研究論文

936. 制御系ロジック自動変換方式

和田 裕*, 小林 康弘*,
三代 庸正**, 岡野 正人**

(1989年 6月13日 受理), (1989年 11月20日 再受理)

Automated Logic Conversion Method for Plant Controller Systems

By Yutaka WADA, Yasuhiro KOBAYASHI,
Tsunemasa MIYO and Masato OKANO

An automated method is proposed for logic conversion from functional description diagrams to detailed logic schematics by incorporating expertise knowledge in plant controller systems design.

The method uses connection data of function elements in the functional description diagram as input, and synthesizes a detailed logic structure by adding elements to the given connection data incrementally, and to generate detailed logic schematics.

In logic synthesis, for building up complex synthesis procedures by combining generally-described knowledge, knowledge is applied by groups. The search order of the groups is given by upper-level knowledge. Furthermore, the knowledge is expressed in terms of two classes of rules; one for generating a hypothesis of individual synthesis operations and the other for considering several hypotheses to determine the connection ordering of elements to be added. In the generation of detailed logic schematics, knowledge is used as rules for deriving various kinds of layout conditions on schematics, and rules for generating two-dimensional coordinates of layout objects. Rules in the latter class use layout conditions to predict intersections among layout objects without their coordinates being fixed.

The effectiveness of the method with 150 rules was verified by its experimental application to some logic conversions in a real power plant design. Evaluation of the results showed them to be equivalent to those obtained by well qualified designers.

KEYWORDS: *knowledge based component, logic conversion, functional description, logic schematics, diagrams, design, plant controller systems, rules, layout condition*

I. 緒 言

原子力発電プラントは、各種設備を中央制御室から監視制御する方式を採用した典型的な大規模プラントである。電力の安定供給のため、より一層の安全性向上および信頼性向上を図る努力が続けられている⁽¹⁾。特に、信頼性向上のために制御系を冗長化、多重化する上で、従来のアナログ装置では解決が困難であった監視制御設備の高速化、大容量化の課題に対し、デジタル制御技術が有効に活用されている。すなわち、制

御系の機能は、最終的な製品形態としてソフトウェアで実現されるものの割合が増加しつつある。このような背景の中で、制御系設計の過程での、ソフトウェアの開発、検証および健全性確認のための管理手法の重要性が認識されつつある⁽²⁾⁽³⁾。

複雑な構成をもつ制御系の設計でのソフトウェア開

* 日立製作所エネルギー研究所 (Energy Res. Lab., Hitachi, Ltd.)

** 日立製作所大みか工場 (Oomika Works, Hitachi, Ltd.)

発は、計画設計から詳細設計へと段階的に進められる。設計の各段階では、制御系の構成を検討するために、系統の種類や取り扱う信号の種類に応じ、計装制御系やシーケンス制御系などの機能的な単位ごとに、定められた様式に従った図面を用いている⁽⁴⁾。これらの図面の多くは、ファンクションブロック図(FBD; Function Block Diagram)と総称される様式に従っている。ここで、設計者は、計画設計で得られた機能図に含まれる論理・演算要素の接続情報に、詳細な制御系の構成を決定するための情報を付加し、詳細設計で用いる図面の様式で線図を作図する、いわゆるロジック変換を行なっている。

制御系の機能を実現するソフトウェアの高信頼性を確保するためには、一定の規則や基準に従ってロジック変換がなされるように、計算機により設計を支援することに意義がある。

現在、機能図、詳細図の製図には、グラフィック表現能力を持つ計算機支援設計システム^{(8)~(10)}の利用が進められている。さらに、詳細図を基に、①演算要素のゲインや時定数などの計装制御パラメータの最適値を設定するための計装制御系CADシステム⁽⁸⁾、②制御用マイクロプロセッサで論理・演算処理動作を実行可能とする制御演算プログラムを生成するためのソフトウェア生産支援ツール⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾等が整備されつつある。

このように、詳細設計段階での計算機化の研究開発が着実に進められているのに対し、機能図から詳細図へのロジック変換に関しては、設計者を有効に支援する計算機環境がほとんど実現されていなかった。制御系設計業務の中でもロジック変換の部分は、熟練した設計者が持つ専門的な知識や判断に依存するところも大きい。従来、従来の数値アルゴリズムによる計算機の利用方法では、対応が難しい状況にあった。

すでに、半導体集積回路を対象とした論理回路設計の分野では、回路の機能構成を与える機能図を半導体素子単位での結線情報を表わす回路図にロジックを変換する際に、変換規則や設計基準を知識として利用し自動化を図る技術がある^{(11)~(13)}。さらに、数値的な制御の反映を中心とした回路図のレイアウトの手順は、アルゴリズムにより実現されている⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

しかし、制御系のロジック変換は、以下の点で半導体論理回路のロジック変換の形態と知識の使い方が異なり、従来の手法を直接適用することができない。

- (1) 単に機能図に含まれる要素を、より詳細な接続情報に展開するのではなく、機能図では省略されていた要素を付加する。

- (2) 機能図と詳細図の表現形式が全く異なることから、機能図の配置情報がほとんど利用できない。

本報では、制御系設計に特有なロジック変換のプロセスを自動化するに適した知識処理方式⁽¹⁶⁾と、それを応用した制御系ロジック自動変換システムについて報告する。

Ⅱ. 制御系ロジック変換の知識処理方式

本章では、発電プラント制御系設計で用いられる図面を例として、ロジック変換方式を記述する。機能図として制御系統図および操作ブロック図を、詳細図として制御ロジック図をおのおのの対象とした。これらの図面はFBDの形式で作成されている。制御系統図は、アナログ量の数値演算、デジタル量によるアナログ量の切換え制御を中心とした計装制御系の機能仕様を記述したものである。操作ブロック図は、インタロック操作などのデジタル量の論理演算を中心としたシーケンス制御系の機能仕様を記述したものである。

第1図に、計装制御系のロジック設計の流れとロジック変換の位置付けを示す。計画設計により与えられ

第1図 制御系ロジック設計の流れとロジック変換の位置付け

る機能図は、制御系にどのような動作をさせるかを指示するものである。本例では、「圧力信号の測定値に異常があれば、信号入力値を切替える」ことを指示するため、圧力センサ、信号切換え要素を接続したブロック図形式で表わしている。ロジック変換の結果得られる詳細図は、機能を実現するために製作する制御演算プログラムの処理構成を指示する。

1. ロジック詳細化での知識処理方式の課題

第1図の例では、設計者は圧力センサ、信号切換え要素の接続関係に注目し、①信号測定値の診断要素の挿入、②診断要素の初期化、リセット、切換え信号線の追加、③信号測定値を制御計算機へ取り込む端子の追加により、ロジックを詳細化している。

詳細化の操作を単位とする形で知識を表現すると、複数の知識の条件が同時に満たされ、どの知識を先に適用するかを判断する必要が生じる。詳細化の過程で変化する要素の接続パターンを要素単位で探索する形で知識を表現すると、類似した条件部と共通の結論部を持つ知識が多数生じ、知識の関連を意識する必要がある。

一方、広い範囲の要素の接続パターンに対応して、一度に多数の要素を付加するように知識を表現すると、推論の単位となる知識の規模(grain size)が大きくなるため、知識に汎用性と拡張性を持たせるという知識ベースシステムの長所が損なわれる。したがって、設計者の知識を汎用な形で生かすという観点からは、一般的な形で知識を与えると、詳細化の過程でそれらが組み合わせられ、各接続パターンに特有な詳細化手順が構成されることが望ましい。知識の規模を小さくするためには、順序関係を反映して、知識を構造化し適用する知識の範囲を限定する処理が不可欠である。この手法では、推論の特徴と知識の構成に応じて知識をグループに分割する方法を考慮し、グループ内の知識の競合解消を図る必要がある。

2. ロジック詳細化での知識処理方式

(1) 知識の構成

a. 知識のグループ化

前述したように、詳細図の要素は、制御演算プログラムの実行単位に対応している。実行単位は、マイクロプロセッサで実行される演算命令を組み合わせたサブルーチンの形で実現されている。これは、サブルーチンの構成変更やパラメータの調整によって、制御系の性能向上や機能拡張を図ることができるという、ソフトウェアの利点を生かすためである。したがって、機能図では単に機能的な意味を与えるものであった要

素の入出力データは、詳細図では、演算命令の入出力データの形式や値域などに依存した仕様が与えられるものとなっている。

要素間で入出力データの仕様が異なる場合には、データ間の整合をとるために、データ値の規格化や値域、増減率の限定など、制御の特性を変化させることが詳細化の目的の1つになっている。また、制御系の安定な動作を確保するために、データ値の値域、増減率の限定を初め、データが異常値をとった場合の例外処理の付加や、入力として用いるデータを切り換えるなど、演算条件を変化させることも詳細化の目的とされる。これらの目的のためには、機能図の要素内のサブルーチンに演算命令を追加することは避けて、新たな要素を組み合わせる機能図に追加することが、要素の汎用性を確保する上で有効な詳細化の手段となる。

また、大規模な制御系では、異なる機能を多数の系統に分割して同一の機能を多重系統で冗長に構成する設計が多用される。したがって、複数の詳細図の間で同一のデータを利用するための制御信号の分岐を設けることが詳細化の目的となる。

さらに、詳細化の過程で制御信号の特性に変化が生じ、機能図での分岐の位置からは直接制御信号が利用できなくなる状況では、特性に変化が生じる前の制御信号を選ぶことが必要になる。

以上のように、ブロック図形式で表わされた機能図のロジックを詳細化する目的と手段に注目すると、ロジックを付加する一連の操作は、次の3点の組合せとなっていることがわかった。

- (1) 制御信号の特性や演算条件を変化させるために、要素を追加する。
- (2) 制御信号の特性等を変えずに利用するために、接続線の分岐や要素を追加する。
- (3) 利用する制御信号を変えるために、分岐の位置を変更する。

第1図の例では、診断要素DGの挿入は(1)に対応し、制御計算機への出力追加は(2)に対応する。

以上より、ロジック詳細化の知識をグループに分割する基準は、ロジック詳細化の目的の観点から上記の(1)～(3)とした。また、複雑な後戻り処理を回避するという観点からは、(1)と(3)により与えられる最終的な詳細図で用いる制御信号の特性等を反映して(2)を行うことが有効である。

さらに、基本的に設計者は、制御系の詳細図が機能図の要素の接続関係を継承するように、機能図を参照している。したがって、機能図に対し無条件に分岐位

置の変更が生じることなく、なんらかのロジック詳細化の結果に付随して分岐位置が変更される。このように、図面情報の特徴から、必然的に(1)は(3)に優先する。

以上のように、知識のグループ間の適用順序は(1), (3), (2)とすることが、効率的な詳細化手順を構成する上で不可欠である。

6. 知識の表現

詳細化手順は、機能図の要素の接続情報の中から詳細化の操作を適用する部分を抽出し、その部分に対し必要な要素の付加等に伴う接続情報を変更し、さらに次に選択する詳細化の操作を求めるという処理を繰り返すものである。したがって、各操作は単一の要素に固有なものでなく、複数の要素間の関係を認識して与えられるものとなっているので、各知識のグループに属する下位の知識は、If..., Then...形式のルールで表現する。

下位の個々の知識の単位としては、詳細化による要素の接続関係の変更の際に、追加する複数の要素等の接続順序が結論として与えることができる条件ごとに分割するものとした。これには、単一の要素の追加や分岐位置の変更も含まれる。

さらに、グループ内での知識の競合を解消するために、知識を次の2段階のルールに分離して表現する。

- ① 要素の接続関係に基づき、詳細化のために追加する複数の要素と変更する要素との接続関係を仮説として求めるルール。
- ② 共通の接続構成に対して与えられた複数の仮説に基づき、追加する要素等の接続順序を決定し、要素の接続関係を変更して詳細化の結果を反映するルール。
- ③ ②には、単一の仮説のみを参照して、接続関係を変更するルールも含む。

ここで②のルールは、①のルールで得られた仮説を参照するため、①のルールから適用される。さらに、①のルールでは、すでに得られた詳細化の結果を条件として判定する知識も記述する。推論では、詳細化の過程で変化する要素の接続情報に対し、グループ内のすべての知識の適用可能性を検査し、仮説が生成されなくなるまで、①, ②のルールを繰り返し適用する。その結果、あるグループでの知識を用いた推論が終了した段階で得られた要素の接続情報に対しては、もはやそのグループ内の知識は成立しないものとなる。

このような2段階のルールで構成した理由は、仮説を生成するための条件と、仮説を比較して接続順序を

判定して競合を解消するための条件とを分離することにより、汎用性の高いルールの記述ができるからである。

第2図に、要素を挿入する知識を2段階のルールに分離して表現した例を示す。

第2図 ロジック詳細化の知識の例

知識のグループ間の適用順序を記述し、検索するルールの範囲を限定する上位の知識も、次に示すような単純な関係の記述であり、ルールと同様の形式のメタルールで表現する。

[メタルール]

- もし ロジック詳細化のプロセス開始
ならば 以下の順に、知識のグループを適用
- ①要素の挿入
 - ②分岐の位置の変更
 - ③分岐と要素の追加

以下に、上記の考え方にに基づき構成するルール内での条件や結論の記述に適した要素、詳細化の仮説・結果の各表現について説明する。

(i) 要素の表現

要素の情報はフレームにより表現した。フレームは、一種のテーブル形式により、属性とその値とを対応させて記憶するものである。属性とは、要素の種類、入出力端子の名称等である。フレームは、属性を指定してその値を検索するのに適しているため、特に

ルールの条件部で、要素間の接続関係をボタンとして抽出する上で有効な表現である。

(ii) 詳細化の仮説・結果の表現

詳細化の仮説・結果に関する情報は、要素のデータとは独立した形式で、要素間の関係をイベントとして述語論理型データにより直接表現した。

詳細化の仮説を要素の接続情報の上に反映された形で扱おうと、機能図に元からあった要素と新たに付加した要素とを区別する情報を要素の情報に持たせなければならない。しかし、個々の要素のデータにこの関係を組み込むと、複数の要素のデータを検索する必要があるため効率が悪い。さらに、1つの要素に対して複数の詳細化が関与した場合、個々の詳細化による接続情報の変化を捉えることが困難となる。そこで、詳細化結果は、「要素Aと要素Bの間に新たな要素Cを挿入する」、「要素Xの出力から要素Yへの分岐を要素Zの出力へ変更する」等の形で表現されたイベントとして扱えることが望ましい。

すでに得られた詳細化の仮説・結果に依存した他の知識の適用条件を効率的に判定するため、詳細化による接続情報の変化を直接表現することが可能となる。

(2) 推論方式

第3図に、ロジック詳細化での推論方式の概要を示す。知識のグループ間の適用順序は上位の知識により与える。各グループ内での知識を適用する際には、新たな仮説が得られなくなるまで、以下の手順を繰り返す。

- (1) 推論の対象範囲を仮説を求めるルールに限定し、要素の接続パターンを探索して仮説を求める。この段階では要素の接続情報を変更しない。
- (2) 推論の対象範囲を要素の接続順序を与えるルールに限定し、仮説を反映して要素の接続関係を変更する。反映された仮説は詳細化結果として登録する。
- (3) (1)に戻り、すでに得られた詳細化結果に依存して必要な詳細化の操作を進める。

ここで、(2)では、複数の仮説を条件にもつルールを優先的に探索するため、条件部で条件の多いルールから適用する。さらに、一度反映された仮説は、再び他のルールの条件を満足させることがないようにした。これは、一部の仮説のみを用いた局所的な詳細化結果を与えるルールが先に適用されることを回避し、得られた中からより多くの仮説を考慮するルールを優先するためである。

以上のようなルールの探索戦略を用いることによ

第3図 ロジック詳細化の推論方式

り、複数の詳細化の操作が要素の接続関係に反映された結果を個別に蓄えたり、それらを比較して不要な結果をバックトラックにより削除するなどの複雑な処理が避けられる。

(3) ロジック詳細化のプロセスの例

a. 上位の知識による下位の知識の適用順序の制御
計装制御系のロジック変換での、上位の知識による下位の知識の適用順序の制御例を説明する。

第4図に、診断要素を1個所に挿入する一連のロジック詳細化のプロセスを示す。本例では、要素の挿入、分岐位置の変更、要素の追加のおのおのに関するものに分割した下位の知識の中から、以下のものを選択して適用する。

- (1) 診断要素の挿入
- (2) 制御計算機への出力端子の分岐位置の変更
- (3) 入出力端子の追加

(2)では、(1)の知識の適用結果を接続情報の変化として利用することにより、前段階で得られたロジック詳細化の結果を反映する必要がある副次的なロジック詳細化の条件を判定している。(1)の知識により挿入された診断要素は、その入力値が異常の場合、その出力値を一定値に保持する機能がある。したがって、異常値

第4図 ロジック詳細化のプロセスの例

の入力後に制御計算機で監視を継続するためには、診断要素への入力値を監視する制御信号値として取り出すための副次的な詳細化が必要となる。

b. グループ内の知識間の競合の解消

同一の要素の接続構成に共通した複数の仮説が成立し、仮説間の競合を解消するルールを段階的に適用したプロセスを、第5図に示す。本例は、シーケンス制御系のロジック変換の例である。

まず、「起動命令の入力端子と、その次段に既接続の要素との間に要素を挿入する」という形で、接続構成の変化を仮説として求める。ここでは、以下の要素を挿入する仮説が得られている。

- (1) 自動化条件のインタロック(AND要素)
- (2) タイミング協調のタイマ(TD要素)

次に、複数の仮説を参照し、挿入する要素の接続順序を決定するルールが適用される。ここでは、同一の

要素の接続構成(起動命令の入力端子と次段のOR要素)間に、2種類の要素(ANDとTD)を挿入する条件に着目したルールを適用する。このルールでは、新たに要素を挿入する周囲の接続構成に依存せず、「TDを最も出力に近い位置に挿入し、その前段に他の起動条件のインタロックを挿入する」条件のみを反映している。

3. 線図レイアウトでの知識処理方式の課題

半導体論理回路の設計では、回路素子間の接続関係と論理段とに注目した論理構成の確認を目的として回路図が用いられる。ここでは、機能図の機能要素の配置情報を利用して回路素子を配置し、機能図と配置を対応させて回路図が見易く構成されていることに重点が置かれている。したがって、半導体論理回路図の線図レイアウトでは、数値的な配置条件を主に考慮したアルゴリズムが可能となっている。

第5図 ロジック詳細化のプロセスの例

一方、制御系の設計では、第1図の例のように、値の切換え要素の配置のように、信号の流れが機能図と詳細図では異なり、機能図の配置を直接参考にするのが難しい。

したがって、制御系の設計では、詳細図の利用目的に対し、詳細図を機能的な部分に分割し易いように信号の流れに沿って要素を整列させたり、合理的な要素の演算順序を与える上で設計者の認識を助けるような図面のレイアウトに重点を置く必要がある。また、機能図と詳細図とは、要素の接続情報を与えるという意味では同等であるが、線図の表現は全く異なっている。このように、配置条件は数値的に表現できるものに限られず多様なものとなっている。したがって、多様な配置条件を記号により直接表現して利用する知識処理が有効と判断した。

4. 線図レイアウトでの知識処理方式

(1) 知識の構成

a. 知識のグループ化

設計者は大局的に要素の接続関係を把握し、縦横に整列させて配置できる要素の組を定め、その組の中か

ら要素を選択し、逐次、配置可能な位置に要素を割り当ててゆく手順を用いる。この際、配置済み部分と未配置部分との間にまたがる配置条件を利用する必要がある。この条件を配置の過程で求めることはルールの条件を複雑にし、同時に、同じ条件をもつルールが多数存在することになり、ルールを探索する上でも効率が悪くなる。以上の観点から、知識を以下のグループに分類してルールとして表わした。

- (1) 整列可能な要素の組を決定する。
- (2) 図の最上位置に整列可能な要素の組を選択する。
- (3) ロジックの入力に近い要素から順に演算順序を考慮して、要素の配置順序を決定する。
- (4) 複数の入出力端子を持つ要素、信号線の分岐がある場合、要素の配置順序を決定する。

ここで、(1),(2)は要素の配置条件を求める知識であり、(3),(4)は要素の配置順序、位置を求める知識である。また(1),(2)の知識は(3),(4)の知識に先立ち適用する。一方、(3),(4)の知識は知識の適用順序を与えずに配置の過程で要素の接続ボタンに応じて選択される。

さらに, (1), (2), (4)は線図の見易さを向上させる配置条件に関するヒューリスティックスを表わしたものであり, (3)は再帰的な配置手順を表現したものである。

第6図に知識の例を示す。本図では知識の種類(1)と(4)の例を示す。

	知 識	図
1	もし 要素Aから要素Bまでが、横一列に整列可能。 要素Bの第一出力が、要素Cの第一入力に接続。 ならば 要素Aから要素Cまでは、横一列に整列可能。	
2	もし 要素Bは、最新の配置済要素。 要素Aは配置済要素。 要素Cは、未配置要素。 要素Cの第一入力是要素A, 要素Cの第二入力是要素B, 要素Aと要素Cは、横一列に整列可能。 ならば 要素Cを要素Aの右に配置 要素Aと要素Cとの間、要素Bと 要素Cとの間に信号線を配置。	
3	もし 要素Aは最新の配置済要素, 要素Bは、未配置要素, 要素Bの第一入力是要素A, 要素Bの第二入力是要素C, 要素Cは、未配置要素, 要素Dから要素Cまでは、横一列に整列可能。 要素Dの入力端子数は0。 ならば 要素Dを、要素Aの入力側に接続 する配置要素の占有領域の下部 に配置。	

第6図 線図レイアウトの知識の例

6. 知識の表現

要素の配置条件を求める知識は、複数の要素間の配置条件を与える条件を単位としてルールで表現する。配置条件は述語論理型データにより表現する。

要素の配置順序と位置、接続線の経路を求める知識は、配置済み要素と未配置要素との間の接続関係と配置条件を参照して、次に配置する要素を結論として与えることができる単位にルールで表現する。

(2) 推論方式

推論の対象とするルールは、以下の知識のグループの適用順序を与える上位の知識により指定する。

① 要素の配置条件を求める知識

② 要素の配置順序、位置を求める知識

各知識のグループ内では、条件部での制御条件の多いルールを優先して適用する。これは、要素の同一の接続パターンに対しては、要素の種類に依らない一般的な条件をもつルールが先に適用されてしまうことを回避し、要素の属性を限定する程度の高いルールを優先するためである。

前述の知識の種類(1), (2)に対応するルールでは、要素の接続関係をフレームの形で取り出して、要素の配置条件を述語論理型データの形で求める。

また、知識の種類(3), (4)に対応するルールでは、最新の配置済み要素と未配置要素との間の接続関係と配

置条件を検索し、次に配置する要素を選択する条件が成立するかどうかを調べる。さらに、ルールの結論部では、要素の位置を決定するため自動的にメソッドを呼び出す。主要なメソッドは

- ① 配置済みの要素の占有領域の座標の下限値の計算
- ② 要素を配置する座標値の計算
- ③ 要素の出力端子の座標値の計算
- ④ 要素間の接続線の経路決定

である。

(3) 線図レイアウトのプロセスの例

ロジック詳細化後の要素の接続パターンは、以下の2種類のボタンを組み合わせたものとなっている。

- (1) 複数の入力信号に対して、多入力ー出力の要

素を用いた演算を繰り返して出力信号を求めるボタン。

- (2) 複数の演算の中間結果を、演算の進んだ段階で再び要素への入力とし、その演算結果から出力信号を求めるボタン。

操作ブロック図では、シーケンス制御系の主要な機能の一つであるタイマ動作、誤入力や渋滞の検出動作などを記述するために、時間要素や記憶要素等により演算を施される前と後の信号を同時に入力として用いる要素の接続パターンが多用される。第7図は、この接続パターンに特有な、信号の分岐後再び多入力の論理要素に入力する部分を配置する際の線図レイアウトの知識と、その適用プロセスを示したものである。

第7図 線図レイアウトのプロセスの例

例えば、(イ)のプロセスで適用するルールは、C1と未配置のC2、C3、C4、C5との間の次の配置条件を参照する。

- ・ C1とC2は一列に整列可能
- ・ C1とC5は一列に整列可能
- ・ C1とC3、C4は一列に整列可能

さらに、C4がC5の第2入力に接続している要素間の接続条件から、C1、C3、C4、C5の接続構成に「信号の分岐後再び多入力の論理要素に入力する部分」があることが判定された。この結果、C3、C4、C5を配置

する段階で接続線の交叉を回避するために、「C1の右にC2を整列させて配置する」ことを導く。

以上のように、配置済み部分と未配置部分とにまたがる配置条件を用いることにより、配置が進んだ後の段階での要素間の干渉の可能性を予測する条件の記述が可能となる。

以上の方式は、ネットワーク状に構成された設計対象の属性を決定する設計過程で、前過程からの設計案と未決定の設計対象の属性との関係を分析し、次に実行すべき操作を決定する手法⁽¹⁷⁾を、要素の配置という

物理的な属性を対象に拡張したものといえる。この手法では、実行すべき操作を選ぶ根拠を陽に表現することによりトップダウン的に設計過程を構成できる⁽¹⁸⁾。本方式では、配置条件によりこの根拠を与えており、配置修正を不要とする配置手順を構成する上で効果的である。

したがって、本方式は設計対象をブロック図形式で表現できる配置問題について適用可能である。

Ⅱ. 制御系ロジック自動変換システム

前章で説明した知識処理方式に基づいた、発電プラントの制御系ロジック自動変換システムの構成について説明する。

本システムは、機能図として制御系統図および操作ブロック図を、詳細図として制御ロジック図をおおの対象とした。基本的な構成を第8図に示す。

第8図 制御系ロジック自動変換システムの構成

本システムと設計者との間のインタフェースには、図面の作成・修正・登録を初めとする図面データベース管理機能をもつ製図用CADシステム⁽⁹⁾を活用した。設計者は、CADシステム対話入力機能とグラフィック表示機能とを利用して、要素、信号線の配置を表示画面上で指示して図面を作成、修正する。また、要素、信号線の種類と座標とを合わせた作図コマンドをあらかじめデータファイルに格納しておき、これをCADシステ

ムに入力することにより、図面を作成する。

本システムの主要な構成要素の概要を以下に示す。

(1) 推論プログラム

推論プログラムには、ルールおよび述語論理型のデータとフレームとを併用した推論に適した、汎用知識処理システム構築支援ツールを採用した⁽¹⁹⁾。

本ツールは、以下の特徴により、推論実行時の効率化を図っている。

- (1) ルールの条件部で検索する述語論理型のデータ、フレームとルールとの関連を、あらかじめネットワークに変換する。
- (2) 上位の知識により与えられた探索戦略とルール間の関連性に基づきネットワーク探索プログラムを作成する。推論実行時には、本プログラムを実行する。ここで、ルール間の関連性とは、すべてのルールに対する条件部の重複状況である。異なるルールでも、同一の条件判定を含むものについては、その判定結果が共有できるよう探索プログラムが構成される。

(2) 知識ベース

第1表にルールの分類と数を示す。

ロジック詳細化での知識ベースには、制御系統図、操作ブロック図のおおのについて、前章で分類した知識のグループに従い、ルールを格納した。さらに、要素の種類を表わすクラスフレーム20件、新たな要素のフレームを作成するメソッド1件、および要素の接続情報を変更するメソッド3件を記述するクラスフレームも併わせて知識ベースに格納した。

第1表 知識の分類とルール数

知識のグループ	ルール数	
	制御系統図	操作ブロック図
ロジック詳細化		
メタルール	1	1
要素の挿入	21	24
分岐位置の変更	3	3
分岐と要素の追加	16	16
線図レイアウト		
メタルール		1
整列可能な要素の組の決定		4
最上位置に整列可能な要素の組の決定		10
単数の入出力端子、分岐をもつ要素の配置		4
複数の入出力端子、分岐をもつ要素の配置		34

線図レイアウトでの知識ベースに関しては、ロジック詳細化後の制御ロジック図で要素の接続情報の構造は、制御系統図と操作ブロック図では同等であり、両者に共通して適用するルールを格納した。さらに、要素、接続線の座標を求めるメソッド61件を記述するクラスフレームも併わせて知識ベースに格納した。

(3) 入出力情報

入力情報は、機能図の要素の種類、信号の種類等の要素の属性、要素間の接続関係である。機能図の図面データベースからロジック変換範囲に対応する、要素の接続情報を抽出して作成する。出力情報は、詳細図を作図するCADシステムの作図コマンドである。

IV. 適用結果とその評価

1. 適用対象とその結果

開発した制御系ロジックの自動変換システムを、出力100万kWe級の発電プラントの制御系設計図面の一部のロジック変換に試験的に適用した。

以下、結果について述べる。

(1) 対象とした図面の概要

ロジック変換の対象とした制御系統図には、演算要素のほか、図面間の接続子を合わせて39件の要素を含んでいる。対象とした制御系統図は、次の機能を記述している。

- (1) 多重系構成による給水流量信号の入力
- (2) 給水流量目標値と流量信号値との偏差信号の単位変換演算と、その結果の出力

ロジック変換の対象とした操作ブロック図は、同様に22件の要素を含み、主に次の機能を記述している。

- (1) シーケンス起動可能・禁止条件の入力
- (2) シーケンス起動指令の各補機への出力

第9図に操作ブロック図の例を示す。

第9図 操作ブロック図の例

ロジック変換システムへの入力は、実際の設計で用いているロジック変換範囲と同一の部分の要素の接続情報とした。

(2) 適用結果とその評価

制御系統図を制御ロジック図にロジック変換した結果、要素40件を新たに付加した。

操作ブロック図を制御ロジック図にロジック変換した結果、要素26件を新たに付加した。

第10図に、操作ブロック図から制御ロジック図へのロジック変換結果を示す。本図で*を付した要素が新たに付加したものである。

以上のロジック変換に要した処理時間は、ロジック詳細化で約5min、線図レイアウトで約15minから25minであった。約1Mipsの演算処理能力をもつワークステーション型計算機を用いて処理を実行した。

以上の適用結果を、発電システムの制御設計に10年程度の経験をもつ設計者による設計結果と比較して、評価した。

適用結果では、設計者が機能図を参照して詳細図を作成する段階で付加した要素がすべて付加されており、設計者による変換結果と同等であった。また、機能図に記載されたコメントで、詳細図に転記すべきものはすべて記載された。

一方、実設計での詳細図に対し、本システムでは付加されなかった情報は以下の3点である。

- (1) 制御信号名、制御条件等の詳細なコメント
- (2) 要素間の演算順序
- (3) 制御信号のデータを格納するアドレス

これらの情報は、詳細設計を担当する設計者が制御演算プログラムを設計・製作するために、詳細図に付加される必要がある。これらは、ロジック変換により得られた複数の詳細図を参照して図中に記載されるものであり、前記のCADシステムを用いた設計者の介入が必要である。

V. 結 言

設計者の知識を反映して、プラントの制御系ロジックを機能図から詳細図へと自動的に変換する、知識処理方式を開発した。本方式の特徴は次の2点にある。

- (1) ロジック詳細化では、知識を3グループに分割して、グループ間の適用順序を上位の知識で与えることにより、汎用的な知識を組み合わせ、個々の要素の接続構成に適したロジック詳細化手順を構成する。また、複数の要素を追加する際に接続順序を決定する知識の競合を解消

第10図 ロジック変換の結果

するため、個々に追加する要素の種類と追加位置を仮説として与えるルールと、複数の仮説をもとに各要素間の接続順序を与えるルールとに分離して知識を記述し、知識の汎用性を高めた。

- (2) 線図レイアウトでは、多様な要素の接続パターンに応じた配置条件をレイアウトに反映するため、配置条件を導出する知識と、配置条件に基づき要素を配置する知識とをルールにより表現して利用した。特に、要素を配置するルールでは、配置済みの要素と未配置の要素との間の接続関係と、両者にまたがる配置条件とを考慮して、配置が進んだ段階での要素間の干渉の可能性を予測して、干渉を回避するレイアウトを求める。

また、本方式に基づいた制御系ロジック自動変換システムを、発電プラントの制御系設計図面を対象に試用評価した。知識ベースには、約150件の知識をルールの形で蓄えた。制御系統図から制御ロジック図、および操作ブロック図から制御ロジック図へのロジック変換について、設計者による設計結果と同様の結果が得られた。これらの変換結果と推論過程より、本方式の特徴である、①汎用的な知識を組み合わせたロジック詳細化と、②多様な配置条件を反映した線図レイアウトが有効に実現されていることを確認した。

なお、本方式は、ブロック図形式でシステムの機能仕様を記述し、機能仕様図にシステムの構成要素を付

加しながら詳細仕様を設計するエンジニアリング分野でのロジック変換に適用可能である。また、本報で例としたような発電プラントに限らず、化学プラント、水処理プラント等の制御系設計支援に本方式は拡張可能である。

— 参考文献 —

- (1) 三宅雅夫, 他: 日立評論, 70[5], 23~28 (1980).
- (2) 朝日隆一, 他: 原子力学会「昭62年会」要旨集, D40.
- (3) IMBRO, E.V., et al.: *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 59, 254~260 (1989).
- (4) 小林克己, 他: 日立評論, 62[7], 5~10 (1980).
- (5) WIESBADEN, S.W.: *Automatisierungs-tech. Prazies*, 28[6], 282~290 (1986).
- (6) 林 達男, 他: 原子力学会「昭63年会」要旨集, A31.
- (7) 関口 隆, 他: PCソフトウェア技術動向, 電気学会技報(I部)第142号, (1985).
- (8) 古田勝久, 他: 電気誌, 106[2], 105~112 (1986).
- (9) 三巻達男, 桑原 洋: “制御用計算機におけるリアルタイム技術”, (1986), コロナ社.
- (10) KOMODA, N., et al.: *IEEE Computer*, C-17[12], 73~83 (1984).
- (11) 山崎正実, 他: *FUJITSU*, 39[5], 336~341 (1988).
- (12) 西山 保, 他: 計測と制御, 27[10], 923~924 (1988).
- (13) WATANABE, T., et al.: *IEEE/ACM Proc. 23rd Design Automation Conf.*, 608~614 (1986).
- (14) MAY, M., et al.: *Computer-aided Des.*, 15[3], 115~122 (1983).
- (15) 真鍋俊彦, 他: 情報処理学会第33回全国大会2R-5, (1985).
- (16) 和田 裕, 他: 原子力学会「昭63秋の大会」予稿集, A47.
- (17) MOSTOW, J.: *The AI Magazine*, Spring, 44~55 (1985).
- (18) McDERMOTT, J.: *Artificial Intelligence*, 19[1], 42~65 (1982).
- (19) 船橋誠壽, 他: 日立評論, 70[5], 103~110 (1988).

◇ 第10回シミュレーション・テクノロジー ◇ コンファレンス

主 催 日本シミュレーション学会
協 賛 本会ほか関連学協会

会 期 1991年6月19日(水), 20日(木)

会 場 明治大学(東京・御茶ノ水)

分 野 (予定): シミュレーション言語と技法, システムのモデル化とモデル検証, シミュレータとハードウェア, リアルタイムシミュレーション, 知識工学とシミュレーション, 計算力学, 画像処理・信号処理, ロボティクス, CAD・CAM・CAI, 物理・化学・電気・通信・機

械・金属・原子力・計算機・計測制御・生体・医療・行動・教育・交通運輸・社会・経済・環境等諸分野への応用

申込方法 発表希望者は所定の「発表申込書」に題目・氏名(共著者も含む), 所属, 役職, 連絡先, 論文該当分野(上記「分野」のどれに属するか), 300字程度の発表要旨等を記入の上, 下記宛へ。(特に応募資格は問わない)
なお, 発表1件につき発表申込金8,000円が必要です。(ただし, 論文集1冊, 抜刷20部贈呈)

申込締切 1991年2月2日(土)

原稿締切 " 4月20日(土)

問合せ先 (〒151) 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-10-11 日本科学技術連盟内
日本シミュレーション学会事務局
(03-5379-1236; FAX 03-225-1814)