質量を変えた。

ダミーボックス B と C はほぼ同じ質量で外観寸法を変えた。

計測結果より「荷扱いは質量に依存するのか？」「荷扱いは寸法に依存するのか？」を評価する。

3 - 3 ダミーボックス毎の計測回数及びイベント数（記録数）

当初の計画では各ボックス同じ回数の計測を実施する予定であったが、下記(表)のとおり、計測回数がボックスAに偏り、回数（ファイル数）に比例してイベント数も多く記録されている。このイベント数とは、全てのイベント（衝撃値の記録）の数であり、統計処理に使用した等価落下高さ10cm以上に限定したイベント数とは異なる。

計測回数がボックスAに偏ったのは、ボックスB及びCの作成に時間を要した事と、ボックスBにて鹿児島、札幌等、遠方への配送が重なったことが要因である。

表 3-1 ダミーボックスA

経路（往復）	距離(km)	回数	イベント数	イベント数の平均
横浜 / 大阪	489	14	1067	76.2
横浜 / 神戸	511	15	1579	105.3
横浜 / 北九州	1,016	4	311	77.8
横浜 / 鹿児島	1,332	10	759	75.9

表 3-2 ダミーボックスB

経路（往復）	距離(km)	回数	イベント数	イベント数の平均
横浜 / 鹿児島	1,332	7	610	87.1
横浜 / 札幌	1,164	3	430	143.3
横浜 / 清水	152	2	180	90.0
横浜 / 名古屋	333	2	190	95.0

表 3-3 ダミーボックスC

経路（往復）	距離(km)	回数	イベント数	イベント数の平均
横浜 / 清水	152	5	505	101.0
横浜 / 大阪	489	3	119	39.7
横浜 / 北九州	1,016	2	188	94.0
横浜 / 東京	36	1	83	83.0

3 - 4 計測器

計測器：I S T社製 EDR - 3 C



図 3-5

3 - 5 計測時の設定ファイル

Event Definition 「イベント定義」

サンプル周波数や最大サンプル数等の設定

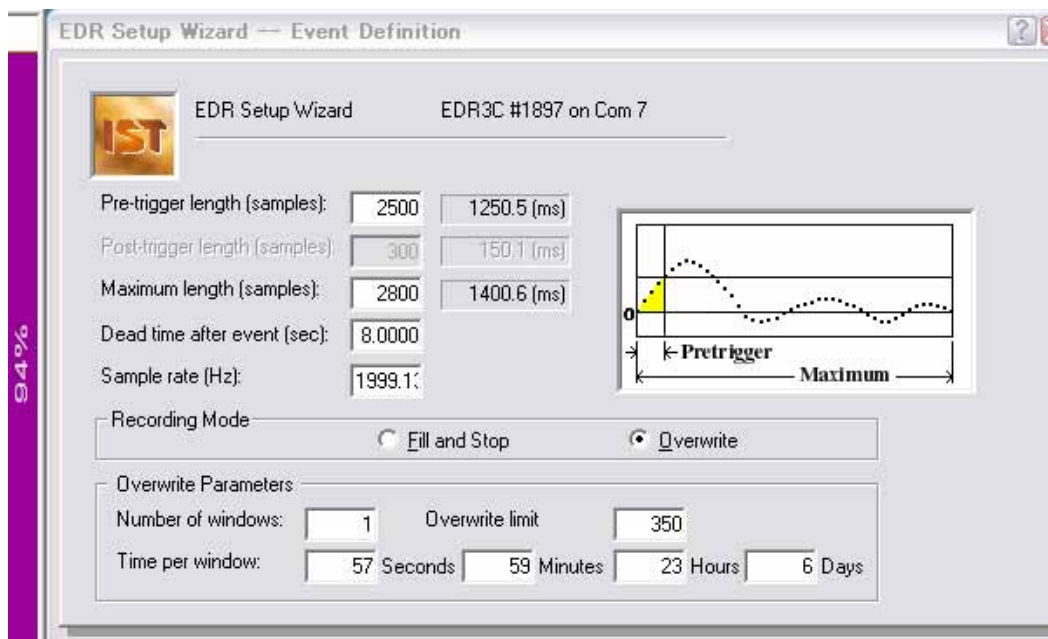


図 3-6

Triggering Menu 「トリガメニュー」

記録を発生させる閾値（最小）の g レベルとトリガリング軸等の設定

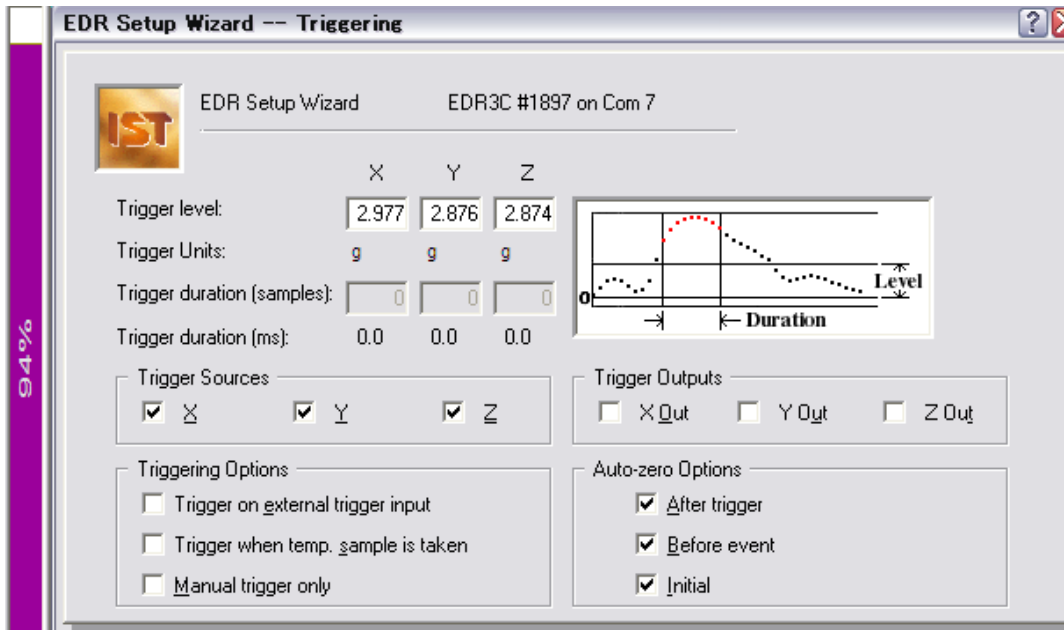


図 3-7

3 - 6 計測データと解析

計測データは専用のパッケージプロファイラ解析ソフトでMAX DROPを採用して全てのイベント（衝撃値の記録）を「等価落下高さ」に演算して解析した。下図は等価落下高さ最大値を記録した時の波形と Summary である。

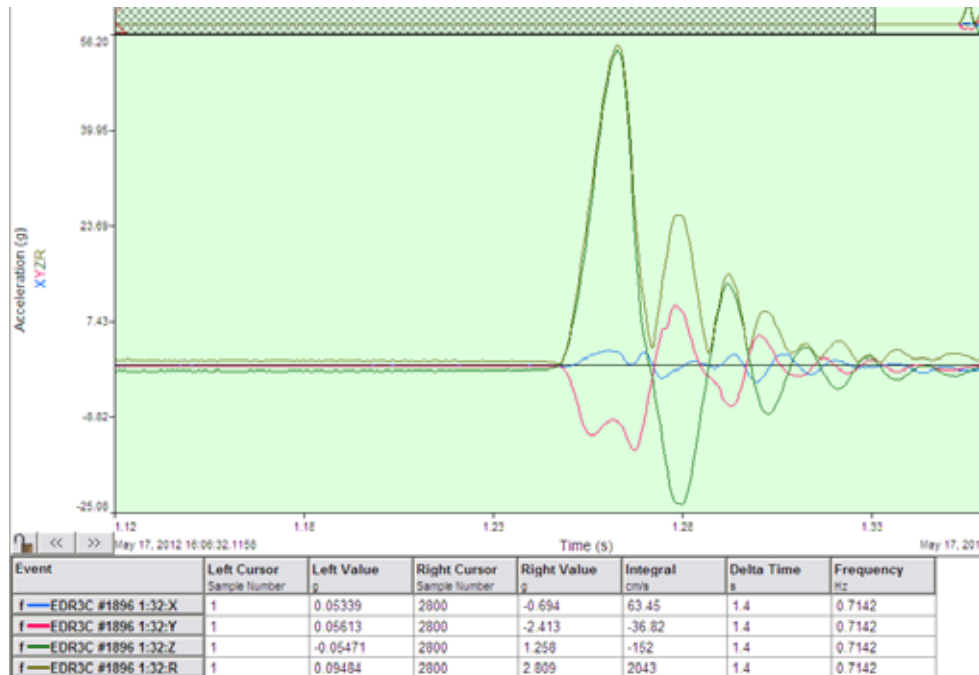


図 3-8 衝撃値波形：表示単位は縦軸：g 横軸：秒

	Peak X g	Peak Y g	Peak Z g	Peak R g	Velocity X cm/s	Velocity Y cm/s	Velocity Z cm/s	Velocity R cm/s	Max Drop Height cm
Average	-0.305	0.239	7.532	9.473	-1.640	4.702	90.317	170.644	6.512
StdDev	5.380	4.748	9.123	8.994	60.346	54.023	114.365	155.866	15.749
Maximum	22.508	9.858	53.455	54.343	250.210	219.735	624.931	778.516	91.232
Minimum	-17.394	-14.424	-6.425	3.047	-184.907	-220.992	-44.842	24.811	0.022

図 3-9 計測データの Summary (横浜/神戸)

計測した陸上輸送中に生じる衝撃・加速度データは、早稲田大学理工学術院総合研究所で統計処理等が実施された。なお、早稲田大学理工学術院総合研究所と協議を行い、等価落下高さ 10cm 未満のデータは、今回の計測方法による信頼性の低さより未処理とした。一方で上記の等価落下高さ 91.232 cmの結果は波形等を確認した結果、統計処理に含めることとした。

ダミーボックス毎の解析結果

等価落下高さ 10 cm以上の統計結果を整数(単位 cm)で表示

表 3-4

	最大値 (cm)	平均 (cm)
ボックス A	91	24
ボックス B	58	22
ボックス C	74	25

4．陸上輸送中の衝撃値・加速度データの統計処理およびその活用策に関する報告

4 - 1 研究目的

計測記録計を貨物内部に設置し、宅配便を利用したトラック輸送荷扱い時の衝撃値・加速度値を取得する。これらのデータをもとに、統計処理を施し、その活用策について研究を行う。この成果はトラックによる輸送機材の安全、輸送中の貨物の損害防止、危険回避策の構築などのために有用な情報になると考えられる。

4 - 2 使用機器・使用ソフト

研究で使用した機器や使用ソフトは、下記の(1)に示すようなトラックに搭載する3種類のダミーボックスとそのダミーボックス内に設置する下記(2)の計測記録計(EDR-3C)および(3)のデータ処理装置(DynaMax)である。

(1) ダミーボックス

EDR-3Cを載せて貨物輸送するための箱。今回は重さ・大きさの異なる3種類の箱を用いる。以下ボックスA,B,Cとする。ボックスの重さおよび大きさの仕様は以下の通りである。

ボックスA；サイズ(1)「(L)32cm x (W)46cm x (H)29cm」、総重量 11.0kg

ボックスB；サイズ(1)「(L)32cm x (W)46cm x (H)29cm」、総重量 5.8kg

ボックスC；サイズ(2)「(L)27cm x (W)38cm x (H)29cm」、総重量 5.2kg

(2) 計測記録計 EDR-3C

計測記録計。貨物内部に設置し、貨物にかかる衝撃値・加速度値を計測する。

(3) DynaMax

EDR-3Cで計測したデータの解析結果を見るためのソフト。加速度の波形を見たり、不必要な情報を非表示したりすることができる。また落下高さ解析パッケージおよびパッケージアニメータにより、得られた加速度データから落下した高さを解析し、さらに落下のアニメーションをグラフィックで表示することが可能である。

次図左(図4-1)は、加速度波形の計測例を、次図右(図4-2)は落下のアニメーションの例を示し、これらから落下等における加速度の変化状態や落下の状態が把握できる。

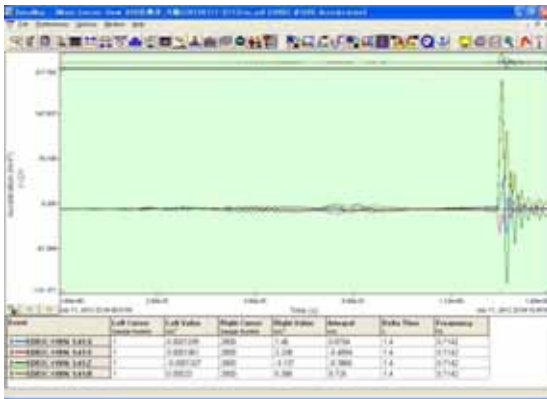


図 4-1 加速度波形表示

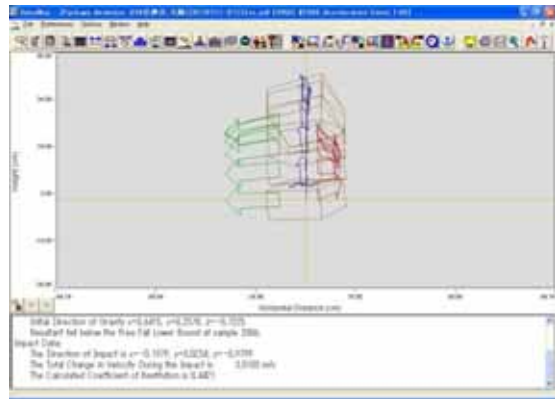


図 4-2 落下アニメーション表示

4 - 3 計測データ

(1) 計測期間

計測期間は 2012 年 3 月～2013 年 1 月である。

ボックスごとの計測期間は以下の通りである。

ボックス A：2012 年 3 月～2012 年 8 月

ボックス B：2012 年 8 月～2012 年 11 月

ボックス C：2012 年 11 月～2013 年 1 月

(2) 計測経路

貨物の輸送目的地は横浜を拠点として

札幌、東京、清水、名古屋、大阪、神戸、北九州、鹿児島

の 8 か所である。

いずれも往復のデータを計測した。往路が横浜発で、復路が横浜着となっている。

(3) 運行会社

運行会社は主に 2 社を使っている。(運行回数の多い 2 社を A 社、B 社と記す)

4 - 4 計測データの評価と統計処理

前述の計測データを基に以下の評価を考え、データの統計処理を行う。

(1) データの評価方法

計測データの評価方法として加速度波形そのものではなく、解析ソフト DynaMax を活用してアニメーションで落下状態をみながら、算出された「等価落下高さ」による評価・比較を行う。

等価落下高さについて：

物体が自由落下した場合は落下高さが解析でき、その落下高さで再現試験ができる。しかし、衝突事象の場合は加速度と速度変化のみでは再現試験が容易にできない。

そのため衝突事象を自由落下の落下高さに換算した等価落下高さに解析する。
本計測では、計測結果を比較評価しやすい等価落下高さで表す。

(2) 計測データの抽出処理

信頼性の高い計測データを得るため以下の条件で計測データの抽出をした。

・完全なデータのみ使用

計測した全計測データ 68 ファイルの内、統計処理を行ったのは 56 ファイルとした。
残りの 12 ファイルは不完全なデータであったため未処理とした。

・閾値の設定

計測した衝撃値は、閾値を等価落下高さ 10cm として、この値を超えるもののみを抽出し、処理した。等価落下高さ 10cm 未満のデータは、今回の計測方法による信頼性の低さより未処理とした。

4 - 5 統計処理結果

各項目について理解を容易にするために下記の単純な統計処理を行った。

- ・等価落下高さ（最大値）とは、その条件における最大の等価落下高さを示す。
- ・等価落下高さ（平均）とは、10cm 以上の等価落下高さの平均をとったものである。
- ・等価落下高さ（標準偏差）とは、10cm 以上の等価落下高さの標準偏差をとったものである。標準偏差とは、データの散らばり具合を表したものであり、これが大きいと平均値から大きく離れた値が多く、小さいと平均値に近い値が多いといえる。
- ・イベント数とは、その条件に一致した 10cm 以上の等価落下高さの発生回数である。

(1) ボックス比較（データ数）

各ボックスの計測データ数を表 4-1 に示す。

表 4-1 各ボックスの計測データ数

ボックス種類	ファイル数	イベント数	1 ファイルあたりの平均イベント数
ボックス A	33	285	8.64
ボックス B	12	79	6.58
ボックス C	11	63	5.73
合計	56	427	7.63

ボックス A の 1 ファイルあたりの平均イベント数は 8.64 である。

ボックス B の 1 ファイルあたりの平均イベント数は 6.58 である。

ボックス C の 1 ファイルあたりの平均イベント数は 5.73 である。

すなわちボックス A が 1 ファイルあたりの平均イベント数が一番多く、ボックスは重く、大きい方が等価落下高さ 10cm 以上の事象が起きる頻度が高いといえる。

(2) ボックスの違いによる比較（等価落下高さ）

ボックスの違いによる比較（等価落下高さ）を表 4-2 に示す。

表 4-2 ボックスの違いによる比較（等価落下高さ）

ボックス種類	等価落下高さ (最大値) cm	等価落下高さ (平均) cm	等価落下高さ (標準偏差) cm	イベント数
ボックス A	91.42	23.85	14.31	285
ボックス B	58.48	22.35	13.12	79
ボックス C	74.09	25.13	16.45	63
全ボックス	91.42	23.76	14.43	427

等価落下高さの最大値を比較すると、ボックス A が 91.42cm と大きい値を示した。一方ボックス C の最大値はボックス A よりも低いものの 74.09cm とボックス B の最大値 58.48cm より高い。またボックス C の平均値 25.13cm、標準偏差 16.45cm は、ともにボックス A の平均値 23.85cm、標準偏差 14.31cm よりも高く、ボックス B の平均値 22.35cm、標準偏差 13.12cm よりも高くなった。このことからボックス C は荷扱いにおいて大きな衝撃を受けることが多くなっているといえる。つまり、貨物は小さくて軽いほど一定以上の衝撃を受ける荷扱いをされやすいといえる。ボックス A の最大値がボックス C の最大値よりも大きいのは、ボックス A の測定ファイル数がボックス C の測定ファイル数の 2.75 倍であるため、サンプル数の違いによるものであるといえる。

(3) 経路比較

表 4-3 に経路の違いによる比較を示す。

表 4-3 経路の違いによる比較

目的地	等価落下高さ (最大値) cm	等価落下高さ (平均) cm	等価落下高さ (標準偏差) cm	イベント数
大阪	67.75	25.28	13.09	73
神戸	91.42	24.07	14.56	148
鹿児島	81.28	22.43	15.13	89
名古屋	36.52	22.04	7.76	10
札幌	53.82	22.34	12.86	21
清水	62.58	25.40	16.69	37
北九州	74.09	23.05	15.56	41
東京	46.12	22.06	11.99	8

イベント数の多い順に目的地を並べると、

神戸・鹿児島・大阪・北九州・清水・札幌・名古屋・東京となる。

また、等価落下高さ（最大値）を大きい順に並べると、神戸・鹿児島・北九州・大阪・清水・札幌・東京・名古屋となる。この2つを比べると大阪と北九州、東京と名古屋の順番が逆になっているが、その他の順序は同じであり、概ね一致しているといえる。すなわち「イベント数が多い=等価落下高さの最大値が高い」という結果が得られた。一方で等価落下高さの平均はどこであっても22～25cm程度であり、どこかが突出しているわけではない。このことから等価落下高さの最大値は計測データのサンプル数に依存していて、経路や走行距離には依存していないといえる。

(4) 運行会社の違いによる比較

運行会社の違いによる比較を表 4-4 に示す。

表 4-4 運行会社の違いによる比較

運行会社	等価落下高さ (最大値) cm	等価落下高さ (平均) cm	等価落下高さ (標準偏差) cm	イベント数
A 社	81.28	25.04	15.15	280
B 社	46.12	19.18	9.61	22

統計処理を行った 56 ファイルの内、運行会社が明白な 41 ファイルより比較した。41 ファイルの内訳は、A 社（往路 41、復路 31）B 社（往路 0、復路 10）である。計測回数の違いより、A 社と B 社ではイベント数が大きく違う。A 社のイベント数は B 社のイベント数の 12.73 倍である。そのため等価落下高さの最大値は A 社の 81.28cm に対して B 社は 46.12cm と大きな差がある。これは(2)のボックス比較、(3)の経路比較でも触れたようにイベント数が多いほど最大値が高くなる傾向に一致しているといえる。一方で(2)や(3)の比較において、等価落下高さの平均や標準偏差に顕著な傾向は見られなかった。しかし運行会社でこれらを比較すると、A 社の平均 25.04cm、標準偏差 15.15cm に対して、B 社は平均 19.18cm、標準偏差 9.61cm となり明らかな違いがみられる。すなわち運行会社による荷扱いの差が見られる結果となった。

(5) 往路復路の違いによる比較

表 4-5 に往路復路の違いによる比較を示す

表 4-5 往路復路の違いによる比較

	等価落下高さ (最大値) cm	等価落下高さ (平均) cm	等価落下高さ (標準偏差) cm	イベント数
往路	81.28	23.80	15.01	214
復路	91.42	23.67	13.79	213

等価落下高さの最大値は往路 81.28cm に対して復路 91.42cm である。

等価落下高さの平均は往路 23.80cm に対して復路 23.67cm である。

等価落下高さの標準偏差は往路 15.01cm に対して復路 13.79cm である。

イベント数は往路 214 個に対して復路 213 個である。

どの項目も往路と復路に大きな差は見られず、往路復路による違いはないといえる。

(6) 等価落下高さ分布図

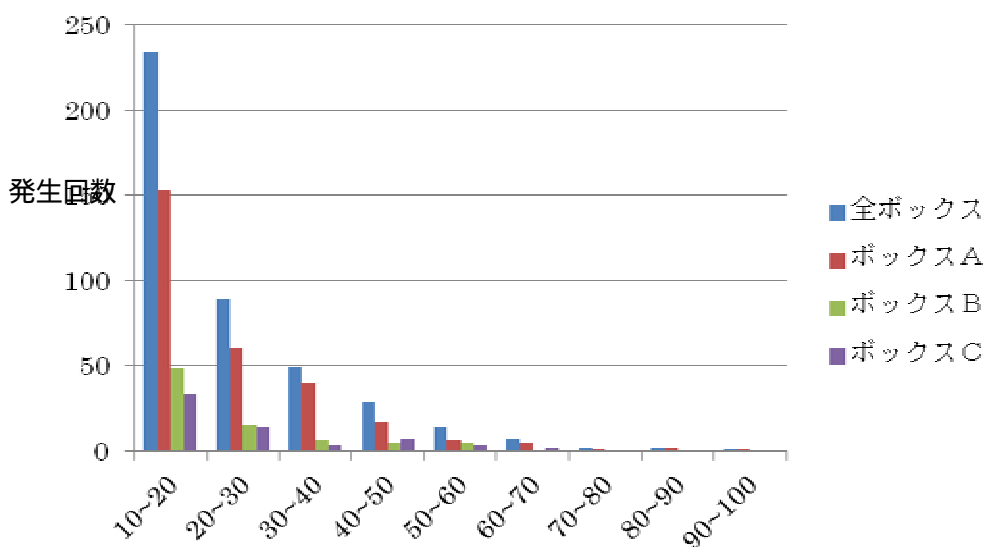


図 4-3 等価落下高

上図 4-3 に等価落下高さとその発生回数の分布図を示す。

横軸が発生した等価落下高さを 10cm ごとにわけて分類している。縦軸がその発生回数である。各ボックスの分布と全ボックスを合計したものの分布を表示している。これを見ると等価落下高さが小さいもののほうが発生回数は多く、等価落下高さが大きくなればなるほど、発生回数が少なくなっているのがわかる。

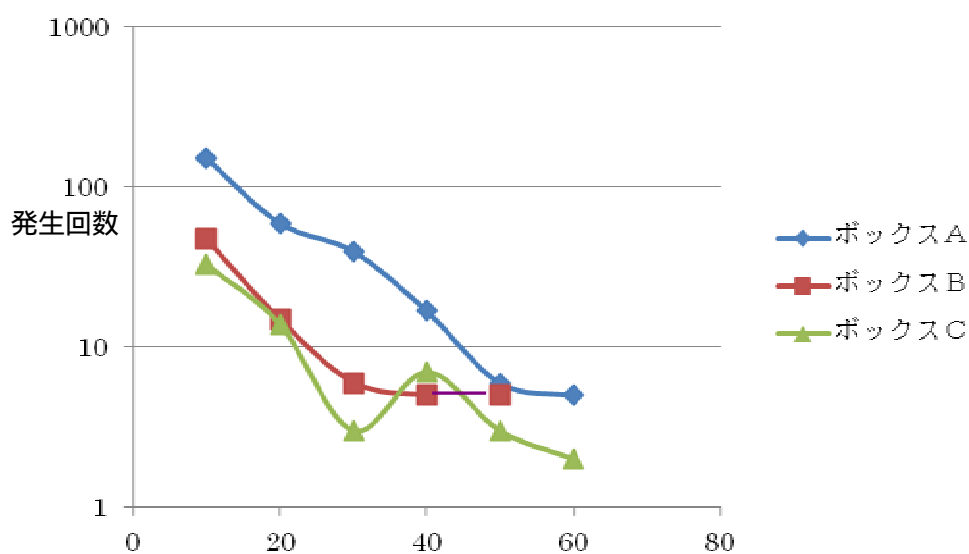


図 4-4 等価落下高

図 4-4 は図 4-3 の分布図の縦軸を対数軸にしたものである。さきの分布図がきれいな二次曲線を描いていると、このグラフは直線になる。ボックス A はある程度直線に近づいているといえるが、ボックス B、ボックス C のグラフは直線といえるような形にはなっていない。ボックス A とボックス B、ボックス C の大きな違いはサンプル数であり、これが影響している。つまりこのグラフはボックス B、ボックス C のサンプル数が足りていないことを示している。

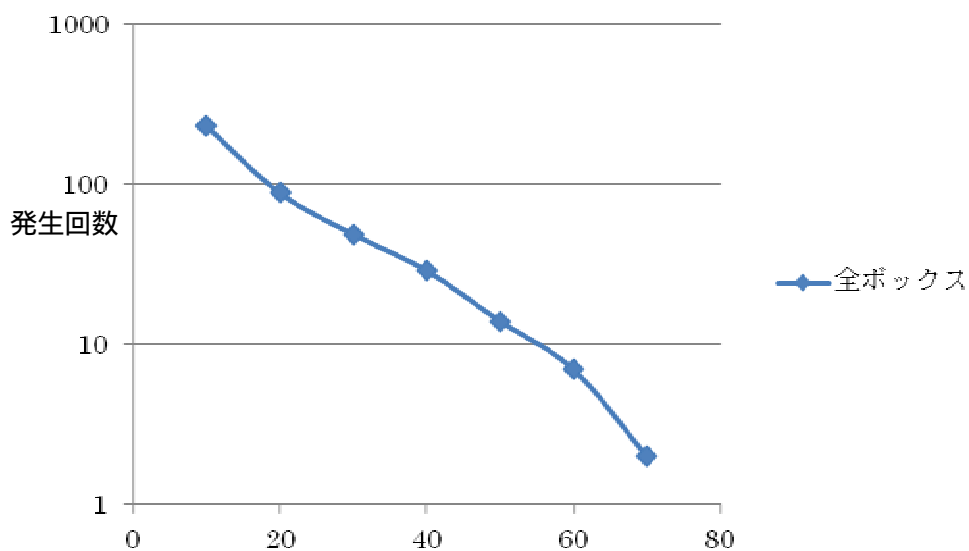


図 4-5 等価落下高

図 4-5 は全ボックスを合計したときのグラフで、先ほどと同様に縦軸を対数としている。先ほどのボックスごとのグラフよりもより直線に近づいていることがわかる。すなわちデータ数としてある程度の数があれば、より傾向を鮮明にとらえることができる。

今回の計測では全体としてのサンプル数やボックス A のサンプル数は比較的十分であったといえるが、ボックス B やボックス C のサンプル数は十分であるとは言えず、より信頼性の高いデータとするにはさらなる計測データが必要であるといえる。

(7) 落下事象とその発生確率

どのような落下事象が運行中に発生したかをイベント数とその発生確率を表4-6に示す。

表 4-6 落下事象とその発生確率

-	落下事象	イベント数	確率 %
1	Bottom	299	73.65
2	Top	5	1.23
3	Front	25	6.16
4	Back	16	3.94
5	Left	4	0.99
6	Right	2	0.49
7	Top Back Edge	1	0.25
8	Top Right Edge	1	0.25
9	Bottom Front Edge	15	3.69
10	Bottom Back Edge	29	7.14
11	Bottom Left Edge	3	0.74
12	Bottom Right Edge	1	0.25
13	Back Right Edge	2	0.49
14	Back Left Edge	5	1.23
15	Front Right Edge	3	0.74
16	Front Left Edge	5	1.23
17	Top Back Right Corner	1	0.25
18	Bottom Front Left Corner	4	0.99
19	Bottom Back Left Corner	2	0.49
20	Bottom Back Right Corner	4	0.99
	Sum	427	100

上の表は、ボックスが落下したとき、どの部分から落下する頻度が高かったかを示している。これを大きく分類すると、上から 1～6 番目の項目はボックスの面から落下していて、7～16 番目の Edge と書いてある項目はボックスの稜の部分から落下している。さらに 17～20 番目の Corner と書いてある項目はボックスの角の部分から落下している。面から落下する確率は 82.2% (351 回)、稜から落下する確率は 15.2% (65 回)、角から落下する確率は 2.6% (11 回) となっている。

(8) 平均的な等価落下高さが起きた時の加速度波形

以下に示す加速度波形の表示単位は縦軸：加速度 m/s^2 横軸：秒

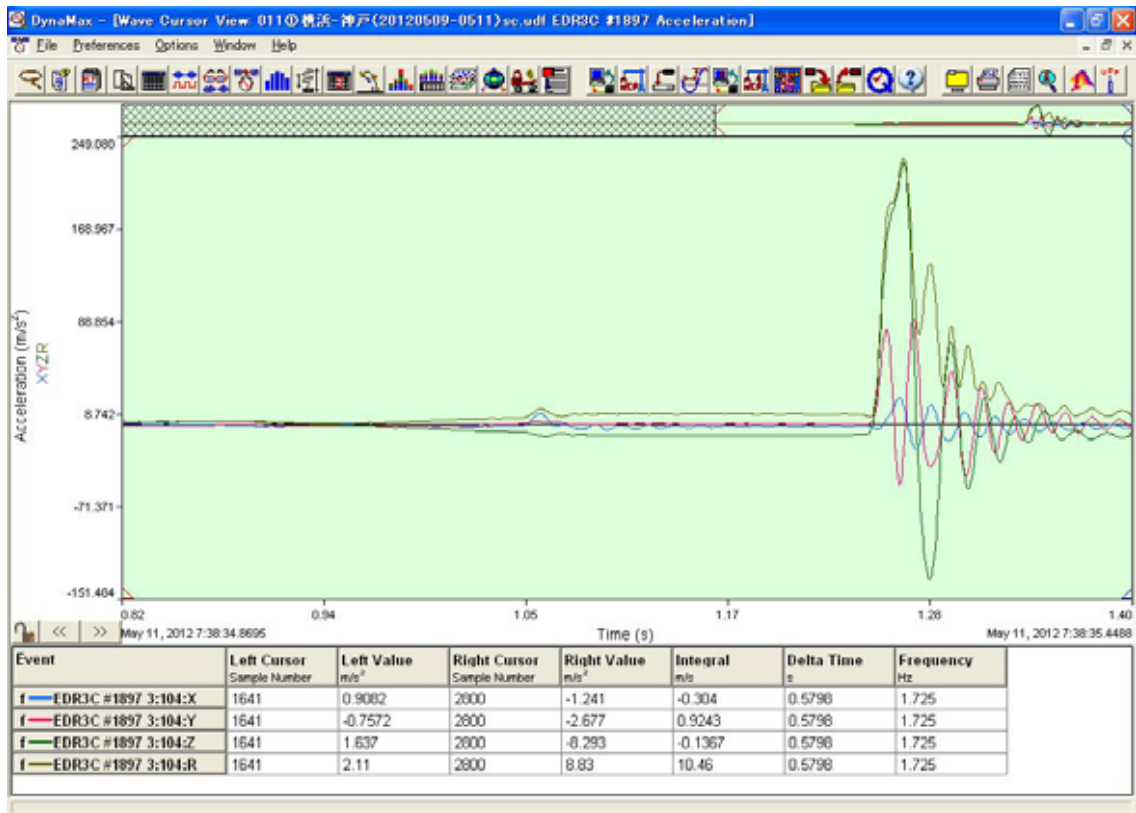


図 4-6 5月11日 横浜 - 神戸 等価落下高さ 23.80cm の波形

図 4-6 に平均的な等価落下高さが起きた時の加速度波形を示す。この図から 1.00 秒～1.24 秒あたりで Z 軸方向に一定の加速度がかかっている。これは落下によるもので、この時間にボックスが自由落下していると考えられる。1.24 秒あたりからボックスが衝突したと考えられ、大きな衝撃を受けて加速度が増大している様子が見て取れる。その後加速度は減衰して収束していく様子が右端の 1.40 秒付近まで続いている。この波形はオーソドックスな衝突の波形であり、このような様子が平均的な波形の多くに見て取れた。

(9) 等価落下高さ 90cm 以上のケースにおける加速度波形

等価落下高さが、他と比較して大きくなる 90cm 以上のケースにおいて生じている事象を把握するために加速度波形を図 4-7 に示し、考察を加える。

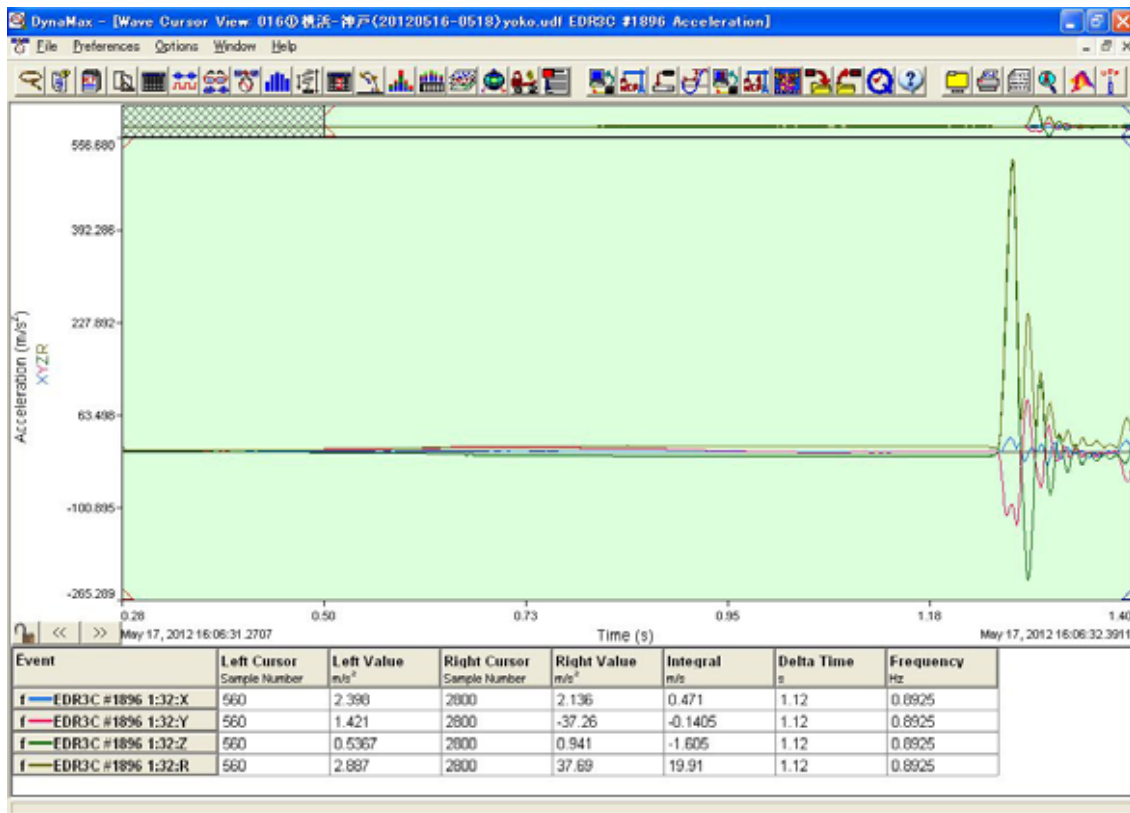


図 4-7 5 月 16 日 横浜 - 神戸 等価落下高さ 91.42cm の波形

図 4-7 は今回の計測で最大値を計測したときの波形である。0.5 秒～1.22 秒あたりまで加速度一定であることから自由落下であると推測できる。(8)のような基本的な自由落下の波形であるが、(8)と比べて加速度一定の時間が長いため、衝突前の速度が非常に大きくなっている。そのため、衝突時の衝撃も非常に大きくなってしまったと考えられる。

(10) 横滑りによる衝突であると考えられる加速度波形

下図 4-8 は等価落下高さが 14.52cm の波形である。この波形をみると 0.3 秒～1.2 秒あたりにかけてボックスが加速しているのがわかる。また加速度が一定でないことから単純な自由落下ではなく横滑りによるものであると推測できる。自由落下の場合この加速時間は短い、地面を横滑りした場合この加速時間が長くなる傾向がある。さらに加速度の増減に注目してみると X 軸の加速度はほぼ 0 付近を推移しているが、Y 軸の加速度はマイナスの値から徐々に増加しており、Z 軸の値はプラスの値から徐々に減少している。このことからボックスは X 軸方向を上下にして、ボックスを回転させるように横滑りさせたと推測できる。

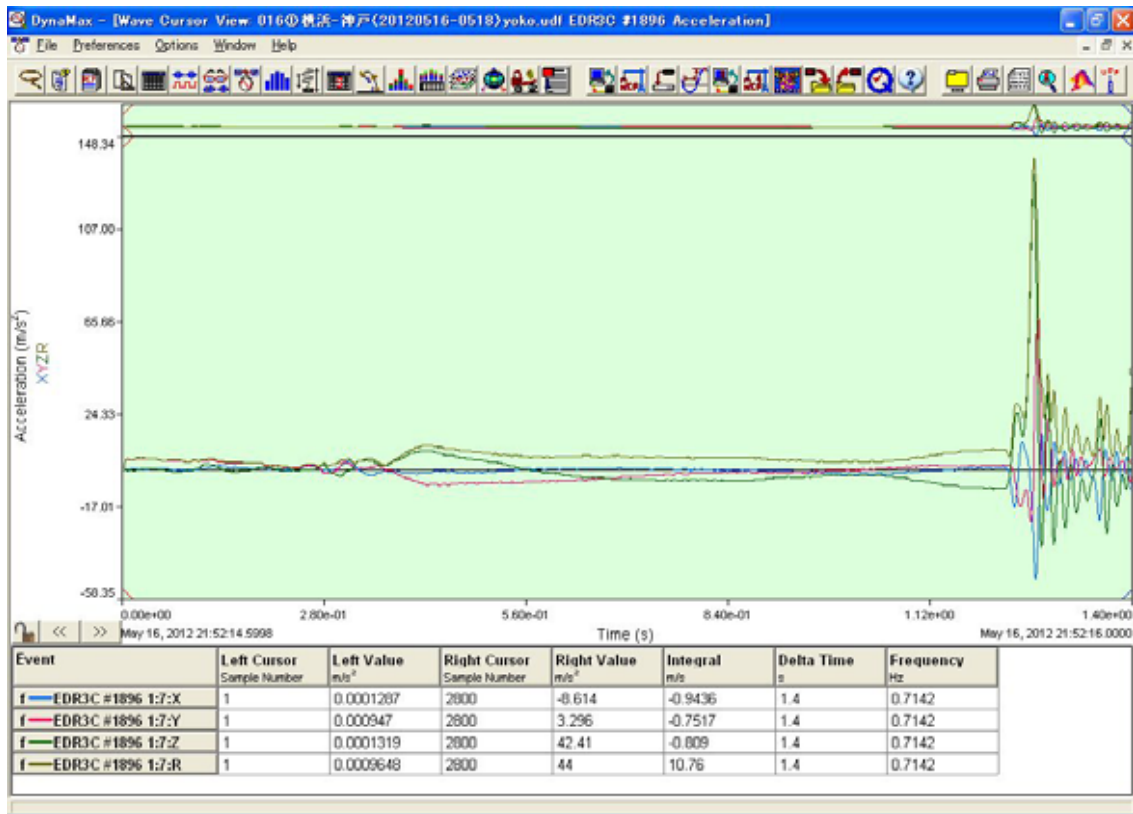


図 4-8 5月16日 横浜 - 神戸 等価落下高さ 14.52cm の波形

4 - 6 研究の結論

計測記録計 (EDR-3C) を 3 種類のダミーボックス貨物内部に設置し、主に 2 社の宅配便を利用したトラック輸送荷扱い時の衝撃値・加速度値を取得し、データ解析ソフト (DynaMax) を用いて「等価落下高さを」求めて考察を加えた。得られた計測データを統計処理したことで、以下の結論を得た。

ボックスは重く、大きいほうが対象となる等価落下高さ 10cm 以上のイベント数が多くなる傾向がある。

一方でボックスは軽く、小さいほうが落下高さの平均や標準偏差が高くなっている。つまり等価落下高さが発生する事象のとき等価落下高さは大きな値となる。

経路は等価落下高さに依存しない。

往路復路では違いは見られない。

運行会社の比較では B 社のほうが、荷扱いが丁寧であるといえる。

分布図をつくることで、等価落下高さの低いものの発生確率が高く、等価落下高さの高いものの発生確率が低いことがわかる。

対数軸を用いたグラフを作成したことで、サンプル数がまだ十分でないことがわかる。

落下事象の発生確率を整理することで、面から落下する確率が 80% 以上であり、角から落下するのは全体の約 2% と少なかった。

さらに加速度波形の解析をすることで、以下の結論を得た。

平均的な等価落下高さの波形の多くは、加速度が一定の時間があり、自由落下による基本的な波形が多かった。そのため多くは自由落下によるものであるといえる。

落下していると考えられた最大値が出たのはこの加速度一定の時間が長く、速度が大きく上昇してしまったためであると考えられる。

特殊な波形の解析を行うことで、横滑りによるものであるという推測をたてた。このような横滑りと思われる波形は等価落下高さの高いものにはほとんど見られなかった。

4 - 7 今後の課題

今後の研究課題として次の点が挙げられる。

信頼性の面で現状のデータのサンプル数を増やす必要がある。

加速度波形だけの解析では落下状況の把握が難しい。これを詳細に突き詰めるには運行業者の業務内容などの把握など運行業者の協力が必要になると考えられる。

運転状況などの詳細データが加わることでより輸送中の落下事象の検討ができると考えられる。