

貯槽の保守，ガス溶断による解体等の作業での爆発・火災・中毒災害の防止に関する研究

The research on prevention of explosion, fire or poisoning accident under maintenance, welding or decomposition of the tank.

板垣晴彦*1 八島正明*1 大塚輝人*1 水谷高彰*1 木村新太*1 佐藤嘉彦*1
菅野誠一郎*2

化学安全研究グループ*1 環境計測管理研究グループ*2

■ITAGAKI Haruhiko, YASHIMA Masaaki, OTSUKA Teruhito, MIZUTANI Takaaki, KIMURA Arata, SATO Yoshihiko, KANNO Seiichiro

化学設備の主要な設備の一つであるタンクや貯槽において、爆発・火災・中毒災害がしばしば発生している。このタンクや貯槽での保守作業や解体工事等では、通常作業中には使用することがないガス溶断作業や切削工具による切断などの作業が行われており、それらの非定常作業中の災害防止は重要な課題である。本プロジェクト研究では、単一技術ではなく、様々な観点から戦略的に災害防止に取り組んだ。具体的には、事故事例の調査と分析、労働災害の原因物質自体の危険性データの測定と収集、解体等の作業に使用する機器や設備の問題点の抽出を取り上げてサブテーマを設定して調査研究を実施し、得られた成果を一体の災害防止策としてとりまとめた。

1 研究の背景

近年、化学設備や機械設備において、老朽化による更新や、産業構造の変化に伴う設備廃棄が増加傾向にある。その際には保守作業や解体工事が欠かせないが、例えばガス溶断作業や切削工具による切断など、通常作業中には実施することのない非定常作業が行われ、裸火の使用や火花の発生を伴う工具・工法が多用されている。

化学設備や機械設備の主要な設備であるタンクや貯槽の場合、その内部にしばしば爆発・火災・中毒災害の原因となる物質（廃液、汚泥、スラッジ、有毒性ガスなど）が残っていたことが原因となって、労働災害が発生している。さらに、保守・解体作業は短期間・集中的に実施されることが多く、作業現場に多くの作業員が集中しやすい。このため、万が一、爆発・火災や有毒ガスの漏えい事故が発生すると、多数の作業員が被災するという重大な災害に至る場合があり、その災害の防止対策が必要とされている。

表1には、最近のマスコミ等の報道から、貯槽に関連した爆発・火災・中毒災害事例をまとめた。

このような研究背景から、本プロジェクト研究では、いわゆる化学プロセスではなく、維持補修時や解体工事

表1 最近の災害事例

2009.12	化学工場で溶断中に爆発し4名死亡
2010.1	反応缶が爆発し、建屋の壁と屋根が大破
2010.3	廃液貯槽が溶断中に爆発し35m飛ぶ
2011.1	原発で足場の補強工事中に出火
2011.7	ビル解体中にガス管を溶断し出火
2011.12	硫酸タンクの漏れを補修中に爆発
2011.12	溶断した鉄板の下敷きで死亡
2012.1	反応缶の圧力が急上昇して爆発、建屋大破
2012.6	廃工場でダクト溶断中に火災
2012.6	ガスタンク検査中にバーナーが引火
2012.7	津波被害の石油タンクを引き上げ中に爆発
2012.9	ドラム缶を切断中に爆発し死亡
2012.11	ひび割れたタンクを溶接修理中に引火
2013.2	病院の増築工事中に出火
2013.5	魚のうろこの地下タンクを清掃中に中毒死
2014.5	サビ落とし中にタンカーが爆発炎上
2014.6	温泉水タンク清掃中に中毒死
2014.7	液化ガスタンクのガス抜き中に爆発
2014.8	石油タンク内で研磨作業中に出火

時といった非定常作業時を対象にした。その特徴は次の通りである。

①裸火の使用や火花を発生する切断器具、あるいは、溶断器具を多用する。

*1 Chemical Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health

*2 Work Environment Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health

- ②工事期間が限定されるので、集中的な工事となり、事業所数も作業員も多い。
- ③作業を請け負う企業が化学設備や取り扱う化学物質に精通しているとは限らない。
- ④ましてや、貯槽内の化学物質や廃液・スラッジ類についての危険性の理解が不十分となりやすい。

2 溶接・溶断作業中の労働災害の分析

1) 溶接・溶断作業中の事故件数¹⁾

2009年春から、厚生労働省は死亡または休業4日以上
の労働災害について、その約1/4を抽出して労働災害
データベース²⁾としてWEB上に公開している。そのデー
タベースでは「年月」「業種」「発生状況」のほかに
「事故の型」「起因物」が掲載されている。

そこで、「起因物」か「発生状況」の欄に「溶接」ま
たは「溶断」を含む事故事例を平成18～20年の事例か
ら検索したところ、900件強あった。この中には溶接機
自体の運搬作業中や溶接欠陥による材料破損といった溶
接・溶断作業が関与していない事例があるので、これを
除外したところ、527件の事例が得られた。

表2は、それらの事例を溶接器具別に分類した結果で
ある。1/4抽出の値で1年間あたり約180件近く、つま
り実件数では1年間あたり700件程度の労働災害が発生
している。

溶接器具別では、判別できない事例が約1/3あるので
断言できないが、全自動または半自動のスポット溶接作
業中の事故がガス溶接やアーク溶接中よりもやや多い。

表2 溶接・溶断作業中の事故件数

	H18	H19	H20	合計
ガス溶接	21	35	25	81
アーク溶接	22	17	30	69
スポット溶接	32	31	30	93
その他・不明	99	93	92	284
合計	174	176	177	527

注) 1/4抽出値なので実件数はこの値の約4倍

2) 労働災害の事故の型¹⁾

表3には、527件を事故の型別に分類した。件数の割
合が多い部分を太枠で強調してある。

ガスを使用した溶接・溶断では、強力なバーナー火災
の特徴が明確であり、火災（着衣火災を含む）が突出し
ており、高温物災害も多い。さらに爆発・破裂事例の大多
数を占めている。

アーク溶接では、アーク火花に起因すると思われる「高
温物」と「火災」がまず思いつくが、わずかの差で「は
さまれ」が最も多かった。

スポット溶接については、「はさまれ」が突出した。
当該作業が全自動または半自動により多数回行われ、動
作がプレス機と類似しているためとみられる。

その他・不明については、多種多様な作業対象物に作

業者側が合わせる必要があり、高所あるいは狭い所での
作業での事例、移動中や向きを変えている時の事例のほか、
作業に伴って対象物が落下した時の事例が目についた。
これらを含め、典型的な事故のパターンを表4にまと
めた。

表3 事故の型別の事故件数

	ガス 溶接	アーク 溶接	スポッ ト溶接	その他 ・不明
墜落転落	8	1	0	45
転倒	1	2	3	16
激突	0	1	2	14
飛来落下	9	2	4	58
崩壊倒壊	6	1	0	19
激突され	0	1	0	17
はさまれ	2	15	73	65
切れこすれ	1	7	4	3
踏み抜き	0	0	0	2
高温物	15	13	3	8
有害物	0	4	1	0
感電	0	5	0	0
爆発	9	2	0	4
破裂	2	0	0	0
火災	25	12	0	15
動作の反動	3	3	3	18

表4 よくみられる事故のパターン

溶接の火災や溶接物の高熱で可燃物に着火して、火災 や爆発
作業直後の溶接箇所接触到して火傷
スポット溶接時に溶接棒間にはさまれ
溶断した部品や破片の落下や、本体と溶断した部品と の間ではさまれ
溶接対象物本体の倒壊や崩壊
溶接対象物本体が大きくて動かないため、人が足場な どを移動中に墜落や転倒
塗膜や可燃物が燃えた際に有毒ガスが発生し中毒

3) 溶接・溶断作業中の爆発・火災¹⁾

労働安全衛生総合研究所が公開している爆発火災デー
タベース³⁾により、溶接・溶断作業が関わる爆発火災事
例を集計し、発生件数の推移を図1に示した。

1970年代には1年あたり15件ほど発生していた。
1980年代に入って1年あたり10件を下回るようになった
ものの、それ以降はほとんど減少してなく、下げ止ま
っている。

図2は、物質別に事故件数を分類した結果で、可燃性
液体がほぼ半数を占めた。作業箇所に残留していたり、
養生や撤去が不十分であったりしたことから、着火した

事例が多く見られた。

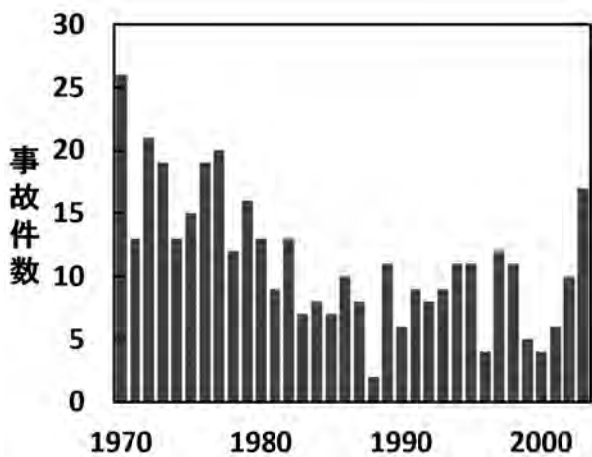


図1 溶接・溶断作業に関わる爆発火災の推移

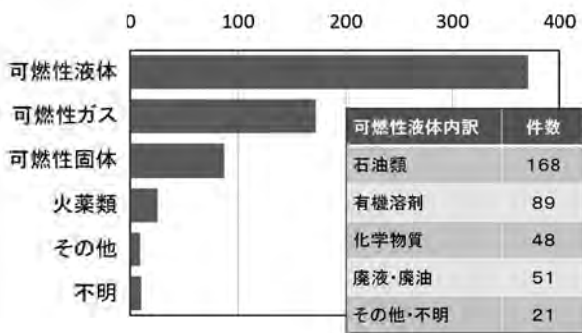


図2 溶接・溶断作業に関わる事例の物質別件数

4) ガス溶断作業の問題点¹⁾

事事故例とその分析から、以下の問題点が明らかになった。

- ①ガス溶断は、出先の作業現場での使用が多い。出先においては、作業場所の防火養生を徹底し、火気作業の許可を得ること、他社の作業との調整が必須である。
- ②ガス溶断に使用する器具は、日本では旧来の低圧式がほとんどである。低圧式では逆火が起こりやすく、逆火防止器に頼っている。消火時などに逆火を発生させるような使い方を繰り返すと、逆火防止器の性能が劣化して、動作せずに逆火事故が起きる可能性がある。欧米のように中圧式の使用が望まれる。
- ③東日本と西日本とでネジの向きが異なる。出先であわてた場合に、ネジを回す方向を誤る危険性がある。
- ④可燃性ガスだけではなく高压酸素を使用している。通常、酸素源には酸素ボンベを用いる。酸素は強い支燃性を有し、可燃性のガスや固体の火災爆発危険性を著しく増大する。
- ⑤作業に使用される吹管やホース、圧力調整器などの器具類は、使用頻度や使用場所によって老朽化や摩耗の程度がまちまちであることから使用年限が定められてなく、性能が劣化したまま使用される場合がある。

3 本報告書の構成

1) 本研究のアプローチ

貯槽において発生する労働災害防止のため、本研究では、様々な観点からの防止対策に取り組んだ。

具体的には、

- ①廃油やスラッジ類、混合液体などの危険性を事前を知るための測定方法と測定データの公開
- ②原因物質を事前に排除するための換気方法
- ③着火源となる溶接・溶断時に発生する火花や電気工具の電気火花についての性状の測定
- ④ガス漏れや火花発生を防ぐための用具の調査・改良やハード対策

に取り組んだ。これらの成果を図3に示すように組み合わせることにより、災害の発生防止を図る。

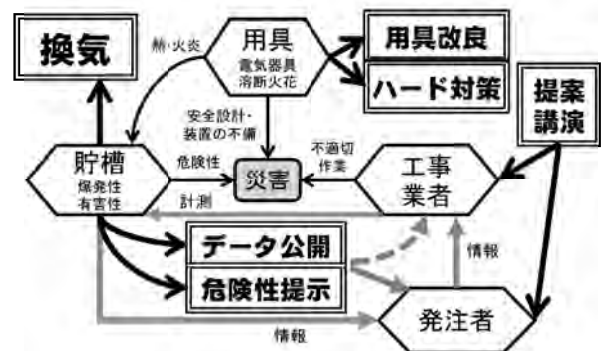


図3 災害防止のための本研究のアプローチ

2) 研究成果の概要

「プロジェクト研究全体の概要」では、研究の概要のほかに、労働災害事例の分析によって洗い出された問題点などをまとめた。

「ガス溶断における火花粒子の飛散」では、溶断速度が一定となる装置を使用して、アセチレン-酸素のガス溶断作業時に発生する火花粒子に着目し、発生状況や速度、冷えた後の粒子径と密度などを観測した。その結果、赤熱した火花粒子の見かけの到達距離は、切断高さが1.5mの時に平均3.1mであり、一部は5m超であること、速度は10~50m/sであること、初期温度は2200~2300℃であることなどを明らかにした。

「貯槽内の換気実験と簡易計算図」では、最有力な未然防止対策である換気に着目し、必要な換気時間の推定を軸として取り上げた。模擬貯槽を用いた換気実験を実施した結果、貯槽内の換気がほぼ完全混合置換で進むことがわかり、これに基づき考案した簡易計算図を説明した。

「湿ったマグネシウム合金研磨粉の燃焼危険性」では、被害が重篤になりやすいマグネシウム合金粉について、湿った場合の燃焼性を実験的に調べ、粉がやや湿った場合に爆発的な燃焼を起こすことを明らかにした。

「混合液体の引火点の測定」では、純物質などでは適応範囲内の測定であれば、測定方法による測定値の差異

は小さいが、高粘稠液体に微量の揮発成分が含まれる混合液体や、水で希釈された可燃性液体では、測定方法によっては他の測定値よりも低い温度で引火することを明らかにした。JIS 等で定められた引火点測定方法と共に、引火点本来の定義により近づけた測定方法を検討し、測定方法による測定値の差異について考察した。

「高性能型熱分析装置による発熱開始温度の測定」では、残査に対しても測定ができる高性能型熱分析装置について、その測定性能を評価すると同時に自然発火性の迅速測定への適用方法を示した。

4 安全ガイドへの展開

本報告書は、研究のプロセスにおいて実施した実験や調査分析も含めて、研究全体を取りまとめたものである。実際に災害防止を図るにあたり、これらの研究成果を作業現場に広めていくには、現場の実情に合わせて、内容

を絞って量を減らしたり、文章をわかりやすいものにしたりにして、読みやすくすると良い。

そこで、本報告書の成果の要点を取りまとめた基本編に、より理解を深めるための解説コラムと文献などをあためて参照しなくても済むための資料編を加えて、安全ガイドとして公表する予定としている。

参 考 文 献

- 1) 板垣晴彦, 労働災害データベースによる分析, 安全工学研究発表会予稿集 pp.53-54, (2011)
- 2) 厚生労働省 職場のあんぜんサイト, 労働災害(死傷)データベース, http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen_pgm/SHISYO_FND.aspx
- 3) 労働安全衛生総合研究所, 爆発火災データベース, http://www.jniosh.go.jp/publication/houkoku/houkoku_2013_03.html

研究業績リスト

課題名:貯槽の保守, ガス溶断による解体等の作業での爆発・火災・中毒災害の防止に関する研究

平成26年度(2014年)		
1	原著論文	Hiroyasu Saitoh, Takaaki Mizutani, Sayuri Kurihara, Tomohito Hori (2014) Observation of Confined Deflagration Phenomena of Flammable Gas Mixtures under Elevated Gravity. Progress in Scale Modeling, Vol.2, pp. 105-114.
2	原著論文	栗原さゆり, 斎藤寛泰, 水谷高彰 (2014) 可燃性ガス定容爆燃特性値測定の最適着火位置の検討, 安全工学, Vol.53, No.3, pp. 181-187.
3	その他の専門家向け出版物	八島正明 (2014) 用語解説:難燃性マグネシウム合金, 火災, Vol.64, No.4, p. 54.
4	その他の専門家向け出版物	藤本康弘 (2014) 特集「化学工場における労働災害の未然防止のポイント」～特集のはじめに, 安全衛生コンサルタント, Vol.34, No.111, pp. 6-7.
5	その他の専門家向け出版物	板垣晴彦 (2014) ガス溶接・溶断に伴う労働災害, 安全衛生コンサルタント, Vol.34, No.111, pp. 8-12.
6	その他の専門家向け出版物	水谷高彰 (2014) 貯槽の解体等の作業での爆発危険性「引火点の測定」, 安全衛生コンサルタント, Vol.34, No.111, pp. 13-18.
7	その他の専門家向け出版物	八島正明 (2014) 金属スラッジの燃焼性, 安全衛生コンサルタント, Vol.34, No.111, pp.19-24.
8	その他の専門家向け出版物	佐藤嘉彦 (2014) 反応暴走の現象と新型の熱分析装置による評価例, 安全衛生コンサルタント, Vol.34, No.111, pp. 25-30.
9	その他の専門家向け出版物	八島正明 (2014) 金属粉による爆発火災災害, TIISニュース258号, (公社)産業安全技術協会, pp. 4-7.
10	その他の専門家向け出版物	八島正明 (2015) 金属火災と爆発の危険性, 予防時報260号, (一社)日本損害保険協会, pp. 18-23
11	その他の専門家向け出版物	佐藤嘉彦, 板垣晴彦 (2015) 貯蔵物質の自然発火性評価, 化学工場・研究所の事故・災害対策とリスク管理, pp. 608-613, 東京, 技術情報協会.
12	国内外の研究集会発表	Yoshihiko Sato (2014) Evaluation for Spontaneous Ignition Hazards of Chemical Substances using Differential Accelerating Rate Calorimeter. The 5th World Conference of Safety of Oil and Gas Industry (WCOGI 2014), Abstract proceedings of WCOGI 2014, p. 55.
13	国内外の研究集会発表	Yoshihiko Sato, Haruhiko Itagaki, Use of Differential Accelerating Rate Calorimeter for Evaluating Spontaneous Ignition Hazards of Chemical Substances, The 7th International and the 9th China-Japan Symposium on Calorimetry and Thermal Analysis (CATS 2014) , Abstract collection of CATS 2014, p. 27
14	国内外の研究集会発表	板垣晴彦, 八島正明, 大塚輝人, 水谷高彰, 佐藤嘉彦 (2014) 化学設備での更新・解体工事等の非定常作業における爆発火災中毒災害の防止について. 第73回全国産業安全衛生大会研究発表集, pp. 348-350.
15	国内外の研究集会発表	板垣晴彦, 菅野誠一郎 (2014) 貯槽内での維持保守等の作業前に必要な換気に関する実験的研究. 安全工学シンポジウム2014講演予稿集, pp. 384-385.
16	国内外の研究集会発表	佐藤嘉彦, 板垣晴彦 (2014) 貯蔵物質の自然発火性の迅速評価法に関する検討, 安全工学シンポジウム2014 講演予稿集, pp.380-383.
17	国内外の研究集会発表	八島正明 (2014) 産業現場から回収したガス溶断器具の経年劣化・不具合に関する調査, 第47回安全工学研究発表会講演予稿集, pp. 159-162.
18	国内外の研究集会発表	板垣晴彦 (2014) 模擬貯槽内の濃度変化への換気方法による影響について, 第47回安全工学研究発表会講演予稿集, pp. 175-176.
19	国内外の研究集会発表	八島正明 (2014) 湿ったマグネシウム合金粉の堆積層に沿った燃え拡がり, 第52回燃焼シンポジウム講演予稿集, pp. 156-157.
20	その他講演	水谷高彰 (2014) 可燃物液体が起因する爆発火災事故, 危険物取扱者実務講習会, 清瀬消防署, 東京
平成25年度(2013年)		
1	原著論文	Arata Kimura, Teruhito Otsuka (2013) Performance Evaluation of Differential Accelerating Rate Calorimeter for the Thermal Runaway Reaction of Di-tert-butyl Peroxide. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol.113, No.3, pp. 1585-1591.
2	著書・単行本	板垣晴彦 (2013) 第6章「災害事例」ほか, 「ガス溶接・溶断作業テキスト」改訂編集委員会, ガス溶接作業主任者テキスト(第2版), pp. 113-122. 中央労働災害防止協会.
3	国内外の研究集会発表	Hiroyasu Saitoh, Takaaki Mizutani, Sayuri Kurihara, Tomohito Hori (2013) Observation of Confined Deflagration Phenomena of Flammable Gas Mixtures under Elevated Gravity. Seventh International Symposium on Scale Modeling, Proceeding of Seventh International Symposium on Scale Modeling, 6-03 pp. 1-10.
4	国内外の研究集会発表	板垣晴彦 (2013) 模擬貯槽内での換気による濃度変化の実験的研究. 第46回安全工学研究発表会講演予稿集, pp. 144-145.

5	国内外の研究集会発表	笹原康平,大塚輝人,越光男,熊崎美枝子 (2013) イオン化ポテンシャルと電子親和力に基づくトリアゾール誘導体とジニトロベンゼンの混合物の反応性の検討. 火薬学会2013年度秋季研究発表会予稿集, pp. 61-62.
6	国内外の研究集会発表	八島正明 (2013) ガス溶断で発生する火花の特性. 安全工学会, 第46回安全工学研究発表会講演予稿集, Vol.46, pp. 159-162.
7	国内外の研究集会発表	八島正明 (2013) 水などに浸漬後のマグネシウム合金研磨粉じんの燃焼性, 第46回安全工学研究発表会講演予稿集, Vol.46, pp. 35-36.
8	国内外の研究集会発表	栗原さゆり, 斎藤寛泰, 水谷高彰 (2013) 定容爆燃における燃え拡がり形態の分類と評価指標による予測, 第51回燃焼シンポジウム, pp. 384-387.
9	災害調査関連	リサイクル工場で発生した爆発火災災害(中間タンクでの混触)(2013)
10	災害調査関連	穀物倉庫における爆発災害(タンク内での生分解,酸化によるくん焼)(2013)
平成24年度(2012年)		
1	国内外の研究集会発表	Arata Kimura (2012) Thermal Runaway Hazard Evaluation of Di-tert Butyl Peroxide by Using Differential Accelerating Rate Calorimeter. 50th IGUS-EOS (International Group of Experts on Explosion Risks of Unstable Substances, Energetic and Oxidizing Substances Working Group).
2	国内外の研究集会発表	Arata Kimura (2012) Hazard Evaluation of Runaway Reaction of Di-tert butyl Peroxide by Using Differential Accelerating Ratecalorimeter. 15th International Congress on Thermal Analysis and Calorimetry, ICTAC-15 Abstract, USB flash media.
3	国内外の研究集会発表	木村新太 (2012) 示差型断熱熱量計による有機過酸化物の熱的危険性評価. 火薬学会2012年度春季研究発表会講演要旨集, pp. 137-138.
4	国内外の研究集会発表	木村新太 (2012) 示差型加速速度熱量計を用いたDTBPの熱安定性評価に関する研究. 日本プロセス化学会2012サマーシンポジウム講演要旨集, pp. 134-135.
5	国内外の研究集会発表	八島正明 (2012) ガス溶断における火花粒子(スパッタ)の飛散. 安全工学シンポジウム2012講演予稿集, pp. 340-343.
6	国内外の研究集会発表	木村新太 (2012) 示差型断熱熱量計を用いた貯槽内化学物質の熱安定性評価に関する研究, 第45回安全工学研究発表会, pp. 7-8.
7	国内外の研究集会発表	八島正明 (2012) 水などで湿ったマグネシウム合金の研磨粉じん層に沿った燃え拡がり, 第45回安全工学研究発表会, pp. 53-56.
8	国内外の研究集会発表	篠田匡史, 大塚輝人, 熊崎美枝子, 三宅淳己 (2012) 濃度分布を有する可燃性蒸気の爆発挙動. 第45回安全工学研究発表会, 第45回安全工学研究発表会, pp. 75-76.
9	国内外の研究集会発表	栗原さゆり, 斎藤寛泰, 水谷高彰 (2012) 浮力を考慮した大容積定容爆燃の最大圧力および最大圧力上昇速度の測定における最適着火位置の検討, 第45回安全工学研究発表会, pp. 85-88.
10	国内外の研究集会発表	篠田匡史, 大塚輝人, 熊崎美枝子, 三宅淳己 (2012) 爆発下限界値を下回る濃度での可燃性蒸気の爆発挙動. 第50回燃焼シンポジウム, 第50回燃焼シンポジウム, pp. 496-497.
11	国内外の研究集会発表	水谷高彰, 木村新太, 八島正明 (2012) 産業廃棄物の引火性の評価事例, 第45回安全工学研究発表会, pp. 163-164.
12	災害調査関連	化学工場で発生した爆発火災災害(中間タンクでの反応暴走)(2012)
平成23年度(2011年)		
1	総説ほか	安藤隆之 (2011) 震災から約5か月、今一度見直したい～化学物質の爆発・火災危険性の評価手法. MATERIAL STAGE, Vol.11, No.5, pp. 21-23. 技術情報協会.
2	国内外の研究集会発表	Takaaki Mizutani, Kunihiko Koike, Sadaki Nakamura, Hiroshi Nishimura, Masahiro Hurutani, Goichi Inoue (2011) Inert Gas Effects on Decomposition Deflagrations of Ozone, APSS 2011, Jeju, Korea, pp. 300-303.
3	国内外の研究集会発表	板垣晴彦 (2011) 労働災害データベースによる分析～溶接・溶断作業中の事故事例～. 第44回安全工学研究発表会予稿集, pp. 53-54.
4	国内外の研究集会発表	栗原さゆり, 斎藤寛泰, 水谷高彰 (2011) 最大爆発圧力およびKg値に対する空間スケールの影響, 第44回安全工学研究発表会予稿集, pp. 69-72.
5	災害調査関連	化学工場で発生した貯蔵タンク覗き窓の破損災害(タンク内残渣の反応暴走)(2011)
6	災害調査関連	化学工場においてタンク補修中に発生した爆発災害(タンク材質と酸による水素発生)(2011)