

(15) 係船ウィンチのファジィ制御システムの最適化

MOORING WINCH CONTROL USING FUZZY CLASSIFIER SYSTEM

岩尾嘉之* 楊 蓓 怡* 岸 光男** 細田龍介***

IWAO Yoshiyuki, YANG Pei-yi, KISHI Mitsuo, HOSODA Ryusuke

In this paper we investigate a fuzzy control system of mooring winches on the tanker vessel. In that system the control knowledge is represented by a set of fuzzy rules. The knowledge acquisition is the main subject in constructing expert systems. The Fuzzy Classifier System is applicable to the knowledge acquisition. The genetic algorithm is introduced in the Classifier System.

Key Words: fuzzy control, classifier system, mooring winch

1 まえがき

船舶・海洋構造物の分野では、洋上作業中の位置保持の自動化技術が発達をとげている。一方、岸壁係船中での省力化を目的として、オート・テンション・ウィンチが開発され多くの船舶に装備されている。オート・テンション・ウィンチは、係船索（ロープ）の張力を一定範囲に保つように動作する。ただし、それには位置制御の機能が備わっていない。そのため、タンカーなどでの荷役作業中の位置保持は、現在でも乗組員が船体と岸壁との間隔や係船索の張り具合を見ながら、経験や勘でウィンチを操作して行なっている¹⁾。

本研究では、荷役作業中の船体位置保持と係船索の破断防止とを目的とした係船システムの制御問題を考える。ただし、係船パターンの多様性を考慮するならば、その制御システムはロバストなものであることが要求される。そのため、ここではファジィ制御を導入する。ファジィ制御では、ファジィ・プロダクション・ルール²⁾の獲得（ルール・パラメタのチューニングを含む）が大きな問題となる。本研究では、機械学習の新しい枠組であるクラシファイア・システム(Classifier System)³⁾を用いて、ファジィ制御システムの最適化をはかる。

2 係船システムの現状¹⁾

係船方法としては、錨泊、ブイ係船などがあるが、最も代表的な方法は埠頭／岸壁係船である。岸壁係船パターンの典型を図1に示す。n本の索それぞれに1台のウィンチを配置し、索の巻き取り、繰り出しによ

*	大阪府立大学大学院生	工学研究科	(〒593 大阪府堺市学園町1-1)
**	大阪府立大学助教授	工学部海洋システム工学科	(〒593 大阪府堺市学園町1-1)
***	大阪府立大学教授	工学部海洋システム工学科	(〒593 大阪府堺市学園町1-1)

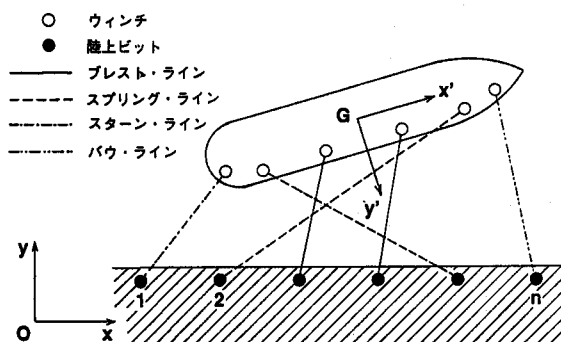


図1 岸壁係船パターン

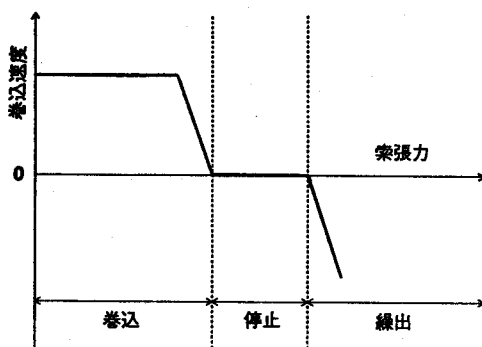


図2 オート・テンション・ウィンチの動作

って船体を所定の位置に保持する。係船中は風、潮流、潮の干満、荷役による喫水の変化などによって、係船索の張力は変動する。張力が過大になって索が破断しないように、乗組員は索の状態を監視する必要がある。そのため、係船中での省力化を目的として、係船索の張力のある範囲内に保つオート・テンション・ウィンチが製品化されている。図2はその動作概念図である。

現在、オート・テンション・ウィンチは多くの船舶に装備されている。しかし、係船索に加わる張力を一定範囲に保つだけでは船体の位置保持は保証されない。タンカーでは、一般に船体中央付近で岸壁側ローディング・アームとタンカー側多岐管とを接合させて荷役作業を進める。そのため、船体の位置保持の制約が厳しく、オート・テンション・ウィンチの使用を禁じている港湾さえある。現在でも、荷役作業中は乗組員が経験や勘でウィンチを操作することが多い。

係船索を接続する岸壁側のビット位置や本数は港湾ごと異なり、気象、海象条件（外乱）によっても係船パターンは大きく左右される。そのため、船体の位置保持を含む係船システムの制御は、多様な係船パターンに対応しうるロバストなものでなければならない。そこで、以下ではファジィ制御の導入をはかる。

3 係船システムのファジィ制御

多様な係船パターンに対応しうる制御システムといっても、既に多くの船舶に装備されているオート・テンション・ウィンチと親和するものが望ましい。そのためにも、ウィンチのオート機能を解除した上で、電磁式制御弁への正転、逆転、ブレーキの信号を制御の操作量にすればよい。以下では、個々のウィンチについてそれぞれ独立に操作量を決定し、ウィンチ間の直接的な協調を考えない制御システムの構築を進める。

ファジィ制御では、制御方法に関する知識を獲得し、それをファジィ・プロダクション・ルール（以下、ファジィ・ルール）として表現する。乗組員は、船体と岸壁との間隔や係船索の張り具合を見ながら、経験や勘でウィンチを操作している。たとえば、「索張力が大きく船の変位が小さいなら、索を少しゆるめる」といった具合にである。船体の位置保持と係船索の破断防止とを目的とするからには、各ウィンチごとに、船位検出点（たとえば船体重心）の変位、その変位速度、係船索の張力、索繰り出し長さの4つを制御量として、操作量を決定していけばよい。船位検出点の変位の測定には、光学的位置センサーの利用が考えらる。ファジィ・ルールの中では、制御量を前件部に、操作量を後件部に配置する。

ファジィ推論の効率を考えて、船体変位および変位速度からウィンチ操作量を求めるルールの集合と、索張力および索繰り出し長さからウィンチ操作量を求めるルールの集合とに分けることにする。また、前件部に配置される各制御量の大きさを3つのファジィ集合、後件部に配置される操作量の大きさを5つのファジィ

IF <索張力 小> and <索繰出長 大> then <ウィンチ巻込 大>

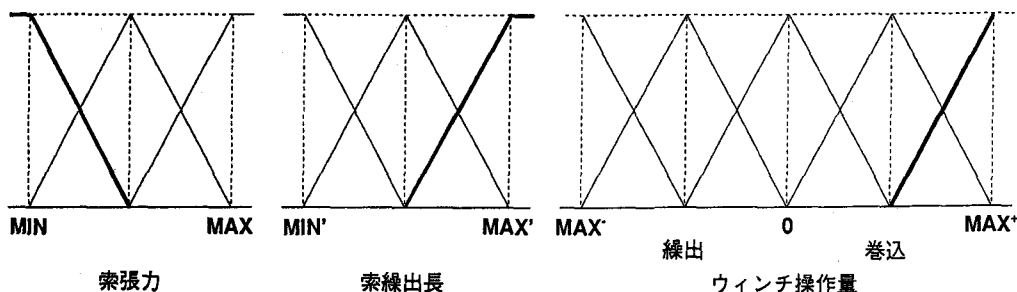


図3 三角型メンバーシップ関数

ィ集合に分けることにする。図3にファジィ集合の三角型メンバーシップ関数を示しておく。

ウィンチの操作量は、以下の手順によって決定する。

- i) 船体変位および変位速度からのウィンチ操作量の算定： ウィンチごとに、x軸方向の位置修正のための操作量 OP_x 、y軸方向の位置修正のための操作量 OP_y をファジィ推論によって求める。ファジィ・ルールは、x軸y軸方向ともに共通のものとする。係船索が担当する役割（バウ、スターン、ブレスト、スプリング）に応じて、各ウィンチごとに OP_x および OP_y に重み w_x 、 w_y を指定し、次式によってウィンチ操作量 OP_1 を求める。

$$OP_1 = w_x OP_x + w_y OP_y \quad (1)$$

- ii) 索張力および索繰り出し長さからのウィンチ操作量の算定： ウィンチごとに、係船索の破断防止のための操作量 OP_2 をファジィ推論によって求める。

- iii) ウィンチの操作量の決定： 操作量 OP_1 、 OP_2 を以下のように比較し、緊急度の観点から実際のウィンチ操作量を決定する。

$$OP_1, OP_2 \text{ が同符号} \rightarrow \text{絶対値が大きい方の操作量} \quad (2)$$

$$OP_1, OP_2 \text{ が異符号} \rightarrow OP_2 \quad (3)$$

4 クラシファイア・システム

新しく提案した係船ウィンチのファジィ制御システムと既存のオート・テンション・ウィンチの性能を、種々の環境条件下でシミュレートして比較してみた¹⁾。その結果、前者は後者に比較して船体変位および索張力ともに許容範囲内に安定して保つことができた。ただし、そこに到るまでに、ファジィ・ルールのチューニングに大きな労力を要した。そこで本研究では、クラシファイア・システムを用いてファジィ・ルールのチューニングの自動化をはかることにする。クラシファイア・システムは、プロダクション・システムを対象とした機械学習の新しい枠組である。図4に示すように、それは以下の要素から構成される。

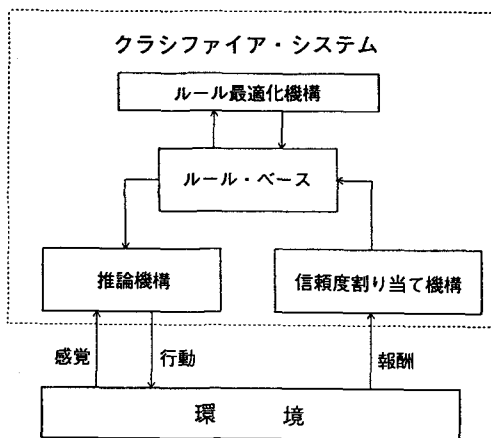


図4 クラシファイア・システム

- a) ルール・ベース： プロダクション・ルールのデータ・ベースのことであり、環境の状態に応じて推論機構にルールを送る。
- b) 推論機構： プロダクション・システムの推論エンジンのことであり、環境の状態に応じてルール・ベースからルールを呼出し、環境に対するアクションを推論する。
- c) 信頼度割り当て機構： 環境に対してアクションを行なった結果を評価し、その評価に応じてプロダクション・ルールに信頼度を割り当てる。
- d) ルール最適化機構： 環境に対するアクションの効果を改善するために、適当な時期に信頼度の低いプロダクション・ルールのチューニングを行なう。

5 シミュレーション・モデル

係船ウィンチの制御システムのシミュレーションを実行しながら、クラシファイア・システムに基づいてファジィ・ルールのチューニングを行なう。

5.1 係船システムの力学モデル

船体運動は6自由度であるが、ここでは、前後揺、左右揺、船首揺の2次元運動のみを考えることにする。座標系は、図1に示すように、船体重心Gに原点を固定した船体座標系(x' , y')、空間に固定した空間座標系(x , y)の2つを考える。船体の運動方程式は、

$$m(\ddot{u} - vr) = F_x \quad (4)$$

$$m(\ddot{v} + ur) = F_y \quad (5)$$

$$I_{zz}\ddot{r} = M \quad (6)$$

で示される。ここに、 u , v は x' , y' 軸方向の並進速度成分、 r は船体重心回り角速度成分、 m は船体質量であり、 I_{zz} は船体慣性モーメントである。 F_x , F_y , M は、船体に作用する x' , y' 軸方向の外力と重心まわりのモーメントであり、それらは潮流、風、波などによる荷重、船体運動に伴う付加慣性力、係船索あるいは岸壁のフェンダーから受ける力の和として求められる。

5.2 ファジィ・クラシファイア・システム

- a) ファジィ・ルール・ベース： 船体変位および変位速度からウィンチ操作量を求めるファジィ・ルールや、索張力および索繰り出し長さからウィンチ操作量を求めるルールが格納される。ルール前件部に配置される各制御量の大きさを3つのファジィ集合に分けたので、ルールの総数は18本($3 \times 3 \times 2$)である。
- b) 推論機構： ファジィ推論にはmin-max-重心法⁴⁾を用いる。
- c) 信頼度割り当て機構： 外荷重についての複数個の時系列(有限時間)を与え、各時系列ごとに係船システムの制御をシミュレートする。シミュレーション中に船体変位および索張力が許容範囲外に出なければ、各ルールに信頼度を割り増していく。逆に、一時的にでも許容範囲外に出れば、信頼度を割り引く。ただし、時間遅れが存在するため、どの時点でのウィンチ操作がその船体応答の原因となったかを特定することはむずかしい。ここでは、船体変位または索張力の値が許容範囲外に出た直前の一定時間内の環境状態を取り出し、その環境状態に対する各ルール前件部の適合度に正比例させて信頼度を割り引くことにする。
- d) ルール最適化機構： ファジィ・ルールの最適化には、ファジィ集合のメンバーシップ関数のパラメタ値(図3のMINやMAX)のチューニングと、各ルール後件部に配置される操作量の大きさのチューニングとがある。本研究では、後者のみを考える。後件部に配置されるウィンチ操作量の大きさとして5つのファジィ集合を考えたので、各ルールごとに5ビット列の変数を準備し、ビットの立った位置

によって操作量の大きさを表現することにする。信頼度の低いプロダクション・ルールは、遺伝的アルゴリズム⁵⁾によって進化させる(淘汰する)。

6 あとがき

具体的な数値計算結果は、シンポジウムの当日提示する。本研究は、日本造船学会の造船設計委員会が主催した『ファジィ理論の船舶設計への応用に関する勉強会』の中での研究成果に負うところが大きい。ご指導を頂いた寶田直之助氏(造船設計委員会)、ご協力を頂いた渡瀬基継(大島造船)、多賀謙治(船舶技術研究所)、稲津晶平(川崎重工業)、清水貴之(サノヤス・ヒシノ明昌)、峰田敏之(石川島播磨重工)、中川貴美子(内海造船)の各氏に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 渡瀬基継 他：ファジィ理論の艦装設計への応用(その1)－係船装置のファジィ制御－，第1回造船設計シンポジウム講演論文集，日本造船学会，pp.1-10，1993.
- 2) たとえば，矢川元基 編：ファジィ推論－計算力学・応用力学への応用－，計算力学とCAEシリーズ，4，培風館，1991.
- 3) たとえば，古橋 武 他：ファジィクラシファイアシステムによるスケジューリング知識獲得，第9回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，日本ファジィ学会，pp.105-108，1993.
- 4) たとえば，水本雅晴：最近のファジィ制御法，数理科学，No.333，pp.20-26，1991.
- 5) たとえば，北野宏明 編：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993.