

# ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理施設の安全設計について

平成15年8月

環境事業団ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会

ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会 委員名簿

( 5 0 音順 )

〔氏 名〕

〔所 属〕

伊規須 英輝	産業医科大学産業生態科学研究所長
岡田 光正	広島大学環境基礎学講座教授
酒井 伸一	国立環境研究所 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター長
田中 信壽	北海道大学大学院工学研究科教授
田中 勝	岡山大学大学院自然科学研究科教授
田辺 信介	愛媛大学沿岸環境科学研究センター教授
委員長 永田 勝也	早稲田大学理工学部機械工学科教授
長谷川 和俊	危険物保安技術協会危険物等事故防止技術センター長
原口 紘丞	名古屋大学大学院工学研究科教授
細見 正明	東京農工大学工学部化学システム工学科教授
益永 茂樹	横浜国立大学大学院環境情報研究院教授
宮田 秀明	摂南大学薬学部衛生薬学科教授
森田 昌敏	国立環境研究所統括研究官
若松 伸司	国立環境研究所プロジェクトリーダー

## 目 次

1 . 経緯 .....	1
2 . 安全設計の基本的な考え方 .....	2
( 1 ) 安全設計の考え方	
( 2 ) 安全設計を確認するための安全解析の考え方	
( 3 ) 安全解析結果の活用	
別添 北九州 P C B 廃棄物処理施設 ( 第 1 期 ) の安全設計について ( 北九州事業部会報告書 )	

## 1. 経緯

北九州ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業（以下「北九州事業」という。）の第1期の処理施設（以下「第1期施設」という。）については、本事業検討委員会においてとりまとめた2次にわたる報告書（「北九州ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業における処理施設について（平成13年11月）」及び「北九州事業の操業に向けての環境安全施策について（平成14年2月）」）を踏まえた設計・施工が進められている。

本事業検討委員会では、処理施設の整備にあたっての基本的な考え方のひとつとして、「様々なリスクを想定し、それらに対する対策の効果について評価し、その結果を施設の設計・運転管理に反映させることなどによって、想定したリスクの回避、低減化等を図る。このようなリスクマネジメントの考え方に立ち、以下の条件を含めて、施設全体としてフェイルセーフ、セーフティネットの考え方に基づいた適切な対応をとること。」（平成14年9月「ポリ塩化ビフェニル廃棄物（高圧トランス・高圧コンデンサ等）処理施設に係る技術的条件及び環境・安全対策について」p5）としているところであり、第1期施設についても、平成14年度に実施した設計業務において、設計の一環としてHAZOP等の手法による施設の安全解析を行い、その結果を設計内容に反映させるとともに、その解析を通じて抽出された異常時のシナリオについて発生頻度の定量的な評価を行うなどの安全性の評価が行われた。

このような第1期施設の設計において行われた安全設計については、本年4月の本事業検討委員会において、北九州事業部会（以下「部会」という。）の助言を受けて安全解析の結果を適切に施設の設計・運転管理に反映させるべきとしたところである。

これを受けて、部会においては、本事業検討委員会の協力を得て、第1期施設の安全設計の具体的な内容について検討を加え、別添「北九州ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理施設（第1期）の安全設計について」をとりまとめた。その成果が今般本事業検討委員会に報告されたものである。

以下は、この部会報告書の内容を踏まえて、PCB廃棄物処理施設における安全設計の基本的な考え方について整理したものである。

なお、部会報告書における安全設計は、環境事業団が設ける初めてのPCB廃棄物処理施設である第1期施設の設備構成等に応じたものであるから、今後、他の地域における処理施設の設備構成等に応じてさらにその内容を充実させていくこととなる。

北九州事業に引き続いて進められている各地のPCB廃棄物処理事業においては、以下の内容及び部会報告書を参考としつつ、各地域の事業部会の指導、助言等を受けて、それぞれの処理システムの特徴を踏まえた安全設計を行うこととすべきである。

## 2. 安全設計の基本的な考え方

### (1) 安全設計の考え方

各地域に整備される PCB 廃棄物処理施設の満足すべき技術的条件及び環境・安全対策については、事業検討委員会報告書及び各地域の事業部会報告書により具体的にとりまとめられており、これらを踏まえた施設の安全設計とする必要がある。

具体的には、リスクマネジメントの考え方に立ち、本質的に安全な処理プロセスとなるような「プロセス安全設計」を基本として、その操業を監視する「操業監視システム」、さらに機器の誤動作やヒューマンエラーが事故につながらないような「フェイルセーフ」機能、万一トラブルが発生しても影響を最小限に抑える「セーフティネット」機能を加えた多重の防護構造により、通常の化学プラントと比べより高い安全性を確保することが必要である。

また、通常運転時に想定される様々な異常発生に加えて、不可抗力による自然災害や緊急事態も想定し、施設の安全な停止ができ、施設外への影響を最小限に抑えることのできる設計とすることが必要である。

### (2) 安全設計を確認するための安全解析の考え方

PCB 廃棄物処理施設においては、上記のような多重の防護構造を取り込んだ安全設計により、想定される様々なリスクに対応した高い安全性が確保されていることを確認するため、設計業務の一環として施設の安全解析を行うこととされている。

安全解析では、施設の設計全体について安全上の問題点がないことを確認するとともに、より高い安全性を確保する観点から設計上及び運転管理上改善すべき点を見だし、その結果を設計及び運転管理に反映させることが重要である。

さらに、このような改善による効果も踏まえて、施設内での火災・爆発の発生、施設外への PCB の漏洩等につながるようなトラブルの発生がほとんど起こりえない確率であることを定量的に確認することが重要である。

これらの点を考慮して、施設を構成する工程の特性に応じた、適切な手法による安全解析を実施しなければならない。

### (3) 安全解析結果の活用

安全解析では、起こり得る様々なリスクを想定して、施設を構成する各工程の安全性を詳細に確認することにより、安全解析結果から、各工程における具体的な留意箇所を明らかにすることができる。

そのような留意箇所に対して、対策の効果や確実性を考慮して、安全性をより向上させるために、設計上又は運転管理上の最適な改善策を講じることが重要である。

設計上の対策としては、安全のための検知機器を追加すること、より信頼性の高い機器に変更することなどが考えられるが、機器を追加する場合には当該機器の維持管理の負担が増加するため、運転管理上の対策とのバランスも考慮し、対策の有効性を十分検討した上で設計に反映させる必要がある。

運転管理上の対策としては、安全解析の結果を日常点検に反映して確実な点検を行うこと、保守点検時の部品の点検頻度や交換頻度の決定に反映することなどが考えられ、これらの対策を運転管理マニュアル等に記載するなどにより、確実に実施されるようにしておくことが必要である。

また、このような対策の充実に加えて、HAZOP等の安全解析の結果は、実際にトラブルが発生した場合にその原因の推定及び対応策の検討にも活用できるものであり、トラブル時の迅速かつ適切な対応に活用できるよう整理しておくことが必要である。

これらの対策を通じて、想定したリスクの回避、低減化を最大限に図ることが必要である。

別 添

北九州ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理施設（第1期）の  
安全設計について

環境事業団ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会

北九州事業部会

ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会北九州事業部会 委員名簿

(50音順)

	〔氏名〕	〔所属〕
主査	伊規須 英輝	産業医科大学産業生態科学研究所長
	酒井 伸一	国立環境研究所 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター長
	篠原 亮太	熊本県立大学環境共生学部教授
副主査	田辺 信介	愛媛大学沿岸環境科学研究センター教授
	森田 昌敏	国立環境研究所統括研究官

(協力いただいたポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会委員)

	〔氏名〕	〔所属〕
委員長	永田 勝也	早稲田大学理工学部機械工学科教授
委員	長谷川 和俊	危険物保安技術協会危険物等事故防止技術センター長



## 目 次

1 . 安全設計の概要 .....	1
2 . 施設の安全設計内容 .....	5
2 . 1 処理工程図 .....	5
2 . 2 安全設計の具体的な内容 .....	6
2 . 3 敷地内レイアウト等に関する安全配慮 .....	7
2 . 4 P C B の分解反応に関する安全設計 .....	8
2 . 5 P C B の漏洩対策 .....	9
2 . 6 ユーティリティ設備の安定供給対策 .....	10
2 . 7 自然災害に対する安全設計 .....	11
2 . 8 火災に対する安全設計 .....	12
2 . 9 作業従事者の安全確保 .....	13

参考資料 北九州 P C B 廃棄物処理施設（第 1 期）の安全解析の概要

# 1. 安全設計の概要 ( 1 / 4 )

## 1.1 はじめに

北九州PCB廃棄物処理施設（第1期）を対象とした本施設の安全設計に際しては、関連法令の遵守に加え、「ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会」報告書の提言内容を反映させることにより、リスクマネジメントの考え方に立ち施設全体の安全性を確保した設計としています。

すなわち、下図に示すようにプロセス安全設計、操業監視システム、フェイルセーフ、セーフティネットという多重防護構造を構築することにより、通常運転時の異常発生及び不可抗力的な自然災害・緊急事態に対しても安全な停止ならびに安定した操業への復帰が可能であるとともに、施設外への影響を局限化する設備設計としています。

更に、施設の安全性と施設外へ与える影響を評価し、その結果を施設設計および施設運用に活かすことにより安全性の一層の向上を図り、地域住民とのリスクコミュニケーションに役立てることとしています。

## 1.2 設備設計の基本思想

処理システムを構成する設備の特徴、重要度に応じて安全性向上のための措置を実施し、ハザードに対する多重防護を図る。

## 1.3 安全設計概要

- ・基本思想に基づき安全に配慮した設備設計を行っている。
- ・安全解析を通して、プロセスの潜在危険を洗い出し、問題点を抽出・定量化して、効果的な対策を設計にフィードバックしている。
- ・PCB廃棄物の搬入経路などレイアウト上の安全配慮、PCB分解反応の安全や漏洩防止に対する設備対策、ユーティリティ設備の安定供給対策を織り込んでいる。
- ・自然災害による緊急事態に対する安全設計は、経験則およびWhat-if手法による検討に基づきリスクを洗い出し、安全な停止が行えるように適切な対策を織り込んでいる。
- ・“火事”が発生した場合の対策として、粉末消火設備・消火栓などの防災設備を設置し被害の最小化と施設外へ影響の局限化を図っている。
- ・最後に、施設の安全性評価として混合気の燃焼とPCBの漏洩のハザードを定量解析しその発生頻度を求め、十分に低いことを確認している。

以下に、右図中の項目に対応した代表的な内容を示す。

### (4) セーフティネットの内容

- (4.1) 排気はそれぞれのプロセス内で処理した後、更に活性炭吸着塔を通して施設外へ排出。オンラインモニタリングにより排気中の微量PCB濃度を監視。
- (4.2) 建屋内に管理区域を設定し、レベル毎に負圧管理。
- (4.3) PCB油の漏洩防止、被害拡大防止のためオイルパン・防油堤・不浸透性塗床を施工。

### (3) フェイルセーフの内容

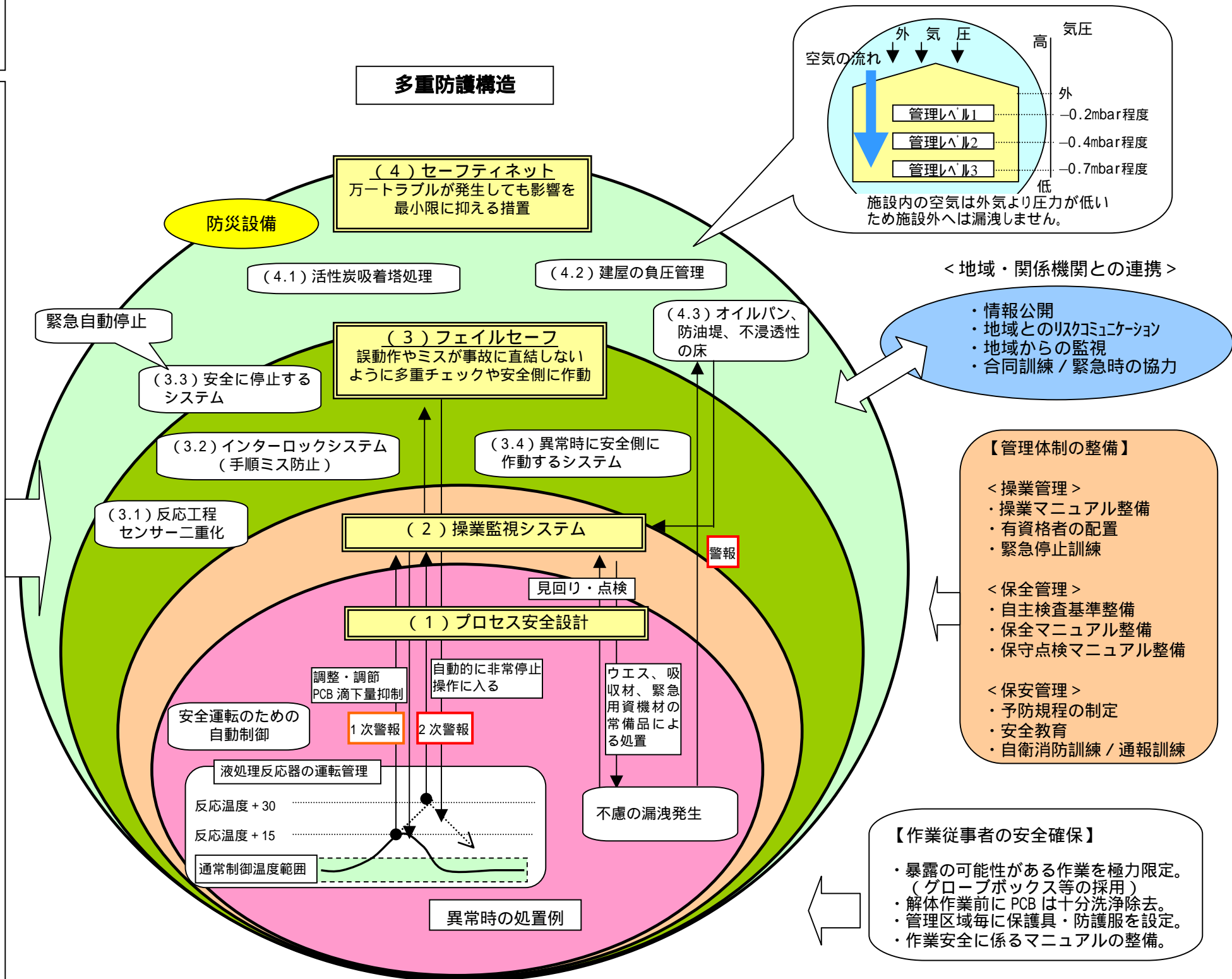
- (3.1) 主要な温度・圧力・液面計器、酸素濃度計は二重化。
- (3.2) 液移送の際、液レベル異常の場合には液面計の設定ポイントでポンプを停止させるシステムを織り込み。又、容器切断時には設定温度以上で切断を停止させるインターロックを組み込み。
- (3.3) 警報と連動して緊急自動停止ができる設計。
- (3.4) 異常時の弁の開閉は安全側に作動するように設計。

### (2) 操業監視システムの内容

- (2.1) 中央監視室にて集中制御ができるように設計。
- (2.2) 運転状況の遠隔監視ができるようITVを設置。

### (1) プロセス安全設計の内容

- (1.1) 安定した運転・操業を行うため、機械化および化学プロセスの制御として一般的な分散制御、自動制御を採用。
- (1.2) 腐食等を考慮した適正な材料選定。
- (1.3) より安全に分解反応を行わせるための操作上の安全配慮。
- (1.4) ユーティリティ設備の安定供給対策を設計に織り込み。



# 1. 安全設計の概要 (2 / 4)

## 1.4 安全性評価実施概要

### (1) 安全性の評価手法

工程の特性に応じて以下のような手法を用いています。

手法	HAZOP, FMEA, FTA, ETA*の組合せ	What-if*
対象範囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>液処理設備</li> <li>溶剤蒸留回収設備</li> <li>真空加熱分離装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>受入及び前処理設備の 抜油・解体</li> </ul>

\*HAZOP(Hazard & Operability study)

化学プラントを構成する一本のラインまたは機器に着目し、流量、温度といったプロセスパラメータの正常状態からのずれを想定し、そのずれの原因の洗い出しと、ずれが発生した時のプロセスへの影響や適切な安全対策がとられているかを検討する手法。

\*FMEA(Failure Mode & Effect Analysis)

システムを構成する機器に着目し、その機器に考えられる故障モードを取り上げ、その故障がシステムに及ぼす影響を解析する手法。

\*FTA(Fault Tree Analysis)

対象とするシステムに起こってはならない事象を頂上事象として設定し、頂上事象の発生原因を機器・部品レベルまで次々と掘り下げ、その原因・結果を論理記号(AND、ORなど)で結びつけてツリー状に表現する。

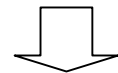
次に、頂上事象の発生原因となる機器・部品の故障確率を与えることにより頂上事象の発生確率を解析する手法。

\*ETA(Event Tree Analysis)

引き金となる事象が発生した時、対応の成功・失敗を考慮して事象の進展過程をツリー状に表現し、各々の成功・失敗の確率を使って事故に至る発生頻度を解析する手法。

\*What-if

「もし…ならば」という質問を繰り返すことにより、設備面、運転面での潜在危険を洗い出し、それに対する安全対策を講じることによりシステムの安全化を図る手法。



### (3) HAZOP等による安全解析

本施設の重要性に鑑みて、危険事象(ハザード)の定量化を含めた以下の安全解析を実施し、その結果を設計・運用に反映することでより一層の安全性向上を図っています。

#### 【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。

スクリーニングで残った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、注意すべき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。



### (2) 「化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントに関する指針」による評価

安全設計の評価にあたって、平成12年3月21日付け基発第149号(旧労働省労働基準局長通達)による「化学プラントにかかるセーフティ・アセスメントに関する指針」に基づく危険度ランク評価\*を行っています。

その結果、施設全体の設備・機器のエLEMENT容量が小さく、温度も真空加熱分離を除き中低温域であり、また、圧力も常圧ないしは減圧のため、危険度ランクは、真空加熱分離のみランク、その他はランクとなっており、危険度が最も高いランクの設備は存在していません。

\* 物質、容量、温度、圧力、操作の5項目についてA(10点)、B(5点)、C(2点)、D(0点)の点数を与え、その合計点数によりランク付けをするものです。

### (4) 安全性評価結果

スクリーニングで残った想定シナリオについて、注意すべきハザード(混合気の燃焼とPCBの漏洩)に至る発生頻度を整理し、次ページ(3/4~4/4)に示しています。

その結果、最終的に以下の結論を得ました。

#### <混合気の燃焼>の発生頻度:

燃焼発生には混合気形成と着火源の存在が必要です。液処理設備と溶剤蒸留回収設備については、混合気が形成される可能性がある場所の温度は発火点以下であり、燃焼には静電気放電による着火が考えられます。この場合、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ます。

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の確率で想定し<混合気の燃焼>の発生頻度を求めました。その結果、

液処理設備  $2.0 \times 10^{-8}$  回/年

溶剤蒸留回収設備  $7.7 \times 10^{-7}$  回/年 となっています。

また、真空加熱分離装置については操作温度が高いため、発火点以上のところで混合気が形成されると、静電気放電には関係なく燃焼に至ります。混合気の燃焼の発生頻度は

真空加熱分離装置  $8.2 \times 10^{-7}$  回/年 となっています。

通常の危険物一般取扱所における火災の統計的な発生頻度は、施設当たり  $10^{-3}$  回/年程度なので、上記の発生頻度はこれと比較して十分小さいといえます。

#### <PCBの漏洩>の発生頻度:

PCBの漏洩は、施設内の床に漏洩したものが施設外に漏洩するケースと、排気ラインを通過して施設外漏洩するケースに分類できます。

前者の床への漏洩に対して、セーフティネットとして設備下部にオイルパンの設置、更に防油堤の設置という2重の漏洩防止対策を講じており、現実には施設外への漏洩は起こらないと考え、このケースは定量化の対象にしていません。

従って、後者の排気ラインを通過してPCBが施設外へ漏洩するケースとして、排気ラインに液状のPCBがオーバーフローするシナリオと、排気ラインから気体状PCBが漏洩するシナリオについて定量化を行い、結果としてその発生頻度は各々、 $8.4 \times 10^{-8}$  回/年、 $5.8 \times 10^{-7}$  回/年 となっています。

以上のとおり、施設外へ影響を及ぼす<混合気の燃焼><PCB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回程度)以下と極めて低い値となっています。

$10^{-6}$  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ているレベルであり、ハザードの発生頻度としては、十分に低い値といえます。

さらに、今回の安全解析結果に基づき、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・保安全管理を充実し、設備の安定操業および機器類の異常の早期発見に努めることにより、実際の施設の安全性をさらに高めてまいります。

1. 安全設計の概要 ( 3 / 4 )

ハザード	引き金事象	想定シナリオ	設備・管理運営上の主な対策*1、2		発生頻度[回/年]		
			引き金事象の抑制	事象進展の回避・緩和		合計	
	液処理	反応槽への窒素供給ライン閉塞	反応槽でのPCB処理や、後処理槽での余剰SD剤処理において、排出弁の開閉操作により処理済み液を排出する際や、ポンプにより後処理油を排出する際に、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、反応槽では引火点以上の絶縁油との混合気が、後処理槽では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。	・日常点検の際にストレーナの圧力計をチェック、点検チェックリストに記載し健全性を確認することで窒素供給ラインの閉塞を防止。	・槽の圧力「低」で、反応槽からの排出弁や後処理油払い出しポンプ自動停止。 ・窒素供給ラインの圧力低下により、非常用窒素ポンベからの供給に自動切換え。 ・液処理のポンプ、攪拌機は防爆構造を採用、かつ接地により電気火花の発生防止。 ・接地状態を定期的に確認し、接地不良の発生を防止。 ・酸素検知器を二重化。 < $1.0 \times 10^{-1}$ >	6.4 × 10 <sup>-9</sup>	2.0 × 10 <sup>-8</sup>
		後処理槽への窒素供給ライン閉塞				1.4 × 10 <sup>-8</sup>	
混合気の燃焼 混合気の形成 着火・発火 混合気の燃焼	溶剤蒸留回収	真空ポンプ戻りライン弁誤開	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]	・蒸留塔の減圧管理および真空ポンプ戻りライン弁の作動状況を中央監視室にてチェックし、異常を早期発見。	・塔の真空度「低」で蒸留設備緊急自動停止。(加熱器へのスチーム供給停止、蒸留塔への給液停止) ・蒸留設備のポンプは防爆構造を採用、かつ接地により電気火花の発生防止。 ・接地状態を定期的に確認し、接地不良の発生を防止。	3.5 × 10 <sup>-9</sup>	7.7 × 10 <sup>-7</sup>
		洗浄後溶剤受槽の窒素供給ライン弁誤開	窒素供給弁が誤開した状態で、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]	・日常点検の際に窒素供給ラインの圧力調節弁作動状況を点検チェックリストに記載し、異常を早期発見。	・洗浄後溶剤受槽液位「低」で洗浄後溶剤を補充、液位「低々」で払出しポンプ自動停止。 ・蒸留設備のポンプは防爆構造を採用、かつ接地により電気火花の発生防止。 ・接地状態を定期的に確認し、接地不良の発生を防止。	7.7 × 10 <sup>-7</sup>	
		加熱器伝熱管破損	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]	・スチーム圧力を分離塔の耐圧以下に減圧。 ・スチームラインに逃し弁設置。	・蒸留設備のポンプは防爆構造を採用、かつ接地により電気火花の発生防止。 ・接地状態を定期的に確認し、接地不良の発生を防止。	3.5 × 10 <sup>-11</sup>	
		洗浄槽出口弁誤開	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。	・洗浄中は、洗浄槽出口弁に加え、排気ラインの弁も閉止。(いずれも自動) < $7.0 \times 10^{-4}$ >	・洗浄設備のポンプは防爆構造を採用、かつ接地により電気火花の発生防止。 ・接地状態を定期的に確認し、接地不良の発生を防止。	9.8 × 10 <sup>-10</sup>	
		温度制御故障によるドア部リングの過熱破損	ヒーター制御やサーマルオイルシステムの故障によるリングの過熱破損等により、真空バウンダリーが破れ、空気が流入し、気化ガスとの混合気を形成し発火する。	・バッチ毎のスタート時に装置の真空度をチェックすることでシールの健全性を確認。 ・サーマルオイルシステムの点検をバッチ毎に実施し、運転前に健全性を確認。 ・バルブ止めの開放部分には閉止板取り付け。	・炉温度「高」でヒーター自動停止。 ・炉圧「高」でヒーター自動停止、自動窒素充填。(運転前に窒素供給弁の機能試験を実施) ・サーマルオイルシステム油送ポンプ故障で予備ポンプに自動切替え。	8.0 × 10 <sup>-7</sup>	
	用役設備である冷却設備の故障によるドア部リングの過熱損傷	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リングが過熱破損し、真空バウンダリーが破れ、空気が流入し、気化ガスとの混合気を形成し発火する。	・冷却設備の待機ポンプへ月一回切替え、および高置水槽への切替え試験を月一回実施することにより、切替えの信頼性をあげている。 < $8.2 \times 10^{-3}$ >	・冷却設備故障でヒーター自動停止、冷却塔水を高置水槽に自動切替え、冷却ファンによる自動冷却開始。 < $7.2 \times 10^{-3}$ > ・炉圧高でヒーター自動停止、自動窒素充填。(運転前に窒素供給弁の機能試験を実施)	1.7 × 10 <sup>-8</sup>	8.2 × 10 <sup>-7</sup>	

\* 1 : 網掛けは通常の対策より充実した対策で、< > 内は網掛け対策による発生頻度の低減効果。

\* 2 : 斜体字の対策は、発生頻度の計算上はその低減効果を見込んでいないが有効と考えられる対策。

1. 安全設計の概要 (4 / 4)

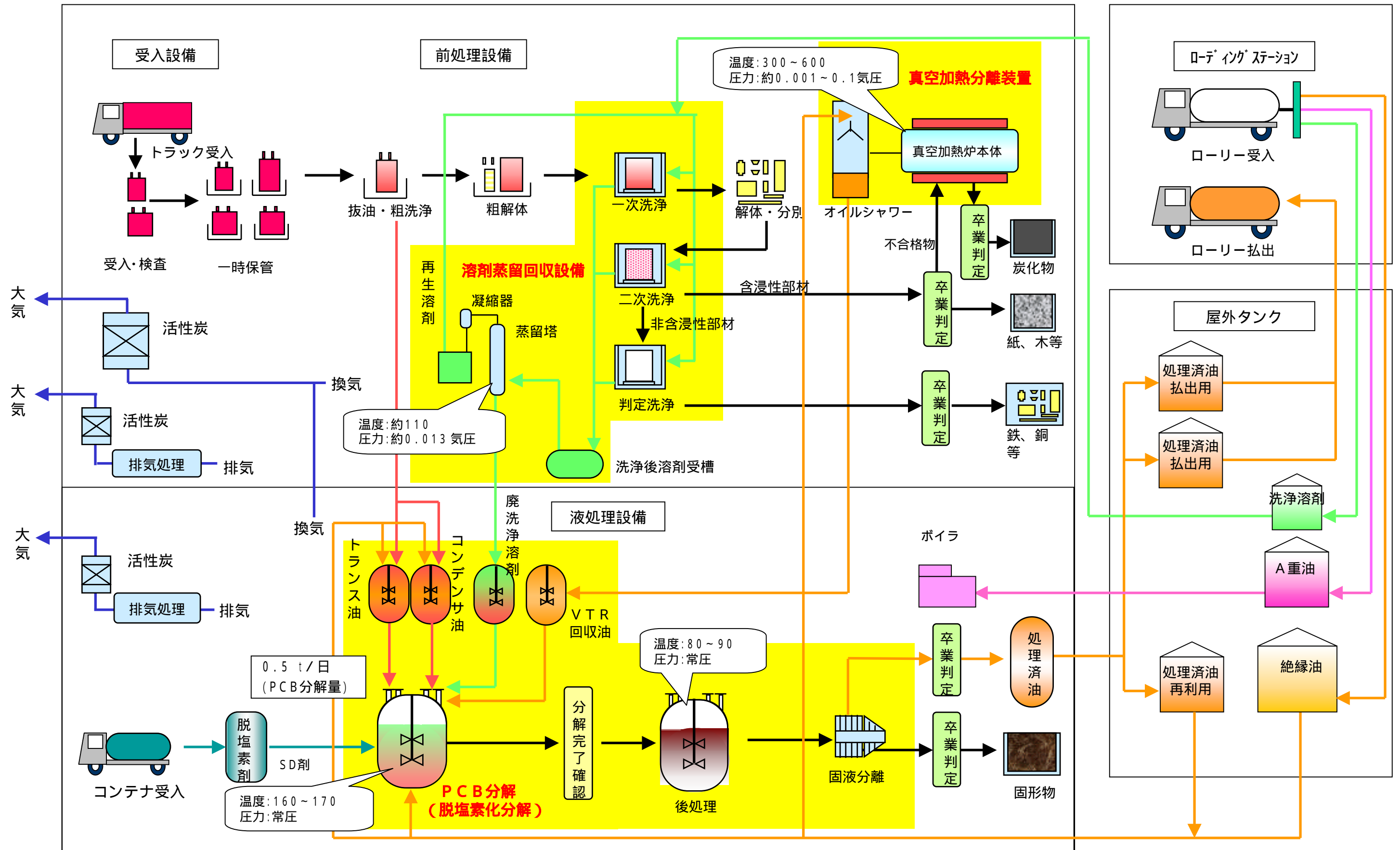
ハザード	引き金事象	想定シナリオ	設備・管理運営上の主な対策*1、2		発生頻度[回/年]	活性炭吸着(セフイネット)まで考慮した発生頻度[回/年]		
			引き金事象の抑制	事象進展の回避・緩和		小計	合計	
PCBの漏洩	排気ラインへのPCB油オーバーフロー	液処理	移送停止失敗	トランス油、廃洗浄油、等の移送時に、液位センサや弁・ポンプの故障で受入れ側の槽がオーバーフローし、PCB油が排気ラインへ入る。排気ラインを経由して建屋外へPCBが漏洩する可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液位「高」で、ポンプ停止、かつポンプ前後弁閉止。<math>&lt;4 \times 10^{-2}&gt;</math></li> <li>・積算流量計により移送量を制限。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液位計を二重化。<math>&lt;8.9 \times 10^{-4}&gt;</math></li> <li>・排気ラインにオーバーフローした場合、排気ラインの各種センサにより異常検知。</li> </ul>	8.4 × 10 <sup>-8</sup>	8.4 × 10 <sup>-8</sup>
	気体状PCB漏洩	液処理	スクラバポンプ故障	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日常点検の際にスクラバポンプの運転状態を点検チェックリストに記載し、健全性を確認。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポンプ流量「低」で液処理設備自動停止。(反応系:原料滴下ポンプ自動停止により反応槽へのPCB油滴下を停止。)</li> <li>(原料系:PCB油受入の自動弁閉で受槽へのPCB受入を停止。)</li> <li>・ポンプ流量計に、面積式より信号伝達の確実性の高いタイプを採用。<math>&lt;1.0 \times 10^{-3}&gt;</math></li> <li>・オンラインモニタリング装置からの分析異常信号を受け、オペレーターが当該排気系統の設備を手動により停止。</li> </ul>	1.4 × 10 <sup>-6</sup>	(×10 <sup>-2</sup> )
			用役設備である冷却設備の故障	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却設備の待機ポンプへ月一回切替え、および高置水槽への切替え試験を月一回実施することにより、切替えの信頼性をあげている。<math>&lt;8.2 \times 10^{-3}&gt;</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却設備故障で液処理設備自動停止。(反応系:原料滴下ポンプ自動停止により反応槽へのPCB油滴下を停止。)</li> <li>(原料系:PCB油受入の自動弁閉で受槽へのPCB受入を停止。)</li> <li>・高置水槽に自動切替え。<math>&lt;7.2 \times 10^{-3}&gt;</math></li> <li>・オンラインモニタリング装置からの分析異常信号を受け、オペレーターが当該排気系統の設備を手動により停止。</li> </ul>	7.2 × 10 <sup>-6</sup>	
		溶剤蒸留回収	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却設備の待機ポンプへ月一回切替えを実施することにより、切替えの信頼性をあげている。<math>&lt;1.0 \times 10^{-1}&gt;</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・冷却設備故障で溶剤蒸留回収装置緊急自動停止。(加熱器へのスチーム供給停止、蒸留塔への給液停止)</li> <li>・オンラインモニタリング装置からの分析異常信号を受け、オペレーターが当該排気系統の真空ポンプおよび溶剤蒸留回収装置を手動により停止。</li> </ul>	4.4 × 10 <sup>-6</sup>	5.8 × 10 <sup>-5</sup>	
		真空加熱分離	オイルシャワー冷却用チャラーの故障	冷却設備であるチャラーの故障により、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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・チャラーユニットの点検をバッチ毎に実施し、運転前に健全性を確認。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オイルシャワー出口温度「高」でヒーター自動停止。</li> <li>・チャラー水温度「高」でヒーター自動停止。</li> </ul>	4.2 × 10 <sup>-5</sup>	
		排気設備	スクラバポンプ故障	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日常点検の際にスクラバポンプの運転状態を点検チェックリストに記載し、健全性を確認。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スクラバ循環ライン流量「低」の警報で、当該系統の作業を停止。</li> <li>・ポンプ流量計に、面積式より信号伝達の確実性の高いタイプを採用。<math>&lt;1.0 \times 10^{-3}&gt;</math></li> <li>・オンラインモニタリング装置からの分析異常信号を受け、オペレーターが当該排気系統の設備を手動により停止。</li> <li>(A系:排気ファン停止、グローブボックス給排気自動ダンパー閉止。</li> <li>(B系:排気ファン停止、抜油中は完了後、洗浄は中断して溶剤抜取りに移行し停止。)</li> <li>(C、D系:真空ポンプ停止、洗浄装置停止。)</li> <li>(E系:真空ポンプ停止、溶剤蒸留回収装置停止。)</li> </ul>	3.2 × 10 <sup>-6</sup>	

\* 1 : 網掛けは通常の対策より充実した対策で、< > 内は網掛け対策による発生頻度の低減効果。

\* 2 : 斜体字の対策は、発生頻度の計算上はその低減効果を見込んでいないが有効と考えられる対策。



## 2.1 処理工程図



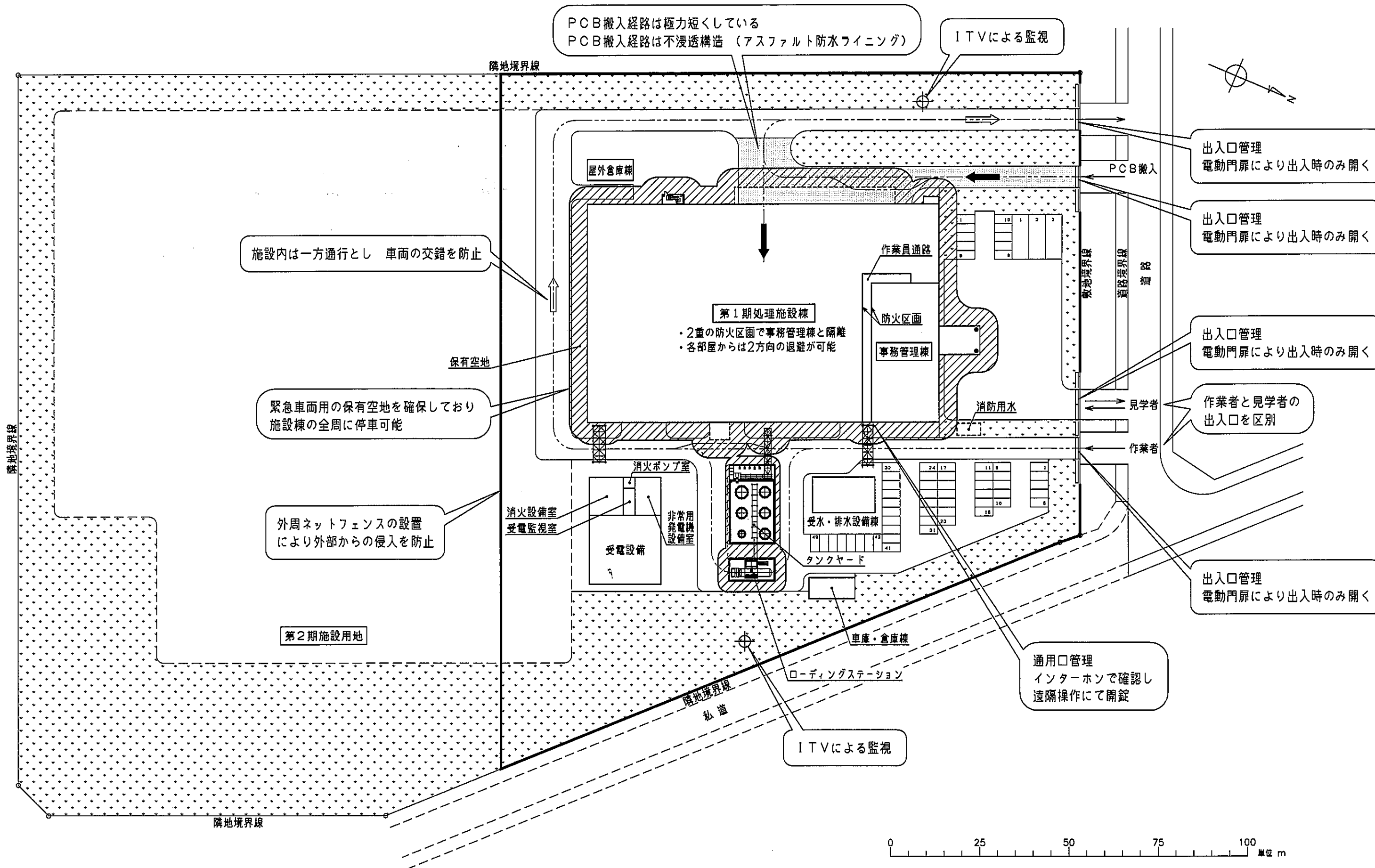
## 2.2 安全設計の具体的な内容

設計にあたり、安全に配慮した代表的な項目とその内容の一例は下表のとおりです。  
 なお、「目的と項目」欄の( )内の数値は1.安全設計の概要(1/4)の図中の番号に対応しています。

目的と項目	受入・前処理	真空加熱分離	液処理
運転状態安定化のための自動制御 (1.1) (2.1)	手作業のヒューマンエラー防止のため、極力機械化・自動化。  分離塔、精留塔の塔頂圧力制御および塔底加熱量の制御は自動制御。  中央監視室での集中制御管理。	真空加熱分離装置は処理対象物を受入れ、前準備完了後“処理プロセス開始”指令により処理完了まで自動運転。  中央監視室での集中制御管理。	液処理は基本的にバッチの自動運転。  反応時の加温・冷却用熱媒循環系統の温度制御は自動。  中央監視室での集中制御管理。
適正な材料選定 (1.2)	洗浄装置、抜油ポンプには防錆のためSUS材を使用。  PCB、洗浄溶剤ともに腐食性はなく炭素鋼が使用可能。なお、腐食代はJIS基準の1mmに対し1.5mmを採用。	真空加熱炉本体など高温に曝される機器には、耐熱性、耐食性を考慮しSUS材を使用。  炭素鋼が使用可能な部位の腐食代はJIS基準の1mmに対し1.5mmを採用。	反応槽、後処理槽などPCBに接する機器にはSUS材を使用。  固液分離機器も防錆のためSUS材を使用。  炭素鋼が使用可能な部位の腐食代はJIS基準の1mmに対し1.5mmを採用。
安定運転継続のための監視強化と警報発信 (2.2) (3.1)	作業状況確認のためITVを設置。  制御システムの安定化のため主要部分は二重化。  分離塔、精留塔の定常・安定運転に必要な温度、圧力、流量等の計器類については中央監視室への指示警報および制御機能付きを採用。  受槽、貯槽の液面警報は1次警報、2次警報の設定が可能な計器を採用。	運転状況確認のためITVを設置。  制御システムの安定化のため主要部分は二重化。  真空加熱分離装置の温度計、圧力計は1次警報、2次警報の設定が可能な計器を採用。  真空加熱炉周りの温度計、圧力計は二重化。	反応槽、後処理槽の内部状況監視のためITVを設置。  制御システムの安定化のため主要部分は二重化。  貯槽の液面計は1次警報、2次警報の設定が可能な計器を採用。  PCBの受槽類、液処理反応に関わる計量槽の液面計は二重化。  反応槽の温度計及び酸素濃度計は二重化。
手順ミス防止するためのインターロックシステムの構築 (3.2)	各操作で洗浄液を張り込む際、設定液面でインターロックが作動しポンプが停止。  排気スクラバ液の張込みは、警報付き液面計により設定値で供給ラインのバルブを自動閉。	自動運転中は各機器のスイッチ類および各計装機器の操作を無効。  自動運転中は各バルブの操作を無効。	PCB油の原料計量槽への受け入れ、反応槽への溶媒張り込みの際、設定液面でインターロックが作動しポンプが停止。  処理済油をローリーに積込む際、流量積算計にて計量後積み込みラインのバルブを自動閉。

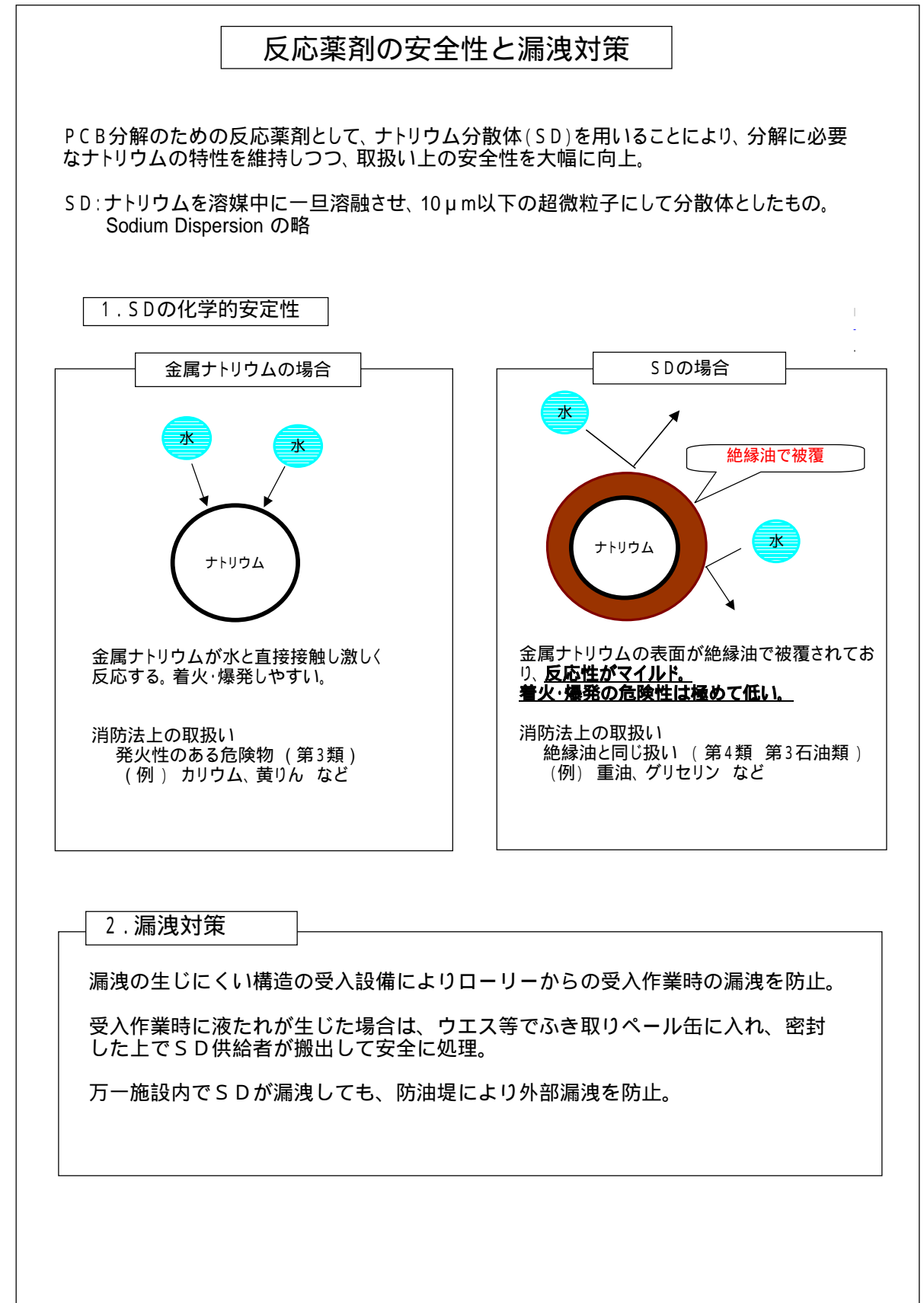
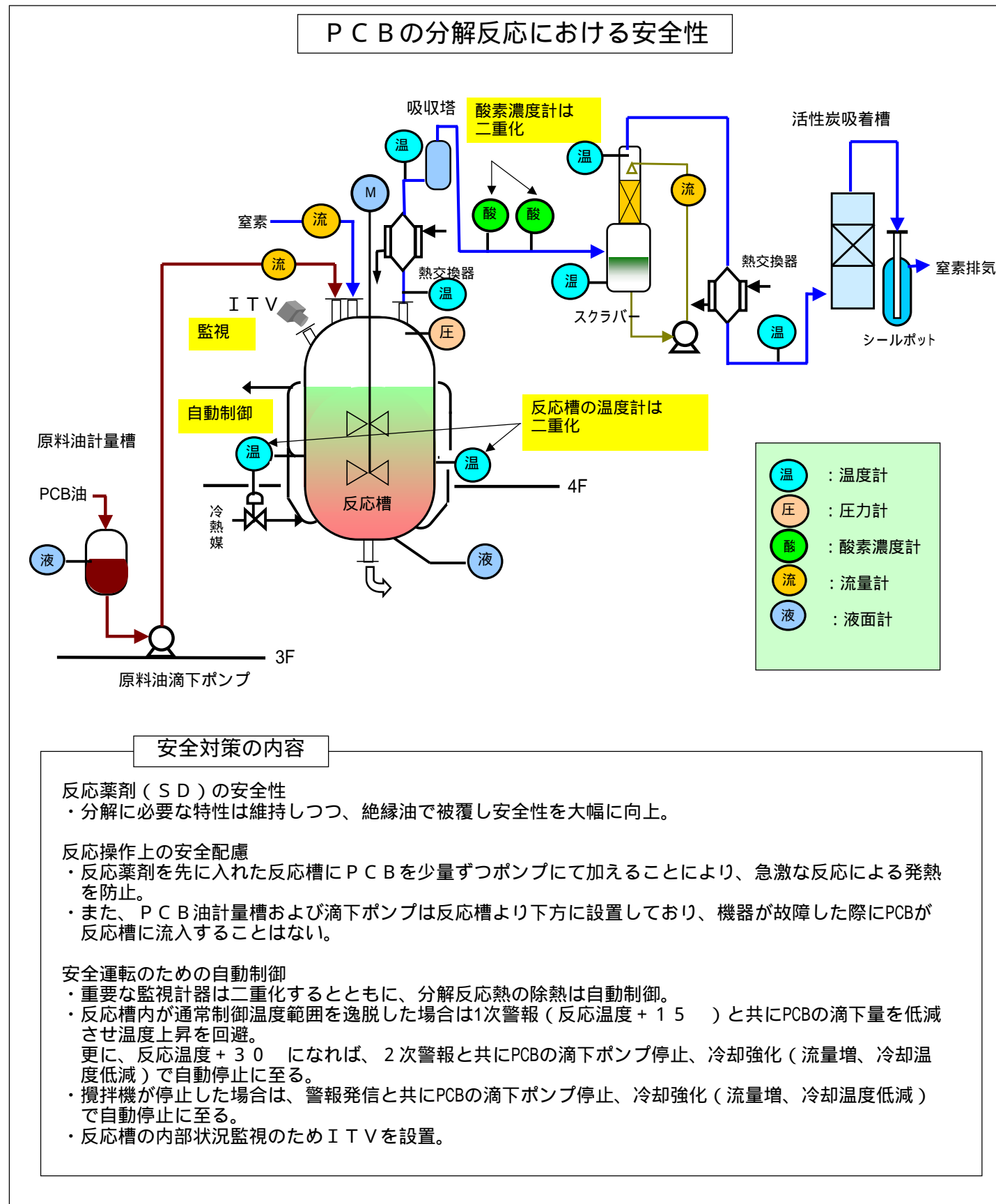
目的と項目	受入・前処理	真空加熱分離	液処理
安全に停止させるためのシステム (3.3) (3.4)	<地震時> 洗浄装置、溶剤蒸留回収装置は一定震度以上で停止。 クレーン等の搬送機器類は、安全を確保するため、状況を確認した後に作業従事者の判断で停止。 排気処理系統は地震の際も自動停止させない。  <停電時> 無停電電源装置により各計装機器に供給。 液処理設備については、非常用発電装置により反応槽攪拌機、後処理槽攪拌機、冷却ポンプ類、排気洗浄スクラバ循環ポンプ、各計装機器に供給。 非常用発電装置からの供給が停止した場合は全ての機器を停止。なお、各バルブの開閉は安全側に作動。	<地震時> 各機器は一定震度以上で停止。 停止時各バルブの開閉は安全側に作動。 排気処理系統は地震の際も自動停止させない。	
気体状PCB漏洩防止のための排気処理設備 (4.1)	プロセス排気は、グローブボックス排気系、抜油フード排気系、洗浄装置排気系、溶剤蒸留回収装置排気など系統別に処理したのち、最後にセーフティネットとして、それぞれ個別に活性炭吸着処理を行う。  なお、前処理を行う部屋の換気排気も活性炭を通して排気する。	真空加熱炉の排気はプロセス内で処理した後、最後にセーフティネットとして、活性炭吸着処理を行う。  なお、真空加熱分離を行う部屋の換気排気も活性炭を通して排気する。	プロセス排気は、受槽排気系、反応槽排気系、後処理槽排気系など系統別に処理したのち、最後にセーフティネットとして、それぞれ個別に活性炭吸着処理を行う。  なお、液処理を行う部屋の換気排気も活性炭を通して排気する。
気体状PCB漏洩防止のための管理区域設定による気密性確保 (4.2)	レベル1：1次洗浄室、2次洗浄室、溶剤蒸留回収室 レベル2：解体・分別室、破碎室、グローブボックス室 レベル3：粗解体室  なお、管理レベル毎に負圧管理を実施。	レベル1：真空加熱分離室	レベル1：液処理室
液状PCB漏洩防止のための多重のバリアー (4.3)	PCBを取り扱う機器の下部に一次バリアとしてのオイルパン又は防油堤、二次バリアとして防液堤を設置。  ・オイルパン ・防油堤 ・不浸透性塗床  床面には耐薬品性、耐久性のあるエポキシ樹脂による不浸透性塗床を施工し、地下浸透を防止。	PCBを取り扱う機器の下部に一次バリアとしてのオイルパン又は防油堤、二次バリアとして防液堤を設置。  床面には耐薬品性、耐久性のあるエポキシ樹脂による不浸透性塗床を施工し、地下浸透を防止。	PCBを取り扱う機器の下部に一次バリアとしてのオイルパン又は防油堤、二次バリアとして防液堤を設置。  床面には耐薬品性、耐久性のあるエポキシ樹脂による不浸透性塗床を施工し、地下浸透を防止。  SD剤受入場所には、コンテナ一車の周囲に側溝を設置

2. 3 敷地内レイアウト等に関する安全配慮  
 (搬入車両等の動線、施設内セキュリティ等への配慮)

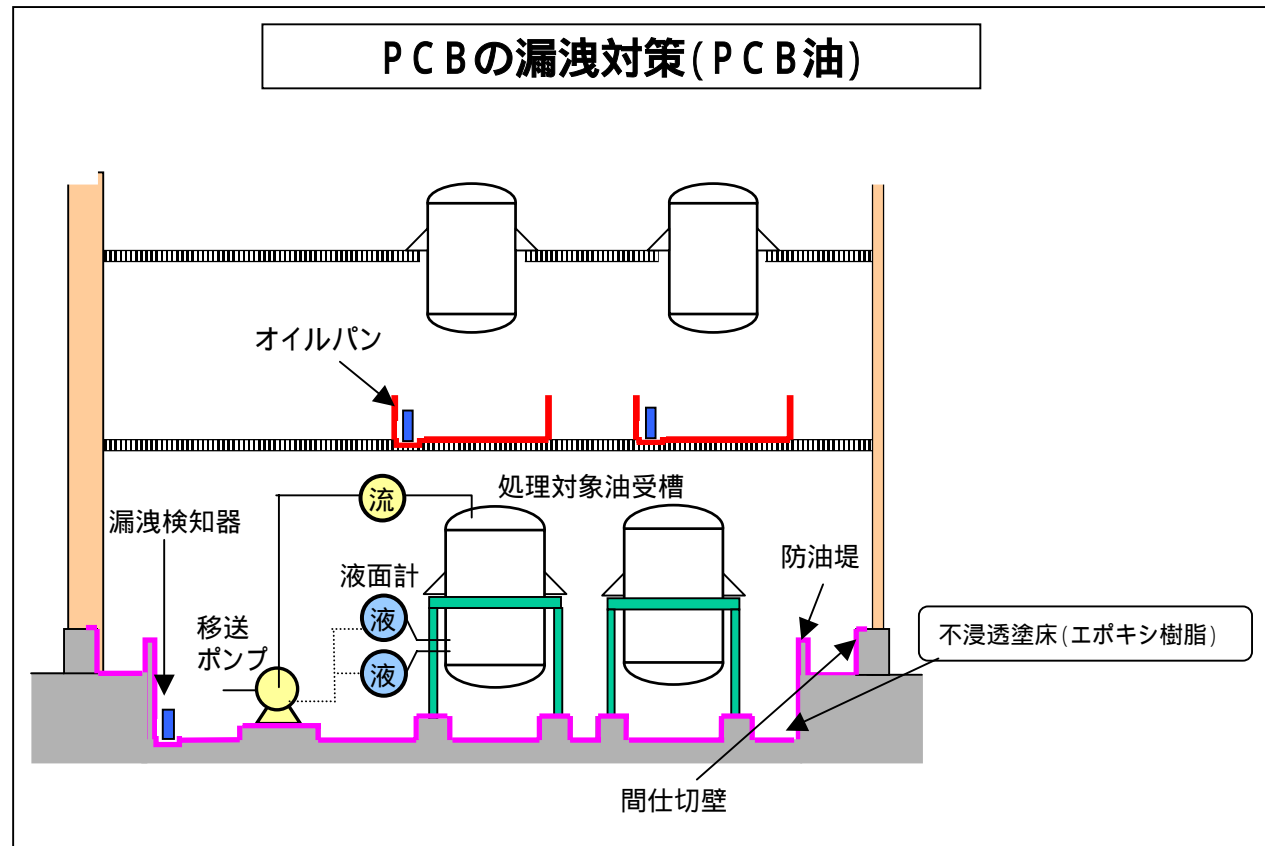




## 2.4 PCBの分解反応に関する安全設計



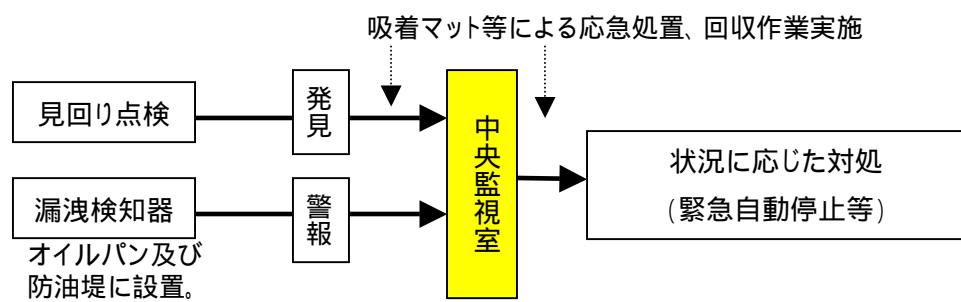
## 2.5 PCBの漏洩対策(施設外の環境中への漏洩防止対策)



### 1. 漏洩の防止対策

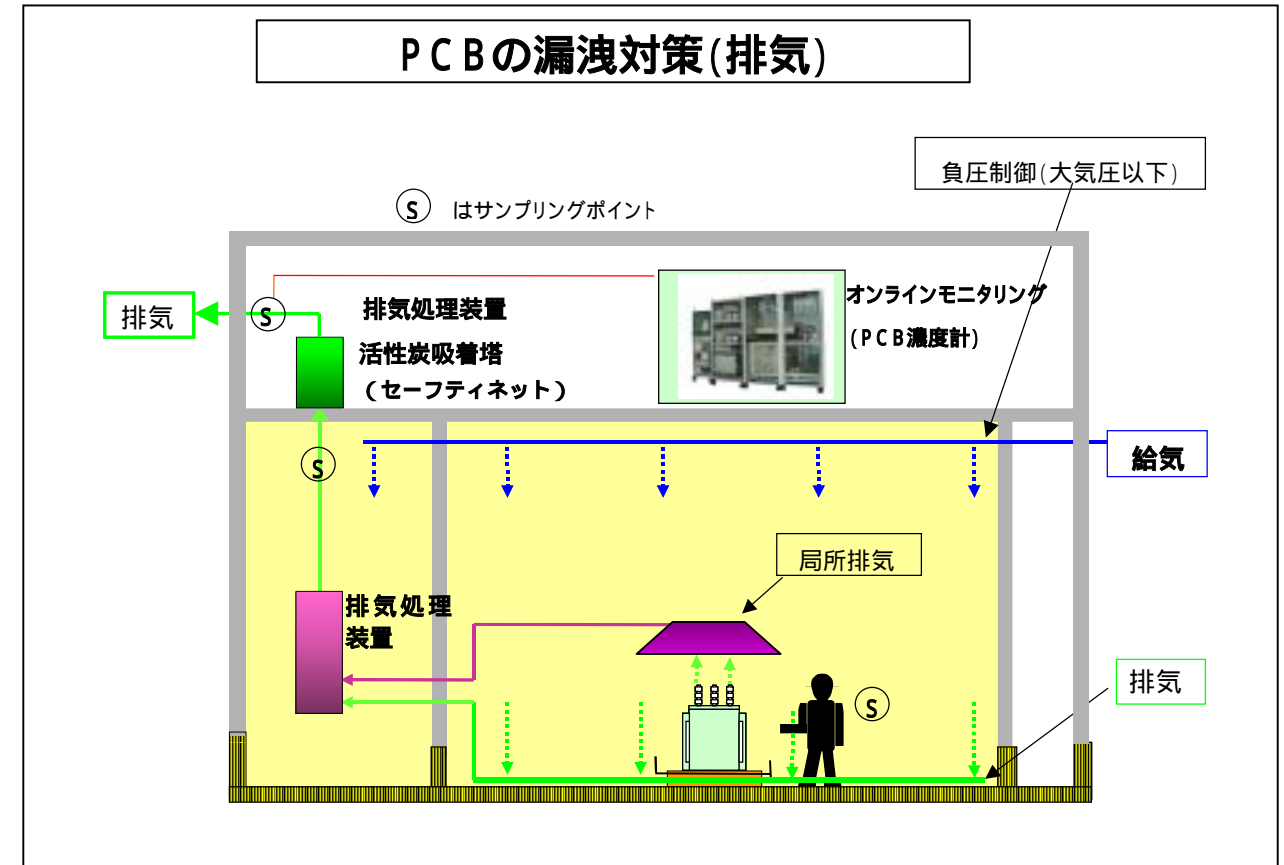
移送ラインに設置した積算流量計により移送量を制御。  
液面計とポンプの連動により、液位「高」の場合は移送ポンプを自動停止。  
主要な貯油槽の液面計を二重化。

### 2. 異常の検知と対応



### 3. 漏洩時の拡大防止対策(セーフティネット)

不慮の漏洩発生時でも下記対策により、外部漏洩を防止。  
鋼板溶接構造のオイルパン(該当機器容量の100%を確保)または防油堤の設置。  
なお、オイルパンの製作時には水張り試験等を行い、漏れないことを確認。  
間仕切壁下部が防液堤として機能。  
床面の不浸透塗床により地下浸透を防止。



### 1. 排気処理方法

PCB取り扱い作業は、作業内容によってグローブボックス又は局所排気装置を設置。  
発生源毎に処理系統を分割。

スクラバー等の排気処理装置によりPCBを除去

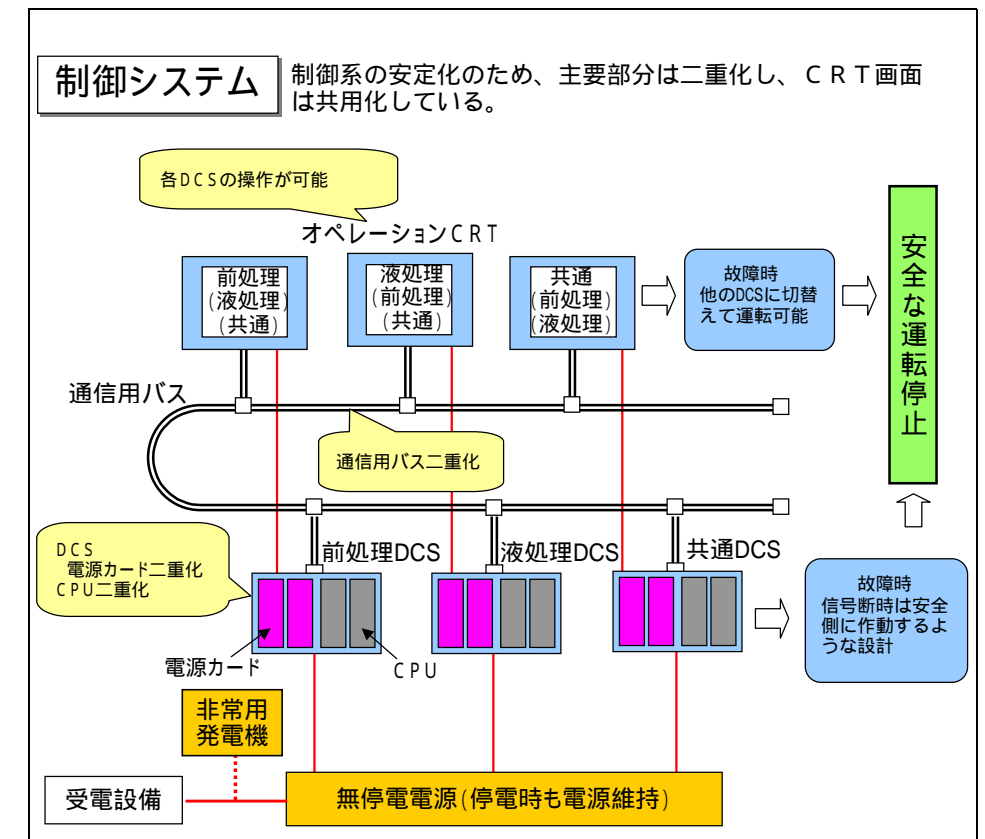
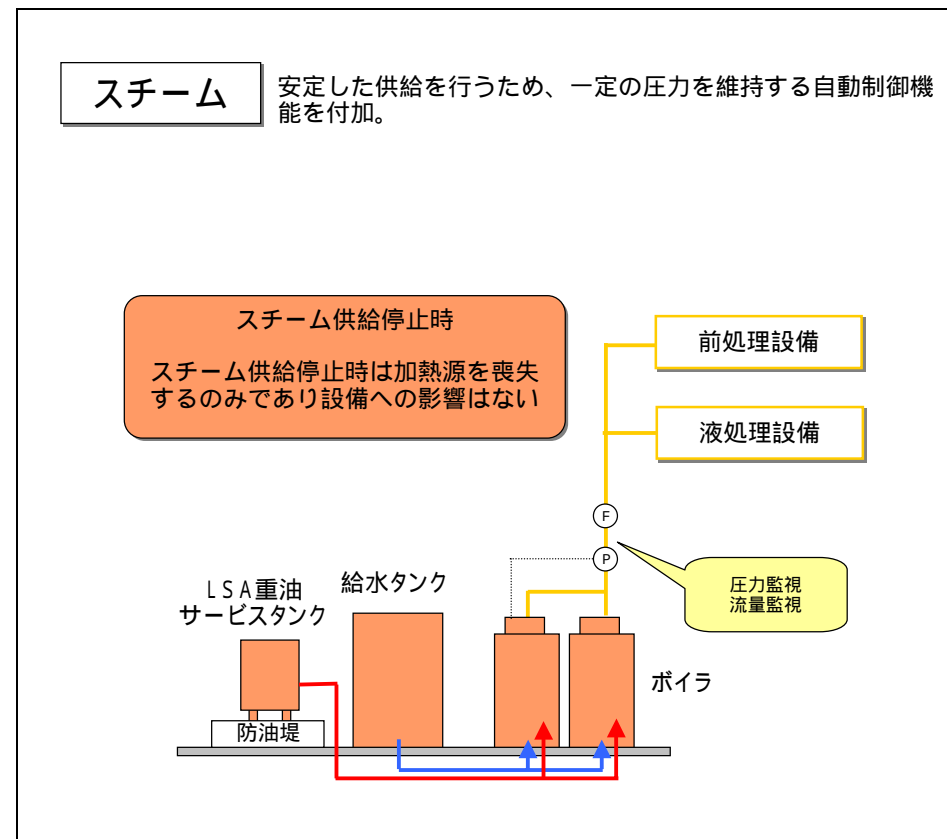
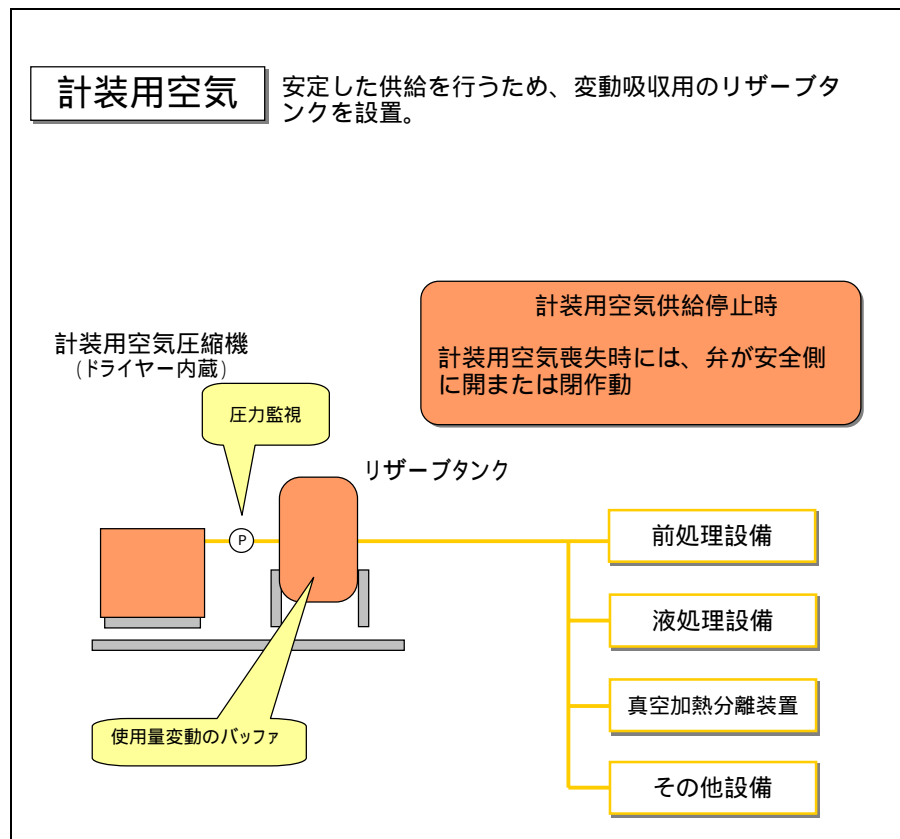
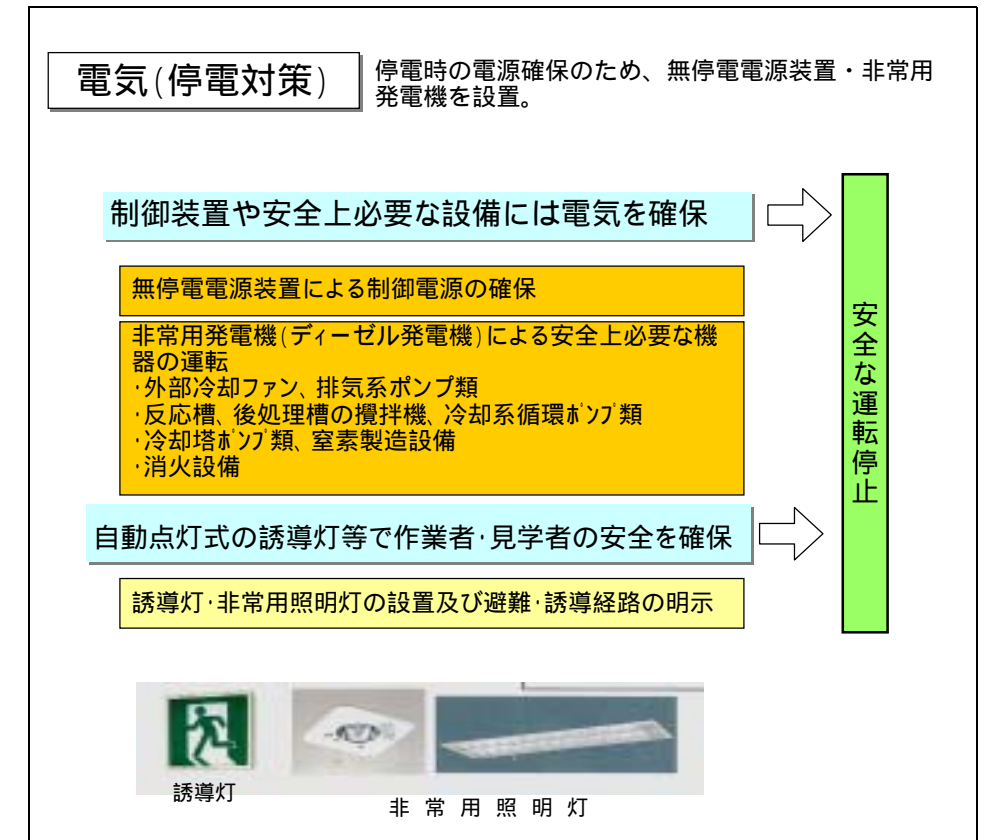
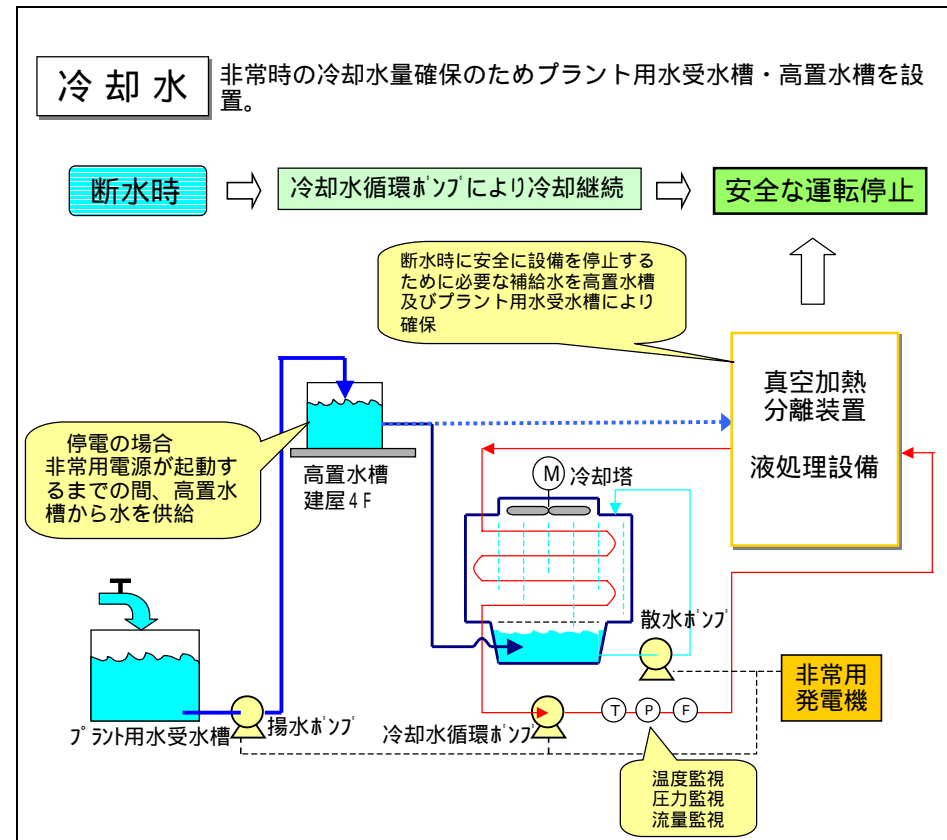
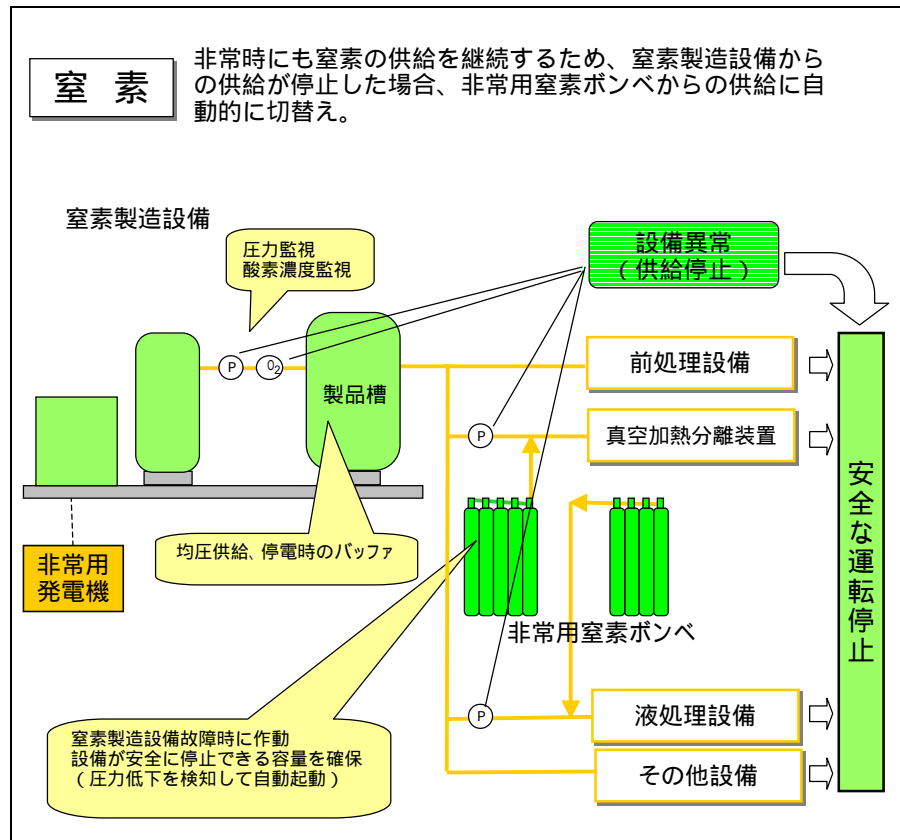
### 2. 排気処理機能の監視

見回り点検により、排気処理設備の正常な稼働を確認。  
排気分析を定期的の実施し、排気処理機能を確認。  
オンラインモニタリングにより中央監視室にて常時監視。

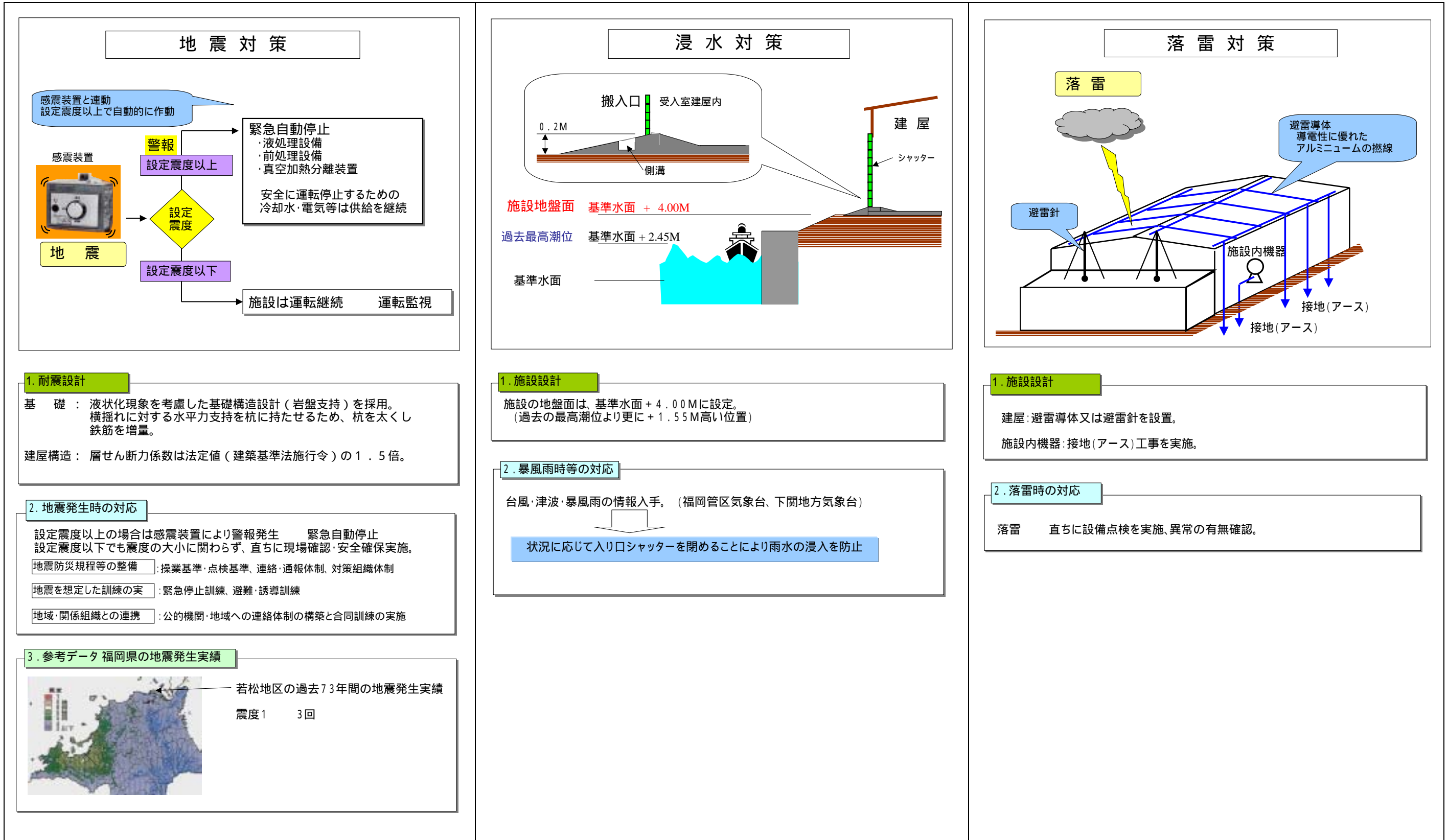
### 3. セーフティネット

活性炭吸着塔  
排気処理(PCB除去)後、更に活性炭吸着塔を通して施設外へ排出。  
负压管理  
各室は管理レベルに応じた负压管理を実施しており、施設内の空気が外部に漏れることは無い。

## 2.6 ユーティリティ設備の安定供給対策



## 2.7 自然災害に対する安全設計





## 2.8 火災に対する安全設計

### 設備上の火災予防対策

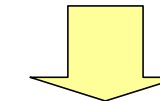
施設を火災から守るため、以下のような設備対策を講じています。  
 なお、建屋の消防法上の取り扱いは、「危険物一般取扱所」であり、取扱対象危険物は第4類第3石油類および第4石油類です。

1. 建築物の構造：鉄骨耐火構造。
2. 壁の仕様：石膏ボード、ALC板など不燃材料を使用。
3. 防火区画：施設内に防火区画を設定し防火壁で区切っている。
4. 電気設備：溶剤蒸留回収室（1F～4F）、液処理室（1F～4F）は防爆仕様。
5. 避雷設備：建屋には避雷導体、又は避雷針を設置。  
施設内機器には接地施工。
6. 警報設備：自動火災報知設備を設置。
7. 消火設備：粉末消火設備、消火栓設備を設置

-  粉末消火設備
-  消火栓設備
-  火災検知器
-  消火器
-  電気信号

### 消火方法

1. PCB油を含む危険物の取扱部屋及び電気室 → **粉末消火**
2. 上記以外の部屋及び屋外 → **消火栓**

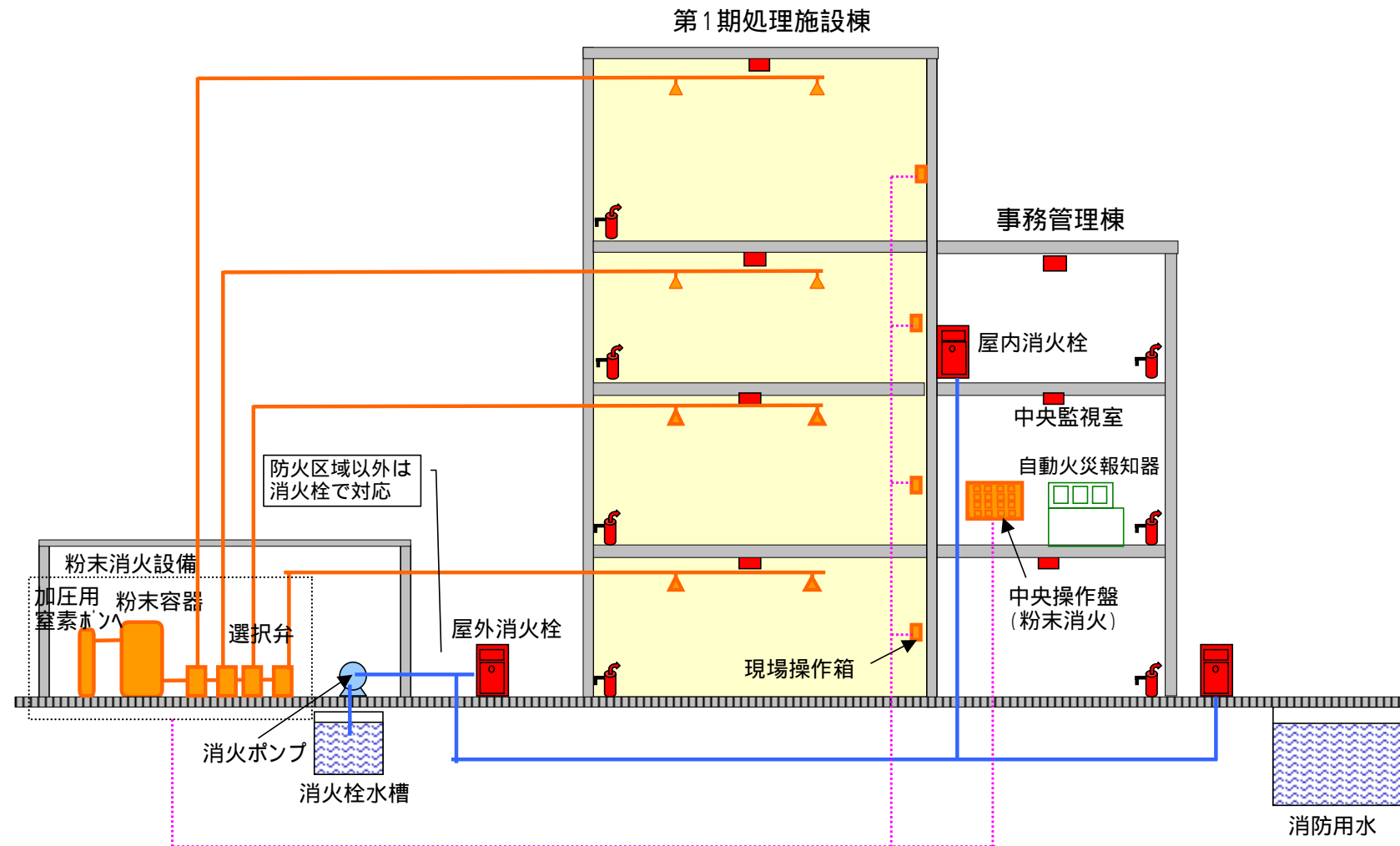


### 固定消火設備

粉末消火設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・危険物（油）を取り扱う部屋、電気室に配置</li> <li>・各部屋毎に消火が可能</li> <li>・操作スイッチは各部屋の出口および、中央監視室に配置</li> </ul> <p>(動作フロー)</p> <pre>             graph TD             A[火災確認] --&gt; B[中央操作盤スイッチON]             A --&gt; C[現場操作箱スイッチON]             B --&gt; D[警報、タイマー作動]             C --&gt; D             D --&gt; E[タイマータイムアップ]             E --&gt; F[窒素ポンプ作動 粉末容器加圧]             F --&gt; G[選択弁作動 (部屋毎に設置)]             G --&gt; H[粉末放出]             C --&gt; I[スイッチON以降は自動]             I --&gt; D             </pre> <p>タイマー設定時間内に非常停止鈕を押せば起動を停止する。</p>
消火栓設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・危険物（油）を取り扱わない部屋に対応</li> <li>・1F / 2Fは屋外消火栓、3F / 4Fは屋内消火栓に対応</li> </ul>

### 自動火災報知器、消火器

- ・各部屋に火災検知器、消火器を配置
- ・脱塩素剤を取り扱う部屋は特殊消火器を配置（金属ナトリウム用）



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

## 表一覽

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

## 図一覽

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。

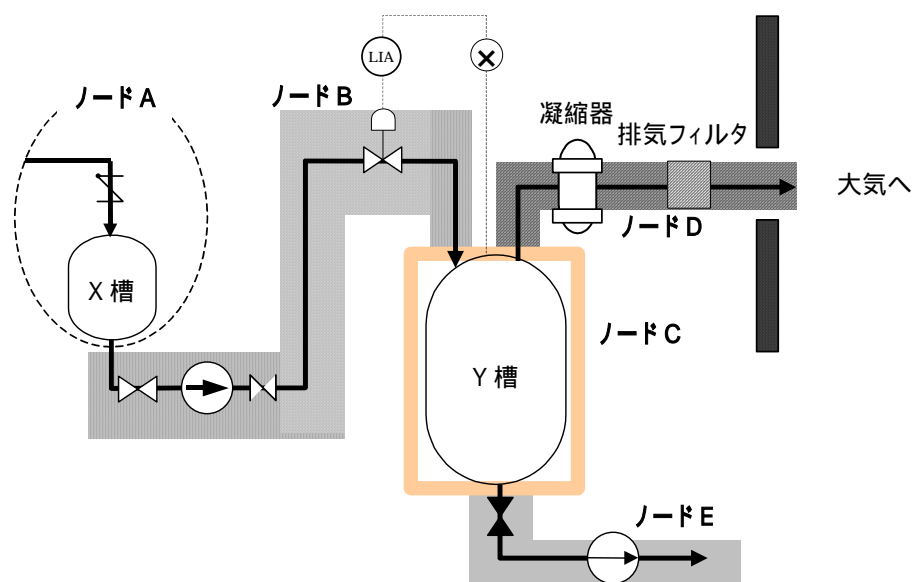
HAZOP では、配管計装図に従って図 1 に示すように、プラントを構成するプロセスライン、構成設備の機能を考慮し分析対象範囲に区分し（これをスタディノードと称する、以下ノードという）各々のノードについてパラメータ（流量、温度、圧力、液位など）が正常状態からずれた（増加、減少など）ことを想定し、そのずれの原因を特定するとともに、ずれが発生した際の設備の安全性に及ぼす影響を定性的に評価する。本 HAZOP 分析では、設備全体に渡ってずれの想定、ずれが発生したときの設備への影響分析をシステムの・網羅的に実施しており潜在危険性を漏れなく洗い出すことができたといえる。



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 で抽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抽出された。

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

ハザード	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 PCB 処理や、後処理槽での余剰 SD 剤処理において、排出弁の開閉操作で処理済み液を排出する際に、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、反応槽では引火転移上の絶縁油との混合気が、後処理槽では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、真空バウンダリーが破れ、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。
	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、真空バウンダリーが破れ、空気が流入し、気化ガスとの混合気を形成し発火する。		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。	
	排気設備	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）
建屋内 PCB 油漏洩	溶剤蒸留回収装置	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。
		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。	
	真空加熱分離装置	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、シールポ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、 $1.4 \times 10^{-8}$  (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( $1.4 \times 10^{-6}$ /時間) × 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： $4.2 \times 10^{-7}$ /時間 + 機能喪失： $7.1 \times 10^{-7}$ /時間) × 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( $1.4 \times 10^{-6}$ /時間) × 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、 $1.0 \times 10^{-2}$ 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 $1.0 \times 10^{-2}$ 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 $1.0 \times 10^{-1}$ 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、 $4.6 \times 10^{-9}$  (回/年) と評価された。7 つの排気設備を併せると、 $3.2 \times 10^{-8}$  (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： $1.0 \times 10^{-4}$ /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  $1.0 \times 10^{-3}$  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( $1.2 \times 10^{-6}$ /時間) × ( $1.0 \times 10^{-3}$ ) × (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  $1.0 \times 10^{-1}$  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  $1.0 \times 10^{-2}$  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	$2.0 \times 10^{-8}$ 回/年	
溶剤蒸留回収設備	$7.7 \times 10^{-7}$ 回/年	
真空加熱分離装置	$8.2 \times 10^{-7}$ 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。

<PCBの漏洩>の発生頻度：

PCB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PCB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PCB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  $8.4 \times 10^{-8}$  回/年、 $5.8 \times 10^{-7}$  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><PCB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  $1 \times 10^{-2}$ 、静電気放電の確率を  $1 \times 10^{-1}$  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  $1 \times 10^{-2}$  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 1020 [回/年]
N <sub>2</sub> 供給失敗 [ ストレーナ閉塞 ] (移送前)	$1.7 \times 10^{-5}$	窒素供給ラインのストレーナがバッチの間 ( 12時間 ) に閉塞する確率
圧力検知失敗 [ 圧力計故障 ]	$1.4 \times 10^{-5}$	ストレーナが閉塞していること ( N <sub>2</sub> 供給失敗 ) を移送開始までに 検知できない確率
N <sub>2</sub> 供給失敗 [ ストレーナ閉塞 ] (移送中)	$1.4 \times 10^{-6}$	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 ]	$1.0 \times 10^{-2}$	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	$1.0 \times 10^{-2}$	接地不良の確率
放電	$1.0 \times 10^{-1}$	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 ]	$8.8 \times 10^{-1}$	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 )	$5.3 \times 10^{-6}$	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	$1.0 \times 10^{-1}$	オンラインPCBモニタの故障確率
活性炭充填不良	$1.0 \times 10^{-2}$	活性炭が正しく充填されない割合

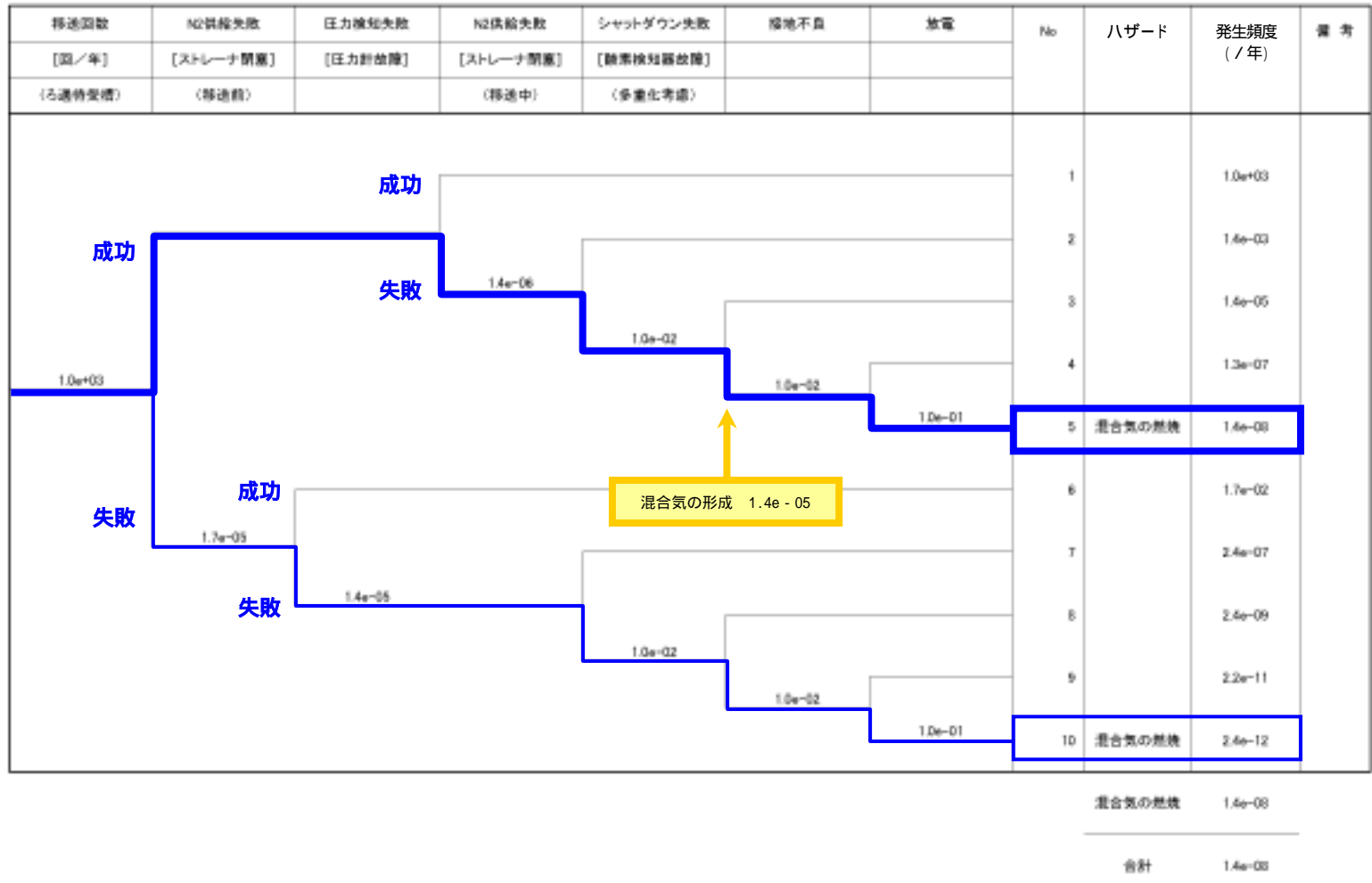


図2 液処理設備 後処理槽における混合気燃焼のイベントツリー

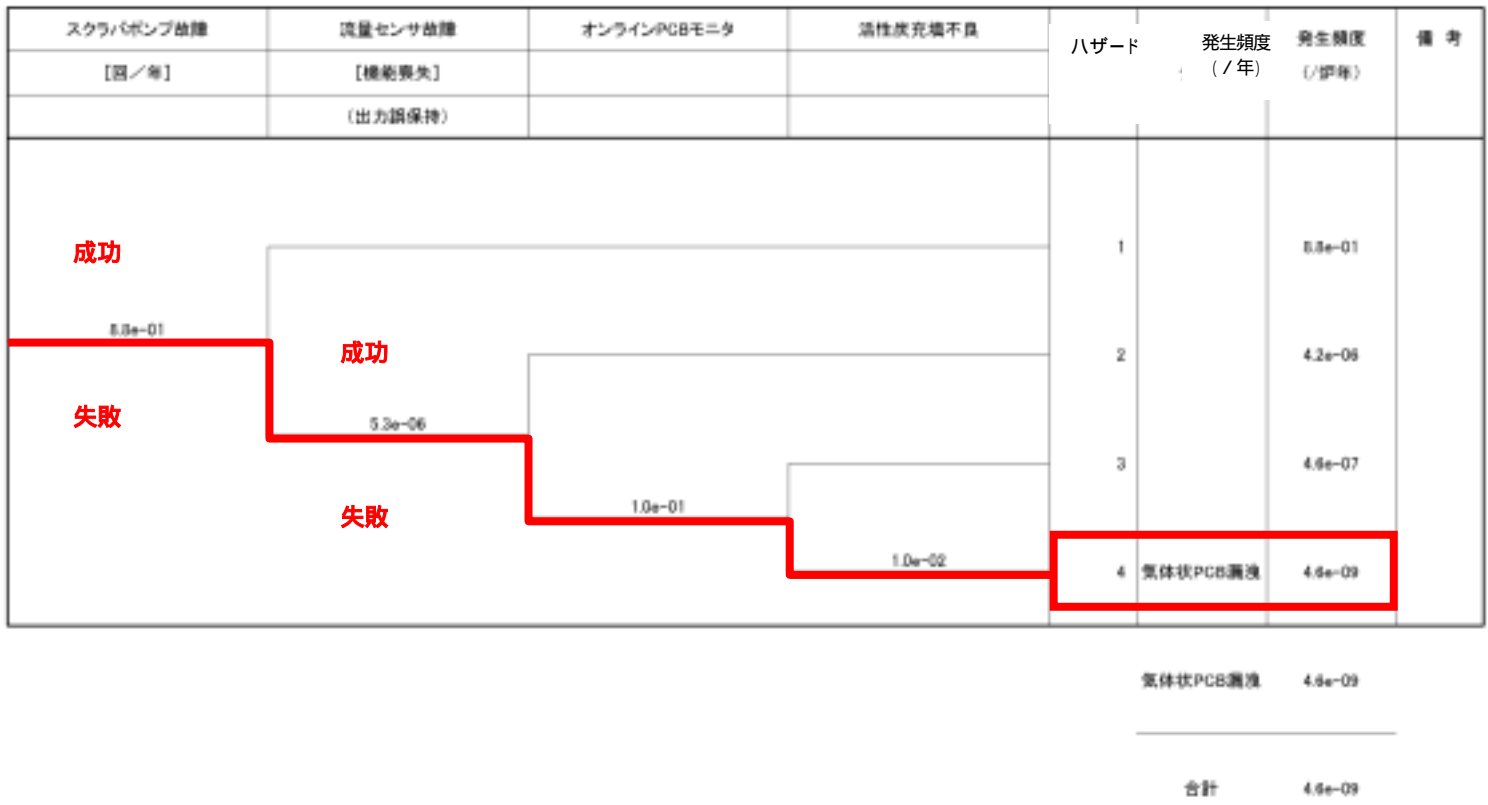


図3 設備高レベル排気の排気設備 気体状 PCB 漏洩のイベントツリー

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	$6.4 \times 10^{-4}$	$6.4 \times 10^{-9}$	(図2に対応)	
		後処理槽への窒素供給ライン閉塞	$1.4 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-8}$		
	<b>合計</b>			-	<b><math>2.0 \times 10^{-8}</math></b>	
	溶剤蒸留回収	真空ポンプ戻りライン弁誤開		$3.5 \times 10^{-3}$	$3.5 \times 10^{-9}$	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		$3.5 \times 10^{-3}$	$7.7 \times 10^{-7}$	同上
		加熱器伝熱管破損		$9.6 \times 10^{-2}$	$3.5 \times 10^{-11}$	同上
		洗浄槽出口弁誤開		$1.4 \times 10^{-3}$	$9.8 \times 10^{-10}$	1 洗浄中における出口弁の誤開頻度
	<b>合計</b>			-	<b><math>7.7 \times 10^{-7}</math></b>	
	真空加熱分離	温度制御故障によるドア部リングの過熱破損		$3.3 \times 10^{-3}$	$8.0 \times 10^{-7}$	(FT算定結果) × 5.1 [バッチ/年]
		冷却設備故障によるドア部リングの過熱損傷		$1.0 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-8}$	
	<b>合計</b>			-	<b><math>8.2 \times 10^{-7}</math></b>	

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	$2.4 \times 10^{-6}$ 2	$2.1 \times 10^{-9}$	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
		移送停止失敗	廃洗浄油	$4.2 \times 10^{-6}$ 3	$3.8 \times 10^{-9}$	3 同上
		移送停止失敗	廃洗浄油(PCB貯槽)	$8.7 \times 10^{-5}$ 4	$7.8 \times 10^{-8}$	4 同上
	<b>合計</b>			-	<b><math>8.4 \times 10^{-8}</math></b>	
気体状PCB漏洩	液処理	スクラバポンプ故障	スクラバポンプ故障 ×3台	$8.8 \times 10^{-1}$	$1.4 \times 10^{-8}$	評価対象は3箇所であるためイベントツリー解析結果を3倍した。
		スクラバ等の冷却機能不全	スクラバ等の冷却機能不全	$1.0 \times 10^{-2}$	$7.2 \times 10^{-8}$	
	溶剤蒸留回収	冷却設備の故障	冷却設備の故障	$1.0 \times 10^{-2}$	$4.4 \times 10^{-8}$	
	真空加熱分離	オイルシャワーの冷却機能不全	オイルシャワーの冷却機能不全	$4.2 \times 10^{-5}$	$4.2 \times 10^{-7}$	(FT算定結果) × 5 1 [バッチ/年]
	排気設備	スクラバポンプ故障	スクラバポンプ故障 ×7台	$8.8 \times 10^{-1}$	$3.2 \times 10^{-8}$	(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。
<b>合計</b>			-	<b><math>5.8 \times 10^{-7}</math></b>		

### 【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、万が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ミングを採用している。 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30～50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。配管もトランス仕様としている。 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。 刃物によっては、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）
		<p>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。</p>	
<p>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？</p>	<p>作業従事者の聴力障害</p>	<p>破碎作業時、作業従事者は室外。</p>	<p>試運転時に騒音レベルの測定を実施すること。</p>
<p>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？)</p>	<p>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。</p>	<p>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。</p> <p>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</p>	<p>&lt;参考&gt; 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・・・～5000ppm 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</p>
<p>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？</p>	<p>液処理工程の作業工程とアンバランスが発生。</p>	<p>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。</p> <p>トランス油受槽 : 6 m<sup>3</sup> × 2基 コンデンサー受槽 : 3 m<sup>3</sup> × 2基 廃洗浄油受槽 : 4 m<sup>3</sup> × 2基 VTR回収油受槽 : 3 m<sup>3</sup> × 2基</p>	