遮断器の短絡試験実施支援エキスパートシステムの開発

准 員 堀 内 竜 三 (早稲田大)

正 員 岩 本 伸 一 (早稲田大)

正 員 砂 辺 欣 也 (電力中研)

正 員 深 川 裕 正 (電力中研)

1. ま え が き

一般に送配電系統で事故が発生すると、事故点には通常の数十倍という非常に大きな短絡電流が流れ、機器の故障の原因となる。このため、大電流短絡試験を行い各機器の信頼性を確認するが、実際に試験を実施する際は過去の試験実績などを考慮して、以下の項目を検討する必要がある。

- (i) 対象とする試験の本設備での実施可能性
- (ii) 最適な試験設備機器の組合せ
- (iii) 試験回路定数の決定
- (iv) 各機器の制御シーケンス
- (v) 測定器の決定
- (vi) 測定データの処理
- (vii) 電圧・電流波形の予測計算

これらの項目を検討するためには、数十種の機器の特性や数百の定格事項を知ると共に、過去に蓄積された試験手法などを参照して総合的に判断しなければならない。

特に遮断器の短絡試験のように複雑な過渡現象⁽¹⁾を含む場合にはこれらの作業は複雑になり、試験の実施は設備の特性に熟知した専門家に限られてくる。

そこで、設備を熟知していない技術者でも安全かつ

容易に試験を行えるシステムが要望される。このために有効な手法としてあげられるのがエキスパートシステムである⁽²⁾。例えば、本エキスパートシステムが構築された場合、以下のようなことが期待される。

(1) 複雑な手計算をせずに試験条件を満足する試験回路や回路定数などを短時間に決定できる。

(2) 試験回路機器の許容値を超えた使用が回避できる。

(3) 最適な測定器の選定や感度計算が短時間にできる。

エキスパートシステムは、問題領域の専門家の経験や知識を利用して、専門家と同レベルで問題を解決するシステムである。エキスパートシステムはその主な構成要素として知識ベース、推論機構、説明機能、インタフェースなどをもっているが、熟練者の知識を知識ベースとしてどのように表現するかがエキスパートシステムの性能を大きく左右する。代表的な知識表現であるルールモデルを用いたシステムにプロダクションシステムがある。

プロダクションシステムでは知識はプロダクションルールと呼ばれる次の形式をもつ。

IF 条件 THEN 行為／結論

プロダクションシステムを用いて実際に人間の専門家と同じレベルの診断ができるものがある⁽³⁾。

プロダクションシステムは知識をプロダクションルールという人間にとって理解しやすい形式で表現でき、またルールの追加・変更・削除などが容易であるという利点をもつ。しかし、推論メカニズムが簡単な前向き推論であるため推論に柔軟性がなく、間違った入力をするとか該当する知識がなく、解なしという結果になったり、また入力に関しても冗長な質問が多かったり、使いやすいインタフェースがないシステムもあ

Development of Expert System for Assisting Short-Circuit Test of Circuit Breaker. By Ryuzo Horiuchi, Associate, Shinichi Iwamoto, Member (Department of Electrical Engineering, Waseda University), Kinya Sunabe, Member & Hiromasa Fukagawa, Member (Central Research Institute of Electric Power Industry).

堀内竜三：准員，早稲田大学理工学部電気工学科

岩本伸一：正員，早稲田大学理工学部電気工学科

砂辺欣也：正員，電力中央研究所横須賀研究所

深川裕正：正員，電力中央研究所横須賀研究所

り、実用性に乏しいものもある。

本論文では遮断器の短絡試験実施の支援にエキスパートシステムを初めて構築した。知識表現としてはプロダクションルールを用いるが、上述の欠点を克服すべく推論に柔軟性をもたせるため仮説生成・検証という疑似的な双方向推論を行い、更にシステムのインタフェースを向上させるため入力にメニュー形式を採用した。本論文の構成は以下のとおりである。まず、第2章でシステムの概要を説明する。第3章ではエキスパートシステム構築言語について考察し、第4章で推論方式について述べる。更に、第5章で説明機能、第6章でシステム構成について述べ、第7章でシステム動作例を示す。第8章でシステムの特長について述べる。

2. システムの概要

本システムで対象としている項目は以下のとおりである。

- (i) 最適な試験回路の決定
- (ii) 試験回路定数の決定
- (iii) 各機器の制御シーケンス
- (iv) 測定器の決定
- (v) 測定データの処理

本システムでは入力にメニュー形式を採用している。ここで知識処理を必要とする部分は(i)および(ii)であり、(iii)以下は主に数値計算を必要とする部分である。そして各項目に入力用メニュー画面が付属している。次に各項目について概説する。

〈2・1〉 試験回路および試験回路定数決定用のプロダクションルール 遮断器の遮断性能を検証するために、試験規格で定められた試験条件を設定する必要がある。ここでは試験規格として IEC Pub. 56 を用いた。このために最適な試験回路および試験回路定数を決定する。この知識処理の順序を図1に、遮断器の短絡試験回路を図2に示す。

試験回路定数の決定については、まず定数の値を計算する。試験回路定数の計算式を三相試験について次に示す。

- (1) 限流リアクトル L の計算式

$$\%L = V/(\sqrt{3}I)(15/E_2)^2(100/1.5) - \%Z_L - \%L_0(\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 V ：試験電圧(kV)、 I ：試験電流(kA)、 E_2 ：変圧器二次側のタップ電圧(kV)、 $\%Z_L$ ：負荷のインピーダンス(%：150 MVA 基準)、 $\%L_0$ ：試験回路のもつり

図 1 遮断器用知識処理順序

Fig. 1. Flowchart of knowledge processing for circuit breaker test.

図 2 遮断器の短絡試験回路

Fig. 2. Test circuit for circuit breakers.

アクタンス(%：150 MVA 基準)

- (2) 力率調整用抵抗 R_{pf} の計算式

$$R_{PF} = V/(\sqrt{3}I)\{(pf-5)/100\} \times 1,000 \quad (\text{m} \cdot \Omega) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 pf ：短絡力率(%)

(2)式は試験回路固有の短絡力率を5%とした計算式である。

- (3) 過渡回復電圧調整用コンデンサ C および抵抗 r の計算式⁽⁴⁾

$$C = 9.18 \cdot I/(Vf_r^2) - C_0 \quad (\mu\text{F}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R = 105\sqrt{V/(IC_f)} \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $f_r = 400/t_3$ 、 t_3 ：定格過渡回復電圧標準値の規約波高時間(μS)、 C_0 ：試験回路

の漂遊静電容量 (μF)

なお、 C_1 および R は次のようにして求める。

$C \leq 0$ の場合: $C_1 = 0$ とし、 $R = 0$

$0 < C \leq 1.58 \mu\text{F}$ の場合: $C_1 = C$ とし、 R を計算する。

$C > 1.58 \mu\text{F}$ の場合: $C_1 = 1.58 \mu\text{F}$ とし、 R を計算する。

更に、抵抗 r は経験的に次のようにして求める。

$R \leq 4 \Omega$ の場合: $r = 0 \Omega$

$R > 4 \Omega$ の場合: $r = 0.15 R (\Omega)$

この値が条件を満足しているかどうかは、最終的には過渡回復電圧波形をアナライザ測定することによりエキスパートが判断する。

さて、エキスパートシステムの構築において最も重要なことは熟練者の知識をルール化することである。検討の結果、過去の経験より次のようなルールを本エキスパートシステムに対して作成した。このプロダクションルールを以下に示す。

(i) 試験回路の決定について

R1.1: 試験電圧が上下限値の範囲内にある。

R1.2: 試験電流が出力可能範囲内にある。

R1.3: 通電時間が発電機駆動電動機保護リレーの不動作領域にある。

R1.4: 回路決定の優先順位は変圧器二次タップ電圧の高い順である。

R1.1 の試験電圧の上下限値は短絡発電機の発生可能電圧の上下限値から定められる。R1.2 の出力可能範囲は常設の限流リアクトルを用いてその試験回路で実現可能な電流の範囲である。R1.3 の範囲は過去に実施した試験実績から定められる。R1.4 の優先順位は変圧器の励磁突入電流による電圧のひずみを抑えるためと、過渡回復電圧の調整しやすさのためである。

(ii) 限流リアクトル L の決定について

R2.1: L の実測値が計算値の 95~100% の範囲内にある。

R2.2: L に流れる電流が許容短時間電流以下である。

R2.3: L に流れる電流のジュール積分値が許容値以下である。

R2.4: L の実測値から逆算した予想電流が試験電流の 100~105% の範囲内にある。

R2.5: L 決定の優先順位は上記の値が 102.5% に近い順である。

(iii) 力率調整用抵抗 R_{pf} の決定について

R3.1: R_{pf} の実測値が計算値の 100% 以下である。

R3.2: R_{pf} に流れる電流の波高値が許容短時間電流波高値以下である。

R3.3: R_{pf} に流れる電流のジュール積分値が許容値以下である。

(iv) 過渡回復電圧調整用コンデンサ C および抵抗 r の決定について

R4.1: 試験電圧が C の公称電圧以下である。

R4.2: C の静電容量が計算値の $\pm 20\%$ の範囲にある。

R4.3: C の結線方法の優先順位は一相のみ、二相並列、三相並列、二相直列の順である。

R4.4: r の実測値は計算値の $\pm 20\%$ の範囲にある。

R4.5: 試験電圧は r の使用許容電圧以下である。

R4.6: r に流れる電流のジュール積分値が許容値以下である。

上記の各項目を用いて推論することにより、最適な試験回路および試験回路定数が定められる。

<2・2> 各機器の制御シーケンス 各機器の制御

は、1 ms 単位で設定できるシーケンスタイマおよび電気角 1 度単位で設定できる位相制御装置により行うので、試験規格により定められた動作責務が実行されるように、遮断器の開閉指令の順序や時刻などの設定値を求める。

<2・3> 測定器の決定および測定データの処理

測定はミニコンピュータを用いた短絡試験用計測解析システム⁽⁵⁾⁽⁶⁾により行うので、これに合せて測定する項目および測定最大値、測定最小値を入力すると最適な測定器を決定する。また、測定データの処理に必要な設定値も求める。

3. システム構築言語について

一般に、エキスパートシステムを構築する場合、プログラミング言語としては Lisp や Prolog ならびにそれらを用いたツールが多く用いられてきた。これはエキスパートシステムの概念を表現するには Lisp や Prolog などが適切だからである。

しかし、実用的なエキスパートシステムを開発する場合には、実行速度やメンテナンスの点を考慮すると、他言語で記述したほうが良いといえる。更に、起動性の点を考慮して本エキスパートシステムは 16 bit パソコン上での構築を目指した。そこで、幾つかのプロトタイプエキスパートシステムを様々な言語で構築した経験を生かすことにした^{(7)~(9)}。次に、Lisp, Prolog ならびにツールについて比較する。Lisp は関数形の言語であるが、関数がエキスパートシステムに

において有効となるのは主に数値計算の部分であり、Lispを使うことが有効とはいえない。また、プログラム上括弧が非常に多くメンテナンスが困難である。一方、Prologについては再起的定義以外は使えないことなどにより、プログラムの処理の流れがわかりにくく、デバッグが困難である。また、一般の構築用ツールについても柔軟性に欠けるといえる。そこで、本システムは OPS 83 と C 言語の二種類で記述することにした。また比較のため、「OPS 83 と C 言語によるシステム」(本システム)と、OPS 83 によるモジュールを FORTRAN で書き換えた「FORTRAN と C 言語によるシステム」について、両者の推論時間を第 8 章で比較する。

OPS 83 はカーネギーメロン大学で開発されたプロダクションシステム言語である⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。OPS 83 の特徴を簡単に述べると、ルール形、手続き形プログラミングがともに実現できる、人工知能用コンパイラ言語であるということである。このことは次の利点をもつ。

- (i) 手続き形プログラミングが実現できる
- (ii) 実行速度が速い
- (iii) 競合解消戦略が記述できる
- (iv) 他言語とのインタフェースが容易
- (v) 知識工学を知らない人でも勉強しやすい
- (vi) いろいろなマシン上で稼動する

推論方式としては図 3 のような認知・動作サイクルを用いている。そして、ルールはすべて条件→行動の形式をとっている。また OPS 83 では、基本的な競合解消の手段として Means-Ends-Analysis 法 (以下、MEA 法と略記) を備えている。MEA 法では次の手順で競合を解消する。

- (i) 未使用ルールを使用
- (ii) 最近データによる第一パターン照合を優先
- (iii) ルールの確信度を優先
- (iv) 詳細ルールを優先
- (v) 最近具体例を優先

図 3 認知・動作サイクル
Fig. 3. Recognize-act cycle.

この方法は知識構造が複雑になるとメリットが多くなる。

一方、C 言語は元来 UNIX オペレーションシステム用に設計、実用化されたものであるが、現在は数値解析、テキスト処理、事務上のデータ処理など、いろいろなプログラムに使用されている。FORTRAN と同じ手続き的処理ができるだけでなく、画面制御にも適しており、使い勝手の良い言語である⁽¹²⁾。

本システムでは、ルール形プログラミングが必要な部分は OPS 83 で記述し、手続き形のプログラミングの部分およびインタフェースは C 言語で記述している。これにより効率良くプログラミングをすることができ、システム開発環境が向上する。ルールの部分に OPS 83 を用いることにより、ルールの追加・変更・削除が容易になる。また、電力分野のエキスパートシステムを開発する場合には数値計算が欠かせないため、この部分を C 言語で記述する。更に、インタフェースについても C 言語で記述する。OPS 83 は元来 C 言語で記述されているため、OPS 83 と C 言語のリンクは非常に容易である。

4. 推論方式

試験回路決定における推論方式としては、前向き推論によるものと双方向推論によるものを考えた。次に、この二つの推論方式について概説する。

一般に、プロダクションルールは事実と仮説を関係づける条件文の集合であり、一つの仮説について図 4 のような AND/OR トリーをもつ⁽²⁾。

プロダクションシステムにおける推論とは、このトリーの評価である。前向き推論では事実から出発して仮説へ向かって推論を進める。従って、一つの仮説が真になるまでむだなトリーの評価が行われる。そこで双方向推論では、結論として導出できそうな仮説を前向き推論であらかじめ絞り、この仮説を後向き推論で検証する形をとり、なるべくむだを少なくしている。

図 4 AND/OR トリー
Fig. 4. AND/OR tree.

ここでいう後向き推論では、前向き推論で得られた仮説から出発して、図4のトリーを下向きにたどり、事実と反する事象が現れた時点でその仮説を排除する。

研究当初は前向き推論を用いたエキスパートシステムを完成し⁽¹³⁾、いろいろなデータを用いて得られた結果のチェックを行いこのシステムを吟味したが、前向き推論だけでは信頼性の点で二つの問題点があることが明らかになった。

(1) 適切な試験回路が全く求まらない場合の対策がない。

(2) 試験回路が多数求まった場合でも解の一つしか表示しない。

つまり、前向き推論では推論に柔軟性があまりないことが考察された。そこで、双方向推論ではこれらの問題点を解決する対策を検討した。

まず、(1)項については、間違った入力をしたり条件が厳しい場合には、前向き推論であるため解なしという結果になるということである。そこで、解なしの場合でも妥協案（ある条件を訂正すれば適切な解になるような解）、およびなぜ適切な解でないのかという理由を与えることにより、信頼性を向上させる。

次に、(2)項については、解が多数求まった場合に任意の一つの解を表示していたが、多数の解を優先度の順に提示することにより、より具体的な指示をユーザに与えるようにする。

上記の手法を実現するために、双方向推論では以下の推論方式を採用した。

まず、推論の過程を二段階に分ける。第一ステップは仮説生成のステップである。入力データから可能性のある試験回路をすべて見つけ出し、それを仮説として採用し、他のものは推論対象外とする。ここでいう仮説とは、適切な試験回路として満たすべき最低の条件を満足しているものである。次に、第二ステップでは仮説検証を行い、結論として幾つかの試験回路を導出する。そして、最後に結論として得られた試験回路を優先度の順になるようにルールにより sorting を行い表示する。もし、適切な試験回路が求まらなかった場合には、第一ステップで推論の対象外としたものについて再推論を行い、なぜ適切な解として導出できなかったのか、その理由も併せて表示する。なお、プログラム上では双方向推論に用いるルールの約55%が前向き推論、45%が後向き推論で用いられている。

本システムを実際に支援システムとして用いる場合には、得られた解を参考にして現状に合うものを適用するようにする。例えば、現在適用している回路で問題がなければそのままとし、変更する必要があると

の部分を変更する。

5. 説明機能について

説明機能はシステムの信頼性およびインタフェースを向上させ、ユーザに情報を与える。ユーザは得られた結論や助言を参考にして、最終的に自分自身で判断を行う。従って、エキスパートシステムにとって説明機能を充実させることは非常に重要である。本システムでは HOW 機能および WHY 機能を付加した。

まず、WHY 機能については、ユーザが質問に答えるとどのような結果が得られるかを示す。また、HOW 機能については、使用したルールをら列しただけではユーザにとって理解できないので、各ルールについてそのルールを使ってどのような経過を経たのかを示すようにする。これによりインタフェースは向上し、仮に間違った入力をしたり推論結果に納得がいけない場合でも原因が直ちに判明する。

6. システム構成

本システムの構成を図5に示す。

(1) メインプログラム OPS 83 で記述されている。

(2) メニュー画面 データの入出力に必要な処理内容を選択できる。C 言語で記述されている。キー入力はカナや英字を捜す必要が全くないものとした。

(3) 試験回路選定用ルール 試験回路および回路定数の決定を行う。本システムの核を成す部分であり、OPS 83 で記述されている。

(4) 説明機能用ルール HOW 機能および WHY 機能はルール表現により実現している。OPS 83 で記述されている。

図5 システム構成

Fig. 5. Structure of the expert system.

(5) 推論エンジン 推論機構としては OPS 系に特有な MEA 法を用いて推論を行い、また確信度を考慮することができる。

(6) 数値計算ルーチン 数値計算が必要な部分については C 言語で処理を行っている。

また、使用したシステムは以下のとおりである。

- (i) OPS 83 Ver 2.2 C
- (ii) Microsoft MACRO Assembler Ver 3.00
- (iii) Microsoft Overlay Linker Ver 3.51
- (iv) Microsoft C Compiler Ver 4.00
- (v) MS DOS Ver 3.10
- (vi) NEC PC 9801

7. システム動作例

システム起動時のメニュー画面を図 6 (a) に示す。同図において、「試験回路と回路定数の決定」を選択すると、(b) 図が表示され、試験の種類を選択する。ここで「遮断器、短絡、IEC」を選択すると、(c)、(d) 図においてデータ入力が行われる。

入力データとして必要なものは相数、定格電圧、定

格遮断電流、定格遮断時間である。データとして次の値を用いた。

相数	三相
試験電圧	12.0 kV
試験電流	20.0 kA
定格遮断時間	5 サイクル

データ入力を終えるとまず仮説を生成し、次に仮説の検証を行うが、ここで新たに情報が必要な場合は質問を行う。

(i) 仮設の直列インピーダンスはありますか？ (Y/N/WHY)

もし、質問の意図するところがわからなければ、WHY を入力すると次のメッセージを得て、更に質問を繰返す。

(ii) 事実「仮設の直列インピーダンスがあります」は、適切な試験回路として、回路番号 4 を導出できます。

質問が終了すると、仮説の検証を行い、得られた結論を優先度の順（この場合、変圧器二次タップ電圧の高い順）に表示する。

(i) 適切な試験回路は回路番号 2 です。

試験回路と回路定数の決定

シーケンスタイマーの設定時間の計算

測定器指定及びミニコン設定値の計算

出力電圧・電流波形計算

回路定数と試験結果の登録

システムを終了します

↑ ↓ キーで番号を選択し、(RETURN) キーで確定してください。

(a) 項目選択用メニュー画面

試験項目	試験名	試験規格
遮断器	短時間	JEC
変圧器	遅れ小電流	ANSI
ヒューズ	進み小電流	BS
ケーブル	耐アーク	VDE
碍子	耐爆	NEMA
配電線		JEM

→ で項目、↑ ↓ で内容を選択、(RETURN) で確定

(b) 試験種類選択用メニュー画面

供試器種別 : 遮断器

試験名 : 短絡試験

試験規格 : IEC Pub. 56

定格電圧 (kV)	定格遮断電流 (kA)	回路番号
3.6	12.5	2
7.2	16	5
17.5	25	
24	31.5	
36	40	
52	50	
72.5	63	

→ で項目、↑ ↓ で内容を選択、(RETURN) で確定

(c) データ入力用メニュー画面 1

相数 3相

定格電圧 12.0 kV

定格電流 20.0 kA

定格遮断時間 3 Cycle

通電時間 0.200 s

以上でよろしいですか? YES NO

(d) データ入力用メニュー画面 2

3相 基準電圧 12.0 kV 短絡電流 2.0 kA	回路番号 3SH3 Tr Tap 15 / 36 kV
適切な試験回路です。	
3相 基準電圧 12.0 kV 短絡電流 6.0 kA	回路番号 3SH3 Tr Tap 15 / 36 kV
適切な試験回路です。	
3相 基準電圧 12.0 kV 短絡電流 12.0 kA	回路番号 3SH3 Tr Tap 15 / 36 kV
適切な試験回路です。	
3相 基準電圧 12.0 kV 短絡電流 20.0 kA	回路番号 3SH3 Tr Tap 15 / 24 kV
適切な試験回路です。	
3相 基準電圧 12.0 kV 短絡電流 20.0 kA	回路番号 3SH3 Tr Tap 15 / 12 kV
適切な試験回路です。	

次へ進みますか? YES NO

(e) 試験回路表示用メニュー画面

図 6 試験回路選択動作例

Fig. 6. Operating examples of selecting test circuit by the system.

表 1 試験回路定数一覧表
Table 1. Test circuit constants.

定格電圧		12.0 kV	定格遮断電流		20.0 kA	試験規格		IEC Pub. 56	
試験条件					試験回路定数				
Duty No.	相別	基準電圧 (kV)	短絡電流 (kA)	回路番号 —	T_r Tap (kV)	L (%)	C (μF)	r (Ω)	Rpf (m・Ω)
1	3	12.0	2.0	3SH3	15/36	28.5	0.000	0.0	160.0
2	3	12.0	6.0	3SH3	15/36	4.5	0.000	0.0	53.0
3	3	12.0	12.0	3SH3	15/24	5.0	0.000	0.0	27.0
4	3	12.0	20.0	3SH3	15/12	23.0	0.250	20.0	16.0
5	3	12.0	20.0	3SH3	15/12	23.0	0.250	20.0	0.0

→で試験実績を表示, RETURN キーで終了します。

表 2 シーケンスタイマ設定時間一覧表
Table 2. Setting times for sequence timer.

Ele. No.	Operating Devices	T_s (s)	T_d (s)	T_0 (s)	Out Put			Ref. Ele.
					1	2	3	
1-1a	52GT-Timer	0.001	1.830	1.831	○	○	○	
1-2a	70M		0.360	0.361				
2-1a	87GX	0.001	0.020	0.021	○	○	○	
2-2a			0.000	0.001				
3-1a		0.000	0.000	0.000				
3-2a			0.000	0.000				
4-1a	52GC	0.001	0.077	0.078	○	○	○	S1
4-2a			0.000	0.001				
5-1b	52GC-Reset	0.500	0.001	0.501	○	○	○	S1
5-2b			0.001	0.501				
6-1a	保護 RyA	1.131	0.010	1.141			○	
6-2a			0.000	1.131				

↑で前画面, ↓で次画面, [RETURN]で終了。

- (ii) 適切な試験回路は回路番号 3 です。
- (iii) 適切な試験回路は回路番号 8 です。

仮に適切な試験回路が求まらなかったとしても、候補となっていた回路および、なぜ結論として導出できなかったのか、その理由を表示する。

(i) もし仮説の直列インピーダンスがあれば、適切な試験回路は回路番号 4 です。

(ii) 回路番号 9 は試験電圧が上下限値の範囲を超えています。

ここで、推論の過程を知りたいときには HOW を入力し、更に試験回路番号を入力すると次のメッセージが表示される。

(i) ルール bwd 63 は仮説の直列インピーダンスの入力を促しました。

(ii) ルール ask 12 により仮説の直列インピーダンスの入力を行いました。

(iii) ルール bwd 71 は仮説から回路番号 4 という

表 3 測定用分圧器・分流器の指定

Table 3. Designation of measurement devices.

CH No.	測定項目の記号	測定項目の種別	分圧器または分流器
1	V_g	電圧	PT(15-1)
2	I_k	電流	Sh(25 K-1)
3	I_s	電流	Sh(25 K-1)
4	I_r	電流	Sh(25 K-1)
5	V_R	電圧	PD(UD-3 MT)
6	V_s	電圧	PD(UD-3 MT)
7	V_T	電圧	RD(44-1)
8			

[RETURN]で終了, ↓で次画面。

表 4 OPS 83 によるシステムと FORTRAN によるシステムの推論時間

Table 4. Inferring times of the system by OPS 83 and the system dy FORTRAN.

システム構築言語	推論時間 (s)
OPS 83	5.2
FORTRAN	7.1

結論を導出しました。

以上の推論により決定した試験回路を図 6 (e)に示す。次に、この試験回路より回路定数を計算する。試験回路定数一覧表を表 1 に示す。同表では、試験規格により一組の定格電圧、定格遮断電流に対し、五とおりの試験を課している。同様に、シーケンスタイマ設定時間の一覧表を表 2 に、測定用分圧器・分流器の選択結果を表 3 に示す。

また、「OPS 83 と C 言語によるシステム」と「FORTRAN と C 言語によるシステム」の推論時間を表 4 に示す。両システムの違いの主な要因として、OPS 83 に特有の関数を FORTRAN で記述したことによる効率の悪さがあげられる。

8. 本システムの特長

本システムの特長として以下の点があげられる。

(1) 従来のエキスパートシステムの多くは対話形式であったため、質問の度に入力しなければならず使い勝手の悪いものもあった。そこで本エキスパートシステムにおいては対話形式をメニュー形式にし、入力時にもカナや英字を捜す必要がないものを開発した。

(2) 本システムは仮説生成・検証という二段階のステップを踏んでいる。すなわち、仮説ができ上がった段階でそれ以外のものは推論対象から外す。そして解がなかった場合だけ、新たに推論対象として推論をし直す。これはワーキングメモリの操作により実現で

き、OPS 系の特長を生かした手法といえる。この手法を用いることにより、前向き推論の問題点がわかり、結果的に双方向推論が短絡試験システムにはより良いシステムとなることがわかった。

(3) 本システムは分析形の意志決定問題であり、プロダクションシステム向きといえる。そして、知識処理と数値計算を完全に分離することにより、処理能力が向上した。

(4) エキスパートの知識がルール形で与えられるため、ルール形のプログラミングが必要な部分は OPS 83 で記述し、手続き形の部分およびインタフェースは C 言語で記述して必要に応じて使い分けた。これによりシステム開発環境が従来よりも向上した。

(5) ルールを幾つかのグループに分け、モジュール性を高めた。そして、ある処理が終了するとメタ知識により次のグループへ制御が移って行くようにした。このため、手続き形の if-then 形式よりもはるかにすっきりとした形で表現することができ、ルールのメンテナンスも非常に容易になった。

(6) 説明機能については従来のような単なるルールのら列を避け、推論の過程をわかりやすく表示した。またユーザがどのような使い方をしてもユーザに対して警告を出すようにして、信頼性を向上させた。

(7) 本システムでは、ルール数については約 80 個 (例えば R1.1 を一つと考える)、またデータ数は約 1,700 個のものを扱っているが、高速な言語を用い、また推論の効率を上げたため、待ち時間がほとんどなくなり、実用上の問題はないといえる。

(8) OPS 83 のシステム自体が C 言語で記述されているので、OPS 83 と C 言語のリンクも比較的容易に行える。

9. ま と め

遮断器の短絡試験実施支援エキスパートシステムを OPS 83 と C 言語により開発した。ここでは、試験規格として IEC Pub. 56 を採用した。本システムによる出力結果を実績データと比較したところ、結果と従来方式は完全に一致しており、本システムが正しく動

作することが確認された。また本システムの適用により、以下の効果が得られた。

(1) 複雑な手計算をせずに試験条件を満足する試験回路や回路定数などを短時間に決定できる。

(2) 試験回路機器の許容値を超えた使用が回避できる。

(3) 最適な測定器の選定や感度計算が短時間にできる。

なお、システムの構築には短絡試験エキスパートが 1 名、知識情報処理エキスパートが 1 名、同準エキスパート 2 名が約半年間を要した。

今回の研究にあたり、多大な御協力をいただいた林野裕司君 (現在、松下電器産業勤務)、および浅利真宏君 (現在、早稲田大学大学院) に深謝いたします。(昭和 63 年 10 月 24 日受付、平成元年 2 月 20 日再受付)

文 献

- (1) 電気学会：電力用しゃ断器 (昭 57)
- (2) 上野：知識工学入門 (昭 60) オーム社
- (3) E. Shortliffe: Computer based medical consultation: MYCIN (1976) Elsevier
- (4) International Electrotechnical Commission Publication, p. 56 (1987)
- (5) 泉・合田・関口・高橋：「ミニコンピュータを使用した短絡試験用自動計測解析装置」, 昭 57 電気学会全大, No. 1140
- (6) 泉・合田・関口・高橋：「ミニコンピュータによる自動計測解析システムの遮断器短絡試験への適用」, 昭 58 同上, No. 1041
- (7) 堀内・安藤・岩本：「電力系統エキスパートシステムにおける言語、ツールに関する考察」, 昭 62 同上, No. 1057
- (8) 堀内・岩本：「UNIX 上での電力系統エキスパートシステムの言語、ツールの比較」, 電気学会電力技術研資, PE 87-176 (昭 62)
- (9) 藤原・岩本・伊藤・深川：「暴露がいしフラッシュオーバー予測エキスパートシステムの開発」, 同上, PE 88-36 (昭 63)
- (10) C. L. フォーギー (中間訳)：人工知能用言語 OPS 83 (昭 61) パーソナルメディア
- (11) 田中・下井：エキスパートシステム構築の方法 (昭 62) パーソナルメディア
- (12) B. W. カーニハン・D. M. リッチー (石田訳)：プログラミング言語 C (昭 61) 共立出版
- (13) 堀内・林野・浅利・岩本・砂辺・深川：「遮断器の短絡試験実施支援エキスパートシステム」, 昭 63 電気学会全大, No. 1089
- (14) 堀内・岩本・砂辺・深川：「遮断器の短絡試験実施支援エキスパートシステムの開発」, 電気学会電力技術研資, PE 88-35 (昭 63)