

01



## 情報技術によって変わる 宇宙システムのつくりかた

応  
般

山田隆弘（宇宙航空研究開発機構）

### 宇宙システム開発と情報

本稿では、宇宙システム開発と情報技術とのかかわりについての現状、問題点、将来展望について具体例も交えて解説する。

まずは、宇宙システム開発における情報とは何であるかということから話を始めたい。宇宙システム開発で使用される情報としてはどのようなものがあるだろうか。

最も重要な情報は、「このような衛星あるいはロケットをつくる」という情報であろう。このような情報は仕様と呼ばれる。主要な仕様には、「これを行う衛星をつくるべきである」ということを定める要求仕様と「これをこのように行う衛星をつくるべきである」ということを定める設計仕様とがある。

仕様以外の重要な情報としては、計画や手順がある。開発全体をどのように行うかを定める開発計画、試験や運用を実施するための詳細な手続きを定める試験手順や運用手順等がある。さらに、報告書やマニュアル類も重要な情報である。

宇宙システムを使って観測あるいは実験を行った結果も重要な情報であるが、それらは「開発」の範疇には属さないので、本稿では取り上げないことにする。

### 宇宙システム開発における情報の表現と処理

前章で述べた仕様や計画等の情報はどのように表現されているであろうか。宇宙システム開発で使用される情報の大部分は、日本語や英語などの自然言

語で表現されている。図面等の情報はCAD（Computer Aided Design）システムを用いて形式的に表現される場合が多いが、そのような情報は宇宙システム開発に関する情報のうちのごく一部である。情報の理解を助けるために表やブロック図が使われることも多いが、表や図だけで仕様や計画を完全に表現することは難しく、情報の本質的な部分はほとんど自然言語で表現されている。

自然言語での情報の表現には、いろいろな問題がある。1つ目の問題は、自然言語による表現はあいまいになりがちであることである。あいまいとは、1つの表現が複数の意味に解釈される可能性があるということである。宇宙システムは非常に規模が大きく、100人以上の技術者が1つのシステムの開発にかかわることも珍しくない。そのような場合、関係者全員が同じ解釈に到達するように自然言語で情報を表現することは、簡単ではない。

2つ目の問題は、複数の表現の間の矛盾の検出が困難であることである。大人数で宇宙システムを設計する場合、ある技術者の設計結果と他の技術者の設計結果の間に矛盾が発生することは多い。設計結果が自然言語で表現されている場合、そのような矛盾の検出を機械的に行うことは困難であり、人手で行うことになる。これは大変な作業である。

それでは、宇宙システム開発で使用される情報技術としてはどのようなものがあるだろうか。情報が形式的に表現されていれば、図-1の右側に示すような情報処理が機械的に行えるようになるはずである。しかしながら、宇宙システム開発で使用されている情報の大部分は自然言語で記述されているために、この図に示すような情報処理は、ほとんど人手

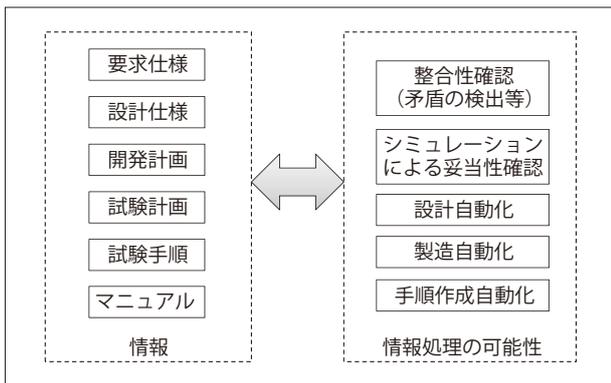


図-1 宇宙システム開発における情報とそれらの処理の可能性

によって行われているのが現状である。現在のところ情報技術は限定的にしか使用されていないが、実際に使用されている情報技術の例を次章以降で紹介する。

## モデル化技術の宇宙システム開発への適用

自然言語による記述の問題点を克服し、情報の機械的な処理を行えるようにするために、モデル化技術の適用が試みられている。モデル化技術にはさまざまなものがあるが、宇宙システム開発において使用されているものとしては、Unified Modeling Language (UML)<sup>1)</sup>等のモデル化言語がある。UMLは、ソフトウェアの構造や振舞いをモデルとして視覚的に記述するための言語であるが、ハードウェアやシステムに適用することも可能である。モデルに基づいてシステム開発を行う方法はモデルベースシステム工学 (Model Based Systems Engineering, MBSE) と呼ばれている。

MBSEを宇宙システムに適用した例はいくつかある<sup>2)</sup>が、今の段階ではまだ試験的あるいは部分的な適用にとどまっているものが多い。

MBSEの1番の問題は、1つの情報をさまざまな方法で表現できてしまうことである。UMLではシステムの構造は箱を線で結びつけることによって表現するが、どのような単位を1つの箱として表現すべきかについては基準が存在しない。したがって、

1つのシステムを別の人がモデル化すると、たいていは別のモデルができあがってくる。これでは、別々に作られたモデルを統合することが困難となり、大きなシステムのモデルを効率的につくることができない。

MBSEの2番目の問題は、UMLだけでは仕様や計画を完全に記述できないことである。箱と線だけで仕様や計画の意味的な内容までを表現するのは不可能であり、意味的な内容は自然言語で表現されることが多い。たとえば、「AはBを起動する」というときの「起動する」の意味は、UMLでは定義できない。

MBSEの3番目の問題は、現状では、モデルの機械的な処理が部分的にしか行えないことである。たとえば、システムのモデルに基づいてシステムの振舞いをシミュレートする試みは行われているが、どのようにシミュレートするかを個々に決めているために、モデルのシミュレータを開発しても、それが適用できる範囲はきわめて狭い。

これらの問題を解決する方法は、意味内容の表現方法も含めたモデルの作成基準を作成することである。これは重要な課題であるが、宇宙システム開発の現場で広く活用されているモデル作成基準は現在のところわずかである。

ただし、日本では、宇宙システム開発で使用される情報のうちのごく一部ではあるが、意味内容の表現方法も含めたモデル作成基準が存在し、その基準に従って作成されたモデルが衛星の開発や運用において(限定的ではあるが)機械的に処理されている<sup>3)</sup>。次章では、宇宙システム開発において実際に使用されている情報技術の例として、その方法を紹介する。

## 日本の衛星開発で使用されているモデル化技術

ここで紹介する方法の全体像を図-2に示す。この方法で対象としている情報は、衛星の機能(衛星が何を行うか)に関する情報である。図-1の左側

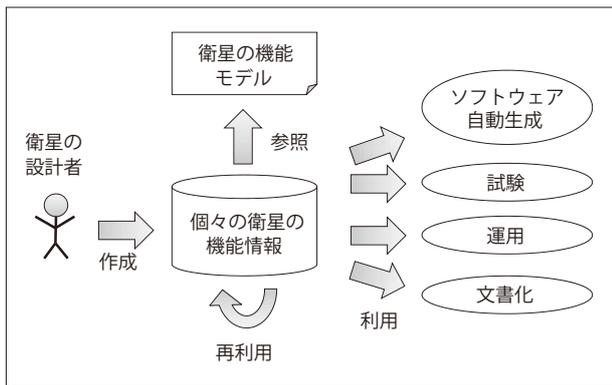


図-2 日本の衛星開発で使用されているモデル化技術

に示した情報との対応でいえば、要求仕様や設計仕様の機能部分とマニュアルの機能部分に相当する。

モデル作成基準としては「衛星の機能モデル」という基準が制定されている。これは、衛星の機能に関する情報をモデルとして表現するための規則を定めたものであり、どのような衛星にも共通に適用できる（ただし、これは、モデルをつくるためのモデルであるから、本来はメタモデルと呼ぶべきものである）。「衛星の機能モデル」を使用すれば、あらゆる衛星の機能が同一の方法で表現されるので、設計結果の統合や再利用も容易となる。

「衛星の機能モデル」の基本概念は、UML のものを使用している。しかし、UML では衛星固有の概念は規定されていないので、衛星固有の概念をどのように表現すべきかを「衛星の機能モデル」で定めている。その主要部分を以下に説明する。

「衛星の機能モデル」では、衛星の機能を機能オブジェクトという単位を用いて表現する。機能オブジェクトは、衛星の機能を実現するソフトウェアやハードウェアを機能面に絞って抽象化して表現したものである。おのおのの機能オブジェクトは、オペレーションとアトリビュートを有する。オペレーションは、機能オブジェクトが実行することがらで、コンピュータ言語における関数に相当する。アトリビュートは、機能オブジェクトの状態を表すもので、コンピュータ言語における変数に相当する。これらは、UML の基本概念であるが、これらを次のように衛星固有の概念に対応させる。

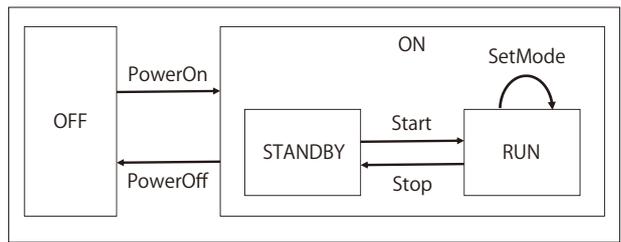


図-3 「衛星の機能モデル」に従って作成された状態遷移図の例

衛星名	衛星の目的	打ち上げ年
ひさき	惑星分光観測	2013 年
あすなる 1	地球観測	2014 年
ASTRO-H	X 線天文	2015 年度（予定）
あすなる 2	地球観測	2016 年（予定）
ERG	ジオスペース探査	2016 年度（予定）

表-1 本稿のモデル化技法を使用している衛星

衛星を地上から制御するときは、地上からコマンドという信号を衛星に送る。衛星の状態を地上で監視するときは、衛星からテレメトリという信号を受信する。「衛星の機能モデル」では、コマンドとテレメトリを機能オブジェクトのオペレーションとアトリビュートにそれぞれ対応させて表現する。さらに、衛星の振舞いを「コマンドによってテレメトリの値がどのように変わるか」という観点から状態遷移図として表現する。状態遷移図の例を図-3 に示す。この図で矢印に付されているのがコマンド名であり、箱の中に記されているのがテレメトリ値である。ちなみに、本章の方法を用いれば、「B を起動する」の意味は「B のテレメトリ値を RUN にする」と定義できる。

「衛星の機能モデル」に従ってモデルとして表現された個々の衛星の機能情報は、いくつかの目的のために機械的に処理されている。たとえば、衛星に組み込まれるソフトウェアの部分的な自動生成に使われている。また、衛星の試験や運用において、定義された状態遷移の通りに衛星が動作しているかどうかの自動判定にも使用されている。

この方法を使用している衛星の一覧を表-1 に示す。日本で将来開発されるかなりの衛星においてもこの方法が採用される予定である。

## 将来の展望

衛星から得られた観測データを可視化する等のデータ処理技術は急速に進歩している。しかし、図-1の右側に示したような宇宙システム開発で望まれる情報処理技術は、現時点では部分的にしか実用化されていない。前章で述べたようなモデル化技術の適用は今後も進展すると思われるが、モデル化技術だけで図-1の情報処理のすべてを実現するのは困難である。

現在の情報技術の大きな問題点は、情報の意味を表現あるいは処理する技術がほとんど用意されていないことである。セマンティック Web<sup>4)</sup> という意味表現技術も不十分であり、「AはBを起動する」の「起動する」の意味はセマンティック Web 技術だけでは定義できない。情報技術をさらに発展させるためには、情報の意味に関する技術開発が求められる<sup>5)</sup>。情報の意味を処理して初めて本物の情報技術といえるのではなかろうか。

### 参考文献

- 1) Rumbaugh, J., Jacobson, I. and Booch, G. : The Unified Modeling Language Reference Manual, Second Edition, Addison-Wesley (2004).
- 2) Bayer, T. : Update : Model Based Systems Engineering on JPL's Europa Mission Concept Studies, IEEE Aerospace Conference (2013).
- 3) Yamada, T. and Matsuzaki, K. : Model-Based Development of Spacecraft Onboard Functions, INCOSE (International Council on Systems Engineering) International Symposium (2010).
- 4) 情報処理相互運用技術協会, セマンティック Web 入門, オーム社 (2004).
- 5) 山田隆弘 : オブジェクト指向に基づく意味構造の記述について, 2014 年度人工知能学会全国大会 (2014).  
(2015 年 4 月 30 日受付)

山田隆弘 (正会員) ■ tyamada@isas.jaxa.jp

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所教授。東京大学工学部電気工学科卒業, 同大学院博士課程修了。宇宙用情報工学の研究, 宇宙用データ処理システムの開発, 宇宙データシステム用国際標準規格の作成等に従事。

