

# 制約自然言語の実装方式

## The Implementation Methods of Formal Natural Language

太田 吉美  
Yoshimi Ota

宇宙航空研究開発機構  
Japan Aerospace Exploration Agency

The Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) is developing the Emergent Synthesis Environment (ESE) for next-generation space systems. ESE aims at innovation of the conventional operating process, the increase in efficiency of the R&D, and the improvement in reliability of space systems. We are developing the Generic Information and Knowledge Model (GIM) and the Formal Natural Language (FNL) used as the base of knowledge share environment of ESE. GIM is the general-purpose semantic network model which used the predicate as the core, and has the important feature which can also describe the syntax of natural language. The Formal Natural Language (FNL) describes GIM by the syntax of natural language. GIM/FNL enables it to aim at accumulation, share, and practical use of information or knowledge covering the life cycle of space systems. Thereby, the sharp improvement in efficiency of business and the reliability of space systems are expectable.

### 1. はじめに

これからの宇宙開発は、地球環境の保全、宇宙空間の平和利用、宇宙に関する新知識の獲得等を目指すとともに、開発された先端技術が産業界に波及することが期待される。

宇宙航空研究開発機構(JAXA)では、宇宙機システム開発のプロセスを抜本的に革新し、研究開発の効率化やシステムの信頼性を大幅に向上させる、技術知識基盤として、知的な一元的情報システム ESE(Emergent Synthesis Environment)の開発を推進している。

知的な一元情報システムでは、(1)知識共有環境、(2)設計解析統合環境、(3)業務協調環境、(4)創造的発見支援環境などの開発テーマに分け、研究開発を行っている(図1参照)。宇宙機システムの開発を現在の5年から2年程度、開発コストを現在の1/3程度に削減するのが当面の目標である。

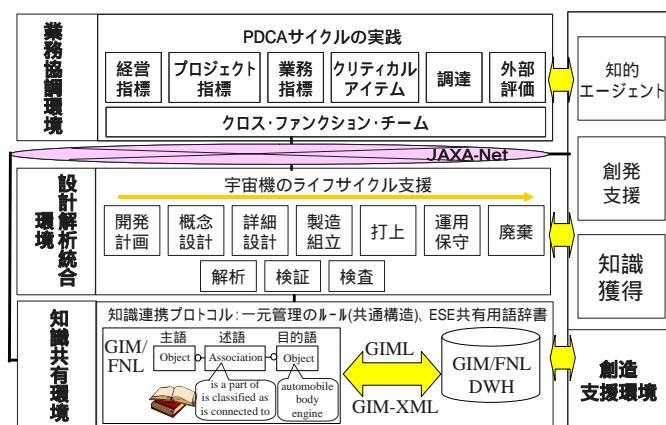


図1 知的な一元情報システム ESE

JAXA の技術知識基盤である知的な一元情報システムの知識共有環境の構築では、GIM (Generic Information &

連絡先: 太田吉美, 宇宙航空研究開発機構 高度ミッション研究センター, つくば市千現 2-1-1, TEL:029-868-2141, Fax:029-868-2957 番号, ohta.yoshimi@jaxa.jp

Knowledge Model)をベースとする制約自然言語 FNL(Formal Natural Language)を開発している[太田 2004]。本論文では、制約自然言語 GIM/FNL の実装方式について報告する。

### 2. GIM/FNL の概要

GIM/FNL は、いろいろなデータ構造の基本要素(オブジェクトとオブジェクトの関連(アソシエーション)という要素)を抽出したもので、この基本要素を組み合わせることにより、複雑な現実世界を記述しようとするものである(図2参照)。また、GIM/FNL は述語(動詞)を中心にした、意味ネットワークモデルであり、自然言語の構文(ステートメント)も記述できる重要な特徴がある。

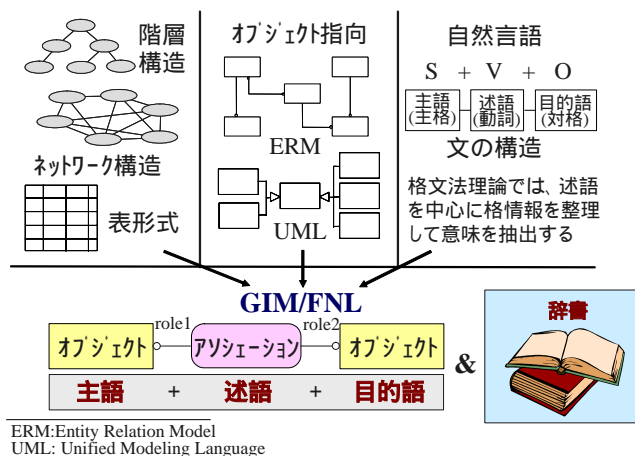


図2 GIM/FNL の原理

IDEFIX[IDEFIX 1993]や EXPRESS-G のような ERM(Entity Relation Model) [ISO103033-11]、UML (Unified Modeling Language) [UML 1998]などでは、オブジェクトとオブジェクトの関連(アソシエーション)を連結する線分上(または線種やシンボル)に記述しているが、データベース等の実装段階では、この線分上の意味は、一般的には失われている。GIM/FNL ではこ

の線分上の意味を関連(アソシエーション)として明示的に記述する。

GIM/FNL では、製品や技術・サービスのライフサイクル全般を支援する共通の知識モデルとして、オブジェクトと関連(アソシエーション)からなるコアモデルを規定する。コアモデルでは、対象とするものすべてをオブジェクトとして捉える。オブジェクトは、概念やモノなど定義対象の全てを記述するための入れ物(器)である。関連(アソシエーション)もオブジェクトの一つ(オブジェクトのサブタイプ)であり、オブジェクト間の関連付けを記述する器で、関連(アソシエーション)からオブジェクトには多数の手(ポインタ)を出すことができる。各々手にはそれぞれの役割があり、その役割の内容についても明示的に記述する。

GIM/FNL は、オブジェクト(object)間の多項関係を記述するモデルで、オブジェクト及びオブジェクト間の関係を関連(アソシエーション)で表現する非常にシンプルなモデルである(図 3 参照)。

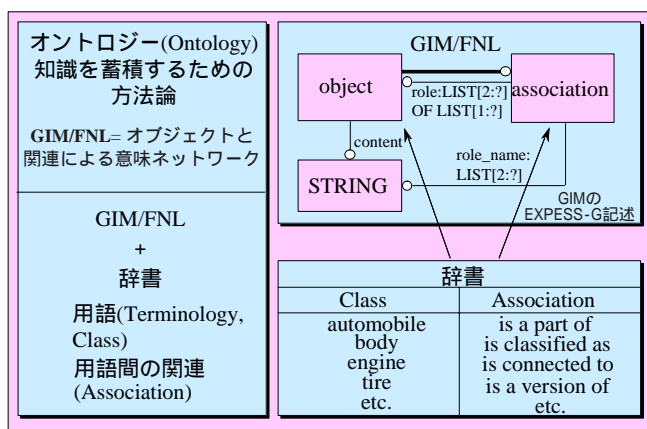


図 3 GIM/FNL と用語辞書

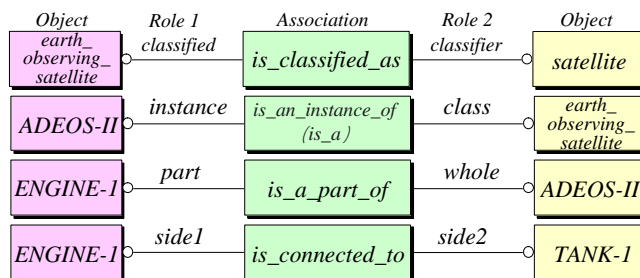
GIM/FNL は、EXPRESS[ISO103033-11]で次のように表せる。

```

SCHEMA gim-fnl_schema;
  ENTITY object
    SUPERTYPE OF (association);
    content:STRING;
  END_ENTITY;--object
  ENTITY association
    SUBTYPE OF(object);
    role_name:LIST [2:?] OF STRING;
    role:LIST[2:?] OF LIST[1:?] OF object;
  END_ENTITY;--association
END_SCHEMA;--gim-fnl_schema
    
```

GIM/FNL は、データ構造(コアモデル)を単一(ユニファイ)化にし、その内容であるオブジェクトと関連(アソシエーション)を辞書(リファレンス・ライブラリー)で規定する。この辞書を豊富にすることにより、知的資産の融合(Interoperability)が可能となる。アプリケーション分野のオブジェクト及び関連(アソシエーション)の具体的な内容は、辞書として規定する。自動車为例に考えると、オブジェクトは自動車を構成する要素の用語(例えば、automobile、body、engine、tire など)が、関連(アソシエーション)には用語間の関連を表す用語(例えば、is a part of、is classified as、is connected to など)が入ることになる。関連(アソシエーション)では、情報・知識モデルの主要な概念である構成や分類などの用語を規定する。

宇宙機の例を GIM/FNL で表現すると、図 4 のようになる。ここで、satellite、earth\_observing\_satellite は概念(クラス)で、ADEOS-II、ENGINE-1、TANK-1 は実体(インスタンス)であり、is classified as、is an instance of、is a part of、is connected to は関連(アソシエーション)である。



**制約自然言語 (FNL) による表現**  
 earth\_observing\_satellite is\_classified\_as satellite.  
 ADEOS-II is\_an\_instance\_of earth\_observing\_satellite.  
 ENGINE-1 is\_a\_part\_of ADEOS-II.  
 ENGINE-1 is\_connected\_to TANK-1.

図 4 GIM/FNL による記述例

上記の例からわかるように、ADEOS-II が地球観測衛星であることを明示している。GIM/FNL が人にも機械(計算機)にも理解できる表現であることが分かる(図 5 参照)。

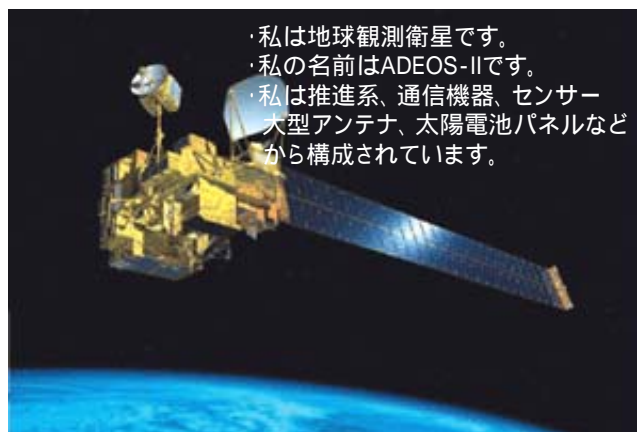


図 5 私は地球観測衛星です

### 3. GIM/FNL の実装方式

GIM/FNL では、ISO10303 Part21 (テキストファイル形式) [ISO103033-12]、GIML (Generic Information & Knowledge Model Language)、GIM-XML (eXtensible Markup Language) の 3 つの方式を実装した。

GIM/FNL の同じ内容をそれぞれ ISO10303 Part21、GIM-XML、GIML で記述したものを比較すると、GIML による記述は、自然言語に限りなく近く、また、データ量としても最も少ないことが分かる(以下参照)。

```

[ISO10303 Part21]
#10 = object ( 'v-101' );
#20 = object ( 'v-102' );
#21 = object ( 'valve' );
#22 = association ( 'is_an_instance_of', ( 'instance',
      'class' ), ( ( #10, #20 ), ( #21 ) ) );
    
```

```
#30 = object ( '10.0' );
#31 = object ( 'Mpa' );
#32 = object ( 'maximum' );
#33 = object ( 'design' );
#34 = object ( 'pressure' );
#120 = association ( 'has_property_of', ( 'instance',
    'qualifier', 'property', 'data', 'unit' ), ( ( #10,
    #20 ), ( #32,#33 ), ( #34 ), ( #30 ),(#31) ) );
```

[GIM-XML](XMLスキーマの定義部分は省略した。)

```
<object id="v-101">
  <association id="is_an_instance_of">
    <role role_name="class"> "valve" </role>
  </association>
  <association id="has_property_of">
    <role role_name="qualifier"> "maximum", "design"
    </role>
    <role role_name="property"> "pressure" </role>
    <role role_name="data"> "10.0" </role>
    <role role_name="unit"> "Mpa" </role>
  </association>
</object>
<object id="v-102">
  <association id="is_an_instance_of">
    <role role_name="class"> "valve" </role>
  </association>
  <association id="has_property_of">
    <role role_name="qualifier"> "maximum", "design"
    </role>
    <role role_name="property"> "pressure" </role>
    <role role_name="data"> "10.0" </role>
    <role role_name="unit"> "Mpa" </role>
  </association>
</object>
```

[GIML](GIMLの文法は省略した。)

```
v-101 {
  is_an_instance_of : valve;
  has_property_of : maximum design pressure 10.0 Mpa; }
v-102 {
  is_an_instance_of : valve;
  has_property_of : maximum design pressure 10.0 Mpa; }
```

GIM/FNLの基本構造は、主語 + 述語 + 目的語で、主語や述語、目的語の取り得る内容を辞書で制限する。これにより、一般の自然言語処理の難しさを排除する。辞書は、英語、日本語、中国語、韓国語などの多言語に対応できる(図6参照)。

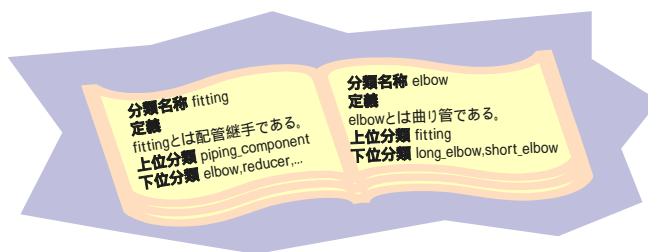
GIM/FNLの宇宙機システムへの展開では、既存のオントロジーとして、STEP(Standard for the Exchange of Product Model Data, ISO10303)に注目した。STEPでは、製品や技術についての用語の整備が既に行われており膨大な知的資産となっている。そこで、STEPの基本リソースの部分を、GIM/FNLの辞書として展開している。現状では、あらゆる分野に共通するSTEPでの形状や物理単位などの用語を中心に約2000語を整備した。また、プロセス・プラント分野の用語として約2000語、宇宙分野の用語として約1000語を整備している(図7参照)。

関連についての用語を表1に示す。現在、is\_an\_instance\_of, is\_assembled, is\_classified\_as, is\_connected\_to, is\_placed\_on,

possesses, is\_represented\_by, has\_property\_ofの8種類の関連用語を実装している。

日本語	v-101 はvalveです。 の開始位置は 225.54603,369.9746 mmです。 の終了位置は 225.54603,344.9746 mmです。 はN-0183_sri_1 に組み込まれます。 はline_style_solid を持っています。
英語	v-101 is a class of valve. has property of starting location 225.54603,369.9746 mm. has property of ending location 225.54603,344.9746 mm. assembled to N-0183_sri_1. possessed line_style_solid.
中国語	v-101是 valve 的 class。 開始位置 225.54603,369.9746 mm。 結束位置 225.54603,344.9746 mm。 安装到 N-0183_sri_1。 含有 line_style_solid。

図6 GIM/FNLによる多言語表現



辞書整備(STEPの用語を含む)

項目	整備内容
共通	組織,形状,物理量など約2,000語
プラント分野	P&ID,3次元関連で約2,000語
宇宙分野	宇宙機、部品関連で約1,000語

図7 辞書の整備状況

表1 関連(アソシエーション)用語

#	association	reverse assoc.	role 0	role 1	role 2	role 3	role 4
1	is_a_synonym_of	is_a_synonym_of	reference_class_name	alternative			
2	is_an_instance_of		instance	class			
3	is_assembled_from	is_assembled_from	whole	part			
4	is_assigned_to	is_assigned_to	assigned	assigning			
5	is_classified_as	is_classified_as	classified	classifier			
6	is_collection_of	is_collection_of	whole	part			
7	is_connected_to	is_connected_from	side1	side2	via		
8	is_described_as		described	describing			
9	is_identified_with		identified	identifier			
10	involves	involves	involver	involved	part		
11	is_placed_on		instance	place	by	of	
12	possesses	possesses	possessor	possessed			
13	is_presented_by	is_presented_by	presented	presenter			
14	is_qualified_as		qualified	qualifier			
15	is_represented_by	is_represented_by	represented	representer			
16	is_referenced_by		referred	referring	variable		
17	is_a_version_of	is_a_version_of	successor	predecessor			
18	has_property_of		instance	qualifier	property	data	unit
19	boolean_operate		result_element	first_operand	boolean_operator	second_operand	

GIM/FNLは、あらゆる製品や技術・サービスなどのライフサイクルに亘る、情報や知識を蓄積・共有・活用・創出することを支援できるモデルで、従来のデータ構造やデータベースなどの考え方を革新する技術でもある。

GIM/FNLシステムは、GIMをベースに図面、表および数式などのさまざまな形式のデータや情報、知識を同一形式の知識の集まりである総合知として登録・管理し、さまざまな問題解決

要求に対し、ソリューションを提供するミドルウェアである(図8参照)。

情報や知識の共有化(標準化)が情報管理のプロセスをドマチックに簡素化することができ、多くのメリットを生むことになる。Web サービスやセマンティック Web の考え方は、既に現実のものとなっている。

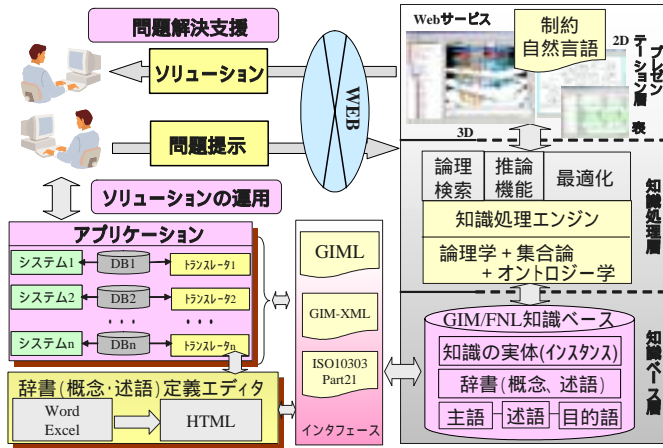


図8 GIM/FNL のシステム構成

JAXA では GIM/FNL システムをベースとした、知的な一元的情報システム ESE の開発を推進しており、将来的には知的創造のプロセスを支援することを狙いとしている。

知的創造のプロセスは、主観的で言語化・形態化困難な暗黙知と、言語または形態に結晶化できる客観的な形式知の融合作用であり、その循環プロセスを通じて、知的資産が質・量的に発展する過程である。共同化とは、暗黙知から新たに暗黙知を得るプロセスで、表出化とは、暗黙知から新たに形式知を得るプロセスで、結合化とは、形式知から新たに形式知を得るプロセスで、内面化とは、形式知から新たな暗黙知を得るプロセスである(図9参照)[野中1999]。

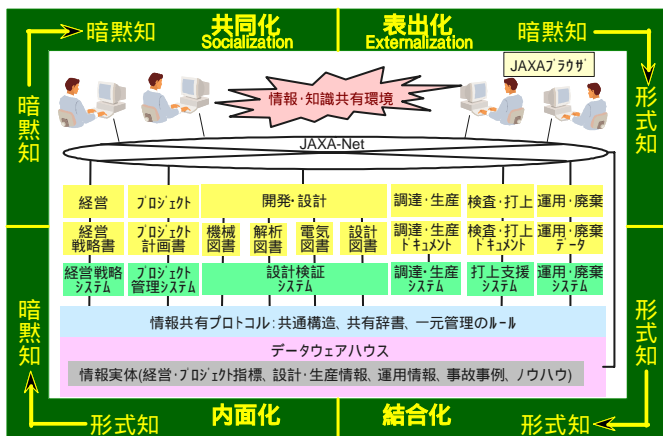


図9 知的創造プロセス(将来)

GIM/FNL は、述語を中心とする知識モデルであり、知識処理の理論である述語論理として取り扱うことができる。また、GIM/FNL は一つのオントロジーであり、知識としての意味を表現できる。論理学に「意味の理論」であるオントロジー[溝口1999]を加えることにより、様々な問題解決を試みることの可能性が広がる。今後は、GIM/FNL の応用としてこれを検討したい(図10参照)。

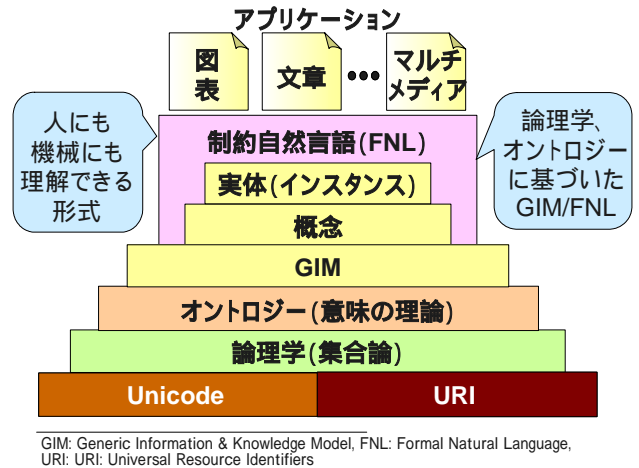


図10 GIM/FNL の位置付け

#### 4. まとめ

宇宙開発のライフサイクルに亘る業務支援システムでは、知識共通プロトコルで連携し、データウェアハウスにより、一元的に情報や知識を蓄積・管理し、これを Web で共有することが実現できる。これにより、新たな創造や創発を發揮できる環境を提供することが可能となる。

GIM/FNL は、情報や知識の表現方法(オブジェクトと関連(アソシエーション)からなるシンプルな構造)を共通にし、オブジェクトや関連(アソシエーション)の内容を辞書(情報や知識を共有するための用語辞書)として規定(標準化)することにより、情報や知識を表現するものである。この辞書を拡張・拡充することにより、情報や知識を体系的に「積み上げる」(オントロジー)[溝口1999]ことができる画期的な技術である。

GIM/FNL は、宇宙航空分野だけでなく、あらゆる分野の技術知識基盤の中核として適用できる。

以上のような環境が実現できるようになると、業務も大きく変わる。例えば、宇宙開発に係わる情報や知識を、だれでもが、いつでも、どこでも、個別なシステムを使わずに、Web 環境で検索・閲覧・活用できる。

また、情報や知識、各種指標の共有により、業務をシームレス(整流)化でき、業務の効率化や継続的な改善(Plan, Do, Check, Action のスパイラル・サイクル)が図れる。また、情報や知識の共有により、エンジニアリングの質や信頼性が大幅に向上する。さらに、調達先やユーザーとの情報連携も可能となる。

#### 参考文献

[太田2004] 太田,大庭: 制約自然言語の提案, The 18th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2004  
 [ISO10303-11] ISO 10303-11: Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual  
 [ISO10303-12] ISO 10303-12: Part 12: Implementation methods: Clear Text Encoding  
 [IDEF1X 1993] IDEF1X (ICAM Definition Language 1 Extended), FIPS PUB 184, NIST (1993)  
 [UML 1998] マーチン・ファウラー, ケンドール・スコット: UML モデリングのエッセンス (1998)  
 [野中1999] 野中, 紺野: 知識経営のすすめ, ちくま新書 (1999)  
 [溝口1999] 溝口: オントロジー研究の基礎と応用, 人工知能学会誌 Vol.14, No.6 (1999)