

JNC TJ8400 2000-52

システム解析手法の高度化研究（Ⅲ）
(核燃料サイクル開発機構 受託研究成果報告書)

2000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ください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松 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

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

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2000

JNC TJ8400 2000-52
2000年3月

システム解析手法の高度化研究（Ⅲ）

鈴木和彦*, 島田行恭*

要 旨

HAZOP (Hazard and Operability Study) は多くのプラント、プロセスの安全評価に利用され、その有用性が認められている。しかし、解析には多くの時間と労力を要するという問題があり、計算機により自動化する研究が行われている。昨年度研究報告書では、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し、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した。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 を用いた。このシステムを高放射性廃液濃縮工程の安全評価に適用し、有用性を示した。

本研究では、より詳細な解析結果を得られるようにするために、HAZOP 解析システムの解析能力を向上させることを目的とする。昨年度提案した要素異常基本モデルを利用し、プラント構成要素単位の異常伝播とプラント規模の異常伝播を考慮した HAZOP 解析を行う。さらに、複数の物質を処理する装置を対象とした影響解析、原因解析を詳細に行うことのできる HAZOP 解析システムを構築する。知識ベースに物質情報を新たに加え、複数の物質に対する HAZOP 解析を行うことで、様々なプラントを解析することが可能となる。

本研究で提案した HAZOP 解析システムを用いて、再処理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。

* 本報告書は、鈴木和彦が核燃料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室：東海事業所 安全管理部 安全研究グループ 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 (III)

Kazuhiko Suzuki^{*} and Yukiyasu Shimada^{*}

Abstract

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 1999 (PNC TJ1400 99-003) presented HAZOP system based on the plant component malfunctions basic models. By using this basic model, not only state malfunction of component but also the consequence to external circumstance can be assessed. G2, which is an excellent object-oriented developer tool in GUI (Graphical User Interface), was used as a tool for developing the system. By using the graphical editor in the system, the user can carry out HAZOP easily.

The purpose of this research is to improve the ability of the HAZOP system to obtain a more detailed HAZOP results. HAZOP is carried out according to the fault propagation of component level and the one of plant level based on plant component malfunctions basic models. Furthermore, the HAZOP system which can do the cause and effect analysis in detail intended for the component which processes two or more materials is developed. It is possible to carry out HAZOP for various plants by newly adding material information to the knowledgebase.

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 Study Group, Environmental 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.	対象プロセス概要 · · · · ·	2
2.1	高放射性廃液濃縮工程 · · · · ·	2
2.2	解析対象装置 · · · · ·	3
2.3	解析対象物質 · · · · ·	5
3.	異常伝播と要素異常基本モデル · · · · ·	6
3.1	異常伝播 · · · · ·	6
3.2	要素異常基本モデル · · · · ·	7
3.2.1	構成要素単位の異常伝播 · · · · ·	7
3.2.2	要素異常基本モデルの概要 · · · · ·	7
3.2.3	要素異常基本モデルに基づく異常伝播 · · · · ·	8
3.2.4	要素異常基本モデルを用いたプラント規模の異常伝播 · · · · ·	8
3.3	要素異常基本モデルの様々な装置への適用 · · · · ·	9
4.	HAZOP 解析システム · · · · ·	15
4.1	システムの構成 · · · · ·	15
4.2	知識ベース · · · · ·	16
4.2.1	概要 · · · · ·	16
4.2.2	クラスとインスタンスを用いた格納形式 · · · · ·	16
4.3	一般的知識ベース · · · · ·	18
4.3.1	異常伝播の表現 · · · · ·	18
4.3.2	一般的知識ベースの構築手順 · · · · ·	19
4.3.3	一般的知識ベースの構造 · · · · ·	19
4.3.4	一般的知識ベースの格納形式 · · · · ·	21
4.3.5	一般的知識ベースの格納例 · · · · ·	21
4.4	固有知識ベース · · · · ·	23
4.5	プラント構成の入力 · · · · ·	23
4.6	HAZOP 解析エンジン · · · · ·	23
4.6.1	「ずれ」の想定 · · · · ·	24
4.6.2	解析手順 · · · · ·	24
4.6.3	解析結果の出力 · · · · ·	32

5. 適用例	3 3
5.1 高放射性廃液濃縮工程に対する HAZOP 解析の実施	3 3
5.2 解析結果の考察	3 4
5.2.1 「エアリフトで圧縮空気の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	3 5
5.2.2 「酸吸收塔で凝縮液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	3 6
5.2.3 「ポンプで硝酸溶液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	3 7
5.2.4 「高放射性廃液蒸発缶でホルマリンの流量増加」に対する HAZOP 解析結果	3 8
5.2.5 「高放射性廃液蒸発缶で高放射性廃液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	3 9
5.2.6 解析結果全体の考察	3 9
6. おわりに	4 0
参考文献	4 1
付録—1 空気吹き込み塔（硝酸溶液）に対する HAZOP 解析	付—1 (4 3)
付録—2 ポンプ（硝酸溶液）に対する HAZOP 解析	付—2 (5 0)
付録—3 中間貯槽（硝酸溶液）に対する HAZOP 解析	付—3 (5 5)
付録—4 酸吸收塔（凝縮液）に対する HAZOP 解析	付—4 (5 7)
付録—5 酸吸收塔（オフガス）に対する HAZOP 解析	付—5 (6 4)
付録—6 冷却器（凝縮液）に対する HAZOP 解析	付—6 (6 9)
付録—7 溢流槽（凝縮液）に対する HAZOP 解析	付—7 (7 5)
付録—8 電導度計ポット（凝縮液）に対する HAZOP 解析	付—8 (8 1)
付録—9 凝縮器（オフガス）に対する HAZOP 解析	付—9 (8 7)
付録—10 空気分離器（高放射性廃液）に対する HAZOP 解析	付—10 (9 4)
付録—11 エアリフト（圧縮空気）に対する HAZOP 解析	付—11 (9 9)
付録—12 エアリフト（高放射性廃液）に対する HAZOP 解析	付—12 (1 0 3)
付録—13 高放射性廃液蒸発缶（高放射性廃液）に対する HAZOP 解析	付—13 (1 0 8)
付録—14 高放射性廃液蒸発缶（ホルマリン）に対する HAZOP 解析	付—14 (1 1 3)
付録—15 高放射性廃液蒸発缶（凝縮液）に対する HAZOP 解析	付—15 (1 1 7)
付録—16 高放射性廃液蒸発缶（オフガス）に対する HAZOP 解析	付—16 (1 2 3)

図・表目次

図リスト

図 2.1	高放射性廃液濃縮工程の概略図	2
図 3.1	事故の発生過程	6
図 3.2	要素異常基本モデル	8
図 3.3	タンクの異常伝播の例	8
図 3.4	プラント規模の異常伝播解析	9
図 3.5	エアリフトのモデル	10
図 3.6	空気分離器のモデル	10
図 3.7	高放射性廃液蒸発缶のモデル	11
図 3.8	凝縮器のモデル	12
図 3.9	吸水槽, 溢流槽, 中間貯槽のモデル	12
図 3.10	電導度計ポット及び制御系以外の各種バルブ, ポンプのモデル	13
図 3.11	酸吸收塔のモデル	13
図 3.12	流量制御系のモデル	14
図 4.1	HAZOP 解析システムの構成	15
図 4.2	知識ベースの概要	17
図 4.3	一般的知識ベース上での異常の表現の例	18
図 4.4	一般的知識ベースの装置クラスの構造	20
図 4.5	一般的知識ベースの配列の構造	21
図 4.6	一般的知識ベースの格納例	22
図 4.7	プラントモデルの例	23
図 4.8	HAZOP 解析システムによる解析手順	24
図 4.9	「ずれ」の選択画面	25
図 4.10	HAZOP 解析の流れ	26
図 4.11	影響解析の手順	28
図 4.12	原因解析の手順	29
図 4.13	プラント規模の異常伝播の解析手順	30
図 4.14	プラント規模の異常伝播解析フローチャート	30
図 4.15	バルブの知識ベース (1)	31
図 4.16	解析結果の例	32
図 5.1	「ずれ」の想定	34
図 5.2	解析例	34

表リスト

表 2.1	解析対象装置と物質数	3
表 2.2	解析対象物質と装置名	5
表 5.1	解析対象装置と想定された「ずれ」の数	33
表 5.2	ずれ「エアリフトでの圧縮空気の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	35
表 5.3	ずれ「酸吸收塔で凝縮液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	36
表 5.4	ずれ「ポンプで硝酸溶液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	37
表 5.5	ずれ「高放射性廃液蒸発缶でホルマリンの流量増加」に対する HAZOP 解析結果	38
表 5.6	ずれ「高放射性廃液蒸発缶で高放射性廃液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	39
表 付 1.1	「硝酸溶液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付-1 (43)
表 付 1.2	「硝酸溶液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付-1 (44)
表 付 1.3	「硝酸溶液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付-1 (45)
表 付 1.4	「硝酸溶液の濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付-1 (46)
表 付 1.5	「硝酸溶液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付-1 (47)
表 付 1.6	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付-1 (47)
表 付 1.7	「硝酸溶液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付-1 (48)
表 付 1.8	「硝酸溶液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付-1 (49)
表 付 2.1	「硝酸溶液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (50)
表 付 2.2	「硝酸溶液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (51)
表 付 2.3	「硝酸溶液の濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (52)
表 付 2.4	「硝酸溶液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (53)
表 付 2.5	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (53)
表 付 2.6	「別物質の混入」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (53)
表 付 2.7	「硝酸溶液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (54)
表 付 2.8	「硝酸溶液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付-2 (54)
表 付 3.1	「硝酸溶液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付-3 (55)
表 付 3.2	「硝酸溶液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付-3 (56)
表 付 3.3	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付-3 (56)
表 付 4.1	「凝縮液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付-4 (57)
表 付 4.2	「凝縮液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付-4 (58)
表 付 4.3	「凝縮液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付-4 (59)
表 付 4.4	「凝縮液の濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付-4 (59)
表 付 4.5	「凝縮液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付-4 (60)
表 付 4.6	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付-4 (60)
表 付 4.7	「別物質の混入」に対する HAZOP 解析結果	付-4 (61)

表 付 4.8	「凝縮液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一4	(6 2)
表 付 4.9	「凝縮液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付一4	(6 3)
表 付 5.1	「オフガスの流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付一5	(6 4)
表 付 5.2	「オフガスの流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付一5	(6 5)
表 付 5.3	「オフガスの流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付一5	(6 6)
表 付 5.4	「オフガスの濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一5	(6 7)
表 付 5.5	「オフガスの濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付一5	(6 8)
表 付 6.1	「凝縮液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(6 9)
表 付 6.2	「凝縮液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(7 0)
表 付 6.3	「凝縮液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(7 1)
表 付 6.4	「凝縮液の濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(7 1)
表 付 6.5	「凝縮液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(7 2)
表 付 6.6	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(7 2)
表 付 6.7	「別物質の混入」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(7 3)
表 付 6.8	「凝縮液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(7 3)
表 付 6.9	「凝縮液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付一6	(7 4)
表 付 7.1	「凝縮液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付一7	(7 5)
表 付 7.2	「凝縮液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付一7	(7 6)
表 付 7.3	「凝縮液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付一7	(7 7)
表 付 7.4	「凝縮液の濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一7	(7 8)
表 付 7.5	「凝縮液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付一7	(7 8)
表 付 7.6	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付一7	(7 9)
表 付 7.7	「凝縮液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一7	(7 9)
表 付 7.8	「凝縮液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付一7	(8 0)
表 付 8.1	「凝縮液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付一8	(8 1)
表 付 8.2	「凝縮液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付一8	(8 2)
表 付 8.3	「凝縮液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付一8	(8 3)
表 付 8.4	「凝縮液の濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一8	(8 4)
表 付 8.5	「凝縮液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付一8	(8 4)
表 付 8.6	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付一8	(8 5)
表 付 8.7	「凝縮液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一8	(8 6)
表 付 8.8	「凝縮液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付一8	(8 6)
表 付 9.1	「オフガスの流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付一9	(8 7)
表 付 9.2	「オフガスの流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付一9	(8 8)
表 付 9.3	「オフガスの流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付一9	(8 9)
表 付 9.4	「オフガスの濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付一9	(9 0)

表 付 9.5	「オフガスの濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—9	(9 1)
表 付 9.6	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付—9	(9 2)
表 付 9.7	「オフガスの温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付—9	(9 2)
表 付 9.8	「オフガスの温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—9	(9 3)
表 付 10.1	「高放射性廃液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付—10	(9 4)
表 付 10.2	「高放射性廃液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付—10	(9 5)
表 付 10.3	「高放射性廃液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付—10	(9 6)
表 付 10.4	「高放射性廃液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—10	(9 7)
表 付 10.5	「高放射性廃液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付—10	(9 7)
表 付 10.6	「高放射性廃液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—10	(9 8)
表 付 11.1	「圧縮空気の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付—11	(9 9)
表 付 11.2	「圧縮空気の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付—11	(1 0 0)
表 付 11.3	「圧縮空気の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付—11	(1 0 1)
表 付 11.4	「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果	付—11	(1 0 2)
表 付 11.5	「別物質の混入」に対する HAZOP 解析結果	付—11	(1 0 2)
表 付 12.1	「高放射性廃液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付—12	(1 0 3)
表 付 12.2	「高放射性廃液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付—12	(1 0 4)
表 付 12.3	「高放射性廃液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付—12	(1 0 5)
表 付 12.4	「高放射性廃液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—12	(1 0 6)
表 付 12.5	「高放射性廃液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付—12	(1 0 6)
表 付 12.6	「高放射性廃液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—12	(1 0 7)
表 付 13.1	「高放射性廃液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付—13	(1 0 8)
表 付 13.2	「高放射性廃液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付—13	(1 0 9)
表 付 13.3	「高放射性廃液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付—13	(1 1 0)
表 付 13.4	「高放射性廃液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—13	(1 1 1)
表 付 13.5	「高放射性廃液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果	付—13	(1 1 2)
表 付 13.6	「高放射性廃液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—13	(1 1 2)
表 付 14.1	「ホルマリンの流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付—14	(1 1 3)
表 付 14.2	「ホルマリンの流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付—14	(1 1 4)
表 付 14.3	「ホルマリンの流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付—14	(1 1 5)
表 付 14.4	「ホルマリンの濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付—14	(1 1 6)
表 付 15.1	「凝縮液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果	付—15	(1 1 7)
表 付 15.2	「凝縮液の流量減少」に対する HAZOP 解析結果	付—15	(1 1 8)
表 付 15.3	「凝縮液の流量増加」に対する HAZOP 解析結果	付—15	(1 1 9)
表 付 15.4	「凝縮液の濃度低下」に対する HAZOP 解析結果	付—15	(1 2 0)
表 付 15.5	「凝縮液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果	付—15	(1 2 0)

- 表 付 15.6 「不純物の混入」に対する HAZOP 解析結果 ······ 付—15(121)
表 付 15.7 「凝縮液の温度低下」に対する HAZOP 解析結果 ······ 付—15(122)
表 付 15.8 「凝縮液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果 ······ 付—15(122)
表 付 16.1 「オフガスの流量なし」に対する HAZOP 解析結果 ······ 付—16(123)
表 付 16.2 「オフガスの流量増加」に対する HAZOP 解析結果 ······ 付—16(124)
表 付 16.3 「オフガスの流量減少」に対する HAZOP 解析結果 ······ 付—16(125)

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しており、各企業の重要な課題となっている。特に原子力施設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。

安全評価手法の1つである HAZOP (Hazard and Operability Study) は設計または運転基準からの変位である「ずれ」を想定し、定性的な解析を行う安全評価手法であり、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¹⁾⁻³⁾。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施設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⁴⁾⁻¹⁴⁾。

これまでの受託研究報告書でも計算機を利用した HAZOP 解析システムを提案している¹⁵⁾⁻¹⁸⁾。昨年度の研究報告書では、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し、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した¹⁸⁾。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 を用いた。このシステムを再処理プラントの高放射性廃液濃縮工程の安全評価に適用し、有用性を示した。

本研究では、より詳細な解析結果を得られるようにするために、HAZOP 解析システムの解析能力を向上させることを目的とする。昨年度提案した要素異常基本モデルを利用し、プラント構成要素単位の異常伝播とプラント規模の異常伝播を考慮した HAZOP 解析を行う。さらに、複数の物質を処理する装置を対象とした影響解析、原因解析を詳細に行うことのできる HAZOP 解析システムを構築する。知識ベースに物質情報を新たに加え、複数の物質に対する HAZOP 解析を行うことで、様々なプラントを解析することが可能となる。

第2章では、本研究で提案する HAZOP 解析システムの解析例として用いた再処理プラントの高放射性廃液濃縮工程について説明する。第3章では、高放射性廃液濃縮工程内の装置を例として、異常伝播と要素異常基本モデルについて説明する。第4章では、知識ベースの格納方法及び HAZOP 解析エンジンについて説明する。第5章では、高放射性廃液濃縮工程を対象とした HAZOP 解析システムによる解析結果について考察する。

2. 対象プロセス概要

本研究では、解析対象例として再処理プラントの高放射性廃液濃縮工程を用いた¹⁹⁾⁻²³⁾。このプロセスを用いて HAZOP 解析システムの概要を説明するとともに、実際に解析を行い、システムの有用性を検討する。

2.1 高放射性廃液濃縮工程

図 2.1 に高放射性廃液濃縮工程の概略図を示す。高放射性廃液濃縮工程では、高放射性廃液中間貯槽で貯えられている高放射性廃液を空気分離器で高放射性廃液とオフガス（廃気）に分離し、高放射性廃液蒸発缶で高放射性廃液にホルマリン溶液を加えて硝酸溶液を分解、加熱濃縮する。高放射性廃液蒸発缶の塔頂から出るオフガスは凝縮器で凝縮された後、酸吸収塔に送られる。酸吸収塔では硝酸溶液の分解により発生する亜硝酸ガスを空気吹き込み塔から送られる空気により酸化し、硝酸溶液となり次工程に送られるまで中間貯槽で貯えられる。

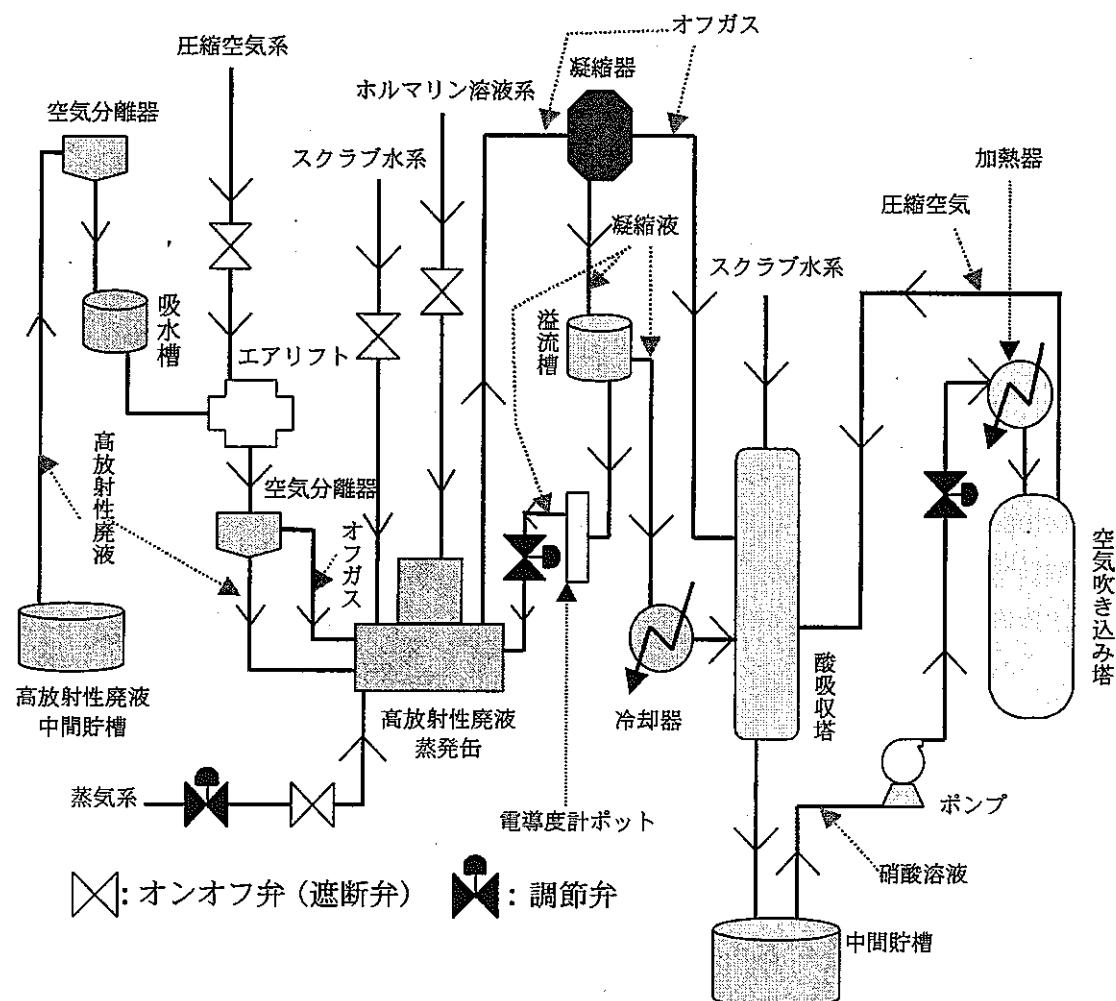


図 2.1 高放射性廃液濃縮工程の概略図

2.2 解析対象装置

表 2.1 に本研究で解析対象とする装置とその装置で処理されている物質数の一覧を示す。

表 2.1 解析対象装置と物質数

装置名	HAZOP 解析システム上の名前	処理物質の数
エアリフト	air_lift	2
高放射性廃液中間貯槽	waste_strage_tank	1
高放射性廃液蒸発缶	evaporator	7
空気分離器	vapor_liquid_separation_column	2
凝縮器	condensated_device	2
溢流槽	overflow_tank	1
電導度計ポット	electrical_indicator_pot	1
冷却器	cooling_device	1
加熱器	heater	1
酸吸收塔	acid_suctorial_tower	5
中間貯槽	middle_tank	1
吸水槽	priming_pot	1
空気吹き込み塔	air_spray_tower	2
ポンプ	pump	1
各種バルブ	manual_valve, pressure_valve など	複数

表 2.1 に示した解析対象装置について説明する。

① エアリフト

エアリフトは吸水槽から送られてくる高放射性廃液を圧縮空気系からの圧縮空気の圧力を利用することにより空気分離器へと排出する装置である。高放射性廃液や圧縮空気の流量によりエアリフトの送液機能が大きく変わる。

② 高放射性廃液中間貯槽

高放射性廃液中間貯槽は高放射性廃液を一時的に貯蔵しておく装置である。必要時に随時、空気分離器、吸水槽に高放射性廃液を送る。

③ 高放射性廃液蒸発缶

高放射性廃液蒸発缶では空気分離器から送られた高放射性廃液にホルマリン溶液を加えて硝酸溶液を分解し、蒸気系からの加熱蒸気を用いて加熱濃縮する。また、高放射性廃液蒸発缶ではホルマリン溶液や TBP などの混入物の流量異常や濃度異常、温度異常による火災・爆発の危険性がある。

④ 空気分離器

空気分離器ではエアリフトから送られてくる高放射性廃液からオフガス(廃気)を分離させ、

別々に高放射性廃液蒸発缶に送る装置である。

⑤ 凝縮器

凝縮器は高放射性廃液蒸発缶から送られてくるオフガスを冷却水により冷却し、凝縮した後、凝縮液として溢流槽、酸吸收塔に送る装置である。冷却水の温度や流量により凝縮機能が変化する。また、冷却器・加熱器も同様に温度変化を与える装置であり、冷却器は冷却水、加熱器は加熱系蒸気により流体に温度変化を引き起こす。

⑥ 溢流槽

溢流槽は凝縮器から流れてくる凝縮液を一時貯蔵し、必要時に冷却器、電導度計ポットに凝縮液を流す装置である。不純物の蓄積により配管の詰まりなどを引き起こし、送液機能が低下する。

⑦ 電導度計ポット

電導度計ポットは溢流槽からの還流系凝縮液の電導度を測定するための装置であり、凝縮液の流量により計測機能が喪失する場合がある。また、不純物や別物質の混入により指示値が変動する場合がある。

⑧ 酸吸收塔

酸吸收塔では硝酸溶液の分解により発生する亜硝酸ガスを空気吹き込み塔からの圧縮空気により酸化し、中間貯槽に送る装置である。また、高放射性廃液蒸発缶から送られてくるオフガスは廃風機により槽類換気工程へ送られる。

⑨ 中間貯槽

中間貯槽は酸吸收塔から送ってきた硝酸溶液を一時貯蔵しておく装置であり、必要時にポンプにより硝酸溶液を流す。また、不純物の蓄積などにより配管の詰まりを引き起こし、送液機能が変化する。

⑩ 吸水槽

吸水槽は高放射性廃液中間貯槽と高放射性廃液蒸発缶との中間に位置し、高放射性廃液を必要時まで貯蔵しておく装置である。

⑪ 空気吹き込み塔

空気吹き込み塔は圧縮空気系から圧縮空気を取り込み、酸吸收塔へと送る装置である。また、中間貯槽からの硝酸溶液を取り込み、次工程である酸回収工程へと送る。

2.3 解析対象物質

表 2.2 に解析対象となる物質とその物質が処理される装置名の一覧を示す。

昨年度開発した安全評価システムでは解析対象となる物質は蒸気のみであるのに対し、本研究で構築する HAZOP システムでは表 2.2 に示す 8 種類の物質である。また、不純物としては銹、機械油、TBP などが混入し、別物質としては水酸化ナトリウムや空気が混入する可能性があるが、これについても解析対象とする。

表 2.2 解析対象物質と装置名

物質名	HAZOP 解析システム 上での名前	対象物質を処理する装置名
高放射性廃液	waste	エアリフト、空気分離器、高放射性廃液蒸発缶、 高放射性廃液中間槽、吸水槽
オフガス	waste_gas	空気分離器、高放射性廃液蒸発缶、 凝縮器、酸吸收塔
圧縮空気	com_air	エアリフト、酸吸收塔、空気吹き込み塔
凝縮液	con_liquid	凝縮器、溢流槽、冷却器、高放射性廃液蒸発缶、 電導度計ポット、酸吸收塔
硝酸溶液	nitric	酸吸收塔、中間貯槽、ポンプ、 空気吹き込み塔、加熱器
蒸気	vapor	高放射性廃液蒸発缶
スクラップ水	scrabble_water	高放射性廃液蒸発缶、酸吸收塔
ホルマリン溶液	formalin	高放射性廃液蒸発缶

3. 異常伝播と要素異常基本モデル

本研究で開発する HAZOP 解析システムは異常伝播を探索し、解析を行う。異常伝播を探索するため、要素異常基本モデルを用いる。ここでは、異常伝播と要素異常基本モデルについて述べる¹⁸⁾。

3.1 異常伝播

プラントにおいて、原因となる事象から直接、事故が引き起こされることはまれである。事故に至るまでの過程は、図 3.1 に示すように異常事象の伝播により表現される。本研究では最初に発生する事故の原因となる事象を初期事象、事故に至るまでに発生する事象を中間事象と呼ぶ。

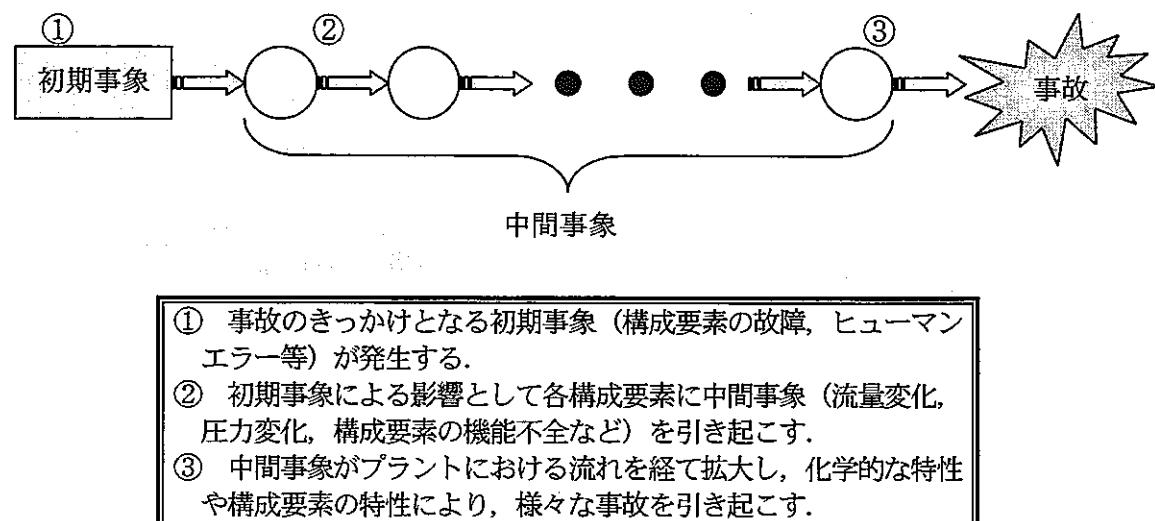


図 3.1 事故の発生過程

本研究では、異常伝播の概念を利用して HAZOP を実施する。異常伝播を解析するために、異常伝播を構成要素単位の異常伝播とプラント規模の異常伝播に分類する。構成要素単位の異常伝播は、ある構成要素内における状態異常による影響を表し、影響の発生順に並べることにより表現される。一方、プラント規模の異常伝播は、構成要素単位の異常伝播の解析により得られた影響を隣接する構成要素の入口あるいは出口へ伝播させ、その構成要素について構成要素単位の異常伝播の解析を繰り返し行うことで明らかになる。

ここでは、流量や温度、濃度、圧力の異常、そして不純物の混入、別物質の混入を状態異常と呼び、解析対象プロセスに含まれるすべての異常伝播を明らかにする。1つのプロセスに含まれる異常の伝播構造は多数存在するため、計算機により探索を行う。本研究で構築する HAZOP 解析システムでは構成要素単位毎に異常伝播を解析し、得られた状態異常を隣接する構成要素に伝播させることで、解析漏れを防ぐことが可能である。

3.2 要素異常基本モデル

プラントの各構成要素では流体あるいは信号が入出力される。流体および信号の流れに着目することにより、構成要素単位の異常伝播を考慮し、プラント構成要素内における異常伝播をモデル化する。

3.2.1 構成要素単位の異常伝播

構成要素単位の異常伝播について説明する。以下に、異常伝播を用いて安全評価を行う上で考慮すべき点について述べる。

- (1) 各構成要素には①物質の入口、②出口、③入口-出口間で実際に物質が存在し、状態変化や物性変化を引き起こす内部という3種類の通過場所がある。また、物質の状態異常は入口、出口、内部の間で伝播する。
- (2) 各構成要素には内部状態により引き起こされる構成要素毎の故障や機能不全が存在する。これらの故障や機能不全は内部での物質の状態に影響を及ぼす場合もある。
- (3) 構成要素の故障や機能不全は外部環境に対して影響を及ぼす場合があり、爆発や火災、毒性物の漏洩などの人的被害が含まれる。
- (4) 構成要素の外部環境から内部の状態に影響を及ぼす場合がある。これは外部の温度異常が内部の温度に影響を及ぼす場合や、ヒューマンエラーが内部状態を変化させる場合を含む。ヒューマンエラーは人間に関するものであり、直接構成要素の内部とは関係がなく、外部環境として考える。

以上の点を考慮して、入口と内部異常の因果関係、故障と内部、故障と外部環境、外部環境と内部、内部と出口、それぞれの異常の因果関係を明らかにすることにより構成要素単位の異常伝播をモデル化する。

3.2.2 要素異常基本モデルの概要

要素異常基本モデルは構成要素単位の異常伝播を考慮し、構成要素の特徴である流体の入口、出口を基本として、構成要素内における異常事象の伝播やその影響として発生する機能不全などの因果関係を表現したものである。

図3.2に要素異常基本モデルを示す。図3.2に示すように構成要素の入口、出口、内部、故障や機能不全、外部環境をそれぞれinlet、outlet、internal、failure、externalと表現し、これらを総称してポイントと呼ぶ。

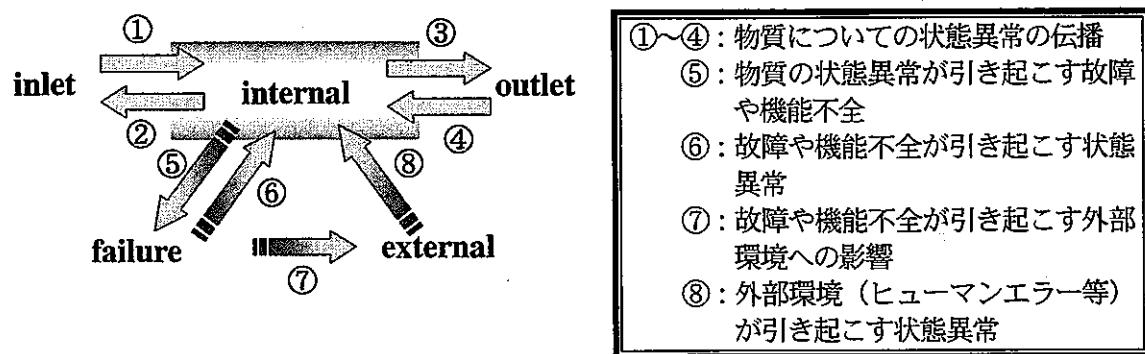


図3.2 要素異常基本モデル

3.2.3 要素異常基本モデルに基づく異常伝播

図3.3に示すタンクの入口で流量が増加した場合を例として、要素異常基本モデルに基づく異常伝播について説明する。図3.3では、入口で流体の流量増加という異常が発生した場合、内部圧力が増加する。次に内部圧力の増加によりタンクの破損という故障が発生する。このタンクの破損により内部流量が減少する。これは故障による内部状態の変化である。また、故障により発生する外部環境への影響としてはタンクの破損による毒性物質の漏洩が挙げられる。一方、新たに内部に発生する流量減少という状態異常により出口では流量減少となる。さらに、外部環境の設備電源の喪失により外部温度が低下した場合、タンク内部の流体の温度低下という影響を引き起こす場合があり、出口では温度低下となる。

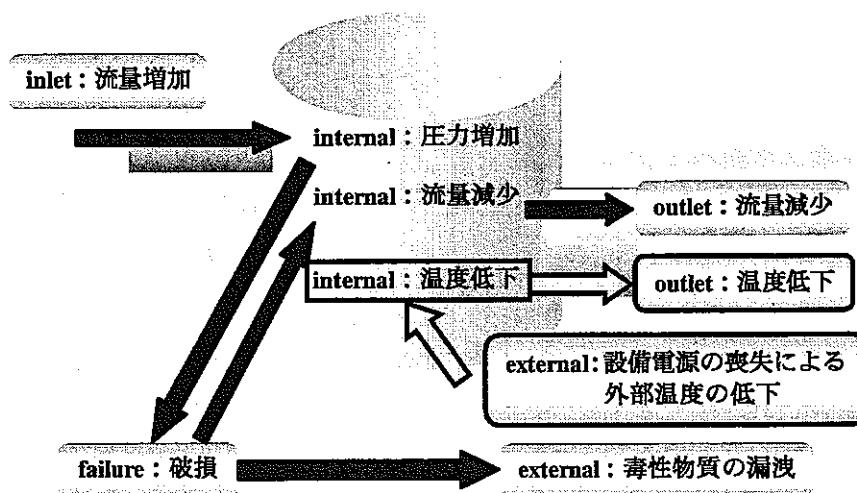


図3.3 タンクの異常伝播の例

3.2.4 要素異常基本モデルを用いたプラント規模の異常伝播

図3.4にプラント規模の異常伝播の解析方法を示す。要素異常基本モデルは構成要素単位のモデルであり、ある構成要素の outlet の状態異常から隣接する要素異常基本モデルの inlet へ伝播さ

せ、あるいは inlet の状態異常を隣接する要素異常基本モデルの outlet へ伝播させることにより、プラント規模の異常伝播を解析することが可能になる。

要素異常基本モデルでは下流側から上流側への伝播も考慮されており、inlet 及び outlet の状態異常を解析することが可能である。プラント規模の異常伝播の解析では、構成要素間の状態異常を上流側装置と下流側装置の両方に伝播させる必要がある。また解析の向きが変わる場合について以下に示す。

- ① 構成要素の故障や機能不全により、解析されていない状態異常が新たに発生した場合。
 - ② 解析がラインの上流側、下流側の末端構成要素に達した場合。
- ①は上流側、下流側にそれぞれ解析を進める必要があり、また②は上流側に達した場合には下流側、下流側に達した場合には上流側に解析する必要がある。

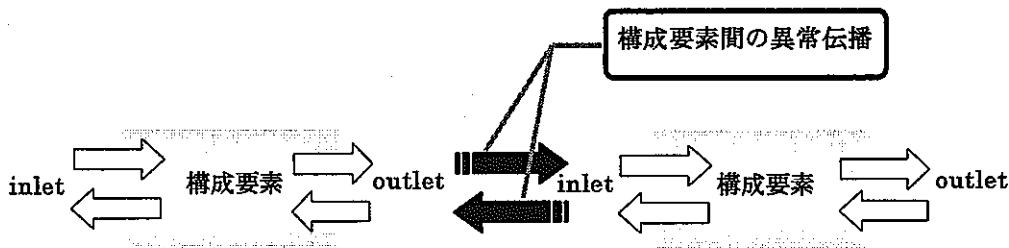


図 3.4 プラント規模の異常伝播解析

3.3 要素異常基本モデルの様々な装置への適用

3.2.2 項で要素異常基本モデルを示したが、このモデルには入口、出口が 1 つずつしかなく、実プラントの構成要素と一致しない場合がある。装置には複数の入口、出口を有するものもあり、物質の種類により後続のプラントへの影響が異なる。この場合、プラントの P&ID (Piping and Instrumentation Diagrams) やフローシートを基に、物質毎に入口、出口を判別し、装置をモデル化する。高放射性廃液濃縮工程内の各装置を対象とし、要素異常基本モデルを用いてモデル化を行う。

① エアリフト

図 3.5 にエアリフトのモデルを示す。エアリフトは高放射性廃液と圧縮空気が入力され、高放射性廃液を圧縮空気の圧力により、次の空気分離器に送り出す装置であり、outlet で発生する物質の状態異常の情報は高放射性廃液に関するもののみである。

この装置では、入口、出口だけでなく内部、故障・機能不全及び外部も物質毎に設定する必要があるが、モデルにおいては同じ inlet, internal, outlet, failure, external というポイント名を用いる。これは本研究で構築するシステムでは入口、内部、出口、故障・機能不全、外部の各ポイントを物質毎に認識できるため、物質毎に各ポイントの名前を変更する必要がないためである。以降の装置についても上記の内容を考慮する。

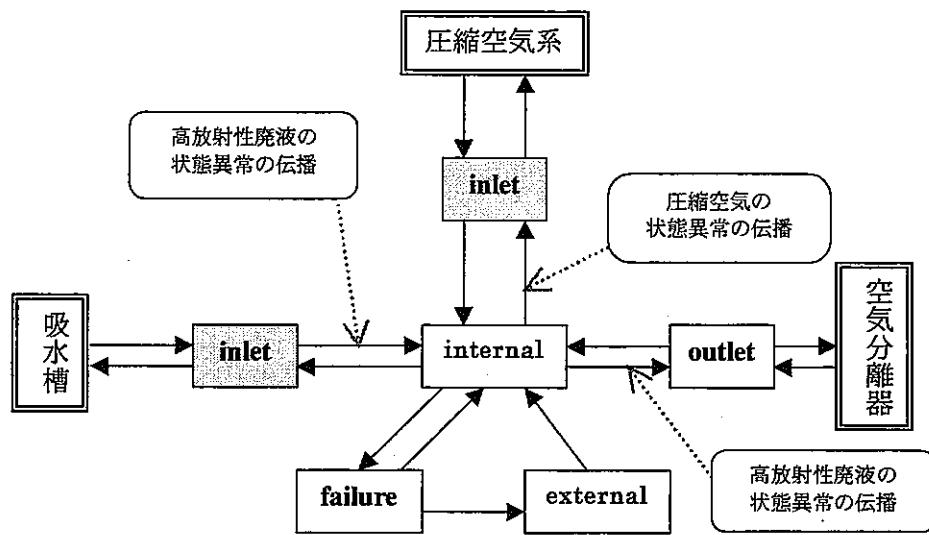


図 3.5 エアリフトのモデル

② 空気分離器

図 3.6 に空気分離器のモデルを示す。空気分離器は高放射性廃液を取り込み、気体であるオフガスを分離させて、高放射性廃液蒸発缶に送る装置である。

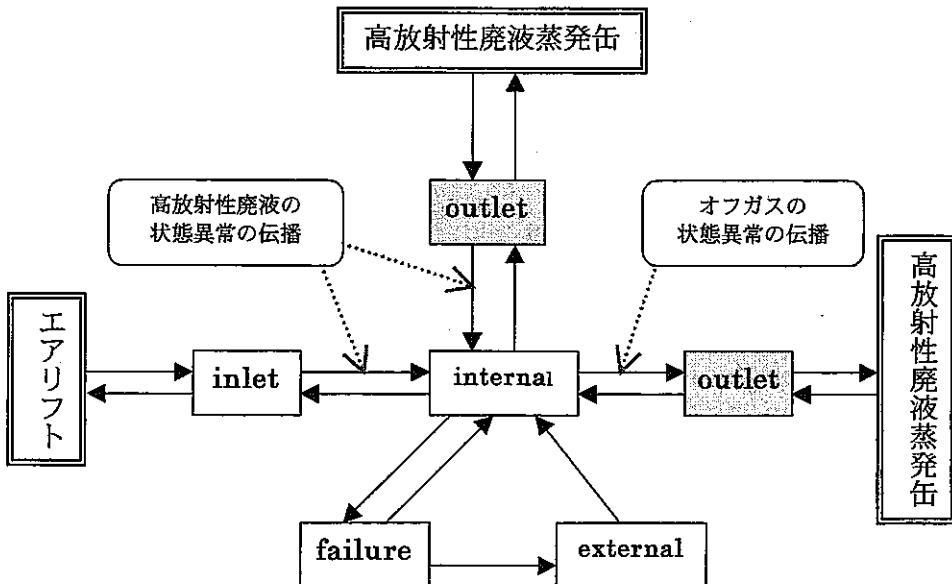


図 3.6 空気分離器のモデル

③ 高放射性廃液蒸発缶

図3.7に高放射性廃液蒸発缶のモデルを示す。高放射性廃液蒸発缶は空気分離器からオフガス、高放射性廃液を取り込み、さらにホルマリン溶液を試薬調整工程、スクラブ水をスクラブ水系、蒸気を蒸気系から取り込む。缶内で状態変化や物性変化を起こし、オフガスのみを凝縮器に送り出す装置である。また、凝縮液を還流系として取り込む。

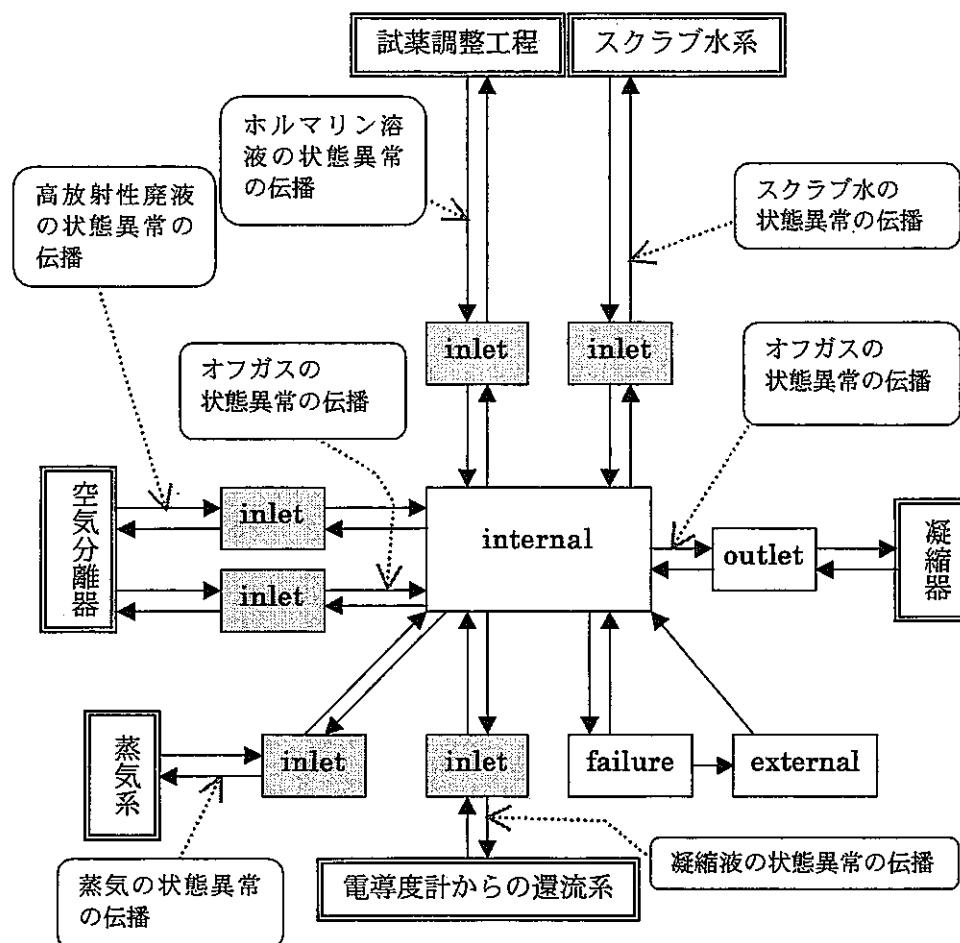


図3.7 高放射性廃液蒸発缶のモデル

④ 凝縮器

図3.8に凝縮器のモデルを示す。凝縮器は高放射性廃液蒸発缶から送られてくるオフガスを冷却水により冷却し、凝縮液を溢流槽に送る装置である。また、凝縮されていないオフガスは酸性のため酸吸収塔に送る。

凝縮器は冷却水の流入により気体を凝縮しているが、冷却水は温度の状態異常に関してのみ影響を与える。これと同様の働きをする装置に冷却器と加熱器がある。冷却器は冷却水を用いて温度上昇を抑え、加熱器は加熱用蒸気を用いて温度減少を抑える。これらの装置も同様にモデル化することが可能である。

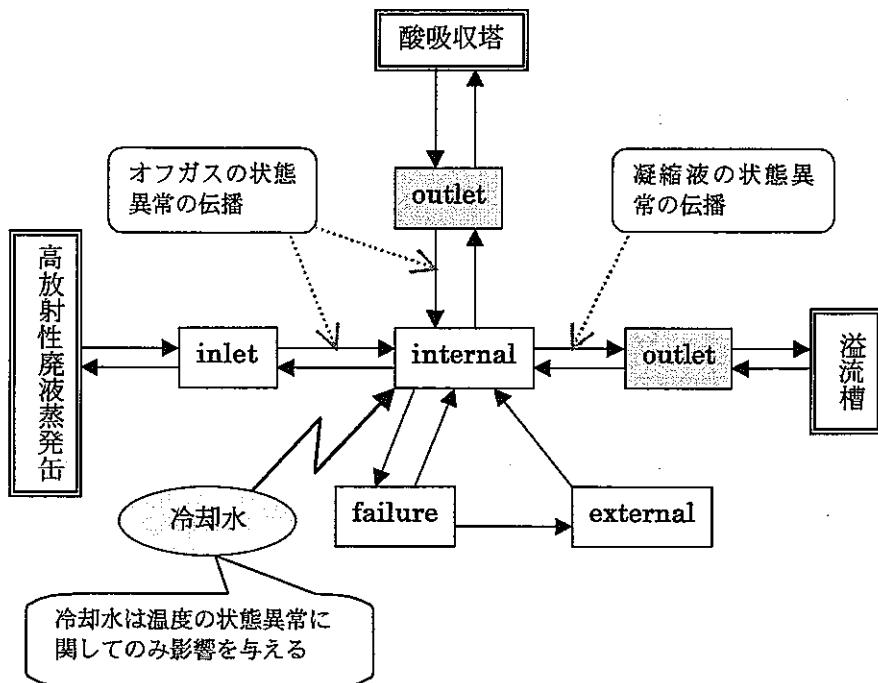


図 3.8 凝縮器のモデル

⑤ 吸水槽, 溢流槽, 中間貯槽

図 3.9 に吸水槽, 溢流槽, 中間貯槽のモデルを示す。これらは貯蔵タンクであり、流入する物質を一時貯え、必要時に排出する装置である。基本的には 1 種類の物質を扱う。

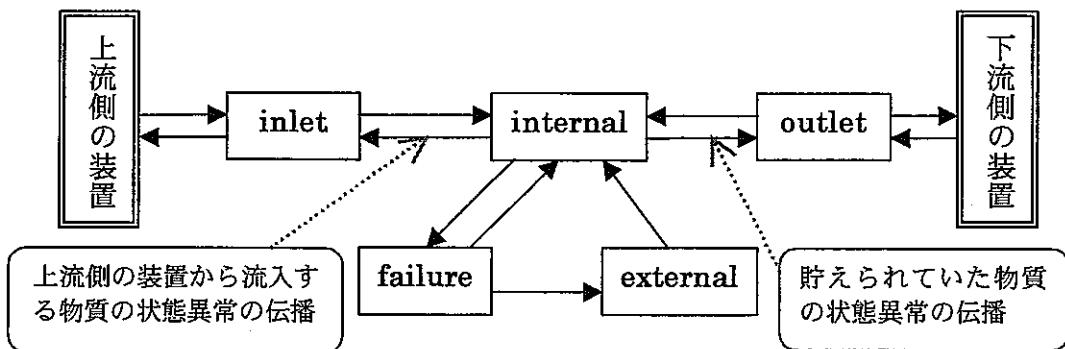


図 3.9 吸水槽, 溢流槽, 中間貯槽のモデル

⑥ 電導度計ポット, 圧空弁, 手動弁, バイパス弁などの制御されていないバルブ, ポンプ

図 3.10 に制御系以外の各種バルブとポンプのモデルを示す。これらの装置は貯蔵系タンクと同様、1 種類の物質しか処理しないため図 3.9 と同じモデルで表現することができる。電導度計ポットは電導度を計測する装置であるが、基本的には 1 種類の物質しか扱わない。また、バルブでは誤操作や誤認定などのヒューマンエラーが引き起こす状態異常(external から internal への矢印)が多く存在する。

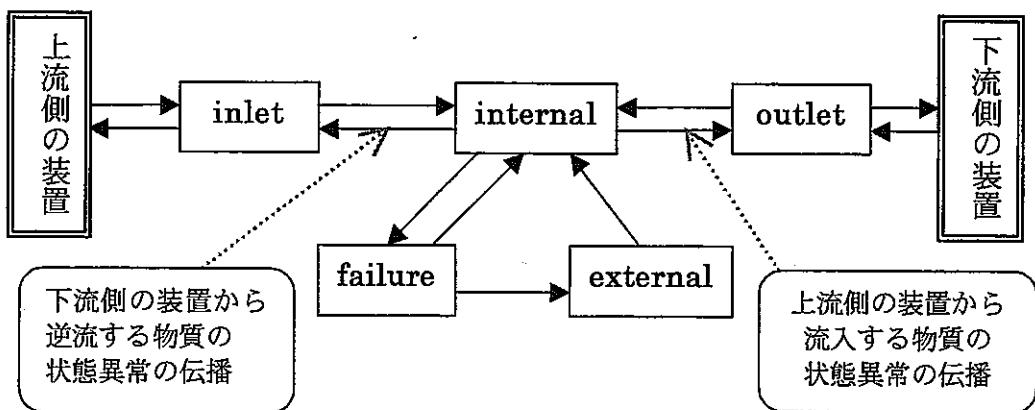


図 3.10 電導度計ポット及び制御系以外の各種バルブ、ポンプのモデル

⑦ 酸吸收塔

図 3.11 に酸吸收塔のモデルを示す。酸吸收塔も高放射性廃液蒸発缶と同じく複数の物質を扱う装置である。オフガス、凝縮液、スクラップ水が流入し、内部で物性変化が発生する。硝酸溶液として圧縮空気の圧力で中間貯槽に流す装置である。

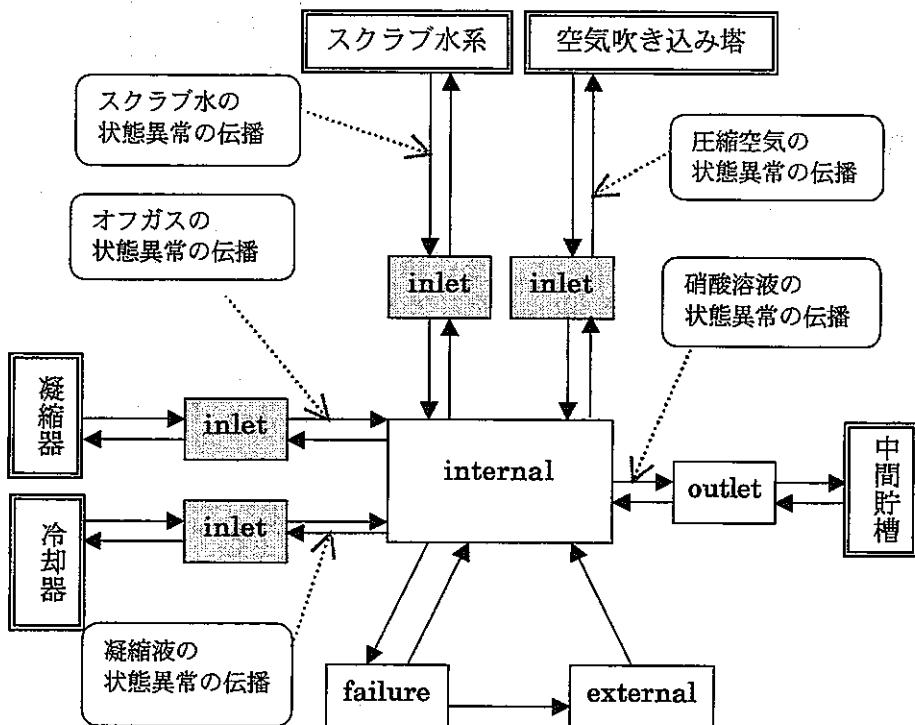


図 3.11 酸吸收塔のモデル

⑧ 流量制御系

図3.12に流量制御系のモデルを示す。制御系のバルブは主に計測した物理量を信号として調節部に送る装置である検出部と検出部からの信号を受け、操作部に動作命令を出力する装置である調節部、さらに制御弁などの装置で、実際に制御を行う装置である操作部に分類でき、それについてモデル化を行う。

図3.12に示すように流量制御系においては、状態異常を検知する検出部のモデルには信号を調節部に送るためのポイント signal_out, 命令を与える調節部には信号を受け取るためのポイント signal_in, 実際に制御を行う操作部には signal_in というポイントをそれぞれ作成し、流量制御系のモデルとする。

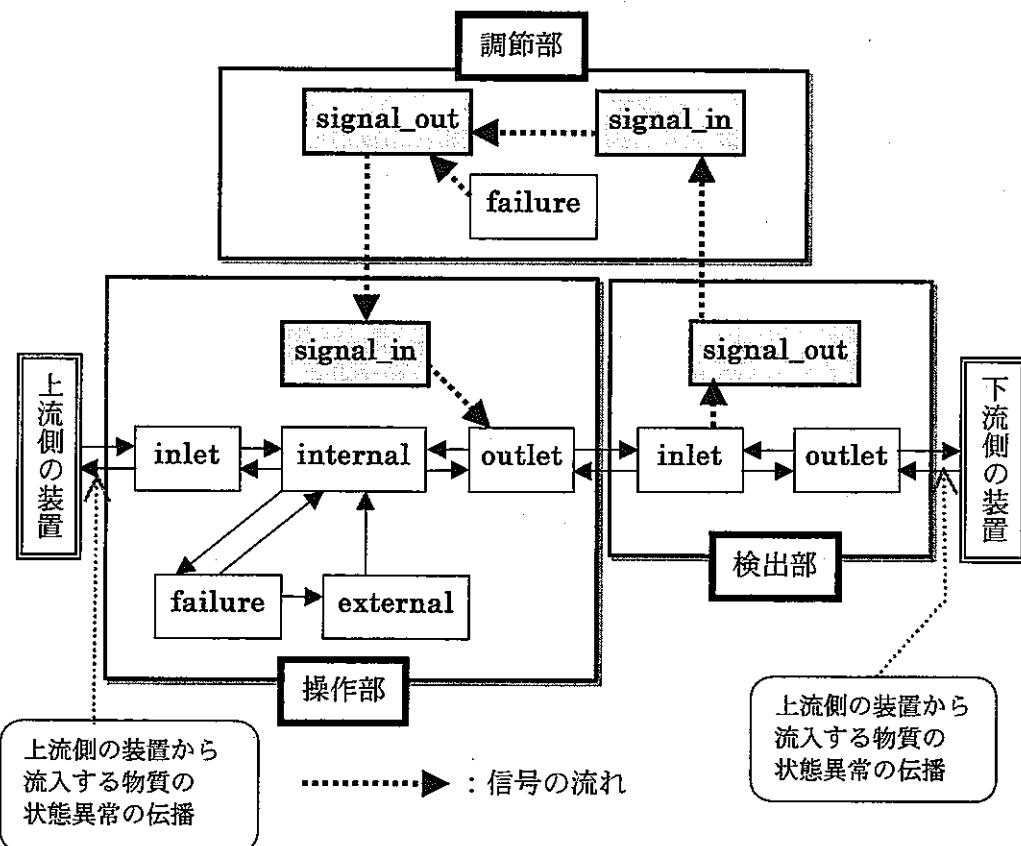


図3.12 流量制御系のモデル

4. HAZOP 解析システム

HAZOP 解析システムでは知識ベースの参照が容易で、解析結果を正確に output する必要がある。また、解析者が理解し易い GUI（グラフィカルユーザインターフェース）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 HAZOP 解析システムを構築する。G2 を用いてシステムを開発することにより、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。

4.1 システムの構成

HAZOP 解析システムは、知識ベース、構成要素アイコン、HAZOP 解析エンジンにより構成されている。知識ベースには、各装置に対する要素異常要素異常基本モデル、状態異常や故障、装置名などの情報が格納されている。構成要素アイコンは、装置を視覚的に分かりやすいアイコンで表現したものである。この構成要素アイコンを用いてプラントの構成を表す固有知識ベースを作成する。固有知識ベースは、対象プラントの構造、配管の接続状況などの情報を入力したものである。HAZOP 解析エンジンは、固有知識ベースと一般的知識ベースを参照し、HAZOP 解析を実施する。図 4.1 に HAZOP 解析システムの構成を示す。

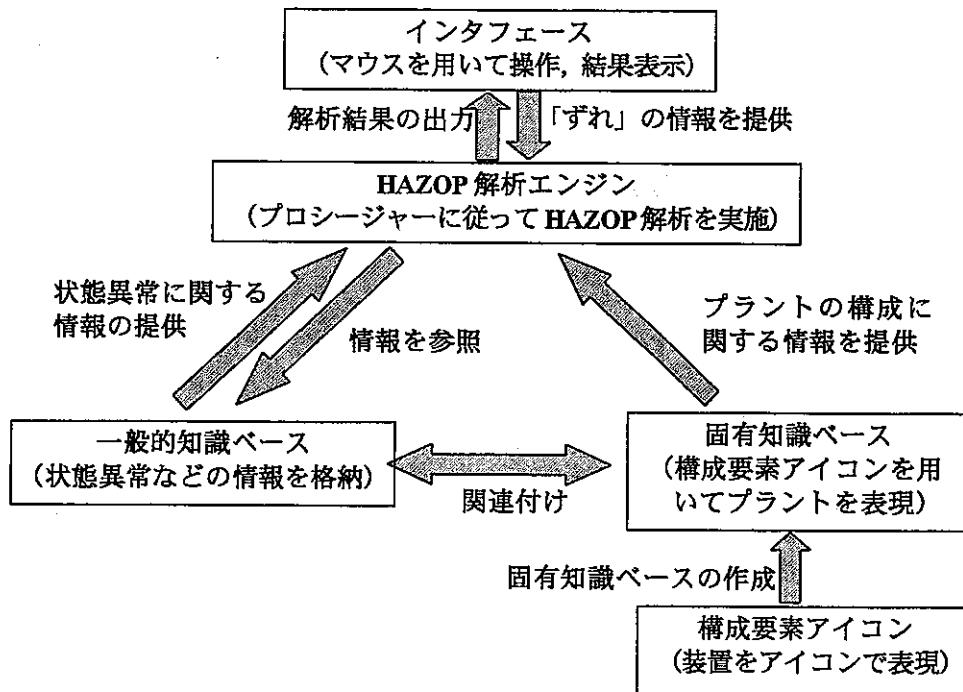


図 4.1 HAZOP 解析システムの構成

4.2 知識ベース

本研究では、HAZOP 解析システムに必要な要素異常基本モデルに基づく異常伝播の情報を知識ベースとして格納する。ここでは、情報を整理、格納するための枠組みを知識の表現に優れているクラス、インスタンスを用いることにより、知識ベースを階層化することが可能である。

4.2.1 概要

HAZOP 解析システムは、解析に必要な知識ベースを一般的知識ベースと固有知識ベースに分類し、構築する。以下にそれぞれの知識ベースについて説明する。

① 一般的知識ベース

解析対象プラントに依存しない装置に関する情報を格納する。例えば、その装置の機能や異常伝播に関する情報などが含まれる。バルブやポンプなど広く使用されている装置の機能や異常伝播に関する情報をあらかじめ格納しておく。また、必要な情報が不足している場合はユーザにより情報を追加することも容易である。

HAZOP 解析システムは、一般的知識ベースに格納されている情報が詳細である程、解析能力が向上する。しかし、多くの情報を羅列して格納する形式では、保守や追加作業に混乱を招く場合もあり、知識ベースへの情報の格納形式が重要となる。

② 固有知識ベース

解析対象プラントに関する情報を格納する。例えば、装置の名称、設定値、各装置の接続の情報などが含まれる。対象プラントの P&ID やフローシートなどの情報を基にユーザが作成する。本研究で開発する HAZOP 解析システムでは、アイコンを使用して固有知識ベースを作成する。

4.2.2 クラスとインスタンスを用いた格納形式

HAZOP 解析システムの一般的知識ベースには、解析を実施するために必要な異常伝播に関する情報を格納する。これより、多数の情報を格納する必要がある。また、情報の重複を回避し、探索・追加・修正が容易に可能であることが求められる。特に情報の重複の回避を実現するために、オブジェクト指向で用いられる「クラス」、「インスタンス」を用いた階層化構造とする。

一般的知識ベースのクラスには、対象プラントで使用される個々の装置に関する定義をする。解析対象プラントに含まれるすべての装置の情報を予め格納しておく。クラスは階層の上位クラスの情報を継承する。これより、既に定義済みのクラスに新しい属性を追加定義することで、その下位クラスは新たな属性を持つことができる。これより、上位クラスには共通の属性が集められ、下位クラスにはクラス独自の特殊な属性が記述されることになる。

一般的知識ベースのクラスを、解析対象工程に出てくる装置に関する装置クラスと、その装置内の異常伝播に関する異常伝播構造クラス、4.3.4 項で説明する配列クラスの 3 つのクラスに分類する。

次に、解析対象プラントの情報を格納する固有知識ベースの構築は、クラスから作成されるインスタンスを用いて行う。HAZOP 解析システムでは、クラスにおいて装置を表すアイコンを定

義しておくことにより、ユーザはインスタンス作成時に使用する装置を容易に認識できる。固有知識ベースは装置のインスタンスに名前を付け、解析システムの画面上に配置し、インスタンス同士の配管を接続することにより作成する。固有知識ベースのクラスには対象工程内の装置に関する装置クラスがある。

一般的知識ベースは各装置について、要素異常基本モデルの構造を基にした異常伝播に関する情報に基づいて作成される。固有知識ベースは同工程のフローシート等に基づいて作成されるプラント固有の情報で、各装置の名称、装置を表わすアイコン、各装置の接続の情報、配管を流れる物質名を入力する。

図4.2に知識ベースの概要を示す。

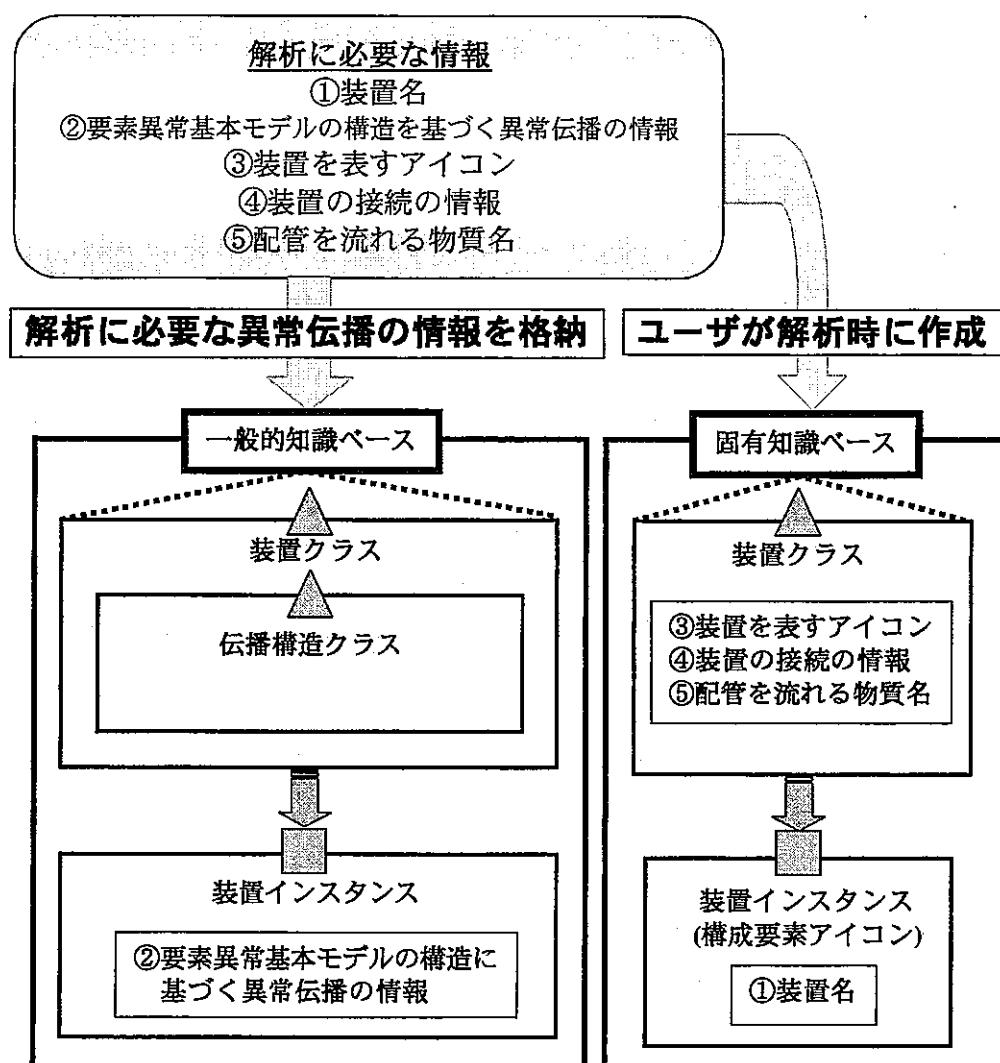


図4.2 知識ベースの概要

4.3 一般的知識ベース

4.3.1 異常伝播の表現

図 4.3 に一般的知識ベース上での異常の表現の例を示す。HAZOP 解析システムに必要な要素異常基本モデルに基づく異常伝播に関する情報を一般的知識ベースに格納する。一般的知識ベースには、プラントの各構成要素について作成された要素異常基本モデルに基づく異常伝播や故障に関する情報が格納されている。図 4.3 に示すように、状態異常が発生するポイント名と装置名、物質名、プロセス変数、手引用語を組み合わせることにより表現される。一方、故障や外部環境への影響についても、発生するポイント名と装置名、故障の種類や程度を組み合わせることで表現される。

物質の種類		プロセス変数	手引き用語
waste	(高放射性廃液)	flow	(流量)
waste_gas	(オフガス)	temp	(温度)
com_air	(圧縮空気)	conc	(濃度)
scrabble_water	(スクラブ水)		
con_liquid	(凝縮液)		
nitric	(硝酸溶液)		
formalin	(ホルマリン溶液)		
vapor	(蒸気)		

• inlet_of_valve_vapor_flow-more	バルブの入口で蒸気が流量増加
• internal_of_tank_vapor_temp-more	タンクの内部で蒸気が温度上昇
• outlet_of_valve_vapor_flow-no	バルブの出口で蒸気の流量なし
• failure_of_pressure_valve_choke	故障として圧空バルブの閉塞
• external_of_manual_valve_operation_error_closed	誤操作による手動バルブの閉鎖

図 4.3 一般的知識ベース上での異常の表現の例

不純物の混入、別物質の混入により引き起こされる故障、機能不全に関しては、以下に示すような形式により表現する。

例：別物質としてタンクに空気が混入した場合に、流入速度が低下する

failure_of_tank_air_lead_speed_less (知識ベース上の表現)

混入物の名前

混入物により引き起こされる事象

4.3.2 一般的知識ベースの構築手順

一般的知識ベースには、HAZOP 解析システムが解析を行う際に必要な装置内の異常伝播に関する情報を格納する。要素異常基本モデルの構造を基にした異常伝播に関する情報が一般的知識ベースとなる。第3章では要素異常基本モデルを用いた各装置のモデル化を行い、異常伝播との関係を述べたが、これらの異常伝播の情報を格納するためには装置毎の格納場所が必要である。`basic_model_1` を上位クラスに持つ装置クラスの装置毎のインスタンスに一般的知識ベースを格納することにより、一般的知識ベースを構築する。

しかし、流量制御バルブに関しては、要素異常基本モデルによりモデル化することができないため、新たなクラスを作成し、その下位クラスに情報を格納する。

一般的知識ベースの構築するために、要素異常基本モデルを基に各装置をモデル化する。次に、各装置で処理されている物質に関するすべての状態異常について、装置内の異常伝播を求める。これより、プラント構成要素において考えられる全ての異常事象を上位クラスに定義し、その異常伝播の関係を装置毎に格納することで一般的知識ベースを構築する。

また、各装置インスタンスは異常事象を上位クラスで定義しているため、その装置で発生する異常事象の内容だけでなく、その他の装置に関する異常事象の内容も定義されている。ここでは、インスタンスに異常伝播の情報を格納する際に、不必要的情報を取り除くことで対応している。

4.3.3 一般的知識ベースの構造

4.3.2 項で述べたように流量制御バルブ以外の装置に関しては、`basic_model_1` というクラスに要素異常基本モデルの構造を定義し、その下位クラスに各装置のクラスを作成している。この各装置クラスの内容は 4.2.2 項の一般的知識ベースの内容により定義されている。また、各装置クラスのインスタンスには異常伝播に関する情報が格納されている。図 4.4 に一般的知識ベースの装置クラスの構造を示す。

図 4.4 に示すように一般的知識ベースの装置クラスは、流量制御バルブ以外はすべて `basic_model_1` というクラスの下位クラスである。`basic_model_1` というクラスに要素異常基本モデルの構造に関する情報を定義しておくことにより、下位クラスに定義されている装置の構造はすべて要素異常基本モデルの構造と同じになる。従って要素異常基本モデルに基づく異常伝播構造によりモデル化できない装置に対して新しく情報を格納する場合、ユーザにより図 4.4 に示す既存の EQUIPMENT クラスの下位クラスに新しいクラスを作成し、要素異常基本モデルの構造を定義する。

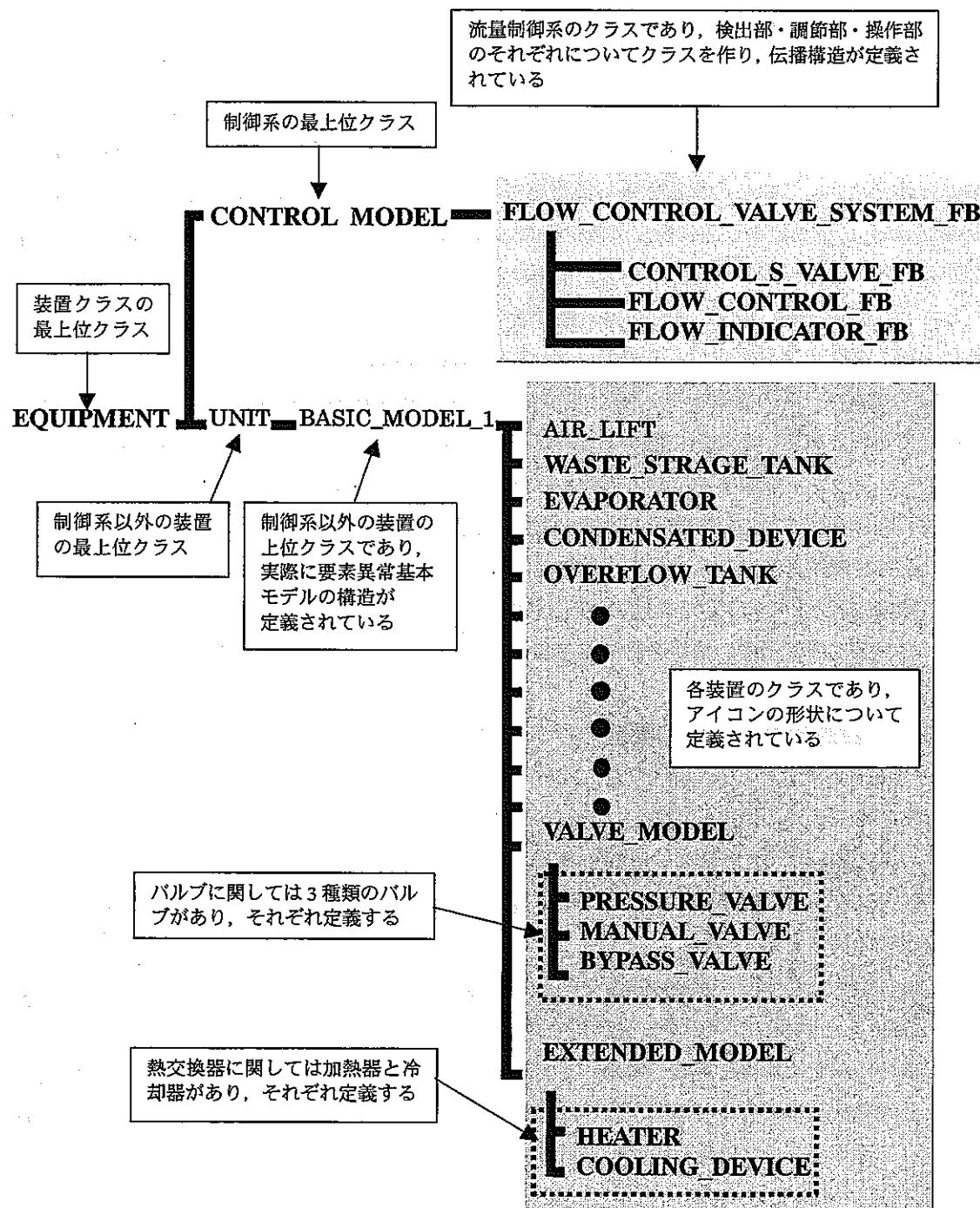


図4.4 一般的知識ベースの装置クラスの構造

4.3.4 一般的知識ベースの格納形式

一般的知識ベースには膨大な量の情報を格納する必要があり、その格納形式は重要である。ここでは 4.3.1 項で述べた異常伝播の表現方法を用いて、装置のクラス定義から作成されたインスタンスに異常伝播の情報を格納する方法について説明する。第 3 章で述べたように、解析対象プラントの装置のモデルは入出力が複雑であり、1 つのずれから複数のずれが伝播する場合がある。これに対して、異常伝播の格納形式には、複数の情報を参照できる配列を用いる。図 4.5 に一般的知識ベースの配列の構造を示す。

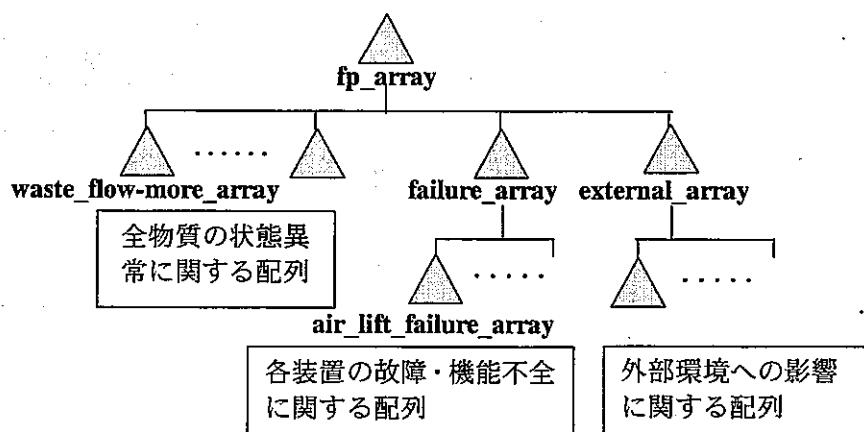


図 4.5 一般的知識ベースの配列の構造

4.3.5 一般的知識ベースの格納例

図 4.5 に示す配列を用いて、一般的知識ベースに異常伝播に関する情報を格納する。各装置インスタンスには要素異常基本モデル内の異常伝播の構造が定義され、配列を用いて影響や原因に関する情報を入力することにより、一般的知識ベースの構築が可能である。図 4.6 に高放射性廃液蒸発缶の例を示す。

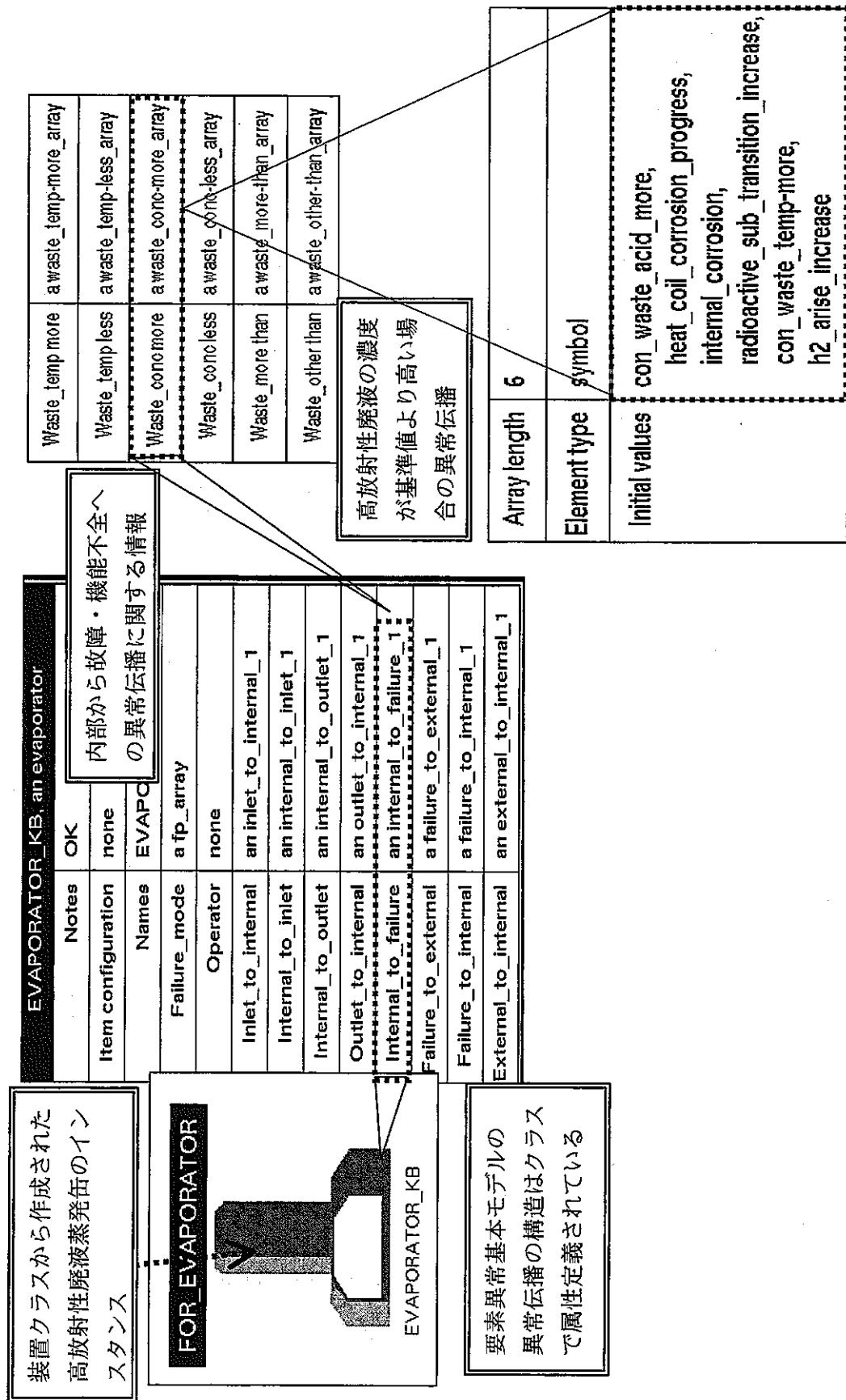


図 4.6 一般的知識ベースの概納例

4.4 固有知識ベース

固有知識ベースは 4.2.2 項で示したように装置名、装置を表す図形、装置の接続の情報、配管を流れる物質名など、対象プラント固有の情報を定義する。ユーザは対象プラントの P&ID やフローシートを参考に、GUI を用いて各装置クラスに装置名や接続に関する情報を入力することができ、容易に固有知識ベースの構築することができる。固有知識ベースの構築手順は次の通りである。

- (1) 対象プラント内に含まれる装置の装置クラスを作成し、装置を表すアイコン、接続配管、配管を流れる物質名に関する情報を定義する。固有知識ベースの装置クラスの構造は 4.3.3 項の図 4.4 に示す装置クラスの構造と同じである。
 - (2) 各装置クラスからインスタンスを作成し、装置名を付け、P&ID やフローシートなどを参考に G2 上のワークシートに配置し、配管を接続することで固有知識ベースを作成する。
- 以上の手順で固有知識ベースを作成する。HAZOP 解析のずれの想定は、固有知識ベース内の各装置を接続している配管を直接指定することで可能である。

4.5 プラント構成の入力

4.4 節で述べた固有知識ベースを作成することによりプラントを G2 上に表現することが可能である。図 4.7 にプラントモデルの例を示す。

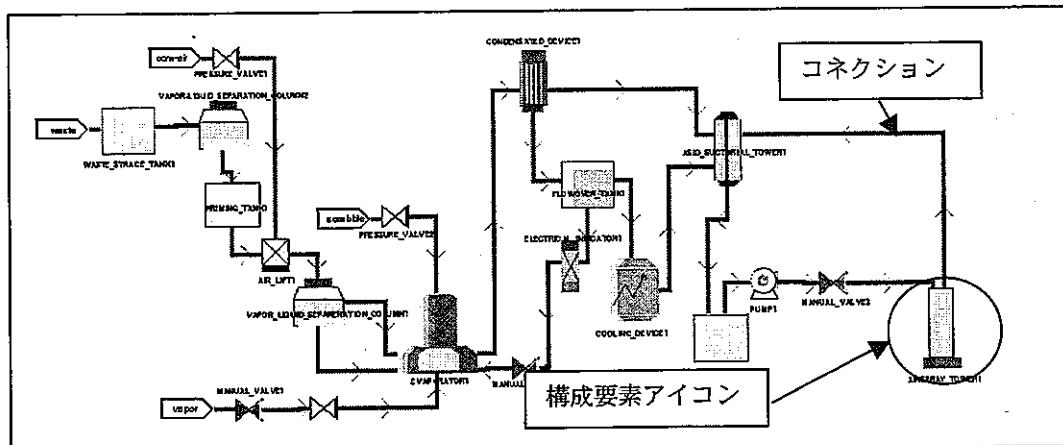


図 4.7 プラントモデルの例

4.6 HAZOP 解析エンジン

図 4.8 に本システムにおける HAZOP 解析の手順を示す。HAZOP 解析エンジンは、固有知識ベースからプラント内の装置の接続状況、構造を認識する。次に、知識ベースに格納されている基本モデルに基づく装置内の異常伝播に関する情報を探索し、HAZOP 解析を実施する。

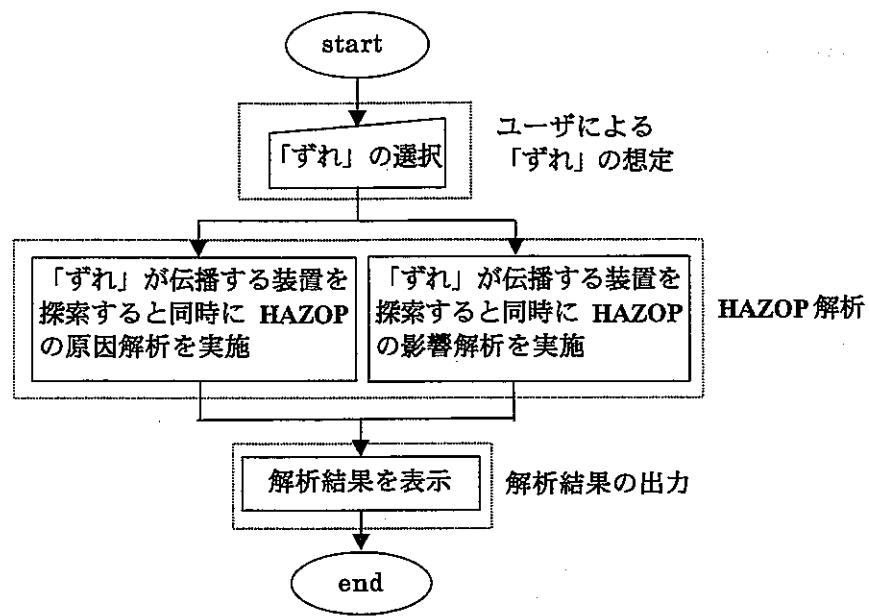


図 4.8 HAZOP 解析システムによる解析手順

4.6.1 「ずれ」の想定

「ずれ」想定の手順について説明する。ユーザは、「ずれ」の想定箇所、プロセス変数及び手引き用語を用いて「ずれ」を想定する。図 4.9 に「ずれ」の選択の画面を示す。

4.6.2 解析手順

図 4.10 に解析の流れを示す。HAZOP 解析エンジンでは、想定された「ずれ」の情報を受け取り、プラントの構造を認識する。プラントの構造に従って各装置の情報を一般的な知識ベースより参照し、HAZOP 解析を実施する。HAZOP 解析は、隣接した装置を識別するとともに、その装置の要素異常基本モデルを解析することにより実施される。本システムでは、バルブにおいては後述するように他の装置と異なる解析を行う必要があるため、装置がバルブであるかどうかの識別を必要とする。以上の処理を繰りし、HAZOP 解析を行う。

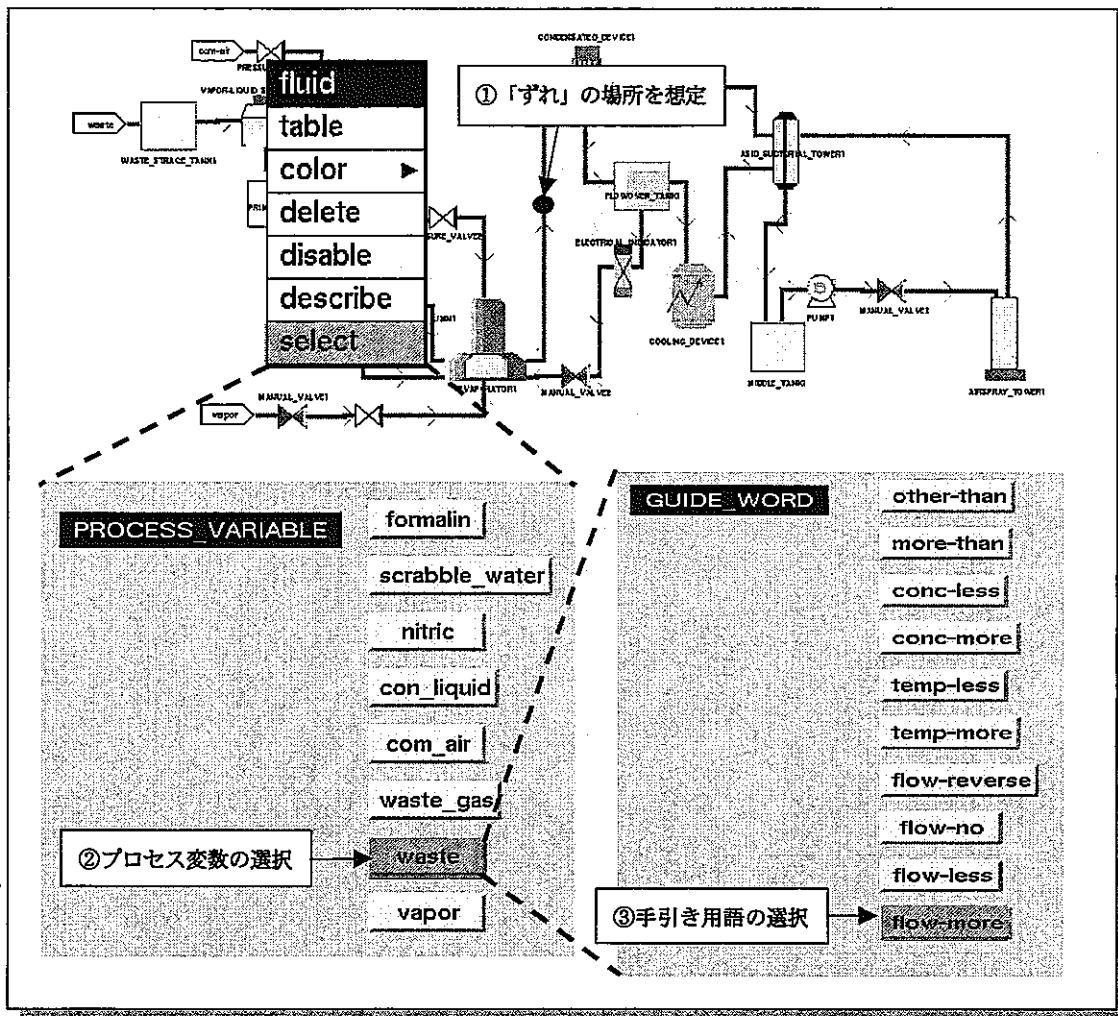


図 4.9 「ずれ」の選択画面

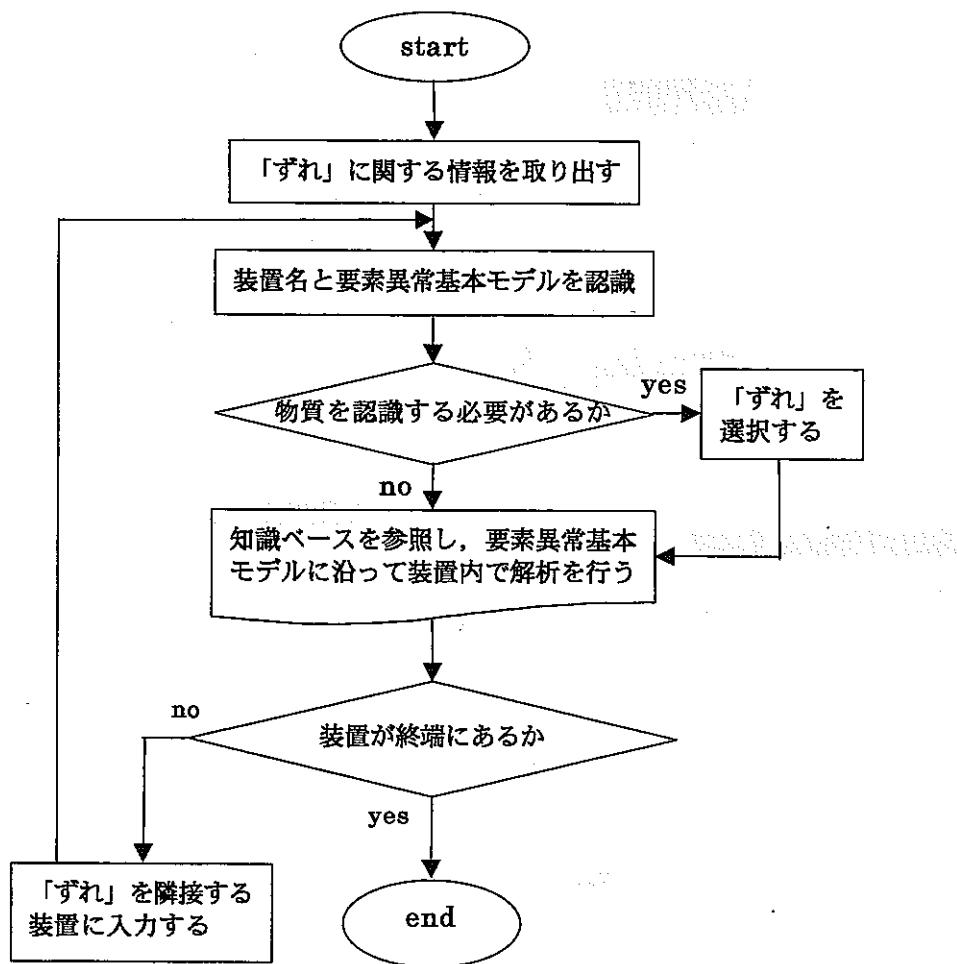


図 4.10 HAZOP 解析の流れ

(1) 装置内部での異常伝播の解析

要素異常基本モデルに基づいた装置内部での異常伝播の解析方法について説明する。HAZOP は原因の解析、影響の解析に分けることができる。以下、装置内部での異常伝播の解析方法を説明する。

(i) 影響解析時の装置内部での異常伝播の探索

影響解析では inlet に入力された「ずれ」に対してポイント間を結んだ矢印に従って解析を行う。この場合、要素異常基本モデル内での異常伝播のループが問題となるが、入力された「ずれ」とは異なる「ずれ」が解析されなくなるまで解析を行うことにより無限ループに陥るのを防ぐ。影響解析における矢印の方向への「ずれ」の解析を以下に示す。

図 4.11 に影響解析の手順を示す。各装置の知識ベースには要素異常基本モデルのポイント間を結んだ矢印毎に情報が格納されている。矢印の方向は「始点_to_終点」の形式で入力されており、この中から解析に必要なポイントを選択する(①)。知識ベース(2)を参照し、「ずれ」に対する影響を求める(②)。さらに引き起こされる「ずれ」に対しての情報が格

納された知識ベース (3) を参照する。知識ベース中の Initial Value の情報をリストに格納する (③)。これより、始点として入力された「ずれ」に対する終点での影響を取り出すことが可能である。

以上の手順を各装置に適用することにより、異常解析を行うことが可能となる。この場合、「ずれ」による影響は各装置の failure と external に格納されており、failure と external により引き起こされる故障・機能不全などはリストに格納され、影響として出力する。

(ii) 原因解析における装置内での異常伝播の探索

要素異常基本モデルに基づき解析を行うが原因解析では outlet に入力された「ずれ」をポイント間の矢印と逆方向に解析を行う。この際、要素異常基本モデル内での異常伝播のループが問題となるが影響解析と同様に、入力された「ずれ」とは異なる「ずれ」が解析されなくなるまで解析を行うことで無限ループを防ぐ。原因解析における矢印の方向と逆向きへの「ずれ」の解析を以下に示す。

図 4.12 に原因解析の手順を示す。各装置の知識ベース (3) 内の Initial Value を参照し、入力された「ずれ」と一致する終点の「ずれ」を参照する (②)。知識ベース (2) を参照し、始点の「ずれ」が原因となる (③)。これより、終点に入力された「ずれ」に対する原因を取り出すことが可能である。

以上の手順を各装置に適用することにより、原因解を行うことが可能となる。この場合、「ずれ」の原因是各装置の failure と external に格納されており、failure と external で発生する故障・機能不全などはリストに格納され、原因として出力する。

(2) プラント規模の異常伝播の解析

プラント規模の異常伝播は、装置内における異常伝播を解析した要素異常基本モデルの outlet の「ずれ」を隣接する装置の要素異常基本モデルの inlet に入力し、各構成要素単位の異常伝播の解析を行う。これを繰り返すことにより、プラント規模の異常伝播の解析を実施する。また、昨年度開発したシステムでは、呼水槽のように 1 入力・1 出力の装置しか解析できず、エアリフトのように多入力・多出力の装置においては解析を行うことができない。これに対して本システムでは、処理されている物質を判別する機能を加えることにより、複数の物質の「ずれ」の伝播を可能にし、多入力装置に対応している。図 4.13 にプラント規模の異常伝播の解析手順を示す。図 4.14 にプラント規模の異常伝播解析フローチャートを示す。ここでは対象外の物質についての「ずれ」は解析を行わない。

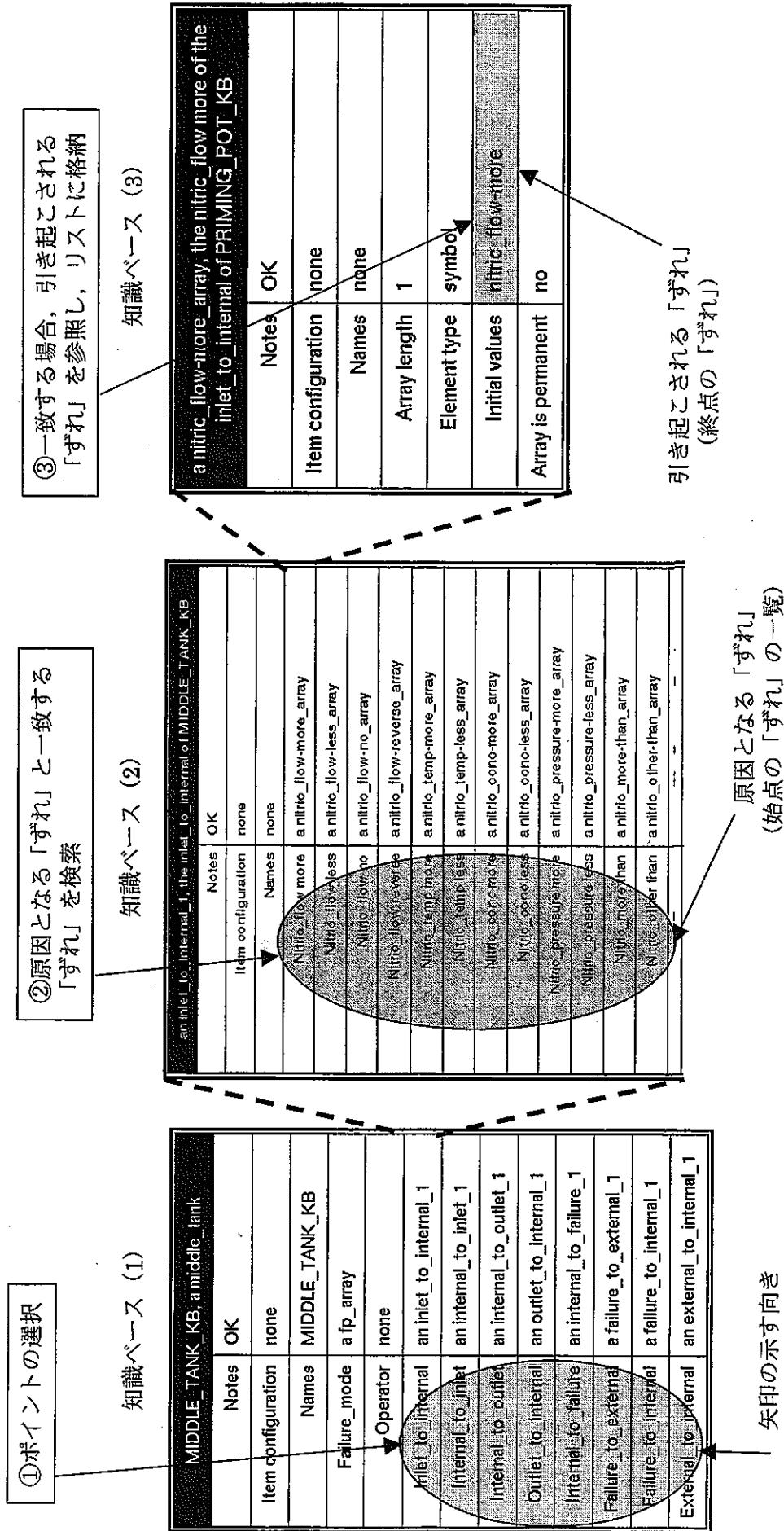


図 4.11 影響解析の手順

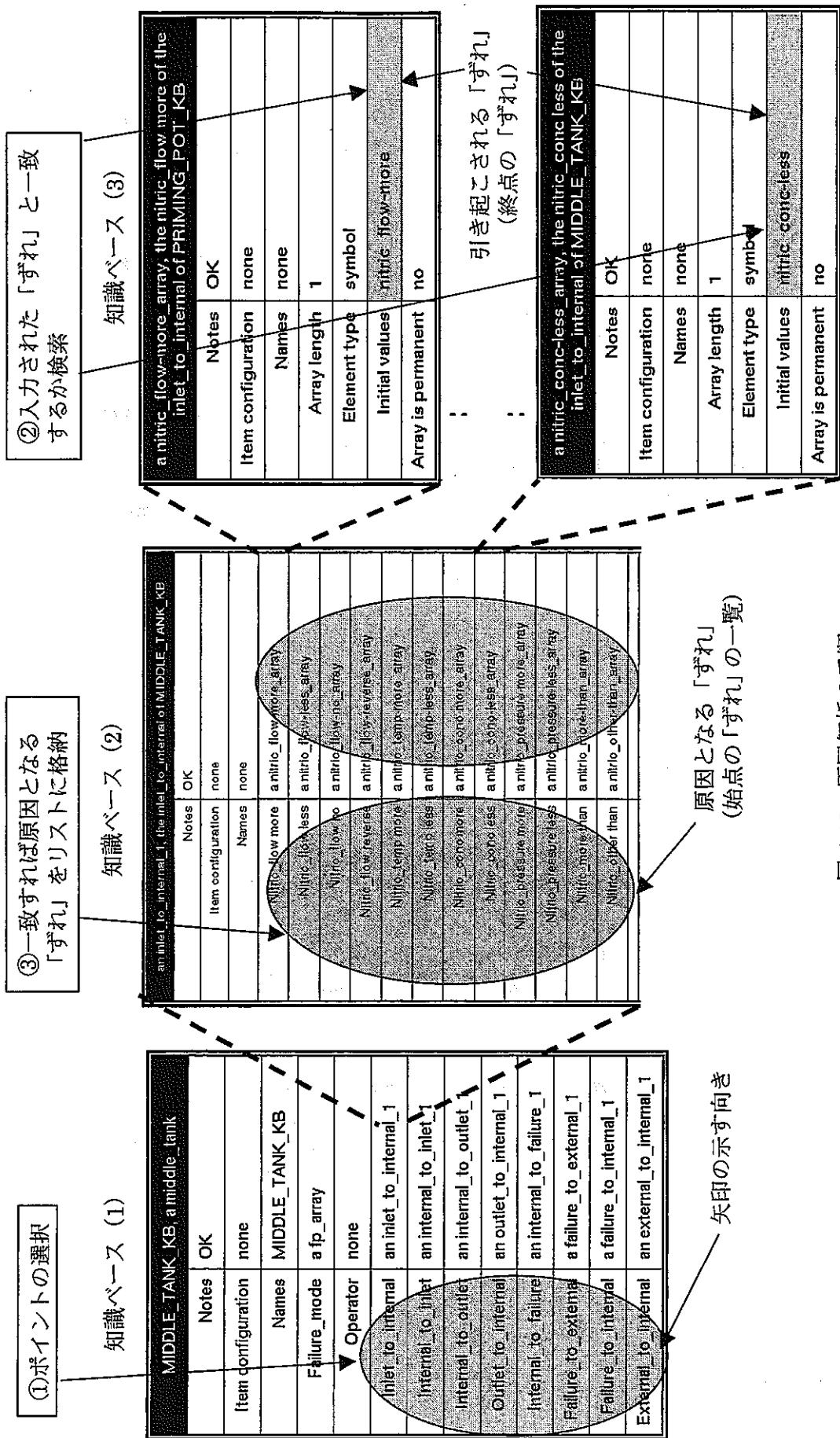


図 4.12 原因解析の手順

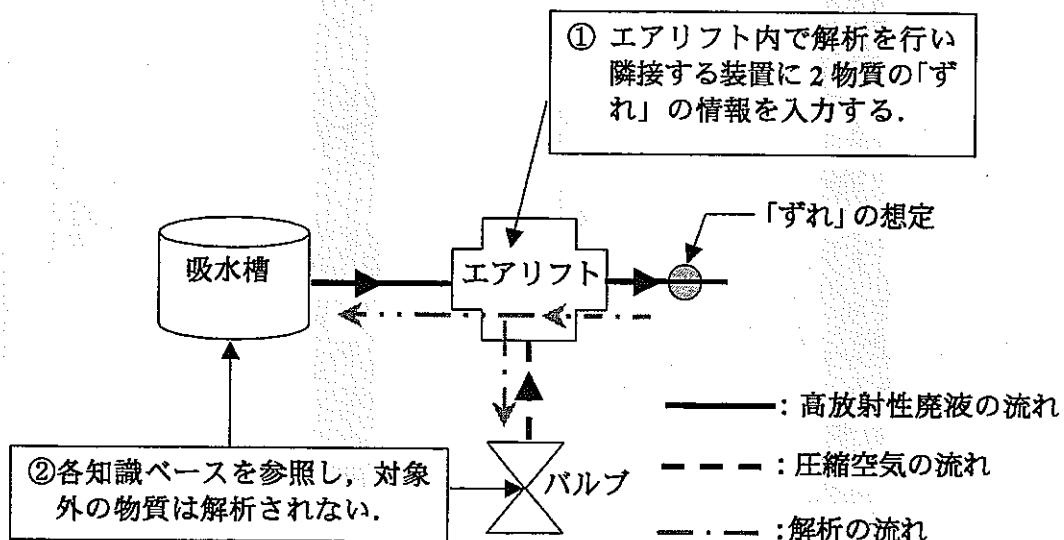


図 4.13 プラント規模の異常伝播の解析手順

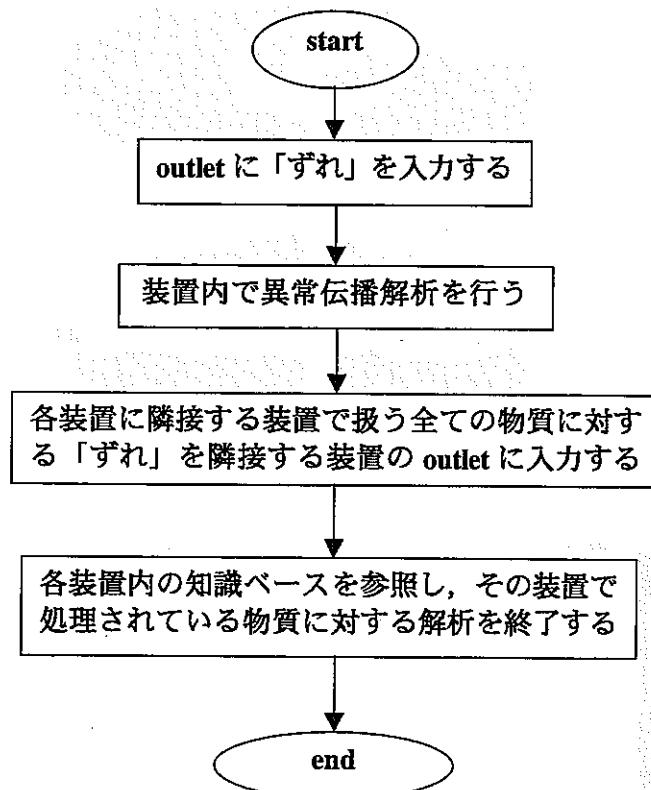


図 4.14 プラント規模の異常伝播解析フローチャート

(3) バルブにおける異常伝播

装置には、処理される物質が決まっているものもあれば、そうでないものもある。処理される物質が決まっている装置であれば前述した方法で異常伝播を解析することが可能である。しかし、

バルブのように通過する物質が異なる装置においては、前述の方法では、同じ役割を持つ装置に對しても蒸気の通過するバルブ、ホルマリン溶液の通過するバルブというように通過する物質毎に知識ベースを構築しなければならない。本システムでは、図 4.15 に示すように、各バルブ毎にそのバルブを通過する物質の情報を格納しておく。これより、同じ異常伝播構造を有する装置に對しては、装置毎に知識ベースを構築する必要はなく、バルブに「ずれ」が入力された場合は、対象となっている物質の「ずれ」を判別することにより、解析を行うことが可能である。

例えば、バルブ内の異常伝播を解析する場合、図 4.15 に示す知識ベースを参照し、通過する物質の情報を取り出す。次に、入力された「ずれ」の物質とバルブを通過する物質を照合し、一致すれば、その「ずれ」に対して解析を行い、一致しなければ、その「ずれ」に対する解析を行わない。図 4.15 では、「ずれ」として「nitric_flow-more」と「vapor_flow-more」という「ずれ」がバルブに入力された場合、物質の一致する「nitric_flow-more」のみについて解析すればよいことを示している。

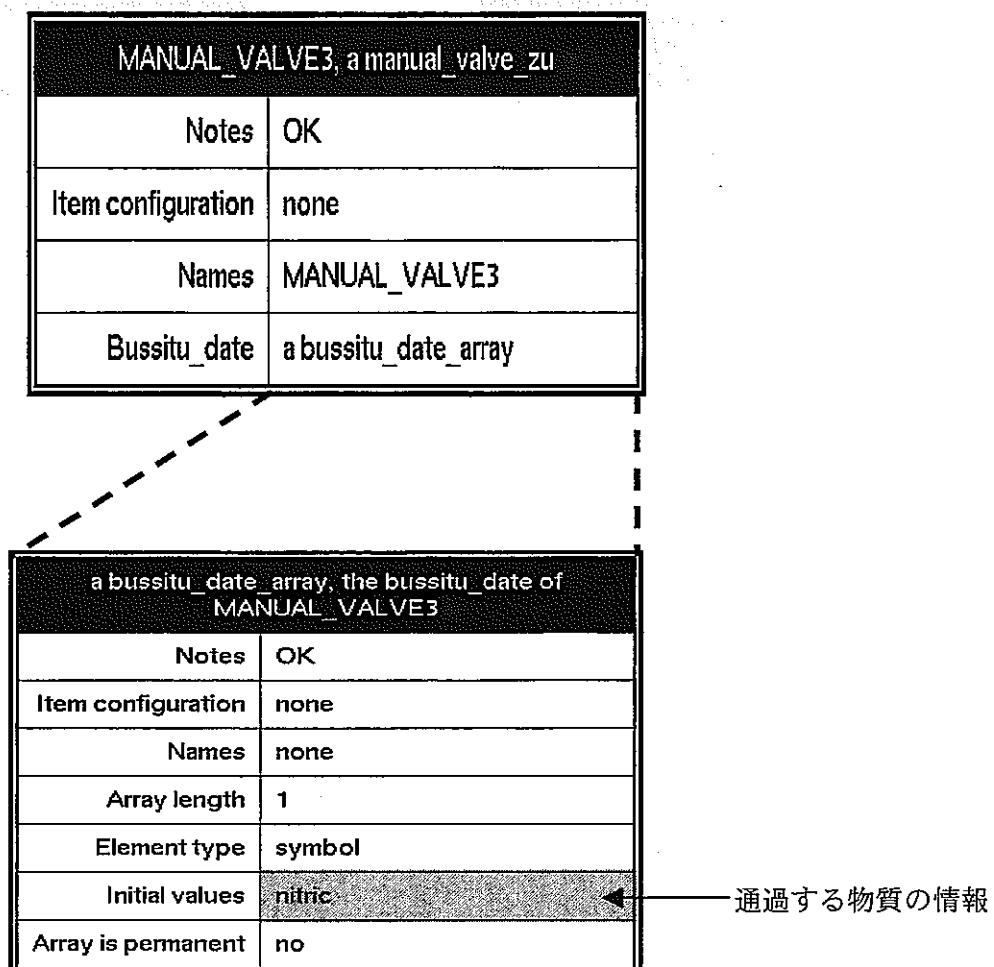


図 4.15 バルブの知識ベース (1)

4.6.3 解析結果の出力

図 4.16 に解析結果の例を示す。HAZOP 解析で想定された「ずれ」に対する影響と原因を解析結果として表示する。解析結果は、first deviation の欄に想定された「ずれ」、cause の欄に原因、consequence の欄に影響が出力される。原因、影響はそれぞれ、「(failure or external)_of_(装置名)_(原因 or 影響)」という形式で表示される。

HAZOP DISPLAY	
first deviation	
cause	consequence
pipe connected to EVAPORATOR1_WASTE_FLOW_LESS	FAILURE_OF_ASID_SUCTION_TOWER_INTERNAL_RADIOACTIVE_SUB_CONC_MORE FAILURE_OF_ASID_SUCTION_TOWER_INTERNAL_CLEANING_WATER_ACID_MORE FAILURE_OF_ASID_SUCTION_TOWER_PRESSURE_MORE_FOR_NITRIC_SOLUTION_QUANTITY_LESS FAILURE_OF_ASID_SUCTION_TOWER_RADIOACTIVE_SUB_TRANSITION_TO_BENT_PIPE_MORE FAILURE_OF_CONDENSATED_DEVICE1_INTERNAL_ACID_MORE FAILURE_OF_CONDENSATED_DEVICE1_INTERNAL_H2_CONC_MORE FAILURE_OF_CONDENSATED_DEVICE1_INTERNAL_NITROGEN_OXIDES_CONC_MORE FAILURE_OF_CONDENSATED_DEVICE1_INTERNAL_RADIOACTIVE_SUB_CONC_MORE FAILURE_OF_EVAPORATOR1_DF_DECREASE FAILURE_OF_EVAPORATOR1_JUMPING FAILURE_OF_EVAPORATOR1_ABNORMAL_REACTION

図 4.16 解析結果の例

5. 適用例

高放射性廃液濃縮工程を対象とし、本研究で開発した HAZOP 解析システムにおいて HAZOP 解析を行った。

5.1 高放射性廃液濃縮工程に対する HAZOP 解析の実施

本研究で開発した HAZOP 解析システムを用いて高放射性廃液濃縮工程に対する自動解析を行った。表 5.1 に解析対象装置と各装置に対して想定された「ずれ」の数を示す。合計 104 種類の「ずれ」について解析結果を得ることができた。解析結果の一部については次節で考察を行う。また、全解析結果を付録に示した。

表 5.1 解析対象装置と想定された「ずれ」の数

装置名	物質名	想定された 「ずれ」の数	解析結果の 付録番号
空気吹き込み塔	硝酸溶液	8	1
ポンプ	硝酸溶液	8	2
中間貯槽	硝酸溶液	3	3
酸吸收塔	凝縮液	9	4
酸吸收塔	オフガス	5	5
冷却器	凝縮液	9	6
溢流槽	凝縮液	8	7
電導度計ポット	凝縮液	8	8
凝縮器	オフガス	8	9
空気分離器	高放射性廃液	6	10
エアリフト	圧縮空気	5	11
エアリフト	高放射性廃液	6	12
高放射性廃液蒸発缶	高放射性廃液	6	13
高放射性廃液蒸発缶	ホルマリン	4	14
高放射性廃液蒸発缶	凝縮液	8	15
高放射性廃液蒸発缶	オフガス	3	16

図 5.1 は高放射性廃液濃縮工程における高放射性廃液蒸発管の手前の配管で「ずれ」として、「Waste_flow-less(高放射性廃液の流量減少)」を想定した場合を示す。図 5.2 は HAZOP 解析システムによる出力結果を示す。

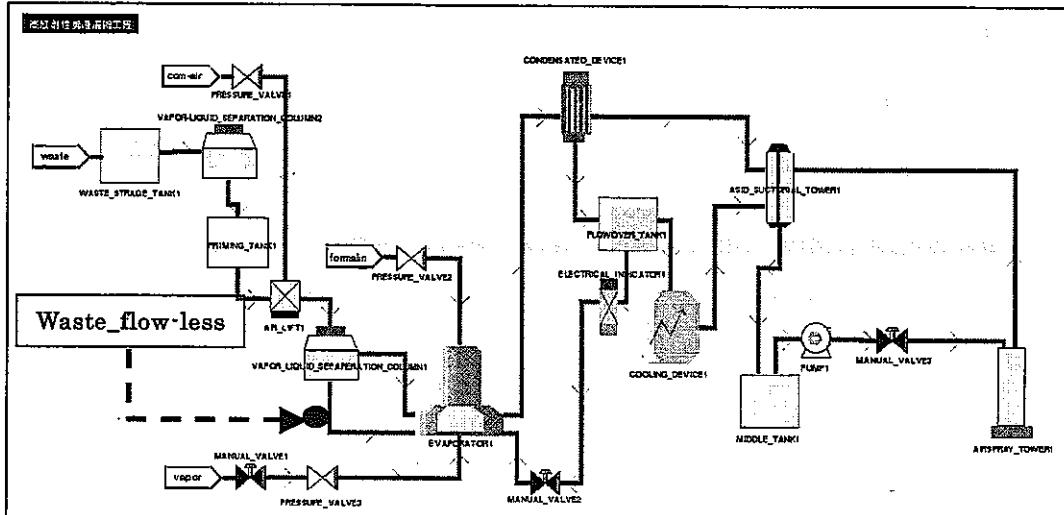


図 5.1 「ずれ」の想定

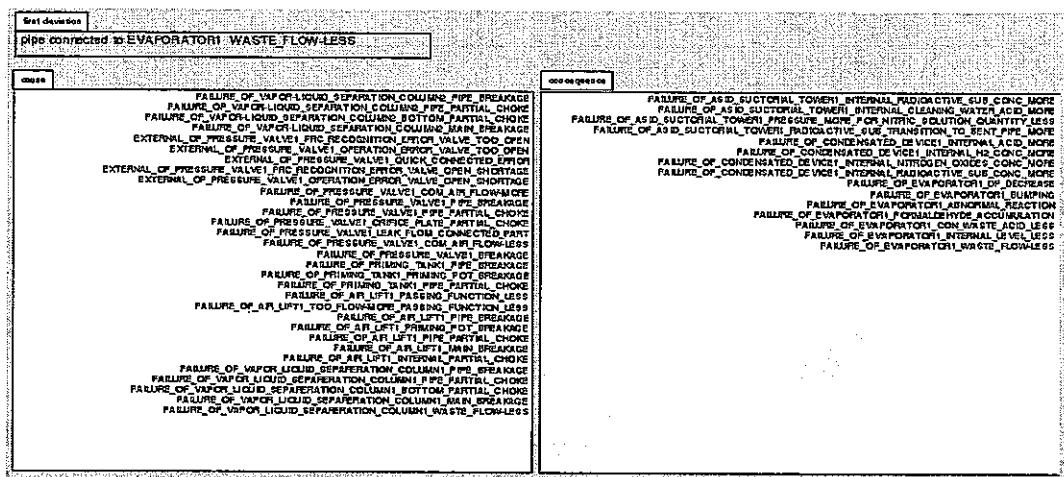


図 5.2 解析例

5.2 解析結果の考察

高放射性廃液濃縮工程に対する HAZOP 解析システムによる解析結果の考察を行う。

解析結果の比較対象として核燃料サイクル開発機構において実施された HAZOP 解析結果を用いた²⁰⁾。表 5.2～表 5.6 に核燃料サイクル開発機構による HAZOP 解析結果と本研究で開発した HAZOP 解析システムによる自動解析結果の一部を示す。

5.2.1 「エアリフトで圧縮空気の流量増加」に対する HAZOP 解析結果

すれ「エアリフトでの圧縮空気の流量増加」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 自動解析結果を示す。

本システムでは、複数の物質を処理する装置の異常伝播を考慮しているため、圧縮空気の「すれ」を想定した場合に、圧縮空気を処理する装置での影響だけでなく、高放射性廃液の処理装置への影響も解析可能である。

表 5.2 すれ「エアリフトでの圧縮空気の流量増加」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

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	エアリフト
「すれ」	圧縮空気の流量増加
考えられる原因	圧縮空気系からの圧縮空気流入量増加 圧空弁の故障 誤操作によるバイパス弁開 誤操作による圧空弁開けすぎ
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入量増加 エアリフトの送液機能向上 エアリフトの送液機能低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	エアリフト
「すれ」	圧縮空気の流量増加
考えられる原因	圧縮空気系からの圧縮空気流入量増加 圧空弁の故障 誤操作によるバイパス弁開 誤操作による圧空弁開けすぎ
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入量増加 エアリフトの送液機能向上 エアリフトの送液機能低下 空気分離器での気液面へのミスト移行量増加 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の酸度低下 高放射性廃液蒸発缶内のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶内の異常反応 高放射性廃液蒸発缶内の突沸 高放射性廃液蒸発缶内の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶内の酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶内でのホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶内の液位増加 高放射性廃液蒸発缶での爆発の可能性

5.2.2 「酸吸收塔で凝縮液の温度上昇」に対する HAZOP 解析結果

すれ「酸吸收塔での凝縮液の温度上昇」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。

本システムでは、複数の物質を処理する装置の異常伝播を考慮しているため、凝縮液の「すれ」を想定した場合に、凝縮液の処理装置への影響、原因のみでなく、高放射性廃液の処理装置での原因、硝酸溶液の処理装置への影響も解析可能である。

表 5.3 すれ「酸吸收塔で凝縮液の温度上昇」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

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	酸吸收塔
「すれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	冷却器からの温度が上昇した凝縮液流入 冷却器の機能喪失または低下
起り得る影響	酸吸收塔への温度が上昇した凝縮液の流入 酸吸收塔の機能低下 ベント配管への放射性物質移行量増加の可能性あり

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	酸吸收塔
「すれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	冷却器からの温度が上昇した凝縮液流入 冷却器の機能喪失または低下 溢流槽での内部温度上昇 凝縮器での内部温度上昇 高放射性廃液蒸発缶での液位増加
起り得る影響	酸吸收塔への温度が上昇した凝縮液の流入 酸吸收塔の機能低下 ベント配管への放射性物質移行量増加の可能性あり 中間貯槽での硝酸溶液の温度上昇 中間貯槽での硝酸溶液の濃度低下

5.2.3 「ポンプで硝酸溶液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果

ずれ「ポンプでの硝酸溶液の流量なし」に対する HAZOP 解析結果の比較検討を行う。表 5.4(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 5.4(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。

本システムでは、異常伝播を考慮しているため、詳細な結果を出力することができる。また、起こり得る影響として「ポンプの故障」が出力されていないのは、一般的知識ベース内の情報不足によるものと考えられる。

表 5.4 ずれ「ポンプで硝酸溶液の流量なし」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

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	ポンプ
「ずれ」	硝酸溶液の流量なし
考えられる原因	中間貯槽からの硝酸溶液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 中間貯槽抜き出し配管の閉塞 中間貯槽本体の破損 中間貯槽の液位低下
起こり得る影響	ポンプへの硝酸溶液流入なし ポンプの空運転 ポンプの故障

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	ポンプ
「ずれ」	硝酸溶液の流量なし
考えられる原因	中間貯槽からの硝酸溶液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 中間貯槽抜き出し配管の閉塞 中間貯槽本体の破損 中間貯槽の液位低下 酸吸収塔本体の破損 酸吸収塔の底辺部の閉塞
起こり得る影響	ポンプへの硝酸溶液流入なし ポンプの空運転

5.2.4 「高放射性廃液蒸発缶でホルマリンの流量増加」に対する HAZOP 解析結果

「ずれ」高放射性廃液蒸発缶でのホルマリンの流量増加に対する HAZOP 解析結果の比較検討を行う。表 5.5(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 5.5(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。

一般的知識ベースに「缶内での爆発の可能性」を格納することにより、詳細な結果を得ることができている。

表 5.5 ずれ「高放射性廃液蒸発缶でホルマリンの流量増加」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

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	高放射性廃液蒸発缶
「ずれ」	ホルマリン溶液の流量増加
考えられる原因	ホルマリン溶液流入量増加 誤操作による手動弁開けすぎ 誤操作によるバイパス弁解
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液の流入量増加 窒素酸化物の発生量増加 缶内濃縮廃液の酸度低下 缶内のホルムアルデヒド蓄積 缶内の異常反応 缶内の突沸 DF 低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	高放射性廃液蒸発缶
「ずれ」	ホルマリン溶液の流量増加
考えられる原因	ホルマリン溶液流入量増加 誤操作による手動弁開けすぎ 誤操作によるバイパス弁解
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液の流入量増加 窒素酸化物の発生量増加 缶内濃縮廃液の酸度低下 缶内のホルムアルデヒド蓄積 缶内の異常反応 缶内の突沸 DF 低下 缶内での爆発の可能性

5.2.5 「高放射性廃液蒸発缶で高放射性廃液の濃度上昇」に対する HAZOP 解析結果

ずれ「高放射性廃液蒸発缶での高放射性廃液の濃度増加」に対する HAZOP 解析結果の比較検討を行う。表 5.6(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 5.6(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。

本システムでは、異常伝播を考慮しているため「呼水槽での濃縮廃液の酸度低下」という原因が列出される。また、一般的知識ベースに「缶内での爆発の可能性」を格納することにより、それが列出され、詳細な結果を得ることができる。

表 5.6 ずれ「高放射性廃液蒸発缶で高放射性廃液の濃度上昇」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

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	高放射性廃液蒸発缶
「ずれ」	高放射性廃液の濃度上昇
考えられる原因	気液分離器からの濃度が上昇した高放射性廃液流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が上昇した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内の腐食による故障 放射性物質移行量の増加 高放射性廃液蒸発缶濃縮廃液の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶内の水上発生量増加の可能性

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

工程	高放射性廃液濃縮工程
機器名	高放射性廃液蒸発缶
「ずれ」	高放射性廃液の濃度上昇
考えられる原因	気液分離器からの濃度が上昇した高放射性廃液流入 呼水槽での濃縮廃液の酸度低下
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が上昇した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内の腐食による故障 放射性物質移行量の増加 高放射性廃液蒸発缶濃縮廃液の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶内の水上発生量増加の可能性 高放射性廃液蒸発缶の爆発の可能性

5.2.6 解析結果全体の考察

本研究で開発した HAZOP 解析システムにより、核燃料サイクル開発機構で実施された HAZOP 解析結果よりも詳細な結果を得ることができた。また、昨年度のシステムと異なり、複数の物質を処理する装置においても異常伝播を考慮したことにより、複数の物質についての解析が可能となった。現段階では、解析結果を得ることができない装置（ずれ）も存在するが、これらの解析については、一般的知識ベースを充実させることにより解決可能である。

6. おわりに

HAZOP は多くのプラントやプロセスに適用され、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能力と時間、専門的な知識が必要となる。昨年度研究報告書では、異常伝播と要素異常基本モデルに基づく HAZOP 解析システムを提案した。

本研究では、HAZOP 解析システムの実用化を目指して、より詳細な解析結果を出力できるように、解析能力を向上させることを目的とした。昨年度提案した要素異常基本モデルを利用し、構成要素単位の異常伝播とプラント規模の異常伝播を考慮した HAZOP 解析を行う。さらに、複数の物質を処理する装置を対象とした影響解析、原因解析を詳細に行うことのできる HAZOP 解析システムを提案した。知識ベースに物質情報を新たに加え、複数の物質に対する HAZOP 解析を行うことで、様々なプラントを解析することが可能となった。HAZOP 解析システムの特徴を以下に述べる。

- (1) 複数の物質を処理する装置について詳細な解析を行うため、各装置で処理されている物質を判別する機能を HAZOP 解析エンジンに加えた。これより、構成要素異常基本モデルを追加することなく、様々な物質が処理される装置についても詳細な解析を行うことが可能となった。
- (2) バルブを通過する物質の種類を判別する機能を加えることにより、一般的知識ベースに物質に関する詳細な情報を格納した。これより、固有知識ベースに格納する物質に関する情報を減らすことができ、対象プロセスに対する汎用性を向上させることができた。
- (3) 知識ベース構築を容易にするために、配列機能を用いた。これより、新たな異常事象などに関する知識の追加が容易である。

本研究では、再処理プラントの高放射性廃液濃縮工程に対して HAZOP 解析システムを適用し、得られた解析結果の検討を行った。以下に考察結果をまとめる。

- (1) 構成要素単位の異常伝播とプラント規模の異常伝播の解析を行うことにより、より詳細で明確な影響解析が行えることが示された。
- (2) 複数の物質が処理される装置についても、適切な解析結果を得られることが示された。
- (3) 要素異常基本モデルの利用により、装置自身の異常や外部の異常についても解析を行い得ることが示された。

参考文献

- 1) Center for Chemical Process Safety of the AIChE, Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 2nd edition with worked examples (1992)
- 2) 岡山県保安防災研究会, オペラビリティ・スタディに関する調査研究報告書 (1980)
- 3) PNC PJ1612 95-001, システム解析手法調査研究 : 岡山大学工学部機械工学科 (1995)
- 4) 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)
- 5) Venkatasubramanian,V. and R.Vaidhyanathan, A Knowledge-Based Framework for Automating HAZOP Analysis : AIChE J., Vol.40, No.3, pp.496-504 (1994)
- 6) Vaidhyanathan,R. and V.Venkatasubramanian, Digraph-based models for Automated HAZOP Analysis : Reliability Engineering and System Safety, Vol.50, pp.33-49 (1995)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) Shimada,Y., K.Suzuki and H.Sayama, Computer-aided Operability Study : Comp.Chem. Engng., Vol.20, No.6/7, pp.905-913 (1996)
- 10) 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)
- 11) 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)
- 12) 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)
- 13) Suzuki,K., Y.Shimada, T.Song, I.Nojiri and H.Sayama, An object-oriented Approach for Computer-aided HAZOP : Proc. of Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Vol.2, pp.493-508 (1998)
- 14) 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)
- 15) PNC PJ1612 96-001, システム解析手法調査研究 (II) : 岡山大学工学部機械工学科

(1996)

- 16) PNC PJ1612 97-001, システム解析手法調査研究（Ⅲ）：岡山大学工学部システム工学科 (1997)
- 17) PNC PJ1612 98-001, システム解析手法の高度化研究：岡山大学工学部システム工学科 (1998)
- 18) JNC TJ1400 99-003, システム解析手法の高度化研究（Ⅱ）：岡山大学工学部システム工学科 (1999)
- 19) JNC TN8410 99-002, 東海再処理施設の安全性確認に係る基本データの確認：核燃料サイクル開発機構 東海事業所 (1999)
- 20) JNC TN8410 99-004, 東海再処理施設の事故の発生防止策の検討 第1分冊～第3分冊：核燃料サイクル開発機構 東海事業所 (1999)
- 21) JNC TN8410 99-005, 東海再処理施設の事故の拡大防止策及び影響緩和策の検討：核燃料サイクル開発機構 東海事業所 (1999)
- 22) JNC ZN8450 99-002, 高放射性廃液濃縮工程及びプルトニウム濃縮工程の HAZOP 評価結果（データ集・記録集）：核燃料サイクル開発機構 東海事業所 (1999)
- 23) JNC ZN8450 99-003, 東海再処理施設の事故の発生防止策の検討に係る工程の概要：核燃料サイクル開発機構 東海事業所 (1999)

付録 1 空気吹き込み塔（硝酸溶液）に対する HAZOP 解析

表 付 1.1 「硝酸溶液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量なし
考えられる原因	ポンプからの硝酸溶液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 ポンプの送液機能喪失 オリフィスの閉塞 圧空弁の故障 誤操作による圧空弁閉 中間貯送 LRC 誤設定による圧空弁閉 誤操作によるポンプの停止 圧縮空気系計装エア停止による圧空弁閉
起り得る影響	空気吹き込み塔への硝酸溶液流入なし

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量なし
考えられる原因	圧空弁からの硝酸溶液流入なし 圧空弁の故障 圧空弁のオリフィスの閉塞 配管の閉塞・破損 誤操作による圧空弁閉 ポンプの送液機能喪失 中間貯槽の内部液位低下 中間貯槽の故障 中間貯槽の出口部閉塞 中間貯槽の配管閉塞・破損 酸吸收塔の故障 酸吸收塔の配管の閉塞・破損 酸吸收塔の底部閉塞
起り得る影響	空気吹き込み塔への硝酸溶液流入なし

表 付 1.2 「硝酸溶液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量減少
考えられる原因	ポンプからの硝酸溶液流入減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 ポンプの送液機能喪失 フランジ等接続部からの硝酸溶液漏洩 オリフィスの閉塞 圧空弁の故障 圧縮空気系計装工ア圧力不足による圧空弁開度不足
起こり得る影響	空気吹き込み塔への硝酸溶液流入減少

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量減少
考えられる原因	圧空弁からの硝酸溶液流入減少 圧空弁の故障 圧空弁のオリフィスの閉塞 圧空弁の接続部からの漏洩 圧空弁開度不足 配管の部分的閉塞 配管の破損 誤操作による圧空弁閉 ポンプの送液機能喪失 中間貯槽の内部液位低下 中間貯槽の故障 中間貯槽の出口部閉塞 中間貯槽の配管閉塞・破損 酸吸収塔の故障 酸吸収塔の配管の閉塞・破損 酸吸収塔の底部閉塞
起こり得る影響	空気吹き込み塔への硝酸溶液流入減少

表 付 1.3 「硝酸溶液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量増加
考えられる原因	誤操作による圧空弁開けすぎ 中間貯槽 LRC 誤設定による圧空弁開けすぎ
起り得る影響	空気吹き込み塔への硝酸溶液流入量増加 空気吹き込み塔の液位上昇 空気吹き込み塔ペント系へのミスト移行量増加 中間貯槽液位低下または

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量増加
考えられる原因	誤操作による圧空弁開けすぎ 中間貯槽の内部液位上昇 硝酸溶液の流入量増加 ポンプの送液量増加
起り得る影響	空気吹き込み塔への硝酸溶液流入量増加 空気吹き込み塔の液位上昇 空気吹き込み塔ペント系へのミスト移行量増加

表 付 1.4 「硝酸溶液の濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の濃度低下
考えられる原因	ポンプからの濃度が低下した硝酸溶液の流入 加熱器からの配管の破損による蒸気凝縮器からの流入
起り得る影響	空気吹き込み塔への濃度が低下した硝酸溶液の流入 空気吹き込み塔ペント系の酸、放射性物質移行量低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の濃度低下
考えられる原因	圧空弁からの濃度が低下した硝酸溶液の流入 中間貯槽内部の硝酸溶液濃度低下 酸吸収塔の機能低下 冷却器出口部の部分的閉塞 冷却器での配管の閉塞・破損 冷却器の機能喪失 凝縮器での酸度低下 凝縮器出口部の部分的閉塞 凝縮器の機能喪失・低下 凝縮器の送液機能低下 凝縮器の内部温度上昇 凝縮器の配管部分的閉塞 溢流槽の底部閉塞 溢流槽の破損 溢流槽の内部液位減少 溢流槽の内部温度上昇 溢流槽の配管部分的閉塞 高放射性廃液蒸発缶の内部液位上昇
起り得る影響	空気吹き込み塔への濃度が低下した硝酸溶液の流入 空気吹き込み塔ペント系の酸、放射性物質移行量低下

表 付 1.5 「硝酸溶液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の濃度上昇
考えられる原因	ポンプからの濃度が低下した硝酸溶液の流入
起こり得る影響	空気吹き込み塔への濃度が上昇した硝酸溶液の流入 空気吹き込み塔ペント系の酸、放射性物質移行量増加

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の濃度上昇
考えられる原因	圧空弁からの濃度が低下した硝酸溶液の流入 中間貯槽での硝酸溶液濃度上昇
起こり得る影響	空気吹き込み塔への濃度が上昇した硝酸溶液の流入 空気吹き込み塔ペント系の酸、放射性物質移行量増加

表 付 1.6 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	ポンプからの不純物が混入した硝酸溶液流入
起こり得る影響	空気吹き込み塔への不純物が混入した硝酸溶液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	ポンプからの不純物が混入した硝酸溶液流入
起こり得る影響	空気吹き込み塔への不純物が混入した硝酸溶液流入 ポンプでの不純物の蓄積 中間貯槽での不純物の蓄積 酸吸収塔での不純物の蓄積

表 付 1.7 「硝酸溶液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の温度低下
考えられる原因	ポンプからの温度が低下した硝酸溶液流入 加熱器の機能低下
起こり得る影響	空気吹き込み塔へ温度が低下した硝酸溶液流入 空気吹き込み塔の温度低下 空気吹き込み塔の指示値低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の温度低下
考えられる原因	圧空弁からの温度が低下した硝酸溶液流入 中間貯槽での硝酸溶液温度減少 酸吸收塔の温度低下 酸吸收塔の配管の破損 凝縮器からのオフガスの流量減少 凝縮器のペント配管の閉塞 凝縮器の配管の破損 酸吸收塔の温度低下 酸吸收塔のペント配管の閉塞 酸吸收塔の機能喪失 酸吸收塔の配管の破損 酸吸收塔の配管の閉塞 溢流槽の配管の破損 溢流槽の配管の閉塞
起こり得る影響	空気吹き込み塔へ温度が低下した硝酸溶液流入 空気吹き込み塔の温度低下 空気吹き込み塔の指示値低下 酸吸收塔の温度低下 中間貯槽の温度低下

表 付 1.8 「硝酸溶液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の温度上昇
考えられる原因	ポンプからの温度が上昇した硝酸溶液流入 加熱器の機能向上
起こり得る影響	空気吹き込み塔へ温度が低下した硝酸溶液流入 空気吹き込み塔内硝酸溶液の温度上昇 空気吹き込み塔の指示値上昇 空気吹き込み塔ベント系のミストの移行量増加

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の温度上昇
考えられる原因	圧空系からの温度が上昇した硝酸溶液流入 中間貯槽の内部温度上昇 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔の内部温度上昇 溢流槽の内部温度上昇 溢流槽の機能喪失 溢流槽の液位低下 溢流槽の破損 凝縮器の内部温度上昇 凝縮器の送液機能低下・喪失 凝縮器の破損 凝縮器の硝酸溶液の酸度低下 冷却器の機能低下・喪失 高放射性廃液蒸発缶の内部液位減少
起こり得る影響	空気吹き込み塔へ温度が低下した硝酸溶液流入 空気吹き込み塔内硝酸溶液の温度上昇 空気吹き込み塔の指示値上昇 空気吹き込み塔ベント系のミストの移行量増加

付録2 ポンプ（硝酸溶液）に対する HAZOP 解析

表 付 2.1 「硝酸溶液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量なし
考えられる原因	中間貯槽からの硝酸溶液流入量なし 配管の閉塞 配管の破損 中間貯槽抜き出し配管の閉塞 中間貯槽本体の破損 中間貯槽の液位低下
起こり得る影響	ポンプへの硝酸溶液流入なし ポンプの空運転 ポンプの故障

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量なし
考えられる原因	中間貯槽からの硝酸溶液流入量なし 配管の閉塞 配管の破損 中間貯槽抜き出し配管の閉塞 中間貯槽本体の破損 中間貯槽の液位低下 酸吸収塔の配管の部分的閉塞 酸吸収塔本体の破損 酸吸収塔の底部閉塞 酸吸収塔の配管の破損
起こり得る影響	ポンプへの硝酸溶液流入なし ポンプの空運転

表 付 2.2 「硝酸溶液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量減少
考えられる原因	中間貯槽からの硝酸溶液流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 中間貯槽抜き出し配管の部分的閉塞
起こり得る影響	ポンプへの硝酸溶液流入減少

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量減少
考えられる原因	中間貯槽からの硝酸溶液流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 中間貯槽抜き出し配管の部分的閉塞 中間層の内部液位低下 酸吸収塔本体の故障 酸吸収塔の底部閉塞 酸吸収塔の配管の閉塞・破損
起こり得る影響	ポンプへの硝酸溶液流入減少

表 付 2.3 「硝酸溶液の濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の濃度低下
考えられる原因	中間貯槽からの濃度が低下した硝酸溶液流入
起り得る影響	ポンプへの濃度が低下した硝酸溶液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の濃度低下
考えられる原因	中間貯槽からの濃度が低下した硝酸溶液流入 中間貯槽内部の硝酸溶液の濃度低下 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔の配管の破損 冷却器の配管の部分的閉塞・破損 冷却器の機能喪失・低下 凝縮器の凝縮液の酸度低下 凝縮器の配管の部分的閉塞 凝縮器の送液機能喪失・低下 凝縮器本体の破損 凝縮器の内部温度上昇 溢流槽の配管の部分的閉塞 溢流槽本体の破損 溢流槽の内部の液位低下 溢流槽の底部閉塞 溢流槽の内部温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の内部液位上昇
起り得る影響	ポンプへの濃度が低下した硝酸溶液流入

表 付 2.4 「硝酸溶液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の濃度上昇
考えられる原因	中間貯槽からの濃度が上昇した硝酸溶液流入
起こり得る影響	ポンプへの濃度が上昇した硝酸溶液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の濃度上昇
考えられる原因	中間貯槽からの濃度が低下した硝酸溶液流入 中間貯槽内部の硝酸溶液の濃度低下
起こり得る影響	ポンプへの濃度が低下した硝酸溶液流入

表 付 2.5 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	中間貯槽からの不純物が混入した硝酸溶液流入
起こり得る影響	ポンプへの不純物が混入した硝酸溶液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	中間貯槽からの不純物が混入した硝酸溶液流入 中間貯槽内部の不純物の蓄積 酸吸収塔の不純物の蓄積
起こり得る影響	ポンプへの不純物が混入した硝酸溶液流入

表 付 2.6 「別物質の混入」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 の評価結果

「ずれ」	別純物の混入
考えられる原因	中間貯槽からのナトリウム塩が混入した硝酸溶液流入
起こり得る影響	ポンプへのナトリウム塩が混入した硝酸溶液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	別純物の混入
考えられる原因	中間貯槽からのナトリウム塩が混入した硝酸溶液流入 酸吸収塔から水酸化ナトリウムが混入した硝酸溶液流入
起こり得る影響	ポンプへのナトリウム塩が混入した硝酸溶液流入

表 付 2.7 「硝酸溶液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の温度低下
考えられる原因	中間貯槽からの温度が低下した硝酸溶液流入
起これ得る影響	ポンプへの温度が低下した硝酸溶液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の温度低下
考えられる原因	中間貯槽からの温度が低下した硝酸溶液流入 酸吸收塔の内部温度減少 酸吸收塔の配管の破損 凝縮器のペント配管からのオフガスの流量減少 凝縮器の配管の部分的閉塞・破損 空気吹き込み塔の内部温度減少 空気吹き込み塔の配管の部分的閉塞・破損 空気吹き込み塔本体の破損 溢流槽の配管の部分的閉塞・破損
起これ得る影響	ポンプへの温度が低下した硝酸溶液流入

表 付 2.8 「硝酸溶液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の温度上昇
考えられる原因	中間貯槽からの温度が上昇した硝酸溶液流入
起これ得る影響	ポンプへの温度が上昇した硝酸溶液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の温度上昇
考えられる原因	中間貯槽からの温度が上昇した硝酸溶液流入 酸吸收塔の内部温度上昇 酸吸收塔の機能喪失 冷却器の機能喪失・低下 凝縮器の凝縮液の酸度低下 凝縮器の内部温度上昇 溢流槽の内部液位減少 溢流槽の内部温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の内部液位低下
起これ得る影響	ポンプへの温度が上昇した硝酸溶液流入

付録 3 中間貯槽（硝酸溶液）に対する HAZOP 解析

表 付 3.1 「硝酸溶液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量なし
考えられる原因	ポンプからの硝酸溶液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 ポンプの送液機能喪失 故障による圧空弁の閉 誤操作による圧空弁閉 誤操作による手動弁閉 LIC 誤設定による圧空弁閉 ストレーナの閉塞 積算流量計の閉塞
起こり得る影響	中間貯槽への硝酸溶液流入なし 中間貯槽の液位低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量なし
考えられる原因	酸吸收塔からの硝酸溶液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 酸吸收塔本体の破損 酸吸收塔底部の閉塞
起こり得る影響	中間貯槽への硝酸溶液流入なし 中間貯槽の液位低下 ポンプの空運転

表 付 3.2 「硝酸溶液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量減少
考えられる原因	ポンプからの硝酸溶液流入減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 ポンプの送液機能低下 故障による圧空弁開度不足 誤操作による圧空弁開度不足 誤操作による手動弁開度不足 LIC 誤設定による圧空弁開度不足 ストレーナの部分的閉塞 フランジ等接続部からの硝酸溶液漏れ 積算流量計の部分的閉塞
起こり得る影響	中間貯槽への流入量減少 中間貯槽の液位低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	硝酸溶液の流量減少
考えられる原因	酸吸収塔からの硝酸溶液流入なし 配管の部分的閉塞 配管の破損 酸吸収塔本体の破損
起こり得る影響	中間貯槽への硝酸溶液流入なし 中間貯槽の液位低下 ポンプの空運転

表 付 3.3 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	ポンプからの不純物が混入した硝酸溶液流入
起こり得る影響	中間貯槽への不純物が混入した硝酸溶液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	酸吸収塔からの不純物が混入した硝酸溶液流入 酸吸収塔内部の不純物の蓄積
起こり得る影響	中間貯槽への不純物が混入した硝酸溶液流入

付録 4 酸吸收塔（凝縮液）に対する HAZOP 解析

表 付 4.1 「凝縮液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	冷却器からの凝縮液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 冷却器内部配管の閉塞
起こり得る影響	酸吸收塔への凝縮液流入なし 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔内凝縮液の濃度低下 酸吸收塔塔頂部と塔底部の差圧が小さくなる

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	冷却器からの凝縮液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 冷却器内部配管の閉塞 溢流槽本体の破損 溢流槽の内部液位低下 溢流槽の底部閉塞 溢流槽の配管の閉塞・破損 凝縮器本体の破損 凝縮器の送液機能喪失 凝縮器の配管の閉塞
起こり得る影響	酸吸收塔への凝縮液流入なし 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔内凝縮液の濃度低下 酸吸收塔塔頂部と塔底部の差圧が小さくなる 中間貯槽の内部温度上昇 中間貯槽の凝縮液の濃度低下

表 付 4.2 「凝縮液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	冷却器からの凝縮液流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 冷却器内部配管の部分的閉塞
起こり得る影響	酸吸收塔への凝縮液流入量減少 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔内凝縮液の濃度低下 酸吸收塔塔頂部と塔底部の差圧が小さくなる

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	冷却器からの凝縮液流入なし 配管の部分的閉塞 配管の破損 冷却器内部配管の部分的閉塞 溢流槽本体の破損 溢流槽の内部液位低下 溢流槽の底部部分的閉塞 溢流槽の配管の部分的閉塞・破損 凝縮器本体の破損 凝縮器の送液機能喪失 凝縮器の配管の部分的閉塞
起こり得る影響	酸吸收塔への凝縮液流入量減少 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔内凝縮液の濃度低下 酸吸收塔塔頂部と塔底部の差圧が小さくなる 中間貯槽の内部温度上昇 中間貯槽の凝縮液の濃度低下

表 付 4.3 「凝縮液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	冷却器からの凝縮液流入量増加
起こり得る影響	酸吸收塔への凝縮液流入量増加 酸吸收塔塔頂部と塔底部の差圧が大きくなる

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	冷却器からの凝縮液流入増加 溢流槽の内部液位上昇
起こり得る影響	酸吸收塔への凝縮液流入量増加 酸吸收塔塔頂部と塔底部の差圧が大きくなる

表 付 4.4 「凝縮液の濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	冷却器からの濃度が低下した凝縮液流入 冷却器内部配管の破損
起こり得る影響	酸吸收塔への濃度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	冷却器からの濃度が低下した凝縮液流入 冷却器内部配管の破損 溢流槽の内部の酸度低下 凝縮器の内部の窒素酸化物濃度低下 凝縮器の放射性物質濃度低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 気液分離器の底部の部分的閉塞 気液分離器の配管の閉塞 気液分離器本体の破損
起こり得る影響	酸吸收塔への濃度が低下した凝縮液流入

表 付 4.5 「凝縮液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	冷却器からの濃度が上昇した凝縮液流入
起こり得る影響	酸吸收塔への濃度が上昇した凝縮液流入 ベント配管への放射性物質移行量増加 硝酸の溶解量減による圧力上昇

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	冷却器からの濃度が上昇した凝縮液流入 溢流槽の内部の酸度上昇 凝縮器の内部の窒素酸化物濃度上昇 凝縮器の放射性物質濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶の負圧の低下 高放射性廃液蒸発缶の DF の低下 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の高放射性廃液の酸度上昇
起こり得る影響	酸吸收塔への濃度が上昇した凝縮液流入 ベント配管への放射性物質移行量増加 硝酸の溶解量減による圧力上昇

表 付 4.6 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	冷却器からの不純物が混入した凝縮液流入
起こり得る影響	酸吸收塔への不純物が混入した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	冷却器からの不純物が混入した硝酸溶液流入 冷却器内部の不純物の蓄積 溢流槽からのさびの流入 溢流槽内部の不純物の蓄積 凝縮器からのさびの流入 凝縮器内部の不純物の蓄積
起こり得る影響	酸吸收塔への不純物が混入した硝酸溶液流入

表 付 4.7 「別物質の混入」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 の評価結果

「ずれ」	別物質の混入
考えられる原因	冷却器からの水酸化ナトリウムおよびナトリウム塩が混入した凝縮液流入
起こり得る影響	酸吸收塔への水酸化ナトリウムおよびナトリウム塩が混入した凝縮液流入 酸吸收塔内凝縮液の酸度低下 酸吸收塔におけるナトリウム塩生成

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	別純物の混入
考えられる原因	冷却器からの別物質が混入した凝縮液流入 冷却器からの水酸化ナトリウム流入 溢流槽の出口部閉塞 溢流槽からの水酸化ナトリウム流入 凝縮器からの水酸化ナトリウム流入
起こり得る影響	酸吸收塔への別物質が混入した凝縮液流入 酸吸收塔内凝縮液の酸度低下 酸吸收塔におけるナトリウム塩生成

表 付 4.8 「凝縮液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	冷却器からの温度が低下した凝縮液流入 冷却器内部配管の破損
起り得る影響	酸吸收塔への温度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	冷却器からの温度が低下した凝縮液流入 冷却器内部配管の破損
起り得る影響	酸吸收塔への温度が低下した凝縮液流入 冷却器の配管破損 溢流槽の内部温度低下 凝縮器の内部温度低下 高放射性廃液蒸発缶の内部温度低下 高放射性廃液蒸発缶の配管の破損・閉塞 気液分離器の底部の部分的閉塞 気液分離器の配管の部分的閉塞 気液分離器本体の破損

表 付 4.9 「凝縮液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	冷却器からの温度が上昇した凝縮液流入 冷却器の機能喪失または低下
起こり得る影響	酸吸收塔への温度が上昇した凝縮液流入 酸吸收塔の機能低下 ベント配管への放射性物質移行量増加の可能性あり

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	冷却器からの温度が上昇した凝縮液流入 冷却器の機能喪失または低下 溢流槽の内部温度上昇 凝縮器の内部温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の内部液位増加
起こり得る影響	酸吸收塔への温度が上昇した凝縮液流入 酸吸收塔の機能低下 ベント配管への放射性物質移行量増加の可能性あり 中間貯槽の内部の硝酸溶液温度上昇 中間貯槽の内部の硝酸溶液濃度低下

付録 5 酸吸收塔（オフガス）に対する HAZOP 解析

表 付 5.1 「オフガスの流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量なし
考えられる原因	配管の閉塞 配管の破損 誤操作による手動弁閉
起こり得る影響	酸吸收塔へのオフガス流入なし 酸吸收塔内の温度低下 酸吸收塔内凝縮液の酸度低下 酸吸收塔内の負圧が変動する 酸吸收塔への空気が混入したオフガスの流入 当該配管に接続するペント配管へのオフガス逆流

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量なし
考えられる原因	中間貯槽からのオフガスの流入なし 配管の閉塞 配管の破損 高放射性廃液蒸発缶の配管の閉塞・破損 気液分離器の配管の閉塞・破損
起こり得る影響	酸吸收塔へのオフガス流入なし 酸吸收塔内の温度低下 酸吸收塔内凝縮液の酸度低下 酸吸收塔内の負圧が変動する 酸吸收塔への空気が混入したオフガスの流入 中間貯槽の内部の凝縮液温度低下

表 付 5.2 「オフガスの流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量減少
考えられる原因	凝縮器または溢流槽からのオフガスの流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 凝縮器または溢流槽ペント配管出口の閉塞または部分的閉塞 誤操作による手動弁開度不足 当該配管に接続するペント配管からのオフガス流入なしまたは流入量減少
起り得る影響	酸吸収塔へのオフガス流入量減少 酸吸収塔内の温度低下 酸吸収塔内凝縮液の酸度低下 酸吸収塔内の負圧が変動する 酸吸収塔への空気が混入したオフガスの流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量減少
考えられる原因	凝縮器からのオフガスの流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 凝縮器ペント配管出口の閉塞または部分的閉塞 高放射性廃液蒸発缶の配管の部分的閉塞・破損 気液分離器の配管の部分的閉塞・破損 気液分離器の底部閉塞 気液分離器本体の破損
起り得る影響	酸吸収塔へのオフガス流入なし 酸吸収塔内の温度低下 酸吸収塔内凝縮液の酸度低下 酸吸収塔内の負圧が変動する 酸吸収塔への空気が混入したオフガスの流入 中間貯槽の内部の凝縮液温度低下

表 付 5.3 「オフガスの流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量増加
考えられる原因	凝縮器または溢流槽からのオフガスの流入量増加 当該配管に接続するペント配管からのオフガス流入なしまたは流入量増加
起り得る影響	酸吸收塔へのオフガス流入量増加 酸吸收塔内の温度上昇 酸吸收塔内凝縮液の酸度上昇 酸吸收塔内の負圧が浅くなる

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量増加
考えられる原因	凝縮器からのオフガスの流入量増加 高放射性廃液蒸発缶の内部液位上昇
起り得る影響	酸吸收塔へのオフガス流入量増加 酸吸收塔内の温度上昇 酸吸收塔内凝縮液の酸度上昇 酸吸收塔内の負圧が浅くなる 酸吸收塔への空気が混入したオフガスの流入 中間貯槽の内部の凝縮液温度上昇

表 付 5.4 「オフガスの濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの濃度低下
考えられる原因	凝縮器または溢流槽からの濃度が低下したオフガス流入
起こり得る影響	酸吸收塔への濃度が低下したオフガス流入 酸吸收塔内洗浄液の酸度低下 酸吸收塔内の放射性物質濃度低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの濃度低下
考えられる原因	凝縮器からの濃度が低下したオフガス流入 凝縮液の窒素酸化物の濃度低下 凝縮液の放射性物質の濃度低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 気液分離器の底部閉塞 気液分離器の配管の部分的閉塞・閉塞 気液分離器本体の破損
起こり得る影響	酸吸收塔への濃度が低下したオフガス流入 酸吸收塔内洗浄液の酸度低下 酸吸收塔内の放射性物質濃度低下

表 付 5.5 「オフガスの濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの濃度上昇
考えられる原因	凝縮器または溢流槽からの濃度が上昇したオフガス流入
起こり得る影響	酸吸收塔への濃度が上昇したオフガス流入 酸吸收塔内洗浄液の酸度上昇 酸吸收塔内の放射性物質濃度上昇

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの濃度上昇
考えられる原因	凝縮器からの濃度が上昇したオフガス流入 凝縮液の窒素酸化物の濃度上昇 凝縮液の放射性物質の濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶の負圧が浅くなる 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液の濃度増加
起こり得る影響	酸吸收塔への濃度が低下したオフガス流入 酸吸收塔内洗浄液の酸度上昇 酸吸收塔内の放射性物質濃度上昇

付録 6 冷却器（凝縮液）に対する HAZOP 解析

表 付 6.1 「凝縮液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 溢流槽凝縮液出口部の閉塞 溢流槽本体の破損 溢流槽の液位低下
起こり得る影響	冷却器への凝縮液流入なし

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入なし 溢流槽の内部の枯渇 溢流槽本体の破損 溢流槽の液位低下 溢流槽の底部閉塞 溢流槽の配管の閉塞・破損 凝縮器本体の故障 凝縮器の配管の閉塞・破損 凝縮器の送液機能喪失
起こり得る影響	冷却器への凝縮液流入なし 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔内部の凝縮液濃度減少 酸吸收塔塔頂部と底部の差圧減少 中間貯槽内の凝縮液温度上昇 中間貯槽内の凝縮液濃度減少

表 付 6.2 「凝縮液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 溢流槽凝縮液出口部の部分的閉塞 溢流槽本体の破損
起こり得る影響	冷却器への凝縮液流入減少

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入減少 溢流槽本体の破損 溢流槽の液位低下 溢流槽の底部部分的閉塞 溢流槽の配管の部分的閉塞・破損 凝縮器の凝縮液酸度低下 凝縮器本体の故障 凝縮器の配管の部分的閉塞・破損 凝縮器の送液機能喪失
起こり得る影響	冷却器への凝縮液流入量減少 酸吸収塔の機能低下 酸吸収塔内部の凝縮液濃度減少 酸吸収塔塔頂部と底部の差圧減少 中間貯槽内の凝縮液温度上昇 中間貯槽内の凝縮液濃度減少

表 付 6.3 「凝縮液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入増加
起これ得る影響	冷却器への凝縮液流入増加

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入増加 溢流槽の液位上昇
起これ得る影響	冷却器への凝縮液流入量増加 酸吸収塔塔頂部と底部の差圧増加

表 付 6.4 「凝縮液の濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	溢流槽からの濃度が低下した凝縮液流入
起これ得る影響	冷却器への濃度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	溢流槽からの濃度が低下した凝縮液流入 溢流槽内の酸度減少 凝縮器内の窒素酸化物濃度減少 凝縮器内の放射性物質濃度減少 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度減少 気液分離器の底部閉塞 気液分離器本体の破損 気液分離器の配管の部分的閉塞・破損
起これ得る影響	冷却器への濃度が低下した凝縮液流入

表 付 6.5 「凝縮液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	溢流槽からの濃度が上昇した凝縮液流入
起り得る影響	冷却器への濃度が上昇した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	溢流槽からの濃度が上昇した凝縮液流入 溢流槽内の酸度上昇 凝縮器内の窒素酸化物濃度上昇 凝縮器内の放射性物質濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶の負圧減少 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇
起り得る影響	冷却器への濃度が上昇した凝縮液流入 酸吸收塔のペント配管からの放射性物質移行量の増加 酸吸收塔での硝酸の溶解量減による圧力減少

表 付 6.6 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	溢流槽からの不純物が混入した凝縮液流入
起り得る影響	冷却器への不純物が混入した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	溢流槽からの不純物が混入した凝縮液流入 溢流槽からのさびが混入した凝縮液流入 溢流槽内部の不純物の蓄積 凝縮液からのさびが混入した凝縮液流入 凝縮器内部の不純物の蓄積
起り得る影響	冷却器への不純物が混入した凝縮液流入

表 付 6.7 「別物質の混入」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 の評価結果

「ずれ」	別物質の混入
考えられる原因	溢流槽からの水酸化ナトリウムおよびナトリウム塩が混入した凝縮液流入
起こり得る影響	冷却器への水酸化ナトリウムおよびナトリウム塩が混入した凝縮液流入 冷却器内凝縮液の酸度低下 冷却器におけるナトリウム塩生成

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	別物質の混入
考えられる原因	溢流槽からの別物質が混入した凝縮液流入 溢流槽の出口部閉塞 溢流槽からの水酸化ナトリウム流入 凝縮器からの水酸化ナトリウム流入
起こり得る影響	冷却器への水酸化ナトリウムおよびナトリウム塩が混入した凝縮液流入 冷却器内凝縮液の酸度低下 冷却器におけるナトリウム塩生成

表 付 6.8 「凝縮液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	溢水槽からの温度が低下した凝縮液流入
起こり得る影響	冷却器への温度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	溢水槽からの温度が低下した凝縮液流入 溢水槽の内部温度減少 凝縮器の内部温度減少 高放射性廃液蒸発缶の内部液位低下 高放射性廃液蒸発缶の配管の部分的閉塞・破損 気液分離器の配管の部分的閉塞・破損 気液分離器本体の破損 気液分離器の底部の閉塞 気液分離器のオリフィスの部分的閉塞
起こり得る影響	冷却器への温度が低下した凝縮液流入

表 付 6.9 「凝縮液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	溢水槽からの温度が上昇した凝縮液流入
起こり得る影響	冷却器への温度が上昇した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	溢水槽からの温度が上昇した凝縮液流入 溢水槽の内部温度上昇 凝縮器の内部温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の内部液位上昇
起こり得る影響	冷却器への温度が上昇した凝縮液流入 酸吸収塔のペント配管への放射性物質移行量増加 酸吸収塔の機能低下 中間貯槽内の硝酸溶液温度増加 中間貯槽内の硝酸溶液液位減少

付録7 溢流槽（凝縮液）に対する HAZOP 解析

表 付 7.1 「凝縮液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	凝縮器からの凝縮液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 凝縮器凝縮液出口部の閉塞 凝縮器本体の破損 凝縮器の機能喪失
起こり得る影響	溢流槽への凝縮液流入なし

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	凝縮器からの凝縮液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 凝縮器凝縮液出口部の閉塞 凝縮器本体の破損 凝縮器の機能喪失
起こり得る影響	溢流槽への凝縮液流入なし 酸吸収塔の機能低下 酸吸収塔内の凝縮液濃度減少 酸吸収塔塔頂部と底部の圧力差減少 中間貯槽内の硝酸溶液温度上昇 中間貯槽内の硝酸溶液濃度減少 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶塔頂部と底部の圧力差減少 高放射性廃液蒸発缶のDF低下 高放射性廃液蒸発缶の全還流運転不可能 凝縮器の温度減少

表 付 7.2 「凝縮液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	凝縮器からの凝縮液流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 凝縮器凝縮液出口部の部分的閉塞 凝縮器本体の破損 凝縮器の機能低下
起り得る影響	溢流槽への凝縮液流入量減少

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	凝縮器からの凝縮液流入減少 凝縮器の凝縮液酸度減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 凝縮器凝縮液出口部の部分的閉塞 凝縮器本体の破損 凝縮器の機能低下
起り得る影響	溢流槽への凝縮液流入量減少 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔内の凝縮液濃度減少 酸吸收塔塔頂部と底部の圧力差減少 中間貯槽内の硝酸溶液温度上昇 中間貯槽内の硝酸溶液濃度減少 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶塔頂部と底部の圧力差減少 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 凝縮器の温度減少

表 付 7.3 「凝縮液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	凝縮器からの凝縮液流入量増加
起こう得る影響	溢流槽への凝縮液流入量増加 溢流槽の液位上昇

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	凝縮器からの凝縮液流入量増加
起こう得る影響	溢流槽への凝縮液流入量増加 溢流槽の液位減少 電導度計ポット送液機能低下 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔内の凝縮液濃度減少 酸吸收塔塔頂部と底部の圧力差減増加 中間貯槽内の硝酸溶液温度上昇 中間貯槽内の硝酸溶液濃度減少 高放射性廃液蒸発缶の液位増加 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶塔頂部と底部の圧力差増加 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の全還流運転不可能 凝縮器の温度減少 凝縮器の温度減少

表 付 7.4 「凝縮液の濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	凝縮器からの濃度が低下した凝縮液流入 凝縮器内冷却チューブの破損
起り得る影響	溢流槽への濃度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	凝縮器からの濃度が低下した凝縮液流入 凝縮器の窒素酸化物濃度低下 凝縮器の放射性物質濃度低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度減少 気液分離器の底部閉塞 気液分離器の配管の閉塞・破損 気液分離器本体の破損
起り得る影響	溢流槽への濃度が低下した凝縮液流入

表 付 7.5 「凝縮液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	凝縮器からの濃度が上昇した凝縮液流入
起り得る影響	溢流槽への濃度が上昇した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	凝縮器からの濃度が上昇した凝縮液流入 凝縮器の窒素酸化物濃度上昇 凝縮器の放射性物質濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶の負圧の減少 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液の酸度上昇
起り得る影響	溢流槽への濃度が上昇した凝縮液流入 酸吸收塔のペント配管への放射性移行量増加 酸吸收塔での硝酸の溶解量減による圧力減少

表 付 7.6 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	凝縮器からの不純物が混入した凝縮液流入 凝縮器からの鋸が混入した凝縮液流入
起こり得る影響	溢流槽への不純物が混入した凝縮液流入 溢流槽への鋸が混入した凝縮液流入 溢流槽での鋸の残留 溢流槽底部抜き出し配管の閉塞または部分的閉塞

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	凝縮器からの不純物が混入した凝縮液流入 凝縮器からの鋸が混入した凝縮液流入 凝縮器内の鋸の蓄積
起こり得る影響	溢流槽への不純物が混入した凝縮液流入 溢流槽への鋸が混入した凝縮液流入 溢流槽での鋸の残留 溢流槽底部抜き出し配管の閉塞または部分的閉塞 電導度計の内部またはパイプへの鋸の残留

表 付 7.7 「凝縮液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	凝縮器からの温度が低下した凝縮液流入 凝縮器内冷却チューブの破損
起こり得る影響	溢流槽への温度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	凝縮器からの温度が低下した凝縮液流入 凝縮器内の温度減少 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶の配管の閉塞・破損 気液分離器の底部閉塞、気液分離器本体の破損 気液分離器の配管の閉塞・破損 気液分離器のオリフィス閉塞

表 付 7.8 「凝縮液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	凝縮器からの温度が上昇した凝縮液流入
起り得る影響	溢流槽への温度が上昇した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	凝縮器からの温度が上昇した凝縮液流入 凝縮器内の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の液位増加
起り得る影響	溢流槽への温度が上昇した凝縮液流入 酸吸收塔のペント配管への放射性物質移行量増加 酸吸收塔の機能低下 中間貯槽の硝酸溶液温度上昇 中間貯槽の硝酸溶液濃度減少 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液温度増加 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発

付録 8 電導度計ポット（凝縮液）に対する HAZOP 解析

表 付 8.1 「凝縮液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入なし 配管の閉塞, 配管の破損 溢流槽底部抜き出し口の閉塞 溢流槽の破損 溢流槽の枯渇 誤操作による手動弁閉 誤操作によるバイパス手動弁閉
起り得る影響	電導度計ポットへの凝縮液流入なし 電導度計ポットの機能喪失

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入なし 配管の閉塞, 配管の破損 溢流槽底部抜き出し口の閉塞 溢流槽の破損 溢流槽の枯渇 凝縮器本体の破損 凝縮器の配管の閉塞・破損 凝縮液の送液機能低下
起り得る影響	電導度計ポットへの凝縮液流入なし 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶塔頂部と底部の圧力減少 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の全還流運転不可能 凝縮器内の温度減少 酸吸收塔内の凝縮液酸度低下 酸吸收塔の負圧の変化 酸吸收塔内の温度低下 中間貯槽内の硝酸溶液温度減少

表 付 8.2 「凝縮液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 溢流槽底部抜き出し口の閉塞 溢流槽の破損 誤操作による手動弁開度不足 誤操作によるバイパス手動弁閉
起こり得る影響	電導度計ポットへの凝縮液流入量減少

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入量減少 溢流槽底部抜き出し口の閉塞 溢流槽の破損 溢流槽の液位低下 凝縮器の凝縮液酸度減少 凝縮器本体の破損 凝縮器の配管の閉塞・破損 凝縮液の送液機能低下
起こり得る影響	電導度計ポットへの凝縮液流入量減少 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶塔頂部と底部の圧力減少 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 凝縮器内の温度減少 酸吸收塔内の凝縮液酸度低下 酸吸收塔の負圧の変化 酸吸收塔への空気の混入したオフガスの流入 酸吸收塔内の温度低下 中間貯槽内の硝酸溶液温度減少

表 付 8.3 「凝縮液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入量増加
起こり得る影響	電導度計ポットへの凝縮液流入量増加

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	溢流槽からの凝縮液流入量増加 溢流槽の液位上昇
起こり得る影響	電導度計ポットへの凝縮液流入量増加 電導度計ポット送液機能低下 高放射性廃液蒸発缶の液位増加 高放射性廃液蒸発缶塔頂部と底部の圧力増加 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶塔頂部と底部の圧力減少 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の全還流運転不可能 凝縮器内の温度減少 凝縮器内の温度上昇 酸吸收塔内の凝縮液酸度低下 酸吸收塔の負圧の変化 酸吸收塔への空気の混入したオフガスの流入 酸吸收塔内の温度低下 酸吸收塔の凝縮液酸度増加 酸吸收塔内の温度増加 酸吸收塔のペント配管への放射性物質移行量増加 酸吸收塔の機能低下 中間貯槽内の硝酸溶液温度減少 中間貯槽内の硝酸溶液濃度減少 中間貯槽内の硝酸溶液温度上昇

表 付 8.4 「凝縮液の濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	溢流槽からの濃度が低下した凝縮液流入
起り得る影響	電導度計ポットへの濃度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	溢流槽からの濃度が低下した凝縮液流入 溢流槽内の酸度低下 凝縮器の窒素酸化物濃度低下 凝縮器の放射性物質濃度低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度減少 気液分離器の底部部分的閉塞 気液分離器の配管の閉塞・破損 気液分離器本体の破損
起り得る影響	電導度計ポットへの濃度が低下した凝縮液流入

表 付 8.5 「凝縮液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	溢流槽からの濃度が上昇した凝縮液流入
起り得る影響	電導度計ポットへの濃度が上昇した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	溢流槽からの濃度が上昇した凝縮液流入 溢流槽内の酸度上昇 凝縮器の窒素酸化物濃度上昇 凝縮器の放射性物質濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶の負圧の減少 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇 気液分離器の底部部分的閉塞 気液分離器の配管の閉塞・破損, 気液分離器本体の破損
起り得る影響	電導度計ポットへの濃度が上昇した凝縮液流入

表 付 8.6 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	溢流槽からの不純物が混入した凝縮液流入 溢流槽からの錆が混入した凝縮液流入
起こり得る影響	電導度計ポットへの不純物が混入した凝縮液流入 電導度計ポット CR の指示値変動の可能性あり 電導度計ポットへの錆が混入した凝縮液混入 電導度計ポット内および当該配管への錆の残留

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	溢流槽からの不純物が混入した凝縮液流入 溢流槽からの錆が混入した凝縮液流入 溢流槽内の不純物蓄積 凝縮器からの錆が混入した凝縮液流入 凝縮機内の不純物蓄積
起こり得る影響	電導度計ポットへの不純物が混入した凝縮液流入 電導度計ポット CR の指示値変動の可能性あり 電導度計ポット内および当該配管への錆の残留 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の液位減少

表 付 8.7 「凝縮液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	溢流槽からの温度が低下した凝縮液流入
起り得る影響	電導度計ポットへの温度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	溢流槽からの温度が低下した凝縮液流入 凝縮器の温度低下 凝縮器の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の配管の閉塞・破損 気液分離器の底部閉塞 気液分離器本体の破損 気液分離器の配管の閉塞・破損 気液分離器のオリフィスの閉塞
起り得る影響	電導度計ポットへの温度が低下した凝縮液流入 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液温度低下

表 付 8.8 「凝縮液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	溢流槽からの温度が上昇した凝縮液流入
起り得る影響	電導度計ポットへの温度が上昇した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	溢流槽からの温度が上昇した凝縮液流入 凝縮器の温度上昇 凝縮器の液位上昇
起り得る影響	電導度計ポットへの温度が上昇した凝縮液流入 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液温度上昇 高放射性廃液の火災・爆発

付録9 凝縮器（オフガス）に対する HAZOP 解析

表 付 9.1 「オフガスの流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量なし
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からのオフガス流入なし 配管の閉塞 配管の破損
起これ得る影響	凝縮器へのオフガス流入なし 凝縮機内の温度低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量なし
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からのオフガス流入なし 配管の閉塞 配管の破損 気液分離器の配管の破損・閉塞
起これ得る影響	凝縮器へのオフガス流入なし 凝縮機内の温度低下 酸吸収塔の凝縮液酸度低下 酸吸収塔の負圧変化 酸吸収塔への空気の混入したオフガスの流入 酸吸収塔内の温度低下 中間貯槽の硝酸溶液温度低下

表 付 9.2 「オフガスの流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量減少
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からのオフガス流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損
起こり得る影響	凝縮器へのオフガス流入量減少 凝縮器内の温度低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量減少
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からのオフガス流入なし 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 配管の閉塞 配管の破損 気液分離器の配管の破損・閉塞 気液分離器の底部の閉塞 気液分離器の底部閉塞 気液分離器のオリフィス閉塞
起こり得る影響	凝縮器へのオフガス流入量減少 凝縮器内の温度低下 酸吸收塔の凝縮液酸度低下 酸吸收塔の負圧変化 酸吸收塔への空気の混入したオフガスの流入 酸吸收塔内の温度低下 中間貯槽の硝酸溶液温度低下

表 付 9.3 「オフガスの流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量増加
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からのオフガス流入量増加
起こり得る影響	凝縮器へのオフガス流入量増加 凝縮器内の温度上昇

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量増加
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からのオフガス流入量増加 高放射性廃液蒸発缶の液位上昇
起こり得る影響	凝縮器へのオフガス流入量増加 凝縮器内の温度上昇 酸吸收塔の凝縮液酸度上昇 酸吸收塔内の温度上昇 酸吸收塔のベント配管への放射性物質移行量の増加 酸吸收塔本体の機能低下 中間貯槽の硝酸溶液温度上昇 中間貯槽の硝酸溶液濃度減少 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液温度上昇 高放射性廃液の火災・爆発の可能性

表 付 9.4 「オフガスの濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの濃度低下
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からの窒素酸化物濃度が低下したオフガス流入
起り得る影響	凝縮器への窒素酸化物濃度が低下したオフガス流入 凝縮器内の酸度低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの濃度低下
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶から濃度が低下したオフガス流入 高放射性廃液の濃縮廃液の酸度低下 気液分離器の底部閉塞 気液分離器の配管の閉塞・破損 気液分離器本体の破損
起り得る影響	凝縮器への濃度が低下したオフガス流入 凝縮器内の酸度低下 凝縮器内の放射性物質濃度低下 凝縮機内の窒素酸化物濃度低下 酸吸收塔の浄水の酸度低下 酸吸收塔の放射性物質濃度低下

表 付 9.5 「オフガスの濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの濃度上昇
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からの窒素酸化物濃度が上昇したオフガス流入
起これ得る影響	凝縮器への窒素酸化物濃度が上昇したオフガス流入 凝縮器内の酸度上昇

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの濃度上昇
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶から濃度が低下したオフガス流入 高放射性廃液蒸発缶の負圧の低下 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液の濃縮廃液の酸度上昇 気液分離器の底部閉塞 気液分離器の配管の閉塞・破損 気液分離器本体の破損 気液分離器のオリフィスの閉塞
起これ得る影響	凝縮器への濃度が上昇したオフガス流入 凝縮器内の放射性物質濃度増加 凝縮機内の窒素酸化物濃度増加 凝縮機内の水素濃度増加 凝縮機内の酸度上昇 酸吸收塔のベント配管への放射性物質の移行量増加 酸吸收塔での硝酸の溶解量減による圧力減少 酸吸收塔の浄水の酸度上昇 酸吸收塔の放射性物質濃度上昇

表 付 9.6 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からの不純物が混入したオフガス流入
起こり得る影響	凝縮器への不純物が混入したオフガス流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶からの不純物が混入したオフガス流入 高放射性廃液蒸発缶の不純物の蓄積
起こり得る影響	凝縮器への不純物が混入したオフガス流入

表 付 9.7 「オフガスの温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの温度低下
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶から温度が低下したオフガス流入
起こり得る影響	凝縮器への温度が低下したオフガス流入 凝縮液発生量減少

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの温度低下
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶から温度が低下したオフガス流入
起こり得る影響	凝縮器への温度が低下したオフガス流入 凝縮器の凝縮液酸度減少 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔の凝縮液濃度低下 酸吸收塔塔頂部と底部の圧力減少 中間貯槽の凝縮液温度上昇 中間貯槽の凝縮液濃度低下 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶塔頂部と底部の圧力減少 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下

表 付 9.8 「オフガスの温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの温度上昇
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶から温度が上昇したオフガス流入
起これ得る影響	凝縮器への温度が上昇したオフガス流入 凝縮液発生量変動

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの温度上昇
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶から温度が上昇したオフガス流入
起これ得る影響	凝縮器への温度が上昇したオフガス流入 凝縮器の凝縮液酸度変動

付録 10 空気分離器（高放射性廃液）に対する HAZOP 解析

表 付 10.1 「高放射性廃液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量なし
考えられる原因	エアリフトからの高放射性廃液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 エアリフト内部の閉塞 エアリフト本体の破損
起こう得る影響	気液分離器への高放射性廃液流入なし 気液分離器への圧縮空気流入なし

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量なし
考えられる原因	エアリフトからの高放射性廃液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 エアリフト内部の閉塞 エアリフト本体の破損 エアリフトの送液機能喪失 吸水槽配管の閉塞・破損 圧空弁の閉塞・破損 圧縮空気系からの圧縮空気流量減少
起こう得る影響	気液分離器への高放射性廃液流入なし 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶ホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶でホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発

表 付 10.2 「高放射性廃液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量減少
考えられる原因	エアリフトからの高放射性廃液流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 エアリフト内部の部分的閉塞 エアリフト本体の破損
起こり得る影響	気液分離器への高放射性廃液流入量減少 気液分離器への圧縮空気流入量減少 気液分離器への圧縮空気流入量増加

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量減少
考えられる原因	エアリフトからの高放射性廃液流入量減少 配管の閉塞 配管の破損 エアリフト内部の部分的閉塞 エアリフト本体の破損 エアリフトの送液機能喪失 吸水槽配管の部分的閉塞・破損 圧空弁の部分的閉塞・破損 圧空弁からの圧縮空気の流量減少
起こり得る影響	気液分離器への高放射性廃液流入量減少 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶ホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶でホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発

表 付 10.3 「高放射性廃液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量増加
考えられる原因	エアリフトからの高放射性廃液流入量増加
起こり得る影響	気液分離器への高放射性廃液流入量増加 気液分離器への圧縮空気流入量増加 気液分離器気相部へのミスト移行量増加

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量増加
考えられる原因	エアリフトからの高放射性廃液流入量増加 エアリフトの送液機能向上 吸水槽の液位上昇 圧空弁からの圧縮空気流量増加 圧空弁の開けすぎ
起こり得る影響	気液分離器への高放射性廃液流入量増加 気液分離器気相部へのミスト移行量増加 高放射性廃液蒸発缶の液位上昇 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇 凝縮器の放射性物質濃度上昇 凝縮器の窒素酸化物濃度上昇 凝縮器の水素濃度上昇 凝縮器の酸度上昇 凝縮器の温度上昇 酸吸收塔の凝縮液酸度上昇 酸吸收塔の温度上昇 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔のベント配管への放射性物質移行量増加 酸吸收塔の硝酸の溶解量減による圧力増加 酸吸收塔の放射性物質濃度上昇 中間貯槽の凝縮液温度上昇 中間貯槽の凝縮液濃度上昇

表 付 10.4 「高放射性廃液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の濃度上昇
考えられる原因	エアリフトからの濃度が上昇した高放射性廃液流入
起こり得る影響	気液分離器への濃度が上昇した高放射性廃液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の濃度上昇
考えられる原因	エアリフトからの濃度が上昇した高放射性廃液流入 吸水槽の濃縮廃液酸度上昇
起こり得る影響	気液分離器への濃度が上昇した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶内の加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内の腐食 高放射性廃液蒸発缶の放射性物質量増加 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の水素発生量増加 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発

表 付 10.5 「高放射性廃液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度低下
考えられる原因	エアリフトからの温度が低下した高放射性廃液流入
起こり得る影響	気液分離器への温度が低下した高放射性廃液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度低下
考えられる原因	エアリフトからの温度が低下した高放射性廃液流入 吸水槽の濃縮廃液温度減少
起こり得る影響	気液分離器への温度が低下した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶の冷却水流入による液位上昇 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液温度低下

表 付 10.6 「高放射性廃液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度上昇
考えられる原因	エアリフトからの温度が上昇した高放射性廃液流入
起こり得る影響	気液分離器への温度が上昇した高放射性廃液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度上昇
考えられる原因	エアリフトからの温度が上昇した高放射性廃液流入 吸水槽の濃縮廃液温度上昇
起こり得る影響	気液分離器への温度が上昇した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

付録 11 エアリフト（圧縮空気）に対する HAZOP 解析

表 付 11.1 「圧縮空気の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	圧縮空気の流量なし
考えられる原因	圧縮空気系からの圧縮空気流入なし 配管の閉塞、配管の破損 ストレーナの閉塞 オリフィスの閉塞 圧空弁の故障 誤操作による手動弁閉 誤操作による圧空弁閉 FRC 誤設定による圧空弁閉 スナップスイッチ誤操作による圧空弁閉 圧縮空気系計装エア停止による圧空弁閉
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入なし エアリフトの送液機能喪失

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	圧縮空気の流量なし
考えられる原因	圧縮空気系からの圧縮空気流入なし 配管の閉塞、配管の破損 オリフィスの閉塞 圧空弁の故障 誤操作による圧空弁閉 FRC 誤設定による圧空弁閉
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入なし エアリフトの送液機能喪失 高放射性廃液蒸発缶の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶でのホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 11.2 「圧縮空気の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	圧縮空気の流量減少
考えられる原因	圧縮空気系からの圧縮空気流入量減少 配管の部分的閉塞、配管の破損 ストレーナの部分的閉塞 フランジ等接続部からの圧縮空気漏れ オリフィスの部分的閉塞 圧空弁の故障 誤操作による手動弁開度不足 誤操作による圧空弁開度不足 FRC 誤設定による圧空弁開度不足 圧縮空気系計装工ア停止による圧空弁開度不足
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入量減少 エアリフトの送液機能低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	圧縮空気の流量減少
考えられる原因	圧縮空気系からの圧縮空気流入量減少 配管の部分的閉塞、配管の破損 接続部からの圧縮空気漏れ オリフィスの部分的閉塞 圧空弁の故障 誤操作による手動弁開度不足 誤操作による圧空弁開度不足 FRC 誤設定による圧空弁開度不足 クイック誤接続
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入量減少 エアリフトの送液機能低下 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶でのホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 11.3 「圧縮空気の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	圧縮空気の流量増加
考えられる原因	圧縮空気系からの圧縮空気流入量増加 圧空弁の故障 誤操作によるバイパス弁開 誤操作による圧空弁開け過ぎ FRC 誤設定による圧空弁開け過ぎ
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入量増加 エアリフトの送液機能向上 エアリフトの送液機能低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	圧縮空気の流量増加
考えられる原因	圧縮空気系からの圧縮空気流入量増加 誤操作によるバイパス弁開 誤操作による圧空弁開けすぎ 圧空弁のクイック誤接続
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入量増加 エアリフトの送液機能向上 エアリフトの送液機能低下 空気分離器での気液面へのミスト移行量増加 高放射性廃液蒸発缶の液位減少 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の酸度低下 高放射性廃液蒸発缶内のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶内の異常反応 高放射性廃液蒸発缶内の突沸 高放射性廃液蒸発缶内の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶内の酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶内でのホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶内の液位増加 高放射性廃液蒸発缶での爆発・火災の可能性

表 付 11.4 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	圧縮空気系からの機械油が混入した圧縮空気流入
起こり得る影響	エアリフトへの機械油が混入した圧縮空気流入 圧空弁固着によるエアリフトの送液機能喪失

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	圧縮空気系からの不純物が混入した圧縮空気流入
起こり得る影響	エアリフトへの不純物が混入した圧縮空気流入 エアリフトの送液機能喪失

表 付 11.5 「別物質の混入」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 の評価結果

「ずれ」	別物質の混入
考えられる原因	誤操作によるアルカリ張り込み配管からの純水混入 誤操作による水酸化ナトリウム混入 誤操作による高放射性廃液および蒸気流入
起こり得る影響	エアリフトへの純水が混入した圧縮空気流入 エアリフトへの圧縮空気流入量減少 エアリフトの送液機能低下 水酸化ナトリウム供給容器への圧縮空気流入による作業区域へ水酸化ナトリウム飛散 エアリフトの圧縮空気配管への高放射性廃液および蒸気流入 エアリフトへの圧縮空気流入なし 作業区域への線量上昇

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	別物質の混入
考えられる原因	圧縮空気系からの別物質が混入した圧縮空気流入 圧空弁のクイック誤接続
起こり得る影響	エアリフトへの別物質が混入した圧縮空気流入 エアリフトの純水の送液機能低下 エアリフトへの水酸化ナトリウムの送液機能低下 作業区域へ水酸化ナトリウム飛散 作業区域への線量増加 エアリフトでの臨界の可能性

付録 12 エアリフト（高放射性廃液）に対する HAZOP 解析

表 付 12.1 「高放射性廃液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量なし
考えられる原因	プライミングポットからの高放射性廃液流入なし プライミングポットの枯渇 配管の閉塞 配管の破損 プライミングポット本体の破損
起り得る影響	エアリフトへの高放射性廃液流入なし エアリフトの送液機能喪失

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量なし
考えられる原因	プライミングポットからの高放射性廃液流入なし プライミングポットの液位減少 配管の閉塞 配管の破損 プライミングポット本体の破損 気液分離器本体の破損 気液分離器底部の閉塞 気液分離器の配管の閉塞・破損
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入なし エアリフトの送液機能喪失 高放射性廃液蒸発缶の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶でのホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 12.2 「高放射性廃液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量減少
考えられる原因	プライミングポットからの高放射性廃液流入量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 プライミングポット本体の破損
起こり得る影響	エアリフトへの高放射性廃液流入量減少 エアリフトの送液機能低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量減少
考えられる原因	プライミングポットからの高放射性廃液流入量減少 プライミングポットの液位減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 プライミングポット本体の破損 気液分離器本体の破損 気液分離器底部の部分的閉塞 気液分離器の配管の部分的閉塞・破損
起こり得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入量減少 エアリフトの送液機能低下 高放射性廃液蒸発缶の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶でのホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 12.3 「高放射性廃液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量増加
考えられる原因	プライミングポットからの高放射性廃液流入量増加
起り得る影響	エアリフトへの高放射性廃液流入量増加

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量増加
考えられる原因	プライミングポットからの高放射性廃液流入量増加 プライミングポットの液位上昇
起り得る影響	エアリフトへの圧縮空気流入量増加 気液分離器の気液面へのミスト移行量増加 高放射性廃液蒸発缶の液位上昇 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇 凝縮器の放射性物質濃度上昇 凝縮器の窒素酸化物濃度上昇 凝縮器の水素濃度上昇 凝縮器の酸度上昇 凝縮器の温度上昇 酸吸収塔の温度上昇 酸吸収塔の機能低下 酸吸収塔のベント配管への放射性物質移行量増加 酸吸収塔の硝酸の溶解量減による圧力増加 酸吸収塔の冷却水の酸度上昇 酸吸収塔の放射性物質濃度上昇 中間貯槽の硝酸溶液温度上昇 中間貯槽の硝酸溶液濃度低下

表 付 12.4 「高放射性廃液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の濃度上昇
考えられる原因	プライミングポットからの濃度が上昇した高放射性廃液流入
起こり得る影響	エアリフトへの濃度が上昇した高放射性廃液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の濃度上昇
考えられる原因	プライミングポットからの濃度が上昇した高放射性廃液流入 プライミングポットの濃縮廃液の酸度上昇
起こり得る影響	エアリフトへの濃度が上昇した圧縮空気流入 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶の加熱コイルの腐食 高放射性廃液蒸発缶の腐食 高放射性廃液蒸発缶の放射性物質量増加 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の水素発生量増加 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 12.5 「高放射性廃液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度低下
考えられる原因	プライミングポットからの温度が低下した高放射性廃液流入
起こり得る影響	エアリフトへの温度が低下した高放射性廃液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度低下
考えられる原因	プライミングポットからの温度が低下した高放射性廃液流入 プライミングポットの濃縮廃液の温度低下
起こり得る影響	エアリフトへの温度が低下した圧縮空気流入 高放射性廃液蒸発缶へ冷却水流入のため液位増加 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液の温度低下

表 付 12.6 「高放射性廃液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度上昇
考えられる原因	プライミングポットからの温度が上昇した高放射性廃液流入
起り得る影響	エアリフトへの温度が上昇した高放射性廃液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度上昇
考えられる原因	プライミングポットからの温度が上昇した高放射性廃液流入 プライミングポットの濃縮廃液の温度上昇
起り得る影響	エアリフトへの温度が上昇した圧縮空気流入 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

付録 13 高放射性廃液蒸発缶（高放射性廃液）に対する HAZOP 解析

表 付 13.1 「高放射性廃液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量なし
考えられる原因	気液分離器からの高放射性廃液流入なし 配管の閉塞、配管の破損 気液分離器下部の閉塞、気液分離器本体の破損
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶への高放射性廃液流入なし 高放射性廃液蒸発缶の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶のDF 低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量なし
考えられる原因	気液分離器からの高放射性廃液流入なし 配管の閉塞、配管の破損 気液分離器下部の閉塞、気液分離器本体の破損 エアリフト内部の閉塞、エアリフト本体の破損 エアリフトの配管の閉塞・破損、エアリフトの送液機能喪失 吸水槽の液位減少、吸水槽本体の故障 吸水槽の配管の閉塞・破損 圧空弁の閉塞・破損、圧空弁からの圧縮空気流量なし 誤操作による圧空弁閉 FRC 誤設定による圧空弁閉
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶への高放射性廃液流入なし 高放射性廃液蒸発缶の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応、高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶のDF 低下 高放射性廃液蒸発缶でホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 13.2 「高放射性廃液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量減少
考えられる原因	気液分離器からの高放射性廃液流入量減少 配管の部分的閉塞、配管の破損 気液分離器下部の部分的閉塞、気液分離器本体の破損
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶への高放射性廃液流入量減少 高放射性廃液蒸発缶の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応、高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量減少
考えられる原因	気液分離器からの高放射性廃液流入量減少 配管の部分的閉塞、配管の破損 気液分離器下部の部分的閉塞、気液分離器本体の破損 エアリフト内部の部分的閉塞、エアリフト本体の破損 エアリフトの配管の部分的閉塞・破損、エアリフトの送液機能喪低下 吸水槽の液位減少、吸水槽本体の故障 吸水槽の配管の部分的閉塞・破損 圧空弁の部分的閉塞・破損、圧空弁からの圧縮空気流量減少 圧空弁の接続部からの漏れ 誤操作による圧空弁開度不足 FRC 誤設定による圧空弁開度不足 誤操作による圧空弁開け過ぎ FRC 誤設定による圧空弁開け過ぎ
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶への高放射性廃液流入量減少 高放射性廃液蒸発缶の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶のホルムアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶の異常反応 高放射性廃液蒸発缶の突沸 高放射性廃液蒸発缶の DF 低下 高放射性廃液蒸発缶でホルマリンガス発生 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 13.3 「高放射性廃液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量増加
考えられる原因	気液分離器からの高放射性廃液流入量増加
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶への高放射性廃液流入量増加 高放射性廃液蒸発缶の液位上昇 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の流量増加
考えられる原因	気液分離器からの高放射性廃液流入量増加 エアリフトの送液機能喪向上 吸水槽の液位上昇 吸水槽本体の故障 圧空弁の部分的閉塞・破損 圧空弁からの圧縮空気流量増加 手動弁のクイック誤接続 誤操作による圧空弁開け過ぎ FRC 誤設定による圧空弁開け過ぎ
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶への高放射性廃液流入量減増加 高放射性廃液蒸発缶の液位上昇 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇 凝縮器の放射性物質濃度上昇 凝縮器の窒素酸化物濃度上昇 凝縮器の水素濃度上昇 凝縮器の酸度上昇 凝縮器の温度上昇 酸吸收塔の凝縮液酸度上昇 凝縮器の温度上昇 凝縮器の機能低下 凝縮器のペント配管への放射性物質移行量増加 酸吸收塔の硝酸の溶解量減による圧力増加 酸吸收塔での浄水の酸度上昇 酸吸收塔の放射性物質濃度上昇 中間貯槽の硝酸溶液温度上昇 中間貯槽の硝酸溶液濃度低下

表 付 13.4 「高放射性廃液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の濃度上昇
考えられる原因	気液分離器からの濃度が上昇した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶への濃度が上昇した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内の腐食による故障 放射性物質移行量増加 高放射性廃液蒸発缶濃縮廃液の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶内の水素発生量増加の可能性あり

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の濃度上昇
考えられる原因	気液分離器からの濃度が上昇した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液酸度上昇
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が上昇した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の濃度上昇 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内の腐食による故障 放射性物質移行量増加 高放射性廃液蒸発缶濃縮廃液の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶内の水素発生量増加の可能性あり 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 13.5 「高放射性廃液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度低下
考えられる原因	気液分離器からの温度が低下した高放射性廃液流入 冷却用ジャケットパイプと配管間の破損による冷却水混入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への温度が低下した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶への冷却用ジャケットパイプからの冷却水混入による液位上昇 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度低下
考えられる原因	気液分離器からの温度が低下した高放射性廃液流入 吸水槽の濃縮廃液温度低下
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への温度が低下した高放射性廃液流入 高放射性廃液蒸発缶への冷却水混入による液位上昇 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液の温度低下

表 付 13.6 「高放射性廃液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度上昇
考えられる原因	気液分離器からの温度が上昇した高放射性廃液流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への温度が上昇した高放射性廃液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	高放射性廃液の温度上昇
考えられる原因	気液分離器からの温度が上昇した高放射性廃液流入 吸水槽の濃縮廃液温度上昇
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への温度が上昇した高放射性廃液流入 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の火災・爆発の可能性

付録 14 高放射性廃液蒸発缶（ホルマリン）に対する HAZOP 解析

表 付 14.1 「ホルマリンの流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	ホルマリン溶液の流量なし
考えられる原因	気液分離器からのホルマリン溶液流入なし 配管の閉塞 配管の破損 流量計の破損 圧空弁の破損 誤操作による手動弁閉 圧縮空気系からの計装工ア停止による圧空弁閉
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液流入なし 高放射性廃液蒸発缶の硝酸分解反応なし 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濃縮廃液の酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイル腐食による故障

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	ホルマリン溶液の流量なし
考えられる原因	気液分離器からのホルマリン溶液流入なし 圧空弁の破損 配管の破損 オリフィスの閉塞 誤操作による圧空弁閉 FRC 誤設定による圧空弁閉
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液流入なし 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濃縮廃液の酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイル腐食による故障 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 14.2 「ホルマリンの流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	ホルマリン溶液の流量減少
考えられる原因	気液分離器からのホルマリン溶液流入減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 フランジ等接続部からのホルマリン溶液漏れ 圧空弁の故障 誤操作による手動弁開度不足
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液流入量減少 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濃縮廃液の酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイル腐食による故障

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	ホルマリン溶液の流量減少
考えられる原因	気液分離器からのホルマリン溶液流入量減少 圧空弁の破損 配管の接続部からの漏れ 配管の破損 オリフィスの部分的閉塞 誤操作による圧空弁開度不足 FRC 誤設定による圧空弁開度不足
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液流入量減少 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濃縮廃液の酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイルの腐食進行 高放射性廃液蒸発缶内加熱コイル腐食による故障 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 14.3 「ホルマリンの流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	ホルマリン溶液の流量増加
考えられる原因	気液分離器からのホルマリン溶液流入増加 誤操作による手動弁開け過ぎ 誤操作によるバイパス弁開
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液流入量増加 高放射性廃液蒸発缶内のアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶内の異常反応 高放射性廃液蒸発缶内の突沸 高放射性廃液蒸発缶内の DF 低下 窒素酸化物の発生量増加 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液酸度低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	ホルマリン溶液の流量増加
考えられる原因	気液分離器からのホルマリン溶液流入増加 誤操作による手動弁開け過ぎ FRC 誤設定による圧空弁開け過ぎ
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶へのホルマリン溶液流入量増加 高放射性廃液蒸発缶内のアルデヒド蓄積 高放射性廃液蒸発缶内の異常反応 高放射性廃液蒸発缶内の突沸 高放射性廃液蒸発缶内の DF 低下 窒素酸化物の発生量増加 高放射性廃液蒸発缶内濃縮廃液酸度低下 高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性

表 付 14.4 「ホルマリンの濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	ホルマリン溶液の濃度低下
考えられる原因	冷却用ジャケットパイプと配管間の破損による冷却水混入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が低下したホルマリン溶液流入 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 冷却水が流入したことにより反応速度が遅くなる可能性あり

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	ホルマリン溶液の濃度低下
考えられる原因	圧空弁からの濃度が低下したホルマリン溶液の流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が低下したホルマリン溶液流入

付録 15 高放射性廃液蒸発缶（凝縮液）に対する HAZOP 解析

表 付 15.1 「凝縮液の流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	電導度計ポットからの凝縮液流量なし 配管の閉塞、配管の破損、誤操作による圧空弁閉 計装用圧空計装エア停止による圧空弁閉 電導度計Oリングの破損による空気流入
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶への凝縮液流入量なし 高放射性廃液蒸発缶の全還流運転不可能 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と塔頂部の差圧が小さくなる 高放射性廃液蒸発缶のスクラップ液流入量なしによるD F低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量なし
考えられる原因	凝縮器の送液機能喪失、凝縮器の配管の破損、閉塞 凝縮器の本体の破損、凝縮器での凝縮液の発生量低下 溢流槽内の液位低下、溢流槽内の配管の破損、閉塞、 溢流槽の出口部の閉塞、溢流槽の底部の閉塞 溢流槽内の液位増加、溢流槽内の枯渇、溢流槽の本体の破損 電導度計ポット内の配管の破損、閉塞 手動弁のクイック誤接続、誤操作による手動弁閉 手動弁の破損、閉塞、オリフィスプレートの閉塞 圧空弁の接続部からの漏洩、圧空弁の破損
起り得る影響	中間貯槽内の硝酸溶液の温度低下 酸吸收塔内の温度低下 酸吸收塔に空気の混入したオフガスの流入 酸吸收塔内の負圧の変化、酸吸收塔内の凝縮液の酸度低下 凝縮器内の温度低下 高放射性廃液蒸発缶への凝縮液流入量なし 高放射性廃液蒸発缶内の液位低下 高放射性廃液蒸発缶の全還流運転不可能 高放射性廃液蒸発缶内と塔頂部の差圧が小さくなる 高放射性廃液蒸発缶のスクラップ液流入量なしによるD F低下

表 付 15.2 「凝縮液の流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	電導度計ポットからの凝縮液流量減少 配管の部分的閉塞 配管の破損 フランジ等接続部からのオフガス凝縮液漏洩 誤操作による圧空弁開度不足 計装用圧空計装エア圧力不足による圧空弁開度不足 電導度計Oリングの破損による空気流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への凝縮液流入量減少 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と塔頂部の差圧が小さくなる 高放射性廃液蒸発缶のスクラップ液流入量減少によるD F低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量減少
考えられる原因	凝縮器の送液機能低下、凝縮器の配管の破損、部分的閉塞 凝縮器の本体の破損、凝縮器での凝縮液の発生量低下 溢流槽内の液位低下、溢流槽内の配管の破損、閉塞、部分的閉塞 溢流槽の出口部の部分的閉塞、溢流槽の底部の部分的閉塞 溢流槽内の液位増加、溢流槽の本体の破損 電導度計ポット内の配管の破損、部分的閉塞 手動弁のクイック誤接続、誤操作による手動弁の開度不足 手動弁の破損、部分的閉塞、オリフィスの部分的閉塞 圧空弁の接続部からの漏洩、圧空弁の破損
起こり得る影響	中間貯槽内の硝酸溶液の温度低下 酸吸收塔内の温度低下 酸吸收塔に空気の混入したオフガスの流入 酸吸收塔内の負圧の変化 酸吸收塔内の凝縮液の酸度低下 凝縮器内の温度低下 高放射性廃液蒸発缶への凝縮液流入量減少 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と塔頂部の差圧が小さくなる 高放射性廃液蒸発缶のスクラップ液流入量減少によるD F低下

表 付 15.3 「凝縮液の流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	電導度計ポットからの凝縮液流入量増加 誤操作による圧空弁開けすぎ
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への凝縮液流入量増加 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と塔頂部の差圧が大きくなる

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の流量増加
考えられる原因	電導度計ポットからの凝縮液流入量増加 誤操作による圧空弁開けすぎ 溢流槽内の液位の増加 クイック誤接続による流量増加 手動弁からの凝縮液の流量増加
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の温度上昇 中間貯槽内の硝酸溶液の濃度低下 中間貯槽内の硝酸溶液の温度上昇 酸吸收塔の本体機能の低下 酸吸收塔内の放射性物質のベント配管への移行量増加 酸吸收塔内の温度上昇 酸吸收塔内の負圧が浅くなる 酸吸收塔内の凝縮液の酸度上昇 凝縮器内の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶への凝縮液流入量増加 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と塔頂部の差圧が大きくなる

表 付 15.4 「凝縮液の濃度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	電導度計ポットからの濃度が低下した凝縮液流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が低下した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度低下
考えられる原因	空気分離器の配管の破損、閉塞、部分的閉塞 空気分離器の底部の閉塞、部分的閉塞、空気分離器の本体の破損 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の酸度低下 高放射性廃液蒸発缶内の突沸、D F 低下 高放射性廃液蒸発缶の計装用エアの供給停止 高放射性廃液蒸発缶内の負圧の供給量なし、低下 凝縮器内の放射性物質の濃度上昇、凝縮器内の窒素酸化物の濃度上昇 手動弁からの凝縮液の濃度上昇
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が低下した凝縮液流入

表 付 15.5 「凝縮液の濃度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	電導度計ポットからの濃度が上昇した凝縮液流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が上昇した凝縮液流入

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の濃度上昇
考えられる原因	空気分離器のオリフィスの閉塞、部分的閉塞 空気分離器の配管の破損、閉塞、部分的閉塞 空気分離器の底部の閉塞、部分的閉塞、空気分離器の本体の破損 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の酸度上昇 高放射性廃液蒸発缶内の突沸、D F 低下 凝縮器内の放射性物質の濃度低下、凝縮器内の窒素酸化物の濃度低下 溢流槽内の酸度の低下 手動弁からの凝縮液の濃度低下
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への濃度が上昇した凝縮液流入

表 付 15.6 「不純物の混入」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 の評価結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	電導度計ポットから錆の混入した凝縮液流入
起こり得る影響	不純物が混入した凝縮液流入 D F低下 錆が混入した凝縮液流入 錆による高放射性廃液蒸発缶の部分的閉塞 D F低下 配管の閉塞または部分的閉塞による高放射性廃液蒸発缶内の液位低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	不純物の混入
考えられる原因	凝縮器内に不純物の蓄積 凝縮器から錆の混入した凝縮液流入 溢流槽内に不純物の蓄積 溢流槽から錆の混入した凝縮液流入 電導度計ポット内に不純物の蓄積 電導度計ポットから錆の混入した凝縮液流入 手動弁から不純物の混入した凝縮液混入
起こり得る影響	機械油の場合、高放射性廃液蒸発缶内のD F低下 錆の場合、高放射性廃液蒸発缶内の液位の低下、D F低下 高放射性廃液蒸発缶に不純物が混入した凝縮液流入

表 付 15.7 「凝縮液の温度低下」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	電導度計ポットからの温度が低下した凝縮液流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への温度が低下した凝縮液流入 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の温度低下

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度低下
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶の配管の破損 高放射性廃液蒸発缶の配管の閉塞 高放射性廃液蒸発缶のペント系出口の閉塞 高放射性廃液蒸発缶の配管の部分的閉塞 高放射性廃液蒸発缶のペント系出口の部分的閉塞 高放射性廃液蒸発缶内の液位増加 凝縮器内の温度低下 溢流槽内の温度低下
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への温度が低下した凝縮液流入 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の温度低下

表 付 15.8 「凝縮液の温度上昇」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 の評価結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	電導度計ポットからの温度が上昇した凝縮液流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶への温度が上昇した凝縮液流入 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の温度上昇

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	凝縮液の温度上昇
考えられる原因	高放射性廃液蒸発缶内の液位増加 凝縮器の内部の温度上昇 溢流槽の内部の温度上昇 手動弁からの温度が上昇した凝縮液流入
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶の火災・爆発の可能性 高放射性廃液蒸発缶内の濃縮廃液の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶の凝縮液の温度上昇

付録 16 高放射性廃液蒸発缶（オフガス）に対する HAZOP 解析

表 付 16.1 「オフガスの流量なし」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量なし
考えられる原因	空気分離器からのオフガスの流量なし 配管の破損 配管の閉塞 空気分離器のペント系出口の部分的閉塞 空気分離器の高放射性廃液入口の部分的閉塞
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶内および塔頂部の負圧が浅くなる

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量なし
考えられる原因	空気分離器からのオフガスの流量なし 配管の破損 配管の閉塞
起こり得る影響	中間貯槽の内部の硝酸溶液温度低下 酸吸収塔の内部の温度低下 酸吸収塔へ空気が混入したオフガスの流入 酸吸収塔の内部の負圧の変化 酸吸収塔の内部の凝縮液酸度低下 凝縮器の内部の温度低下 高放射性廃液蒸発缶内および塔頂部の負圧が深くなる 高放射性廃液蒸発缶へのオフガスの流量なし

表 付 16.2 「オフガスの流量増加」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量増加
考えられる原因	空気分離器からのオフガスの流量増加
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶内および塔頂部の負圧が浅くなる 高放射性廃液蒸発缶へのミスト移行量増加

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量増加
考えられる原因	空気分離器からのオフガスの流量増加
起り得る影響	高放射性廃液蒸発缶での火災・爆発の可能性 高放射性廃液蒸発缶の濃縮廃液の温度上昇 中間貯槽の内部の硝酸溶液濃度低下 中間貯槽の内部の硝酸溶液温度上昇 酸吸收塔の機能低下 酸吸收塔内の放射性物質のペント配管への移行量増加 酸吸收塔の内部温度の低下 酸吸收塔の内部の負圧が浅くなる 酸吸收塔の内部の凝縮液酸度増加 凝縮器の内部の温度上昇 高放射性廃液蒸発缶内および塔頂部の負圧が浅くなる 高放射性廃液蒸発缶へのミスト移行量増加 高放射性廃液蒸発缶へのオフガスの流量増加

表 付 16.3 「オフガスの流量減少」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 の評価結果

「ずれ」	オフガスの流量減少
考えられる原因	空気分離器の配管の部分的閉塞 空気分離器の配管の閉塞 空気分離器からのオフガスの流量減少 空気分離器のベント系出口の部分的閉塞 空気分離器の高放射性廃液入口の部分的閉塞
起こり得る影響	高放射性廃液蒸発缶内および塔頂部の負圧が深くなる 高放射性廃液蒸発缶へオフガスの流量減少

(b) 本システムによる HAZOP 自動解析結果

「ずれ」	オフガスの流量減少
考えられる原因	空気分離器の配管の部分的閉塞 空気分離器の配管の閉塞 空気分離器からのオフガスの流量減少
起こり得る影響	中間貯槽の内部の硝酸溶液温度低下 酸吸收塔の内部の温度低下 酸吸收塔へ空気が混入したオフガスの流入 酸吸收塔の内部の負圧の変化 酸吸收塔の内部の凝縮液酸度低下 凝縮器の内部の温度低下 高放射性廃液蒸発缶内および塔頂部の負圧が深くなる 高放射性廃液蒸発缶へオフガスの流量減少