

電気エネルギーによる工場爆発・火災の防止に関する研究

A comprehensive study on fire and explosion in factories due to electrical energy

山隈瑞樹*1, 大澤 敦*1, 崔 光石, 三浦 崇*1, 遠藤雄大*1, 鈴木輝夫*2,
最上智史*2

電気安全研究グループ*1, 春日電機株式会社*2

■ YAMAGUMA Mizuki, OHSAWA Atsushi, CHOI Kwangseok, MIURA Takashi, ENDO Yuta, SUZUKI Teruo, and MOGAMI Tomofumi

依然として化学工場、粉体製造・貯蔵工程等においては爆発・火災が数多く発生しており、人的・物的被害は甚大である。在来工程における災害の更なる減少および新工程への対応のため、災害防止対策も新たなアプローチ、例えば新しい測定・対策技術を導入した安全性の向上および理論的解析をベースとした安全技術の高度化が求められている。本プロジェクト研究においては、三つのアプローチ(サブテーマ)でこの問題に取り組んだ。まず、サブテーマ1では、グラスライニング容器による攪拌工程および絶縁配管による液体輸送時の静電気現象について実験的研究を行い、簡便で効果的な静電気対策技術を提案した。次に、サブテーマ2では、粉体の輸送・貯蔵に関連して発生する静電気災害を防止するための静電気観測機器として静電界センサシステムを開発し、また、ノイズの影響を受けにくい粉じん雲の電界測定装置の基礎構造を確立した。最後に、サブテーマ3では、静電気放電のエネルギーを推定するために、放電光の二つの特定スペクトルの比が放電エネルギーと関係があることを発見し、また、放電エネルギー輸送過程を考慮した数理モデルについて、シミュレーション結果と実験的知見を比較し、妥当であるとの結論を得た。

1 研究の背景

可燃性物質(ガス・蒸気および粉体)を取扱う工場においては、プラントの稼働、工事、点検等に伴って発生する電気エネルギー(静電気および電気機械器具から発生する電気火花、熱など)による爆発・火災災害が発生している。例えば、受槽に混合液体を充填中に、受槽内の攪拌・沈降帯電が原因となって放電が発生し、貯槽内に充満していた可燃性蒸気に着火して爆発が発生しプラントが全壊した(平成14年)、可燃性ガスを含有する発泡樹脂の貯槽内を防爆型照明器具で照明したところ、同照明器具内部で配線がショートして漏電し、その際の火花で発泡ガス(ブタン)が着火・爆発し、作業員1名が死亡した(平成21年)、可燃性液体をホースから金属容器に小分け中に、帯電した液体によって金属容器が帯電し、放電して火災となった(平成28年)などがある。このように、産業の現場での爆発・火災によって労働者の死傷災害が発生し、設備等の損傷が発生している。総務省消防庁発行の火災年報によれば、2001年～2010年に発生した静電気放電による火災件数は928件であり、そのうち約半数は工場で発生している(図1)。また、同じく「危険物製造所等事故事例集」によれば、化学工場火災原因の約16%、件数にして年間10件程度が静電気放電によるものとされている。また、電気火災は更に多い。

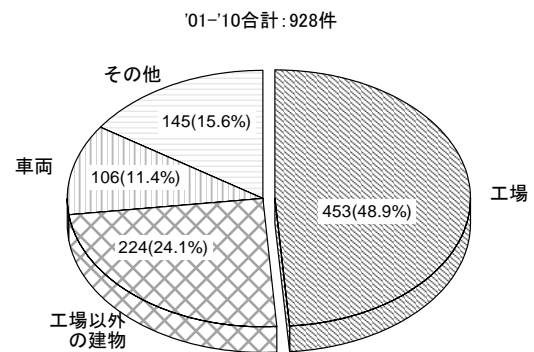


図1 静電気放電による火災の発生場所(2001～2010年)

このような背景から、静電気放電などの電氣的エネルギーを着火源とした爆発・火災災害を、より合理的かつ効率的に防止する方策が可燃性物質を取り扱う工場等で求められている。そこで、本研究では、安全技術の効率化と高度化を目的とし、次の三つのサブテーマを設定し、実験・理論の両面から取り組んだ。

サブテーマ1: 化学プラントにおける静電気災害・障害の発生機構の解明と対策

目的: 既存工程への新しい対策技術の適用による安全性の向上

サブテーマ2: 粉体の静電気帯電の測定技術及び防止技術の開発

目的: 静電気測定技術の開発による対策の合理化

サブテーマ3: 新手法を応用した放電着火性予測技術の開発

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

*2 KASUGA DENKI, INC.

目的：新しい観測技術および理論的アプローチによる対策技術の高度化

2 本研究の手法

サブテーマ1においては、特に可燃性液体の取扱い工程における静電気災害を対象とし、具体的な工程としては、グラスライニング容器内での攪拌帯電を防止するため、小形の模擬実験装置を構築し、液体及び粉体の様々なスラリーを攪拌し、帯電特性を測定した。また、対策技術として、コロナ放電式除電器を試作し、一般に窒素パーズ条件下でグラスライニング容器が使用されている環境に対応するため、窒素・酸素濃度比を変化させて性能を評価した。さらに、液体の流動・放出による静電気現象の解明及び対策技術の確立を目指して、加圧容器、ホースおよび弁機構からなる実験装置を構築し、様々な有機溶剤の流動・噴出時の帯電量を測定するとともに、弁機構を改良し、電荷量の低減を試みた。

サブテーマ2においては、特に粉体の輸送および貯蔵に伴う静電気災害を対象として、主として粉体電荷量の観測技術の確立を目指して取り組んだ。実物大の配管輸送・貯蔵機構を有する実験装置を用いて、粉体を配管で空気輸送する際に、配管内の電荷密度を精密測定するためのリアルタイム電界センサシステムについて、配置方法および測定精度をファラデーケージ法による電荷との比較において求めるとともに、電界センサへの粉体の付着・侵入を防止するための圧縮空気（パーズエア）がセンサ出力に及ぼす影響を調べ、測定値の補正方法を検討した。

サブテーマ3においては、放電エネルギーを遠隔地からでも推定できる手法を見出すために、放電発光のスペクトルに着目し、容量性火花を精度良く発生する実験装置を構築し、その発光スペクトルを分光装置によって観測した。また、任意の放電回路から発生する放電エネルギーおよび着火性を実測によらずコンピュータシミュレーションで算出することを目指して、数理モデルを構築し、種々のパラメータで試行し、過去の実験的知見と合致するかの検討を行った。

3 研究成果の概要

1) 化学プラントにおける静電気災害・障害の発生機構の解明と対策

サブテーマ1においては、まず、グラスライニング容器内での静電気放電による爆発およびライニングの静電破壊を防止するため、過去の研究で開発を行った卓上型攪拌帯電実験装置の改良を試みた。この装置は、任意の液体および粉体を組合せて攪拌時の帯電量を予測するものであるが、測定時の環境（温度および湿度）によって測定値が異なり、特に、多湿な条件ではセンサ出力が著しく低下する欠点があった。これを解決するため、電界センサおよびガラス面を合成樹脂シートで覆い、これに乾燥窒素を供給し、ガラス面から水分を除去した。その結果、環境条

件に関係なく、常時安定的に測定することが可能となった¹⁾。次に、グラスライニング容器内での除電を行うため、内圧防爆形除電器のプロトタイプを製作し、これを低酸素環境下での使用に最適化するための実験を行った。これによれば、酸素濃度が5%以上であれば、印加電流を調整することにより、除電器から発生する正（プラス）および負（マイナス）のイオン濃度をほぼ同一保つことが可能であることが判明した。酸素濃度5%は、一般の有機溶剤蒸気の爆発限界酸素濃度（8%～12%）より低い値であるので、十分実用的であると評価できる²⁾。

最後に、溶剤の小分け作業で発生する火災の原因究明のため、実験装置を構築し、種々の有機溶剤を用いて実験を行った。その結果、ボールバルブからの小分け時に、液体がミスト状になることによって噴霧帯電を生じた。特に、酢酸エチルは、他の物質に対して100倍以上の電荷量を示すことが判明した。また、酢酸エチルの導電率（ 10^{-8} S/m）に近い物質も同程度の電荷量となり、導電率によってある程度危険性を判定できることを見出した。さらに、バルブの先に特殊構造のノズルを取り付け、噴霧状態とならないようにすることにより、電荷をほとんど無害な程度まで低減できることが明らかとなった。この手法は、特別な部品を必要とせず、また、利便性もほとんど損なわないことから、同種の工程を有する現場に推奨できる方法である。

2) 粉体の静電気帯電の測定技術及び防止技術の開発

粉体は、高速圧縮空気輸送すると配管内壁への衝突を繰り返して強く帯電することが知られているが、その程度をリアルタイムで観測する技術は確立されていない。そこで、管壁に小孔を開け、そこにエアパーズ形電界センサを取り付け、観測される電界を測定することによって、精度良く粉体の電荷密度を測定することを試みた。観測された電界と電荷密度との相関関係は、配管出口に設置したファラデーケージに粉体を収容して実際の電荷を測定し、これを理論値と比較することによって行った。その結果、理論値と実測値がほぼ一致するという結果が得られた。また、粉体電荷密度と壁面での電界強度は、ほぼ正比例の関係が得られた³⁾。これらの結果から、本研究で提案する手法は、現場でのリアルタイム測定に極めて有効であると評価できる。

一方、エアパーズ形電界センサのよく知られた特性として、パーズエアの圧力変化が電界測定値に影響することがあるが、この原因の検討およびパーズエア圧力と観測電界の関係の調査を行った。その結果、パーズエア圧力が大きくなるほど、電界センサの機械的振動部分であるチョップの振幅が小さくなり誘導電荷が減少することがセンサ出力低下の原因であることをつきとめた。結果として、生産現場にこの種のセンサを設置する際には、事前に、使用する圧力を使ってセンサ出力を校正しておく必要があることが分かった。

3) 新手法を応用した放電着火性予測技術の開発

静電気放電を模擬した電極接近時の平等電界中での火花放電を発生させてその発光スペクトルを測定し、エネ

ルギーとスペクトルとの関係を調べた。放電エネルギーは、放電回路の静電容量とその充電電圧を組み合わせることにより、任意の値に設定した。その結果、静電エネルギーを変化させると、励起窒素原子からの輝線（N I）強度と輝線励起窒素1価イオンの輝線（N II）強度の比率も変化するという特性があることを見出した。静電エネルギー0.02 mJから20 mJの範囲において、静電エネルギーに伴って、N I強度に対するN II強度、すなわち、強度比（N II/N I）が高くなる傾向があった。この関係は、放電の電圧にも依存することが明らかになった。放電回路の長さが分かれば、放電の電圧が推測できるため、火花放電の画像と分光を測定すれば、その放電エネルギーを推定できる可能性が示唆された。

一方、与えられた放電回路定数から放電エネルギーをコンピュータシミュレーションによって計算する手法を確立するため、回路モデルとして、抵抗、静電容量、電圧源および放電ギャップ（平等電界）からなる容量性放電回路を仮定し、これから発生する放電を電子の速度論的モデルおよび重粒子の反応速度論的モデルによって定式化した。大気中での放電を仮定し、0.02 mJおよび0.2 mJの静電エネルギーが放電した場合の放電電荷、放電エネルギー、ガス温度の変化等を計算した。その結果、実験的に得られた値に近い計算値が得られ、モデルに妥当性があることが明らかとなった。

4 今後の展望

- 1) グラスライニング容器における静電気の軽減方法として、コロナ放電式除電器が有効であることが判明した。今後、防爆形とすることにより、現場への適用が容易になると見込まれる。この場合、グラスライニング容器内部が爆発限界酸素濃度未満に保持されることを前提とすると、第1類危険箇所（ゾーン1）又は第2類危険箇所（ゾーン2）に対応した防爆構造も適用可能になるので、内圧防爆構造の適用が可能となる。
- 2) ホースなどから可燃性液体を小分けする際には、噴霧状態となると静電気の危険性が生じるが本研究で提案したコンセプトで構成されたノズルを使用することにより、大幅に安全な作業が可能となる。
- 3) グラスライニング容器における静電気の軽減方法とし粉体の空気輸送において、粉体の電荷量をリアルタイムで観測する手法を提案した。今後の課題としては、センサへの粉じんの付着や侵入による測定精度の低下、ならびにエアパージ圧力による感度の低下等の問題も残っている。これに対しては、現在開発中の回転セクタ形電界計により対応が可能と考えられる。
- 4) 静電気火花放電発光エネルギーが発光スペクトルの二つ特定波長の強度比によって推定できる可能性があることを明らかとした。今後は、他の放電形式（沿面放電、ブラシ放電、電気火花等）についてもスペクトルの特徴から放電エネルギーを推定できる手法に

取り組むことにより、より汎用性のある手法としたい。

- 5) 容量性放電回路の放電着火性について、シミュレーションによる計算が可能であることを示した。今後は、誘導性放電などへも応用範囲を拡大することによって、より一般的に着火性が予測できるようになると期待される。また、防爆電気機器のうち、本質安全防爆構造における回路の着火性についても、着火実験によらず、シミュレーションによる判定法が確立されれば、国際規格(IEC)としても提案したい。

参 考 文 献

- 1) 山隈瑞樹(2015), 第48回安全工学研究発表会講演予稿集 2015, pp.43-46.
- 2) 最上智史, 鈴木輝夫, 山隈瑞樹(2016), ノズル型除電器における酸素濃度が除電能力に与える影響, 静電気学会第40回全国大会析講演予稿集, pp.95-96.
- 3) 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石, 山隈瑞樹(2016), 振動型静電界センサによる空気輸送粉体の帯電量評価, 労働安全衛生研究, Vol.9, No.2. pp. 55 - 60.

研究業績リスト

課題名：電気エネルギーによる工場爆発・火災の防止に関する研究

| 平成 28 年度 (2016 年) | | |
|-------------------|--------|--|
| 1 | 原著論文 | Kwangseok Choi, Tomofumi Mogami , Teruo Suzuki , Mizuki Yamaguma(2016), A novel bipolar electrostatic ionizer for charged polypropylene granules used in a pneumatic powder transport facility, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol.40, pp. 502 - 506. |
| 2 | 原著論文 | M. Taghavivand, K. Choi, L. Zhang, Investigation on drying kinetics and tribocharging behaviour of pharmaceutical granules in a fluidized bed dryer. Powder Technol. doi:10.1016/j.powtec. 2016.10. 061 (on print). |
| 3 | 原著論文 | K. Choi, M. Taghavivand, L. Zhang (2017), Experimental studies on the effect of moisture content and volume resistivity on electrostatic behaviour of pharmaceutical powders, international journal of pharmaceutics, Vol. 519, pp.98-103. |
| 4 | 原著論文 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石, 山隈瑞樹(2016), 振動型静電界センサによる空気輸送粉体の帯電量評価, 労働安全衛生研究, Vol.9, No.2. pp. 55 -60. |
| 5 | 原著論文 | 遠藤雄大, 山隈瑞樹(2017), 有機溶剤の取扱いにおける静電気危険性に関する研究－ボールバルブからの液体小分け時の電荷量測定および電荷軽減策の検討－, 安全工学会 (投稿中) |
| 6 | 原著論文 | 三浦崇(2017), 静電気の火花放電における窒素原子とイオンの輝線強度比の静電エネルギー依存性, 電気学会論文誌. A (投稿中) |
| 7 | 国際学術集会 | Takashi Miura (2016) Effect of gas species and pressures on relaxation of triboelectricity due to microgap discharge. 2016 Electrostatics Joint Conference, Electrostatics Society of America, Conference Proceedings, Q. Gas discharges and micro-plasmas III Q2. http://electrostatics.org/images/Q2.pdf . |
| 8 | 国際学術集会 | Takashi Miura(2017) Energy Dependence of Intensity Ratio between Nitrogen Spectral Lines of N II and N I from Atmospheric Air Spark of Static Electricity. 34th Symposium on Plasma Processing (SPP34)/The 29th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM29), 18pA4 |
| 9 | 国際学術集会 | Takashi Miura (2017) Relation between the Intensity Ratio of Nitrogen Spectral Lines and the Electrostatic Energy of Spark Discharge in Air. Electrostatics 2017, Lecture Abstracts, pp. 28-29. |
| 10 | 国際学術集会 | Milad Taghavivand, Kwangseok Choi , Lefing Zhang (2016), Investigation on tribocharging behaviour of pharmaceutical powders in a fluidized bed dryer, Fluidization XV, Quebec, Canada. http://www.engconf.org/past-conferences/2016-conferences/fluidization-xv/ |
| 11 | 国際学術集会 | K. Choi, M. Taghavivand, L. Zhang (2016), Investigation on effect of moisture content on tribocharging behaviour and volume resistivity of pharmaceutical granules; 66th Canadian Chemical Engineering Conference, Quebec, Canada; October 16-19, 2016 |
| 12 | 国際学術集会 | Atsushi Ohsawa (2016), A kinetic model of spark discharge breakdown, 2016 Electrostatics Joint Conference, Proceedings of the 2016 Electrostatics Joint Conference, R. Breakdown phenomena and discharges II, R2, p.1. |
| 13 | 国際学術集会 | Takashi Miura (2017) Energy dependence of intensity ratio between nitrogen spectral lines of N II and N I from electrostatic discharge in air, Proceedings of the XXXIII International Conference on Phenomena in Ionized Gases, p.150. |
| 14 | 国内学術集会 | 三浦崇(2016) 静電気の火花放電における静電エネルギーと窒素輝線強度比との関係. 平成 28 年電気学会基礎・材料・共通部門大会, 講演予稿集 6-E-a1-4, CD-ROM |
| 15 | 国内学術集会 | 遠藤雄大, 山隈瑞樹 (2016), 液体噴出時の静電気の測定および安全対策に関する研究, 第 49 回安全工学研究発表会講演予稿集, pp. 73-74. |
| 16 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石(2016), 粉体用回転セクタ式静電界センサの基礎特性, 静電気 |

| | | |
|----------------------|--------------|---|
| | | 学会, 2016年度静電気学会春期講演会論文集, pp. 41 - 44. |
| 17 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石, 山隈瑞樹(2016), 防爆型ノズル除電器の性能評価, 安全工学シンポジウム 2016, pp. 308-311. |
| 18 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石(2016), エアパージ型回転セクタ式静電界測定器の開発, 静電気学会講演会論文集2016, pp.105-106. |
| 19 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石(2016), エアパージ型回転セクタ式静電界センサの内圧防爆化への検討, 第49回安全工学研究発表会, 第49回安全工学研究発表会講演予稿集 2016, pp. 143-146. |
| 20 | 国内学術集会 | 最上智史, 鈴木輝夫, 山隈瑞樹(2016), ノズル型除電器における酸素濃度が除電能力に与える影響, 静電気学会第40回全国大会析講演予稿集, pp.95-96. |
| 21 | 国内学術集会 | 三浦崇(2017), 静電気の火花放電における窒素原子とイオンの輝線強度比の静電エネルギー依存性, 平成29年電気学会基礎・材料・共通部門大会講演論文集, 6ページ(講演受理・決定) |
| 22 | 総説他 | 山隈瑞樹(2016), フレキシブルコンテナに関係した静電気災害と対策, 安全工学, Vol.56, No.1. pp. 36 - 43. |
| 23 | その他の専門家向け出版物 | 崔光石(2016). 静電気災害防止に関する規格・指針, 塗装技術, Vol.51. No. 12. pp 21-25. |
| 24 | その他の専門家向け出版物 | 山隈瑞樹(2016), JIS Z 8834:粉じん・空気混合物の最小着火エネルギー測定方法の紹介, 粉体技術, Vol.8, No.10, pp.54-58. |
| 平成27年度(2015年) | | |
| 1 | 原著論文 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石, 山隈瑞樹(2015), 振動型静電界センサ内の送風の電界強度計測への影響, 労働安全衛生研究, Vol.8, No.1. pp. 49-53. |
| 2 | 原著論文 | 三浦崇, 細淵絵理, 上野聖子, 荒川一郎(2015), 真空中と気体中でのダイヤモンドとサファイヤの摩擦帯電, 静電気学会誌, 39巻, 2号. pp. 88-93. |
| 3 | 国際学術集会 | Kwangseok Choi, Tomofumi Mogami, Teruo Suzuki, Mizuki Yamaguma (2015), Novel electrostatic ionizer for charged polypropylene granules, 7th International Granulation Workshop, Granulation Conference Sheffield, UK, p. 200. |
| 4 | 国際学術集会 | Takashi Miura(2015) Observation of charge separation and gas discharge during sliding friction between metal and insulator. Electrostatics 2015, Programme and abstracts, p. 64. Institute of Physics. |
| 5 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石(2015), 巡回気流を用いた粉体の帯電評価装置の開発(第一報), 静電気学会, 2015年度静電気学会春期講演会論文集, pp. 13 - 16. |
| 6 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石(2015), 巡回気流を用いた粉体の帯電量評価装置の開発(第二報), 安全工学シンポジウム 2015, pp. 406-407. |
| 7 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石, 山隈瑞樹(2015), 振動型静電界センサによる空気輸送粉体の帯電量測定への適用, 通算第26回粒子帯電制御研究会 |
| 8 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石, 山隈瑞樹(2015), 双極性除電器の防塵性能, 第39回静電気学会全国大会, 静電気学会講演論文集 2015, pp. 179-180. |
| 8 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石(2015), 粉体用回転セクタ方式静電界測定器の開発, 第48回安全工学研究発表会, 第48回安全工学研究発表会講演予稿集2015, pp. 43-46. |
| 9 | 国内学術集会 | 三浦崇(2015), 空気中火花放電の発光スペクトルの静電エネルギー依存性, 第76回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, pp. 7-87. |
| 10 | その他の専門家向け出版物 | 山隈瑞樹(2015), 静電気による爆発・火災の防止対策, OHM, 2015/4, pp. 48-51. |
| 平成26年度(2014年) | | |
| 1 | 国際学術集会 | Kwangseok CHOI, Tomofumi MOGAMI, Teruo SUZUKI, and Mizuki YAMAGUMA(2014) Experimental study on the relationship between the charge amount of polypropylene granules and electrostatic discharges while silo loading. 10th Global Congress on Process Safety AIChE (アメリカ化学工学会) website of AIChE. |
| 2 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石, 山隈瑞樹(2014)振動型静電界センサ内の送風気圧による電界強度計測の影響, 安全工学シンポジウム, 安全工学シンポジウム 2014 講演予稿集, pp.352-355. |

| | | |
|----|--------------|--|
| 3 | 国内学術集会 | 崔光石, 西村浩次郎(2014)静電気放電による粉体の着火性にパージ用窒素濃度が及ぼす影響, 静電気学会講演論文集 2014, pp.103-104. |
| 4 | 国内学術集会 | 崔光石, 鈴木輝夫, 最上智史, 山隈瑞樹(2014)双極性除電器による粉体貯蔵槽内の静電気放電の制御, 静電気学会講演論文集 2014, pp.179-180. |
| 5 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 崔光石, 山隈瑞樹(2014)振動型静電界センサ内の送風による電界強度計測への影響, 静電気学会講演論文集 2014, pp.197-200. |
| 6 | 国内学術集会 | 野舘直人, 鈴木輝夫, 星光石, 山隈瑞樹(2014)粉体空気輸送配管における静電界センサの性能評価, 第47回安全工学研究発表会講演予稿集2014, pp.55-58. |
| 7 | 国内学術集会 | 崔光石, 野舘直人, 鈴木輝夫(2014)粉体貯蔵層内で発生する静電気放電, 第47回安全工学研究発表会講演予稿集2014, pp.147-150. |
| 8 | 国内学術集会 | 崔光石, 野舘直人, 鈴木輝夫(2014)粉体貯蔵層内で発生する静電気放電, 第47回安全工学研究発表会講演予稿集 2014, pp.147-150. |
| 9 | 国内学術集会 | 鈴木輝夫, 最上智史, 廣田友樹, 山田文男, 野村信雄, 崔光石, 山隈瑞樹(2014)防爆構造双極性ノズル型除電器の開発, 第47回安全工学研究発表会講演予稿集 2014, pp.163-166. |
| 10 | その他の専門家向け出版物 | Kwangseok CHOI, Tomofumi MOGAMI, and Teruo SUZUKI(2014) Experimental study on detection of electrostatic discharges generated by polymer granules inside a metal silo, AIP (アメリカ物理学会) Review of scientific instruments, Vol.85, p1-6. |
| 11 | その他の専門家向け出版物 | Kwangseok CHOI, Tomofumi MOGAMI, Teruo SUZUKI and Mizuki Yamaguma(2014) Experimental study on the relationship between the charge amount of polypropylene granules and the frequency of electrostatic discharges while silo loading, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol.32, pp.1-4. |
| 13 | その他の専門家向け出版物 | Kwangseok CHOI, Kwansu Choi, and Koujirou Nishimura(2015) Experimental Study on the Influence of the Nitrogen Concentration in the Air on the Minimum Ignition Energies of Combustible Powders due to Electrostatic Discharges, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol.34, pp.163-166. |
| 14 | その他の専門家向け出版物 | 崔光石(2014)流動層のフリーボード領域における粉体の静電気危険性, 労働安全衛生研究, Vol.7, No.2, P85, pp.85-88. |
| 15 | その他の専門家向け出版物 | 崔光石(2015)ビリッ! 静電気にご注意, 安全衛生のひろば, 中央労働災害防止協会, Vol.56 pp.9-19. |
| 16 | その他の専門家向け出版物 | 崔光石(2014)第15節 粉体取り扱いの現場における静電気防止対策, 粉体・ナノ粒子の創製と製造・処理技術, 第6章第15節, pp.541-546, 株式会社テクノシステム. |