



平成30年度（2018年度）

貨物運搬船（自動車専用船、コンテナ船等）の貨物が
受ける振動・傾斜他記録データをリアルタイム取得
するシステムの技術開発

成果報告書

平成31年（2019年度）3月

一般社団法人 日本舶用工業会

はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、平成 29 年度（2017 年度）、平成 30 年度（2018 年度）の 2 年計画で、一般社団法人日本舶用工業会が、株式会社インターエナジーに委託して実施した、「貨物運搬船（自動車専用船、コンテナ船等）の貨物が受ける振動・傾斜他記録データをリアルタイム取得するシステムの技術開発」の 2 年間の成果をとりまとめたものである。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

平成 31 年（2019 年）3 月
（一社）日本舶用工業会

目 次

第 I 部 平成 29 年度	1
1 事業の目的	1
2 事業の目標	2
2.1 本事業の最終目標	2
2.2 平成 29 年度の目標	2
3 平成 29 年度の実施内容	2
3.1 データ収集の要求調査検証およびデータ取得方式/仕様検討.....	2
3.1.1 振動測定に関する要求仕様	2
3.1.2 衝撃測定に関する要求仕様	4
3.1.3 傾斜測定に関する要求仕様	4
3.1.4 環境（温度・湿度）測定に関する要求仕様.....	5
3.1.5 日本海事協会 日本鋼船規則からの要求仕様.....	5
3.1.6 船舶内無線 LAN 設備に関するガイドラインからの要求仕様.....	6
3.1.7 その他に関する要求仕様	8
3.2 振動・傾斜記録装置仕様	10
3.3 試作機設計	11
3.3.1 振動・傾斜記録装置設計	11
3.4 振動・傾斜記録装置設計仕様	18
3.5 評価結果	19
3.5.1 振動・傾斜記録装置試作	19
3.5.2 加速度測定評価結果	21
3.5.3 傾斜測定評価結果	25
3.5.4 温度、湿度測定評価結果	26
3.5.5 実験船（自動車専用船 1 番船）試作機の実船評価結果.....	30
3.5.6 船舶内ネットワーク環境調査	42
4 目標の達成状況	48
4.1 データ収集の要求調査検証およびデータ取得方式/仕様検討決定.....	48
4.2 振動・傾斜記録装置を試作設計	48
5 今後の予定	49
5.1 データ収集/解析サーバーアプリケーション試作設計.....	49
5.2 実船実験	50
6 まとめ	50

第Ⅱ部 平成30年度.....	52
7 平成30年度の実施内容.....	52
7.1 データ収集/解析サーバーアプリケーション試作設計.....	52
7.1.1 データ収集アプリケーション.....	52
7.1.2 データ解析アプリケーション.....	53
7.1.3 システム制御アプリケーション.....	57
7.1.4 データ表示アプリケーション.....	58
7.2 実船実験.....	59
7.2.1 システム装置設置状況.....	60
7.3 システム評価結果.....	66
7.3.1 振動計測結果.....	67
7.3.2 角度計測結果.....	92
7.3.3 温湿度計測結果.....	101
7.3.4 ネットワークスループット評価結果.....	104
7.3.5 ネットワーク遅延検証結果.....	105
7.3.6 無線通信船内検証結果.....	107
8 目標の達成状況.....	110
8.1 船舶での実測データを基に算出した実貨物での振動、傾斜シミュレーション値.....	110
8.2 船舶内ネットワークスループットとカメラ画像遅延について.....	110
9 今後の予定.....	111
9.1 システムの改善.....	111
9.2 実船実験データの継続取得.....	111
10 まとめ.....	112

第 I 部 平成 29 年度

1 事業の目的

【意義・必要性】

船舶輸送中の振動・傾斜等により貨物に与える影響は大きい、特に自動車では表面上のキズ、凹みのみならず、サスペンション等機械部に与える影響は大きく、交通事故の要因にすらなり得る。そのため輸送状態を監視・記録する要求が荷主船主共に高まっている。

しかしながら現存する振動・傾斜記録装置の殆どは、数万円～数十万円し、取り付け取り外しや取扱の難しさから容易に使用できない。また単体での取り付け運搬になることからリアルタイムに状態を把握することができず、事故原因排除対策に至るまでには多くの時間とコストが掛かる。このためクレームの対応には多大なコストを掛けての対応を強いられる。

この課題解決は国際競争の中、日本企業の競争力維持に不可欠であり、安価で容易に輸送品質確保が可能なシステムの開発が急務である。

【課題】

- ・船倉に配置する振動・傾斜記録装置のデータから実車が受ける影響をシミュレーションする技術と最適な記録装置配置の開発
 - ・船舶特有の環境対策（温度、湿度、塩害等）
 - ・船舶内のネットワークの安定性とスループット（※1）確保
 - ・破損クレーム対策の裏付けとなるデータの蓄積
- ※1 単位時間に送受信可能なデータ量、ここでは品質管理に必要なデータ（例えばビデオ画像）が送信可能なネットワークの容量を意味する。

【効果および新規性】

- ・船そのものの傾斜は現在でもブリッジで把握可能であるが、船倉での積荷の振動、傾斜を測定するシステムの提供は新しい試みである。
- ・運用の簡素化、自動化は船員への負担を与えず、状況の理解と判断を可能とする。場合によっては陸上の専門家に判断を仰ぎ適切な対策を可能とする。
- ・運搬中の破損トラブルなどの事故があった際、ブリッジから船倉の状況をリアルタイムに把握可能（振動傾斜データ、カメラ画像他）。陸上へも状況を適切に把握可能なデータ（カメラ画像含め）送信可能。
- ・データを蓄積し分析することによって、一般論での危機管理対策だけではなく、機械学習（反復的な学習）により、これまで予測できなかったトラブル回避や船舶、自動車車種固有のトラブル原因究明に繋がるデータの取得が可能。
- ・輸送中の振動の大きさや頻度、破損の可能性を数値で見える化することで、事前にピンポイントの対策が可能。
- ・船舶内に常設することにより輸送品質向上と高度なサービスの提供が可能。

2 事業の目標

2.1 本事業の最終目標

- 1) 船舶での実測データを基に算出した実貨物での振動、傾斜シミュレーション値が実振動、傾斜との誤差±10%以内であること。

※シミュレーションの方式については検討が必要であるが、現在は実船実験にて貨物の種別や位置により係数を割り出し、データを補正することを想定している。

- 2) 船舶内ネットワークスループット 20Mbps とカメラ画像遅延を 1 秒以内であること。

2.2 平成 29 年度の目標

- 1) データ収集の想定要求を検証し、データ取得方式/仕様を検討決定する。

- 2) 振動・傾斜記録装置を試作設計し、
 - ・静的加速度：±2G～±16G（±3%）
 - ・静的傾斜精度 0.1°のデータを取得する。

3 平成 29 年度の実施内容

3.1 データ収集の要求調査検証およびデータ取得方式/仕様検討

振動・傾斜・衝撃・温度・湿度等の現状の課題解決のために必要なデータ収集要求の調査を実施した。当社においては、計測、あるいは、通信に関する技術は保有し、数々の製品を継続して開発を進めているが、船舶に設置する機器に関しては、開発実績が少なく、どのような環境にて、どのような計測が必要か、経験に乏しいところがあった。そこで、商船三井様の協力を得て、船舶の環境の状況についてヒアリングを行った。また、貨物輸送に関する論文、文献を調査し、振動・傾斜記録装置の仕様を決めるための参考にした。

3.1.1 振動測定に関する要求仕様

船倉での振動の発生要因としては、主に、以下が挙げられる。

- ・ 主機関による船舶の振動
- ・ 発電機による船舶の振動
- ・ 波の影響による船舶の振動
- ・ 船舶、あるいは、船倉の床の固有振動による振動
- ・ プロペラによる船舶の振動

自動車専用船やコンテナ船等の大型の船舶の主機関は、回転数最大 150 回転/分、シリンダ数として、6~12 気筒程度である。主機関による振動は、シリンダの往復運動やクランク軸の回転運動によるものと、シリンダ内ガス圧変動力に起因するものの2種類に分けられる。各起因により、船舶に影響する振動の方向、種類、振動数が異なってくる。シリンダの往復運動は、船舶の上下方向の振動を与え、各シリンダに発生する慣性力の和が船舶に振動を与える。主機関の回転数の一次、二次成分が振動の対象となる。また、シリンダ内ガス圧変動力は、軸系を介して船舶に伝達されるので、船舶の船長方向の振動となりやすい。軸系振動としては、最大 10Hz 程度である。主機関が船舶に与える振動は、もっとも大きいものと考えられる。

船舶に搭載されている発電機は、回転数 500~1800 回転/分 6~12 気筒程度のものが使用されている。主機関と同様に、回転数に比例した振動で、船舶に振動を与えると考える。振動周波数としては、主機関より、回転数が高いため、10Hz~30Hz 程度の振動と考えられる。ただ、発電機の振動は、主機関の振動に比べて、小さいものと考えられる。

波の影響による船舶の振動は、海の波により、船が傾くことによる振動で、ゆっくりとした振動となる。特に、船体の高い自動車専用船では、風、波の影響を受けやすくなる。波による船舶振動としては、スプリングとホイッピングがある。スプリングとは、周期的な波浪外力と船舶構造との共振による定常的な船舶振動である。これは、比較的穏やかな海象においても発生する。ホイッピングは、衝撃的な波浪外力により誘発され、過渡的な船舶振動となる。主に、荒天下において発生する。波の影響による船舶の振動は、0.1Hz から 1Hz 程度であり、振動の方向としては、船舶の上下方向と左右方向となる。振動の大きさとしては、中程度と考えられる。

船舶、あるいは、船倉の床の固有振動による振動は、外力を受けて、船舶の固有振動数により、共振が起きることによる振動である。貨物船の場合、搭載量を稼ぐために、船舶内に可動式の床を設け、複数層で船舶内を仕切って、輸送する。その床が共振することも考えられる。船舶では、共振防止設計が当然されているが、すべての物体には、それぞれの固有振動を必ず持っているため、共振振動は避けられない。振動の方向は、上下方向、振動周波数は、数 Hz 以下と考えられる。船の状態（貨物有無）等により影響を受けるが、振動の大きさは中程度と考えるが、振動周波数が固有振動周波数と一致し、共振が発生した場合には、大きな振動になることも考えられる。

プロペラによる船舶の振動は、軸回転数と翼数により決まり、一般的には、5~10Hz の振動数域になる。プロペラは船舶の後方に配置されるので、船舶の後方でより強く振動し、船舶の前方に向かうにしたがって、減衰する。また、振動方向は、船舶の左右方向となる。

以上のまとめを表 3-1 振動測定に関する要求仕様に示す。これらの各振動を測定できるような振動計測装置が必要と考える。

表 3-1 振動測定に関する要求仕様

振動発生要因	振動周波数	主な振動方向	大きさ
主機関による船舶の振動	～10Hz	上下、左右、前後	大
発電機による船舶の振動	10Hz～30Hz	上下	小
波の影響による船舶の振動	0.1～1Hz	上下、左右	中
船舶、あるいは、船倉の床の固有振動による振動	数 Hz 以下 (船舶状態に影響)	上下	中～大
プロペラによる船舶の振動	5～10Hz	上下	大

3.1.2 衝撃測定に関する要求仕様

船倉の衝撃が生じる要因としては、以下を考える。

- ・ 貨物が落下、あるいは、貨物同士が、ぶつかる等の衝撃
- ・ 突発的な波による衝撃

一般社団法人日本海事検定協会から報告されている「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」によると、衝撃による最大加速度については博多ー上海の航海において最大で3G程度の加速度を実測している。事業の目標では、平成29年度の目標として、静的加速度：±2G～±16G（±3%）とより広範囲な測定範囲を掲げた。

この上限範囲の選定は現存している可搬型の振動衝撃記録装置において最も能力の高いクラスの測定範囲を目標値と設定し、船舶内に常時設置を特徴とする本システムの優位性を持つための目標値とした。

3.1.3 傾斜測定に関する要求仕様

船舶の傾斜に関しては、商船三井様のアドバイスにより、運航中の船舶では、最大±30度程度の傾きになることが想定されるとのことである。そのため、船舶の傾きは、±50度測定できれば、十分にカバーできる。それ以上、船舶が傾いた場合には、そもそも、船の運航自体が不可能な状態であり、測定する意味が無いと考える。

また、精度に関しては、1度で、十分との見解を得たが、振動・傾斜記録装置の設計値としては0.1度を満足するように設計を実施し、装置性能を高くする要求仕様とした。

3.1.4 環境（温度・湿度）測定に関する要求仕様

船舶内の温度・湿度に関しては、商船三井様のアドバイスにより、温度は -20°C ～ 80°C 、湿度は0～100%RHが測定できる要求仕様とした。

3.1.5 日本海事協会 日本鋼船規則からの要求仕様

日本海事協会 鋼船規則のH編電気設備には、船舶に施設される電気機器の設置に規定されている。本規定では、環境条件、電源条件等、船舶に施設される電気機器の設計、及び、選定、配置に関する条件を規定している。本報告書では、本装置に関連する部分について、抜粋して記載する。

周囲条件として、船舶に施設される電気機器の周囲温度は、表 3-2、傾斜角度は、表 3-3 のように記載されている。振動・傾斜記録装置の設置場所としては、船舶内の運搬デッキ内を想定しているため、閉囲区域内で、規定されている周囲温度で動作する必要がある。また、傾斜角度に関しては、少なくとも、規定に記載されている傾斜角度については、正確に測れる必要があると考える。

表 3-2 鋼船規則で規定している周囲温度

設置場所		温度 (°C)
空気	閉囲区域内	0～45
	45°Cを超える区域内または、0°Cを下回る区域内	計画条件による
	暴露甲板上	-25～45
海水	—	32

表 3-3 鋼船規則で規定している傾斜角度

電気設備の種類	左右方向		前後方向	
	静的傾斜 (横傾斜)	動的傾斜 (ローリング)	静的傾斜 (縦傾斜)	動的傾斜 (ピッチング)
次の欄に掲げるものを 除く電気設備	15度	22.5度	5度	7.5度
非常電気設備、各種開 閉装置(遮断器等)並び に電気及び電子器具	22.5度	22.5度	10度	10度

船舶内の電源設備に関する規定として、表 3-4 に示すように、電源電圧、周波数変動があることが規定されている。この変動に対して、振動・傾斜記録装置は安定して動作、および、正確に振動・傾斜等の測定ができるようにしておく必要がある。

表 3-4 鋼船規則で規定している電源電圧及び周波数の変動

変動の種類	変動	
	定常時	過渡時
電圧	+6%、-10%	+20% (1.5 秒以内)
周波数	±5%	+10% (5 秒以内)

船舶内の電源設備の構造、材料等に関しては、普通の取扱方法で、操作または、接触したときに、人体に障害を与えないような耐食材料、防食処理を施すように規定されている。一般的な保護方法として、保護回路を設けて、故障回路を遮断して、回路の損傷と火災を防ぐよう規定されている。

3.1.6 船舶内無線 LAN 設備に関するガイドラインからの要求仕様

乗務員の省人化要求や搭載機器の高度化が進み、安全運航のための船舶内 LAN が普及されている。陸上では、スマートホン、タブレットなど、通信機器の小型化、携帯化に伴い、無線 LAN の普及がかなり進んでいるが、船舶内は、鋼板に覆われていて、無線電波の伝搬特性が予測しづらい、電波特性上の干渉、混信などの障害が発生する可能性がある、海外にも運航するため、各国の電波仕様上の制約が不明などで、無線 LAN の普及が遅れている。しかしながら、地上でワイヤレス機器が普及していることから、船舶にもいずれ、これらの機器を手軽に設置、したいという要求が出てきて、広がると考えられる。今回の振動・傾斜記録装置においても、測定したデータをいかに転送してデータを集めるかが課題の一つである。このような背景のもと、一般財団法人日本海事協会から「無線 LAN 設置に関するガイドライン」が発行されており、要求仕様に盛り込むことにした。

本ガイドラインによると、以下のように仕様の要件、機器の要件、装置の要件が記載されている。

仕様の要件

周波数

周波数は IEEE802.11b 及び g (2400~2483.5MHz)、IEEE802.11b (2471~2497MHz)、IEEE802.11a (5150~5250MHz)、IEEE802.11a (5250~5350MHz)、IEEE802.11a (5470~5725MHz) のいずれかとする。

無線 LAN アクセスポイント及び無線端末の最大出力

最大出力は 1mW/MHz とする。ただし、IEEE802.11a (5470～5725MHz) に関しては、レーダは検出や電力低減機能を具備する事で許可される等価等方輻射電力である 50mW/MHz とすること。

セキュリティ

無線通信の盗聴や第三者による接続を防止するため、無線暗号化として WPA-PSK (Wi-Fi Protected Access - Pre Shared Key) 相当のセキュリティを使用することを推奨する。WPA-PSK は通信中に暗号キーが自動的に変更されるため、暗号強度が強い無線暗号化方式である。なお、固定された暗号キーが使用され暗号強度が弱い WEP (Wired Equivalent Privacy) は短時間で暗号を解読される可能性があるとして指摘されており推奨しない。

機器の要件

各機器の電磁両立性 (CE マーキングの表示)

船舶は EU 域内に入場することが考えられるため、原則としてすべての機器は「EMC 指令 (電磁両立性指令) に適合している旨を示す CE マーキング」を機器に表示するものとする。

ブリッジ搭載機器の電磁両立性 (EMC)

原則として、船橋に搭載するアクセスポイントに関しては、船橋に搭載されている航海計器などとの干渉を防止するために IEC60945 Ed. 4 に規定する EMC 試験に合格した機器を搭載すること。

動作電圧

原則として AC100V-220V で動作するものを使用する。船舶で起こりうる電圧上昇 (+6%)、電圧下降 (-10%) に対して、電源が切れることなく動作すること。万一ブラックアウトした場合でも、電圧が復旧した後、自動復帰すること。

耐振動性能

機器の耐振動性能は、設置場所の振動に耐えられること。

周囲温度条件

無線 LAN 機器の適切な動作を確保するために、設計仕様書に特に明記される場合を除き、日本海事協会発行 鋼船規則 H 編 電気設備 1.1.7 に従うこと。

装置の要件

機器装備場所

機器は機械的損傷の危険に晒されることなく、また、水、蒸気、油などにより損傷を受けないような、十分に通風された場所に取り付けられること。

また、機器を爆発的混合気が集積する恐れのある場所や、引火性ガスが存在する場所に取り付ける場合は、防爆型式認証された機器を利用すること。

設置装備上の留意事項

機器に通電・動作状況の表示ランプなどが備わっているものは容易にその状態を確認できるように装備すること。ヒューズ、ブレーカを備えるものは、その交換、保守が容易に行えるよう、取り付けること。

振動に対する対策

各アクセスポイントに設備する機器は、取り付け場所の振動に充分耐え得るように、設置作業者は予想される振動の状況により適切な装備方法を決定すること。また、必要に応じて緩衝材、固定材などを用いて、振動が直接機器に加わらないような対策を取ること。

電源

設計仕様書に特に明記される場合を除き供給電源の冗長性は要求しない。

LAN ケーブルの艙装要領

LAN ケーブルの敷設、支持、固定、隔壁の貫通、接続などは、規則 H 編に従うこと。

本事業でもこのガイドラインに従って機器の設計開発、実船実験を実施することとした。

3.1.7 その他に関する要求仕様

船舶内特有の環境対策として、温度、湿度、その他、海上を運航することから塩害に対する対策が必要である。その為、装置に、塗装を施し、防塵、防水対策として、IP54 以上の防塵・防水性能が必要と考える。IP54 は、防塵防滴に関する仕様で、防塵に対しては、「塵埃の進入を完全に防止することはできないが、電気機器の所定の動作及び安全性を阻害する量の塵埃の進入があってはならない。」、防水に対しては、「あらゆる方向からの水の飛まつによっても有害な影響を及ぼしてはならない」というレベルの仕様である。

振動・傾斜記録装置で保存するデータ容量として、船舶の運航時間を考えると、最大 1 年間保存できるような容量が必要と考えている。

データ取得の転送方式については、表 3-5 に示すように、各種通信方式について使用環境、コストのパラメータにて比較検討を行い、今回の検討対象である自動車専用船、コンテナ貨物船について最適なデータ取得方式を検討した。

表 3-5 通信方式比較表

通信方式	観点	使用環境				コスト				対応年数	合計点
		引火性	電気ノイズ耐性	光ノイズ耐性	温度耐性	湿度耐性	機器	敷設	保守点検		
電灯線通信		×	×	◎	○	△	△	◎	○	○	21点
光ファイバー通信		◎	○	◎	△	○	×	×	○	○	23点
Ethernet通信		×	△	◎	○	△	◎	×	○	○	21点
無線通信(WiFi/SubGIGA)		◎	△	◎	△	△	○	◎	△	○	25点
可視光通信		○	◎	×	△	△	×	△	△	○	15点
備考		伝送路の比較装置は何れも×	伝送路の比較	可視光通信は外光ノイズに弱い	レーザー、無線は低温域での動作に弱い	さほど方式による差はないが伝送路の距離上光ファイバが有利	一般普及率に応じて機器のコストが決まる	光ファイバー、Ethernetはケーブルの敷設コストが大きい	無線通信、可視光通信は空間環境の変化に弱い	特に差は無い	◎ 5点 ○ 3点 △ 1点

結果は表 3-5 の総合点数で 25 点となる無線通信方式を選定した。この方式は、他の方式と比べて、使用環境パラメータに関してデメリットが少なくコスト的に優位であると考えている。しかしながら、船舶内は鋼板に覆われており、無線通信的には不利な環境である。そのため、実際に、船舶の電波環境を調査し、無線通信が可能な環境なのかを評価し、最終的な通信方式は、平成 30 年度に決定する予定である。

3.2 振動・傾斜記録装置仕様

3.1 データ収集の要求調査検証およびデータ取得方式/仕様検討から、振動・傾斜記録装置のハードウェア仕様を表 3-6 のように決定した。

表 3-6 振動・傾斜記録装置 ハードウェア仕様

大項目	中項目	小項目	仕様
測定仕様	衝撃	加速度	±16G
		分解能	0.05G
		精度	±3%
		測定軸	3 軸（前後、左右、上下）
	傾斜	測定範囲	最大±50 度
		分解能	0.1 度
		精度	0.1 度
		測定軸	2 軸（前後、左右）
	温度	測定範囲	-20～80℃
		分解能	0.1℃
		精度	1℃
	湿度	測定範囲	0%～100%RH
		分解能	±1%RH
精度		±3%RH	
電源仕様	電源電圧	動作電圧	AC100V -6%/+10%
インターフェース仕様	無線通信	無線 LAN	IEEE 802.11b/g/n
	有線通信	Ethernet	10/100/1000BASE-T 1 ポート
	USB	USB	USB2.0 2 ポート
ストレージ	ストレージ	—	SD Card(32GB)
動作環境	動作範囲	動作温度範囲	-20～80℃
		動作湿度範囲	0%～100%RH
ケース仕様	防水仕様	—	IP54 以上
	材質	—	金属（塗装）
	サイズ	—	180mm x 200mm x 60mm

測定のサンプリング周期は、船舶内の状態が正確に把握でき、更に測定データの発生も必要以上に多くさせないということを考慮し、表 3-7 センササンプリング仕様のようにした。

表 3-7 センササンプリング仕様

項目	サンプリング周期
加速度	20ms(最小)
傾斜	1s(最小)
温度	10分(最小)
湿度	10分(最小)

3.3 試作機設計

3.3.1 振動・傾斜記録装置設計

振動・傾斜記録装置のハードウェアブロック図を図 3-1 に示す。振動・傾斜記録装置では、SoC (System On Chip) に、Linux OS が実装され、ドライバ、アプリケーションソフトウェアにより、各種のセンサより、測定データを吸い上げ、データを加工、保存を行う。また、通信インターフェースで、データをネットワーク経由で、送信できる構成となっている。

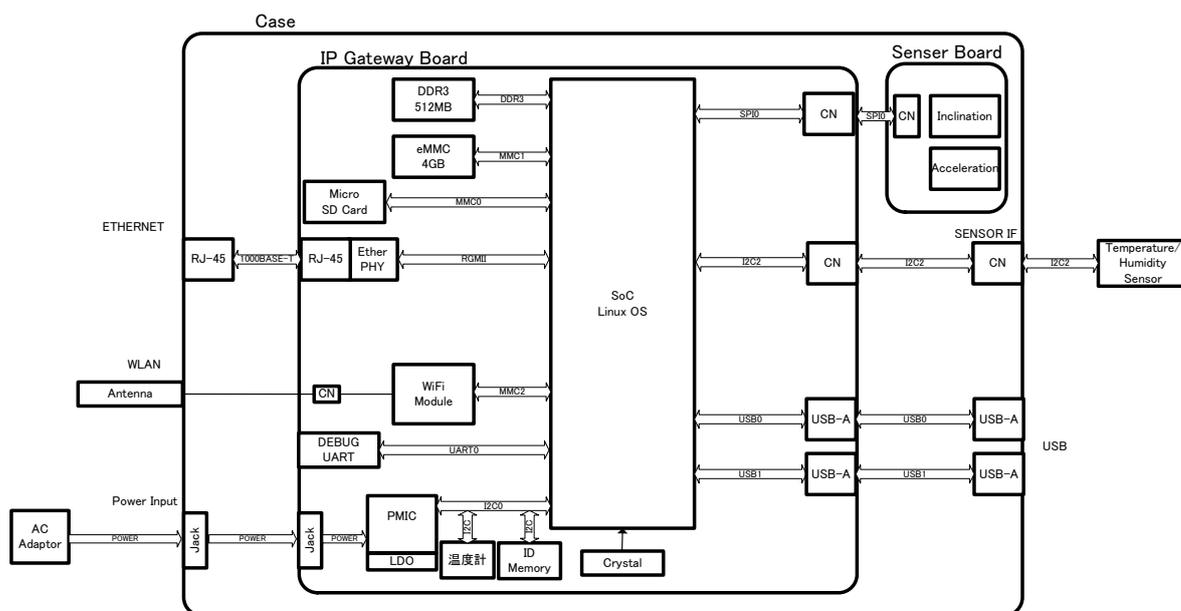


図 3-1 ハードウェアブロック図

ソフトウェアブロック図を図 3-2 に示す。

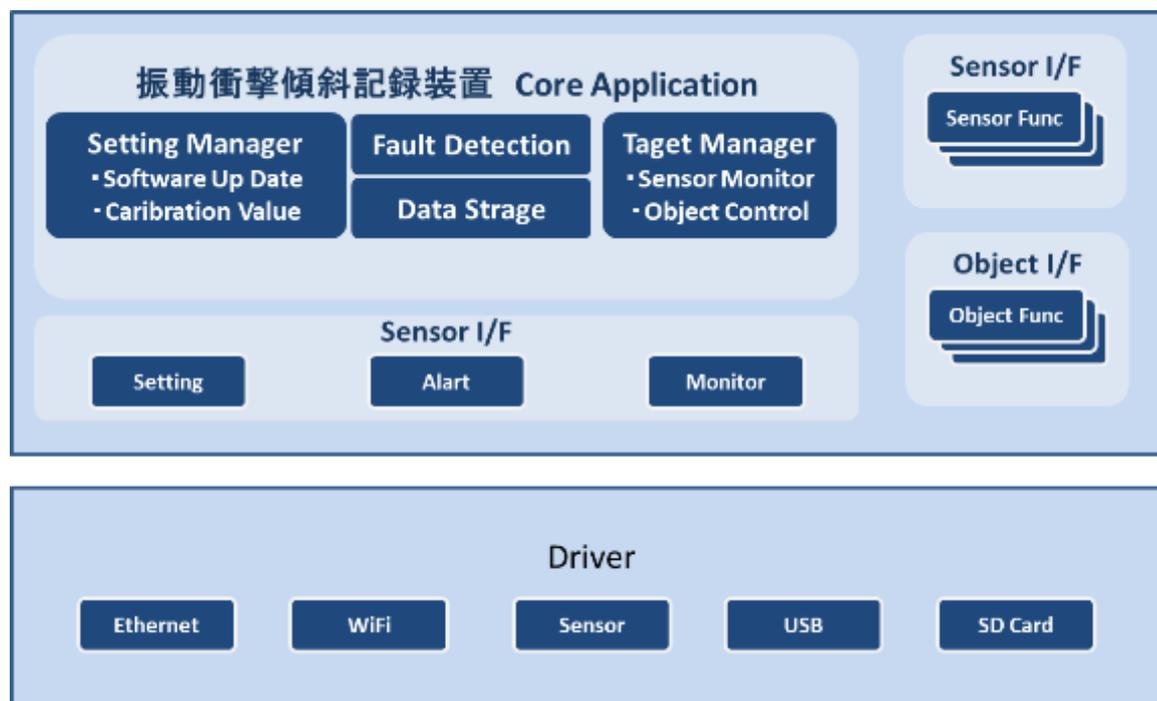


図 3-2 ソフトウェアブロック図

・データ収集センサ回路

センサ回路用デバイスは要求仕様から決定した振動・衝撃記録装置の仕様に基づき選定を行ない設計値は装置仕様および目標値を実現する検討に基づいて回路設計を実施した。

部品選定において振動・衝撃センサは自動車他高速移動体等に採用実績があり、信頼性の高いもの、特性として船舶の受ける振動・衝撃に適したもの、またその性能が十分に評価されているものとしてメーカーおよび部品の選定を行った。

温度・湿度センサは設置される環境を考慮、要求仕様の環境での使用に適し、信頼性の高いメーカーおよび部品の選定を行った。

これらのセンサデバイスを制御する回路も最適な設計を行っており弊社のこれまでの設計ノウハウに基づいた設計により目標を達成する設計値に基づいて回路設計を行った。ハードウェアブロック図上のデータ収集センサ回路部の位置を図 3-3、基板上のデータ収集センサ回路部の位置図 3-4 に示す。

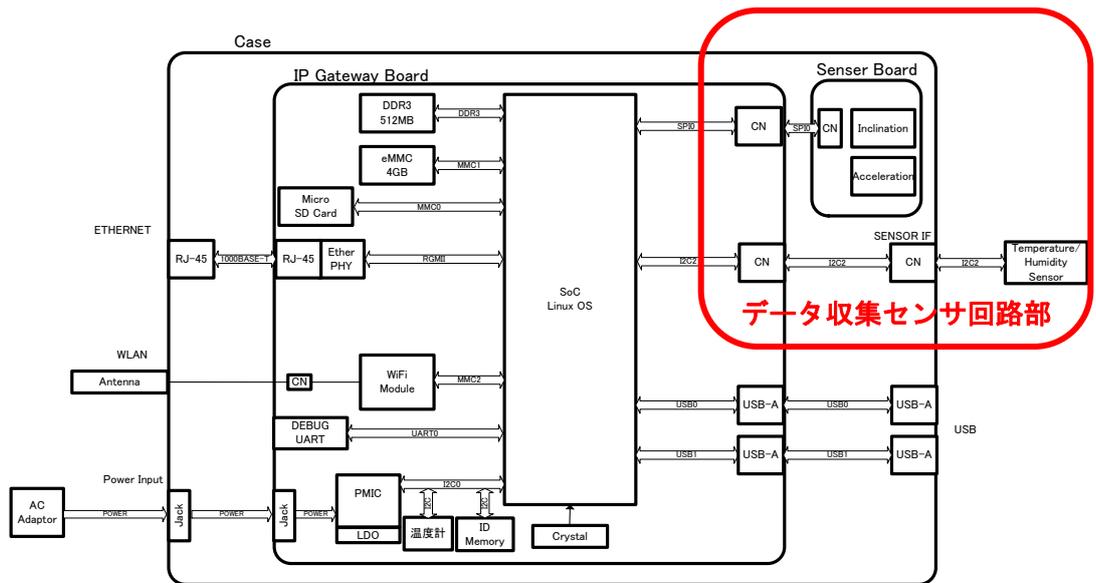


図 3-3 データ収集センサ回路部

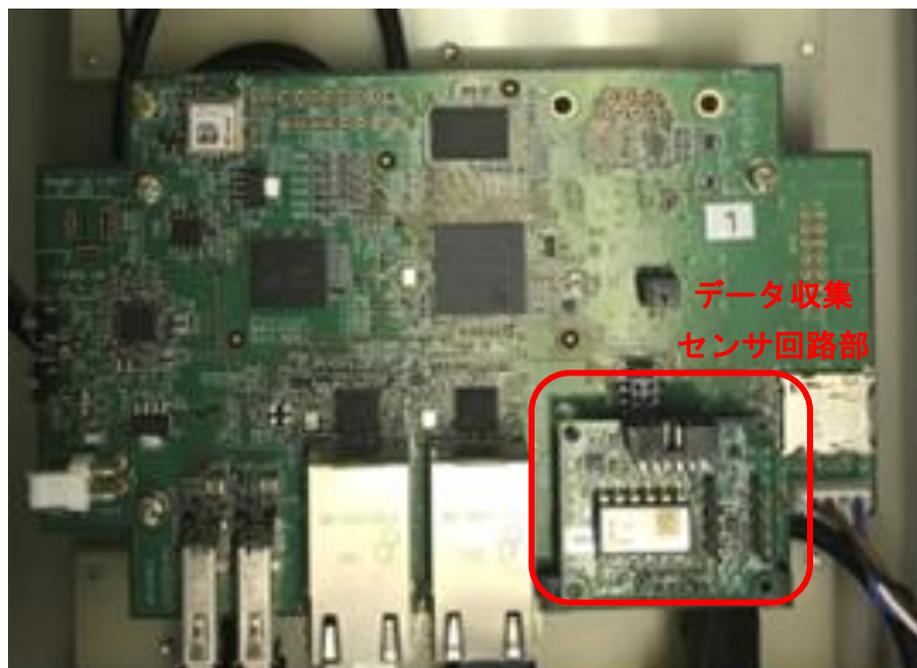


図 3-4 基板上のデータ収集センサ回路部

・データ蓄積回路

要求仕様から決定した振動・衝撃記録装置の仕様に基づきデータ蓄積回路部品選定を行った。設計値は装置仕様および目標値を実現する検討に基づいて回路設計を行った。

データ蓄積容量は1年間のデータ蓄積を可能とする32GBSDメモリを採用し、その書き込み速度もセンサから得られる情報を取りこぼしなく保存できるように、高速のデバ

イスを選定した。また、その書き込みにおける信頼性もデータシートから判断し採用を決定した。ハードウェアブロック図上のデータ蓄積回路部の位置を図 3-5、基板上的データ蓄積回路部の位置を図 3-6 に示す。

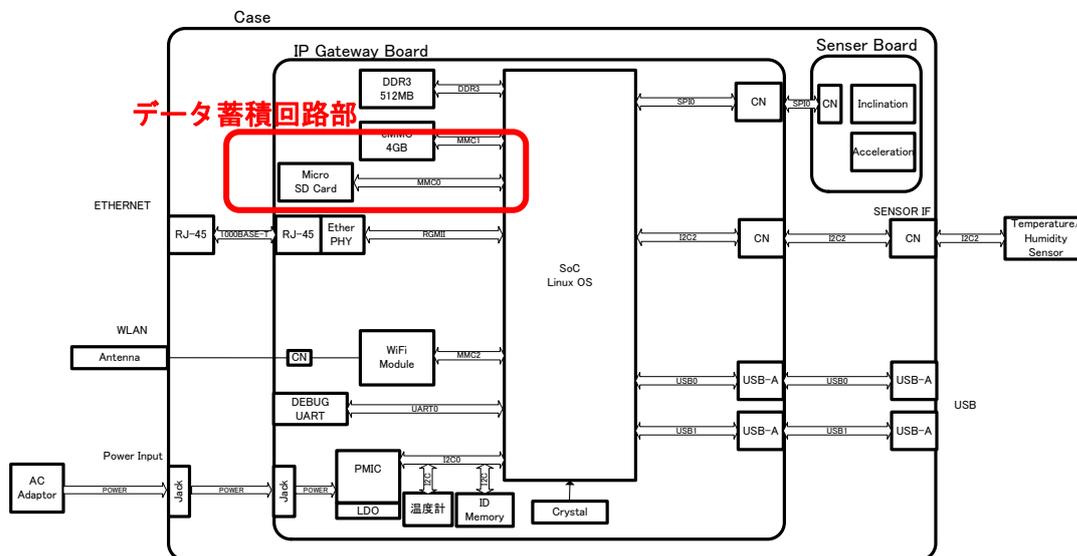


図 3-5 データ蓄積回路部

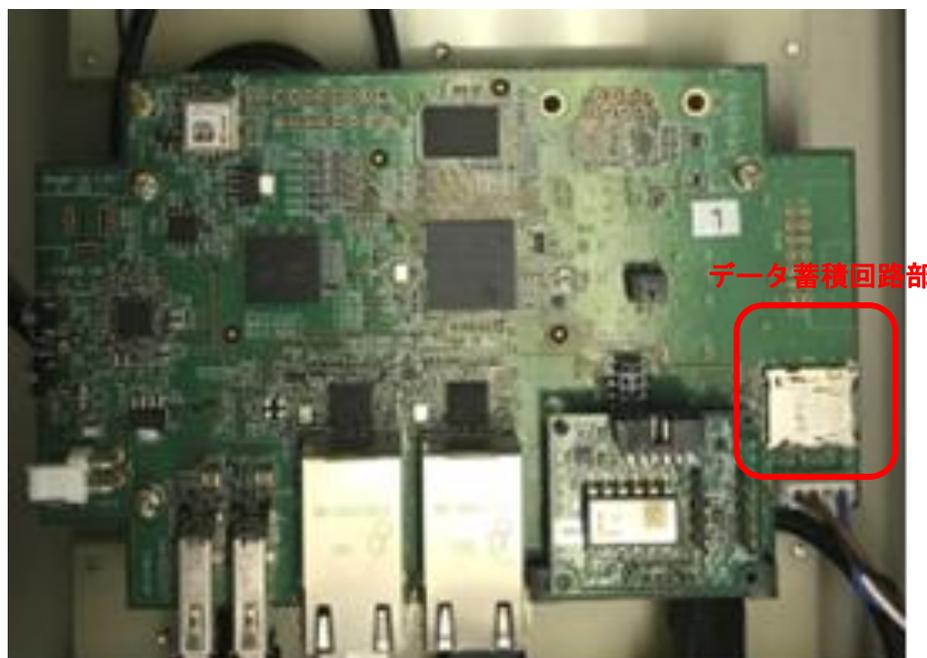


図 3-6 基板上的データ蓄積回路部

- データ蓄積制御ソフトウェア

装置の初期化起動を制御し、振動、傾斜センサから取り込み蓄積するソフトウェアの開発を実施し、試作したハードウェアへの実装と動作の確認を行った。

データ蓄積制御のソフトウェアは、前述の図 3-2 に示された SD Card Driver を介して制御される。この機能実現のために OS (Operating System) の実装し、データ蓄積回路制御のソフトウェアの設計およびその実装と動作評価を実施し、仕様を達成可能な設計、実装が達成できたことを確認した。

・データ送信部ゲートウェイ回路

要求仕様から決定した振動・衝撃記録装置の仕様に基づきデータ送信部回路部品選定を行なった。設計は装置仕様および目標値を実現する検討に基づいて回路設計を実施した。

無線 LAN 送受信部は無線 LAN の規格である IEEE802.11n (通信速度 65Mbps) 対応のデバイス、Ethernet は 1000Base-T (通信速度 1Gbps) で通信可能なデバイスを選定し、設計値は要求仕様を十分に満たせる設計を行った。ハードウェアブロック図上のデータ送信部ゲートウェイ回路の位置を図 3-7、データ送信部ゲートウェイ回路の位置を図 3-8 に示す。

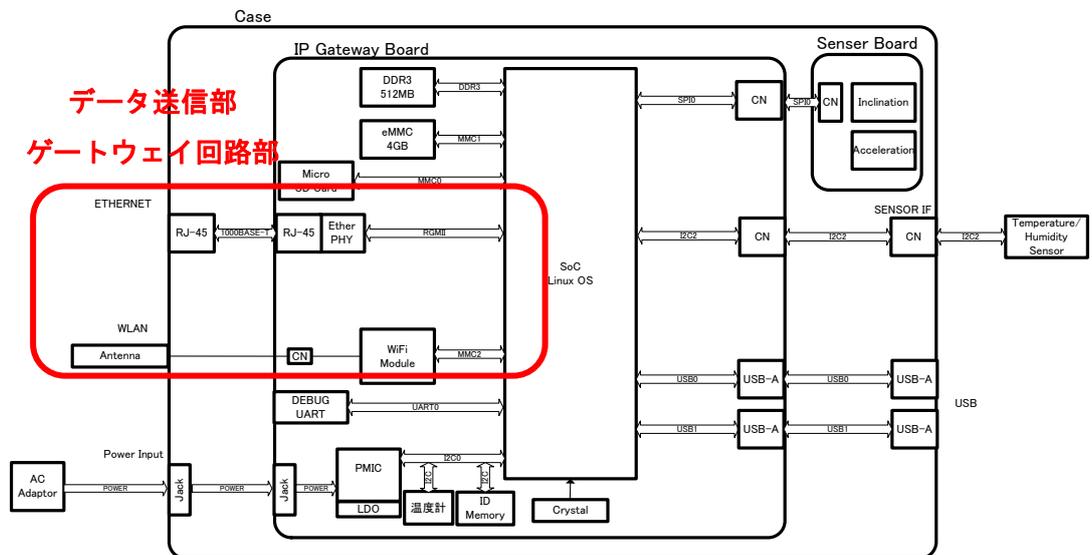


図 3-7 データ送信部ゲートウェイ回路部

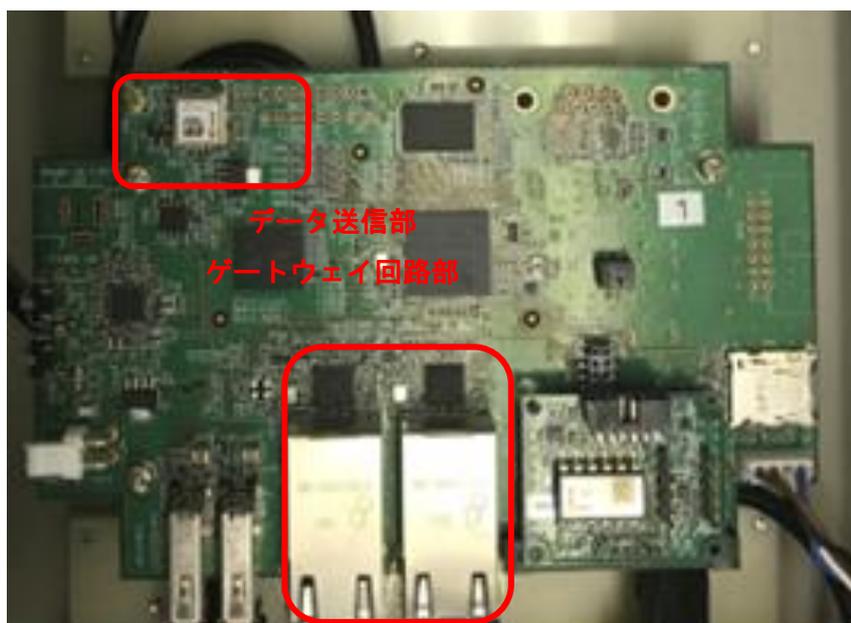


図 3-8 基板上のデータ送信部ゲートウェイ回路部

- ・データ送信部ゲートウェイ制御ソフトウェア

試作ハードウェア評価においてデータ送信部ゲートウェイ制御ソフトウェアの実装と動作確認も実施した。

データ送信部ゲートウェイ制御ソフトウェアは、前述の図 3-2 の示されたもので OS 内に通信ソフトウェアも含まれ実装しているが通信用デバイスドライバのソフトウェア (Ethernet、WiFi) の設計およびその実装と動作評価を実施し、仕様を達成可能な設計が達成できたことを確認した。

- ・ケース設計

振動・傾斜記録装置のケース設計図を図 3-9 ケース設計図示す。ケースは、金属で設計し、サビ、腐食防止のため、塗装を行った。ケースの設計は環境対応として防塵防滴規格の IP54 以上を達成する設計を行った。

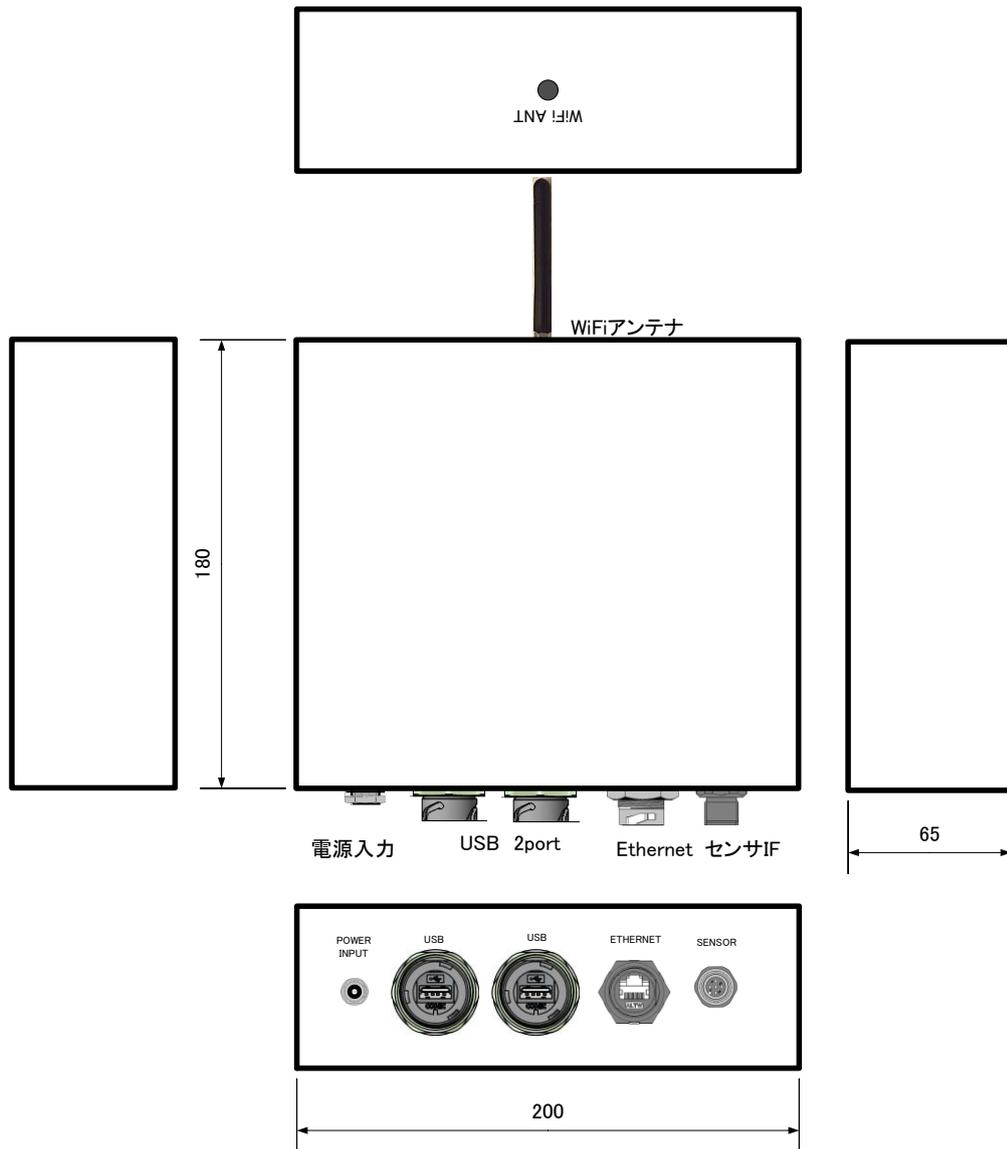


図 3-9 ケース設計図

3.4 振動・傾斜記録装置設計仕様

仕様に基づいて、振動・傾斜記録装置の試作機の設計した結果を表 3-8 に示す。3.2 振動・傾斜記録装置仕様で決定した振動・傾斜記録装置の仕様表 3-6 に対して、満足する結果が得られた。

表 3-8 振動・傾斜記録装置ハードウェア試作機設計結果

大項目	中項目	小項目	仕様	試作機結果
測定仕様	衝撃	加速度	±16G	±16G
		分解能	0.05G	0.244mG
		精度	±3%	0.1%
		測定軸	3軸（前後、左右、上下）	3軸（前後、左右、上下）
	傾斜	測定範囲	最大±50度	最大±50度
		分解能	0.1度	0.07度
		精度	±0.1度	±0.1度
		測定軸	2軸（前後、左右）	2軸（前後、左右）
	温度	測定範囲	-20～80℃	-20～80℃
		分解能	0.1℃	0.01℃
		精度	±1℃	±0.4℃
	湿度	測定範囲	0%～100%RH	0%～100%RH
		分解能	1%RH	0.05%RH
		精度	±3%RH	±3%RH
	電源仕様	電源電圧	動作電圧	AC100V -6%/+10%
インターフェース仕様	無線通信	無線 LAN	IEEE 802.11b/g/n	IEEE 802.11b/g/n
	有線通信	Ethernet	10/100/1000BASE-T 1ポート	10/100/1000BASE-T 1ポート
	USB	USB	USB2.0 2ポート	USB2.0 2ポート
ストレージ	ストレージ	—	SD Card(32GB)	SD Card(32GB)
動作環境	動作範囲	動作温度範囲	-20～80℃	-20～80℃
		動作湿度範囲	0%～100%RH	0%～100%RH
ケース仕様	防水仕様	—	IP54 以上	IP54 以上
	材質	—	金属（塗装）	金属（塗装）
	サイズ	—	180mm x 200mm x 60mm	180mm x 200mm x 60mm

3.5 評価結果

3.5.1 振動・傾斜記録装置試作

仕様に基づき振動・傾斜記録装置を試作した。試作機の写真を図 3-10～図 3-12 に示す。仕様に基づき防水ケース仕様で試作し、測定データが保存される SD Card メモリを取り外しできるようにケースの上蓋は、開けられる構成とした。インターフェースのコネクタは、防水対応のため、すべて防水コネクタとした。



図 3-10 振動・傾斜記録装置 外観写真



図 3-11 振動・傾斜記録装置 上蓋開口写真



図 3-12 振動・傾斜記録装置 インターフェース部写真

3.5.2 加速度測定評価結果

振動・傾斜記録装置試作機の加速度測定の評価は、単軸動電式振動試験装置で前後方向、左右方向、上下方向の衝撃を与えることによって行った。単軸動電式振動試験装置に振動・傾斜記録装置試作機を設置したときの写真を図 3-13 に示す。



(a) 上下方向加速度測定評価環境

(b) 左右方向、前後方向加速度測定評価環境

図 3-13 振動・傾斜記録装置 加速度測定評価写真

今回の単軸動電式振動試験装置で、振動・傾斜記録装置試作機に最大加速度 16G を与えて評価を行う。単軸動電式振動試験装置による最大加速度 16G は、図 3-14 の印加波形を示すように、24ms 区間内で衝撃を与えて、そのピークが加速度 16G となるように与えられる。したがって、振動・傾斜記録装置に加速度 16G を与えられる時間は、瞬間でしかない。一方、振動・傾斜記録装置試作機の加速度のサンプリングレートは、表 7-1 に示すように、最小 20ms である。そのため、単軸動電式振動試験装置で与えられる瞬間的な加速度 16G を捉えることは困難である。そこで、振動・傾斜記録装置試作機の加速度センサで、アナログ/デジタル変換する前の波形を確認し、加速度 16G が計測できるかを確認した。

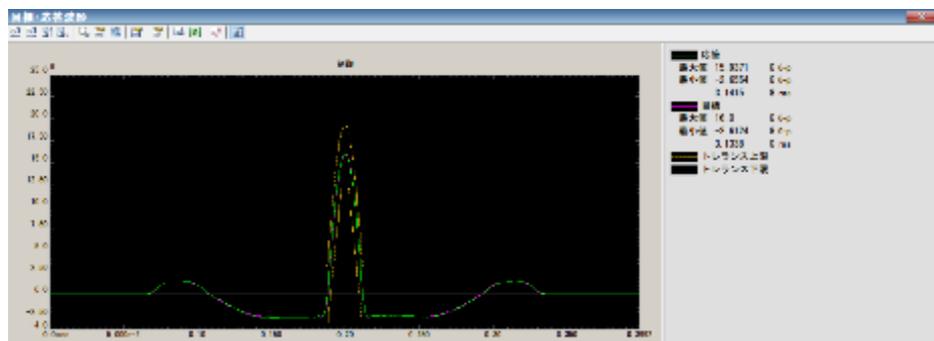


図 3-14 単軸動電式振動試験装置による加速度印加波形

単軸動電式振動試験装置による振動・傾斜記録装置試作機の評価結果として、前後方向の加速度測定の波形を図 3-15、左右方向の加速度測定の波形を図 3-16、上下方向の加速

度測定の波形を図 3-17 に示す。

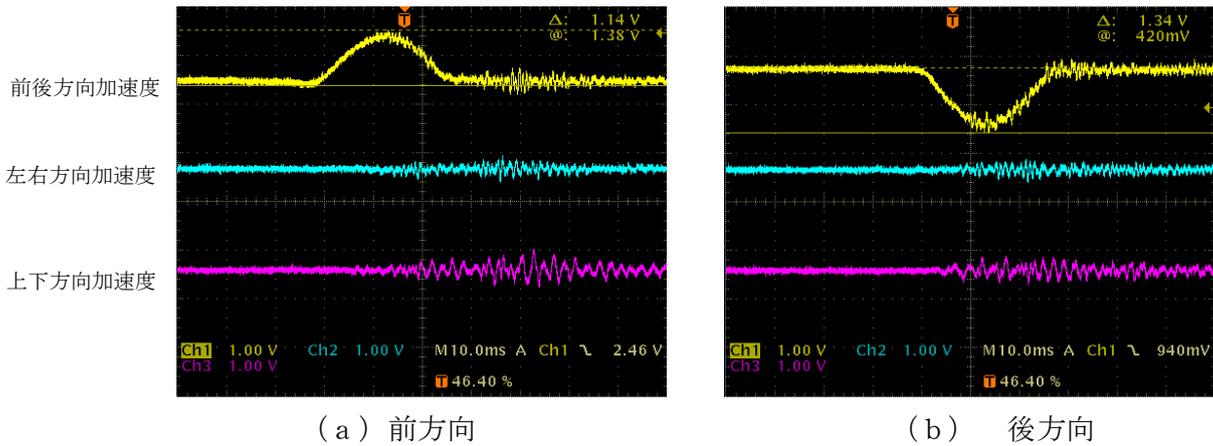


図 3-15 振動・傾斜記録装置 単軸動電式振動試験装置による加速度測定波形(前後方向)

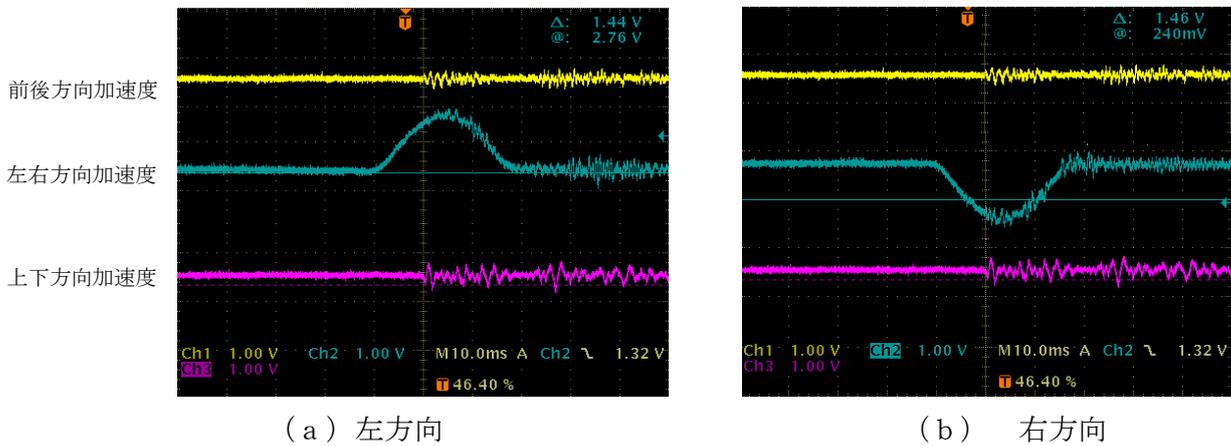


図 3-16 振動・傾斜記録装置 単軸動電式振動試験装置による加速度測定波形(左右方向)

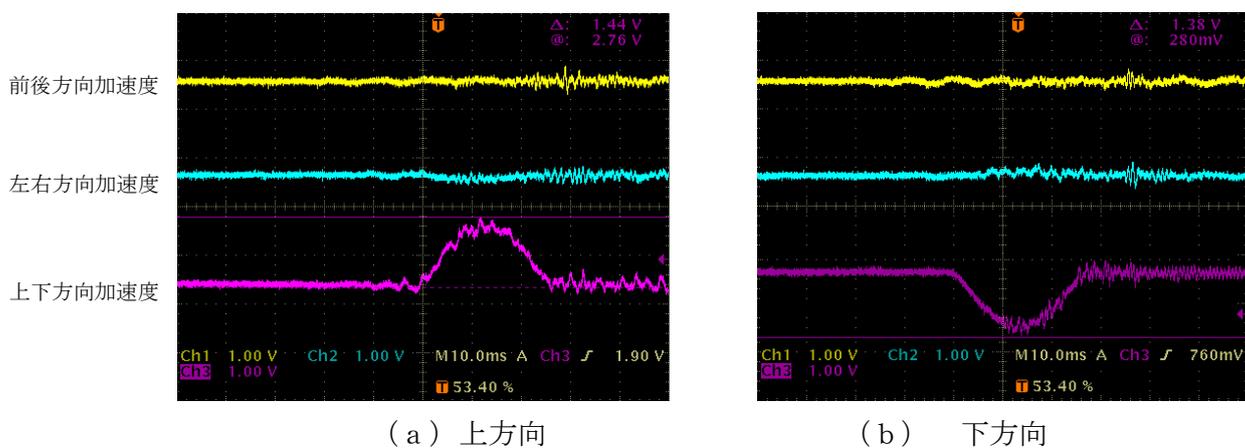


図 3-17 振動・傾斜記録装置 単軸動電式振動試験装置による加速度測定波形(上下方向)

単軸動電式振動試験装置で、 $\pm 2G$ 、 $\pm 4G$ 、 $\pm 8G$ 、 $\pm 16G$ の加速度を振動・傾斜記録装置試作機に与え、加速度センサの出力波形のピーク値をプロットしたグラフを図 3-18 に示

す。本グラフにより、加速度センサの出力波形のピーク値は、振動・傾斜記録装置試作機に与えられる加速度に比例した電圧が観測されており、振動・傾斜記録装置試作機で、±16Gの加速度が観測できている。

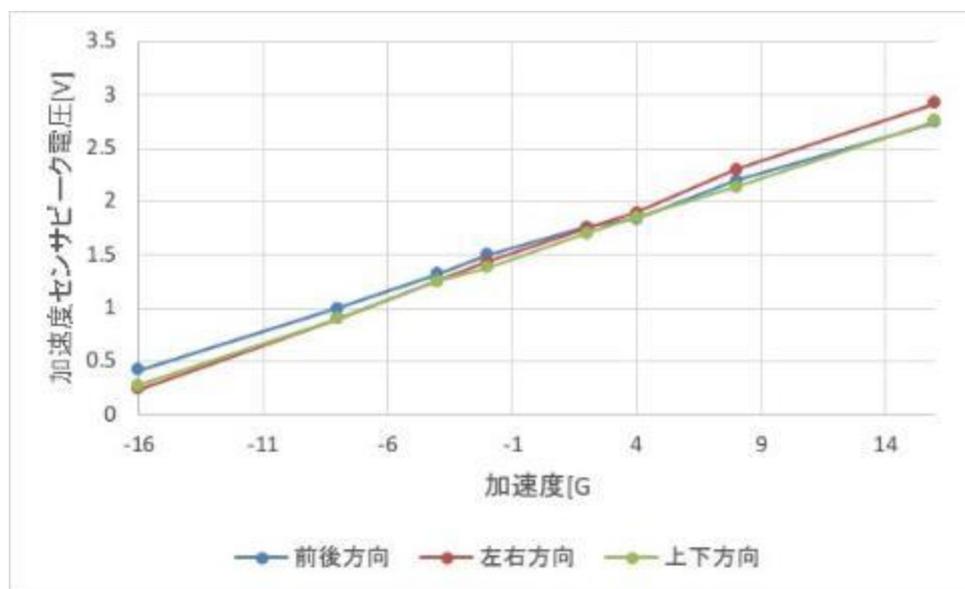


図 3-18 振動・傾斜記録装置 単軸動電式振動試験装置による加速度測定

静的加速度測定の一般的な評価方法として、振動・傾斜記録装置の3軸の傾きを可変させ、重力加速度 1[G]を計測する方法がある。振動・傾斜記録装置を傾けた角度を θ とすると、そのときに、観測される加速度の理論値は、 $\sin \theta$ [G]で表され、理論値の差を測定誤差として、評価を行った。傾けた角度 θ は、別の基準の傾斜測定機の値を理論値とした。

本方法での試作機の評価結果として、前後方向の加速度測定を評価した結果を図 3-19 振動・傾斜記録装置 前後方向加速度測定 評価結果、左右方向の加速度測定を評価した結果を図 3-20 振動・傾斜記録装置 左右方向加速度測定 評価結果、上下方向の加速度測定を評価した結果を図 3-21 振動・傾斜記録装置 上下方向加速度測定 評価結果に示す。

評価した範囲内での加速度測定の誤差は、前後方向が-0.7/+2.1%、左右方向が-2.5/2.3%、上下方向が-1.7/+2.5%で、仕様の±3%を満足している。本測定結果は加速度センサのデータ値を実測実験で確認したが、メーカーデータシートの性能を満たすことが確認でき、目標値は設計上可能であることが実証できた。

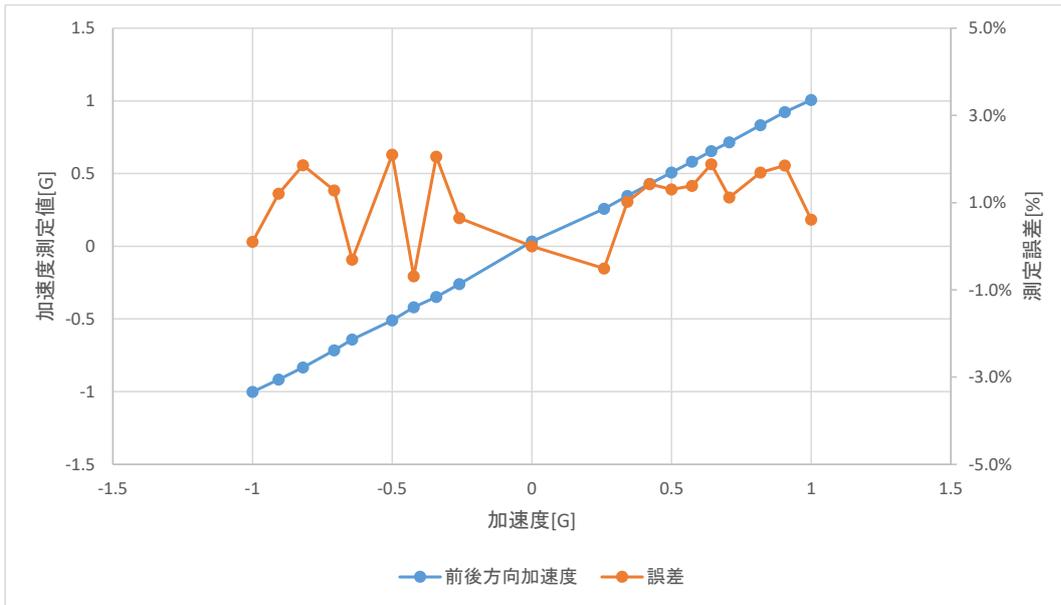


図 3-19 振動・傾斜記録装置 前後方向加速度測定 評価結果

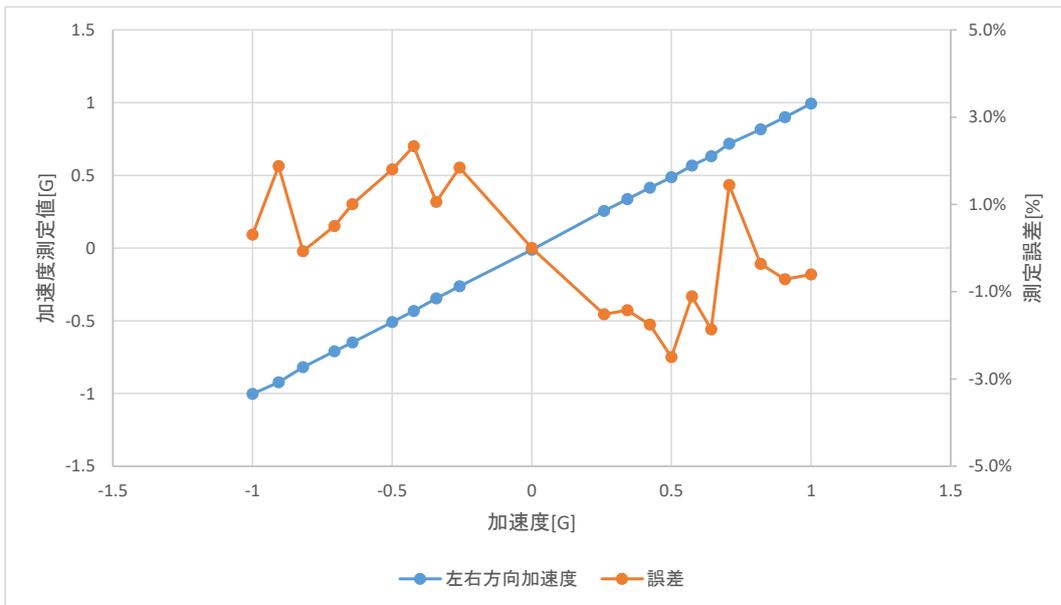


図 3-20 振動・傾斜記録装置 左右方向加速度測定 評価結果

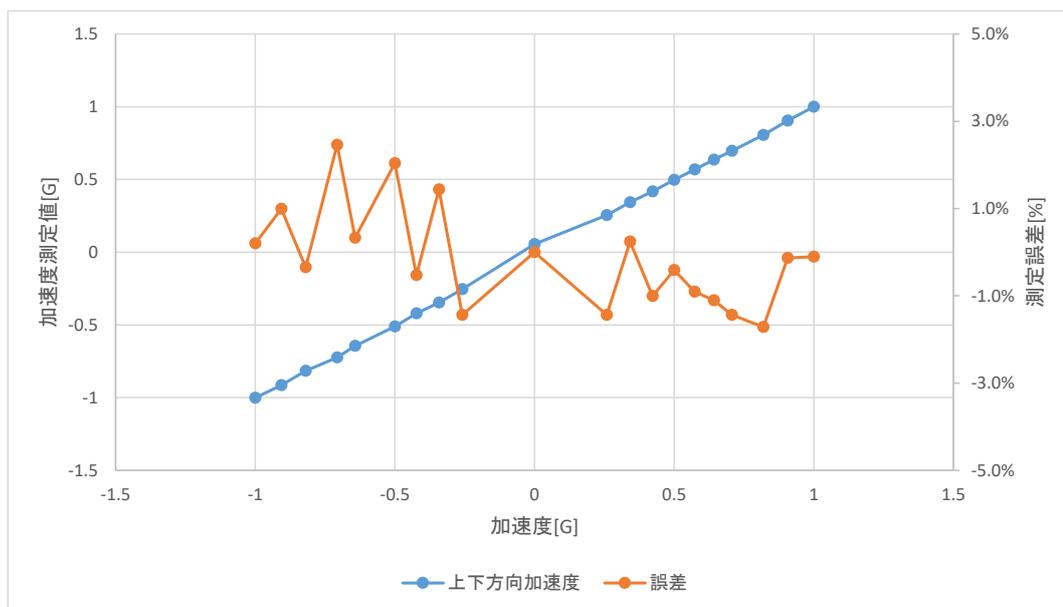


図 3-21 振動・傾斜記録装置 上下方向加速度測定 評価結果

3.5.3 傾斜測定評価結果

傾斜測定は、振動・傾斜記録装置の2軸の傾きを可変させて評価した。振動・傾斜記録装置が測定した角度と実際に装置を傾けた角度との差を誤差とした。傾けた角度は、別の基準の傾斜測定機の値を理論値とした。高精度な傾斜を与える装置が評価機関には、無かったため、止むを得ず今回傾斜の設定精度を±1度で行った。その結果、前後方向の傾斜測定の評価結果を図 3-22 振動・傾斜記録装置 前後方向傾斜測定 評価結果、左右方向の傾斜測定の評価結果を図 3-23 振動・傾斜記録装置 左右方向傾斜測定 評価結果に示す。前後方向の傾斜に関して、負の方向は、前方が後方よりも、下がった向きを示す。また、左右方向の傾斜に関して、負の方向は、右方が左方よりも、下がった向きを示す。前後方向の傾斜の誤差は、-0.84～+0.48度、左右方向の傾斜は、-0.96～0.87度となった。

本年度目標の傾斜精度±0.1度から外れるが、精度が±0.4度の傾斜センサにおいて、16回の測定を行い、その平均を取ったところ、精度を±0.1度(= ±0.4 / √16)に向上させることが可能であることを確認した。

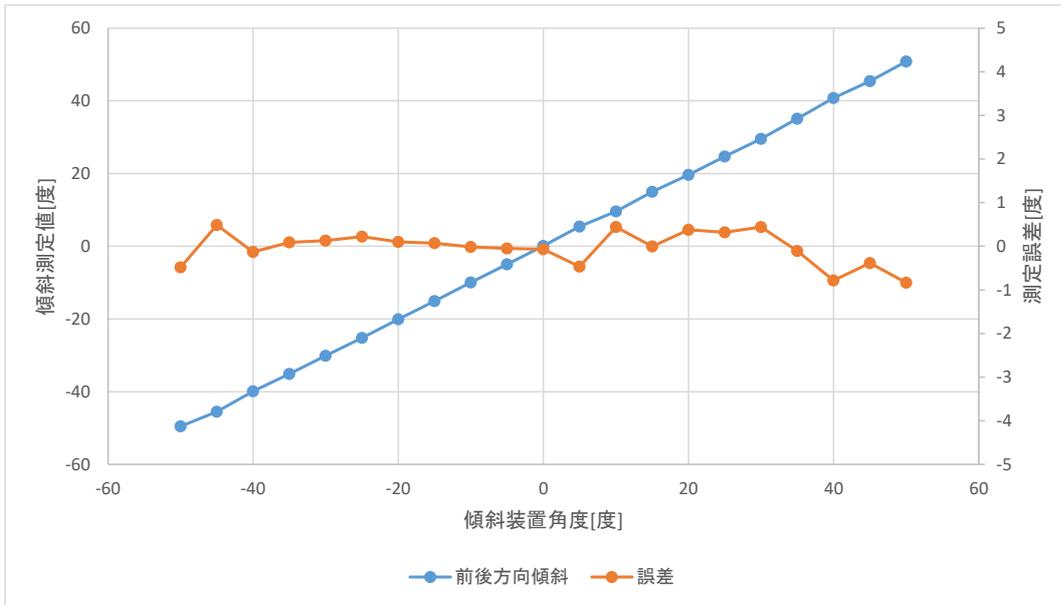


図 3-22 振動・傾斜記録装置 前後方向傾斜測定 評価結果

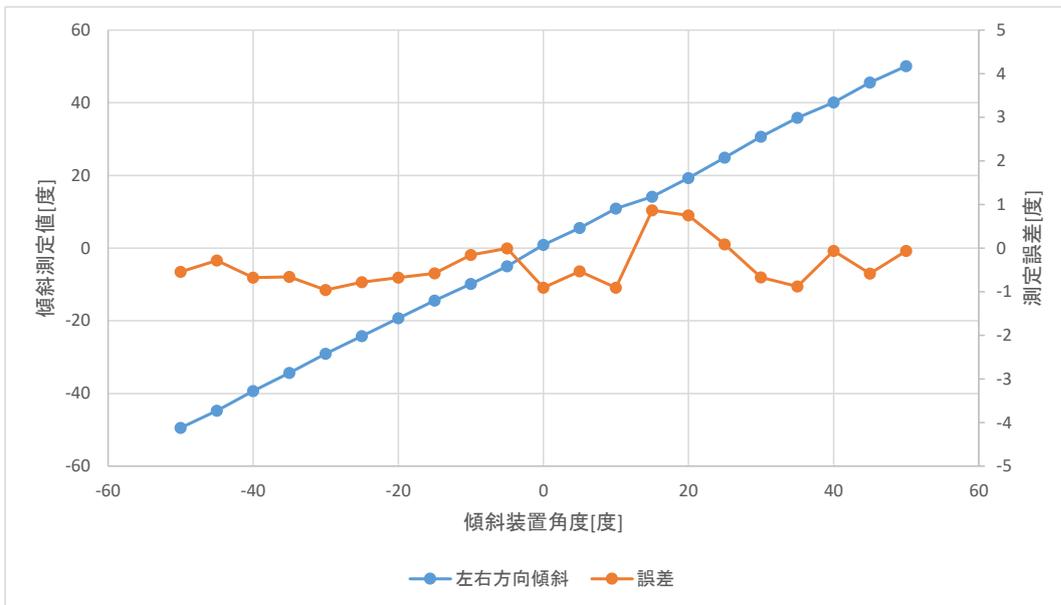


図 3-23 振動・傾斜記録装置 左右方向傾斜測定 評価結果

3.5.4 温度、湿度測定評価結果

温度、湿度測定は、振動・傾斜記録装置を恒温槽内に入れて、恒温槽内の温度湿度を可変して、その時の振動・傾斜記録装置で、測定した。振動・傾斜記録装置を恒温槽に入れたときの写真を図 3-24 振動・傾斜記録装置 温度測定環境写真に示す。



図 3-24 振動・傾斜記録装置 温度測定環境写真

温度測定の評価は、4時間かけて、恒温槽内温度を -20°C から、 80°C を直線的に変更させ、その時の恒温槽のモニタ値を理論値として、振動・傾斜記録装置で測定された測定値との差を誤差とした。

温度測定の測定結果を図 3-25 振動・傾斜記録装置 温度測定 評価結果に示す。装置動作範囲の $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ 範囲で、仕様の誤差範囲 1 度以内で測定できていることが確認できた。

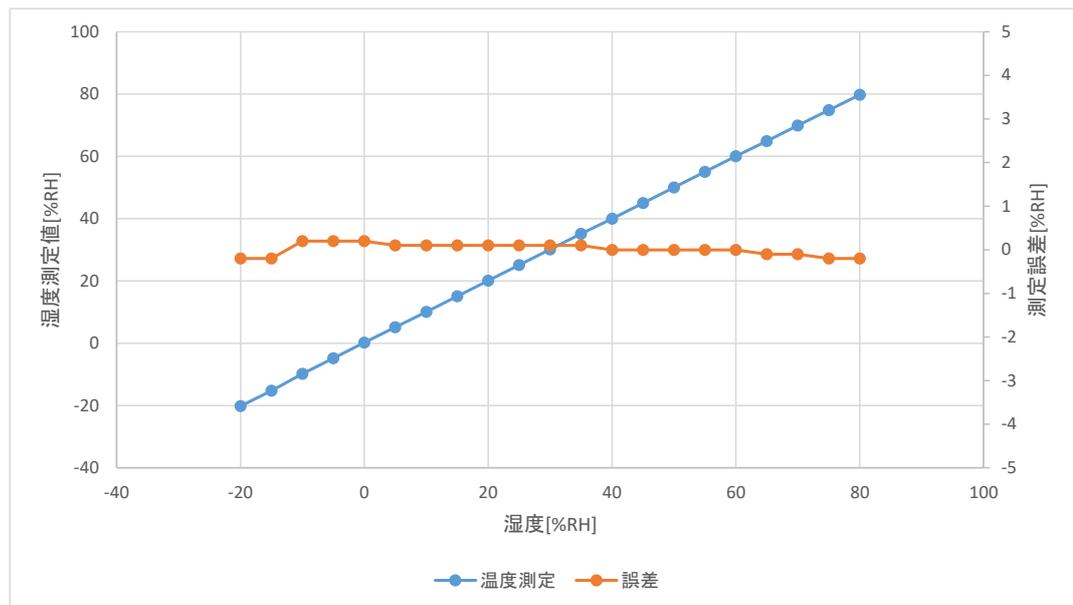


図 3-25 振動・傾斜記録装置 温度測定 評価結果

湿度測定の評価は、80℃、25℃で、それぞれ、湿度を0～100%で、10%単位で、可変させた。湿度モニタで、10分設定湿度で安定したときに振動・傾斜記録装置で測定された測定値を測定結果とした。恒温槽のモニタ値を理論値として、振動・傾斜記録装置で測定された測定値との差を誤差とした。

湿度測定で、周囲温度が25℃のときに測定したときの評価結果を図 3-26 振動・傾斜記録装置 湿度測定 評価結果 (25℃のとき)、80℃のときの測定した結果を図 3-27 振動・傾斜記録装置 湿度測定 評価結果 (80℃のとき) に示す。いずれの周囲温度でも、誤差仕様の±3%RH 以内で測定できていることが確認できた。

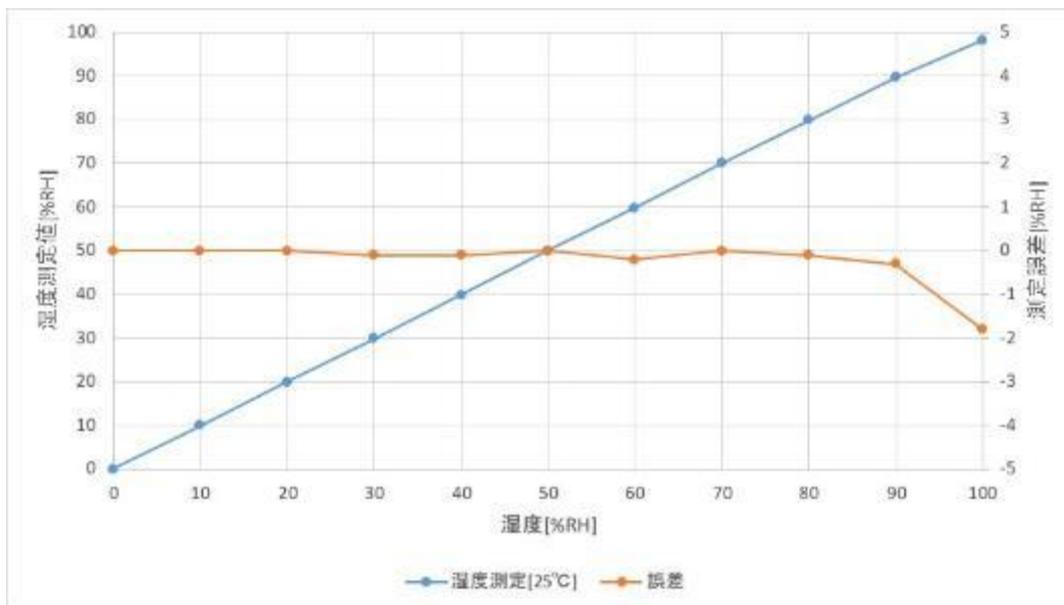


図 3-26 振動・傾斜記録装置 湿度測定 評価結果 (25℃のとき)

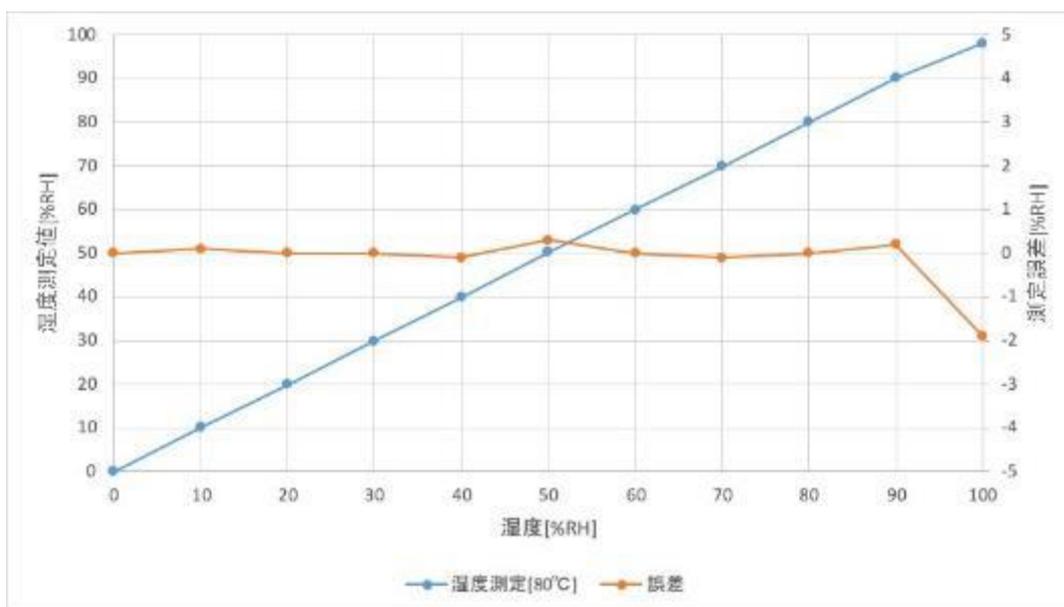


図 3-27 振動・傾斜記録装置 湿度測定 評価結果 (80℃のとき)

振動・傾斜記録装置試作機の評価結果のまとめを表 3-9 に示す。船舶の傾斜、振動、環境のデータを採取するには、十分な精度があると考えられる。

表 3-9 振動・傾斜記録装置試作機 評価結果まとめ

測定	項目	仕様	設計値	評価結果	備考
加速度	測定範囲	±16G	±16G	—	
	精度	±3%	±0.1%	-0.7%	前後方向/加速範囲 1G
				+2.1%	
				-2.5%	左右方向/加速範囲 1G
				+2.3%	
				-1.7%	上下方向/加速範囲 1G
				+2.5%	
傾斜	測定範囲	最大±50度	最大±50度	±50度	
	精度	±0.1度	±0.1度	-0.09度	前後方向
				+0.09度	
				-0.09度	左右方向
				+0.09度	
温度	測定範囲	-20～80℃	-20～80℃	-20～80℃	
	分解能	±1℃	±0.4℃	-0.96℃	
				+0.87℃	
湿度	測定範囲	0%～100%RH	0%～100%RH	0%～100%RH	温度条件 25℃, 80℃
	精度	±3%RH	±3%RH	-1.9%RH	温度条件 25℃, 80℃
				+0.3%RH	
電源仕様	電源電圧	AC100V -6%/+10%	AC90～264V	AC100V	
インターフェース仕様	無線通信	IEEE 802.11b/g/n	IEEE 802.11b/g/n	IEEE 802.11b/g/n	
	有線通信	10/100/1000BASE-T 1ポート	10/100/1000BASE-T 1ポート	10/100/1000BASE-T 1ポート	
USB	USB2.0 2ポート	USB2.0 2ポート	USB2.0 2ポート		
ストレージ	ストレージ	SD Card(32GB)	SD Card(32GB)	SD Card(32GB)	
動作環境	動作範囲	-20～80℃	-20～80℃	-20～80℃	
		0%～100%RH	0%～100%RH	0%～100%RH	
ケース仕様	防水仕様	IP54以上	IP54以上	IP54以上	
	材質	金属(塗装)	金属(塗装)	金属(塗装)	
	サイズ	180mm x 200mm x 60mm	180mm x 200mm x 60mm	180mm x 200mm x 60mm	

3.5.5 実験船（自動車専用船 BELUGA ACE 1番船）試作機の実船評価結果
実際に振動・傾斜記録装置で、測定が行えるかを確認するために、商船三井様の協力を
得て、同社が所有する自動車専用船（BELUGA ACE 1番船）の船舶内に実際に振動・傾斜記
録装置を設置し試験を行った。試験概要は以下である。

【調査日時】 2018年2/5（月）～ 2/8（木）

【調査場所】 大分県沖

【実験船】 商船三井様 自動車専用船 BELUGA ACE 1番船

【試験目的】 振動・傾斜記録装置が実船でデータを取得できることを確認する

振動・傾斜記録装置を設置した場所は、No.1カーデッキの前方と後方の2カ所とし
た。理由としては、その付近に、船舶内の電源が配置されていること、実験船のカー
デッキで最上位デッキであり、船の揺れが最も測定されることが想定されたためであ
る。実際に、設置した場所を図3-28に示す。

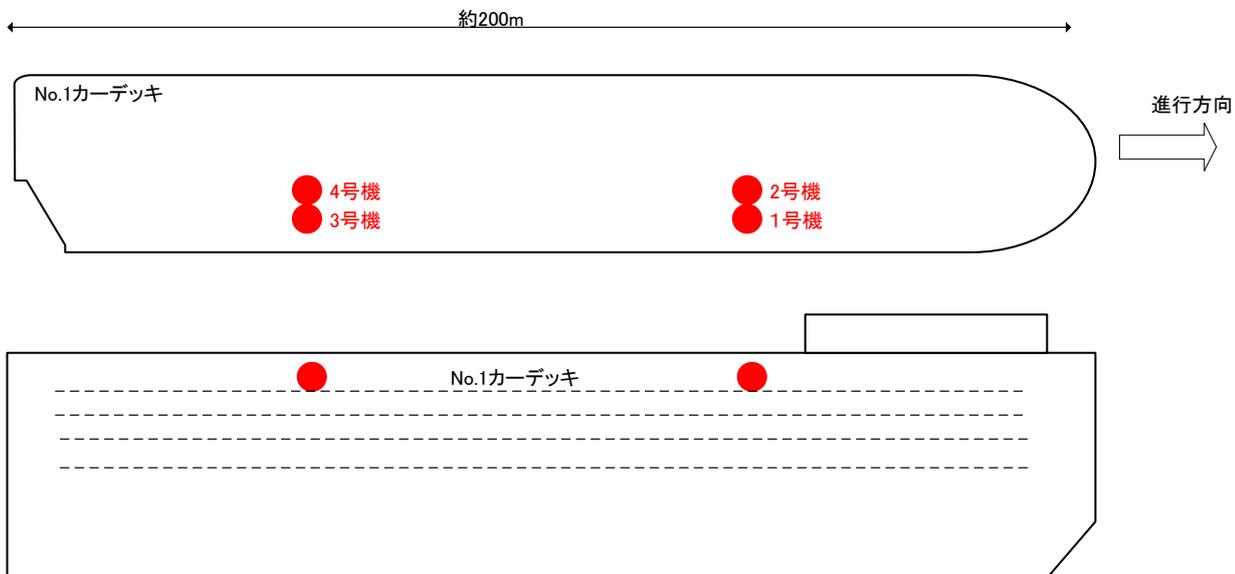


図 3-28 振動・傾斜記録装置 設置場所

振動・傾斜記録装置を設置するにあたり、前方には1号機と2号機、後方には3号機、
4号機というように、それぞれ2台の振動・傾斜記録装置を隣り合わせて設置した。この
ことにより、隣り合わせて設置した2台の振動・傾斜記録装置のデータを比較し、問題な
く、測定できているかを検証できる。振動・傾斜記録装置の電源は、実験船からの電源を
使用し、船舶内の電源で問題なく、測定できることを確認する。振動・傾斜記録装置を設

置した状態の写真を図 3-29 振動・傾斜記録装置 設置写真に示す。



図 3-29 振動・傾斜記録装置 設置写真

このように振動・傾斜記録装置の試作機を設置し、約 75 時間測定を行った。今回、測定された結果を以下に記載する。

加速度データは、膨大なデータ量となるため、3 日間採取したデータの中でも、変化の大きかった 150 分間をグラフにした。この 150 分間に実験船は、およそ以下のような動きをした。

開始から 18 分	:	通常運航
18 分から 65 分	:	速度を上げ、舵を左右に切る
65 分	:	左舷方向に 22 度で傾く
65 分以降	:	主機関停止

このときの加速度測定の評価結果として、前後方向の加速度測定結果を図 3-30 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(前後方向 加速度測定)、左右方向の加速度測定結果を図 3-31 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(左右方向 加速度測定)、上下方向の加速度

測定結果を図 3-32 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(上下方向 加速度測定)に示す。これらの測定データは、センサから出力される測定データをそのまま表示している。4 台の加速度の測定データは、ほぼ同じようなデータが採取できた。上下方向は、重力加速度を測定しているため平均値が約 1G、左右方向、前後方向は、測定軸が水平となっているため平均値が 0G となっている。

図 3-31 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(左右方向 加速度測定)において、65 分において、左右方向の加速度の大きさが大きく変動しているが、船が左右方向に傾き、その時の重力が測定されているものである。ただし、重力が測定されているため、加速度の値が大きいからといって、瞬間的な衝撃が加わったものとはならない。

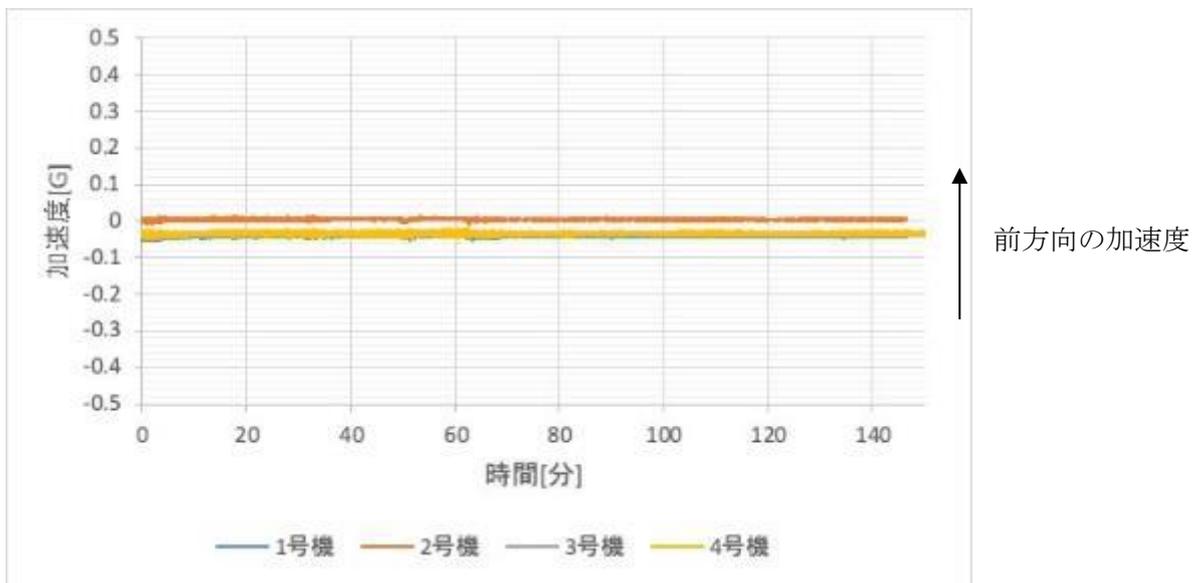


図 3-30 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(前後方向 加速度測定)

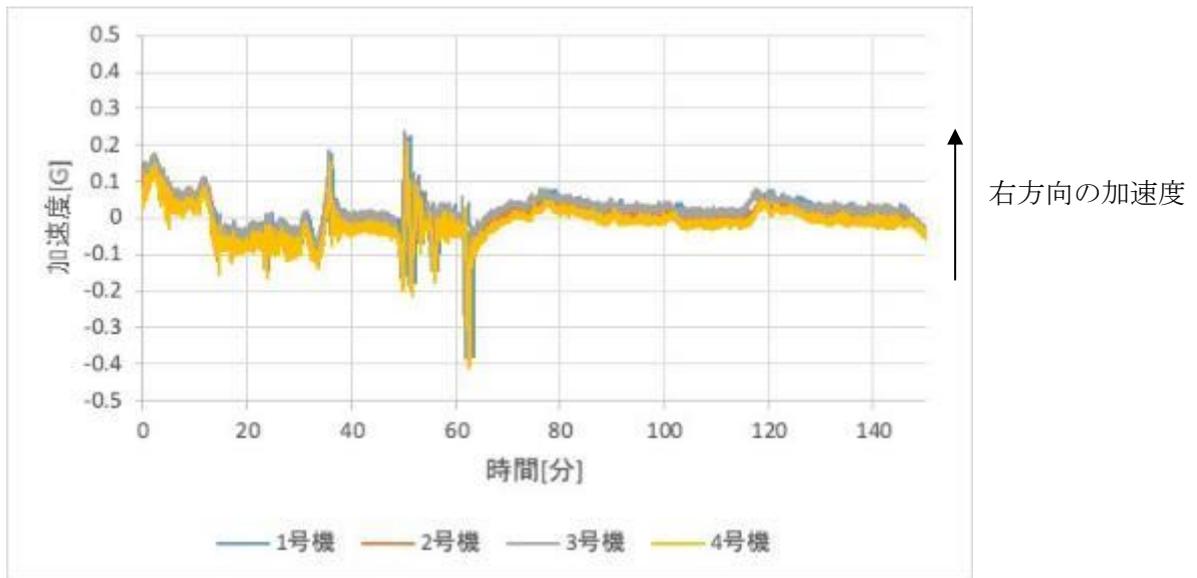


図 3-31 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(左右方向 加速度測定)

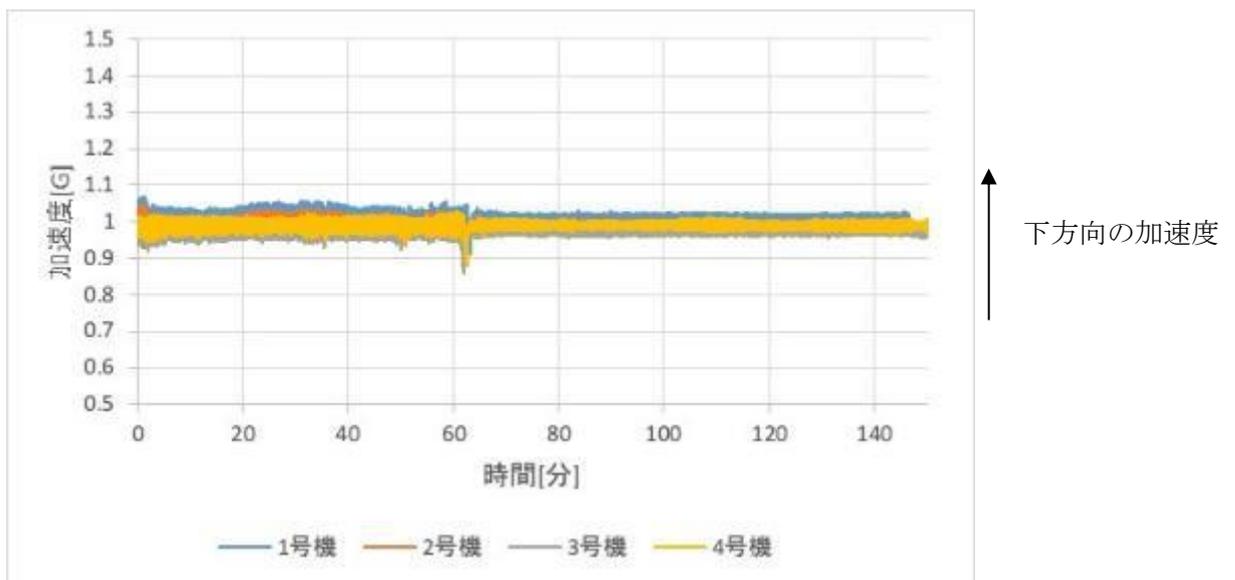


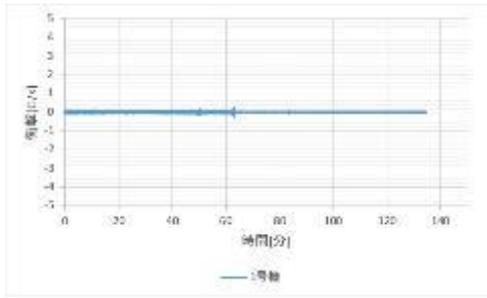
図 3-32 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(上下方向 加速度測定)

衝撃の考え方として、瞬間的に加速度が変化した量と考える。連続して取り込んだ加速度測定データの差分をとり、1秒あたりの加速度測定データの変化量に換算した値を衝撃と定義する。衝撃の評価結果として、前後方向の衝撃を図 3-33 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(前後方向衝撃)、左右方向の衝撃を図 3-34 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(左右方向衝撃)、上下方向の衝撃を図 3-35 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(上下方向衝撃)に示す。衝撃でグラフに表すことで、加速度測定データでは、読み取れなかった設置場所による波形の差が見える。例えば、船舶の前方に配置した1号機の左

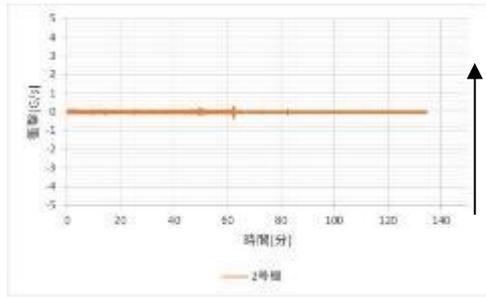
右方向の衝撃データ図 3-34 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(左右方向衝撃) (a)、と、船舶の後方に配置した 3 号機の左右方向の衝撃データ図 3-34 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(左右方向衝撃) (c) を比べると、3 号機のほうが、衝撃の振れ幅が大きく、船舶の後方に配置されている主機関の影響を受けていることが分かる。

前後方向の衝撃、左右方向の衝撃、上下方向の衝撃の波形を比較すると、前後方向の衝撃と左右方向の衝撃に比べて、上下方向の衝撃が大きいことが分かる。これは、振動・傾斜記録装置試作機を、No.1 カーデッキの床が上下に振動しているためであると考えられる。

前後方向の衝撃、左右方向の衝撃、上下方向の衝撃の波形で、いずれも 6 5 分を境にして、6 5 分前は衝撃が大きく、6 5 分以降は衝撃が小さくなっていることがグラフから分かる。これは実験船の主機関が、6 5 分以降は停止しているためである。このことから、今回の振動・傾斜記録装置は、船舶の状態を監視に十分な衝撃の測定性能を持っていることが確認できる。

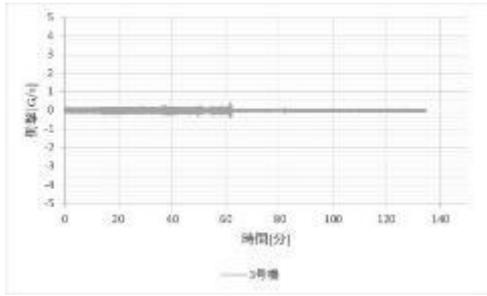


(a) 1号機

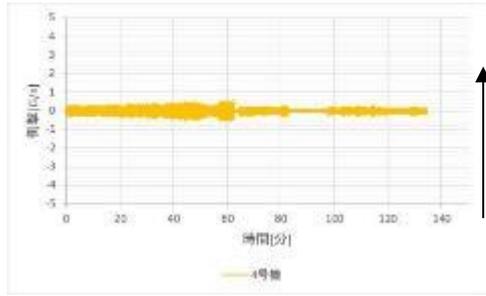


(b) 2号機

前方向の衝撃



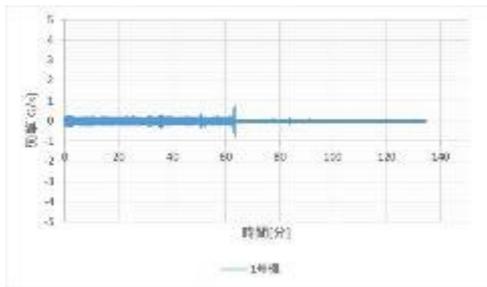
(c) 3号機



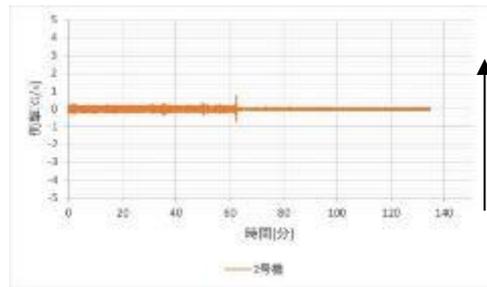
(d) 4号機

前方向の衝撃

図 3-33 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(前後方向衝撃)

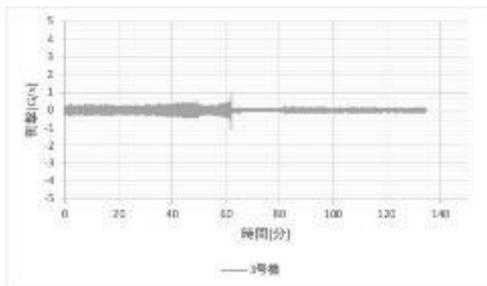


(a) 1号機

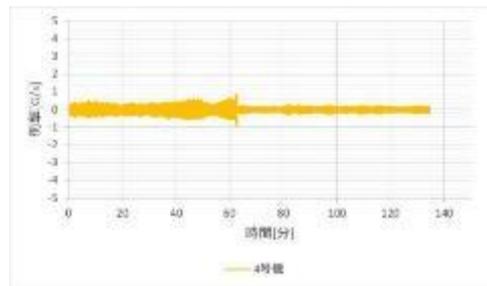


(b) 2号機

左方向の衝撃



(c) 3号機



(d) 4号機

左方向の衝撃

図 3-34 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(左右方向衝撃)

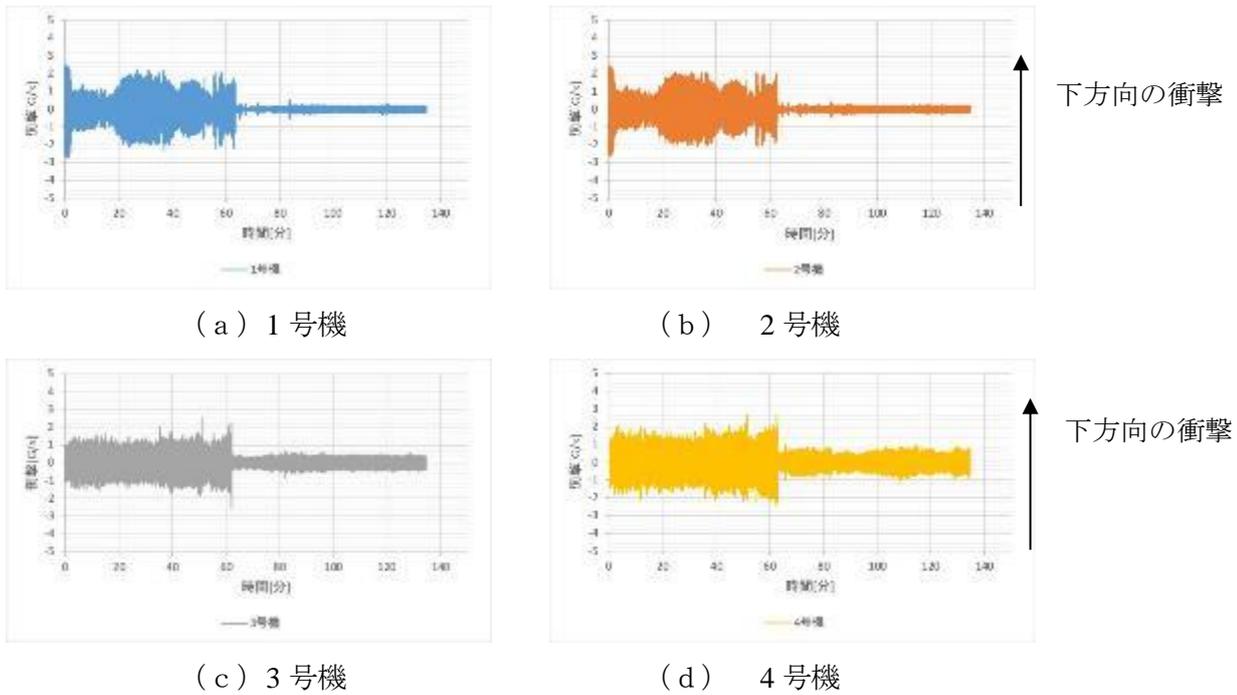


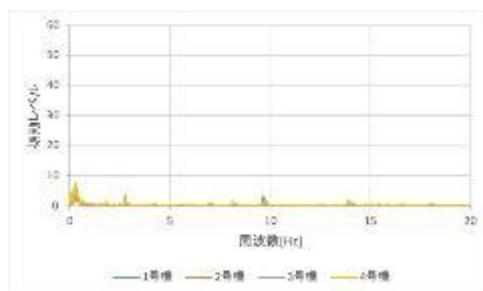
図 3-35 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(上下方向衝撃)

加速度測定データに対してFFT(Fast Fourier Transform)演算行くと、取得した加速度の時間軸データを周波数軸データに変換できる。加速度測定データのFFT演算を測定開始から20分後の通常運航時、60分後の速度上昇時、100分後の主機関停止時に対して行った。FFT演算は通常運航時、速度上昇時、主機関停止時のそれぞれ1024点を抽出し、演算を行った。20ミリ秒間隔の1024点の測定データをFFT演算するため、20MHz以下で、0.049Hzの分解能で周波数軸データに変換できる。FFT演算結果として、測定開始から20分後の通常運航時のFFT演算結果を図3-36 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度FFT演算結果 通常運航時)、60分後の速度上昇時のFFT演算結果を図3-37 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度FFT演算結果 速度上昇時)、100分後の主機関停止時のFFT演算結果を図3-38 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度FFT演算結果 主機関停止時)に示す。

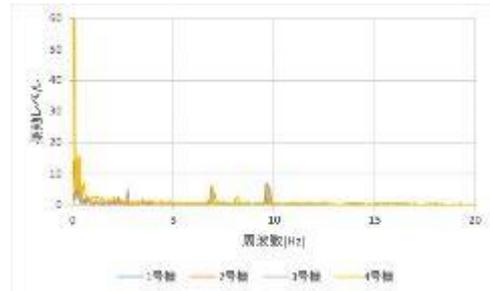
測定開始から20分後の前後方向のFFT演算結果図3-36(a)と左右方向のFFT演算結果図3-36 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度FFT演算結果 通常運航時)(b)は、周期的な振動が少なく、上下方向のFFT演算結果図3-36 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度FFT演算結果 通常運航時)(c)には、10MHz弱で大きな振動が発生していることが分かる。これは、主機関の影響による振動と考えられる。また、速度を上げれば、測定開始から60分後の上下方向のFFT演算結果図3-37 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度FFT演算結果 速度上昇時)(c)のように振動の周波数が11Hzと高くなり、振動の大きさも大きくなる。主機関停止時には、測定開始から100分後のFFT演算結果図3-38 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度FFT演算結果 主機関停

止時) (c) をみると、10MHz 付近にあった振動がなくなり、主機関が停止していることが波形から分かる。

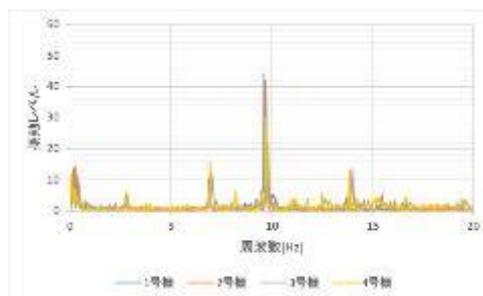
前述の振動測定に関する要求仕様表 7-3 で、主機関の振動周波数として、 $\sim 10\text{MHz}$ としたが、実験船の評価で問題なく測定できていることが確認できた。詳細な波形の解析については、平成30年度の実施項目であるデータ収集/解析サーバーアプリケーション試作設計にて課題として取り組む予定である。



(a) 前後方向

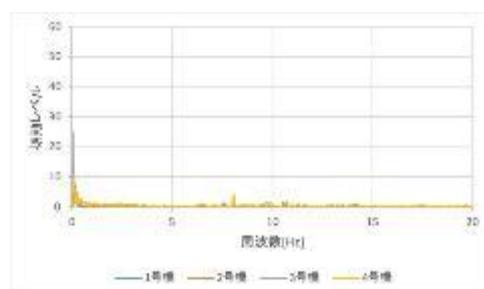


(b) 左右方向

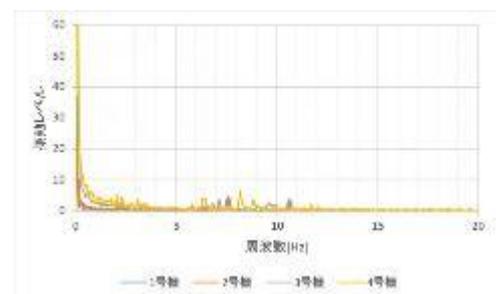


(c) 上下方向

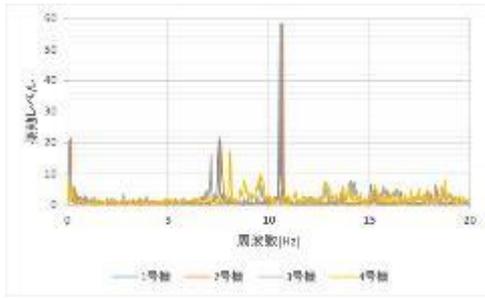
図 3-36 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度 FFT 演算結果 通常運航時)



(a) 前後方向

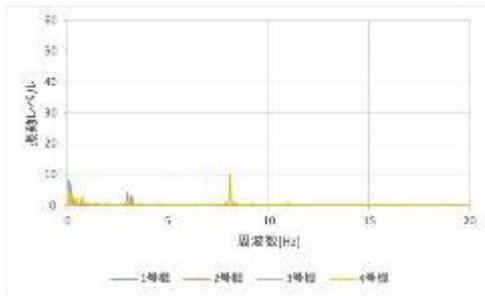


(b) 左右方向

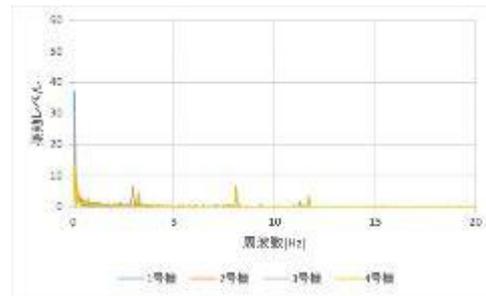


(c) 上下方向

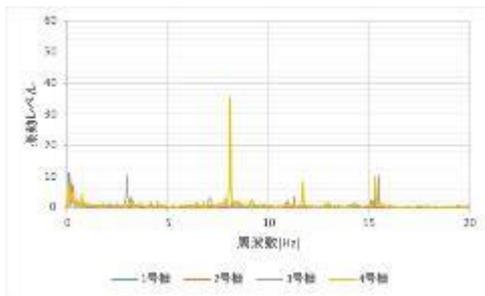
図 3-37 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度 FFT 演算結果 速度上昇時)



(a) 前後方向



(b) 左右方向



(c) 上下方向

図 3-38 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(加速度 FFT 演算結果 主機関停止時)

次に、傾斜測定の評価結果として、前後方向の傾斜測定の評価結果を図 3-39、左右方向の傾斜測定の評価結果を図 3-40 に示す。前後方向の傾斜測定の評価結果を図 3-39 と左右方向の傾斜測定の評価結果を比較すると、左右方向の傾きに比べて、前後方向には、ほとんど、傾かないことが分かる。今回、設置した 4 台の振動・傾斜記録装置は、ほぼ同じ測定データが得られ、左右方向には、最大 22 度程度の傾きが測定された。

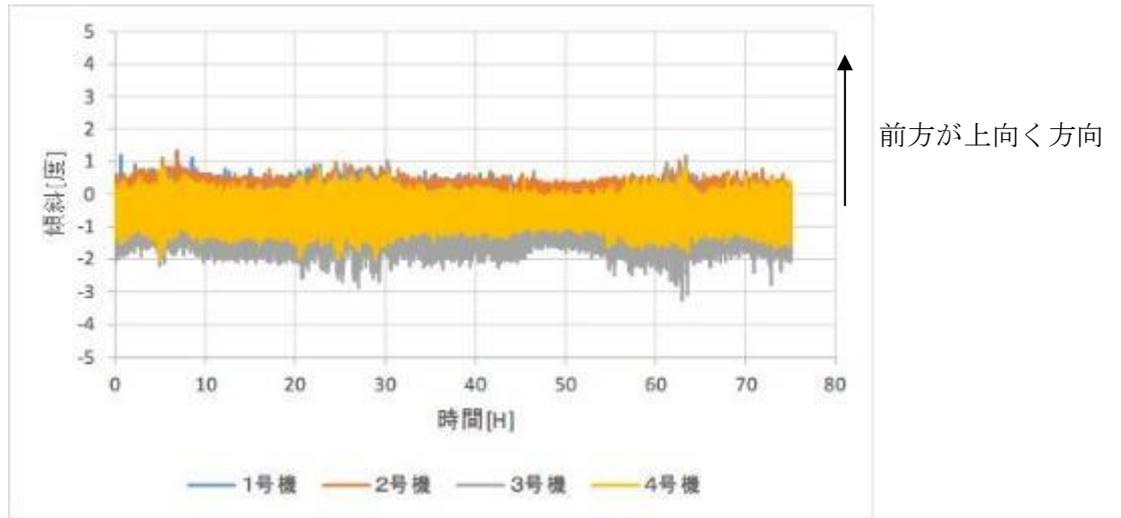


図 3-39 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(前後方向傾斜)

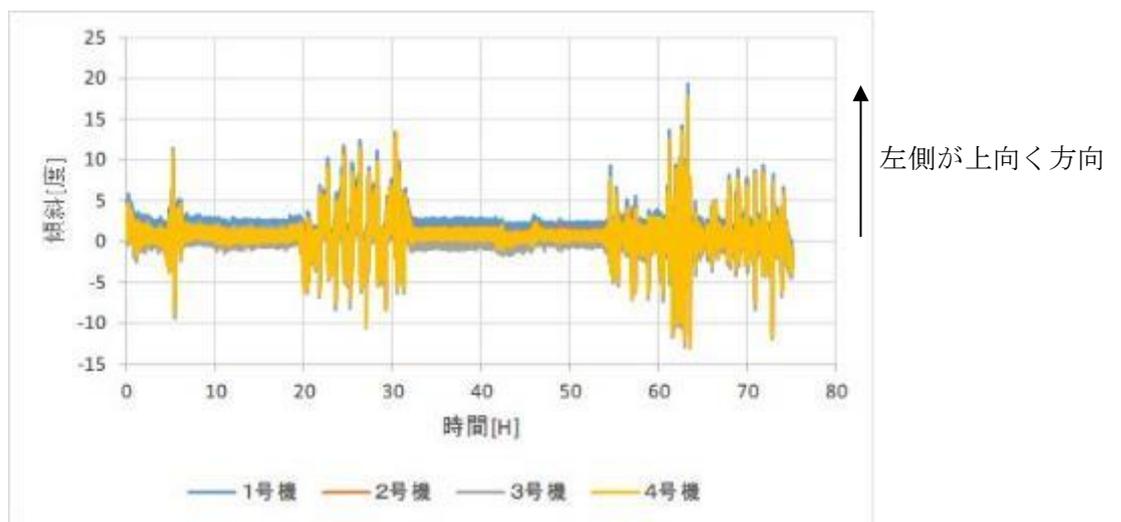


図 3-40 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(左右方向傾斜)

船舶内温度の評価結果を図 3-41 に示す。隣り合っている振動・傾斜記録装置、1号機と2号機、3号機と4号機は、ほぼ同じ測定結果となっている。船の状況によって、前方と後方とで、最大約3℃の温度差があることが確認できる。

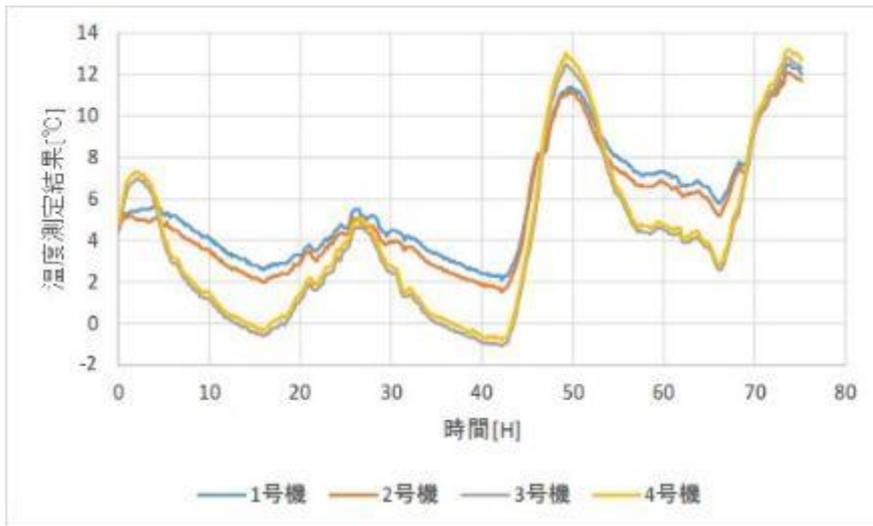


図 3-41 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(温度測定)

船舶内湿度の評価結果を図 3-42 に示す。温度と同様に、隣り合った振動・傾斜記録装置の湿度測定結果は、ほぼ同じ結果が得られ、測定が正しく行われていることが確認できる。

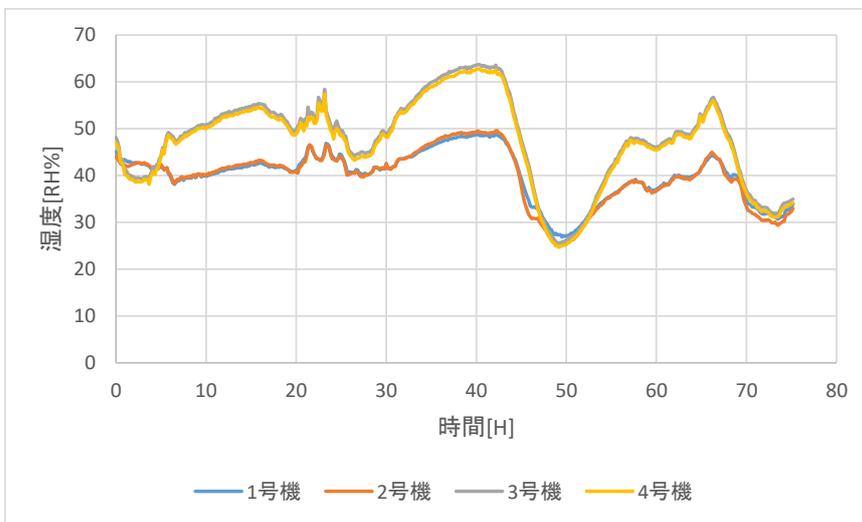


図 3-42 振動・傾斜記録装置 実験船評価結果(湿度測定)

今回、実際に振動・傾斜記録装置を実験船に設置し、データを採取することで、今回試作した振動・傾斜記録装置の測定データが船舶の状態を監視できるデータが採取できていることを確認できた。

3.5.6 船舶内ネットワーク環境調査

データ取得方式として今回選択をした WiFi 船舶内ネットワークに関して実験船 (BELUGA ACE) 内の環境を調査したので以下に報告する。

【調査日時】 2018 年 2/5 (月)

【調査場所】 大分県沖

【実験船】 商船三井様 自動車専用船 BELUGA ACE 1 番船

【調査目的】

- 各種データを取得するセンサの通信インフラとして、データ取得方式として選択した WiFi 通信の船舶内カバレッジ (通信有効範囲) を確認する。
- 船舶内環境で無線バックホール (無線アクセスポイント間通信) の接続性を確認する。

【調査内容】

- (1) 単一フロアの 2.4GHz 帯アクセスポイント (以下 AP) カバレッジの測定を実施
- (2) 吹き抜けエリアの 2.4GHz 帯 AP カバレッジの測定を実施

【調査結果】

- (1) 単一フロアの 2.4GHz 帯 AP カバレッジの測定結果

概要)

AP1 台 (高さ約 2m : カメラ用三脚を使用) を設置し、センサと接続する 2.4GHz 帯のカバレッジを確認した。その結果を図 3-43 【No1 カーデッキ RSSI 値】※RSSI : 受信信号強度、図 3-44 【No1 カーデッキ SNR 値】※SNR : 信号/雑音比率に示す。

※ 車を積載していない場合のカバレッジ

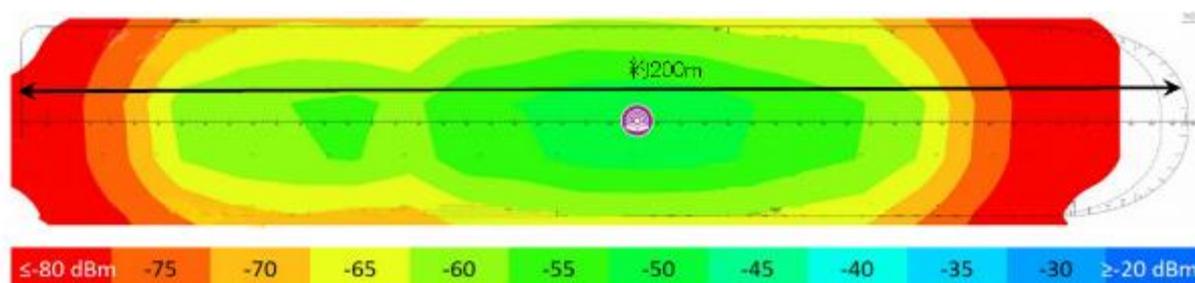


図 3-43 【No1 カーデッキ RSSI 値】※RSSI : 受信信号強度

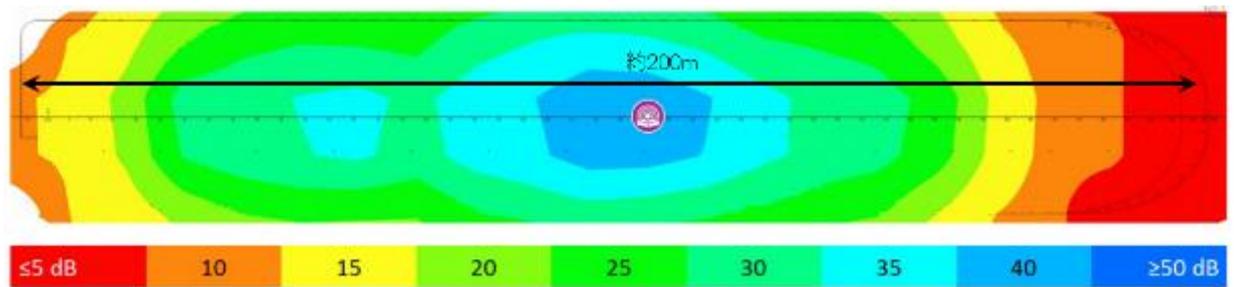


図 3-44 【No1 カーデッキ SNR 値】※SNR：信号/雑音比率

見解)

カーデッキの高さは約 2.4m のため電波の広がりがあまりない。凡例-65dBm (黄色) ぐらいまでの範囲が実質の通信有効範囲のため、全体をカバーするには 2 台以上の AP が必要である。

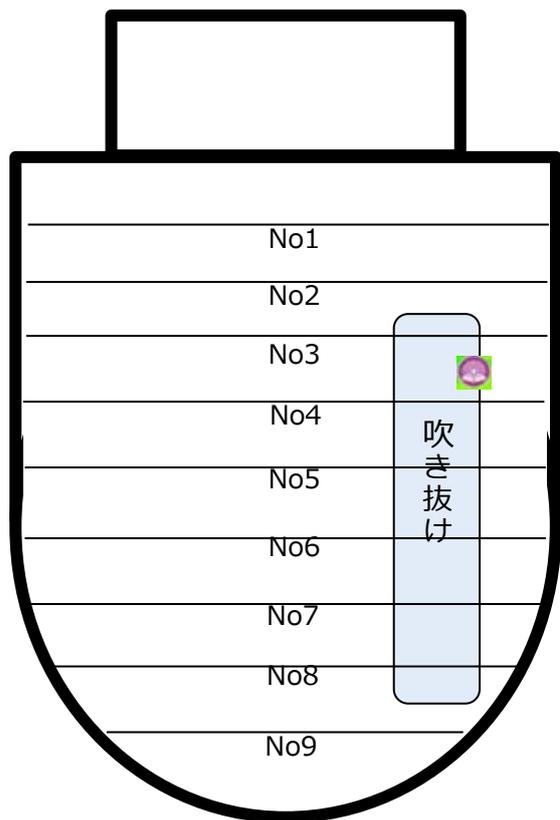
設置場所によっても通信有効範囲は変わるが、更に自動車が積み込まれた場合には高さ方向の制約が予想されるため、AP の台数を増やす、電波に指向性を持たせる (電波放射範囲を通信相手に絞ることによって通信距離を延ばす) 等の検討が必要ある。

(2) 吹き抜けエリアの 2.4GHz 帯 AP カバレッジの測定結果

概要)

No4 カーデッキ～No9 カーデッキの左舷側は各デッキに繋がるスロープ構造になっており、吹き抜けになっている。吹き抜けエリアは電波の広がりが期待できること、センサを各デッキの統一箇所に設置できることから、各カーデッキの吹き抜けエリアを中心にカバレッジを測定する。その結果を図 3-46 【No9 カーデッキ RSSI 値】※RSSI：受信信号強度、図 3-47 【No1 カーデッキ SNR 値】※SNR：信号/雑音比率に示す。

AP は有線ネットワークがある No4 カーデッキの HUB ボックス付近に設置。概略構造と設置場所を図 3-45 カーデッキ吹き抜けイメージ図に示す。



 : 無線 LAN アクセスポイント

図 3-45 カーデッキ吹き抜けイメージ図

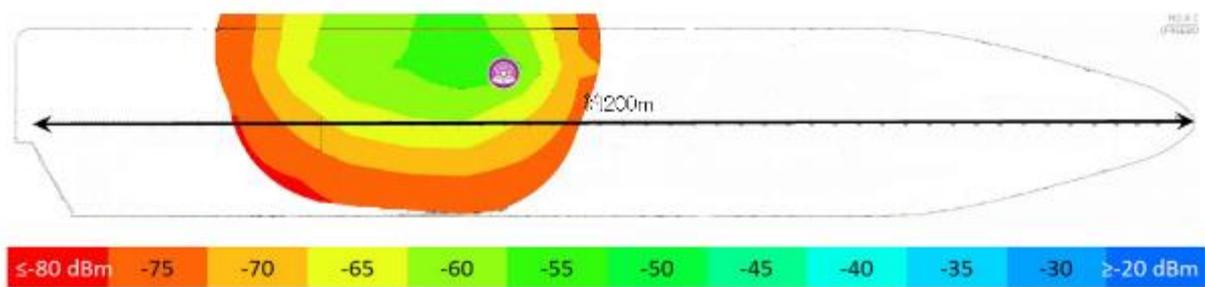


図 3-46 【No9 カーデッキ RSSI 値】※RSSI : 受信信号強度

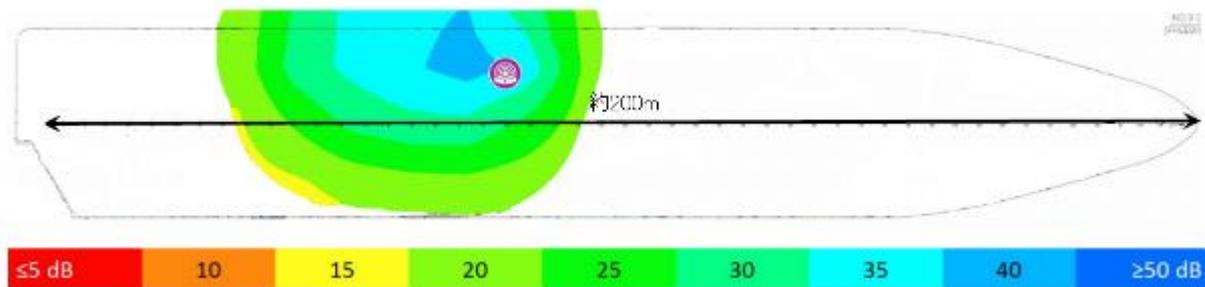


図 3-47 【No1 カーデッキ SNR 値】※SNR : 信号/雑音比率

見解)

AP から視野範囲内にあるカーデッキ部分及び、支柱部分は問題無くカバーができている。

また、吹き抜けエリアは車を積載した場合でも見通しが確保可能な部分があり、センサの設置自由度は高いと考えられる。

但し、以下図 3-48 船舶内信号伝送速度測定（高低差有り）イメージ図および図 3-49 船舶内信号伝送速度測定（高低差無し）イメージ図のように AP 間を無線で接続してデータの送受信帯域（スループット：単位当たりの信号伝送速度）を測定したが論理規格値に比べ低い状況であることが分かった。

[船舶内信号伝送速度測定（高低差有り：複数カーデッキ）結果]

No. 1 カーデッキから No. 2 カーデッキそして No. 3 カーデッキは自動車が昇り降りできるなだらかなスロープになっており、複数階を斜めに貫いている。そこにカメラ三脚を用い各階に計 3 台の AP を設置して、各 AP 間のスループットを測定した結果を以下に示す。

AP 1 → AP 2 の間で 162Mbps/（論理規格値 800Mbps） 距離 30m 高低差 2m
AP 1 → AP 3 の間で 81Mbps/（論理規格値 800Mbps） 距離 30mx2 高低差 2mx2

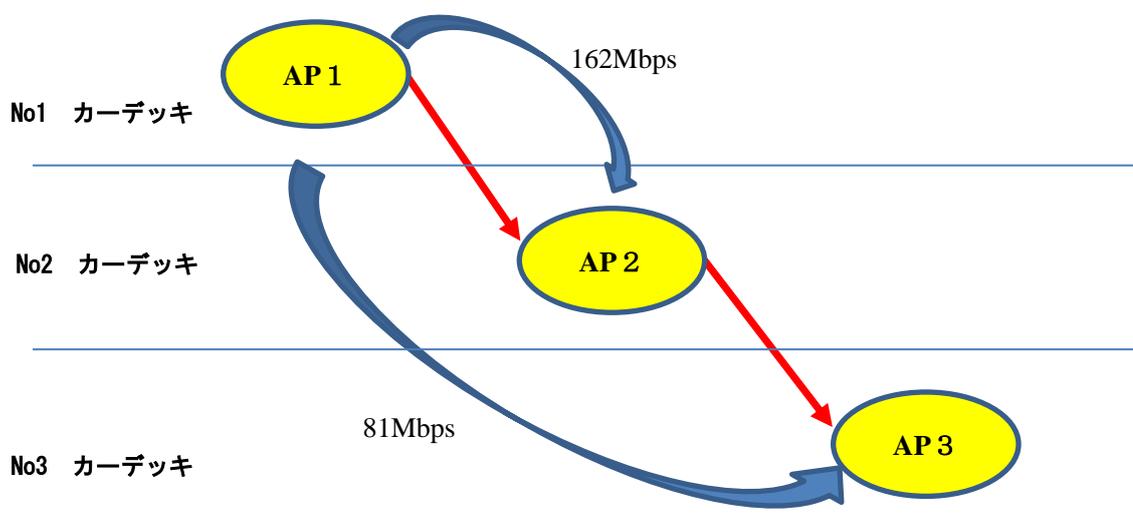


図 3-48 船舶内信号伝送速度測定（高低差有り）イメージ図

[船舶内信号伝送速度測定（高低差無し：同一カーデッキ内）結果]

No.1 カーデッキ内にカメラ三脚を用い2台のAPを設置して、AP間のスループットを測定した結果を以下に示す。

AP 1 → AP 2 の間で 121.5Mbps/（論理規格値 800Mbps） 距離 30m

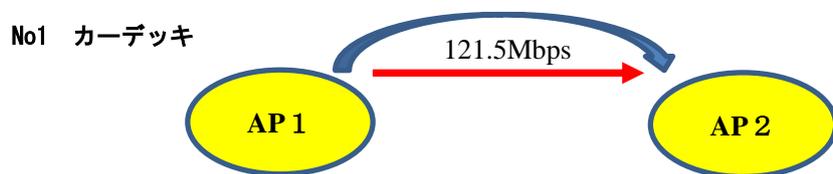


図 3-49 船舶内信号伝送速度測定（高低差無し）イメージ図

【無線ネットワークの課題】

AP間の通信について、AP間のRSSI値は非常に高い値であったが、伝送速度が低くなっていることが分かった。

AP間は約30m、高低差は約2mで条件は悪くなく、ノイズフロア（S/N解説図3-50 S/N解説図参照）を上げる干渉波も確認されていない。金属の反射によるマルチパスフェージング効果（金属の反射によって電波の到達する距離が反射経路によってわずかに変わり、信号到達時間にずれが生じ信号波形がぼやける現象、図3-51 マルチパスフェージング効果解説参照）によって伝送速度を決定するフレームの送受信に失敗し、伝送速度が低くなっていると推測される。

仮にマルチパスフェージング効果が発生している場合、無線LAN接続端末が5GHz帯に接続した際に送受信エラーが発生する可能性がある。

平成30年度の実船実験ではこの現象の解決にも対策を講じていく必要がある。

【S/N（Signal/Noise）解説】

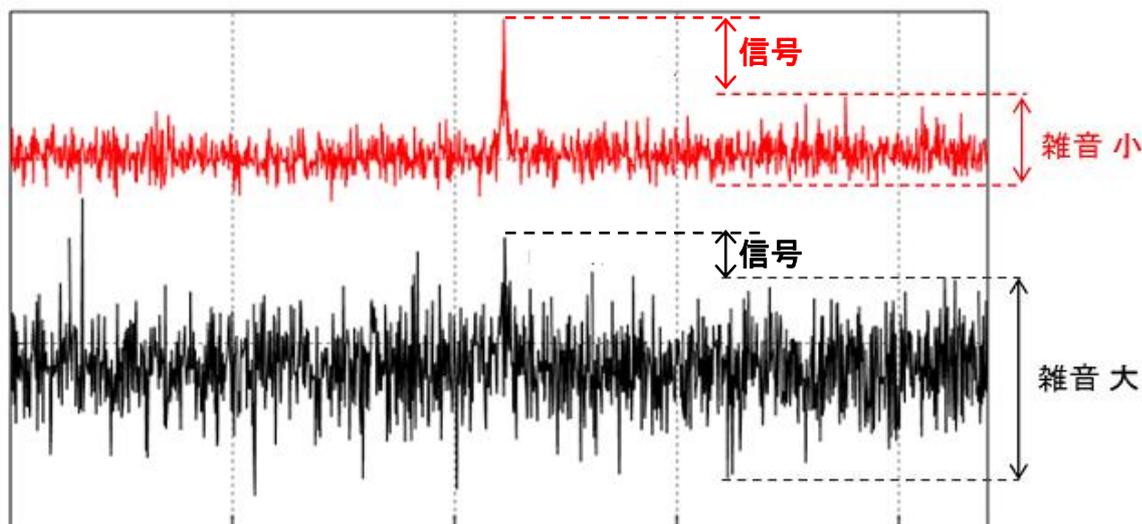


図 3-50 S/N 解説図

同じ信号 (Signal) 強度であっても雑音 (Noise) レベルが大きいと信号強度が低くなってしまふ。

この雑音レベルをノイズフロアと言ひ通信障害の原因としての一つのパラメータとなる。

【マルチパスフェージング効果解説】

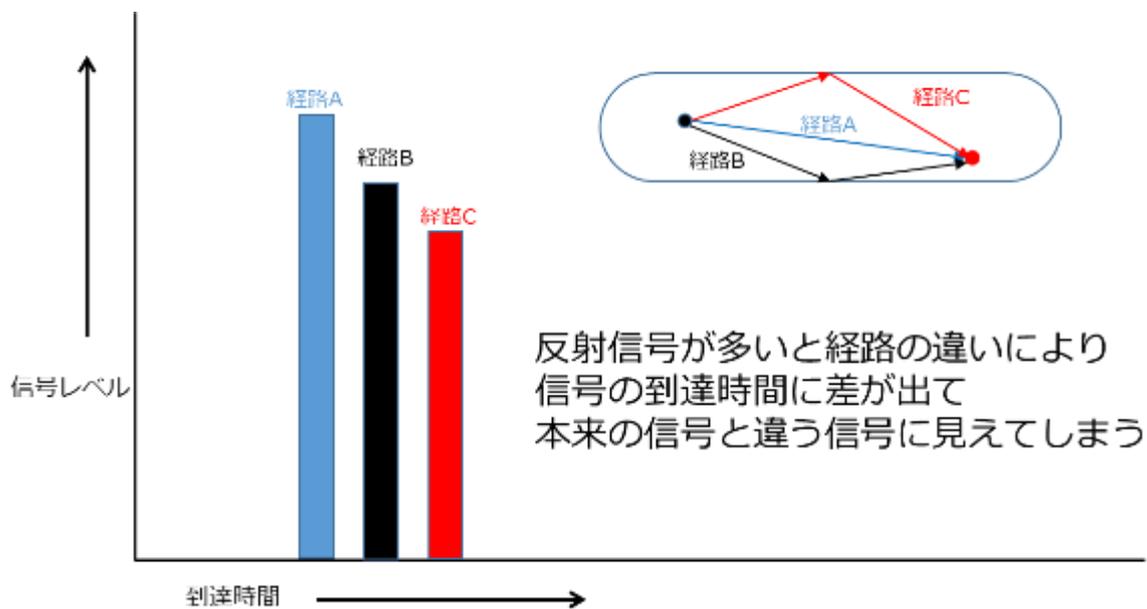


図 3-51 マルチパスフェージング効果解説

4 目標の達成状況

4.1 データ収集の要求調査検証およびデータ取得方式/仕様検討決定

弊社内での調査検討結果を海運事業に豊富な経験を持っている商船三井技術研究所様にレビューいただき、装置として実現すべき仕様の決定ができ、目標が達成できた。

平成29年度の実施内容にデータ収集の要求調査検証結果およびデータ取得方式/仕様検討結果として概略仕様を決定できた。表 4-1 振動・傾斜記録装置概略仕様に振動・傾斜記録装置概略仕様を記載する。

表 4-1 振動・傾斜記録装置概略仕様

大項目	中項目	小項目	仕様
測定仕様	衝撃	加速度	±16G
		分解能	0.05G
		精度	±3%
		測定軸	3軸（前後、左右、上下）
	傾斜	測定範囲	最大±50度
		分解能	0.1度
		精度	0.1度
		測定軸	2軸（前後、左右）
	温度	測定範囲	-20～80℃
		分解能	0.1℃
		精度	1℃
	湿度	測定範囲	0%～100%RH
		分解能	±1%RH
精度		±3%RH	
電源仕様	電源電圧	動作電圧	AC100V -6%/+10%
インターフェース仕様	無線通信	無線 LAN	IEEE 802.11b/g/n
	有線通信	Ethernet	10/100/1000BASE-T 1ポート
	USB	USB	USB2.0 2ポート
ストレージ	ストレージ	—	SD Card(32GB)
動作環境	動作範囲	動作温度範囲	-20～80℃
		動作湿度範囲	0%～100%RH
ケース仕様	防水仕様	—	IP54 以上
	材質	—	金属（塗装）
	サイズ	—	180mm x 200mm x 60mm

4.2 振動・傾斜記録装置を試作設計

- ・データ収集センサ回路

センサ回路用デバイスの選定と回路設計を実施し、基板設計およびセンサ回路を試作実施。

- データ蓄積回路

データ蓄積回路用デバイスの選定と回路設計を実施し、基板設計およびデータ蓄積回路を試作実施。

- データ蓄積制御ソフトウェア

装置の初期化起動を制御し、振動、傾斜センサから取り込み蓄積するソフトウェアの開発を実施し、試作ハードウェアへの実装と動作確認を実施。

- データ送信部ゲートウェイ回路

データ送信部回路用デバイスの選定と回路設計を実施し、基板設計およびデータ送信回路を試作実施。

- データ送信部ゲートウェイ制御ソフトウェア

センサ回路から取り込んだデータをデータ収集/解析サーバーへ送るためのデータフォーマット変換と通信制御ソフトウェアの開発を実施し試作ハードウェアへの実装と動作確認を実施。

試作機を目標の分解能にて設計して評価を行い、データ取得できることを確認した。

5 今後の予定

引き続き平成30年度の実施内容として

5.1 データ収集/解析サーバーアプリケーション試作設計

本年度策定した仕様を基に試作設計を実施する予定。

設計項目を以下に記載する。

- データ収集アプリケーション

データ収集ソフトウェアとそのデータを見える化するデータ加工ソフトウェア（グラフ表示や閾値オーバーのアラーム表示等に利用できるデータを作成）を開発し動作確認を実施。

- データ解析アプリケーション

収集したデータの傾向を機械学習等の手法を用い解析し、運用へ役立つデータへ変換するソフトウェアの開発を実施。

- システム制御設定アプリケーション

ユーザがデータを活用できるようなパラメータ設定制御やデータの見方を変えられるソフトウェアの開発を実施。

- データ表示アプリケーション

見える化のためにグラフや検索、フィルタ表示を実現するソフトウェアの開発を実施。

5.2 実船実験

調査・検討結果を踏まえシステム構築を行うが、実船試験を検討している船種は以下のいずれか、もしくは双方を想定。

(a) 自動車専用船

開発したシステムの動作実験を実船にて実験する。

実験内容は

- ・振動傾斜などの記録データがシミュレーションデータと実自動車で近似できるかの実験。
- ・船舶内ネットワークが実運用に耐え得る性能が確保できるかの実験。

※実験船は 全長：約 199.0m 幅：約 32.0m 高さ：約 46.0m

総トン数：約 60200t 普通車 6400 台相当積載可能

(b) コンテナ運搬船

開発したシステムの動作実験を実船にて実験する。

実験内容は

- ・振動傾斜などの記録データがシミュレーションデータと実コンテナで近似できるかの実験。
- ・船舶内ネットワークが実運用に耐え得る性能が確保できるかの実験。

※実験船は 全長：約 316.0m 幅：約 46.0m 高さ：約 25.0m

総トン数：約 86700t 20 フィート (6m) コンテナ 8110 個積載可能

3) システムの評価

実験結果を基にシステムの調整（シミュレーションデータのパラメータ値調整や補正方法の変更等）、装置の改善評価（装置の取り付け方法や感度の調整等）を実施。

6 まとめ

平成29年度の事業実施によってデータ収集の想定要求を調査、検討し、データ取得方式/仕様を決定できた。また、振動・傾斜記録装置の試作設計を実施し、実際のデータ取得をすることによって新たなデータ取得に関する課題（波形解析方法、スループットが低い現象の解決）も見え、平成30年度での実船実験にて解決すべき内容を把握でき、有用な事業実施であったと考えている。

特に、衝撃に対する定義は加速度センサーデータをどのような解析をすべきかのノウハウに

繋がる。また商船三井様のご協力により新造船の海上公試に立ち合い測定が実施でき、平成 30 年度実施のシステム構築に向けた有効なデータを収集できたことは今後の事業展開に大きな進展が期待できる。

第Ⅱ部 平成30年度

7 平成30年度の実施内容

7.1 データ収集/解析サーバーアプリケーション試作設計

平成29年度に検討した仕様を基に試作設計を実施した。

- ・データ収集アプリケーション

データ収集ソフトウェアとそのデータを見える化するデータ加工ソフトウェア(グラフ表示や閾値オーバーのアラーム表示等に利用できるデータを作成する)を試作設計し動作確認を実施した。

- ・データ解析アプリケーション

収集したデータの傾向を機械学習等の手法を用い解析し、運用へ役立つデータへ変換するソフトウェアの試作設計を実施した。

- ・システム制御設定アプリケーション

ユーザがデータを活用できるようなパラメータ設定制御やデータの見方を変えられるソフトウェアの試作設計を実施した。

- ・データ表示アプリケーション

見える化のためにグラフや検索、フィルタ表示を実現するソフトウェアの試作設計を実施した。

7.1.1 データ収集アプリケーション

船内に設置した各振動・傾斜記録装置で測定した3軸加速度データ(X, Y, Zデータ)を収集し、サーバーのハードディスクにデータベースとして圧縮保存するデータ収集アプリケーションを開発した。このデータ収集アプリケーションにより船員の手を煩わせることなく自動記録し、必要な時に必要なデータを参照する機能を実現した。

以下図 7-1 Acceleration (加速度表示画面) にその画面例を示す。

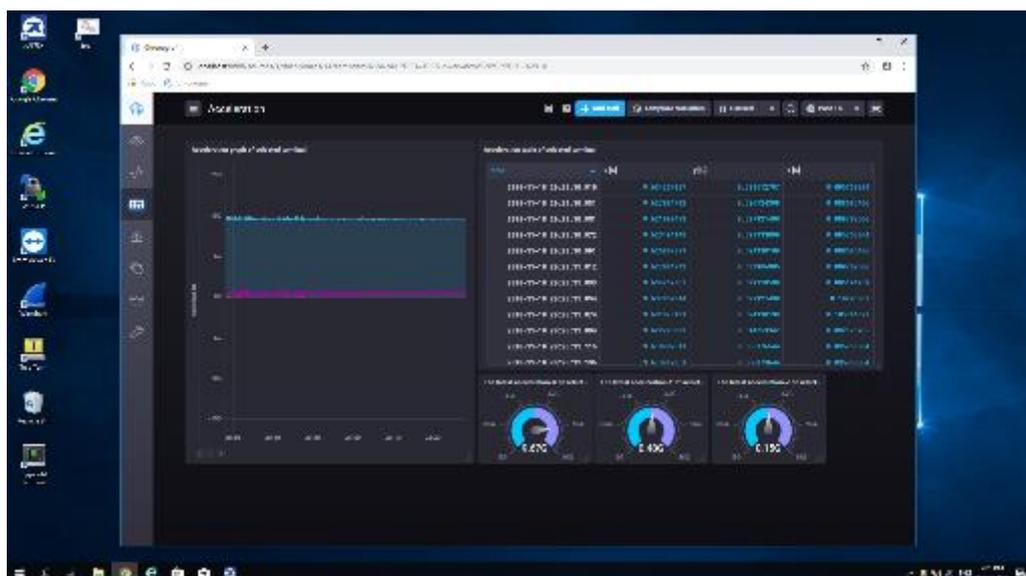


図 7-1 Acceleration (加速度表示画面)

船内に設置された各振動・傾斜記録装置から送られてくる各データを船内事務所に設置されたサーバー上のデータベースへ収集蓄積を行うデータ収集アプリケーションを開発し実験船にて動作確認を実施した。これにより昨年度開発した振動・傾斜記録装置の測定したデータを長期間に渡ってデータベースに圧縮蓄積することが可能となった。

また蓄積されたデータベースは各振動・傾斜記録装置、サーバーと時間同期（サーバーと各振動・傾斜装置はNTP: Network Time Protocolにて時間同期）された時間に紐づけられ、必要な装置の必要な時間のデータを参照ができる仕組みを有している。

振動・傾斜記録装置から収集するデータは1GB/日（8台設置時）、1TBのハードディスクドライブを搭載したサーバーであれば、最大で24ヶ月分のデータを収集し続けることが可能である。

7.1.2 データ解析アプリケーション

データ収集アプリケーションにより蓄積された3軸加速度センサのデータおよび角度センサ、温湿度センサのデータを確認解析できるアプリケーションを開発した。

このアプリケーションの開発により、リアルタイムに振動・傾斜記録装置の収集しているデータを把握できるようになった。またデータベースに蓄積された加速度センサおよび角度センサの時系列なデータを解析することによって、何時何処でどのような振動・傾斜が発生していたかを分析可能となった。

後述のエラー! 参照元が見つかりません。 エラー! 参照元が見つかりません。
 に記載の通りデータベースに蓄積された3軸加速データをFFT(高速フーリエ変換)し、スペクトル解析することにより振動周波数を把握することが可能である。このデータの変化を機械学習し、貨物への影響をアラート通知したり、また船体のメンテナンス情報に役立てたりすることが可能な開発を実現できた。

以下にその操作概要を示す。

- Acceleration (加速度表示画面)

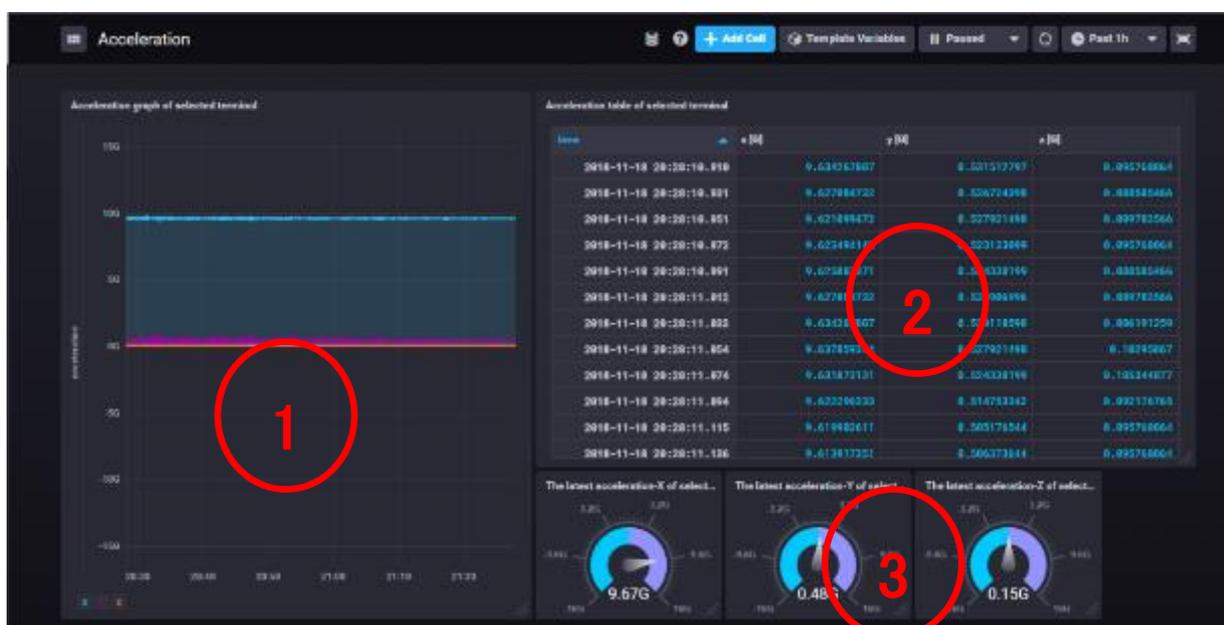


図 7-2 Acceleration (加速度) 操作画面

①時系列グラフ表示エリア

振動・傾斜記録装置より取り込んだ3軸(X, Y, Z軸)の加速度データを時系列に折れ線グラフでX, Y, Z軸の変化を確認することができるようにした。

②数値データ表示エリア

振動・傾斜記録装置より取り込んだ3軸(X, Y, Z軸)の加速度データを時系列に数値データとして確認することができる。また①の折れ線グラフで大まかな変化を捉え、グラフ上の確認したいポイントにカーソルを持っていくことによって、そのポイントの数値データを表示させるようにした。このように変化ポイントを的確に捉えるために有効な操作性を備えている。

③タコメータグラフ

振動・傾斜記録装置より取り込んだ3軸（X,Y,Z軸）加速度データの変化量をリアルタイムに見た目で捉えることができるようにした。

- ・Inclinometer（角度表示画面）

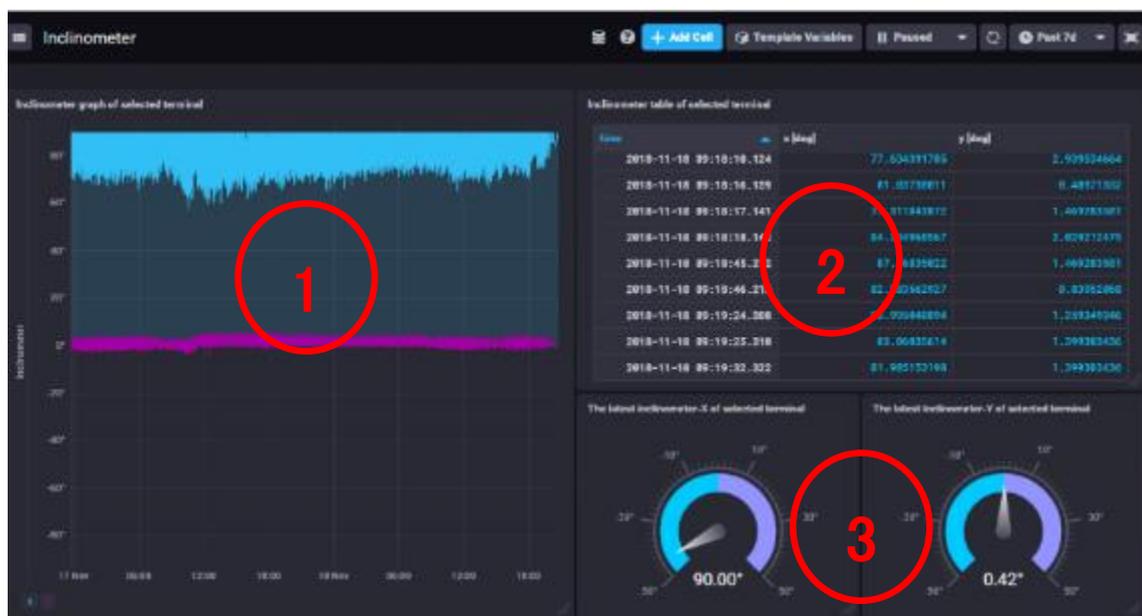


図 7-3 Inclinometer（角度表示画面）操作画面

①時系列グラフ表示エリア

振動・傾斜記録装置より取り込んだ角度データを時系列に折れ線グラフで2軸（X,Y軸）の変化として確認することができるようにした。

②数値データ表示エリア

振動・傾斜記録装置より取り込んだ角度データを時系列に2軸（X,Y軸）の変化を数値データで確認することができる。また①の折れ線グラフで大まかな変化を捉え、グラフ上の確認したいポイントにカーソルを持っていくことによって、そのポイントの数値データを表示させるようにした。このように変化ポイントを的確に捉えるために有効な操作性を備えている。

③タコメータグラフ

振動・傾斜記録装置より取り込んだ2軸（X,Y軸）角度データの変化量をリアルタイムに見た目で捉えることができるようにした。

- ・ Temperature (温湿度表示画面)

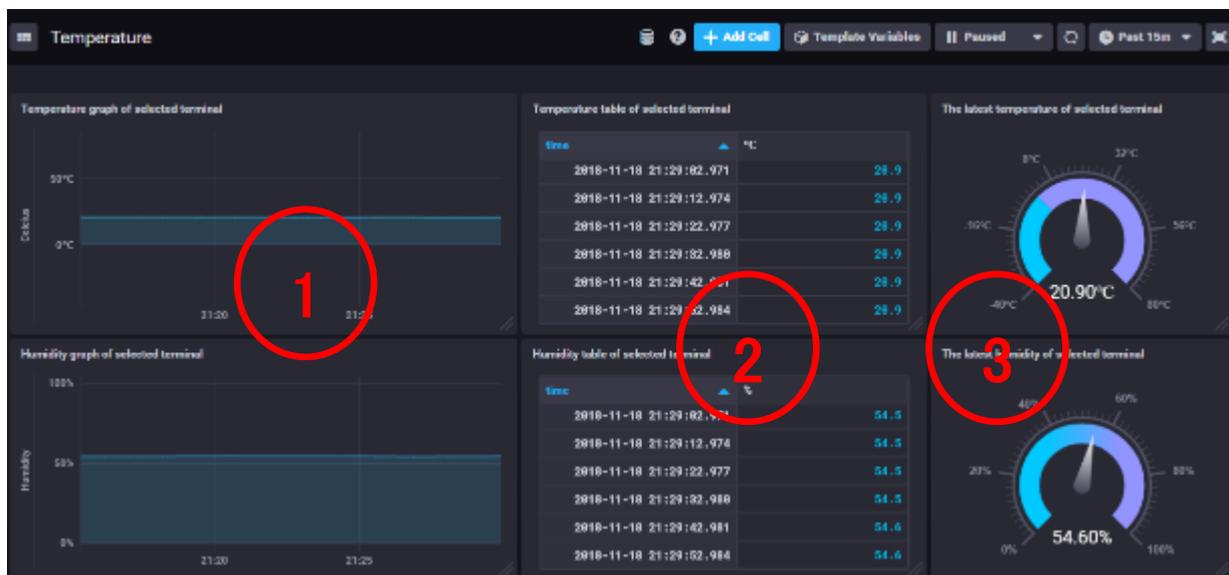


図 7-4 Temperature (温湿度表示) 操作画面

①時系列グラフ表示エリア

振動・傾斜記録装置より取り込んだ温湿度データを時系列に折れ線グラフで変化を確認することができるようにした。

②数値データ表示エリア

振動・傾斜記録装置より取り込んだ温湿度データを時系列に数値データで確認することができるようにした。また①の折れ線グラフで大まかな変化を捉え、グラフ上の確認したいポイントにカーソルを持っていくことによって、そのポイントの数値データを表示させるようにした。変化ポイントを的確に捉えるために有効な操作性を備えている。

③タコメータグラフ

振動・傾斜記録装置より取り込んだ温度、湿度データの変化量をリアルタイムに見た目で捉えることができるようにした。

7.1.3 システム制御アプリケーション

今回実験システムとして配置した各振動・傾斜記録装置の管理、登録、取得データのデータベース登録等システム管理は全て自動化され、ネットワークに振動・傾斜記録装置を接続すれば起動から自動的にデータが取得可能となるアプリケーションの開発を実現した。

このアプリケーションにより、システム敷設時の設定、管理情報の登録等煩わしい作業はなく導入が可能となっている。そのため今回の実験船への設置もネットワークおよび機器取り付け後システムの稼働と同時にデータ取得が開始でき、非常にスムーズなシステム導入が可能であった。

以下、図 7-5 アラート設定画面に運用中のアラート通知設定の画面を示す。

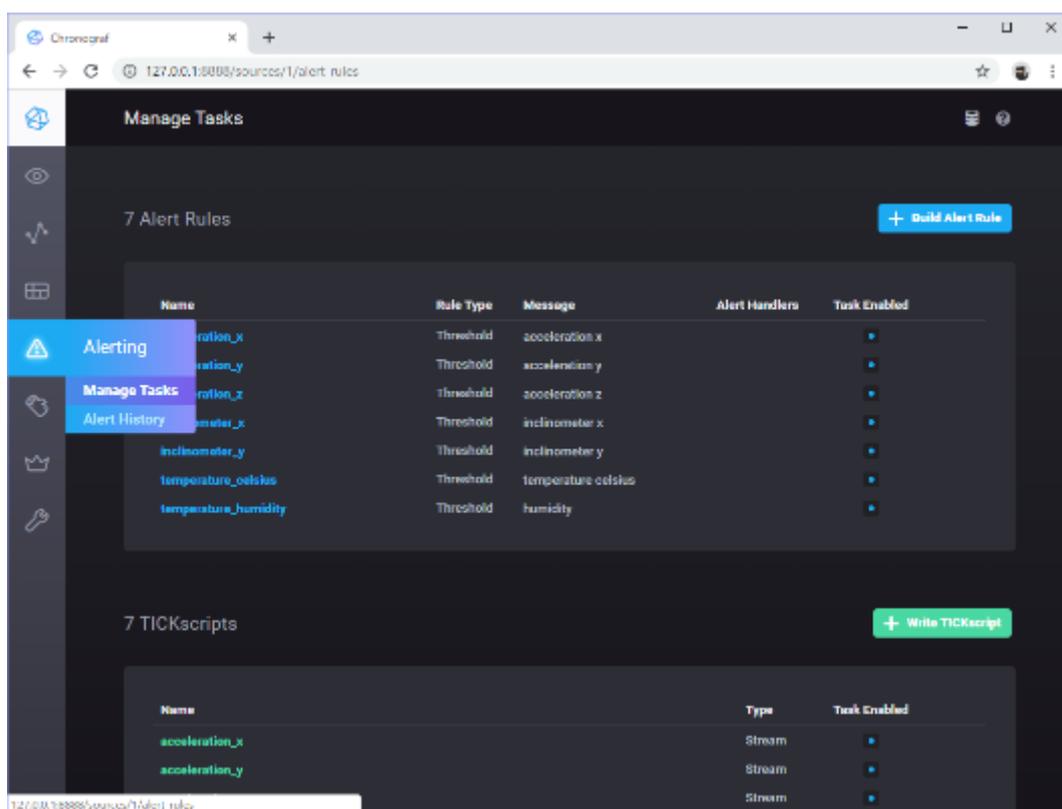


図 7-5 アラート設定画面

加速度測定について、各 X, Y, Z 軸の加速度データの閾値を設定することができ、閾値を超えた場合にアラート通知を行う。

角度、温度湿度についても同様に閾値の設定をすることによって受信したデータから異変を察知して、アラート通知を発報し、トラブルの発生を事前に検出し、輸送の安全性を高めることが可能である。

また、7.1.2 データ解析アプリケーションに記載の通り、アラート通知時のデータを参照することにより、アラーム通知時の状況を各種データから把握することができるようにした。

7.1.4 データ表示アプリケーション

以下にデータ表示アプリケーションの操作について記載をする。

図 7-6 データ表示選択画面は表示したいデータ項目の選択を行う。

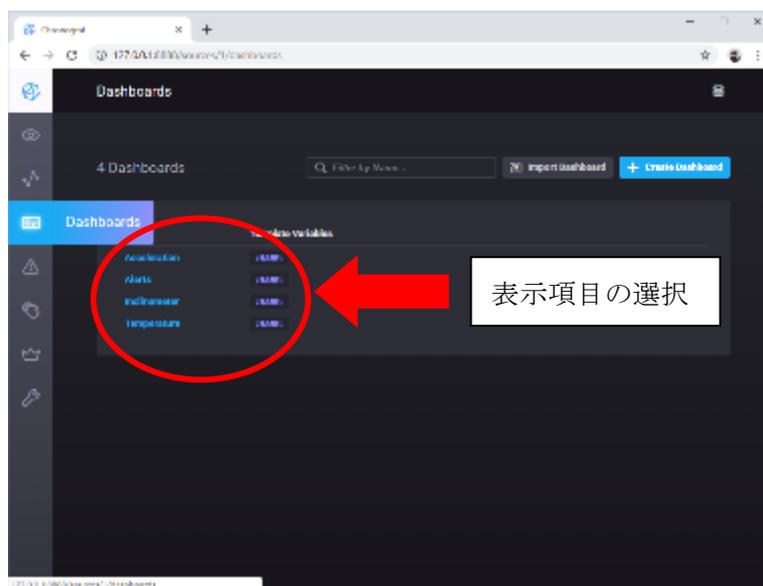


図 7-6 データ表示選択画面

運用中は常時データ収集サーバーのデータベースにデータが蓄積されていくがリアルタイムにデータを確認し、過去のデータ分析を実施する場合に本表示選択で各データの参照が可能である。

図 7-7 振動・傾斜記録装置の選択画面は振動・傾斜装置の選択画面である。表示したい振動・傾斜記録装置を選択し、選択された振動・傾斜装置のデータを表示することができる。

また、データの表示に際してデータベースからのデータ抽出時、表示データの検索、フィルタ機能を搭載しており、目的のデータを参照し易くする機能の開発を行った。

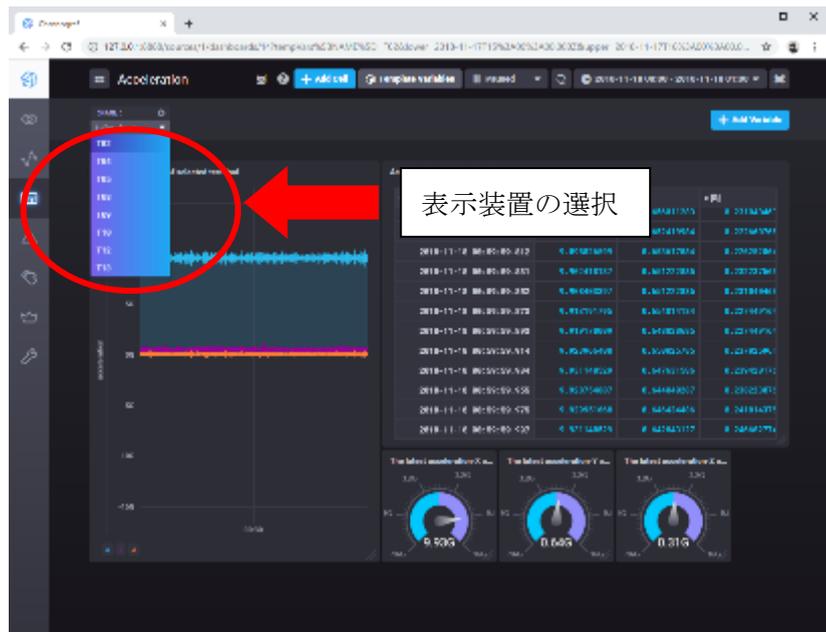


図 7-7 振動・傾斜記録装置の選択画面

7.2 実船実験

平成 29 年度に試作開発を実施した振動・傾斜記録装置および今年度の開発対象であるデータ収集/解析サーバーアプリケーションを貨物が受ける振動・傾斜他記録データをリアルタイム取得するシステム（以下システムと記載する）として構築し、株式会社商船三井様のご協力のもと自動車専用船にシステムを搭載しての実験を実施した。

実船実験船 自動車専用船

全長：約 199.95m 幅：約 32.2m 高さ：約 21.19m

総トン数：約 58,631t 普通車 5,214 台相当積載可能

2005 年 11 月 17 日完工

7.2.1 システム装置設置状況

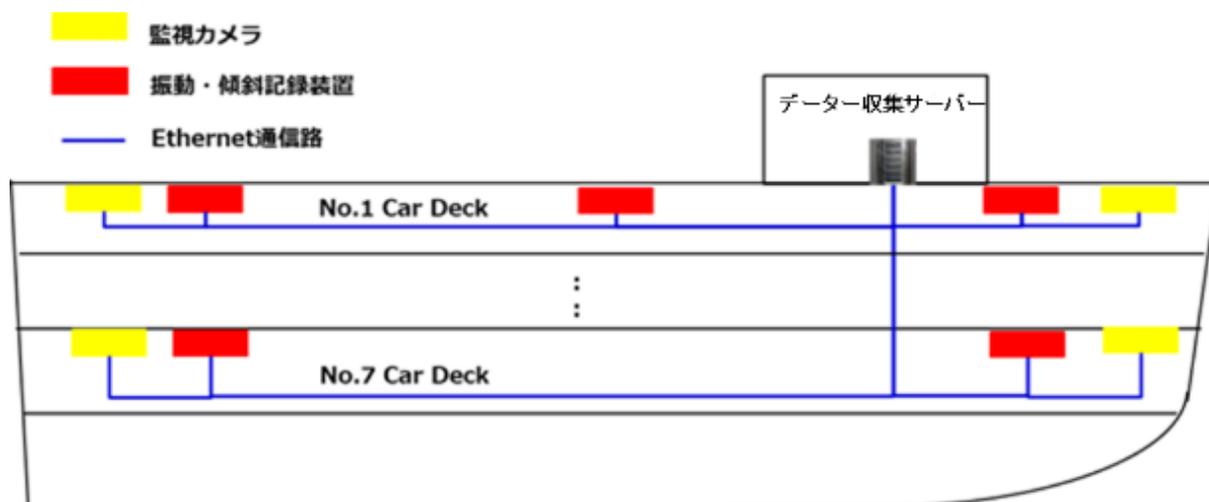
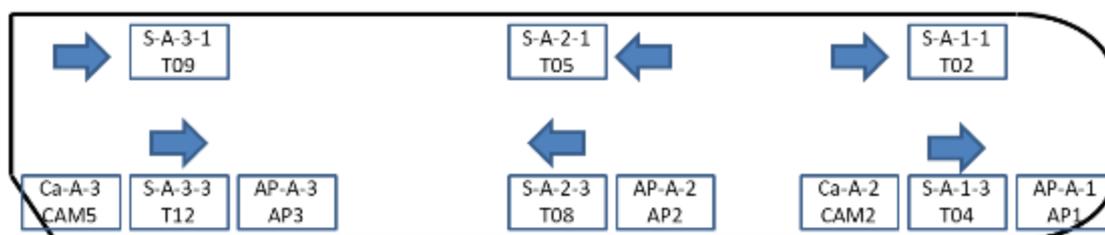


図 7-8 システム設置イメージ図

今回の実船実験でのシステムイメージを図 7-8 システム設置イメージ図に示す。

データ収集サーバーは居住区の船内 Office に設置した。データ収集サーバーから最上階船倉の No.1 Car Deck へ Ethernet 通信路の配線を行い、そこから No.1 Car Deck に配置した振動・傾斜記録装置計 6 台、カメラ 2 台へ接続した。更に自動車の外部搬入口階である No.7 Car Deck へ Ethernet 通信路を配線し振動・傾斜記録装置 2 台とカメラ 2 台の接続をしている。以下図 7-9 システム設置位置詳細に振動・傾斜記録装置およびカメラと無線 LAN アクセスポイントの詳細配置を示す。

No.1 Car Deck



No.7 Car Deck

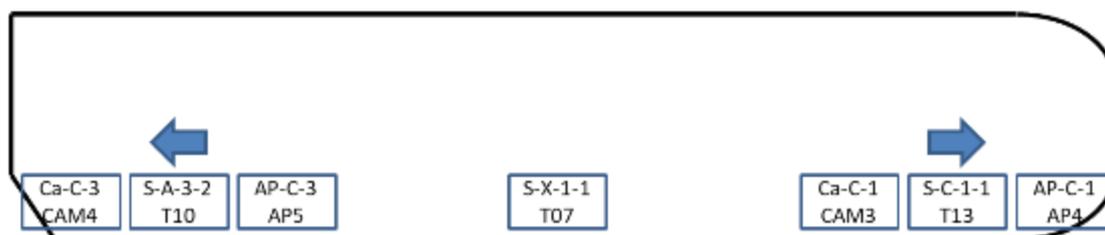


図 7-9 システム設置位置詳細

また、振動・傾斜記録装置に実装された3軸の加速度センサおよび傾斜角度センサには軸向きがある。以下図 7-10 振動・傾斜記録装置センサ方向にその軸向きを示す。

この軸向きに従い、上方向は船上方向へ、装置正面を見て船首方向もしくは船尾方向のどちらかの方向への取り付けを実施した。

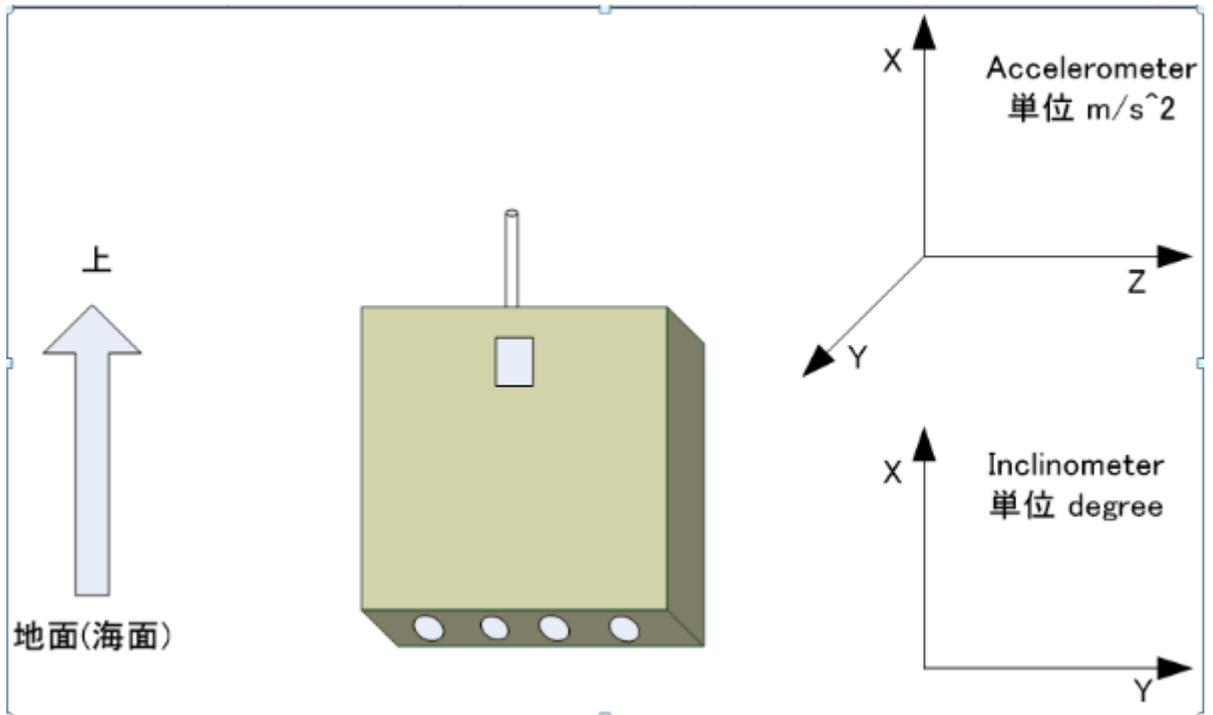


図 7-10 振動・傾斜記録装置センサ方向

図 7-11 No. 1 Car Deck 取り付け写真および図 7-12 No. 7 Car Deck 取り付け写真に振動・傾斜記録装置、無線 LAN アクセスポイント、ネットワーク HUB、カメラ、電源 BOX の取り付け写真を示す。

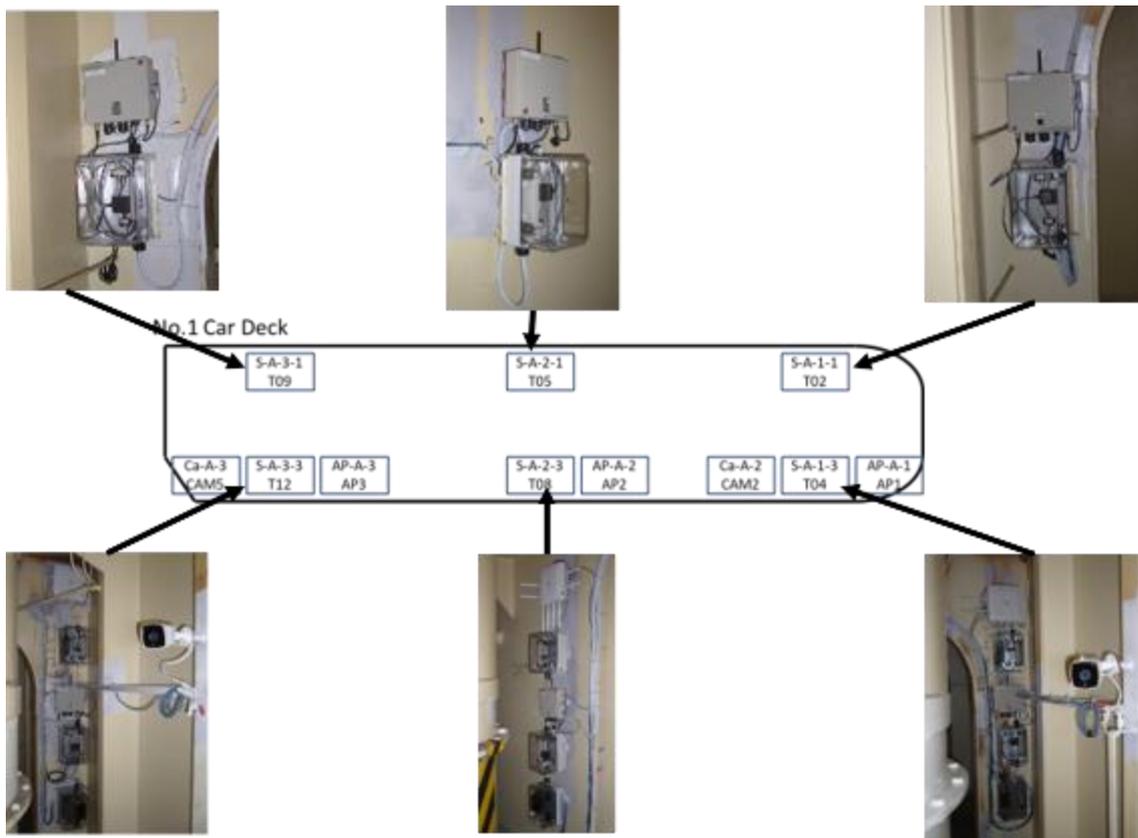


図 7-11 No. 1 Car Deck 取り付け写真

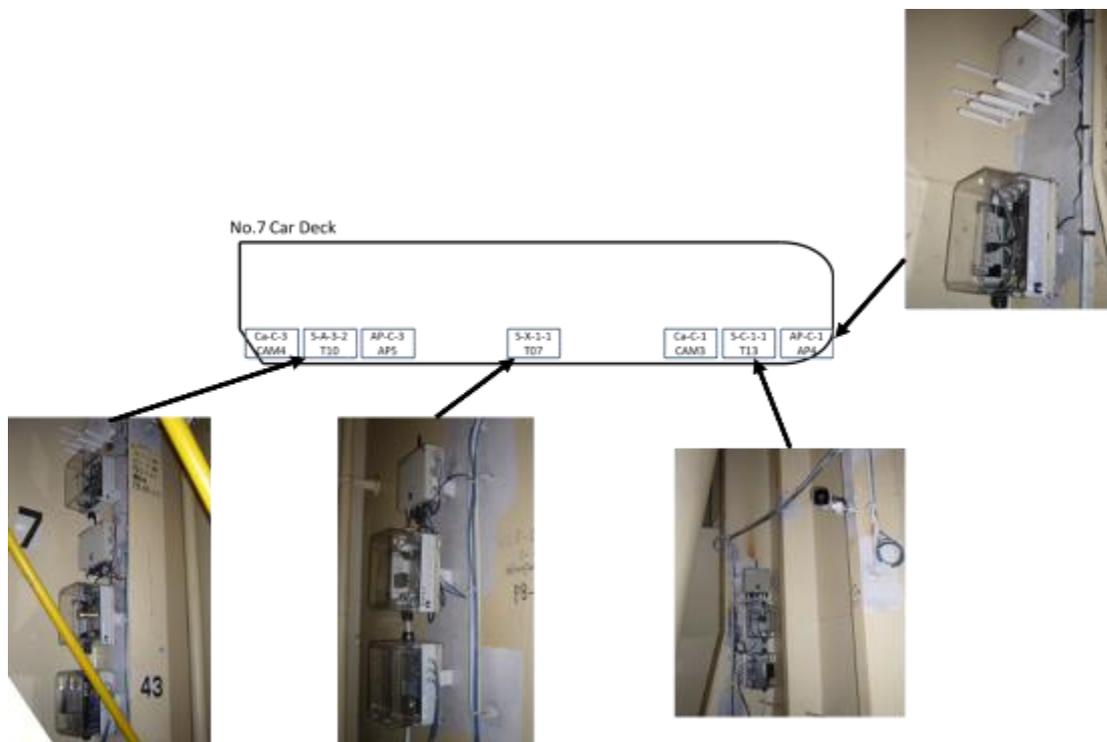


図 7-12 No. 7 Car Deck 取り付け写真

また、今回の実船実験の電気配線およびネットワーク配線設計については商船三井様のご協力により専門業者の力を借りて以下

図 7-14 日本海事協会様承認設計書の通り日本海事協会様の承認を得た設計工事を実施した。

工事は中華人民共和国 舟山市 ドッグにて実施。

2018年11月01日～11月09日の9日間にて実施した。



図 7-13 舟山 ドライドッグで修繕中の自動車専用船

<p>Rev-1 2018.10.02 deleted equipments of No.3 Car Deck. *not install.</p> <div style="text-align: center;">  <p>05/OCT/2018 NIPPON KAIJI KYOKAI</p>  <p>General Manager of Machinery Department</p> </div> <p>(4 sheets with cover)</p>				
	<p>WIRING DIAGRAM OF CARGO TILT RECORDING SYSTEM (Conversion part only)</p> <p>— 電気系統図 —</p>			
	<table border="1"> <tr> <td>CLASS : NK</td> <td>SCALE : —</td> </tr> </table>	CLASS : NK	SCALE : —	
	CLASS : NK	SCALE : —		
<table border="1"> <tr> <td>DATE DRAWN</td> <td>October 2, 2018</td> </tr> <tr> <td>DRAWING NO.</td> <td>E10-200</td> </tr> </table>	DATE DRAWN	October 2, 2018	DRAWING NO.	E10-200
DATE DRAWN	October 2, 2018			
DRAWING NO.	E10-200			

図 7-14 日本海事協会様承認設計書

7.3 システム評価結果

本実船でのシステム評価の測定時間を以下にまとめる。

表 7-1 第一回測定開始停止時間一覧

測定項目	測定場所	加速度				角度				温湿度			
		開始		停止		開始		停止		開始		停止	
T02	No.1 FORE LEFT	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:42:56	2018/11/10	4:04:17	2018/11/15	9:42:52	2018/11/9	12:32:11	2018/11/15	9:42:48
T04	No.1 FORE RIGHT	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:43:03	2018/11/10	7:42:56	2018/11/15	9:43:01	2018/11/9	12:32:11	2018/11/15	9:42:56
T05	No.1 MID LEFT	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:43:01	2018/11/10	9:00:40	2018/11/15	9:43:00	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:43:00
T08	No.1 MID RIGHT	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:43:02	2018/11/10	10:39:03	2018/11/15	9:42:59	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:42:52
T09	No.1 AFT LEFT	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:43:00	2018/11/9	12:32:13	2018/11/15	9:42:59	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:42:51
T12	No.1 AFT RIGHT	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:42:54	2018/11/10	11:25:36	2018/11/15	9:42:44	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:42:51
T13	No.7 FORE RIGHT	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:43:01	2018/11/9	13:21:32	2018/11/15	9:42:51	2018/11/9	12:32:11	2018/11/15	9:42:52
T10	No.7 AFT RIGHT	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:42:54	2018/11/10	11:25:36	2018/11/15	9:42:44	2018/11/9	12:32:10	2018/11/15	9:42:51

表 7-2 第二回測定開始停止時間一覧

測定項目	測定場所	加速度				角度				温湿度			
		開始		停止		開始		停止		開始		停止	
T02	No.1 FORE LEFT	2018/11/16	14:46:35	2018/11/19	2:25:09	2018/11/16	14:46:56	2018/11/18	14:46:56	2018/11/16	14:46:42	2018/11/19	2:25:02
T04	No.1 FORE RIGHT	2018/11/16	5:31:54	2018/11/19	2:25:03	2018/11/16	5:35:17	2018/11/19	0:40:21	2018/11/16	5:35:21	2018/11/19	2:24:57
T05	No.1 MID LEFT	2018/11/16	17:09:11	2018/11/19	2:25:11	2018/11/16	17:09:30	2018/11/19	2:24:21	2018/11/16	17:09:17	2018/11/19	2:25:05
T08	No.1 MID RIGHT	2018/11/16	14:44:02	2018/11/19	2:25:14	2018/11/16	14:44:25	2018/11/19	1:52:12	2018/11/16	14:44:07	2018/11/19	2:25:09
T09	No.1 AFT LEFT	2018/11/16	14:44:28	2018/11/19	2:25:10	2018/11/16	14:44:29	2018/11/19	2:25:07	2018/11/16	14:44:35	2018/11/19	2:25:05
T12	No.1 AFT RIGHT	2018/11/16	14:44:33	2018/11/19	2:25:15	2018/11/16	14:45:13	2018/11/18	11:53:04	2018/11/16	14:44:38	2018/11/19	2:25:08
T13	No.7 FORE RIGHT	2018/11/16	5:31:55	2018/11/19	2:25:15	2018/11/16	5:35:09	2018/11/19	1:50:30	2018/11/16	5:35:10	2018/11/19	2:25:08
T10	No.7 AFT RIGHT	2018/11/16	5:31:56	2018/11/19	2:25:15	2018/11/16	5:35:16	2018/11/19	11:32:22	2018/11/16	5:35:11	2018/11/19	2:25:09

測定時間が2回に分かれたのは間に、無線 LAN 通信測定を実施し、ネットワーク設定を変更したため、この間ネットワークの通信が途絶えた結果である。

以下にこの測定期間内の大まかな自動車船運搬船の運航スケジュールは次の通りである。

- ・ 11月09日 中華人民共和国 舟山市 ドッグの岸壁にて航海前バラスト注水による船体バランスの調整
- ・ 11月10日 11:00 (CST) 離岸 300m 程度沖に停泊
15:00 (CST) 出港
16:00 (CST) 東シナ海航行開始
- ・ 11月11日 23:30 (JST) 屋久島沖通過
- ・ 11月12日 深夜 (JST) 種子島東沖約 200Km 停泊
この間種子島東沖 150Km-200Km に停泊
11/13 夜~15 深夜まで荒天 14 日夜~15 日早朝は机上の物が落ちる揺れ
- ・ 11月18日 13:35 (JST) 広島に向かい出港
- ・ 11月19日 00:00 (JST) 関崎沖停泊、日本のパイロット乗り込み
- ・ 11月19日 06:00 (JST) 広島港寄港

※ (CST) : China Standard Time

(JST) : Japan Standard Time

7.3.1 振動計測結果

振動計測結果を以下のグラフに示す。振動（加速度）データは測定期間の各振動・傾斜記録装置ごとの平均加速度に対する変位に変換し、取り付け方向による軸方向の補正を行っている。

7.3.1.1 振動・傾斜記録装置から取得した振動計測結果 (1)

以下に各設置場所の振動・傾斜記録装置から取得した振動（加速度）データグラフを示す。データ量が多いため、2018年11月09日14:00-14:59（1時間）の全振動・傾斜記録装置の加速度データをグラフ化した。この時間帯に出港前の船体バランスを調整するため、バラスト水注入が行われており特徴的な変位が表れていたため、この1時間を抽出した。

- X軸 : 船体に対して上下方向の加速度である。
- Y軸 : 船体に対して前後方向の加速度である。
- Z軸 : 船体に対して左右方向の加速度である。

(グラフの縦軸は加速度 (m/s²)、横軸は時間、サンプリング時間は50ms)

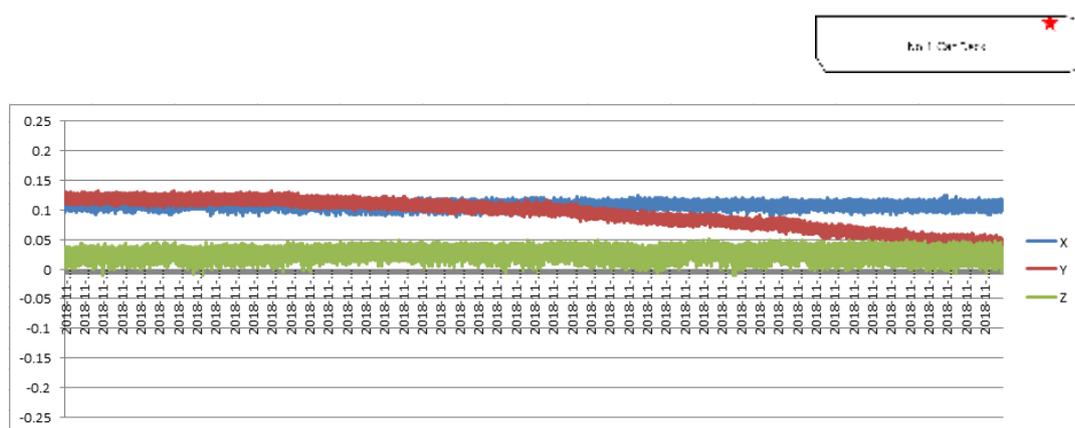


図 7-15 T02 No. 1 Car Deck Fore Left 14:00-14:59 の加速度データ

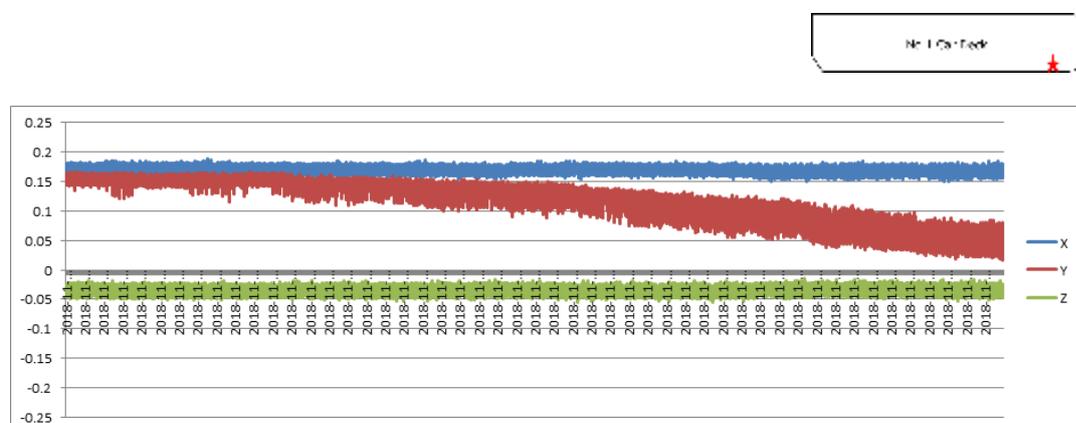


図 7-16 T04 No. 1 Car Deck Fore Right 14:00-14:59 の加速度データ

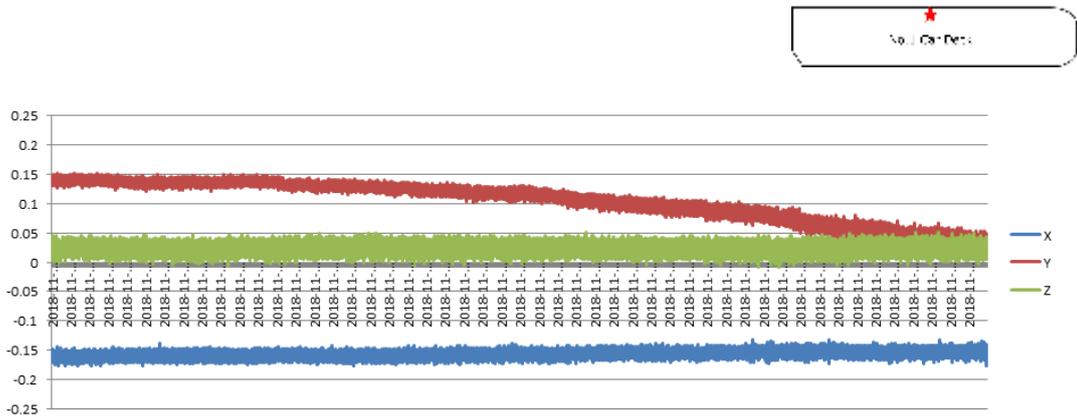


図 7-17 T05 No.1 Car Deck Mid Left 14:00-14:59 の加速度データ

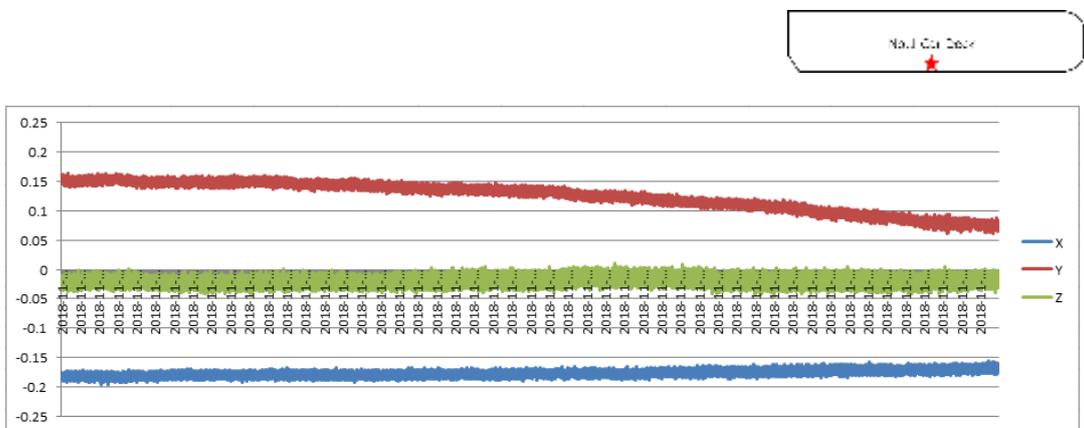


図 7-18 T08 No.1 Car Deck Mid Right 14:00-14:59 の加速度データ

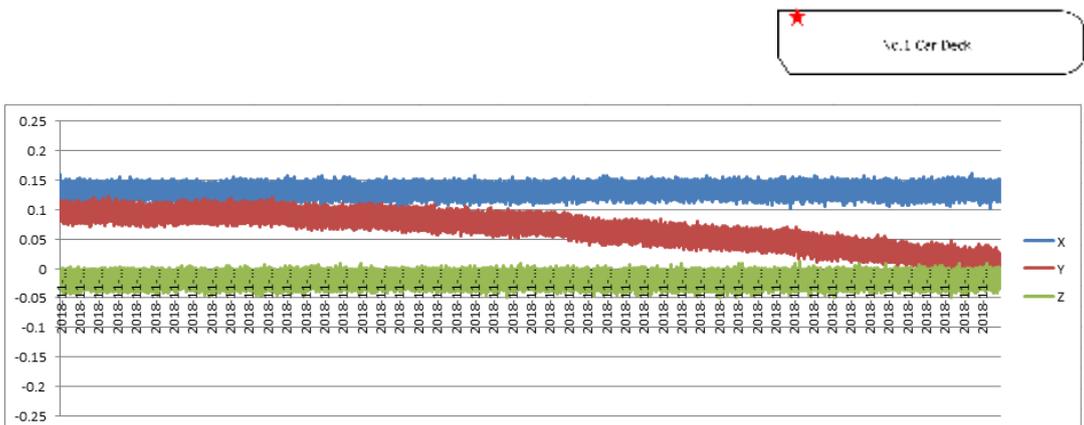


図 7-19 T09 No.1 Car Deck Aft Left 14:00-14:59 の加速度データ

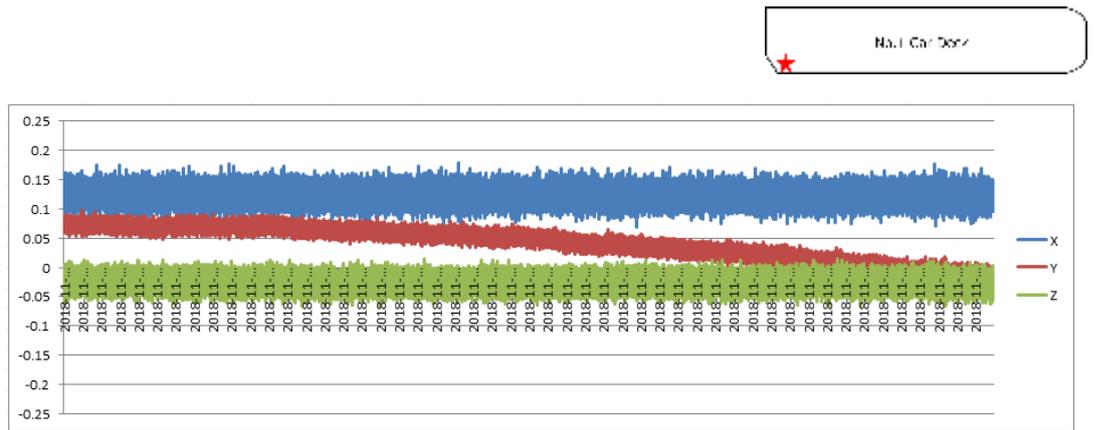


図 7-20 T12 No.1 Car Deck Aft Right 14:00-14:59 の加速度データ

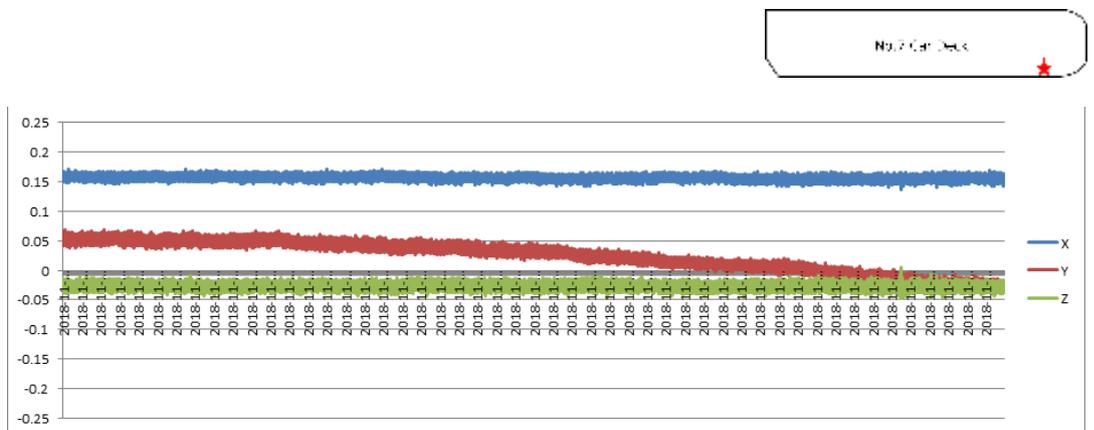


図 7-21 T13 No.7 Car Deck Fore Right 14:00-14:59 の加速度データ

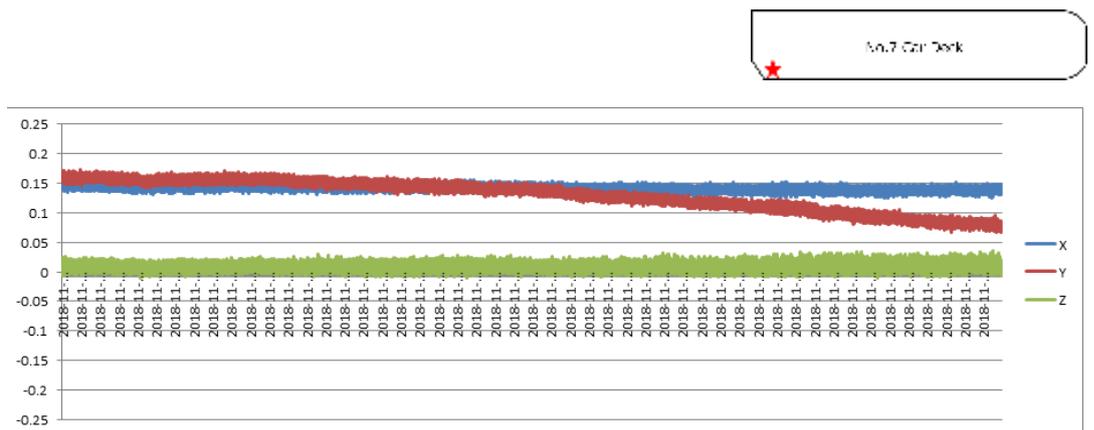


図 7-22 T10 No.7 Car Deck Aft Right 14:00-14:59 の加速度データ

この時間帯には出港前のバラスト水注入が行われており、船の前後方向の傾きが徐々に修正され変位 0 に収束されていく様子が捉えられている。

また、線の太さが測定ポイントの振動を表しているが特に、

- T04 No. 1 Car Deck 右舷船首付近の測定ポイントでは前後方向の振動が見られる。
- T05 No. 1 Car Deck 左舷センター付近の測定ポイントでは左右方向の振動が見られる。
- T09 No. 1 Car Deck 左舷船尾付近の測定ポイントでは前後、左右、上下に振動が見られる。
- T12 No. 1 Car Deck 右舷船尾付近の測定ポイントでは前後、左右、上下に振動が見られる。

船尾側の振動が大きく表れており、主機関に近い場所に振動が発生する傾向が見受けられる。

7.3.1.2 振動・傾斜記録装置から取得した振動計測結果 (2)

以下のグラフは 2018 年 11 月 10 日ドッグ作業終了後、日本へ向け出港し舟山群島付近を航行中の加速度データである。

代表例として 4 か所のデータグラフを示す。

- X 軸 : 船体に対して上下方向の加速度である。
- Y 軸 : 船体に対して前後方向の加速度である。
- Z 軸 : 船体に対して左右方向の加速度である。

(グラフの縦軸は加速度 (m/s^2)、横軸は時間、サンプリング時間は 50ms)

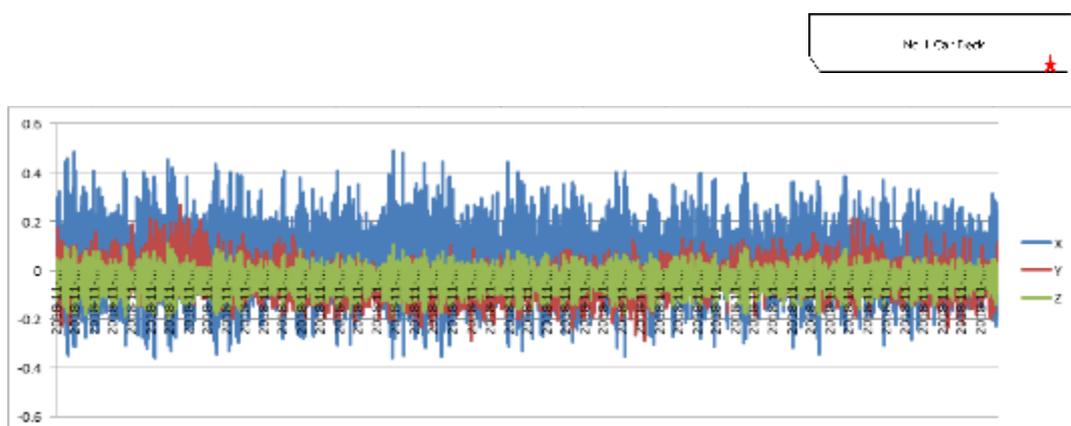


図 7-23 T04 No. 1 Car Deck Fore Right 16:00-16:59 の加速度データ

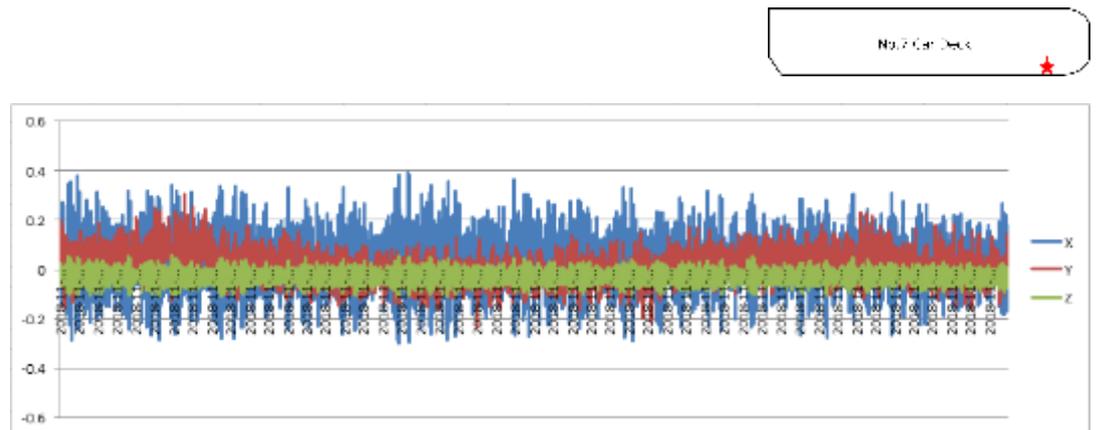


図 7-24 T13 No. 7 Car Deck Fore Right 16:00-16:59 の加速度データ

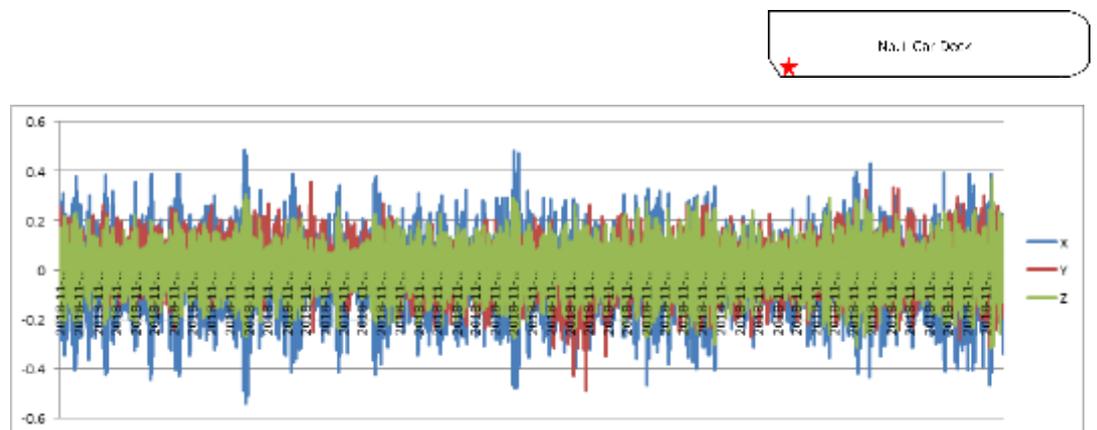


図 7-25 T12 No. 1 Car Deck Aft Right 16:00-16:59 の加速度データ

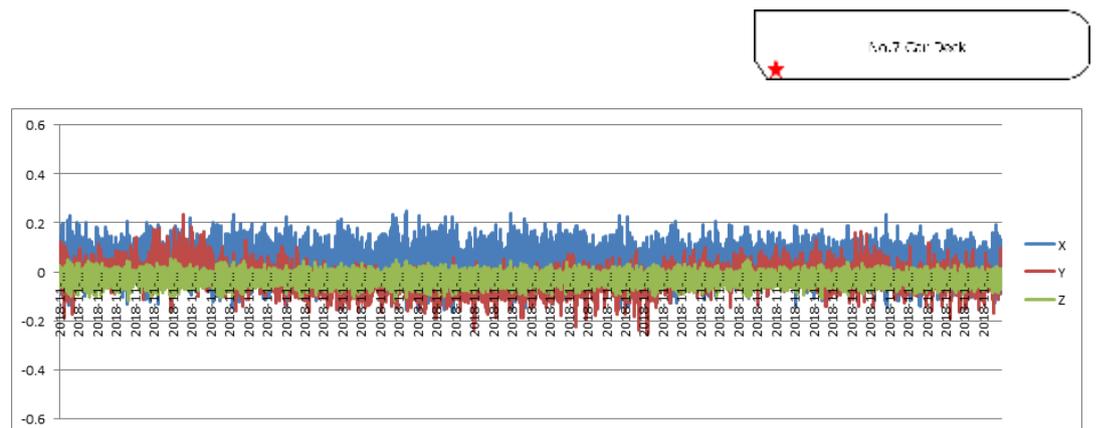


図 7-26 T10 No. 7 Car Deck Aft Right 16:00-16:59 の加速度データ

舟山群島付近は島に囲まれた地形で湾内のように波が低く、比較的穏やかな海で、あまり特徴的な振動は捉えられていない。しかしながら**エラー！参照元が見つかりません**。で示したグラフデータと比較すると明らかに振動が大きく岸壁に係留された状態と海上航行中の違いが捉えられている。また、Car Deck の違いも海面に近い

No.7 Car Deck では振動が小さく、海上から 10m 以上高い位置に相当する No.1 Car Deck の振動は No.7 Car Deck の倍程度の振動を示している。

本データを高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform:以下 FFT) を用いスペクトル解析を行い、以下に振動周期の周波数とその振幅 (パワー) のグラフを示す。

図 7-27 T04 No.1 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の X スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船首に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して上下方向 (X) の振動スペクトル分布を示す。

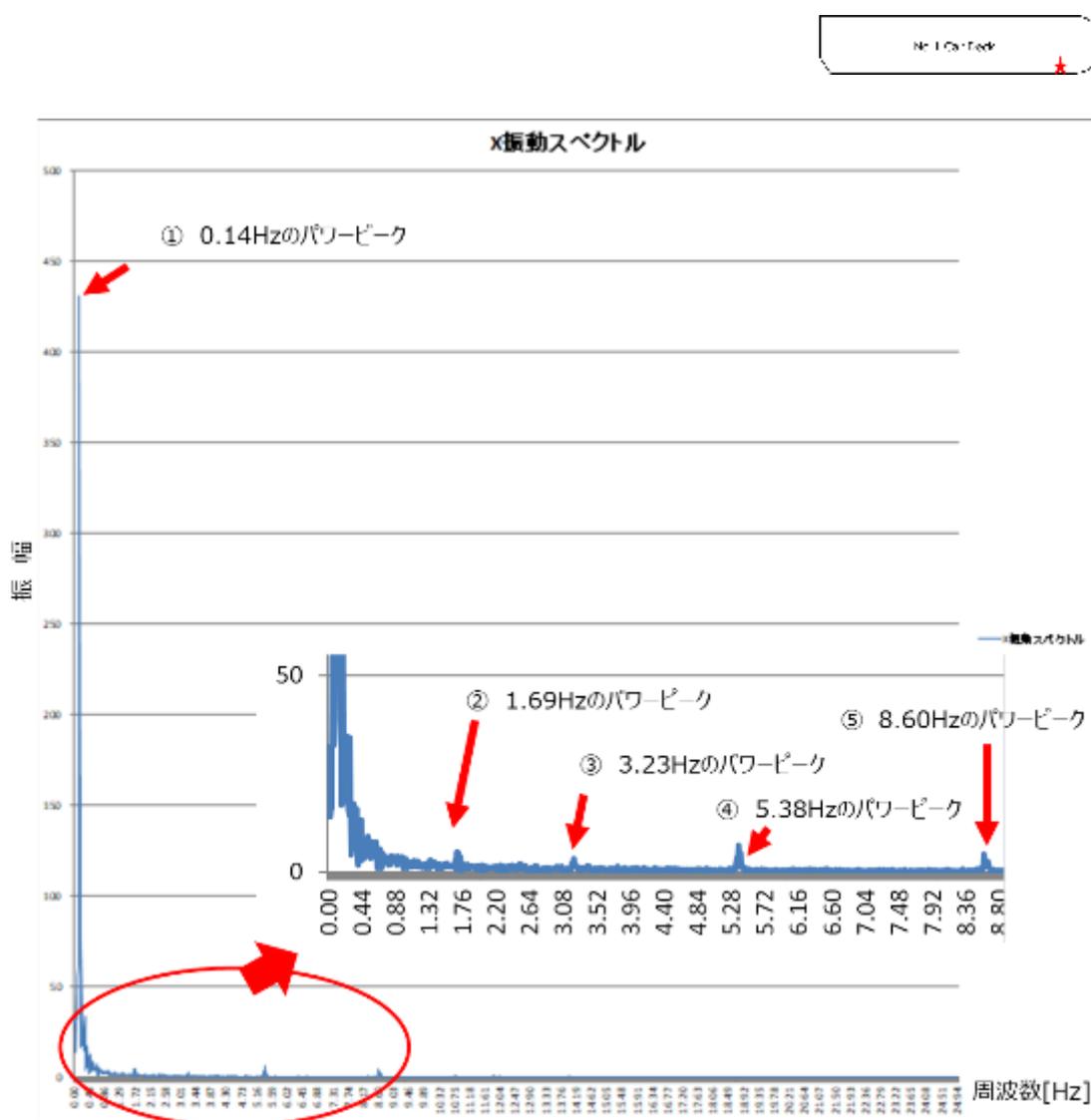


図 7-27 T04 No.1 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の X スペクトラム

- ① 0.14Hz 付近に非常に大きな振幅のピークがあり、これは海上の波 (うねり) の影響によるものと推測する。約 14 秒に一回の周期で波の影響による振動が発

生していると推測される。Z軸の船体に対しての左右振動と合わせて推測すると横波を受けていた可能性が高い。

- ② 1.69Hz 付近のピーク（振幅）は 101.4rpm で主機関の振動が想定されるが、主機関の定常回転数は 65rpm とされている（航海記録から）。回転数は変化するため 1Hz 前後の周波数に現れるはずなので断定はできない。
- ③ 3.23Hz 付近のピーク（振幅）は 193.8rpm で主機関の高調波振動を捉えたものが想定される。
- ④ 5.38Hz 付近のピーク（振幅）は 322.8rpm でスクリューの 5 枚プロペラの振動を捉えたものの可能性がある。スクリューは遊動回転しており、主機関の回転数によらず、粗一定の回転数を維持していると推測する。
- ⑤ 8.60Hz 付近のピーク（振幅）は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性が推測される。

図 7-28 T04 No.1 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の Y スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船首に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して前後方向（Y）の振動スペクトル分布を示す。

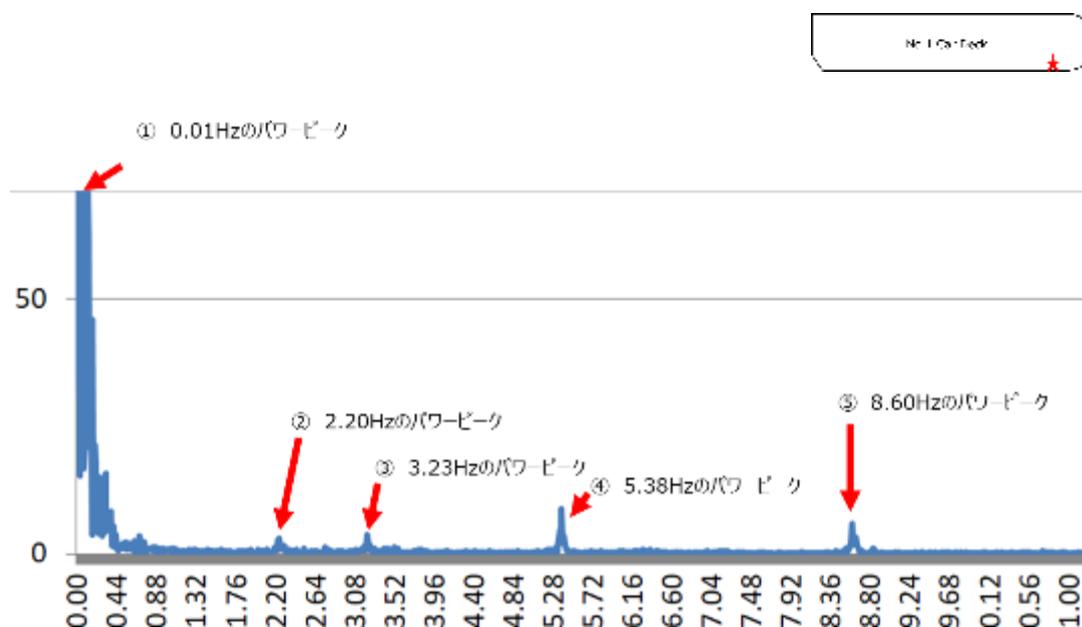


図 7-28 T04 No.1 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の Y スペクトラム

- ① 0.01Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあるが、これはノイズ成分の可能性が高い。ノイズとは、主機関、スクリュープロペラ、波等の固有振動の減衰振動が集合したものや高速フーリエ変換におけるサンプリング時間の折り返し（折り返しノイズ）歪と推測される。

- ② 2.20Hz 付近のピーク（振幅）は 132rpm で主機関の振動とは考えにくい。
主機関の定常回転数は 65rpm だが、回転数は変化するため 1Hz 前後の周波数に現れるはずで本ピーク（振幅）は不明である。
- ③ 3.23Hz 付近のピーク（振幅）は 193.8rpm で主機関の高調波振動を捉えたものの可能性がある。
- ④ 5.38Hz 付近のピーク（振幅）は 322.8rpm でスクリューの 5 枚プロペラの振動を捉えたものの可能性がある。
- ⑤ 8.60Hz 付近のピーク（振幅）は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。

図 7-29 T04 No.1 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の Z スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船首に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して左右方向の振動スペクトル分布を示す。

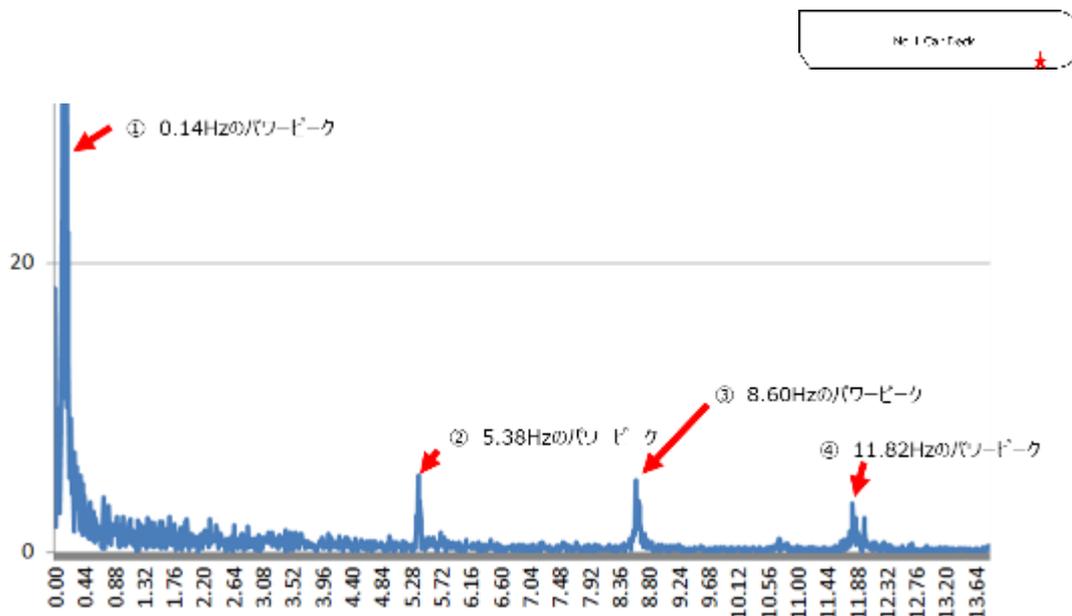


図 7-29 T04 No.1 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の Z スペクトラム

- ① 0.14Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあり、これは海上の波（うねり）の影響によるものと推測する。約 14 秒に一回の周期で波の影響による振動が発生していると推測される。X 軸の船体に対しての上下振動と合わせて推測すると横波を受けていた可能性が高い。
- ② 5.38Hz 付近のピークは 322.8rpm でスクリューの 5 枚プロペラの振動を捉えたものの可能性がある。
- ③ 8.60Hz 付近のピークは 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。
- ④ 11.82Hz (709.2rpm) 付近にピークが存在するが分析上原因が究明できていない。

図 7-30 T12 No.1 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の X スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船尾に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して上下方向 (X) の振動スペクトル分布を示す。

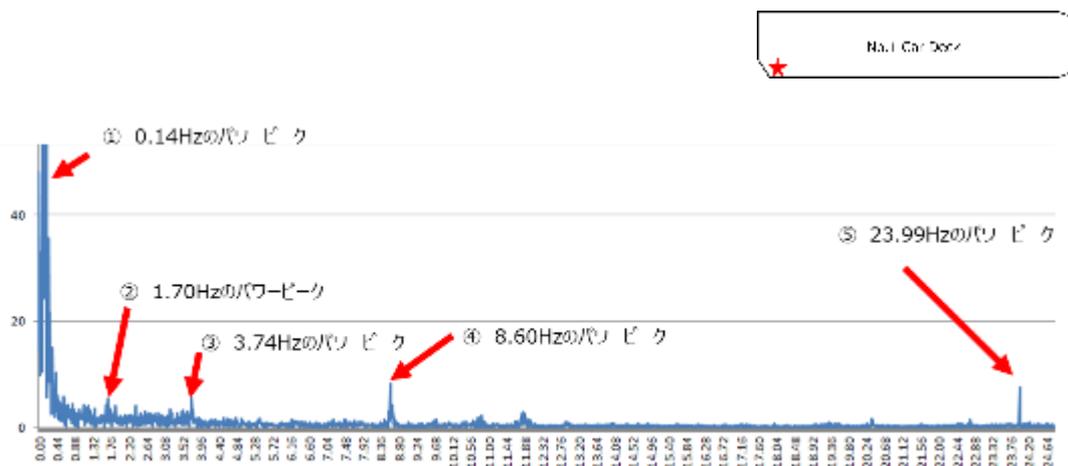


図 7-30 T12 No.1 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の X スペクトラム

- ① 0.14Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあり、これは海上の波（うねり）の影響によるものと推測する。約 14 秒に一回の周期で波の影響による振動が発生していると推測される。Z 軸の船体に対しての左右振動と合わせて推測すると横波を受けていた可能性が高い。
- ② 1.70Hz 付近のピーク（振幅）は 102rpm で主機関の振動が想定されるが、主機関の定常回転数は 65rpm とされている（航海記録）。回転数は変化するため 1Hz 前後の周波数に現れるはずなので断定はできない。
- ③ 3.74Hz 付近のピーク（振幅）は 224.4rpm で主機関の高調波振動を捉えたものの可能性がある。
- ④ 8.60Hz 付近のピーク（振幅）は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。
- ⑤ 23.99Hz (1439.4rpm) 付近にピーク（振幅）が存在するが分析上原因が究明できていない。

図 7-31 T12 No.1 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の Y スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船尾に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して前後方向 (Y) の振動スペクトル分布を示す。

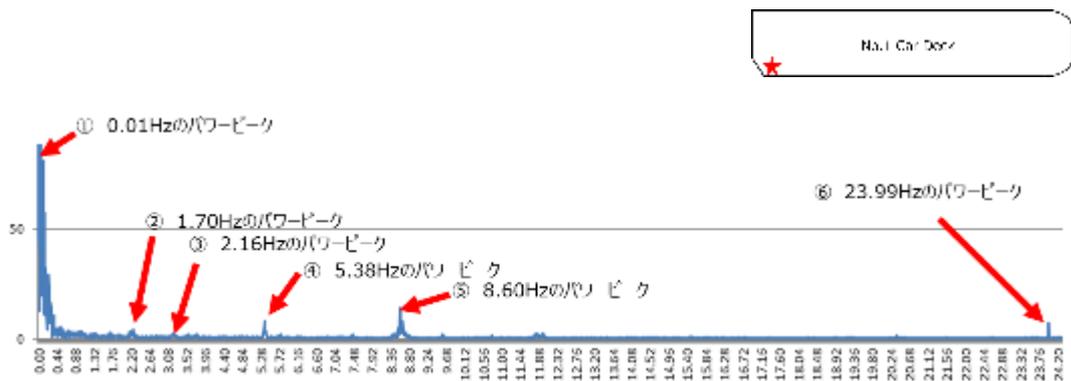


図 7-31 T12 No.1 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の Y スペクトラム

- ① 0.01Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあるが、これはノイズ成分の可能性が高い。ノイズとは、主機関、スクリュープロペラ、波等の固有振動の減衰振動が集合したものや高速フーリエ変換におけるサンプリング時間の折り返し（折り返しノイズ）歪と推測される。
- ② 1.70Hz 付近のピーク（振幅）は 102rpm で主機関の振動が想定されるが、主機関の定常回転数は 65rpm とされている（航海記録）。回転数は変化するため 1Hz 前後の周波数に現れるはずなので断定はできない。
- ③ 2.16Hz 付近のピークは 129.6rpm で主機関の振動の可能性が想定されるが、主機関の定常回転数は 65rpm とされている（航海記録）。回転数は変化するため 1Hz 前後の周波数に現れるはずなので断定はできない。
- ④ 5.38Hz 付近のピーク（振幅）は 322.8rpm でスクリューの 5 枚プロペラの振動を捉えたものの可能性がある。
- ⑤ 8.60Hz 付近のピーク（振幅）は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。
- ⑥ 23.99Hz (1439.4rpm) 付近にピーク（振幅）が存在するが分析上原因が究明できていない。

図 7-32 T12 No.1 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の Z スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船尾に配置した振動・傾斜記録装置検出の船体に対して左右方向 (Z) の振動スペクトル分布を示す。

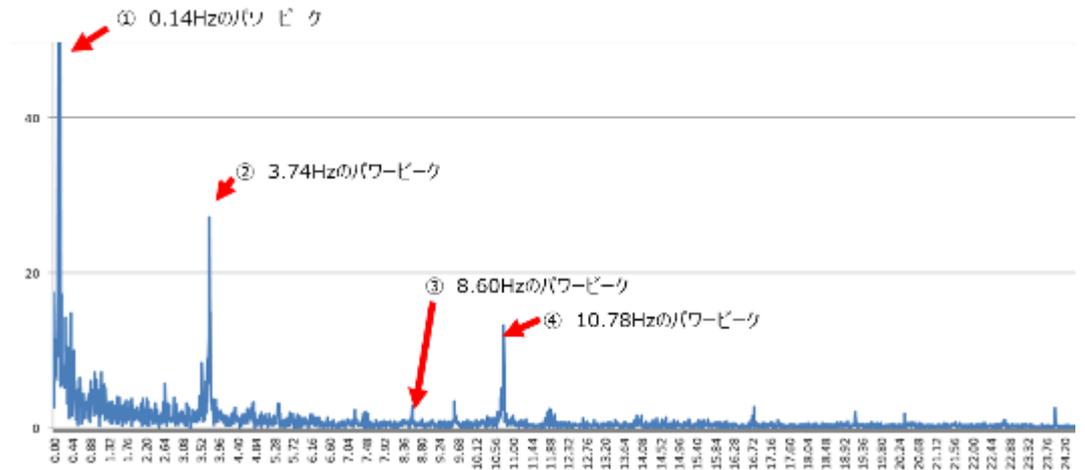


図 7-32 T12 No.1 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の Z スペクトラム

- ① 0.14Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあり、これは海上の波（うねり）の影響によるものと推測する。約 14 秒に一回の周期で波の影響による振動が発生していると推測される。X 軸の船体に対しての上下振動と合わせて推測すると横波を受けていた可能性が高い。
- ② 3.74Hz 付近のピーク（振幅）は 224.4rpm で主機関の高調波振動を捉えたものの可能性がある。
- ③ 8.60Hz 付近のピーク（振幅）は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。
- ④ 10.78Hz 付近にピーク（振幅）は 646.8rpm が存在する。スクリュー回転振動の高調波高調波振動の可能性はある。

図 7-33 T13 No.7 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の X スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船首に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して上下方向（X）の振動スペクトル分布を示す。

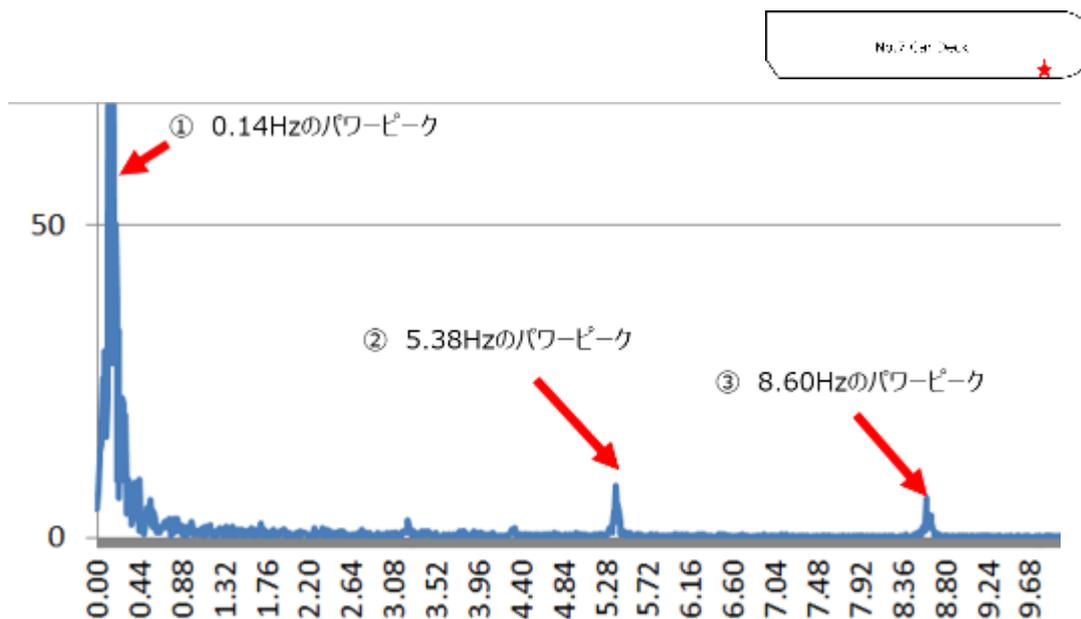


図 7-33 T13 No. 7 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の X スペクトラム

- ① 0.14Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあり、これは海上の波（うねり）の影響によるものと推測する。約 14 秒に一回の周期で波の影響による振動が発生していると推測される。Z 軸の船体に対しての左右振動と合わせて推測すると横波を受けていた可能性が高い。
- ② 5.38Hz 付近のピーク（振幅）は 322.8rpm でスクリューの 5 枚プロペラの振動を捉えたものの可能性がある。
- ③ 8.60Hz 付近のピーク（振幅）は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。

図 7-34 T13 No.7 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の Y スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船首に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して前後方向 (Y) の振動スペクトル分布を示す。



図 7-34 T13 No.7 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の Y スペクトラム

- ① 0.01Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあるが、これはノイズ成分の可能性が高い。ノイズとは、主機関、スクリュープロペラ、波等の固有振動の減衰振動が集合したものや高速フーリエ変換におけるサンプリング時間の折り返し(折り返しノイズ)歪と推測される。
- ② 5.38Hz 付近のピーク(振幅)は 322.8rpm でスクリューの 5 枚プロペラの振動を捉えたものの可能性がある。
- ③ 8.60Hz 付近のピーク(振幅)は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。
- ④ 9.76Hz (585.6rpm) 付近にピーク(振幅)が存在するが分析上原因が究明できていない。
- ⑤ 10.26Hz (548rpm) 付近にピーク(振幅)が存在する。スクリュー回転振動の高調波が推測される。

図 7-35 T13 No.7 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の Z スペクトラムに No.1 Car Deck の右舷、船首に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して左右方向 (Z) の振動スペクトル分布を示す。

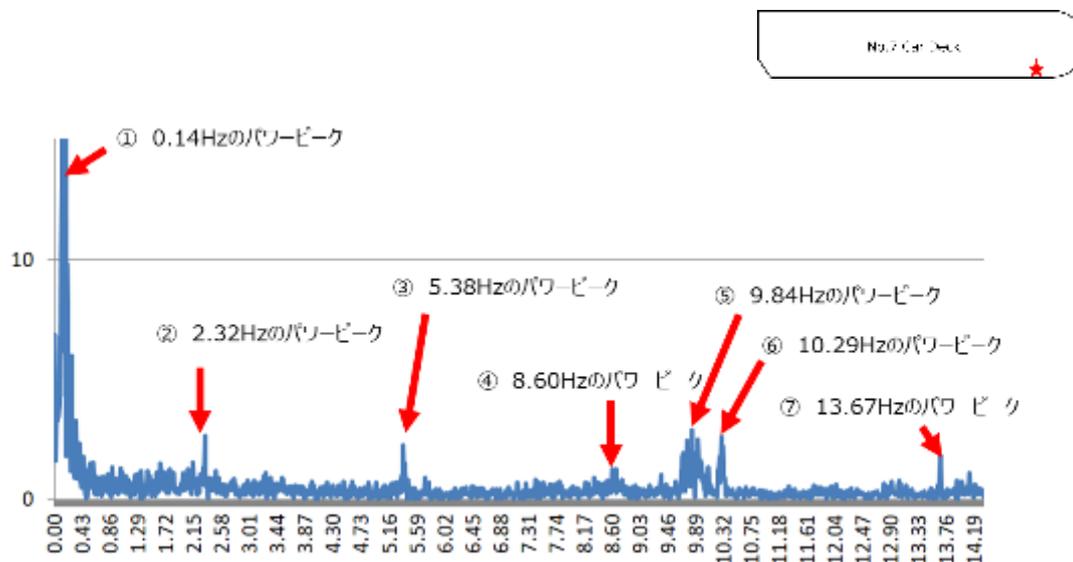


図 7-35 T13 No.7 Car Deck Fore Right 16:00:00-16:01:39 の Z スペクトラム

- ① 0.14Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあり、これは海上の波の影響によるものと推測する、約 14 秒に一回の周期で波の影響による振動が発生している。X 軸の船体に対しての上下振動と合わせて推測すると横波を受けていた可能性が高い。
- ② 2.32Hz (139.2rpm) 付近にピーク (振幅) が存在する。分析上原因が究明できていない。
- ③ 5.38Hz 付近のピーク (振幅) は 322.8rpm でスクリュウの 5 枚プロペラの振動を捉えたものの可能性がある。
- ④ 8.60Hz 付近のピーク (振幅) は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。
- ⑤ 9.84Hz (590.4rpm) 付近にピーク (振幅) が存在するが分析上原因が究明できていない。
- ⑥ 10.29Hz (617.4rpm) 付近にピーク (振幅) が存在する。スクリュウ回転振動の高調波が推測される。
- ⑦ 13.67Hz (820.2rpm) 付近にピーク (振幅) が存在するが分析上原因が究明できていない。

図 7-36 T10 No.7 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の X スペクトラムに No.7Car Deck の右舷、船尾に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して上下 (X) 方向の振動スペクトル分布を示す。

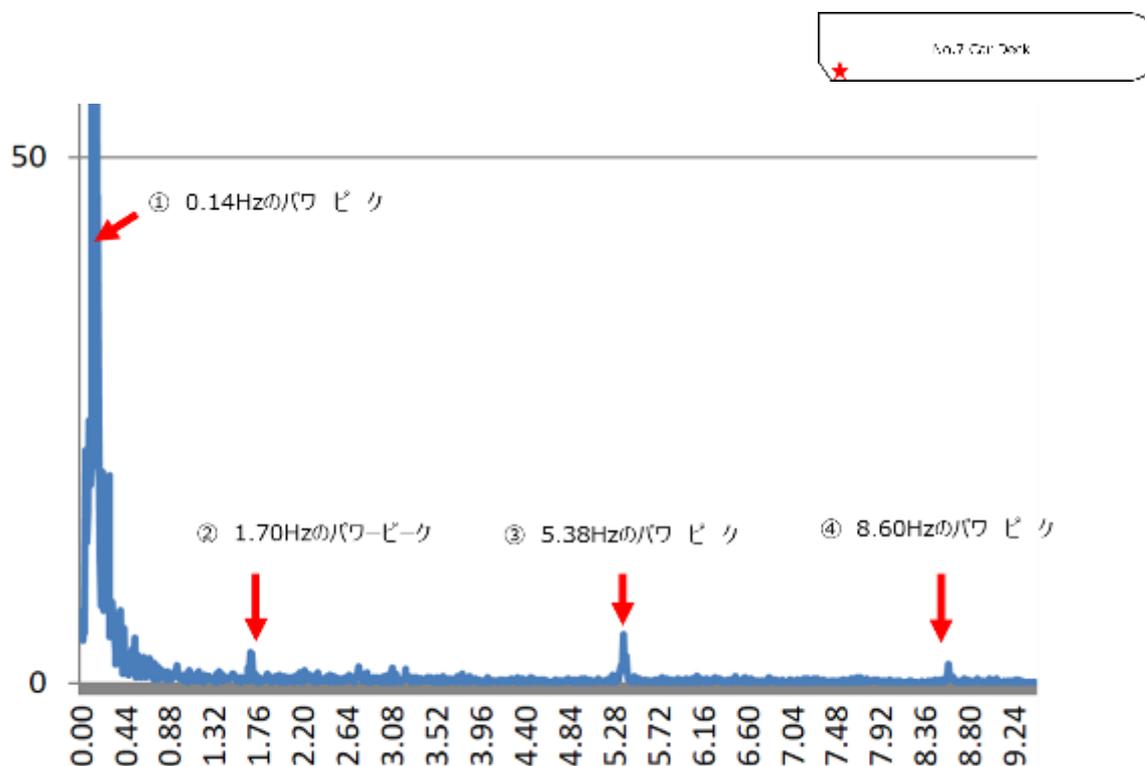


図 7-36 T10 No.7 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の X スペクトラム

- ① 他の測定ポイント同様 0.14Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあり、これは海上の波の影響によるものと判断できる。約 14 秒に一回の周期で波の影響による振動が発生している。Z 軸の船体に対しての左右振動と合わせて推測すると横波を受けていた可能性が高い。
- ② 1.70Hz 付近のピーク（振幅）は 102rpm で主機関の振動を捉えたものと推測できる。
- ③ 5.38Hz 付近のピーク（振幅）は 322.8rpm でスクリューの 5 枚プロペラの振動を捉えたものと推測する。
- ④ 8.60Hz 付近のピーク（振幅）は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。

図 7-37 T10 No.7 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の Y スペクトラムに No.7 Car Deck の右舷、船尾に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して前後方向 (Y) の振動スペクトル分布を示す。

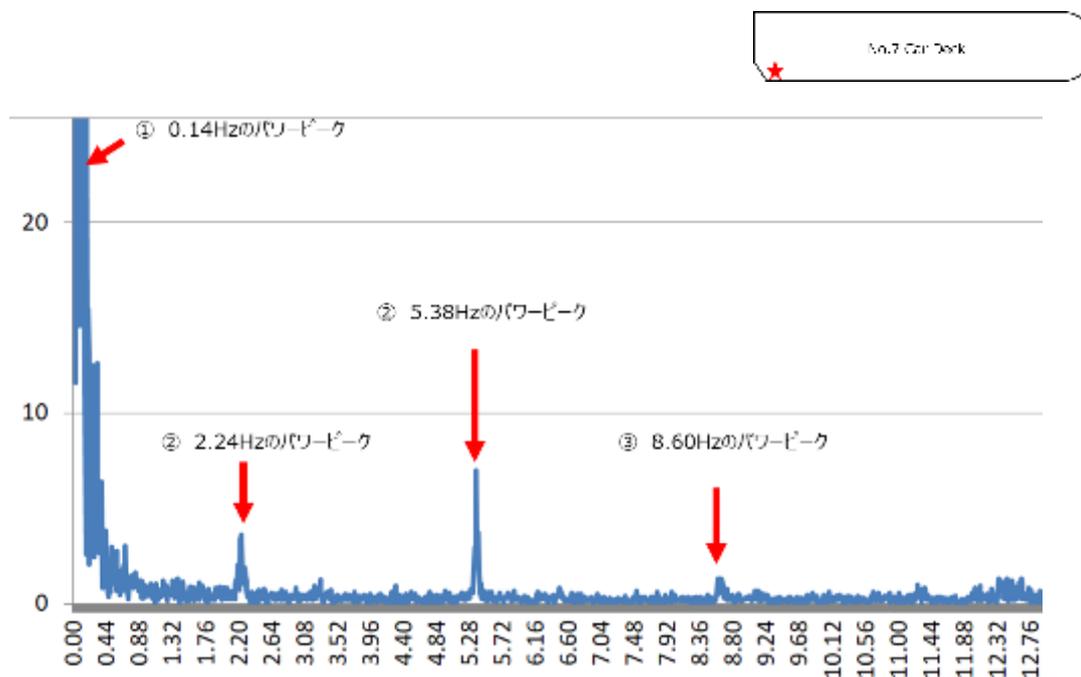


図 7-37 T10 No.7 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の Y スペクトラム

- ① 0.01Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあるが、これはノイズ成分の可能性が高い。ノイズとは、主機関、スクリュープロペラ、波等の固有振動の減衰振動が集合したものや高速フーリエ変換におけるサンプリング時間の折り返し(折り返しノイズ) 歪と推測される。
- ② 2.24Hz 付近のピーク (振幅) は 134.4rpm で主機関の振動を捉えたものと推測できる。
- ③ 5.38Hz 付近のピーク (振幅) は 322.8rpm でスクリューの 5 枚プロペラの振動を捉えたものと推測する。
- ④ 8.60Hz 付近のピークは (振幅) 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。

図 7-38 T10 No.7 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の Z スペクトラムに No.7 Car Deck の右舷、船尾に配置した振動・傾斜記録装置検出データの船体に対して左右方向 (Z) の振動スペクトル分布を示す。

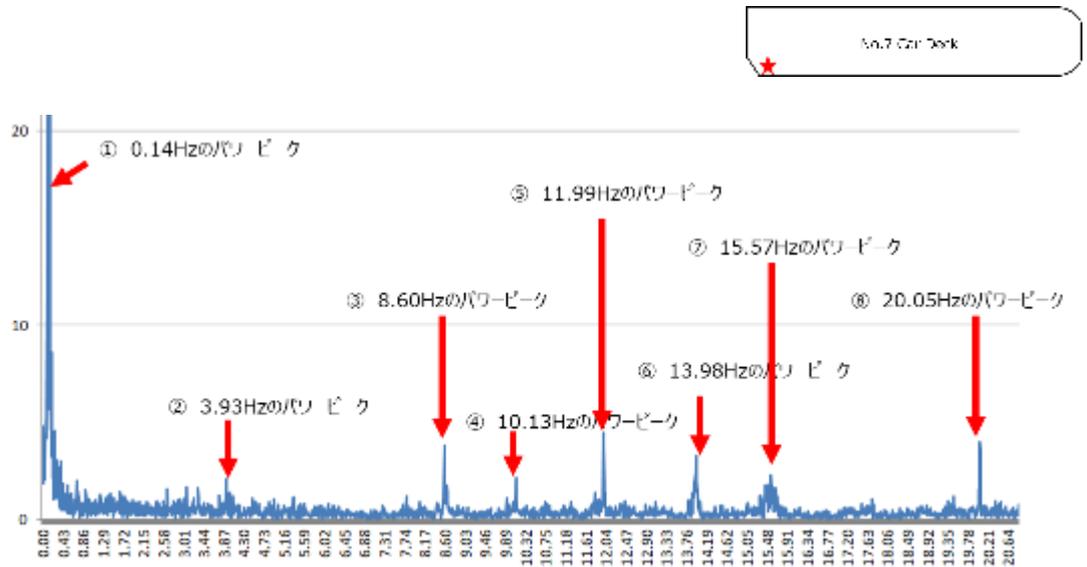


図 7-38 T10 No.7 Car Deck Aft Right 16:00:00-16:01:39 の Z スペクトラム

- ① 0.14Hz 付近に非常に大きな振幅ピークがあり、これは海上の波の影響によるものと推測する。約 14 秒に一回の周期で波の影響による振動が発生している。X 軸の船体に対しての上下振動と合わせて推測すると横波を受けていたと推測される。
- ② 3.93Hz (235.8rpm) 付近にピーク (振幅) が存在する。主機関の高調波振動を捉えたものの可能性がある。
- ③ 8.60Hz 付近のピーク (振幅) は 516rpm でこれも主機関の高調波振動の可能性はある。
- ④ 10.13Hz (607.8rpm) 付近にピーク (振幅) が存在するが分析上原因が究明できていない。
- ⑤ 11.99Hz (719.4rpm) 付近にピーク (振幅) が存在するが分析上原因が究明できていない。
- ⑥ 13.98Hz (838.8rpm) 付近にピーク (振幅) が存在するが分析上原因が究明できていない。
- ⑦ 15.57Hz (934.2rpm) 付近にピーク (振幅) が存在するが分析上原因が究明できていない。
- ⑧ 20.05Hz (1203rpm) 付近にピーク (振幅) が存在するが分析上原因が究明できていない。

上述の通り、各想定ポイントで波、主機関、スクリュー、の振動は捉えられており測定データの正当性を確認することができた。

7.3.1.3 実貨物（リフトブルカー）に取付けた加速度ロガーから取得した加速度測定結果

実貨物（リフトブルカー）への加速度ロガーおよび水平水準計の取り付け

本システムの評価にあたり船体ではなく実際の自動車の状態を計測するため商船三井様所有の船内常設の実貨物（リフトブルカー）へ加速度ロガーと水平水準計を取り付けた。

以下図 7-39 実貨物（リフトブルカー）、図 7-40 実貨物（リフトブルカー）への加速度ロガーと水平水準計取り付けに示す状態で実貨物（リフトブルカー）へ設置して、実貨物（リフトブルカー）の振動・傾斜データを取得できるようにした。

本来であれば通常輸送される自動車へ加速度ロガーを取り付け実際に輸送される自動車の状態を計測するべきであるが、荷主様の許可が得られなかったため、実貨物（リフトブルカー）での測定を実施した。また測定に当たって使用する測定器も本来船体に取り付けた振動・傾斜記録装置と同じ装置を取り付けて測定すべきところであるが、航海中に実貨物（リフトブルカー）はフロアー（Car Deck）のレイアウト変更に稼働するため、電池での駆動が必要で簡単に取り付け/取り外しが必要であったため、市販の簡易測定器を選定した。



図 7-39 実貨物（リフトブルカー）



図 7-40 実貨物（リフトブルカー）への加速度ロガーと水平水準計取り付け

船舶での実測データを基に算出した実貨物での振動・傾斜シミュレーション値が実振動・傾斜と近似するかを調査するため、加速度ロガーを実貨物（リフトブルカー）に取り付けて加速度を測定した。

実貨物（リフトブルカー）での測定は、No.7 Car Deck の右舷船首に設置した T13 振動・傾斜記録装置付近にて次の 2 回測定した。

- ・第一回 2018 年 11 月 11 日 10:23 ～ 2018 年 11 月 14 日 23:30
- ・第二回 2018 年 11 月 15 日 10:38 ～ 2018 年 11 月 17 日 09:45

また、リフトブルカーを移動させて No.7 Car Deck の右舷船尾に設置した T10 振動・傾斜記録装置付近の左舷側にて測定した。

- ・第三回 2018 年 11 月 17 日 13:48 ～ 2018 年 11 月 18 日 05:59

本格的な計測の前に、実貨物（リフトブルカー）に取付けた加速度ロガーと振動・傾斜記録装置で計測した値に相関関係があるか確認した。その結果図 7-41 実貨物（リフトブルカー）加速度ロガーでの測定

2018/11/11 11:00-11:59 加速度データと図 7-42 T13 No.7 Car Deck Fore Right
 2018/11/11 11:00-11:59 加速度データに示すとおり、相関があることが確認できた
 ため、計測を続けることとした。

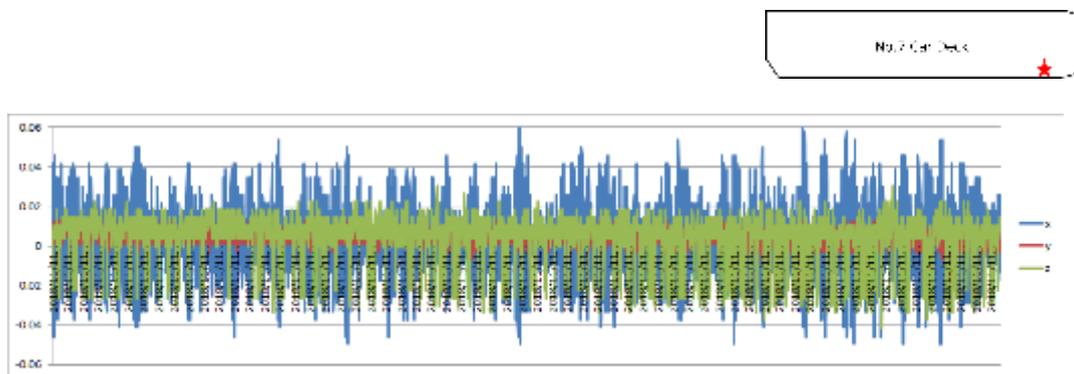


図 7-41 実貨物（リフトブルカー）加速度ロガーでの測定
 2018/11/11 11:00-11:59 加速度データ

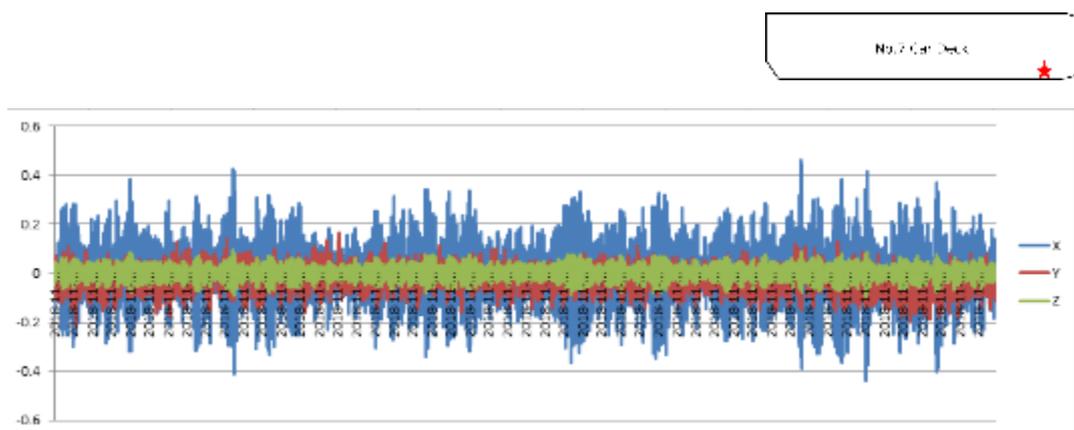


図 7-42 T13 No.7 Car Deck Fore Right 2018/11/11 11:00-11:59 加速度データ

※上記グラフの縦軸の値の違いは加速度ロガーについては重力（G）、振動・傾斜記録装置加速度データは加速度（m/s²）で重力を約 9.8 倍した値が加速度である。

以下、実貨物（リフトブルカー）に取り付けた加速度ロガーで測定した長時間スパンのデータ変化を検証した。

使用加速度ロガー：GRAPHTEC 社 GL100（本体） 加速度センサ（GS-AT）



図 7-43 ロガー本体

図 7-44 ロガーセンサ部

X が船体に対して左右方向の振動、Y が船体に対して前後方向の振動、Z が船体に対して上下方向の振動である。

測定時間は 2018 年 11 月 11 日 10:23 (JST) ～ 2018 年 11 月 14 日 23:30 (JST) である。

この間の自動車専用船の運航スケジュールは以下の通りである。

- ・ 11 月 11 日～12 日 05:00 (JST) まで東シナ海から太平洋へ航海
- ・ 11 月 12 日 05:00 (JST) 頃、種子島東沖 200Km 停泊
- ・ 11 月 13 日 04:00 頃から風が強まり 14 日 23:30 まで高波の影響を受けていた
- ・ 停泊後は錨を降ろしており、時々錨を引きずる振動が発生していた

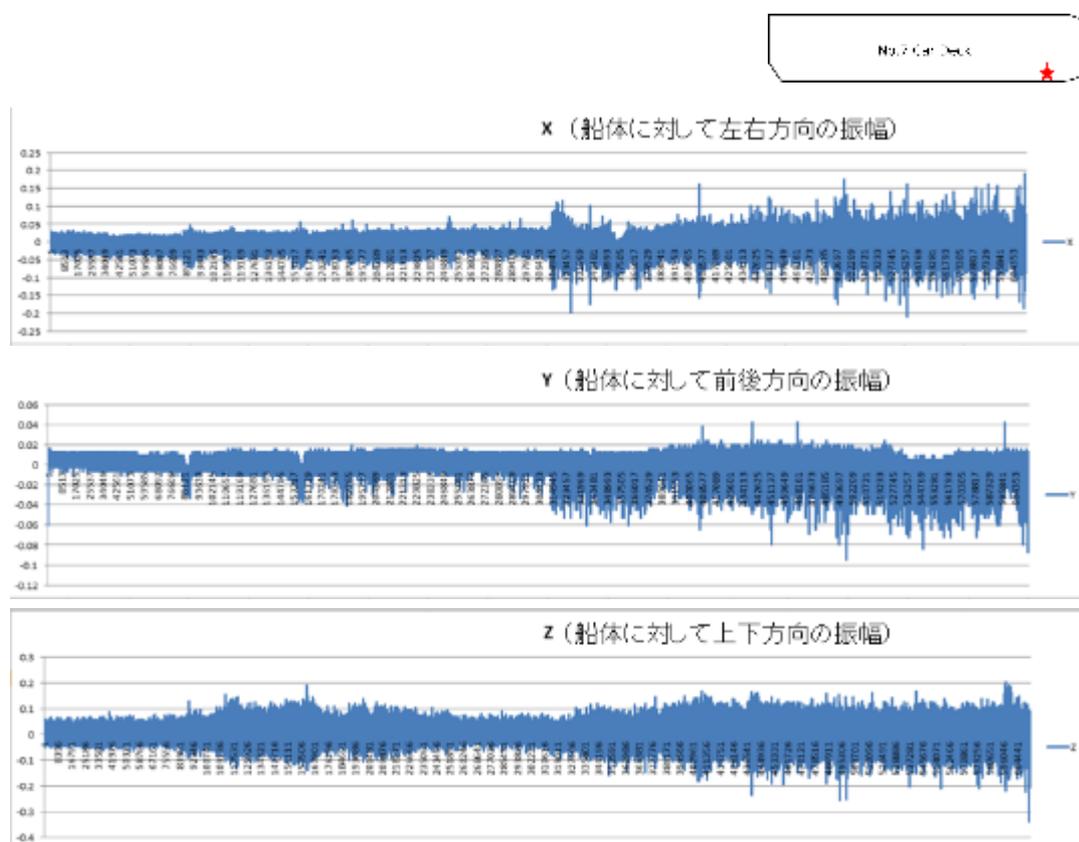


図 7-45 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた加速度ロガー
2018/11/11-14 の加速度データ

前半は比較的穏やかな海の航行で 11 日は大きな振動変化は見受けられない。12 日日付変更あたりで屋久島沖を通過し太平洋に出たあたりから上下動の振動と前方から後方への加速度が多く見受けられる。これは波の影響を強く受けるようになったことからの結果と推測される。12 日深夜から 13 日未明にかけては一旦落ち着くが、13

日未明から徐々に風波の影響を受けていたことが伺われる。Y 軸（船体に対して前後）では後方への加速度が多く見受けられる。これは船首方向からの波を多く受けていたことによる影響と思われる。横揺れと上下動は大きいが一定の振動を検出している。

同じく実貨物（リフトブルカー）近くに配置した振動衝・傾斜記録装置（T13）での同じ時間帯の加速データを以下図 7-46 T13 実貨物（リフトブルカー）付近の振動・傾斜記録装置

2018/11/11-14 の加速度データに示す。サンプル数は振動・傾斜記録装置では加速度ロガーの 20 倍でのサンプル数を収集しているため 20 分の 1 にデータを間引いて加速度 (m/s^2) から重力 (G) へ変換した結果にてグラフを作成している。

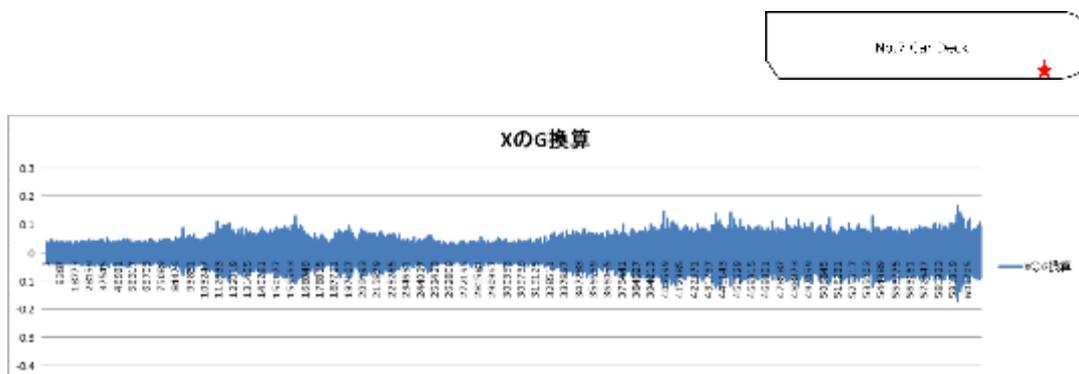


図 7-46 T13 実貨物（リフトブルカー）付近の振動・傾斜記録装置
2018/11/11-14 の加速度データ

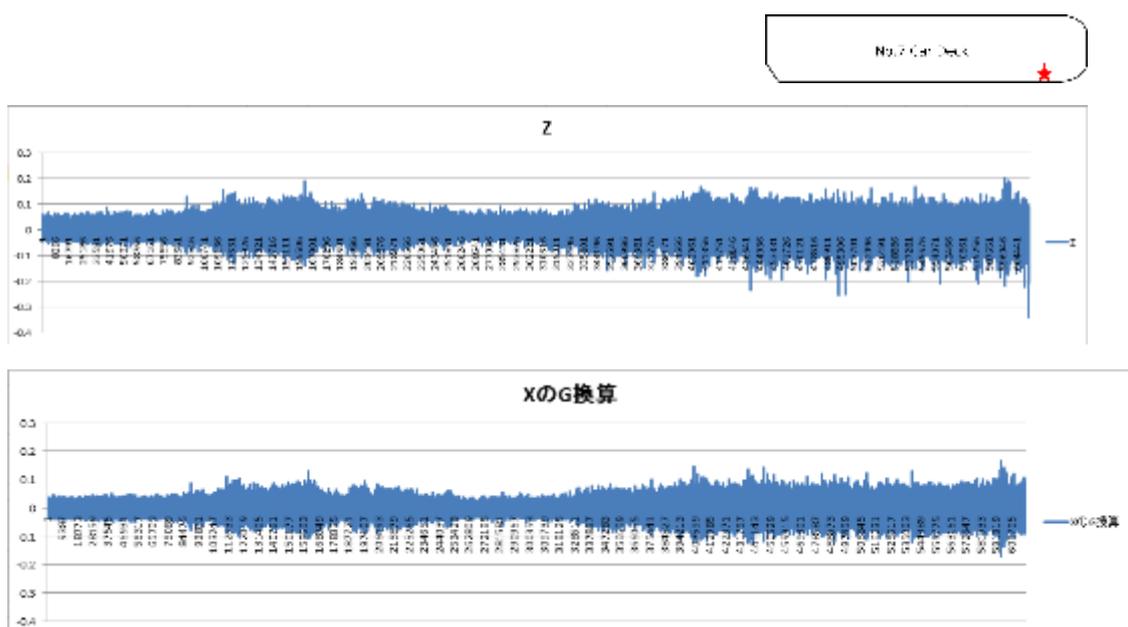


図 7-47 実貨物（リフトブルカー）取り付け加速度ロガーと

船体取り付け振動・傾斜記録装置データの比較（船体に対して上下振動）

上下振動については上記図 7-47 実貨物（リフトブルカー）取り付け加速度ロガーと

船体取り付け振動・傾斜記録装置データの比較（船体に対して上下振動）の通り、粗同一の振動特性を示している。

但し、実貨物（リフトブルカー）での振動は自動車のサスペンションの影響で振動が若干大きく出ている。

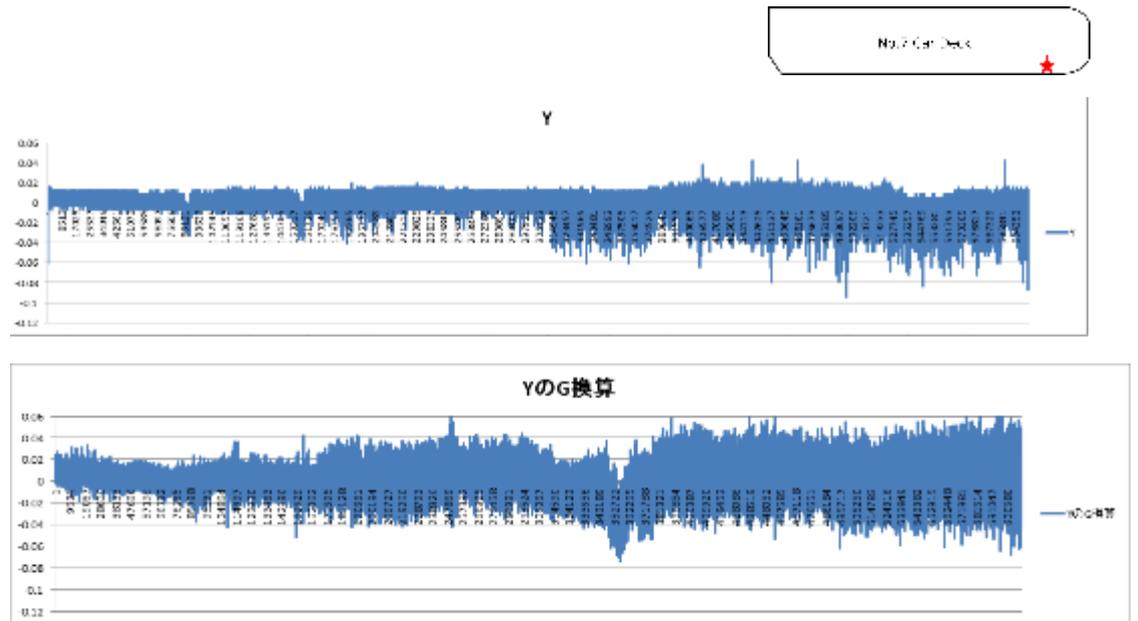


図 7-48 実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーと船体取り付け振動・傾斜記録装置データの比較（船体に対して前後振動）

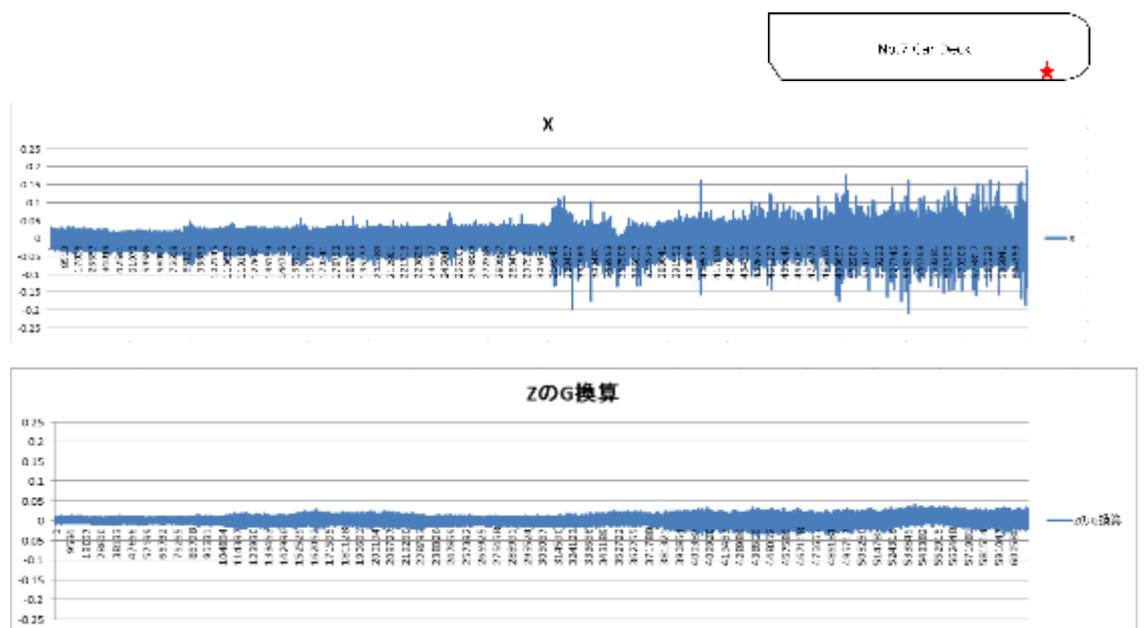


図 7-49 実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーと船体取り付け振動・傾斜記録装置データの比較（船体に対して前後振動）

録装置データの比較（船体に対して左右振動）

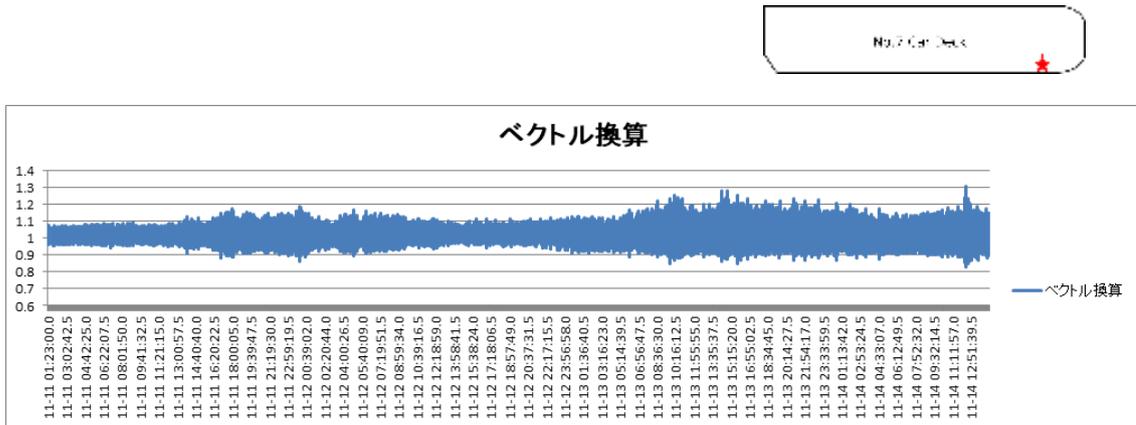


図 7-50 船体取り付け振動・傾斜記録装置ベクトル量

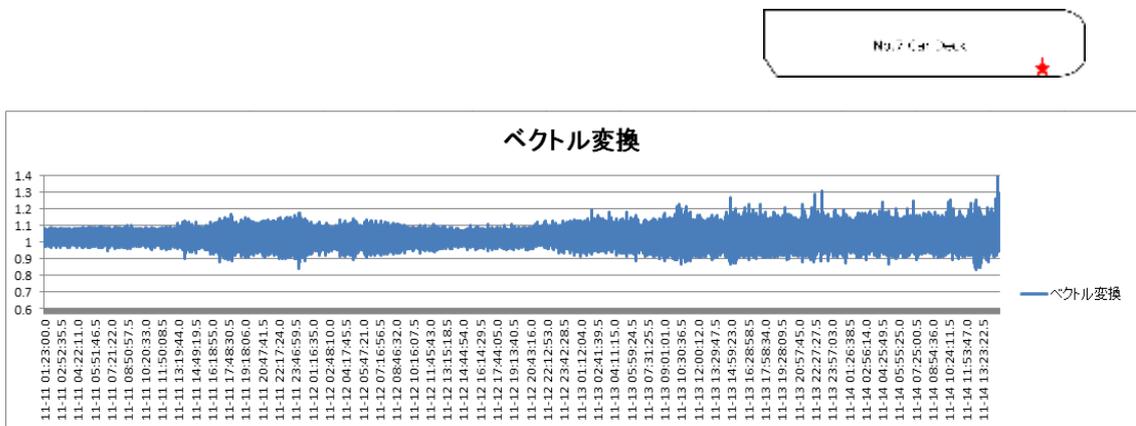


図 7-51 実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーベクトル量

図 7-48 実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーと船体取り付け振動・傾斜記録装置データの比較 ～ 図 7-51 実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーベクトル量の通り、振動・傾斜記録装置の X 軸方向（船体に対して上下方向）の振幅が大きく、加速度センサの 3 軸ベクトル量の変化と粗一致する。それに対して今回の航海で得られたデータでは振動・傾斜記録装置の Y 軸方向（船体に対して前後）と Z 軸方向（船体に対して左右）の振幅はベクトル量の 100 分の 1 にも満たないため、誤差範囲の振動である。この結果から船体に取付けた振動・傾斜記録装置から得られたデータはラッシングベルトで固定された自動車と同等の振動を観測できている。

実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーのベクトル量と振動・傾斜記録装置のベクトル量差を積分和から算出すると

実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーのベクトル量積分和平均

$$\int A(n) = \sqrt{(X_n^2 + Y_n^2 + Z_n^2)}$$

$$\text{Ave. } A(n) = 1.0315$$

振動・傾斜記録装置のベクトル量積分和平均

$$\int B(n) = \sqrt{(Z_n^2 + Y_n^2 + X_n^2)}$$

$$\text{Ave. } B(n) = 1.0170$$

実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーのベクトル量積分和平均と振動・傾斜記録装置のベクトル量積分和平均の差分率は

$$D = \text{Ave. } A(n) - \text{Ave. } B(n) = 0.0145$$

$$D / \text{Ave. } A(n) = 0.0145 / 1.0315 = 0.01406$$

実貨物（リフトブルカー）取り付けロガーと振動・傾斜記録装置の加速度測定値の誤差は1.45%である。

この結果から船体に取付けた振動・傾斜記録装置から得られた加速度データはラッシングベルトで固定された自動車と同等の振動を計測できた。

7.3.2 角度計測結果

7.3.2.1 振動・傾斜記録装置から取得した角度計測結果

以下に各設置場所の振動・傾斜記録装置から取得した角度データグラフを示す。
データ取得時間は2018年11月09日～2018年11月15日である。

縦軸：傾斜角度 (°)

横軸：測定時間 (0.5秒サンプリング)

— : 横傾斜 (ローリング)

— : 縦傾斜 (ピッチング)

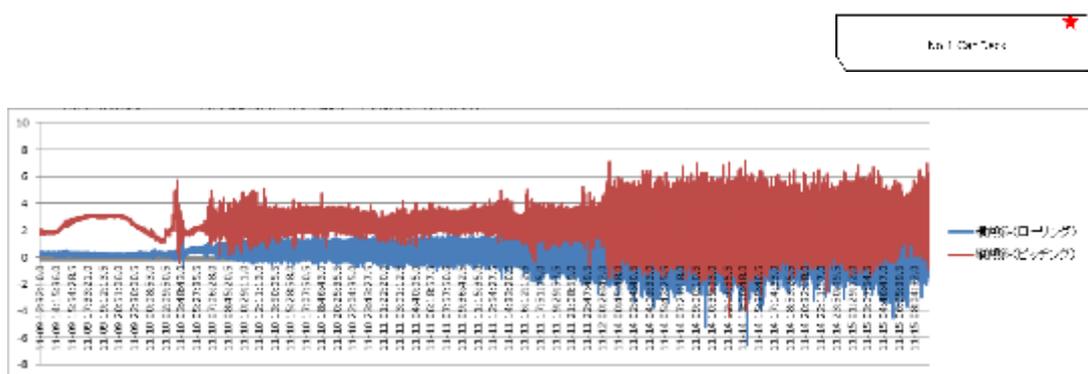


図 7-52 T02 No.1 Car Deck Fore Left 角度データ

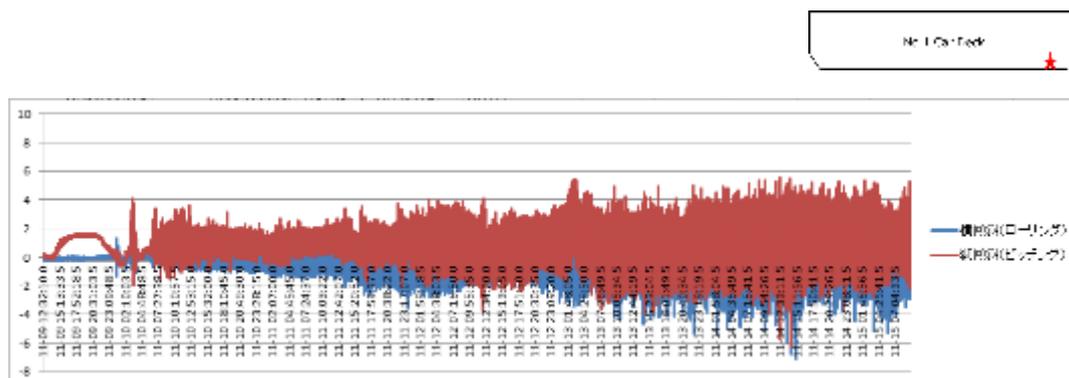


図 7-53 T04 No.1 Car Deck Fore Right 角度データ

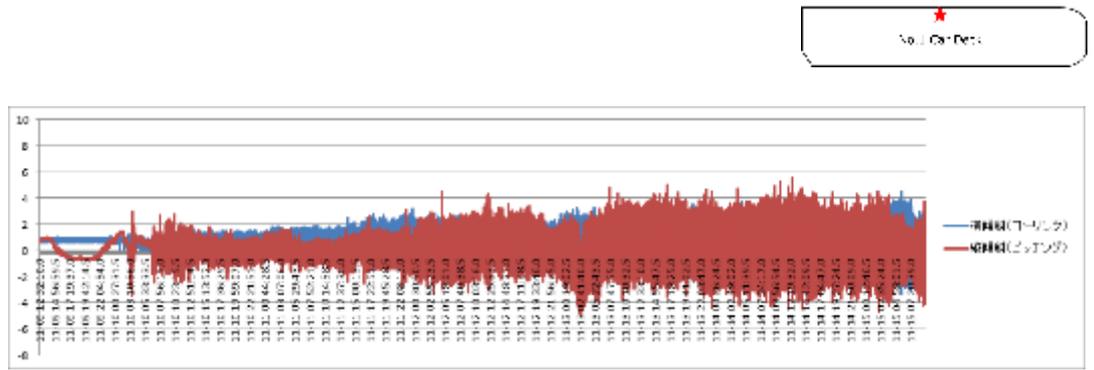


図 7-54 T05 No.1 Car Deck Mid Left 角度データ

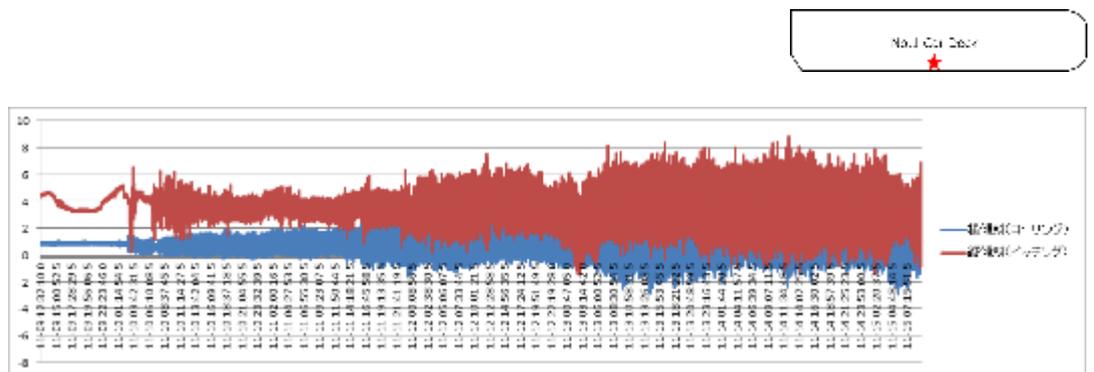


図 7-55 T08 No.1 Car Deck Mid Right 角度データ

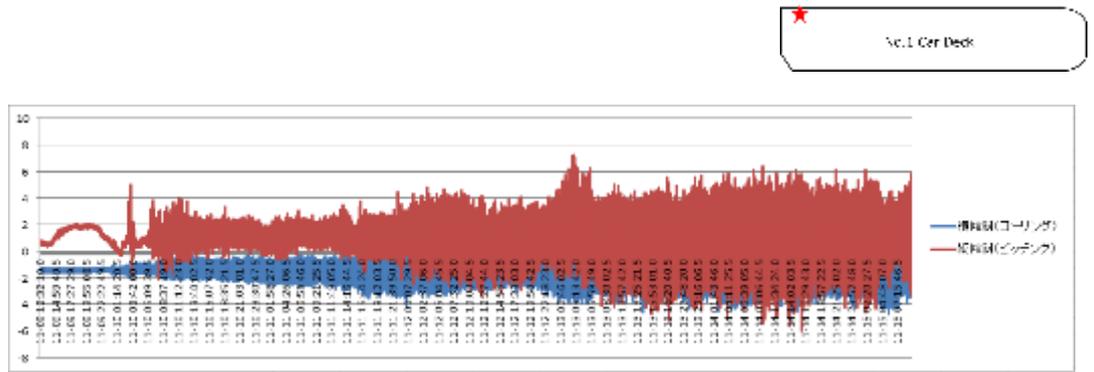


図 7-56 T09 No.1 Car Deck Aft Left 角度データ

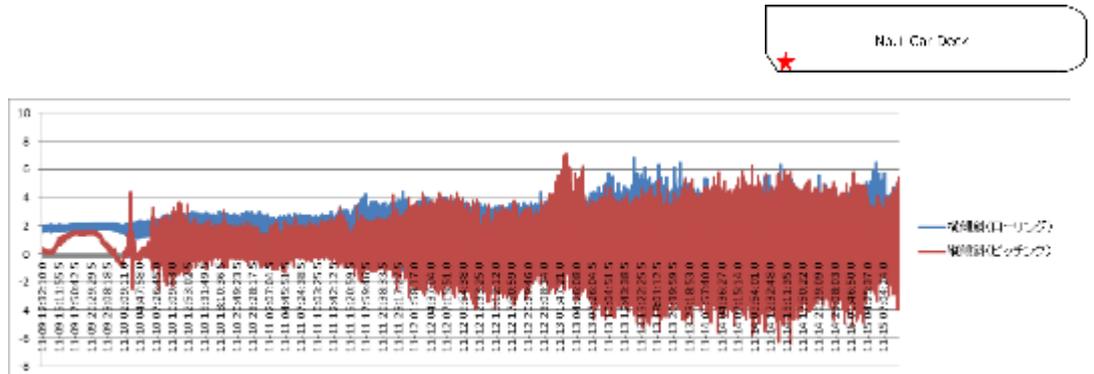


図 7-57 T12 No.1 Car Deck Aft Right 角度データ

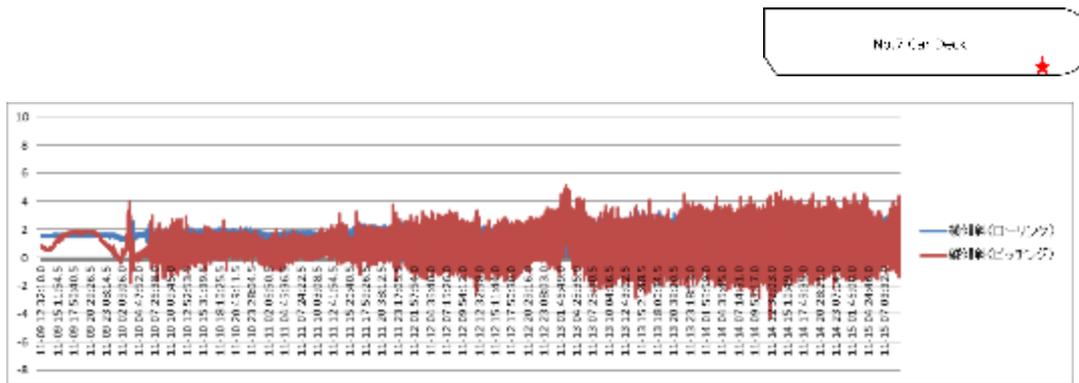


図 7-58 T13 No. 7 Car Deck Fore Right 角度データ

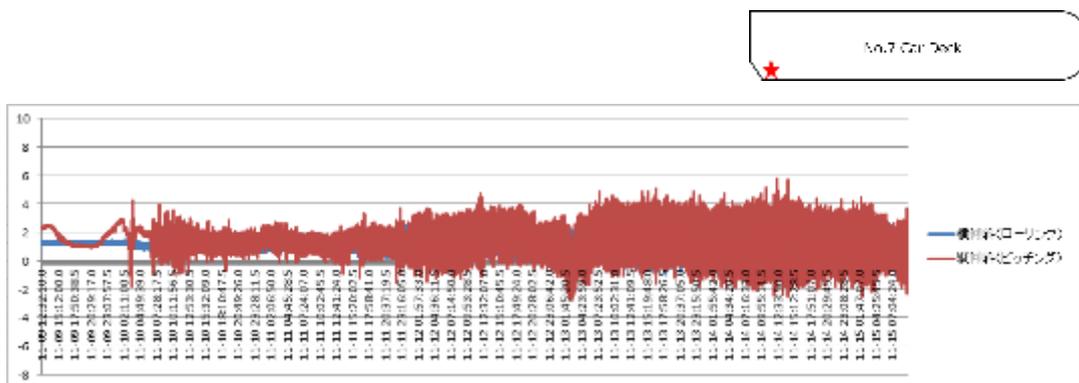


図 7-59 T10 No. 7 Car Deck Aft Right 角度データ

先に示したグラフは各測定場所での角度を 11 月 9 日～11 月 15 日の期間取得した全データを示したものである。

補正前のデータであるため、計測装置の取り付け誤差によりそれぞれの角度ベースは若干のズレがあるが粗類似した変化を示している。

- ・ 図 7-54 T05 No. 1 Car Deck Mid Left 角度データ
- ・ 図 7-55 T08 No. 1 Car Deck Mid Right 角度データ
- ・ 図 7-59 T10 No. 7 Car Deck Aft Right 角度データ

は図 7-9 システム設置位置詳細で示した通り、取り付け方向が船尾方向を向いており角度は±が反転しているものである。

7.3 システム評価結果の冒頭にも記述したが

- ・ 11 月 09 日 中華人民共和国 舟山市 ドッグの岸壁にて航海前
バラスト注水による船体バランスの調整
- ・ 11 月 10 日 11:00 (CST) 離岸 300m 程度沖に停泊
15:00 (CST) 出港
16:00 (CST) 東シナ海航行開始
- ・ 11 月 11 日 23:30 (JST) 屋久島沖通過

- ・ 11月12日 深夜 (JST) 種子島東沖約 200Km 停泊
 この間種子島東沖 150Km-200Km に停泊
 11/13 夜～15 深夜まで荒天 14 日夜～15 日早朝は机上の物が
 落ちる揺れ
 の通り、船の傾斜測定値も同様な結果を示している。

図 7-60 航海記録と角度変化の分析に航海上の変化点を角度データグラフに示す。

航海記録の変化点が良く捉えられていることがわかる。

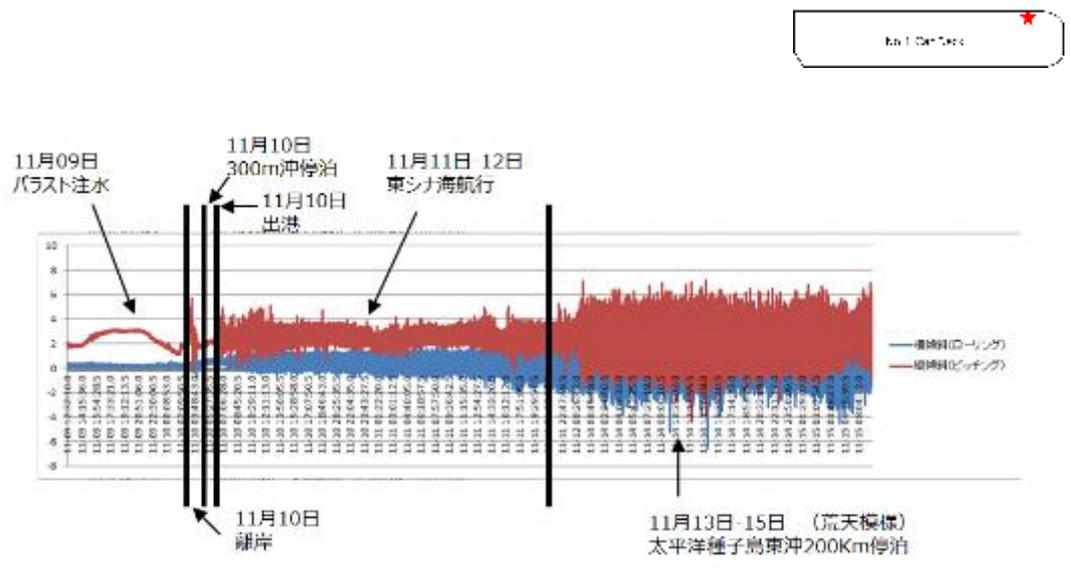


図 7-60 航海記録と角度変化の分析

7.3.2.2 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた水平水準計から取得した角度計測結果

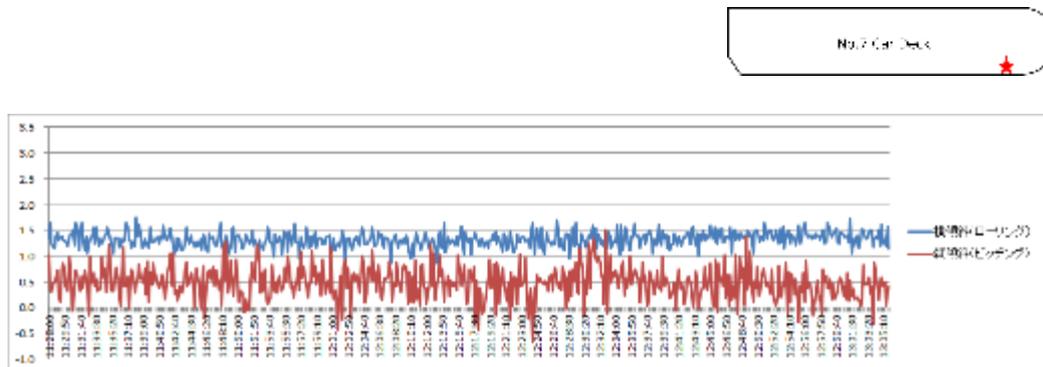


図 7-61 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた水平水準計の角度データ(11/11 11:28-13:05)

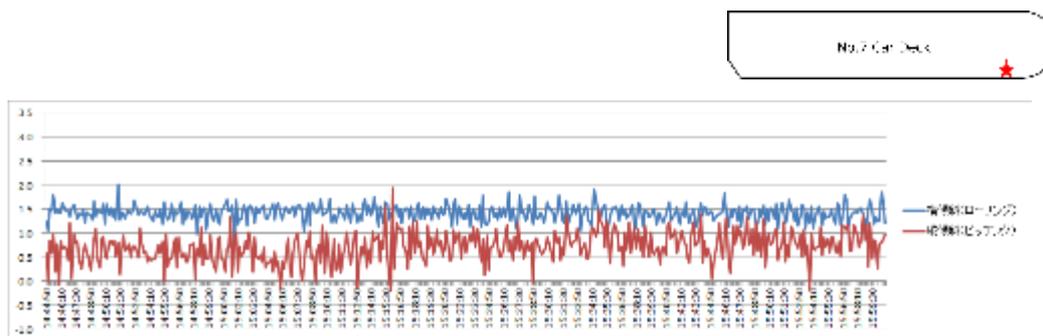


図 7-62 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた水平水準計の角度データ(11/11 14:44-16:04)

図 7-61 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた水平水準計の角度データ
(11/11 11:28-13:05)

および

図 7-62 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた水平水準計の角度データ
(11/11 14:44-16:04)

で示したグラフは 11 月 11 日のデータで東シナ海を東へ一定速度にて航行している状況である。天候も穏やかで概ね前後、左右の傾斜は 0.5 度以内である。

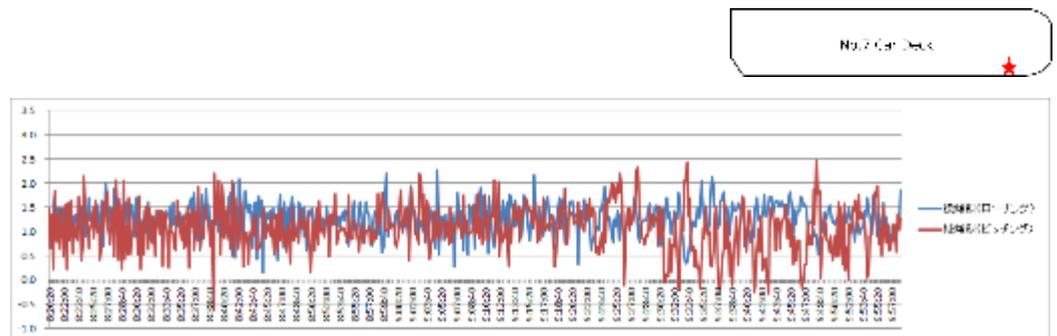


図 7-63 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた
水平水準計の角度データ (11/12 08:30-09:58)

図 7-63 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた
水平水準計の角度データ

(11/12 08:30-09:58)で示したグラフは11月12日のデータで太平洋に出て種子島東沖200Kmに停泊している状況である。

この時間帯の天気概況図を図 7-64 2018年11月12日09時天気概況図に示す。

低気圧が接近しており徐々に波風が強まる状況で前後、左右の傾斜は1度程度に強まって来ていることがわかる。

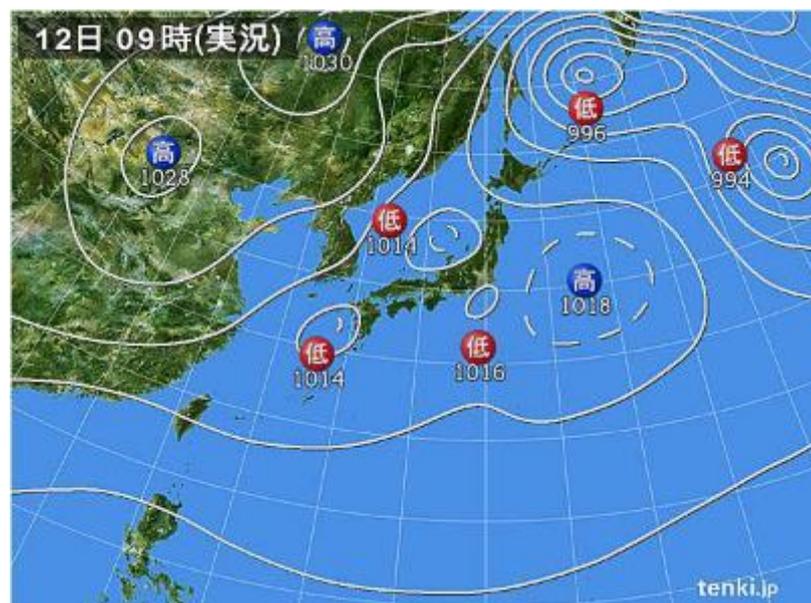


図 7-64 2018年11月12日09時天気概況図

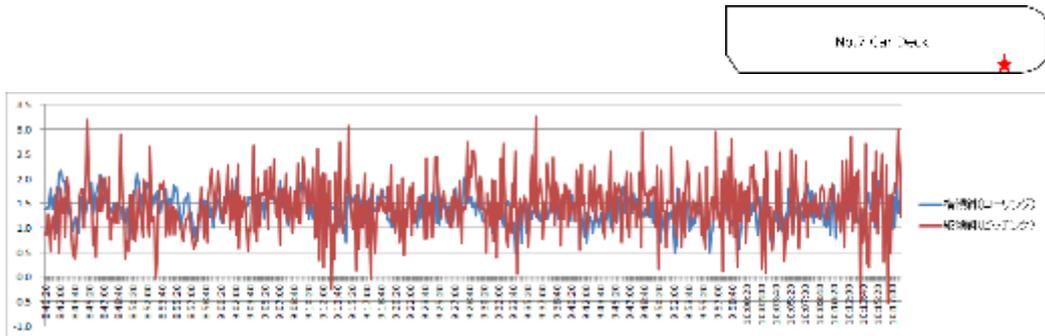


図 7-65 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた
水平水準計の角度データ(11/13 08:40-10:18)

図 7-65 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた
水平水準計の角度データ(11/13 08:40-10:18)で示したグラフは 11 月 13 日
のデータで種子島東沖 200Km に継続停泊している状況である。
この時間帯の天気概況図を図 7-66 2018 年 11 月 13 日 09 時天気概況図に示
す。

低気圧が通過中で波風が非常に強い状況で北東からの波風を受けている。左舷、
船首方向が大きく浮いて（2 度程度）傾斜していることがわかる。

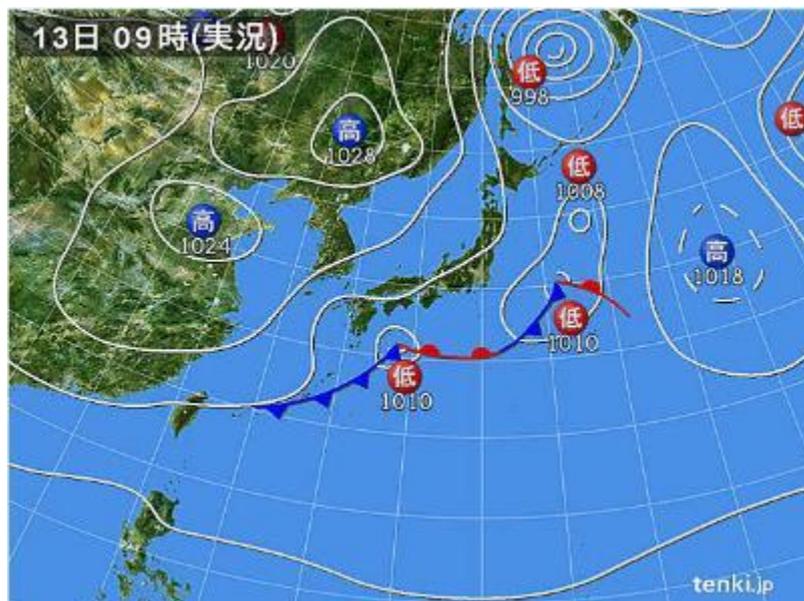


図 7-66 2018 年 11 月 13 日 09 時天気概況図

7.3.2.3 振動・傾斜記録装置から取得した角度計測結果と実貨物（リフトブルカー）に取り付けた水平水準計角度計測結果の比較

図 7-67 実貨物（リフトブルカー）取り付け水平水準計と船体取り付け振動・傾斜記録装置傾斜データの比較（横傾斜ローリング）にリフトブルカーの横傾斜と振動・傾斜記録装置 T13（リフトブルカー付近に設置）の横傾斜の比較グラフを示す。

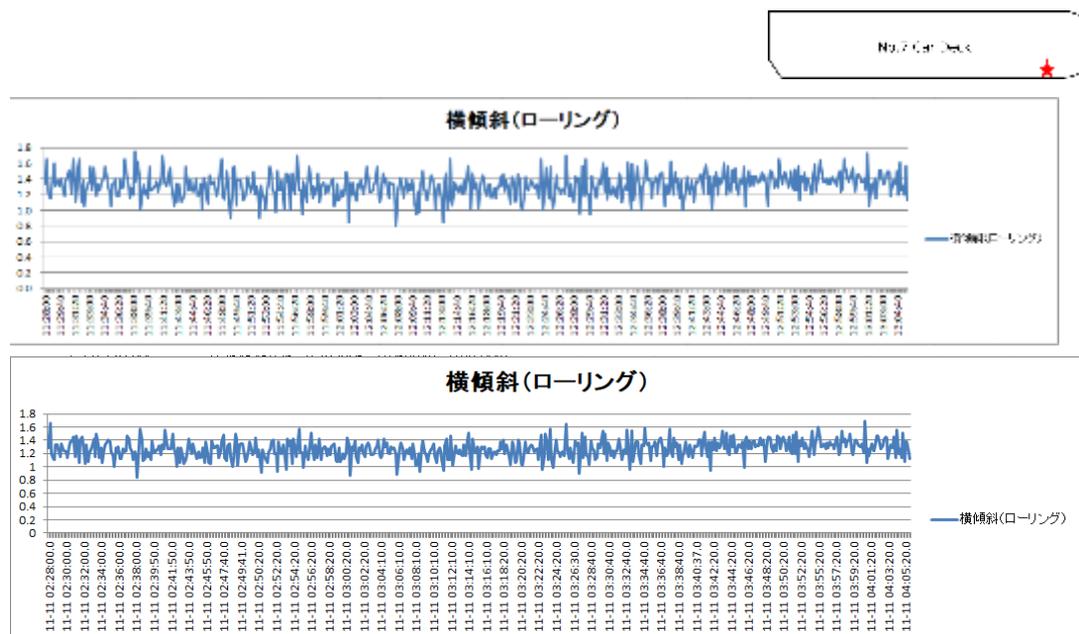


図 7-67 実貨物（リフトブルカー）取り付け水平水準計と船体取り付け振動・傾斜記録装置傾斜データの比較（横傾斜ローリング）

上段が実貨物（リフトブルカー）のローリングで下段が振動・傾斜記録装置のローリングデータである。2018年11月11日の11:28-13:04の時間を比較したものである。

粗同等な傾斜変位を示している。

実貨物（リフトブルカー）の変位と振動・傾斜記録装置の変位差を積分和として算出すると

$$D = \int A(n) - B(n) = 28.245$$

で実貨物（リフトブルカー）の傾斜変位に対する実貨物（リフトブルカー）と振動・傾斜装置の変位差率は

$$D / \int A(n) = 28.245 / 774.824 = 0.036453$$

実貨物（リフトブルカー）と振動・傾斜記録装置の誤差 3.65%である。

図 7-68 実貨物（リフトブルカー）取り付け水平水準計と船体取り付け振動・傾斜記録装置傾斜データの比較（縦傾斜ピッチング）に実貨物（リフトブルカー）の縦傾斜と振動・傾斜記録装置 T13（実貨物（リフトブルカー）付近に設置）の縦傾斜の比較グラフを示す。

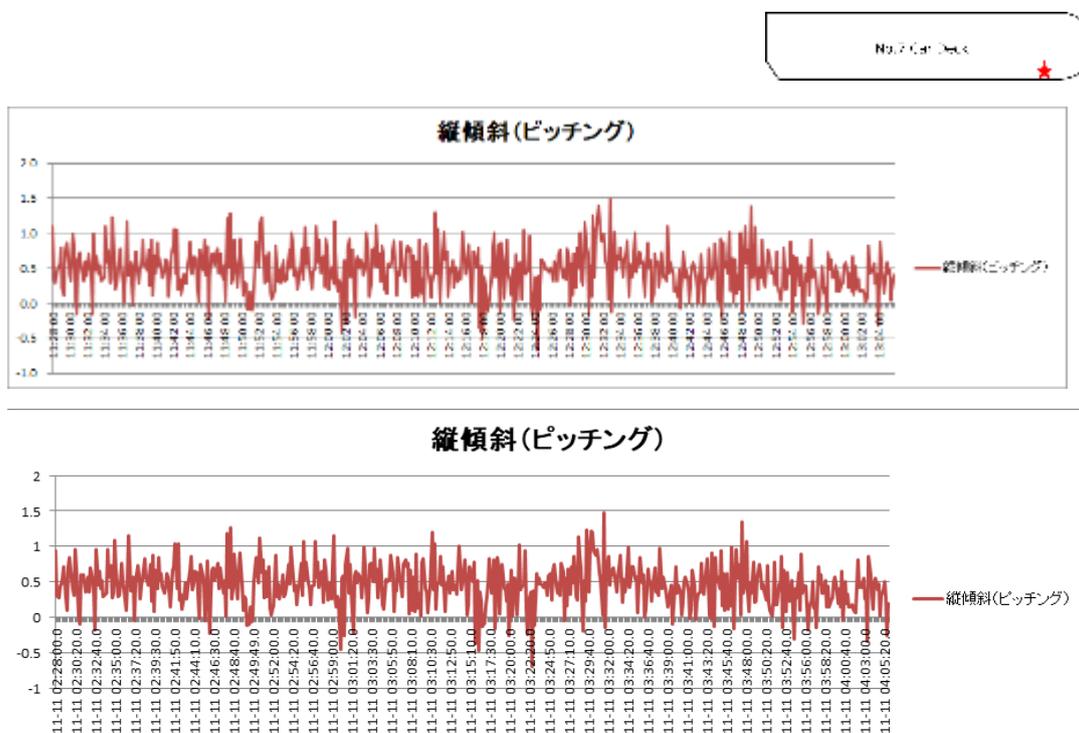


図 7-68 実貨物（リフトブルカー）取り付け水平水準計と船体取り付け振動・傾斜記録装置傾斜データの比較（縦傾斜ピッチング）

上段が実貨物（リフトブルカー）のピッチングで下段が振動・傾斜記録装置のピッチングデータである。2018年11月11日の11:28–13:04の時間を比較したものである。

粗同等な傾斜変位を示している。

実貨物（リフトブルカー）の変位と振動・傾斜記録装置の変位差を積分和として算出すると

$$D = \int A(n) - B(n) = 12.499$$

で実貨物（リフトブルカー）の傾斜変位に対する実貨物（リフトブルカー）と振動・傾斜装置の変位差率は

$$D / \int A(n) = 12.499 / 268.106 = 0.046620$$

リフトブルカーと振動・傾斜記録装置の誤差 4.66%である。

この結果から船体に取り付けた振動・傾斜記録装置から得られたデータはラッシングベルトで固定された自動車と同等の傾斜を観測できている。

7.3.3 温湿度計測結果

以下に各設置場所の振動・傾斜記録装置から取得した温湿度データグラフを示す。データ取得時間は2018年11月09日～2018年11月15日である。

縦軸：温度/湿度（℃/%RH）

横軸：測定時間（10秒サンプリング）

—：温度

—：湿度

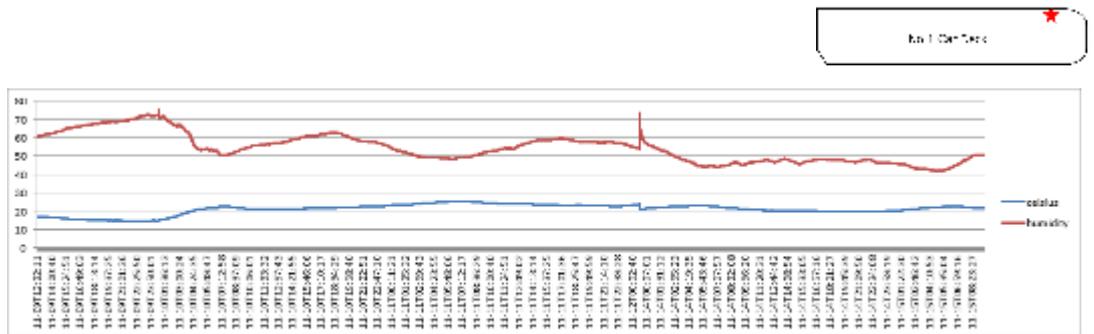


図 7-69 T02 No.1 Car Deck Fore Left 温湿度データ

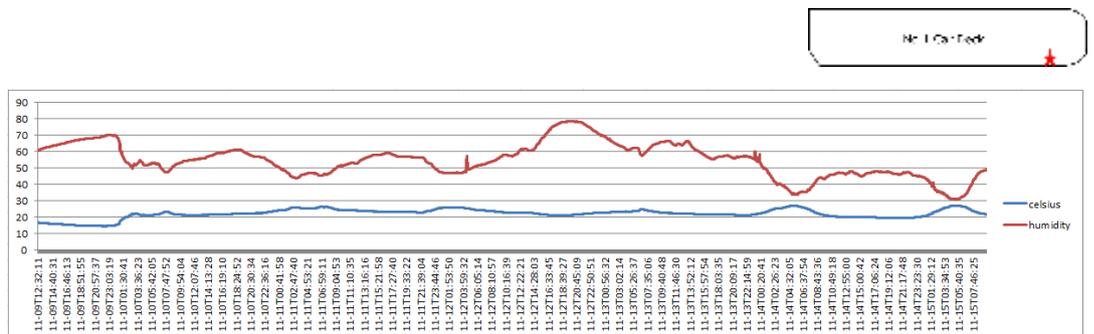


図 7-70 T04 No.1 Car Deck Fore Right 温湿度データ

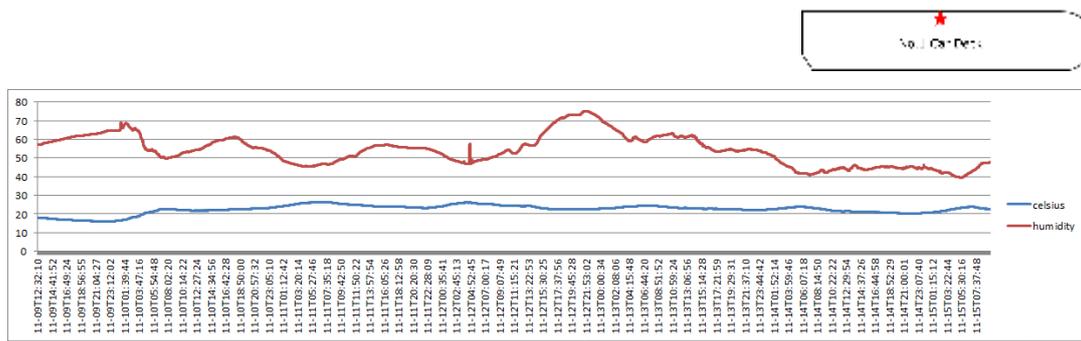


図 7-71 T05 No.1 Car Deck Mid Left 温湿度データ

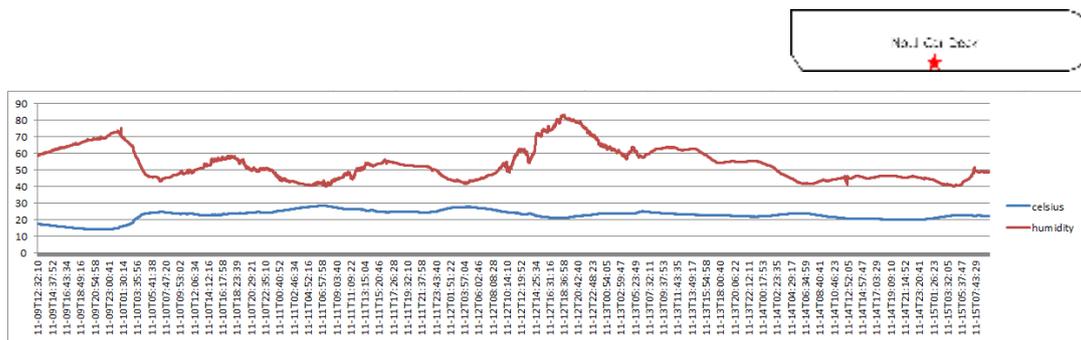


図 7-72 T08 No.1 Car Deck Mid Right 温湿度データ

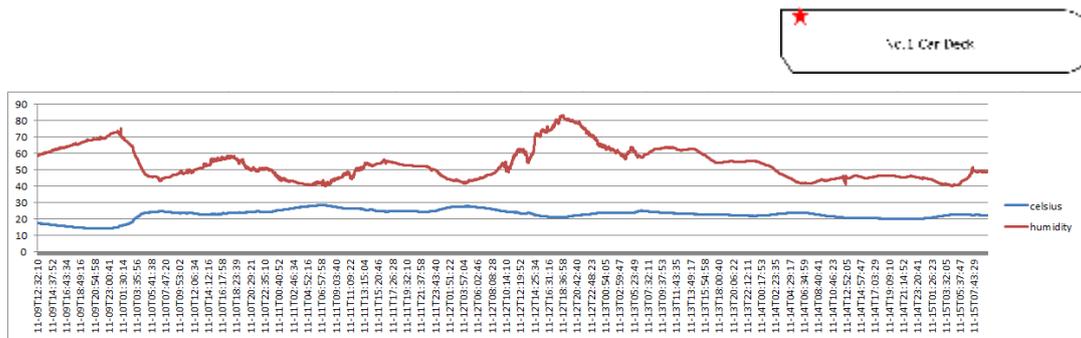


図 7-73 T09 No.1 Car Deck Aft Left 温湿度データ

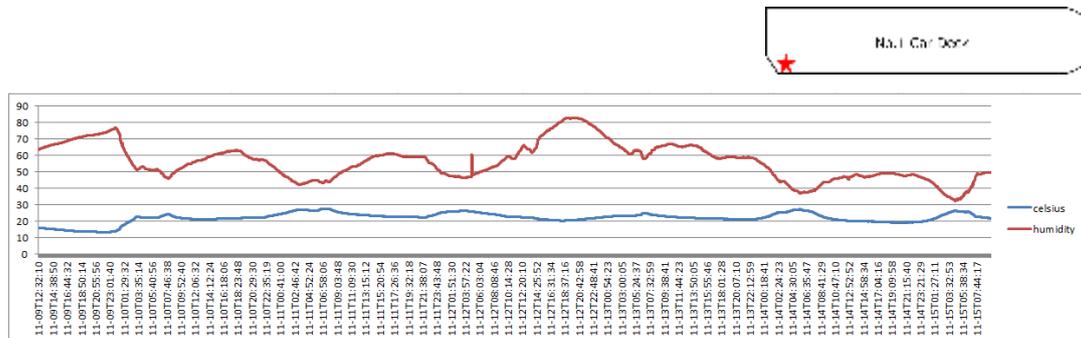


図 7-74 T12 No.1 Car Deck Aft Right 温湿度データ

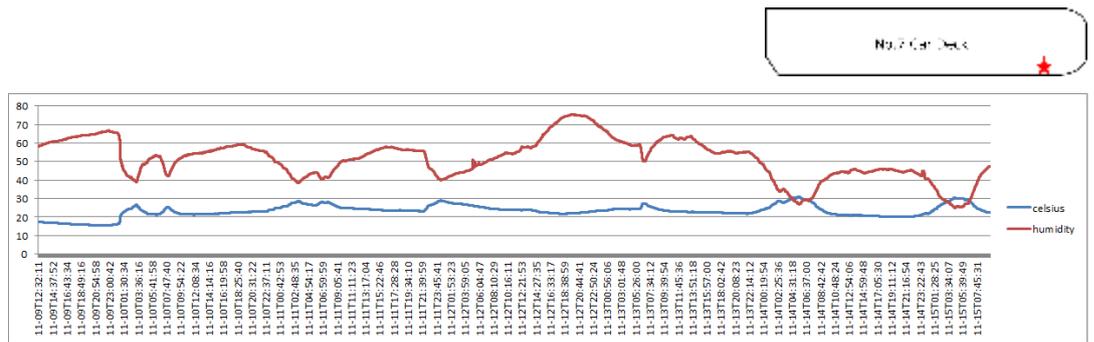


図 7-75 T13 No. 7 Car Deck Fore Right 温湿度データ

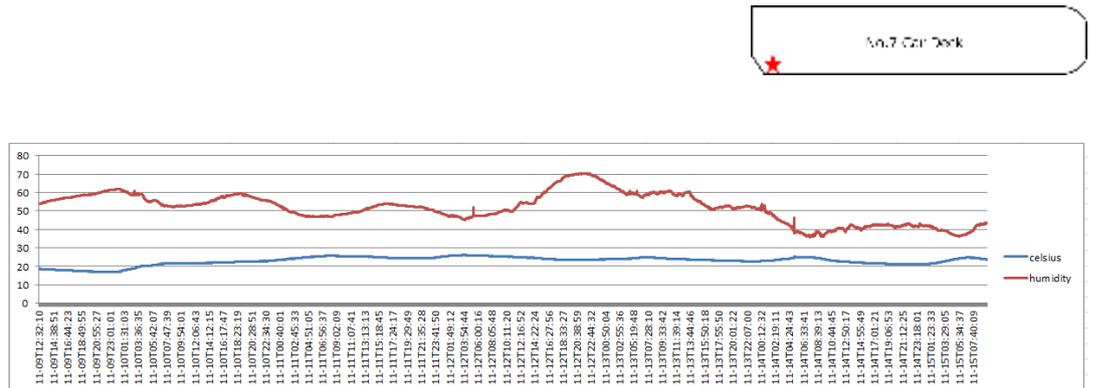


図 7-76 T10 No. 7 Car Deck Aft Right 温湿度データ

図 7-69 T02 No.1 Car Deck Fore Left 温湿度データのデータの一部の時間(11/12)にネットワーク試験を実施していた間データ取得ができておらず、単純な比較はできないがその他の測定ポイントにおけるデータは概ね同じ変化傾向を示している。

温度は 11/10 の未明に太平洋上に出たあたりから外気温が上がっておりそれに伴って各測定ポイントも外気温+5°C程度の温度を示している。No. 1 および No. 7 Car Deck では主機関に近い No. 7 Car Deck の温度が若干ではあるが高めに測定されている。

湿度は 11/12 未明から 11/13 夜半にかけての雨により 20%程度の上昇が見受けられるが通常は 40%-60%RH の範囲であることがわかった。

今回の航路は北緯 30 度前後の非常に気象環境の良い航海ではあったが、要求仕様に基づいて H29 年度に決定した振動・傾斜記録装置のハードウェア設計仕様である動作温度範囲 -20°C~80°C、動作湿度範囲 0%~100%RH の設計値は全く問題のない範囲であることが確認できた。

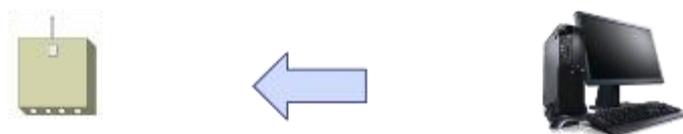
7.3.4 ネットワークスループット評価結果

自動車専用船内に設置したネットワークシステムのスループット(単位当たりの信号伝送速度)をデータ収集サーバーから各機器の設置ポイントまでの計測区間を測定した。測定方法を以下に記載する。

・測定方法

Iperf サーバの起動

Iperfクライアントから測定用データパケットを送信



測定対象ネットワークでデータの到達率と速度を測定

図 7-77 Iperf 測定概念

Iperf はネットワークのパフォーマンス測定で広く用いられているツールである。あらゆるネットワークに対して標準化されたパフォーマンス測定が可能でクライアントとサーバーの機能を持ち、一方向または双方向で両端間のスループットを測定するためのデータストリームを作成することができる。

スループットの評価はこの Iperf を使用し 10 分間の測定を各 3 回実施した。

結果を以下表 7-3 各 機器設置ポイントのスループット測定結果一覧表に示す。

表 7-3 各 機器設置ポイントのスループット測定結果一覧表

No.	測定対象	IP アドレス	設置場所	測定結果 1 回目	測定結果 2 回目	測定結果 3 回目
1	T04	192.168.20.4	No.1 FORE RIGHT	323Mbps	323Mbps	323Mbps
2	T02	192.168.20.2	No.1 FORE LEFT	323Mbps	323Mbps	323Mbps
3	T08	192.168.20.8	No.1 MID RIGHT	313Mbps	305Mbps	307Mbps
4	T05	192.168.20.5	No.1 MID LEFT	306Mbps	318Mbps	320Mbps
5	T12	192.168.20.12	No.1 AFT RIGHT	305Mbps	303Mbps	297Mbps
6	T09	192.168.20.9	No.1 AFT LEFT	303Mbps	307Mbps	304Mbps
7	T13	192.168.20.13	No.7 FORE RIGHT	308Mbps	310Mbps	312Mbps
8	T07	192.168.20.7	No.7 MID RIGHT	-	-	-
9	T10	192.168.20.10	No.7 AFT RIGHT	310Mbps	303Mbps	315Mbps

どの設置位置も約 300Mbps のスループットが得られる良好なネットワークが構築できている事が確認できた。

本開発事業開始時のスループット目標は 20Mbps 以上と設定していたが、それは実験船の対象を大型船舶としていたためネットワークの配線距離が非常に長くなることからネットワーク信号の減衰やノイズ等の影響によりスループット値を高めることが困難であると予想してこの目標値を設定していた。

本実験でのスループット結果は非常に良好な結果が得られた。

今回使用したカメラの動画転送が 1Mbps~1.2Mbps（フル HD 画像）であることから自動車専用船では全 Car Deck（10 層）への設置も問題無いことを確認した。

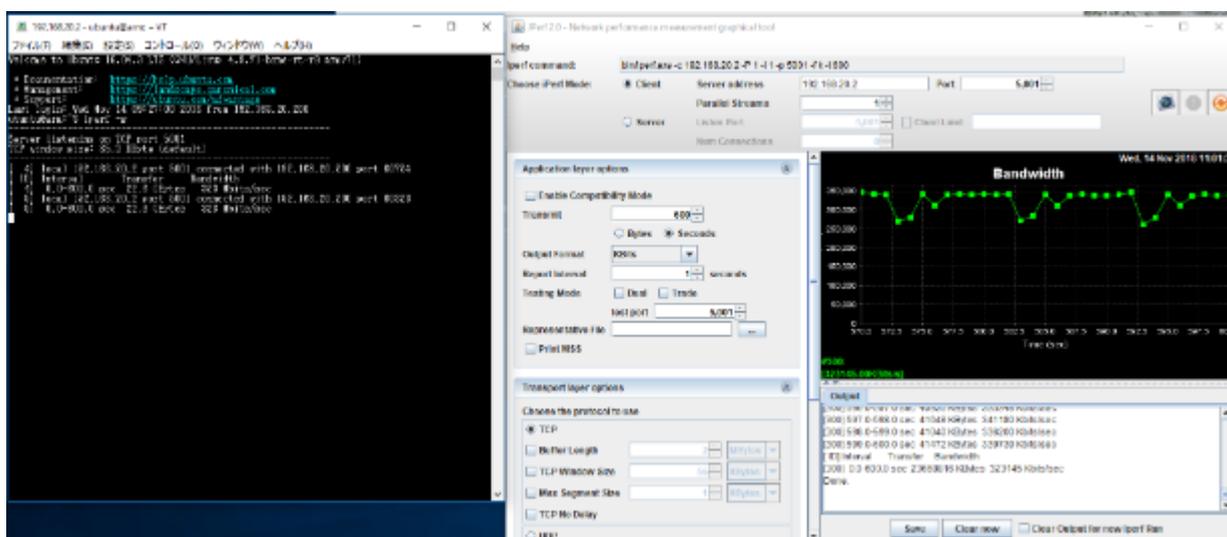


図 7-78 T02 Iperf 測定ログ

7.3.5 ネットワーク遅延検証結果

自動車専用船内に設置したネットワークシステムの遅延時間（データ送受信に掛かる時間）をデータ収集サーバーから各機器の設置ポイントまでの計測区間で測定した。測定方法を以下に記載する。

・測定方法

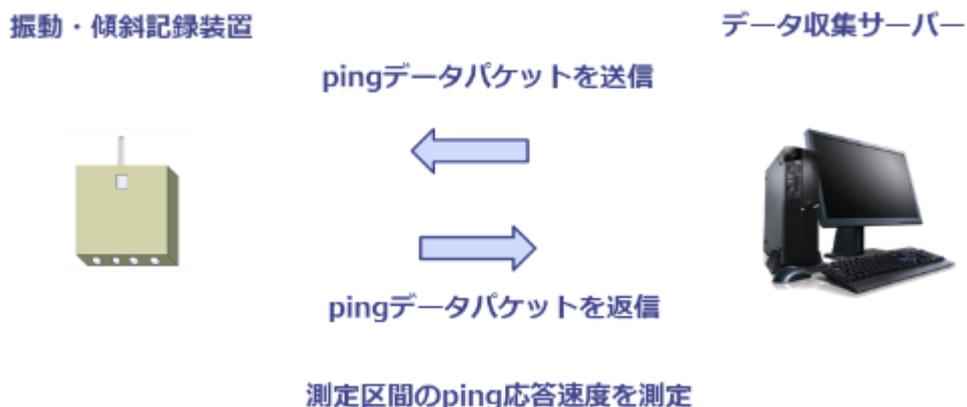


図 7-79 ping 測定概念

ping はネットワークの疎通測定で広く用いられているツールである。あらゆるネットワークに対して標準化された疎通応答速度測定が可能でネットワーク通信の安定性を確認することが確認することが可能である。

ネットワーク遅延時間の評価はこの ping を使用し 32 バイト、64 バイト、128 バイトのデータをそれぞれ 100 回ずつ送信しその応答速度を測定した。

結果を以下表 7-4 各機器設置ポイントの遅延時間一覧表に示す。

表 7-4 各機器設置ポイントの遅延時間一覧表

No.	測定対象	IP アドレス	設置場所	測定結果 32 バイト	測定結果 64 バイト	測定結果 128 バイト
1	T04	192.168.20.4	No.1 FORE RIGHT	<1ms	<1ms	<1ms
2	T02	192.168.20.2	No.1 FORE LEFT	<1ms	<1ms	<1ms
3	T08	192.168.20.8	No.1 MID RIGHT	<1ms	<1ms	<1ms
4	T05	192.168.20.5	No.1 MID LEFT	<1ms	<1ms	<1ms
5	T12	192.168.20.12	No.1 AFT RIGHT	<1ms	<1ms	<1ms
6	T09	192.168.20.9	No.1 AFT LEFT	<1ms	<1ms	<1ms
7	T13	192.168.20.13	No.7 FORE RIGHT	<1ms	<1ms	<1ms
8	T07	192.168.20.7	No.7 MID RIGHT	-	-	-
9	T10	192.168.20.10	No.7 AFT RIGHT	<1ms	<1ms	<1ms

機器を設置した全てのポイント（No. 8 T07 については機器故障のため測定不能）に於いてネットワークの遅延時間は 1ms 以下で非常に良好な結果を得られた。

このネットワーク遅延にカメラの圧縮処理（H. 264 圧縮方式データ内容により異なるが数 ms 以下）およびサーバー側の解凍処理を考慮してもカメラ画像の遅延時間は 1 秒以内に収まることを確認した。

以下図 7-80 No. 7 Car Deck Aft Right カメラ画像に No. 7 Car Deck の船尾側に設置（サーバーから一番遠い位置）したカメラの画像を以下に示す。

主観的な評価であるが非常にクリアでスムーズな動画を取得できており自動車専用船の乗組員からも好評を得た。



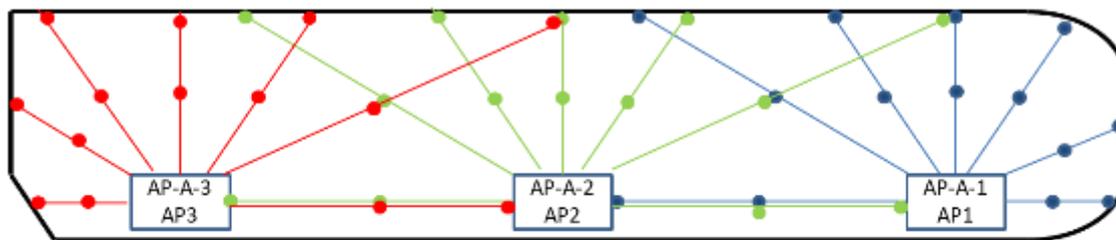
図 7-80 No. 7 Car Deck Aft Right カメラ画像

7.3.6 無線通信船内検証結果

本実船実験では確実なデータ取得を行うため全ネットワークは有線（Ethernet）で構築したが、無線 LAN アクセスポイントの接続性も以下図 7-81 無線 LAN アクセスポイントの接続検証ポイントの通り検証を実施した。

その結果自動車は搭載されていない状況ではあるが、各検証ポイント（各無線 LAN アクセスポイントから 30 度方向への線上の点で記したポイント）では問題無く接続が確認でき、今後のセンサ拡張には無線 LAN 通信も有効な手段であることを検証した。

No.1 Car Deck



No.7 Car Deck

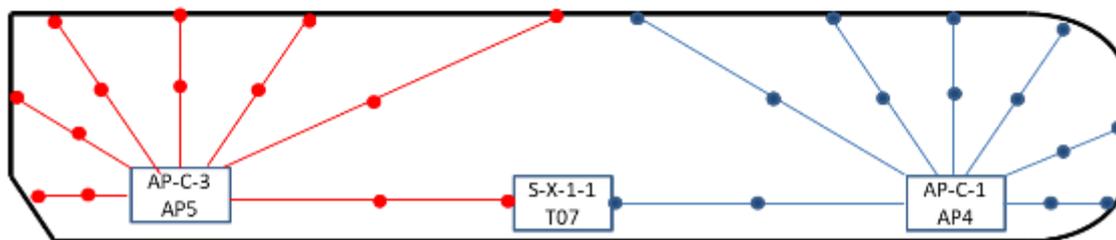


図 7-81 無線 LAN アクセスポイントの接続検証ポイント

接続の検証に際しては図 7-82 パソコンでの接続確認画面の通りパソコンとの無線 LAN アクセス接続が確立されることを確認している。



図 7-82 パソコンでの接続確認画面

また、今回 Back Haul（アクセスポイント間通信：以下 BH と記載）の無線接続の確認を行った。

No.1 Car Deck の AP-A-1 ⇔ AP-A-2 ⇔ AP-A-3 に於いて以下図 7-83 AP-A-2 で見た AP-A-1 及び AP-A-3 からの受信電波強度に示す通り十分通信可能（一般的には -80dBm 以上の信号強度が得られていれば通信可能と判断される）な信号強度が得られており船首から船尾への通信を無線化することも検討を進められることが確認できた。



図 7-83 AP-A-2 で見た AP-A-1 及び AP-A-3 からの受信電波強度

No.1 Car Deck には3台の無線 LAN アクセスポイントを配置し、BH 通信の確立ができたが、No.7 Car Deck では2台の無線 LAN アクセスポイントの配置で検証を行ったが BH の通信確立はできなかった。本自動車専用船クラスの船 (全長 200m) では無線 LAN アクセスポイントを1フロアに対して3台以上の設置が必要であることが確認できた。

無線 LAN の利用は今後の本システムの普及に際してシステムコストダウンの大きな方式となりセンサ敷設拡張にも大きく貢献できるものである。今後もシステムの改善に向けて利用の検討を進める。

8 目標の達成状況

8.1 船舶での実測データを基に算出した実貨物での振動、傾斜シミュレーション値

7.3.2.2 実貨物（リフトブルカー）に取り付けた水平水準計から取得した角度計測結果に記載の通り、実貨物（リフトブルカー）に取り付けた加速度ロガーと船体に取り付けた振動・傾斜記録装置データの比較をした結果、粗同一の振動特性を示している。

但し、実貨物（リフトブルカー）での振動は自動車のサスペンションの影響で振動が若干大きく出ている。3軸ベクトル量平均で比べると振動・傾斜記録装置データの約1.014倍である。この倍率を補正值として用いることにて実車での振動を推測することが可能である。

この補正を用いて算出したシミュレーション値と実貨物（リフトブルカー）に取り付けた加速度ロガーとの差は0.3%であり、誤差±10%以内の目標値を達成することができた。

7.3.2.3 振動・傾斜記録装置から取得した角度計測結果と実貨物（リフトブルカー）に取り付けた水平水準計角度計測結果の比較に記載の通り、リフトブルカーに取り付けた水平水準計と振動・傾斜記録装置から得たデータを比較した結果、粗同一の傾斜特性を示している。

傾斜についても自動車のサスペンションの影響で傾斜が若干大きく出しており、実貨物（リフトブルカー）の横傾斜（ローリング）は振動・傾斜記録装置データの約1.037倍、縦傾斜（ピッチング）は約1.047倍である。この倍率を補正值として用いることにて実車の傾斜を推測することが可能である。

この補正值を用いて算出したシミュレーション値と水平水準計との差は横傾斜（ローリング）においては0.85%、縦傾斜（ピッチング）では3.86%で傾斜においても誤差±10%以内の目標値を達成することができた。

8.2 船舶内ネットワークスループットとカメラ画像遅延について

自動車専用船での実船実験において構築したネットワークにて7.3.4ネットワークスループット評価結果に記載の通り、いずれの機器においても300Mbps以上の良好な結果が得られた。スループット20Mbps以上の目標値に対して十分な達成結果である。

またカメラ画像の遅延についてはネットワーク遅延1ms以下でカメラの画像圧縮、サーバー側画像解凍の時間を考慮しても1秒以内の遅延を実現できている。またカメラ画像品質についてもフルHDの画像を送信できており、目標を達成することができた。

9 今後の予定

引き続き来年度以降のビジネス化実施内容として以下の検討を進め、更に1年間の検証とシステム改善を実施し、2021年度を目処に販売の開始を目指す。

9.1 システムの改善

実船実験で得られたデータの解析結果としてシステムの正常動作、機能、性能の評価ができたが課題として、振動・傾斜記録装置の取り付け、特に内部にある角度センサの向き補正方式が明らかになった。

また、データの蓄積に当たってはより詳細なデータを得るために膨大な量のデータをサーバーに蓄積したが、データ量が膨大でリアルタイムに船内で起こっている現象を把握できていない。今後は振動・傾斜記録装置内でのデータ解析と通信装置（例えば無線LANアクセスポイントのようなGW: Gate Way）での処理（エッジコンピューティング）を検討し、データ収集サーバーへはリアルタイムに現象が伝えられるシステムへの改善が必要と考えられる。

また、今回の実験導入でシステムのコストは当初の目論見としての費用は事業化可能範囲であったがネットワーク工事費（特に設計費と工事費）は想定以上の費用が必要であることが実際の工事を実施して課題として浮上してきた。今回得られたノウハウを基に設計の効率化、ネットワーク通信の低コスト方式の組み合わせ利用、ネットワーク線を利用した電源供給の導入を検討する。

今回の実船実験は実船環境のデータを確実に収集し、システムの評価検証を実施し改善を図る事を主目的として来たが、今後は無線通信を用いたネットワークの導入を検討検証しシステム導入のコストダウンを図ることも視野に入れて、ビジネス化を推進する必要がある。

9.2 実船実験データの継続取得

商船三井様のご協力により自動車専用船にシステムの搭載を実施頂いた。この実験搭載は今後も継続して頂ける事になっている。

今回の舟山⇒広島間の航行（延べ10日間）は北緯30度付近を粗水平に東へ1000km弱移動するものであったが、システムを検証するためには十分なものであった。途中荒天もあり、非常に貴重なデータを得ることができた。

更に今後の航海で収集される新たなデータを商船三井様から提供頂き分析、解析を進めることによりシステムの改善を進め、ビジネス事業化へのブラッシュアップを進め、船主様へのシステム導入提案進めていく予定である。

10 まとめ

平成 30 年度の事業実施によって実船データの収集ができ、システムの評価改善に非常に大きな進展が見られた。また弊社にとっては海運業へのビジネス展開の一步として大きな経験を得られたと考えている。今後のビジネス展開に向けて大きな前進であり、有用な事業実施であったと考える。

また、短期間ではあるが実船実験で得られたデータは大変貴重なものであり、今後のシステム改善へ役立てられるものであった。今後もデータは継続して取得して頂く予定であるため、更にシステムの改善を進めていく予定である。この得られたデータとシステムを基に事業のビジネス化を図り、日本の海運業のサービス、セキュリティの向上、他国との差別化に役立てられるものにしていくことを推進する予定である。

今回の事業実施機会を与えて頂いた公益財団法人日本財団様、一般社団法人日本舶用工業会様、そして事業実施に多大なご協力を頂いた株式会社商船三井様に深く感謝を致す次第である。

「この報告書は BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

(一社)日本舶用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目13番3号 (虎ノ門東洋共同ビル)

電話 : 03-3502-2041 FAX:03-3591-2206

<http://www.jsmea.or.jp>