

## 特集 物流における環境イノベーション

# 船舶の燃費改善と船舶運航・性能管理システム

## Improvement of Ship's Fuel Efficiency and Ship Operation & Performance Management System

森本 清二郎\* ・ 坂本 尚 繁\*\*  
Seijiro Morimoto Naoshige Sakamoto

### 1. はじめに

近年、海事分野では船舶の運航に影響を与える風や波、海流・潮流などの気象・海象（海気象）データや船舶の位置、船速などの運航データを衛星通信によって船陸間で共有するとともに、運航性能の解析や最適安全航路の選定等に活用し、安全運航や燃費改善に役立てる取組みが進められている。本稿では、こうした船舶運航・性能管理システムに焦点を当てつつ、船舶の燃費改善に関する動向を概観し、今後の課題と展望について考察する。

### 2. 船舶の燃費改善に関する動向

#### 2.1 背景

船舶の燃費改善に向けた取組みは、燃料価格の高騰と温暖化対策の導入を背景に進められている。原油価格と連動する船用C重油価格は、新興国の石油需要増大などを背景に2000年代半ば頃から高騰し、それまで外航船向けでトン当たり200ドル以下であったのが、2008年には500ドル前後、2012年には600ドルを超える状況となった（図1参照）。このため、船舶の運航費に占める燃料費の割合が増大し、船社にとって燃費改善が大きな経営課題となった。

一方、温暖化ガス（GHG：Greenhouse Gas）削減対策への対応も重要な課題となっている。国内貨物輸送の4割

を担う内航海運では、2016年に閣議決定された地球温暖化対策計画に基づき、2030年度には2013年度比で約15%の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）排出量の削減が求められており、省エネ対策の強化が急務となっている。

海上貿易を担う外航海運では、国際海事機関（IMO：International Maritime Organization）での海洋汚染防止条約（MARPOL条約）附属書VI改正により、2013年から設計上の燃費効率（輸送トンマイル当たり（1トンの貨物を1マイル運ぶ際の）CO<sub>2</sub>排出量）を表すエネルギー効率設計指標（EEDI：Energy Efficiency Design Index）に基づく新造船の燃費規制（EEDI規制）と、全船を対象とした船舶エネルギー効率管理計画書（SEEMP：Ship Energy Efficiency Management Plan）の策定を義務づける措置が導入されている。

EEDI規制は、1999～2008年の10年間で建造された船舶の設計燃費の平均値を基準値として、2013年以降に建造契約が結ばれた新造船のEEDI値を段階的に規制・強化する仕組みとなっており、フェーズ0（2013～14年）では上述の基準値、フェーズ1（2015～19年）は同値から10%減、フェーズ2（2020～24年）は同20%減、フェーズ3（2025年以降）は同30%減に規制値が設定されている。ただ、規制対象は2013年以降の新造船のみであり、かつ、実燃費は規制されないため、今後貿易の拡大により増加が予想される外航海運のCO<sub>2</sub>排出量（2012年時点で約8億トン）を削減・抑制する対策としては不十分との見方が多い。

SEEMP規制は、既存船を含め、全ての船舶に対して省エネ運航計画の策定、実施、自己評価及び改善（いわゆるPDCA（Plan-Do-Check-Act）サイクル）を要求するものであり、運航実態を自ら監視・評価する上で実燃費を表すエネルギー効率運航指標（EEOI：Energy Efficiency Operational Indicator）の活用も推奨されるが、同指標の監視は任意であり、数値規制も導入されていない。

但し、パリ協定の採択・発効を背景に近年、温暖化対策を進める国際的な機運は高まっており、今後IMOでは、既に2019年開始が決まっている各船舶の燃料消費量等のデータ収集・報告制度（DCS：Data Collection System）に加え、燃料油課金などの経済的手法を含め、更なるGHG削減対

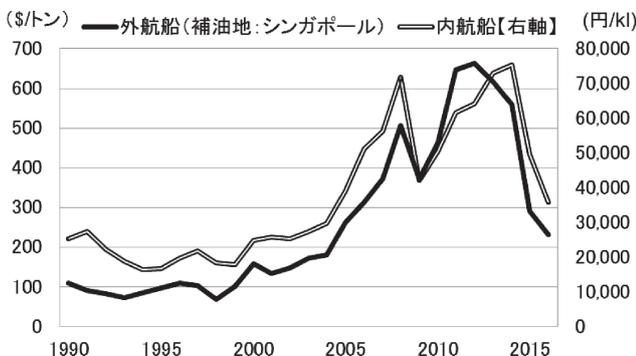


図1 船用C重油の年平均価格の推移<sup>1, 2)</sup>

\* (公財) 日本海事センター 企画研究部 研究員

\*\* (公財) 日本海事センター 企画研究部 専門調査員

〒102-0083 東京都千代田区麹町4-5 海事センタービル 8F

策の検討が進められると考えられる。

## 2.2 船型・船舶機器の改善

船舶の燃費改善には、船舶が運航時に受ける抵抗（造波抵抗、風圧抵抗、粘性圧力抵抗など）を軽減する船型の開発や推進性能を改善するエンジン（機関）や機器等の導入、低炭素燃料（LNGなど）や再生可能エネルギー（太陽光、風力など）の利用といった技術的対策が必要となる。特に近年は輸送貨物単位当たりの燃料費削減に有効な船型大型化が進展しており、例えば、アジア・欧州航路を運航するコンテナ船の平均船型は2005～15年の10年間で2.4倍（5,000TEU型から1万2,000TEU型）になっている<sup>3)</sup>。また、2016年にIMOが公表したEEDI値の実績データによれば、フェーズ0適用船（約1,500隻）は概ねフェーズ2のレベルに到達しており、技術的対策の導入はある程度進んでいると考えられるが、一方で革新的な省エネ技術（排ガス等の熱エネルギーを回収し発電に有効利用する排熱回収システムなど）の採用はあまり進んでいないとされる<sup>4)</sup>。

現行の規制によれば2025年以降の新造船の設計燃費は1999～2008年の建造船の平均燃費より3割改善される予定だが、低炭素燃料への移行など抜本的な対策を除けば、技術的な改善余地はそれほど大きくないとの見方もある。上述の革新的技術を含め、船舶の実海域性能を改善する技術を如何に開発・導入するかが課題といえる。

## 2.3 運航方法の改善

船舶の燃費改善には、技術的対策に加え、安全性・経済性を考慮した最適な船速・航路の選択や港湾荷役の改善などオペレーション全体での効率化をもたらす運航的対策が重要となる。

特に燃料消費量は船速の3乗に比例することから減速は燃費改善に極めて有効であり、世界的な景気後退に伴い海運市況が悪化した2009年以降は、船腹需給ギャップの改善にも資する減速航海が浸透していった。例えば、IMOの調査によれば、大型コンテナ船の平均航海速力は2007年には設計速力の8～9割であったのに対し、2012年には7割以下となり、これによって2012年の一日当たり燃料消費量は2007年比で平均6～7割減となった<sup>5)</sup>。

この他にも、海気象や船舶の性能を考慮した最適航路の選定（ウェザールーティング）、推進性能に影響を与える喫水（船体が水中に沈む深さ）やトリム（船舶の前後方向の傾き）の最適化、寄港時の陸上からの電力供給、船体・プロペラ洗浄（船底付着物の除去）などの保守管理といった対策がある。中でも、近年は通信環境の改善を背景に、船舶の運航・性能管理を船陸一体で行い、得られた情報を燃費改善や安全運航に役立てる取組みが進展している。

## 3. 船舶運航・性能管理システムに関する動向

### 3.1 システム発展の背景

船舶運航・性能管理システムが発展した背景として、あらゆるモノがインターネットでつながるIoT（Internet of Things）やビッグデータ（膨大なリアルタイムデータを含め、従来のアプリケーション等では処理が困難なほど巨大なデータ群）、人工知能（AI）などの技術革新を活用する第4次産業革命が海事分野にも取り込まれていったこと、船内でデジタル制御の機器が増え、また、センサー技術が発展したことで船内LAN（Local Area Network）による船内機器ネットワーク化が進展したことなどが挙げられるが、特に重要な要素として、船陸間（海上ブロードバンド）通信環境の改善がある。

海上ブロードバンド通信は、遭難対策や船員の福利厚生を背景として、20世紀末には無線通信から衛星通信へと移行し、2000年代に入ると英インマルサット社（1999年に国際海事衛星機構（Inmarsat：International Maritime Satellite Organization）の事業部門が民営化）が新型衛星を順次投入して通信環境が改善されていったが、陸上と比べると依然、通信速度や情報量、料金体系（高額な従量制）の面で利用しにくいものであった。

しかし、2010年代に入るとKuバンド（10.6～15.7GHz）のVSAT（Very Small Aperture Terminal）衛星通信システムが普及し、また、インマルサットでは2015年にKaバンド（17.3～30GHz）の第5世代衛星を利用したGlobal Xpressと第4世代衛星のFleet Broadbandを組み合わせたFleet Xpressサービスが始まり、定額制での常時接続及び大容量の高速通信が可能となるなど、陸上に近い通信環境が船上でも実現するようになった<sup>6)</sup>（図2参照）。これにより、海事分野においてもIoTやビッグデータなどを活用する環境が整えられていった。

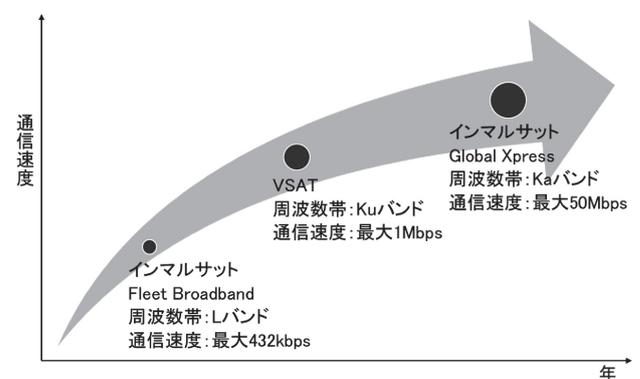


図2 海上ブロードバンド通信の発展

### 3.2 システム発展の動向

#### (1) 草創期 (2000年代)

船舶の運航データを船陸間で共有する取組みは、通信環境が未発達な状況であった2000年代頃から徐々に見られるようになった。

例えば、川崎汽船は川重テクノサービス等と開発した船舶総合情報サービスシステムK-IMS (Kawasaki-Integrated Maritime Solutions) を2002年に導入し、船舶の航海データ (乗組員が船上でパソコンに入力した航海日誌情報) や機関データを (通信費節約のため) 短波と衛星通信を使い分けて陸上のデータセンターに蓄積し、船主・船舶管理会社による運航状況の把握や機関性能解析を通じた機関管理の効率化、事故の予防に役立つ取組みを始めている。

商船三井は、船舶から毎日送信される航海データから船舶の性能を把握し、運航者が適切な指示を出すための解析を行うシステムTOMAS (Total Management System) を開発・運用している。また、三井造船が開発した運航監視システムFleet Monitorを導入し、航海情報記録装置 (VDR: Voyage Data Recorder) と機関データロガーから船内LAN経由で航海・機関データを船内データベースに収集・蓄積し、乗組員に運航状態を表示するとともに、毎正時のデータを陸上のポータルサイトに自動送信・蓄積し、船主と船舶管理会社がインターネット経由で船舶の運航状態や機器の状態を監視する取組みを始めている。

日本郵船は、2008年にMTI (Monohakobi Technology Institute) と運航監視システムSIMS (Ship Information Management System) を開発し、運航データを船内の自動収録装置に集約し、燃費計FUELNAVIなどで運航状態を乗組員に表示するとともに、データを陸上に送信し、省エネ運航に向けた改善を船陸協業で進める取組みを始めている。

これらのシステムは、当初は通信環境の制約により、船舶から陸上への送信頻度や情報量が限定されるなど、リアルタイムでの運航監視や高度なデータ解析という点で発展途上のものであったといえるが、それまで乗組員の自律的な判断に委ねられていた自己完結型の運航システムから、情報通信技術を活用した船陸協業型の運航システムへの移行をもたらす過渡的な取組みであったといえる。

#### (2) 発展期 (2010年代以降)

2010年代に入ると、通信環境の改善とも相俟って、ビッグデータやIoTを競争力強化に活かす視点が海事分野にも急速に取り込まれ、船上で収集される大量のデータをリアルタイムで可視化するとともに、高度な解析技術を駆使して運航改善に役立つ取組みが進展した。

日本郵船は、それまで別々のシステムに依存していた運航船舶の位置や海気象予測情報などを一元的に管理

し、運航船舶の常時監視や荒天等のリスク予測を船陸間で共有する運航管理情報統一システムNYK e-missions' (Environmental Management Infrastructure with Safety and Security Information in Seamless) を2010年に導入した。また、2008年に取り入れたSIMSを改良し、従来は航海データ (船速、風向、風速、針路、舵角など) のみの船陸間共有であったのが、機関データ (馬力、回転数、主機排ガス温度、主機掃気圧力など) も対象に加え、さらに、以前は毎日のレポートで得ていた性能データを、船上で収集する毎秒データの自動処理により毎時の平均値データとして陸上に自動送信し、船陸間で共有するシステムにアップグレードした。この新SIMSの活用により、船陸間でのコミュニケーションが改善され、無駄な沖待ちなど不経済な運航を減らしたり、船隊を構成する複数の船舶の走り方を比較することで上手な船速配分を学習したり、データ解析を通じて各船舶の基準性能や実海域性能を把握し、配船やウェザルーティングにその知見を活用したりすることができるようになったとされる<sup>7)</sup>。また、SIMSで得たデータや解析結果は、2012年からコンテナ船部門で実施している最適経済運航プロジェクトIBIS (Innovative Bunker and Idle-time Saving) にも活用されている。同システムのデータを活用した技術的な合理性を運航の仕方やビジネスに発展させることで、10%程度の燃費改善効果が得られたとされる<sup>8)</sup>。

商船三井は、ウェザーニュースが2012年に開発した最適航路選定システム「キャプテン・ドスカ (Cap's DOSCA: Captain's Dynamic Operation System for Counter planning and Analysis)」を導入し、また、三井造船、三造テクノサービス及び日本海事協会 (ClassNK) が開発した次世代型機関状態監視システムCMAXS e-GICSXの検証試験を進めている。後述の保守管理システムClassNK CMAXSの一環であるCMAXS e-GICSXは、機関に設置された複数のセンサーデータや海気象を含む航海データの相関関係を高度なアルゴリズムで解析することで船内での異常検知やトラブルシューティング (不具合の原因に対する点検作業要領の提示など) を可能とするものであり、機関トラブルの未然防止や運航停止時間の極小化に役立つことができるとされる<sup>9)</sup>。

川崎汽船は、2016年にK-IMSを、従来のデータ収集・監視機能に加え、リアルタイムでのデータ可視化機能や、パフォーマンス解析と海気象データに基づく最適航路選定機能を取り入れた統合船舶運航・性能管理システムへとアップグレードした。この新K-IMSは、クラウド方式により陸上で管理され、運航管理の一層の効率化が見込まれるとされる。

ClassNKも、世界有数の船級協会 (船舶の技術基準の設

定や検査・認証等を行う非政府組織)として運航支援技術の研究開発を進めている。フィンランドのNAPA社(2014年にClassNKが買収し子会社化)と開発した最適運航支援システムClassNK-NAPA GREENでは、VDRや機関データロガーから得られた航海・機関データを基に運航状態(燃料消費量、船速、トリム、EEOIなど)を乗組員にリアルタイムで表示するとともに、計測データの陸上サーバへの送信、海気象の現況データ等と併せた解析処理により、陸側のユーザー(船社等)による船舶性能や運航状態の管理が可能となる。運航計画時には船舶の性能モデルを基に、海気象情報などを勘案した最少燃費航路や最適船速・トリムなどを提示するとともに、運航データの自動解析・学習機能により、波や風などの影響のない基準状態での船舶性能(船速、馬力及び燃費の関係)や実海域性能の把握、それによる最適運航計画の精度向上を図ることができるとされる<sup>10)</sup>。

また、IMC、ディーゼルユナイテッド、三井造船及び三造テクノサービスと開発した船舶保守管理システムClassNK CMAXS(上述のCMAXS e-GICSXの他、船内機器診断システムCMAXS LC-Aなど複数のシステムで構成)では、船内の様々な機器からセンサーデータを収集・解析し、故障や劣化を予測することで機器トラブルの予防保全と安全運航に役立てることができるとされる<sup>11)</sup>。

さらにClassNKは、船級協会という中立的立場を活かし、個別管理では限界のある船舶ビッグデータを一元的に集約し、関係者の利用に供するための受け皿としてシップデータセンター(ShipDC)を2015年に設立している。2016年には、同センターで船舶データや海気象データを活用するための共通プラットフォームを構築し、運用を開始している<sup>12)</sup>。

ジャパンマリンユナイテッド(JMU)も運航支援システムSea-Naviの開発を行っている。同システムでは、陸上から船舶に毎日送信される最新の海気象予報データを基に、船舶の性能(船体や機関特性など)も踏まえて最少燃費航路など推奨航路を船内で表示し、安全かつ経済的な航路選択を支援することができる。また、船上で船体や機関、海気象の現況データを監視・解析した後、陸上にデータを送信し、陸上での性能監視やデータの二次解析を行うことで長期的な就航解析が可能となる<sup>13)</sup>。

#### 4. 船舶運航・性能管理システムの特徴・意義

上述の各事例の共通項を踏まえるならば、近年開発が進む船舶運航・性能管理システムとは、船舶の運航に際して得られる大量のデータ(VDR等で記録される航海データ、機関データロガー等で記録される機関データ、その他の船内機器に取り付けられたセンサーデータなど)を船内デー

タベースに収集・蓄積し、一定のデータ処理を行った後、各種アプリケーションを通じて船内乗組員に運航支援情報を表示すると共に、衛星通信を介して陸上のデータセンターに送信し、陸上関係者による各種アプリケーションを通じたデータ監視・解析や運航支援に資する各種フィードバックを可能とするものであり、情報通信技術を活用した船陸一体での運航・性能管理と運航支援を実現するシステムであるといえる(図3参照)。

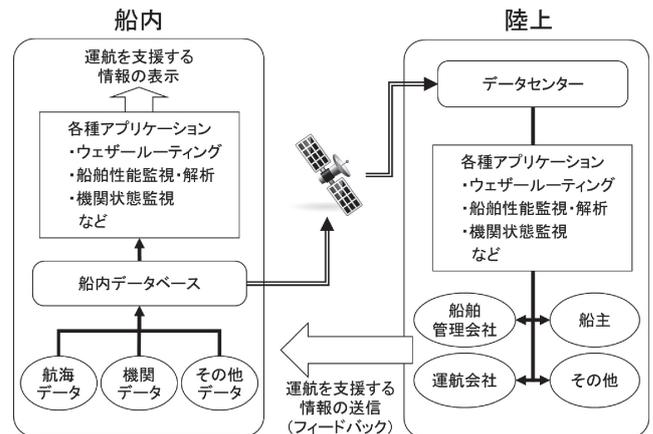


図3 船舶運航・性能管理システム

本システムの特徴・意義としては、一つ目に、船舶ビッグデータの活用と高頻度の送受信による船陸間共有を通じて、詳細かつリアルタイムでの運航状態(燃費、船速、トリム、機関・機器の状態など)の監視や運航・保守管理の改善に資する情報(最適な航路・船速・トリム、機関・機器の診断情報など)の共有が可能となり、これにより、船舶の燃費改善や安全運航に関する取組み強化が可能となった点が挙げられる。特に燃費改善は船社にとって重要な経営課題であり、日本郵船の最適経済運航プロジェクトIBISでは5年間でコンテナ船の燃料費を100億円削減するなど<sup>14)</sup>、システムの有効活用による経営効果も期待できる。

二つ目に、個々の船舶の運航方法(走らせ方)の改善だけでなく、港での停泊時の荷役効率化、複数の船舶で構成される船隊(フリート)管理や配船(投入航路や運航スケジュールなど)の効率化、さらには海運市況を踏まえた船社経営の最適化を図る上で必要な技術基盤の整備が進んだ点が挙げられる。例えば、商船三井と商船三井システムズは、横浜国立大学と共にAIを活用して積荷市況や燃料価格データ等の解析を行い、経営判断を支援するツールの開発に向けた共同研究を進めている<sup>15)</sup>。中長期的には、船舶運航の一部自律化・自動化や、荷主による貨物追跡や貿易手続の電子化など物流システム全体のデジタル化の進展につながる事が想定される。

三つ目に、船舶の運航や保守管理のみならず、より効率

的な船舶や機器の設計開発、あるいは船舶検査や規制方法の合理化など、船舶のライフサイクル全体での効率化を進める取組みにもつなげられる点が挙げられる。例えば、これまで造船所や船用メーカーは、自社製品を顧客に引き渡した後、その製品がどれだけの性能を発揮しているかを把握しにくい状況であったが、実際の運航データを解析することで製品の品質向上に役立てることが可能となる。特に船舶の実海域性能は、これまで数値流体力学 (CFD: Computational Fluid Dynamics) による数値解析や模型船を使った水槽試験、あるいは貨物を積まない状態での平水中の試運転による計測を通じて推定されていたが、実運航時に得られるデータ解析が可能となったことで、船舶や省エネ付加物の性能をより高精度に推定・評価することができるようになったといえる。また、船級協会による船舶検査は現在、機器の状態に関わらず定期的に (時間ベースで) 実施されているが、今後は機器に取り付けたセンサーの状態監視により、より効率的な状態 (リスク) ベースでの検査体制に移行するということが起こり得る<sup>16)</sup>。

こうした取組みは海事産業全体の競争力強化にも寄与するものであり、国土交通省も船舶の開発・設計、建造から運航に至るまでの全てのフェーズにおける生産性向上による競争力強化を目指す「i-Shipping」の取組みを推進し、先進的な船舶・機器・サービス等の開発に取組む事業者に対する研究開発支援を行っている。

## 5. 今後の課題と展望

海運経済学的世界的権威とされるマーティン・ストップフォード博士が指摘したように、IoTやビッグデータを活用した「スマート・ SHIPPING」を通じて海運業の業務効率化を図る取組みは進展しており、今後もこうした取組みが海事分野全体に広がっていくことが予想される。

一方で、こうした取組みを進める上では、いくつかの課題も想定される。例えば、ビッグデータの利用に関するフォーマットや知的所有権の問題などの基準整備を如何に進めるか、また、外部からの不正アクセスなどサイバーセキュリティ対策を如何に講じるかといった課題がある。

また、産業競争力の強化という観点では、膨大なデータを如何に賢く使うか、その解析力や応用力を如何に磨くかが重要となる。特にIoTやビッグデータのノウハウを有する他業種との連携に際し、如何に海事分野の事業領域を確保しつつ応用技術の導入・融合を図るかが重要と考えられる。一般に、第4次産業革命に対応する上では日本の産業界が強みを有する個々の製品技術 (要素技術) の向上のみならず、それらを最適な形で組み合わせる全体システ

ムを構築する技術 (システム技術) の発展が重要とされるが<sup>17)</sup>、当該指摘は海事分野にも当てはまる課題といえる。

さらに今後は、GHG規制や船用燃料油の硫黄分規制など環境規制の強化により、省エネや低炭素化に向けた取組みの進展が求められ、これに伴い、燃料油や推進機関など船舶の仕様やオペレーション形態が一層多様化することが予想される。このため、個々の運航プロファイルに基づき、如何なる組み合わせが安全や燃費効率など全体パフォーマンスを最適化させるかという視点が重要になってくると考えられる。こうした視点を踏まえ、船舶のエネルギー管理やライフサイクルコストの最適化を図るためにも、情報通信技術の活用が今後、益々重要になってくると考えられる。

## 参考文献

- 1) Clarksons Research; Shipping Review and Outlook.
- 2) 内航海運組合総連合会; 内航燃料油価格.
- 3) 日本郵船; 世界のコンテナ輸送と就航状況, (各年版).
- 4) 荒木康伸; エネルギー効率設計指標 (EEDI) 規制と対応技術動向, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 52-4 (2017), 83-87.
- 5) T. W. P. Smith et al; Third IMO GHG Study 2014, IMO London, (2015), 14.
- 6) 村田哲也; インマルサット高速通信システム Fleet Xpressと海洋アプリケーション J-Marine Cloud, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 52-2 (2017), 57-61.
- 7) 安藤英幸; 船舶運航におけるビッグデータの活用—燃費削減におけるケーススタディ, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 49-5 (2014), 86-91.
- 8) 安藤英幸; ビッグデータ活用サービスは着実に実現への道筋を整えつつある, 海運, 1046 (2014), 43.
- 9) 光森渉, 村上真人; 三井造船が提供するIoTを活用した運航支援サービス—ClassNK CMAXS e-GICSXとFleet Monitor, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 52-2 (2017), 80-85.
- 10) 水谷直樹, 木戸川充彦; 本船性能の見える化と最適運航支援システムについて—ClassNK-NAPA GREENのご紹介, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 49-5 (2014), 48-53.
- 11) 西岡康行; ClassNK CMAXS LC-A—統合サポートプラットフォームとその活用について, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 52-2 (2017), 74-79.
- 12) 永留隆司; 船舶ビッグデータの“受け皿”を目指して, 海運, 1069 (2016), 24-27.
- 13) 吉田尚史, 折原秀夫, 山崎啓市; 運航システム「Sea-Navi」, JFE技報, 32 (2013), 87-90.
- 14) 小林秀雄; 日本郵船, 衛星通信で「燃料費100億円カット」までの道のり, (2016), 月刊テレコミュニケーション.
- 15) 海運特集: ビッグデータ時代に臨む海事産業—IoTやAIが生む新たな価値—, 海運, 1069 (2016), 23.
- 16) 永留隆司; データに関わる顧客サービスと検査—NKによるデータ活用のこれまでとこれから, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 52-2 (2017), 48-51.
- 17) 木村英紀; 第4次産業革命とものづくり (上), (2017年9月7日), 日本経済新聞社.