

事故防止対策事業報告書

平成 24 年 2 月

社団法人 全国火薬類保安協会

目 次

はじめに	1
1. 事故防止対策委員会	1
1.1 委員会組織	1
1.2 委 員	1
1.3 委員会の審議状況	2
2. 事故の概要	3
2.1 事故の推移(1)	3
2.2 事故の推移(2)	4
2.3 平成23年の事故概要	5
2.4 年別比較(5年間)	6
3. 各部会報告	7
3.1 産業火薬類製造部会	7
3.2 産業火薬類消費部会	21
3.3 煙火部会	34
参考資料	47

はじめに

事故防止対策委員会は、平成6年に火薬類の事故防止体制の整備・強化を図り、事故の原因の究明、事故の原因となった火薬類取扱い作業における問題点の明確化、再発防止対策の検討及び再発防止対策のフォローアップ等を行うために設置され、本年度で18年を経過した。

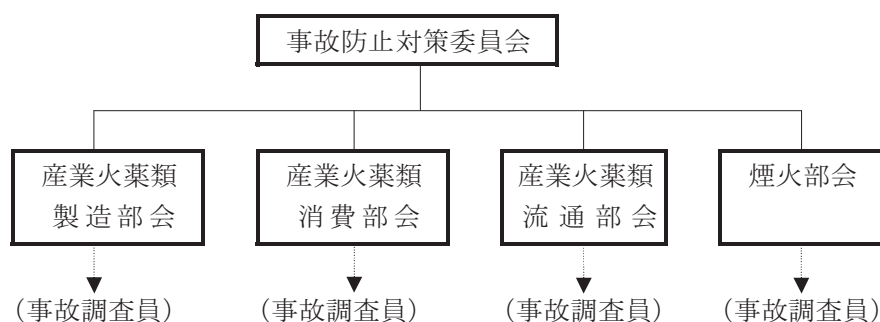
本報告書では、平成23年(1月～12月)に発生した火薬類の事故について、事故防止対策委員会(本委員会)、産業火薬類製造部会、産業火薬類消費部会及び煙火部会において事故の原因究明、再発防止対策について審議し、取りまとめたものである。

編さんに当たっては、公益社団法人日本煙火協会、日本火薬工業会をはじめとして、事故防止対策委員会委員の皆様のご協力、ご指導をいただき、厚く御礼申し上げる次第である。

1. 事故防止対策委員会

1. 1 委員会組織

事故防止対策委員会の組織は、次のとおりである。



1. 2 委員

(1) 事故防止対策委員会

委員長	小川 輝繁	財団法人総合安全工学研究所	専務理事
委員	新井 充	東京大学 教授	環境安全本部環境管理部 部長
	飯田 光明	(独) 産業技術総合研究所	環境安全管理部 部長
	藤原 修三	(独) 産業技術総合研究所	安全科学研究部門 顧問
	和田 有司	(独) 産業技術総合研究所	安全科学研究部門 研究グループ長

(2) 産業火薬類製造部会

部会長	藤原 修三	(独) 産業技術総合研究所	安全科学研究部門 顧問
委員	相葉 昭男	ワイ・エス・ケー (株)	顧問
	石井 喜章	日本アンホ火薬製造 (株)	業務統括部長
	小倉 将隆	中国化薬 (株)	企画部 副部長
	木戸 茂貴	日本カーリット (株)	環境安全品質保証部 副部長
	栗原 洋一	日本火薬工業会	技術部長
	高梨 寛	日本工機 (株)	白河製造所安全環境統括室安全グループ チーフ
	茅野 千秋	日油 (株)	化薬事業部企画室 担当部長
	田中 耕治	日本化薬 (株)	セイフティシステムズ事業本部技術部 課長
	鳥飼 隆頭	カヤク・ジャパン (株)	生産本部 環境安全グループ長
	山口 潤仁	旭化成ケミカルズ (株)	化薬事業部 環境安全グループ長

(3)産業火薬類消費部会

部会長 小川 輝繁 (財)総合安全工学研究所 専務理事
委 員 方 雄二 (独)産業技術総合研究所コンプライアンス推進本部 総合企画主幹
北岡 英雄 日本ロックエンジニアリング(株) 取締役工事部長
児島 寛 多摩火薬機工(株) 専務取締役
田中 敏 (社)日本建設業連合会 安全部 参事
山下 厳 三菱電機(株) 鎌倉製作所飛しょう体システム部 火薬類製造保安責任者
吉田 隆司 カヤク・ジャパン(株) 東日本営業部 部長
綿引 貫二 (社)日本砕石協会 技術部長

(4)煙火部会

部会長 新井 充 東京大学 教授 環境安全本部環境管理部 部長
委 員 飯田 光明 (独)産業技術総合研究所 環境安全管理部 部長
五十子 靖 東京都 環境局環境改善部環境保安課火薬電気係 主任
小勝 一弘 (公社)日本煙火協会 会長
河野 晴行 (公社)日本煙火協会 専務理事
中嶋 正直 愛知県 防災局消防保安課 産業保安室 室長補佐
野村 陽一 (公社)日本煙火協会 理事
宮澤 裕子 埼玉県 危機管理防災部化学保安課 主査

1. 3 委員会の審議状況

本委員会及び各部会の審議状況は、次のとおりである。

(1) 事故防止対策委員会

- ・ 第1回委員会 平成24年2月10日(金) (八丁堀区民館 会議室)
 - ・ 各部会報告
 - ・ 報告書(案)の検討

(2) 産業火薬類製造部会

- ・ 第1回部会 平成24年1月18日(水) (日本火薬工業会 会議室)
 - ・ 製造中の事故の検討
- ・ 第2回部会 平成24年1月30日(月) (日本火薬工業会 会議室)
 - ・ 部会報告書(案)の検討

(3) 産業火薬類消費部会

- ・ 第1回部会 平成24年1月20日(金) (八丁堀区民館 会議室)
 - ・ 消費中の事故の検討
- ・ 第2回部会 平成24年2月2日(木) (新富区民館 会議室)
 - ・ 部会報告書(案)の検討

(4) 煙火部会

- ・ 第1回部会 平成24年1月12日(木) (八丁堀区民館 会議室)
 - ・ 煙火関係事故の検討
- ・ 第2回部会 平成24年1月25日(水) (八丁堀区民館 会議室)
 - ・ 部会報告書(案)の検討

2. 事故の概要

2. 1 事故の推移(1)

事故防止対策委員会が設置された平成6年から平成23年までの火薬類に係る事故発生状況は、表1のように、年平均37件前後で推移している。平成23年は前年に比べ、大幅に事故件数が減少しており、事故防止対策事業が開始されて、3番目に少ない結果であった。煙火の事故が大幅に減少したことが貢献している。過去18年間の事故件数及び消費中の事故件数の推移を図1及び図2に示す。

表1 事故推移表(件数)

年		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
産業火薬	製造中	1	9	5	2	4	2	2	1	4	1	1	2	1	2	6	2	1	1
	消費中	3	13	7	9	5	9	8	4	5	7	9	5	4	7	7	1	0	2
	その他	0	2	2	2	0	1	2	2	1	3	3	1	0	3	0	3	1	2
	合 計	4	24	14	13	9	12	12	7	10	11	13	8	5	12	13	6	2	5
煙火	製造中	3	0	2	2	0	0	1	0	3	1	0	0	0	4	0	0	2	0
	消費中	18	16	20	12	6	21	23	28	20	22	24	20	32	29	30	17	24	17
	その他	0	1	0	1	1	0	1	2	3	0	1	1	1	0	1	1	2	2
	合 計	21	17	22	15	7	21	25	30	26	23	25	21	33	33	31	18	28	19
がん具煙火	製造中	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	消費中	3	2	5	2	3	4	2	1	2	2	1	4	1	2	3	0	5	4
	その他	0	5	3	0	3	0	0	1	0	1	2	1	1	2	1	0	1	0
	合 計	4	8	9	3	6	4	3	2	2	3	3	5	3	4	4	0	6	4
合 計	製造中	5	10	8	5	4	2	4	1	7	2	1	2	2	6	6	2	3	1
	消費中	24	31	32	23	14	34	33	33	27	31	34	29	37	38	40	18	29	23
	その他	0	8	5	3	4	1	3	5	4	4	6	3	2	5	2	4	4	4
	合 計	29	49	45	31	22	37	40	39	38	37	41	34	41	49	48	24	36	28

図1 事故件数の推移

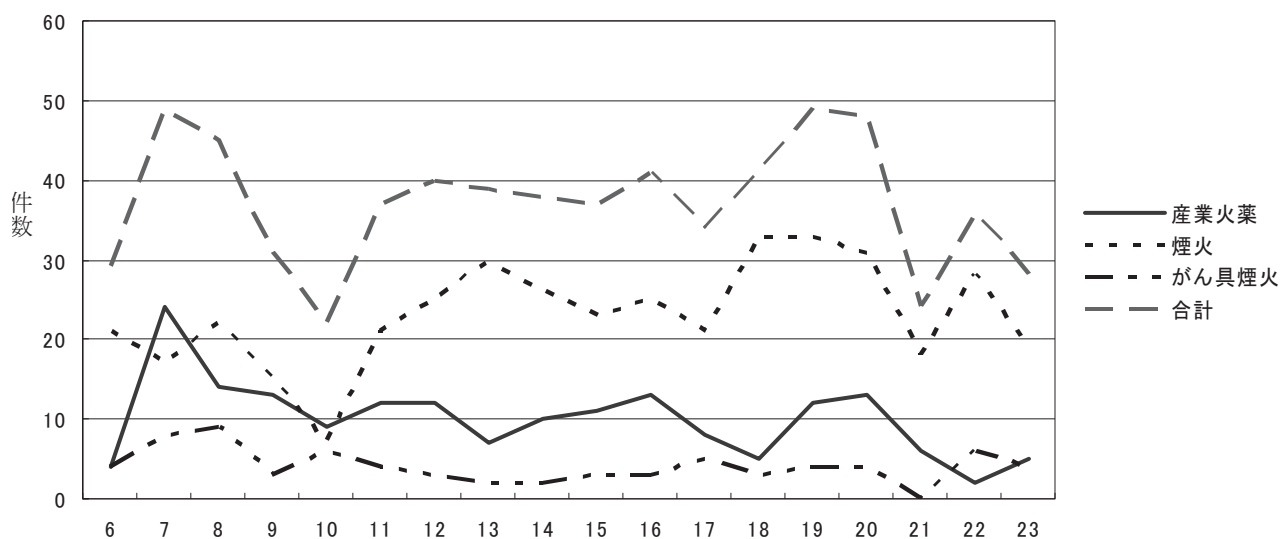
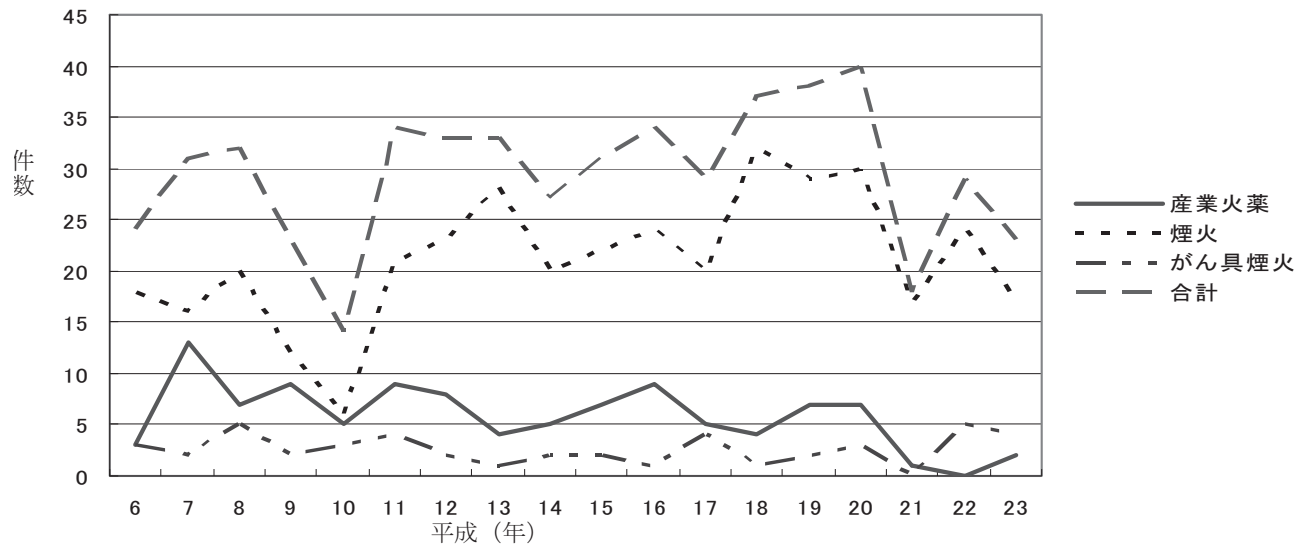


図2 平成(年)
消費中の事故件数推移



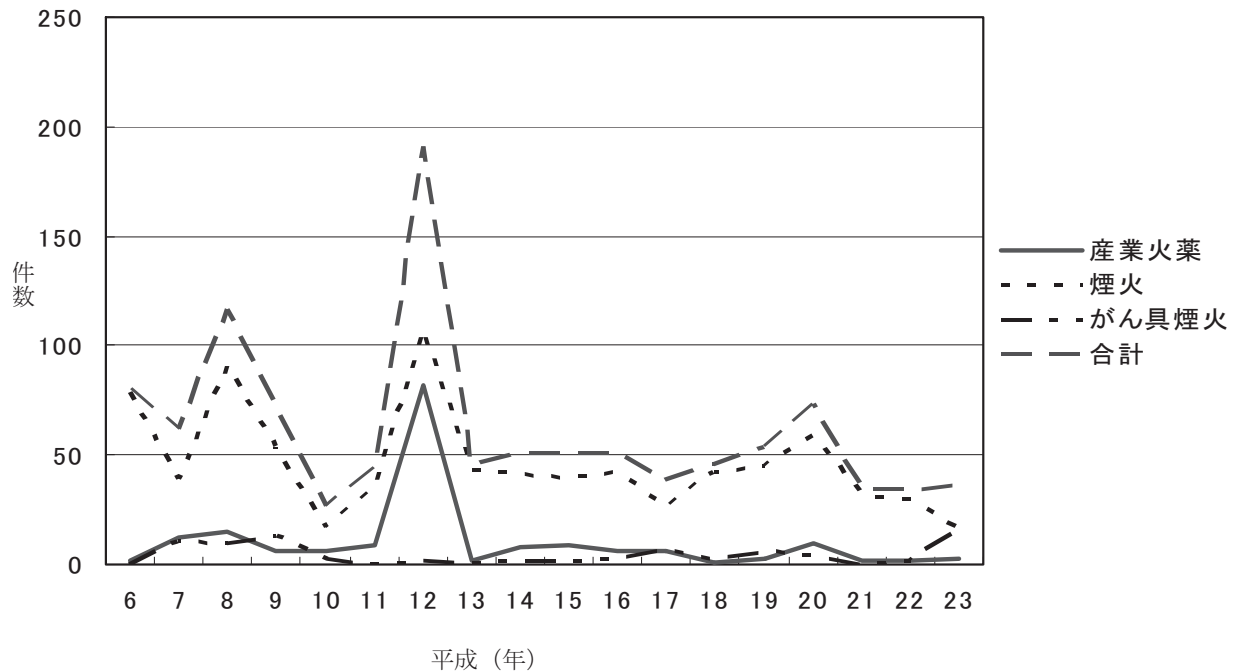
2. 2 事故の推移(2)

事故件数と死傷者数の推移は表2及び図3に示すとおりである。平成21年から死傷者数は大幅に減少しつつある。平成23年は事故件数が大幅に減少したにもかかわらず、死傷者数は若干増加した。これは、がん具煙火の範疇に入る火工品の消費中の事故に原因がある。

表2 事故件数と死傷者数の推移

年		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
産業火薬	件数	4	24	14	13	9	12	12	7	10	11	13	8	5	12	13	6	2	5
	死亡者数	0	1	4	2	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0
	負傷者数	2	11	11	4	6	7	82	2	8	9	6	4	1	3	9	1	2	3
	計	2	12	15	6	6	9	82	2	8	9	6	6	1	3	10	2	2	3
煙火	件数	21	17	22	15	7	21	25	30	26	23	25	21	33	33	31	18	28	19
	死亡者数	4	0	0	2	1	1	1	0	0	13	0	0	1	0	2	0	0	0
	負傷者数	74	39	91	52	16	34	106	43	41	27	42	26	41	45	57	32	30	16
	計	78	39	91	54	17	35	107	43	41	40	42	26	42	45	59	32	30	16
がん具煙火	件数	4	8	9	3	6	4	3	2	2	3	3	5	3	4	4	0	6	4
	死亡者数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	負傷者数	0	11	10	13	3	0	2	1	2	2	3	7	2	6	4	0	2	17
	計	0	11	10	13	3	0	2	1	2	2	3	7	3	6	4	0	2	17
合計	件数	29	49	45	31	22	37	40	39	38	37	41	34	41	49	48	24	36	28
	死亡者数	4	1	4	4	1	3	1	0	0	13	0	2	2	0	3	1	0	0
	負傷者数	76	61	112	69	25	41	190	46	51	38	51	37	44	54	70	33	34	36
	計	80	62	116	73	26	44	191	46	51	51	51	39	46	54	73	34	34	36

図3 死傷者数の推移



2. 3 平成23年の事故概要

平成23年(1月～12月)の事故は、総件数28件、死者0名、負傷者36名であった。

その内訳は、製造中の事故が1件(産業火薬1件)、消費中の事故23件(産業火薬2件、煙火17件、がん具煙火4件)及びその他事故4件(産業火薬2件、煙火2件)であった。

産業火薬のその他の事故については、1件が5月19日に富山県で発生した事故で、放置されていた黒色火薬が発火し作業員が火傷した事故であり、もう1件は8月26日に広島県で発生した事故で、自動車用のシートベルトユニットを分解中、起動用火薬が爆発し、飛び出した鋼製の部品が作業員の腕に突き刺さり負傷した事故である。詳細は(社)全国火薬類保安協会のホームページを参照されたい。

なお、運搬中、貯蔵中、がんろう中の事故は発生しなかった。

表3 平成23年中の事故一覧

	製造中			消費中			運搬中			貯蔵中			がんろう中			その他事故			合 計		
	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷
産 業 火 薬	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	5	0	3
煙 火	0	0	0	17	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	19	0	16
がん具 煙 火	0	0	0	4	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	17
合 計	1	0	0	23	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	28	0	36

2. 4 年別比較（5年間）

平成19年から平成23年までの5年間の種類別、取扱別の年別比較表を表4に示す。

表4 年別比較表（平成19年～平成23年）

種類・取扱別（総括表）

種類	取 扱 年	製造中			消費中			運搬中			貯蔵中			がんろう中			その他事故			合 計		
		件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷	件	死	傷
産 業 火 薬	19	2	0	0-1	7	0	0-0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0-2	12	0	0-3
	20	6	1	1-2	7	0	3-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	13	1	4-5
	21	2	1	0-0	1	0	0-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0-1	6	1	0-1
	22	1	0	1-0	0	0	0-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0-1	2	0	1-1
	23	1	0	0-0	2	0	0-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1-1	5	0	1-2
煙 火	19	4	0	2-2	29	0	7-34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	33	0	9-36
	20	0	0	0-0	30	0	4-48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1-4	31	2	5-52
	21	0	0	0-0	17	0	3-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0-1	18	0	3-29
	22	2	0	1-0	24	0	1-25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2-1	28	0	4-26
	23	0	0	0-0	17	0	2-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1-1	19	0	3-13
がん具 煙 火	19	0	0	0-0	2	0	0-5	0	0	0	0	0	0	1	0	1-0	1	0	0-0	4	0	1-5
	20	0	0	0-0	3	0	0-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	1	0	1-2	4	0	1-3
	21	0	0	0-0	0	0	0-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	0	0	0-0	0	0	0-0
	22	0	0	0-0	5	0	0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	1	0	0-0	6	0	0-2
	23	0	0	0-0	4	0	0-17	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	0	0	0-0	4	0	0-17
合 計	19	6		2-3	38	0	7-39	1	0	0	0	0	0	1	0	1-0	3	0	0-2	49	0	10-44
	20	6	1	1-2	40	0	7-52	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	2	2	2-6	48	3	10-60
	21	2	1	0-0	18	0	3-28	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	4	0	0-2	24	1	3-30
	22	3	0	2-0	29	0	1-27	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	4	0	2-2	36	0	5-29
	23	1	0	0-0	23	0	2-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0-0	4	0	2-2	28	0	4-32

*表中「傷」欄の0-0は重傷者－軽傷者を表す。

- ・重傷者：負傷の治療に要する期間が30日以上を負傷者。
- ・軽傷者：負傷の治療に要する期間が30日未満を負傷者。

*各部会報告における事故概要表中の事故分類(級)は次による。

- ・A級事故：①死者(事故発生後5日以内に死亡した者をいう。)5名以上のもの。
②死者及び重傷者が合計して10名以上のものであって、①以外のもの。
③死者及び負傷者(重傷者、軽傷者)が合計して30名以上のものであって、
①及び②以外のもの。
④甚大な物的損害が生じたもの、大災害に発展するおそれがあるもの、社会的影響が大きいと認められるもの。
- ・B級事故：①死者1名以上4名以下のもの。
②重傷者2名以上9名以下のものであって、①以外のもの。
③負傷者6名以上29名以下のものであって②以外のもの。
④多大な物的損害が生じたもの、同一事業所で事故が発生した日から1年を経過しない間に発生したもの、社会的影響が大きいと認められるもの。
- ・C級事故：A級事故、B級事故以外の事故。

(以上「経済産業省 火薬類事故措置マニュアル」より抜粋。)

3. 各部会報告

3. 1 産業火薬類の製造関係

3. 1. 1 事故の概要

平成23年(1～12月)の産業火薬類製造中の事故発生件数は1件で、人的被害はなかった。本事故については管轄の産業保安監督部において事故原因及び再発防止対策の確認が行われているが、製造部会においては、当事者会社より提出・説明された事故調査票をもとに、その内容を精査し、改めて事故原因及び再発防止対策について検討を行ったのでその結果を報告する。

表5 事故概要

No.	作業	発生日時	発生場所	死	傷	級	事故概要
1	製造中	平成23年 6月30日 (木) 4:00頃	埼玉県 日高市	0	0-0	C	環境試験室の恒温恒湿槽内で、発煙浮信号9個、火せん10個の温度繰り返し試験(65℃～-30℃)を6月14日から6月24日まで実施し、そのまま存置していた。6月30日4時頃、警備員が環境試験室に設置していた連動型住宅用火災警報器が鳴動したため、現場を確認したところ、環境試験室の換気口から煙が噴出していた。

3. 1. 2 事故調査票をもとに検討した内容

昨年に発生した事故1件について検討した内容を以下に示した。

事故現象：火工品の発火事故

(1) 事故の概要

環境試験室の恒温恒湿槽内で、発煙浮信号9個、火せん10個の温度繰り返し試験(65℃～-30℃)を6月14日から6月24日まで実施し、そのまま存置していた。6月30日午前4時頃、警備員(外注)が環境試験室に設置していた連動型住宅用火災警報器が鳴動したため、現場を確認したところ、環境試験室の換気口から煙が噴出していた。

(2) 事故原因

発煙浮信号の型式承認試験として温度繰り返し試験を実施したことにより、発煙浮信号の煙薬の一成分であるニトロセルロースが、もともと安定度が悪いものであったため自然分解が進行し、発火に至ったと推定される。

(3) 問題点

- ① 煙薬の成分の材料仕様が不明で、今回の原因となったニトロセルロースの窒素量

や耐熱性等の物性がよく分っていなかった。

- ② 自然分解を起こすニトロセルロースについて、発煙浮信号メーカーでの受入検査およびニトロセルロースメーカーでの検査で安定度試験が実施されていなかった。(推定)
- ③ 発煙浮信号を製造された時期、不安定なニトロセルロースが使用されていた。
- ④ 当該の発煙浮信号は、製造会社（中国）に要求事項を伝えて製造されたもので、細部の設計や品質に関しては十分に把握されていなかった。
- ⑤ 環境試験終了後の火薬類の取扱（継続して他の試験を行うまでの保管等）について明確に定められていなかった。

（４）再発防止策

１）管理方法

（発火防止策）

- ① 発煙浮信号については、製造会社（中国）でのニトロセルロースの受入検査及び製品の完成検査において耐熱試験を実施する。（ニトロセルロースの受入基準は変色時間８分以上を合格とする。製品については従来品のデータから社内基準を定める。）
- ② 発煙浮信号の輸入後の受入検査においても耐熱試験を実施する。

（被害拡大防止策）

- ③ 一連の試験に供される火薬類は、試験の途中で保管の必要がある場合、他の火薬が置かれていない火薬庫あるいは庫外貯蔵庫に保管する。
- ④ 一連の試験に供される火薬類で、その途中の試験で試験継続の必要が無くなったものは、速やかに焼却廃棄する。

２）教育

上記を徹底するために、従業員全員に対しての保安教育を実施する。

３）設備

火薬類の試験を行う恒温装置類については万が一発火した場合の被害拡大防止に備え、以下を具備したものとする。

- ① ドアロック回転式とし押し引きではドアが開かない方式とする。
- ② 非常用緊急停止ボタンを取り付ける。
- ③ 恒温槽の記録計を槽の外部に離して取り付ける。
- ④ 上記記録計には警報メール発信機能を持たせる。

（５）教訓と今後の課題

今回の発火事故の直接原因は、火工品に充填されている火薬類の製造で使用されたニトロセルロースの自然分解である。ニトロセルロースは、硝酸エステルの中でも、

特に、自然分解／発火しやすい火薬類として知られており、過去にも大きな発火・爆発事故の原因となっている。当該火工品は中国製であり、使用したニトロセルロースの品質が不良であったことは明らかである。

昨今、低コストを達成するための一つ的手段として、火薬類を輸入するケースが増加しているが、それらの機能・性能にのみ注目し、原材料等の品質について相手（海外製造会社）任せにしているのは、国内での保安を確保することはできない。国内での品質管理レベルと同等のレベルを海外の製造会社に求めると共に、輸入側においても、ポイントを押さえた自主的な品質管理・保安管理を確実に実施していくことが重要である。

どのような事業環境においても、保安を犠牲にすることはできない。保安を確保するためには、何が重要で、何が必要なのかを十二分に検討し、事業を展開していくべきである。

なお、参考に供するため、巻末にニトロセルロースに関する資料を掲載した。

（６）事故進展フロー

上記の検討結果を基に、別紙に示すとおり事故進展フローを作成した。

【別紙】

概要	事故番号	発生日時（曜日）	所在地
P1 H23.6.30（木） 午前4:00頃 埼玉県 日高市 環境試験室の恒温恒湿槽内で、発煙浮信号 9個、火せん 10個の温度繰り返し試験（65℃～－35℃）を6月14日から6月24日まで実施し、そのまま存置していた。6月30日、警備員（外注）が環境試験室に設置していた連動型住宅用火災警報器が鳴動したため、現場を確認したところ、環境試験室の換気口から煙が噴出していた。物的被害として、恒温恒湿槽1台、発煙浮信号9個、火せん10個が焼損した。			
背景			
天候：曇り 気温：29℃ 湿度：71% 風：なし 火薬類の種類： ①火工品（中国製輸入品 発煙浮信号：煙薬の薬量：約350g/個 組成：硝酸7アジソン、ニトロセルロース、染料を主体で塩素酸カリウムを少量含有） ②火工品（自社製品 火せん：薬量：約105g/個（光薬：約70g、推進薬約35g） 光薬の組成：過塩素酸カリウム、硝酸ストロンチウム、マグネシウム、塩化ビニル 推進薬：過塩素酸アンモニウムとポリエステル樹脂が主体、少量のアルミニウム含有） 用途：①発煙浮信号（船舶救命信号装置用火工品） ②火せん（船舶救命信号装置用火工品）			

区分 経過	原因事象	事故進展フロー	備考
		1 H22/4頃 日本から試作品生産を依頼	船舶用救命信号装置として従来より販売していた製品を一部改良した新型式の試作品
	開発依頼者の指示不足*		*使用原材料（NC）について自然分解等の情報指示不足
		2 1月1日 発煙浮信号試作品が中国にて製造完成	同時期に市販品も製造
		3 5月末 通関後直ちに火薬庫に貯蔵	火せんは自社製造品で5月末に完成後、火薬庫に貯蔵
	試作品の確認不足**		**試作品の受入検査がない
		4 6/14 10:00 温度繰返し試験のため恒温恒湿槽に試料（発煙浮信号、火せん）を入れる	国土交通省の型式承認試験「65℃×8時間→常温→－30度×8時間」を10回実施。高温・低温間は4時間を掛けてゆっくり変更する。
	安全管理不足***		***煙薬のNC成分が不安定で加熱分解開始 ***異種の火工品を同時に試験
		5 6/14～6/24 試料の加熱・冷却を繰り返す	国土交通省型式承認試験（65℃加熱×8hr＋－30℃冷却×8hr）×10回
		6 6/24 10:00 恒温恒湿槽のスイッチを切る	発火試験等のため室温にて存置
	試験後の異常有無の確認不足****		****発煙浮信号の容器が変形していた？

		7 6/24～ 6/30 発煙浮信号1個または複数 個が自然発火 8 6/24～ 6/30 恒温恒湿槽の火災が発生 9 6/30 4:00頃 火災報知器（煙感知式） 作動	煙薬の分解温度：179℃ 火せんの光薬：287℃で一 次分解、432℃で急速に分 解
対応操 作		10 4:00頃 警備員が環境試験室の火災報 知機の警鳴音を聞き、環境試 験室からの煙を発見 11 4:30頃 警備員が消防署、警察署に通 報 12 5:30頃 消防の消火活動終了 13 10:00頃 消防本部、恒温恒湿槽メーカ と自社で調査実施 14 7/1 15:00頃 保安課の現地調査実施	
対応策		1 管理 中国でのニトロセルロース等 の原材料の耐熱試験及び完成 検査に於ける耐熱試験の実施 2 管理 輸入後、受け入れ検査時に耐 熱試験を実施 3 方法 火薬庫又は庫外貯蔵庫での現 品のみの保管実施 4 方法 試験継続の必要性がなくなっ た供試品の廃棄処理 5 教育 保安教育の実施 6 設備 恒温恒湿槽のドアノブの改 善、温度記録計の分離実施	
教訓	今回の発火事故の直接原因は、火工品に充填されている火薬類の製造で使用されたニトロセルロースの自然分解である。ニトロセルロースは、硝酸エステルの中でも、特に、自然分解／発火しやすい火薬類として知られており、過去にも大きな発火・爆発事故の原因となっている。当該火工品は中国製であり、使用したニトロセルロースの品質が不良であったことは明らかである。 昨今、低コストを達成するための一つの手段として、火薬類を輸入するケースが増加しているが、それらの機能・性能にのみ注目し、原材料等の品質について相手（海外製造会社）任せにしている、国内での保安を確保することはできない。国内での品質管理レベルと同等のレベルを海外の製造会社に求めると共に、輸入側においても、ポイントを押さえた自主的な品質管理・保安管理を確実に実施していくことが重要である。 どのような事業環境においても、何が必要なのかを十二分に検討し、事業を展開していくべきである。		

3. 1. 3 事故発災者からの事故報告（事故調査票）

事 故 調 査 票

事故No.1 火工品の発火事故

目 次

1. 発生日時、気象状況	13
2. 発生場所	13
3. 事故現象	13
4. 事故発生の概要	13
5. 被害状況	13
6. 事故後の状況調査	13
7. 発火火工品の概要	14
8. 事故原因の調査	15
9. 再発防止策	18
別紙1	19
別紙2	20

事 故 調 査 票

1. 発生日時、気象状況

- 1.1 発生日時 平成 23 年 6 月 30 日 (木)、午前 4:00 頃
- 1.2 気象条件 天候：曇り、気温：29℃、湿度：71%、風：なし

2. 発生場所

埼玉県日高市 火薬類製造所 環境試験室（危険区域内）

3. 事故現象

火工品の発火事故

4. 事故発生の概要

- ・ 事故発生当日の午前 4:00 頃、警備員（外注警備会社）が火災報知器（煙感知式）の警鳴音を聞き、危険区域内にある環境試験室から煙が発生しているのを発見した。
- ・ 連絡を受けて消防車及び警察が駆けつけ、直ちに放水による消火活動を行い鎮火した。
- ・ 発火したものは、環境試験室内の恒温恒湿槽の中に入っていた試験供試体の火工品であり、内訳は、発煙浮信号 9 本と火せん 10 本であった。

5. 被害状況

- 5.1 人的被害：なし
- 5.2 物的被害：発煙浮信号 9 本および火せん 10 本
恒温恒湿槽 1 基
その他の装置及び建屋の被害はなし

5.3 被害状況

発火した試験供試体は、恒温恒湿槽に向かって、棚の左側より火せん 10 本が並べて置かれており、右側には発煙浮信号 9 本が 3 本 3 列に置かれていた。（写真 1）

いずれの火工品も外側は全体が焼損しており、発煙浮信号は内部の火薬もすべて焼失していた。

しかし、火せんについては一番左側の火せんは火薬がすべて燃焼していたが、その他の 9 本の火薬はすべて残っていた。

また、事故後の恒温恒湿槽は、扉の上部から煙の漏れた跡が残っていた。槽の内部にも煤の跡と焼損部材の一部が残っていたが、特段の変形や溶融は認められなかった。（写真 2）

6. 事故後の状況調査

- 6.1 事故当日 6 月 30 日午前 10 時頃に、消防本部、恒温恒湿槽メーカーおよび弊社による状況把握確認と調査が行われた。恒温恒湿槽の異常の有無については、電気系に水がかぶり調査できなかったため、翌週に再調査した。
- 6.2 翌日、7 月 1 日午後 3 時より、原子力安全・保安院 関東東北産業保安監督部保安課により、現場調査、事故の状況、同一ロットの他の火工品の確認および今後の調査事項等につき検討が行われた。

7. 発火火工品の概要

7.1 火工品の仕様

(1) 発煙浮信号

発煙浮信号の構造を図1に示す。煙薬^{えんやく}の薬量は1個当たり約350gである。煙薬の組成は、硝酸グアニジン、ニトロセルロース、染料が主体であり、塩素酸カリウムを少量含有している。

(2) 火せん

火せんの構造を図2に示す。火せん1個当たりの薬量は、光薬^{こうやく}が約70g、推進薬が約35gで合計約105gである。

光薬の組成は、過塩素酸カリウム、硝酸ストロンチウム、マグネシウム、塩化ビニールである。
また、推進薬の組成は、過塩素酸アンモニウムとポリエステル樹脂が主体であり、ごく少量のアルミニウムを含有している。

7.2 火工品の履歴

(1) 発煙浮信号

発火した火工品のうち、発煙浮信号（9本）は中国製であり、弊社が船舶用救命信号装置として従来より販売していた製品を一部改良したものである。この改良品の国土交通省の型式承認試験として、恒温恒湿槽を用いた温度繰返し試験を実施していたものである。

本火工品は、平成23年4月13日に中国で完成し、5月末に通関後直ちに弊社火薬庫に貯蔵した。その後6月14日（火）午前10時から6月24日（金）午前10時まで恒温恒湿槽に入れて温度繰返し試験を実施し、その後の発火試験等に備えるため、恒温恒湿槽のスイッチを切った状態で事故当日まで約5日間槽内に室温で存置していた。

温度繰返し試験は、「65℃×8時間→常温→30℃×8時間」を10回実施するものであり、高温・低温間で4時間をかけてゆっくり昇温降温するものである。

(2) 火せん

一方、火せん（10本）は弊社製であり、やはり船舶用救命信号装置として新たな型式で販売する上に必要な国土交通省の型式承認試験として、恒温恒湿槽を用いた温度繰返し試験を実施していたものである。

本火せんは、平成23年5月末に完成後、火薬庫に貯蔵していた。発煙浮信号と同時に恒温恒湿槽を用いて同一環境の温度繰返し試験を実施した後、発煙浮信号と一緒に恒温恒湿槽内に事故当日まで存置していた。

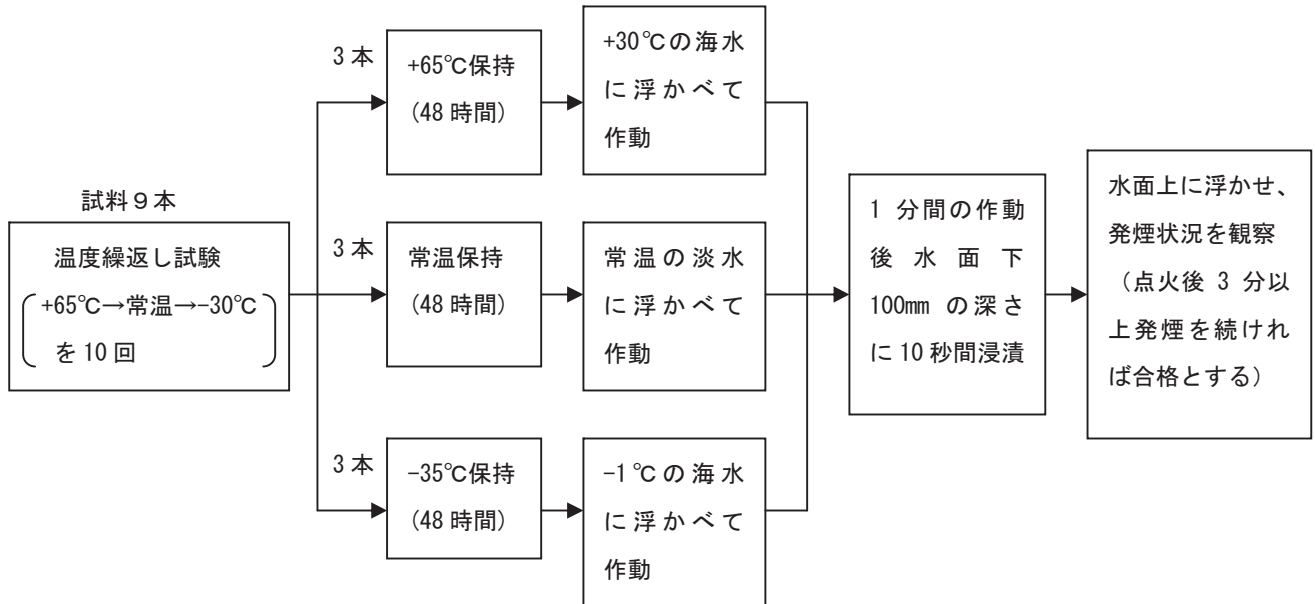
※参考までに国土交通省の型式承認試験について概要を示す。

型式承認試験については温度繰返し試験だけでなく、次のとおり各種試験がある。

- ・ 恒温恒湿試験
- ・ 浸漬及び塩水噴霧試験
- ・ 落下安全試験
- ・ 安全検査
- ・ 表示検査
- ・ 引火防止試験
- ・ 発煙試験

・耐波試験

発煙浮信号に対する温度繰り返し試験は次のフローに示すとおりに行われる。



8. 事故原因の調査

8.1 発火後の状況調査

(1) 恒温恒湿槽

事故後の調査として、装置メーカーが持ち帰った恒温恒湿槽の電子部品（調温器と入出力基盤）は、その後の調査の結果、双方とも放水のため動作不良となっており、槽内温度が過昇したかどうかについては分からなかった。

しかし、恒温恒湿槽自体には、100℃、120℃、163℃の3重の遮断装置が付いていることから、スイッチを切ってある恒温恒湿槽が、煙薬の発火温度の約179℃（後述）以上に上がる可能性は極めて少ないと判断した。

また、槽内に火花等が発生し試料に着火した可能性については、ヒータへの通電はなく、送風機も停止していたため、可能性はほとんどないと判断した。

(2) 発煙浮信号

写真1に示されるように発煙浮信号の残骸には、缶体内部の煙薬の燃焼により、底板の膨らみと鉄棚の跡が強く残っていた。また、上ふたは外れて飛び出すか又は大きく膨れていた。発煙浮信号の上ふたには煙出口があり、その栓は容易に抜けるため、通常は燃焼させても缶体の圧力はほとんど上がらず、上ふたや底板が変形することはない。

したがって、今回の現象は、保管中に発煙浮信号に何らかの変化が生じ、内部から一度に大量のガスが発生し、内部の圧力が瞬時に上昇して底板は爆発成形のように鉄棚の柵間に押し込まれて強い押し跡を残すことになったことを示すものと推定される。

なお、恒温恒湿槽の鉄棚の支えの固定板も変形して延びていることが分かり、それだけ強い力が下方にかかったことが推察される。

(3) 火せん

火せんは写真 1 に示される最左のものだけは内部の火薬が燃焼していたが、その他の 9 本の火せんはいずれも周囲の材料が燃焼し炭化しただけで内部の火薬は光薬も推進薬も残っていた。

最左周辺の棚上や恒温恒湿槽の底に発煙浮信号の部品の残骸が多く残されていたことから、発煙浮信号の爆発で飛んだ火薬を含む多くの部品が恒温恒湿槽の内壁に沿って最左側に落下して、最左側の火せんだけが燃焼したものと推定される。

8.2 事故発生品と同一ロットの火工品の燃焼試験

事故発生品と同一ロットの火工品を用いて環境試験前にそれぞれ燃焼試験を行い、燃焼性能や燃焼状況が正常であることを確認している。

同一ロットの火工品は、今後の原因究明に使用する試料を残して他はすべて焼却廃棄した。この焼却においても、燃焼状況に特に異常は確認されなかった。

8.3 火薬の熱特性の調査

(1) DTA/TG による供試体の熱特性の把握

それぞれの火薬につき DTA/TG により熱特性を調査した結果は、以下の通りであった。

発煙浮信号 煙薬 : 179℃で急速に分解

火せん 光薬 : 287℃で一次分解、432℃で急速に分解

推進薬 : 241℃から徐々に分解、367℃で急速に分解

この結果から、これらの火薬の中で最も発火しやすいものは煙薬であり、したがって、何らかの高温負荷が加わった場合に最初に発火するものは発煙浮信号であると考えられる。

他の火薬は煙薬に比べかなり高温にならなければ発火しないことが確認できた。

(2) 耐熱試験による煙薬の安定度試験

① 耐熱試験実施の根拠

発煙浮信号の煙薬にはニトロセルロースが含まれているため、この安定度が不良であると、自然分解して発火事故を引き起こす可能性がある。

今回の煙薬に使われているニトロセルロースの製造日等の詳細が不明であったため、原因究明の必要から耐熱試験を実施した。(発煙浮信号は煙火であり、法第 51 条 3 により、安定度試験適用除外)

② 耐熱試験方法

耐熱試験の方法は、火薬類取締法施行規則に則り実施した。

③ 試験結果

事故発生品と同一ロットの発煙浮信号の耐熱試験結果は、これと同等組成の煙薬が使用されている市販品（事故発生品とは薬径等が多少異なる）の煙薬と比較して判断する必要があると考え、事故発生品と同一時期に中国で製造された発煙浮信号の市販品、および過去に製造された市販品で社内に残っていたもの、および期限切れでユーザーの船から戻ってきた製品についても同時に試験した。試験結果を表 1 に示す。

表 1 耐熱試験結果

試験品/ロットNo.	製造年月日	試料採取位置	耐熱試験結果	
			8 分後に変色なし	30 分後に変色あり
市販品/No.113	H20 年 5 月	上	8 分後に変色なし	30 分後に変色あり
市販品/No.114	H20 年 10 月	上	8 分後に変色なし	30 分後に変色あり
市販品/No.116	H21 年 2 月	上	8 分後に変色なし	30 分後に変色なし
市販品/No.120	H22 年 11 月	上	8 分後に変色なし	30 分後に変色なし
市販品/No.121	H23 年 4 月	上	8 分後に変色なし	11 分後に変色あり
事故発生品の 同一ロット品 (No.なし)	H23 年 4 月	上	8 分後に変色なし	10 分後に変色あり
		中	8 分後に変色なし	18 分後に変色あり
		下	8 分後に変色なし	21 分後に変色あり

なお、煙葉の硬さは押し固めた土程度であり、試料採取位置の「上」は図 1 に示す煙葉の上端から深さ約 30mm の間の中央付近から採取したものであり、「中」は同様に煙葉中央部付近の高さ 30mm 付近から採取したもの、「下」は煙葉底から上約 30mm 付近の間から採取したものを示す。

本試験は、先ず事故発生品と同一ロットの煙葉について実施したが、その結果、表 1 に示す通り中部や下部と比べて上部の煙葉が最も耐熱性が悪いことが分かったため、他の市販品の試験はいずれも上部から試料を採取して比較した。

本表に示すとおり、H20 年から H22 年までの市販品については、上部から採取した試料を比較すると、いずれも 8 分後には変色せず、30 分後に変色したかしないかというデータであった。しかし、H23 年 4 月に製造されたものは、市販品/No.121 も、事故発生の同一ロット品も 8 分では変色しなかったが、10～11 分後には変色しており、他の市販品煙葉とは明らかに異なっていた。煙葉成分の内、ニトロセルロースの量は約 1/4 であるため、ニトロセルロースだけの試験を行えば、8 分の規格を割り不合格となっていた可能性が高い。

なお、市販品/No.121 は事故発生品と同等の煙葉を用いて、事故発生ロットとほぼ並行して製造された製品であったが、今回の耐熱試験時点では出荷していなかったため、急きょ販売を中止して全数廃棄処分を行った。

8.4 事故発生原因

上記の各観察、試験の結果をまとめると以下の通りであり、発火事故の原因は、供試体の発煙浮信号が保管中に自然発火したものと推定される。

- (1) 恒温恒湿槽が異常に温度上昇したという可能性は極めて低い。
- (2) 火せん内部の火薬は、10 本中 9 本が残っており、また、火せんを構成する光薬や推進薬の発火温度は発煙浮信号と比べて十分高いため、火せんが初めに発火することは考えにくい。
- (3) 発煙浮信号の煙葉は、耐熱試験の結果により、安定度が非常に悪いことが分かった。

このため、温度繰返し試験により 65℃から-30℃の負荷を長時間掛けただめに煙葉が変質し、試験後の室温保管中に自然分解により徐々に煙葉の温度が上昇し、やがて一気に燃焼したものと推定される。爆発的な異常燃焼の状況は、発煙浮信号の残骸の缶体の膨張状況からも明らかである。

9. 再発防止対策

9.1 発煙浮信号について

- (1) 今後は、発煙浮信号については、中国でのニトロセルロースの受入検査および製品の完成検査において耐熱試験を行なう。(弊社が技術指導を行う) ここで、ニトロセルロースの受入基準は変色時間 8 分以上を合格とするが、製品の判定は従来の市販品のレベルを基準とする。
- (2) 前記発煙浮信号は、弊社の受入検査においても耐熱試験を行う。

9.2 恒温恒湿槽の購入時における仕様設定

恒温装置類を新規に購入するときは、試験する供試体を恒温恒湿槽メーカーに説明し、安全な使用に問題のないよう、メーカーと仕様、取扱い方法等につき調整する。

具体的には、ドアロックを回転式にして押し引きでは扉が開かないようにしたこと、非常時の緊急停止ボタンを取り付けたこと、恒温恒湿槽の記録計を槽の外部に離して取付けるとともに警報メールを発信できるようにする等の対策を行った。

9.3 その他の関連対策

- (1) 環境試験が終了した火薬類を、他の試験等のために翌日以降まで保管する方法について、従来は具体的な方法が定められていなかったが、今後は当該火薬類を環境試験装置から取り出し、以下の方法で貯蔵することとした。
 - ① 火薬庫に貯蔵する。このとき、火薬庫内の他の火薬類は別の火薬庫に移すものとする。
 - ② 火薬庫外貯蔵が可能な火薬量の場合には、金属ロッカー等の安全な場所に貯蔵する。(規則第 15 条による)
- (2) 試験継続の必要がなくなった供試体は、燃焼試験場または廃薬焼却場において焼却廃棄を行うものとする。
- (3) 前記(1)および(2)項については、試験担当者に留まらず、工場内の保安教育において全員を対象に徹底を図る。

【別紙 1】

写真 1 事故の供試体の状況



試験前の供試体配置（再現）



鉄棚上に残った供試体の残骸



発煙浮信号の底板に残った押し跡



上蓋が抜けた供試体と抜けなかった供試体

写真 2 事故後の恒温恒湿槽の状況



恒温恒湿槽の外観



恒温恒湿槽の内部
(焼損した火工品と棚は外されている)

【別紙 2】

図 1 発煙浮信号の構造

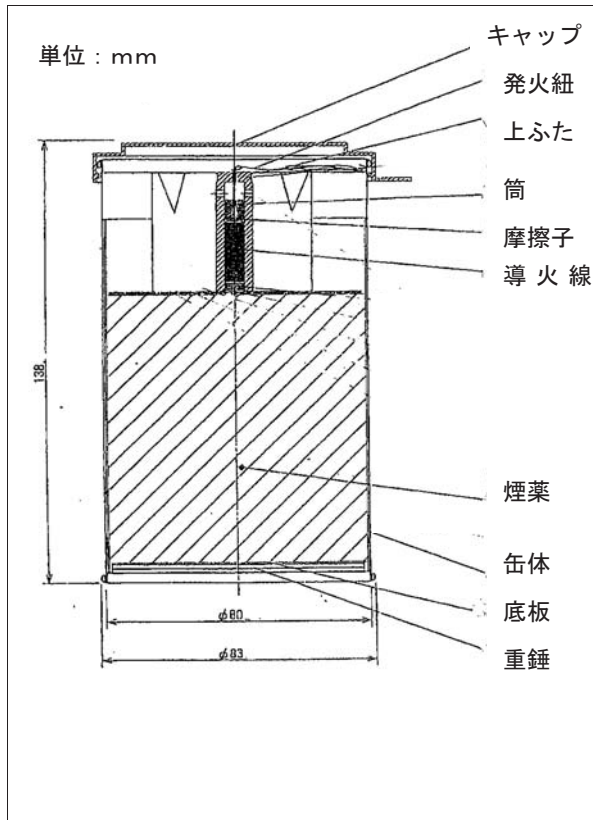
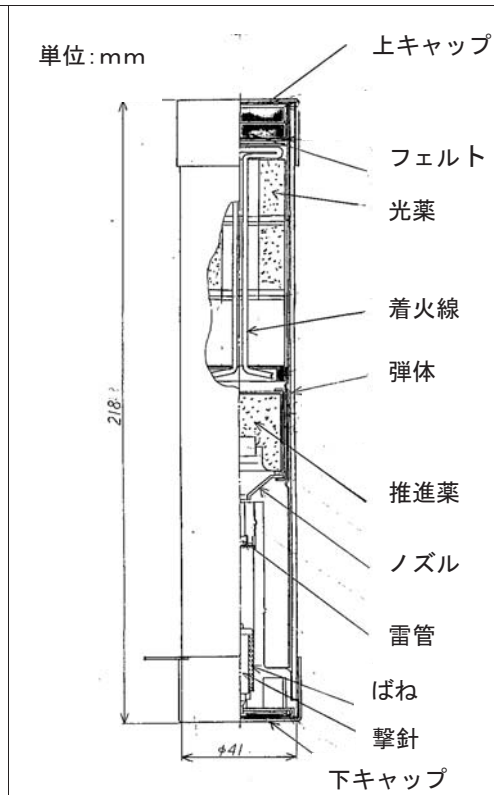


図 2 火せんの構造



3. 2 産業火薬類の消費関係

3. 2. 1 事故の概要

平成23年（1～12月）の産業火薬類の消費中の事故発生件数は2件であった。事故概要を表6に示す。

表6 事故概要

No.	発生日時	発 生 場 所	死	傷	級	事 故 概 要
1	2月15日 14：00頃	山形県 大江町	0	0-1	C	罹災者が坑内で爆薬の装填及び結線作業を終了し、点火位置へ移動しようとしたところ、別の場所で発破作業を行っていた作業員が誤って点火し、罹災者に破片が当たり負傷した。
2	2月28日 11：45頃	山口県 宇部市	0	0-0	C	岩石採取のため発破を行ったところ、発破場所から150m（危険区域は100m）、敷地境界から20m離れた他社の敷地に、最大でこぶし大の飛石が落下し、倉庫の屋根、壁を破損し、隣接のガソリンスタンドのコンクリート張り床面に傷ができた。
合 計		2 件	0	0-1		

3. 2. 2 検討内容

事故No.1 山形県の事故

1. 発生月日 平成23年2月15日（火） 14時頃
2. 発生場所 山形県西村山郡大江町
3. 火薬類の種類 爆薬 : 含水爆薬（30mm×100g） 2.2kg
電気雷管 : 瞬発、DS雷管（2～8段）
4. 被害状況 人的被害 : 作業員1名負傷
物的被害 : なし
5. 事故の概要 罹災者が坑内で爆薬の装填及び結線作業を終了し、点火位置へ移動しようとしたところ、別の場所で発破作業を行っていた作業員が誤って点火し、罹災者に破片が当たり負傷した。
6. 推定原因
 - ① 発破母線誤認により発生した事故である。発破警戒、連絡、見張が不十分であった。
 - ② 事故当時、坑内には8箇所の切羽があった。切羽ごとの点火場所、発破母線の表示が不十分であったため、ヒューマンエラーが起きやすい状態であった。
 - ③ 事業者と協力会社の保安管理体制が不十分であった。
7. 対 策
 - ① 事業者が責任を持って、火薬類取扱保安責任者を中心とした保安管理体制を構築する。
 - ② 誤認点火を防止するため、切羽ごとに発破器と発破母線を明確化する。
 - ③ 発破母線を切羽と点火場所の中間の安全な場所で切断して結線箇所を設け、切羽での作業中は切断しておき、点火作業時に接続することにする。
 - ④ 発破器の点火キーは発破指揮者が携帯し、点火する切羽から連絡を受け、発破指揮者がその切羽に行き、切羽担当者に点火キーを渡す。警戒確認を行っ

- その後、発破指揮者の監督下で切羽担当者に点火させることにする。
- ⑤ 坑内の通信設備を完備して、坑内における報告・連絡を確実に行う。
 - ⑥ 事業者と協力会社は、作業員に対し、定められた計画に基づいた保安教育を確実に実施する。

事故No.2 山口県の事故

- | | |
|-----------|---|
| 1. 発生日 | 平成 23 年 2 月 28 日（月） 11 時 45 分頃 |
| 2. 発生場所 | 山口県宇部市 |
| 3. 火薬類の種類 | 爆薬 : 3 号桐ダイナマイト (50mm×750 g) 13.5 k g
電気雷管 : 瞬発、DS 雷管 (2～3 段) |
| 4. 被害状況 | 人的被害 : なし
物的被害 : 倉庫の屋根、壁の破損。コンクリート床面の破損 |
| 5. 事故の概要 | 岩石採取のため発破を行ったところ、発破場所から150m、敷地境界から20m離れた他社の敷地に、最大でこぶし大の飛石が落下し、倉庫の屋根、壁を破損し、隣接のガソリンスタンドのコンクリート張り床面に傷ができた。 |
| 6. 推定原因 | <ul style="list-style-type: none"> ① 飛石発生の原因は次のとおり推定する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 前回の発破により岩盤にぜい弱な部分があり想定された最小抵抗線が十分に確保されなかったため飛石が発生した。 ・ 孔荒れにより装薬が不完全であったか、湧水がある発破孔であったため、十分なタンピングが行われなかったため、鉄砲現象により飛石が発生した。 ② 直接防護されたのは、DS 2 段 3 孔のみで、他の 6 孔は直接防護されていなかったため、防護されていなかった発破孔から飛石が敷地外まで飛翔した可能性がある。
防護材も鉄製の金網 1 枚であり、適切な防護とは思われない。 ③ 現場に基本的な安全意識・保安意識が欠如していたと感じられる。その意識の欠如が発破作業にも及び、結果的に事故に繋がったと考えられる。 |
| 7. 対策 | <ul style="list-style-type: none"> ① 湧水がある場合には、タンピングをしっかりとする必要があり、タンピング材として通常使われているポリ袋入りの砂ではなく、7 号碎石を直接詰めると効果がある。 ② 岩盤の状況を十分に調査して、発破計画を策定する。 ③ 特に保安物件と近い個所で発破を実施する場合には、確実な直接防護措置を講じる必要がある。飛ぶ方向を甘く考えて防護を省略することは危険である。防護材としてはゴムマットを敷いた上に、防護シートで覆う等十分な防護が必要である。 ④ 過去にも事故を起こした現場であり、事業者による保安管理体制の一層の向上が求められる。 ⑤ 事業者は、定められた計画に基づいて、確実に保安教育を実施する。 |

火薬類事故調査表（その1）

1. 爆発事故 2. その他の事故		報告年月日：平成23年5月20日	整理番号
事故分類 A B ☒ C		事故調査員 氏 名 吉田 隆司	報告段階：速報 ☒ 確報 別添図・ ☒ 有 ☐ 無
事 故 名 (作業責任者)		発生場所概要（保安距離等） 別添図面①参照	
発 生 日 時		平成 2 3 年 2 月 1 5 日（火曜日） 1 4 時頃	
気 象 状 況		天候： 気温： ℃ 風速：	
事故発生場所		山形県西村山郡大江町	
現 場 区 分	1. 貯蔵所 (火薬庫、庫外) 2. 消費場所 大区分 (☒ 砕石、土木、トンネル、その他) 小区分 (☒ 切羽、取扱所、その他) 3. 廃棄場所 4. 運搬路 5. 試験場所 6. その他 ()		業種 1. 鉱山 2. 石炭 3. 石灰石 4. 土木 5. 採石 ☒ 6. 砕石 7. (その他)
事 故 区 分	1. 事故状況 爆発 火災 落石 爆風 飛石 落盤 ☒ その他 (暴発) 2. 従事作業 (1)消費作業 ① 発破等準備 () ☒ ② 発破等本作業 () ③ 発破等後処理 () (2)廃棄作業 () (3)運搬作業 () (4)その他 ()		
事故の概要（事故に至る経緯を含む） 別添図面①参照 当該砕石場は坑内掘りで坑道は長く、切羽は枝分かれしており事故当時は8箇所あった。切羽ごとに点火場所が定められており、そこまでそれぞれの切羽から専用の発破母線が敷設されている。被災切羽は水平坑から切り上がった斜坑の先端である。 〔5片盤下坑〕にて作業員A、Bが荷合作業を行っていた。発破時に作業員Aは作業員Bに点火を指示、点火位置を口頭で説明し、自らは退避した。指示を受けた作業員Bはその付近での点火作業には不慣れであり、切羽から発破母線をたどり点火位置へ向かったが、風管の陰で見づらく本来の点火位置を見落として、〔5片5立入6番層〕切羽の点火位置まで来てしまった。発破母線には本来の点火者の名札が取り付けられていたが、よく確認せずに発破器に発破母線を接続し点火した。点火時の〔5片5立入6番層〕切羽では作業員Cが装薬・結線を終えて切羽から点火位置へ向かおうとしており、至近距離でズリが当たり軽傷を負った。 ※荷合作業：支保枠が施された坑道から新たに直角に坑道を切るときに、数本の支保枠脚部を切断し、その部分を別の支保枠で支える作業。			
被害： 1. 人 的 2. 物 的 死亡 0 人 (――) (1)被害物名 重傷 0 人 (――) なし 軽傷 1 人 (――) (2)事故現場からの距離 計 0 人 (――) ※ () 内は 第三者被害者数 ※ 氏名、年令別：該当なし			

火薬類事故調査表（その2）

作 業 設 計 ・ 管 理	作 業 従事者		従事者数 32人（本雇32人、臨時 人）（男32人、女 人） 手帳所持者 黒 13人、青 18人、黄 0人				
	作 業 破 設 計	1. 発破種別	①ベンチ、②トンネル（坑内砕石）、③小割、④ 盤下げ、⑤その他				
		2. 使用薬種	含水爆薬			サイズ：30mm×100g	
		3. 雷管の 種 類	① 電気式 ☐ DS、MS、 ☐ 瞬発、その他 ② 非電気式			4. 段 数 #1～8	
		5. 導火線 導爆線				9. 使 用 火 薬 類	火薬 1孔毎の薬量 0.1～0.2kg 合計2.2kg ※消費日報
		6. せん孔	せん孔径 40mm せん孔長 1.2m せん孔角度 ° せん孔間隔 0.5m せん孔数 13孔 最小抵抗線 0.5m				
		7. 発破器	50発掛け（出力 ）				
		8. 発破係数	2.2kg/（1.2m×1.5m×1.0m）=1.22kg/m³ （切羽高さ×幅×進行長）			10. 込物	①種類：袋入りベント ナイト ②長さ：40～50cm
	11. 岩質及 びその 状況	①岩質 珪岩、硬砂岩、花崗岩、輝緑岩、安山岩 玄武岩、石灰岩、砂岩、頁岩、 ☐ その他 ② 岩の状況 節理：発達小 （ベントナイト）その他：					
	発 破 作 業 管 理	1. 防護措置	①一時防護 有（ ） ☐ 無 ②二次防護 有（ ） ☐ 無				
		2.1 点火、退 避、見張	①点火位置 ②退避場所 ③見張り（所）の位置 別添図面①参照				
		2.2 点火時の 退避・確認 手順・方法	①発破準備完了確認手順（作業指揮者） ②点火合図・周知方法 切羽の担当者が単独で作業し、近隣作業箇所への発破警戒、見張人配置なし。				
3. 事故日の 保安措置 事故時の 緊急措置		点火者を含む3名が被災切羽へ急行し、被災者を救出して消防署へ連絡した。					
保安管理者の配置 日常の保安管理等		① 保安管理者名 資格・免状 ☐ 有・無			② 保安管理上特に留意している事項 確実な結線、不発残留薬発生防止。		

火薬類事故調査表（その３）

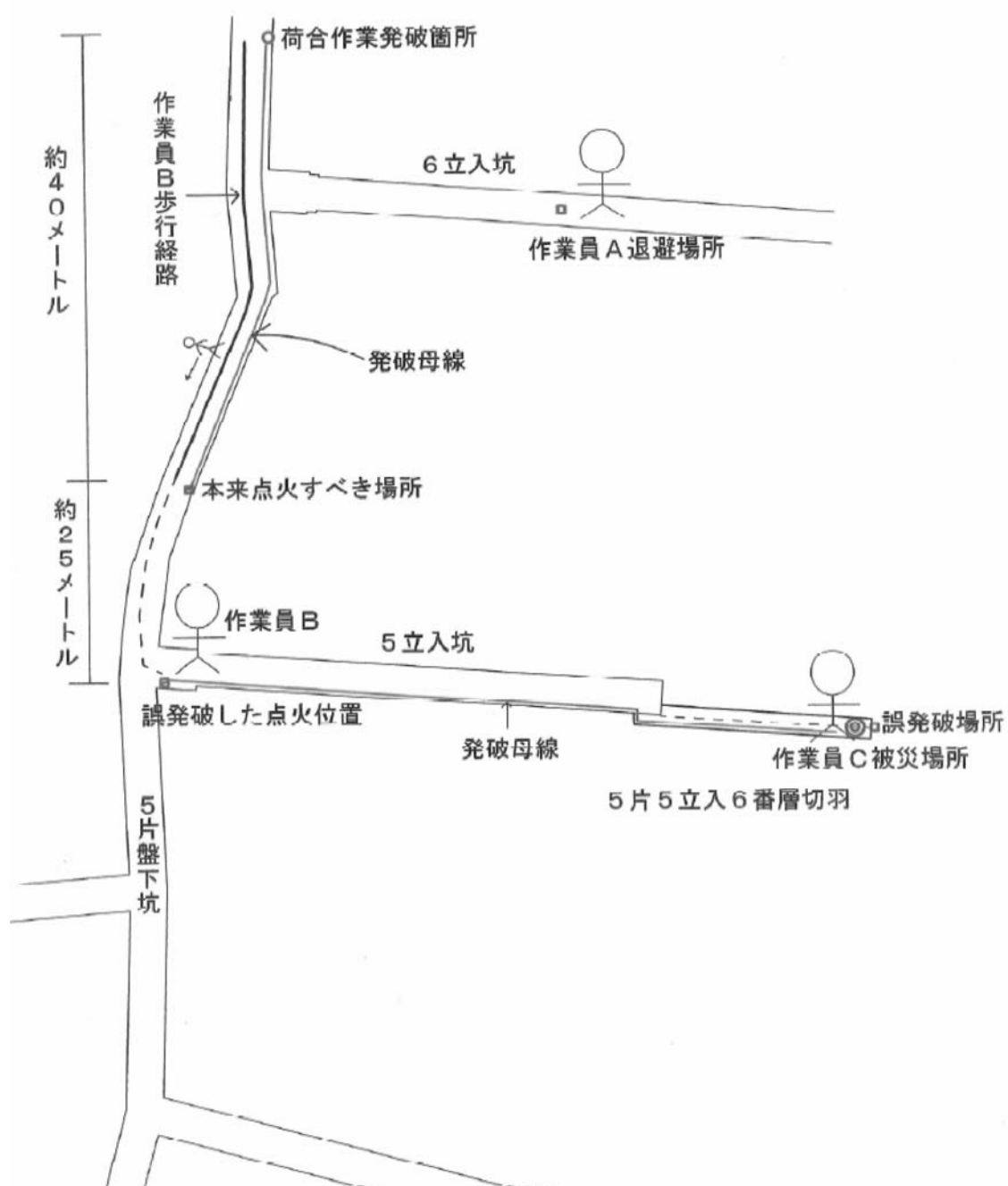
事故調査員の意見	直接原因	ア. 不適正装薬 イ. 結線不良 ウ. 摩擦、衝撃 エ. 早期接近、遅延爆発 オ. 静電気、雷、漏洩電流	カ. 警戒・連絡不十分 キ. 取扱不十分 ク. 焚火、タバコの火 ケ. 運搬方法等不適 コ. その他（発破母線の誤認）
	間接原因	ア. 保安体制の未確立 イ. 遵法意識の欠如 ウ. 保安教育・訓練の不徹底	エ. 施設・設備の不備 オ. 運搬方法等不適 カ. その他
	（意見） 発破母線誤認による点火と被災切羽の装薬・結線作業終了のタイミングが重なって発生した事故であるが、発破警戒、連絡、見張りについて適切に行われていれば防げたと考えられる。 また、事故の背景としては、坑内の作業全般を協力会社に任せきりであり、適切な保安管理がなされていなかったことが揚げられる。 事故後の対策として次の事項等が実施されており有効な方法と思われるが、関係者全員の保安意識が「慣れ」によって低下することなく、対策が確実に継続的に実施されることが望まれる。 ① 発破母線を切羽～点火位置の中間で切断して結線箇所を設け、切羽での作業中は切断しておき、点火作業時に接続するようにした（別添図面②）。 ② 発破器のキーは発破指揮者が携帯し、点火しようとする切羽からの連絡を受けてその切羽へ行き、切羽担当者へキーを渡して警戒態勢に入ること、切羽担当者一人での点火作業をできないようにした。 ③ 当分の間、保安教育を毎月実施することとした。		

事故報告（補足説明・発破パターン、現場見取図等の図）

別添図面①、②

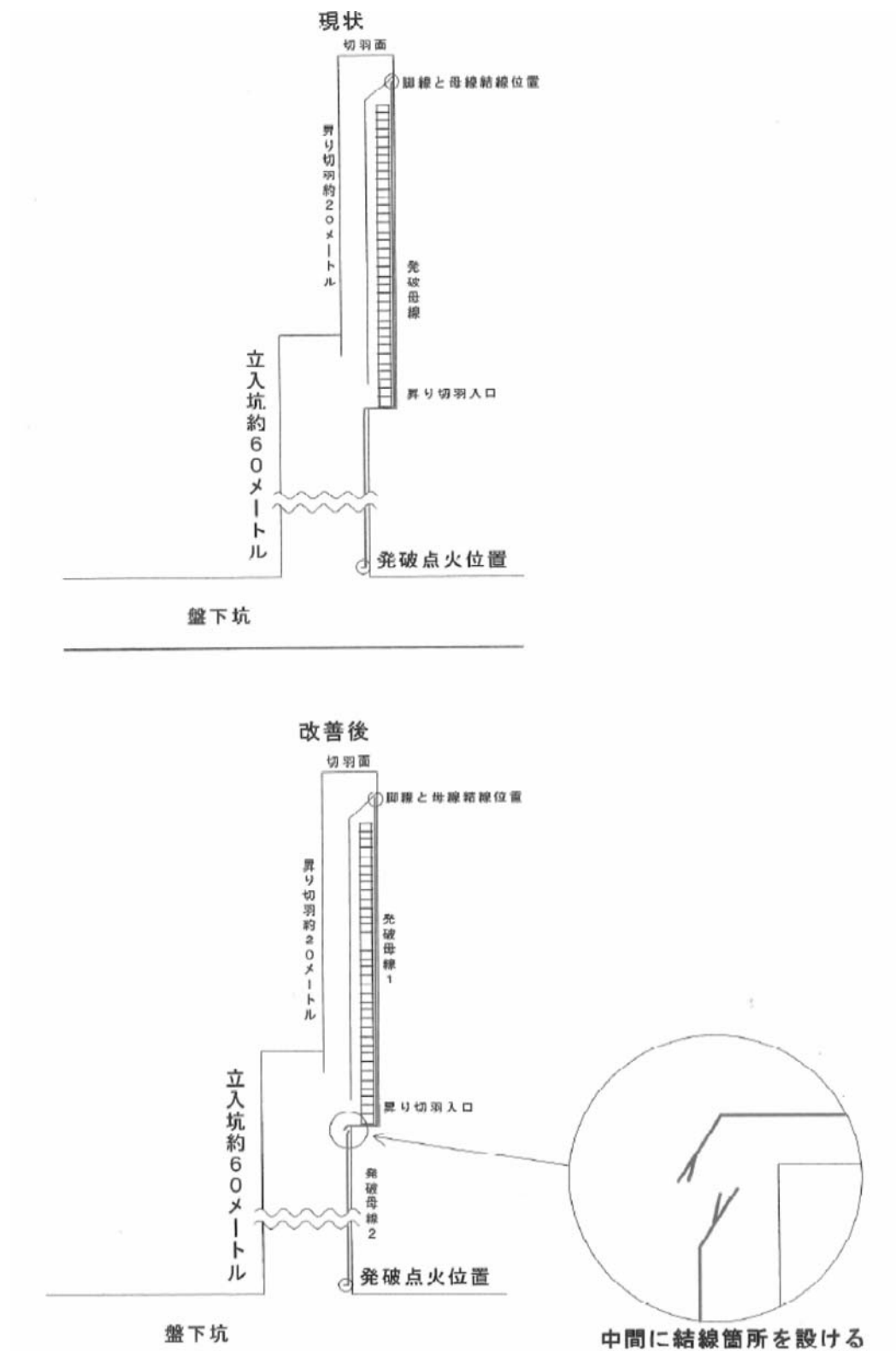
【別添図面①】

事故発生時の作業員の位置



【別添図面②】

発破母線改善対策



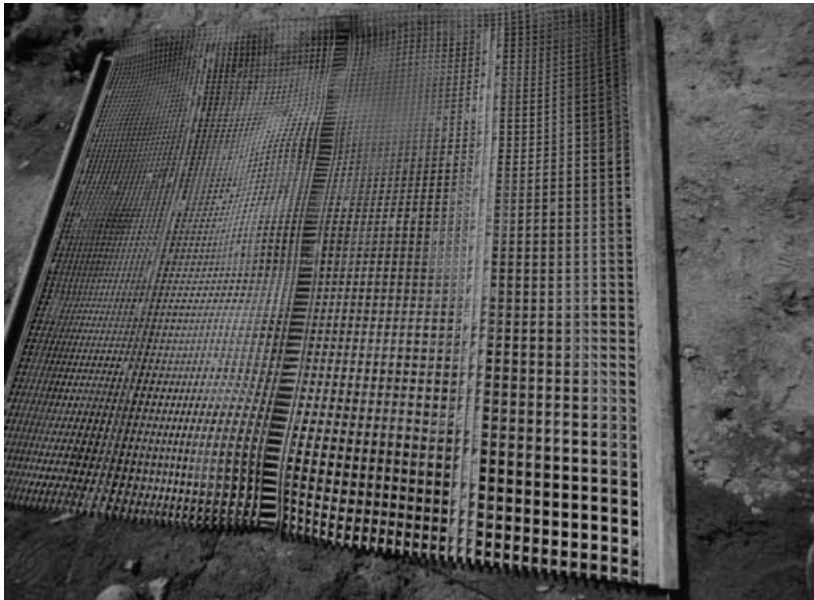
火 薬 類 事 故 調 査 表 （その１）

1. 爆発事故	調査年月日：	平成 2 3 年 3 月 3 日 (木)	整理番号
2. その他の事故	報告年月日：	平成 2 3 年 3 月 6 日 (日)	報告段階：速報 確報
事故分類 A B C	事故調査員 氏 名	金子良昭	別途図・有 無
事故名 飛び石発生 (作業責任者)			発生場所概要（保安距離等）
発 生 日 時 平成23年2月28日（月曜日） 11時45分頃			
気 象 状 況 天候：雨/曇り 気温：－ 風速：－			
事故発生場所 山口県宇部市大字川上			
現場区分	1. 貯蔵所 (火薬庫、庫外)		業種 1. 鉱山 2. 石炭 3. 石灰石 4. 土木 5. 採石 6. 砕石 7. (その他)
	2. 消費場所 大区分 (砕石、土木、トンネル、その他) 小区分 (切羽、取扱所、その他)		
	3. 廃棄場所		
	4. 運搬路		
	5. 試験場所		
	6. その他		
事故区分	1. 事故状況 爆発 火災 落石 爆風 飛び石 落盤 その他 ()		
	2. 従事作業 (1) 消費作業 ①発破等準備 ②発破等本作業 ③発破等後処理		
	(2) 廃棄作業		
	(3) 運搬作業		
	(4) その他		
事故の概要（事故に至る経緯を含む） 1 1 : 4 0 サイレン吹聴による警告・見張り人確認 1 1 : 4 5 発破 1 1 : 5 0 見張り人の一人（火薬類取扱者）から飛び石を見たとの連絡を受け、直ちに工場長へ連絡。責任者と見張り人で被害の状況を確認。 1 1 : 5 5 社長から所轄警察署並びに山口県新産業振興課へ通報			
被害： 1. 人 的：なし 2. 物 的 死亡 人 () (1) 被害物名 近隣のスレート小屋の屋根・ 重傷 人 () 外壁を破損 軽傷 人 () (2) 事故現場からの距離 計 人 () 略 1 5 0 m ※ () 内は第三者被害者数 ※氏名、年齢別			

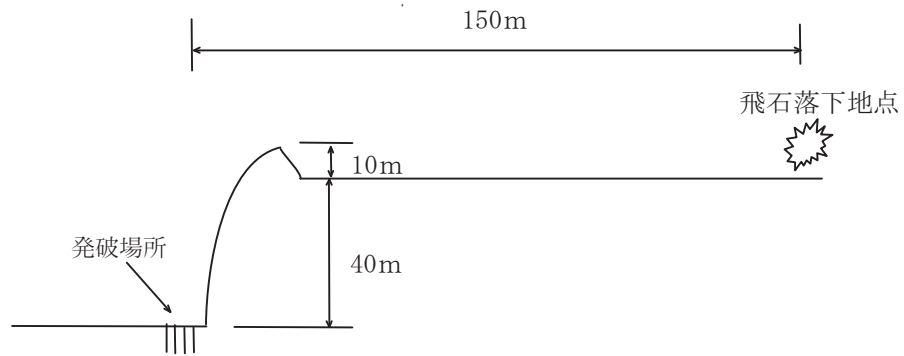
火 薬 類 事 故 調 査 表 (その2)

作 業 設 計 ・ 管 理	作 業	従事者数 4 人 (本雇 4人 臨時 人) (男 4人 女 人)			
	従事者	手帳所持者 黒 3人 青 1人 黄 0人			
	発 破 設 計	1. 発破種別	① ベンチ、 ② トンネル、 ③ 小割、 ④ 盤下げ、 ⑤ その他		
		2. 使用薬種	3号桐ダイナマイト	サイズ 50φ×750	
		3. 雷管の種類	① 電気式 DS、MS、瞬発、その他 ② 非電気式	4. 段数 #1～#3 脚線長 4. 5m	
		5. 導火線 導爆線		9. 火薬 (3号桐) 1孔毎の薬量 1. 5kg/孔 (正起爆) ※消費日報	
		6. セン孔	セン孔径 65 mmφ セン孔長 3.5m セン孔角度75/90度 セン孔間隔 1.1～1.2m セン孔数 9孔 最小抵抗線 1.1～1.2m		使用 火 薬 類
		7. 発破器	30発掛 (出力)		
		8. 発破係数	—	10 ①種類 ポリ袋入り砂利 ②長さ 30cm×8本/孔	
	11 岩質及び その状況	①岩質 ②岩の状況 珪岩、硬砂岩、花崗岩、輝緑岩、安山岩、 節理 発達している 武岩、石灰岩、砂岩、頁岩、その他：蛇紋 その他			
	発 破 作 業 管 理	1. 防護措置	①一時防護 有 プラスティングマットを使用 (但し、#2のみ実施) 無 ②二次防護 有 無		
		2. 1 点火、 退避、 見張り	①点火位置 ②退避場所 ③見張り (所) の位置 切り羽から約30m 左記と同じ 2箇所		
		2. 2 点火時の 退避・確認 手順・方法	①発破準備完了確認手順 (作業指揮者) ②点火合図・周知方法 あらかじめ、作業者を配置し、発破予定時刻10分前に現場付近の人を 退避させ、入場を禁止。発破責任者が見張り人2名と連絡を取り、 発破5分前と直前にサイレン吹鳴による警告。 発破責任者が発破器で点火し、発破完了確認後、再入場・作業の再開を 指示する。		
		3. 事故日の 保安措置 事故時の 緊急措置	プラスティングマット (採石篩網・2cm角) を使用し、飛石に備える。 (#2のみ) 直ちに作業を中止し、現場を保持し、警察・県新産業振興課へ連絡。		
	保安管理者の配置 日常の保安管理等		①保安管理者名 資格・免状 有 無	②保安管理上特に留意している事項 発破作業に関わる安全確認	

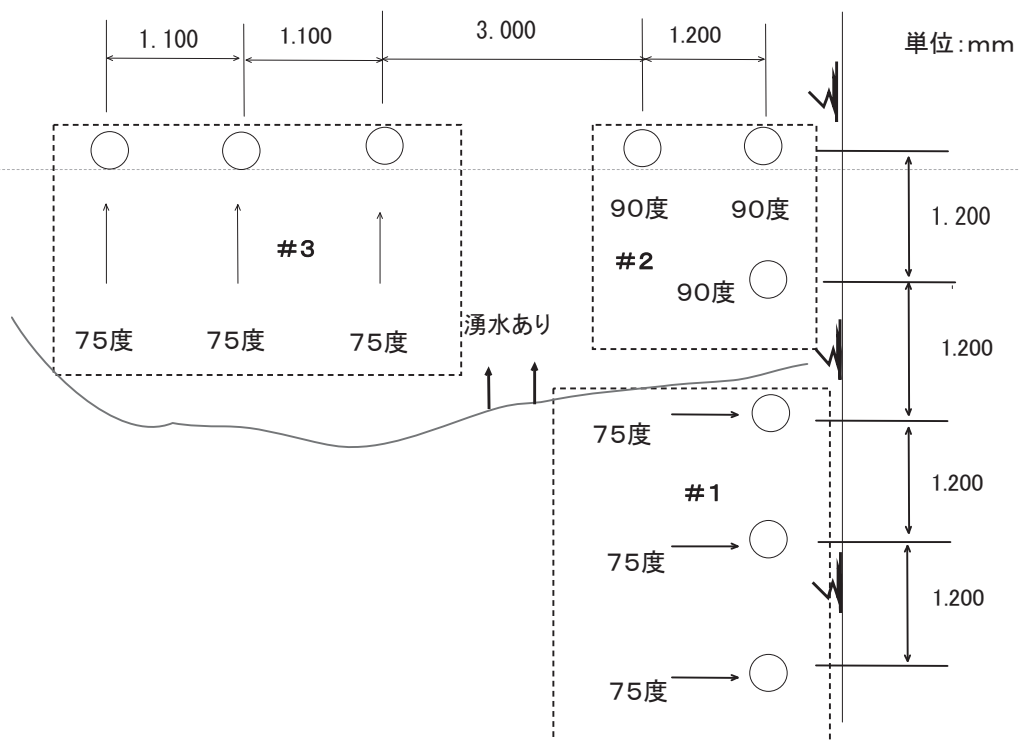
火薬類事故調査票 （その3）

事故調査員の意見	直接原因	ア. 不適正装薬 イ. 結線不良 ウ. 摩擦、衝撃 エ. 早期接近、遅延爆発 オ. 静電気、雷、漏洩電流 カ. 警戒・連絡不充分 キ. 取扱不充分 ク. 焚火、タバコの火 ケ. 運搬方法等不適 コ. その他
	間接原因	ア. 保安体制の未確立 イ. 遵法意識の欠落 ウ. 保安教育・訓練の不徹底 エ. 施設・設備の不備 オ. 運搬方法等不適 カ. その他
	(意見)	現場は、平成18年の事故発生付近で蛇紋岩の節理がかなり発達している状況である。今回の状況についても、本質的な原因は、節理の状況を完全に把握ができていないことが一つとしてあげられる。 (＃1、＃2での割れ方が周辺の岩塊よりも小さい) また、穿孔方向へ石が飛んでいることから、所謂「鉄砲」ではなく、節理の影響で部分的に最小抵抗線が小さくなり、こぶし大の飛び石が発生したものと推察される。(可能性としては、＃1、＃2の穿孔角の精度等が不明であることから上記に加えて、＃1、＃2の境界部分で抵抗線が薄くなったことも考えられなくもない) また、結果論になるが、穿孔角度が90度である＃2については、防護処置をしているが、75度である＃1、＃3については防護をしておらず作業時の手拔かりがあったかもしれない。 マットの写真(2cm角の網節) 
事故報告(補足説明・切羽と被災位置関係図、せん孔配置図、参考写真)		

切羽と被災位置関係図



せん孔配置図



【参考写真】



写真1 飛石発生現場



写真2 #1の発破後の状況



写真3 #2の発破後の状況



写真4 #3の発破後の状況

3. 3 煙火及びがん具煙火関係

3. 3. 1 事故の概要と検討内容

平成23年の煙火関係の事故は、煙火消費中の事故が17件、がん具煙火消費中の事故が4件、その他の事故が2件発生し、合計23件の事故が発生した。煙火消費中の事故17件の中には、人身・物損等の被害が認められない事故が7件含まれている。平成22年と比べると人的・物的被害が発生した事故が減少し、被害の発生しない事故が増加している。

また、煙火消費中の事故は平成22年と比べると、平成23年は件数で7件、比率で約30%減少し、年間発生件数が史上最低であった平成21年のレベルにならんだ。表6に示すとおりである。

煙火消費中の事故における被災者数は重傷者、軽傷者とも過去5カ年に比べ著しく減少しており、事故の内容が軽減化しているといえる。表7に示すとおりである。

これは、平成21年1月に煙火関係の施行規則が改正された効果はもとより、関係団体・事業者による保安教育講習等の自主保安活動が貢献している。

表7 煙火関係の事故発生件数の推移

		人的・物的 被 害	平成 19 年	平成 20 年	平成 21 年	平成 22 年	平成 23 年
消 費 中	煙火	あり	2 9	3 0	1 7	2 1	1 0
		なし				3	7
	がん具 煙火	あり	2	3	0	5	2
		なし					2
製造中			4	0	0	2	0
その他			2	2	1	3	2
合 計			3 7	3 5	1 8	3 4	2 3

表8 煙火消費中の事故発生件数と被災者数の推移

	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年
事故件数	29	30	17	24	17
死者	0	0	0	0	0
重傷者	7	4	3	1	2
軽傷者	34	48	28	25	12
被災者合計	41	52	31	26	14

表9～表13に、それぞれの事故概要及び推定原因、再発防止策について検討した内容を示す。

平成 23 年（2011 年）煙火関連事故一覧（平成 23 年 1 月～12 月）

表 9 煙火消費中

No.	発生日時(級)	発生場所	煙火の種類	被害状況	事故概要【事故現象】	推定原因	再発防止対策	備考
1	4月23日(土) 20:00頃 (C級)	愛知県豊橋市 神社境内	噴出煙火 800 g	人的：従事者 1 名重傷 (60 歳男性：外傷性くも 膜下出血、頸椎損傷 により意識不明) 物的：なし	やぐらに固定された大筒煙火(薬量 5.6 kg)に点火するため、ふりこみ棒と呼ばれる点火棒(薬量 800 g)に着火し、やぐらを登っている途中で点火棒が破裂し、弾みでやぐら上(高さ 1.5m～2m 前後)から落下、頭部を打ち意識不明となった。点火棒は長さ約 1m で太さ 3 cm の竹に火薬を詰め荒縄を巻いたもの。【異常燃焼】	【製品不良】 【填薬ミス】 ※火薬の詰め方に問題があると思われる。	製造工程の追跡調査 保安教育の徹底 填薬方法の検討	雨 西の風 5.3m/s 許可消費
2	7月15日(金) 14:30頃 (C級)	東京都町田市 都立高校内	競技用紙雷管	人的：生徒 1 名軽傷 (右手の指と顎に火傷) 物的：なし	校内の競技部用ロッカーに保管されていた競技用紙雷管の確認を行うため、収納していた箱の蓋を開け中身を確認後、蓋を閉めた際に箱の中に保管されていた 30 粒程度の紙雷管すべてが爆発した。【その他】	何らかの理由(切断等)で箱に粉末が付着していて、それが発火した模様。【不注意等】	保安教育の徹底 ※管理者(教師)への注意喚起	
3	7月30日(土) 22:00頃 (B級)	長野県南佐久 郡小海町	通称小型煙火 中国製 品名：金山之夜 (1.5号玉)	人的：観客 6 名軽傷 (手や足などに軽い火傷) 物的：なし	花火大会において煙火(4号まで)を消費中に、通称小型煙火(25 連発)の 1 発が何らかの原因で横方向へ飛び約 110m 離れた道路上へ到達し、路上で鑑賞していた観客へ飛散し火傷を負った。【異常飛翔】	【製品不良】 【固定不備】	輸入品の品質管理 保安教育の徹底	曇 西南西の風 約 1.5m/s 安全距離 30m 許可消費
4	7月31日(日) 20:40頃 (C級)	愛知県田原市	手筒煙火 1,600g	人的：従事者 1 名重傷 (左手首骨折、全身 11%、 顔 4%火傷) 物的：なし	夏の観光イベントとして、ホテルに依頼され手筒煙火を消費中、再点火後に破裂して従事者が負傷した 【異常燃焼】	【填薬ミス】 【不注意】※再点火	製造工程の追跡調査 保安教育の徹底 填薬方法の検討	曇 北の風 3m/s 安全距離 20m 許可消費
5	8月15日(月) 19:30～21:30 の間 (C級)	長野県佐久市	打揚煙火(3～5号) スターマイン (2.5～5号) ナイアガラ 1台 の内いずれか	人的：観客 1 名軽傷 (女性：角膜上皮切創、 全治 1 週間) 物的：なし	花火大会において、打揚花火の残灰が観客の目に入った模様。 【不明】	【不明】		
6	8月27日(土) 20:40頃 (C級)	愛知県尾張旭 市	通称小型煙火 1 台 中国製	人的：観客 2 名軽傷 (女子小学生 2 名) 物的：なし	夏祭りにおいて、通称小型煙火を消費していたところ、残滓が消費場所から 35m(危険区域外)にいた被害者の目に入ったものの。被害者は病院で目を洗浄し、異常が見られないが経過観察として帰宅した。 【残滓】	【風の影響】	気象情報の把握	曇 南の風 3.5m/s 安全距離 20m 許可消費

No.	発生日時(級)	発生場所	煙火の種類	被害状況	事故概要 【事故現象】	推定原因	再発防止対策	備考
7	8月27日(土) 19:42頃 (C級)	東京都台東区	スターマイン 5号玉1個 (ほか物) 国産品	人的: 観客1名軽傷 (22歳女性:右目全房出血) 物的: なし	花火大会において、スターマイン5号玉 (ほか物)の玉皮が風に乘って、立入禁止区 域外(約200m)で見物していた観客の右 目に当たったと思われる。 【部品落下】	【風の影響】	観客への注意喚起 初期救護体制の検 討	量 東の風 1.3~2.5 m/s 安全距離 130m 許可消費
8	9月8日(木) 21:35頃 (C級)	長野県下高井 郡	打揚煙火10号玉 1個	人的: なし 物的: 観音堂(入口扉格子の アクリル板及び側面 外壁戸板の破損)	神社祭礼煙火大会において、尺玉3発を 打ち揚げたところ2番目に打ち揚げたも のが上空で開発せず、打揚地点から南方約 100m地点に落下し開発した。開発の衝撃 で開発から東方約6mにあった観音堂の外 壁等が破損した。なお、開発現場の地面に 尺玉が衝突したような痕があった。 【地上開発】	【製品不良】	製造工程の追跡調 査	晴 風速 2m/s 平均 1.5m/s 安全距離 250m
9	9月15日(木) 19:40頃 (C級)	福岡県久留米 市	通称小型煙火 品名: 富貴花 中国製(内筒打ち出 し100連)	人的: なし 物的: 消費場所付近の立木 の一部(枯れ枝部分) を焼損。	奉納花火「花火動乱峰」(県指定無形民族文 化財)の祭り中、通称小型煙火を消費中に、 消費現場から約12m離れた立木の枯れ枝 部分が燃えた。なお、安全距離は40mであ った。 【火災】	【火の粉飛散】	防火消火対策の徹 底	晴 南の風 約0.0~0.2 m/s 安全距離 40m 許可消費
10	11月3日(木) 19:17頃 (C級)	沖縄県那覇市	通称小型煙火7台 輸入品	人的: 観客1名軽傷 (右目瞼切創、右前頭 部打撲傷) 物的: なし	祭りににおいて、煙火消費中に通称小型煙火 の部品(直径23mm厚さ10mm)が飛翔し、打 揚位置から約70m離れていた観客の右瞼 に当たった。 【異常飛翔】 【部品落下】	【製品不良】 【固定不備】	輸入品の品質管理 保安教育の徹底	北東の風 平均 3 m/s 安全距離 50 m 許可消費

表 10 煙火消費中（人身・物損が発生しなかったもの）

No.	発生日時	発生場所	煙火の種類	被害状況	事故概要	推定原因	再発防止対策	備考
1	8月7日（日） 19：41頃 （C級）	北海道天塩郡 幌延町	通称小型煙火 14台の内1台	人的：なし 物的：なし	通称小型煙火14台を打ち揚げる際、1台目の3、4発目が横方向に20m飛び、危険区域内の地上3～4m上空で開発した。 【異常飛翔】	煙火筒を1台ずつブロックで固定していたが、導火線に着火しやすいように少し斜めに設置したため、発射後煙火筒が倒れかけた。 【固定不備】	保安教育の徹底	安全距離 40m 許可消費
2	8月13日（土） 19：41頃 （C級）	埼玉県熊谷市 荒川河畔	スターマイン 2号22発、2.5号50 発、3号52発、4号 9発、5号3発 国産品	人的：なし 物的：なし	スターマインの4号（芯入錦冠）のものと 思われる星が数個燃え尽きずに、打揚場所 から70m離れた地盤面に落下、葦の枯れ 草に着火し約5,000㎡を焼損。 【火災】	スターマインの打ち 揚げ中、4号玉の星 数発が火のついたま ま地面に落下したた め。【火の粉飛散】 【星等の異常燃焼】	防火消火対策の徹 底 品質性能の把握	晴天 南東の風 2.7m/s 安全距離 160m 許可消費
3	8月13日（土） 20：25頃 （C級）	北海道 北広島市	通称小型煙火1台 品名：銀椰子 中国製	人的：なし 物的：なし	通称小型煙火消費中に煙火の火の粉と思 われるものが安全距離を超えて飛び、打揚 場所から52m～63m離れた周辺の草むらを 焦がし3箇所を焼損。 （縦4.6m×横3.5m、縦7m×横5.3m、縦4.5 ×横3.7m） 【火災】	消費場所に登り坂斜 面のため、火の粉等 の落下距離が短く、 風の影響で枯れ草に 類焼したものと思わ れる。 【火の粉飛散】 【風の影響】	防火消火対策の徹 底	晴天 南の風 2～4m/s （平均3m/s） 安全距離 40m 許可消費
4	8月14日（日） 20：10頃 （C級）	広島県三原市	スターマイン4号玉 国産品	人的：なし 物的：なし	花火大会において、煙火消費中に筒ばねが 発生し消費場所であるグラウンド内へ異常 飛翔した。破損した打揚筒は3号玉用筒 20本と4号玉用筒20本を連結したスター マインの4号玉用筒1本であった。 【筒ばね】【異常飛翔】	【製品不良】 【装薬ミス】	製造工程の追跡調 査 保安教育の徹底	曇 西の風 3m/s 安全距離 290m 遠隔（電気）点 火 許可消費
5	8月14日（日） 時刻不明 （C級）	島根県安来市	水中仕掛け（煙火玉） 投げ込み式 2.5号玉1発 4号玉1発 箱入り2箱 （2.5～3号40発1箱） （2.5～4号30発1箱） 国産品	人的：なし 物的：なし	花火大会において、2艘の水中花火投げ込 み船から単発玉及び箱入り玉をバーナー で点火し水面投下している時、着火不良に より未着火玉が発生したものの。 消費終了後、未着火玉は回収処理した。 【未着火玉】	小型船からの投げ込 みの際に着火線に波 しぶきかかったか、 投げ込むタイミング が早かった等により 導火線にうまく着火 しなかった模様。 【不注意等】 *点火ミス	点火方法の検討	曇 南の風 1.1～2.8m/s 安全距離 3号玉以下 60m 4号玉以上 200m 許可消費

No.	発生日時	発生場所	煙火の種類	被害状況	事故概要	推定原因	再発防止対策	備考
6	8月20日(土) 20:30頃及び 20:40頃 (C級)	島根県出雲市	水中仕掛け(煙火玉) 投げ込み式 (4号玉)2個	人的:なし 物的:なし	湖面上で2艘の船で煙火を消費中、それぞれの船で1個ずつ計2個の不発が発生した。操船者、煙火の消費現場責任者が花火大会終了後及び翌日、不発玉の捜索にあたったが発見には至らなかった。【未着火玉】	【不注意等】 * 点火ミス	点火方法の検討	曇 北東の風 1.8m/s 安全距離300m 許可消費
7	8月28日(日) 20:00頃 (C級)	千葉県柏市	打揚煙火 2.5号玉1個 (火薬量40g) 国産品	人的:なし 物的:なし	8月28日に開催されたふるさと祭りにおいて、2.5号玉120発を消費した。29日朝、住民が当該ふるさと祭りで発生したと思われる黒玉1個を消費場所である野球場のベンチ下(安全距離内)で見つけた。【黒玉】	【製品不良】 【不注意等】	製造工程の追跡調査 保安教育の徹底	晴 東の風2m/s 安全距離65m 許可消費 遠隔(電気)点火

※【未着火玉】は水中仕掛け等で、煙火玉の導火線への着火不良で不発になったもの。

【黒玉】は発射された打揚玉が開発せず落下したものだ。

表1-1 その他の事故

No.	発生日時	発生場所	煙火の種類	被害状況	事故概要	推定原因	再発防止対策	備考
1	8月25日(木) 17:52頃 (C級)	香川県高松市	がん具煙火 現在捜査中 数量等確認中	人的:1名重傷 (左前腕挫減、手術により切断) 物的:確認中	動画投稿サイトで見た手製の花火玉を製造して爆発させようとして、市販の花火を購入し、分解して花火の火薬やマッチの頭薬を丸めてテニスボール大にしてアルミホイルに包み、丸めて固め、導火線を装填しようとして、玉に穴を開けるため、ドライバーを金槌で打ち込んだ瞬間に爆発した模様。			無許可製造違反として取調中
2	9月24日(土) 9:24頃 (C級)	東京都杉並区 都立高校 化学実験室	煙火関連火薬	人的:男子生徒1名軽傷 (両手指に2~3度の火傷) 物的:なし	文化祭で化学部が行う実験の準備で過塩素酸カリウム(0.2g)と赤りん(2g)を混合していたところ、摩擦により小爆発し、1年男子生徒が両手指に火傷を負った。		東京都が都内都立高校関係者に対し、火薬類を用いた実験に係る安全の徹底について周知した。	

表 1 2 がん具煙火消費中

No.	発生日時	発生場所	煙火の種類	被害状況	事故概要	推定原因	再発防止対策	備考
1	7月22日(金) 14:00頃 (B級)	山口県山口市 消防本部内	がん具煙火 気密試験用発煙筒 (白色煙、国産) (火薬量 3g) 2本	人的：軽傷 16 名 (1 名高熱、1 名肺炎、 14 名通院) 物的：なし	防火管理者講習会の火災疑似体験のため、 階段付近で防火扉を閉めたまま発煙筒 2 本を消費したところ煙が充満し、喉の痛 み、吐き気、咳、息苦しさなどを訴えた 6 名が病院へ搬送され、内 2 名が入院。翌日 以降に 10 名が体調不良で医療機関を受 診。なお、この他に受講者 46 名と消防署 員 4 名の体調不良者がいたが、全員の回復 が確認され、通院等はなかった。	従来から使用してい た発煙筒(発煙時間 3 分)の生産停止を受 けて、通常野外訓練 で使用していた発煙 筒(発煙時間 5 分)を 使用したが、発煙量 及び発煙成分の有害 性の確認を怠った	今後の講習におい ては、発煙筒の使 用を止め、舞台等 で使用されている スモークマシーン (火薬を含有しな い)を使用した煙 体験に改める。 安全対策について さらに研究し、参 加者の安全確保に いっそう留意す る。	晴天 西西北西の風 3.1m/s 安全距離 5m 消費者は消防 職員 本事業は 7 月 29 日に発覚。
2	8月26日(金) 22:10頃 (C級)	愛知県知立市	がん具煙火	人的：1 名軽傷 (右眼角膜裂傷) 物的：なし	がん具煙火を消費中、火花が点火直後に爆 発。その際の破片により眼鏡が破損し、破 損欠片が右目に入った模様。	不明 誤使用の可能性あり		現物無し

表 1 3 がん具煙火消費中 (人身・物損が発生しなかったもの)

No.	発生日時	発生場所	煙火の種類	被害状況	事故概要	推定原因	再発防止対策	備考
1	8月13日(土) 14:20頃 (C級)	広島県 廿日市市	がん具煙火 ロケット花火 6 本	人的：なし 物的：なし	男子高校生 2 名が公園に放置されていた ライターとロケット花火(6 本)を見つけ、 消費していたところ、2 本目が公園西側の 法面に落下。落下場所の枯れ草に着火し 21 m ² を焼損した。【火災】	不明 誤使用の可能性あり		晴 南南東の風 4.8m/s
2	8月14日(日) 19:30頃 (C級)	島根県浜田市	がん具煙火 (内筒打揚式) 薬量 10g 品名：大利根 1 号 中国製	人的：なし 物的：なし	がん具煙火(内筒打揚式)を消費したとこ ろ、火花が風に煽られ直接山林に入り火災 となった。消防車 3 台で約 50 分後鎮火に 至ったものの、山林約 0.9ha を焼損。 【火災】	当該がん具煙火の使 用方法である固定打 揚を守らず、手に持 って消費していたと ころ、風で煽られ花 火が 1 発山林に入り 開発したため。 【誤使用】		曇 西西南西の風 2.1 m/s

3.3.2 消費中事故のまとめ

- ① 平成23年の煙火消費中事故のうち、人身災害若しくは物的損害が発生した事
No.1～No.10の事故について、現象と原因を別添の「煙火消費事故の原因と対
策」表に基づいて整理すると、次表のとおりとなる。

表14 煙火事故の現象・原因別発生一覧

現 象	原 因	該当数		比率 (%)	事故No.		H22 年 該当数
		打揚煙火等	仕掛煙火等		打揚煙火等	仕掛煙火等	
筒ばね	製品不良						1
	装薬ミス						
	(打揚筒劣化)						
過早発	製品不良						
低空開発	製品不良						
	装薬ミス						
	操作ミス						
	不注意						
黒 玉	製品不良（不注意）						1
地上開発	製品不良	1		7.7	8		1
部品落下	製品不良		1	7.7		10	2
	星等の燃焼不良						1
	着火不良						
	風の影響	1		7.7	7		1
異常燃焼	製品不良		1			1	6
	固定不備						
	填薬ミス		2	15.4		1, 4	
	取扱い不備						1
	火の粉飛散						
異常飛翔	製品不良		1	7.7		3	1
	固定不備		2	15.4		3, 10	
残 滓	風の影響		1	7.7		6	2
火 災	星等の燃焼異常						
	火の粉飛散		1	7.7		9	3
	風の影響						
そ の 他	不注意等		2	15.4		2, 4	
合 計		2	11	100			21

② 現象、原因別分析

前年と比べ、現象別では異常燃焼による事故が多発するような傾向はなかった。手筒煙火等噴出煙火による事故が大幅に減少したことと、前年と比べ煙火による事故が半減したことも要因としてあげられる。

なお、1件の事故事例で複数の現象及び原因が発生することも考えられるため、事故件数と同数とは限らない。

また、事故No.5の長野県の事故については、情報不足のため原因の推定ができなかった。

③ 被害別事故発生頻度

人身・物損が発生しなかった事故7件も含めて、被害別に分類すると次表のとおりとなる。観客への被害が30%近くを占めているが、前年では50%近くが観客への被害であったので、大幅に減少していることがわかる。

また、人的・物的被害のない事故が、事故件数の41.2%占めており、被害の軽減化が進んでいることが言える。

表 1 5 被害別事故件数と割合

被害別	件 数	比率 (%)	事故No.	H22年件数
観客	5	29.4	3, 5, 6, 7, 10	11
従事者 (関係者含む)	3	17.6	1, 2, 4	4
火災	1	5.9	9	4
その他 (建物等損傷)	1	5.9	8	2
被害なし	7	41.2		3
合 計	17	100		24

3. 3. 3 平成23年煙火消費事故の特記すべき事故と課題

① 噴出煙火（手筒等）における事故

平成22年は噴出煙火による事故は7件発生したが、平成23年は2件となり、大幅に減少したといえる。行政側からの働きかけと、保安関係諸団体、関連業界の自主保安活動の努力によるものと考えられる。

噴出煙火（特に手筒煙火等の伝統煙火）による事故は、消費形態の特殊性から従事者の負傷に繋がる重大事故になりやすい。事故No.1の事故については、重傷者1名と統計上カウントされているが、事故後13日目に死亡している。

今後とも事故根絶に向け、伝統技術の正しい継承と熟練者を含む関係者に対する保安教

育が確実に行われているかを確認する必要がある。

② 通称小型煙火における事故

平成23年における通称小型煙火の事故は4件（事故No.3，6，9，10）発生した。人身・物損が発生した事故の40%を占めている。その原因は製品不良が2件、風の影響が1件、火の粉飛散が1件と推定されている。いずれの事故でも消費された通称小型煙火は中国製である。通称小型煙火による事故は、毎年複数（平成22年は2件）発生していることから、安全に消費するための対策の充実が求められる。

通称小型煙火は中国製を主とする多種多様の製品が存在する。前年度の報告書でも指摘されたが、個々の製品に煙火仕様・現象（内径、薬量、高度、飛散範囲等）を表示することにより、製品情報を周知することが事故防止対策として最も効果的と思われるので、引き続き関連業界への周知徹底が求められる。

③ がん具煙火消費中の事故

平成23年におけるがん具煙火の事故は4件発生し、その原因は本論3.3.1の煙火関連事故一覧に掲載のとおりである。

がん具煙火の事故として異質に思えるのが事故No.1である。これは、本件に使用された発煙筒が法的にがん具煙火の範疇に入っているためである。平成23年の事故件数は大幅に減少したにもかかわらず、被害者が減少しなかった最大の原因が、本件の事故である。1回の事故で16名の負傷者を発生させている。これは、従来から使用していた発煙筒の生産停止を受け、通常野外訓練で使用していた発煙筒を、事前に発煙量や発煙成分の有害性を確認せず、密閉された空間で使用したため、多くの負傷者を出してしまった。今後の講習においては、参加者の安全確保を最優先し、安全性が高い製品を選定して使用する等の改善が求められる。

一般のがん具煙火による消費者の誤使用等の事故を防止することについては、従来から関係業界において、安全検査の実施や安全消費を含めた啓発活動が行われているが、今後とも継続して行われることが求められる。

④ 事故の定義について

煙火の消費中の事故については、人的・物的被害がないもの、雑草の焼損等が一定の割合を占めていることから、前年と同様に人的・物的被害のあった事故とそれ以外のものに区分して、本論3.2.1の煙火関連事故一覧に記載した。また、今回からがん具煙火の消費中の事故も同様の区分を行なった。

事故の定義について引き続き検討することが必要である。

⑤ その他

事故情報については、煙火の種類・内容や、事故概要が不明確なものについては、原因究明と再発防止の観点から、できるだけ早く追加情報を得られるよう、関係機関に働きか

けることが望ましい。

また、前年度の事故防止対策委員会（煙火部会）で議論して改訂した「事故等報告書別紙（煙火）」が採用され事故報告がなされつつあり、事故内容の把握に役立っている。

今後とも、多くの関係機関で活用されることを望むところである。

参考のため、別紙にて様式を添付する。

【参考】

煙火消費事故の原因と対策

概 要		原 因	再発防止対策
区分（消費方法等）	現 象		
打 揚 煙 火 等 （単発打ち揚げ） （連続打ち揚げ） （スターマイン等） 仕掛煙火等 （通称小型煙火） （噴出・手筒煙火） （水中仕掛け） （演出効果用煙火） （その他）	筒ばね	製品不良 装薬ミス	製品 - 使用前検査の徹底 - 製造工程の追跡調査 - 製造技術上の改良 - 品質性能の把握 - 輸入品の品質管理 器材 - 消費器材の充実 - 消費器材の点検 - 防護用器材の充実 - 点火方式の検討 人 - 保安教育の徹底 - 消費技術の教育 - 従事者の適正配置 保安環境 - 適正安全距離の検討 - 気象情報の把握 - 防火消火対策の徹底 - 初期救護体制の検討 - 中止判断基準の検討 - 観客への注意喚起
	過早発	製品不良	
	低空開発	製品不良 装薬ミス 操作ミス	
	黒 玉	製品不良	
	地上開発	製品不良	
	部品落下	製品不良 星等の燃焼不良 着火不良 風の影響	
	異常燃焼	製品不良 固定不備 填薬ミス 取扱い不備	
	異常飛翔	製品不良 固定不備	
	残 滓	風の影響	
	火 災	星等の燃焼異常 火の粉飛散 風の影響	
	その他	不注意等	

※現象の定義（筒ばね）⇒ 煙火玉が筒内で開発する。

（平成24年2月10日）

（過早発）⇒ 煙火玉が筒から発射直後に開発する。

（低空開発）⇒ 煙火玉が性能上危険な低い高度で開発する。

（黒 玉）⇒ 不発煙火玉。（水中仕掛等で着火不良のものは未着火玉と称す。）

（地上開発）⇒ 煙火玉が上空で開発せず地上に落下し開発する。

（部品落下）⇒ 煙火の構成部品（燃え殻・破片・星等）が危険な状態で落下する。

（残 滓）⇒ 割薬の燃えかす等が落下（降灰）したもの。

事故等報告書別紙（煙火）

事故発生時の天候	
事故発生時の風向・風速	_____の風 （最大）_____m/s （平均）_____m/s
事故発生地点の距離	消費場所から_____m
当該煙火の安全な距離	_____m(半径)
主催者名	
消費者(業者)名	
当該煙火の販売者	
当該煙火の製造者	1. 国産 2. 輸入品 * 製造又は輸入業者名 ()
当該煙火の消費従事者	保安教育受講 1. 有 2. 無 * 手帳の種類等 () その他 ()
事故の現象	1. 筒ばね 2. 過早発 3. 低空開発 4. 黒玉 5. 地上開発 6. 部品落下 7. 異常燃焼 8. 異常飛翔 9. 残滓 10. 火災 11. その他
消費許可等	1. 許可消費 2. 無許可消費 3. その他届出先等 ()
当日の消費規模 (全体数量)	1. 打揚煙火 () 号～ () 号 合計 () 発 2. スターマイン () 号～ () 号 合計 () 発・台 3. 仕 掛 等 () 合計 () 個・台 4. そ の 他 ()
当該煙火の消費方法	1. 単発打ち揚げ 2. 連続打ち揚げ (A. 焼き金式早打ち B. 振込み式等) 3. スターマイン方式 4. 通称小型煙火 5. 噴出・手筒煙火 6. 水中仕掛け 7. 演出効果用 8. その他 ()
当該煙火の点火方法	1. 遠隔点火 (A. 電気点火 B. 導火線点火) 2. 直接点火 3. その他 ()
当該煙火の防護措置 (従事者負傷の場合)	1. 有 2. 無 * 有る場合 (A. 畳等 B. ポリカーボネート) 3. その他 ()
その他特記事項	

※該当箇所は○記入

事故等報告書別紙（煙火）記入例

事故発生時の天候	晴れ時々くもり （１４時頃一時雨）
事故発生時の風向・風速	__南南西__ の風 （最大） __4. 5__ m/s （平均） __3__ m/s
事故発生地点の距離	消費場所から __120__ m
当該煙火の安全な距離	__100__ m（半径）
主催者名	〇〇花火大会実行委員会
消費者（業者）名	（有）〇〇煙火店（〇〇県〇〇市）
当該煙火の販売者	（株）〇〇煙火（〇〇県〇〇市）
当該煙火の製造者	1. 国産 ②輸入品 * 製造又は輸入業者名（〇〇県 〇〇火工（株））
当該煙火の消費従事者	保安教育受講 ①有 2. 無 * 手帳の種類等（煙火消費保安手帳） その他（ ）
事故の現象	1. 筒ばね 2. 過早発 3. 低空開発 ④黒玉 5. 地上開発 6. 部品落下 7. 異常燃焼 8. 異常飛翔 9. 残滓 10. 火災 11. その他
消費許可等	① 許可消費 2. 無許可消費 3. その他届出先等（ ）
当日の消費規模 （全体数量）	① 打揚煙火（ 3 ）号～（ 5 ）号 合計（300）発 ② スターマイン（2. 5）号～（ 5 ）号 合計（12）発・㊤ ③ 仕 掛 等（通称小型煙火・ナイヤガラ） 合計（10）個・㊤ 4. そ の 他（ ）
当該煙火の消費方法	1. 単発打ち揚げ 2. 連続打ち揚げ（ A. 焼き金式早打ち B. 振込み式等） ③スターマイン方式 4. 通称小型煙火 5. 噴出・手筒煙火 6. 水中仕掛け 7. 演出効果用 8. その他（ ）
当該煙火の点火方法	①遠隔点火（㊤電気点火 B. 導火線点火） 2. 直接点火 3. その他（ ）
当該煙火の防護措置 （従事者負傷の場合）	1. 有 2. 無 * 有る場合（ A. 畳等 B. ポリカーボネート） 3. その他（ ）
その他特記事項	当該スターマインの重ね玉（3＋2. 5号） 玉名：〇〇牡丹（〇〇国製） ※その他、通称小型煙火の場合は品名等を記入

※該当箇所は○記入

【参考資料】

今回の製造事故事例について参考となる事故事例やデータ、保安上の注意事項などを集めてみた。なお、昨年の事故報告書¹⁾に試験・実験時の事故を解析しているので参考にされるとよい。

1. 過去の類似事故事例

(1) 加熱・乾燥時の事故事例

昨年の試験・実験時の事故の中から加温・乾燥作業時の事故件数割合は、下図に示すように合わせて13%となっており、その事故事例を表1に示した。

作業別事故割合グラフ

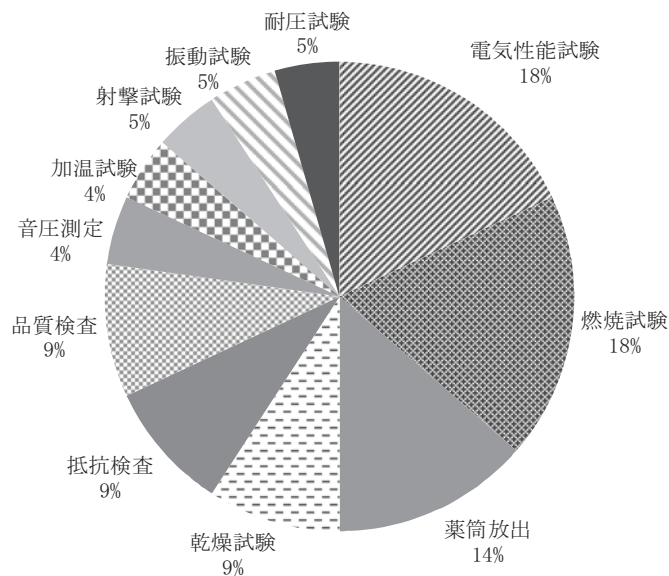


表1 加温・乾燥作業時の事故

発生日時	発生場所	作業	火薬類の種類と数量	概要	被害状況
S48. 11. 24.	試験場（実験室）	乾燥試験	点火薬100g	点火薬100gを乾燥中巡回のため入室した従業員が乾燥装置から煙らしいものを発見しすぐ逃げたが発火して火傷した。	軽傷 1名
H9. 8. 29	第1試験室	加温試験	電気雷管1個（電気信管）	武器用火工品（電気信管用電気雷管）の加温状態での取扱作業中に帯電した電気雷管の放電により雷管が発火した。	軽傷 1名
H21. 2. 4	実験室	乾燥試験	PETN1.6kg（25%含水产品）	ペンスリット（含水产品）を乾燥させていたところ発火し、恒温槽内部が焼損し、実験室の壁面に焦げが生じた。	実験室一部焼損

(2) 無煙火薬・ニトロセルロース系火薬の事故事例

過去の事故統計から無煙火薬、NC含有火薬の貯蔵中の事故事例を探してみると表2のようになる。

表2 無煙火薬、NC含有火薬の貯蔵中の事故事例

年月日	発生場所	火薬類の種類	火薬類の数量	概要（推定原因を含む）	被害状況（人）	被害状況（物）
S36. 2. 23	無煙火薬乾燥室	無煙火薬	約600kg	放冷15時間を経過しているのに自然発火とは考えられない。電気設備の漏電か野ネズミの侵入いたずらによるものか、原因不明。	なし	建物半焼
S40. 1. 5	無煙火薬混餅熟成工室	混餅薬	10,830kg	混餅薬の加熱発火か、暖房による加熱発火と推定される。	なし	工室全焼、物置半焼
		湿餅薬	5,100Kg			
S51. 6. 2.	乾餅一時置場	混餅薬	10,830Kg	乾餅一時置場に試験製造した乾餅薬の残りが少量存置されており、発火し工室内部が全焼した。		工室内部全焼
H9. 8. 22	第1火薬類置場	ニトロセルロース入りの粒状煙薬 硝酸カリウム-アルミニウム系の切星等	58.9Kg	火薬類一時置場に長期間保管していた試験研究用火薬類のいずれかの自然発火によるものと推定される。		一時置場全焼
H12. 8. 1	第1・2一時置場	無煙火薬等	約7.7t	一時置場に長期間存置されていた無煙火薬の一部が太陽光の差し込む西側に置かれ、温湿度管理が不適切であったこと等により劣化し自然発火して爆発に至った可能性が強い。	負傷 79名 (重傷1名)	工場周辺の家屋 建屋等の破壊 888軒 (全壊12軒、 半壊26軒)

また、ニトロセルロース（綿薬）の貯蔵中の事故事例をまとめると表3のようになる。

表3 ニトロセルロースの貯蔵中の事故事例

発生年月 日	発生場所	事故状況	人的被害	発火火薬	推定原因	
S39年7月	東京勝島倉庫	ドラム缶500本の綿薬が貯蔵中に発火して綿薬19tを焼失した。	死者19名、 重軽傷53名	綿薬	NCの管理不良	長期野積中に自然分解し発火した。
S46年8月	Y工場空ドラム缶置場	露天の空ドラム缶置場で自然発火がおこった。	なし	綿薬	NCの管理不良	O工場より返却した空ドラム缶内に残薬があり、気温の上昇とともに薬温が上がって自然分解した。
S47年7月	A社貯蔵所	蓋なしの18リットル缶にIPA湿硝化綿を貯蔵中に発火した。	なし	綿薬	NCの管理不良	IPAが蒸発したため長期間に劣化し、自然分解して発火した。
S47年7月	B社屋内貯蔵所	硝化綿63kgを貯蔵中に発火した。	なし	綿薬	NCの管理不良	異常高温に伴い、自然分解して発火した。
S48年9月	C社一般取扱所	硝化綿10kgを貯蔵中に発火した。	なし	綿薬	NCの管理不良	長期間保存していたため、自然分解して発火した。
S51年7月	D社屋内貯蔵所	硝化綿560kg、セルロイド250kgを貯蔵中に発火した。	なし	綿薬、セルロイド	セルロイドの管理不良	十分に管理されていなかったセルロイドが自然発火した。

2. ニトロセルロースについて

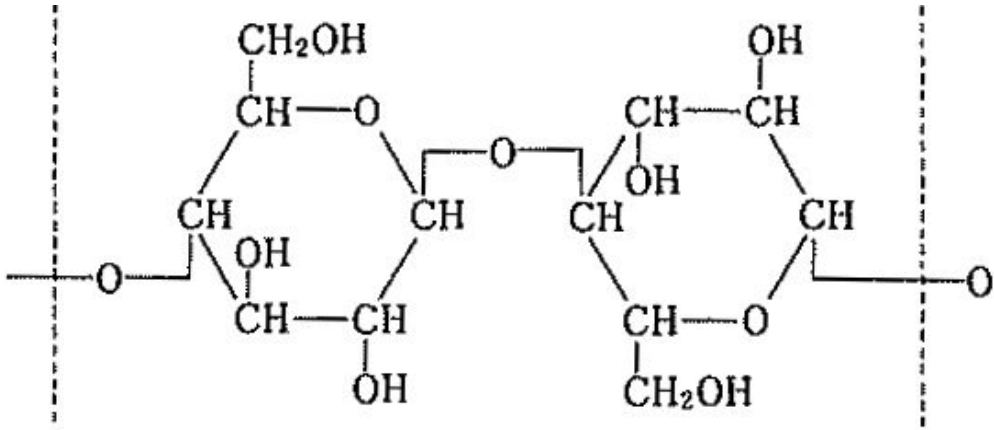
ニトロセルロースについて、エネルギー物質ハンドブック²⁾より引用したものを下記に記載した。

(1)ニトロセルロースとは

ニトロセルロース(NC)はセルロース(繊維素)を硝化して得られる硝酸エステルで、正しくは硝酸セルロースと呼ぶべきであるが、慣用的にニトロセルロースと呼ばれている。ニトロコットン、綿薬、硝化綿などの別称がある。

1845年Schönbeinが初めて合成したといわれており、当時のヨーロッパで各種の用途で注目を浴びた。ニトロセルロースは、圧搾物では爆ごうする性質を有し、乾燥した窒素量の高いニトロセルロースを圧搾すると雷管で起爆できる。乾燥状態では取り扱いが鋭敏なため、湿状態として圧搾した場合でも適当な伝爆薬を用いると爆ごうさせることができ、一時、砲弾のさく薬として使用された。湿状圧搾ニトロセルロースは、鉍山綿薬として鉍工業爆破用に用いられたことがある。しかし、これらの用途は、化合火薬類の出現によって取って替われ、むしろその易燃性、ゲル構造形成性に着目した発射薬やダイナマイトでの用途に現在も使用されている。

ニトロセルロースの原料セルロースは、次図のように H-グルコースが 1.4 の位置で配糖体状に脱水して長い鎖状を成した構造をしている。



化学式では $(C_6H_7O_2(OH)_3)_n$ で表されるが、 n の数は 2,000-3,000 で一定しない。ニトロセルロースは、この構造式中の水酸基(—OH)の部分に硝酸エステル化(—ONO₂)されたものであるが、長い複雑な構造のため、すべての水酸基が硝酸エステル化されるものではない。どの程度の水酸基がエステル化されているかを示す指標として窒素量が用いられる。

理論上は窒素量 14.14%まで可能であるが、実際上は 13.5%位が工業的製法の最大窒素量である。窒素量 12.78～13.5%位のものを強綿薬、窒素量 10.7～12.7%位のものを弱綿薬、それ以下のものを脆綿薬と呼ぶ。

一般には強綿薬は無煙火薬用、弱綿薬はダイナマイト用、脆綿薬は塗料用とされている。無煙火薬にはピロ綿と呼ばれる窒素量 12.6%位の弱綿薬も配合され、ダイナマイト用綿薬には窒素量 11.7～12.2%位のものが望ましい。これはニトロセルロースの溶剤への溶解性が窒素量によって著しく変わるからで、その一例を表 4 に示す。

表 4 ニトロセルロースの溶解性と用途

ニトロセルロース 窒素量 (%)	名 称	エタノール溶解性 (%)	主な用途
12.7～13.5	強綿薬	不溶	発射薬
		<10	発射薬
11.7～12.7	弱綿薬	<50	発射薬、
		<50	ダイナマイト
		—	フィルム、ラッカー、接着剤
11.0～11.7	脆綿薬	<50	フィルム、ラッカー、接着剤
		50～100	セルロイド
10.0～11.0	脆綿薬	<50	セルロイド、ラッカー、接着剤

ニトロセルロースの原料セルロースとしては綿花，リンター(綿実から綿毛を採取した後の殻に残った一種の肌毛)，パルプなどが使用される。

ニトロセルロースは硝酸エステルであり，構造的にはきわめて長い分子であるため，残存した酸分を洗浄しきってしまうことは難しい。ニトロセルロースの歴史は，残存酸分などによる自然分解性との闘いといっても過言ではなく，残存酸分あるいは不安定物質をいかに中和，洗浄するかが製造にあたっての最大のポイントである。

(2)ニトロセルロースと火薬類の定義

ニトロセルロースは、水またはアルコールを23%以上含有すると危険物となり、それ以下では火薬類の硝酸エステルと定義されている。(28 軽局第 168 号)

これは水含有率20%では延焼しなくなり、25%では着火しなくなることや、アルコール含有率25%以上では燃焼速度が遅くなることから決められていると思われる。(図3-3-3，4参照)

図3-3-3 水分含有率と燃焼時間

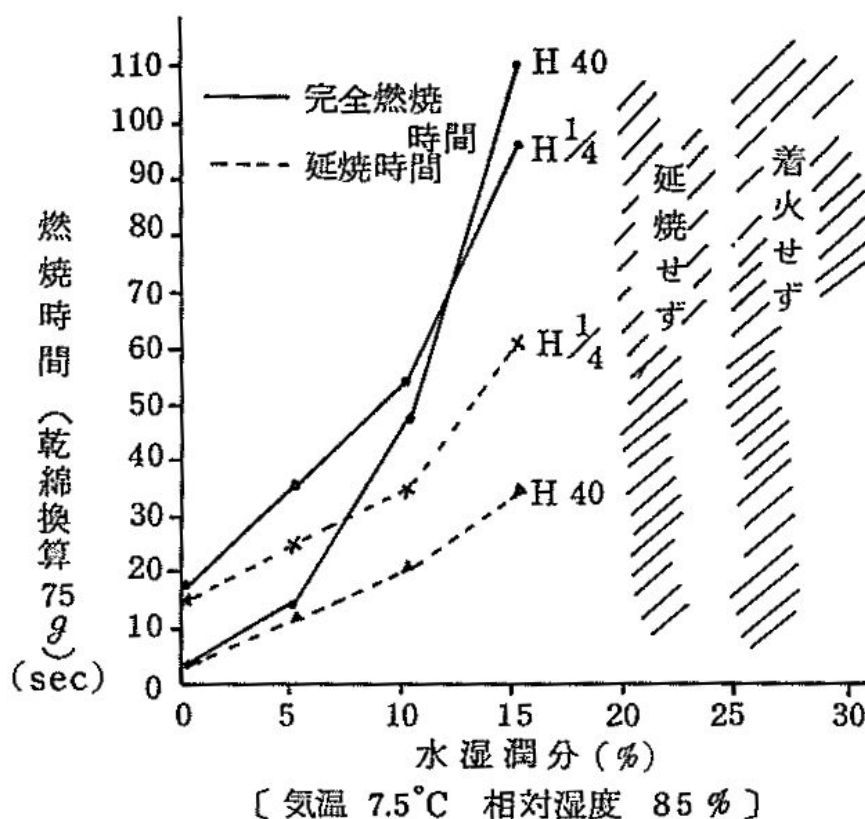
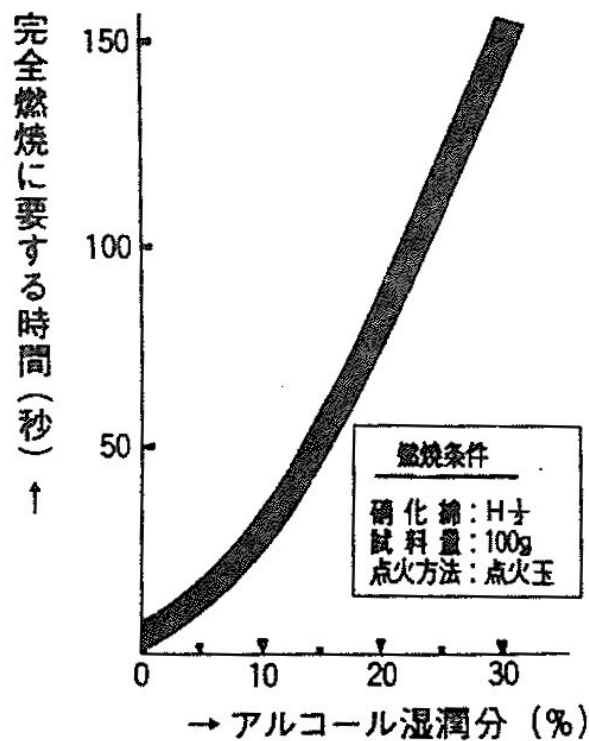


図 3-3-4 湿潤分と燃焼速度



I P A %	完全燃焼に要する時間
0 %	1 0 sec
2 5	1 3 6
3 0	1 6 5

(3) ニトロセルロースの物性

R.Meyer の「EXPLOSIVES」から NC (窒素量 13.3%) の物性データを記載すると以下の通りである。

- ・比重 : 1.3 g/cm³ (真比重: 1.67 g/cm³)
- ・酸素バランス : -28.7%
- ・生成熱 : -2,394 kJ/kg
- ・爆発熱 : -4,052 kJ/kg
- ・ガス比容 : 841 l/kg

(4) ニトロセルロースの熱安定性

ニトロセルロース (NC) の自然分解機構については各種報告されているが、ここでは「火薬ケミストリー」³⁾ から抜粋引用したものを以下に示す。

① NC の自然分解機構

NC は自然分解が起こりやすいもので、貯蔵および分解性の監視にはとくに注意が必要となる。この分解機構は、従来次の 2 つの機構によるものとされている。

Will によると、NC は比較的低温で分解して、

(イ) NO が生成する。

- (ロ)NO は空気中の O₂ と反応して NO₂ を生成,
- (ハ)NO₂ が NC と反応して, NC の酸化分解を進める。
- (ニ)この反応で NO₂ は NC との反応で NO に還元,
- (ホ)空気中で再び酸化されて NO₂ となり,
- (ヘ)この NO₂ が再び NC を酸化分解する。

このような反応機構が繰り返されて, 自然分解が進行するいわゆる自動酸化反応機構がある。

さらに, NC が熱分解によって RO と NO₂ を生成し, この NO₂ が NC を酸化分解して, HNO₃, HNO₂, NO₂, NO および H₂Oなどを生成し, これらが分解して再び NO₂ を生成し, 上述の同じような機構で繰り返して NC の分解を NO₂ が進める熱分解反応の機構も提案されているが, 自動酸化と同じ NO₂ による自然分解反応機構と考えられよう。

一方, 大気中にある湿分あるいは NC の分解によって生成する H₂O が NC と反応し, この HNO₃ の酸触媒作用により, NC の加水分解が促進されると考えられる。また, 分解によって生成される NO₂ が H₂O と反応して, $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$ となり, これらの酸が NC の加水分解を促進すると考えられる自触媒反応も考えられる。

②NC の熱分解機構

NC の安定度試験に関連する自然分解反応では, 空気中の O₂ の吸着により NC 分子内にヒドロペルオキシ基(-OOH)を有するヒドロ過酸化物が生成され, これが熱分解して, 水とアルデヒドを生成し, 生成アルデヒドがさらに空気酸化を受けるので NC の劣化はさらに進行すると考えられている。

上述の実験結果をもとに NC の熱分解の機構を推論すると, 加熱によって NC のガラス転移点の約 90℃付近を超えると融解が起こり, 部分的に液体が生成する。さらに高温になり, 100℃を超えると NO₂ および NOなどを発生するとともにラジカルの生成が起こる。また, ピラノース環の開裂, およびピラノース環相互の結合も切れて解重合反応が生じ, 低分子量のラジカルの生成物が次々に生ずる。さらに生成した NO₂ が未反応の NC や分解生成物を酸化する自触媒反応も起こり, NO₂ は NO に還元され, 反応は連鎖機構によって進行すると考えられる。

(5)ニトロセルロースの自然発火について

加藤らの報告⁴⁾によると自然分解機構には以下の3つが提案されており、「①NO₂ による酸化、②加水分解による自触媒反応、③雰囲気酸素による酸化がある」としている。

次に木村⁵⁾らの報告によると、「硝酸エステル系火薬類を加熱すると初期に異常に大きな発熱やNO_xの大量発生が起こる」と報告されている。NCを2カ月及び5カ月の間、室温で空気中に放置した試料の窒素気流中での発光強度一時間曲線を図2に示した。放置期間の増大に伴って初期の発光ピークが大きくなることが分かる。「硝酸エステルは、発生するNO₂による酸化と空気酸化によりヒドロ過酸化物を蓄積し、これが加熱の初期に分解し化学発光を伴う大きな発熱とNO_xの異常発生を引き起こす」ことが報告されている。

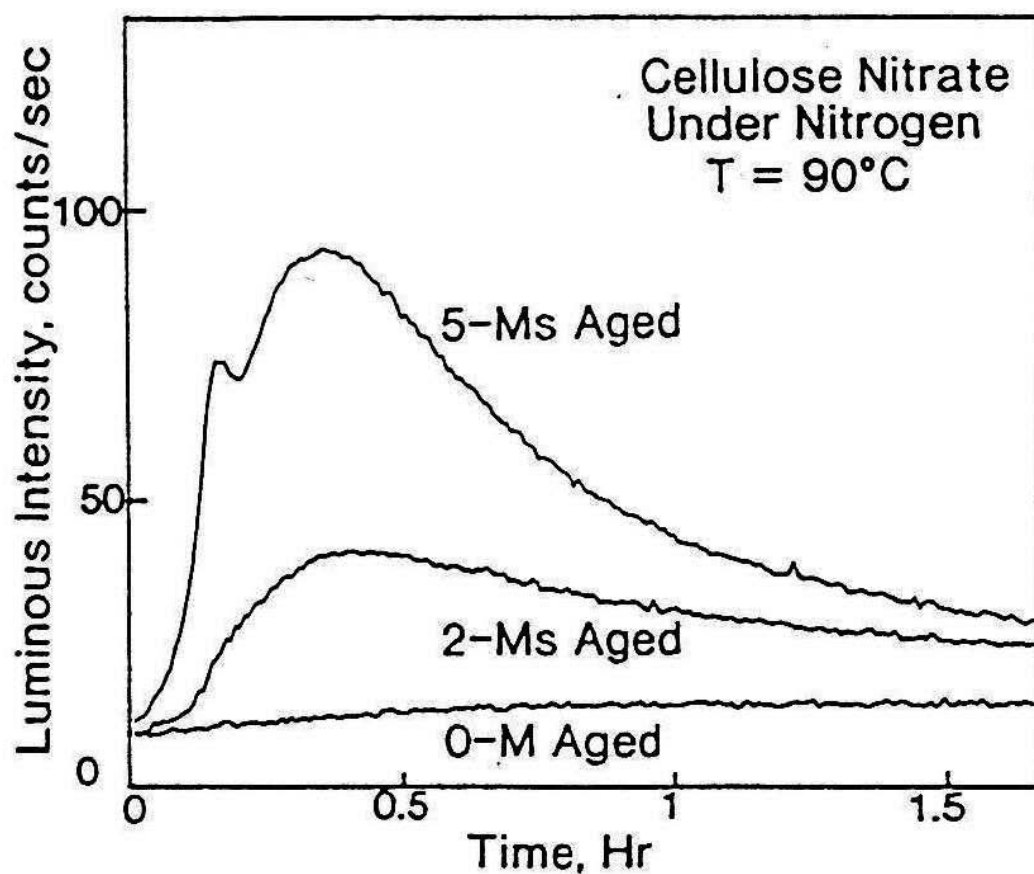
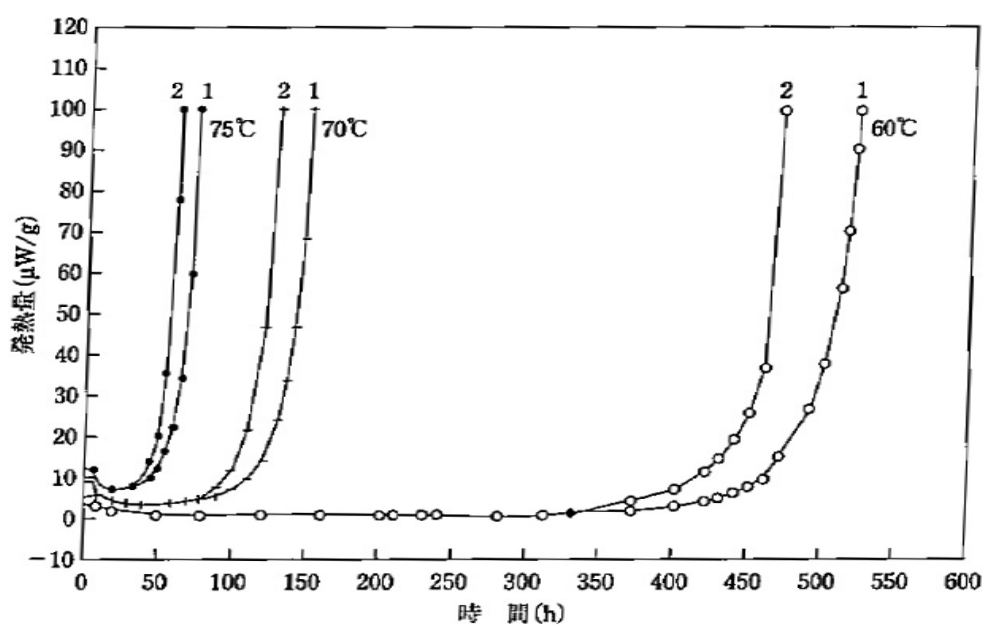


図 2 NC の経時変化に伴う異常 CL 曲線

Urbansky の著書⁶⁾には、水分を持つ空気が存在するとニトロセルロースの熱安定性が悪くなることや、亜硝酸ガスを含む空気中に 40°C で加温した場合、ニトロセルロースの窒素分 (12.10%) が 7 日間で 11.05%、13 日間で 10.68% まで低下した報告がある。このように比較的低い温度でも熱分解が起こっていることが分かる。

今回の事例の場合には NC を含む煙葉を加熱したことにより、初期に大きな発熱があり NO_x が大量発生し、さらに O_2 が存在することで NO_2 の分解が加速され、自然発火したものと推測される。

「火薬ケミストリー」³⁾には発射薬用 NC の熱分解性を示すグラフが図 2.54 に記載されており、今回のように 65°C でも長時間加熱すると分解することがわかる。



試料：1g, 容器：スチール密閉容器

図 2.54 発射薬用ニトロセルロースの定温分解³⁾

3. 硝化綿の事故事例と注意事項

工業用硝化綿とは J I S で火薬用やセルロイドを除く窒素分 10.7~12.2% のものをいい、これについて硝化綿工業会がまとめた「工業用硝化綿の事故事例と考察」⁷⁾ から抜粋し考察してみた。

(1) 工業用硝化綿の事故分類

資料から事故件数を主な原因別にまとめたのが表 5 である。その結果、貯蔵中の事故が 13% あり、ユーザーの事故でみると 63% と高い割合となっている。

表 5 工業用硝化綿の事故分類

NO	事故の主原因	メーカー事故件数	ユーザー事故件数	合計
1	装置等に付着した NC の清掃不良	16	0	16
2	設備、配管に残存した NC の除去不十分	6	0	6
3	貯蔵状態の不良	1	5	6
4	取扱用具の不適正	2	1	3
5	実験中の乾燥 NC の取扱不注意	1	0	1
6	倉庫内の落下衝撃	1	0	1
7	誤操作、装置異常	11	2	13
	合計	38	8	46

(2) 実験中の事故事例

上記資料の中の事故事例から乾燥作業中の事故事例を以下に記載した。

事故種別：爆燃

発生日時：昭和 40 年 12 月 8 日 13 時頃

発生場所：C 社研究所実験室

作業概要：硝化綿に関する研究

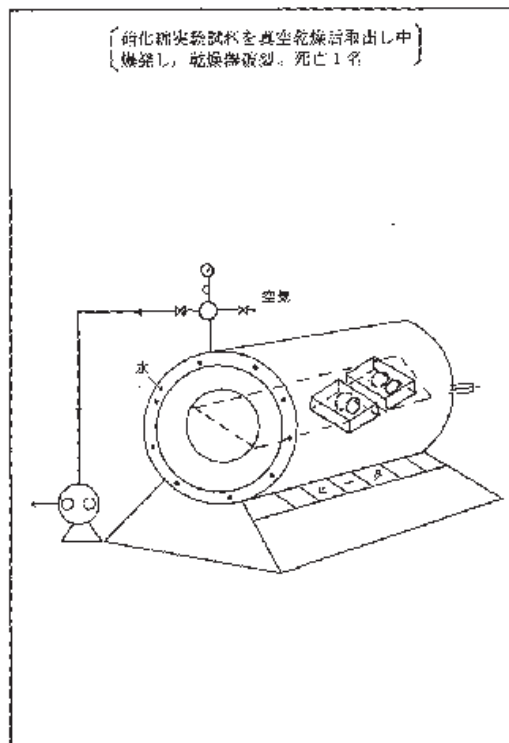
損害：死亡 1 名，軽傷 2 名

主因：分析実験における乾燥硝化綿の取扱不注意

事故概要：実験用硝化綿を真空乾燥器にて乾燥していた。乾燥時間が終了したので真空中の器内に空気を戻した時，器内の乾燥硝化綿が爆燃し，乾燥器本体が破裂，その破片で 1 名が死亡，2 名が軽傷した。

事故原因：原因は，真空乾燥中昼休みとなり，規定乾燥時間をオーバーしたため，完全に乾燥状態となった硝化綿が徐々に分解を生じた処へ，あわてて器内に空気を戻したため，瞬時に爆燃したものと推定される。

教訓：乾燥硝化綿の取扱いは，できるだけ量を少なくすることが重要で，密閉容器内に入れるときは，とくに危険であるから，遠隔操作などの方策を考え，また，特別のマニュアルを完備すること。研究管理者は，特にこのことを忘れないように注意すること。



(3) 工業用硝化綿の取扱上の注意

工業用硝化綿の取扱上の注意事項の中から特に乾燥と貯蔵上の注意事項を抜粋したものを以下に示した。

①乾燥上の注意事項

アルコール湿硝化綿は，きわめて安全な状態にあるといえるが，乾燥硝化綿になると爆燃性，帯電性を生じ摩擦，スパーク等に対して危険であり，工業用硝化綿は試験に必要なとき以外は，乾燥してはならない。試験のため乾燥する場合は，第 5 章「硝化綿の試験法」において述べた方法が安全であるが，その際，さらに次の注意事項を守ること。

1. 硝化綿の乾燥は，蒸気定温二重槽乾燥器を使用し，電熱式空気乾燥器は絶対に使用しないこと。乾燥器は，30×30×30cm 程度のものが手頃で，1 回 150g 程度の仕込みができる。なお，熱風ブロワーを使用するのもよい方法である。
2. 乾燥器を開くときは，作業者は必ずちょうつがい側に立ち，静かに注意して扉を開くこと。正面に立って操作すると，開くと同時に，万一発火した場合に危険である。
3. 乾燥は耐火建築の別室で行うこと。やむをえない場合は，その場所に硝化綿、溶剤その他の可燃物を置かないように注意する。

②貯蔵上の注意事項

湿硝化綿は、各地区の危険物取締条例の適用をうけるので、その貯蔵、移動にさいしては、同条例に従わねばならない。ここでは、貯蔵に関する一般的注意事項の中で、特に重要なものを列記する。

1. 硝化綿は、室内は勿論、その周囲は火気を厳禁すること。
2. 貯蔵庫は耐火建築で見通しを良くし、散水装置を取付けること。
3. 貯蔵庫は製造所、事務所、研究所よりはなれた場所におくこと。
4. 硝化綿は一切日光の直射する場所や湿度の高い場所に貯蔵してはならない。

Ryan 氏の実験(Ind.Eng. Chem., Vol. 20, 1928)では、硝化綿の分解速度は温度の上昇にしたがって、温度の指数関数で増加する。例えば 10℃上昇すると分解速度は 3.46 倍に増加する。

4. 引用資料

- 1) 全国火薬類保安協会編「平成 22 年度事故防止対策委員会報告書」(平成 23 年発行)
- 2) 火薬学会編「エネルギー物質ハンドブック」第 2 版(平成 22 年共立出版発行)
- 3) 長田英世著「火薬ケミストリー」(平成 15 年丸善発行)
- 4) 加藤、東、中野、新井「硝酸セルロースの自然発火」Cellulose Communication (In press).
- 5) 木村、林「硝酸エステル類の初期異常分解メカニズム」火薬学会西部支部講演集 1994
- 6) Urbansky, T. Chemistry and Technology of Explosives; Pergamon: New York. 1965; Vol. 3
- 7) 硝化綿工業会編「工業用硝化綿の事故事例と考察」(昭和 58 年発行)

以上

