エキスパートシステムによる舶用ディーゼル機関のシーケンシャル制御*

小 瀬 邦 治** ・ AGOES A.MASROERI**
松 井 利 幸***

Expert System for Sequential Control of Marine Diesel Engines

By Kuniji Kose, Agoes A.Masroeri, Toshiyuki Matui.

To improve operational efficiency and safety, an expert system technology has been utilized widely for automating ship's operations. In the present report an attempt is made to develop an expert system for sequential control of a marine diesel engine.

At first the structure of a typical marine diesel engine with several subsystems is briefly introduced. Taking into account of the relations among many components of such subsystems, the procedures of sequential control are discussed. The procedures were described like "If---, Then---." and build as the knowledge base in a computer. The knowledge base contains the rules not only for normal conditions but also for troubles.

The reasoning engine of the expert system can select sequentially-proper operations and it can also suggest possible countermeasures in trouble conditions. Finally it is pointed out that the expert system thus build can be utilized as an automated sequential operating system and also as a supporting system for marine engineers.

1. はじめに

近年、船舶運航の自動化が進み、とりわけ推進プラントの遠隔監視制御技術は大いなる進歩をとげている。また、乗組員体制には大きな変化があり、増加した混乗船などでは、熟練乗組員を主体とした推進プラントの運転が困難になり、未熟な乗組員にもその責務を負わせる必要が生じてきた。これらの未熟な乗組員が当直を行っていて警報が発生した場合、警報の意味を正しく判断して適切な処置を取ることが困難なケースも多くなる。従って、機関の運転保守に必要な知識を保持し、未熟な乗組員に対して警報の説明または操作の助言を行うシステムが必要となってきた。

本研究では、推進プラントの監視制御装置に、最近注目を集めてきたエキスパートシステムを応用することにより、熟練乗組員と同等な運転保守が行えるシステムの開発を目的としている。なおディーゼル主機関の監視制御システムを構築するにあたり、ワークステーションで稼働しているエキスパートシステム構築ツールの NEXPERT OBJECT を使用した。

2. ディーゼル機関とエキスパートシステムによる制御

2.1 ディーゼル機関の構成と制御 舶用推進プラントは主機関、発電機、ボイラなどの複数のシステムにより構成される。これらのシステムは、機関制御室あるいは船橋の機関監視制御盤で集中的に監視または制御されている。しかし、従来の監視装置は予め定められた運転状態を逸脱した場合に警報を発しているにすぎず、警報の意味、緊急度、対応操作、および原因などの表示は行われな

*原稿受付 平成4年3月13日

平成3年秋季学術講演(平成3年11月8日)

**正会員 広島大学(東広島市西条町鏡山1-4-1)

***正会員 大島商船高等専門学校(山口県大島郡大島町小松1091-1)

い。例えば、主機入口潤滑油圧力が低下して警報が発生した場合、当直者はまず、現状を認識し、その原因を推定または確認し、機関に与える影響と取るべき処置を考えて速やかに対応操作を実行する。従って、警報が発生した場合、適切な処置を迅速に実行できるかどうかは、当直者の熟練度に依存することになる。

図1にCRT方式の監視制御装置によく使われるディーゼル主機のミミックダイアグラムを示す。この図のように、ディーゼル主機関は、潤滑油系統、燃料油系統、冷却水系統、圧縮空気系統、冷却海水系統等で構成されている。また、これらの系統は、タンク、ポンプ、弁、冷却器、フィルタ、ストレーナ等のユニットから構成されており、それらの操作および制御は系統間で共通な部分が多い。従って、これらの機器の設計思想や取扱い方式をルール化して知識ベースを構築する方法が考えられる。また、機関のシーケンシャル制御は、その構成要素である機器と機器の制約関係に立脚し、手順に従って制御を行うものである。従って、制約関係をルールで表し、知識ベース化してエキスパートシステムを構築し、それによってプラントのシーケンシャル制御を行うことは理にかなっている。

2.2 エキスパートシステムとそれによるシーケンシャル制御 入港中あるいは入渠時の主機関休止状態から出港して”RUNG UP”状態になるまでの各機器の運転操作に係わるシーケンシャル制御は、操作手順が複雑で、次のステップに移行する時の適切な判断が必要であり、かなりの熟練を要する。このため、これらの作業を自動あるいは

半自動的に行うシーケンス装置が開発され、実用化されている。ただし、これらの多くは、機関を監視しながら操作を進行させ、異常状態が発生した場合にも自動的に対応する、あるいは乗組員に対して操作の助言を行うといったシステムには至っていない。

図2に本研究で開発したエキスパートシステムの構成を示す。本システムは、機関を監視しながらシーケンシャル制御を行うための知識ベース、計測値や設定値などのデータベース、これらの知識ベースやデータベースを使って推論を実行するための推論エンジンで構成されている。エキスパートシステムは機関監視制御装置の頭脳となり、熟練者と同様な判断を下して機関を自動的に制御する、あるいは操作の助言を行う。オペレータは、ディスプレイを見ながらマウスやキーボードを操作してエキスパートシステムとコミュニケーションをとることができる。

図1 ディーゼル主機関ミミックダイアグラム

図2 開発したエキスパートシステム

(1) 知識ベースの構築法 本研究では，知識表現としてルールを使用する．ルールは，図 3 に示すようにルールエディタと呼ばれる編集機能を使って作成する．ルール形式は，以下の記号構造をとる．

if... then... and do... ifの後には条件の集合が続き、thenの後には条件が満たされた時に真になる仮説が続き、doの後には条件を肯定的に評価したとき実行されるアクションの集合が続く。例えば、「もし潤滑油ストレーナの差圧スイッチがONになったらオートバックウォッシュを実行させ、主機入口潤滑油圧力を計測して潤滑油システムを新しい状態にする。」というルールは図3のようになる。このルールの集まりが知識モジュールになる。さらに、いくつかの知識モジュールの集まりが知識ベースになる。

従って、ディーゼル主機関の知識ベースは各系統の知識ベースで構成され、それぞれの系統は、さらに、複数のユニットをルール化した知識モジュールから成り立っている。このいくつかの系統およびユニットに分割する方法は、知識ベースの保守を容易にし、診断を早める効果がある。この効果は、知識ベースが大きくなればなるほど大きくなる。

さらに，本研究では，効率よく診断を実行する

ため各系統の知識モジュールを、正常状態と異常状態に分けた。異常状態の知識モジュールは、フォルトツリーアナリシス (Fault tree analysys) と呼ばれる方法で構築されている。この方法は、図4に示すように、各機器の異常の原因と対応操作を木構造で表現し、この階層木を詮索することにより原因とその対応操作を導き出す方式である。

(2) 操作手順決定のための推論方法　本システムにおける推論方法は、以下の方法が使われている。

(a) あるルールが別のルールの評価または起動を行う前向き推論　前向き推論は、図 3 に示すように、左辺に書かれた条件の全てが検証済みで真とすると右辺の仮説が真となり、右辺のアクションが実行される。アクションはシステムに変化を及ぼし、この変化は新しいルールの検証を促す。

(b) あるルールを用いて別のルールの条件を検証する後ろ向き推論　後ろ向き推論は、左辺に欠損条件があり、その仮説の検証が必要となるとき、その仮説のルールを探して評価を行う。

(c) 前向き推論と後ろ向き推論を併用する双方向推論 双方向推論は，まず前向き推論で解の候補を出し，次に後ろ向き推論によって解の妥当性を検証することができる．従って，本シス

The diagram illustrates the Rule Editor interface, which is used to define rules for a system. The interface is divided into two main sections: the Left Hand Side (LHS) and the Right Hand Side (RHS).

Left Hand Side (LHS): This section is used to define the conditions of a rule. It consists of a table with four columns: Operator Column, Expression Column, Value Column, and Hypothesis. The table is titled "RULE EDITOR" and has a menu bar with options: New, Modify, Copy, Delete, OK, Cancel, Check, and Quit. The LHS table has a header row with "If", "Is", "PressureDifferentialSwitch", and "on". Below the header, there are several empty rows for additional conditions.

Right Hand Side (RHS): This section is used to define the actions of a rule. It consists of a table with two columns: Actions and Hypothesis. The table is titled "AutoBackWashing_was_processed". The RHS table has a header row with "Rese" and "MainEngineLubOilInlet". Below the header, there are several empty rows for additional actions.

The diagram shows how the LHS and RHS are connected by a diagonal line, indicating the flow of information from the conditions to the actions.

図3 ルールエディタ

図4 フォルトツリーアナリシス

図5 知識モジュール

テムでは、この推論方法が主に用いられる。

図5に示すように、シーケンシャル制御の実行は、推論エンジンが正常状態の知識モジュールに基づいて推論を行い処理していく。シーケンシャル制御の実行中に異常状態が発生した場合、推論エンジンは、その異常状態に関する知識モジュールを詮索し、正常状態に復帰する処置が取られた後に元の知識モジュールに戻り、シーケンシャル制御を続行する。この際、どの異常状態に関する知識モジュールを選択するかは、熟練者の思考プロセスに基づいたメタ知識機能を使って行う。メタ知識は推論を行うときルール間の競合を排除し、ルールの実行の優先権を与える制御機能を持つ。この機能を利用することによって、システムは推論の続く間、優先権の度合いによって最も重要なルールの方向に焦点を合わせることが出来る。

3. 開発したエキスパートシステムと結果

本研究では、ワークステーション上で実際の監視制御盤と同等な機能を実現するため、図6から図9に示すように、ディスプレイの画面をいくつかに分割して使用している。これをウィンドウと呼び、ディスプレイは主ウィンドウ、メッセージウィンドウ、操作ウィンドウなど複数のウィンドウで分割されている。機器の操作、ディスプレイ画面の切り替え操作などは、マウスにより行うことができる。

図6は本システムにより、ディーゼル主機関の暖機開始から”STAND BY ENGINE”までのシーケンシャル制御を行った例である。左上の主ウィンドウはシーケンスの進行状態を表示し、右上の操作ウィンドウで補機類、右下の操作ウィンドウで主機関の発停操作を行う。

エキスパートシステムの推論エンジンはシーケン

図6 エキスパートシステムによるシーケンシャル制御（異常状態）

図7 エキスパートシステムによる機関監視および制御（異常状態）

シャル制御の知識ベースに従って推論を行い、進行状態や異常の有無をディスプレイに表示して行く。もし、作業進行中に異常状態が発生した場合、主ウィンドウに異常状態を表示し、メッセージウィンドウに警報の説明や操作の助言を表示する。例えば、潤滑油系統に異常が発生した場合、画面を図7に示すような潤滑油系統のミミックダイアグラムに切り換えて、メッセージウィンドウの助言に従って操作を行い、図8に示すように、異常状態を正常にもどす。正常状態に復帰した場合、図9に示すように、推論エンジンは、シーケンシャル制御を継続して進行させる。また、これらの一連の動作はエキスパートシステムにより、自動的に制御させることも可能である。

4. ま と め

本研究では、エキスパートシステムによってシーケンシャル制御が可能であることを確かめた。推進プラントの運転に関する設計思想および熟練乗組員

の思考を知識ベースとして構築したエキスパートシステムが乗組員をサポートとすれば、プラントの運転保守は、現状より容易かつ確実に出来るようになると考えられる。

しかし、推進プラント全体の知識ベースを構築する場合、ルールが膨大な量になるため、知識ベースを効率よく構築する方法を考えなければ知識ベースの保守や実行速度の点で問題が生じてくる。さらに、本システムを実用化するためには、コンピュータの知識があまりなくても操作できるシステムにする必要がある。また、本システムはワークステーション上で開発しているため、比較的簡単に乗組員教育用のシステムとしても利用できる。

最後に、本研究にあたり、多くの助言をいただいた日立造船(株)松井顯氏に謝意を表します。

文 献

- 1) D.A.Waterman, A guide to Expert System, 1986, Addison-Wesley Publishing Company
- 2) Hayes-Roth, D.A.Waterman and D.B.Lenat, Building

図8 エキスパートシステムによる機関監視および制御（正常状態）

Expert System, 1983, Addison-Wesley Publishing Company

- 3) Katsoulakos, Hornsby and Zanconato, DEEDS: The Diesel Engine Expert Diagnosis System, Maritime Communication and Control.
- 4) A.N.Perakis and Dillingham, The Application of Artificial Intelligence Technique in Marine Operations, 1987, Ship Operations, Management and Economics International Symposium U.S.M.M.A.
- 5) 藤谷ほか3名, 舶機誌, 25-2 (1990-2), 110.

〔質 疑 応 答〕

質問者 東京商船大学 堀籠教夫

〔質問〕

1. If~Thenルールは、約なん個ぐらいで構成されていますか。

〔解答〕

1. 現在組み込んでいるルールの総数は、主機関のシーケンシャル制御の主要部では、機関監視

機能を含めて約 500 ルールになります。しかし、全てをルール化しているわけではありません。また、階層化したりすると効率のよいルール化が可能で、現在試行中です。

質問者 三井造船(株) 下津正輝

〔質問〕 有効なシステムの開発に敬意を表します。

1. 本システムで取り上げている機関現象の種類は、何種類程度でしょうか。
2. 実船に適用して実験する計画はありますか。いつごろでしょうか。

〔解答〕

1. 本研究では、いかに知識ベース化するかという観点で考えていますので、全ての系統まで詳しく知識ベース化していません。現在のところ、タンク、ポンプ、弁、冷却器などの各ユニットに関する基本的なルールは、約 100 種類程度です。さらに、異常状態、対応処置などのルールを加えると約 130 種類程度になります。これで

図9 エキスパートシステムによるシーケンシャル制御（正常状態）

一応の機能のチェックを行ったわけです。ただし、この知識ベースの階層化などの工夫をしつつあり、今後発表できると思います。

2. 本研究では、このような問題に対するエキスパートシステム利用の有効性とか、知識ベースの構築の方法論を中心に扱っています。実用シ

ステムの開発予定は、いまのところありませんが、混乗船、内航船などでは切実なニーズもあり、メーカー側で出来るだけ早く実船に搭載できるシステムを開発していただければと期待しています。