

リスク・マネジメントのための技術知識基盤の構築

- Development of the Technology Knowledge Infrastructure for the Risk Management -

技術知識基盤構築機構 好永 伸	太田 吉美 俊昭 勇治	Yoshimi OTA Member Toshiaki YOSHINAGA Member
東京工業大学 エー・アイ・イー オクトシステムズ 川中技術士事務所	芝尾 紘一 玉木 悠二 川中 勉	Yuji NAKA No Member Koichi SHIBAO No Member Yuji TAMAKI Member Tsutomu KAWANAKA Member

Today, many troubles such as big accidents, human errors, active concealment, etc. are occurring frequently, and have had a bad influence on the reliability and security of a human life. As a cause of these problems, lack of information and knowledge, lack of tactics to safety ensuring, lack of the strategy to safety, etc. are pointed out. To solve these problems as mentioned, the technology concerning risk management immediately needs to be systematized. As such a technical system, we have proposed the continuous improvement (PDCA cycle) of the business process by the Technology Knowledge Infrastructure (TECHNO-INFRA) which accumulates, shares and utilizes the knowledge covering an enterprise life cycle.

Especially, this paper reports application of the Technology Knowledge Infrastructure to the process plant maintenance field based on risk management.

Keywords : Technology Knowledge Infrastructure, Facility Management, Risk Base, Risk Management, Generic Information & Knowledge Model, PDCA.

1. 緒言

大事故や失敗、隠蔽問題などが多発しており、安全・安心に関する信頼が揺らいでいる。これらの問題の原因として、情報の欠如、戦術（安全行為）の欠如、戦略（安全認識）の欠如などが指摘されている。このような課題を解決するためには、リスク（危険）を総合的に管理し、合理的に低減するための経営手法である「リスク・マネジメント」（個々のリスクに対して、その発生

確率や被害の大きさからリスクを評価し、回避が必要なリスクには対策を施し、全体のリスクを軽減する）に関する技術の体系的な整備が急務である。

リスク・マネジメントでは、対象となる設備に関する情報の統合環境の整備が必要不可欠である。ここでいう設備に関する情報とは、設備を構成する詳細な要素まで分解したもので、要素に関する属性は勿論であるが、保全履歴や関連する法規情報、信頼性に関する情報、過去の事故事例なども含む設備のライフサイクルに亘る情報である。このように統合化された情報に基づき、設備を構成するすべての要素について、リスク評価を行い、リスクの指標である保全管理密度 (Concentration rate of maintenance considerations)^[16, 22]を決定する。この指標は、時間と共に変化するものであり、保全活動の中で逐次見直すことが必要である。この指標に基づき、保全活動を継続的に実施し、リ

◆連絡先：太田 吉美

〒310-0851 茨城県水戸市千波町613-9

技術知識基盤構築機構

tel: 029-244-0875 E-mail: yoshimi-ota@k3.dion.ne.jp

スク低減や設備の信頼性の向上を図る（PDCAサイクル）。勿論、リスクの指標である保全管理密度の決定では、客観的でかつ社会の規範に基づいていなければならぬことは言うまでもない。

筆者らは、このような技術体系として、製品や技術、サービスなどのライフサイクルに亘り、情報や知識を蓄積・共有・活用できる技術知識基盤（Technology Knowledge Infrastructure、略してTECHNO-INFRAと呼ぶ）^[5]を構築し、リスク・マネジメントも含めたビジネス・プロセスの継続的な改革（PDCAサイクル）を提案してきた^[6, 8, 10, 12-15, 18-21, 23, 24]。

本論文では、特に、プロセス・プラント分野のリスク・マネジメントのための技術知識基盤の構築について報告する。

本論に入る前に、技術知識基盤についての研究経過について触れておく。筆者らは、持続可能な社会発展には、複雑化・多領域化する技術知識について蓄積・共有・活用できる技術知識基盤が必要不可欠であると考えてきた^[5]。技術知識基盤の一つとして、STEP

（Standard for the Exchange of Product Model、ISO10303）に注目した。STEPは、プロダクト・モデルの国際標準で、「ものつくり」の技術知識基盤として利用できる知的資産であることを実証した^[24]。これまで開発を進めてきた関係各位の努力は尊敬に値する。しかしながら、先取りの標準と呼ばれるように、最先端の情報技術を利用する規格であるため、プロダクト・モデルの記述が非常に複雑で難解なものであり、また、応用分野間（例えば設備の設計や管理など）のインターフェラビリティ（相互運用性）がないなどの問題があり、規格利用者の理解が得られず、なかなか普及していない。筆者らは、これらのSTEPの問題点を解決し、技術知識基盤のベースとなる新たな情報記述モデルであるGPM（Generic Product Model）を提案し^[6, 8, 10, 12]、IMS（Intelligent Manufacturing Systems）プログラムなどを通じて、実証事業や国際標準化への努力を行ってきた^[13-15]。その後、GPMを改良し、知識も取り扱えるモデルGIM（Generic Information & Knowledge Model）へと発展させた^[18-21]。

一方、情報や知識を体系的に取り扱うことは、人工知能分野でオントロジーとして研究してきた。オントロジーとは、Gruber^[1]により「概念化の明示的な規約」と定義されているが、具体的には「ある分野の知識を計算機で処理できるように明示的、論理的に記述

し、その知識の共有と再利用を可能にする」^[25]ものであると言える。オントロジーについての研究では、いろいろな表現方法が提案されてきたが、それぞれドメインに基づいたもので、汎用的なものはほとんどなかった。GIMは、汎用的な表現モデルであり、ドメイン毎のオントロジーを用意する構造になっている。

また、最近では、インターネットの利便性を大幅に向上させるセマンティックWeb^[7]の提案が行われ、オントロジーが注目されており、RDF（Resources Description Framework）^[11]やOWL（Web Ontology - Accumulate Language）^[17]などのメタデータやオントロジーを記述する標準化が行われている。セマンティックWebについては、Webのリソースに誰が、オントロジーを付与するかの大きな問題がある。GIM（GPMの時代も含めて）は、RDFやOWLよりも早い段階から開発に着手しており、一つの纏まったドメインであるSTEPをオントロジー化した点では優位にある。また、RDFは基本的に二項関係で、関連（述語）もプロパティ（属性）として取り扱っているのに対して、GIMは多項関係の記述が基本で、関連（述語）とプロパティを明確に区別している。さらに、OWLではオントロジー空間とインスタンス空間の区分が不明確であるのに対して、GIMは明確に区分しており、理解が得られやすいなどの特徴を有する。

以上、オントロジーに関する研究の流れを述べてきたが、セマンティックWebにはいろいろな問題はあるものの、今後さらに発展し、利用環境も整備されると考えられ、セマンティックWebとGIMとの連携を検討することも必要である。

2. 技術知識基盤とは

あらゆる産業分野で、業務の効率化や製品の安全性・信頼性向上などのため、コンピュータを利用した業務支援が広範囲に行なわれている。

しかしながら、従来は都合がよく、効果の大きいところから情報システムの開発や導入を推進してきた。この結果、情報システムが孤島になってしまった（Fig. 1参照）。筆者らは、情報の孤立や情報連携のミスが大事故や失敗の原因であると考えている。大事故や失敗を防ぐ一つの方法として、あらゆる（網羅した）情報や知識を統合し、これを活用できる環境の構築が必要不可欠である。

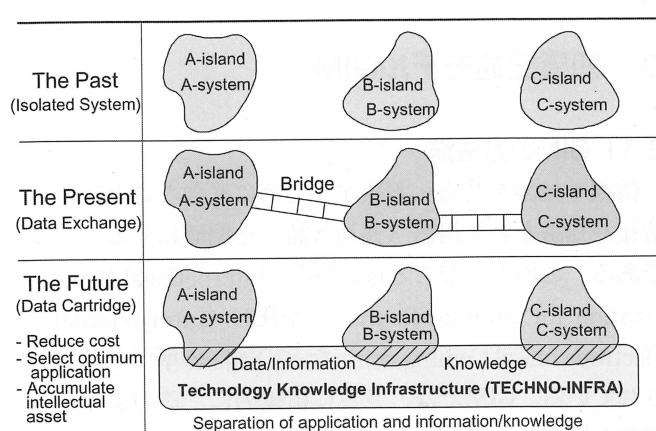


Fig. 1 Strategy of TECHNO-INFRA.

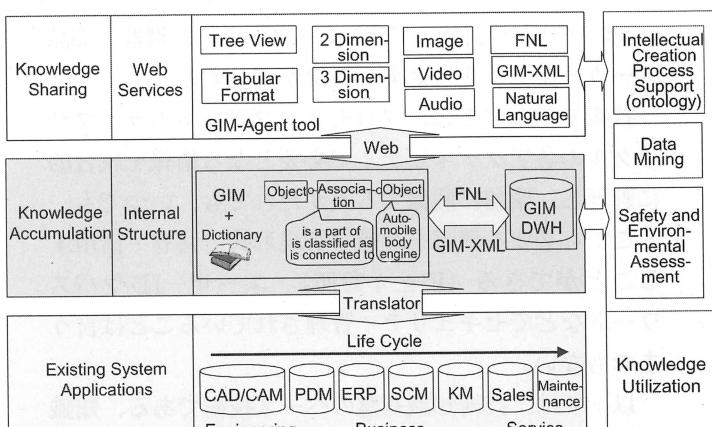


Fig. 2 Architecture of TECHNO-INFRA.

これからは、まず、情報システムの機能と情報を分離する。次に、分離した情報を統合化し、共有化する環境を構築する。さらに、これをグローバル標準にしてしまう。すなわち、情報のオーナーとしての立場を明確にする。製品や技術、サービスなどのライフサイクルに亘り、情報や知識をコンピュータのハードやソフトメーカーに依存することなく、蓄積・活用できる技術知識基盤を構築する。

こうすることにより、コンピュータのハードメーカー やソフトメーカーは、技術知識基盤と連携せざるを得なくなる。さらに、このような基盤が整備されると、新規参入が起こりやすくなる。この結果、安くて、性能のよい最適なシステムを選択できることになる。

また、このことはITの急劇な進展による陳腐化などにも対応できることを示している。自らのコア・コンピタンスとなるような知的資産を、情報システムに依存しない形式で、長期にわたり管理できるようになる。

このような戦略は、最近話題となっているEA (Enterprise Architecture)^[27]やSOA (Service Oriented Architecture)^[26]などの流れにも共通るものである。

このような技術知識基盤を構築するためには、製品や技術・サービスなどについての理論的な体系化及び知識の蓄積・共有・活用の機構化が必要不可欠である。

また、技術知識基盤のベースとなる情報や知識を記述するモデル及びその実装手段（データウェアハウス技術、エージェント技術）を開発することが必要となる。

筆者らは、技術知識基盤のベース技術である、知識記述モデルGIMやGIMに基づいたデータウェアハウス技術を開発してきた。また、技術知識基盤として、既

存システム・アプリケーション群、情報や知識の蓄積層（知識記述モデル、データウェアハウス技術）、情報や知識の共有・活用層（Webサービス、エージェント技術）、技術知識基盤適用環境（オントロジー技術、データ・マイニング技術、安全評価技術、環境への影響評価技術）からなる4階層の基本アーキテクチャーを確立してきた（Fig. 2参照）。

技術知識基盤をプロセス・プラント分野に適用した場合の戦略をFig. 3に示す。技術知識基盤を中心として、プロセス設計から基本設計、詳細設計、調達・建設、運転・保全、廃棄に至るまでのプロセス・プラントのライフサイクルに亘る主要なアクティビティ間で情報や知識の共有が行われる。これらのアクティビティを担う組織体として、許認可官庁、プラント・オーナー、工

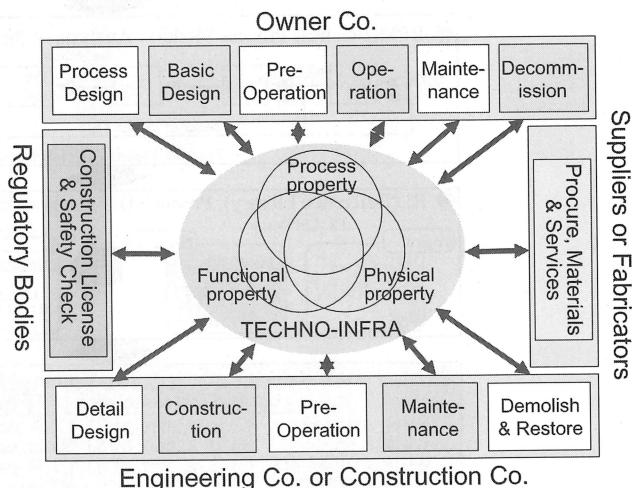


Fig. 3 Strategy of TECHNO-INFRA in a plant field.

ンジニアリング会社、プラント・メーカー、機器・部品メーカーなど多くの企業・機関が関与する。

技術知識基盤では、プロセス・プラントのライフサイクルの各アクティビティで必要となる情報を統合的に管理し、業務に関係する人がだれでも、いつでも、どこでも必要な情報を最適な表現形式で共有・活用することができる (Fig. 4 参照)。ユーザーIDやパスワードなどでセキュリティ管理されていることは言うまでもない。

以下では、技術知識基盤のベース技術である、知識記述モデルGIMや技術知識基盤のプロセス・プラント設備管理分野への適用について説明する。

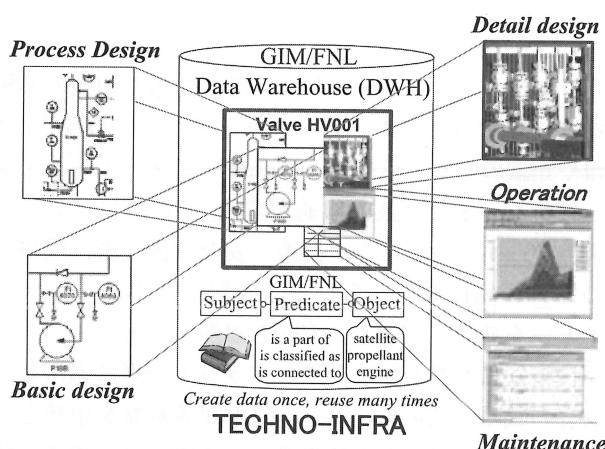


Fig.4 Sharing of Information or Knowledge.

3. 知識記述モデルGIM

3-1) GIMの方法論

情報や知識を共有・蓄積するために必要なことは、情報や知識を表す用語（共通言語）を明確にすることである。このようなことは、ISO (International Organization for Standardization) やIEC (International Electrotechnical Commission) などの国際標準でも認識されている。GIMでは、さらに積極的に、このような用語を汎用的に規定することを提案している。

GIMでは、対象となる製品のライフサイクル全般に亘り、ワークフローを分析し（各作業の入力情報や出力情報を抽出）、情報モデルを構築し、情報や知識の共有に必要な用語（用語の持つ概念的意味）や用語間の分類、継承関連、実体（インスタンス）間の構成や接続、属性所有などの関連（これも用語）を規定する。このため、GIMでは次の四段階の開発方法を採用している (Fig. 5 参照)。

(1) 知識記述モデルGIM

GIM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）を抽出したので、この基本要素を組み

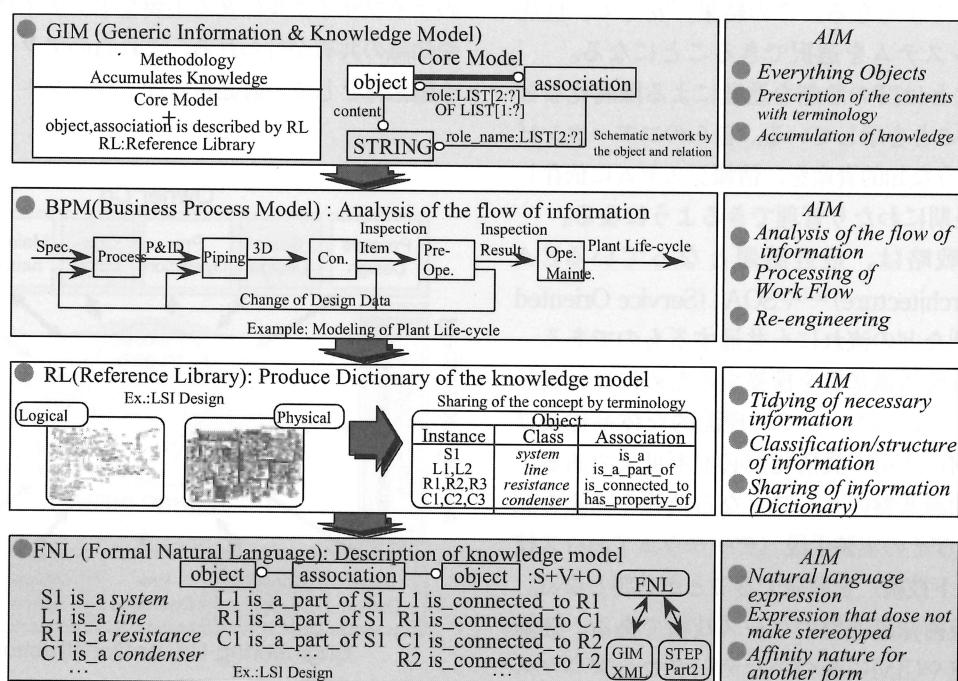


Fig.5 Methodology of GIM.

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 (Fig. 6 参照)。また、GIMは述語 (動詞)を中心とした、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。

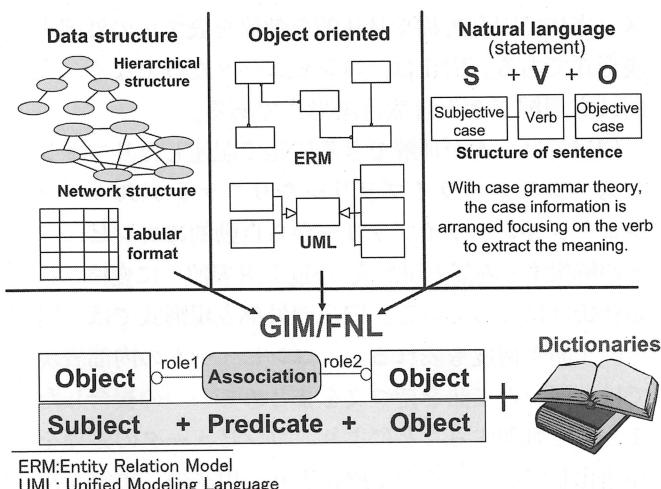


Fig.6 Principles of GIM.

GIM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り、情報や知識を蓄積・共有・活用・創出することを支援する知識モデルで、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。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、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 (role) があり、その役割の内容についても明示的に記述する (Fig. 6 参照)。

オブジェクトとアソシエーションの中身は、後で述べる辞書 (リファレンス・ライブラリー) で規定する。すなわち、アプリケーション分野ごとのリファレンス・ライブラリーを用意することになる。アソシエーションでは、知識モデルの主要な概念である分類や継承、構成などの用語を規定する。

(2) ビジネス・プロセスの分析

対象となる分野の業務内容や共有する情報や知識に

ついて、関係者の間で共通の概念、理解を持つことが必要である。このため、GIMでは、ビジネス・プロセスの分析を行う。ビジネス・プロセスの分析では、対象とする分野のアクティビティの分析を行い、各アクティビティと情報の流れを表現し、アクティビティへの入力情報と出力情報を明確にする。

GIMでは、ビジネス・プロセスの各アクティビティも一つのオブジェクトとして規定する。すなわち、各アクティビティもリファレンス・ライブラリーとして規定する。これにより、各アクティビティ単位の情報や知識をまとめて表現することができる。

(3) 辞書 (リファレンス・ライブラリー) の整備

このステップでは、ビジネス・プロセスで分析した各アクティビティでの入出力情報をまとめ、対象とする分野での情報や知識についての知識モデルを作成し、これをリファレンス・ライブラリーとしてまとめる。

リファレンス・ライブラリーは、さらに概念やモノを規定するリファレンス・クラス・ライブラリー、アソシエーションを規定するリファレンス・アソシエーション・ライブラリー、JISなどの標準部品を記述するエンジニアリング・スタンダード・ライブラリーに分類する。

リファレンス・ライブラリーは、人間が理解できる電子ドキュメント (テキスト・ファイル) として自然言語形式で記述する。

リファレンス・クラス・ライブラリーでは、記述対象となるオブジェクトの構成要素やその分類要素についての用語 (クラス) や、そのプロパティ (形状、材質、物理単位など) を定義する (Fig. 7 参照)。

分類や継承、構成、属性所有などの関係は、アソシエーションとして記述する。

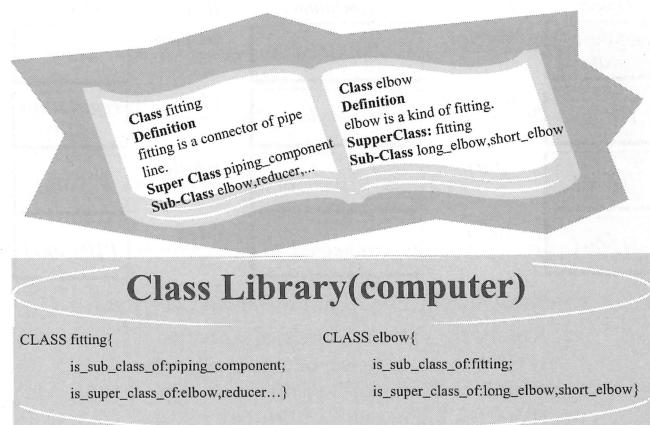


Fig.7 Reference Class Library.

リファレンス・アソシエーション・ライブラリーでは、アソシエーション用語とその用語の定義（意味）を記述し、また、このアソシエーションとオブジェクトの関連を表す役割（ROLE）、さらに、このアソシエーション用語とROLEとの関係を文脈（RULE）として記述する。また、このアソシエーション用語と同義語（ALIAS）を表すアソシエーション用語や、逆の関連（REVERSE）を表すアソシエーション用語も記述する（Fig. 8 参照）。

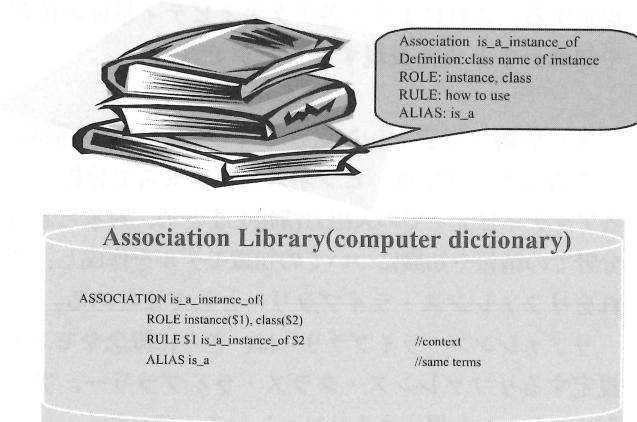


Fig.8 Reference Association Library.

(4) 制約自然言語FNL (Formal Natural Language)

先にも述べたように、GIMには自然言語の構文も記述できる特徴がある。GIMを自然言語の構文で記述するのが制約自然言語FNLである。Fig. 9 で、主語、述語、目的語の順につなげると一つの文章（Regulating valve is classified as valve.）となる。文章や文書を組合せることにより、知識を記述することができる。

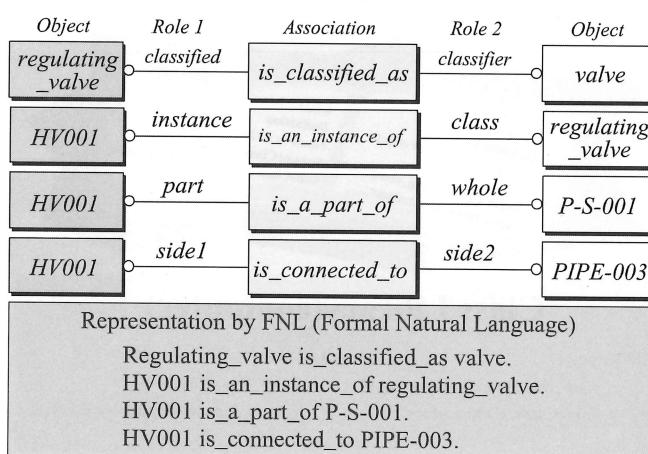


Fig.9 Example of GIM and FNL.

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リファレンス・ライブラリーで制限する。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。

FNLは、リファレンス・ライブラリーやインスタンス（実体で固有名称や具体的な数値を表す）の外部表現形式である。FNLは、コンピュータだけでなく、人間にも理解できる自然言語形式である。

GIMでは、人が理解できるFNLで記述したリファレンス・クラス・ライブラリーやリファレンス・アソシエーション・ライブラリーから自動的にコンピュータが解釈する内部表現形式（Fig. 7, 8 参照）に変換される仕掛けになっている。FNLの外部表現形式では、同一の主語が何度も表れるが、コンピュータの内部表現では、同一の主語を持つ文をまとめて一つの複合した文として処理することにより、コンピュータの処理を高速化している。この変換により、用語の二重定義や用語間の階層的（分類や構成など）矛盾やループになるようなケースをパーサーでチェックする。階層関係やループなどのチェックでは用語間の関係をグラフ展開し、矛盾する部分やループになる部分を抽出する。

実体（インスタンス）は、各種情報システムのトランシスレータを介して、コンピュータの内部表現として出力または、入力される。コンピュータの内部表現は外部表現形式であるFNLに変換して、ユーザーに提示する。外部表現形式としては、FNL以外にも、図形などの情報は、2次元や3次元の形状として表示することもできる。インスタンスに対してもパーサーにより、アソシエーションの使い方（文法）や階層的矛盾、ループになるようなケースをチェックする。

3-2) GIMの特徴

GIMは、情報や知識を共有するための知識記述モデルである。GIMは、情報や知識の表現方法（オブジェクトとアソシエーションからなるシンプルな構造）を共通にし、オブジェクトやアソシエーションの内容をライブラリー（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。このライブラリーを拡張・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）^[9]ことができる画期的な技術である。

GIMは、オブジェクトとアソシエーションから成る

意味ネットワークモデルであり、人間の頭脳のように、ニューロン（オブジェクト）とニューロンをシナプス（アソシエーション）で結合する単純なモデルと類似している。このことはニューロンやシナプスを増やすことで、将来の発展や拡張に対応できる可能性を秘めた、成長モデルと見ることもできる。

GIMは、リファレンス・ライブラリーを替えることにより、他の産業分野でも利用できる。他の分野に適用するには、その分野固有の辞書を追加することになる。この辞書を豊富にすることにより、知的資産の相互運用性が可能となる。

4. プロセス・プラントへの適用

技術知識基盤の基本アーキテクチャーに基づき、GIMやFNL、GIM-XML (eXtensible Markup Language)、GIMデータウェアハウス技術などを、リスク・マネジメントを基本とするプロセス・プラントの設備管理分野に適用した。

プロセス設計システムや基本設計システム、詳細設計システム、保全システムなどのデータベースの内容とGIMの辞書（リファレンス・ライブラリー）を参照し、マッピングテーブル（対応関係を記述する表）を作成する。この場合、データベースにある内容がGIMの辞書にない場合は、GIMの辞書に新しい用語として追加する。できあがったマッピングテーブルに基づき、各データベースとデータウェアハウスとのGIM-

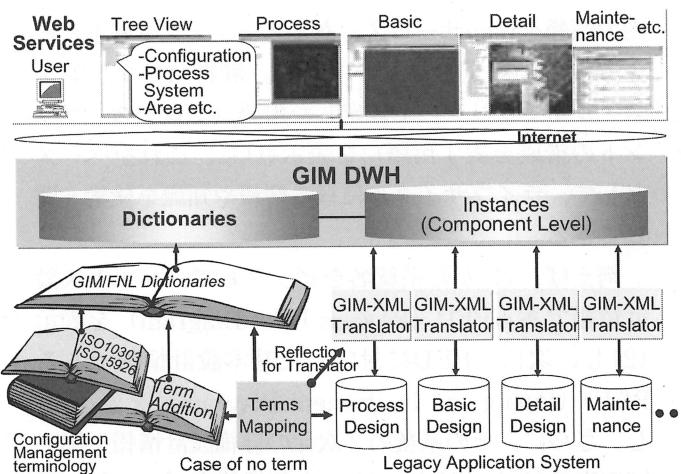


Fig.10 Implementation Method of GIM.

XMLトランスレータを開発した。GIM-XMLトランスレータにより、各種設計情報を既存のシステムからGIMデータウェアハウスに登録し、GIMによる表現に統一し蓄積した（Fig.10参照）。

データウェアハウス内のGIMで統一された内容は、いろいろな視点から論理検索でき、2次元表示機能や3次元表示機能、自然言語的表示機能などにより閲覧できる。図形表示された内容は、Web上で、コンポーネント単位で指示（ピック）ができ、関連する情報を検索・閲覧、加工することができ、Web上での応用範囲が飛躍的に拡大する。

Fig.11はデータウェアハウス内に蓄積した各種設計情報を、インターネットを介してデータウェアハウス

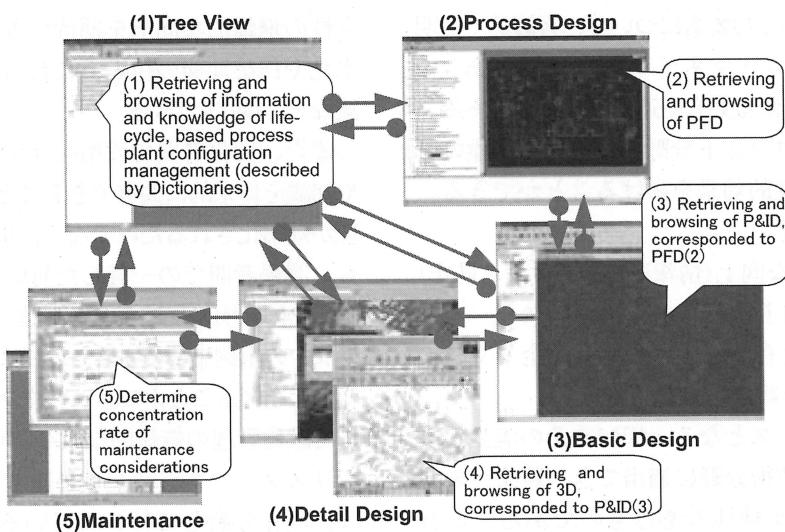


Fig.11 Sharing of maintenance knowledge in actual plant.

内の情報をWebサービスであるエージェント基本ツールで検索・閲覧したものである。辞書（リファレンス・ライブラリー）で規定した用語（プロセス・プラントの構成を表す用語）を表示（1）し、これをベースとして、ライフサイクルに亘る情報や知識を検索・閲覧できる。

例えば、（1）から系統名をピックして、プロセス設計情報であるPFD（Process Flow Diagram）を表示（2）し、次に、PFDに対応した基本設計情報であるP&ID（Piping and Instrument Diagram）を表示（3）し、さらに、その系統の3次元の詳細設計情報や施工図を表示（4）し、また、（4）のある機器をピックして、その機器に関するリスク指標である保全管理密度を決定することやその仕様情報を確認すること（5）が容易にできる。

以上、説明した以外にも図形に対する基本機能や機器間の接続関係、保守点検時に必要となる系統隔離、バルブ開閉時の流体可視化、関連法規の対応機器の色分け表示、保全管理密度の色分け表示、減肉監視状況の把握などの機能がある。

プロセス設計システムや基本設計システム、詳細設計システム、保全システムなどのプロセス・プラントのライフサイクルに亘り、すべての要素についての情報や知識を網羅的に統合化できることを確認した。

これにより、プロセス・プラント設備管理の情報や知識を一元的に蓄積、共有・活用できる環境下で、保全活動を継続的に実施し、リスク低減や設備の信頼性の向上を図ることができる（PDCAサイクル）。

設備を構成するすべての要素について、客観的で透明な尺度で一元的なリスク・マネジメントが可能であり、社内は勿論、社外との情報共有や連携にも有効である。

また、プロセス・プラント分野の技術知識基盤の構築により、以下の定性的効果を挙げることができる。

- (a) リスクの低減
- (b) 信頼性の大幅な向上（情報連携の抜けミス防止）
- (c) 業務の効率向上（業務のシームレス化）
- (d) 情報や知識共有環境（オープンな企業文化）
- (e) 技術の伝承や新たな創発

技術知識基盤のベースとなる、GIMやその実装手段は、あらゆる産業や技術分野に適用でき、将来への変更や拡張が容易で、柔軟性のあるものである。これは、一般の製品や技術・サービスなどのライフサイク

ル支援システムが抱える多くの問題を解決できることを意味している。

技術知識基盤のプロセス・プラント設備管理への展開では、既存のオントロジーとして、ISO10303（STEP: Standard for the Exchange of Product Model Data）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のリファレンス・ライブラリーとして展開している。現状では、形状や物理単位などの共通化できる用語を中心に約4,000語の整備が進んでいる。

GIM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」^[9]であるオントロジー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の応用としてこれを検討したい。また、セマンティックWebとの連携も検討したい。

5. 結言

リスク・マネジメントを基本とする設備管理のための技術知識基盤として、設備のライフサイクルに亘る情報や知識を体系的に蓄積・共有・活用する技術フレームワークを実現した。これにより、業務をシームレスにつなげることが可能となり、情報の重複入力やミス、業務間で情報の欠落などを防ぐことができる。また、設備の網羅的な管理が可能となり、信頼性・安全性の飛躍的な向上を期待できる。さらに、作業の効率化や作業期間の短縮、これらを通じた大幅なコスト削減などが期待できる。

また、関係者間で設備のライフサイクルに亘る情報や知識を体系的に共有できることにより、日常の設備管理が効率化されるだけでなく、事故・トラブルに際しても、関係者間での一貫した対応やその迅速化、水平展開、原因究明の促進などにも役立つ。さらに、故障やトラブルの事例を蓄積することにより、各種管理指標の精度向上を図ることができ、リスク・マネジメントに基づいた設備管理の継続的な改革が可能となる。

リスク・マネジメントを基本とした設備管理の導入は、現在分断して行われている設計や運転、保全などの関連業務に共通の価値観を与え、部分最適化の域を

出ない現在の効率化を全体的な最適化に導くと共に、専門家も含め、専門家でない市民や関係者にも理解できる形で設備の運用実態を提示する透明性のある方法としても期待できる。

謝辞

「技術知識基盤」に関する技術開発は、IMS (Intelligent Manufacturing Systems、経済産業省が実施している国際共同研究開発プログラム) の「仮想企業体ネットワーク (VIPNET: Virtual production Enterprise Network)」(2000~2004年度) プロジェクトを推進したものであり、この間、多くの方々のご協力、ご支援がありました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Thomas Gruber.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications, Knowledge Acquisition, 5(2) : 199-220 (1993).
- [2] 太田吉美: Development of General Plant Application Protocol, CALS PACIFIC '95 (1995).
- [3] 太田吉美、好永俊昭、河村幸二ほか: プラント CALS/STEP 実証事業の研究計画、CALS Japan '96 (1996).
- [4] 太田吉美、好永俊昭、河村幸二ほか: 空間構成モデルの実証実験、CALS Expo International '97 (1997).
- [5] 仲勇治: 技術情報基盤構築へ向けて、化学工学会、Vol.62, No.4(1998).
- [6] 太田吉美、好永俊昭、河村幸二ほか: プラント統合データウェアハウスの構築、CALS/EC Japan '98 (1998).
- [7] Tim Berners-Lee: Semantic Web Road Map, 1998, <<http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>>.
- [8] Yoshimi Ota, Toshiaki Yoshinaga: Establishment Plant Data Warehouse, The 7th International Conference on Nuclear Engineering (1999).
- [9] 溝口理一郎: 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).
- [10] 太田吉美、好永俊昭、芝尾紘一ほか: GPM(Generic Product Model)の開発、CALS/EC Japan '99(1999).
- [11] Ora Lassila, other : Resources Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification (1999), <<http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222>> .
- [12] 太田吉美、好永俊昭: IT による情報・知識の共有と蓄積、日本機械学会誌、Vol.103, No.977 (2000).
- [13] (財) 製造科学技術センターIMS センター、仮想企業体ネットワークに関する研究成果報告書(2001).
- [14] 好永俊昭、太田吉美、仲勇治ほか: 仮想企業体ネットワーク、平成13年度IMS 研究成果報告会論文集(2001).
- [15] 太田吉美、好永俊昭、仲勇治ほか: 技術情報基盤のための情報・知識記述モデル、平成13年度IMS 研究成果報告会論文集(2001).
- [16] 玉木悠二: 設備運用のトータル最適化、オートメーション、Vol.47, No.51 (2002), ~Vol.48, No.2 (2003).
- [17] Deborah L. McGuinness, others: OWL Web Ontology Language Overview (2004), <<http://www.w3.org/TR/owl-features/>> .
- [18] 太田吉美、大庭英雄: 制約自然言語の提案、The 18th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2004 (2004).
- [19] Ota, Yoshimi ; Ohba, Hideo: Generic Information Knowledge Model and Formal Natural Language, ISAS2004/CITSA2004 (2004).
- [20] 太田吉美、大庭英雄: 新たな価値を創発するための技術知識基盤の構築 -汎用知識モデル(GIM)と制約自然言語(FNL) -、総合知学会誌 (2005).
- [21] 太田吉美、大庭英雄: 制約自然言語の実装方式、The 19th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (2005).
- [22] 玉木悠二: リスクベースの設備管理 -最適化保全-、日本保全学会第2回学術講演会論文集 (2005).
- [23] 太田吉美、好永俊昭、仲勇治ほか: リスクベースの設備管理 -技術知識基盤の構築-、日本保全学会第2回学術講演会論文集 (2005).
- [24] 川中勉、太田吉美、玉木悠二: リスクベースの設備管理 -技術知識基盤ツールの適用-、日本保全学会第2回学術講演会論文集 (2005).
- [25] 神崎正英: セマンティック・ウェブのための RDF/OWL 入門、森北出版 (2005).
- [26] 日本BEA システムズ株式会社: SOA-サービス指向アーキテクチャ、翔泳社 (2005).
- [27] NTT ソフトウェア: エンタープライズ・アーキテクチャの基本と仕組み、秀和システム (2005).

(平成17年7月20日)