

# オントロジーを用いた設計者の統合的支援環境

## An Ontology-Based Designers Support Environment

鷹合 基行

Motoyuki Takaai

足立 秀和

Hidekazu Adachi

武田 英明

Hideaki Takeda

西田豊明

Toyoaki Nishida

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

**Abstract:** In this paper, we introduce a knowledge base system for design called Designers Amplifier that organizes poorly-structured documents and enables designers to share and reuse design knowledge. Designers collect domain knowledge from various sources, e.g. network, other designers, past experience and books. But they are often poorly-structured to use in design. Designers Amplifier enables designers to share, reuse and store design knowledge by ontology-centric organization of documents and communication messages among designers. And ontology sharing by Designers Amplifier makes deep-understandings of design knowledge among designers.

## 1 はじめに

設計行為は技術者による高度な知的生産行為であるが、その設計行為は設計を達成するための知識に支えられている。設計者は新しい要求が与えられたとき、彼の経験や本やネットワークなどありとあらゆる手段で設計方法や設計対象に対する知識を収集する。そして現在の設計に役立つような物を組み合わせそれらをうまく適合させる。その過程で設計者の知識は組織化され拡張されてゆく。

本研究では、設計対象に関する概念体系（オントロジー）を用いて設計知識を扱い、設計者を支援していく計算機環境について述べる。我々の提案する設計者支援環境 Designers Amplifier は以下のような支援を行う。1) 複数設計者間のコミュニケーションを支援する。特に複数の設計者でオントロジーを共有することによって設計対象の知識の深い共有をめざす。2) 対象に関する知識を様々な方法で収集する。3) 設計メモや議事録など設計に関する断片的な情報をオントロジーを用いて組織化し再利用可能にする。

## 2 設計者の支援環境

着ぐるみエージェント [3] は設計者と外部の間に入って設計者の情報アクセスや他の設計者間のコミュニケーションを増強するための枠組である (図 1)。着ぐるみエージェントでは設計情報を文書などのメディアレベルと一緒にオントロジーの形式表現レベルで扱い、設計者間の深いレベルでの設計知識の共有と設計知識の体系化・蓄積・再利用をめざす。

Designers Amplifier は着ぐるみエージェントの実現に向けて設計文書の組織化と共有、共有オントロジーの構築を目指したシステムである。Designers Amplifier システムは ICoB (工学的知識の体系化と共有のための知的ドキュメントベース) [3] のアーキテクチャにしたがってサーバーとそのサーバーに接続するクライアントからなる。サーバーでは設計文書やコミュニケーションメッセージがオントロジーによって構造化され蓄積される。設計者ごとに配

置されるクライアントは、サーバーに接続して共有オントロジーの編集、他の設計者とのコミュニケーション、コミュニケーションメッセージや文書の検索、文書の作成などを支援する。

## 3 Designers Amplifier 試作システム

現在の Designers Amplifier の試作システム (Ver1.0) はテキスト文書のみ扱う。試作システムではテキスト文書中に出現する単語とオントロジー上の概念を結びつけることで与えられた文書を構造化する。また、文書の単語間の共起関係を用いた検索やオントロジー上の関係を用いた検索を実現する。システム上のオントロジーはユーザが編集可能であり、オントロジーの変更は文書の構造化に反映される。現在の試作システムでは設計者間のコミュニケーションの支援や設計文書作成の支援は実装されていない。

### 3.1 Designers Amplifier の構成

図 2 は Designers Amplifier 試作システムの構成である。Designers Amplifier システムはサーバーとブラウザから成る。設計者にはそれぞれブラウザが用意され、ブラウザを通してサーバーのオントロジーや文書を扱う。

設計者は共有オントロジーを参照・編集・利用することができる。過去の会議録やメッセージなどの文書はサーバーの構造化プログラムによってオントロジーに基づいて構造化されると同時に単語の共起計算が行われる。ユーザが入力した検索語から共起またはオントロジーを用いて構造化された文書が検索される。ユーザは得られた文書内の単語と結び付いたオントロジー上の概念を参照することができる。

以下では試作システムにおけるオントロジー、各機能 (オントロジーの編集、文書の構造化、文書の検索) と実行例について述べる。

### 3.2 Designers Amplifier におけるオントロジー

試作システムのオントロジーはフレーム型オントロジーの表現に基づいており Ontolingua [1] などのオントロジー

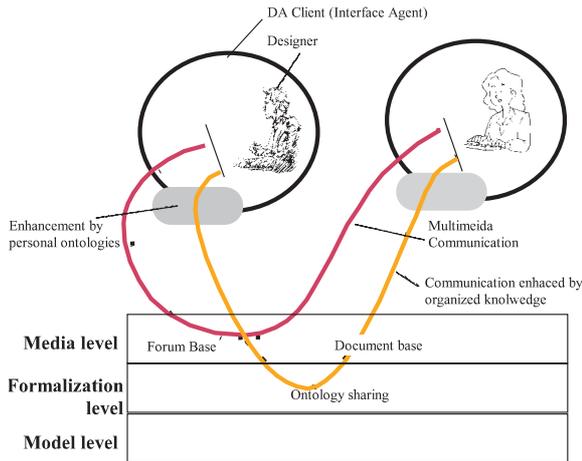


図 1: 着ぐるみエージェント

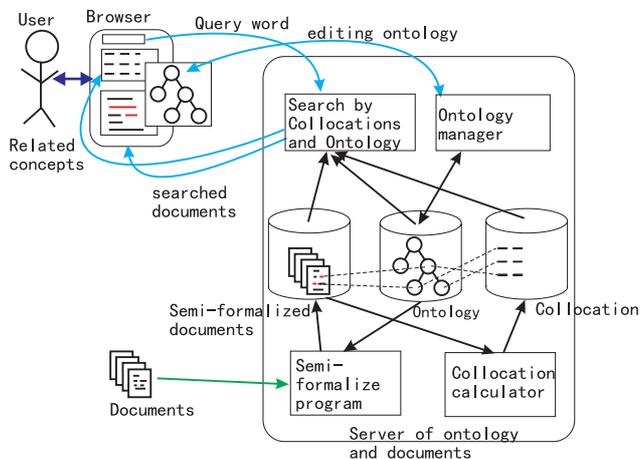


図 2: Designers Amplifier 試作システムの構成

表現言語と相互変換しやすくなっている。現在試作システムにおけるオントロジーの構成要素は以下のようになっている。

- Class: 一般の概念を記述する。試作システムのオントロジー編集ウィンドウではアイコンで表わされる。Class は名前とその概念が文書中で現れる表現 (Expression) と属性 (Slot) をもつ。属性はその概念における属性名、その属性が属する Class、属性値の 3 つからなる。
- Super-Sub Class 関係: Class 間の継承関係を表す。試作システムのオントロジー編集ウィンドウでは青の矢印で表わされる。
- 接続関係: Class 間で何らかの関係があることを示す。試作システムのオントロジー編集ウィンドウ上では緑の線で表わされる。

これらすべての構成要素はユーザ名を持ち、編集可能なユーザを示している

### 3.3 Designers Amplifier によるオントロジーの編集

試作システムではサーバー 1 つにつき 1 つのオントロジーが用意されており設計者はブラウザを通してそのオントロジーを共有する。設計者はブラウザのオントロジー編集ウィンドウを通じてオントロジーを編集することができるが、オントロジー構成要素は設計者別に管理されており、設計者に許される編集行為は以下のように制限されている。

- 設計者は自分のオントロジー構成要素を作成、変更、削除できる。
- 他人の作った Class 概念に Super-Sub Class 関係や接続関係をつなぐことができる。
- 他人の作ったオントロジー構成要素を見ることはできるが変更、削除はできない。

### 3.4 Designers Amplifier による文書の構造化

Designers Amplifier におけるオントロジーは概念の体系であると同時に概念のメディアにおける表現形態も持つ。試作システムではオントロジーにおける概念の単語表現 (Expression) を文書中寻找し、概念へのリンク付けを行う。現在は単語の変化形などをほとんど考慮せずに文字列のマッチングによって文書中に単語表現を見つけている。単純な方法であるが、日本語や英語など言語の種類に応じて特別なプログラムを用意することなくシステムが動作できるメリットがある。

### 3.5 Designers Amplifier による文書の検索

Designers Amplifier は文書の検索方法として以下の 2 つをもつ。

1. 単語の共起情報を用いた検索
2. オントロジーを用いた検索

これらは共にユーザから入力された検索語に関係あると思われる語を含めて検索語とし、与えられた検索語のみによる検索より知的で幅のある検索を目的としている

#### 3.5.1 共起情報を用いた検索

文書内の単語間の共起情報は文書の構造化と同時に以下の式に基づいて計算される。

文書集合  $D$  内の文書  $d \in D$  において単語  $w, w'$  がそれぞれ出現する位置の集合を  $loc(d, w), loc(d, w')$  として、 $d$  における単語  $w, w'$  間の共起

$$M_{ww'} = \sum_d \sum_{l \in loc(d, w), l' \in loc(d, w')} m(w, l, w', l')$$

を成分に持つ行列  $M$  を共起行列とする。ただし  $m(w, l, w', l')$  は単語  $w, w'$  が位置  $l, l'$  で出現した場合の共起の重みである。試作システムでは  $m$  の計算は位置  $loc$  を文単位 (第  $l$  文に単語  $w$  が出現する) に用いて以下の式を用いている。

$$m(w, l, w', l') = \begin{cases} 0 & (|l - l'| > 10) \\ (10 - |l - l'|)/10 & (|l - l'| \leq 10) \end{cases}$$

文書の検索は与えられた検索語集合に共起される語を加えて行われるため与えられた検索語集合にとらわれない幅のある検索が可能である。つまり検索語集合のベクトル  $Q$  (第  $w$  成分は  $w$  が検索語なら 1,  $w$  が検索語でないなら 0) から計算される次のベクトル

$$\sum_w Q_w \cdot M_w (M_w \text{ は共起行列 } M \text{ の第 } w \text{ 列ベクトル})$$

を  $Q$  に加えたベクトルを新たな検索語のベクトルとする。

試作システムではさらにベクトル空間モデル [2] による単語の重み付けを行っている。単語の重み付けは、出現する文書におけるその単語の相対出現頻度  $tf$  (term frequency) と文書の集合におけるその単語の逆文献頻度  $idf$  (inverse term frequency) の積によって与えられる。すなわち

$$tf_{dw} \cdot idf_d$$

ここで、 $tf_{dw}$  は文書  $d$  における単語  $w$  の出現頻度、 $idf_d$  は文書集合  $D$  において単語  $w$  が出現した文書の逆数である。 $idf_d$  は一般的に次式で与えられる。

$$idf_d = \log(N/n_w)$$

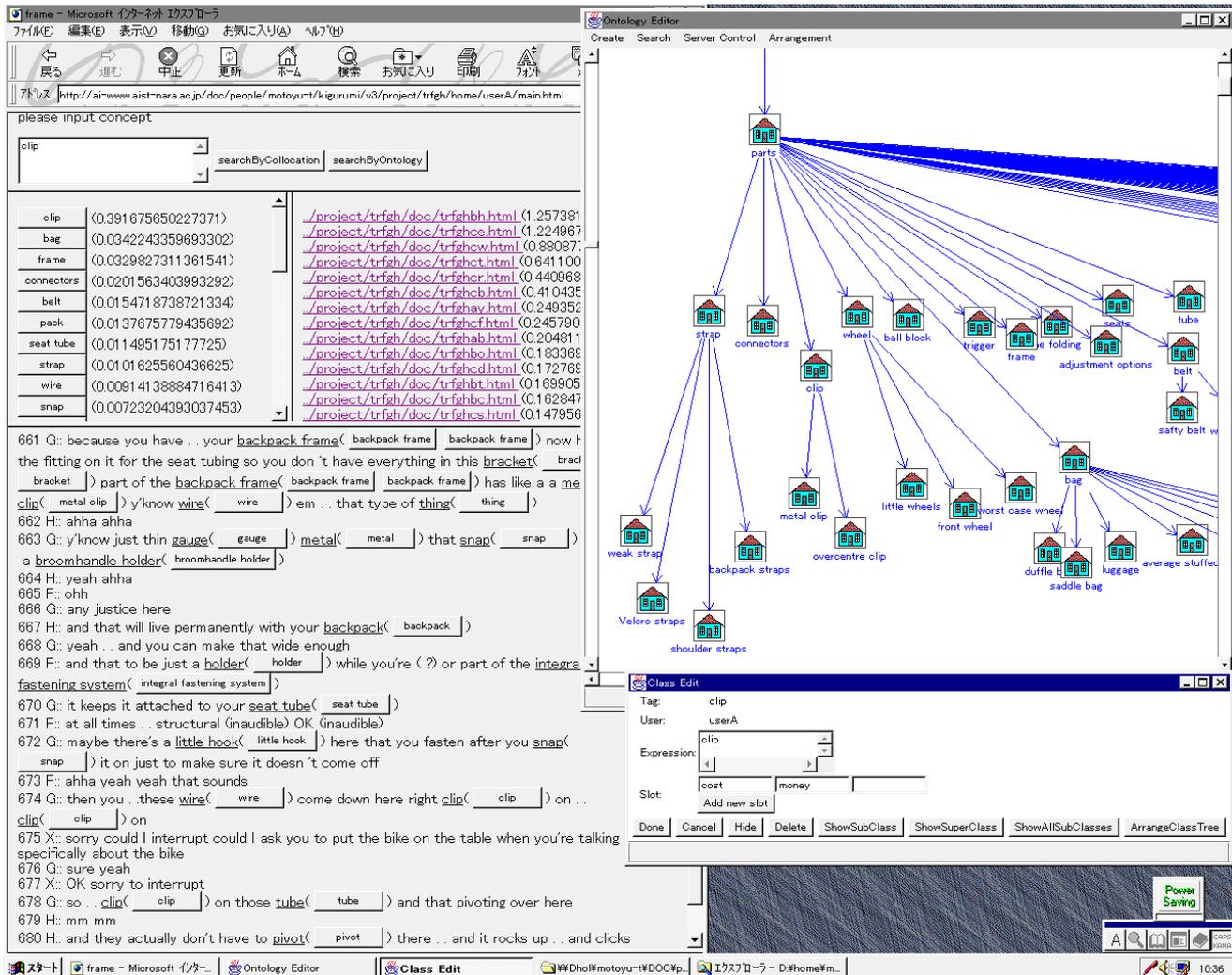


図 3: Designers Amplifier の実行画面

ここで、 $N$  は文書集合  $D$  の大きさであり、 $n_w$  は単語  $w$  を含む文書数である。

試作システムではこれらの式を用いて計算される文書ごとの単語の重みの平均をとり検索語のベクトルの各要素に掛けている。

### 3.5.2 オントロジーを用いた検索

検索語の概念とオントロジー上関係を持つ概念を利用して検索を行う。

試作システムでは検索語の概念の下位概念 (Sub Class) を全て検索語の概念と同様に扱い検索を行う。つまり、検索語の集合  $W$  に対応する概念集合を  $C$ 、概念から下位概念への関数を  $sub(c) (c \in C)$  としたとき  $C$  の全ての下位概念の集合

$$\{sub(C), sub \circ sub(C), \dots\}$$

を  $C$  に加えて新しい検索語として用いる。

試作システムでは共起による検索と同様にベクトル空間モデルによる単語の重み付けを行っている。

### 3.6 Designers Amplifier システム実行の例

図 3 は Designers Amplifier 試作システムのブラウザを実行している様子である。ユーザーは左の画面の上のフレームに検索語 (clip) を入力して、共起情報またはオントロジーによる文書の検索を行うことが出来る。ここでは共起情

報による検索を行っており、中央左のフレームには入力された検索語に共起する概念 (bag, frame など) とその重みが表示されている。オントロジーによる検索を行った場合には入力された検索語にオントロジー上関係する概念が表示される。中央右のフレームには検索結果の文書のリストがその評価値とともに表示されている。下のフレームは検索結果の文書の一つを表示している。表示された文書にある幾つかのボタンは Designers Amplifier システムがオントロジーを用いて付加したものである。ユーザーはこのボタンを押すことによって文書中の単語とリンク付けされたオントロジーの概念を見つけることが出来る。右のウィンドウはオントロジーウィンドウであり、ユーザーはこの画面を通してオントロジーを参照・編集する。アイコンは Class 概念を表し、青の矢印は Super-sub Class 関係を表している。ユーザー自身の作った編集可能なオントロジー構成要素はより明るい色で表示される。右下のポップアップウィンドウは概念編集ウィンドウであり概念の詳細な定義が表示されている。ここでは概念 clip が文書中に clip と表現され、cost スロット (クラスは money) を持つと定義されている。

## 4 Designers Amplifier 試作システムによる実験

661 G because you have .. your backpack frame now has the fitting on it for the seat tubing so you don 't have everything in this bracket part of the backpack frame has like a a metal clip y'know wire em .. that type of thing  
 662 H ahha ahha  
 663 G y'know just thin gauge metal that snaps .. a broomhandle holder  
 664 H yeah ahha  
 665 F ohh  
 666 G any justice here  
 667 H and that will live permanently with your backpack  
 668 G yeah .. and you can make that wide enough  
 669 F and that to be just a holder while you're ( ? ) or part of the integral fastening system  
 670 G it keeps it attached to your seat tube  
 671 F at all times .. structural (inaudible) OK (inaudible)  
 672 G maybe there's a little hook here that you fasten after you snap it on just to make sure it doesn 't come off  
 673 F ahha yeah yeah that sounds  
 674 G then you ..these wires come down here right clip on .. clip on  
 675 X sorry could I interrupt could I ask you to put the bike on the table when you're talking specifically about the bike  
 676 G sure yeah  
 677 X OK sorry to interrupt  
 678 G so .. clip on those tubes and that pivoting over here  
 679 H mm mm  
 680 H and they actually don't have to pivot there .. and it rocks up .. and clicks in

図 4: 自転車荷台の設計に関するプロトコルの一部

現在、例題として自転車荷台の設計に関するプロトコル [4] と鹿島建設による自動倉庫システムのトラブル対応表を用いている。ここでは前者を用いた Designers Amplifier 試作システムの実験について述べる。自転車荷台の設計に関するプロトコルは設計会議の会話をテキストデータとしたものであり構造化されていない。この実験の目的は、Designers Amplifier 試作システムによる、

- 1) プロトコルデータの構造化
- 2) プロトコルデータの検索による再利用性を調べることである。

#### 4.1 自転車荷台の設計に関するプロトコル

このプロトコルは、3 人の設計者 (あまり自転車設計に詳しくない) にテーマと時間と資料を与えて議論してもらい、そこで行われた設計に関する会話をテキストデータ (約 1500 行) としたものである。テーマはリュック (backpack) をマウンテンバイクに取り付けることが可能な荷台または金具の設計であった。

図 4はそのプロトコルの一部である。議論のあらすじは以下のものであった。

- (1) おおまかな設計方針
- (2) 問題点の洗い出し
- (3) 固定方法の議論
- (4) さまざまな使い方の検討
- (5) おおまかなプロトタイプ完成
- (6) 問題点の洗い出しと対策
- (7) バッグ・フレーム・取り付け部の詳細な設計を 3 人で分担
- (8) まとめ・確認

この実験では約 1500 行あるプロトコルを 20 行ずつ分けそれぞれを 1 つの文書とした。そして、このプロトコルを基に手作業で約 240 の Class 概念を抜きだし Super-Sub Class 関係を付加してオントロジーを作成した。

#### 4.2 自転車荷台の設計に関するプロトコルにおける実験

我々は実験のためのシナリオとして荷台の自転車への取り付け方法について議論している部分を探し、取り挙げられている取り付け方法について調べることにした。

図 3は自転車荷台の設計に関するプロトコルとオントロジーを入力して実験している様子である。まず取り付け方法の一例として単語 clip を入力し共起を用いた検索を

行ったところ、中央左フレームのような文書のリストが得られた。リストの最初の文書は (3) 固定方法の議論の一部 (下のフレームに表示)、次の文書は (6) 問題点の洗い出しと対策の中で取り付け方法を取り上げている部分となっており目的の文書が得られたといえる。中央右のフレームには単語 clip から共起された概念のリストが表示されており、ここでは比較的多くの取り付け部品に関連する概念 (connectors,strap,snap,pivot) が得られている。それらの概念ボタンを押してオントロジー編集ウィンドウで見たとおり、それぞれ独立して部品 (parts) 概念に結び付いておりオントロジーを整理 (取り付け部品としてまとめる) できることを示している。

最初に clip 以外の取り付け方法に関する単語 (connectors,strap,snap,pivot) を入力しても、同じような結果が得られた。つまり検索結果の上位がほぼ同じであり、同様の取り付け方法に関する単語が共起される。これはシナリオで要求している情報を安定して得られることを示している。

単語 pivot についてオントロジーによる検索を行ったところ下位概念 (wide pivot) しか含まない文書も得られ、概念的により正確な検索が可能であった。

## 5 結論と展望

本研究では設計知識の組織化・共有・再利用を目指して、設計文書をオントロジーを用いて扱うドキュメントベースシステム Designers Amplifier について述べた。オントロジーを用いて設計知識を扱うことにより以下のような利点がある。1) 幅広く関連する設計知識を収集、2) 地理的に離れた設計者間で深い設計知識の共有、3) オントロジーの拡張にあわせた設計文書の構造化。

今後は、統合的な設計者の支援を目指してテキストメディア以外のメディアの利用、コミュニケーションの支援、オントロジーの構築支援、設計文書の要約やオーサリングの支援などに取り組む予定である。

## 6 謝辞

本研究は鹿島建設との共同研究の一貫として行いました。自動倉庫におけるトラブル対応文書を使用させていただき感謝いたします。

## 参考文献

- [1] T. R. Gruber. Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies. Technical Report KSL 91-66, Stanford University, Knowledge Systems Laboratory, 1992.
- [2] G.Salton. *Intoroduction to Modern Information Retrieval*. MacGraw-Hill, 1983.
- [3] 西田豊明, 武田英明. 知識コミュニティプロジェクト (第 4 報) - 統合的知識環境 をめざして -. 人工知能学会全国大会 (第 11 回) 論文集, pp. 16-04, 1997.
- [4] H. Takeda, M. Yoshioka, T. Tomiyama, and Y. Simomura. Analysis of design processes by functional evaluation process. In *Nigel Cross, Henry Christaans, and Kees Dorst, editors, Analysing Design Activity*, pp. 187-209. Chichester, 1995. John Wiley & Sons.