

201032003A

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22年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 大澤 敦

平成23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

開発手法の試験運用（大澤敦，島田行恭）	4
---------------------------	---

開発手法の文書化（大澤敦）	6
---------------------	---

研究成果の刊行に関する一覧	9
---------------------	---

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。活用される手法を開発するために、静電気リスクアセスメントの現状を実態調査により把握し、また、50 年にわたる事故を分析し過去の事故傾向を調査している。これらをもとに静電気リスク分析手法を開発してきた。今年度は、現場試験運用を積み重ねることによって開発手法の妥当性を確認し、不備な点は修正を施した。また、ガイドラインとして手法の文書化が完成している。今後は、さらなる運用およびセミナー等により手法の普及に努めたい。

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上席研究員）

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)

A. 研究目的

リスクアセスメントはいくつかの産業災害を教訓に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り、このことは本研究で実施した現場での実態調査においても確認された。リスクアセスメント実施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の

が本研究の目的である。本年度は、本格的な試験運用により開発している静電気リスクアセスメント手法を完成させ、これを文書化するのが目的である。このガイドラインにより、静電気リスクアセスメントの実施の支援と開発した静電気リスクアセスメント手法の普及の準備が整えられる。

B. 研究方法

B.1 開発手法の試験運用

開発した静電気リスク分析法は以下のような構成となっており、これらを順に調査し、科学的・系統的・網羅的に静電気着火リスクを評価できるようにしている。

- (1) 静電気着火ハザード同定
 - (a) 可燃性雰囲気ハザード同定
 - (b) 帯電ハザード同定
 - (c) 静電誘導ハザード同定
 - (d) 静電気放電ハザード同定
- (2) 静電気着火リスク見積
 - (a) 可燃性雰囲気形成の可能性
 - (b) 着火性放電の可能性
 - (c) 危害のひどさ

これまでは、開発中のリスク分析手法を項目ごとに試験運用（たとえば、静電気着火ハザード同定の可燃性雰囲気のハザード同定法の液体タンク充てんへの適用など）を実施して、項目ごとの妥当性を順次検討してきた。今年度は、本格的な試験運用により総合的に開発手法を評価した。この試験運用により、開発手法

の妥当性を検討し、適宜に必要な修正を施しながらリスク分析を実施し、開発手法を完成させる。

B.2 手法の文書化

開発している静電気リスクアセスメント手法を完成させて、静電気リスクアセスメント実施の支援および手法の普及に必須となる文書化されたガイドラインを作成する。

（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が、試験運用を実施した研究協力者の会社とは守秘義務がある。

C. 研究結果および考察

C.1 開発手法の試験運用

試験運用は比較的によく事故が多い次の 5 つの作業についてなされた。

- 液体への粉体投入
- バルブを開放しての液体のサンプリング
- 粉体充てん
- 粉体排出（FIBC）
- タンク洗浄

例を示すことは実施の支援に重要であるので、液体への粉体投入の実施結果を例として文書化したガイドライン（総合研究報告書別紙 2 第 16 章）に示した。試験運用による修正は以下のとおりである。

- 実施者のレベルから基礎から静電気安全を学習・理解できるようガイドラインに「静電気安全の基礎」を章として設けた。
- ハザードレベルの妥当性の修正およびリスク低減の優先順位を決定できるように、放電のタイプによるハザードの重みを事象事例の分析結果を応用して定義した。この追加は、結果的にリスクの過大・過小評価を避けることを可能とした。
- ヒューマンエラーのリスク、たとえば、接地忘れなどを検討できるように文書を修正するとともに実施例に非接地のリスクを示した。

C.2 手法の文書化

国際規格 ISO/IEC Guide 51 に示されているリスクアセスメントの流れおよび事象事例分析で判明した着火過程とその傾向をベースとして、静電気リスク分析手法を構築している。開発手法の妥当性を試験運用により検討し、これを文書化（総合研究報告書別紙 2）

した。このガイドラインに沿ってリスクアセスメントを順に的確に実施すれば、ハザード同定、リスク見積・評価およびリスク低減策ができていくようにした。このことは、試験運用において利用者がリスクアセスメントを実施できていることから確認できる。さらに、リスクアセスメント実施の支援ツールとなるチェック項目、同定・見積シートなども設けている。文書化したガイドライン（総合研究報告書別紙 2）の内容は以下のとおりである。

はじめに

- 1 章 リスクアセスメント
 - 2 章 静電気安全の基礎
 - 3 章 静電気着火リスク分析
 - 4 章 静電気着火ハザードの同定
 - 5 章 可燃性雰囲気形成ハザードの同定
 - 6 章 帯電ハザードの同定
 - 7 章 静電誘導ハザードの同定
 - 8 章 静電気放電ハザードの同定
 - 9 章 静電気着火リスクの見積・評価
 - 10 章 リスク低減策
 - 11 章 固体のリスクアセスメント
 - 12 章 液体のリスクアセスメント
 - 13 章 粉体のリスクアセスメント
 - 14 章 気体のリスクアセスメント
 - 15 章 作業者のリスクアセスメント
 - 16 章 リスクアセスメントの実施例
- 付録 A 可燃性雰囲気の見積
付録 B Fault tree analysis
付録 C 静電気事故の統計的分析

参考文献

D. 結論

D.1 試験運用の実施

開発した静電気リスクアセスメント手法の試験運用を積み重ねることによって妥当性を検討し、適宜に修正することによってより現実的な手法とすることができたことを確信している。

D.2 手法の文書化

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。

いくつかの試験運用による手法の妥当性検討と修正を積み重ねることにより、このガイドライン、特に3-9章、に沿って実施すれば的確に静電気着火のリスクアセスメントが実施できることを確認した。

現在も7社9事業場での試験運用を継続しているので、さらなる手法の向上が期待できる。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

F.1 論文発表

- (1) Ohsawa A, "Statistical analysis of fires and explosions attributed to static electricity over the

last 50 years in Japanese industry," J. Phys.: Conf. Ser., (2011) Accept to be published

F.2 学会発表

- (1) 大澤, "最近50年間の静電気事故の統計的分析," 安全工学会第39回災害事例研究会 (2010)
- (2) 大澤, 島田, "静電気リスクアセスメント手法," 第43回安全工学研究発表会 (2010)
- (3) Ohsawa A, "Statistical analysis of fires and explosions attributed to static electricity over the last 50 years in Japanese industry (Invited lecture)," 13th International Conference on Electrostatics, Bangor, UK (2011)

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

開発手法の試験運用

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上席研究員

研究要旨：開発した静電気リスクアセスメント手法の現場試験運用を積み重ねることによって妥当性を検討し、より現実的な手法とすることができた。

A. 研究目的

これまでは開発したリスク分析手法の項目ごとの試験運用を実施して妥当性を順次検討してきた。今年度は、本格的な試験運用を積み重ねて総合的に開発手法を評価し、より現実的に活用される手法とするのが目的である。

B. 研究方法

これまでに得られた成果である静電気着火リスク分析手法を総合的な試験運用により妥当性を検討し、必要な修正を施す。

（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が、試験運用を実施した研究協力者の会社とは守秘義務がある。

C. 研究結果および考察

C.1 開発手法の概要

国際規格 ISO/IEC Guide 51 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（総合研究報告書別紙 2 図 3.1）を構築している。静電気着火ハザードは、事故事例分析により得られた静電気着火のフロー（総合研究報告書別紙 2 図 4.1）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科学的・系統的・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ハザードレベル（可燃性雰囲気の形成可能性と頻度およびその着火性、帯電ハザードに応じて発生しうる放電タイプと着火性）を導出し、また、危害のひどさを加味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。さらに、対応する静電気対策を示している。

C.2 試験運用の実施

実施した試験運用の対象は、事故事例に多い静電気着火リスクが高い工程を選択している。研究協力者の支援により実施した静電気リスクアセスメントの対象は以下のとおりである。

- (1) 液体への粉体投入
- (2) バルブからの液体のサンプリング
- (3) 粉体のマニュアル充てん
- (4) FIBC からの粉体排出
- (5) タンク洗浄

液体への粉体投入の実施結果を例として文書に示した（総合研究報告書別紙 2 第 16 章）。

試験運用では、想定したハザードの抜けもなく、安全側に問題なくリスク分析が実施できることを確認できた。

実施者によっては、知識不足からハザードを過大評価することがあった。

静電気対策が適切に行われていた場合は、リスクアセスメントの簡便化のためハザード同定の対象から除外するようにしていたが、対策の重要性の認識とヒューマンエラーなどで対策の効果がなくなる不測の事態を想定して、初回のリスク分析では、そのハザードを除外せず、リスク分析を実施するようにした。

これらの試験運用を積み重ねることによって修正された主要点は以下のとおりである。

- (1) 実施者のレベルにも対応して、基礎から静電気安全を学習・理解できるように文書化したガイドラインには「静電気安全の基礎」を章として設けた。

- (2) ハザードレベルの妥当性の修正およびリスク低減の優先順位を決定できるように、放電のタイプによるハザードの重みを事故事例の分析結果を応用して定義した。この追加は、結果的にリスクの過大・過小評価を避けることを可能とした。
- (3) 初回のリスク分析では、適切に対策されたハザードも除外せず、すべてのリスク分析を実施するようにした。
- (4) ヒューマンエラーのリスク、たとえば、接地忘れなどを検討できるように文書（開発したリスク分析手法を文書化したガイドライン、総合研究報告書別紙2）を修正するとともに実施例に非接地の場合のリスクを示した。

D. 結論

開発した静電気リスクアセスメント手法は、試験運用を積み重ねることによって妥当性を検討し、適宜に修正することによってより現実的な手法とすることができたと確信している。現在は、この修正版にて、新規に5社を追加して、試験運用を継続しているので、さらなる向上が期待される。

E. 研究発表

E.1 論文発表

- (1) Ohsawa A, "Statistical analysis of fires and explosions attributed to static electricity over the last 50 years in Japanese industry," J. Phys.: Conf. Ser., (2011) Accept to be published

E.2 学会発表

- (1) 大澤, "最近50年間の静電気事故の統計的分析," 安全工学会第39回災害事例研究会 (2010)
- (2) 大澤, 島田, "静電気リスクアセスメント手法," 第43回安全工学研究発表会 (2010)
- (3) Ohsawa A, "Statistical analysis of fires and explosions attributed to static electricity over the last 50 years in Japanese industry (Invited lecture)," 13th International Conference on Electrostatics, Bangor, UK (2011)

F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

開発手法の文書化

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：本格的な試験運用により，静電気リスクアセスメント手法を完成させ，これを文書化するのが目的である。この文書化したガイドラインに沿ってリスクアセスメントを順に的確に実施すれば，ハザード同定，リスク見積・評価およびリスク低減策ができていたようにした。静電気安全の基礎の欠落がリスクアセスメントの実施を阻害しているのを，これを学習できる要素，開発リスクアセスメント手法の裏付けおよび対策等の根拠も含めた。さらに，開発手法以外に本研究で得られた重要な事項は付録にまとめた。このガイドラインにより，リスクアセスメント実施の支援と静電気リスクアセスメント手法の普及の準備が整えられた。

A. 研究目的

これまでの研究で，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している。静電気災害の原因は静電気安全の基礎の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している。ここでは，この開発手法を用いたリスクアセスメント実施の支援となる，現状の実態に合った，的確なガイドラインを作成するのが目的である。

B. 研究方法

B.1 手法の文書化

静電気リスクアセスメント手法を完成させて，リスクアセスメント実施の支援および普及に必須となる文書化されたガイドラインを作成する。

（倫理面への配慮）

研究の性質上，倫理面の問題は無いと判断する。

C. 研究結果および考察

C.1 手法の文書化

国際規格 ISO/IEC Guide 51 に示されているリスクアセスメントの流れおよび事故事例分析で判明した着火過程とその傾向をベースとして，静電気リスク分析手法を構築している。開発手法の妥当性を試験運用により検討し，これを文書化（総合研究報告書別紙 2）し

た。ガイドラインに沿ってリスクアセスメントを順に的確に実施すれば，ハザード同定，リスク見積・評価およびリスク低減策ができていたようにした。試験運用において利用者がリスクアセスメントを実施できていることがこれを確証している。また，支援ツールとなるチェック項目，同定シートなども設けている。文書化したガイドラインの内容は以下のとおりである。

はじめに リスクアセスメントの必要性とエンジニアまたは管理・事業者としての実施義務を含めたイントロダクション

1 章 リスクアセスメント リスクアセスメントの一般論

2 章 静電気安全の基礎 アンケート調査，現場実態調査により静電気安全の基礎の欠如がリスクアセスメントの実施を阻害していることは明らかである。また，誤った評価・対策がなされている事例が散見された。これを，解決するために静電気安全の基礎を学習できるように配慮した。

3 章 静電気着火リスク分析 開発した静電気着火リスク分析手法の概説（総合研究報告書別紙 2 図 3.1）。着火リスク分析に収集しなければならないデータの必要事項および災害事例にみるハザードも含む。

4 章 静電気着火ハザードの同定 静電気着火過程のフローに基づいたハザード同定。可燃性雰囲気形成，帯電，静電誘導，静電気放電ハザード同定からなる。静電誘導ハザード同定は，事故統計分析から，

火花放電が着火源となった事故が70%を超えているので、帯電ハザード同定から分けて設けている。

5章 可燃性雰囲気形成ハザードの同定 可燃性物質の洗い出し、着火性、可燃性雰囲気形成の可能性、範囲および頻度を調査し、IEC 60029-10-1のクラス分けを用いて、着火性をExplosive groupと頻度をZoneにより表現して、マトリックス法によりハザードレベル（総合研究報告書別紙2図5.4）を求める手法を開発した。同定手順および結果は可燃性雰囲気形成ハザード同定シート（総合研究報告書別紙2表5.5）によりまとめられる。

6章 帯電ハザードの同定 帯電物体の洗い出しとその場所の調査、可燃性雰囲気ハザードとの照合および静電気対策の適合による帯電ハザードの絞り込み、電荷緩和（漏洩抵抗・導電率・抵抗率）による帯電ハザードの同定、帯電促進要因の調査により帯電ハザードを総合的に同定する。ハザードレベル（総合研究報告書別紙2表6.6）は導電率・抵抗率による帯電レベル、電荷漏洩および帯電促進要因の有無により求める。同定手順および結果は帯電ハザード同定シート（総合研究報告書別紙2表6.7）によりまとめられる。

7章 静電誘導ハザードの同定 帯電ハザードで同定された帯電物体により静電誘導ハザードとなる絶縁導体を洗い出す手順を示している。事故事例に見る絶縁導体。漏洩抵抗、放電ギャップ形成の可能性、静電容量の調査により、静電誘導ハザードを同定する。ハザードレベルは、絶縁導体の特徴から総合研究報告書別紙2表6.6の導電性で電荷漏洩がない場合として求められる。漏洩した際にも多く現れるハザードであるので、これについても調査することを注意している。同定手順および結果は静電誘導ハザード同定シート（総合研究報告書別紙2表7.1）によりまとめられる。

8章 静電気放電ハザードの同定 起こりうる着火性放電タイプ（火花、ブラシ、沿面、コーン、IICでのコロナ放電）を発生条件と照合して同定し、着火性放電の可能性については、理論・実験または経験的な知識により調査して、可燃性雰囲気の着火性と比較して見積もれるようにしている。着火性放電の有無と放電タイプに対応する重みを用いて放電ハザードレベルを決定している。同定手順および結果は放電ハザード同定シート（総合研究報告書別紙2表8.3）によりまとめられる。

9章 静電気着火リスクの見積・評価 可燃性雰囲気形成、帯電・静電誘導、放電ハザードレベルの積と危害のひどさ（人災・設備被害および経済的損害に関して低（人災：軽傷、設備被害・損害：軽微）、中（重傷、設備被害・損害：大）、大（死亡、設備被害・損害：重大）の3段階（A-C））の組み合わせによりリスクを求める。結果は静電気着火リスクの見積・評価シート（総合研究報告書別紙2表9.1）にまとめられる。

10章 リスク低減策 静電気対策の5つの原則を示した。安全管理および安全教育の必要性を示した。

11章 固体のリスクアセスメント 静電気の帯電ハザードおよび対策は固体、液体、粉体、気体および作業員によって異なるので、それぞれ、11-15章に分けて解説した。11章では固体の帯電によるハザード、これによるリスクの見積法およびリスク低減策を示した。

12章 液体のリスクアセスメント 液体の帯電によるハザード、これによるリスクの見積法およびリスク低減策を示した。また、リスクアセスメントに必要な確認事項も示している。

13章 粉体のリスクアセスメント 粉体の帯電によるハザード、これによるリスクの見積法およびリスク低減策を示した。また、リスクアセスメントに必要な確認事項も示している。

14章 気体のリスクアセスメント 気体に係わるハザード、これによるリスクの見積法およびリスク低減策を示した。また、リスクアセスメントに必要な確認事項も示している。

15章 作業員のリスクアセスメント 作業員に係わるハザード、これによるリスクの見積法およびリスク低減策を示した。また、リスクアセスメントに必要な確認事項も示している。

16章 リスクアセスメントの実施例 開発したリスクアセスメント手法の実施例として試験運用で行った液体への粉体投入の結果を示し、実施のための参考とした。

付録A 可燃性雰囲気の見積 可燃性雰囲気の見積に参考・支援となる事項を示した。

付録B Fault tree analysis 事故事例分析によって得られたFault treeを示し、リスク分析の参考とした。

付録 C 静電気事故の統計的分析 事故事例分析をまとめたものである。得られた新しい知識はリスク分析手法に応用されている。

参考文献 引用文献のリスト。引用により本書で用いた事項の根拠を示すことは重要である。

D. 結論

D.1 手法の文書化

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、いくつかの試験運用により、妥当性の検討と修正を積み重ねたものを文書化した。実施者のレベルに対応して、学習できる機能も設け、また、事故事例統計分析の結果はリスクアセスメントの実施に重要であるので付録として示している。

このガイドラインにより、リスクアセスメント実施の支援と静電気リスクアセスメント手法の普及の準備が整えられた。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

F.1 論文発表

- (1) Ohsawa A, "Statistical analysis of fires and explosions attributed to static electricity over the last 50 years in Japanese industry," J. Phys.: Conf. Ser., (2011) Accept to be published

F.2 学会発表

- (1) 大澤, "最近 50 年間の静電気事故の統計的分析," 安全工学会第 39 回災害事例研究会 (2010)
- (2) 大澤, 島田, "静電気リスクアセスメント手法," 第 43 回安全工学研究発表会 (2010)
- (3) Ohsawa A, "Statistical analysis of fires and explosions attributed to static electricity over the last 50 years in Japanese industry (Invited lecture)," 13th International Conference on Electrostatics, Bangor, UK (2011)

G. 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	Statistical analysis of fires and explosions attributed to static electricity over the last 50 years in Japanese industry	Journal of Physics: Conference Series (to be published)			2011
大澤敦	最近 50 年間の静電気事故の統計的分析	安全工学会第 39 回災害事例研究会	-	1-15	2010
大澤敦, 島田行恭	静電気リスクアセスメント手法	第 43 回安全工学研究発表会講演予稿集	-	11-12	2010
A. Ohsawa	Statistical analysis of fires and explosions attributed to static electricity over the last 50 years in Japanese industry (Invited lecture)	13th International Conference on Electrostatics, Bangor, UK	-	13	2011

