

粉体製造現場におけるワンランク上の環境改善

A One-Ranked Environmental Improvement at the Powder Production Site

佐野 敦

Atsushi SANO

ホソカワミクロン株式会社 粉体システム事業本部 次長

Asst. General Manager, Powder Processing System Division, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN

抄 録

一昨年の労働安全衛生法の改正を受けて、労働災害防止、作業員保護に対する意識が一段と高まったと感じる。しかし、粉体を扱う現場に目を向けると粉じんが飛散する厳しい現場が依然として多いのが現実である。粉体の性状が多岐に渡る事から環境改善が有効に働いていない状況が多くあり、さらなる環境改善を要望するケースが増えている。今回はワンランク上の環境改善を目指し、規制の整理、把握と粉体製造現場にマッチした封じ込め技術の実績、関連機器を紹介する。

ABSTRACT

Reflecting the revision of the Occupational Safety and Health Act two years ago, the awareness concerning the prevention of occupational accidents and worker protection seems to have further increased. However, when looking at the sites handling the powder, reality is that there are still many harsh sites where dust is scattered. There are many circumstances in which environmental improvement does not work effectively because of the variety of properties of the powder, and the cases showing the demand for further improvement of the environment are increasing. For the purpose to improve the environment this time, the achievement of containment technology matching the powder production site as well as the related equipment will be introduced together with the organizing and understanding of the regulation.

1 はじめに

新技術の開発に伴い、新しい粉体原料とその加工方法について相談が持ち込まれるが、性状がまちまちであり、扱いにくい粉体が増えていると感じる。そして、ユーザーの環境改善に対する悩みの種が尽きない現状がある。何故なのか？それは、労働安全衛生法に従い図1のような局所集塵等で対策を行っているものの、工場内における粉体拡散が止まらないという事なのだ。製品によって製造の手順、

方法、作業員の置かれる状況がケースバイケースであり、粉体製造現場と対策機器がマッチしていない事が考えられる。前回のテクニカルノートでは、労働安全衛生法の中の特化則に焦点を絞り報告したが、今回は大きく視点を戻し、労働安全衛生法を見直しながら、粉体製造現場の観点から規制とその内容についてまとめると共に、人の動き、ものの動きに対する対策についての提案を行なう。

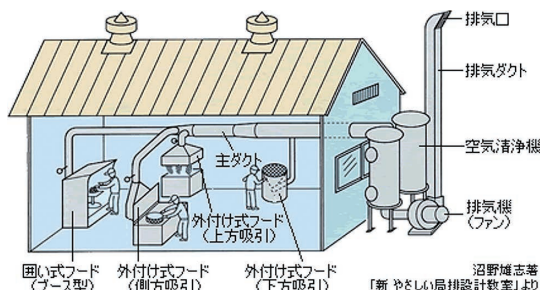


図 1 一般的な局所集塵図^[1]

Fig. 1 General local dust collection diagram^[1].

2 労働安全衛生法の整理

昭和 47 年、労働安全衛生法は、職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な職場環境を形成する目的で制定された。法体系図を見ると、労働安全衛生法の中の省令として、「特定化学物質障害予防規則（特化則）」、「有機溶剤中毒予防規則（有機則）」、「粉じん障害予防規則（粉じん則）」「作業環境測定法施行規則」などがある。

2.1 省令の紹介^[2]

・特化則

化学物質による労働者のがん、皮膚炎、神経障害等の健康障害防止のための規則。管理すべき化学物質を特定化学物質として指定。

・有機則

有機溶剤による中毒の防止のための規則。

・粉じん則

粉じんを長い期間にわたって吸い込む事によるじん肺などの健康障害防止のための規則。

・作業環境測定法施行規則

上記規則にまつわる物質を扱う作業場は定期的に作業環境測定士により作業環境測定を行わなければならない。

- ・作業環境測定は 6 カ月に 1 回、定期に行なう。
- ・出来るだけ連続した 2 作業日にそれぞれ 1 回。
- ・測定の時刻は、定常的な作業が行われている時間で実施。
- ・B 測定（作業者が高い濃度に曝露される危険があるか調べる。）は濃度が最も高くなるとされる時刻に行なう。

測定の結果は、表 1 の内容にて第 1 管理区分から第 3 管理区分に分けられる。第 1 管理区分の場合は現状のまま作業が継続可能だが、第 3 管理区分の場合は、早急に環境改善に必要な措置を講じなければならない。

2.2 粉じん則について

（昭和 54 年 4 月 25 日、労働省令第 18 号）

ここでは、粉体製造現場で一番関わりの深い「粉じん則」にスポットを当てる。その第 1 条には、「事業者は、粉じんさらされる労働者の健康障害を防止するため、設備、作業工程又は作業方法の改善、作業環境の整備等必要な措置を講ずるよう努めなければならない。」とある。

表 1 管理区分とその講ずべき措置^[2]

Table 1 Management classification and measures to be taken^[2].

管理区分	作業者の状態	講ずべき措置
第 1 管理区分	当該単位作業場所のほとんど（95% 以上）の場所で気中物質濃度が管理濃度を超えない状態。	現在の管理の継続的維持に努める。
第 2 管理区分	当該単位作業場所の気中物質濃度の平均が管理濃度を超えない状態。	施設、設備、作業工程または作業方法の点検を行ない、その結果に基づき作業環境を改善するため必要な措置を講ずるよう努める。
第 3 管理区分	当該単位作業場所の気中物質濃度の平均が管理濃度を超える状態。	①施設、設備、作業工程または作業方法の点検を行ない、その結果に基づき作業環境を改善するため必要な措置を講ずる。 ②有効な呼吸用保護具の活用。 ③健康診断の実施、その他労働者の健康の保持を図るため必要な措置を講ずる。

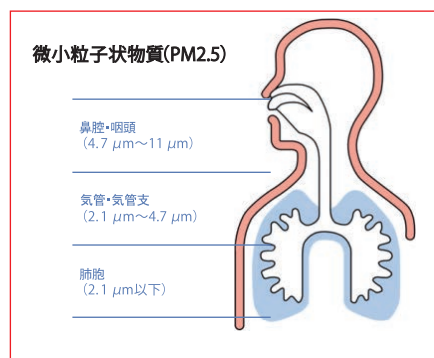


図2 PMの粒径と呼吸器内到達部位^[4]

Fig.2 The PM particle diameter and reaching sites in the respiratory system^[4].

2.2.1 粉じんとは^[3]

- ・空気中に含まれる非生物体の固体粒子をいい、ヒュームも含まれる。
- ・研磨、粉砕、切削、などの作業工程で固体物質が破碎される等により生ずる。
- ・床や設備に沈積した粒子が、風や人の動きにより再び舞い上がることもある。

粉じんの粒径によっては、肺の奥深くまで入り込み、呼吸器系統に影響を及ぼす恐れがある。その粒径と入り込むからだの部位について図2に示す。

2.2.2 一般粉じん作業と特定粉じん作業^[6]

粉じん則の対象は大きく分けると、一般粉じん作業と特定粉じん作業の2つに別れ、その対応は以下の内容になる。

・一般粉じん作業

- (1) 粉じん減少のため全体換気装置による換気または同等以上の措置。
- (2) 粉じん作業を行なう作業場以外の場所における休憩設備の設置。
- (3) 屋内作業場における毎月1回以上の清掃。1か月以内ごとに1回定期的に真空掃除機あるいは水洗による清掃の実施。

・特定粉じん作業

一般粉じん作業の内容に加えて、下記(1)から(4)が必要。

- (1) 局所排気装置の要件
 - a) フード、ダクト、ファンは機能的に設置し、排出口は屋外に設けること。
 - b) 有効に稼働させること。

- c) 1年以内ごとの定期自主点検の実施とその記録保持等。

(2) 除塵装置の要件

- a) 有効に稼働させること。
- b) 1年以内ごとの定期自主点検の実施とその記録保持等。

(3) 粉じんの発散防止及び作業場の換気方法等について特定の教育の実施。

(4) 土石・岩石・鉱物・金属または炭素の粉塵を著しく発散させる屋内作業場における粉塵濃度の測定とその記録保存。

2.2.3 局所排気装置と制御風速

局所排気装置として一般的な例(外付け式)を図3に示す。また、粉じん則に定められた制御風速を表2に示す。所定の風速に設定のうえ作業を行なうのだが、外付け式の場合、集塵対象物の大きさやその位置によって捕集効率に変化してしまう欠点がある。吸込み面からの距離が遠くなれば捕集効率が低下する。

吸込風速と吸込口からの距離の関係は以下の式で表される。

$$\text{風速 (m/s)} = \frac{\text{排風量 (m}^3/\text{min)}}{60 \times [10 \times (\text{吸込口からの距離})^2 + \text{吸込面積 (m}^2)]} \quad \text{式 (1)}$$

仮に、排風量を10 m³/min、フード面積(600×200H)を0.12 m²とすると、距離0の時の風速は1.4 m/sとなる。

しかし、吸込面から15 cm離れた場所で作業を行なった場合、式(1)に当てはめると、風速は約0.5 m/sで規定の風速に達しておらず、吸込面直近で作業を実施しなければ捕集効率が大きく低下する。このような捕集効率のムラにより、粉じんが捕集されず工場内の環境改善が進まない事になる。

表2 制御風速

Table 2 Controlled wind speed.

フードの型式	制御風速 (m/s)
囲い式フード	0.7
外付け式フード 側方吸引型	1.0
外付け式フード 下方吸引型	1.0
外付け式フード 上方吸引型	1.2

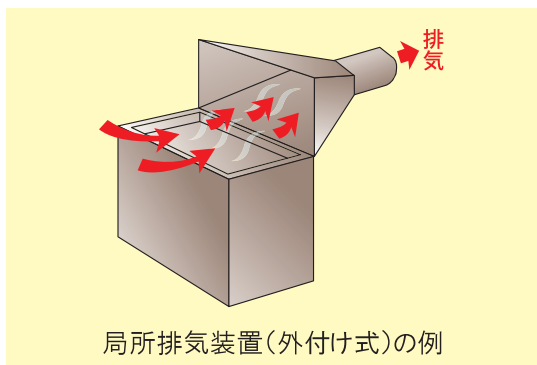


図3 局所排気装置^[5]
Fig. 3 Local exhaust system^[5].

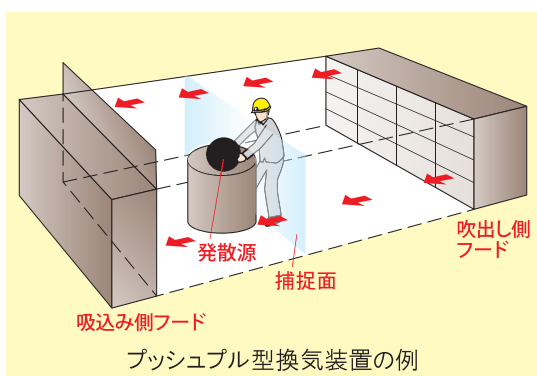


図4 プッシュプル型換気装置^[5]
Fig. 4 Push-pull ventilation system^[5].

3 プッシュプル設備の推奨

発散抑制措置として局所排気装置とともに上げられるのが、プッシュプル型換気装置である。その例を図4に示す。水平で様な気流を形成し、発散源で発生した粉じんを捕捉し吸込み側フードに取り込んで排出する装置である。周囲に汚染を拡げずに作業を行なう事が出来、局所排気装置のように吸込み面からの距離に影響される事がない。

3.1 当社のプッシュプル設備

当社においてプッシュプル型換気装置に相当する機種がセーフティブースであり、本体外観を図5に示す。

気流方向は水平ではなく天井部から垂直方向に様な気流が形成されている。垂直気流にて捕捉された粉じんは下方向に押し流され、本体奥の床部近くにある吸込口にて回収される。セーフティブースの垂直気流シミュレーションを図6に示す。障害物が



図5 ホソカワセーフティブース
Fig. 5 Hosokawa safety booth.

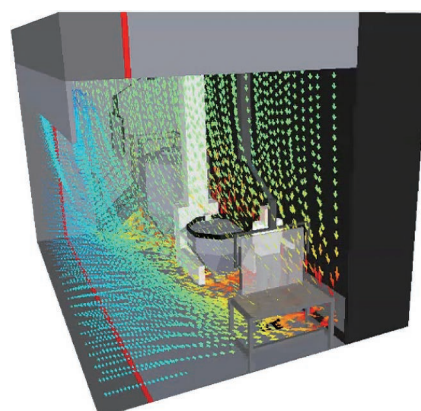


図6 気流シミュレーション
Fig. 6 Air flow simulation.

ある場合でも様な垂直気流によって、確実に吸込口方向へ回収されている様子が確認出来る。

また、天井部からの垂直気流はHEPAフィルターにより清浄化されており（ブース内はISOクラス5を実現）、異物混入の恐れをシャットアウトしている。本ブースは食品工場において多種の粉体原料の小分け、秤量作業で使用されており、アレルゲン物質の混入防止にも役立っている。

3.2 セーフティブース納入実績

セーフティブース納入実績を図7に示す。ブース左側にはオープンが設置されており、乾燥された粉体をオープンから取り出しパレットに移す際に、作業者が曝露しないよう制御されている。天井部からの垂直気流により粉じんを抑え、ブース奥にある吸込口へ確実に回収される。また、セーフティブース



図7 セーフティブース納入例
Fig. 7 Safety booth example.



図9 投入部拡大
Fig. 9 Magnification of the input section.

には両側に壁（図7の場合は右側にビニールカーテン、左側にオープン+パネル）があり、プッシュプル型換気装置（開放型）に比較すると、外部からの気流の巻き込みがなく吸込口に向かう気流に乱れがない。この両壁による密閉化もセーフティブースのメリットのひとつである。また、セーフティブース内はマイナス圧でコントロールされており、ブース内の粉じんがブース外へ漏れ出す事はない。

4 ワンランク上の環境改善

ここまで、局所排気装置とプッシュプル型換気装置を比較しながら、そのメリットについて述べてきた。また、垂直気流と密閉化を組み合わせたセーフティブースについて述べ、プッシュプルを活用した個別集塵の有効性を示した。これだけでワンランク

上の環境改善となるのだが、次項ではもうひとつ上の環境改善について述べる事とする。

4.1 局所排気とセーフティブースの組み合わせ

図8, 9は、局所排気とセーフティブースの組み合わせの納入例である。ファイバードラムからの原料投入部の写真であるが、投入作業時に発生した粉じんは、天井部からの垂直気流により確実に床方向に向かって流れているが、壁部にも局所排気口を設けており、作業側面に粉じんが跳ね返らないよう安全対策を2重に施している。

最近では、医薬分野の高活性医薬品の使用や、ケミカル分野においても特化則で規制された化学物質など、確実に捕捉しなければ健康障害を起こしてしまう物質が増えており、このような組み合わせ技術により粉体製造現場における作業者の安全を確保している。



図8 原料投入作業時
Fig. 8 Feeding operation.

4.2 ハイコンテインメントスクリーン

医薬分野にて高活性医薬品を扱う場合は、アイソレータなどボックスによって原料から作業者を物理的に隔離し安全を確保する。しかし、ボックスの中の対象物をガラス面に付いたグローブで取り扱うため作業性が非常に悪い。そこでセーフティブースのオプション装備としてハイコンテインメントスクリーンが用意されている。前項で述べた通り、セーフティブースの垂直気流と局所排気の組み合わせで高い安全性が確保されるのだが、オープンな作業環境を生かしたブースを使用する前提で、対象物と作業者を壁により分離させたいとの要求に応えたオブ



図 10 ハイコンテインメントスクリーン
Fig. 10 High containment screens.

ション保護具である。図 10 の通りスクリーンが 3D デザインとなっており，体を前後左右に動かす事が出来，ブースの中で対象物に近づき易い設計となっている。

5 工場内における粉じん拡散防止設備

工場内における環境改善のための発散抑制装置について述べてきたが，粉じんは原料の搬入時に工場外から持ち込まれたり，作業者が製造現場と事務所を行き来する間に発生，移動する事が多い。ここからは人の動き，ものの動きに対して粉じん拡散を防止する設備について紹介する。

5.1 荷物の場合（フレコン用清層圏）

原料が工場に搬入される際，原料が入ったフレコンなどのケースに粉じんが付着しており，そのまま工場内に持ち込まれ，充填等の作業を行なうと粉じんが混入する恐れがある。図 11 は荷物用エア洗浄装置＜フレコン用清層圏＞であり，庫内に設けられた数十個のエアノズル（渦巻き状のコンプレッサーエア）にて効率的に粉じんを除去できる。図 12 はその床部を拡大したものだが，フレコン底部の粉じん除去用に上向きにノズルが設置されている。天井部からは清浄エアが吹き出しており，庫内奥に設けられた吸込口にてフレコンから除去された粉じんを回収している。

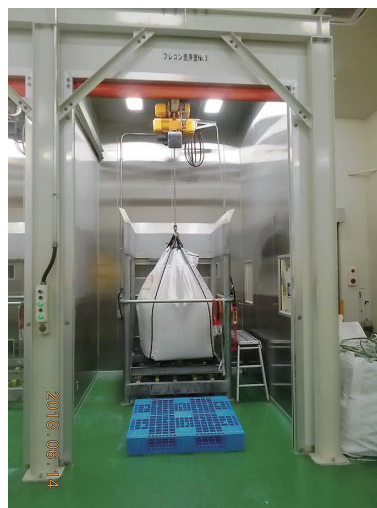


図 11 フレコン用清層圏
Fig. 11 Supernatant area for Flexcon.

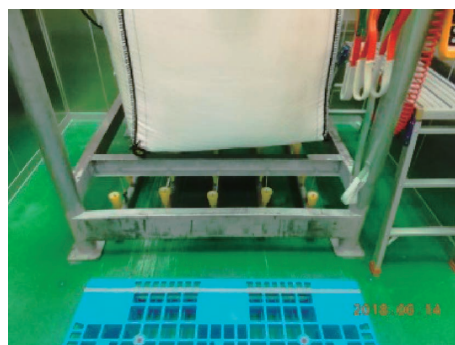


図 12 清層圏床部
Fig. 12 Floor area of the stratosphere.



図 13 作業用清層圏
Fig. 13 Operator's supernatant area.

5.2 人の場合（作業用清層圏）

作業者が現場で粉体を扱った後、そのままの状態ですぐに事務所に戻ると作業着に付着した粉じんにより事務所が汚染されてしまう。図 13 に示す人用エア洗浄装置＜作業用清層圏＞は一人用ボックスタイプであり、側面部にエアノズル（渦巻き状のコンプレッサーエア）が設置されており、作業時に付着した粉じんを確実に除去する。また、除去された粉じんは、天井部からの清浄エアにより床部吸込みグレーチングボックスに向かい押し流され、回収される。本装置を製造現場出入口に設置し、粉じんの持ち出しを防いでいる。

6 おわりに

今後、かなりのスピードで進む人口減少の中で、高齢者労働力の活用、女性の進出などの社会の変化に伴い、粉体製造現場も居心地の良い作業空間として変化していかなければならない。しかし、ヨーロッパなどの製造現場に比較すると厳しい環境がまだまだ多いと言わざるを得ない。当社が 100 年かけて培ってきた粉体技術と環境改善技術を駆使し、既設の設備、環境を改善する事を我々は粉体製造現場のリフォームと考えている。今後、粉体の加工手法が増えていく中で、この製造現場のリフォームを必要とする場面は増えると考えている。これからも高品質と安全な作業環境が両立する粉体製造現場を目指し、研究と提案を継続していく。

References

- [1] 沼野 雄志, 新やさしい局排設計教室 (第 6 版), 中央労働災害防止協会, 東京 (2017).
- [2] 住化分析センター主催, 改正労働安全衛生法リスクアセスメントに関するセミナー (2018.01.22).
- [3] 労働新聞社編, 安全法令ダイジェスト 製造業編, 東京 (2017).
- [4] (社) 日本自動車工業会編, PM_{2.5}/微小粒子状物質: SPM から PM_{2.5} へ, 東京 (2011).
- [5] 厚生労働省・都道府県労働局・労働基準監督署発行, 特定化学物質障害予防規則等の改正 (インジウム化合物, コバルト及びその無機化合物, エチルベンゼン) に係るパンフレット, 東京 (2012), pp. 3-5.
- [6] 厚生労働省安全衛生部労働衛生課編, 粉じん障害防止規則の解説, 東京 (2004).

〈著者紹介〉



佐野 敦 Atsushi SANO

〔経歴〕 1983 年中部工業大学（現 中部大学）機械工学科卒業。同年ホソカワミクロン株式会社（株）入社。

クリーンシステム事業本部, 環境システム事業本部を経て, 2008 年 10 月 1 日から現職。

〔専門〕 粉体工学。最近, 粉体製造現場の環境改善, 作業員保護などの安全対策に取り組んでいる。

〔連絡先〕 asano@hmc.hosokawa.com