

PSB (Process Safety Beacon) 2018年9月号 の内容に対応	SCE・Net の  (No.147)	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 山岡龍介)
	http://www.sce-net.jp/anzen.html	

今月のテーマ: プロセスの挙動がいつもと違ったら?

(PSB 翻訳担: 飯濱 慶、山岡龍介)

司会: 今月号は、プロセスの挙動がいつもと大きく違っているのに適切な対応をとらなかったため事故やトラブルが発生した事例から、プロセスの挙動がいつもと違ったときにどう対処するか、がテーマですが、まず今月号の記事について意見や疑問などがありましたらお聞かせください。

三平: 3つ目の事例ですが、バッチ蒸留の運転で、通常 10 時間かかる蒸留が温度計の故障のために 15 分で終了の指定温度に達して次のステップへ移行したとありますが、どうしてこういうことになったのか、この運転の管理はあまりにもお粗末だと思います。塔の他の部位の温度や塔底の液レベルなども運転上重要なパラメータのはずで、指定温度に達したのが極めて短い時間だったので、これらを見れば異常に気づくはずですが、何もせずに次に進めるなど通常は考えられません。不思議な事例です。

金原: 確かに、通常の 10 時間に対し 9 時間とか 8 時間経過した後というのなら、気づかないこともあり得るかもしれませんが、たったの 15 分では感覚的にも「変だ」と気づかないのが不思議ですね。量的にも原料が来ないとか少なすぎるとか、次のステップで反応が進まないとか、蒸留塔以外の装置でも色々な指標・現象を見れば異常に気がつき、早期発見など通常管理の範囲で発見可能と考えます。2つ目の事例でも、火災発生まで 3 時間以上経っていますが、その間、なぜ気がつかなかったのか大いなる疑問です。

山岡: 2つ目のような事例では「逸脱の定常化」という言葉を思い起こします。いつもと違う動き、つまり異常を感知し対応しても、「たいしたことがない」とそのままにして問題が出ないと、その状態を「当たり前」として定常状態としてしまい、ついにはトラブルや事故に至る例がよくあります。私が現役のときも、安全管理対象プラントでこのような事例を経験しましたので、戒めるようにしていました。この事例でアラームに反応しなかったのも「このアラームはいつものことで問題にならない」と思ったのかもしれません。この「逸脱の定常化」という言葉は PSB 2012 年 12 月号に出てきて、「事例に学ぶ化学プロセス安全」p51~53 に収録されています。

牛山: この事例は、計器の保全不備、作業指示連絡の不徹底、MOC なしの作業手順変更など種々の問題が重なったことによって事故が発生していますが、何故運転員たちが、誤指示をしていた液面計のみを信じ、系外への抜き出しを確認せず 3 時間以上も原料供給を継続していたのか疑問です。液面変動は過去のスタートアップ運転時でもしばしば発生していたようですが、管理側はその対処をしていなかったように、会社全体の安全対策への姿勢も問われた事故で、このような状態が異常状態への感受性低下をもたらしたものでしょう。

山本: バッチ蒸留の事例では、溶剤回収装置の例が多いです。一つの蒸留塔で多成分の物質を分離できます。留出時間(原液中の留出物の量による)と蒸留塔の塔頂温度の関係図(x軸に時間、y軸に温度)は正確で、ある物質が塔頂から留出している期間は、塔頂圧力における沸点で一定となります。事故例の場合は、反応副産物が留出中の一定温度期間を経て、塔頂温度が上昇して、次の目的産物の沸点に近づいた温度を指定値として蒸留を終了していたのでしょうか。運転の確認は塔頂温度の他、塔底温度、塔底液のレベル、留出量などでもできますが、温度管理が不適切だと次のステップに移動したときに分離不十分などによる問題が生じます。

司会: 今月号で紹介された 3 つの事例は、プロセスのいつもと違う挙動を見逃したことによってトラブルや事故に至っていますが、これを防ぐにはどうしたらよいでしょう。

山岡: この事故事例は、3 つとも運転操作上のミスが発端ですが、ミスをしていつもと違う挙動に気づくためには、運転状態の監視を怠らないことと異常に対する感受性を高めることで、そのために現場の安全教育を定期的に行うことだと思います。

澤： 1つ目の暴走反応の事例を考えるとバッチプロセスにも HAZOP が有効だと思います。高圧ガス保安協会などがリスク解析に HAZOP を使うことを勧めています。連続プロセスとバッチプロセスに分けて解説しています。HAZOP は、元は連続プロセスを想定して Deviation(設計値からのずれ)に対してガイドワードを設定していますが、バッチプロセスでは、これに shorter than, longer than, sooner than, later than のような時間的なガイドワードを加えることがポイントとなっています。上記事例では、shorter than が現実起きていますが、気づかなければどうにもならないわけで、オペレーターが「これはおかしい」と気づいて、それを専門家にレビューしてもらうような教育をしないとだめです。また、バッチプロセスでは HAZOP によるリスク解析だけでなく、運転マニュアルにも温度だけでなく時間的なファクターを入れる必要があると思います。

金原：当社ではバッチプロセスでも HAZOP を導入しています。バルブから漏れたり、逆にバルブが閉まって液が抜けなかったりすることを考えて HAZOP による解析をしています。バッチプロセスではプロセス単位で洗浄方法が変わるので、洗浄後の廃液の混合危険に注意する必要があります。工程ごとに洗浄する過程で酸やアルカリ、水、有機溶剤など色々な液を使うことがありますので、きちっと洗っておかないとプロセスだけでなく廃液にも問題が生じます。確かに、今回の事例を見るとバッチプロセスの HAZOP にも時間的なファクターを入れることは重要ですね。

三平：私は現役時代にバッチプロセスを多く扱いましたが、HAZOP はまだ導入前で自身では使っていません。事業所に問い合わせたところ、大分前に導入した HAZOP は自社の工夫を加えて、現在は連続、バッチの両プロセスに活用されているとのことでした。新設プラント以外にも定修時の設備改造工事などでもきめ細かく使っているとのこと。最近では、高圧ガス事業所の自主保安更新の審査で HAZOP をどう実施しているか聴取されたとのこと。

竹内：定修といえばスタートアップやシャットダウンの運転がありますが、これは非定常運転で、いつもと違う挙動をするチャンスが多いので神経を使いますね。バッチプロセスの場合はこの繰り返しですし、実際に事故も連続プロセスに比べて多いので怖いです。

斎藤：バッチ反応では、「状況、挙動をよく見る」が基本です。原料のロットや回収溶剤などのロットが変わると反応が違う挙動をすることがあり、特に最初のスタートの段階が難しいです。きれいにスタートしないことがよくあって、そういう時が危ないので挙動を注意深くよく見ることです。最近では、HAZOP は全盛時代と言えるほど行き渡っていて、有機合成をしている小さな工場でも行っていると思います。時間をベースに決めているので、それからのずれがあるかよく見ます。私のいた工場では、挙動がいつもと異なって運転員が危ないと判断したら反応を止めなさい、というマニュアルになっていました。

竹内：HAZOP をしてひとつ感じたことは、HAZOP は気がついたことしか出てこないことです。以前に実施した HAZOP で気がつかなかったことでも、何年か後に同じプロセスで実施したときに気がつくことがあります。実際には事故は起こらなかったのですが、その間に事故が起こったかもしれないと考えると「HAZOP をやったから安心」にはならないと思いました。ハザード特定の手法として FTA による解析もあります。FTA は、ある起こりうる事象に対して想定される要因を「AND」と「OR」を使って次々に出していくので、より広い視野で解析することができます。ただ OR につく要因は気づかずに通り過ぎてしまうことがあるので、少なくとも 1 人は FTA に長けた人をつけるべきですね。

金原：原因を究明するときに、違った人が違った目で見ると、違った原因を見つけられる可能性があり、手法に限らず定期的に調査したり診断することは大事なことです。最近、ICT(Information and Communication Technology)-ビッグデータの活用がこの数年で進んでいると考えます。安全・防災の視点でいうと、異常の発見や傾向監視に用いることはできますが、判断は人の力に頼らざるを得ないと考えます。情報源としては、計器が中心ですが、画像処理技術の活用によって、正常時からの逸脱を早期に発見することで大トラブルを防止できることもできます。したがって、IT 化には多様な検出技術を確立することも大切であると考えます。

司会：いつのもと違う挙動が出て、それをどう対処したか／しなかったか、ご経験があればお聞かせください。

竹内：新設のタンクに液を張っていた時のこと。液面計の指示値が途中で上がらなくなり、不審に思い、液の流入を止めて液面計とタンクの状態をチェックしたことがあります。この液面計はフロート式で、リボンを巻き上げる方式で測定するのですが、リボンがよれて巻き上げられなくなったことが原因でした。時間経過の感覚を持つことが大切だと感じた例です。この感覚を磨くことは安全教育でも大切な一面を持っていると思います。

山岡： やはり液面計ですが、エチレンプラントのメインの蒸留塔に、2つ目の事例にあるのと同じディスプレイサ式液面計に外筒方式(塔の外部に筒を設けてその中にディスプレイサを入れて、塔本体のガス相と液相をそれぞれチャンバーで結んで液面を同レベルとして測る)を使っていました。液面が不自然な動きをしたので調査した結果、ガスラインに重合物がたまっていたことがわかり、重合物を除去し現状に復帰しました。早く異常に気づき対応できたのでトラブルにはなりませんでした。

山本： モノマーを重合させて粘着剤を製造するプラントで、オペレーターが反応前のモノマーに少し色がついているのを見つけ、調べたら受け入れタンクの温度が通常より少し高い状態が続き、そのために少しずつ反応が進行し着色した結果でした。放っておいたらタンク内で重合反応が起き、大きなトラブルになったかもしりませんが、オペレーターの早い気づきで大丈夫でした。

三平： 入社後に運転を経験した PVC の重合工過程で、先輩から「起ることがあるから注意せよ」と聞いたことが現実起こった例です。重合反応は攪拌機の付いた反応器中で水にモノマーを分散させて進め、生成したポリマー粒子を安定させるために分散剤として界面活性剤を使います。通常は分散されて問題なく重合が進んでゆくのですが、この例では、攪拌機は正常でも分散剤の品質に問題があって分散が不調になり、異常反応が起こりました。複数設置された器内の温度計で制御用は1か所だけで、その温度計に変化はありませんでしたが、上下の温度計に異常反応によるずれが生じていました。その変化に気づいてすぐに反応中のガスを抜く操作をしたので収まり、危険な状態にはなりませんでしたが、気づきが遅れたら危なかったと思います。

竹内： 1つの挙動にフォーカスし過ぎて全体を見損ない事故になったケースは日本でもよくあります。東ソーの塩ビモノマープラント事故もその例ですが、この事故は塔の中段の特定の温度だけを目的の温度に保とうとしたことが原因でした。1つの逸脱だけを見て、それを正常に戻すために単純なアクションをとるのは危険です。

金原： 随分以前の話ですが、A、B、2つの工程を1つの課の違うグループが担当していて、どちらの工程も水素を使っているプラントで、水素の流量計はA、B個々と合流部分に合計値を測定するものを設置していました。A工程の人が合計値の流量が通常より異常に増えていることに気づいたのですが、A工程の人は、B工程で何かやっているのだらうとそのままにしていたら水素ガス検知器のアラームが鳴り、B工程のバルブから水素が漏れていたことが分かりました。アラームが鳴って気がついたので事なきを得ましたが、放置していたら爆発を起したかもしれない。異常を感じたら担当工程でなくてもきちっと上司に報告することが大事で、それを徹底させました。

竹内： あるプラントでオペレーターが「臭いがおかしい」と気づき、調べたら異物が混入していたことがあります。目で見るだけでなく、普段と違う臭いや音にも注意を払うことがたいじです。人間の臭いに対する感覚は、400くらいある嗅覚受容体の遺伝子によると言われ、実際にはこれらの遺伝子の組み合わせで感じているので、臭いに敏感な人、そうでない人がおり、又、人によって働く遺伝子も違うので同じ物でも感じ方が異なることがあります。ある文献によれば、シアン化水素の臭いは10人に1人は感じられないそうです。生のアーモンドのような臭いとされていますが、知っている人は少ないと思います。現場で危険な物質の臭いを感じられないことは命に関わる重大なことになります。場合によっては現場に入る人の臭いの感じ方をチェックすることも考慮しなければならないかもしりません。

飯濱： 毒性物質でも臭いを感じられる程度なら極めて低濃度ですので大丈夫ですが、濃度が上がると臭いとして感じられなくなり、呼吸中枢を麻痺させる等のため非常に危険です。私自身、塩素を極低濃度ですが吸った経験がありますが、臭いというよりは衝撃という感覚でした。別の事例として、アメリカ出張中に乗っている自動車がスカンクを轢いたことがありまして、強烈な悪臭のために丸一日嗅覚が麻痺しました。後から知ったのですが、スカンクの悪臭の元はメルカプタンという毒性物質です。皆さんご存知のように、メルカプタンは都市ガスやLPGの着臭剤として極微量添加されています。

三平： プラントからのガスの漏えいを考えた場合、臭いのあるガスは感知しやすいですが、臭いのない毒性ガスや可燃性ガスは怖いのです。一酸化炭素と水素の混合ガスを反応に使う工場がありましたが、相当に神経を使っていました。

山岡： 入社してすぐ赴任した工場でシアン化水素とアセチレンの製造工場の現場、後にエチレン工場の安全管理を担当しましたが、シアン化水素、アセチレン、エチレンは、いずれも臭いを有しているとされていますが、漏れは許されないプラントだったので臭いは嗅げませんでした。漏えい防止のための設備的配慮はもちろんですが、要所にガス漏えい検知器を配備して早期発見に努めていました。

牛山：入社3年後くらいの時でした。定修後の製造プラント立ち上げの際、交代主任の欠補として現場におり、循環ガスの昇温を電気ヒーター加熱からテールガスの触媒燃焼による加熱に切り替えたところ数時間経ってもあまり温度が上がらず、従来の昇温に比べ異常に時間がかかっていました。運転員がもう少し時間をかけて様子を見たいというのを制止し、触媒燃焼器にはテールガスを流したまま電気ヒーター加熱に戻し、しばらくして再度テールガス加熱に切り替え、数時間遅れたもののその後は順調に昇温できました。原因は推測したようにガス燃焼用触媒が吸水していて、燃焼ガス温度が上昇しなかったものとみられました。当時は、運転の判断が主任に任せ手順の変更もMOCなどなかったのですが、現在では許されないことでしょう。

山本：小集団活動の活発な職場でのオペレーターは自分達の製造設備への関心が高く、異常を見つけるのが早いし、改善の提案も色々出されます。但し、改善した場合の変更管理を的確にする必要があります。

今出：変更管理は対象をはっきりさせることが必要です。プロセスを変更するとき、技術の変更と設備の変更では検討すべき項目は異なってきます。また、同等の機器との交換であっても、物理的仕様や機能が異なるものであれば変更として管理する必要がある。

金原：人が替わることも変更管理の対象になると思いますが、その人の技量や知見をどのように定量的に評価するかも考えることも必要です。その指標を見て、担当替えてよいのかどうかを判断する基準になります。

竹内：現場でベテランといわれる人は、設計や建設に係わった経験を持っていて、色々なことを体験し苦労を知っているのを活かしますが、若い人にはそのようなチャンスは少なく、特にコンピュータ操作が中心の現場では実体験が乏しくなりがちです。若い人も積極的に現場に出て、「何かいつもと違う挙動がないか」と五感を働かせる訓練を積むと良いと思います。

司会：プロセスの挙動がいつもと違う事例と、違ったときの対応等について貴重な経験談やご意見をお聞かせいただきました。いかに早く「違い」に気づくか、「あなたにできること」に記されているように、自分が仕事をするときにその仕事に集中すること、危険に対する感性を高めることが大事ですね。ありがとうございました。

キーワード：ICT、逸脱の定常化、過充てん、バッチ蒸留、バッチプロセス、プロセスの挙動、変更管理(MOC) 暴走反応、

【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、竹内亮、中村喜久男
松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己、頼昭一郎

以上