

安全解析実施結果

1 安全解析の概要

1. 1 目的

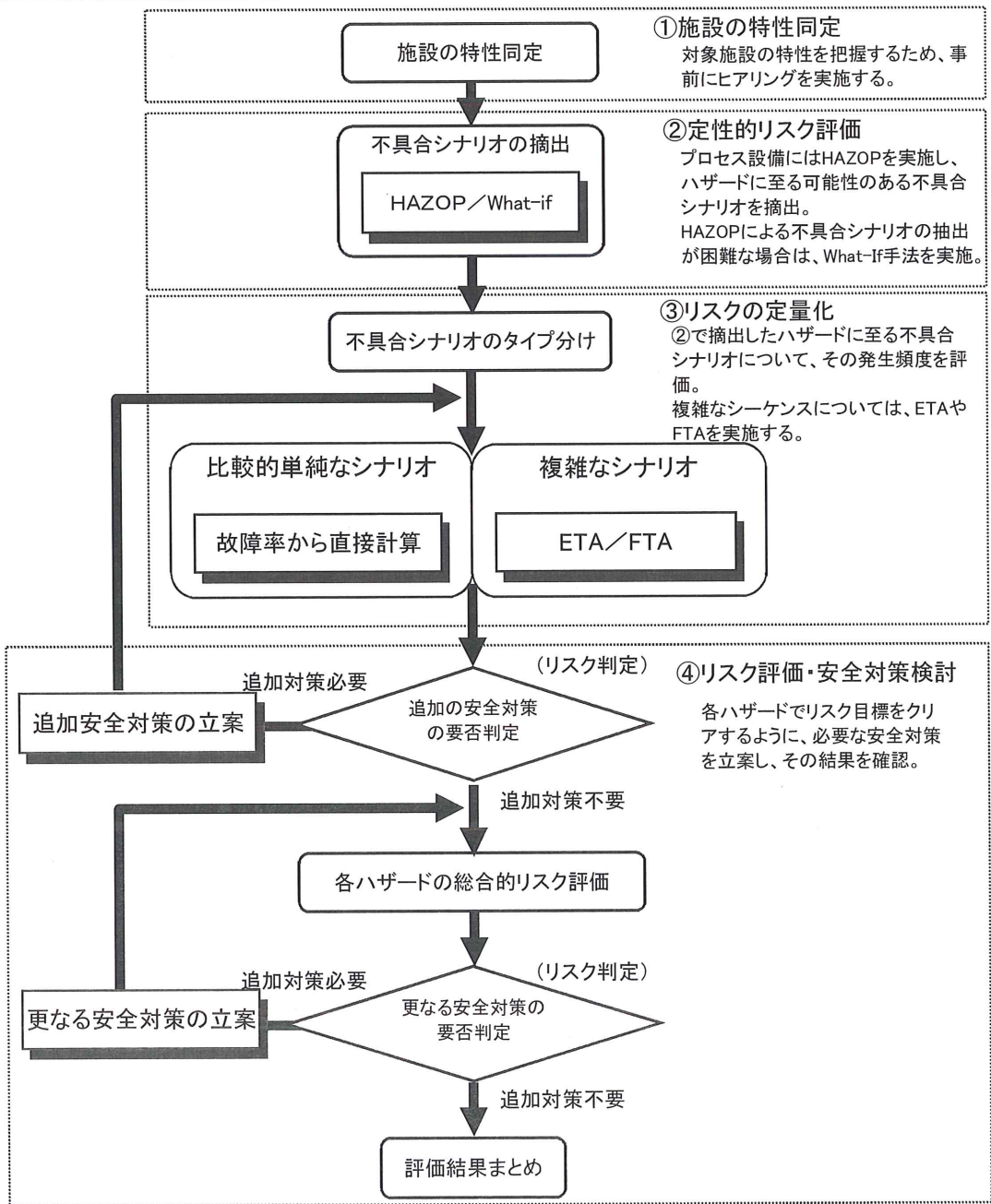
北九州PCB廃棄物処理施設第2期処理施設(プラズマ2号機)の設備設計において、作業時における火災・爆発およびPCB暴露・漏洩に関するリスクを評価し、十分許容できるリスクレベルであることを確認する。また、リスク評価を行うことで、設備の安全に関する設計や運用における有用な情報を抽出して、設計に反映することで十分な安全性を確保することを目的とする。
プラズマ2号機は第2期設備の増設設備であることからプラズマ1号機の定量安全解析にて算出された定量評価の結果にプラズマ2号機分を算入して総合的に改めて評価する。

1. 2 安全解析実施内容

- ① 火災・爆発およびPCB・DXNsの暴露・環境汚染を対象とした定量安全解析を実施。
- ② プラズマ熔融分解設備から発生する排気に関するダイオキシン類の環境汚染定性解析を実施。
- ③ プラズマ熔融分解設備における作業従事者の誤操作・未操作を原因事象とした安全性点検(定性解析)を実施。
 - * 対象とする設備は増設する設備と増設に伴い改造される全ての設備とする。
 - * 外的要因(地震、溢流等の自然災害および延焼等の火災)に起因する事象は対象外とする。

2 定量安全解析

2. 1 定量安全解析手順



2. 2 定性リスク評価指標

定性的リスク評価の実施にあたっては、評価指標の設定が必要となる。作成した評価指標を下図に示す。
リスクレベル1は十分安全対策がとられていると判断し、リスクレベル3は直ちに設計変更が必要と判断される。
リスクレベル2はその発生頻度によって、リスクレベル1もしくは3に分類されることから発生頻度の定量評価の対象とした。

建屋外に影響が及ぶ火災・爆発（大）	3	影響の大きさ	建屋外でのPCB暴露（大）	3	設計変更が必要なレベル		
建屋内の火災・爆発（中）	2		建屋内の作業従事者と見学者等のPCB暴露（中）	2	発生頻度の評価が必要なレベル		リスクレベル 3
建屋内の限定されたエリア内の火災・爆発（小）	1		建屋内の限定されたエリア内の作業従事者のPCB暴露（小）	1	リスクレベル 1	リスクレベル 2	
被害なし	0		作業従事者のPCB暴露なし	0	十分な安全対策がとられているレベル		
火災・爆発			対人のPCB暴露（漏洩）		発生頻度		
					A	B	C
					複数の類似プラントの操業期間中に起こる可能性はほとんどない（小）	複数の類似プラントの操業期間中に1回程度は起こり得る（中）	当該プラントの操業期間中に1回程度は起こり得る（大）

2. 3 定性的リスク評価の結果

定性的リスク評価の結果を設備別に分類した不具合シナリオを下表に示す。
スクリーニングの結果、発生頻度の評価が必要なレベルとされるシナリオは2件であった。この中から安全解析結果や現在の作業状況を踏まえ、定性的リスク評価を実施し定量評価の要否を検討した。その結果、1件を定量評価の対象とし、より安全性に配慮することとした。

設備名称	ハザード	スクリーニング	不具合シナリオ	定性的リスク評価結果
プラズマ熔融分解	火災(混合気の形成)	△	レベル制御不能によるLSA重油の屋内への流出	△
プラズマ用役	火災・爆発(混合気の形成)	△	レベル制御不能によるLPGの屋外への流出	○

スクリーニングおよび定性的リスク評価結果欄の○および△はそれぞれリスクレベル1および2を示し、色も同じ意味を示す。

2. 4 リスク定量評価結果

抽出された不具合シナリオをハザードごとに分類し、それぞれの定量評価の結果を示す。
リスク低減策後の発生頻度の欄に示すようにリスク低減策の実施により許容できるレベルまで低減されたことを示す。

ハザード	No.	該当設備	不具合シナリオ	リスク低減策後の発生頻度	回/年
1. 火災・爆発 (混合気形成)	1-01	真空加熱分離設備	真空加熱炉のシール機能喪失により天気を吸引し、混合気を形成	1.74E-07	7.9E-07
	1-02	TCB分離・減圧蒸留設備	レベル制御不能による絶縁油のオーバーフロー、系外漏洩	2.09E-09	
	1-03	液処理設備	レベル制御不能による可燃油のBV経由、屋外への流出	6.08E-08	
	1-04	PCB汚染物等処理設備(1号機、2号機の合算)	レベル制御不能によるLSA重油の屋内への流出	1.20E-07	
	1-05	タンクヤード	レベル制御不能による可燃油・LPGの屋外への流出	4.97E-08	
	1-06	タンクヤード	レベル制御不能によるLSA重油の系外漏洩	3.45E-09	
	1-07	可燃物取扱い各設備	1期設備との連絡配管の腐食または経年劣化による破損	4.44E-09	
	1-08	タンクヤード配管	LPG供給装置と建屋間の配管の腐食・損傷による建屋外漏洩	2.62E-07	
	1-09	タンクヤード配管	LSA重油貯槽A/Bと建屋および1期設備間の配管の腐食・損傷による建屋外漏洩	1.11E-07	
2. 建屋内PCB油漏洩 (系内汚染含む)	2-01	中間処理設備	レベル制御不能によるベントラインへのオーバーフロー	5.57E-09	5.6E-07
	2-02	中間処理設備	蒸留塔設備の機器異常による設備のPCB系内汚染	7.45E-09	
	2-03	TCB分離・減圧蒸留設備	レベル制御不能によるベントラインへのオーバーフロー	4.25E-11	
	2-04	液処理設備	レベル制御不能によるPCB含油の原料系排気工程への流出	6.09E-08	
	2-05	液処理設備	レベル制御不能によるPCB含油の1期設備換気ダクトの汚染および系外への流出	6.50E-08	
3. 建屋外PCB油漏洩	3-01	PCB油取扱い各設備	1期設備との連絡配管の腐食または経年劣化による破損	3.64E-09	
4. 建屋外気体状 PCB漏洩 (排気中のPCB 濃度上昇)	4-01	真空加熱分離設備	オイルシャワーの機能異常を検知できずに運転継続し、PCB排気濃度上昇	3.30E-07	
	4-02	真空加熱分離設備	チラーユニットの異常によりオイルシャワー機能低下し、PCB排気濃度上昇	5.91E-09	
	4-03	中間処理設備	温度高異常によるベントラインへのPCB排気濃度上昇	4.28E-09	
	4-04	中間処理設備	ベントガスクラバーの機能低下等によるPCB排気濃度上昇	7.36E-08	
	4-05	TCB分離・減圧蒸留設備	設備異常による排気-1ラインへの排気中のPCB濃度上昇	2.66E-09	
5. 作業従事者の PCB暴露 (2. 建屋内PCB油漏洩 (系内汚染含む)と同じ)	5-01	中間処理設備	レベル制御不能によるベントラインへのオーバーフロー	5.57E-09	1.4E-07
	5-02	中間処理設備	蒸留塔設備の機器異常による設備のPCB系内汚染	7.45E-09	
	5-03	TCB分離・減圧蒸留設備	レベル制御不能によるベントラインへのオーバーフロー	4.25E-11	
	5-04	液処理設備	レベル制御不能によるPCB含油の原料系排気工程への流出	6.09E-08	
	5-05	液処理設備	レベル制御不能によるPCB含油の1期設備換気ダクトの汚染および系外への流出	6.50E-08	

これらの結果を整理し、増設棟と既存棟である北九州廃棄物処理施設(第2期)を一体とした施設全体において以下の発生頻度を得た。

「火災・爆発」: 0.79×10^{-6} 回/年 :ただし混合気形成までの発生頻度であり、着火源の存在や着火の可能性を考慮すると、火災・爆発に至る可能性はさらに2から3桁程度小さくなる。
「PCBの建屋内外漏洩」: 0.56×10^{-6} 回/年 :「建屋内PCB漏洩(系内汚染を含む)」については、系内汚染により作業従事者がPCB汚染された設備であることを認知せずに非汚染作業として作業した際の系外への持ち出しや建屋外へ搬出する可能性を示しており、作業手順の遵守により十分低減される。 また、「建屋外気体状PCB漏洩」における排気中のPCB濃度上昇については、気体状PCB濃度が排出基準を直ちに超えることを指すものではなく、セーフティーネット活性炭入口部における濃度上昇の発生頻度であるため、セーフティーネット活性炭の吸着効果やオンラインモニタリングによる排気中のPCB濃度異常の早期検知を考慮すると、さらに発生頻度は低減される。
「作業従事者のPCB暴露」: 0.14×10^{-6} 回/年 :「作業従事者のPCB暴露」における系内汚染については、発現が直ちに作業環境値を越えることはなく、あくまでも、作業従事者が開放作業時にPCB汚染を認知しないで暴露する可能性を示唆しているので、確実に個人用保護具の着用がなされれば、その発生頻度は極めて小さくなる。

各ハザードに至るリスクの年間発生頻度は 1×10^{-6} 回/年未満であることを確認できた。

3 ダイオキシン類の定性評価

3.1 ダイオキシン類の排出

増設棟は、プラズマ溶融分解設備を備えており、それに関しダイオキシン類の排出基準値の厳守が求められている。
この排出基準値を厳守するべく、設計段階において定性評価を実施することとした。
ハザードの対象としては、オンラインモニタリングによる異常の早期検知のできない「ダイオキシン類の排気中濃度の上昇」とした。

3.2 原因事象の同定

「ダイオキシン類の排気中濃度の上昇」となる原因事象として以下の3点が考えられる。

- ・ 溶融分解時に発生するダイオキシン類の濃度上昇
- ・ 減温時における排気温度が200℃程度で生じる再合成量の増加
- ・ バグフィルター前で供給する活性炭による吸着除去性能の低下

溶融分解時は1200℃の高温で2秒以上保持されることで分解され、ダイオキシン類の生成量を抑制する設計となっていることから、この温度の維持が重要となる。
温度管理については、先のPCB分解処理に関するHAZOP分析において評価され、プラズマ溶融分解炉の多重の制御機器や恒温チャンバによる確実なバッチ分の処理が可能であることを確認した。
したがって、再合成量の増加と活性炭による吸着除去性能の低下を生じる原因事象についてWhat-if分析を行うこととした。

3.3 評価指標

プラズマ溶融分解設備の構成機器の機能喪失時において、排気中のダイオキシン類排出濃度が排出基準値を超えないことを十分な安全性を有しているとし、定性評価を実施した。
十分な安全性を有していると評価する定量基準は、設備取り合い点(プラズマ排気処理工程の活性炭吸着槽入口)におけるダイオキシン類が4時間平均において0.1ng-TEQ/m3Nを超えないことを十分な安全対策がとられているとした。
「ダイオキシン類の排気中濃度の上昇」に関する不具合シナリオの評価には、What-if分析により不具合シナリオの抽出を行い、下表に示すダイオキシン類用リスクマトリックスを用いて評価することとした。

3.4 実施条件

定性評価の実施にあたって想定した条件を以下に示す。

- ・ 定性評価における排出値の上昇や排出基準値を超えるとは、活性炭吸着槽入口における排出濃度の状態を示す。
- ・ 排気中ダイオキシン類濃度の測定は4時間と規定されているため、対象とする異常事象が早期に検知され、排出基準値を超えないための是正もしくは操業停止が実施される場合、影響なしと判断する。
- ・ プロセス制御値の変動範囲が運転条件範囲内で収まっている場合、設計条件を満足していると判断し、排気中ダイオキシン類濃度は排出基準値を超えることはないものとする。
- ・ 処理物の種類および投入量は設計に従ったものとする。

3.5 What-if分析

What-if分析によって抽出された不具合シナリオにおいて、リスクレベル2に該当するシナリオはなかった。
よって、当該不具合シナリオの発現する可能性は十分低いと判断された。

3.6 定性的リスク評価結果

機器の機能喪失などを原因とした活性炭吸着槽入口における排気中ダイオキシン類の排出濃度が排出基準値を超える可能性は極めて低く、排気中ダイオキシン類濃度の排出基準値の厳守には十分であることを確認した。

ダイオキシン類用リスクマトリックス

排出基準値を超える排出 (大)	3	影 響 度	A3	設計変更が必要なレベル	
排出基準値を超える可能性 がある (中)	2		発生頻度の評価が必要なレベル		リスクレベル 3
排出基準値未満の排出 (小)	1		リスクレベル 1	リスクレベル 2	
影響なし (排出値に変化なし)	0		十分な安全対策がとられているレベル		
			A0	B0	C0
ダイオキシン類の排出(屋外)			発生頻度		
			A	B	C
			複数の類似プラントの一生で 起こる可能性はほとんどない (小)	複数の類似プラントの一生で 1回程度は起こり得る (中)	当該プラントの一生で 1回程度は起こり得る (大)

4 安全性点検(作業従事者の作業によるリスク評価)

4. 1 作業の未操作・誤操作起因のリスク

プラズマ溶融分解設備は安全・安定運転を容易にするため自動化により作業従事者の作業を軽減している。しかし、自動化できない部分については作業従事者による適正な作業によって安全性が担保される設計となっている。プラズマ溶融分解炉を構成する機器や隣接する設備の健全性や信頼性については前出の通り設備を構成する機器の機能喪失等を原因とした安全解析によって所定の安全性を有していることが確認されている。そこで、作業従事者に判断・調整を委ねられている作業の未操作・誤操作を原因とした定性安全解析を実施した。ハザードの対象としては、「PCBの漏洩・暴露」「DXNsの漏洩・暴露」「火災・爆発」とした。プラズマ2号機では、プラズマ1号機での知見を反映し活性炭吸着塔火災のような非定常不具合によるリスクシナリオを想定し、追加の安全対策を行って安全性の再評価を実施した。

4. 2 原因事象の同定

PCB,DXNsを取り扱う設備、高温となる設備の対象作業として特定し、その運転手順書(案)に記載されている作業について誤操作や未操作を原因として想定されるハザードを抽出することとした。

4. 3 評価指標

「PCBの漏洩・暴露」「DXNsの漏洩・暴露」「火災・爆発」は安全解析と同じハザードであることから定量安全解析において不具合シナリオのスクリーニングに用いたリスクマトリックスを使用することとした。

4. 4 実施手順

- 1) 評価対象となる作業の運転手順書(案)ならびに作業従事者による作業項目からハザードに至る可能性のある作業を抽出した。
- 2) 抽出された作業において、それらの作業の実施に伴い作業従事者の誤操作もしくは未操作によって想定される「PCBの漏洩・暴露」「DXNsの漏洩・暴露」「火災・爆発」に至る不具合シナリオをWhat-if分析を用いて抽出した。
- 3) 抽出された不具合シナリオに対して評価指標を用いて評価を行った。

4. 5 実施条件

- 1) リスク評価におけるPCBもしくはDXNsの暴露とは、その漏洩時の濃度や規制値の超過の有無に関わらず、対象者が知らずに規定された作業環境条件を超える暴露条件にさらされることを指す。
- 2) プロセス制御値の変動範囲が運転条件範囲内で収まっている場合、設計条件を満足していると判断し、排気、スラグやプラズマ固形物に含まれるPCB・DXNs濃度は排出基準値を超えることはないものとする。
- 3) 処理物の種類及び投入量は設計に従ったものとする。
- 4) 作業従事者は十分な教育・訓練を受けているものとする。

4. 6 評価結果

運転手順書(案)を基に作業従事者の誤操作・未操作を原因とした不具合シナリオの想定を行った。

- ・定常作業時の不具合シナリオ:57件
想定された不具合シナリオのうち定常作業時は、すべてリスクレベル1(十分な安全対策が取られているレベル)に該当しており、リスクレベル2(作業手順の見直しが必要なレベル) もしくはリスクレベル3(設計変更が必要なレベル)に該当した不具合シナリオはなかった。
- ・非定常作業時の不具合シナリオ:66件
非定常作業時不具合シナリオについては、プラズマ1号機にて実施した追加安全対策(発生頻度の低減、人的な対応、機械的な対応)を当初から反映したため、全てひとつ上のカテゴリ「現状の対策で十分であるが、注意喚起が必要なレベル」以上と判断された。

これらの結果より、プラズマ溶融分解設備の運転保守に関わる運転手順書(案)は、安全・安定運転に必要な情報や注意事項が十分に反映されており、プラズマ溶融分解設備は十分な安全性を有していることが確認できた。仮に誤操作や未操作を生じても直ちに甚大な事故につながる可能性は低いと判断された。

