

- (2) ブラシ放電による着火は、可燃性蒸気または蒸気と粉じんのハイブリッド雰囲気のみで起きている。
- (3) 沿面放電による着火は、粉体を取り扱う FIBC およびバッグフィルタにおいてのみ起こった。
- (4) コーン放電による着火の可能性は低く、ガス抜き不足を原因とする可燃性ガス-粉じんハイブリッド雰囲気での空気輸送にのみ起きている。
- (5) 90%以上の着火は、作業者が係わる作業において起きている。
- (6) 事故の半分以上は、生産工程ではなく、メンテナンス、トラブル対応および漏洩時に起きている。生産工程以外のリスクアセスメントも重要である。
- (7) ヒューマンエラーによるリスクもアセスメントの対象とする。漏洩による噴出が比較的多いのは、静電気対策が困難であるので気になるところであるが、漏洩の原因は操作ミスやメンテナンス不良によるフランジ部やバルブからの漏洩である。このようなヒューマンエラーのリスク低減策が必要である。また、着火原因は絶縁導体からの火花放電がほとんどであるので、漏洩の危険性がある場所の周辺には絶縁導体となりうるものを置かないようにすることである。
- (8) 緊急時のリスクアセスメントも必要である。たとえば、避難経路は2つ以上確保することは基本であり、幾人かの犠牲者は助かっていたであろう。

静電気対策の5つの原則(10.1)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ていたことは確かである。これには、組織化された安全管理体制をベースとして、教育・リスクコミュニケーションを含めて、的確なリスクアセスメントに基づいた静電気対策が重要であると考えられる。

参考文献

- [1] ISO/IEC. *ISO/IEC Guide 51 Safety aspects– Guidelines for their inclusion in standards, Second edition*, 1999.
- [2] W.M. Bustin and W.G. Dukek. *Electrostatic hazards in the petroleum industry*. Research Studies Press, Letchworth, 1983.
- [3] G. Lüttgens and N. Wilson. *Electrostatic Hazards*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997.
- [4] 労働安全衛生総合研究所. JNIOOSH TR 47, 静電気安全指針 2007, 2007.
- [5] N. Gibson and F. C. Lloyd. Incendivity of discharges from electrostatically charged plastics. *Brit. J. Appl. Phys.*, Vol. 16, pp. 1619–1631, 1965.
- [6] L.G. Britton. *Avoiding static ignition hazards in chemical operations*. American Institute of Chemical Engineers, New York, 1999.
- [7] BSI. *BS 5958 Code of practice for control of undesirable static electricity. Part 2. Recommendations for particular industrial situations*, 1991.
- [8] IEC. *IEC 60079-32 Explosive atmospheres – Part 32: Electrostatics*, to be published.
- [9] N. Gibson. Electrostatic hazards in filter, filtration and separation. *Filtration and separation*, Vol. 16, pp. 382–386, 1979.
- [10] M. Glor. *Electrostatic Hazards in Powder Handling*. Research studies press, Letchworth, 1988.
- [11] P. Tolson. Assessing the safety of electrically powered static eliminators for use in flammable atmosphere. *J. Electrostat.*, Vol. 22, pp. 57–69, 1981.
- [12] K.G. Lövstrand. The ignition power of brush discharges – experimental work on the critical charge density. *J. Electrostat.*, Vol. 10, pp. 161–168, 1981.
- [13] T. B. Jones and J. L. King. *Powder Handling and Electrostatics: Understanding and Preventing Hazards*. Lewis Publishers, New York, 1991.
- [14] B. Maurer. Discharges due to electrostatic charging of particles in large storage silos. *J. Electrostat.*, Vol. 2, pp. 189–195, 1979.
- [15] I. Berta, I. Fodor and G. Clement. Electrostatic sparks on charged insulating surfaces. *J. Electrostat.*, Vol. 10, pp. 145–152, 1981.
- [16] BSI. *BS 5958 Code of practice for control of undesirable static electricity. Part 1. General consideration*, 1991.

- [17] K. van Wingerden Ø. Larsen, J.H. Hagen. Ignition of dust clouds by brush discharges in oxygen enriched atmospheres. *J. Loss Prev. Process Ind.*, Vol. 14, pp. 111–122, 2001.
- [18] J. K. Johnson. The ignition of vapour and droplets by liquid-to-metal sparks. *J. Electrostat.*, Vol. 4, pp. 53–65, 1977/78.
- [19] H. Krämer and K. Asano. Incendivity of sparks from surfaces of electrostatically charged liquid. *J. Electrostat.*, Vol. 6, pp. 361–371, 1979.
- [20] W.D. Rees. Static hazards during the top loading of road tankers with highly insulating liquids: flow rate limitation proposals to minimize risk. *J. Electrostat.*, Vol. 11, pp. 13–25, 1981.
- [21] CENELEC. *PD CLC/TR 50404: Electrostatics – Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity*, 2003.
- [22] T. Tabata and S. Masuda. Minimum potential of charged insulator to cause incendiary discharges. *IEEE Trans. Industry Applicat.*, Vol. 20, pp. 1206–1211, 1984.
- [23] B. Maurer. Hazards associated with propagating brush discharge on flexible intermediate bulk containers, compounds and coated materials. In *Inst. Phys. Conf. Ser. No. 85*, 1987.
- [24] A.R. Blythe and G.E. Carr. Characteristics propagating electrostatic discharges on dielectric films. *J. Electrostat.*, Vol. 10, pp. 321–326, 1981.
- [25] P. Tolson. High-energy discharge from plastic surfaces. *J. Electrostat.*, Vol. 22, pp. 1–10, 1991.
- [26] M. Glor. Hazards due to electrostatic charging of powders. *J. Electrostat.*, Vol. 16, pp. 175–181, 1985.
- [27] M. Glor and K. Schwenzfeuer. Occurrence of cone discharges in production silos. *J. Electrostat.*, Vol. 40&41, pp. 511–516, 1997.
- [28] P. Boschung, et al. An experimental contribution to the question of existence of lightning-like discharges in dust clouds. *J. Electrostat.*, Vol. 3, pp. 303–310, 1977.
- [29] H.L. Walmsley. The avoidance of electrostatic hazards in the petroleum industry. *J. Electrostat.*, Vol. 27, pp. 1–200, 1992.
- [30] Y.P. Raizer. *Gas discharge physics*. Springer-Verlag, 1987.
- [31] A. Ohsawa. Prevention criteria of electrostatic ignition by a charged cloud in grounded tanks. *J. Electrostat.*, Vol. 67, pp. 280–284, 2009.
- [32] NFPA. *NFPA 30 Flammable and combustible liquids code 2000 edition*, 2000.
- [33] IEC. *IEC 60079-10-1 Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres*, 2008.
- [34] IEC. *IEC 60079-10-2 Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas - Combustible dust atmospheres*, 2009.

- [35] 産業安全研究所. 産業安全研究所技術指針, 工場電気設備防爆指針 (ガス蒸気防爆 2006), 2006.
- [36] ISO. *ISO 95633 Belt drives – Electrical conductivity of antistatic endless synchronous belts – Characteristics and test methods*, 1990.
- [37] ISO. *ISO 1813 Belt drives – V-ribbed belts, joined V-belts and V-belts including wide section belts and hexagonal belts – Electrical conductivity of antistatic belts: Characteristics and methods of test*, 1999.
- [38] G. Schön. Ed. H.H. Freytag, *Hanbuch der Raumexplosionen*. Verlag Chemie, Weinheim, 1965.
- [39] IEC. *IEC 61241-2-3 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust – Part 2: Test methods - Section 3: Method for determining minimum ignition energy of dust/air mixtures*, 1994.
- [40] Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit. *BIA-Report 13/97 Combustion and explosion characteristics of dusts*. HCBG, Sankt Augustin, 1997.
- [41] H. Le Chatelier. Estimation of firedamp by flammability limits. *Ann. Mines*, Vol. 19, ser. 8, pp. 388–395, 1891.
- [42] D.A. Crowl and J.F. Louvar. *Chemical process safety: fundamentals with applications*. Prentice Hall, New Jersey, 1990.
- [43] G.W. Jones. Inflammable limits and their practical application in hazardous industrial operations. *Chem Rev.*, Vol. 22, pp. 1–26, 1938.
- [44] T.H. Pratt. *Electrostatic ignitions of fires and explosions*. Burgoyne incorporated consulting scientists & engineers, Marietta, 1997.
- [45] Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. *Guidelines for safe handling of powders and bulk solids*. American Institute of Chemical Engineers, New York, 2005.

