

## 10. 結 論

児玉 勉\*

## 10. Conclusions

by Tsutomu KODAMA\*

**Abstract :** With the remarkable progress of technology, many new materials such as fine organic powders and functional powders have been handled in recent industries. Since such materials are sensitive to static electricity, industrial hazards such as explosions and fires have been caused by static electricity. This specific research was carried out to develop basic preventive technologies against the electrostatic hazards occurring in the handling processes of new materials in industry.

The research themes and obtained results are as follows :

(1) Measurement of minimum ignition energies for combustible fine powders : In the test measuring minimum ignition energies (MIEs) using the test apparatus based on IEC standard, some additives for plastics and bis-phenol A dusts showed the MIEs lower than 1 mJ.

(2) Measurement of minimum ignition energies for flammable mists : MIEs for nonvolatile alkane mists with a flash point of higher than room temperature showed a constant value of approximately 4 mJ. Ignition hazard of mist could be drastically reduced by dilution with water or by atomization using carbon dioxide.

(3) Effect of discharge conditions on measuring minimum ignition energy for dusts : When a resistor of 25 k $\Omega$  was connected to the discharge circuit in place of the inductor shown in IEC standard, the MIE for powder sugar was 6.8 mJ, much lower than 27 mJ taken with an inductor of 0.94 mH.

(4) Development of the vibrating type minimum ignition energy measurement system : A newly developed vibrating-type MIE measurement system was applicable for two dusts, lycopodium and polyacrylonitrile, among three reference ones shown in IEC standard, but anthraquinone which has irregular particle shapes.

(5) Measurement of electrostatic properties of flexible intermediate bulk containers (FIBCs) : In life emptying experiments antistatic FIBCs which were made up of insulating plastic textile with thin conductive threads showed sufficient properties for reducing static electricity on both the container and the content.

(6) Electrostatic safety evaluation for pneumatic powder transport : A newly developed air-blow-type electrostatic field sensor was applicable for electrostatic safety assessment of pneumatic powder transportation in real-size experiments.

(7) Evaluation of electrostatic hazards caused by charged powders during tank filling using particle simulation-dependence of particle size : Simulation using the particle-in-cell technique clarified the effect of particle size on electrostatic hazard caused by filling of charged powders into a vessel.

(8) Electrostatic charging on liquid caused by spraying : Charge to mass ratio on water drops in

charged cloud reached approximately  $1 \mu\text{C}/\text{kg}$  due to a large amount of charge generation caused by division of liquid after spraying from a two-fluids nozzle with a flow rate of 48 g/min.

**Keywords** ; Static electricity, Electrostatic hazard, Ignition, New material, Safety assessment

## 1. 研究の概要

近年の科学技術の著しい進展に伴って、産業の場に技術革新がもたらされ、新技術や新材料が導入されてきた。これらの導入に当たっては、事前にその安全性に関する検討がなされるが、新しいが故に危険性が見落としや過小評価が起り、これが原因となって事故災害という不幸な結末に至った例が多々ある。製造業においても、新材料として可燃性の粉体や液体、及びこれらを取り扱う新技術が多く導入され、その結果として新しいタイプの爆発火災が多発している。この中には、付録に示すように静電気が原因となったと推定されるものも多い。

静電気による爆発・火災は、安全管理の観点からは、導体の帯電に起因するものと、不導体（絶縁物）の帯電に起因するものの二つに大別される。前者は、金属物体や人体の帯電に起因するもので、これが帯電すると可燃性物質の着火源となりやすい火花放電を発生し、危険性が非常に高い。しかしながら、導体は接地によってほぼ完全に帯電防止できるので、物理的には接地という単純な対策によって災害防止が可能である。人体の場合には、電気抵抗を低くした帯電防止靴と導電性床の併用によって間接的に接地され、大地との電気的接続により帯電を防止するという点では同じである。実際には、接地の不備によって導体が帯電し、これが原因となった爆発・火災も依然として多く発生しているが、これは可燃性物質を取り扱う場所において導体の接地を周知徹底させるという安全指導・安全教育によって解決できる。

一方、後者は単純な接地によって帯電防止できない絶縁物の帯電に起因するので、接地以外の高度な対策が要求される。その対策としては、可燃性物質の着火危険性に依りて、着火性放電が起らない程度まで帯電防止することが基本となる。そのためには、可燃性物質の静電気による着火危険性の把握、物質の取り扱いにおける静電気の帯電危険性の評価、危険を回避するための帯電防止等の安全対策が必要になる。

可燃性物質は絶縁性物質である場合が多いので、本研究では、後者を対象として、新材料を含めた可燃性の粉体・液体の取り扱いにおける静電気による爆発・火災を防止するため、次の研究を実施した。その概要と主な成果は抄録に示されているが、安全面からは次のようなことが明らかとなった。

### (1) 可燃性微粉体の最小着火エネルギーの測定

機能性粉体をはじめ新材料として多用されている可燃性微粉体の中には最小着火エネルギーが  $1 \text{ mJ}$  以下のものがあることが明らかとなった。この大きさは可燃性ガス蒸気の最小着火エネルギーに匹敵することから、このような微粉体を取り扱う場合は、従来のような導体の接地のみでは不十分で、これに加えてブラシ放電を防止するための絶縁物の帯電防止が必要である。

### (2) 可燃性ミストの最小着火エネルギーの測定

可燃性液体の噴霧に伴うミストの最小着火エネルギーと液体の引火点との関係が明らかとなり、引火点より高い液体のミストの最小着火エネルギーが約  $4 \text{ mJ}$  であることが示された。したがって、引火点以下の温度で液体を取り扱う際でも、ミストが生ずると、静電気による着火危険があるので、ミストの発生防止、流速制限、接地等の対策が必要である。一方で、フロンに代わる洗浄溶剤として、可燃性液体が噴霧洗浄に使用されているが、その対策として水の混入、不活性ガスによる噴霧が効果的であることが示された。

### (3) 粉じんの最小着火エネルギー測定における放電条件の影響

可燃性微粉体の最小着火エネルギーの試験に関して、放電条件の影響が明らかとなり、特に放電回路に直列に高抵抗を挿入すると、IEC規格に規定する放電条件に比べて最小着火エネルギーが大幅に減少することが示された。したがって、静電気による着火危険性の把握に当たっては、最小着火エネルギーの試験条件に配慮し、一般にはIEC規格による試験値・文献値よりも危険側に評価する必要がある。

### (4) 振動型粉体最小着火エネルギー試験装置の開発

可燃性微粉体の最小着火エネルギー試験装置として、IEC規格に規定する吹き上げ式（ハルトマン型）と試料の分散方法が異なる振動落下型の試験装置を開発した。この装置のほうがIEC型の装置に比べて試料量が少なく、迅速かつ容易に試験ができること、同じ放電条件では両者の試験結果がほぼ同じであることが確認された。ただし、試料粉体の形状等によっては分散性に問題があり、改良の余地がある。

### (5) フレキシブルコンテナの静電気帯電測定

災害が多発しているフレキシブルコンテナによる粉体投入に関する実規模実験を行い、帯電防止処理をし

ていないフレキシブルコンテナは帯電量が大きく、可燃性のガス蒸気や微粉体の取り扱いには、素材の導電性を高めた帯電防止品の使用が必要であり、また、帯電防止品については接地が不可欠であることが明らかとなった。なお、導電性繊維を用いてコロナ放電によって帯電防止するものは、フレキシブルコンテナの帯電防止のみならず、粉体の帯電防止効果があることが示唆された。

#### (6) 粉体空気輸送における静電気帯電に関する安全評価

最近多く行われている可燃性の微粉体の空気輸送に関する実規模実験を実施し、サイロ内の粉じん爆発の着火源の一つと考えられている浮遊粉じん雲からの着火性放電の発生危険性は一般に低いが、浮遊粉じん雲の規模が大きく、粉じんの濃度・帯電量がともに高い場合は、危険性が生じることが明らかとなった。また、安全評価には、エアパーシ型の静電界センサが有用であることが示された。

#### (7) 粒子シミュレーションによる帯電粉体のタンク搬入時の静電気危険性評価—粒径依存性

粉体の取り扱いにおける静電気による粉じん爆発の危険性評価法の一例として、タンクへ帯電粉体を投入する際の粉体挙動及び電界分布に関してコンピュータシミュレーションを実施し、粉体の粒径が大きいほど堆積粉体表面及びその近傍で放電が発生しやすく、一方、粒径が小さいほど投入口付近で放電が起こりやすいことが明らかとなった。以上の結果は災害の発生状況や実測結果とも概ね一致するものである。

#### (8) 噴霧による液体の帯電特性

災害が多発している高圧液体、液化ガス等の漏洩噴出、あるいは最近増加している冷却、洗浄、反応、散布等の液体噴霧プロセスにおける静電気による爆発・火災の防止に関する基礎資料を得るため、小規模実験を実施し、噴霧後の分裂による液滴・ミストの帯電量が大きいことが明らかとなった。また、噴出・噴霧に伴う帯電雲の規模が大きくなり、液滴・ミストの電荷量・濃度が高くなると、可燃性のガス蒸気・ミストに対する着火性放電を発生する危険性が生じることが示された。

## 2. 今後の課題

時間の制約上、本特別研究の研究項目と研究成果は上記に示したものに留まった。本研究の成果を踏まえて、静電気による爆発・火災の防止に関して今後実施しなければならないと思われる主な研究課題を上げると、次のとおりである。

#### (1) 可燃性ガス蒸気・微粉体の最小着火エネルギー試験装置の開発、データベース作成

最小着火エネルギーの既存データは極めて少なく、また、上記に示したように試験方法についても確定されていない。最小着火エネルギーは静電気安全管理の基本となる物理量であるので、新原材料の導入に伴い信頼性のある試験方法とデータベースが今後益々必要となる。

#### (2) 帯電防止フレキシブルコンテナの基準化

フレキシブルコンテナによる粉体投入では、フレキシブルコンテナの帯電による着火危険のみならず微粉体の帯電に起因する着火危険が危惧されることから、フレキシブルコンテナ本体の帯電防止のみならず粉体の帯電防止効果が期待できる帯電防止品の開発が求められている。本研究の結果、導電性繊維を等間隔に混入したものにその効果が認められたが、帯電防止のメカニズムは解明されていない。このメカニズムの解明に基づいて、実用的な帯電防止品を開発する必要がある。また、帯電防止フレキシブルコンテナに関しては、内外に基準がないので、現在 IEC で検討されている国際規格へのデータ提供のほか、国内規格・用品基準の制定が急務である。

#### (3) 集じんフィルタの帯電防止、基準化

可燃性微粉体の集じんに用いるバグフィルタ式集じん機で爆発・火災が多発している。過去にバグフィルタを用いる流動乾燥機で静電気による爆発・火災が多発したが、導電性繊維を等間隔に混入してコロナ放電によって帯電防止するコロナ放電タイプの帯電防止バグフィルタの使用によって災害は激減した。しかし、最近は帯電防止バグフィルタを使用しているにもかかわらず、バグフィルタ式集じん機で災害が多発している。一つの原因として、帯電防止バグフィルタの種類の違いが考えられる。製造上の容易さ等から最近ではフィルタ生地に導電性繊維を均一に混入したり、導電性物質で表面をコーティングすることによって、フィルタの導電性を高め、導電によって帯電防止する導電タイプの帯電防止バグフィルタが多く使用されている。このタイプはコロナ放電を伴わないので、バグフィルタから帯電した微粉体が剥離する際の放電の発生を抑制できないことが災害発生の原因の一つであると推測される。ただし、これは推測に過ぎないので、実験によって確認するとともに、国内規格・用品基準の制定が必要である。

#### (4) 静電気安全評価技術の開発

可燃性粉体・液体の取り扱いにおける静電気安全評価の観点から、例えば静電界センサによる測定に基づいた評価法あるいはシミュレーション評価法が産業界

から求められている。そのためには、可燃性雰囲気中で使用できる信頼性の高い静電界センサ等の開発が必要である。また、より汎用性・信頼性の高い評価を行うため、静電界等の測定結果を考慮に入れたシミュレーション評価法の開発が必要である。

#### (5) 静電気除電技術の開発

従来型のコロナ放電式除電器は印刷・塗布工程、半導体製造工程に多用されているものの、高速除電における除電能力不足、除電ムラ、半導体製造におけるイオンバランス不良、発じん等の問題が指摘されている。また、可燃性粉体や液体の取り扱いに使用可能な除電器も実用化されたものはほとんどない。このような背景から、静電気による災害・障害を防止するため、除電性能の優れた新しいタイプの除電器の開発が産業界から求められている。

#### (6) 液体の噴出・噴霧に伴う帯電危険の把握と対策

高圧液体、液化ガス等が漏洩噴出したときにはたいへい爆発・火災が起こり、その着火源として静電気放電が挙げられるが、これが確認されたことはほとんどない。このような噴出に伴って、労働災害に結びつくような深刻な災害を防止するためには、大規模な噴出による帯電及び放電の機構を解明するとともに、科学的な安全管理の参考となる着火確率等について検討する必要がある。また、化学工場等で最近多く取り入れられている液体噴霧プロセスにおいては、静電気の危

険性に関する事前評価が必要であるが、噴霧帯電に関する研究はこれまで余り実施されていない。本研究の結果に示されているように、噴霧帯電の危険性は帯電雲の規模、液滴・ミストの濃度・帯電量に依存するので、噴霧のサイズ効果、ノズルの種類・流量、液体の種類・物性の影響、及び着火性放電の発生限界等に関する基礎的研究、着火性放電の防止に関する研究等が必要である。

### 3. むすび

静電気による新原材料の爆発・火災の防止と題して、新原材料を含む可燃性の微粉体・ミストの静電気による着火特性の把握と試験方法、災害が多発しているフレキシブルコンテナによる粉体投入時の静電気による着火危険性の把握と対策、粉体の輸送・充てんにおける静電気による粉じんの着火危険に関する安全評価とシミュレーション評価、産業界からのニーズが高い液体噴霧時の帯電特性に関して、それぞれ研究を実施して、当面の問題解決、技術指針及び今後の研究の参考となる基礎資料を得ることができた。

本報が産業界における静電気による爆発・火災の防止に少しでも役立てば幸甚である。

(平成10年12月1日受理)