

マルチエージェントシミュレータによる自動運航船の航行ルール検討

○中島 拓也, 頼 凜太郎, 木見田 康二, 村山 英晶, 西野 成昭 (東京大学)

Rule Design for Maritime Surface Autonomous Ship by Multi-agent Simulation

○Takuya NAKASHIMA, Rintaro RAI, Koji KIMITA, Hideaki MURAYAMA, Nariaki NISHINO (The Univ. of Tokyo)

Abstract: International regulations for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) have been discussed. The requirements for MASS may vary depending on the traffic rules and infrastructure. In this study, we proposed a multi-agent simulator (MAS4MASS) for rule design for automated ships. The performance requirement for the autonomous functions and the contribution of communication infrastructure during ocean voyages are quantitatively evaluated by this simulator.

Keywords: Maritime Surface Autonomous Ship (MASS), Collision avoidance, Multi-agent simulation

1 緒言

現在, 自動運航船 (MASS: Maritime Autonomous Surface Ship) の研究開発が国内外で進んでいる。MASS に対応する法制度については, 国際海事機関 (IMO: International Maritime Organisation) において「ゴールベースの法律文書」の制定に向けて議論が進められているが, 具体ルールは定まっていない。MASS そのものに対する要求事項は, それを取り巻く交通ルールやインフラによって変化しうると考えられるため, 船舶同士が認知・判断・制御を行う状況を再現したマルチエージェントシミュレーションを用いた, 最適なルール設計のあり方を提案する。本シミュレータを用いたケーススタディとして, 以下の2つを実施した。

1. **自律機能の性能要件検討:** 大洋航海中の安全性を担保するため, 自動運航の主要機能に必要な精度について評価
2. **通信インフラの導入効果検討:** 新たな通信システムを自動運航船舶に搭載した場合の安全性への寄与について評価

2 手法

2.1 概要

本研究で構築したシミュレータ MAS4MASS (Multi-agent Simulator for MASS) の概要を Fig. 1 に示す。まずは, 自律航行機能および船体運動を模擬した船舶エージェント構築する。これらを, 航行ルールなどの制約条件を与えた状態で航行させ, 航跡等をもとに安全性を評価する。上記を制約条件や各船の性能を変えながら実行し, 適切な運航のためのルールを検討する。

2.2 自動運航船のモデル化

各船は, 状況認知 (自船状況, 目的地, 他船の把握等), 判断 (避航計画策定), 制御 (避航計画に合わせた舵角や出力の調整) の自律航行機能を有しており, それに従い避航運動を実施すると仮定する。

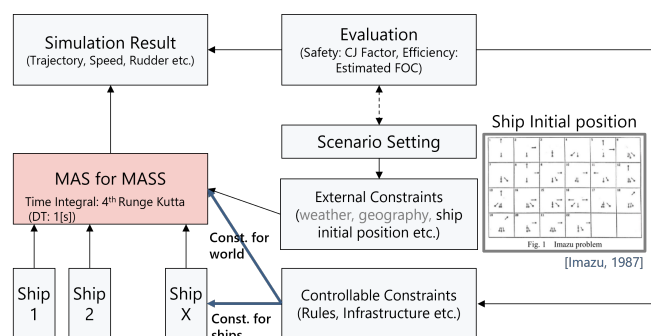


Fig.1 Schematic image of MAS4MASS

2.2.1 状況認知

現状の商船は, 自船位置・姿勢について, GNSS やコンパスなどを用いて認知される。他船位置・姿勢については, レーダ (Xバンド, Sバンド) や AIS (船舶自動識別装置), 目視などで認知される。これらの認知精度については, 外部環境やセンサの統融合の仕方により異なり, またそもそも他船を捕捉できないなども含め様々な状況が想定されるものの, 本シミュレータでは簡易的に, 自船認知, 他船認知の真値からのずれをガウス分布で仮定して, それぞれの標準偏差を設定する形で設定した。なお, 水深などの地形情報や船舶以外の浮体などはここでは考慮しない。

2.2.2 避航計画策定

自動運航アルゴリズムは中村・岡田のモデル [1] を用いた。これは, 相対位置および相対速度から決定される最接近時間 (TCPA), 最接近距離 (DCPA) で計算されるリスクに加え, 操船者の意思を考慮したものである。

2.2.3 制御・運動

避航計画の出力である速力, 針路に合わせて, 舵角およびエンジン出力を調整する。今回, 舵角は PID 制御を用いて調整した。速力変化は最大加速度を設定するのみにとどめている。各船の運動は, 野本のモデル

[2] を用いて表現した。制御の不確実性については、上記の運動モデルのファクター K,T の実値をガウス分布に従って分布させることで表現した。速力の最大値は 12(knot) とし、取りうる舵角は ± 15(degree) とした。

2.3 航行環境のモデル化・その他設定

航行環境は、地理的条件、海象・気象条件、船舶の見合い関係、その他インフラや航行ルール等の制約が含まれるが、今回は海象・気象の影響が小さい大洋航行を想定する。他船の見合い関係については、今津問題と呼ばれる 22 のシナリオ [3] を取り上げた。

航行リスク評価の値として、今回は各船の距離を評価軸とした。地理的条件について、十分な水深があり陸地がない大洋航海を想定する。海象・気象条件については考慮しない。

なお、シミュレータの時間間隔は 1(s)、時間積分は 4 次ルンゲ・クッタ法を用いる。

3 ケーススタディ

3.1 自律機能の性能要件検討

自船認知 (Localization), 他船認知 (Situation Awareness), 制御 (Control) の精度をそれぞれ変化させ、モンテカルロシミュレーションで求められる精度 (不確実性) を評価する。それぞれ、自船位置 (m), 他船見合い角 (rad), 操船パラメータ (s) について 3 段階の不確実性 (分布の標準偏差) を設定し、それらを組み合わせた 27 ケースで結果を比較した。各ケースを Table 1 に示す。各ケースで 20 回のシミュレーションを回した。

シナリオ 19 の結果を Fig. 2 に例示する。ケース 1-3, 10-12, 19-21 のすべての試行で 150m 以上の距離を持たせた避航ができていたことを踏まえると、他船認知の精度が安全性に大きく影響する可能性が示唆された。

Table 1 Parameter setting of each case

Function	Parameter	Cases
Localization	0.1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
	0.5	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18
	2.5	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27
Situation Awareness	0.001	1, 2, 3, 10, 11, 12, 19, 20, 21
	0.005	4, 5, 6, 13, 14, 15, 22, 23, 24
	0.025	7, 8, 9, 16, 17, 18, 25, 26, 27
Control	0.002	1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25
	0.01	2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26
	0.05	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27

3.2 通信インフラの導入効果検討

現在導入が検討されている VDES (VHF Data Exchange System) を取り上げる。VDES は現行の AIS (船舶自動識別装置) と異なり、大洋航海中でも VDE (VHF Data Exchange) による双方向通信ができることから、協調航行通信インフラとして期待されている。自動運航船

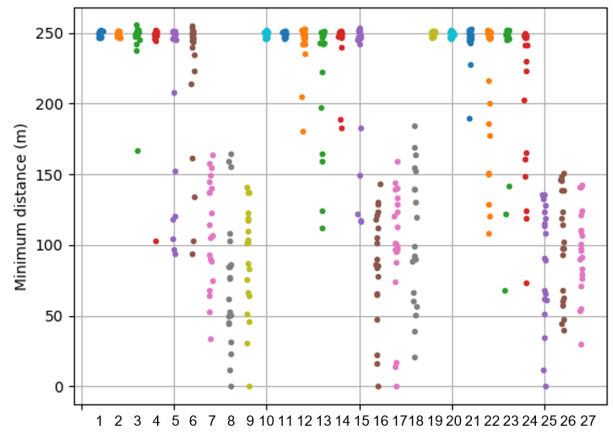


Fig.2 Simulation results of each case (Scenario 19)

同士の避航操船を再現したシミュレータを用いて、「他船の計画進路が得られた場合」と「得られない場合」で安全性を比較した。なお、認知および制御の不確実性は本ケースでは想定していない。

シナリオ 5 の結果を Fig. 3 に例示する。本シナリオでは、他船の計画進路を各船の計画策定時に得られることで、3 隻とも効率的な避航動作が実現できた。ただし、シナリオによって結果が異なる。VDES 導入による安全性への寄与の定量化については今後検討する。

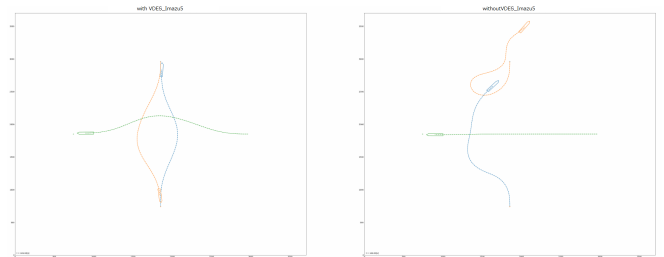


Fig.3 Simulation results for VDES evaluation (Scenario 5)

4 結言

本研究では、自動運航船のルール形成のためのマルチエージェントシミュレータ (MAS4MASS) を提案した。自動運航の主要機能に必要な性能、および次世代通信インフラを船に搭載した場合の大洋航海中の安全性向上への寄与について評価した。

参考文献

- [1] Nakamura S. and Okada N.: Development of Automatic Collision Avoidance System and Quantitative Evaluation of the Manoeuvring Results, TransNav 13(1), 133/141 (2018)
- [2] 野本謙作, 田口賢士: 船の操縦性に就いて (2), 造船協会論文集, 101, 57/66 (1957)
- [3] 今津隼馬: 避航法に関する研究, 東京大学博士論文 (1987)