

粒径及び粒子凝集が粉じん雲中の火炎伝ば挙動に及ぼす影響

東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻

〇一瀬慶人, 茂木俊夫、土橋律

Effects of particle size and agglomeration on flame propagation behavior
in dust clouds

Keito Ichinose, Toshio Mogi, Ritsu Dobashi

Department of Chemical System Engineering, School of Engineering,

The University of Tokyo

キーワード：粉じん爆発、火炎伝ば、粒子凝集、爆発下限濃度

Keywords：dust explosion, flame propagation, agglomeration, minimum explosible concentration

1. はじめに

粉じん爆発とは、空気中に浮遊・分散した可燃性粒子群に静電気などによるエネルギーが与えられることで着火が起こり、高速な火炎伝ばと圧力上昇が生じる現象である。粉じん爆発の危険性は爆発のしやすさを示す「爆発可能性」と、爆発が発生した際の強さを示す「爆発強度」から評価される。また、近年の粉体材料の微小化に伴い、粉じん爆発の危険性はさらに増加すると予測されている。実際に、粒径が小さくなるほど比表面積が増すために、粒子における伝熱・分解・蒸発が速く進み、粉じん爆発の危険性は増加するという報告がされている^{[1],[2]}。しかしながら、粒径がさらに小さくなると粒子凝集といった微小粒子特有の現象が生じる。微小粒子の危険性評価を適切に行うためには、微小粒子に特有な粒子凝集などの粒子挙動と火炎伝ば挙動の関係を検討する必要がある。

本研究では、粒子径がほぼ一定のポリメタクリル酸メチル（PMMA）粉体を使用し、爆発可能性の指標である爆発下限濃度（MEC）と爆発強度の指標である火炎伝ば速度（ V_f ）を測定し、粒径を変化させた際のこれらの指標の変化を検討することを目的とした。

2. 実験装置及び方法

実験には 10～100 μm のシャープな粒径分布を持つ PMMA 粒子を用いた。吹上前に凝集体は見られなかった。

MEC の測定は JIS 規格に基づき Hartmann 型吹上式粉じん爆発試験装置を用いた（図 1）。爆発筒底部に試料を濃度に応じた所定量セットした後、0.06 MPa の圧縮空気で筒内に均一に分散させ、0.2 s 後にスパークで着火させた。各濃度で最大 5 回の実験を行い、スパーク位置から 10 cm 上方に火炎が伝ばすれば爆発するとみなし、1 度でも爆発する最低の濃度を MEC とした。

V_f の測定は側壁の影響をなくすため、吹上式装置の爆発筒中部を着火直前に落下させることで開放系にできる装置を用いた（図 2）。火炎伝ば挙動を高速度カメラにより記録した。水平方向の火炎半径の時間変化を直線近似し、その傾きを V_f とした。粉じん濃度は MEC に近い濃度から、十分火炎が伝ばする高い濃度で変化させて実験を行った。

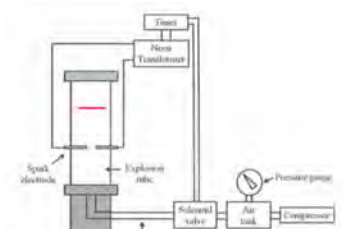


図 1 MEC 測定装置の模式図

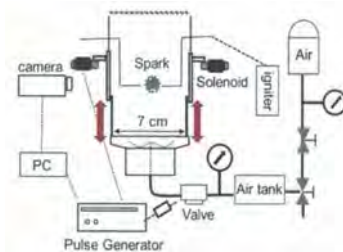


図 2 V_f 測定装置の模式図

3. 実験結果及び考察

MEC を測定した結果を図 3 に示す。一般に MEC は破線のように粒径が小さくなるにつれて減少する傾向を示すとされているが、50 μm 以下では粒径が小さくなるにつれ上昇した。粒径が小さい粒子では、吹上後に図 4 に示すような多くの凝集体が形成された。凝集により粒子数が減少し粒子間距離が大きくなることで、粒子間の火炎伝ばが困難になったと考えられる。

図 5(a)に V_f と粒径の関係を示す。粉じん濃度が低い場合には、粒径が 40 μm 以下で火炎伝ばが起こらなかった。

これは濃度が MEC を下回ったためと考えられる。一方で濃度が MEC より十分高い場合には、粒径が小さくなるにつれて火炎伝ば速度は上昇した。これは粒子の比表面積が増したために粒子間の火炎伝ばが速く進んだと考えられる。

図 5(b)に V_f と粉じん濃度の関係を示す。粒径の大きい粒子は濃度変化の影響をあまり受けなかったが、小さい粒子は濃度が MEC に近づくとともに V_f が大きく減少した。濃度が低く MEC に近い状況では、 V_f も凝集により粒子間距離が大きくなる影響を受け減少すると考えられる。

4. まとめ

本研究では、PMMA 粒子を用いて粒径の変化が爆発下限濃度と火炎伝ば速度に及ぼす影響を調べた。爆発下限濃度は、粒径が 50 μm 以下では凝集の影響を受け粒径が小さくなるほど上昇した。火炎伝ば速度は、粒径が小さくなるほど上昇した。このように、爆発下限濃度と火炎伝ば速度では粒径の変化がその危険性に与える影響について反対の傾向を示した。これは、爆発下限濃度は粒子間距離の影響を強く受けており、火炎伝ば速度は粒子の比表面積の影響を強く受けているためと考察される。

5. 参考文献

- [1] R. K. Eckhoff, Dust Explosions in the Process Industries, Third ed., Gulf Publishing Co., 2003.
- [2] R. Dobashi, Risk of Dust Explosions Combustible Nanomaterials, Journal of Physics: Conference Series 170, 012029, 2009.

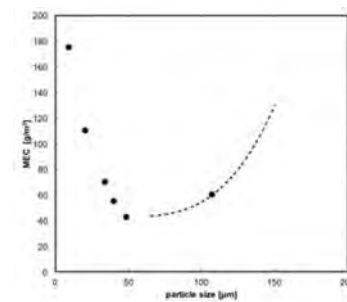


図 3 MEC と粒径の関係

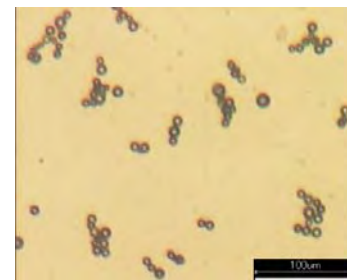


図 4 10 μm 粒子の凝集状況

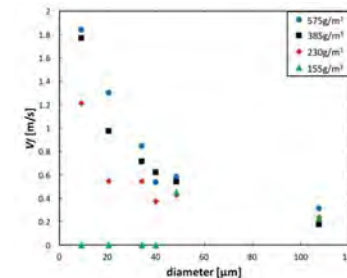


図 5(a) V_f と粒径の関係

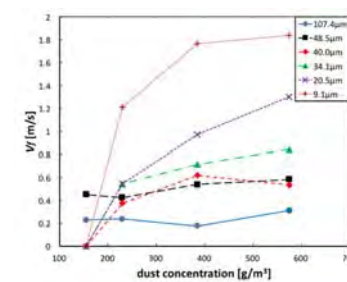


図 5(b) V_f と粉じん濃度の関係

奨励賞 伊里 友一郎 殿、一瀬 慶人 殿、大森 皓史 殿

「テトラヒドロフラン過酸化物の生成と分解に関する詳細反応機構」

伊里友一郎（いざと・ゆういちろう）

略歴：

- 2008 年 横浜国立大学工学部 物質工学科卒業
- 2010 年 横浜国立大学大学院 環境情報学府 環境リスクマネジメント専攻
博士課程前期修了
- 2010 年 住友化学株式会社入社（2013 年 9 月まで）
- 2015 年 日本学術振興会特別研究員（DC2）
- 2016 年 横浜国立大学大学院 環境情報学府 環境リスクマネジメント専攻
博士課程後期修了
博士（工学）
- 2016 年 横浜国立大学 先端科学高等研究院招聘助教
- 2016 年 日本学術振興会特別研究員（PD）
- 2016 年 横浜国立大学大学院 環境情報研究院助教（現在に至る）



「粒径及び粒子凝集が粉じん雲中の火炎伝ば挙動に及ぼす影響」

一瀬慶人（いのせ・けいと）

略歴：

- 2014 年 東京大学 教養学部 理科一類入学
- 2018 年 東京大学 工学部 化学システム工学科卒業
- 2018 年 東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻入学



「粒径及び粒子凝集が粉じん雲中の火炎伝ば挙動に及ぼす影響」

大森皓史（おおもり・こうじ）

略歴：

- 2007 年 京都工芸繊維大学 繊維学部 高分子学科卒業
- 2009 年 大阪大学大学院 理学研究科 高分子科学専攻修士課程修了
- 2009 年 富士フイルム株式会社入社

