

アルミニウム粉塵爆発 その原因と対策



2008年6月13日
社団法人 日本アルミニウム協会

INDEX

1. アルミニウム協会の活動
2. 粉塵爆発の基礎知識
3. アルミニウム粉塵の爆発特性
4. 予防と対策
5. まとめ

アルミニウム協会の活動

2005年

＜調査＞ 災害事例・災害報告
基礎的な勉強会の開催

2006年

＜研究＞ 粉じんの粒径調査
リスクアセスメントの検討

2007年 (アルミニウム粉塵爆発防止小委員会設立)

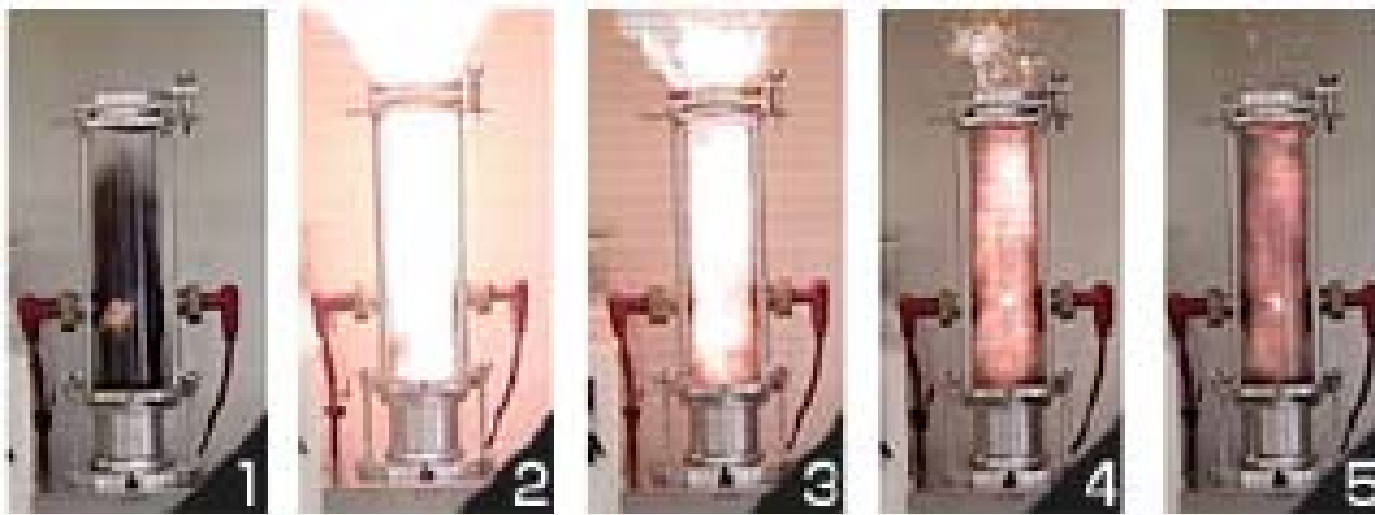
＜教育＞ 粉じん爆発防止の啓発

＜研究＞ 粒径調査の拡大と爆発試験

粉塵爆発の基礎知識

粉塵爆発とは？

可燃性の固体微粒子である粉体が空気中に浮遊し粉じん雲を形成し、そこに発火源が存在した場合、ある条件下で爆発燃焼します。これを粉じん爆発といい、この微粒子を爆発性粉じんと呼びます。急激な発熱や空気膨張で、火炎と爆発音を発し大きな被害をもたらします。



粉じん爆発をおこす粒子の大きさ

粉じんの粒子は細かいほど着火に必要なエネルギーが小さく、単位質量あたりの表面積が増え空気との接触面積が増加するほど、酸化速度が大きくなり爆発の危険性が増します。危険性が増すのは爆発性ガス状態に近づくとはいえ、粉じん爆発を起こす微粉の大きさの限界は、 $100 \sim 0.1$ ミクロンと云われています。

災害事例



2005年10月

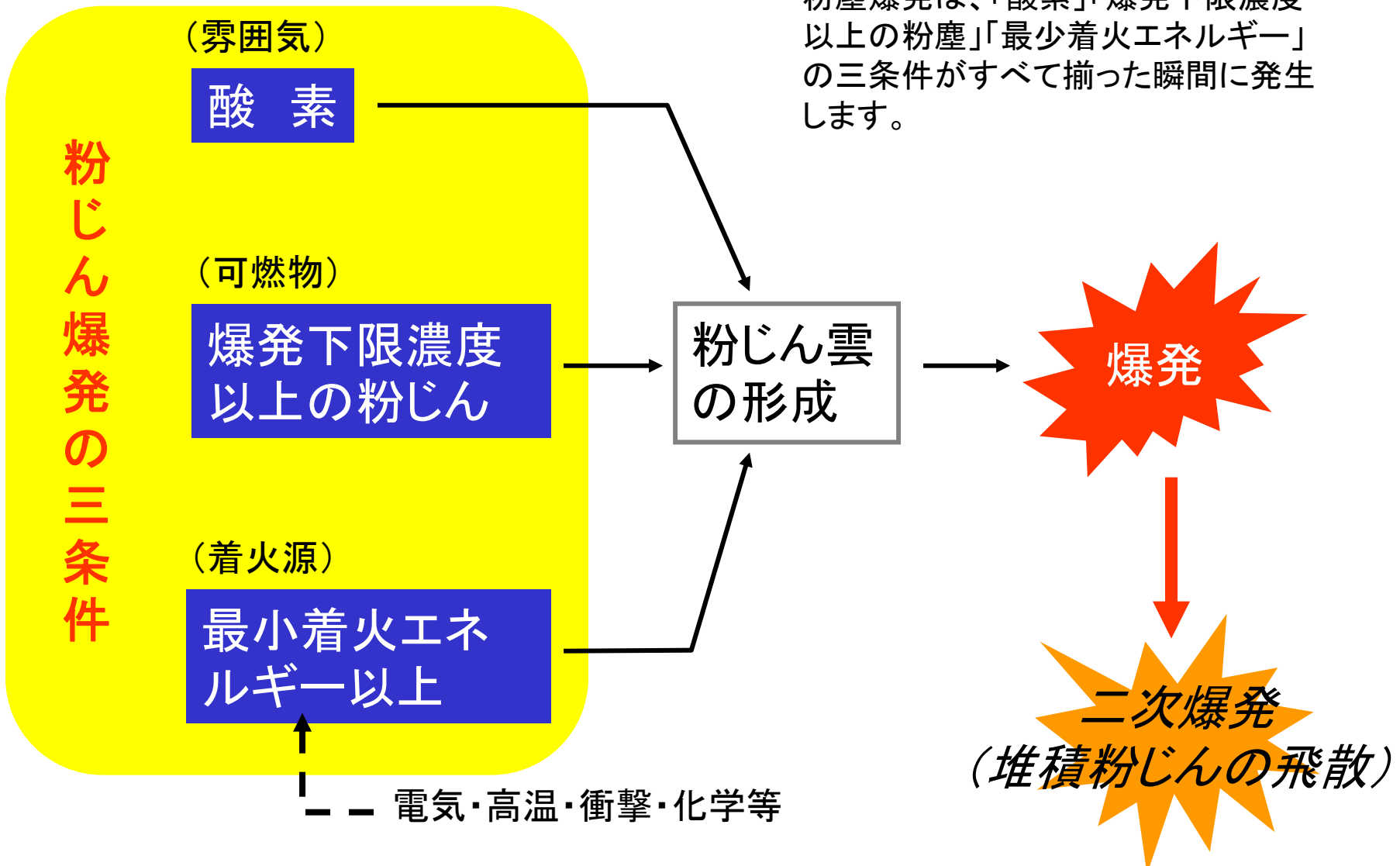
作業者3名が、やけど

鉄骨平屋1棟(約450平方メートル)が全壊し出火、約2時間半後に鎮火

- ・2005年 2月 アルミダイカスト工場
- ・2006年12月 化学製品製造工場
- ・2007年10月 マグネシウム脱硫剤製造工場
- ・2008年 1月 鉄鋼用発熱剤製造工場

粉じん爆発はどのような時に起こるか？

粉塵爆発は、「酸素」「爆発下限濃度以上の粉塵」「最少着火エネルギー」の三条件がすべて揃った瞬間に発生します。



三条件を1つでも抑えることができれば、粉塵爆発は防ぐことが可能です。そして爆発防止をより確実にするポイントは、酸素または着火源を極力減らすことにある。

爆発し易さの一般的傾向

| 項目 | 因子 | 爆発し易さの一般的傾向 |
|-------|----------|--|
| 粉塵の性質 | 化学的成分 | 酸素と反応し易い 可燃性ガスを発生し易い 発熱量が高い 不活性成分が少ない |
| | 粒子径、粒度分布 | 粒子径が小さい |
| | 粒子の形状 | 比表面積が大きい |
| | 水分 | 水分が少ない |
| | 温度 | 温度が高い |
| | 飛散・浮遊性 | 浮遊・飛散する |
| | 濃度 | 爆発可能濃度範囲では濃度が高い |
| 雰囲気 | 酸素濃度 | 酸素濃度が高い |
| | 不活性ガス | 不活性ガスが少ない |
| | 湿度 | 湿度が低い |
| | 温度 | 温度が高い |
| | 圧力 | 圧力が低い |
| | スペース | スペースが広い |
| 着火源 | エネルギーの種類 | 熱に変換し易い |
| | 着火源の形 | 持続するもの |
| | 温度 | 温度が高い |

爆発の発生と評価

1. **爆発のし易さ**(主として濃度)

- ・爆発下限濃度
- ・爆発限界酸素濃度

3. **着火のし易さ**(爆発及び着火のエネルギー)

- ・最小着火エネルギー
- ・最小着火(発火)温度

2. **爆発の激しさ**(爆発のエネルギー)

- ・最大爆発圧力
- ・最大爆発圧力上昇速度
(爆発指数)

アルミニウム粉

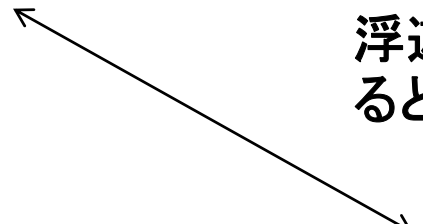
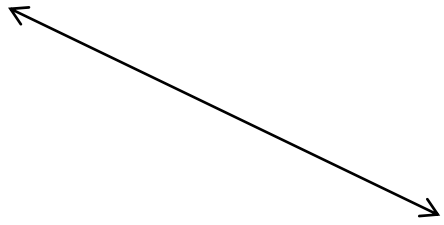
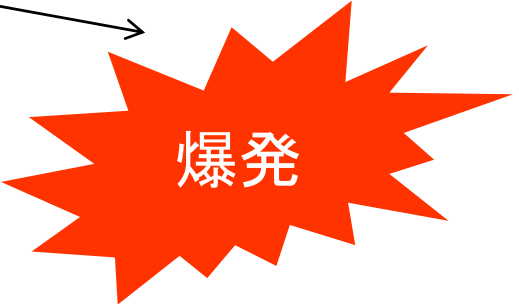
- ・比重が軽い(浮遊しやすい)
- ・可燃性



大気中の一定空間に、ある割合以上浮遊(混合)しているとき、



着火源
(僅かなエネルギーでも)



各種金属の危険特性

数字が小さいほど危険 数字が大きいほど危険

| | 平均 粒径 μm | 爆発下限 濃度 g/m ³ | 最大爆発 圧力 MPa | 爆発 指数 bar·m/s | 最小発火 エネルギー mJ |
|--------------------|----------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 亜鉛(集塵機から) | <10 | 250 | 0.67 | 125 | 250 |
| アルミニウム/鉄(50:50) | 21 | 250 | 0.97 | 230 | |
| アルミニウム/ニッケル(50:50) | <10 | | 1.14 | 300 | |
| アルミニウム粉 | 22 | 30 | 1.15 | 1100 | |
| ケイ素(集塵機から) | <10 | 60 | 0.95 | 116 | |
| 鉄(集塵機から) | 12 | 500 | 0.52 | 50 | |
| マグネシウム | 28 | 30 | 1.75 | 508 | |
| マンガン | 16 | | 0.63 | 157 | |
| 褐炭(電気集塵機から) | 55 | 60 | 0.9 | 143 | |

アルミニウムは低い濃度で爆発し、しかも爆発力が強い！

用語の説明

爆発下限濃度 g/m^3

粉塵爆発は、粉塵濃度が低すぎても高すぎても爆発が生じなくなる限界がある。この内、濃度の低い方を下限濃度という。爆発下限濃度は「爆発のし易さ」を表す特性値として用いる。

数値が小さい程、爆発し易い。

最大爆発圧力 Pa

密閉容器内で最適粉塵濃度における爆発圧力の最大値をいう。Kst値と共に放散口の開口面積の計算に用いる。

数値が大きい程、危険。

爆発指数 (Kst) $\text{bar}\cdot\text{m}/\text{s}$

容器 1m^3 の基準爆発容器における最大爆発圧力上昇速度に相当する値で次式で表す。 $Kst = (dp/dt)_{\text{max}} \cdot V^{1/3}$ ($dp/dt)_{\text{max}}$ は試験装置での最大爆発圧力上昇速度 ($\text{bar}\cdot\text{m}/\text{s}$)、 V は試験装置容積 (m^3)。Kst値は「爆発の激しさ」を表す特性値で放散口の開口面積の計算に用いる。

数値が大きい程、爆発が激しく危険。

くすぶり温度 $^{\circ}\text{C}$

金属板上に置かれた可燃性粉塵が金属板を加熱した時に自ら着火（発火）する最低の温度。

数値が小さい程、着火し易い。

最小発火（着火）エネルギー mJ

最適粉塵濃度において着火・爆発する発火（着火）エネルギーの最小値。

数値が小さい程、着火し易い。

アルミニウム粉塵の 爆発特性

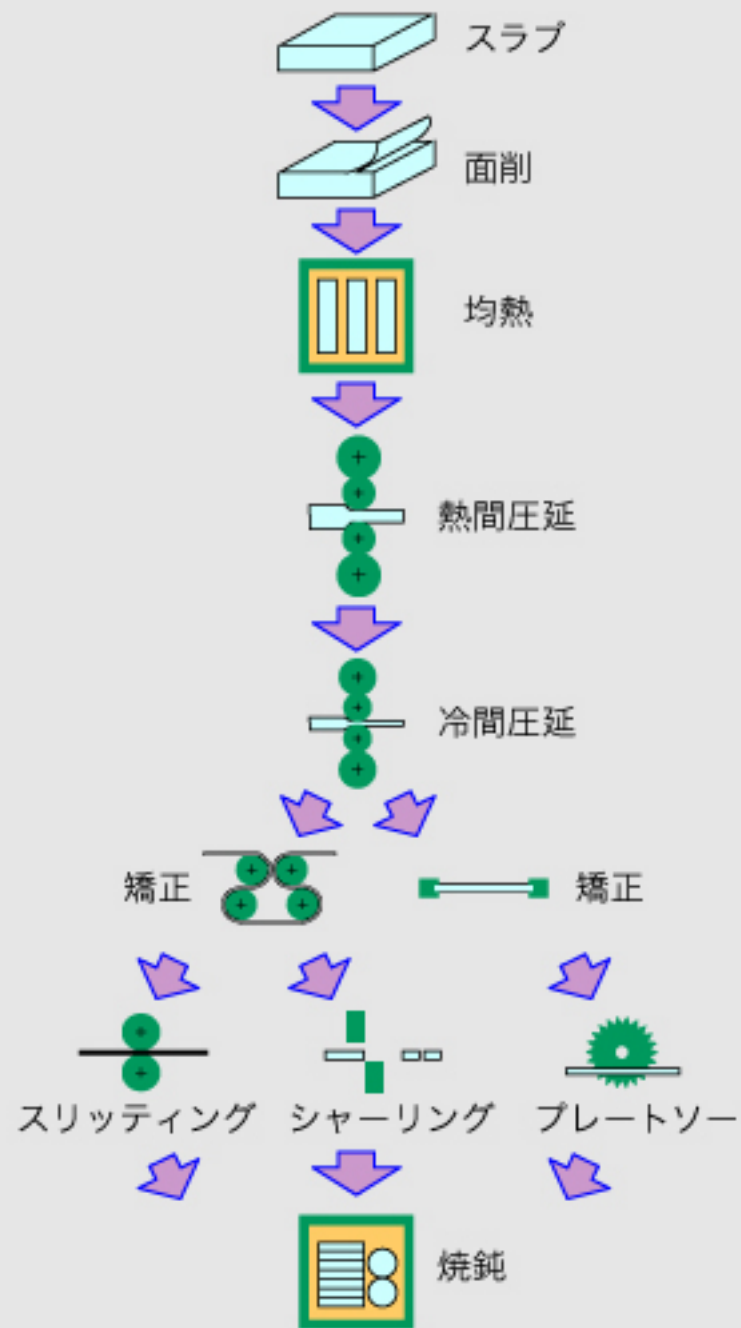
アルミニウム粉塵の調査

＜粉じんが発生する工程＞

| | |
|------|------|
| 素材工程 | 炉集じん |
| | ドロス系 |
| | 面削 |
| 仕上工程 | 鋸 |
| | 切削 |
| 加工工程 | 研磨 |
| | その他 |

27社38事業所130サンプル

圧延工程

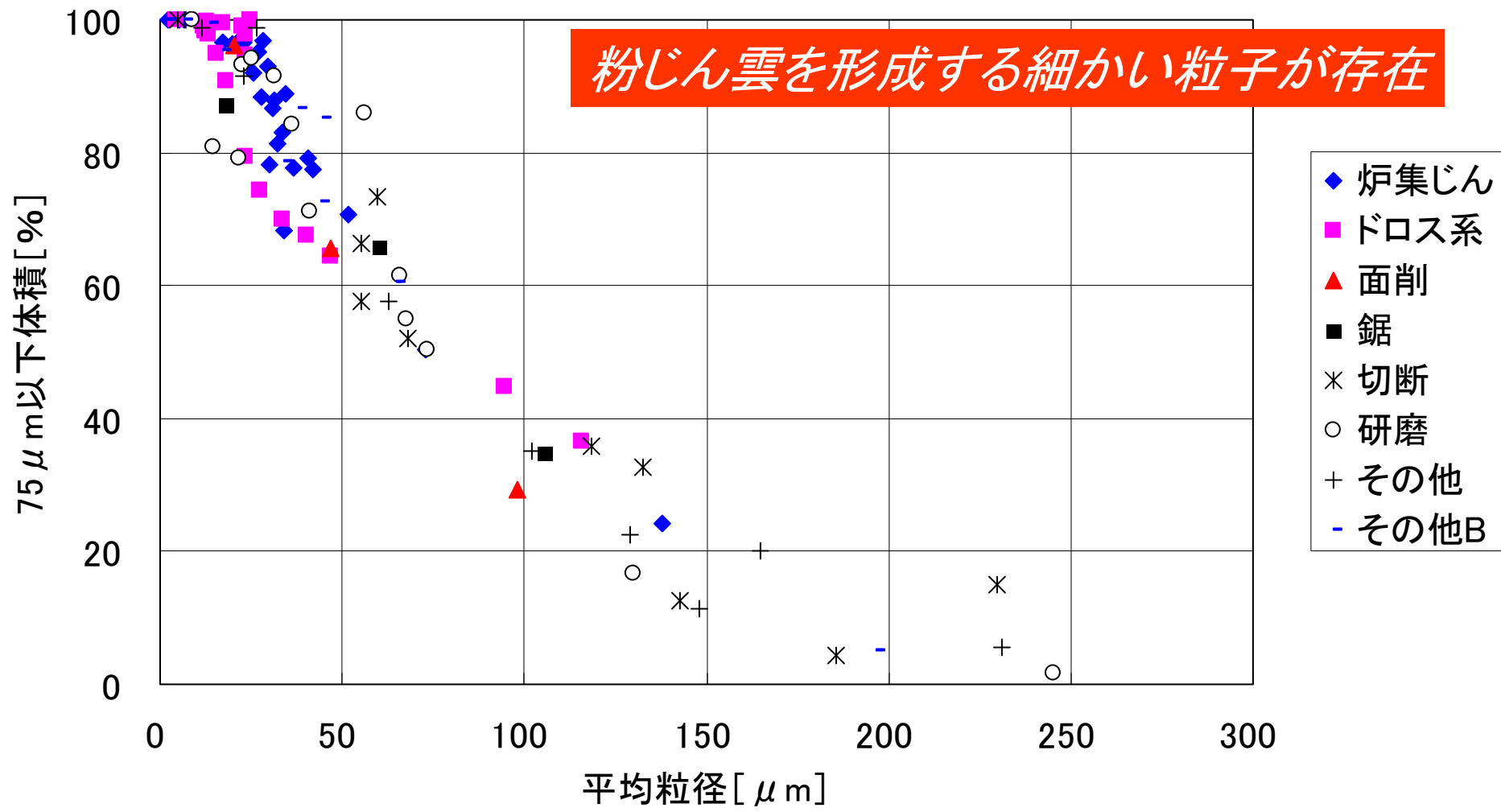


粒径の調査

測定方法

- (1) サンプルを106 μm にて篩い分けし、ON分、PASS分の重量を測定
アルミニウムの場合一般に粒径が100 μm を超えると浮遊せず沈降しやすくなる。
- (2) PASS分の粒度分布をレーザー回折散乱法にて測定

平均粒径 vs 75 μm 以下% / 工程



爆発のクラス分け

| 爆発下限濃度試験 | | | | |
|---------------|-------------|------|-----|-----|
| 爆発 しない | 爆発する ↓ | | | |
| | 最小着火エネルギー試験 | | | |
| | 着火 しない | 着火する | | |
| | 爆発危険等級*1 | | | |
| | | St1 | St2 | St3 |
| A | B | C | — | D |
| 安全 ←-----→ 危険 | | | | |

- ・*1爆発圧力・圧力上昇速度試験で評価
- ・爆発のクラス分けは今回の実験結果をもとに分類した。

爆発クラスの説明

クラスA

粉塵爆発の可能性の目安である $2000\text{g}/\text{m}^3$ で爆発せず、安全と判断される。
このクラスの特徴は、粉塵粒径が小さくても炉集塵、ドロス系など高温酸化をしているものは安全と言える。また、完全と言われている酸化物のアルミナもクラスAである。

クラスB

爆発はするが、静電気による着火の目安である 300mJ では着火せず。
但し、各クラスの区分は微妙である。(クラスAといっても安心は禁物。)

クラスC

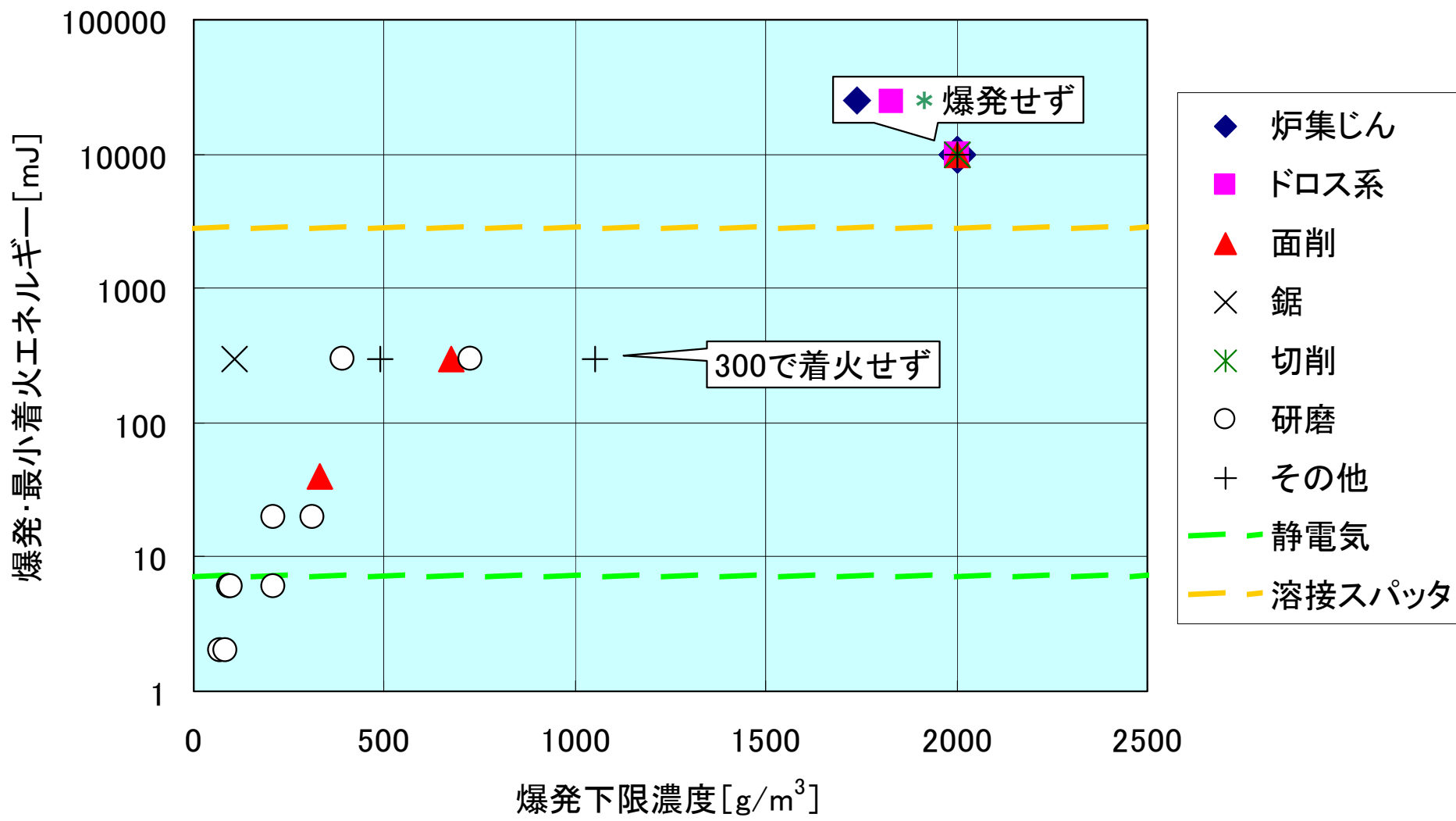
最小着火エネルギー $1\sim 50\text{mJ}$ で着火、静電気で容易に着火するので要注意、要静電気対策。

クラスD

最小着火エネルギー $1\sim 10\text{mJ}$ で着火、最大爆発指数が $300 \times 10^2\text{kPa}\cdot\text{m}/\text{s}$ 以上であり最も激しいランク。なお、このクラスは測定者と測定器保護のため濃度制限をして測定した結果であり、実際の値はより大きいと解釈すべきである。早急に具対策を実施すべき。

静電気対策のみでなく、湿式での加工などの検討も望まれる。

工程別に見た爆発下限濃度と最小着火エネルギー

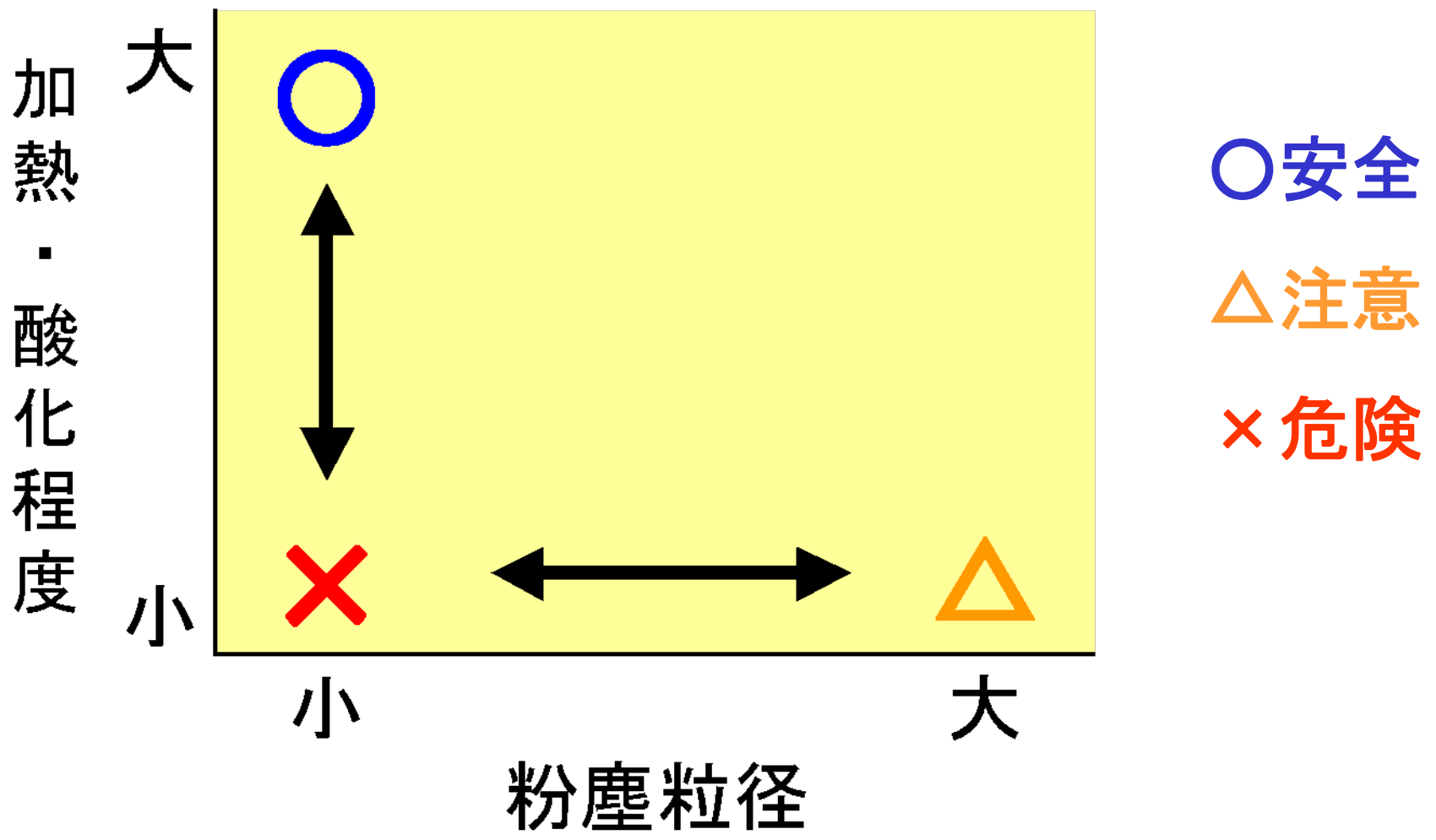


製造工程と爆発リスクの関係



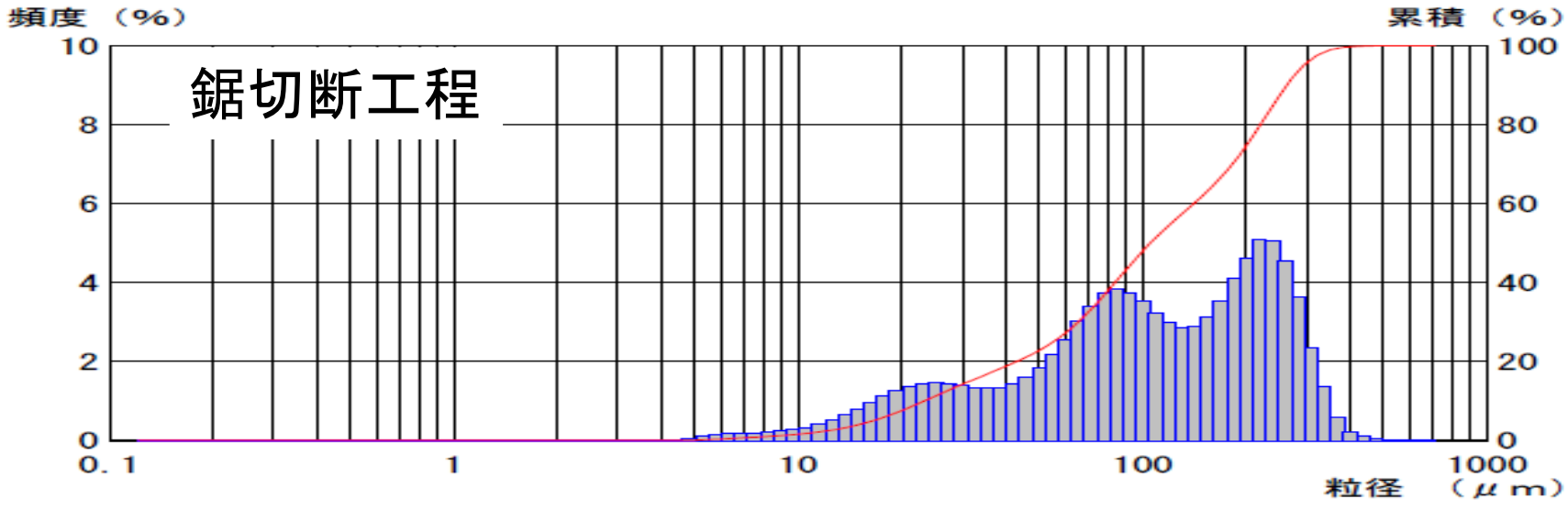
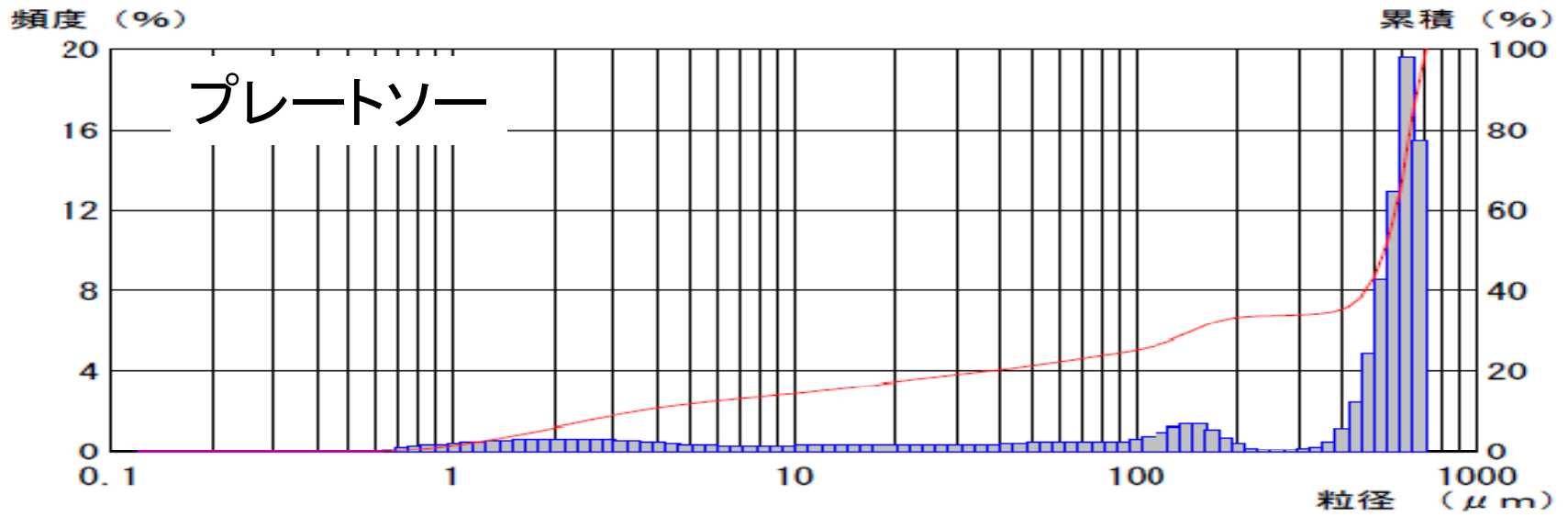
| | | A | B | C | D | 計 |
|------|------|----|----|---|---|----|
| 素材工程 | 炉集じん | 4 | | | | 4 |
| | ドロス系 | 5 | | | | 5 |
| | 面削 | 1 | 1 | 1 | | 3 |
| 仕上工程 | 鋸 | 1 | 1 | | | 2 |
| | 切削 | 1 | | | | 1 |
| 加工工程 | 研磨 | 1 | 4 | 6 | 5 | 16 |
| | その他 | 2 | 4 | | | 6 |
| 計 | | 15 | 10 | 7 | 5 | 37 |

アルミニウム粉塵の爆発リスクの特徴



溶解温度に近い温度で酸化された粉塵は安全性が高く、高温酸化されていない粉塵は粉塵粒径が小さい程爆発リスクは高いが、粉塵粒径が大きくても小さな粒子が混在している場合が多いので、注意が必要。

爆発リスクの補足説明

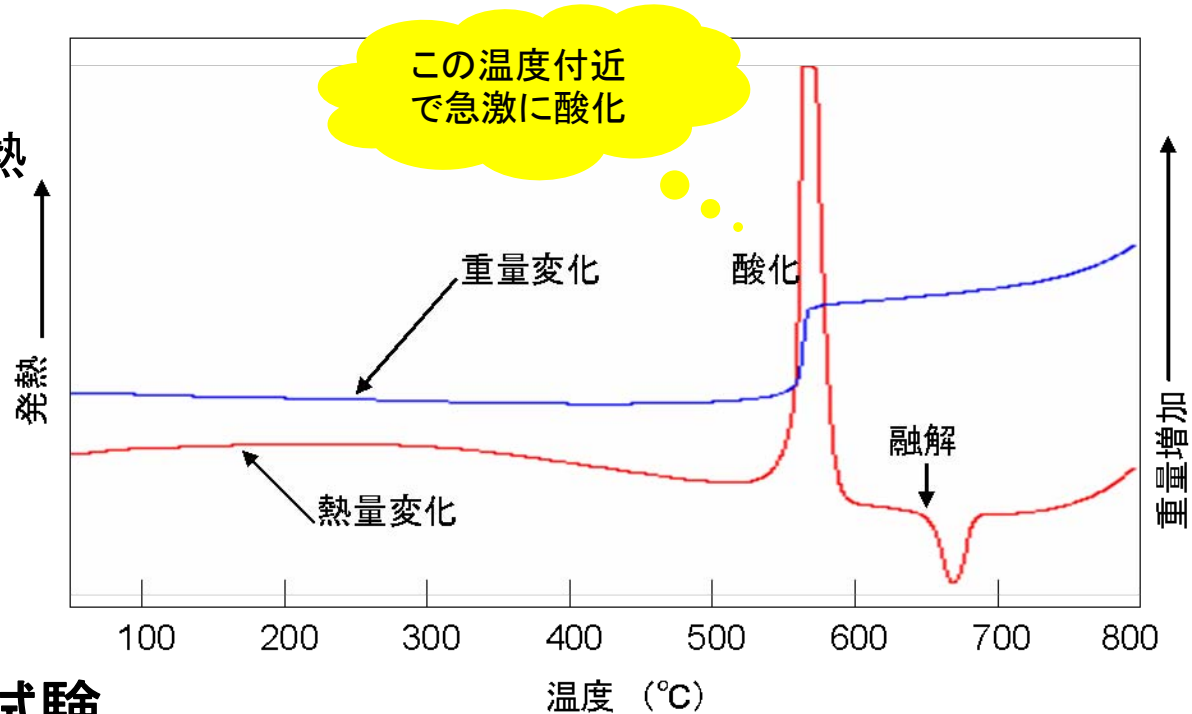


➡ 平均粒径が大きくても微細な粒子が存在し、粉じん雲が形成される可能性があり、爆発に対する注意が必要！

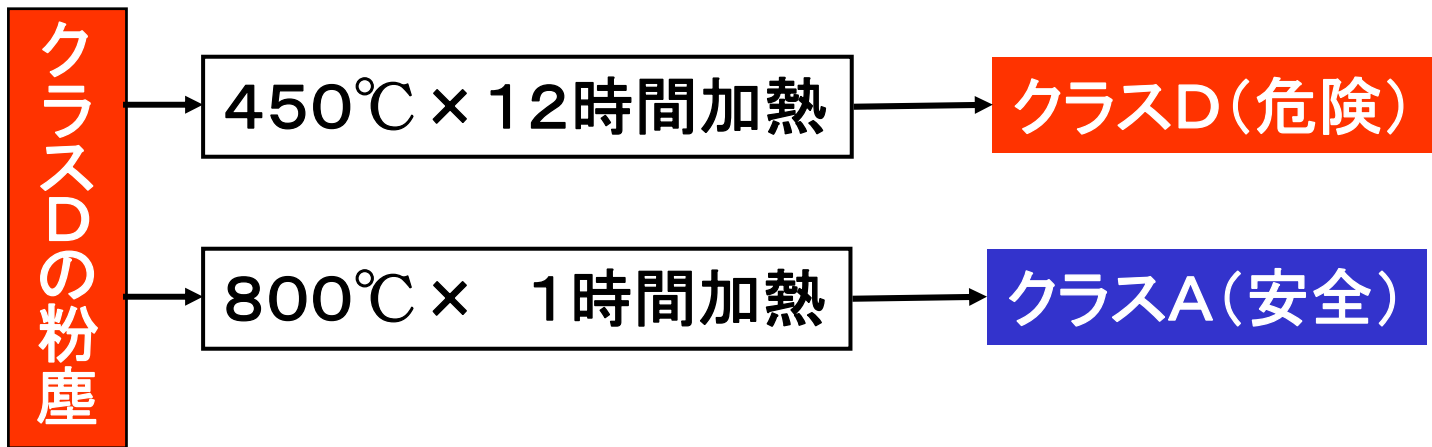
熱履歴の影響

1. 示差熱天秤で測定

クラスDの粉塵を
大気中、20°C/分で加熱



2. 酸化処理後に爆発試験

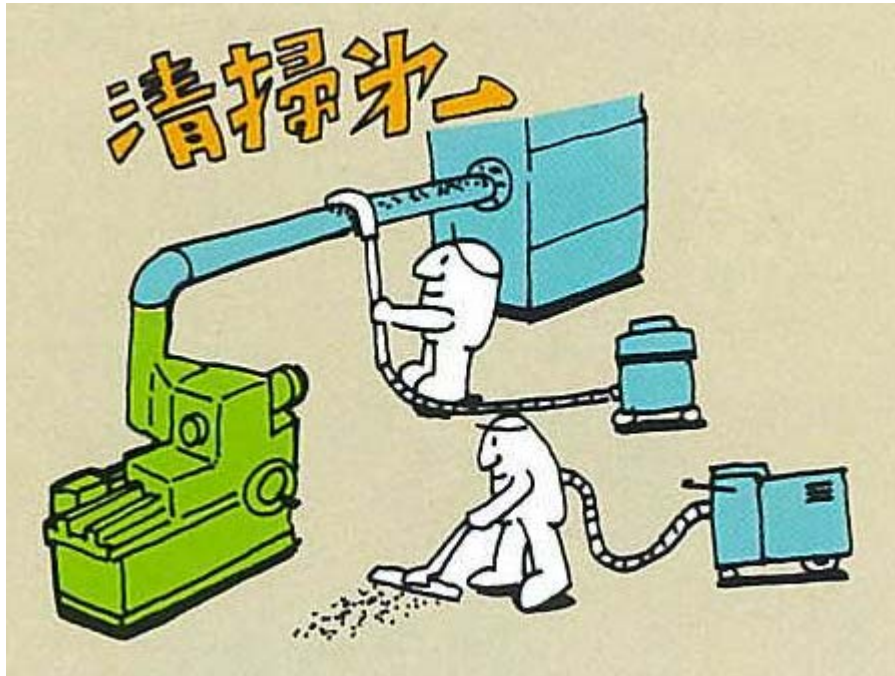


予防と対策

堆積の防止

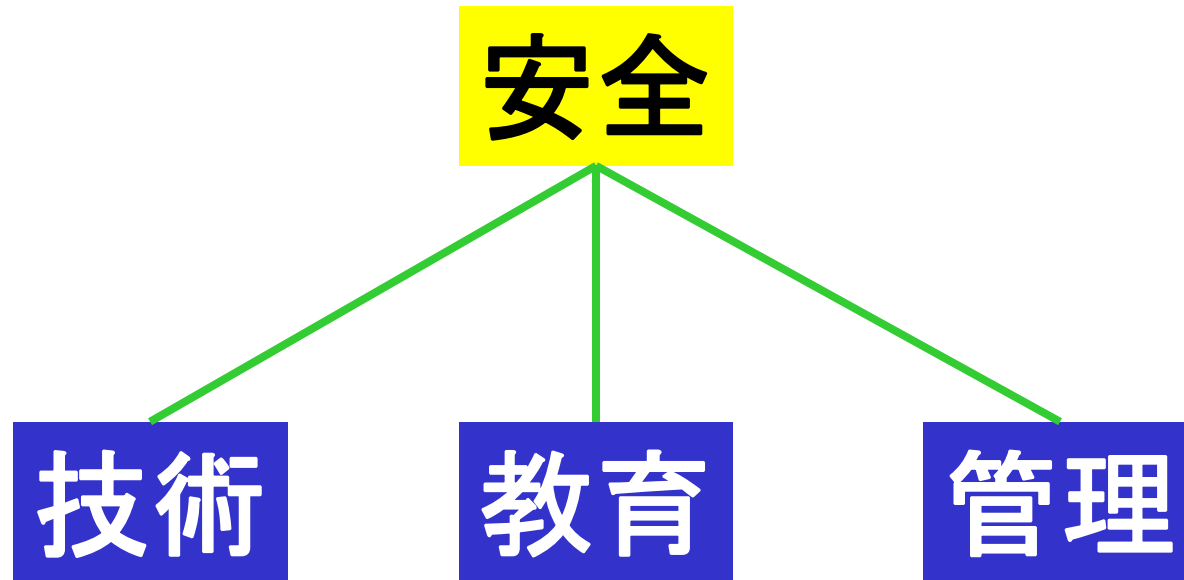
清掃

- ・ 目的は堆積粉塵の除去
- ・ 日常の清掃は全ての作業場で毎日実施
- ・ 日常の清掃が出来ない場所は粉塵の堆積状況に応じて周期を決め定期清掃を行なう
- ・ 定期清掃時は動力停止のこと



- ・ 柔らかなブラシ
- ・ スコップ・無火花スコップ
- ・ 防爆型真空掃除機〔アース付き〕
- ・ 掃除機のホースはアース取り付け

まとめ



安全は技術・教育・管理の三脚の上にある。
安全を高めるにはバランス良く三者を育てなければならない。

ご安全に



社団法人 日本アルミニウム協会