

## 不定個数の部品を扱うパラメトリック設計 ES 構築ツール

北川 哲也      小島 昌一

(株) 東芝 システム・ソフトウェア技術研究所

不定個数部品表現を導入した設計表現モデルと、そのモデルを備えた設計エキスパートシステム構築ツールについて述べる。われわれは、設計エキスパートシステム構築ツール (Debut) の開発を行ってきた。Debut は設計表現モデルを備えており、設計をモデル上に記述することによりエキスパートシステムを構築している。この設計表現モデルは、状態と過程から設計を表現し、設計対象の構造が予め確定しているパラメトリック設計を記述するのに適している。クラスとインスタンスを用いた設計対象表現を設計表現モデルに導入することにより、設計対象の構造が予め確定できず構造自体がパラメトリックに定義されるような問題に対して、設計エキスパートシステム構築ツールでのエキスパートシステムの開発を行なえるようにできる。

### Expert System Building Tool for Parametric Design

Tetsuya Kitagawa    Shoichi Kojima

Systems and Software Engineering Laboratory, Toshiba Corporation

This report describes an extension to design model and a tool to represent arbitrary number of parts of design object. a tool using the model are described. We have been developing a tool to support building expert systems on design domain. The representation of Debut is based on its model which consists of states and process. The model is appropriate to apply parametric design. The concept of class and instace introduced to represent the design with arbitrary number of parts. The new model is effective to support building expert systems for design which strcuture is determined in design process.

## 1 はじめに

設計業務を計算機の導入により効率化する手法として、自動設計システムの利用がある。通常設計業務は高度の専門性とノウハウの行使によって実行されており、自動設計システムはエキスパートシステムとして実現するのが有力である。ところが、汎用のエキスパートシステム開発ツールを利用した設計型のエキスパートシステムの開発には多くの労力を要している。われわれは、この設計型のエキスパートシステムの開発を容易にするために、設計型エキスパートシステム構築ツール (Debut) の開発を行ってきた [6]。

Debut は、設計者の作業過程をそのまま計算機上に表現することにより、自動設計システムを開発できるようにしたものである。Debut は設計に対する考察 [6] から、フォワードエンジニアリングに属し、機械部品設計のように設計対象が属性項目と属性値の集合として記述でき、パラメトリック設計として実施できるような分野を問題領域として設定した。この問題領域に対応した設計の表現モデルとして、設計を状態と過程から表現する状態遷移モデルを提案し、このモデルに基づいて設計者の設計作業を計算機上に記述、実行できるようなツールを構成している。

これまで、このツールを用いて実際にいくつかの設計型エキスパートシステムを開発し、このツールが現実の設計でよく行なわれているようなパラメトリック設計をエキスパートシステム化する優れた機能を有し、かつ、本ツールを用いることにより、設計者の考え方の整理が行なわれ、設計の標準化、設計過程の保存による過去に行なわれた設計の再利用の環境として強力な武器になることを確認してきた。

このように、非常に有用なツールではあるが、適用しうる範囲は設計表現モデルで制約されている。実際に、先に設定した問題領域に属するいくつかの設計問題でも、Debut で採用した設計モデルでは記述しにくい場合、あるいは記述できない場合があることがわかった。これは、設計対象の構造が仕様に基づいて動的に決定されていくような問題や、制御装置の設計のように不定個数の仕様が与えられるような問題である。この原因は、Debut の設計表現モデルが、考えうる設計結果の構造を全てモデル上に列挙できることを想定していたためである。

われわれは、不定個数部品の表現を状態遷移モデルを導入することにより、Debut が扱うことができる問題領域を広げ、従来のモデルでは、表現できなかったり、冗長になっていた設計の記述を簡潔に行なえるようにした。従来モデルでは、取り扱いにくかった設計には次のようなものがある。

- ダイナミックな構造の決定
- 不定個数の仕様の取り扱い

これらの設計は、設計であつから情報の構造を列挙によって記述しにくい問題であり、不定個数部品の表現を導入することにより、設計表現モデル上に簡潔に表現することができるようになる。

本稿では、不定個数部品を扱えるように拡張した状態遷移モデルと、このモデルに基づいてエキスパートシステムの構築支援を行なう設計エキスパートシステム構築ツールについて述べる。

## 2 状態遷移モデル

Debut では、設計を状態と過程から記述する状態遷移モデルを設計表現モデルとして採用している (図 1)。ここで、状態は設計仕様や設計結果などの設計対象についての設計のある時点で



### 1) インスタンスの生成

不定個数部品の表現の中核であり、設計の実行時に設計対象の構造を決めたり、仕様を与えるために用いる。

変速機構の設計を例とすると、変速比が仕様であり、仕様から歯車機構の段数を決め、各段毎に詳細化の設計を行ない、最終的には歯車レベルでの属性の情報を得る。設計対象を、仕様、変速の段、歯車の情報を構成要素として記述するとすると、段数の決定という設計過程は、設計対象の構造を決定する操作であり、各変速の段における情報を格納するための構成要素に対するインスタンスの生成操作として記述することができる。

### 2) インスタンスの詳細化設計

各インスタンスに対する詳細化の設計過程の知識はクラスレベルで記述する。設計過程の知識には、この知識を適用するインスタンスを指定するための、適用条件を記述できるようにしている。

例えば、変速機構の場合に、各段の変速機構が2つの歯車から構成されるとする。この歯車についての具体的な設計結果は、変速の各段ごとのインスタンスの生成機能を使って作られた歯車のインスタンスに格納されることになる。歯車の詳細設計方法はクラスレベルで記述することになるが、この時、その歯車の属する変速の段の情報を利用したい場合がある。歯車と変速の段の情報は別の不定個数部品としてそれぞれがインスタンスに表現されるので、どの変速の段のインスタンスの情報を利用するかを指定して詳細化設計の知識が記述する必要がある。このような設計過程は、他のインスタンスから必要な情報を検索して取り出して利用するような過程であり、インスタンスの組合せを知識の適用条件として記述することで実現されている。

### 3) インスタンスの数の情報の利用

例えば、変速機の段数からそれを取める容器の設計を行なう場合などのように、インスタンスの数の情報を利用した設計を行ないたい場合がある。このような設計過程を表現できるようにするために、任意の設計対象のインスタンスの数の情報を利用した設計過程の表現を行なえるようにする。

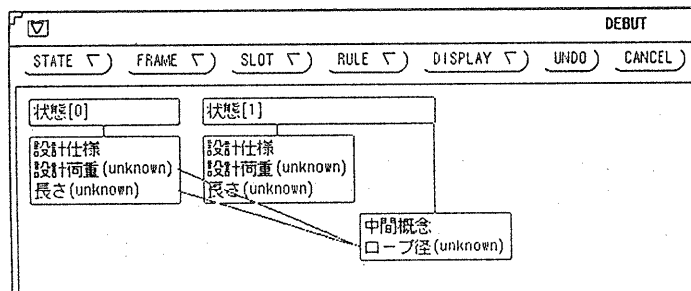


図 2: 設計の表現例

## 4 エキスパートシステム構築ツール

設計エキスパートシステム構築ツールは、設計エキスパートシステムの作成を支援するために次のような機能から構成される。

- 設計を設計モデルに基づいて記述する機能
- 記述された設計を実行する機能
- 設計の結果等を編集する機能

ここでは、不定個数部品の表現を扱えるように拡張した状態遷移モデルがツール上でどのように表現され、これらの機能がどのように表されるかを示す。

### 4.1 システムの構成

図3にツールのシステム構成を示す。本ツールは、設計の専門家が直接設計知識を操作するための視覚的エディタを備え、設計を設計表現モデルに基づいて構築できるようにしている。この視覚的エディタは、設計エキスパートシステムの構築だけでなく、設計の実行経過、結果の表示、設計実行の管理を行なう。設計の実行はモデルに基づいて記述された設計知識を汎用の知識表現形式に変換することで、汎用エキスパートシステムの推論機構を利用して実現している。

設計エキスパートシステム構築ツールはこのための知識変換機能を有し、専門家が記述した設計の知識から汎用エキスパートシステム構築ツール上の知識表現を生成している。状態遷移モデルにおける設計の状態はフレーム型知識表現、設計過程はルール型知識表現に変換している。また、不定個数部品の取り扱いにおけるインスタンスは、汎用ツール上ではフレーム型知識表現に変換して表現する。

### 4.2 インスタンスの表示、編集

インスタンス情報を表示、編集するための専用のエディタを設ける。この不定個数部品用のエディタは、図4に示すようにインスタンス情報を表形式に表示する。横の欄が属性を表し、縦にインスタンスごとの情報を表示する。不定個数部品用のエディタは、インスタンスの情報の表示の他に、インスタンスの新規生成や削除、属性値の設定、変更、削除といった機能を備える。エディタのこれらの機能を利用して、設計実行時や設計知識のデバッグ時、設計知識記述時にインスタンスの管理を行なうことができる。

### 4.3 不定個数部品；設計の表現

視覚エディタ上で、不定個数部品を扱う設計がどのように記述され、実行されるのかを示す。このツールは、設計行為の全てを記述することを戦略としている。つまり、どのような形式で設計の入力（仕様、要求）が与えられ、なにを出力（設計結果）として求めるのか、そして、設計結果は設計仕様からどのように決定されるのか。それらを記述することで、設計者と同じ設計行為を行なうエキスパートシステムを作成しようというものである。

以下、不定個数部品の視覚エディタ上での表現と設計エキスパートシステムとしての動作に焦点をあてて、不定個数表現の機能を説明する。

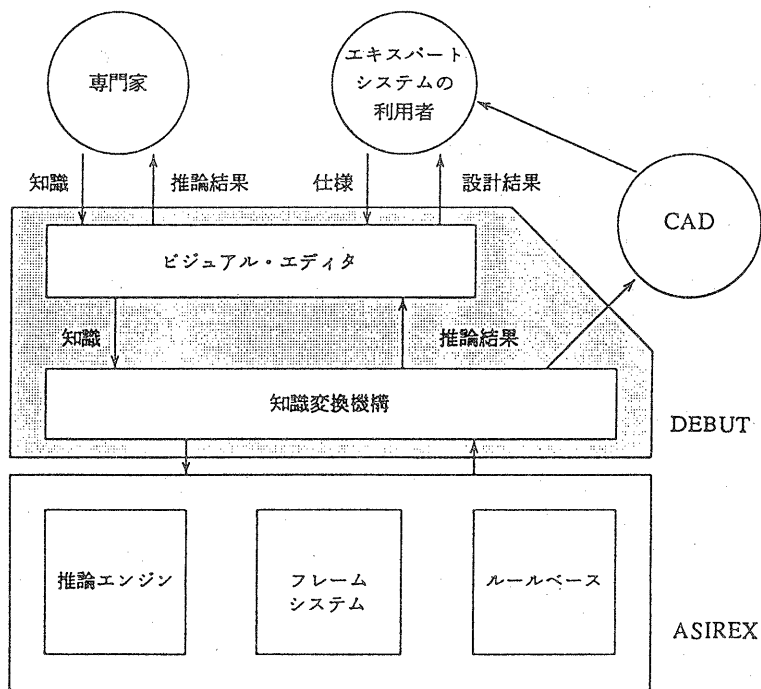


図 3: システム構成

The screenshot shows a software window titled '歯車部品' (Gear Part). At the top, there are menu buttons: 'ファイル' (File), '表示' (View), '編集' (Edit), and 'プロパティ' (Properties). Below the menus is a label '属性値:' followed by a text input field. The main area is a table with four columns labeled '属性A', '属性B', '属性C', and '属性D'. The table has multiple empty rows for data entry. At the bottom of the table, there are navigation arrows and a button labeled '[無変換]' (No Conversion).

属性A	属性B	属性C	属性D

図 4: 不定個数部品のための表形式エディタ

#### 4.3.1 状態の記述

状態は、属性項目と属性値の記述からなるいくつかの構成要素（設計仕様、設計結果、中間情報）の表現から構成され、視覚エディタ上ではフレーム形式に表現された構成要素のツリーとして示される。ツールは、エキスパートシステム構築の方法の分析に基づいて、状態や設計対象を表現するためのコマンドを提供しており、設計仕様から設計結果を表す終端の状態までを効率的に記述できるようにしている。不定個数部品として用いるのは、このフレーム形式で表されている設計対象の構成要素である。不定個数部品は、設計対象の構成要素としてフレーム形式に記述する。インスタンスの生成は、不定個数部品用のエディタから行なうことができる。ある構成要素がインスタンスを持っている場合には、視覚エディタはその構成要素がインスタンスをもっていることが分かるように表示する。

各インスタンスの値を、実際にどのように決定するのかは設計過程の知識として記述する。

#### 4.3.2 設計過程の記述と動作

ツールは設計過程をとなりあった状態間の線分で表す。ある状態の属性値を決定する設計過程は、その属性と、その値を決定するのに使う前の状態の属性を結ぶ線で表される。この時の実際の設計操作は、前の値から後ろの値を決める手続きであり、ツールでは設計過程知識用のエディタを用いて編集する。この設計過程の手続きは、前の状態での値が全て定まり、かつ後ろの状態での値が定まっていないときに実行され、後ろの値を決定する。設計対象にインスタンスが存在する場合も基本は同じであり、あるインスタンスの属性値が定まっていないときに、手続き的に値が決定される。線分による設計過程の表現は、設計対象のインスタンスの有無に関係ないが、実際には、あるインスタンスの値を決定するのに前の状態のどのインスタンスの値を用いるか指定する必要がでてくる。このような指定は、設計過程の知識に、適用するインスタンスを指定するための適用条件の記述することによって行なう。この条件は、設計過程用のエディタから記述する。

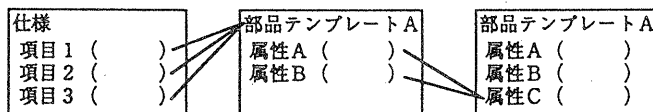
##### ● インスタンスの生成の表現と動作

インスタンスの生成は設計対象に対する特殊な行為であり、設計対象の構成要素の属性値を決定する操作というよりも、構成要素そのものへの操作である。これを表現するために、インスタンス生成を行なう設計過程の知識は、インスタンス生成の条件となる属性値からの構成要素のフレーム形式表示への線分として表す。実際のインスタンスの生成の指定は、図5に示すように、設計過程知識における手続き的な設計操作知識のなかで特定の関数を呼ぶことで行なう。生成されたインスタンスの情報は属性値の情報とともに、それより後方の”状態”で利用することができなければならない。なぜなら、状態は設計のある時点での知り得る情報を表しており、それ以降の時点でも同じ情報を持っていると考えることができるからである。そこで、生成が行なわれた状態より後ろの状態に、インスタンスの”親”と同じ設計対象フレームがあるときに、その状態でもインスタンスを生成する。また、前の状態が持っている属性値は、後ろの状態が受け継ぐようにする。逆に、インスタンスが削除された場合には、それより後方の状態に対応するインスタンスが削除される。

##### ● インスタンスへの設計過程の表現と動作

インスタンスを対象とした設計過程は、先に触れたように、適用条件の設定が大きな役割を担っている。いくつかの場合に分けて、インスタンスの設計過程における動作を説明する。

##### i) 同じ構成要素内での詳細設計



```

インスタンス生成知識の記述の例

for (i=1;i<項目1;i++) {
    :
    setattr ( attr "属性A", "value" );
    setattr ( attr "属性B", "value" );
    create ( attr );
}

```

図 5: インスタンス生成の設計過程知識の表現



操作の記述:  
属性C := f (属性A, 属性B)

図 6: 同じ構成要素内での詳細設計の表示

同じ構成要素内での詳細設計は、図6のように、となりあった状態間で同じ構成要素を結ぶ線として設計過程が表現される。構成要素がインスタンスを有する場合には、構成要素の各インスタンスに対する詳細化の設計が行なわれる。この詳細化の設計は、前後の同じインスタンス間で適用されるようにしている。

ii) 複数のインスタンス情報を利用した設計過程

これは、図7のようにあるインスタンスの値を決めるのに、他のインスタンスの情報を利用するような場合である。動作可能なパターンは組合せの数だけあるが、設計で実際に行なわせたいのは、ある特定の組合せだけであることがほとんどである。組合せを制限し必要な情報のみ取り出すために、設計過程知識の適用条件を記述するようにしている。



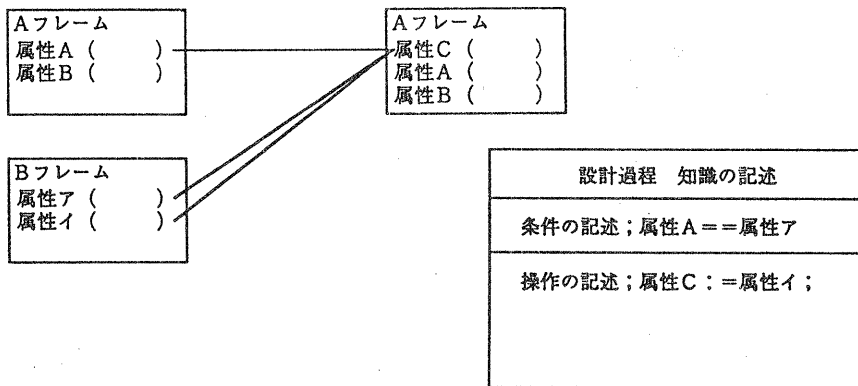


図 7: 他のインスタンス情報を利用した設計過程

## 5 適用方式例

不定個数部品の表現を設けることにより、従来の状態遷移モデルでの記述性が向上し、エキスパートシステム構築ツールによって支援が可能となる設計問題領域が増加する。ここでは、不定個数部品の表現モデルを利用することによって、ツール上で効率良く表現できるようになる設計の表現例を紹介する。

**設計仕様の表現での不定個数部品の利用** ある種の制御回路系の設計では、設計仕様がそれぞれの動作の禁止条件を記述した複数の仕様の集合として与えられる。このような設計は、設計仕様をインスタンスとして表現することで記述できる。また、仕様の構成要素間における制約などの関係は、それぞれの情報を利用しあうことであり、表検索的な過程として表現できる。これらの場合、仕様のインスタンスは、不定個数部品用のエディタを通じて入力する。

**ダイナミックな構造の決定** 変速機能の設計における歯車の段数の決定など、設計の過程でのダイナミックな設計対象の構造を決定する設計過程は、インスタンスの生成表現を用いて記述することができる。

**表検索的利用** 設計において、表検索はしばしば行なわれる。規格の中から必要な情報を取り出すような場合である。このような過程を設計過程として組み込む方法には2つの方法がある。一つは、設計過程の手続きとして外部のデータベースを呼び出す方法である。この方法では、視覚エディタ上にはデータベースは表示されず、設計過程手続きの一部としてデータベースの利用が位置付けられている。いま一つは、不定個数部品を利用する方法であり、表検索の過程を視覚エディタ上に表現することができる。利用したいデータを設計対象のインスタンスとして作成しておき、このインスタンスの情報を利用する設計過程の知識を書けばよい。インスタンスの情報の検索は設計過程知識に適用条件を設定することで表現される。これは、大規模なデータには向かないものの、データの利用が明示的になるといふ利点がある。

## 6 おわりに

本稿では、不定個数部品に対応した設計表現モデルについて述べ、このモデルにより、状態遷移モデルで記述可能な設計領域を拡張することについて述べた。状態遷移モデルを不定個数部品対応に拡張することにより、設計時にダイナミックに構成要素が決定されるような設計問題や、仕様が不定個与えられる問題や、表検索の過程を含む問題に対しても設計エキスパートシステム構築ツールを利用した設計のエキスパートシステム化を行なうことができるようになる。このツールは、設計者の行為をそのまま表現するモデルを備えているので、設計の専門家にも分かりやすく、専門家が直接ツールを利用して設計エキスパートシステムの構築を行なうこともできるようになる。

設計エキスパートシステムを構成する方式としては、オブジェクト指向を利用したり [5]、プログラミング手法を利用して実現する方法 [3] などが提案されている。それらは、設計者の実際の過程をそのまま利用するわけではなく、設計対象とその属性値を決定する方法をオブジェクト指向的に記述し、その表現と分離した機構によって、設計結果を得る構成をとっている。この方法は、設計対象の独立性、部品性が高いというのが利点であるが、設計実行の順序等は、実行機構に依存しているためにエキスパートシステムのデバッグが行ないにくい。また、設計戦略が入れにくく、不定個数部品も扱いにくい。

本システムでは、設計の過程がそのまま視覚的に捉えることができるので、設計記述言語や計算機言語にはあまり詳しくない対象分野の設計の専門家が直接、設計知識を記述、実行させ、不具合点を修正していくという、エキスパートシステム構築の過程をサポートすることに成功している。

今後は、実際の設計に実地に適用して効果を確認するとともに、設計専門家に負担にならない形で知識を取り込めるようにしていく予定である。

## 参考文献

- [1] 長澤 勲. 設計エキスパートシステム. 情報処理, Vol. 28, No. 2, pp. 187-196, 1987.
- [2] 吉川 弘之, 富山 哲男 (編). インテリジェント CAD(上/下). 朝倉書店, 1991.
- [3] 三樹 弘之, 岩根 典之, 木下 哲男. 設計プランに基づく設計タスク向き知識表現モデルの検討. 情報処理学会第 39 回全国大会, 1989. 3C-3.
- [4] 小林重信. 知的情報処理システムにおける調査研究報告書 - 計画・設計型知識システムの構築方法論. Technical report, ICOT-JPDEC AIC, 1989.
- [5] 赤木 新介, 藤田 喜久雄. 設計エキスパートシステムの構築と設計問題. 人工知能学会知識ベースシステム研究会資料 (第 13 回), 1990.
- [6] 中村 人哉, 北川 哲也, 小島 昌一. 設計の表現. 人工知能学会知識ベースシステム研究会資料 (第 16 回), 1991.