

JNC TJ1400 99-003

公開資料

システム解析手法の高度化研究（Ⅱ）

（核燃料サイクル開発機構 受託研究成果報告書）

1999年3月

岡山大学工学部システム工学科

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下さい。

〒319-1194

茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33
核燃料サイクル開発機構 東海事業所
運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Technical Information Section,
Administration Division,
Tokai Works,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-33 Muramatu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194

システム解析手法の高度化研究（Ⅱ）

鈴木和彦[※]，島田行恭[※]

要 旨

プラント、プロセスの信頼性、安全を評価するための代表的な手法として HAZOP がある。この安全評価手法は、多くのプラント、プロセスに適用され、その有用性は高く評価されている。しかし、ますます大型化、複雑化する化学プラントや原子力発電所等の安全問題に適用するためには、多くの労力と時間が必要であり、計算機による HAZOP 支援システムが提案されている。

昨年度報告書では、ユニットの入出力変数の状態に着目して対象プロセスをモデル化し、プラントを構成する各要素の入出力変数の状態と内部事象及び外部事象の関係をデシジョンテーブルにより表現し、HAZOP 及び FT 生成を行う手法を提案した。デシジョンテーブルの情報を知識ベースとして計算機に格納し、HAZOP 及び FT 生成を行う解析システムを構築した。この解析システムを高レベル廃液貯槽冷却システム等の安全評価に適用し、有用性を示した。

本研究では、プラント構成要素の異常の因果関係を記述するための要素異常基本モデルを提案する。これより、異常伝播構造の情報を考慮に入れた安全評価支援システムを開発する。要素異常基本モデルは、各構成要素における状態異常と機能不全の因果関係に関する情報を基に作成する。この要素異常基本モデルを用いることにより、構成要素の状態異常が明らかになるだけでなく、その状態異常から外部環境への影響なども解析することができる。システム開発には GUI (Graphical User Interface) に優れたオブジェクト指向開発ツールである G2 を用いる。G2 を用いることにより、解析者は簡単な操作で HAZOP を実施することが可能となる。開発した安全評価支援システムを高放射性廃液濃縮工程を対象とした安全評価を実施し、その有用性を示した。

※ 本報告書は、鈴木和彦が核燃料リサイクル開発機構の委託により実施した研究の成果である。

サイクル機構担当部課長室：東海事業所 安全管理部 安全工学グループ 野尻一郎

※ 岡山大学工学部システム工学科

Research on Advanced System Safety Assessment Procedures (II)

Kazuhiko Suzuki* and Yukiyasu Shimada*

Abstract

HAZOP is a systematic technique, which requires the involvement of an experienced, interdisciplinary team of engineers, to identify hazards or operability problems throughout an entire facility by brainstorming. Though HAZOP is recognized as the useful safety assessment method, it requires a labor-intensive and time-consuming process. So recently computer-aided HAZOP has been proposed.

The research report in 1998 (PNC PJ1612 98-001) presented prototype system, which carries out HAZOP and FT synthesis, by making use of proposed method. Relationships between states of input and output variables, internal and external events of each component are represented using decision tables, and the system is implemented by C++.

In this study, the causalities of plant component malfunctions are described as component malfunction basic model and are stored in the computer. Thus, we have developed safety evaluation support system by considering the fault propagation path. Component malfunction basic model is made based on the information on the causalities between the abnormal state and each malfunction in components. This component malfunction basic model provides the common frame to describe abnormal situation in components. By using this basic model, not only state malfunction of component but also the consequence to external circumstance is assessed. G2, which is an excellent object-oriented developer tool in GUI (Graphical User Interface), is used as a tool for developing the system. By using the graphical editor in the system, the user can carry out HAZOP easily. We have applied this system to the Nuclear Reprocessing Facilities to demonstrate the utilities of developing system.

※ Work performed by Kazuhiko Suzuki and Yukiyasu Shimada
under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute

JNC Liaison . . . Safety Engineering Group, Health and Safety Division,
Tokai works, Ichiro Nojiri

※ Department of Systems Engineering, Faculty of Engineering , Okayama University

目次

1. はじめに	1
2. 異常伝播モデル	2
2.1 異常伝播モデルの概要	2
2.2 ユニットモデル	2
2.3 要素異常基本モデル	4
2.3.1 要素異常基本モデル1	4
2.3.2 要素異常基本モデル2	6
2.3.3 装置のモデル化の例	7
2.4 制御系装置のモデル	12
2.4.1 制御系構成要素のモデル	12
2.4.2 制御系のモデル化の例1	14
2.4.3 制御系のモデル化の例2	15
2.5 要素異常基本モデルによる異常伝播の表現	16
2.5.1 原因影響式	16
2.5.2 異常伝播の解析	16
3. 異常伝播モデルを用いた安全評価	18
3.1 プロセス内異常伝播	18
3.2 HAZOP 解析への応用	21
3.3 FTA への応用	24
4. 異常伝播モデルを用いた HAZOP 解析システム	27
4.1 システムの構成	27
4.2 要素異常知識ベース	28
4.2.1 異常伝播の情報の表現	28
4.2.2 要素異常知識ベースの構造	29
4.3 対象プロセスに関する記述	32
4.3.1 構成要素アイコン	32
4.3.2 プラントモデルの作成	32
4.4 HAZOP 解析エンジン	33
4.4.1 HAZOP 解析エンジンの構成	33
4.4.2 異常伝播を用いた HAZOP 自動解析の流れ	34
4.5 解析結果の表示	42

5. 解析例	4 3
5.1 高放射性廃液濃縮工程	4 3
5.2 構成要素アイコンの作成	4 4
5.3 プラントモデルの作成	4 5
5.4 HAZOP 解析の実施	4 5
5.5 解析結果の考察	4 9
5.5.1 ずれ「蒸気温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	4 9
5.5.2 ずれ「蒸気流量減少」に対する HAZOP 解析結果	5 0
5.5.3 ずれ「蒸気内に錆混入」に対する HAZOP 解析結果	5 1
6. おわりに	5 2
参考文献	5 3
付録-1	付-1 (5 4)
付録-2	付-2 (6 3)

図・表目次

図リスト

図 2.1	事故の発生過程	2
図 2.2	配管の構造	3
図 2.3	配管ユニットにおける状態異常の伝播	4
図 2.4	ユニットによる異常伝播の表現	4
図 2.5	タンクにおける故障の発生とその影響	5
図 2.6	要素異常基本モデル 1	5
図 2.7	配管ユニットにおける故障の発生とその影響	6
図 2.8	要素異常基本モデル 2	7
図 2.9	タンク（貯蔵）のモデル	8
図 2.10	タンク（供給）のモデル	8
図 2.11	管式加熱炉のモデル	8
図 2.12	攪拌機のモデル	8
図 2.13	熱交換器のモデル（状態異常の伝播）	9
図 2.14	熱交換器のモデル（状態異常と故障の因果関係）	9
図 2.15	反応塔のモデル	10
図 2.16	配管のモデル	10
図 2.17	バルブのモデル	11
図 2.18	ポンプのモデル	11
図 2.19	冷却水の入出力のある反応塔のモデル	11
図 2.20	1 入力 1 出力の攪拌機	12
図 2.21	流量制御系の例	12
図 2.22	流量計のモデル	13
図 2.23	流量調節部のモデル	13
図 2.24	流量制御弁のモデル	14
図 2.25	制御系のモデル化の例	14
図 2.26	温度制御系の例	15
図 2.27	温度制御系のモデル化の例	15
図 2.28	原因影響式	16
図 2.29	装置間の異常伝播	17
図 3.1	解析対象ライン	18
図 3.2	機能不全に対する異常伝播	19
図 3.3	制御系の故障に対する異常伝播	20
図 3.4	解析対象ライン	21
図 3.5	異常伝播の取り出し	22

図 3.6	解析対象ライン	24
図 3.7	異常伝播の取り出し	25
図 3.8	作成された FT	26
図 4.1	安全評価支援システムの概要	28
図 4.2	表現の例	28
図 4.3	要素異常知識ベースの構造	30
図 4.4	要素異常知識ベースの例	30
図 4.5	要素異常知識ベースの一部	31
図 4.6	構成要素アイコンの例	32
図 4.7	構成要素アイコンの接続例	32
図 4.8	プラントモデルの例	33
図 4.9	HAZOP 解析エンジンの構成	34
図 4.10	HAZOP 自動解析の流れ	35
図 4.11	プロシージャ 1 のフローチャート	37
図 4.12	プロシージャ 2 のフローチャート	38
図 4.13	プロシージャ 3 の影響解析部のフローチャート	39
図 4.14	プロシージャ 3 の原因解析部のフローチャート	40
図 4.15	プロシージャ 4 のフローチャート	41
図 4.16	解析結果表示の例	42
図 5.1	高放射性廃液濃縮工程ノード 17	43
図 5.2	アイコン作成例	44
図 5.3	構成要素アイコンの情報	44
図 5.4	高放射性廃液濃縮工程ノード 17 のプラントモデル	45
図 5.5	コネクションの選択	46
図 5.6	物質の種類を選択	46
図 5.7	プロセス変数と手引用語を選択	47
図 5.8	解析結果の表示	47
図 5.9	ずれの原因 (故障や装置の影響)	48
図 5.10	ずれの原因 (外部環境)	48
図 5.11	ずれによる故障や装置への影響	48
図 5.12	ずれによる外部への影響	48
図 付 1.1	G2 内に格納された要素異常知識ベースの表現の説明	付-1 (54)
図 付 2.1	高放射性廃液濃縮工程ノード 17	付-2 (63)

表リスト

表 3.1	初期事象	18
表 3.2	HAZOP 解析結果	23
表 5.1	ずれ「蒸気温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	49
表 5.2	ずれ「蒸気流量減少」に対する HAZOP 解析結果	50
表 5.3	ずれ「蒸気内に錆混入」に対する HAZOP 解析結果	51
表 付 1.1	HEAT_COIL (加熱コイル) の要素異常知識ベース	付-1 (55)
表 付 1.2	DECREASE_TEMP_SYS (減温装置) の要素異常知識ベース	付-1 (59)
表 付 2.1	ずれ「蒸気流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (64)
表 付 2.2	ずれ「蒸気流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (65)
表 付 2.3	ずれ「蒸気流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (66)
表 付 2.4	ずれ「蒸気内に錆混入」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (67)
表 付 2.5	ずれ「蒸気内に冷却水の混入」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (68)
表 付 2.6	ずれ「蒸気内に圧縮空気混入」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (69)
表 付 2.7	ずれ「蒸気温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (69)
表 付 2.8	ずれ「蒸気温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (70)

1. はじめに

化学プラントや原子力発電所などの大規模なプロセスの信頼性、安全性に関する問題は社会的にも大きな関心を集めており、各企業の重要な課題となっている。特に原子炉では放射性物質の漏洩など、大規模災害発生の危険性が存在する。このような背景から、安全確保と災害防止のために、事故の原因や影響を明らかにする様々な安全評価手法が提案されている。

プラント、プロセスの信頼性、安全を評価するための代表的な手法として HAZOP がある。この安全評価手法は、多くのプラント、プロセスに適用され、その有用性は高く評価されている。しかし、ますます大型化、複雑化する化学プラントや原子力発電所等の安全問題に適用するためには、多くの労力と時間が必要であり、計算機による HAZOP 支援システム¹⁾²⁾が提案されている。一方、知識工学の目的は、問題解決の対象となる領域に関する専門的知識や専門家が持つ経験的知識を形式化し、知的情報処理システムを実現することにある。知識工学の発展により、種々の問題に対してその応用が試みられており、信頼性、安全の分野の問題に対しても、適用されつつある。

昨年度研究報告書では、変数の状態に着目して、対象プロセスをモデル化し、プラントを構成する各構成要素の入出力変数の状態と内部事象、及び外部事象の関係をデシジョンテーブルにより表現した。このデシジョンテーブルにより整理された情報を知識ベースとして計算機に格納し、HAZOP 及び FT 生成を行う解析システムをプロトタイプとして構築した。この解析システムを高レベル廃液貯槽冷却システムの安全評価に適用し、有用性を示した。

本研究では、プラント構成要素の異常の因果関係を記述するための要素異常基本モデルを提案する。これより、異常伝播構造の情報を考慮に入れた安全評価支援システムを開発する。要素異常基本モデルは各要素における状態異常と機能不全の因果関係に関する情報を基に作成する。この要素異常基本モデルを用いることにより、構成要素の状態異常が明らかになるだけでなく、その状態異常から外部環境への影響なども解析することができる。システムの開発には GUI (Graphical User Interface) に優れたオブジェクト指向開発ツールである G2 を用いる。G2 を用いることにより、解析者は簡単な操作で解析を実施することが可能となる。

本研究で提案した安全評価支援システムを用いて、原子力プラントの高放射性廃液濃縮工程を対象とした安全評価を実施し、その有用性を示す。

2. 異常伝播モデル

2.1 異常伝播モデルの概要

化学プラントにおいて、事故は原因となる事象から直接引き起こされることは少なく、その発生過程は「望ましくない結果となる特定の過程」として表現される。図2.1に示すように、事故の発生過程は異常事象の伝播として表現され、最初に発生する事象を初期事象という。また、初期事象から事故に至るまでの間にある事象を中間事象と呼ぶ。

- ① プラントにおいて、事故の原因となる初期事象（装置の故障やヒューマンエラー等）が発生する。
- ② 初期事象による影響がプラント各部に中間事象（流量変化、圧力変化、装置の機能不全等）を引き起こす。
- ③ これらの異常がプラントにおける流れを経て拡大し、化学的な特性や装置の特性により様々な事故を引き起こす。

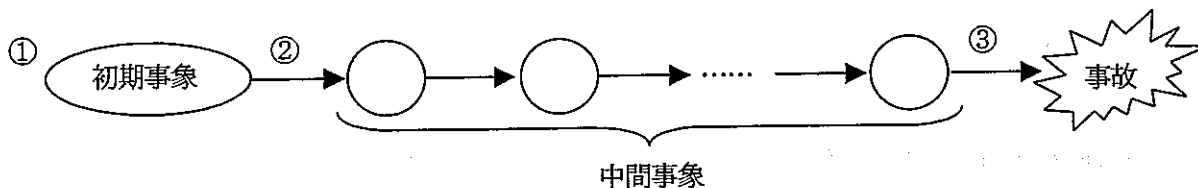


図2.1 事故の発生過程

異常伝播モデルは異常事象によって装置に引き起こされる影響を考え、その影響を隣接装置に伝播させることによって異常事象の伝播を解析するためのモデルである。初期事象を想定し、異常伝播モデルを用いて初期事象の影響を次々と解析していくことで、プラントの各装置内に異常が引き起こされる過程が明確になり、その情報を様々な危険解析手法に利用することが可能となる。なお、本研究では圧力や温度などの変数の異常を状態異常と呼ぶ。

2.2 ユニットモデル

1986年にJ.C.ParnarとF.P.Leesは「伝播方程式」と「事象状態」という2つの規則を用いてプラントにおける装置をモデル化し、異常伝播を表現するユニットモデルを提案した¹²⁾。

伝播方程式は異常伝播を表現する式である。例えば、 x 、 y という2つの入力に対して z という出力がある装置に対して「入力変数 x の増加、あるいは入力変数 y の減少により、出力変数 z が増加する」という関係を伝播方程式で表現すると(2.1)式のようになる。

$$z = f(x, -y) \quad (2.1)$$

事象状態は異常伝播の始まりを表現する「初期事象状態」と終わりを表現する「最終事象状態」の2つに分類される。初期事象状態は(2.2)式に示すもので、初期事象の発生は変数のずれに伝播することを表現している。

$$\text{初期事象} > \text{変数のずれ (状態の変化)} \quad (2.2)$$

最終事象状態は(2.3)式に示すもので、ある変数のずれは最終事象発生に伝播することを表現している。

$$\text{変数のずれ (状態の変化)} > \text{最終事象} \quad (2.3)$$

ユニットモデルでは異常の発生に対して「初期事象状態」、異常の伝播に対して「伝播方程式」、異常伝播の終了に対して「最終事象状態」を用いることにより異常伝播を表現する。

本研究では、ユニットという概念を用いて異常伝播モデルを作成する。これは流体の入出力を基礎として各装置を表現する。装置をユニットとして定義するために、各装置に状態異常や機能不全などを定義する場所となるポイントを設定し、ポイント間の状態異常の伝播や、状態異常と機能不全の因果関係を表現する。

配管を例として、ユニットについて説明する。配管をユニットとして定義するためにまず配管の構造を考える。図 2.2 に示すように、配管には「入口」と「出口」があり、その間を流体が流れる。これより、「入口」、「出口」の2箇所を基に、状態異常の伝播に関する情報を表現する。

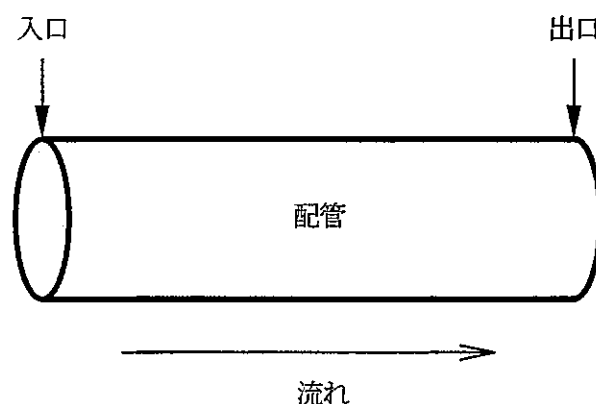


図 2.2 配管の構造

次に、配管では「配管の閉塞」という機能不全や「流体の漏洩」という外部への影響、または「外部の低温」という外部環境からの影響などが考えられる。ここでは装置の故障や機能不全に対して「故障」、外部への影響や外部環境に対して「外部」という枠組みに情報をまとめ、これらを基に、「入口」や「出口」の状態との関係を表現する。このように情報を表現し、格納したものを配管のユニットとする。また、ユニットの構造を表現するために、「入口」、「出口」、「故障」、「外部」を総称してポイントと呼ぶ。

図2.3は状態異常「圧力増加」の伝播構造を表現したものである。図中の矢印は影響を及ぼす方向を示し、事象を矢印の方向にたどることによってどのように異常が伝播するかを把握することができる。図2.3では、入口の「圧力増加」が、「破損」という故障や「流体の漏洩」という外部への影響、「圧力増加」、「流量減少」という出口への影響に伝播することを示し、装置内の異常伝播を表現することができる。プラントにおける異常伝播を明らかにするためには、装置間の異常伝播を表現する必要がある。そこで図2.4のように、ユニットの入口や出口における状態異常を隣接ユニットへ伝播させる。これより異常伝播モデルを用いてプラント間の異常伝播構造明らかにすることが可能となる。

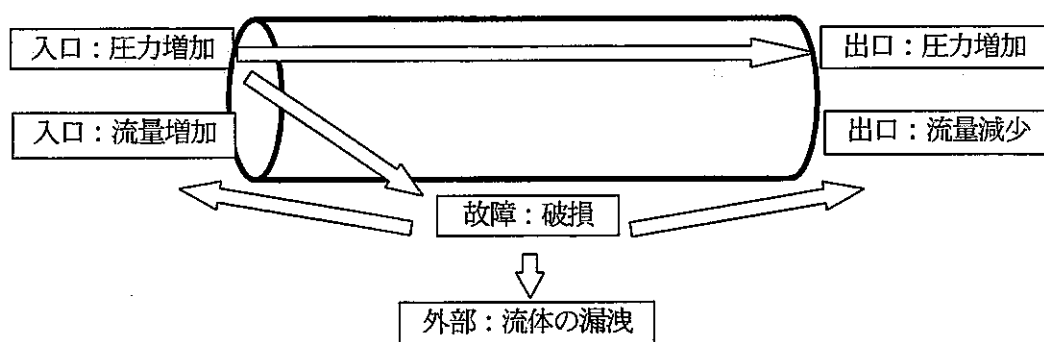


図 2.3 配管ユニットにおける状態異常の伝播

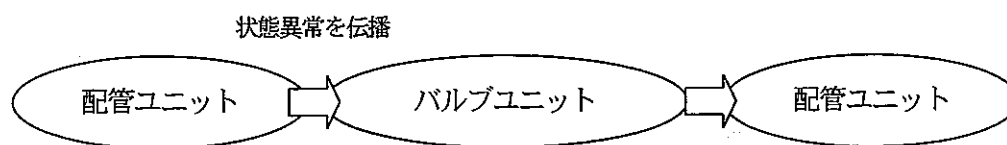


図 2.4 ユニットによる異常伝播の表現

2.3 要素異常基本モデル¹²⁾⁻¹⁴⁾

プラントの各装置は、内部に流体が蓄積されるものと内部を流体が通過するものに分類することができる。この2種類の装置に対してユニットのモデル化を行い、前者のモデルを要素異常基本モデル1、後者のモデルを要素異常基本モデル2とする。

2.3.1 要素異常基本モデル1

内部に流体が蓄積される装置として、図2.5に示すタンクを例に挙げる。異常伝播を表現するために、状態異常の伝播、故障の発生、及びその影響を表現する。

タンクにおける状態異常は、入口と内部の間で伝播する。図2.5はタンクにおける故障の発生とその影響を示したものである。この場合、破損という故障は内部の圧力増加が原因である。またその影響は内部の液位減少へ伝播する。

タンクの入口、内部、故障にポイントを設定し、内部と故障の因果関係を表現する。さらに、タンクの破損はタンク外部に流体が漏洩するという影響を引き起こす。また、低温という外部環境がタンク内部の温度低下という影響を引き起こす場合もある。これより、タンクの外部にもポイントを設定し、外部と故障・内部との間の因果関係を表現することでモデル化を行う。

これより、内部に流体が蓄積する装置をモデル化することができる。また、プロセス流体の状態変化・化学変化等の情報を考慮することにより、装置内部の流体の状態が装置出口の流体の状態に影響を与えるような装置に対してもモデル化を行うことができる。そこで入出力関係のある装置をこの方法でモデル化し、これを図2.6に示す要素異常基本モデル1とする。

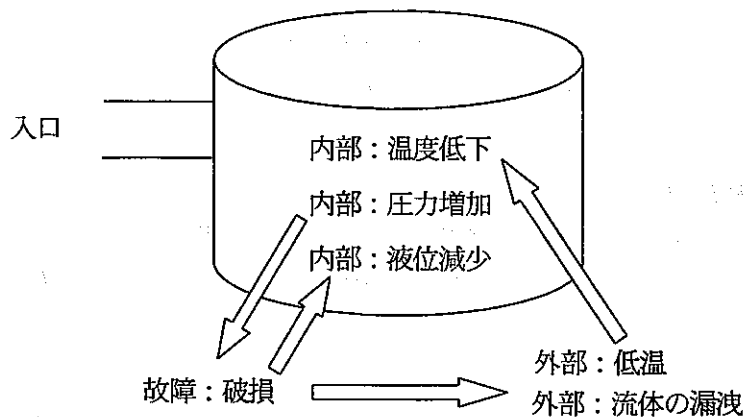
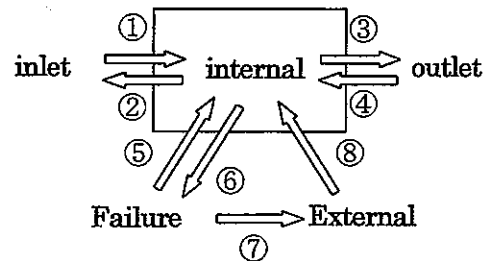


図2.5 タンクにおける故障の発生とその影響

要素異常基本モデル1の定義
 化学プラントを構成する装置のうち、主に内部に流体が蓄積する装置のモデル化に用いる。また、プロセス流体の状態変化・化学変化等、装置内部での流体の状態が装置出口での流体の状態に与える影響のモデル化にも用いる。



inlet・internal・outlet：装置の入口・内部・出口を表すポイント名
 Failure：装置の故障や機能不全
 External：外部環境・外部への影響（外部の低温、流体の漏洩等）

図2.6 要素異常基本モデル1

図 2.6 中の矢印は事象の伝播の方向を表す。各矢印の説明とその例を以下に示す。

- ①～④：状態異常の伝播に関する情報
- ⑤：装置内部における状態異常が引き起こす故障・機能不全
- ⑥：故障・機能不全が引き起こす装置内部における状態異常
- ⑦：故障・機能不全が引き起こす外部への影響
- ⑧：外部環境・外部への影響が引き起こす装置内部における状態異常

図 2.6 における各矢印の例

- ⑤：タンクの場合 内部 圧力増加 → 故障 破損
- ⑥：タンクの場合 故障 破損 → 内部 液位減少
- ⑦：タンクの場合 故障 破損 → 外部 流体の漏洩
- ⑧：タンクの場合 外部 低温 → 内部 温度低下

2.3.2 要素異常基本モデル 2

内部を流体が通過する装置の例として配管が挙げられる。配管について状態異常の伝播や故障の発生とその影響について考える。例えば配管が破損した場合、入口には流量増加、出口には流量減少と異なる影響が発生する。この場合は要素異常基本モデル 1 を用いて表現することができない。

図 2.7 に配管における故障の発生とその影響を示す。配管の場合、破損という故障の影響は入口における流量増加と、出口における流量減少、外部への流体の漏洩である。このような影響を表現するために、故障と入口・出口の間で因果関係を表現する。

また配管のような内部を流体が通過する装置では、破損の原因「内部における圧力増加」を「入口における圧力増加」で置き換えることができる。これより、故障の発生と影響の両方について、故障と入口（もしくは出口）の間で因果関係を表現することが可能となる。

また、同一の故障により装置入口への影響と装置出口への影響が異なる装置に対しても同様にモデル化を行うことができる。そこで入出力のある一般的な装置をこの方法でモデル化し、これを図 2.8 に示す要素異常基本モデル 2 とする。

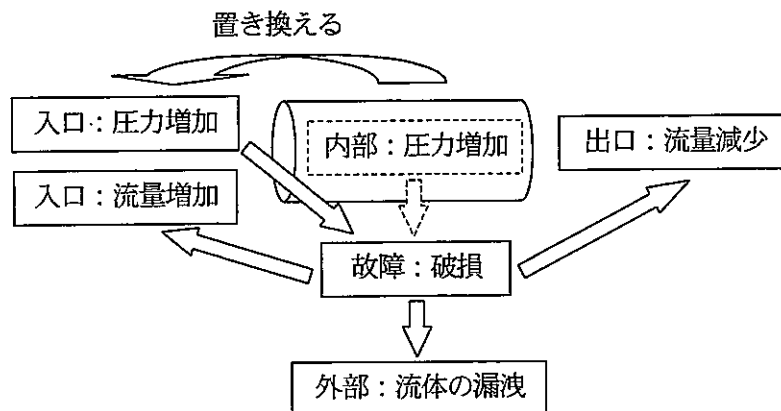
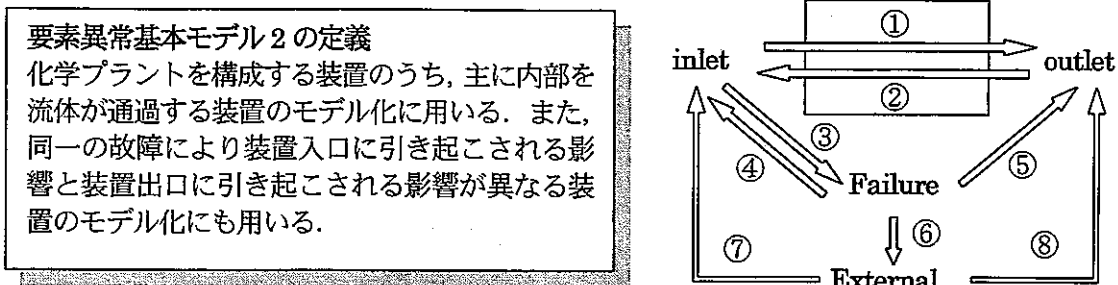


図 2.7 配管ユニットにおける故障の発生とその影響



inlet・outlet：装置の入口・出口を表すポイント名
 Failure：装置の故障や不調
 External：外部環境・外部への影響（外部の低温，内部流体の漏洩等）

図 2.8 要素異常基本モデル2

図 2.8 の各矢印の説明とその例を以下に示す。

- ①・②：状態異常の伝播に関する情報
- ③：装置入口における状態異常が引き起こす故障・機能不全
- ④：故障・機能不全が引き起こす装置入口における状態異常
- ⑤：故障・機能不全が引き起こす装置出口における状態異常
- ⑥：故障・機能不全が引き起こす外部への影響
- ⑦：外部環境・外部への影響が引き起こす装置入口の状態異常
- ⑧：外部環境・外部への影響が引き起こす装置出口の状態異常

図 2.8 における各矢印の例

- ③：配管の場合 入口 圧力増加 → 故障 破損
- ④：配管の場合 故障 破損 → 入口 流量増加
- ⑤：配管の場合 故障 破損 → 出口 流量減少
- ⑥：配管の場合 故障 破損 → 流体の漏洩
- ⑦：配管の場合 外部 低温 → 入口 温度低下
- ⑧：配管の場合 外部 低温 → 出口 温度低下

2.3.3 装置のモデル化の例

要素異常基本モデル 1、及び要素異常基本モデル 2 を用いて作成した各装置のモデルを以下に示す。

(1) 要素基本モデル 1 を用いたモデル

(a) タンク

タンクは内部に流体を蓄積させる装置であり、貯蔵用と供給用の 2 つに分けることができる。図 2.9、及び図 2.10 にそれぞれ貯蔵用タンクのモデル、供給用タンクのモデルを示す。

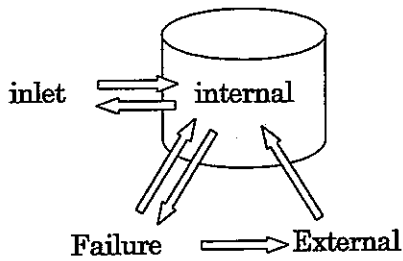


図 2.9 タンク（貯蔵）のモデル

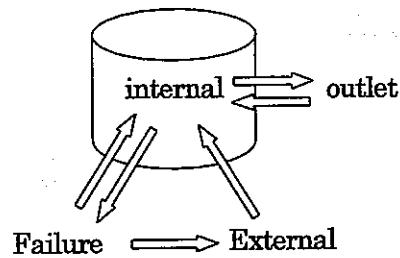


図 2.10 タンク（供給）のモデル

(b) 管式加熱炉・ボイラ

これらの装置では内部の温度が出口の温度に影響を与えるため、要素異常基本モデル 1 を用いてモデル化することができる。図 2.11 に管式加熱炉モデルを示す。ボイラのモデルも同様の形式となる。

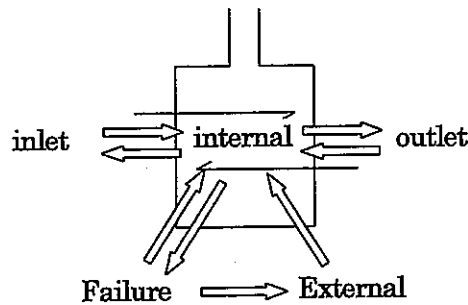


図 2.11 管式加熱炉のモデル

(c) 攪拌機・混合機・分散機

攪拌機は 2 種類以上の液体を、混合機は 2 種類以上の固形粒子を、分散機は液体とその液体中に溶解しない固形粒子を混合攪乱させる装置である。これらの装置では、内部の温度や圧力などにより出力の状態が影響を受け、混合により温度などの状態や物性などが変化する。これより、要素異常基本モデル 1 を用いてモデル化することができる。図 2.12 に攪拌機のモデルを示す。攪拌機・混合機・分散機の違いは、それぞれ各装置の特性に関する情報を格納することにより表現できる。

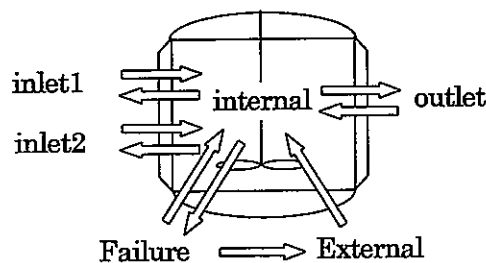


図 2.12 攪拌機のモデル

(d) 熱交換器

熱交換器は高温流体と低温流体の間で熱交換を行う装置であり、内部の温度が出口の温度に影響を与える装置であり、要素異常基本モデル1を用いてモデル化することができる。

図 2.13 に状態異常の伝播に関するポイントと事象の伝播の方向を、図 2.14 に状態異常と故障に関するポイントと事象の伝播の方向を示す。

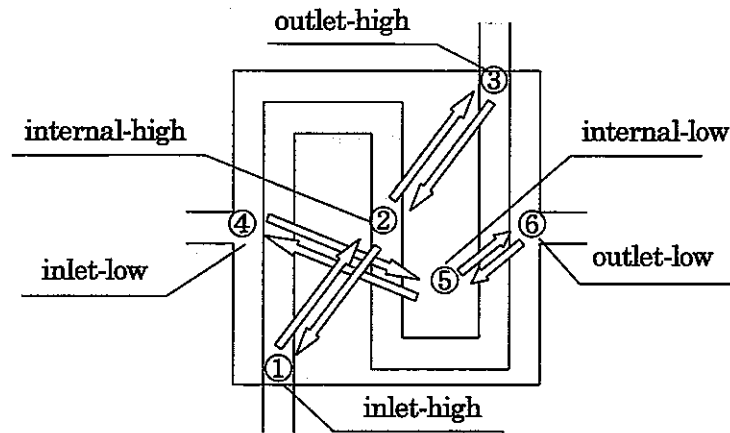


図 2.13 熱交換器のモデル (状態異常の伝播)

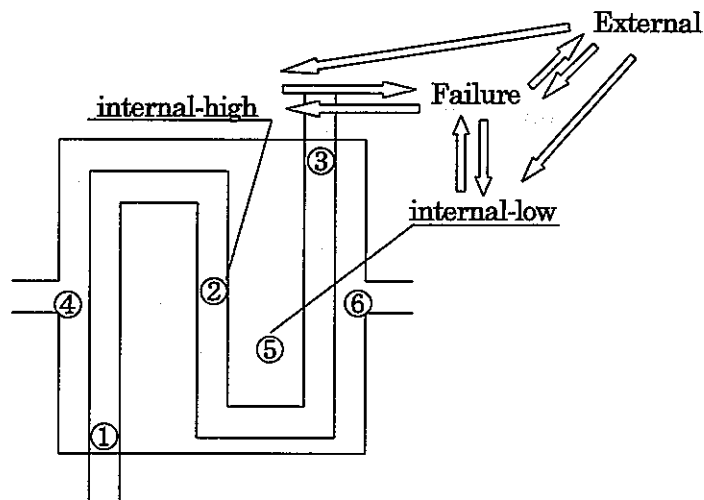


図 2.14 熱交換器のモデル (状態異常と故障の因果関係)

(e) 蒸留塔・吸収塔・吸着塔・反応塔

これらの装置も状態変化や物性の変化が発生することから、要素異常基本モデル1を用いてモデル化を行うことができる。反応塔については内部の反応によって様々なものに細分できるが、解析には「状態異常の伝播」と「状態異常と装置故障の因果関係」の2種類の情報が必要である。これより、反応の特性を考慮した情報の格納を行い、様々な反応に対応可能とする。図2.15に反応塔のモデルを示す。

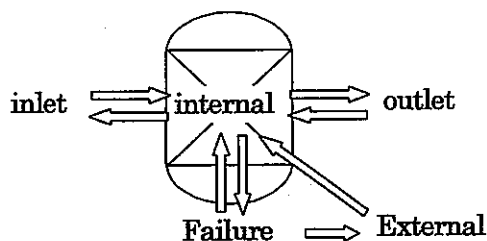


図2.15 反応塔のモデル

(2) 要素異常基本モデル2を用いたモデル

(a) 配管

配管は内部を流体が通過する装置であり、要素異常基本モデル2を用いてモデル化を行うことができる。図2.16に配管のモデルを示す。

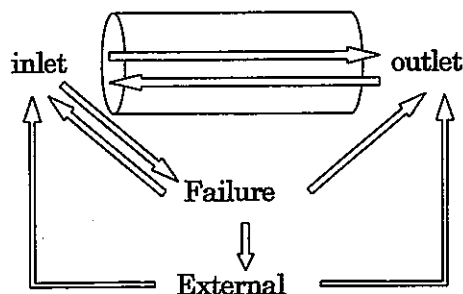


図2.16 配管のモデル

(b) バルブ・ポンプ

バルブは流量を調節する装置であり、ポンプは流体を移送する装置である。バルブ・ポンプ共に、破損という故障により装置入口に流量増加、出口に流量減少という異なる影響が引き起こされる。そこで要素異常基本モデル2を用いてモデル化を行う。図2.17、及び図2.18にそれぞれバルブのモデル、及びポンプのモデルを示す。

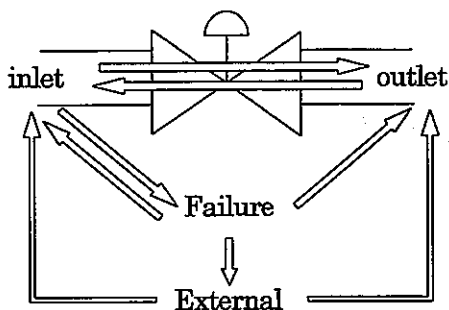


図2.17 バルブのモデル

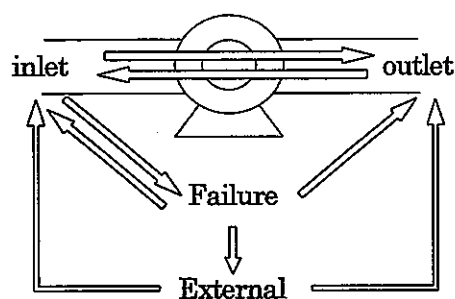


図2.18 ポンプのモデル

(3) 冷却水の入出力について

化学プラントにおける装置の中には、温度上昇を抑えるために冷却水の入出力がある装置も存在する。このような装置に対しては、冷却水の入出力を追加することで、モデル化を行うことができる。図2.19に吸収塔に冷却水の入出力がある場合のモデルを示す。

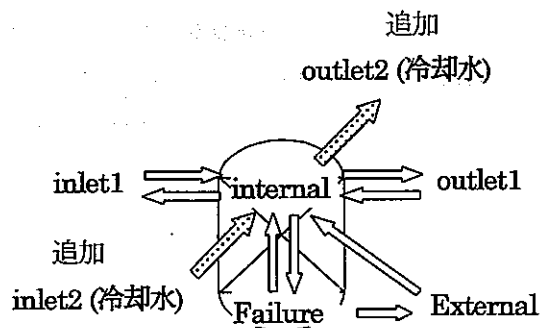


図2.19 冷却水の入出力のある反応塔のモデル

(4) 装置の入出力の数について

(1)~(3)で様々な装置のモデルを示したが、装置の入出力数はこれらのモデルと一致しない場合がある。各プラントにおいて装置の入出力の数は様々であり、プラントの P&IDs (Piping and Instrument Diagrams) やフローシートから入出力の数を読み取り、モデル化を行う。例えば、P&IDs より攪拌機が1入力1出力であることが分かる場合、図 2.20 に示すようにモデル化を行うことができる。

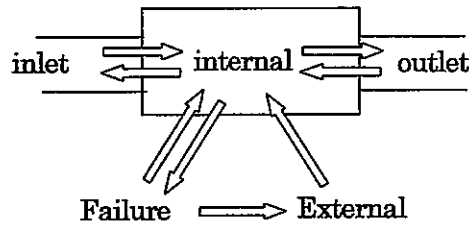


図 2.20 1入力1出力の攪拌機

2.4 制御系装置のモデル

2.4.1 制御系構成要素のモデル

プラントにおける各装置のモデル化には主に要素異常基本モデル1、及び要素異常基本モデル2を用いる。しかし制御系装置については、制御信号の入出力を表現する必要があり、プロセス流体の入出力が存在しない場合もあるため、これらの要素異常基本モデルを適用することができない。そこで制御系装置について分類を行い、各装置のモデル化について考える。

図 2.21 に示す流量制御系について説明する。本研究では、制御系を検出部、調節部、操作部の3つに分類し、それぞれについてユニットとしてのモデル化を行う。

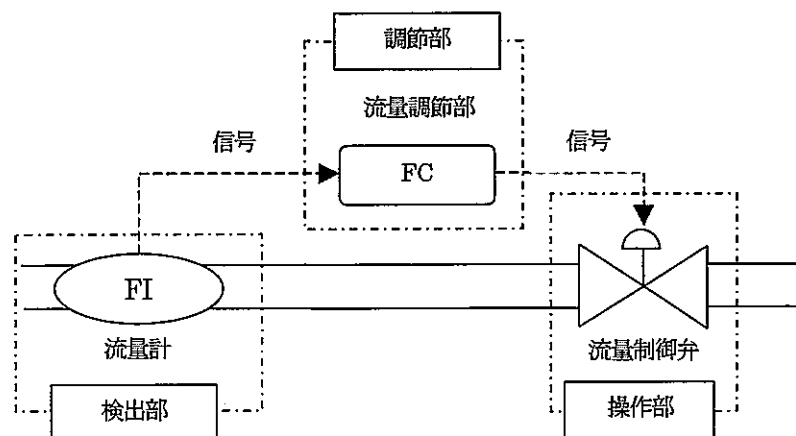


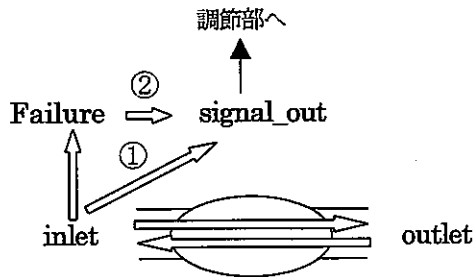
図 2.21 流量制御系の例

(1) 検出部のモデル

検出部について流量計を例として説明する。図 2.21 に示すような配管に接続されている流量計は、配管と共にモデル化する。また、流量計の故障は配管の入口や出口、外部へは影響を及ぼすことはないが、信号の出力において誤信号という影響を及ぼす。そこで要素異常基本モデル 2 の外部環境・外部への影響を表す「External」を削除し、信号の出力を表すポイント「signal-out」を追加する。そして装置入口を表すポイント「inlet」や装置の故障を表す「Failure」との間の因果関係を記述する。また「Failure」、**「inlet」**、及び装置の出口を表すポイント「outlet」との間の因果関係は考慮しない。

図 2.22 に流量計のモデルを示し、以下に流量計のモデルについて説明する。要素異常基本モデル 2 からの変更のあった矢印①、②の説明を以下に示す。

- ①装置入口の状態異常から出力信号の状態への影響
- ②装置の故障から出力信号への影響



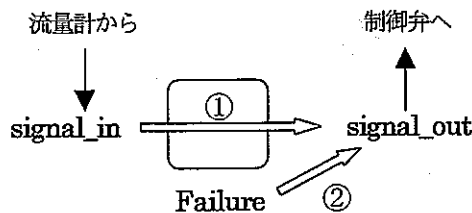
要素異常基本モデル 2 への追加ポイント
 signal-out : 信号の出力を表すポイント名

図 2.22 流量計のモデル

(2) 調節部のモデル化

調節部は検出部からの信号を受け、操作部に信号を出す。また、調節部の故障は装置出口の信号の状態に影響を与える。調節部については信号の流れと故障の影響を表現できるようにモデル化を行う。図 2.23 に示す流量調節部のモデルについて述べる。矢印①、②の説明を以下に示す。

- ① 入力信号の状態から出口信号の状態への影響
- ② 装置の故障から出力信号の状態への影響



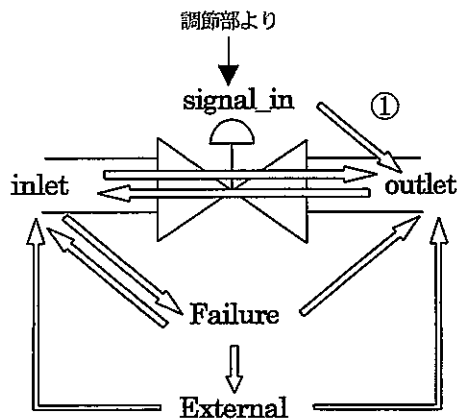
要素異常基本モデル 2 への追加ポイント
 signal-in : 信号の入力を表すポイント名
 signal-out : 信号の出力を表すポイント名

図 2.23 流量調節部のモデル

(3) 操作部のモデル化

調節部からの信号を受ける操作部には、外部からの制御信号の入力も表現できるようにモデル化を行う。そこで要素異常基本モデル2に外部からの信号が入力されるポイント「signal-in」を追加し、ポイント「signal-in」における状態異常と装置出口を表すポイント「outlet」における状態異常との間の関係を表現する。図 2.24 に流量制御弁のモデルを示す。要素異常基本モデル2に追加された矢印の説明を以下に示す。

- ① 入力信号における信号の状態が引き起こす装置出口の状態



要素異常基本モデル2への追加ポイント
 signal-in : 信号の入力を表すポイント名

図 2.24 流量制御弁のモデル

2.4.2 制御系のモデル化の例 1

検出部、調節部、操作部のモデルを用いて、制御系のモデル化を行う。図 2.21 に示す制御系をモデル化した結果を図 2.25 に示す。

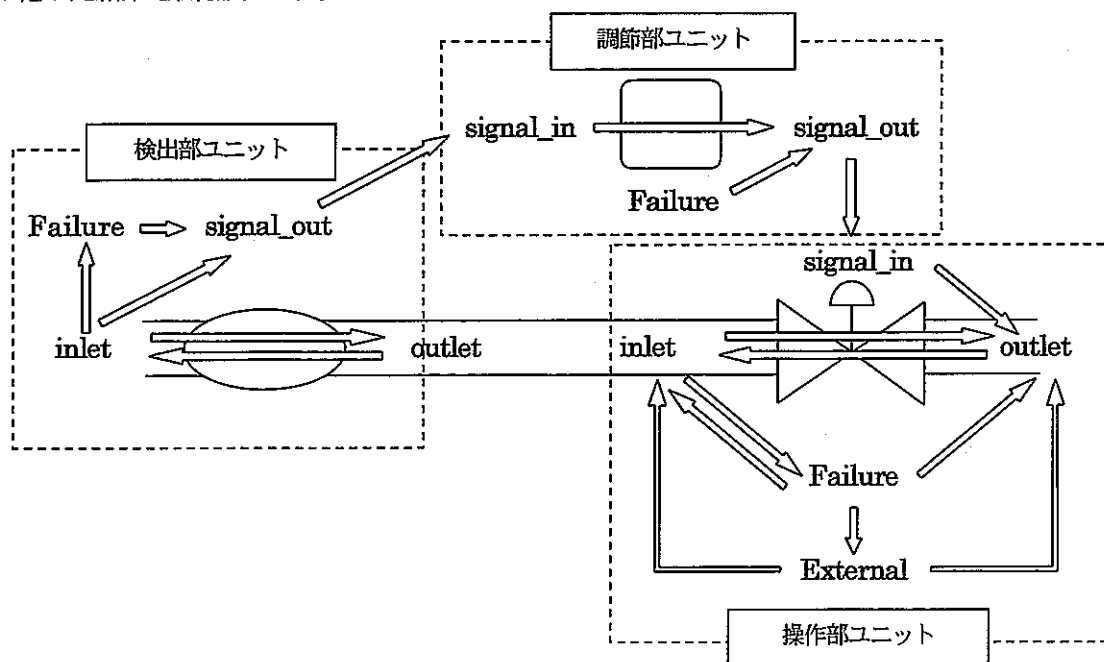


図 2.25 制御系のモデル化の例

2.4.3 制御系のモデル化の例 2

図 2.21 に示すように検出部が配管に接続されている場合は、検出部を 1 つのユニットとしてモデル化することができる。しかし図 2.26 に示すように、検出部が他の装置に接続されている場合は、接続元の装置内部、あるいは入口から検出部へと信号が伝達されると考え、検出部を調節部と同じ形式でモデル化する。図 2.27 にタンクに温度計が接続されている場合の例を示す。この場合、タンク内部から温度計に信号が伝達されるものとしてモデル化を行う。

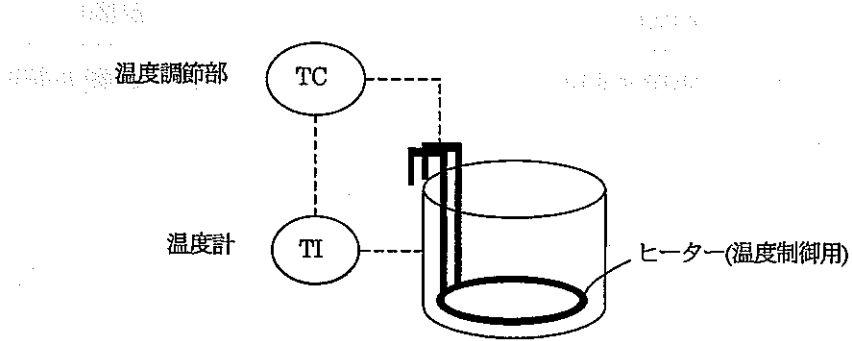


図 2.26 温度制御系の例

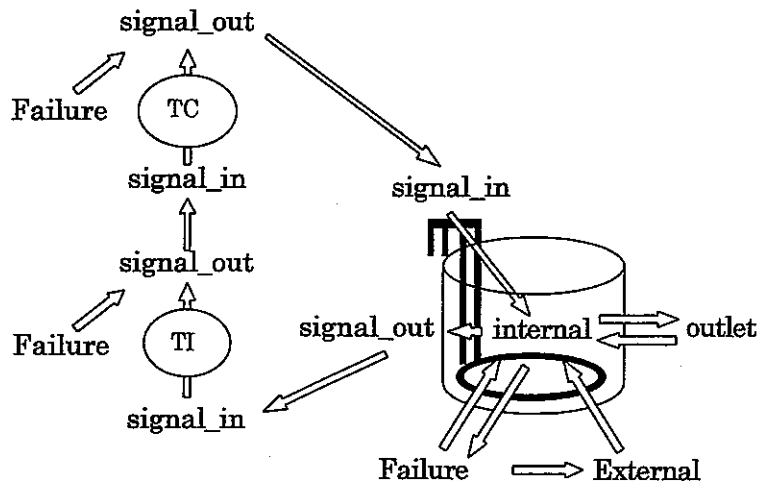


図 2.27 温度制御系のモデル化の例

2.5 要素異常基本モデルによる異常伝播の表現

2.5.1 原因影響式

本研究では異常の伝播・異常と機能不全の因果関係に関する情報の表現に、原因影響式を用いる。原因影響式は図 2.28 に示すようにプロダクションルールに似た形式で情報を記述する。

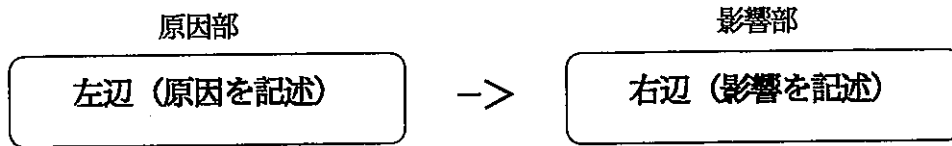


図 2.28 原因影響式

また(2.4), (2.5), (2.6)式のように、原因影響式には状態異常の伝播に関する原因影響式と、状態異常と故障・機能不全に関する原因影響式がある。図 2.3 に示した要素異常基本モデル 1 を用いて(2.4)式～(2.6)式の原因影響式について説明する。

- (1) 状態異常の伝播 (①～④) は原因影響式(2.4)式を用いて表現する。

$$\begin{array}{ccc}
 \text{原因部} & & \text{影響部} \\
 \underbrace{\hspace{10em}} & \rightarrow & \underbrace{\hspace{10em}} \\
 \text{あるポイントで 状態異常が発生すれば} & & \text{隣接するポイントに 状態異常が伝播する}
 \end{array} \quad (2.4)$$

- (2) 状態異常と要素異常に関する情報 (⑤～⑧) は(2.5)式、及び(2.6)式を用いる。(2.5)式は故障・機能不全の発生を表現し、(2.6)式は故障・機能不全からの影響を表現する。

$$\begin{array}{ccc}
 \text{原因部} & & \text{影響部} \\
 \underbrace{\hspace{10em}} & \rightarrow & \underbrace{\hspace{10em}} \\
 \text{あるポイントで 状態異常が発生すれば} & & \text{故障・機能不全が発生する}
 \end{array} \quad (2.5)$$

$$\begin{array}{ccc}
 \text{原因部} & & \text{影響部} \\
 \underbrace{\hspace{10em}} & \rightarrow & \underbrace{\hspace{10em}} \\
 \text{故障・機能不全が発生すれば} & & \text{隣接するポイントで状態異常が発生する}
 \end{array} \quad (2.6)$$

2.5.2 異常伝播の解析

プラントにおける異常伝播の解析は装置単位の解析とプラント規模の解析の2つに大別される。まず、要素異常基本モデルと原因影響式を用いて装置単位で異常伝播を解析し、装置の入口や出口における状態異常を隣接装置へ伝播させることによりプラント規模の解析を行う。

装置単位の異常伝播は、装置内における事象の影響を解析し、その影響を発生順に並べることによって求められる。内部を流体が通過する装置に対して図 2.29 に示す原因影響式として、情報が表現されているとする。装置の「入口に A という状態異常」が発生する場合、まず原因影響式の左辺を「入口に A という状態異常」というキーワードで検索する。その結果「入口 A→故障 B」という原因影響式が発見され、右辺の「故障 B が発生」という事象を影響とする。この影響に対して、

原因影響式の左辺を「故障 B が発生」というキーワードで検索することで、故障 B の影響として「入口に C という状態異常」と「出口に D という状態異常」を取り出す。これより入口、あるいは出口の状態異常が影響として取り出され、接続先の装置に伝播させ、装置単位の異常伝播の解析を終了する。

プラント規模の異常伝播は、装置単位の異常伝播解析により得られた装置入口や出口の状態異常を隣接装置に伝播させ、隣接装置について装置単位の解析を繰り返し行うことで解析する。異常伝播の解析の最初に初期事象を想定することで、初期事象からの異常伝播解析することが可能である。

装置単位の解析で得られる状態異常は装置の入口における状態異常と出口における状態異常がある。これよりプラント規模の異常伝播解析は、上流側への異常伝播と下流側への異常伝播の 2 種類について考える必要がある。また上流側への解析から下流側への解析へ、あるいはその逆に解析の方向が変わる場合がある。解析の方向が変わる場合は以下の 3 通りである。①影響として装置の故障・機能不全が解析された場合。②影響として新しい状態異常が解析された場合。③解析がラインの上流側の末端ユニットに達した場合。①、及び②については上流側と下流側への解析の両方を行う必要がある。このため解析の方向が変わるだけでなく、解析が上流側と下流側の両方に分岐する。

異常伝播解析では想定した初期事象に対してまず上流側への解析を行い、次に下流側への解析を行う。そして下流側の末端装置まで解析を行う。

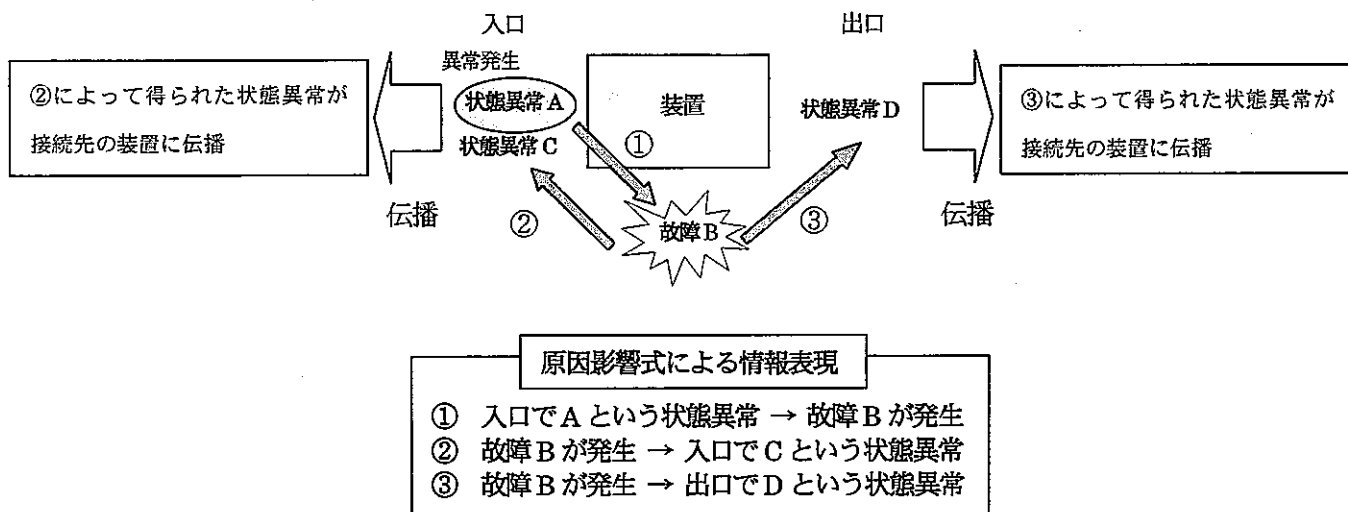


図 2.29 装置間の異常伝播

3. 異常伝播モデルを用いた安全評価

3.1 プロセス内異常伝播

初期事象とは、事故の発生過程において最初に発生する事象である。異常伝播の解析では、まず初期事象を想定する。表 3.1 に示す 6 種類の異常事象を初期事象とする。また初期事象の情報は表 3.1 に示すポイント名で定義し、原因影響式を用いて他の異常との因果関係を表現する。

モデル化された装置を接続し、解析対象ラインを作成する。図 3.1 に解析対象ラインの例を示す。このラインに対して表 3.1 に示した初期事象を想定し、異常伝播を解析する。

装置の機能不全が初期事象である例として、「ポンプ 1 の出力が大きい」に対する異常伝播を図 3.2 に示す。また、制御系の故障が初期事象である例として、「レベルコントローラの故障」に対する異常伝播を図 3.3 に示す。

異常伝播モデルと原因影響式を用いて解析を行うことにより、化学プラントにおける異常伝播に関する情報を明らかにすることができる。この異常伝播の情報を様々な危険度解析手法に利用することにより、複数の手法を用いた解析を容易に行える。3.2 節、3.3 節では、異常伝播に関する情報を HAZOP 解析と FTA に利用する方法について説明する。

表 3.1 初期事象

初期事象	例	情報を格納するポイント名
故障・機能不全	ポンプの出力が大きい等	Failure
封じ込め失敗	流体の漏洩等	External
ヒューマンエラー	ポンプを誤って止める等	
ユーティリティーの不足	冷却水不足等	
環境からの影響	外部の低温等	
制御系の故障	コントローラの故障等	Failure

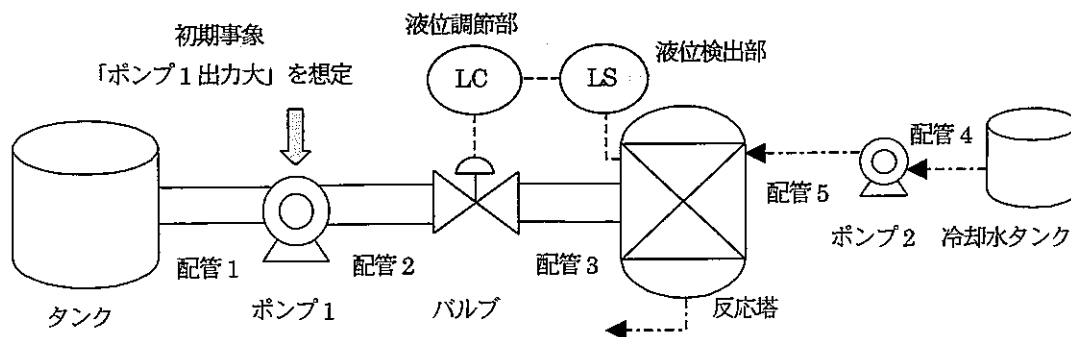


図 3.1 解析対象ライン

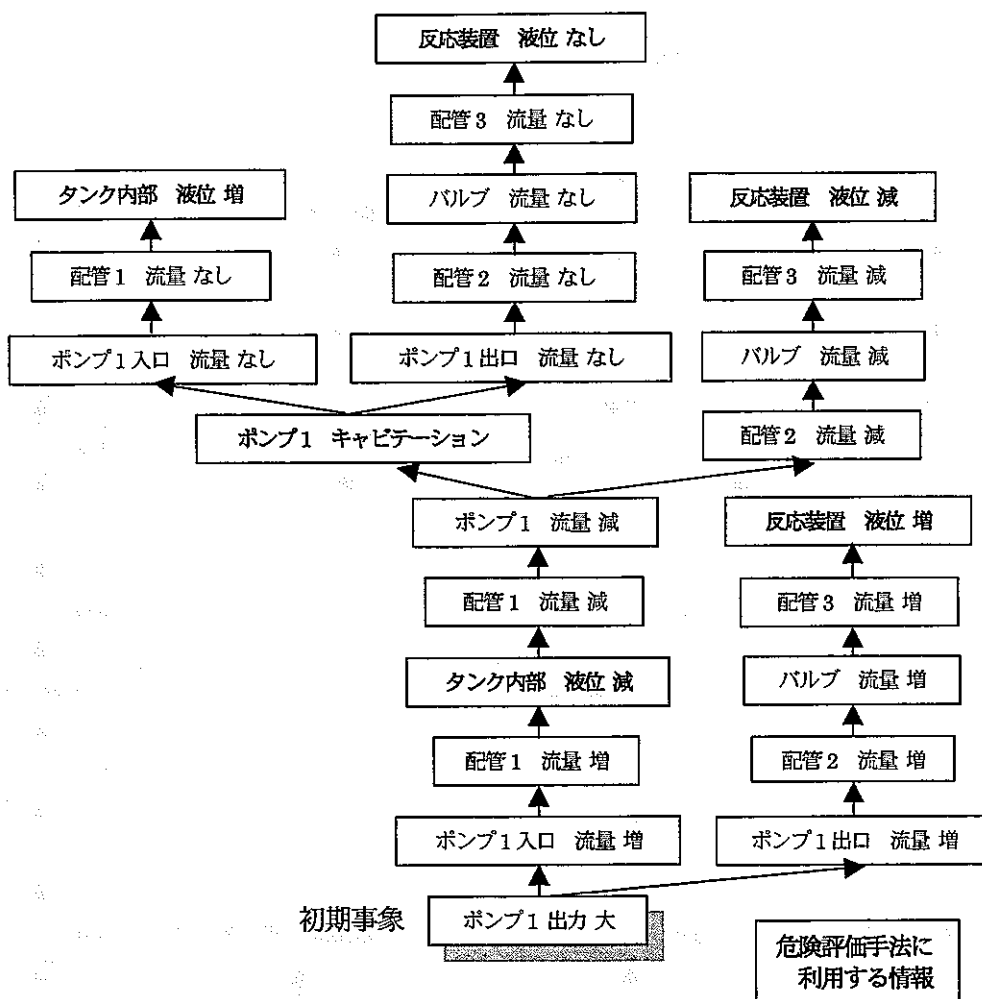


図 3.2 機能不全に対する異常伝播

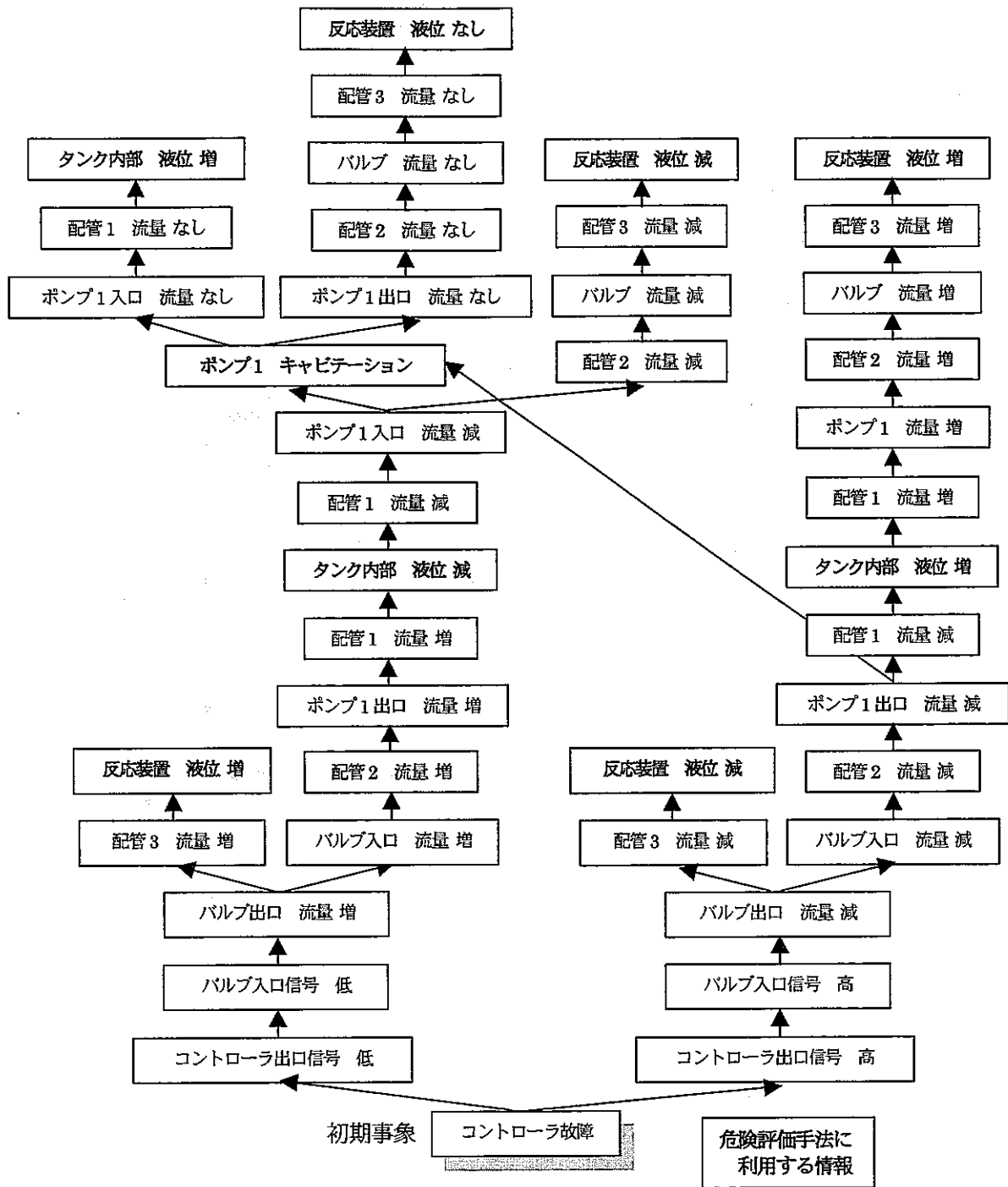


図 3.3 制御系の故障に対する異常伝播

3.2 HAZOP 解析への利用

HAZOP 解析 (Hazard and Operability Study) は「ずれ」と呼ばれる正常状態からの状態量の変位を想定し、その原因と影響を解析する手法である。本研究では状態異常に関する情報の表現にプロセス変数と手引用語を利用しているため、そのまま HAZOP 解析に用いることができる。以下の手順により異常伝播に関する情報を利用した HAZOP 解析を行う。

- ① ずれを想定する。
- ② 想定したずれを含む異常伝播を選択する。
- ③ 選択した異常伝播の中で、想定したずれよりも先に発生する異常や故障をずれの原因として出力する。
- ④ 選択した異常伝播の中で、想定したずれよりも後に発生する異常や故障をずれの影響として出力する。

図 3.4 に示すラインを解析対象とし、HAZOP 解析への情報の利用例を示す。

- ① ずれ「配管 1 に流量増加」を想定する。
- ② 配管 1 の入口もしくは出口に「流量増加」という状態異常を含む異常伝播を選択し、取り出す。図 3.5 に取り出された異常伝播を示す。図の太字は初期事象を表す。
- ③ 取り出された異常伝播の中で、想定されたずれ「配管 1 に流量増加」よりも先に発生する異常をずれの原因として出力する。
- ④ 取り出された異常伝播の中で、想定されたずれ「配管 1 に流量増加」よりも後に発生する異常をずれの影響として出力する。

表 3.2 に解析結果を示す。

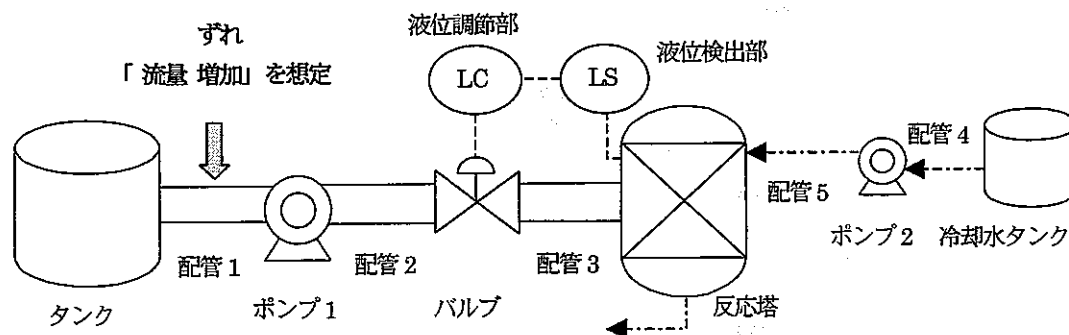


図 3.4 解析対象ライン

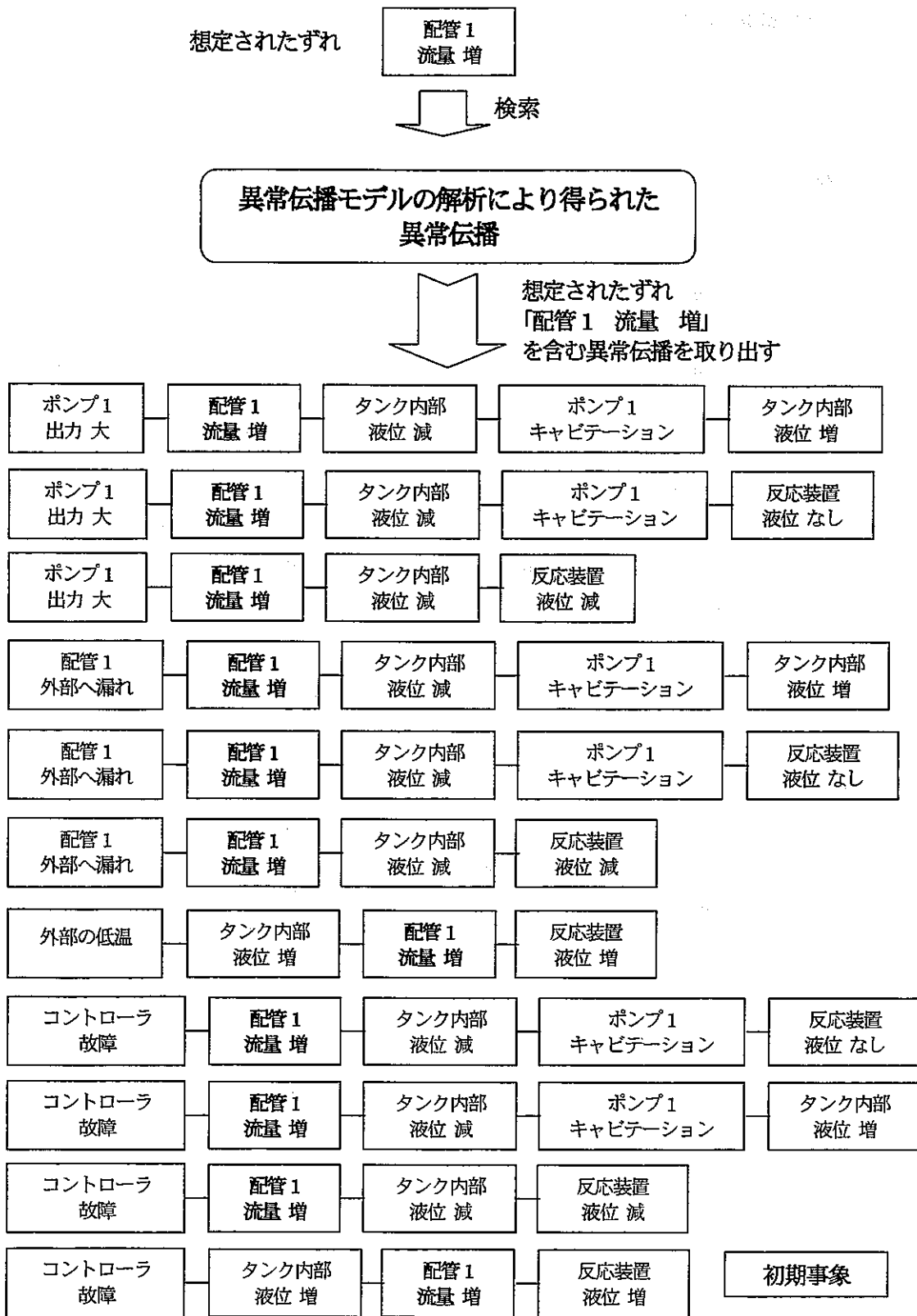


図 3.5 異常伝播の取り出し

表 3.2 HAZOP 解析結果

ずれ：流量増加	
原因	影響
初期事象 ポンプ1 出力大	タンク内部 液位 減
	ポンプ1 キャピテーション
	タンク内部 液位 増
	反応装置 液位 なし
	反応装置 液位 減
初期事象 配管1 外部へ漏れ	タンク内部 液位 減
	ポンプ1 キャピテーション
	タンク内部 液位 増
	反応装置 液位 なし
	反応装置 液位 減
初期事象 外部の低温 タンク内部 液位 増	反応装置 液位 増
初期事象 コントローラ故障 タンク内部 液位 増	タンク内部 液位 減
	ポンプ1 キャピテーション
	タンク内部 液位 増
	反応装置 液位 なし
	反応装置 液位 減

3.3 FTA への利用

FTA (Fault Tree Analysis) はトップ事象と呼ばれる重大な異常事象の原因を論理的に求め、その構成を図式的に表現した FT を作成し、FT に基づいて解析を行う手法である。本研究では、異常伝播に関する情報を部分 FT に変換し、部分 FT を結合することにより FT を作成する。FT 作成の手順を以下に示す。

- ① トップ事象を決定する。
- ② トップ事象を含む異常伝播を選択し、取り出す。
- ③ トップ事象とその直前に発生する事象を論理ゲートでつなぎ、部分 FT に変換する。
- ④ 直前の事象について部分 FT の作成を繰り返し、取り出されたすべての異常伝播の初期事象について部分 FT に変換する。
- ⑤ 部分 FT をつなぎ合わせて、FT を作成する。

図 3.6 に示すラインを対象として、FTA への情報の利用例を示す。

- ① トップ事象を「反応装置において液位なし」と決定する。
- ② 「反応装置において液位なし」という状態異常を含む異常伝播を選択し、取り出す。図 3.7 に取り出された異常伝播を示す。図 3.7 中の太字は初期事象を表す。
- ③ トップ事象「反応装置の液位なし」とその直前に発生する事象を論理ゲートでつなぎ、部分 FT に変換する。本研究では、1つの原因に対する異常発生のみを考慮しているため、論理ゲートは OR ゲートのみとなる。
- ④ トップ事象直前の事象が初期事象でない場合、部分 FT 作成を繰り返す。取り出されたすべての異常伝播の初期事象が部分 FT に格納された場合、部分 FT の作成を終了する。
- ⑤ 部分 FT を結合し、FT を作成する。

図 3.8 に作成した FT を示す。

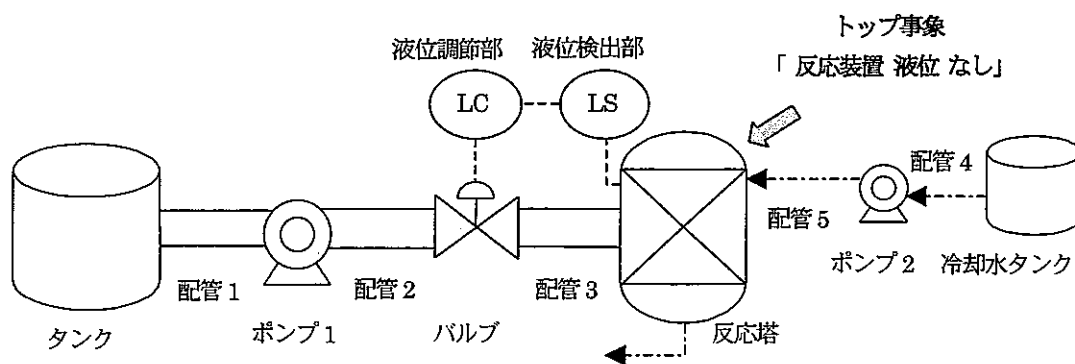


図 3.6 解析対象ライン

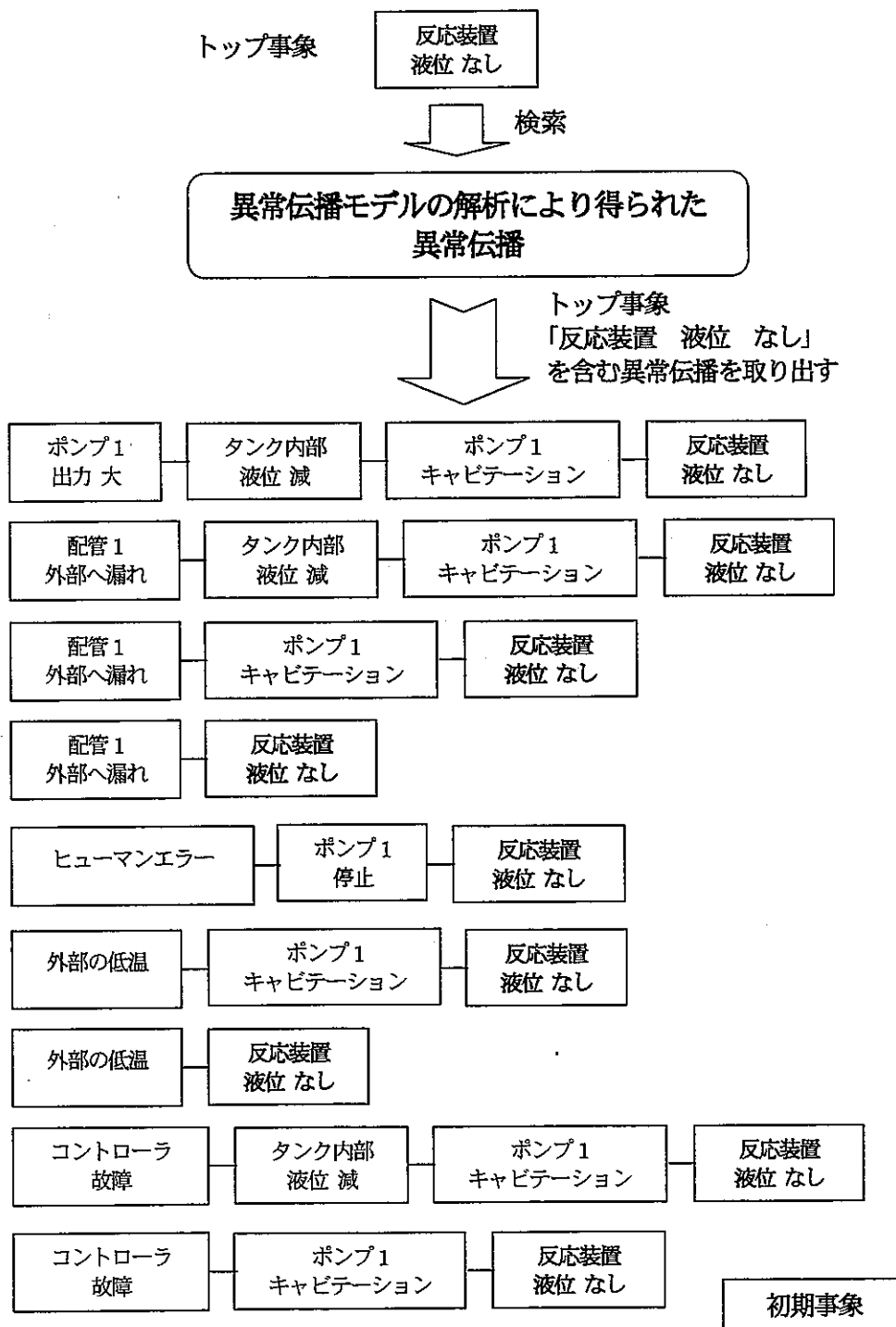


図3.7 異常伝播の取り出し

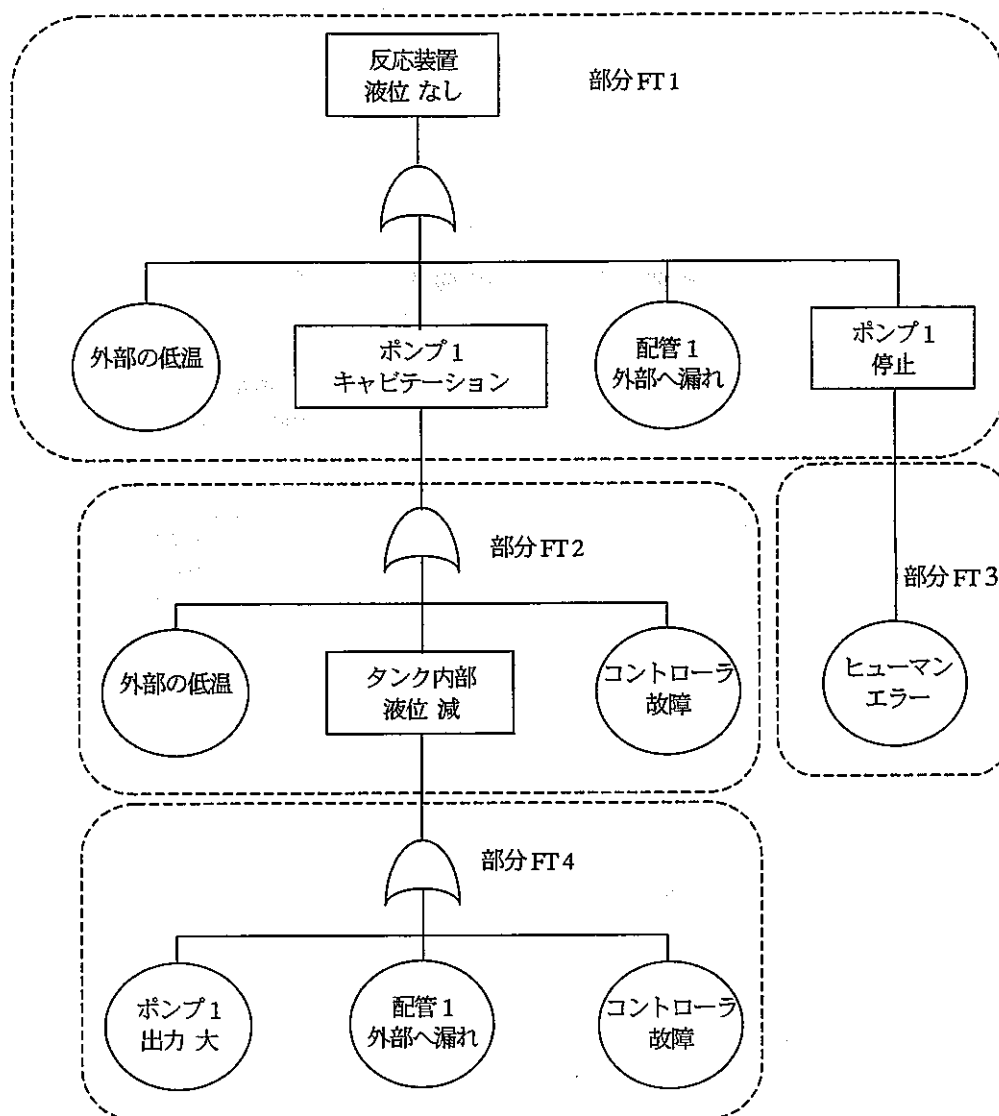


図3.8 作成された FT

4. 異常伝播モデルを用いた HAZOP 解析システム

4.1 システムの構成

安全評価支援システムの目的の 1 つは、解析を実施する際に問題となる「労力と時間」を軽減し、解析者を支援することである。このため、安全評価支援システムは専門家による知識ベースの参照が容易であり、解析結果を正確かつ迅速に出力する必要がある。また、解析者が視覚的に理解しやすいように GUI (Graphical User Interface) に優れたシステムであることが望ましい。本研究では GUI に優れたオブジェクト指向開発ツールである G2 を用いて安全支援システムを開発する。G2 の GUI を利用することにより、解析者は簡単な操作で解析を実施することが可能となる。

本システムは要素異常基本モデルを用いた HAZOP 解析を行い、その解析結果を出力する機能を備えている。想定したずれに対する装置の影響、装置外部への影響、装置故障による原因、及び外部異常による原因の 4 種類が解析結果として出力される。

図 4.1 に安全評価支援システムの概要を示す。本システムは、要素異常知識ベース、構成要素アイコン、プラントモデル、HAZOP エンジン、インターフェースで構成される。

①プラントモデルにおける要素異常知識ベースと構成要素アイコンを関連付ける。④この構成要素アイコンを用いてプラントモデルを構築する。構成要素アイコンは、プラントを構成する装置をアイコンで表現したものである。②要素異常知識ベースには、構成要素アイコンに対応した装置の状態異常や故障などの情報が格納されている。③プラントモデルからはプラント構造、配管の接続状況を確認することが可能である。HAZOP 解析エンジンは、②要素異常知識ベースと③プラントモデル、そして⑤G2 のインターフェースにより入力されたずれに対して、HAZOP 解析を実施する。⑥HAZOP 解析結果を表示する。

図 4.1 のプロシージャとは G2 構造化自然言語を用いて書かれた文である。G2 はこのプロシージャのルールに基づいて一連の操作を実行する。HAZOP 解析の結果は G2 内に格納され、必要に応じて G2 のインターフェース上に表示される。

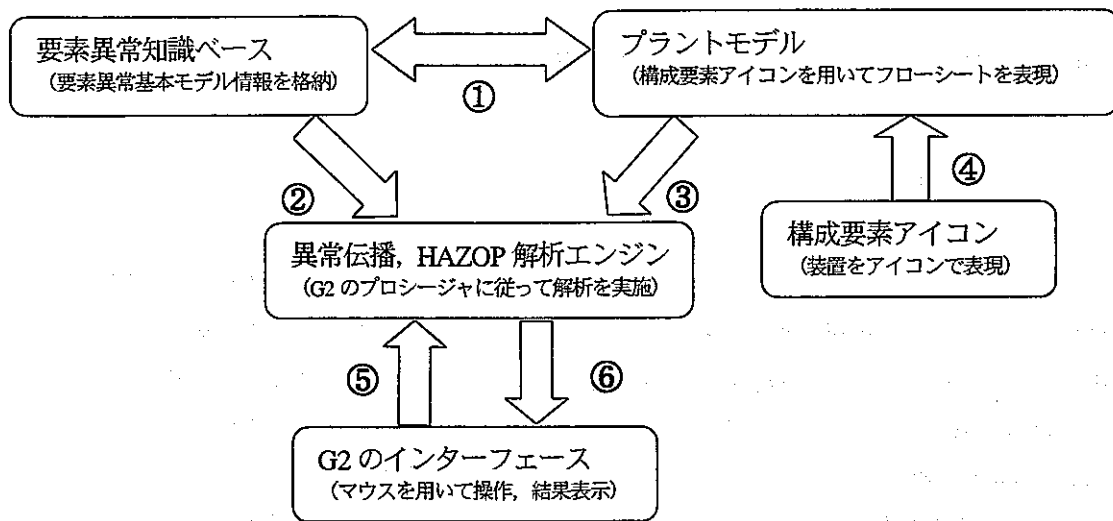


図 4.1 安全評価支援システムの概要

4.2 要素異常知識ベース

4.2.1 異常伝播の情報の表現

HAZOP 解析に必要な要素異常基本モデルの情報を要素異常知識ベースとして G2 に格納する。要素異常知識ベースには、プラントの各装置について作成された要素異常基本モデルの異常伝播や故障に関する情報が収納されている。異常伝播の情報については、装置の入口・内部・出口に対応する要素異常基本モデルの Inlet・Internal・Outlet のうちの 1 つと、物質の種類、プロセス変数、手引用語を組み合わせることで表現される。一方、故障や外部への影響は、装置の故障・外部への影響に対応する要素異常基本モデルの Failure・External のうちの 1 つと、文章を組み合わせることで表現される。図 4.2 に表現の例を示す。図 4.2 に示す表現を用いて、物質の種類、プロセス変数、手引用語をあらかじめ G2 に登録しておく。

物質の種類	
Vapor	(蒸気)
Water	(水)
Formaldehyde	(ホルムアルデヒド)
Acetic acid	(酢酸)

プロセス変数	
Flow	(流量)
Temp	(温度)
Press	(圧力)
Impurities	(不純物)

図 4.2(a) 表現の例 1

手引用語	
More	(増加)
Less	(減少)
None	(なし)
Otherthan coolingwater	(冷水混入)
Morethan rust	(錆びの混入)

- ・ Inlet : Vapor flow more 入口で蒸気が流量増加
- ・ Internal : Vapor temp more 内部で蒸気が温度上昇
- ・ Outlet : Vapor flow no 出口で蒸気の流量なし
- ・ Failure : Valve blank off 故障でバルブが閉塞する
- ・ External : Vapor leak 外部への影響として蒸気のもれ

図 4.2(b) 表現の例 2

4.2.2 要素異常知識ベースの構造

要素異常知識ベースの情報は G2 のインスタンスに格納される。インスタンスとは、特有の情報や値をもったクラスに属するアイテムである。クラスにはインスタンスのデータ形式が記されており、インスタンスはこのデータ形式を継承する。また、1つのクラスから複数のインスタンスを作成することが可能である。さらに、クラスの下位にクラスを作成することも可能であり、この場合下位のクラスは上位のクラスの属性を継承する。

要素異常知識ベースは図 4.3 に示すような階層構造で表現される。要素異常基本モデルの種類を示すクラスには、このクラスより下位のクラスやインスタンスは同じ要素異常基本モデルで表現されていることが記されている。構成要素の種類を示すクラスには構成要素の名前と、下位のインスタンスの情報が含まれている。要素異常基本モデルの情報を示すインスタンスには「Inlet から Internal への異常伝播」などの情報が含まれている。

図 4.4 に具体的な例を示す。構成要素の種類を示すクラスである「加熱コイル」「減温装置」「ポンプ」は、2.3 節で説明した要素異常基本モデル 1 によりモデル化することができ、要素異常基本モデル 1 を示すクラスの下位に作成する。ここでは「加熱コイル」を例として説明する。「加熱コイル」は要素異常基本モデル 1 の異常伝播の数だけ情報を持つ必要がある。この異常伝播の情報は構成要素の種類を示すクラスの下位にあるインスタンスに格納されている。要素異常基本モデルを示すクラス、構成要素の種類を示すクラスは必要に応じて増やすことができる。ただし、要素異常基本モデルを新たに作成した場合、G2 のプロシージャにその新しいモデルに対するルールを入力しなければならない。

図 4.5 に要素異常知識ベースの一部を示す。ここには加熱コイルの Internal から Failure の異常伝播に関する情報が格納されている。図 4.5 中の Vapor_flow_less を例として情報の内容について説明する。ここでは、加熱コイルの Internal (内部) は「Vapor_flow_less」(蒸気の流量減少)であ

り, Failure (故障) として「Function_less」(加熱コイルの機能低下)が発生するという情報が格納されている. また, 上位クラスの情報からこの情報は要素異常基本モデル「BASIC_MODEL1」の「HEAT_COIL」についての情報であることが分かる.

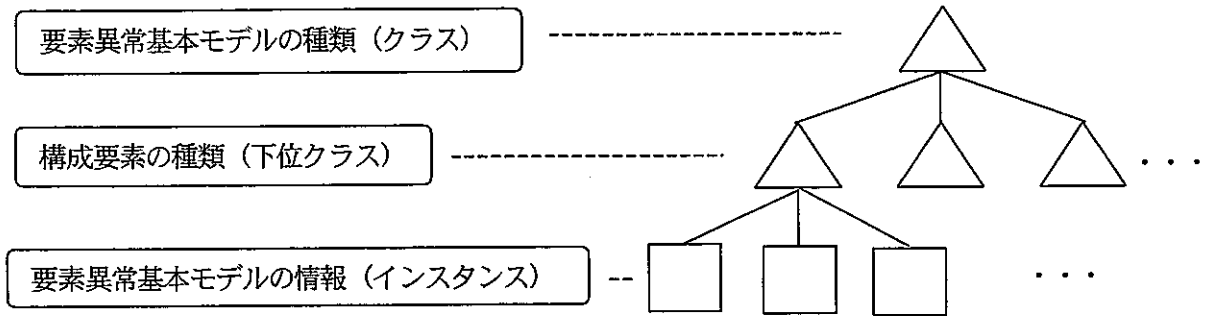


図 4.3 要素異常知識ベースの構造

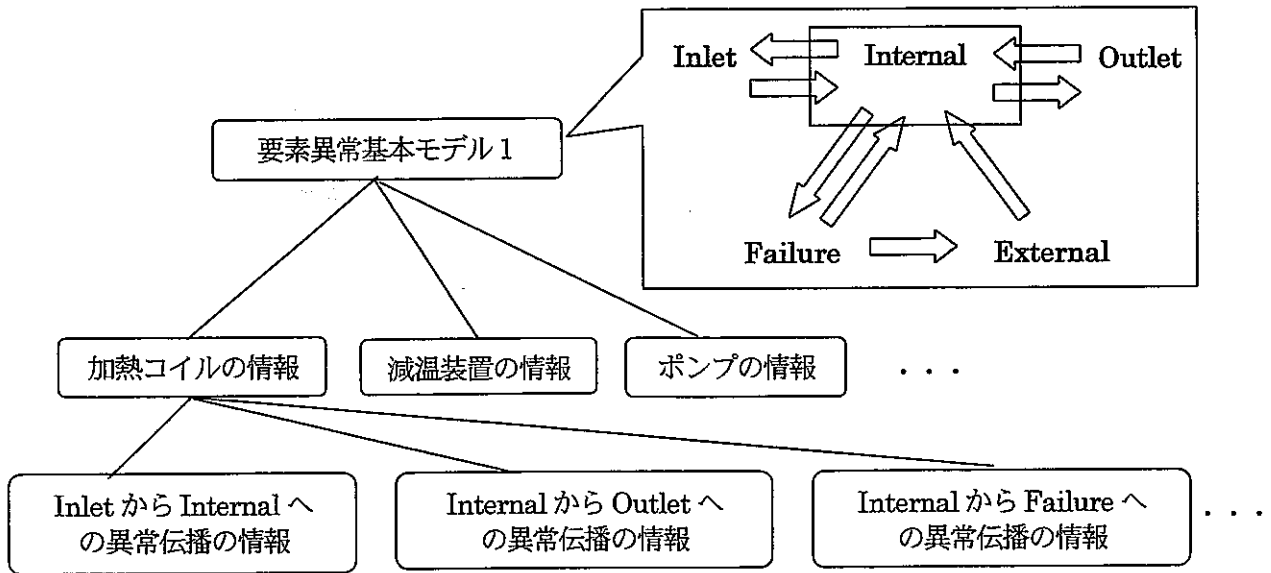


図 4.4 要素異常知識ベースの例

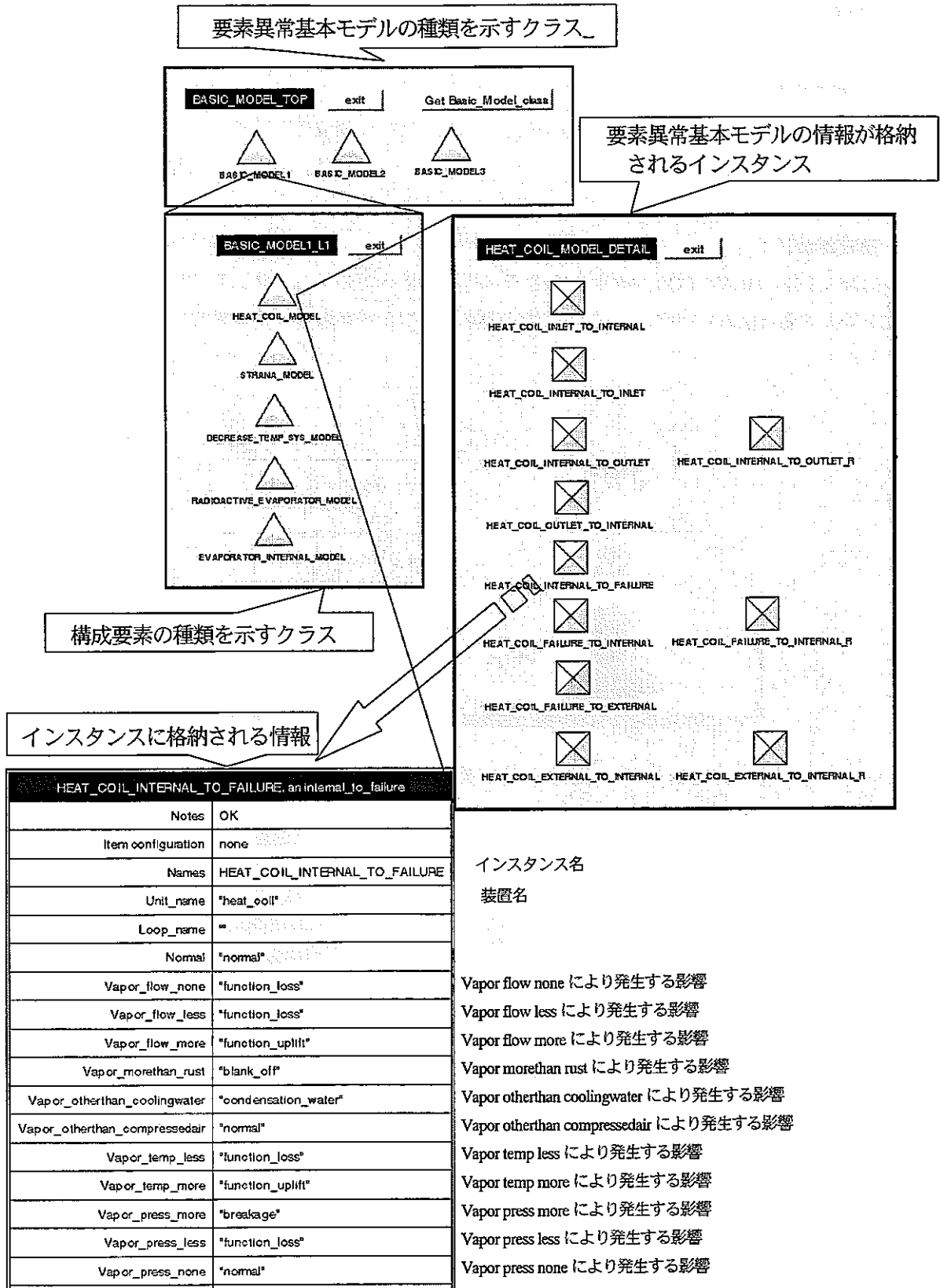


図 4.5 要素異常知識ベースの一部

4.3 対象プロセスに関する記述

4.3.1 構成要素アイコン

G2 上でプラントモデルを容易に作成するために、装置を構成要素アイコンにより作成する。この構成要素アイコンを連結することにより、プラントモデルを表現することが可能である。図 4.6 に構成要素アイコンの例、図 4.7 に構成要素アイコン接続例を示す。

構成要素アイコンは要素異常知識ベース内の情報とリンクされる。例えば加熱コイルのアイコンは図 4.5 の「HEAT_COIL_MODEL」クラス以下のすべてのインスタンスと関連付けられている。また後述する HAZOP 解析エンジンは構成要素アイコンを参照し、要素異常知識ベースの情報を取り出す。

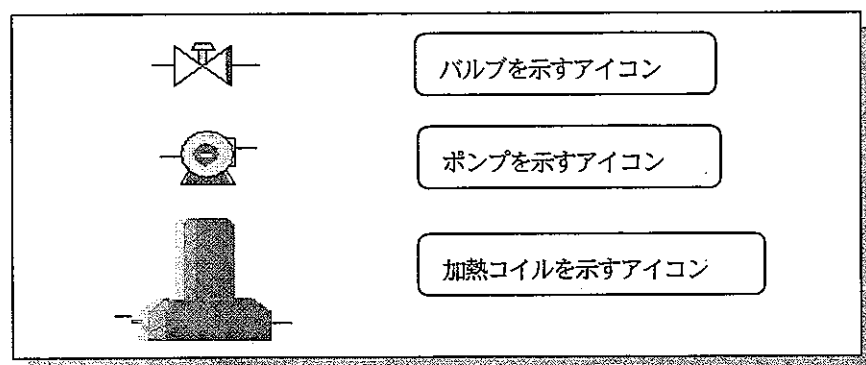


図 4.6 構成要素アイコンの例

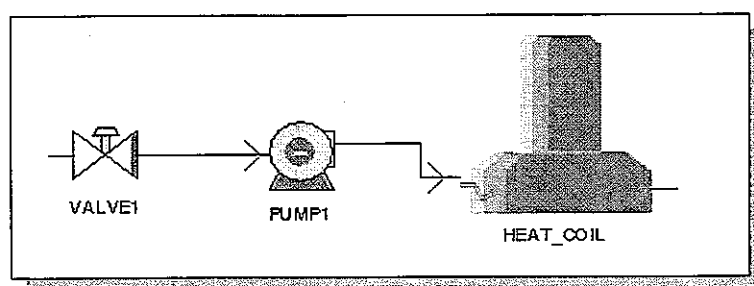


図 4.7 構成要素アイコンの接続例

4.3.2 プラントモデルの作成

プラントモデルの作成は、構成要素アイコンを G2 のワークスペース上に配置し、それらの構成要素アイコンを G2 のコネクションを用いて接続することで行う。ワークスペースとは G2 上で作業をする際の場所となるものであり、コネクションとは構成要素アイコンを接続し、その連結関係を示すためのものである。また、コネクションは配管を示し、ずれを想定する際に選択される。図 4.8 にプラントモデルの例を示す。

AIR_FIN_COOLER を例として図 4.8 から得られる情報を以下に示す。

- ・ AIR_FIN_COOLER は VALVE4 の下流に位置する。
- ・ AIR_FIN_COOLER は VALVE5 と VALVE7 の上流に位置する。
- ・ AIR_FIN_COOLER は左側のループ内に存在する。

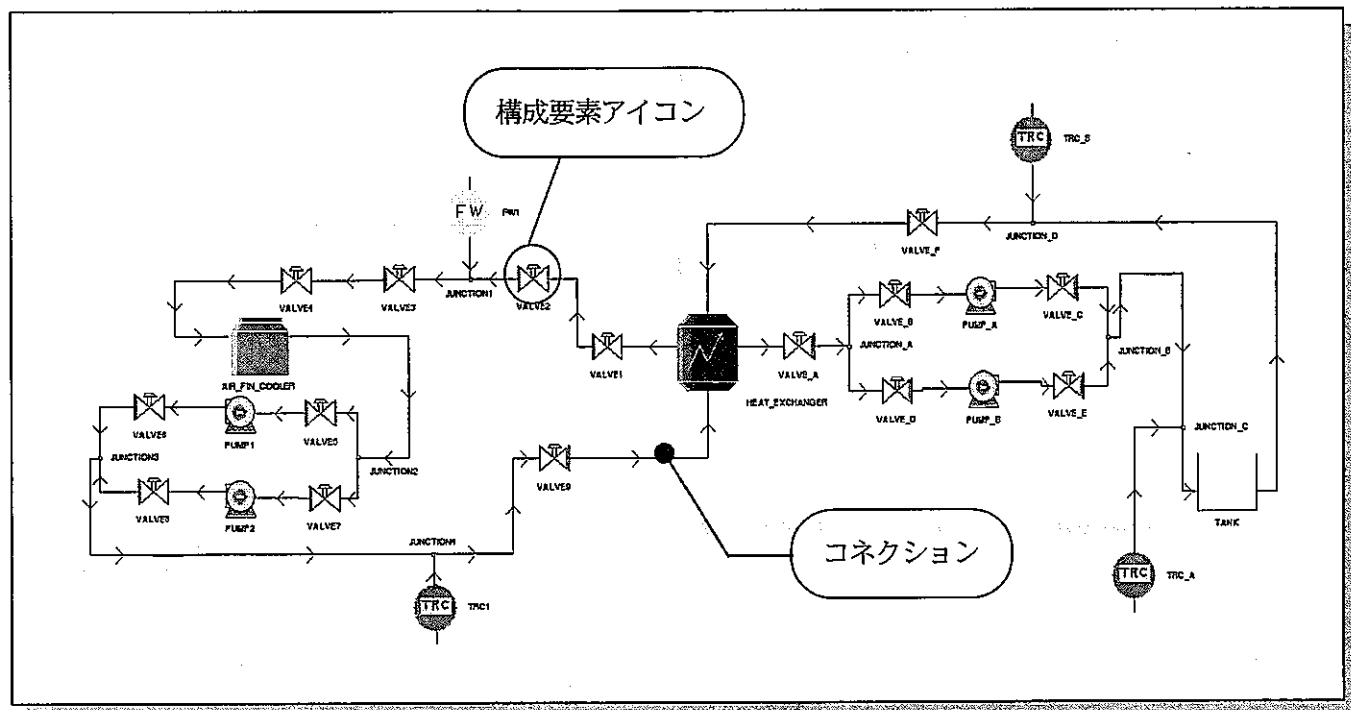


図 4.8 プラントモデルの例

4.4 HAZOP 解析エンジン

4.4.1 HAZOP 解析エンジンの構成

HAZOP 解析エンジンは構成要素アイコン、プラントモデル、要素異常知識ベースの情報を参照し、HAZOP 解析を実行する。HAZOP 解析エンジンは大きく 4 つの部分に分けられる。図 4.9 に HAZOP 解析エンジンの構成を示す。

- ① 解析者がずれを入力するためのワークスペースを表示し、ずれを入力する。
- ② ユーザーが想定したずれの異常伝播経路を探索する。プロシージャ 2 はプラントモデルの構造に従って、構成要素アイコンの情報を獲得する。伝播経路は上流に向かう経路と下流に向かう経路に分けて探索される。分岐して複数の経路がある場合は、そのすべてを探索する。伝播経路はリスト形式で格納され、プロシージャ 3 より参照できる。
- ③ プロシージャ 1 で処理されたずれと、プロシージャ 2 で作成された異常伝播経路のリストを用い、要素異常知識ベースに基づいて異常伝播解析を行う。影響の伝播は異常伝播経路のリストのうち、下流に向かう経路に従って解析する。一方、原因については異常伝播経路の

リストのうち、上流に向かう経路に従って解析する。解析結果はリストとして格納する。

④ プロシージャ3で解析された結果をまとめ、G2のインターフェースに表示する。

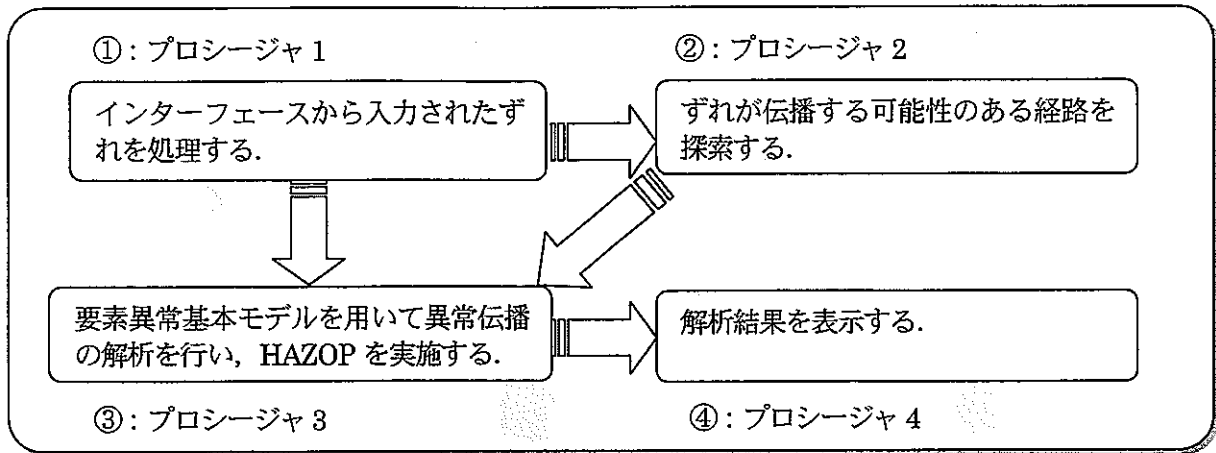


図 4.9 HAZOP 解析エンジンの構成

4.4.2 異常伝播を用いた HAZOP 自動解析の流れ

図 4.10(a), 及び図 4.10(b)に HAZOP 自動解析の流れを示す。各プロシージャは独立して作成され、引数により関連付けられる。

図 4.11 にプロシージャ 1 のフローチャートを示す。プロシージャ 1 ではユーザーが入力したずれを処理する。ずれの設定は G2 のコネクション部を選択し、プロセス変数と手引用語を指定することで実行される。

図 4.12 にプロシージャ 2 のフローチャートを示す。プロシージャ 2 ではプロシージャ 1 で処理されたコネクションの情報を基に、そのコネクションよりも上流、あるいは下流にある装置を検索し、情報を獲得する。次にその装置の上流、あるいは下流に接続されているコネクションを検索する。この一連の処理を末端にある装置まで実行する。ループ回路の場合、最初のコネクションに到達するまで繰り返す。このようにして異常伝播経路を作成し、データをリストに格納する。

図 4.13 にプロシージャ 3 の影響解析部のフローチャート、図 4.14 にプロシージャ 3 の原因解析部のフローチャートを示す。プロシージャ 3 ではコネクションの情報とずれの情報、異常伝播経路の情報を用い、異常伝播を考慮した HAZOP 解析を実施する。まず、ずれの情報と下流への異常伝播経路に従って要素異常知識ベースを参照し、影響を解析する。もしこの影響により発生するずれが存在すれば、ずれの情報として追加し、さらに異常伝播経路にある次の装置へ伝播させる。この一連の処理を繰り返すことにより、ずれによる影響が解析される。一方原因の解析は、ずれの情報を上流への異常伝播経路に沿って伝播させることで実施される。

図 4.15 にプロシージャ 4 のフローチャートを示す。プロシージャ 4 ではプロシージャ 3 で解析されたずれに対する影響と原因を表形式で G2 のインターフェースに表示する。プロシージャ 3 によりリストに格納された情報を取り出し、装置名と影響・原因を表示する。

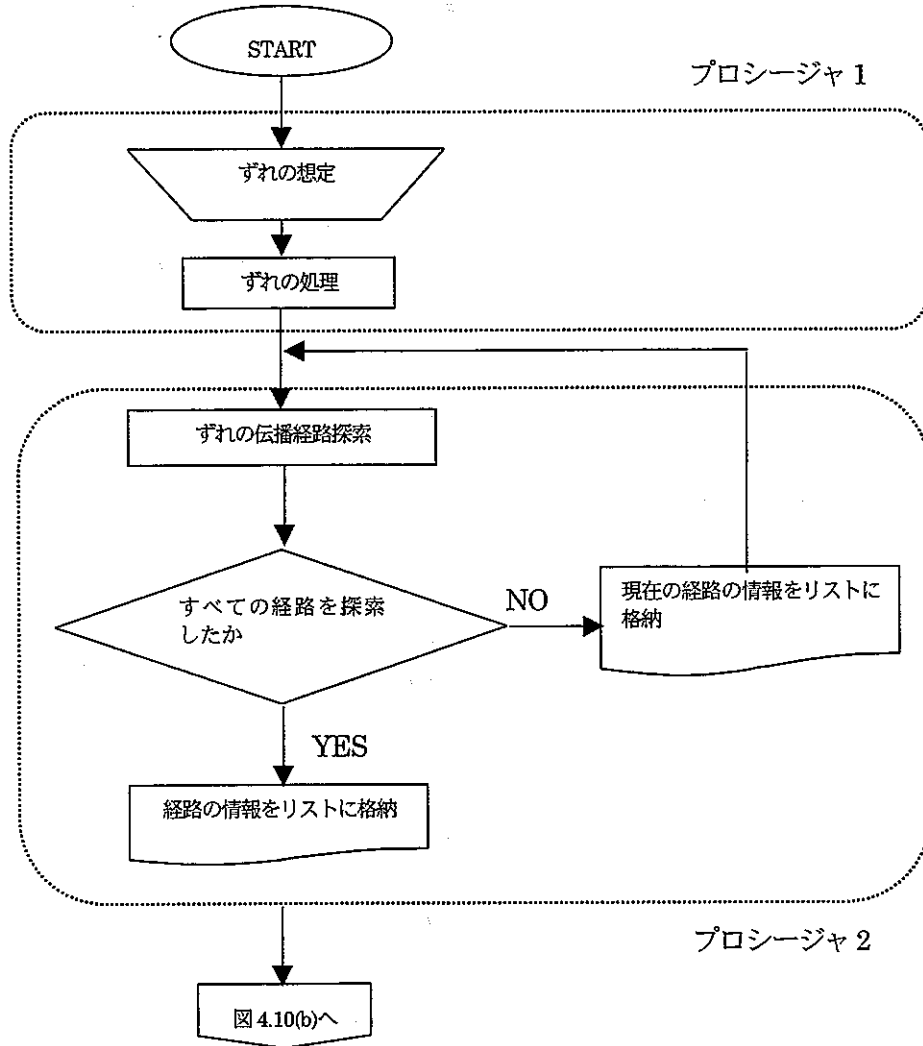


図 4.10(a) HAZOP 自動解析の流れ 1

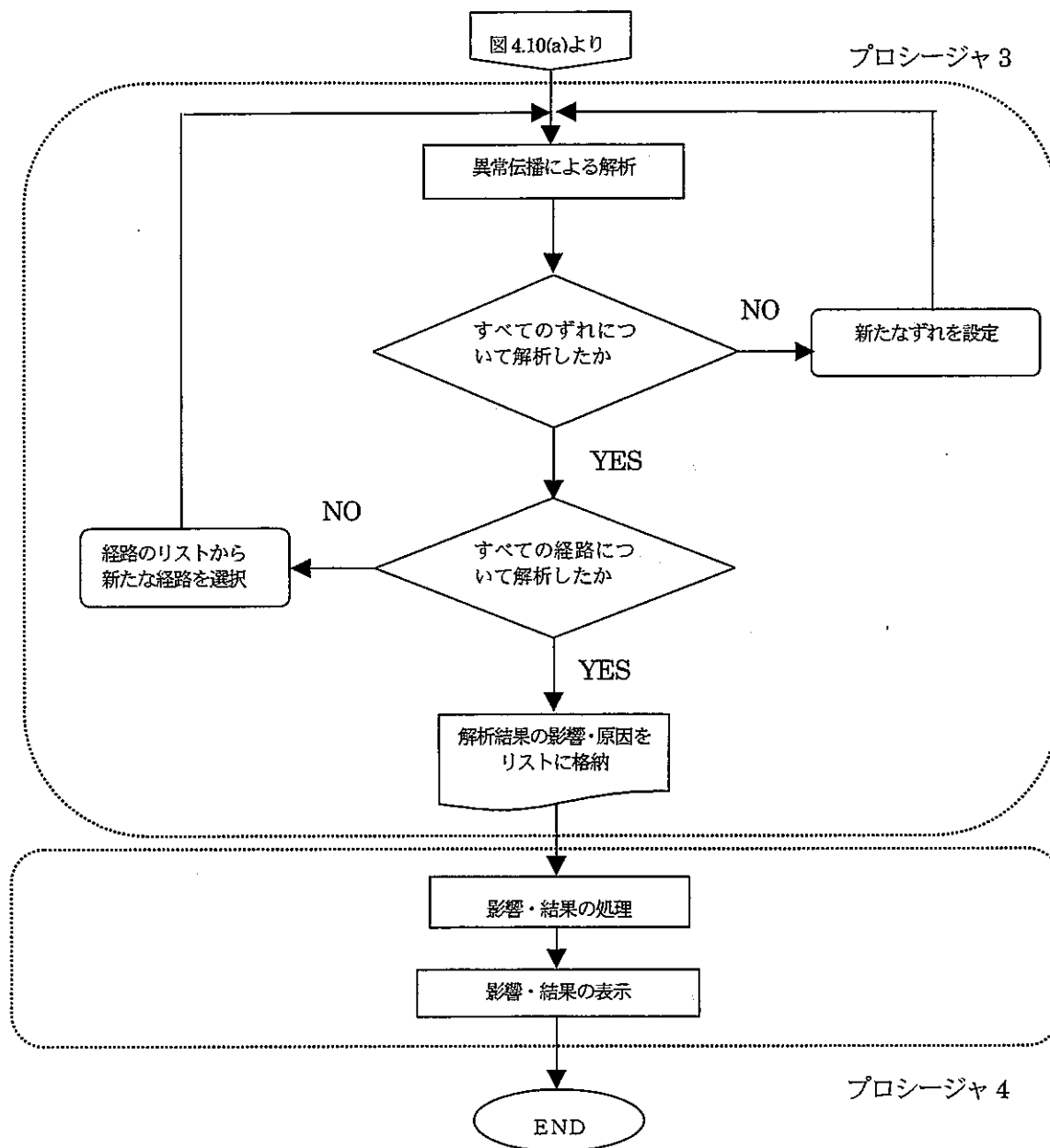


図 4.10(b) HAZOP 自動解析の流れ 2

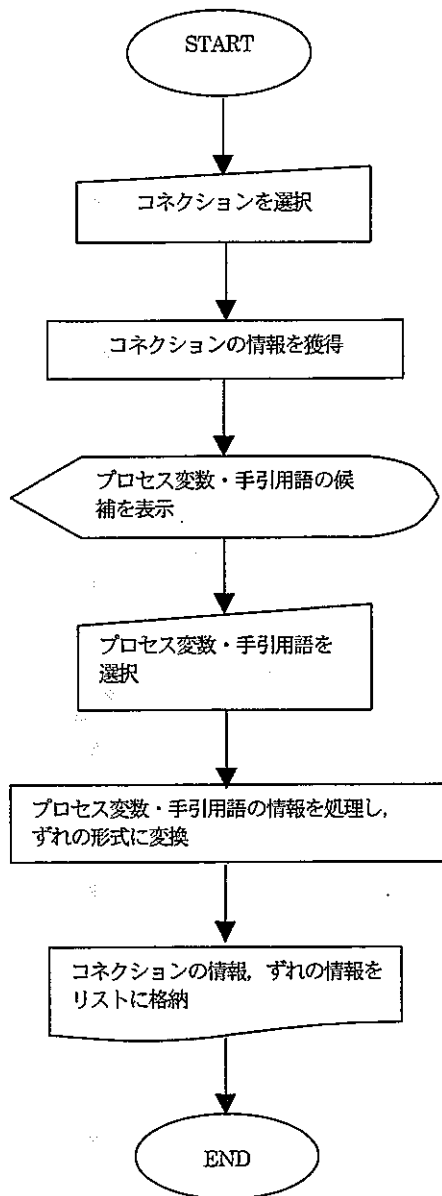


図 4.11 プロシージャ 1 のフローチャート

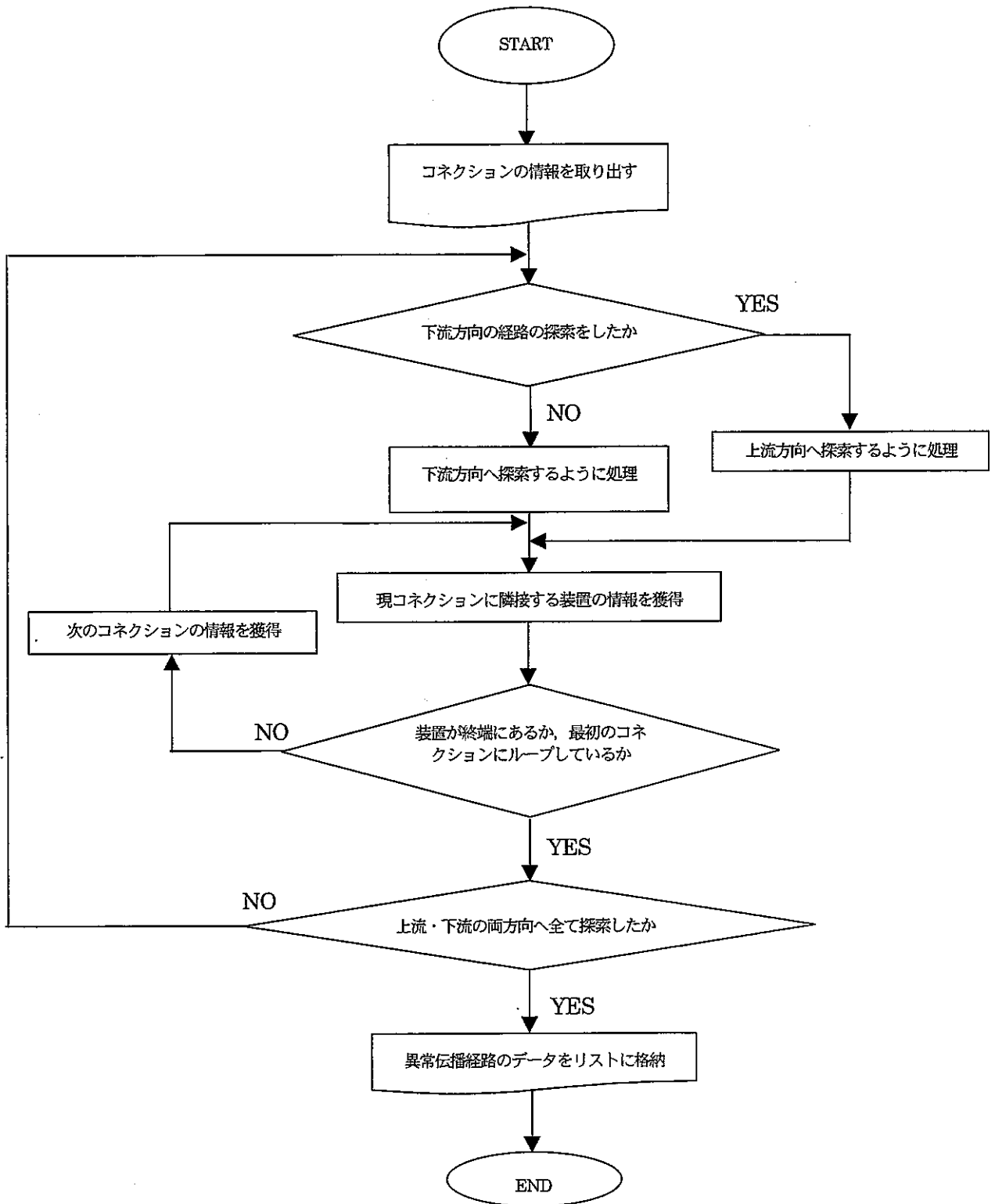


図 4.12 プロシージャ 2 のフローチャート

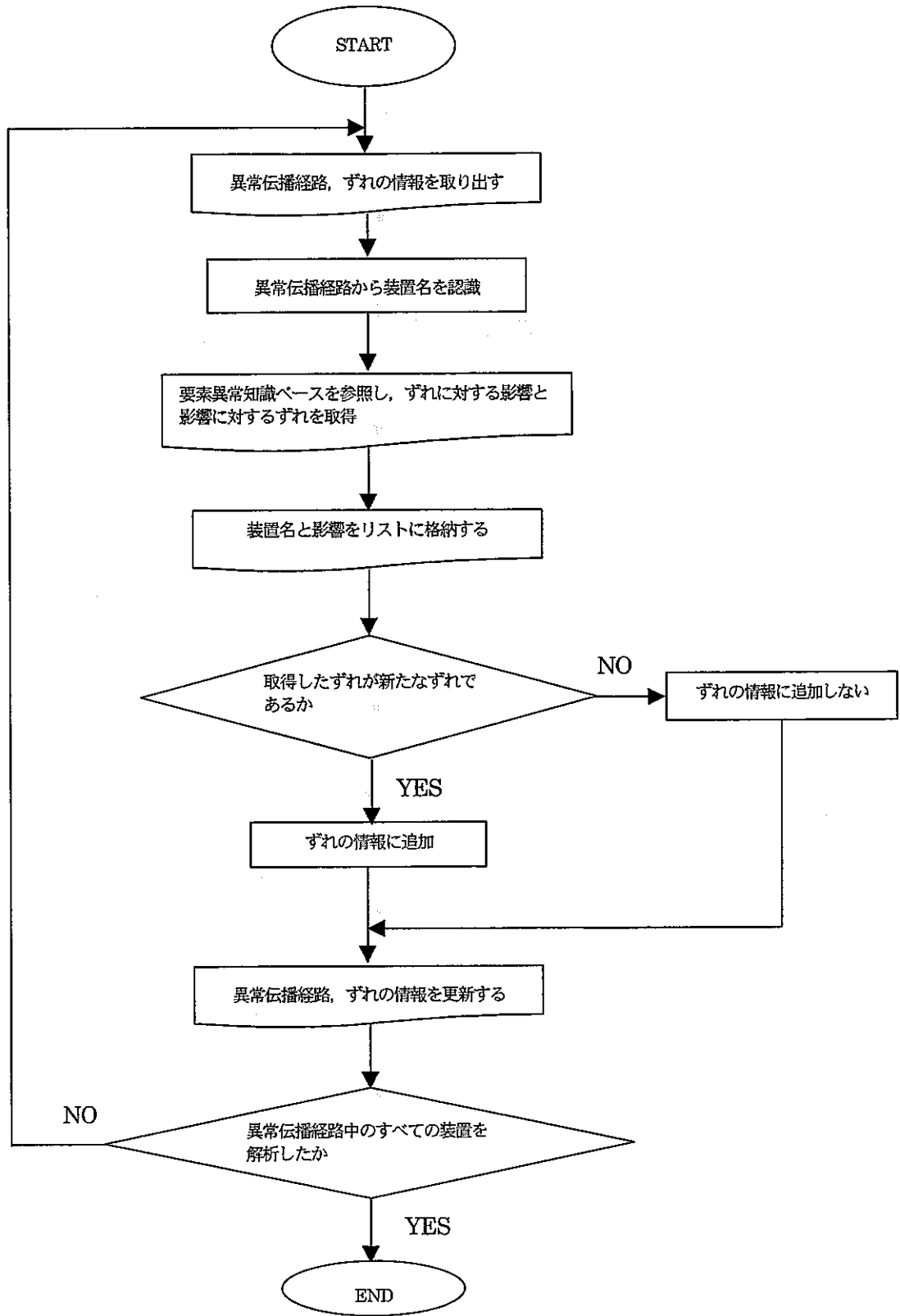


図 4.13 プロシージャ 3 の影響解析部のフローチャート

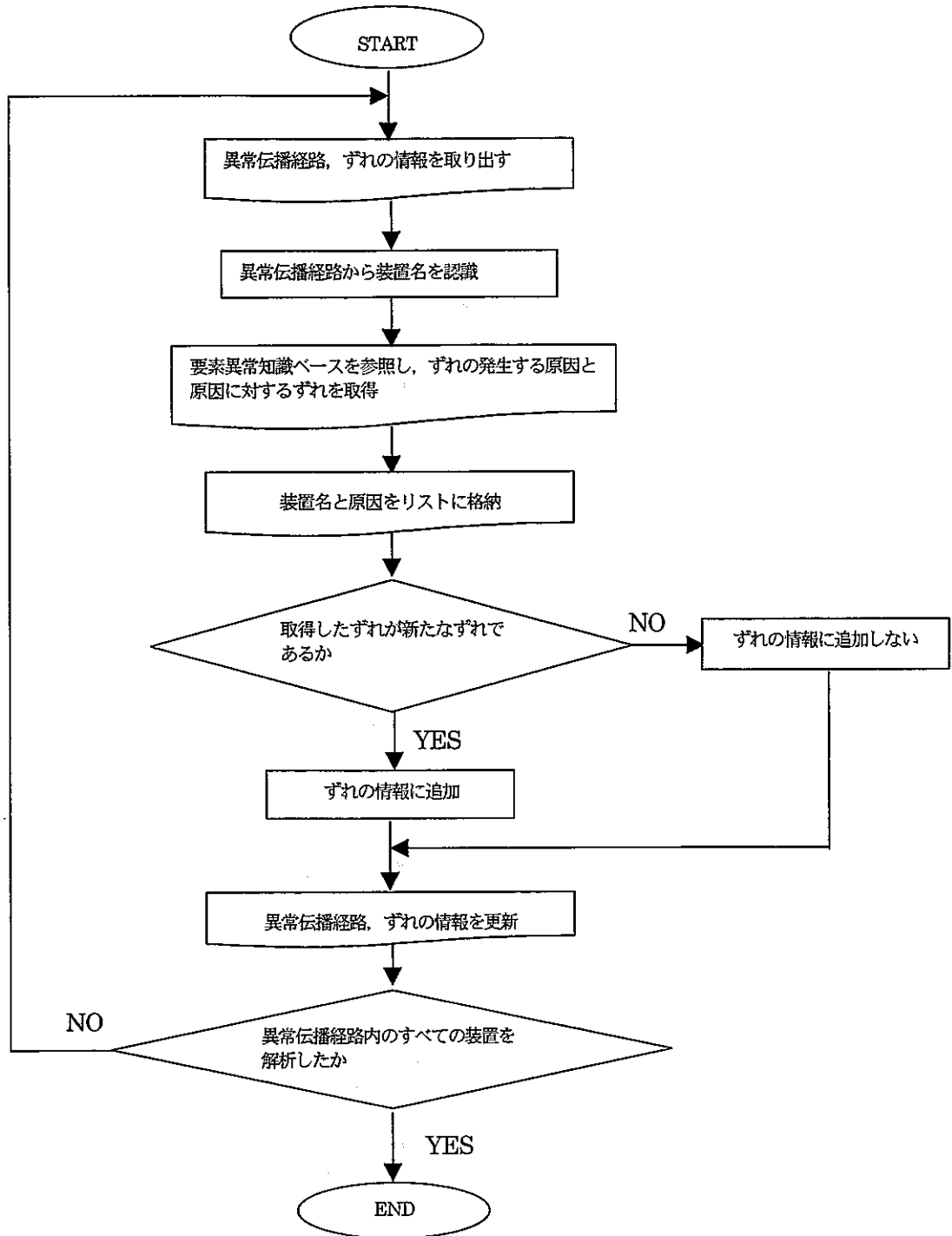


図 4.14 プロシージャ 3 の原因解析部のフローチャート

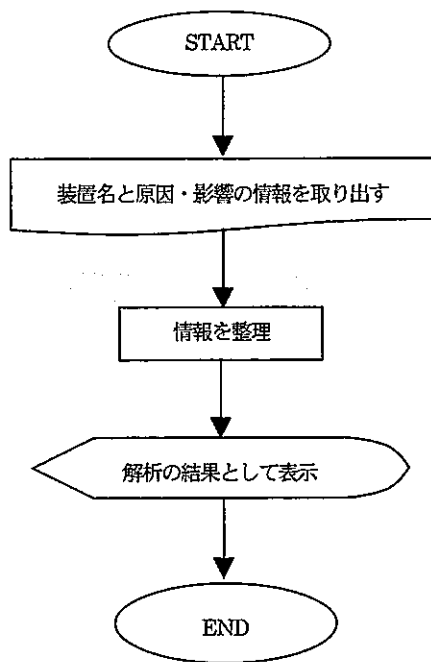


図4.15 プロシージャ4のフローチャート

4.5 解析結果の表示

HAZOP 解析エンジンによる解析結果は、G2 のフリーフォームテーブルとよばれる行と列で構成されるテーブルにより表示される。図 4.16 に解析結果表示の例を示す。

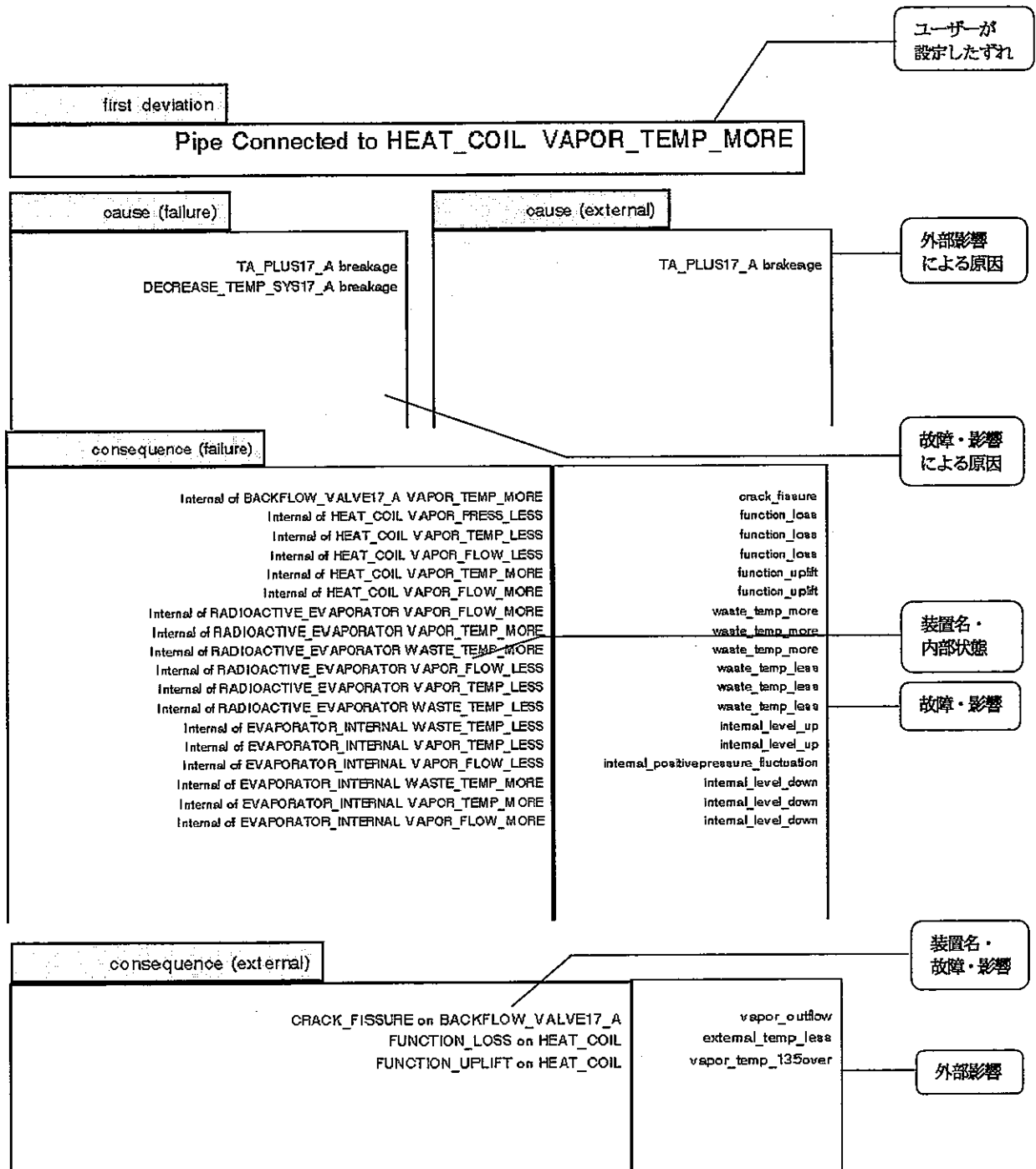


図 4.16 解析結果表示の例

5. 解析例

5.1 高放射性廃液濃縮工程

高放射性廃液濃縮工程は高放射性廃液蒸発缶内で高放射性の廃液を、ホルマリン溶液を加えることにより硝酸を分解し、加熱濃縮するものである。本研究では高放射性廃液濃縮工程のうち物質の種類として蒸気を扱う部分であるノード 17 を対象とする。図 5.1 にノード 17 を示す。ノード 17 は蒸気が減温装置から流入し、高放射性廃液蒸発缶の加熱コイルに至るまでの工程である。

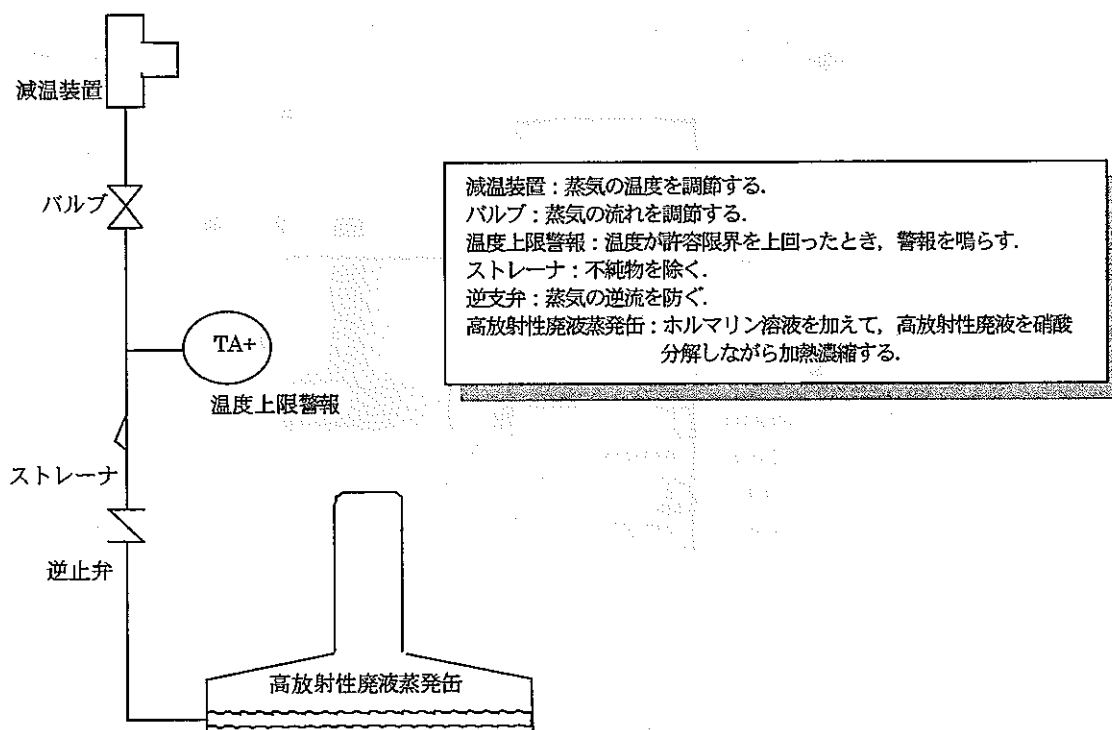


図 5.1 高放射性廃液濃縮工程ノード 17

5.2 構成要素アイコンの作成

高放射性廃液濃縮工程ノード 17 に含まれる構成要素をアイコン化する。アイコンは G2 のアイコンエディタを用いて作成される。図 5.2 にアイコンエディタでのアイコン作成例を示す。作成されたアイコンにはプラントモデル名と構成要素名の情報が図 5.3 に示すように与えられている。

構成要素名はこの構成要素アイコンが示す装置名であり、HAZOP 解析エンジンはこの構成要素名を基に要素異常基本モデル知識ベースを検索する。プラントモデル名はプラントモデル内に存在する同じ構成要素アイコンを識別するために必要なものである。

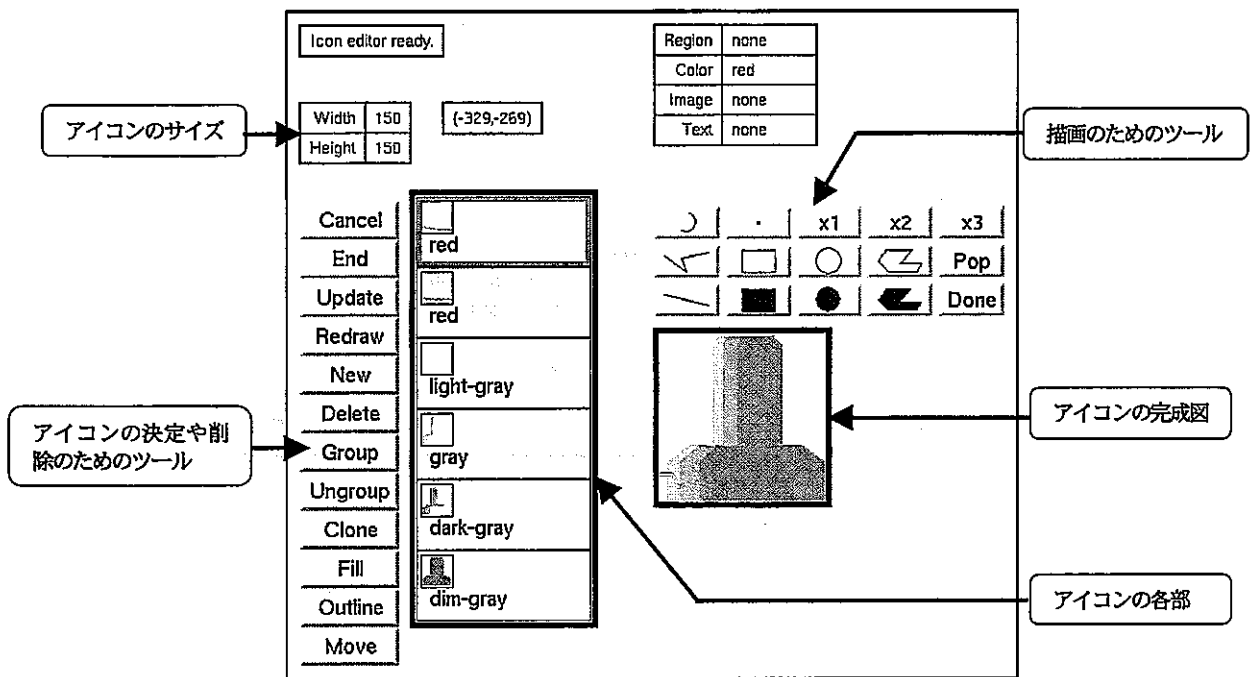


図 5.2 アイコン作成例

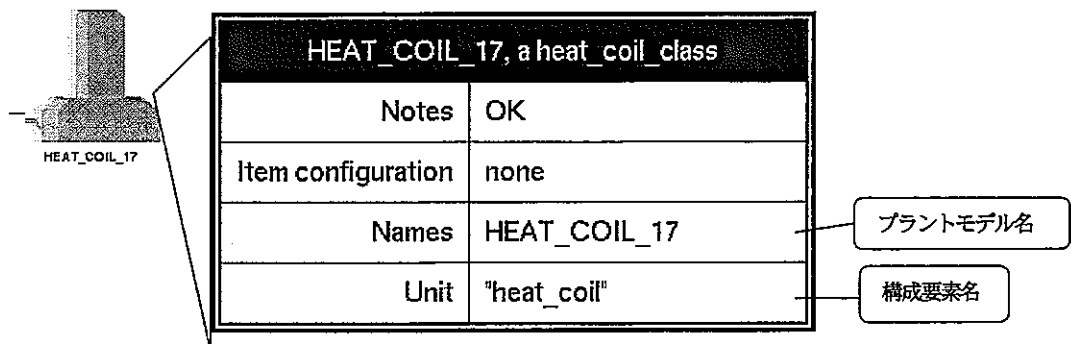


図 5.3 構成要素アイコンの情報

5.3 プラントモデルの作成

図 5.4 に高放射性廃液濃縮工程ノード 17 のプラントモデルを示す。「RADIOACTIVE_EVAPORATOR」と「EVAPORATOR_INTERNAL」はそれぞれ高放射性廃液、高放射性廃液蒸発缶内部を表わしている。「HEAT_COIL」で発生する異常は高放射性廃液と高放射性廃液蒸発缶内部の異常へと伝播する可能性があり、1つの要素異常基本モデルでは表現できない。そこで、要素異常基本モデルを3つ用いて表現する。

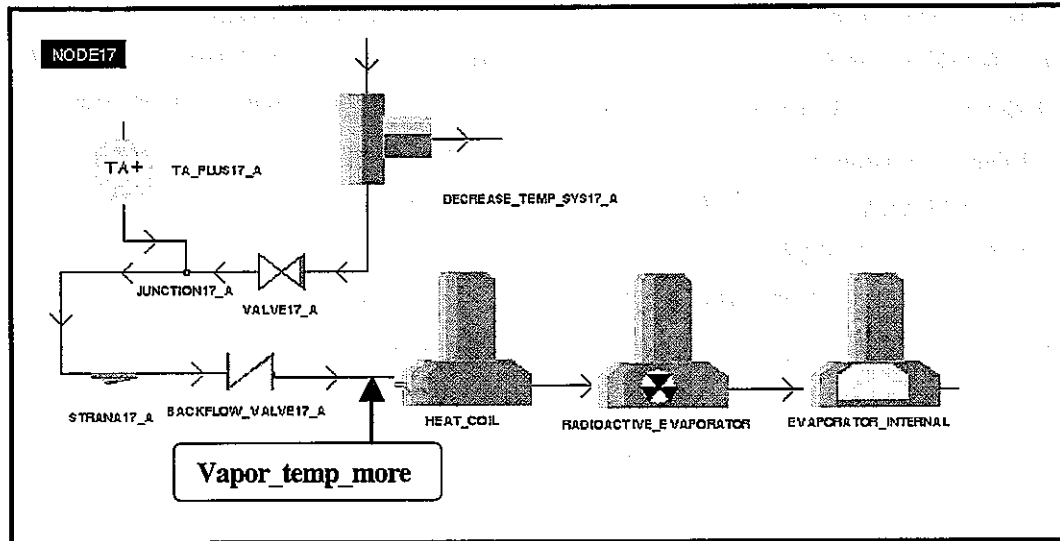


図 5.4 高放射性廃液濃縮工程ノード 17 のプラントモデル

5.4 HAZOP 解析の実施

HAZOP 解析の実施手順を説明する。ここでは、図 5.4 の矢印で示した配管に「Vapor_temp_more」というずれを想定する。

配管にずれを想定するためにコネクションを選択する。図 5.5 にコネクションの選択の例を示す。コネクションの上にマウスポインタを持っていきクリックすると、「connect」という表が表示される。もしも間違ったコネクションをクリックした場合、「connect」の部分をクリックしてコネクションの選択からやり直す。

「select」をクリックすると図 5.6 に示す新しいワークスペースが表示される。このワークスペースには選択可能な物質の種類が表示される。高放射性廃液濃縮工程ノード 17 の流体は蒸気のみであり、選択可能な物質の種類は「vapor」のみである。

「vapor」をクリックすると図 5.7 に示すワークスペースが表示される。このワークスペースにはプロセス変数と手引用語が表示される。ここでは「temp_more」をクリックする。プロセス変数と手引用語を選択すると、HAZOP 解析エンジンによって HAZOP 解析が実行される。解析に要する時間はプラントモデルの規模に依存するが、高放射性廃液濃縮工程ノード 17 の場合、数十秒で完了した。解析が終了すると図 5.8 に示すワークスペースが表示される。図 5.8 の①～⑥の説明を以下に示す。①：故障や装置の影響によるずれの原因、②：外部の影響によるずれの原因、③：

ずれによる故障や装置への影響, ④: ずれによる外部への影響, ⑤: データの整理 (開発段階用), ⑥: 結果表示ワークスペース.

故障や装置の影響によるずれの原因を確認する場合, 図 5.8 に示されたワークスペース上にある「Failure of cause」をクリックする. これより, 図 5.9 に示す解析結果が結果表示ワークスペースに表示される. 図 5.9 より, 想定したずれは「温度上限警報 TA+の故障」, 「減温装置 DECREASE_TEMP_SYS17_A の故障」という原因により発生することが考えられる.

同様に, 外部の影響によるずれの原因を確認する場合は「External of cause」をクリックする. 図 5.10 に解析結果の表示を示す. 図 5.10 より, この場合は想定したずれの原因として外部環境による事象はないという結果が得られている. また, ずれによる故障や装置への影響を確認する場合は「Failure of consequence」をクリックする. 図 5.11 に解析結果の表示を示す. 図 5.11 より, 「ストレーナ STRANA17_A がひび割れる」, 「逆止弁 BACKFLOW_VALVE17_A がひび割れる」などの影響が発生する可能性があることが分かる.

ずれによる外部への影響を確認する場合は「External of consequence」をクリックする. 図 5.12 に解析結果の表示を示す. 図 5.12 より, 「ストレーナ STRANA17_A のひび割れにより, 蒸気の漏れが起こる」, 「加熱コイル HEAT_COIL の機能が下がり, 外部の温度が下がる」などの影響が発生する可能性があることが分かる.

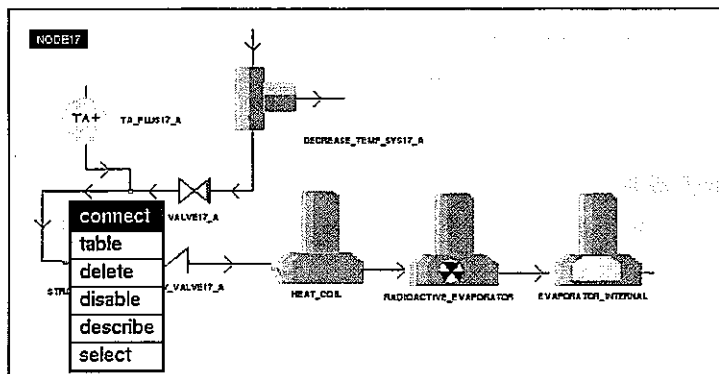


図 5.5 コネクションの選択

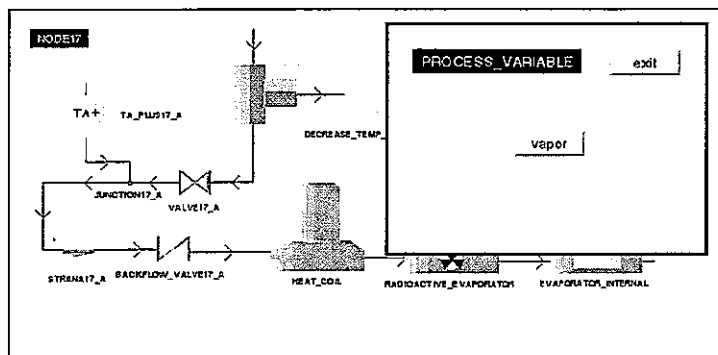


図 5.6 物質の種類を選択

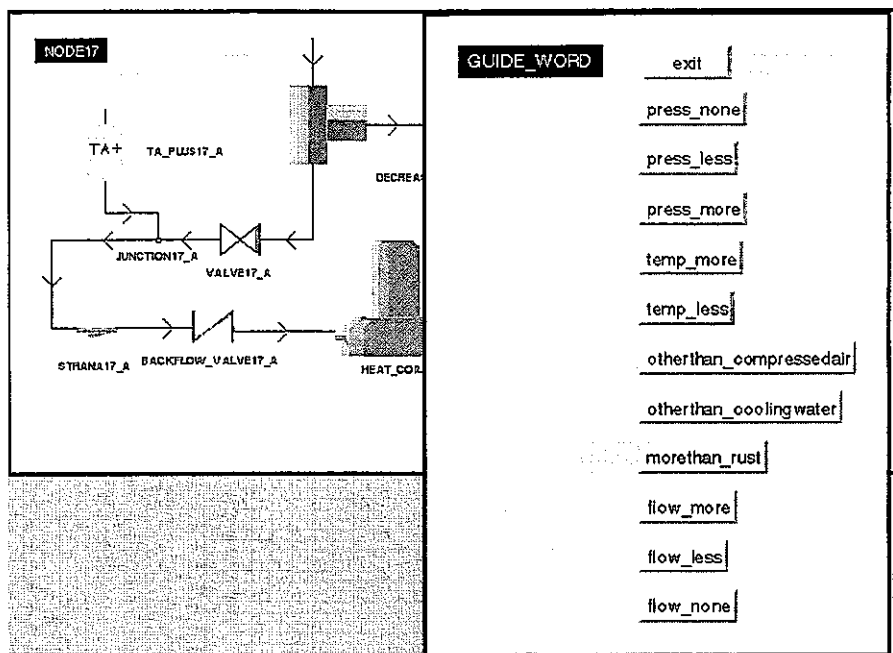


図 5.7 プロセス変数と手引用語の選択

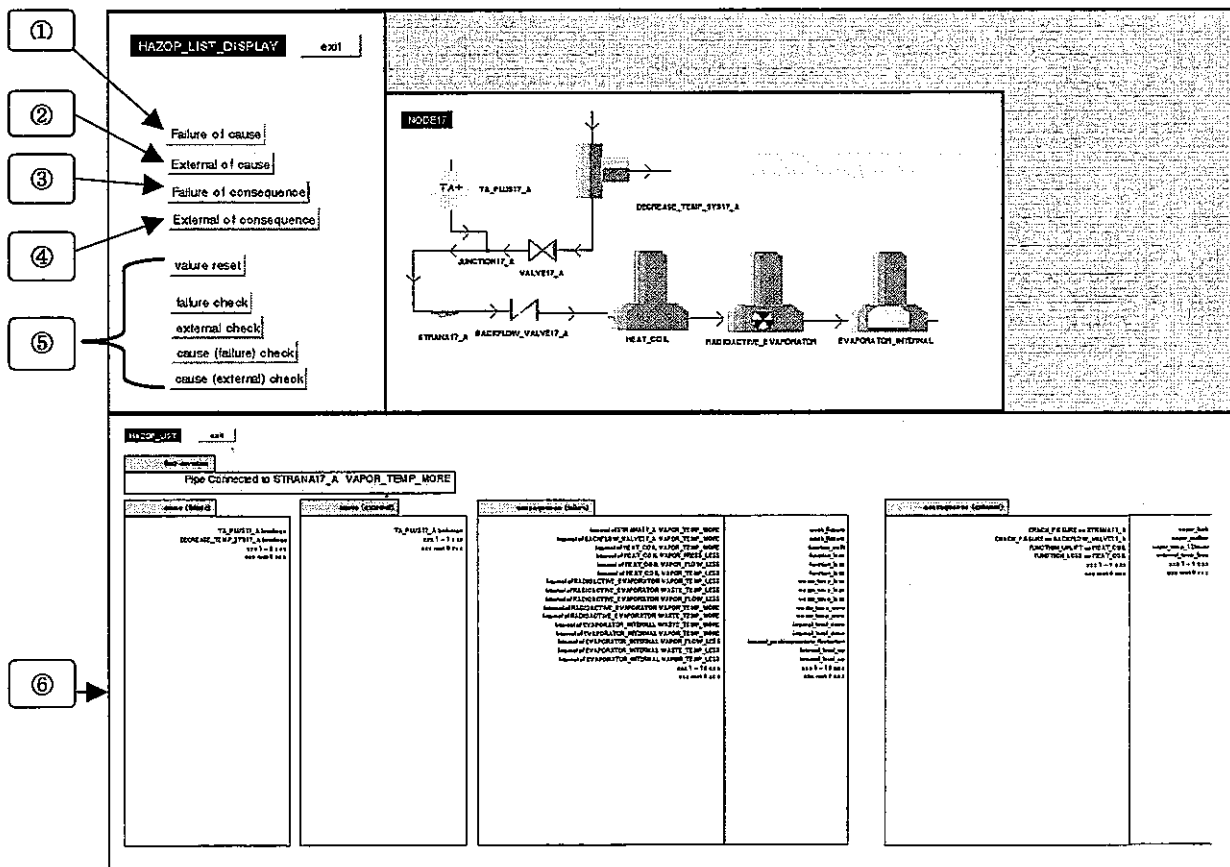


図 5.8 解析結果の表示

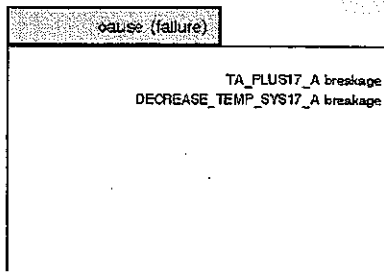


図 5.9 ずれの原因 (故障や装置の影響)

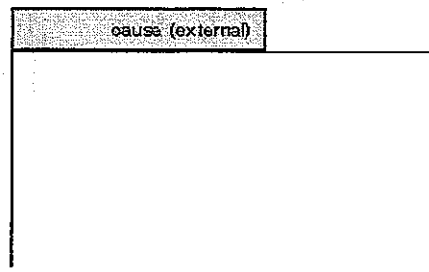


図 5.10 ずれの原因 (外部環境)

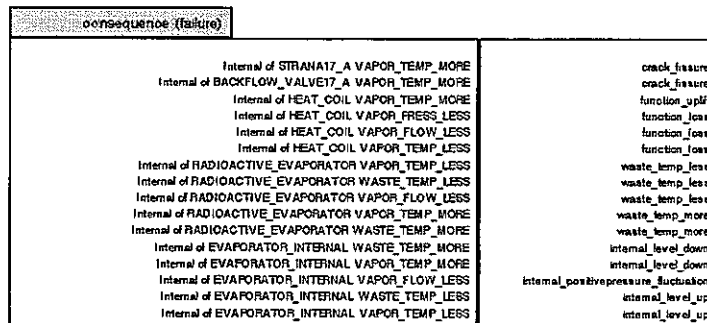


図 5.11 ずれによる故障や装置への影響

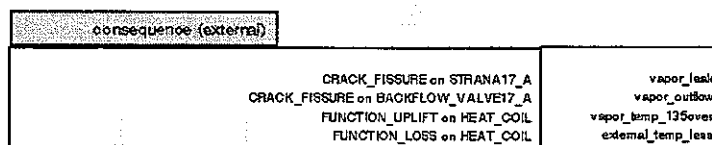


図 5.12 ずれによる外部への影響

5.5 解析結果の考察

高放射性廃液濃縮工程ノード 17 に対する解析結果の考察を行う。解析結果の比較の対象として、核燃料サイクル開発機構が高放射性廃液蒸発缶を対象として実施した HAZOP 解析結果を用いる¹⁵⁾。

表 5.1～表 5.3 に核燃料サイクル開発機構による HAZOP の解析結果と本研究で提案したシステムによる自動解析結果をまとめたものを示す。

5.5.1 ずれ「蒸気温度上昇」に対する HAZOP 解析結果

ずれ「蒸気温度上昇」に対する HAZOP 解析結果の比較検討を行う。表 5.1(a)に核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果を示す。表 5.1(b)に本システムによる HAZOP 自動解析結果をまとめたものを示す。

表 5.1 ずれ「蒸気温度上昇」に対する HAZOP 解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果

ずれ	蒸気温度上昇
考えられる原因	・減温装置からの温度が上昇した蒸気流入
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・高放射性廃液蒸発缶加熱コイルの加熱機能向上による処理量増加 ・高放射性廃液蒸発缶内部の液位低下 ・高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度上昇 ・高放射性廃液蒸発缶内の負圧変動 ・高放射性廃液蒸発缶内の DF 低下 ・加熱蒸気温度が 135℃を超える可能性がある

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

ずれ	蒸気温度上昇
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・温度上限警報が作動しない ・減温装置が故障
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気温度上昇により、加熱コイルの機能向上 ・蒸気流量増加により、缶内の DF 低下 ・蒸気温度上昇により、濃縮廃液の温度上昇 ・濃縮廃液の流量増加により、缶内の負圧変動 ・濃縮廃液の温度減少により、缶内の液位低下 ・加熱蒸気温度が 135℃を超える可能性あり

表 5.1(a), (b)を比較すると、「温度上限警報が作動しない」という原因が本システムにより新たに解析されている。また、本システムでは、表 5.1(b)に記されている「濃縮廃液温度上昇により、内部の液位低下」のように、起こり得る結果・影響の直接的な原因が出力される。これは安全対策を講じる際に有効である。

5.5.2 ずれ「蒸気流量減少」に対する HAZOP 解析結果

ずれ「蒸気流量減少」に対する HAZOP 解析結果の比較検討を行う。表 5.2(a)に核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果を示す。表 5.2(b)に本システムによる HAZOP 自動解析結果をまとめたものを示す。

表 5.2 ずれ「蒸気流量減少」に対する HAZOP 解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果

ずれ	蒸気流量減少
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減温装置からの蒸気流入減少 ・ フランジ部などからの蒸気漏れ ・ ストレーナの部分的閉塞 ・ 誤操作による手動弁閉
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高放射性廃液蒸発缶加熱コイルの加熱機能損失による処理量減少 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の液位上昇 ・ 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度低下 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の負圧変動 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の硝酸分解反応低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

ずれ	蒸気流量減少
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減温装置の故障 ・ ストレーナの閉塞、または漏れ ・ 逆止弁の固着 ・ 手動弁故障
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蒸気の流量減少により、加熱コイルの機能損失 ・ 濃縮廃液の流量減少により、濃縮廃液の酸度低下 ・ 蒸気の温度低下により、濃縮廃液の温度低下 ・ 濃縮廃液の温度低下により、缶内の負圧変動 ・ 濃縮廃液の温度低下により、缶内の液位上昇 ・ 蒸気の温度低下により、缶内の硝酸分解反応低下 ・ 加熱コイルの機能損失により、缶内の温度低下 ・ 異常反応により、危険物生成

表 5.2(a), (b)を比較すると、起こり得る結果・影響として「濃縮廃液の流量減少により、濃縮廃液の酸度低下」、「加熱コイルの機能損失により、缶内の温度低下」、及び「異常反応により、危険物生成」が新たに解析結果として出力されている。「加熱コイルの機能損失により、缶内の温度低下」と「異常反応により、危険物生成」については、本システムが異常伝播を考慮した解析を行った結果により出力されたものである。

5.5.3 ずれ「蒸気内に錆混入」に対する HAZOP 解析結果

ずれ「蒸気内に錆混入」に対する HAZOP 解析結果の比較検討を行う。表 5.3(a)に核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果を示す。表 5.3(b)に本システムによる HAZOP 自動解析結果をまとめたものを示す。

表 5.3 ずれ「蒸気内に錆混入」に対する HAZOP 解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果

ずれ	蒸気内に錆混入
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減温装置からの錆が混入した蒸気流入 ・ 炭素鋼配管の腐食
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高放射性廃液蒸発缶加熱コイルへ錆が混入 ・ ストレーナの閉塞による加熱コイルへの蒸気流入減少

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

ずれ	蒸気内に錆混入
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減温装置に錆が付着している ・ ストレーナに錆が付着している ・ 逆止弁に錆が付着している ・ 手動弁に錆が付着している
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蒸気の流量減少により、加熱コイルの機能低下 ・ 錆の付着により、加熱コイルの故障 ・ 蒸気の温度減少により、濃縮廃液の温度低下 ・ 濃縮廃液の流量減少により、濃縮廃液酸度低下 ・ 濃縮廃液の温度減少により、缶内の負圧変動 ・ 濃縮廃液の温度減少により、缶内の液位上昇 ・ 蒸気の温度低下により、缶内の硝酸分解反応低下 ・ 蒸気の圧力増加により、加熱コイル破裂の危険性

表 5.3(a), (b)を比較すると、表 5.3(a)の方がより詳細に解析されていることがわかる。表 5.3(a)では起こり得る結果・影響は「加熱コイルへ錆が混入」と「加熱コイルへの蒸気流入減少」であるが、さらに異常伝播を考慮することにより、錆の混入による影響についても解析可能である。また、考えられる原因として「炭素鋼配管の腐食」が出力されていないのは、要素異常知識ベース内の情報不足によるものと考えられる。

最後に、現在の問題点を示す。本研究では知識ベースに格納されているすべての異常伝播を考慮した解析を行うため、同じ異常事象を含む異常伝播経路が探索される場合があり、この結果、同じ原因、あるいは影響が重複して出力される場合がある。また、十分な解析結果を得るために、要素異常知識ベースを充実させることも重要である。

6. おわりに

HAZOP はこれまでも多くのプラントやプロセスに適応され、その有用性が示されている。しかし、HAZOP を実施するためには多くの労力と時間、専門的な知識が必要となる。この問題を解決するために計算機を利用した安全評価支援システムの開発が期待されている。これまでも多くの安全評価支援システムが開発されてきたが、改良の余地が残されている。

本研究では異常伝播と要素異常基本モデルを考慮に入れ、解析漏れの減少を目的とした HAZOP 解析システムを開発した。この HAZOP 解析システムの特徴を次に示す。

- (1) 手引用語を用いた組織的な解析手法である HAZOP の長所を損なうことなく、解析に必要な時間と労力の削減が期待できる。
- (2) GUI (グラフィカルユーザーインターフェース) に優れたオブジェクト指向開発ツールである G2 を用いることにより、解析者は簡単な操作で HAZOP を実施することができ、また、解析結果が分かり易く表現される。
- (3) 要素異常基本モデルを用いることにより、状態異常に対する構成要素への影響、状態異常を引き起こす構成要素の故障だけでなく、外部環境への影響についても明らかにすることが可能である。
- (4) 要素異常基本モデルを追加することで、様々な装置、プラントへの対応が可能となる。

本研究では高放射性廃液濃縮工程に対して本解析システムを適用し、得られた解析結果の検討を行なった。以下に考察結果をまとめる。

- (1) 要素異常基本モデルを用いない HAZOP の解析結果に比べ、詳細な解析が実施された。
- (2) 異常伝播を考慮しない HAZOP の解析結果に比べ、より多くの影響の可能性が示された。一方、以下のような問題点が明らかになった。
 - (1) 要素異常基本モデルに関する情報の格納形式が特殊なものであるため、要素異常基本モデル知識ベースを他の安全評価支援システムへ応用することが難しい。
 - (2) システムの拡張が困難である。

今後の課題として、汎用性のあるデータ格納形式の検討と、要素異常基本モデルの作成ツールなどの構築により、システムに拡張性を持たせることが重要である。

参考文献

- 1) Lihou,D.A., Computer-aided Operability Studies for Loss Control : Proc. of the Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, pp.579-613 (1980)
- 2) Venkatasubramanian,V. and R.Vaidhyanathan, A Knowledge-Based Framework for Automating HAZOP Analysis : AIChE J., Vol.40, No.3, pp.496-504 (1994)
- 3) Vaidhyanathan,R. and V.Venkatasubramanian, Digraph-based models for Automated HAZOP Analysis : Reliab. Engng. and System Safety, Vol.50, pp.33-49 (1995)
- 4) Heino,P and E.Kotikunnas, Computer-aided HAZOP with Knowledge-based Identification of Hazardous Event Chains : Proc. of the Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Vol.1, pp.645-656 (1995)
- 5) Shimada,Y., K.Suzuki and H.Sayama, Computer-aided Operability Study for Batch Plants : Proc. of the Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Vol.2, pp.587-598 (1995)
- 6) Shimada,Y., K.Suzuki and H.Sayama, Computer-aided Operability Study : Comp.Chem.Engng., Vol.20, No.6/7, pp.905-913 (1996)
- 7) Suzuki,K., Y.Shimada, H.Sayama and I.Nojiri, Application of Knowledge Engineering to Automated HAZOP : Proc. of the First European Congress on Chem. Engng., ECCE1, Vol.1, pp.787-790 (1997)
- 8) Srinivasan,R. and V.Venkatasubramanian, Automating HAZOP Analysis of Batch Chemical Plants, Part 1 The Knowledge Representation Framework : Comp.Chem.Engng., Vol.22, No.9, pp.1345-1355 (1998)
- 9) Srinivasan,R. and V.Venkatasubramanian, Automating HAZOP Analysis of Batch Chemical Plants, Part 2 Algorithm and Application : Comp.Chem.Engng., Vol.22, No.9, pp.1357-1370 (1998)
- 10) Suzuki,K., Y.Shimada, T.Song, I.Nojiri and H.Sayama, An object-oriented Approach for Computer-sided HAZOP : Proc. of Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Vol.2, pp.493-508 (1998)
- 11) Suzuki,K., Y.Shimada, and I.Nojiri, An Object-oriented Approach for Computer-sided HAZOP for Batch Plants : Proc. of European Safety and Reliability Conference 1998, ESREL'98, Vol.2, pp.1335-1342 (1998)
- 12) Parmar,J.C. and F.P.Lees, The Propagation of Faults in Process Plants, Hazard Identification for a Water Separator System : Reliab. Engng., Vol.17, pp.303-314 (1987)
- 13) 化学工学協会編, 化学工学便覧 B 偏 構造と設計 : 丸善 (1989)
- 14) 化学装置研究会編, 化学装置・機器の基礎知識 : オーム社 (1991)
- 15) JNC TN8410 99-004 東海再処理施設の事故の発生防止策の検討 (1999)

付録-1

図 付 1.1 に G2 内に格納された要素異常知識ベースの表現の説明を示す。表 付 1.1, 及び表 付 1.2 に, それぞれ HEAT_COIL (加熱コイル), 及び DECREASE_TEMP_SYS (減温装置) の要素異常知識ベースを示す。

HEAT_COIL_INTERNAL_TO_FAILURE, an internal_to_failure	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_INTERNAL_TO_FAILURE
Unit_name	"heat_coil"
Loop_name	""
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"function_loss"
Vapor_flow_less	"function_loss"
Vapor_flow_more	"function_uplift"
Vapor_morethan_rust	"blank_off"
Vapor_otherthan_coolingwater	"condensation_water"
Vapor_otherthan_compressedair	"normal"
Vapor_temp_less	"function_loss"
Vapor_temp_more	"function_uplift"
Vapor_press_more	"breakage"
Vapor_press_less	"function_loss"
Waste_flow_none	"normal"
Waste_flow_less	"normal"
Waste_flow_more	"normal"
Waste_concentration_less	"normal"
Waste_concentration_more	"corrosion"
Waste_morethan_impurity	"normal"
Waste_otherthan_purewater	"normal"
Waste_otherthan_air	"normal"
Waste_temp_less	"normal"
Waste_temp_more	"normal"
Waste_press_more	"normal"
Waste_press_less	"normal"

加熱コイルの Internal から Failure への異常伝播情報

構成要素名

各異常伝播の情報
(左側が原因, 右側がその影響)
・ Normal は「影響がない」, または「その状態が起り得ない」ことを示す。

(例)

Vapor_flow_less	Function_loss
-----------------	---------------

・内部が Vapor_flow_less (蒸気流量減少) ならば、Function_loss (機能低下) の影響が起こる。

図 付 1.1 G2 内に格納された要素異常知識ベースの表現の説明

表 付 1.1 HEAT_COIL (加熱コイル) の要素異常知識ベース

(a) Inlet から Internal への異常伝播情報

(b) Internal から Inlet への異常伝播情報

HEAT_COIL_INLET_TO_INTERNAL, an inlet_to_internal	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_INLET_TO_INTERNAL
Unit_name	"heat_coil"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"Vapor_flow_none"
Vapor_flow_less	"vapor_flow_less"
Vapor_flow_more	"vapor_flow_more"
Vapor_morethan_rust	"vapor_morethan_rust"
Vapor_otherthan_coolingwater	"vapor_otherthan_coolingwater"
Vapor_otherthan_compressedair	"vapor_otherthan_compressedair"
Vapor_temp_less	"vapor_temp_less"
Vapor_temp_more	"vapor_temp_more"
Vapor_press_more	"vapor_press_more"
Vapor_press_less	"vapor_press_less"
Waste_flow_none	"waste_flow_none"
Waste_flow_less	"waste_flow_less"
Waste_flow_more	"waste_flow_more"
Waste_concentration_less	"waste_concentration_less"
Waste_concentration_more	"waste_concentration_more"
Waste_morethan_impurity	"waste_morethan_impurity"
Waste_otherthan_purewater	"waste_otherthan_purewater"
Waste_otherthan_air	"waste_otherthan_air"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Waste_press_more	"waste_press_more"
Waste_press_less	"waste_press_less"

HEAT_COIL_INTERNAL_TO_INLET, an internal_to_inlet	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_INTERNAL_TO_INLET
Unit_name	"heat_coil"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"Vapor_flow_none"
Vapor_flow_less	"vapor_flow_less"
Vapor_flow_more	"vapor_flow_more"
Vapor_morethan_rust	"vapor_morethan_rust"
Vapor_otherthan_coolingwater	"vapor_otherthan_coolingwater"
Vapor_otherthan_compressedair	"normal"
Vapor_temp_less	"Vapor_temp_less"
Vapor_temp_more	"vapor_temp_more"
Vapor_press_more	"vapor_press_more"
Vapor_press_less	"vapor_press_less"
Waste_flow_none	"waste_flow_none"
Waste_flow_less	"waste_flow_less"
Waste_flow_more	"waste_flow_more"
Waste_concentration_less	"waste_concentration_less"
Waste_concentration_more	"waste_concentration_more"
Waste_morethan_impurity	"waste_morethan_impurity"
Waste_otherthan_purewater	"waste_otherthan_purewater"
Waste_otherthan_air	"waste_otherthan_air"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Waste_press_more	"waste_press_more"
Waste_press_less	"waste_press_less"

表 付1.1 HEAT_COIL (加熱コイル) の要素異常知識ベース

(c) Internal から Outlet への異常伝播情報

(d) Outlet から Internal への異常伝播情報

HEAT_COIL_INTERNAL_TO_OUTLET, an internal_to_outlet	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_INTERNAL_TO_OUTLET
Unit_name	"heat_coil"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"vapor_flow_none"
Vapor_flow_less	"vapor_flow_less"
Vapor_flow_more	"vapor_flow_more"
Vapor_morethan_rust	"vapor_morethan_rust"
Vapor_otherthan_coolingwater	"vapor_otherthan_coolingwater"
Vapor_otherthan_compressedair	"normal"
Vapor_temp_less	"vapor_temp_less"
Vapor_temp_more	"vapor_temp_more"
Vapor_press_more	"vapor_press_more"
Vapor_press_less	"vapor_press_less"
Waste_flow_none	"waste_flow_none"
Waste_flow_less	"waste_flow_less"
Waste_flow_more	"waste_flow_more"
Waste_concentration_less	"waste_concentration_less"
Waste_concentration_more	"waste_concentration_more"
Waste_morethan_impurity	"waste_morethan_impurity"
Waste_otherthan_purewater	"waste_otherthan_purewater"
Waste_otherthan_air	"waste_otherthan_air"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Waste_press_more	"waste_press_more"
Waste_press_less	"waste_press_less"

HEAT_COIL_OUTLET_TO_INTERNAL, an outlet_to_internal	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_OUTLET_TO_INTERNAL
Unit_name	"heat_coil"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"vapor_flow_none"
Vapor_flow_less	"vapor_flow_less"
Vapor_flow_more	"vapor_flow_more"
Vapor_morethan_rust	"vapor_morethan_rust"
Vapor_otherthan_coolingwater	"vapor_otherthan_coolingwater"
Vapor_otherthan_compressedair	"vapor_otherthan_compressedair"
Vapor_temp_less	"vapor_temp_less"
Vapor_temp_more	"vapor_temp_more"
Vapor_press_more	"vapor_press_more"
Vapor_press_less	"vapor_press_less"
Waste_flow_none	"normal"
Waste_flow_less	"normal"
Waste_flow_more	"normal"
Waste_concentration_less	"normal"
Waste_concentration_more	"waste_concentration_more"
Waste_morethan_impurity	"normal"
Waste_otherthan_purewater	"waste_otherthan_purewater"
Waste_otherthan_air	"waste_otherthan_air"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Waste_press_more	"waste_press_more"
Waste_press_less	"waste_press_less"

表 付 1.1 HEAT_COIL (加熱コイル) の要素異常知識ベース

(e) Internal から Failure への異常伝播情報

(f) Failure から Internal への異常伝播情報

HEAT_COIL_INTERNAL_TO_FAILURE,an internal_to_failure	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_INTERNAL_TO_FAILURE
Unit_name	"heat_coil"
Loop_name	""
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"function_loss"
Vapor_flow_less	"function_loss"
Vapor_flow_more	"function_uplift"
Vapor_morethan_rust	"blank_off"
Vapor_otherthan_coolingwater	"condensation_water"
Vapor_otherthan_compressedair	"normal"
Vapor_temp_less	"function_loss"
Vapor_temp_more	"function_uplift"
Vapor_press_more	"breakage"
Vapor_press_less	"function_loss"
Waste_flow_none	"normal"
Waste_flow_less	"normal"
Waste_flow_more	"normal"
Waste_concentration_less	"normal"
Waste_concentration_more	"corrosion"
Waste_morethan_impurity	"normal"
Waste_otherthan_purewater	"normal"
Waste_otherthan_air	"normal"
Waste_temp_less	"normal"
Waste_temp_more	"normal"
Waste_press_more	"normal"
Waste_press_less	"normal"

HEAT_COIL_FAILURE_TO_INTERNAL,a failure_to_internal	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_FAILURE_TO_INTERNAL
Unit_name	"heat_coil"
Loop_name	""
Normal	"normal"
Function_loss	"vapor_flow_less"
Function_uplift	"vapor_flow_more"
Blank_off	"vapor_press_more"
Condensation_water	"vapor_press_more"
Breakage	"vapor_press_less"
Anchoring	"waste_flow_less"
Crack_fissure	"waste_flow_less"
Cavitation	"vapor_temp_more"
Power_less	"normal"
Power_more	"normal"
Over_drive	"normal"
Break_down	"waste_temp_less"
Excess_open	"normal"
Bust_up	"normal"
Waste_acidity_less	"normal"
Waste_acidity_more	"normal"
H2_arise	"normal"
Waste_concentration_less	"normal"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Internal_positivepressure_fluctuation	"normal"
Internal_level_down	"normal"
Internal_level_up	"normal"
Decomposition_reaction_less	"vapor_morethan_rust"
Danger_of_explosion	"normal"
Functional_incompetence	"vapor_flow_less"
Abnormal_reaction	"normal"
Internal_corrode	"vapor_morethan_rust"
Mist_more	"normal"
Df_less	""
Internal_fissure	"vapor_flow_less"

表 付 1.1 HEAT_COIL (加熱コイル) の要素異常知識ベース

(g) Failure から External への異常伝播情報

(h) External から Internal への異常伝播情報

HEAT_COIL_FAILURE_TO_EXTERNAL, a failure_to_external	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_FAILURE_TO_EXTERNAL
Unit_name	'heat_coil'
Loop_name	''
Normal	'normal'
Function_less	'external_temp_less'
Function_uplift	'vapor_temp_135over'
Blank_off	'breakage'
Condensation_water	'hammering'
Breakage	'vapor_leak'
Anchoring	'vapor_press_more'
Crack_fault	'vapor_flow_less'
Cavitation	'normal'
Power_less	'normal'
Power_more	'normal'
Over_drive	'normal'
Break_down	'vapor_flow_less'
Excess_open	'normal'
Bust_up	'vapor_flow_less'
Waste_acidity_less	'waste_temp_more'
Waste_acidity_more	'waste_temp_less'
H2_arise	'normal'
Waste_concentration_less	'normal'
Waste_temp_less	'waste_temp_less'
Waste_temp_more	'waste_temp_more'
Internal_positivepressure_fluctuation	'normal'
Internal_level_down	'vapor_temp_more'
Internal_level_up	'vapor_temp_less'
Decomposition_reaction_less	'waste_temp_more'
Danger_of_explosion	'normal'
Functional_incompetence	'vapor_temp_more'
Abnormal_reaction	'waste_temp_more'
Internal_corrode	'vapor_morethan_just'
Mist_more	'normal'

HEAT_COIL_EXTERNAL_TO_INTERNAL, an external_to_internal	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	HEAT_COIL_EXTERNAL_TO_INTERNAL
Unit_name	'heat_coil'
Loop_name	''
Normal	'normal'
External_temp_less	'vapor_temp_less'
Vapor_temp_135over	'vapor_temp_more'
Breakage	'vapor_flow_less'
Vapor_leak	'vapor_flow_less'
Vapor_outflow	'vapor_flow_less'
H2_arise	'normal'
Radiation_leak	'normal'
Dangerous_object_generate	'waste_temp_less'
Dangerous_object_leak	'normal'
Hammering	'normal'
Cool_down	'vapor_temp_less'

表 付1.2 DECREASE_TEMP_SYS (減温装置) の要素異常知識ベース

(a) Inlet から Internal への異常伝播情報

(b) Internal から Inlet への異常伝播情報

DECREASE_TEMP_SYS_INLET_TO_INTERNAL, an inlet_to_internal	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	DECREASE_TEMP_SYS_INLET_TO_INTERNAL
Unit_name	"decrease_temp_sys"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"vapor_flow_none"
Vapor_flow_less	"vapor_flow_less"
Vapor_flow_more	"vapor_flow_more"
Vapor_morethan_rust	"vapor_morethan_rust"
Vapor_otherthan_coolingwater	"vapor_otherthan_coolingwater"
Vapor_otherthan_compressedair	"vapor_otherthan_compressedair"
Vapor_temp_less	"vapor_temp_less"
Vapor_temp_more	"vapor_temp_more"
Vapor_press_more	"vapor_press_more"
Vapor_press_less	"vapor_press_less"
Waste_flow_none	"waste_flow_none"
Waste_flow_less	"waste_flow_less"
Waste_flow_more	"waste_flow_more"
Waste_concentration_less	"waste_concentration_less"
Waste_concentration_more	"waste_concentration_more"
Waste_morethan_impurity	"waste_morethan_impurity"
Waste_otherthan_purewater	"waste_otherthan_purewater"
Waste_otherthan_air	"waste_otherthan_air"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Waste_press_more	"waste_press_more"
Waste_press_less	"waste_press_less"

DECREASE_TEMP_SYS_INTERNAL_TO_INLET, an internal_to_inlet	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	DECREASE_TEMP_SYS_INTERNAL_TO_INLET
Unit_name	"decrease_temp_sys"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"vapor_flow_none"
Vapor_flow_less	"vapor_flow_less"
Vapor_flow_more	"vapor_flow_more"
Vapor_morethan_rust	"vapor_morethan_rust"
Vapor_otherthan_coolingwater	"vapor_otherthan_coolingwater"
Vapor_otherthan_compressedair	"vapor_otherthan_compressedair"
Vapor_temp_less	"vapor_temp_less"
Vapor_temp_more	"vapor_temp_more"
Vapor_press_more	"vapor_press_more"
Vapor_press_less	"vapor_press_less"
Waste_flow_none	"waste_flow_none"
Waste_flow_less	"waste_flow_less"
Waste_flow_more	"waste_flow_more"
Waste_concentration_less	"waste_concentration_less"
Waste_concentration_more	"waste_concentration_more"
Waste_morethan_impurity	"waste_morethan_impurity"
Waste_otherthan_purewater	"waste_otherthan_purewater"
Waste_otherthan_air	"waste_otherthan_air"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Waste_press_more	"waste_press_more"
Waste_press_less	"waste_press_less"

表 付1.2 DECREASE_TEMP_SYS (減温装置) の要素異常知識ベース

(c) Internal から Outlet への異常伝播情報

(d) Outlet から Internal への異常伝播情報

DECREASE_TEMP_SYS_INTERNAL_TO_OUTLET, an internal_to_outlet	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	DECREASE_TEMP_SYS_INTERNAL_TO_OUTLET
Unit_name	"decrease_temp_sys"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"vapor_flow_none"
Vapor_flow_less	"vapor_flow_less"
Vapor_flow_more	"vapor_flow_more"
Vapor_morethan_rust	"vapor_morethan_rust"
Vapor_otherthan_coolingwater	"vapor_otherthan_coolingwater"
Vapor_otherthan_compressedair	"vapor_otherthan_compressedair"
Vapor_temp_less	"vapor_temp_less"
Vapor_temp_more	"vapor_temp_more"
Vapor_press_more	"vapor_press_more"
Vapor_press_less	"vapor_press_less"
Waste_flow_none	"waste_flow_none"
Waste_flow_less	"waste_flow_less"
Waste_flow_more	"waste_flow_more"
Waste_concentration_less	"waste_concentration_less"
Waste_concentration_more	"waste_concentration_more"
Waste_morethan_impurity	"waste_morethan_impurity"
Waste_otherthan_purewater	"waste_otherthan_purewater"
Waste_otherthan_air	"waste_otherthan_air"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Waste_press_more	"waste_press_more"
Waste_press_less	"waste_press_less"

DECREASE_TEMP_SYS_OUTLET_TO_INTERNAL, an outlet_to_internal	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	DECREASE_TEMP_SYS_OUTLET_TO_INTERNAL
Unit_name	"decrease_temp_sys"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"vapor_flow_none"
Vapor_flow_less	"vapor_flow_less"
Vapor_flow_more	"vapor_flow_more"
Vapor_morethan_rust	"vapor_morethan_rust"
Vapor_otherthan_coolingwater	"vapor_otherthan_coolingwater"
Vapor_otherthan_compressedair	"vapor_otherthan_compressedair"
Vapor_temp_less	"vapor_temp_less"
Vapor_temp_more	"vapor_temp_more"
Vapor_press_more	"vapor_press_more"
Vapor_press_less	"vapor_press_less"
Waste_flow_none	"waste_flow_none"
Waste_flow_less	"waste_flow_less"
Waste_flow_more	"waste_flow_more"
Waste_concentration_less	"waste_concentration_less"
Waste_concentration_more	"waste_concentration_more"
Waste_morethan_impurity	"waste_morethan_impurity"
Waste_otherthan_purewater	"waste_otherthan_purewater"
Waste_otherthan_air	"waste_otherthan_air"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Waste_press_more	"waste_press_more"
Waste_press_less	"waste_press_less"

表 付1.2 DECREASE_TEMP_SYS (減温装置) の要素異常知識ベース

(e) Internal から Failure への異常伝播情報

(f) Failure から Internal への異常伝播情報

DECREASE_TEMP_SYS_INTERNAL_TO_FAILURE, an internal_to_failure	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	DECREASE_TEMP_SYS_INTERNAL_TO_FAILURE
Unit name	"decrease_temp_sys"
Loop name	"
Normal	"normal"
Vapor_flow_none	"normal"
Vapor_flow_less	"normal"
Vapor_flow_more	"internal_level_up"
Vapor_morethan_rust	"blank_off"
Vapor_otherthan_coolingwater	"normal"
Vapor_otherthan_compressedair	"normal"
Vapor_temp_less	"normal"
Vapor_temp_more	"breakage"
Vapor_press_more	"breakage"
Vapor_press_less	"normal"
Waste_flow_none	"normal"
Waste_flow_less	"normal"
Waste_flow_more	"normal"
Waste_concentration_less	"normal"
Waste_concentration_more	"normal"
Waste_morethan_impurity	"normal"
Waste_otherthan_purewater	"normal"
Waste_otherthan_air	"normal"
Waste_temp_less	"normal"
Waste_temp_more	"normal"
Waste_press_more	"normal"
Waste_press_less	"normal"

DECREASE_TEMP_SYS_FAILURE_TO_INTERNAL, a failure_to_internal	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	DECREASE_TEMP_SYS_FAILURE_TO_INTERNAL
Unit name	"decrease_temp_sys"
Loop name	"
Normal	"normal"
Function_loss	"none"
Function_uplift	"none"
Blank_off	"vapor_flow_less"
Condensation_water	"none"
Breakage	"vapor_temp_more"
Anchoring	"vapor_flow_less"
Crack fissure	"vapor_flow_less"
Cavitation	"none"
Power_less	"none"
Power_more	"none"
Over_drive	"vapor_temp_less"
Break_down	"vapor_temp_more"
Excess_open	"none"
Bust_up	"none"
Waste_acidity_less	"none"
Waste_acidity_more	"none"
H2_arise	"none"
Waste_concentration_less	"none"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Internal_positivepressure_fluctuation	"none"
Internal_level_down	"vapor_temp_less"
Internal_level_up	"vapor_flow_more"

表 付1.2 DECREASE_TEMP_SYS (減温装置) の要素異常知識ベース

(g) Failure から External への異常伝播情報

DECREASE_TEMP_SYS_FAILURE_TO_EXTERNAL,a failure_to_external	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	DECREASE_TEMP_SYS_FAILURE_TO_EXTERNAL
Unit_name	"decrease_temp_sys"
Loop_name	"
Normal	"normal"
Function_loss	"none"
Function_uplift	"none"
Blank_off	"breakage"
Condensation_water	"none"
Breakage	"vapor_leak"
Anchoring	"none"
Crack_fissure	"vapor_leak"
Cavitation	"none"
Power_loss	"none"
Power_more	"none"
Over_drive	"none"
Break_down	"vapor_leak"
Excess_open	"none"
Bust_up	"vapor_leak"
Waste_acidity_less	"none"
Waste_acidity_more	"none"
H2_arise	"none"
Waste_concentration_less	"none"
Waste_temp_less	"waste_temp_less"
Waste_temp_more	"waste_temp_more"
Internal_poaitivepressure_fluctuation	"none"
Internal_level_down	"normal"
Internal_level_up	"normal"

(h) External から Internal への異常伝播情報

DECREASE_TEMP_SYS_EXTERNAL_TO_INTERNAL,an external_to_internal	
Notes	OK
Item configuration	none
Names	DECREASE_TEMP_SYS_EXTERNAL_TO_INTERNAL
Unit_name	"decrease_temp_sys"
Loop_name	"
Normal	"normal"
External_temp_less	"none"
Vapor_temp_135over	"vapor_temp_more"
Breakage	"vapor_press_less"
Vapor_leak	"vapor_temp_less"
Vapor_outflow	"none"
H2_arise	"none"
Radiation_leak	"none"
Dangerous_object_generate	"none"

付録-2

図 付2.1 に示す高放射性廃液濃縮工程ノード17を対象として解析を実施した。表 付2.1～表 付2.8に核燃料サイクル開発機構によるHAZOP解析結果と本システムによるHAZOP自動解析結果を示す。

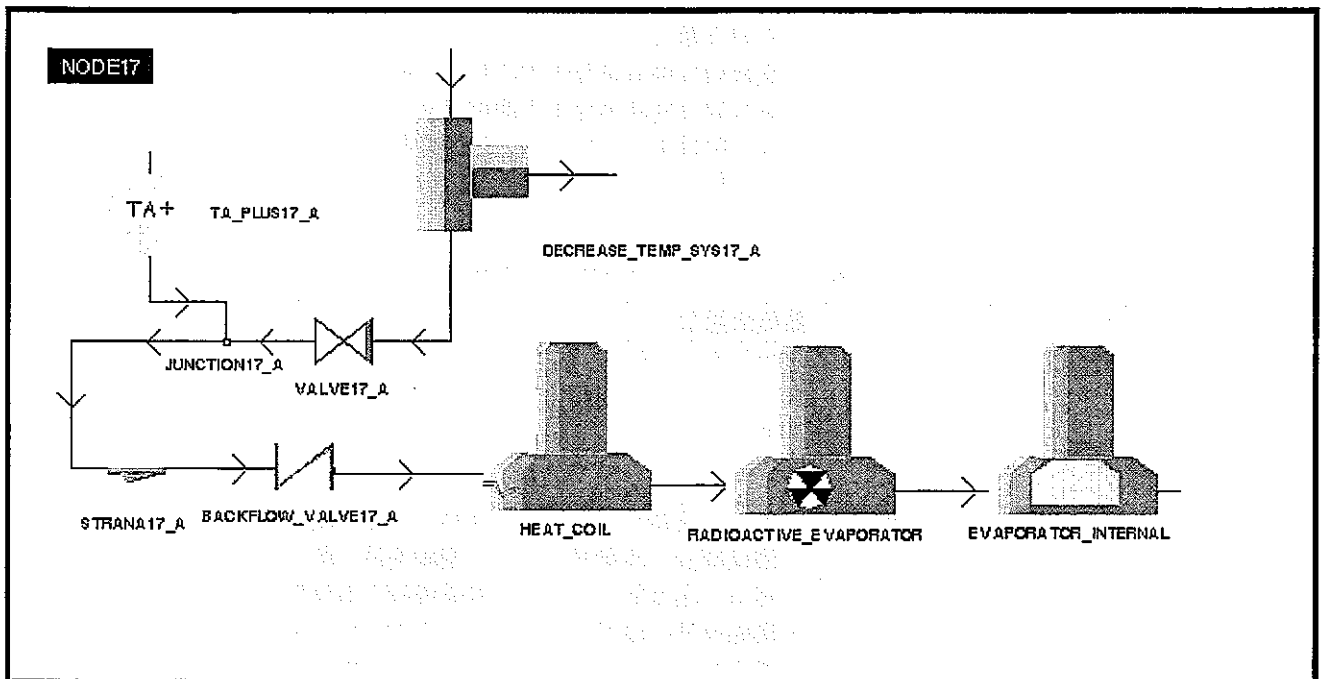


図 付2.1 高放射性廃液濃縮工程ノード17

表 付2.1 ずれ「蒸気流量なし」に対する HAZOP 解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果

ずれ	蒸気流量なし
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減温装置からの蒸気流入なし ・ 配管の閉塞, 破損 ・ ストレーナの閉塞 ・ 逆止弁の固着 ・ 誤操作による手動弁閉
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高放射性廃液蒸発缶加熱コイルの加熱機能損失による処理量なし ・ 高放射性廃液蒸発缶内の液位上昇 ・ 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度低下 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の負圧変動 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の硝酸分解反応低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

ずれ	蒸気流量なし
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減温装置の故障 ・ ストレーナの閉塞 ・ 逆止弁の固着 ・ 手動弁閉
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蒸気の流量なしにより, 加熱コイルの機能損失 ・ 濃縮廃液の流量減により, 濃縮廃液の酸度低下 ・ 蒸気の温度低下により, 濃縮廃液の温度低下 ・ 濃縮廃液の温度低下により, 缶内の負圧変動 ・ 濃縮廃液の温度低下により, 缶内の液位上昇 ・ 蒸気の温度低下により, 缶内の硝酸分解反応低下 ・ 加熱コイルの機能損失により, 缶内の温度低下 ・ 異常反応により, 危険物生成

表 付2.2 ずれ「蒸気流量減少」に対するHAZOP解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構によるHAZOP解析結果

ずれ	蒸気流量減少
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・減温装置からの蒸気流入減少 ・配管の閉塞, 破損 ・フランジ部などからの蒸気漏れ ・ストレーナの部分的閉塞 ・誤操作による手動弁閉
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・高放射性廃液蒸発缶加熱コイルの加熱機能損失による処理量減少 ・高放射性廃液蒸発缶内の液位上昇 ・高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度低下 ・高放射性廃液蒸発缶内の負圧変動 ・高放射性廃液蒸発缶内の硝酸分解反応低下

(b) 本システムによるHAZOP自動解析結果

ずれ	蒸気流量減少
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・減温装置の故障 ・ストレーナの閉塞, または漏れ ・逆止弁の固着 ・手動弁故障
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気の流量減少により, 加熱コイルの機能損失 ・濃縮廃液の流量減少により, 濃縮廃液の酸度低下 ・蒸気の温度低下により, 濃縮廃液の温度低下 ・濃縮廃液の温度低下により, 缶内の負圧変動 ・濃縮廃液の温度低下により, 缶内の液位上昇 ・蒸気の温度低下により, 缶内の硝酸分解反応低下 ・加熱コイルの機能損失により, 缶内の温度低下 ・異常反応により, 危険物生成

表 付2.3 ずれ「蒸気流量増加」に対する HAZOP 解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果

ずれ	蒸気流量増加
考えられる原因	・ 減温装置からの蒸気流入増加
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高放射性廃液蒸発缶加熱コイルの加熱機能向上による処理量増加 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の液位低下 ・ 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度上昇 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の負圧変動 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の DF 低下 ・ 加熱蒸気温度が 135℃を超える可能性あり

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

ずれ	蒸気流量増加
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減温装置の異常動作 ・ ストレーナの故障 ・ 逆止弁の故障 ・ 手動弁開
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蒸気の流量増加により、加熱コイルの機能向上 ・ 蒸気の温度上昇により、濃縮廃液の温度上昇 ・ 蒸気の流量増加により、DF 低下 ・ 濃縮廃液の温度上昇により、缶内の液位減少 ・ 蒸気の流量増加により、缶内の負圧変動 ・ 加熱蒸気温度が 135℃を超える可能性あり

表 付2.4 ずれ「蒸気内に錆混入」に対するHAZOP解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構によるHAZOP解析結果

ずれ	蒸気内に錆混入
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・減温装置からの錆が混入した蒸気流入 ・炭素鋼配管の腐食
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・高放射性廃液蒸発缶加熱コイルへ錆が混入 ・ストレーナの閉塞による加熱コイルへの蒸気流入減少

(b) 本システムによるHAZOP自動解析結果

ずれ	蒸気内に錆混入
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・減温装置に錆が付着している ・ストレーナに錆が付着している ・逆止弁に錆が付着している ・手動弁に錆が付着している
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸気の流量減少により、加熱コイルの機能低下 ・錆の付着により、加熱コイルの故障 ・蒸気の温度減少により、濃縮廃液の温度低下 ・濃縮廃液の流量減少により、濃縮廃液酸度低下 ・濃縮廃液の温度減少により、缶内の負圧変動 ・濃縮廃液の温度減少により、缶内の液位上昇 ・蒸気の温度低下により、缶内の硝酸分解反応低下 ・蒸気の圧力増加により、加熱コイル破裂の危険性

表 付2.5 ずれ「蒸気内に冷却水の混入」に対するHAZOP解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構によるHAZOP解析結果

ずれ	蒸気内に冷却水の混入
考えられる原因	・冷却水供給配管の手動弁開
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・高放射性廃液蒸発缶加熱コイルの加熱機能低下による処理量減少 ・高放射性廃液蒸発缶内の液位上昇 ・高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度低下 ・高放射性廃液蒸発缶内の負圧変動 ・高放射性廃液蒸発缶内の硝酸分解反応低下 ・加熱コイル内での冷却水と蒸気凝縮水滞留 ・ハンマリングの発生

(b) 本システムによるHAZOP自動解析結果

ずれ	蒸気内に冷却水の混入
考えられる原因	※蒸気しか扱っていないため出力されず
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・加熱コイル内での冷却水と蒸気凝縮水滞留 ・蒸気の圧力上昇により、加熱コイル故障の可能性あり ・蒸気の温度減少により、加熱コイルの機能低下 ・蒸気の温度減少により、濃縮廃液の温度低下 ・濃縮廃液の温度減少により、缶内の負圧変動 ・濃縮廃液の流量減少により、濃縮廃液の酸度低下 ・濃縮廃液の温度減少により、缶内の液位上昇 ・冷却水混入により、缶内の硝酸分解反応低下 ・蒸気の圧力増加により、加熱コイル破裂の危険性 ・ハンマリングの発生 ・加熱コイルからの蒸気の漏れ ・放射性物質の漏れの可能性あり ・危険性物質の生成の可能性あり

表 付2.6 ずれ「蒸気内に圧縮空気混入」に対する HAZOP 解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果

ずれ	蒸気内に圧縮空気混入
考えられる原因	・ 誤操作による圧縮空気供給配管手動弁および圧空弁開
起こり得る結果・影響	※計装系のインターロックにより、圧縮空気系からの圧縮空気流入はあり得ない。

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

ずれ	蒸気内に圧縮空気混入
考えられる原因	※蒸気しか扱っていないため出力されず
起こり得る結果・影響	※計装系のインターロックにより、圧縮空気系からの圧縮空気流入はあり得ない。

表 付2.7 ずれ「蒸気温度低下」に対する HAZOP 解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果

ずれ	蒸気温度低下
考えられる原因	・ 減温装置からの温度が低下した蒸気流入
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高放射性廃液蒸発缶加熱コイルの加熱機能低下による処理量減少 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の液位上昇 ・ 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度低下 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の負圧変動 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の硝酸分解反応低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

ずれ	蒸気温度低下
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 温度警報の故障 ・ 減温装置の故障 ・ 逆止弁で蒸気漏れ ・ 手動弁で蒸気漏れ
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蒸気温度減少により、加熱コイルの機能低下 ・ 蒸気温度減少により、濃縮廃液の温度低下 ・ 濃縮廃液の温度減少により、缶内の負圧変動 ・ 濃縮廃液の流量減少により、濃縮廃液の酸度低下 ・ 濃縮廃液の温度減少により、缶内の液位上昇 ・ 濃縮廃液の温度減少により、缶内の硝酸分解反応低下 ・ 加熱コイルの機能低下により、管内の温度低下 ・ 危険性物質の生成の可能性あり

表 付 2.8 ずれ「蒸気温度上昇」に対する HAZOP 解析結果

(a) 核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果

ずれ	蒸気温度上昇
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減温装置からの温度が上昇した蒸気流入
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高放射性廃液蒸発缶加熱コイルの加熱機能低下による処理量減少 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の液位低下 ・ 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度上昇 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の負圧変動 ・ 高放射性廃液蒸発缶内の DF 低下 ・ 加熱蒸気温度が 135℃を超える可能性あり

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

ずれ	蒸気温度上昇
考えられる原因	<ul style="list-style-type: none"> ・ 温度警報が作動しない ・ 減温装置の故障
起こり得る結果・影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ 蒸気の温度上昇により、加熱コイルの機能向上 ・ 蒸気の流量増加により、缶内の DF 低下 ・ 蒸気の温度上昇により、濃縮廃液の温度上昇 ・ 濃縮廃液の流量増加により、缶内の負圧変動 ・ 濃縮廃液の温度減少により、缶内の液位低下 ・ 加熱蒸気温度が 135℃を超える可能性あり