

平成 29 年 4 月 11 日

平成 28 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 及びその活用に関する研究

大島商船高等専門学校

商船学科 久保田 崇

神戸大学大学院

海事科学研究科 河口 信義

1. はじめに

1.1 研究背景

国内における海難事故は、少なからず発生している。海上保安庁平成 27 年調べでは海難事故隻数は 2137 隻ということである⁽¹⁾。しかしながら近年は減少傾向にあるという。海難事故の原因の 90%はヒューマンファクター（人的要因）であるという事実は浸透し、航海士を取り巻く様々な要因を m-SHELL モデルで説明し、海難因子を分析する研究が行われている⁽²⁾。m-SHELL モデルとは、ヒューマンファクターの全容を捉えるものであり、これを船舶に置き換え説明すると、図 1-1 に示すように、航海者は L : Liveware、航海情報は S : Software、船舶や航海機器は H : Hardware、航海環境は E : Enviroment、乗組員の関係は L : L-Liveware、そしてこれらが潤滑に廻っている状態 M : Manegement で安全運航が成り立っているとされる。また海上においても、2010 年に改正された STCW 条約内に BRM 訓練に関する項目が追記された⁽³⁾。BRM とはブリッジリソースメントの略で船橋内の航海情報（リソース）共有の活用を軸とした習熟訓練である。その訓練内でも、操船環境を m-SHELL から説明し、エラーチェーンの分断が海難事故を防止できると説明している。内航船社においても、この取り組みは盛んに行われ、事故防止に寄与している。しかしながら、内航船社では団塊世代の退社の波を乗り越えた後に新たな問題として中堅層船員（30～40 代）の空洞化が生じている。これにより、貨物船の操船や荷役の技術伝承に支障を来す可能性がある。今まで、時間をかけて、昇進することが出来た若手航海者が、知識・経験の乏しいまま、早々に昇進し、運航の中心を担わなくてはならなくなる。つまりは図 1-1 のマネジメントを円滑に廻せるに至る技術を身につける段階で不具合が生じる可能性がある。

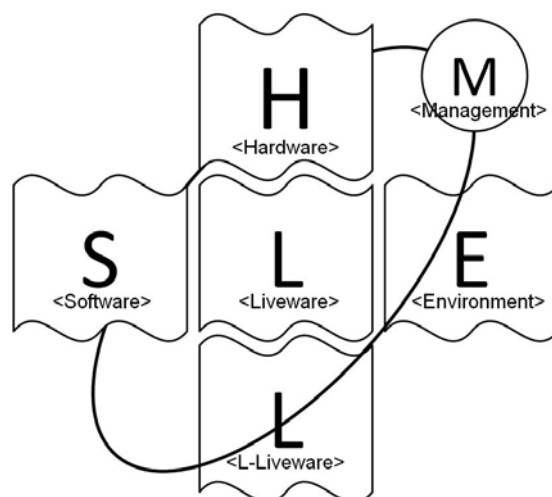


図 1-1 : m-SHELL モデル

1.2 研究目的

本研究では、貨物輸送を行う際に不特定多数の者が、安全運航に有意となる資料として活用できる研究を行うことを目的としている。言い換えれば、操船や運航に未熟な者にとって、知識・技術を補助する様なデータ採取と解析を目指すものである。

本研究では、東洋建設株式会社の協力を得て、多目的船 August Explorer 号の操船や運航に関するデータを採取・解析を実施した。なお本研究では、航行中や作業中に発生した衝撃、振動、落下等が分かる加速度計に加え、船首方位を測定しデータ化できる計器が3種類設置し、各計器による計測値を比較した。近年、航海計器の数は増え続けており、近年では古野電気の GPS コンパスが船首方位伝達装置 (THD) /Transmitting Heading Device として国土交通省に承認され、型式承認番号を取得したことにより、船首方位計測のための航海計器が新たに公に認められた。これにより従来のジャイロコンパスに替わり、高性能で扱いやすく、しかもメンテナンスフリーの THD を搭載することが可能となった。多目的船 August Explorer 号は高精度作業を行うために、GPS コンパスを含む多種の航海計器を搭載している。

本研究の解析は、2種類実施する。解析①では、新しい航海計器である GPS スピードログの信憑性を August Explorer 号から得られた実データを用いて比較検証する。また解析②では、解析①の5つ状況下での加速度、パワースペクトラム分布の違いを比較し、考察する。更に、その5つの状況変化以外に加速度に変化のあった部分について示し、原因を追究していく。なお本研究対象の大部分は穏やかな航海であったため、東洋建設株式会社から追加で頂戴した荒天部分の数値についても解析を行う。

2. 実験

実験では加速度計測に加え、各航海計器のデータ採取も行った。多目的船 August Explorer 号には、定点保持機能を使用した高精度な作業を行うために、多種の航海計器を搭載しているため、信頼性のある計器について比較検証を行った。

2.1 実験船舶

本研究では、東洋建設株式会社の協力を得て、多目的船 August Explorer 号（以下本船）の航海データを採取した。本船は、以下の様々な作業を行えるようにするために、建造された船舶である。

- ①魚礁・海底ケーブル等の敷設作業
- ②浚渫作業
- ③海洋調査等

これらの作業を行うにあたって、定点保持機能が必要となる。本船は、これらの定点保持機能を必要とする業務に対応できるよう、2016年8月31日に竣工された新造船である。本船の外観及び使用について図 2-1 及び表 2-1 に示す。



図 2-1 : August Explorer 号の外観

表 2-1 : August Explorer 号の仕様

全長	89.9[m]	軽貨喫水	2.76[m]
幅	27.0[m]	推進装置	全旋回式 1471[kW]×2 基
総トン数	4831[トン]	スラスタ	昇降式全旋回式 590[kW]×2 基
航海速力	約 12[knot]	補助スラスタ	トンネル式 330[kW]×1 基
満載喫水	3.95[m]	特徴	定点保持機能、海上建設作業が可能

本船の操船の特色として、以下の 2 点が挙げられる。

①船幅

本船は全長が 90m 程度に対して幅が 27m と、幅の比率が大きく、今回の実験航海では回頭角速度が 1deg./sec. を超えることは、ほとんど無かった。

②推進装置及びスラスタ

本船には、船首と船尾の両舷に合計 4 基のプロペラを持っている。また、この 4 基のプロペラはすべて全旋回式であった。全旋回式とは、360 度全ての方向に、プロペラを向けることが可能である方式である。この特殊なプロペラを使用することで、定点保持を可能としている。

2.2 実験装置

(1)NKKK 実験装置

船舶の加速度計測に使用した実験装置は米国ラスモンド社製 SAVER3D15 である。本機をメタルボックスで梱包し、保護した。図 2-2 に本機及び梱包について示す。表よ

り、本機は乾電池 2 個で約 1 週間の計測が可能である。また記録したデータはバッテリー消費後も保持できる。昨年度についても約 1 週間の本機の計測性能実験が行われ、入港時などの船体動揺の際における加速度（3 軸）及び周波数特性を観測することができた⁽⁴⁾。



図 2-2：実験装置（SAVER3D15）外観

表 2-2：実験装置（SAVER3D15）仕様

ハードウェア		センサー	
寸法 (W×D×H)	9.5×7.4×4.3[cm]	タイプ	3 軸 MEMS 加速度センサー
容積	302[cm ³]	加速度レンジ	5, 10, 20, 50G から選択
ケース材質	アルミニウム 6061-T6	フィルタ	4 極、ローパスフィルタ
質量	473[g]	周波数レンジ	10, 20, 25, 50, 100, 200, 250, 500Hz
マウンティング	ねじ用取り付け穴 4 穴	3dB 周波数応答	0.4Hz からフィルタ最大値まで
電源	9V バッテリー 2 個	測定精度	±5%（温湿度変化が定常の時）
測定期間	7.5 日（アルカリ乾電池）	サンプリングレート	50～5000 個/秒/ch
	15 日（リチウム乾電池）	メモリサイズ	128MB フラッシュメモリ

そして本船の計 3 か所に固縛し設置した。 図 2-3 に加速度計の設置場所を示す。

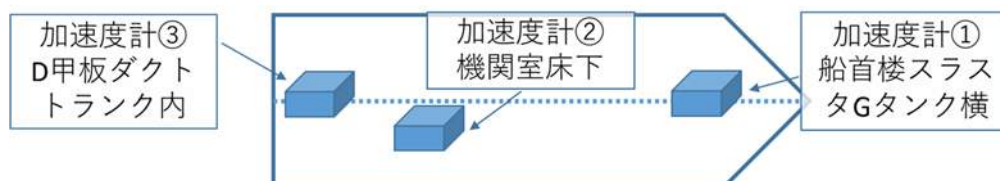


図 2-3：実験装置（SAVER3D15）配置



図 2-4 : No. 1 加速度計



図 2-5 : No. 2 加速度計



図 2-6 : No. 3 加速度計

また図 2-4～図 2-6 より No. 1 加速度計は船首楼甲板サイドスラスト室グラビティタンク横、No. 2 加速度計は機関室監視室前床下、そして No. 3 加速度計は船橋下 D 甲板階段躍場配管ダクトトランク内にそれぞれ設置し、計測した。

(2) 神戸大学実験装置

本船に備え付けられた計器に加えて、神戸大所有のサテライトスピードログ GS-100 を設置した。この計器についても、先述した KICS-4800 と同様に、どの航海情報の数

値を示すか判断できるようトーカーを付けている。以下に、当研究で使用した GS-100 の GPS メッセージと計測対象事項を表 2-3 に示す。

表 2-3 : GS-100 の GPS メッセージと計測可能事項

GPS メッセージ		計測対象事項
\$GPGGA		緯度経度 アンテナ高さ HDOP
\$PFEC	GPatt	船首方位 Pitch 角 Roll 角
\$PFEC	GPhve	Heave
\$VDROT		回頭角速度
\$VDVBW		船速（船首尾・船側方向）

本計器には、GPS アンテナが 2 本備わっている。GPS アンテナの数が増えれば一般的に高価になる。当研究では船速の測定と、GPS アンテナの数による測定精度への影響を比較するといった、主に 2 つの目的で設置した。船首方位の精度は、SC-50（GPS アンテナ 3 本）と同様に 0.5 度である。図 2-7 に GS-100 の外観を示す。また図 2-8 に GS-100 の配置を示す。



図 2-7 : サテライトスピードログ (GS-100)



図 2-8 : サテライトスピードログ配置

図 2-8 より、アンテナは船橋上部デッキ上に固縛した、また本機はディスプレイ本体を介さなければ、ロギング出来ないため、ディスプレイは船橋に設置し、電源は船橋から拝借した。図 2-9 に GPS アンテナの数が 2 つの場合のサテライトコンパス（GPS コンパス）の測定原理を示す。

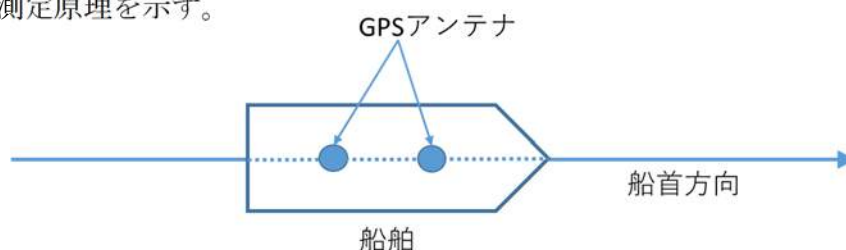


図 2-9：サテライトコンパス測定原理

サテライトコンパスでは、GPS アンテナの相対位置関係により、船首方位、Pitch 角及び Roll 角を求めることができる。しかし、今回の実験航海全体から、GS-100 の計測した Roll 角には大きな誤差が頻繁に見られた。このため、当研究の解析対象から GS-100 による Roll 角は除外した。

(3) 本船搭載計器類

表 2-4 に、本船に備え付けの計器類について示す。

表 2-4：本船のデータ化可能航海計器

船位	GPS コンパス（ヘミスフィア） 緯度・経度
	GPS 受信機（フルノ） 緯度・経度
船首方位	ジャイロコンパス（東京計器） 角度
	サテライトコンパス（フルノ） 角度
ピッチ角	傾斜計（宇津木社製） ピッチ角
	サテライトコンパス（フルノ） ピッチ角
ロール角	傾斜計（宇津木社製） ロール角
	サテライトコンパス（フルノ） ロール角
回頭角速度	ジャイロコンパス（東京計器） 角速度
	サテライトコンパス（フルノ） 角速度
風向・風速	風車式風向風速発信器（日本エレクトリックインスルメント） 風向・風速
	超音波式風向風速発信器（日本エレクトリックインスルメント） 風向・風速

上記の計器で計測した値は、KICS により、船内 LAN を通し航海データとして集約され、データを残すことが可能で、各計器のデータを Excel ファイルで出力することもできる。KICS とは、総括操縦装置（KICS：Kawasaki Integrated Control System）

の略語であり、可変ピッチプロペラ、旋回式スラスタ、サイドスラスタ、舵など、複数の操船 要素を総括して操縦することができるシステムである。KICS で取得したデータは、どの計器からきたデータかを分類可能で、何のデータを示しているか、判断できるようになっている。図 2-10 に総括操縦装置（KICS）の概要を示す。



図 2-10：総括操縦装置（KICS）

KICS-4800 では、この分類された情報である、KICS 制御モード、センサー情報、推進機構情報を、0.5 秒ごとに出力する。図 2-11 に出力センテンスの概略図を示す。



図 2-11：出力センテンス概略図

更に本船に備え付けられていた、航海計器の中で今回の研究に使用した計器について以下に述べる。

① ジャイロコンパス（東京計器 TG-8000）

指北原理を利用して、船首方位を示している。船首方位の測定精度は仕様によると 0.3 度である。図 2-12 にジャイロコンパス（TG-8000）を示す。



図 2-12：ジャイロコンパス（TG-8000）

② サテライトコンパス（古野電気 SC-50）

3本のGPSアンテナの相対位置を利用して、船首方位、Pitch角（縦揺）及びRoll角（横揺）を計測している。ジャイロコンパスと比較して、安価であり、静定時間が短いことや、Pitch角等を計測可能である、という利点を持っている。船首方位の測定精度は仕様によると0.5度程度である。図2-13にサテライトコンパス（SC-50）を示す。



図 2-13：サテライトコンパス（SC-50）

③ 電子傾斜計（宇津木 CSM-XRYR0A）

本研究では、Pitch角及びRoll角の測定に使用した。この計器についての詳細な情報は手に入れることができなかった。図2-14に電子傾斜計（宇津木 CSM-XRYR0A）を示す。



図 2-14：電子傾斜計（宇津木 CSM-XRYR0A）

2.3 実験対象海域

本研究では、本船の3航海を実験対象海域とした。平成28年9月10～28日の鳴尾浜～隠岐の島までの航海を実験①、10月22～11月6日の鳴尾浜～千葉の航海を実験②、11月24日～12月4日の鳴尾浜～伊豆沖の航海を実験③とする。なお実験①では、神戸大学とNKKKの両計測器を搭載したが、実験②では、NKKKの加速度計のみの搭載だったため、解析は分けて実施する。まずは実験①の海域を図2-15に示す。



図 2-15：実験①海域

本船は、平成 28 年 9 月 10 日に鳴尾浜を出港し、来島海峡、関門海峡等を通過し、9 月 12 日に西郷港に入港した。その後、魚礁の積み付け作業等を行った後に 9 月 24 日に西郷港を出て、隠岐島北方 60km 付近で魚礁の据付作業を行った。その後一度、西郷港に戻り、9 月 26 日、西郷港を出港し、往路とほぼ同様の航路を通り鳴尾浜へ戻った。また、実験航海の航程表を表 2-5 から表 2-7 に示す。

表 2-5：実験①航程表（往路）

日付	時刻	航行海域	針路 (deg)	速力 (kn)	風向	風力	波高 (m)	備考
9 月 10 日	0900	兵庫鳴尾浜	020	var	NE	2	0	出港
	1100	明石海峡	300	10.4	South	1	〃	
	1500	備讃瀬戸東航路	293	10.9	-	calm	〃	
	1800	備讃瀬戸北航路	var	10.0	SW	1	〃	
	1950	備後灘 No. 4by 左舷	〃	10.4	West	〃	〃	
	2103	来島海峡航路	〃	10.3	S	3	〃	
9 月 11 日	0000	釣島水道灯浮標付近	236	7.5	W	2	〃	
	0215	小水無瀬島（伊予灘）	var	7.3	S	〃	〃	
	1200	関門航路	〃	7.3	SE	〃	〃	
	1400	関門航路付近	〃	9.9	N	3	〃	
	1730	川尻岬右舷正横	056	8.2	ENE	4	〃	
9 月 12 日	0410	日御碕右舷	047	9.8	NE	5	1	
	1120	隠岐島西郷港	var	2.0	NE	〃	〃	係留

*var; variously

表 2-6：実験①航程表（据付時）

日程	時刻	航行海域	針路 (deg)	速力 (kn)	風向	風力	波高 (m)	備考
9 月 24 日	2100	隠岐島西郷港	175	6.5	NW	4	－	離岸
9 月 25 日	0430	据付作業場所	340	5.8	East	1	0.4	到着
	0640	〃	112	0	East	〃	0.5 以下	ブロック①沈設開始
	0840	〃	112	0	East	〃	〃	ブロック①沈設完了
	0910	〃	089	0	East	〃	0.3	ブロック②沈設開始
	0925	〃	089	0	East	2	1.3	ブロック②沈設完了
	0955	〃	089	0	East	3	2.3	ブロック③沈設開始
	1015	〃	343	0	East	1	0.3	ブロック③沈設完了
	1400	据付作業場所	160	9	East	〃	0.5 以下	出発
	1735	隠岐島西郷港	192	9.4	Nouth	2	0.2	入港
	1800	〃	var	〃	Nouth	3	1.2	係留

表 2-7：実験①航程表（復路）

日程	時刻	航行海域	針路 (deg)	速力 (kn)	風向	風力	波高 (m)	備考
9 月 26 日	0815	隠岐島西郷港	var	var	Nouth	1	calm	出港
	1000	島根県沖	223	9.2	NE	1	0.1	
	1500	日御碕正横	237	8.1	South	3	〃	
9 月 27 日	0600	関門航路	169	5.5	NW	3	〃	
	0650	関門大橋通過	150	10	NW	6	〃	
	0700	関門航路	065	9	Nouth	4	〃	
	1530	釣島水道灯浮標 by 左舷	044	10.4	NW	4	〃	
	1700	来島海峡航路	052	11.8	NE	3	〃	
	2100	備讃瀬戸南航路	089	10.9	East	2	0.5 以下	
	2200	備讃瀬戸東航路	063	12	NE	2	〃	
9 月 28 日	0400	明石海峡航路	064	6.5	East	4	〃	
	0800	鳴尾浜	var	var	－	－	－	係留

次に実験②の海域を図 2-16 に示す。また表 2-8、表 2-9 に航程表を示す。

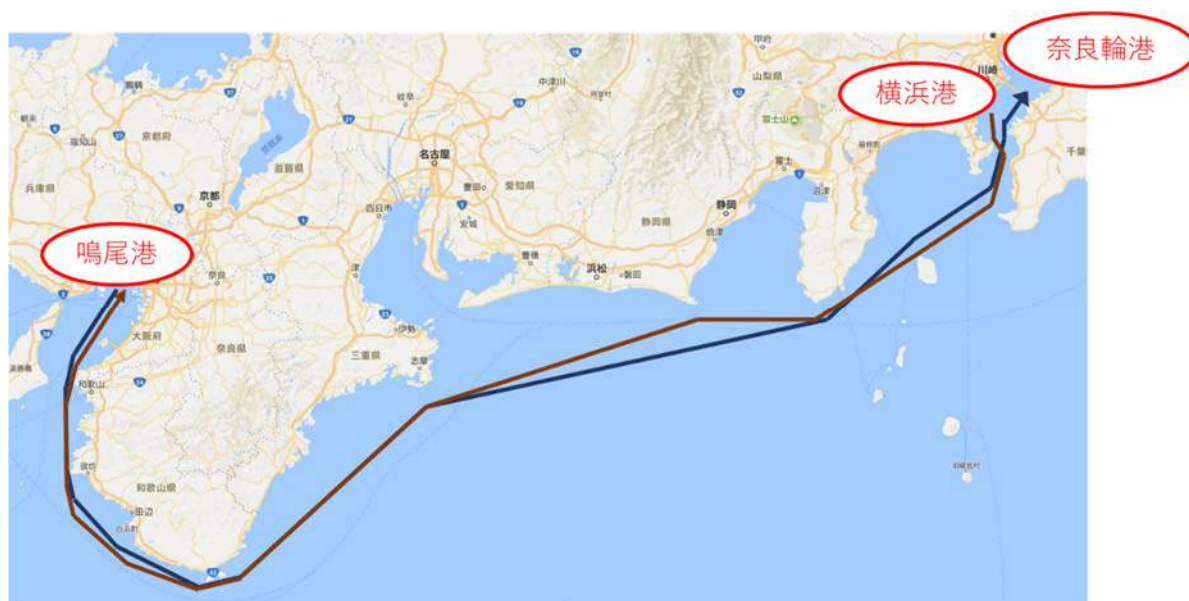


図 2-16：実験②海域

表 2-8：実験②航程表（往路）

日程	時刻	航行海域	針路 (deg)	速力 (kn)	風向	風力	波高 (m)	備考
10 月 22 日	1330	鳴尾浜	var	var	clam			離岸
	2000	日ノ御崎正横	145	8.8	SW	1	1.4	
10 月 23 日	0135	潮岬	103	8.5	NE	4	1.2	
	1125	大王埼	050	7	NW	8	0.9	
	2320	石廊崎正横	084	7.2	NW	10	〃	
10 月 24 日	0000	神子元島左舷	078	7.1	W	10	1	
	0310	大島北 2.7 マイル	059	8.4	NE	6	0.7	
	0658	US ライン通過	053	9.4	N	7	0.5 以下	
	0714	浦賀水道航路 I N	000	10	ENE	7	〃	
	0755	中ノ瀬航路 I N	var	var	〃	〃	〃	
	0855	中ノ瀬航路 O U T	016	9.3	N	10	〃	
	1015	奈良輪岸壁	048	9.3	N	9	〃	接岸

表 2-9：実験②航程表（復路）

日程	時刻	航行海域	針路 (deg)	速力 (kn)	風向	風力	波高 (m)	備考
11 月 4 日	1100	横浜港	var	var	NW	4	0.5 以下	離岸
	1140	浦賀水道航路 IN	〃	〃	〃	〃	〃	
	1227	浦賀水道航路 OUT	〃	〃	SW	〃	〃	
	1305	剣埼	〃	8.1	〃	〃	〃	通過
	1612	大島北 3 マイル	225	7.5	SE	3	0.8	
	1805	稲取岬沖 3.4 マイル	212	10.3	〃	〃	0.7	
	2320	石廊崎正横	274	8.8	〃	〃	〃	
11 月 5 日	0010	御前崎	258	7.9	SE	3	0.6	
	1300	新宮港東方 22 マイル	225	8	SW	3	0.7	
	1720	潮岬付近	252	7	SW	5	0.8	
	2025	市江崎右舷正横 4 マイル	000	10	ENE	7	〃	
	2308	日ノ御碕右舷正横 3.2 マイル	var	var	〃	〃	〃	
11 月 6 日	0205	友ヶ島 IN	359	7.4	NNW	2	0.5 以下	
	0410	関空沖	037	6.1	NNW	2	〃	
	0750	鳴尾浜岸壁	025	6.4	NNW	2	〃	接岸

本船は、平成 28 年 10 月 22 日に鳴尾浜を出港し、太平洋側潮岬、大王埼沿いに航行し、伊豆大島の北を通過し、そして 10 月 24 日に袖ヶ浦市奈良輪岸壁に着岸した。シフトを経て、11 月 4 日に横浜港を出港し、往路と似通ったルートで、11 月 6 日に再び鳴尾港に帰った。次に実験③の海域を図 2-17 に示す。また表 2-10 から表 2-12 に航程表を示す。



図 2-17：実験③海域

表 2-10：実験③航程表（往路）

日程	時刻	航行海域	針路 (deg)	速力 (kn)	風向	風力	波高 (m)	備考
11 月 24 日	1500	鳴尾浜	var	var	W	4	0.5 以下	離岸
	1835	友ヶ島	〃	〃	WNW	〃	〃	
	2110	日ノ御崎左舷正横 2.8 マイル	140	9.4	NW	2	〃	
11 月 25 日	0230	潮岬南方 2.5 マイル	092	9.5	NE	4	〃	
	1120	大王埼左舷正横 5.3 マ イル	059	9.9	NE	5	〃	
	2115	御前崎	073	9.5	NW	4	〃	
11 月 26 日	0100	乳ヶ崎西方 2.8 マイル	039	7.3	NNE	3	〃	
	0545	U S ライン通過	010	7.1	NE	4	〃	
	0601	浦賀水道航路 IN	008	8	N	5	〃	
	0655	浦賀水道航路 O U T	var	var	〃	〃	〃	
	0730	中ノ瀬航路 O U T	021	9.1	NNE	5	〃	

	0808	アクアライン通過	046	9.4	NE	〃	〃	
	0839	袖ヶ浦 I N	var	var	〃	〃	〃	
	0910	袖ヶ浦栈橋	〃	〃	〃	〃	〃	係留

表 2-11：実験③航程表（調査作業～中止）

日程	時刻	航行海域	針路 (deg)	速力 (kn)	風向	風力	波高 (m)	備考
11 月 28 日	1000	袖ヶ浦	var	var	NE	3	0.5 以下	離岸
	1055	東航路 I N	〃	〃	〃	〃	〃	
	1110	東航路 O U T	〃	〃	〃	4	〃	
	1200	U S ライン	〃	〃	N	3	〃	
	1217	浦賀水道航路 I N	〃	〃	〃	〃	〃	
	1300	浦賀水道航路 O U T	184	11.1	N	3	〃	
	1420	洲埼左舷正横 3.2 マイ ル	197	〃	S	4	〃	
	1730	伊豆大島沖	209	9.1	NW	4	〃	着
11 月 29 日	0630	大島沖 (34° 32.8' N, 139° 26.8' E)	var	var	NNE	4	1.6	作業 開始
	1547	大島西元町港沖 (34° 44.3' N, 139° 20.6' E)	〃	〃	NE	4	1.6	投錨
11 月 30 日	0300	〃	〃	〃	〃	5	〃	抜錨
	0535	大島沖 (34° 32.8' N, 139° 26.7' E)	〃	〃	〃	6	2	作業 開始
	0600	〃	〃	〃	〃	〃	〃	荒天 待機
	0955	〃	〃	〃	NNE	6	〃	作業 中止
	1415	伊豆伊東港沖 (34° 58.8' N, 139° 06.1' E)	336	10.8	NNE	4	0.6	投錨

表 2-11：実験③航程表（調査作業再開）

日程	時刻	航行海域	針路 (deg)	速力 (kn)	風向	風力	波高 (m)	備考
12 月 2 日	0410	伊豆伊東港沖	var	var	N	3	1	離岸
	0500	調査海域 (35° 00.50' N, 139° 13.9' E)	〃	〃	〃	〃	〃	作業 開始
	1230	〃	〃	〃	NE	2	〃	作業 終了
	1456	伊豆伊東港沖 (34° 58.9' N, 139° 06.1' E)	〃	〃	SE	1	0.8	投錨
12 月 3 日	0630	〃	var	var	SSW	3	0.7	抜錨
	0335	竜王埼	148	10	NNE	3	〃	
	0430	大島南東海域 (34° 32.8' N, 139° 26.7' E)	〃	9.2	NNE	3	〃	着
	0500	〃	var	var	N	5	〃	
	1510	〃	〃	〃	NE	3	1.2	発
	1600	大島東方 2 マイル	025	10.5	N	3	〃	
	1925	浦賀水道航路 I N	025	10	NE	3	〃	
	2010	浦賀水道航路 O U T	325	10.1	NE	1	〃	
	2044	中ノ瀬航路 O U T	048	10.2	E	1	〃	
	2143	袖ヶ浦沖 (35° 28.7' N, 139° 55.6' E)	var	var	〃	〃	〃	投錨
12 月 4 日	0800	〃	〃	〃	N	2	〃	抜錨
	0845	袖ヶ浦 I N	〃	〃	〃	〃	〃	
	0912	袖ヶ浦	〃	〃	〃	〃	〃	接岸

本船は、平成 28 年 11 月 24 日に鳴尾浜を出港し、11 月 26 日に袖ヶ浦市奈良輪岸壁に着岸した。そして 11 月 28 日に袖ヶ浦を出港し、夕方 1730 に調査海域付近の伊豆大島沖に到着し、錨泊した。29 日翌朝、作業海域にシフトし、0630 に調査作業を開始した。また 30 日翌朝には 2 日目の作業を開始したが、荒天のため作業は中止となり、伊東港付近に移動し、錨泊した。12 月 2 日に天候が回復し、作業を再開し、12 月 3 日に作業を終えた後、袖ヶ浦にシフトし、4 日翌朝に奈良輪岸壁に接岸した。

3. 解析

3.1 解析方法

(1)解析①；GPS スピードログ GS-100 の検証（解析対象；実験①）

先に述べたように、航海情報の共有は安全航海に不可欠なものである。今回実験で使用する GPS スピードログは最新機器であり、その性能や用途は未知数である。そこで本船は KICS 等、非常に高精度の信頼性のある航海情報を得ることができるため、本船から得られる航海情報との比較・考察をまずは行うこととする。当研究で使用するデータは、本船に備え付けてある計器のデータを集めている KICS-4800 のデータと、GS-100 から収集されたデータの 2 種類がある。これらのデータを時間整合して、比較する。

(2)解析②；加速度計による衝撃波の比較（解析対象；実験①-③）

平成 27 年度同様、加速度計のデータから特徴（衝撃・振動・落下等のイベント）を見出す。実験②の海域では、航程表から分かるように終始穏やかな気象であった。しかし実験③の伊豆沖では荒天に見舞われたため、各状況別の解析を実施する。

(1)解析①

1. 停泊時

停泊時の解析対象海域は、停泊中のデータを最も長時間計測できた、9 月 10 日鳴尾浜停泊時の 7 時 42 分から 8 時 52 分までの 70 分（4200 秒）を解析対象とする。

2. 通常航海時

通常航海時の解析対象海域は、実験航海のうち、針路速力が安定しており外乱の影響が少なかった 9 月 26 日島根県沖航行中の海域を対象に 10 時 00 分から 11 時 00 分までの 60 分間（3600 秒）解析対象とする。

3. 通狭時

実験航海のうち、もっとも頻繁に変針を行った、9 月 26 日関門海峡通過時（復路）を対象に 21 時 15 分から 21 時 27 分までの 12 分間（720 秒）解析対象とする。当時の潮流は逆潮で関門大橋付近では、5 ノット程度で受けた。

4. 入港時

速力変化の大きかった 9 月 25 日西郷港入港時の 17 時 50 分から 17 時 57 分までを対象 7 分間（420 秒）に解析対象とする。

5. 据付作業時

隠岐島北方 60km 付近で定点保持機能を最も長時間連続して用いた 9 月 25 日 6 時 42 分から 7 時 12 分までの海域を対象に 30 分間（1800 秒）を解析対象とする。

(2)解析②

前項の 1 から 5 の海域に加え、実験①の海域、実験③の海域の潮岬付近 11 月 25 日 2 時 30 分、調査作業中 11 月 29 日 12 時 00 分、そして荒天待機 11 月 30 日 5 時 30 分付近、いずれも 5 分 30 秒間（330 秒）を解析対象とする。

4. 結果

4.1 解析①

4.1.1 船首方位

(1)停泊時の船首方位

図 4-1 に停泊時の船首方位について KICS からのジャイロコンパス TG-8000、GPS コンパス SC-50 そして設置したサテライトスピードログ GS-100 の測定結果を示す。図よりジャイロコンパスを基準値とすると、SC-50 と GS-100 に誤差があることが分かる。

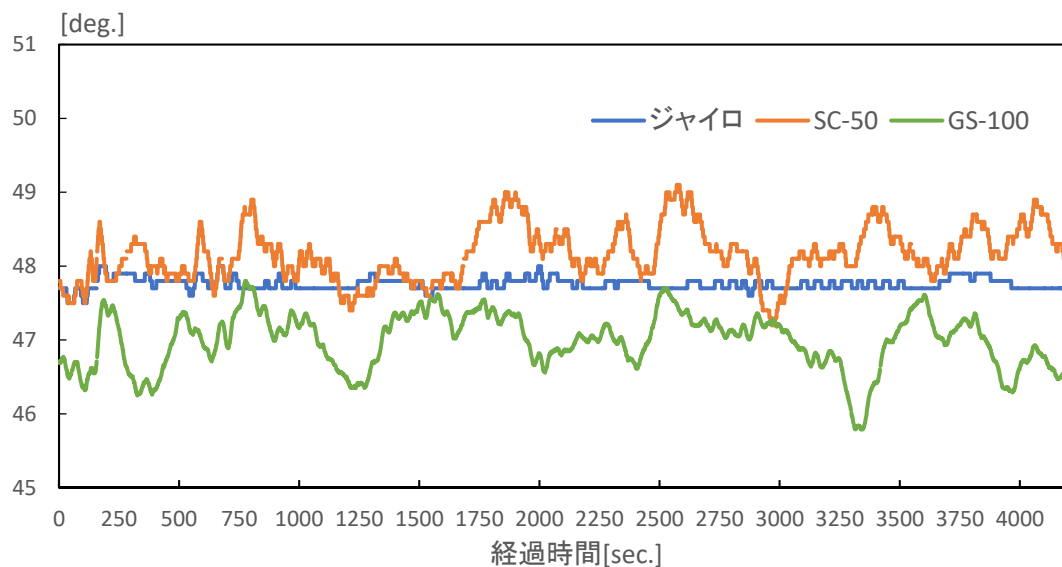


図 4-1： 停泊時の船首方位

表 4-1 にジャイロコンパスと SC-50 及び GS-100 との差の平均と標準偏差を示す。このとき本船は気象海象条件が穏やかな下で、鳴尾浜に着岸し係留している状態である。当然ながら船首方位の変化は、小さくなっていると考えるのが妥当であり、ジャイロコンパスが正しい。従って停泊時の SC-50 及び GS-100 とジャイロコンパスの差を比較する。表 4-1 に誤差の平均と標準偏差を示す。

表 4-1：停泊時のジャイロコンパスとの差異

ジャイロからの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	0.4	-0.77
標準偏差	0.4	0.38

有効数字は、SC-50 は小数点以下 1 桁まで計測可能で、GS-100 は 2 桁まで計測が可能であるため、ジャイロコンパスからの差についても同様の有効数字にした。表から、この海域でのジャイロコンパスと SC-50 及び GS-100 とのゼロ点誤差をそれぞれ 0.4 度、-0.77 度とし、この値を他の解析対象海域についても補正值として使用した。表 4-1 より、SC-50、GS-100 の平均と標準偏差はジャイロに比べ 1 度以内に収まった。誤差についてはアンテナの位置や機器のタイムラグなどが挙げられるが、停泊時にはほぼ問題なく船首方位として利用できることが分かった。

(2) 通常航海時の船首方位

図 4-2 に通常航海時の船首方位の測定結果を示す。通常航海時は、設定針路から船首方位のずれは、最大で 1.5 度程度と小さく、外洋にも関わらず穏やかであった。

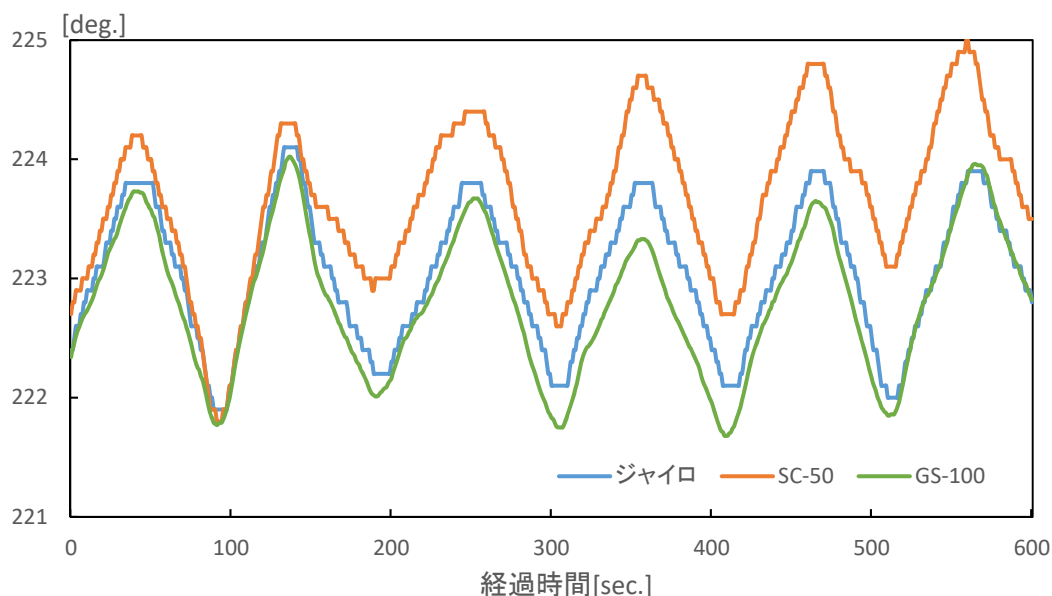


図 4-2：通常航海時の船首方位

図 4-3 に通常航海時におけるジャイロコンパスからの船首方位の差異を示す。また表 4-2 に誤差の平均と標準偏差を示す。

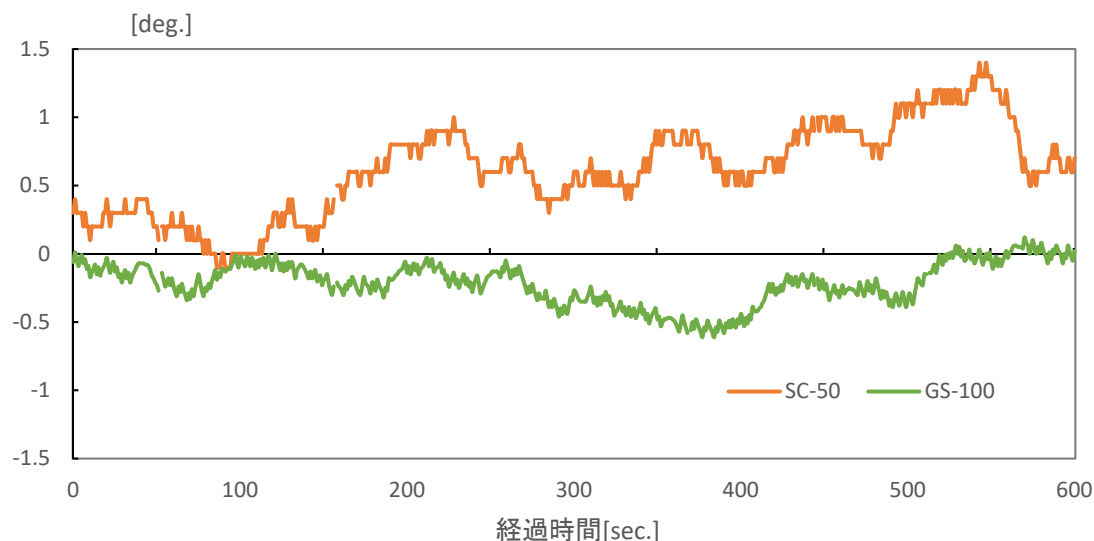


図 4-2：通常航海時のジャイロコンパスからの差

表 4-2:通常航海時のジャイロコンパスとの差異

ジャイロからの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	0.7	-0.17
標準偏差	0.4	0.23

表 4-2 より、停泊時と比較するが、SC-50 の平均が若干大きくなったが、標準偏差は停泊時と変わらなかった。また GS-100 の平均と標準偏差は少なくなっている。GS-100 スピードログであるため、航海中の方が、精度が良いことは考えられるが、やはり設置状況など環境差が大きいと考える。通常航海時においてもジャイロとの差異は 1 度以下であるため、船首方位として利用できることが分かった。

(3) 通狭時の船首方位

図 4-4 に通狭時の船首方位について示す。図は変針時の各船首方位を示している。回頭が始まり変針した直後（図中、赤丸）に GS-100 の値が、他の 2 計器から離れていた。この現象は、船首方位の変化が大きい状況つまり、回頭角速度の値が大きく変化したときに見られた。

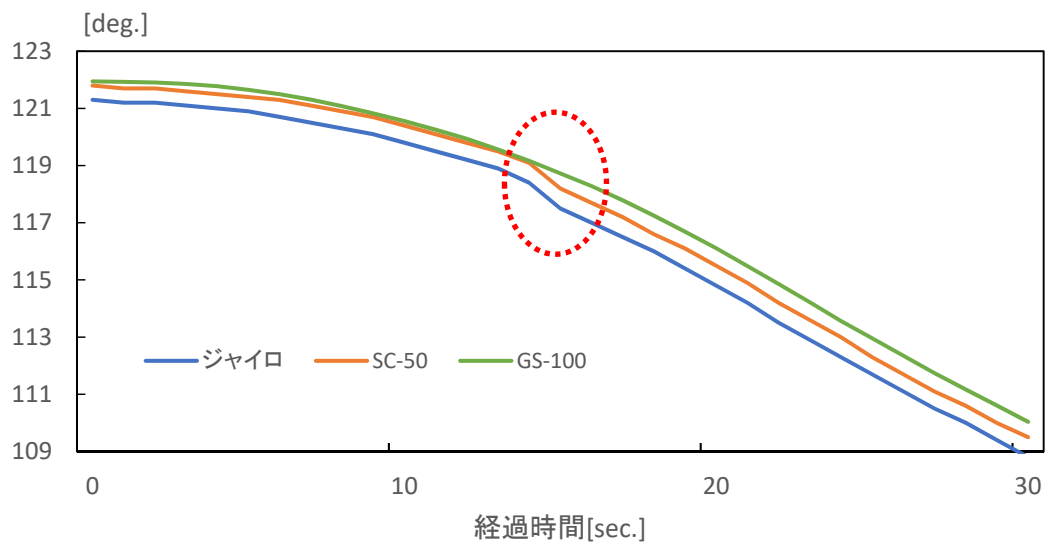


図 4-4：通狭時の船首方位

次に図 4-5 に通狭時におけるジャイロコンパスからの船首方位の差異を示す。また表 4-3 に誤差の平均と標準偏差を示す。

図 4-5 より、変針時 GS-100 の方が、追従が遅いことが分かる。考えられる理由としては KICS システム内にあるジャイロコンパスと SC-50 と外付け設置装置である GS-100 との差とも考えられる。また表 4-3 より GS-100 の平均が 1 度を少し超えているが、標準偏差は 0.27 と小さいため、この追従性の問題をカバーすれば問題なく利用できることが分かった。

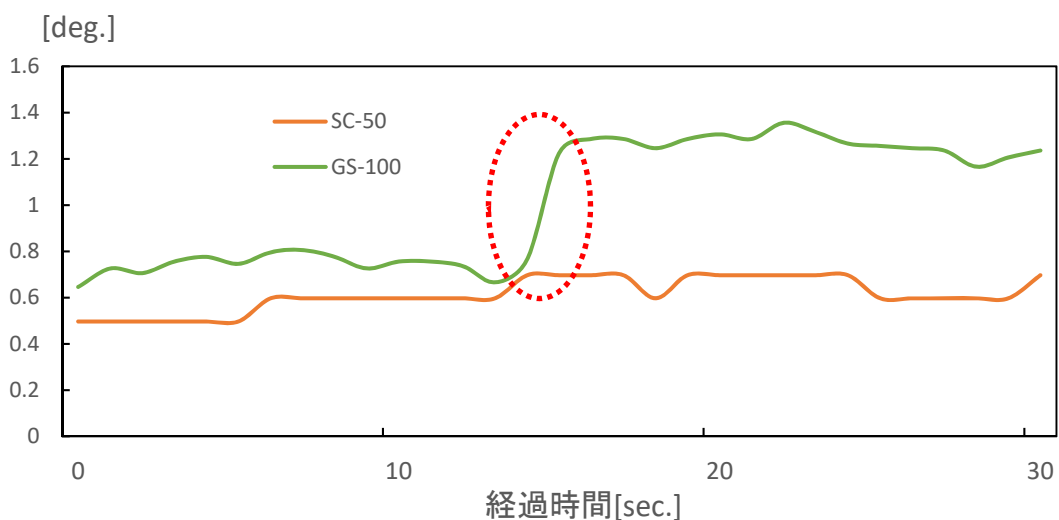


図 4-5：通狭時のジャイロコンパスからの差

表 4-3: 通峡時のジャイロコンパスとの差異

ジャイロからの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	0.6	1.01
標準偏差	0.1	0.27

(4) 入港時の船首方位

図 4-6 に入港時の船首方位を示す。図より、低速 4 ノットから接岸するまでの各船首方位を示している。通峡時とほぼ同様に、各船首方位の差は、変針時付近で大きくなった。しかし、通峡時と異なり、入港時においては、図の 50～300 秒あたりで、数回大変針を行っている。そのため変針開始の直前と変針終了の直前に、ジャイロコンパスとの差が大きく生じている。

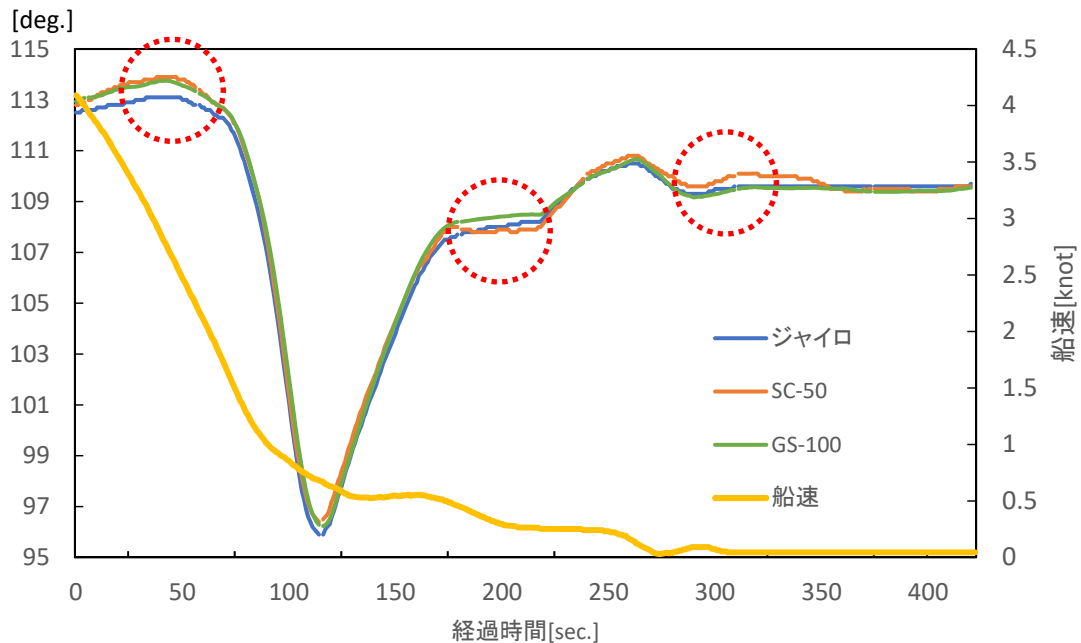


図 4-6 : 入港時の船首方位

次に図 4-7 に入港時におけるジャイロコンパスからの船首方位の差異を示す。また表 4-4 に誤差の平均と標準偏差を示す。

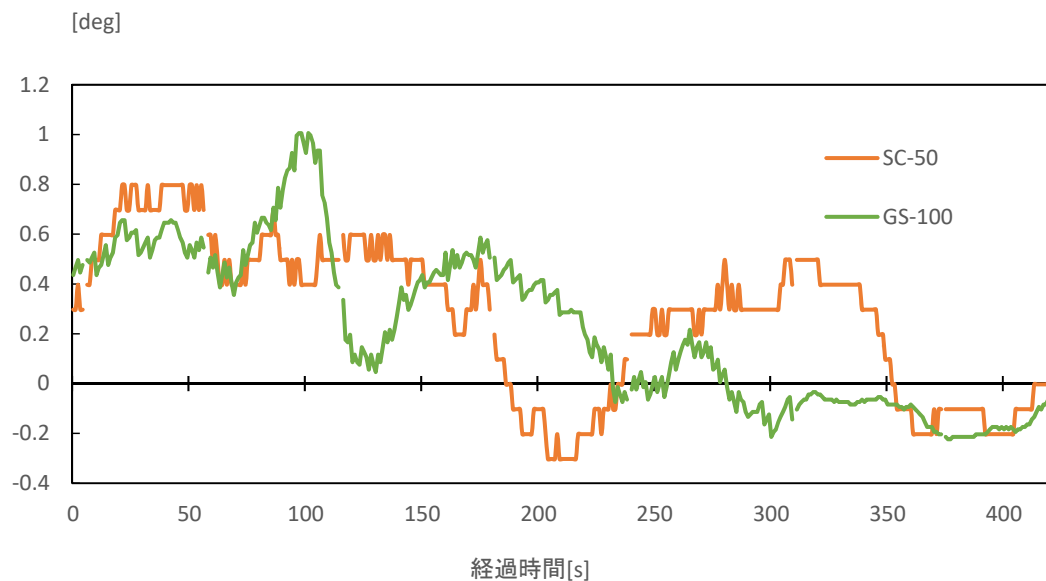


図 4-7：入港時のジャイロコンパスからの差

表 4-4：入港時のジャイロコンパスとの差異

ジャイロからの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	0.3	0.22
標準偏差	0.3	0.32

図 4-7 より、KICS のジャイロデータに非連続部分が生じたため他の計器との差異も非連続となっている。表 4-4 より、入港時ジャイロからの船首方位のずれは非常に小さい。入港時においては、変針はあるものの低速で、ある程度船首方位を見定め、固定された体制でアプローチするため、針路の振れが通常時よりも少ないことが挙げられる。

(5) 据付作業時の船首方位

図 4-8 に入港時の船首方位を示す。図よりジャイロの回頭角速度が 0 に近い状況が続く場合、特に SC-50 では、ジャイロコンパスとの差が大きくなった。また図 4-9 に据付作業時におけるジャイロコンパスからの船首方位の差異、表 4-5 に平均と標準偏差を示す。

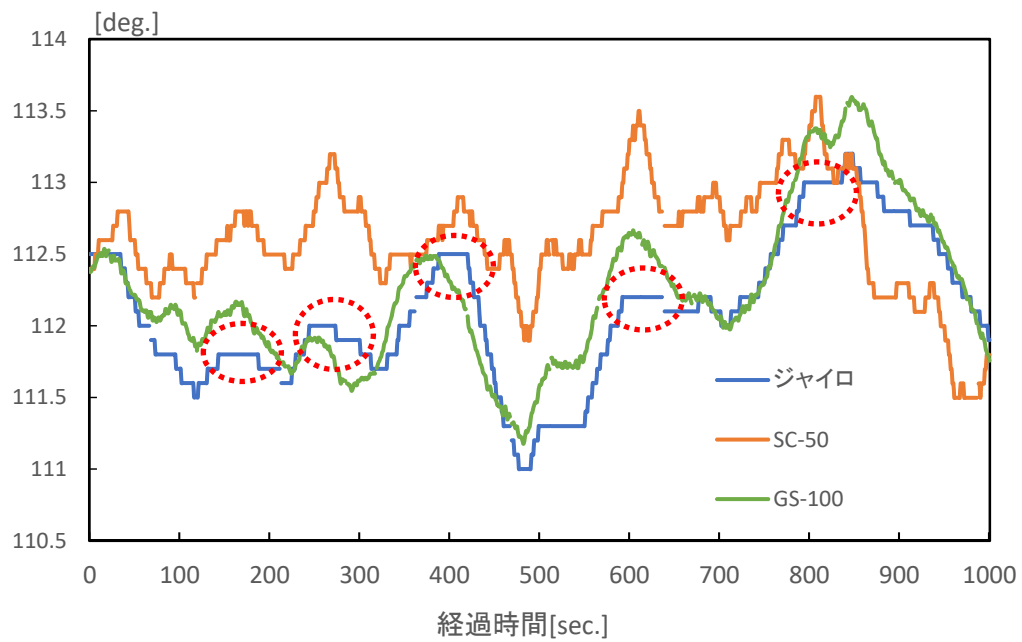


図 4-8：据付作業時の船首方位

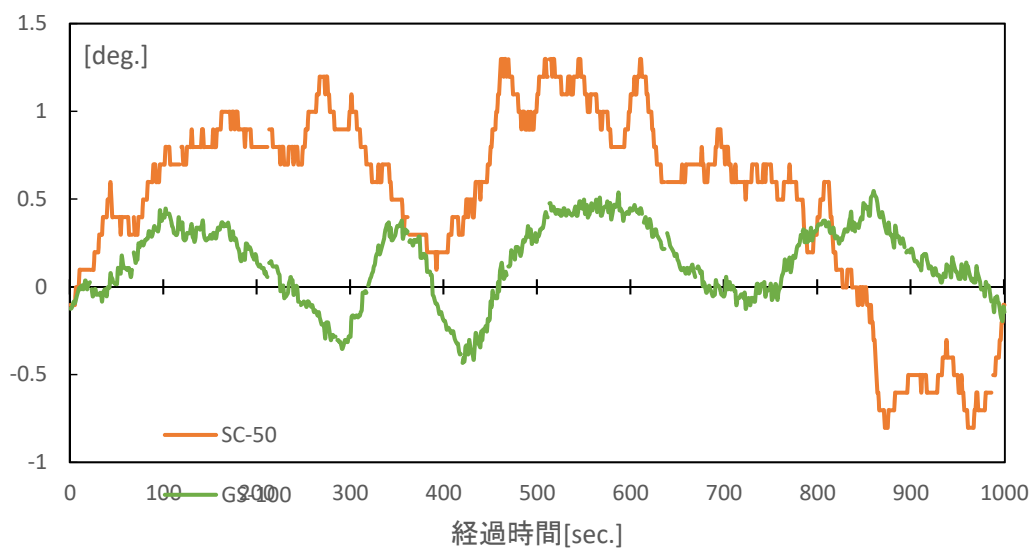


図 4-9：据付作業時のジャイロコンパスからの差

表 4-5：据付作業時のジャイロコンパスとの差異

ジャイロからの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	0.5	0.14
標準偏差	0.5	0.22

図 4-9 より、据え付け作業時データにおいても KICS のジャイロデータに非連続部分が生じたため、非連続となっている。表 4-5 より、据付作業時の SC-50 の標準偏差は一番大きな値となった。これは先ほども述べた通りジャイロの静止時に誤差が多く生じた為である。SC-50 においてはジャイロの加速・静止に対し、若干の遅れがあるものと見られ故に短時間の静止に追従できなかったと思われる。

結論として、全体を通して船首方位にサテライトコンパスを使用することは信頼性があることが分かったが、いわゆる調査船のように、高精度の動静を繰り返す場合は、船首方位はセンサーの観点からジャイロを信用すべきであり、静止してからの位置決めは GPS で確認することが相応しいということが分かった。

4.1.2 Pitch 角

(1) 停泊時における Pitch 角

Pitch 角及び Roll 角の設置時の誤差は、船首方位と異なり、トリムなどにより傾斜角が変化し、そのときの傾斜角によって設置時の誤差が異なると考えられる。このため、Pitch 及び Roll 角については、他の解析対象海域と船舶のトリム及び喫水が、鳴尾浜停泊時と比較して近いと考えられる、9 月 24 日 20 時 00 分から 21 時 00 分までの西郷港停泊時の 60 分間(3600 秒)を停泊時のデータとして計測し、船首方位と同様にこの値を設置時に生じた誤差とし、他の解析対象海域に使用した。図 4-10 に停泊時の Pitch 角を示す。また表 4-6 に平均と標準偏差を示す。

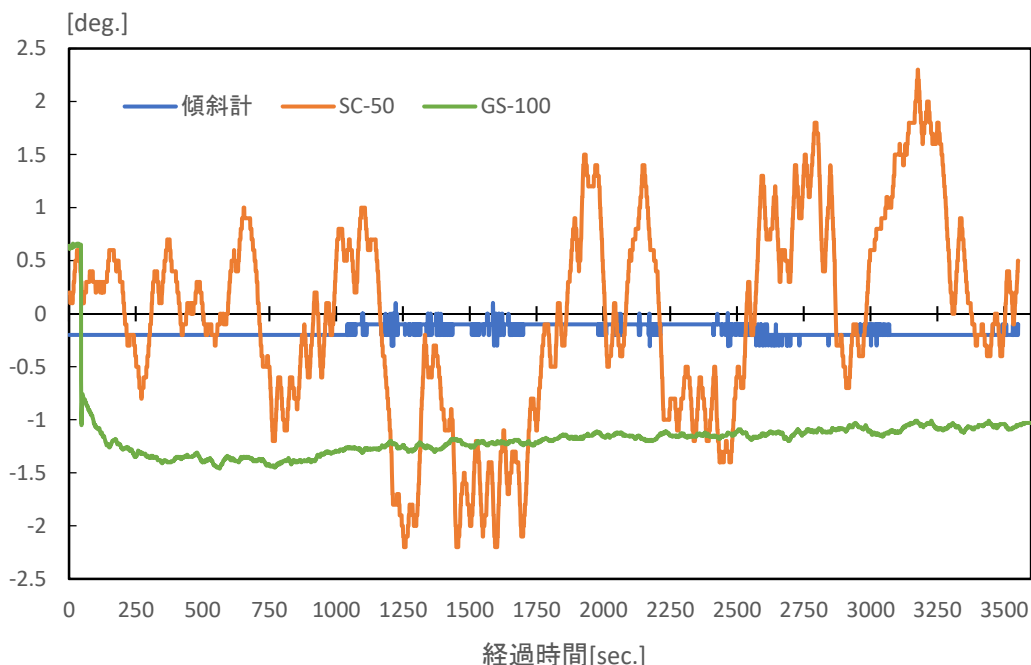


図 4-10：停泊時の Pitch 角

表 4-6：停泊時の Pitch 角の差

傾斜計からの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	0.1	-1.02
標準偏差	1.0	0.24

図 4-10 より停泊時の Pitch 角であるので、大きく変化するとは考えにくい。したがって、Pitch 角については、傾斜計（宇津木）を基準にし、その差を比較する。有効数字に関しては船首方位と同様で、SC-50 は小数点以下 1 桁まで計測可能で、GS-100 は 2 桁まで計測が可能であるため、傾斜計からの差についても同様の有効数字にした。上表から、この海域での傾斜計と SC-50 及び GS-100 との差は 0.1 度、-1.02 度となり、この値をゼロ点補正值として使用した。

(2) 通常航海時の Pitch 角

次に図 4-15 に通常航海時の Pitch 角、表 4-7 に平均と標準偏差を示す。

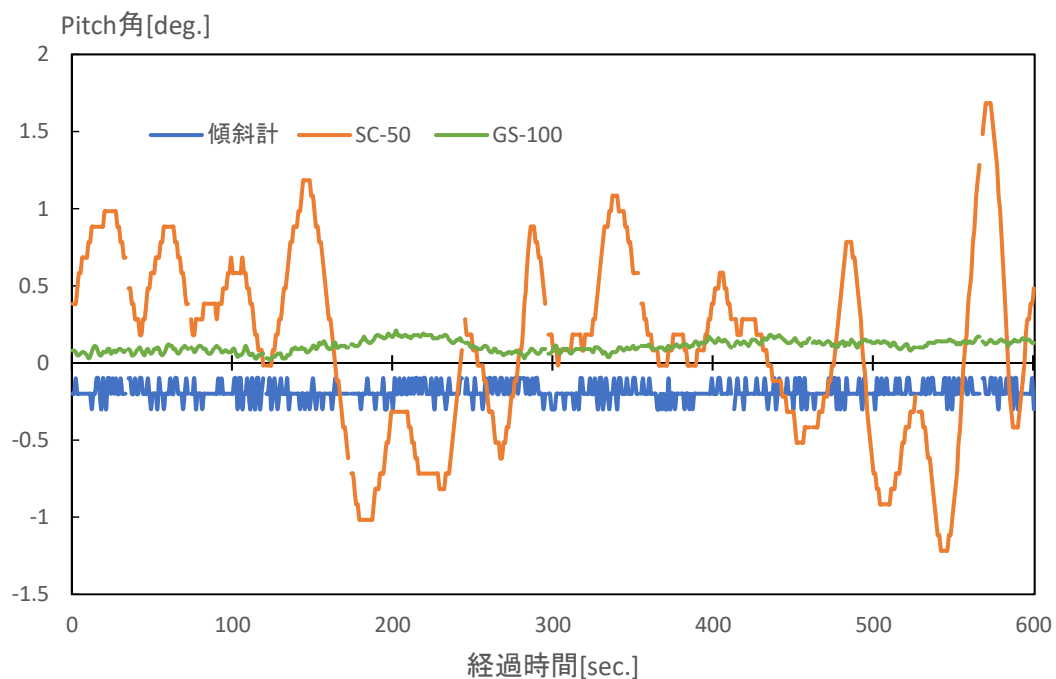


図 4-11：通常航海時の Pitch 角

表 4-7：通常航海時の Pitch 角の差

傾斜計からの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	0.1	0.38
標準偏差	0.7	0.12

図 4-11 より、SC-50 のデータは断続的となった。その為か、表 4-7 より SC-50 の標準偏差が GS-100 の 5 倍となっている。

(3) 通狭時の Pitch 角

次に図 4-12 に通狭時の Pitch 角、表 4-7 に平均と標準偏差を示す。

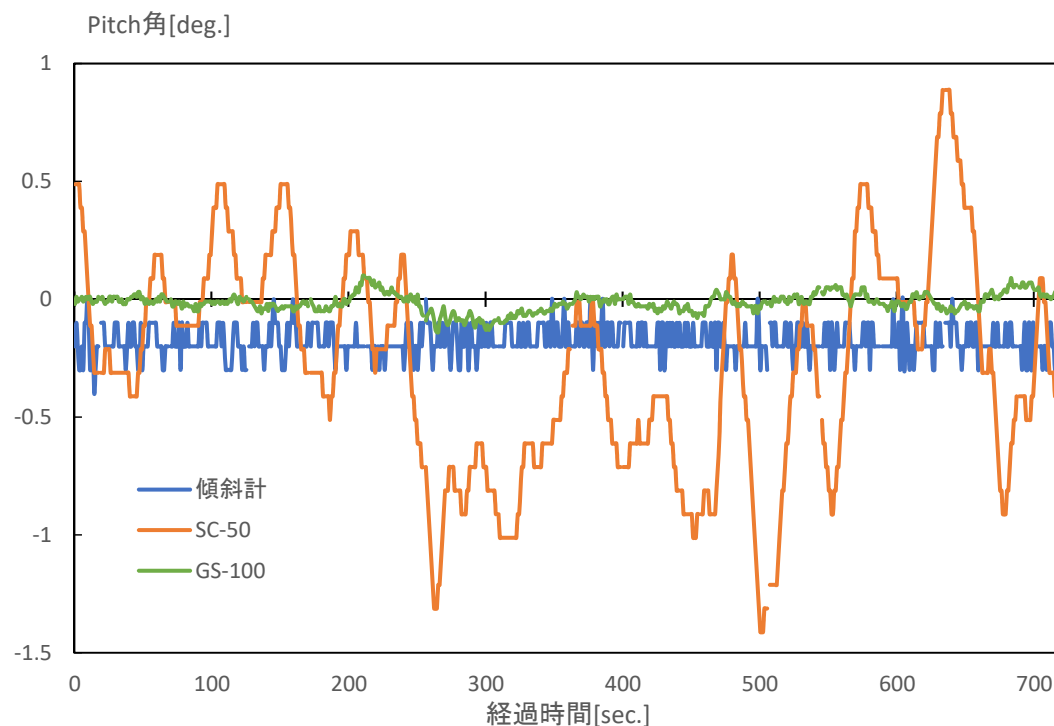


図 4-12：通狭時の Pitch 角

表 4-7：通狭時の Pitch 角の差

傾斜計からの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	-0.1	0.18
標準偏差	0.5	0.15

図 4-12 より、SC-50 と GS-100 の差異は少なくなったものの、誤差はさほど変わらなかった。また表 4-6 おいてもその際の変化は通常航海時と同様であった。

(4) 入港時の Pitch 角

次に図 4-13 に入港時の Pitch 角、表 4-8 に平均と標準偏差を示す。図 4-13 より、SC-50 と GS-100 の差異は広がった。入港時には多く変針を行っていることが原因であると考え。また表 4-8 より平均は大きく差が広がり、標準偏差は通常航海時と同程度であった。

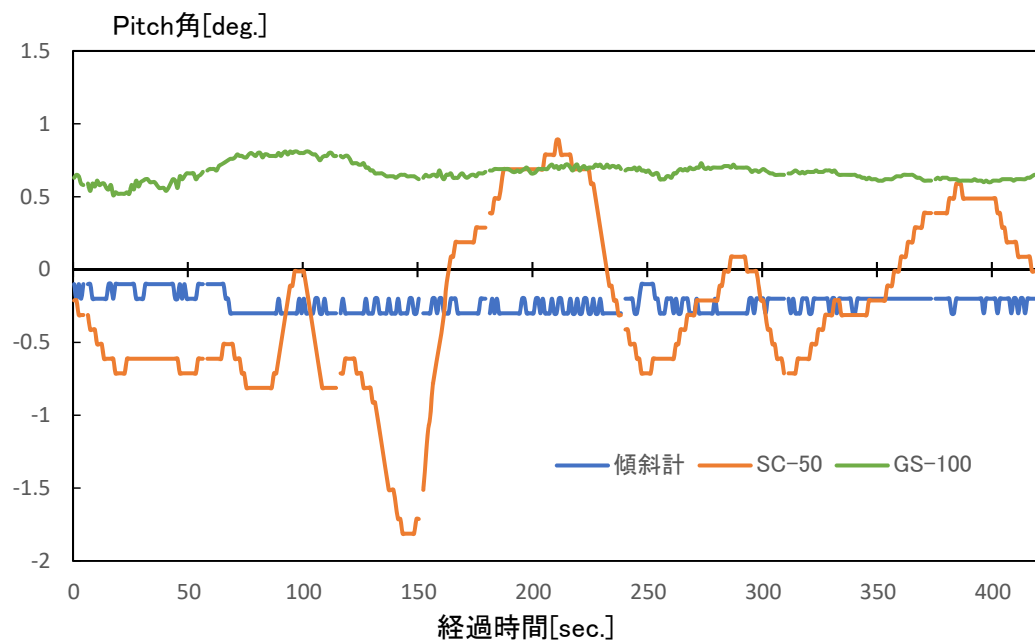


図 4-13：入港時の Pitch 角

表 4-8：入港時の Pitch 角の差

傾斜計からの差[deg.]	SC-50	GS-100
平均	-0.1	0.90
標準偏差	0.6	0.11

(5) 据付作業時の Pitch 角

最後に図 4-14 に入港時の Pitch 角、表 4-8 に平均と標準偏差を示す。

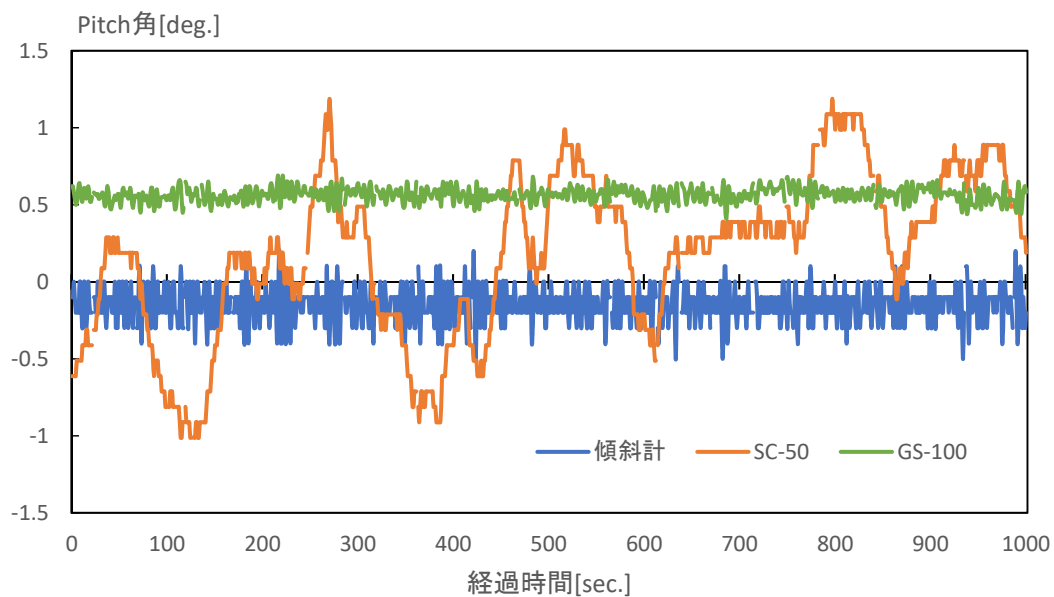


図 4-14：据付作業時の Pitch 角

表 4-9：据付作業時の Pitch 角の差

傾斜計からの差[deg]	SC-50	GS-100
平均	0.1	0.72
標準偏差	0.7	0.12

図 4-14 より、SC-50 と GS-100 の差異は、入港時の次に大きくなった。据付作業においても船体の移動が多いことが原因と考える。また表 4-9 より平均、標準偏差ともに入港時と同程度の差異があった。

4.1.3 Roll 角

(1) 停泊時

GS-100 による、Roll 角の値には、解析の段階で大きな誤差があったため、解析結果からは除外した。Roll 角についても、Pitch 角の停泊時で述べた通り、設置時の誤差があると考え、ここで測定した値を、補正值として他の海域に使用した。図 4-15 に停泊時の各計器の Roll 角、表 4-10 に平均と標準偏差を示す。

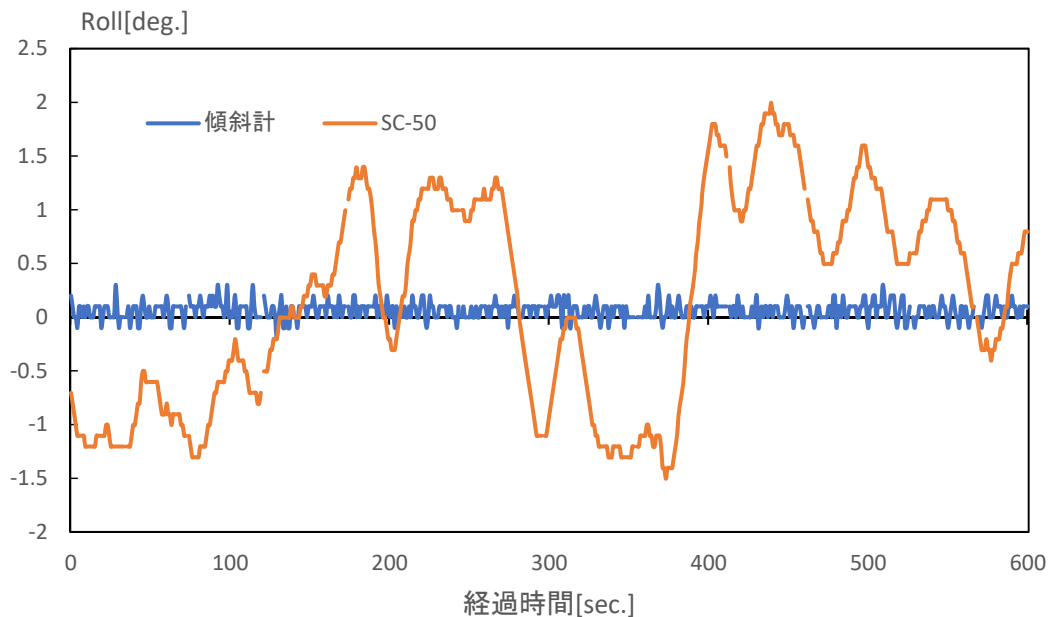


図 4-15：停泊時の Roll 角

表 4-10：停泊時の Roll 角の差

傾斜計からの差[deg]	SC-50
平均	0.3
標準偏差	0.6

図 4-15 より停泊時の Roll 角は大きく変化するとは考えにくい。したがって、Roll 角についても、傾斜計（宇津木）を基準にし、その差を比較した。有効数字に関しては船首方位と同様で、SC-50 は小数点以下 1 桁まで計測可能なため、有効数字も小数点以下 1 桁にした。表 4-10 より、この海域でのジャイロコンパスと SC-50 との差は 0.3 度となり、この値を他の解析対象海域についてもゼロ点補正值として使用した。

(2) 通常航海時の Roll 角

次に図 4-16 に通常航海時の Roll 角、そして表 4-11 に平均と標準偏差を示す。

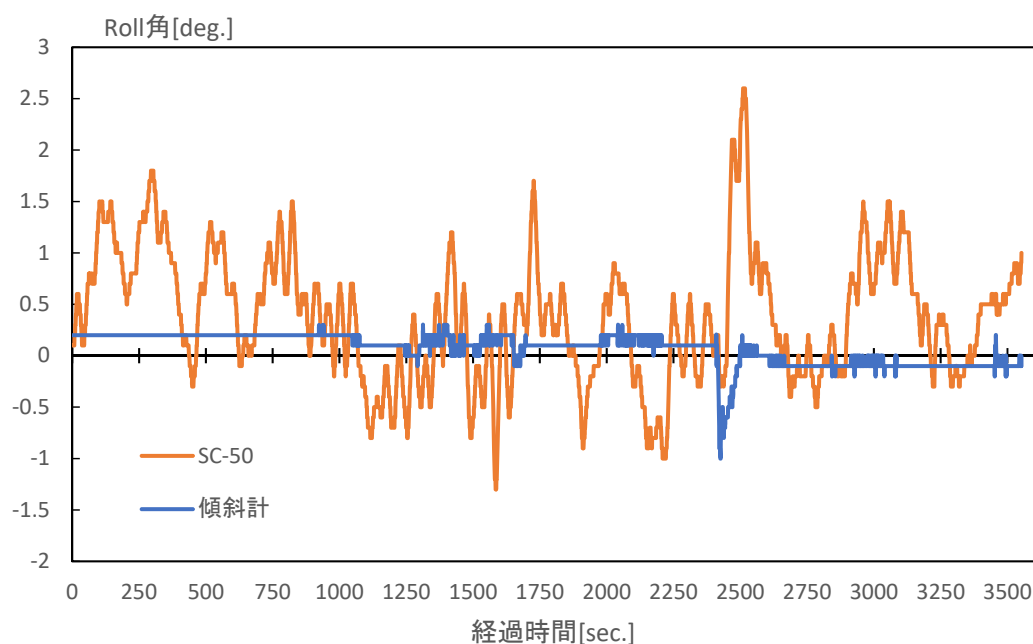


図 4-16：通常航海時の Roll 角

表 4-11：通常航海時の Roll 角の差

傾斜計からの差[deg]	SC-50
平均	0.8
標準偏差	0.9

図 4-16 より、SC-50 と傾斜計の差異は、停泊時より大きくなった。傾斜計の値は航海時においても停泊時とさほど変わらずゼロに近い値であったが、SC-50 においては大きな振れを確認できた。考えられる原因は GPS の追従性である。また表 4-11 より平均、標準偏差ともに停泊時より大きくなった。

(3) 通狭時の Roll 角

次に図 4-17 に通狭時の Roll 角、そして表 4-12 に平均と標準偏差を示す。

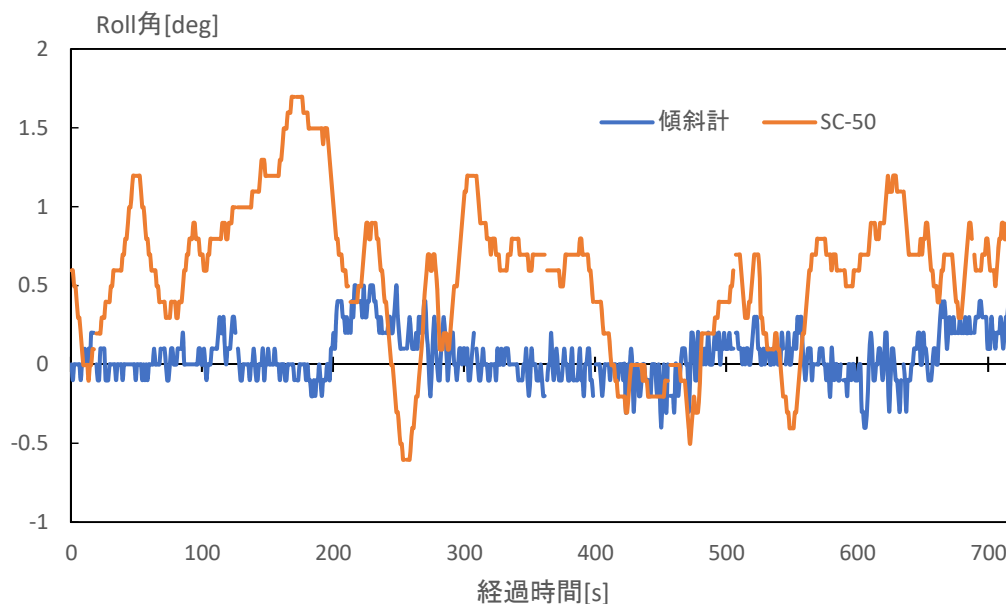


図 4-17：通狭時の Roll 角

表 4-12：通狭時の Roll 角の差

傾斜計からの差[deg.]	SC-50
平均	0.5
標準偏差	0.5

図 4-17 より、通狭時には傾斜計の揺れが 0.5 度前後で生じ、SC-50 の周期がずれていることが見てわかる。やはり考えられる原因は GPS の追従性の悪さである。また表 4-12 では平均、標準偏差ともに通常航海時より減少しているが、これは、加減が重なった結果である。

(4) 入港時の Roll 角

次に図 4-18 に通狭時の Roll 角、そして表 4-13 に平均と標準偏差を示す。図 4-18 より、入港時には変針が多いため、小さな値であるが継続的に Pitch 角と同様に Roll 角も生じている。そして通狭時同様に SC-50 の周期もずれている。また表 4-13 より、SC-50 の平均そして標準偏差は最も小さな値となった。図 4-18 を見てわかるように、全体的に小さな値あること、そして通狭時と同じで、加減が打ち消しあった結果であると考える。

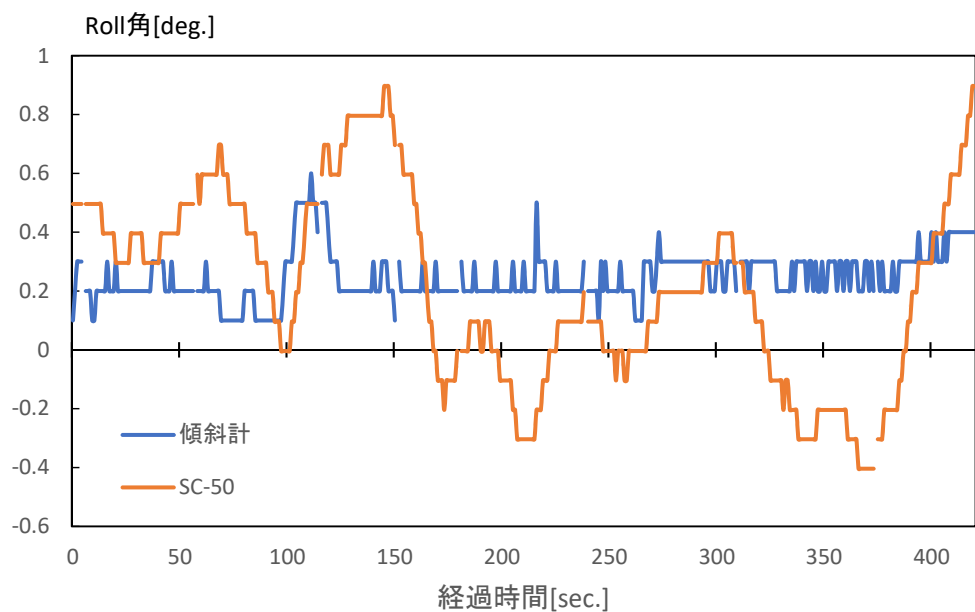


図 4-18：入港時の Roll 角

表 4-13：入港時の Roll 角の差

傾斜計からの差[deg.]	SC-50
平均	0.1
標準偏差	0.3

(5) 据付作業時

最後に図 4-19 に据付作業時の Roll 角、そして表 4-13 に平均と標準偏差を示す。

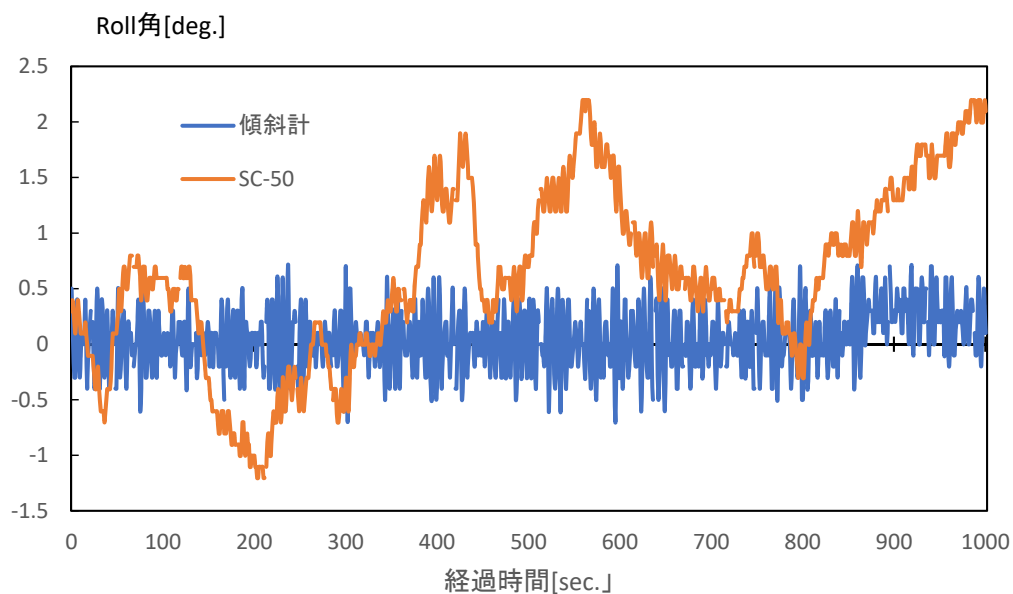


図 4-19:据付作業時の Roll 角

表 4-14：据付作業時の差異

傾斜計からの差[deg.]	SC-50
平均	0.5
標準偏差	0.7

図 4-19 より、傾斜計は 0.5 度程度の継続的で小刻みな横揺れを観測し、それと同様に SC-50 の値も小刻みに揺れているが、振幅は他の状況下を同じであるため、この誤差は環境による差異ではなくハードウェア面にあることが良くわかる。また表 4-14 より、数値の上下運動が激しいため標準偏差が大きくなった。

4.1.4 まとめ

(1) 船首方位

表 4-15 に船首方位の結果のまとめを示す。

表 4-15：船首方位のジャイロコンパスからの差

ジャイロとの 差[deg.]	通常航海時		通峡時		入港時		据付作業時	
	SC-50	GS-100	SC-50	GS-100	SC-50	GS-100	SC-50	GS-100
平均	0.3	0.60	0.4	0.39	0.4	0.31	0.7	0.20
標準偏差	0.4	0.22	0.2	0.26	0.2	0.24	0.3	0.15
差の最大値	1.3	1.40	1.2	1.36	0.8	1.01	1.3	0.75
サンプル数	3600 個		720 個		420 個		1800 個	

表 4-15 は解析対象海域における、各計器のジャイロコンパスからの差を示している。周波数は 1Hz である。SC-50 および GS-100 のジャイロからのずれは 0.5 度程度であり、精度が十分あることが分かった。また、前項で述べた通り、静止からの加速が最もずれに影響を与えていると考えられる。

(2) Pitch 角

次に表 4-16 に Pitch 角の結果のまとめを示す。

表 4-16: Pitch 角の傾斜計からの差

傾斜計との差 [deg.]	通常航海時		通狭時		入港時		据付作業時	
	SC-50	GS-100	SC-50	GS-100	SC-50	GS-100	SC-50	GS-100
平均	0.1	0.38	-0.1	0.18	-0.1	0.90	0.1	0.72
標準偏差	0.7	0.12	0.5	0.15	0.6	0.11	0.7	0.12
サンプル数	3600 個		720 個		420 個		1800 個	

表 4-16 より解析対象海域では、GS-100 の方が SC-50 よりも、傾斜計からの標準偏差の値が、小さくなった。一般的には、GPS アンテナが多いほうが、正確な Pitch 角が計測されるが、今回の実験航海では、全体的に GS-100 の方が傾斜計との差の標準偏差が小さく、なった。当研究においては、傾斜計の精度を測定することができず、傾斜計精度がどの程度正しいか判断できないが、Pitch 角においては、GS-100 は優れた精度を有していると考えられる。

(3) Roll 角

最後に表 4-17 に Roll 角の結果のまとめを示す。

表 4-17 : Roll 角の傾斜計からの差

傾斜計からの差[deg]	通常航海時	通峡時	入港時	据付作業時
	SC-50	SC-50	SC-50	SC-50
平均	0.8	0.5	0.1	0.5
標準偏差	0.9	0.5	0.3	0.7
サンプル数	3600 個	720 個	420 個	1800 個

表 4-17 より、Roll に関しても、Pitch 角と同様に傾斜計による精度を測定していないが、Pitch 角とほぼ同様に傾斜計から大きく差をとることができなかった。しかし、地球深部探索船「ちきゅう」によれば、傾斜角が 2 度を超えると海底掘削作業に影響が出ると言われている。本船では、海底掘削や海洋調査等で正確な傾斜角を求められる機会があると考えられる。今回の実験航海では、全体を通して穏やかな気象海象であり、特に据付作業時では、風や波及び潮の影響が小さかったと考えられる。この場合であっても、SC-50 の値は、傾斜計から平均して 0.5 度、標準偏差は 0.7 度となったので、特に精密な定点保持・傾斜角の保持を行う場合は、Roll 角の計測には、信頼性を確認した傾斜計を用いるべきであると考えられる。

(4) 考察

船首方位の結果から、ジャイロコンパスと各計器の差は回頭角加速度が影響している可能性が高い。このことから、この章では船首方位における、ジャイロコンパスと各計器の差と回頭角加速度についての関係を検証した。図 4-20 は通峡時のジャイロコンパスからの差異、そして図 4-21 は回頭角加速度である。両図の赤丸付近は、回頭角加速度ゼロから比較的大きく離れた時間である。このとき、SC-50 及び GS-100 は回頭角加速度がゼロに近いときと比べ、ジャイロコンパスとの差の値が正の方向へ変化していた。

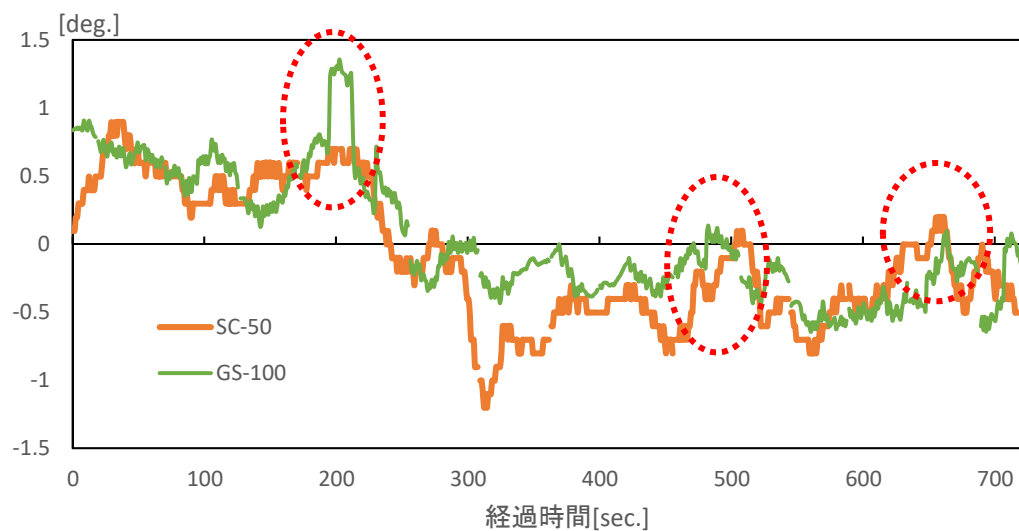


図 4-20：通狭時のジャイロコンパスからの差異

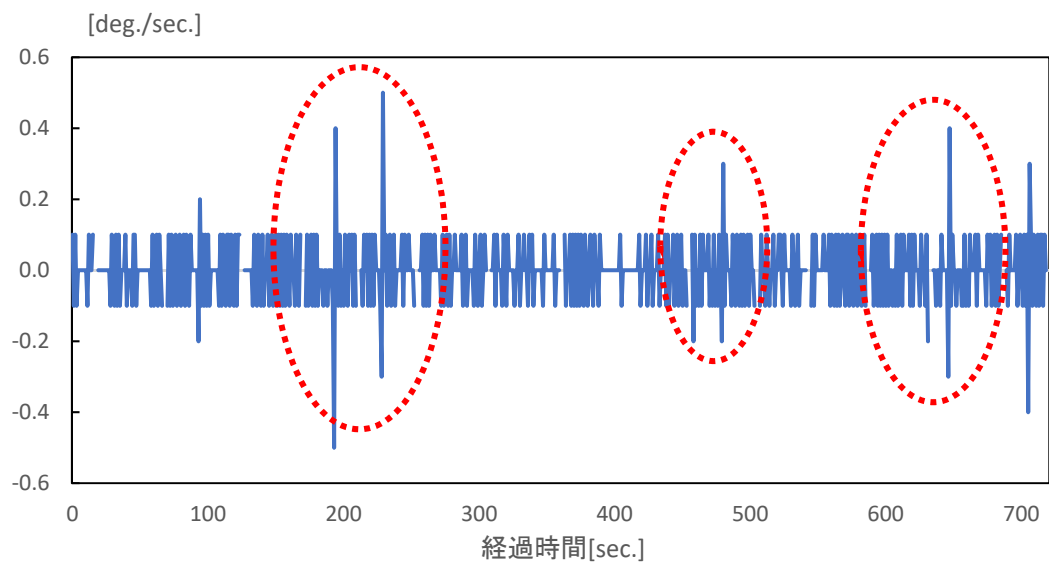


図 4-21：通狭時の回頭角加速度

また、入港時においても同じ現象が見られた。図 4-22 は入港時のジャイロコンパスからの差異、そして図 4-23 は回頭角加速度である。しかし、上図の破線部分のように速力が小さくなると、SC-50 および GS-100 の値は、回頭角加速度の値がゼロから離れない状況であっても、ジャイロコンパスから比較的大きな差をとることがあった。

以上のことから、回頭角加速度が 0.3 度を超えたあたりから、SC-50 及び GS-100 のジャイロコンパスからの差の値に変化を与える可能性があると考えられる。

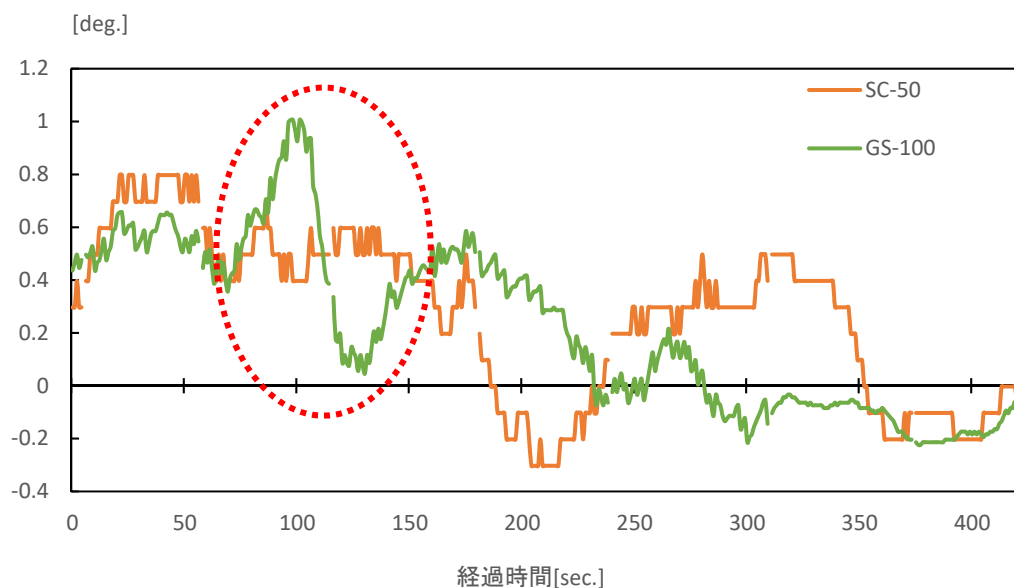


図 4-22：入港時のジャイロコンパスからの差

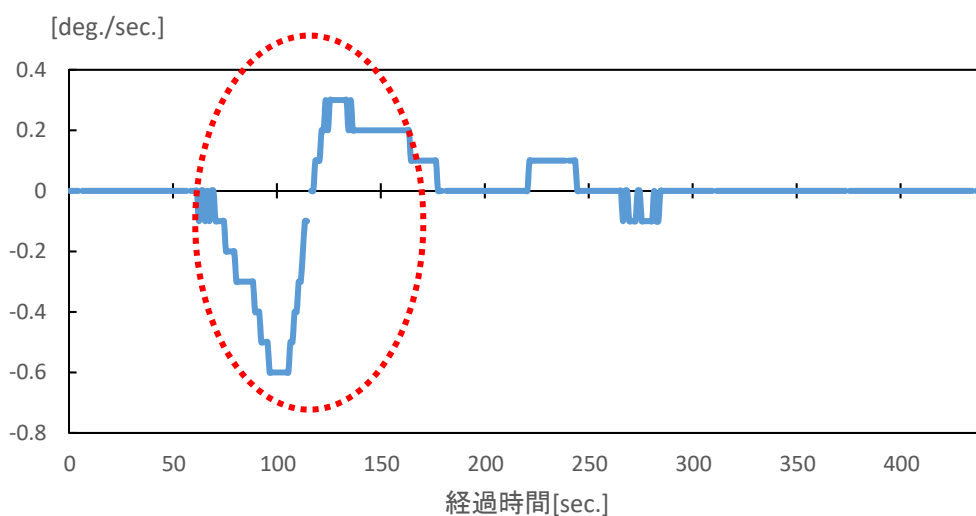


図 4-23 入港時の回頭角加速度

4.2 解析②

4.2.1 解析条件

次に解析①で述べた実験海域①の 5 つの状況、そして荒天に遭遇した実験海域③の 3 つの状況下における加速度計 SAVER3D15 の計測結果について述べる。データ解析に使用したソフトウェアはラスモンド社の SAVER X ware である。図 4-24 に解析に使用したフィルタリング条件を示す。

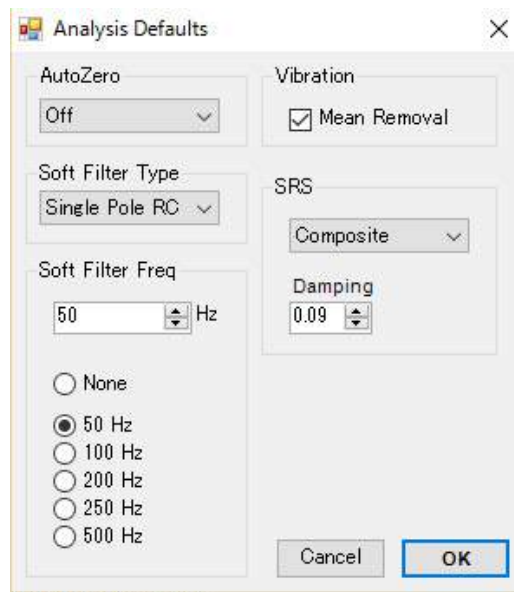


図 4-24：解析フィルタ

4.2.2 概要（実験海域①、②）

図 4-24 より解析に使用したソフトフィルタは 50Hz を使用した。なおこのフィルタは最小であり、これ以上の周波数を掛けると、データが煩雑となるため 50Hz とした。まずは航海全体の衝撃値の計測結果について解説する。なお本ソフトの解析にかけることにより、加速度計で計測した衝撃（Shock）、振動（Vibration）、落下（Drop）のイベントが発生した毎に計測される。

(1) 衝撃

初めに、全体の衝撃について図 4-25 (a) に加速度計 No. 1 の計測結果、図 4-25 (b) に加速度計 No. 2 の計測結果、そして図 4-25 (c) に加速度計 No. 3 の計測結果を示す。



図 4-25 (a)：No. 1 加速度計（衝撃）



図 4-25 (b)：No. 2 加速度計（衝撃）



図 4-25 (c) : No. 3 加速度計 (衝撃)

図 4-25 (a)、図 4-25 (b)、図 4-25 (c) より、グラフの縦軸は加速度、横軸は時間で 1 マスは 1 日である。各図において、(a) には衝撃を 3 回受けたロギングがあるが、(b)、(c) にはなかった。加速度計 No. 1 は船首楼直下に設置されている。衝撃を受けた個所は停泊時、そして入港直前である。考えられるケースとしては、船首楼上には荷役作業設備が固定されており、その衝撃が加速度計に記録された可能性が考えられる。何れにせよ環境要因による衝撃ではない。

(2) 振動

次に全体の振動の計測結果について、図 4-26 (a) に加速度計 No. 1 の計測結果、図 4-26 (b) に加速度計 No. 2 の計測結果、そして図 4-26 (c) に加速度計 No. 3 の計測結果を示す。グラフの縦軸は実効値⁽⁶⁾、横軸は時間で 1 マスは 1 日である。

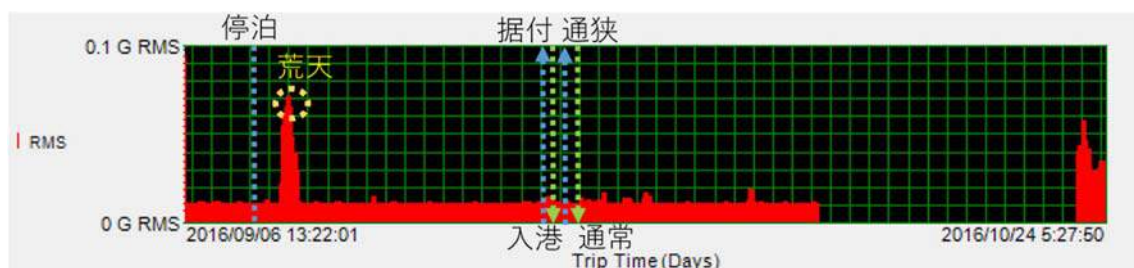


図 4-26 (a) : No. 1 加速度計 (振動)

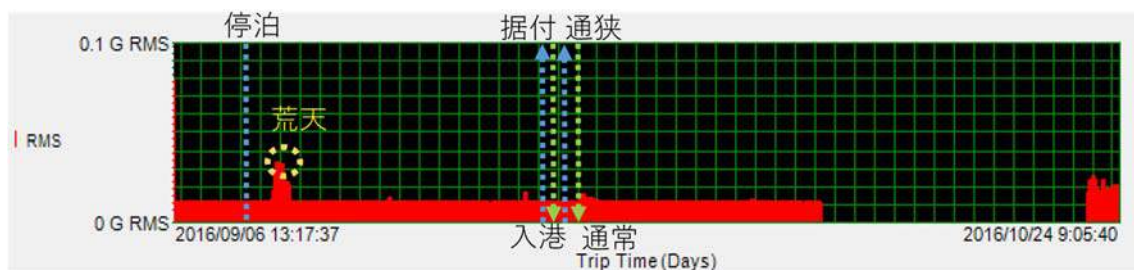


図 4-26 (b) : No. 2 加速度計 (振動)

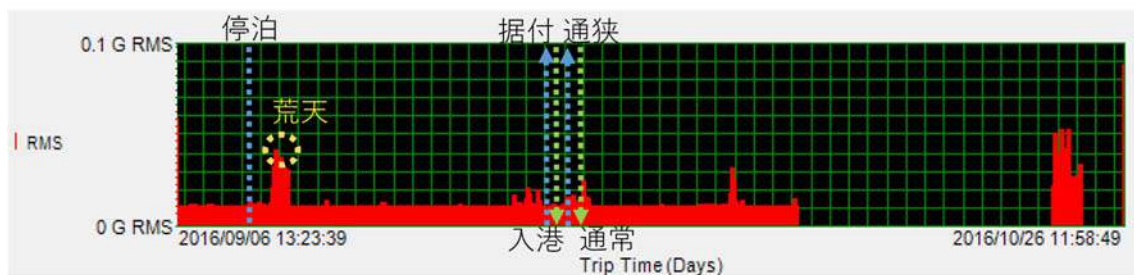


図 4-26(c) : No. 3 加速度計 (振動)

図 4-26(a)、図 4-26(b)、図 4-26(c) より、振動の計測結果について、大きな特徴は 9 月 12 日関門海峡を抜け、外洋に出た付近から気象が多少悪くなった場所で各計測機が比較的大きな振動を計測しているところである。この部分は解析①の 5 つの状況下とは異なる部分であるので後述する。

(3) 落下

次に全体の落下の計測結果について、図 4-27(a)に加速度計 No. 1、図 4-27(b)に No. 2、図 4-27(c)に No. 3 の計測結果を示す。なおグラフの縦軸は落下高さである。各図より、本船が落下に値する動きを記録することは無かった。

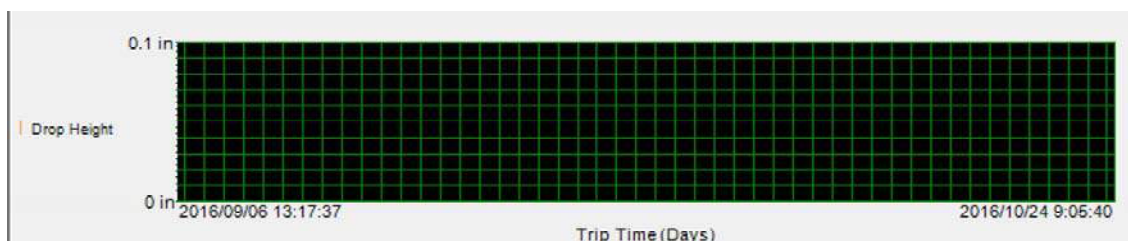


図 4-27(a) : No. 1 加速度計 (落下)

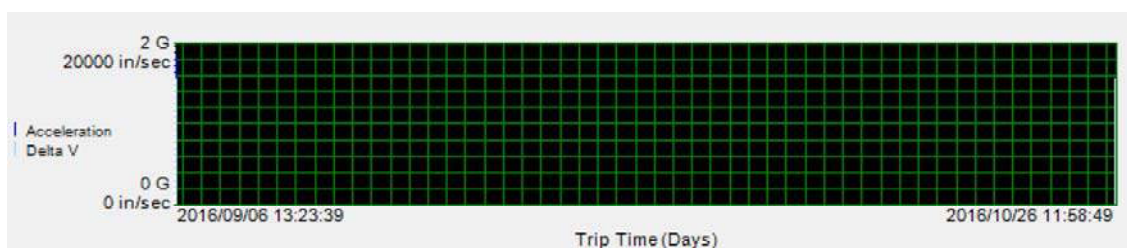


図 4-27(b) : No. 2 加速度計 (落下)

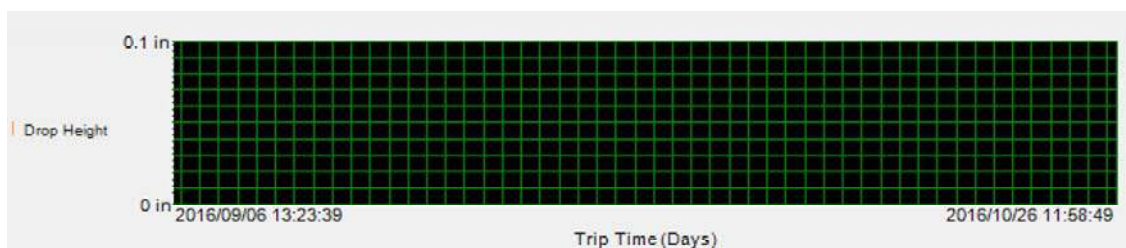


図 4-27(c) : No. 3 加速度計 (落下)

4.2.3 解析（実験①, ②）

(1) 停泊時の加速度

初めに停泊時における 3 軸の振動時間波形を示す。なおグラフの赤色波形は前後方向（X 軸方向）、緑色は左右方向（Y 軸方向）、黄色は上下方向（Z 軸方向）の加速度の変化を示す。時間のスケールは 50000msec である。図 4-28(a) に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-28(b) に No. 2、図 4-28(c) に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。

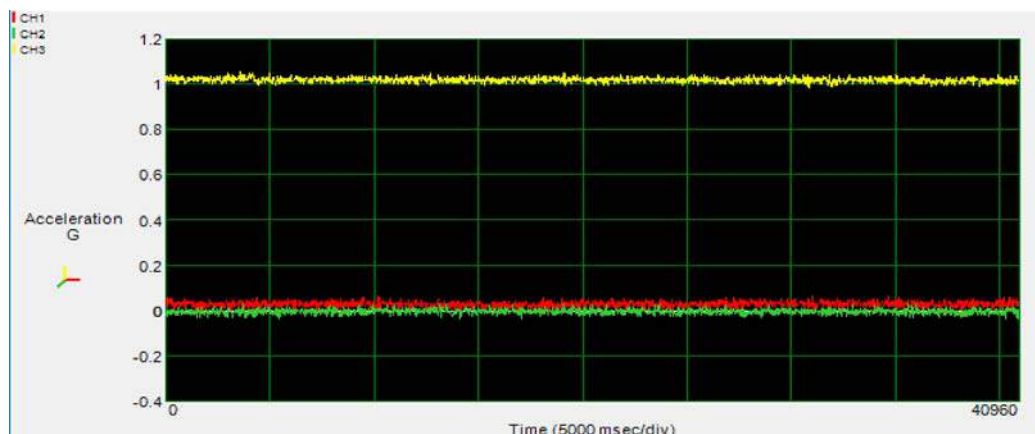


図 4-28(a)：停泊時の加速度（No. 1）

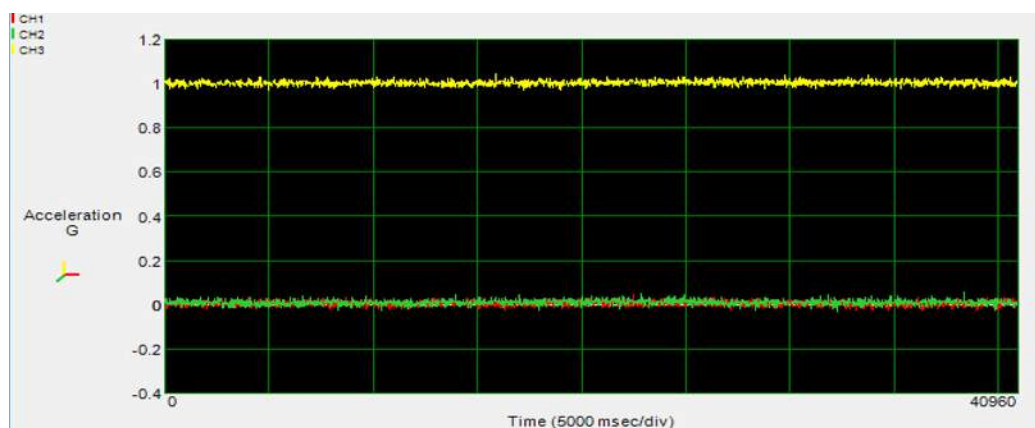


図 4-28(b)：停泊時の加速度（No. 2）

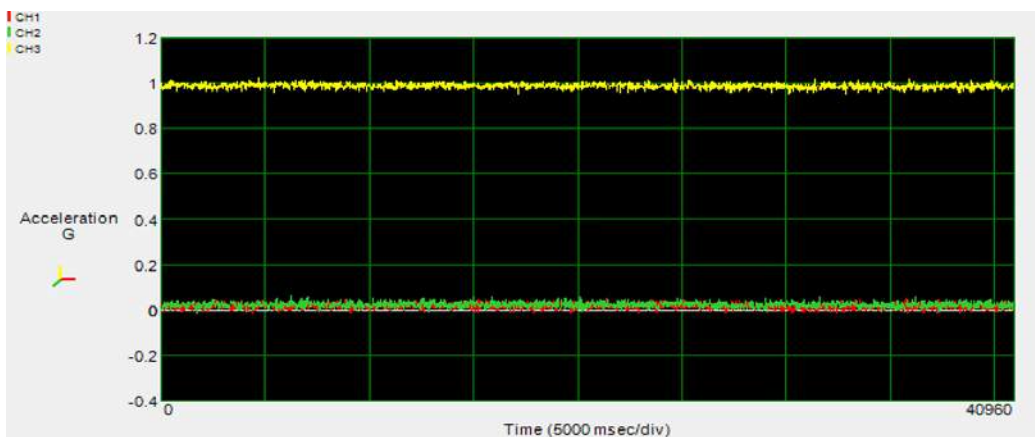


図 4-28(c)：停泊時の加速度（No. 3）

図 4-28(a)、図 4-28(b)、図 4-28(c) より、停泊時に激しい加速度の変化は見られなかった。次に図 4-29(a)に停泊時の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-29(b)に No. 2、図 4-29(c)に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。

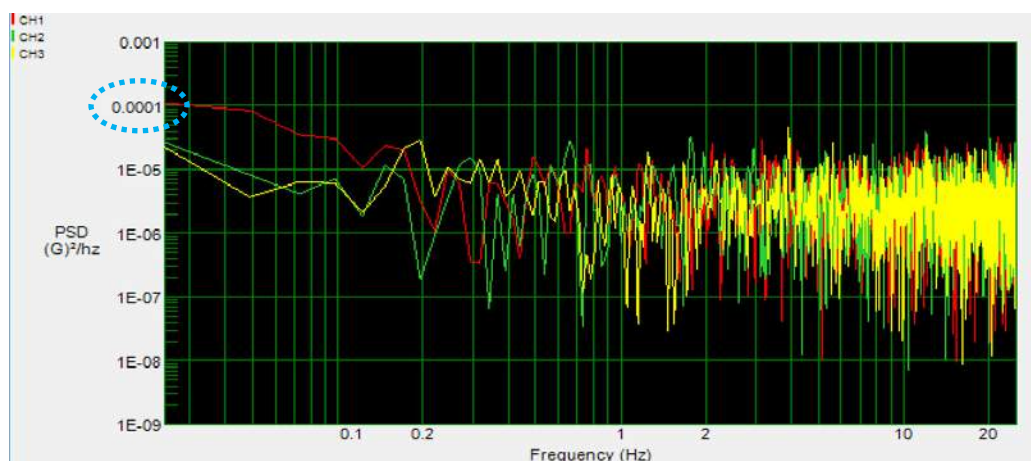


図 4-29(a) : 停泊時の PSD (No. 1)

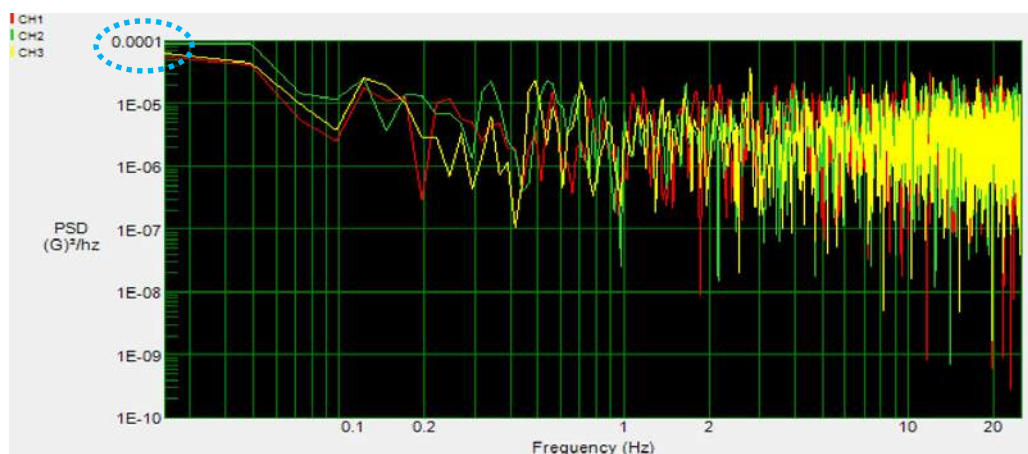


図 4-29(b) : 停泊時の PSD (No. 2)

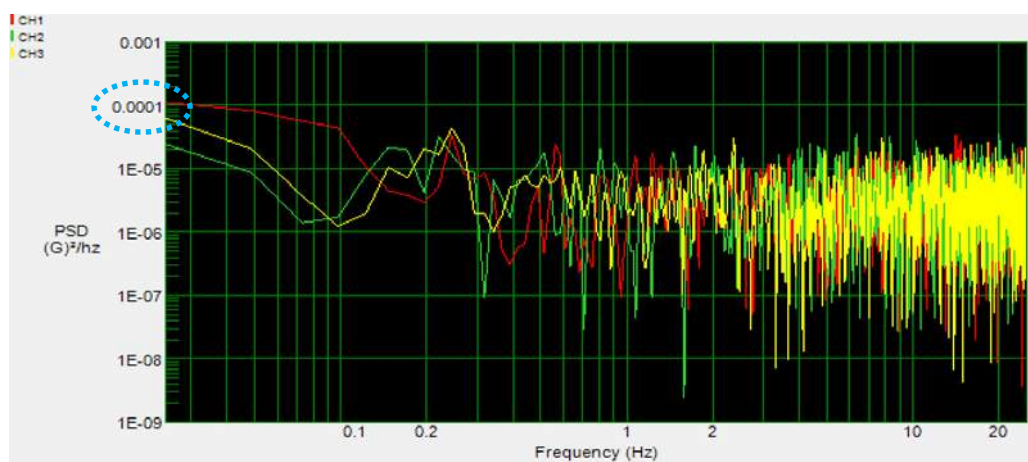


図 4-29(c) : 停泊時の PSD (No. 3)

図 4-29(a)、図 4-29(b)、図 4-29(c)より、加速度スペクトラム範囲は停泊時で 10^{-4} から $10^{-8} \text{G}^2/\text{Hz}$ そして $10^{-5} \text{G}^2/\text{Hz}$ が中心となっている。各軸には大きな加速度が付与されていない状態でこの状態を基準とし、考察する。

(2) 通常航海時の加速度

通常航海時の加速度について、図 4-30(a)に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-30(b)に No. 2、図 4-30(c)に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。図 4-30(a)、図 4-30(b)、図 4-30(c)より、通常航海時においても、停泊時とほとんど変化がなく、加速度に大きな変動が見られなかった。通常航海時の海象は非常に穏やかであったためであると考察する。

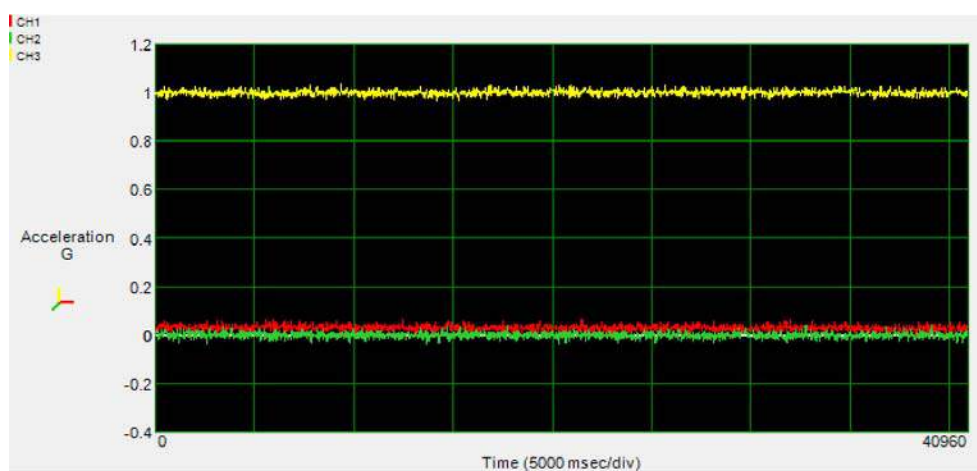


図 4-30(a)：通常航海時の加速度 (No. 1)

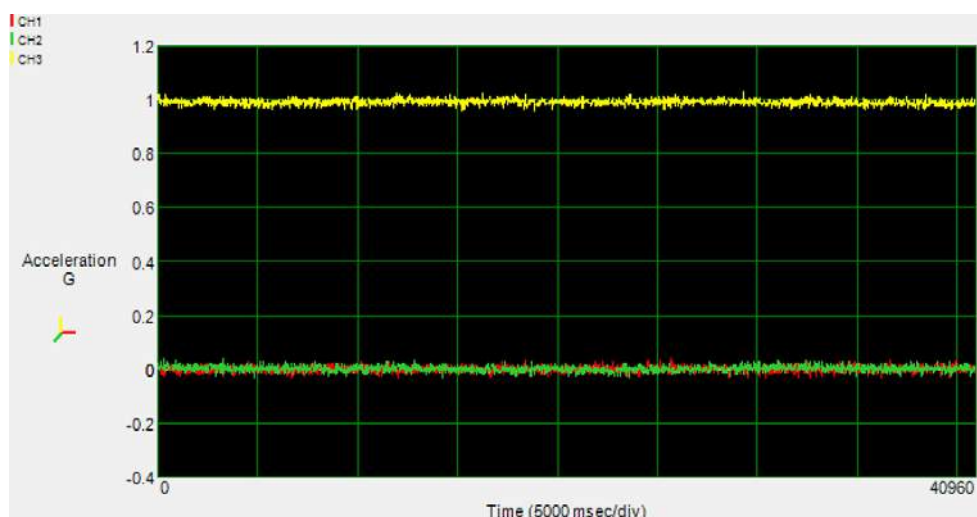


図 4-30(b)：通常航海時の加速度 (No. 2)

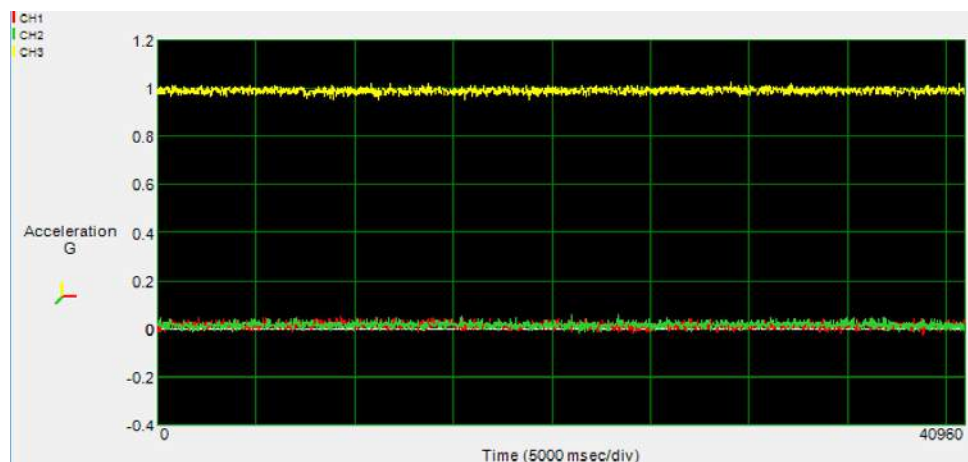


図 4-30 (c) : 通常航海時の加速度 (No. 3)

次に図 4-31 (a) に通常航海時の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-31 (b) に No. 2、図 4-31 (c) に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。

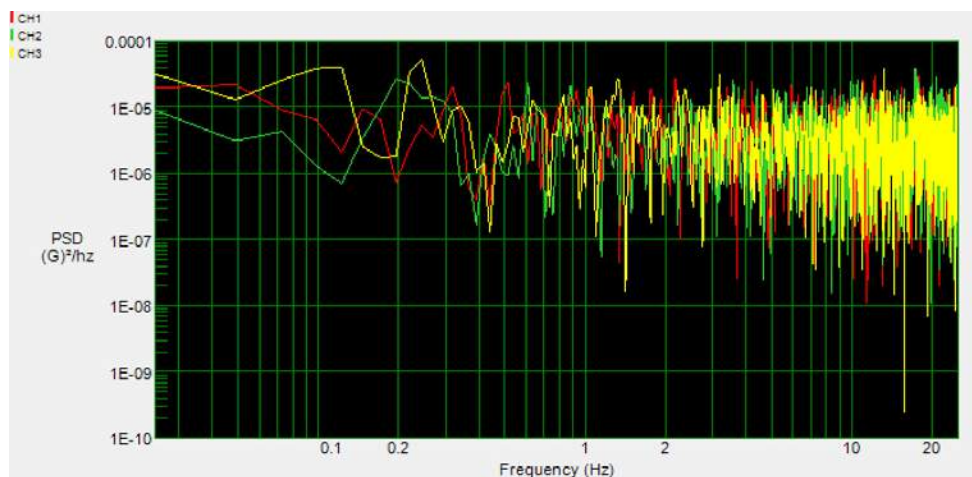


図 4-31 (a) : 通常航海時の PSD (No. 1)

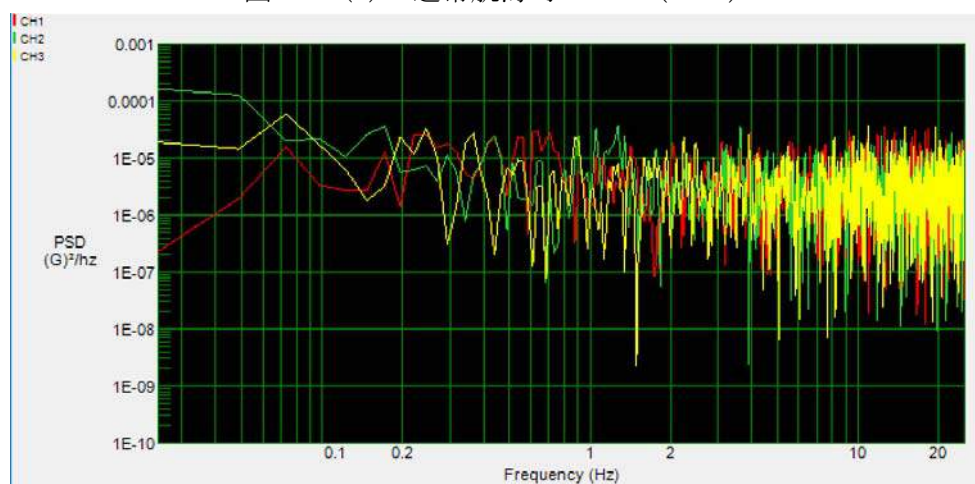


図 4-31 (b) : 通常航海時の PSD (No. 2)

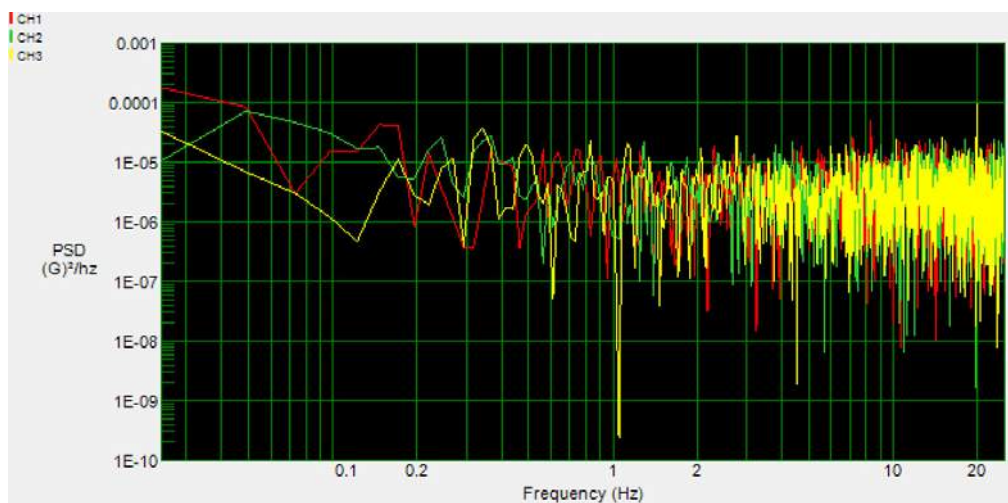


図 4-31(c)：通常航海時の PSD (No. 3)

図 4-31(a)、図 4-31(b)、図 4-31(c) より、加速度スペクトラム範囲は停泊時と同じで $10^{-5}G^2/hz$ が中心で変化も見られなかった。

(3) 通狭時の加速度

通狭時の加速度について、図 4-32(a)に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-32(b)に No. 2、図 4-32(c)に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。図 4-32(a)、図 4-32(b)、図 4-32(c) より、通狭時においても、停泊時、通常航海時と同様に、穏やかな海象の為、加速度に大きな変化は見られなかった。

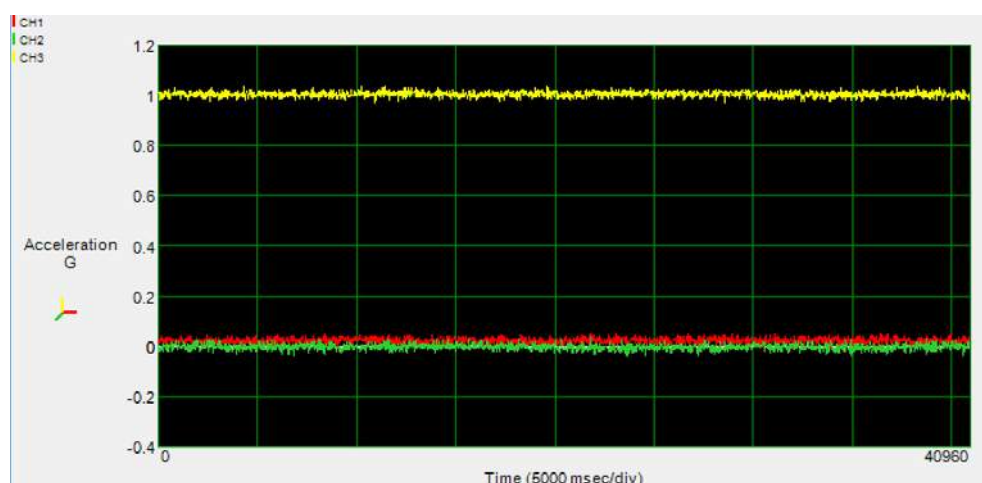


図 4-32(a)：通狭時の加速度 (No. 1)

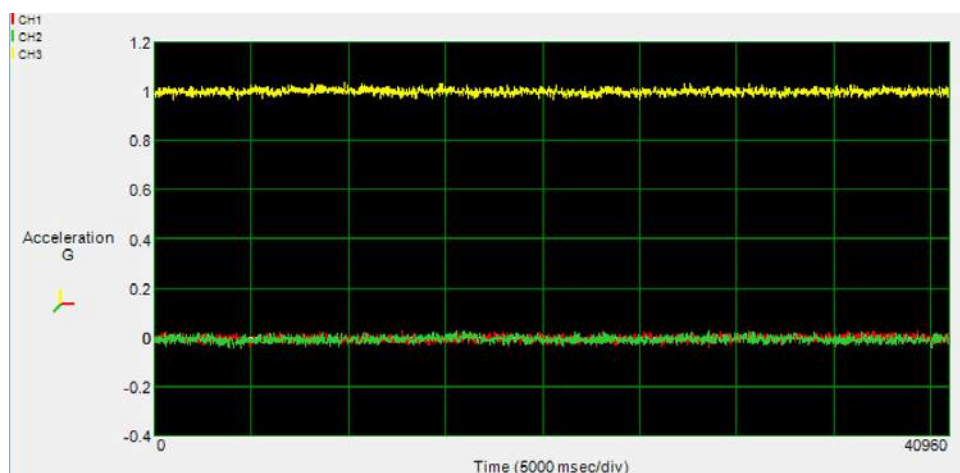


図 4-32 (b) : 通狭時の加速度 (No. 2)

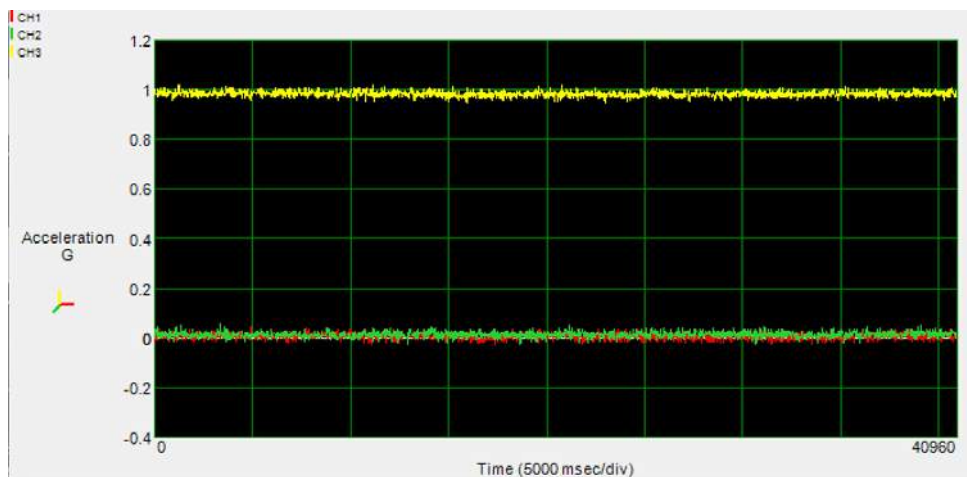


図 4-32 (c) : 通狭時の加速度 (No. 3)

次に図 4-33 (a) に通狭時の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-33 (b) に No. 2、図 4-33 (c) に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。

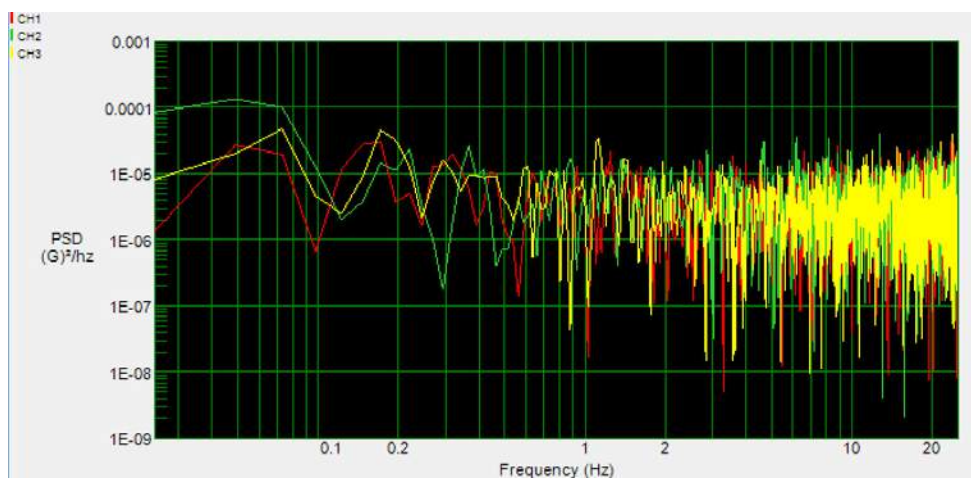


図 4-33 (a) : 通狭時の PSD (No. 1)

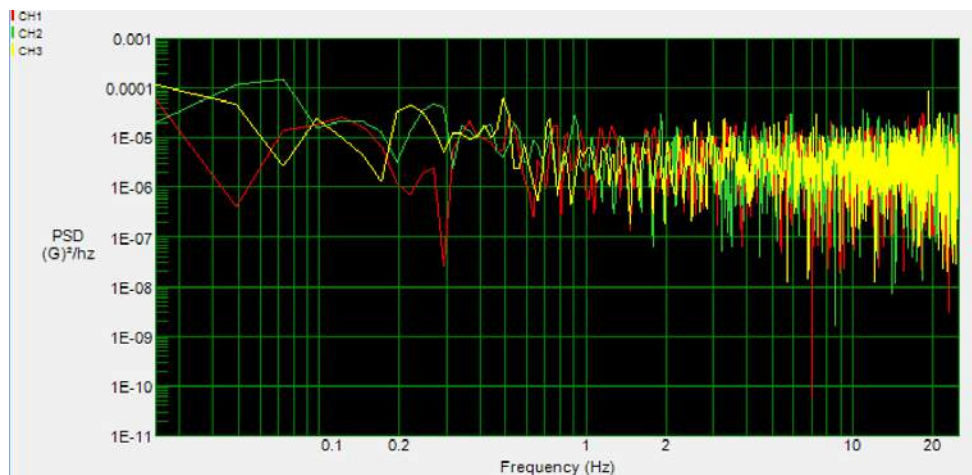


図 4-33 (b) : 通狭時の PSD (No. 2)

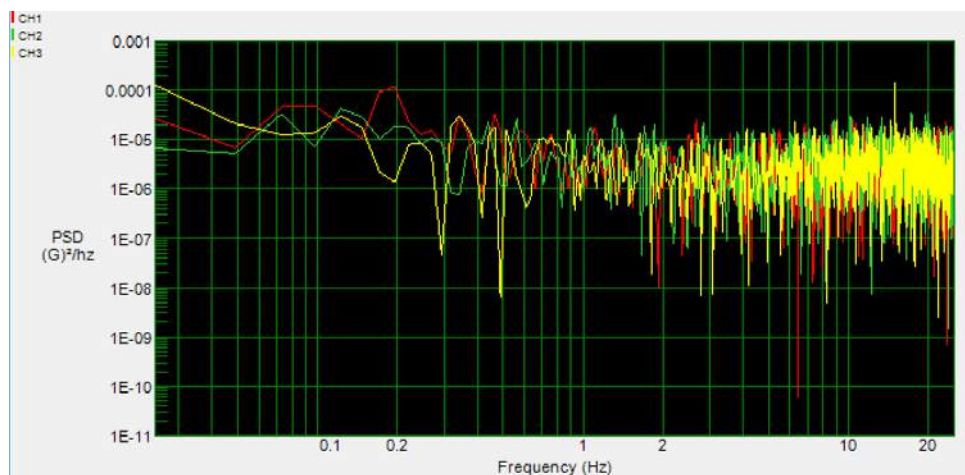


図 4-33 (c) : 通狭時の PSD (No. 3)

図 4-33(a)、図 4-33(b)、図 4-33(c) より、加速度スペクトラム範囲は停泊時、通常航海時と同じで変化も見られなかった。

(4) 入港時の加速度

入港時の加速度について、図 4-34(a)に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-34(b)に No. 2、図 4-34(c)に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。図 4-34(a)、図 4-34(b)、図 4-34(c) より、入港時においても、停泊時、通常航海時そして通狭時と同様に加速度に大きな変化は見られなかった。

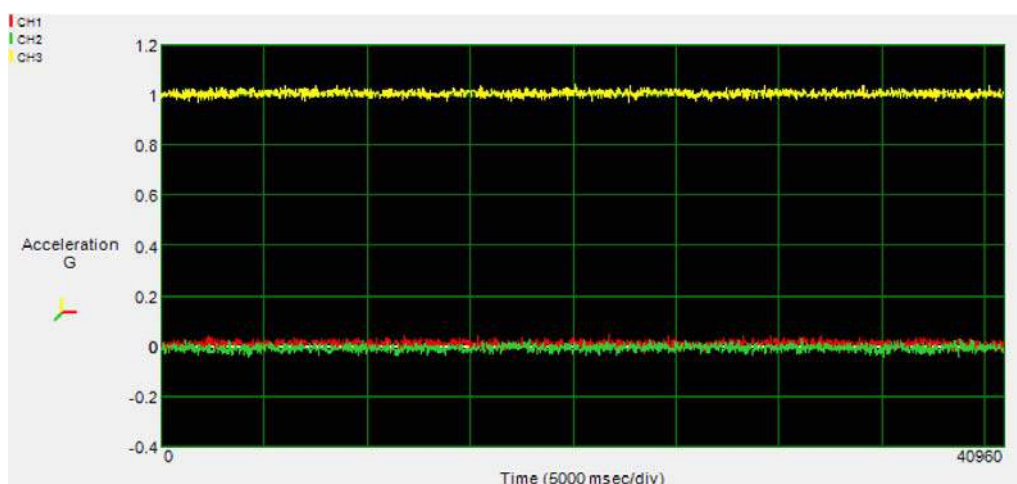


図 4-34(a)：入港時の加速度 (No. 1)

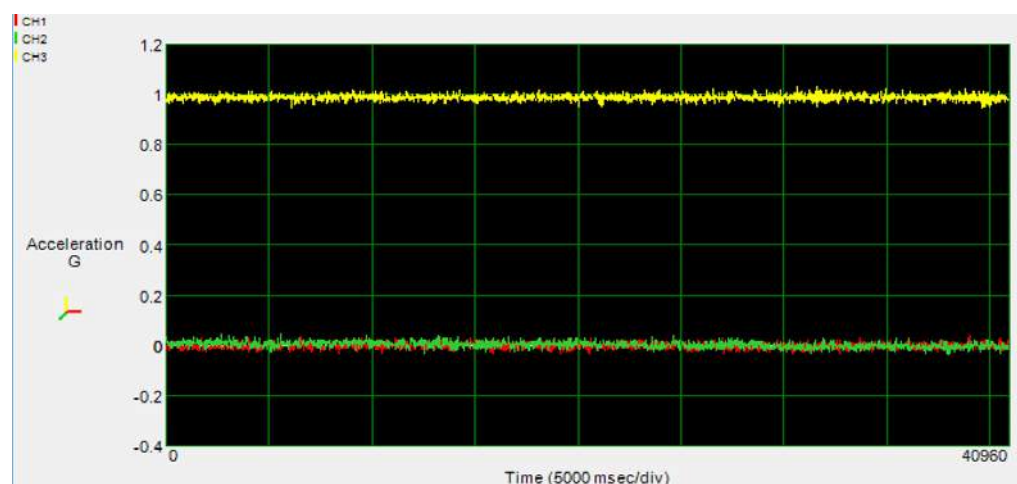


図 4-34(b)：入港時の加速度 (No. 2)

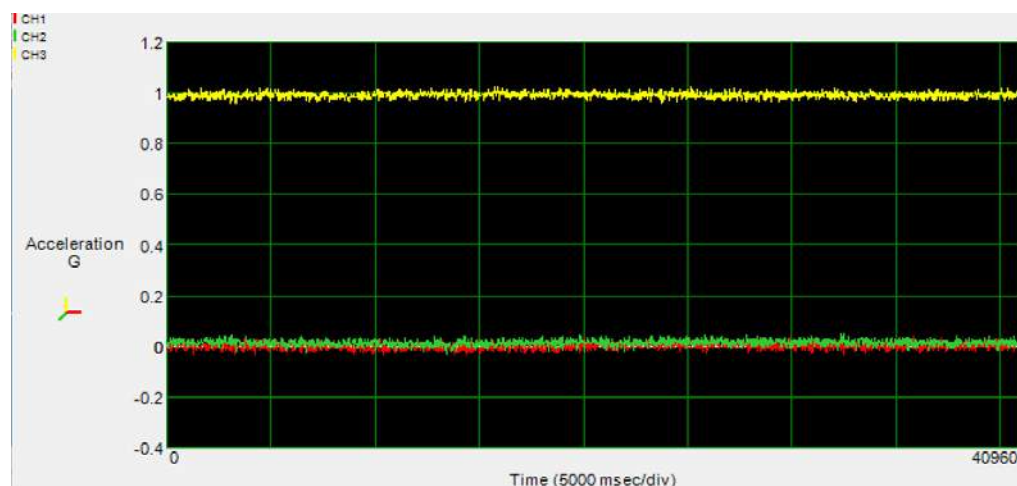


図 4-34(b)：入港時の加速度 (No. 3)

次に図 4-35(a)に入港時の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-35(b)に No. 2、図 4-35(c)に No. 3 の計測結果を示す。

図 4-35(a)、図 4-35(b)、図 4-35(c)より、加速度スペクトラム範囲は停泊時、通常航海時そして通狭時と同じで変化が見られなかった。

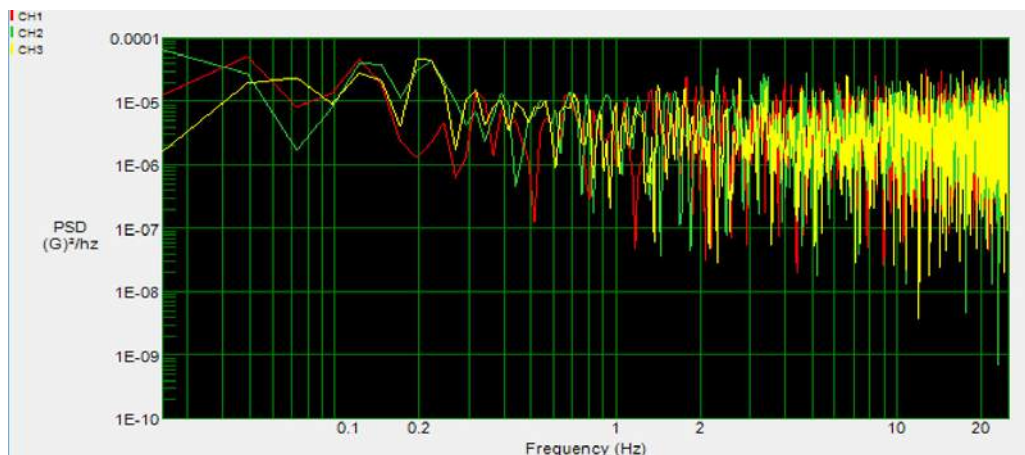


図 4-35(a) : 入港時の PSD (No. 1)

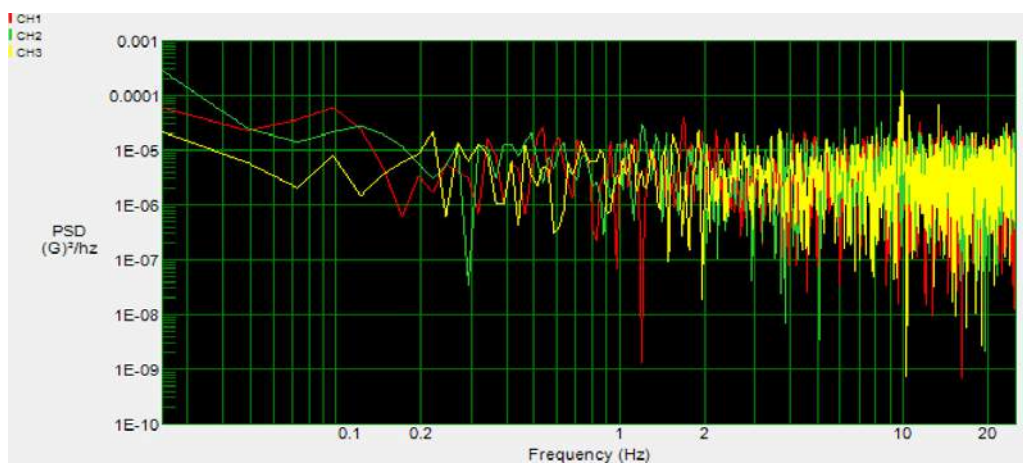


図 4-35(b) : 入港時の PSD (No. 2)

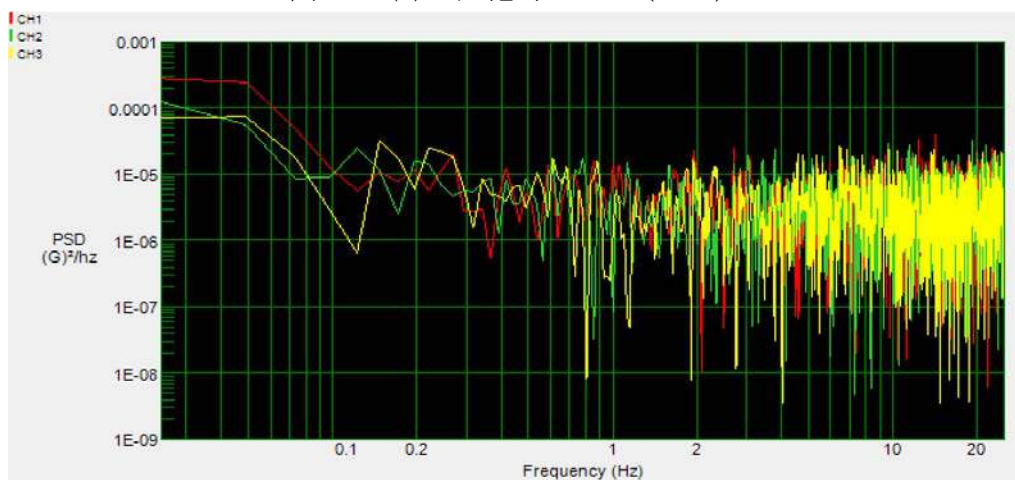


図 4-35(c) : 入港時の PSD (No. 3)

(5) 据付作業時の加速度

据付作業時の加速度について、図 4-36(a)に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-36(b)に No. 2、図 4-36(c)に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。

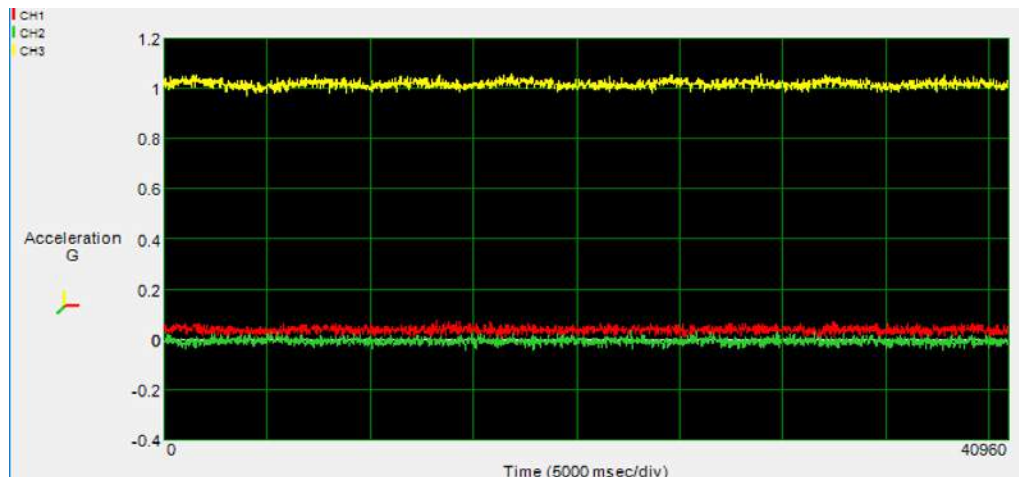


図 4-36(a)：据付作業時の加速度（No. 1）

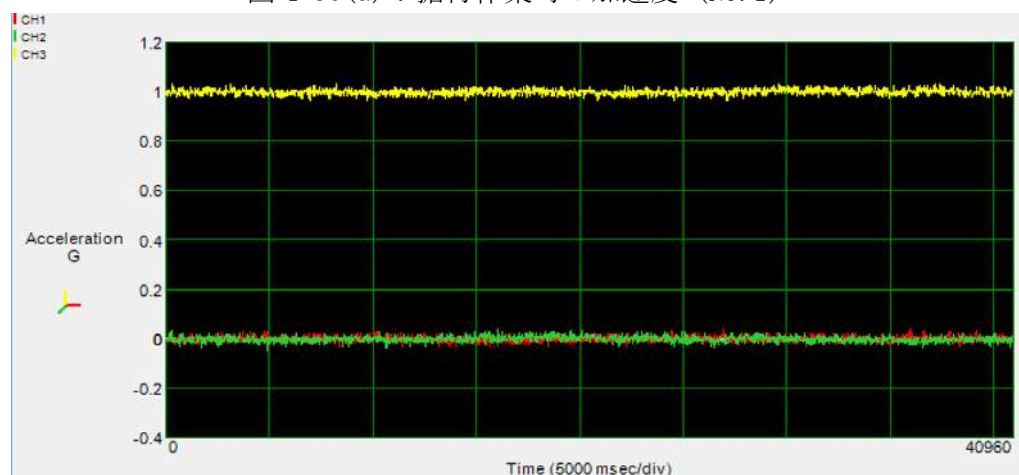


図 4-36(b)：据付作業時の加速度（No. 2）

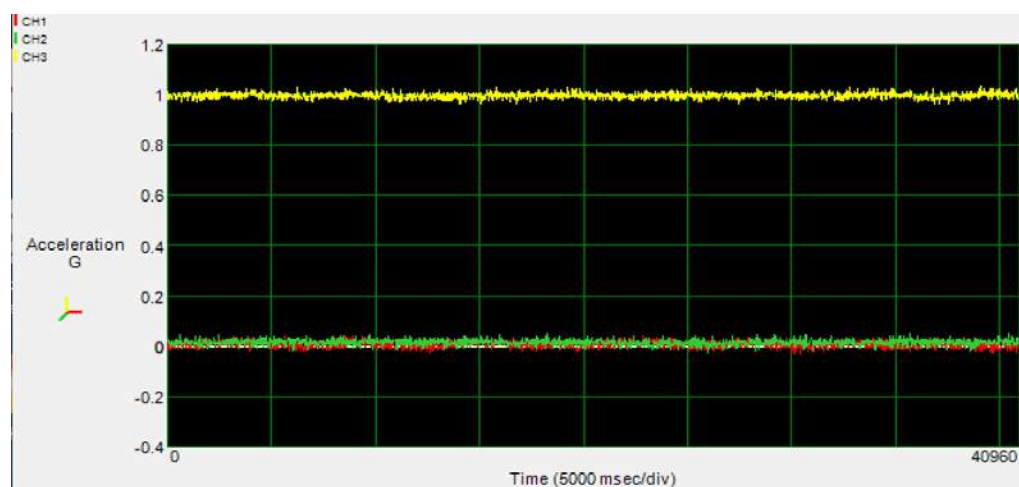


図 4-36(c)：据付作業時の加速度（No. 3）

図 4-36(a) より、No. 1 加速度計の赤色前後方向（X 軸方向）、黄色上下方向（Z 軸方向）に加速度の変化を観測したが、図 4-36(b)、図 4-36(c) より、他の加速度計では計測していなかった。次に図 4-37(a) に据付作業時の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-37(b) に No. 2、図 4-37(c) に No. 3 の計測結果を示す。図 4-37(a)、図 4-37(b)、図 4-37(c) より、No. 1 加速度計に変化が見られたので、加速度スペクトラム密度に変化があるかと予測されたが、No. 1 から No. 3 の全ての密度においてほとんど差は見られなかった。

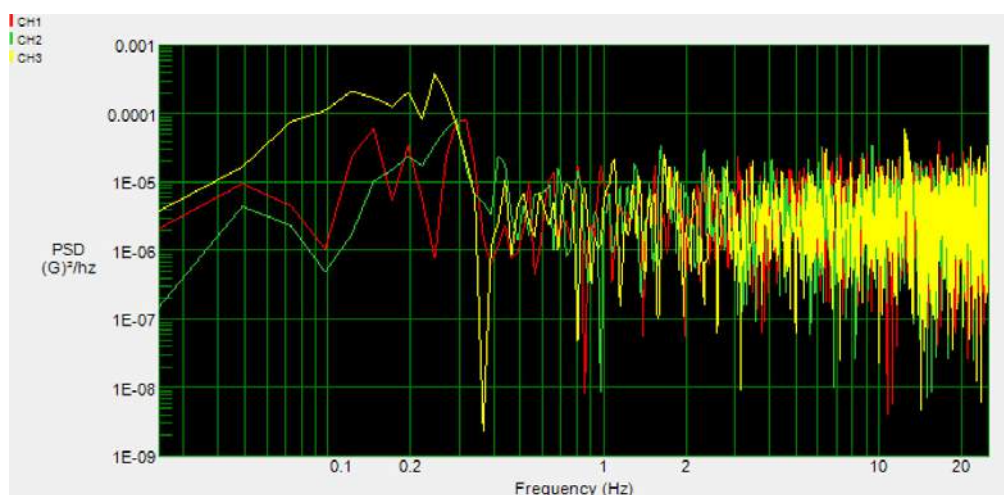


図 4-37(a)：据付作業時の PSD（No. 1）

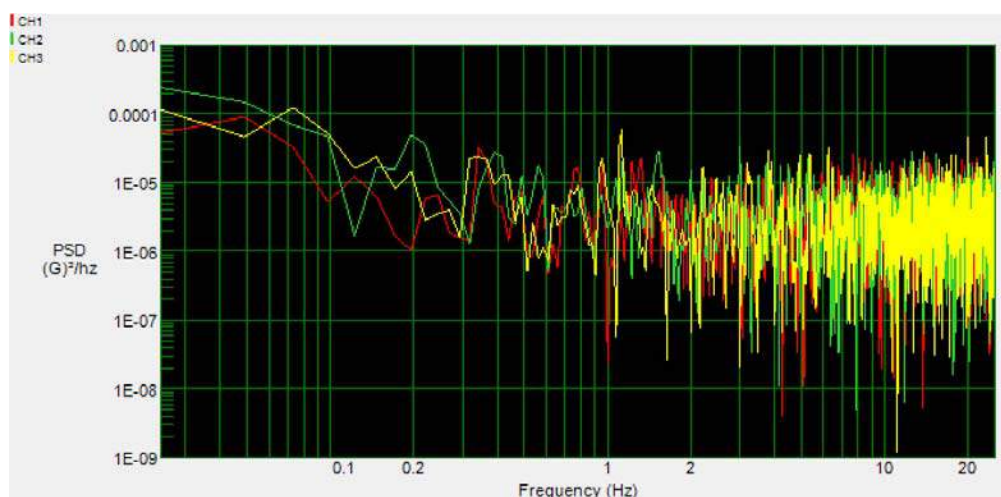


図 4-37(b)：据付作業時の PSD（No. 2）

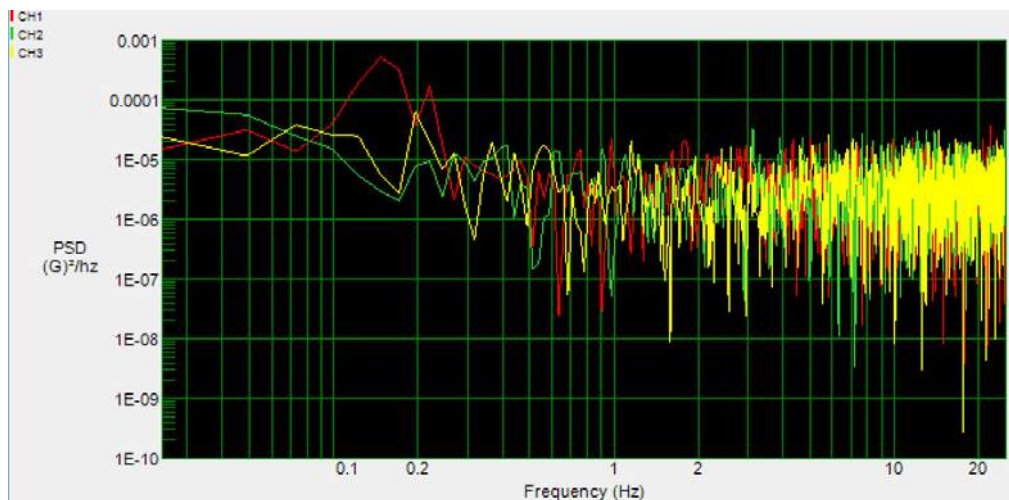


図 4-37(c) : 据付作業時の PSD (No. 3)

(6) 荒天時の加速度

実験①、②の航海においては全般を通して風の航海であった。しかしながら唯一風力 5 の航海が存在し、そして加速度の概要（振動）でも際立って変化していた箇所である。その部分を荒天時とし、その加速度について、図 4-38(a)に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-38(b)に No. 2、図 4-38(c)に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。図 4-38(a)、図 4-38(b)、図 4-38(c)より赤色前後方向（X 軸方向）、緑色左右方向そして黄色上下方向（Z 軸方向）大きな加速度を計測していることが分かる。

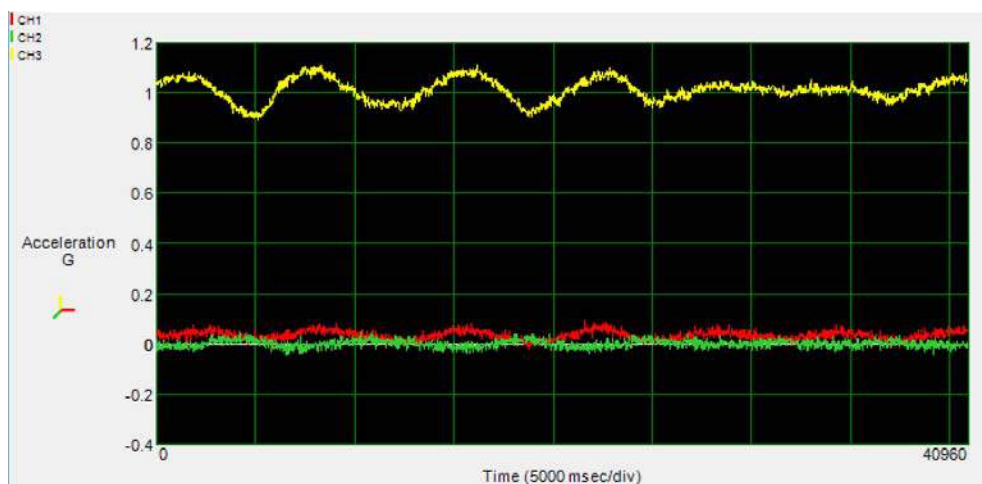


図 4-38(a) : 荒天時の加速度 (No. 1)

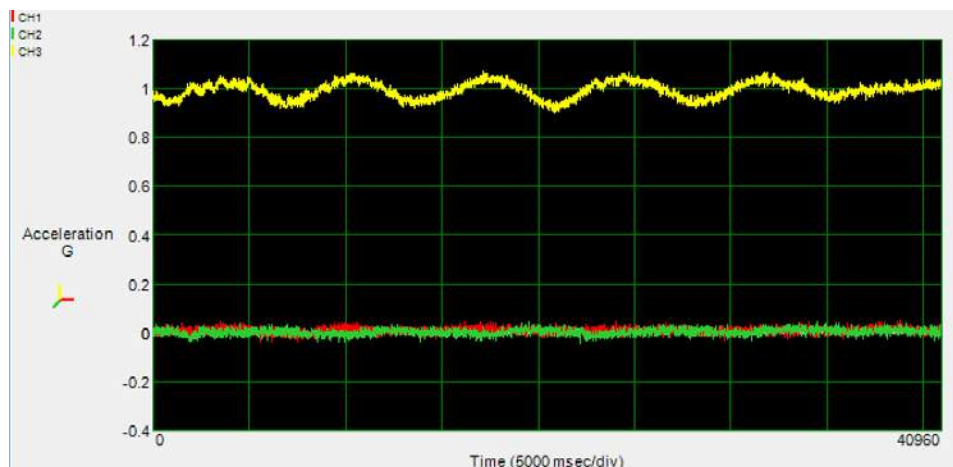


図 4-38 (b) : 荒天時の加速度 (No. 2)

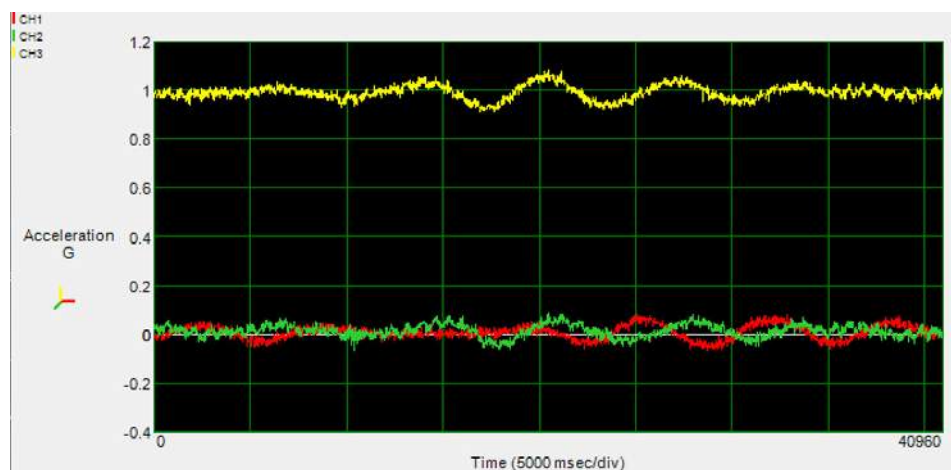


図 4-38 (c) : 荒天時の加速度 (No. 3)

また図 4-39(a) に荒天時の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-39(b) に No. 2、図 4-39(c) に No. 3 の計測結果を示す。図 4-39(a)、図 4-39(b)、図 4-39(c) より、 10^{-2} 半ばから $10^{-6} \text{G}^2/\text{Hz}$ 辺りまで拡大されていることがわかる。これは、停泊時の機械的振動や通常航海時に規則的な揺れ以外にも外力を受けていることを表している。

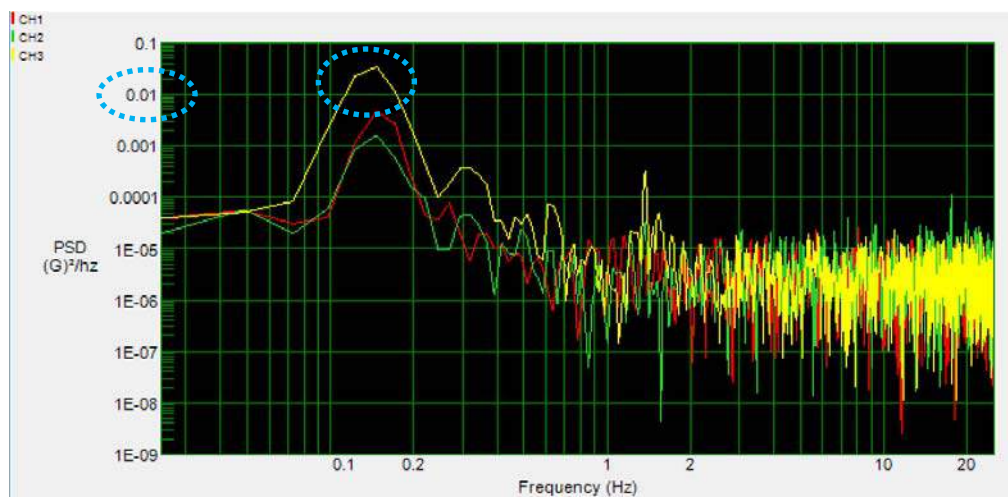


図 4-39 (a) : 荒天時の PSD (No. 1)

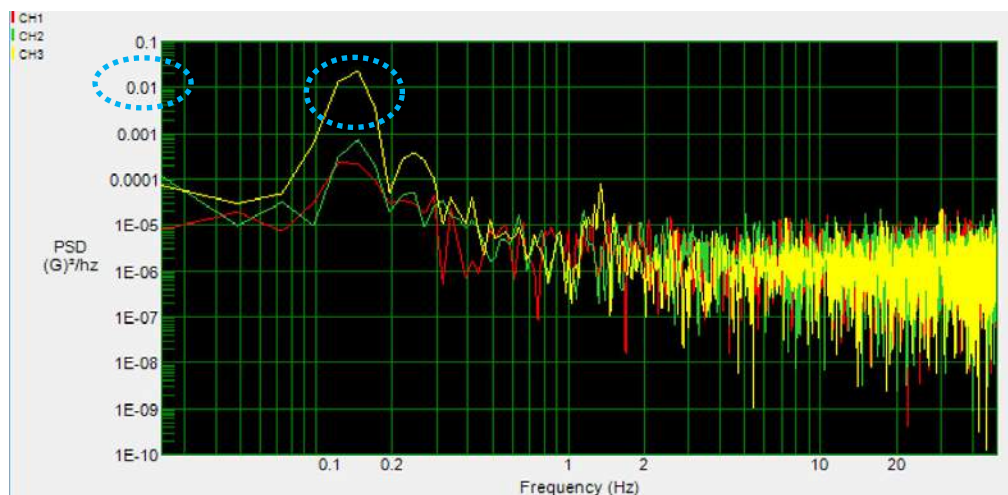


図 4-39 (b) : 荒天時の PSD (No. 2)

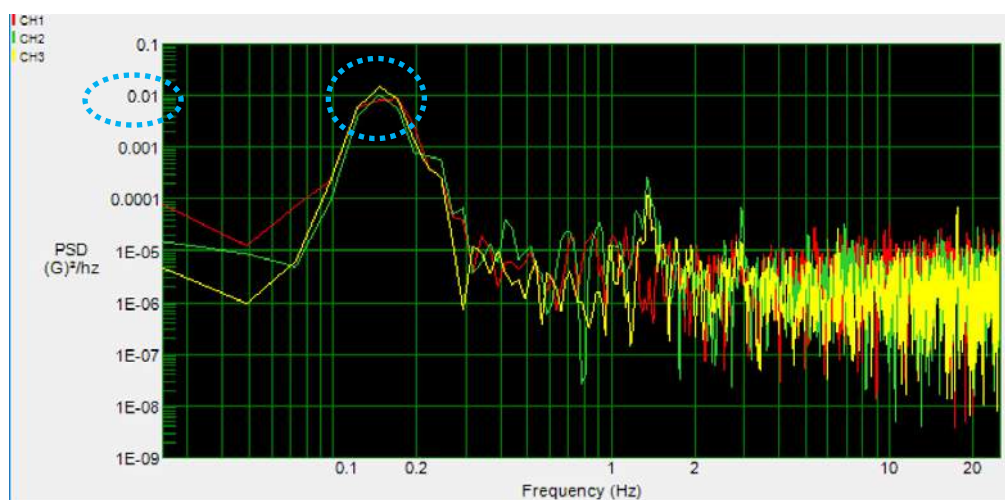


図 4-39 (c) : 荒天時の PSD (No. 3)

4.2.4 概要（実験海域③）

(1) 衝撃

次に前項の加速度計測と別計測となった実験海域③の全体の衝撃について図 4-40 (a) に加速度計 No. 1 の計測結果、図 4-40 (b) に加速度計 No. 2 の計測結果、そして図 4-40 (c) に加速度計 No. 3 の計測結果を示す。



図 4-40 (a) : No. 1 加速度計（衝撃）



図 4-40 (b) : No. 2 加速度計（衝撃）



図 4-40 (c) : No. 3 加速度計（衝撃）

図 4-40 (a)、図 4-40 (b)、図 4-40 (c) より、No. 1 加速度計と No. 3 加速度計それぞれに 1 か所ずつ衝撃を受けているが、No. 2 での計測は無かった。また各計測時間は異なるため、局所的に衝撃を受けたと考える。No. 1 は入港直前のため、先述した通り、船首楼上のクレーン作業等、そして No. 3 は停泊中であるため No. 3 加速度計収納箇所のドアの開閉などが考えられる。

(2) 振動

次に全体の振動について図 4-41 (a) に加速度計 No. 1 の計測結果、図 4-41 (b) に加速度計 No. 2 の計測結果、そして図 4-41 (c) に加速度計 No. 3 の計測結果を示す。

図 4-41 (a)、図 4-41 (b)、図 4-41 (c) より、各加速度計は、潮岬通過付近、そして荒天による作業中止付近の時間帯で大きな振動を受けている。この結果を受けて、潮岬通過時、荒天に見舞われる前日の作業時、そして荒天待機直後の状況における加速度及び加速度スペクトラム密度について解析する。

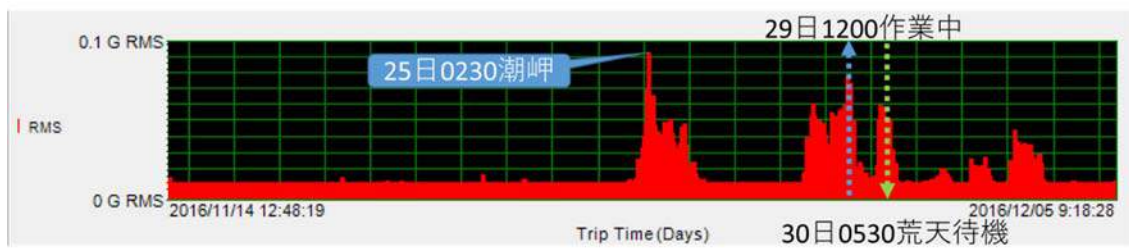


図 4-41 (a) : No. 1 加速度計 (振動)



図 4-41 (b) : No. 2 加速度計 (振動)



図 4-41 (c) : No. 2 加速度計 (振動)

(3) 落下

次に全体の落下の計測結果について、図 4-42(a)に加速度計 No. 1、図 4-42(b)に No. 2、そして図 4-42(c)に No. 3 の計測結果を示す。なおグラフの縦軸は落下高さである。図 4-42(a)、図 4-42(b)、図 4-42(c)より、落下運動を記録することは無かった。

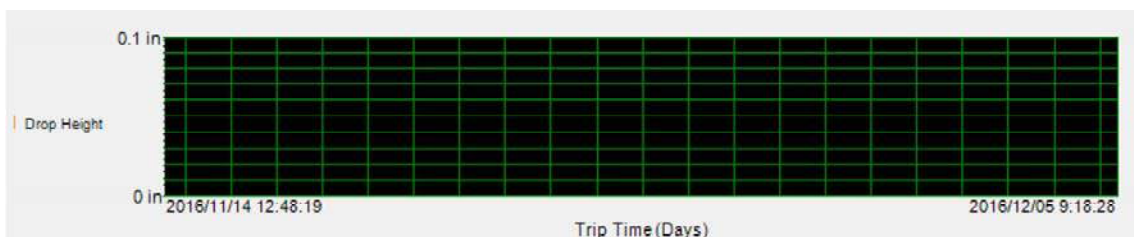


図 4-42 (a) : No. 1 加速度計 (落下)

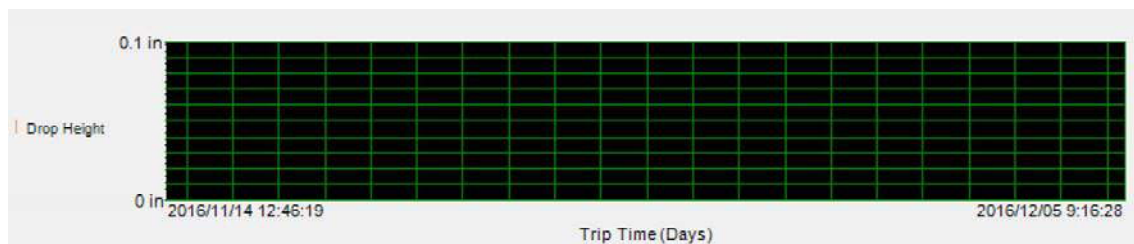


図 4-42 (b) : No. 2 加速度計 (落下)

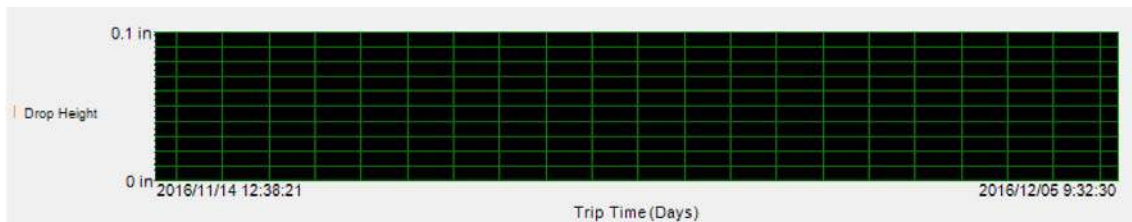


図 4-42 (b) : No. 3 加速度計（落下）

4. 2. 5 解析（実験海域③）

(1) 調査作業時の加速度

初めに比較的海象が穏やかであった調査作業時の結果を示す。図 4-43 (a) に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-43 (b) に No. 2、図 4-43 (c) に No. 3 の計測結果を示す。

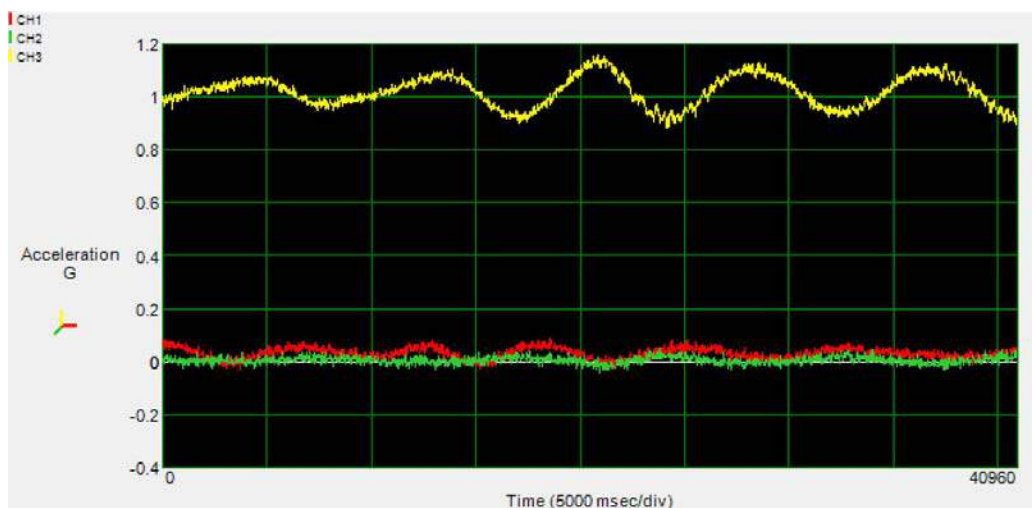


図 4-43 (a) : 調査作業時の加速度（No. 1）

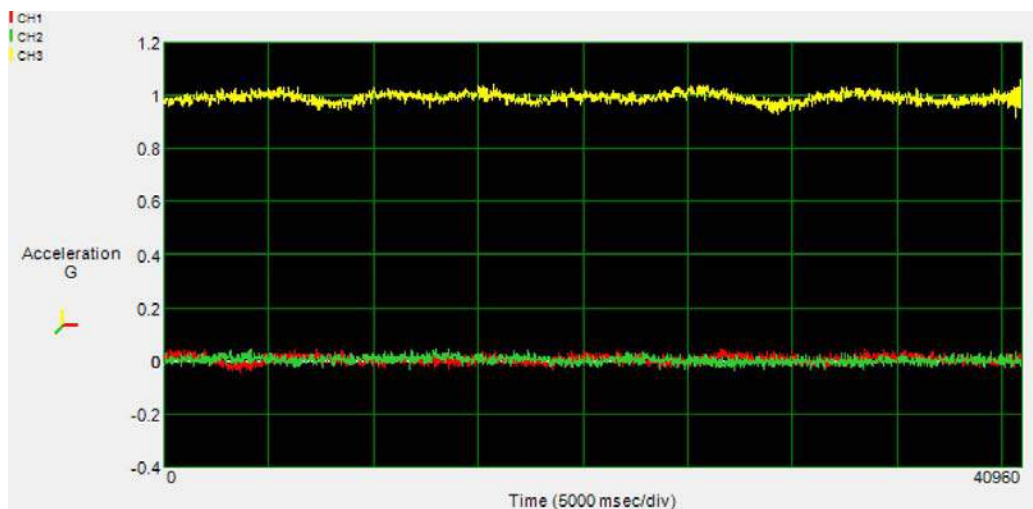


図 4-43 (b) : 調査作業時の加速度（No. 2）

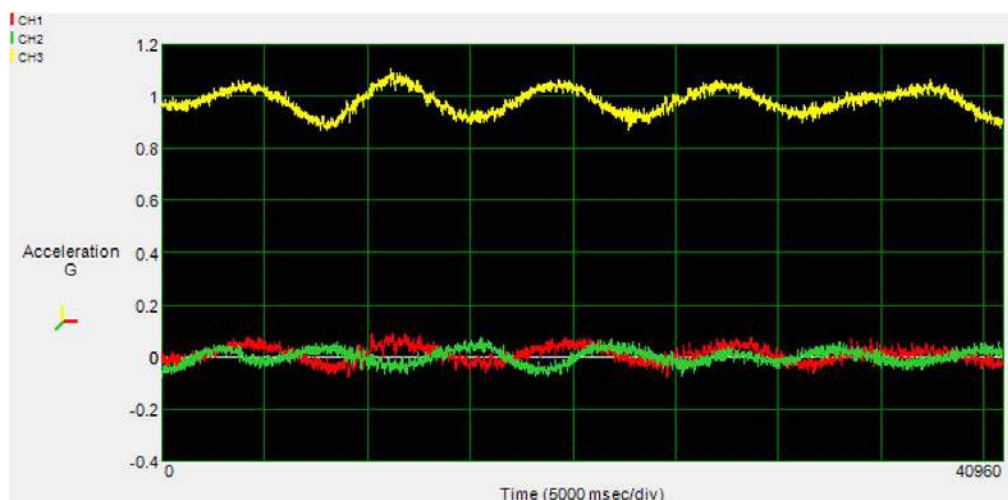


図 4-43 (c) : 調査作業時の加速度 (No. 3)

図 4-43(a)、図 4-43(b)、図 4-43(c) より、船首楼直下の No. 1 加速度計、そして船橋直下の No. 3 加速度計は上下、左右、前後の大きな振動を計測している。また No. 2 加速度は下段の機関室の床下にあるため船体重心の近くに位置しているため振動が小さくなっていることが分かる。これは船体が典型的な船体動揺である横揺れ・縦揺れ・上下揺れ⁽⁷⁾を受けていることの実証である。

次に図 4-44(a) に調査作業時の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-44(b) に No. 2、図 4-44(c) に No. 3 の計測結果を示す。図 4-44(a)、図 4-44(b)、図 4-44(c) より、動揺に伴い No. 1 加速度計と No. 3 加速度計は 10^{-2} から $10^{-8} \text{ G}^2/\text{Hz}$ に至る範囲でスペクトラム密度が広がっている。調査作業海域は伊豆南方の外洋に面した海域であること、また天候が崩れる前日であったことも受け、多様な波の影響を受けていたことが伺える。

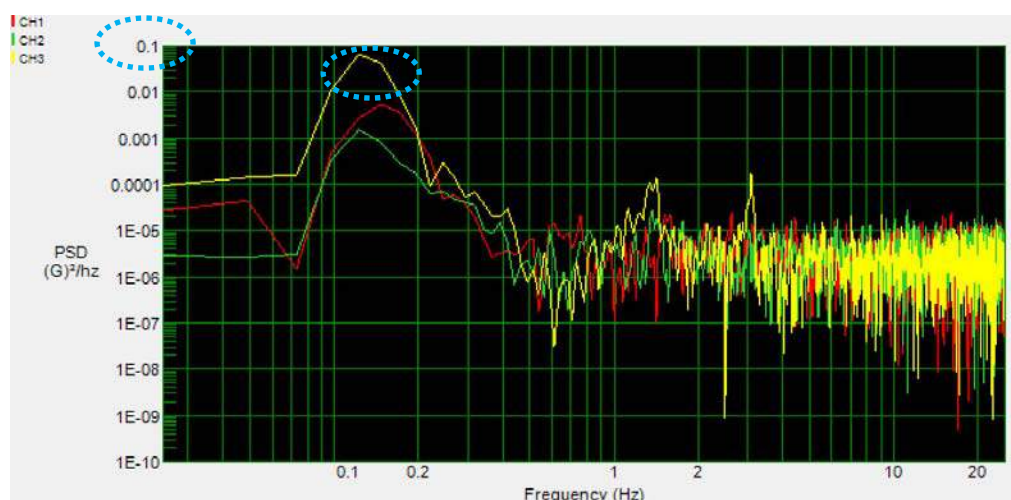


図 4-44(a) : 調査作業時の PSD (No. 1)

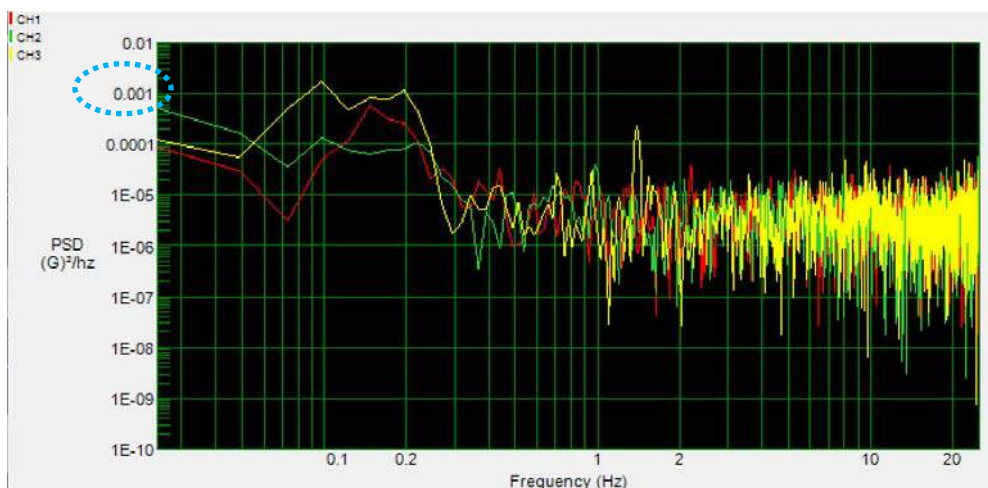


図 4-44(b)：調査作業時の PSD (No. 2)

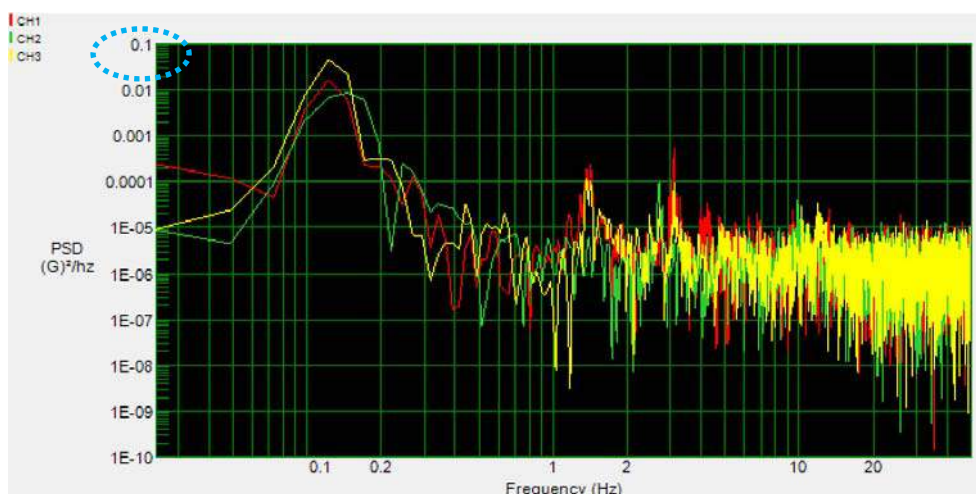


図 4-44(c)：調査作業時の PSD (No. 3)

(2) 潮岬付近の加速度

今回の加速度計測で最も振動の大きかった潮岬付近の加速度について、図 4-45(a)に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-45(b)に No. 2、図 4-45(c)に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。図 4-45(a)、図 4-45(b)、図 4-45(c)より、前項の調査作業時同様特に No. 1 加速度計、No. 3 加速度計で大きな振動を計測しているが、上下揺れに関しては全ての加速度計で大きな揺れを計測している。潮岬付近は内海と外洋の境目で波も高くなり上下揺れの影響がダイレクトに表れた形となった。

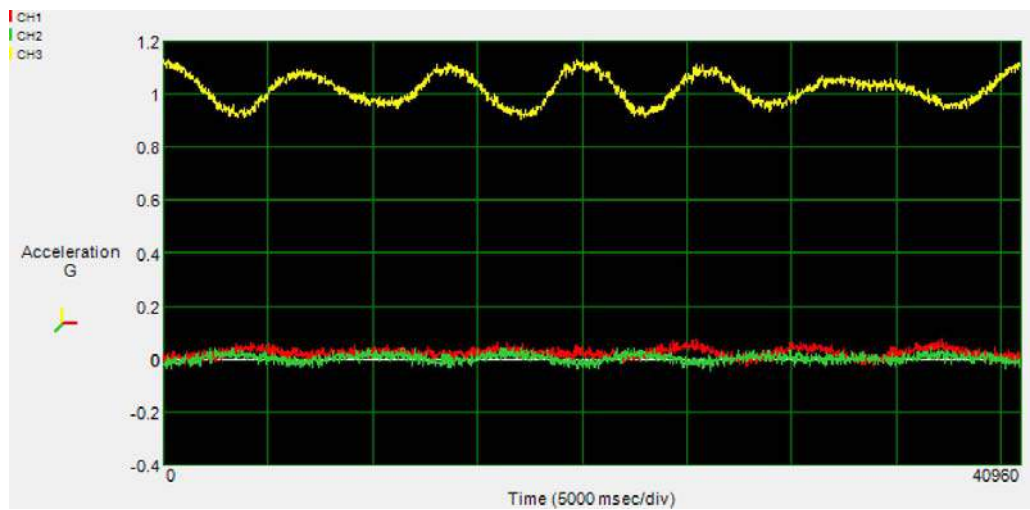


図 4-45 (a) : 潮岬付近の加速度 (No. 1)

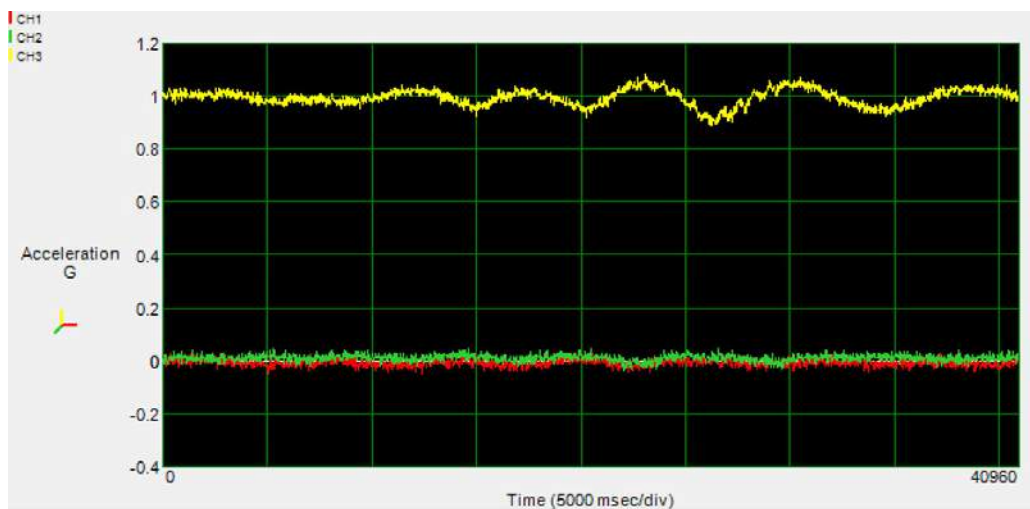


図 4-45 (b) : 潮岬付近の加速度 (No. 2)

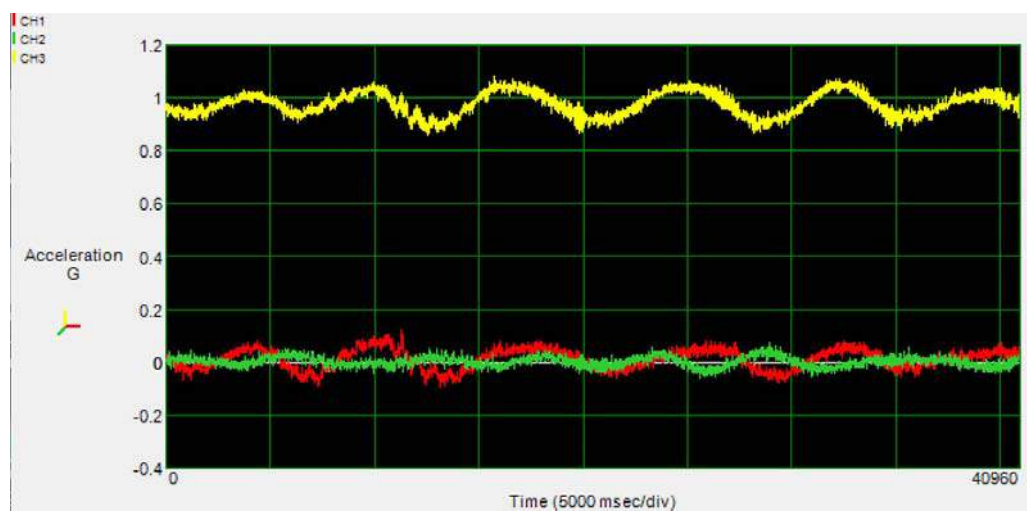


図 4-45 (c) : 潮岬付近の加速度 (No. 3)

次に図 4-46 (a) に潮岬付近の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-46 (b) に No. 2、図 4-46 (c) に No. 3 の計測結果を示す。

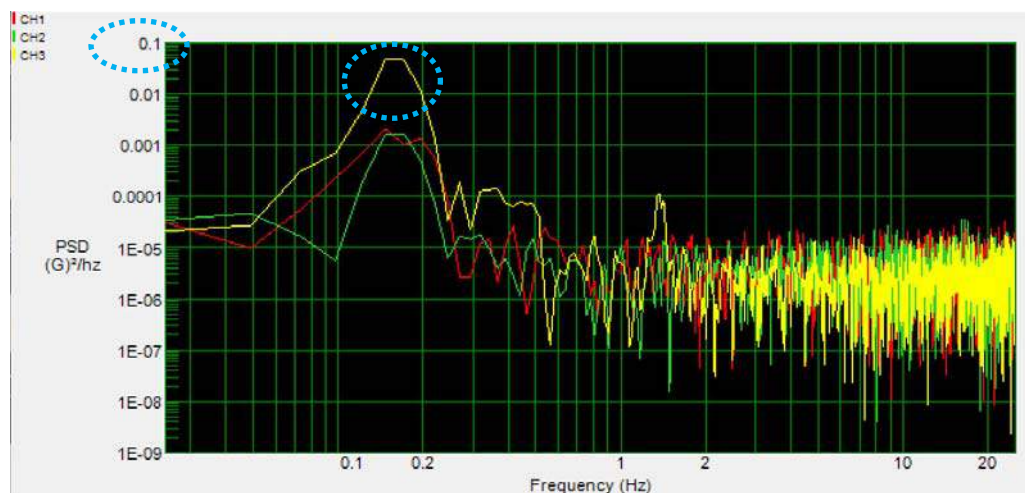


図 4-46 (a) : 潮岬付近の PSD (No. 1)

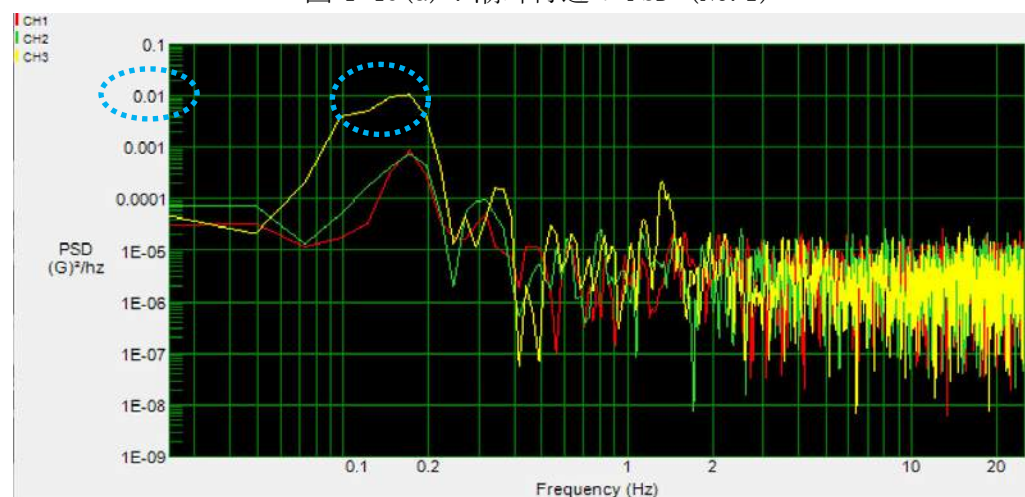


図 4-46 (b) : 潮岬付近の PSD (No. 2)

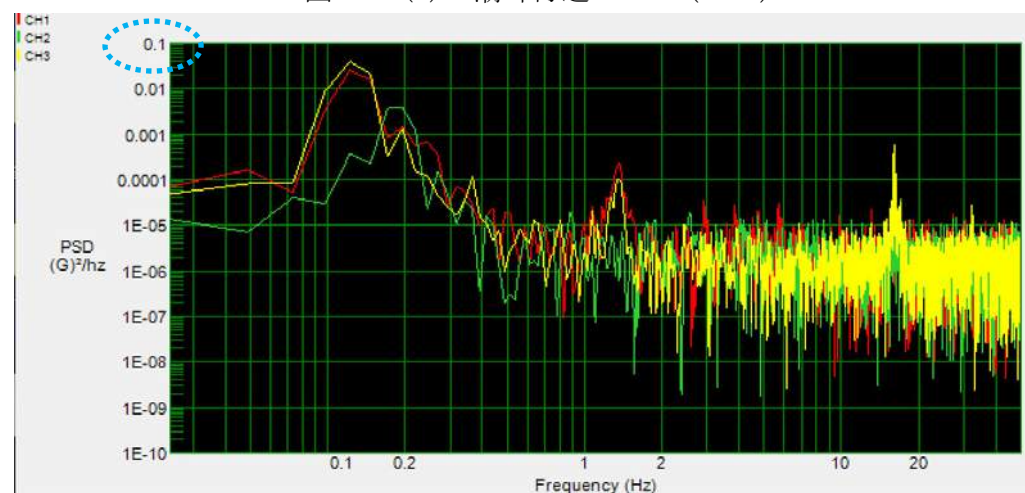


図 4-46 (c) : 潮岬付近の PSD (No. 3)

図 4-46 (a)、図 4-46 (b)、図 4-46 (c) より、動揺に伴い No. 1 加速度計と No. 3 加速度計は $10^{-1} \text{ G}^2/\text{Hz}$ に迫る範囲でスペクトラム密度が広がっている。また No. 2 加速度計においても $10^{-2} \text{ G}^2/\text{Hz}$ に至りスペクトラム密度が拡大している。

(6) 荒天待機時の加速度

最後に荒天のため待機となった際の加速度について、図 4-47 (a) に No. 1 加速度計の計測結果を、図 4-47 (b) に No. 2、図 4-47 (c) に No. 3 の計測結果をそれぞれ示す。図 4-47 (a)、図 4-47 (b)、図 4-47 (c) より、荒天待機時の振動は、船速はゼロのため No. 1 から No. 3 まで比較的一様に振動を受けている。また船速がないため、前後左右の振動は小さめであるが、波の影響があるため、上下振動が一番大きい。

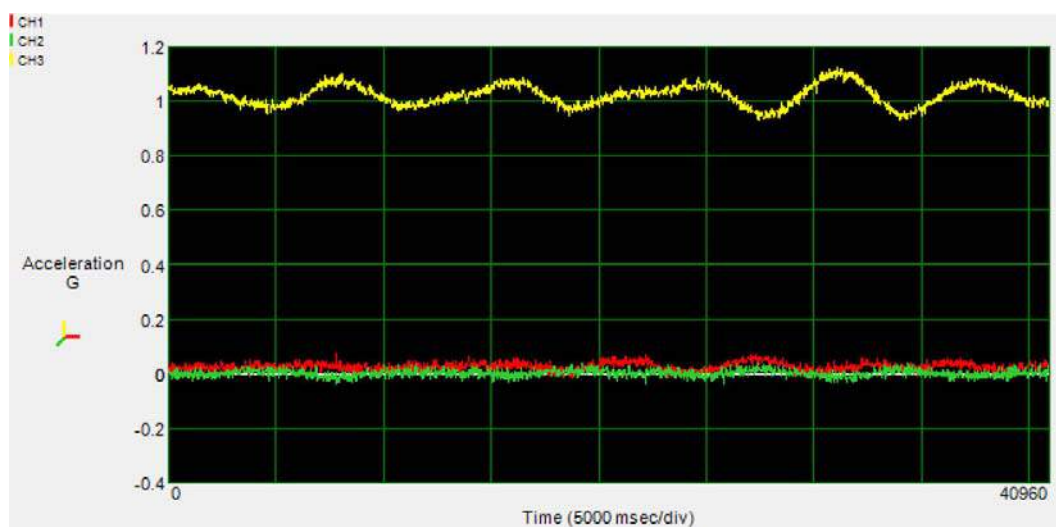


図 4-47 (a) : 荒天待機時の加速度 (No. 1)

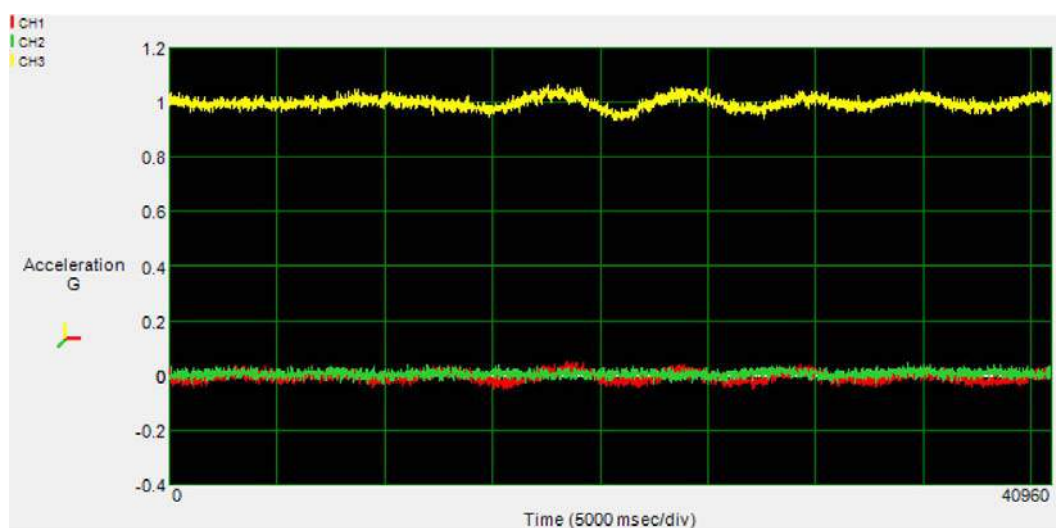


図 4-47 (b) : 荒天待機時の加速度 (No. 2)

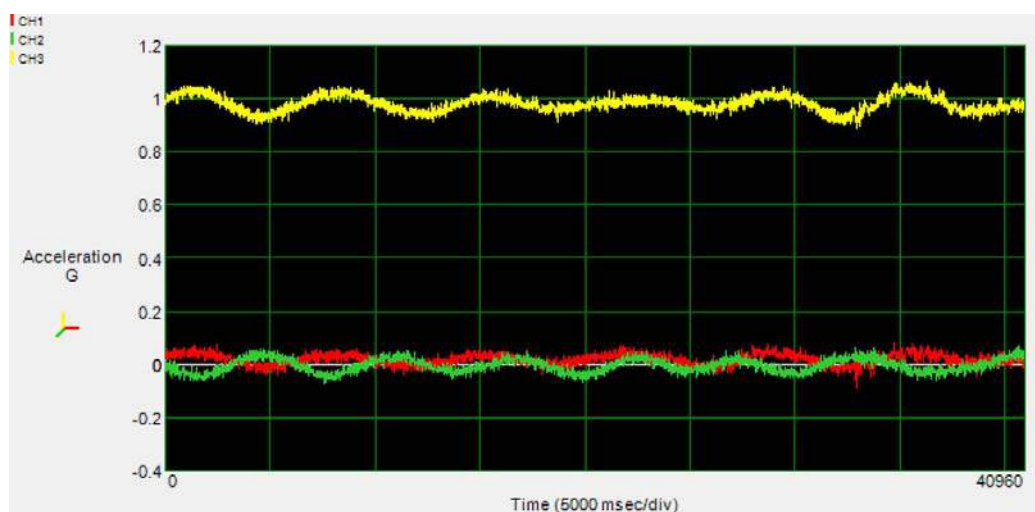


図 4-47 (c) : 荒天待機時の加速度 (No. 3)

また図 4-48(a)に潮岬付近の No. 1 加速度計の振動の加速度スペクトラム密度の計測結果を、図 4-48(b)に No. 2、図 4-48(c)に No. 3 の計測結果を示す。

図 4-48(a)、図 4-48(b)、図 4-48(c)より、No. 1 加速度計、No. 3 加速度計については $10^{-1} \text{ G}^2/\text{Hz}$ に迫る範囲でスペクトラム密度が広がり、No. 2 は $10^{-2} \text{ G}^2/\text{Hz}$ 辺りとなった。これらのスペクトル密度は停泊中にもかかわらず、潮岬航行中のスペクトラム密度と変わらないため、荒天待機時の動揺がいかに激しかったが予測される。

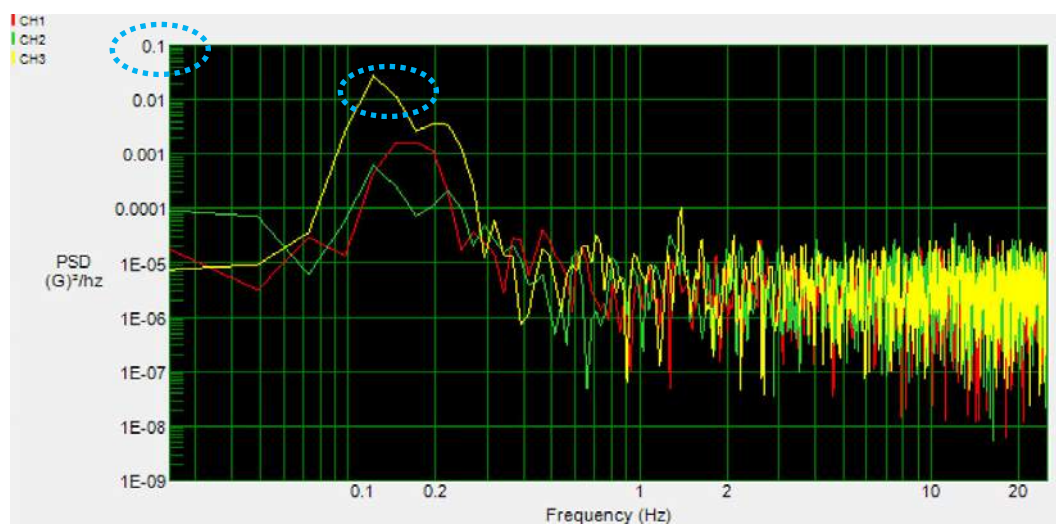


図 4-48 (a) : 荒天待機時の PSD (No. 1)

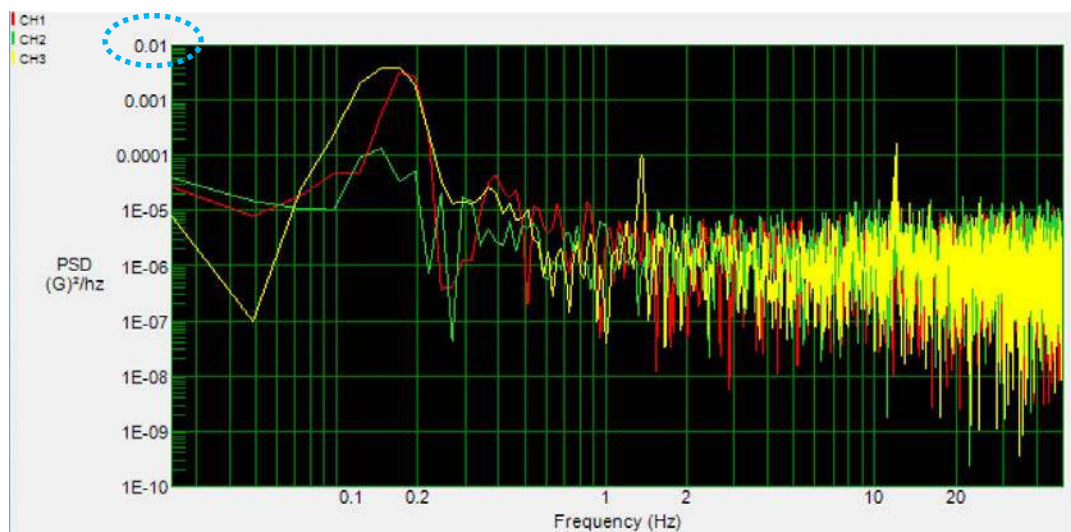


図 4-48 (b) : 荒天待機時の PSD (No. 2)

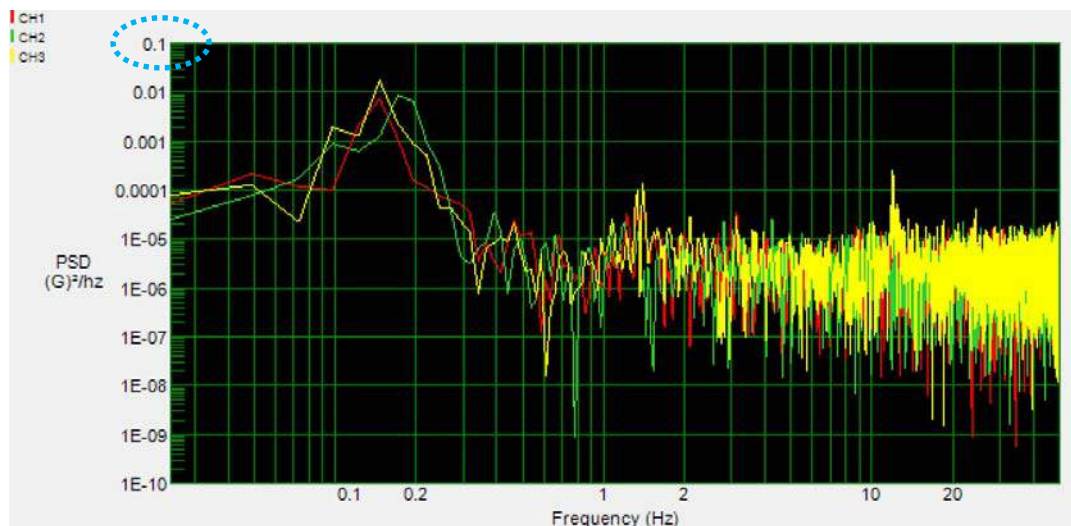


図 4-48 (c) : 荒天待機時の PSD (No. 3)

5. 結言

各解析の結論を以下に述べる。

5.1 解析①

特徴的な航海を行った海域については、ジャイロコンパス及びサテライトコンパスによる船首方位及び、傾斜計とサテライトコンパスによる Pitch 角と Roll 角の計測した値に大きな差を取ることはなかった。しかし、船首方位であれば、回頭角速度が大きくなる場合ではなく、回頭角加速度が大きくなる場合にジャイロコンパスとサテライトコンパスとの差が大きくなる可能性があると考えられる。

Roll 角についても、非常に高精度な作業が求められる場合は、サテライトコンパスによる Roll 角の値を使用する際には、ある程度の誤差がある可能性を考慮する必要があると考える。実際の航海を通じて得た、航海計器のデータをより実用的に解析するためには、以下のことが言える。

1. 船首方位における回頭角加速度との関係の調査

当研究では、回頭角速度と各船首方位の差の関係は示したが、回頭角加速度との関係は時間の都合上行えなかった。回頭角加速度との関係は、サテライトコンパスの測定法から、少なからずある。したがって、船首方位における回頭角加速度との関係の調査を行うことで、各計器の特性を明らかにできると考える。

2. 基準とした計器の精度測定

船首方位、Pitch 角及び Roll 角で基準とした、ジャイロコンパス及び傾斜計の精度の測定が行えなかったため、より精度の良い実用的な解析ができなかった。今後、船舶の解析をする機会があれば、特に船首方位においては、実際に乗船し、重視目標や日出没方位角を用いた、ジャイロコンパスの精度を測定して、解析に臨みたい。

3. 荒天時のデータ測定

今回の実験航海では、全体的に気象海象の穏やかな場合のデータのみとなった。外乱の影響を大きく受けた海域や、気象海象条件の厳しい条件下での、据付作業を解析すれば、新たな計器の特性や、精度についての検証も実用的になると考えられる。

4. 回頭角加速度の大きい船舶での検証

考察で述べたとおり、回頭角加速度の値が 0.3 度を超えると、各計器の計測する値に影響を及ぼすと考えられる。当本船では、実験航海をとおり、回頭角速度が 1 度を超えることがほとんどなく、回頭角加速度についても、大きな値をとることがなかった。従って、回頭角加速度の大きな船舶を解析することが有用ではないかと考える。

5.2 解析②

各状況下における加速度計のデータの比較を実施したが、実験①、②においては、従来であれば台風シーズンとも重なる時期であったが、近年稀にみる穏やかな航海であったと聞いている。加速度計は、特徴的な船体動揺や衝撃を計測するものであるため、良い結果を得られなかった。しかし実験③では一転し、荒天状況下における各特長をとらえることができた。

1. 調査作業時の加速度

調査作業時の結果から、船舶停止時の 3 次元的な同様の特徴を捉えることができた。船体の重心付近では動揺が少なく、船首尾では動揺が大きくなることが値より分かった。またその時の加速度のスペクトラム密度も揺れに比例し大きくなることが明らかとなった。

2. 潮岬付近の加速度

荒天時、地形条件として内海から外洋に出る際に大きな振動を受けることが分かった。実験①、②においても同じルートを辿っているにも関わらず、振動の規模が格段に大きいことから、風力 4,5 に到達する場合に外洋に出るときには、数倍の船体動揺を受ける可能性があることが分かった。当然ながら、波向、船速など条件が変われば結果は変化すると思うが、荒天時には注意しなければならない兆候が明らかとなった。

3. 荒天待機時

今回の最大風力を観測した地点での計測であった。船舶は当然ながら安全な場所で待機しているはずであったが、それにも関わらず、スペクトラム密度は航行時と変わらない範囲を示していたので、かなり船体が動揺していたことが伺えた。

5.3 今後の予定

平成 29 年度においても別船舶であるが、本研究は継続されることが決まっている。本研究の目的は貨物輸送を行う際に不特定多数の者が、安全運航に有意となる資料として活用できる研究を行うことである。調査船においても曳航船においても、安全の判断は、現場の者、すなわち海技熟練者が行うものであるが、本計測結果を踏まえて安全な航海の指針となるような実験を今後も続けていきたいと考える。

参考文献

- (1) 海上保安庁、平成 27 年における海難の現状と対策について、
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/h28/k20160316/k160316-1.pdf#search=%27%E6%B5%B7%E9%9B%A3%E4%BA%8B%E6%95%85+27%27>, 03. 2016
- (2) 酒出昌寿他、三大湾における漁業海難の要因についてm-SHELLモデルによる背後要因の分析、航海学会論文集 128 号, p39-47, 3. 2013
- (3) P&I ロス・プリベンション・ガイド、内航貨物船の衝突・乗揚げ・錨事故防止のために＝ひとりブリッジリソースマネジメント＝
https://www.piclub.or.jp/lossprevention/guide/?action=common_download_main&upload_id=3453, 01. 2014
- (4) H27 年度報告書, P27, 2015.
- (5) Micro Stone HP 「信号波形の強度を調べる」
<http://www.microstone.co.jp/case/technical-13.html>
- (6) 橋本進他、操船の基礎【二訂版】、海文堂, P124-126, 2012