

PSB (Process Safety Beacon) 2018年5月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.143)	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 澁谷 徹)
	http://www.sce-net.jp/anzen.html	

今月のテーマ: プロセス設備とインフラの老朽化

(PSB 翻訳担当: 三平 忠宏・澁谷 徹)

司会: 今月は「老朽化」という、現場では常に抱えている重要なテーマです。記事の中に、老朽化は経年だけによるものではなく、老朽化防止には適切な運転・保守が重要であると指摘されています。

澤: 最初の事故事例のビデオが CSB で作成されており、模擬的な大爆発の場面が見られます。

<CBS のビデオ視聴>

牛山: この事故は Tesoro Refinery 社のガソリンを製造する水素化精製設備の熱交で起こった事故ですが、この熱交はチューブ側は加熱炉装入の低温側流体で、シェル側は反応器からの高温流体(約 380℃)です。熱交は 2 系列各 3 基ずつ(ABC および DEF)ですが、運転中だった系列の中央 E 熱交で事故が発生しました。高温の D 基はシェルがステンレス製でしたが、E 基のシェルは高温流体入口部だけ SUS316 クラッドで、それ以外は炭素鋼でした。破裂したのはクラッド材の隣の炭素鋼製部分でした。よく知られているように高温高圧下の水素雰囲気では、炭素鋼は鋼材中の炭素が水素と反応しメタンとなって脱炭する水素脆化が起こりますが、設計ベースはネルソンカーブの下側で水素脆化が起こらない範囲となっていたため炭素鋼を選定したようです。しかし、事故後の調査では実際に水素脆化が起こっていました。このことを設計上から考えると 2 点疑問があります。第1は高温側ほどチューブがファウリングを起こし易いのですから、当然運転経過とともに最初の D 熱交での交換熱量が減りますので、E 熱交シェル側入口温度が上昇します。それを考慮すれば E 熱交も水素脆化の懸念があり、少なくとも耐水素脆化性のクロム含有の低合金鋼でシェルを製作すべきではなかったかと思えます。第2は E 熱交の入口部だけ SUS クラッド材にしていますが、通常的设计ベースではその熱交の一番厳しい温度条件を選定するべきでしょうから、全体を SUS クラッド材にしておくべきであったらと思います。

竹内: この事例は現在翻訳中の CCPS の本にも紹介されていて、事故調査の結果、ネルソンカーブの情報が不正確だったとの結論に基づいて、API は 2011 年にネルソンカーブに対する注意喚起を行ったとのこと。

山岡: ネルソンカーブが不正確との情報は現場の知識として共有されているのでしょうか。高温高圧の水素は石油精製や石油化学のプロセスでよく使われますので、この情報は普及させないといけませんね。ただ、どの部分が不正確なのか、この記事では明示されていないので確かめる必要がありますね。

三平: 有機合成プラントの水素添加反応で水素を多量に使っていました。先輩から受け継いだこのプラントでは、水素脆化に強いオーステナイト系 SUS を使用し、手直しや新增設でもその材質を保持していました。

小谷: 昔に比べるとステンレス鋼の価格が下がっているのでクラッドにする必要性があるかどうか、前後の運転条件の変化がどの程度予想されるかなど、エンジニアリング会社/機器メーカーとの情報交換など本音を隠さないほうが双方に有益なような気がします。この辺の情報交換は改善されているのでしょうか。当時は、「クラッド鋼製タワーを甲板積みにしてパナマ経由カナダの内陸部まで送ることができるかどうか」が最大の問題でした。幸いお客さんの方が船を見つけて手配される幸運に恵まれました。

三平: SUS クラッド材は大型の重合反応器に採用して十分な実績があります。熱伝導率は鋼の方が SUS より大きいため、ジャケット冷却の総括伝熱係数はクラッド材が無垢の SUS 材より大きい利点もあります。

司会: 老朽化の経験事例はありますか。

澤: ウレタンの原料を連続反応器で作り、ラインの最後に熟成する SUS の横型タンクを設置してありましたが、真上に冷却用の海水配管がありました。海水が漏れてタンクにかかり長い間にクラックが発生した例を新入社員の時に見まして、SUS でも使い方の条件によってはダメなことを知りました。

澁谷: 技術導入で作ったプラントでの事例ですが、熱分解の熱源として 800℃程度のスーパーヒートスチームを用いました。スチームを加熱するため、インコネルの径 50 mm 配管をコイル状に巻いて(コイル径: 1.5m 高さ: 2m 程

度)炉の中に入れ加熱する設備を設置しました。技術オーナーの会社からコイルは 3 年で交換しないとないと言われ、膨らんで穴が開いたり、歪んだりした実物を見せられました。運転を始めて、1 年・2 年目には外部からの検査をし、3 年目にはコイル交換を行いました。外したコイルを金属メーカーに持ち込んで、外部からの検査だけではなく、配管を数か所切断し詳細な検査を行いました。評価結果は全く劣化していないというものでした。その後は、定修ごとに外部検査を行いながら、10 年以上使用することができました。コイルの寿命にそのような大きな違いが何故あるのか検討しましたら、炉で燃やす燃料の違いによるものだと判りました。我々のプラントでは、純度の高いガスを燃料としていますが、技術オーナーの会社では質の悪い燃料(特に微量重金属が含まれる)を用いていたことが原因だと判りました。微量の不純物でも設備の寿命に大きく影響することを知りました。

牛山: 私も似た経験があります。加熱炉内のコイルはよく腐食していましたが、メーカーリコメンドで SUS321 に材質を変更しました。その際メーカーから定修時には苛性ソーダによる洗浄を行うように指示されましたが、コイルが縦型のため下部バンド部にソーダが残り逆に割れの懸念があったため洗浄を止め、5 年間毎に更新することとし予備コイルを準備しました。定期的チェックをして確認していましたが、割れや腐食の兆候もなく、まったく更新が不要で、長期使用ができるようになりました。材質の選定が重要だと痛感しました。

竹内: 右の図は、昨年 5 月に公表された消防庁の「平成 28 年中の危険物に係る事故の概要」の公表に掲載されたグラフです。下から 2 番目の線で表された流出事故の件数は、平成 6 年が最小となっており、その後は平成 19 年まで増加しています。バブルが弾けて設備の保守にお金を掛けなくなったのが、原因の一つだと思われます。

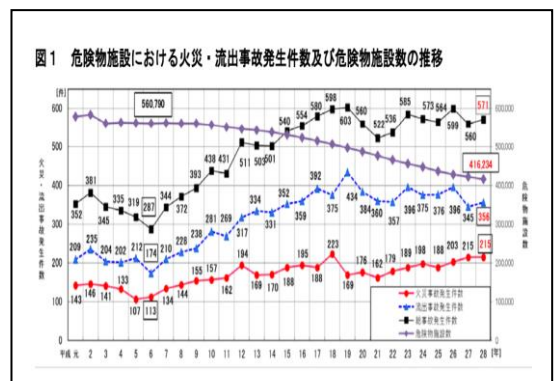
長安: プロセスの主要設備ではない床、階段、梯子などの付帯設備の老朽化を調査するプロジェクトに参加したことがあります。環境の影響が大きく、特に海の近くの塩害や湿度が大きな要因となっています。主要設備と違って定期的な点検対象になってないので、ルールを決めて定期的に点検を行うことが老朽化防止には大切です。特に滅多に登らないタワーの高所の床は注意が必要です。慣れると気が付かないことがあるので、違った目で見ると、他の部署の人による相互点検は有効です。

牛山: お金を掛けられなくなると、先ず塗装補修を延期することがありますが、錆が垂れて表面が汚れ、こうなると全体の設備保全が懸念されます。保温材の隙間も要注意で、特に管台のところは雨水がたまりよく腐食しています。保温材表面は良くても内部が腐食する、いわゆる CUI の懸念もあり定期的なチェックが重要です。ある時配管ラックの横を通っていた際、どうも配管のひずみが気になり調べてみると、サポートのアンカーボルトが外れて、配管にサポートがぶら下がっていました。以後はアンカーボルトも時々点検するようになりました。

飯濱: 私も海岸近くの工場に勤務していたのですが、点検のつもりでケーブルラックのコンクリートのカバーを外したら、中の支柱が想定以上に腐食していました。塗装のやり直しではとても次の 10 年は持たないという判断をして一部を交換することになり、大仕事になりました。

山本: Beacon ではプラントの装置やライン、構造物の劣化を例としていますが、プラントの運転をコントロールする電子機器の老朽化も考慮する必要があります。例えば、攪拌機の減速機は機械式のものが多く使われていましたが、最近ではコスト的な面からインバーターモーターが多く使用されてきています。インバーターモーターは電子機器で回転数を制御しますが、機械式のように振動や発熱とかの前触れもなく、急に動かなくなることがあります。インバーターのアルミ電解コンデンサーの内部で化学反応が行われているので、寿命があることが主な原因であることが知られています。反応などの重要なプロセスの攪拌機をインバーター制御しているところは、反応中に攪拌が停止すると大変なことになります。インバーターの耐用年数(使用環境により異なる)を良く考慮して、スタンバイのインバーターを持つとか、定期的に電子機器のアルミ電解コンデンサーを交換するなどが必要になってきます。

牛山: プラントの配管では、水分を含むガスの場合温度が低下して凝縮するゾーンがある場合は、凝縮水で腐食が進み薄くなり易いので注意が必要です。圧縮機の何段目かの配管の機密テストを行っている際、ものすごい音がして配管が破裂しました。調べてみると配管の下側が紙のように薄くなっていて圧力に耐えられなかったと判りました。運転中ではなく幸いでした。



竹内： Process Critical という観点からは見落とされがちになりますが、高い場所に設置された重量物の老朽化も気になります。高速道路の天井崩落事故なども実際に発生しています。頭上に重量物が吊るされていると、計算上は大丈夫でも怖いですね。構造材の劣化により落下する恐れのある重量物は Critical Equipment と見なして、定期的な検査が必要だと思います。

澤： 10～15 年前のことですが、塩酸の FRP タンクで天板の踏み抜き事故がありました。塩酸は気化して上部の部材を腐食させますから、常に点検が必要です。

三平： 塩酸は怖いですね。先輩から聞いた昔のことですが、塩酸を扱っている工場の屋根のスレートの補修をしていた請負業者が、塩化水素で弱くなっていたスレートを踏み抜いて落下した死亡事故がありました。

牛山： 以前は、使用されていない古い機器を移設して再利用することがありましたが、前歴が判らないことも多く劣化が進んでいたりして耐用年数が短く、結局更新せざるを得なくなることがよくありました。注意が必要ですね。

司会： 老朽化を早く見つけ、そして、老朽化を防ぐための、ポイントはありますか。

山岡： 私が在籍した事業所のエチレンプラントは48年経過し、正に「老」ですが、「朽」がつかないようにずっと努力し、現在も高効率・安全運転を続けています。劣化を含めて老朽化を防ぐポイントは、定期的な点検・検査を確実にし、その結果に基づいて適切な修理、更新などを行って設備の健全性を保っていくことだと思います。取扱い物質や運転条件などから老朽化が予測される部分の定点チェックを継続的に実施し、劣化の進捗度を的確に把握して対応をとることです。劣化を進展させる要因として、腐食・振動などがあるので、音・振動・臭いなど、見回り時に十分注意することも重要です。エチレンプラントを例にとると、定修が毎年行われていたときは、各定修時に検査、修理、改良保全をしていましたが、4年ごとになってからは定期検査を運転中に実施し劣化状況を確認していました。そのため現場では運転中の検査技術の習得に時間を割きました。

竹内： West Pharmaceutical Services 社の事例ですが、工場は綺麗に清掃されていたが、天井裏のダクト周りに粉塵が溜まり、大規模な粉塵爆発が発生しています。ビデオを見る限り、最初天井板を張っていなかった所から天井板を張ったため、粉塵が溜まり易い構造にしまったと思われます。簡単に見えないところの点検も重要ですが、変更管理の問題もあったと思われます。

金原： ダクト堆積物が原因となった火災は意外と多く発生しており、次の点を留意する必要があると考えています。

- ① ダクト内部に粉塵が溜まらないように定期的に点検、掃除できるように点検口や架台を設置する。
- ② 垂直ダクトに付着した堆積物が落下することを防止する為に垂直ダクトを短くするなどの配管設計。
- ③ 建屋の壁を貫通するダクトが高温の場合、断熱材は熱膨張を考慮して取り付ける。例えばフレキがあると配管の熱膨張による圧縮によって、断熱材が引っ張られ、ダクトがむき出しになる。それによって温度降下が発生し、一挙に堆積物がダクト内部に付着する。

エロージョンについてですが、硫酸も98%の高濃度になると腐食性が小さく炭素鋼で十分ですが、炭素鋼は柔らかいので、配管のエルボなどで粘性の高い硫酸によって、エロージョンが発生した経験があります。私はステンレスに置き換えたが、流速を考慮しても良いかと思います。

松井： パイプの外側の異常は見つけやすいですが、内部の状況は見る事ができないので、外部の僅かな変色も見逃さないようにしないと、内側が摩耗していることがあります。

山岡： 摩耗による劣化といえば、エチレンプラントの 12MPa スチームを発生させる過熱器で、ヘッダー出口配管の曲管部の肉厚測定の結果、エロージョンで肉が薄くなっているのが判明し、次の定修まで大丈夫かどうか専門家も含めた関係者で議論の結果、止めて補修することにし、事故にならずに済んだことがあります。その部分の配管肉厚が薄くなるという同業他社情報により測定して判ったもので、他社情報は役に立つことが多いので参考にすべきです。

三平： 現場を離れてかなり経ちますので、プラント設備の老朽化に対して現在取られている方策はどのようになっているか、出身会社の機械保全関係部門とやり取りして大要を把握しました。

- ・機器の開放検査や肉厚測定検査により老朽化の状況を把握している。機器の更新は生産面での重要度、老朽化度などで点数化した老朽化度評価書を元に優先順位を付けて進める。
- ・外面腐食検査については、機器だけでなく配管やデッキなどの構造物についても目視検査を、プラント全体で網羅的に行う。異常発見箇所は、すぐに対処できるものは補修を行い、出来ないものは定修時に行う。
- ・保全部門と製造部門で老朽化対策案件のすり合わせ会議を行って、施工実施項目を決めている。

- ・検査担当の診断グループを機械保全担当内に組み込み、検査と保全を一体にした運営を行っている。
- ・保温での雨水侵入防止については、成形エルボやフランジ部の重ねなど雨仕舞の強化を行う。断熱材の水分滞留防止に撥水性の高い材料を使っている。板金の腐食防止には、重要度の高いものはカラー鉄板からステンレスに替えている。
- ・保温下の配管の腐食は、板金と断熱材をすべて外して必要な処置を行い、保温は更新している。
- ・塗装ではステンレスフレック入りの塗料が、海岸エリアや湿度の高い腐食環境の厳しいところに使っている。

司会: 今日では老朽化というテーマで、非常に広い範囲の議論をしていただきました。有り難うございました。

キーワード: 老朽化・インフラ・経年劣化・水素脆化・脱炭素・ネルソンカーブ・クラッド鋼・重量物・塩酸・硫酸
CUI(Corrosion Under Insulation: 保温材下での腐食)・電子機器・屋根の踏み抜き・他社情報

【談話室メンバー】

飯濱 慶、井内謙輔、牛山啓、金原聖、小谷卓也、齋藤興司、澤寛、澁谷徹、竹内亮、
中村喜久男、長安敏夫、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己、渡辺紘一

以上