

北九州 P C B 廃棄物処理施設（第 1 期）の
安全解析の概要

目 次

	頁
【解析 1：問題点の抽出 / 改善】	1
1 . 1 HAZOP 分析	1
1 . 2 リスク軽減策の検討	3
【解析 2：ハザードの定量化】	5
2 . 1 イベントツリー解析	5
事例 1 . 混合気の燃焼	5
事例 2 . 気体状 PCB の漏洩	7
2 . 2 日常点検・保全管理の効果について	8
2 . 3 ハザードの定量化のまとめ	8
【解析 3：定性的な評価】	16

表 一 覧

表 1 想定シナリオおよび安全設計に反映したリスク軽減策	4
表 2 混合気燃焼のイベントツリー分岐確率	11
表 3 気体状 PCB 漏洩のイベントツリー分岐確率	12
表 4 施設外に影響を及ぼし得るハザードのイベントツリー解析結果	15

図 一 覧

図 1 HAZOPでのノード分けの例	2
図 2 液処理設備 後処理槽における混合気燃焼のイベントツリー	13
図 3 設備高レベル排気の排気設備 気体状 PCB 漏洩のイベントツリー	14

次の手順に従って安全解析を実施した。

【解析 1：問題点の抽出 / 改善】

化学プラントの安全解析手法である HAZOP を実施（一部 FMEA を実施）。約 520 頁にわたる HAZOP シートから、ハザードに至る可能性のある想定シナリオを抽出。

ハザードに至る可能性のある想定シナリオの中から、工学的にみて極めて発生し難いか、あるいは物理現象として生じにくいと考えられるものをスクリーニングにより抽出し除外。

スクリーニングの結果残ったハザードに至る可能性のある想定シナリオについて、確率論的解析手法である FTA や ETA で、発生頻度を把握。

発生頻度の高い想定シナリオについては、その回避・軽減対策を基本設計内容に反映させ改善。

【解析 2：ハザードの定量化】

解析 1 の結果を受けて、重要なハザードについてその進展性を考察。

施設外へ影響を及ぼす＜混合気の燃焼＞＜PCB 漏洩＞のハザードについてその発生頻度を FTA や ETA により定量化。

【解析 3：定性的な評価】

受入及び手作業・機械作業の多い抜油・解体については、「What-if」解析手法により施設への影響・問題点を抽出し、現状の対策を評価し不足があれば改善。

以下に各解析の概要を示す。

【解析 1：問題点の抽出 / 改善】

1.1 HAZOP 分析

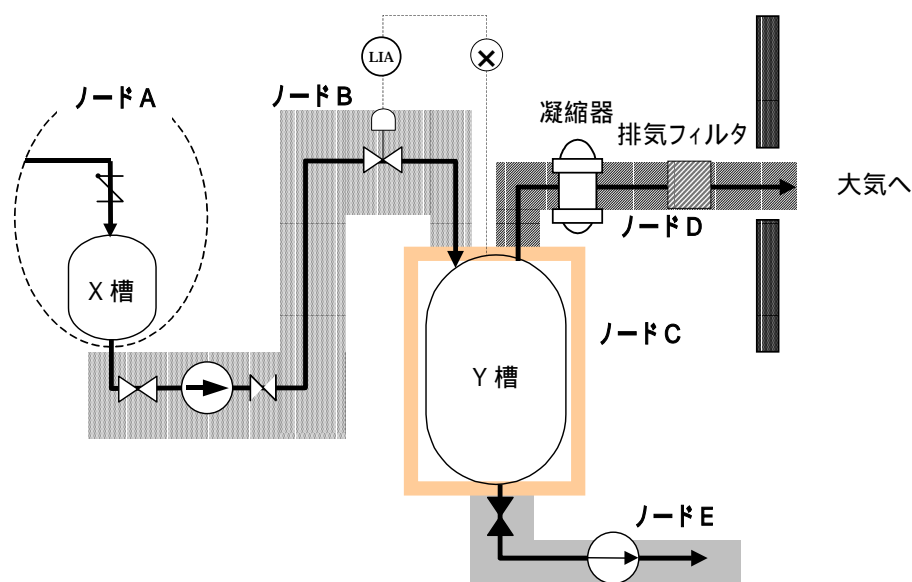
定性的リスク評価手法の一つである HAZOP (HAZard & Operability study) 手法を用いて、システムの異常な状態を想定することでハザードを抽出し、これに至るシーケンス（想定シナリオ）を同定した。

HAZOP では、配管計装図に従って図 1 に示すように、プラントを構成するプロセスライン、構成設備の機能を考慮し分析対象範囲に区分し（これをスタディノードと称する、以下ノードという）各々のノードについてパラメータ（流量、温度、圧力、液位など）が正常状態からずれた（増加、減少など）ことを想定し、そのずれの原因を特定するとともに、ずれが発生した際の設備の安全性に及ぼす影響を定性的に評価する。本 HAZOP 分析では、設備全体に渡ってずれの想定、ずれが発生したときの設備への影響分析をシステムの・網羅的に実施しており潜在危険性を漏れなく洗い出すことができたといえる。

なお、一般的に行われている HAZOP では、現状講じられている安全対策を HAZOP シートに記載し、不十分であればプロセス設計や運転への反映が記載される。HAZOP のみに基づく解析ではこのような手順が必要であるが、本安全解析では HAZOP で摘出された想定シナリオについて定量的評価を行い、その上で改善した場合の効果を定量的に把握することが特徴である。そのため、改善効果の高いところに対策が打てる。

HAZOP を実施した結果、4 種類のハザード（混合気の燃焼、排気ラインへの PCB 油オーバーフロー、建屋外気体状 PCB 漏洩、建屋内 PCB 油漏洩）に至る可能性がある想定シナリオが摘出された。

なお、ユーティリティ設備内での不具合が、各設備にどのような影響を及ぼすかについては、FMEA(Failure Mode & Effect Analysis)で評価した。



- ノード A : 上流からの供給ラインおよび X 槽本体
- ノード B : X 槽 / Y 槽間の移送ライン
- ノード C : Y 槽本体
- ノード D : Y 槽からの排気処理ライン（凝縮器、排気フィルタを含む）
- ノード E : Y 槽からの移送ライン

図 1 HAZOPでのノード分けの例

1.2 リスク軽減策の検討

約520頁にわたるHAZOPシートから、4種類のハザード(混合気の燃焼、排気ラインへのPCB油オーバーフロー、建屋外気体状PCB漏洩、建屋内PCB油漏洩)に至る可能性のある想定シナリオを抽出し、その想定シナリオの中から、工学的にみて極めて発生し難いか、あるいは物理現象として生じにくいと考えられるものをスクリーニングして除外した。

スクリーニングの結果残ったハザードに至る可能性のある想定シナリオについて発生頻度の定量的な一次評価を行い、その中からハザードの発生頻度が比較的高い想定シナリオについて、リスクの軽減策を検討した。この時、例えば真空加熱分離装置における混合気の燃焼に関して言えば、真空バウンダリを構成する弁の出口に閉止フランジを設置し、さらに排気ラインからの空気の逆流を防止するためにブリザー弁を設置する等により、混合気燃焼の引き金事象の中でこれらが支配的ではなくなったものについては、これ以降の検討から除外した。

ハザードに至る可能性のある想定シナリオと、安全設計に反映したリスク軽減策を表1に示す。

なお、一般的にリスクは、ハザードの「発生頻度」と「影響の程度」の組み合わせで表される。従って、リスクの軽減策はその両面から考えることができるが、ここでは発生そのものをできるだけ回避する観点から、発生頻度に絞って検討した。

表１ 想定シナリオおよび安全設計に反映したリスク軽減策

	対象設備	想定シナリオ	安全設計・運用に反映したリスク軽減策
混合気の燃焼	液処理設備	反応槽での廃 PCB 油・廃洗浄油処理や、後処理槽での SD 剤処理において、処理済み液を排出弁の開閉操作で重力差を利用した排出や、後処理油払い出しポンプにて排出する際に、窒素供給ラインが閉塞していると、減圧により排気ラインから空気が流入し、水素との混合気が形成される。これに着火すると混合気が燃焼する。	
	溶剤蒸留回収装置	分離塔において、真空ポンプ戻りライン弁が誤開し、かつ、真空ポンプが停止すると、排気ラインから空気が流入し、分離塔で引火点以上の溶剤との混合気が形成される。これに着火すると混合気が燃焼する。[精留塔も同様]	
		窒素供給弁が誤閉した状態で、洗浄後溶剤受槽が空になると、排気ラインから空気が流入し、分離塔で引火点以上の溶剤との混合気が形成される。これに着火すると混合気が燃焼する。[精留塔も同様]	
		加熱器伝熱管破損に伴い、分離塔内に高圧スチームが流入することで、分離塔が過圧破損し、引火点以上の溶剤が建屋内へ流出する。これに着火すると混合気が燃焼する。[精留塔も同様]	高圧スチームが流入した場合の分離塔（精留塔）の過圧破損を防ぐため、スチームラインに圧力調整弁及び逃がし弁を設置。
	洗浄装置	洗浄槽の出口弁が誤開すると、空気が流入し、洗浄装置内で引火点以上の溶剤との混合気が形成される。これに着火すると混合気が燃焼する。	排気ライン弁の単一故障による、洗浄槽へ空気の引き込みを阻止するため、洗浄時に更にもう一つの排気ラインの弁も閉止。
	真空加熱分離装置	ヒーター制御やサーマルオイルシステムの故障によるＯリングの過熱破損等により、真空バウダリーが破れ、空気が流入し、気化ガスとの混合気を形成し発火する。 用役設備である冷却設備の故障によるサーマルオイルの冷却不全でＯリングが過熱破損し、真空バウダリーが破れ、空気が流入し、気化ガスとの混合気を形成し発火する。	Ｏリング等の過熱破損による空気の流入を防止するため、温度高によるヒーター停止のインタロックを追加。ドレン弁のリークによる炉内への空気の流入を防ぐため、弁出口に閉止板を設置。 予備ポンプおよび高置水槽への切替え弁の機能確認を毎月実施。
排気ラインへの PCB 油 オーバーフロー	液処理設備	トランス油、廃洗浄油、等の移送時に、液位センサや弁・ポンプの故障で受入れ側の槽がオーバーフローし、PCB 油が排気ラインへ入る。排気ラインを経由して建屋外へ PCB が漏洩する可能性がある。	PCB 貯槽から液処理設備への油移送に関して、廃洗浄油受槽への移送ライン上に設置される積算流量計を用いて、移送量の計測を多重化。
建屋外 気体状 PCB 漏洩	液処理設備	オイルスクラバのポンプ停止により、気体状 PCB の捕集能力が低下する。	流量計を故障時に信号を保持しないタイプに変更。
		用役設備である冷却設備の故障に伴い、スクラバ循環オイルの冷却機能が低下し、冷却機能不全で、気体状 PCB の凝集能力が低下する。	予備ポンプおよび高置水槽への切替え弁の機能確認を毎月実施。
	溶剤蒸留回収装置	用役設備である冷却設備の故障に伴い、排気ラインの凝縮器の冷却機能が低下し、気体状 PCB の凝集能力が低下する。	
	真空加熱分離装置	冷却設備であるチラーの故障により、オイルシャワーの冷却ができなくなり、気体状 PCB の凝集能力が低下する。	
建屋内 PCB 油漏洩	溶剤蒸留回収装置	排気設備（設備高レベル排気、グローブボックス排気等）でスクラバポンプが故障すると、気体状 PCB の捕集能力が低下する。	ポンプ流量を常時監視。 （流量計は、故障時に信号を保持しないタイプを使用）
		加熱器伝熱管破損に伴い、分離塔内に高圧スチームが流入することで、分離塔が過圧破損し、引火点以上の溶剤が建屋内へ流出する。これに着火すると混合気が燃焼する。[精留塔も同様]	高圧スチームが流入した場合の分離塔（精留塔）の過圧破損を防ぐため、スチームラインに圧力調整弁及び逃がし弁を設置。
	真空加熱分離装置	粗洗浄対象機器および洗浄装置への溶剤移送に伴い、洗浄溶剤がオーバーフローし、PCB 油と共に建屋内へ溢流する。 ドレン弁からのリークにより PCB 油が漏洩する。	 ドレン弁のリークによる PCB 油漏洩を防ぐため、弁出口に閉止板を設置。

【解析 2：ハザードの定量化】

[解析 1] の結果を受けて、施設外へ影響を及ぼし得るハザード（混合気の燃焼、排気ラインへの PCB 油オーバーフロー、建屋外気体状 PCB 漏洩）について、イベントツリー解析を行うことにより、年当たりの発生頻度を求めた。

ここで、建屋内 PCB 油漏洩については、仮に漏洩が発生しても、オイルパンや防油堤といったセーフティネットによって建屋外への漏洩が防止されるため、検討から除外した。

2.1 イベントツリー解析

イベントツリー解析では、異常事象の引き金となる事象（起因事象）あるいはバッチプロセスの開始を基点に、安全機能の成否や、プラントの状態変化を考慮することで、想定シナリオの発生頻度を定量評価した。すなわち、起因事象を基点に、安全計装の作動／不作動、アラームに基づくオペレーター操作による異常事象回避の成功／失敗等を分岐として組み合わせることで、異常事象に至るシーケンスを同定し、また、各分岐の失敗側確率を計算することで、異常事象の発生頻度を算定した。なお、分岐確率の算定では、必要に応じてフォールトツリー解析等を実施した。

混合気の燃焼および気体状 PCB の漏洩について、イベントツリー解析の実例を示す。

実例 1．混合気の燃焼

図 2 に、液処理設備「後処理槽における混合気の燃焼」に係るイベントツリーを示す。また、表 2 に、このイベントツリーに対応する分岐確率を示す。このイベントツリーは、HAZOP で抽出された想定シナリオの 1 つに対応し、年当たりの発生頻度を評価したものである。

想定シナリオは次の通りである。

「後処理槽での SD 分解処理において、処理済み油の移送時に窒素供給ラインが閉塞していると、排気ラインから空気が流入し、水素ガスとの混合気が形成される。これに着火すると混合気が燃焼する。」

このシナリオでは、窒素供給ラインのストレーナ閉塞が、異常事象につながる主要な原因の一つである。しかし、ストレーナが閉塞すれば、後処理槽の圧力モニタリングで検出されるため、圧力計が健全であればリスクが回避できる。但し、SD 分解処理後、ろ過待受槽への処理済み油の移送時にストレーナが閉塞すれば、排気ラインから空気を引き込み混合気の形成へと進展する。

排気ラインから流入した空気は、シールボットを破り後処理槽へと進入するが、ライン上に設置された酸素検知器の少なくともひとつがこれを検知すれば、シャットダウンによってリスクが回避される。さらに、この設備は防爆構造かつ接地されており、万一、後処理槽内で混合気が形成されたとしても、着火の可能性は低いと考えられる。

このシナリオによる混合気の燃焼の発生頻度は、図 2 の No.5 と No.10 のシーケンスの発生頻度を併せた、 1.4×10^{-8} (回/年) と評価された。

各分岐の説明および分岐確率 (失敗側確率) は、以下の通りである。

- ・ろ過待受槽への移送：

後処理槽からろ過待受槽への年間の処理済み油の移送回数 (1020 回/年)

- ・ N_2 供給失敗 [ストレーナ閉塞] (移送前)：

窒素供給ラインのストレーナが移送前に閉塞している確率。すなわち、バッチの間 (12 時間) に閉塞する確率。

ストレーナの故障率 (1.4×10^{-6} /時間) \times 12 時間 で評価した。

- ・圧力検知失敗 [圧力計故障]：

ストレーナが閉塞していること (N_2 供給失敗) を移送開始までに検知できない確率。

圧力計の故障率 (誤信号： 4.2×10^{-7} /時間 + 機能喪失： 7.1×10^{-7} /時間) \times 12 時間で評価した。

- ・ N_2 供給失敗 [ストレーナ閉塞] (移送中)：

窒素供給ラインのストレーナが処理済み油の移送中 (1 時間を仮定) に閉塞する確率。

ストレーナの故障率 (1.4×10^{-6} /時間) \times 1 時間 で評価した。

- ・シャットダウン失敗 [酸素検知器故障]：

排気ライン上に設置された 2 つの酸素検知器の同時故障によって、空気の流入を検知できない確率。共通原因故障のファクタをも考慮して、 1.0×10^{-2} と仮定した。

- ・接地不良：

接地不良の確率を示す。

本安全解析では、この確率を 1.0×10^{-2} と仮定した。

実際には、抵抗値の測定による接地状態の確認等も可能であり、上記の数値は多分に保守的であると考えられる。しかしながら、このような保守的な仮定のもとでも、このシナリオによる混合気の燃焼の発生頻度は十分に小さいと言える。

- ・放電：

混合気が存在している間に、静電気放電が起こる確率。

蓋然的な事象と考えられ定量化は困難であるが、本安全解析では、この確率を 1.0×10^{-1} と仮定した。

実例 2 . 気体状 PCB の漏洩

図 3 に、7 つの排気設備の内、設備高レベル排気の排気設備の気体状 PCB 漏洩のイベントツリーを示す。

また、表 3 に、このイベントツリーに対応する分岐確率を示す。

想定シナリオは次の通りである。

「設備高レベル排気の排気設備でスクラバポンプが故障すると、スクラバによる気体状 PCB の捕集能力が低下する。」

このシナリオでは、スクラバポンプの故障停止が、気体状 PCB の漏洩につながる直接の原因である。しかし、スクラバポンプが停止すると循環流量低の警報で作業が停止されるため、漏洩を回避できる。また、流量センサが故障した場合にも、流量の正常値を誤って出力（誤保持）し続けない限り、循環流量異常の警報で作業が停止される。

さらに、セーフティネットとして排気ラインに活性炭吸着塔が設けられているため、気体状 PCB の漏洩はほとんど考えられない。仮に、活性炭の効果が期待できない場合にも、排気口に設置されたオンライン PCB モニタからの異常信号により、作業が停止される。

このシナリオによる気体状 PCB の漏洩の発生頻度は、 4.6×10^{-9} （回/年）と評価された。7 つの排気設備を併せると、 3.2×10^{-8} （回/年）になる。

各分岐の説明および分岐確率（失敗側確率）は、以下の通りである。

・スクラバポンプ故障：

スクラバポンプの年間の故障頻度（回/年）

ポンプの故障率（継続運転失敗： 1.0×10^{-4} /時間）× 8760 時間 で評価した。

・流量センサ故障〔機能喪失〕（出力誤保持）：

スクラバ循環流量が異常であることを検知できない確率。

流量センサの危険側故障は、実際に流量が低下しているにも関わらず、誤って正常流量値を出力しつづける（誤保持）モードである。原理的にそのようなモードが考えられない流量センサが採用されているため、機能喪失全体に占める割合を 1.0×10^{-3} と仮定した。以上より、流量センサの危険側故障確率を

流量センサの故障率（ 1.2×10^{-6} /時間）×（ 1.0×10^{-3} ）×（1/2）× 8760 時間で評価した。

・オンライン PCB モニタ：

オンライン PCB モニタの故障確率。

本安全解析では、この確率をガスモニタからの類推で 1.0×10^{-1} と仮定した。

・活性炭充填不良：

充填不良や劣化等で、活性炭が気体状 PCB を十分に吸着できない割合。

本安全解析では、この割合を 1.0×10^{-2} と仮定した。

実際には、活性炭が機能しない状況は想定し難いが、仮にこのような保守的な数値を仮定しても、このシナリオによる気体状 PCB 漏洩の頻度は十分に小さいと言える。

2.2 日常点検・保安全管理の効果について

本安全解析では、ハザードの発生頻度の算出において、日常点検や保安全管理の効果は直接的には考慮していないが、以下の効果が期待できる。

[日常点検の効果]

一般的な定量的リスク評価（QRA）では、機器の状態について「正常」と「故障」の2つの状態が識別され、機能確認試験（ブルーフテスト）において、その状態が確認されることを考慮している。しかしながら、日常点検により、機器の「劣化」の状態が察知できれば、故障に至る前にメンテナンスを施すことが可能である。また、仮に設備に異常が発生しても、早期に検知すれば事象の拡大を防ぐことができる。

[保安全管理の効果]

一般的に行われているQRAと同様、本安全解析でも、機器故障率が時間の経過によらず一定のモデルを使用している。この故障率は平均的なものであり、保全の効果が含まれているが、その効果だけを定量的に把握することは困難である。しかしながら、適切な保全がなされていることが「故障率一定」の前提でもあり、故障率自体の上昇を抑制する上で、予防保全は不可欠であると考えられる。

以上から、1.安全設計の概要（3/4）と（4/4）に記載した点検チェックリストに基づく重点的な日常点検の実施や、定期的な接地状態の確認など、日常点検や保安全管理に関わる対策を充実することにより、実際の施設の安全性をさらに高めることができる。

2.3 ハザードの定量化のまとめ

イベントツリー解析で評価された各ハザードの発生頻度、および引き金事象の発生頻度を表4にまとめる。

引き金事象には「スクラバポンプの故障」のように、発生頻度が比較的高いものも含まれるが、これは、単一の機器故障が直ちに引き金事象と見なされるためである。しかしながら、スクラバの流量センサをはじめ、幾重にも安全対策を設けることで、ハザードの発生頻度が低く抑えられている。一方、液の「移送停止失敗」に関しては、液位を検知するセンサが多重化（多様化）され、また、停止を司るバルブ等が多数はたらくことで、引き金事象自体の発生頻度が

極めて低く抑えられている。

このように、ハザードのタイプによって、安全確保のあり方も様々であるが、各ハザードの発生頻度は、以下の通り極めて低いことが確認された。

< 混合気の燃焼 > の発生頻度：

燃焼には混合気形成と着火源の存在が必要である。液処理設備と溶剤蒸留回収設備については、接地不良の状態では静電気放電が発生してはじめて着火に至るものであり、接地を確保することにより混合気の燃焼を防止することができる。しかし、本解析では、接地不良時の静電気放電による着火を一定確率で想定した結果、各設備の混合気の燃焼の発生頻度は

液処理設備	2.0×10^{-8} 回 / 年	
溶剤蒸留回収設備	7.7×10^{-7} 回 / 年	
真空加熱分離装置	8.2×10^{-7} 回 / 年	と評価された。

通常の危険物一般取扱所では、火災の発生頻度は施設当たり 10^{-3} 回 / 年程度なので、上記の発生頻度はこれより十分小さいと言える。

< P C B の漏洩 > の発生頻度：

P C B の漏洩は、施設内の床にこぼれ落ちたものが施設外に漏洩するケースと、排気ラインを経由して施設外漏洩するケースに大別される。

前者に関しては、セーフティネットとして設備下部にオイルパンが設置され、更に、防油堤の設置という2重の漏洩防止対策が講じられており、施設外への漏洩に至るとは考え難い。よって、このケースは定量評価の対象としていない。

後者については、「排気ラインへと液状の P C B がオーバーフローするシナリオ」、及び「排気ラインから気体状 P C B が漏洩するシナリオ」が抽出され、各々について定量化の結果、発生頻度として 8.4×10^{-8} 回 / 年、 5.8×10^{-7} 回 / 年 の数値を得た。

以上のとおり、施設外へ影響を及ぼす < 混合気の燃焼 > < P C B の漏洩 > といったハザードの発生頻度はいずれも 10^{-6} 回 / 年 (百万年に1回) 以下であり、極めて低いと評価された。

10^{-6} 回 / 年以下という発生頻度は、例えば英国のリスク基準において「無視できるリスク」とされ、これ以上のリスク削減の必要がないとされるレベルであり、ハザードの発生頻度としては十分に低い値と言える。

なお、定量化において用いた不確定要素の高い確率は次の通りである。

混合気の燃焼のシナリオで、着火源として接地不良を 1×10^{-2} 、静電気放電の確率を 1×10^{-1} と仮定した。

気体状 PCB の漏洩のシナリオで、活性炭吸着塔の活性炭を正しく装着することに失敗する確率として 1×10^{-2} を仮定した。

表 2 混合気燃焼のイベントツリー分岐確率（液処理設備 後処理槽）

ヘディング名	分岐確率	説明
ろ過待受槽への移送	1020	後処理槽からろ過待受槽への処理済み油の年間の移送回数 1 0 2 0 [回 / 年]
N ₂ 供給失敗 [ストレーナ閉塞] (移送前)	1.7×10^{-5}	窒素供給ラインのストレーナがバッチの間 (1 2 時間) に閉塞する確率
圧力検知失敗 [圧力計故障]	1.4×10^{-5}	ストレーナが閉塞していること (N ₂ 供給失敗) を移送開始までに 検知できない確率
N ₂ 供給失敗 [ストレーナ閉塞] (移送中)	1.4×10^{-6}	窒素供給ラインのストレーナが移送中 (1 時間と仮定) に閉塞する確率
緊急停止失敗 [酸素検知器故障]	1.0×10^{-2}	排気ライン上に設置される酸素検知器の 2 重故障によって 空気の流入を検知できない確率
接地不良	1.0×10^{-2}	接地不良の確率
放電	1.0×10^{-1}	静電気放電が起こる確率

表3 気体状 PCB 漏洩のイベントツリー分岐確率（設備高レベル排気の排気設備）

ヘディング名	分岐確率	説明
スクラバポンプ故障 [回 / 年]	8.8×10^{-1}	スクラバポンプの故障確率（ 1 年当たり ）
流量センサ故障[機能喪失](出力誤保持)	5.3×10^{-6}	スクラバの循環流量センサの故障(出力誤保持)確率 (1年に一回の定期試験を仮定)
オンラインPCBモニタ	1.0×10^{-1}	オンラインPCBモニタの故障確率
活性炭充填不良	1.0×10^{-2}	活性炭が正しく充填されない割合

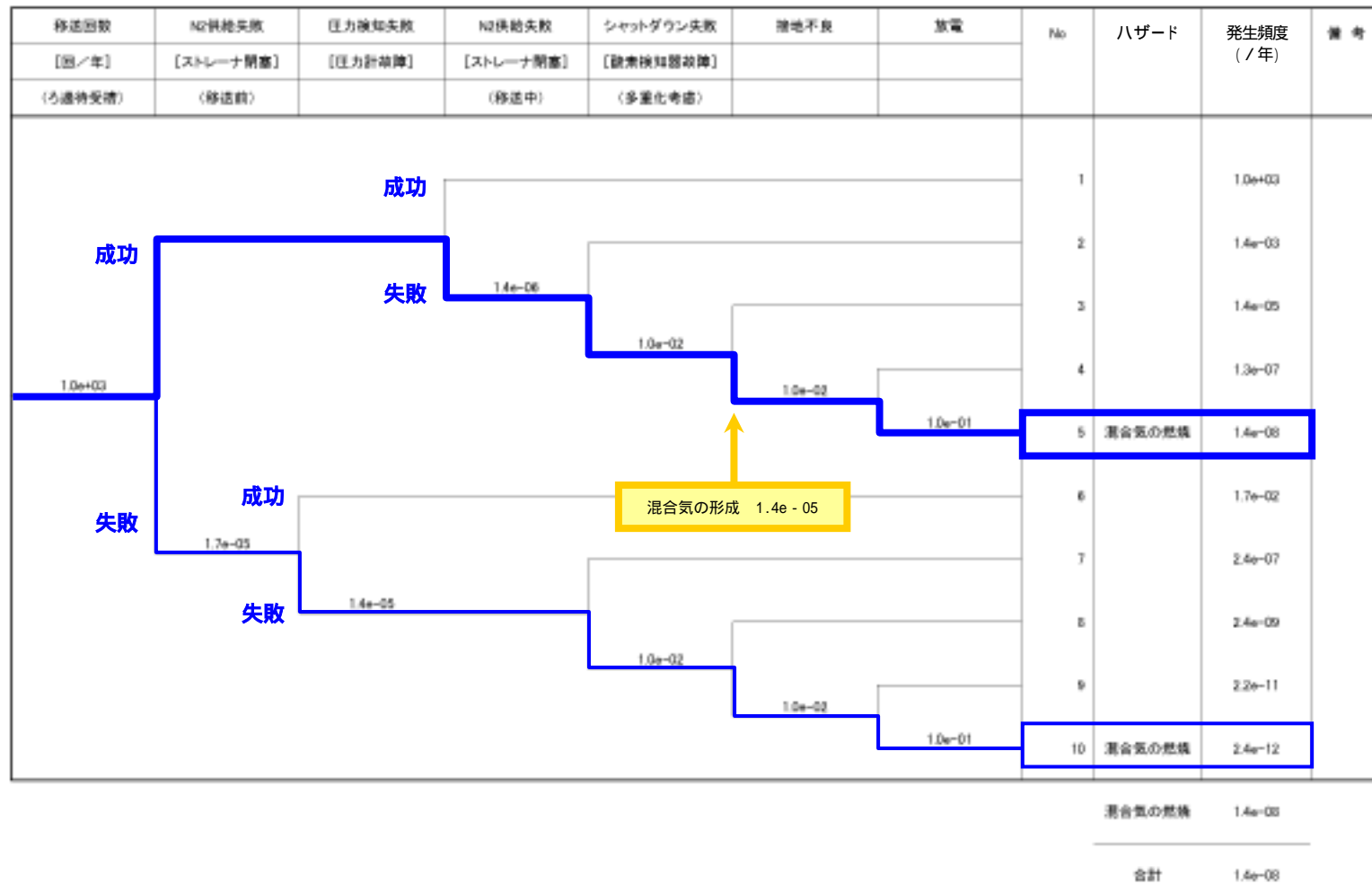


図2 液処理設備 後処理槽における混合気燃焼のイベントツリー

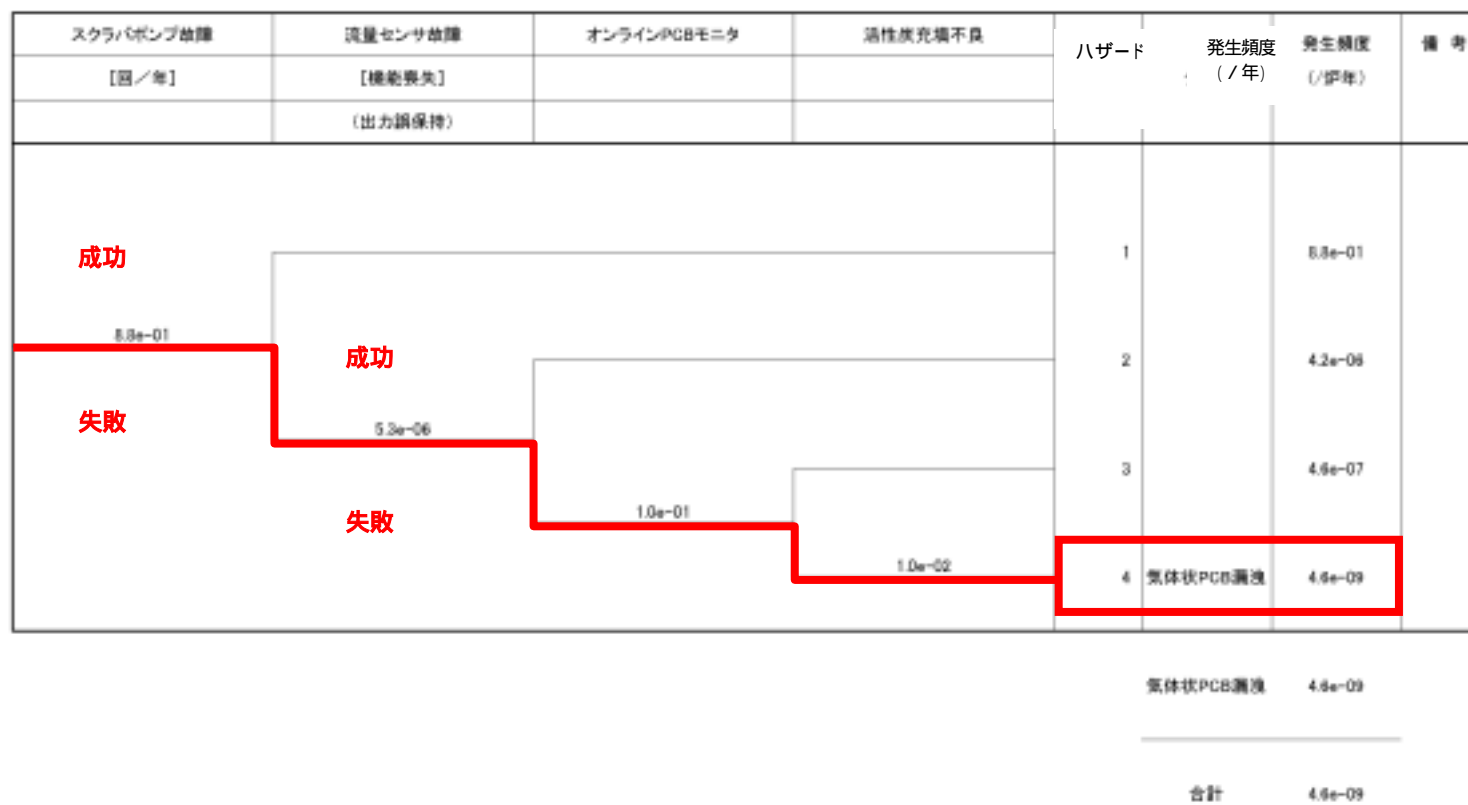


図3 設備高レベル排気の排気設備 気体状 PCB 漏洩のイベントツリー

表4 施設外に影響を及ぼし得るハザードのイベントツリー解析結果 (1/2)

ハザード	内訳		起因事象の 発生頻度 [回/年]	発生頻度 [回/年]	備考
		引き金事象			
混合気の燃焼	液処理	反応槽への窒素供給ライン閉塞	6.4×10^{-4}	6.4×10^{-9}	
		後処理槽への窒素供給ライン閉塞	1.4×10^{-3}	1.4×10^{-8}	(図2に対応)
	合計		-	2.0×10^{-8}	
	溶剤蒸留回収	真空ポンプ戻りライン弁誤開	3.5×10^{-3}	3.5×10^{-9}	分離塔と精留塔の2ケースであるため、イベントツリー解析結果を2倍した。
		洗浄後溶剤受槽の窒素供給ライン弁誤閉	3.5×10^{-3}	7.7×10^{-7}	同上
		加熱器伝熱管破損	9.6×10^{-2}	3.5×10^{-11}	同上
		洗浄槽出口弁誤開	1.4×10^{-3}	9.8×10^{-10}	1 洗浄中における出口弁の誤開頻度
	合計		-	7.7×10^{-7}	
	真空加熱分離	温度制御故障によるドア部Oリングの過熱破損	3.3×10^{-3}	8.0×10^{-7}	(FT算定結果) × 5 1 [バッチ/年]
		冷却設備故障によるドア部Oリングの過熱損傷	1.0×10^{-2}	1.7×10^{-8}	
	合計		-	8.2×10^{-7}	

表4 施設外に影響を及ぼし得るハザードのイベントツリー解析結果 (2/2)

ハザード	内訳		起因事象の 発生頻度 [回/年]	発生頻度 [回/年]	備考	
		引き金事象				
排気ラインへの PCB油 オーバーフロー	液処理	移送停止失敗	トランス油	2.4 × 10 ⁻⁶ 2	2.1 × 10 ⁻⁹	2 安全計装としてのレベルスイッチの効果を考えない場合
			廃洗浄油	4.2 × 10 ⁻⁶ 3	3.8 × 10 ⁻⁹	3 同上
			廃洗浄油(PCB貯槽)	8.7 × 10 ⁻⁵ 4	7.8 × 10 ⁻⁸	4 同上
	合計		-	8.4 × 10 ⁻⁸		
	気体状PCB 漏洩	液処理		スクラバポンプ故障	8.8 × 10 ⁻¹ × 3台	1.4 × 10 ⁻⁸
			スクラバ等の冷却機能不全	1.0 × 10 ⁻²	7.2 × 10 ⁻⁸	
溶剤蒸留回収		冷却設備の故障	1.0 × 10 ⁻²	4.4 × 10 ⁻⁸		
真空加熱分離		オイルシャワーの冷却機能不全	4.2 × 10 ⁻⁵	4.2 × 10 ⁻⁷	(F T算定結果) × 5 1 [バッチ / 年])	
排気設備		スクラバポンプ故障	8.8 × 10 ⁻¹ × 7台	3.2 × 10 ⁻⁸	(図 3 に対応) 対象設備は7系統のため、 イベントツリー解析結果を7倍した。	
合計		-	5.8 × 10 ⁻⁷			

【解析３：定性的な評価】

受入・前処理設備の安全解析

北九州 PCB 廃棄物処理施設（第１期）の受入・前処理設備については機械作業が多く化学プロセスとは性格が異なる為、安全性の評価に際しては「What-if」の手法により施設への影響・問題点を洗い出し、対策の是非・過不足を検討した。

What-if	施設への影響	現状の対策	備考（追加対策・検討事項）
汚れの激しい高圧コンデンサ・高圧トランスが持込まれたら？	汚物が洗浄油に混入しフィルターを閉塞させる。 また、ポンプ類を磨耗させる。	真空掃除機で外表面を掃除することになっている。 * 洗浄槽からの原液槽戻しラインにフィルターが設置されている。	万一のことを想定し、こびりついた固着汚物を電動ブラシ等で取り除く手段を検討中。 また、フィルターやストレーナーによる補修手段の強化も検討中。
外部へのしみ、漏れが認められる高圧コンデンサ・高圧トランスが持込まれたら？	設内の非管理区域が汚染されてしまう。 拭き取り作業等でPCB 2次汚染物が発生する。	受入作業者は常備されている防護服等を着用し、拭き取りの処置を行なうこととしている。 尚、汚染の程度は拭き取りで可能なしみ程度と想定。 受入直後、粗解体室へ優先的に搬送し処理を行なう。	受入室に管理区域レベル3相当の保護具・防護具を確実に常備しておく。
受入れた高圧コンデンサ・高圧トランスを荷役・搬送中に落下、転倒する恐れはないか？	施設の破損 PCB油の漏洩 労働災害の発生	受入れの天井クレーンは、万一ワイロープが切れても吊り荷が落下しないワイヤリングを採用。 また、巻上モーターとブレーキのデイルタimingを採用している。 大型トランスの台車搬送は堰付きのオイルパンに乗せて搬送するようにしている。	
保管中に何かの衝撃で転倒することはないか？	施設の破損 PCB油の漏洩 労働災害の発生	保管パレットには固定チェーンを設けている。 保管中は堰付きのパレット上で転倒防止固縛。	確実に固定チェーンで固定することを作業マニュアルに明記する。
PCB油に水分が混入したものが持込まれたら？	抜油後の液処理工程で脱塩素化分解反応が不十分で未分解PCBが残留する。 反応器にそのまま投入されたら突沸を起こす可能性がある。	外観検査時又は、抜油後に油中の水分を確認し液処理設備での処理を行なう。 尚、水分許容値（200ppm）を超える場合は含水PCB貯油槽にて保管し、正常物と適宜ブレンドし処理することとしている。 収集運搬時にチェックリストによる事前確認をする予定	200ppm 以上含まれていれば水膜が形成されるので判定できる。確実に実行させるため作業マニュアルに明記する。
抜油時に作業従事者がPCB油ガスに暴露されることはないか？	作業従事者への暴露 施設内漏洩	コンデンサーはグローブボックスにより隔離された状況で作業を行なう設計にしている。 尚、大型のものについては、区画された室内で作業を	

What-if	施設への影響	現状の対策	備考（追加対策・検討事項）
		行い、作業従事者は決められた保護具、防護具を着用し、下降気流制御環境下で作業を行なう。 また、局所排気設備も併設している。	
P C B 油の粘度は高いので、抜油時にうまく抜き取れるか？	大量の P C B 油がコンデンサ内に残留し洗浄作業に支障をきたす。 （予定の P C B 濃度まで落とすのに多くの洗浄回数を必要とする。）	コンデンサーについては、外部からの加温により 3 0 ～ 5 0 程度に暖め、粘度を下げる。 トランスについては、溶剤の注入により低粘度化させる。配管もトレース仕様としている。 抜油量が計測できるようになっている。	
グローブボックスでの作業時に、グローブが破れたら？	作業従事者への暴露 施設内漏洩	外部へ漏れないようにグローブボックス内は負圧管理されている。 破れたグローブは速やかに取り替えることとする。	グローブの予備を確保しておくこと。
保護具・防護具を着用して長時間解体作業ができるかどうか？	作業従事者の肉体的負荷が増加する。 設定時間どうりの作業ができなくなる。	手作業の負荷を軽減させるため、極力機械化・自動化の設計としている。 （人力作業は補助的な位置付け）	機械化による火花発生予防対策、切粉対策を講じること。 予め休憩時間を考慮したタイムサイクル計画とする。
粗洗浄の際、複雑な形状のため洗浄漏れが生じ、高濃度 P C B 油が 1 次洗浄装置へ持込まれることはないか？	後工程の粗解体作業で P C B に暴露される可能性が高くなる。 高濃度 P C B 油が多量残留すれば排気への P C B 負荷が増える。	均一な洗浄を行なわせるため、まず、洗浄液を満液状態まで張り込んで一定時間（12 時間）浸漬させる。 次に、トランス容器内の内容物が浸かるまで洗浄液を張り込んでポンプによる循環ラインを形成して強制循環洗浄を実施するようにしている。（8 時間×10 回） 高圧コンデンサーは構造上循環洗浄が困難な為、浸漬洗浄のみ（50 分×2 回）としている。	高圧コンデンサーについては、特に試運転時に確認が必要。
解体作業・切断作業に伴う発熱や温度上昇により引火、火災発生に繋がることはないか？	発熱や火花が火源となって、付着油・残油に着火し火災に至る。	熱・電気・電磁波等の熱を使用する切断方法は採用せず、機械的な刃物による切断とする。 刃具によっては、切断部の温度上昇および切粉の集積が避けられないが、冷却空気により温度上昇を抑制するとともに、切粉回収を行い洗浄溶剤との接触を避けるようにしている。 更に、切粉回収装置の機能喪失を考慮し、設定温度以上で切断停止のインターロックを組込むようにし	火災発生防止の観点から、火花発生防止については適切な切断手順を検証し、万全を期すべく検討中。 （洗浄溶剤への火花着火テストを実施し着火条件を別途把握済み。）

What-if	施設への影響	現状の対策	備考（追加対策・検討事項）
		ている。 切粉回収装置の温度を表示し随時確認できるようにしている。	
切断、破碎の際に騒音が発生し作業従事者の聴力障害を引き起こさないか？	作業従事者の聴力障害	破碎作業時、作業従事者は室外。	試運転時に騒音レベルの測定を実施すること。
1 次洗浄、2 次洗浄作業が不十分だったら？ （洗浄効果はどうやって判定するのか？）	真空加熱分離の負荷が増加する。 卒業判定に合格するまで再洗浄を繰り返すことになり作業工程が狂う。	洗浄時間は洗浄試験結果に基づいて設定している。 減圧浸漬洗浄 / 減圧蒸気洗浄 / 真空乾燥を必要回数繰り返すことになっており、シーケンス制御により進行する設計になっている。 尚浸漬保持時間は次のように設定している。 1 次洗浄 容器：60 分、コア / 素子：300 分 2 次洗浄 容器・非含浸性部材：60 分 含浸性部材 ：300 分 判定洗浄 容器・非含浸性部材：30 分	< 参考 > 各洗浄槽の PCB 濃度の想定は次のとおり。 1 次洗浄装置の洗浄槽・・・～50000ppm 2 次洗浄装置の洗浄槽・・・～500ppm 判定洗浄装置の洗浄槽・・・～0.05ppm 以下
洗浄不具合により洗浄工程から生じる洗浄回収 PCB 油量がばらついて、液処理工程とのバランスが取れないことはないか？	液処理工程の作業工程とアンバランスが発生。	工程間のアンバランスを吸収するため、各系統毎に原料受槽を 2 基ずつ設置。1 基は受入用、1 基は供給用でそれぞれ 6 日分の容量を持っており十分吸収可能。 トランス油受槽　： 6 m ³ × 2 基 コンデンサー受槽： 3 m ³ × 2 基 廃洗浄油受槽　　： 4 m ³ × 2 基 VTR 回収油受槽　： 3 m ³ × 2 基	