

200938006A

厚生労働科学研究費補助金

(労働安全衛生総合研究事業)

# 静電気リスクアセスメント手法の確立

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 大澤 敦

平成22年5月

# 目次

## 総括研究報告

静電気リスクアセスメント手法の確立（大澤敦） .....	1
------------------------------	---

## 分担研究報告

静電気リスクアセスメントの現状調査（大澤敦，島田行恭） .....	3
-----------------------------------	---

静電気リスクアセスメント手順の整理（島田行恭） .....	6
-------------------------------	---

静電着火リスク分析手法の構築（大澤敦） .....	10
---------------------------	----

研究成果の刊行に関する一覧 .....	16
---------------------	----

## 静電気リスクアセスメント手法の確立

研究代表者 大澤 敦，労働安全衛生総合研究所上席研究員

**研究要旨：**本研究は，平成 18 年 4 月の改正労働安全衛生法の施行により努力義務が明示されるようになったリスクアセスメントが静電気においても的確に実施されるための支援技術として，静電気リスクアセスメント手法を確立することを目的としている。静電気リスクアセスメントの現状を把握して活用される手法を開発するための実態調査（事故事例分析および現場調査）を継続して実施している。さらに，プロセス安全の確保のために考慮される 3 つの観点（構造，挙動，操作（作業環境））からハザード抽出（原因想定）とハザード分析（影響予測，リスクランク決定），リスク低減対策検討，及び現状の安全対策の有効性確認を行うための手順を整理している。これらの結果を踏まえて，国際規格のリスクアセスメントの流れに準じて静電気リスク分析手法を構築している。現在，このリスク分析手法の一部について事故事例応用と現場試験運用によって，妥当性を確認しているが，今後，これを全体的に文書化して，現場試験運用を実施する予定である。

### 研究期間

平成 20 年 4 月 1 日～平成 23 年 3 月 31 日（3 年間）

### 研究代表者

大澤 敦（労働安全衛生総合研究所上席研究員）

### 研究分担表者

島田行恭（労働安全衛生総合研究所主任研究員）

### 研究協力者

泉 房男（産業安全技術協会）

太田 潔（住友化学安全工学センター）

三原一気（三菱化学 RC 推進部）

向殿政男（明治大学大学院工学研究科教授）

M. Glor (Swiss Inst. Safety & Security)

P. Holdstock (Holdstock Technical Services, UK)

J. Smallwood (Electrostatic Solutions, UK)

U. von Pidoll (PTB, Germany)

### B. 研究方法

#### B.1 静電気リスクアセスメントの現状調査

活用される手法とするために現状調査により実態を把握して開発手法のレベル，方針が決められている。

#### B.2 静電気リスクアセスメント手順の整理

ISO/IEC Guide 51 に示されたりスクアセスメントの手順を基本として，プロセス安全確保のために考慮される 3 つの観点（構造，挙動，操作（作業環境））から静電気リスクアセスメント実施時のチェックポイントなどを整理し，手順を体系化する。具体的なチェックポイントの例は静電気安全の専門家による現場指導への同行を通してまとめる。

#### B.3 静電気リスク分析手法の構築

ISO/IEC Guide 51 に示されているリスクアセスメント手法の流れをベースとしてリスク分析手法（ハザード同定，リスク見積）を構築する。系統的に静電気着火リスクを調査・分析できるように，静電気着火のフロー（可燃性雰囲気形成，帯電，静電気放電，着火という静電気着火過程）を用いる分析手法を，事故事例分析および現場調査結果および昨年度に検討した静電気ハザードを抽出するために選定された必要な要素を盛り込んで提案する。さらに，静電気着火リスクの見積のために必要なデータはこのハザード同定の段階で求められているようにする手法を提案する。

### A. 研究目的

リスクアセスメントは欧州で十数年の試行錯誤の末に確立された事故未然防止の安全技術であり，グローバル・スタンダードになっている。我が国でも平成 18 年 4 月の改正労働安全衛生法の施行により，リスクアセスメントの努力義務が明示されるようになったが，静電気着火リスクの事前評価に適用する場合，実施者の知識不足から的確に実施されていないのが現状である。その技術的支援としての基盤技術となる静電気リスクアセスメント手法を確立する。

**(倫理面への配慮)**

研究の性質上、倫理面の問題がないと判断する。

**C. 研究結果および考察****C.1 静電気リスクアセスメントの現状調査**

静電気リスクアセスメントの現状を把握するために、21 年度も引き続き、現場調査および事件事例分析を実施した。

担当者の認識・基礎不足から静電気リスクアセスメントが的確に実施されていないという状況は、今年度にも実施した現場調査においても同じであった。たとえば、導体の接地という静電気対策として基本的で、かつ、リスクとして重大なハザードの抜けが散見できている。

これらの調査・分析結果は開発手法の妥当性検討および改良に活用した。

リスクアセスメントを的確に実施するためには、静電気安全の基礎教育が必要と考える。さらに、円滑なリスクコミュニケーションのためにも、作業員から管理者までの知識レベルの均等化、特に、レベルのボトムアップが推進されなければならない。支援技術として単に、機械的にできるようなフローやチェックシートなどを提供するだけでは本質的なリスクアセスメントの実施の支援にはなっていない。したがって、静電気安全の基礎を理解できるような教育的な工夫も開発手法に必須であると考えられる。

**C.2 静電気リスクアセスメント手順の整理**

プロセス安全の確保のために考慮される 3 つの観点（構造、挙動、操作（作業環境））からハザード抽出（原因想定）とハザード分析（影響予測、リスクランク決定）、リスク低減対策検討、及び現状の安全対策の有効性確認を行う手順を整理した。その結果、従来、経験ベースで実施されてきた静電気リスクアセスメントの手順を論理的に体系化することができた。

**C.3 静電気リスク分析手法の構築**

国際規格に示されているリスクアセスメントの流れをベースとして静電気リスク分析手法の骨子を構築している。

静電気着火のフローに沿って、可燃性雰囲気形成、帯電、着火性放電ハザードに分けて、順にハザードを解析・同定できる手法を提案した。さらに、現場調査での抜けおよび事件事例に多い絶縁体ハザードは、防止策として、これの同定を別に設けて調査できるようにした。

このフロー沿った項目を順にチェックする方法を提案した。

昨年度に選定した、網羅的にハザードを抽出できる

ようにするための静電気ハザードの同定に必要な項目をこのハザード同定に盛り込んだ。

静電気着火のリスク見積りに必要なデータは、このハザード同定の段階で求められているように工夫した。これらのデータをもとにマトリックス法を適用して総合的にリスクを見積もる方法を提案した。

**D. 結論****D.1 静電気リスクアセスメントの現状調査**

現場で導体の接地という静電気対策として基本的で、かつ、リスクとして重大なハザードの抜けが散見できているように、静電気リスクアセスメントが適切に実施されていない状況である。静電気安全の基礎を学習できるような配慮が開発手法に盛り込まれることが不可欠であるので、ハザード同定および静電気対策の科学的根拠を示すことにした。

**D.2 静電気リスクアセスメント手順の整理**

化学プラント安全設計の基本的な考え方と静電気安全のエキスパートによる指導ポイントを組み合わせることで静電気リスクアセスメントの体系化について検討した。

**D.3 静電気リスク分析手法の構築**

ISO/IEC Guide 51 で示されているリスク分析の流れをベースとして、静電気着火ハザードの同定およびリスク見積手法を提案し、静電気リスク分析手法を構築した。

**E. 健康危険情報**

なし

**F. 研究発表****F.1 論文発表**

- (1) Ohsawa A, "Prevention criteria of electrostatic ignition by a charged cloud in grounded tanks," 11th International Conference on Electrostatics, Electrostatics 2009, (2009)
- (2) Ohsawa A, "Prevention criteria of electrostatic ignition by a charged cloud in grounded tanks," J. Electrostat., 67, pp.280-284 (2009)

**F.2 学会発表**

- (1) 大澤, 島田, "事件事例にみる静電気危険源," 第 42 回安全工学研究発表会 (2009)
- (2) 大澤, 島田, "事件事例分析に基づいた静電気着火危険源の抽出," 2010 年度静電気学会研究会 (2010)

**G. 知的財産権の出願・登録状況**

なし

## 静電気リスクアセスメントの現状調査

研究代表者 大澤 敦，労働安全衛生総合研究所上席研究員  
研究分担者 島田行恭，労働安全衛生総合研究所主任研究員

研究要旨：静電気の立場からリスクアセスメントの現状を調査している。目的は、静電気事事故事例の分析、現場調査・アンケート調査・海外調査によりその実態を把握して、開発するリスクアセスメント手法のレベルや方針を検討することである。今年度も引き続き分析・調査を実施し、開発リスクアセスメント手法に活用している。

### A. 研究目的

静電気着火のリスクアセスメントの現状調査により、その実態を把握して、確立しようとするリスクアセスメント手法を検討する材料とする。

### B. 研究方法

#### B.1 静電気事事故事例分析

静電気が原因といわれている 305 件（1960-2007 年）の事故のうち静電気が原因であると推定できた 152 件の事故の分析調査結果をハザード同定法に活用する。さらに最近の静電気事事故事例（2008 年以降）を追加して分析する。

#### B.2 現場調査

現場での静電気リスクアセスメントの実態を調査する。現状の問題を開発手法に活用することが目的である。

（倫理面への配慮）

研究の性質上、倫理面の問題がないと判断する。

### C. 研究結果および考察

#### C.1 静電気事事故事例分析

事事故事例分析調査により見いだされた静電気着火ハザードの傾向は以下のとおりである。

##### C.1.1 可燃性雰囲気形成ハザード

可燃性雰囲気はガスが 9.8%，蒸気が 66.7%，粉じんが 16.3%，蒸気+粉じんのハイブリッドが 7.2%と圧倒的に可燃性液体が取り扱われるところでその蒸気が可燃性雰囲気を形成して着火しているケースが多い。

##### C.1.2 帯電ハザード

主な帯電（電荷発生）の原因は液体の流動（32.2%）、摩擦・衝突（30.3%）、漏洩・噴出（25.0%）、はく離（9.9%）、

噴霧（5.3%）である。

##### C.1.3 静電気放電ハザード

静電気放電が発生するおもな原因は絶縁導体（作業者も含む）の静電誘導によるものであり、その割合は 71.9%であった。これは火花放電に相当する。絶縁導体となったハザードは、掃除道具の金属部、金属へら、金属容器（ペール、ビーカー、ドラムなど）、計量器、金属漏斗、バグフィルタ・ふるいの金属枠、金属棒、金属スコップ、仕切り板、絶縁ホース・配管の接続部および終端、作業者（絶縁性靴、絶縁性床）であった。

他の原因は帯電した物体と接地導体（作業者も含む）との放電であり、これは、ブラシ放電、沿面放電およびコーン放電であった。主に、ブラシ放電によるものが多く、次いで、沿面放電は袋類からのものが多い。コーン放電と思われるものは 1 件（ガス抜き不足のペレットの空気輸送サイロ充てん）であった。

##### C.1.4 事故時何をしていたか

液体流動が帯電原因となった事故では、液体配管輸送、洗浄、フィルタ洗浄、充てん、給油、移し替え、ドロップパイプ挿入不良、スブラッシュローディング、絶縁性ホース・配管による液送、絶縁性容器の利用、マイクロフィルタの利用、ドレイン抜き、サンプリング、検尺、結晶化などの作業中であった。

摩擦・衝突が帯電原因となった事故では、粉体空気輸送、サイロ充てん、液体への粉体投入（フレコン、袋による直接投入による爆発雰囲気形成）、粉体・樹脂排出、流動乾燥、乾燥工程、粒度選別、清掃などの作業中であった。最近の事事故事例も 3 件のサンプリングであった。

漏洩・噴出が帯電原因となった事故では、メンテナ

ンス（定修、清掃、フランジかた締め、ガスケットサイズの間違い、パッキン取り付け不良）、再開前の試験、点検後の運転再開時、通常運転時（配管経年腐食、配管接続不良）、異常反応（希釈せずに原料投入し圧力上昇などの操作ミス）、ドレイン抜き、ドレイン開放（バルブ操作ミス）などの作業中であった。

はく離が帯電原因となった事故では、集塵器清掃、ホッパー・配管・シュートをたたき、バグフィルタ払い出し、バグフィルタを絶縁性棒でつつく、ポリエチレン袋のドラムからの抜き出し、FIBC・ホッパー下部抜きの開放、ロール工程などの作業中であった。

### C.1.5 静電気対策の 5 つの原則

絶縁導体との火花放電が 7 割強占めており、導体（作業者も含む）を接地していれば未然に防止できていたはずである。導体の接地は静電気対策の基本であるにもかかわらず、この種の事故が絶えないのは知識や管理の不足によるものと考えられる。以下に示す静電気対策の原則を十分に理解して、実施していれば、これらの事故は未然に防止できたことは確かである。

#### (1) 導体の接地

- 接地・ボンディングによる電荷緩和と同電位化

#### (2) 作業者の対策

- 靴と床の導電化による人体の接地
- 帯電防止作業服による衣服の帯電防止と作業服からの着火性放電防止

#### (3) 導電性材料の利用

- 絶縁物の排除 → 導電化・接地による電荷緩和

#### (4) 低速処理

- 帯電の低減

#### (5) 爆発性雰囲気防止

### C.1.6 安全教育

静電気安全の基礎の欠乏が根本的な事故原因であるので、管理者および作業者（協力会社も含む）の静電気安全教育を充実させる必要があり、静電気安全の理解・解釈が本質的な対策と考える。

### C.1.7 安全管理

人がかかわる作業やメンテナンス等の非定常作業時に事故が多い、作業手順書の不備などの事故事例からみると、事故防止には安全管理も重要な要素である。

### C.1.8 事故事例分析の活用

最も興味深い結果は静電気着火の原因が静電誘導であり、静電気対策の基本である導体の接地がなされていれば、事故の 7 割強は、被災者も含めて、未然に防止できていたということである。静電気安全の理解不

足が根本的な原因であったということである。適切な静電気リスクアセスメントの実施にも静電気安全の基礎を理解することが望まれるので、この点を手法に導入したいと考える。

これらの事故事例分析結果はハザード同定に活用している。

### C.2 現場調査

今年度も引き続き、静電気リスクアセスメントの実態を 4 社 5 事業場で調査した。いずれの安全対策も管理者のレベルに依存しており、網羅的、系統的にはリスク分析、評価がなされておらず、リスクアセスメントといえるような状況にないことがわかった。このような状況にもかかわらず、何とか対策できているのは管理者の努力の賜と解せる。

実際に抽出されていたハザードを分析すると、絶縁導体、帯電要因となる噴出、噴霧、はく離、摩擦、流動をガイドワードしてハザード抽出できることがわかった。

導体の接地という静電気対策の基礎ともいえる対策が欠落しているところが散見できている。ハザード同定の手法に工夫が必要であると同時に、管理者および作業者の静電気安全のレベルを高めるためにも、開発する静電気リスクアセスメントには、自然に静電気の基礎をわかりやすく学習できいるような配慮・構成が必要である。また、作業の手順によって対策が不備となることもあったので、このような作業手順によって生じうるハザードも示す必要がある。さらに、的確なリスクアセスメントのためには対策（リスク低減策）の物理的意味・根拠も必要と考える。

### D. 結論

実態調査により静電気危険性の認識不足と静電気安全の基礎の知識不足から現状では的確に静電気リスクアセスメントを実施しているとはいえないことがわかった。静電気安全の理解不足が根本的な原因であるので、開発手法には静電気安全の基礎を習得できる要素と静電気対策の know why が含まれていなければならない。そうでなければ、本質的にリスクを評価していることにはならないと考える。事故事例分析はハザード同定に活用される。

### E. 研究発表

#### E.1 学会発表

- (1) 大澤、島田，“事故事例にみる静電気危険源,” 第 42 回安全工学研究発表会 (2009)
- (2) 大澤、島田，“事故事例分析に基づいた静電気着火危険源の抽出,” 2010 年度静電気学会研究会 (2010)

F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

## 静電気リスクアセスメント手順の整理

研究分担者 島田行恭，労働安全衛生総合研究所主任研究員

研究要旨：プロセス安全の確保のために考慮される3つの観点（構造，挙動，操作（作業環境））からハザード抽出（原因想定）とハザード分析（影響予測，リスクランク決定），リスク低減対策検討，及び現状の安全対策の有効性確認を行う手順を整理した。その結果，従来，経験ベースで実施されてきた静電気リスクアセスメントの手順を論理的に体系化することができた。

### A. 研究目的

操業開始後のプラント（設備）において，(1) 網羅的なハザード抽出を目的とした可燃性雰囲気の有無の把握及び着火源の管理に関するチェックポイント，(2) 安全対策を提案する上での検討ポイントと注意点，及び(3) 対策の有効性を確認するためのチェックポイントを示した静電気リスクアセスメントの手順を整理する。

### B. 研究方法

化学プラントの安全設計の考え方を参考に静電気リスクアセスメント実施時のチェックポイントなどを整理し，手順の整理を目指す。ISO/IEC Guide. 51 に示されたリスクアセスメントの手順を基本として，プロセス安全確保のために考慮される3つの観点（構造，挙動，操作（作業環境））から静電気リスクアセスメント実施時のチェックポイントなどを整理し，手順を体系化する。具体的なチェックポイントの例は静電気安全の専門家による現場指導への同行を通してまとめる。

#### （倫理面への配慮）

研究調査の対象は化学プラント等のリスクアセスメント手法の現状などであり，倫理面に配慮すべき対象はない。

### C. 研究結果

リスクアセスメント実施でもっとも難しいのは如何に網羅的にハザードを見付け，効果的な安全対策を提案するかである。化学プラントのリスクアセスメントではHAZOPやFMEAのような対象プロセスに潜在するハザードを網羅的に発見するための手法が用いられているが，これまでの化学物質を対象としたリスクアセスメントではハザードの抽出は着火の三原則（可燃性物質の有無，着火源の存在，空気存在）が揃う

環境であるかどうかを判断の基準とし，対象設備の特性（プラントの構造），作業による作業（操作手順や工程管理）についての検討は経験的な判断に委ねられていたと言える。このため，これらのプラントの構造の不備（設備管理の不備を含む）や作業環境の不具合（作業者の作業着などの不備を含む）が原因となるハザードを網羅的に抽出することは困難とされてきた。

一方，化学プラントの設計の基本は次のようにまとめられる。

- ①製品を得るために起こさせたい反応（プロセス挙動）がある。
- ②プロセス挙動を実現するための操作（操作手順）を決める。
- ③プロセス挙動と操作を行うために必要な反応器や周辺装置などの機器を選択し，プラントの構造を決定する。

本研究では，これら化学プラント設計の3つの視点を参考にした静電気リスクアセスメント手順について検討した。

図1の左はISO/IEC Guide 51にも示されているリスクアセスメントの手順であるが，プロセス挙動，プラント構造，プラント操作手順（工程管理）のそれぞれの面から検討することで，網羅的で論理的な潜在ハザードの抽出とリスク低減対策の検討が可能となる。以下，図1の流れに沿って説明する。

#### (1) リスクアセスメント対象（前提条件，使用条件）の把握

対象プロセス（設備）で取り扱う物質及び反応の特性，プラント設備仕様の確認，及びプラントの操作手順（工程）に加え，作業環境の確認を通してリスクアセ



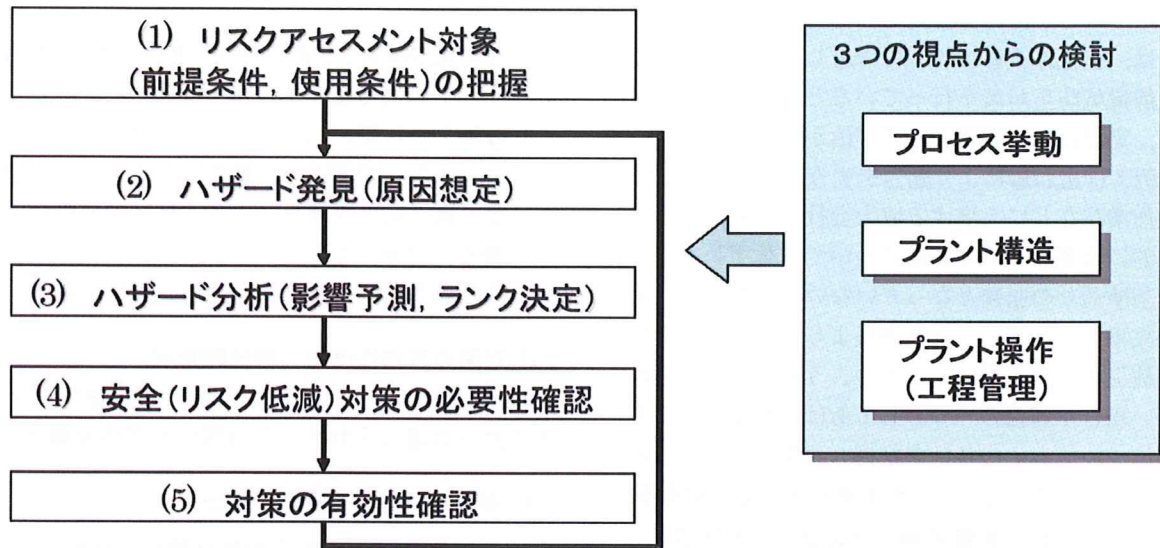


図 1 静電気リスクアセスメントの手順

メントの対象（範囲）を把握しておく。①取扱物質については可燃性物質であるかどうかに加え、それぞれの物質の引火点や最小着火エネルギーなどを把握し、使用される条件（反応条件や操作条件）を把握しておく。②プラント設備の仕様については、設備の誤った使用方法も含め、劣化の具合や設備の材質、故障モード（どのような故障を引き起こすかをまとめたリスト；FMEA ではよく利用される）などを確認しておく。③プラントの操作手順あるいは実際の現場で用いられる工程管理表などを参考に操作手順あるいは作業手順を把握しておく。さらに④静電気発生の有無を検証するために、③で実施する操作あるいは手順がどのような環境で実施されるかを確認しておく。この時、作業者の作業着、作業靴、作業周辺環境に置かれている作業道具（計測器、清掃用具なども含む）の材質やその使用方法なども調べておく。

**(2) 現場ハザード抽出（原因想定）**

(1)での確認事項を基に、リスクアセスメント対象に潜在するハザードを抽出する。ハザード抽出については網羅性を確保することが最も重要であるが、ここでは、次のような観点から検討することを提案する。

1) 取扱物質について（可燃性物質の有無）のチェック  
可燃性雰囲気形成の可能性を調べるためには取扱物質の置かれる環境（密閉系か開放系かなど）、設備的な漏れは考えられないかなどを検討する。

2) 着火源の有無（静電気発生の有無）のチェック  
着火源の有無を網羅的にチェックするためには何らかの手順、分類に従って解析をすることが重要である。ここでは、①作業の流れに沿った分析、②プラント（設備）の構造に沿った分析、③作業環境の分析に分けて考える。

**①作業の流れに沿った分析**

一般に操作手順書（SOP；Standard Operating Procedure）、品質管理工程管理表（QC 工程図）、作業工程表などがあるが、それぞれに記載された作業手順に沿って分析を行う。作業状況の観点から検討する場合には次のような分類が考えられる。1) 定常／非定常作業時（原料仕込み、サンプリング、製品取り出し）、2) 非定型作業時（切り換え作業、清掃作業）。その他、考えられる作業としては外部協力会社による工事対応などがあるが、この場合、オーナー会社と同様の条件を満足しているかどうか重要な確認ポイントとなる。

**②プラント（設備）の構造に沿った分析**

プラント（設備）の情報としては PFD（Process Flow Diagram）、P&ID（Piping and Instrumentation Diagram）などがあるが、それぞれの図面により、プロセス（製造）の流れに沿って分析を行う。この時、設置されている設備、装置などの故障モード毎にハザード発生の有無（漏洩の可能性など）を確認することで、網羅的な検討が可能になる。また、設備についてはその材質により静電気対策を必要とするかどうかの判断を行うとともに、現場の診断で絶縁状態になっていないかを確認することも重要である。

**③作業環境のチェック**

作業環境が密閉された場所であるか開放環境であるかなどの観点からの解析を進める。既に静電気対策を行っていると思われる場合でも、作業の途中で一時的に解除し、絶縁状態にしてしまう場合があり、再度のチェックを要する。また、清掃用具などを含む作業道具についてもその仕様意図、材質、保管方法などをチェックし、静電気を発生させる可能性が無いかを解析する。さらに、作業者の服装（作業着や作業靴など）に

については、自社作業員については厳しいルールが定められ、静電気防止対策を行っているとしている場合が多いが、実際には素材の有効性が活かし切れていない場合（例えば重ね着により効力を失う）がある。また、非定常作業時などに入構する協力会社の作業員やその他一時的に作業を行う作業員については必ずしも定められた基準通りの服装となっていない場合が多い。実際の事故事例として、自社作業員よりも協力会社の作業員が被災する例が多いのはこのような基準が守られていない場合が理由の一つとしてあげられる。作業員の服装についてもその特性を把握し、常に定められたルールが守られているかどうかを解析する必要がある。

### (3) ハザード分析（影響予測、リスクランク決定）

(2)で抽出されたハザードとその原因に対して、爆発・火災に至るかどうかの異常の伝播構造（シナリオ）を検討する。この時、現状の対策は存在しないものとして影響解析を行う。現状の安全対策の有効性については(4)で確認する、これにより、現状の対策の意図と必要性も明確にすることができる。異常伝播のシナリオを検討する際には、作業員の人数や設備の配置、避難経路の有無なども含めて解析を行う。

異常伝播のシナリオに従って、ハザード発生の頻度（確率；できれば作業員による誤操作、誤判断の可能性も含める）と影響の大きさを推定し、定性的な解析で十分な場合にはリスクマトリクス表などを用いてリスクの大きさを決定する。定量的な解析を必要とする場合には静電気発生の可能性の有無を前提とし、要素の故障発生確率などを調べるとともに、影響度解析手法などにより被害の大きさを求め、リスクの大きさを算定する。

### (4) 安全（リスク低減）対策の確認

(3)で得られた異常伝播シナリオに従って、安全対策の必要性を検討する。まずは現状の対策の有無を確認し、異常伝播のシナリオのどこまでを断ち切る対策が実施されているかの有効性を確認する。この時、現状の対策がどこまでカバーできているかを把握しておくことが重要である。現状の対策で不十分であれば、さらに追加の対策を検討するが、ここでは一つのシナリオへの対策の候補として挙げておき、最終的には全シナリオについての検討結果として得られた対策でもっとも有効な（合理的な）対策を実施することになる。どこまで対策を実施すればよいのか？という課題に対してはALARPの原則に従うこと。

対策を検討する際の優先順位は以下の通りである。

1. 本質安全化：取扱物質（量）の変更、操業条件の変更（影響緩和にも繋がる）など

2. 作業環境改善：静電気発生対策、作業の自動化（ハザード発生頻度を下げる）など
3. 設備上の対策：センサの冗長化、安全インターロックの設置、防爆壁・防液堤などの設置、緊急時対応計画、防災訓練などによる被害の局限化（影響緩和）対策、など
4. 作業改善：作業着、安全靴、教育・訓練、など

### (5) 対策の有効性確認（継続的管理）

操業開始後にリスクアセスメントを実施する際には、次の点を考慮に入れて安全対策の有効性を確認する。

#### 1. 安全対策の維持管理の確認

- 引き続き、安全対策は維持されているか？
- その後、外されていないか？
- 放置されているものはないか？

#### 2. 現場作業員による安全対策の把握

- 安全対策の意図（カバーされている範囲なども含めて）を現場作業員が理解しているか？
- 設計論理の共有と理解
- ドキュメント作成の有無
- 基準類整備

## D. 考察

専門家による静電気安全の診断過程（経験的な知見）に着目し、静電気リスクアセスメントの手順の整理を試みた。一般に化学プラント（設備）安全設計の基本はプロセス挙動、プラント構造、プラント操作（管理）の整合性確保であるが、どの要素に不具合が生じて異常が発生し、最悪の場合には事故・災害に至る。本研究では静電気リスクアセスメントを網羅的に実施するために、3つの視点をベースにした分析・検討を整理した。その結果、従来の経験ベースで実施されてきたリスクアセスメントの手順を論理的に体系化し、検討の網羅性を確保することに繋がる。

## E. 結論

国内、数カ所の手企業を訪問し、静電気を中心としたリスクアセスメントの現状調査と静電気安全の専門家による指導ポイントを分析することで静電気リスクアセスメントの体系化について検討した。これまでの静電気リスクアセスメントについては現場をよく知る作業員による経験的な判断に基づいてハザード抽出が行われていたが、現場に慣れ過ぎていて、解析漏れに気付かない場合、目的が明確にされていないままに対策が施されている場合、対策の有効性が現場作業員に伝わっていない場合などがあつた。本研究では化学

プラント安全設計の基本的な考え方と専門家による指導ポイントを組み合わせることで、静電気リスクアセスメントを進める上での手順の整理を試みた。今後はこれらの手順を実務ベースで議論するとともに、実際

のリスクアセスメントで導入して貰い、改善を続ける。

F. 研究発表および知的財産権の出願・登録状況  
なし

## 静電気リスク分析手法の構築

研究代表者 大澤 敦，労働安全衛生総合研究所上席研究員

**研究要旨：**国際規格に示されているリスクアセスメントの流れをベースとして静電気リスク分析手法を構築している。静電気着火ハザードは、静電気着火のフローに沿って、可燃性雰囲気形成、帯電、静電誘導、静電気放電ハザードを順に検討する方法を用いている。このハザード同定法では網羅的に静電気着火ハザードを抽出できるようにチェック項目を選定している。このハザード同定の段階でリスク見積に必要な指標（可燃性雰囲気の形成とその着火性、発生しうる放電タイプ）を導出して、総合的に静電気着火リスクを見積もれるようにしている。

### A. 研究目的

静電気着火のリスク分析を的確に実施するための技術的支援としての科学的静電気リスク分析手法を構築する。静電気災害の原因は静電気安全の基礎的理解とその危険性の認識不足に由来するものが多く、リスクアセスメントを的確に実施していれば未然防止できた災害が多い。静電気は見えない現象であるせいか、他の安全分野に比較してわかりにくいという安全管理者が多いので、これを配慮して教育的で、網羅的、系統的、科学的リスク分析手法を開発する。

### B. 研究方法

#### B.1 IEC/ISO Guide 51 の適用

ISO/IEC Guide 51\* で示されているリスクアセスメントの流れをベースとして、静電気着火ハザードの同定および静電気着火リスクの見積の方法について検討する。

#### B.2 科学的・教育的分析手法

科学的に根拠のあるリスク分析手法にするため可能な限り理論的にハザードを同定できるようにする。

労働者のレベルアップも期待して静電気安全の基礎も学習できるようにする。

#### B.3 ハザードの同定

静電気による労働災害は爆発・火災であり、静電気の帯電から起きる静電気放電が着火源となっている。つまり、帯電とそれによる放電が可燃性雰囲気で起きるときがハザードとなる。これらのハザードを論理的に同定できるようなフローおよびチェック項目を活用

する。

さらに、リスク分析を科学的に実施できるように、可燃性雰囲気の着火性、帯電レベルおよび着火性放電の生起に関しては、可燃性物質、設備、作業員、製品、工程、等の物理的諸量から、静電気着火リスクを評価できるようにする。そのためには、静電気着火リスクを網羅的に調査するに必要な十分な要素（昨年度実施）が手法に導入されていなければならない。また、理論計算が可能な場合はそれを示し、ハザード同定に応用する。

事事故例分析および現場調査結果を活用してハザード抽出の欠落を防止する。

#### B.4 リスク見積

静電気着火リスクの見積には可燃性雰囲気の形成と静電気放電の出現とその着火性によってリスクレベルを決定する方法を提案する。

（倫理面への配慮）

研究の性質上、倫理面の問題がないと判断する。

### C. 研究結果および考察

#### C.1 リスク分析手法

提案する静電気着火のリスク分析手法は図 1 のような構成となる。

#### C.2 工程・作業のレビュー

可燃性物質を取り扱うプロセス・工程・作業は数え切れないほど多種多様であるので、ハザードを生起する条件もプロセス、工程条件、工程・作業の手順および環境などに依存して、多種多様となる。まずは、リスクアセスメントの対象となる工程・作業のプロセス、工程条件、工程・作業の手順および環境を調査する必要がある。

\* ISO/IEC Guide 51: Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards, 2nd Ed. 1999



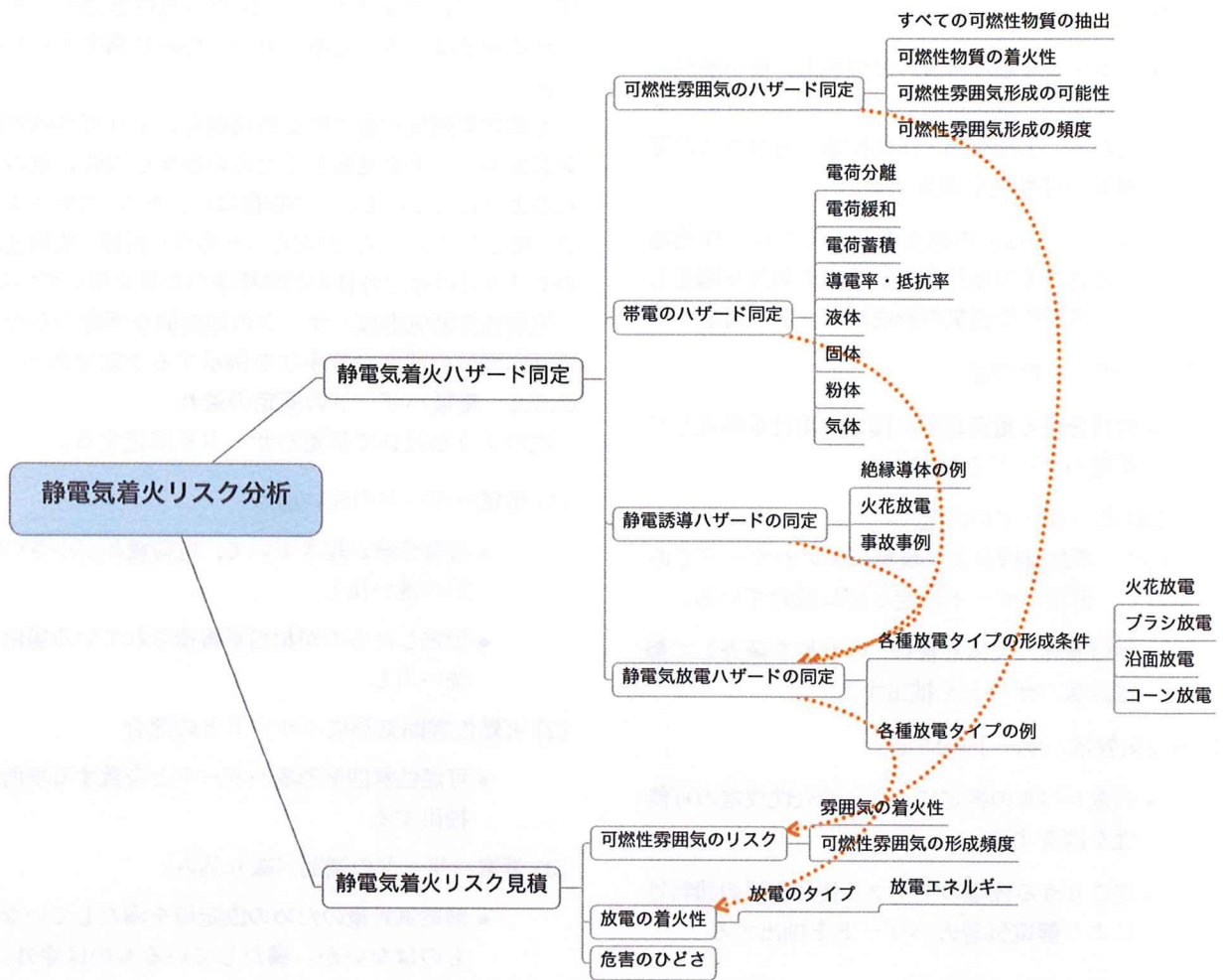


図 1 静電気着火のリスク分析

### C.3 静電気着火ハザードの同定

評価するリスクは静電気着火であるので、可燃性雰囲気形成するハザードと帯電（ハザード）によって発生する着火性の静電気放電ハザードを洗い出すことがハザード同定となる。したがって、図 2 に示すように静電気着火に至る過程の流れに沿って、可燃性雰囲気の形成、帯電および着火性静電気放電の発生ハザードを抽出していくのが合理的と考える。主なハザード同定の流れは以下ようになる。

#### (1) 可燃性雰囲気形成ハザードの同定

- 使用する可燃性物質の燃焼範囲、最小着火エネルギー、引火点などにより物質の可燃性を求めて、工程空間・作業現場に適合させた雰囲気の可燃性を調査する
- さらに、Zone の概念を用いて工程・作業場所における可燃性雰囲気形成の頻度を調査して、可燃性雰囲気の形成ハザードを同定する

#### (2) 帯電ハザードの同定

- 電荷発生と電荷緩和に関する項目を調査して帯電ハザードを抽出する

#### (3) 静電誘導ハザードの同定

これは、事故事例および現場に多いハザードであるので、帯電ハザード同定と別に設けている。

- 絶縁導体（人体も含む）の有無を調査して静電誘導ハザードを抽出する

#### (4) 静電気放電ハザードの同定

- 帯電レベルの推定により、着火性放電の可能性を調査する
- 起こりうる放電のタイプと使用物質の諸特性により静電気着火ハザードを抽出する

#### C.3.1 可燃性雰囲気形成ハザード同定の流れ

可燃性雰囲気でないかぎり着火しないので、可燃性雰囲気の有無の調査がハザード同定の第 1 段階である。何らかの可燃性物質を取り扱っているのであれば、これを放出源とした可燃性雰囲気の形成リスクは潜在すると考えてよい。可燃性雰囲気形成ハザード同定の流れは以下のとおりである。

- (1) 可燃性雰囲気形成の放出源となりうる可燃性物質の洗い出し（放出源の位置と物質の洗い出し）
- (2) 着火性の調査
- (3) 工程・作業空間に可燃性雰囲気が形成される可能性を調査

#### (4) 工程・作業空間に可燃性雰囲気が形成される頻度（確率）を調査

(1) では、網羅的に取り扱う可燃性物質を洗い出し、その可燃性物質の存在する場所を特定する。この段階では、将来の変更などを考慮して、すべて抽出するようにしている。(2) では、それらの可燃性物質の着火性を調査する。(3) では、静電気放電によって着火可能な可燃性雰囲気を形成しうる放出源を特定して、その範囲を見積もる。(3) までの手順で可燃性雰囲気形成ハザードが同定される。(4) の可燃性雰囲気が形成される頻度はリスク見積りに用いるために調査するものである。

可燃性雰囲気の着火性と形成頻度により可燃性雰囲気形成のリスクを見積もるための指標が同時に求められるようにしている。この指標には、ガス・蒸気グループ、粉じんグループ、引火点（+沸点）指標、危険区域のクラス分けなど各種の防爆標準の指標を用いている。

可燃性雰囲気形成ハザードの理論的な同定のため可燃性雰囲気の濃度計算手法を例示する予定である。

#### C.3.2 帯電ハザードの同定の流れ

次のような流れで帯電ハザードを同定する。

#### (1) 帯電ハザードの洗い出し

- 電荷分離が起きていて、電荷緩和が小さい場所の洗い出し
- 帯電したものが相当量蓄積されている場所の洗い出し

#### (2) 可燃性雰囲気形成ハザードとの照合

- 可燃性雰囲気形成ハザードと合致する場所を抽出する

#### (3) 帯電ハザードの選別（絞り込み）

- 静電気対策のための既定値を満たしていないものはないか。満たしているものは除外。

#### (4) 接地・ボンディング

- 導体の漏洩抵抗による同定
- 静電気対策品の接地

#### (5) 抵抗率による不導体の抽出

#### (6) 速度による抽出

#### (7) 工程・作業条件による要因

#### (8) 種々の帯電ハザード

- 液体、固体、粉体に分けて種々の帯電ハザードの例示

#### (9) 理論

- 帯電ハザードの理論的同定

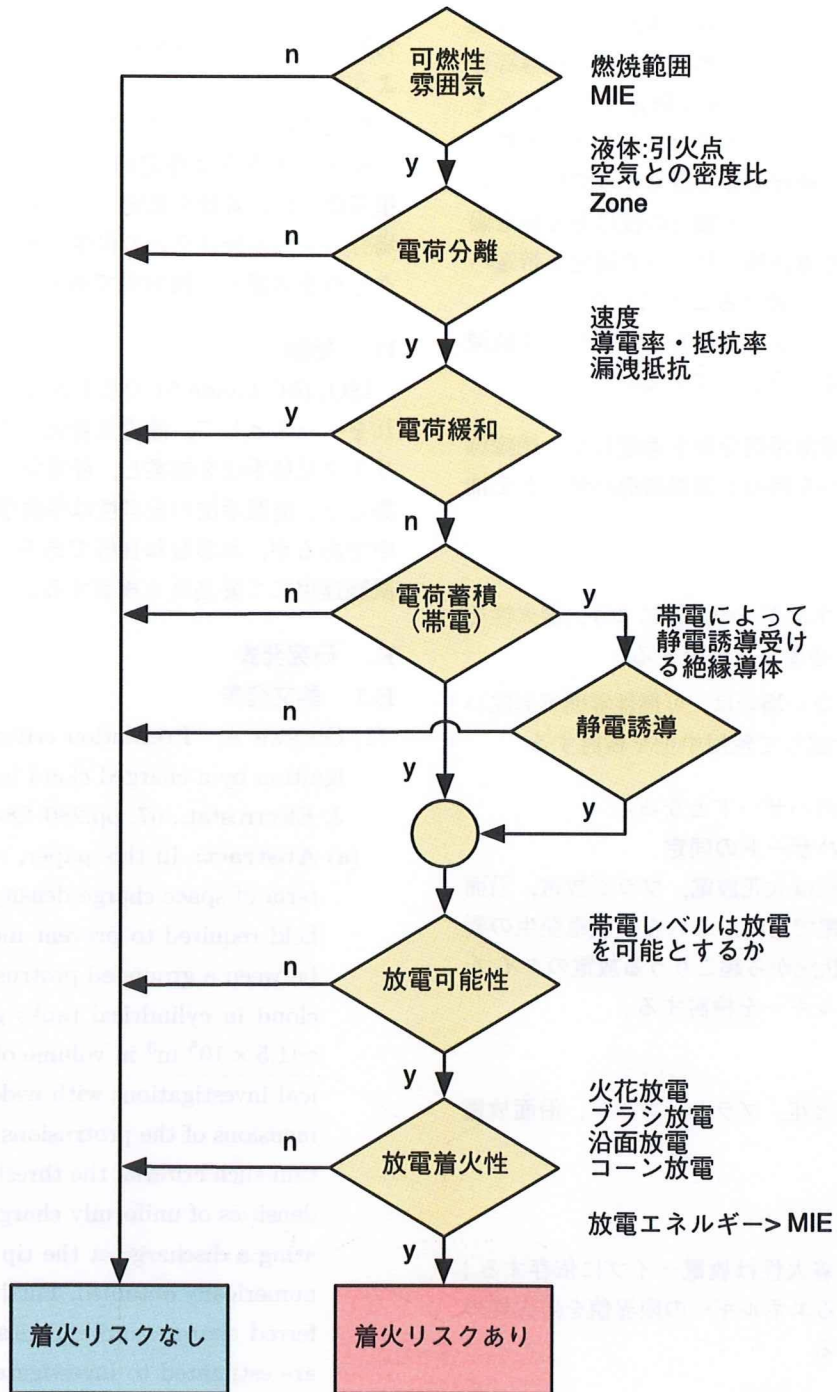


図 2 静電気着火のフローによるハザード同定

## (10) 測定による同定

同定された帯電ハザードは静電気放電ハザード同定の放電タイプ（火花放電，ブラシ放電，沿面放電およびコーン放電）の決定に用いられる。

### C.3.3 静電誘導ハザードの同定

事故事例分析によれば静電気着火事故の70%強は絶縁導体からの火花放電である。換言すれば、絶縁導体を接地していれば事故の70%強は防止できていたということである。また、リスクアセスメントを実施している現場においても絶縁導体を散見できている。対策も簡単であるので、ハザード抽出の抜けを可能な限り少なくするために静電誘導ハザードの同定を帯電ハザードの同定から分けて設けることにした。

対策は接地・ボンディングで済むので、リスク低減策も同時に検討できるようにしている。

- (1) 現場調査および事故事例分析を考慮して、絶縁導体になりうるものを例示し静電誘導ハザードを抽出する
- (2) 接地による対策
  - 火花放電エネルギーの計算により、着火性を調査して、必要な接地をする
  - 接地ができない場合は、可燃性雰囲気形成ハザードを考慮して使用中止を検討する

これは、火花放電のハザードとなる。

### C.3.4 静電気放電ハザードの同定

着火性の静電気放電は火花放電，ブラシ放電，沿面放電およびコーン放電である。これらの放電発生要件と帯電ハザードの状況から起こりうる放電のタイプ、頻度および等価エネルギーを検討する。

- (1) 放電タイプ  
発生する放電は火花，ブラシ，コーン，沿面放電のうちどれか
- (2) 放電の発生頻度
- (3) 等価エネルギー  
放電の着火性：着火性は放電タイプに依存する；放電タイプによるエネルギーの限界値を着火性の判断の指標とする

## C.4 静電着火リスクの見積

静電着火リスクの見積は、図1に示すように可燃性雰囲気リスクおよび静電気放電の着火性から判断される。さらに、危害のひどさを考慮して、静電災害リスクを見積もるようにしている。

可燃性雰囲気リスクは可燃性雰囲気ハザードで同定されたはガス・蒸気グループ，粉じんグループ，引

火点（+沸点）指標，危険区域のクラス分けから判断される。

静電気放電の着火性は帯電ハザードおよび静電誘導ハザードをもとに実施する静電気放電ハザードで同定できた放電タイプによって判断される。

これらの結果はマトリックス法を用いて、総合的に判断され、リスクの順位付け（ランク A-D）ができるようにしている。

暫定的にリスクを A-D のレベルに分けている。

被害の大きさは暫定的に大，中，小としているが、損害額，被災者数を想定して定量的にすべきか，その場合のレベル分けをどの程度にするかは、既存のリスク分析を考慮して検討中である。

## D. 結論

ISO/IEC Guide 51 で示されているリスク分析の流れをベースとして、静電気着火ハザードの同定およびリスク見積手法を提案し、静電気リスク分析手法を構築した。提案手法の妥当性は事故事例適用により調査中であるが、おおむね良好である。今後は、現場での試験運用にて妥当性を検討する。

## E. 研究発表

### E.1 論文発表

- (1) Ohsawa A, "Prevention criteria of electrostatic ignition by a charged cloud in grounded tanks," J. Electrostat., 67, pp.280-284 (2009)
- (a) **Abstract:** In this paper, we present the criteria of space charge density and wall electric field required to prevent incendive discharges between a grounded protrusion and a charged cloud in cylindrical tanks grounded of up to  $\approx 1.5 \times 10^5 \text{ m}^3$  in volume obtained by numerical investigations with wide ranges in the dimensions of the protrusions and tanks. To obtain such criteria, the thresholds of the charge densities of uniformly charged clouds for initiating a discharge at the tip of protrusions are numerically obtained. Furthermore, the transferred charges and energies of the discharges are estimated to investigate their incendivity. For evaluating the risk with a field measurement, the criterion of the electric fields at the side wall of the tanks for avoiding incendive discharges is also obtained.

### (b) Outline

1. Introduction
2. Model description



3. Results and discussion

3.1. Outlines of thresholds for discharge inception

3.2. Criteria for avoiding incendive discharges

4. Application

5. Conclusion

Acknowledgements

References

(c) 5 pages, 6 figures, 1 table and 25 references

(d) これまでのモデルをより現実的に修正して、接

地円筒タンク内に形成される帯電雲による静電気着火を防止するための条件を包括的に示した。

**E.2 学会発表**

(1) Ohsawa A, "Prevention criteria of electrostatic ignition by a charged cloud in grounded tanks," 11th International Conference on Electrostatics, Electrostatics 2009, (2009)

**F. 知的財産権の出願・登録状況**

なし

## 研究成果の刊行に関する一覧

著者	論文タイトル	発表誌	巻号	ページ	出版年
A. Ohsawa	Prevention criteria of electrostatic ignition by a charged cloud in grounded tanks	Journal of Electrostatics	67	280-284	2009
大澤敦, 島田行恭	事故事例にみる静電気危険源	第42回安全工学研究発表 会講演予稿集	-	57-58	2009
大澤敦, 島田行恭	事故事例分析に基づいた静電気着火危険源の抽出	2010年度静電気学会研究会	-	1-12	2010

