

# 粒子状物質ばく露がもたらした災害事例と 新たな健康障害リスクの可能性

独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所

研究推進・国際センター／作業環境研究グループ 首席研究員 鷹屋光俊



**JNIOOSH**

National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

# 本日の講演内容

---

1. 衛生関係の災害調査の分類
2. 災害調査の手順
3. 新たにリスクを生み出す要因
  1. 健康影響が知られていない物質
    - ▶ 有機ポリマー
  2. 周辺への汚染環境対策が高濃度ばく露をもたらした例
    - ▶ 高速道路の鉛含有塗料の剥離作業
4. 粉じん／粒子状物質のばく露リスクの高い作業
  1. 機器保守作業
  2. 容器の再利用
  3. 包装・計量作業
5. まとめ

# 衛生関係の災害調査事案は どのようなものがあるか

# 衛生関係の災害調査事案はどのようなものがあるか (1/2)



- ▶ 酸欠事故および有害気体発生に伴う急性中毒事故
  - ▶ 典型例(不完全燃焼・地下空間)
  - ▶ 典型例以外
    - ▶ 変わった調査例: 食品加工場(発酵による酸欠)
- ▶ ガス蒸気ばく露による健康障害
  - ▶ 呼吸によるばく露
    - ▶ 代表例 印刷工場における胆管がん
  - ▶ 経皮ばく露
    - ▶ 代表例 化学工場における膀胱がん

# 衛生関係の災害調査事案はどのようなものがあるか (2/2)



- ▶ 粒子状物質／粉じんばく露に伴う健康障害
  - ▶ 健康障害の種類
    - ▶ 呼吸器障害(じん肺も含む)が多い
  - ▶ 健康障害の発生要因
    - ▶ 作業が新しい
    - ▶ 扱う物質が新しい(あるいは有害性が知られていなかった)
    - ▶ それ以外
      - ばく露コントロールがうまくいっていなかった

# 災害調査の手順

# 災害調査(衛生)の手順 その1

## 1. 情報分析

1. 扱っている物質
2. 作業内容
3. 健康影響の内容・(1,2と影響の大きさの関係)

## 2. 予備調査

1. ヒヤリングによる追加の情報収集
  1. 測定対象物質の選択
  2. 測定に使用する機器の選択(粉じん計のみ、粒子カウンターの投入の有無?)
2. 作業内容の観察(濃度測定計画の決定)
  1. 作業環境測定に準じた測定か個人ばく露濃度測定か
  2. 測定対象物質の決定
3. 材料・たい積じんの捕集
  1. 分析条件の調整に用いる。

# 災害調査(衛生)の手順 その2

## 3. 予備実験

1. 捕集方法の決定
  1. 化学分析
  2. 電子顕微鏡観察
2. 分析条件の調整
3. 必要に応じて分析方法の開発
4. 1-3に基づき本調査の捕集時間・使用するポンプなどの最終決定を行う。

## 4. 本調査

1. ヒヤリング
2. ばく露測定
3. 環境濃度の測定

# 災害調査(衛生)の手順 その3

## 5. 分析

1. 試料中の対象物質の分析
2. 電子顕微鏡観察
3. 測定結果とヒヤリング結果の突き合わせ

## 6. 報告

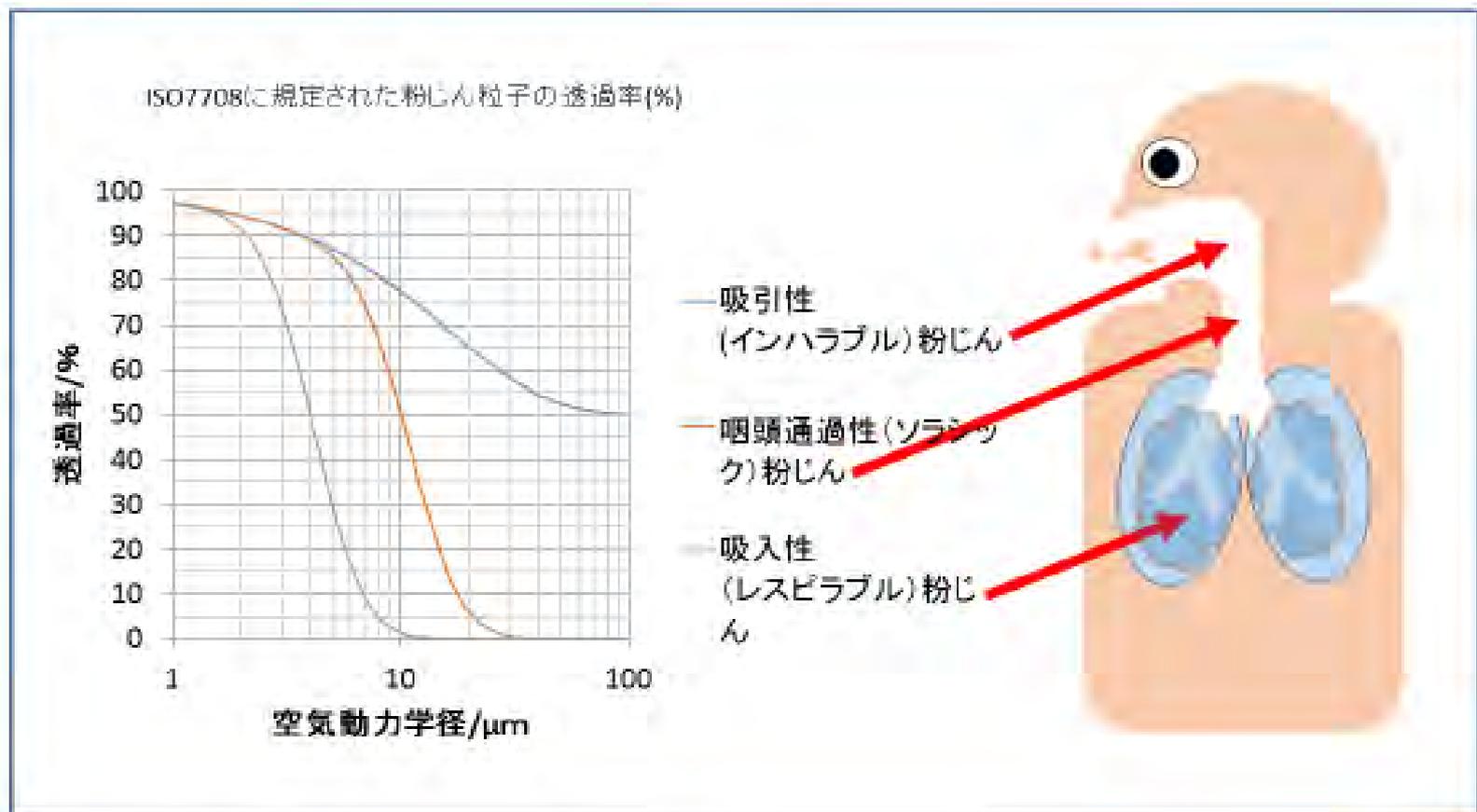
災害調査は以上で終わる

## 新たな研究

有害性が未知の物質であった場合の有害性評価  
環境管理のための有効な測定方法  
ばく露防止策の検討

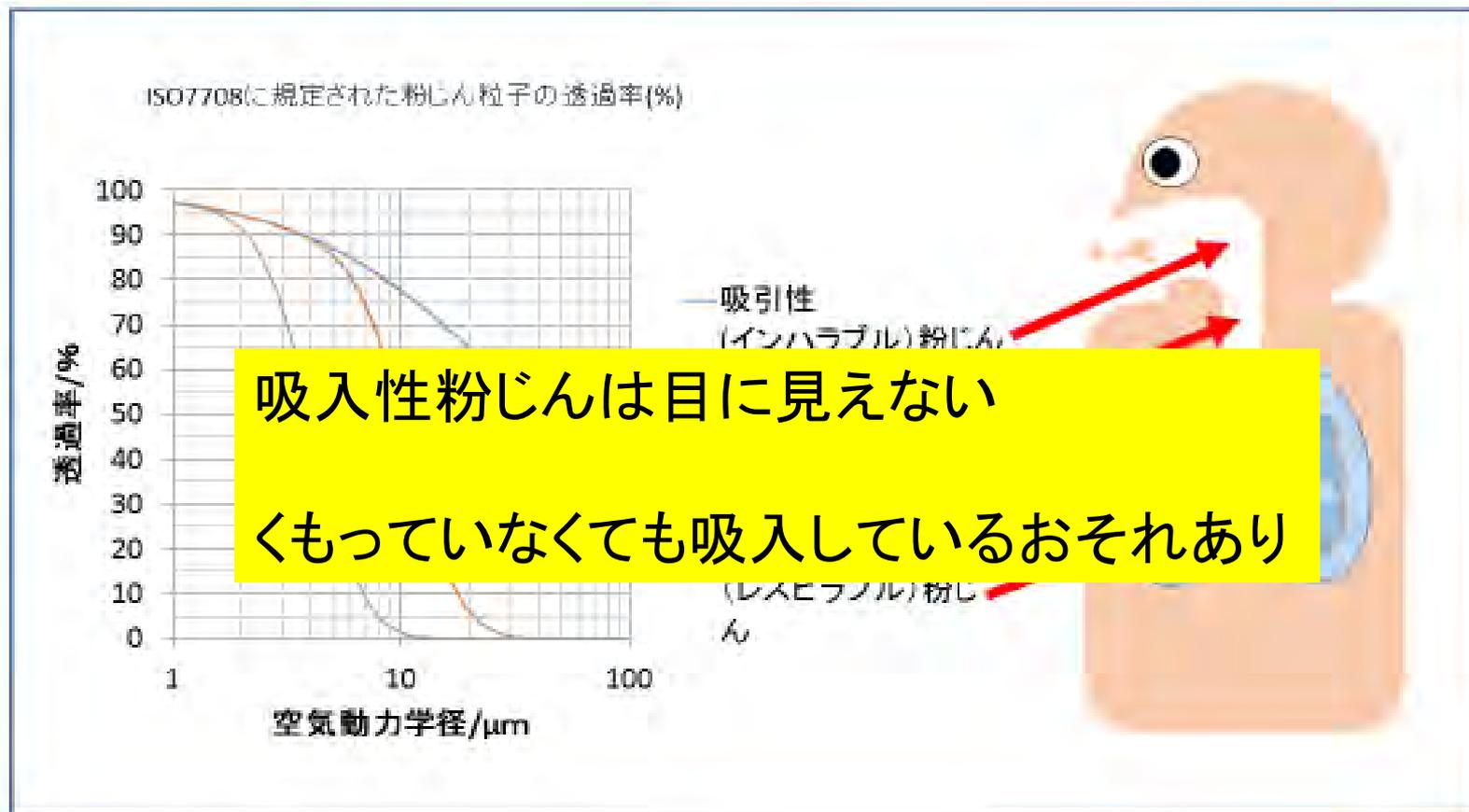
# 粒子状物質の粒子径と到達臓器の関係

粒子状物質は、同じ化学成分であっても大きさにより健康影響が異なる。



# 粒子状物質の粒子径と到達臓器の関係

粒子状物質は、同じ化学成分であっても大きさにより健康影響が異なる。



吸入性粉じんは目に見えない  
くもっていないくても吸入しているおそれあり

# さらに粒子径を細かく分離して測定する場合

シウタスカスケードインパクトーを使用

Stage A: >2500nm

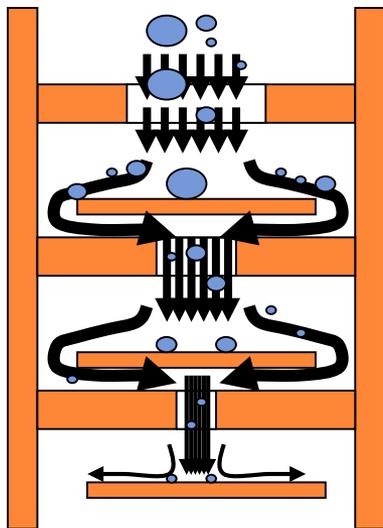
Stage B: >1000nm

Stage C: >500nm

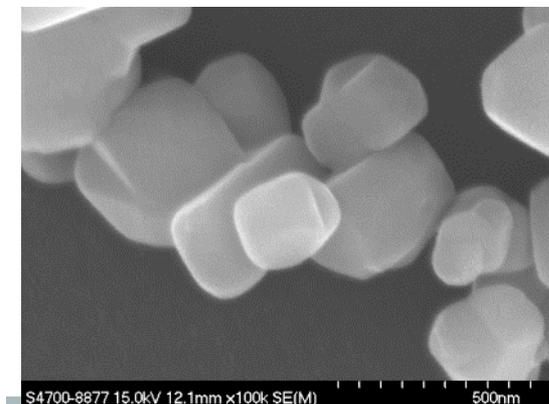
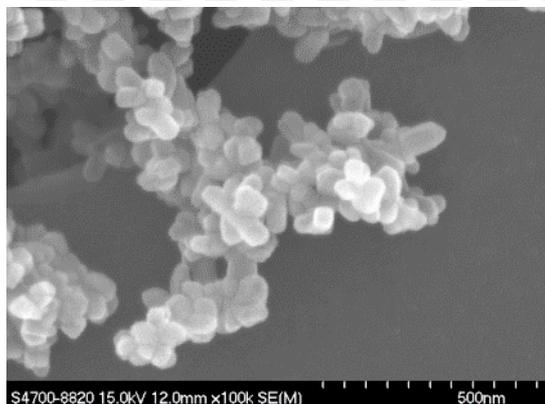
Stage D: >250nm

Backup Filter: <250nm

Flow rate 10 L/min



# 電子顕微鏡観察が必要な例



左右の物質（化学成分は同じ）を区別できるのは電子顕微鏡観察だけ  
凝集粒子径が同じなので粒子計測装置では見分けがつかない  
化学分析では溶解するのでもとの粒子径の方法が失われる。

# 個人ばく露濃度測定

- ▶ 作業者個人にサンプラーあるいは計測器を取り付けて測定する
  - ▶ 場の測定では、環境が十分に管理されているはずなのに、健康障害が起きた場合により、高濃度作業を抽出するためにじっする場合がある
- ▶ 粒子状物資に関する災害調査では、粉じん計を取り付けてより高リスク作業を洗い出しすることが可能な場合もある
  - ▶ 粒子径・許容濃度が粉じん計の感度で対応できる場合

# 個人ばく露測定機器装着の例



測定器(2組・4台を取り付けた例)

内訳 粉じん計(分級機付き)

粉じん計(分級機なし)

# 個人ばく露測定機器装着の例(つづき)



粉じん計(分級機あり)

粉じん計(分級機無し)

# 新たにリスクを生み出す要因

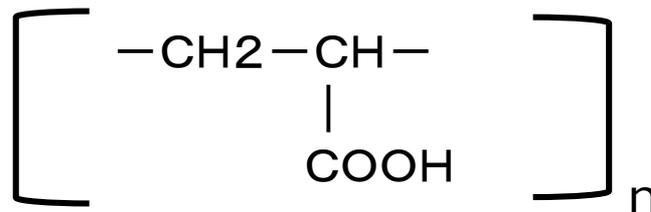
健康影響が知られていない物質

# 健康障害が知られていなかった物質の例

## ▶ 有機粉じんによる肺疾患

▶ 平成29年4月28日厚生労働省記者発表

▶ 架橋型アクリル酸系水溶性高分子化合物の粉末の包装業務にあたる作業者が肺組織の繊維化 間質性肺炎 肺気腫などをおこした。



# 有機ポリマーによる肺疾患事例の特長

---

## ▶ 出典

<https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11305000-Roudoukijunkyokuanzeneseibu-Kagakubushitsutaisakuka/0000163635.pdf>

○ 医薬品や化粧品を製造する際の間媒体として使用される。なお、消費者などに提供される最終製品である医薬品や化粧品が、元の吸入性粉じんに戻ることはない。

# 有機ポリマーによる肺疾患事例の特長

## ▶ 出典

<https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11305000-Roudoukijunkyokuanzeneiseibu-Kagakubushitsutaisakuka/0000163635.pdf>

○ **医薬品や化粧品**を製造する際の間媒体として使用される。なお、消費者などに提供される最終製品である医薬品や化粧品が、元の吸入性粉じんに戻ることはない。

元々人の体に触れるものとして、各種の毒性試験は行われていた。

生体影響はみられない。

吸入性粉じんとして呼吸器から入る場合に健康障害をひきおこした。

ばく露形態により有害性が異なる。

# この事例は本当に新しいのか？

## 古典的なじん肺

鉍物性粉じんも、経口・皮膚接触などでは、重篤な健康障害をもたらさないが、吸入性粉じんとして肺に入れば、重篤な健康障害をもたらす。



## 本事例

皮膚接触・経口投与などでの健康影響は評価済み



物質の大きさ、体への入り方によって有害性が大きく異なることを労働者の健康障害を防止するためには意識する必要があることを示唆しているのではないか

# 新たにリスクを生み出す要因

周辺への汚染環境対策が高濃度ばく露をもたらした例

# 本災害の概要

1. かつては、鉄鋼構造物の防蝕塗料として鉛が多用されており、橋梁などの保守・延命作業などにおいて、旧塗膜はく離作業時に鉛へのばく露リスクが存在し、国内外で実際に鉛ばく露の事例が報告されている。
2. 平成26年4月、道路高架橋の耐久性工事において、鉛中毒事例があり、その原因は、鋼製橋桁の塗料の塗替え工事における、鉛を含む旧塗膜の塗料を乾式研磨した際に鉛を含む粉じんの高濃度ばく露したものと推定された。
3. 厚生労働省は、同種の鉛中毒を防止するための通達\*を出すとともに、当該作業等における鉛ばく露の実態把握を行うために(独)労働安全衛生総合研究所に調査を要請した。

\* 「鉛等有害物を含有する塗料の剥離やかき落とし作業における労働者の健康障害防止について」(基安労第0530第1号～3号, 基安化第0530第1号～3号),平成26年5月30日

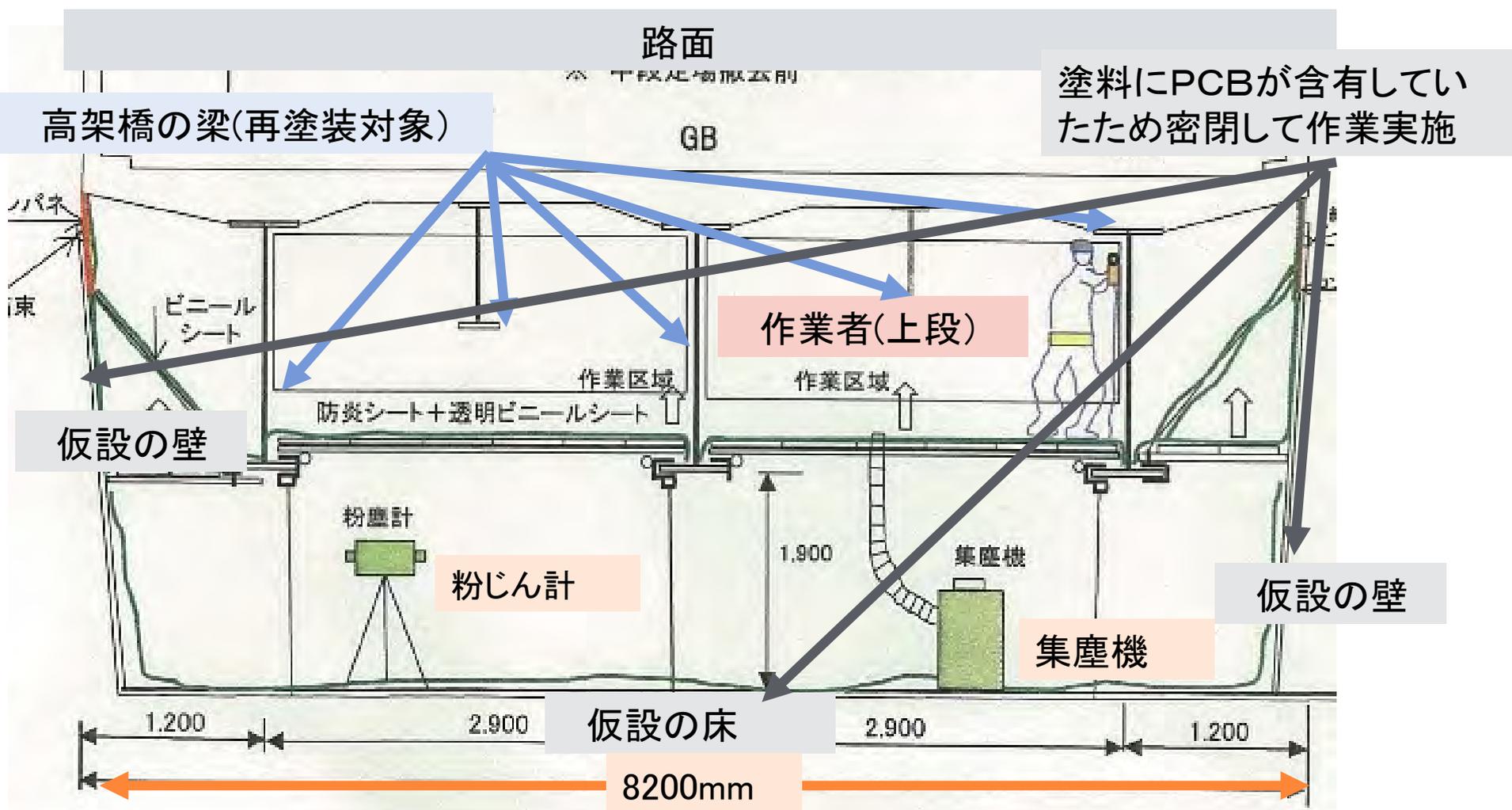
# 調査実施内容

1. 堆積じんの分析
  1. 鉛の存在確認
  2. 鉛の化学状態の把握
2. 作業場所及び休憩・着替え場所の観察
3. 作業中の気中粉じん濃度測定及び粉じん採取、休憩室での表面汚染分析用試料採取
4. 採取した粉じん試料中の鉛の分析
5. 採取した粉じん資料中のヒ素、カドミウム等の分析
6. 鉛による表面汚染の測定

# 調査実施内容

1. 堆積じんの分析
  1. 鉛の存在確認
  2. 鉛の化学状態の把握
2. 作業場所及び休憩・着替え場所の観察
3. 作業中の気中粉じん濃度測定及び粉じん採取、休憩室での表面汚染分析用試料採取
4. 採取した粉じん試料中の鉛の分析
5. 採取した粉じん資料中のヒ素、カドミウム等の分析
6. 鉛による表面汚染の測定

# 作業場所の模式図(断面方向)



# 塗膜粉じんで汚染された作業場所

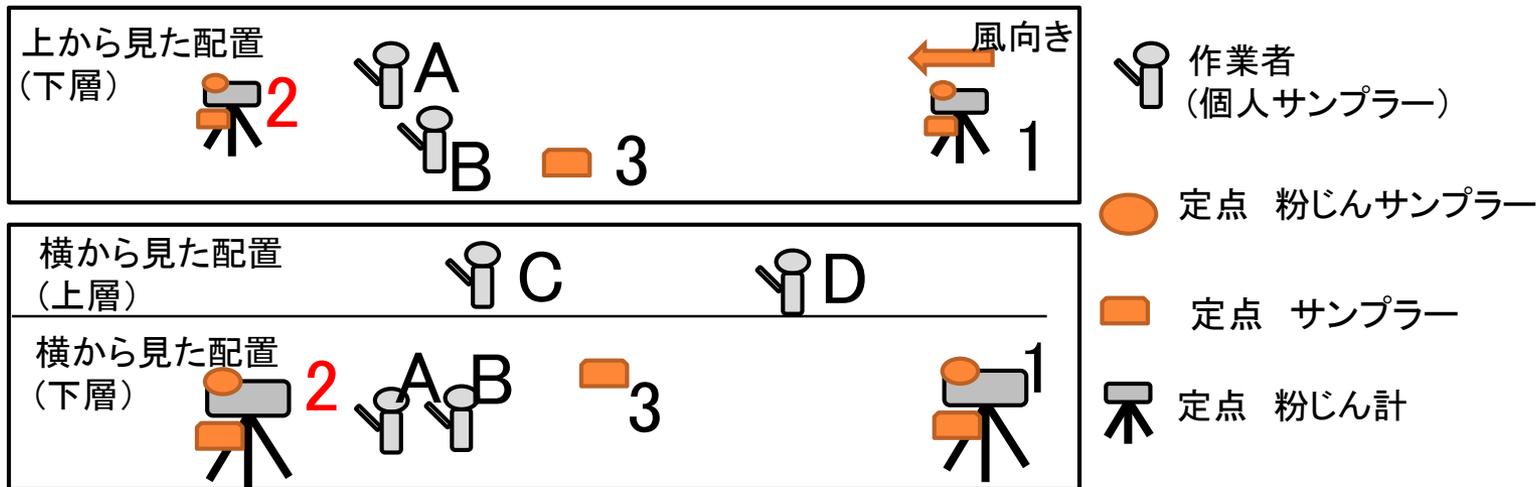
上層階作業場所(再塗装済みの工区)

## 映写のみ

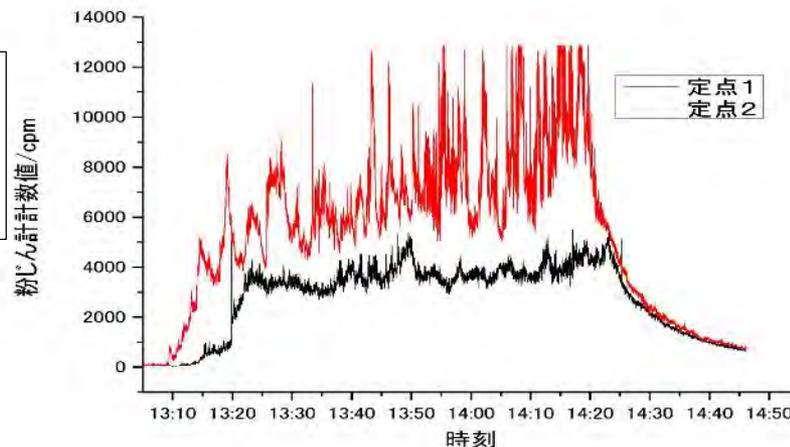
粉じんで汚染された作業場所

作業場所近傍でエアラインマスクに交換するため、保管中のエアラインマスク内部に粉じんの付着が観察された。

# 気中粉じん採取 (サンプラーの配置と作業中の粉じん濃度)



粉じん濃度 定点1 24.9 mg/m<sup>3</sup>  
 定点2 63.8 mg/m<sup>3</sup>



# 気中粉じん採取(写真)

---

映写のみ

# 鉛含有塗料の分析

## ▶ 米国NIOSHの方法を小変更

1. 気中粉じんを混合セルロース(MCE)フィルターで採取
2. 硝酸＋過酸化水素でフィルターごと分解(1時間加熱)
3. 放冷
4. 2と3を3回繰り返す
5. 定容
6. 内標準(Y, 10ppm)を添加
7. ICP-AES測定

$\lambda = 220.353\text{nm}(\text{Pb}) , 317.029\text{nm}(\text{Y})$

分解法の妥当性は試薬( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ )の回収率の測定で確認

# 結果 作業中の気中鉛濃度

	流量	時間	捕集量	気中濃度	管理濃度比
	L/min	min	m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	-
個人ばく露1(下)	2	84	0.17	<u>20.9</u>	<u>417</u>
個人ばく露2(下)	2	83	0.17	<u>18.4</u>	<u>368</u>
個人ばく露3(上)	2	81	0.16	<u>1.2</u>	<u>25</u>
個人ばく露4(上)	2	80	0.16	<u>33.2</u>	<u>663</u>
定点1 風上	5	60	0.30	<u>4.8</u>	<u>97</u>
定点2 風下	5	60	0.30	<u>5.7</u>	<u>115</u>
定点3 中間地点	5	62	0.31	<u>3.2</u>	<u>63</u>

## 表面汚染(休憩室)

1. 水をしみこませたポリビニルアルコール(PVA)不織布で拭き取り(テンプレートで面積を規定)
2. フィルターと同じ手順で分解・分析
3. 結果

	ICP結果/ μg/mL	RSD/ %	鉛量 /μg	面積/cm <sup>2</sup>	表面濃度 /μg/cm <sup>2</sup>
入り口付近1	7.01	0.62	350	100	3.5
入り口付近2	7.26	0.50	363	100	3.6
壁側1	8.29	0.36	415	100	4.1
壁側2	4.97	0.96	249	100	2.5
テーブルの上	定量下限未満	-	-	-	-

食事を行うテーブルの汚染は無かったが、休憩室の床は鉛の汚染があった。

## 本災害のまとめ

---

- ▶ かつての防錆塗料には鉛、六価クロムなどの有害物が含まれている。
  - ▶ 再塗装作業時の鉛ばく露については、国内でも災害例はあった。
- ▶ 鉛の他に、PCB、石綿などが含まれる場合がある。
  - ▶ 今回はPCBが含まれていることがわかっている。
- ▶ 周辺への汚染防止のために囲った空間で作業を行ったことが高濃度ばく露の理由の一つと考えられる。

# 粉じん／粒子状物質のばく露リスクの 高い作業

機器保守作業

# 機器保守作業

- ▶ 定常作業で密閉化無人化が進んでいる工場においても、機器保守・修理などで高濃度ばく露→健康障害発生となった事例が散見される。

外形的には災害の発生形態は異なるが、高速道の鉛中毒の事例と共通しているといえる

汚染防止のための囲い込みの結果、より狭い範囲に高濃度の汚染が発生し、その中で作業する作業者のばく露リスクは高まる。

# 粉じん／粒子状物質のばく露リスクの 高い作業

フレキシブルコンテナバッグ

# フレキシブルコンテナバッグ

例：土壌取り扱いの模擬実験



# フレキシブルコンテナバッグの使用例1

---

反応装置→包装用のホッパーへの移動

映写のみ

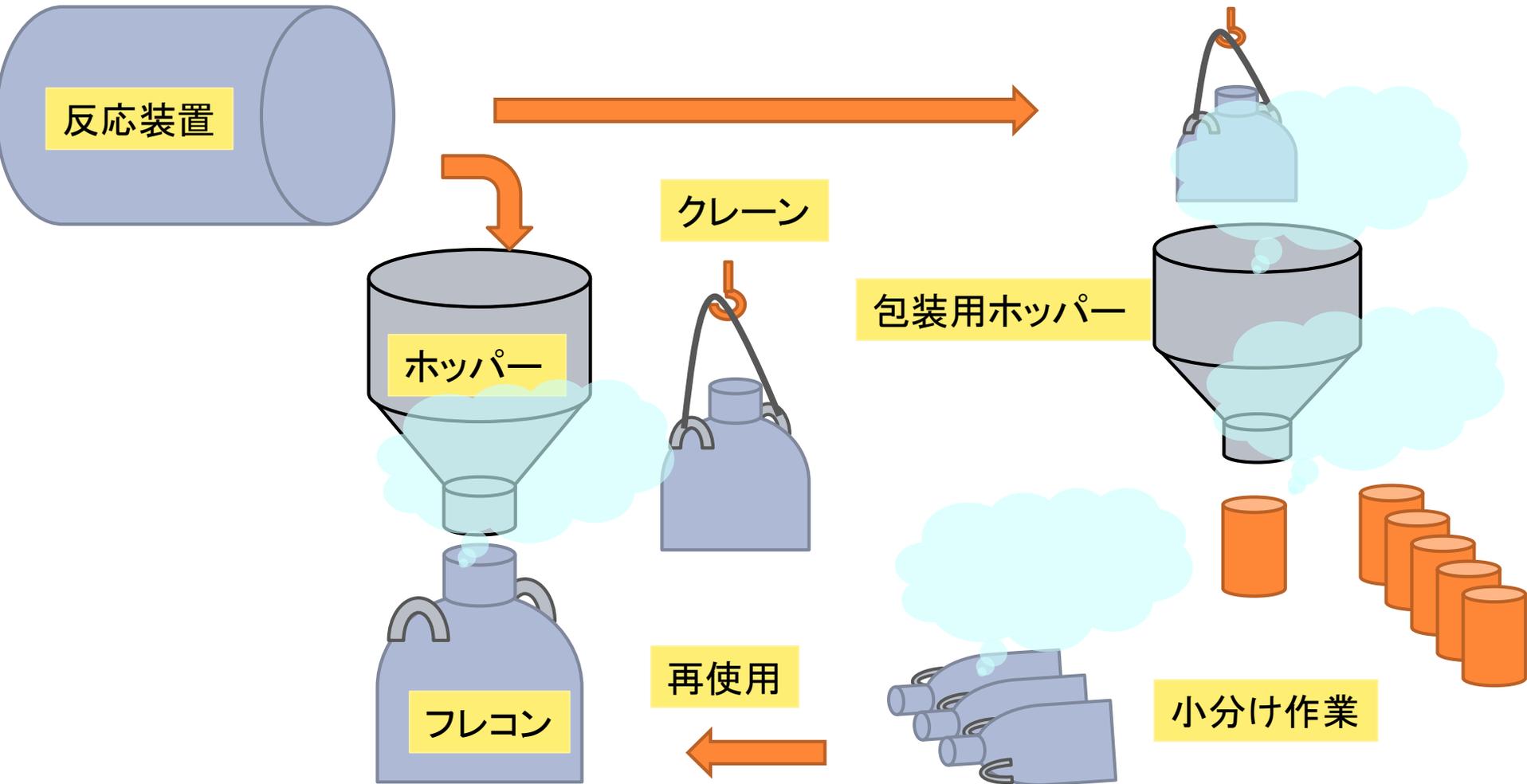
# フレキシブルコンテナバッグの使用例1

---

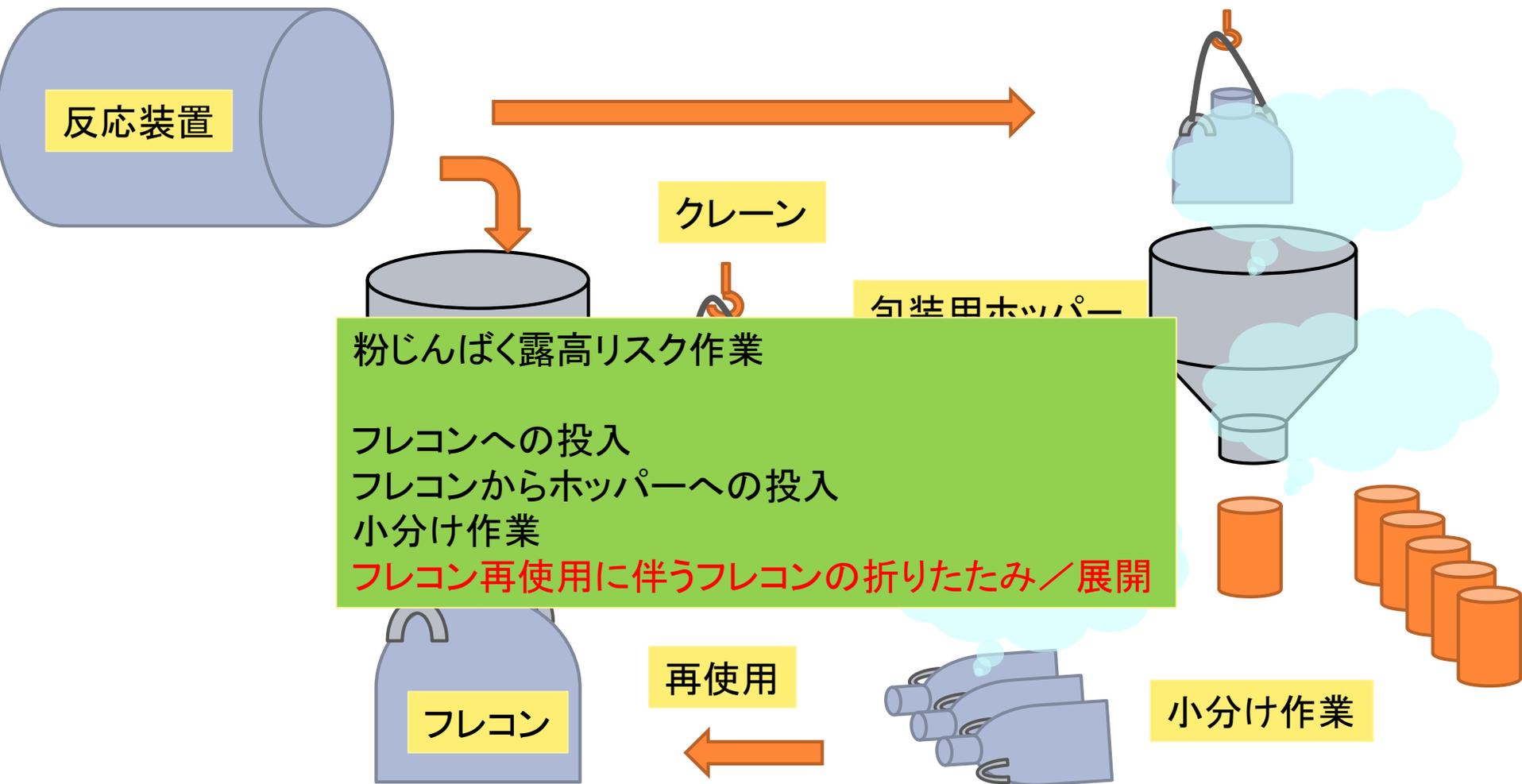
反応装置→包装用のホッパーへの移動

映写のみ

# 工場内で粉体輸送をフレコンバッグ利用する 流れの例



# 工場内で粉体輸送をフレコンバッグ利用する 流れの例



はかりのついた枠にフレコンバッグを吊す。枠からフレコンバッグを外してパレットにのせフォークリフトで倉庫へ

## 映写のみ

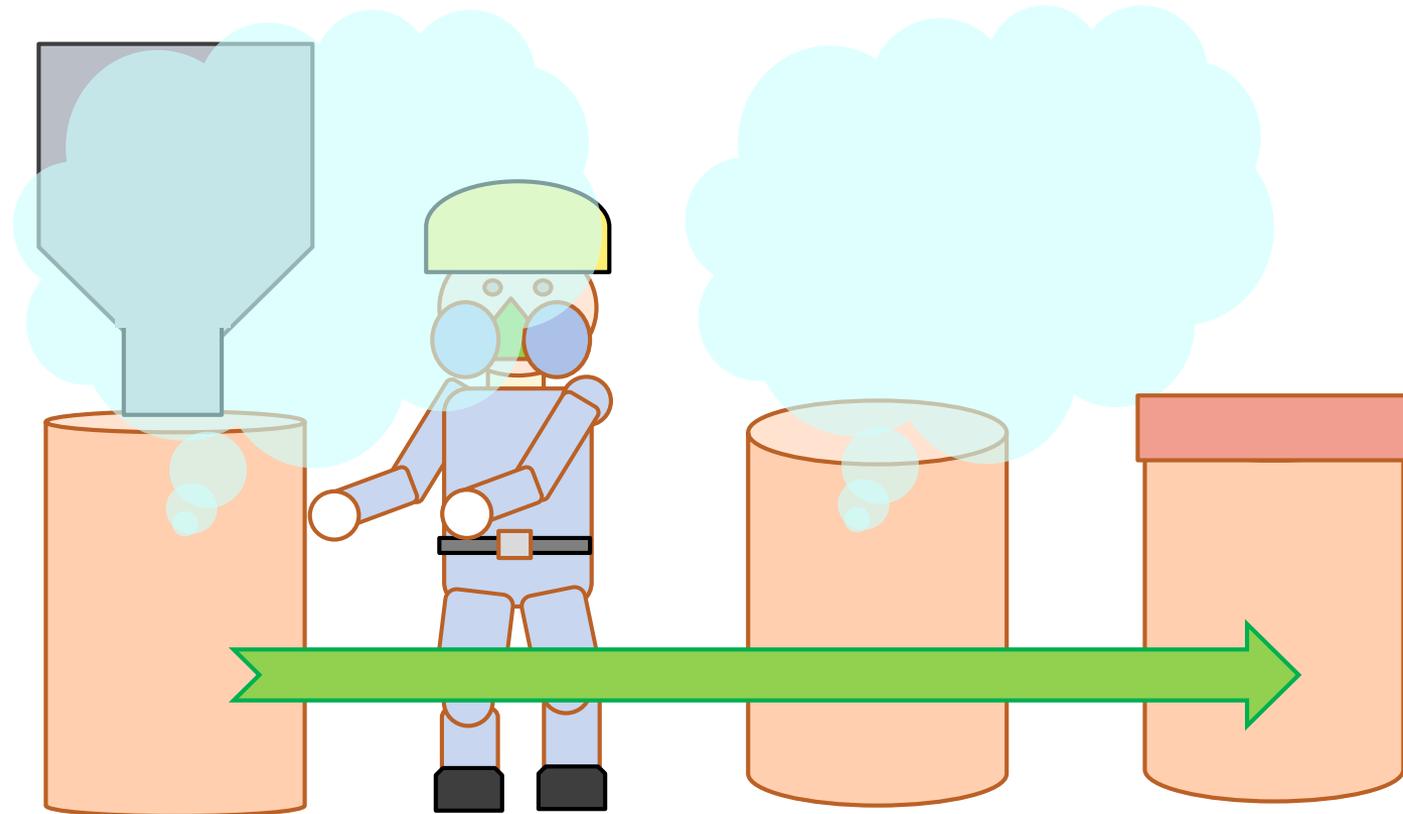
はかりのついた枠にフレコンバッグを吊す。枠からフレコンバッグを外してパレットにのせフォークリフトで倉庫へ

## 映写のみ

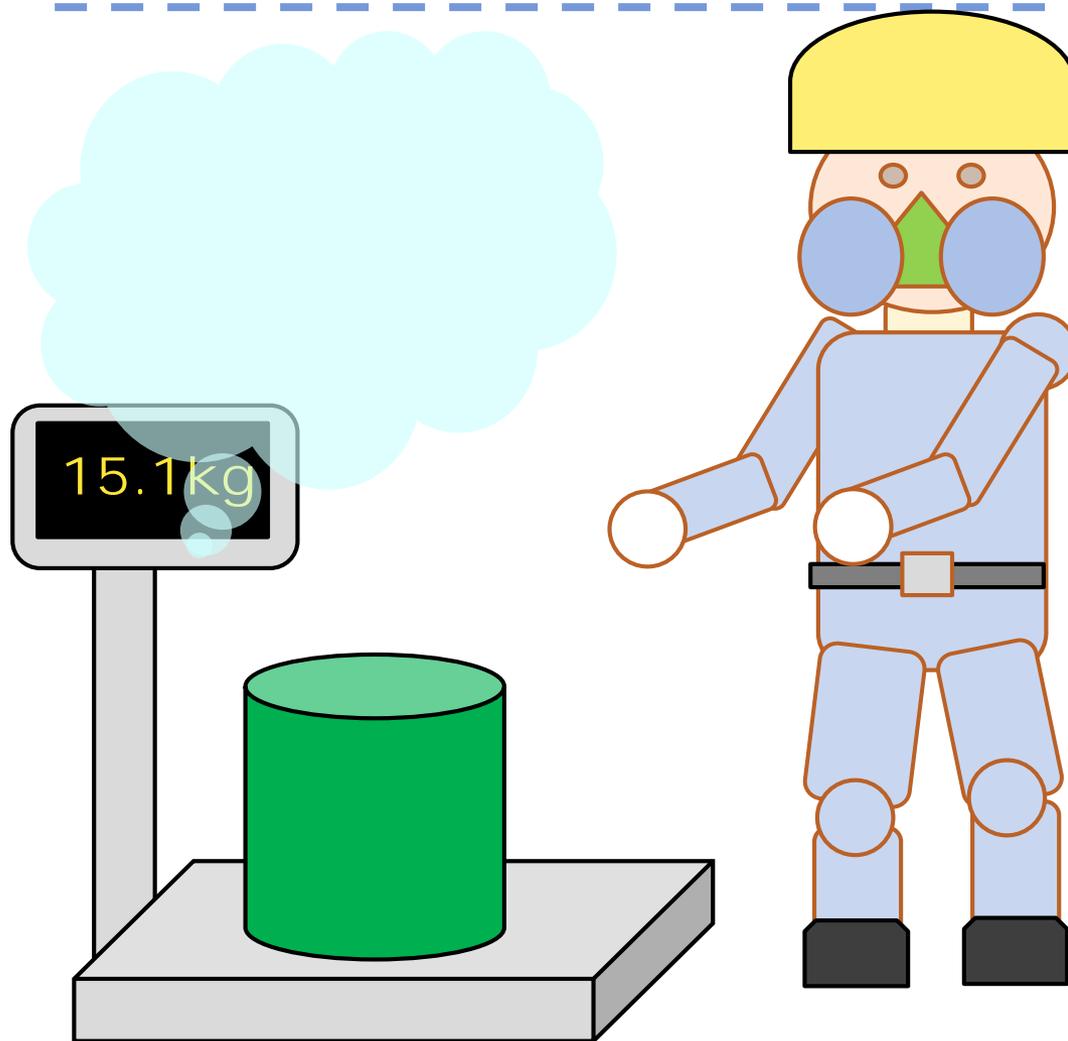
# 粉じん／粒子状物質のばく露リスクの 高い作業

計量

# 袋詰めにおけるばく露リスクが高い作業1



# 袋詰め



出荷する製品の量目を正しく合わせるために一旦ホッパーから紙袋・ドラム缶・内袋をかぶせた段ボール箱に粉体を大まかに詰めた後、秤の上でひしゃくで粉体を

# 袋詰めにおけるばく露リスクが高い作業2



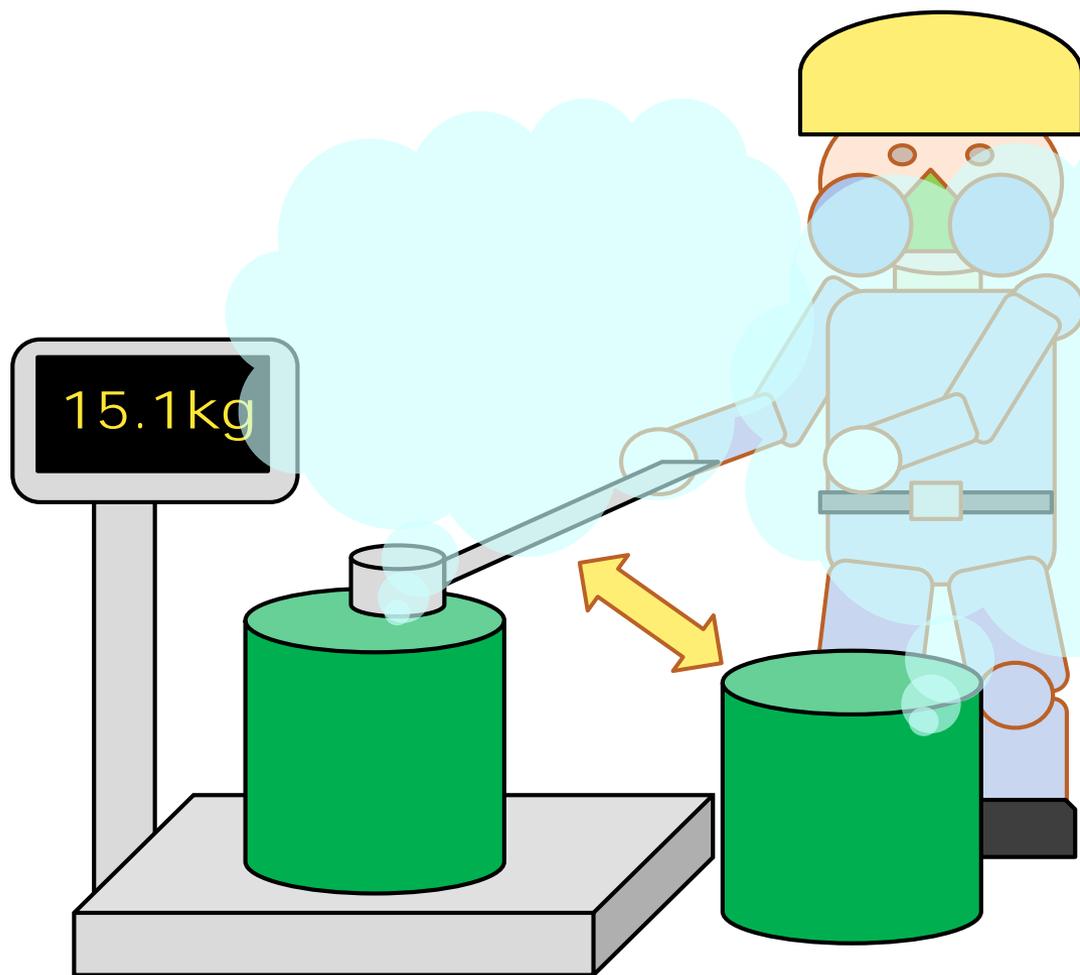
## 映写のみ

# 袋詰めにおけるばく露リスクが高い作業2



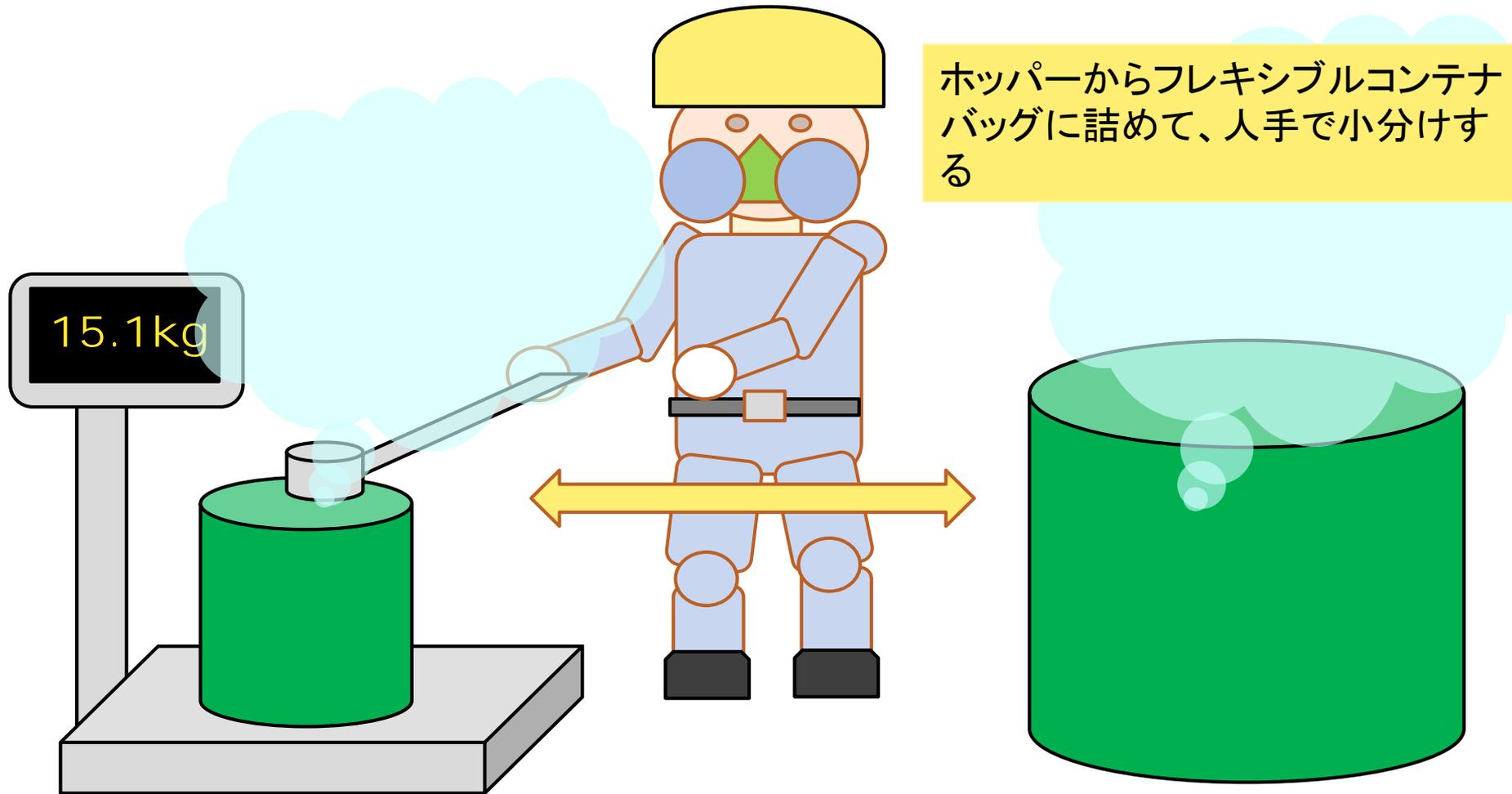
## 映写のみ

# 袋詰め



出荷する製品の量目を正しく合わせるために一旦ホッパーから紙袋・ドラム缶・内袋をかぶせた段ボール箱に粉体を大まかに詰めた後、秤の上でひしゃくで粉体を

# 袋詰め





# まとめ

# 粒子状物質による 健康障害を防止するために



我々の災害調査の経験から、粒子状物質ばく露を防ぎ新たな健康障害を予防するために下記の点について注意いただければと思います。

- ▶ たとえ食べて無害でも肺に入れば健康障害を引き起こす物質がある
- ▶ 粉じんは、ガス・蒸気とは飛散の仕方が異なる
- ▶ ホコリが目に見えてもうもうとしている状態でなくても粉じんは存在する
- ▶ 容器の再使用に際しては洗淨工程を工夫する
- ▶ 人手による粉体のハンドリングは避ける

