

インテリジェントCADのための 論理的推論と設計過程のシミュレーション

東京大学工学部 ○馬場重郎・河合浩之・武田英明・富山哲男・吉川弘之

1 はじめに

知的な支援を行うCADシステムを構築するためには、動的かつ計算可能な設計過程のモデルを提案することが不可欠である。計算可能なモデルは、それを利用して実際の設計過程を再現することによって、モデルの有効性、妥当性を検証することができる。本研究ではこれを設計シミュレーションと呼ぶ[1]。

本研究では、設計過程を対象に対する操作としてとらえる対象レベルの推論を論理によって形式化し、さらにそれを制御するために、設計過程を作業、行動としてとらえる行為レベルの推論を導入する。そして、この二つのレベルの推論を用いた設計過程モデルの有効性を設計シミュレーションによって検証する。

2 設計の認知的モデル

設計過程においては、対象そのものの性質などに関する思考と、次になすべきことは何かを求めるという行為に関する思考が混在していると考えられる。本節では、設計過程を対象のレベルの思考と行為のレベルの思考に分けて考察し、その認知的なモデルを考える。

2.1 設計過程サイクルの分析

設計過程の認知的なサイクルとして設計過程モデルが武田ら[2]によって提案されている。この設計過程サイクルにおける各段階を分析する。

「問題提起」では、その時の仮説集合のうち、どの仮説が設計解として有効であるかの判断と、設計解としてまだ有効でない仮定のうちから、どの仮定に対してより優先して操作を行うかの判断が求められる。これらは、行為レベルの思考である。

「提案」では、設計対象に関する知識を使って与えられた問題を満足する案を探す。これは、対象レベルの思考である。

「展開」も設計対象に関する知識を使って案に検討を加えるという対象レベルの思考と考えられる。

「評価」には、展開された結果をもとに、矛盾が生じないかの確認や評価のための知識を用いた判断を行う対象レベルの思考と、その結果に基づいて次にすべき行動の決定を行う行為レベルでの思考という二つのレベルでの思考があると考えられる。

「決定」では、「評価」において価値判断がなされた案の採用を決めるための対象レベルの思考が存在す

ると同時に、次の作業を選択する行為レベルでの思考もあると考えられる。

2.2 行為レベルと対象レベルの関係

設計過程サイクルの分析から、設計過程においては、行為レベルの思考と対象レベルの思考が存在していることが分かった。行為のレベルの思考は、対象のレベルにおける状態に応じて行われる。その結果は対象レベルの思考の制御であり、その制御に基づいて対象レベルの思考が行われている。

3 論理を用いた推論モデル

論理を用いた推論モデル[1]としてA b C Dモデルが林ら[3]によって提案されており、本研究ではこれを拡張して新たな論理モデルを提案する。

3.1 推論の種類

論理的な推論として、本研究ではアブダクション、サーカムスクリプション、演繹を用意する。

アブダクション(abduction)は「B」と「 $A \rightarrow B$ 」から「A」を導く推論でパース[4]によって定義された。

サーカムスクリプション(circumscription)は、ある述語P(x)のextentionの濃度を最小化する推論である。これを利用して与えられた論理式から矛盾をなくすることができる。サーカムスクリプションは、McCarthy[5]によって定義され、Lifschitz[6]によってその計算可能性と計算方法が示された。また本研究では中川ら[7]によって示された計算方法を用いている。

3.2 対象となる知識

本研究で扱う知識は論理式で表現されるものとし(以下ルールと呼ぶ)、現時点で信じられていることをassumptionと呼ぶ。またassumptionと知識により導かれるものをfactと呼ぶ。知識はある単位からなる知識ベースで管理され、知識の適用は知識ベース単位で行なわれる。知識ベースは、操作に応じて可変であり、設計過程が進むにつれて変化してゆく。

3.3 推論の方法

この推論モデルでは、ワークスペースと呼ばれる作業領域が用意されており、fact集合、assumption集合、知識ベースがそこに入れられ、各推論の対象となる。

このモデルの中における操作は、次の6つである。

・assumptionと知識から演繹によってfactを導く。

・factと知識からアブダクションによってassumption

を導く。

- ・ assumptionとfactと知識からサーカムスクリプションによって新たな知識を導く。
- ・ 知識（ベース）を操作する。
- ・ assumptionを操作する。
- ・ factを操作する。

これらの操作を制御するレベルとしてメタなレベルがあり、操作の選択、決定はここで行なわれる。メタレベルで指定された操作を次々に行ない、終了条件を満たせば推論は終わる。

4. 行為レベルを考慮した設計過程の推論モデル

本節では、前節の推論モデルを、設計過程の認知的モデルの行為レベル、対象レベルの各レベルの思考と対応させることで、設計過程の推論モデルを提案する。

設計過程の認知的なモデルにおける対象レベルの推論にこの推論モデルを対応させると、推論モデルにおけるfact、assumption、ルールはそれぞれ認知的なモデルにおいて対象レベルの思考により導かれた対象の性質、設計解、対象に関する知識に対応させることができる。また、推論モデルにおけるメタレベルによる制御は、認知的モデルにおける行為レベルによる対象レベルの思考の制御と対応している。

推論モデルを設計過程の行為レベルにおける認知的なモデルと対応させてみると、assumptionは認知的モデルにおける対象レベルの状態と対応し、factは次に選択すべき操作、つまり行為レベルの思考の結果に対応する。また、ルールは、行為レベルにおける推論のための知識に対応する。

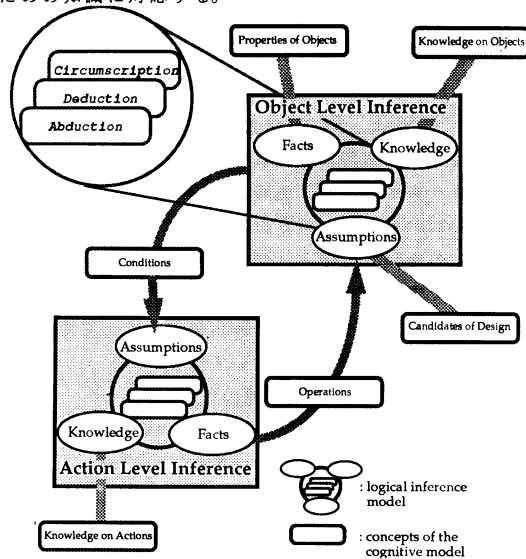


図1 設計過程の推論モデル

設計過程は全体として、図1に示すように2つのレベルを行き来するモデルになる。例えば、先の「評価」は対象の特性等の知識を用いた対象レベルの演繹による対象の性質の導出と、その結果と評価基準等の知識を用いた、次の行動（満足できるなら先へ、でなければ戻る等）を決める行為のレベルの演繹推論からなる。

5. 設計シミュレーション

以上に述べた推論モデルを用いた設計過程のシミュレーションシステムを、Sun4上の Allegro Common Lisp で試作した。このシステムは、対象レベルの推論として3節で述べた各推論を、行為レベルの推論としては、簡単な演繹推論を行なう。

設計実験[8]から得られたプロトコルデータを利用して13の知識ベースを作り、簡単な設計のシミュレーションを行った。その結果、約20秒間の実行時間でアクション10回、演繹22回、サーカムスクリプション3回を行ない、実際のプロトコルと同様な手順・結果の設計過程を作ることができた。

6. 結論と展望

設計過程の各段階を論理により形式化し、それを制御するために行為レベルの推論を導入した設計過程の推論モデルを提案した。このモデルは、設計過程に対応する計算可能なモデルであることが、設計シミュレーションによって確認された。このモデルは知的CADにとって有効な設計過程モデルとなると考えられる。

今後は、行為レベルの知識や作業のより詳細な分析、行為レベルの制御の研究を行うことによって、この推論モデルを設計過程の推論モデルとしてより発展させる必要がある。

参考文献

- [1] 武田他: 知的CADのための設計シミュレーション、第7回設計シンポジウム論文集、(1989)、pp34-36
- [2] 武田他: 設計過程の分析と論理による形式化(第1報) 63年度精密工学会春季大会講演論文集、(1988)、pp. 131-132.
- [3] 林他: 設計過程の分析と論理による形式化(第3報) 1989年度精密工学会春季大会講演論文集(1989) pp. 7-8.
- [4] パース, C.S. (内田種臣編訳): パース著作集、勁草書房(1986)
- [5] J. McCarthy: Circumscription - a form of non-monotonic reasoning, Artificial Intelligence 13(1980), pp.27-39.
- [6] V. Lifschitz, : Computing Circumscription, Proc. 9th International Joint Conference on Artificial Intelligence, (1985), pp.121-127.
- [7] 中川他: 論理型言語におけるCircumscription, 情報処理学会論文誌、(1987)、28(4)、pp.330-338
- [8] 武田他: 設計過程の分析と論理による形式化(第2報) 1989年度精密工学会春季大会講演論文集(1989) pp. 5-6.