

海運・造船分野での船舶IoTモニタリング ～共創実証実験結果～

稲葉 稔智
中澤 哲夫

鈴木 祥也
高嶋 昭一

森 孝之
榎田 毅彦

OKIでは、コア技術である海洋・音響技術を活用し、海洋・音響分野の新たな事業の創出に取り組んでいる。海洋・音響ビジネスの分野としては、海運・造船、海洋資源、海洋自衛・警備/防犯、海洋土木/構造物・防災の4分野をターゲットに、開発を進めている。

特に海運・造船分野では、近年、船舶運航での、海難事故防止、燃費向上のために、従来の乗組員による感覚的な情報収集及び経験による操船から、船の状況の正確な把握やデータに基づく適切な操船が求められている。

本稿では、OKIの海洋IoTプラットフォームを利用した船舶IoTモニタリングにより前述した業界課題の解決を目指し、①光ファイバーセンサー、②フライングビュー、③音響センシング、④エリア収音というOKI独自の4センシング・デバイスを適用した検証実験（以下、PoC）を実施した結果を紹介する。なお、本検証実験はジャパン マリンユナイテッド株式会社（以下、JMU）殿が建造した大型コンテナ船にそれぞれのセンシング・デバイスを設置し、4日間の試験航海を通じて検証した。

光ファイバーセンサー (BOTDR)¹⁾

(1) 設定課題

航行時の船体歪み（ひずみ）を広範囲かつ分布的に監視し、積載量、積載バランスによる適正歪みを確認する。

具体的には航海支援や設計へのフィードバックを想定した航海ビッグデータの収集・分析に活用する。これにより安全航海や重大海難事故防止に寄与する。

(2) 実験概要

OKI製SDH-BOTDR型光ファイバーセンサー評価キット（以下、光ファイバーセンサー評価キット）を船内に設置、船内通路の棚に船体歪みを伝えるための金具を取り付け、その金具に歪み計測用光ファイバーを把持し、金具の調整により張力を与えた（図1）。

(3) 実験結果

航行中の船体に生じた歪みが金具を介して光ファイバーに伝えられることで、光ファイバーに引張／圧縮が発生し、光ファイバーを通過している光信号の反射光に生じた周波数変化を装置で検出する。検出データはログとして蓄積されるので、持ち帰りノイズ成分を除去した。図2は光ファイバー敷設箇所の分布歪みをマップとして描画したものである。時間経過（上から下）で歪みが増加した後には減少し、90秒近く経過した時点では負の歪みが発生しているのが把握できる。図3は、試験時の船首側歪み変化量である。時間経過に従って正と負の歪みが交互に発生していることが分かる。ここで、正の値は光ファイバーを引っ張る方向の歪みであり、負の値は逆に光ファイバーを圧縮する方向の歪みである。

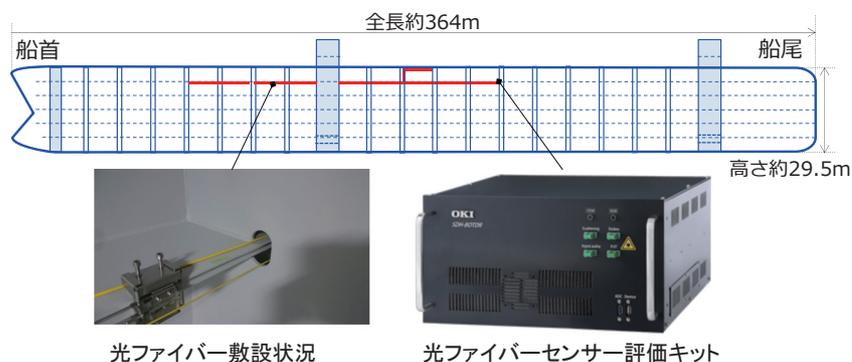


図1 光ファイバーセンサー評価キットとファイバー敷設状況

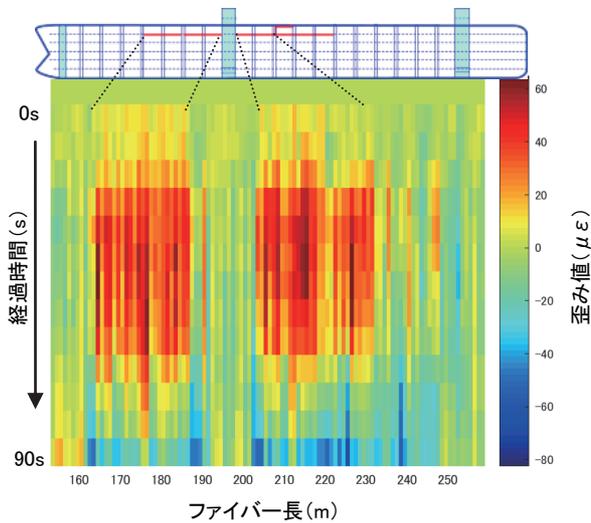


図2 試験時の船体全体の歪み (カラーマップ)

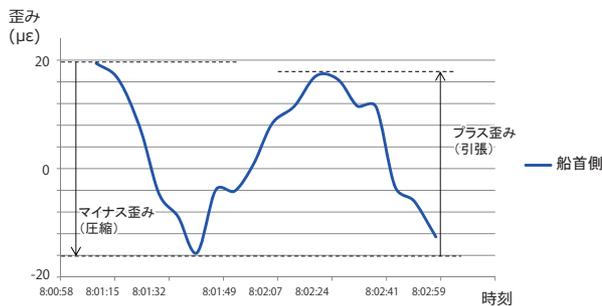


図3 試験時の歪み変化量

(4) 得られた成果と今後の方針

船体に取り付けたBOTDRセンサーによって、航行時に発生した歪みをリアルタイムに計測できた。船体の分布歪みのモニタリングやコンテナ積載バランスの検査に適用できる可能性がある。

今後、航海中の船体運動による歪みと波浪・うねりによる歪みデータの分析を実施し、BOTDRセンサー商用機の適用範囲検討に活用する予定である。

光ファイバーセンサー (FBG)

(1) 設定課題

船体の歪みや波浪衝撃による加速度などを計測することが重要となっている。また、自律運航船の開発が進められ、自律運航時の船体の状態や周囲状況をリアルタイムで把握する必要がある。

(2) 実験概要

コンテナ船の中央部デッキ下通路部の梁 (はり) にOKI

製FBG歪みセンサー及びFBG加速度計、船首付近に加速度計を設置し、試験航海時の歪み及び加速度を計測した。

計測は250Hz周期でサンプリングし、既設の海外製FBG歪みセンサー、加速度計と比較した。

検出部にはFBGデータロガーPF20 (長野計器株式会社製) を使用した。

(3) 実験結果

図4にFBG歪みセンサーでの計測結果を示す。周期数秒の波浪による船体の歪み状態及び船体の運動による歪みが計測できている。

図5にFBG加速度計での計測結果を示す。歪みと同期した逆相の動揺が発生していることが確認できた。

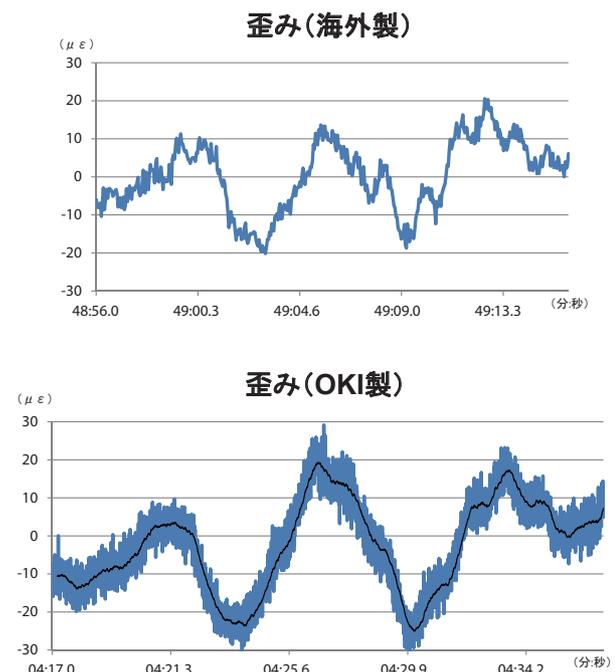


図4 FBG 歪みセンサーの計測結果

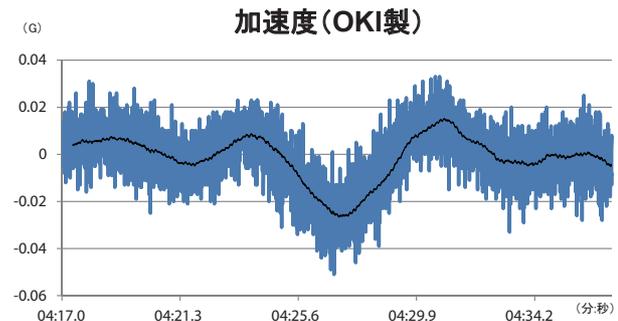


図5 FBG 加速度計の計測結果

(4) 得られた成果と今後の方針

船舶の歪み、加速度はFBGを用いた光ファイバーセンシングにより既設海外製のものと比較し同等の計測ができることを確認した。

既設海外製のものとの精度、長期信頼性などを解析し、性能比較する予定である。

今後、船舶の歪み計測、加速度計測はますます重要性を増していくと考えられるので、早期の製品化をめざし、船級協会からの承認取得も進めていく。

フライングビュー

(1) 設定課題

現状、船舶安全航行のため船舶周囲や遠方の広範囲の海上状況を監視している。

監視方法は、多くの場合レーダーと目視により24時間監視している。今後、自律運航に向けて映像によるリアルタイム遠隔監視への期待が高まっている。

(2) 実験概要

複数カメラ俯瞰(ふかん)映像合成の技術としてフライングビューを発表した²⁾。これは、OKIアイディエスが所有しているフライングカメラの技術³⁾を応用したものである。

フライングビューの俯瞰映像合成は、図6に示すように4つのカメラを搭載した装置で撮影した映像をお椀状の3次元空間に合成しマッピング(貼り付け)する。カメラの設置場所とは異なる位置に設定した仮想カメラから見た上記でマッピングした3次元空間の映像をリアルタイムに抽出し、俯瞰合成映像を生成している。

これにより、既存の監視カメラや360度カメラより広域の映像を生成することができる(図7)。

なお、各カメラの映像は、HD(720p)、30fpsで、仮想カメラからの俯瞰合成映像は、FHD(1080p)、60fpsである。

(3) 実験結果

この実験で、遠方広域を俯瞰する映像を合成することができた(図8)。

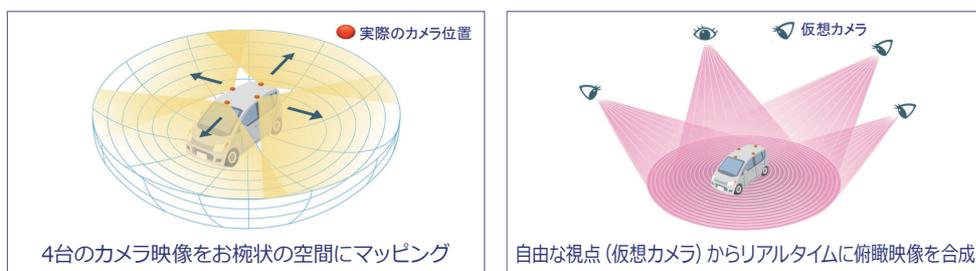


図6 フライングビューの俯瞰映像合成

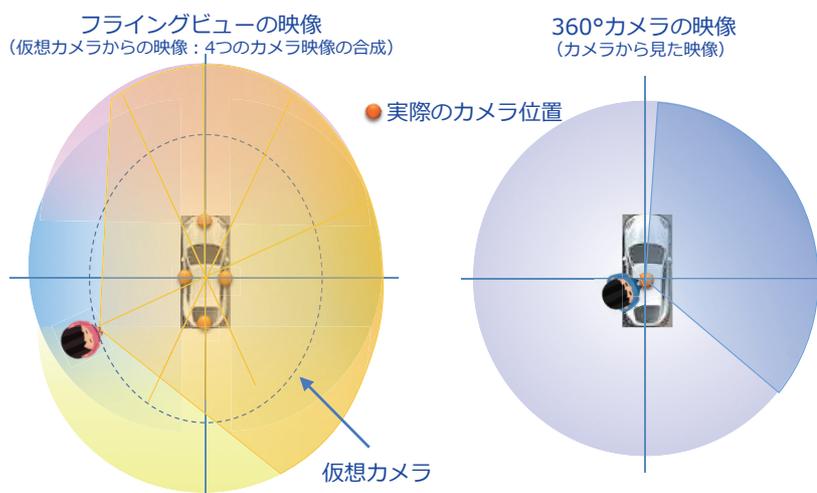


図7 フライングビューと360度カメラ映像



図8 4つのカメラ映像を合成した俯瞰映像

(4) 得られた成果と今後の方針

今回は、4つのカメラを搭載した装置により遠方広域の俯瞰映像を合成し、それをリアルタイムに自由な視点から見ることで、遠方広域を一つの画面で容易に監視できることが分かった。

今後、カメラを直接船体に装着して映像合成ができれば、船舶の近傍を含めた広域の俯瞰映像を得ることができる。これによりさまざまな航行シーンの周囲情報を一つの画像に収めることで船舶の周囲監視が容易になり、航行の安全性向上に寄与し、今後の自律運航船への活用も期待される。

音響センシング

(1) 設定課題

船舶では、多くの機械設備が常時稼働し、定期的な点検が必要である。機械設備が発する音によって機械設備の異常又はその兆候を検知することで、点検時期の最適化や重大な異常が生じる前の部品交換などにつながる可能性がある。

(2) 実験概要

16本のマイクロホンによってアレイを構成し、全マイクロホンの音響データをレコーダー（サンプリング周波数：25.6kHz）で収録した。

今回の実験対象機械設備の周囲にはさまざまな妨害音源があったため、収録した音響データに対して、ビームフォーミングを適用し、対象機械設備以外の雑音を抑制したのちに、高速フーリエ変換（FFT）によって周波数分析した。

(3) 実験結果

図9は、実験中のある1日分の周波数分析結果である（赤：高レベル、水色：低レベル）。機械の稼働状況に応じて、さまざまな周波数成分があり、その周波数成分が時間によって変化している様子が確認できる。

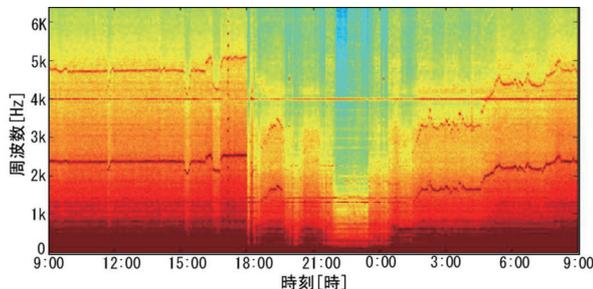


図9 1日分の周波数分析の結果

図10は、ビームフォーミング前後の周波数分析の結果を比較したものである。この分析結果から、ビームフォーミングによって周波数帯域全体に分布している雑音が抑圧され、特定の周波数成分が見えやすくなったことが分かり、対象機械設備の音を雑音から分離して検出することができた。

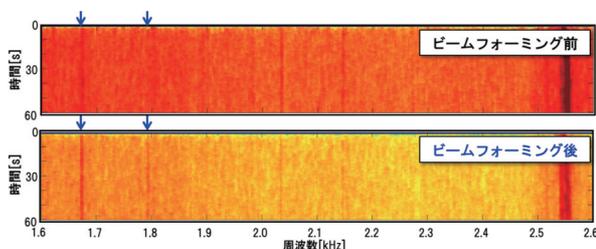


図10 ビームフォーミング前後の分析結果比較

(4) 得られた成果と今後の方針

今回の実験によって、ビームフォーミングによる雑音の抑圧、その抑圧による対象機械設備の周波数成分検出が確認できた。

今後、この周波数成分の変化などを検出することによって、対象機械設備の異常検知方法を検討する。

エリア收音

(1) 設定課題

エリア收音は、指定したあるエリアだけの音を聞くことを可能にする技術である⁴⁾。貨物船やタンカーなど大型船内のエンジン音の大きな機関室や甲板上では、非常に大音量の騒音環境で音声通話を実施しなければならない。このような環境下でエリア收音技術を適用したハンドセットによる音声通話が可能かを検証した。ハンドセットの送話器にビームフォーミングによって指向性を持たせたマイクロホンアレイ2組を実装し、それぞれ異なる方向に向けて配置、ビームフォーミングの重なる共通エリアに存在する音を目的音として取り出すことを試みた。

(2) 実験概要

海上航行中の船の機関室内や甲板上でエリア收音ハンドセットによる音声通話を行い、エリア收音処理前後の送信音声を比較した。写真1は、本実験で使用したエリア收音ハンドセットで、送話器に三つのMEMSマイクとエリア收音処理機能を持つモジュールを実装している。本機には、モジュール駆動の電源及びデータ記録用USB端子と音声出力用オーディオ端子を具備している。



写真1 エリア收音ハンドセット

(3) 実験結果

図11に99.6 dBのエンジン音が生じている環境下の機関室で取得した音声とエリア收音処理後の時間に対する音圧の変化を示す。エリア收音なしの原音である上図では、点線で示すように全ての時間で定常的に発生している雑音が観測され、音声とかぶっているのが分かる。この原音をエリア收音処理により雑音が除去し話す内容が十分に聞き取れるクリアな音声を再現することができた。

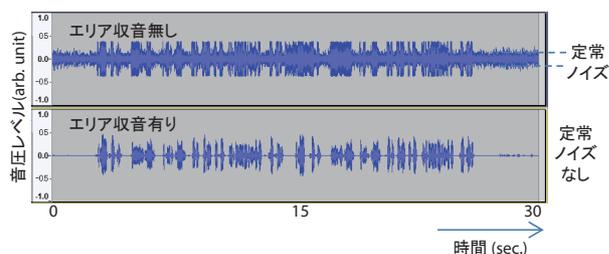


図11 機関室での音圧の時間変化

(4) 得られた成果と今後の方針

100dBに近い大音量のエンジン音でもエリア收音の効果が発揮されることが今回の実験で明らかになった。現状、エリア收音モジュールのMEMSマイク直上には何もカバーが施されていない。風切り音を避けるには風防が有効であり、マイクの実装には改良が必要である。

エリア收音はさまざまな筐体（きょうたい）に実装可能で、さまざまな利用シーンが考えられる。今後、使用者の要望を掘り起こし、エリア收音技術の幅広い応用を実現していきたい。

今後の展開

この度のJMU殿とのPoCを通じ、船舶IoTモニタリングに向けたOKI独自のセンシング・デバイスの効果を確認できた。また、センシング・デバイスの課題も具体化できた。今後は、今回のPoCで具体化した課題を解決し、OKIの海洋IoTプラットフォームを利用した船舶IoTモニタリングによる業界課題の解決をJMU殿と進めていく。さらに、共創パートナーを拡大し、船舶IoTモニタリングの実現を加速したい。

謝辞

この度、大型コンテナ船というフィールドと、4日間の試験航海という貴重なPoCの機会を与えて頂いたJMU殿に心より感謝いたします。◆◆

参考文献

- 1) 山口徳郎、小泉健吾：分布光ファイバー温度センシング、OKIテクニカルレビュー第230号、Vol.84 No.2 pp.26-29、2017年12月
- 2) OKIプレスリリース NTTドコモと共同で時速160Kmの高速走行中に映像モニタリングが可能なシステム「フライングビュー」の実験に成功、2018年5月22日
<https://www.oki.com/jp/press/2018/05/z18010.html>
- 3) 田村善康：FPGAを用いたフライングカメラシステムのプラットフォーム、OKIテクニカルレビュー第230号、Vol.84 No.2 pp.46-49、2017年12月
- 4) 片桐一浩、矢頭隆：オフィスコミュニケーションを円滑にするエリア收音システムの開発、OKIテクニカルレビュー第224号、Vol.81 No.2 pp.60-63、2014年10月

● 筆者紹介

稲葉稔智:Toshinori Inaba. 情報通信事業本部 社会インフラソリューション事業部 ソリューション開発部

鈴木祥也:Akiya Suzuki. 情報通信事業本部 基盤技術センター 先端技術開発部

森孝之:Takayuki Mori. 静岡沖電気株式会社 技術部

中澤哲夫:Tetsuo Nakazawa. 統合営業本部 IoTビジネス開発室

高嶋昭一:Shoichi Takashima. 情報通信事業本部 ディフェンスシステム事業部 研究開発部

槇田毅彦:Takehiko Makita. 情報通信事業本部 社会インフラソリューション事業部 ソリューション開発部

TIPS 【基本用語解説】

OKIの海洋IoTプラットフォーム

海事産業のお客様のデジタル変革による企業価値（競争優位）を確立するためにOKIが提供するIoTビジネスプラットフォーム。センシング・デバイス、ネットワーク、データ処理・運用から構成される。

SDH-BOTDR (Self-delayed heterodyne BOTDR (Brillouin optical time domain reflectometry)) 型光ファイバーセンサー

ブリルアン散乱光の周波数変化をOKI独自方式により高速に検出して、ファイバー上の温度、歪み変化をモニタリングするセンサー装置。

FBG歪みセンサー

FBG (Fiber Bragg Grating) は、光ファイバーのコア部に周期的な屈折率変化が形成された回折格子で、特定の波長の光を反射する性質を持つ。光ファイバーに歪みがかわると反射する光の波長が変化する。

この反射波長の変化を捉えることで光ファイバーに加わった歪みを検知する装置。

加速度を計測する場合は、加速度により、光ファイバーに歪みが発生する構造とすることにより計測する。

船級

船の構造や設備が一定の基準に合致していることを証明するため、船級協会（日本海事協会など）が船舶、艦装品に与える資格、等級を船級という。

日本では船舶安全法第8条によって管海官庁の検査に合格したものとみなされる。

ビームフォーミング

アレイ出力を用いてマイクに指向性を持たせ、雑音抑制や音の到来方位推定をする技術。

MEMSマイク

MEMS (メムス) とはMicro Electro Mechanical Systemsの頭文字をとったもので、シリコンなどの基板上に微細加工技術によって形成した微小な機械システムを意味する。このMEMS技術によって作製した小型マイク。