

人工衛星の設計支援のためのオントロジーの構築と利用

Construction and Utilization of Ontology for Satellite Design

澤井裕一郎 堀浩一
Yuichiro Sawai Koichi Hori

東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻
Department of Aeronautics and Astronautics, University of Tokyo

Ontology theories have been studied deeply and they can be applied to real-world problems. Artificial satellite is an example of a complicated system of which ontology technology can assist the design process. In this research, we created an ontology for representation of artificial satellites. We also created a system which utilizes the ontology and makes it possible to create a model of a satellite by referencing the ontology.

1. 序論

1.1 背景

近年、民間企業主導の開発や発展途上国の参入により、宇宙産業はますます拡大している。それに伴い、航空宇宙分野における知識処理の重要性が増している。蓄積された知識をコンピュータを用いて処理することにより、設計作業の円滑化や失敗の反復を回避することが可能になることが期待される。本研究では人工衛星の設計作業を支援するためのオントロジー関連技術を開発することを目標とする。

1.2 デバイスオントロジー

人工衛星の設計において、人工衛星のシステムとしての側面を表現することが最重要であると考えた。そこで、オントロジーの記述にあたり、來村らにより考案された拡張デバイスオントロジー [2] を参考にすることにした。

拡張デバイスオントロジーでは、表現対象について、「装置」が「導管」によって接続され「媒体」上で「対象物」を入出力するという表現をする。入出力関係という一貫した視点から対象の記述を行うため、システムの側面を表現することに有効である。また、対象を入れ子構造として表現することで、任意の粒度で記述を行うことが可能である。

2. 人工衛星オントロジー

本研究では拡張デバイスオントロジーを参考に、人工衛星を表現するためのオントロジーを構築した。以下に、人工衛星オントロジーを構成する最も基本的な概念を示す。

2.1 システム

図1が「システム」概念の定義である。システムは衛星の主要な構成要素である。衛星は、システムとそれらの間の接続関係で表現される。システムは「複合システム」と「単一システム」に分類される。

「単一システム」は衛星のオントロジー表現における最も基本的な構成要素である。デバイスオントロジーでは、システムは、システムが行う入出力により特徴づけられる。これを表現するため、システムは「入力ポート」と「出力ポート」を持つ。また、単一システムは物理的実在として「構成物」を登

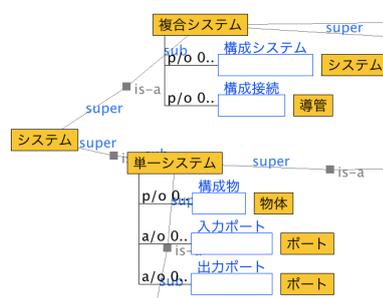


図1: システムの定義

録することができる。これにより、システムと、システムを構成する物理的な部品を関連づけることができる。

「複合システム」は「単一システム」の複合体である。複合システムは「システム」を部分に持つ。「システム」の上位概念が「単一システム」と「複合システム」であることから、複合システムは単一システムを部分に持つことも、複合システムをさらに部分に持つこともできる。つまり、システムを任意の詳細度で入れ子構造として表現することが可能になる。

2.2 ポート



図2: ポートの定義

図2が「ポート」概念の定義である。ポートは「接続先」として「導管」を持つ。単一システムはポートを入力ポートまたは出力ポートとして持つ。

2.3 導管

図3が「導管」概念の定義である。「導管」はシステム間の接続の種類を表現する。大きく「配線」と「電磁波」に分類される。「配線」は主に衛星構体上の接続、「電磁波」は太陽と太陽電池の間の接続、通信系と地上局の間の接続などの遠隔地間の接続を想定している。

2.4 伝達物

図4が「伝達物」概念の定義である。「伝達物」は「導管」上でやりとりされる対象を表現する。エネルギーや情報に限ら

連絡先: 澤井裕一郎、東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、sawai@ailab.t.u-tokyo.ac.jp

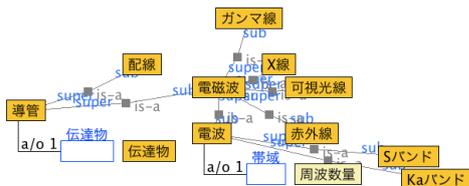


図 3: 導管の定義

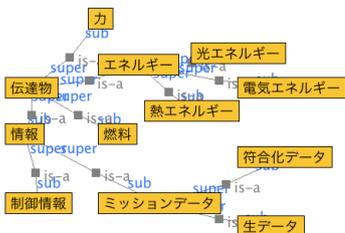


図 4: 伝達物の定義

ず、力などの通常は管を通る物としてイメージされない対象も含む。

2.5 物体

「物体」はシステムを構成する物理的実体を表現する。「物体」は重量と形状を属性として持つ。これにより、衛星のサイジングに必要な情報を扱うことができる。

形状は、直方体や円柱形、流体などが定義されている。

2.6 システムの例

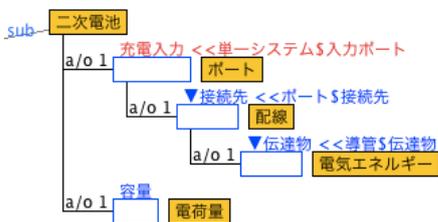


図 5: 二次電池の記述

「単一システム」以下では入出力に基づき、衛星を構成するシステムを分類している。「単一システム」の子孫概念の一例として、二次電池の記述を図5に示す。

図5では、二次電池が「配線」という導管を通じて「電気エネルギー」という伝達物が入力されること、「容量」という属性を持つことが表現されている。また、図5では描かれていないが、「二次電池」の先祖概念である「電源」概念には「配線」から「電気エネルギー」を出力することが記述されており、子孫概念である「二次電池」もその性質を継承している。

3. 人工衛星オントロジーを利用するシステム

オントロジーの重要な利点の一つに、一度記述したオントロジーが様々な形で利用されることがある。今回は、作成した人工衛星オントロジーを参照しつつ、人工衛星のモデルを記述できるシステムを開発した。

オブジェクト指向の用語を用いると、オントロジーの定義がクラスの定義であるのに対して、人工衛星のモデルの作成はインスタンスの定義に相当する。

3.1 システムの機能

作成したシステムは以下の機能を持つ。

- システムの配置
- パラメータの値の設定
- ポート間の接続



図 6: システム選択画面

図6のように、衛星設計オントロジーで定義されているシステムを一覧の中から選択し、画面上に配置することができる。

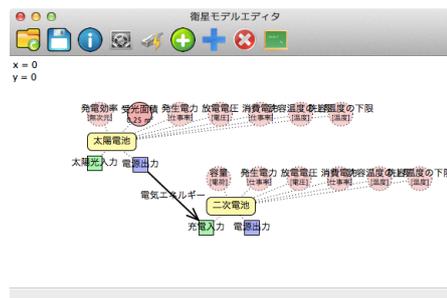


図 7: システム配置画面

図7に、構築中の衛星モデルの表示例を示す。システムは黄色の角丸長方形、パラメータは赤の円、入力ポートは緑の正方形、出力ポートは青の正方形で表示されている。

図7ではポート間を接続している。ポートを接続できるのは、両者がそれぞれ入力ポートと出力ポートで、両者の導管と伝達物が、それぞれ is-a 関係にある場合のみである。また、導管上の伝達物は衛星設計オントロジーに基づき自動的に決定される。

導管は、出力ポートから入力ポートへ向かう矢印として表示される。伝達物は導管の上にラベルとして表示される。図7では、太陽電池の電源出力ポートと、二次電池の充電入力ポートを接続している。伝達物である電気エネルギーは、自動的に決定されている。

本システムでは他にも、パラメータ間の関係を数式で記述し、自動的に解を発見してパラメータに値を設定する機能を実装した。

3.2 システムの使用例

今回作成したシステムを用いて、人工衛星の一部を記述することを試みた。教科書「衛星設計入門」[5]で例題として示

されている小型人工衛星 e-ATOMS の電源系を題材に記述を行った。

e-ATOMS は一辺 50cm の立方体形状の、太陽同期軌道を周回する地球観測衛星である。6 面中 4 面に搭載された太陽電池から電力を供給する。地球による食に対応するために、バッテリーを搭載している。

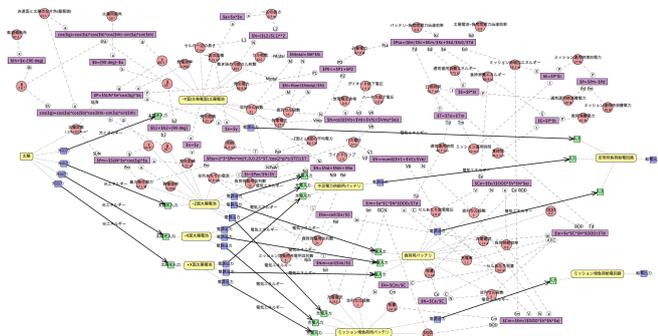


図 8: 電源系の記述例の全体像

記述した e-ATOMS の電源系の全体像を図 8 に示す。電源系では太陽光で発電をし、発生した電力を負荷とバッテリーに供給することを表現している。また、関連するパラメータ値の計算もシステムを用いて行った。

3.3 システムの評価

本システムを使った記述例の作成によって、以下のような利点が明らかになった。

- 衛星設計オントロジーではシステム名が入出力の性質に基づき階層構造に整理されているため、必要な機能を達成するシステムを、図 6 のように選択肢を提示された上でその中から選ぶことができる。これにより、設計者はありうる選択肢の全体像を知ることができ、他の選択肢を選んだ場合の可能性についても考察することができる。
- システムを追加する際に、オントロジーに記述された関連するパラメータや入出力ポートが自動的に追加されるため、設計者はシステムに関連して考慮しなければならない事項を知ることができる。
- 設計の過程でオントロジーに用意されていない概念を参照する必要が生じた際にも、新しい概念をオントロジー上の適切な位置に追加するだけで対応できる。

4. 結論

4.1 本研究の成果

本研究では人工衛星のシステムの側面を表現する為のオントロジーを構築した。作成したオントロジーの利用例の一つとして、人工衛星のモデルを作成するシステムを開発した。

オントロジーを用いることにより体系的に整理された概念を参照できるため、設計者は同じ機能を達成する為の他の可能性を知ることができるという利点があった。また、オントロジーの構築の作業自体、対象に関する深い考察を必要として、対象の理解を深めることに役立った。

4.2 今後の展望

本研究では、オントロジーの利用により主に人間が享受する利点について考察した。オントロジーの利用による利点は

他に、コンピュータの自動推論に用いることができるということがある。今回作成した設計支援システムの次の段階として、他の考えうるオントロジーの利用方法を示す。

4.2.1 作成したモデルのコンピュータ利用

今回作成した人工衛星のモデルは、結果として得られる図を計算書の補助として人間が解読するという利用方法を想定している。しかし、衛星のモデルはシステムやパラメータを構成要素としたグラフ構造として表現されているため、ノードの接続関係の情報をコンピュータが直接利用できる。つまり、人間がグラフを辿って得られる情報は、コンピュータによる自動処理で全て取得することができる。

例えば、あるシステムや導管が機能しなくなった場合に、機能不全が波及する領域をコンピュータは知ることができる。他にも、パラメータ間の関連性などを自動的に計算できる。

これらの情報が必要となった際に、設計者自身がグラフを辿ることなく、コンピュータによって計算できる。

4.2.2 自然言語処理における利用

自然言語で記述された計算書や報告書をコンピュータで処理する際、自然言語処理の技術を用いて有用な情報を得ることができる。その際、WordNet のような辞書を用いて、コンピュータが単語間の関係の情報を得た上で処理を行う。汎用の辞書では一般的な用語間の関係しか定義されていないが、人工衛星オントロジーを用語間の定義として補足的に用いることにより、文書の内容のより正確な解釈が可能になる。また、人工衛星のモデルを使用することで、設計中の人工衛星に即した情報を元に自然言語処理を行うことができる。これは、本研究で検証するに至らなかった非常に重要なオントロジー利用の可能性である。

参考文献

- [1] 古崎晃司, 来村徳信, 笹島宗彦, 溝口理一郎: オントロジー構築入門, オーム社 (2006)
- [2] 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, Vol.17, No.1, pp.61-72 (2002)
- [3] 溝口理一郎: オントロジー工学, オーム社 (2005)
- [4] 溝口理一郎: オントロジー工学の理論と実践, オーム社 (2012)
- [5] 茂原正道, 鳥山芳夫: 衛星設計入門, 培風館 (2002)