

東京PCB廃棄物処理施設(高濃度)の 安全設計について

平成16年12月15日

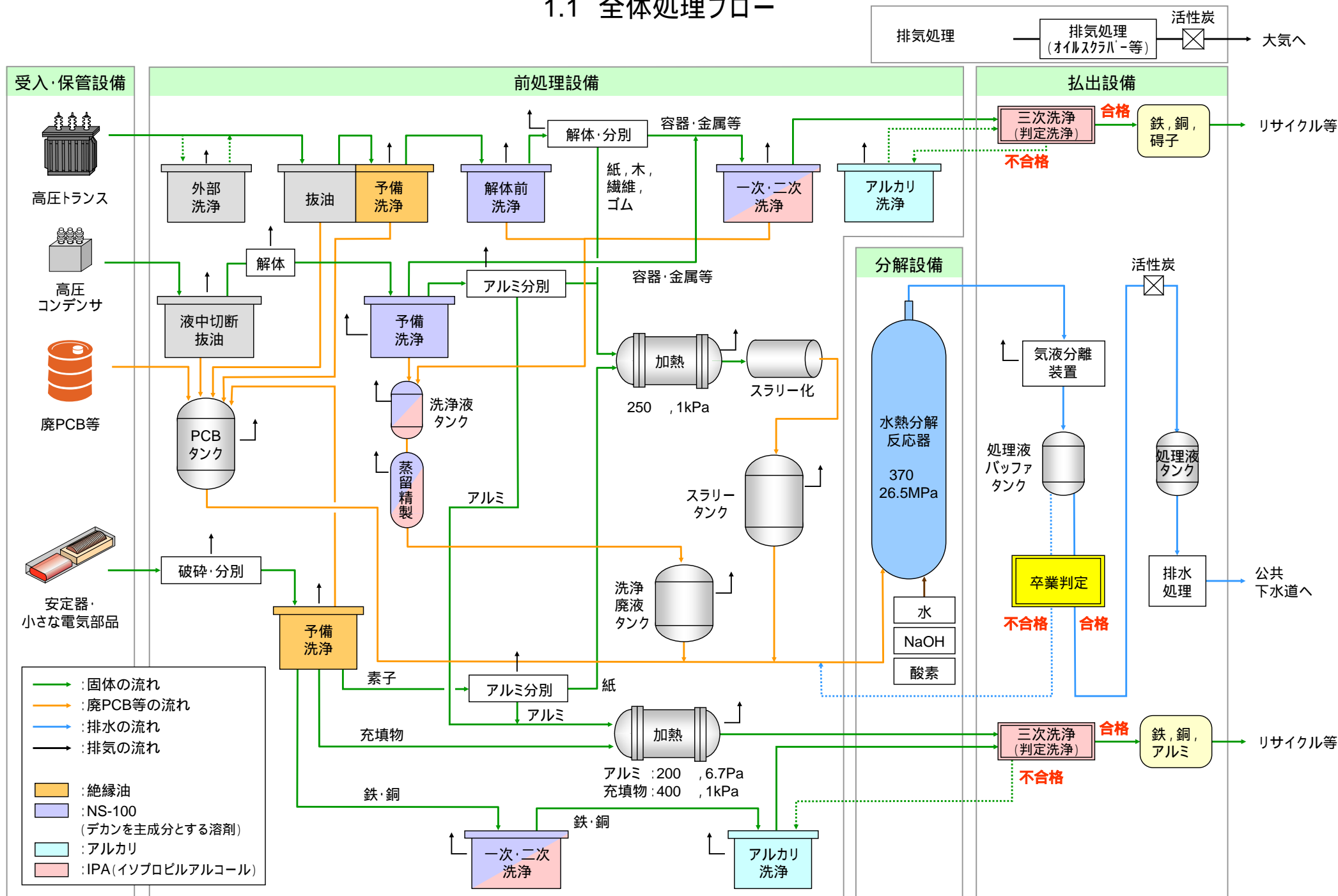
日本環境安全事業株式会社

目 次

1. 安全設計の概要	1
1.1 全体処理フロー	2
1.2 基本設計における基本方針	3
1.3 安全設計の具体的な内容	4
1.4 水熱分解設備の高温・高圧対策	5
1.5 PCB漏洩対策(施設外の環境への漏洩対策)	6
1.6 異常時の対応	7
1.7 過去関連事件事例と本施設での対応	8
1.8 ユーティリティ設備の安定供給対策	9
1.9 敷地内における安全配慮について	10
1.10 自然災害に対する安全設計	11
1.11 火災に対する安全設計	12
1.12 作業従事者の安全確保	13
2. 安全解析の内容	14
2.1 安全性評価実施概要	15
2.2 安全評価結果まとめ(「PCB漏洩」)	16
2.3 安全評価結果まとめ(「火災・爆発」)	17
3. 安全解析結果の設計への反映事例	18

1. 安全設計の概要

1.1 全体処理フロー



)スラリー化: 液体と固体粒子との懸濁液

1.2 基本設計における基本方針

1. 基本設計方針

東京PCB廃棄物処理施設は、次の基本方針に基づき安全性を確保した設計としております。

- (1) 関連法令の遵守
 - (2) 東京事業の地域条件への対応
 - 安全な処理方式の採用
 - ・水熱分解方式による化学処理システムの採用
 - ・洗浄溶剤として浸透性に優れたIPA(イソプロピルアルコール)の採用
- 施設の安全対策
- ・多重防護の思想のもと操業監視システム、フェイルセーフとセーフティネットの構築
 - ・環境モニタリング等
 - ・環境中への漏洩対策および作業従事者の安全確保のため、PCBのオンラインモニタリングの実施等
 - ・リスクコミュニケーション
 - ・情報公開のための施設の設置、地域とのリスクコミュニケーションの実施

2. 安全設計概要

基本設計方針に基づき、プロセス安全設計、操業監視システム、フェイルセーフおよびセーフティネットによる多重の安全設計を実施しました。

(4) セーフティネット

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。
建屋内に管理区域を設定し、レベルごとに負圧管理。
オイルパン・防液堤・不浸透性塗床によりPCB油の漏洩防止、被害拡大防止。

(3) フェイルセーフ

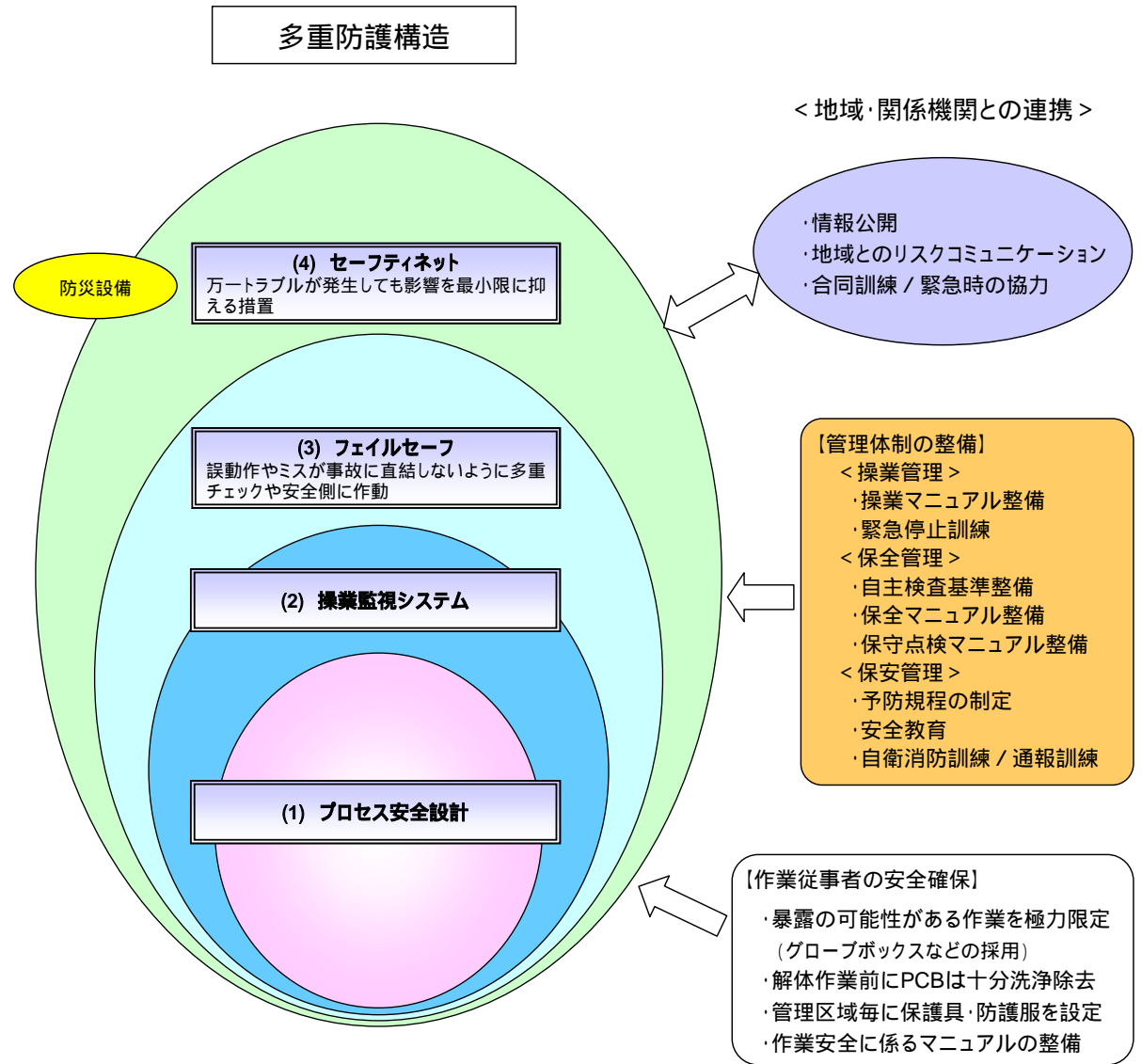
主要な温度・圧力・液面計器、酸素濃度計は二重化。
異常時の弁の開閉は安全側に作動。
水熱分解設備で異常発生時には、シーケンシャル停止モードに移行し安全に停止。
地震や火災など緊急性が高い異常発生時には、独立した保安インターロックで停止。
万一、水熱分解設備のインターロック不動作時には、機器を保護のため安全弁および緊急減圧弁が作動。
水熱分解の排水はモニタリング装置により全量PCB濃度を確認後放流。

(2) 操業監視システム

中央監視室にて集中監視。
水熱分解設備、洗浄設備は中央監視室にて集中制御。
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

PCBの約60倍の量の熱水中での分解であるため、反応が緩やか。
使用環境を模擬した腐食試験結果に基づいた材料選定。
水熱分解反応器は化学プラントの一般的手法でスケールアップし、シミュレーションで妥当性を検証。
IPAを使用する洗浄槽内は窒素で不活性化。



1.3 安全設計の具体的な内容

自然災害に対する安全設計

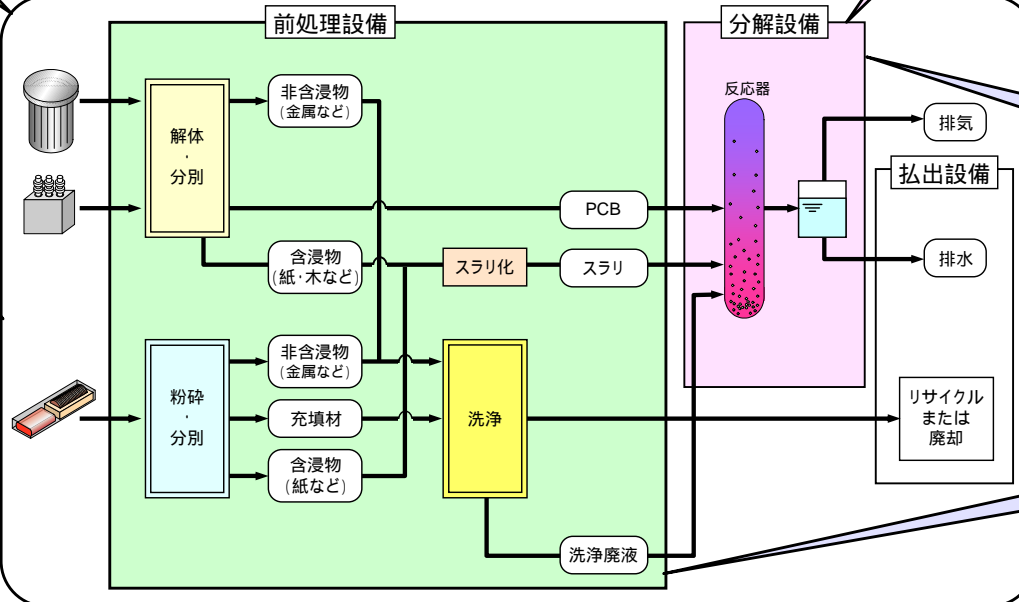
- **地震対策**
 - 最新の法令に準拠した耐震設計
 - 設定震度以上でのプラント自動停止
- **浸水対策**
 - 施設の地盤面は、前面道路より+800mm(最高潮位+約4800mm)に設定
 - シャッター外側に側溝を設置し雨水浸水防止
- **落雷対策**
 - 避雷針, 接地(アース)の設置

水熱分解設備の高温・高压対策

- **設計**
 - 使用圧力・温度を考慮し, 十分な強度を持つ構造
 - 異常発生時にはシーケンシャル停止モードに移行し, 安全に停止
 - 地震・火災等緊急性が高い異常発生時には独立した保安インターロックで停止
 - 反応器, 反応器廻りの配管からの万一のリークに対して, 負圧維持および活性炭吸着によりPCBの系外への漏洩を防止
- **材料**
 - 使用環境を再現し, 材料評価試験を実施の上, 適切な材料を選定
- **施工・検査**
 - チェックシートによる作業手順確認の徹底
 - 適切な非破壊検査による欠陥の確認
- **保守・検査**
 - 年次点検時の目視および非破壊検査にて割れの有無, 減肉量を調査

火災に対する安全設計

- **適切な防爆対策**
 - IPAを使う洗浄槽は窒素置換, 洗浄槽を入れるユニットは, エンクロージャで囲い, 内部換気
 - 洗浄ユニットにガス検知器を設置し, 洗浄中のIPA漏洩を検知
 - 可燃性雰囲気を生じ得る可能性のある場所では防爆品を使用
- **不燃対策**
 - 建家は準耐火建築物
 - 壁はALC板等を使用
 - 防火戸, 防火シャッターを設置
- **消火設備**
 - PCB油を含む危険物を扱う部屋と電気室は粉末消火



PCB漏洩対策

- **多重の安全対策**
 - オイルパン, 防液堤, 不浸透性床による多重の地下浸透防止対策
 - 排気処理設備とセーフティネットの活性炭による多重の排気対策
 - 水熱分解排水はPCB濃度が排水基準以下であることを確認後放流
 - 主要な液面計二重化とポンプのインターロック停止
- **負圧管理**
 - 管理レベルに応じた負圧管理
 - PCB取扱い作業は内容に応じてグローブボックスまたは局所排気装置を設置
 - オンラインモニタリングによる排気中PCBの監視

敷地内における安全配慮

- **敷地出入管理**
 - 敷地入口, 出口はそれぞれ専用とし, 電動門扉設置
 - TVカメラにより24時間監視
 - 敷地境界に赤外線センサを設置し外部からの侵入防止
- **通用口管理**
 - 職員, 作業員の日常出入口を1ヶ所に限定し, 人員を把握
- **車輛の安全**
 - 構内は一方通行とし, 交錯を防止
 - PCB搬入経路は極力短縮化

ユーティリティの安定供給

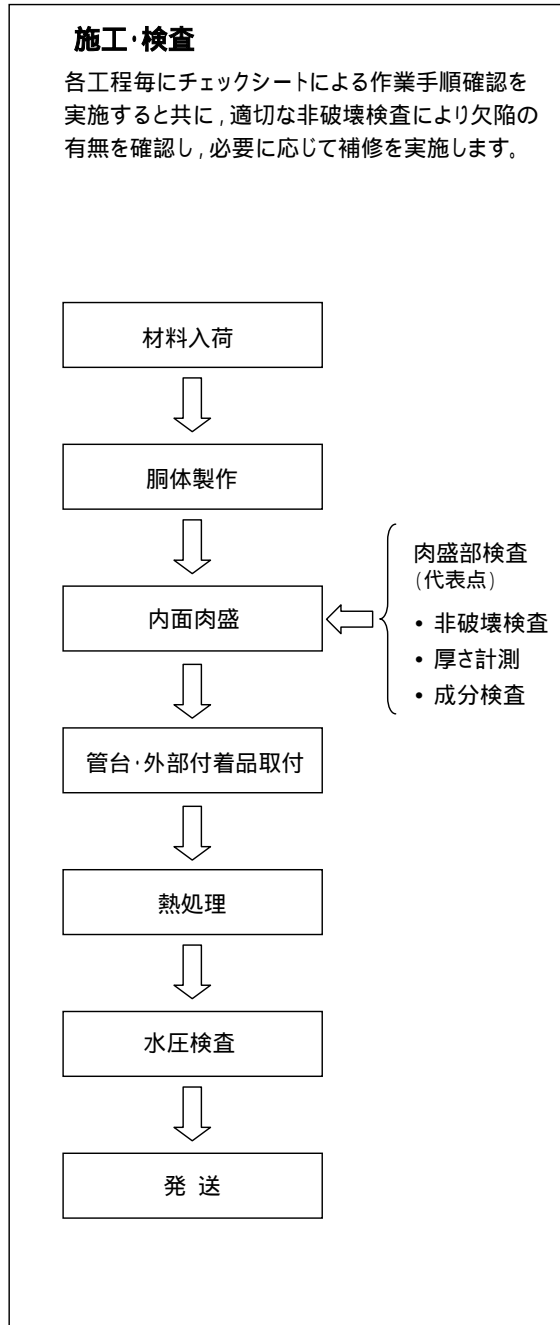
- **窒素のバックアップ**
 - 窒素製造設備停止時のバックアップとして窒素ポンプを設置
- **断水時の冷却水確保**
 - 断水時・停電時の冷却水確保のため, プラント用水受水槽, 屋上冷却槽を設置
- **停電時のバックアップ**
 - 受電系統を二重化し停電を防止
 - 停電時の電源として無停電電源装置, 非常用ディーゼル発電機を設置
- **圧縮空気の確保**
 - 安定供給のため空気だめを設置
 - 圧縮空気喪失時には弁は安全側に作動
- **制御システムの二重化**
 - 主要部は二重化し, CRT画面は共用

1.4 水熱分解設備の高温・高圧対策

水熱分解設備では、高温・高圧での使用環境を考慮し、設計、施工、検査、運転および保守を行います。

項目	配慮事項
設計	使用温度・圧力を考慮し、十分な強度を有する構造としております。反応器は压力容器構造規格に基づき設計しております。 配管にて摩耗減肉が懸念される減圧弁出口などは、厚肉としております。
材料	環境(温度・液性状)を考慮した材料選定を行っております。
施工・検査	各工程毎に作業手順の確認および非破壊検査により欠陥有無の確認をすることで品質を管理します。
運転	自動制御により適切な状態にてPCB処理が進むようにします。 運転制御方針 1) 反応器内の圧力を計測し、反応器下流の圧力制御弁により自動で圧力を制御 2) 反応器内の温度を計測し、反応器上流の給水加熱器により自動で温度を制御 3) 給水、PCB汚染油、NaOHの各供給系統はポンプ入口流量を計測し、所定の流量になるよう、ポンプ回転数により自動で流量を制御。酸素は、反応器入口の流量を計測し、所定の流量になるよう、流量調節弁により自動で流量を制御
保守・点検	初年度中間時および年次定検時に目視点検および非破壊検査にて割れの有無、減肉量を調査します。

材料
<p>水熱分解設備で使用する材料については下記の評価試験を行い、適正な材料選定を行っております。</p> <ul style="list-style-type: none"> 水熱分解設備と同様の高温・高圧環境下での腐食・減肉試験 局部腐食の兆候もなく、腐食速度0.02mm/年未満を確認 応力腐食割れ加速試験 7000hまで割れは認められず、実機において80000hの寿命は十分達成できると推定 自家処理プラント解体調査 約3000h運転後の解体調査の結果、腐食・減肉のないことを確認



保守・点検

(反応器の点検項目)

反応器には上部に設置されたマンホールより入り、昇降装置を使って上下することにより内部肉盛の状況を点検します。

腐食減肉試験結果と比較し、余寿命を評価します。

- 反応器内部肉盛
 - 反応器内面からの目視点検
 - 代表箇所のPT*1(割れ有無確認)および肉厚計測(腐食減肉評価, 摩耗減肉評価)
- 管台と配管溶接部
 - 溶接線UT*2(割れ有無確認)および肉厚計測(腐食減肉評価, 摩耗減肉評価)

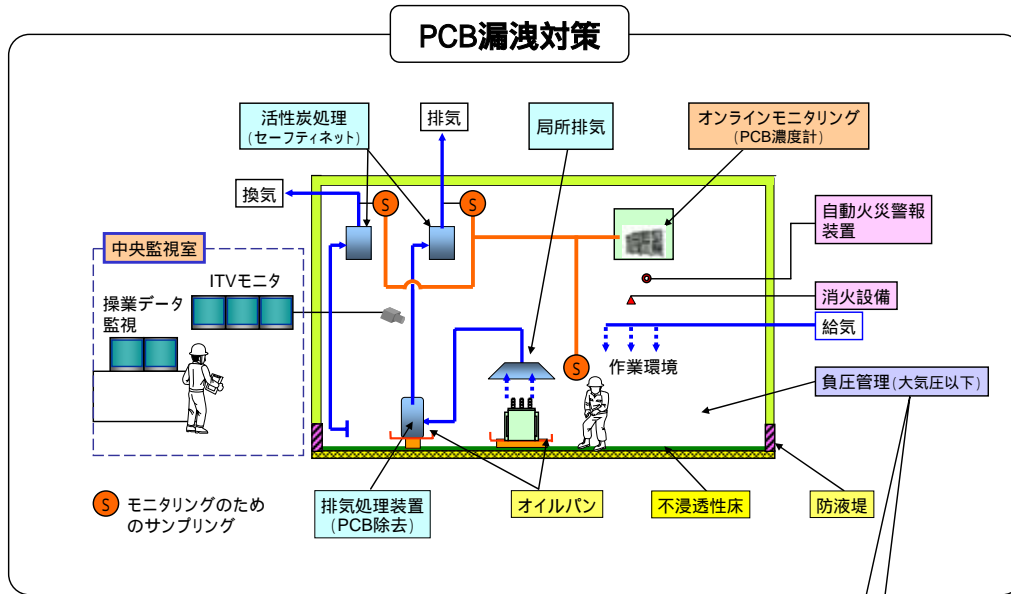
*1: 浸透探傷検査
*2: 超音波探傷検査

(配管の点検項目)

過去の配管事故例を反映し、肉厚計測を行うことで、余寿命を評価します。

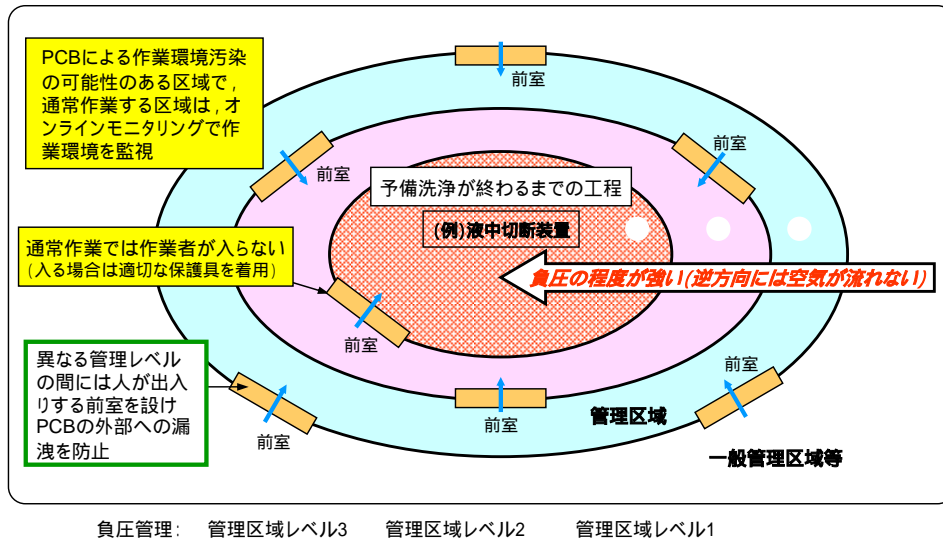
- 曲がり部、減圧弁直後の配管等
 - 肉厚計測(摩耗減肉評価)

1.5 PCB漏洩対策(施設外の環境中への漏洩対策)



負圧管理

PCB管理区域は、管理レベルに応じた負圧管理を行い、作業環境および作業者の安全を確保します。



1. 漏洩の防止対策

(1) 液体の漏洩防止対策

水熱分解排水はPCB濃度が排水基準以下であることを確認後放流
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

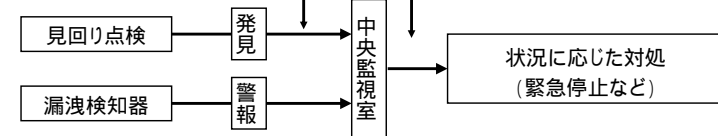
(2) 気体の漏洩防止対策

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し、スクラバーなどの排気処理装置によりPCBを除去

2. 異常の検知と対応

(1) 液体漏洩への対応

吸着マットなどによる応急処置、回収作業実施



漏洩が発生した場合の影響が大きいトランスの液抜き・予備洗浄設備

(2) 気体漏洩への対応

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. 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

(1) 液体漏洩の拡大防止対策

想定される漏洩に対して十分な容量の鋼板溶接構造のオイルパンまたは防液堤の設置
なお、オイルパンの製作時には水張り試験などを行い、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

(2) 気体漏洩の拡大防止対策

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

負圧管理

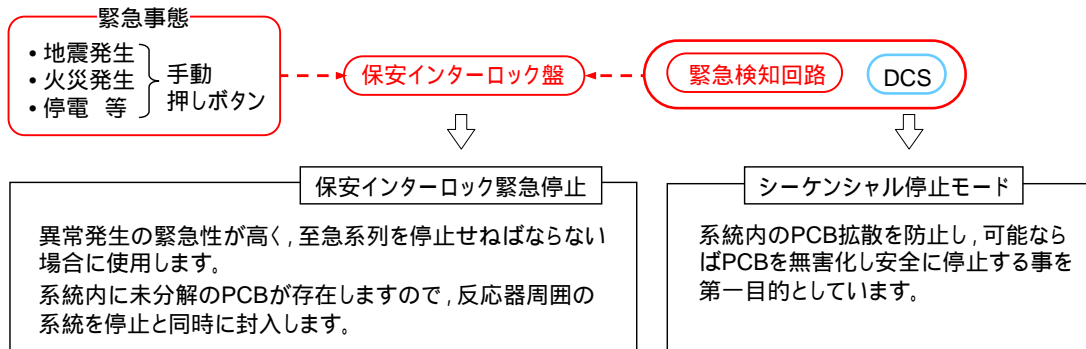
各室は管理レベルに応じた負圧管理を実施しており、施設内の空気が外部に漏れることは無い

1.6 異常時の対応

水熱分解設備では万一の異常発生に備え、異常発生も考慮した制御および系外へのPCB漏洩対策に配慮しています。

(1) 異常発生時の制御

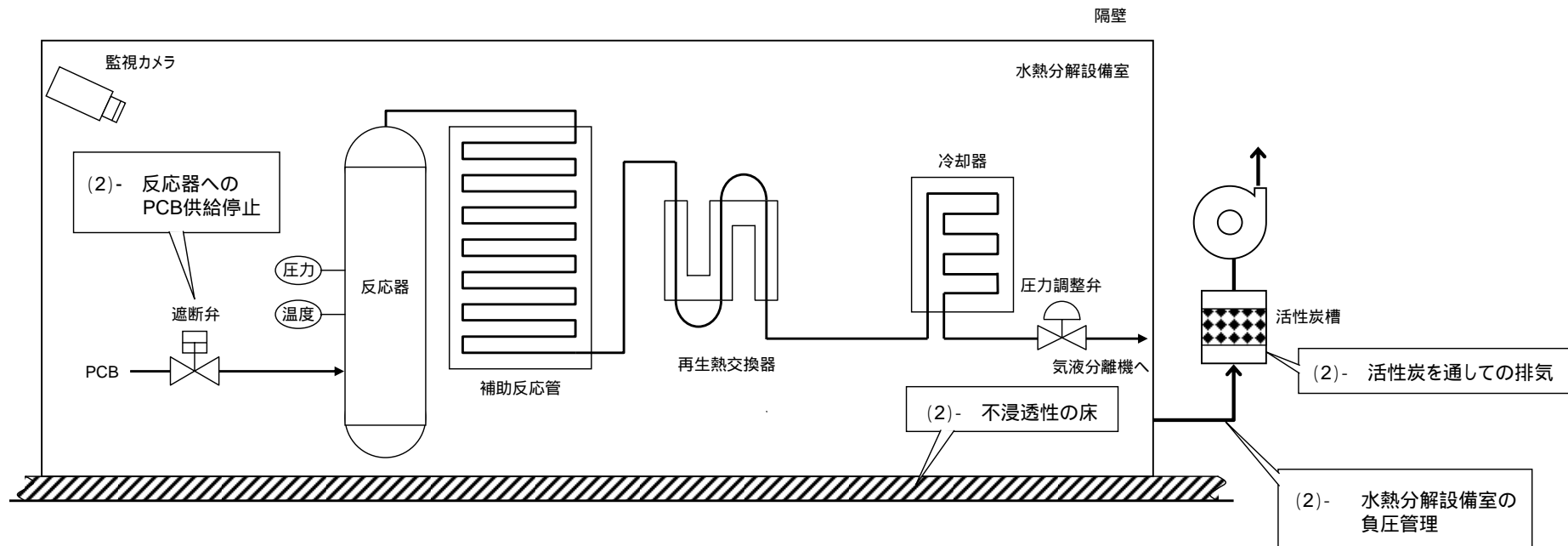
DCS(分散制御システム)で運転に必要な全ての機器を制御すると共に異常有無を監視し、異常発生時はシーケンシャル停止モードに移行し、安全に停止します。
又、地震や火災などの緊急性が高い異常発生時にはDCSとは別の緊急停止が可能な保安インターロックでシステムを停止します。



(2) PCB漏洩対策

水熱分解設備では、反応器および反応器廻りの配管等から大規模な水(蒸気)の放出を起こす原因(摩耗減肉や腐食減肉等)に対し十分な検討を行っており、その対策(肉厚配管の採用、素材検査の徹底等)を設計・製作に反映しております。従って、万一リークが発生したとしても、ピンホールやヘアクラックといった小さい亀裂を想定しております。万一小さい亀裂によりリークが発生した場合においても、系外にPCBを漏らさないため、下記の対策をとっております。

- 【対策】**
- 反応器へのPCB供給停止
 - 水熱分解設備室の負圧管理
〔万一、ピンホール、ヘアクラックからリークが発生した場合でも負圧が維持できる〕
排気量を確保
 - 活性炭を通しての排気
(反応器内に想定される最大のPCB量を吸着するのに十分な活性炭を設置)
 - 不浸透性の床



1.7 過去関連事故事例と本施設での対応

水熱分解装置とシステムが類似と思われるN社Y工場反応塔事故およびS発電所2号機給水管破断事故との対比を行い、問題点への対応策が構じられていることを確認しました。

N社Y工場反応塔事故

(1) N社Y工場での反応塔破裂について

発生日月：1972年4月30日

事故概要：ジンプロ式排水処理装置(排水加压燃燒装置)の反応塔の下部1m-2m付近で爆発が起こり、塔の本体は北方に飛ばされ約80mの位置にあったポンプのベント配管に当たり、配管から吹き出したガス(B-B溜分)に引火し、火災となった。
なお、火災は1時間後に消えた。

(2) 想定される事故原因とその対応について

直接原因：昇圧ポンプ不調にもかかわらず運転を継続し、それにより反応塔への給水量が低下し、反応塔下部での異常昇温が発生。それにより反応塔の材料強度が低下し、反応塔が破裂し事故に至った。また中間生成物として発生した可燃ガスと空気との反応による圧力上昇も原因として考えられる。

(3) 事故原因と東京PCB廃棄物処理施設での対応

本事故原因と東京PCB廃棄物処理施設での対応について下表にまとめる。

事故原因	詳細	東京PCB廃棄物処理施設水熱分解設備での対応
a. 環境負荷条件推定の誤りによる構造設計不良	反応塔設計圧力に異常時の圧力、温度上昇が想定されていなかった。また、それらの異常を検知し、安全に停止されるインターロックシステムがなかった。	<ul style="list-style-type: none"> 本質的に水熱分解反応は、PCB量の約60倍の水の中で穏やかに反応させるものである。反応熱による水の温度上昇は最高60℃程度で、これにより反応温度を保ち、非常に安定した反応が行われる。 温度、圧力、各種反応剤の流量を自動制御し、異常発生を未然に防止し、安定な運転を確保する。 万一、反応器内の圧力や温度の異常を検知した場合は、インターロックにより安全に分解を停止する。 さらに万一の場合を想定し、安全弁により反応器内の異常な圧力上昇を防ぐものとしている。 材料および構造に関しては、長期に渡る自家処理プラントの経験・知見を踏まえ、耐圧や温度、耐腐食性に対し十分な信頼性を得るものとしている。
b. 計装制御システムの欠陥	インターロックシステムがなく、主要機器故障時にも運転を継続した。	<ul style="list-style-type: none"> 温度、圧力、各種反応剤の流量の自動制御により、異常発生を未然に防止すると共に、運転範囲を逸脱した場合には警報により注意を促すなど、安定な運転を確保する。 万一、反応器内の圧力や温度の異常を検知した場合は、インターロックにより安全に分解を停止する。
c. 経験不足による技量未熟	主要機器不調(昇圧ポンプ)にも関わらず、内部異常現象が想定できず、運転を継続した。	<ul style="list-style-type: none"> 長期に渡る自家処理プラントの実証運転を踏まえた運転操作手法を確立しており、運転マニュアルおよび異常発生時対応マニュアルへ反映する。 自動制御により運転員の操作ミスを防止し、適切な処置ができるようにする。
d. 作業基準の不備	主要機器不調(昇圧ポンプ)にも関わらず、運転員判断により運転を継続した。	<ul style="list-style-type: none"> 運転制御側で異常検知を行うと共に、運転マニュアルにより、異常発生時の対応を詳細に定める。

S発電所2号機給水管破断事故

(1) S発電所2号機給水管破断事故について

発生日月：1986年12月9日

事故概要：定格出力運転中、主蒸気隔離弁が閉止し、トリップした。その直後、主給水ポンプ入口配管が破断し、そこから高温水が蒸気となって噴出した。この時、その付近にいた8人の作業員が高温蒸気を浴びて火傷を負い、そのうち4人が死亡した。

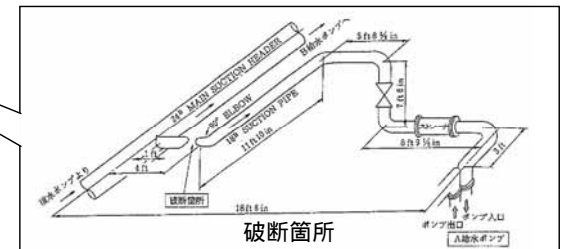
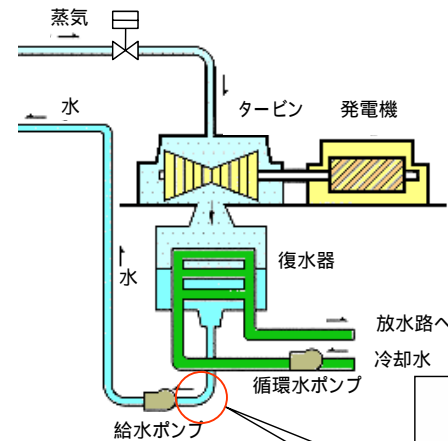
(2) 想定される事故原因とその対応について

直接原因：配管組合せの形状(分岐管と曲管)による流水の影響、流体温度(100℃～200℃)、水質管理の問題等の悪条件が重なったことによる腐食・浸食による著しい減肉が発生したものと考えられる。

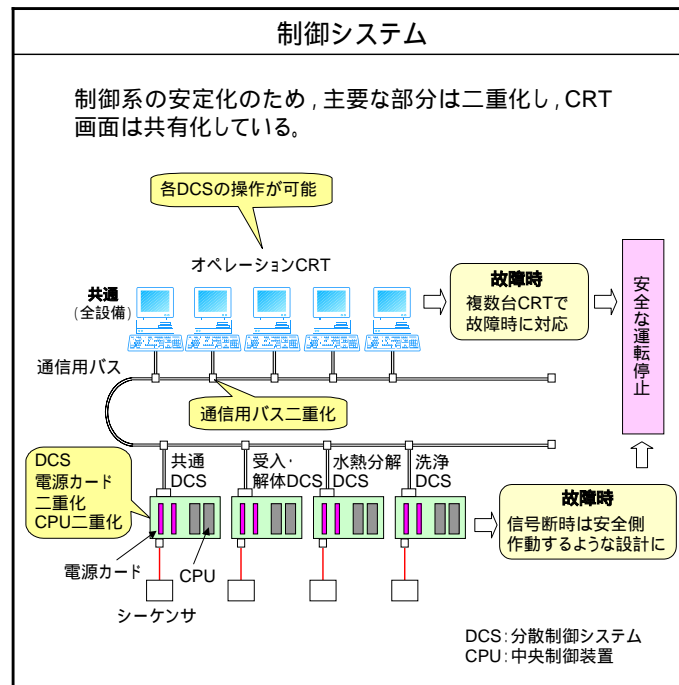
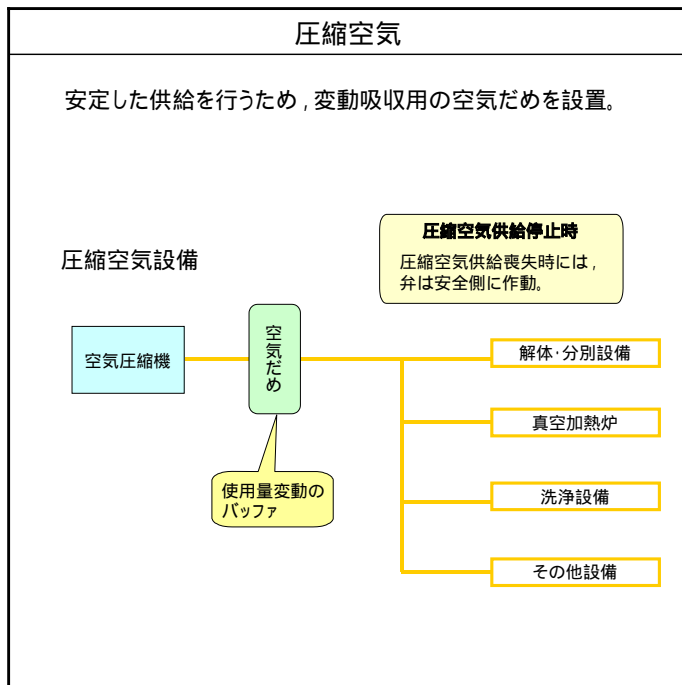
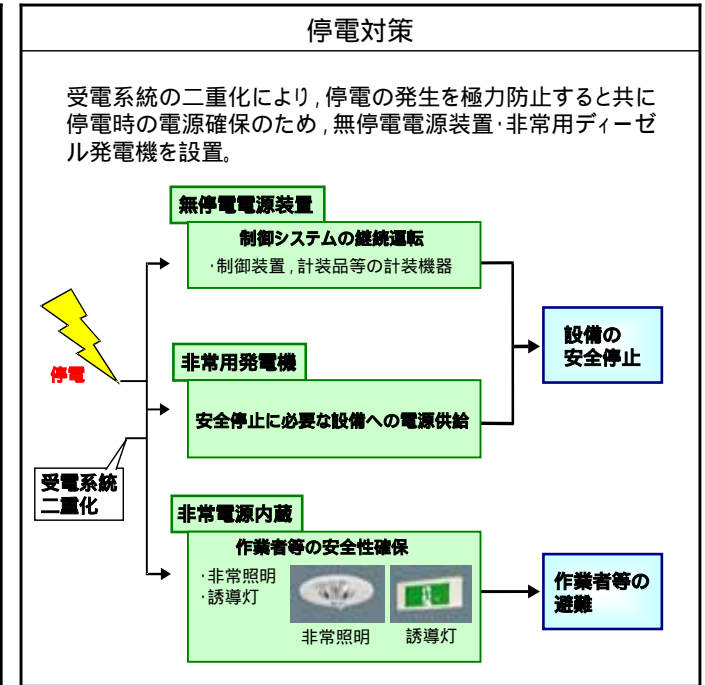
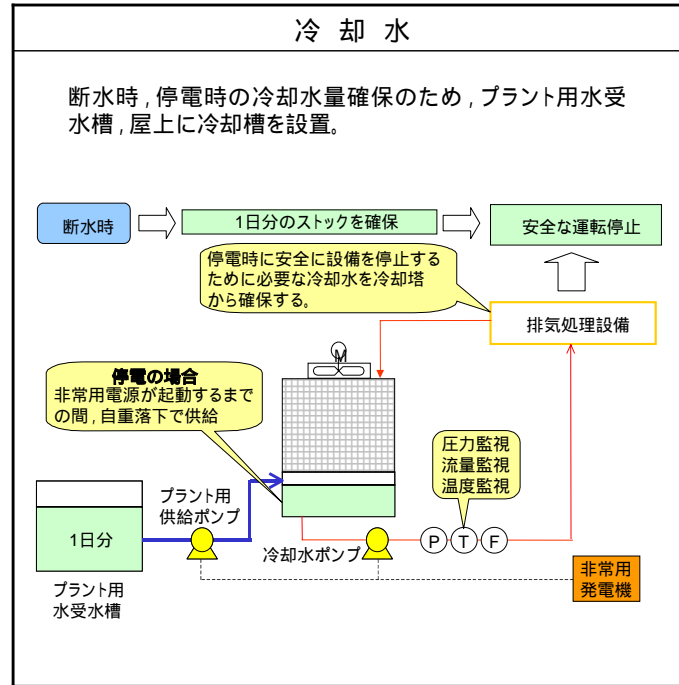
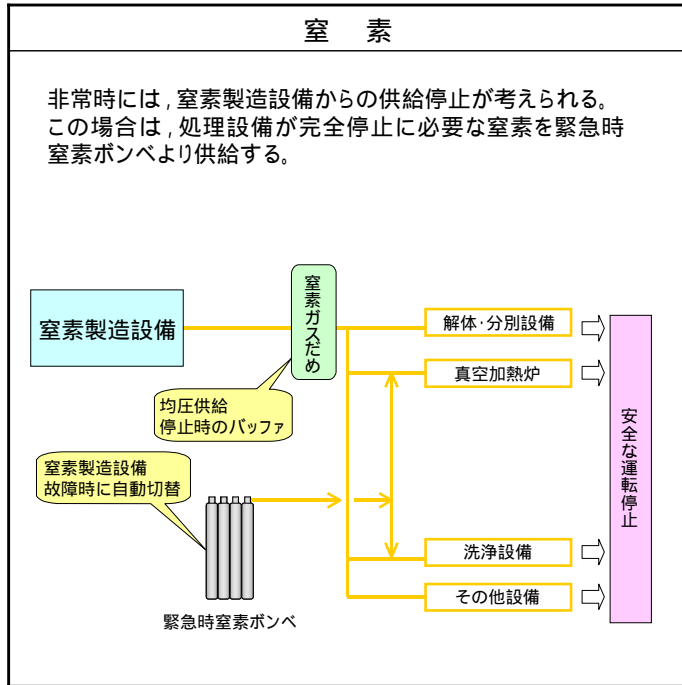
(3) 事故原因と東京PCB廃棄物処理施設での対応

事故原因	東京PCB廃棄物処理施設水熱分解設備での対応
配管組合せの形状	配管ルートは、偏流が生じにくいものとする
流れの影響	配管内の流速は、摩耗減肉に配慮した流速としている 摩耗減肉が懸念される減圧弁出口などは厚肉管を採用
流体温度および水質	水熱分解設備における高温・高圧環境と同様の環境にて腐食減肉・応力腐食割れ試験を行い、問題ないことを確認している

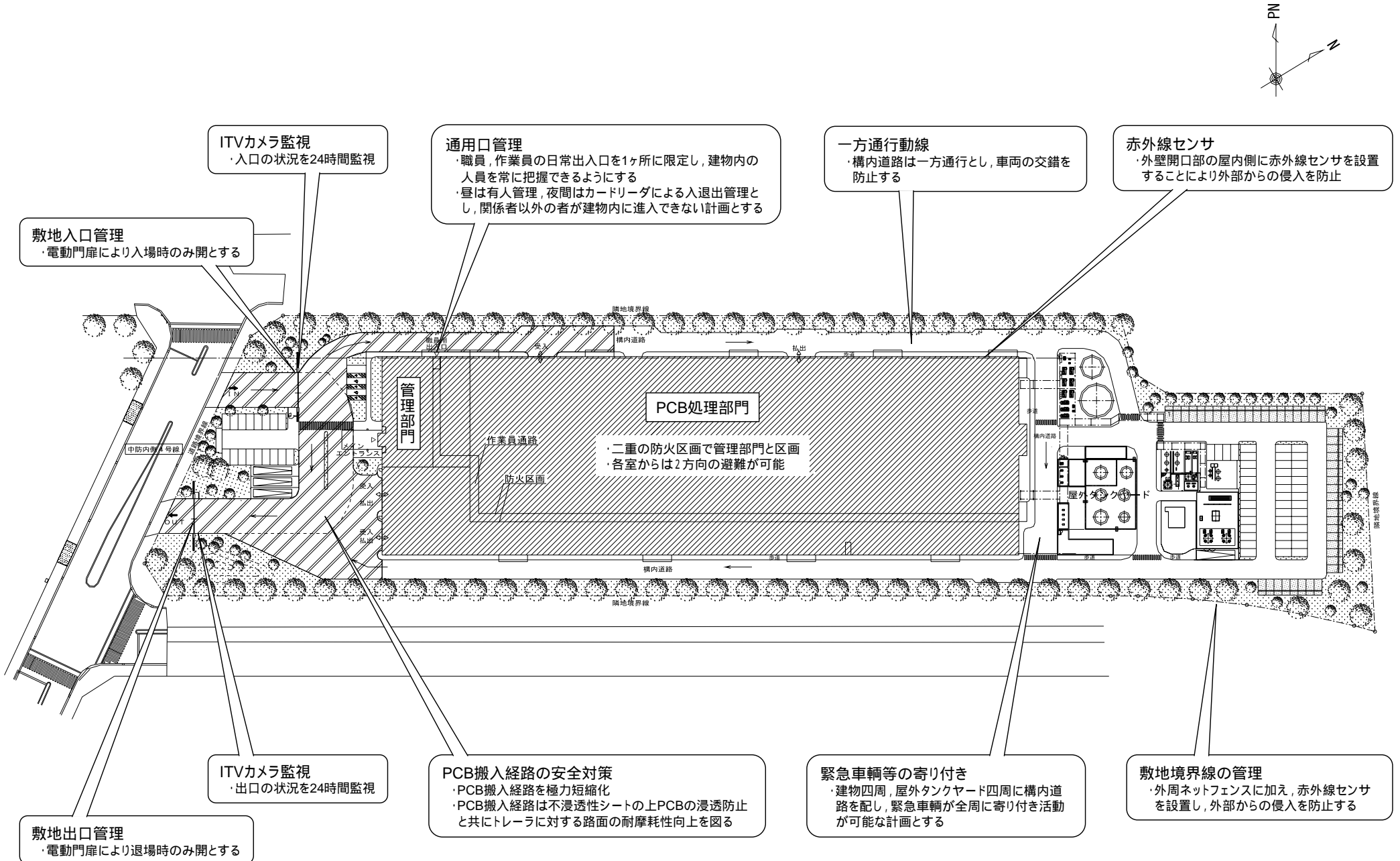
また、年次点検時に肉厚計測を行い、点検結果から強度上必要な肉厚になるまでの余寿命を評価し、必要に応じて取り替える。



1.8 ユーティリティ設備の安定供給対策



1.9 敷地内における安全配慮について(搬入車輛等の動線, 施設内セキュリティなどへの配慮)



1.10 自然災害に対する安全設計

地震対策

緊急全停止
設定震度を超えると、機器は自動で安全に全停止し、自動弁は安全側に作動します。
(計測制御システム等は維持します)

設備の点検・停止
設定震度以下であっても、地震発生時の対応マニュアルに従い、作業者が速やかに設備の点検、停止および避難等の措置をとれるようにします。

1. 耐震設計

阪神・淡路大震災を機に改正された建築基準法施行令等の関係法令を適用します。
配管類について高圧部は高圧ガス設備等耐震設計基準の重要度 a, その他は を準用します。
更に建家層せん断力係数は基準の1.5倍を採用する等の上乗せした耐震設計を行います。

2. 地震発生時の対応

設定震度以上の場合は感震装置により警報発生
緊急自動停止
設定震度以下でも震度の大小に関わらず、直ちに現場確認・安全確保実施

地震防災規程等の整備 : 操業基準・点検基準, 連絡・通報体制, 対策組織体制
地震を想定した訓練の実施 : 緊急停止訓練, 避難・誘導訓練
地域・関係組織との連携 : 公的機関・地域への連絡体制の構築と合同訓練の実施

浸水対策

1. 施設設計

施設の地盤面は、前面道路高さ + 800mmに設定。
(最高潮位から + 約4800mm)

2. 雨水浸入防止

シャッター外側に側溝を設置。
シャッター開閉時に吹き込む雨と搬入車両の車体からのしずくを受けるため、溜め樹用側溝を設置。

3. 暴風雨時等の対応

台風・津波・暴風雨の情報入手。(東京管区気象台, 地方気象台)
状況に応じて入り口シャッターを開けないことにより雨水の浸入を防止。

落雷対策

1. 施設設計

建屋: 避雷針を設置
施設内機器: 接地(アース)工事を実施

2. 落雷時の対応

落雷 : 直ちに設備点検を実施, 異常の有無確認。

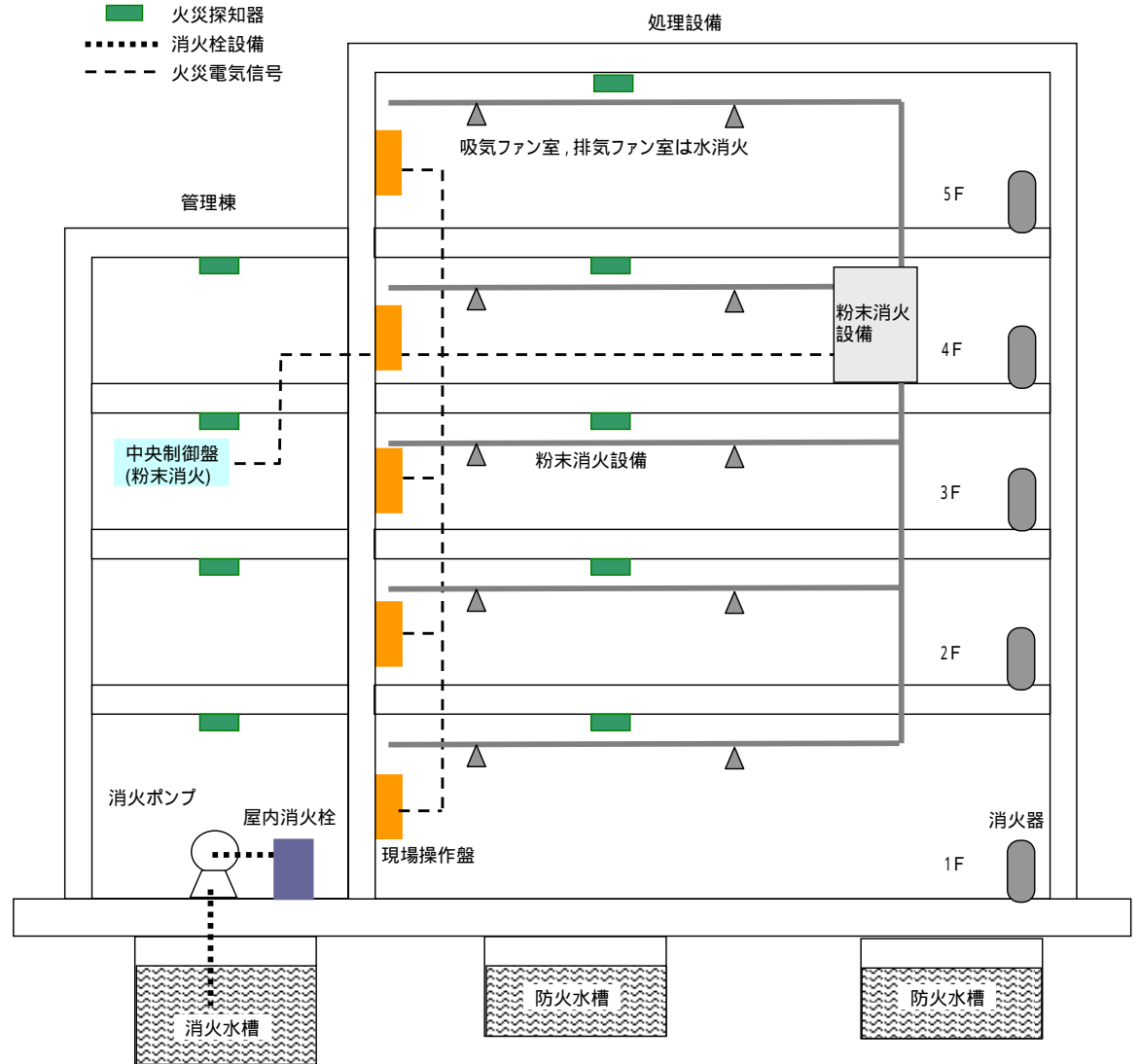
1.11 火災に対する安全設計

設備上の火災予防対策

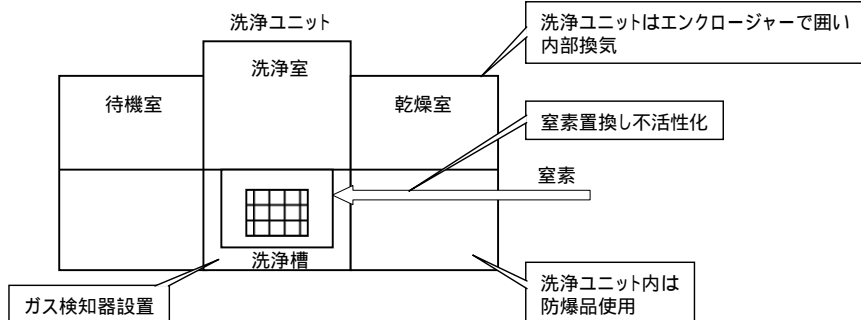
施設を火災から守るため、以下のような設備対策を講じている。
 建屋の消防法上の取扱は、「危険物製造所」であり、取扱対象危険物は第4類第2～4石油類、および第4類アルコール類である。
 消火方法は、PCB油を含む危険物を取扱う部屋および電気室は「粉末消火」とする。
 上記以外の部屋においては「消火栓」とする。

- 建築物の構造: 準耐火建築物
 壁の仕様: ALC板など不燃材料を使用
 防火区画: 施設内に防火区画を設置し防火壁で区切っている。防火区画位置にある出入口および処理物の搬出入り口には防火戸および防火シャッターを設置。
 防爆対策:
- 洗浄槽は窒素置換し不活性化
 - 洗浄槽のあるユニットはエンクロージャで囲い内部換気
 - 洗浄ユニットにガス検知器を設置し洗浄中のIPA漏洩を検知
 - 可燃性雰囲気生成する可能性のある場所の機器については防爆電気品使用(タンク室内、洗浄ユニット内)
 - 室内換気
- 避雷設備: 建屋には避雷針を設置。施設内機器には接地工事。
 警報設備: 自動火災報知設備を設置
 消火設備: 粉末消火設備、消火栓設備を設置

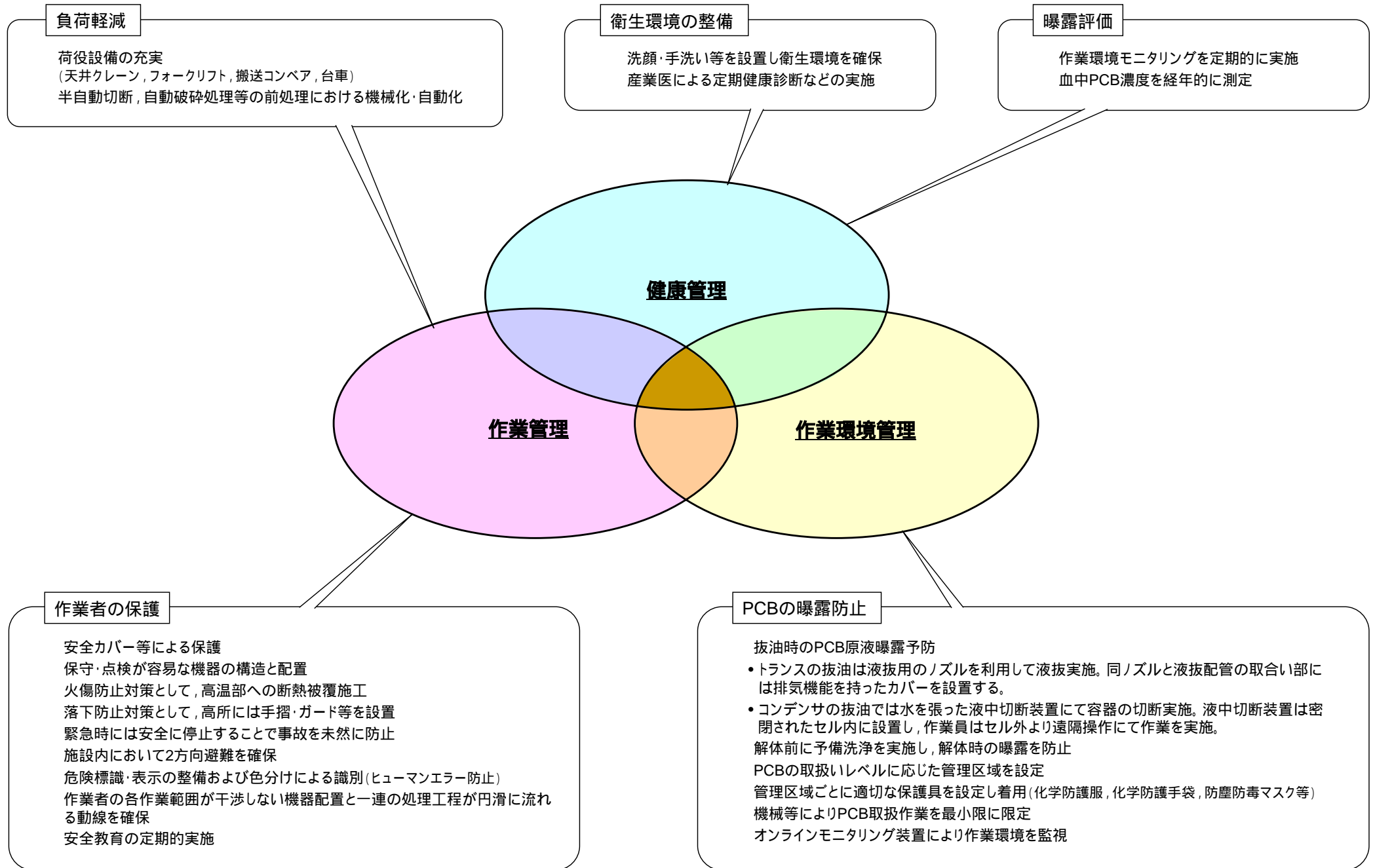
消火対策



洗浄ユニット廻りの防爆対策



1.12 作業従事者の安全確保



2. 安全解析の内容

2.1 安全性評価実施概要

(1) 安全性評価手順

安全性の評価は、以下の手順で実施しています。

HAZOP解析/What-if解析

詳細設計段階において、HAZOP解析およびWhat-if解析を実施し、危険事象を抽出。

確率論的安全評価

で抽出した危険事象について、リスクを定量的に評価。

なお、これらの評価に先立ち、基本設計段階において安全設計方針の妥当性を確認する定性的な解析(予備的ハザード解析)を実施しています。設備毎にハザードを抽出し、その情報を基に定性的な評価を行いました。その結果、設計上・運転上の課題を抽出し、それを改善するための対応策について洗い出すことができました。

(2) 安全評価の検討対象

本施設の安全評価は、「PCB漏洩」と「火災・爆発」という2種類の危険事象を対象に実施しました。この2種類の危険事象を対象として選定した理由は以下の通りです。

「PCB漏洩」

本施設はPCBを安全に処理する事を目的とした施設です。PCBが漏洩した場合には環境に対する影響が懸念されるため、「PCB漏洩」を評価の対象として選定します。

「火災・爆発」

本施設では、PCBを洗浄する目的で、可燃性の洗浄剤を使用しています。また、処理対象物にも紙などの可燃物が含まれます。万一火災が発生した場合にはその影響が大きくなる懸念があるため、「火災・爆発」を評価の対象として選定します。

(3) HAZOP解析/What-if解析

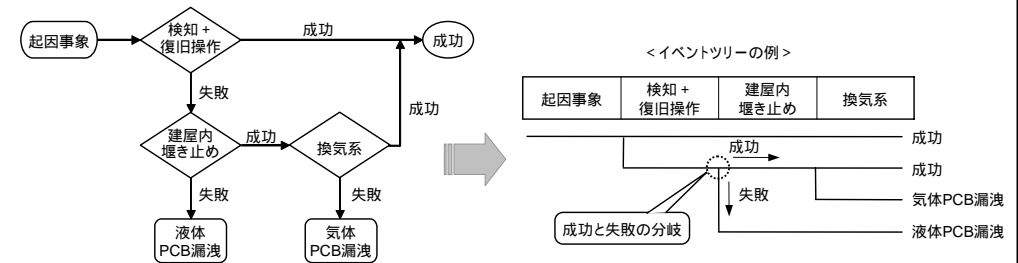
施設内の各設備について、HAZOP解析およびWhat-if解析を実施しました。HAZOP解析を主体として行いましたが、PCBを人が取り扱う工程等についてはWhat-if解析を行いました。解析の結果、HAZOPシート約580枚、What-ifシート約30枚を作成しました。この解析結果より、「PCB漏洩」「火災・爆発」の2種類の事象について抽出した結果、危険事象に至る重要事象は50件となりました。事象の進展が同一となるものについてグループ化し、「PCB漏洩」15グループ、「火災・爆発」8グループ、合計23グループの事象が得られました。

(4) 確率論的安全評価

HAZOP解析/What-if解析においてグループ化した各シナリオについて、確率論的安全評価を実施しました。各シナリオについてイベントツリー解析を行うことにより、「PCB漏洩」または「火災・爆発」に至るシナリオの発生頻度を求めました。

イベントツリー作成

各起因事象に対して、設備の健全性維持に必要な機能・システムによる緩和策、および事象進展に影響する物理現象を選定し、イベントツリーを作成しました。



起因事象発生頻度の定量化

イベントツリーの起因事象については、その大部分が、設備に存在する機器の個数をカウントして故障率を積み上げる形で定量化しています。

分岐確率の定量化

各ヘディングに対応したシステムの故障確率をフォールトツリー解析によって評価し、イベントツリーの分岐確率を定量化しています。

異常検知手段の多重化等による設備の信頼性向上と、異常を検知しやすい保温施工方法の採用、巡視の徹底、マニュアルの整備等による発生頻度の低減を図った結果、施設外へ影響を及ぼし得る危険事象の合計発生頻度は以下となりました。

「PCB漏洩」 8.4E-7回/年

「火災・爆発」 4.2E-6回/年

英国のリスク基準において、「無視できるリスク」とは1E-6回/年以下とされており、これを達成できればそれ以上のリスク削減の必要がないとされています。従って、「PCB漏洩」については、危険事象の発生頻度は十分に低い値といえます。

一方、「火災・爆発」についても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である1E-3回/年レベル以下の数値となっております。

用語説明

HAZOP(Hazard and 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(偏差)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

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

確率論的安全評価

確率論を用いて施設の安全性を総合的に評価し、危険事象の発生頻度と影響を定量的に推定する手法

イベントツリー解析

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

フォールトツリー解析

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

2.2 安全評価結果まとめ(「PCB漏洩」)

危険事象	設備	起回事象	想定シナリオ	起回事象発生頻度の低減策(*1)	事象進展の回避・緩和(*2)	発生頻度(回・年)		
PCB漏洩 (液体, 気体)	受入・保管	1	受入設備における高濃度液体PCB漏洩(タンクローリー)	タンクローリーからの抜油時に一般管理区域内へ漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。		<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	4.1E-07	4.2E-07
		2	受入設備における高濃度液体PCB漏洩(受入物落下)	受入室での作業時に、高濃度液体PCBが一般管理区域内へ漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> クレーンからの落下防止措置(二重玉掛けの実施) 2.5E-04 2.0E-07 	<ul style="list-style-type: none"> 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	7.9E-09	
		3	保管設備における高濃度液体PCB漏洩	保管室での作業時に、高濃度液体PCBが建屋内へ漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 転倒防止措置(保護器具の設置) 2.5E-04 2.0E-07 	<ul style="list-style-type: none"> 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	2.7E-11	
		4	除染室における高濃度液体PCB漏洩	外部へのPCB漏れがある対象物が搬入された場合に、一般管理区域に気体PCB漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 除染室での処理を要する処理物は基本的には受け入れない 	<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	6.1E-11	
	解体分別	5	解体分別設備における高濃度液体PCB漏洩(処理物転倒)	解体分別作業中に、高濃度液体PCBが建屋内へ漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。		<ul style="list-style-type: none"> 防液堤による液体PCB漏洩防止 局所排気による気体PCB漏洩防止 1.1E-02 	1.0E-08	1.3E-08
		6	解体分別設備における高濃度液体PCB漏洩(ラインからの漏洩)	解体分別設備のラインが破損し、高濃度液体PCBが建屋内へ漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 配管などの継手部は溶接 	<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 防液堤による液体PCB漏洩防止 局所排気による気体PCB漏洩防止 1.1E-02 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	2.3E-09	
	加熱	7	加熱設備における高濃度液体PCB漏洩	凝縮液回収ラインや真空システムラインが破損し、PCBを含む凝縮液が建屋内に漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 配管などの継手部は溶接 	<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 モニタリング設備による漏洩検知 7.5E-02 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	1.3E-09	1.3E-09
	洗浄	8	洗浄設備における屋外配管への低濃度液体PCB逆流	洗浄液貯槽タンクよりPCBを含む洗浄液が建屋外の配管へ逆流する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。		<ul style="list-style-type: none"> 建屋外ラインにおけるPCB漏洩防止 	2.0E-07	2.1E-07
		9	洗浄設備における液体PCB漏洩	洗浄設備のラインよりPCBを含む洗浄液が建屋内に漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 配管などの継手部は溶接 	<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 モニタリング設備による漏洩検知 7.5E-02 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	2.2E-09	
	水熱分解	10	水熱分解設備における高濃度液体PCB漏洩	水熱分解設備のPCB供給ラインより高濃度のPCBが建屋内に漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 配管などの継手部は溶接 タンクレベル検知を二重化(レベル計, レベルスイッチ) 8.5E-02 6.5E-02 	<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	4.2E-08	1.8E-07
		11	水熱分解設備における低濃度液体PCB漏洩	水熱分解設備の機器が損傷し、低濃度のPCBを含む処理液が建屋内に漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 配管などの継手部は溶接 	<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	6.1E-08	
		12	水熱分解設備における気体PCB漏洩	水熱分解設備の排気管が損傷し、低濃度のPCBを含む気体が建屋内に漏洩する。建屋外への気体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 配管などの継手部は溶接 	<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	1.7E-11	
		13	水熱分解設備における冷却器二次側への低濃度液体PCB漏洩	冷却器二次側に処理済液が漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 配管などの継手部は溶接 	<ul style="list-style-type: none"> インターロックによる冷却系隔離 1.0E-02 インターロックによる設備自動停止 1.0E-02 事故の早期認知と適切な復旧操作 	7.6E-08	
	排気	14	オイルスクラバーにおける低濃度液体PCB漏洩	オイルスクラバーの絶縁油ライン上の機器が破断し、PCBを含む絶縁油が建屋内に漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。		<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	1.7E-08	1.7E-08
	モニタリング	15	分析室/サンプリング室における液体PCB漏洩	運搬中の試料が漏洩し、未処理のPCBが建屋内に漏洩する。建屋外への気体・液体PCB漏洩に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 運搬中の試料は二重に梱包 1.3E-01 1.6E-03 	<ul style="list-style-type: none"> 事故の認知と適切な復旧操作 防液堤による液体PCB漏洩防止 負圧管理による気体PCB漏洩防止 	6.4E-10	6.4E-10
合 計						8.4E-07		

(*1) 網掛けは起回事象発生頻度を低減するための対策で、その効果を <対策適用前の発生頻度> <対策適用後の発生頻度> の形で示す。

(*2) 網掛けは事象進展を回避・緩和するための、通常の対策より強化した対策で、その効果を <低減効果> の形で示す。

2.3 安全評価結果まとめ(「火災・爆発」)

危険事象	設備	起回事象	想定シナリオ	起回事象発生頻度の低減策(*1)	事象進展の回避・緩和(*2)	発生頻度(回・年)			
火災・爆発	解体分別	16	屋内へのNS-100漏洩	NS-100を加熱して使用するラインから、NS-100が屋内に漏洩する。温度管理に失敗してNS-100が引火点以上の温度となり、さらに火災源が発生した場合、火災に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 巡視による漏洩検知 6.9E-02 1.8E-02 	<ul style="list-style-type: none"> NS-100を引火点以下に温度管理 防爆仕様による火災源発生率の低減 1.0E-03 	1.8E-07	1.9E-07	
		17	タンクベントへのNS-100漏洩	NS-100を加熱して使用するタンクから、NS-100がタンクベントを経由して屋外に漏洩する。温度管理に失敗してNS-100が引火点以上の温度となり、さらに火災源が発生した場合、火災に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> タンクレベル検知を二重化(レベル計, レベルスイッチ) 3.2E-07 2.4E-08 	<ul style="list-style-type: none"> NS-100を引火点以下に温度管理 防爆仕様による火災源発生率の低減 1.0E-03 	3.2E-10		
	加熱	18	加熱炉の蓋閉止失敗	加熱炉の蓋閉止に失敗し、加熱炉内に空気が流入する。圧力監視による空気流入検知に失敗した場合、可燃物が発火する。		<ul style="list-style-type: none"> 蓋開放を検知した場合、加熱を行わない インターロックによる加熱操作停止 1.0E-02 火災発生の有無を監視。 発火検知の場合、窒素バージによる消火 	6.6E-08	6.6E-08	
	洗 浄		19	洗浄槽内でのIPA燃焼雰囲気	洗浄槽内の窒素バージに失敗すると、洗浄後の洗浄蓋開封時にIPA混合気が発生、または、ガス濃度計の故障により蓋開封後の洗浄槽ユニット内の窒素バージができない場合は、これに着火すると発火する。		<ul style="list-style-type: none"> IPA乾燥器による気体IPA捕集 局所排気による気体IPA排出 ガス濃度を監視 窒素バージによる可燃性ガス生成防止 窒素カールドによる可燃性ガス生成防止 防爆仕様による火災源発生率の低減 1.0E-03 	7.6E-08	3.9E-06
			20	蒸留装置内でのNS-100燃焼雰囲気	蒸留精製器において漏洩が発生すると、塔内に空気が流入し塔内で火災発生の可能性がある。		<ul style="list-style-type: none"> 防爆仕様による火災源発生率の低減 <1.0E-03 安全弁による装置破損防止 	4.2E-09	
			21	IPA取扱区画へのIPA漏洩	屋外および屋内のIPA取扱区画にIPAが漏洩する。火災源が発生した場合、火災に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 巡視による漏洩検知 異常を検知しやすい保温材の施工方法の採用 1.8E-01 3.7E-03 	<ul style="list-style-type: none"> 防爆仕様による火災源発生率の低減 1.0E-03 	3.7E-06	
			22	タンクベントへのIPA漏洩	タンクベントを経由して屋外にIPAが漏洩する。火災源が発生した場合、火災に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> タンクレベル検知を二重化(レベル計, レベルスイッチ) 	<ul style="list-style-type: none"> スパーク発生無ければ火災発生せず 	1.6E-08	
23			屋内への高温NS-100漏洩	蒸留塔室に高温のNS-100が漏洩する。火災源が発生した場合、火災に至る可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> 巡視による漏洩検知 異常を検知しやすい保温材の施工方法の採用 8.8E-03 1.2E-04 	<ul style="list-style-type: none"> 防爆仕様による火災源発生率の低減 1.0E-03 	1.2E-07		
合 計						4.2E-06			

(*1) 網掛けは起回事象発生頻度を低減するための対策で、その効果を <対策適用前の発生頻度> <対策適用後の発生頻度> の形で示す。

(*2) 網掛けは事象進展を回避・緩和するための、通常の対策より強化した対策で、その効果を <低減効果> の形で示す。

3. 安全解析結果の設計への反映事例

危険事象	設備	シナリオ	リスク低減策
PCB漏洩	洗 浄	屋内の洗浄溶剤タンクがオーバーフローし、PCBを含む洗浄溶剤が屋外のラインに逆流する。屋外の機器が損傷するとPCBが環境に漏洩する。	ピストン弁と逆止弁の組合せを採用し、逆流を防止した。
		屋内の洗浄溶剤タンクがオーバーフローし、PCBを含む洗浄溶剤が排気系を経由して環境に漏洩する。	屋外タンクからのラインに遮断弁・逆止弁を設置。更にタンクのレベル検知器を二重化し、オーバーフローを防止した。
	水熱分解	水を供給する系統などで流量計が故障した場合、PCB処理性能が低下する。その状態で処理液が漏洩すると、PCBが正常に処理されている場合に比べて環境への影響が大きくなる。	ポンプ回転数と偏差を監視することで、流量計故障を検知できるようにした。
		反応器の温度計・圧力計が故障した場合、PCB処理性能が低下する。その状態で処理液が漏洩すると、PCBが正常に処理されている場合に比べて環境への影響が大きくなる。	反応器の制御に使用している温度計および圧力計を3台ずつとし、3台の計測値の真中の値で制御。3台の計測値の真中の値は真値を示すため、圧力計・温度計のうち1台が故障しても正常に運転できるようにした。
		運転管理上の入力間違いがあると、PCB処理性能が低下する。その状態で処理液が漏洩すると、PCBが正常に処理されている場合に比べて環境への影響が大きくなる。	分析室から送られるデータ値と作業者の入力値が一致しなければ処理できないようにした。
		PCB注入ラインの温度計が故障すると、PCB温度が高くなり、PCB処理性能が低下する。その状態で処理液が漏洩すると、PCBが正常に処理されている場合に比べて環境への影響が大きくなる。	PCBタンク・PCB低圧ポンプ入口・PCB高圧注入ポンプの3箇所温度計を設置し、各温度計の差を監視することで、温度計の故障を検知できるようにした。
	加 熱	熱媒槽の温度計が故障すると、熱媒槽内の温度制御ができなくなる。処理物の加熱処理が不十分となり、洗浄工程に影響する事が想定される。	凝縮器に温度計を設置し、熱媒槽温度計故障を検知できるようにした。
火災・爆発	洗 浄	洗浄溶剤を扱うラインから洗浄溶剤が漏洩した際、火災源が発生すると火災に至る。	防爆仕様の機器を使用することで、火災源の発生確率を低減した。また、2回/日の巡視時に目視点検を行う事をマニュアル化し、漏洩を早期に発見できるようにした。
		蒸留精製器において洗浄溶剤が漏洩した際、火災源が発生すると火災に至る。	防爆仕様の機器を使用することで、火災源の発生確率を低減した。また、2回/日の巡視時に目視点検を行う事をマニュアル化し、漏洩を早期に発見できるようにした。蒸留精製器の弁・計器など漏洩の想定される箇所には保温材を施工しないように変更し、目視点検が容易になるようにした。