

部品構造を用いた領域横断型の設計関連文書提示システム

The system suggesting interdisciplinary relational design documents using whole-part structure

小路 悠介
Koji Yusuke

渡邊 圭輔
Watanabe Keisuke

平野 敬
Hirano Takashi

岡田 康裕
Okada Yasuhiro

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所
Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

In order to improve quality of design of a product, it is important to refer to not only documents of the product but also documents of other products relating the product. However, because of the variety of terms depending on products, domains and so on, it is difficult for designers. Ontology is effective for this problem, but the cost to construct and maintain is high from practical viewpoint. For this problem, we propose a system suggesting relational documents using a parts structure annotated as metadata based on an ontology, of which cost is not too high for practical use and deepness is more than "light-weight ontology". An experiment for precision shows us that our system works better than approach with right-weight ontology.

1. はじめに

近年、リコールや基準不適合など、設計段階でのミスや見逃しによる製品トラブルが多発しており、設計段階での品質作りこみへの対策が急務である。作りこみのために設計者には現在担当している製品だけでなく他製品まで含んで網羅的に過去の失敗・不具合事例を参照し設計に活かすことが求められる。しかし、このような領域を横断して大量の事例の中から関連する事例のみを適切に検索することは領域ごとの語彙のゆれがあり難しい。本研究はこのような関連する不具合事例を閲覧することを支援することを目的としている。

上記問題を解決するためにオントロジーを用いて支援する研究が行われている。[小野 06]では、領域オントロジーを用いて絞り込み検索、拡大検索などを行う。しかし、ここで用いられるオントロジーはライトウェイトオントロジーに属するもので、語彙(動詞など)のセマンティクスが不明確であり、例えば関係概念に基づくコンテキストを考慮した検索ができない。

一方で、[鷲尾 06]では機能と方式とを分離してオントロジーに基づくメタデータスキーマを構築し、それを使って文書にメタデータを付与してメタデータを検索することでコンテキストを考慮した文書検索を可能としている。そのため精度の高い検索が可能となる。しかし、この手法では文書に対しあらかじめメタデータを付与する必要があるが、メタデータが複雑になりがちで適切にメタデータを付与するためのコストがかかり、実用のためには問題となる。

そこで本稿ではライトウェイトオントロジーよりも深い意味を扱い検索精度を向上させつつ、実現性を高めるために、運用コストを抑えるシステムの開発を目指す。そのために、オントロジーには領域依存性の低い部分のみを記述し、領域依存性の高い部分はメタデータとして記述する。まず2章でシステム開発のためのモデリング対象について述べ、3章でどこまでをオントロジーとして扱うべきか議論する。次に4章で構築したオントロジーについて述べ、5章でインスタンスモデルとその照合による関連文書の抽出について述べる。6章で試作したシステムについて

述べ、7章で提案手法の精度評価について報告する。最後に8章でまとめる。

2. モデリング対象とする人工物の意味

本手法の目的は1章で述べたように、設計者による人工物の入力に対し、関連する不具合事例を提示することで設計者を支援することである。ここで「関連する不具合事例」といった場合に関連の仕方には、不具合事例の不具合となった部分が入力した人工物と似ている、不具合事例の不具合を発生した部分が似ている、使用用途が似ている、など様々な場合が考えられる。最終的にはそのような様々な関連の仕方を扱えることが目標となるが、ここではその第一段階として、入力した人工物と不具合となった人工物が似ている不具合事例を提示することを考える。

人工物が似ている不具合事例を提示する場合、単純には同じ人工物名、または、類義語が文中で用いられている文書を提示することが考えられる。この場合、例えば、送風機を設計している設計者が「羽根」を入力した場合に、「プロペラ」や「スクリュー」などが文中に現れる不具合事例を提示することが可能である。しかし、実際に設計者にヒアリングを行うと送風機を設計している場合、『「ベアリング」などの送風機の部品に関する不具合も参照したい』、『「ファン」や「扇風機」のプロペラに関する事例は参照したいが、「ポンプ」のプロペラは必要ない』とのことであった。このような要求を満たすためには人工物そのものの意味だけでなく「その人工物は全体としてどのような人工物に対し使うものか」というコンテキストを含める必要がある。本手法ではそのような情報を全体一部分関係によりモデリングし関連性を判定する手法を導入する。

3. オントロジー・インスタンスの切り分け

本章では、上記、全体一部分関係を含む人工物のモデリングのために、どこまでをオントロジーとして記述し、どこまでをメタデータとして記述するかということについて述べる。図1に室外機用モータ付ファン(室外機の部品であり、かつモータを部品として持つファン)におけるオントロジー・インスタンスの切り分けの例を示す。

図1(a)は人工物の全体部分関係を明示せず分類したもので最も単純な場合である。いわゆるライトウェイトオントロジーと呼ばれるものに相当し、この場合、上記コンテキストを明示的に扱

連絡先: 小路悠介, 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所,
〒247-8501 鎌倉市大船 5-1-1,
Tel : 0467-41-2943, Fax : 0467-41-2136,
E-mail : Koji.Yusuke@bx.MitsubishiElectric.co.jp

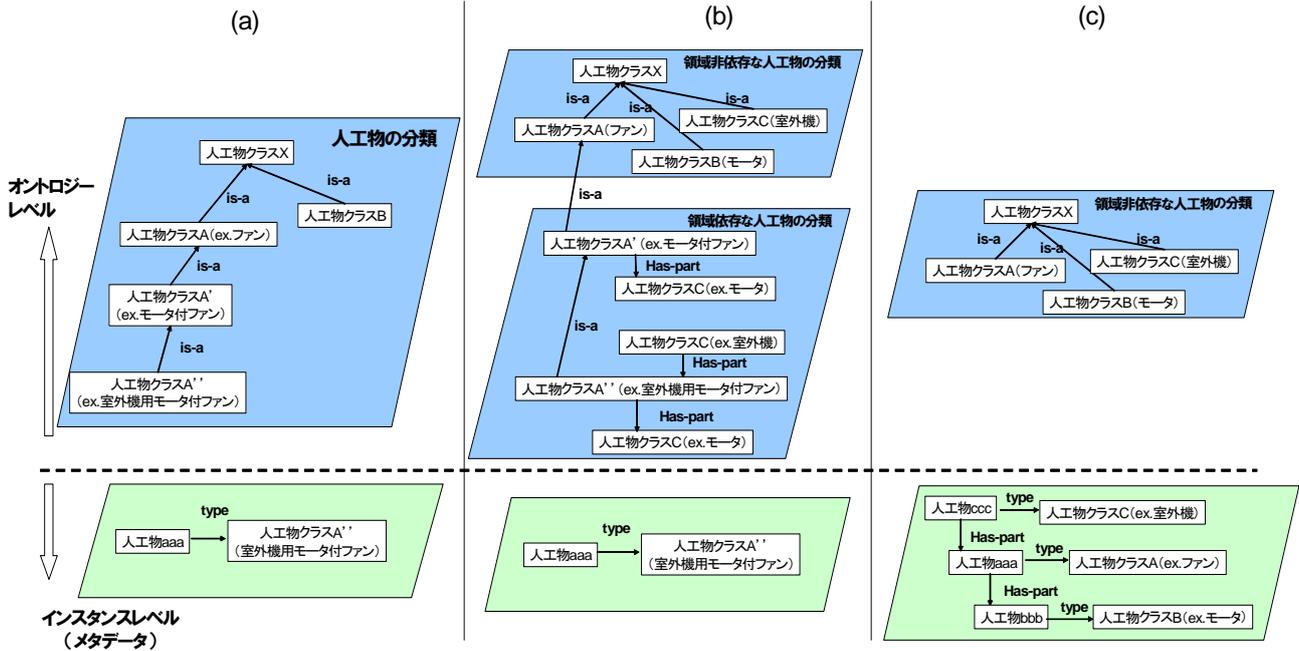


図1 室外機用モータ付ファンのオントロジー・インスタンスの切り分け例

うことができない。一方、図 1 (b) はそのようなコンテキストを明示できるようにオントロジーレベルで全体-部分関係 (図では Has-part と表記) を用いて人工物を定義する。この場合、オントロジーレベルで全体-部分関係が記述されているためインスタンスレベルでメタデータを記述するユーザの負担は少ない。しかし、ある人工物がどのような部品を持つかということは、基本的にどのような組み合わせも取りうる事が可能で、一見同じ人工物と思われるものでも製品領域、技術領域ごとに異なることが多く、その領域ごとに特化したオントロジーを作成する必要がある。また、人工物の変化に合わせてオントロジーを頻繁に更新する必要が出てくるため管理コストが高いという問題がある。図1 (c) はオントロジーレベルでの人工物の分類を領域依存性の低い部分にとどめ、全体-部分関係に関する部分をインスタンスレベルで記述する場合である。この場合、メタデータを記述する手間は増加するが、領域ごとに部品の分類を行い、管理する必要はなくなる。本稿では図1 (b) よりシンプルでコストの低い手法として図 1 (c) の場合を採用する。

4. 人工物・機能オントロジー

本章では、図1 (c) のオントロジーとして構築した人工物・機能オントロジーについて述べる。なお本稿で述べるオントロジー

はオントロジー構築環境 Hozo のオントロジーエディタ (OE) [古崎 02] を用いて作成した。

人工物の分類には様々な観点考えられるが、本稿では「発揮することが意図された機能が何か」という観点から人工物を分類する。機能の定義は [來村 02a] に示される「振る舞いを要求された機能を達成するという目的の下で解釈したもの」という定義を踏襲しつつ簡略化し、「何が入力で何が出力か」という観点で定義する。次に、人工物クラスは「本質的に発揮することを意図された機能」として機能クラスを一つ持ち、これによって体系付ける。このように人工物クラスを体系化することで人工物クラスの種類がどのような観点でなされているか明確になり、再利用性が増す。例えば、新たに人工物を追加したいときに分類基準に従って容易に行うことができる。

図 2 (a) は「電気エネルギーが入力され運動エネルギーが出力される」という機能を「transform electricity into mechanical energy」と名づけ、OE で記述した例である。この機能クラスを本質的に発揮することを意図された機能として持つ人工物クラスを Motor クラスと名づけ定義した (図2 (b))。例えば、「モータ」、「電動機」、「回転機」などが Motor クラスの具体物 (インスタンス) として対応付けられることが多い。同様に、約70の人工物クラスを定義した。

一方、「部品関係」(OE では artifact が parts ロールを担うことになる全体部分関係として表現) は全体部分関係の一種として定義する。また、一般に「部品を持つ」という関係は、「ある人工物 a が部品 b を持ち、その部品 b がさらに部品 c を持つとき、部品 c は人工物 a の部品である」という関係の推移性を持つ。部品関係にはこの推移性を持つことを定義する。

5. 機能構造モデルの構築と照合

人工物・機能オントロジーの人工物クラスと部品関係をインスタンス化し、組み合わせて構築したモデルを機能構造モデルと呼ぶ。例えば、ある製作所の空調機器に用いられる送風機 (fan_1 とする) が、部品としてモータ (motor_1 とする) を持つとする。このことを法造のモデルエディターで記述した例を図 3 に示す。同様に、fan_1 がもつ部品、及び fan_1 が部品となり構成

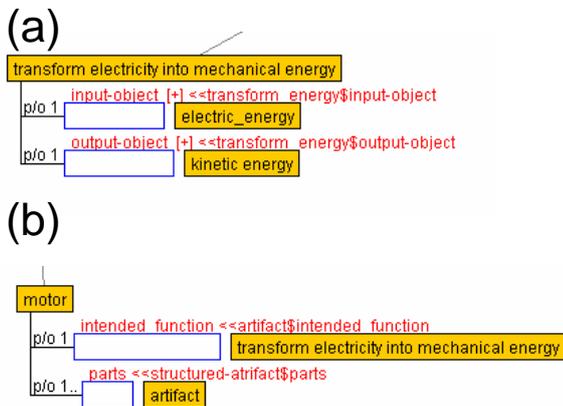


図2 法造による motor クラスの定義例

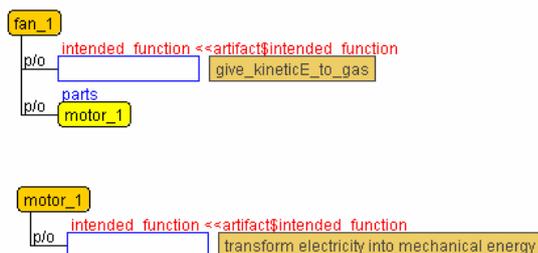


図3 fan_1の機能構造モデル(一部)

する人工物についてモデル化を繰り返すことにより fan_1 に関する機能構造モデルが得られる。この機能構造モデルは、この fan_1 に固有の送風機の構造を表しており、他の領域で送風機があった場合には構造が異なる別の機能構造モデルとなる。実際、他の製作所では送風機とモータが空調機の部品として並列にモデル化されることもある。

一方、不具合事例の故障箇所に関する機能構造モデルはより簡易な構造とした。不具合事例には既に故障部位が大分類、中分類、小分類の三階層で記述されている。本稿ではそれを参考に最大3階層の機能構造モデルを記述する。

次に、機能構造モデルの照合について述べる。本手法では各不具合事例に対し、そのメタデータである検索対象モデルが入力モデルに含まれているかを照合し、含まれている場合に人工物間に関連があると判定する。すなわち、以下に示す条件(1)、(2)を共に満たす場合、検索対象モデルは入力モデルに含まれると判定する。

条件(1) 検索対象モデルを構成する人工物の全インスタンスに対し、同じ人工物クラスのインスタンスが入力モデルに含まれる

条件(2) (1)で調べた各インスタンス間の部品関係が等しく方向も等しい

図4に照合の例を示す。図4は送風機が入力された場合に3つの検索対象文書を検索する例である。検索対象モデルAの場合、回転機のクラスである motor クラス、ガイド軸受のクラスである bearing クラスのインスタンスが共に入力モデルに存在するため条件(1)を満たす。また回転機とガイド軸受の間にある部品関係が入力モデルの対応するインスタンス間に存在するため

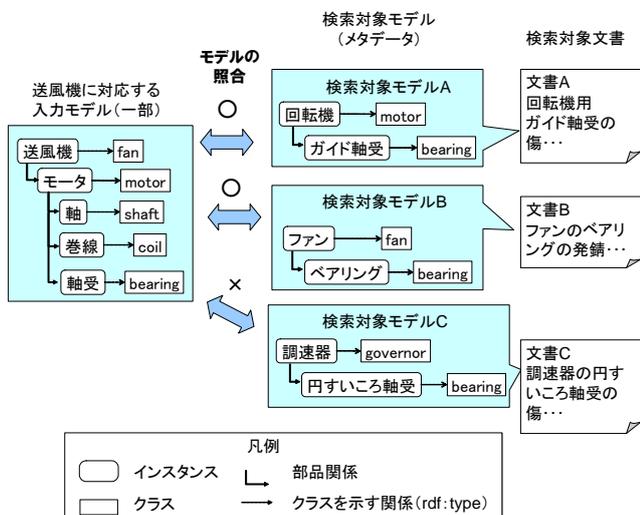


図4 機能構造モデルの照合例

条件(2)を満たす。そのため、文書Aは関連する事例だと判定する。検索対象モデルBの場合、同様に条件(1)を満たす。また、入力モデルには対応するインスタンス間に直接部品関係は引かれていないが、部品関係の推移性を用いて条件(2)を満たすことが分かる。そのため文書Bも関連する事例だと判定する。一方、検索対象モデルCの場合、調速機のクラスである governor クラスのインスタンスが入力モデルにないため、文書Cは関連する事例とは判定されない。

6. システムの試作

これまで述べた手法を実装したシステムを当社の空調機の設計現場に向けて試作した。システムのイメージを図5に示す。システムには設計者の領域における設計対象物である空調機の機能構造モデルを入力モデルとして格納している。この機能構造モデルは設計者にレビューしてもらいながら作成した。部品数は90で作成に要した時間は約22時間であった。また、検索対象文書は不具合事例138件とし、各事例に対し機能構造モデルを作成した。作成に要した時間は15時間であった。

システムの動作は、まず、関連する文書を調べたい人工物を設計者が Web ブラウザで入力すると、システムは入力に対応する入力モデルを取得する(図5①)。次に検索対象文書のメタデータである検索対象モデルを順次取得し(図5②)、入力モデルと照合する(図5③)。最後に照合して合致した文書のみをユーザに提示する。

7. 提案手法の精度評価

本節では本稿で提案した部品構造の照合による関連文書提示手法により、どの程度的確に文書を提示できるか評価した結果について述べる。

7.1 評価尺度

ある設計条件を入力した場合に、システムが提示した不具合事例が7.2節で述べる正解事例と一致する場合、その事例提示は「正解している」とし、提示集合 $|T|$ のうち正解しているものの集合を $|R|$ とする。また、正解事例の集合を $|S|$ とする。再現率(recall)、適合率(precision)は次のように定義される。

$$recall = \frac{|R|}{|T|} \tag{1}$$

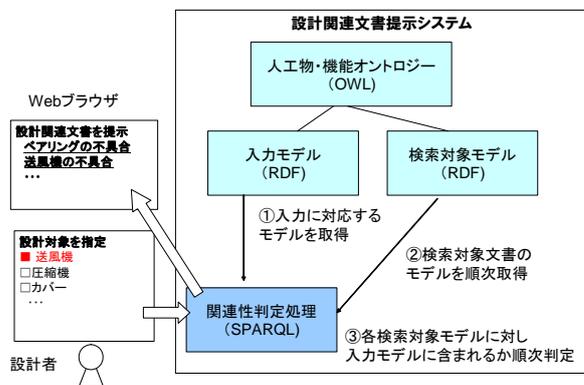


図5 設計関連文書提示システムイメージ

$$precision = \frac{|R|}{|S|} \quad (2)$$

ただし、 $|U|$ は集合 U の要素数を表す。再現率は評価用正解事例を漏れなく提示できるか、適合率は提示した事例集合が正しいものか(ゴミがないか)の指標となる。本稿では再現率、適合率を総合的に判断する指標として情報検索の分野で広く使われている F 値を用いる。 F 値は再現率、適合率の調和平均を取ったものである。 F 値は以下の式で算出される。

$$F = \frac{2 \times recall \times precision}{recall + precision} \quad (3)$$

7.2 評価方法

評価のための正解事例は、現場の技術者(4名)が入力となる人工物に対して提示すべき不具合事例を選定し、4名のうち2名以上が不具合防止の観点から重要でシステムが提示するべきと回答した事例とした。6節で述べた138件の不具合事例に対し、6種類の入力を与えた場合のそれぞれの正解事例を選定した。6種類の入力に対し正解事例は38件であった。

評価は上記138件の事例に対し入力条件を変えて得られる出力結果と、設計者へのヒアリングから得た正解事例とを比較し、 F 値を算出し、2種類の従来手法との比較することで行う。比較対象とした従来手法を以下に示す。

- キーワード検索
入力した人工物名が失敗事例の全テキスト中に含まれる場合、出力する
- シソーラス検索
入力した人工物名とその部品名をシソーラス展開し、その語が失敗事例の全テキストの中に含まれる場合、出力する

7.3 評価結果

評価結果としてヒットした事例と、そのうちの確にヒットした事例がどれだけあったかを棒グラフで図6に示す。また、算出した F 値を折れ線グラフで図6に示す。ただし、図に示しているのは6種類の入力条件の結果を合計したものである。図に示すように提案手法はキーワード検索と比較して検索ゴミを増加させずに的確にヒットした事例の件数だけを増加させている。また、シソーラス検索と比べ、的確にヒットした事例の件数をあまり減少させずに検索ゴミだけを取り除くことができていた。その結果、 F 値が最も良くなることがわかった。

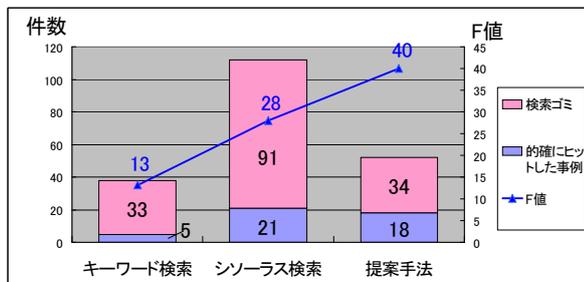


図6 F値の比較

8. まとめ

本稿では文書に部分構造を含めた人工物のメタデータを付与し、入力に対応するモデルとそれらを照合することで関連性を判定し文書を提示するシステムについて述べた。精度に関し評価を行い、従来手法より良好な F 値を得た。試作したシステムは空調機の設計のためのものであったが、他の設計に用いる場合でも基本的にオントロジーを構築する必要がなくコストを抑えることが期待できる。本システムを09年1月に実運用する予定であり、現在、上記の点やインターフェースなどを含め改良中である。

本稿では精度評価を行ったが、図6に示すように正解事例38件のうち20件は提示できていない。現在、漏れる原因を調査中であり改善を図りたい。

また、本手法では人工物の部品関係をオントロジーとして記述せず、インスタンスとして記述する。このためオントロジー構築・管理にかかるコストは抑えられる。しかし、人工物の部品関係がオントロジーとして一般化されていないため、知識の再利用可能な部分が少ないという欠点がある。例えば[来村 02b]では、機能の達成関係を方式知識として一般化し再利用することが行われる。本稿では人工物の部品関係は領域依存な部分が多いと述べたが、中には典型的な関係もあり、それについては同様に再利用可能であると考えられる。このような関係を再利用することでメタデータ記述のコストを低減する支援が可能と考え現在検討中である。

参考文献

- [小野 06] 小野穰, 洪潤基, 森田 武史, 川村 正則, 小出 誠二, 山口 高平: 日本語 DODDLE に基づくロケット運用オントロジーの構築と検索システムへの適用, 第20回人工知能学会全国大会, 3B4-4, 2006.
- [来村 02a] 来村 徳信, 溝口 理一郎: オントロジー工学に基づく機能的知識体系化の枠組み, 人工知能学会論文誌, 17(1), pp.61-72, 2002.
- [来村 02b] 来村 徳信, 笠井 俊信, 吉川 真理子, 高橋 賢, 古崎 晃司, 溝口 理一郎: 機能オントロジーに基づく機能的知識の体系的記述とその機能構造設計における利用, 人工知能学会論文誌, 17(1), pp. 73-84, 2002.
- [古崎 02] 古崎 晃司, 来村 徳信, 池田 満, 溝口 理一郎「ロール」および「関係」に関する基礎的考察に基づくオントロジー記述環境の開発, 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.196-208,2002.
- [鷲尾 06] 鷲尾 尚哉, 小路 悠介, 来村 徳信, 溝口 理一郎: Funnotation: 技術文書共有のための機能アノテーションとその利用の枠組み, 第20回人工知能学会全国大会, 3G2-01, 2006.