

2103 創造的設計のための仮説的知識の生成手法

Hypothetical Knowledge Generation Method for Creative Design

○ 正 吉岡真治 (北海道大) 正 野間口大 (大阪大) 藤本裕 (東大)
正下村芳樹 (東大) 武田英明 (国立情報学研究所)

Masaharu YOSHIOKA, Graduate School of Engineering, Hokkaido University
Kita 13 Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8628, Japan
Yutaka NOMAGUCHI Osaka University
Yutaka FUJIMOTO University of Tokyo
Yoshiki SHIMOMURA
Hideaki TAKEDA National Institute of Informatics

Since previous designer may already generate possible combination of existing domain knowledge, it is difficult to design creative solution without creating innovative knowledge. We have already confirmed that combination of existing knowledge from different domain may useful for this process by analyzing design cases. In this paper, we propose methodology to generate hypothetical knowledge for creative design by combining existing knowledge.

Key Words: Creative Design, Design Knowledge, Ontology, Analogy

1 はじめに

既存の設計解と異なる新しい設計解を作成するような創造的設計を実現するためには、既存の設計解の作成に利用した知識のみでは不十分であり、新たな知識の生成もしくは導入と、その新しい知識による問題の再定義が必要である。Rozenburg[1]らは、このような設計解の生成過程に用いられる知識生成の過程を Innoduction と呼ばれる論理推論により定式化を行った。この Innoduction は、事実と知識から、事象を説明する仮説を導くアブダクションの変形であり、事実から事象を説明する仮説とその仮説を説明するための知識の一部を同時に導く推論である。この Innoduction で導出する知識の例としては、設計解の利用法に関する知識などといった、設計解に特有の知識などが想定されていたが、どのようにして知識を生成するかについての方法論については明確な定式化がなされていなかった。

一方、我々は、設計における仮説的知識生成において、関連する異なる既存の領域知識の統合が行われるという仮説に基づき、冷蔵庫の設計事例の分析を行い、設計において領域知識の統合が新しい創造的設計解を導く事を確認した [2]。

本研究では、この考え方にに基づき、設計者にとって役立つ異なる領域の関連知識を発見し、既存の対象領域知識と組み合わせることにより、新たな仮説的知識を生成する方法の提案を行う。

2 Universal Abduction Studio (UAS)

2.1 創造的設計のための仮説的知識生成

ある分野において、創造的な設計が行われた場合に、その類似の設計をすることは最初の創造的な設計に比べれば容易である。この理由は、後者の設計では、前者の創造的な設計過程で生成された知識を利用することが可能であるためであり、その知識を利用しているがために、創造的な設計とは呼ばれにくいことにつながっている。このことは、創造的設計においては、創造的な設計解を産み出すだけでなく、その設計に用いる新しい知識の生成が行われているという事を意味している。本研究では、この創造的設計における知識生成をモデル化し、その知識生成過程を支援することを目標としている。

我々は、この過程で生成される仮説的知識生成が、既存の異なる領域知識の統合により生成される場合が存在することに注目し、異なる領域知識を統合による仮説的知識の生成を行う方法の検討を始めている。

ここで、生成される仮説的知識の妥当性を考慮すると、新しい知識を作成する場合に、全く関係のない領域知識を適当に組み合わせても、意味のある仮説的知識を生成することは困難である。よって、この異なる領域知識の統合による仮説的知識の生成においては、何らかの基準により、異なる領域知識の間の関係を発見し、その関係に基づいて知識を統合することが必要となる。

以下では、この検討の第一歩である問題構造の類似性に基づく仮説的知識生成の方法に基づき知識生成の支援を行い、設計者の思考を拡張し、創造的な設計活動の支援を行う Universal Abduction Studio (UAS) のプロトタイプについて述べる。また、このプロトタイプが持つ問題点について議論し、領域知識のオントロジーに基づく仮説知識生成のガイドラインについて述べる。

2.2 問題構造の類似性に基づく仮説的知識生成

問題構造の類似性に基づく仮説的知識生成とは、知識を適用する状況が似ているという事から、知識間の関係を導きだし、仮説的知識を生成する方法である。

この方法では、異なる領域において用いられる設計知識と、その設計が対象とする問題構造を表す典型的な設計対象モデルが対になって保存されていることを仮定する。この時、設計者が持っている問題を表現した設計対象モデルを用いて、異なる領域の設計知識を適用するための設計対象モデルから類似した部分を取り出すことにより、異なる領域知識に基づく概念間の関係を見つけ、知識の変換に役立てる。

例えば、Fig. 1 は問題構造の類似性を示した例である。この例では、クレーンの設計において支柱の軽量化を考える場合に、橋の設計における橋脚の軽量化に利用できる知識を利用できる可能性があり、クレーンにおけるアームの役割を、橋における橋梁が果たす関係にあるということが、問題構造の類似性から得られる。この概念間の対応関係に基づき、知識の変換を行うことにより、異なる領域の知識を対応づける方法である。

2.3 UAS のプロトタイプ

この問題構造の類似性を利用して、知識間の関係を導き新たな知識を生成し利用する UAS のプロトタイプを作成した。ここでは、設計対象のモデルおよび、その設計対象モデルに対して利用可能な知識は一階述語論理の形式で書かれているものを

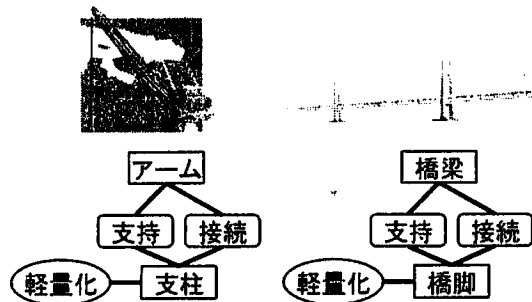


Fig. 1: Similarity between Two Different Problems

想定し、その述語と項の関係をグラフ構造として扱う。

1. 類似領域の選択

設計対象領域と類似した設計領域を選択してアナロジーを行う場合、設計対象領域に対して高い信頼性を持った知識を導出可能であるが、この知識は初期の設計知識とさほど変わらないものとなる。他方、低い類似性の設計領域を選択する場合、得られる知識の信頼性は下がるが、本来利用していた設計領域から見れば「驚くべき」知識を導出することが期待できる。

2. 異なる領域概念の対応関係の生成

異なる領域間でアナロジーに基づく推論を駆動するためには、一定の対応関係（同一概念あるいは同一インスタンスである等の関係）が必要である。この時、このような関係が全てあらかじめ決められるような場合には、知識の変換なしで知識の融合が可能である。しかし、元々異なる領域知識に対して、このような完全な対応関係の存在は期待できない。そこでまず基礎となる同一性に関する対応関係を概念名の同一性に基づき導出する。この対応関係は多数存在しうるが、Fig. 1 の例のように、概念間の関係を表すグラフ上の対応関係でスコアリングを行うことでもっともらしい関係を見出す。一方で、このような対応関係を生成するための手がかりが無い場合には、設計者自身が対応関係を作成する必要がある。

3. 対応関係による仮説的な設計知識の生成

ステップ2で生成した対応関係を用いて、仮説的な設計知識を導出することにより、選択した領域の知識を設計対象領域における知識として用いることが可能になる。2で求めた対応関係を有する双方の知識上で、グラフの同一位置にあるノードは類似するノードの候補である。

ただし、この時点においては、この知識は注目している設計領域においては仮説に過ぎず、他の知識とは明らかに区別して認識する必要がある。このステップで生成された仮説的知識が設計者にとって利用可能でないとき、設計者はステップ1に戻って、新たな領域知識を選択するか、ステップ2に戻って別の対応関係作成手法を用いることになる。

4. 設計候補の生成

ステップ3で生成された知識を用いて設計者は設計候補を生成するが、ステップ3で生成された仮説が知識として採用されるか否かは本ステップで生成される設計候補によって決まる。即ち、ステップ3で生成される仮説を新たな知識として確定するためには、提案された設計候補の評価による仮説検証のプロセスが必要である。評価によって設計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。設計候補が設計者の意図する仕様を満たさない場合、再び、設計者はステップ1からステップ3の各段階へ戻り、設計作業を繰り返す。

2.4 UAS プロトタイプシステムの評価

本プロトタイプシステムを用いて、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位置決定の手順書を用いて、既存の設計手順書とは異なる設計候補の作成実験を行った。この結果、異なる設計手順書において表記が異なっているような概念間の対応関係を発見することができ、異なる領域知識の統合を実現することができた。

しかし、ここで得られた知識は、元々利用した知識の領域が近く（ホルダガイドリブという同じ設計対象を異なる観点から知識化したもの）、創造的な設計解へと至るような知識の生成が実現できなかった。

ここで用いたような類似している領域知識を利用せざるを得なかった理由は、ステップ2において行う概念間の対応関係付けを概念名によるマッチングによって行っているためである。つまり、低い類似性の知識を統合するためには、設計者自身が対応関係をつける必要があり、システム単体の評価として適切ではないと考えたからである。

2.5 領域知識のオントロジーに基づく知識統合

前節で述べた課題を解決し、UASを低い類似性の知識に対する知識統合に利用するためには、異なる領域知識に存在する概念間の対応づけを支援する枠組みが必要である。

本研究では、この概念間の類似性をオントロジー [3] に基づいて判断する方法を提案する。オントロジーとは、概念化の明示的な記述であり、人工システムを構築する際のビルディングブロックとして用いられる基本概念/語彙の体系を表したものであり、このオントロジーに基づく概念体系を利用した概念間の対応付けを考える。

このオントロジーについては、物理法則に基づく工学的なオントロジー構築の研究としては [4] などがあるが、創造的な知識生成のためには、知識の領域を物理法則に限定することは得策ではない。一方、近年の Web テクノロジーに基づき、Web 上にある知識の統合を目指したセマンティック Web [5] の研究においては、異なる Web サイト間で構築された Web 上の情報に対してオントロジーを記述するための言語 OWL (Web Ontology Language) [6] が提案されており、上位オントロジーの参照、異なるオントロジーの統合の枠組みなどが提案されている。

本研究では、驚くべき知識を導く可能性のある低い類似性の知識も取り扱いたいと考えているので、物理法則に基づく工学的なオントロジー構築のみを扱うのではなく、OWL で記述されるような、物理法則に限定されない広い概念を扱うための方法論を利用する。

OWL では、Description Logic の考え方にに基づき、オントロジーを定義する。また、実際の知識記述の際には、知識記述中に用いる概念の個物 (インスタンス) に対してメタデータという形で、概念間の対応付けを行う。また、概念の個物 (インスタンス) に対しては、概念間の関係を表す語彙により対応付けが可能であり、Fig. 1 で示すような一階述語論理に基づくグラフ構造をより精緻化したものが記述可能である。この定義を用いることにより、単なる概念階層に基づく概念間の類似性だけではなく、実際のインスタンスである個物が持つ属性の情報から、属すべき概念を導出し個物間の類似性をしらべるといった事が可能になる。

本研究では、上記の内容を踏まえ、各領域において記述される個々の知識に含まれる特徴的な語彙をメタデータにより意味付けし、これを管理するオントロジーを介した領域間での類推を

行うことにより、意味的な解釈による知識統合を実現する。例えば、カッターナイフの設計に関連して、Fig. 2 のような上位の概念階層に関するオントロジーとカッターナイフのクラスの定義があったと仮定する。

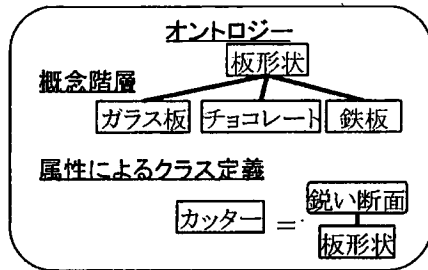


Fig. 2: Example of Ontological Definition

この時、以下の知識は、Fig. 3 のような前提条件と適用結果の組み合わせとしてのグラフ構造として表現可能である。

- ガラスの断面は常に鋭い。
- 溝の刻まれた板チョコレートは簡単に切断可能。

この時、鉄板とガラス板、鉄板とチョコレートは概念名は違うものの共通の概念である板形状のサブクラスであり、対応関係を考慮するに値する概念である。この知識を用いると、割れたガラス板をカッターとして使う方法がオントロジーの定義から提案可能である。また、「鉄板」と「ガラス板」の間に対応関係があると仮定すると、「鉄板」を「切断」してカッターにする方法が提案され、「チョコレート」と「鉄板」の間に対応関係を仮定すると、「鉄板」に「溝形状」を与えることにより、切断しやすくなるという知識が提案できる。ここで新たに生成された仮説的知識を用いることにより、折れ刃式カッターナイフが設計解として提案可能になる。

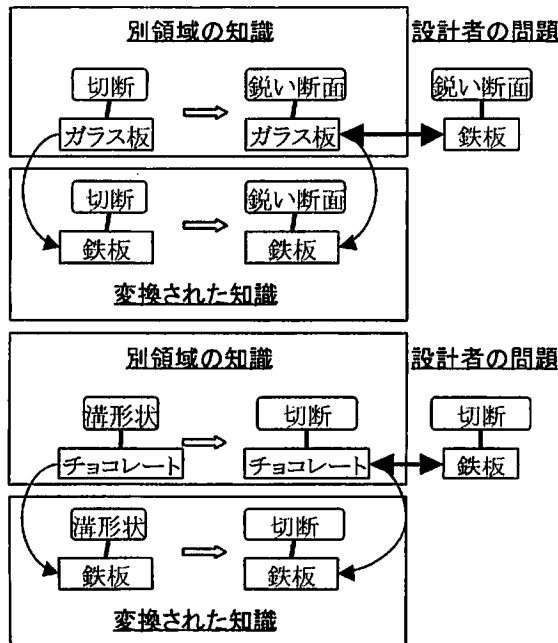


Fig. 3: Ontological Mapping among Domain Knowledge

このように、オントロジーを用いることにより、従来の UAS の問題点であった概念間の対応付けの自由度に関する制約が利用できるだけでなく、一部の概念に対して概念間の対応関係を設定することにより、他の領域で利用されている概念の新たな見方(ガラスをカッターとして使うと言った例)を見つけることが可能になり、より柔軟な知識生成が実現可能になると考えられる。

また、オントロジーの構築に関してはコストがかかり、なかなか容易ではない作業であるが、セマンティック Web で用いる標準的な形式を利用することにより、他の人が作成したオントロジーなどが利用可能となり、全ての領域知識に対して、一からオントロジーを作成するのに比べ、オントロジー作成の労力の低減が期待される。

3 まとめ

本稿では、創造的設計を支援するための基本的な仮説的知識の生成手法についてのべた。ここで作られる新しい仮説知識は、あくまでも仮説的な知識であり、その知識の妥当性は、実際にその知識を適用した結果(実際の設計解の評価)によって、評価される必要がある。ただ、本稿で提案した手法は領域知識間の関係を適切に設定するためのガイドラインに相当するものであり、生成される知識の妥当性は、無関係な領域知識を適当に組み合わせるよりも高い事が期待される。

今後、継続的なシステム構築を通じて、本手法の有効性について検証を行っていきたいと考えている。

参考文献

- [1] N.F.M. Roozenburg and J. Eekels. *Product Design: Fundamentals and Methods*. John Wiley & Sons, Chichester, 1995.
- [2] Tetsuo Tomiyama, Hideaki Takeda, Masaharu Yoshioka, and Yoshiki Shimomura. Abduction for creative design. In *Computational Synthesis: From Basic Building Blocks to High Level Functionality, Papers from the 2003 AAAI Symposium*, 2003.
- [3] 溝口理一郎, 池田満. オントロジー工学序説 -内容指向研究の基盤技術の理論の確立を目指して-. 人工知能学会誌, Vol. 12, No. 4, pp. 559-569, 1997.
- [4] 関谷貴之, 吉岡真治, 富山哲男. オントロジーを用いた統合的設計支援環境の実現. 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 6, pp. 1051-1060, 1999.
- [5] Tim Berners-Lee, James Hendler, and Ora Lassila. The semantic web. *Scientific American*, Vol. 284, No. 5, pp. 34-43, 2001.
- [6] Frank van Harmelen, Jim Hendler, Ian Horrocks, Deborah L. McGuinness, Peter F. Patel-Schneider, and Lynn Andrea Stein. Owl web ontology language reference. Technical report, W3C, 2003. <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>.