

# 宇宙システムの開発・運用支援のためのオントロジーによる 知識共有・知識連携

## Knowledge Sharing and Coordination with Ontologies for Supporting Development and Operation of Space Systems

加藤義清<sup>1)</sup>, 筒井良夫<sup>1)</sup>, 小路悠介<sup>2)</sup>, 來村徳信<sup>2)</sup>, 溝口理一郎<sup>2)</sup>

Yoshikiyo Kato, Yoshio Tsutsui, Yusuke Koji, Yoshinobu Kitamura, Riichiro Mizoguchi

<sup>1)</sup>宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部

Institute of Space Technology and Aeronautics, Japan Aerospace Exploration Agency

<sup>2)</sup>大阪大学 産業科学研究所

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

**Abstract.** Space systems are typical large and complex systems. Due to the limitation of human's cognitive capability, it is impossible for a single person to keep track of every single detail of such systems. Therefore, it takes a lot of effort to manage the scale and complexity of space systems, while assuring safety and reliability, which are critical to the success of any mission.

There are many activities involved in assuring safety or reliability of the system, and many software tools have been developed to support each of specific activities. However, such tools do not support coordination among different tasks, especially at the knowledge level.

This study aims at realizing knowledge level coordination of safety or reliability tools through ontology-based approach.

## 1 はじめに

宇宙ステーション、ロケットや人工衛星等の宇宙システムは大規模・複雑システムの典型である。その規模と複雑さ故、1人の人間がシステム全体を詳細に把握するのは不可能である。システムの安全性・信頼性を保ちつつミッションを成功に導くためには、多大な労力をかけて規模と複雑さを克服しなければならない。

宇宙システムの開発過程では、その安全性・信頼性を確保するために様々な活動が行われており、多

くの場合そのタスクを支援するソフトウェアシステムも開発される。しかし、そのようなシステムはタスク間での連携を支援する機能を有しておらず、特に知識レベルでの連携は出来ない。

本研究では、オントロジーによる安全性、信頼性保証タスク支援ツールの知識連携を目指す。本研究の目的は以下の通りである。

- 設計者等の人間と計算機との間で設計知識および安全性・信頼性知識の共有を促進する。
- 故障診断、設計審査、FMEA (Fault Modes and Effects Analysis), FTA (Fault Tree Analysis) 等のタスクの支援システム間の相互運用を実現する。
- プロジェクトメンバー間での知識共有、知識連携を促進する。

---

連絡先: 加藤義清, 宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部 情報技術開発共同センター, 〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 筑波宇宙センター, Tel: 029-868-2799, Fax: 029-868-2987, E-mail: kato.yoshikiyo@jaxa.jp

## 2 オントロジーによるアプローチ

オントロジーは「概念の形式的な仕様」と定義される。計算機の中で知識を表現しようとするれば何らかの表現形式を与える必要がある。オントロジーは知識の表現方法について規約を与え、ソフトウェアの間で知識の共有や連携を可能にする。近年では、オントロジーは人間の知識共有を促進するメディアとしても認識されるに至り、特にセマンティックウェブの分野で研究が盛んである [1]。

本研究は以下の目標を持って 2002 年に開始された。

- 目的達成にとって適切なオントロジーを検討し、必要あらば構築すること。
- オントロジーおよび関連する情報モデルの構築のための支援環境を整備すること。
- 宇宙システムの開発・運用支援に対してのオントロジー・アプローチの有効性・有用性の検証を行うこと。

本研究では対象として人工衛星を選び、オントロジーに基づきいくつかの設計モデルを構築する。また、FMEA、FTA、故障診断を対象タスクとしてオントロジー・アプローチの評価を行う。

## 3 オントロジーの構築

まず、図 1 に示されるようなオントロジーと情報モデルの階層を検討した。次に使用可能な既存のオントロジーについて調査を行った。

機能オントロジーは対象システム (例えば人工衛星) の機能モデルを記述する為の概念的枠組みを提供する。機能モデルとは、システムの振舞いを目的論的に解釈したものを記述したものである。本研究では機能概念オントロジーの枠組みを採用する [7]。機能概念オントロジーでは、システムの振舞いを目標の下で解釈した**ベース機能**、ベース機能のゴールの種類を表す**機能タイプ**、他のベース機能への役割を表す**メタ機能**の 3 種類の機能概念を定義する。機能概念オントロジーの例として電気系の機能概念オントロジーを図 2 に示す。

システム構成オントロジーは対象システムの構成・振舞いモデルを記述するための概念的枠組みを与える。構成・振舞いモデルとはシステムを構成する要素、要素間の接続 (システムのトポロジー)、各要素における物理量の変化 (振舞い) を記述するものである。

不具合オントロジーは対象システムで発生する可能性のある故障や異常、およびその原因と影響を記述するための概念的枠組みを提供する。不具合オントロジーに関連して、故障オントロジー [6] の枠組みの不具合オントロジーへの適用可能性の検討を行っている。本研究では、不具合は故障を包含するより広い意味を有していると捉えており、故障オントロジーを拡張することにより不具合オントロジーを得る可能性を検討している。

オントロジーの構築に向けてオントロジーを構成するのに必要な用語を決定するための以下の基礎的研究を行っている。

- いくつかの基礎的な語彙を仮定する。
- 仮定した語彙を用いて構成・振舞いモデルを記述する。
- 故障診断システムが受容できる情報モデルを導出する。<sup>\*1</sup>

## 4 情報モデル

情報モデルは特定の対象について、あるオントロジーに基づく観点で表現したものである。本研究では、情報モデルに 2 つのレベルを仮定する。一つ目は応用タスクとは独立の**抽象モデル**であり、二つ目はタスクに特有な情報を含む**応用モデル**である。抽象モデルが知識連携の軸であり、タスクを跨いだ知識レベルの連携を実現しようとする時にこの区別は重要となる。

図 1 に示したように、本研究では機能モデル、構成・振舞いモデル、不具合モデルという 3 つの抽象

<sup>\*1</sup> ここで言う故障診断システムとは、対象タスクの 1 つである故障診断を支援するシステムであり、そのコアとなる推論エンジンは**局所性**や**組立て性**等といった規範に則ったモデルを要求する。

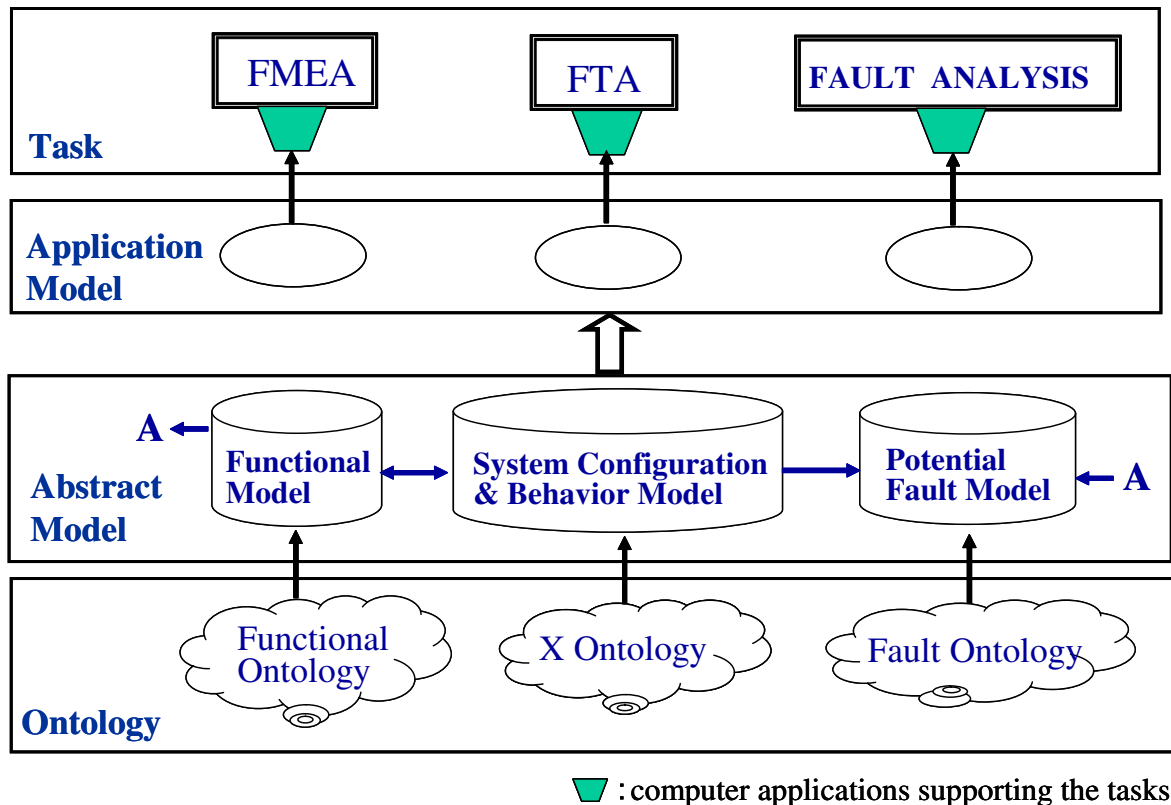


図1 Layers of ontologies, information models, tasks, and supporting applications

モデルを仮定している。機能モデルはある特定のシステムについての機能構造を表す。本研究では機能展開木 [7] を用いて機能モデルを表現する。機能展開木は機能概念オントロジーで定義された概念に基づき、対象システムの機能をトップダウンに書き下したものである。機能モデルの例として、人工衛星の電源系についての機能モデルを図 3 に示す。

構成・振舞いモデルはオントロジー層で定義されたシステム構成オントロジーに基づき、具体的なシステムについてその構成や、要素毎の振舞いを記述したものである。本研究ではシステムの構成・振舞いモデルを記述するための言語として FBRL (Function and Behavior Representation Language)[3] の使用を想定している。FBRL における機能モデル記述のためのテンプレートを図 4 に示す。FBRL では振舞いモデルに機能に関する情報 (Functional Topping) を付加することによって

対象システムの機能を表現する。本研究では、機能モデルと構成・振舞いモデルを分けて考えているため、FBRL をそのまま用いるのではなく、一部改変して用いる予定である。必要な改変については今後検討する予定である。

不具合モデルは、オントロジー層で定義された不具合オントロジーに基づき、対象タスクに共通する不具合に関するモデルを提供するものである。FTA では、頂上事象から始めて、その原因となる事象を順に故障木として展開していく。すなわち、FTA において解析者はアブダクティブな思考を要求される。一方、FMEA ではシステムの要素毎に起こりうる故障モードを枚挙し、各故障モード毎にそのモードが発生した場合にシステム全体にどのような影響を及ぼすかを評価する。すなわち、FMEA において解析者は演繹的な思考を要求される。

このように、FTA と FMEA では思考様式が異な





図4 A functional model template of Function Behavior Representation Language.

るが、解析者が用いている不具合に関する知識に関してはかなりの部分、共通していると考えられる。本研究では、不具合モデルによりこのようなタスクに共通な不具合知識を表現することを目的とする。

尚、図1の抽象モデル層では機能構造を不具合モデルに反映させることを示しているが、これは、FMEAやFTAでは機能喪失の重大度 (criticality) が重要な解析指標であり、また、設計初期には比較的粗い粒度のシステム構成と要素の機能定義に基づいてFMEAやFTAが進められることから、機能構造は不具合モデルにとって不可欠の情報であるという認識に基づいたものである。

## 5 オントロジー・モデル構築支援ツール

オントロジー、および情報モデルの構築は多大な労力を必要とするため、オントロジーに基づくアプローチを実現するためにはソフトウェアツールによる構築作業の支援は不可欠である。本研究ではオントロジー構築支援環境として「法造」[5, 2]を利用する。

既に述べたように、本研究ではFBRLの拡張を用いて構成・振舞いモデルを記述する。法造上で利用可能なFBRLのオントロジーによる定義は成されており、それに基づきFBRLのモデルも記述

可能である。しかしながら、法造はFBRL専用エディタでは無いことから、FBRLを使って構成・振舞いモデルを記述しようとする、余分な労力が必要となる。そこで、構成・振舞いモデル記述を支援するためのツールが必要であるとの認識の下に、同ツールを開発中である。このツールは構成・振舞いモデルの構築だけでなく、構成・振舞いモデルから導出される応用モデル (例えば、故障診断支援システム用のモデル) の構築も支援する。

## 6 評価

本研究では、オントロジーに基づく情報モデルを利用した応用システム (タスク支援機能) を開発し、当該システムのユーザ評価実験により本アプローチの有効性について評価を行う。特に、タスクとは独立した形で記述された情報モデルにより知識共有、知識連携、相互運用性がどれだけ促進されたかを評価対象とする。具体的には、以下の点に着目して評価を行う。

**知識共有** 設計時に実施したFMEA/FTAの結果を反映した情報モデルを故障診断タスクにおいて利用できるか。

**知識連携** FMEAとFTAの解析結果の相互検証の支援が実現できるか。

**応用システムの相互運用性** 故障診断システムの故障仮説生成機能を FMEA/FTA 支援システムの中で利用できるか。

なお、3つの対象タスクのうち不具合診断については、「モデルとルールの統合診断による不具合診断支援システム」を、他の研究 [8, 9, 4] の一環で既に開発済みであり、現在実際の衛星の電源系についてモデルを構築し、その能力を評価中である。

## 7 おわりに

本稿では宇宙システムの開発・運用の支援に対するオントロジー・アプローチの適用に関する研究について報告した。オントロジーはソフトウェア間の知識レベルの連携だけではなく、人間間の知識共有を実現するための鍵となる技術である。本研究は宇宙工学分野におけるオントロジー・アプローチの有効性の実証を目指すものである。

## 参考文献

- [1] D. Fensel, K. Sycara, and J. Mylopoulos eds. *The Semantic Web — ISWC 2003*, Vol. 2870 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2003. Second International Semantic Web Conference, Sanibel Island, FL, USA October 2003, Proceedings.
- [2] 砂川, 古崎, 来村, 溝口. 「法造」におけるオントロジー分散開発. 人工知能学会研究会資料 SIG-SW&ONT-A301-02, 2003.
- [3] 笹島, 来村, 池田, 溝口. 機能と振舞いのオントロジーに基づく機能モデル表現言語 FBRL の開発. 人工知能学会誌, 11(3):420–431, 1996.
- [4] 尾崎, 江口, 古川, 筒井, 五十嵐, 玉川. Mgtip を用いた故障診断手法の効率化. 第 17 回人工知能学会全国大会, pp. 2F3–05, 2003.
- [5] 来村, 笠井, 吉川, 高橋, 古崎, 溝口. 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支援における利用. 人工知能学会論文誌, 17(1):73–84, 2002.
- [6] 来村, 溝口. 故障オントロジー—概念抽出とそ

の組織化—. 人工知能学会誌, 14(5):828–837, 1999.

- [7] 来村, 溝口. 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):61–72, 2002.
- [8] 平成 14 年度宇宙開発事業団委託研究. アクティブマイニングによる閉ループ不具合診断手法の研究. Technical Report TKSC-PSPC-076411, 宇宙開発事業団, 2002.
- [9] 平成 15 年度宇宙開発事業団委託研究. モデルとルールの統合推論による不具合診断の研究. Technical Report TKSC-PSPC-032766, 宇宙開発事業団, 2003.