



有機過酸化物の火災事故の調査と対策

幅 道 雄

(日本有機過酸化物工業会)

1. はじめに

有機過酸化物はラジカル重合の開始剤、合成ゴムの架橋剤、樹脂の改質剤、不飽和ポリエステル樹脂の硬化剤として広く利用されている。ラジカル重合開始剤としては低密度ポリエチレン、ポリスチレン、ABS樹脂、ポリ塩化ビニール、ポリフッ化ビニル、ポリメチルメタクリレート、アクリル樹脂塗料等の製造に使われている。架橋剤としてはエチレンプロピレンターポリマー、シリコンゴムの架橋、樹脂の改質剤としてはポリプロピレンの分子量調節、硬化剤としては不飽和ポリエステル樹脂、ジアリルフタレート樹脂、CR-39の分野で使われている。

有機過酸化物は分子内に不安定な酸素-酸素結合をもつ化学物質で、分解による火災・爆発の危険度も高く、製造、貯蔵、輸送の取扱い時に火災事故が発生しやすく、時には死亡に至る人身事故を伴っている。

ここに有機過酸化物の火災事故を調査検証し、事故原因から有効な対策を施すことにより事故撲滅に役立てることができる。事故を起こせば事業の存続も危うくなるほど環境は厳しく安全管理が最重要になっている。本報では消防庁の「危険物に係る事故事例」で昭和61年(1986年)から平成12年(2000年)までの15年間に発生した有機過酸化物の火災事故例を調査し各要因に分類し、原因を深耕することにより火災事故対策を提案していく。

2. 火災事故の概況

2.1 有機過酸化物による火災件数の推移

有機過酸化物の火災件数を昭和61年(1986年)から平成12年(2000年)の15年間で25件を調査し、推移を表-1に示す。1.7件/年で毎年1~2回発生し、傾向としては減少することなく一定割合で発生している。火災事故撲滅の努力にもかかわらず最近10年間では2件/年の割合で発生している。製造メーカーはコストが優先になりがちで安全技術の裏付けが不十分のままマニュアルの変更、熟練作業員の減少、設備の老朽化対策及び安全技術の開発の遅れがある。ユーザーでは工場人員も減少し十分行き届いたメンテナンス、取扱い時の安全管理が疎かになったり安全対策機器の不備等が最近の事故原因につながっている。有機過酸化物は潜在エネルギーが大きく不安定であるため熱、火気、異物接触、衝撃に敏感で、分解するとその発熱、反応熱でほとんどの場合が周囲の破壊と火災を伴う火災事故に至っている。

2.2 有機過酸化物の火災事故の出火施設別件数と推移

昭和61年(1986年)から平成12年(2000年)の15年間に発生した25件の出火施設の発生場所の分類を表-1に示す。製造所(有機過酸化物メーカー)8件、貯蔵所で屋内4件(メーカー2件を含む)、移動(輸送中)1件、危険物取扱所(ユーザー)12件である。有機過酸化物製造メーカー(8件)とユーザーではユーザー(17

表一 有機過酸化物による火災事故件数の推移と原因および人的被害

		S61	62	63	H2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	計
事故件数		1	1	2	4	1	2	3	4	1	1	1	2	2	25
発生場所	製造所	1		1	3		1				1		1		8
	貯蔵所														
	屋内移動								1			1		2	4
	取扱所		1	1	1	1	1	3	2	1			1		12
主原因	人的	1			2	1	1	1	2		1	1	1	2	13
	物的		1			1				1			1		3
	不明				1										2
	調査中		1		1										1
人的被害	死者数				8					1					(9)
	負傷者数		3	1	19		3		2						(28)
	計	0	3	1	27	0	3	0	2	1	0	0	0	0	37

(S:昭和 H:平成)

件)で多く発生している。製造メーカーの事故は減少傾向にあるが、ユーザーでは増加傾向にある。ユーザーの事故は種々の用途で不特定多数が関係し、特に不飽和ポリエステル樹脂の硬化分野で多く発生している(後述)。これらは有機過酸化物としては汎用品で、少量取扱い(50kg/未満)ユーザーが多く安易に扱われやすく安全に対する認識も一般には欠けている場合がある。火災事故防止を推進するには、そのようなユーザーに安全に関し十分な啓蒙が重要である。

製造所の火災事故8件は酸化反応中3件、反

応後工程(洗浄・脱水・濾過・取函等)3件、酸系廃水処理中2件である。また、製造所内での貯蔵中2件となっている。状況、原因を表一2に示す。

主原因は管理不十分(7件)、確認不十分(2件)で人的要因が90%を占める。マニュアルの遵守、機器点検の励行、危機予知能力の発揮、潜在事故要因の顕在化努力の不足により不幸にも火災事故に至っている。製造メーカーでは安全技術に裏付けされた設備機器やマニュアルで製造しているが、発生した火災事故は再現ができず原因を特定できない場合も多い。

表二 製造所における火災事故の状況と直接原因

No.	発生年月	有機過酸化物名	状況	主原因	原因	備考(推定原因)
1	S61.8	ケトン系PO*1	分離不良	管理不十分	分液不良分解	乳化現象
2	S63.6	ジクミルパーオキサイド	酸化反応中	確認不十分	熱交中の異物による接触分解	異物
3	H2.3	BPO*2	洗浄中	確認不十分	未反応物除去不足	異物
4	H2.5	BPO	箱詰中	不明	衝撃・静電気・引火	再現できず
5	H2.6	MEKPO*3	鉄製フランジからの漏れ	管理不十分	MEKPOと廃酸の反応	酸分解
6	H4.1	BIS-PO*4	反応中	管理不十分	冷却不備	冷却不足
7	H8.7	BPO	遠心分離中	管理不十分	BPOスケールの摩擦分解	摩擦熱
8	H9.8	シクロヘキサノンPO	温度管理された屋内貯蔵所	管理不十分	空調不具合	異状温度
9	H10.8	MEKPO	酸系廃水処理中	管理不十分	MEKPOと廃酸の反応	酸分解
10	H12.10	MEKPO	ケミカルドラム貯蔵中	管理不十分	異物との接触	漏洩異物

*1 ケトン系PO ジ-ブチルパーオキシ-3,3,5-トリメチルシクロヘキサノール

*2 BPO 過酸化ベンゾイル

*3 MEKPO メチルエチルケトンパーオキサイド

*4 BIS-PO 1,3-ビス(1-ブチルパーオキシ)イソプロピルベンゼン

貯蔵所の火災事故の状況と原因を表-3に示す。屋内貯蔵所の場合、庫内温度管理のない構造で特に夏場の庫内温度上昇により分解し火災事故に至る例が5件中3件である。時期的にも7~9月に集中し、貯蔵中の庫内温度に対する監視、外気による温度上昇を防止する対策が不十分の場合が多く、管理の問題が大きい。また、漏洩した有機過酸化物が分解を促進する異物と接触して火災事故に至っている。

有機過酸化物を使用するユーザーの一般取扱所での火災事故12件を表-4に要約した。外気温の高い夏場に多く、過酸化物としてはMEKPOが7件と圧倒的に多い。漏洩(1件)、開栓のままで異物混入(1件)、異物接触によるもの(2件)、コバルト含有樹脂や残渣との接触(3件)で火災事故に至っている。MEKPO以外ではNO.3の触媒ポンプ循環中の蓄熱、NO.6の触媒チャージポンプの液封運転による蓄熱で

表-3 貯蔵中における火災事故の状況と直接原因

No.	発生年月	品名	状況	主原因	原因
1	H 6.8	MEKPO	駐車中車内で漏洩不純物と接触分解	管理不十分	ポリ容器転倒漏洩 異物接触
2	H 6.9	MEKPO	運搬中車内で分解	管理不十分	直射日光による過熱
3	H 9.8	シクロヘキサノンPO	温度管理不備な屋内に15日間貯蔵(メーカー倉庫)	管理不十分	猛暑による分解蓄熱 (空調不具合)
4	H12.7	t-アミルパーオクトエート	冷却用ドライアイスが不十分で分解	管理不十分	冷却剤不足
5	H12.10	MEKPO	ケミカルドラム貯蔵中異物による分解(メーカー倉庫)	管理不十分	異物との接触

表-4 取扱所における火災事故の状況と直接原因

No.	発生年月	PO名	状況	主原因	直接原因
1	S62.1	BPO	工事の電気溶接火花が貯蔵中のBPOを燃焼	管理不十分	施工管理不行届き
2	S63.11	MEKPO	スプレーによる舟艇製造の休憩中にノズル先付近樹脂から発火	調査中 (管理不十分)	MEKPOと樹脂の混合
3	H 2.11	2.5ヘキシン系PO*	PE架橋用POの循環ポンプ内で爆発	管理不十分	循環ポンプ発熱
4	H 3.10	MEKPO	作業後開栓状態で放置されたMEKPOが分解	管理不十分	異物混入
5	H 4.7	MEKPO	容器外部に付着MEKPOが金属錆と接触分解	管理不十分	異物との接触
6	H 5.10	t-ブチルパーオキシソプロピルカーボネート	触媒チャージポンプの液封作動による蓄熱分解	不作為	チャージポンプの不用運転
7	H 5.10	MEKPO	不飽和ポリエステル塗料の吹付け塗装で塗装滓から発火	管理不十分	塗装滓の堆積接触
8	H 5.10	MEKPO	スプレーによる浄化槽製造時ノズル下滓から発火	施行不良	樹脂滓の堆積接触
9	H 6.6	MEKPO	休憩中にMEKPO容器をのせた受け皿より発火	不明 (管理不十分)	受け皿のMEKPOに異物混入
10	H 6.7	ジ-t-ブチルPO	計量器に移し替え中に発火	不明	静電気火花
11	H 7.12	t-ブチルパーベンゾエート	配管中で凍結したPOをスチーム加温中爆発	確認不十分 (管理不十分)	スチーム加温による温度上昇
12	H10.7	t-ブチルパーオクトエート	アクリル系塗料製造時、モノマーに希釈したPOが異状重合	不作為	POとモノマーの混合

* 2.5-ジメチル-2.5-ジ(t-ブチルパーオキシ)ヘキシン-3

() 筆者推定主原因

(略号) BPO: 過酸化ベンゾイル

MEKPO: メチルエチルケトンパーオキサイド

PE: ポリエチレン

PO: パーオキサイド(有機過酸化物)の略

火災事故に至っている。有機過酸化物は引火点
が比較的高いが、ジ-*t*-ブチルパーオキサイド
は9℃（クリーブランド開放式）と低くNO.10
の例では静電気により火災に至っている。また、
NO.11のように冬場凍結した*t*-ブチルパーベン
ゾエートをスチームで加温し爆発に至った場
合もある。高温での溶解作業は事故につながり、
40℃ぐらいの湯温でゆっくり解凍するのが望
ましい。NO.12では有機過酸化物をアクリルモノ
マーに希釈し反応槽にチャージする前に触媒
槽が異状重合を開始し火災に至っている。有機
過酸化物をモノマーに希釈することは望ましく
ないが、やむを得ない場合は有機過酸化物の分
解を抑えるため触媒槽を十分冷却し、長時間混
合したままで放置しないことが必要である。

2.3 有機過酸化物の火災事故における原因 および被害の推移

2.3.1 有機過酸化物の分解の原因

有機過酸化物は次の4つの主要原因で分解に至
る。

- ① 熱 高温により容易に熱分解する。夏
場の外気温の上昇、高温体との接
触により分解する。
- ② 火気 引火点は一般にそれほど低くない
が着火すると燃焼速度が速い。火
気を近づけないようにする。
- ③ 異物 金属イオン、還元剤、アミン類、
フェノール類等との反応性が高い
ので接触、混触を避ける。
- ④ 衝撃 摩擦、衝撃等の物理的感度が高い。
火災事故の防止は上記4大原因を取り除くこ
とにある。

2.3.2 火災原因

消防庁の分類による火災原因を表-1に示
す。火災の主要原因は25件中人的要因18件、物的
要因3件、不明4件と人的要因が圧倒的に多
い。

製造メーカーの火災事故の場合、反応工程で
は分離不良による分解、冷却不足による分解、
取扱い時の衝撃・摩擦による分解、後工程では
廃液処理時発生し、潜在要因に対する安全管理
の予測対応が不十分と指摘される。

貯蔵所の火災事故では、外気による庫内温度
の上昇、漏洩による異物との接触等により発生
している。庫内の温度管理、整理整頓による転
倒漏洩、異物混入の防止、樹脂残滓の処理等の
管理を十分にすることが火災事故防止になる。

一般取扱所の火災事故では、表-4の状況か
ら還元性異物との接触、コバルト含有不飽和ポ
リエステル樹脂との不用意な混入、静電気火花、
不用意な加温など不注意から火災事故に至っ
ている。

有機過酸化物の危険性は十分把握していても
慣れからくる油断など人的要因が原因であるの
で、啓蒙・教育に努力すれば火災事故を減少さ
せることができる。特にユーザーの火災事故は
温度管理、火気厳禁、異物混入、漏洩防止、作
業後の整理整頓を徹底すれば大部分の火災事故
を防ぐことができる。

2.3.3 人的被害

表-1より人的被害は火災事故25件で死者
9名、負傷者28名になる。平成2年の製造メ
ーカーで発生したベンゾイルパーオキサイド
（以下「BPO」と略す）の大爆発事故の被害は
死者8名、負傷者19名と甚大であった。平成
7年のユーザーでの火災事故は触媒槽の配管内
で*t*-ブチルパーベンゾエートが凍結し、スチ
ームでの溶解中に過酸化物が分解し死者1名が
でた。取扱量が多い場合は分解が急激で退避す
る間もない。負傷者は有機過酸化物の分解と同
時に発生している。

2.3.4 安全性の高い有機過酸化物の開発

製造メーカーでは事故時の被害を減少させ、
分解の起こりにくい安全性の高い商品開発にも
注力している。冬場固化しやすい*t*-ブチルパ

ーベンゾエートは置換基導入で融点を下げ固化しにくい製品、分解熱を緩和させる水エマルジョンにした製品、溶媒あるいは無機フィラーで希釈し感度の低減や分解威力を緩和した製品、ベンゾイルパーオキサイドは粉体で物理的感度が高く溶解度も低く火災事故が多いので置換基を導入した構造で可溶化をはかった製品などがある。最近ではこれらの商品が普及し、ユーザーでの取扱い中の人的被害は表-1からも減少している。

2.4 火災発生の直接原因

有機過酸化物が分解し発火に至る直接原因は静電気火花・溶接火花・電気火花などの火気、自然発熱・化学反応熱などの分解熱、摩擦・打撃などの物理的衝撃である。有機過酸化物の火災事故に関する直接原因の推移を表-5（製造メーカー）、表-6（ユーザー）に示す。

表-5より製造メーカーの火災事故は自然発熱・化学反応熱によるものが70%である。不明・調査中のものは原因となるものが爆発で残存してなく断定できない場合である。

表-6よりユーザーの火災事故は外部からの火気によるもの20%、自然発熱・化学反応熱によるもの67%、不明・調査中13%である。やはり外部の温度環境による自然分解、異物等との反応による分解によるものが多い。不明・調査中のものは分解を引き起こす証拠物体、条件が断定できないものである。分解反応を未然に押える温度管理、分解を促進する異物管理が重要である。

2.5 火災事故に関与した有機過酸化物の種類の推移

火災事故件数25件に関与した有機過酸化物の品名、推移を表-7に示す。メチルエチルケトンパーオキサイド（以下「MEKPO」と略す）11件、BPO 4件で合わせて60%を占める。それ以外は個々（10件）の品名の製品で発生している。

MEKPOおよびBPOは汎用性が高く、多くのユーザーで安易に用いられ油断から事故が発生している。ポリ塩化ビニルの開始剤である冷凍貯蔵（マイナス10℃以下）を要する有機過酸

表-5 製造メーカーの有機過酸化物の火災事故の直接原因

		S61	63	H2	4	8	9	10	12	計
事故数		1	1	3	1	1	1	1	1	10
直接原因	静電気火花									(0)
	電気火花									(0)
	衝撃火花									(0)
	自然発熱	1								(1)
	化学反応熱		1	2			1	1	1	(6)
	摩擦熱					1				(1)
不明・調査中			1	1						(2)

表-6 ユーザーの有機過酸化物の火災事故の直接原因

		S62	63	H2	3	4	5	6	7	10	12	計	
事故数		1	1	1	1	1	3	4	1	1	1	15	
直接原因	静電気火花							1		1		(2)	
	溶接火花	1										(1)	
	電気火花											(0)	
	自然発熱			1				2			1	(4)	
	化学反応熱				1	1	3		1			(6)	
	摩擦熱												(0)
	不明・調査中		1						1				(2)

表一 7 事故発生に関与した有機過酸化物の件数および推移

(件数)

	S61	62	63	H2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	合計
事故件数	1	1	2	4	1	2	3	4	1	1	1	2	2	25
過酸化ベンゾイル		1		2						1				4
製造メーカー				2						1				(3)
使用ユーザー		1												(1)
メチルエチルケトンPO			1	1	1	1	2	3				1	1	11
製造メーカー				1								1	1	(3)
使用ユーザー			1		1	1	2	3						(8)
その他PO	1		1	1		1	1	1	1		1	1	1	10
PO名	A		B	C		D	E	F	G		H	I	J	
製造メーカー	1		1			1					1			(4)
使用ユーザー				1			1	1	1			1	1	(6)

- A 1,1-ジ-*t*-ブチルパーオキシ-3,3,5-トリメチルシクロヘキサン
- B ジクミルパーオキシド
- C 2,5-ジメチル-2,5-*t*-ブチルパーオキシヘキシン-3
- D 1,3-ビス (*t*-ブチルパーオキシ) イソプロピルベンゼン
- E *t*-ブチルパーオキシイソプロピルカーボネート

- F ジ-*t*-ブチルパーオキシド
- G *t*-ブチルパーベンゾエート
- H シクロヘキサノンパーオキシド
- I *t*-ブチルパーオクトエート
- J *t*-アミルパーオクトエート

化物の事故例は少ない。冷凍機が働かなければ即火災につながるため機器の点検、管理が十分実行されているからである。むしろ0℃近辺の冷蔵庫貯蔵の*t*-ブチルパーオクトエート、*t*-アミルパーオクトエートで事故が起こっている。温度管理のシビヤなもの監視、メンテナンスが行き届いているからである。

2.5.1 MEKPOの火災事故事例

MEKPOの火災事故11件中、製造メーカー3件、ユーザー8件と圧倒的にユーザーでの火災事故が多い。MEKPOは用途が不飽和ポリエステル樹脂の硬化剤で多数の中小成形加工メーカーで使用されている。MEKPOは室温貯蔵可能な液体の有機過酸化物であるが、反応性が非常に高く、アミン類、コバルト、鉄などの金属イオン、イオウ化合物、フェノール類などの還元剤と接触すると急激な反応を起こし制御しきれず火災事故に至る。特にMEKPOは発火点(ASTM式)が197℃と他の有機過酸化物(400~500℃)に比べ格段に低く、分解熱による温度上昇で発火し火災に至る。

表-4の状況から分解を促進する異物との接触を避ける、促進剤含有樹脂滓との混触を避ける等、整理・整頓・清掃が大切である。

2.5.2 BPOの火災事故事例

BPOの火災事故事例4件中、製造メーカー3件、ユーザー1件と製造メーカーが多い。平成2年のBPO純品の事故を契機に、爆轟性を有し危険であるBPO純品の製造が中止され、より安全な水含有BPOしか市販されておらずユーザーの事故は減少している。メーカーでは製造中に異物、衝撃による分解で火災事故が発生している。

器具類の材質は物理的衝撃を避けるためポリエチレン、ポリプロピレン、アルミニウムが好ましい。BPOは粉体で反応器や器具類に付着し固化しやすい。固化物を削ぐ時に事故が起こっているため付着を放置せず十分清掃するのが好ましい。

2.5.3 その他の火災事故事例

MEKPO、BPO以外のその他の有機過酸化物による事故10件中、製造メーカー4件、ユーザー6件で特には片寄っていない。重複した品名のもはなく、傾向がつかめず対応が立てにくい、分解の4つの条件が基本でそれを踏まえた管理をすれば事故を避けることができる。

2.6 製造メーカーにおける火災事故原因への対応

製造メーカーで起きた火災事故8件（メーカー貯蔵所2件を除く）の状況及び主要原因を表-2に示す。主要原因は確認不十分2件、管理不十分5件と合わせて88%が人的要因による。

製造メーカーでは事故を皆無にすべく安全技術の向上が図られているが、未知の要因もまだまだ存在する。潜在事故の要因を取り除く努力が必要である。冷却装置、温度管理、反応制御、緊急対応管理、後処理、貯蔵管理等各单位操作の安全技術のハード、ソフト面の向上に絶えず取り組み随時導入が必要である。

2.7 ユーザーにおける火災事故原因への対応

ユーザーで起きた火災事故15件（ユーザー貯蔵所3件を含む）の状況及び主要原因を表-3、表-4に示す。主要原因は確認不十分1件、管理不十分8件、不作為2件と人的要因合わせて73%を占める。分解に至る原因として温度管理不十分、異物混入、使用後の残滓の処理不十分、有機過酸化物の基本特性を無視した取扱い、機械の不用運転が指摘される。

従来からユーザーに対し取扱いの教育・指導はなされているが、今後ともさらに一層の努力が必要である。各ユーザーに事故の未然防止を促すため、有機過酸化物使用の自主保安管理マニュアルを作成するのが好ましい。

1. 有機過酸化物取扱者への火災事故に関する教育
2. 有機過酸化物に関する知識の普及
3. 実効性の高い取扱い規定
貯蔵、運搬、使用取扱い、摩擦
4. 点検の励行
整理整頓、温度管理
5. 機器整備

2.8 有機過酸化物の火災事故の月別要因

火災事故例の月別要因を表-8に示す。7月から9月の夏場に多く、25件中10件で40%を占める。特にユーザーでは15件中7件で47%と半数近く占める。製造メーカーも夏場多い傾向にはあるが、年間を通じ発生している。品目別にはMEKPOが6月から11月の夏場近辺に集中している。外気温の高い夏場近辺での事故が多く温度管理の重要性を認識する必要がある。MEKPOは反応性が高いことに加え外気温の上昇が相乗効果として働いている。

BPOは定常作業中に事故が起こっており、季節にはあまり相関がない。MEKPO、BPO以外のその他有機過酸化物も7~9月で5件で50%になるが特に限定できない。反応制御下での発生が多く外気温の影響はあまり受けていない。

表-8 月度事故例 (件数)

	事故例		計	POの種類			計
	使用 ユーザー	製造 メーカー		BPO*1	MEKPO**	他	
1月	1	1	2	1	0	1	2
2月	0	0	0	0	0	0	0
3月	0	1	1	1	0	0	1
4月	0	0	0	0	0	0	0
5月	0	1	1	1	0	0	1
6月	1	2	3	0	2	1	3
7月	4	1	5	1	1	3	5
8月	1	2	3	0	1	2	3
9月	1	0	1	0	1	0	1
10月	4	1	5	0	4	1	5
11月	2	1	3	0	2	1	3
12月	1	0	1	0	0	1	1
合計	15	10	25	4	11	10	25

*1 BPO 過酸化ベンゾイル

*2 MEKPO メチルエチル ケトンパーオキシサイト

2.9 過酸化物火災事故の発生時間

製造メーカーでの事故発生は定常作業中に発生しており、時間帯は10件中、午前（7~12時）2件、午後（12~19時）1件、夜中（19~7時）7件と圧倒的に夜中の発生が多い。そのうち無人下は2件で他は有人作業中に発生している。

夜中では注意力、判断力、思考力に加え、不作為等の要因が考えられる。

ユーザーで特にMEKPOによる火災事故の発生時間帯をみると、MEKPOは8件中、午前0件、午後6件、夜中2件、そのうち無人下が3件である。何らかの原因で分解を開始し、蓄熱し自己分解促進温度 (SADT、65℃) を超え爆発火災に至っている。SADTに達するまでに時間を要するため作業後の夜中の無人下で発生する場合も多い。

3. おわりに

化学工業は環境、安全に十分配慮し、有益な化学物質を社会に提供するとともに事業発展のための研鑽を絶えずしている。

有機過酸化物工業も同様に環境保全と安全管理には最大の努力を払っている。有機過酸化物

事業は安全技術のハード面、ソフト面を蓄積し、安全管理を駆使し40数年間生産を継続してきた。今後もより安全な新製品の開発、コストダウンのための省力化、原材料開拓、反応工程改善、廃棄物低減、物流の簡素化などの挑戦がなされる。さらに一層未知の危険要因を見逃さずことなく解明し慎重に取り組まねばならない。また、ユーザーの取扱いにおいても常に安全意識の高揚に努めねばならない。

安全管理は危険を事前に察知し事故の芽を摘み取りリスクを低減し、事故の未然防止にある。しかし、立派なシステムやマニュアルがあっても不注意や点検不備など管理不十分や不作為に分類される事故も多く、安全技術に裏付けされる機器の装備に加え人的な面の啓蒙も必要である。

