

船舶排ガス浄化用水質モニタ EG-100

Onboard Water Quality Monitoring System EG-100 for Ships

富岡 紀一郎

Kiichiro TOMIOKA

羽島 雄大

Yuta HASHIMA

環境規制は年々厳しくなっており、もはや船の排ガスも例外ではない。ただし船特有の条件のため、自動車と比較して大きく規制が遅れていた。IMO (International Maritime Organization) が、グローバルなNOx, SOx規制の施行を決定。SOx規制として、2020年以降は、硫黄排出量が燃料重油中の0.5%以下とする環境対策を実施することを決定した。低硫黄燃料等を使用することにより対応することができるが、現在使用されている燃料(高硫黄燃料)を使用する際は排ガスを浄化する装置(スクラバ)を搭載することにより同等の対応が可能である。このスクラバの排水も規制対象であり、処理後船外に排出される。この処理水の水質をモニタリングする装置を開発し、販売を開始した。製品の特長とビジネス形態について紹介する。

Environmental regulations are getting stricter every year, and the exhaust gas emission from ships is no exception, although until recently maritime regulations have lagged behind those for automobiles due to their multi-jurisdictional “borderless” nature. Meanwhile the IMO (International Maritime Organization) has decided to enforce NOx and SOx regulations globally, including environmental measures in which the sulfur content of fuel oil shall be limited to 0.5% or less starting in the year 2020 as part of the SOx regulations. Although compliance to this regulation is possible using a low-sulfur fuel, an alternative method for compliance while continuing to use current high-sulfur fuel is to install a scrubber device on the ship that cleans the exhaust gas. The washwater from the scrubber is also subject to this regulation as it is discharged outside the ship into the open sea after being processed. We developed a device to monitor the water quality of this process and have begun selling it. This article introduces the product features as well as our business model.

Key words NOx規制, SOx規制, スクラバ, 水質モニタリング, pH, PAH, 濁度

はじめに

船舶は公海上を航行するために、各種の国際条約が適応される。おもな国際条約はSOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) 条約(海上における人命の安全のための国際条約), Load Line (International Convention on Load Lines, 1966) 条約(満載喫水線に関する国際条約), MARPOL 73/78 (Protocol of 1978 relating to the International Convention for the Prevention of Pollution from ships, 1973) 条約(1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の

議定書) などがある。これらの条約は国連の専門機関の一つであるIMO (International Maritime Organization) で論議、協議されている。

IMOには5つの部会があり、この中のMEPC (Marine Environment Protection Committee) (海洋環境保護委員会) が海洋環境にかかわる技術基準の検討を実施している。MARPOL条約付属書Ⅵ第13, および14規則により、過去段階的に窒素酸化物(NOx)の許容限度や燃料中の硫黄濃度の上限値の規定を実施してきた。Figure 1に規制の内容を示す。

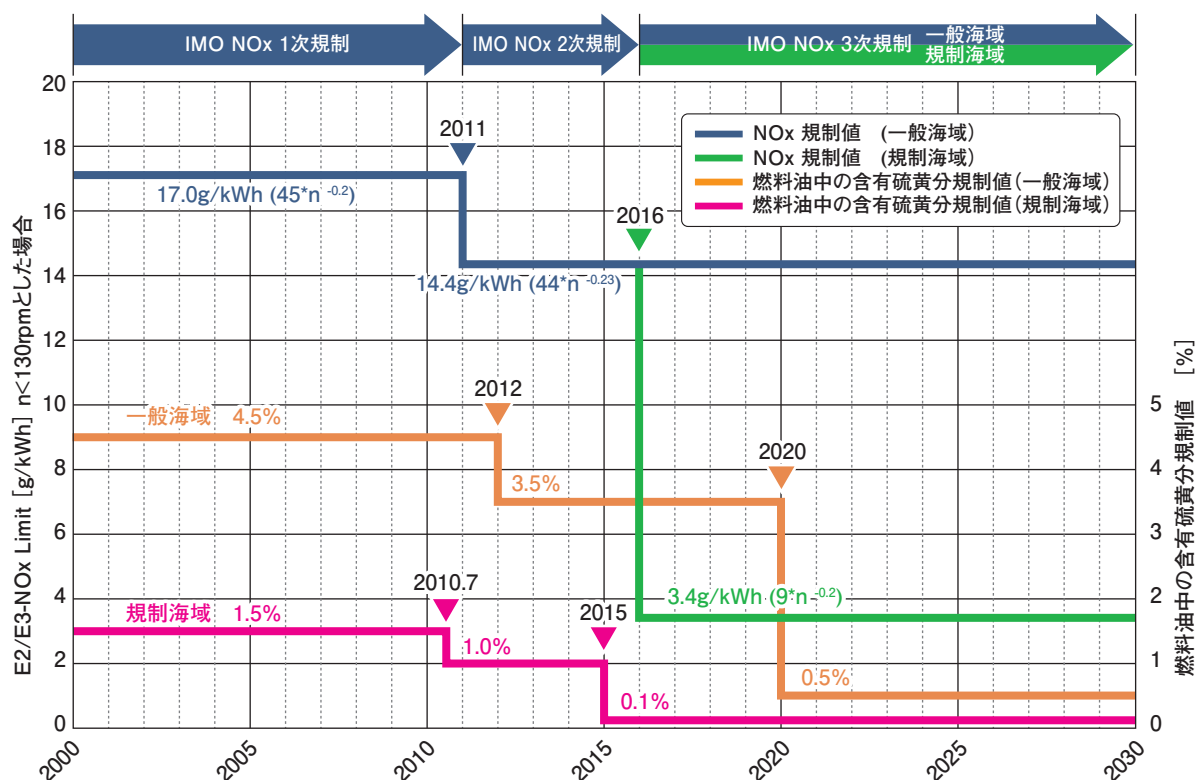


Figure 1 Emission regulations of IMO

特に、窒素酸化物放出規制海域 (NECA: NO_x Emission Control Area) や硫黄酸化物排出規制海域 (SO_x ECA) を設定、段階的に規制を強化している。特に、SO_x規制に関しては、公海上において、2020年以降は、燃料油中の硫黄濃度が0.5%以下に規制されることが決定された。

現在、船主、造船所、環境機器エンジニアリング会社等が、種々の対応策を検討している。対応策は、現在、NO_x規制に対しては、EGR (Exhaust Gas Recirculation) 方式と SCR (Selective Catalytic Reduction: 選択式還元触媒) 方式で対応している。またSO_x規制に関しては、規制適合油とC重油の価格差に大きく影響を受けるが、昨今スクラバ採用による規制対応に船主の注目が集まっている。

NO_x低減技術

大別すると、EGR方式は、燃焼ガスを再度内燃機関に戻すことにより燃焼温度を下げNO_x発生量を低減させるシステムであり、SCR方式は、高温の排ガスに尿素水を噴霧し、触媒反応によりN₂、H₂Oに変換しNO_x排出量を低減させるシステムである。

SO_x低減技術

この技術は、清水もしくは海水を排ガスに噴射し、排ガスを浄化する湿式スクラバを使用する方法である。この方

式では、排出ガス中のSO_xの98%程度を取り除くことができ、等価的に低硫黄燃料油を使用したのと同じ効果を得ることができる。スクラバ洗浄水の循環モードは、船の寄港地及び航行する海域の規制により下記の3方式に分類される。

オープンループスクラバシステム

Figure 2にフローを示す。最も多くの船に使用されているタイプである。排出ガスを海水で洗浄し、洗浄水はそのまま排出される。海水のアルカリ度が低い場合、充分な脱硫性能を得ることができない場合がある。また排水禁止区域

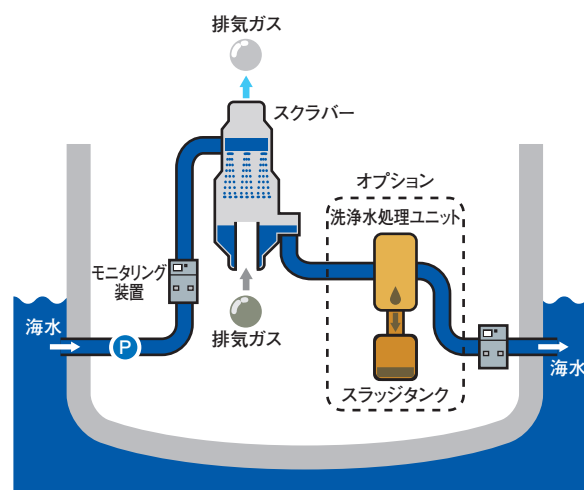


Figure 2 Open loop scrubber system

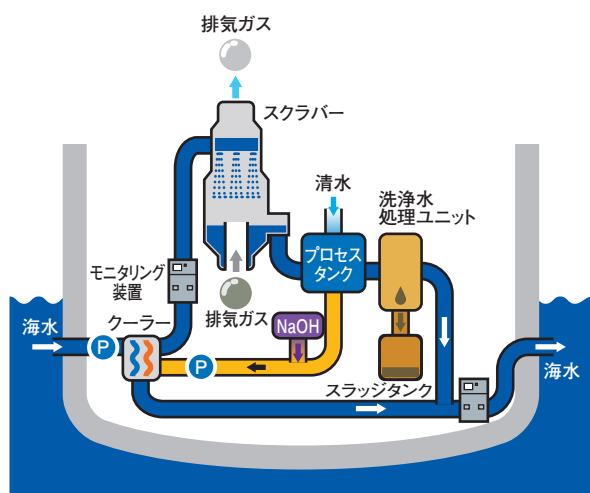


Figure 3 Closed loop scrubber system

では、排水ができず運転できない場合がある。この場合には、低硫黄燃料に切り替えて航行する必要がある。水質モニタリング装置はスクラバIN側と船外排出側に設置される。

クローズドループスクラバシステム

Figure 3にフローを示す。船内の清水もしくは海水を洗浄水とし、これらの洗浄水は循環使用される。循環使用されるためpH調節のための苛性ソーダ(NaOH)が必要である。スクラバ循環水を船外排出するためには水処理装置が必要である。水質モニタリング装置はスクラバIN側と船外排出側に設置される。

ハイブリッドスクラバシステム

オープンループとクローズドループに切り替え運転が可能

Table 1 Regulatory parameters

項目	排出規制内容	備考
pH	pH(排水) ≥ 6.5 または pH(取水) - pH(排水) ≤ 2 または pH(排水口から4 mの地点) ≥ 6.5	操船中 または 航行中
PAH	エンジン出力あたりの排出量により、規制値が異なる。一例をあげると、 45 t/Mwh : 50 $\mu\text{g/L}$ 90 t/Mwh : 25 $\mu\text{g/L}$	総量規制
濁度	取水濁度を基準とし、上昇分が25 FNU 以下	15分 移動平均値

Table 2 Requirements for parameters by guideline

項目	要求事項
pH	0.1 pH単位の分解能及び温度補償機能を有するものであること。 pH電極はBS2586の基準を満足するか、又は同等以上の性能を有すること。 pHメーターはBS EN ISO 60746-2:2003の基準を満足すること。
濁度	計測器は、ISO 7027:1999 (Water quality - Determination of turbidity) 又はUSEPA 180.1 (Determination of Turbidity by Nephelometry) に適合したものをを用いること。
PAH (多環芳香族炭化水素)	排出流量によって方法が異なる。 紫外分光法または蛍光分光法 2.5 t/MWhを超える流量では蛍光分光法、以下では紫外分光法が使用される。



Figure 4 Scrubber appearance

なシステムである。通常はオープンループで運転され、排水禁止海域ではクローズドシステムに切り替え、すなわち排水をしない運転に切り替えて運用する。排水禁止海域の拡大に伴いハイブリッドタイプは近年増加傾向にある。

Figure 4にスクラバの設置例を示す。主機煙突左側 ○印部分にスクラバが設置。右側は船橋

排出規制について

船外に洗浄水を排水する際には、pH, PAH(多環芳香族炭化水素), 濁度, 温度を連続的に測定し記録することが決められている。その中でも、pH, PAH, 濁度には排出規制値が定められている。Table 1に規制値を示す^[1]。

水質モニタリングシステムの概要

水質モニタリングシステムは、上記のスクラバシステムに組み込まれ、処理水をモニタリングし、船外排出基準を満足しているかを判断している。船の運航上、非常に重要な役割を担っている。GUIDELINES FOR EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMSによる水質モニタリング装置への要求事項は以下のとおりである(Table 2)^[1]。

また船級型式承認を得るためには、各船級の環境試験、振動試験、EMC試験の要求事項を合格するとともにIMOのガイドラインの要求事項を満足させる必要がある。EG-100



Figure 5 Installation on board

はすでにNK船級を取得, その他の船級も順次取得の予定である。

EG-100の船内設置状況をFigure 5に示す。

ビジネス形態

本船舶ビジネスには、通常のビジネスとは異なり、多くのステークホルダが関係している。船主、造船所、エンジニアリング会社、船舶運用会社、各国の船級審査機関、旗国(船舶が船籍を置く国)、さらに船舶関係の規格や規則などがあり、製品はいったん船上に設置されると、国境に関係なく、アジア、欧州、南米、北米間を移動することになる。製品には、常に安定した性能、日常の保守作業の容易性、さらに、タフな環境でも確実に性能を発揮することが求められる。一般的な定義の試運転(船が接岸した状態)や海上公試(船を運航状態での船級により試験)など船舶特有のルールがあり、船の発注から数えると納入まで数年かかるのが通例である。

Table 3 Interfering factors to measurement

影響因子	測定パラメータ	症状
泡	pH	指示が突然変化する。
	PAH	指示の不安定
	濁度	測定誤差が大きくなる。 指示の不安定
汚れ	pH	応答速度の劣化 指示のドリフト
	PAH	応答速度の劣化 指示のドリフト 測定誤差が大きくなる。
	濁度	指示のドリフト
	濁度	指示のドリフト
海水	pH, PAH, 濁度	センサ部への有機物汚れの増加

連続測定における課題

モニタリングシステムのデータは環境規制を順守している証左であり、船の運航上、及び環境保護において非常に重要である。しかしサンプルには多くの妨害因子があり、各センサに多くの影響を与える。Table 3にその一覧をまとめた。

気泡対策

特に、オープンループにおいて入口側の高圧ポンプで組みあげられた海水およびスクラバでシャワリングされた水には多量の微細な泡が含まれている。これらへの対応が必要である。気泡対策(脱泡)については各種の方法を試みた。その比較結果をTable 4に示す。

水質モニタリング装置では加圧脱泡と超音波脱泡(特許出願中)を採用した。超音波脱泡とは、超音波振動子から発生した超音波が液中で、高圧および低圧部分をつくりだし、低圧部分では、溶存気体や微細気泡が膨張、大きな泡となり、またそれらが他の泡と結合することで、さらに大きな泡となり、浮上して除去されるという原理に基づくものである。振動子を取り付けた脱泡槽は、入口の位置、気泡抜き、脱泡された水の出口、振動子の位置、脱泡槽の径や長

Table 4 Comparison on de-bubbler

	加圧方式	減圧方式	サイクロン方式	超音波方式
連続測定	可能	不可	可能	可能
流量影響	あり	なし	あり	なし
残留泡影響	あり	なし	あり	なし
装置の小型化	可能	不可	可能	可能

さなどの物理的な条件を種々検討することでスクラバ排水に最適化したものである。他の方法と比較して脱泡時間が非常に短く、流速変動の影響を受けにくい。連続測定に向いているのがこの方式の特長である。

汚れ対策

オープンループではほぼ海水に近い水を測定することになる。海水由来の有機的な汚れが堆積しない対策が必要である。一方、クローズドループでは、ススやオイル分の汚れへの対応が必要となる。装置内のサンプリングラインにはライン洗浄機能を採用し、任意のタイミングでサンプリングラインの清水洗浄が行え、サンプリングライン内部や、センサへの汚れの蓄積を防止している。pHセンサおよびPAHセンサは長年陸上プラントで培った超音波洗浄のノウハウを採用し、濁度センサも陸上プラントで効果が確認されているワイパ洗浄を採用している。

各センサにおける課題

pHセンサ

海水は非常にイオン濃度の高い液体である。pH電極は使用中に内部液が微量リークしている。長期間の使用により内部液のKCl濃度が薄くなると、その濃度が海水より低くなる。液絡部を通じて内部液、液絡部が汚染されることとなる。海水を長期安定して測定するために、内部液を過飽和にできるゲル式を採用し、KCl内部液濃度を4 mol/L以上とした。これにより、日々の保守において、KClの再補充が不要になり、保守性が向上した。pHセンサをFigure 6に示す。

原理 : ガラス電極法
測定範囲 : 1-11 pH
内部液 : 疎水性ポリマーゲル、塩化カリウム過飽和
接液部材質 : ガラス、PVDF、PE
洗浄器 : 超音波洗浄器(オプション)



Figure 6 pH sensor

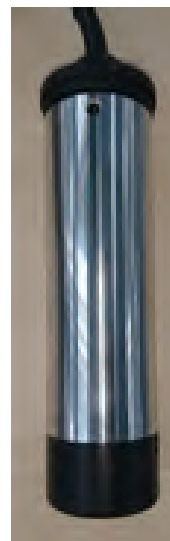


Figure 7 Turbidity sensor

濁度センサ

クローズドループにおいてはサンプルが黒色になり、濁度計への影響が大きくなり、測定可能範囲が狭まる。そのため黒色サンプルの影響をできるだけ受けにくいセンサを開発した。濁度センサをFigure 7に示す。

原理 : 90° 散乱法
測定範囲 : 0-500 FNU
測定波長 : 850 nm
接液部材質 : PVC, POM, EPDM, NBR, Ti, FKM
洗浄器 : ワイパ洗浄器(標準付属)

PAHセンサ

PAH(多環芳香系炭化水素)は重油などに含まれているオイル分を構成する多環芳香系炭化水素のうち、EPAで定められた16成分の総称である。PAHセンサは、その中の1成分(フェナントレン)を代替パラメータとして測定しているものである。フェナントレンは、励起波長254 nmで、360 nmの蛍光を発する。この蛍光強度を測定することでPAHを換算して測定値を表示している。

PAHの標準液(フェナントレン)は単独では、溶解性が悪い。いったん有機溶媒に溶解し、その液で標準液を作成(純水ベース)している。そのため標準液は揮発性が高く、高温多湿の船内での標準液の作成や使用は極めて困難である。船内でも簡単に校正やチェックができるシステムが望まれており、乗組員でも容易に校正できるシステムを開発中(特許出願中)である。

フェナントレン標準液を基準センサで測定、また蛍光ガラスを基準センサで測定し、標準液濃度に対して蛍光ガラスの蛍光強度を値付けし、この値で、現場の被校正センサを校正するものである。有機系蛍光材料は熱や光で分解されるため、PAHセンサの基準物質としては適さないが、無機系



Figure 8 PAH probe

の蛍光ガラスはそれらの影響を受けない。したがって、船内などでの使用には非常に適していると言える。基準センサには、トレーサブルな受光素子が組み込まれている。この基準センサによる標準液での蛍光ガラスの値付けは、この値も同様にトレーサブルとなる。したがって、センサの校正の際は、標準液と同様に、蛍光ガラスでも校正が可能となる。PAHセンサをFigure 8に示す。

原理 : 蛍光分光法
 測定範囲 : 0-50 µg/l, 0-500 µg/l 0-5000 µg/l
 測定波長 : 励起: 254 nm 蛍光: 360 nm
 接液部材質: POM, Ti
 洗浄器 : 超音波洗浄器(オプション)



Figure 9 Operation panel

操作部

Figure 9に操作部の初期画面を示す。あまり計測機器になじみのない乗組員を対象に、直観的な操作ができるよう、機能のアイコン化を計って操作性の向上を実現している。

以下、Table 5にアイコン機能の一覧を示す。

製品仕様をTable 6に示す。

EG-100の内部構造をFigure 10に示す。

- ①脱泡槽(下部に超音波発振子)
- ②pHセンサ
- ③PAHセンサ
- ④濁度センサ
- ⑤流量計
- ⑥ホルダ(濁度, pH)
- ⑦ホルダ(PAH)

Table 5 The functions of icons

アイコン	機能	内容
	設定	設定画面を表示します。
	校正	各センサの校正を実施する校正モード画面を表示します。
	保守	保守モード画面を表示します。
	測定 開始	自動測定を開始します。
	測定 停止	測定を停止し、次の測定開始を待機します。
	警報	警報発生時に点灯します。

Table 6 Specifications of EG-100

一般仕様	装置型式	EG-100-SI(取水用) EG-100-SO(排水用)
	寸法	600(W)×400(D)×1700(H) mm突起部含まず
	電源	AC 100~240 V 50/60 Hz
取水用測定条件	サンプル条件	0.1 MPa~0.4 MPa 3 L/min供給可能なこと
	清水条件 ^{※1}	0.1 MPa~0.7 MPa 3 L/min供給可能なこと
排水用測定条件	サンプル条件	0~0.1 MPa 3 L/min供給可能なこと
	清水条件 ^{※1}	0.1 MPa~0.7 MPa 3 L/min供給可能なこと
配管取合	サンプル水入口	JIS10K25A
	サンプル水出口	JIS5K25A
	清水	JIS5K15A
測定項目	pH仕様	1~11 pH(温度補償付き)
	PAH仕様	0~50 µg/L, 0~500 µg/L, 0~5000 µg/L
	濁度仕様	0~500 FNU
	温度仕様	0°C~100°C (サンプル水温度0~40°C)

※1 キャビネットに清水が供給されるよう接続する前に、錆やパイプの水垢を除去するため管内を洗浄しておく必要がある。

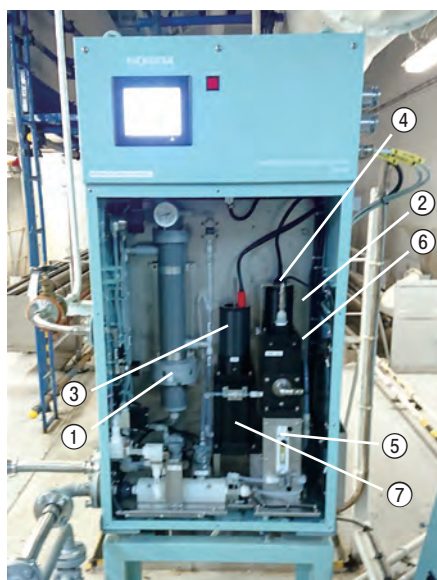


Figure 10 Internal structure

実装評価データ

2020年までは船上のスクラバは指定海域に入らないと本格的に稼働しないこともあり、モニタリング装置の連続運転評価が難しい状況である。港湾航空技術研究所、東京湾フェリーのご協力により、東京湾フェリー（神奈川県久里浜と千葉県かなや港間を運行）の「かなや丸」にモニタリング装置を搭載し、海水での連続測定を実施してきた。最近の3ヶ月間（2019年1月~3月）のデータをFigure 11, 12, 13に示す。

pH計は一般的に言われている海水のpHを表示し、安定して測定できている（Figure 11）が、両方の着岸時に若干の変化が認められる。濁度計は着岸、離岸時の海底の汚泥巻き上げによる指示上昇がみられ、船の運転モードの変化を捉えている（Figure 12）。PAHセンサはほぼ5 ppbで安定した数値を示している（Figure 13）。定期的に汚れやセンサの感度劣化を確認しているが、洗浄機構の効果により安定した測定を実現できている。

おわりに

船舶排ガス浄化用水質モニタ EG-100は、安定した測定が困難なサンプル条件において、機能の強化（脱泡機構、洗浄機構）を計り、保守作業性の向上（コントロールパネルの直観的な理解、pHセンサの内部液の過飽和ゲル、PAHセンサの蛍光ガラスによる校正システム（開発中）など）を追求し、長期安定動作を目指した製品である。これらの機能は、スクラバの安定稼働や、船の規制遵守に貢献すると考えている。

今後も、新たな業界にチャレンジするとともに他社にない付加価値を高めることで船舶ビジネスにおけるHORIBAブランド価値の向上に努めたい。

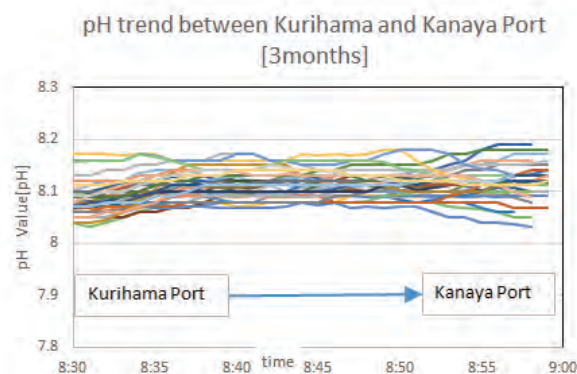


Figure 11 Trend chart on pH

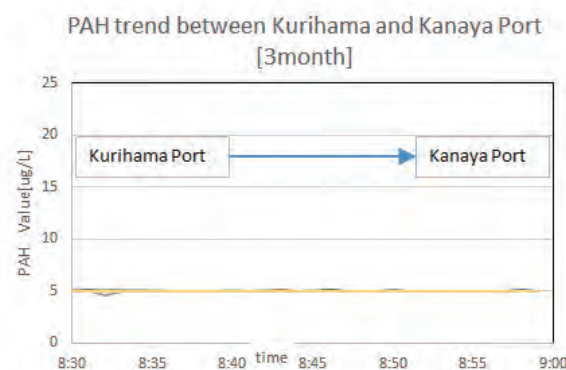


Figure 12 Trend chart on PAH

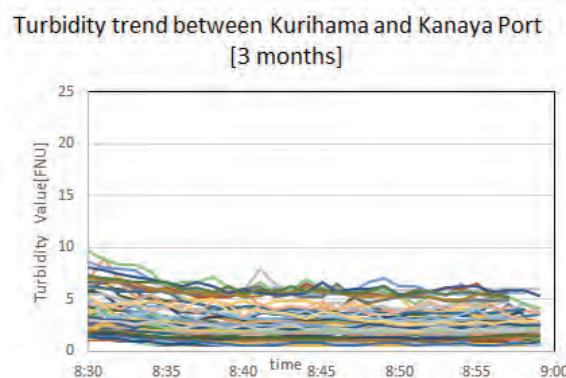


Figure 13 Trend chart on turbidity

謝辞

本装置の評価に関して、国立研究開発法人海上・港湾・空港技術研究所、海上技術安全研究所 環境・動力系 動力システム研究グループ グループ長 高橋千織様、国立研究開発法人 海上・港湾・空港技術研究所 港湾空港技術研究所 海洋情報・津波研究領域 海洋環境情報研究グループ 主任研究官 細川真也様および研究官 大倉翔太様、東京湾フェリー株式会社に多大なご協力いただきましたことを感謝いたします。

* 本内容は特段の記載がない限り、本誌発行年時点での自社調査に基づいて記載しています。

参考文献

- 【1】 一般財団法人日本海事協会 機関部, 排ガス浄化装置ガイドライン (Ver.3) 2018年10月



富岡 紀一郎

Kiichiro TOMIOKA

株式会社 堀場アドバンスドテクノ
Water ビジネスプロモーション室
Water Business Promotion Office
HORIBA Advanced Techno, Co., Ltd.



羽島 雄大

Yuta HASHIMA

株式会社 堀場アドバンスドテクノ
グローバル開発部
Global Development
HORIBA Advanced Techno, Co., Ltd.