

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2019年6月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の <b>安全談話室</b> (No.156) <a href="http://www.sce-net.jp/anzen.html">http://www.sce-net.jp/anzen.html</a></p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:山岡龍介)</p>
--	--	--

今月のテーマ:保温材下腐食(CUI)

(PSB 翻訳担当:山本一巳、山岡龍介、竹内 亮)

司会: 今月号のテーマは「保温材下腐食(CUI)」です。CUI については、2014 年1月号にも同じタイトルで取り上げられていますが、今月号の内容は、3つの異なった温度条件を繰り返す再生プロセスに関わる配管が CUI によってピンホールが生じ、ガスが噴き出した事例をもとに解説されています。まず、今月号の記事について、感想や疑問点などありましたらお願いします。

金原: 一般的な CUI 発生温度条件は  $-4^{\circ}\text{C} \sim 175^{\circ}\text{C}$  と言われている一方、今月の事例はほとんどがこの条件から外れた低温領域での運転なので、配管の外表面に水膜ができるのは考えにくいです。もし CUI が発生したとすれば、30 年間使われていたということで次第に保温材の劣化が進み、断熱効果が悪化して配管の外表面温度が露点を越えたのではないかと思います。

山岡: この事例にある再生プロセスは、運転条件などから、私が在籍していた工場のエチレンプラントのプロセス条件と類似しているため、エチレンに微量含まれる水分を除去するエチレン乾燥器内の脱水剤を再生するプロセスだと思います。2 基並列に設置されている乾燥器に脱水剤が充てんされており、1 基は  $-17^{\circ}\text{C}$  前後で通常運転、他の 1 基は常温で待機します。通常運転を約 1 か月続けた後、脱水剤の再生 ( $220^{\circ}\text{C}$  前後で 7~8 時間、昇温・降温を入れると約 1 日) を行い、その間は待機していた乾燥器が通常運転に戻ります。ピンホールがあった配管は、このどちらかの乾燥器に接続した配管のはずですが、したがって、1 か月ごとに  $-17^{\circ}\text{C} \rightarrow 220^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{常温} \rightarrow -17^{\circ}\text{C}$  を繰り返えし、CUI 発生条件を通過します。保温材が水を含むに至った原因はわかりませんが、この温度条件の繰り返しが CUI を加速させたと思います。

金原: 再生時が高温であっても、低温から高温までは短時間で移るので、結果的には out and out になり CUI の起こりやすい温度の低温側、高温側の両範囲外なので、腐食は加速しないのではないのでしょうか。

竹内: 皆さんに事前に送った参考資料 ([http://penderlo.com/doc/Dow\\_CUI.pdf](http://penderlo.com/doc/Dow_CUI.pdf)) によれば、 $-17^{\circ}\text{C}$  での通常運転が 20 日間、 $220^{\circ}\text{C}$  での再生運転が 1 日、常温での待機が 19 日、を繰り返していたので、約 20 日ごとに CUI 発生条件を通過することになり out-in-out と言えます。このサイクルで長期間使用すれば、保温材の劣化などにより雨水や空気中の水分が保温材にしみ込み、比較的ドライヤーに近い温度変化を受けやすい部分で腐食が進んでいったと考えても良いと思います。

金原: プロセスの詳細いことが分からないのですがプロセス上、低温域と高温域があり、その境界域が CUI の温度領域にあったということですか。

竹内: 資料にある写真で、白色は凍った状態、黒色は溶けている状態と見られます。通常運転中は配管表面の水分が凍っていて白色、運転を停止して再生のために温度を上げているトランジションの間に溶けて次の通常運転迄に溶けた水分が付着した状態で黒色になっていて、この間に腐食が進むと考えてよいと思います。

金原: さらに温度が低い領域で運転しているケースが多くあります。これほど霜がつくような状態は見たことがありません。やはり保温が不十分であると考えられます。エネルギーロスも多かったのではないですか。

三平: この配管ラインは 30 年が経過しているとありますが、この間に検査はしていたのでしょうか。長く使われているのでピンホールの周囲も腐食が進んで全面腐食になっていた可能性があります。

竹内: 2004 年に検査していますが、ピンホールは見つからなかったとのこと。ただ、その時の検査は、検査手法を改める前の古い手法で行ったため、エルボの部分しか見ていなかったようです。確かに、ピンホールの周辺は腐食環境が整っていて、配管が折れ曲がったのは、弱い部分に腐食が集中していたからだだと思います。

金原: ピンホール程度の欠陥でどうして配管が破裂して座屈したような状況になったか疑問をもちましたが、断熱材の劣化でピンホール周辺も腐食が進んで相当な圧力でガスが噴出したためでしょうか。火災が起きてもおかしくない事象と思いますが、火災も負傷者もなかったのは本当に幸運だと思います。

- 牛山：断熱材に欠陥がなければ低温の配管でも氷が付着することはないですが、やはり断熱材が長期間の使用で断熱効果が低下して広範囲に腐食したためでしょうね。
- 山岡：確かに、火災や負傷者がでてもおかしくない状況ですが、縁切りした後なのでガス量も多くなかったかもしれません。負傷者が出なかったのは、作業者が安全確認をして適切に対応したからでしょうか。
- 澁谷：噴出した時の圧力はどのくらいだったのでしょうか。
- 春山：一般のエチレンプラントでは、分解炉でナフサやエタンなどを高温で分解して得た分解ガスを圧縮機で3MPaに圧縮し、その後深冷分離、蒸留塔を経てきて圧力損失がありますから再生塔に入る圧力はそれより低く、2MPa台だと思います。
- 山岡：私のいた工場のエチレンプラントの例で言いますと、春山さんのご発言通り、エチレン乾燥器の通常運転時の圧力は2.3MPa、再生運転時の圧力は0.4MPaでした。したがって、ピンホールがあった配管がどちらの運転時のものかによって圧力が異なりますが、脱圧中とのことですから、これらの圧力よりそれぞれ低いはずですが、しかし、通常運転時の配管でしたら相当の圧力ですから一気に放出されれば、写真にあるように大きな破損につながるでしょうね。
- 司会：CUIを実際に経験したり、CUIが原因によるトラブルや事故の情報がありましたらご紹介ください。
- 澁谷：4フツ化エチレンのプラント内の低温の蒸留塔(塔頂-40℃、塔底0℃前後)で、運転して2年目の定修時にリボイラーのレベルゲージ点検のために一部保温材をはがしたところレベルゲージの枝管の根元の部分にピンホールを発見して大騒ぎになった経験があります。建設のときに完成を急いだためかその部分はさび止めだけでペンキが塗られていなかったせいで、CUIにとって危険な温度範囲に入っていて腐食が進んだようです。幸い大事には至りませんでした。プラント完成時のチェックが行き届かなかったようで、細かいところもきちんとチェックしなければならないと実感しました。
- 山岡：私のいた工場でも、エチレンプラントの1つの蒸留塔で想定していなかった外部腐食が起っていました。定修時に、同業他社からの情報によって保温材を剥がしてみると、腐食がかなり進んでいることがわかり、すぐに保温を普通の保温材から重防食にして強化した結果、その後の追跡調査では問題は出ませんでした。プラントは操業開始後15年くらい経っていましたが、連続する何本かの蒸留塔のうち、腐食が進んでいたのはこの塔だけでした。塔頂温度が-15℃、塔底温度が70℃で、これよりも低温域、高温域の蒸留塔ではほとんど腐食はありませんでした。この一連の作業で事なきを得てほっとしたのを覚えています。
- 春山：やはりエチレンプラントですが、分解ガス乾燥器のCUIを点検した後の復旧作業で、復旧状態を十分に確認しないまま終えてしまったために不具合を見落とし、後日やり直しをせざるを得ない事態になりました。これは、保温材に板金を施す作業でしたがこの作業は結構難しく、ベテランの職人はすき間なく張れるのですが、ベテランがいなくなったため新人が行なった結果すき間を作ってしまった。CUIの点検の結果は問題なかったのですが、直したはずがかえって悪い状態になった例です。最後の確認がいかにか大事かを感じた例です。
- 三平：CUIが原因で大きなトラブルや事故になったことはありませんが、私が経験したことを2件申し上げます。1件は、冷水を使用している機器と関連配管が0℃付近で保温材の下で「汗をかく」状態になり低温でも腐食が見られましたが、致命的になったことはありません。炭素鋼でも塗装をしておけば速くは進行しないので、特に問題にはなりません。もう1件はPVCプラントの回収モノマー設備で使用したVCモノマーを冷媒にしたコンデンサーで、やはり0℃付近の使用条件でした。配管も含めて炭素鋼でしたので腐食を心配しましたが、多少の錆こぶは出ても腐食の進行は遅くて、大きな問題にはなりません。
- 澁谷：低温であることや、酸素の供給がない状態では腐食は進行しませんが、中途半端な温度条件や、雨仕舞の不備などで雨水が入ると腐食が進行します。
- 三平：確かに、雨水侵入による保温材下の腐食はよく起っていますね。現役時の経験は忘れたことが多いので、出身会社の保全部門とコンタクトして今回のテーマに関することを聴取しました。これからの私のコメントはそれに基づいています。配管のサポート部分は板金では完全に覆えないので、雨水が侵入して配管とUボルトともひどく腐食しているケースがよくあるとのこと。腐食の条件として温度が重要で、配管内の流体の温度が130℃(配管の外表面温度120℃)程度までは外面腐食に注意が必要であり、それ以上の高温になると腐食は少なくなるようです。また肉厚の小さい小口径の配管では、肉厚の大きいものに比べて腐食トラブル

の発生に至るまでの期間が短いので注意が必要だとのこと。

金原： 保温材の成分にも注意が必要です。特にハロゲンが入っていると外部腐食の可能性が高いです。

塩谷： 確かに、SUS 系の配管でも保温材に塩素イオンが含まれていると怖いですね。

牛山： 保温材への雨水の侵入だけでなく、雨水に溶けこんでいる不純物のイオン（例えば塩素イオン）なども注意する必要があります。これらのイオンが存在すると腐食電池が形成しやすく、腐食の進行が速いです。

竹内： 水のラインの凍結防止に、新品の保温材で板金を施す工事をしたが、施工がまずくて雨水が入り、かなり離れた別の所から水滴が落ちてきたという経験があります。施工をやり直しましたが、保温材の施工がまずくてもカバーをしてしまえばわからなくなるので、施工が適切になされているかの確認は重要です。

塩谷： 50℃以上の裸配管には火傷防止としてグラスウール＋保温カバーの簡易型保温を実施していましたが、簡易型であるがゆえに雨水が侵入し易く、当該配管に CUI の発生が多く見られました。この経験から火傷防止用の保温部分は CUI のリスクが大きいと判断し、安易な火傷防止は極力止めるとともに、雨仕舞を強化した施工法に改善しました。

三平： 定期的に点検することは大事ですが、現実の問題として視る個所が多くて苦労しているようです。プラントをブロック単位に細分化して塗装の状態を管理し、劣化具合で外面腐食検査を行い、保温劣化箇所や板金腐食箇所などをピックアップして解体検査を行っています。

金原： 私の経験では連続プラントが多く、またバッチは屋内であったので、このような経験はありません。ただ、少し例が違いますが、保温材の不良で配管内に堆積物が蓄積した経験があります。計算と実験と両面で検証しましたが、保温効果の悪い系では、配管の内外のスキン温度が大きく変わるのに驚いたことがあります。

司会： CUI の防止や CUI による重大災害を発生させない管理、対策について、ご自身の経験や得られた知見がありましたらご紹介ください。

三平： 最近の技術で保温材の上から超音波で検査する方法があります。

牛山： エンジニアリング協会のガイドラインに非破壊検査の方法が紹介されています（注）。それによれば、検査手順として、まず保温材の上から「ガイド超音波検査」によるスクリーニング検査をして、その結果により問題があれば、保温材を一部又は広範囲に剥がしてうず電流や放射線等による詳細検査に移ります。

また、中性子線で水分をチェックする方法も開発されているとのこと。その他、最近の研究で、マイクロウェーブを使う方法、光ファイバーの中に音波を入れて測定する方法もあるようです。ただ、CUI を探し出す最も確実な方法はやはり目視で、どこが危ないかを周期的に目視で点検することが肝要で、異常が疑われれば機器を使って検査します。

（注） エンジニアリング振興協会編「石油精製及び石油化学工業における保温材下配管外面腐食（CUI）維持管理ガイドライン（平成 23 年 2 月）の 3・4・5 章に、CUI の発生する条件と原因、発生メカニズム、防止対策等が詳細に解説されていてたいへん参考になると思います。

三平： 最近撥水保温材が出ているので、雨水など水の浸入が懸念される配管の保温で切り替える方向で進めているようです。

春山： 経済産業省の産業保安関係の新しい事業の中で、保温材下の機器の点検をテーマに、保温材の外側から診る方法について関係各社からデータを出してもらい、そのデータを統計処理し、点検するポイントや点検すべき場所などを整理して活用してもらう仕組みを作ったようです。

牛山： 同業の企業間で情報交換をして情報を共有することもたいへん有効です。自分のところで知らなかったり、見過ごしたりした事象を、得られた情報によって点検し、大事に至る前に対処することができます。

金原： 新しい点検技術が色々開発されてきていますが、設備管理上、CUI の重要性に比べて他に対応しなければならないことが沢山あるので、新技術開発や管理強化は、費用対効果の面からもなかなか時間をかけることは難しい面はあります。

竹内： 保温材を施す工事などでは後からは見る事が出来ないもので、インスペクションは協力会社まかせにせず、必ず自分で行うべきであることをプロセス安全教育の中でも指摘しています。

春山： CUI の予防に塗装も重要で、腐食しやすい配管は、さび止めから始まって 3 回塗りなど複数回上塗りをする必要があります。かつ適正に塗られているかをしっかり診ることが重要です。また、海岸沿いにある設備で SUS を使う場合は、海風に乗ってくる塩素イオンにより応力腐食割れが起こり易いので、その面の配慮も必要で

す。

中村： 設計面からの外部腐食対策の1つとして、例えば塔類の保温材滑り止め用サポートリングの工夫がありません。外装から保温材のところに雨水が漏れこんできてサポートリングの上部に溜まる可能性があるので、水分を下部に流す水抜き隙間が必要となります。また塔の一番下のサポートリング上からうまく水が外に出ないために、塔の下部が腐食したと聞いたことがあります。サポートリング上の水分を外装板の外に出す工夫が必要になります、それから、保温材部に雨水が入らないように、外装板の取付けは、日本では曲げ加工（通称“はぜ”）をすることが多いですが、海外ではこのような外装板の曲げ加工ができるような職人が殆どいないため、ピン打ち込み作業が一般的になっているようです。

山岡： 雨水などの溜まり水や水蒸気が入り易い環境で、不適切な保温材を使ったり、施工が悪くて雨水などが入ると外部腐食が起り易くなるので、そのような環境にある保温材下の配管を特定して定期的に点検し、保温材を剥がして状況を確認したり、保温材の更新や施工方法を改善することなどをしていました。

金原： 定期修理では、往々にして工事が遅れて工期が迫ってくるがありますが、最後にしわ寄せが来るのは計測機器のチェックと保温工事です。保温作業を短期間でこなせる技術、それを管理・フォローできる力量を持っていることが大事です。

三平： 製造部門の日常点検や保全部門のメンテナンスで、人が配管の保温板金の上に乗ってしまい、板金を変形させてシールが悪くなり、雨水が浸入した経験があります。気を付けるとともに元の配管の設計で考慮する必要があります。

司会： 化学プロセスでは保温材が施された機器が多くあり、CUIは、対象となる機器だけでなくプロセス全体の健全性を保つ上でも重要なテーマの1つです。保温材下のため機器そのものの目視ができないので、まず保温材を適切に管理し、保温材及びその下の機器を定期的に点検、検査することが重要です。本日はCUIの防止についての色々なご意見、ご提案をいただき、ありがとうございました。

キーワード 雨水侵入、エチレン乾燥器、再生プロセス、CUI、保温材下腐食、腐食、ピンホール、断熱材、保温材、劣化

#### 【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、小谷卓也、齋藤興司、澤 寛、澁谷 徹、塩谷 寛、竹内 亮、中村喜久男、春山 豊、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己

以上