

2022.9.1

中国風険消息<中国関連リスクニュース> <2022 No.2>

RTO設備の火災・爆発リスク分析・予防対策

【要旨】

- 近年、中国ではRTO設備（蓄熱式燃焼設備）に関連する爆発事故が散見されており、地方政府が大きな関心を寄せている。
- 自社におけるRTO設備の日常的な稼働に伴う安全リスクを十分に把握・理解していないと、対応が遅れが生じ、事故に至る可能性がある。
- 本稿では、RTO設備の仕組み、よく見られる事故事例、事故防止対策について説明する。
- 本稿の内容を通じ、企業における設備稼働ルールの標準化、操作ミスの低減、事故発生確率の低減を推進いただきたい。

1. RTO 設備の仕組み

現在、有機排ガス処理設備には、RTO設備、RCO設備（触媒燃焼設備）、直接燃焼/酸化設備、活性炭吸着設備などの種類がある。そのうち、RTO設備は、30年以上前から有機排ガス処理に使用されており、工業用VOCs（揮発性有機化合物）処理の主流技術の1つに該当する。また、当該設備は高い処理効率（一般的には95%以上）を示し、二次余熱回収や安定操業が可能であるという利点を有することから、近年では石油化学、塗装、印刷、医薬などの分野で幅広く使用されている。

RTO設備の作動原理は、有機排ガスを750℃以上に加熱し、排ガス中のVOCsを二酸化炭素と水に酸化分解するというものである。酸化の際に発生した熱は特殊設計されたセラミックス製の蓄熱体に貯蔵され、蓄熱体を昇温させることにより蓄熱する。この熱を流入してくる排ガスの余熱に利用（蓄熱体からみると、放熱工程）することにより、排ガス昇温時の燃料消費量を抑制することができる。

RTO設備の作動原理の概要（イメージ図）を図1に示す。

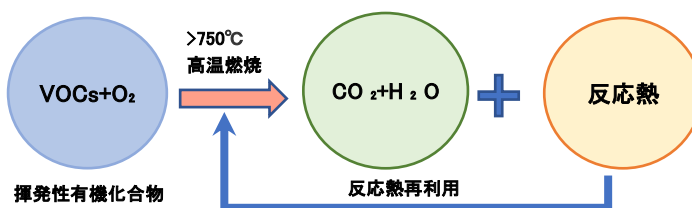


図1. RTO設備の作動原理の概要

（筆者作成）

RTO設備とRCO設備

RCO設備も幅広く使用されている排ガス浄化処理設備であり、RTO設備と適用される状況は類似しているが、設備構造、排ガス処理プロセスなどに多くの違いがある。RCO設備では通常、電気加熱により処理前の排ガスを事前加熱した後、燃焼温度が低いという特徴を有する触媒で触媒燃焼(無炎燃焼)させる。一方で、RTO設備は補助燃焼器の燃料として天然ガスやディーゼルを使用しているため、万が一、漏洩すると引火するおそれがある。また、排ガスを直接燃焼しているため、運転温度が更に高くなる。全体的にみると、RTO設備の火災・爆発リスクはRCO設備より高いといえる。

2. RTO設備に関連する事故事例

RTO設備稼働時における火災・爆発事故が散見されている。主な原因として、RTO炉を使用する際の安全リスクに関する確認・管理が不十分であることが挙げられる。

RTO設備に関連する代表的な事故事例(概要・原因)は表1のとおりである。

表1. RTO設備に関連する事故事例

事例1	概要	某石油化学会社において、操業再開後にRTO設備を再起動した。RTO蓄熱体を昇温させた後、未処理の排ガスを流入させた。機器の正常稼働から数時間後、突然爆発した。
	原因	生産火災の危険性が甲類、乙類に該当する排ガスが、空気などの助燃性を有する気体と混合し、爆発限界に達した。高温物・裸火などの着火源と接触して引火し、設備内で爆発した。
事例2	概要	某製薬会社のRTO設備稼働時に、制御システムより排ガス濃度超過、燃焼室の温度超過に関するアラームが発報した。その後、緊急排気管、ガス排出管の作動信号が記録され、最終的にはRTO設備が爆発した。
	原因	処理前の排ガス濃度が短時間のうちに上昇したことにより、燃焼室の温度も急上昇し、排ガス温度が安全値を超過した。制御システムが排ガスの吸気を自動遮断した後、バイパスより排ガスを排出した。緊急排気管、ガス排出管が同じ煙突を利用していたため、高温の排ガスと高濃度の排ガスが直接接触し、爆発した。
事例3	概要	某化学工場のRTO設備稼働時に、突然ダクト(前段)から出火した。ダクト沿いに延焼し、生産設備にも大きな被害が発生した。
	原因	RTO設備が正圧状態で稼働していた(本来はわずかに負圧状態であるべき)。これにより、燃焼室内の高温ガスが蓄熱室・ダクトに逆流した。ダクトの材質は難燃性樹脂であったが、直火に晒されることにより燃焼した。

(出典:参考文献¹を基に筆者作成)

これらは、設備の種類や安全対策の不備に起因して発生した典型的な事例である。

また、筆者が防災調査の際にしばしば確認する、RTO設備に関する問題・課題は以下のとおりである。

- ダクトに排ガス濃度監視装置が設置されていない。
- ダクトにフランジジャンパー線、アース線が設置されていない。
- ダクトに逆火防止装置や防火ダンパーが設置されていない。

上記のような問題・課題に対し、対策が講じられていないと、設備稼働時の事故発生リスクが高まる。RTO設備を稼働する際は、事故事例から得られる教訓をふまえ、RTO設備に関するリスクを洗い出し、関連基準に基づき、安全対策を講じることをお勧めする。

3. RTO設備の爆発リスク

RTO設備の稼働リスクが高いとされる理由には、当該設備の工程が密接に関係している。一般的な固定式三室蓄熱燃焼設備の工程(図2)を例にとり、「燃焼の3要素(可燃物、助燃物、点火源)」の原理に基づき、各工程に潜在する爆発リスクを整理する。各工程におけるリスク要因は表2のとおりである。

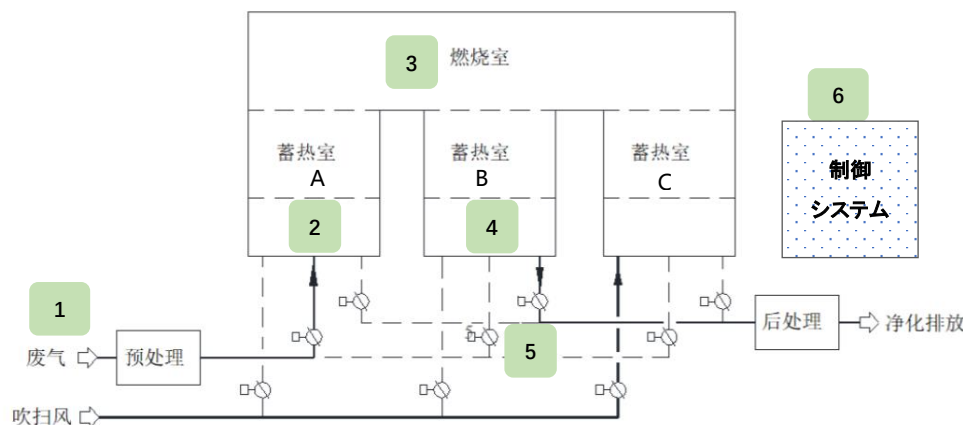


図2. 固定式三室蓄熱燃焼設備の工程(イメージ図)

(出典: HJ 1093-2020 蓄熱燃焼法工業廃気治理工程技術規範)

表2. 各工程におけるリスク要因(燃焼の3要素)

工程(イメージは図2を参照)	可燃物	助燃物	点火源
1 処理前の排ガスがダクト経由でRTO設備に流入	排ガス 濃度が高く、爆発下限値を超過したもの 排ガス(凝縮物) 大量の油ミストを含む排ガスの一部が、冷却後にタール状となって堆積したもの	空気 集気カバー・換気扇などで吸引	静電火花: ガスの流速が大きく、配管の導電性が低いと発生する可能性あり 電気火花: 非防爆仕様のモーター使用時に発生の可能性あり
2 ・補助加熱器で蓄熱室Aの蓄熱体を加熱 ・処理前の排ガスが蓄熱室Aに流入し、蓄熱体により、一定温度まで予備加熱			電気スパーク 蓄熱体の高温表面
3 予備加熱済みの排ガスを燃焼室に送った後に点火し、十分に燃焼	排ガス (予備加熱後)	空気 燃焼器より補充	燃焼器の火気
4 ・十分に燃焼された高温の処理済排ガスが蓄熱室Bに流入 ・廃熱を蓄熱体に伝導し、自身が冷却された後に排出	—	上記と同様	蓄熱体の高温表面
5 加熱(酸化分解)、冷却、パージなどの3段階を経て、RTO入口弁、出口弁、パージ弁で蓄熱室A、B、Cの自動的切替・循環を実施	上記1～4を参照		
6 制御システム、 警報インターロックシステム	・一般仕様のメータを利用し、短絡時に電気火花・高温物が発生する ・センサーが故障し、過熱・圧力異常・排ガス漏れなどを検知できない		

4. RTO設備の事故防止対策

RTO設備を利用する際は、事故発生を防止するため、安全面を第一に考えなければならない。事故防止対策を推進するにあたり、「(1) 予防対策・提言」および「(2) チェック項目」について以下に整理する。

(1) 予防対策・提言

設備稼働時のリスク要因に関連する国家基準に基づき、RTO設備使用時の安全性を高める(爆発リスクを低減する)ための予防対策・提言(全 10 項目)を表3～5のとおり整理する。

これらの予防対策・提言のほとんどは、燃焼の 3 要素のうち、可燃物、点火源に着目して対策を講じ、事故発生を防止する(被害を軽減する)ことを目的としている(図3)。火災と同様、3 要素のいずれかを取り除くことにより、爆発事故を防止することが可能となる。

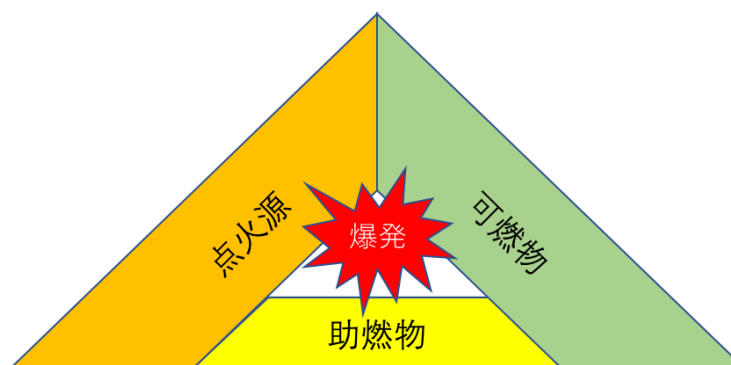


図3. 「燃焼の3要素」について (筆者作成)

表3. 予防対策・提言(点火源)

項目	対策分類	内容	
1. 静電気防止対策を講じる	除去 (静電火花)	対策	RTO設備のダクトに静電気除去装置(フランジジャンパー線・アース線など)を設置する。
		説明	ダクト内を流れるガスの流速が大きいと、ダクトの内面との間で摩擦が生じ、静電気が発生する。速やかに除電できないと放電し、排ガスに引火し、火災に至る可能性がある。
2. 煙突を共用しない	除去 (高温ガス)	対策	ガス濃度が高く、かつ発火点の低い物質が流れる緊急排気管については、高温のガス排出管と煙突を共用しない。
		説明	圧力異常により、緊急排気管で可燃性ガスを排出する際に、高温のガス排出管と煙突を共用すると、ガスが接触することにより引火し、爆発に至る可能性がある。
3. 電気設備に関連する防爆基準を遵守する	除去 (電気火花)	対策	RTO設備で使用する電気システムは防爆設計(GB50058の関連規定)に適合していなければならない。
		説明	処理前の排ガスや燃焼器で使用する天然ガスの濃度が爆発下限界に達すると、非常に危険である。潜在する点火源を取り除くため、RTO設備のファン・電気制御弁・温度圧力計などはすべて防爆仕様とする。
4. 逆火防止装置を設置する	延焼阻止	対策	RTO設備と生産設備の配管間に逆火防止装置または防火ダンパーを設置する。
		説明	爆発が発生した際に、ダクト経由で火が生産設備にまで広がり、被害が拡大することを防止する。

表4. 予防対策・提言(可燃物)

項目	対策分類	内容	
5. 粒子の濃度を管理する	堆積防止／濃度低減(固体)	対策	タール、塗料ミストなどを含有する粘性物質の進入を厳しく管理し、RTO炉内の粒子濃度を 5mg/m ³ 以下にする。
		説明	粘性物質は先端ダクトの内面に付着しやすい。点火源と接触すると、引火して火災に至る可能性がある。また、可燃性ガスと同様に、可燃性の粒子濃度が高いと、爆発下限界に達し、点火源と接触することにより、爆発するおそれがある。
6. 可燃性ガス探知器を設置する	濃度低減(ガス)	対策	RTO設備のダクトに可燃性ガス探知器を設置する。
		説明	可燃性排ガスの濃度変動が大きい場合には、(可燃性ガス濃度探知器などにより)排ガス濃度を常時監視し、希釈・緩衝などの対策を講じることにより、RTO設備に流入する排ガス濃度を爆発限界の 25%以下とする。また、モニタリング装置はインターロックによる停止機能を有することが望まれる。
7. インターロックを備えた安全弁を設置する	継続供給防止	対策	生産設備に設置する安全弁はインターロック機能を備えていなければならない。
		説明	設備故障時には、生産設備(技術)の許容範囲で、設備を速やかに停止し、可燃性ガスの供給を遮断する。
8. 排出管を設置する	除去(ガス)	対策	安全弁出口に排出管を設置し、可燃性ガスを安全な場所(高所など)や燃焼処理装置に誘導する。
		説明	生産設備故障時には、発生した可燃性排ガス(高濃度)がRTO設備の集気カバーに吸入されないようにする。
9. 排気管・炉を定期的に清掃する	除去(固体)	対策	1. 配管に危険物質(可燃性粉じんなど)が付着・堆積している場合は、定期的な清掃を検討する。 2. 有効的な対策を講じ、配管システムやRTO炉内の凝縮物の付着・堆積を防止する。
		説明	可燃性粉じん・凝縮物は配管、炉内に堆積する。時間の経過とともに、堆積物が増加する。点火源と接触すると、引火して火災に至る可能性がある。

表5. 予防対策・提言(その他)

項目	対策分類	内容	
10. 電力供給の信頼性を向上する	突発的な運転停止減少	対策	RTO設備の計器制御システムにUPS(無停電電源装置)の予備電源を設置する。RTO設備の動力システムは二級給電負荷を使用する。
		説明	突発的に停電が発生した際に、RTO設備の制御板に重要パラメータを表示できず、バルブの切替を行うことができないと、排ガスが燃焼・爆発する可能性がある。

(2)チェック項目

工場における自己点検の推奨の観点から、関連する法規・基準および弊社が防災調査の際に確認するポイントを基に、RTO設備に関連する主なチェック項目を整理する(表6)。

表6. 主なチェック項目(RTO設備)

分類	点検項目	確認
安全 設備	自動報知機能を備えた測定装置(火災・温度・圧力など)を設置しているか。	
	排ガス濃度を監視する装置を設置しているか。	
	配管に逆火防止装置(防火ダンパー)を設置しているか。	
	ファン、モーターや電気計器の防爆等級は関連規程を満たしているか。	
	排ガスの濃度変化に対し、排ガス濃度希釈装置を設置しているか。	
	設備・配管に静電気対策(ジャンパー線・アース線の設置)を講じているか。	
	圧縮空気の圧力は正常であるか。	
	可燃性ガスの圧力に異常がないか(対象:LNGを使用した加熱)。	
	防雷設備を適切に設置しているか。	
検査	アース線の抵抗値を定期的に測定しているか。	
	各安全弁、圧力計の定期的な点検を実施しているか。	
	可燃性ガス探知器や関連する自動報知機能を検査しているか。	
	設備の温度・圧力制御装置を定期的に確認しているか(連動機能に異常がないか)。	
運行 保守	稼働状況・メンテナンス状況を記録する運用・体制となっているか。	
	安全計器は専門訓練を受講した従業員しか操作できない運用となっているか。	
	設備周辺に必要な消防設備を設置しているか。	
	設備周辺での火気使用作業を厳格に管理しているか。	

5. まとめ

RTO設備自体が燃焼システムであるため、高い火災・爆発リスクを有しているといえる。したがって、国家標準(業界標準)を参照し、実際の作業環境をふまえたうえで、RTO設備に関するリスク要因についてリスクアセスメントを実施することが非常に重要である。排ガス処理設備の安全自動化機能(例:有機排ガスの濃度検出、インターロック)の設置といったハード面、操作規程の整備・安全の見える化の推進・教育訓練の実施といったソフト面の強化を図ることにより、RTO設備での火災・爆発事故を未然に防ぐことが可能となる。

本稿が、RTO設備に潜在するリスクの注意喚起、事故予防対策の推進、およびRTO設備を使用する際の安全性向上の一助となれば幸いである。

以上

(参考)

- 1、 RTO 設備の代表的な爆発事故と是正措置
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1701596137528589574&wfr=spider&for=pc>
<http://www.zhorhb.com/news/4478-cn.html>
<https://www.163.com/dy/article/D68HVCRK0518R5F4.html>
- 2、 HJ 1093-2020 蓄熱燃焼法工業排ガス処理工程技術規範
<https://www.doc88.com/p-81899011576806.html>
- 3、 江蘇省『蓄熱式焼却炉(RTO 炉)システム安全技術要求(意見募集稿)』
http://ajj.jiangsu.gov.cn/art/2021/11/2/art_3709_10096082.html
- 4、 石油化工企業設計防火標準 GB50160-2008 (2018 年版)
<https://gf.1190119.com/list-1014.htm>
- 5、 GBT13347-2010 石油ガス管逆火防止装置
<http://www.doc88.com/p-1196424626575.html>
- 6、 GBT13869-2017 電気安全ガイド
<https://www.doc88.com/p-6704773727895.html>
- 7、 GBT19839-2005 工業燃料可燃性ガス燃焼器通用技術条件標準
<https://www.doc88.com/p-5465037395598.html>
- 8、 建築換気と排煙システム用防火ダンパーGB15930-2007
<https://gf.1190119.com/list-634.htm>
- 9、 建築設計防火規範 GB50016-2014 (2018 年版)
<https://gf.1190119.com/list-991.htm>
- 10、 GB50058-2014 爆発危険環境電力装置設計規範
<https://wenku.baidu.com/view/b6ca6e805afafab069dc5022aeea998fcd224093.html>

執筆: インターリスク上海 コンサルティング部 経理 陳泓

MS &ADインターリスク総研株式会社は、MS &ADインシュアランス グループのリスク関連サービス事業会社として、リスクマネジメントに関するコンサルティングおよび広範な分野での調査研究を行っています。

中国進出企業さま向けのコンサルティング・セミナー等についてのお問い合わせ・お申込み等は、下記の弊社お問合せ先、またはあいおいニッセイ同和損保、三井住友海上の各社営業担当までお気軽にお寄せ下さい。

お問い合わせ先 MS &ADインターリスク総研 総合管理部 国際業務グループ
TEL.03-5296-8920 <https://www.irric.co.jp/>

インターリスク上海は、中国 上海に設立されたMS &ADインシュアランスグループに属するリスクマネジメント会社であり、お客様の工場・倉庫等へのリスク調査や、BCP策定等の各種リスクコンサルティングサービスをご提供しております。

お問い合わせ・お申し込み等は、下記の弊社お問合せ先までお気軽にお寄せ下さい。

お問い合わせ先 瑛得管理諮詢(上海)有限公司 (日本語表記: インターリスク上海)
上海市浦東新区世紀大道 100 号 上海環球金融中心 34 階 T10 室-2
TEL:+86-(0)21-6841-0611(代表)

本誌は、マスコミ報道など公開されている情報に基づいて作成しております。

また、本誌は、読者の方々に対して企業のRM活動等に役立てていただくことを目的としたものであり、事案そのものに対する批評その他を意図しているものではありません。

不許複製／Copyright MS &ADインターリスク総研 2022