

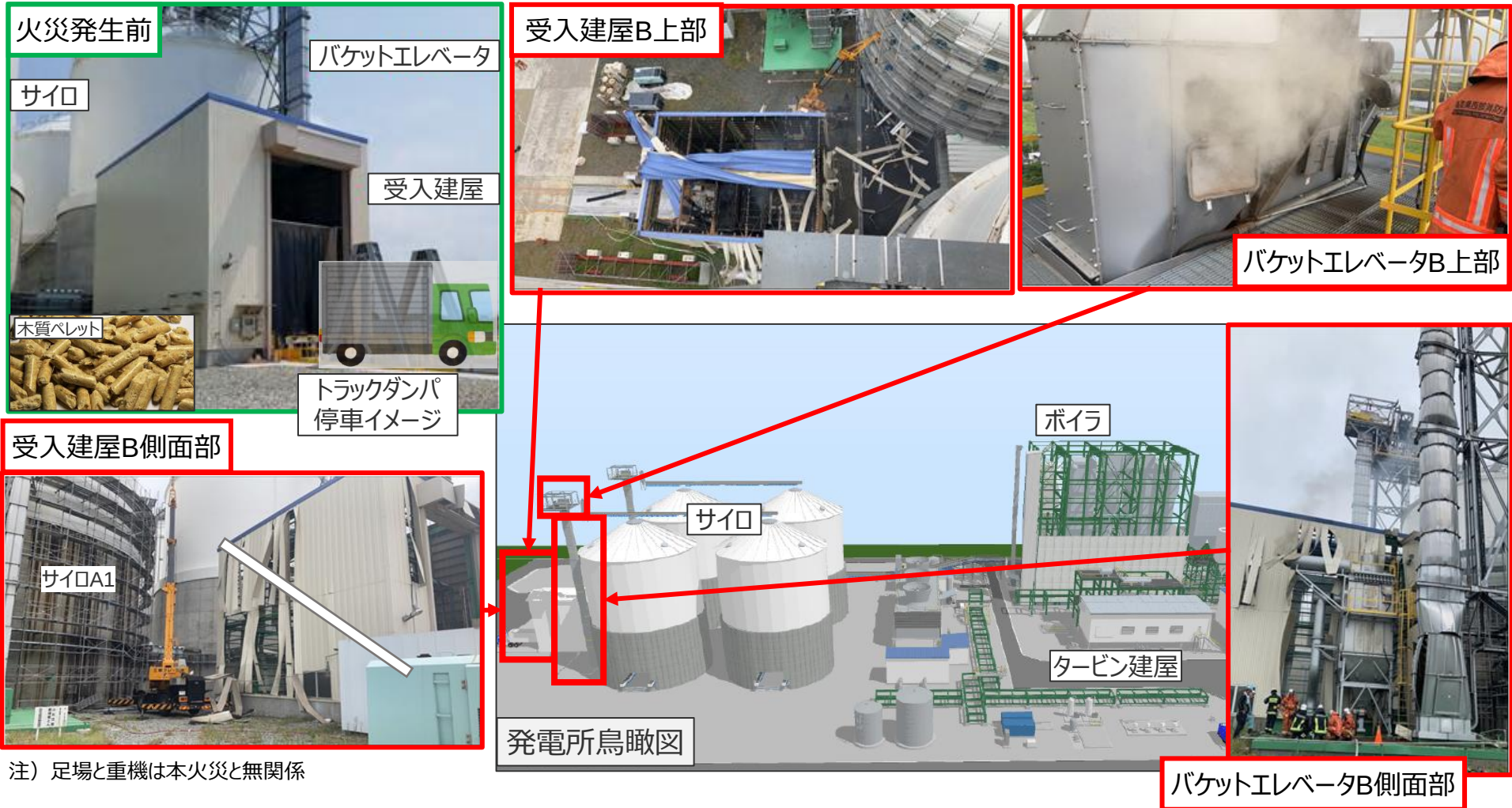
【米子バイオマス発電所】
バイオマス燃料受入設備の爆発を伴う火災事故
～第20回電気設備自然災害等対策ワーキンググループ～

2024年3月21日(木)
米子バイオマス発電合同会社

事故の概要

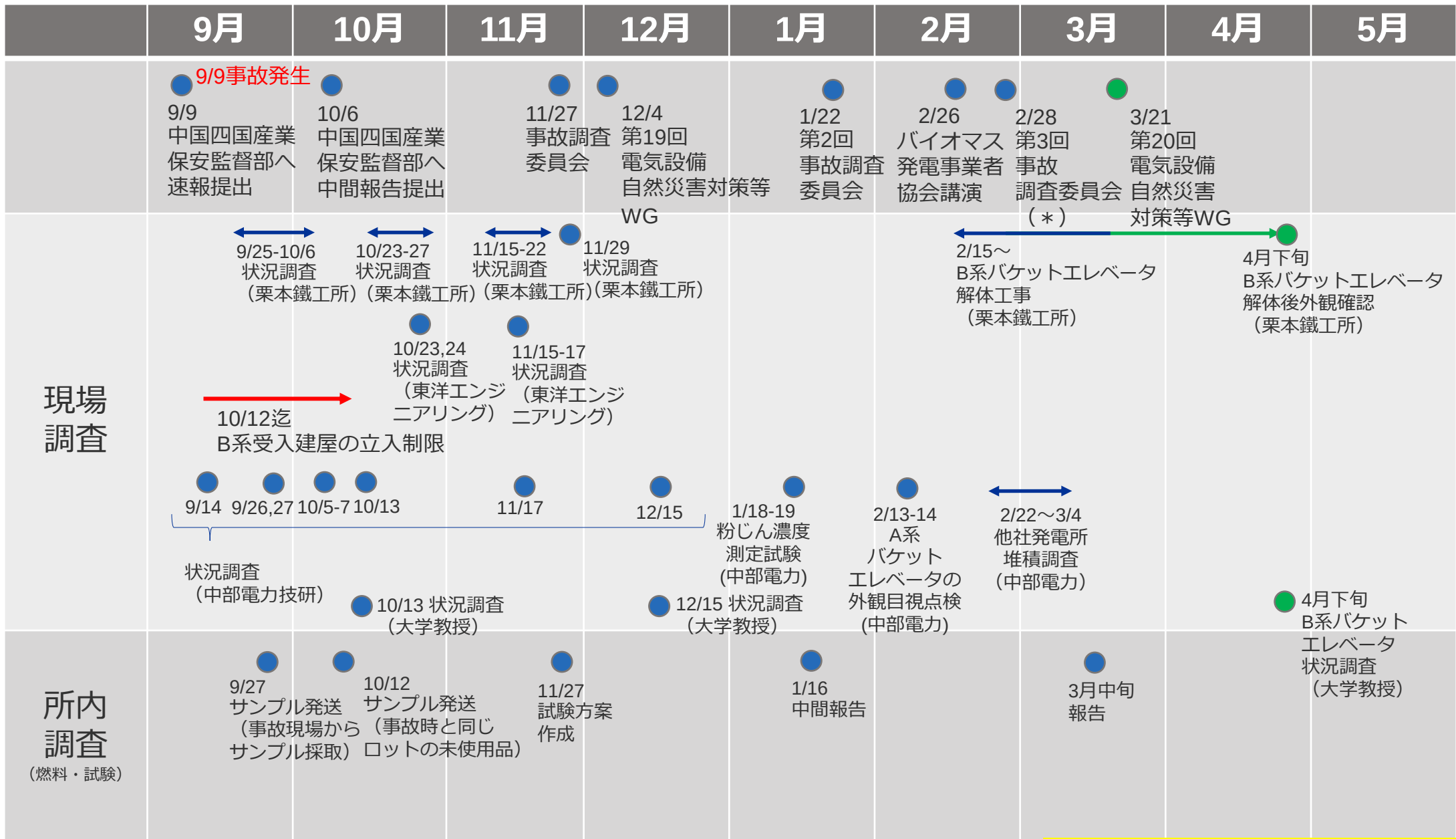
9/9（土） 9:22

受入建屋BおよびバケットエレベータB（稼働中）において爆発事故および爆発に伴う火災発生



* 爆発事故の原因究明を発電SPCより受託している中部電力が前回に続き説明実施します。

スケジュール



燃料に関する試験および調査結果サマリ

	未使用燃料 (港保管のコンテナ)	現場サンプル
	試験結果	試験結果
燃料品質要求	ISO-17225 I2グレード(*1)	—
機械的耐久性 (*2)	97.5% (I2グレード規程97%以上)	—
全水分	8.4% (I2グレード規程10%以下)	—
粒度分布測定 (500 μ m以下の粉体割合)	0.1wt%	2.6wt%
発酵試験	発酵小	発酵小
自然発熱性試験	温度上昇無し	温度上昇無し
着火温度	約180°C	約180°C
爆発限界下限濃度 (*3)	65-70g/m ³	—
最小着火エネルギー(*4)	10-30mJ	—
限界酸素濃度 (*5)	14-15%	—

問題なし

粉体割合は取扱いにより増加する

発酵反応は小であり、温度上昇もないことから、可燃性ガス発生は小と推定

爆発性は“中”。“高”ではない

【爆発限界下限濃度】

着火によって爆発を起こす下限濃度。

- ・バイオマス燃料は文献値でも**60g/m³程度**
- ・試験結果は文献値と良く一致している

【参照規格】

*1 ISO-17225; 固体バイオ燃料 燃料の仕様とクラス

I2グレード:森林、プランテーション、その他の未使用の木材/化学的に処理されていない森林残渣

*2 EN15210-1「固体バイオ燃料 - ペレットおよびブリケットの機械的強度の測定試験」

*3 JIS Z 8818:2002「可燃性粉じん爆発下限濃度測定法」

*4 JIS Z 8834「粉じん・空気混合物の最小着火エネルギー測定方法」

*5 JIS Z 8817「可燃性粉じんの爆発圧力及び圧力上昇速度の測定方法」

①粉体割合は取扱いにより増加する

②発酵反応は小であり、温度上昇もないことから、可燃性ガス発生は小と推定

③爆発性は“高”ではないが、複合的に悪条件が揃うことで爆発する可能性はある

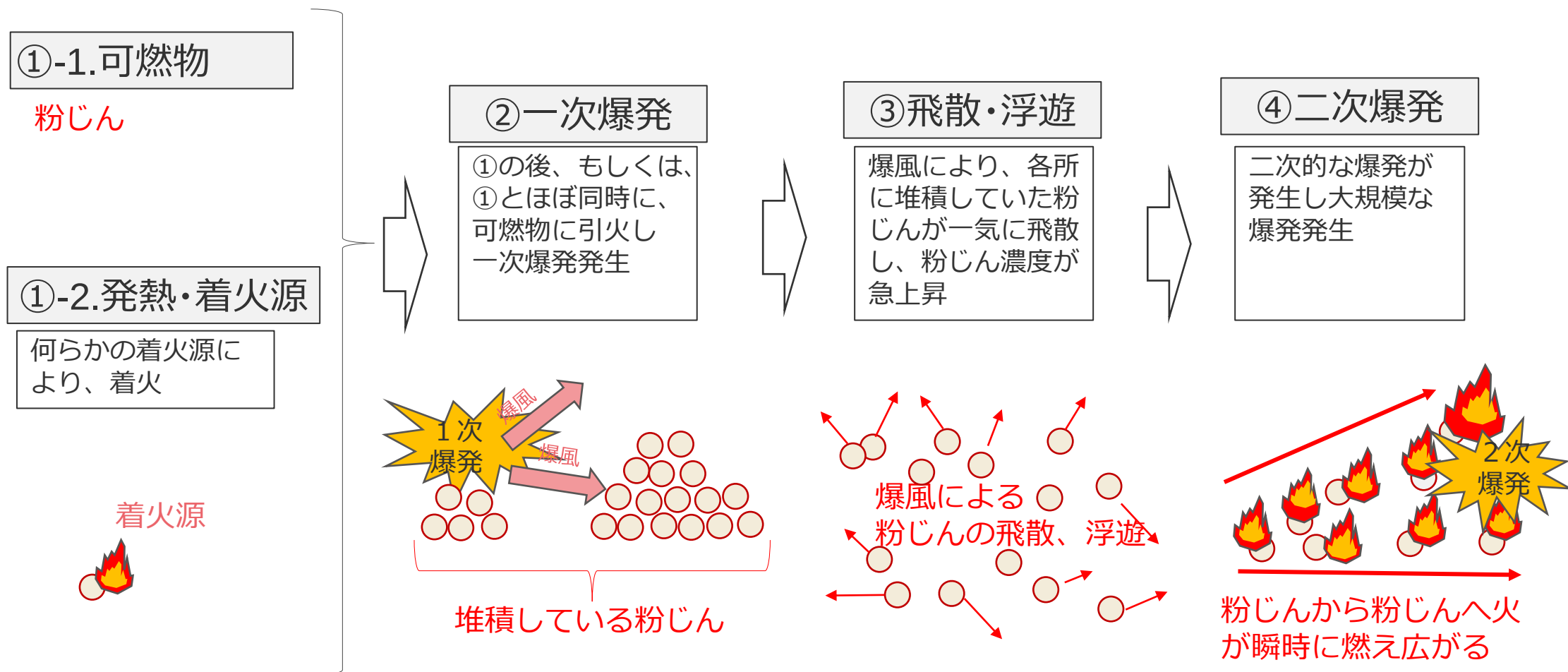
粉じん爆発のメカニズムと、着火から二次爆発までのフロー

・粉じん爆発

ある一定の濃度の可燃性の粉じんが気体中に浮遊した状態で、着火源より引火して爆発を起こす現象

・爆発につながる5要素

A.粉じん源 B.粉じん飛散、浮遊 C.着火源 D.閉空間（該当：バケットエレベータ、コンベヤ内は閉空間） E.酸素（該当：空気中の酸素）



着火源の位置について

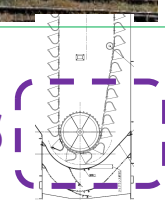
◇ バケットエレベータ

- ・ 事故時にアラームが一番初めに鳴っている
- ・ 映像からバケットエレベータ地上部⇒上部の発火が確認できる
(逆にたどると、地下部がスタートと考えられる)
- ・ バケットエレベータのケーシングの変形が大きい
(爆発による噴破口もあり)

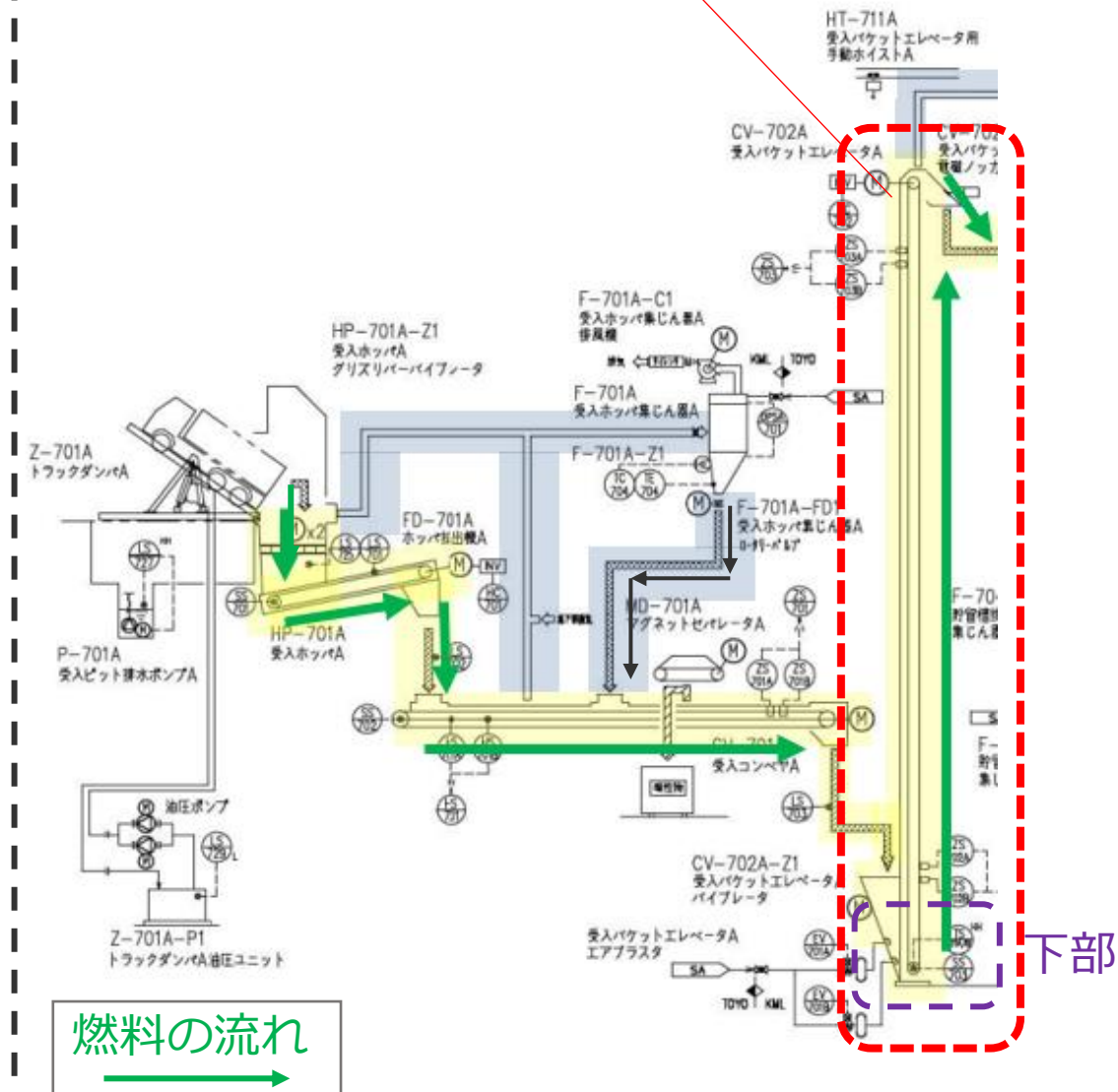


地下

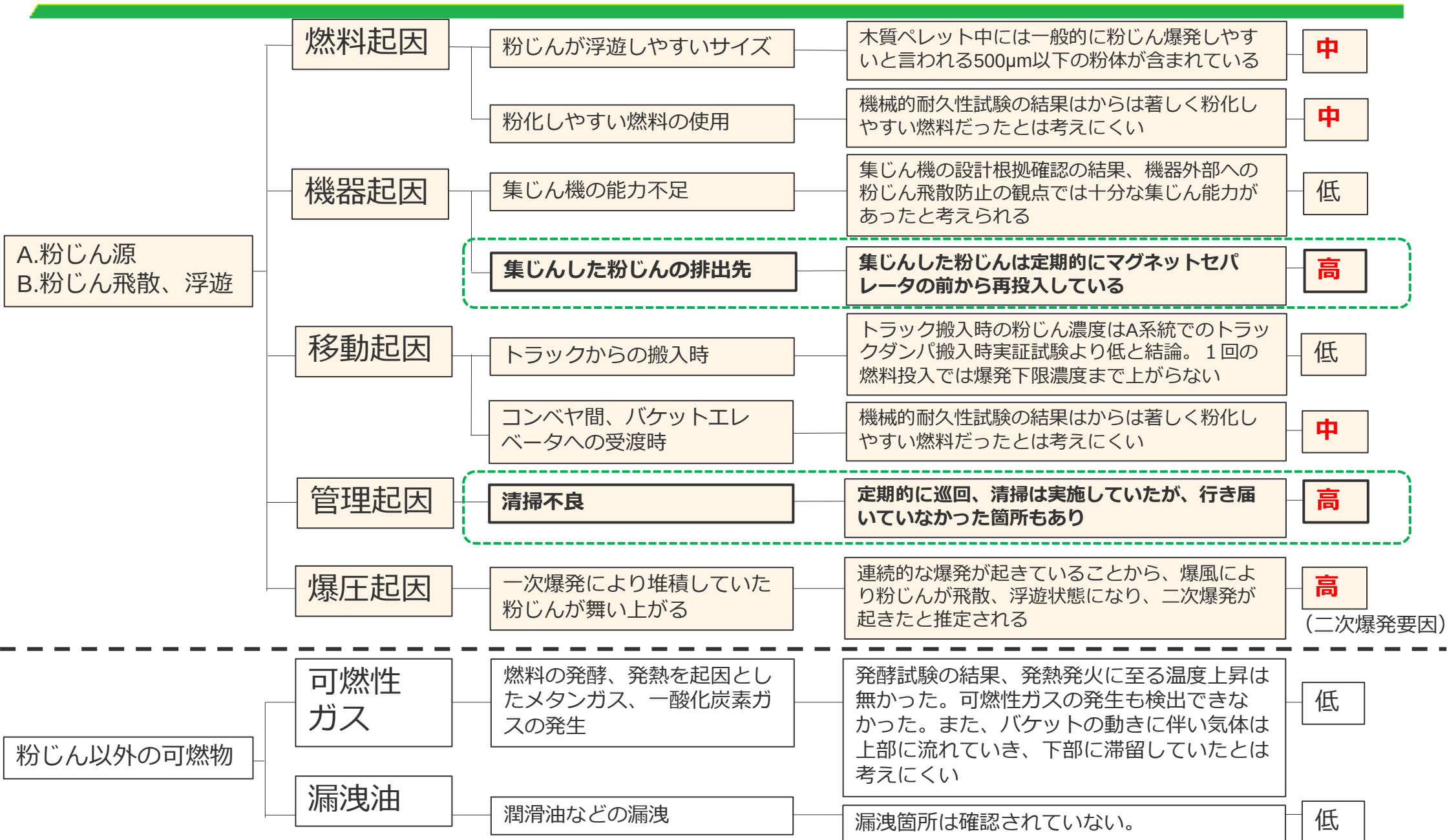
下部



バケットエレベータコンベヤ

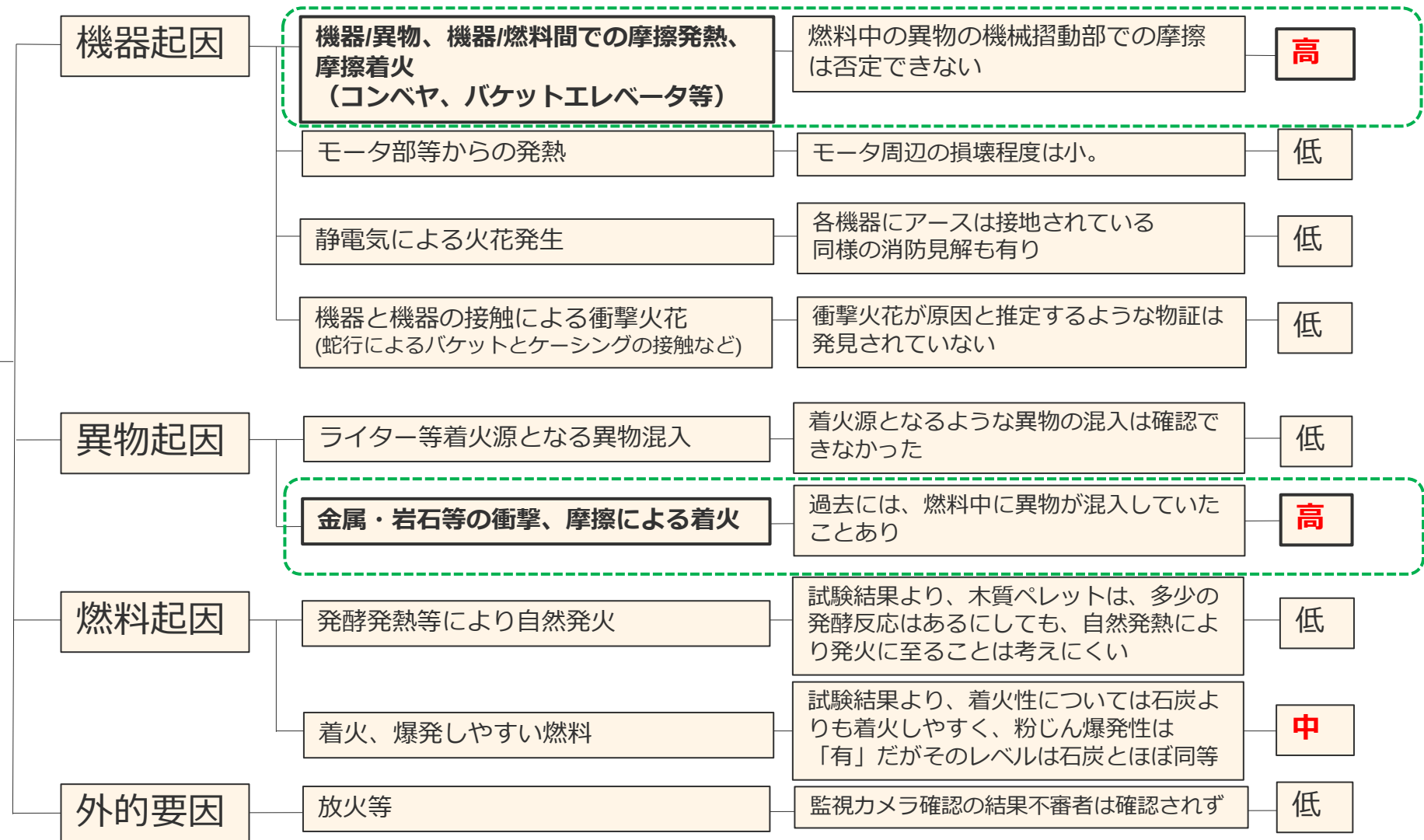


可燃物に関する可能性検討



着火源に関する可能性検討

C. 着火源



1次爆発に寄与した“高”の項目

- ①集じんした粉じんの排出先
- ②清掃不良
- ③機器/異物、機器/燃料間での摩擦発熱、摩擦着火
- ④金属・岩石等の衝撃、摩擦による着火（バケットエレベータ）

①集じんした粉じんの排出先

「集塵した粉塵の再投入」により粉じん濃度を増している

・ 集じん機



・ ろ布



定期的逆洗実施

コンベヤに戻す

集じん機からの
再投入ライン

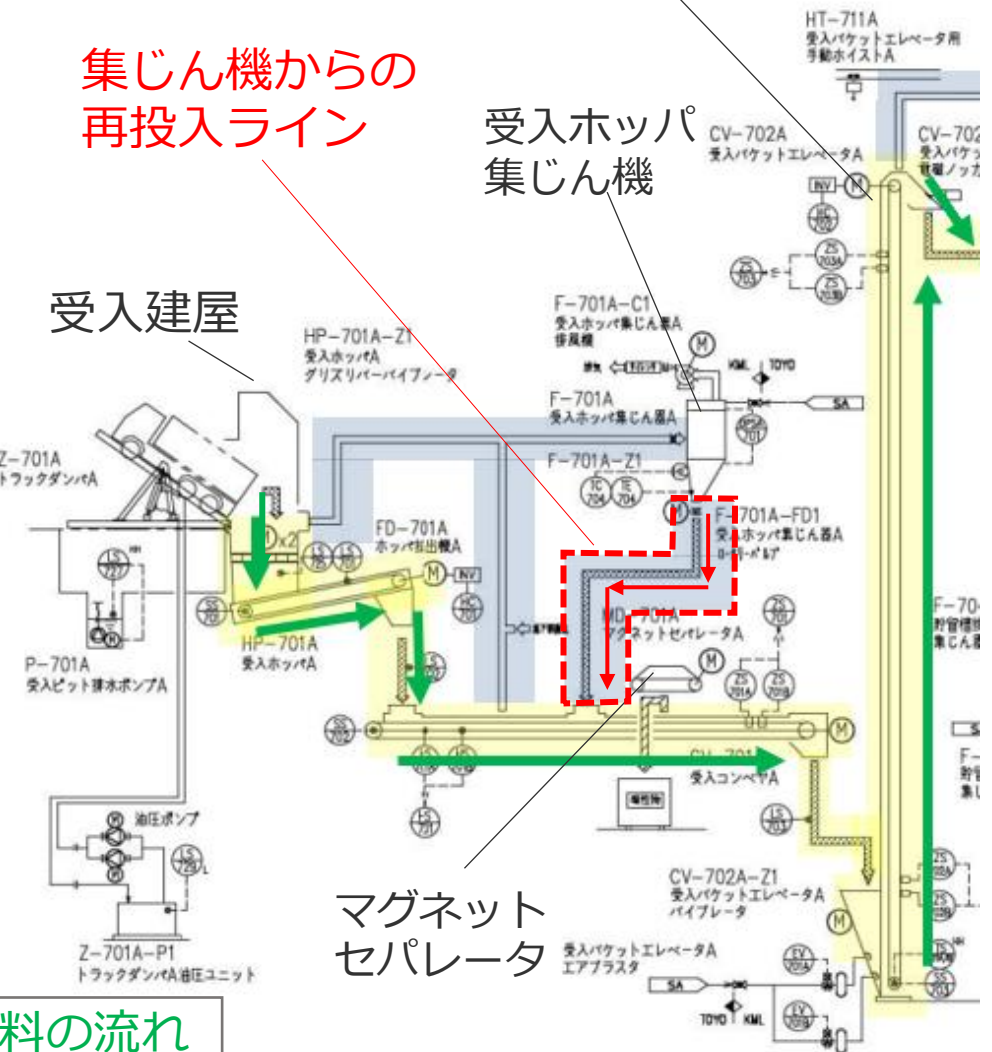
バケットエレベータコンベヤ

受入ホッパ
集じん機

受入建屋

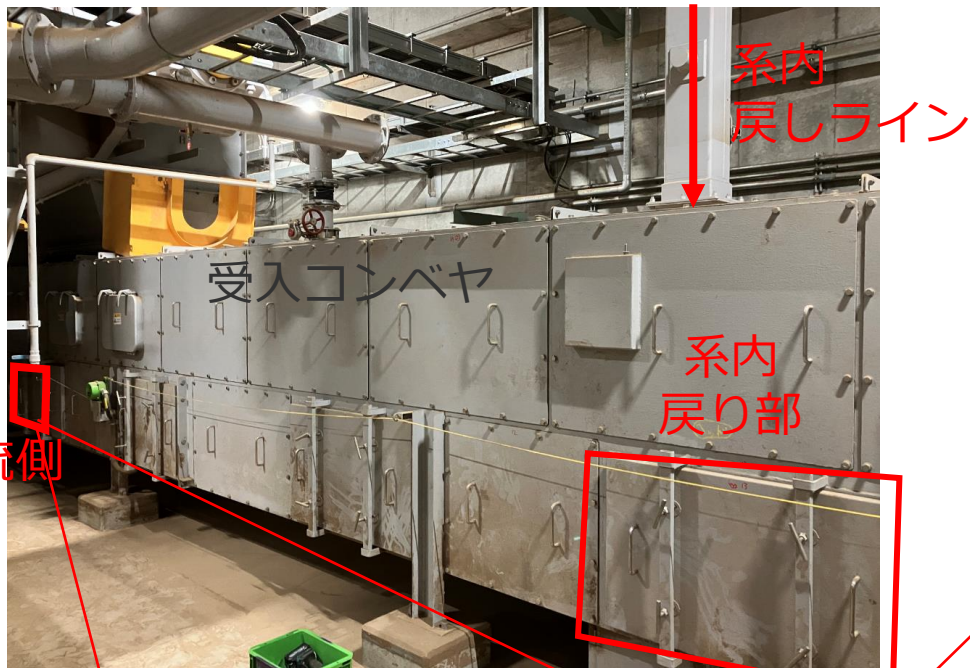
マグネット
セパレータ

燃料の流れ

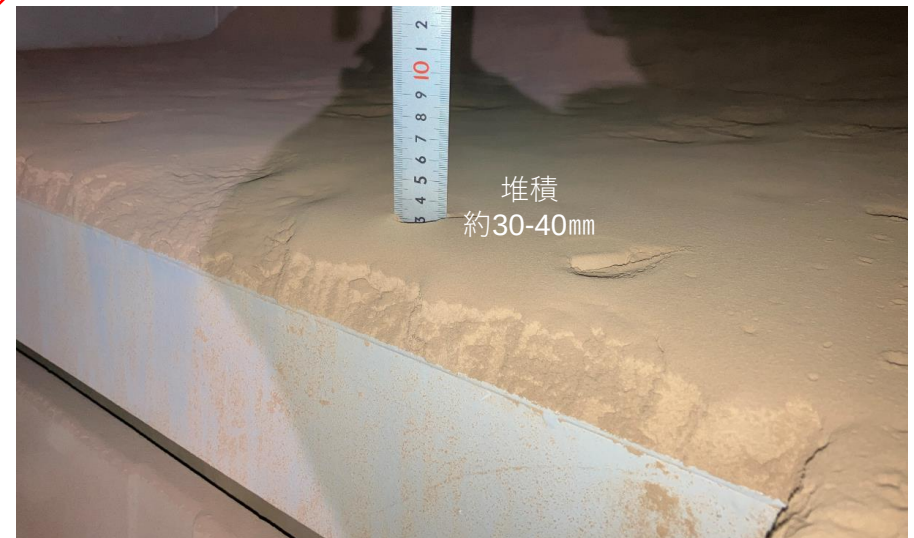
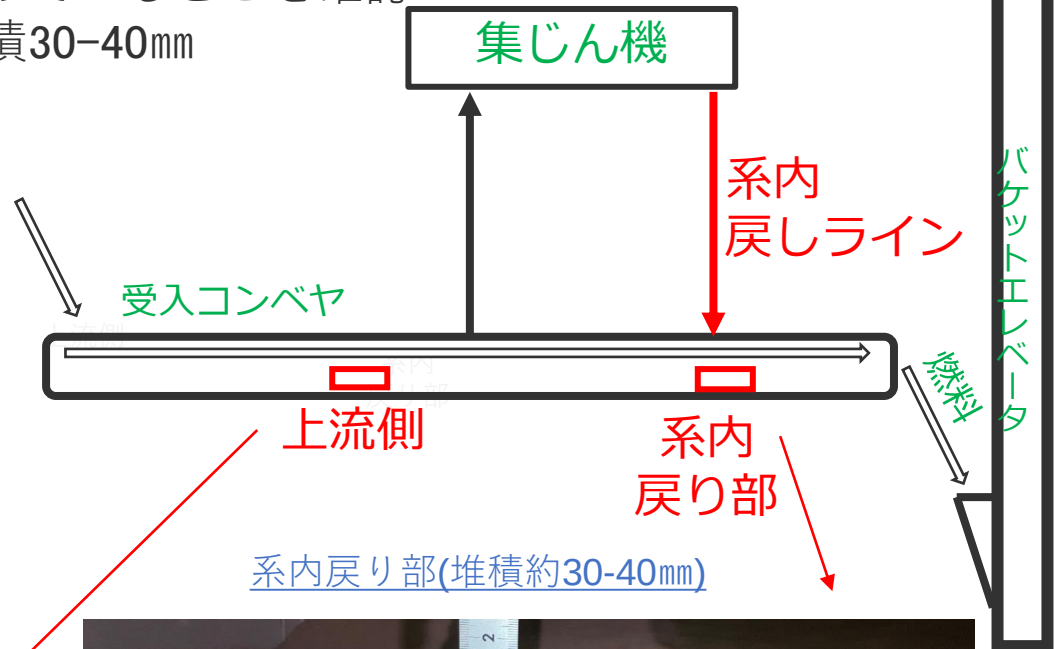
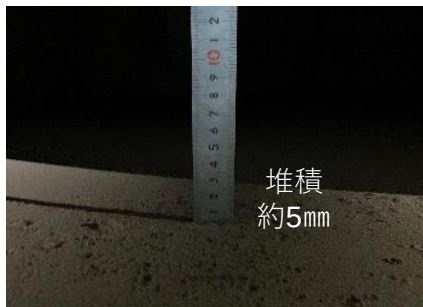


①集じんした粉じんの排出先

- ・米子と類似した他発電所にて堆積状況を調査
- ・受入コンベアの系内戻り後、堆積量が大となっていることを確認
⇒上流側は堆積約5mm/ 系内戻り部が堆積30-40mm

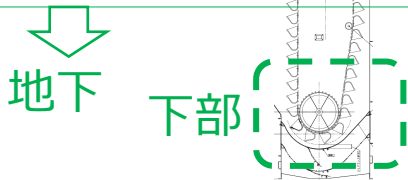


上流側(堆積約5mm)



②清掃不良

・外観
バケットエレベータ



A系

爆発無し

(WP、PKS兼用)

最終清掃日：2023/6

・ A系清掃後

・ A系清掃前



B系

爆発有り

(WPのみ)

最終清掃日：2022/12

・ B系爆発後



ナイロン製

SUS製
(約50個に1個)

* A系統とB系統では、燃料の違いありA系統は参考扱い
A系統：木質ペレットor PKS（水分多く付着しやすい）
B系統：木質ペレット

* B系統は、爆発の影響あり

②清掃不良

- ・バケットエレベータ下部に関しては**清掃が不十分であると判断**

B系は2022/12を最後に清掃されていない

2022/6～2023/9の1年3ヶ月間の実績

A系：清掃4回＋点検2回

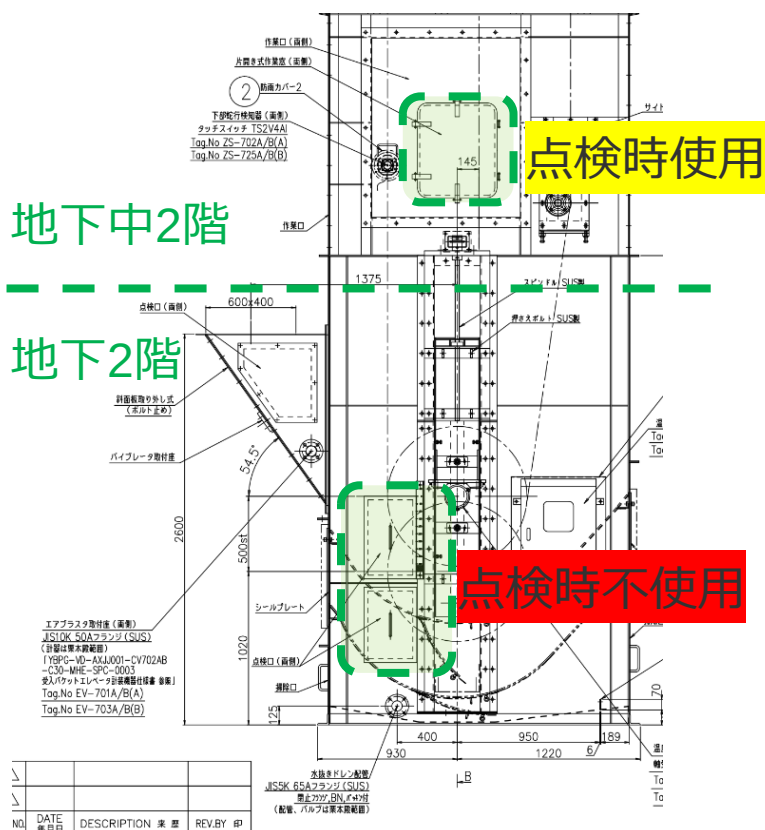
B系：清掃1回＋点検3回

点検は、**地下中2階点検口からのみ確認**

《きちんと隅まで確認できていない可能性有》

- ・地下2階
(工具が無いと開かない)

- ・地下中2階の点検口
(ワンタッチ式)



②清掃不良

《点検口の構造》

- ・ 工具が無いと開かない
- ・ 開放に時間かかる構造である



《掃き出したものの吸い上げ》

- ・ 掃き出したものを吸上げが容易ではない



《点検の頻度や方法》

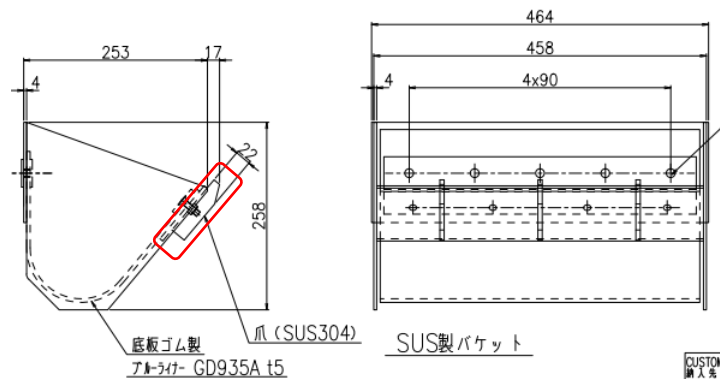
- ・ 爆発防止の観点でルールが定められていたわけではない

点検ルール

☒	_____
☒	_____
☒	_____
☐	_____
☐	_____
☐	_____

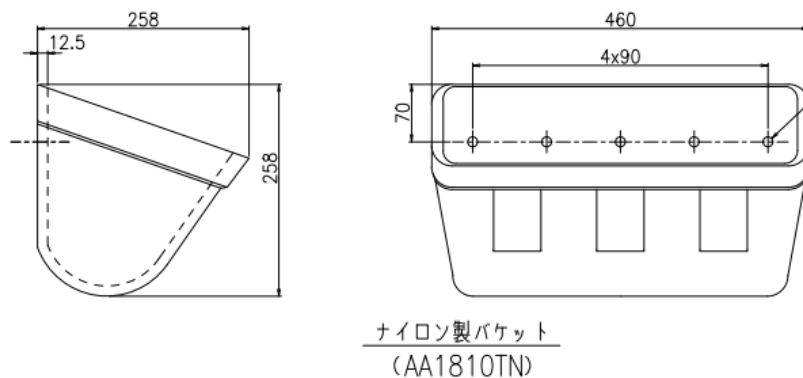
③機器/異物、機器/燃料間での摩擦発熱、摩擦着火（バケットエレベータ）

・ SUS製バケット



7個

・ ナイロン製バケット

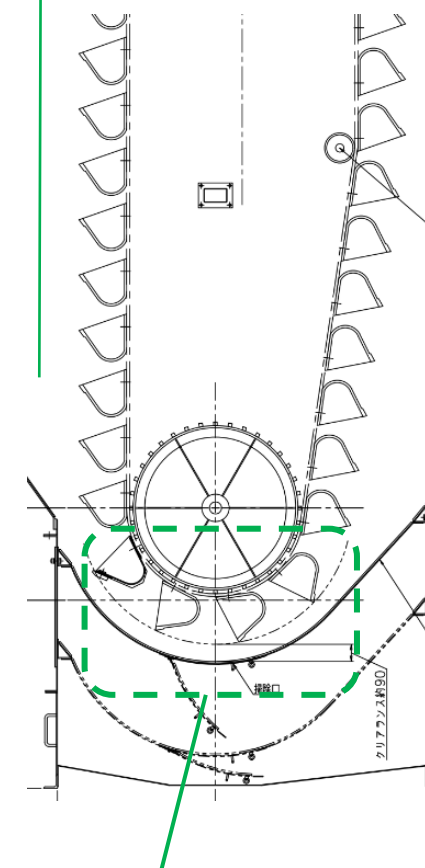


332個

ナイロン製

SUS製
(50個に1個)

約3.3m/秒



・ 異物との摩擦発熱、
摩擦着火は否定できない
・ 空気の流れを生む元にも
なっている

④金属・岩石等の衝撃、摩擦による着火

◎異物混入

マグネットセパレータで回収できなかった異物が、
バケットエレベータのSUS製バケットと衝突して火花が発生した可能性有り
(石や非鉄金属も可能性と上げられる。)

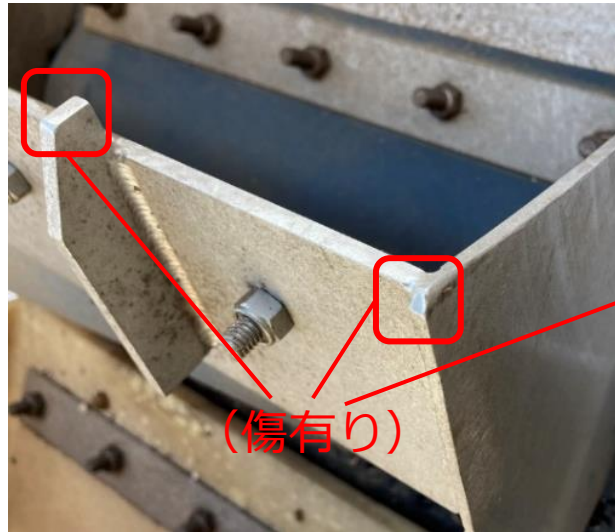
《考察：最初の爆発はバケットとの接触だったと考える》

《調査：バケットエレベータを解体し、摩擦痕、異物等ないか確認（実施中）》

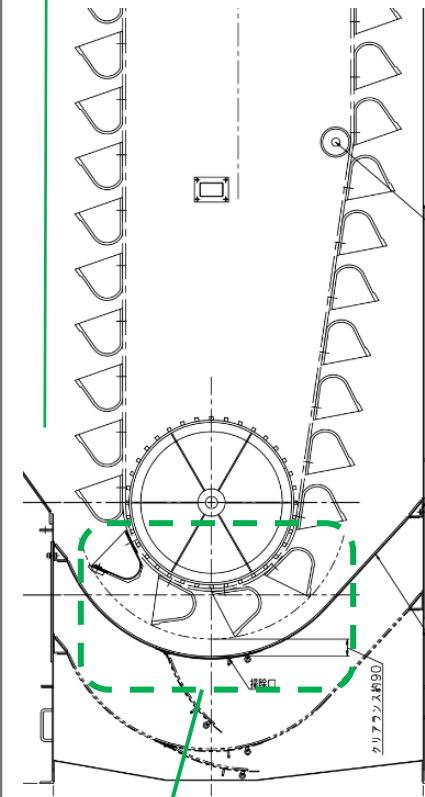
*参考 過去にマグネットセパレータ後流（ボイラ炉底灰）で発見された異物例



*参考：B系のバケット（解体調査・検証中）



約3.3m/秒



◎参考：摩擦着火試験



- ・異物模擬：自然錆付き鋼材
- ・バケット模擬：SUS製試験片
- ・接触させて火花がでるかの確認を実施

- ・自然錆付き鋼材とSUS材の接触により火花が発生する事は確認

・異物との摩擦発熱、
摩擦着火は否定できない
・空気の流れを生む元にもなっている



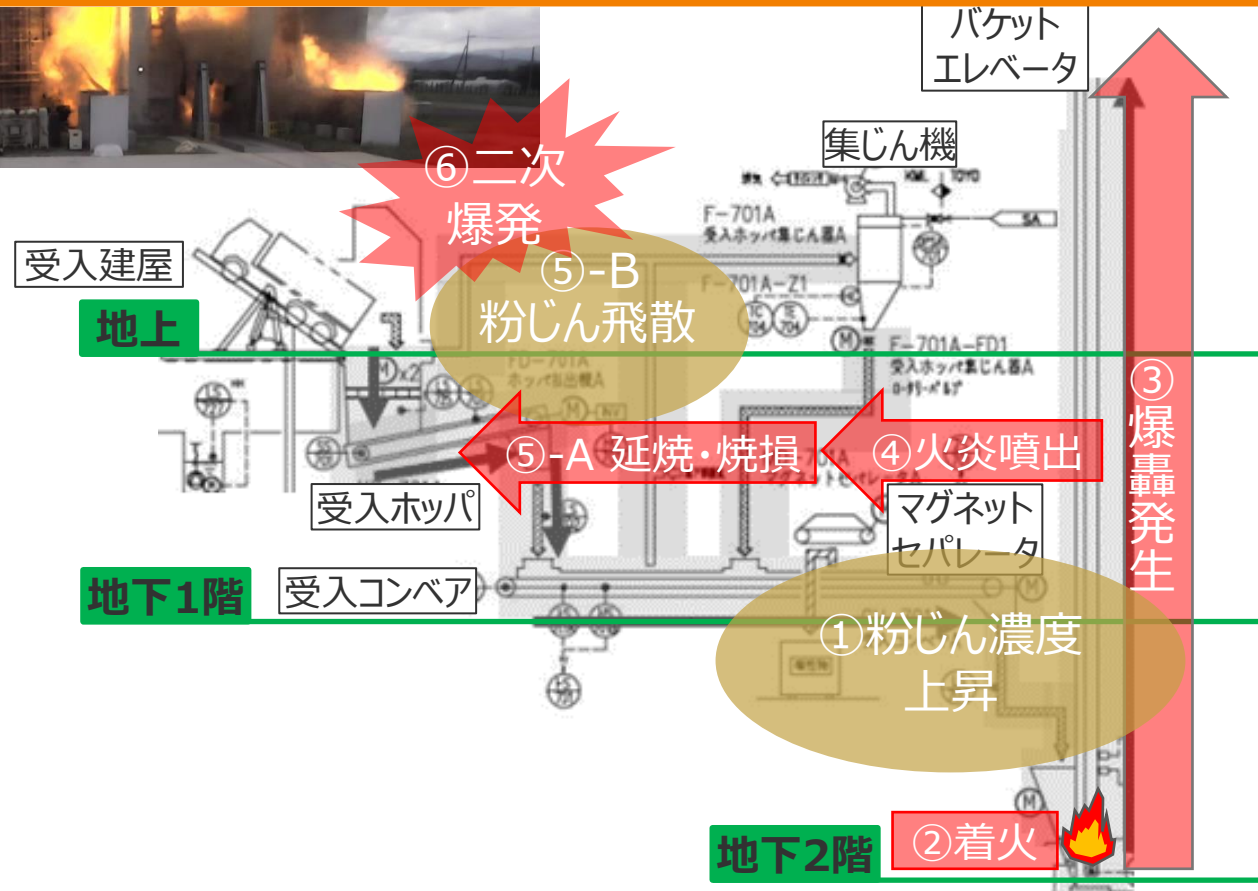
可燃性ガスの滞留、
爆発は考えにくい
(詳細は添付1)

調査結果から推定した爆発火災のメカニズム

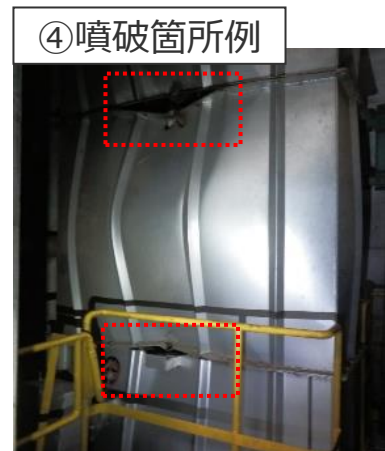
- ① 清掃不良、集じん機で回収した粉じんの再投入、搬送による移動時の粉じん飛散等の複合要因により粉じん濃度上昇
- ② 地下2階のバケットエレベータ下部で異物と金属製バケットの衝突・摩擦により着火
- ③ バケットエレベータ下部から上部へ向けて爆轟（火炎が音速を超える速さで衝撃波を伴い伝播する現象）が発生
- ④ 爆轟によりバケットエレベータのケーシングを噴破した箇所から火炎が噴出
- ⑤-A 噴出した火炎により、地下1階のマグネットセパレータおよび受入コンベアが焼損
- ⑤-B 地下1階受入コンベアおよび地上受入建屋内に堆積していた粉じんが飛散
- ⑥ 二次爆発により受入建屋が損壊・焼損



⑥二次爆発の様子



③爆轟の様子



④噴破箇所例

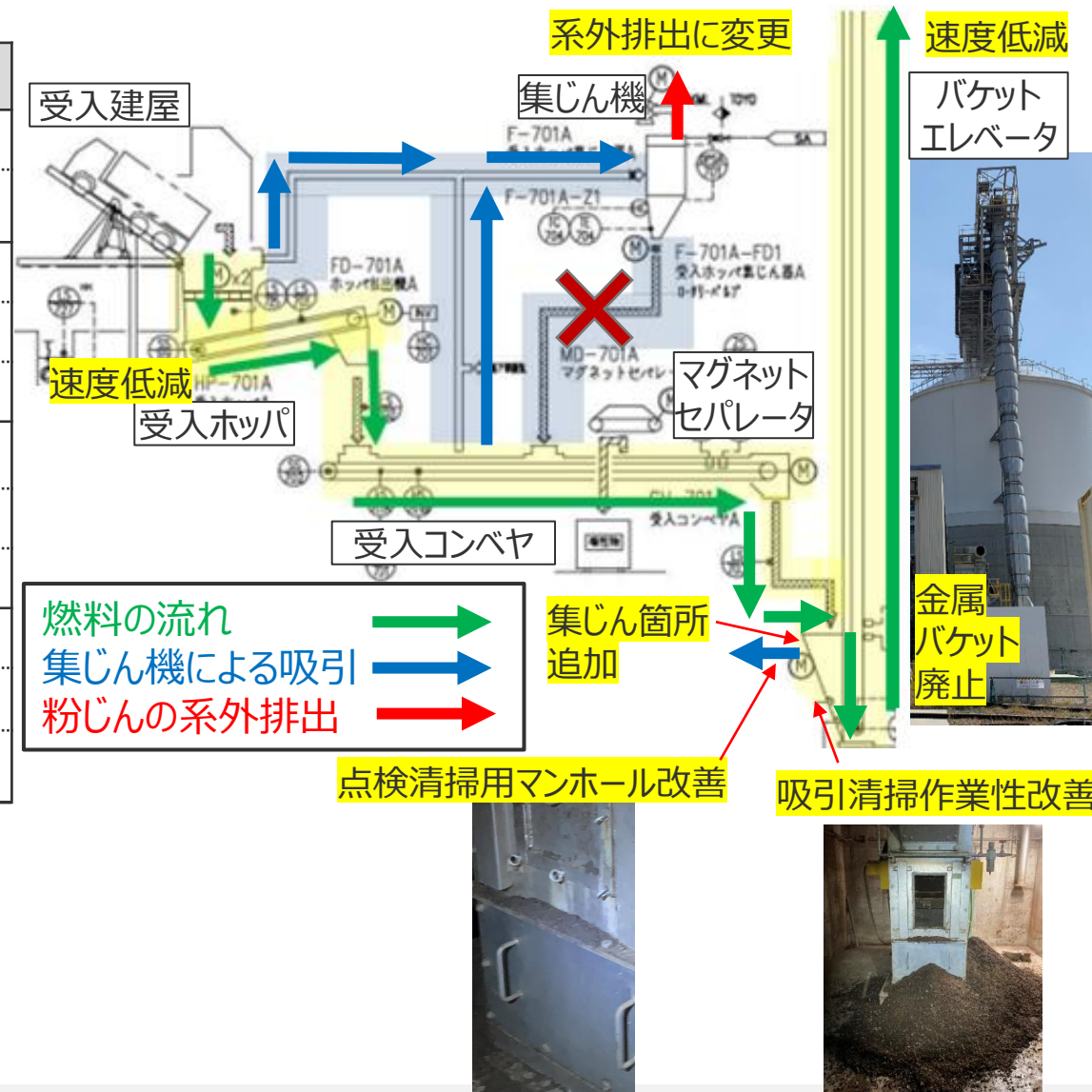
【対策方針】

- ・着火防止
- ・清掃改善
- ・粉じん飛散低減

再発防止対策案

○「清掃改善」、「粉じん飛散低減」、「着火防止」を柱とした対策に加え、「監視強化」を実施予定

目的	主な対策内容
着火防止	バケットエレベータのSUS製バケット廃止 コンベヤおよびバケットエレベータの速度低減
清掃改善	点検清掃用マンホール改造・増設による作業性改善 吸引清掃用配管追加による作業性改善 清掃ルールの方定
粉じん飛散低減	集じん機再投入ラインを廃止して系外排出に変更 トラックダンパの受入速度低減 集じん力強化（バケットエレベータ下部への集じん口追設）
監視強化	受入ホッパ湿度計追設 受入ホッパ・コンベヤ可燃性ガス検知器追設 バケットエレベータ底部、マグネットセパレータ内部温度計追設



- ・今回得られた知見は、業界団体等を通じ広く共有する
- ・事象が複合要因だったことから、各発電所の設備に応じて、着火リスクの低減、浮遊粉じんの低減の対策をとることが重要

例：着火リスク = バケット素材 × スピード × 異物
 浮遊粉じん = 粉じん源 × 飛散 × 清掃不足
 ⇒掛け算の積が0に近づく対策が必要

◎ 添付 1

ガス爆発の可能性について

以下の考察から、多量の可燃性ガスがバケットエレベータ下部に滞留していた可能性は低く、可燃性ガス爆発だった可能性は低いと考える

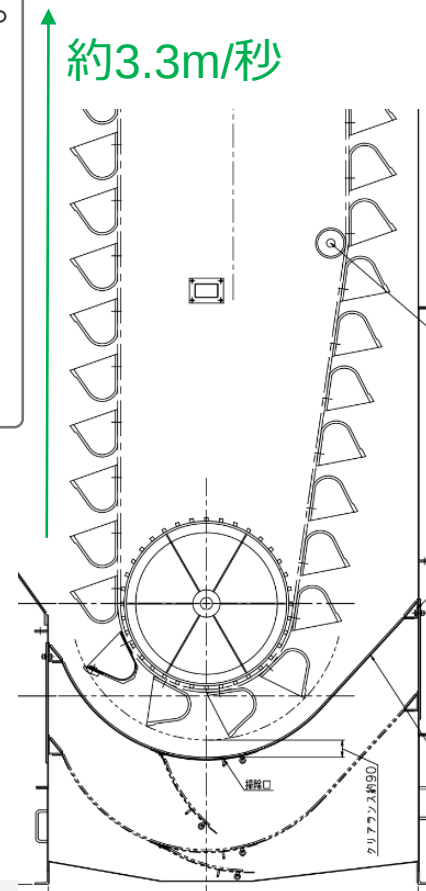
ポイント1 空気の流れ

- ・バケットエレベータ稼働中の爆発だった。バケットは約3.3m/sで動いていた。
- ・気体はバケットエレベータの動きに伴い上に動く。
- ・バケットエレベータ下部に可燃性ガスが滞留して爆発した可能性は低いと考える。

ポイント2 試験結果

試験結果より**多量の可燃性ガスが発生した可能性は低い**と考える

- ・全水分：8.4% →管理値（max10%）の範囲内、水分は少なく、発酵の可能性低
- ・自然発火性試験：温度上昇なし
- ・発酵試験-ラボ試験：発熱発火リスク低 →発酵するが、発熱発火に至る可能性低



◎ 添付 2 恒久対策詳細

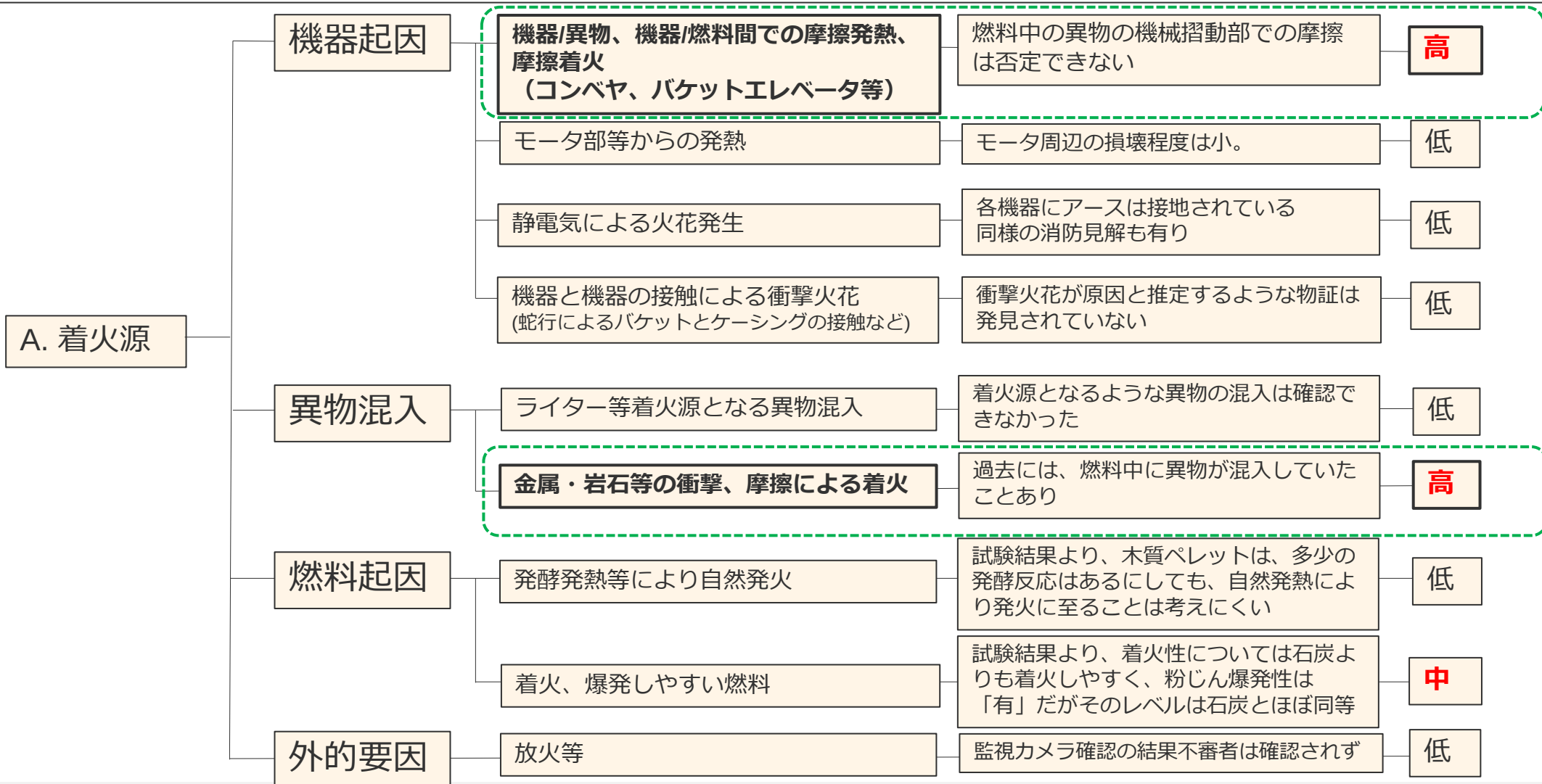
着火源に関する可能性検討

・粉じん爆発

ある一定の濃度の可燃性の粉じんが気体中に浮遊した状態で、着火源より引火して爆発を起こす現象

・爆発につながる5要素

A.着火源 B.粉じん源 C.粉じん飛散、浮遊 D.閉空間（該当：バケットエレベータ、コンベヤ内は閉空間） E.酸素（該当：空気中の酸素）



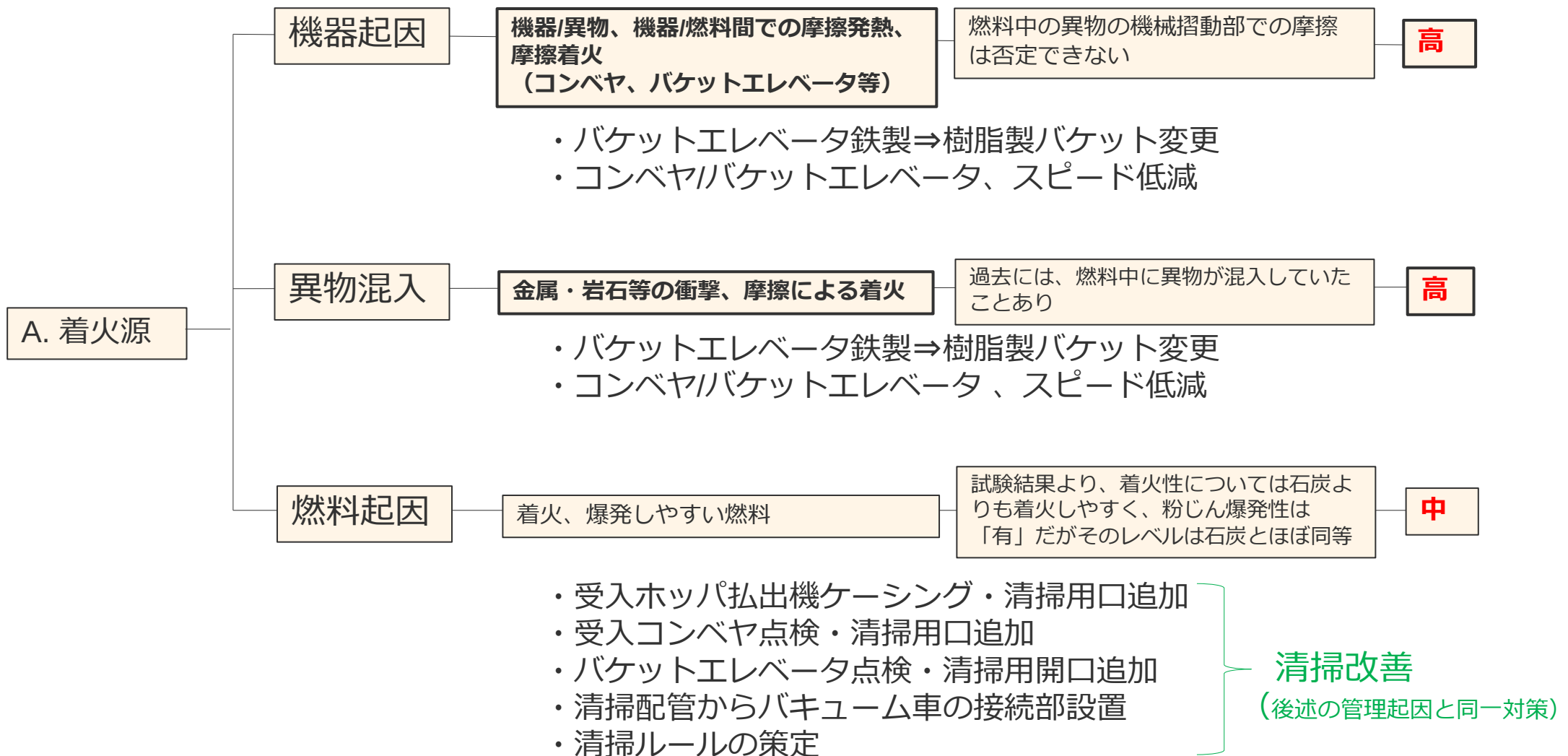
着火源に関する恒久対策案

・粉じん爆発

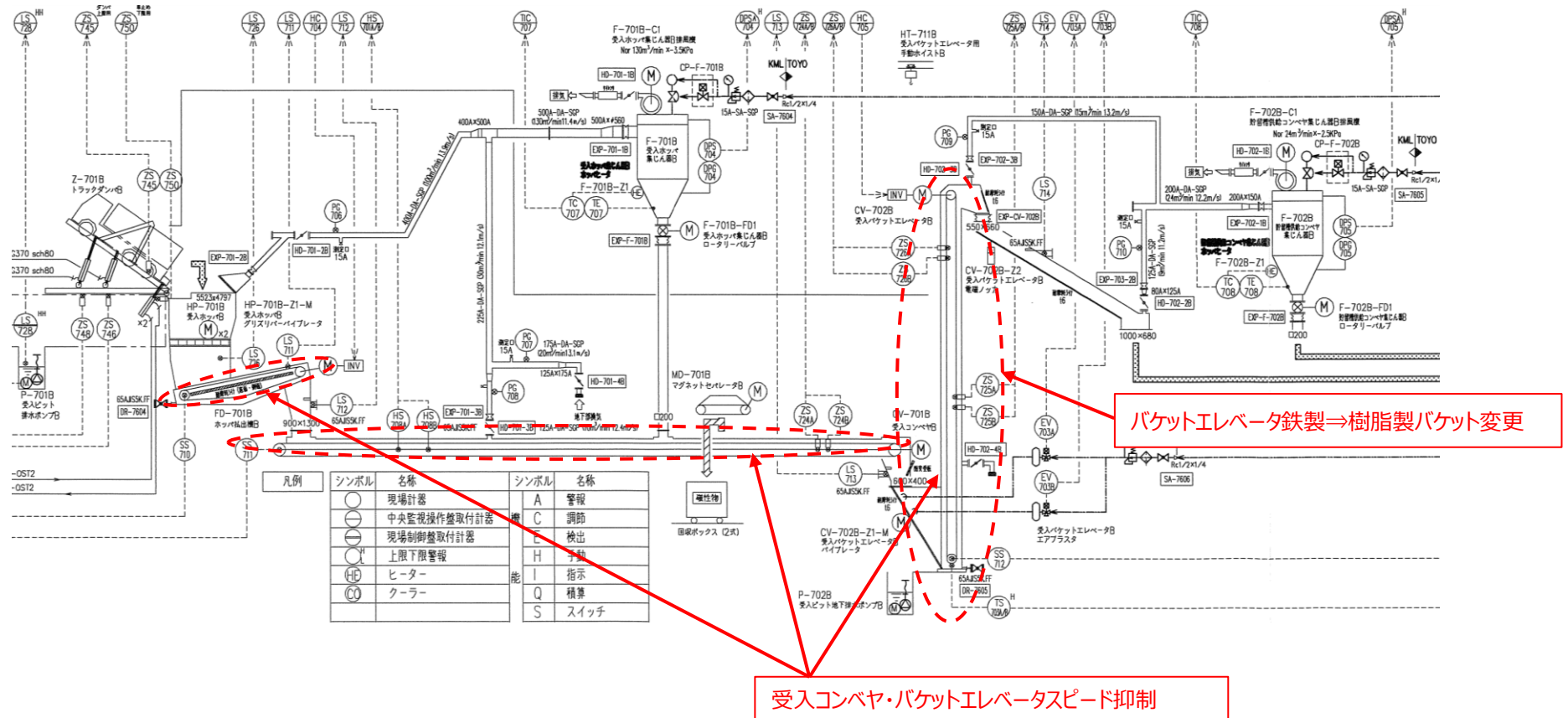
ある一定の濃度の可燃性の粉じんが気体中に浮遊した状態で、着火源より引火して爆発を起こす現象

・爆発につながる5要素

A.着火源 B.粉じん源 C.粉じん飛散、浮遊 D.閉空間（該当：バケットエレベータ、コンベヤ内は閉空間） E.酸素（該当：空気中の酸素）

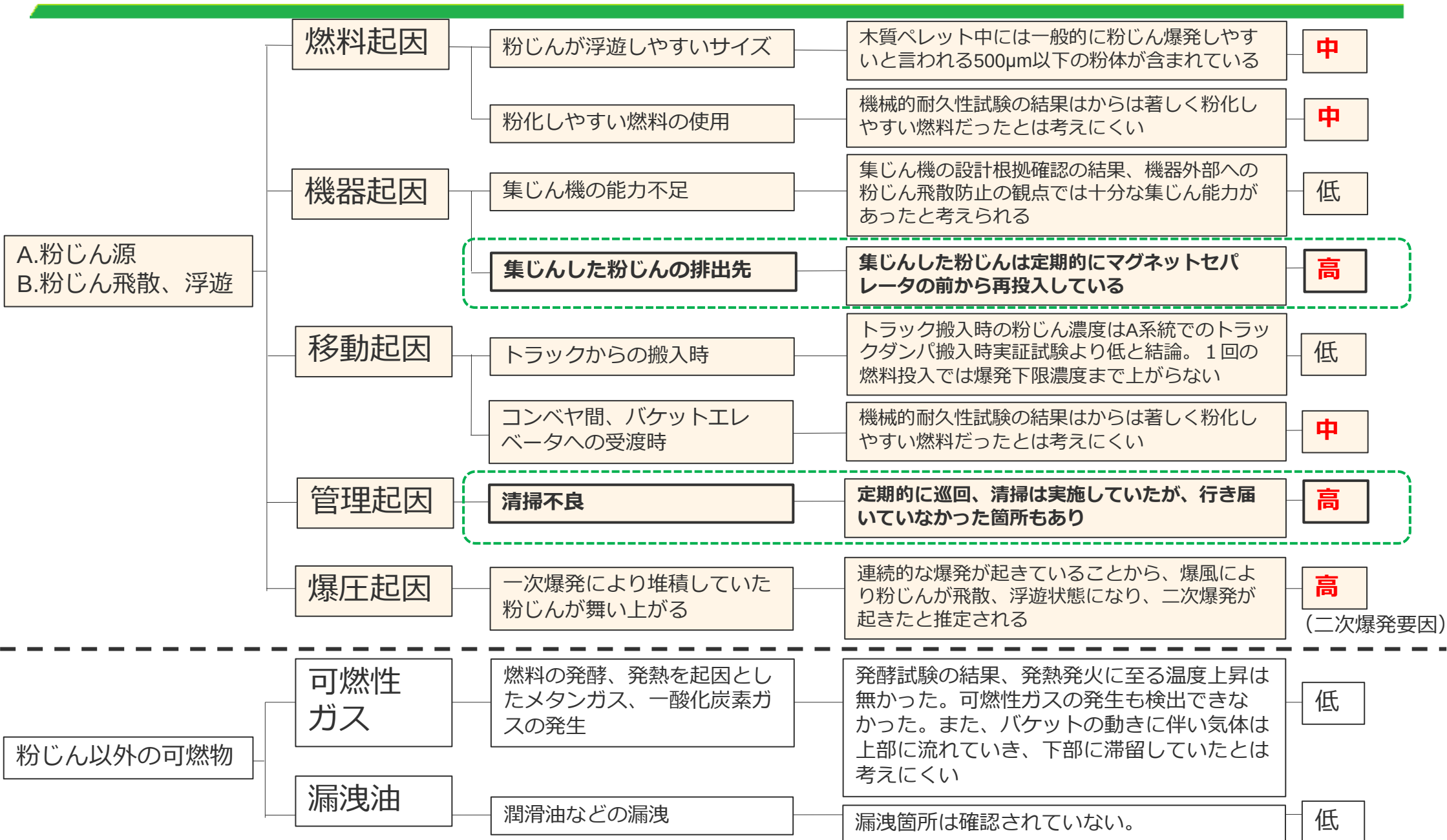


着火源に対する恒久対策説明図

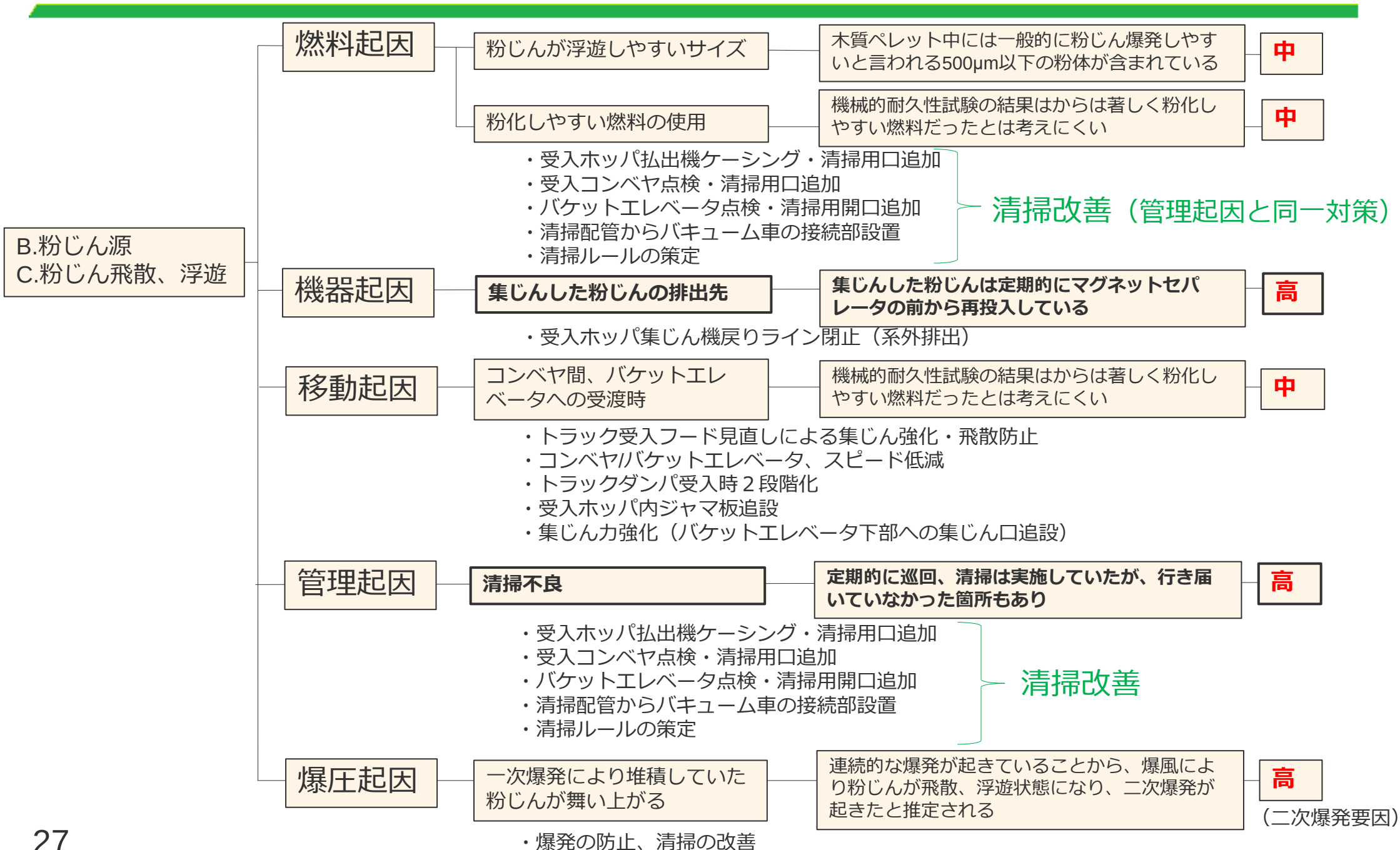


* 清掃改善については後述

可燃物に関する可能性検討



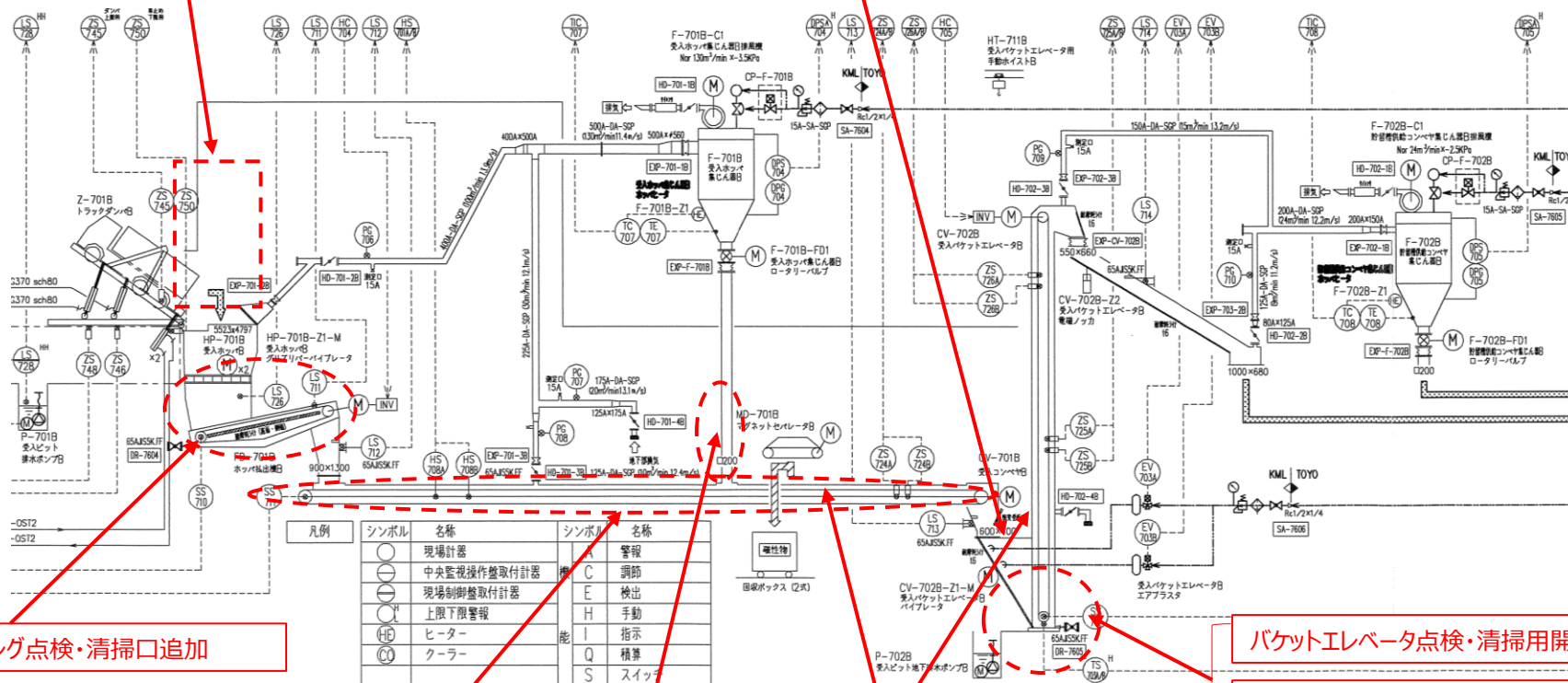
可燃物に関する恒久対策案



可燃物に関する恒久対策案説明図

トラック受入フード見直しによる集塵強化・飛散防止（含む建屋）

集じん力強化（バケットエレベータ下部への集じん口追加）



受入ホッパ払出機ケーシング点検・清掃口追加

受入ホッパ内ジャマ板追加（燃料落下速度抑制）

トラックダンパ2段階化

受入コンベヤ点検・清掃用開口追加

受入ホッパ集塵機粉じん戻し入れライン閉止（系外排出）

バケットエレベータ点検・清掃用開口追加

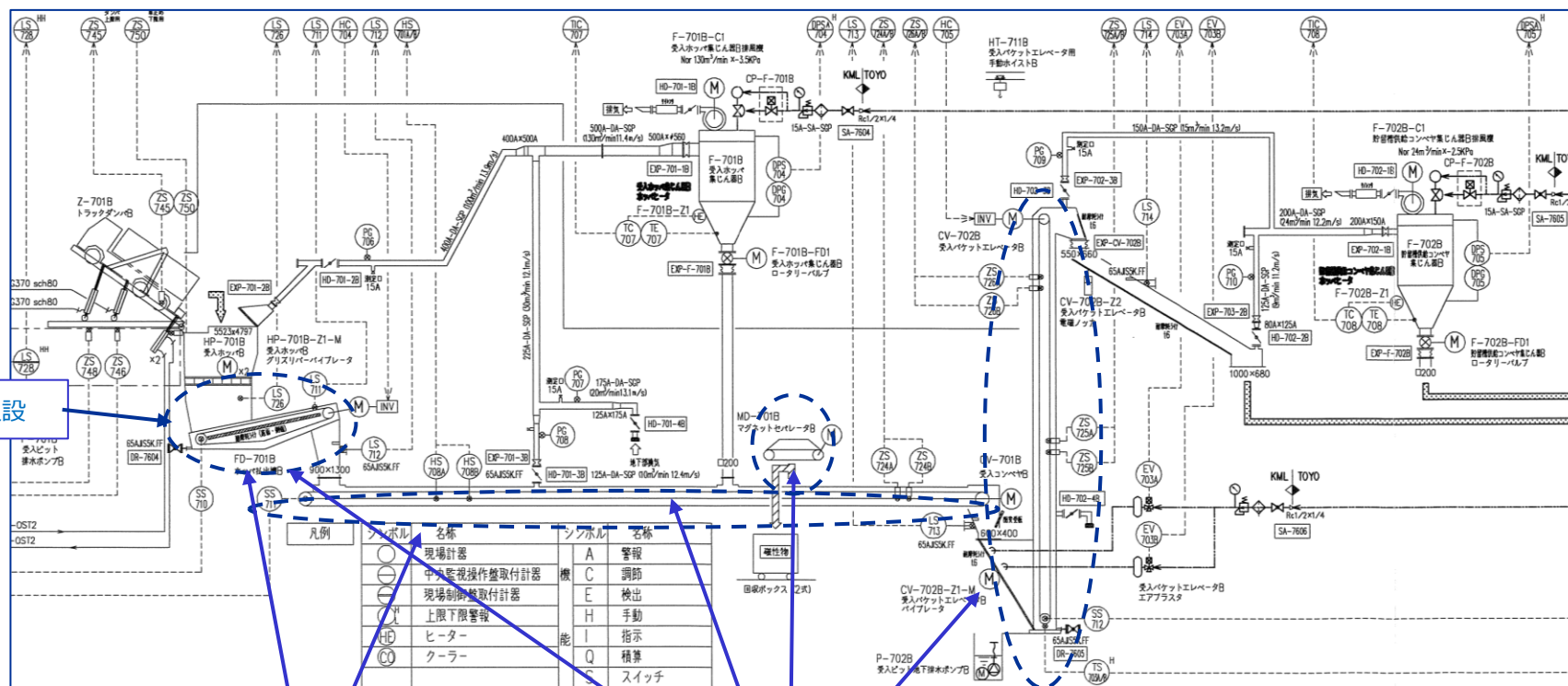
清掃配管からバキューム車の接続部設置

受入コンベヤ・バケットエレベータスピード抑制

清掃ルールの策定

その他(監視強化)

- ・ 監視についても強化する



受入ホッパ内湿度計追設

受入ホッパ・受入コンベア内ガス検知器追設

受入ホッパ・受入コンベア内・バケットエレベータ底部・マグセパ内部温度監視追設