内航船用船速計画システムの実船試験とその評価

正員 辻 本 勝^{*1} 正員 南 佳 成^{*1}
 村 山 貴 彦^{*2} 高 井 博 司^{*2}
 家 城 竜 也^{*3} 今 澄 敏 夫^{*4}
 増 田 勝 美^{*4}

An Onboard Experiment of a Navigation Support System for Coastal Shipping and Its Evaluation

by Masaru Tsujimoto, *Member* Yoshimasa Minami, *Member*
 Takahiko Murayama,
 Tatsuya Yashiro,
 Katsumi Masuda Hiroshi Takai
 Toshio Imazumi

Summary

Environmental issues have been very much concerned recently. In addition, there has been a growing awareness that rising cost of fuel is inevitable. For reducing fuel consumption of a ship, an intelligent navigation system is one of possible approaches. In the previous paper, the authors have proposed a new navigation system for coastal shipping to decrease fuel consumption and CO₂ emission from a ship. The navigation system, called WAN-CS, optimizes engine revolutions with constraint of the voyage schedule. Combined the WAN-CS with a weather information system and a navigation information system, an onboard experiment has been carried out. The ship used for the experiment was a domestic cement carrier "Shin-ei Maru". The route was selected the Ube-Nagoya route, which was one of the main routes of the ship.

The experiment result showed that the system saved 10% fuel and arrived on schedule, though it was depend upon the weather condition and scheduled time. Consequently the system was validated by the onboard experiment. From an economic viewpoint the system also retained its superior performance in cost.

1. 結 言

2005 年 2 月に気候変動枠組条約京都議定書が発効し、我が国も地球温暖化ガスの排出削減義務を負った。また、2000 年以降の世界的なエネルギー需給の逼迫から燃料価格が高水準で推移している。そして、これらを受けて、エネルギーの使用の合理化に関する法律の改正が 2006 年 4 月に施行され、一定規模以上の荷主、国内輸送業者に対しても中長期的なエネルギー消費原単位の低減を目標に取り組みが義務付けられることとなった。

この様な状況に対し、船舶からの燃料消費量、CO₂ 排出量の削減に有効な手段を検討する必要がある。

先に著者らは、外航船、内航船をそれぞれ対象として、運航スケジュール、気象海象予測情報、船舶の実海域性能を組み合わせて、運航面から燃料消費量、CO₂ 排出量を削減する

海象適応航法(WAN: Weather Adaptive Navigation)の開発を行った^{1),2)}。

今回、内航船用海象適応航法(WAN-CS: WAN for Coastal Shipping)に、気象海象情報システム、航海情報表示システムを組合せ、内航船用船速計画システムを構築し、実船に搭載して試験を実施した。そして、燃料消費量削減効果の評価を行ったので、その内容について報告する。

2. 内航船用船速計画システム

一般に内航船は、外航船に比べて、1 航海の航行距離が数百海里と短く、航行区域や地理的要因により航路選定の自由度が少ないこと、また、夜間到着の場合、錨泊を行う場合があり、その時間が全航海時間に対する比率は無視し得ないという特徴がある。この夜間の錨泊時間等の運航余裕時間を有効に利用し、その分低速で運航させるのが WAN-CS である。

内航船用船速計画システムは、陸上の気象海象情報システム、船上の WAN-CS システムと航海情報表示システムからなる。なお、WAN-CS システムを陸上にて実施し、結果の

*1 (独)海上技術安全研究所

*2 (財)日本気象協会

*3 横河電子機器(株)

*4 宇部興産海運(株)

原稿受理 平成 18 年 8 月 9 日

みを船上に送信し、航海情報表示システムで利用することも可能である。

以下、システム構成について述べる。

2.1 WAN-CS システム

先に開発し、報告した WAN-CS システム²⁾に対し、実船試験を行うにあたり、航海情報表示システム、気象海象情報システムとのインターフェースの構築、システムのロバスト化、処理の高速化を行った。

航海情報表示システムと WAN-CS システムの間は TCP/IP 形式によりデータを受け渡すと共に、計算リクエスト、計算終了判定を行う。

気象海象情報システムと WAN-CS システムとの間は、電子メールの添付ファイルによりデータを受け渡す。電子メールの受信監視は1分間隔で行い、気象海象予測情報を受信した場合にはこれを自動的にハードディスク上に保存し、WAN-CS を実行する。

次に、実船への搭載のために、処理の高速化、ロバスト化を行った。これまで気象海象の空間情報は平面情報として補間を行っていたが、通信量、計算時間の観点から、システムで使用する通過点の情報のみとした。また、システムのロバスト化を図るため、例えば衛星通信の状況により気象海象予測情報が一定時間内に入手できなかった場合等、例外処理が発生しないように後処理プログラムを作成した。

2.2 気象海象情報システム

気象海象情報システムは、気象庁メソ数値予報(MSM: Mesoscale Spectral Model)を用い、WAN-CS システムからの計算リクエストに従い、以下の通り情報提供を行う。

①日本近海の波浪予測計算の実施

MSM 風データ(緯度経度 10km 格子、1 時間間隔)を外力として第三世代波浪モデル(JWA3GS)により 18 時間先までの波浪を緯度経度 2 分格子、1 時間間隔で予測する。19 時間先以降 72 時間先までは、気象庁の波浪 GPV(緯度経度 0.1 度格子、6 時間間隔)を緯度経度 2 分格子、1 時間間隔に時空間内挿する。これを MSM の更新に合わせ、1 日 4 回実施する。

②実験対象船の通過点情報の取得

気象海象情報を提供する船舶の通過点情報は、WAN-CS システムから随時、電子メールの添付ファイル形式で送信されるので、電子メールの受信を1分毎に監視し、送信された場合には取得する。

③航路上の気象海象情報作成、送信

入手した通過点情報を基に、格子点予測データから通過点での気象海象情報を抽出する。そして、抽出された通過点で

の気象海象予測情報を、電子メールの添付ファイル形式で WAN-CS システムに送信する。

なお、MSM は気象庁のスーパーコンピュータ更新に伴い 2006 年 3 月から予測更新間隔が 1 日 8 回に、格子間隔が緯度経度 5km になり、予測精度の向上が図られている。

2.3 航海情報表示システム

航海情報表示システムは、画面表示部と制御部から構成される。

画面表示の例を Fig.1 に示す。画面表示部では、現在の針路、船速、次の通過点や目的地までの残距離、ETA 等の情報を表示する他、電子海図上に自船位置、軌跡、船首方位ベクトル、通過点等を表示する。また、別ウィンドウで制御値をモニターすることも可能である。また、情報提供は画面表示だけではなく、音声出力も可能であり、定時報告、通過点到着時の報告、制御指令承認等が音声出力され、乗組員がアイフリーで情報を把握できるようになっている。

制御は、WAN-CS システムから渡される主機回転数、CPP 翼角の制御値が設定範囲を逸脱していないか計算機内部で確認し、問題無い場合でも、操船における安全性の観点から、航海士による承認を行う方式とした。そして承認された場合のみ、主機回転数、CPP 翼角の制御値を更新する半自動制御方式を採用した。

Fig.1 Display image of the navigation support system.

2.4 船陸間通信

船上の WAN-CS システムと陸上の気象海象情報システム間のデータ通信は静止衛星 N-STAR を用いた DoPa N21 により行う。DoPa N21 のサービスエリアは日本の排他的経済水域をほぼカバーしており、内航船の船陸間通信システムとして利用されている。接続インターフェースは RS-232C であり、通信速度はダウンロード最大 64kbps、アップロード最大 4.8kbps である。通信システム外観を Fig.2 に示す。

Fig.2 Externals of the satellite communication system of DoPa N21 and the interface.

今回の場合、陸上から船上に送信される気象海象データは1回 88kb であり、また、実船試験中に通信の切断、不通はなく、安定して動作した。

2.5 情報処理

船速計画システムの情報処理の手順を以下に示す。Fig.3 は情報処理の手順を図に示したものである。図中に示す N_p 、 θ_p はそれぞれ主機回転数 CPP 翼角であり、括弧で示す数字は以下の情報処理の手順に対応し、円内に示す数字は 2.2 節に示す手順に対応している。

- (1) 航海情報表示システム上で、計算リクエストが行われた場合、現在位置、時刻、到着予定時刻(ETA)等の情報を WAN-CS システムに TCP/IP 方式により受け渡す。
- (2) WAN-CS システムは、計算リクエストを受け、気象海象リクエストデータファイルを作成し、電子メールに添付することにより気象海象情報システムに送信する。
- (3) 気象海象情報システムは、気象海象リクエストデータを受け、演算対象地点の気象海象情報(有義波高 H 、有義波周期 T 、卓越波向、平均風速 V_w 、平均風向)を抽出したファイルを作成し、電子メールに添付することにより WAN-CS システムに送信する。

Fig.3 Diagram of the navigation support system.

- (4) WAN-CS システムは、気象海象情報、船体応答データベースを用いて船速計画を実施し、主機回転数 N_p 、CPP 翼角 θ_p の演算結果を航海情報表示システムに TCP/IP 方式により受け渡す。

- (5) 航海情報表示システムは、主機回転数、CPP 翼角の演算結果を画面に表示すると共に、乗組員による承認の上、主機回転数、CPP 翼角を制御する。

(1)から(5)までの情報処理に要する時間は、電子メールの送受信状況、タイミングにもよるが3~5分であった。

船速計画システムの実施は、システム開始時の他、予め設定された通過点 ETA と航海計画の差が大きいとき、及び定時(毎正時)とした。

3. 実船試験

3.1 船舶及び航路

実船試験を行った船舶は、Fig.4 に示す垂線間長 152.5m、計画船速 13.0knot、最大連続出力 5,120kW の内航セメント運搬船(新栄丸)であり、主機はガバナー装備のディーゼル機関、プロペラは CPP であり、翼角は主機回転数とのコンビネータ制御を行っている。

Fig.4 General arrangement of Shin-ei Maru.

Fig.5 Route of the experimental voyage.

試験は Fig.5 に示す宇部-名古屋航路で行った。図中の丸印は、航路上に設定された通過点を示す。通過点は、航路を船舶が約 1 時間毎に通過する点に分割し、これに変針点を加えて設定したものである。

船速計画システムはブリッジ右舷部にラックを製作し、そこに設置した。外観を Fig.6 に示す。ラック上部に航海情報表示用ディスプレイ、棚に計算機、船陸間通信インターフェース、信号端子を設置した。

Fig.6 Installation situation of the navigation support system at the bridge.

3.2 試験状況

(1) 試験日時

2005 年 11 月 15 日 13:14、周防灘燈標 No.2 東部
 ~2005 年 11 月 16 日 23:16、伊勢湾燈標 No.4
 合計 34 時間 2 分: 新栄丸(第 736 次航)

(2) 試験条件

今回の実船試験は商業運航中に実施するため、運航の安全を最優先に考える必要がある。このため、主機回転数の範囲を、通常運転範囲の 152~162rpm と制約し、試験を実施した。

(3) 運航

2005 年 11 月 15 日 11:50 宇部港沖の山 5 号岸壁出港
 2005 年 11 月 15 日 13:14~16 日 23:16 試験

2005 年 11 月 17 日 00:30~05:40 錨泊

2005 年 11 月 17 日 07:10 名古屋港空見 S-4 岸壁着岸

(4) 試験事項

① 船陸間通信(DoPa N21)の動作確認、総通信量調査

- ・通信切断無し。
- ・通信量: 送信 1,317,888 バイト(10,296 パケット)
 受信 6,537,869 バイト(51,078 パケット)
 総量 7,855,757 バイト(61,374 パケット)

② 到着予定時刻の確保

到着予定時刻(ETA)は、運航スケジュールから定まるものであるが、今回は実船試験であることから、航海距離、船速の関係より ETA を 2005 年 11 月 16 日 23:05(試験時間 33 時間 51 分)に設定した。

試験の結果、予定より 11 分遅れで到着した。これは、WAN-CS プログラム内部で±15 分を ETA の許容範囲として設定しており、ETA を確保していることが分かる。

③ 燃料消費量

燃料消費量は、他の航海実績との比較を行う観点から、試験区間の前後を含む航海時の値で評価する。実船試験での航海時の燃料消費量は 23.15 kl であった。

(5) 試験状況

実船試験において遭遇した気象海象の計測値、そのときの船速、方位 Ψ 、主機回転数 N_p 、CPP 翼角 θ_p を Fig.7 に示す。この機器計測データは 1 分毎にその値を記録しているが、図では 10 分平均したものを記載している。図中、 V は速度であり、対地船速は GPS の計測値、対水船速はドップラー式流速計の計測値であり、流速は対地船速から対水船速を引いたものである。 γ は風、波の方向であり、風、波の方向は向かいを 0 度として時計回りを正とする。 Ψ はジャイロ方位であり、0 度を北として時計回りを正とする。風速、風向データは風向風速計にて計測されたものから、船速、方位を用いて対地要素に変換したものである。波高、波周期、波向データは 4 時間毎の当直交代時に航海士に目視で観測してもらい記載した値である。

また、Fig.7 に試験開始時に予測した気象海象、船速、主機回転数、CPP 翼角をあわせて示す。

3.3 遭遇した気象海象の状況

以下、遭遇した気象海象について状況をまとめる。

(1) 海流、潮流

試験開始から約 4 時間後に速吸瀬戸で潮流により約 3.5knot の速度低下を生じた。その後、沖ノ島から足摺岬(試験開始から 8~10 時間後)、室戸岬(試験開始から 14~15 時間後)、紀伊水道から潮岬(試験開始から 21~24 時間後)にかけて黒潮に乗り 2~3knot 増速した。一方、潮岬を回り熊

Fig.7 Weather encountered, ship conditions and these predictions at departure.

Fig.8 Wind speed measured and forecasted.

野灘に入ったところ (試験開始から 24~32 時間後) から黒潮逆流により約 1knot の速度低下を生じた。また、試験開始から約 33 時間後に伊良湖水道を通過し、そのとき潮流により約 2knot の速度低下を生じた。

潮流は局所的かつ時間により流れの向きが変わる現象であり、船舶がその影響範囲を短時間に通過してしまえば、航

Remark: ✕ indicates the position of the ship.

Fig.9 Distributions of wind speed at 20JST, 16, Nov., 2005.

海全体を通しての船速計画に大きな影響を及ぼさない。一方、海流、特に黒潮は、季節、海域によっては4knotもの強い流速を示すことがあり、その流軸が陸地から20海里的の沿海区域内に達することもあること、更に、流軸と陸地の間に反流を生じることから、船速計画に及ぼす影響は無視できない。しかし、海流の予測情報が得られないため、今回のシステムでは海流予測は利用されていない。

(2) 風、波

試験開始から30~32時間後、熊野灘から大王埼にかけて強風に遭遇した。このとき、向かい風であることも関係し顕著な船速低下を生じた。この強風は予め予測されておらず、船速の推定に誤差を生じさせ、ETAを確保するため、主機回転数を上げ、遅れを取り戻すこととなった。

気象海象予測は航海が進むにつれ、予測時間が短くなり、精度が向上すると考えられる。風速について、当初予測値及び更新された予測値をFig.8に示す。これから、試験開始から30~32時間後の風速は予測の更新と共に大きくなるものの、風速20m/sを超える強風を十分予測できなかったことが分かる。なお、この他、高知沖(試験開始から12~14時間後)、室戸岬から紀伊水道にかけて(試験開始から17~22時間後)も風速の推算は外れているが、風向が横風であったこと、遭遇した風速が15m/s程度であり、風圧力は風速の2乗に比例することを考えると顕著な船速低下を生じていない。

大王埼南方で強風を記録した2005年11月16日20時に対する風速の予測の移り変わりをFig.9に示す。これから、2006年11月15日16時の予測以降、2005年11月16日20時での本船位置付近は周囲に比べ風速が大きい領域であることが予測されているが、風速値が定量的に異なっていたことが分かる。

4. 効果の評価

船速計画システムによる燃料消費量の削減効果の評価は、同一条件で、船速計画システムを使用した場合と使用しない場合との試験がすべきであるが、それができないため、航海実績を基に比較することになる。

4.1 航海実績

新栄丸の航海実績を入手し解析を行った。解析した航海実績は、実船試験を行った航海(以下EXP)及び前報²⁾で示した2004年4月のものに加え、2005年8月から11月までの宇部一名古屋航路(以下U-N)5航海及び航路の大部分が重複する宇部-豊橋航路(以下U-T)4航海の合計11航海分である。これら航海実績のうち、時間調整のための錨泊(anchoraging)を行っている航海が3回、漂流(roaming)を行っている航海が2回あった。これらはいずれも宇部一名古屋航路であった。

4.2 燃料消費量削減効果

実船試験による船速計画システムの燃料消費量削減効果の算定にあたっては、船速計画システムは、運航スケジュールの中で最適な主機回転数を求め、制御する。これは最低主機回転数での減速航行による燃料消費量削減とは異なる。

航海実績から得られた燃料消費量から、燃料消費量削減率 R_{Λ} を(1)式により求める。ここに Λ_{EXP} は実船試験の燃料消費量で23.15kl、 Λ は比較する航海の燃料消費量であり、航海実績間で運航状況が同一とすれば、 R_{Λ} は航海時間 T 、航海距離 L の関数となる。

$$R_{\Lambda}(T, L) = \left(1 - \frac{\Lambda_{EXP}}{\Lambda(T, L)} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

漂流を行っている航海は航海距離、航海時間が長く、また、漂流中は主機回転数が極めて低く、実船試験とは運航形態が異なる。このことから、実船試験との燃料消費量の比較には適当なデータではないので、これを除くと、航海実績より、
・直近類似の航海(以下NRV):

2005年10月26日出航

$\Lambda = 25.70$ kl, $T = 34$ 時間 10 分, $L = 410.4$ NM,

・最も燃費が小さかった航海(以下MFV):

2005年9月13日出航

$\Lambda = 23.11$ kl, $T = 31$ 時間 45 分, $L = 414.2$ NM,

であることが分かる。

これから、NRVに対してEXPは10%の燃料消費量削減で、MFVに対してもほぼ同等の燃料消費量であることが分かる。

なお、NRVは錨泊を行い、MFVは錨泊を行っていない。

MFVでは航海時間が短いにも拘わらず燃料消費量が小さい。その理由として海流の影響が考えられる。以下、海流影響について考察する。

Fig.10 Analysis data of ocean currents by JCOPE.

Fig.10 は海洋研究開発機構の日本沿海予測可能性実験(JCOPE)³⁾で推定された表面海流データで、緯度経度 5 分格子間隔、2 日平均の推定値であり、衛星観測データ等を同化し、事後に推定したものである。流速 U_c 、流向、反流の状況が高い解像度で推定されていることが分かる。将来、このような海流予測データの利用が望まれる。

Fig.10 により海流影響を EXP と MFV で比較する。MFV では、黒潮が沖ノ島一足摺岬で接岸し、足摺岬以東での四国沖で流速が強くなっていること及び熊野灘での黒潮反流がないことが分かる。これから、MFV では EXP に比べ、海流を利用し、短時間かつ低燃費で運航できたと推察される。

次に、11 航海分の航海実績から、航海時間 T 、航海距離 L を横軸にして R_A を比較したものを Fig.11 に示す。Fig.11 から、データがばらつき、評価が困難なことが分かる。すなわち、一般に同一航路で航海時間 T が短くなれば、主機負荷率が高くなるので、燃料消費量 Λ は大きく、燃料消費量削減率 R_A も大きくなるが、Fig.11 からは逆の傾向のように見られる。また、航海距離 L について見ても R_A のばらつきが大きく判然としない。

このように、入手した航海実績は航海毎に、主機負荷率、航行距離、航行時間、海象状況が異なる。また、実船試験の航海時間($T=36$ 時間 40 分)かつ航海距離($L=410.2$ NM)に相当する航海実績がないため、 R_A による評価は困難である。そこで、単位時間あたりの燃料消費量 C により定義される燃料消費量削減率 R_C を指標にした評価を考える。

単位時間あたりの燃料消費量 C は、燃料消費率 λ 、主機出力 P を用いて

$$C = \lambda P \quad (2)$$

と表される。ここで、 P が凡そ船速 V の 3 乗に比例すること、通常の運転範囲では λ の変化量は小さいことから、 C は船速の 3 乗に比例する。

一方、燃料消費量 Λ は、 C と航海時間 T を用いて

$$\Lambda = CT = \frac{CL}{V} \quad (3)$$

と表されるので、船速 V の 2 乗に比例することとなる。

よって、 $\Lambda \propto C^{\frac{2}{3}}$ の関係となるので、単位時間あたりの燃料消費量 C により定義される燃料消費量削減率 R_C は

$$R_C(L) = \left\{ 1 - \left(\frac{C_{EXP}}{C(L)} \right)^{\frac{2}{3}} \right\} \times 100 \% \quad (4)$$

と表される。ここに C_{EXP} は実船試験の 1 時間あたりの燃料消費量で 631.4 l/hr、 C は比較する航海の 1 時間あたりの燃料消費量であり、航海実績間で運航状況が同一とすれば、 R_C は航海距離 L の関数となる。

そこで、11 航海分の航海実績を用い、航海距離 L を横軸にして R_C を比較したものを Fig.12 に示す。Fig.12 から、データは良くまとまっていることが分かる。また、漂泊中は主機負荷率が極めて小さい。このため、漂泊が長く、航海距離が延びるにつれ燃料消費量 Λ は小さく、 R_C も小さくなるが、Fig.12 はこの定性的傾向と合致する。

これから、単位時間あたりの燃料消費量 C により燃料消費量削減率を評価すると、実船試験は航海距離 $L=410.2$ NM であるので、Fig.12 からこれに相当する R_C の値は 10% となり、燃料消費量の削減は約 10% と評価される。

船上では CO_2 は主として燃料の燃焼により生成されることから、航海中の CO_2 排出量の削減は燃料消費量と同じく約 10% と評価される。

以上から、今回の実船試験の結果は、燃料消費量削減効果が約 10%、 CO_2 排出量削減効果が約 10% と評価される

Fig.11 Reduction of fuel consumption by R_A criterion.

Fig.12 Reduction of fuel consumption by R_C criterion.

4.3 運用コスト

4.2 節の結果を用いて、月 8 航海の場合に、C 重油単価をパラメータに運用コストを算定した。計算条件を以下に示す。

- ・船陸間通信契約：DoPa N21 フラットプラン
 - 110,000 パケットまで 25,000 円/月(定額)
 - 110,001～200,000 パケット 0.6 円/パケット
 - 200,001 パケット以降 0.4 円/パケット
- ・通信量：宇部一名古屋航路 約 62,000 パケット/航海
- ・燃料消費量削減効果：10%

運用コストを評価した結果を Table.1 に示す。近年は燃料価格が上昇し、C 重油単価が 40,000～50,000 円/kl であることを考え合わせると、本システムの経済性が十分に高いことが分かる。

Table.1 Running cost.

Number of voyage in a month	8		
Average FOC [kl/voyage]	25.7		
Unit price of fuel oil C [¥/kl]	20×10 ³	40×10 ³	50×10 ³
Percentage of reduction of FOC	10%		
Reduction of fuel expense [¥/month]	411×10 ³	822×10 ³	1,028×10 ³
Communication charge [¥/month]	197×10 ³		
Monthly earnings [¥/month]	214×10 ³	625×10 ³	831×10 ³
Yearly earnings [¥/year]	2,566×10 ³	7,500×10 ³	9,967×10 ³

4.4 運用に対する考察

航海士にとって到着時刻の調整、夜間到着が見込まれる場合の錨泊、漂泊の判断は、気象海象の変化に注意を払う必要があり、緊張を強いる作業である。これを支援するためには、本システムにより到着時間確保、気象海象予測値の提供、適切な航海情報の表示、伝達が重要な役割を果たす。本システムは、経済性だけでなく、運用面からも効果的である。

5. 結 言

今回、内航船を対象とした燃料消費量(CO₂排出量)を削減するために開発した船速計画システムを実船に搭載し、実船試験を実施した。

商業運転中のため、主機回転数の下限を通常運転範囲の 152rpm に制約したものの、本システムによる航海中の燃料消費量(CO₂排出量)削減は約 10%の効果があること、運航スケジュールが確保されることを示した。更に、運用コストのケーススタディーを行った結果から本システムの経済性が十分高いことを示した。

以上により、開発した船速計画システムの有効性が高く、その効果が実船試験により実証された。

謝 辞

本研究は、競艇交付金により日本財団の援助を受けて、海洋政策研究財団が行う技術開発基金による補助金により横河電子機器(株)が実施した「内航船の航行支援システムの高度化に関する研究」の一部として実施した。関係者及び試験にご協力いただいた山本船長以下、新栄丸乗組員各位にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 辻本 勝, 谷澤 克治: 実海域性能を考慮した航海計画システムの開発—気象海象の予測精度が航海計画に与える影響—, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 2 号, 2005.
- 2) 辻本 勝, 南 佳成, 村山 貴彦, 高井 博司: 実海域性能を考慮した内航船用船速計画システムの開発, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 3 号, 2006.
- 3) 宮澤 泰正, 山形 俊男: JCOPE 海洋変動予測システム, 月刊海洋, 12, 2003.