

高圧水ジェット噴霧中の空間電荷密度の測定

大 澤 敦^{*,1}

(2008年9月16日受付, 2009年1月7日受理)

Measurement of Space Charge Densities during High-pressure Water Jet Spraying

Atsushi OHSAWA^{*,1}

(Received September 16, 2008; Accepted January 7, 2009)

Charged clouds produced by water spraying used in industrial operations are potential hazards of ignition by electrostatic discharges. Since this ignition risk can be assessed by electric fields created by the clouds, it is necessary to estimate the charge densities of them in which whether the electric fields can initiate an incendive discharge. This paper presents the results of the measurements of charge densities of clouds during water spraying with its pressure of up to 84 MPa. The use of tap water with high conductivity may reduce the risk effectively in washing operations.

1. はじめに

最近の各種産業の工程における噴霧プロセスの応用は造粒, 冷却, 洗浄, 反応, 散布, 塗装, はく離, 研磨, 切断, 加湿などにみられるように多岐にわたってきており, 噴霧条件も静電的に危険側に推移することもあり, 障災害も様相を変えながら未だに起きている. このようなことから, 液体噴霧における静電気危険性の評価技術の確立が求められている. この静電気危険性は噴霧条件だけではなく, 噴霧される空間の境界条件にも依存するので, 同じような工程でも噴霧空間の形状や規模にも依存し, 特定の条件で静電気の危険性を評価することができたとしても, これをもとに一般的な議論に展開することは容易ではない. このような場合, 数値計算が有効であり, 着火性放電を防止する条件を求めることも可能となる¹⁾. これは, 帯電雲が接地タンク内に形成されるとき, 着火性放電を防止するための電荷密度またはタンク半径を与え, 静電気着火リスクを評価するもの(安全プロセス条件を与えるもの)であるが, 各種の噴霧プロセスで形成される帯電雲の空間電荷密度がどの程度なのか知っておくことも重要である. ここでは, 可燃性物質用タンクの洗浄を対象に実施した空間電荷密度の測定結果について報告する.

2. 実験

測定に用いた超高压水ジェットは洗浄機(スギノマシン, JPCM-93014, 最大水圧 84 MPa, 最大流量 11 L/min)である. ノズルは口径 $D_n = 0.6\text{--}1.1\text{ mm}$ を用いた. 水は水道水(導電率: $1.1 \times 10^{-2}\text{ S/m}$)とイオン交換樹脂フィルタをとおした水道水(以下, 精製水, $4.5 \times 10^{-5}\text{ S/m}$)を用いた. ここで, 超高压水ジェットの利点は, 洗浄液に用いることもある有機溶剤・洗浄剤が不要となることである.

空間電荷密度の測定には接地した金属製円筒かご(直径 $D =$ 長さ $L = 15$ または $D = L = 20\text{ cm}$)の側面に取り付けた電界計(Rion, EA-07A)²⁾を用いた. 噴霧は全面が接地したステンレス板でできたシールドルーム内(水が蓄積しないように床面には排水口を設けている)で行い, 上記の測定子により任意の数カ所にて空間電荷密度を測定した(図1). 洗浄には必然のタンク壁でのジェットの反射の影響を考察するため, 図1のように噴流に対して45度の角度でノズルから90 cmの位置に接地金属板を設置した実験も行った.

3. 結果

3.1 噴流内の空間電荷密度

図2に代表的な測定結果を示す. これは空間電荷密度が最大となるノズル近傍(ノズルから距離45 cm)で測定されたものである. 精製水の場合は帯電雲の電荷密度は水圧が高いほど, また, ノズル径が小さいほど高くなる傾向がある. さらに, 高水圧では電荷密度が飽和している.

相対的に高導電率となる水道水を用いると空間電荷密度

キーワード: 噴霧, 帯電雲, 静電気放電, 着火, リスクアセスメント

* 独立行政法人労働安全衛生総合研究所, 産業安全研究所, 電気安全研究グループ(204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6)
Electrical Safety Research Group, Institute of Industrial Safety, National Institute of Occupational Safety and Health, 1-4-6 Umezono, Kiyose, Tokyo 204-0024, Japan

¹ ohsawa@s.jniosh.go.jp

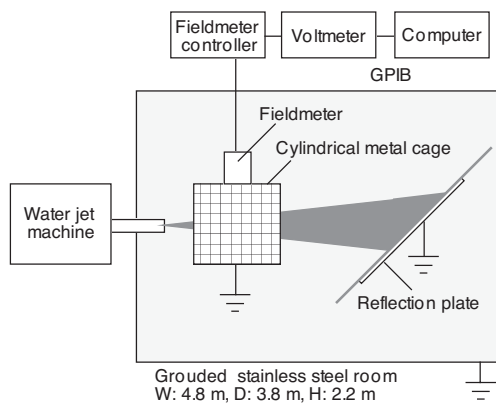


図1 実験装置の概略

Fig.1 Schematic diagram of measuring system of space charge density during spraying.

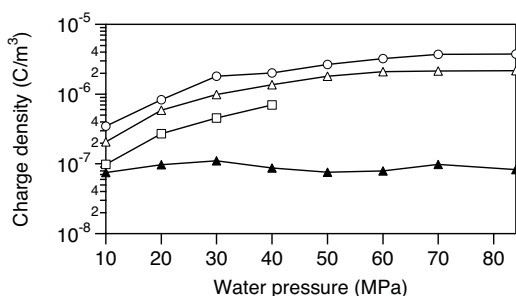


図2 高圧水ジェット内の空間電荷密度

Fig.2 Space charge densities in cone jets during high-pressure water jet spraying at the distance of 45 cm from a nozzle and with a reflection plate. ○: nozzle hole diameter of $D_n = 0.6$ mm, △: $D_n = 0.8$ mm, and □: $D_n = 1.0$ mm with purified water and ▲: $D_n = 0.8$ mm with tap water.

が水圧に依存しなくなることが示され、その値も大幅に減少している(図2の▲)。このとき、さらに低圧の洗浄機(いけうち)では、電荷密度がこれよりも低くなっていることから、水圧に対して飽和していると解せる。

これらの結果は水圧とノズル径に関する噴出速度および電荷緩和に起因しているようであるが、詳細には説明できていない。しかしながら、可能な範囲で低速噴流となる比較的に太いノズル口径の選択と高導電率の洗浄水の利用は静電気着火リスクを低減することは明らかである。また、水圧によって空間電荷密度が飽和することは、静電気着火リスクを高めることなく、洗浄能力を向上できることを示している。

3.2 タンク壁での反射

タンク壁における噴流反射の影響を調査するために反射板を設けているが、これによって大量の微小ミストが形成されて向かいの壁がみえなくなるほどになる。このミスト雲の空間電荷密度の代表値として、円錐状の噴流の軸から鉛直方向に90 cm離れた(反射板の中心からも90 cm離れてい

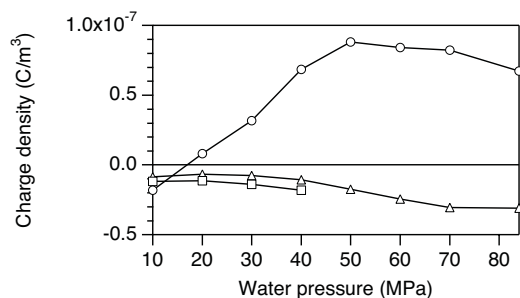


図3 高圧水ジェット外の帯電雲中の空間電荷密度

Fig.3 Space charge densities in charged clouds outside cone jets during high-pressure water jet spraying with a reflection plate. ○: $D_n = 0.6$ mm, △: $D_n = 0.8$ mm, and □: $D_n = 1.0$ mm with purified water.

る)位置で測定した空間電荷密度を図3に示す。小さい水滴が負に帯電することが知られているように0.6 mmのノズル口径以外の場合に負の空間電荷密度が測定されている。また、値は噴流内のそれよりも十分に小さい。噴流は壁に衝突すると壁に沿って流れるので、噴流自体の空間電荷密度は壁等の反射によって影響されないことも測定によって確認している。これらの結果からタンク壁での噴流の衝突が、静電気リスクを危険側に推移させるものではないといえる。

4. 静電気着火リスクの評価

帯電雲による着火性放電の防止条件¹⁾

$$\rho \leq 2.3 \times 10^{-6} R^{-1} \quad (MIE \geq 0.2 \text{ mJ})$$

(ρ (C/m³): 接地円筒タンク内の一様帯電雲の空間電荷密度, R (m): タンク半径, MIE : タンク内雰囲気最小着火エネルギー)を水道水の最大測定電荷密度($\rho = 1.1 \times 10^{-7}$ C/m³)に適用すると、 $R \leq 20.9$ mのタンク洗浄の着火リスクを低減できることが示される。ここで、最大測定電荷密度で一様とした帯電雲は危険側となり、着火リスク評価としては問題とならない。また、すべての実験中に放電は放電検出器(Trek, Model 900)で検出されなかった。

5. おわりに

過去に測定例がない84 MPaまでという高圧水ジェットによって形成される帯電雲の空間電荷密度を測定し、水道水のように高導電率の水を使用すればタンク洗浄の静電気着火リスクを広範囲のタンク径に対して低減できることが予測された。洗浄水の導電率のほかにノズル口径の選択によっても静電気着火リスクを低減できることが示された。

参考文献

- 1) A. Ohsawa, J. Electrostat. (in press)
- 2) 大澤敦, 産業安全研究所研究報告, NIIS-RR-2005 (2006) 9