

内圧防爆型静電界センサの開発

長田 裕生*, 鈴木 輝夫*, 崔 湖壽**, 崔 光石***, 1

(2018年11月2日受付; 2019年1月9日受理)

Development of Pressurized Enclosure Explosion-Proof Type Electrostatic Field Strength Sensor

Yuki OSADA*, Teruo SUZUKI*, Hosu CHOI** and Kwangseok CHOI***, 1

(Received November 12, 2018; Accepted January 9, 2019)

In this paper, the pressurized enclosure explosion-proof type electrostatic field strength sensor (novel sensor) was quantitatively investigated based on its performance in a laboratory scale. As for the results, the detected signal obtained using the novel sensor was clearly proportional to the electric field strength. Through this, the validity of the novel sensor was confirmed. In order to increase the air purge level inside the body of the sensor, the openings on the grounded metal plate were replaced with trenched shaped holes of 0.9 mm. The signal was still fairly detectable. The performance of the novel sensor was not affected by the air flow (air purge) which satisfied the International Electrotechnical Commission (IEC) standard requirement of 50 Pa.

1. はじめに

食品, 製薬, およびその他の工業用途で使用されている可燃性粉体のハンドリング操作において, 静電気放電を原因とした粉塵爆発などの静電気災害が報告されている. このような災害を防止するためには危険場所*で使用する粉体の帯電レベルを測定し静電気災害防止対策を確立する必要がある. これまでは様々な種類の静電界センサが開発されたが, 防爆型に対応したものは未だ開発されていない. したがって, 本研究では, IEC 内圧防爆の一部の条件を満たす静電界センサ (以下, 新型静電界センサ) の開発を行い, その基礎特性を定量的に評価したので報告する.

2. 実験装置及び方法

本研究で開発した新型静電界センサは本体に圧力をかけることにより, 外部の可燃性粉じんがセンサ内部に入らないものである. その内部構造を図1に示す. 新型静電

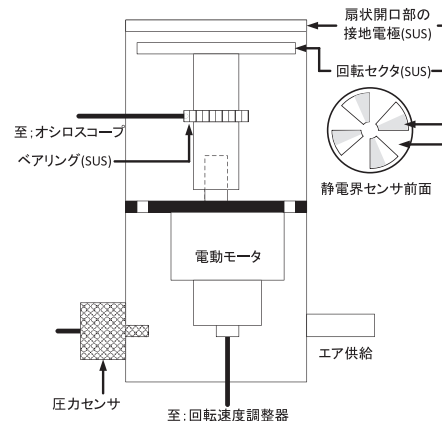


図1 内圧防爆型静電界センサの内部構造
Fig.1 Pressurized enclosure explosion-proof type sensor.

界センサは, 接地電極, 信号検出用回転セクタ, 電動モータ, 圧力センサなどから構成されている. 新型静電界センサの前面に接地電極があり, その後部に回転セクタがある (両者の間隔: 2 mm). 新型静電界センサには同じ面積で同じ形の4つの扇状開口部を持つ接地電極と回転セクタを用いた. 回転セクタの回転軸には信号検出用ケーブルが接続されている. 信号を検出するために回転セクタの回転軸と電動モータとの間は絶縁体で接続されている. 新型静電界センサの後部に接続されているエアチューブより所定のエア流量 q_v (200-600 L/min) を供給できる.

新型静電界センサの基礎特性を評価するために模擬実験を行った. 模擬実験装置は, 新型静電界センサ, 金属製模擬帯電板 (大きさ: 50 cm × 50 cm, 厚さ: 2 mm), 直流高電圧電源, 100 MΩ 抵抗, 回転速度調整器, 圧力

※危険場所とは, 爆発性雰囲気形成する場所や, 同時に着火源としての電気機器が存在する場所をいう.

キーワード: 静電気, 静電界センサ, 防爆, 内圧

* 春日電機株式会社

(〒212-0032 神奈川県川崎市幸区新川崎 2-4)

Kasuga Denki Co., Ltd. 2-4 Shin-kawasaki, Kawasaki-shi, Kanagawa, 212-0032, Japan

** 早稲田大学

(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

Waseda University. 3-4-1 Shin-ohkubo, Shinjuku, Tokyo, 169-8555, Japan

旧所属: Christian Academy in Japan (CAJ)

*** 労働安全衛生総合研究所

(〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6)

National Institute of Occupational Safety and Health, Japan. 1-4-6 Umezono, Kiyose, Tokyo, 204-0024, Japan

¹ choiks@s.jniosh.johas.go.jp

センサ、エレクトロメータ、オシロスコープなどから構成されている。新型静電界センサと模擬帯電物体である金属製模擬帯電板との距離 d は、最小 1 cm から最大 5 cm まで 1 cm 間隔で設置した。また、模擬帯電板には印加電圧 V_a を -5 kV から +5 kV まで各 1 kV ずつ与えた。回転速度調整器にて 10 V に設定して回転セクタを回転させた (780 rpm)。センサの誘導電流の信号を 100 M Ω の抵抗で電圧に変換し、エレクトロメータにて電圧の測定を行った。その時の波形をオシロスコープで観察した。模擬帯電板の静電界を回転セクタで検出すると、オシロスコープでは正弦波の波形が検出される。これは静電誘導によるものである。この正弦波の p-p の 2 分の 1 の値を検出信号 V_s [V] とし、 V_a を d で割ることによりセンサ前面部の検出電極における電界強度 E [kV/cm] を算出した。

3. 実験結果及び考察

V_s と E との関係を図 2 に示す ($q_v = 0$)。縦軸は V_s 、横軸は E である。凡例は、 $\square$ が $d = 1$ cm に固定し、帯電板に印加電圧 $V_a = \pm 5$ kV の範囲で 1 kV 毎に変化させたときの V_{s1} であり、 $\bullet$ は $V_a = \pm 5$ kV 一定にして、 d を 1-5 cm まで変えた時の E に対しての V_{s2} である。この結果より、 V_{s1} と V_{s2} は E に対して比例しており、それらの値に相関関係 ($R^2 = 0.99$) が得られたことから今回開発した新型静電界センサは帯電物体の電界強度に応じた検出信号が得られることを示した。一方、IEC 内圧防爆の条件を満たすためには新型静電界センサの内部の圧力が少なくとも 50 Pa¹⁾ 以上であり、IP4x²⁾ より接地電極のスリット幅の大きさを 1.0 mm 未満に抑える必要がある。そこで、従来の扇状の開口部の部分をスリット幅 0.9 mm の多孔スリットに変更することとした。誌面の制限上多孔スリットの接地電極を使用したときの V_s と E との関係の図は省略するが、 $E = +5$ kV/cm の時の V_s は、扇状の開口部のものの 15 分の 1 倍の大きさであった。これは電気力線が到達する検出電極の面積が少ないことが原因と考えられる。帯電板から発生する電界によって検出電極で誘導された誘導電荷量 q は、ガウスの定理より、

$$q = \epsilon_0 ES$$

である。但し、 ϵ_0 [F/m] は真空の誘電率、 S [m²] は検出電極の面積である。 $E = +5$ kV/cm として、実際に扇状の開口部とスリット状の開口部の面積及びその時の誘導電荷量を算出した結果、それぞれ 12.19 cm² で 53.96 pC、7.87 cm² で 34.84 pC であることから検出電極の面積が小さくなることにより V_s も小さくなる可以说。

一方、振動型静電界センサへのエア供給が電界強度計測に影響を及ぼすことが知られている³⁾。そこで、内圧 P_i [Pa] の変化に対する V_s の影響について検討した結果を図 3 に示

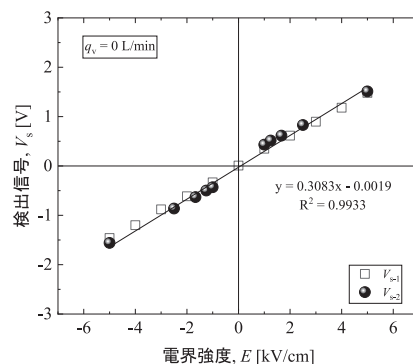


図 2 帯電板からの各 E における V_s
Fig.2 The relationship between E and V_s .

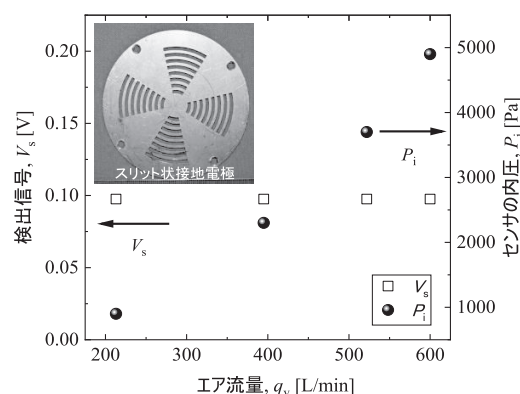


図 3 q_v が V_s と P_i に及ぼす影響
Fig.3 The effect of q_v on V_s and P_i .

す ($d = 1$ cm, $E = +5$ kV/cm)。縦軸は V_s と P_i 、横軸は q_v である。なお、図 3 中には使用したスリット状接地電極を示す。この結果より、 P_i は q_v の増加に伴って指数関数的に増加しているのに対して V_s は約 0.1 V で一定であることから今回使用した静電界センサの V_s は P_i の変化に影響を及ぼさないことが示された。また、 $q_v = 200$ L/min でも新型静電界センサにおける内圧防爆の条件に必要な圧力が 50 Pa を超えていることから内圧防爆の条件のうち二つを満たした。

4. まとめ

本研究では内圧防爆型静電界センサの基礎特性を調べた。その結果、模擬帯電物体の帯電レベルに応じた新型静電界センサの検出信号が得られた。また、IEC 内圧防爆の一部の条件を満たすのに必要なスリット幅が 0.9 mm でも測定が可能であり、エア流量が 200 L/min 以上であれば新型静電界センサの内圧が 50 Pa を超えていたことが分かった。

参考文献

- 1) IEC, International Standard, IEC-60079. 2014
- 2) IEC, International Standard, IEC-60529. 2001
- 3) 野崎直人, 鈴木輝夫, 崔 光石, 山隈瑞樹: 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, 8 [1] (2015)