洋上中継器 (ASV) の開発

百 留 忠 洋^{*1} 吉 田 弘^{*1} 澤 隆 雄^{*1} 中 野 善 之^{*1} 渡 邊 佳 孝^{*1}
 福 田 達 也^{*1} 中 谷 武 志^{*1} 松 本 宙^{*1} 菅 良 太 郎^{*1} 依 田 貴 志^{*1}
 山 内 由 章^{*2} 奥 田 幸 人^{*2} 江 口 和 樹^{*2} 黒 岩 良 太^{*2} 森 英 男^{*2}

Development of Autonomous Surface Vehicle

Tadahiro Hyakudome^{*1}, Hiroshi Yoshida^{*1}, Takao Sawa^{*1}, Yoshiyuki Nakano^{*1}, Yoshitaka Watanabe^{*1},
 Tatsuya Fukuda^{*1}, Takeshi Nakatani^{*1}, Hiroshi Matsumoto^{*1}, Ryotaro Suga^{*1}, Takashi Yoda^{*1},
 Yoshiaki Yamauchi^{*2}, Yukihito Okuda^{*2}, Kazuki Eguchi^{*2}, Ryota Kuroiwa^{*2} and Hideo Mori^{*2}

JAMSTEC has operated autonomous underwater vehicles (AUVs) for scientific survey of seabed mineral resources. Conventionally, it is difficult for one support vessel to track plural AUVs in one operation. However, it takes a long time for one AUV to survey a large target area. To solve this problem JAMSTEC has developed an autonomous surface vehicle (ASV) with MHI. The vehicle instead of the support vessel, autonomously tracks AUV(s) and monitors its progress, enabling the simultaneous operation of multiple AUVs and thereby the survey of a larger target area within a given period of time. An important role of the ASV is to relay underwater communication and aerial communication because the underwater communication range is very small. ASV tracks AUV autonomously to keep the acoustic communication, and send AUV information to the support vessel by using radio waves.

Key Words: Autonomous Surface Vehicle, Multiple AUVs Operation, Mineral Resources Survey

1. は じ め に

我が国は世界第6位の排他的経済水域を有し、その利活用が期待されている。近年では海底鉱物資源に注目が集まっているが、これらの資源の探査や開発のためには海底下の状況を広範囲にわたって調査する必要がある。そのためには海底地形・水深などの海洋データを広範囲にわたり効率良く採取することが求められる。しかしながら、船舶による海洋調査だけでは労力や時間がかかることから、この課題を解決するために、自律型無人探査機 (AUV: Autonomous Underwater Vehicle) [1] が開発され調査の効率化、省人化、省エネルギー化がなされている。これらの AUV は、主に巡航型で海底面付近に接近し、高精度に地形・地質・海底構造、水温・塩分・圧力、pH、二酸化炭素濃度等の様々な海洋データを取得することが可能であり、年々 AUV の普及台数が増加している。ただし、AUV の測位や航行中の状態監視、情報取得のために支援船舶が追従し管制してい

るのが現状である。

現在、海洋調査の効率を向上させるため、AUV の複数機同時観測システムを構築する計画がある [2]。これは1隻の船舶により AUV を複数機展開して観測できる運用手法を構築しようとするもので、これにより例えば海底資源の性質 (海底熱水鉱床であれば活動状況や成分等) をより正確に計測し、品質や賦存量の推定に必要なデータを短時間で収集するなど高精度多項目な海洋調査の効率向上が可能になる。このシステムを実現するためには、支援船舶と同じように海中を航走する AUV を追従しながら状態を監視し、また AUV の位置や AUV から送られてくる情報を音響通信で受け取り大気中の無線通信で洋上の支援船舶または陸上へ送ることが可能な自律型洋上航走体 (ASV: Autonomous Surface Vehicle) [3] [4] が必要となる。本件ではこのための洋上中継器となる ASV を開発している。

2. AUV 複数機運用観測システムの概要

現在は、海中を航走する AUV に対して支援船舶が AUV を追跡して管制を行っている。海底の精密調査では AUV は高度 80~100 [m] 程度まで海底に接近して巡航する。この際、使用する観測装置にもよるが AUV 1 機の 1 潜航での調査範囲は 1.5~20 [km²] 程度であり、海底面に接近でき精密な調査ができる反

原稿受付 2017 年 6 月 23 日

^{*1}国立研究開発法人海洋研究開発機構

^{*2}三菱重工株式会社

^{*1}Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

^{*2}Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

■ 本論文は有用性 (実証実験分野) で評価されました。

面, 調査可能範囲は狭くなってしまうため, 対象海域が広大である場合は調査に期間を要してしまう。しかも支援船舶を使用できる期間が限られるうえに, 天候により調査活動ができない場合も多くある。このため限られた期間での調査効率を向上させることを目的に, 1 隻の支援船舶で AUV を複数機同時に展開させる調査システムを開発することとなった。具体的には洋上を自律して AUV を追尾し, また管制に必要な測位などの情報を無線 LAN や衛星経由で支援船舶に転送する無人機を使って, AUV を間接的に監視する手法を構築する。

水中での音響通信は大気中の通信で使用されている電波通信とは異なり, 伝送距離や範囲が狭い。一般に通信可能範囲は船舶から鉛直下方向に角度 30° 程度の円すい状に広がる範囲であり, 水深 500 [m] では水平方向直径 500 [m] 程度, 水深 1,000 [m] では水平方向直径 1,000 [m], 水深 3,000 [m] では水平方向直径 3,000 [m] と水深により水平範囲は変化する。しかしながら, AUV を複数展開しそれぞれが別々な計画測線を航走して AUV 間の距離が数 [km] 離れてしまう場合は, 一つの音響通信可能範囲にすべての AUV の行動を納めることは難しい。このために AUV 1 機につき 1 機の ASV が必要となる。

海底資源の調査手法としては, 有望な海域に対して同等性能を有する巡航型 AUV により矩形状航走しながら面的に調査

している間に, 定点観測型 AUV が特徴的な箇所を重点的に調査する手法 (Fig. 1 (a)), 複数の AUV で散在する特徴的な箇所を重点的に精査する (海底資源の存在が有望視される箇所に対して縦横から観測して精度の高いデータを得るようにする) 手法 (Fig. 1 (b)) などがある。いずれの手法であっても, 互いの AUV は数 [km] 以上の距離で調査活動を行う。このため, 支援船舶は 1 機の AUV を監視し, ほかの AUV は直上を航走している ASV から送信される位置や状態情報により間接的に監視する。

3. 洋上中継器 (ASV) の概要

本件で開発する自律型洋上航走体 (ASV) は, 海中を巡航しながら調査する AUV を自律して追従する。ASV は追従しながら AUV から音響で発信される情報を洋上で受信し, 支援船舶や陸上へ衛星経由で電波で送信する。追跡対象となる AUV は, 水深 3,000 [m] までの潜航能力を有し, 0.5~2 ノットで巡航しながら観測調査を行う。このため機体は洋上から AUV を追従するための十分な速度が必要であるため, ASV の巡航速度は 2 ノット程度とし, 潮流の影響を考慮し最大で 5 ノットの能力とした。また, ASV は海中の AUV の測位や通信を行うために, 音響測位および通信装置を備えている。音響通信装置は海面からの影響を避けるために一定の深度に設置する必要がある。機体の喫水は 0.4 [m] と浅いため, キール部を設け, 海面からの距離を離れた位置に音響装置を搭載できるようにしている。さらに AUV からの情報を支援船舶または陸上へ送信するための衛星通信装置も備えている。ASV の機体規模は, 調査海域までは機構所有の船舶により AUV と同時に輸送するため, 支援船舶の甲板に搭載できる大きさとした。ASV 機体の外観を Fig. 2 に, 諸元を Table 1 に示す。

4. ASV 制御システム

ASV の制御システムは, 下記の理由で分散化システムとしている。Fig. 3 に構成図を示す。

(1) システムの抗たんの向上

ASV は AUV の行動を監視することが任務であるが, ASV

(a) Survey method A (Wide range survey)

(b) Survey method B (Remarkable point survey)

Fig. 1 Concept of multi AUVs survey system

Fig. 2 Overview of ASV

Table 1 Principal particulars of ASV

Size :	6 mL×2.6 mB×3.2mH, Draft 0.4m
Weight in air :	3 tons
Endurance :	48 hours
Max. Speed :	5 knots
Cruising Speed :	2 knots
Generator :	Diesel Engine 11kW
Actuator :	Thruster × 2 Rudder × 1
Communication Device :	Sattellite Communication (air), Wireless LAN (air), Acoustic Communication (underwater)
Navigation Device :	Satellite Compass, Anemometer, AIS Acoustic Navigation System
Control :	Autonomous, Remotley operated by satellite communication or wireless LAN

Fig. 3 Configuration of ASV system

の不具合で AUV の行動を妨げてはならない。このため CPU の一つに障害が発生しても可能な限り AUV 追尾を再開できるよう複数の CPU を用いた分散システムとする。

(2) 機器の拡張性および整備性

ASV 制御システムと支援船舶の ASV 管制装置との通信機能や機体の運動・自律制御機能を司るメイン CPU と、航海計器、観測装置などの ASV 搭載機器の制御を司る CPU とアクチュエータの制御を司る CPU による構成としている。

5. ASV 運動制御

ASV の操縦には、支援船舶に設置する管制装置からの無線 LAN または衛星通信による遠隔制御と、プリセットするシナリオファイルにより航行する自律制御がある。この自律制御は、基本的な運動を規定した航行コマンドの組み合わせにより行われる。航行コマンドは、ウェイポイント (WP: Way Point, 目標ポイントへ経路を問わず向かう) 航行, ウェイライン (WL: Way Line, 定めた航路に沿って目標ポイントへ向かう) 航行, 方位航行, 定範囲保持, AUV 追尾, 停止から構成される。この航行コマンドは、基本運動制御の組み合わせにより実行される。この基本運動制御は、方位角または針路制御, 旋回制御, 速力

Fig. 4 Concept of decision area for speed control of ASV

制御, 停止の 5 とおりから構成される。各基本運動制御は PID 制御により構成し、制御ゲインは後述の模型試験の結果を用いて構築したシミュレータによるシミュレーションにより事前調整した。

ASV の主要機能である AUV 追尾航行は、AUV を音響で測位し、その AUV の方向へ向かうように追尾制御を行う。音響測位は、AUV 搭載のほかの音響機器との干渉等と、音の伝搬速度の観点から数秒間隔で行う。ASV が航走する海面と AUV が航走する海中では潮流・風・波等の環境影響が異なるため、ASV, AUV ともに一定速度で航走できるとは限らない。ここで、「2. AUV 複数機運用観測システムの概要」の章で記述したように、水中での音響通信は大気中の通信で使用されている電波通信とは異なり、伝送距離や範囲が狭い。一般に通信可能範囲は船舶から鉛直下方向に角度 30° 程度の円すい状に広がる範囲であり、水深 500 [m] では水平方向直径 500 [m] 程度、水深 1,000 [m] では水平方向直径 1,000 [m]、水深 3,000 [m] では水平直径 3,000 [m] と水深により水平範囲は変化する。AUV がこの範囲から一定時間外れてしまうと、音響通信途絶となり、調査行動を中止して浮上、もしくは亡失することになる。このような事態に陥らないためには、ASV は音響測位が可能な範囲内 (半径 $\approx$ AUV 深度 $\times \tan 30^\circ$) に AUV を留めるように機体の運動を制御する必要がある。制御条件としては、上述した音響測位可能範囲円に対して仮想判定円を設け、その判定円に対する AUV の位置により、速度の増減を判断して、AUV を追尾するよう機体の運動を制御する。その概念図を Fig. 4 に示す。音響測位可能範囲は AUV の深度に応じて変化するため判定円も AUV の深度に応じて範囲が大小する (増速判定円: 半径 $\approx \alpha \times$ AUV 深度 $\times \tan 30^\circ + \beta$, 減速判定円: 半径 $\approx \alpha \times$ AUV 深度 $\times \tan 30^\circ - \beta$, α, β はパラメータ)。具体的には、AUV の深度が深くなれば判定円は大きくなり、浅くなれば小さくなる。図より、最外殻の円は音響測位可能な限界円であり、AUV の外側にある点線円は増速判定円、AUV と ASV の間にある円が減速判定円となっている。ASV の速度制御は、増速判定円と減速判定円を境界として 3 とおりある。① AUV が増速判定円の外側に位置すると、ASV は AUV に追いつくように、一定間隔で速度を増して行く、ただし最大速度に到達した場合は最大

速度より超えない。② 増速判定円と減速判定円の間に AUV が位置している場合は、ASV の現状の速度を維持する。③ AUV が減速判定円の内側に位置すると、ASV は一定間隔で速度を減じて行く、ただし速度 0 になった場合でも後進はしないでスラストを停止する。また、ASV が AUV を追い越した場合は前進しながら U ターンをして、AUV を後ろから追尾するようにする。

6. 模型実験

実機を使用しての運動制御ゲインの調整には大がかりな試験になるため時間を要する、また海象条件が一定しないため再現性がなく効率的な調整を行うことが困難である。ASV の自律機能や運動制御性能の調整にはシミュレータを用いる。このシミュレータには機体の運動方程式の数式モデルを用いるが、機体に働く流体力は CFD または模型試験により得る必要がある。本件では流体力を実機の 1/3 スケール模型を使用した模型試験により計測した [5]~[7]。模型試験では、平水中の抵抗、波浪中の運動、波浪中の抵抗増加、舵力・推力の計測、斜航試験、旋回運動試験 (CMT: Circular Motion Test)、Pure Swaying Test、Pure Yawing Test、Pure Surging Test を実施した。Fig. 5 は平水中での全抵抗試験結果で、横軸は速度の無次元値 (フルード数: $Fn = U/\sqrt{Lg}$)、ただし U は速度、 L は模型の全長、 g は重力加速度)、縦軸は抵抗の無次元値 ($R'_w = R_w/(0.5\rho L B U^2)$)、ただし R_w は抵抗、 ρ は水の密度、 B は全幅) で、図中の丸〇一つが 1 回の試験に対応する。波浪中の抵抗試験結果を Fig. 6 に示す。横軸は波長 λ を模型長さ L で無次元化した値、縦軸は抵抗増加 R_{AW} を波振幅 ξ_a^2 の二乗で無次元化した $R'_{AW} = R_{AW}/(\rho g \xi_a^2 (B^2/L))$ である。波浪

Fig. 5 Fluid drag of ASV model in smooth water

Fig. 6 Fluid drag of ASV model in regular waves

中の試験速度は $U = 0.6$ [m/s] (フルード数: $Fn = 0.136$) で実施した。また、実験に使用した規則波は、波傾斜 λ/H を一定にして行った。ここで、 λ は波長、 H は波高である。図中の丸〇と四角□の一つずつが 1 回の試験に対応する。

平水中全抵抗結果 (Fig. 5) は他船舶の模型試験と比較しても大きな違いが見出せないが、波浪中抵抗増加 (Fig. 6) では $\lambda/L = 1.5, 2.3$ 付近にピークが二つある特徴的な結果を示している。これは、ASV がキール部を有しているために船底部とキール底部の円筒胴との干渉により生じたものと推測する。

7. 海域試験

海域試験期間は 2016 年 10 月 31~11 月 8 日の 9 日間で実施した。今回はこの中で 11 月 6 日に駿河湾奥の水深 1,400 [m] 程度の海域で実施した ASV による AUV の自律追尾試験成果を報告する。今回の海域試験の概念を Fig. 7 に示す。実験では海底から高度 80 [m] 程度で航走する AUV に対して音響測位をもとに ASV が自律して追尾航走し、AUV の測位情報を無線 LAN および衛星通信経路で支援船舶に送信する。この間、支援船舶はほかの小型 AUV の管制を行う。

甲板上で整備中の ASV および追尾対象の AUV 「じんべい」を Fig. 8 に示す。図中で左側奥が ASV で、右側中央付近が AUV 「じんべい」である。AUV 「じんべい」の諸元を Table 2 に示す。全長 4 [m] で空中重量 1.8 トン、巡航速度は 2 ノット、最大潜航深度は 3,000 [m] である。

試験時の海象は曇り、Sea State 2 (波高 0.1~0.5 [m])、風速 2 [m/s] であった。試験ではまず ASV を海上に展開した後、AUV を潜航させた。試験中の ASV リアルタイム監視モニタの実験最中の 2016 年 11 月 6 日 11 時 16 分 23 秒時点における、航跡図を Fig. 9 (a) に、ASV および AUV 情報を Fig. 9 (b) に示す。Fig. 9 (a) において、航跡は縦軸を緯度、横軸を経度としている。AUV は Fig. 9 (a) 図中にある Way Point と Way Line で構成する計測線 (右下に番号を付与した丸●₁₋₂₃ (WayPoint) とそれらを順番に結ぶ破線 WayLine) で構成されている) を航走する。具体的には、左下の丸●₁ から測線に沿って 1 [km] 北上し丸●₂ に至り、そこで 100 [m] 東進して、丸●₃ から測線に

Fig. 7 Concept of sea trial

Fig. 8 ASV (left) & AUV “JINBEI” (right) on deck at sea Trial

Table 2 Principal particulars of AUV “JINBEI”

Size :	4 mL × 1.1 mB × 1.0mH
Max. Depth	3,000 m
Weight in air :	1.8 tons
Endurance :	10 hours
Max. Speed :	3 knots
Cruising Speed :	2 knots
Battery :	Li-ion rechargeable, oil filled
Actuator :	Thruster × 4 Rudder × 4
Communication Device :	Acoustic Communication
Navigation Device :	Inertial Navigation System, Doppler Velocity Log, Altimeter
Control :	Autonomous, Acoustic Remote

沿って 1 [km] 南下し丸●₄, 更に 100 [m] 東進して丸●₅ に至る, 以下同様に沿って航走するようにあらかじめプログラムされる. AUV は 1 番から順に Way Line どおりに Way Point をチェックポイントとしながら自律航走する. AUV は航路の途中経過を示した図である. ASV は航走している AUV から定周期で発信される音響トランスポンダの音を集音することで, AUV の位置を検出し追尾する. 支援船舶は図の位置で定点保持し, 小型 AUV のオペレーションを行っている. なお ASV リアルタイム監視モニターは, ASV が捕捉する AUV の位置 (小丸●) と支援船舶の位置のみを表示し, 別途支援船舶がオペレーションしている小型 AUV を表示することはできない. Fig. 9 (b) 上半分の枠内は ASV の状態を表示している. 一番上に実験時の現在時刻 (2016 年 11 月 6 日 11 時 16 分 23 秒) を表示している. またこの隣では AUV を捕捉中であることの状態表示をしている. 時刻の下段では, ASV の制御モードが自律制御の AUV 追尾モードであることを表している. 通信状態としては, 試験時には, 無線 LAN と衛星通信装置が有効状態で, イリジウム通信が無効状態であることを示している. さらに, ASV 位置・速度・ロール角, ピッチ角・舵・推進器回転数指令・発電

(a) Truck screen

(b) Status screen

Fig. 9 ASV onboard operating monitor

機電圧・機体内温度を表示して状態を監視できるようにしている. 図の中央の枠内では ASV が測位した AUV の位置情報として, ASV からの AUV の相対距離・AUV 深度 (このときの潜航深度 1,349.3 [m])・AUV 緯度経度を表示している.

AUV 追尾試験の ASV および AUV の Fig. 9 と同一航路における航跡を Fig. 10 に示す. 縦軸は緯度を, 横軸は経度を表している. Fig. 10 (a) において, 実線は AUV に搭載している慣性航法装置 (INS: Inertial Navigation System) によって得た緯度経度を表している. AUV は支援船舶より海面に展開された後, 旋回しながら目標深度 (1,300 [m]) 近くまで潜航する. このため潜航開始後, 航跡は渦を巻いたような軌跡になる. 目標深度に達すると Way Line に沿って航走する. 航走終了後はまた旋回しながら浮上するため, 終了地点でも航跡は渦を巻いている. ASV の航跡 (破線) は GPS による測位情報を表している. また, Fig. 10 (b) においても, ASV の航跡 (破線) は GPS

Fig. 10 Truck of ASV and AUV at sea trial

による測位情報を表している。ただし、実線は AUV を ASV から音響測位装置 (Acoustic Navigation System) により測位した結果の航跡を表している。海中の音を動揺している海面の機体で計測するために誤差が生じるため航跡がジグザグな航跡となる。また時には音飛びとして大きく異なる位置を誤って測位する場合もある。しかしながら測位は比較的短い周期 (10 秒前後) で行うため、一度誤測位があっても次の測位で修正されて、ASV は大きな航路変更をすることなく AUV を追従する。両図の慣性航法装置による航跡 (AUV 搭載による直接位置検出) と音響測位装置 (ASV からの間接位置検出) による位置計測の航跡で差があるものの、4. ASV の運動制御で記述したように、音響通信が可能な範囲であれば AUV を十分捕捉できるため ASV は AUV の直上に恒に位置していなくても追尾が可能であることが示された。このような差異が生じた原因としては、機体規模が支援船舶と比較して 1/20 と小さいために波浪階級が小さくても機体が動揺してしまうことに起因していると考えられる。今後 ASV からの測位情報を用いて AUV の慣性航法装置の位置誤差を減少させるための補完データとして使用するため、測位精度を向上することが課題である。

試験時の ASV と AUV の位置関係の時系列を表すグラフを Fig. 11 に示す。図は上から、ASV と AUV 相対距離および増速判定境界、減速判定境界 [m], AUV の深度 [m], ASV の速度 [knot] を表している。横軸は経過時間 [sec] である。ASV と AUV の相対位置が増速判定境界を上回れば増速を、減速限

Fig. 11 Time series of ASV-AUV distance (upper), AUV depth (middle) and ASV speed (bottom) at sea trial

界を下回れば減速をするよう ASV はプログラムされている。ただし、今回は試験で状態確認をするために ASV の速度の下限界を 1 ノット、上限界を 2.5 ノットとした。図中の A の枠内の状態について、AUV は 2 ノットで航走している。Fig. 4 で示した従来の増速減速判定円を使用して ASV の追従性能を確認した。深度 1,300 [m] では判定円の半径は深度の約半分であり範囲が大きくなっているため ASV は AUV をほとんど減速範囲未満で捕捉することができ、速度の下限界の 1 ノットで追従している。B の枠内では意図的に判定円の半径を小さくして相対距離の変化による ASV の挙動を確認した。その結果、相対距離が判定円を行き来することで、ASV の速度も増減することが確認できた。C の枠内では AUV の速度を 3 ノットとし、意図的に ASV が追いつけない状態にして ASV の挙動を確認した。相対距離が増速判定円を常に超えているため、ASV は最大速度で追従した。AUV の直上に位置することができなくても AUV を音響測位範囲に捕捉できている限り ASV は AUV と通信可能であった。多くの場合計測線は矩形状の折り返しから構成されるため、AUV が先行する場合であっても ASV は AUV を音響通信可能な範囲内に留めておくことが可能であることが分かった。また、C 枠内で AUV の深度が浅くなるに従って増速減速判定円の半径も変化することも確認できた。途中で判定円が欠落している箇所は他処理のために ASV の音響通信装置を停止したことによる。

8. おわりに

ASV の開発は本稿で紹介した試験をもって試作機としての所期の成果を得たため、実証機の開発へと段階が移った。本試験で確認できた機体制御プログラムはそのまま実証機へと引き継いだ。また試作機では試験用プラットフォームとして排水量を大きくしたが、実証機では搭載物や機能を絞り込み小型化を図った。今後は実証機で運用性能を評価していく。

謝辞 ASV の海域試験に際して、支援いただいた、海洋調査船「かいよう」、海洋地球研究船「みらい」、海底広域研究船「かいめい」の船長はじめ乗組員の方々には安全に試験を遂行していただき感謝いたします。

本研究 (の一部) は、総合科学技術・イノベーション会議の

SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「次世代海洋資源調査技術」によって実施されました。

参 考 文 献

- [1] T. Aoki, S. Tsukioka, et al.: "Advanced Technologies for Cruising AUV URASHIMA," International Journal of Offshore and Polar Engineering, vol.18, no.2, pp.81-90, 2008.
- [2] 次世代海洋資源調査技術(海のジバング計画), 内閣府, 2015.
- [3] R.R. Williams: Design and Experimental Evaluation of an

Autonomous Surface Craft to support AUV Operations. Massachusetts Institute of Technology, 2007.

- [4] 鈴木, 須藤, ほか: "USV を経由して UUV からソーナー画像をリアルタイムデータ伝送する試験", IHI 技法, vol.56, no.1, pp.34-40, 2016.
- [5] 元良: 船体運動力学(電子訂正版), 日本船舶海洋工学会, 2007.
- [6] 安川, 金子, ほか: P29 船舶操縦性予測モデルの標準化に関する研究委員会報告書, 日本船舶海洋工学会, 2012.
- [7] 安川, 金子, ほか: P34 船舶操縦性予測モデルの高度化に関する研究委員会報告書, 日本船舶海洋工学会, 2014.

百留忠洋 (Tadahiro Hyakudome)

2000 年九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻博士後期課程修了。博士(工学)。2000 年海洋科学技術センター(現:国立研究開発法人海洋研究開発機構)入所, 現在に至る。日本船舶海洋工学会, 炭素材料学会会員。

(日本ロボット学会正会員)

吉田 弘 (Hiroshi Yoshida)

1999 年金沢大学自然科学研究科修了。博士(理学)。2002 年海洋科学技術センター(現:国立研究開発法人海洋研究開発機構)入所, 現在に至る。IEEE-OES, 電子情報通信学会, 海洋理工学会会員。

澤 隆雄 (Takao Sawa)

1998 年名古屋大学工学研究院修了。1998 年海洋科学技術センター(現:国立研究開発法人海洋研究開発機構)入所, 現在に至る。2007 年電気通信大学博士(工学)。海洋音響学会, 電子情報通信学会会員。

中野善之 (Yoshiyuki Nakano)

2004 年北海道大学大学院地球環境科学研究科修了。博士(地球環境科学)。2009 年独立行政法人海洋研究開発機構(現:国立研究開発法人海洋研究開発機構)入所, 現在に至る。日本海洋学会, America Geophysical Union, European Geosciences Union 会員。

渡邊佳孝 (Yoshitaka Watanabe)

2009 年東京海洋大学博士課程修了。博士(工学)。2002 年海洋科学技術センター(現:国立研究開発法人海洋研究開発機構)入所, 現在に至る。海洋音響学会, 日本音響学会会員。

福田達也 (Tatsuya Fukuda)

2000 年横浜国立大学卒業。学士。2009 年独立行政法人海洋研究開発機構(現:国立研究開発法人海洋研究開発機構)入所, 現在に至る。

中谷武志 (Takeshi Nakatani)

2009 年東京大学大学院工学系研究科環境海洋工学専攻博士課程修了。博士(工学)。2011 年独立行政法人海洋研究開発機構(現:国立研究開発法人海洋研究開発機構)入所, 現在に至る。

松本 宙 (Hiroshi Matsumoto)

2009 年北海道大学環境下学院修了。修士。2015 年国立研究開発法人海洋研究開発機構入所, 現在に至る。

菅 良太郎 (Ryotaro Suga)

2014 年千葉大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。2015 年国立研究開発法人海洋研究開発機構入所, 現在に至る。電気情報通信学会, IEEE 会員。

依田貴志 (Takashi Yoda)

2017 年横浜国立大学大学院工学府システム総合工学専攻海洋宇宙システム工学コース博士前期課程修了。修士。2017 年株式会社三井造船昭島研究所入職, 現在に至る。研究時は海洋研究開発機構研究員。日本船舶海洋工学会, 日本航海学会会員。

山内由章 (Yoshiaki Yamauchi)

1995 年東北大学大学院博士後期課程修了。博士(工学)。1995 年三菱重工業株式会社入職, 現在に至る。日本船舶海洋工学会会員。

奥田幸人 (Yukihito Okuda)

1995 年大阪大学大学院博士前期課程修了。修士。1995 年三菱重工業株式会社入職, 現在に至る。日本機械学会会員。

江口和樹（Kazuki Eguchi）

2008 年熊本大学大学院博士後期課程修了，博士（工学）。2008 年三菱重工業株式会社入職，現在に至る。日本機械学会，計測自動制御学会会員。

黒岩良太（Ryota Kuroiwa）

2004 年九州大学大学院博士前期課程修了，修士。2004 年三菱重工業株式会社入職，現在に至る。日本船舶海洋工学会会員。

森 英男（Hideo Mori）

1985 年大阪大学大学院博士前期課程修了，修士。1985 年三菱重工業株式会社入職，現在に至る。