

原子力関連施設の安全性向上を目的 としたライフサイクル情報の活用

- 原子力関連施設の安全情報を活用した
安全管理統合化システムの構築 -

(先行基礎工学研究に関する共同研究報告書)

2005 年 8 月

岡山大学
核燃料サイクル開発機構

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319 - 1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184

Japan

© 岡山大学（Okayama University）

核燃料サイクル開発機構（Japan Nuclear Cycle Development Institute）

2005

原子力関連施設の安全性向上を目的としたライフサイクル情報の活用
- 原子力関連施設の安全情報を活用した安全管理統合化システムの構築 -
(先行基礎工学研究に関する共同研究報告書)

鈴木 和彦、石田 倫彦*

要 旨

原子力関連設備の安全性を向上させるために、プラントライフサイクル（プラント設計、建設、運転・設備保全）を通じ、統合的安全管理が必要である。安全業務を遂行するためには膨大なデータ、情報、知識を活用するデータベースの構築が必要不可欠である。原子力関連施設では、危険評価情報、異常事象情報、ニアミス情報、保全履歴等多くの情報、知識がデータとして蓄積されているが、それらを有効に活用するためのモデル構築には至っていない。本研究では、このような統合的安全管理体制の実現に向けて、安全技術情報、知識を体系化するとともに、安全情報を統合した安全情報管理システムを構築した。

安全管理システムを構築するために、ここでは、オントロジー技術を導入し事象のコード化を行った。オントロジーは、事象の概念の体系化に貢献するだけでなく、シソーラスや包括関係をコンピュータに理解させることができる。原子力関連設備の運転において、運転員の役割はきわめて重要であるが、HAZOP 情報と保全履歴情報を統合し、運転員支援へ応用した。本システムにより、設備異常の根原因を異種情報源から推定し、運転員に教示することが可能となった。

岡山大学

* 核燃料サイクル開発機構 東海事業所 再処理センター 技術部 技術開発課

Application of Life-Cycle Information for Advancement in Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities

Application of Safety Information to Advanced Safety Management Support System

(Document on Collaborative Study: the JNC Cooperative Research Scheme on the Nuclear Fuel Cycle)

Kazuhiko SUZUKI, Michihiko ISHIDA*

Abstract

Risk management is major concern to nuclear energy reprocessing plants to improve plant and process reliability and ensure their safety. This is because we are required to predict potential risks before any accident or disaster occurs. The advancement of safety design and safety systems technologies showed large amount of useful safety-related knowledge that can be of great importance to plant operation to reduce operation risks and ensure safety. This research proposes safety knowledge modeling framework on the basis of ontology technologies to systematically construct plant knowledge model, which includes plant structure, operation, and the associated behaviors. In such plant knowledge model safety related information is defined and linked to the different elements of plant knowledge model. Ontology editor is employed to define the basic concepts and their inter-relations, which are used to capture and construct plant safety knowledge. In order to provide detailed safety knowledgebase, HAZOP results are analyzed and structured so that safety-related knowledge are identified and structured within the plant knowledgebase. The target safety knowledgebase includes: failures, deviations, causes, consequences, and fault propagation as mapped to plant knowledge. The proposed ontology-based safety framework is applied on case study nuclear plant to structure failures, causes, consequences, and fault propagation, which are used to support plant operation.

OKAYAMA University

* Technology Development Section, Technology Co-ordination Division,
Tokai Reprocessing Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute

目次

1. はじめに	1
2. 安全管理と危険評価情報	2
2.1 安全管理システム概要	2
2.2 安全情報の統合	3
3. HAZOP システムとデータベース化	6
3.1 システム構成	6
3.2 データベース	8
4. 設計支援システム	11
4.1 システム構成	11
4.2 危険性解析と代替案生成	13
4.3 危険性解析支援システムによる解析例	14
5. 安全管理システムとプラントオントロジー	19
5.1 オントロジーとは	19
5.2 プラントオントロジーの構築	20
5.3 プラントオントロジーの記述	23
5.4 プラントオントロジーの利用	23
5.5 プラントオントロジーを用いた検索	25
5.5.1 事象単位の検索	25
5.5.2 事象の程度の曖昧性を考慮した事象の検索	25
5.5.3 設備の構造を考慮した事象の検索	26
6. 安全情報管理システム	28
6.1 安全情報管理システムの概要	28
6.2 安全情報データベース	29
6.3 データ入力システム	30
6.4 データ検索システム	34
6.5 安全情報管理システムの実行例	38
6.5.1 データ入力システムの実行例	38
6.5.2 データ検索システムの実行例	39
7. おわりに	45
参考文献	46

図目次

図 2.1 安全管理支援システムの構成	2
図 2.2 安全情報の異常の進展予測への活用	4
図 2.3 安全情報の異常の根原因の推測への活用	4
図 2.4 安全情報の機器故障による異常診断への活用	5
図 2.5 安全情報の対策の探索への活用	5
図 3.1 HAZOP 解析システム	6
図 3.2 「ずれ」の選択画面	7
図 3.3 解析の流れ	7
図 3.4 リレーショナルデータベース	8
図 3.5 HAZOP 情報テーブル	9
図 3.6 リレーションシップの概要	9
図 3.7 クエリの実行例	10
図 4.1 システム構成	11
図 4.2 表示手順	12
図 4.3 危険性解析結果データベース	13
図 4.4 危険性解析結果データベースの構造	14
図 4.5 表示形式	14
図 4.6 変更対象	15
図 4.7 変更入力	15
図 4.8 解析結果出力	16
図 5.1 オントロジーの例	19
図 5.2 プラント構造に関わるオントロジー	21
図 5.3 物質に関わるオントロジー	21
図 5.4 事象に関するオントロジー	22
図 5.5 事象の程度に関するオントロジー	23
図 5.6 OWL によるプラントオントロジーの記述例	24
図 5.7 検索コードの書式	24
図 5.8 『蒸発缶における硝酸分解反応なし』及び 『硝酸とホルマリンの未反応』のオントロジー	25
図 5.9 『蒸発缶における硝酸分解反応なし』及び 『硝酸とホルマリンの未反応』の検索コード	25
図 5.10 事象の程度の曖昧性を考慮した事象の検索	26
図 5.11 設備の構造を考慮した事象の検索	27
図 6.1 安全情報管理システムの構成	28

図 6.2 異常時運転要領書データベースのデータ構造	29
図 6.3 HAZOP 結果データベースのデータ構造	29
図 6.4 保全履歴データベースのデータ構造	30
図 6.5 語彙の統一の処理の流れ	31
図 6.6 HAZOP 結果用データ入力画面	31
図 6.7 JTP における「工程」のインスタンスを取得するためのクエリ	32
図 6.8 JTP における「工程を構成する設備」の値を取得するためのクエリ	32
図 6.9 検索コード生成の流れ	33
図 6.10 JTP における「流入」のプロパティを取得するためクエリ	33
図 6.11 JTP における「移行元の設備」の制約対象のクラスを取得するためのクエリ	33
図 6.12 検索コードの入力画面	34
図 6.13 データベースに対する検索	34
図 6.14 HAZOP 結果の検索画面	35
図 6.15 HAZOP 結果の検索結果出力画面	35
図 6.16 検索コードを拡張した検索	36
図 6.17 「エアリフト A207」のクラスを取得するクエリ	36
図 6.18 「エアリフト」のインスタンスを取得するクエリ	37
図 6.19 HAZOP 結果の入力例	39
図 6.20 事象と検索コードの入力例	39
図 6.21 異常時運転要領書の検索画面	40
図 6.22 異常時運転要領書の閲覧画面	41
図 6.23 検索コードの取得	42
図 6.24 HAZOP 結果の閲覧	43

表目次

表 4.1 a 対比表(変更箇所に異常を生じた場合)	17
表 4.1 b HAZOP 形式の表示	17
表 4.2 変更前の原因, 影響	18
表 4.2 変更後の原因, 影響	18

1. はじめに

原子力関連設備の安全性を向上・確保するために、プラントライフサイクル（プラント設計、建設、運転・設備保全）を通じて、統合的に安全解析・安全管理を支援するシステムの開発が必要とされている。一方、原子力関連施設では、これまでの安全業務において、危険評価情報、異常事象情報、保全履歴等多くの情報、知識がデータとして蓄積されている。これら安全技術情報、知識を体系化するとともに、安全情報を統合した安全情報管理システムを開発するための研究を実施し、システムを構築したので報告する。

高度に安全化・自動化されたプラントを設計・運用するために、多重防御層(IPL; Independent Protection Layer)により安全対策を実施する方法が議論されている¹⁾。これら安全系を論理的に設計することにより、プロセスの安全を確保するものである。本研究では、安全技術情報と安全業務を論理的に関連づけ、安全管理を支援するシステムを開発した。さらに、万一何らかの異常が発生した場合に、運転員が次に行うべき最適な操作を指示することを目的とした操作支援システムを開発した。これにより、万一プラントで異常が発生した場合、オペレータは短時間で莫大な情報の中から必要なものを選定し、異常原因の究明や最善の対策の選択・実施することを要求される場合が想定される。このような状況に対して、安全評価情報、保全履歴データ、運転マニュアルなどの膨大な安全技術情報の中から必要とする情報を効率良く活用するための安全管理支援システムを開発した。安全管理システムを構築するために、ここでは、オントロジー技術を導入し事象のコード化を行った。オントロジーは、事象の概念の体系化に貢献するだけでなく、シソーラスや包括関係をコンピュータに理解させることができる。原子力関連設備の運転において、運転員の役割はきわめて重要であるが、HAZOP 情報と保全履歴情報を統合し、運転員支援へ応用した。本システムにより、設備異常の根原因を異種情報源から推定し、運転員に教示することが可能となった。

2. 安全管理と危険評価情報

2.1 安全管理システム概要

ここでは、図 2.1 に示す安全管理システムを構築した。オペレータは、設備の運転をする際に、過去の経験、トラブルデータ、保全履歴データ、運転マニュアルを基に総合判断を行う場合がある。しかし、トラブルデータ、保全履歴データ、運転マニュアルの多くは紙ベースの情報として保存されているため、異常時対応を含め安全管理に対してこれら安全情報は有効に活用されていない。安全管理システムは、危険解析データ、運転手順書、保全情報など複数のデータを統合するとともに、これまでに開発した HAZOP 解析システムに対して、出力結果を DB する機能を付加した。これにより、トラブルデータ、保全履歴データ、運転マニュアルに加え熟練オペレータ達の集約した知識と言える HAZOP 結果を、短時間でオペレータに提供できる安全管理支援システムの構築が可能となる。なお、HAZOP システムと DB については次節以降に述べる。

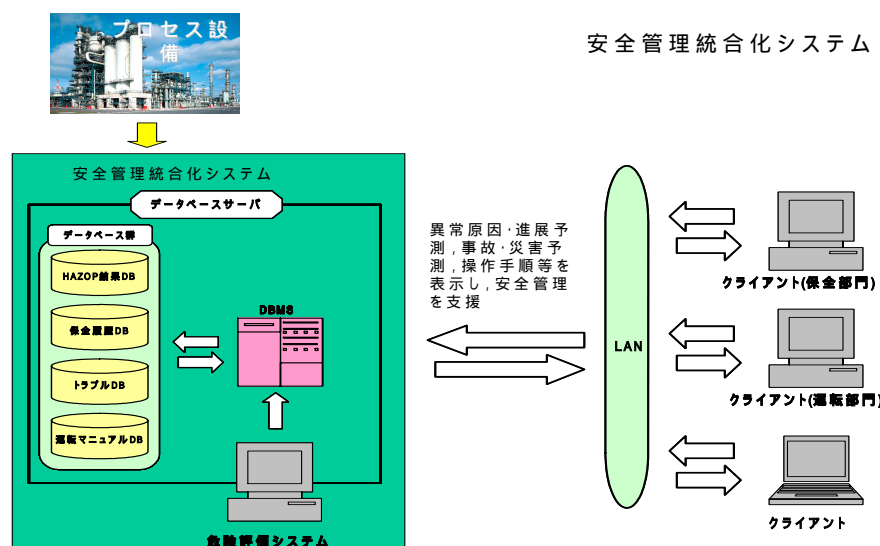


図 2.1 安全管理支援システムの構成

以下に安全管理支援システムの構成要素について示す。

(1) 危険解析システム

設備の危険性を明らかにするために、HAZOP 解析システムを構築した。このシステムでは、HAZOP を自動的に解析するとともに、その結果をデータベース化する機能を有している。

(2) データベース群

データベース群は、HAZOP 結果データベース、トラブルデータベース、保全履歴データベース、運転マニュアルデータベースから構成される。以下に各データベースの概要を示す。

・ HAZOP 結果データベース

HAZOP 結果を格納する。HAZOP 結果は熟練オペレータの経験、知識を集約した情報と言

え，HAZOP 結果をデータベースに格納することにより，各個人の経験だけでなく過去の解析事例を活用することが可能となる。異常の検知，影響の予測，異常診断の際に活用する。

- ・事象進展データベース

設備での異常進展に関する情報を格納する。

- ・保全履歴データベース

プラント構成要素の交換・点検周期，交換・点検履歴等を格納する。機械的故障に対する異常診断や，最善の対策の選択の際に活用する。

- ・運転マニュアルデータベース

通常運転時，異常時の運転マニュアルを格納する。最善の対策の選択や停止後の状況判断を行う際に活用する。

(3) データ入力支援システム

紙ベースの情報をデータベース化する際の入力作業の負担を軽減すること，統一した書式に従ったデータの入力，検索のための識別コードの入力を目的としたシステムである。

(4) データマネジメントシステム

オペレータの要求に対して，データベース群から必要なデータを検索，提供するシステムである。情報の入出力の流れを以下に示す。

オペレータは，プラントで発生し，計装機器により検知された「ずれ」に関する情報を入力データとし，データマネジメントシステムに入力する。

データマネジメントシステムは，入力データを基に HAZOP 結果データベース内を検索し，原因，影響の候補，異常伝播情報，有力な原因の候補の獲得，ならびにインターフェースへの出力を行う。

同様に，データマネジメントシステムは，入力データを基に運転マニュアルデータベース内を検索し，状況に応じた対策に関する情報の獲得，インターフェースへの出力を行う。

で求められた原因や影響と関連のあるトラブルデータや保全履歴データを検索し，関連したデータがあればインターフェースへ出力する。

2.2 安全情報の統合

安全情報は，単一の情報では含まれる内容が量的にも，質的にも限られる。安全情報には，各情報間で，共通部分と相違部分が存在する。そのため，各情報の共通部分を横断検索し，相違部分を参照する，つまり統合することにより，新たな知見を得ることが可能となる。安全情報は統合して利用することにより，社員教育や異常時の運転員の判断支援，危険予知訓練に活用することが可能であると考えられる。本研究では，特に異常時の運転員の判断支援への活用について，詳細に検討した。以下で，その情報の活用方法の流れについて説明する。

(1) 異常の進展予測

異常が発生すると運転員は，異常時運転要領書を参照することで，異常の原因を知り，対策を施す。しかし，異常時運転要領書には，異常の進展に関する記述がない。そこで，図 2.2

に示すように，異常の進展を予測するために，異常時運転要領書の「異常の内容」と同一の内容を示す事象を，HAZOP 結果の「原因」，トラブルデータの「事故の原因」からそれぞれ検索する。そして，HAZOP 結果の「影響」，トラブルデータの「結果／影響」を参照することで，異常の進展の予測のための，判断材料とすることができる。

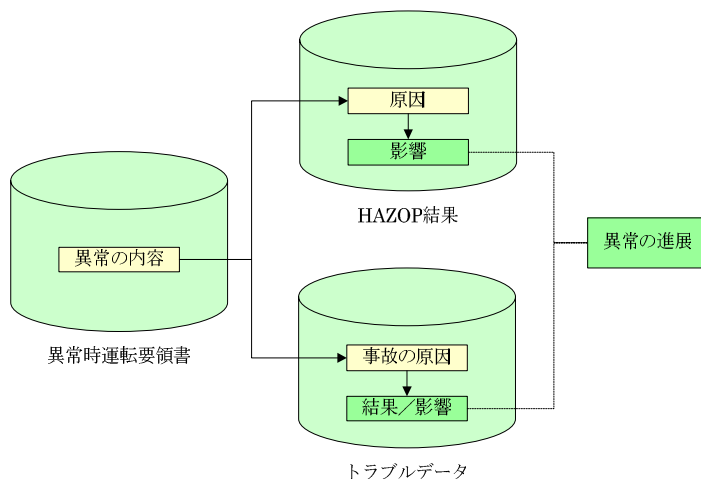


図 2.2 安全情報の異常の進展予測への活用

(2) 異常の根原因の推測

異常時運転要領書には，発生した異常の原因が記載されている。その原因のさらなる原因，つまり異常の根原因を推測するために，図 2.3 に示すように，異常時運転要領書の「原因」と同一の内容を示す事象を，HAZOP 結果の「影響」，トラブルデータの「結果／影響」からそれぞれ検索する。そして，HAZOP 結果の「原因」，トラブルデータの「事故の原因」を参照することで，異常の根原因の推測のための，判断材料とすることができる。

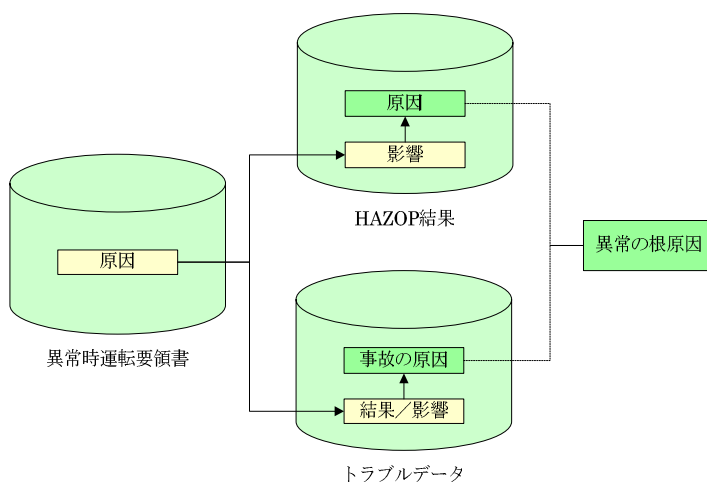


図 2.3 安全情報の異常の根原因の推測への活用

(3) 機器故障による異常の診断

プラントは大小様々な機器から構成されており，機器故障が原因で異常が発生することも少なくない。異常が発生した機器の交換・点検時期及び履歴を参照するために，図 2.4 に示すように，異常時運転要領書の「異常内容」及び「原因」で異常を示している機器の「機番」と同一の機器を，保全履歴の「機番」から検索する。当該機器の保全状況を確認することで，機器故障による異常診断のための，判断材料とすることができる。

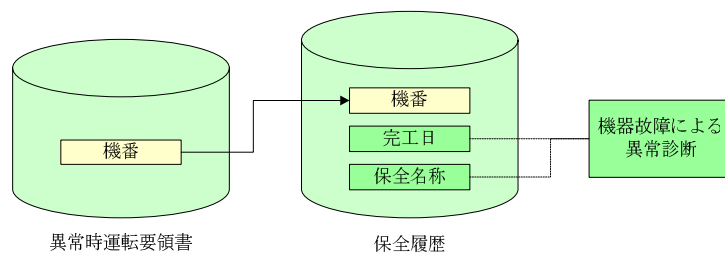


図 2.4 安全情報の機器故障による異常診断への活用

(4) 対策の探索

異常発生時，運転員は異常時運転要領書を参照して対応措置を施すが，異常時運転要領書に記載されていない異常が発生した場合には，対応措置を施すことができない。そのような場合は，図 2.5 に示すように，発生している異常を検知したセンサ情報と同一の内容を示す「対応・検知」を持つ HAZOP 結果を検索する。続いて，検索された HAZOP 結果の「原因」と同一の内容を示す事象を，異常時運転要領書の「原因」から検索する。そして，異常時運転要領書の「対応措置」を参照することにより，対策を選択する際の判断材料とすることができる。

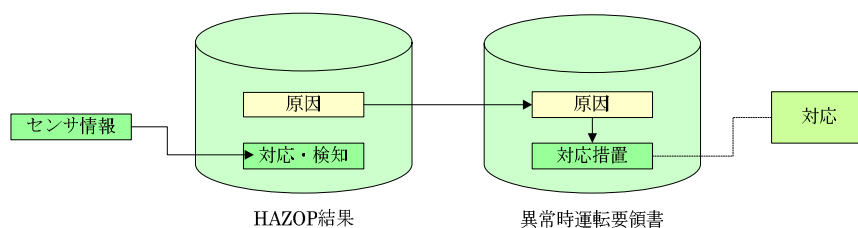


図 2.5 安全情報の対策の探索への活用

3 . HAZOP システムとデータベース化

3.1 システム構成

システムは、図 3.1 に示すように HAZOP 解析システムと危険性解析結果データベースから構成されている。HAZOP 解析システムは Gensym 社の G2 を用いて構築した。危険性解析結果データベースは Microsoft Access を用いてリレーショナルデータベースとして構築した。表示プログラムは Microsoft Visual Basic を用いた。

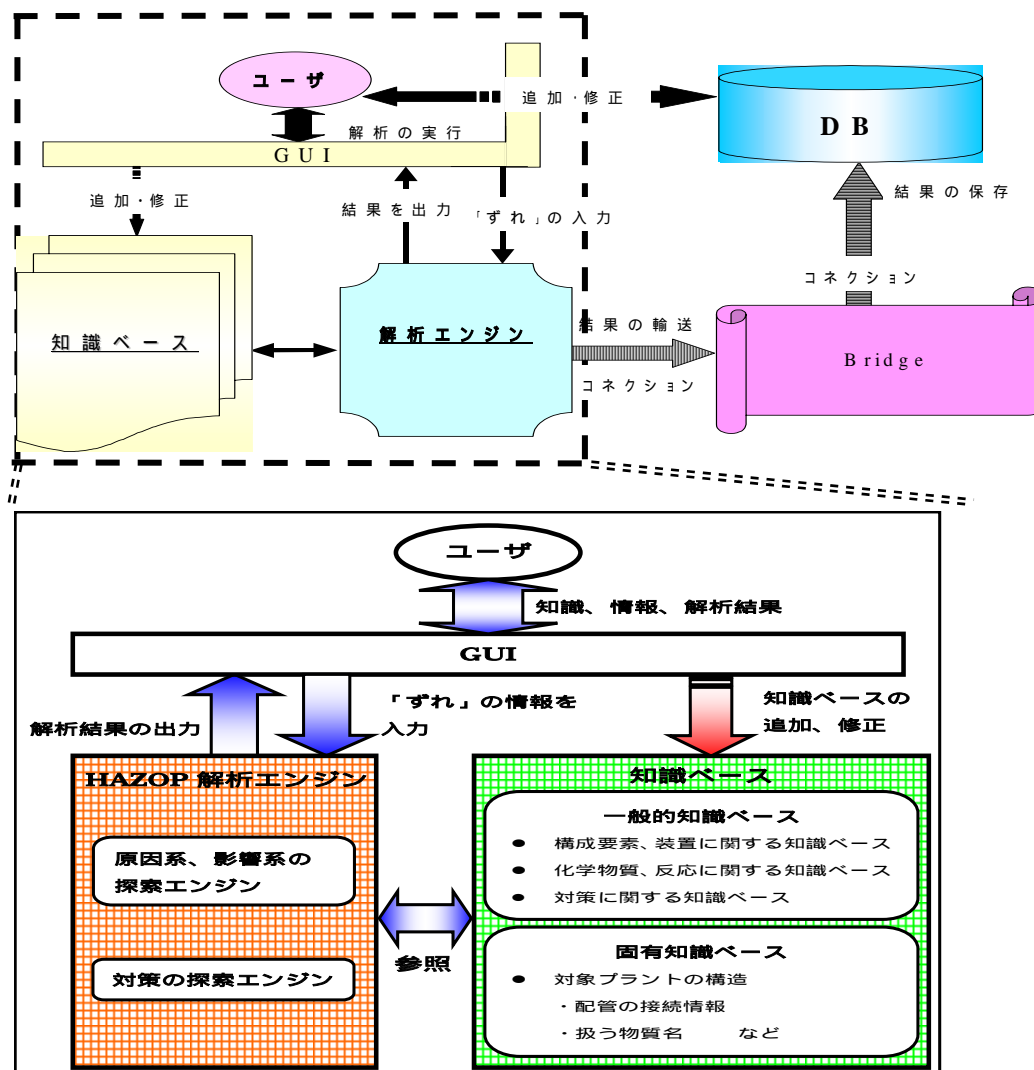


図 3.1 HAZOP 解析システム

図 3.2 に示すように HAZOP 解析システムに対して、「DEVIATIONS」の候補からプロセス変数の「ずれ」を選択する。解析エンジンは、知識ベースを探索し、「ずれ」の原因および影響を解析する。さらに、異常を未然に防ぐための、または影響を緩和するための対策を求める。図 3.3 に HAZOP 解析の流れを示す。

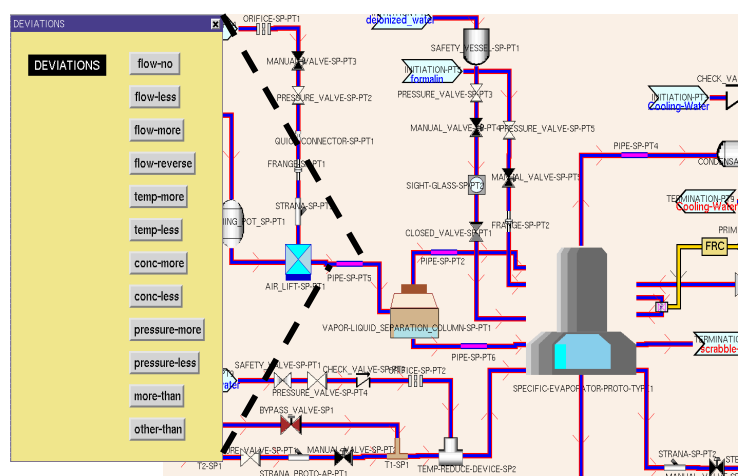


図 3.2 「ずれ」の選択画面

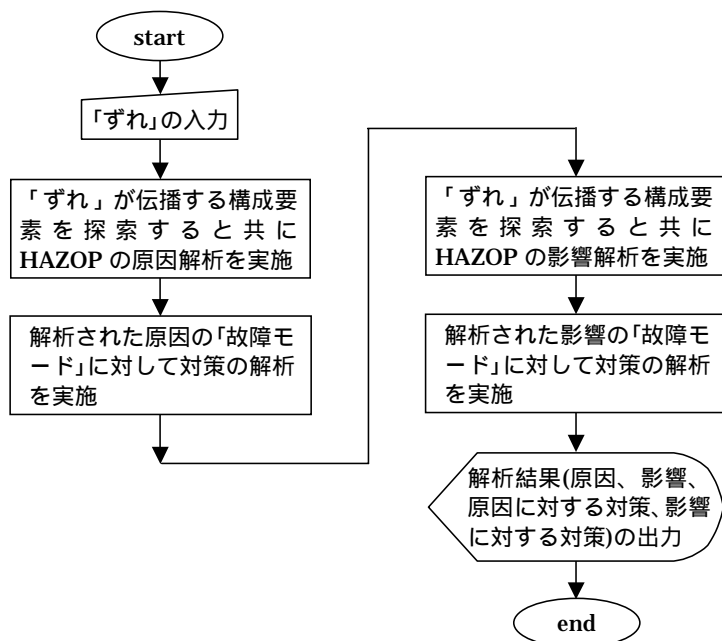


図 3.3 解析の流れ

例えば，図 3.2 の P&FD 上で流量減少という「ずれ」を想定すると，この「ずれ(流量減少)」に対して，解析エンジンはプロセスの上流側，下流側に原因，影響を探索する。上流側を探索することにより，「ずれ」の原因は，Outlet(流量減) Failure(開度小)であり，「開度小」の原因となる故障，誤操作が解析される。また下流側では，Inlet(流量減) Internal(液位減)，Internal(液位減)

Failure(反応不足)が探索され「反応不足」という影響が解析される。最後にすべての原因，影響に対する対策を表示する。

3.2 データベース

HAZOP 解析システムにより生成された解析結果を危険性解析結果データベースに格納する。このデータベースは、リレーショナルデータベース(Microsoft Access)により構築した。リレーショナルデータベースの特徴は、表と表の関連づけを行うことができる点である。この関連づけは、情報の重複を最小限にとどめるために行われるものであり、これにより情報の検索、追加、修正などが効率的に行われる。

解析エンジンで解析した結果はデータベースブリッジを経由してデータベースに格納する。データベースに格納することにより人手の介入が可能となるとともに、HAZOP 情報を安全管理支援システムに統合することが可能となる。格納したデータに対して追加・修正を行い易くするために、ここでは HAZOP 解析の出力結果に準拠し、階層構造に基づいてデータを処理する。データベースは操作性に優れた Microsoft ACCESS を用いる。G2 から出力される HAZOP 解析結果をデータベースに格納・保存する。保存した HAZOP 情報を有効に活用するために、データベースを組織立て、利用し易い仕組みを構築する。HAZOP 情報を含むテーブル群をリレーションシップにより関連付け、必要なデータを統合させることにより HAZOP 結果を獲得する。

データベースはリレーショナル型のデータベースとして活用する。リレーショナルデータベースでは、図 3.4 に示すように、データを 2 次元の表の形で表す。表は行(レコード)と列(フィールド)で構成される。

リレーショナルデータベースの特徴は、表と表の間の関連づけを行うことができる点である。この関連づけは、情報の重複を最小限にとどめるために行われるものであり、これにより情報の検索、追加、修正などが効率的に行われるようになる。また、リレーショナルデータベースは、基本的に階層型データベースやネットワーク型データベースのような親子関係の制約を受けないため、データの独立性が保たれ、また構築が容易であるという利点がある。

データベースの各テーブルは、HAZOP 情報を構成するためのさまざまな要素から成る。各テーブルは一般的に HAZOP 情報のローカルデータストアを持ち、HAZOP 結果を出力するためのテーブルから読み込みおよび出力ができる。図 3.5 に HAZOP 情報の要素を含む各テーブルを用いたデータのやりとりを示す。

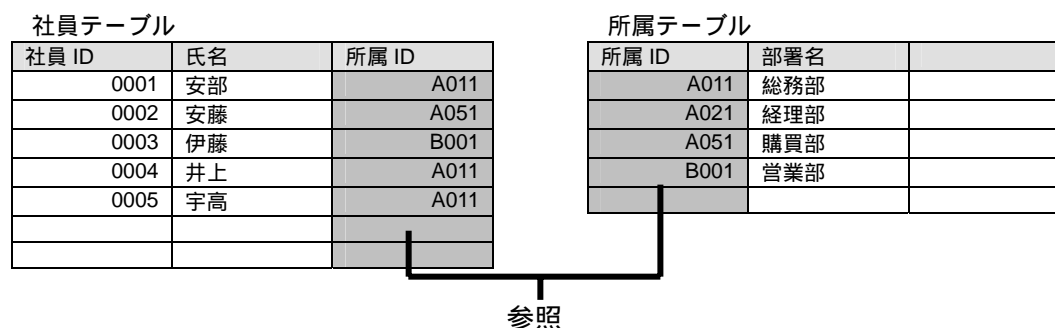


図 3.4 リレーショナルデータベース

ここでは、「ずれ」情報，ノード情報，ポイント情報および事象情報の4つのカテゴリーに対する情報交換のためのテーブル構造を定義する。各カテゴリーに対して複数のテーブルが定義され，テーブル名，フィールド名およびテーブル間のリレーションが定義されている。各テーブルどうしのリレーションシップを図 3.6 に示す。

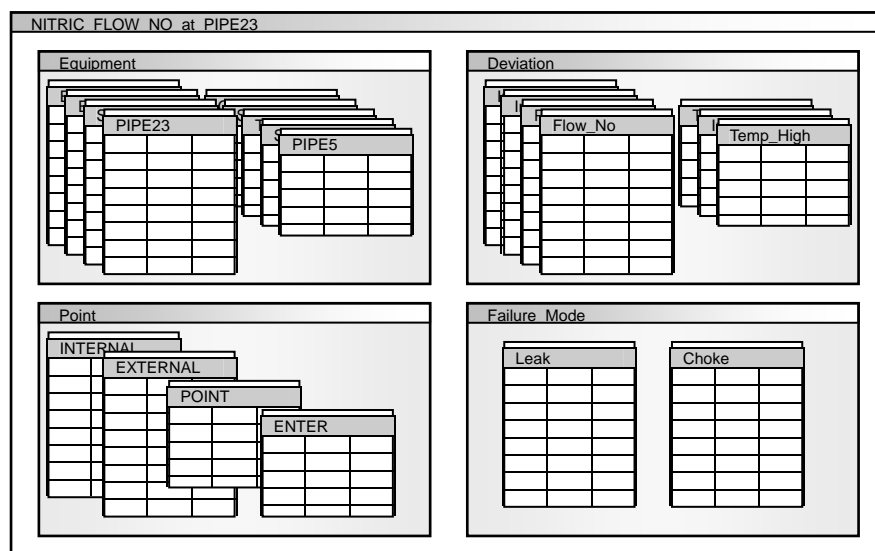


図 3.5 HAZOP 情報テーブル

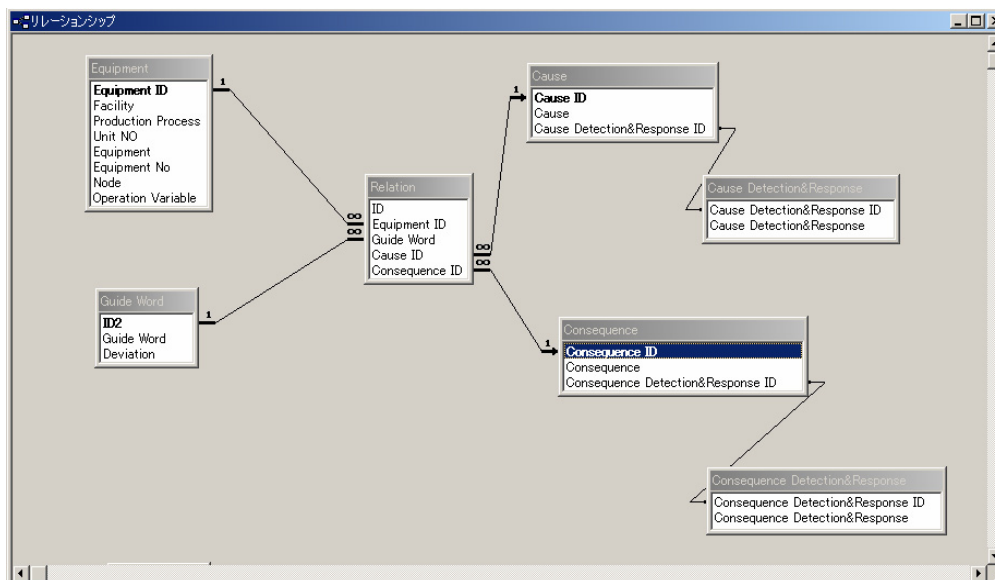


図 3.6 リレーションシップの概要

リレーションシップを構築し、クエリを実行すると HAZOP 解析結果を得る。図 3.7 にクエリを実行して得た HAZOP 解析結果の例を示す。

check table クエリ: 選択クエリ

check	ID	DEVIATION	DEVICE	EVENT	POINT
<input type="checkbox"/>	1	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	MOC-TEST	choke	Failure
<input type="checkbox"/>	2	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	PIPE3	INTERNAL_CHOKE	Failure
<input type="checkbox"/>	3	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		BREAKAGE	Internal
<input type="checkbox"/>	4	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		LEAK	External
<input type="checkbox"/>	5	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	AIR_LIFT1	INTERNAL_LEVEL_NO	Internal
<input type="checkbox"/>	6	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		INTERNAL_CHOKE	Failure
<input type="checkbox"/>	7	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		BREAKAGE	Failure
<input type="checkbox"/>	8	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	PIPE1	BREAKAGE	Failure
<input type="checkbox"/>	9	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		CHOKE	Failure
<input type="checkbox"/>	10	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		LEAK	External
<input type="checkbox"/>	11	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	PRIMING_POT1	INTERNAL_LEVEL_NO	Internal
<input type="checkbox"/>	12	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		BREAKAGE	Failure
<input type="checkbox"/>	13	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	VAPOR-LIQUID_SEPARATION	INTERNAL_LEVEL_NO	Internal
<input type="checkbox"/>	14	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	EVAPORATOR1	INTERNAL_AND_OVERHEAD_NEGATIV	Internal
<input type="checkbox"/>	15	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		INTERNAL_LEVEL_NO	Internal
<input type="checkbox"/>	16	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		CON.WASTE.ACID.LESS	Internal
<input type="checkbox"/>	17	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		FORMALDEHYDE_ACCUMULATION	Internal
<input type="checkbox"/>	18	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		ABNORMAL_REACTION	Internal
<input type="checkbox"/>	19	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		BUMPING	Internal
<input type="checkbox"/>	20	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		DF_DECREASE	Internal
<input type="checkbox"/>	21	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		POSSIBILITY_OF_EXPLOSION	External
<input type="checkbox"/>	22	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	CONDENSATED_DEVICE1	OFF_GAS_CONC-MORE	Internal
<input type="checkbox"/>	23	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		INTERNAL_ACID_MORE	Internal
<input type="checkbox"/>	24	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		INTERNAL_RADIOACTIVE_SUB_CONC_M	Internal
<input type="checkbox"/>	25	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		INTERNAL_H2_CONC_MORE	Internal
<input type="checkbox"/>	26	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	STEAM-JE2	PASSING_FUNCTION_LOST	Failure
<input type="checkbox"/>	27	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	CON_LIQUID-OUT1	CON_LIQUID_FLOW-NO	OUT
<input type="checkbox"/>	28	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		WASTE_FLOW-NO	OUT
<input type="checkbox"/>	29	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		VAPOR_FLOW-NO	OUT
<input type="checkbox"/>	30	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		PU_FLOW-NO	OUT
<input type="checkbox"/>	31	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST	ACID_SUCTIONAL_TOWER1	OFF_GAS_CONC-MORE	Internal
<input type="checkbox"/>	32	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		INTERNAL_CLEANING_WATER_ACID_M	Internal
<input type="checkbox"/>	33	WASTE_FLOW-NO at MOC-TEST		RADIOACTIVE_SUB_CONC_MORE	Internal

modify_moc2: テーブル

ID	DEVICE
1	MOC-TEST
2	PIPE3
3	
4	
5	AIR_LIFT1
6	
7	
8	PIPE1
9	
10	
11	PRIMING_POT1
12	
13	VAPOR-LIQUID_SEPARATK
14	EVAPORATOR1
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	CONDENSATED_DEVICE1
23	
24	
25	
26	STEAM-JE2
27	CON_LIQUID-OUT1
28	
29	
30	

図 3.7 クエリの実行例

4. 設計支援システム

4.1 システム構成

危険性解析の手法は HAZOP , FMEA , What-If, Check-List 等いくつかあり^{2,3)}, それぞれが固有の特性を有するが, 変更管理における危険性を解析するためには変更の内容に適した手法を採用することが望ましい。CCPS は変更に伴う危険性解析手法を選定する方法として, リスクレベルに応じた手法を適用するよう提案している⁴⁾が, 上位管理者による管理を必要とする大規模かつ複雑な変更に対しては HAZOP が適していることがわかる。ここでは前節で示した HAZOP 解析システムを応用した設計支援システムを開発した。

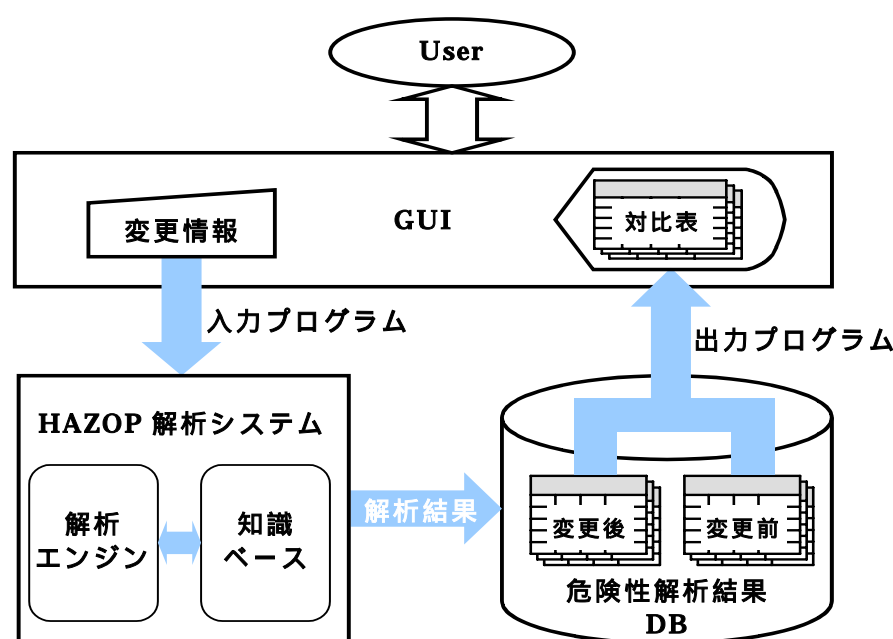


図 4.1 システム構成

変更による影響を十分に解析せず適切な設計がされていなければ変更により望ましくない二次的な影響を生ずる恐れがある。したがって, 変更により発生する恐れがある影響を明らかにし, その対策を講ずることが重要である。ここでは, 変更箇所を原因(引き金事象)とした影響を解析するためのシステム処理手順について説明する。

図 4.2 に示すように, 配管部に Valve a を新たに設置すると仮定する。この系について, 変更前と変更後では, 同じ部位で「ずれ」を想定し HAZOP 解析を実施する。変更前の解析結果は, 危険性解析結果データベースに格納されている。変更箇所(Valve a を加えた場合)に関連した操作ミス, 故障が発生する恐れがあると仮定する。追加要素(例えば, Valve a)についての基本的な故障モード情報はあらかじめ HAZOP システムが保有している。

変更箇所を原因として影響解析を実施する。

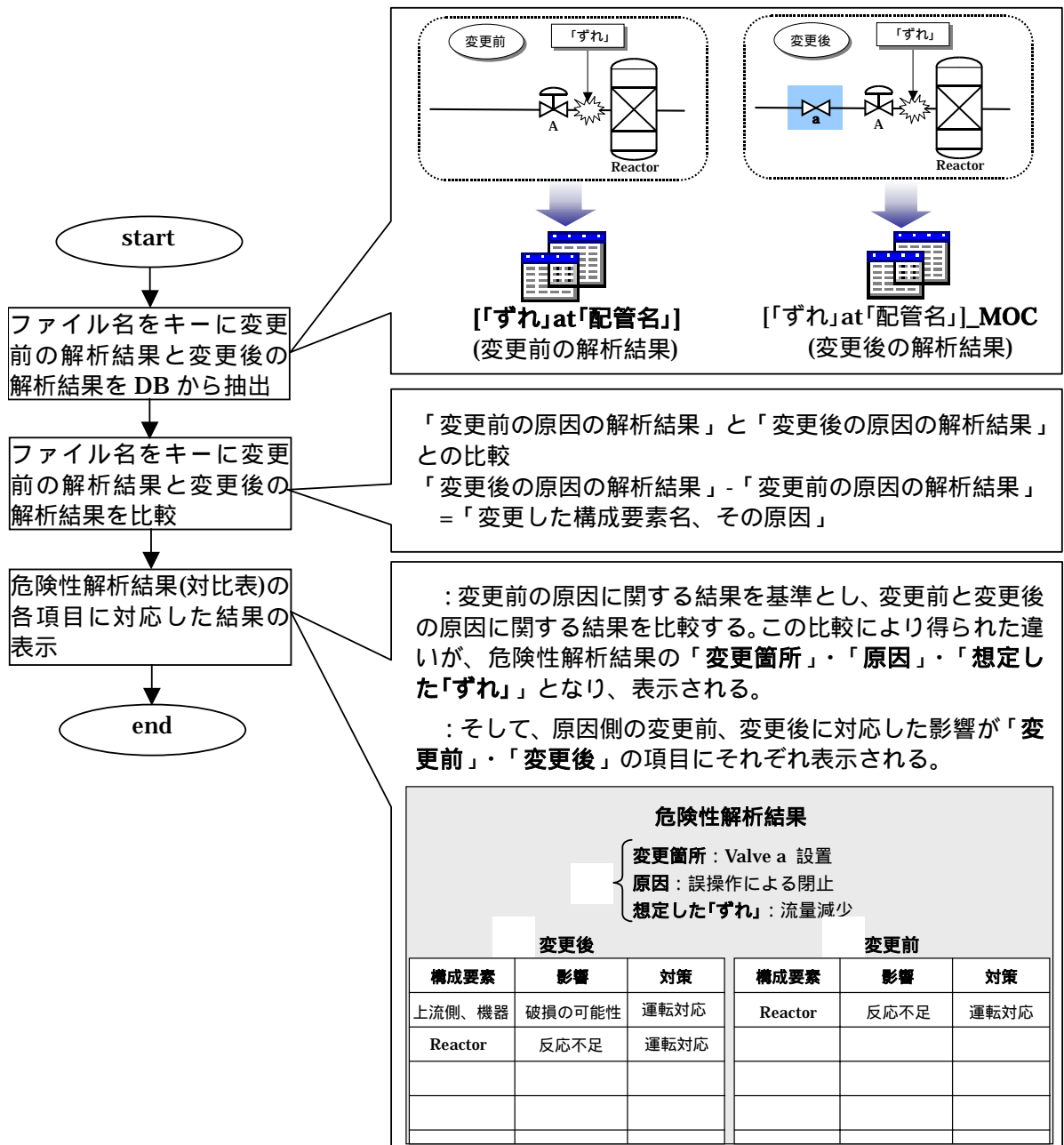


図 4.2 表示手順

すなわち、図 4.2 に示すように、想定した「ずれ」に対して、Valve a のつまりなど変更箇所における異常(誤操作による閉止)を原因とする影響事象を明らかにし、変更前と変更後の対比表を作成する。その結果を基に影響を比較する。これにより変更により新たに発生する影響を明らかにし、

変更前との危険性の相違点を示す。

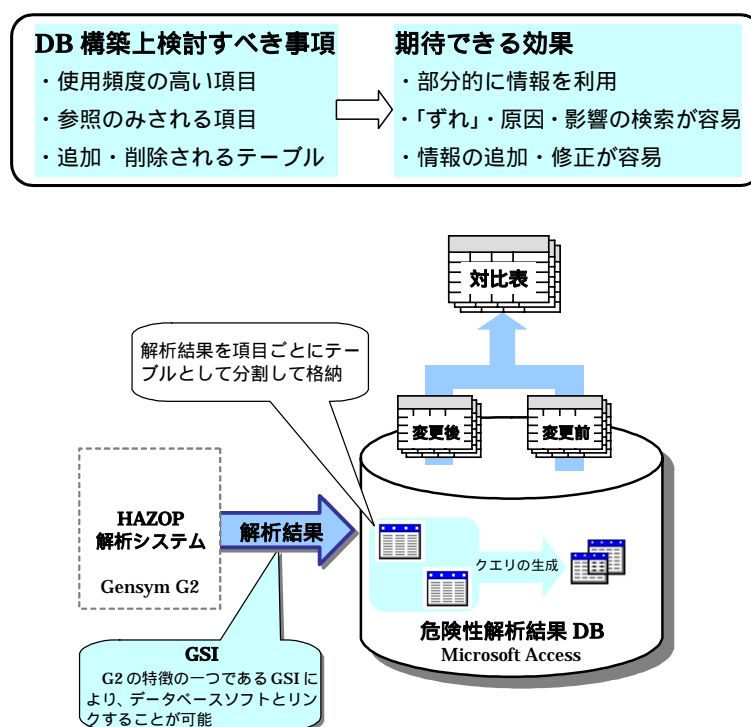


図 4.3 危険性解析結果データベース

変更における危険性解析の結果を、図 4.3 に示すように HAZOP 解析システムから G2 の GSI を経由してデータベースへ格納するが、解析結果を項目ごとにテーブルとして分割する。解析結果を分割して格納する際に検討すべき事項として、使用頻度の高い項目、参照のみされる項目、追加・削除されるテーブルを考慮することにより、部分的に情報を利用することが可能であり、ずれ・原因・影響の検索、情報の追加・修正が容易となる。出力時には、変更前と変更後の解析結果の「ずれ」をキーとして、このデータベースから情報を抽出し対比表の形式で出力する。

HAZOP 解析結果は、「機器」・「ガイドワード」・「原因」・「原因に対する対策」・「影響」・「影響に対する対策」の 6 つのテーブルに分割し格納する。関係テーブルは、6 つのテーブルの情報を参照し、データ(各テーブル)をまとめる。つまり、関係テーブルでクエリの生成を行う。図 4.4 に危険性解析結果データベースの構造を示す。

4.2 危険性解析と代替案生成

企業においては変更管理を実施する際に、意思決定における一つの判断基準として便益対リスクという概念を用いる。例えば、複数ある変更案から一つを選択する場合に、リスクの観点から合理的な決定を行うためには変更による影響評価を行う。

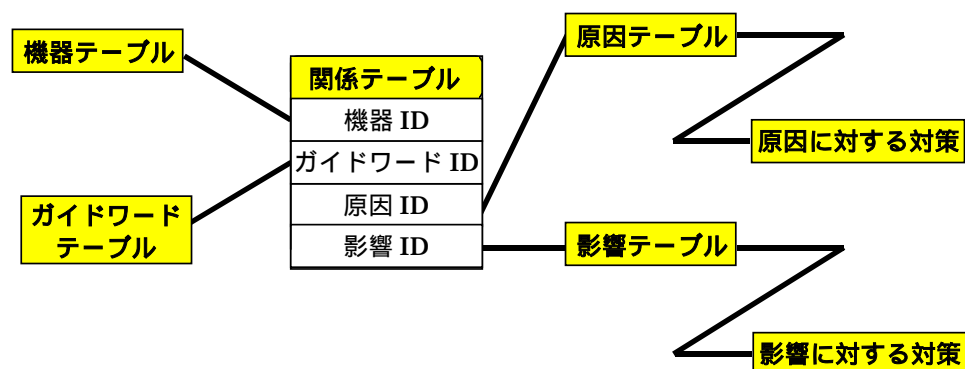


図 4.4 危険性解析結果データベースの構造

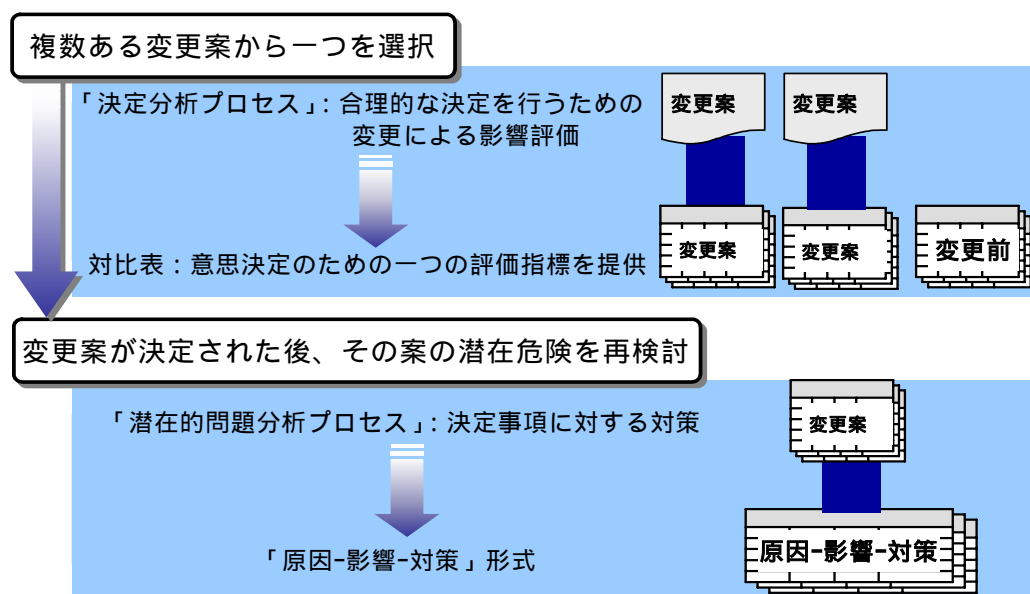


図 4.5 表示形式

本システムは図 4.5 に示すように変更後と変更前の危険性解析結果を対比表の形で提示し、さらにいくつかの変更案に対する危険性の相違点を把握することが可能となる。これにより、変更管理案決定のための一つの評価指標を提供する。次に、決定された変更案に対し、対策を検討するために HAZOP 表の形式で原因-影響-対策を表示する。

4.3 危険性解析支援システムによる解析例

対象プラントの石器変更を図 4.6 のように実施した場合、変更に関する情報は図 4.7 に示す方法で入力する。G2 により構築したシステムの GUI 上で変更箇所を指定し、新たに設置する要素、設備を P&FD 上に挿入する。この部位について HAZOP 解析を実施しその結果を図 4.8 の形

で出力する。

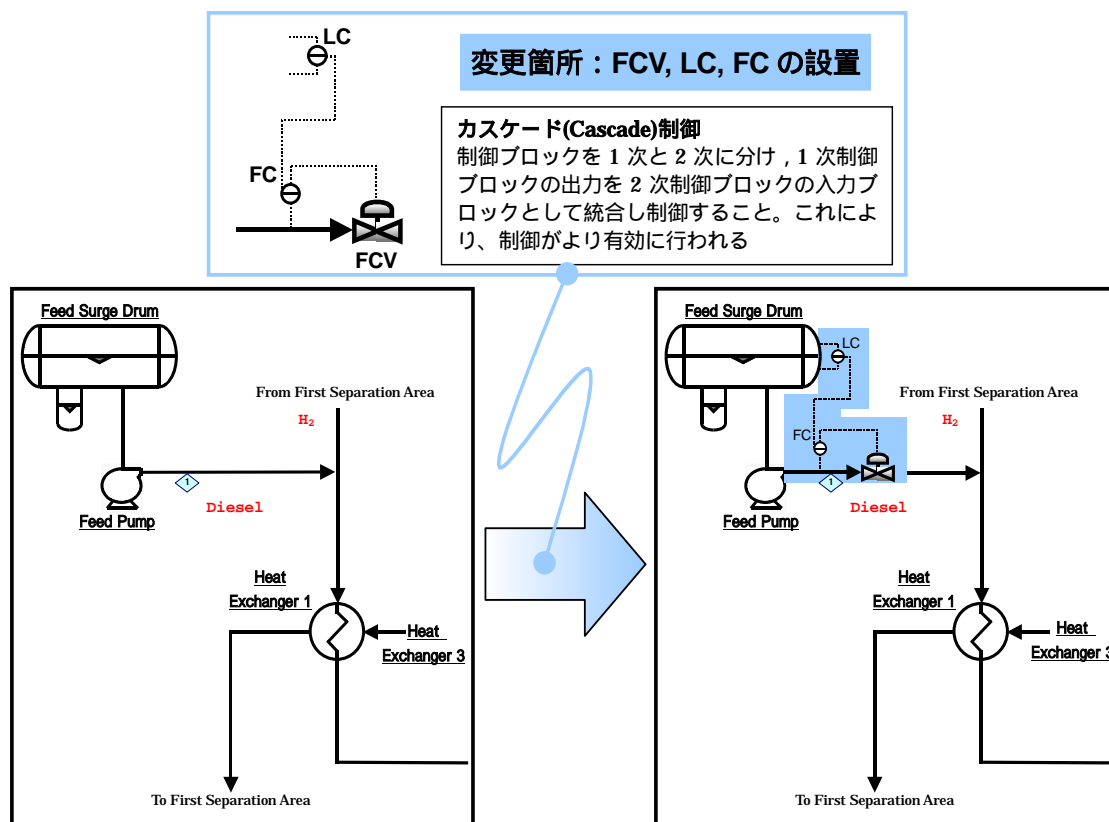


図 4.6 変更対象

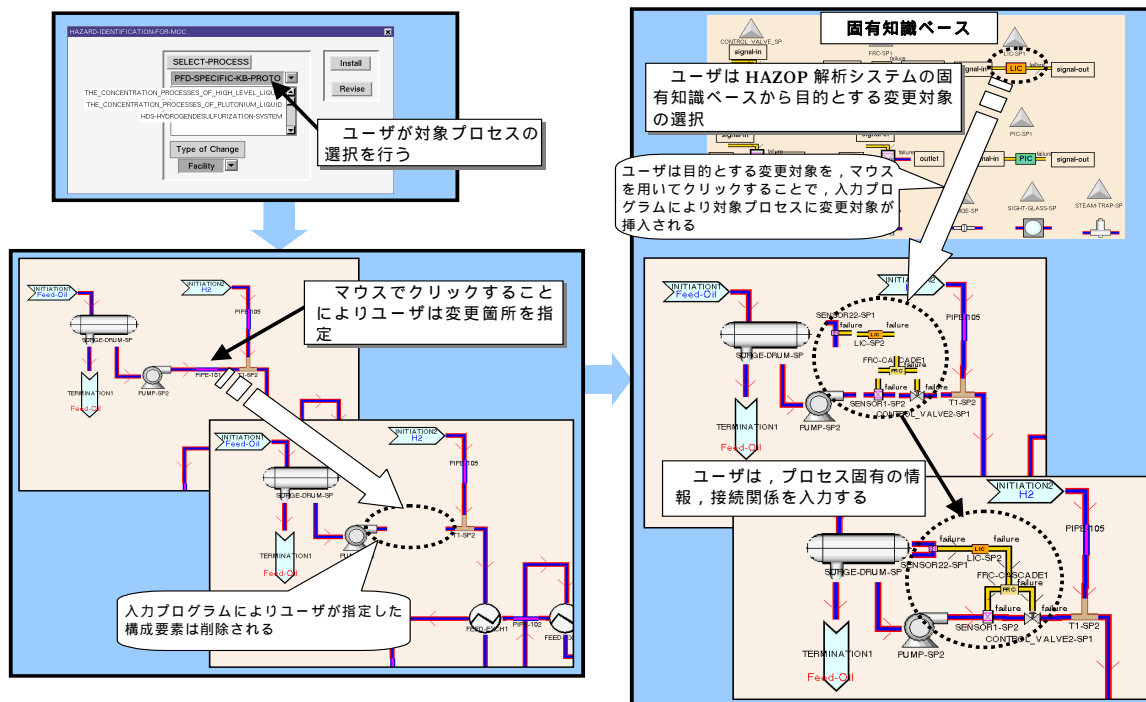


図 4.7 変更入力

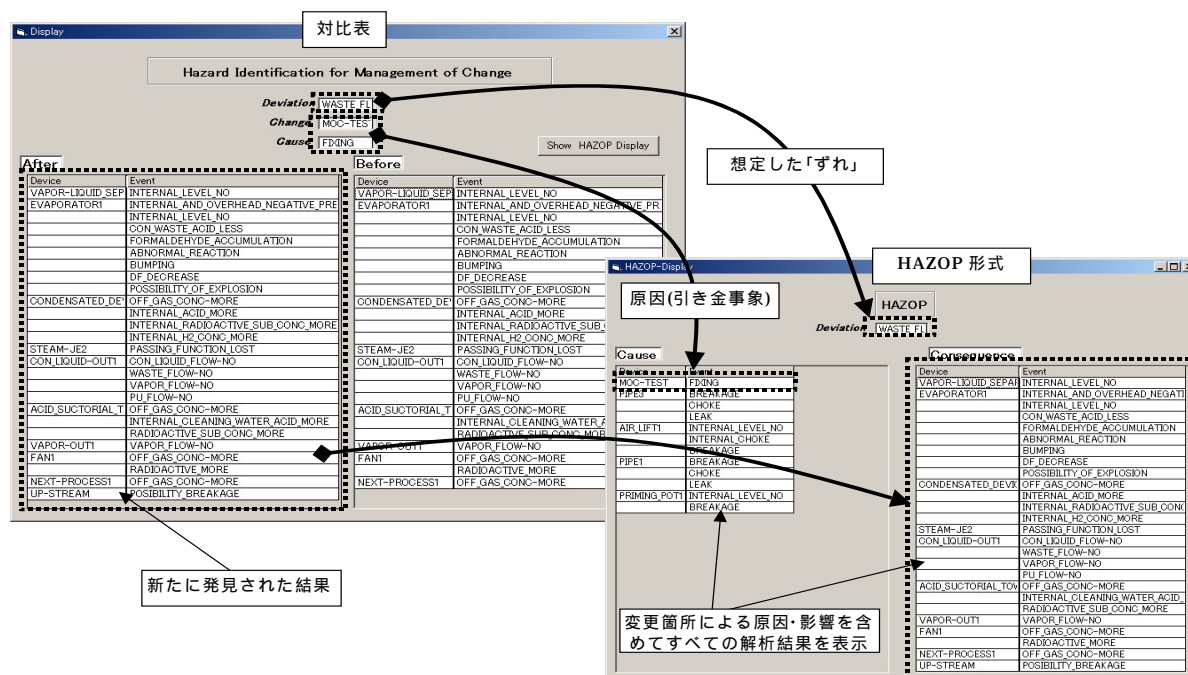


図 4.8 解析結果出力

変更として新たに設置した Feed Surge Drum の制御系について、この系が正常に作動しない場合の解析結果を表 4.1a、表 4.1b に示す。表 4.1a の対比表より、変更により「**Feed Surge Drum 液位上昇**」という影響が新たに生じる恐れのあることがわかる。また、表 4.1b の HAZOP 形式で表すことにより、「LC の誤設定」、「FC の誤設定」、「FCV の閉止」という原因事象が発生する事が明かとなる。表 4.2、表 4.3 にこの解析で明かとなった変更前、変更後の原因事象、影響事象の一覧を示す。設備変更前の状態では、配管部流れ無し (flow-no) という「ずれ」に対して、その原因として「配管」・「ポンプ」・「Feed Surge Drum」について表 4.3 に示すように配管破損、配管閉塞、ポンプ液位低下などの故障モードがあり、影響としては「Feed Exchanger」・「Reactor Charge Furnace」・「Reactor」のそれぞれについて表 4.2 に示すように、Feed Exchanger 機能低下、Reactor Charge Furnace 内部温度上昇等の影響事象が発生する。これに対して、変更を実施すると、表 4.3 に示すように、「LC」・「FC」・「PVC」において LC、FC 誤設定、FVC 閉止が新たにずれの原因事象となり、例えば「PVC」の閉止により上流側の「Feed Surge Drum」では、「液位上昇」という新たな影響事象が引き起こされることがわかる。

表 4.1 a 対比表(変更箇所に異常を生じた場合)

変更箇所：FCV, LC, FC の設置	
原因：「LC の誤設定」、「FC の誤設定」、「FCV の閉止」	
「ずれ」：flow-no	
変更後	変更前
「Feed Surge Drum 液位上昇」 Feed Exchanger の機能低下 Reactor Charge Furnace の内部温度上昇 Reactor Charge Furnace でチューブ過熱 Reactor Charge Furnace でチューブ破損 Reactor Charge Furnace で火災 Reactor の機能低下 Reactor で温度上昇 Reactor で濃度変化 Reactor で異常反応	Feed Exchanger の機能低下 Reactor Charge Furnace の内部温度上昇 Reactor Charge Furnace でチューブ過熱 Reactor Charge Furnace でチューブ破損 Reactor Charge Furnace で火災 Reactor の機能低下 Reactor で温度上昇 Reactor で濃度変化 Reactor で異常反応

表 4.1b HAZOP 形式の表示

「ずれ」：flow-no	
原因	影響
配管の破損 配管の閉塞 ポンプの故障停止 「LC の誤設定」 「FC の誤設定」 「FCV の閉止」 Feed Surge Drum の液位低下	「Feed Surge Drum 液位上昇」 Feed Exchanger の機能低下 Reactor Charge Furnace の内部温度上昇 Reactor Charge Furnace でチューブ過熱 Reactor Charge Furnace でチューブ破損 Reactor Charge Furnace で火災 Reactor の機能低下 Reactor で温度上昇 Reactor で濃度変化 Reactor で異常反応

表 4.2 変更前の原因，影響

構成要素		Feed Surge Drum	ポンプ	配管	Feed Ex-changer	Reactor Charge Furnace	Reactor
故障モード	原因	・液位低下	・機能低下	・破損 ・閉塞			
	影響				・機能低下	・内部温度上昇 ・チューブ過熱 ・チューブ破損 ・火災	・機能低下 ・温度上昇 ・濃度変化 ・異常反応

表 4.3 変更後の原因，影響

構成要素		Feed Surge Drum	ポンプ	LC FC	PVC	配管	Feed Ex-changer	Reactor Charge Furnace	Reactor
故障モード	原因	・液位低下	・機能低下	・誤設定	・閉止	・破損 ・閉塞			
	影響	・液位上昇					・機能低下	・機能低下 ・温度上昇 ・濃度変化 ・異常反応	・機能低下 ・温度上昇 ・濃度変化 ・異常反応

5 安全管理システムとプラントオントロジー

5.1 オントロジーとは

知識の共有・再利用を目的とした知識システムの構築や管理においては、システムを扱う人間の間に概念レベルのギャップ、分散協調システム内での語彙の不統一などの問題が生じる。このような知識の再利用における問題を解決するためには、知識の内容について議論を行い、知識の記述意図を明確にする技術が求められ^{5,6)}、その鍵としてオントロジーが注目されている⁷⁾。オントロジーは、本来哲学用語で“存在論”を意味するものであるが、その意味が拡張され、対象とする世界に存在するものごとを体系的に分類し、その関係を記述するものとして捉えられるようになった。しかし、オントロジーは、言語学や人工知能研究、セマンティック・ウェブ開発など立場の違いにより、様々な定義がなされている。

本研究では、溝口・池田⁷⁾の知識ベースの立場から見た定義に習い、オントロジーを“人工システムを構築する際のビルディングブロックとして用いられる概念/語彙の体系とその理論”と定義する。また、オントロジーにおいては、様々なクラス(概念:class)とプロパティ(属性:property)を規定する。クラスはインスタンス(具体例:instance)の集合である。クラスの間には、上位-下位関係があり得る。下位クラスは、上位クラスの部分集合である。例えば、図5.1の「時点」というクラスは「日付」というクラスの上位クラスであり、「時点」の集合は「日付」の集合を包含する。プロパティとは2項関係であり、第1項と第2項が、それぞれどのようなクラスのインスタンスであるかが定められる。図5.1の「著者」というプロパティの第1項は「発表」というクラスのインスタンスであり、第2項は「人」というクラスのインスタンス「山田太郎」である。プロパティの第2項のことを、その値という。また、プロパティは上位のクラスから下位のクラスに継承される。

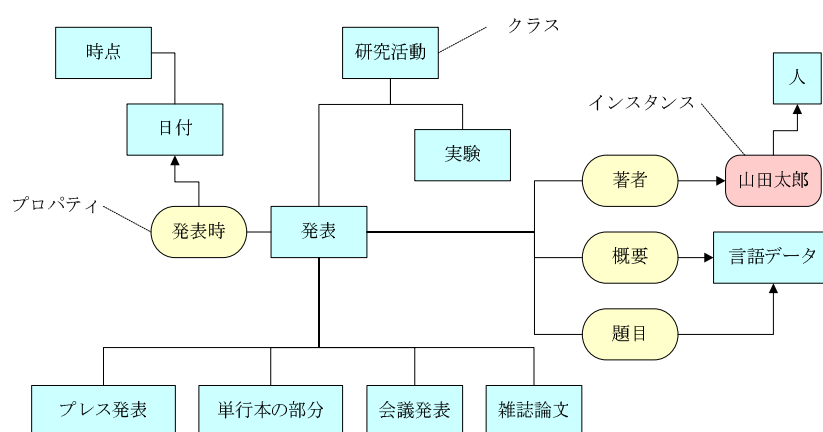


図 5.1 オントロジーの例

知識システムの開発におけるオントロジーの効用を、以下に示す。

(1) 暗黙情報の明示化

知識システムは様々な仮定や規約に基づいているが、それらの情報は多くの場合暗黙的で

ある。オントロジーは、このような暗黙知識を記述したものであり、それらを明示化する役割を果たす。

(2) 共通語彙の提供

対象とする世界を記述する際に必要とされる、厳密に定義された、関係者の合意に基づく“語彙”を提供する。

(3) 知識の体系化

知識を体系化するには、厳密に定義された合意に基づく概念や語彙を用いて様々な現象、観測事象、興味のある対象を説明する理論が記述され、知識の組織化がなされる。オントロジーは、このような知識を体系化する際の拠り所となるバックボーンとしての機能を持つ。

(4) 標準化

オントロジーに含まれる語彙と概念は共通性が高く、それは標準化に貢献する。

(5) メタモデル的機能

オントロジーは、ある対象をモデル化するときに必要な概念と、それらの間に成立する関係を明示的に規定する。そして、そのモデルはオントロジーが提供する概念と制約の下で作られる。この意味で、オントロジーはモデル構築に必要な基本概念とガイドラインを提供する機能を持つということができる。

5.2 プラントオントロジーの構築

本研究で構築したプラントオントロジーは、プラント構造に関わるオントロジー、物質に関わるオントロジー、事象に関わるオントロジーから構成される。以下、各オントロジーについて説明する。なお本研究では、大阪大学溝口研究室にて開発されたオントロジーエディタ『法造』⁸⁾を用いて、プラントオントロジーを構築した。

(1) プラント構造に関わるオントロジー

原子力関連施設の物理的な構造に関わる概念を体系化する。原子力関連施設の物理的な構造に関する概念を体系化するには、図 5.2 のように、まずある 1 つの「施設」を定義する。原子力関連施設において、「施設」は「セル」と呼ばれるコンクリートで囲まれた格子状の部屋に区分けされており、その内部に「設備」が配置されている。「設備」は大別すると、「機械設備」と「計装設備」に分類される。また、「設備」は「工程」を構成する要素でもある。「設備」はそのプロパティとして、「設備の機能」、「設備の状態変数」、「内部に存在する物質」を持つ。「設備の機能」の値にあたる「機能」とは、「設備」が果たすべき役割のことであり、インスタンスの例として「送液機能」や「加熱機能」などがある。「設備の状態変数」の値にあたる「状態変数」とは、「設備」の状態を表すために用いられる変数のことであり、インスタンスの例として「液位」や「圧力」などがある。

(2) 物質に関わるオントロジー

物質に関わる概念を体系化する。図 5.3 に示すように「物質」はプロパティとして「物質の状態変数」を持つ。「亜硝酸ナトリウム」や「高放射性廃液」などの個々の「物質」クラス

は、異常を伴う状態として「異常な亜硝酸ナトリウム」や「異常な高放射性廃液」を下位クラスとして持つ。また、安全情報の中には、同一の物質を指していても、異なる語彙で表現されている場合がある。そのような場合には、図 5.3 の「水」クラスと「純水」クラスのように、代表的な語彙の下位クラスとして定義する。

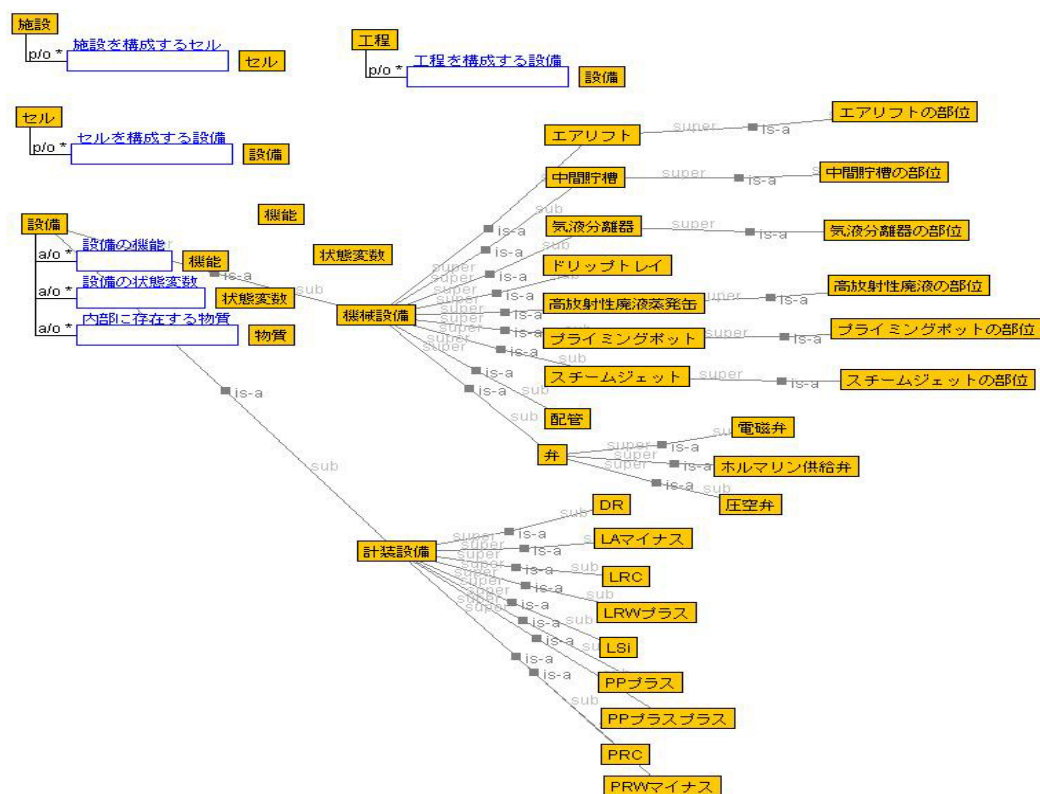


図 5.2 プラント構造に関わるオントロジー

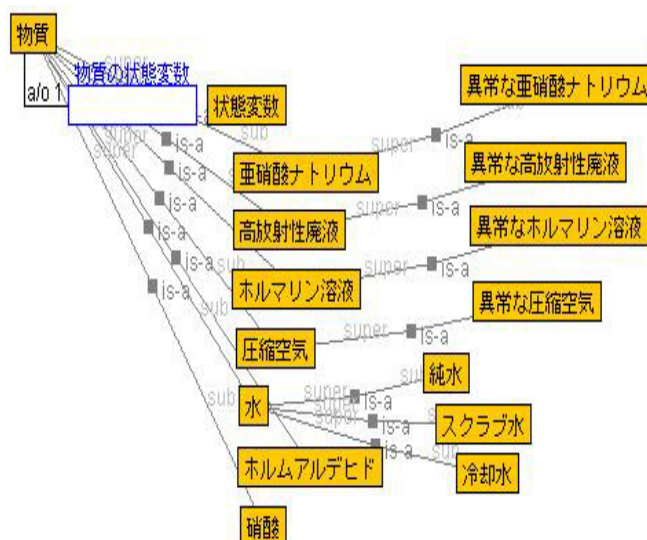


図 5.3 物質に関わるオントロジー

(3) 事象に関わるオントロジー

事象に関わる概念を体系化する。事象に関わる概念は図 5.4 に示すように、その事象の主体に着目して「反応に関わる事象」、「設備に関わる事象」、「物質に関わる事象」、「操作に関わる事象」の各クラスに分類される。そして、各クラスは下位に、より具体的なクラスを持つ。「事象」の下位クラスは、それぞれ、「事象が発生する設備」、「事象の主体」、「事象の程度」を示すプロパティを持つ。例えば、図 5.4 の「反応量の異常」クラスは「事象が発生する設備」として「発生設備」、「事象の主体」として「異常を示した反応」、「事象の程度」として「反応量異常の程度」を持つ。「異常を示した反応」の値である「反応」クラスでは、反応に関わる物質である「反応物質」を定義する。一方、「反応量異常の程度」の値である「事象の程度」クラスでは、図 5.5 に示すように、下位クラスに「EVEN」、「LESS」、「MORE」、「NONE」という 4 つの下位クラスがある。「EVEN」は、その事象の程度が正常状態と同等であること、「LESS」は事象の程度が正常状態より低い状態であること、「MORE」は事象の程度が正常状態異常より高い状態であること、「NONE」はその事象が発生していないことを、それぞれ示している。この 4 つのクラスに分類することにより、日本語の曖昧性を吸収することができる。例えば、「圧力が正常値より低い状態である」ことを表現する例として、『圧力低下』、『圧力減少』、『圧力ダウン』などが考えられる。安全情報に記述された事象を、事象単位で検索するということを目的とした場合、これらの表現は同一の事象として検索されるべきである。そこで、オントロジーにおいて、『低下』、『減少』、『ダウン』という語彙は「LESS」クラスのインスタンスであることを明示化しておくことにより、コンピュータにそれぞれの語彙を同一のものと認識させることが可能となる。

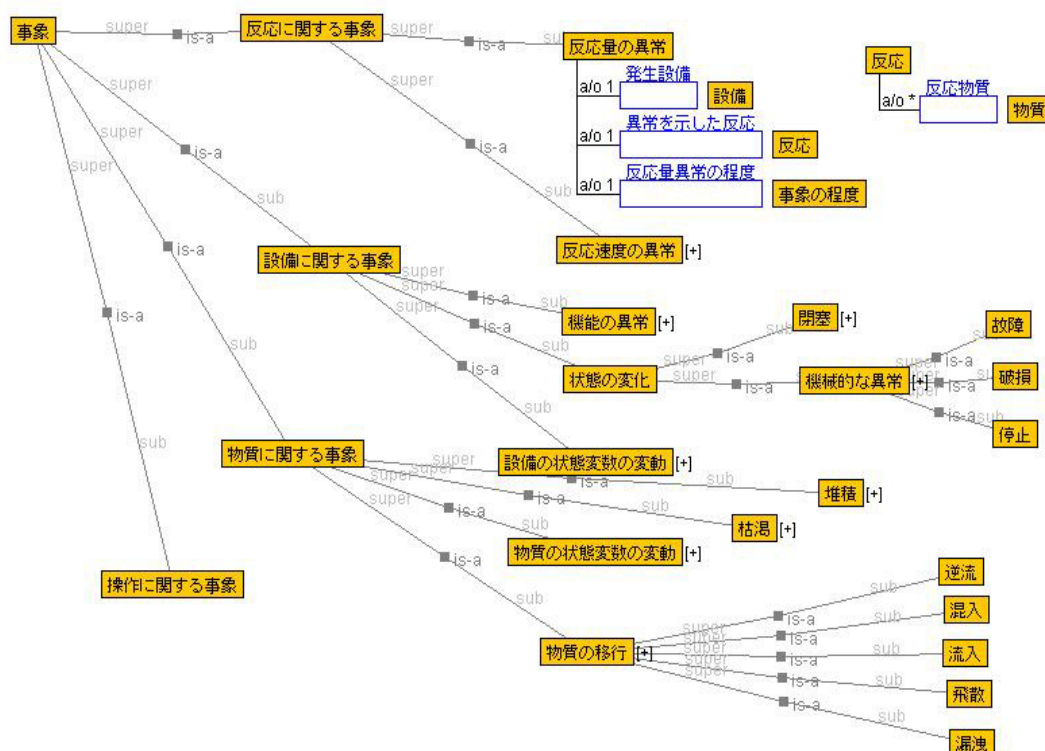


図 5.4 事象に関するオントロジー

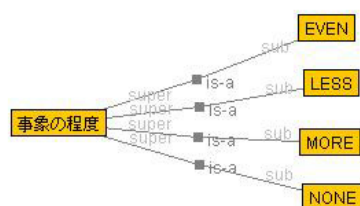


図 5.5 事象の程度に関するオントロジー

5.3 プラントオントロジーの記述

オントロジーに関する規格や記述言語は，Ontolingua⁹⁾，KIF (Knowledge Interchange Format)¹⁰⁾，XOL (Ontology Exchange Language)¹¹⁾，OML (Ontology Markup Language)¹²⁾など多数存在する。ここでは，ウェブ環境におけるオントロジーを記述するために，W3C(World Wide Web Consortium)により策定された，OWL (Web Ontology Language)¹³⁾を用いてオントロジーを記述する。OWL は，“用語・語彙とそこに含まれる各要素の関連の明確な表現”を目的としており，これまでに開発されてきたオントロジー言語・DAML+OIL¹⁴⁾を元になっている。OWL は以下の特徴を持つ¹⁵⁾。

- (1) 不整合検出のための詳細な制約や性質の記述
- (2) 柔軟な記述のための拡張
- (3) 相互運用と改変のための記述

OWL の基本構成要素は以下の 4 つである¹⁶⁾。

- (1) バージョン情報と他のオントロジーインポートを記述するヘッダ要素
- (2) 対象のクラスを定義する公理
- (3) プロパティを定義するプロパティ公理
- (4) 個体，つまりクラスのインスタンスによる事実の記述

プロパティ公理においては，プロパティの制約条件を課して，クラスの定義を精密化できる。例えば，owl:allValuesFrom 制約は，プロパティの値が全て，owl:allValuesFrom 節によって示されたクラスのインスタンスであることを要求する。

本研究で OWL を用いた理由は，上記の特徴に加え，オントロジーエディタ『法造』が，機能の一部として OWL 形式でのファイル出力をサポートしていることと，スタンフォード大学で開発された JTP (Java Theorem Prover)¹⁷⁾を利用することにより，OWL 形式のファイルに対する問い合わせを実現できることにある。JTP は，Java アプリケーション中に埋め込むことが可能なため，単に OWL で記述されたオントロジーに対して問い合わせを行い，結果を参照するだけでなく，問い合わせの結果を加工したシステム作りが可能となる。図 5.2 の一部を OWL で記述した例を図 5.6 に示す。

5.4 プラントオントロジーの利用

安全情報を管理する安全情報管理システムにおいて，プラントオントロジーが果たす役割は，

以下の3点である。

(1) 語彙辞書

プラントオントロジーは、原子力関連施設に関わる概念を体系化及び標準化した語彙辞書の役割を担う。

```
<owl:Class rdf:ID="施設">
  <rdf:type> rdfs:Class
  <rdf:type> rdfs:subClassOf rdfs:resource="#WholnessConcept" />
  <rdf:type> rdfs:subClassOf
    <owl:Restriction owl:minCardinality="0" >
      <owl:onProperty rdf:resource="#施設を構成するセル"/>
    </owl:Restriction>
  </rdf:type>
  <rdf:type> rdfs:subClassOf
    <owl:Restriction>
      <owl:onProperty rdf:resource="#プラントを構成するセル"/>
      <owl:allValuesFrom rdf:resource="#セル" />
    </owl:Restriction>
  </rdf:type>
</owl:Class>
```

図 5.6 OWL によるプラントオントロジーの記述例

(2) 検索コード生成エンジン

事象単位での検索を実現するために、事象に関するデータに対して、検索コードを付加する。検索コードは、プラントオントロジーにおいて規定された語彙を、一定の書式で表現した文字列として定義した。プラントオントロジーにおいて体系化された概念を基とすることにより、事象を的確に表現したコードを生成することが可能となり、また暗黙情報の明示化にもつながる。検索コードの書式を図 5.7 に示す。ここで、図 5.7 における<事象>は、図 5.4 で示した「事象」クラスの下位クラス、<属性>はそのクラスのプロパティ、<値>はそのプロパティの値を示している。『<属性> : <値>』の組は、事象クラスの定義により数が異なる。プラントオントロジーは、検索コードの入力を行う際に、検索コードの生成エンジンとして、定義した書式に従った語彙を提供する。

事象 : <事象>、<属性> : <値>、<属性> : <値>・・・、<属性> : <値>

図 5.7 検索コードの書式

(3) 検索コード拡張エンジン

事象単位の検索において、検索コードの単純な比較では、不十分な場合がある。その際、プラントオントロジーに規定された語彙間の関係をたどり、検索コードを拡張することで、より柔軟な検索が実現する。プラントオントロジーは、検索コードの拡張エンジンとして、一度定義した検索コードを状況に合わせて拡張する役割を担う。

5.5 プラントオントロジーを用いた検索

5.5.1 事象単位の検索

安全情報を統合し有効に活用するためには、事象単位の検索が必要となる。事象単位の検索を実現するために、検索コードを導入する。例えば、異なる情報源にそれぞれ『蒸発缶における硝酸分解反応なし』という事象と『硝酸とホルマリンの未反応』という事象が記述されていた場合、それぞれの事象のオントロジーを考えると図 5.8 のようになり、同一事象であることが分かる。そして、図 5.8 を基に定義した書式に合わせた検索コードを生成すると、図 5.9 のようになる。『蒸発缶における硝酸分解反応なし』と『硝酸とホルマリンの未反応』がそれぞれオントロジーに基づいた同一の検索コードを持つことにより、事象単位の検索を実現することができる。

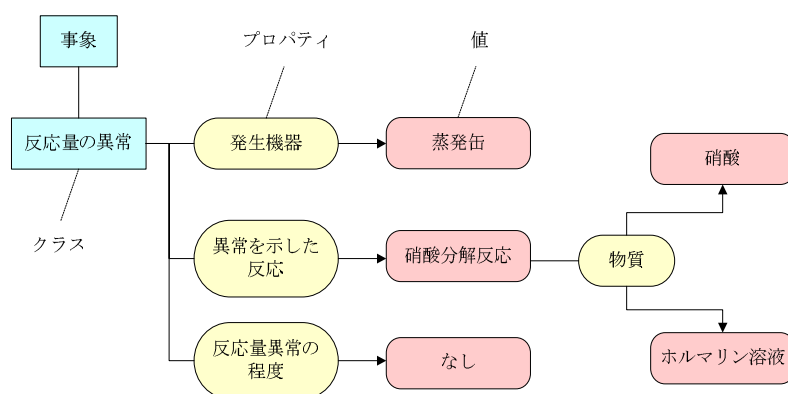


図 5.8 『蒸発缶における硝酸分解反応なし』及び『硝酸とホルマリンの未反応』のオントロジー

事象：反応量の異常、発生設備：蒸発缶、異常を示した反応：硝酸分解反応、反応量異常の程度：なし

図 5.9 『蒸発缶における硝酸分解反応なし』及び『硝酸とホルマリンの未反応』の検索コード

5.5.2 事象の程度の曖昧性を考慮した事象の検索

異なる情報源にそれぞれ『ホルマリン供給弁の閉め過ぎ』という事象と『「ホルマリン供給弁の開度不足」という事象が記述されている場合を考える。『閉め過ぎ』と『開度不足』図 5.5 の定義に従うと、それぞれ正常状態よりも程度が下にあると見なせるため、「LESS」クラスのインスタンスとなる。この例では、それぞれの事象のオントロジーから生成された検索コードをそのまま利用した場合は、異なる事象と認識される。しかし、図 5.10 のように、オントロジーに従い検索コードを拡張することにより、同一事象としても認識可能となり、状況に応じた柔軟な検索が実現する。

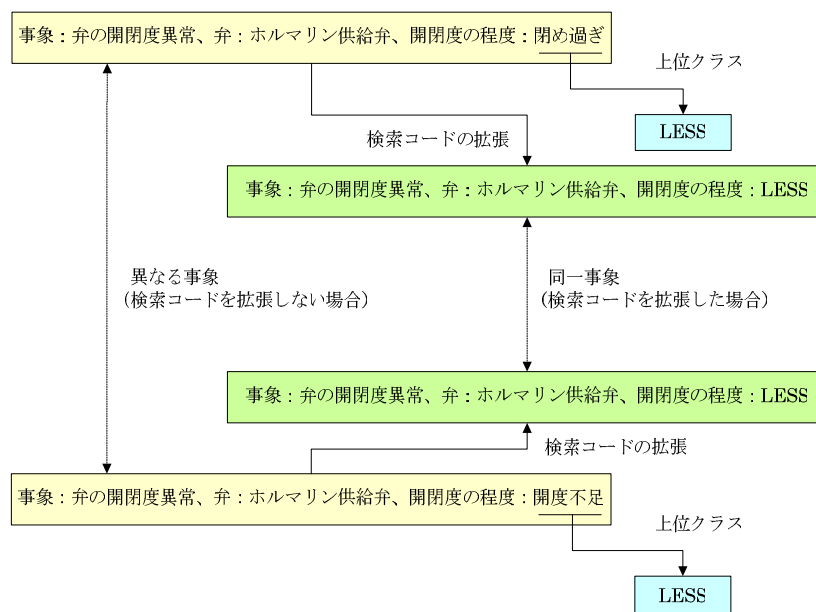


図 5.10 事象の程度の曖昧性を考慮した事象の検索

5.5.3 設備の構造を考慮した事象の検索

冗長的な構造を持つ設備に対して安全性評価が行われる場合、解析の負担軽減のために、並列に設置された設備の内の 1 つの設備に対してのみ解析が行われることがある。このように解析された結果を含む情報の場合、プラントオントロジーにおいて、設備の構造を定義しておくことにより、柔軟な検索が可能となる。例として、エアリフト(A206)，エアリフト(A207)，エアリフト(A208)，エアリフト(A209)が冗長的に設置された設備を想定する。また、エアリフト(A209)に対してのみ解析が行われ、その結果を記す情報のみが残されていたとする。この場合に、運転員がエアリフト(A207)に関するデータに興味を持ったとする。しかし、エアリフト(A209)に関するデータはエアリフト(A207)に対しても有用だとしても、単純な検索コードの比較では、エアリフト(A209)に対する解析結果の検索は困難である。この問題に対して、図 5.11 に示すように、設備の物理的構造を記述したオントロジーに従い検索コードを拡張することにより、エアリフト(A209)に関するデータを得ることが可能となる。

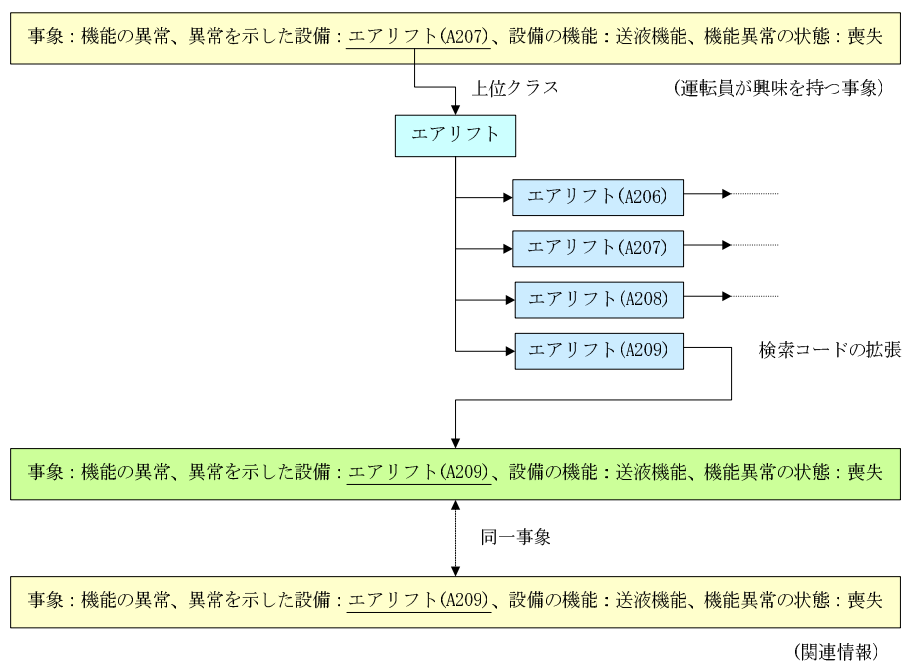


図 5.11 設備の構造を考慮した事象の検索

義した語彙の関係を利用する。

6.2 安全情報データベース

ここでは、異常時運転要領書データベース、HAZOP 結果データベース、保全履歴データベースについて、各データベースの役割と構造について述べる。

(1) 異常時運転要領書データベース

異常時運転要領書を格納する。異常時運転要領書をデータベース化することにより、異常時運転要領書を作成する上で基となった、HAZOP 等の過去の安全性評価の結果との相互参照が可能となる。そして、対応の裏付け（ノウホワイ）など重要なデータを得ることが可能となる。図 6.2 に異常時運転要領書データベースのデータ構造を示す。「内容テーブル」及び「原因テーブル」には、検索コードを格納するための「検索コード」項目を設けた。

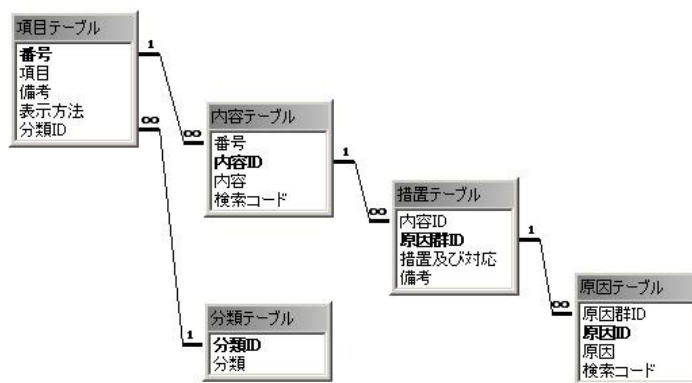


図 6.2 異常時運転要領書データベースのデータ構造

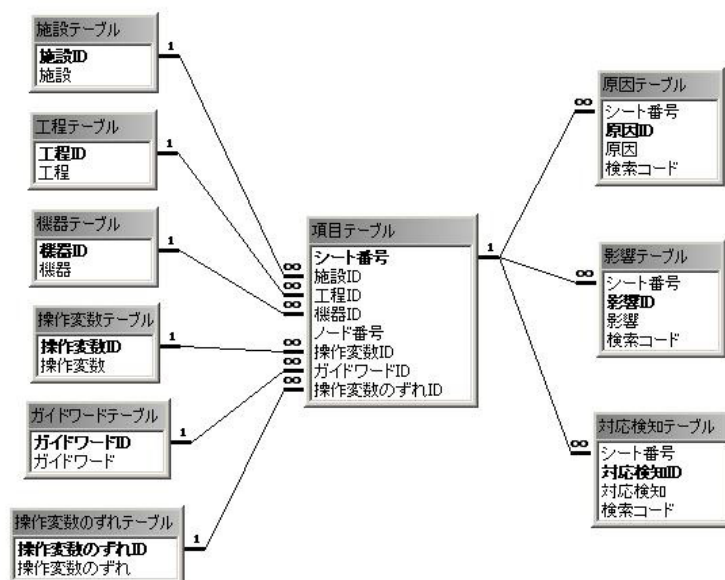


図 6.3 HAZOP 結果データベースのデータ構造

(2) HAZOP 結果データベース

HAZOP 結果を格納する。HAZOP 結果をデータベース化することにより，異常の検知や異常時運転要領書に記された原因の，さらなる原因（根原因）の推測に利用することができる。図 6.3 に HAZOP 結果データベースのデータ構造を示す。「原因テーブル」、「影響テーブル」及び「対応検知テーブル」には，検索コードを格納するための「検索コード」項目を設けた。

(3) 保全履歴データベース

保全履歴を格納する。保全履歴は，異常が発生した際の，機器故障による異常の診断に利用される。図 6.4 に保全履歴データベースのデータ構造を示す。「原因テーブル」には，検索コードを格納するための「検索コード」項目を設けた。

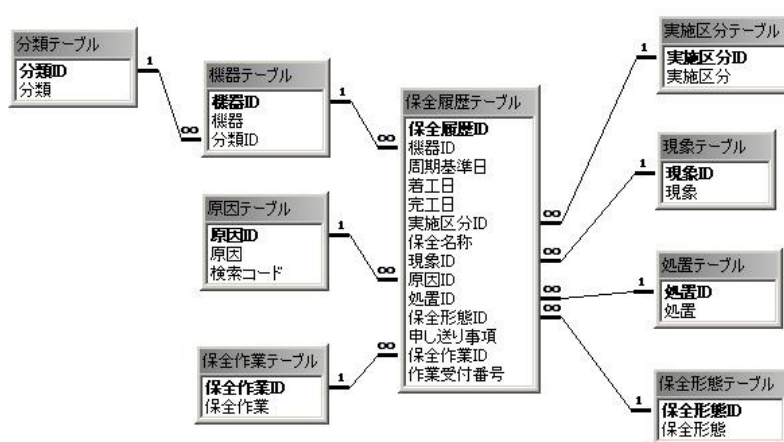


図 6.4 保全履歴データベースのデータ構造

6.3 データ入力システム

データ入力システムの役割は，語彙の統一とユーザに対する検索コードの入力補助である。データ入力システムは，Java により構築した。また，OWL により記述されたプラントオントロジーに対する問い合わせは，スタンフォード大学で開発された JTP を利用した。なお，JTP において OWL ファイルの指定は，URL 形式で行うため，ウェブサーバのドキュメントディレクトリ下に，プラントオントロジーを記述した OWL ファイルを配置した。本研究では，ウェブサーバとして，Apache1.3.31¹⁸⁾を利用した。また，OWL ファイル名は，“plant-ont.owl”とした。以下では，各機能について述べる。

(1) 語彙の統一

語彙の統一を実現する上で，プラントオントロジーは語彙辞書の役割を果たす。処理の流れは，次の通りである。図 6.5 に示すように，まず，データベースにデータを入力する項目に応じた，プラントオントロジーのクラスを指定し，その下位クラス，またはインスタンスを入力を選択肢として表示する。続いて，ユーザが選択肢の中から，1 つ項目を選択し，そ

の項目をデータベースに入力する。

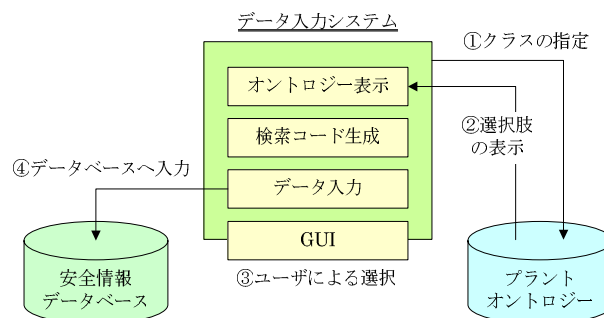


図 6.5 語彙の統一の処理の流れ

図 6.6 に HAZOP 結果用のデータ入力画面を示す。「工場」、「工程」、「機器」、「プロセス変数」のコンボボックスに格納された選択項目が、プラントオントロジーから取得した語彙利用している。

HAZOP結果 入力画面

シート番号	271-(1/3)-10-1	
工場	分離精製工場	分離精製工場
工程	高放射性廃液濃縮工程-U271	高放射性廃液濃縮工程-U271
機器	高放射性廃液蒸発缶-271E20	高放射性廃液蒸発缶-271E20
ノード番号	4	
プロセス変数	高放射性廃液	高放射性廃液
ガイドワード	Less	Less
ずれ	流量なし	流量なし
原因	①エアリフト(A209)の送液機能喪失	
影響		
検知・対応		

データベースへ追加 閉じる

プラントオントロジーから取得した語彙

図 6.6 HAZOP 結果用データ入力画面

また、データ入力を行う際、各データ項目間に関連がある場合は、プラントオントロジーを利用して選択肢を絞り込むことができる。その結果、文脈から外れたな選択肢を表示することがなくなり、入力作業が効率化される。

例として、図 6.3 に示した HAZOP 結果データベースの「工程」の入力を行う場合を考える。この場合は、図 6.7 [a] に示したクエリを実行することにより、図 6.7 [b] に示すように、「工程」クラスのインスタンスを取得することができる。続いて、HAZOP 結果データベースの「機器」の入力を行う際は、プラントオントロジーにおいて「工程」と「工程を構成

する機器」の関係が定義されていることを利用し、「工程」での入力を元に図 6.8 [a] のようにクエリを実行する。その結果、『高放射性廃液濃縮工程-U271』に属する機器のみを出力することが可能となる。

なお、本研究の環境では、JTP のクエリに日本語が含まれる場合は、文字コードが認識されなかった。この問題を解決するためには、日本語の文字の前に“ ¥¥ “を付加する必要がある。なお、図 6.8 [a] の例では、“ ¥¥ “表記を省略している。

```
http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#|:: type| ?x http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: ¥¥工¥¥程
```

[a] 「工程」のインスタンスを取得するためのクエリ

```
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 高放射性廃液濃縮工程-U271
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: プルトニウム溶液濃縮工程-U266
.
.
```

[b]クエリの結果

図 6.7 JTP における「工程」のインスタンスを取得するためのクエリ

```
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 工程を構成する設備| |http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 高放射性廃液濃縮工程| ?x
```

[a] 「高放射性廃液濃縮工程」の「工程を構成する設備」の値を取得するためのクエリ

```
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: エアリフト-271A206
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: エアリフト-271A207
.
.
```

[b]クエリの結果

図 6.8 JTP における「工程を構成する設備」の値を取得するためのクエリ

(2) 検索コードの入力

データ入力システムは、図 6.7 に示した書式に従った検索コードの入力の支援を行い、また、そのためのインタフェースを有する。処理の流れは、以下の通りである。図 6.9 に示すように、まず、検索コード入力画面において、プラントオントロジーから「事象」クラスの下位クラスを「事象の種類」の選択肢として出力する。続いて、選択肢の中からユーザが「事象の種類」を選択する。その値を元に、プラントオントロジーに問い合わせを行い、選択された「事象の種類」の<属性>と、その<属性>の<値>となり得る選択肢、つまりプラントオントロジーにおけるプロパティの制約条件 owl:allValuesFrom で定義されたクラスのインスタンスを表示する。そして、選択された<値>を元に、図 3.7 の書式に従い、検索コードを生成する(図 6.9)。最後に、生成された検索コードを、他の入力データと共に安全情報データベースに格納する(図 6.9)。

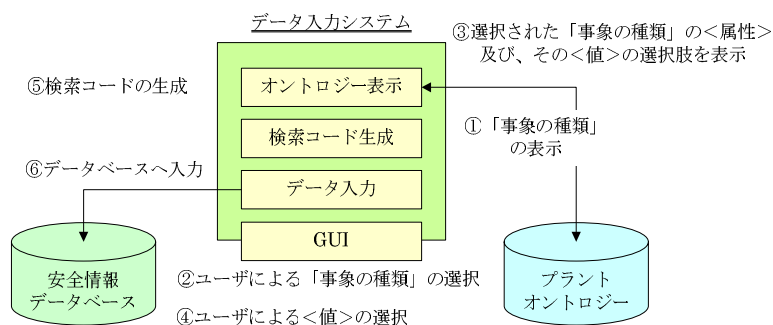


図 6.9 検索コード生成の流れ

例えば、「事象の種類」として『流入』を選択した場合に、プラントオントロジーから『流入』の<属性>、つまりプロパティを得るには、図 6.10 [a] のクエリを実行する。その結果、図 6.10 [b] の結果が得られる。その結果を元に、検索コードの入力画面では、図 6.12 [b] のように表示される。また、得られた<属性>の中から『移行元の設備』の<値>となる選択肢を表示するためには、図 6.11 [a] のクエリにより、プロパティの制約条件 owl:allValuesFrom で定義されたクラスを取得し、さらに、図 6.7 [a] と同様のクエリによって、そのクラスのインスタンスを取得する。検索コード入力画面では、そのインスタンスは、図 6.12 [c] のコンボボックスに、選択肢として格納される。

```
(and( http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#|:: subClassOf| http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: ユーザ入力| ?subClass)
( http://www.w3.org/2002/07/owl#|:: onProperty| ?subClass ?x))
```

[a] 「流入」のプロパティを取得するためのクエリ

```
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 移行元の設備
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 移動した物質
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 移行物質
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 移行先の設備
```

[b]クエリの結果

図 6.10 JTP における「流入」のプロパティを取得するためクエリ

```
(and(| http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#|::|subClassOf| http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: ユーザ入力| ?subClass)
(| http://www.w3.org/2002/07/owl#|::|allValuesFrom| ?subClass ?x)
(| http://www.w3.org/2002/07/owl#|::|onProperty| ?subClass |http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: ユーザ移行元| ユーザ設備|))
```

[a] 「流入」の「移行元の設備」の制約対象となるクラスを探索するためのクエリ

```
|http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|::|設備
```

[b]クエリの結果

図 6.11 JTP における「移行元の設備」の制約対象のクラスを取得するためのクエリ

6．安全情報管理システム

6．1 安全情報管理システムの概要

前節で示したオントロジー技術を導入して安全情報管理システムを構築した。図 6.1 に、安全情報管理システムの構成を示す。

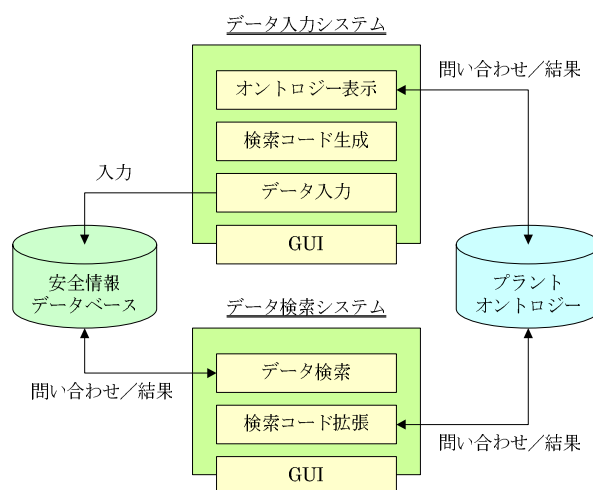


図 6.1 安全情報管理システムの構成

以下、図 6.1 における各要素の役割について述べる。

(1) プラントオントロジー

原子力関連施設に関わる概念を体系化したオントロジーであり、安全情報の効率的な管理の基盤となる。具体的には、語彙の統一、検索コードの生成、及び検索コードの拡張に利用される。プラントオントロジーの実体は、オントロジーエディタ『法造』により編集したものを、ウェブ・オントロジー言語 OWL 形式で出力したテキストファイルである。ただし、オントロジーのインスタンスに該当する内容については、別途手作業で入力を行った。

(2) 安全情報データベース

既存の、紙媒体で保存されていた安全情報をデータベース化し、格納する。本研究で格納した情報は、核燃料サイクル開発機構の異常時運転要領書、HAZOP 結果、保全履歴である。

(3) データ入力システム

語彙を統一したデータ入力とプラントオントロジーに基づいた検索コードの生成、入力を行う。どちらの役割においても、OWL 形式で記述されたプラントオントロジーから、文脈に沿った語彙を選択肢としてユーザに出力する。

(4) データ検索システム

データベースに対するデータ検索と検索コードの拡張による柔軟なデータ検索を行う。データベースに対するデータ検索では、ユーザの要求に応じて、データベースに対し SQL 文を発行する。検索コードの拡張には、検索コードをプラントオントロジーにおいて定

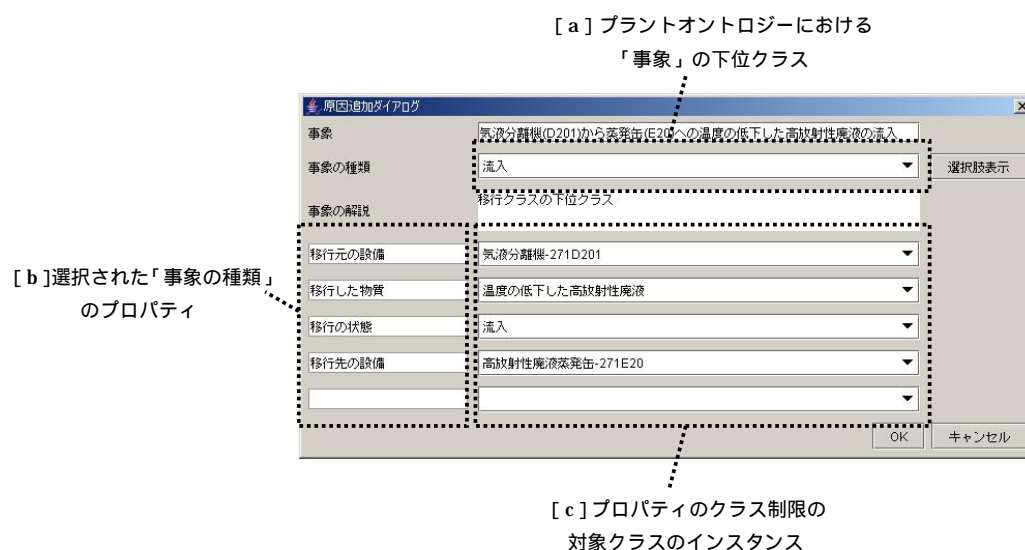


図 6.12 検索コードの入力画面

6.4 データ検索システム

データ検索システムは、データベースに対する問い合わせと検索コードを拡張した柔軟な検索を実装する。データ検索システムは、データ入力システム同様、Java 及び JTP を用いて構築した。以下では、各機能の処理の流れについて詳しく述べる。

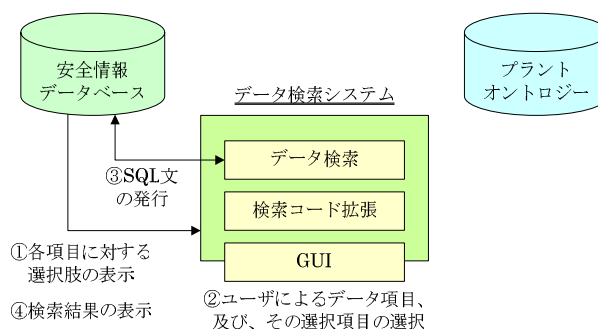


図 6.13 データベースに対する検索

(1) データベースに対する検索

データ検索システムは、安全情報データベース内のデータの検索、及び閲覧をするための機能と、そのためのインターフェースを有する。処理の流れは、以下の通りである。図 6.13 に示すように、まず、安全情報データベースの各データ項目の格納済みのデータを、選択肢として表示する。続いて、ユーザは検索するデータ項目、及びその選択項目を 1 つ選択する。そして、その結果に基づいて、データ検索システムは、安全情報データベースに対し SQL 文を発行し、結果を表示する。なお、事象に関するデータ項目に対しては、データ入力システ

ムの検索コードの生成，入力と同様の機能を持つインターフェースを設けた。これにより，入力データと同一の書式で検索コードを入力することが可能となり，事象単位での検索が実現する。

データ検索システムは，検索条件を入力するための検索画面と検索結果を表示，閲覧するための検索結果出力画面から構成される。図 6.14 に HAZOP 結果用の検索画面，図 6.15 に HAZOP 結果の検索結果出力画面を示す。

図 6.14 HAZOP 結果の検索画面

図 6.15 HAZOP 結果の検索結果出力画面

(2) 検索コードを拡張した検索

データ検索システムは、検索コードを拡張することにより、柔軟な検索を実現する機能を有する。処理の流れは、以下の通りである。図 6.16 に示すように、まず、ユーザが「検索コード」の入力、及び「拡張パターン」の選択を行う。ここで、「拡張パターン」とは、検索コード内のどの<属性>を、どのように拡張するかのパターンであり、「事象の程度」を同階層の「インスタンス」全てに拡張するものと、「設備」を同階層の「インスタンス」全てに拡張するものがある。続いて、ユーザが入力した「検索コード」及び「検索パターン」に応じて、プラントオントロジーに対する問い合わせを実施する。そして、その結果（図 6.16 ）を元に、データ検索システムは、検索コードを拡張する。最後に、その検索コードを元に安全情報データベースに対し、SQL 文を発行し、その結果を表示する。

例として、図 5.11 に示した設備の構造を考慮した検索を行う場合は、図 6.17 [a] のクエリを実行して、「エアリフト-271A207」のクラスを取得する。図 6.17 [b] のクエリ結果の中から、「機械設備」の下位クラスである「エアリフト」を取得する。そして、図 6.18 [a] の「エアリフト」のインスタンスを取得するクエリを実行して、その結果から、元の検索コードの「エアリフト-271A207」と置き換えた検索コードを生成する。最後に、生成された各検索コードを基に SQL 文を発行する。

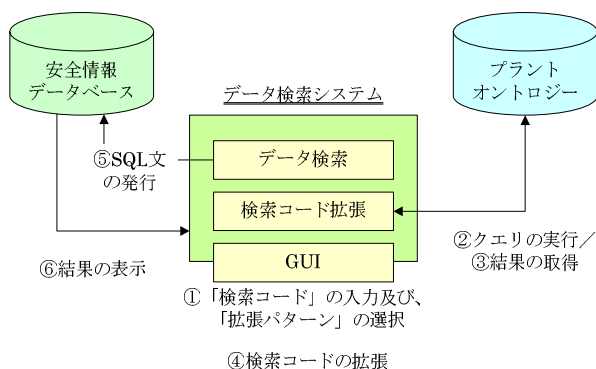


図 6.16 検索コードを拡張した検索

```
http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#|:: type| http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: エアリフト-271A207| ?x
```

[a] 「エアリフト-A207」のクラスを探索するためのクエリ

```
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: エアリフト
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 設備
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: 機械設備
http://http://www.w3.org/2002/07/owl#|:: Thing
.
.
```

[b]クエリの結果

図 6.17 「エアリフト A207」のクラスを取得するクエリ

```
http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#|:: type| ?x http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl#|:: ヲヱヱヱアヱヱリヱヱフヱヱト
```

[a] 「エアリフト」のインスタンスを取得するためのクエリ

```
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl# :: エアリフト-271A206  
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl# :: エアリフト-271A207  
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl# :: エアリフト-271A208  
http://127.0.0.1/ontology/plant-ont.owl# :: エアリフト-271A209
```

[b]クエリの結果

図 6.18 「エアリフト」のインスタンスを取得するクエリ

6.5 安全情報管理システムの実行例

6.5.1 データ入力システムの実行例

本研究では、核燃料サイクル開発機構の高放射性廃液濃縮工程の異常時運転要領書、HAZOP 結果、保全履歴を統合管理するための安全情報管理システムの構築を行った。安全情報管理システムでは、データ入力システムを介して、データ入力を行い、データ検索システムを用いて、データの検索、及び閲覧を行う。ここでは、データ入力システム、データ検索システムの実行例を示す。

ここでは、データ入力システムを介して、HAZOP 結果を入力する例を示す。

(1) 「シート番号」の入力

「シート番号」をキーボードから手作業で入力する（図 6.19 [a]）。

(2) 「工場」～「ずれ」の入力

コンボボックスの選択項目から、項目を 1 つ選択し、その右側に配置されたボタンを押すことにより、テキストフィールドに入力する（図 6.19 [b]）。コンボボックスの選択項目は、プラントオントロジーから取得しているため、語彙の統一が実現する。

(3) 「原因」の入力

[原因] リストボックスの右側に配置されたボタン（図 6.19 [c]）を押すことにより、原因追加ダイアログが開く（図 6.20）。

(4) 「事象」の入力

「事象」をキーボードから入力する（図 6.20 [a]）。ここでは、『エアリフト(A209)の送液機能喪失』という事象を入力した。

(5) 「事象の種類」の選択

検索コードを入力するために、まず [事象の種類] コンボボックスから、「機能の異常」を選択し、その右側に配置されたボタンを押す（図 6.20 [b]）。ボタンを押すことで、データ入力システムは、プラントオントロジーから「機能の異常」クラスのプロパティを取得し、テキストフィールドに表示する（図 6.20 [c]）。また、同時に各プロパティの制約の対象クラスのインスタンスを取得し、コンボボックスに選択項目として格納する（図 6.20 [d]）。

(6) プロパティの値の選択

各プロパティの項目を選択する。ここでは、事象が『エアリフト(A209)の送液機能喪失』であるため、「異常を示した設備」として『エアリフト-271A209』、「設備の機能」として『送液機能』、「機能異常の程度」として『喪失』を選択した（図 6.20 [d]）。

(7) 「事象」の追加

[OK] ボタンを押す（図 6.20 [e]）ことで、HAZOP 結果入力画面の [原因] リストボックスに事象が追加される（図 6.19 [d]）。このとき、システムの内部では、原因追加ダイアログで選択された「事象の種類」、その「事象」クラスの「プロパティ」、及びそのプロパティの「値」から検索コードが生成され、保持されている。

(8) 「影響」「検知・対応」の入力

「影響」は、事象を記述する項目であり、「検知・対応」には、検知された事象に関する記述が含まれるため、「原因」と同様の操作によって入力を行う。詳細は省略する。

(9) データベースへ追加

[データベースへ追加] ボタンを押すことで、HAZOP 結果入力画面上に入力したデータを、データベースへ格納する(図 6.19 [e])。このとき、「原因」「影響」「検知・対応」については、(7)で生成された検索コードが合わせて格納される。

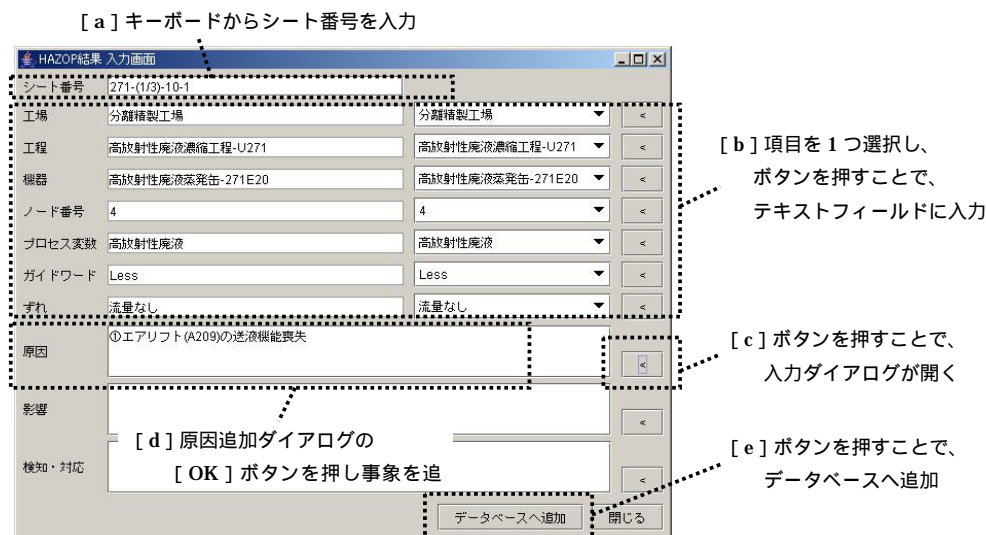


図 6.19 HAZOP 結果の入力例



図 6.20 事象と検索コードの入力例

6.5.2 データ検索システムの実用例

ここでは、異常の根原因の推測の利用例に沿ったデータ検索の例を示す。

(1) 異常時運転要領書の検索

原子力関連施設では、異常を表すブザーの発報やアラームの点滅があった場合、それらに対応したセンサ情報を基に異常時運転要領書を参照する。データ検索システムにおいて異常時運転要領書を参照するには、図 6.21 に示すように、検索画面で[項目]コンボボックスから項目を選択し、[項目]ラジオボタンを選択して検索条件を決定する。そして、[検索実行]ボタンを押すとシステムはデータベースに対し、問い合わせを行う。ここでは、『271PRC20.1』を選択した。

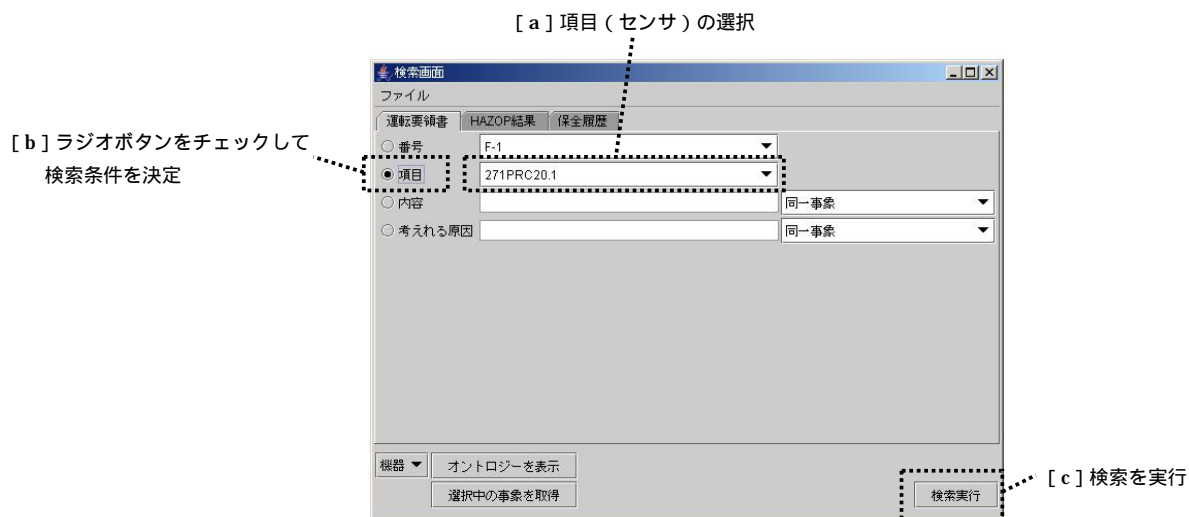


図 6.21 異常時運転要領書の検索画面

(2) 異常時運転要領書の閲覧

問い合わせの結果は、図 6.22 に示すように異常時運転要領書の検索結果出力画面に表示される。1つの項目(センサ)に対して複数の「内容」が存在する場合は、[内容]リストボックスの上に配置されたボタンにより切り替えを行う。同様に、1つの「内容」に対して複数の「原因」が存在する場合にも、[原因]リストボックスの上に配置されたボタンにより切り替えを行う。ここで、「原因」として『硝酸とホルマリンの未反応』に注目すると、その「措置」には『3.原因を調査し、必要な措置及び対応を行う。』と記述されている。

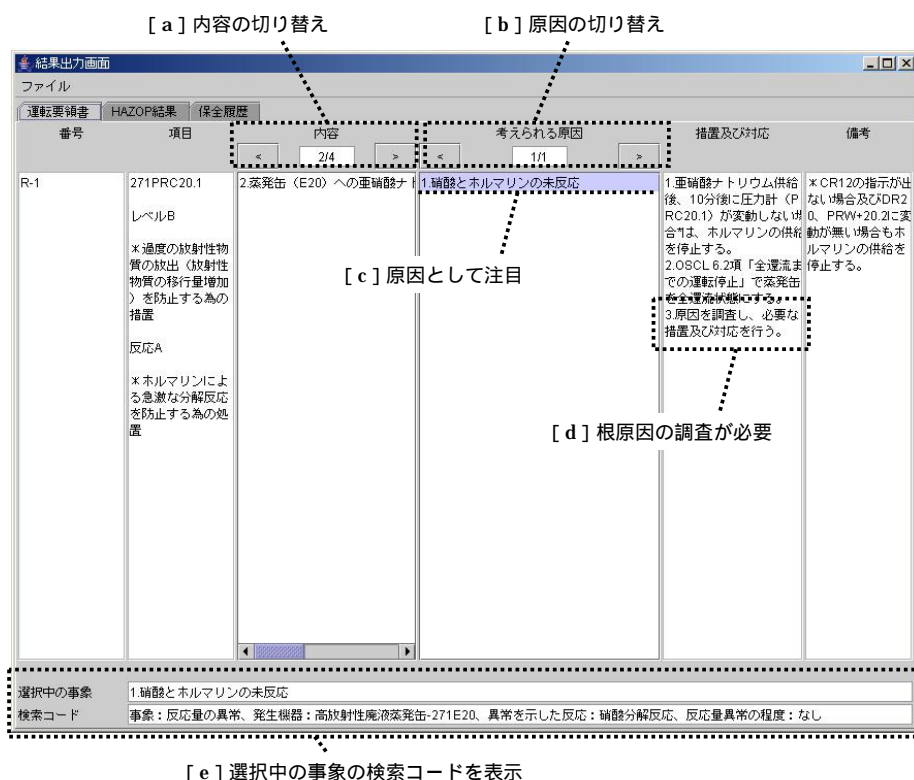


図 6.22 異常時運転要領書の閲覧画面

(3) 検索コードの取得

異常時運転要領書の「原因」に記述された『硝酸とホルマリンの未反応』の根原因を調査するために、同一の内容を示す事象を HAZOP 結果の「影響」から検索する。同一事象の検索には、検索コードを用いる。データ検索システムでは、画面上の事象をマウスでクリックすることで、その事象の検索コードを画面下部のテキストフィールドに表示される。そして、検索コードが表示された状態で、HAZOP 結果検索画面上の「選択中の事象を取得」ボタンを押すと（図 6.23 [a]）、[原因] 及び [影響] テキストフィールドに検索コードが入力される（図 6.23 [b]）。

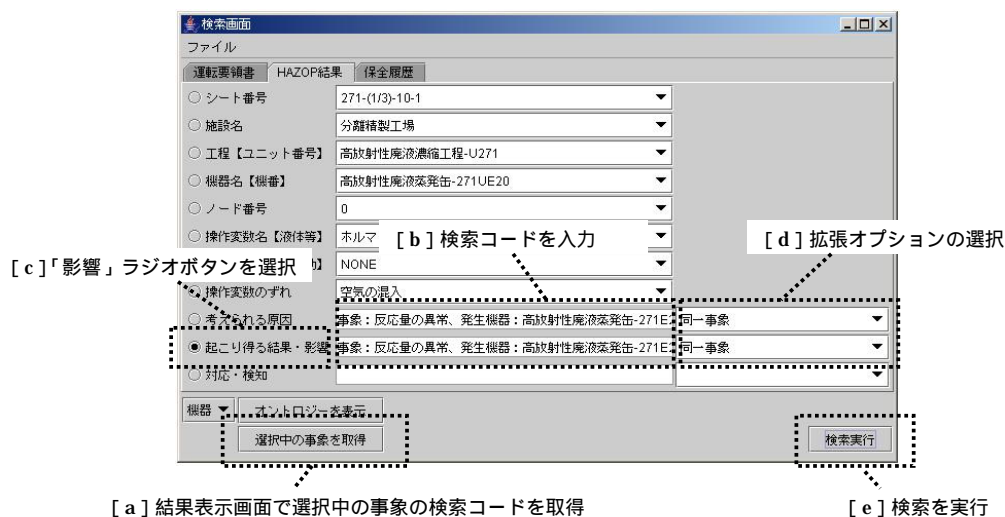


図 6.23 検索コードの取得

(4) HAZOP 結果の検索

[影響] ラジオボタンを選択し (図 6.23 [c]), 「拡張オプション」から『同一事象』を選択し (図 6.23 [d]), 検索条件を決定する。なお, 「拡張オプション」とは, 検索コードを拡張方法について『同一事象』, 『事象の程度の拡張』, 『設備の拡張』の選択であり, それらは 3.3 節にて述べた 3 種の検索方法に対応している。ここでは, 検索コードを拡張させないので, 『同一事象』を選択した。[検索実行] ボタンを押し, データベースに対し, 問い合わせを行う (図 6.23 [e])。

(5) HAZOP 結果の閲覧

問い合わせの結果は, 図 6.24 に示すように, HAZOP 結果の検索結果出力画面に表示される。検索条件として用いた検索コードと同一の内容を示す事象が検索された場合は, 強調表示される。そして, HAZOP 結果の中から, 検索された「影響」に対応した「原因」を, 根原因を推測する判断材料として参照する。

結果出力画面

ファイル

運転要領書 HAZOP結果 保全履歴

1/1

シート番号 271-(13)-10-1

施設名 分離精製工場

工程【ユニット番号】 高放射性廃液濃縮工程-U271

機器名【機番】 高放射性廃液濃縮機-271UE20

ノード番号 4 [b] 根原因を推測する判断材料として参照

操作変数名【液体等】 ホルマリン溶液

ガイドワード【変動】 NONE

操作変数のずれ 流量なし

考えられる原因

- ①気液分離機(201D223)からのホルマリン溶液流入なし
- ②配管の開塞
- ③配管の破損
- ④流量計の破損
- ⑤圧空弁の故障

起こり得る結果・影響

- ・高放射性廃液濃縮機(E20)へのホルマリン溶液流入なし
- ・高放射性廃液濃縮機(E20)の硝酸分解反応なし(フォーミングの発生なし)
- ・高放射性廃液濃縮機(E20)内濃縮廃液の温度上昇
- ・高放射性廃液濃縮機(E20)内濃縮廃液の酸度上昇
- ・高放射性廃液濃縮機(E20)内加熱コイルの腐食進行
- ・高放射性廃液濃縮機(E20)内加熱コイルの破損・閉塞・漏れ

対応・操作

- ・高放射性廃液濃縮機(E20)TRIに濃縮廃液温度上昇の検知(①～③)
- ・高放射性廃液濃縮機(E20)CRIによる硝酸分解反応なしの検知(①～③)
- ・現場におけるFIWによるホルマリン溶液の流入なしの検知(①～③)
- ・現場における流量計の破損状態の検知・対応(④)
- ・現場における手動弁及び圧空弁開の検知・対応(⑤～⑥)

選択中の事象

検索コード

事象：反応量の異常、発生機器：高放射性廃液濃縮機-271E20、異常を示した反応：硝酸分解反応、反応量異常の程度：なし

図 6.24 HAZOP 結果の閲覧

ここでは、データ入力システムを用いた HAZOP 結果のデータ入力例と、データ検索システムを用いて、異常時運転要領書に記された原因の根原因を HAZOP 結果から参照する例を示した。データ入力システムにおいては、プラントオントロジーに基づいた語彙と検索コードの入力を行う仕組みを実装した。そのために、語彙の統一と書式に基づいた検索コードの入力が可能となった。検索コードは、プラントオントロジーに基づいているため、それ自体が、事象に関する暗黙情報を明示化する役割を果たしている。データ検索システムにおいては、複数の情報を統合管理する仕組みを実装した。

データ入力システム、及び、データ検索システムの実装で、複数の情報源の横断検索や異なる情報源のデータ同士の検索が可能となり、安全情報の統合が実現した。また、安全情報の統合が実現したことで、単一の情報では得られなかった知見を得ることが可能となり、安全情報の知識の伝承や安全管理への活用が可能となった。

システムの実用化に向けては、システムの使い易さ、データの見易さといったインタフェースの評価が重要である。しかし、インタフェースの評価は、評価方法そのものが研究対象となる例²⁷⁾が見られるなど、容易にできるものではない。そもそも、プラントに立つ運転員の中には、コンピュータを操作するよりも、冊子になったものの方が馴染みがあり、使い易いという意見もある。そこで、インタフェースの評価については、本研究の対象外とし、今後の課題とする。

本研究では、OWL で記述したオントロジーに対する問い合わせのために、JTP を利用した。JTP は、OWL の構文を正確に推論し、クエリに対し要求した通りの結果を取得することが可能

であった。そのため、リレーショナルデータベースでは実現が難しいデータ構造を持つ、OWL形式のオントロジーを利用したシステムの構築が可能となった。しかし、問い合わせを行ってから、その結果が返ってくるまでの応答性が悪かった。例として、図 4.6 に示したクエリを実行した場合、本研究でコンピュータ（CPU：Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 1800MHz，物理メモリ：523,280 KB）では、結果が出力されるまでに約 5 秒を要した。この応答性は実用化には適しておらず、特に異常時における利用を考えた場合、応答性の改善が必要となる。

7. おわりに

原子力関連施設で安全性を確保するためには、設備のライフサイクル（プラント設計、建設、運転・設備保全）を通じた統合的安全管理が必要である。設備のライフサイクルのそれぞれのフェーズにおいて安全業務が要求されるが、安全業務を遂行するためには膨大なデータ、情報、知識を利用されるとともに、新たに生成され、蓄積される。現状の原子力関連施設では、危険評価、異常事象、事故ニアミス、保全履歴等多くの知識、情報が蓄積されているが、本研究では、原子力関連設備の安全性向上を目的として、これらの安全技術情報・データを構造化・体系化しデータベース化するとともに、安全情報管理システムを構築した。これら、安全情報を、安全設計、操作支援システム設計へ活用し、安全管理統合化システムを構築した。

さらに、本研究では、複数の情報を統合するために、新たにオントロジー技術の導入を試みた。安全情報は、作成者や作成された時期が同じではないために、語彙の不統一や暗黙的な知識が記述されていない。そこで、複数の安全情報を統合して活用するために、原子力関連施設に関する概念を体系化したプラントオントロジーを構築し、プラントオントロジーに基づいた安全情報のデータベース化、及びそのデータを統合管理するための安全情報管理システムを構築した。プラントオントロジーに基づいた語彙の統一と検索コードの導入により、安全情報を社員教育や、異常時の運転員の判断支援、危険予知訓練に活用するための、状況に応じた柔軟な情報検索を可能とした。

参考文献

- (1) Center for Chemical Process Safety(CCPS) : Plant Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety(1992)
- (2) Center for Chemical Process Safety(CCPS) : Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 2nd ed(1992)
- (3) Trevor Kletz : WHAT WENT WRONG?, 4th Edition (1999)
- (4) Center for Chemical Process Safety(CCPS) : Plant Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety(1992)
- (5) 溝口理一郎・來村徳信 ,工学知識のマネージメント ,第 4 章 ,pp.155 - 179 ,朝倉書店(1998)
- (6) 溝口理一郎 :“ 形式と内容 - 内容指向人工知能研究の勧め - ” ,人工知能学会誌 ,Vol.11 No.1 pp.50 - 59 (1996)
- (7) 溝口理一郎・池田満 :“ オントロジー工学序説 - 内容指向研究の基盤技術と理論の確立を目指して - ” , 人工知能学会誌 , Vol.12 No.4 pp.559 - 569 (1997)
- (8) 古崎晃司、他 :“ オントロジー構築・利用環境「法造」の開発と利用 - 実規模プラントのオントロジーを例として - ” , 人工知能学会論文誌 , Vol.17 No.4 pp.407-419 (2002)
- (9) Ontolingua Home Page, <http://www.ksl.Stanford.EDU/software/ontolingua/>
- (10) Knowledge Interchange Format (KIF), <http://logic.stanford.edu/kif/kif.html>
- (11) XOL Ontology Exchange Language, <http://www.ai.sri.com/pkarp/xol/>
- (12) Ontology Markup Language (OML), <http://wave.eecs.wsu.edu/CKRMI/OML.html>
- (13) Web Ontology Language Overview, W3C Recommendation 10 February 2004, <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>
- (14) DAML+OIL (March 2001) Reference Description, W3C Note 18 December 2001, <http://www.w3.org/TR/daml+oil-reference>
- (15) 溝口理一郎、他 :“ 対象モデリングの視点から見た知識表現 ” ,人工知能学会誌 ,Vol.18 No.2 pp.183-192 (2003)
- (16) OWL Web Ontology Language Guide W3C Recommendation 10 February 2004, <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>
- (17) JTP: An Object-Oriented Modular Reasoning System , <http://www.ksl.stanford.edu/software/JTP/>
- (18) The Apache Software Foundation, <http://www.apache.org/>