

# 1G-4 知識工学の変電所操作手順自動作成への適用

— その 3 —

後藤久司<sup>1)</sup> 横井重雄<sup>1)</sup> 田中明<sup>2)</sup> 水鳥哲也<sup>2)</sup> 秋田徹<sup>2)</sup>  
 東京電力株式会社<sup>1)</sup> 株式会社明電舎<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

変電所設備の保守点検のための設備停止・使用を目的とした操作手順書の作成について報告する。この作業は、一連の開閉器操作の他に、設備機器の運用状態に応じた安全確認の指示、変電所が定める運用規則等、種々の経験的知識が必要である。コンピュータによる操作手順の自動作成を実現するために、我々は知識工学の観点からの研究を行い、標準的な一次変電所を対象として知識工学手法の適用可能性を検証している[1, 2]。

知識ベースの構築には、変電所設備機器の構成と電気的接続関係を適切に表現する変電所モデル(フレームシステム)の設計と、変電所運転員の経験的知識を効率よく記述する規則表現(プロダクションシステム)、およびこれらの知識を総合して解を導く推論機構の開発が重要である。

前回までの報告では、変電所モデルの構成法と、運転員が持つ経験則をメタ規則により体系化する方法について概論した[2]。本稿では、この考え方に基いて製作した、操作手順自動作成のためのエキスパートシステム(VIRGO)を紹介する。システムはオブジェクト指向言語KDLにより記述され、メソッド駆動方式がシステム設計における主導原理であることを解説する。最後にいくつかの実験結果を示し、我々の採用した知識表現手法が適正であったことを説明する。本システムはVAXステーションII/GPXによって試作された。

## 2. 知識表現言語KDL[3, 4]

KDL(Knowledge Description Language)は、エキスパートシステム構築用に開発した知識表現言語であり、Comm on Lispによって記述されている。KDLの特徴は、フレームシステムとプロダクションシステムをオブジェクト指向のもとに統合し、より多彩な知識表現と柔軟な推論機構を実現したことである。特に、フレームの属性として、スロット・メソッドの他に、規則を記述できるため、経験的知識をオブジェクト固有の知識として表現できる。

規則は、プロダクション形式で記述される：

IF <条件部> THEN <実行部>。

条件部には、この規則が適用される制約項目を書く：

- (1) 作業記憶(WM)上の任意のパターン：Prolog風の強力なパターン照合ができる。
- (2) フレーム内のスロット：値の条件付き参照が可能。
- (3) Lisp関数およびメソッドの評価実行。

実行部には、以下のような文を書くことができる：

- (4) データベースの更新、規則適用結果の記録。
- 例：(ASSERT(WM 操作文 閉じる LS101 A1L))
- (5) メソッドの呼び出し、他のモジュールの実行。
- 例：(SEND LS101 開閉器操作 閉じる)

このように、規則の記述中にパターン照合やメソッド呼び出しが自由に組み合わせられることにより、プロダクション規則の記述能力が向上する。

## 3. システム構成

### 3.1 オブジェクト指向に基づく設計

システムの構成はオブジェクト指向の考え方に基いて設計されている。これから、ふたつの特長を得る。

(1) システムモジュールの独立性が高まる：モジュールはひとつのオブジェクトであり、その実行は相互にメソッドを呼びあうことにより行われる。システム設計におけるモジュール分割が有効に実現される。

(2) 変電所設備に固有の処理手続きが自然に表現できる：KDLでは規則集合もオブジェクトの属性である。経験的知識に基づく設備機器の処理手続きは、プロダクション規則で記述できる。また、実際には処理名が同じでも対象設備毎に処理内容が異なる場合が多い。この差異はオブジェクトの相違によって、自然に達成される。

オブジェクト指向のメソッド駆動方式は、操作手順作成の現実の作業過程によく合っている。たとえば、システムの入力要求に相当する目的指令は、メソッド送信の系列に展開されて実行される。目的指令「主母線作業停止する」は、対象設備「主母線」(オブジェクト)に対する指令用語「作業停止」(メソッド)の呼び出しに変換される。指令用語の実行は、オブジェクト内に記された規則集合の適用により行う。経験的知識は、設備毎に規則集合として記述されていて、推論結果として操作手順表が導出される。続いて、プロダクション規則は、他の設備機器にメッセージを送り、必要な情報を参照して規則の適用条件を判定し、適用結果を作業記憶に蓄積する。このように、システムの処理はモジュールと設備の独立性を保ちながら実行される。

### 3.2 システムモジュール

システムは以下の基本機能から構成される。

- (1) 目的指令作成：指令用語と対象設備を組み合わせて、目的指令を作成する。指令用語毎に対象設備の範囲が異なるので、メニュー選択方式による適切な案内を実施する。簡単な日本語処理により、目的指令を読みやすい文章に翻訳して表示する。

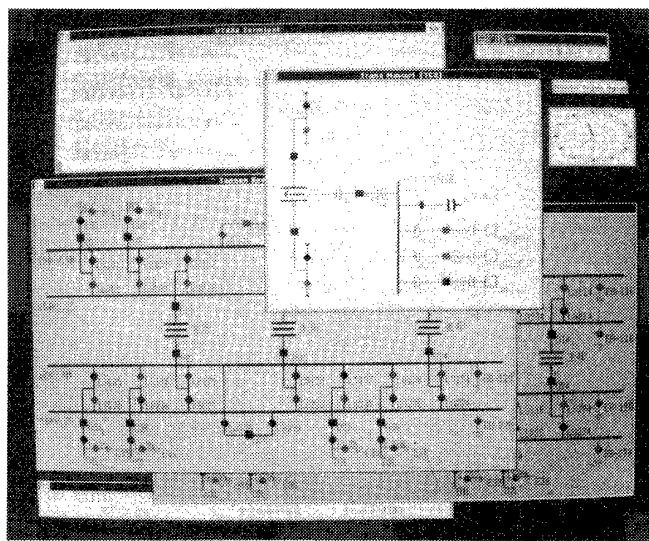


図1. エキスパートシステム作業画面

An Expert System for Generating Switching Sequences at Substations -VIRGO-  
 Hisashi Goto<sup>1)</sup>, Shigeo Yokoi<sup>1)</sup>,  
 Akira Tanaka<sup>2)</sup>, Tetsuya Mizutori<sup>2)</sup>, Toru Akita<sup>2)</sup>  
 The Tokyo Electric Power Co., Inc.<sup>1)</sup>, Meidensha<sup>2)</sup>

(2) 操作手順表作成： 目的指令に対して、設備機器の構成と運用状態を参照しながら操作手順表を作成する。上述のように、作成過程はメソッド送信系列へ展開される。作業記憶に蓄積された結果は内部形式として、後続のモジュールに渡される。

(3) 印刷書式編集： 操作手順内部形式を、一定の印刷書式に翻訳変換する。変換規則をKDLのプロダクション規則で記述しているため、書式変更への対応が容易である。変電所毎に異なる印刷書式に対処できることを考慮した。

変換規則の記述例（「無電圧確認」）

(WM 内部形式 ?設備 無電圧確認)

(FRAME ?設備 電圧階級 ?定格電圧値)

-->

(WM 印刷書式 ?設備 V < ?定格電圧値 \* 80% 確認)

(4) 操作手順模擬実行： 作成された操作手順を、手順毎に解析して模擬実行する。結果は単線結線図に表示され、目的指令が適正に展開されたかどうかの判定が画面上で容易に確認できるようにした。操作手順表は、主回路に関する開閉器操作文とか、操作に関する安全確認文等、種々の手順を含む。それぞれに実行する手続きが異なるため、その処理の内容はプロダクション規則形式で記述し、変化に対応できるようにした。

4. マンマシンインタフェイス

システムの中ではマンマシンインタフェイスが果たす役割は重要である。特に、単線結線図は変電所設備機器の接続関係の図示、設備機器の運用状態の確認、操作手順の模擬実行経過の表示等、種々の機能を持つ。本節では、単線結線図表示モジュールの設計方針と利用法を説明する。

4.1 単線結線図の利用目的

単線結線図モジュールは、変電所スケルトンを画面上に表示し、設備機器の状態を視覚的に図示する（図1）。

- (1) 変電所スケルトンの表示： 変電所モデルの全体構成図、変圧器3次側詳細図等を表示する。利用目的に合った情報を提供するために、数種類の単線図を用意している。
- (2) 設備機器の状態表示： 設備の電圧有無の状態、開閉器の入り切り状態を色別にして図示する。また、設備記号をマウスで指示することにより、オブジェクトが持つ各種の情報を簡単に参照できるようにした。
- (3) 模擬実行の経過と結果表示： 操作手順表の各操作を実行し、その結果を画面上に表示する。開閉器の入り切り操作により、設備の電圧有無の状態が動的に変化する。設備の現在の充停電状態が単線図上で確認できるようにした。
- (4) 模擬入力： 単線結線図上の開閉器記号をマウスで指示することにより、開閉器の入り切り状態を変更できる。操作手順表作成の初期状態を設定する。

4.2 単線結線図の設計方針

単線結線図を画素オブジェクトの集合で定義する。メソッド駆動方式では、単線結線図全体の表示とか、開閉器の状態表示変更の指示は、各画素オブジェクトへのメッセージ送信により実行される。たとえば、模擬実行による開閉器の状態変更の過程は、次の系列に分解される（図2）。

- ①開閉器への状態変更の指示(change\_status)。
- ②開閉器状態についてのデータベース更新(set\_status)。
- ③対応する開閉器画素の再描画(draw)。
- ④所属する接続子への状態伝播の指示(check\_status)。
- ⑤接続子から隣接する設備へ電圧有無確認の指示。
- ⑥必要があれば、④と⑤を繰り返す。

(1) 変電所設備画素クラスの定義： 設備画素は、設備クラスに準じた階層構造を持つ。画素オブジェクトも、設備オブジェクトと同様な意味ネットを形成する。

(2) 単線結線図クラスの定義： 利用目的に合った情報を

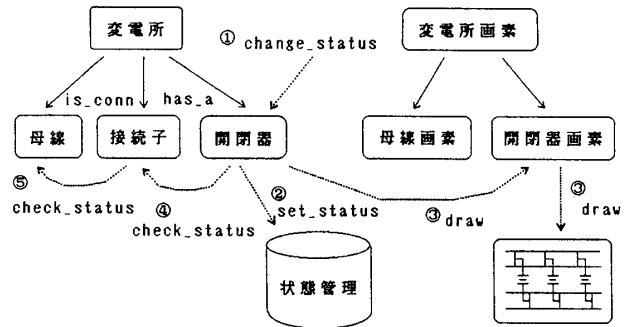


図2. 開閉器状態変更のプロセス

提供するために、変電所モデルを階層化して、全体図と部分図の構成関係からなる単線結線図クラスを定義した。部分単線結線図に、どの設備機器が表示されるかは、画素オブジェクトへのリンク member\_ofによって決定される。

(3) 接続子画素オブジェクトの定義： 設備の場合と同様に、接続子画素は単線結線図を表示する時にも重要である。

(4) 単線結線図の構成図編集： マウスの指示により、設備機器の位置を移動できる。変更箇所は表示位置のデータだけであり、設備画素間を結ぶ結線は設備機器の接続関係から自動的に判定して描画される。

(5) 構成変更におけるデータベースの保守性： 意味ネットの採用により、設備機器の追加によるデータベースの変更は、最小限に済むように考慮した。

5. 実験結果

知識工學方法が適切であるかどうか検証するため、以下の規模の変電所モデルにより実験を行った。プロトタイプシステムであるために、変電所規模は標準的な構成とした。また、適用可能な目的指令の用語の種類も基本的なものにとどめた。このような制限はあるものの、設備機器の運用状態の組合せを考えると、作成される操作手順表の種類は複雑豊富で、検証を支持するのに十分と考えられる。

変電所モデル

複母線	..... 4 <sup>*)</sup>	接続子	..... 3 4
3次母線	.... 3	しゃ断器	.... 2 6
引込線	..... 8 <sup>*)</sup>	断路器	..... 5 5
変圧器	..... 3 <sup>*)</sup>	接地開閉器	.. 6 3
調相設備	.... 7	切替開閉器	.. 3 4
所内変圧器	.. 2	故障表示	.... 3 4

注) 設備<sup>\*)</sup>は、目的指令の対象設備である。

目的指令用語

作業停止、使用、併用、併用解く。

6. まとめ

変電所における操作手順表を自動作成するエキスパートシステムについて紹介した。システムはオブジェクト指向に基づいて設計され、その諸機能はメソッド送信の系列に展開して実行される。また、KDLのプロダクション規則は、システムモジュールの処理手続きを記述するにも有効であることを示した。

参考文献

- [1] "An Expert System for Generating Switching Sequences at Substations", IEEE Proc. of AI for Industrial Applications, pp. 326-331, 1988.
- [2] 「知識工學の変電所操作手順自動作成への適用」情処全大, 第35回 3P-8, 1987; 第36回 7Q-4, 1988.
- [3] 「エキスパートシステム構築支援ツールKDL」-概要-, -推論機構-, 第37回情処全大, 1988.
- [4] 「KDL機能説明書」「KDL操作マニュアル」明電舎, KACAI-0052; -0053, 1987.