

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2020年11月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の 安全談話室 (No.173) http://sce-net.jp/main/group/anzen/</p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 金原 聖)</p>
---	--	---

プロセス機器の振動が全て“Good Vibration♪”とは限らない
(PSB 翻訳担当: 今出 善久)

司会: 今回は、化学工場によくある振動に関連するテーマを取り上げています。この件に関するご経験や早期発見の技術等については様々な形でされていると思いますが、そのことは後ほど伺うとして、まず Beacon に対する感想を聞かせてください。

金原: 圧力計を長い配管で取り付けるといのは、どのようなセンスをしているのでしょうか。また、振動が大きくなったことに気づいているのに何らの処置をしなかったことに疑問を感じます。

山岡: 確かにそうですね。圧力計を長い配管に設置することはないと思いますが、圧縮機やポンプなど振動が発生する可能性がある機器に長い配管を接続する事はありました。しかし、その場合は必ず配管に振れ止めを施していました。

三平: 記載内容が簡単すぎて圧力計の配管改造の背景や理由が見えてきません。想像するに圧力計の位置がオペレータの目視確認する場所より低い位置にあつて、よく見えないために行われたのでしょうか。そうであれば一般的に言えば、圧力計がよく見える位置に変更すべきでしょうし、圧力計の導管のような細いパイプで長くせざるを得ない場合は、配管への取り付け部が振動に弱いために差し込み型の継手、さらに細幅の平鋼を使ったリブで導管下部と配管を繋いで補強することが望ましいと考えます。

金原: 言われる通り監視できる位置まで伸ばす必要があります。一方、サポートを設けるにしても振動が激しい場合には、応力に対する配慮が必要ですね。

竹内: 施工後に圧力計の位置を変えることはたまにありますね。私の経験では、配管工事の作業員が気を利かして良く見えるように、ということでもまっすぐ立っていなければならぬ圧力計を斜めに付けてしまったことがあります。良く知らない人が工事をやると、とんでもない間違いをするので注意する必要がありますね。ところで振動が大きいというのが、どれ位のレベルを以て大きいとするのかを定める必要がありますね。いかに短くても回転機器の周辺であればなにがしかの振動はしますよね。振動の限界を定めた判断基準というのは皆さんのところではありましたか。

金原: おそらくその基準というのはなかったと思いますが、何よりも本文の図にあるような振動であれば、圧力計の値が見えないのではないかと思いますね、その状態で放置しておくことに問題があると考えます。

牛山: 何といても圧力計の導管というのは短くするのが基本ですよね。どうしても長くせざるを得ない場合は、応力を考慮してサポートする必要があると考えます。

金原: 薄膜蒸発機周辺の配管が1インチも振動していたというのは、突然大きくなったのでしょうか。かなり大きな振動であり、蒸発機の攪拌機あるいは、回転部分に大きな変振動があるか、蒸発面とローターが接触して異音が生じていたように思います。私も真空系でこの設備を使ったことがあります。蒸留の最終段で使用していたために高粘度液体でしたのでこの設備が最適でした。毎年のシャットダウンでローターを吊り上げてメンテをしていました。それもあって、振動したという経験は一度もありません。先の例と同様、設計面や管理面で問題あると思います。

司会: 有難うございました。それでは、皆さんの振動に関するご経験ならびに管理技術についてお伺いしたいと思います。回転機器と静機器に分けて、まず回転機器からお伺いしたいと思います。

春山: 先ほど話題に出た配管振動に関連して、回転機器の振動による配管の損傷事故で私は製造現場で痛い経験をいたしました。その事例としてエチレンプラントには大型圧縮機がありますが、この機器に付帯する配管の損傷事故です。大型圧縮機は構造が複雑で、運転も厳しい条件で連続運転しております。加えて定期修理の延長で2年連続、4年連続運転とさらに条件は厳しくなっています。そうした中で運転担当者、設備担当者はメイン設備の点検には十分気を使っていますが、付属する圧力計や、サンプル採取用・ドレン切り用小口径配管、リサイクル配管も多数あり、点検場所が高所含めて多岐にわたります。こうした状況から点検を見落とす場合があり、配管

損傷につながってしまったケースがあります。その為、再発防止を図るべく配管ルートの変更そして配管サポートの変更をするのですが、この際の変更管理で固有振動など検討を十分にしたらうで対応しないとサポートの位置が悪く、かえって共振を誘発してしまいトラブルになった例があります。

今出 : 大分以前の話になりますが、100KWクラスのDCモーターを付けた押出機のギアボックスのギアが破損したことがあります。モーターのベアリング聴診や振動の測定は定期的に行っていたのですが、トラブルを防ぎきれませんでした。その機器はだいぶ古く、メーカーにはもう部品がなく、世界中の姉妹工場を当たって何とか見つけることができました。それ以後は歯車毎の状態の傾向を分析できる振動分析も実施するようになりました。

司会 : トラブルの原因は何だったのですか。

今出 : 歯車の経年劣化もありますが、保全技術の高度化が必要であったと考えます。周波数分析などの監視技術を導入してしっかりと管理を行うことにより、再発が防止できました。

司会 : 機器が古いと部品がないというのは良くありますね。日頃の管理をきっちりと行っておく必要がありますね。

今出 : 自社だけでは管理できないので、専門の業者をお願いして、しかるべき調査を定期的に行っており、変な兆候が出れば、早め早めに対応するようにしています。

三平 : 入社して PVC プラントのオペレータから仕事に就いたので、回転機器類の点検で鍛えられました。ベアリングの球を溶接棒の端に溶接した聴音棒があり、球を耳に当て棒の先端を軸受に当てると摺動音がよく聞こえました。さらに機器の軸受部に指先を当てて振動の様子をチェックしていました。音や振動の異常は頻繁に出るものではありませんが、自身のパトロールでいつもと違うポンプの異音と振動に気付き、直ぐ上司へ報告して保全部門に対応してもらったことがあります。

金原 : 以前は、ベテランの保全マンが聴診棒を持って回転機器をチェックして早期発見に繋げていましたが、今やそのような職人はいなくなりました。その分、計測機器が発達し、コンピューターの進歩と相まって管理が充実してきていると考えます。ただ、費用対効果ということから検査対象は限られていると考えます。やはり五感での管理も大切にしたいと考えます。

山岡 : 運転中に回転機器が出している音は、機器が正常に動いていても一定の音がするので、毎日行う点検で正常な音か振動などによる異常音かを聞き分けること、これは技術と経験が必要ですが、現場パトロールの際に音や臭いなど五感を磨くことが大切です。

竹内 : テレビを見ていたら、ふくろう隊といって夜中に道路をチェックして上水道管の漏水箇所を探索している人たちの取材していました。彼らのおかげで、日本の上水道の漏水量は他の先進国に比べて格段に低いということです。やはり耳で聞いて異常を発見していく管理というのは何らかの形で維持していく必要がありますし、それにとって代わるロボットのような管理技術を開発していく必要があると感じました。

牛山 : 新設設備の中でスペンサー型ブロワーというのがありまして、ボルトで止めずに据え置きタイプのブロワーで、振動が小さくて音も出ないという特徴があります。ところがスタート時に小さな振動がたまに発生して、聴診棒で聞くと僅かですが音が出ていました。そこでベアリング部分を調べてみるとかなり熱くなっており、アライメントが悪いということで修理しました。このように聴診棒は僅かな音でも拾ってくれるので日頃の管理には大切な道具であると思います。

金原 : トンネルや高速道路の劣化状態を見るのもハンマーで叩く調査を行っていると言います。そのような技能を持つて人をきちんと育成しておく必要がありますね。

司会 : それでは少し視点を変えたご経験談をお願い致します。

三平 : 往復動式(レシプロ)圧縮機のトラブルで怖い経験をしました。液化高圧ガスである塩ビモノマーのタンカー輸送の初期には船側に移送ポンプがなく、陸側にあるモノマータンク気相部のガスを圧縮して船へ送り、圧力差で液を押し上げていました。揚がってきた液は一旦陸側のタンクに入り、液面調節計で一定レベルを保つように数百メートル離れた重合プラントの大型球形タンクへポンプで移送していました。高度成長期の機器の調達難などによる苦肉の策だったのかもしれませんが、設備は順調に稼働していました。この荷揚げを何回か経験して任されたある日に、タンクの横にある圧縮機室から大音響が聞こえました。走って行ってみると縦型圧縮機が踊るように揺れ、轟音を発していました。直ぐに停止ボタンを押して止めたので、その後の機器や配管に異常はありませんでした。一人で恐怖を覚えながら処置をしました。原因は液面調節計の故障で、タンクに液が充満してオーバーフローし、圧縮機のサクシオンに流入して来たのです。本来付けるべき上下限の警報やインターロックはありませんでした。

た。

司会 : 下手をするとフランジ部が外れて内液が漏れ、火災事故や環境問題になりかねない大変恐い経験をなさったと思います。

三平 : すぐに対処したのが良かったと思います。数分遅ければ大惨事になっていた可能性が高いと思っています。

司会 : 二次トラブルもなく無事停止できたというのは本当に良かったと思います。

三平 : その後プロセスエンジニアになってPVCや各種の有機合成品のプラントの設計、建設に従事しましたが、このトラブルは私にとってプラントの安全設計を考える際の原点になっていました。PIDを作る過程で、いつもこのトラブルが頭をよぎって、液面計の上下限管理やインターロックなど設計上の注意点を一つ一つ確認していました。

司会 : その他でご経験談があれば。

三平 : 有機合成品の反応設備で遠心式圧縮機の振動トラブルを経験しました。私がプロジェクトマネージャーであっただけに、苦い思い出のあるトラブルです。これは設計上の問題で、導入技術でしたがライセンサーのドキュメントに不備があり、それを知らずにメーカーにそのまま製作を委託した為に起きたトラブルです。反応器に吹き込んだ原料ガスの未反応分は圧縮して再循環しますが、ミストを随伴するので途中にミストセパレーターを付けます。プラントの新設時に付けたミストセパレーターの能力が不足していたために、高速回転の圧縮機にミストが流入して振動値が限界を超えたのです。結局高性能のミストセパレーターを突貫で製作してもらい、置き換えるまで生産ロードを下げて運転せざるを得ませんでした。

金原 : 今から30年前の生産課長時代の事です。フィルム用原料を生産していましたが、粉体であるだけに異物が入るとユーザーに迷惑が掛かります。異物と言っても10ミクロン以下の物体で、顕微鏡を使って目視で測定するだけに分析結果が出るのは夕方でした。不思議と金曜日の、それも飲み会のある日に限って高い値が出るがありました。やむを得ず、全員総出で回転機器を一つ一つチェックして犯人捜しをやりましたが、音の判断では分かりません。そこで主だったポンプに対して予備機に切り替えて調査し、ようやく解決していました。後で調査しても微妙な振動であり、おそらく現在の振動測定技術でも難しいかもしれません。やはり日頃からのメンテが大切です。

山本 : 下部軸受けの攪拌装置の試運転で振動を経験したことがあります。振動解析を専門としている会社に依頼して、現場で振動を測定して解析してもらいましたが、それでも原因がわかりませんでしたそこで、しばらく他の原因を調査していたのですが、軸受けを分解してみますと、軸とスリーブ(テフロン製)の間に、工事で発生したと思われる細かい金属の切粉がたくさん入り込み、スリーブの軸との摺動面にめり込んでいました。この切粉による軸とスリーブの摩擦が振動の原因で、新しいスリーブに取り換えると振動はぴったりと治まりました。水を張って抜き出し、切粉などの異物を外に出してから再度水を張り、そして攪拌機を回しておけば問題が起きなかったと思います。“知っていますか”で振動の原因を大きく分類していますが、これは回転機器のアンバランスに含まれる原因で、軸受け(またはベアリング)の不具合が引き起こしたものです。

金原 : ホワイトグローブテストというのがあります。タンク内を解放して工事などを行った場合の最後、ウエスで槽内の壁面を手でふき取り、目視ですがウエスが黒くならないことを確認して終了、という手順があります。それは行わなかったのでしょうか。

山本 : 行わなかったと思います。攪拌機の水運転で槽内洗浄をすれば良いと安易に考えて、水運転で軸受けに切粉が入ることに注意が及びませんでした。

金原 : 軸受けの管理は大切です。スラリーを取り扱う系では、軸受けにバックフラッシュと称して、軸封部に反応溶媒と同じ物質を少量添加し、結晶の巻き込みを防止しています。バックフラッシュが切れると大変なことになるので、きちっと流量管理し、流量下限になると警報が鳴るようにしていました。

山本 : 軸受け部分はクリアランスが狭いので、サイズの小さな物体が入らないようにしないといけませんね。特に細かくても重い物質は攪拌槽底部の中心に集まり、軸とスリーブのクリアランスに侵入する危険性があります。

司会 : 有難うございました。それでは次に静機器に移ります。配管振動などは様々なご経験があるかと思います。

竹内 : 私は、2つの経験があります。一つは基礎の設計ミスで振動篩を支える4本の足のうち1本がフロアに付かず、ピットに宙ぶらりんになったので、作業員が気を利かせて配管を繋いで下まで届くようにしてしまったのです。振動篩の振動でその配管が共鳴して大音響を発生しました。昔は現場合わせが一般的でしたが、今なら変更管理の対象ですね。もう一つはバキューム式の空気輸送でルーツフロアの出口を屋内に設置したのですが、サイレンサーが

あっても音が大きいので、やむを得ず排気管を延長して屋外に出したら、その配管が共鳴して大音響を発生した事例を経験しています。

山本 : 配管内に挿入した円柱の温度計が振動で次々と折れたということを知ったことがあります。原因はカルマン渦が発生して振動が起き、それが温度計の固有振動数と一致して激しい振動となり、金属疲労で折れたものと考えられています。本文の“知っていますか”に“流動による振動”がありますが、カルマン渦による振動のケースが結構あると思います。

塩谷 : このカルマン渦による振動は、まさしく“もんじゅ”のナトリウム漏れ事故で温度計の鞘管が破損した原因でしたね。鞘管の形状に問題があり、設計時にカルマン渦による共振回避の検討が不足していたようです。

司会 : そのようなこともきちんとドキュメント化されて水平展開し、再発防止する必要がありますね。

竹内 : テレビで見た例ですが、一般家庭で上に誰もいないのにリビングの天井が時々突然、ガタンガタンという音がするというので調べてみたらリビングの上には水道管が通っていて、そこからかなり離れた場所に洗濯機がありました。全自動洗濯機は給水を急激に停止することがあり、その際にハンマーリングが起きていました。その衝撃で配管サポートが外れ、配管が暴れていたとのことでした。

木村 : KHK で事故調査解析委員会に参加してまして、高圧ガス事故の類型化調査(経済産業省委託事業)というのをこの 10 年間位行っています。平成 22 年の調査で取り上げたコールドエバポレーター設備においては、過去 3 年間(2007 年～2009 年)の事故が 91 件報告され、その約 7 割の 64 件が、配管溶接部、ろう付け部分の疲労事故であり、熱応力の繰返しと振動により亀裂が発生、進展した結果であると推定されています。

三平 : 配管の振動ではスチームによる加熱開始時のハンマーリングがあります。バッチ式の反応器では、昇温前のジャケットやコイルの中は前のバッチで用いた冷却水で満たされていて、そこに昇温用のスチームが入るとハンマーリングが起こって、反応器と加熱・冷却系の配管に激しい振動と音響が発生します。スチーム量を絞れば抑えられますが、加熱時間が長くなってプラントの生産能力が落ちてしまいます。急いでスチームを入れると大きなハンマーが起きます。用役部門も蒸気量の変化を嫌うので、出身会社の先輩技術者は苦労して大量の温水注入と循環による昇温法を採用して解決しました。

金原 : 今となっては温水注入による昇温法などは一般的な方法で何気なく使っていると考えますが、やはりプラントの黎明期には先人の知見もなく手探り状態でプロセスを確立していったと考えます。若い方々も温故知新という意味でもこのような体験談を活用されて、新たなプロセス開発の参考にしていただきたいですね。

司会 : 別の事例紹介をお願いします。

金原 : 入社して間もない頃、省エネルギーの一為に蒸留塔リボイラーから排出されるドレンを活用して、ある流体の熱に活用する為に配管を経由して隣の工程に送るようにしました。ある朝出社したら、シフトの方から、いきなり“どないしてくれるんや”と大きな声で怒鳴られました。行ってみると大きな音で配管が大きく振動していました。すぐにドレン回収を止めてもらいましたが、スチームトラップの不良でハンマーを打っていました。まだ、経験も浅かったこともあり、本当に怖かったです。

竹内 : 私もエンジニアリングをやっていた昔はトラップ不良のトラブルは少なからず聞いていました。

金原 : 蒸留塔のリボイラーは大きなトラップであったので、衝撃も大きかったです。それ以降は、一旦フラッシュタンク入れて気液を分けて使うようにしました。

水—酢酸系で高温・高圧からバルブにて常圧に戻し、その液を遠く離れた蒸留塔に送る配管を設計したことがあります。環状流だとかスラグ流だとか、線速などによって大きく流れ方が変わります。先の経験から、二相流に関してはデリケートになっていたのので、できるだけ安全な条件を設定しました。それでもスタートの時は本当に緊張しました。今度は高温の酢酸ですから漏れたら一大事です。無事に静かにスタートできましたが、しばらくは緊張が続きました。

牛山 : ずっと二相流でやられていたのですか。気液セパレーターを設ければ良いと思いますが。

金原 : 延々と配管を二本設置しなければいけないのと、蒸留塔が既設転用なのでノズルがなく、1本の配管で二相流で送るようにしました。話を変えて、配管の振動ではありませんが、地震で配管が落ちた例の一つ。私が工場長になって間もない頃、紀伊半島沖を震源とする地震が発生しました。愛知県は震度 4 で、直後は工場内に影響は出なかったのですが、数時間後に配管にひびが入り薬液が漏れたという報告が入りました。行ってみると配管サポートからカーボンの配管が外れ、自重に耐え切れずにひび割れを起こしたものです。5階のスリムな架台の屋上位

置して、しかも配管の長手方向と直角に揺れたものですから影響が大きかったです。配管サポートがブアであったことを反省し、配管サポート製作基準書を作りました。

牛山 : 私も地震でのトラブル経験があります。震度が4位でしたが、隣接する蒸留塔に高所の連絡歩廊があり、スライドを付けていたのが錆びて作動しなくなっており、双方が押し合ってタワーが大きく揺れました。それ以降は 10 メーター以上の高所には連絡歩廊を付けないことにしました。

竹内 : 東日本大震災の時、多くのスプリンクラー配管が折れるという経験をしました。スプリンクラー配管は片持ちになっていることが多く、揺れの方向によって簡単に折れてしまう向きがありました。

今出 : 私の所では震度が6強でした。屋上サイロの固定ボルトが折れたり、地上の消火タンクのアンカーボルトが引き抜かれるというトラブルがありました。幸い転倒まですることはなかったのですがヒヤッとした経験でした。

司会 : 本日は多くの事例紹介いただきました。皆さんにとって教訓になるような事例が多くあったと思います、本当に有難うございました。

キーワード: 配管振動、固有振動、圧力計導管、レンプロ、圧縮機、歯車、ベアリング、共鳴、共振、振動上限、軸受け、スリーブ、カルマン渦、聴診棒、配管サポート、ハンマーリング

【談話室メンバー】

飯濱 慶、今出善久、牛山 啓、金原 聖、木村雄二、齋藤興司、塩谷 寛、澁谷 徹、竹内 亮、春山 豊、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己

以上