

大阪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17年7月

日本環境安全事業株式会社

ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会

大阪事業部会

ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会

大阪事業部会委員名簿

主査	酒井 伸一	京都大学環境保全センター教授
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
	平田 健正	和歌山大学システム工学部環境システム学科教授
	宮田 秀明	摂南大学薬学部衛生薬学科教授

目 次

1. 安全設計の概要

1. 1	処理フロー図	1
1. 2	安全設計の考え方	2
1. 3	安全対策の具体的な内容	3
1. 4	PCB漏洩に対する安全対策	4
1. 5	火災に対する安全対策	5
1. 6	準工業地域の危険物保有数量規制を満足するための対策	6
1. 7	水素に対する安全対策	7
1. 8	東西移送に対する安全対策	8
1. 9	自然災害に対する安全対策（地震、落雷、浸水）	9
1. 10	用役の安定供給対策（冷却水、熱媒、窒素、空気、電気）	11
1. 11	敷地内レイアウト等に関する安全配慮	14

2. 安全解析の内容

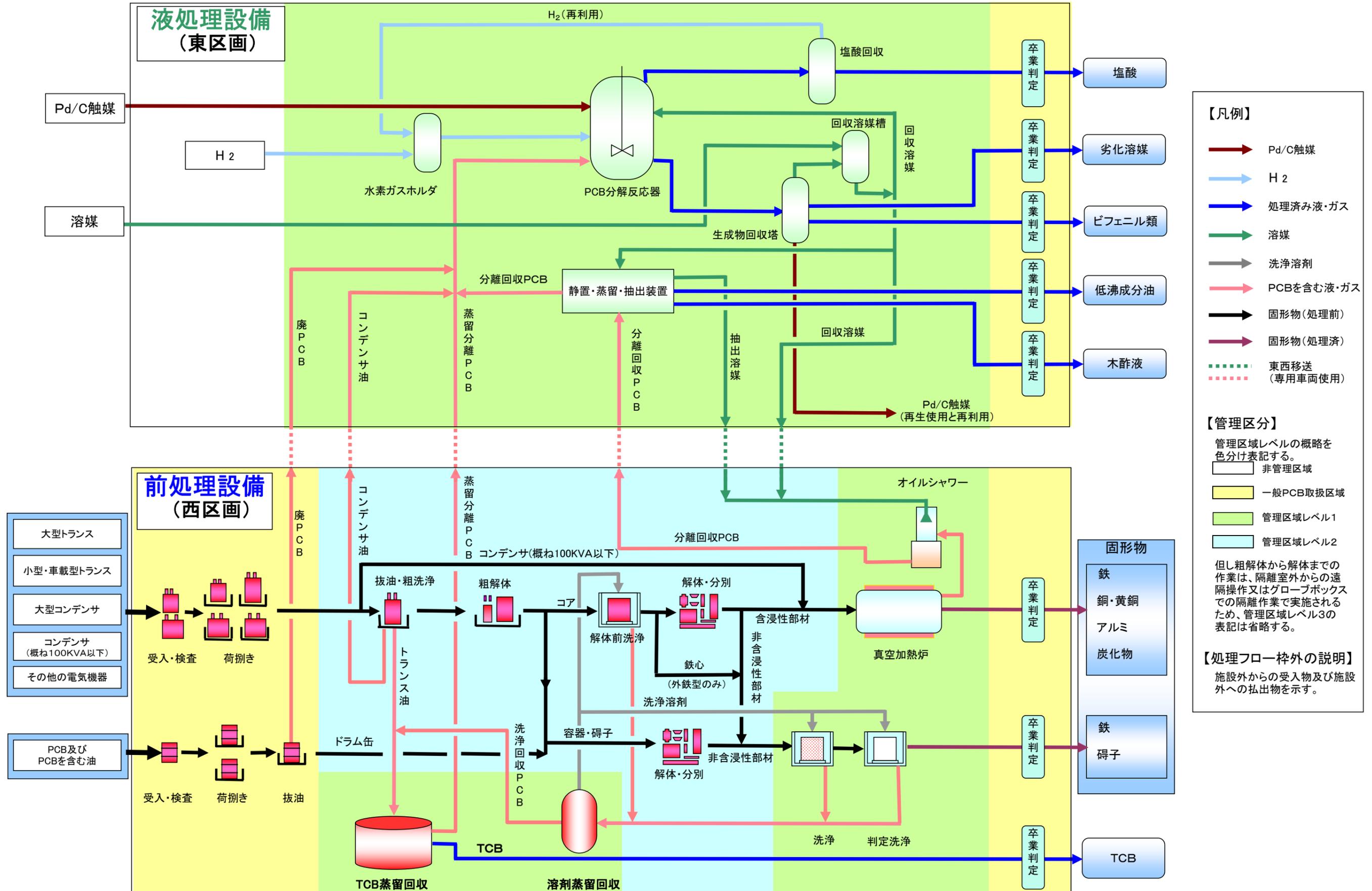
2. 1	安全性評価実施概要	15
2. 2	安全評価結果のまとめ（液体状PCB漏洩）	16
2. 3	安全評価結果のまとめ（気体状 PCB 漏洩／火災・爆発）	17
2. 4	安全評価結果のまとめ（イベントツリーの例）	18

3. 安全解析結果の設計への反映事例

19

1. 安全設計の概要

1.1 処理フロー図



1.2 安全設計の考え方

- ◆ 4つの多重防護構造を採用し安全性を十分に考慮した設備
 - ① リスクを考慮に入れた本質的に安全な「プロセス安全設計」
 - ・ ヒューマンエラーを防ぐための機械による自動化設備の採用
 - ・ 腐食やPCB漏洩を考慮した材料、継ぎ手、シール部品の採用
 - ・ 用役の安定供給対策（停電時バックアップ設備、故障時の予備機）
 - ・ 原料として使用する水素についての安全対策
 - ② 操業を監視する「操業監視システム」
 - ・ 東西両区画棟に中央制御室を設置して各設備の集中監視制御
 - ・ 西区画棟の中央制御室では、東区画棟設備も含めた総合監視可能
 - ・ 運転状況の遠隔監視可能なITVの設置
 - ・ オンラインモニタリングや漏洩検知器による監視
 - ③ 機器の誤動作やヒューマンエラーが危険や事故につながらない「フェイルセーフ」機能
 - ・ 安全上、重要な計器は二重化または警報の多重化
 - ・ 異常警報と連動した、設備を安全に緊急停止するためのシャットダウンシステム
 - ・ 緊急時（地震、停電等）に、設備を安全に緊急停止するためのシャットダウンシステム
 - ・ 停電等の異常時には、自動弁の開閉は安全側に作動するように設計
 - ④ 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
 - ・ 万一排気処理装置が機能しなかった場合でも、PCBの排出を防止するセーフティネットとして活性炭吸着装置を設置
 - ・ 建屋内に管理区域を設定し、レベル毎に負圧管理（施設外へのPCB漏洩防止）
 - ・ PCB油の漏洩を防止するオイルパン、防油堤、不浸透性床の採用

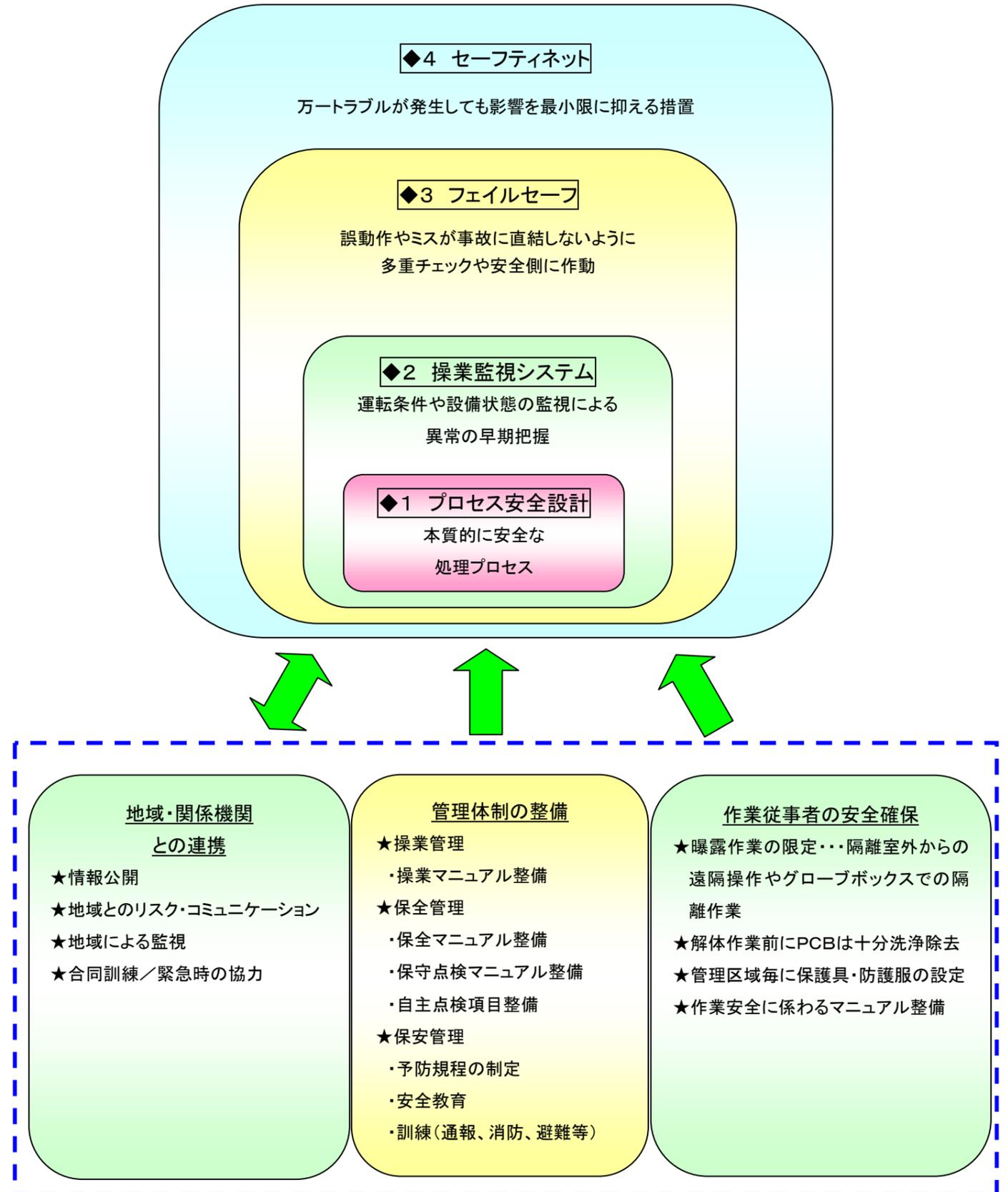
- ◆ リスク分析と安全性評価

操業時に想定されるリスクに対して、リスクが顕在化するシナリオ、原因、発生確率、リスクの規模等について、リスクマトリックス表を用いた体系的、定性的な分析評価を実施し、必要に応じて追加の安全対策を講じる。

 - ① プロセス設備（真空加熱分離、液処理設備等）・・・HAZOP/FMEA 分析による安全性評価
 - ② 機械設備（受入、抜油、解体設備等）……………What-If 分析による安全性評価

なお、PCBの施設外漏洩、火災・爆発につながる恐れの高い事故シナリオについては、定量解析（確率論的解析）および追加の安全対策採用によって、ほとんど起こりえないほど小さい発生確率であることを確認。

安全設計の多重防護構造と安全操業のためのサポート体制



1.3 安全対策の具体的な内容

PCB漏洩に対する安全対策

◆液体状PCB漏洩対策

- 漏洩を防止する設備構造（配管接続は原則溶接タイプ・弁類は漏洩防止タイプを採用など）
- 漏洩検知器による液体状PCB漏洩の早期発見
- 漏洩液の拡散防止構造の採用（オイルパン、防油堤、不浸透性床）

◆気体状PCB漏洩対策

- PCB管理区域の負圧管理によって、気体状PCBの施設外への漏洩・流出を防止
- PCBモニタリングによって、作業環境および換排気設備内のPCB濃度を常時あるいは定期的に監視
- セーフティネットとしての活性炭吸着装置の採用

火災に対する安全対策

◆引火防止対策

- 出来るだけ引火点の高い薬剤・薬液の選択
- 可燃性雰囲気の場合には設備への防爆仕様の適用
- 接地工事、避雷設備

◆防火対策

- 建屋は主要構造部を耐火構造とした耐火建築物
- 防火区画の設定と防火扉、防火シャッター

◆防消火設備

- 自動火災報知器設備と消火設備（屋内消火栓、粉末消火設備、消火器など）

準工業地域の危険物保有数量規制を満足するための対策

◆建築基準法による危険物保有数量の規制と対策

- 準工業地域の危険物保有数量の制限への対応として、安全性の高い地下貯蔵槽を活用
- PCBを含む液には、下記理由により外殻構造体付き鋼製タンクを採用
 - ① 目視によるタンクの点検を可能とする
 - ② 万一PCBがタンクから漏れても地下への浸透を防止可能とするコンクリートピット内に設置し、ピットと外殻構造体間を砂埋めすることにより、地下貯蔵槽の機能を確保

◆外殻構造体付き鋼製タンクの安全対策

- 換排気設備、消火設備、自動火災報知器、照明設備を設置
- 外殻をステンレス製とし、PCBの地下浸透や流出を防止
- 外殻内に漏洩検知機を設置（PCB漏洩時の早期発見）、等

水素に対する安全対策

◆反応における安全対策

- プロセス流体中の酸素を十分除去する
- 異常時には、窒素を緊急注入する

◆漏洩水素の滞留防止

- 水素の滞留しない床構造及び換気システムの採用
- 建屋内に区画壁を取付け、水素取扱い区域を限定
- 滞留、よどみがなく均一に排気されることを気流解析で確認

◆高感度水素検知器による漏洩時の早期検知

- 水素取扱い機器の上部に高感度な検知器を配置
- 警報設定値を低濃度レベルに設定し、漏洩を早期検知

◆着火源の除去

- 電気品は水素防爆仕様品を使用
- 十分な静電気除去接地工事

◆水素放出時の安全対策

- ベント放出口でのスパークの発生防止
- ベント部には二重の逆火防止装置

東西移送に対する安全対策

◆移送時の安全対策

- 専用容器として安全性の高いUN規格容器を使用
- 移送中の誘導管理を徹底し、移送回数は1日1～2回往復
- 移送関係の作業従事者には環境・安全教育を徹底

◆充填・排出時の安全対策

- 充填・排出作業は負圧管理された専用の充填・排出室で実施
- 漏洩防止対策としてワンタッチカプラー式の閉止キャップを採用
- 液移送時には受け側と送り側のベントラインを接続して行う（排気を系外へ出さない）

自然災害に対する安全対策

◆地震対策

- 地震計を3台設置し、2台以上が警報出力した場合に後続警報
- 設定震度以上では、自動停止システムにより設備を緊急停止

◆落雷対策

- 避雷設備（突針、棟上導体、引下げ導体などの組み合わせ）
- 機器・配管の接地

◆浸水対策

- 高潮を考慮し、施設地盤面は周辺道路より充分に高い位置に設定

用役の安定供給対策

◆冷却水

- ポンプ吐出圧、流量等、運転状態の常時監視を行う
- ポンプは3台設置し、内1台を予備機とする
- 運転監視で故障検知した場合は、予備機を自動起動する
- 非常用発電設備から電源供給し、停電時の安全停止に必要な冷却水の確保を行う

◆熱媒

- ポンプ流量等、運転状態の常時監視を行う
- ポンプは2台設置し、内1台を予備機とする
- 運転監視で故障検知した場合は、予備機を自動起動する

◆窒素／空気（計装空気、プラント空気）

- 負荷変動や緊急時の安全停止に対応のためバッファドラムを設置
- コンプレッサ吐出圧等、運転状態の常時監視を行う
- コンプレッサは3台設置し、内1台を予備機とする
- 運転監視で故障検知した場合は、予備機を自動起動する
- 非常用発電設備から電源供給し、停電時の安全停止に必要な窒素／空気の確保を行う

◆電気

- 停電時に安全停止を行うため、無停電電源装置、非常用ディーゼル発電機を設置する
- 受電系統の二重化により、停電の発生を極力防止する

敷地内レイアウト等に関する安全配慮

◆敷地出入口管理

- 出入口は24時間TVカメラ監視
- 敷地境界に赤外線センサ設置し、外部からの侵入を防止

◆車両の安全確保

- 搬入出車両と作業員、見学者出入口を分けて車両と人の交錯を防止
- PCB搬入動線の最小化と経路の最短化

◆入域管理

- IDカードによる入退室管理（入域管理、侵入防止）

1.4 PCB漏洩に対する安全対策

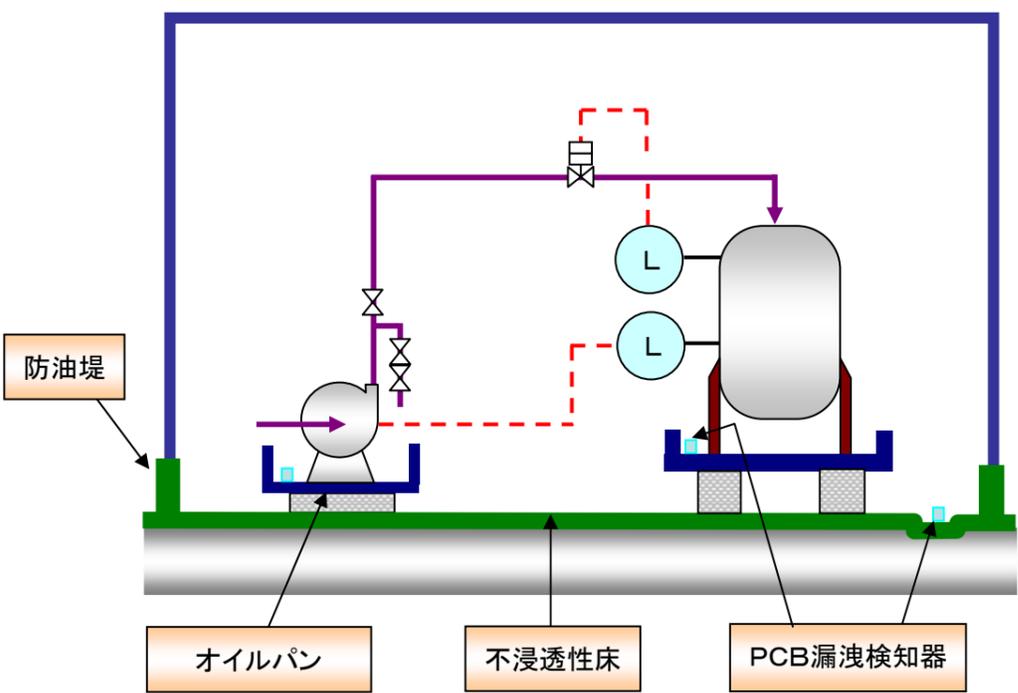
1. 液体状PCB漏洩対策

- 配管は原則溶接タイプ接続、漏洩防止タイプの弁の採用、ドレン弁は基本的に二重化を採用
- PCB漏洩検知器の設置、および PCB 漏洩事故を防止するための計装システムの多重化
- オイルパン、防油堤、不浸透性床の採用

- ◆対策例
- 配管接続は原則として溶接タイプ
 - PCBを取扱う弁は漏洩防止タイプを採用
 - ドレンラインの弁の二重化

- ◆対策例
- 液面高で移送ポンプ停止
 - 更に液面高で移送ラインの遮断弁を閉止

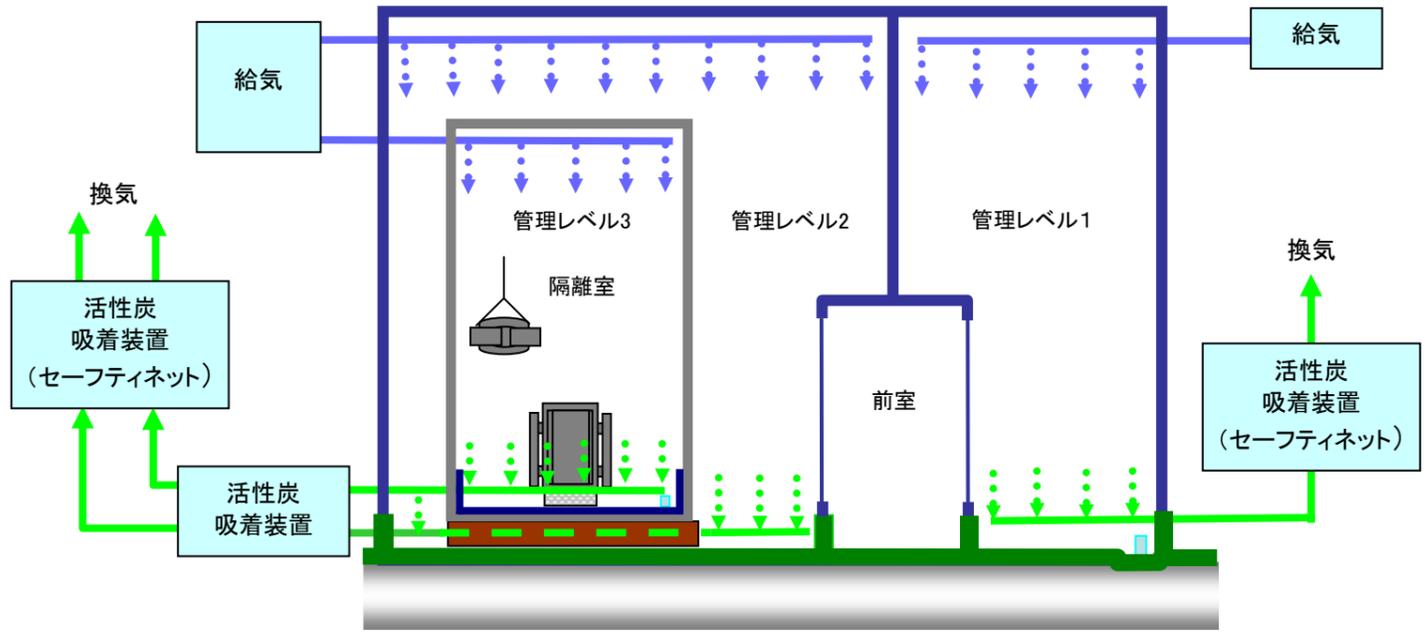
PCBを含む液の移送装置の例：TCB/PCB分離設備への移送
(注) TCB：トリクロロベンゼン



【凡例】 L : 液面計

2. 気体状PCB漏洩対策

- ◆負圧管理
PCB管理区域では、換気設備による管理レベルに応じた負圧維持を行い、管理レベル高→管理レベル低への気流の流れを防止して、作業者の安全を確保。また、管理区域を負圧に維持することにより、気体状PCBが施設外へ放出・漏洩を防止
- ◆オンラインモニタリング
PCBを含むプロセス排気、および管理レベル3と2の換気設備の排気中PCB濃度を監視。液処理工程の大規模空間は管理レベル1であるが、PCBを包含する配管が多数敷設される為、同様に監視
- ◆セーフティネットとしての活性炭処理
管理区域レベルに応じた換排気処理後、セーフティネット活性炭吸着装置を通して大気に排出する



負圧の程度が強い(逆方向には空気が流れない)

1.5 火災に対する安全対策

1. 設備上の火災予防対策

◆ 引火防止対策

- PCB処理に使用する溶媒等の化学薬品は、出来るだけ引火点の高いものを採用
- 危険物をその引火点以上で貯蔵したり取り扱う設備については、「消防法」及び「工場電気設備防爆指針(ガス防爆)」の要求に応じて防爆を考慮した機器を使用するとともに、機器及び配管について接地工事を実施

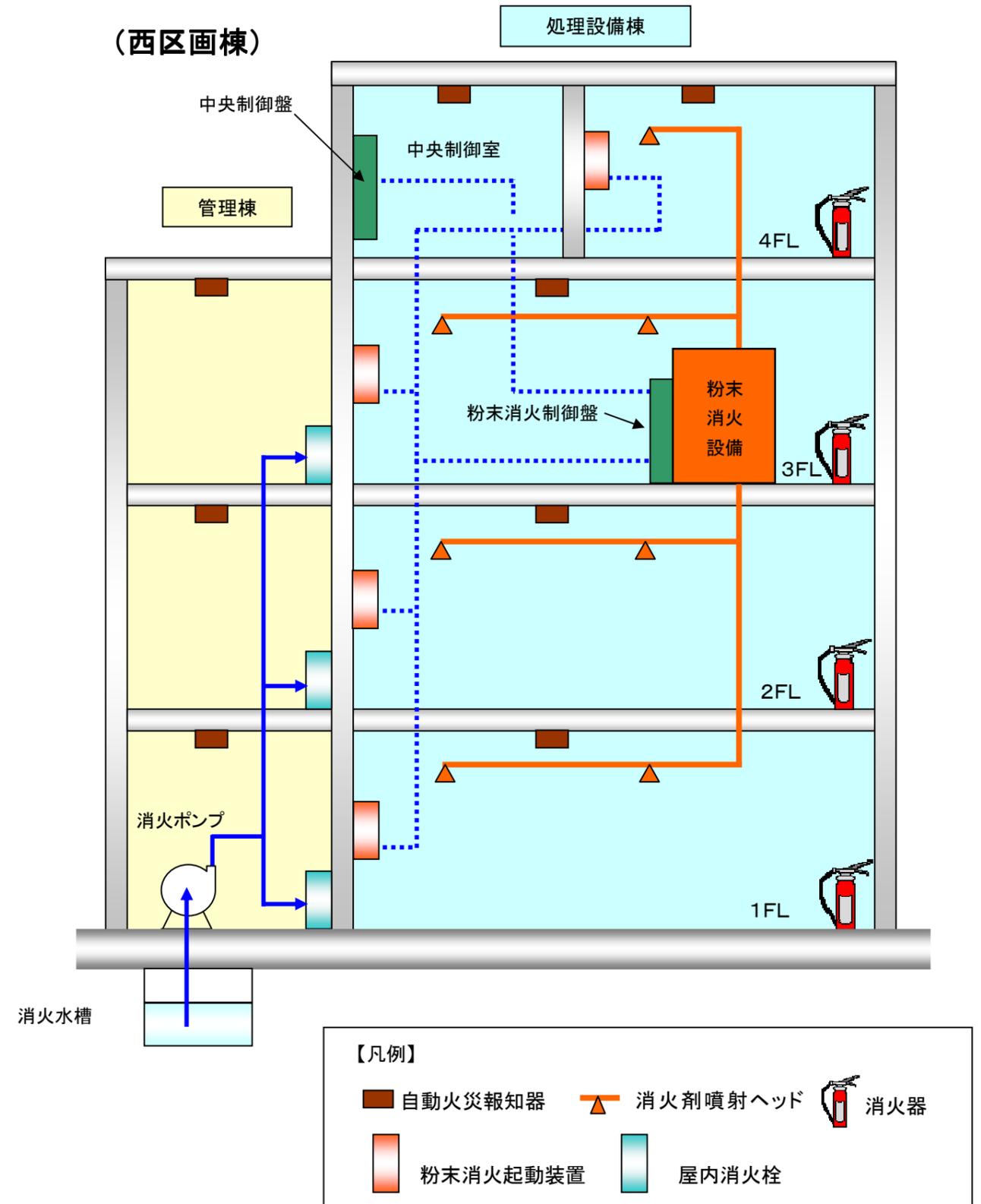
◆ 防火対策

- 建屋構造は主要構造部を耐火構造とした耐火建築物
- 防火区画を設定
- 避雷設備・・・建築基準法に従い、突針、棟上導体、引下げ導体を組み合わせた避雷対策

◆ 防消火設備

- 自動火災報知器設備：施設各室に適した火災報知器を設置
- 消火設備：施設各室に適した消火設備を設置
 - 1) 屋内消火栓
 - 2) 固定式・移動式粉末消火設備
 - 3) 消火器

2. 防消火設備の概要



1.6 準工業地域の危険物保有数量規制を満足するための対策

1. 危険物保有数量の規制と対策

◆建築基準法による危険物の保有量の限度

準工業地域であることから、工業専用地域等にはない危険物保有数量の規制を受け、より高い安全性が要求されている。このため建築基準法に基づく準工業地域の危険物保有数量は、指定数量(脚注)の50倍以下となっている。

◆保有数量規制値を超える危険物の取り扱い

地下貯蔵槽は、その構造から高い防火機能及び延焼防止機能を保持していることから、建築基準法では地下貯蔵槽での貯蔵は数量規制の対象外の措置がとられている。このことから、指定数量の50倍を越えないように安全性の高い地下貯蔵槽を利用する。

◆建築基準法の地下貯蔵槽として取り扱うための条件

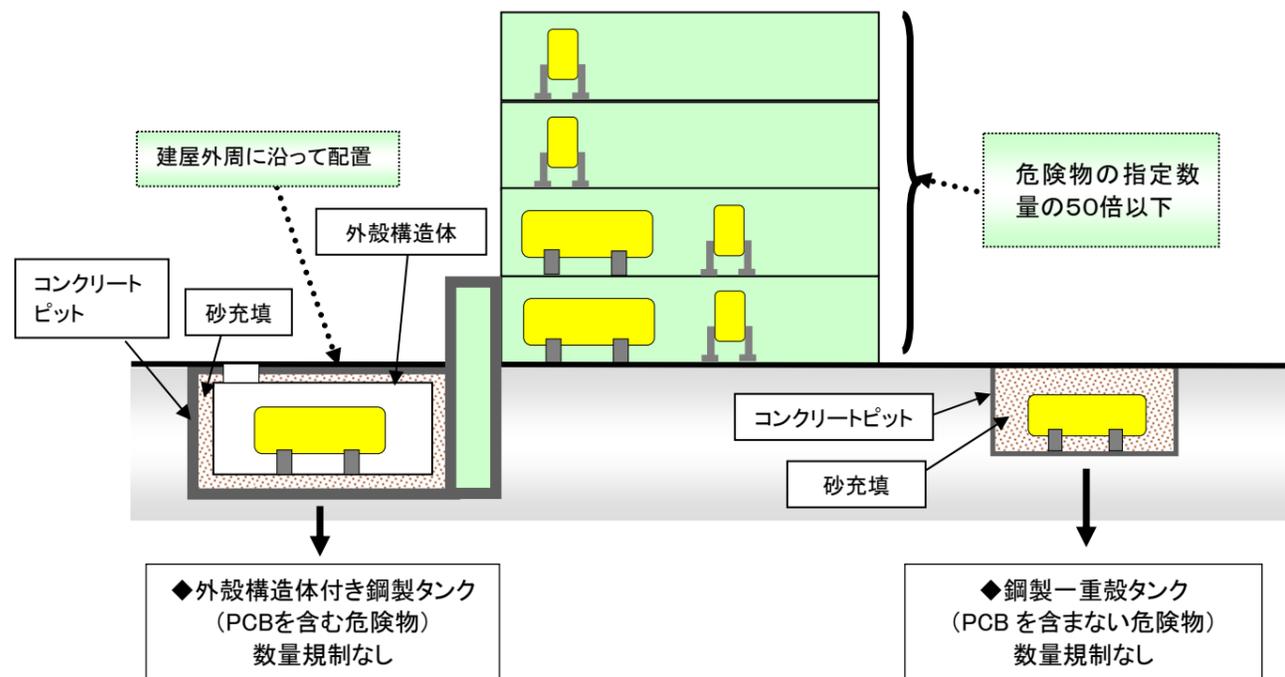
- 1) 建築基準法の床面積や階に算入されないコンクリートピット(最下階の床下にある、上部マンホールから入るタイプで、必要最小限のスペースを取ったもの)内に設置される貯蔵槽であること。
- 2) タンクとコンクリートピットの間を砂で埋めている貯蔵槽であること。

◆PCBを含む液体を取扱うための条件

- 3) 目視による貯蔵槽の点検が可能であること。
- 4) 万一PCBを含む液が漏れた場合でも、外殻から地下への浸透・流出を防止出来ること。

以上の1)~4)の条件を満足するものとして、

外殻構造体付き鋼製タンクを採用



2. 外殻構造体付き鋼製タンクの安全対策

◆外殻構造体付き鋼製タンクについて、次のような安全対策を採用している

- 1) 安全装置として、a)換排気設備、b)消火設備、c)自動火災報知器、d)照明設備(点検用)を設置
- 2) 通気ラインを設置。さらに圧力が500mm水柱以上となるタンク(圧力タンク)には安全弁を設置
- 3) 漏洩検知センサーを設置して、万一PCBを含む液が外殻構造体内部に漏洩した場合の早期発見
- 4) コンクリートピットを貫通する配管の漏洩とPCBを含む液の地下浸透を防止するために、配管のコンクリート壁貫通部を二重管構造として液の外部漏洩を防止
- 5) セーフティネットとなる外殻(ステンレス鋼製)は、地下浸透や流出を防止
- 6) ベントガスは通気ラインを通してオイルスクラバで処理して排気中に含まれるPCBを除去。更にセーフティネット活性炭吸着装置を通して大気に排出する
- 7) タンクと外殻構造体の間に点検、補修作業が行える空間を設ける
- 8) タンクの沈下対策は、杭基礎を採用(建物と一体型の支持杭)
- 9) 消防法「屋内タンク貯蔵所」として設計製作。外殻構造体など構成要素は出来るだけ工場で製作して、現地での溶接作業を減少
- 10) タンクと配管との接合、配管の曲がり部分、配管の壁貫通部分などについて、配管の耐震性評価を実施し、問題ないことを確認する



- ◆ 換排気設備、消火設備、照明設備などを設備しており、随時点検が可能
- ◆ 万一、PCBを含む液が外殻構造体内部に漏洩した場合でも、地下に浸透することを防止
- ◆ コンクリート壁貫通部の配管構造を工夫することで、配管中のPCBを含む液が地下に流出することを防止

(脚注) 指定数量とは
危険物の危険性を勘案して政令で定める数量。
指定数量は危険物毎に定められ、危険性の高い物ほど小さな値となる。設備の基準や検査は危険物の取扱量が多いほど厳しくなり、取扱量は通常指定数量の倍数で示される。

1.7 水素に対する安全対策

火災・爆発防止対策

◆反応における安全対策

- 1) N₂バブリングにより、投入PCB、溶媒および触媒中の酸素を確実に除去
- 2) 反応系内の酸素濃度を常時自動測定
- 3) 異常時に備えて緊急N₂ガス注入システムを採用

◆漏洩水素の滞留防止

- 1) 各階床にグレーチング構造を採用し、吹抜け部を設置
- 2) 建屋1Fに給気ダクト、4F天井部に排気ダクトを配置した換気システムの採用
- 3) 気流解析を実施し、給気した空気はほぼ均一な分布で上昇し排気口へ流れる事を確認
- 4) 区画壁を設置して反応セクション室以外への水素の流入を防止

◆高感度水素検知器による漏洩時の早期検知

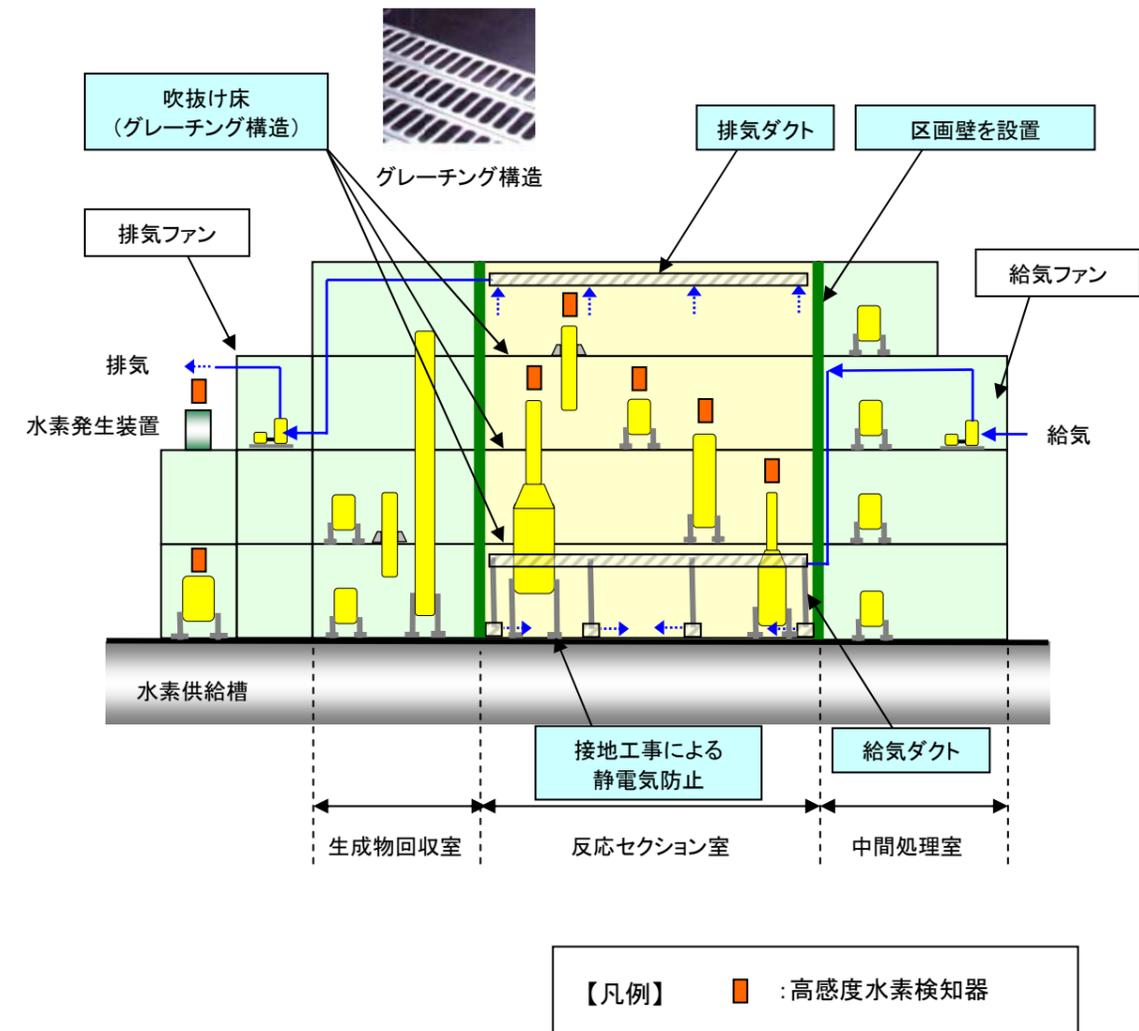
- 1) 高感度水素検知器を設置 ……法律上の要求なし、自主設置
(設置例: 反応器、反応ガス洗浄塔、水素発生装置などの上部)
- 2) 漏洩の可能性を十分検討し設置場所を決定
- 3) 警報設定値を、一般的な「爆発下限界の1/4以下」より一桁程度小さい値に設定。設定値を超える水素濃度を検出した場合は、自動停止システムの作動によって液処理設備を安全に停止

◆着火源の除去

- 1) 反応セクション、その他の水素を取り扱う場所の電気品は防爆仕様品を選定
- 2) 静電気除去のための接地工事(機器、タンク、配管類)
- 3) 避雷設備による着火防止

◆水素放出時の安全対策

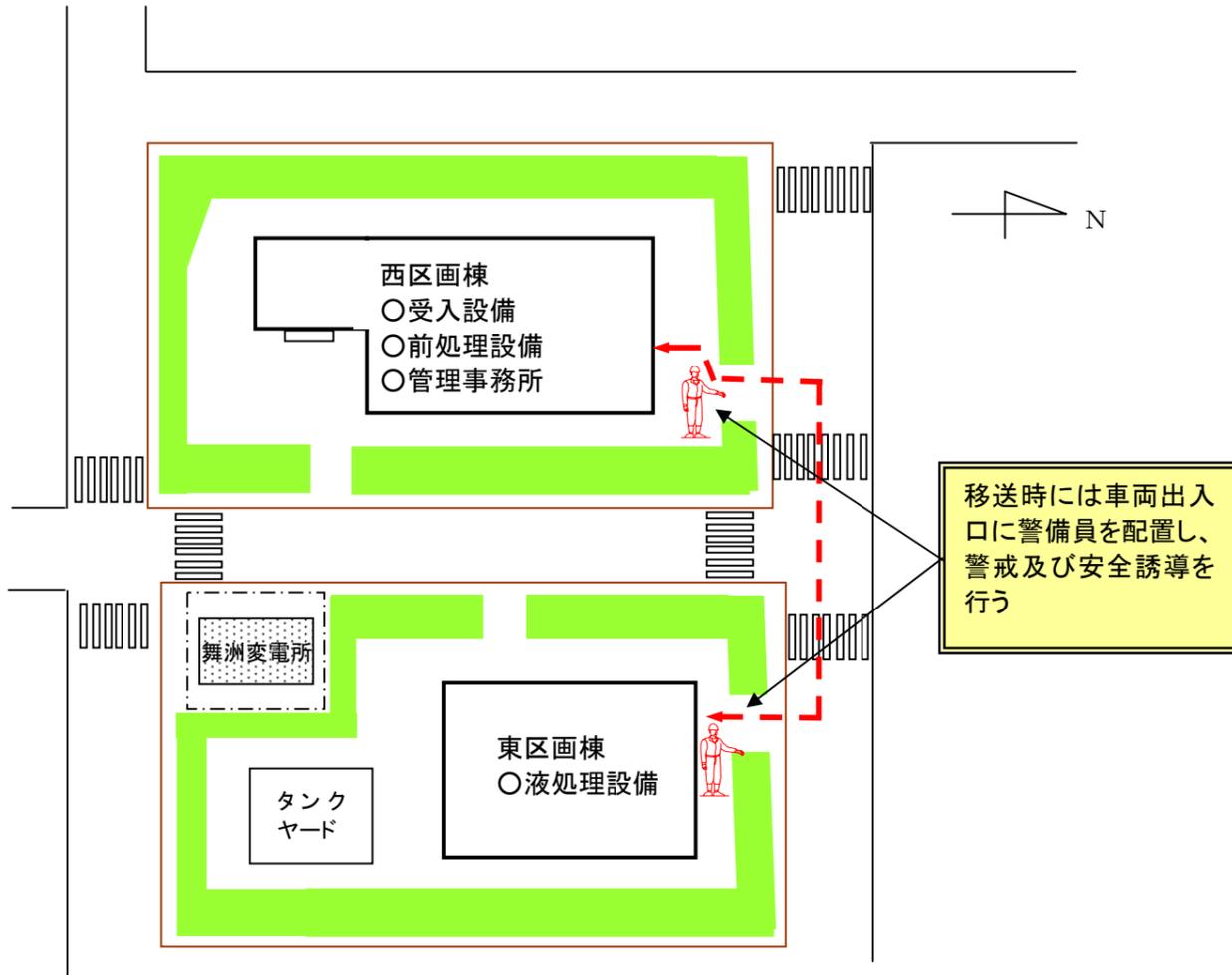
- 1) 異物等の衝撃によるスパーク発生をなくすため、水素放出先の近傍には金属製干渉物を設置しない。またこの観点から錆の発生を防止するためステンレス製の水素放出管を採用。
- 2) 万一に備えて、放出管には2重の逆火防止装置を採用 (金網と水封式)



1.8 東西移送に対する安全対策

1. 移送時の安全対策

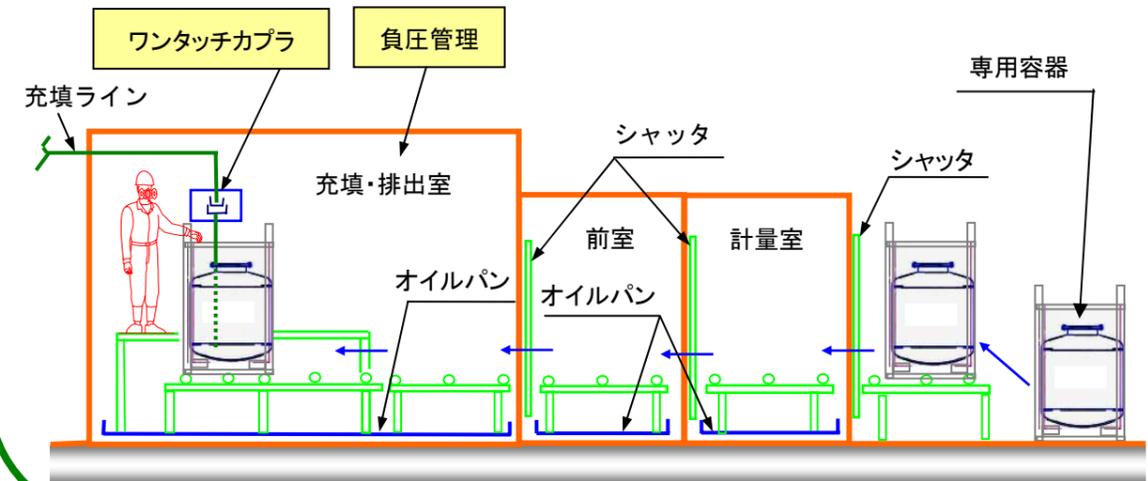
- ◆ 液体、固体の移送は専用容器に入れて最短の動線で行う
- ◆ 専用容器は密閉性、強度が確保されたUN規格品を使用。(危険物の海上輸送に関する国連勧告に適合した容器)
- ◆ 移送車両の誘導、管理の徹底で安全運行を確保する。移送回数は1日1~2往復
- ◆ 万一の油漏れに対処するため、移送車両に吸収材を装備
- ◆ 移送作業従事者に環境、安全教育を徹底



2. 充填・排出時の安全対策

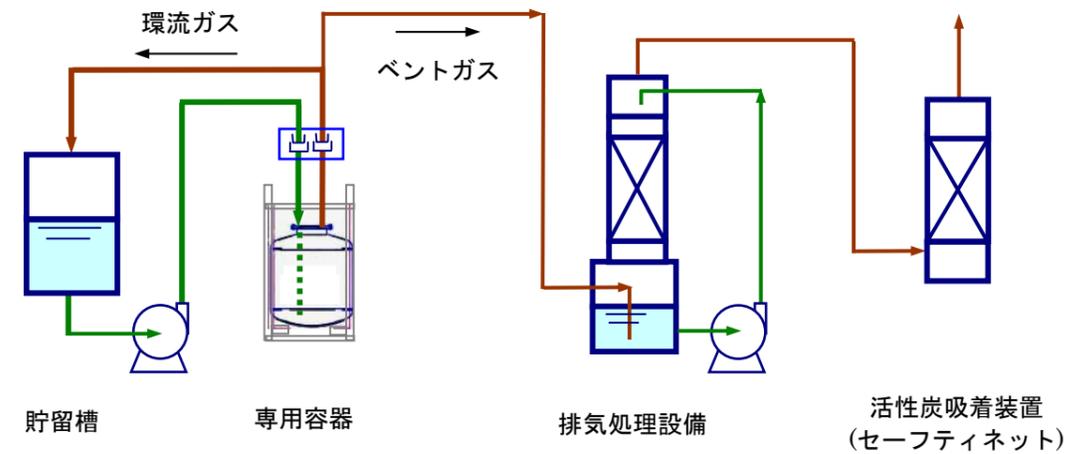
1. 充填・排出時の安全対策

- ◆ 作業は負圧管理された専用の充填・排出室で実施
- ◆ 安全性の高いUN規格容器を採用
- ◆ 充填・排出口には、漏洩防止対策としてワンタッチカップラと閉止キャップを採用



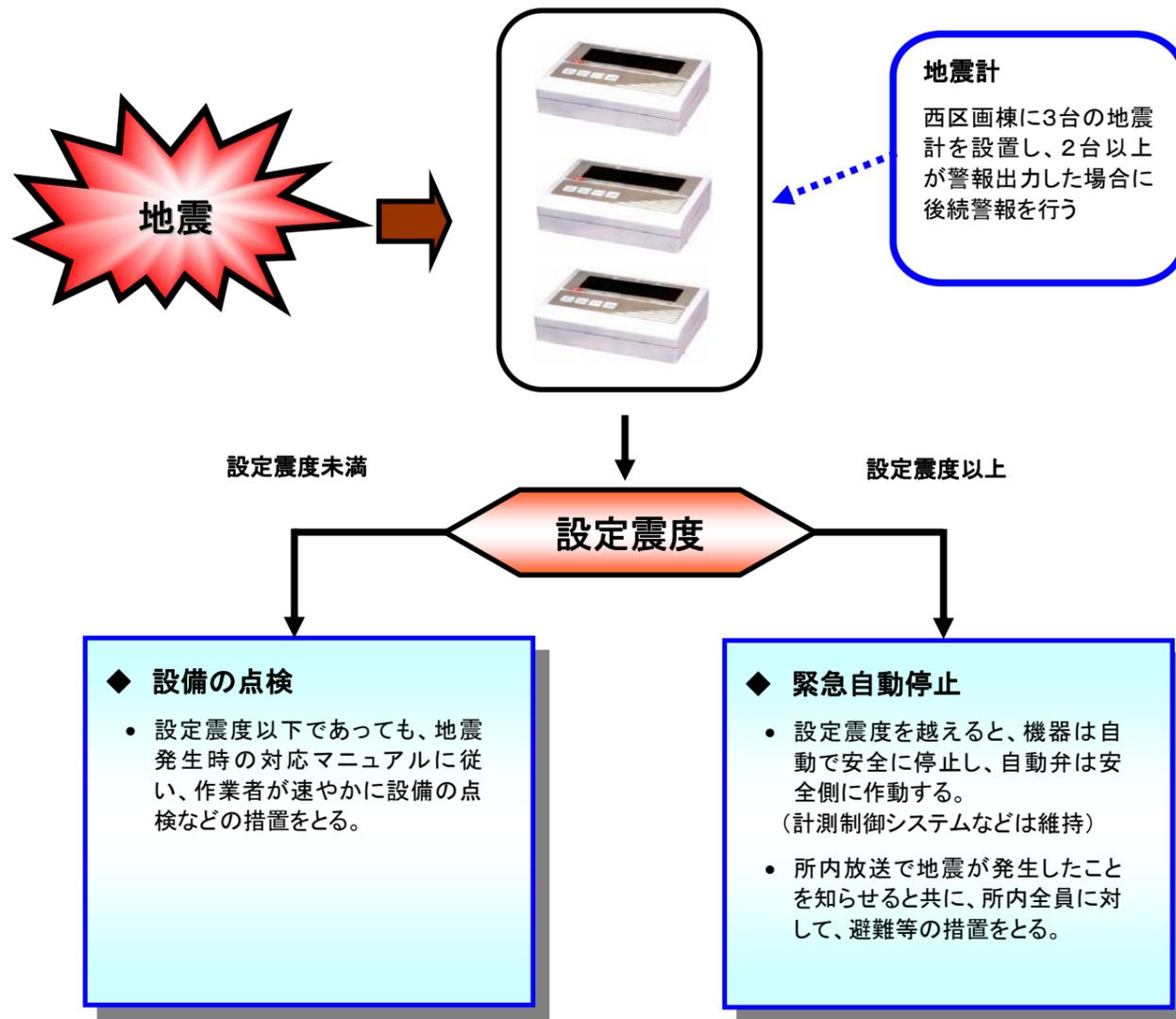
2. 充填・排出時の排気処理

- ◆ 充填・排出は受け側(専用容器)と送り側(貯留槽)のベントラインを繋いで行う。ベントガスは排気処理設備でPCBを除去した後、活性炭吸着装置を通して大気に排出する



1.9 自然災害に対する安全対策（地震、落雷、浸水）

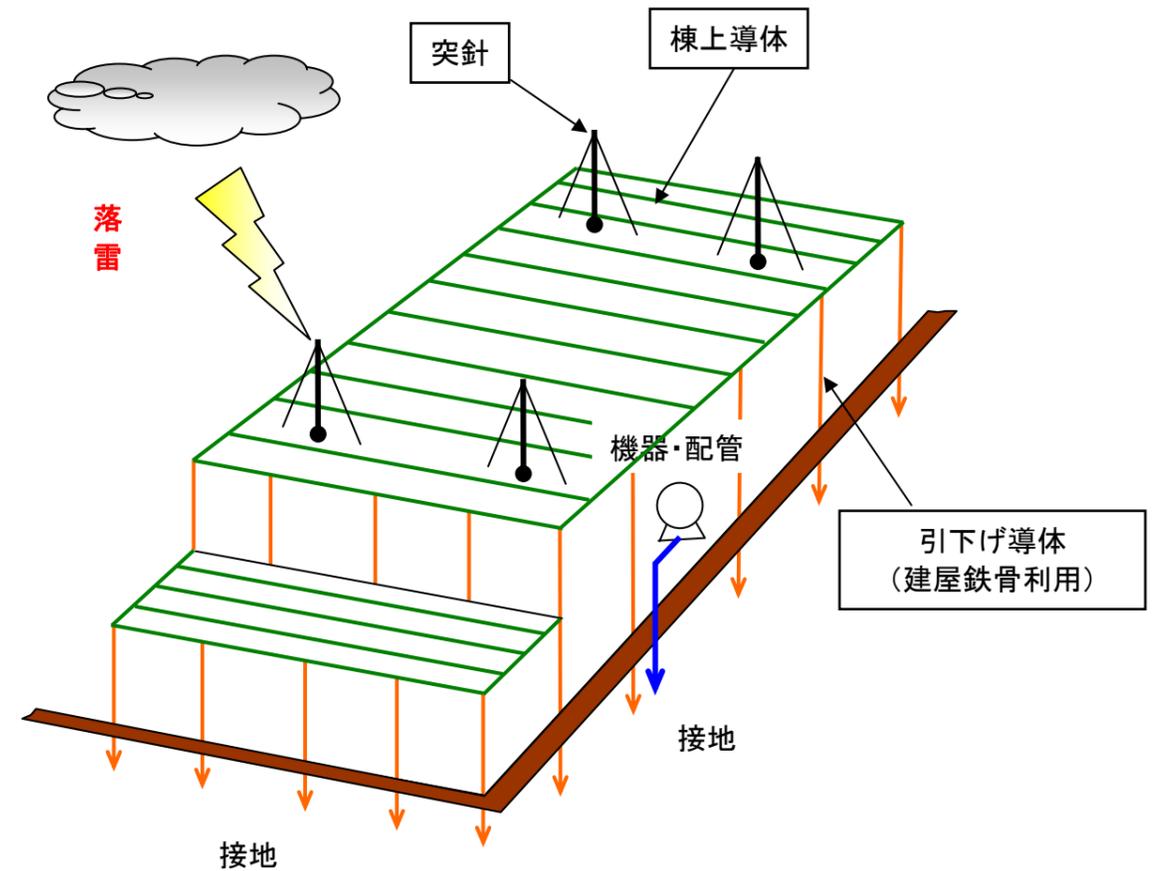
1) 地震対策



◆ 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などの関係法令にさらに上乗せた耐震設計（建家層せん断力係数は基準の1.5倍を採用するなど）を行う。

2) 落雷対策



◆ 施設設計

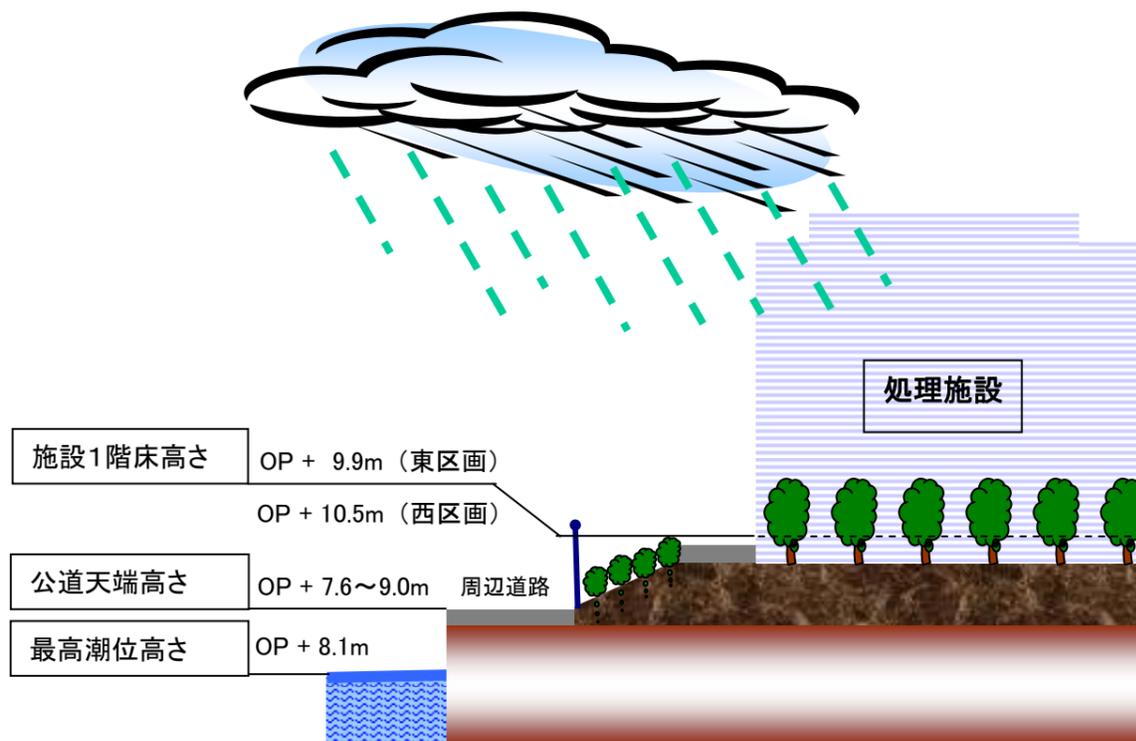
- 建屋は、突針、棟上導体、引下げ導体（建屋鉄骨を利用）を組み合わせた避雷対策を実施
- 施設内機器・配管： 接地工事を実施

◆ 落雷時の対応

- 直ちに設備点検を実施、異常の有無を確認

1.9 自然災害に対する安全対策（地震、落雷、浸水）

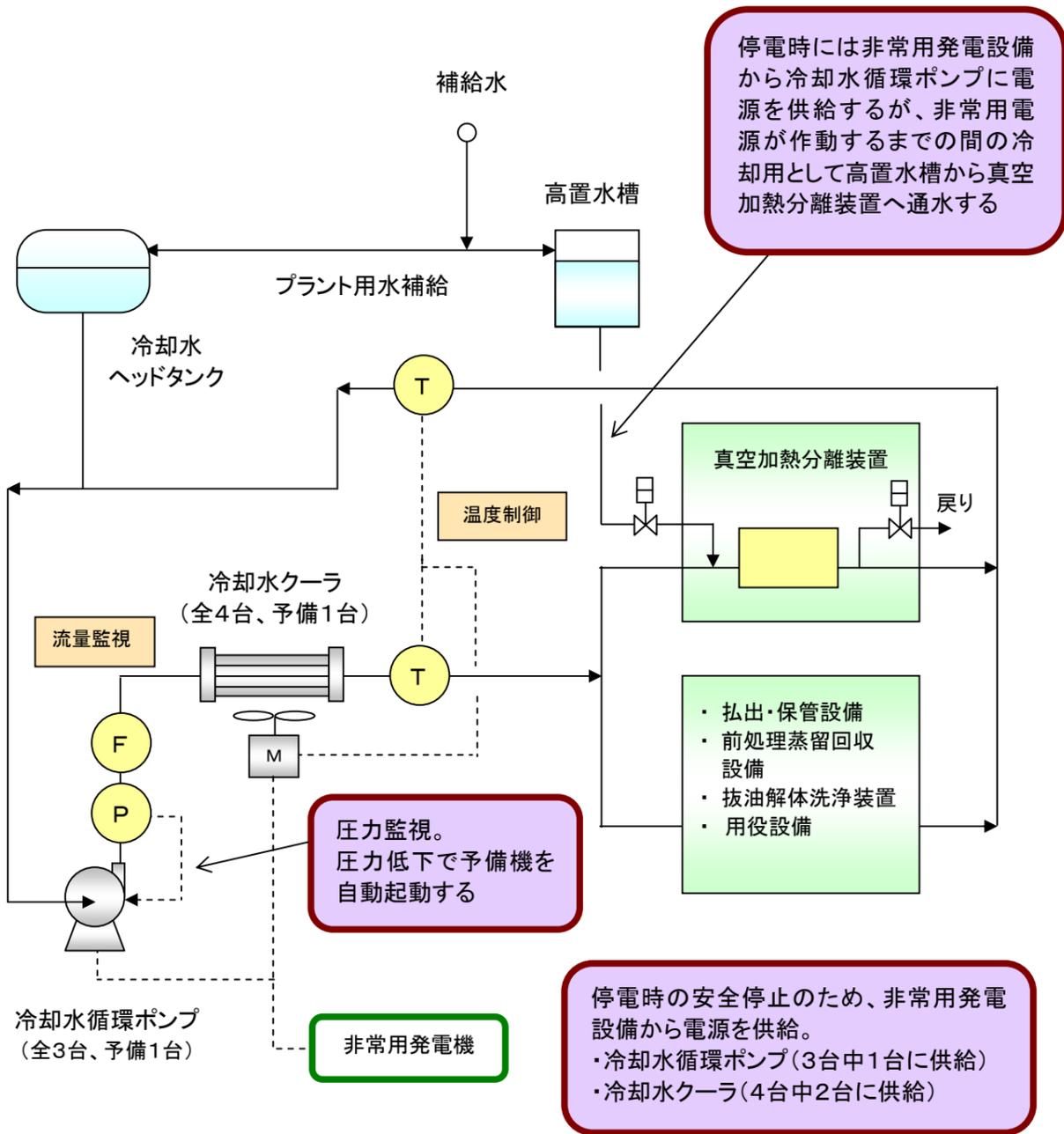
3) 浸水対策



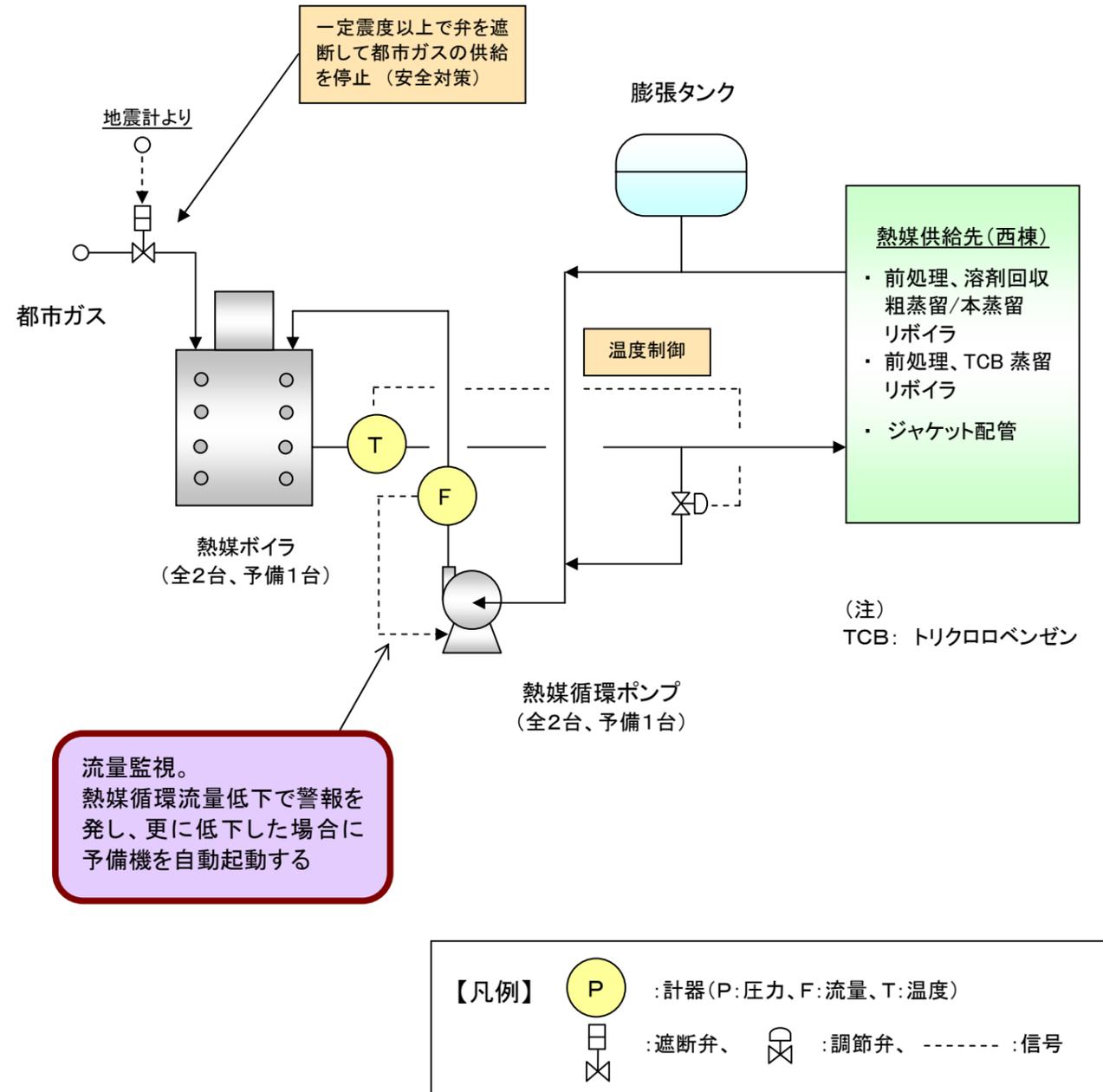
- ◆施設1階床高さは周辺道路より高くして浸水防止
 - ◆設定した最高潮位高さ（OP + 8.1m）の妥当性
 - ・ 過去最高潮位 OP + 4.5m
 - ・ 伊勢湾台風（1959年）と同規模の台風を想定したときの予想潮位
朔望平均満潮位（OP + 2.1m）+ 最大潮位偏差（3.5m）= OP + 5.6m
 - ・ 東南海・南海地震による津波を想定したときの予想潮位
朔望平均満潮位（OP+2.1m）+ 最大津波高さ（2.9m）= OP + 5.0m
- 舞洲地区の最高潮位高さは OP + 8.1m 設定であり、浸水の恐れはない。

1. 10 用役の安定供給対策（冷却水、熱媒、窒素、空気、電気）

1) 冷却水

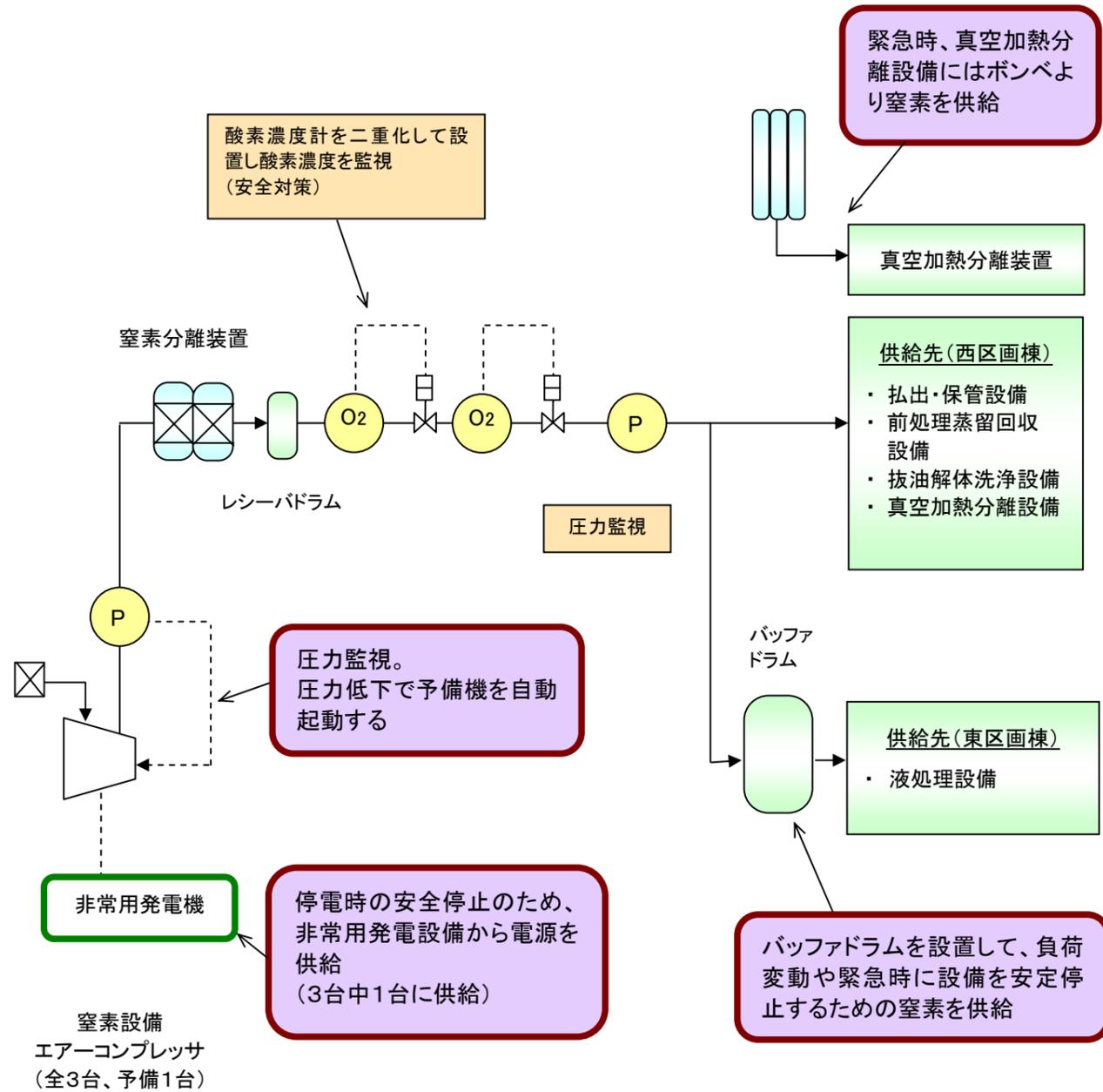


2) 熱媒

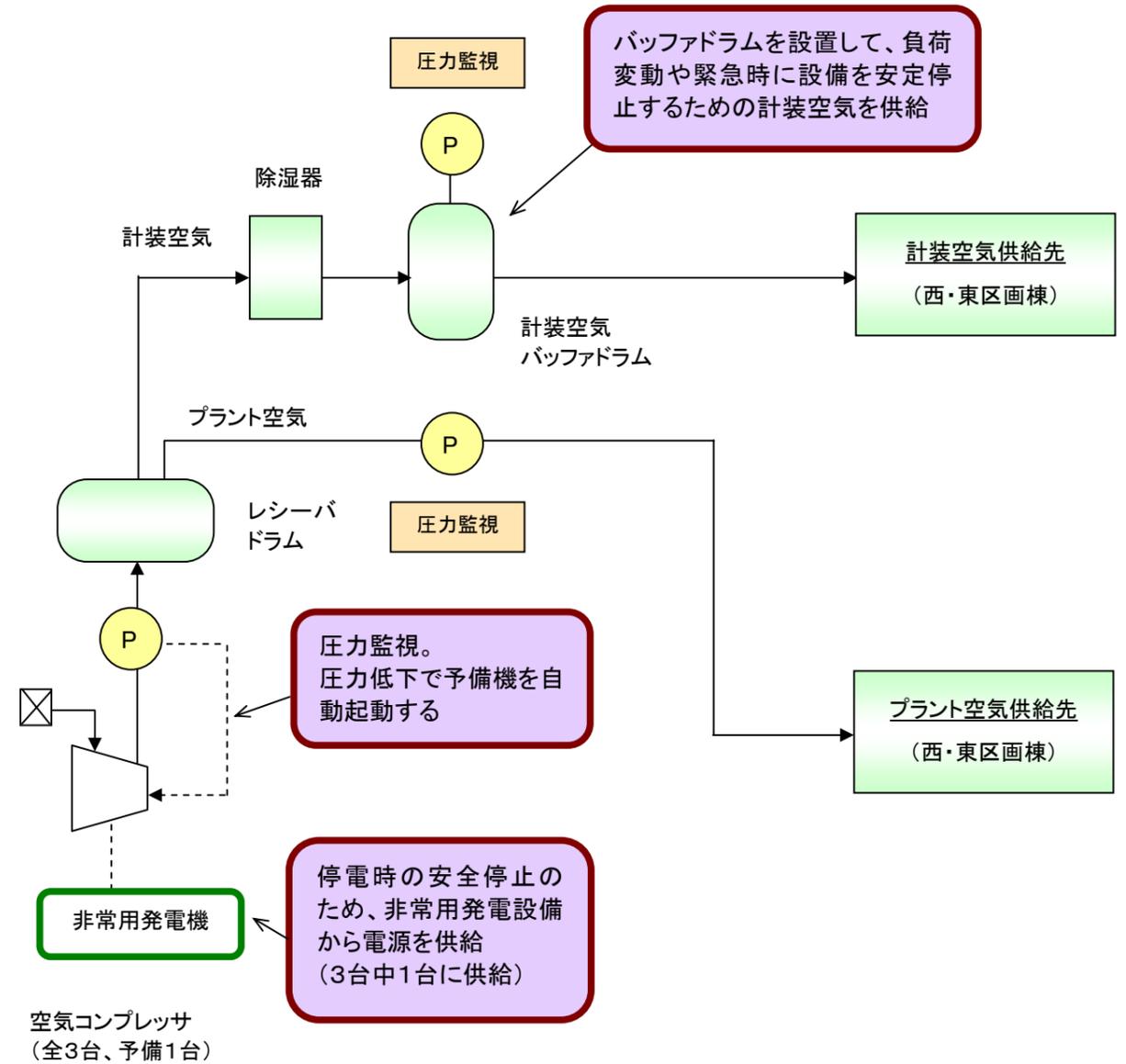


1. 10 用役の安定供給対策（冷却水、熱媒、窒素、空気、電気）

3) 窒素



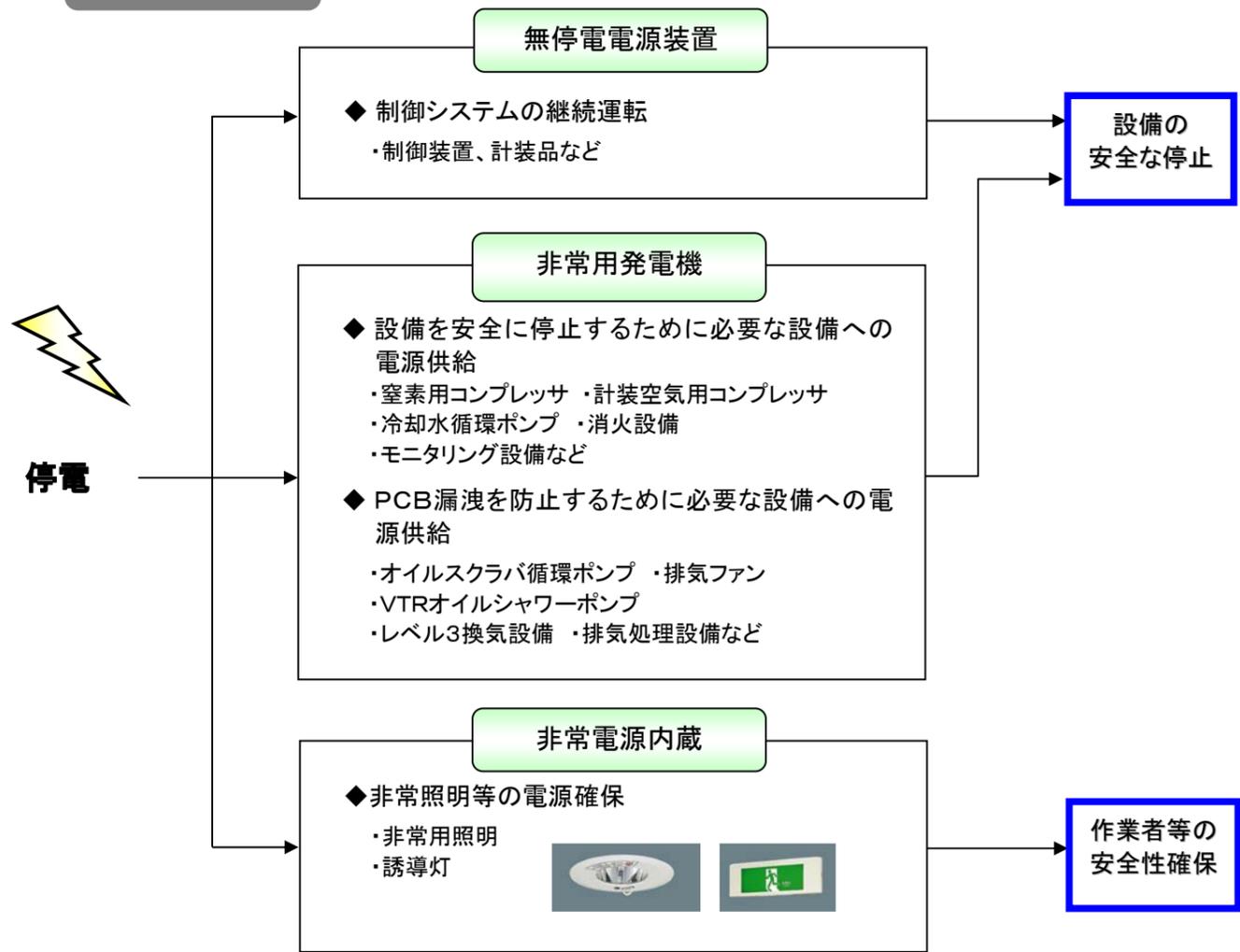
4) 空気(計装空気、プラント空気)



【凡例】 P : 計器 (P : 圧力、O₂ : 酸素濃度)
 : 遮断弁、  : 調節弁、 - - - - - : 信号

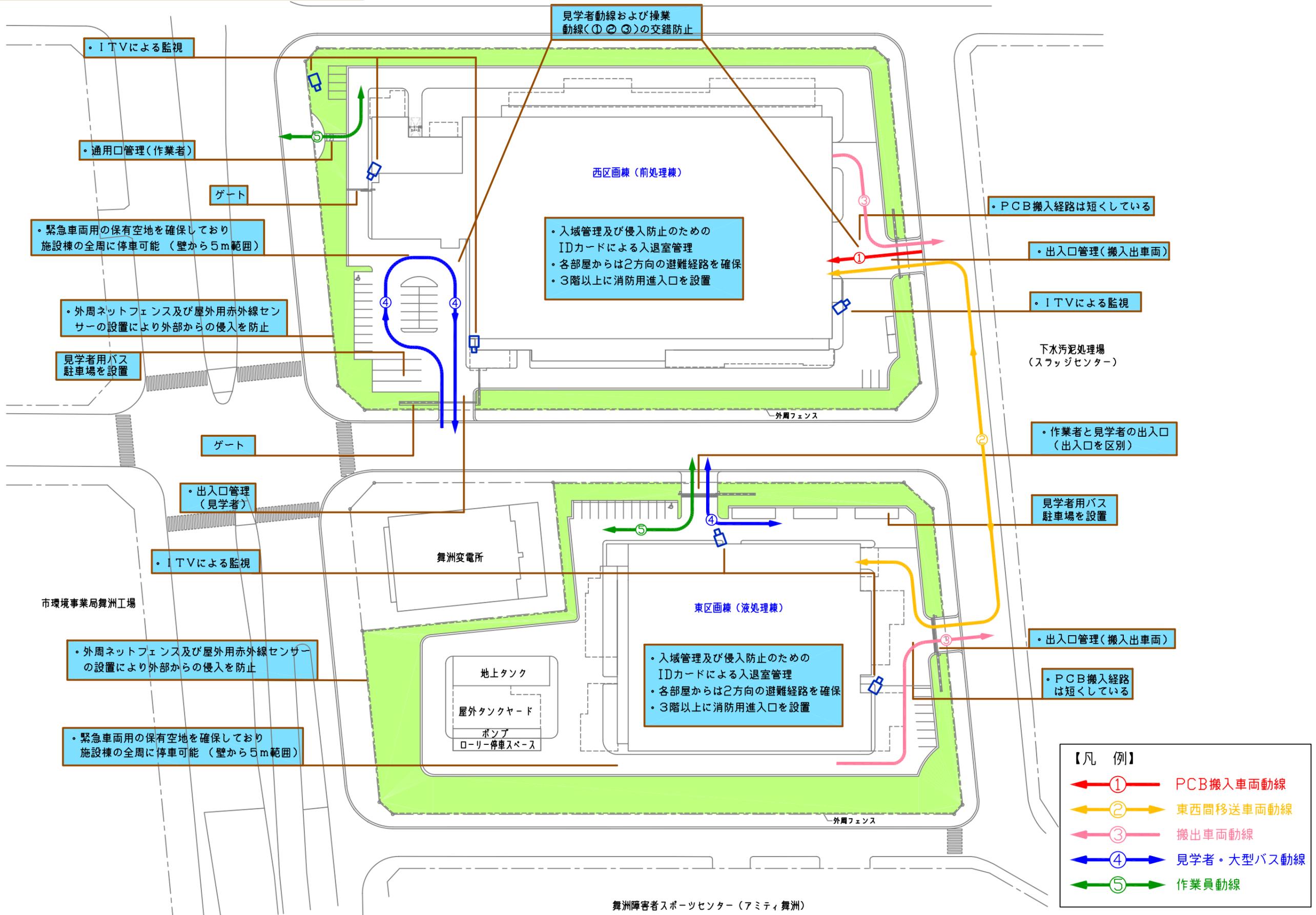
1. 10 用役の安定供給対策（冷却水、熱媒、窒素、空気、電気）

5) 電気



- ◆ 電気
 - ・ 施設内に非常用発電機及無停電電源装置を設備し、停電時において施設を安全に停止するための電源を確保
 - ・ 受電系統の二重化により停電の発生を極力防止

1.1.1 敷地内レイアウト等に関する安全配慮



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る。

① 定性的リスク評価

プロセス設備について HAZOP を用いて不具合シナリオを抽出し、必要に応じて追加の安全対策を立案し、設計に反映した。用役設備については FMEA を実施して、設備の信頼性を評価した。また、受入・抜油・解体等の機械設備については、What-if を実施し、必要に応じて安全対策を立案し、設計に反映した。

② 確率論的安全評価

HAZOP の結果、定量的な評価が必要とされた不具合シナリオについて、イベントツリー解析やフォルトツリー解析を実施することでリスクの発生頻度を算定し、必要に応じて更なる安全対策を立案し、設計に反映した。この結果、リスクの発生頻度の目標を達成していることを確認した。

本施設の確率論的安全評価は、施設外へ比較的厳しい影響を及ぼし得る事象として、3種類を対象に実施した。選定理由とあわせて以下に示す。

・「液体状 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ある。液体状 PCB が建屋外へ漏洩した場合には、環境に対する影響が懸念されるため、本事象を定量評価の対象として選定する。

・「気体状 PCB 漏洩」

上記と同様に、気体状 PCB が建屋外へ漏洩した場合には、環境に対する影響が懸念されるため、本事象を定量評価の対象として選定する。

なお、捕集能力低下、蒸散量過多、あるいは隔離失敗により、通常操業時以上の気体状 PCB が建屋外に出る可能性がある場合を「気体状 PCB 漏洩」とする。

・「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る。また、PCB の無害化処理のために水素を使用している。そのため、「火災・爆発」を定量評価の対象として選定する。

(2) 定性的リスク評価

施設内の各設備について、定性的リスク評価を実施した結果、HAZOP シート約 900 枚、FMEA シート約 20 枚、What-if シート約 20 枚を作成した。

HAZOP では、不具合シナリオを抽出すると共に、「現状の安全対策」の有効性を確認し、必要に応じてより高い安全性を確保するための「追加の安全対策」を立案し、設計に反映した。

What-if では、機械設備がもつ潜在不具合シナリオについて、ハザード、安全、機能の各視点により分析を進め、現状の対策の是非と追加対策の要否を判定した。更に、立案された追加対策については、再度 What-if を実施し、その有効性を確認した。

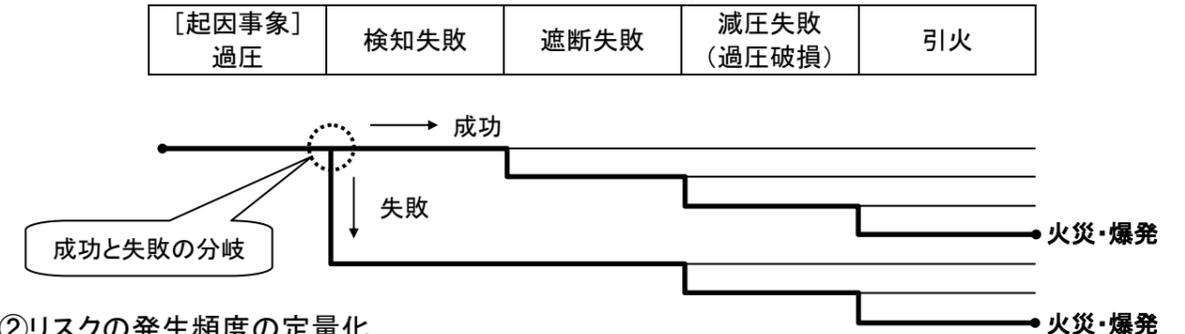
(3) 確率論的安全評価

(2)の結果より、先に識別した3種類の不具合シナリオについて、確率論的安全評価を実施した。各不具合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、リスクの発生頻度を求めた。

① イベントツリー作成

不具合シナリオに基づき、引き金となる事象と、その進展を抑制する緩和策や安全装置を識別し、イベントツリーを作成。

＜イベントツリーの例：水素過剰供給時の過圧破損による火災・爆発＞



② リスクの発生頻度の定量化

イベントツリーの起回事象については、引き金となる機器故障の 1 年あたりの発生頻度を算定し、また、分岐確率については、事象進展を抑制する緩和策や安全装置の失敗確率をフォルトツリー解析等によって算定。起回事象の発生頻度と分岐確率をイベントツリーに代入することで、リスクの発生頻度を定量化。

本施設はフェイルセーフやセーフティネットに代表される基本的な安全設計に加え、諸種の安全対策や運用上のリスク軽減策を講ずることで、定量的な安全評価の結果においても、十分な安全性を有しており、その結果、施設外へ比較的厳しい影響を及ぼしうる事象の発生頻度は、それぞれ以下の様に十分低いと評価された。

「液体状 PCB の建屋外漏洩」	8.1×10^{-7} 回/年
「気体状 PCB の建屋外漏洩」	2.8×10^{-7} 回/年
「火災・爆発」	4.0×10^{-7} 回/年

英国安全衛生庁 (Health and Safety Executive) が発行している「Reducing risks, protecting people HSE's decision-making process」(2001)では、個人死亡リスクが 1×10^{-6} 回/年以下であれば「広く受容される領域」とされている。また、PCB の漏れが発生したとしても、直ちに人の死亡に繋がらないことから、本施設のリスクは十分に低いと言える。火災・爆発に関しても通常の危険物一般取扱所における火災の統計的発生頻度は、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に低いと言える。

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 and 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。

◇ 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ずることによりシステムの安全化を図る手法。

◇ イベントツリー解析 (Event Tree Analysis)

起回事象 (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。

◇ フォルトツリー解析 (Fault Tree Analysis)

対象とするシステムに起こってほしく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 安全評価結果のまとめ(「液体状 PCB 漏洩」)

危険事象	不具合シナリオ	部位 [設備名]	起因事象発生頻度の低減策 ^(注1)	事象進展の回避・緩和策 ^(注1)	対策適用前の発生頻度(回/年) ^(注2)	対策適用後の発生頻度(回/年)		
液体状 PCB 漏洩	移送停止失敗によるオーバーフロー 【代表シナリオ】 レベルセンサや遮断弁の故障で、PCB の移送が停止できず、液体状 PCB がベントラインを経由して建屋外へ漏洩する可能性がある。	1	トランス油受槽 [前処理]	遮断弁を追加し、遮断弁の健全性をパッチ毎に確認 $\langle 6.0 \times 10^{-2} \rangle \rightarrow \langle 1.4 \times 10^{-5} \rangle$	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$	1.1×10^{-4}	1.9×10^{-4}	2.8×10^{-7}
		2	調整槽 [液処理]	遮断弁の健全性をパッチ毎に確認 $\langle 5.2 \times 10^{-3} \rangle \rightarrow \langle 2.8 \times 10^{-5} \rangle$	—	2.6×10^{-7}		
		3	回収液集合タンク [真空加熱分離]	遮断弁を追加し、遮断弁の健全性をパッチ毎に確認 $\langle 6.0 \times 10^{-2} \rangle \rightarrow \langle 2.4 \times 10^{-5} \rangle$	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$	6.7×10^{-6}		
		4	大型コンデンサ粗洗浄パッファ槽 1 [前処理]	—	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$	5.2×10^{-5}		
		5	仕上ペーパー洗浄 2 溶剤タンク [前処理]	—	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$	1.3×10^{-5}		
		6	2 次洗浄溶剤パッファ槽 [前処理]	—	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$	2.6×10^{-6}		
		7	粗洗浄溶剤回収槽 [前処理]	—	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$	3.6×10^{-6}		
		8	蒸留廃液回収槽 [前処理]	—	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$	3.0×10^{-6}		
		9	蒸留回収 PCB/TCB 貯槽 [前処理]	—	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$	5.5×10^{-7}		
	蒸留塔の液位上昇による PCB 油の流出 【代表シナリオ】 蒸留塔のレベルセンサが故障し、抜き出しが停滞すると、PCB を含む内容液が蒸留塔から溢流し、排気処理設備を経由して建屋外に漏洩する可能性がある。	10	第 1 低沸蒸留塔 [液処理]	—	—	1.6×10^{-8}	2.0×10^{-7}	3.3×10^{-8}
		11	第 2 低沸蒸留塔 [液処理]	—	—	1.6×10^{-8}		
		12	粗洗浄水分離塔 [前処理]	—	(現場計との比較による)レベルセンサの健全性を日常的に確認 $\langle 5.5 \times 10^{-3} \rangle$	8.1×10^{-8}		
		13	粗洗浄水分離塔(中間タンク) [前処理]	—	同上	8.1×10^{-8}		
	ドレン系からのドレン液の溢流 【代表シナリオ】 ドレンラインが閉塞した状態で圧送するとドレン液がファンネルから溢流する可能性がある。また、この場合、建屋内に流出したドレン液が建屋外へ漏洩する可能性がある。	14	粗洗浄 HC 回収塔 [前処理]	—	同上	7.5×10^{-9}	2.3×10^{-5}	1.2×10^{-7}
		15	ドレン系(受入ライン手動弁閉鎖失敗時) [前処理]	ベントラインへの直接的な加圧を止めたサイトグラスで確認	防油堤の設置	2.0×10^{-6}		
		16	ドレン系(ドレン液の凝固による配管の閉塞時) [前処理]	サイトグラスで確認	同上	2.0×10^{-5}		
		17	廃 PCB ドレン系(過剰投入) [前処理]	ドレン実施中にはファンネルを使用しないサイトグラスで確認	同上	3.7×10^{-7}		
	容器の負圧/過圧破損による内容液の流出 【代表シナリオ】 容器の内容液を払出す際に、窒素が供給できないと、内圧が低下し、負圧破損に至る可能性がある。また、この場合、流出した内容液が建屋外へ漏洩する可能性がある。	18	TCB 蒸留設備ドレン系(過剰投入) [前処理]	同上	同上	3.7×10^{-7}	7.3×10^{-5}	2.1×10^{-7}
		19	10kL 容器(負圧破損) [前処理]	—	同上	1.3×10^{-9}		
		20	回収溶媒中間槽(過圧破損) [液処理]	—	地下の外殻構造体	1.5×10^{-9}		
		21	廃触媒除去フィルタ(過圧破損) [液処理]	—	オイルパンの設置	7.2×10^{-8}		
		22	大型コンデンサ粗洗浄パッファ槽 1 (負圧破損) [前処理]	—	圧力異常時のインターロック追加 $\langle 1.8 \times 10^{-3} \rangle$ 、地下の外殻構造体	2.4×10^{-5}		
		23	2 次洗浄溶剤パッファ槽(負圧破損) [前処理]	—	同上	1.2×10^{-5}		
		24	粗洗浄溶剤回収槽(負圧破損) [前処理]	—	同上	1.8×10^{-5}		
		25	蒸留廃液回収貯槽(負圧破損) [前処理]	—	同上	1.2×10^{-5}		
	その他	26	蒸留回収 PCB/TCB 貯槽(負圧破損) [前処理]	—	圧力異常時のインターロック追加 $\langle 1.8 \times 10^{-3} \rangle$ 、オイルパンの設置	6.0×10^{-6}	8.6×10^{-5}	1.7×10^{-7}
		27	ドレンライン上の機器(過圧破損) [前処理]	N ₂ の供給圧を下げる 操作前に圧力を確認する運用とする	オイルパンの設置	1.0×10^{-6}		
		28	真空加熱炉(抽出溶媒流出) [真空加熱分離]	—	レベルスイッチを多重化 $\langle 7.4 \times 10^{-4} \rangle$ オイルパンの設置	2.3×10^{-6}		
		29	洗浄装置(溶剤流出) [前処理]	—	オイルパンの設置	1.0×10^{-12}		
		30	廃触媒除去フィルタ(過熱破損) [液処理]	—	温度スイッチの多重化 $\langle 1.4 \times 10^{-3} \rangle$ オイルパンの設置	8.2×10^{-5}		
		31	PCB 移送配管のフランジ(過熱破損) [前処理]	—	温度センサの追加 $\langle 3.4 \times 10^{-2} \rangle$ オイルパンの設置	1.5×10^{-6}		
合計					3.7×10^{-4}	8.1×10^{-7}		

(注1): 網掛けは、今回の解析結果に基づき設計に反映した対策である。〈〉は網掛け対策後のリスクの発生頻度の低減効果である。

対策による起因事象の発生頻度の低減は、〈対策適用前の発生頻度〉→〈対策適用後の発生頻度〉の形で表す。

(注2): 対策適用前の発生頻度は、網掛けした対策を講じない場合の発生頻度を表す。

2.3 安全評価結果のまとめ(「気体状 PCB 漏洩」/「火災・爆発」)

危険事象	不具合シナリオ	部位 [設備名]		起回事象発生頻度の低減策	事象進展の回避・緩和策	対策適用前の発生頻度(回/年) ^(注3)		対策適用後の発生頻度(回/年)	
						発生頻度	発生頻度	発生頻度	発生頻度
気体状 PCB 漏洩	PCB 捕集能力低下 【代表シナリオ】チラー系の故障により、オイルスクラバによる PCB 捕集能力が低下し、建屋外へ漏洩する可能性がある。	32	オイルスクラバ(チラー故障) [前処理]	—	オンライン PCB モニタ 活性炭吸着 ^(注1)	3.8 × 10 ⁻¹¹	1.4 × 10 ⁻⁷	3.8 × 10 ⁻¹¹	1.4 × 10 ⁻⁷
		33	オイルクーラ、凝縮器(チラー故障) [真空加熱分離]	—	チラー故障時に真空加熱炉ヒータを停止し冷却水融通 活性炭吸着 ^(注1) 、有機溶剤除去用活性炭吸着、大型活性炭吸着	3.5 × 10 ⁻⁸		3.5 × 10 ⁻⁸	
		34	オイルクーラ、凝縮器(CW 喪失) [真空加熱分離]	—	同上	1.0 × 10 ⁻⁸		1.0 × 10 ⁻⁸	
		35	オイルクーラ、凝縮器(電源喪失) [真空加熱分離]	—	高置水槽自動切替え(切替え弁の試験を月一回実施) 活性炭吸着 ^(注1) 、有機溶剤除去用活性炭吸着、大型活性炭吸着	1.5 × 10 ⁻⁸		1.5 × 10 ⁻⁸	
		36	ベントガスクラバ冷却器(チラー故障) [液処理]	—	オンライン PCB モニタ 活性炭吸着 ^(注1)	7.6 × 10 ⁻¹¹		7.6 × 10 ⁻¹¹	
		37	スクラバ(循環ポンプ故障) [前処理]	—	ポンプ流量計に危険側故障のないタイプを採用、活性炭吸着 ^(注1)	4.6 × 10 ⁻⁸		4.6 × 10 ⁻⁸	
		38	受入処理室活性炭フィルタ(機能不全) [前処理]	—	オンライン PCB モニタ 活性炭吸着 ^(注1)	2.9 × 10 ⁻⁸		2.9 × 10 ⁻⁸	
		39	排気処理室活性炭フィルタ(機能不全) [前処理]	—	同上	2.9 × 10 ⁻¹⁰		2.9 × 10 ⁻¹⁰	
	PCB 蒸散量過多 移送ラインの温度制御に失敗し過温状態となり、PCB の蒸散量が捕集能力を超え、建屋外へ漏洩する可能性がある。	40	洗浄回収油中間槽(熱媒温度制御失敗) [液処理]	—	活性炭吸着 ^(注1)	1.4 × 10 ⁻⁷	1.4 × 10 ⁻⁷	1.5 × 10 ⁻⁷	
	オイルシャワーのバイパス 真空加熱中にドライポンプが故障し、炉内が大気圧を超えると、ブリーザ弁が開くことで気体状 PCB が直接常圧凝縮器に導かれ、建屋外へ漏洩する可能性がある。	41	真空加熱炉(圧力上昇) [真空加熱分離]	ドライポンプのバックアップ	活性炭吸着 ^(注1) 有機溶剤除去用活性炭吸着 大型活性炭吸着	5.6 × 10 ⁻⁹	5.6 × 10 ⁻⁹		
合 計						2.8 × 10 ⁻⁷	2.8 × 10 ⁻⁷		

危険事象	不具合シナリオ	部位 [設備名]		起回事象発生頻度の低減策 ^(注2)	事象進展の回避・緩和策	対策適用前の発生頻度(回/年) ^(注3)		対策適用後の発生頻度(回/年)	
						発生頻度	発生頻度	発生頻度	発生頻度
火災・爆発	可燃性ガス雰囲気への空気流入(空気残留含む) 【代表シナリオ】ドアシールが破損して空気が流入すると溶剤との混合気が形成され、これに引火すると火災に至る可能性がある。	42	第1低沸蒸留塔および第2低沸蒸留塔 [液処理]	真空ポンプのバックアップ	圧力異常検知でN ₂ の緊急封入 接地	3.1 × 10 ⁻¹⁴	5.9 × 10 ⁻⁶	3.1 × 10 ⁻¹⁴	2.9 × 10 ⁻⁷
		43	真空加熱炉 [真空加熱分離]	—	温度異常検知でN ₂ の緊急封入	2.6 × 10 ⁻⁷		2.6 × 10 ⁻⁷	
		44	真空加熱炉(CW 喪失時) [真空加熱分離]	—	温度異常検知でN ₂ の緊急封入	2.8 × 10 ⁻¹¹		2.8 × 10 ⁻¹¹	
		45	洗浄装置(引火*) [前処理]	—	圧力異常検知でN ₂ の緊急封入 接地	2.5 × 10 ⁻⁸		2.5 × 10 ⁻⁸	
		46	洗浄装置(発火**) [前処理]	—	同上	2.4 × 10 ⁻¹⁰		2.4 × 10 ⁻¹⁰	
		47	洗浄装置(空気残留時の引火*) [前処理]	洗浄パッチ開始時に洗浄槽内の窒素置換を実施 <5.2 × 10 ⁻³ >→<4.0 × 10 ⁻⁷ >	同上	5.6 × 10 ⁻⁶		4.0 × 10 ⁻¹⁰	
		48	洗浄装置(空気残留時の発火**) [前処理]	同上	同上	4.8 × 10 ⁻⁸		3.8 × 10 ⁻¹²	
		49	溶媒槽(過圧破損) [液処理]	—	アンサーバックによってベントライン自動弁の状態を監視 安全弁設置、水素管理区域	1.1 × 10 ⁻⁸		1.1 × 10 ⁻⁸	
	50	触媒投入槽(液封不全) [液処理]	—	水素管理区域	6.6 × 10 ⁻⁸	6.6 × 10 ⁻⁸			
	51	水素循環ライン上の機器(過圧破損) [液処理]	減圧弁の設置	圧力異常検知で水素供給停止 安全弁設置、水素管理区域	3.0 × 10 ⁻⁸	3.0 × 10 ⁻⁸			
52	反応液受槽(バブリング不全) [液処理]	N ₂ 流量計によるバブリングの健全性確認	—	7.2 × 10 ⁻⁹	7.2 × 10 ⁻⁹				
合 計						6.0 × 10 ⁻⁶	4.0 × 10 ⁻⁷		

(注1): 活性炭吸着に関しては、十分に安全側の失敗確率(1/100)を仮定している。

(注2): 網掛けは今回の解析結果に基づき設計に反映した対策である。

対策による起回事象の発生頻度の低減は、<対策適用前の発生頻度>→<対策適用後の発生頻度>の形で表す。

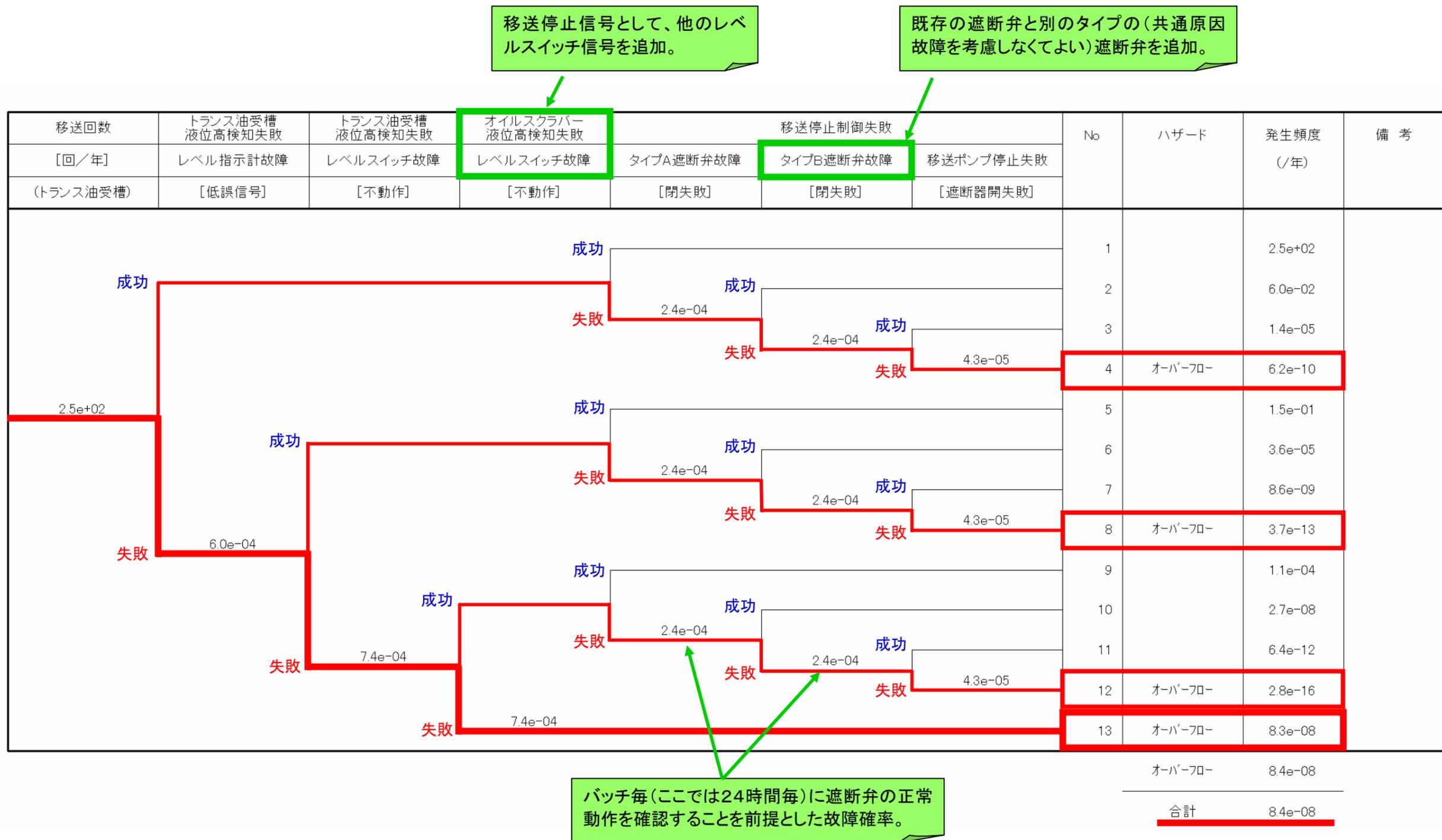
(注3): 対策適用前の発生頻度は、網掛けした対策を講じない場合の発生頻度を表す。

* : 引火点を超えた洗浄溶剤に静電着火

** : 発火点を超えた洗浄溶剤が自然発火

2.4 安全評価結果のまとめ(イベントツリーの例)

(注)液体状 PCB 漏洩(No.1 トランス油受槽[前処理])のイベントツリー



3. 安全解析結果の設計への反映事例

危険事象	設備区分	不具合シナリオ	リスク軽減策
液体状 PCB 漏洩	前処理	ドレンラインが閉塞した状態で圧送するとドレン液がファンネルから溢流する可能性がある。	・ファンネルの構造の改良、および、操作上の対策を施し、ドレン液の溢流を防止した。
		トラバーサの誤動作等により配管／設備の損傷に至り、建屋外へ流出する可能性がある。	・トラバーサの投入スイッチとインターロックの確実性の向上により、誤動作を防止した。
	前処理 液処理	レベルセンサや遮断弁の故障で、PCB の移送が停止できず、液体状 PCB がベントラインを経由して建屋外へ漏洩する可能性がある。	・通気ライン弁の削除、ポンプの吐出圧の見直しを行い、建屋外への流出を防止した。 ・遮断弁を追加し遮断弁の健全性をバッチ毎に確認し、また、レベルスイッチの多重化による異常監視の信頼性を向上させる等で、より確実に移送を停止させる。
		蒸留塔のレベルセンサが故障し、抜き出しが停滞すると、PCB を含む内容液が蒸留塔から溢流し、排気処理設備を経由して建屋外に漏洩する可能性がある。	・現場の液位計と比較することで、液位センサの信頼性を向上させ、抜き出し失敗を防止した。
		PCB 油を保有する容器が過圧破損すると、建屋外へ流出する可能性がある。	・安全弁を設置し、過圧破損を防止した。
容器の内容液を払出す際に、窒素が供給できないと、内圧が低下し、負圧破損に至る可能性がある。	・通気ライン弁を削除、または Locked Open とし、内圧低下を防止した。 ・容器の圧力低で払出し側ポンプを自動停止とし、それ以上の内圧低下を防止した。 ・容器の設計圧力を Full Vacuum とし、負圧破損を防止した。		
気体状 PCB 漏洩	前処理	オイルスクラバの循環ポンプ故障により PCB 捕集能力が低下し、気体状 PCB の放出の可能性がある。	・循環流量低信号で待機側ポンプを自動起動させ、オイルスクラバの機能維持を図った。 ・待機側ポンプの起動試験を 1 回／月程度実施することで、信頼度向上を図った。
	前処理 (真空加熱分離)	真空加熱炉オイルシャワーの循環ポンプ故障により PCB 捕集能力が低下し、気体状 PCB の放出の可能性がある。	・シャワー循環ポンプを多重化し、ポンプ故障時のオイルシャワーの機能維持を図った。
火災・爆発	前処理	洗浄槽内に空気が残留又は流入すると、空気と洗浄溶剤の混合気が形成され、火災に至る可能性がある。	・真空引き工程へ移行する前に、窒素置換を実施し、混合気形成を予防した。 ・圧力異常時に、窒素の緊急封入を自動で行うこととし、混合気形成を抑制した。 ・温度スイッチを多重化し、温度異常時にも窒素の緊急封入を行うことで、混合気形成を防止した。
		加温槽での対象物の加温過剰となると、対象物が過熱破裂し、PCB が漏洩および蒸散する可能性がある。	・加温に用いる温風の上限温度を下げ、過熱破損を防止した。
	前処理 (真空加熱分離)	真空加熱中に炉内へ空気が流入すると、火災に至る可能性がある。	・窒素封入ラインの弁構成の多重化、および、それらの試験頻度を見直し、空気流入時の窒素封入をより確実にした。
	液処理	反応器への水素の過剰供給による過圧破損により、水素が漏洩、火災に至る可能性がある。	・水素投入ラインに安全弁を設置し、過圧破損を防止した。
	払出	粉碎物を空気輸送するラインに爆発の可能性がある。	・バグフィルタに帯電防止濾布を採用し、静電着火の発生を防止した。

ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理事業検討委員会事務局
〒105-0014

東京都港区芝1丁目7番17号 住友不動産芝ビル3号館
日本環境安全事業株式会社 事業部 安全・技術開発課

TEL:03-5765-1930 FAX:03-5765-1940

<http://www.jesconet.co.jp>