

Measures against Dust Explosions in Dust Collection Equipment

Nobuyuki KOMATSU¹

Background: If powders handled in industrial processes are flammable, there exists a risk of dust explosions and fires. Dust explosions cause severe damage through chain reactions, as explosion shock waves disperse accumulated dust to form additional dust clouds, leading to secondary explosions. The occurrence rate of dust explosions in crushing and dust collection processes is approximately 20% each, with particularly high probability in dust collection operations. Due to multiple interrelated factors—including not only the physical properties of the powders being handled, but also their particle size distribution, dispersion concentration in air, and humidity—it is difficult to regulate them uniformly through laws and regulations. Currently, there are no detailed regulations in Japan comparable to those in Europe and the United States. However, if a dust explosion occurs, penalties may be imposed for violations of the Industrial Safety and Health Act.

Filter-type Dust Collectors and Explosion Risks: Over 90% of dust collection equipment currently handled utilizes filter-type dust collectors. These devices employ felt fabric filters to capture particles larger than approximately $0.05\ \mu\text{m}$, with collected powder removed through pulse jet cleaning mechanisms. The cleaning process creates dust clouds that may reach concentrations above the lower explosion limit, posing explosion risks when ignition sources are present. Common ignition sources include static electricity, self-ignition, and external factors such as impact sparks from high-speed rotating components, friction heat from adhered powder growth, and hot particles from upstream processes.

Preventive Measures: Dust explosion countermeasures are categorized into ignition source prevention and damage mitigation strategies. Ignition source prevention includes spark removal/fire suppression, static electricity prevention, spark generation prevention, thorough maintenance management, and oxygen concentration control using inert gases. Damage mitigation measures include explosion venting (rupture discs, hinged panels), flame arresters, isolation valves, explosion-resistant design, explosion suppression systems, and facility cleaning protocols.

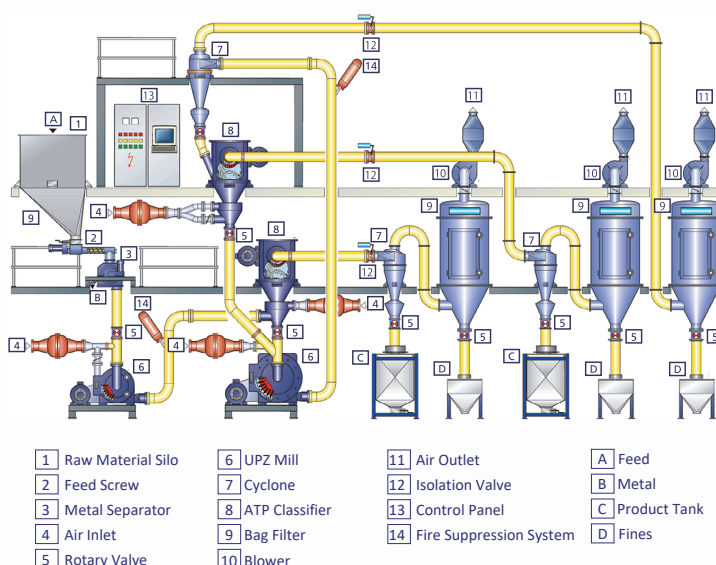
Case Studies and Implementation: Domestic implementation typically follows cost-effectiveness priorities, starting with anti-static measures, explosion-proof electrical equipment, and explosion venting. European installations demonstrate comprehensive approaches with explosion-resistant equipment rated for 1 MPa, complete with isolation valves and fire suppression systems for systematic dust explosion protection.

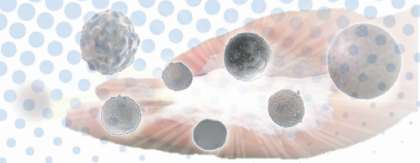
Conclusions: Despite the high explosion probability in dust collection processes, Japan requires enhanced safety measures considering material characteristics and installation environments to minimize accident risks and reduce post-explosion damage. This paper introduces the risks of dust explosions and countermeasures based on the principles and processes of filter-type dust collectors used in dust collection operations.

Keywords:

Dust explosion
 Filter dust collector
 Pulse jet cleaning
 Static electricity prevention
 Explosion venting
 Ignition source

¹ Section Manager, Tokyo Engineering Group, Powder Processing System Division, Hosokawa Micron Corporation, JAPAN





集じん装置の粉じん爆発対策

小松 信幸

ホソカワミクロン株式会社 粉体システム事業本部 技術統括部 課長

抄 録

各工程で取り扱う粉体が可燃性であれば、粉じん爆発・火災の危険性が存在する。粉じん爆発は連鎖的に発生するため、被害が甚大である。取り扱う粉体の物性だけでなく、その粒子径分布や空気中での分散濃度、湿度など関連する因子が多いため、法規などで一律に規制することが困難であり、現在国内では欧米のような詳細な規制は存在しない。しかし、粉じん爆発事故が発生した場合、労働安全衛生法違反として罰則を受ける可能性がある。

工程別の粉じん爆発発生率では、粉碎・集じん工程がともに約 20% となっており、集じん工程での発生確率が高くなっている。集じん工程で用いるろ過式集じん装置の原理とプロセスを基に、粉じん爆発の危険性と対策について紹介する。

1 はじめに

原料や製品に粉体を用いる生産設備には、粉碎・分級・混合・造粒・乾燥・輸送・集じん・供給・排出・貯蔵などの様々な工程が存在し、各工程で可燃性の粉体を扱う際には粉じん爆発が発生する危険性が存在する。

工程別に見ると、粉碎工程および集じん工程がともに約 20% の発生率を占めており、特に集じん工程での発生確率が高い傾向にある。本報では、集じん装置における粉じん爆発および火災の対策について紹介する。

2 粉じん爆発・火災とは^[1]

一般的に知られているように、燃焼の三要素は可燃物、酸素、着火源である。したがって、取り扱う原料が可燃性であれば、火災の危険性が発生する。

さらに、原料が粉体である場合、可燃性の粉じんが空気中に浮遊・分散して粉じん雲を形成し、その濃度が爆発下限濃度以上、かつ酸素濃度が爆発限界

酸素濃度以上の条件下において着火源が存在すれば、粉じん爆発が発生する。

粉じん爆発は、その爆風により周囲に堆積した粉じんを巻き上げてさらなる粉じん雲を形成し、連鎖的に爆発を起こすため、被害が大きくなる傾向にある。これにより、出荷予定製品の停止や生産設備の破損による損害、それに伴う経済的な損失にとどまらず、事業者の社会的信用を失う重大な事故となる。

また、粉じん爆発は、扱う粉体の材質だけでなく、その粒子径分布、空気中での分散濃度、湿度など多くの関連因子に影響されるため、現在の国内法規では一律的な規制がなされていない。しかし、事故が発生した場合には、作業者の安全確保などの観点から労働安全衛生法違反として罰則を受ける可能性がある。

3 集じん装置^[2]

集じんとは、搬送空気と固体粒子を分離することであり、原理や特性に応じて様々な装置が存在する。

現在、当社で取り扱う装置の 90% 以上はろ過式集じん機である。

ろ過式集じん機の多くは、ろ布によるろ過を採用しており、主にフェルト布を使用して $0.05\ \mu\text{m}$ 程度以上の微粒子を捕集し、捕集した微粉体をパルスジェット方式の洗浄機構によって払い落として分離する装置である。この装置は粉体プロセスにおいて最も多く採用されているが、爆発の危険性が高い装置でもある。

ろ過式集じん機の概略機構を図1に示す。ハウジング側面には含じんガスを取り入れるインレットが設けられており、ここから流入した含じんガスはハウジング内のフィルタ外表面へ到達する。粉体・粉じんはフィルタ外表面で捕集され、ろ過されたクリーンなガスのみがフィルタを通過し、トッププレナム内を通過して排気口から機外へ排気される。

フィルタは機内のチューブシートに取り付けられており、成型タイプと金属リテーナによって円筒形を保持する縫製タイプがある。

フィルタ外表面で捕集された粉体・粉じんは、パルスジェット洗浄機構によって払い落とされ、ハウジング下部のホッパに落下し、排出機（ロータリバルブなど）から機外へ排出される。

パルスジェット洗浄機構により、フィルタ外表面で捕集された粉体・粉じんを効率よく連続的に払い落とすことで、フィルタの目詰まりを防ぎ、安定した連続運転が可能となる。

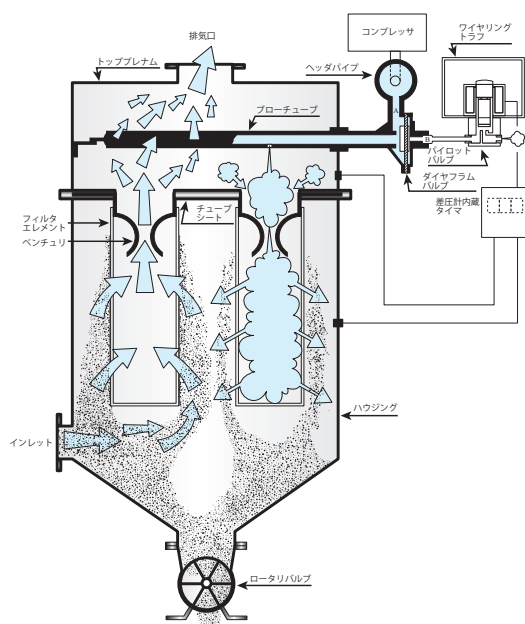


図1 ろ過式集じん機の機構

Fig. 1 Filter-type dust collector mechanism.

パルスジェット洗浄機構のメカニズムは、トッププレナムに搭載されたヘッダパイプ、ダイヤフラムバルブ、パイロットバルブ、ブローチューブ、ベンチュリおよびタイマ（制御盤）で構成される。洗浄箇所が移動する概略図を図2に示す。

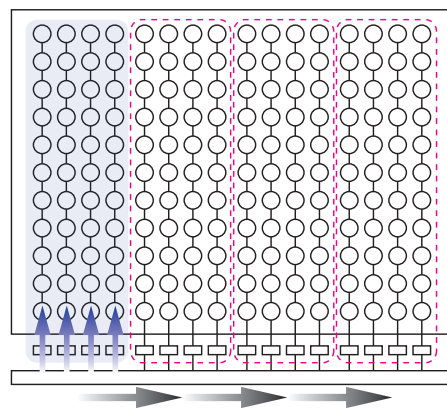
ヘッダパイプへ供給された圧縮ガス（一般的には空気、標準圧力 $0.4\sim 0.7\ \text{MPaG}$ ）は、パイロットバルブの瞬間的な動作によってダイヤフラムバルブを通過し、ブローチューブに設けられたブローホールから噴出される。この際、ベンチュリ効果によって周囲の空気・ガスを巻き込みながらフィルタ内へ一挙に噴出されるため、フィルタが激しく振動し、フィルタ外表面に付着した粉体・粉じんを確実に払い落とすことができる。

ろ過式集じん機を通過する風量の変動を最小限に抑えるため、各フィルタは1~3分間に1回洗浄され、さらに全フィルタの30%以上が同時に洗浄されないようなサイクル方式が一般的に採用されている。

一般に、ろ過式集じん機における着火源としては、静電気や自然発火などの内部要因と、外部から持ち込まれる要因がある。

集じん装置は、粉体処理工程における粉碎製品の捕集、分級製品の捕集、乾燥製品の捕集プロセスに多く使用されており、これらの代表的な例を図3~5に示す^[3]。

また、局所排気集じんや建屋集じんは、大気中の粉じんを捕集・分離し、作業環境を改善する目的でも設備される。捕集された粉じんをパルスジェット方式で払い落とす際に、爆発下限濃度以上の粉じん



所定インターバルで洗浄箇所が移動する

図2 パルスジェット洗浄機構

Fig. 2 Pulse jet cleaning mechanism.

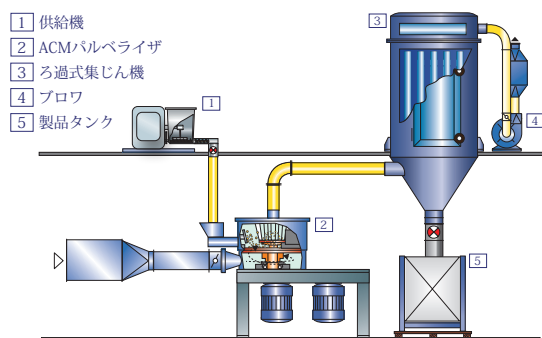


図3 集じん装置プロセス例 (1)

Fig. 3 Dust collector process example (1).

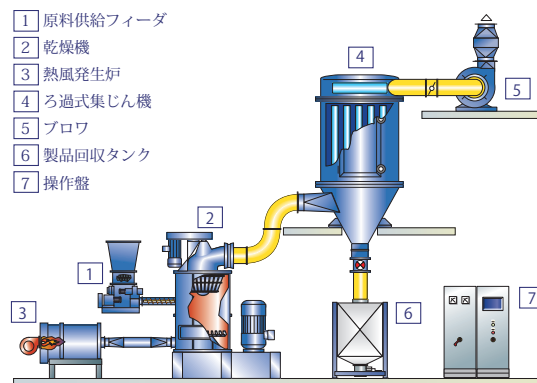


図5 集じん装置プロセス例 (3)

Fig. 5 Dust collector process example (3).

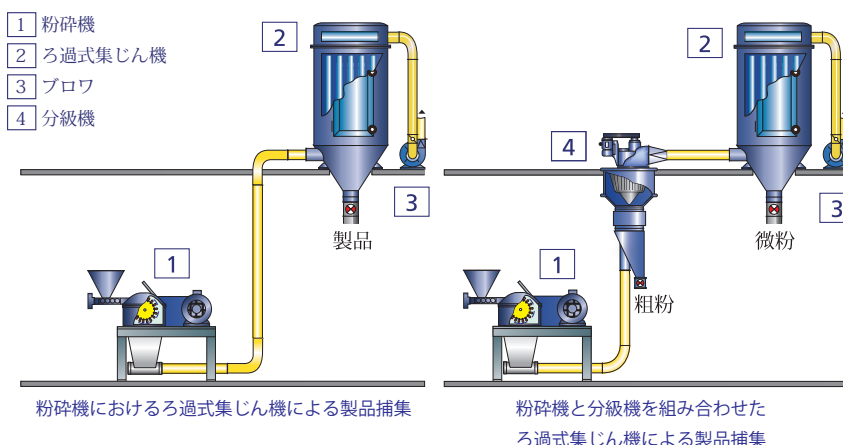


図4 集じん装置プロセス例 (2)

Fig. 4 Dust collector process example (2).

雲が形成される可能性があり、着火源があれば粉じん爆発の危険が生じる。

乾式集じん装置であるパルスジェット方式のろ過式集じん機では、フェルトろ布が採用されており、使用される合成繊維にはポリエステル、ナイロン、アラミド、ポリプロピレン、アクリル、フッ素樹脂などの可燃性素材が一般的である。

前工程で発生した高温の火花などが搬送され、ろ布に捕集されると、通過空気によって燃え広がり火災事故につながり、ひいては粉じん爆発を引き起こす危険性がある。集じん機に持ち込まれる着火源の種類としては、粉砕工程では高速回転するロータと混入異物による衝撃火花、付着成長した粉体との接触摩擦による発熱・発火物などがあり、異物除去装置の設置や適切な保守点検、運転管理方法の確立が必要である。局所排気集じん装置や建屋全体を集

んする装置では、「ガス溶接火花」や「溶接火花」、可燃性ガスなどを集じん装置に吸入させない運転管理が必要である。

焼却炉排ガス集じん、金属溶融炉、再生・回転炉集じん設備では、高温排ガス中に含まれる粉じんが着火源となり、爆発事故に至った事例がある。

4 粉じん爆発対策

集じん装置では、前工程で発生する着火源が原因となって粉じん爆発に至るケースが多く、こうした危険要因を排除することが重要である。また、万が一装置内で爆発が生じた場合でも、被害を最小限にとどめ、周囲の作業員や設備に影響を及ぼさないよう、爆発防護対策の施工が必要である。

粉じん爆発が発生する可能性がある場合には、集

ん機に対して以下の爆発防止対策および被害軽減対策を、設置場所や周囲環境に応じて実施する必要がある。
着火源対策として考慮すべき項目：

- (1) 火の粉除去・火消し
- (2) 帯電防止（静電気対策）
- (3) スパーク発生防止
- (4) 前工程機器の運転保守管理の徹底
- (5) 不活性ガスによる爆発限界酸素濃度以下への酸素濃度の制御

爆発時の安全対策（被害軽減対策）として考慮すべき項目：

- ①爆発放散口^[4]：爆発による作業者の保護及び装置への被害を軽減・予防するため、爆発圧力を系外に放出する破裂板、ヒンジパネル式、プリクソナラッチなどがある。これらは、（独）労働安全衛生総合研究所の「爆発圧力放散設備技術指針（改訂版 NIIS-TR-No.38）」、EN（ATEX）、NFPA68などのガイドラインに適合している必要がある。
- ②消炎ベンド^[5]：屋内で爆発放散を可能にするため、爆発放散口に消炎装置を組み合わせたものである。火災が放散口から出ないため、二次被害の低減が期待される。ただし、コストの問題があり、国内での採用例は少ない。
- ③遮断弁：機器に接続された配管・ダクトから、別の機器や作業者のいるエリアへ爆発による火災が伝播することを防ぐ装置であり、ナイフゲートバルブ、爆発逆止弁、ベンテックスバルブ、ロータリバルブなどがある。
- ④装置の耐圧設計^[6]：粉じん爆発で生じる最大爆発圧力に耐えられる設計を施した機器であり、規格として EN14460 がある。薬理活性が高い医薬品や毒性の強い化合物への対応が必要な場合には、（独）労働安全衛生総合研究所発行の「耐爆発圧力衝撃乾燥設備技術指針（改訂版）JNIOOSH-TR-47」に基づき、国内での製造・使用が可能となっている。ただし、機械重量や製作コストなどの問題があり、乾燥機での実績はあるものの、ろ過式集じん機では広く採用されていない。
- ⑤爆発抑止装置：爆発を初期段階で抑制する装置である。
- ⑥工場内清掃：万が一粉じん爆発が発生した場合に、二次被害を防止するため、粉体の再飛散が起きないように工場内の清掃を徹底する必要がある。

5 設置事例

国内における集じん装置の粉じん爆発対策は、コストの低い順から多く採用される傾向にあり、以下にその代表的な対策をコスト順に紹介する。

(1) 帯電防止（静電気対策）^[7]

・静電気対策されたろ布

（独）労働安全衛生総合研究所「静電気安全指針」によれば、帯電防止性能として帯電電荷密度 $4 \mu\text{C}/\text{m}^2$ 以下の性能が必要である。写真 1、2 に帯電防止ろ布の例を示す。

・ろ布とろ過式集じん機本体間のアース設置

電気抵抗 $10^6 \Omega$ 以下の性能が必要である。

・ろ過式集じん機本体と架台とのアース設置

接地抵抗 $1 \text{ k}\Omega$ 以下の性能が必要である。

(2) スパーク発生防止

・耐圧防爆電気機器の採用

耐圧防爆仕様のパイロットバルブやモータなどを採用する。

・空圧駆動機器の採用

電磁弁であるパイロットバルブの機能をエアータイマで代用することができ、比較的小型のろ過式集

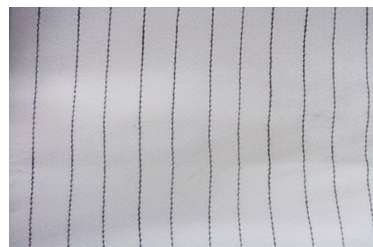


写真 1 カarbon含有導電性繊維

Photo 1 Carbon-containing conductive fiber.



写真 2 金属リード線付カートリッジフィルタ

Photo 2 Cartridge filter with metal leads.

じん機に採用されている。

(3) 爆発放散口

2000 年代以降、採用が増加しており、爆発放散口の選定方法についても触れる。

図 6 は、密閉状態において爆発放散口を取り付けた場合と取り付けない場合の爆発圧力の時間変化を示している。爆発放散口を取り付けない場合、最大爆発圧力（ P_{max} ）が装置設計圧を超えて装置の破壊につながり、周囲に被害をもたらす。適正に設定された爆発放散口を取り付けることで、破壊前に圧力が放散され、装置の破壊を防ぎ、被害を最小限に抑えることができる。

労働安全衛生総合研究所「爆発圧力放散設備技術指針（改訂版）」を基に算出された爆発放散口の例を示す。

粉じん爆発に対する放散面積は、ろ過式集じん機の容積 V 、静的動作圧力 P_{stat} 、放散圧力 P_{red} 、 L/D 比、可燃性物質の物性値である爆発指数 K_{st} 、最大爆発圧力 P_{max} の数値を基に算出する。

放散面積 A は $A=A_v+\Delta A$ で算出する。ただし、 $L/D < 2$ の場合 $\Delta A=0$ （式（2）にて算出）とし、 $2 \leq L/D \leq 6$ の場合は $A=A_v+\Delta A$ （式（1）+ 式（2）にて算出）を使用する。

$$A_v = (8.535 \times 10^{-5}) (1 + 1.75 P_{stat}) K_{st} V^{0.75} \{ (1 - \Pi) / \Pi \}^{1/2} [\text{m}^2] \quad (1)$$

$$\Pi = P_{red} / P_{max}$$

$$\Delta A = 1.56 A_v \{ (1/P_{red}) - (1/P_{max}) \}^{0.65} \log_{10} \{ (L/D) - 1 \} [\text{m}^2] \quad (2)$$

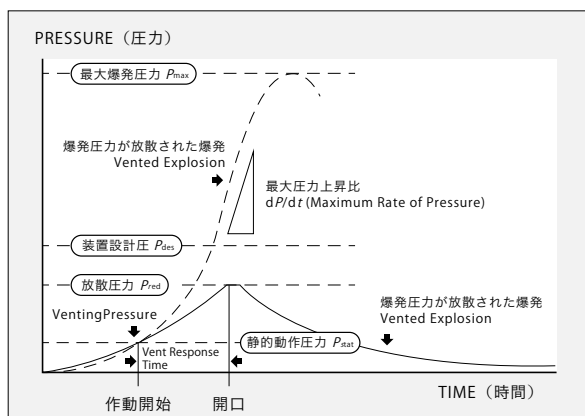


図 6 爆発放散口のメカニズム^[5]

Fig. 6 Explosion vent mechanism^[5].

容積 V は、爆発放散口がフィルタにかからなければフィルタ内部をクリーン部分として減算できるが、フィルタにかかってしまう場合はフィルタの内部容積は減算できない。

図 7 及び写真 3 にろ過式集じん機の設置事例を示す。取扱粉体は金属粉であり、耐圧型のろ過式集じん機を選定している。

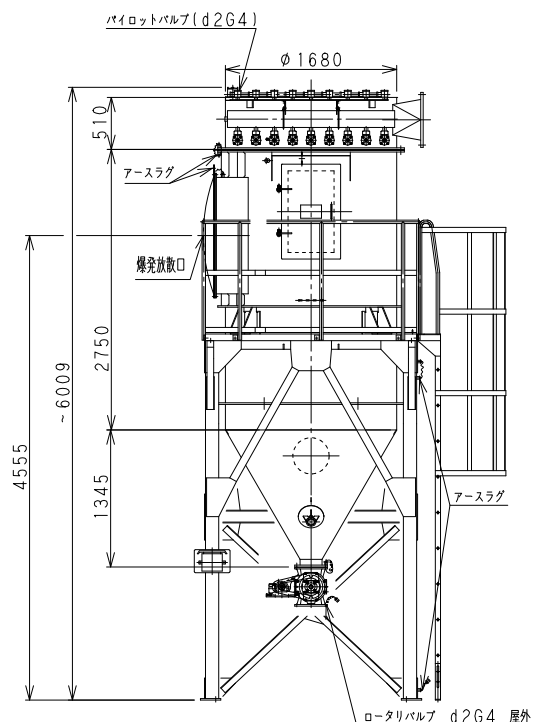


図 7 ろ過式集じん機設置事例

Fig. 7 Filter-type dust collector installation case.



写真 3 ろ過式集じん機設置事例

Photo 3 Filter-type dust collector installation case.

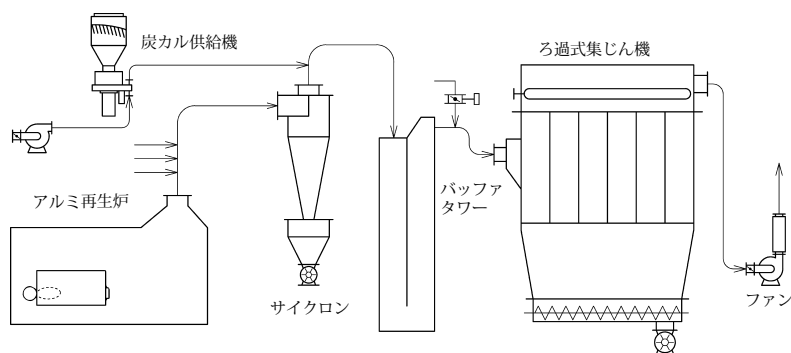


図8 アルミ再生炉集じん装置設置事例

Fig. 8 Aluminum recycling furnace dust collection equipment installation case.

放散面積の算出に用いた数値は以下のとおり：

- ・容積 V : 7.17 m^3 (フィルタにかかるため減算なし)
- ・静的動作圧力 P_{stat} : 0.1 bar
- ・放散圧力 P_{red} : 0.539 bar
- ・ L/D : 2.41
- ・爆発指数 K_{st} : 415
- ・最大爆発圧力 P_{max} : 12.0 bar

これらを基に算出した結果：

- ・ $A_v=0.841 \text{ m}^2$
- ・ $\Delta A=0.284 \text{ m}^2$
- ・ $A=1.125 \text{ m}^2$

よって、 1.125 m^2 以上の爆発放散口を選定している。加えて、ろ布の帯電防止、アース設置、耐圧防爆機器の採用も実施している。

(4) 火の粉除去・火消し対策

アルミ再生炉集じん装置設置事例を図8に示す。

このフローでは、アルミ再生炉から発生する火の粉や裸火をサイクロンとバフファタワで除去・回収し、外部から持ち込まれる火種を完全に除去することを目的としている。サイクロンで捕集できなかった微粉の火の粉は、バフファタワで炭カル（不燃物・冷風）を吹き込み、混合滞留させることで消火する。

(5) 爆発抑制装置

粉じん爆発による初期の圧力波を圧力検出器で検知し、抑制剤を散布することで爆発を抑制し、設備を保護する装置である。これには、圧力波を検知して緊急遮断弁を閉鎖することで爆発圧力を装置内で留め、外部機器を保護するシステムが付属している。

(6) 欧州のグループ会社の設置事例

図9に、Directive 94/9/EC に則ったセルロース誘

導体の粉砕設備設置事例を示す。

粉砕機 UPZ, 分級機 ATP, ろ過式集じん機などの機械本体は、耐爆発圧力衝撃 1 MPa 仕様で設計されており、吸気口には爆風が外部に放出しないよう遮断弁（図9 No. 4）、設備内の火炎伝播を防ぐ爆発遮断弁（図9 No. 12）、ロータリバルブ（図9 No. 5）など、粉じん爆発対応仕様が設置されている。

また、火炎が伝播する可能性がある一部の配管には消火設備を取付け、システムとして粉じん爆発火災対策を実施している。

国内では、耐爆発圧力衝撃構造の機器導入は少なく、爆発放散口、消炎バンド、遮断弁、爆発抑制装置、爆発限界酸素濃度以下への酸素濃度制御システムなどを組み合わせて対応している。

6 おわりに

冒頭でも述べたように、粉砕・集じん工程は粉じん爆発の発生確率が高い工程であるが、日本では欧州のような詳細な規制は存在しない。しかし、粉じん爆発が発生すれば、事業者は社会的信用を失うとともに、法的責任を問われる可能性がある。

本稿では、ろ過式集じん機を使用した装置のプロセス例を基に、粉じん爆発対策についてまとめた。具体的には、着火源対策として火の粉除去・静電気対策・スパーク発生防止などの予防策と、爆発放散口・遮断弁・爆発抑制装置などの被害軽減策を体系的に整理し、実際の納入事例とともに紹介した。

これらの対策には一定のコストがかかるため、経済性を考慮する必要があるが、原料特性や設置場所を含めた装置・設備に適した対策の参考となること

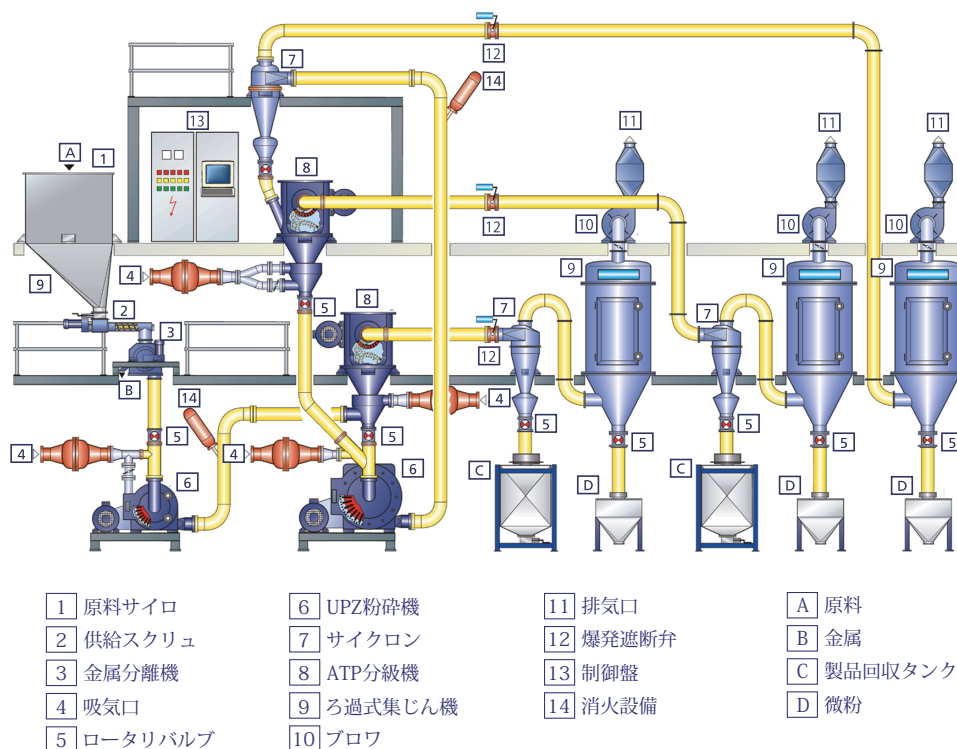


図9 セルローズ誘導体粉砕設備設置事例

Fig. 9 Cellulose derivatives crushing equipment installation case.

を期待する。今後は、粉じん爆発に関するリスクアセスメント手法の標準化や、業界全体での安全対策技術の共有が課題となる。本稿が、粉じん爆発事故の減少ならびに爆発後の被害低減に寄与する一助となることを願うとともに、より安全な粉体処理環境の実現に向けた継続的な取り組みの推進を期待する。

References

- [1] (一社) 日本粉体工業技術協会 粉じん爆発委員会編：粉じん爆発・粉体火災の安全対策：基礎から実務まで，オーム社，東京（2019）。
- [2] ホソカワミクロン（株）発行：ろ過式集塵機カタログ，2022。
- [3] ホソカワミクロン（株）編：ホソカワ製品ハンドブック，凸版印刷株，大阪（2013）。
- [4] (独) 労働安全衛生総合研究所：爆発圧力放散設備技術指針（改訂版）NIIS-TR-NO. 38, 2005。
- [5] ファイクジャパン合同会社 発行：爆発防護 製品カタログ，2024。
- [6] (独) 労働安全衛生総合研究所：耐爆発圧力衝撃乾燥設備技術指針（改訂版）JNIOH-TR-47, 2017。
- [7] (独) 労働安全衛生総合研究所：静電気安全指針 JNIOH-TR-NO. 42, 2007。

著者紹介



小松 信幸 Nobuyuki KOMATSU

〔経歴〕 1993 年室蘭工業大学大学院工学研究科博士前期課程機械システム工学専攻修了。同年ホソカワミクロン株式会社入社。1996 年 10 月より現職。

〔専門〕 粉体工学。

〔連絡先〕 nkomatsu@hmc.hosokawa.com