

# 大型機器除染設備の粉じん爆発対策について

2017年6月2日

---

東京電力ホールディングス株式会社

# 粉じん爆発対策について

Q: 大型機器除染設備の粉じん爆発の発生要因を1つでも除去し、粉じん爆発が起きないことを説明すること。

A: 粉じん爆発の発生要因は①着火エネルギー、②酸素(雰囲気)、③可燃性粉じんの3つであり、この発生要因を1つでも抑えることで粉じん爆発の発生を防ぐことができる。このため、大型機器除染設備の系統内で粉じんが発生するリスクがある2箇所において発生要因を除去する設計としている。

## ○大型機器除染設備粉じん発生箇所

### (1) 集塵機(逆洗時)

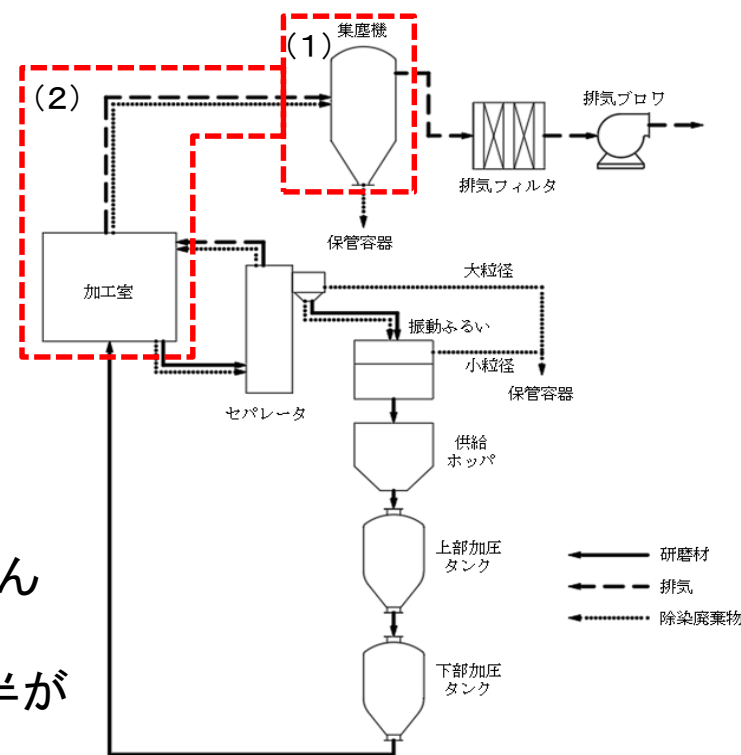
集塵機ではフィルタで回収した粉じんが、逆洗により再度粉じん化する。

※一般産業界の一部では、不活性材を投入し  
③可燃性粉じんを不活性化する対策を実施している。

### (2) 加工室及び配管(加工室～集塵機)

加工室でブラスト除染することで粉じんが発生し、集塵機で回収するため、加工室及び配管内には粉じんが存在する。

※一般産業界では、粉じん濃度を低くする設計(大半が $5\text{g}/\text{m}^3$ 以下)で対策している。



## ○粉じん発生箇所における発生要因への対策

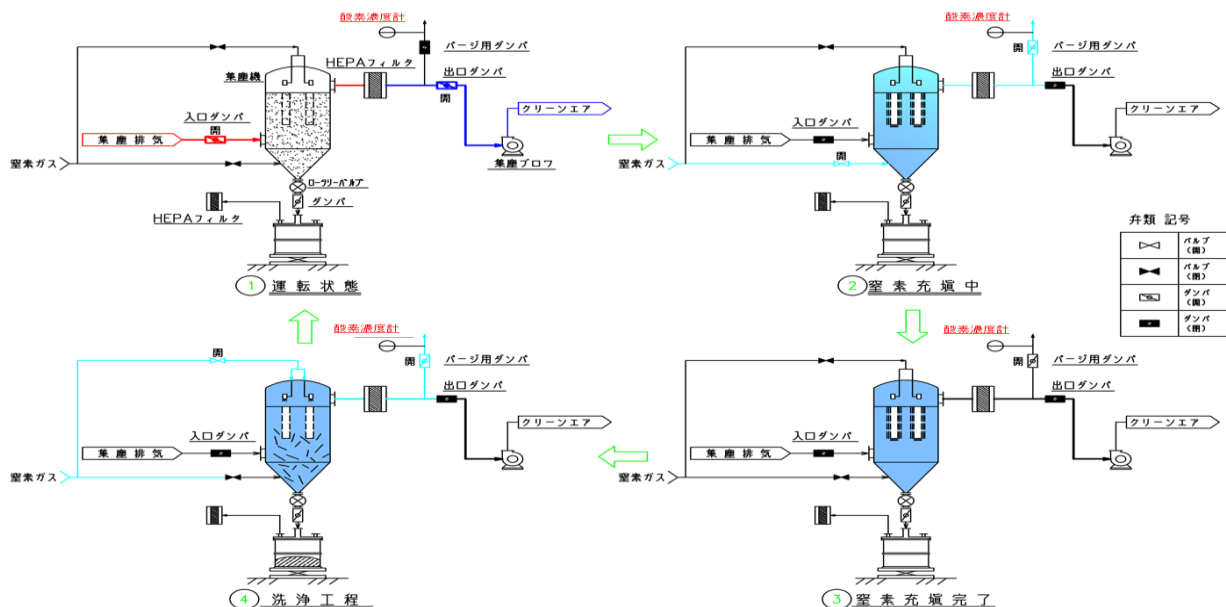
### ①着火エネルギー

⇒大型機器除染設備では、機器にアースを取ることで電荷を除去しているが、研磨材での切削・移動の際に静電気が発生するリスクがあり。しかし、切削・移動時における静電気発生防止対策を取ることは現状困難

### ②酸素(雰囲気)

#### (1)集塵機

⇒大型機器除染設備では集塵機が3基(2基:運転、1基:待機)あり、待機状態の集塵機において、逆洗前に集塵機内(約11m<sup>3</sup>)に窒素を供給し、酸素濃度を低下し雰囲気を不活化させた後、逆洗を行うことで**発生要因②酸素を除去する設計**



## ②酸素(雰囲気)

### (2)加工室及び配管(加工室～集塵機)

⇒大型機器除染設備では、加工室及び配管を12,000m<sup>3</sup>/hの風量で換気。このため、設備の系統内の酸素濃度を不活性化(20%⇒10%)とするためには、6000m<sup>3</sup>/hの風量で窒素の供給が必要となり大規模な窒素発生装置が必要(以下の通り、大型の窒素発生装置が12台以上必要)。

設置場所として(約600m<sup>2</sup>:1000tタンク3基分)が必要となるが、これほどの規模のエリアを本建屋付近で確保することは極めて困難(適当な空きスペースは全てALPS処理水タンクが設置されている)。

#### ○大型機器除染設備不活性化必要スペック

窒素発生量: 6000m<sup>3</sup>/h

動力: 1920kW

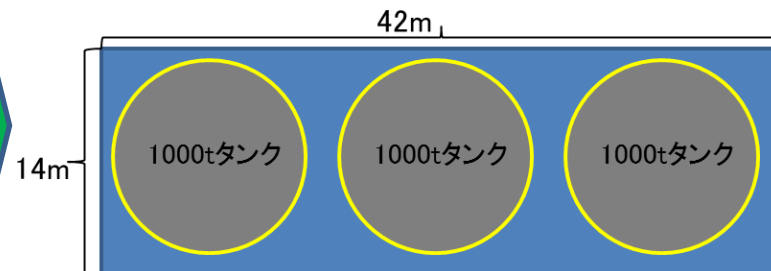
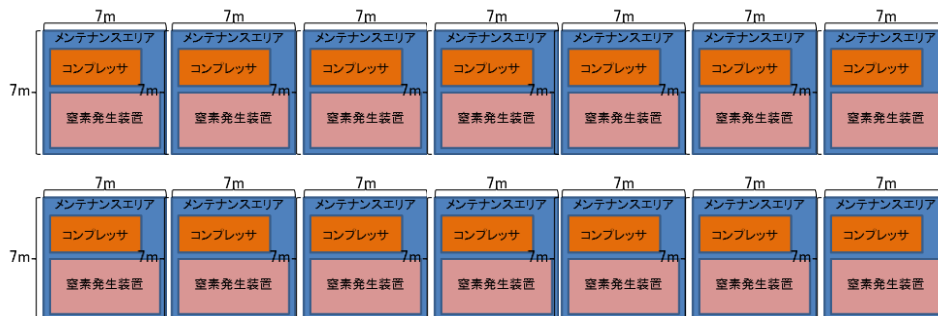
設置必要面積: 約600m<sup>2</sup>(14m × 42m)

#### ○窒素発生装置仕様(1基あたり)

窒素発生量: 500m<sup>3</sup>/h

動力: 160kW

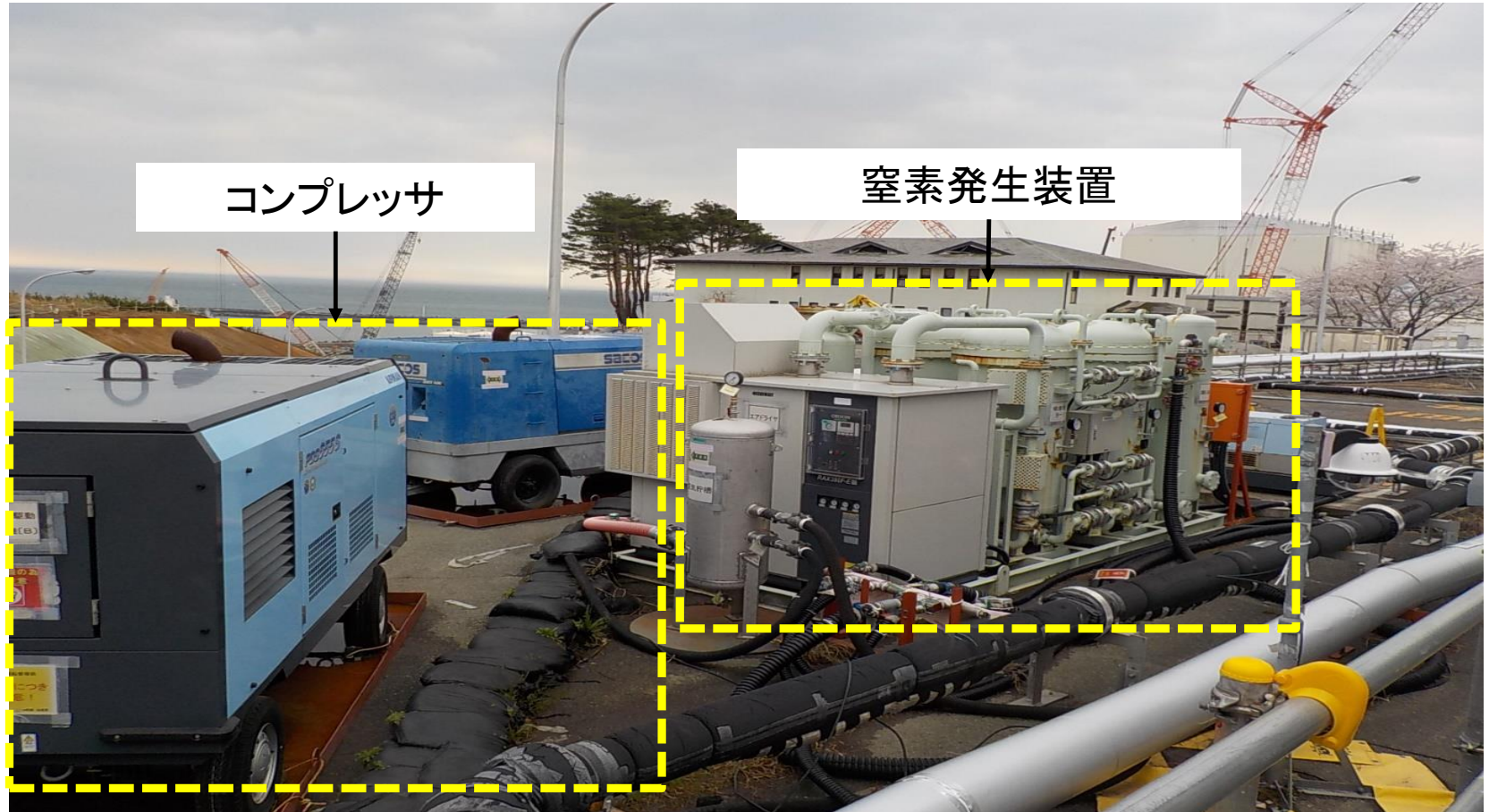
設置必要面積: 約50m<sup>2</sup>(7m × 7m)



# 【参考】窒素発生装置（1F内での実績）

○原子炉格納容器内窒素封入設備（非常用：500m<sup>3</sup>/h）

- ・1Fサイト内の実績で最大のもの。必要設置面積(コンプレッサ及び窒素発生装置)  
⇒約7m×約7m＝約50m<sup>2</sup>





## ③可燃性粉じん

### (2)加工室及び配管(加工室～集塵機)

⇒粉じん爆発は、『系統内の粉じん濃度  $\geq$  粉じん爆発下限濃度』の状況となった場合に発生し、『系統内の粉じん濃度  $<$  粉じん爆発下限濃度』を維持すれば爆発は起こらない。

これまで事業者からは、コールド試験において模擬した粉じんの爆発下限濃度が260～800g/m<sup>3</sup>であること、系統内の粉じん濃度は3g/m<sup>3</sup>(設計値)であることから粉じん爆発は発生しないと説明している。

また、大型機器除染設備で使用する研磨材や除染対象は、鉄や塗装であり、単体での一般的な爆発下限濃度は数10g/m<sup>3</sup>以上である。よって、アルミ・特殊な物を使わない限り、爆発下限濃度が3g/m<sup>3</sup>(設計値)を下回ることはない。

なお、系統内の粉じん濃度は、ブロー風量にインターロックを設置する等により、設計値の3g/m<sup>3</sup>以下が確保されるよう対策を取っており、この観点からも事業者としては、対策は取れていると考えている。

以上の説明に対し、これまでの折衝から、以下の論点があると考えている。

#### (A)コールド試験での爆発下限濃度の経時的な変化

→研磨材を使い続けると、爆発下限濃度が低下する可能性がある。

#### (B)コールド試験での爆発下限濃度の値の確からしさ

→爆発下限濃度の試験値が1点のため性状や測定の誤差がある。

#### (C)コールド試験条件の不確定性

→飛散抑制の塗装の厚さが対象によって異なる可能性がある。

## ③可燃性粉じん

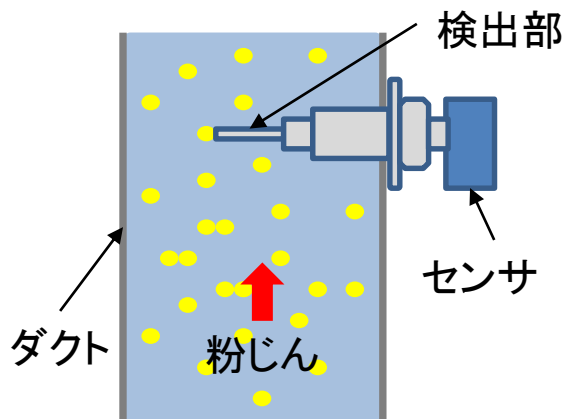
### (2)加工室及び配管(加工室～集塵機)

⇒(A)(C)の論点に対し、追加対策として大型機器除染設備の実機の運用時において、「系統内の粉じん濃度」と、「粉じんの爆発下限濃度」を、定期的に測定することとする。

実機の運転時監視していくことで、ブラストの経時的な変化、コールド試験の条件の不確定性について、確保できる。

また、実機で定期的に測定していくことで、(B)の論点におけるバラツキについても一定の傾向が得られると考えている。

なお、初期に入れたブラストが入れ替わる運転開始初期(半年程度)は、測定(1回/日)することとし、その後は得られたデータを踏まえて測定頻度を落としていく。



粉じん濃度測定装置  
(粉じん濃度)

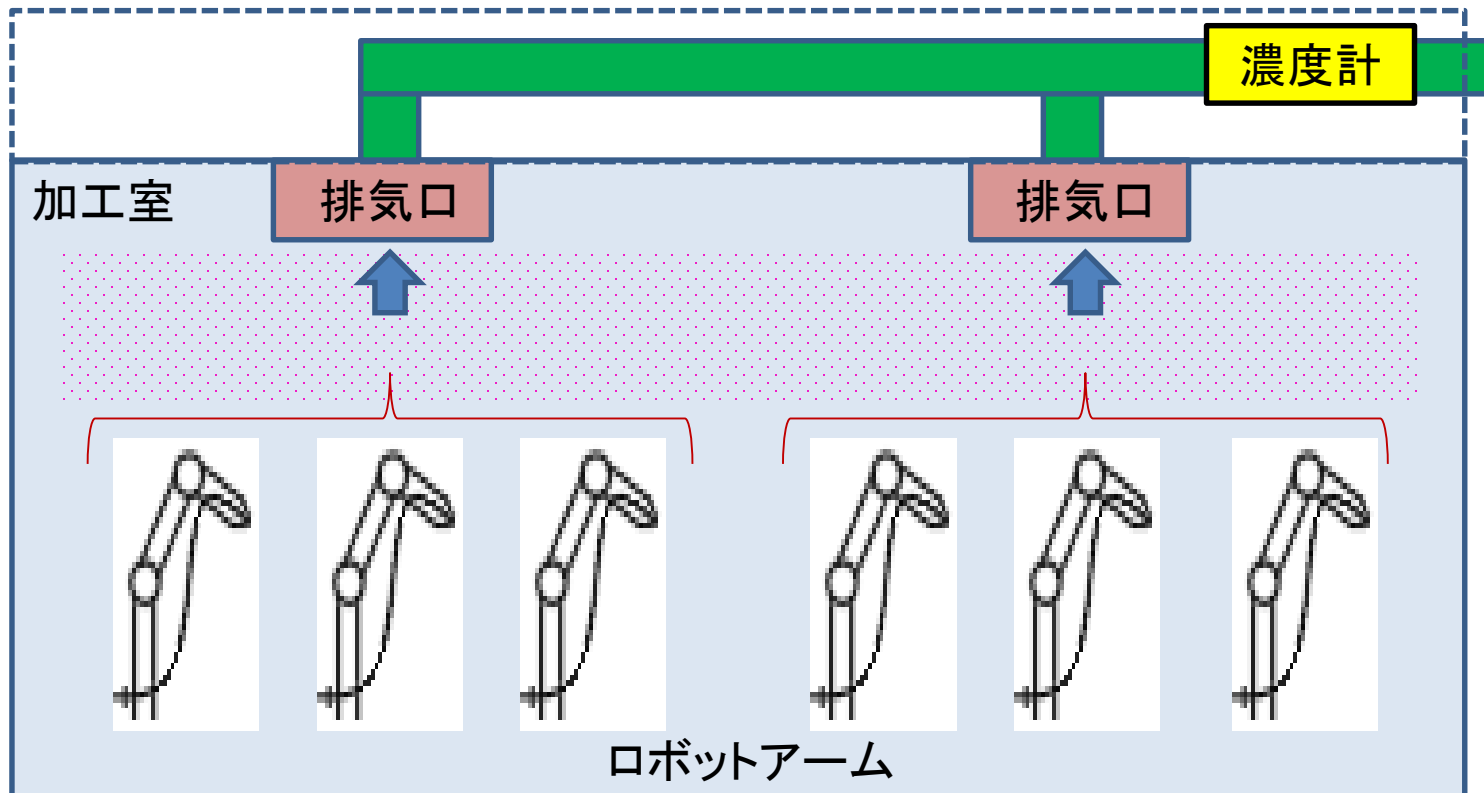


粉じん爆発試験装置  
(爆発下限濃度)

# 【参考】粉じん濃度計設置場所

○粉じん濃度計設置場所について

⇒加工室には排気口が2箇所設置されている。排気口1箇所としては、ロボットアーム3基分で発生した粉じんが回収される。その後、2箇所の排気口のラインは合流するため合流後が粉じん濃度が最も高くなると考えられる。





# 【参考】爆発下限濃測定頻度

## ○爆発下限濃度の測定頻度について

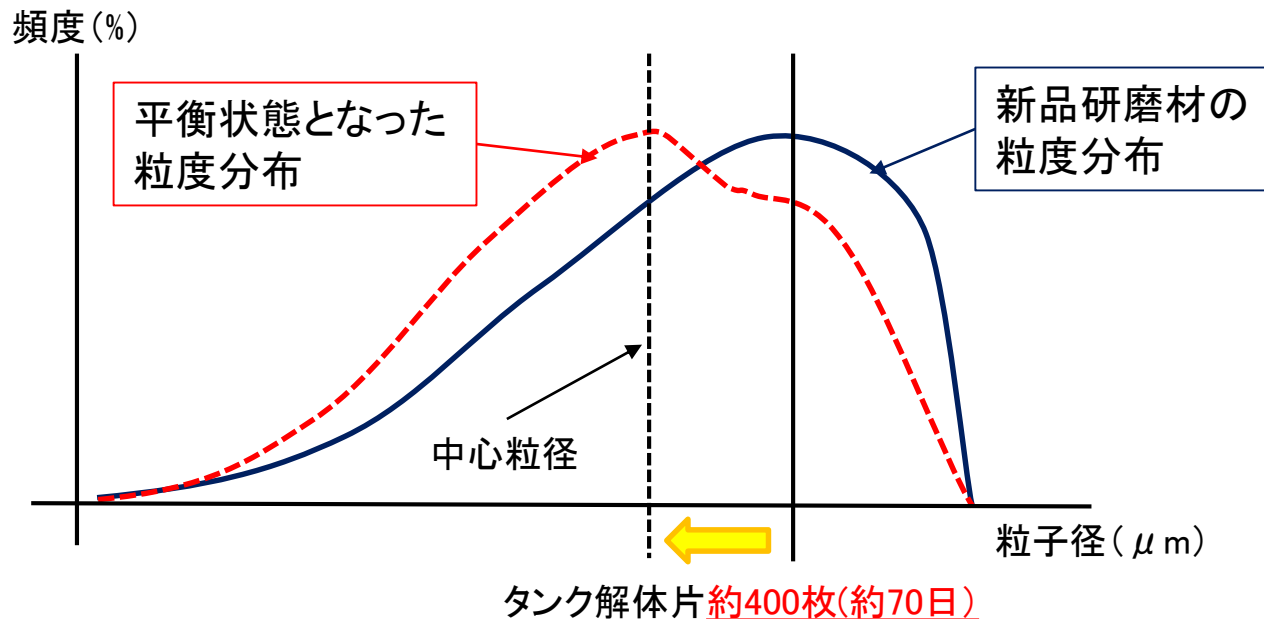
系統内研磨材容量：約4000kg

廃研磨材発生量：約10kg/タンク解体片1枚

運用(計画)：タンク解体片6枚/日

よって、タンク解体片約400枚(約70日)を処理すると系統内の研磨材が入れ替わることとなる。

しかし、極少量であると考えられるが新品の研磨材が廃棄されることや傾向の信頼性の向上の観点から半年間(研磨材入れ替え2回分)確認することとする。

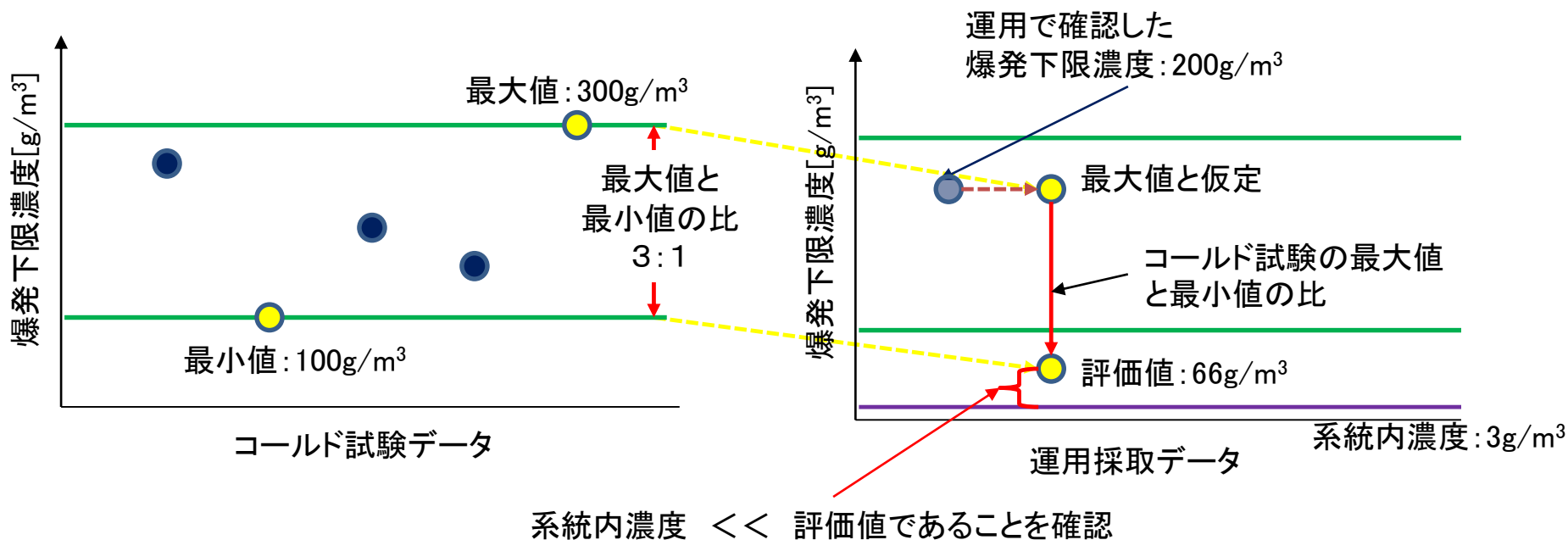


# 【参考】爆発下限濃度確認方法

○運用における爆発下限濃度の確認方法について

大型機器除染設備の運用に、『系統内の粉じん濃度 << 粉じん爆発下限濃度』であることの確認は、コールド試験(新品及び平衡状態の研磨材)で得られた爆発下限濃度結果の最大値と最小値の比を用いて、測定した粉じんの爆発下限濃度から保守的な評価値を算出して安全であることを確認する(下記イメージ参照)。

また、運用開始初期には、コールド試験の処理枚数初期の結果と比較を行い安全であることを確認する。



## 爆発下限濃度確認イメージ

## ③可燃性粉じん

### (2)加工室及び配管(加工室～集塵機)

⇒ (B)の論点に対し、爆発下限濃度バラツキを求めるため、**新品**及び十分使用された研磨材を用いて、5回の繰り返しのコールド試験を実施(5データ)。これにより、試験条件や粉じん性状、測定の不確定性は評価できると考えている。

また、この試験を塗装厚を変え(100 $\mu$ 、200 $\mu$ ) $\times$ 5データ行うことで、(A)(C)の傾向についても確認できると考えている。

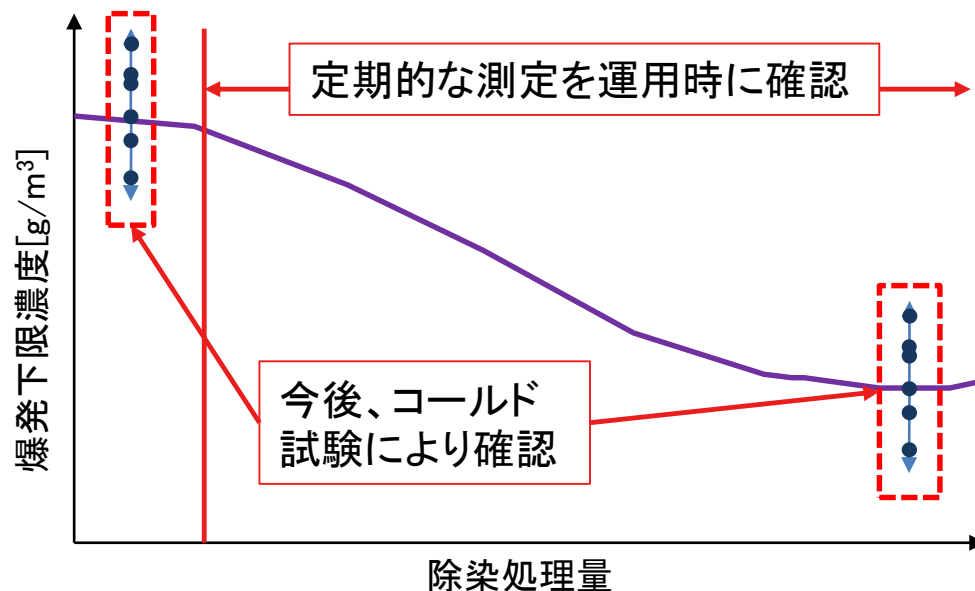
なお、粉じん爆発下限値の測定においては、以下の通り、JIS Z 8818「可燃性粉じんの爆発下限濃度の測定方法」に準じて、同一サンプルにおいて、不爆であることを5回確認し値を求めているため、測定による誤差は小さいと考えている。

爆発下限濃度確認イメージ

粉じん濃度	結果	粉じん濃度	結果
100g/m <sup>3</sup>	×	320g/m <sup>3</sup>	○
200g/m <sup>3</sup>	×	360g/m <sup>3</sup>	×○
240g/m <sup>3</sup>	×××××	380g/m <sup>3</sup>	○
260g/m <sup>3</sup>	××○	400g/m <sup>3</sup>	○
300g/m <sup>3</sup>	×○	500g/m <sup>3</sup>	○

○:爆発 ×:爆発せず(不爆)

⇒上記より、爆発下限濃度は260g/m<sup>3</sup>となる。



## ○研磨材の粒径移行について

メーカーで10年注ぎ足し使用され平衡状態になった研磨時とその使用前(新品)の研磨材粒径は以下のとおりである。

研磨材種類	研磨材粒径( $\mu\text{m}$ )			
	<180	180~355	355~500	500~710
新品	0.3%	2.2%	36.6%	60.9%
平衡状態	13.2%	36.6%	35.4%	14.8%

約70日  
(大型機器除染設備  
研磨材入れ替わり)

※研磨材粒径は3データの平均値

⇒除染処理に伴い、新品の研磨材が平衡状態へ移行(約70日)していく。

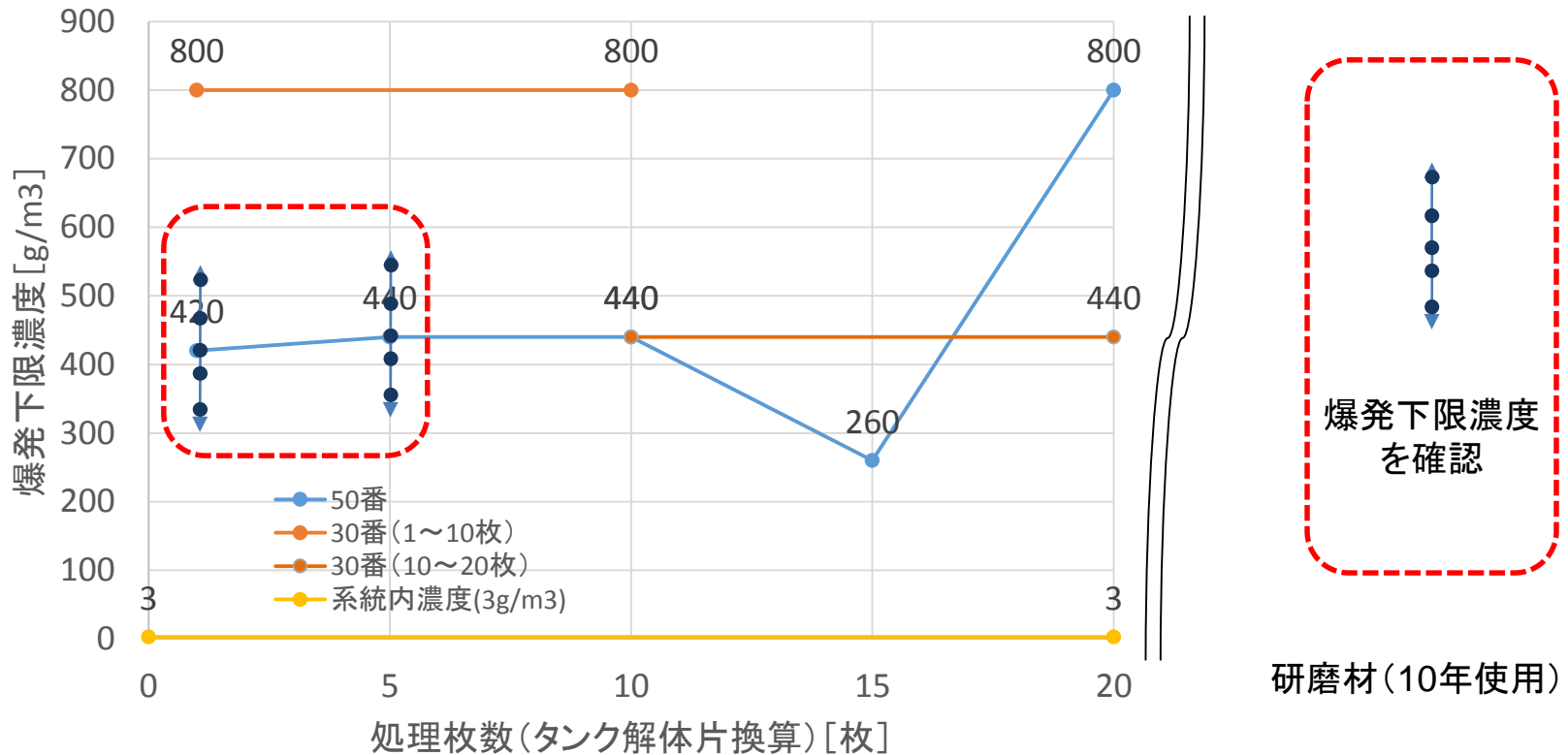
新品と平衡状態の研磨材粒径からみても、同粒径の1日当たりの変化量は小さいと考えられることから、発生する除染廃棄物の性状(爆発下限濃度)も1日単位では大きく変化することはないと考える。

## 【参考】コールド試験と実機での条件の比較

	項目	コールド試験条件	実機での再現性	
ブラストガン	圧力	0.5MPa	可	設備設定値より
	速度	4.3m <sup>2</sup> /h	可	設備設定値より
研磨材	材質	鉄	可	研磨材仕様より
	粒径	S-G50	否	再使用による粒径変動あり
	廃棄基準	125 μm以下	可	篩のメッシュサイズより
除染対象	母材	鉄	可	タンク仕様より
	塗装	タールエポ: 200 μm		
		アロナ: 100 μm	否	塗装厚の変動あり

⇒コールド試験で実機の再現が出来ていないと考えられるのは、研磨材の粒径の経時的な変化と除染対象の飛散抑制のための塗装厚の変動の2点である。

# 【参考】追加コールド試験



⇒ **新品及び**連続処理が十分され、研磨材の粒径が小さくなっている(メーカーで10年注ぎ足し使用され平衡状態)研磨材を使用してコールド試験を実施する。それにより発生した粉じんの爆発下限濃度を確認する。  
 また、塗装厚についても変更(100 $\mu$ 、200 $\mu$ )し同様に確認する。



Q. 大型機器除染設備内で爆発下限濃度測定時以上の着火エネルギーにより粉じん爆発が発生することはないか？

A. 爆発下限濃度は、JIS Z 8818「可燃性粉じんの爆発下限濃度の測定方法」に従い、着火源※<sup>1</sup>を用いて電気火花を発生させ、一定の着火エネルギーを与えることにより粉じん爆発が発生する粉じん濃度の下限を測定している。

着火エネルギーは、粉じん濃度が高くなることにより低くなる(着火エネルギーは粉じん濃度に依存する)。しかし、粉じん濃度が低くなると**着火エネルギーは直線的(爆発下限濃度)となる。このため、着火エネルギーの大きさに依存しなくなる。**

よって、大型機器除染設備は、爆発下限濃度をJISに従った十分な着火エネルギーを与えて測定していること及び系統内の粉じん濃度を爆発下限濃度以下で管理することから**着火エネルギーの大きさに関係なく粉じん爆発は発生しない。**

※<sup>1</sup> 放電極: タングステンロッド、着火: ネオトランス(2次側出力15kV, 20mA) 約10J相当

※<sup>2</sup> 文献によると、研磨ならびに衝撃火花のエネルギーでは約13mJ以下、静電気放電によるエネルギーでは30mJ以下の最小着火エネルギーのものにしか着火できないとされている。これは、爆発下限濃度測定時のエネルギー約10Jに比べ十分低い。

## ①着火エネルギーが低い場合

⇒測定時の着火エネルギーが低いと粉じん濃度に応じた着火エネルギーより低い範囲しか爆発せず、高い範囲の確認が出来ず、正確な爆発下限濃度測定ができない。

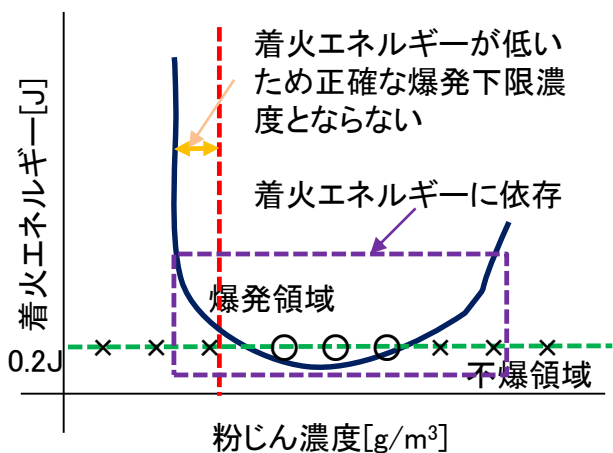
## ②JISに従った着火エネルギーの場合

⇒JISに従い、粉じん爆発が発生する着火エネルギーを使用しているため、**爆発下限濃度までの粉じん濃度範囲を正確に測定できる。**

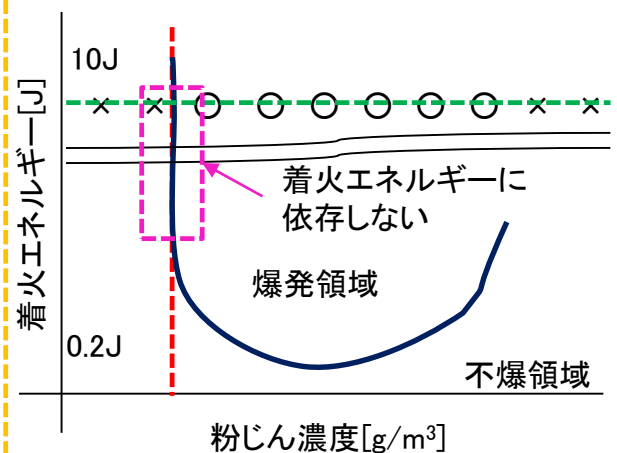
## ③JISに従った着火エネルギー以上の場合

⇒粉じん濃度が低くなると着火エネルギーは爆発下限濃度で直線的となり着火エネルギーの大きさに依存しなくなる。このため爆発領域は②と変わらない。

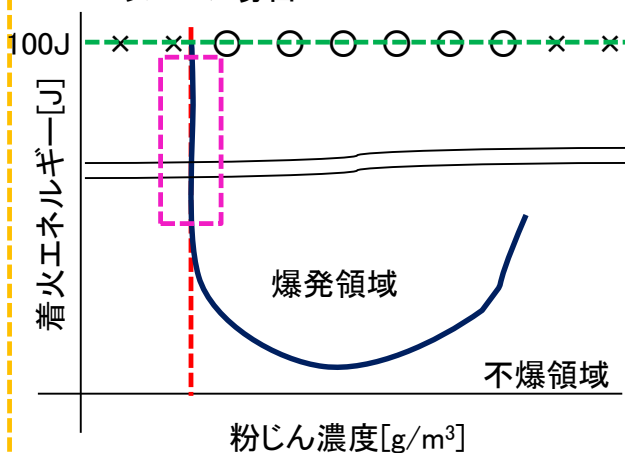
### ①着火エネルギーが低い場合



### ②JISに従った着火エネルギーの場合



### ③JISに従った着火エネルギー以上の場合



--- 爆発下限濃度    — 着火エネルギー    - - - 着火エネルギー(爆発下限濃度測定時)

Q: 系統内風量を落とすことはできないのか？

A: 系統内風量12000m<sup>3</sup>/h(200m<sup>3</sup>/min)の内訳は以下のとおり

- ・風量(out)
  - (1) 排気ブロワ能力 : 200 [m<sup>3</sup>/min]
- ・風量(in)
  - (2) 外気取入れ(加工室) : 114 [m<sup>3</sup>/min]  
⇒大型機器除染設備の系統内を負圧維持するための必要量
  - (3) 除染処理用圧縮空気 : 36 [m<sup>3</sup>/min]  
⇒除染処理能力維持のための必要量
  - (4) 外気取入れ(セパレータ): 50 [m<sup>3</sup>/min]  
⇒セパレータでの研磨材と粉じんを分離能力維持のための必要量

⇒大型機器除染設備の系統内風量は、負圧維持及び設備能力の維持に必要な風量で設定している。

(2)は、系統内の負圧維持のためであり、系統内風量を落とすことにより、**放射性物質の散逸のリスクが発生するため系統内風量を落とすことはできない。**

(3)(4)は、除染処理・分離能力の維持のためであり、系統内風量を落とすことにより、**設備能力の維持ができなくなるため系統内風量を落とすことはできない。**

上記より、**大型機器除染設備の系統内風量を落とすことはできない。**

Q: 系統内風量を循環使用することはできないか？

A: 系統内風量12000m<sup>3</sup>/h(200m<sup>3</sup>/min)の内訳は以下のとおり

- ・風量(out)
  - (1) 排気ブロワ能力 : 200 [m<sup>3</sup>/min]
- ・風量(in)
  - (2) 外気取入れ(加工室) : 114 [m<sup>3</sup>/min]
  - (3) 除染処理用圧縮空気 : 36 [m<sup>3</sup>/min]
  - (4) 外気取入れ(セパレータ) : 50 [m<sup>3</sup>/min]

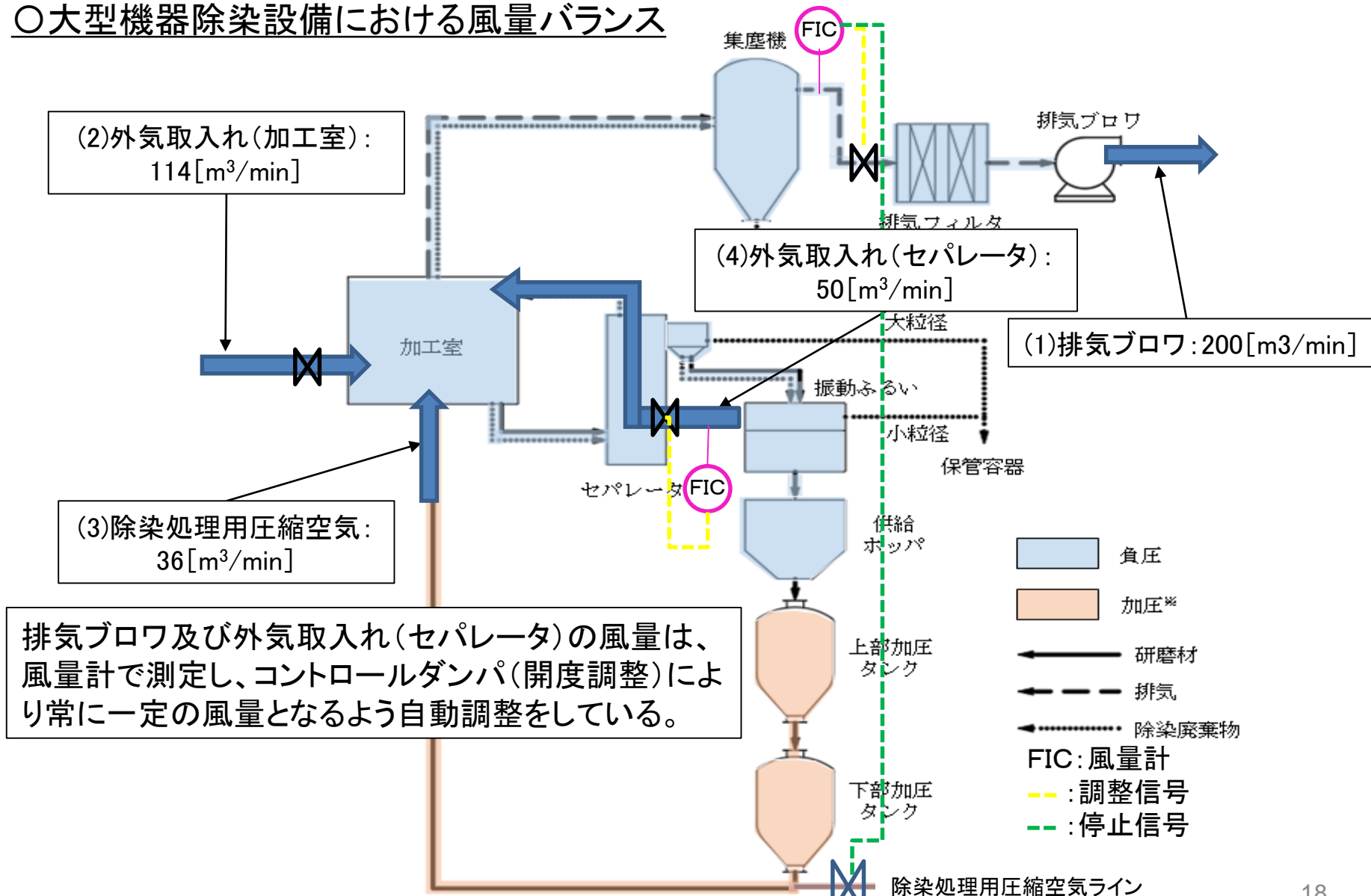
(2)は、加工室の隙間からの放射性物質の散逸を防止するために必要な風量を外気から成り行きにより取入れている。このため、風量の制御が必要であること及び一定の風量が確保できないことから、風量を循環使用はできない。

(3)は、除染処理を行うための風量及び研磨材を押し出す圧力が必要となるため圧縮空気を使用する必要がある。このため、風量の循環使用はできない。

(4)は、セパレータでの研磨材と粉じんを分離するために必要な風量であり、一定の風量があれば分離可能である。このため風量の循環使用ができる。

上記より、大型機器除染設備で循環使用可能な風量は(4)外気取入れ(セパレータ)での50m<sup>3</sup>/minのみである。このため、窒素発生装置台数を減らす(12台⇒9台)ことはできるが、大規模なエリアとなることは変わらず設置は困難である。

## ○大型機器除染設備における風量バランス



排気ブロウ及び外気取入れ(セパレータ)の風量は、風量計で測定し、コントロールダンパ(開度調整)により常に一定の風量となるよう自動調整をしている。

## ○手動除染装置の粉じん爆発対策について

手動除染装置については、コールド試験において、現場で使用する実機を用いて、実際と同条件でブラスト処理を研磨材が入れ替わり平衡状態(約200時間)になるまで実施し、粉じん爆発が発生しないことを確認する。