

ISSN 1882-2703

# 労働安全衛生総合研究所技術指針

TECHNICAL RECOMMENDATIONS  
OF NATIONAL INSTITUTE  
OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

JNIO SH-TR-47:2017

## 耐爆発圧力衝撃乾燥設備技術指針 (改訂版)



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

## 改訂版 序

当研究所は、危険物乾燥設備における労働災害、特に、流動層乾燥機における粉じん爆発に対する新たな技術的対策として、平成 28 年 3 月、爆発放散設備を必要としない乾燥設備に関する技術指針「耐爆発圧力衝撃乾燥設備技術指針」（JNIOSH-TR-47:2016）（以下「初版」という。）を公表したところであるが、その後、初版に対する関係諸賢の意見を参考に、国内の圧力容器の考え方を導入して技術的内容を見直すこととし、その内容を取りまとめ、このたび改訂版（JNIOSH-TR-47:2017）として発行する運びとなった。

改訂版は、初版と比較して技術的レベルに差はないが、初版において参考とした欧州及び米国の規格及び指針（EN 規格、NFPA 規格、VDI 指針等）の内容を JIS 規格と比較・検討し、できる限り JIS 規格（一部については、米国 ASME 規格）に整合させる作業を行った。また、図面等の関連図書の整備、検査方法等についても、より実際的かつ簡便なものに改めるとともに、若干の誤記の修正も行った。これにより、本指針の利便性は飛躍的に高まったものと信ずる。

以上のことから、初版は改訂版の発行をもって廃版の扱いとし、今後はこの改訂版の使用をお願いしたい。

最後に、改訂版の作成に当たり、ご協力いただいた一般社団法人日本ボイラ協会の圧力容器構造委員会各位及び厚生労働省関係各位に対して深甚の謝意を表す。

平成 29 年 3 月 1 日

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  
所長 豊澤康男

## 本指針取扱い上の注意

本指針は、粉じん爆発に関する学識経験者、圧力容器の専門家、乾燥設備の技術者、防災・減災装置の技術者等、耐爆発圧力衝撃乾燥設備に関し、多角的に技術的内容及び安全性を検証・評価できるエキスパートによる長期間にわたる慎重な検討及び審議に基づいて原案を作成し、さらに複数の学識経験者による原案の厳正・厳密な査読及びそれに基づく修正を経て上梓されたものである。発行者である当研究所は、本指針の技術的内容について説明する責任を有するが、本指針に基づいて行われた乾燥設備等の設計、製造及び使用並びにその結果については一切責任を負わない。

なお、本指針に基づいて製造された乾燥設備の設置に際しては、労働安全衛生規則第 86 条により、所轄の労働基準監督署に対して乾燥設備の設置に係る計画の届出が必要となる場合があるので、該当するときは、関連の法令及び通達（本指針に係わるものを含む。）に従ってこれを行わなければならない。

耐爆発圧力衝撃乾燥設備技術指針原案作成委員会  
(平成26年5月15日～平成27年3月31日)

委員長	土橋 律	東京大学大学院
副委員長	林 浩司	株式会社環境衛生研究所
委員	榎本 兵治	東北大学
〃	井戸 真嗣	日揮株式会社
〃	内山 宇逸	アマノ株式会社
〃	磯部 重実	フロイント産業株式会社
〃	高橋 宏治	横浜国立大学大学院
〃	那須 貴司	BS&B セイフティ・システムズ株式会社
〃	鉾田 泰威	日本フェンオール株式会社
〃	本田 尚	独立行政法人労働安全衛生総合研究所
〃	松浦 八司	株式会社パウレック
〃	山下 治壽	ホソカワミクロン株式会社
行政参加者	井上 栄貴	厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課
事務局	山隈 瑞樹	独立行政法人労働安全衛生総合研究所

作業部会

(平成26年5月15日～平成27年3月31日)

委員長	土橋 律	東京大学大学院
副委員長	林 浩司	株式会社環境衛生研究所
委員	磯部 重実	フロイント産業株式会社
〃	本田 尚	独立行政法人労働安全衛生総合研究所
〃	松浦 八司	株式会社パウレック
〃	山下 治壽	ホソカワミクロン株式会社
事務局	山隈 瑞樹	独立行政法人労働安全衛生総合研究所

# 目 次

耐爆発圧力衝撃乾燥設備技術指針 .....	1
1 適用範囲 .....	1
2 引用規格 .....	1
3 用語及び定義 .....	2
4 構造材料 .....	3
4.1 構造材料の種類 .....	3
4.2 材料の許容応力 .....	3
5 設計 .....	3
5.1 一般 .....	3
5.2 設計圧力 .....	3
5.3 設計温度 .....	4
5.4 許容板厚 .....	4
5.5 胴及び鏡板 .....	4
5.6 開口部（穴）の補強 .....	4
5.7 配管 .....	4
5.8 フランジ及びガスケット .....	4
5.9 緊急遮断弁 .....	5
6 溶接及び試験 .....	5
6.1 溶接効率 .....	5
6.2 水圧試験 .....	5
6.3 爆発圧力試験 .....	6
6.4 臨時検査 .....	6
6.5 表示 .....	6
7 特例 .....	7
7.1 試験による耐圧設計圧力 .....	7
7.2 耐爆発圧力設計による容器の特例 .....	7
附属書 A（参考）流動層乾燥設備における一般的な爆発防止対策 .....	8
附属書 B（参考）耐爆発圧力衝撃乾燥設備で使用可能な可燃性物質の選定方法 .....	14
附属書 C（参考）回転対称（円筒状）乾燥容器の許容板厚の計算例 .....	16
附属書 D（規定）緊急遮断弁に関する要求事項及び設置場所 .....	20
附属書 E（規定）爆発が発生した後の復旧方法（臨時検査） .....	23
附属書 F（参考）耐爆発圧力衝撃容器の構造材料に関する補足情報 .....	24
文献 .....	25

# 耐爆発圧力衝撃乾燥設備技術指針

## 1 適用範囲

この指針は、内部に爆発性の可燃性物質・空気混合物を収容し、かつ、内部で何らかの点火源が生じる可能性があるもので、内部で爆発が生じたとき、その爆発圧力によって破壊することは許されないが変形は許される構造（以下「耐爆発圧力衝撃構造」という。）の容器及び関連の装置からなる乾燥設備（以下「耐爆発圧力衝撃乾燥設備」という。）に適用する。

容器が、設計又は操作上の理由で、圧力容器関係法令の適用対象になっている場合、この指針は補足的に機能するものとする。

耐爆発圧力衝撃構造の容器又は装置は、取り扱う可燃性物質の最大爆発圧力に基づいて設計する。

**注記 1** この指針は、発生した爆発に対する防護の手法について定めるものであり、爆発の発生を防止する手法は含まない。ただし、流動層乾燥設備における一般的な爆発防止対策を附属書 A に示すので、参考にとするとよい。

**注記 2** 耐爆発圧力衝撃乾燥設備で使用可能な可燃性物質の爆発特性について、附属書 B に示す。

**注記 3** 耐爆発圧力衝撃乾燥設備を用いる場合であっても、爆発に関するリスクアセスメントを実施し、必要であれば、爆発が生じないように対策を講じることが望ましい。リスクアセスメントにあたっては文献[1]～[4]を参考にとするとよい。

## 2 引用規格

次に掲げる規格は、この指針に引用されることによって、この指針の規定の一部を構成する。これらの規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS B 2220, 鋼製管フランジ

JIS B 2239, 鋳鉄製管フランジ

JIS B 2240, 銅合金製管フランジ

JIS B 2241, アルミニウム合金製管フランジ

JIS B 2290, 真空装置用フランジ

JIS B 8265, 圧力容器の構造—一般事項

JIS B 8266, 圧力容器の構造—特定規格

JIS B 8267, 圧力容器の設計

JIS B 8284, 圧力容器の急速開閉ふた装置

JIS G 3447, ステンレス鋼サニタリー管

JIS G 3448, 一般配管用ステンレス鋼鋼管

JIS G 3452, 配管用炭素鋼鋼管

JIS G 3454, 圧力配管用炭素鋼鋼管

ASME B16.5, *Pipe Flanges and Flanged Fittings: NPS 1/2 through NPS 24 Metric/Inch Standard*

ASME B16.24, *Cast Copper Alloy Pipe Flanges, Flanged Fittings, and Valves Classes 150, 300, 600,*

### 3 用語及び定義

この指針で用いる主な用語及び定義は、次による。

#### 3.1 耐爆発圧力衝撃設計 (explosion pressure shock-resistant)

容器、装置及び附属の管路など、爆発発生時に密閉される空間の内部で生じた爆発の圧力衝撃に対して、これらが破裂することなく耐えるが、小規模かつ局所的な永久変形は許されるような設計。この設計によって、爆発が生じたとき、人的な被害を防止することができる。この設計の適用例として、流動層乾燥装置の容器、集じん機、混合機、粉碎機、燃料庫、及びサイロがある。

#### 3.2 耐爆発圧力設計 (explosion pressure-resistant)

密閉された内部で生じた爆発の圧力衝撃に対して破裂することなく耐え、かつ、いかなる永久変形もしないような設計。通常、圧力容器関係規格に従って設計する。

#### 3.3 最大爆発圧力 (maximum explosion pressure) $P_{max}$

密閉された容器又は装置中において、可燃性物質と空気との濃度比を変化させて爆発させたときに得られる爆発圧力の最大値。

**注記** 粉じんの最大爆発圧力の測定方法として、JIS Z 8817 [5]がある。ガス・蒸気及びハイブリッド混合物の試験方法については試験機関に相談することが望ましい。一般に、最大爆発圧力は、通常使用圧力の数倍となる。

#### 3.4 爆発 (explosion)

燃焼による発熱が急速であるために、容器などの内部において主に気体の膨張によって圧力が急激に上昇する現象。爆発によって装置が損傷した場合は、爆発音と光とを伴って高温の燃焼生成物（ガス）、火炎又は火の粉が噴出し、しばしば装置の破片が周囲に飛散する。

**注記** 爆発の火炎面の伝ば速度が音速以下のものを爆燃と、また、音速を超えるものを爆ごうという。爆ごうは、爆燃の数倍の圧力を生じることがあるので、耐爆発圧力衝撃設計とすることは技術的に困難である。したがって、この指針では爆燃だけが対象である。

#### 3.5 緊急遮断弁 (rapid-acting valve)

管路に設けられた弁であり、爆発が生じたとき管路を急速に閉止するもの。爆発圧力を検知してゲート弁を作動させる圧力検知形、及び爆風によってフロート弁が自発的に管路を閉じる風速検知形がある。

#### 3.6 耐圧設計圧力又は設計圧力 (design pressure)

爆発が生じたときに、容器等が耐えることができる圧力であり、ゲージ圧で表す。

#### 3.7 通常使用圧力 (normal operating pressure)

容器等を、その意図する用途で使用する際の圧力であり、絶対圧で表す。

#### 3.8 ハイブリッド混合物 (hybrid mixture)

可燃性粉体と可燃性ガス・蒸気との混合物。可燃性粉体に可燃性ガス・蒸気が含まれている場合を含む。

## 4 構造材料

構造材料は、容器の圧力を受ける部分に用いる材料をいい、容器内部の取付け物及び支持金具類の材料は含まない。

### 4.1 構造材料の種類

耐爆発圧力衝撃構造の容器に使用できる構造材料は、JIS B 8265 の附属書 B 若しくは JIS B 8267 の附属書 B に規定する鉄鋼材料及びアルミニウム合金、並びに JIS B 8265 の附属書 C 若しくは JIS B 8267 の附属書 C に規定する特定材料（炭素鋼、低合金鋼及びアルミニウム合金）のうち、十分な靱性を有する材料とする。例えば、次の材料がある。

- ・ オーステナイト系ステンレス鋼材及びフェライト系ステンレス鋼材
- ・ 常温での破断伸びが 14 %以上、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーが 27 J 以上である鉄鋼材（鋳造品を除く。）
- ・ 破断伸びが 20 %以上であるアルミニウム合金（鋳造品を除く。）

注記 構造材料に関する補足情報については、附属書 F を参照するとよい。

### 4.2 材料の許容応力

#### 4.2.1 許容引張応力

材料の設計温度における許容引張応力は、降伏点又は 0.2 %耐力とする。

#### 4.2.2 許容せん断応力

材料の設計温度における許容せん断応力は、許容引張応力の値の 0.8 倍とする。

#### 4.2.3 許容圧縮応力

材料の設計温度における許容圧縮応力は、許容引張応力と同一の値とする。

#### 4.2.4 許容曲げ応力

材料の設計温度における許容曲げ応力は、許容引張応力の値の 1.5 倍とする。

## 5 設計

### 5.1 一般

- 1) 耐爆発圧力衝撃構造の容器は、JIS B 8265 及び JIS B 8267 に従って設計する。
- 2) 耐爆発圧力衝撃構造の容器及び装置は、回転対象（円筒状）とするのがよい。広い平板状の形状としてはならない。また、応力集中によって、疲労破壊が生じるおそれのある複雑な外観の設計はしないことが望ましい。
- 3) 耐爆発圧力衝撃構造の容器は、内圧だけでなく、容器の自重による静的負荷も考慮して設計する。また、水圧試験を実施する容器については、容器を水で満たす際に破損することがないように、容器内の水の質量も併せて考慮する。

### 5.2 設計圧力

次の計算において、 $P_{\max}$ 、 $P_{\max 0}$ 、 $P_0$  及び  $P_v$  は絶対圧で、また、 $P$  はゲージ圧で指定する。容器又は装置の設計圧力  $P$  は、想定する最大爆発圧力  $P_{\max}$  を用いて次式で与えられる。

$$P = P_{\max} - 0.1 \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

設計圧力 $P$ を求める場合、初期圧力 $P_v$ が 0.09 MPa 未満又は 0.11 MPa を超えるときは、この初期圧力も考慮し、次式を用いる。

$$P = \frac{P_{\max 0} P_v}{P_0} - 0.1 \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

粉じんを含めた式 (1) 及び (2) の条件は、次式のとおりである。

$$0 \leq P_v < 0.3 \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

ここで、

$P_0$  : 大気圧に相当し、常に $P_0 = 0.1 \text{ MPa}$

$P_{\max 0}$  : 初期圧力が 0.1 MPa のときの $P_{\max}$ に相当

$P_v$  : 点火源が生じて着火したときの初期圧力 (容器又は装置の通常使用圧力)

である。

### 5.3 設計温度

爆発が発生しても、これによる容器壁の温度上昇はわずかであるので考慮しなくてもよい。したがって、設計温度は、通常使用圧力における最高使用温度とする。

### 5.4 許容板厚

この指針では、板厚の磨耗、表面研磨仕上げ又は腐食に対する許容値 (腐れ代) は規定していない。必要な場合、使用者と製造者との間で余分の厚さに対する特別な合意をし、図面上にこれを表示する。回転対称 (円筒状) 乾燥容器の許容板厚の計算例を、附属書 C に示す。

### 5.5 胴及び鏡板

内圧を保持する胴、及び内圧を保持し、ステーによって支えない鏡板の計算厚さは、JIS B 8265 の附属書 E 又は JIS B 8267 の附属書 E による。ただし、材料の許容応力は 4.2 に規定する値とする。

厚さの異なる胴と鏡板とを突合せ溶接する場合、不連続面の溶接強度を考慮して、JIS B 8265 又は JIS B 8267 の 6.3.2 に定めるテーパ部を設ける。

### 5.6 開口部 (穴) の補強

開口部は、十分な強度をもつ強め材により補強する。補強の方法としては、例えば、JIS B 8265 の附属書 F に定める方法がある。

### 5.7 配管

容器の開口部 (5.6) に取り付ける管路用の配管 (給気ダクト、排気ダクトなど) は、5.4 の許容板厚に従うもの、又は JIS G 3447、JIS G 3448、JIS G 3452 若しくは JIS G 3454 に規定する使用圧力 1.0 MPa 以上の鋼管とする。

### 5.8 フランジ及びガスケット

#### 5.8.1 ボルト荷重

- 1) 使用状態での必要ボルト荷重の計算は、JIS B 8265 の附属書 G 又は JIS B 8267 の附属書 G に従って行う。

2) この場合、「常温におけるボルト材料の許容引張応力 ( $\sigma_a$ )」については、JIS B 8265 の表 B.4 で定めるボルトの許容引張応力の値を 0.85 で除した値に、「設計温度におけるボルト材料の許容引張応力 ( $\sigma_b$ )」については、JIS B 8265 の表 B.4 で定めるボルトの許容引張応力の値を 0.7 で除した値に、それぞれ読み替えて適用してもよい。

## 5.8.2 フランジ及びガスケット

ボルト締めフランジには、JIS B 2220, JIS B 2239, JIS B 2240, JIS B 2241 又は JIS B 2290, ASME B16.5, ASME B16.24 及び ASME B16.47 又はこれらと同等以上の規格のフランジを使用できる。ただし、これらの規格フランジを使用しない場合は、フランジの応力計算は JIS B 8265 の附属書 G~J 又は JIS B 8267 の附属書 G~J に従う。この場合、材料の許容応力は 4.2 で定める値とする。

クランプ形フランジは、JIS B 8284 に従って設計する。

ボルト締めフランジに使用するガスケットは、JIS B 8265 又は JIS B 8267 の附属書 G の表 G.2 に定めるものを使用する。ガスケット係数及び最小設計締付圧力は、JIS B 8265 又は JIS B 8267 の附属書 G の表 G.2 に定める値を使用する。

## 5.9 緊急遮断弁

耐爆発圧力衝撃構造の容器が、流動層乾燥装置などのように、給気用の配管及び排気用の配管を備える場合、爆発によって生じる圧力及び火炎の伝ばを防止する機能をもつ緊急遮断弁を設ける。緊急遮断弁に関する要求事項及び取付け場所の例を、附属書 D に示す。

## 6 溶接及び試験

### 6.1 溶接効率

溶接効率（溶接による接合効率）は、試験の条件によって表 1 に示すとおりとする。

表 1 溶接効率

試験の条件	溶接効率
放射線透過試験を溶接線の全線について行う場合	1.0
放射線透過試験を溶接線の全長の 20 % について行う場合	0.95
放射線透過試験を溶接線の全長の 10 % について行う場合	0.85
放射線透過試験を行わない場合	0.7

### 6.2 水圧試験

1) 水圧試験は、全数試験及び型式試験により実施する。全数試験は、製造する容器全数に対して実施し、型式試験は、型式ごとに一つ以上の容器に対して実施する。

2) 試験圧力は、次による。

$$P_t = F \frac{\delta_y^a}{\delta_y^0} p \quad (4)$$

ここで、

$P_t$  : 試験圧力 (Pa)

$F$  : 試験係数 (全数試験については 0.9, 型式試験については 1.1)

$\delta_y^a$  : 試験温度での降伏応力又は 0.2 %耐力

$\delta_y^0$  : 設計温度での降伏応力又は 0.2 %耐力

$p$  : 設計圧力 (Pa)

である。

- 3) 水圧試験は、規定の試験圧力で 3 分間保持し、全数試験においては永久変形が発生しないことを、また、型式試験においては容器が破壊しないことを確認する。
- 4) 正当と認められる理由で水圧試験を行わない場合、製造者と使用者との間の合意によって、非破壊試験などの代替試験を行ってもよい。

**注記** ここで、「正当と認められる理由」とは、例えば、既に水圧試験を行ったものと同一型式のものである場合、又は、形状は相似であるが、板厚が同じである二つ以上の容器がある場合に、より大きいサイズの容器に対して水圧試験を行ったときには、より小さいサイズのものに対しては水圧試験を必要としないというように、技術的に合理性があるものを指す。

### 6.3 爆発圧力試験

- 1) 爆発圧力試験は、形状の理由で数値強度解析が不可能な場合、又は水圧試験が不可能な場合に、装置又は部品に対する型式試験として実施する。
- 2) 試験圧力は、6.2 2) の型式試験のものとする。
- 3) 爆発圧力試験では、容器が破損しないことを確認する。なお、フランジ、蓋板などの装置シール部は、爆発が生じたときに火炎が容器及び装置から逸走してはならないが、完全な気密性を保つ必要はない。

**注記** 隙間が、対象ガスの最大安全隙間 (MESG: Maximum Experimental Safe Gap) 以下相当であれば、火炎は逸走しないので、火炎が外部に漏れて新たな着火源となることはない。爆発圧力上昇過程における、火炎を伴わない瞬間的かつ微量の燃焼ガス等の漏れは許容される。

- 4) 爆発障壁 (緊急遮断弁) については、追加試験によって、火炎の伝ばに対する安全性を決定する。

**注記** 「火炎の伝ばに対する安全性」とは、爆発による火炎面が緊急遮断弁を通過する前に遮断されることを意味しており、爆発の初期段階における火炎を伴わない圧力波の通過は差し支えない。

### 6.4 臨時検査

爆発の後、容器を修理することなく再使用できるかを決定するために、臨時検査を行う。この決定の手順の例を、附属書 E に示す。

装置に重大な変更があった場合、又はプロセスに変更があった場合にも臨時検査として、水圧試験又は爆発圧力試験を行う。

### 6.5 表示

各容器又は装置には、次の内容を記した銘板を貼り付ける。ただし、4) 及び 5) は、圧力容器関係規格に準拠した圧力容器に限る。

- 1) 製造者名
- 2) 製造者の製造番号
- 3) 製造年

- 4) 最高使用圧力（ゲージ圧）（MPa）
- 5) 最高使用温度（°C）
- 6) 容器の容量（L）

各容器又は装置については、次の追加内容を銘板又は別標識に記載する。

「耐爆発圧力衝撃－最高初期圧力 □MPa」

ただし、設計圧力は、この別標識には記載してはならない。

**注記** 耐爆発圧力衝撃構造の容器の別標識に設計圧力を記載しないのは、圧力容器（通常使用において、高い圧力が加えられる。）との混同を避けるためである。

## 7 特例

### 7.1 試験による耐圧設計圧力

特殊な形状の容器であって、この指針の規定によって設計することができないものは、水圧試験（6.2）又は爆発圧力試験（6.3）に耐えることができた圧力を耐圧設計圧力とする。

### 7.2 耐爆発圧力設計による容器の特例

- 1) JIS 圧力容器関連規格（JIS B 8265、JIS B 8266 及び JIS B 8267）の要求事項を満たす設計圧力の圧力容器のうち、4.1 に規定する構造材料の種類に適合するものを用いて製造されたものは、その1.5 倍のゲージ圧の耐爆発圧力衝撃性能をもつものとみなす。
- 2) 上記 1) の場合、使用圧力は 0.08MPa～0.11MPa（絶対圧）とし、かつ、使用温度は-20 °C～60 °C としなければならない。

**注記** 例えば、設計圧力 0.8 MPa の圧力容器は、設計圧力 1.2 MPa の耐爆発圧力衝撃構造の容器とみなすことができる。

# 附属書 A

## (参考)

### 流動層乾燥設備における一般的な爆発防止対策

この附属書では、流動層乾燥設備一般に適用できる爆発防止対策を記載するが、耐爆発圧力衝撃乾燥設備においても、この附属書に述べる対策を併用することによって、爆発の発生確率を低下させ、また、爆発発生時の被害を大幅に軽減することが期待できる。

#### A.1 はじめに

流動層乾燥設備を使用する場合、そこでの原料・生産物又は工程によっては、爆発性雰囲気（粉じん・空気混合物，ガス又は蒸気・空気混合物，又はハイブリッド混合物）の存在，又は分解反応によって燃焼又は爆発を生じる可能性がある。

ハイブリッド混合物は、引火性溶剤の蒸気，又は加熱によって発生したガスから形成されることがある。ハイブリッド混合物の爆発に関する特性（最小着火エネルギー，最大爆発圧力及び最大爆発圧力上昇速度）は純粋な粉じん・空気混合物のそれより危険側となる場合がある。ハイブリッド混合物は、粉じん又はガス若しくは蒸気が，それぞれの爆発下限界未満の濃度であっても爆発性をもつことがある。したがって，安全のための対策の選定にあたっては，これらの特性を考慮する必要がある。

次に，具体的な爆発防止対策について解説する。

#### A.2 防護対策（1）－爆発性雰囲気の予防

予防的爆発防護のための基本的対策は，爆発性雰囲気の生成を防止すること，又は，爆発性雰囲気が形成される確率を低くすることである。これには，次に述べる濃度制限及び不活性化がある。

##### A.2.1 濃度制限

原料等の量又はガス・蒸気の濃度を制御することによって爆発性雰囲気を形成する可能性を低下させることができる。爆発下限濃度（LEL：Lower Explosible Level）の 30 %を許容（上限）濃度に設定し，運転中，ガス検知器又は流量計によって状態を監視する。この監視装置は，警報器，他の防護システム，又は自動緊急機能と相互に接続することが望ましい。

粉じんの場合，その濃度を制限するだけでは爆発性雰囲気の形成を予防することは極めて困難なことに注意する。粉体の分散及び沈降によって，局所的な粉じん濃度は，計算上の平均濃度から大幅にずれるため，全体的には粉じんの濃度は極めて不均一となる。したがって，流動層乾燥設備の全容積に対する粉じんの全質量の割合から得られる平均粉じん濃度は，一般に安全の指標とすることはできない。

##### A.2.2 不活性化

不活性化とは，特別な処理によって爆発性混合物を引火しない状態にすることである。これは，不燃性の気体（窒素，二酸化炭素，希ガス，水蒸気，燃焼排ガスなど。以下「不活性ガス」という。）を混合し，

酸素濃度を低下させることによって達成できる。不活性化するためには、酸素濃度を、全ての段階で爆発限界酸素濃度（LOC：Limiting Oxygen Concentration）未満とする必要がある。LOCは、運転圧力及び温度にも依存するので十分な考慮が必要である。自己分解する物質の場合、不活性化だけでは十分ではないので、その特性について別途考慮する必要がある。

工程全体で適切な方法によって不活性化を達成する。これには、次のような方法がある。

- ・ 酸素濃度の連続測定、周期的測定、又は無作為測定を行う。
- ・ 乾燥設備における不活性ガスのゲージ圧の連続監視、又は不活性ガス流量の連続計測を行う。
- ・ 不活性ガスの注入では、注入圧力及び流量を調節する弁によって、流動層装置の不活性化をするとともに、不活性状態を維持する。
- ・ 酸素濃度は、酸素濃度の直接測定又は不活性ガス圧力及び不活性ガス流量による間接的測定によって監視する。
- ・ ガス再循環装置を用いる場合、運転エリア全体で気密状態を保つ。

所定の警報レベルに達したときは、直ちに手動又は自動で防護対策又は緊急処置を開始する。通常、停止する場合には、乾燥設備の内部を空にする必要がある。乾燥設備が安全な温度に低下するまで、不活性化を継続する。

粉じんが、LOCの異なる可燃性のガス・蒸気又はミストと共存する場合は、各々のLOCのうち、最も低い値を採用する。

運転中、空気の漏れ込み又は装置の開放によって酸素が乾燥設備に混入することがある。これによって不活性化の有効性が局所的又は一時的に失われる可能性がある。このような場合、不活性ガスを追加供給し、損失分を補う必要がある。

不活性化を採用する場合、酸素欠乏症又は不活性ガス特有の健康被害を防ぐため、追加して安全対策を講じる必要がある。これには不活性ガスの漏れ又は過剰な圧力によって機器外部が危険となる場合も含まれる。不活性化された容器の中に入る前には、必ず酸素濃度を測定し、必要に応じて空気を供給する。

#### A.2.2.1 不活性化の監視方法

乾燥設備は、許容最高酸素濃度を絶対に超えないように運転する。不活性化は、酸素濃度又は不活性ガスの圧力及び流量を測定することで監視できる。特に、再循環工程において、同工程内に過小圧力が存在する可能性がある場合には、酸素濃度の連続測定を優先する。

#### A.2.2.2 酸素限界濃度の安全域

酸素濃度に対する十分な安全限界を確保するためには、実験又は文献から入手したLOCに基づいて、安全域を保持する必要がある。この手順については、酸素濃度の連続監視の例として、図A.1に示す。

許容最高酸素濃度（AHH：Alarm High High）は、使用物質のLOCに基づき、対応する安全域を考慮して決定する。この安全域では、乾燥設備内の粉じんが、様々な温度、圧力、及びLOCの測定時とは異なる粒子径（より小さい粒子径）で存在する可能性を考慮している。したがって、AHHは、超えてはならない濃度である。酸素濃度の警報値を設定する際には、運転時における酸素濃度の変動又は開始した防護対策の効果の遅れ、さらに、計器の測定誤差及び警報の遅れを考慮して、制御装置の警報設定値を検討する必要がある。早目に警報を発するように設定することで、AHHの超過を確実に防止し、装置を安全な状態に維持することが望ましい。

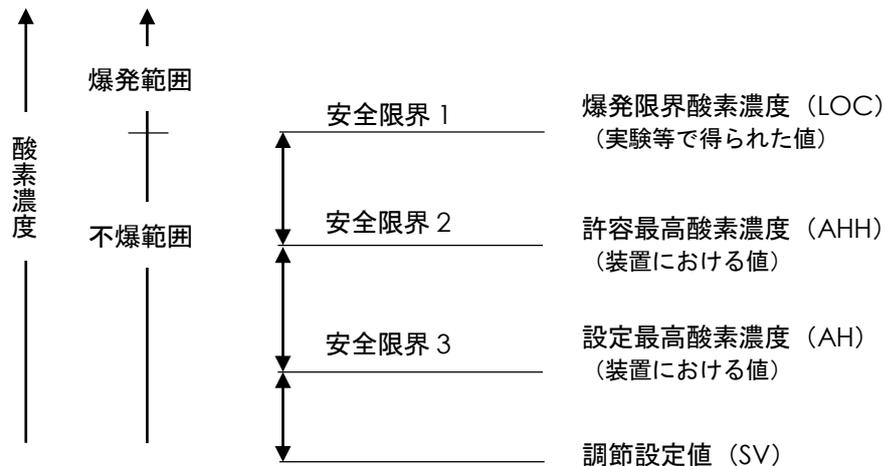


図 A.1 酸素限界濃度の安全域

### A.2.2.3 警報設定値を超える場合の対策

第 1 警報濃度設定値である設定最高酸素濃度 (AH : Alarm High) (例えば, LOC の 25 %) に達すると, 操作員に音及び発光で警報を発するが, 自動的にスイッチが作動して, 設備が停止するようにはしない。この場合, 安全な運転状態に戻ることができるように, 操作説明書に従って必要な措置を実施する。

第 2 警報濃度設定値である許容最高酸素濃度 (AHH) (例えば, LOC の 50 %) に達すると, 自動機能によって流動層乾燥設備を安全かつ確実に停止させ, 内部の爆発性雰囲気を取り除く。これには, 次の方法がある。

- ・ 噴霧工程を停止し, 爆発性雰囲気を不活性ガスと置換する。
- ・ 潜在的な着火源を無効化する (例えば, 加熱器の電源を遮断する。)

### A.3 防護対策 (2) – 着火源の防止

予防的爆発防護の対策として, 着火源の防止がある。

一定の運転条件で処理される純粋な可燃性粉じん・空気混合物の場合, その通常運転温度における最小着火エネルギー<sup>1</sup>が 10 mJ 以上であれば着火源の防止だけで十分である。

**注記** 運転温度が室温 (約 20 °C) でない場合, 室温で測定した最小着火エネルギーと大きく異なることがあるので, 必ず運転温度での最小着火エネルギーを指標にする必要がある。

通常運転時及び予想される故障 (異常) 時に存在する全ての着火源の着火性を評価し, これに基づき安全対策を選定する (例えば, ガスの入口温度及び出口温度を制限して自然発火を防ぐ。)

運転温度において, 最小着火エネルギーが 10 mJ 未満の可燃性粉じん・空気混合物又はハイブリッド混合物の取扱いにあたっては, 一つ以上の安全対策を追加することが望ましい。

<sup>1</sup> この場合, 最小着火エネルギーは, 静電気放電を模擬するために, JIS Z 8834[6]に従い純粋な容量性放電で測定することが望ましい。

### A.3.1 高温表面（最高許容表面温度）

乾燥工程の効率化のためには給気温度を可能な限り高くする必要があるが、高温で乾燥する場合、装置各部への生成物及び沈着物の自然発火によって火災又は爆発を引き起こすことがある。

表面温度及び内部温度の最高値は、給気温度にまで上昇する可能性がある。したがって、自然発火を防止する目的で、表面温度を最高許容値以下とするためには、給気温度を制限値（例えば、文献[7]に従って測定した浮遊状態での発火温度）以下に保持する必要がある。

流動空間内の温度は給気温度よりはるかに低いので、自然発火の危険性は、フィルタエリア又は排気ダクトの表面上の沈着物については非常に低い。したがって、運転開始時及び停止時、流動層装置の予熱温度を通常運転時の排気温度以下に抑制することによって発火を防止できる。

### A.3.2 静電気

通常運転温度における最小着火エネルギーが 3 mJ 未満の粉じんが存在する場合、「着火源の防止」という防護対策だけでは、安全運転に対しては不十分である。

静電気放電による発火を防止するため、次の対策を実施する必要がある。ただし、接地をする場合、接地極の接地抵抗は 1,000 Ω 未満とし、また、接地対象物（金属のように抵抗がほぼゼロでないとき）と接地極間との間の漏れ抵抗は  $1.0 \times 10^6$  Ω 未満とする。

- ・ 電気伝導性のある全ての装置部品（例：図 A.2 の下部チャンバ (3) , 分散板 (4) , フィルタの支持材 (8) , スプレーノズル (7) ) は、接地する。
- ・ 附属部品（シャフト、フラップなど）の全ての導電部は相互に接続（ボンディング）し、さらにこれらの一端を流動層本体に接続（ボンディング）して流動層本体を接地する。原料供給に使用される輸送配管は、金属等の導電性材料とする。
- ・ 強力な静電気放電である沿面放電を防止するため、流動層容器内部には不導体の層を取付けることも塗装することもしない。このようなものが必要な場合、その絶縁破壊電圧を 4 kV 未満とする。ただし、リスクアセスメントの結果、沿面放電が発生するほどの電荷 ( $250 \mu\text{C}/\text{m}^2$  以上) の蓄積がないことが明らかなきときは、ブラシ放電を防止するため、不導体層の厚さを 0.7 mm 未満とする（文献[3]参照）。

### A.3.3 運転条件

引火性溶剤の含有率が通常よりも高い場合、ハイブリッド混合物を生成する可能性がある場合、又はこのハイブリッド混合物が運転開始時、停止時若しくは運転中断時に生成される場合、この溶剤の蒸気に関する危険性を考慮する必要がある。この場合、通常、「着火源の防止」という防護対策だけで対応することはできない。

運転条件は、運転手順書に記載する。

製品を同一の装置で本来の想定とは異なる特性で乾燥させ、又は別の運転条件で乾燥させる場合、その装置の使用者は危険源分析を行い、各製品に関する操作説明書を作成する。運転条件又は製品を変更する場合、全ての操作説明書を改訂し、妥当性について確認する。

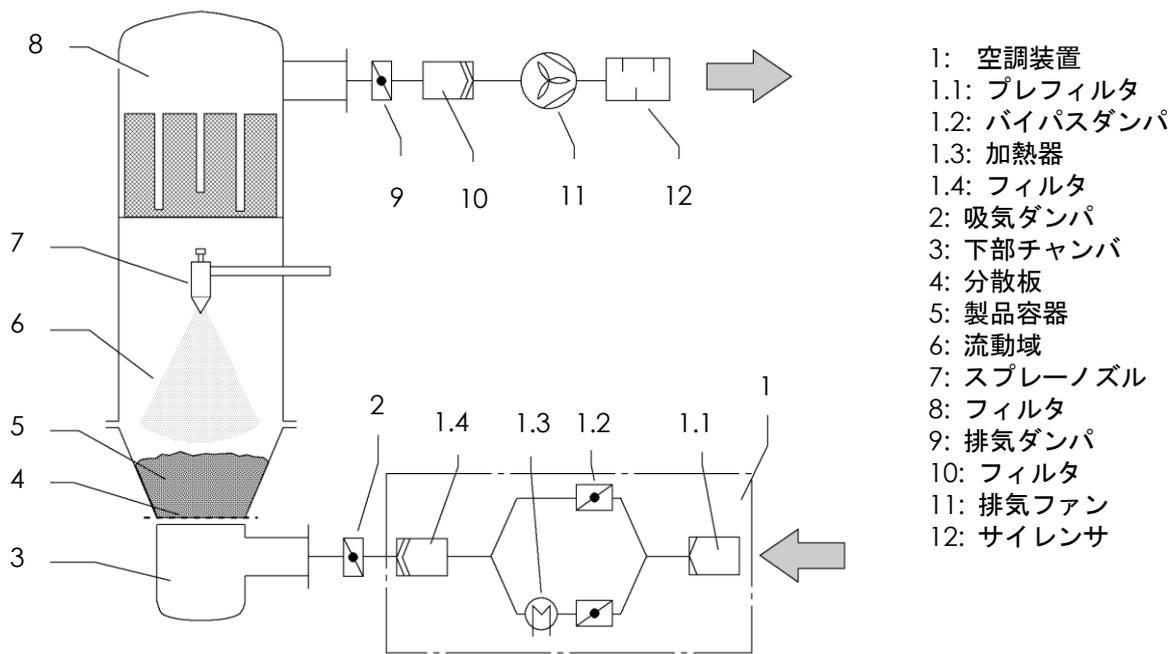


図 A.2 典型的な流動層乾燥装置のフロー図

#### A.4 防護対策 (3) - 設計

##### A.4.1 耐爆発設計

爆発の発生を防止できない場合、この指針に従って、耐爆発設計（耐爆発圧力設計又は耐爆発圧力衝撃設計）を適用する。危険となる機器（取付け具を含む。）は、全て予想される爆発圧力に耐えるよう設計する。

爆発に対する保護を要する設備は、耐爆発圧力設計又は耐爆発圧力衝撃設計とする。耐爆発圧力設備は、予想される爆発圧力に永久変形を起こすことなく耐えるように設計及び製造するものである。一方、耐爆発圧力衝撃設備は、予想される内部での爆発からの圧力衝撃に耐えるように設計及び製造するが、永久変形は許容するものである。

##### A.4.2 爆発放散

耐爆発設計としない場合、爆発圧力放散設備を設け、爆発圧力を外部に放散することで圧力の上昇を抑え、乾燥設備及び周辺設備の損傷を防止する。爆発圧力放散設備の詳細については、文献[8]を参照するとよい。

##### A.4.3 爆発抑制

爆発抑制システムは、爆発が発生したとき、装置内において許容値を超える圧力の発生を防止する装置である。爆発抑制システムによって、既に爆発の初期段階にある爆発火炎の範囲を制限することができる。

爆発抑制システムは、通常、初期爆発を検出するセンサ、高速作動弁を備える抑制器及び制御表示機器で構成される。抑制剤（通常、重炭酸ナトリウム又はリン酸アンモニウム）を爆発時に噴射し、熱を吸収して消火する。

一般的なシステムでは、粉末状抑制剤の分散剤として窒素を使用し、爆発を検出すると噴射弁を開き、容器の開口部を通じて粉末状抑制剤を噴射する。

## A.5 防護対策（4）－爆発伝ばの防止

爆発防護のための設計を適用する場合、爆発が他の機器又は建物に伝ばするのを防止するための措置が必要となる。流動層乾燥設備で実際に使用されている一般的な防護対策を次に示す。

### A.5.1 消火バリア

消火バリアは、爆発を検出するセンサによって起動するシステムであり、管路の中を進行する火炎を消すことによって爆発伝ばを防止する。消火バリアが起動すると、圧力を加えて適量の粉末状抑制剤を散布し、高速開放弁を通して管路に注入する。必要量は、存在する可燃性物質及び管路の断面積によって決まる。粉末状抑制剤が爆発火炎に有効に作用するためには、トリガーをかけるセンサと放出する抑制器との間に、ある程度の距離が必要となる。この距離は、システム全体の作動時間によって決まる。

消火バリアは爆発の火炎に作用するだけであり、圧力波は通過する（遮断できない）ことに注意する。

### A.5.2 風速検知形緊急遮断弁（フロート弁）システム

このシステムでは、原理的に、火炎前面の前方へ前進する圧力波によって弁が自発的に閉じる。爆発によって弁の閉鎖条件（設定風速以上）が成立すると弁体（フロート）がガスケットに押し当たって定位置に固定され、爆風が阻止される（附属書 D 参照）。

### A.5.3 圧力検知形緊急遮断弁（ゲート弁）システム

外部のエネルギー（圧縮ガス、生成ガスなど）を使用して高速に作動するゲート弁を閉じるシステムである。ゲート弁の閉鎖時間は 50 ms 以内とする。このシステムは、上流に取り付けたセンサが爆発圧力を検知することによって起動される。したがって、総合反応時間は、電子装置の感知・処理時間とゲート弁の閉鎖時間との和となる。

圧力及び火炎を閉じ込めるため、管路は弁によって密閉される。圧力及び火炎の前面が弁に到達する前にゲートを確実に閉じるためには、センサとゲート弁との間に所定の距離を設ける必要がある（附属書 D 参照）。

## A.6 防護対策（5）－センサ

センサを使用すれば初期爆発を早期に検出できる。例えば、所定の圧力又は圧力上昇速度（ $dP/dt$ ）を爆発検知のために利用できる。流動層乾燥設備では、乾燥室の上部に圧力センサを取り付ける。接続した管路には火炎センサを設置することがある。ただし、火炎センサでは初期爆発の感知が遅れる（火炎センサが初期爆発を感知するときには既に火炎が管路に入っている。）ことに注意する。圧力センサは激しい爆発をより早く検出し、火炎センサは軽度の爆発をより迅速に感知するので、安全面からは、両方のセンサを組み合わせるとより効果的である。

## 附属書 B

### (参考)

## 耐爆発圧力衝撃乾燥設備で使用可能な可燃性物質の選定方法

耐爆発圧力衝撃乾燥設備で使用可能な可燃性物質（粉体又はハイブリッド混合物）は、その最大爆発圧力が設計圧力以下のものに限定する必要がある。最大爆発圧力は JIS Z 8817 [5]に従って測定するが、この種の測定は耐爆発圧力衝撃乾燥設備の使用者が自ら実施することは困難であり、また、試験機関に依頼する場合には時間及び費用を要するので、別の指標から可燃性物質が使用可能であるかの判定ができれば便利である。そこで、文献等から入手可能な爆発指数又は爆発クラスによる判定基準を示すこととする。耐爆発圧力衝撃乾燥設備の標準的な設計圧力（絶対圧）は 1.2 MPa であるのでこれを前提とする。

### B.1 爆発指数又は爆発クラス

爆発指数 $K_{St}$ とは、JIS Z 8817 [5]又は同等の規格に従って測定した最大爆発圧力上昇速度を用いて、次式に従って決定する数値（仮数部は整数）であり、爆発の激しさを表す指標として用いられる。

$$K_{St} = \left( \frac{dP}{dt} \right)_{\max} \cdot V^{\frac{1}{3}} \quad (\times 10^2 \text{ kPa} \cdot \text{m/s}) \quad (\text{B.1})$$

ただし、 $P$  は圧力 (Pa) ,  $t$  は時間 (s) ,  $(dP/dt)_{\max}$  は最大爆発圧力上昇速度 ( $\times 10^2$  kPa/s) ,  $V$  は爆発容器の内容積 ( $\text{m}^3$ ) である。

爆発指数を数値によって区分したものが爆発クラス St であり、爆発指数と爆発クラスとは表 B.1 のように対応付けられる。

表 B.1 爆発クラスの分類

爆発クラス St	爆発指数 $K_{St}$ ( $\times 10^2$ kPa·m/s)	爆発の程度
0	$K_{St} = 0$	爆発しない
1	$1 \leq K_{St} \leq 200$	弱い爆発
2	$201 \leq K_{St} \leq 300$	強い爆発
3	$K_{St} \geq 301$	激しい爆発

注記  $K_{St}$ 値は爆発の激しさを示す指標であるが、物質が同じであっても、容器内の空間構造が複雑であったり、気流に乱れがあったりすると、火炎面積が増大して燃焼速度が速くなり、結果として圧力上昇速度、すなわち実際の $K_{St}$ 値が試験値より大きくなることもある。

### B.2 爆発指数、爆発クラスと最大爆発圧力との関係

耐爆発圧力衝撃構造では、設計圧力に最大爆発圧力 $P_{\max}$ を用いるので、爆発指数 $K_{St}$ 又は爆発クラス St と最大爆発圧力との相関関係を知る必要がある。文献[9]に記載されているデータから穀物、薬品、及び

合成樹脂 40 種類を抜粋してプロットすると図 B.1 のようになる。これをみると、 $K_{St}$ と $P_{max}$ との間には正の相関（相関係数 0.58）があることがわかる。特に、一般の粉じんでは $K_{St} \leq 300 \times 10^2 \text{ kPa}\cdot\text{m/s}$ 、かつ、 $P_{max} \leq 1.2 \text{ MPa}$ のものがほとんどであり、多くは $P_{max} \leq 1.0 \text{ MPa}$ である。

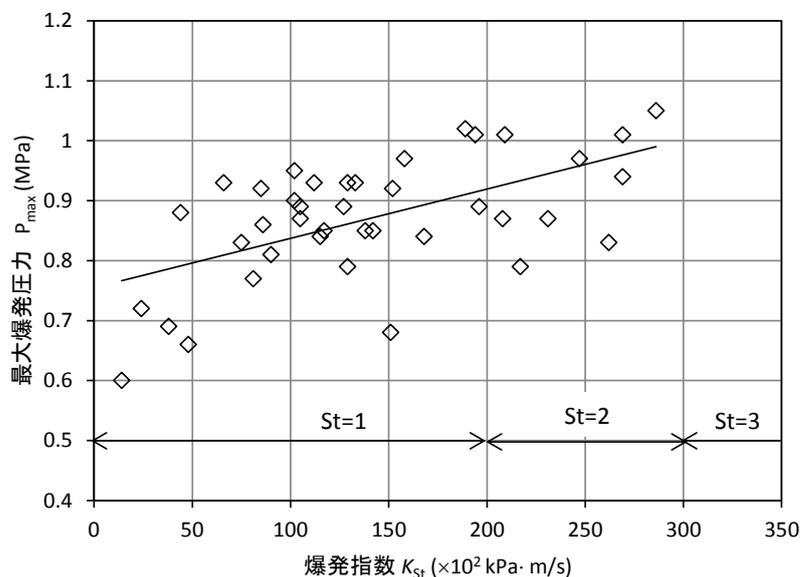


図 B.1 爆発指数  $K_{St}$  と最大爆発圧力  $P_{max}$ （ゲージ圧）との相関関係

一方、ガス・蒸気の $K_G$ （粉じんの $K_{St}$ に相当する。）は、流動層乾燥設備でよく用いられる可燃性溶剤であるエタノール、アセトン及びイソプロパノールでは、いずれも $K_G \leq 100 \times 10^2 \text{ kPa}\cdot\text{m/s}$ であり、 $P_{max}$ も $P_{max} \leq 0.7 \text{ MPa}$ である<sup>2</sup>。このようなガス・蒸気と粉じんとハイブリッド混合物の $K_{St}$ は、ガス・蒸気の $K_G$ と粉じんの $K_{St}$ との和に近くなるが、 $P_{max}$ は、粉じんのそれをわずかに上回る程度であることがわかっている[1]。したがって、ハイブリッド混合物の $K_{St}$ が $K_{St} \leq 400 \times 10^2 \text{ kPa}\cdot\text{m/s}$ であれば、 $P_{max} > 1.2 \text{ MPa}$ となる可能性は極めて小さい。

### B.3 爆発指数又は爆発クラスによる使用可能な可燃性物質

B.2 から、設計圧力 1.2 MPa の耐爆発圧力衝撃乾燥設備において使用可能な可燃性物質は、その最大爆発圧力が設計圧力以下であるという根拠を示すデータがない限り、次のものに限定することを推奨する。

- (1) 粉体だけの場合（可燃性溶剤を使用しない場合）

爆発指数 $K_{St} \leq 300 \times 10^2 \text{ kPa}\cdot\text{m/s}$  又は爆発クラス  $St \leq 2$

- (2) ハイブリッド混合物となった場合（可燃性溶剤を使用する場合）

(1) の粉体とガス・蒸気との混合物であって、合計の爆発指数 $K_{St} + K_G \leq 400 \times 10^2 \text{ kPa}\cdot\text{m/s}$

<sup>2</sup> 文献[10]によれば、エタノール、アセトン並びにイソプロパノールについては、 $K_G$  ( $\times 10^2 \text{ kPa}\cdot\text{m/s}$ ) 及び  $P_{max}$  (MPa) は、それぞれ 78 及び 0.70、65 及び 0.73、並びに 84 及び 0.78 である。

## 附属書 C

(参考)

### 回転対称（円筒状）乾燥容器の許容板厚の計算例

この附属書では、内圧を保持する耐爆発圧力衝撃乾燥設備の胴及び鏡板の計算厚さについて、基本的な計算方法を示す。詳細な計算方法については、JIS B 8265 及び JIS B 8267 の附属書 E を参照するとよい。

#### C.1 内圧を保持する胴

内圧を保持する胴の計算厚さについて次に示す。

##### C.1.1 記号の意味

この附属書で用いる記号の意味は、次による。

$D_i$  : 胴の内径 (mm)。円すい胴の場合、計算厚さを計算する位置での内径で、軸に直角に測った値

$D_o$  : 胴の外径 (mm)。円すい胴の場合、計算厚さを計算する位置での外径で、軸に直角に測った値

$P$  : 設計圧力 (MPa)

$t$  : 胴又は大径端部における円筒胴の計算厚さ (mm)。円すい胴の場合、内径 $D_i$ の位置での計算厚さ

$\eta$  : 溶接継手効率

$\theta$  : 円すいの頂角の 1/2 の角度 (度)

$\sigma_a$  : 材料の設計温度における許容引張応力 (N/mm<sup>2</sup>)

##### C.1.2 円筒胴の計算厚さ

円筒胴の計算厚さは、次の a) 又は b) による。

a)  $P \leq 0.385\sigma_a\eta$

・ 内径基準の場合 :

$$t = \frac{PD_i}{2\sigma_a\eta - 1.2P} \quad (\text{C.1})$$

・ 外径基準の場合 :

$$t = \frac{PD_o}{2\sigma_a\eta + 0.8P} \quad (\text{C.2})$$

b)  $P > 0.385\sigma_a\eta$

・ 内径基準の場合 :

$$t = \frac{D_i}{2}(\sqrt{Z} - 1) \quad (\text{C.3})$$

・ 外径基準の場合 :

$$(\text{C.4})$$

$$t = \frac{D_o}{2} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{Z}} \right)$$

ここに,

$$Z = \frac{\sigma_a \eta + P}{\sigma_a \eta - P} \quad (C.5)$$

### C.1.3 球形胴の計算厚さ

球形胴の計算厚さは、次の a) 又は b) による。

a)  $P \leq 0.665\sigma_a \eta$

・ 内径基準の場合 :

$$t = \frac{PD_i}{4\sigma_a \eta - 0.4P} \quad (C.6)$$

・ 外径基準の場合 :

$$t = \frac{PD_o}{4\sigma_a \eta + 1.6P} \quad (C.7)$$

b)  $P > 0.665\sigma_a \eta$

・ 内径基準の場合 :

$$t = \frac{D_i}{2} (\sqrt[3]{Y} - 1) \quad (C.8)$$

・ 外径基準の場合 :

$$t = \frac{D_o}{2} \left( 1 - \frac{1}{\sqrt[3]{Y}} \right) \quad (C.9)$$

ここに,

$$Y = \frac{2(\sigma_a \eta + P)}{2\sigma_a \eta - P} \quad (C.10)$$

### C.1.4 同軸の円すい胴の計算厚さ

同軸の円すい胴の計算厚さは、次による。

・ 内径基準の場合 :

$$t = \frac{PD_i}{2 \cos \theta (\sigma_a \eta - 0.6P)} \quad (C.11)$$

・ 外径基準の場合 :

$$t = \frac{PD_o}{2 \cos \theta (\sigma_a \eta + 0.4P)} \quad (C.12)$$

## C.2 内圧を保持する鏡板

内圧を保持し、ステーによって支えない鏡板の計算厚さについて次に示す。

### C.2.1 記号の意味

ここで用いる記号の意味は、次による。

$D$  : 皿形鏡板のフランジ部内径, 半だ円形鏡板のだ円の内長径, 又は円形以外の平鏡板の $d$ に直角に測った最大スパン (mm)

$D_0$  : 半だ円形鏡板のだ円の外長径 (mm)

$d$  : 円形平鏡板の計算に用いる内径, 又は円形以外の平鏡板の最小スパン (mm)

$2h$  : 半だ円形鏡板のだ円の内短径 (mm)

$K$  : 半だ円形鏡板の形状による係数で, 次の式による。

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left( \frac{D}{2h} \right)^2 \right\} \quad (\text{C.13})$$

$M$  : 皿形鏡板の形状による係数で, 次の式による。

$$M = \frac{1}{4} \left( 3 + \sqrt{\frac{R}{r_0}} \right) \quad (\text{C.14})$$

$P$  : 設計圧力 (MPa) (ゲージ圧)

$R$  : 皿形鏡板の中央の球形部の内半径で, 次の式による (mm)

$$R \leq 1.5(D + 2t) \quad (\text{C.15})$$

$R_0$  : 皿形鏡板の中央の球形部の外半径 (mm)

$r_0$  : 皿形鏡板のすみの丸みの内半径で, 次の式による (mm)

$$r_0 \geq 0.06(D + 2t), \text{ かつ, } r_0 \geq 3t \quad (\text{C.16})$$

$t$  : 皿形鏡板の計算厚さ, 又は半だ円形鏡板の計算厚さ (mm)

$\eta$  : 溶接継手効率

$\sigma_a$  : 材料の設計温度における許容引張応力 (N/mm<sup>2</sup>)

### C.2.2 全半球形鏡板の計算厚さ

ステーによって支えない全半球形鏡板の計算厚さは, C.1.3 による。

### C.2.3 皿形鏡板の計算厚さ

ステーによって支えない皿形鏡板の計算厚さは, 次の式による。

・ 内径基準の場合 :

$$t = \frac{PRM}{2\sigma_a\eta - 0.2P} \quad (\text{C.17})$$

・ 外径基準の場合 :

$$t = \frac{PR_0M}{2\sigma_a\eta + P(M - 0.2)} \quad (\text{C.18})$$

### C.2.4 半だ円形鏡板の計算厚さ

ステーによって支えない半だ円形鏡板の計算厚さは, 次の式による。

・ 内径基準の場合 :

$$t = \frac{PDK}{2\sigma_a\eta - 0.2P} \quad (\text{C.19})$$

・外径基準の場合：

$$t = \frac{PD_oK}{2\sigma_a\eta + 2P(K - 0.1)} \quad (\text{C.20})$$

## 附属書 D

### (規定)

#### 緊急遮断弁に関する要求事項及び設置場所

耐爆発圧力衝撃乾燥設備には、爆発発生時に、容器に接続された配管から爆発が伝ばしないようにするため、適切な緊急遮断弁を備えなければならない。この附属書では、緊急遮断弁に関する要求事項及び設置場所について規定する。

##### D.1 一般事項

緊急遮断弁は、爆発を検知し、能動的に抑止手段を講じるもので、これには高速遮断弁などの機械的遮断方式及び抑制剤を噴射して火炎を遮断する化学的遮断方式があるが、耐爆発圧力衝撃乾燥設備には、爆発の圧力及び火炎を共に遮断するため、機械的遮断方式を選択し、給気ダクト及び排気ダクトに設置する(図 D.1)。必要に応じて、機械的遮断方式と化学的遮断方式とを併用してもよい。

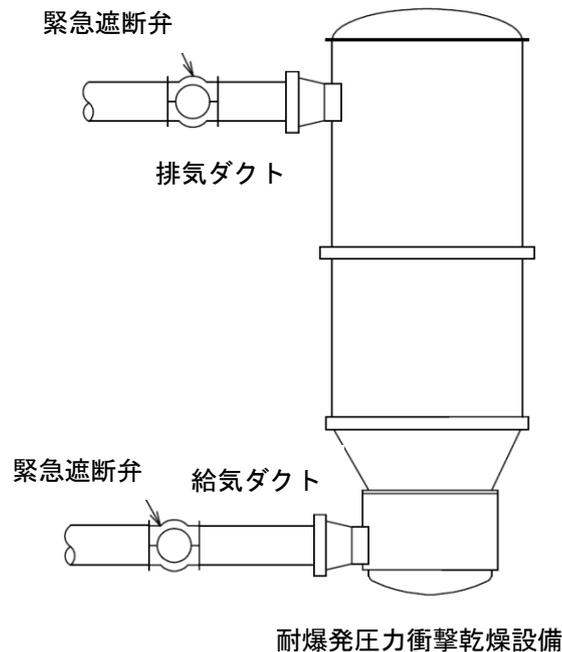


図 D.1 緊急遮断弁の設置例

##### D.2 機械的遮断方式による緊急遮断弁の要求事項

耐爆発圧力衝撃乾燥設備に使用できる機械的遮断方式による緊急遮断弁には、風速検知形(フロート弁)及び圧力検知形(ゲート弁)の二種類がある。いずれも乾燥設備内で爆発が発生したとき、遮断面装着のガスケットが破損するなどの損傷がなく、乾燥設備側から見て外向きに火炎が漏れてはならない。

### D.2.1 風速検知形（フロート弁）

風速検知形は、通常時には気流を妨げないが、爆発による圧力波によって弁を通過する風速があらかじめ設定した値以上となったときには瞬時に流路を遮断するように弁体を作動させる方式である（図 D.2）。通常、弁の上流側又は下流側のいずれで爆発が発生しても作動するように設計されている。

風速検知形の要求事項を次に示す。

- (1) 最小作動風速：20 m/s
- (2) 耐圧力：最大爆発圧力に耐えること。この場合、仕様上、乾燥設備の設計圧力以上の耐圧力をもつ、又は爆発実験等によって爆発の圧力に耐えることが証明されているものでなければならない。

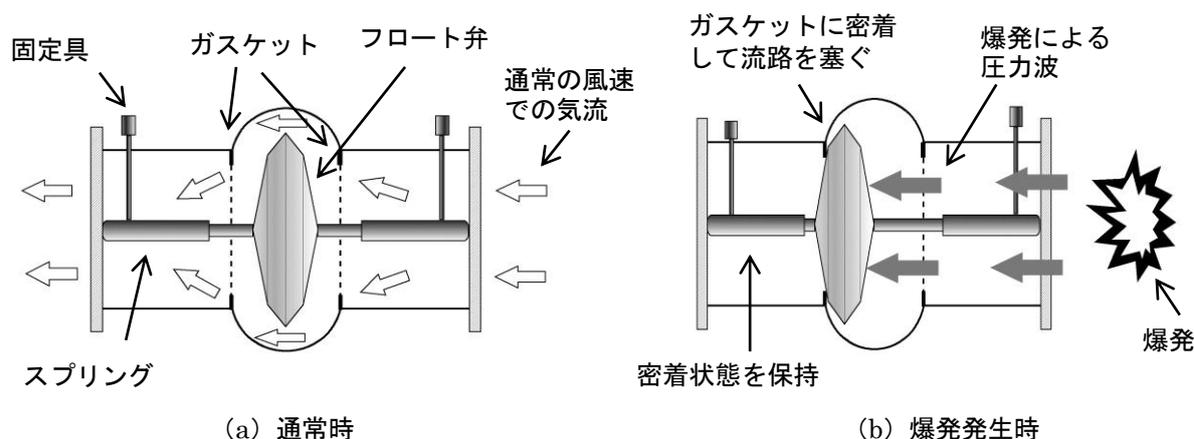


図 D.2 風速検知形（フロート弁）

### D.2.2 圧力検知形（ゲート弁）

圧力検知形は、乾燥容器の側壁に圧力センサを取り付け、あらかじめ設定した値の圧力を検知したとき、高压ガスを用いて瞬時に弁体を閉じる方式である（図 D.3）。圧力検知形の要求事項を次に示す。

- (1) 作動圧力設定値：10 kPa～30 kPa
- (2) 作動開始時間：20 ms 以下
- (3) 耐圧力：最大爆発圧力に耐えること。この場合、仕様上、乾燥設備の設計圧力以上の耐圧力をもつ、又は爆発実験等によって爆発の圧力に耐えることが証明されているものでなければならない。
- (4) 遮断速度：5 m/s 以上

### D.3 機械的遮断方式による緊急遮断弁の設置場所

機械的遮断方式による緊急遮断弁の設置場所は、図 D.1 に示すように、給気口及び排気口から所定の距離となる位置とするが、使用する原料粉体等の爆発指数及びダクト口径の影響を受けるので、事前に製造者に、使用する粉体の爆発指数又は爆発クラス、最大爆発圧力などの情報を提供しておくことが望ましい。

風速検知形及び圧力検知形について、爆発指数に対応した一般的な取付け位置（給気口又は排気口からの距離）を表 D.1 及び表 D.2 に示す。

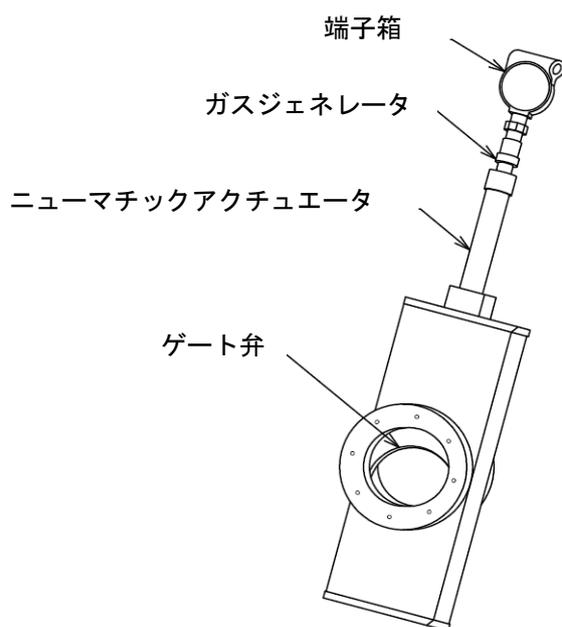


図 D.3 圧力検知形（ゲート弁）

表 D.1 風速検知形の一般的な取付け位置

対象物質及び爆発指数 ( $\times 10^2$ kPa m/s)	最小距離 (m)	最大距離 (m)
ガス・蒸気： $K_G \leq 100$	3	8
粉じん： $K_{St} \leq 300$	3	12
ハイブリッド混合物： $K_{St} + K_G \leq 400$	3	5

(注：NFPA69:2014, *Standard on Explosion Prevention Systems* から引用)

表 D.2 圧力検知形の一般的な取付け位置

対象物質及び爆発指数 ( $\times 10^2$ kPa m/s)	最小距離 (m)	最大距離 (m)
ガス・蒸気： $K_G \leq 100$	1	5
粉じん： $K_{St} \leq 300$	1	8
ハイブリッド混合物： $K_{St} + K_G \leq 500$	1	3

(注：BS&B セイフティシステムズ製品の規格から引用)

**注記** 風速検知形と圧力検知形とは弁体の作動機構が異なり、作動速度も異なる。したがって、緊急遮断弁の取付け位置の最大距離及び最小距離が異なることに注意する。

## 附属書 E

### (規定)

#### 爆発が発生した後の復旧方法（臨時検査）

この附属書では、耐爆発圧力衝撃乾燥設備において、爆発が発生した後の復旧方法の判定基準を示す。一度でも爆発が発生した場合、装置類の再使用の判定は次による。いかなる判定においても、事前に製造者と十分に協議しなければならない。

##### E.1 変形がない場合

容器壁面、接合部又は支持部に変形がなく、かつ、洗浄後、検査の結果、容器の本体内部に損傷、焼け、焦げ跡がないときは、そのまま再使用してもよい。

**注記** ここで、検査とは、浸透探傷検査など、適切な工業規格に準拠して行うものをいう。

##### E.2 軽微な変形がある場合

容器壁面、接合部又は支持部に目視で確認できる軽微な変形がある場合、6.2（水圧試験）に従う試験及び検査によって装置の耐爆発圧力衝撃性能が規定値を満たすことを確認できるときは、そのまま再使用してよい。

**注記** 軽微な変形とは、容器壁面、接合面又は支持部のわずかなたわみ、ひずみ、ずれなどをいい、原料製品が容器外部へ漏れることがなく、かつ、通常運転において支障のない状態をいう。

##### E.3 大きな変形等がある場合

容器の壁面、接合部又は支持部に大きな変形、ひび又は破損があるときは、再使用することはできない（修理又は交換を要する。）。

## 附属書 F

### (参考)

## 耐爆発圧力衝撃容器の構造材料に関する補足情報

### F.1 構造材料の特性値に関する根拠

耐爆発圧力衝撃容器は、材料の変形によって衝撃を吸収し破壊を防止するものであるため、その構造材料は、圧力容器に使用可能な材料のうち、十分な靱性を有するものでなければならない。十分な靱性の基準値として、本指針では、欧州規格 EN 14460:2006 (Explosion resistant equipment) の規定に準じて、鉄鋼材料については「常温での破断伸びが 14 %以上、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーが 27 J 以上」を、また、アルミ合金については「破断伸び 20%以上」を採用した。

また、ドイツ技術者協会規格 VDI 2263 Part 3:2003 (Pressure-shock-resistant Vessels and Apparatus Calculation, Construction and Tests) においては、ある種の材料 (圧延鋼、鍛鋼など) に対しては、降伏点又は 0.2%耐力を  $360 \text{ N/mm}^2$  以下とする旨の記述があるが、例えば、 $590 \text{ N/mm}^2$  級高張力鋼板は降伏点が  $450 \text{ N/mm}^2$  と、 $360 \text{ N/mm}^2$  を超えていても伸びは 20%以上、また、シャルピー衝撃試験の吸収エネルギーも 47 J 以上あるなど、構造材料として十分な靱性を有していることから、本指針では降伏点又は 0.2%耐力の上限は設定しないこととした。

### F.2 鋳鉄の制限

鋳鉄については、圧力容器構造規格第 4 条 1 項では、鋳鉄品には十分な靱性がないため、鋳造品以外の鉄鋼材料と比較して安全率を大きく (6.25 又は 10) していることから、耐爆発圧力衝撃容器への使用を認めないこととした。

### F.3 鋳鋼の制限

鋳鋼については、圧力容器構造規格第 4 条 2 項イに掲げる材料の中には、該当する日本工業規格 (JIS) にシャルピー衝撃試験の吸収エネルギーが規定されていないものがあるなど、靱性が十分でない可能性があることから、耐爆発圧力衝撃容器への使用を認めないこととした。

## 文献

- [1] VDI-2263-5:2005, *Dust fires and dust explosions, Hazards - assessment - protective measures, Explosion protection in fluidized bed dryers* (2005)
- [2] VDI-2263-5.1:2004, *Dust fires and dust explosions, Hazards - assessment - protective measures, Explosion protection in fluidized bed dryers, Hints and examples of operation* (2004)
- [3] IEC/TS 60079-32-1:2013, *Explosive atmospheres – Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance* (2013)
- [4] 静電気安全指針 2007, 産業安全研究所技術指針, NIIS-TR-No.42 (2007)
- [5] JIS Z 8817:2002, 可燃性粉じんの爆発圧力及び圧力上昇速度の測定方法 (2002)
- [6] JIS Z 8834:2016, 粉じん・空気混合物の最小着火エネルギー測定方法 (2016)
- [7] ISO/IEC 80079-20-2:2016, *Explosive atmospheres – Part 20-2: Material characteristics - Combustible dusts test methods* (2016)
- [8] 爆発圧力放散設備技術指針 (改訂版), 産業安全研究所技術指針, NIIS-TR-No.38 (2005)
- [9] 可燃性粉じんの爆発圧力及び圧力上昇速度の測定方法, 産業安全研究所技術指針, RIIS-TR-94-1 (1994)
- [10] NFPA 68:2007, *Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting* (2007)

労働安全衛生総合研究所技術指針 JNIOSH-TR-47 : 2017

---

発行日 平成29年3月1日 第1刷  
著者 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  
発行者 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  
〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6  
電話 042-491-4512

---

(不許複製)

TECHNICAL RECOMMENDATIONS  
OF THE NATIONAL INSTITUTE  
OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

JNIOOSH-TR-47:2017

Recommended Practices for  
Explosion Pressure Shock-resistant Dryers  
(Revised edition)



THE NATIONAL INSTITUTE  
OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH  
1-4-6 Umezono, Kiyose, Tokyo 204-0024, JAPAN