

## 第 1 5 乾燥設備の保安対策の例

### 1 危険要因と安全対策

乾燥設備は、乾燥材料、除去物質の種類、物性、形態、更に工程中における利便性や経済性等、種々の要件を考慮し、多くの乾燥方式及びそれに基づく機種が工業的に利用されている。一般に、乾燥設備はそれ自体熱源を有し、また、乾燥材料の中には可燃性物質、物理的、化学的に不安定な物質、更には多量の有機溶剤を含んだ物質等、潜在危険の高い多種多様の物質が処理されているのが現状である。

乾燥設備についての出火、爆発の危険性を検討し、考慮すべき基本的な安全対策について各項目毎にまとめると次のとおりである。

なお、下表は各危険要因に対比して安全対策を列記したものであり、必ずしもこれら全ての安全対策を講ずる必要はなく、一つの安全対策を講ずることにより、他の複数の危険要因が必然的に防止可能な場合が多くある点に留意すること。

また、保安対策の基本的考え方は、一つのトラブルで重大な危険と直結することを回避することであり、予測される危険性の程度に応じて二次的、三次的な安全対策を講ずるという考えが一般的である。

	危険要因	安全対策
機種選定	乾燥材料、除去物質の物性・形態等に応じた乾燥設備の機種設定を誤り乾燥材料等から出火する。	熱・衝撃等に不安定な物質の乾燥にあつては、真空乾燥、凍結乾燥等の静置状態での低温乾燥又は不活性ガス中の乾燥方式とする。
		<p>気流乾燥、流動層乾燥、粉碎乾燥、噴流層乾燥、噴霧乾燥(スプレードライヤー)方式のものにあつては、多量の粉体が浮遊し、乾燥材料によっては粉じん爆発の危険性が高いため、特に静電気防止等に配慮する。</p> <p>なお、バグフィルターを組込んだものにあつては、フィルターに導電性繊維を使用する。バグハウスは接地する等の静電気対策を講じるとともに、必要により温度管理、放爆措置、消火設備の設置等を行う。</p>

		<p>可燃性粉じん、有機溶剤等を多量に含んだ乾燥材料にあつては、原則として直火方式(注1)、電熱機器を用いた設備は使用しない。</p> <p>(例えば、赤外線乾燥にあつては、ガス濃度を爆発下限界の1/4以下とし必要に応じエアーカーテン、ガラス板等で仕切り措置をする。)</p>
		<p>熱風循環式(注2)の通気バンド乾燥、箱型乾燥、バンド流動層乾燥、流動層乾燥、気流乾燥等の設備は、特に排気温度、ガス濃度が上昇し、また機壁、ダクト内にミスト等が凝縮し易く、ガス濃度、温度センサーの設置、更にフィルター等でのミストの捕捉措置をする必要がある。</p>
		<p>バンド乾燥、バンド流動乾燥、ドラム乾燥等は、乾燥材料の粒子破壊による粉じん発生を防止することが可能である。</p>
設置場所	乾燥設備、熱風ダクト等からの熱伝導、熱放射により出火する。	<p>可燃物から十分な距離を確保する。</p> <p>(火災予防条例第3条基準参照)</p>
	乾燥設備周辺に滞留した可燃性ガス等に加熱装置等より引火する。	<p>可燃性ガス、粉じん等が滞留するおそれのある場所には、加熱装置として電熱機器、バーナー燃焼方式を用いる設備は設けない。</p>
乾燥室本体	乾燥設備の爆発により建築物等を破壊する。	<p>乾燥炉には使用形態等に応じて爆発時の放爆措置として放散孔、爆発扉、爆発リリーフ等を設ける。</p>
		<p>放散孔等の設置位置は、放爆時の人的物的危険を考慮した位置とし、かつ、壁、天井等から十分な空間距離を確保する。</p>
		<p>有機溶剤等を除去するものにあつては、特に十分な排気量(注3)を確保する。</p> <p>(可燃性ガス濃度は爆発下限界の1/4以下とする。)</p>
		<p>不燃材料で造るものとし、放爆を考慮し、原則として、側部、底部は堅固なものとし、上部は軽量な不燃材料で造る。</p>

		<p>のぞき窓、出入口、換気孔等の開口部を設ける場合にあっては、その位置は延焼拡大危険が少ない位置に設け、かつ、緊急時に直ちに閉鎖できる構造のものとする。</p> <p>自動温度調整装置を設ける。</p>
	乾燥室内に堆積した乾燥材料の層が長期加熱により発火する。	点検、清掃が容易に実施できる構造とする。
加	バーナーの不着火により未燃焼ガスが再点火時爆発する。	バーナー不着火時、燃焼供給を停止するインターロック機構とする（フレイムアイ、フレイムロッド等の火炎検出器の設置）。
		プレパージ(注4)から点火、ポストパージ(注5)まで、全ての操作をシーケンス制御により自動化する。
熱	加熱装置の異常温度上昇により乾燥材料が着火する。	炉内温度測定用センサーを設け加熱装置とインターロックする。
		赤外線ヒーター等の電熱装置にあっては、異常電流を検知し制御する機構とする。
		蒸気加熱する装置にあっては、蒸気コントロール用減圧弁等の異常を検知し、電磁弁等で遮断する機構とする。
		自動温度制御装置を組み込んだ装置にあっては、故障時における二次的保安措置を考慮する。
装	直火方式のもので、バーナーの燃焼ガス中に火の粉(鉄さび、乾燥屑など)が混入し、乾燥材料に着火する。	乾燥室内に火の粉が送り込まれないよう、捕捉措置を講じる必要がある。
		加熱された熱媒油(3(2)参照)が漏洩し、発火又は引火する。
		熱媒油は、努めて不燃性又は高引火点のものを使用する。
置	加熱された熱媒油(3(2)参照)が漏洩し、発火又は引火する。	熱媒油加熱装置には、加熱防止措置を講じる。
		熱媒油は、原則として発火点以上の加熱状態で使用しない。

		<p>熱媒油の膨張タンク等は、必要に応じて窒素ガス等で封入する。</p> <p>熱媒油の循環系統の異常(循環停止等)を検知し、加熱装置とインターロックする。</p>
	<p>ガスバーナーを使用する装置で燃料ガスの圧力調整の不調で異常燃焼を起こす。</p>	<p>ガス調整器、高圧用・低圧用圧力制御スイッチを燃料配管に取り付け、燃料の緊急遮断装置とインターロックする。</p>
	<p>地震動等により、配管の亀裂等で漏油あるいは機器の制御不能による不完全燃焼を起こす。</p>	<p>地震動等により作動する安全装置を設ける。</p>
乾燥材料自動送り込み装置	<p>送り込み装置の停止若しくは減速又は乾燥材料の詰まりにより乾燥材料が過熱し着火、又は有機溶剤が充満し引火する。</p>	<p>送り込み装置の異常を検知する装置(送り込み用モーターの電流値検出等)を設置し、熱源遮断装置とインターロックする。</p>
	<p>ロール紙等の乾燥材料の連続送り込み装置がバランスを失し、弛み等を生じて乾燥材料が加熱装置に接触し、出火する。</p>	<p>同 上</p> <p>加熱装置との接触の防止を図るため、ガイド・ネット等の保護措置を講じる。</p>
	<p>乾燥材料が高速で送り込まれたため帯電し、静電スパークにより内部に滞留した可燃性蒸気に引火する。</p>	<p>乾燥材料の物性・形態・除去物質を考慮して、送り込み装置等の材質、送り込み速度を決定する。</p> <p>乾燥設備を接地し、必要に応じて静電気を有効に除去する装置を組み込む。</p>
	<p>前工程で異常に有機溶剤等を塗布された乾燥材料が連続的に乾燥設備に送り込まれ爆発する。</p>	<p>前工程における異常をキャッチする装置(可燃性ガス検出器等)を設け、送り込み機構、熱源遮断装置等とインターロックする。</p> <p>送り込まれる乾燥材料中の有機溶剤量の変動幅の大きいものにあつては、事前に一次処理を検討する。</p>
ダクト	<p>火災発生時に拡大経路となる。</p>	<p>ダクトは不燃材料でつくり、使用形態等に応じて放爆措置を講じる。</p> <p>排気ダクトは、原則として単独系とする。</p>
	<p>ダクト内部に蒸発物質が付着し</p>	<p>排気ダクトは極端な屈曲部をさける。</p>

ダ ク ト	、長期加熱により蓄熱発火する。	点検口、清掃口を適宜設ける。
		蒸発物質が多い場合は、適切な位置にフィルター等の処理装置を設ける。
	直火方式の熱風ダクトに未燃ガス、すすがタール状に付着し、長期加熱により蓄熱発火する。	同 上
	ダクト接続部の隙間から蒸発性物質が漏えいし、ダクトの断熱材に浸透し発熱発火する。(特に植物油をベースにした塗料等の乾燥時には注意を要する。)	ダクト接続部等は不必要な断熱材等での被覆を避ける。
		グラスウール等含浸し易い被覆材料は使用しない。
ク ト	排気ダクトに付置したフィルターの目詰まりで炉内温度が上昇し、乾燥材料が発火する。	点検、清掃が容易に行える位置、構造のものとする。
		必要に応じ、ダクト内に風量(速)センサーを設け、警報装置、熱源遮断装置とインターロックする。
フ ア ン	直火式熱風循環のダクトに付置したエアフィルターが目詰まりで酸素量が不足し、熱風発生用バーナーが不完全燃焼を起こし、発生した未燃焼ガスが爆発する。	同 上
	排気ファンに蒸発物等が固着し摩擦熱により発火する。	点検、清掃が容易に行える位置、構造のものとする。
		ファン手前に蒸発物等の除去装置を設ける。
ン	過電流継電器を設ける。	
	排風機が故障等で停止し、炉内温度が上昇し、乾燥材料が発火する。	風量(速)センサー・温度センサー等を設け、警報装置、熱遮断装置と連動させる。
	操作ミス等を防止するため、ファン停止時には加熱装置が作動しないようにインターロック機構を組み込む。	

	送風機の異常停止により加熱用バーナーが異常燃焼し、未燃焼ガス等が爆発する。	同上
電 気 設 備	電気配線・機器等がショートし出火する。	電気配線は、高温部と接触しないような位置に堅固に配線する。
		電気配線は、敷設場所に応じて耐熱性を有するものを使用する。
		配線・機器の接続部は、振動等の少ない場所に設ける。
		電動機等の機器は、通風のよい場所に設ける。
	電気機器の火花により周囲に滞留した可燃性ガスに引火する。	可燃性ガスの滞留するおそれのある場所に設けるものにあつては、防爆構造のものを使用する。
	電動機に過負荷がかかり、過熱出火する。	過電流継電器を設ける。
	ファンモーター等の開閉器が、他設備と併用となっていたため他設備のスイッチを誤って切りファンモーター等が停止し、炉内温度が異常に上昇し、出火する。	乾燥設備に付属する電熱器、電動機等に接続する配線及び開閉器は専用回路とする。
	停電等により送風機が停止し、バーナーが異常燃焼する。	停電時における安全装置(使用中停電した場合、燃焼を停止するもの)を設け、かつ、再通電した場合でも危険性のない構造とする。
特に重要な設備には、非常電源を設ける。		

備考

- (注1) バーナーの燃焼ガスを直接乾燥室に送り込み乾燥させる方式のもの。
- (注2) 乾燥室から一度排出された熱風を循環させ再利用する方式のもの。
- (注3) 危険物を溶剤とする物質を乾燥する場合における排気量の目安は、可燃性ガスの濃度が爆発下限界の1/4以下となるようにした場合、次のとおりである。なお、式はあくまで理論的なもので、実際には、さらに十分な排気量を要する。

$$V = 22,400 \times \frac{4w}{60M\beta} \quad (\text{m}^3/\text{min})$$

V:排気量( $\ell$  /min)

M:溶剤の分子量

$\beta$ :溶剤の爆発濃度下限界

w:蒸発溶剤量(kg/h)

(注4) バーナーに点火する際、事前に燃焼室内へ送風し未燃焼ガス等を完全に除去すること。

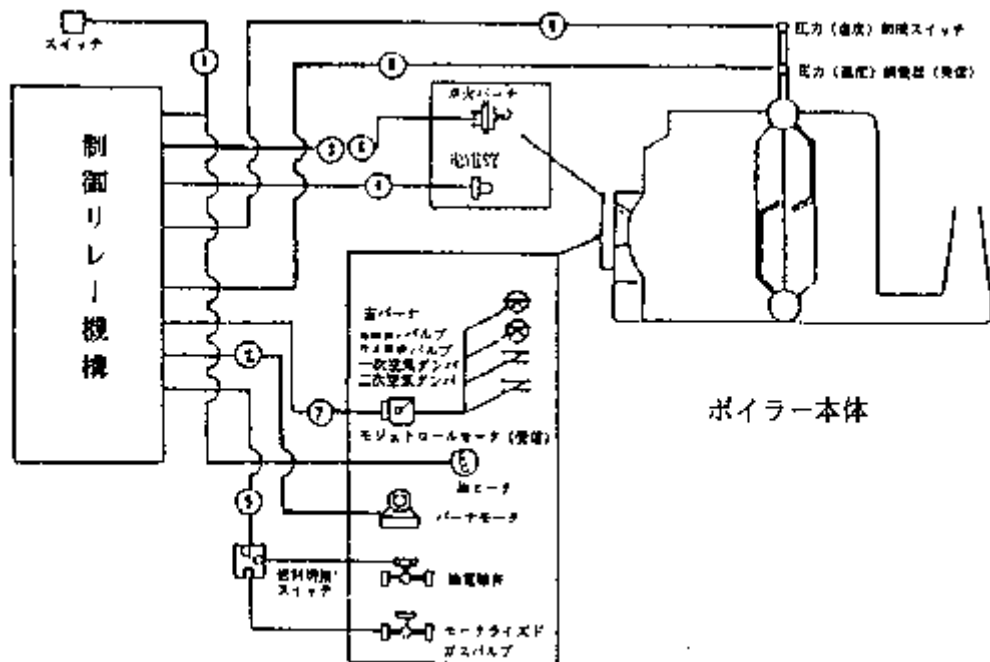
(注5) バーナーの燃焼を止めた後、ある一定時間送風を継続して、燃焼室内の未燃焼ガス等を完全に除去すること。

## 2 装置の安全対策

### (1) 誤操作防止の制御機構

#### ア シーケンス制御

予め正確な操作手順をシーケンスとして組み込み、装置類をそれに基づき自動操作するもので、特に危険な操作や、複雑な操作を行う場合の誤操作防止を図っていくものである。



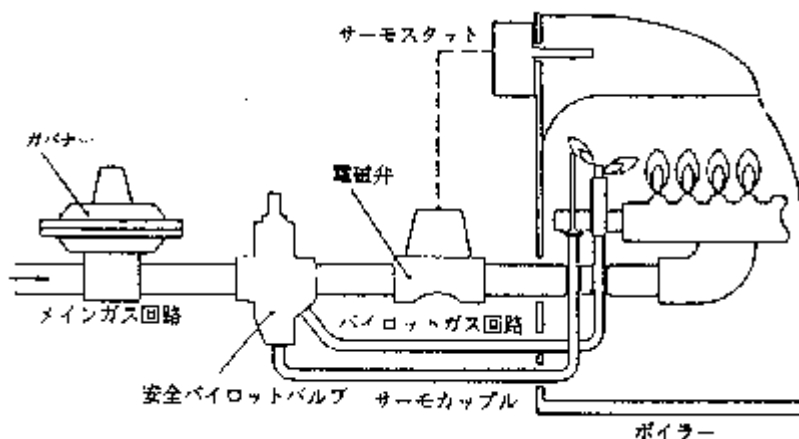
- ① 制御リレー機構に電源が入る
- ② バーナーモータ回路を閉にしバーナファンを回転させて、炉内のガスをパージする。
- ③ プレパージ(30~40秒)後、ガス点火バーナーが作動し、点火用ガスが燃焼する。
- ④ 点火用ガスの炎を光電管回路により確認する。

- ⑤ 主バーナー附属の油電磁弁(又はモーターライズドガスバルブ)が開き燃焼油(又はガス)が噴霧を始め着火する。
- ⑥ 点火バーナー電気回路を閉にし着火バーナーの燃焼を停止する(ガス燃焼の場合はスパークのみ停止)。
- ⑦ モジュトロールモータが作動し、油又はガス調節バルブ、一次、二次空気ダンパーが開き、高燃焼に移行する。
- ⑧ 以上で正常運転に入るが、ボイラーの圧力(温度)が設定圧力(温度)に達すると圧力(温度)調節器と、モジュトロールモータ間の調節用回路が働き常に一定圧力(温度)を維持するよう燃焼を自動制御する。
- ⑨ 圧力(温度)制御スイッチはボイラーの圧力(温度)が制限圧力(温度)になった場合にはバーナー運転を停止する。また、圧力(温度)が下がるとバーナーは②の順序を経て自動的に起動する。

### 第 1-7-1 図 ボイラーの自動運転制御システムの例

#### イ インターロック機構 (第 1-7-2 図参照)

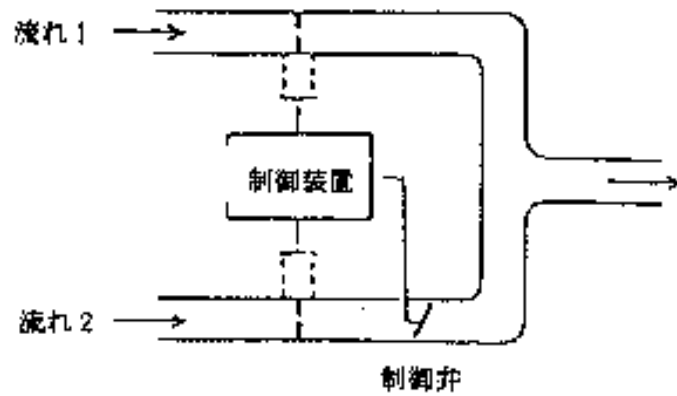
操作手順や状態が設定条件と違っている場合に、その操作が行えないか、若しくは操作しても無効となるようなシステムをいう。第 1-7-2 図はその一例で、パイロットバーナーが着火しないとき、又は消えた場合に主バーナーの燃料バルブが開かないような機構としたのもである。



### 第 1-7-2 図 ガスバーナーの制御例

#### ウ 連動機構 (第 1-7-3 図参照)

例えば、2種の流体を一定比率で混合させる自動制御を行っている装置で、一方の流量が規定値から外れると危険な状態になるようなケースにおいて、流量変動を生じる恐れの高い側の流量に他方の流量を追従させ、常に一定の比率を保つ比率自動制御を行う場合等である。このようなシステムを組み込むことによって、ポンプの故障による混合割合の変化を無くし、危険を回避することができる。



第 1 - 7 - 3 図 流量比率制御

(2) 乾燥設備の自動温度制御方法

ア 乾燥材料の供給量制御

蒸発水分等の変動に対して、乾燥材料の供給量又は供給速度を変化させることで排気温度を一定に調節する方法

イ 風量制御

蒸発水分等の変化に伴う温度の変動に対して、排風機のダンパー制御による風量増減で排気温度を一定に調節する方法

ウ 熱風温度制御

風量と乾燥材料の供給量を一定として、蒸発水分の変化に伴う排気温度の変動に対しては、熱風温度を上下させることで排気温度を一定に調節する方法

(3) 計測装置の種類

乾燥設備には、本体及びそれに付属する設備を適正に運転するため、また、異常時の変化をとらえるために種々の計測装置等が付置されている。このうち、保安上、乾燥設備に付置されている計測装置の主なものをあげると第 1 - 7 - 1 表のとおりである。

第 1 - 7 - 1 表 乾燥設備に付置する計測装置

装 置	内 容
温度測定装置	<p>炉内の雰囲気温度を測定し、異常温度を検知する。 設備の形状、内容物等により温度分布にばらつきがある場合には、多点監視又は最も高温となる箇所に設置する。</p> <p>〔 熱電対温度計、抵抗温度計、サーミスタ 膨張温度計(バイメタル、ブルドン管等) 放射温度計等 〕</p>

圧力測定装置	<p>圧力上昇するおそれのある設備には、圧力計等を設け、異常圧力を検知する。</p> <p>弾力圧力計(ブルドン管、ベローズ、ダイヤフラム等)、抵抗線式圧力計、圧電式圧力計等</p>
可燃性ガス濃度測定装置	<p>可燃性蒸気(燃焼設備の未燃焼ガスも含む)濃度が上昇するおそれのある設備に設ける。</p> <p>設備の形状、内容物等により、ベーパーが局部的に滞留するおそれのある場合には、多点監視又は最も高濃度となる箇所に設置する。</p> <p>なお吸引式による場合は、濃度変動を検知する遅れ時間が最小となる箇所に検知部を設ける。</p>
酸素濃度測定装置	<p>不燃性ガスでシールしながら乾燥を行う場合には、酸素の濃度測定を行う。</p>
風量・風速測定装置	<p>熱風供給、排気量等の変動により、炉内が過熱又は可燃性蒸気濃度が爆発範囲内に入る設備には、風量・風速を測定する装置を設ける。</p>
過電流測定装置	<p>換気、コンベアの電動機等の電気設備の負荷を計測し電気設備の加熱、換気量、コンベアの移送スピードの低下等を検知する。</p> <p>[過電流継電器等]</p>
静電電圧測定装置	<p>除電措置が有効にとれない場合には、静電気の帯電量を測定する。</p> <p>[静電気用電圧計等]</p>
異常燃焼測定装置	<p>バーナー等燃焼設備を有するものは、不完全燃焼を有効に検知する装置を設ける。</p> <p>[フレイムアイ、フレイムロッド、光電管式等]</p>

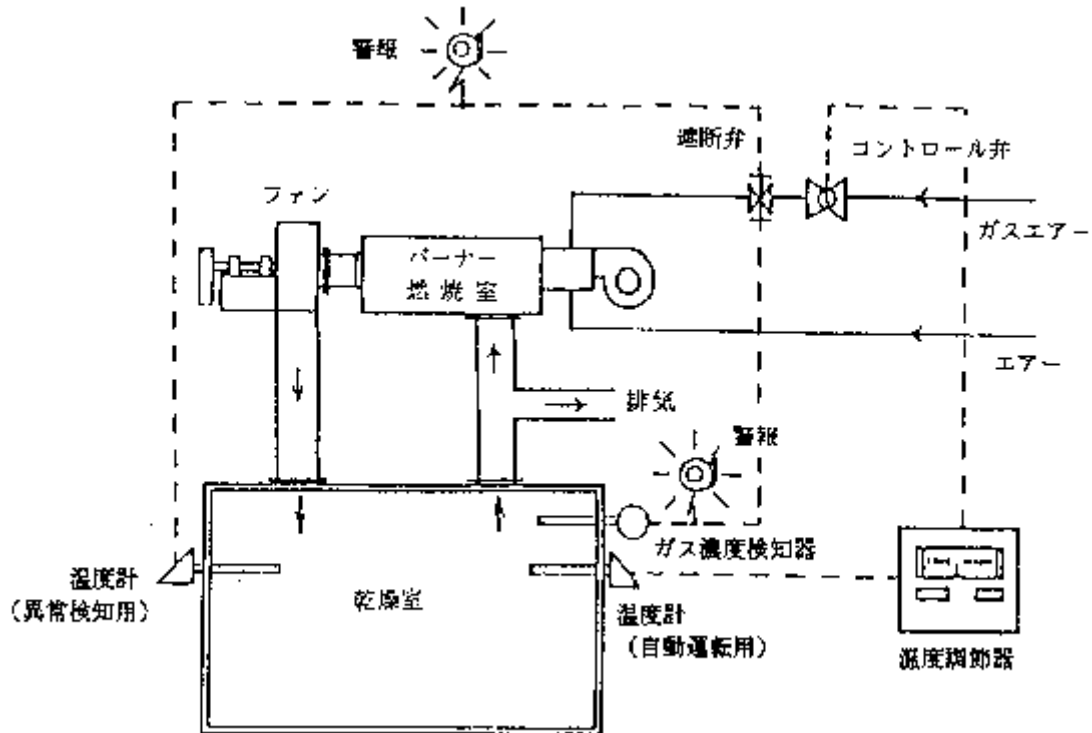
異常が生じた場合には、通常、一種の変化のみが現れることはまれで、一の変化に関連した複数の変化を伴うため、ある変化を検知することによって他の変化を推察することが可能である。このことから、保安設備として設ける場合には、異常が生じた場合に現れる変化の全てに対してセンサーを付置する要は必ずしもない。

#### (4) 計測装置と異常時制御

計測装置を取り付ける場合には、単に異常現象を指示するのみでなく、計測装置と警報装置及び燃料供給設備、換気設備等と連動させ、直接出火に結びつく雰囲気形成を未然に防止する機構とすべきである。

一例として、自動温度コントロールされている箱型熱風乾燥炉(半循環式)につ

いて第1-7-4図に示した。



第1-7-4図 箱形熱風乾燥設備の制御例

(5) 乾燥炉の放爆

爆風圧を放出するための開口部は、ベント面積が適当でなければ効果は上がらない。NFPA(全米防火協会)では第1-7-2表に示すベント比を推奨している。

第1-7-2表 装置及び建物に対する推奨ベント比

装置及び建物の種類	ベント比(m <sup>2</sup> /min)
30m <sup>2</sup> 以下で軽量構造の機械及び炉	1/3~1/9
30m <sup>2</sup> 以下で強い圧力に耐える構造の機械及び炉	1/9
30~700m <sup>2</sup> の部屋、建物、貯槽、容器など (この場合はベントに対する爆発発生点の相対位置と爆発の起こりうる容積を考慮する必要がある。)	1/9~1/15
700m <sup>2</sup> 以上の部屋又は建物で危険な装置がその小部分を占めるとき (1)鉄筋コンクリート (2)軽量コンクリート、れんが又は木造 (3)簡易パネル構造	1/24 1/18~1/24 1/15~1/18
700m <sup>2</sup> 以上の大きな部屋又は建物で危険な装置がその大部分を占めるとき	1/3~1/15

(注) ベント比とは装置又は建物の容量に対する開口部の比をいう。  
 原文ではフィートでの表示であるが、メートルに換算してある。

### 3 熱源の諸特性

熱源の種類による特性は、第1-7-3表のとおりである。

第1-7-3表 熱源の特性

熱源の種類	温度調節	湿度調節	熱風の清浄度	設備費	熱量費
蒸気	◎	◎	◎	小	小
液体燃料(直接燃焼)	○	○	△	小	最小
液体燃料(熱交換器使用)	○	◎	◎	大	中
気体燃料(直接燃焼)	○	○	○	小	中
電気(電熱、赤外線)	◎	◎	◎	中	大

適応順 ◎→○→△

(注) 設備費には、ボイラー、貯槽、変圧器等を除く。

#### (1) 蒸気・温水

蒸気・温水は、熱媒体として広く用いられているが、使用温度範囲に限界がある(0~240℃)。一般的には、0~150℃の範囲で利用されている。

温度に対応する水の蒸気圧は、第1-7-4表のとおりである。

第1-7-4表 水の飽和蒸気圧 (JIS Z 8806:2001 湿度 - 測定方法)

℃	Pa	℃	kPa	℃	kPa	℃	kPa
40	7385.3	100	101.4	180	1003	310	9865
45	9595.6	105	120.9	190	1255	320	11284
50	12353	110	143.4	200	1555	330	12858
55	15763	115	169.2	210	1908	340	14601
60	19948	120	198.7	220	2320	350	16529
65	25043	125	232.2	230	2797	360	18666
70	31202	130	270.3	240	3347	370	21044
75	38597	135	313.2	250	3976		
80	47416	140	361.5	260	4692		
85	57868	145	415.7	270	5503		
90	70182	150	476.2	280	6417		
95	84609	160	618.2	290	7442		
100	101419	170	792.2	300	8588		

#### (2) 熱媒油

工業の発達により、あらゆる産業で、高温でしかも微妙な温度制御を必要とするプロセスが多くなってきている。従来はこれらの加熱源として水蒸気が広く用



遠赤外線の特長は、次のとおりである。（第1-7-5表参照）

- ア 被加熱物に吸収されやすい。
- イ 放射熱による直接加熱であるため、熱効率が良い。
- ウ 対流式加熱炉のように大規模な断熱をする必要がない。
- エ 低温加熱ができる。
- オ 温度管理が容易である。

**第1-7-5表 近赤外線と遠赤外線の比較**

	近赤外線	遠赤外線
水の吸収率	小	大
色に対する吸収率	白黒の差異大	白黒の差異小
表面加熱	良	優
温度の速応性	早	遅
空気に対する透過率	小	大