2307 設計知識に注目した設計の推論モデルの提案 (第3報)

- 設計行為に関する知識を記述するシンセシス言語の提案 -

A proposal of design reasoning model that takes notice of design knowledge (the Third Report)

- A proposal of a synthesis language for describing design operational knowledge -

○ 正 吉岡真治 武田英明 (国立情報学研究所) 鷺尾隆 (大阪大学) 正 富山哲男 (東京大学)

Masaharu YOSHIOKA, National Institute of Informatics,
2-1-2 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan

Hideaki Takeda, National Institute of Informatics

Takashi WASHIO, Osaka University

Tetsuo TOMIYAMA, The University of Tokyo

Since design knowledge plays a crucial role in design process, we are conducting research on design reasoning model that takes notice of design knowledge. To make a design reasoning model, we have already proposed a reasoning framework of design and analyzed basic operations for the framework. However, since these operations are just fragments of whole design process, it is necessary to describe design operational knowledge that can control the entire reasoning operations by constructing the sequence of these fragments. So, in this paper, we propose a synthesis language for describing design operational knowledge.

Key Words: Synthesis, Design, Design Knowledge, Design Operational Knowledge

1 緒言

設計とは、設計者が持っている様々な知識を用いて、与えられた要求からそれを実現する人工物を産み出す行為であると考えられる。本研究では、この設計過程を設計知識を用いた推論であると捉えて、設計知識に注目した設計の推論モデルの提案を行っている。そのため、前報 [1, 2] までに、設計者が行う基本的な知識操作とそれを実現するための設計の推論モデルのための枠組を提案し、その推論モデルの枠組における基本的な操作の分析を行った。

しかし、これらの基本操作はあくまでも設計において行われる様々な操作を断片的にモデル化したものであり、設計過程全体を通したモデル化という観点からはまだ不十分である。そこで、本報では、この推論モデルの枠組において断片的にモデル化されている推論に対し、その全体を制御するような設計行為に関する知識を記述するためのシンセシス言語を提案するとともに、設計行為に関する知識の記述についての考察を行う。

2 設計の推論モデルの枠組と操作の定式化

本節では、本報で提案するシンセシス言語により操作が行われる設計の推論モデルの枠組および、その枠組上の操作の定式化について概観する。

2.1 設計の推論モデルの枠組

前報までに提案した設計の推論モデルは次の3つの要素から構成されている。

- 複数のモデルベース推論システム
設計過程で用いられる様々な知識をモデルに依存した形で表現する表現するモデルベース推論システム (Object dependent models) を、具体的な設計対象モデルには依存しない論理的なモデル (Object independent model) を媒介として統合する。
- メディアベースによる多様な設計情報及び設計知識の取り扱い
メディア型の知識表現により実世界に存在する様々な知識や情報を取り込む。これらの情報については可能な限りモ

デル化を支援することにより、複数のモデルベース推論システムの情報と組み合わせる。

● 思考過程モデル

設計過程特有の設計過程知識などを思考過程モデルやモデル化することにより、設計対象モデルに対する操作をガイドする。

本枠組では、メディアベースによる多様な設計情報及び設計知識の表現と様々なモデルベース推論システムを利用することによって、要求の記述の自由度を確保し、複数のモデルベース推論システムを統合的に扱うことにより、多数の公理系を扱うことができ、全体の枠組としてシンセシスの自由度を高める事が可能である。

2.2 対象表現における操作と知識操作のモデル化

設計の推論モデルにおいては、複数のモデルベース推論システムを用いることにより、設計対象の表現や設計知識の表現が行われる。よって、この推論モデルの枠組における設計の操作を表現するために、この対象表現に対する基本操作を、複数の設計対象モデルを取り扱うための操作、これらのモデルを統合する論理モデルに対する操作にわけて定式化を行った (Fig. 1) [2]。

その結果、設計対象モデルの操作として、個別のモデルへの操作と複数推論システムの取り扱いに分類した7つの操作を提案した。また、論理モデルに対しては、計算機の推論可能という制約を踏まえて対象レベルの操作とメタレベルの操作に分類した8つの操作を提案した。

次に、設計者が行う設計行為を分析し、7つの知識操作の存在を確認した。さらに、これらの操作を設計対象モデルへの操作のレベルと論理モデルの操作のレベルという2つのレベルの操作によって定式化を行った (Fig. 1)。この定式化においては、モデル操作の視点と論理操作の視点は異なる現象 (ここでは設計プロセス) を記述するのではなく、同一の現象を異なる視点で対応を取りながら記述した。これは、設計者の行動が必ずしも、1つの視点だけで記述するのが適切でない場合があるためである。

Fig. 1: 対象表現における操作と設計の知識操作

3 設計シミュレータにおける行為レベルの知識

武田ら [3] は、設計対象に関する論理的な推論と、対象レベルの推論を制御するメタレベルの推論（行為レベルの推論と呼ぶ）を組み合わせることにより、設計過程を再現できる設計シミュレータを提案している。

この設計シミュレータにおける操作は、設計解の提案を行うアブダクション、設計解の性質を導出する演繹、知識の矛盾を解消するサーカムスクリプション、および、知識ベースの導入の操作がある。

この設計シミュレータの行為レベルの知識は、設計対象の状態を条件とし、設計対象に対する操作列を行為とする優先順位付きのルールで記述されている。これらの行為レベルの知識を前節で述べた知識操作と対応づけて整理すると以下のような（ルール適用の優先順に記述）。

1. 設計仕様の入力

条件 設計仕様が与えられていない

操作 設計仕様を入力する（知識/情報の獲得）

2. 矛盾の解消

条件 矛盾が存在する

操作 矛盾を特定し（知識/情報の再構成、情報の確認）、サーカムスクリプションによる矛盾の解消を行い（矛盾の解消）、知識、情報の修正を行う（知識/情報の修正）。

3. 設計解の展開・評価

条件 新しい設計解が提案された

操作 新しい設計解に関連する知識ベースを導入し（知識/情報の獲得）、演繹を行う（解の分析）。さらに矛盾がないかを確認する（情報の確認）。

4. 設計解の提案

条件 必要とされる機能が実体により具体化されていない場合

操作 実現されていない機能を問題点として確認し（情報の確認）、問題点に関連する知識ベースを導入する（知識/情報の獲得）。さらに、問題点に対してアブダクションにより解を提案する（解のシンセシス）。

これらの知識と設計の履歴を管理する多重世界管理機構を組み合わせることにより、基本的な設計過程が、1. 設計仕様の入力から始まり、4. 設計解の提案と 3. 設計解の展開・評価の繰り返しにより設計仕様を実現する過程としてモデル化される。また、3の結果、矛盾が発見された場合には、2. 矛盾の解消を行った後、4. 設計解の提案と 3. 設計解の展開・評価の繰り返しのループに戻る。

4 設計行為に関する知識を記述するシンセシス言語

本報では、前節で述べた設計シミュレータにおける行為レベルの知識と設計における知識操作の関係の分析を踏まえ、2節で述べた設計の推論モデルの枠組への操作を実現するシンセシス言語の提案を行う。

このシンセシス言語では、設計の推論モデルにおける設計対象の状態を判定するための操作、設計対象モデルに対する操作、論理モデルに対する操作をプリミティブ操作として定義する。また、この設計の推論モデルにおける推論を実際に行うためには、設計仕様などの入力や、複数の候補があったときの選択などのユーザとインタラクティブに行う操作についても定義する必要がある。

最後に、このプリミティブ操作の組み合わせとして設計行為の知識を記述することにより、設計の推論モデルの枠組における対象レベルの推論を制御する思考過程モデルを実現する。

4.1 設計対象の状態を判定するための操作

この設計の推論モデルの枠組では、個別の設計対象モデルの情報は論理モデルに対応づけられて表現される。また、前報で述べたように、論理モデルにおける情報は設計対象、対象の性質、設計仕様の3つに分類される。

ここで、設計対象に関する状態を判定するための操作としては、この3つの分類の情報の存在に関する操作とその間の関係を判定する操作を考える。そのために、以下のような操作を定義する。

- 論理式で表現される論理モデルの情報から、各々の情報分類に対応する論理式の集合を抽出する操作
- 各々の論理式に対して、それを正当化する論理式群の存在を判定する操作
- 集合に対する演算（集合の加減算、空集合の判定、集合の各要素への条件判定）

また、この論理モデルには、様々なモデルベース推論システムに表現されたモデルが表現されるため、各々のモデル間での不整合は論理式の矛盾として表現される。そこで、この矛盾が存在したときに、その矛盾した論理式を集合として抽出する操作が必要である。さらに、設計シミュレータにおいて表現されているような設計の履歴を表現するために、現在の設計解が提案される以前の設計解に関する情報を抽出する操作を定義する。

次に、設計という作業の終了条件について考える。設計という作業を要求仕様を実現する人工物を産み出す行為であるが、設計対象の情報は、実際の人工物に直接対応するような詳細な情報だけではなく、複数の人工物の代表であるような抽象的な表現が存在する [4]。よって、設計対象の情報については、その情報の詳細度を判定する操作が必要である。

これらの操作を用いると、設計シミュレータにおける行為レベルの知識の条件が以下のように記述可能となる。

1. 設計仕様の入力
設計仕様に対応する論理式を抽出し、空集合かどうかを判定する。
2. 矛盾の解消
矛盾した論理式を抽出し、空集合かどうかを判定する。
3. 設計解の展開・評価
現在の設計解の情報を表す集合と以前の設計解の情報を表す集合の差から、新たに付け加えられた設計対象の情報や対象の性質の情報を抽出し、空集合かどうかを判定する。
4. 設計解の提案
設計仕様に対応する論理式を抽出し、各々の論理式がそれを正当化する論理式群を満たすかどうか判定する。その後、正当化されない論理式の集合が空集合かどうかを判定する。さらに、設計対象に対応する論理式を抽出し、各々の論理式が対応する人工物を特定できるだけ詳細かどうかを判定する。その後、人工物を特定できない設計対象に対応する論理式が空集合かどうかを判定する。

4.2 設計対象モデルに対する操作

設計対象モデルに対する操作に関しては、個別のモデルベース推論システムにおけるモデル操作や知識の修正を制御するためには、各々のモデルベース推論システムについての詳細な知識が必要であるため、今回のシンセシス言語による操作の記述としては、「モデルベース推論システムの利用」として一括して扱うことにする。

また、複数のモデルベース推論システム間におけるモデルのメンテナンスを行うためには、論理モデルと各々の設計対象モデルの関係を管理する必要がある。そのために、各々のモデルを作成するために利用した情報と、各々のモデルを利用した結果得られた情報を把握する操作が必要となる。

4.3 論理モデルに対する操作

設計の推論モデルの枠組において、論理モデルにおける公理系の各々は、個別のモデルベース推論システムにおける知識に対応すると考えているため、設計知識に対する操作は、先に述べた設計対象モデルに対する操作のモデルベース推論システムに対する操作に対応する。よって、これらの操作は、論理モデルに対する操作としての定義から除外する。

ただし、この論理モデルにおける知識としては、個別のモデルベース推論システムから得られたモデルの情報を管理するための最低限の知識として、設計対象を表現するための語彙集合とその階層関係を表した知識、基本的な物理現象に関する因果関係の管理に関する知識を扱うことにしている。よって、メタレベルの操作として定義した設計知識集合と設計対象を表現する語彙集合への操作は、「論理モデルにおける知識に対する操作」として一括して扱うこととする。

また、これらの知識を用いた演繹・アブダクションもシンセシス言語における操作として記述可能とするが、これらの推論は主にモデルベース推論システムの操作として実現される。よって、行為レベルの知識としては、設計対象モデルに対する操作を優先して記述する事とする。

4.4 ユーザとのインタラクションを実現する操作

ユーザとのインタラクションとしては、論理モデルで利用する情報や知識の入力、複数の候補がある場合の選択がある。また、実際の設計対象モデルに対する詳細な操作に関する知識が記述できないため、ユーザが各々の設計対象モデルを操作する間、一時ナビゲーションを中断し、ユーザの求めに応じて再開

出来るようにするための、行為のナビゲーションの中断と再開が必要である。

また、現実の世界とのインタラクションをモデル化するために、プロトタイプを作成とそれを用いた実験の操作を形式的に定義する。これらの操作については、実際の結果を、先に述べた情報の入力、設計知識の入力により入力する事とする。

5 シンセシス言語による設計行為に関する知識の記述

前節で述べたシンセシス言語のための基本操作 (Fig.2) に基づいた、具体的な設計行為に関する知識の記述について検討を行う。

シンセシス言語の基本操作	
状態判定	<ul style="list-style-type: none"> ・論理式に対して、正当化する論理式群の存在を判定 ・矛盾の抽出 ・以前の設計解の情報を獲得 ・実体の詳細度の判定
集合演算	<ul style="list-style-type: none"> ・集合の加減算 ・空集合の判定 ・集合の各要素の内、ある判定基準を満たす物を選択
設計対象モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・モデルの構築 ・モデルを構築する際に利用した情報の獲得 ・モデルベース推論システムの利用 ・推論システム上に表現されるモデルの情報の獲得 ・推論システムの導入 ・推論システムの選択
論理モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・演繹 ・アブダクション ・設計対象の設定 ・要求仕様の設定 ・対象の性質の情報の設定 ・論理モデル全体から設計対象の情報の抽出 ・論理モデル全体から要求仕様の情報を抽出 ・論理モデル全体から対象の性質の情報を抽出 ・定理群の整合性チェック ・論理モデルにおける知識に対する操作
インタラクティブな操作	<ul style="list-style-type: none"> ・情報の入力 ・設計知識の入力 ・複数候補からの選択 ・行為のナビゲーションの中断と再開
現実世界とのインタラクション	<ul style="list-style-type: none"> ・プロトタイプの作成 ・プロトタイプを用いた実験

Fig. 2: シンセシス言語におけるプリミティブ操作一覧

5.1 基本操作間の関係の記述

3節の設計シミュレータにおける行為レベルの知識の分析に述べたように、設計解の提案などの設計行為は、一連の設計知識操作に対応づけられる。この各々の設計知識操作の各々について、前報で分析した設計対象モデル操作もしくは論理操作に対応づけることにより、設計行為に関する知識として記述される。

また、これらの一連の基本操作は、各々独立の操作ではなく、お互いの操作の結果得られた情報などが、次の操作の内容に大きく関係する。例えば、「設計解の提案」を例にとると、最初に確認された問題点が、次での知識ベースの導入のためのキーとなる情報として利用される。よって、このシンセシス言語では、各々の基本操作に対して、その結果をテンポラリな変数として記憶出来ると共に、この様な変数を引数として与えることが可能でなければならない。

次に、各々の基本操作について必要となる引数について検討を行う。

- 状態判定

判定の対象となる設計対象の論理モデル中の論理式 (の集合) が引数となる。

- 集合演算
集合演算の対象とする、一つないし複数の集合を引数として取る。
- 設計対象モデル
基本的には、選択されたモデルベース推論システムあるいはそのシステム上のモデルが引数となる。ただし、推論システムの選択については、後述する。
- 論理モデル
基本的には、操作を行う論理モデル全体が対象となる。ただし、設計対象、要求仕様、対象の性質の設定および論理モデルにおける知識に対する操作では、設定するための情報が引数となる。
- インタラクティブな操作
入力を促すためのメッセージが引数となる。また、複数候補からの選択の操作については、候補の集合も引数となる。
- 現実世界とのインタラクション
プロトタイプの実成の操作には、論理モデルが引数となり、実験については、作成されたプロトタイプが引数となる。

「推論システムの選択」の操作を考えるにあたっては、その選択した推論システムをどのような問題に対して、どう使うのかという情報が必要となる。我々は、設計におけるアブダクションのモデル化として複数のモデルベース推論システムを用いたモデルベース・アブダクション [4] を提案している。このモデルベース・アブダクションでは、設計における実体概念の役割に注目することにより、機能記述 (要求仕様) や属性記述 (対象の性質) から実体の記述 (設計対象) を導出可能な推論システムをアブダクション (設計解の提案) のためのシステム、その逆で、実体の記述 (設計対象) から機能記述 (要求仕様) や属性記述 (対象の性質) を導出可能な推論システムを演繹 (設計解の展開・評価) のためのシステムとして分類することを提案している。

よって、モデルベース推論システムの選択時には、そのシステムにおいて、どのタイプの推論をするかが大きな意味を持つことになる。そこで、「推論システムの選択」に対しては、そこで扱う問題に対する記述だけではなく、推論のタイプを引数として与えることとする。

5.2 シンセシス言語の記述フォーマットと記述例

これまでの議論を踏まえて、シンセシス言語の記述フォーマットを Lisp の形式に準拠した形で作成した。ページ数の関係で具体的な仕様については、記述できないが、Fig. 3は解の提案に関する知識の例を示す。

行為レベルのシステムでは、設計対象表現である複数のモデルベース推論システムに対して条件部の判定を行い、各時点で利用可能な行為の知識を優先順位に応じて表示する。ユーザが行為の一つを選択すると操作の項に示した操作列が対象表現に対する操作として順次実行される。

具体的な知識としては、設計シミュレータにおける4つの操作に加えて、「プロトタイプの実成と実験」および、実験結果に基づく「設計解の修正」の操作を加えた6つの操作を定義した。これらの操作にたいしては、全ての設計仕様が具体化され製造可能になる事が、操作を行うための条件となる。

6 結言

本報では、設計の推論モデルの枠組において断片的にモデル化されていた推論の全体を制御するような設計行為に関する知識を記述するためのシンセシス言語を提案した。このシンセシ

```
条件 (or (not (isEmpty: (reject:by:
(getCurrentRequirement) isJustified:)))
; 全ての仕様が具体化されていない場合、もしくは、
(not (isEmpty: (reject:by:
(getCurrentDesignObjectDescription)
isManufacturable:))))
; 全ての設計対象が製造可能でない場合

操作 ((setq CandidateProblems (add:with: (reject:by:
(getCurrentRequirement) isJustified:) (reject:by:
(getCurrentDesignObjectDescription)
isManufacturable:)))
; 具体化されていない仕様または製造可能でない論理式の集合を
; 作成し、問題として設定
(setq RelatedModelers (relatedModelers:type:
CandidateProblems synthesis))
; 問題を解くことができるモデル集合を作成
(setq SelectedModeler (selectOneFrom:message:
RelatedModelers 'select one modeler for
synthesis.'))
; モデル集合から一つのモデルを選択
(setq NewModel (makeModelerOn: SelectedModeler))
; モデル上にモデルを作成
(interactive (useModeler: NewModel))
; モデルの利用
(setq UsedInformation (getUsedInformation:
NewModel))
; モデルが利用した情報を獲得する
(setq NewInformation (getModelerInformation:
NewModel))
; モデルから情報を獲得し、新しい情報とする
(modifyInformation: (difference:from:
UsedInformation NewInformation) (difference:from:
NewInformation UsedInformation))
; モデルの操作結果を論理モデルに反映
```

Fig. 3: 設計行為に関する知識の記述例

ス言語では、推論モデルの複数のモデルベース推論システムに対する操作と、その状態を判定する操作をプリミティブ操作として、その組合わせで設計行為に関する知識が記述可能である。

このシンセシス言語の有効性を検証するためには、設計の推論モデルの枠組のインプリメントと実際の設計事例に適用した検討が必要であり、次報以降での課題である。

謝辞

なお、本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「シンセシスのモデル論」プロジェクト (JSPS-RFTF 96P00701) の研究費によって実施された。

参考文献

- [1] 吉岡真治, 富山哲男. 設計知識に注目した設計の推論モデルの提案 (第1報) - 知識操作に注目した設計行為の分析とモデル化 -. 第9回設計工学・システム部門講演論文集, pp. 78-81. 日本機械学会, 1999.
- [2] 武田英明, 吉岡真治, 富山哲男. 設計知識に注目した設計の推論モデルの提案 (第2報) - 設計行為に関する知識の提案 -. 第9回設計工学・システム部門講演論文集, pp. 82-85. 日本機械学会, 1999.
- [3] 武田英明, 富山哲男, 吉川弘之. 設計過程の計算可能モデルと設計シミュレーション. 人工知能学会誌, Vol. 7, No. 5, pp. 877-887, 1992.
- [4] 吉岡真治, 武田英明, 富山哲男. シンセシスの推論フレームワークに関する研究 (第2報) - モデルベース・アブダクション -. 2000年度人工知能学会全国大会講演論文集, pp. 468-471, 2000.