

# エキスパートシステムによる船用ディーゼルプラントシミュレータ

松井利幸\* 伊藤正一\*\* 櫛田直規\*\*\*

## An Expert System for Marine Diesel Plant Simulator

Toshiyuki MATSUI, Masakazu ITO and Naoki KUSHIDA

### Abstract

Various simulators are installed in a school and a training institution in marine transportation countries in the world. However, the institutions having a full mission type diesel plant simulator in a domestic education organization such as a maritime college or a university are only 1. A full mission type simulator begins to make a trouble state for training and can carry out training with a sense of reality. However, the system needs the staff of instructors to move it, and the number of people which can train by the system at a time is limited. On this account a lot of simulators of a PC base assumed that expense is effective for introduction education and practice cheaply are introduced.

We study a diesel plant simulator for education that a student uses a PC as for the authors, and self-study is enabled. By this report, We report about development of a marine diesel plant simulator which used an expert system to improve an education effect.

Key words: Expert System, Marine Diesel Plant, Knowledge Base, Production Rule

### 1. はじめに

世界を見渡すと海運国を自称する国には学校や訓練施設に各種のシミュレータが設置されている。しかし、国内の商船高専や大学等の教育機関で本格的なフルミッション型ディーゼルプラントシミュレータを有している施設は1校のみである<sup>1)</sup>。これは、多大な設備費用を必要とするためと、各校が練習船を持ち実際のディーゼルプラントの実習が可能となっているためと思われる。しかし、実機では、訓練のための故障状態を容易く作り出すことができない。このために訓練用のシミュレータが必要とされている。フルミッション型シミュレータは、訓練のための故障状態を作り出し、臨場感のある訓練が実行できる。しかし、システムを動かすためのインストラクタ等の人員を必要とし、一度に訓練できる人数に限りがある。このため、費用が安く、導入教育や演習に有効とされるパソコンベースのシミュレータが数多く導入されている。

著者らは、学生がパソコンを利用して独自で学習が可能となる教育用ディーゼルプラントシミュレータの研究を行っている<sup>2)</sup>。本稿では、教育効果を向上させるためのエキスパートシステムを利用したディーゼルプラ

ントシミュレータの開発について報告する。

### 2. 船用ディーゼルシミュレータの概要

演習に使用する船用ディーゼルプラントシミュレータは、図1に示すように、実際のプラント操作を実現したユーザーインターフェイス、ディーゼルエンジンの動特性を再現することができるエンジンプラントモデル、演習を行ってそれに適切な助言及び評価をするための演習・評価システムで構成される。以下に、ユーザーインターフェイス、エンジンプラントモデル、演習・評価システムについて述べる。

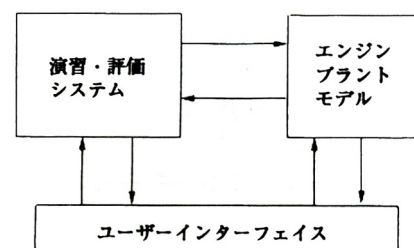


図1 ディーゼルプラントシミュレータの構成

## 2. 1 ユーザーインターフェイス

パソコンを使用して教育を行う場合、まず問題になるのがその操作性である。最近のパソコンでは、ウインドウシステムを中心としたグラフィカル・ユーザー・インターフェイス（以下 GUI と呼ぶ）が採用され、その操作性が格段に進歩している。特に、この GUI を構築して行く上で重要な点は、「直感的に使える」ということと、「類推が利く」ということにある。この GUI の操作性は、パソコンの基本操作ばかりでなく、演習用シミュレータを実行する上でも教育効果を左右する重要なポイントとなる。つまり、通常のディーゼルプラントは、レバー、切替スイッチ、押しボタンなどで操作されるので、パソコン上でもレバー、切替スイッチ、押しボタンなどのグラフィック表示は、一見してそれぞれが判別できるようにしなければならない。また、それらのグラフィック表示上をマウスで操作することにより、「レバーを動かす」、「スイッチを切り替える」、「ボタンを押す」など、実際のプラント上での操作と同様な類似性を実現しなければならない。図2にディーゼルプラントシミュレータの実行例を示す。画面左上にミミックダイアグラム、右側面に計器類、下側に操作パネルを配置してある。また、左下隅のウインドウは、機関室映像を表示したり、エキスパートシステムとの対話を使用することができる。

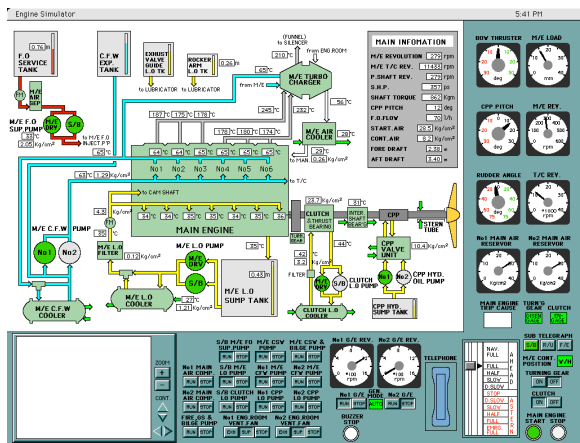


図2 シミュレータ実行例

## 2. 2 エンジンプラントモデル

演習用エンジンプラントモデルは、解析用のモデルのように厳密に動特性を再現する必要はない。むしろ、演習・評価などのルーチンが加わってくるので、一次遅れ程度の簡単なモデルで、計算負荷を抑

えておく方が望ましい。本研究では、モデルプラントとして、練習船大島丸(主機 1300PS、360rpm)の推進機関を使用している。本船は、データ処理システムが装備されており、諸データを自動的に収集することができ、さらに解析を行うことができる。プラントモデルについては、4章でさらに述べる。

## 2. 3 演習・評価システム

フルミッション型シミュレータではもちろんのこと、パソコン型シミュレータにおいても、熟練したインストラクタが必要になる。多くの場合は、実船を経験した機関長や機関士がその任務に就くことが多い。したがって、学生がパソコンを使用して独自で学習ができるシミュレータを実現するためには、熟練したインストラクタと同等の知識を持ち、学生の操作を監視してその整合性を判断できるエキスパートシステムが必要になる。

## 3. 使用機器

最近のパソコンは、かつてのスーパーコンピュータをしのぐ演算処理能力をもち、GUIの操作性も格段に進歩し、マルチメディア環境を装備している。開発に使用するパソコンは、演習に使用されている一般的な性能のパソコンと同等であることが望ましい。また、オペレーティングシステムは、Windowsが圧倒的に汎用性がある。しかし、これまでの開発の経緯から、Mac OS X(UNIX)ベースのパソコンを用いてプロトタイプを作成した。このパソコンは、Windowsも動作させることができるので開発環境を共通なものにすれば、プログラムの移植は困難な問題とはならない。開発に使用しているパソコンを、表1に示す。

表1 開発に使用したパソコンの仕様

本体	iMac Core 2 Duo
CPU	Intel Core 2 Duo(2GHz)
RAM	DDR2 SDRAM 1GB
HDD	ATA 160GB
DVD/CD	DVD±RDL/DVD±RW/CD-RW
Display	17" LCD (1440*900dot)

## 4. エンジンプラントモデル

エンジンプラントモデルは、練習船大島丸を例に

して、機器モデル、推進性能モデル、主機運転性能モデル、プラントのヒートバランスモデルなど、船舶の停泊状態および運航状態を再現するために必要なモデルを構築している。以下に、それぞれのモデルについて示す。

#### 4. 1 機器モデル

各機器は、図3に示すように、検出データをメンバとする構造体で定義している。シミュレーションを実行する上で、各機器の状態は、計算で求めた値を各メンバが保持することで表される。また、各機器のメンバは配列指定を行えば、トレンドデータも保持できる。この定義は、他のディーゼルプラントモデルに利用できる。また、エキスパートシステムとのデータの受け渡しにも使用される。

```

Structure MainEngLOCooler{
    short    lo_in_temp;
    short    lo_out_temp;
    short    csw_in_temp;
    short    csw_out_temp;
    double   lo_in_press;
    double   csw_in_press;
    double   lo_flow_rate;
    double   csw_flow_rate;
    double   heat_transmission;
}MainEngLOCooler;
    
```

図3 機器の構造体例

#### 4. 2 静特性および動特性

通常、船舶の竣工時に行われる海上公試運転では、D.SLOW、SLOW、HALF、FULLなどのテレグラフオーダで試験を行わない。したがって、シミュレーションに必要な動特性を得るために、いくつかの試験を行ってデータを採取した。図4に、これらの試験から得たCPP翼角と船速および主機運転緒元の静特性を示す。また、図5に出港時の試験データを示す。

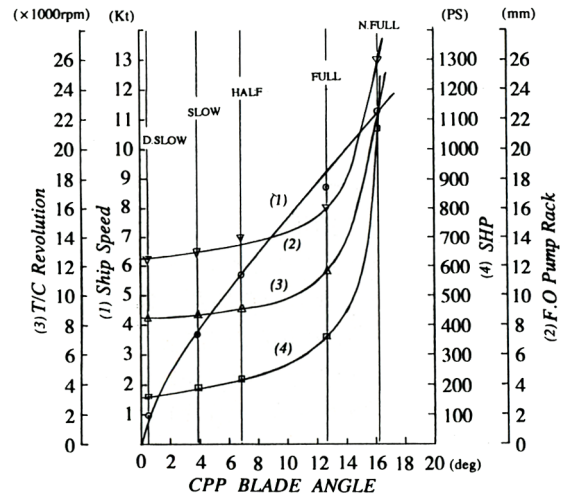


図4 CPP翼角と主機関緒元の静特性

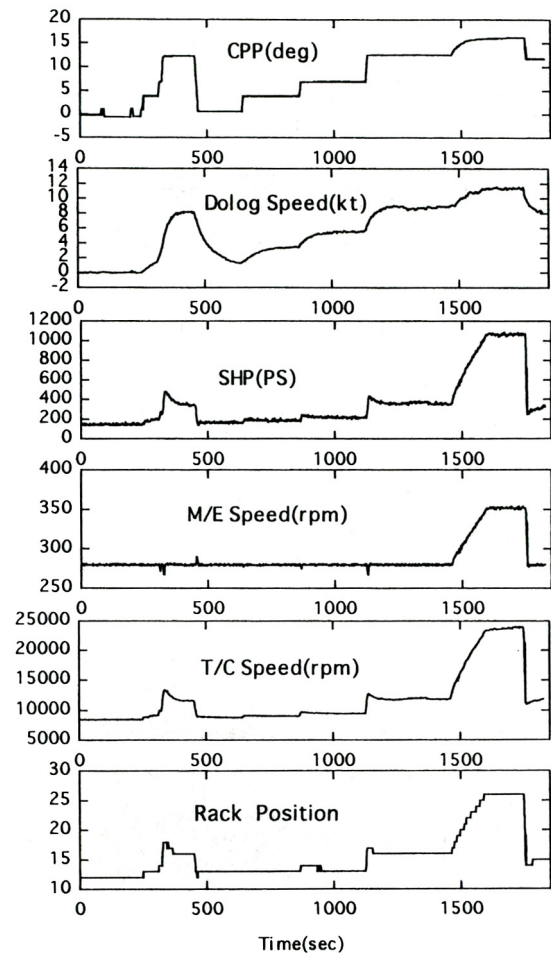


図5 出港時の試験データ

これらの試験結果より、主機操縦ハンドル操作を行った場合の運転緒元は、小さな時定数は無視して下式による近似を行った。

$$X_i(k+1)\tau = \exp(-\tau/T_{ij})X_i(k\tau) + K_{ij}(1-\exp(-\tau/T_{ij}))$$

ただし、 $X_i$ : 船速、軸出力、T/C回転数、FOポンプラック位置など

$k$ : サンプル番号

$\tau$ : サンプル周期

$T_{ij}$ : 変数  $X_i$  に対する  $j$  ステージにおける時定数

$K_{ij}$ : 変数  $X_i$  に対する  $j$  ステージにおけるゲイン

操縦ハンドル位置に対する運転緒元の動特性は、上式で表すことができるが、各部の温度関係はさらに時定数が大きく、正確に再現すると演習時間がかかりすぎるという問題が発生する。図6に主機運転性能曲線を示すが、これは一定時間が経過して機関の状態が安定した時のデータを基に作成される。したがって、ハンドル操作後短時間しか経過していない場合には、出力と温度の関係は変わってくる。しかし、演習を速やかに行うため、本シミュレータでは、以下の式による近似を行っている。

$$T = aP^b$$

ただし、 $T$ : 排気ガス温度、空気温度 [°C]

$a, b$ : 定数

$P$ : 軸出力 [PS]

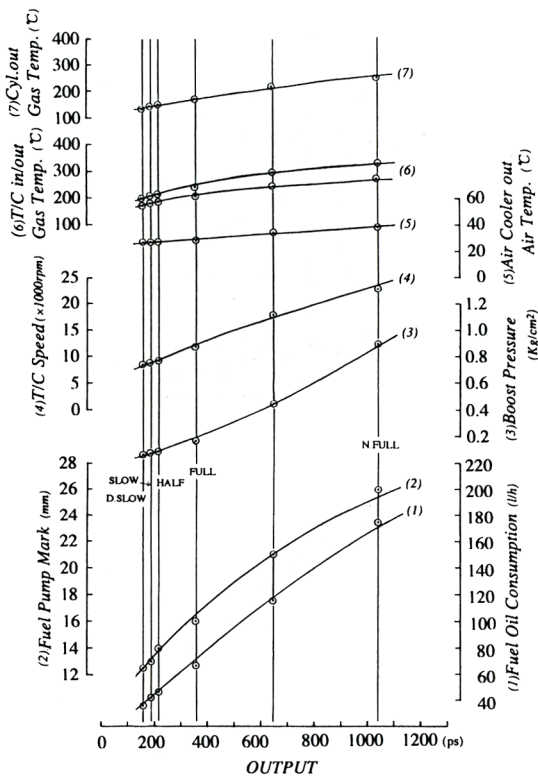


図6 主機関運転性能曲線

また、ポンプ、冷却器などの出入口温度は、主機関、

発電機を熱源とみなして、次式により、ヒートバランスを計算して求めている。

$$Q = \gamma qC(t_2 - t_1)$$

ただし、 $Q$ : 熱交換量 [J/h]

$\gamma$ : 流体の比重 [Kg/m³]

$q$ : 流量 [m³/h]

$C$ : 流体の比熱 [J/Kg・°C]

$t_1, t_2$ : 入口温度、出口温度 [°C]

正常状態では、冷却媒体と被冷却媒体双方の熱交換量は同じとして計算するが、交換量を変えることにより、冷却管の汚損等による不具合や故障なども表現できる。また、ポンプの故障、バルブの開け忘れなど、流量の減少による各部温度の変化を計算し、異常状態を再現することができる。図7にヒートバランスの計算例を示す。

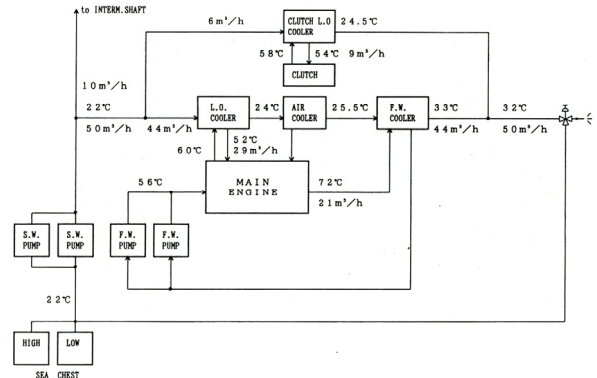


図7 ヒートバランス計算例

## 5. 演習・評価エキスパートシステム

演習・評価のためのエキスパートシステムは、プラントの各機器の役割および各機器間の関連、運転方法および手順、よくある誤操作ケースなどプラント全体を運転・管理するための知識を持つ必要がある。また、演習者の操作における判断の間違いや判断できないままでの操作継続の過程を追いながら見守っておき、それを検証しながらアドバイスを行ったり、最終的な評価を行う機能が必要になる。

エキスパートシステムを構築するにあたり、本研究では、プロダクションシステムを用いる。プロダクションシステムは、図8に示すように、ある事象をもとに、推論エンジンが知識の集まりであるプロダクションルールを適用して推論を行い、結論を出す。この推論方法は、前向き推論と呼ばれるが、演習者の一連の操作を評価する場合、結論が正しかつ



たかどうかを検証するための後ろ向き推論を行う機能も必要となる。

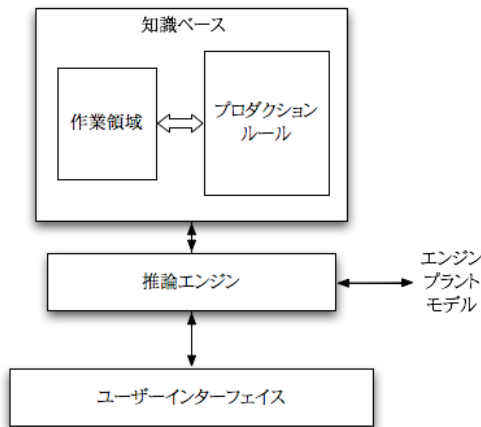


図8 エキスパートシステム

### 5. 1 知識ベース

プロダクションルール(以下、ルールと呼ぶ)は、「IF 条件部 THEN 結論部」という形式で表される。知識ベースは、これらのルールの集まりであるが、推論および検証を効率よく行うためと知識ベースに汎用性を持たせるために、系統だった知識モジュールに分ける必要がある。

図9に、演習者の能力や個性に合わせて教えるためのシステムを示す。インストラクタ知識は、演習者のレベルや理解度などのデータをもとにして、演習知識から適切な内容を取り出して教えたり、演習者の誤りを見つけて指導したりヒントを出したりするためのルールの集まりである。また、演習者の一連の操作の評価も行う。

演習知識は、ディーゼルプラントの運転・管理に関するすべての知識で、図10に示すように、運転操作知識モジュール、各機器の知識モジュールや各系統の知識モジュールなど多くのモジュールで構成され、それぞれのモジュールが複雑に関連したネットワークを形成している。

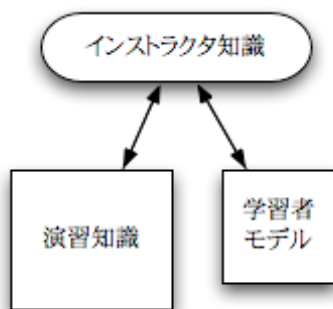


図9 知的演習システム

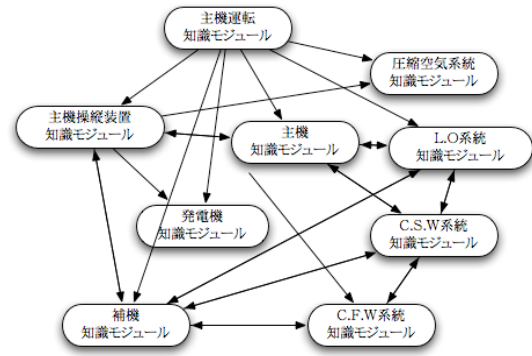


図10 演習知識ネットワーク

### 5. 2 推論エンジンとメタ知識

演習知識は、系統的にモジュール化されているが各モジュールに属するルールは膨大な量になる。円滑な演習を行うためには、パソコンの処理能力や推論エンジンの性能が重要な役割を果たすが、効率の良い推論を行うためには、どのルールを選択してどのように利用して行くかを示すメタ知識が必要になってくる。このメタ知識は、熟練したインストラクタの思考を表す重要なルールともいえる。推論エンジンは、このメタ知識により、複雑な知識モジュールから適切なルールを呼び出して効率の良い推論を実行することができる。

### 6. 課題

停止、運転、故障などの諸状態を作り出すシミュレータは、ほぼ満足のいくシステムが完成しているが、演習・評価システムは、演習項目、学習者モデル、評価方法などに解決すべき課題が残されている。以下に、それらの課題を示す。

- 1) 演習項目を増加させると操作方法や手順がそれぞれ異なるため、そのための知識モジュールが増えて行く。
- 2) 学習者モデルを初心者にとどめないと、演習指導評価のためのインストラクタ知識モジュールが多岐に渡り、システムが複雑になる。
- 3) 操作方法や手順の間違いばかりでなく、その操作がエンジンプラントに異常をきたす前に気付いて適切な処置をした場合の評価など、経過時間を含めた評価を行うことが望ましいが、評価方法の確立ができていない。

## 7. まとめ

以上、エキスパートシステムを利用した船用ディーゼルプラントシミュレータについて述べた。シミュレータそのものは、完成度の高いシステムが作れたが、優れたシミュレータだけでは教育効果は上がらない。演習者の能力や個性に合わせて教えることができる知的演習システムを実現するためには、多くの課題を残している。マルチメディア環境を利用した導入教育用プログラムを活用して、ある程度の予備知識を持たせておくなど演習対象者を限定することにより、プロトタイプの開発を促進していきたい。

## 参考文献

- 1) 早田文雄：船用ディーゼルプラントシミュレータの最新技術と開発、日本マリンエンジニアリング学会誌、Vol.43No.3、2008
- 2) 松井利幸、伊藤正一、櫛田直規、他 1 名：マルチメディア環境における教育用ディーゼルプラントシミュレータ、日本船用機関学会、Vol.31 No5、1996
- 3) 小瀬邦治、松井利幸、アゴエス A.マスルリ：エキスパートシステムによる船用ディーゼル機関のシーケンシャル制御、Vol27 No11、1992
- 4) アゴエス A.マスルリ、松井利幸、小瀬邦治：エキスパートシステムによる船用ディーゼル機関のシーケンシャル制御-知識ベースの階層構造化-、日本船用機関学会、Vol28 No.10、1993
- 5) 伊藤正一、櫛田直規、松井利幸、他 1 名：船内 LAN によるデータ処理システム-練習船大島丸の場合-、日本船用機関学会、Vol.30 No.10、1995