オブジェクト指向ツールによる船舶航行 シミュレーションシステムの構築

福戸 淳司*・今津 隼馬**

Development of Ship Navigation Simulation System Using an Object Oriented System Development Tool

Junji FUKUTO and Hayama IMAZU

Abstract

We made a ship navigation simulation system for evaluation of navigation functions. The ship navigation simulation system is made with an object oriented system development tool "G2". This has following functions. 1) Function for describing complex functions of navigation as a module, 2) Function for monitoring and changing the states and the valuables of simulation when simulation is calculating, 3) Function for recording simulation states manually and automatically at some event, 4) Function for communication with other computer and simulator in real time.

Using this simulation system, we carried out the simulation for assessing the influence of closing the traffic for 1 hour at the Kurushima straits. As a result, we found some index of the influence for closing the strait such as additional required time for passing the strait and the duration of the influence.

Through developing and carrying out the simulation, we found that the functions of this simulation system are very effective for describing any levels of navigation functions and assessing the influence of navigation functions.

1. まえがき

現在、外航船では混乗化が一般化しており、内航船においても、船員の高齢化と後継者不足の問題から、少人数化が進んでいる。このため、各種の航行援助装置が、実用化を目指して提案・開発されている。

これらの航行援助装置の安全性評価には、従来、主として操船シミュレータを用いたシナリオベースでの評価が行われてきた^{(1),(2)}。この操船シミュレータによる実験では、航行環境及び航行援助装置を含む船舶を評価の目的に応じてモデル化した状況で操船者が実際に操船を行うため、航行援助装置の有効性や航行の安全性の評価に必要な情報を評価者に最も効果的に与えることができる。しかし、操船シミュレータによる実験は、経験を積んだ操船者を必要とし、なおかつ実時間でしか行うことができないため、時間的及び経済的制約から少量の限られた状況での評価しかできない。

また、もう一つの方法として、海上交通流シミュレーションが挙げられる。海上交通流シミュレーションにおいても、自船及び航行環境はモデル化して表現され、そのモデルに基づいてシミュレーションを実施し、評価に必要な情報を得る⁽³⁾。この海上交通流シミュレーションでは、実態に即した遭遇条件を数多く設定でき、操船シミュレータでは設定できなかった状況を補うことができる。しかし、一般に海上交通流シミュレーションでは航行する海域の評価が主眼となっており、一部の研究^{(4),(5)}を除いて、避航や時間調整

* 正会員 船舶技術研究所 (〒181 東京都三鷹市新川6-38-1)

**正会員 東京商船大学 (〒135 東京都江東区越中島2-1-6)

等交通流を構成する個々の船舶の機能を十分に表現し、船舶の機能自体を評価する試みはなされていない。船舶自体や航行安全対策の評価を行う場合、船舶や安全対策は、各構成要素が持つ機能によって形作られると考えられるので、いろいろな機能をモデル化してシミュレーションに組み込む必要がある。

今後船舶に搭載される新しい機能を評価する上で、操船者のモデルを含む航行に必要な機能を容易に表現し、操船シミュレータと有機的にリンクできる海上交通流シミュレーションシステムが必要と考えられる。また、このシミュレーションシステムを実時間で操船シミュレータに接続することにより、今までに表現できなかったシミュレーション時の相手船の違和感のない自然な動きを表現できる。

そこで本研究では、船舶の持つ航行に必要な機能を表現し、船舶の機能評価を行うことを目的とした船舶航行シミュレーションシステムを、オブジェクト指向システム構築支援ツールを使用して作成した。また、このシステムの使用例として、来島海峡におけるシミュレーションを行った。このシミュレーションでは、架橋工事のため必要となる1時間程度の通行禁止が航行船舶に及ぼす影響について調査した。

2. 船舶航行シミュレーションシステム

2.1 システムへの要求要件と開発ツール

シミュレーションの構築及びそれを用いた評価をする場合、まず評価の目的及び対象を明らかにする。次に評価の目的に添った十分な精度での評価対象のモデル化を行い、シミュレーションシステムに導入する。さらに、シミュレーションの正常な動作を確認して、実際の評価が行われる。このうち、シミュレーションシステムへのモデルの導入においては、多種多様な船舶の機能を表現する必要があり、シミュレーションの動作の確認では、結果を示す数値のみでなく、主観的な評価ができる環境を作ると同時に、新しい機能やその機能を表現するモデルのアイデアを考案できる環境が必要である。

そこで、船舶航行シミュレーションシステムの設計においては、シミュレーションの基本部分、船舶及び環境条件をモデル化し、それらの機能を容易に実現すること、機能の動作のチェックや評価に必要な状態量を任意の時間に引き出し変更できること、直感的に状況を把握するためのグラフィックス表示が重要と考え、以下の要求要件を設定し、システムの開発を行った。船舶航行シミュレーションシステムへの要求要件は、

- ① 船舶航行シミュレーションの構成要素の導入
- ② 各要素に対応する多様な機能を表現する機能
- ③ グラフィカルな動作状況のモニタリング
- ④ 属性値やシミュレーション設定の変更
- ⑤ 状況に応じたシミュレーション状態の記録
- ⑥ 実時間の通信を含む実行プロセスの時間管理

本船舶航行シミュレーションシステムでは、個々の船舶はその行動を独立に判断して航行する。こうした船の多様な機能を表現するには、いろいろな船種に対応した機能をモジュール化して表現し、その機能の適用を管理する必要がある。こうしたマイクロなシミュレーションの構築においては、オブジェクト指向の考え方が有効である⁽⁶⁾。

また、グラフィックスを用いたインタラクティブなインターフェースや、実時間での通信機能等を作成することは、研究の本質ではないところであるが、実際にシステムとして構築するためには、必要であり、高度なハードウェアの知識及び多大な労力が必要となる。

このため、本研究では、オブジェクト指向のシステムを構築する機能及びグラフィカルなインターフェースを持つ“G2”というツールを使用して、システムの構築を行った。G2の持つ特徴は、

- ① オブジェクト指向の階層的なオブジェクトの作成機能
- ② オブジェクトを特定したルール及び手続き型の記述によるプログラミング
- ③ グラフィカルなモデルの表現機能
- ④ インタラクティブなグラフィックスユーザインターフェース
- ⑤ 実時間の計算プロセス管理

である。

図1にシミュレーションの実行時の画面を示す。シミュレーションの実行管理は、画面左上のコントロールパネルで行う。G2には、ボタンをはじめ、いろいろな部品があり、これらの部品を使ってコントロールパネルを作成する。このコントロールパネル上のボタン操作により、シミュレーションの実行、停止等の操作が行える他、シミュレーションの初期設定作業ができる。シミュレーションの実行中は、各船舶はそれぞれの定義に従って操船判断および船体の運動の計算を行い、画面

図1 シミュレーション実行画面

上を動く。このとき、画面上の船をマウスでクリックすることにより、画面右に示すようなクリックした船の属性テーブルが表示される。この属性テーブルには船速等の状態量が表示されている。さらにこの属性テーブル内の値を変更することにより、シミュレーションの設定を変更することができる。

シミュレーションの状態は、変針点通過というようなイベントが発生した時に記録するように設定した。例えば、画面中央上の表は、シミュレーション初期化時に設定された変針点を通じた時の通過船の情報を表示している。この情報は同時にファイルにも記録される。また、任意の時間にその時点での全ての船舶の状態量を記録することができ、このデータを基にその時点からのシミュレーションを再開することができる。

2.2 オブジェクト指向のシステム構築

オブジェクト指向の考え方にに基づくシステムの構築法を、G2の例を用いて説明する。オブジェクト指向のシステムの構築は、

- ① クラスの定義
 - ② クラスに対応した処理手順の記述
 - ③ インスタンスの生成
- という手順で行われる。

オブジェクト指向のシステムにおいては、船舶や航路等実態のあるものからアルゴリズムを記述するルールや手続き的な処理手順を記述するプロシージャ（以下プロシージャと呼ぶ。）まで、システムを構成する全ての要素は、オブジェクトとして表現される。各オブジェクトは、そのオブジェクトの属性を表現したクラスから生成される。このため、オブジェクト指向システムのプログラミングは、クラス定義から始まる。クラスは、定義の対象となるオブジェクトの属性を定義するもので、船であれば、船長や通過予定ルート等各船舶固有の属性の他、時々刻々の状態量が属性として定義される。シミュレーション時には、この状態量をルール及びプロシージャで記述された処理に従って更新することにより、船の運航状況を表現する。クラスは船舶といった抽象的な定義からコンテナ船あるいはタンカーというようにより具体的な対象まで階層的に定義できる。このため多様な性格と機能を持つ船舶の表現を効率的に行うことができる。

図2にクラス及びプロシージャの定義画面の一例を示す。図中央は、階層的なクラスの定義状況を示している。図中のGeneral-shipと書いてある三角形のアイコンは、船舶一般クラスを表している。各クラスは、クラスの状態を示す表を持っており、その中で属性を定義する。図中右の表が船舶一般クラスの属性

値の定義で、船舶名、船舶ID等が定義されている。船舶一般クラスの下には、船舶一般クラスから派生したコンテナ船の定義がされており、その中には、船舶一般クラスから引き継がれた属性とコンテナ船固有の属性が定義される。さらにその下の船の形のアイコンは、コンテナ船クラスから生成されたインスタンス(オブジェクト)で、このアイコンが実際のコンテナ船として画面上を動く。

船の運動や航行に必要な機能は、ルールやプロシージャとして記述される。ルールやプロシージャ

は特定のクラスのみには作用する。このため船体運動計算といった、どの船にも必要な処理については抽象度の高い上位のクラスに対して定義を行い、特定の船に対する機能については、個々の船に対して処理を定義する。また、図2に示すようにプロシージャ自体もオブジェクトとして表現されているので、表現したい機能をプロシージャとしてモジュール化し、そのプロシージャを活性化したり変更したりすることにより、シミュレーションの状況に応じた多様な機能を表現できる。

シミュレーション実行中は、クラス定義に基づいて、船舶を発生させ、図1下の航行海域を表した画面に配置され、状態量の更新に従って画面上の船舶を移動する。

2.3 船舶航行シミュレーションの構成要素の表現

船舶航行シミュレーションの構成要素は、図3に示す様に大別すると地形環境要素、自然環境要素及び交通環境要素の3つとなる。このうち、交通環境は操船者と船舶で構成される運航モデルの集合として表現される。

1) 環境要素の表現

図2 クラス定義画面

図3 船舶航行モデル

図4 航路設定例

地形環境は、変針点と航路帯からなる航路として表現している。これらのオブジェクトは、テキスト形式のデータを基に、自動的に生成され、航行海域を表現する画面上に配置される。図4に航路を設定した海域の画面の例を示す。図中の小さな点の変針点であり、各点を結ぶ線が航路帯の中心線を表している。変針点及び航路帯はオブジェクトであり、それぞれ位置や航路幅等の属性を持っている。

また、自然環境については、潮流等の外力の影響を船舶の運動に直接反映することによって表現する。

交通環境を構成する船舶の発生は、基本的には交通流の実態調査等から得られる船舶発生時系列データを基に行われる。この時船舶には、発生位置の他、船長等の船舶固有の属性値、通航予定航路等の航行プランの設定が行われ、以後各船舶は自律的に航行する。また、任意の状況を設定するため、シミュレーション実行中マウス操作により任意の場所に船舶を発生させることができる。さらに、本システムは、実時間で他のワークステーションとデータのやりとりを行う機能を持っている。この機能により、他の機器から船舶発生に必要な情報を受け取り、その情報に基づいて任意の船舶を発生できる。このため、海上交通管制等の機能をこのシステム上に構築できる可能性があると思われる。

発生船舶数は、計算機のメモリの量に規定され、メモリの許す限り増やすことは可能である。しかし、実時間での計算速度を考慮すると現在100隻程度が現実的と思われる。本システムでファーストタイムシミュレーションを100隻の船舶に対して行った場合はば実時間の10倍程度の計算速度が得られた。

2) 運航モデルの表現

運航モデルは、操船者と船舶から構成されており、それぞれの機能はモジュール化して表現されている。

航行に関する操船者の機能は、情報収集、行動判断、操船実行の3段階に分けて表現している。

情報収集については、操船判断を行う各船舶が、個々の相手船に対する情報を相手船毎にオブジェクトを生成することによって、情報の収集機能を表現している。さらに、この情報オブジェクトに対して、情報の取捨選択や集約等の処理を付加することにより、航行援助装置の機能を表現できる。

行動判断においては、操船者または自動化機器の機能をモデル化して導入する。行動の判断では、まず自船の目標航路及び特定の航路点の通過予定時刻の情報から、針路や船速の調整を行う。次に情報収集において生成された情報オブジェクト群に対して見合い関係とその危険度を評価し危険船の判断を行う。この時、危険船のない場合には先に調整を行った自船航路に沿った操船内容を操船実行部に指令する。また、危険船がある場合には、その危険を回避するための避航行動を指令する。この避航行動には、簡単なものから複雑なものまで、いろいろなグレードがあると考えられるので、避航機能をモジュール化して作成し、これを組み合わせていろいろなバリエーションを表現する。現在のところ、避航については、追い越しの場合しか作成していないが、今後いろいろな状況に対応した機能を追加していく予定である。

操船実行では、行動判断部で指定された操船方法に従って、船速及び針路の制御を行う。基本的にはパストラッキングの機能を持っており、予定航路上を航行させることができる。さらに、予定航路からあるオフセットを持たせた平行な航路を航行させる機能も持っている。

船舶は、操縦運動モデル、操船機器、航行援助装置の機能を持っている。本システムでは、船舶の操縦運動モデルとして、KTモデルを使用しており、船種及び船長に応じた運動を、操舵角等の直接の指示に対応して表現できる。また、航行援助装置については、操船者モデルにおける情報の処理の過程にその機能を織り込むこととなる。

3. 来島海峡におけるシミュレーション

本システムで作成したシミュレーション例として、来島海峡でのシミュレーション例を示す。

3.1 シミュレーションの概要

現在、来島海峡では本四架橋工事が行われており、今後西水道及び中水道において、1時間程度の航路の閉鎖が必要になる。そこで、この1時間の航路閉鎖が航行船舶に及ぼす影響を調査するため、航路を閉鎖した状態と閉鎖しない状態でシミュレーションを行い、その結果を比較した。図5にシミュレーションの条件設定の状況を示す。シミュレーションは、西水道を東航する状況について行った。航行に対する影響は、西水道の閉鎖に伴う混雑に起因すると思われるので、来島海峡の通過所要時間について調査した。

航路の閉鎖は、図中の変針点WP-6の位置とし、所要時間の計測区間は、図中に点線で示した変針点WP

-3からWP-9までの来島海峡航路の区間とした。シミュレーション実行時には、変針点WP-3およびWP-9を通過する毎に通過船舶のID番号及び通過時刻を記録するように設定し、その記録を基に航路の通過所要時間を算出した。今回のシミュレーションでは、海上交通の実態観測データに基づいて、1時間当たり18隻の割合で船舶を発生させた。

図5 来島海峡におけるシミュレーションの設定

航路の閉鎖時間は、シミュレーション開始5000秒後から1時間とした。各船舶には、海峡の閉鎖に伴う混雑の状況を表現するため、ルートトラッキングの機能の他、船速調整による通過時刻調整機能および追い越し時の避航機能を持たせた。

船速調整による通過時刻調整機能では、航行する船舶には航路の閉鎖時刻が周知徹底されているものと仮定し、巡航船速で航行した場合、航路が閉鎖されている時間帯に航路の閉鎖部を通過する船舶について、航路が開放後に通航する様に船速の調整を行った。船速の調整に際しては、閉鎖点での航路の開放後に過度に船舶が集中するのを避けるため、開放後30分以内に分散して閉鎖点に到着するように設定した。ただし、計測区間での通過所要時間を計測する都合上、図中点線で示した所要時間の計測区間では、巡航船速で航行するものとし、通過時刻調整は1点鎖線で示した計測区間以前の航路で調整するものとした。

追い越しによる避航機能は、平行移動操船による避航を基本とし、自船の右または左に避航可能な場合、各航路帯に設定されている航路幅の許す範囲内で平行移動操船による追い越しを行うこととした。航路帯から出たり、左右に他の追い越し船がいたりして追い越しする余地がない場合は、追い越し対象船と同じ船速を、追い越し可能な状態になるまで保つこととした。今回のシミュレーションにおいては、追い越し時の平行移動量を150mとした。このため、交通量の多い時最狭部では、2列縦隊で航行することとなり、低速船の影響を受けて、通過所要時間に影響を受ける船があることが予想される。

3.2 航路閉鎖の影響

先に示した図1に、航路の閉鎖時のシミュレーションの実行時の状況の画面を示す。画面右の属性を示す表には、船速を調整している船舶の状態量が示されており、巡航船速5.7m/sに対して、2.7m/sまで減速していることがわかる。また、航路閉鎖時のシミュレーションの結果から、閉鎖点では5000秒から8600秒の間には通航船舶はなく、通過時間調整が適正に機能していることがわかった。

航路閉鎖の影響を示す指標として、各船舶毎に、航路の閉鎖があった場合となかった場合について航路の通過所要時間の差を計算しその分布を調べた。図6に航路通過所要時間の差の分布を示す。所要時間の差は、0から10分の間に分布しており、2分以上の影響を受けた船は、69隻中17隻であった。

図6 航路通過時間の差の分布

図7 開通後の10分毎の通過船の度数分布

また、航路閉鎖の影響の継続時間を調べるため、航路開放後の10分毎の通過船舶の度数分布を調べた。図7に通過船舶の度数分布を示す。図中の黒いバーの部分は、2分以上所要時間に差のあった船の分布を表しており、シミュレーション結果からは、航路開放後50分程度まで混雑の影響が残ると予想される。

4. まとめ

船舶の航行に関する機能を実現する船舶航行シミュレーションシステムをオブジェクト指向システム構築支援ツール「G2」を用いて構築した。このシミュレーションシステムでは、G2の特長を生かして、オブジェクト指向の考え方に基づいたシミュレーションの構成要素及びその機能の表現、インタラクティブなグラフィックスユーザインターフェース、計算実行時のモニタリング機能等設計要件に挙げた機能を実現した。さらに、船舶航行シミュレーションのような構成要素の多いシミュレーションシステムの開発において、オブジェクト指向システムの開発ツールはfortranに代表される従来の開発環境に比べて、高いシステム開発効率を持っていることがわかった。

本システムを用いて、来島海峡における1時間程度の航行禁止措置に対する航行船舶への影響を調べるため、シミュレーションを行い、航行通過所要時間及び航行禁止の影響の継続時間についてのシミュレーション結果を得た。このシミュレーションの開発及び評価の段階において、船舶航行シミュレーションシステムの設計時に挙げた要求要件が有効であったことを確認した。

今後は、現在持っていない機能、特に避航操船の機能の作成及び改良を行い、航行船舶の機能を高度化し、現実的な操船の機能評価に耐えうるシステムに充実させていくとともに、操船シミュレータと船舶航行シミュレーションシステムを用いた操船機能の評価法について研究を進める予定である。

また、操船シミュレータや他のシステムとの接続を積極的に行い、操船シミュレータへの利用や海上交通管制システムへの応用等についても検討する。

参 考 文 献

- (1) 小瀬邦治他：操船シミュレータを用いた統合操船システムの開発手法，日本航海学会論文集，第91号，pp.61-69，1994年。
- (2) 小瀬邦治他：Integrated Navigation Systemにおける避航支援に関する研究，日本造船学会論文集，第177号（予定），1995年。
- (3) 角田和也他：東京湾の航行安全性向上の為に船舶運航について —ネットワーク上を航行する船舶の主観的衝突危険度による評価—，日本航海学会論文集，第92号，pp.337-346，1995年。
- (4) 長澤明他：避航操船環境の困難度-II —シミュレーションによる評価に向けて—，日本航海学会論文集，第88号，pp.137-144，1993年。
- (5) 小瀬邦治他：避航エキスパートシステムと航路航行シミュレーションに関する研究，日本航海学会論文集，第84号，pp.165-172，1991年。
- (6) 金湖富士夫他：オブジェクト指向型プログラミングを応用したシミュレーション手法，第6回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス講演集，1988年。

質 疑 応 答

長岡 栄(電子航法研究所)：結論で有効性が確認されたということですが、どのようにして有効性を確認されたのでしょうか。

福戸淳司：本研究で開発した船舶航行シミュレーションシステムの有効性につきましては、開発時に設定した要求事項である6つの要件が、船舶の機能及びシミュレーションの実行に有効であったことが確認されました。

また、今回紹介したシミュレーション例につきましては、仮定の状況を設定してのシミュレーションであったため結果自体の有効性の確認はできませんでした。しかし、航路の閉鎖の影響はおよそこの結果で説明できると思われます。