

オントロジーに基づく統合機能モデルとその知識変換 ～FMEAシートへの変換～

Ontology-based Integrated Functional Model and Knowledge Transformation ～Transformation from the integrated functional model to FMEA sheet～

小路 悠介
Yusuke Koji

來村 徳信
Yoshinobu Kitamura

溝口 理一郎
Riichiro Mizoguchi

大阪大学産業科学研究所
I.S.I.R, Osaka University

Conceptual design knowledge concerning with functions of products and phenomena unintended by designers is scattered around various forms such as the functional model and the FMEA sheet. Aiming to promote sharing of such knowledge among designers, we propose a knowledge transformation system using integrated functional models of functions and unintended phenomena as a knowledge medium based on ontology engineering. In this article, as a first step of such knowledge transformation, the transformation of the integrated functional model to the FMEA sheet is proposed. In this system, both input models and output models are specified by ontologies. And ontology mapping knowledge specifying correspondence relations among concepts in the ontologies is described. By using the ontologies and the mapping knowledge, such knowledge transformation becomes available.

1. 緒言

本研究は人工物に関する設計知識のうち機能に関する知識(機能的知識)の共有を支援することを目標としている。機能的知識は、CADなどで扱われる構造や形状に関する客観的なデータとは異なり、人工物がなぜそのように設計されているのかという設計者の意図(設計意図(Design Rationale) [Lee 97])を表現している。このような知識は膨大な自然言語文による設計ドキュメントに埋もれがちで有効に活用することは容易ではない。設計図の背後にある設計者のノウハウを顕在化し蓄積して、効率的に流通させる技術を確立することが望まれている。

共有を妨げる原因のうち、ここではタスク(問題解決)への依存による知識の分散と非統合性に注目する。設計現場では設計者の目的(タスク)に応じて、機能的設計には機能分解木、信頼性設計にはFMEA (Fault Mode and Effect Analysis)、不具合診断・対処にはFTA (Fault Tree Analysis)などといったように様々な様式が用いられる。例えば、概念設計段階でよく行われる機能FMEAは、部品の持つ機能に対して起こりえる不具合を列挙し、それを防ぐような機能(補助機能と呼ぶ)を追加したりする。その結果として記述される機能FMEAシートは、起こりえる不具合に関する知識とそれを防ぐための機能に関する知識の両方を含んでいる。これらの知識の一部は機能分解木や故障木(FTA)と共通しているが、分散して記述され、相互の関連づけはなされていない。したがって、同じような情報を何度も記述する必要があり更新も困難であるばかりか、重要な情報の見落としも生じがちである。このように異種の知識が分散しており、統合化が図られていない。

そこで本研究では異種の知識の管理と流通を促進するために、タスクに依存しない統合モデルとタスクに依存するモデルを変換する枠組みを提案する。この変換を行うために各モデルを

規定するオントロジーを構築し、オントロジー間の対応付けを行うておく。これにより各モデルは一貫性を持って記述することができ、それぞれの記述様式へ変換することができる。また、オントロジー間の対応付けが適切に行われていれば、モデルが記述されるたびに他の記述様式ではどのように記述されるかといったことを検討することなく変換を行うことができる。この知識変換に基づく統合設計知識管理システムの構想図を図1に示す。

この知識管理システムを構築するための重要な課題の一つは統合モデルを規定するオントロジーの構築である。筆者らはこれまでオントロジー工学に基づき、補助機能の設計意図を明示するモデル(拡張機能モデルと呼ぶ)について研究を行ってきた[小路 03]。拡張機能モデルでは、タスクから独立した形で機能構造モデルと不具合事象のモデルという異なるモデルを統合的に扱うことによって、機能と不具合を明確に区別して相互の関連の明示的な表現が可能になっている。そのため、拡張機能モデルは知識変換システムの統合モデルとして利用できる可能性がある。

本稿ではこのような統合設計知識管理システムの構築への第一歩として、拡張機能モデルをそれぞれのタスクに依存した様式へ半自動的に変換するシステムについて述べる。本稿ではシステムが変換する具体的な例として拡張機能モデルをFMEAシートへ変換することについて述べる。

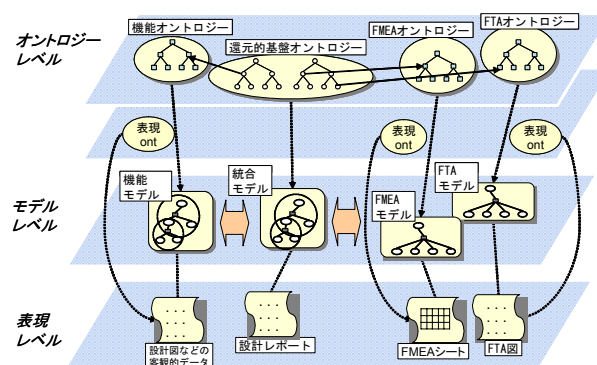


図1 オントロジーに基づく知識変換の構想図

連絡先: 小路悠介, 大阪大学産業科学研究所 知識システム
研究分野, 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1, Tel:
06-6879-8416, Fax: 06-6879-2123,
e-mail: koji@ei.sanken.osaka-u.ac.jp

2. オントロジーに基づくモデル変換の概要

拡張機能モデルを、違う表現形式のモデルへ変換するための項目をまとめると以下ようになる。

1. 拡張機能モデルを規定するオントロジーの記述
2. 変換先のモデルを規定するオントロジーの記述
3. 項目 1, 2 で記述したオントロジー間の対応付け
4. 項目 3 の対応付に従いモデルを変換

まず、一つ目と二つ目の項目として、各モデルに対してそのモデル記述を規定するスキーマとしての役割を果たすオントロジーを構築する必要がある。拡張機能モデルのオントロジーの内容は、[03 小路]で示された記述枠組みである。本研究では変換先のモデルは FMEA シートであるので、二つ目の項目として、それを規定する FMEA オントロジーを構築する必要がある。

次に三つ目の項目として、オントロジー同士の対応付けを行う必要がある。この対応付けに従い、モデルの変換が行われる。今回想定している対応関係は相当関係のみである。これはオントロジーのある概念がもう一つのオントロジーのどの概念に想定するかを示す対応関係である。オントロジー間の対応付けについての知識をオントロジーマッピング知識と呼ぶ。

最後に、オントロジーマッピング知識に従い、拡張機能モデルに記述された情報の一部を、変換先の表現形式に合わせて変換する変換エンジンを実装する。これは更に二つの段階に分ける必要がある。一つ目は、変換先のオントロジーに記述された各概念をインスタンス化したものへ変換する段階で、二つ目は、そのインスタンスを実際の表現形式(本稿では、FMEA シートという表形式)に変換する段階である。一つ目の段階で記述される情報をモデルレベル、二つ目の段階で記述される情報を表現レベルと呼ぶ。また、オントロジーを記述するレベルをオントロジーレベルと呼ぶ。これらの項目に従って構築される知識変換システムの概要を図 2 に示す。

3. 拡張機能オントロジー

拡張機能モデルの記述を規定するオントロジーを拡張機能オントロジーと呼ぶ。拡張機能オントロジーは筆者らが開発を進めてきた機能オントロジー[来村 02a,b]を拡張して構築した。本節では、拡張機能モデルの具体例を通して拡張機能オントロジーの概略について述べる。

拡張機能モデルは補助機能の設計意図を表すモデルである。補助機能とはそれがなく起こるであろう望ましくない状態を防ぐ機能である。図 3 は半導体生産プロセスにおけるインゴット切断装置であるワイヤソーの拡張機能モデルである。図 3 はワイヤソーの機能構造と、ワイヤソーに設計されている「ワイヤを冷やす」という補助機能が防ぎ望ましくない状態が発生する過程(不具合過程と呼ぶ)を表している。以下にその詳細を示す。

ワイヤソーで達成される全体機能はインゴットを切断しウエハを生成すること(「インゴットを分割する」と呼ぶ)である。図 2 の右側の木は、この全体機能を、それを達成する部分機能に展開することでワイヤソーの機能構造を表したもので、機能分解

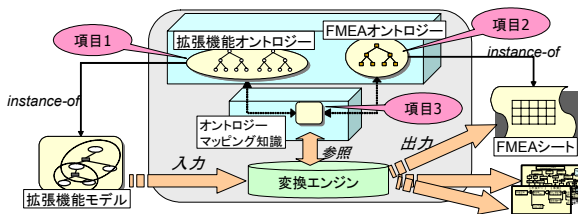


図 2 知識変換システムの概要

木と呼ぶ。ワイヤソーでは摩擦力を生成するため副産物として摩擦熱が生じる。そのため、そのままではワイヤの温度が上昇しワイヤの強度が下がるためワイヤが断線するという設計者が意図しない事象が起こる。このワイヤの断線が起こる過程を機能不具合発生過程と呼び、これを示したものが左側の木で機能不具合発生木と呼ぶ。機能不具合発生過程で最上流に記述される事象をトリガー事象と呼び、最下流に記述される、機能を望ましくない状態(機能不具合状態と呼ぶ)に変化させる直接の原因となる事象を機能不具合原因事象と呼ぶ。

機能不具合状態は他の機能へ伝播していき最終的に全体機能である「インゴットを分割する」が機能不具合状態になる。この過程を機能不具合伝播過程と呼び、各機能に吹き出しをつけることで表す。機能不具合伝播過程で最上流に記述される機能不具合状態を第一機能不具合状態と呼ぶ。機能不具合発生過程と機能不具合伝播過程によって構成される機能分解木の全体機能が機能不具合状態になるまでの過程が不具合過程である。

機能オントロジーでは、機能をシステムまたは部品の振る舞いを要求機能を達成するという目的(設計者の意図)の下で解釈した結果と定義している。ここでの「振る舞い」概念は装置の入出力の状態の変化を表す事象を装置の観点から捉えたものを意味している。一方、拡張機能オントロジーでは、システムで起こる事象のうち設計者によって意図されていないものを「意図外事象」と定義する。意図外事象は、要求機能を果たすという目的とは違う架空の(意図のない)目的を達成しているとみなすと、機能と同様な達成関係に基づく木構造を構成することができる。このように機能と意図外事象の両者を事象と関係づけることで、図 3 に示すように、機能不具合発生過程を機能分解木と同様の記述様式、すなわち共通の語彙と共通の達成方式を用いてモデル化できる。図 3 では、機能不具合発生過程の最下流として「ワイヤが分割されてしまう」、「ワイヤの断線が起こる」等と表現せずに「ワイヤを分割する」として表現しているのもこのためである。

また、ワイヤが断線することで、ワイヤの機能が失われるという事象間の影響・被影響関係を事象属性変化影響として概念化している。事象属性変化影響を用いて補助機能が不具合過程をどの事象をどのように止めることで防ぐかということも表現できる。

4. FMEA オントロジー

4.1 拡張機能モデルと FMEA シートの共通部分

FMEA は Failure Mode and Effect Analysis の略で、信頼性設計において故障トラブルの予防・検知に広く使われている手

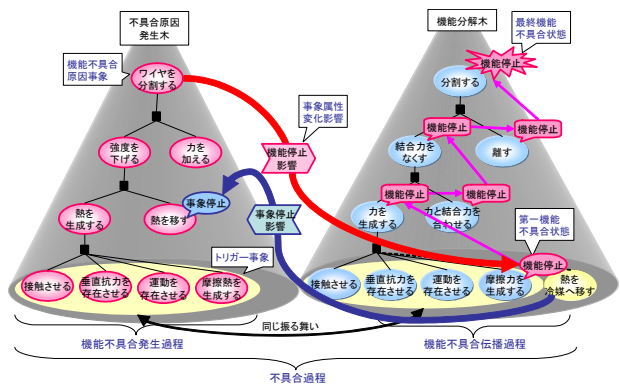


図 3 ワイヤソーの拡張機能モデル

法である。本稿では特に概念設計において行われる機能 FMEA を対象とする。機能 FMEA では、部品の持つ機能に対して起こりえる不具合を故障モードとして列挙し、その不具合の原因と装置全体への影響、それへの対策として必要があればどのような機能を追加するかといった事が解析され、その結果を FMEA シートなどに記述する。この FMEA シートでは、ワイヤソーにおいて、ワイヤが断線するという故障モードが存在し、その原因として摩擦熱または張力変動が推定され、それによってシステム全体として機能が発揮できなくなることなどが示されている。このように、故障モードとそれに対する推定原因と影響は対象とするシステム内で発生する一つの因果連鎖を表しており、3 節で述べた不具合過程と類似する部分がある。すなわち、FMEA シートが含む不具合に関する知識と拡張機能モデルが含む不具合に関する知識は、共通する部分があると言える。この部分が知識変換システムによって変換される部分である。

4.2 FMEA オントロジー

本システムでは、FMEA オントロジーは、拡張機能モデルを FMEA シート形式に変換するためにのみ使うので、その目的に必要な最低限の概念しか含んでいない。FMEA オントロジーでは、FMEA シートの行に当たる概念を「解析結果」としている。その解析結果を構成する概念として、FMEA シートの各列にあたる概念「対象品目」、「故障モード」、「推定原因」などが存在する。また、その概念の下位概念を、いくつかの FMEA シートの例を参考に記述した。例えば、推定原因の下位概念として材料欠陥、機構欠陥、加工不良などが存在する。

5. オントロジーマッピング知識の記述

5.1 相当関係

複数のオントロジーにまたがる概念間の関係には、上位・下位関係や全体部分関係、相当関係と言ったいくつかの関係が考えられる。ここでの目的は、各オントロジーに基づいて記述されるモデルの間に共通して表れる知識を結びつける事であるので、相当関係のみを扱うことにする。相当関係とは、二つの概念が、名前やスロットが違っているかもしれないが、本質的に同じ概念である関係のことを指す。相当関係によって二つのオントロジーに表れる概念が対応づけられてあれば、それに従ってどのように処理を行うかを記述しておくことにより、モデルの変換が可能になる。

5.2 拡張機能オントロジーと FMEA オントロジーの間の相当関係

相当関係を結ぶ場合には、相当関係によって結ばれる両方の概念について十分に理解し考察する必要がある。本節では、相当関係を結ぶ例として、拡張機能オントロジーと FMEA オントロジーの間の相当関係について述べていく。本稿では、相当関係の中で特に、モデル変換のために必要な相当関係のみを記述する。そのため、FMEA オントロジーの解析結果を構成する概念に対して、それに対応する拡張機能オントロジーの概念を述べる。以下に示す相当関係を筆者らが開発を進める Ontology Editor (OE) で実装したものを図 4 に示す。

(1) 故障モード

FMEA における「故障モード」は様々な定義が行われているがその多くは故障の状態を表しており、「故障の症状・形態」[塩見 83]、「故障状態の形式による分類」[越川 82]、「the manner by which a failure is observed」[MIL 80]などと定義される

実際の FMEA シート例では、故障モードとして「動作不良」、「不純物混入」、「漏れ」などがみられる。これらは、拡張機能オントロジーにおける「機能不具合状態」、「トリガー」、「機能不具合原因事象」にそれぞれ対応する。このように、FMEA の実際の運用では「故障モード」という一つの概念が複数の意味で用いられ定義に対し厳密でない。しかし、拡張機能モデルを FMEA シートへ変換することを考えると、「故障モード」に対して複数の概念を対応付けることは望ましくない。また、故障モードの実例をみると、部品が壊れるなどの望ましくない状態になることを指すことが多い。そのため、ここではそれに相当する「機能不具合原因事象」を対応づけることとする。

(2) 品目

FMEA における「品目」は、故障モード状態をとる部品を指す。これは、拡張機能オントロジーでは、第一機能不具合状態になる機能の「装置」であるので、これと「品目」とを相当関係にあると対応付ける。

(3) 推定原因

FMEA における「推定原因」は故障モードの原因を示す。FMEA シートの例をみると推定原因は故障モードの時と同様に、複数の意味で使われている。例えば、「摩擦」、「振動」、「傷」、「構造不良」などが推定原因として記入されるが、これらのうち「摩擦」、「振動」は拡張機能オントロジーでは「トリガー(事象)」にあたり、「傷」、「構造不良」は「機能不具合原因事象(の結果)」にあたる。ここでは故障モードを「機能不具合原因事象」と対応づけるため、その上流の事象となる「トリガー事象」を推定原因と対応づける。

(4) 影響

FMEA における「影響」は故障モードの結果としてシステムや装置全体がどのように変化するかを表す。今回は故障モードを「機能不具合原因事象」と対応づけるため、拡張機能オントロジーでは、その結果として考えられる機能不具合伝播過程が「影響」と考えられる。ここでは、機能不具合伝播過程を構成する機

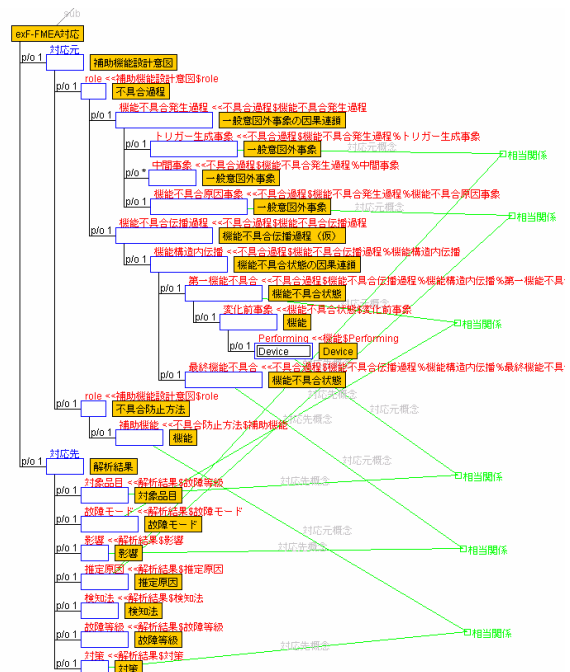


図 4 オントロジー間の相当関係の記述例

能不具状態のうち、代表として「第一機能不具状態」と「最終機能不具状態」を対応付け、「第一機能不具状態→最終機能不具状態」と出力するようにする。

(5) 対策

FMEA における「対策」は、「影響」を防止または緩和する機能の追加や、その影響を無視できると見なして何もしないと言うことを表す。拡張機能オントロジーでは、その不具合過程を防ぐ補助機能がこれに当たるので、「対策」と「補助機能」を対応づける。

(6) 故障等級, 検知法

FMEA における「故障等級」は、故障モードによるシステムへの影響が、どのくらい深刻かを示す評価値であり、微小、軽微、重大、致命的といった段階付けがなされる。また、FMEA シートでは故障モードの検知法を示す場合もある。現在の拡張機能モデルではこのような情報を含んでいないので、これらに相当する概念はない。

6. 知識変換

2 節で述べたように拡張機能モデルの他の表現形式への変換は二つの段階がある。本節ではこの二つの段階に分けて説明する。

6.1 モデル-モデル変換

モデル-モデル変換は、拡張機能オントロジーが規定するモデル(インスタンス)を他のオントロジーが規定するモデルへ変換することを指す。この変換は二つのオントロジー間の相当関係を示すオントロジーマッピング知識を参照して行われる。本稿では変換前のモデルは拡張機能モデル、変換後のモデルは FMEA オントロジーが規定するモデル(FMEA モデルと呼ぶ)であるが、変換の手順はオントロジーの種類に依存しない。変換の手順は以下の通りである。

1. オントロジーマッピング知識を参照しどの概念とどの概念が相当関係にあるかを得る(拡張機能モデル側の概念を概念 A, 変換先の概念を概念 B とする)
2. 拡張機能モデルの中から概念 A のインスタンス(インスタンス A とする)を検索する
3. 概念 B のインスタンス(インスタンス B とする)を作成し、インスタンス A のスロット値に従いスロット値を決める
4. 1~3 の手順を相当関係の数だけ繰り返す

6.2 モデル-表現変換

モデル-表現変換は、モデル-モデル変換で得られたモデルを実際の表現形式へ変換することを指す。モデル-モデル変換で得られるモデルは、実際に設計現場で使われている表現形式ではないためこのような変換が必要となる。FMEA ではその解析結果は FMEA シートという表形式で表すことが一般的であるため、FMEA シートへ変換する。次節で述べるモデル変換システムの実装では FMEA シートへ変換するプログラムを手続き的に記述する。

6.3 モデル変換システムの試作

本システムでは各オントロジーとオントロジーマッピング知識は OE で記述され、モデル-モデル変換手順は OE に用意されている API を用いて記述される。モデル-表現変換は得られたモデルを HTML 形式の FMEA シートへ変換するプログラムを手続き的に記述する。本システムでは、モデル-モデル変換はオントロジーに依存せず、どのようなオントロジーに規定された

品目	機能	故障モード	推定原因	影響	対策
ワイヤ	摩擦力を生成する	ワイヤを分割する	摩擦熱を生成する	機能の停止→ 装置全体が機能せず	熱を除去する
ワイヤ	摩擦力を生成する	ワイヤを動かす	張力を変える	位置精度の低下→ 切断面の荒れ	張力を調整する
ワイヤ	摩擦力を生成する	力を減らす	切り屑を生成する	出力量の低下→ 切断時間の増加	切り屑を除去する
ローラ	回転運動を直線運動に変換する	運動の方向を変える	切り屑を生成する	方向精度の低下→ 切断面の荒れ	切り屑を除去する

図 5 出力として想定される FMEA シート

モデルであってもオントロジーマッピング知識が記述されていれば変換を行うことが出来る。しかし、モデル-表現変換は FMEA シートに依存した記述になっているため他の表現形式へ変換することは出来ない。

システムの出力想定図を図 5 に示す。二行目が図 3 の拡張機能モデルを自動変換した行である。このような変換は、同じ対象に関して異なるタスクを実行する際にそれぞれの視点に合わせて知識を変形(再構成)することを意味し、さまざまな設計フェイズ、設計視点、タスク実行者(職種)におけるコミュニケーションを促進することが期待できる。

なお、故障モードはそれと結びつけられる事象名がそのまま表示される。一般的 FMEA シートでは故障モードの項目には「動作不良」、「不純物混入」、「漏れ」といった名詞が記入されていることが多いが、今回は実装をする上で、動詞で表現される機能語彙を名詞へ変換することは省略しているためこのような表現となっている。名詞を挿入するためには、あらかじめ機能概念オントロジーに対応する名詞を記述しておくことが必要となる。また、故障モードに挿入される語彙は、意図外(不適)なものであるため、そのことを明示することが望ましいと言える。これらをまとめると図 5 の場合、2 行目から 5 行目の故障モードはそれぞれ、「不適なワイヤの分割」、「不適なワイヤの移動」、「不適な力の減少」、「不適な運動方向の変化」となる。これらについては現在検討中である。

7. 今後の課題と展望

本稿では、様々な記述様式で記述される機能的知識の相互運用性、共有性を高めることをめざし、統合機能モデルを介した知識変換を提案した。そのシステム実現の第一歩として、本稿では機能と意図外事象を統合して記述する拡張機能モデルに含まれる知識を FMEA シートへ変換して出力する手法と知識について考察した。今後、その他の記述様式へも適用し、また逆に FMEA シートなどから拡張機能モデルへ変換できるような検討を進めていきたい。

参考文献

- [Lee 97] Lee, J.: Design rationale systems: understanding the issues, IEEE Expert, 12(3), pp78-85, 1997.
- [小路 03] 小路悠介, 来村徳信, 溝口理一郎, :機能モデルにおける補助機能の分類とその設計意図の明示化について, 人工知能学会全国大会(第 17 回)論文集, 2003.
- [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.
- [塩見 83] 塩見弘, 島岡淳, 石川敬幸:FMEA, FTA の活用, 日科技連出版社, 1983.
- [越川 82] 越川清重, 植草源三, 村田忠:実務にすぐ役立つ信頼性技術, 日刊工業新聞社, 1982.
- [MIL 80] Military Standard: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, MIL-STD-1629A, 1980.