

# Universal Abduction Studio の提案

## Proposal of the Universal Abduction Studio

○学 藤本 裕 (東大) 正 下村 芳樹 (東大) 正 武田 英明 (国情) 正 吉岡 真治 (北大)

Yutaka FUJIMOTO, University of Tokyo, Komaba 4-6-1, Meguro-ku, Tokyo

Yoshiki SHIMOMURA, University of Tokyo

Hideaki TAKEDA, National Institute of Informatics

Masaharu YOSHIOKA, Hokkaido University

Although design support systems have been well developed in geometric and detail design areas, they are still not successful in conceptual or creative design domain. This paper describes a new design support system that aims to support conceptual design. In our opinion, the main difficulty is knowledge and its operation that play a crucial role in conceptual design. In this paper, we propose “Universal Abduction Studio” that is a new approach to support designers by computers. This system should provide various types of abduction that designers can select and combine to archive their design.

**Key Words** : abduction, analogical reasoning, creative design, computer aided design, ontology

### 1. はじめに

人工物の高度化・複雑化、環境問題や製造者責任問題などに起因する人工物に対する要求の高度化、複雑化に伴い、設計者に対する負担は一層大きなものとなっている。近年のネットワーク技術の浸透によって多種多様な知識が計算機上に蓄えられるようになったが、それらの知識を設計において効果的に利用するためには知識管理の枠組みが必要であることが指摘されている<sup>[1]</sup>。

富山らはこれまでに、概念設計や創造的設計を支援する計算機システムの開発を目的として、設計作業において重要な役割を果たしている設計知識および知識操作に関する研究を行っている<sup>[2]</sup>。そこでは、設計者による設計には個々の設計分野ごとに領域化された固有の知識群（領域知識）を用いて設計解を生み出す場合と、異なる領域で行われている設計の事例あるいは当初無関係と思われる領域知識から新たな知見を得て設計解を生み出す場合があること。既存の設計知識の組合せのみでは得られないような創造的な設計解を生み出す設計においては、後者の場合のように、ある問題を解くのに一見無関係と思われるような様々な領域知識を統合し再構成することが重要であり、この知識拡張においてはアブダクションという推論形態がトリガーとして働くことを指摘している。

異領域の知識を統合するために知識を互いに関連付ける方法は複数存在すると考えられるが、本研究では知識の関連付けに関する複数の手法を総合的に使用する環境を提供することにより、創造的設計を支援する知識統合環境である Universal Abduction Studio の概念を提案するとともに、その具体的な開発状況について報告する。

### 2. 設計におけるアブダクション

本研究の目的は、設計の創造過程を表現し、これに対する支援を計算機を用いて実現することである。武田らは、論理に基づいた設計過程の形式化により、計算可能な設計過程モデルを提案している<sup>[3]</sup>。このモデルでは、創造的設計の中心過程、すなわち新しいモノやアイデアを創造する過程では、「アブダクション」と呼ばれる推論形態が重要な役割を果たすと位置づけている。C. S. Peirce によって提案されたアブダクションは、定理群から公理を発見するための論理的プロセスである<sup>[4]</sup>。より平易には、アブダクシ

ョンは演繹の逆プロセスであるとも捉えることもできるが、設計におけるアブダクションとは、ある設計課題を満たす設計解が既存の知識のみからは導出不可能であるような場合に、既存の知識を拡張することにより設計解を発見するプロセスであると考えられる。現実問題として大量の知識を取り扱わねばならない設計のような問題領域において、実現可能な知識の拡張とは、独立に存在する知識群を必要に応じて部分的にしる統合しつつ用いることであり、アブダクションはこの知識統合を誘引するトリガーとして働くと考えられる<sup>[5]</sup>。ここで言う知識の統合とは、領域に対して単に知識をつけ加えることだけでなく、知識の再構成や修正操作をも含む。異なる領域に存在する知識を統合するために、異領域に存在する知識を互いに関連付ける方法は複数存在すると考えられるが、その複数の異なる関連付け方法を目的に応じて適切に選択する機構を用意することにより、アブダクションによる創造性の高い設計解の生成をより柔軟に支援することが可能となる。

すなわち、知識管理の観点からも、アブダクションによる創造的な設計支援を実現するためにも、知識操作の手法についての研究を行うことは有用であり、そこで重要な点は、異なる対象領域に属する知識を互いに関連付けるための知識操作の実現である。このための手法として本研究では「アナロジー (Analogy)」に基づく推論<sup>[6][7]</sup>を利用する。アナロジーの利用により、構文的な情報から意味的な情報まで幅広い情報を用いた異領域知識の関連付けが可能になると考えられる。

### 3. Universal Abduction Studio

#### 3.1 Universal Abduction Studio (UAS) の基本構成

UAS は、設計の自動化を目的とするものではなく、設計者とシステムの動的なインタラクションにより設計課題の解決を支援するという、協調的システムを目指している。UAS の利用イメージは、工房のように、設計者がそれを用いることによって自身の思考を拡張できるような多様な道具立てを用意し、設計者がそれらを自由に組み合わせることで、設計課題を解決するというものである。

Fig. 1 に UAS の全体構成を示す。UAS は、ワークスペース、知識ベース群、知識統合モジュール群からなる。設

計者はワークスペースに解決を必要とする設計課題、あるいは暫定的な設計案を配置し、その全体や部分に対して知識ベースにある知識を適用して設計を遂行する。様々な知識を一つの設計に適用するためには知識の統合が必要あり、このとき知識統合モジュール群から適切な知識統合モジュールが選択的に使用される。このようにして設計の各場面で必要な知識を、そこでの適切な知識に変換して適用していくことでUASにおける設計は進行する。

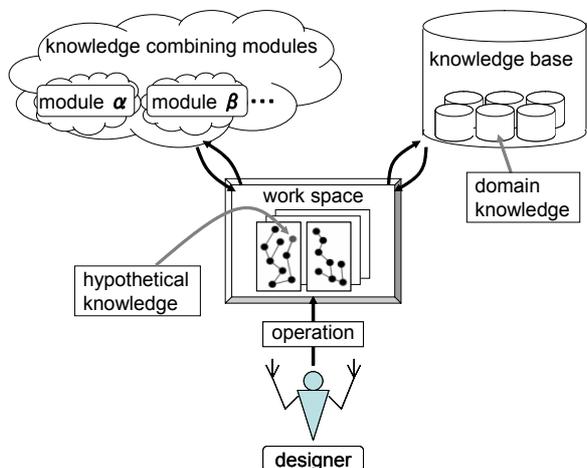


Fig. 1 : Basic Concept of UAS

### 3.2 領域知識の表現

我々は設計を行うにあたって多様な工学的知識を用いている。ここでいう工学的知識とは一定の視点から実世界を抽象化した体系に基づくものであり、本研究ではこの体系をモデルと呼ぶことにする。一般に設計は単一のモデルに基づく知識を用いるだけでは達成できないため、一つの設計においても複数のモデルに基づく知識が必要となる。UASにおける知識の統合の課題とは、このような異なるモデルに基づく知識間の関係をいかに発見して統合をする方法を与えるかということである。

一方、設計に関する情報は自然言語などによる文章や2次元あるいは3次元の形状や構造として記述、記録されている。これらの記述(description)は知識に基づいているものの、知識そのものではない。知識の記録には、それを情報として記述(encode)する、あるいは、逆に情報から知識を同定する(decode)という操作が伴う。例えば、機械設計ノウハウに関する記述は、対象の性質や、材料力学、機械工学などといった異なるモデルに基づく知識がその背景となっており、記述を利用する人がそれらの知識を持つことがなければ、記述が意味する知識を有効に利用することは出来ない。

一般に、「知識」を計算機上に表現し利用するためには、知識の利用法を考慮した知識表現形式を選択する必要がある。また、UASでは、教科書や設計ノウハウといった様々な記述レベルの知識に対し、異なる領域間の概念間の対応付けや知識の変換を行うという利用法を考えている。そのため、UASで利用する知識表現形式については、できる限り、その知識を利用するための条件や関連する背景知識などと関連づけた知識表現を行うことが望まれる。

つまり、UASの知識表現においては、単純に、「記述(description)」されている事のみを表現するのではなく、知識が利用される「文脈(context)」と知識自身を表現する「対象モデル(object model)」の組み合わせで表現することが望ましい。また、記述のみからは得られない情報に

ついては、背景知識や知識を利用する状況などに関する情報を得る必要がある。そのため、人間が認識しうる全ての対象を表す「対象(object)」から獲得する情報と組み合わせる必要がある(Fig. 2)。

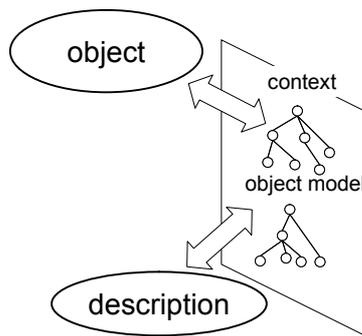


Fig. 2 : Concept of Knowledge Description

### 3.3 アナロジーに基づく知識統合

アナロジーは、人の柔軟な思考を支える有力なメカニズムの一つであると考えられている。アナロジーによる発想とは、ある分野(ターゲット領域)における未知のアイデアを、その分野とは異なる別分野(ベース領域)との類似性に基づき、ベース領域の要素をターゲット領域に転写することで獲得するものである<sup>[8]</sup>。すなわち、このアナロジーの過程はこれまでに述べてきた創造的設計のための知識統合のメカニズムとして用いることが可能である。そこで本研究では、アナロジーによる知識統合を行う上で知識間の類似性判定に、各領域に属する概念間の対応関係を用いることを考える。この時、領域知識の統合とは、各領域における概念間の対応関係に基づいた知識の変換により実現するものとする。

3.1節にてUASは、複数の知識統合モジュールを有することを述べた。この時、各知識統合モジュールが行なう異なる知識操作の違いが、アナロジーのバリエーションに対応する。すなわち、知識統合モジュールごとに類似性判定の基準が異なり、知識統合モジュールごとにその類似性判定の基準に対応する知識表現形式が必要となる。例えば、知識のトポロジカルな構造上の類似性を利用したアナロジーを行いたいときは、知識はグラフ構造に表現される必要があり、ルールの類似性を利用したアナロジーを行いたいときは、知識は論理を表すルール形式に表現されなければならない。

さらにまた、実際に記述された知識に対して設計アナロジーを適用するためには、先に述べたように記述に対して様々なモデルに基づくもの知識抽出を行う必要があり、それぞれのモデルに基づいて解釈されなければならない。以上のことを考慮すると、UASにおける知識利用のイメージはFig. 3のようになると考えられる。

Fig. 3において、底面に位置する一つの島が知識表現形式を表す。すなわちFig. 3は、ある知識表現形式が指定された状態を表す。次に、知識表現形式の上に存在する複数の垂直面が、記述と実体を結びつける個々のモデルを表し、それぞれのモデル上に個々の知識は存在する。

以上の構造において、UASの各知識統合モジュールは、一つの知識表現形式上の知識群を対象とするが、ある知識統合モジュールが扱う知識統合の範囲には、同じモデル上の知識の統合と、異なるモデルに跨る知識統合に二つが考えられる。異なるモデルに属する知識間では、知識を構成する概念、表現に用いられる語彙が異なり、また同じ語

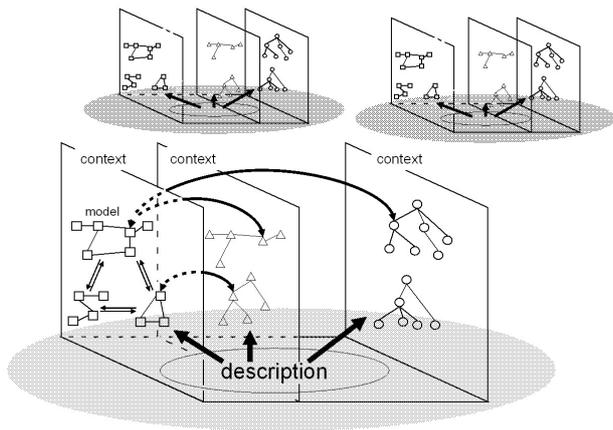


Fig. 3 : Concept of Universal Knowledge Integration

彙であっても意味が異なる場合もあり得る。

そのような異なるモデル上の知識間で類似性を判定し、知識統合によって創造性の高い解を発見するための新しい知識が得られる可能性があるとも考えられる。ただし、意味的に大きく異なる概念の間に対応関係を設定すると今までにない新しい知識が得られる可能性があるが、得られた知識の信頼性は低いと考えられる。よって、有効な知識を得るためには、語彙レベルの類似性を利用するなど、様々な類似性も利用することが必要である。すなわち、異なるモデル間の類似性を柔軟に判定することにより、有効かつ新規性の高い知識を獲得することにつながると考えられる。

### 3.4 UAS の利用手順

Fig.4 に UAS が目指す設計支援の手順を示す。先に述べたように UAS は設計の自動化を実現するものではなく、設計の各ステージで設計者の選択や意思決定を促すことにより設計の進行を支援する。

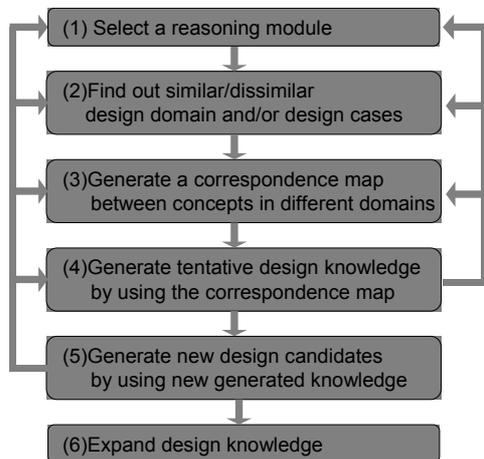


Fig. 4 : Design Flow in UAS

#### (1) 知識統合モジュールの選定

対象としている設計において、どのように知識を獲得したいのかに応じて、適切と思われる知識統合モジュールを選択する。

#### (2) 類似知識の選定

選択された知識統合モジュールは、知識ベース群から、ワークスペースに配置されている設計対象に関する知識や設計課題と類似すると思われる知識群を探索し、設計者に対して知識群候補として提案する。設計者は、提案された知識群候補の中から試用したいものを選定する。この時、設計対象と同じモデルに基づく知識群を選択することに

より知識間に類似性を発見しやすく、信憑性の高い知識が得やすい反面、その内容は常識的に導出しやすいものとなり、創造性の高い知識が得られる可能性は低くなる。他方、設計対象と異なるモデルに基づく知識群を選択すると得られる仮説の信憑性が下がる反面、創造的な知識を得られることが期待できる。即ち、設計対象の属するモデルと、比較対象の属するモデルの概念的距離の大小が、得られる知識の信憑性と創造性に影響すると考えられる。

#### (3) 異なる領域概念の対応関係の生成

知識統合モジュールが、ワークスペース上に置かれた設計対象に関する知識と、(2)で選定された知識群との間に対応関係を生成する。

#### (4) 対応関係による仮説的設計知識の生成

知識統合モジュールは、ステップ(3)で作成した対応関係に基づいて、仮説的設計知識を提案する。仮説的設計知識とは、(2)で選定した知識の一部を、(3)で作成した対応関係に基づいて、設計対象へと転写したものである。この段階で有効な仮説的設計知識が得られなかった場合は、ステップ(1)からステップ(3)の各段階へ戻り、そこに示される設計作業を繰り返す。

#### (5) 設計解候補の生成

ステップ(4)で生成された仮説的知識を用いて、設計者は設計解の候補を生成する。ステップ(4)で生成された仮説が最終的に新たな知識として採用されるか否か、即ち UAS でいう知識統合が成立するか否かは、本ステップで生成される設計解候補に対する評価の結果によって決まる。この評価によって設計解候補が設計解として利用可能であると判断された場合は、その時点で設計を終了することができる。設計解候補が設計者の意図する仕様を満たさない場合、あるいは、他の設計解候補の導出を継続して行いたい場合は、再び、設計者はステップ(1)からステップ(4)の各段階へ戻り、設計作業を繰り返す。

#### (6) 知識の拡張

(5)で設計解候補が設計解として利用可能であると判断された時点で、このとき用いられた仮説的知識は有効な新知識であると判断され、知識ベースへ追加される。結果として、他の領域知識との部分的な統合が行われ、設計対象に関する知識が拡張される。

### 4. UAS プロトタイプ 1

著者らはこれまでの議論に基づき、UAS を構成する一つの知識統合モジュールとして、知識の構造に基づくアナロジーを利用した類推機構の開発を行った<sup>[9]</sup>。このモジュールでは、知識表現形式として一階述語論理の枠組みを利用し、グラフ構造で表現した知識間の関係に対して構造的アナロジーを利用する知識統合支援の方法を実現している。

#### 4.1 グラフ構造による知識表現

グラフ構造で知識を表現するための知識表現形式として述語論理を採用する。述語論理は形式言語の一種であり、計算機が利用可能な知識の表現のための言語である<sup>[10]</sup>。述語論理は基本構成要素として対象と述語を持つ。対象は文中に現れる主語や目的語に対応し、述語は動詞や形容詞などに対応する。「自動車の車体の色が白い」というとき、対象とする自動車を自動車1と表現すると、述語論理では「自動車(自動車1) ∧ 車体の色(白, 自動車1)」と表現することができる。また、述語はひとつの対象の性質を述べるだけでなく、二つ以上の対象の関係性を述べることも用いられる。例えば「列車1が貨車2を引いている」とする

とき、この関係は述語論理では「引いている（列車1，貨車2）」と表現することができる。

以上の述語論理の記法に従い、設計記述を述語論理で具体的に表現する手法について述べる。まず設計対象の実体の宣言を、引数をひとつ持つ一項述語により表現する。例えば、ある「建物」という実体を記述するためには、述語「建物」に対し、「建物」のインスタンスとなる実体「建物1」を引数に与えて「建物（建物1）」と記述する。これは、「建物1」という実体は建物であるということの意味する。

次に、対象間の関係、対象の属性など二種以上の要素の関係性を記述するために、二項以上の引数を取る述語を利用する。例えば、「建物が基礎構造の上にある」という関係は、「上（建物1，基礎構造1） $\wedge$ 建物（建物1） $\wedge$ 基礎構造（基礎構造1）」と記述する。また、「建物の高さ」という属性関係は、「属性（高さ1，建物1） $\wedge$ 建物（建物1） $\wedge$ 高さ（高さ1）」と記述する。

ここで、次のような設計対象の構造を記述する場合を考える。

「地盤の上に基礎構造がある。基礎構造の上に建物が接続されている」

上記の例は Fig.5-①のように記述することができ、各述語をノード、二項以上の述語の引数の関係をアークとみなすことにより、グラフ構造として表現することができる (Fig.5-②)。

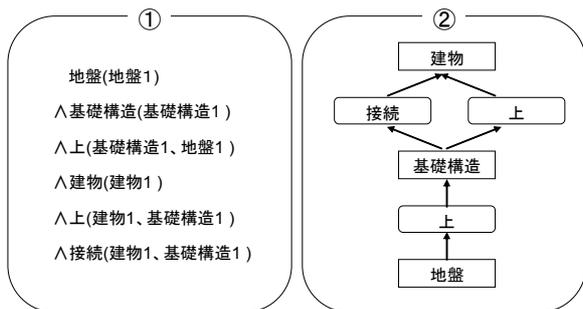


Fig. 5 : Graphical Representation of Knowledge

## 4.2 構造的アナロジー型知識統合モジュールの実行例

4.1 節で述べた知識表現形式に従い表現された設計知識に対して、知識を構成する要素、要素間の接続関係を利用することにより、構造類似性を発見した。

本モジュールの実行例を、Fig.6 に示す。Fig.6 は、自動車用ホイールキャップの補助ホルダガイドリブの設計手順書とホルダガイドリブの位置決定の手順書の二つの異なる設計手順書における類似性を判定し、知識間の対応付けを行なった様子を示している。図の右側がベース領域（補助ホルダガイドリブ位置決定手順書）、左側がターゲット領域（ホルダガイドリブ位置決定手順書）の知識である。本例では、ハンブ頂点径を決定する際、割れに関する剛性を考慮に入れなければならない、アナロジーの対象として、剛性（割れ）と意匠剛性、及び距離とハンブ頂点径がリンクで結ばれている。

設計者は、ベース領域の知識をターゲット領域に対応するように解釈することにより仮設的知識を得るが、この場合いくつかの解釈が考えられる。例えば、ハンブ頂点径を決定する際には、剛性（割れ）だけではなく意匠剛性も考慮すべきであるという解釈が可能であり、あるいは剛性（割れ）と意匠剛性は類似の概念であるという解釈もできる。

次に、設計者は解釈の結果得られた仮設的知識を基

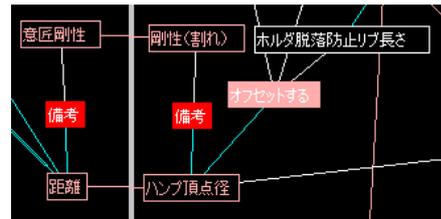


Fig. 6 : Structure based Mapping among Domain Knowledge に設計解を導出する。導出した設計解が有意であると判断されれば、仮設的知識は正当な知識として取得することができる。

このように、構造的類似性に基づく推論を用いることにより複数の知識を統合し、新しい発見を得られる可能性を示すことができた。しかしながら、本方法ではどのような知識が得られるかは実際に推論を行うまでは明らかにならないため、特定の設計課題を解くための設計知識を効率的に得たいという場合には適さない。

## 4.3 本モジュールによる類似性判定における課題

本章で述べた構造的アナロジー型知識統合モジュールで実際に知識統合支援を行なった結果、以下の課題が明らかになった。

### (1) 語彙間の柔軟な対応付け

本章で述べた知識統合モジュールでは、類似性を判定するために、ノードにあたる語彙に完全な一致を求めている。このため、アナロジーの適用される範囲が極めて狭いものとなり、異領域知識利用の観点で柔軟性に乏しい。語彙間の類似性を柔軟に判定する手法が必要である。

### (2) 語彙の意味的な解釈を行う類似性判定

本章で述べた知識統合モジュールでは、単に語彙の表現レベルで一致する全ての知識を統合の対象と判定している。そのため自由度が高く創造的な知識が得られる可能性がある反面、語彙の意味上、著しくかけ離れた類似性判定が行われてしまい、信憑性および利用可能性の低い、低質な仮設的知識を多く生成してしまう可能性がある。すなわちこれまでも述べたように、信憑性の高い類似性判定を行なうためには、語彙の意味的な解釈を行い、語彙の意味に基づいた類似性判定が必要である。

### (3) 異なるモデルに属する知識間の類似性判定

3.2 節で述べたように、設計知識には様々なモデルに基づくものが想定でき、これら様々なモデル上に設計知識が存在していると考えられる。そして、異なるモデル上に存在する設計知識間の類似性を柔軟に判定することにより、有効かつ新規性の高い知識を獲得することにつながると考えられる。これに対して、本章で述べた知識統合モジュールが実現しているのは、同じモデル上の知識の統合のみであり、今後、異なるモデル上に存在する設計知識の類似性を判定する手法の開発により、新規性の高い知識獲得を例示することが望まれる。

## 5. 知識統合のための知識抽出

前章では既存の設計の記述からそこに含まれるであろう知識を ad hoc に記述して、それを用いてシステム利用例を作成した。とくに3章での述べたように、設計の記述においては異なるモデルに基づく知識が含まれていたり、同一のモデル上でも複数の知識が含まれているので、設計の記述から知識への変換は単純なものではない。そこで本章ではこの知識の抽出の部分に注目する。



てはいるが類似概念であると判断できる。さらに(k'-1)の背景としてガラスが「板形状」で「硬い」物質であることが分かり、(k'-1)を適応するためには、設計対象が同様に「板形状」で「硬い」物質でなければならないと判断する。これらを類似性判定の拘束条件とし、結果としてこれらの条件を満たすガラスに関する知識が適応可能であると判定する。この時、「形状」、「硬度」が一致していない対象に関する知識は適応可能でないと見なすことで、低質な仮説的知識の生成可能性を排除する。このようにオントロジーに基づく類似性判定を行うことで柔軟でかつ信憑性の高い類似性判定を実現することができる。

さらに、モデルごとに存在する異なるオントロジー同士を関連付ける、上位のオントロジーを利用することにより異なるモデルに属する知識の類似性判定を行い、より新規性の高い仮説知識が獲得可能となると考えられる。例えば、「機械設計」体系に存在する語彙を定義するオントロジーと、「料理レシピ」体系に存在する語彙を定義するオントロジーを関連付ける上位のオントロジーにより、「機械設計」に属する語彙と「料理レシピ」に属する語彙の対応関係をとることができれば、これらのモデルに属する知識同士を統合することが可能になる。

## 6. 導出される仮説的設計知識の性質

これまで述べてきたように、UASは複数の知識統合モジュールを有することにより、総合的な知識統合を支援することを目指している。UASは設計者とのインタラクティブな設計支援環境であり、設計者が何を望むのかによりUASが提案する仮説知識の性質は異なる。すなわち、UASを用いる設計の過程において、設計者は以下の3つの選択を行うことが可能である。

### (1)知識統合モジュールの選択

どの知識統合モジュールを用いるかの違いにより、得られる仮説的設計知識の種類が異なる。例えば、構造的類似性に基づく知識統合モジュールを用いると設計対象全体に対して新しい発見が得られる可能性があるが、特定の設計課題を解くための知識を効率的に得ることはできない。これに対して、ルールの類似性に基づく知識統合モジュールを用いることにより、特定の設計課題を解くための知識が得られる可能性が高まる。

### (2)統合に用いる対象知識群の選択

どの知識群を統合の対象として選択するかの違いにより、得られる知識の信憑性、創造的な知識が得られる可能性が異なる。設計対象と同じモデルに属する知識を選択すれば知識間に類似性を発見しやすく、信憑性、有用性の高い知識を得やすい反面、創造性、新規性は乏しくなる。他方、設計対象と異なるモデル上の知識を選択すると得られる仮説知識の信憑性は下がる反面、創造的で新規性の高い知識を得られることが期待できる。そして、設計対象の属するモデルと、統合相手の属するそれらの概念的な距離がより遠いほど得られる知識の信憑性はさがり、創造性は高まると考えられる。

### (3)オントロジーの利用の取捨選択

モデルの内外における概念間の関係発見に、オントロジーを用いることが可能であり、また用いるオントロジーの種類を適宜経更することにより、モデルにおける概念的な距離、関係の強弱を制御することが考えられる。すなわちこれを利用した、得られる仮説知識の信憑性、有用性/創造性、新規性に関する質の制御が可能であると考えられる。

## 7. 結論と展望

創造的設計を支援する枠組みとしての Universal Abduction Studio の概念を提案し、UASの知識統合モジュールとして、構造的類似性に基づく推論機構を提案した。さらに、オントロジーの概念を導入することで、意味的解釈に基づく類似性判定を実現することを提案し、オントロジーを用いた知識統合の例として、ルールの類似性に基づく知識統合モジュールにおいてオントロジーを利用することで、柔軟で信憑性の高い類似性判定が可能となることを示した。

今後は、継続的なシステム構築と例題への適用を通じて、本システムの有効性を検証する。

## 参考文献

1. R. Dieng : Knowledge Management and the Internet, IEEE Intelligent Systems, pages 14-17,(2000)
2. 富山哲男 : 「シンセシスのモデル論」プロジェクト最終報告, 日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業公開シンポジウム「シンセシスの科学」講演予稿集, 日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「シンセシスの科学」研究推進委員会, pp.7-60, (2001)
3. H. Takeda, M. Yoshioka and T. Tomiyama : A general framework for modeling of synthesis - integration of theories of synthesis -, In 13th International Conference on Engineering Design - ICED 01, Design Research - Theories, Methodologies, and Product Modeling, pages 307-314, (2001)
4. 米盛裕二 : パースの記号学, 勁草書房,(1981)
5. Aliseda, A : Abduction as Epistemic Change: A Peircean Model in Artificial Intelligence, in Flach, P. and Kakas, A. (eds), Abductive and Inductive Reasoning: Essays on their Relation and Integration. Kluwer Academic Press, Applied Logic Series, (2000)
6. S. Bhatta, A. Goel, and S. Prabhakar : Innovation in analogical design: A model-based approach, In Gero, J., ed., Artificial Intelligence in Design, pp.57-74 , (1994)
7. S. Bhatta and A. Goel: From Design Experiences to Generic Mechanisms: Model-Based Learning in Analogical Design, Artificial Intelligence in Engineering Design, Analysis, and Manufacturing, special issue on machine learning in design, Vol.10, pp.131-136 , (1996)
8. 特集「類似性に基づく推論」, 人工知能学会誌, Vol. 17, No.1, (2002)
9. 坂井宏充, 他 : Universal Abduction Studio の開発 (第二報) -構造的アナロジー推論に基づく設計支援-, 2003年度精密工学会春季学術講演会講演論文集, (2003)
10. 古川康一, 尾崎和伸, 植野研 : 帰納論理プログラミング, 共立出版株式会社, (2001)
11. 荻野達也, 他 : 「特集セマンティック Web」, 情報処理, Vol. 43, No. 7 (449号), pages 707-750, (2002)
12. 藤本裕, 他 : Universal Abduction Studio の開発 (第四報) -UASのための新しい知識表現 -, 2003年度精密工学会春季学術講演会講演論文集, (2003)
13. 渡辺秀則 : 続・機械設計心得ノートーベテラン設計者のノウハウ集一, 日刊工業新聞社, (1988)

