

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

A Proposal for A Inference Model of Design Focused on Design Knowledge (the Second Report)

- Knowledge for Design Actions -

武田 英明(奈良先端科学技術大学院大学)

正 吉岡 真治(学術情報センター)

正 富山 哲男(東京大学人工物工学研究センター)

Hideaki Takeda (Nara Institute of Science and Technology, 8916-5, Takayama, Ikoma, Nara 630-0101)

Masaharu Yoshioka (National Center for Science Information Systems)

Tetsuo Tomiyama (The University of Tokyo)

We are conducting research on synthesis oriented thought process and proposed fundamental framework for modeling of synthesis. In this framework design knowledge plays crucial role on the synthesis process. Therefore, in this research, we propose reasoning model of design that takes notice of design knowledge based on this fundamental framework. We plan to model this reasoning model as scientific model of design that can explain the findings from empirical research such as design experiments and explain the relationship with other design models and methodologies. In this report, we identify how each design activity can be interpreted by object-dependent view and object-independent view. The first view is to interpret design activities as operations of models such as creating models and reasoning on the models. The latter is to interpret design activities as logical operations among axioms and theorems such as selection of axioms and deduction.

Keywords: Synthesis, Design, Design Knowledge, Design Model, Design Activity

1. はじめに

第1報[1]では、シンセシスを考慮した思考過程モデルとシンセシスモデルの基本的枠組みに基づいた設計の推論モデルを提案し、その推論モデルにおける操作について、対象依存の視点(モデルベースのアプローチ)と対象非依存の視点(論理的アプローチ)があることを示した。本報ではこれらの操作を用いて設計活動をどう解釈するかについて述べる。そのために、まず、典型的な設計者の1日を想定することにより、設計活動を分析し、そこで行われる設計者の知識操作について分析を行う。さらに、この知識操作について、第1報で提案した2つの視点からの操作による定式化を行う。ここで重要なのは、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することにある。1つの視点だけでは必ずしも現実の現象を適切に捉えることができない。たとえば現実の現象の取り扱いにおいてはある場面ではモデル操作的な視点がより適切であり、ある場面では論理操作的視点がより本質的であることがある。そこで本稿では設計活動を二つの視点をを用いて相互の対応をとりながら記述する。この方法により、全体的な理論的な整合性を失わないまま、より現実的なフレームワーク(特に計算可能性)を提示できると考える。

2. 設計における知識操作

まず、最初に、企画立案や設計仕様の記述を行う設計者の典型的な1日(Figure 1)を例にとり、設計活動の分析を行い、知識、情報の操作という観点から各々の作業の中身を整理する。

• Technical Proposal and Specification Writing

- 9:00 Coffee
- 9:30 Meeting with Customer
- 11:00 Coffee
- 11:30 Team Meeting
- 12:15 Lunch
- 13:15 Specification Writing
 - Information Collection
 - WWW Search
 - Catalog Search
 - Telephone to Suppliers
 - Composition
 - Word
 - AutoCAD
 - Calculation
 - Excel
- 16:15 Coffee
- 16:45 Meeting with Marketing, Sales, and Finance
- 17:20 End



Figure 1: A Designer's Day

- 打ち合わせ
打ち合わせでは、他人と話すことにより、今問題となっている事について新たな知識や情報を獲得する(知識/情報の獲得)。また、それまでにいろいろなところから得られた情報の擦り合わせを行い(情報の確認)、場合によっては、すでに決まっていた情報を変更する(情報の修正)。また、打ち合わせでは様々な部署の間の要求の調整が行われる。この調整を知識処理の観点から考えると矛盾の解消に相当する。
- コーヒーブレイク
新たに獲得した知識や情報を有効に活用するためには、

以前から知っている知識や情報と関連づける必要がある(知識の再構成)。この結果として、古い知識に対して変更を加える場合もある(知識の修正)。また、同僚と喋ったり、雑誌を読んだりする行動は、新たな知識、情報の獲得と考えられる(知識/情報の収集)。

- 情報収集

情報収集の過程では、問題に関連する集中的に知識や情報の獲得を行う(知識/情報の収集)。

- 仕様書の作成

仕様書を作成するためには、それまでに得られた問題に関する情報や知識を整理して(情報/知識の再構成)、その上でいろいろなツールを使いながら、問題の解を提案する(解のシンセシス)。また、その手法についてまた別のツールを使って問題に有効かどうかの検証を行う(解の分析)。

この設計活動の分析から、設計者が行う知識操作として、「知識/情報の獲得」「知識/情報の再構成」「情報の確認」「矛盾の解消」「知識/情報の修正」「解のシンセシス」「解の分析」の7つの知識操作の存在を確認した。また、これらの知識操作はいろいろな順番で行われていることから、設計における知識操作は、我々が従来モデル化していたような単純な問題解決過程の繰り返しではないことが分かる。

さらに、この分析から設計者は、様々な知識源、情報源を利用していることが分かる。この事からも、我々がこれまでに提案してきたメディアベースによる様々な情報の表現や対象に依存した複数のモデルベース推論システムを利用するシンセシスモデルの基本的枠組みが設計の推論モデルとして有効である事が示されている。

3. 論理的視点における操作

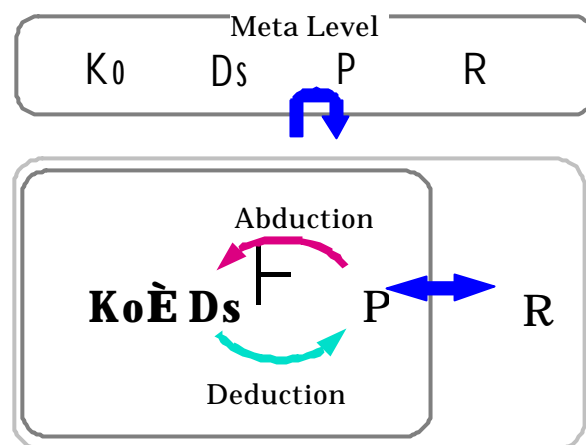
ここでは論理的視点から設計活動を解釈する上での基本操作について考察する。

3.1 設計シミュレータにおけるメタレベル

武田ら[2]の論理に基づく設計の定式化においては対象レベルの推論とメタレベルの推論が分けられていた。対象レベルにおいては設計対象(Ds)、対象に関する知識(Ko)、対象の性質(P)が定義され、それらの間において演繹、アブダクション、サーカムスクリプションの推論が定義されていた。一方、メタレベルは、設計対象、対象に関する知識、対象の性質といった対象レベルの各要素の内容と推論の履歴を観察の対象として、各要素に対する追加削除などの動作と次に行う対象レベルの推論の指定を推論であるとしている。

3.2 論理的視点における操作

上記の研究では既存の計算機で推論可能という制約による問題も含まれており、設計活動のモデル化という意味ではより簡潔にすることができる。その概要を Figure 2 に示す。Figure 2 において、Ds は設計対象の記述、Ko は対象に関する知識の記述、P は対象の性質の記述、R は要求仕様の記述である。前3つの要素の間では、設計対象の記述と対象に関する知識の和が対象の性質の記述を演繹的に導くという論



Ds: Descriptions of Design Solution

P: Descriptions of Properties of Design Solution

Ko: Descriptions of Knowledge on Objects

R: Descriptions of Requirements for Design

Ds: A Possible Set of Descriptions of Design Solution

P: A Possible Set of Descriptions of Properties of Design Solution

Ko: A Possible Set of Descriptions of Knowledge on Objects

R: A Possible Set of Descriptions of Requirements for Design

Figure 2: A Logical Framework for Design Activities

理的な関係がある。メタレベルにはこれら4つ各々の可能な範囲を決める集合 K_0, D_s, P, R を考える。ここで、 K_0 は設計者が利用可能な知識の集合、 D_s, P, R は設計対象を表現するために利用できる語彙の集合である。

ここで対象に関する知識はこの演繹における公理とみることができ、この場合事実である対象の記述とこの公理から対象の性質の記述を定理として導出するとみることになる。

ここで、計算機の推論可能という制約を考え、対象レベルの推論操作として演繹とアブダクションという2つの論理推論のみを取り扱うこととする。そこで、これらの推論のみを扱うことを前提に、第1報で提案した9つの操作を対象レベルの推論操作と、メタレベルにおける操作に対応づける。

まず、対象レベルの推論操作について考えると、公理系からの定理群の導出はアブダクションに、要求を満足するような事実を定理群と公理系から導出の操作は演繹に対応する。また、演繹の操作が前提となっている他の操作としては、定理群と事実の整合性検証と定理群と既知の他の公理系との整合性検証があり、これらの操作では、定理群の整合性のチェックというメタレベルの操作がさらに必要である。

また、要求の記述、事象の観察と観察からの事象の抽出、事実から仮説の導出、または適用すべき公理系の選択の操作は、設計対象の記述や設計知識などの要素を設定する操作であり、メタレベルの操作である。また、今回の定式化のために設定した K_0, D_s, P, R を取り扱うためのメタレベルの操作が必要である。

よって、以下の操作を計算機の推論可能という制約を踏まえた論理的視点での基本操作とする。

- 対象レベル

- 事実からの演繹

- 対象の性質からのアブダクション

- メタレベル（対象要素の操作にかかわるもの）
 - 事実（設計対象）の設定
 - 要求仕様の設定
 - 設計知識の設定（公理系の選択）
 - 定理群の整合性のチェック
 - 設計者が利用可能な設計知識の集合への操作
 - 設計対象を表現するために利用できる語彙集合への操作

4. シンセシスモデルの基本的枠組みによる定式化

以上を元に、2. で挙げた設計活動の要素である設計行為をモデルベース的視点、論理的視点それぞれから解釈する。また、その際に、各々の設計行為に必要な知識について分析する（Figure 3 参照）。

1. 知識/情報の獲得

- 目的：問題に関連した知識や情報を獲得する。
- モデル操作：知識獲得の方法としては次の 2 通りがある。1 つ目の方法は知識ベースをひとかたまりとして導入する方法で、モデルベース推論システムの導入として定式化される。もうひとつの方法は、従来のモデルベース推論システムの知識として情報を加える方法で、これは、モデルベース推論システムの選択とモデルベース推論システムの知識ベースの修正として定式化される。また、情報の獲得は、モデルベース推論システムの選択とモデルの修正として定式化される。
- モデル操作のための知識：適切なモデルベース推論システムの選択を行うためには、モデルベース推論システム自体に関する知識が必要である。
- 論理操作：この操作は適用可能な公理を追加することであり、利用可能な設計知識の集合への操作に相当する。

2. 知識/情報の再構成

- 目的：問題に応じて知識や情報を再構成する。
- モデル操作：知識/情報の再構成は、問題に対応するための適切なモデルベース推論システムのセットを作り、そのセットの上で情報を表現するプロセスである。このプロセスは、モデルベース推論システムの選択と、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として定式化できる。
- モデル操作のための知識：適切なモデルベース推論システムの選択を行うためには、モデルベース推論システム自体に関する知識が必要である。また、この知識は複数のモデルベース推論システム間の関係を調べる際にも利用される。
- 論理操作：設計知識の設定（公理系の選択）に対応する。
- 論理操作のための知識：どのような公理群を選択することが問題に対して適切であるかを知る必要があるため、メタレベルの知識が必要である。

3. 情報の確認

- 目的：ある知識によって導かれた結果を他の知識で確認
- モデル操作：あるモデルベース推論システムを用いて真偽値をきめた論理モデル上の情報をその他のモデルベース推論システムによって確認する操作である。この操作によって、設計者は各モデルベース推論システム上のモデルとワークスペースである論理モデルの間の概念の対応付けを行う。この操作は、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として定式化できる。
- モデル操作のための知識：適切なモデルベース推論システムの選択を行うためには、モデルベース推論システム自体に関する知識が必要である。
- 論理操作：定理群の整合性のチェックに相当する。基本的には複数の独立と思われる公理系を公理として設定

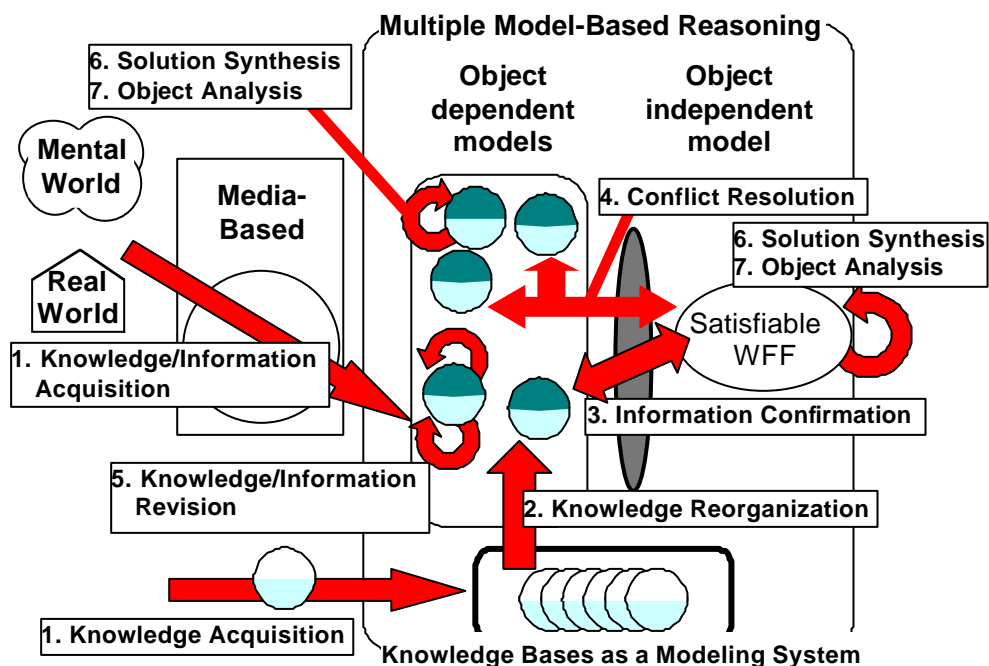


Figure 3: Formalization of Knowledge Operations in Reasoning Framework of Design

した推論と定義される（設計知識の設定（公理系の選択））。ただし、このためには事実と事実の同一性に関する推論が必要となる場合がある。同一の対象は異なる記号化が行われる可能性がある。このことを検証する推論が必要となる。

- 論理操作のための知識：公理間の関係であるメタ知識が必要である。また事実の同一性に関する知識も必要である。これも一種のメタ知識である。

4. 矛盾の解消

- 目的：異なるモデルベース推論システム間の矛盾解消。
- モデル操作：モデルベース推論システム間の矛盾の解消は、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い、全体の整合性を管理する。この矛盾の解決法には、矛盾の程度により2種類ある。公差の問題のような受容可能な矛盾については、それについて何も対処しないという方法を認め、受容不可能な矛盾については、矛盾に関係する知識、情報に対して、以降で述べる知識/情報の修正を行う。
- モデル操作のための知識：矛盾の解消方法を検討するためには、矛盾の受容可能性について検討する必要がある。そのためには、問題となっている領域の性質に関する知識が必要である。
- 論理操作：矛盾自身は対象レベルの推論とくに演繹の結果として生じ、定理群の整合性チェックにより発見される。モデル操作の場合と同様に、解消不可能な矛盾については、その解消のためには推論を検証して用いられた論理式の依存関係を発見し、以下の知識/情報の修正操作を行う。
- 論理操作のための知識：モデル操作と同様に、矛盾の解消可能性に関する知識が必要である。また、公理に関する信頼性といったメタレベルの知識が必要となる。

5. 知識/情報の修正

- 目的：他のモデルベース推論システムと整合的に統合するために知識、情報の修正を行う。
- モデル操作：このプロセスでは、モデルベース推論システム内の知識やモデルを変更する。この操作は、モデルベース推論システムの知識ベースの修正とモデルの修正として定式化される。
- モデル操作のための知識：これらの修正は論理モデルを通じて他のモデルベース推論システムとの間の整合性をとるために行われる。そのためには、論理モデルと対象となるモデルベース推論システムの間に対応関係に関する知識が重要となる。そこで、各々のモデルベース推論システムのオントロジーと論理モデルで用いるオントロジーの間に対応関係に関する知識が必要である。
- 論理操作：知識の修正は公理の設定に対応し、情報の修正は、情報の種類に応じ、要求仕様の設定、事実（設計対象）の設定に対応する。
- 論理操作のための知識：公理に関する信頼性といったメタレベルの知識が必要となる。

6. 解のシンセシス

- 目的：問題に対する解を提案する。

- モデル操作：このプロセスはシンセシスを考慮した思考モデルの核となる操作である。最初に問題の記述を行い、適用すべき知識の選択を行う。これは、モデルベース推論システムの選択とその上でのモデルの構築として定式化できる。また、この構築したモデルに基づいて解を導出する。これはモデルを用いた推論に対応する。
 - モデル操作のための知識：この操作を行うための適切なモデルベース推論システムの選択を行うためには、モデルベース推論システム自体に関する知識が必要である。また、要求の記述などのモデルの構築過程を行うためには、各々のモデルベース推論システムのオントロジーと論理モデルで用いるオントロジーの間に対応関係に関する知識が必要である。
 - 論理操作：この操作はアブダクションに相当する。
 - 論理操作のための知識：アブダクションそのものの知識は対象に関する知識であるが、そのプロセスを制御するには、公理の利用の仕方に関する知識が必要である。
- #### 7. 解の分析
- 目的：評価のために設計解を分析する。
 - モデル操作：設計者は設計解を提案したあと、その解を他の知識を用いてテストする。この操作は、モデルベース推論システムの選択とその上でのモデルの構築として定式化できる。また、この構築したモデルに基づいて解を分析する操作はモデルを用いた推論に対応する。
 - モデル操作のための知識：この操作を行うには適切なモデルベース推論システムの選択を行うためには、モデルベース推論システム自体に関する知識が必要である。また、モデルの構築を行うためには、各々のモデルベース推論システムのオントロジーと論理モデルで用いるオントロジーの間に対応関係に関する知識が必要である。
 - 論理操作：この操作をは演繹に相当する。
 - 論理操作のための知識：演繹そのものの知識は対象に関する知識である。しかし、そのプロセスを制御するには、公理の利用の仕方に関する知識が必要である。

5. まとめ

本研究では、設計活動を2つの視点からどう解釈可能かを調べ、そこで必要となる知識について述べた。今後は、具体的な設計例を用いて、ここで述べたような知識が実際にどのように用いられているかを調べる予定である。

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-RFTF96P00701)の研究費によって実施された。

参考文献

- [1] 吉岡、富山．設計知識に注目した推論モデルの提案(第1報)．第9回設計工学・システム部門講演論文集(発表予定)．
- [2] 武田、富山、吉川．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，7(5):877-887，1992

