

# 運航自動化への取り組みと 今後の課題

2017年3月8日

広島大学名誉教授  
小瀬 邦治

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

1

## 運航自動化システムの機能構成

- 運航は、ある目的の下で、安全性と効率性を考慮して、計画(Plan)と実行(Do)を繰り返し、その結果や方法を点検(Check)して対応(Act)する機能から成り立つ。
  - 安全性と効率性を考慮して運航計画を立て、それを実行する形を繰り返して運航される。
  - 逆に、安全性が担保できる計画が見通せなければ、運航は実行されず、現実的な解としては停止して計画できる機会を待つことになる。
  - この計画と実行を繰り返されるが、その過程では達成された安全性と効率性を予め予定した方法で評価し、計画と実行の仕方を見直すことになる。
- 具体的には
  - 船の運航目的に応じて、様々な制約条件を考慮して、安全性が確保される、ある程度の期間に亘る時系列の形の運航軌跡を計画し、
  - この計画された運航軌跡を実現するように操縦する。
  - このような操船の過程で、安全を担保するために、計画し、実現した陸岸や遭遇船からの航過距離(安全距離)が適正であるかとか、使用した操作量に余裕があったか等、計画と実行の仕方を定めているパラメータを安全性と効率の面から調整する。
  - 船舶とその運航するシステムを自己点検して保全する機能も持つ。

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

2

## 自動運航に利用できる基礎技術の成熟(1)

- 位置、運動の計測技術としての伝統的なジャイロによる方位計測、制御から、GPS等による船位の計測、制御への時代に転換が可能になった。
  - 一般航行時のGPS測位は2000年SA解除で精度が格段に向上
  - 航路、港内等での高精度の船位制御が可能な高精度のGPS技術  
(精度: 単独測位 3m, DGPS 0.4m)
  - 極めて高精度のKGPS技術  
(精度: KGPS、水平で2cm、垂直も可能で水深計測に利用)
- レーダ、ソナー、画像による遭遇する障害物等の相対位置、運動等の航行に関連する情報の獲得
  - 特に広角、高解像度の画像情報の運航への広範な利用

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

3

## 自動運航に利用できる基礎技術の成熟(2)

- 港湾、航路等の航行環境とその情報の整備、精密化
  - 今日の船舶、運航システムに対応した港湾や水路のハードとソフトの両面での広範な整備が推進されている。
  - 水域、推進、潮流等の電子海図情報の整備と提供
  - レーダ、画像、AIS等、航行船舶等に関する情報獲得の進歩
- 船舶の運動モデルと計測と制御技術の発展により運動特性、運動状態の推定、予測、環境影響の認識等が可能になる。
  - 運動モデルを用いた運動状態の推定、予測、制御が容易に可能
  - 潮流等の環境影響の推定も可能

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

4

## 自動運航に利用できる基礎技術の成熟(3)

- デジタル視界画像の獲得、変換、認識技術の革新
  - 高感度、高精度の広角でコンパクトな画像獲得手段の普及
  - 画像解析による物標等の種類、位置、運動等の認識
- 通信技術の発展により双方向の情報交換が一般化
  - AIS等のような一般的な船舶動静の交換システムの普及
  - 今後は一般に普及した汎用の個別情報交換システムによる航行システム間の情報交換の可能性
- AI技術の発展により、運航に必要とされる高度で迅速な知的判断の実用化が可能
  - 現在から将来に至る航路航行計画の立案
  - 海上交通ルール、相手船の行動予測等を考慮した避航計画の立案、

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

5

## 実操船の構成単位としての要素操船

- 実際の操船は、前後進、横移動という併進運動と変針、保針という回頭運動の組合せである。
- 一般に常用されるのは、適用し易く、性能に優れた限られた組合せで、増速、等速、減速しながらの保針や変針とか、船首、船体中央、船尾周りのその場旋回、横移動や斜航等である。
- これらの典型的な要素操船を把握しておくこと、実際の航路や港湾域で使われる多様な操船パターンを、この要素操船の組合せと接続で計画することが出来る。
- 操縦運動の数学モデルを用いると、要素操船性能は簡単に計算でき、実用的には操作量が Full, Half, Slow, D. Slow の場合の性能が常用される。
- この要素操船の概念は当初、坂出港等での離着棧操船計画を確立するために提案されたものであるが、港湾や水路における操船の安全性評価等、操縦性研究の操船実務への応用に有益である。

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

6

## 港湾等における自動航行システム

- 一連の操船過程で用いる要素操船を選択し、その組合せで操船パターンを創り、運動モデルを活用して時間軸付きの船位誘導計画を作成すると共に、安全性の確保に必要な環境条件等を確認する。
- 操船者の基本とする安全第一の原則は明確な規定はないが、高信頼度知能化船開発事業(1983-1988)の経験によると、操船時に使用を予定する操作量に余裕を持たせて(例えば制動は能力の半量で計画し、非常時には全量で危険を回避)おき、ゴール迄の不安全要素をカバーするために、十分な安全距離を持った仮のゴールへアプローチするような形で制御問題を取り扱うことも一案と理解できる。
- 自動誘導は、想定している船位誘導計画に応じたフィードフォワード制御を加えると共に、その誘導軌跡と実際を比較し、補正するフィードバック制御を施して達成する。
- 港湾域では外力影響も大きいから、必要に応じて適切な方法で外力影響を推定する等で、常に安全性をチェックし、確保している安全距離と操作量余裕で安全側に保ちうることを確認する。

2017/03/08

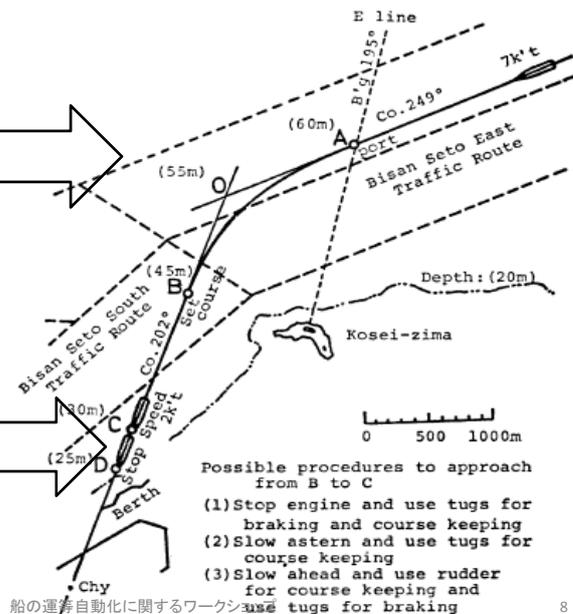
船の運等自動化に関するワークショップ

7

## 坂出港番の州シーバースへの入港、着棧計画

減速、停止のために使う制動力に十分な余裕を持たせておき、予期しない緊急事態での安全確保に備える。

棧橋の前面から、安全距離を保った位置を仮のゴールとして停止する。



2017/03/08

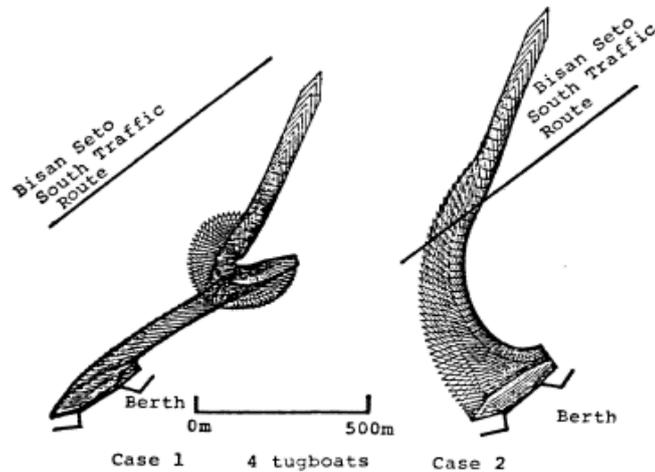
船の運等自動化に関するワークショップ

8

## 坂出港番の州シーバースからの出港操船計画

例1 備讃南航路の通行船を回避し、航路外で回頭、待機後に出港

例2 備讃南航路の通行船の間隙を狙い、離棧後、回頭しつつ出港



2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

9

## 航路での自動航行の考え方と実際の航行計画

- 航路航行についても、船位の計測、認識が可能な時代であり、船位軌跡の時系列を計画し、それに沿って船位誘導するというプロセスの繰返しで実現され、その結果から安全性や効率性を評価し、計画の立案と誘導の実行の仕方を調整する。
- 航路航行は選択した前進船速の下で、基本的に保針と時々の変針であるから、船は航行海域に応じて、ウェイポイント列と通過船速で表現できる基本的な計画航跡を持ち、その時々遭遇船等の交通環境条件に応じて修正した避航操船計画をつくる。
- 船舶の基本的な航行計画航跡は現在は船員の予めの入力によるが、負担になり、自動化システムの利用の隘路となると共に、どの位置を何時、どんな船速で通るかは、潮流利用の点等で安全性と省エネ性に大きな影響を与えるから、自動生成化やWeb Pilot等の陸上支援サービス化が期待される。

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

10

## 遭遇船等航行障害物の避航と船位誘導

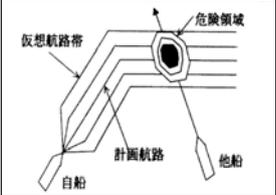
- 自然的、規則を含む交通的制約の下で、遭遇する船舶や障害物等に対して安全確保のために、基本航行計画を修正して、避航行動を計画する。
- 歴史的にはジャイロによる方位が船上での操船判断の正確な定量的指標であったから、遭遇船のベアリング角等を参照した色々な避航判断のモデルが提案されているが、現在は船位が精度よく判る時代で、その時々遭遇船等の航行障害物を避ける安全な避航計画を求め、その計画に沿って船位誘導をして航行する時代と考えられる。
- 避航も考慮して、時系列で計画船位軌跡与えられると、計画軌跡からの偏位をフィードバックすると自動船位誘導が可能で、航海機器メーカーの提供しているトラッキングパイロット等も利用できる。位置制御は蛇航を招きやすく、その際の抵抗増加を考慮したり、潮流等の強い狭水路等の操船を考えると、より適切な位置制御方式が求められる。
- 高精度の船位計測、認識が可能で、船の操縦運動のモデルが確立している現在では、それを組み込んだ高精度の船位誘導や、船体を一種の潮流計と考えると、海上での位置制御に強い影響を持つ潮流影響の把握も可能で、高精度の自動船位誘導の技術的条件は成熟している。

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

11

## 航路上での障害物避航に求められる航路修正

- 遭遇船舶や障害物の避航は海上交通ルール等に従って行われるが、直近の船舶との衝突を回避しつつ、近接する海域でも遭遇船等によって生じる危険領域を余裕をもって避けながら、予め予定している基本計画航路から大きく外れないで、その周囲に想定した航路帯の中で避航を実現できることが望ましい。
- 
- 余裕ある避航行動には、遭遇船舶との効果的な相互連携が必要になる。相手の行動が判ると、自船の可能な航行範囲が拡大するから、AISの情報とか、現在は広範に普及しつつある個別の意志交換手段の活用等が求められる。
  - AIを用いて避航の判断をする交通流シミュレーションの結果では、遭遇船舶がそのままの進路で進むのみではなく、自船が持つような避航判断機能を持ち、避航する可能性を考えると、操船者に近いレベルの避航判断が可能になるとされており、遭遇船との効果的な連携の図れるような避航判断が必要と考えられる。
  - 避航計画は、直近、あるいは近接する海域での衝突回避のみならず、将来に通過する、例えば、長澤モデルの操船空間閉塞度が高い狭水路や交通流交叉域等のような航行困難な海域での避航負担を避けるように、予め通過時間調整するような配慮も必要である。こうした余分の負担を回避しておけば、現在に可能な船位誘導システムは相当な狭水域でも安全確保が出来るレベルに達している

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

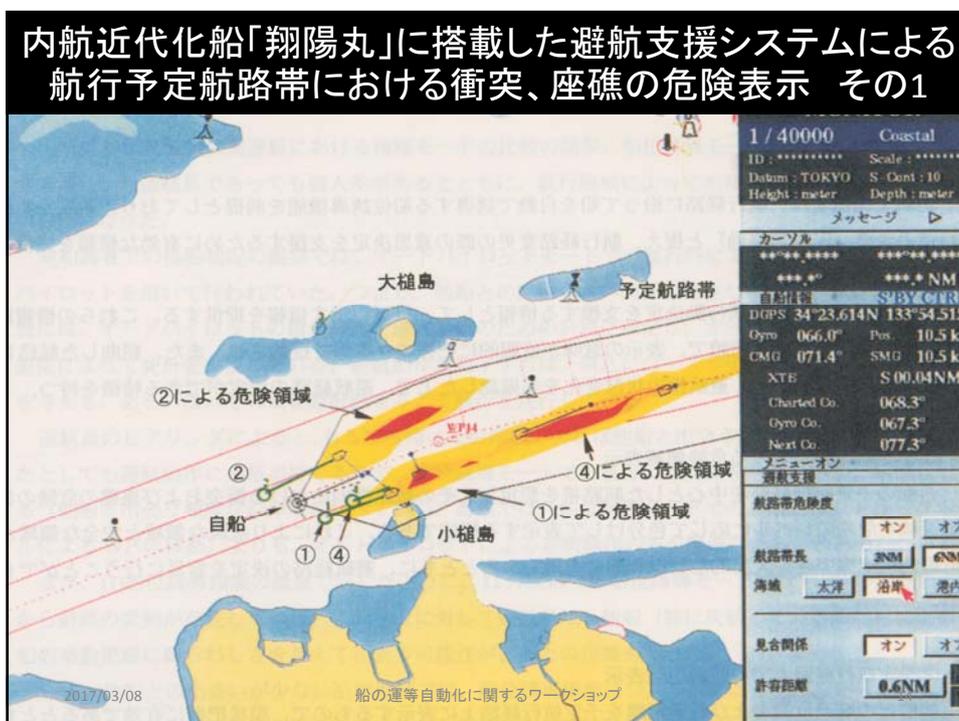
12



2017/03/08

船の運等自動化に関するワーショップ

13



2017/03/08

船の運等自動化に関するワーショップ

## 内航近代化船「翔陽丸」に搭載した避航支援システムによる 航行予定航路帯における衝突、座礁の危険表示 その2



## 欧州で実現されている支援システムによる大型客船の狭水路航行



## 船舶システムの高度化とモジュール化

- 部品から特注の複雑なシステムとして製作されていた計算機が稀代の名機IBM360以後、演算機能、主記憶、補助記憶、入力装置等の機能モジュールの選択、組合せで構成されるシステムとなり、モジュールコンセプトは計算機だけではなく、総合的なシステムの設計、製造の一般的なアーキテクチャーとなり、沢山のモジュール製造業が育成された。
- 自動運航船は、現在は人間の果たしている機能を含めてものの側で担当されるから、膨大な部品やソフトで構成される大変に複雑で重層的構成体になり、総合的なシステムとしての機能は構成するモジュール如何ともなり、各種の必要なモジュール開発が求められる。今、進行しつつある自動車の自動運転化には、安全支援に必要とされる様々な支援機能モジュールの開発がベースになっており、船舶の場合にも、自動運航、運航支援に必要な機能を提供する信頼できるモジュールの開発が運航自動化船開発の基礎となると期待される。
- 日本の造船業は沢山の船用メーカを育成し、優れた部品が提供されているが、組み合わせて機能システム化する仕事は造船設計が担当する形が多かったから、欧州に較べて機能モジュールベースの開発が必ずしも十分に行われていないので、自動運航システムに必要な機能を想定して、それを担う機能モジュールの開発が課題となる。このような機能モジュールの開発と普及は、必ずしも高度の運航自動化船とは言えない一般的な船舶の高度化を設計と建造の両面で支えると期待できる。

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

17

## 機関システムのモジュール化と高度化

- 自動運航を考える場合、直接の操船関係だけではなく、船の機能の多くを支えている機関室等のシステムの自動化も必要とし、機関室についても相当にきちんとした設計と建造、維持、管理の検討が必要になる。内航近代化船「翔陽丸」の機関室は、格納されている様々なシステムをラックマウントされた機能モジュールとして、工場内製作し、搭載し、据え付ける形で、建造された。
- 機関室システムの運転自動化には、システムの制約関係をAI的な手法で表現し、シーケンス操作の手順を検索したり、不具合の原因を推論する試みがなされ、有効性が確かめられている。
- 常石造船では船用メーカと共同して、機関室内のシステムを機能毎にモジュール化し、シーコンテナサイズにラックマウントしてグローバルな建造体制に対応しているが、標準化されたモジュールの設計には信頼性解析や高機能化の為にシミュレーションの手法が活用されたり、モジュール単位で情報を整理してLANによる情報化とか、動的モデルを組み込んだ故障診断等が検討されており、自動運航化が検討される場合にはその基盤となる。
- 船内システムの機能モジュール化は、今後の運航自動化に必要な様々なセンサーや機能の追加や仕様の変更、高度化をモジュールベースで対応することを可能すると期待される。

2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

18

## 高度自動運航システムの開発体制

- 自動運航は沢山の機能部品が組み込まれた総合的なシステムが統合的に機能して実現できるものであるから、開発には目的鮮明なリーダーシップと多様な関連分野の専門家の協力が必要で、造船界で推進された「高信頼度知能化船」の開発事業でも、操船者を含む多数の専門家が参加した。
- 内航近代化船「翔陽丸」や最近に開発された電気推進船の経験をふりかえると、新しい自動運航システムのコンセプトを明確に打ち出し、開発を主導するリーダグループを組織すると共に、必要に応じて臨機応変に、具体化を担当する専門家を選び、設計、建造、運航面で必要な協力を戴けるような開発体制が望ましい。
- そのような開発体制は以前から議論があり、MSDI (Maritime System Development Initiative)と呼ぶことにすると、今後の高度の総合的な運航自動化システムの開発にはこのような体制が必要と理解される。
- 「高信頼度知能化船」の開発事業が約30年前、筆者が関係した「翔陽丸」(Ship of The Year 97準賞)が20年前であるから、こうした開発が相当に停滞し、その間に色々な技術的基盤が整ってきているようである。
- このような自動化船の開発は実運航により、改善を重ねることが求められるが、現在の安全規制と関わるが多いから、ロボット開発等で実績があるように、規制緩和特区を設けることが望まれる。

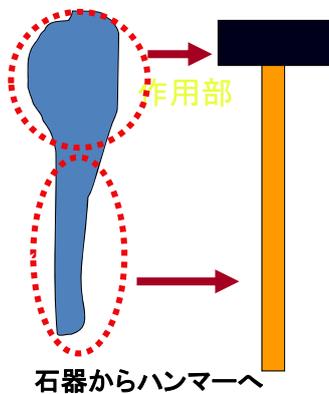
2017/03/08

船の運等自動化に関するワークショップ

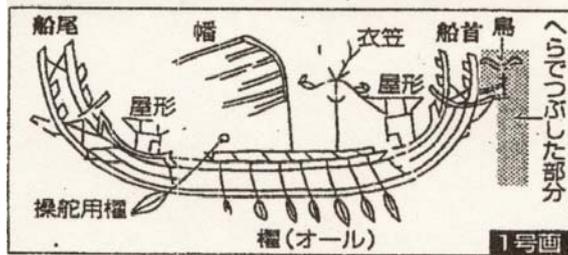
19

## 補遺 終りに換えて

### 技術発展における「機能的分離・単能化、単能的機能の革新と再結合」の役割



2017/03/08



船の: