

# LNG運搬船の経済性と環境性を最適化する 運航支援システム「SOPass」

SOPass Ship Operation Support System that Optimizes the Economic and Environmental Performance of LNG Carriers



 **Kawasaki Ecological Frontiers S class** †

森田直子① Naoko Morita  
山添愛② Ai Yamazoe  
岩崎英和③ Hidekazu Iwasaki  
高田広崇④ Hirotaka Takata  
新村暢大⑤ Nobuhiro Shimmura

カーボンニュートラルを目指す世界的な潮流のなか、環境負荷の低い天然ガスの需要が高まっている。また、国際海運のGHG排出量評価制度の施行があり、天然ガスの海上輸送を担うLNG運搬船では、輸送効率向上と環境負荷評価の両立が課題となっている。当社が開発した「SOPass」により、モデル計算による船舶の最適なオペレーションの提案と、運航データ解析による環境負荷評価(CII)を実現し、これらの課題解決に応えた。

The demand for natural gas, which is environmentally friendly, is increasing because of the global trend toward carbon neutrality. Also, a greenhouse gas emissions evaluation system has been put into effect in the international maritime industry, and LNG carriers, which play a key role in the marine transportation of natural gas, are required to achieve a good balance between boosting transportation efficiency and evaluating environmental impact. SOPass, which we developed, allows us to respond to these challenges by proposing optimal ship operations based on model calculations and evaluating environmental impact with operational data analysis(CII).

## まえがき

カーボンニュートラルを目指す世界的な潮流のなか、天然ガスは化石燃料の中で最も環境負荷の低い燃料として需要が高まっている。パイプラインの敷設が経済的でない、大陸間など長距離の天然ガス輸送にはLNG運搬船が用いられており、LNG長距離海上輸送の高効率化への需要は高い。特に近年は、米国のシェールガスをはじめとする新規LNG輸出プロジェクトの遅延や、ロシアのウクライナ侵攻に関連したパイプラインガス供給の停止に伴う欧州のLNG需要拡大により、需給バランスが崩れている。LNG価格は高騰しており、LNG運搬船による天然ガス輸送の高効率化への需要はさらに高まっている。

また、国際海運の温室効果ガス GHG (Greenhouse Gas) 排出量評価制度の施行があり、LNG運搬船の運航においては、輸送効率向上と環境負荷物質削減を両立するとともに、それらを指標として評価するための船舶運航管理支援システムが求められている。

## 1 背景・歴史

当社は2000年頃から船陸間通信を利用した運航支援システムを開発・提供している。一般貨物船の主機性能解析と機関部監視を陸上で行うシステムを最初に開発した。その後、LNG運搬船を対象とした性能解析システムや、一般貨物船向けの最適航路計算（ウェザールーティング）システムなど、多岐にわたる運航支援システムの開発・提供を行ってきた。

2016年より、LNG海上輸送を高効率化するニーズに先がけて、LNG運搬船向け運航管理支援システム「SOPass (Ship Operation and Performance analysis system)」をリリースし、2017年よりサービスの提供を開始した<sup>1)</sup>。

「SOPass」は、天然ガス取引の主体として陸上からLNG運搬船の運航管理に携わる備船社をサポートすることを目的に開発した。「SOPass」は、航海開始前から航海中、航海後まで切れ目なく活用可能な各種アプリケーションを備えている。船舶状態をリアルタイムで確認する機能に加え、将来を予測する機能や評価を行う機能を提供することにより、高度な専門性や長年の経験を持たなくても船舶運航の将来

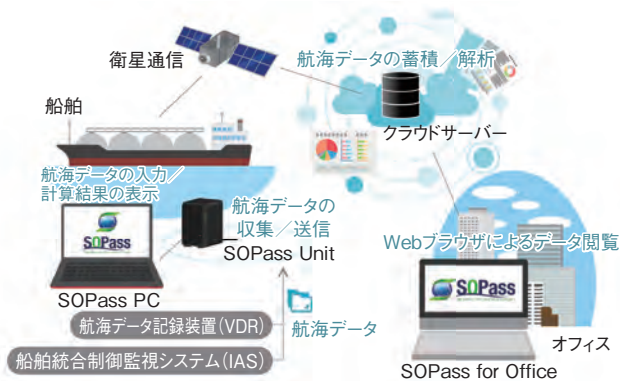


図1 システム構成とデータフロー概略図  
Fig. 1 System configuration and data flow schematic

的アクションを把握・検討できるサービスを目指した<sup>2)</sup>。

「SOPass」のシステム構成とデータフロー概略図を図1に示す。衛星通信を介して船舶の運航データを陸上のデータセンターに収集して、アプリケーションの目的に応じて解析するほか、将来の航海を予測するためのモデルシミュレーション計算を行う。「SOPass」の利用者は、ウェブブラウザを介して、いつでもどこでも本船の運航状況や解析結果を閲覧することができる。

## 2 「SOPass」が解決する課題

### (1) LNG運搬船の輸送効率向上

満載航海時と空載航海時のそれぞれに課題がある。

満載航海時の課題は、NBOG (Natural Boil off Gas) を無駄なく推進エネルギーや船内電力として活用することである。NBOGとは、外部からの入熱によって、カーゴタンク内のLNGが一部気化することにより発生するガスをいう。航海中には、NBOGによって上昇したカーゴタンク内の圧力を下げるためにこのガスを引き抜き、カーゴタンク内圧を適正にコントロールする必要がある。引き抜いたNBOGは主機関の燃料として使用するが、再液化装置を備えていない場合、主機関の出力状態によって消費しきれないNBOGが発生すると、燃焼装置で無駄に焼却することになる。カーゴタンクから引き抜いたNBOG量と主機関のNBOG消費量とを均衡させるために保つべき主機出力、その主機出力から得られる船速および航路、それらを複合的に考慮して得られる船舶のオペレーションが最も輸送効率の良い運航プランとなる。

空載航海時の課題は、カーゴタンクの冷却や推進用燃料、発電用燃料に使用するためにカーゴタンクに残すLNG量(ヒール量)を過不足なく決定することである。満載航海終了時にLNGの荷揚量を最大化するためには、次の空載航海用のヒール量をなるべく少なくするのが良い。しかし、空載航海中に必要なヒール量は、カーゴタンク方式・航海

日数・航路における燃料消費量によって異なるため、これらを十分に考慮して過不足ないヒール量を決定する必要がある。さらに、カーゴタンク冷却のためにカーゴタンク内にスプレーしたLNGが気化することによって発生するSBOG (Spray Boil off Gas) を、無駄なく推進エネルギーや船内電力として活用することも課題となる。

これらの課題に対して貨物であるLNGの損失を抑えたLNG運搬船の最適なプラントオペレーションと航路の提案を可能とする必要がある。

### (2) LNG運搬船の環境負荷評価

国際海運の分野ではGHG排出削減に向けた対策が進められており、船舶のGHG排出量の評価が喫緊の課題である。船舶の運航における環境負荷の国際的な評価制度が2023年に開始されたことにより、国際海運におけるカーボンニュートラルへの取組みにおいて、船舶の燃費実績を可視化して評価することへの関心が非常に高まっている。

LNG運搬船において、評価指標となるCII (Carbon Intensity Indicator) 値は、以下の式で表すことができる。

$$CII = \frac{CO_2 \text{ 排出量 [g]}}{\text{積載能力 (DWT) [MT]} \times \text{実績航海距離 [NM]}}$$

MT : Metric Ton  
NM : Nautical Mile (海里)

CIIの実績値に応じて、A～Eのランクで表されるCII格付け評価値が決定される。船舶のCII格付け評価値が低評価となった場合、船主はその船舶に対する改善計画を作成して公的機関からの承認を取得する必要がある。さらに、制度を制定したIMO (国際海事機関) は、主管庁や港湾当局などの海運関係者に対してCII格付け評価値の良い船舶へ報酬を与えることを奨励しているため、船舶の運航においてCII実績値のモニタリングやCII格付け評価値の改善は重要となっている。

国際海運に関連する企業間においても、荷主や海運会社が運航船におけるIMOのGHG排出削減目標への整合度合いを評価して公表する海上貨物憲章や、金融機関の船舶融資ポートフォリオに対するポセイドン原則の取組みが行われており、船舶の運航におけるGHG排出量の評価は海運業界全体の課題とも言える。

## 3 「SOPass」による課題解決プロセス

### (1) LNG運搬船の輸送効率向上に向けた取組み

これまでのシステム開発で培った最適航路計算技術および運航データ解析技術と、LNG運搬船の建造で培ったオペレーションの知見、当社の持つ熱力学的評価技術などを組み合わせ、LNG海上輸送の効率向上に貢献する機能

† 船舶からのリアルデータと造船所の持つ工学的知見を融合してデータの解析・将来予測を行うことにより、船舶の効率的運用をサポートする船舶運航管理支援システム

「BOG-Navigation」を開発した。

(i) 船体運動とLNG状態の予測

「SOPass」は、船舶建造時の設計データを用いて構築した船体性能モデルを基に、海気象条件の変化による船体抵抗の増加量や船体の動揺を予測できる。波による抵抗増加量を予測する船体性能モデルから、図2に示すように、ある船速で航行したときの遭遇する波の周期と向きに応じた抵抗増加量を予測できる。ほかにも風による船体への抵抗力・造波抵抗・粘性抵抗などを予測することにより、船舶の推進に必要な軸出力およびプロペラ回転数・船速・燃料消費量を算出できる。波や風を受けた船舶のローリングやピッチングといった船体運動も予測できる。

また、船体・タンク・配管などの構造的要因を考慮して構築したカーゴタンクの伝熱モデルを基に、カーゴタンクと、カーゴタンク内部の液層および気層の状態を予測できる。さらに、周囲の空気温度や海水温度・日射量などの熱の侵入に応じて時々刻々に変化するカーゴタンク内の圧力やLNGの量・温度・組成を予測できる。当社建造のLNG運搬船の設計データを用いて構築した伝熱モデルにより、日射影響を計算した結果を図3に示す。カーゴタンク内で発生するNBOG量・SBOG量・モス型タンクの場合は赤道

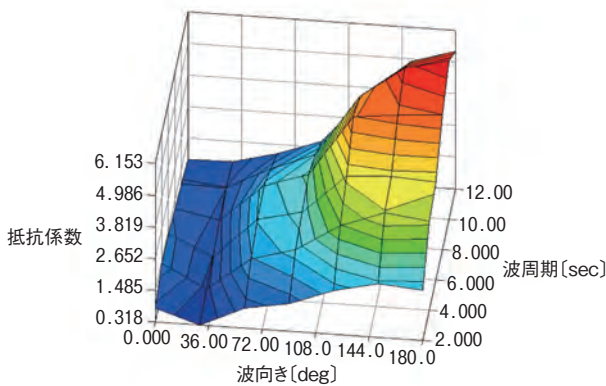


図2 ある船速における不規則波中の抵抗増加量  
Fig. 2 Amount of increase in resistance in irregular waves at a certain vessel speed

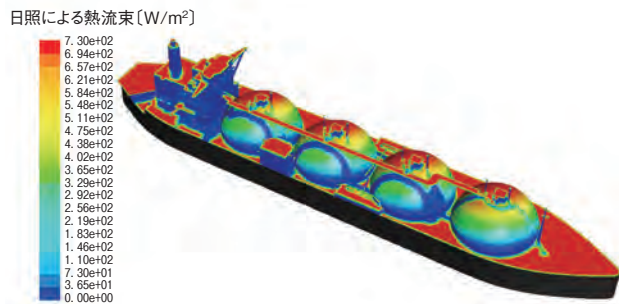


図3 伝熱モデルによる日射影響の計算  
Fig. 3 Solar radiation impact calculation by heat transfer model

温度、メムレン型の場合は各液位のLNG温度も予測できる。

モデルシミュレーションによって、船体運動の予測とLNG状態の予測を可能とすることにより、航海中のLNG運搬船の状態予測を実現した。

(ii) 輸送効率向上を目指した船舶オペレーションの提案

造船所として培ったLNG運搬船のプラントオペレーション技術と、(i)のモデルシミュレーションによるLNG運搬船の状態予測データおよびウェザルーティングの技術を組み合わせてLNG運搬船の輸送効率を向上できる船舶オペレーションを提案する「BOG-Navigation」機能を開発した。

「BOG-Navigation」は、海気象予報データを入力として、満載航海時に発生するNBOG量とタンク圧力の変化やLNGの組成変化 (Aging)などを予測することにより、航海中に推進用燃料として使用可能な時間当たりのエネルギー量を算出する。このエネルギーを無駄にしないプラントオペレーションと航路を提示することによって、各航海の輸送効率向上を可能とした。また、「BOG-Navigation」はLNG状態の予測に加え、海気象状況に応じた船体運動の予測が可能のため、利用者は運航制限として遭遇する波高やローリング・ピッチング角度の上限値を設定した上で、最も安全かつ燃費が良い航路情報と船舶運航状態の予測情報を航海に活用できる。この航海予測情報は、陸上の利用者がウェブブラウザ上で操作することにより、本船へ共有できる。さらに、「BOG-Navigation」は、図4のように、本船の現在位置から入港地までのプランを毎日自動計算して陸上の利用者および本船へ提供する。陸上の利用者は常に最新の海気象予報データを用いて計算された航海の予測情報を本船と共有できる。

また、空載航海に必要なヒール量は、最適な冷却スプレーパターンおよび(i)のモデルによる冷却スプレー量や航海に必要な燃料消費量の予測によって推定できる。満載航海終了時に次の空載航海に最低限必要なヒール量を予測・提示することにより、LNGの荷揚げ量の最大化を可能とした。

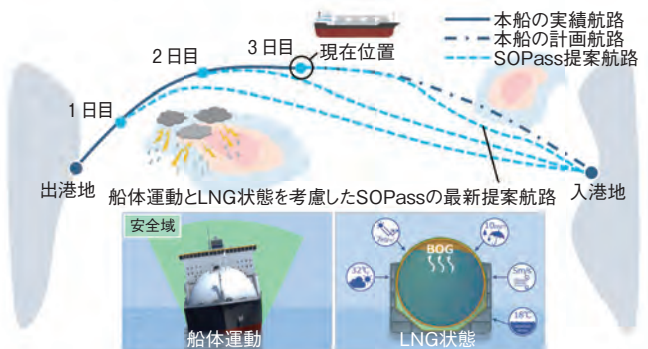


図4 「BOG-Navigation」の定期計算の概要  
Fig. 4 Outline of periodic calculation by BOG-Navigation



図5 CII評価情報の航海ごとの表示  
Fig.5 Representation of CII evaluation information for each voyage

## (2) LNG運搬船の環境負荷評価に向けた取組み

CII燃費実績格付け制度では、1年間の運航実績データを基に計算したCII実績値が評価の対象となり、CII格付け評価値が決定される。CII実績値を求めるためには、船舶が使用した燃料種類・消費量・航海距離などの実運航データが必要になる。「SOPass」ではこれらの実運航データから、船舶のCO<sub>2</sub>排出量やCII実績値の推移を推定する「CII評価機能」を開発し、常に最新の実運航データから計算したCII評価情報の提供を実現した。

図5に示すCII評価情報の表示画面では、CII燃費実績格付け制度の評価期間である1年ごとのほかに、航海ごとのCII実績値(①)やCO<sub>2</sub>排出量(②)の表示を可能としており、航海ごとに環境負荷を評価できる。さらに、航海距離やCO<sub>2</sub>排出量を、どの程度変化させればCII格付け評価値を変化させられるかを確認可能な表示(③)も設けており、格付けを改善するために必要な運航方法の検討に活用できる。

また、CO<sub>2</sub>排出量やCII実績値の30分ごとのトレンドグラフを表示する画面もあり、「SOPass」が提供する海気象データや過去の運航実績トレンドグラフと合わせて確認することによって、CII実績値が悪化した航海の原因分析や運航方法の改善に活用できる。

## あ と が き

将来の航海計画立案を支援する「BOG-Navigation」は、当社が造船所としての強みと高い熱力学的評価技術を活か

して開発した独自の機能である。今後、より正確に将来の船舶運航状態を予測するため、機械学習を使った将来予測に取り組み、実用性の高い運航支援を目指す。

将来はこの技術を発展させ、当社がゼロエミッションエネルギーとして注目している水素を輸送する「液化水素運搬船」の輸送効率向上に「SOPass」を活用することを検討している。

また、現在実績値の評価情報のみを提供している「CII評価機能」においても、運航実績データや、将来の航海スケジュールから将来のCII評価値を予測する機能の早期リリースを目指す。

今後も当社の技術を結集して挑戦的な開発を続けることにより「SOPass」の機能を拡張し、さらなる国際海運の海上輸送効率向上とGHG排出量削減に寄与していく。

## 参 考 文 献

- 1) 大嶺：“IoT技術を活用した船舶運航管理支援システム「SOPass」について”，日本マリンエンジニアリング学会誌，第54巻2号，pp.126-128（2019）
- 2) 上垣内，安藤，大嶺，飯坂：“船舶運航管理支援システムSOPassによる将来予測を用いた運航管理支援”，日本マリンエンジニアリング学会誌，第55巻5号，pp.42-46（2020）



森田直子



山添愛



岩崎英和



高田広崇



新村暢大