

設計過程の分析と論理による形式化 (第4報)

- 様相論理を利用したTMS -

東京大学工学部 ○河合浩之・武田英明・林千登・富山哲男・吉川弘之

1 はじめに

設計過程の形式化については様々なアプローチがなされている。しかし、設計実験の分析結果およびCADへの応用という点からみると論理による形式化が有効である。そこで本研究では、論理的な枠組みによる設計過程モデルに基づいて、設計過程を表現・管理するシステムの試作を行ない、その有効性について議論する。

2 設計過程の論理によるモデル化

第1報[1]では、設計過程を論理的枠組みでとらえて形式化を試みた。すなわち、設計実験によるデータを分析すると、設計過程における各言明は論理的な表現で記述でき、設計過程は論理的な演繹の過程として見ることができる。すなわち、論理的な枠組みでとらえると、設計とは、設計知識および設計仕様を表わす論理式集合Sから設計解を表わす論理式集合Gを導くことだと定義できる。

しかし、すべての設計過程が演繹とみなせたわけではない。むしろ非演繹的な過程とした方があざわしい部分が存在しており、設計過程は演繹・非演繹過程が交互に行なわれていると見ることができる。非演繹過程の論理的形式化としては、abductionなどが考えられる[2]。この場合、設計過程は単に前述のSからGを導く過程ではなく、SとGとが相互に影響しあつて、ともに変化する過程であるといえる。例えば、設計知識の拡張や切り替え、設計仕様の変更や詳細化によってSは動的に変化する。さらにこのSをもとにGが導出され、またこのGから新しいSが形成される(図1)。

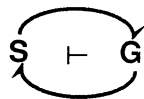


図1 演繹と非演繹過程による設計過程

さらに設計過程には推論制御に関する部分など単純な論理的推論ではとらえきれない部分もある。第一に、すでに言明したことの取り消しがしばしば起こること、第二に、ある設計仕様に対し、いくつかの設計解が考えられるとき、その解ごとに設計の論理的な構造が分岐していくことがあげられる。そこで前者には非単調論理を、後者には様相論理の可能世界の考え方を導入すると、論理的な枠組みでも表現可能になる[1]。

3 様相論理を利用したTMS (MTMS)

3.1 様相論理を用いた設計過程の表現・管理

次に、前章であげた設計の特徴や設計モデルを扱うためのシステムの基本的な概念を論ずる。

図1において、例えば様相論理を用いると、Sの動的な変化は図2のような各々のSの属する可能世界間の接続関係(到達可能性関係; accessibility)として表わすことができる。例えば S_1 が次の時点で S_2 に変わったとき、対応する WS_1 から WS_2 に到達可能性関係がつけられる。これは世界 WS_1 から世界 WS_2 が”見えている”(WS_1, RWS_2)ということの意味する。ただし関係でつなくことのできるSは単調性を持つ場合に限定する ($S_1 \subset S_2$ if WS_1, RWS_2)。演繹等の推論によって、Sが順次作られていき、その結果が可能世界の構造になるので、この可能世界の構造は設計の論理的な構造を示している。

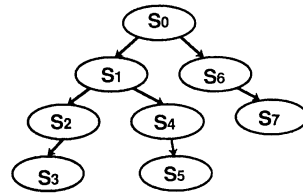


図2 設計過程の構造

また、設計過程の非単調性を扱うために、命題間の依存関係 (dependency relationship; [3]) の管理という手法を、前述した可能世界の木構造の上に組み込む。というのも、可能世界の拡張、切り替え、削除を(設計において、Sの拡張、切り替え、削除を行なうことに対応)、依存関係に基づいて行なうことが必要だからである。

以上の方法に基づいて設計過程の情報を管理するシステムである、様相論理を用いたTMS (Modal-logic-based-TMS; 以下、MTMSと略す) を試作した。以下、このMTMSについての説明を行なう。

3.2 MTMSの原理

前節で述べたように、各時点での設計知識や設計仕様の変化は様相論理の可能世界を利用して管理される。MTMSの管理するデータは、命題および節形式の式の二種類であり、それらは、各々属する可能世界ごとに保

存される。この節形式の式は内部では命題間の依存関係のみなされる。さらに可能世界間には到達可能性関係がつけられSの変化を表す。実際のシステムでは、Sの拡張に対しては、その拡張分のみを保存する。またひとつの可能世界に接続される可能世界は複数でもよい。これらの性質を利用して設計過程の分岐と大局的な後戻りを表現する。分岐は複数の可能世界を同時あるいは交互に利用することであり、後戻りは可能世界の関係をたどって別の枝の可能世界に移ることである。

MTMSの管理する命題に対する操作は、二種類に分けられる。ひとつは局所的な操作で、外部から指定された特定の可能世界内の命題、および他の世界との到達可能性関係から求められる命題への操作を行なう。例えば、局所的な推論や、依存関係の参照である。もうひとつは大局的な操作で、可能世界の木全体に対しての操作を行なう。例えば、要求を満たす可能世界の検索や可能世界の切り替えである。

ただしMTMS自身は命題の管理をするだけであり、外部のproblem solver（以下PSと略す）によって用いられる。PSとしては、MTMSに対し局所的な操作を行なうlocal PSと、大局的な操作をおこなうglobal PSとが考えられる。

3. 3 MTMSと設計過程

第1報[1]において設計過程を「問題提起」、「提案」、「展開」、「評価」、「決定」の繰り返しとしてとらえることができるとした。すなわちこの5段階を1つのサイクルとして、サイクルの連鎖で設計過程が構成される。またこれらのサイクルの制御は、設計の順序や設計のやり方に関するノウハウといった設計過程の知識を利用して決められている。

この1つの提案に対するサイクルをMTMSでのひとつの可能世界に対応させることができる。このときサイクル内での推論はlocal PSが、サイクルの制御はglobal PSが行なう。前者は演繹やabductionといった論理的推論でみることができが[1][2]、後者は極めてヒューリスティックな推論であり、さらに研究していく必要がある。

3. 4 例と考察

設計実験[1]で得られたデータをもとに、MTMSにより、設計過程のシミュ

レーションを行なった。local PSには命題論理での演繹を用い、大局的な操作は人間との対話形式で行なった。シミュレーションを行なったのは自動販売機の商品売り切れ検知機構と、搬出部の設計過程である。そのうちから搬出部の設計過程の構造の部分为例として図3に示す。

MTMSを用いるとこの例のように、分岐、後戻りといった設計過程の論理的な構造が、可能世界の構造として明示的に表現されるので、設計過程の管理として有効な手法であることがわかる。

ここで、比較のため同様のことをATMS[4]によってもシミュレーションを行なった。ATMSによるシミュレーションでは設計における命題間の依存関係は表現できるが、設計の過程そのものは明示的には表れない。これより、設計過程を表現・管理するためには、命題間の依存関係を管理するだけではなく、可能世界を利用する方法が有用である。

4 結論と展望

設計実験によって得られたデータをもとに、設計過程のモデルの考察と、モデル化された設計過程を表現・管理するシステム、MTMSの試作・評価を行なった。MTMSは、設計過程の構造を明確に表現するのに有効であることがわかった。

MTMSをより活用するには、直感や発想、連想などに相当する、非演繹的な推論をおこなうproblem solverが必要であり、今後これらの推論を実現するシステムの開発とMTMSとの結合を行なっていく必要がある。

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年度精密工学会春期大会講演論文集（1988）pp.131-132.
- [2] 林他：設計過程の分析と論理による形式化（第3報）本大会講演論文集.
- [3] Jon Doyle "A Truth Maintenance System" Artificial Intelligence 12(1979) pp.231-272.
- [4] Johan de Kleer "An Assumption-based TMS" Artificial Intelligence 28(1986) pp.127-162.

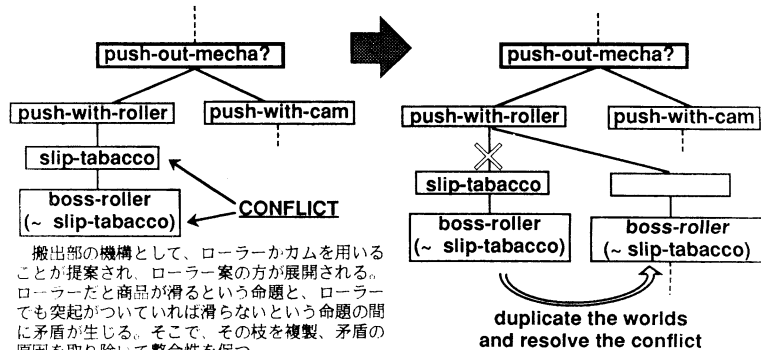


図3 MTMSの実行例