

設計過程の分析と論理による形式化 (第1報)

-設計実験の分析-

東京大学工学部 ○武田英明・勢川博之・林千登・冨山哲男・吉川弘之

1. はじめに

統合的に設計を支援するCADを構築するには設計対象だけでなく設計過程も明示的に表現することが必要である。本研究では設計過程を表現する方法として論理的枠組みを用いる。まず設計過程がどのようなものに形式化できるかを知るために設計実験を行った。次に設計実験の結果を1階述語論理に限らず非標準論理を含む広い論理的枠組みで表現を行った。この体系が設計過程を記述するのに有効であることを確認した。

2. 設計実験

2.1 実験の方法

実際の設計過程を動的に観察するために設計実験を行った[1]。設計実験の手法としてはプロトコル解析を用いた[2]。プロトコル解析は被験者が話したものは全てと動作や図面を通じての意志伝達を記録できるので、データ収集能力に優れている[3]。しかし被験者自身の説明を記録するので被験者が1人の場合、黙想した部分は記録できないなど問題点がある。そこで今回は2人の設計者が対話的に設計を行うという設定で実験を行った。これはお互いに相手の思考したことの説明を求めることで、設計の途上の思考がより多く記録にできると考えたからである。被験者は学生と企業において設計経験がある者で、被験者を替えて同じ課題で3回(計6人)行った。設計課題は自動販売機の搬出部の概念設計であった。概念設計とした理由は、詳細設計段階の設計実験は既に行ったことがあること、定型的な方法が多く用いられる詳細設計段階より概念設計段階の方が概念の操作がより明瞭に出現するので分析が適しているという2点である。設計中の会話と動作はVTRを用いて記録し、また設計中に書かれた絵や図面は一定の間隔をおいてコピーを取り、記録に残した。

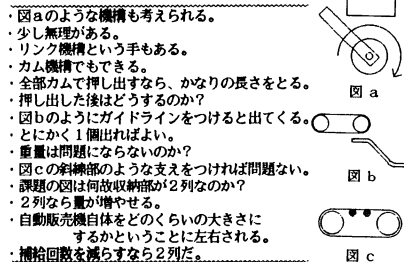


図1 設計実験の結果

2.2 実験の結果

実験中の会話を使われた図(ポンチ絵等)と結び付けて、プロトコルを構成した。図1はその例である。

3. 設計過程の大まかな分類

前章の結果を観察すると、一つの設計において多くの解候補が現れていることが分かる。設計途上では各々を具体化しながら検討し、設計を進めていることが分かる。そこでこの中から「問題提起」、「提案」、「展開」、「評価」、「決定」という5つの過程を抽出し、設計過程をこれらの段階の繰り返しとみる。これは問題解決の過程として一般的にいわれるものと整合する(例えば[4])。

- 1) 問題提起: これは何らかの解決すべき問題があることの宣言である。
- 2) 提案: 問題提起に対し、何らかの解決候補を出す段階である。
- 3) 展開: 提案した解候補を設計者が有している知識をもとに具体化する。この途上で実現不可能な解が見出される。また展開途上で問題点が生じると、これを新たな問題提起としている。
- 4) 評価: 展開した各解候補をある評価基準を用いて評価する。この段階は先の展開と混在している。
- 5) 決定: 評価を基に最初の提案のうちどれを採用するか決定する。

このサイクルが繰り返され、設計対象の各部が決定されていく。設計の進行とそれに対応する設計対象の変化の様子を図2に示す。

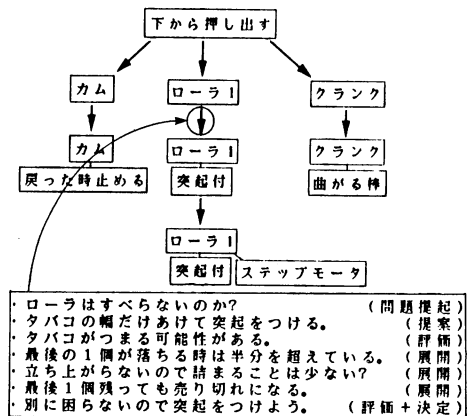


図2 設計対象の変化と設計過程の関連(例)

4. 設計過程の論理による表現

前章で分類した過程を論理で分析・表現して、どのように論理を用いることができるかをみる。ここでは単に1階の述語論理だけでなく、非標準的な論理も含む広い意味での論理を考える。

3章で見たように多くの解の候補が同時に扱われている。この状況を自然に表現するために様相論理を用いて表現する(例えば[5])。様相記号としては \Box は必然様相、 \Diamond は可能様相を示す。

また多くの試行錯誤が現れている。すなわち一度決定したことがしばしば覆されている。このような問題を扱うには単調の論理では不可能で、非単調の論理が必要である。非単調論理(推論)についてはいくつかの研究が行われている(例えば[6],[7])。ここでは撤回可能な言明を $A \rho$ と表記する(Reiterにおける表記の「 Mp/p 」に対応する)。

以上の論理体系で記述を行った。このとき3章で分類した過程のうち論理的推論(演繹)で表現できるものは主に展開である。残りの部分の多くはこの体系の外にあるメタレベルであると考えるのが自然である。各段階をどのように表現するかを以下に記す。

- 1) 問題提起: 何をゴールとして推論していくかを指定するものであり、この体系にとってはメタ・レベルである。
- 2) 提案: $\rho(x)$ を満たす解の候補を「 $\Diamond A \rho(a)$ 」と記述する。この解は決定したのではないので仮定(A)として扱われる。また複数の解候補の1つであるので可能(\Diamond)として扱われる。各解候補に可能世界があるとする。
- 3) 展開: 既存の知識と提案をを公理として演繹的に論理式を導出していく。推論は様相論理と非単調推論を組み合わせることで表現できる。従って例えばある解候補から導き出されるものは常に可能(\Diamond)であるし、既に存在する式でもそれが仮定であれば演繹途上でそれを覆すことができる。
- 4) 評価: 展開した各解候補を何らかの基準をもって評価する。可能世界の中から一つの対象を取り出す関数あるいは記述記号で記述できると考えられる。
- 5) 決定: 展開における論理的推論では一般にはいつこの過程を行うか(すなわちどこまで推論したら終わりなのか)を決定することはできない。したがってこの過程は論理の枠組みの外にある。

以上の議論をもとに設計実験の結果を表現した例が図3である。

問題提起(売り切れ検知機構(本体、?))
 (w1) \Diamond A 売り切れ検知機構(本体、光センサ)
 (w1) D 大(コスト(光センサ))
 (w2) \Diamond A 売り切れ検知機構(本体、ばね)
 (w2) 売り切れ検知機構(本体、ばね) \rightarrow 力がかかる(タハコの箱)
 (w2) \Diamond 力がかかる(タハコの箱)
 (w2) 弱い(x) \rightarrow 力がかかる(x)
 (w2) 弱い(タハコの箱)
 (w2) \sim 力がかかる(タハコの箱)
 (w2) \Diamond 力がかかる(タハコの箱) and \sim 力がかかる(タハコの箱) = 矛盾
 (w2) \Diamond 売り切れ検知機構(本体、ばね)
 (w1) \sim 大(コスト(光センサ))
 評価
 決定((売り切れ検知機構(本体、?), ? = 光センサ)
 売り切れ検知機構(本体、光センサ)
 問題提起(押し出し機構(本体、?))
 (w3) \Diamond A 押し出し機構(本体、カム機構)
 (w4) \Diamond A 押し出し機構(本体、ローラ機構)
 (w4) 押し出し機構(本体、ローラ機構) \rightarrow D 滑る(タハコの箱)
 (w4) \Diamond D 滑る(タハコの箱)
 機構簡単(x, y) \rightarrow 大(信頼性(x), 信頼性(y))

図3 設計実験の結果の論理による記述の例

この結果を見ると、ここで用いた論理が実際の記述において期待通り有効であることが分かる。どのようなときに有効であるか、以下にいくつか例を挙げる。
 \Diamond 可能(\Diamond)によって解候補を記述すると、解候補間の共通部分と非共通部分を容易に記述することができる。解候補間の比較も容易に記述できる。すなわち複数の解を同時に扱うことが可能である。
 \Diamond 設計の動的な変化を示すことができる。設計対象の記述はその時点で導かれている論理式であり、新たに論理式が加わるとまた導かれる論理式が変化する。これが設計過程を示している。また実際の設計と同様な後戻りが可能である。

5. 結論と展望

設計過程を表現するのに論理的な枠組みを用いるという方針のもとに、設計実験のデータを基に様相論理と非単調推論を利用するという方法の検討を行った。その結果これらは設計過程の表現に有効であることが分かった。

今後、設計過程を記述するのに必要十分な論理についてさらに考察を加えていくと共に、本稿で用いた論理での推論を実際に行うために、推論システムとしての枠組み決定や知識収集を進め、知的統合CADの設計データ記述言語の構築に生かしていく予定である。

参考文献

- [1] 吉川他: 実験設計学、精密機械47.7(1981)46-51
- [2] K.A.Ericsson H.A.Simon "Verbal reports as data" Psychological Review Vol.87 (3) 215-251
- [3] D.G.Ullman, L.A.Stauffer, T.G.Dietterich: "Preliminary Results of an Experimental Study of the Mechanical Design Process", Results from the NSF Workshop on the Design Process, (1987)145-186.
- [4] 三宅なほみ: 理解におけるインタラクションとは何か in 佐伯編: 理解とは何か、東大出版会(1985)
- [5] G.E.Hughes: An Introduction to Modal Logic(1968)
- [6] D.McDermott, J.Doyle: "Non-Monotonic Logic I", Artificial Intelligence 13(1980) 41-72
- [7] R.Reiter: "A Logic for Default Reasoning" Artificial Intelligence 13(1980) 81-132