

運転ルール自動生成についての考察

村山雄二郎*・長尾 和彦**・松下 邦幸***

A consideration about the automatic generation of the system operation rules

Yujiro Murayama*, Kazuhiko Nagao** and Kuniyuki Matsushita***

1 まえがき

船用機関のようなシステムの運転には、そのシステムの安全を保つために運転ルールが定められている。しかし、同じ船用機関システムといっても、規模や構成の違いによって全く同じシステムのものほとんどなく、システムが異なるごとにシステム運転ルールもまた異なる。

特に最近の自動化、知能化されたシステムや、大規模なプラントシステムの運転支援には、正しい運転ルールの確立が不可欠である。弓削商船高専において開発がおこなわれている CE-SYS (機関長システム)^{1,2,3,4)}のような新しい概念の運転支援システムは、機関システムが異常になってもその状態に応じた新たなルールの作成機能があれば、その活用範囲は非常に大きなものになることが期待される。

しかし、運転経験の少ない新しいシステムや複雑で大規模なシステムの正しい運転ルールを作成することは容易ではない。また、従来からのシステムにおいても、システム異常時や故障時の正しい運転ルールの作成は容易ではないが非常に重要であり、そのときのシステムの異常状態に応じた運転ルールをリアルタイムに自動生成する方法の確立が、切にのぞまれるところである。

ここでは、正しい運転ルールの自動生成の実現をめざして、運転ルール自動生成の手法やその問題について考察してみたい。

2 運転ルール

一般に運転ルールは文章で書かれており、これを自動生成するために理論的に扱うのには便利な形ではない。そこで、ここではシステムの状態を含めて運転ルールを理論的に扱いやすい形で表現することを考えてみたい。

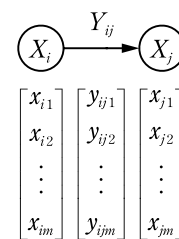


図1：状態と運転の表記

2.1 運転ルールの表現

システムの運転ルールは、起動・停止時やシステム異常時のように非定常状態の時に、システムの安全を確保するために特に必要で、その役割は重要である。そのため、ここではシステムの起動・停止やシステム構成機器の状態を考慮して運転ルールを次のように表現することとする。

図1に示すように、システム状態 X_i のときに、運転 Y_{ij} を実行すると、状態 X_j に遷移するとする。

状態 X_i のとき、多数の可能な運転の中から Y_{ij} という運転を選択したとする。このとき、「システム状態 X_i の時に、運転 Y_{ij} を実行する。」ということルール R_{ij} とする。また、状態 X_i における可能なルールの集合を R_i とする。

システム状態 X_{start} から X_{end} にいたる安全なルール $r_i \in R_i$ の系列 $[r_1, r_2, \dots]$ が運転ルール R である。

これを作成することが運転ルール自動生成の目的である。

2.2 システム状態の表現

システムが m 個の機器で構成されているならば、システム状態 X_i は j 番目の機器の状態 x_{ij} を要素とする $m \times 1$ のベクトルで表せるとする。

*元情報工学科

**情報工学科

***商船学科

$$X_i = \begin{pmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \vdots \\ x_{im} \end{pmatrix} \quad (1)$$

システムが m 個の機器で構成されているならば、運転 Y_i は j 番目の機器の運転 y_{ij} を要素とする $m \times 1$ のベクトルで表せるとする。

$$Y_i = \begin{pmatrix} y_{i1} \\ y_{i2} \\ \vdots \\ y_{im} \end{pmatrix} \quad (2)$$

機器の状態 x_i は、停止、運転、on、off 等のほか、状態量がある範囲に入っていることの正否というように 2 値 (0 or 1) に限っておく方がこの論文の範囲では扱いが容易であるが、将来は一般論として連続量への拡張も考慮したい。

運転ルール $R = [r_1, \dots]$ の系列作成の問題は、後で述べる。

2.3 運転ルールの備えるべき条件

運転ルールは一般的に次の要件を備えるべきである。

- 運転の結果、システムは安全である。
- システム構成の変更に対応して、安全に運転ルールを変更できる。
- 運転ルールの予想する遷移結果状態と実状態が異なった場合でも安全に対応ができる。
- ルールに違反した運転をした場合にも安全に対応ができる。

これらの要件は、人間・機械系の安全を確保する上で欠くことのできない問題であるが、その実現が難しいゆえにとすると無視されやすい事柄であるので、ここにあらためて掲げておきたい。

3 ルールの生成手法

運転ルールの自動生成には、大きく分けて次の二つの方法が考えられる。

3.1 ボトムアップ法

機関長等、実務者の経験に基づいた個々のルールを、運転ルールの備えるべき要件に照らしながら、システム状態 X_{start} から X_{end} にいたる安全なルール R の系列 $[r_1, r_2, \dots]$ を作成する。

主として、既存のシステムの運転ルールの作成方法に準ずる。

3.2 トップダウン法

システムの機能と構成などのシステム特有の特性、また、物理、化学等の科学的な法則、および、安全性、人間機械系の特性、使用する材料等の特性などに基づく工学的な規則などからできている上位のルールに基づき、下位の運転ルールを作成する。

新しいシステムや、既存の概念のシステムでも大規模、複雑なシステムの運転ルールは、この手法が有用と考えられるが、あまり経験の無い手法ではある。

既存のシステムの運転ルールを作成する場合は、経験に基づき前述のボトムアップ法で作成し、このトップダウン法で運転ルールの安全性などを検討していると考えられる。

運転経験のないシステムの運転ルールの自動生成を試みる場合は、必然的にトップダウン法を採用することになるが、未だ例を見ない。

本論では、その実現への問題点を整理してみたい。

4 上位のルール

上位のルールには、運転ルールを一般化、抽象化したものに相当するルールの他に、システムの安全確保のためのルールや運転操作の誤りに対処するためのルールが必要である。

そのルールは次のように分類されるべきであろう。

- | | |
|--------|--------------------------|
| Meta 1 | システムの作動原理や機能に基づく基本運転原則 |
| Meta 2 | システムの構成に関する情報に基づく運転ルール |
| Meta 3 | システムの破壊に導くような運転を防ぐ運転ルール |
| Meta 4 | 運転操作を間違えた時の処置に関する基本運転ルール |
| Meta 5 | システムの一部が異常になったときの基本運転ルール |

上位のルールは、階層構造を持っていると考えられる。すなわち、運転ルールのすぐ上位のルールは、安全を含めて工学的なルールであるべきであり、上層にいくにしたがって科学的な法則や抽象的なルールになると考えられる。

後に述べるように、上位のルールから下位のルールを

生成する際に必要となる条件を、上位のルールは備えていなければならない。少なくとも、上位のルールは、下位のルールで使用する機器名を含んでいることと、それらの関係を説明するルールになっている必要がある。その他の備えるべき条件は、まだすべてが明らかにはなっていない。上位のルールを作るための方法の確立が、急がれるところである。

5 運転ルール自動生成

原理的には、次の順序で運転ルールの自動生成をおこなう。

1. すべてのシステム状態を4で述べた上位のルール Meta 1 ~ 3 に照らし合わせて、システム状態の中から運転上とり得る安全な状態だけを選択する。
2. 選択されたシステム状態だけをつないで、 X_{start} から X_{end} にいたる系列を形成するルール r_i の系列を模索する。

ルール系列の模索には、組み合わせの全数チェックのように原始的方法が原理的には容易であるが、複雑なシステムの場合には上位ルール Meta 1, 2 の助けを借りるのが上策である。たとえば、上位ルール Meta 1 にシステム構成機器の運転順序に関するルールや、上位ルール Meta 2 サブシステムの系統数や種類の情報を含むルールをいれておくことである。

しかし、運転ルールの自動生成をおこなうに際しては、上位ルール Meta 1, 2 の定式化やそれらをルール系列作成に関与させる方法は未だ開発されておらず、今後の課題として残されている。

すべてのシステムに必ずしも有効な方法とは言えないが、船用機関システムのようにシステム状態が上位ルール Meta 1, 2 に基づいて、 X_{start} から X_{end} までポテンシャルを持つようなシステム状態 X の表現をとり得る場合には、容易に通常の出発法でルール R_i の系列が解として得られる。

このようなシステムは自動生成を行わなくても正常時の運転ルールは容易に得られるが、最も必要とされる異常時の運転ルールは、やはり上述の順序に従わなくては得られない。

6 現状における問題点

運転ルールの自動生成についてのここまでの考察をふまえて、その実現への問題点を挙げておきたい。

1. 運転ルール生成理論の確立
前述のような方法も生成の一方法ではあるが、大

規模で複雑なシステムに対する一般的な方法を確立することは、問題点として残っている。特に、ひとつ上位のルールから運転ルールを生成する一般的な論理はまだ確立していない。

2. 運転ルール生成の論理を実行するソフトウェアの作成

これは、生成理論が確立され、上位のルール等のデータベースが与えられれば、LISP, Prolog, または Visual BASIC といった文を扱えるコンピュータ言語を用いて作成することに本質的な困難はないと考えられる。

3. 上位のルールの構造と具体的な表現法

これが本命題の本質的な問題点である。上位のルールは、階層構造であることは確実である。下の階層にあるルールほどシステムの構造、機能など物に関連した具体的なルールであり、上の階層ほど物理法則、安全概念など抽象的なルールになることが予測される。この問題の解決のためには、既にわかっている運転ルールを導き出してくるひとつ上位のルールを逆に見つけ出して、その論理的な表現を試みることの繰り返しだが、突破口となる新しい技術を見つけることになると思う。

このほかに、システムを構成する機器が多いことに基づく組み合わせの爆発を防ぐためのフィルタリング⁵⁾等の二次的な技法の開発が、具体的に自動生成がおこなわれる際に問題点として現れてくると考える。

7 おわりに

運転ルールの自動生成技術の開発は、いまだ実現からは遠い壮大な夢であるが、人間機械系でもあるシステムの安全確保や有用な運転支援技術の確立のためには、避けて通れない命題でもある。それどころか、この命題の解決は、本質的にはシステム安全の確保や真の運転支援の実現と同等の事柄のようである。

しかし、その解決の困難さからか未だ着手されていないのみならず、解決の糸口さえ見つかっていないのが現状である。この小文がこの分野の開発の嚆矢となることを強く希望する。また、その開発には、豊富なシステム運転経験と、論理的な考察力が必要と考える。本校における練習船機関システムの運転ルールを例に、さらに研究を進めて行きたい。

参考文献

- [1] Nagao, Matsushita, "A concept of agent system for marine operation on the training ship", Proc.

of KES2000 , 2000

- [2] Matsushita, Nagao, "Support System of Marine Engine Operation based on skilled Chief engineer's knowledge", Proc. of ISME2000 , 2000
- [3] Matsushita, Nagao, "The Personal Computer-aided Engine Operation Support System based on Oral Communication between Human and Machine", Proc. of IMLA11, 2000
- [4] Nagao, Matsushita, "More flexible user interface for support system of marine engine operation", Proc. of KES2001, pp. 403 - 407 , 2001
- [5] 長尾, " 制約関係を用いたジグソーパズルの計算機解法 ", 電子情報通信学会論文誌 Vol. J73-D- II No. 10pp. 1725 - 1732 , 1990