

船舶の安全と環境を守る最新計測制御技術

長谷川 和彦*

*大阪大学 大学院工学研究科 大阪府吹田市山田丘 2-1
*Graduate School of Engineering, Osaka University, 2-1, Yamada-oka, Suita, Osaka, Japan
*E-mail: hase@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

キーワード：航海 (navigation), 船舶 (ship), 安全 (safety), 省エネルギー (energy saving).

JL 0006/11/5006-0357 ©2011 SICE

1. はじめに

船舶は、古くから計測とオートメーションの進んだ乗り物の一つである。それは、その航海時間の長さや厳しい自然環境によるところが大きい。もともとは天体観測などにより自船の位置を観測し、目的地に向かって航行していたが、自動化の歴史は、1810年にBohnembergerによりジャイロスコープが、1911年にSperryによりオートパイロットが発明され、それをMinorskyが1921年にPID制御へと改良したことに始まる(詳しくは文献1)などを参照のこと。

現在でも、ジャンボジェットを始め、24時間以上エンジンの稼働している乗り物は他にない。その後、船舶の自動化は、その時々時代の背景や計測と制御技術の進歩と密接に関わりながら発展してきた。

1970年代に入ると、第四次中東戦争の勃発により、2度にわたるオイルショックが発生、進む円高の中、ますます船舶の経済性が重視され、スエズ運河が閉鎖されたこともあって一気に船の大型化が進んだ。そして、人件費の高騰による省力化や外国人船員へのシフト、韓国を中心とする造船産業の追い上げ、海運会社の国際的アライアンス形成などが時代背景となった。

一方、1980年代を中心として、現代制御論、人工知能理論を始めとしてファジィやニューロネットワーク、遺伝的アルゴリズムなどの新しいパラダイムが生まれ、それらがつぎつぎと船舶の自動化に活用されていった。その中で、M0船と呼ばれる機関室の無人化や超近代化船などの省力化へと発展し、筋肉の自動化の時代から神経の自動化の時代へ入ったように思う。そのあたりは、前回のミニ特集²⁾や別の特集³⁾にまとめられているのでそちらを参照いただきたい。

さて、本号の特集は、それらの時代背景と技術発展を受け、「安全」や「省エネ」、さらには「環境問題」に対して現在の船舶の運営で計画されていたり、取り組まれていたりする課題について、それぞれの専門家から現状と将来について語っていただくものである。しかし、船舶およびその運営(航海のみならず)に関わる安全や省エネルギー、環境への取り組みは多岐にわたっており、そのすべてを網羅することはできず、それ以外に、ぜひ、知っていただきたい問題については、本特集号のねらいと構成を紹介した後、誌面の残りを使ってかいつまんでご紹介する。

2. 特集号のねらいと構成

船舶は大量の物資を輸送することができる地球上最大でもっとも効率の良い移動体である。その上、国際入札品であり、基本的には建築や土木構造物と同じで一品生産品である。また、たとえ同時発注の同型船であっても生産ラインは直列であり、そのつど、改良を加えられながら建造される。少しでも建造費が安く、かつ、トンキロあたりの輸送費が安く、そして、その物資の輸送に与えられた条件を満足するかが造船設計者の腕の見せ所である。安く作ったとしても抵抗が大きくて所定の船速が出なかったり、たとえば、平水中に近い試運転では出ても、実航海では波浪や経年変化による生物付着などで十分な船速が得られなかったりなどの状況が常に起こる。かといって、必要以上のエンジンや塗料、鋼材を使っているのは競争に勝てない。

最近では、それらに加え、環境対策も重要で、衝突や座礁などによる汚濁防止はもちろん、温室効果ガスの排出量の規制からバラスト水の規制(後述)まで厳しい制約が設けられている。そして、韓国や中国が日本の建造量を追い越している今、国際競争力を高めるために、さらなる付加価値をつけた船舶の開発が急務となっている。

2.1 ねらい

こうした背景から、計測および制御技術が船舶のさらなる高輸送効率のため、そして、より安全で、環境に配慮した輸送を実現するためにどのような取り組みが行われているかの最前線をいくつかの事例を通して紹介する。

2.2 構成

1. 海の10モード指標

現在、船舶は波や風がない平穏な海域での燃費効率をその設計要件としているが、実際の海域では速度が低下し、燃費効率に大きく差が出ることが知られている。自動車の場合、信号による停止や発進など市街地での代表的な運転要素を組み合わせると燃費効率を測る「10・15モード」によって、われわれは実質の燃費を知る。これにならい、より実海域での性能に近い「海の10モード指標」が提案されている。それにより、さらに厳密なCO₂排出量削減目標に向けた取り組みへも適用しようとしている。開発の中心となっている(独)海上技術安全研究所の辻本 勝氏が詳しい実験や計算結果とともに解説する。

2. 船舶用オートパイロット

オートパイロットは普通、特定の針路を保つ保針とある別の針路へ変更する変針との機能をもつ。しかし、いまだにPID制御がその基本であり、そのそれぞれに最適な制御係数を、船舶ごとに、さらに、外乱の変化や載荷状態などの環境変化に伴って、いかに自動的に調整するかが重要であり、各メーカーが独自の方法の開発にしのぎを削っている。最新の機器ではさらに横揺れ防止機能などの機能をもつものなども開発され、古くて新しい問題である。

ここでは、海上保安大学の松田真司准教授がその方式を含めて、概説するとともに日本で開発されている最新のオートパイロットについて紹介する。

3. 宇宙測地による地球上の位置の測り方・表わし方

日本ではあまり、ピンとこないが遠浅の海や岩礁が広がる沿岸域では船舶が航行できるところが特定されていたり、航路だけ浚渫されていたりするところが少なくない。また、ローカルな航行ルールなども存在する。水先案内人などは熟知しているが、それでも、安全に航行するためには、海図はなくてはならない。コンパスで方位を確認し、GPSやまわりの地形との関係から、現在位置を特定し、海図で確認するという作業は沿岸海域では不可欠である。現在大型船では、電子チャートとして独立した装置や、レーダーと組み合わせ同じディスプレイ上に電子的に表示するシステムがほとんどである。しかし、いかに、通信情報技術やGPSが発達した現在においても、紙媒体で書かれた海図は船舶の安全航行にはなくてはならない(図1)。

ほとんどの海図はメルカトル図法を採用している。この図法の利点は船舶の方位すなわち子午線となす角が常に正しく表わされる点であるが、欠点は高緯度になるほど緯度線が広がる、また、地球上の2点の最短距離が直線で表わされないことである。海図には種々の情報が書き込まれているがもっとも重要な情報のひとつが水深である。ところが、もし、海図上の座標とGPSなどの座標が違っていたらどうなるだろう。気がつかないうちに暗礁に乗り上げるというような事態が起こりかねない。実は海図が歴史的で

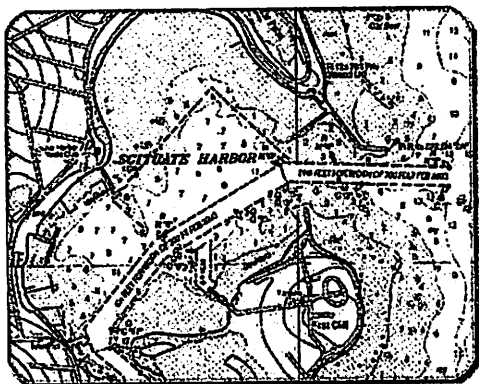


図1 海図の例

あるがゆえに海図上にかかっている経緯度線は世界各国で異なる。現在、経緯度線のとり方(測地座標系)には国内のガーニヤ地図で多く使われる日本測地系とアメリカで生まれたWGS-84測地系などがあるが、現在は、WGS-84が世界標準としてその使用が勧告されている。

ここでは、地球上の位置の測り方と表わし方について国土地理院の飛田幹男氏が詳しく解説する。

4. 事例紹介「ZEUS プロジェクト」

船舶が高効率な輸送機関であることはすでに述べた。しかし、その抵抗のほとんどが船体と水面の境界で起こる摩擦抵抗(接触面積にほぼ比例)であること、自由表面がある限り、そこを物体が移動すると波が発生する(言い換えると波にエネルギーを取られる)事実は変えられない。小型の高速船系では水中の翼を利用してその揚力で排水量を支持する水中翼船や水との接触面積を小さくするカタマランなどの方法があるが、通常の積載量を必要とするいわゆる排水量型の船舶ではいかに水面下の形状を工夫し、推進器を工夫するかにかかっている。船首にこぶのような突起がつきだした形状(球状船首, Bulbous Bow)はご存じの方も多いと思うが、船首部で起こる波を反対の位相の波で打ち消すためのものであり、アイディアはあったものの、日本が世界に先駆け実用化し、あっという間に世界に広がった技術である。

これに匹敵する船舶の効率と温室効果ガスを画期的に改善する計画が進められている。ここでは、その開発グループの中心である(独)海上技術安全研究所の佐々木紀幸氏が、その開発の概要を紹介する。本文中に書かれているように、これが天空の神ゼウスに導かれ、あらゆる苦難を乗り越えて、HOP(E), STEP, JA(U)MP となって明日の日本の造船業を支えてくれることを期待する。

5. 事例紹介「商船三井の次世代船構想と環境保全への取り組み—次世代船シリーズ構想 自動車船、フェリー、大型鉄鉱石専用船の紹介—」、「環境負荷低減船への取り組み—大型コンテナ船とVLCC—」

化石燃料を燃焼して航行する船舶からは地球温暖化の原因となる温室効果ガス(GHG)が排出され、国内外でもGHG削減に向けた議論が活発化している。

日本では、造船所や船会社がそれぞれ独自にあるいは共同で、その取り組みを進めており、その事例を(株)商船三井の久嶋隆紀氏と(株)アイ・エイチ・アイ マリンユニテッド(以下、IHIMU)の増子 章氏がそれぞれ紹介する。

(株)商船三井からは近い将来技術的に実用可能な次世代船(ISHIN シリーズ)として、第一弾は自動車船(ISHIN-I)の港内航行および荷役中における自然エネルギー利用と大洋航行中のCO₂排出量を最大50%削減、第二弾はフェリー(ISHIN-II)で、LNG燃料を使用し、陸上電力プラグイン等を採用することで環境負荷を低減、第三弾は大型鉄鉱石専用船(ISHIN-III)の排熱エネルギー回収および高効率過

給システム・電子制御エンジンの採用による CO₂ 排出量 30%のそれぞれの取り組みについて紹介する。

IHMU からは環境負荷低減船 eFuture の例として、GHG 排出量を 30%削減する大型コンテナ船、VLCC のコンセプトを紹介する。

6. 事例紹介「環境負荷低減のための運航モニタリング」

一方国際的な船舶の種々の法律の制定や標準化を行う国際海事機関 (IMO) においては、現在、船舶の燃費指標 (EEDI) の段階的な規制とともに、運航時の燃費削減の計画的な管理 (SEEMP) の義務化に向けた作業が進んでいる。SEEMP によって運航中の船舶の燃費を計画的に管理、削減するためには、正確に船の燃費性能に関わるデータを計測・把握し、解析・評価を行い、船の運航に関わる船・陸の担当者に伝え・改善アクションにつなげる必要がある。こうしたシステムの実現のためには、情報インフラ、解析技術、組織との融合が必要となる。こうした取り組みの一例として (株) MTI の安藤英幸氏から同社が開発・運用を行っている運航モニタリングシステム (SIMS) を紹介するとともに、今後の展望を述べる。

7. 事例紹介「AIS と VTS の活用—輻輳海域における航行安全から海賊対策まで」

タイタニック号の氷山との衝突と沈没は、船舶の歴史上、数々の教訓と国際規則を残すことになる。SOLAS (Safety Of Life At Sea, 海上における人命の安全に関する条約) と呼ばれる条約であり、現在も IMO において、その改正が進められている。救命艇やライフジャケットの配備から復原性の基準、水密隔壁の義務化、レーダーの装備などなど。しかし、その後も、船舶の事故は絶えず、大きな事故が起こるたびに、新しい装置の設置が義務づけられている。2002 年、テロ対策を目的として 500 総トン以上の国際船舶にその設置が義務づけられたのが AIS (船舶自動識別装置) である。現在では、世界中で、自社の船舶の動向を調べたり、情報を提供したりするサービスがあり、安全のみならず、新しい利用方法が広がっている。図 2 はそうしたサービスのひとつである。

また、VTS (Vessel Traffic Service) と呼ばれる海上交通管制が世界中のおもな輻輳海域に設置され、航行する船舶への情報提供や航行支援を行っている。

こうした機器、サービスの最新情報を東京計器 (株) の西村浩一氏が紹介する。

8. 解説「ウェザールーティング (最適航路選定)」

カーナビで目的地を与えられた場合、時間優先、料金優先などの条件でいくつかの候補が出てくる。ウェザールーティングとは、船舶における最適航路選定のことである。ただし、ここでは、天候によって最適な航路を選ぶことを言う。船のように悪天候の中を航行する輸送機関にとっては、どの航路を通るかでその燃費、あるいは到着日時に大きく影響する。また、台風などに遭遇する場合、迂回する

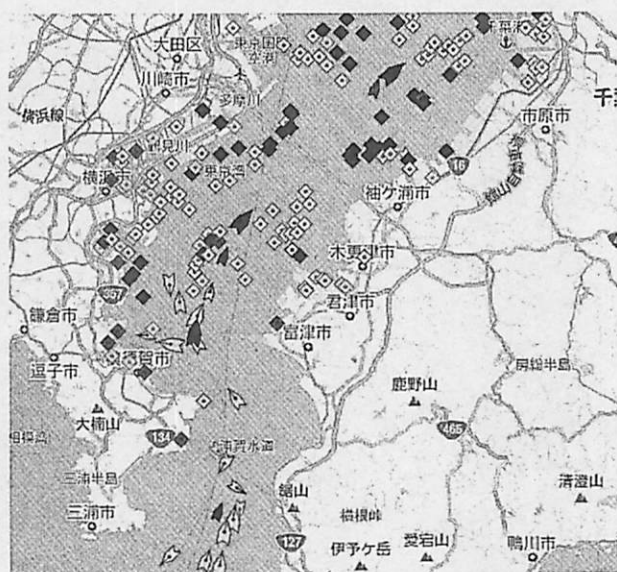


図 2 AIS によるある時点での船舶の情報例 (東京湾)
(<http://www.marinetraffic.com/>)

のか、船速を落として進むのか、あるいは、錨泊して行きすぎるのを待つのか、航行海域やスケジュール、積み荷や船体への影響などを考慮して船長が判断する。また、天気予報の提供とともに、最適航路を提供するサービス会社もあり、今後は、よりきめの細かい情報提供やサービス提供が主流となるであろう。

こうしたウェザールーティングの最新情報を東京海洋大学の庄司り准教授が紹介する。

3. その他の動向

上述のように、船舶の分野で、その航行の安全と環境への対策の最新研究と事例について、かいつまんで紹介したが、その他にも、これから、船舶の分野で重要な計測と制御に関する技術はたくさんある。

ここでは、そのうち、2 つだけ紹介しよう。

3.1 バラスト水問題

バラスト水とは空荷あるいは軽荷状態で船を安定に保つため、あるいは、プロペラを十分に水没させるため、さらには、船体にかかる応力を軽減させるために船内に取り入れる水 (海水) のことである。自動車運搬船やコンテナ船のような場合は荷物の重心が高く、相対的に積み荷が軽いため、満載状態であってもバラスト水を入れて、バランスを取っている。当然、入港した港で入れ、着いた港で放出する。これが、いわゆるバラスト水問題である。何が問題かといえば、海水に含まれる細菌、微生物、そして、プランクトンなどの海洋生物や病原体の移動による生態系の破壊である。オーストラリアでマヒトデが大量に発生して養殖ホタテやカキの被害が出るなど世界中で同様の被害が続出し、2004 年 IMO でバラスト水管理条約が成立した。これ

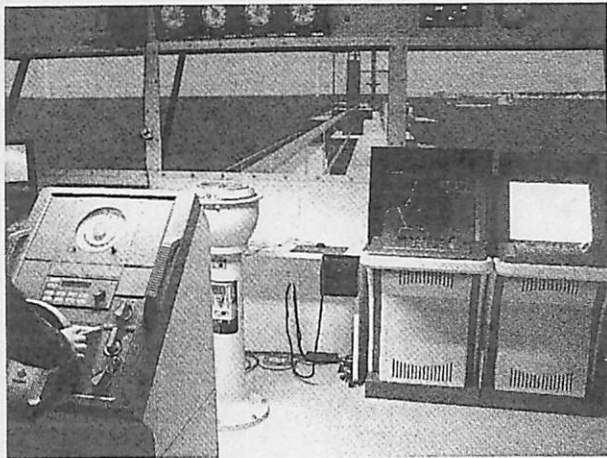


図3 世界初、インテリジェント操船シミュレータ
(独)海上技術安全研究所と大阪大学の共同研究

に伴い、国際船舶(2009年からは新造船のみ、2016年からはすべて)は洋上交換(ただし、それに伴う転覆事故も発生しているので、入れ替えに注意が必要)を行うか、なんらかの処理が必要である。現在は、機械的(フィルタなど)、物理的(熱、超音波など)、化学的(殺菌など)処理方法が考案されているが、まだ、確立したものはない。世界では約120億トン、日本では、年間約3億トンの輸出で約1,700万トンの輸入といわれており、世界的な新しいビジネスとなりつつある。

3.2 私の研究から

最後に、私が取り組んでいる研究を少し紹介する。前回の特集^{2),4)}で、自動避航システムや自動着岸システムの紹介をした。現在も、それらの研究は続いており、私のライフワークになるだろうと思っている。

自動避航システムの方は、輻輳海域シミュレーションシステムとして、世界中の輻輳海域の安全性評価に役立てるとともに、2010年度(独)海上技術安全研究所との共同研究で同所の操船リスクシミュレータへ組み込むことに成功し、世界で初めてとなるインテリジェント操船シミュレータが完成した⁵⁾(図3、表紙写真)。通常は、自船のみが操船者により操船され、他船は、Waypointと呼ばれる折線上の計画航路が与えられてその上を決められた速度で動くだけだが、このシミュレータでは、自船の動きに応じて、必要なら他船も避航して、より実際に近い操船状況の再現ができるようになった。これにより、海難事故の原因解明や、より高度な操船者訓練が行うことができるようになり、近い将来、世界中の操船シミュレータがインテリジェント化することを夢見ている。

一方、自動着岸システムの方は、実用化には正直言ってまだまだである。やはり、安全性が第一であり、風や潮流

といった外乱条件下で、信頼性のあるシステムにするためには、まだまだ、センサーを含め、計測と制御の分野から各位のご指導ご鞭撻をお願いしたい。

与えられた紙面が尽きてしまった。その他、参考になる技術の紹介は文献6),7)に譲ることとする。

4. おわりに

本特集は船舶の分野では10年以上ぶりである。改めて、当時の特集を読み返すと、隔世の感があるとともに、まだまだ、進歩していないなとも感じる。

安全と省エネというテーマであったが、船舶にとっては永遠のテーマである。10年後にどのようなテーマとなっているか、そのとき、ここに書いたことのいくつかが実現しているか楽しみである。

(2011年4月18日受付)

参考文献

- 1) Thor I. Fossen: Recent Developments in Ship Control Systems Design, World Superyacht Review, Sterling Publications Limited, London (1999)
- 2) 長谷川和彦: インテリジェント・シップ—超自動化船への挑戦, システム/制御/情報, 38-5 (1994)
- 3) ミニ特集「船舶における計測・制御技術」, 計測と制御, 37-11 (1998)
- 4) 長谷川和彦: 安全運航のための計測・制御, 計測と制御, 37-11, 762/767 (1998)
- 5) 福戸淳司, 長谷川和彦, 酒井史彦: 操船シミュレータへの自動避航操船機能の導入, 平成23年度日本航海学会春季講演会予稿集 (2011)
- 6) 日本船舶海洋工学会: 超省エネ船シンポジウム (2007)
- 7) 日本船舶海洋工学会: 第2回超省エネ船シンポジウム (2011)

[著者紹介]

長谷川 和彦 君 (正会員)



1976年大阪大学大学院工学研究科造船学専攻修士課程修了。同年より広島大学工学部船舶工学科助手, 83年大阪大学工学部造船学科助手, 87年同講師, 89年同助教授を経て, 98年より同大学大学院工学研究科地球総合工学専攻船舶海洋工部門教授, 現在に至る。91~92年オランダ・トゥエンテ大学メカトロニクス研究所客員研究員, 96年連合王国・ストラスカイト大学船舶安定性研究所客員研究員, 96~99年日本海洋科学技術センター(JAMSTEC)客員研究員, 2009年韓国釜山大学校招聘教授, 11年EU エラスムス・ムンドス(EMSHIP)招聘教授(フランス・ナント中央学院)。船舶の操縦性に関する運動学的および制御学的研究などに従事(工学博士)。80年日本造船学会賞, 94年関西造船協会賞受賞。IFAC 海洋システム技術委員のほか, システム制御情報学会, 日本ファジィ学会, 日本船舶海洋工学会, 日本航海学会, 日本マリンエンジニアリング学会, IEEE 海洋工学学会などの会員。