

事故分析手法PFAを用いた 現場保安チェックポイントの抽出

現場保安チェックポイント集検討会 主査
化学工学会SCE・Net幹事
事故分析・コミュニケーション研究所
竹内 亮

経済産業省のプロジェクト

経済産業省が担当した白書・報告書

委託調査報告書

平成27年度石油精製業保安対策事業
(高圧ガスの危険性評価のための調査研究)

を産総研が受託

平成27年度 委託調査報告書 HP掲載一覧

管理番号	掲載日	ファイルコード	委託調査報告書名	委託事業者名	担当課室名	PDF・ZIP容量(MB)
000078	28.4.14	E005602	平成27年度石油精製業保安対策事業(石油精製プラント等の事故情報調査)石油精製業保安対策石油精製プラント等の事故情報調査に関する報告書	高圧ガス保安協会	商務流通保安グループ 高圧ガス保安室	3.2
000079	28.4.14	E005603	平成27年度石油精製業保安対策事業 高圧ガスの危険性評価のための調査研究 報告書	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	商務流通保安グループ 高圧ガス保安室	6.8
000080	28.4.14	E005604	平成27年度商取引適正化・製品安全に係る事業(電気用品安全法における整合規格整備拡充に関する調査)調査報告書	一般財団法人電気 安全環境研究所	商務流通保安グループ 製品安全課	4.5



http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2016fy/itakuichiran2016fy.pdf

経済産業省委託

平成27年度石油精製業保安対策事業

高圧ガスの危険性評価のための調査研究
報告書

平成28年3月

国立研究開発法人産業技術総合研究所

http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2016fy/000079.pdf

目次

1. 調査研究の目的等	1
1.1 調査研究の目的	1
1.2 調査研究の概要	2
2. 支燃性ガスの安全な取扱措置の調査	3
2.1 支燃性ガス燃焼性データの取得	3
2.2 支燃性ガスの分類方法の検討	14
3. 重大事故の発生要因の抽出・分析	15
3.1 事故分析手法 PFA による事故原因分析	15
3.2 チェックポイント分析シートによるチェックポイント作成	23
4. 運転データからの事故予兆現象の抽出	30
4.1 インバリアント分析技術の概要	30
4.2 運転データのインバリアント分析	32
4.3 インバリアント分析詳細	35

5. 現場で活用可能な保安に係るチェックポイント集の作成	50
5.1 現場保安チェックポイント集の分類, 整理	50
5.2 現場保安チェックポイント集検索システム構築	52
6. 現場で活用可能な保安に係るチェックポイント集の評価	56
6.1 現場保安チェックポイント集の問題点, 改善点	56
6.2 改良版現場保安チェックポイント集	58
7. まとめ	59
7.1 現場で活用可能な保安に係るチェックポイント集のまとめ	59
7.2 現場保安チェックポイント集の活用に向けて	60

別添 1 事故進展フロー図および 3M3E 分析シート	
別添 2 チェックポイント分析シート	
別添 3 チェックポイント集(第 1 次案)	
別添 4 チェックポイント集(最終版)	

p. 63~302

CP検討会の編成

- 現場に役立つチェックポイント集を作成したい
- 産総研内部だけでは、現場の感覚が乏しい
- 経験者による多面的な考察が必要
- 事故分析能力を有するレベルと経験

- 現場を対象とするため、マネジメント関係は不要
 - Man, Machine に焦点

検討会メンバー15名中、12名が安全研究会所属
産総研客員研究員2名、その他1名

チェックポイント検討会の進め方

- 10件の事例を毎回1件検討
- 事前に担当者が3M3E分析手法で原因(設備/設計、作業/人)を抽出、注意すべき事項、キーワードの案を作成
- 担当者の案をベースに検討会を実施
- 検討会後のインプットも含めて、1件分のリスト作成
- 全10回の検討会で終了

事故事例の選択

表 3.1.1 分析対象事例一覧

No.	発災年月日	事故名称	発災地名	死者数 (名)	負傷者数 (名)	RISCAD 事故ID
1	1973/10/8	ポリプロピレン製造工場で爆発	千葉県	4	19	7134
2	1992/5/30	水素還元プロセス中に爆発	神奈川県	0	0	50
3	2005/10/6	オレフィン製品製造工場で爆発	米国・テキサス州	0	16	7029
4	2009/11/4	三フッ化窒素製造プラントで爆発	山口県	0	5	7519
5	2010/11/9	ポリフッ化ビニルスラリー貯蔵タンクの爆発	米国・ニューヨーク州	1	1	8651
6	2011/11/13	塩化ビニルモノマ製造施設で爆発	山口県	1	0	7980
7	2012/4/22	レゾルシンプラントが爆発	山口県	0	0	8137
8	2012/9/29	アクリル酸製造施設で爆発	兵庫県	1	36	8317
9	2014/1/9	水冷熱交換器の洗浄作業中に爆発	三重県	5	13	8440
10	-	運転データを分析した事例	千葉県	0	0	-

事故原因の把握

- RISCAD (リレーショナル化学災害データベース)
- 「事故分析手法PFA[®]」 (PFA: Progress Flow Analysis)
 - 事故進展フロー図

• 「3M3E 分析」

事故・ヒヤリハット事例活用ワーキンググループ(HHTWG)で考案

- **3M 原因**

Man: 人, Machine: 設備/機器, Media/Management: 管理

- **3E 対策**

Education: 教育/訓練, Engineering: 技術/工学, Etc.: その他

事故進展フロー図の様式(1/2)

PFA, RISCAD, AIST

事故概要	事故番号	発生日時(曜日)	所在地
背景			
区分	原因事象	事故進展フロー	備考
経過	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">推定原因1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">推定原因2* 推定原因3**</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">1 日時 時間 事象1(事故発生前)</div> <div style="margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">2 日時 時間 事象2(事故発生前)</div> <div style="margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">3 日時 時間 事象3(事故発生前)</div> <div style="margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">4 日時 時間 事象4(事故発生前)</div> <div style="margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">5 日時 時間 事象5(最終事象) 火災、漏えいなど</div> <div style="margin-bottom: 5px;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">1 日時 時間 事象6(事故発生後)</div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">事象1の備考</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">推定原因1の備考</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">事象3の備考</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">*推定原因2の備考 **推定原因3の備考</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">事象5(最終事象)の備考</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">事象6の備考</div>
対応操作			

事故進展フロー図の様式(2/2)

経過	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="918 446 963 526">5</td> <td data-bbox="963 446 1120 526">日時 時間</td> <td data-bbox="1120 446 1411 526">事象5(最終事象) 火災, 漏えいなど</td> </tr> </table>	5	日時 時間	事象5(最終事象) 火災, 漏えいなど	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1444 446 1758 526">事象5(最終事象)の備考</td> </tr> </table>	事象5(最終事象)の備考							
5	日時 時間	事象5(最終事象) 火災, 漏えいなど											
事象5(最終事象)の備考													
対応操作	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="918 590 963 670">1</td> <td data-bbox="963 590 1120 670">日時 時間</td> <td data-bbox="1120 590 1411 670">事象6(事故発生後)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="918 702 963 782">2</td> <td data-bbox="963 702 1120 782">日時 時間</td> <td data-bbox="1120 702 1411 782">事象7(事故発生後)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="918 813 963 893">3</td> <td data-bbox="963 813 1120 893">日時 時間</td> <td data-bbox="1120 813 1411 893">事象8(事故発生後)</td> </tr> </table>	1	日時 時間	事象6(事故発生後)	2	日時 時間	事象7(事故発生後)	3	日時 時間	事象8(事故発生後)	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1444 590 1758 670">事象6の備考</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1444 702 1758 782">事象7の備考</td> </tr> </table>	事象6の備考	事象7の備考
1	日時 時間	事象6(事故発生後)											
2	日時 時間	事象7(事故発生後)											
3	日時 時間	事象8(事故発生後)											
事象6の備考													
事象7の備考													
恒久的 対応策	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="918 949 963 989">1</td> <td data-bbox="963 949 1120 989"></td> <td data-bbox="1120 949 1411 989">恒久的対応策1</td> </tr> <tr> <td data-bbox="918 997 963 1037">2</td> <td data-bbox="963 997 1120 1037"></td> <td data-bbox="1120 997 1411 1037">恒久的対応策2</td> </tr> <tr> <td data-bbox="918 1045 963 1085">3</td> <td data-bbox="963 1045 1120 1085"></td> <td data-bbox="1120 1045 1411 1085">恒久的対応策3</td> </tr> </table>	1		恒久的対応策1	2		恒久的対応策2	3		恒久的対応策3			
1		恒久的対応策1											
2		恒久的対応策2											
3		恒久的対応策3											
教訓	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="616 1141 1758 1197">教訓フレーズ1: 説明文</td> </tr> <tr> <td data-bbox="616 1204 1758 1260">教訓フレーズ2: 説明文</td> </tr> <tr> <td data-bbox="616 1268 1758 1324">教訓フレーズ3: 説明文</td> </tr> </table>		教訓フレーズ1: 説明文	教訓フレーズ2: 説明文	教訓フレーズ3: 説明文								
教訓フレーズ1: 説明文													
教訓フレーズ2: 説明文													
教訓フレーズ3: 説明文													

事故進展フロー図 + 3M3E

(1)ポリプロピレン製造工場爆発

PFA, RISCAD, AIST

事故概要	事故番号	発生日時(曜日)	所在地
1973-FC-05, 1973年10月8日(月)22:00頃, 千葉県市原市 ポリプロピレン製造工場でポリプロピレン装置の冷却器洗浄後に爆発が起きた。複数基あるポリプロピレン装置の重合槽のうち、2基に付帯する補助冷却器の洗浄を行っていた。1基の洗浄が終わり、引き続き他の1基の洗浄を行っていたところ、工場に停電が起こり、後から停止した反応器の遠隔操作弁を開こうとした際に、誤って先に停止していた方の反応槽の遠隔操作弁を開いた。遠隔操作弁の先が工事のため大気開放になっており、ここから大量のプロピレン、ヘキサンなどが流出し、大爆発になった。ガス漏洩から4から5分後に着火したため、ガスが充満し、被害が拡大したと考えられる。物的被害は、建物、機器類の破損および焼損で約25億円となり、付近の民家でも、9戸に窓ガラス破損、2戸に壁破損、1戸に窓枠外れるなどの被害が出た。4名が死亡し、6名が重傷、付近住民1名を含む3名が軽傷を負った。			
背景	・当該工場では、プロピレンからポリプロピレンを製造しており、当時の年間生産能力はポリプロピレン5万トンであった。 ・当該工場には、ポリマー製造装置が3プラントあり、事故の起きた第2プラントには重合器が4基(4号-7号)あった。 ・製造工程では、受け入れたプロピレンを一度タンクに貯蔵し、プロピレン精溜塔にてプロピレンの純度を高め、重合器に連続的に送入していた。重合器では、n-ヘキサンを溶媒に、アルキルアルミニウム系の触媒を用いて重合を行っていた。 ・重合反応は発熱反応であり、重合器内部の水冷却管および冷却用ジャケット、ならびに、重合器外部の補助冷却器により温度調節を行っていた。また、原料の充てん量を減らした場合、この補助冷却器を使用せずにも運転は可能であった。 ・事故時には補助冷却器のラインのフランジが切り離され、補助冷却器を使用せずにも運転していた。		

3M解析(3M→対策)

Man	Machine	Media&Management
**目詰まり対策という非常作業に対する危険感覚欠如 →危険感覚向上の教育	*補助冷却器目詰まり対策不良 →重合物が付着しないように設備改善	*頻発する不具合の原因を究明しなかった →原因究明と設備や運転条件の改善の指示

区分	原因事象	事故進展フロー	備考
経過	設備設計の問題* 非正常作業に対する危険意識の欠如**	1 1973 10/4 6号重合器で補助冷却器の目詰まり発生 2 6号重合器の補助冷却器の洗浄 3 10/5 18:00頃 6号重合器の運転開始 4 20:00頃 6号重合器で補助冷却器が再び目詰まり 5 10/6-7 6号重合器からガス抜き 6 6号重合器と補助冷却器をサクシオン弁より下方のフランジ部で切り離し	*重合器用補助冷却器は、これまでも度々目詰まりを起こしていた。 **そのため、弁の開放などに対する注意が鈍っていた(危険感覚の麻痺) サクシオン弁と重合器との間に遮断弁があった

3M3E分析の例

事象: 冷却器の目詰まり		
原因1: 危険意識欠如	原因2: 設備設計不備	
Man	Machine	Media/Management
目詰まり対策という非定常作業に対する危険感覚欠如 →危険感覚向上の教育	補助冷却器目詰まり対策不良 →重合物が付着しないように設備改善	頻発する不具合の原因を究明しなかった →原因究明と設備や運転条件の改善の指示

原因からチェックポイントを抽出

事例に基づくチェックポイント					
原因(3M3Eより抽出)		注意すべき事項		キーワード	
設備/設計	作業/人	設備/設計	作業/人	設備/設計	作業/人
<ul style="list-style-type: none"> ・補助冷却器目詰まり対策不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・目詰まり対策という非正常作業に対する危険感覚欠如 	<ul style="list-style-type: none"> ・目詰まりしやすい箇所を把握しているか？ ・目詰まりの要因(化学物質、危険性)を把握しているか？ ・根本的な対策(バイパス運転、二系列化)はとれないか？ ・メンテ方法を考慮した設計になっているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> ・目詰まりを回避/減少させる操作方法はあるか？ ・目詰まりが定常的に発生する場合、その対策は作業手順書に含まれているか？ ・非正常作業の危険箇所は確認したか？ ・非正常の工事を実施する前に、危険分析を実施して対策を施したか？ 	<ul style="list-style-type: none"> ・補助冷却器 ・目詰まり ・目詰まり防止 ・目詰まり要因 	<ul style="list-style-type: none"> ・目詰まり清掃 ・非正常作業/工事 ・危険分析

1つの事例から平均約80件のチェックポイントを抽出
重複を含め、全体で791件となった

チェックポイントリスト原案(例)

事例に基づくチェックポイント					
原因(3M3Eより抽出)		注意すべき事項		キーワード	
設備/設計	作業/人	設備/設計	作業/人	設備/設計	作業/人
・補助冷却器目詰まり対策不良	・目詰まり対策という非常作業に対する危険感覚欠如	<ul style="list-style-type: none"> 目詰まりしやすい箇所を把握しているか？ 目詰まりの要因(化学物質、危険性)を把握しているか？ 根本的な対策(バイパス運転、二系列化)はとれないか？ メンテ方法を考慮した設計になっているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 目詰まりを回避/減少させる操作方法はあるか？ 目詰まりが定常的に発生する場合、その対策は作業手順書に含まれているか？ 非常作業の危険箇所は確認したか？ 非常の工事を実施する前に、危険分析を実施して対策を施したか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 補助冷却器 目詰まり 目詰まり防止 目詰まり要因 	<ul style="list-style-type: none"> 目詰まり清掃 非常作業/工事 危険分析
・シングルブロック自動弁	・シングルブロック自動弁の危険感覚欠如	<ul style="list-style-type: none"> 各ブロックバルブの使用目的は明確か？ シングルブロック弁の位置は把握しているか？ ダブルブロック化できないか？ 仕切板の挿入、弁の固定などを手順書に明記しているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> シングルブロック(自動)弁の誤操作対策はとられているか？ 工事エリア保護のために施錠、表示、確認を実施したか？ 駆動源をロックしましたか？ シングルブロック弁はリークする可能性があることを知っていますか？ 	<ul style="list-style-type: none"> シングルブロック弁 ダブルブロック化 	<ul style="list-style-type: none"> 誤操作対策 工事エリア保護 施錠・表示、確認 駆動源
・遮断弁閉の表示	・コントロール室の遮断弁コックの重要性に対する危険感覚欠如	<ul style="list-style-type: none"> 遮断弁が閉であることを容易に確認できるか？ DCS画面上でどのバルブを操作しようとしているか、明確にされているか？ DCS画面上で工事エリアを把握できるか？ ローカルではバルブの開閉状態を目視で容易に確認できるか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 設備誤操作防止の二重化は正常に保たれているか？ 現状と実施しようとしている操作の結果を把握しているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> バルブ開閉表示 DCS ローカル操作 	<ul style="list-style-type: none"> 誤操作防止 二重化 操作の結果
・遮断弁コックの表示	・遮断弁コックの確認ミス	<ul style="list-style-type: none"> 遮断弁コックが閉であることを容易に確認できるか？ リミットスイッチは必要ないか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 操作の確認(チェック)方法は定められているか？ ロックする設備の施錠確認は済んでいるか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 遮断弁コック 誤動作の警告 	<ul style="list-style-type: none"> 操作の確認 誤動作時の手順
・変圧器絶縁油の劣化による不良		<ul style="list-style-type: none"> 変圧器絶縁油の状態を把握しているか？ 劣化の起きにくい絶縁油に代替できないか？ 絶縁油の交換頻度は決められているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 絶縁油の交換頻度は明確か？ 絶縁油の交換は決められた通りに実施されているか？ 	<ul style="list-style-type: none"> 変圧器絶縁油 絶縁油の劣化 絶縁油の交換 	<ul style="list-style-type: none"> 交換頻度 交換計画

システム化の課題

- CPリストは、DB構造であること
- 各CPは、誰がどの場面で使うものか?
- キーワード検索機能のあり方は?
- 限られたリソースの有効活用

チェックポイント分類とキーワード整理

- 検討会メンバーから2名の代表者を選定
- チェックポイント集が参照される場面の想定
 - 対象者と場面で分類
- 特定のチェックポイントを検索する方法
 - 予算に合わせた検索方法
- 代表者が分類・キーワード整理の作業実施

チェックポイントの分類

利用者による分類

対象者	活用場面
運転作業者	事前チェックポイント
	当日チェックポイント
	緊急時チェックポイント
設計者	設計時チェックポイント
工事作業者	事前チェックポイント
	当日チェックポイント
保全作業者	事前チェックポイント
	当日チェックポイント

検索用キーワード

キーワード分類

【機器】	【作業】	【現象】
静機器	設計	事故
動機器	運転	機器異常
弁・配管	工事	反応異常
計装	保全	運転異常
電気	全体	工事異常
ユーティリティ		保全異常
その他		緊急対応

分類とキーワード選別作業

No.	RISCAD 事例番号	チェックポイント	運転 事前 CP	運転 当日 CP	運転 緊急 時CP	設計 CP	工事 事前 CP	工事 当日 CP	保全 事前 CP	保全 当日 CP	KW分類 機器①	KW分類 機器②	KW分類 作業①	KW分類 作業②	KW分類 現象①	KW分類 現象②	
761	8730	・設備の性能劣化を考慮して切り換えや再生の インタバルを決めているか	○		○	○					静機器	コアレッ サー	設計	プロセス設 計	機器異常	分離不良	
762	8730	・設備の性能劣化に対応するためのバックアップ や予備品を検討したか	○		○	○				○	静機器	コアレッ サー	設計	プロセス設 計	機器異常	分離不良	
763	8730	・設備機能(水滴粗大化)の阻害要因を把握して いるか				○					静機器	コアレッ サー	設計	プロセス設 計	機器異常	分離不良	
764	8730	・設備機能改善の検討をメーカーに依頼してい るか	○		○	○				○	静機器	コアレッ サー	設計	プロセス設 計	機器異常	分離不良	
765	8730	・設備機能改善による連続運転期間延長の妥 当性を検証しているか	○		○	○				○	静機器	コアレッ サー	設計	プロセス設 計	機器異常	分離不良	
766	8730	・設備機能の長期評価は現場でデータを取って 評価しているか	○		○	○				○	静機器	コアレッ サー	設計	プロセス設 計	機器異常	分離不良	
766	8730	・設備機能の長期評価は現場でデータを取って 評価しているか	○		○	○				○			保全	消耗品交換			
767	8730	・運転視点で標準消耗品の機能低下現象や変 化の連絡や報告をしているか	○	○	○						静機器	コアレッ サー	運転	運転情報提 供	機器異常	分離不良	
768	8730	・消耗品の交換期間は教育され、知っているか	○		○					○	静機器	コアレッ サー	保全	消耗品交換	機器異常	分離不良	
769	8730	・消耗品は交換の際に劣化の程度を評価し、設 計者に報告しているか	○		○					○	静機器	コアレッ サー	保全	消耗品交換	機器異常	分離不良	
770	8730	・設備機能の長期評価は現場でデータを取って 評価しているか	○		○	○				○	静機器	コアレッ サー	保全	消耗品交換	機器異常	分離不良	
771	8730	・設備の運転最適化のための重要運転デー タの関係性から異常兆候を把握する技術(例えば ソフトセンサ)の有効性評価や開発、導入の適切 性を検討しているか				○					静機器	コアレッ サー	設計	プロセス改 善	機器異常	分離不良	
772	8730	・設備の性能劣化を検知する方法として、プロセ スの多変量データを活用しているか				○					静機器	コアレッ サー	設計	プロセス改 善	機器異常	分離不良	
773	8730	・熱交換器の汚れや異常を把握するための相 関データを把握しているか				○					静機器	熱交換器	運転	状態管理	機器異常	汚れ付着	
774	8730	・熱交換器の汚れや異常を把握するための解 析手法(例えば、総括伝熱係数)を検討、確立し ているか				○					静機器	熱交換器	運転	状態管理	機器異常	汚れ付着	
775	8730	・熱交換器の汚れや異常に関わる微かな変動 を見落としていないか	○	○	○	○				○	○	静機器	熱交換器	全体	状態管理	機器異常	汚れ付着