

図面の知識化と安全・保全

Knowledge Acquisition from Flowsheet for Safety & Maintenance

(株)イー・アイ・イー研究社 芝尾 紘一 Koichi SHIBAO Member

This paper presents the knowledge acquisition from flowsheets etc. & integration of knowledge for safety & maintenance of plants through using the generic information model, GIM. In order to solve the problems to secure safety through maintenance of plants, it is effective and efficient to fully utilize the implicit knowledge involved in technical documents such as design drawings, specification sheets, industrial standards, mathematical models, as well as rules. This paper is intended to discuss how to convert tacit knowledge involved in such documents and to formulate integrated knowledge base. The integration of the generated knowledge, the lifecycle of process plants is successfully supported to find potentially hazardous facilities, etc.

Keywords: Knowledge Acquisition, Knowledge Processing, knowledge Base, Knowledge Integration

1. 目的及び背景

産業や科学が発展した今日、多領域に跨る、それも図面など多様な形態をした知識を統合して問題解決にあたる必要が生じている。特に、グローバル化が進み国境なき市場競争が一般化した今、設備の安全を確保と同時にコスト・ダウンを図ることが要求される。このためには大規模・分散情報源から有用な情報を的確に特定・収集し、多様な情報源から有益な知識を効率的に獲得すると同時に、情報の変化を素早く的確に知識へ反映させる技術が重要である。

例えば、化学や発電プラントの安全確保や機能維持のためには、配管管理のように業務の一部であっても、流体力学、熱力学、化学工学、材質、機械、腐食、磨耗、熱応力、配管、制御、建築、鉄構造物など広い領域に跨る大量の専門的情報や知識が関連する。

これらの問題解決に必要な情報や知識は、様々な情報源に多様な形態で散在しており、これらから有用な知識を効率的に獲得しなければならない。

例えば、設備に関する技術情報や知識は、フローシート等の設計図面や機器スペックなどの社内文書に含まれている。また、それをより効果的に運用して役立たせる情報・知識は、JIS、ANSI等の国内・国際的な工業標準および企業内の設計標準、製図標準などの標準類に含まれている場合がある。これらの技術文書には、テキスト文書で記述されたルールとしての所謂知識のほかに、図面に含まれている設計者の意図、表形式で表されている許容圧力など、制約に関する知識などがある。

問題解決のために必要な知識は、人間が手で入力した程度の量のルールだけでは不十分であり、図面や表に含まれる知識の方が量的には圧倒的に多い。その他、

ベルヌーイの定理や設計計算式のように数式で表された知識もある。また、このような手順で造ればこのような製品が出来るといったレシピ、あるいは手続き型の知識も存在する。

このような様々な文書等の媒体に含まれる多様な形態をした知識をそれぞれ明示化し、人間にもコンピュータにも利用できる形式知として共有し、再利用する必要がある。

今日まで図や表は設計者の意図など高度の知識を含んでいるにも拘わらず、それを理解出来るのは人間だけであり、コンピュータ・システムで直接利用されることはなかった。

従って、実際の問題解決には様々な領域の知識を利用しなければならないにも拘わらず、個別の知識を実装した複数のシステムを、それぞれ動かし検討するしかなかった。

この問題を解決するために、まずはルール、関係、データ、手続きの統一的な共通表現である汎用情報モデル(GIM: Generic Information Model)を開発している。

図面、表等に含まれる知識は、これらを人間が理解するときに使う知識を分析し、自動的に形式知に変換して利用できるようにした。そして、データ、図、表、数式、手続きを共通の形式知へ変換し、蓄積することで統合知識ベースを構築した。

GIMは人間に必要な機能を全て表現することができる。そのため、動詞を中心としたGIMの知識表現は、機能と呼び出すための形式である。知識表現に対応する機能を準備することにより、統合知識ベースは単に知識表現を蓄積するだけでなく、機能や技術を蓄えた機能ベースや技術ベースとして働く。

連絡先：芝尾紘一、〒1020074 東京都千代田区
九段南 3-7-7 九段南グリーンビル 10F、
(株)イー・アイ・イー研究社、電話 03-5212-3151
e-mail:shibao@aie-res.co.jp

2. 知識統合のためのモデル

2.1 汎用情報モデルGIM

統合的な知識処理を行うためには、ルール、データ、図、表、数式、手続きに含まれている知識を処理できる必要がある。多様な形態の知識を統合するためにそれらを共通形式の形式知に変換する必要があるため、そのためのモデルを開発している。

動詞を中心とする意味の表現という共通項で考えれば、形態が異なっても、意味の交換を可能にすることができる。このため、汎用情報モデル GIM (Generic Information Model) を開発した。

図面、表、データ等の多様な媒体と、テキスト、(データ) 数式、手続き等様々な形態をした情報に含まれる意味を抽出する必要がある。

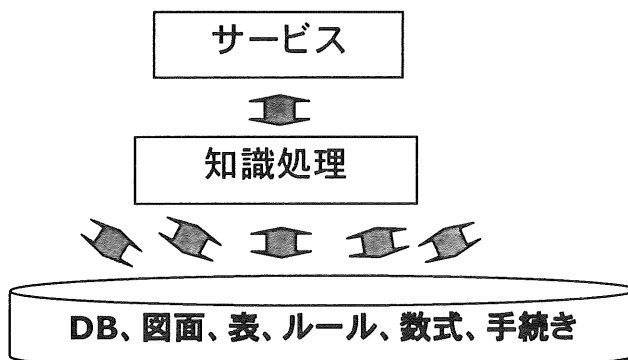


Fig.1 統合知識処理

知識も数学モデルもモデル化できる汎用情報モデルであれば、質的なパフォーマンス、つまり、量的な振る舞いを推論や計算で返すことができる。このように、モデルを開発して直ちに質問に対する回答を得るためには、知識自体が機能表現したものではない。従って、GIM は機能の呼出し表現が知識の要素のモデルであると考えている。

GIM は動詞を中心とするモデルであり、ISO 10303 TC/184/WG4 の STEP(Standard for the exchange of product model data)でプラント関連の日本側の標準案として作成された GPM(Generic Product Model)を知識も表現出来るように拡張したものである。

GPM はデータモデルではあるが、動詞に代る関連(association)を用いて、オブジェクト間の関係を階層や構成だけでなく接続など他の関係も一般的に表現でき

る。更に GIM は演繹的知識であるルール、数式(関数モジュール)に加え、手続き的知識も関連として登録することができる。従って、構築されたモデルの実行に際して計算論で定性的、定量的な性能質問に回答できる。モデル上での問題解決、即ち、GIM で記述したモデルが実行されたときには、GIM は振る舞いを計算して返すことができる。

3. 図面の知識化

3.1 知識化とは

大量の図面・表などの多様な形態の情報から、含まれている知識を取り出して形式知化するために、意味化と知識獲得の2段階で行う。意味化とは、図面や表など人間が作成した図書類に記述されている表現を先ず、正確に明示化する。ついで、その図書に含まれている設計者の意図など人の知識を、その分野の専門家の使用している背景と成る知識を使って獲得する。これはつまり、図面等の形態の文書に含まれる知識を、どのようにして人間が読み取っているかを行動分析によって分析し、明示化して抽出することである。知識獲得とも言われる。そして、その抽出した知識をプログラム化して図面や表に含まれている暗黙知をコンピュータでも利用できる述語形式など明示知に変換することである。

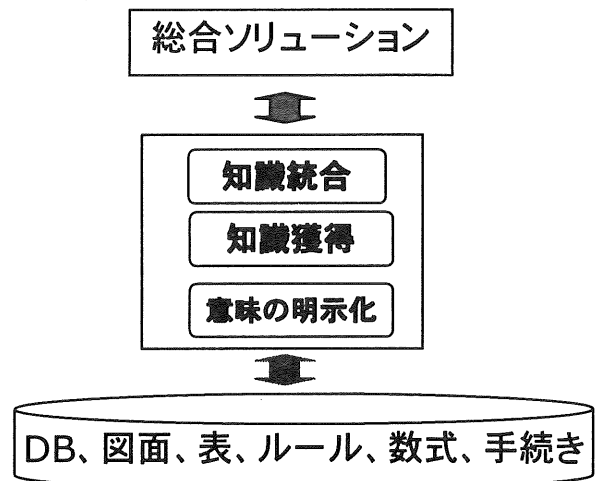


Fig.2 知識化と応用のステップ

図面や表から知識を抽出するとき、知識 CAD など作図システムに知識生成プログラムを組み込んで直接、知識化する方法がある。

他は一般の作図 CAD で作成された図面等の理解システムに上記知識を組み込んで、一般図面の CAD デー

タを知識化する方法である。企業が持つ知識の源として多くあるのは実際の業務の過程で利用した図面や表などである。これらは、例えば作図 CAD や表ソフトで記述されたレガシーデータである。ここでは、量的に多いレガシー・データからの知識生成について述べる。

3.1 意味化(意味の明示化)

図面などの原資料は、一般に人間が人間とのコミュニケーションで作成された場合が多く、従って、特別に明示的に知識を獲得してコンピュータで利用するなどを考えて作成されたものではない。

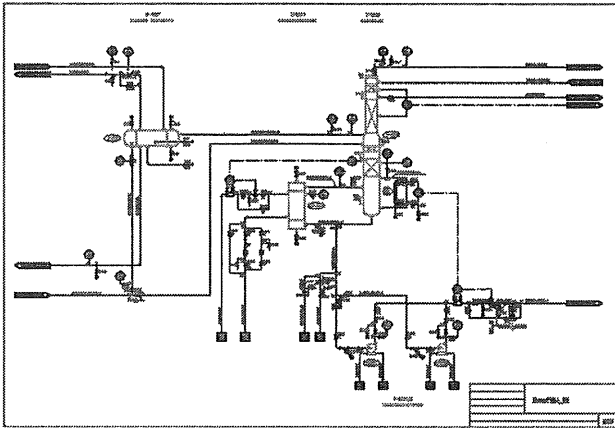


Fig.3 フローシート図

このため、直接的に知識を獲得することはコンピュータを用いて行うことは難しい。このため、先ず、表現をコンピュータにも人間にも理解できる形式である意味表現に変換する。これは、作図された対象などが、オブジェクトであればその分類を示す。又、オブジェクトとオブジェクトの関係を記述する意味構造、又は意味モデルを作成する。正確な表現であればよい。例えば、AutoCAD など作図 CAD で作成された電子図面データを、直線、円弧、点、文字などの図形要素とその図形要素の間の接続関係などの関係を正確に表現した意味モデルを作成する。

例えば、プラントではゲート・バルブは Fig.4 の左図のように表現される。



Fig.4 バルブ・シンボル

バルブの意味モデルは、右図のように線、点およびそれらの関係を正確に表現する。電子データ的にはそれは点と線分の組み合わせで意味モデルを XML で表現する場合が多い。

3.2 知識化(知識の獲得)

行動分析で明示化された、熟達者の図面等を理解する知識をプログラム化することで、大量の図面や表などを自動的に知識化する。

学習・訓練プログラムの開発の場合と同様に、図面理解の要素的な能力が何に基づくかを分析する。そして要素の間の構造を分析し、それらの能力をシステム構築に盛り込むことで、熟達者と同じような判断、図面等の理解ができるように、知識への自動変換プログラムを設計する。

プロセス・プラントの分野の運転者や保全マン、設計者等は、Fig.4 の左図はバルブを表したものと理解することが出来る。しかし、他分野の関係者には、別のものを意味しているかも知れない。このように、シンボルの意味は分野によって異なる。レジェンドとしてシンボルと意味の対応を定義・登録する。

3.3 フローシート図面の知識化例

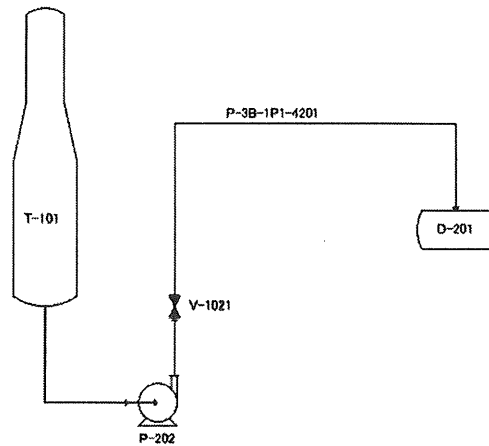


Fig.5 フローシート図面の知識化

Fig.5 のようなモデルでは図形要素とそれらの間の関係を正確に表現した意味モデルを作成する。意味モデルは XML で表現する。

プラント関連の技術者がフローシートを見るときに使っている背景知識であるレジェンドや、機器や配管部品の中に引かれた線の意味(配管)を知識ベースで

ール化しておく。そして知識ベース側でハイブリッド推論エンジンを使って、図面に含まれている有用な知識を背景知識のルールを使って自動的に抽出し、Fig. 6表に示すような1階述語論理形式(FOL)の知識表現に変換する。

```

34 is_a('gate_valve_B', 'gate_valve', 'V-1021').!
35 status('gate_valve_B', 'valve', 'close').!
36 annotation('gate_valve_B', '!').!
37 port('gate_valve_B', '1', 'UNDEF').!
38 port('gate_valve_B', '2', 'UNDEF').!
39 status('process_line(main)_4', 'edge', 'end').!
40 is_a('process_line(main)_4', 'process_line(main)').!
41 connection('process_line(main)_4', 'tower_2', '4', 'pump (centrifugal)_3', '2').!
42 status('process_line(main)_5', 'edge', 'end').!
43 is_a('process_line(main)_5', 'process_line(main)').!
44 connection('process_line(main)_5', 'pump (centrifugal)_3', '1', 'gate_valve_B').!
45 status('process_line(main)_9', 'edge', 'end').!
46 is_a('process_line(main)_9', 'process_line(main)', 'P-38-IP1-4201').!
47 connection('process_line(main)_9', 'gate_valve_B', '1', 'drum_1', '2').!
48 [EOF]

```

Fig.6 フローシート図面の知識表現

Fig.7 は、図面の知識化であるフローシートに含まれる知識の抽出過程の表示画面である。

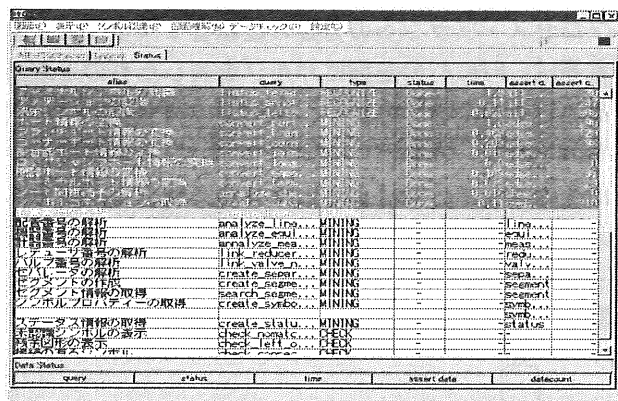


Fig.7 図面の知識化のプロセス表示画面

図面の知識化は作図 CAD をカスタマイズした知識化 CAD でフローシートを作画して、知識化に必要なデータを直接 XML 形式で生成するやりかたもある。

4. 知識の統合化

図面に含まれている設計者の意図など有用な知識を抽出できたとしても、それは安全や保全に必要な解を迅速に求めるためには不足する。図面はこれ等の解を求めるための一部の情報、知識を提供するに過ぎない。

このために必要な機器仕様などの設計段階に得られた設備に関する知識や、保全業務で蓄積された保全履歴、検査記録などがある。

それに、設計標準、保全標準、安全基準などの企業内の標準類や、更に JIS、ISO など工業標準に含まれて

いる知識がある。

これらは表で表されたものが多い。それで、表で記述された知識は、明示的な知識に変換して知識ベースに蓄積する。

標準に含まれる知識の中で、ルールや計算式で表されるものは、論理検索ルールや計算モジュールとして利用できるように、知識ベースに登録しておく。

これ等を統合して統合知識ベースを構築する。

4.1 表の知識化

Fig.8 のような、機器スペックシートの表に含まれる事実や知識を、知識形式 (FOL) に変換する。変換された知識形式を Fig. 9 に示す。

1	equipment	htex
2	segment name	tube side
3	identification	item_no
4		E-523
5		item_name
6		xylene column condenser
7	location	fractionation section
8	pid_no	205
9	code	

Fig.8 機器スペックシート (部分)

```

property('E-523', 'tube_side', 'equipment', 'htex').
property('E-523', 'tube_side', 'segment_name', 'tube_sic').
property('E-523', 'tube_side', 'item_no', 'E-523').
property('E-523', 'tube_side', 'item_name', 'xylene colu').
property('E-523', 'tube_side', 'location', 'fractionation :').
property('E-523', 'tube_side', 'pid_no', '205').
property('E-523', 'tube_side', 'applied_code', 'none').

```

Fig.9 機器スペックシート (部分) の知識表現

設計や安全、保全などに関する標準には表で記述されたものも多い。Fig. 10 は配管設計標準の一つである配管材料選定基準の一部である。配管材料の種類、配管サイズと配管クラスが決まると、材質、製法、管端、肉厚など詳細仕様が決まる。

Plant CLASS	AIE_P1 (A41A)	ENGINEERING SPECIFICATION FOR PIPING MATERIALS CLASS			
JOB NO	REV	NON-CORR. PROCESS			
流体名	使用限界	呼称径 (D) 範			
品目	呼称径 (D) 範	本体	製法	管端	肉厚
管	1/2~1	STPG270-S-H		PE	SCH80
	1.1/2~1.4	STPG270-S-H		PEまたは	SCH40
	1.8~8.8	SB410-A		BE	ALC. (MIN.)
継手	1/2~1	S25C		SW	SCH80
	1.1/2~1.4	STPG270-SMLS		PEまたは	SCH40
	1.8~8.8	SB410-W		BE	(4)
ティー	1/2~1	S25C		SW	SCH80
	1.1/2~1.4	STPG270-SMLS		PEまたは	SCH40
	1.8~8.8	SB410-W		BE	(4)
レジャー	1/2~1	S25C		SW	SCH80
	1.1/2~1.4	STPG270-SMLS		PEまたは	SCH40
	1.8~8.8	SB410-W		BE	(4)
カップリ	1/2~1	S25C		SW	SCH80

Fig.10 配管材料選定基準

Fig.10 の配管材料選定基準を述語形式の知識 (FOL)

に変換したものの一部を Fig. 11 に示す。

```

XXXXXXXXXX
% Start Row Dates of GIM Table: aie_pl:
int(aie_pl,designed),[管,管,1/2~1],[材質,本体],STPG370-S-H',
int(aie_pl,designed),[管,管,1/2~1],[管端,],PE',
int(aie_pl,designed),[管,管,1/2~1],[肉厚,],SCH80',
int(aie_pl,designed),[管,管,1/2~14],[材質,本体],STPG370-S-H',
int(aie_pl,designed),[管,管,1/2~14],[管端,],(1)PEまたはBE',
int(aie_pl,designed),[管,管,1/2~14],[肉厚,],SCH40',
int(aie_pl,designed),[管,管,16~88],[材質,本体],SB410-A',
int(aie_pl,designed),[管,管,16~88],[管端,],BE',
int(aie_pl,designed),[管,管,16~88],[肉厚,],CALC.(MIN.)',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,1/2~1],[材質,本体],S26C',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,1/2~1],[管端,],SW',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,1/2~1],[肉厚,],SCH80',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,1/2~14],[材質,本体],STPG370-SMLS',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,1/2~14],[管端,],(1)PEまたはBE',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,1/2~14],[肉厚,],SCH40',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,16~88],[材質,本体],SB410-W',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,16~88],[管端,],BE',
int(aie_pl,designed),[継手,エルボ,16~88],[肉厚,],(4)',
int(aie_pl,designed),[継手,ティ-,1/2~1],[材質,本体],S26C',
int(aie_pl,designed),[継手,ティ-,1/2~1],[管端,],SW',
int(aie_pl,designed),[継手,ティ-,1/2~1],[肉厚,],SCH80',
int(aie_pl,designed),[継手,ティ-,1/2~14],[材質,本体],STPG370-SMLS',
int(aie_pl,designed),[継手,ティ-,1/2~14],[管端,],(1)PEまたはBE',
int(aie_pl,designed),[継手,ティ-,1/2~14],[肉厚,],SCH40',
int(aie_pl,designed),[継手,ティ-,16~48],[材質,本体],SB410-V',
int(aie_pl,designed),[継手,ティ-,16~48],[管端,],BE'

```

Fig. 11 知識化された配管材料選定基準の一部

4.2 計算式とルールの登録

高速に計算する必要がある計算は、計算モジュールを手続き型言語で作成し、その呼出し形式を形式知として登録する。

Fig.12 は配管サイズ、ストリームデータから流量、パイプの J I S 工業標準から内径を探し、流速の計算式から流速を求めている論理検索式の例を示している。

```

line_velocity(A,D,F,V):-
  line_no(A,line_id,B),
  line_no(A,line_size,E),
  stream_property(C,line_id,B),
  stream_property(C,flow_rate_v,D),
  jis_pipe_size(E,sch_5s,pipe_id,F),
  flow_velocity(flow_rate_v, pipe_id,V).

```

Fig.12 検索ルールと計算式

5. 知識の統合処理環境

5.1 ハイブリッド推論エンジン

統合知識環境は定性的・定量的双方についての問い合わせに対する解答を提供することを目的としている。従って、このプラットフォームは性能や振る舞いを予測するために、手続き的処理や計算、シミュレーションを行い、公理や証明だけでなく、活きた知識や機能を蓄積し、提供する。又、図面、表の知識化などの機能も支援する必要がある。

このため、知識処理層には論理型言語 (Prolog) と手続き型言語 (JAVA) を使用するハイブリッド推論エ

ンジンを実装した。その結果、論理型言語から登録された手続き、計算を呼び出して知識処理の一貫として実行することもできる。又、逆に、一般の手続き型プログラムの一部として、演繹推論機能呼び出して知識処理を行うこともできる。この論理と手続きの双方向の処理が自由に出来るハイブリッド推論エンジンの開発により、論理、手続きの2つのパラダイムの言語の利点を活かした利用が可能になった。そのため効率よく迅速(agile)に、図面や CAD と組み合わせた知識処理システムの構築が可能になった。

従って、処理の内容によって適した言語を利用できるので、目的にあった大規模な本格的な応用システムの開発や、段階的な高性能化などが可能である。

5.2 統合知識処理プラットフォーム A2KI

国境を越えたグローバルな経済が一般化しつつある今日、安全とコストダウンはトレードオフで安全を高めようとするコストアップになるのは当然だと言う過去の考えでは企業の存続すら危なくなっている。従って、安全とコストダウンの両立を図るような総合的な最適解の実現が必要である。

このような問題に対処するためには企業にある様々な情報を全て有効に活用すると同時に、社外の情報も入手し迅速に利用できる必要がある。このような目的で(株)イー・アイ・イー研究社は、GIM を用いた統合知識処理環境として Fig.13 に示すような A2KI(active Application Knowledge Integration)を開発している。

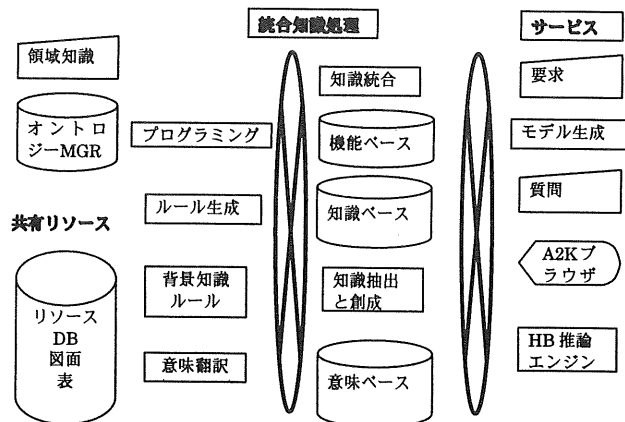


Fig.13 統合知識処理環境 A2KI

A2KI は、実際の業務で使用されている図面、DB、表、など様々な図書類から必要な知識を抽出 (知識化)

し蓄積する。又、数値計算モジュールや推論ルールを登録しておき、蓄積された情報・知識と組み合わせて、企業に必要な総合的な視点から全体最適な問題解決を図るのを基本的な目的としている。

A2KIはネットワークを介して企業内、企業外のシステムと結合できるので、自律分散的なシステムを構築してデータベース、LPなどの大規模計算、シミュレータなどの外部のサービスを利用することができる。

総合的な情報管理システム、業務システムのプラットフォームとして利用できる。それと共に、既にある様々な情報管理や業務のシステムを知識源とし、これらの業務システムを補完する高度統合知識処理機能として利用することができる。

(株)イー・アイ・イー研究社では、全ての図面の知識化や環境シミュレータなどの大規模なアプリケーションをA2KIを用いて開発している。

6. 情報・知識の統合化の応用例

設備保全で安全とコストダウンを両立など企業のニーズに応えるには、企業の入手しえる情報をフルに活用して効率よく迅速に正確に設備の劣化状態を予測することができる。

Fig.14 に示す蒸留塔へのフィード・ラインの制御弁を定期 SD 時に開放点検すると、弁下流部にエロージョンによる損傷が発見された。原因を追究すると同時に、原因と同じような条件を持つ潜在的な危険箇所を水平展開で見出し、対策を講じたいという想定でテストを行っている。

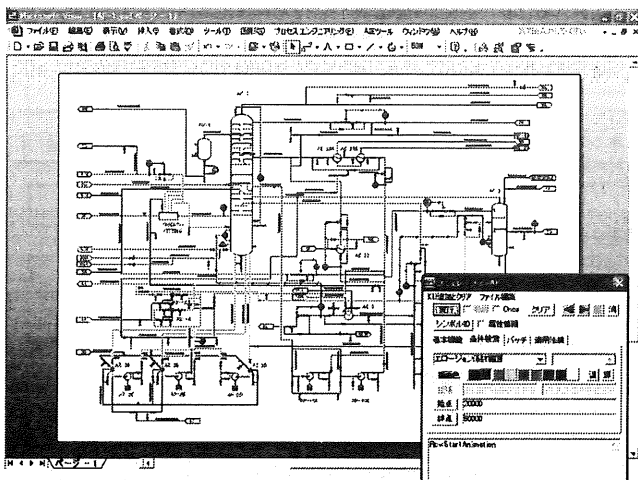


Fig.14 類似災害防止のための危険設備の論理検索

このため、配管計装図を知識化し、これとプロセス設

計で作成した物質・熱収支表、及び設計標準である配管材料選定基準、JIS等の工業標準、及びエロージョンなど配管劣化に関する専門家の知見を組み合わせ、配管劣化で危険性の可能性のある危険箇所を論理検索した。このため本システムを用いてインタラクティブに画面を操作しながら行った。

- ・該当する制御弁下流配管の流体速度とエロージョン過酷度を計算、6.4m/s、31,000 で通常 2-3m/s、過酷度は 10,000 以下では問題ないので、流速が過大であることによるエロージョンが原因と判明した。

- ・流速が 5m/s 以上の危険箇所を知識ベースの上で論理検索すると、塔底ポンプの出口配管が該当することがフローシート上に赤く色分けして表示され判明した。

- ・エロージョン過酷度が 25,000 以上の部分とも一致する。

- ・配管減肉の経年変化を保全記録からモデル化し、配管肉厚の変化による許容圧力の経年変化を予想し、危険箇所及び安全箇所をフローシート上に色分け表示できた。

同じような考え方でアイソメ図を知識化した配管劣化管理システムも開発している[1]

7. 結語

知識ベースにフローシートや設備仕様シートなど設備関連の図書類を知識形式に変換を行い、要求する検索などの多様なサービスを知識処理で実現するようにした。このため、知識も表現できる汎用情報モデル (Generic Information Model)を開発し、これを用いて知識型言語と手続き型言語の両方が処理できるハイブリッド推論エンジンを開発した。

これ等を用いて、統合知識処理環境(A2KI:Active Application Knowledge Integration)を構築し、図面や表の知識化、類似災害防止のための危険設備の論理検索、配管劣化管理システムの開発等に利用している。[1]

謝辞

ご指導頂いた東京工業大学仲勇治教授及び資料を提供頂いた丸善石油化学井内 謙輔技術開発部長に感謝致します。

参考文献

[1] 芝尾紘一, “安全、安心とコスト・ダウンを両立させる保全”, 保全学第予稿集, 保全学, 2006, 2004, .