

最近の重大事故に共通する要因

平成 25 年 2 月 20 日

高圧ガス保安協会

1. はじめに

最近、わずか 10 ヶ月の間にコンビナートにおける爆発死亡事故が 3 件発生した。このような例は過去にない。3 件の事故の概要を表 1 に示す。以下、塩ビモノマー製造施設の爆発死亡事故を A 事故、レゾルシン製造施設の爆発死亡事故を B 事故、アクリル酸製造施設の爆発死亡事故を C 事故という。3 件の事故が社会的に注目された理由を、以下に示す。

- ① コンビナート（高圧ガス、危険物）における爆発事故
- ② 死亡（A 事故、B 事故は運転員、C 事故は消防吏員）と近隣地域への被害を伴う重大事故
- ③ 大企業、優良企業の事故（社会的信用の失墜）
- ④ 事故に伴う製品供給停止の社会、経済への影響

高圧ガス保安法関連の製造事業所の事故統計によれば、高圧ガス事故の 97% は漏洩事故であり、漏洩なしの爆発事故、破裂事故の件数は少ない（3% 以下）。また、漏洩した後に、火災事故、爆発事故に至る件数も少ない（5% 以下）。上記の 3 件の爆発事故は典型的な漏洩なしの破裂とその後の爆発で、化学反応の制御に失敗した結果（A 事故、B 事故は反応暴走、C 事故は重合反応）である。

すなわち、極めてまれな事故が連続して発生したことになる。漏洩事故は設備の経年劣化による損傷が原因となる場合があるが、爆発事故は設備の経年劣化または損傷と無関係である。3 件の爆発事故の原因として、報道などでは、経年劣化と技術力の低下が指摘されている。しかし、経年劣化は原因とはなり得ないし、技術力の低下とは、対象とする組織または人と時代が特定されていない。

平成 24 年 11 月 28 日に開催された第 1 回産業構造審議会保安分科会高圧ガス小委員会で、上記の最近の重大事故等の原因、対応の在り方について、検討の方針が示された。この方針に従い、事故調査解析委員会が最近の重大事故に共通する要因の検討を行った。以下に検討の結果を要約して示す。

2. 重大事故に共通する要因の抽出

最初に技術的要因を検討する。3 件の爆発事故に共通する技術的要因として、以下の 3 つを抽出した。

- ① 非定常運転（作業）
- ② 反応制御
- ③ 設備、能力変更

上記の①～③の詳細と、3件の爆発事故における比較を、表2に示す。3件の爆発事故のいずれもが、運転停止の原因は異なるが、停止後の運転または作業において、温度上昇が原因で反応が異常状態となり、反応制御の操作に失敗して、反応暴走または重合反応の事故に至るというプロセスは類似している。反応制御の操作には、取扱い物質の化学反応の知識に加えて、温度の検出と制御の技術が不可欠であるが、これらが組織として共有されていない。また、設備、能力変更が、温度の検出と制御の失敗に関与している。①～③を総合して、非定常運転、反応制御、設備、能力変更に対応するリスクアセスメントの実行と対応の検討がなく、異常反応に対して十分な対処ができなかったことが、最も大きな要因といえる。

次に、組織的、人的要因を検討する。2件（C事故は除く）の爆発事故に共通する組織的、人的要因として、以下の4つを抽出した。

- ① 背景
- ② 類似事故の繰返し
- ③ 生産性優先（安全性の阻害因子）
- ④ 組織と人に対する教育の不十分

背景として、自社技術、長期間の運転実績、トップ企業という自負が、反面、技術力の過信につながっていたことは否めない。したがって、他事業所、他社を含めた運転経験、トラブル、事故の情報の活用がなく、リスクアセスメントの実行と対応の検討もなかった。結果として、2件の爆発事故はともに、経験のない新しいタイプの事故ではなく、過去に起きた類似事故の繰返しといえる。事故情報の活用とリスクアセスメントの実行には、専門の組織と人が取組む必要がある。しかし、専門の組織はなく、取組む人も不十分であった。また、技術力の過信は結果として生産性優先につながり、安全性の阻害因子となった。

技術的要因に対処するのは人であり、人の技術力の重要さはいうまでもない。しかし、人の技術力は教育によって身に付けるものである。技術力の不足は、教育の不十分にほかならない。教育は授ける人と受ける人で成立する。まず、教育を授ける人材の確保と育成が必要である。その次に、組織と人の教育の問題となる。現場での技術力の低下が指摘されている。設備の更新なし、長期連続運転で起動停止なし、事故を知らないという時代に育った人に対して、現在の教育は不十分である。上記の教育の問題について、具体的な要因の例のいくつかを下記に示す。

- ① プロセス全体を把握する技術者の不在（教育を授ける人の不在）
- ② 組織としての技術伝承の不十分（成功の伝承のみ）
- ③ 現場での危機対応能力の弱体化（経験なし）
- ④ Know-Why の教育の不十分

3. まとめ

3件の爆発事故に共通する要因を抽出した結果をまとめれば、以下のとおりである。

(1) 非正常運転（作業）

停止後の非正常運転（作業）のリスクアセスメントの実行と対応の検討なし

(2) 反応制御

取扱い物質の化学反応の知識、温度の検出と制御の技術について、組織としての共有なし

(3) 組織的、人的要因

- ・類似事故の繰返し（事故情報の活用とリスクアセスメントの実行に取り組む専門の組織と人なし）
- ・生産性優先（安全性の阻害因子）
- ・組織と人に対する教育の不十分

付記

C事故は最終報告書の結果が未反映であることを付記しておく。

1. リスクマネジメントの規格

□ 基本規格

- ・ 規格作成の基本、ISO / IEC Guide 2 (2004)
- ・ 用語と定義、ISO / IEC Guide 73 (2009)
- ・ 基本規格、ISO 31000 (2009)

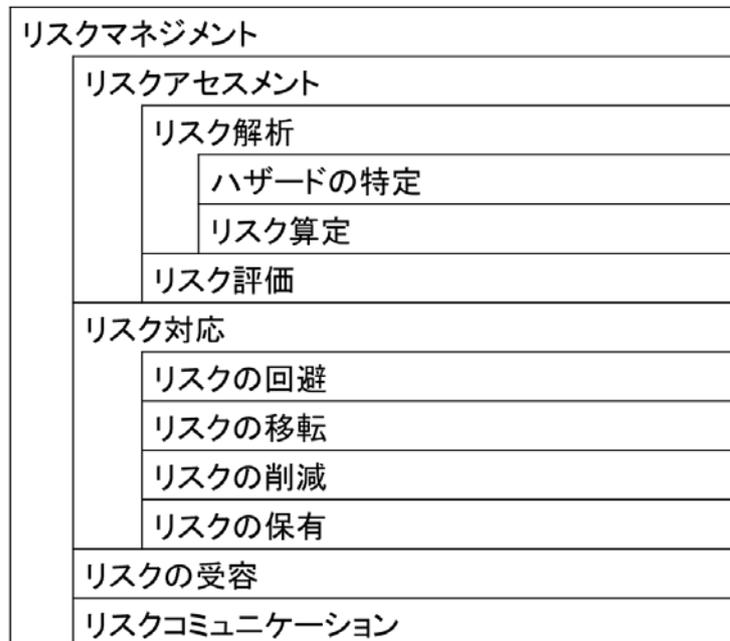
□ リスクの定義

「事象の発生確率と事象の結果の組合せ」

↓

「目標に対して不確かさが与える影響」

2. リスクマネジメントの構成



3. リスクアセスメントの構成

□ リスク解析

- ・ ハザードの特定 (FTA、ETA)
- ・ リスク算定 (リスクマトリックス)

□ リスク評価

- ・ リスク許容値の設定
- ・ リスク対応の方針

表1 重大事故の比較

	事故名称	塩ビモノマー製造施設の爆発死亡事故(A事故)	レゾルシン製造施設の爆発死亡事故(B事故)	アクリル酸製造施設の爆発死亡事故(C事故、中間報告)
適用法規	事故	高圧ガス保安法	高圧ガス保安法(プロピレン冷凍機)	非高圧ガス
	破裂、爆発設備	塩酸塔還流槽(高圧ガス保安法)	酸化反応器(非高圧ガス)	中間タンク(非高圧ガス)
事故概要	日時	平成23年11月13日(日) 15時24分頃	平成24年4月22日(日) 2時15分頃	平成24年9月29日(土) 14時35分頃
	会社名	東ソー株式会社南陽事業所	三井化学株式会社岩国大竹工場	日本触媒株式会社姫路製造所
	業種、場所	一般化学(山口県周南市)	石油化学(山口県玖珂郡和木町)	一般化学(兵庫県姫路市)
	大臣認定事業所	認定保安検査実施者	認定完成検査実施者、認定保安検査実施者	—
	現象	反応暴走、破裂、漏洩、爆発、火災	反応暴走、破裂、漏洩、爆発、約6時間後再爆発、火災	重合反応、破裂、漏洩、爆発、火災
	発災状況	緊急停止(休日夜間)→爆発(休日昼間)	緊急停止(土曜夜間)→爆発(休日夜間)→再爆発(同日)	定修→再稼働→爆発(土曜昼間)
	運転状況	定常運転中→緊急停止→異常状態→移液作業→反応暴走→破裂、爆発	定常運転中→緊急停止→インターロック解除(承認なし)→内部攪拌停止(94分)→反応暴走→破裂、爆発	9/18~20全面停電工事→9/21から再稼働→回収塔の能力アップテストのため中間タンクへ貯液→重合反応→破裂、爆発
	定常、非定常	非定常:緊急停止後の運転(作業)	非定常:緊急停止後の運転(作業)	非定常:定修後の運転(作業)、回収塔の能力アップテストのため中間タンク貯液量の増加
	製造部人員	125名	記述なし	記述なし
	運転員数(発災設備)	係長以下28名、1班5名(4直三交代制)	記述なし	記述なし
	死傷者	死1名	死1名、重2名、軽23名	死1名、重5名、中13名、軽18名
	自社	運転係長死亡	運転員1名死亡、重2名、軽7名(協力会社員を含む)	重3名、中4名、軽3名
	社外	—	周辺住民軽14名、隣接事業所軽2名	死1名(消防吏員)、重2名(消防2)、中9名(消防8、警察1)、軽15名(消防14、警察1)
	事故発生施設	第2塩化ビニルモノマー製造施設(平成8年6月新設、平成11年6月能力増強30→55万トン/年)、塩酸塔還流槽	レゾルシン製造施設(RS)(平成10年1月プロピレン冷凍機の許可)、酸化反応器(H11年設置、非高圧ガス設備)	アクリル酸製造施設、中間タンク(昭和60年11月設置、非高圧ガス設備)
	高圧ガス製造能力(m ³ /日)	31,169,350	25,600	—
	設備の状況	塩酸塔還流槽(破裂、爆発)、液塩酸一時受けタンク(移液中、過大圧により漏洩、膨張損傷)、塩ビ製造施設の大規模火災	酸化反応器(破裂、爆発)、レゾルシン製造施設とサイメン製造施設の損壊、大規模火災、隣接配管ラックの火災	中間タンク(破裂、爆発)、隣接タンク、配管等の火災、消防車両火災
	事故概要	3:39 第二塩ビモノマー製造施設の緊急放出弁の故障を発端として、5:57 プラントを緊急停止した。その後の移液作業中に、HCL(塩化水素)、VCM(塩化ビニルモノマー)が漏洩し、15:24 塩酸塔還流槽が破裂、爆発し、プラントが大規模火災となり、隣接事業所が損壊し、約24時間後に鎮火	4/21 23:32頃 他装置の緊急停止に伴い、RSの緊急停止操作を実施し、インターロック作動中のところ、22日 0:40 運転員が上司承認なしでインターロックを解除した。このため、酸化反応器上部の温度が徐々に上昇、2:15 反応暴走により、温度、圧力が急激上昇、酸化反応器が破裂、爆発、火災発生。8:05 2回目の爆発。隣接事業所の一部設備、隣接施設、建物の損壊、周辺民家の窓ガラス、ドアなどが損傷し住民負傷。約36時間後に鎮火	9/18~20全面停電工事、9/21からアクリル酸製造施設の再稼働、9/25回収塔の能力アップテストのため中間タンクへ貯液開始、9/29 13:20頃 中間タンクベント部から白煙を確認。13:48~49頃 消防へ通報。14:35頃 中間タンクが突然破裂、爆発、周辺に火災が発生。22:36 火勢鎮圧。約25時間後に鎮火
事故原因	緊急停止に伴い、塩酸塔の運転温度分布が変動し、塩酸塔の塔頂温度が上昇した。このため、塩酸塔還流槽にHClに加えてVCMが混入し、槽壁の鉄錆とHClの反応でFeCl ₃ (塩化鉄(III))が生成し、さらにFeCl ₃ を触媒として、1.1EDCの生成反応が進行して、反応暴走が起こり、圧力が急激に増大して、塩酸塔還流槽が破裂、着火、爆発に至った。	緊急停止後、インターロックを解除したこと、酸化反応器への窒素攪拌が停止し、液相上部が除熱できず、液温が徐々に上昇。反応暴走により酸化反応器が破裂、爆発、火災、周辺施設に壊滅的損傷。有機過酸化物の熱物性に対する知識不足、酸化反応器の温度の計測と制御が不十分も要因	回収塔の能力アップテストのため、精製塔のボトム液を中間タンク(V-3138)へ流入させ、液溜めしていた(60m ³)。タンク内の液温を十分に除熱できなかったことから、液温の高い領域で二量体(ダイマー)生成、反応熱で温度上昇、重合反応が進行、内圧上昇により、タンクにき裂発生、蒸気爆発、火災、周辺機器が損傷	
直接	塩酸塔の反応制御の失敗、その後の処置の不適切	酸化反応器のインターロックを解除したことにより、窒素攪拌が停止し、冷却不足	60m ³ 貯液時、タンク内の液循環が不十分、冷却不足。タンク内の温度検出と温度監視の不備	
間接	緊急措置マニュアルの記載と教育訓練の不足、危険予知と異常対応の教育訓練不足、化学反応の知識不十分	酸化反応器の反応量変更時の安全性検討不足、有機酸化物の熱物性の知識不足、インターロック停止時の安全性検討不足、緊急停止マニュアルの記載不足、運転管理者の緊急時の対応不足	二量体(ダイマー)生成、潜在危険性の認知不十分	
再発防止対策	インターロック追加、異常警報の適正化、マニュアルの改訂と教育訓練、緊急放出弁を破裂板に変更	酸化反応器の冷却能力の確保、反応原料及び反応生成物の熱物性データ採取と安全設計思想への反映、インターロック作動温度計の複数化、DCS監視強化、教育訓練	温度検出、温度管理の強化(遠隔監視等) 温度管理範囲(閾値)の見直し、逸脱時の対応明確化 タンク貯液時にタンク上部からの液循環の常時実施 アクリル酸二量体生成による潜在的危険性に関する教育徹底	

表1 重大事故の比較

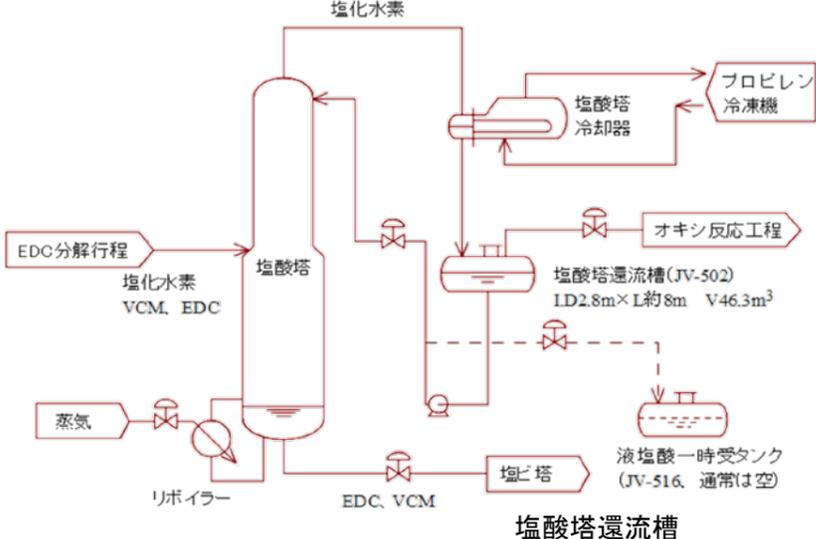
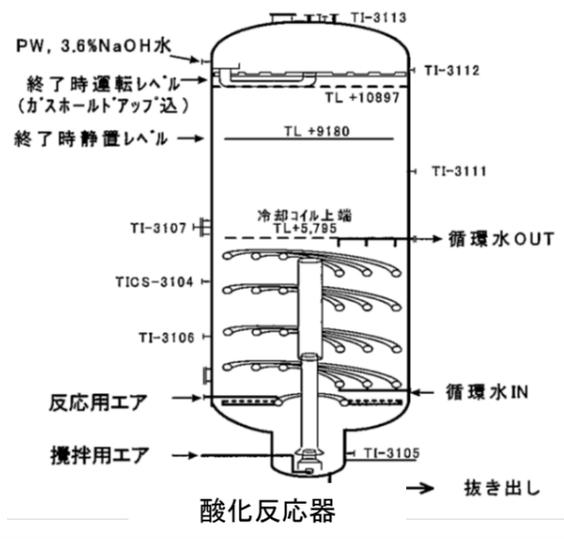
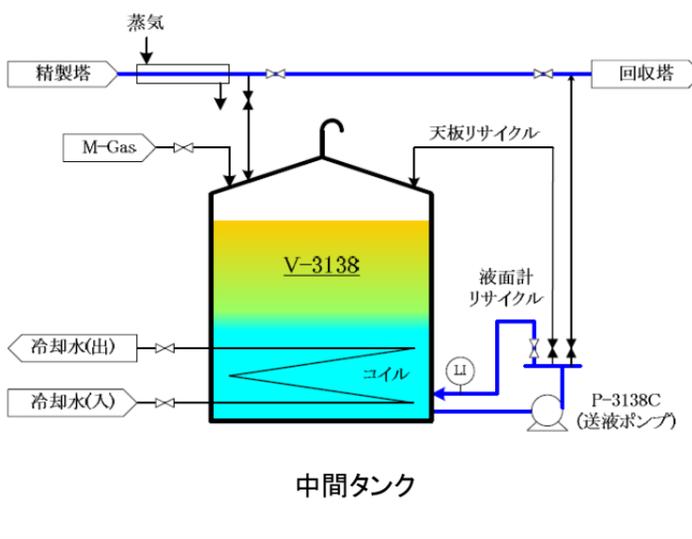
<p>写真</p>				<p>(略)</p>
<p>図</p>				
<p>類似事例</p>		<p>記述なし (他事業所の類似設備で瞬間停電に伴う運転変動への対処の事例あり)</p>	<p>記述なし (酸化反応器の緊急停止操作の事例あり)</p>	<p>記述なし (重合反応の発生事例あり)</p>
<p>委員会</p>	<p>委員会名</p>	<p>南陽事業所第二塩化ビニルモノマー製造施設爆発事故調査対策委員会</p>	<p>レゾルシン製造施設 爆発火災事故調査委員会</p>	<p>アクリル酸タンク爆発・火災事故調査委員会</p>
	<p>委員構成</p>	<p>委員長(社内)、副委員長(社外)、社外委員4名、社内委員4</p>	<p>委員長(社外)、社外委員3名</p>	<p>委員長(社外)、社外委員3名、社内委員3名</p>
	<p>委員会回数</p>	<p>委員会8回開催(平成23年12月17日～平成24年5月19日)</p>	<p>委員会8回開催(平成24年5月1日～平成24年12月18日)</p>	<p>委員会5回開催(平成24年10月23日～平成25年1月25日)</p>
	<p>報告書</p>	<p>事故調査報告書、公開資料(ホームページ公開) (インターネット公開資料等により作成)</p>	<p>事故調査報告書、公開資料(ホームページ公開) (インターネット公開資料等により作成)</p>	<p>事故調査委員会中間報告(ホームページ公開)、委員会継続中 (インターネット公開資料等により作成)</p>

表2 重大事故に共通する要因の抽出

要因名称	要因詳細	塩ビモノマー製造施設の爆発死亡事故(A事故)	レゾルシン製造施設の爆発死亡事故(B事故)	アクリル酸製造施設の爆発死亡事故(C事故、中間報告)
非定常運転(作業)	停止原因	緊急放出弁の故障、開	他装置の緊急停止(スチーム停止)	全面停電工事
	停止	緊急停止(インターロック、パニックボタン)	緊急停止(インターロック)	—
	解除	—	インターロック解除(承認なし)	—
	運転(作業)	異常状態(温度上昇)、移液作業	異常状態(温度上昇)	中間タンクへ貯液、異常状態(温度上昇)
反応制御	異常発生設備	塩酸塔還流槽(移液先:液塩酸一時受けタンク)【横置き円筒形貯槽】	酸化反応器【縦置き円筒形、内部下側に冷却コイル】	中間タンク【コーンルーフ型タンク、内部下側に冷却コイル】
	運転圧力	1.2MPa	520kPa	大気圧
	運転温度	塩酸塔還流槽-24℃	96℃	精製塔からのボトム液100℃
	容量	塩酸塔還流槽(46.3m ³ 、内径約2.8m、長約8m、CS)	酸化反応器(288m ³ 、内径5.15m、TL長12m、CS+SUS)	中間タンク(公称70m ³)、冷却コイル上面までの液容量25m ³
	時間的経緯	運転停止(液面100%)→移液→液面94%→破裂まで約9.5時間	インターロック解除から約1.5時間で破裂	中間タンクに貯液を開始して、約101時間で破裂。60m ³ 到達から約24時間25分で破裂
	操作	緊急停止後、塩酸塔のロードダウン操作の不適切によって異常反応が進行し、全製造施設を停止したが、塩酸塔還流槽の温度と圧力が上昇し、液塩酸一時受けタンクへ移液を開始したが、反応暴走に至り、破裂、着火、爆発	緊急停止後、温度が低下しないと判断して、インターロックを上司承認なしで解除。循環用窒素の停止に気づかず、酸化反応器の冷却を冷却水から循環水へ切り替えた。追加措置として、上部から冷却注水、エア循環再開を試みるが反応暴走に至り、破裂、着火、爆発	精製塔から中間タンクへボトム液を送液。60m ³ 貯液。タンク上部から液循環せず。上下に不均一な温度分布。重合反応発生、破裂、爆発
異常反応	緊急停止に伴い、塩酸塔の運転温度分布が変動し、塩酸塔の塔頂温度が上昇した。このため、塩酸塔還流槽にHClに加えてVCMが混入し、槽壁の鉄錆とHClの反応でFeCl ₃ (塩化鉄(Ⅲ))が生成し、さらにFeCl ₃ を触媒として、1.1EDCの生成反応が進行して、反応暴走が起こり、圧力が急激に増大して、塩酸塔還流槽が破裂、着火、爆発に至った。	バッチ処理の酸化反応器において、反応終了間際(反応開始から36時間/反応終了40時間)にインターロックを作動させ、緊急停止した。その後、インターロックを解除したことにより攪拌停止、冷却不良により、内部温度が徐々に上昇して、反応生成物であるパーオキサイドが反応暴走	タンク内の液温の高い領域にアクリル酸の二量体(DAA:ダイマー)が生成、その反応熱によりタンク内温度がさらに上昇。重合反応発生	
設備、能力変更	設備	第1塩ビS41年稼働 26万ト/年、第2塩ビH8年稼働 30万→H11年55万ト/年、第3塩ビH17年稼働 40万ト/年	酸化反応器(H11設置、仕込原料101トン→H23年3月、同121トン)、設備の変更なし	最終報告書に基づき作成
	温度、圧力、液量	—	反応温度96℃(←99.5℃)、原料仕込み量121トン(←101トン)、反応時間40時間(←30時間)	
	変更管理	—	変更時、課長決裁で処理(変更管理規程)	
リスクアセスメント		リスクアセスメントの実行と対応の検討なし	リスクアセスメントの実行と対応の検討なし	
組織的、人的要因	背景	自社技術(一部ライセンス技術)、長期間の運転実績、トップ企業 塩ビモノマー製造施設は建設以来、装置面、運転面からの検討が積み重ねられ、技術的には確立され、長年にわたり大きな事故もなく運転してきたことから、知識、技術の伝承は「十分できている」と過信していた	自社技術、長期間の運転実績、トップ企業 「安全は全てに優先する」を経営方針として、諸施策を展開してきたが、リスクアセスメント検討不足、設計から運転への伝承不足、規則、ルールの軽視、安全確保への過信、当事者意識の不足が明らかとなった	最終報告書に基づき作成
	類似事故の繰返し	運転経験、トラブル、事故の情報の活用なし、リスクアセスメントの実行と対応の検討なし、結果として過去に起きた類似事故の繰返し		
	生産性優先(安全性の阻害因子)	運転継続の重視	生産性向上の能力変更	
	教育の不十分	プロセス全体を把握する技術者の不在、組織としての技術伝承の不十分(成功の伝承のみ)、現場での危機対応能力の弱体化(経験なし)、Know-Whyの教育の不十分		
まとめ	非定常運転(作業)	停止後の非定常運転(作業)のリスクアセスメントの実行と対応の検討なし		
	反応制御	取扱い物質の化学反応の知識、温度の検出と制御の技術について、組織としての共有なし		
	組織的、人的要因	類似事故の繰返し(事故情報の活用とリスクアセスメントの実行に取り組む専門の組織と人なし)		
		生産性優先(安全性の阻害因子)		
		組織と人に対する教育の不十分		