

# 設計過程の分析と論理による形式化 (第3報)

## -サーカムスクリプションとアブダクションによるモデル化-

東京大学工学部 ○林千登・武田英明・富山哲男・吉川弘之

### 1. はじめに

設計者をよりよく支援するためには、CADシステムが人間の設計過程と適合する設計過程のモデルを持つことが必要である。第1報[1]において、設計実験の解析の結果とその演繹による定式化を行なった。その中で、設計実験のプロトコル解析の結果として、設計過程が下に示すような設計過程サイクルの繰り返しと表現することを提唱した。

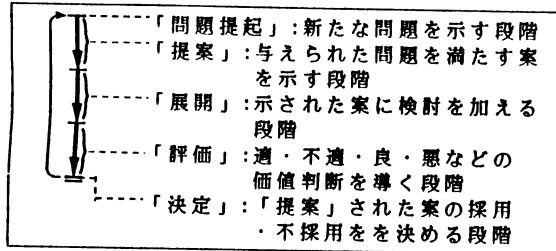


図1 設計過程サイクル

第1報では「展開」、「評価」の部分は演繹推論によって定式化できることを示した。しかし、「提案」、「問題提起」、「決定」の段階については演繹の推論の枠外であるとされ、定式化がなされていない。

本研究ではアブダクションとサーカムスクリプションの二つの論理的推論を用いてこれらの部分の定式化を行なう。さらに、これらの推論と演繹を合わせた論理的推論モデルが図1に示した設計過程サイクルを表現するモデルとして有用であり、計算可能であることをプロトタイプ・システムを用いて示す。

### 2. アブダクションとサーカムスクリプション

アブダクション(abduction)はパース[2]によって定義されたものであり、直感的には演繹における三段論法と逆の推論を行なうものである。例えば、二つの既知の事実「 $A \rightarrow B$ 」と「 $B$ 」から、「 $B$ 」を満たすものとして「 $A$ 」を導く推論であるといえる。

サーカムスクリプション(circumscription)は McCarthy[3]によって提唱されたものであり、ある述語  $P(x)$  を真とする  $x$  からなる集合(extension)の濃度を最小化するものである。例えば、 $P(a) \wedge P(b)$  が与えられたとき、 $P(x) \rightarrow a \vee b$  を導き出す。これによって  $P(x)$  を満たす  $x$  を  $a, b$  に限定する。このextensionの最小化を利用して、与えられた式から矛盾を排除することができる。

サーカムスクリプションの実現方法にはいろいろな種類のもものが提案されており、以下の式はそれらの基本となっているPredicate circumscriptionとよばれる手法における定義である[3]。

$$A(\Phi) \wedge \forall x (\Phi(x) \rightarrow P(x)) \rightarrow \forall x (P(x) \rightarrow \Phi(x)) \quad (1)$$

$A(P)$ : 述語  $P(x)$  を含む式

$A(\Phi)$ :  $A(P)$  中の述語  $P(x)$  を全て述語  $\Phi(x)$  によって変えた式

すなわち、与えられた式  $A(P)$  において  $P$  に対して(1)式を満たす  $\Phi$  を求めることがサーカムスクリプションである。すなわち、 $P$  の最小のextensionをそのextensionとするような述語または論理式が  $\Phi$  として求められる。しかし、この定義においては実際には  $\Phi$  が述語変数であるから二階述語論理式になってしまうため、その計算方法が問われていたが、Lifschitz[4]によって計算可能な形の形とその計算方法が示された。以下本研究においてはその計算方法を利用している。

### 3. 推論のモデル

この節では設計過程を定式化するための論理的推論モデルとしてアブダクション(Abduction)、サーカムスクリプション(Circumscription)、演繹(Deduction)を組み合わせた推論モデル、ABC Dモデルを提案する。

#### 3.1. 対象とする論理式

対象とする論理式として、個体変数を含まない式(ファクト)と個体変数を含む式(ルール)を扱う。ただし、個体変数は全て冠頭の全称記号によって縛られているものとする。また、ルールは一般的な法則・情報に関して定式化したものとする。一般的な法則・情報にはそもそも例外があるのが普通であるので、ルールには皆それぞれ固有のアブノーマル述語を組み込む。例えば、下のような形になる。

$$\forall x (P(x) \wedge \neg ab(x) \rightarrow Q(x)) \quad (2)$$

$P(x), Q(x)$ : 一階の述語

$ab(x)$ : この式固有のアブノーマル述語

(2)式は「 $P$ ならば一般的に(例外でなければ)  $Q$ である」という式を表している。サーカムスクリプションは多くの場合、このアブノーマル述語を最小化するために用いられる。

#### 3.2. 推論モデル(ABC Dモデル)

ABC Dモデルではファクトとルールはワークスベ

ースと呼ぶところに格納され、ここで推論機構によって処理される。また、これとは別にルールベースがあり、必要に応じてルールベースからワークスペースへルールが導入される。以下にA b C Dモデルの推論方式を示す。初期状態としてワークスペース内に有限のファクトとルールが存在し、現在終了条件を満たしていないとする。以降、他のファクトとルールから演繹されないファクトを仮定と呼ぶことにする。

- 1)ルールベースから入力としてワークスペース内に有限のルールを導入する。
- 2)サーカムスクリプションを行ない、各ルールのアブノーマル述語を求める。
- 3)その時点で注目しているファクトからアブダクションが可能であれば行なう。
- 4)アブダクションの結果から得られたファクトを仮定とする。その結果、いくつかのこれまで仮定であったファクトは仮定でなくなる。
- 5)仮定とルールからある特定のファクトが演繹によって導かれるかどうか調べる。導かれなければ、その原因一つにつき1度だけ3)へもどる。
- 6)その特定のファクトが導かれたならば、終了条件を満たしているかどうかを調べ、満たしていないなら1)へ戻る。終了条件を満たしていれば推論を終わり、その時点での仮定の集合が推論全体の答となる。

上の6段階の推論方式において終了条件が未定義である。これはモデルを制御するレベルにおいて定められるものであり、例えば各々のこの推論モデルの応用の領域で決められる。

#### 4. 設計過程モデルとしてのA b C Dモデル

前節において示したA b C Dモデルを設計過程モデルとしてとらえると、図1の設計過程サイクルと下に示すように対応させることができる。

- ・「展開」、「評価」  
この過程は第1報[1]により、演繹推論によって定式化可能であることが示されており、5)の段階に対応する。
- ・「問題提起」  
これは2)の段階あるいは6)の段階に対応する。
- ・「提案」  
この過程は3)の過程、つまりアブダクションの推論に対応する。

また、A b C Dモデルを設計過程のモデルとして考えたとき、前節に挙げたアルゴリズム中の終了条件は、例えばその時点の仮定の集合の中の情報が製造のために十分に詳細化されたときである。

#### 5. 計算機上でのシミュレーション

本研究ではK C L (Kyoto Common Lisp)上でアブダクション、サーカムスクリプション、演繹を行なう簡単なツールを作成して、それらを4.で挙げた推論方式に従って動かすプロトタイプ・システムを構築した。このシステムを用いて設計過程の非常に簡単なシミュレーションを行なった。

図2に示したのはそのとき用いられたルールの例である。これらのルールは順にシステムに入力され、その際にルール固有のアブノーマル述語を前提部に付け加えられる。そして一つのルールが入力される度に、3.で示した6段階の操作が行われ推論されていく。この推論の結果を、図3に示す。この図は最初のルールを入力した段階と図2のルールを全て入力した段階でのファクトと仮定とを示している。

```
(bending_machine bend_m):-
  (stack (stack_part cigarette bend_m))
  (take_out (to_part cigarette bend_m))

((stack (stack ta bd_m)):- (figure1 (stack ta bd_m)))
((take_out (take_out_pat cigar bd_m)):-
  (push (take_out_pat cigar bd_m)))
((drop (cigare)):- (push (ha cigare bd_m))
  (figure1 (stack_part cigare bd_m)))

(¬bending_machine (b_machine)):-
  (drop (cig))
  (take_out (L_part cig b_machine)))

(¬drop (tab)):- (push (L_part tab b_m))
  (support (tab L_part support_part)))
```

図2 入力するルールの例

##### Step-1

```
assumption :
  (STACK-2 TAKE_OUT-2)
fact :
  (VENDING_MACHINE-6 STACK-2 TAKE_OUT-2)
```

##### (a) 開始段階

##### Step-6

```
assumption :
  (FIGURE1-92 PUSH-88 SUPPORT-7)
fact :
  (FIGURE1-92 PUSH-88 SUPPORT-7 TAKE_OUT-156
  STACK-114 VENDING_MACHINE-80 ¬DROP-56)
```

##### (b) 終了段階

図3 開始段階と終了段階でのファクトと仮定

#### 6. 結論と展望

設計過程の論理による定式化としてA b C Dモデルと提案した。このモデルは設計過程に十分に対応する計算可能なモデルであり、将来のC A Dシステムにおける推論モデルとして一つの有力な候補である。

今後は論理的モデルとしてA b C Dモデルを精密化すると共に、設計対象の研究と統合することによって、設計過程の推論としてさらに発展させる必要がある。

#### 参考文献

- [1] 武田他:設計過程の分析と論理による形式化(第1報),昭和63年度精機学会春季大会学術講演会前刷(1988),pp.131-132.
- [2] パース,C,S(内田種臣編訳):パース著作集,勁草書房(1986).
- [3] McCarthy,J., "Circumscription - a form of non-monotonic reasoning", Artificial Intelligence 13(1980),pp.27-39.
- [4] Lifschitz,V., "Computing circumscription", Proc.9th International Joint Conference on Artificial Intelligence 1,1985,pp.121-127.
- [5] 大須賀節雄:K A U Sによる知的C A D構想,人工知能学会知識ベースシステム研究会(第4回)資料,(1988),pp.69-78.