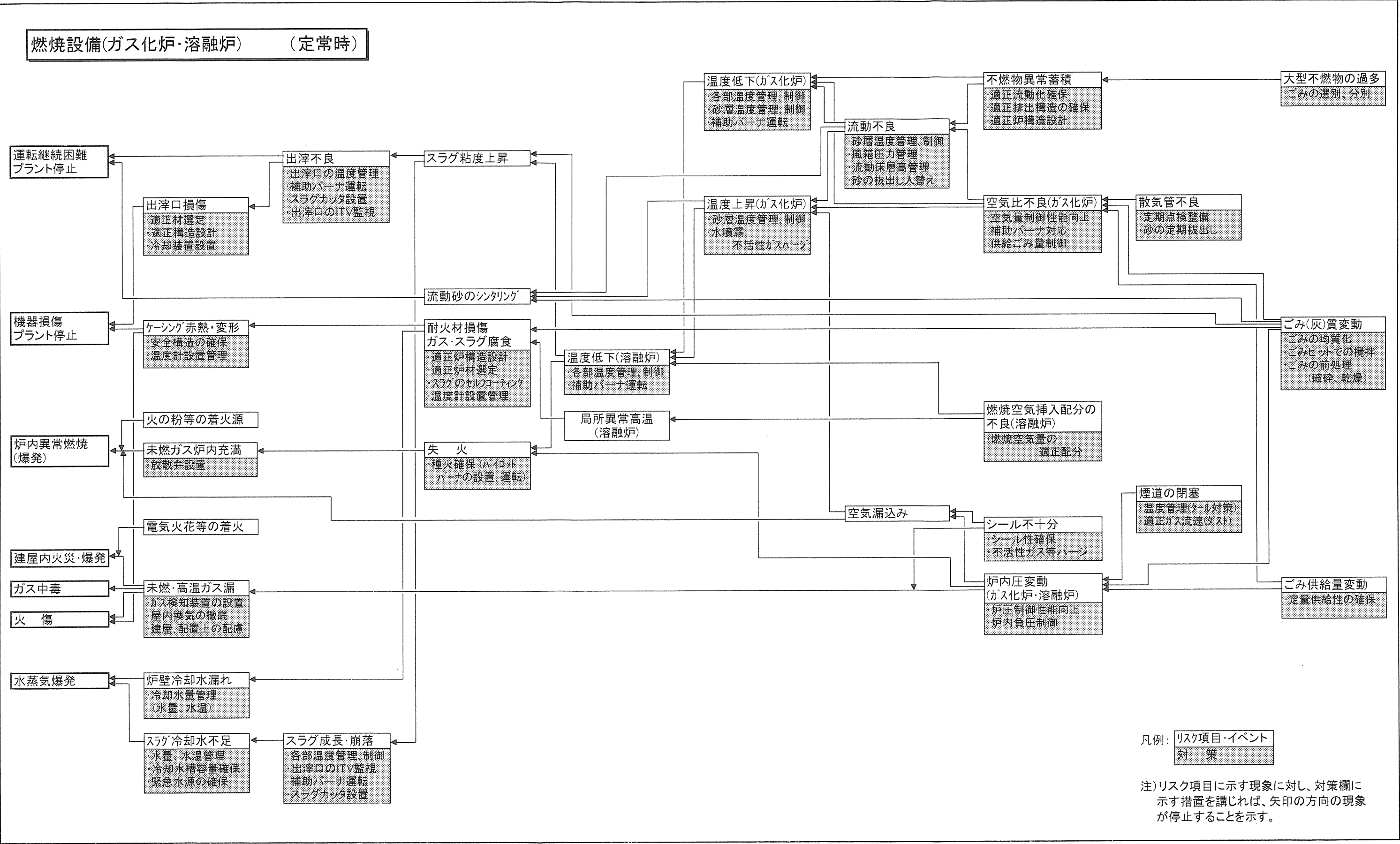
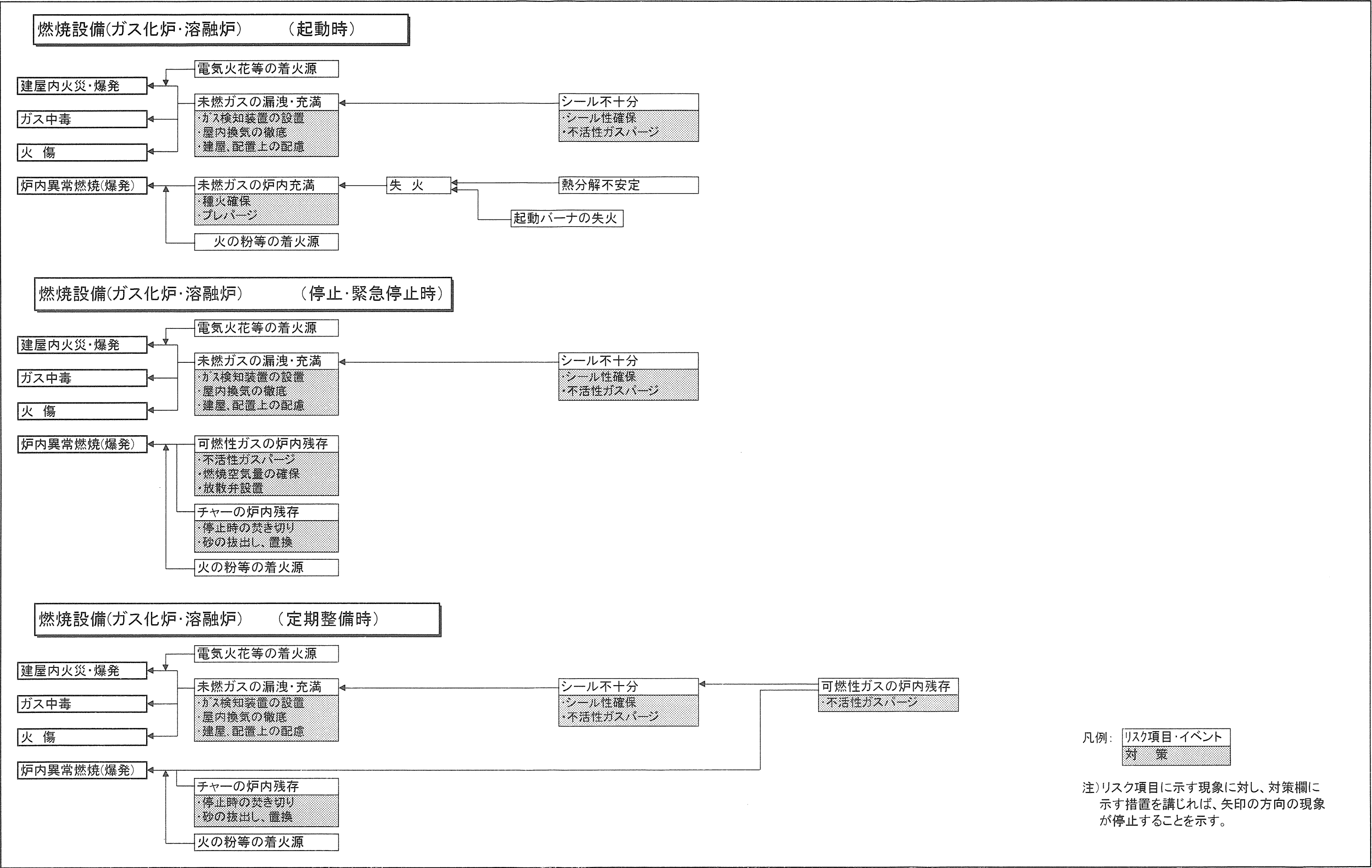


リスク・イベントツリーとその対策(1/2)【流動床炉】



リスク・イベントツリーとその対策(2/2)【流動床炉】



3) 流動床炉システムの基準／指針

(1) ガス化炉のガス化安定性の確保

流動床式ガス化溶融炉において、ガス化炉に投入されたごみを安定してガス化するには、適正な不燃物排出機構等を具備することにより安定した流動床を形成しなければならない。

定常運転時に、システムを安全かつ安定して継続運転するためには、炉内圧およびガス化炉各部温度の安定化に対する配慮が必要である。

【解説】

流動床ガス化炉は、後段の溶融炉で灰等を安定して溶融するためにごみを安定的にガス化する必要がある。また、安定的にごみをガス化することでプラントとしての系の安定化が図れる。

① ごみの定量供給

ごみを定量的に供給することにより、炉内圧変動が小さく、燃焼空気比の変動も小さくすることができる。

ごみは燃料としては不均一なものであり、発熱量、灰分性状などごみ質の変化も大きい。ごみ質変動は、燃焼空気比の変動を伴い、炉内圧変動の要因ともなり、灰分性状によっては溶融時スラグ粘度が上昇することにもなる。前処理として破碎するとこれら変動を緩衝できるので、破碎設備は考慮する必要がある。

ごみに含まれる大型不燃物は、破碎機トラブルや流動床での不燃物異常蓄積および排出装置でのトラブルの原因ともなるので、ごみ性状によっては選別・分別も考慮する必要がある。

ごみの均質化を図るため、一般的に焼却施設で行われているのと同様にごみピットでの攪拌は行った方がよい。

流動床ガス化炉のガス化反応速度は、流動床炉での単純燃焼に比べて遅くなる傾向にあるので供給設備は特に精密なものを選定する必要はなく、焼却施設と同等程度の性能でよい。また、ごみ質の変化および炉内状況に応じて供給量を適切な範囲で調節することも必要である。

なお、熔融安定化や補助燃料使用量低減のために前処理として乾燥設備を設ける場合もある。

② 流動の安定化

空気とごみを接触させて部分燃焼を行い、均一にその発生熱をごみに伝達するには流動床の安定流動が必要となる。安定流動のためには、流動床焼却炉と同様に流動化空気確保と適正な流動床層高の維持が必要であり、流動化機構が適正に運転されていることを確認するため、流動空気圧力などの監視機能を装備した方がよい。また、流動媒体はごみ中の不燃物や砂など夾雑物により粒度が変化する場合がありますので、定期的に抜出し、入替えた方がよい。散気管や散気ノズルなどの詰まりや摩耗は流動不良の原因となるため定期的に点検・整備する必要がある。

また、流動床ガス化炉では流動床燃焼炉よりごみ負荷が大きく設計されるので、流動の安定化のため適正な不燃物排出機構の設計がより重要である。

ガス化炉の安定操業のためには、ガス化炉各部温度の安定化は重要な要素であり、流動床温度および炉内温度の適正な管理・制御が必要である。流動床温度は基本的に砂層での部分燃焼割合により決定されるため、ごみ供給量および流動空気量を適切な範囲で調節できることが必要である。また、クリンカ生成およびチャー堆積によるダクト閉塞を防止するため、燃焼用空気の配分管理により炉出口温度を適切な範囲で調節できることも必要である。なお、ガス化炉内への空気の漏れ込みは炉温上昇の要因であり、シール性を確保し、空気漏れ込み防止を図る必要がある。炉内温度安定の面から、炉内温度上昇の場合には水噴霧、不活性ガスバージ設備、逆に炉内温度低下の場合には補助バーナ設備を装備する場合もある。

炉内に投入されるごみ質や水分によってガス量変動し炉内圧が大幅に変動すると、可燃性ガスの漏洩や熔融炉で失火する恐れがあるため、炉内圧の適正な制御が必要である。

流動床ガス化においては、流動床内のごみ濃度は高く維持されているため、流動化空気を停止・再投入する際に、ごみが急激に燃焼して流動媒体が固着（シントリング）することがあるので注意する必要がある。

[設備構造面]

- 必要に応じ、前処理として破碎設備を設け、ごみ質の変動を抑える。
- 必要に応じ、前処理として乾燥設備を設ける。
- ごみ供給設備は、適切な範囲で供給量を調節可能なものとする。
- 適正な不燃物排出機構を具備した炉構造とする。
- 流動化空気流量、流動化空気圧力など監視機能を装備する。
- 流動床温度および炉内温度の管理・制御機能を装備する。
- 炉体まわりで外部にガス漏出の可能性がある個所のシール性を確保する。
- 必要に応じ、炉内水噴霧、不活性ガスパージ設備、補助バーナ設備を装備する。

[運転管理面]

- ごみ性状によっては選別・分別も考慮する。
- 大型不燃物を過剰にガス化炉に投入しない。
- ごみの均質化のため、ごみピット内で攪拌を行う。
- 流動床温度および炉内温度の制御機能を管理する。
- 流動媒体は必要に応じ定期的に抜き出し入れ替えを考慮する。
- 炉内圧を適正に制御する。
- 流動化空気を停止・再投入する場合、シンタリングに注意する必要がある。

[維持管理面]

- 散気管、散気ノズルは、定期的に点検・整備する。
- 測定・計測等管理機器のメンテナンスを行う。
- 定期的にごみ質分析を行う。

(2) 溶融炉でのスラグ出滓の安定化と耐久性の確保

流動床ガス化炉で発生した熱分解ガス・チャーを高温燃焼し灰等を溶融する溶融炉を安定して運転するためには、熱分解ガス・チャー燃焼の適正化と安定したスラグの出滓ができるように配慮する必要がある。

溶融炉は高温に維持されるので、高温に対応した適正炉材選定または適正な炉構造設計が要求される。また、安定運転のための温度管理、出滓スラグの状況をI T V監視することなども必要である。

【解説】

灰等を溶融する溶融炉は、溶融スラグを安定して出滓するために、適正な高温燃焼が維持できる構造であるとともに、高温に対する耐久性を考慮した設計が必要である。

溶融炉での熱分解ガスやチャーなど未燃分の燃焼用空気は、安定燃焼および溶融炉温度を保持する目的で、分割配分される。配分不良による溶融炉での局所高温は耐火材損傷の原因となり、また、溶融温度の低下はスラグ粘度の上昇による出滓不良の原因となるので適正な配分が必要となる。

溶融炉で適正なスラグ流下を維持するには、温度管理が重要である。温度検出には高温測定のため、放射温度計や耐火材温度検出などが使用され、溶融炉温度低下に対して補助バーナ等で温度維持が行われる。

溶融炉は高温流体を扱うため、酸性ガスやスラグによる侵食などを考慮した適正な耐熱炉材選定と温度管理により、損耗を極力防止する必要がある。また、炉材の延命化のために、溶融炉本体をボイラ水管等で構成して溶融炉外面を冷却し、溶融炉内面にスラグのコーティング層を形成させ炉材の役目を果たさせるセルフコーティングも採用され、この場合には局所高温の影響を受け難くなる。ただし、溶融炉からの放熱量が増大するため、ごみ発熱量が低い場合には補助燃料使用量が増加することを考慮する必要がある。

溶融スラグ流路の侵食対策として冷却を行う場合には、スラグ温度が低下することがある。また、出滓口は外部からの冷却を受け易く、スラグ温度低下による流下不良に対してスラグカッタや補助バーナ等を考慮する必要がある。I T Vによる監視や出滓口温度管理も重要であるが、出滓不良を回避するために高温運転を長時間

継続すると出滓口を損傷することがあるので注意が必要である。また、スラグ流路や出滓口部の耐火材は侵食を受け易いため、耐久性に優れた適正炉材選定やセルフコーティングを考慮する。

炉材損傷や脱落があると、ボイラ水管の破孔による水漏れやケーシングが高温となり作業員のやけど等、事故につながるので安全構造の確保が必要である。炉材損耗が予測される部位などケーシング温度を計測して管理する方法もある。

[設備構造面]

- 放射温度計や耐火材温度検出等の方法により溶融炉の温度を検知する。
- 適正な耐熱炉材を選定する（セルフコーティングを採用する場合もある）。
- 出滓口部には、スラグ流下不良に対して必要に応じてスラグカット、加熱用補助バーナ等を設置する。また、出滓口部はI T V等による監視装置を設置する。
- 溶融炉温度低下時に炉内温度を維持するため、補助バーナを設置する。

[運転管理面]

- 溶融炉への燃焼用空気は適正に分割配分し、溶融炉温度および出滓口温度を適正状態に管理する。
- 必要に応じ、ケーシング温度を計測して管理する。
- I T V等で適正にスラグが流下していることを管理する。

[維持管理面]

- 耐火物の損傷状況をチェックし適性維持を心がける。

(3) 可燃性ガスの取扱いと安全確保

安全確保のため、可燃性ガス、高温ガスの炉外への漏洩、炉内での異常燃焼(爆発)を防止し、操業の安定化に努めなければならない。

【解説】

ガス化により発生する可燃性ガスは、CO等人体に有害な成分を含んでおり、溶融炉の燃焼ガスは非常に高温であるため、これらのガスが外部へ漏洩しないよう配慮する。また、炉内での可燃性ガスや可燃性ダストによる異常燃焼（爆発）が確実に防止されるよう設計・運転管理において、その防止に十分配慮する必要がある。

炉内圧力の変動は、空気の漏れ込み、ガス漏洩、失火の原因となるため、ごみ供給量および質の変動を極力抑えるとともに、炉内圧を負圧またはそれに近いところで制御することが望ましい。また、ごみの供給口などの開口部は、シール性の確保や不活性ガス等によるパージを配慮する必要がある。

熱分解ガス中の可燃性ダストやタールによるガス化炉と溶融炉間のダクトの閉塞を防止するには、温度管理の徹底や適正ガス流速の確保が必要である。

可燃性ガスの炉内充満を防止するには、溶融炉における失火対策が重要であり、炉内圧変動の防止を図るとともに、必要に応じて種火（パイロットバーナ）を確保しておくことが望ましい。なお、過剰圧力時の危険回避手段として放散弁を設けることもある。

万一のガス漏洩発生時にも被害の範囲を最小限に止められるよう機器配置上の配慮や、漏洩ガスが滞留する恐れのある場所には換気設備を設置するなど、建築および建築設備面での配慮も重要である。また、安全管理上、着火源となるようなものを炉室で扱わないようにする。なお、ガス漏洩の早期発見のため、ガス漏洩の恐れのある場所付近にはCO検知器等を設置しておくことが望ましい。

[設備構造面]

- 炉内圧制御装置を設ける。
- 煙道の適正ガス流速を確保する。
- 炉体まわりで外部にガス漏出の可能性のある個所のシール性を確保する。
- 必要に応じ、不活性ガス等の設備を設ける。
- 必要に応じ、種火の確保（パイロットバーナ設置）、放散弁を設置する。

○建屋内の換気設備を設ける。

○必要に応じ、CO検知器や煙・熱感知器等を設置する。

[運転管理面]

○炉内圧を負圧またはそれに近いところで制御する。

○種火の確保を行う。

○換気を行う。

○必要に応じ、不活性ガスパージを行う。

[維持管理面]

○シール部の状態をチェックし、性能が保たれるようメンテナンスする。

○CO検知器等の動作を確認する。

○熱分解ガスダクトのタール・ダスト等の堆積状況を確認する。

(4) スラグ出滓の安全確保

スラグを水冷する場合、水槽の水の量や温度について管理しなければならない。

【解説】

溶融炉では高温を扱うため、炉壁冷却水の漏れやスラグ冷却水の不足は、状況によっては急激な水蒸気発生を招き、機器の損傷に繋がる恐れがあるので、十分な管理が必要となる。

炉壁冷却水が破孔等により炉内へ浸入することがあると、高温炉内で急激に加熱されて爆発的な蒸発につながる恐れがあるため、水量、水圧、水温の管理を十分に行う必要がある。

水冷スラグとして回収する場合には冷却水槽が必要となるが、排出されるスラグ量に対して十分な容量を確保しておくことが必要である。また、通常運転時には連続的にスラグが排出されるため急激な水量、水温の変化はないが、水槽の水量は、蒸発により減少し水温も上昇するため、十分な補給水量を確保しておくと同時に、水量、水温を監視する必要がある。また、条件により停電時にも安全上必要な水量を確保する配慮も必要となる。

なお、溶融炉の温度低下等により出滓口部分に付着成長したスラグが一時に崩れ落ちると冷却水の急激な蒸発を招くことになるので(2)に記したスラグの安定出滓の管理も重要である。

【設備構造面】

- スラグ冷却水槽は十分な容量を確保する。
- 十分な補給水量を確保する。
- 供給水量、水温の監視ができるようにする（流量計・温度計の設置等）。
- 条件により停電時にも安全上必要な水量を確保する（ポンプ類の非常負荷への算入等）。

【運転管理面】

- 炉壁冷却水の水量、水圧、水温の管理を十分に行う。
- スラグ冷却水槽の水量、水温を監視する。

[維持管理面]

- コンベヤ等の機器の摩耗・腐食の点検・補修を行う。
- 炉壁冷却水管の異常がないか確認する。
- 水質を確認する。

(5) 起動・停止・定期整備時の安全確保

起動・停止・定期整備時は、系内の可燃性ガスの漏洩・充満・着火等に注意し、安全確保に努めなければならない。

【解説】

定常運転時と比較し、起動・停止時には熱分解による可燃性ガスの発生が不安定になりやすく、シールの不十分な部位からの可燃性ガスの漏洩や、バーナ失火による異常燃焼の防止に十分配慮する必要がある。対策は(3)で述べた通りである。

停止時には、発生した可燃性ガスが系内に残存する場合があるので、停止・起動時にパージを十分行うことも重要である。また、チャーが炉内に残存している場合には異常燃焼発生に繋がる恐れもあるため、防止策として停止時のガス化炉焚き切り(炉内の燃焼完結)や砂の抜き出しを行うこともある。

定期整備時は、停止時に残存した可燃性ガスの充満・漏洩防止に配慮する。前述のパージや換気の実施・検知器の設置および携行等の安全対策をとるとともに、着火源を無くするよう注意する。

[設備構造面]

- 炉内圧制御装置を設ける。
- 炉体まわりで外部にガス漏出の可能性のある個所のシール性を確保する。
- 必要に応じ、不活性ガス等の設備を設ける。
- 建屋内の換気設備を設ける。
- 必要に応じ、携帯式CO検知器、O₂濃度計を配備する。
- 必要に応じ、可搬式換気装置を配備する。
- 必要に応じ、失火検知器を設置する。

[運転管理面]

- 炉内圧を負圧またはそれに近いところで制御する。
- 種火の確保を行う。
- 換気を行う。
- 必要に応じ、停止時・起動時にガスパージを実施する。
- 必要に応じ、携帯式CO検知器、O₂濃度計を携行する。

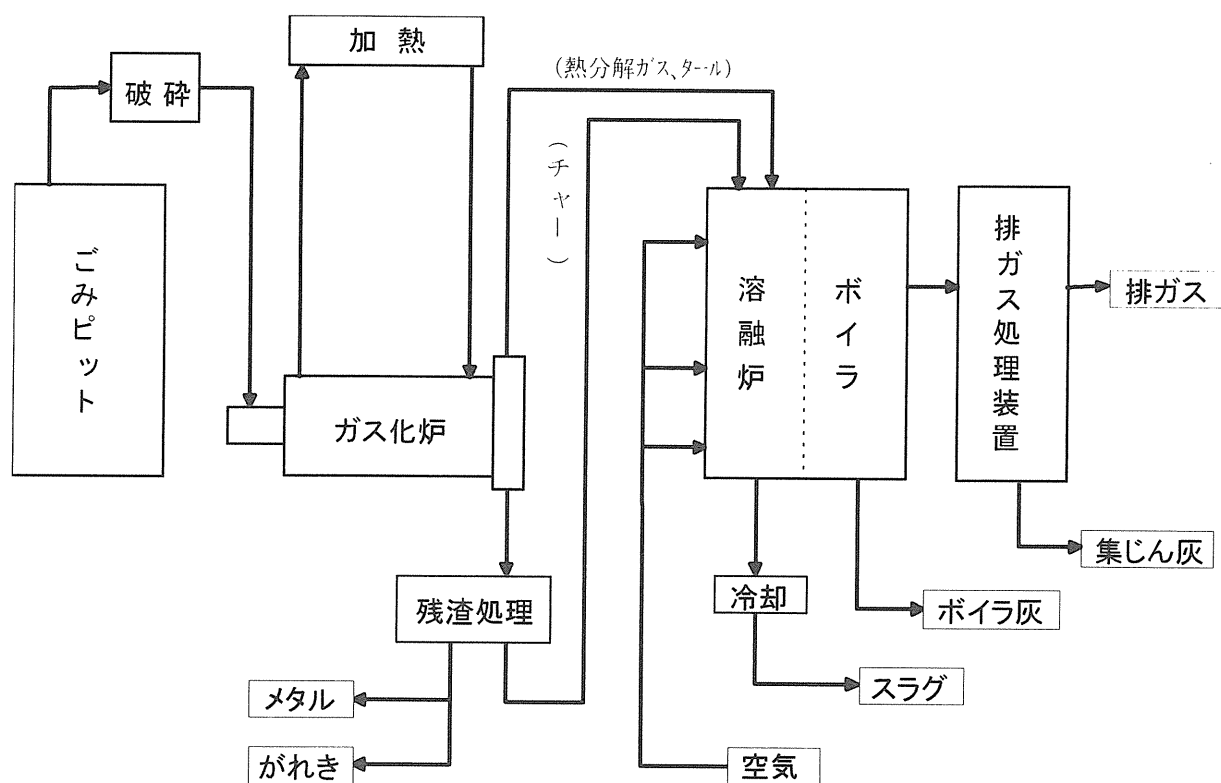
[維持管理面]

- 各シール部分の状態をチェックする。
- CO検知器、O₂濃度計の動作を確認する。
- 可燃性ガスが滞留しやすい場所での火の粉、電気火花などの発生を防止する。
- 必要に応じ点検時、換気装置を設置する。
- 必要に応じ点検時、携帯式CO検知器、O₂濃度計を携行する。

4.3.4 キルン炉システムの基準／指針

1) キルン炉システムのフロー

キルン炉方式の代表的なフローを下記に示す。

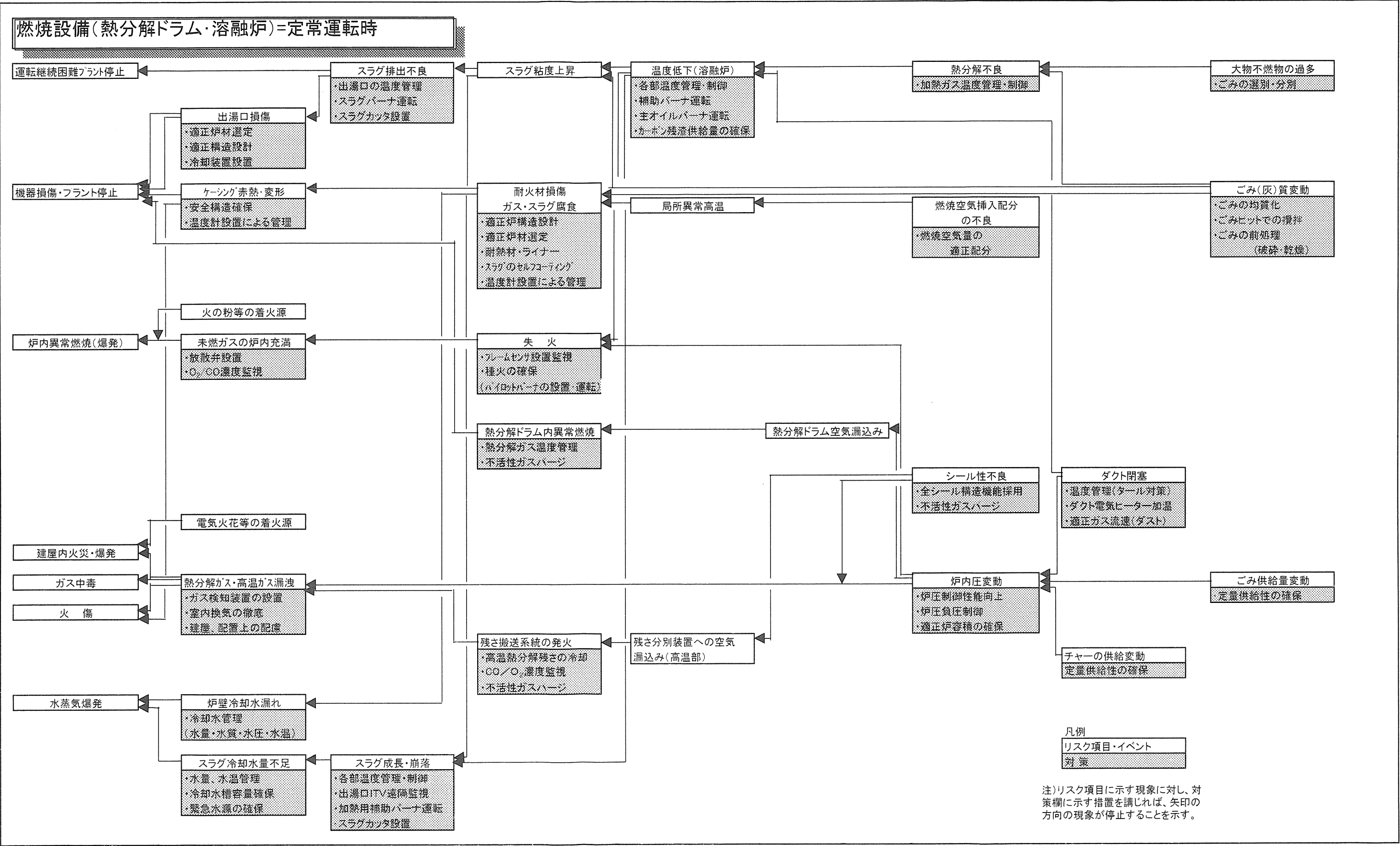


- (1) 外熱キルン式ガス化炉(熱分解ドラム)と溶融炉で構成され、煙道により接続されている。
- (2) ごみは、破碎された後ガス化炉へ供給され、キルン外面より間接加熱されて熱分解する。なお、型式によって加熱の熱源として、化石燃料による加熱、ガス加熱器による高温空気利用等がある。
- (3) 熱分解ガス、タールはダクトを通して溶融炉(一般に水冷構造を採用)へ導かれる。一方、熱分解残渣は冷却、選別、破碎等の処理の後、メタル、がれき類は回収され、残りはカーボン残渣(チャー)として溶融炉へ搬送され燃焼される。
- (4) 熱分解ガス、タール、チャーは溶融炉内に分配供給される燃焼空気により、高温で燃焼することにより灰分を溶融スラグ化する。
- (5) 溶融したスラグは、溶融炉底部に設けられた出滓口(一般に水冷構造を採用)から連続的に排出され、スラグ冷却水槽を経て回収される。
- (6) 溶融炉からの燃焼排ガスは、ボイラ水管壁で構成される燃焼室で二次燃焼し、

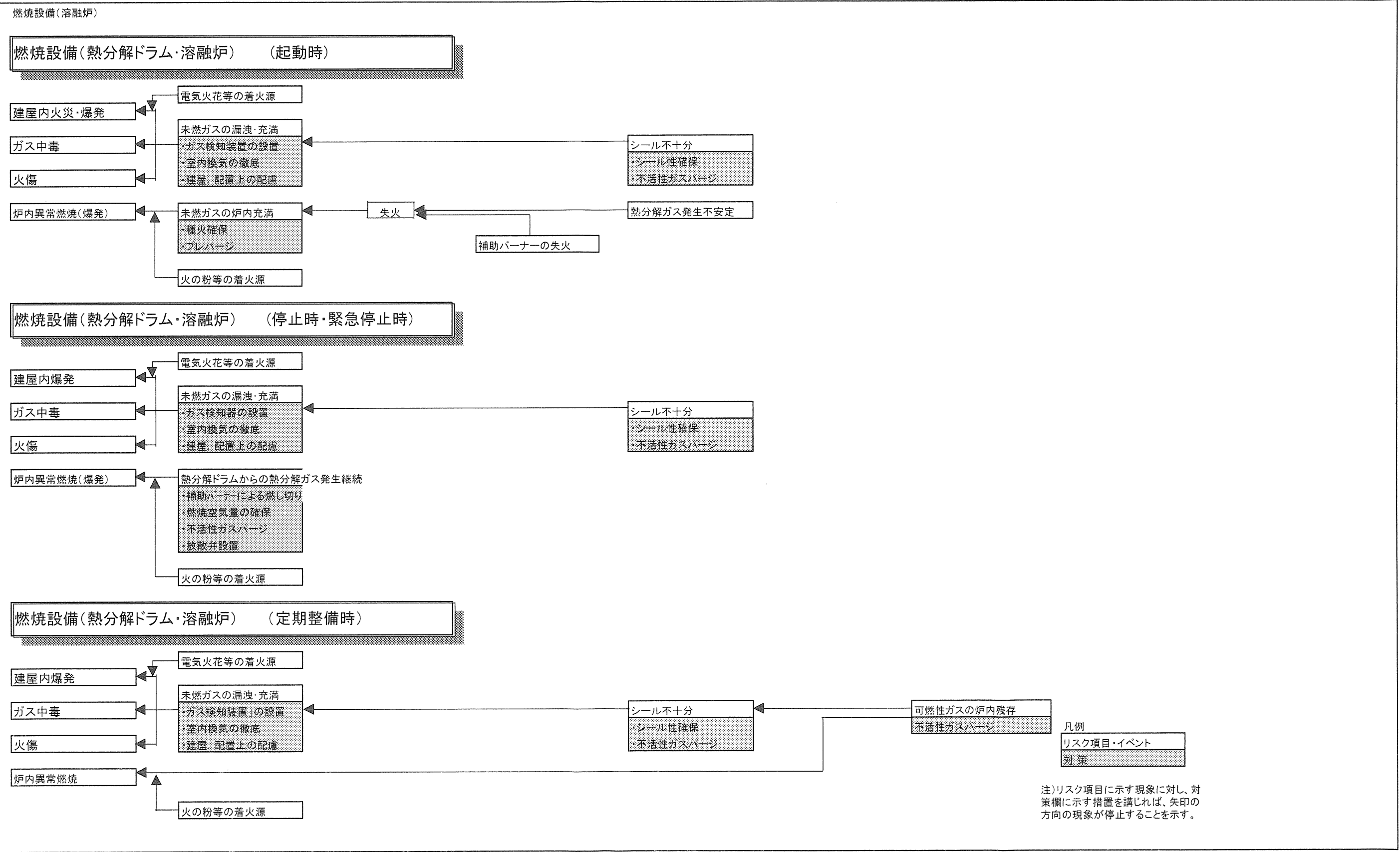
ボイラで熱回収冷却された後、排ガス処理されて排出される。

- 2) キルン炉システムの「リスクイベントツリーとその対策」
次ページに示す。

リスク・イベントツリーとその対策表（1/2）【キルン式】



リスク・イベントツリーとその対策表（ 2/2 ）【 キルン式 】



3) キルン炉システムの基準／指針

(1) 安定熱分解の確保

キルン式ガス化溶融施設において、熱分解ドラムに投入されたごみを安定的にガス化するには、ごみの定量的供給と熱分解ドラムの加熱温度の維持を図らなければならない。

【解説】

キルン式ガス化溶融施設は、後段の溶融炉で灰等を安定して溶融するために、ごみを安定的にガス化する必要がある。

ごみを定量的に供給することにより、熱分解ドラム内の熱分解ガス発生量の変動が少なく、後段の溶融炉で熱分解ガスを安定に燃焼することができる。

ごみは燃料としては不均一なものであり、発熱量、灰分性状の変化も大きい。ごみ質変動は、燃焼空気比の変動を伴い、炉内圧変動の要因ともなり、灰分性状によっては溶融時スラグ粘度が上昇することにもなる。前処理として破碎するとこれら変動を緩衝できるので、破碎設備は考慮する必要がある。

ごみに含まれる大型不燃物は破碎機トラブルの原因ともなり、過剰に投入された場合、熱分解残さ選別設備での閉塞の原因となる場合もあるので、大型不燃物を過剰に投入することは避けることが望ましい。

ごみの均質化を図るため、一般的に焼却施設で行われているのと同様にごみピットでの攪拌混合は行った方がよい。また、溶融安定化のための前処理として乾燥設備を設ける場合もある。

ごみを定量的に供給し、熱分解ドラム内の熱分解と後続の溶融炉の安定燃焼を確保するためには、熱分解ドラムへの連続安定したごみ供給装置の選定が必要であり、また、熱分解ドラム内への空気の漏れ込みを防止するため、ごみによるマテリアルシール、またはごみ供給口などの開口部はシール性の確保に配慮する必要がある。

熱分解ガス化を良好に行うには、投入されたごみ量およびごみ質に追従して熱分解ドラム出口残さ温度が常に一定の温度を維持するよう熱分解ドラム加熱熱量を制御することが必要である。このために、熱分解ドラム加熱入口ガス温度制御、循環ガス流量制御等を装備する必要がある。さらに、熱分解ドラムのごみ流れに沿っ

て熱分解残さの温度を計測し、定常運転時の熱分解温度の監視を行うことが必要である。これは熱分解ドラム内への漏洩空気による異常温度上昇の現象検知に利用することもできる。

熱分解ドラム内へ投入されたごみのガス化変動に対しても、熱分解ドラム内圧が適正に制御することが必要である。

[設備・構造面]

- 必要に応じ、ごみ前処理として破砕設備を設ける。
- 必要に応じ、前処理として乾燥設備を設ける。
- ごみ定量供給装置、適切な範囲で供給量を調節可能なものとする。
- 熱分解ドラムでの外気漏れ込みの可能性がある個所のシール性を確保する。
- ごみ量およびごみ質の変動に追従して熱分解ドラム出口温度が常に一定の温度を維持するため、必要な計装制御監視機器を設置する。
- 炉内圧力監視機能を装備する。

[運転管理面]

- ごみ性状によつて選別・分別も考慮する。
- 大型不燃物を過多に熱分解ドラムに投入しない。
- ごみの均質化のため、ごみピット内で攪拌を行う。
- 熱分解ドラム内圧を適正に制御する。
- 炉内熱分解温度の管理・制御機能を管理する。

[維持管理面]

- 測定・計測等管理機器のメンテナンスを行う。
- 定期的にごみ質分析を行う。

(2) 溶融炉でのスラグ出滓の安定化と耐久性の確保

熱分解ドラムで発生した熱分解ガス・チャーを高温燃焼し灰等を溶融する溶融炉を安定して運転するには、熱分解ガス・チャー燃焼の適正化と安定したスラグの出滓ができるように配慮する必要がある。

溶融炉は高温に維持されるので、高温に対応した適正炉材選定または適正な炉構造設計が要求される。また、安定運転のための温度管理、出滓スラグの状況を I T V 監視することなども必要である。

【解説】

キルン式ガス化溶融施設では、熱分解ドラムから発生した熱分解ガスと空気輸送等によって搬送されたチャーと飛灰とを溶融炉内に導入し、高温燃焼により溶融スラグとして排出する。安定連続運転を維持するには、チャーの安定した定量供給性を確保するほか、燃焼温度制御が重要な要素となる。

灰等を溶融する溶融炉は、溶融スラグを安定して出滓するために、適正な高温燃焼が維持できる構造であるとともに、高温に対する耐久性を考慮した設計が必要である。

溶融炉での燃焼用空気は、安定燃焼および溶融炉温度を保持する目的で、分割配分される。配分不良による溶融炉での局所高温は耐火材損傷の原因となり、また、溶融温度が低下はスラグ粘度の上昇による出滓不良の原因となるので適正な分配が必要である。

溶融炉で適正なスラグ流下を維持するには、温度管理が重要である。温度検出には高温測定のため、放射温度計や耐火材温度検出などが使用され、溶融炉温度低下に対して補助バーナ等で温度維持が行われる。

溶融炉は高温流体を扱うため、酸性ガスやスラグによる侵食などを考慮した適正な耐熱炉材選定と温度管理により、損耗を極力防止する必要がある。また、炉材の延命化のため、溶融炉本体をボイラ水管等で構成して溶融炉外面を冷却し、溶融炉内面にスラグのコーティング層を形成させ炉材の役目を果たさせるセルフコーティングも採用され、この場合には局所高温の影響を受け難くなる。ただし、溶融炉からの放熱量が増大するため、ごみ発熱量が低い場合には補助燃料使用量が増加することを考慮する必要がある。