

PSB (Process Safety Beacon) 2025 年 7 月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.229) https://sce-net.jp/main/group/anzen/	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当: 林 和弘)
またしてもインターロックのバイパスが災いに (PSB 翻訳担当: 塩谷 寛) 司会: 今月号は、2017 年のオランダの製油所で、インターロック・バイパスの不適切な運用が原因となり、炉のチューブが破損し、大規模な火災が発生した事故を紹介して、インターロックのバイパスの危険性や管理の強化について説明をしています。運転員がバイパス管理手順を遵守せず、現場のバイパスのスイッチを使用して、バーナーのガス供給を続けたため、流体の流れが停止しているにもかかわらずバーナーが燃焼を続け、炉のチューブが過熱状態になり破損しました。事故後、安全システムのタイマー設定を見直し、すべての非タイマー式バイパスのスイッチを、監督者のキーが必要な仕様に変更し、管理の強化を図っています。紹介されている 3 例の事故からも、インターロック・バイパスの管理強化の必要性が浮き彫りになっています。2003 年 6 月号の事故は今回事故と同様にインターロックをバイパスし、ガスが加熱器内に充満し爆発、2013 年 6 月号の事故は稼働中の PVC 反応器の底弁のインターロックをムリヤリ解除して開放してしまい大火災、2019 年 2 月号の事故は安全防護対策をバイパスや働かないようにする習慣のあった事業所で、過圧シャットダウンシステムをバイパスしたため過圧爆発を起こしたものです。 これらの事故や今回の事例を通じての感想や補足、またはご指摘などありましたらお願いします。 塩谷: 事故報告書によりますとこの加熱炉は蒸留塔のリボイラーとして使用されていたそうです。蒸留塔プロセスを立ち上げる際、ボトム液を加熱炉にフィードするポンプが過負荷にて停止し、加熱炉への流量低下によるインターロックにより加熱炉がトリップしました。しかし、パネルリーダーはアラームの洪水によりポンプ停止のアラームを見過ごし、流量低下の原因を把握できないままでした。加熱炉が停止した後、トリップの原因を調査しないまま、2 分後には加熱炉の再スタート操作を開始しています。その際、流量低下インターロックをバイパスしたため、加熱炉のチューブは液体の流れがないまま加熱され、金属表面は短時間で異常な過熱状態になり破裂に至ったものです。インターロックが作動するということは、プロセス安全上看過できない事象が発生したということです。その状況や原因について何の調査も行わず、直ちに再スタート操作を開始することは、全く安全を軽視した行動であると言わざるを得ません。私の勤務していた会社では、インターロック作動を含む緊急停止後には、緊急停止の原因調査は必須で、緊急停止後のスタート操作は工場長の許可事項でした。 牛山: 事故報告書を調べてみました。何度も加熱炉が停止して、事故の原因はいろいろ絡み合い複雑です。要は蒸留塔のリボイラーであった加熱炉の装入ポンプ(予備機)が、前流の蒸留塔で不純物が増加し塔底温度が上昇、リボイラーの循環温度も上昇し、過熱によりトリップ停止し、加熱炉行きの流量がゼロになっていたことが事故の直接原因です。主機の装入ポンプは事故の2週間ほど前故障で修理取り外し中でしたが、リーダーは当時不在でそのことを知らず、引き継ぎも不十分だったため、ポンプは主機から予備機へ自動切り替えされたと思って炉を再稼働しました。この際、低流量インターロックが働くはずが、これもバイパスしていたため遮断が働かず、加熱炉チューブが焼損したという事故です。5 分間のタイマー設定されていた低流量インターロックのバイパスは、全炉のスタートアップで並行して作業を行うと流量が変動して何度も停止するので、現場でバイパスしていました。 事故の発端は、コンプレッサーの配線短絡に拠る緊急停止で、それに起因し廃熱ボイラー(WHB)のファンが停止、WHB は自動的にバイパス運転となりました。コンプレッサーは補機起動でリカバーできたものの、WHB のファン停止に気付かず、WHB を復旧させようとしたところ、内圧が上がり安全システムが作動して、全加熱炉がトリップしました。設備全停止か、リスタートかを検討し、触媒の温度が低下しないうちに再スタートする方が生産損失は少ないと判断し、ホットリスタートに踏切ったようです。ただ、この加熱炉全停止の経験が運転員たちに無かったようで、リスタートの訓練もされていなかったとのこと。非常に重要なポイントは、塩谷さんも指摘されているように、いろいろな事象の原因を究明しないまま安易に設備をリスタートした現場の姿勢は、責められても仕方の無いことだと思われます。全加熱炉の停止という状態は「計画外の事象」と会社で規定され、ビジネスリーダーに連絡し判断を聞かねばならないにも関わらず、連絡せず交代番のリーダーの判断に従ったのは大きな問題です。この加熱炉全停止の際、再起動中に 10 分間で 250 件程の警報が発生し、優先度 1 の警報でも 60 件に上ったとのことですから、とてもパネルリーダーが一人で処理出来ない警報の洪水状態だったと見られ、それだけ見てもリスタートの判断は疑問に思えます。 司会: 本事故に類似したインターロック・バイパスの不適切な運用による事故やトラブルの知見やご経験があれば共有したいと思いますので、ご紹介をお願いいたします。 竹内: 2013 年 6 月号の事故を補足紹介します。以前、安全研究会で翻訳して出版した「若い技術者のためのプロセス安全入門」に、米国イリノイ州の台湾プラスチック社での事故が掲載されています。2004 年の事故で、塩ビ製造プラントで爆発が発生して、従業員 5 名が死亡し、3 名が重傷を負っています。事故は、清掃作業の一環として洗浄液を抜こうと階下に降りた作業員が間違えて稼働中の反応器のボトムバルブを開いてしまい、大量の塩ビモノマーが流出して着火・爆発したものです。運転中のボトムバルブは開かない様にインターロックが掛けられていまし		

たが、その作業員はインターロックを外し、近くにあったエア供給ラインを使ってボトムバルブを開いてしまったものです。この会社は過去にも2回、同様な間違いを起こしていたにもかかわらず、その教訓をシェアしていなかったとされています。

三平： 台湾プラスチック社と同様のPVC反応器の底部抜き出し弁の誤開放による事故が、1961年に国内でも起きていて、安全研究会で出版した「事例に学ぶ化学プロセス安全」に一緒に取り上げられています。当時は誤操作防止を含むシーケンス制御が使われておらず、原料の仕込みや製品の抜き出しなどはオペレータが手動で操作していました。二つの事故の類似点は操作しようとした反応器を取り違えて、別の反応中の器の抜き出し弁を開放してしまったことです。国内の事故では製品スラリー中に多く含まれる大きなフィルム状の異物を、ポンプの保護のために反応器の直下で開放状態によりふるい分けていたために、可燃性高圧ガスのモノマーが反応器の建屋内に大量に噴出して、引火爆発を引き起こしました。原因は単純で反応が終わって製品の抜き出しを行う際に、当該器の隣の反応中の器の抜き出し弁を開けてしまったのです。当時は鎖錠による誤操作防止のシステムも組まれていませんでした。死者1名と多数の負傷者を出し、現場の手動操作が多いために防寒対策で採られていた密閉型の反応器の建屋はひどく損壊しました。当面は鎖錠システムを採用して誤操作防止を徹底するとともに、インターロックをしっかりと取り込んだシーケンス制御による現場操作の自動化に取り組み、1970年に完成させました。他社も同様に対応していると考えていましたが、2004年に台湾プラスチックで類似の事故が起きて驚かされました。

春山： 高圧ガス保安協会のネットに掲載されている高圧ガス事故概要報告の中にも、インターロック解除による事故が報告されています。2012年4月22日に発生したレゾルシン製造施設爆発事故で、原因から対応策として、インターロックに関わる事項として、①解除できる条件の明確化、②インターロックの条件設定、③インターロックに関する教育などが上げられています。

https://www.khk.or.jp/Portals/0/resources/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/2012-106r2.pdf

今月号のインターロック解除に関わる事故が日本でも起こっており、各社とも管理の強化と検証が求められます。

司会： インターロックにも、バッチ運転のシーケンスによる制御によるもの、連続運転プラントのプロセス制御、起動条件の安全インターロックなど種類や定義が色々あると思います。インターロックの定義について意見をください。

林： インターロック機構に関わる法令として、コンビナート等保安規則の第5条49号に「可燃性ガス若しくは毒性ガスの製造設備又はこれらの製造設備に係る計装回路には、製造をする高圧ガスの種類、温度及び圧力並びに製造設備の態様に応じ、保安上重要な箇所に、適正な手順以外の手順による操作が行われることを防止し、又はこれらの製造設備が正常な製造の行われる条件を逸脱したとき自動的に当該製造設備に対する原材料の供給を遮断する等当該製造設備内の製造を制御するインターロック機構を設けること。」と規定されています。すなわちインターロック機構は、安全装置の中でも特に誤操作や異常時に自動的に動作を制限・停止する仕組みと言えます。法では明確な形で「インターロック」という用語の定義が示されていないと思いますが、実務的には以下のような機能を含む自動遮断装置や安全装置が該当するのではないのでしょうか。①連続運転プラントでのプロセス制御、たとえば温度上昇による自動燃料遮断など、事故予防を目的とした連続監視と制御機能、②バッチ運転でのシーケンス制御で、工程順序の逸脱を防ぐためのインターロック、たとえば充填完了後でないと加熱が開始されないなど、③起動時の条件付き安全インターロックで、予熱・パージ完了など、必要条件を満たさないと運転開始できないなど。

さらにインターロックのバイパス管理に関わる法・規定を調べてみると、直接的な条文は少ないですが、以下のようなものがありました。①労働安全衛生法 安衛則第280条の安全措置に、濃度監視を伴ったインターロックシステムも該当し、283条に修理・点検時の例外規定で、解除時の安全確保措置が求められています。②高圧ガス保安法施行規則に、製造設備の異常時対応や保安管理規程において、インターロックの解除手順や記録管理が場合により求められます。③一般的に各企業が定める保安管理規程では、バイパスの際に誰が・なぜ・いつ・どのように解除したかを記録し、責任者の承認を得ることになっていると思います。

今出： インターロックはその目的によって、①プロセス条件や工程を維持するためのプロセスインターロック、②設備保護のためのインターロック、③人員や設備を守るための安全インターロックのような分類方法があります。③が安全のための最後の砦といえます。

制御方法による分類として、①リレーやスイッチなど物理的な回路によるハードインターロック、DCSやPLC(シーケンサー)などによる制御プログラムによるソフトインターロックがあります。ハードインターロックは高信頼性が求められるような場面でソフトインターロックと共に用いられることがあります。

司会： 事故事例で、インターロックをバイパスする必要がある場合について述べられており、安全システムの5分間のタイマー使用が適切との検討結果が述べられています。私などはタイマー設定の故障を懸念し、不動作時の冗長化が必要と考えてしまいます。事故後のタイマー設定の見直しや仕様の変更による管理の強化の有効性について、皆様のご意見を頂戴したいと存じます。

竹内： 5分間タイマーが故障した際にも、事故は起こり得ますので、インターロックが故障した際の考え方をすればよいのではないかと思います。

今出： タイマーの故障の際のリスクに必要とされるSILレベルに応じて、冗長化も必要になってきます。このタイマーはソフトで、DCSなどで判断していると思いますが、リスクが高くて冗長化の必要があれば、ハード的なものも考えなければならぬ場合もあります。5分間の長さが適正かも含め、リスクに応じて対応が必要となります。

- 司会： RBPS(Risk Based Process Safety)の20のエLEMENTの一つである「安全な作業の実行」に、無許可で安全システムを無効にすることを防止するための安全作業手順が述べられています。インターロックの一時的バイパスまたはジャンパー線の取り付けなどが対象のようです。今月のBeacon「知っていますか」では、多くの企業が、バイパス許可証や変更管理(MOC)の適用で管理しているとされています。事故事例を踏まえて企業がインターロックのバイパス管理を適切に行うためにどのような仕組みを導入すべきか、または、していたかについて、皆様のご経験や知見がありましたらご教授ください。
- 竹内： 私が勤めていた会社では、インターロックのバイパスは厳重に管理されていました。何故バイパスが必要であるか、その期間はいつからいつまでか、その期間の安全対策はどうするのか、作業期間の終了後に確実に元に戻すこと、などを管理しており、これに対する違反は懲戒処分に値するものとされていました。
- 藤村： 弊社では、インターロックのバイパスは一時的な変更管理として取り扱います。短時間のものは一時変更リストで管理し復帰忘れを防止しています。延長が必要なものは製造課長の承認が必要です。また、安全計装のSIL1以上*などの重要ループは延長を認めないなど管理強化しています。
- *多重防護層の中、安全計装システムは異常時にセンサーを含む自動制御のシステム設計で危険防止を図るので、SIL(Safety Integrity Level: 安全度水準)は信頼性を示す指標であり、作動要求1回あたりの安全計装システムの失敗確立で、SIL1は 10^{-2} 以上 10^{-1} 未満である。
- 司会： インターロックをバイパス、または働かないようにする背景には、どのようなことが考えられるでしょうか、その結果のリスク発現の事例、対応策など、皆様のご経験や知見についてご教授ください。
- 春山： 私自身もプラント緊急停止時にある系の流量確保のためにインターロックを解除してしまい事故につながりかねない事例を経験しました。インターロックを解除することは相当の覚悟が必要ですがこの時はベテラン運転員の方の成功体験からくる助言に従ってしまった誤りです。成功体験は個人のノウハウとして表に出にくくミスを誘発する危険性があることを認識する必要があります。
- 林： インターロックがない場合の悲惨な事例を紹介します。粉体プラントの粉体輸送機(コンベア)がよく閉塞して電流異常で停止していました。その都度、輸送機の運転を停止して下層階にある点検蓋を開けて掃除をしていましたが、ある時、新人が動作速度の遅い稼働中の輸送機に手を出してしまい、結果、手先を切断するという大事故になりました。稼働中の機器に決して手を出さないことは教育されており、稼働部がむき出しの動機器の解消活動を展開している中での出来事でした。その他の機器を含め、インターロックで点検蓋を閉めないで起動できないようにしました。さらに、当該輸送機は形状や仕様を変更して、閉塞しにくい改善策を実施しました。
- 飯濱： 私が勤務した工場では、2～3年の周期で定修期間中に金属コンベアの修理(または新規交換)が実施されていて、その修理や交換工事が終了後にコンベアの表面仕上げ状態を目視検査するため、生産運転中には立入禁止の区域に技術員が入って、コンベアを少しずつ区切って運転し、検査を実施しています。その場合、立入禁止区域の安全インターロックを解除する訳ですが、特認作業の作業許可証の発行と関係者の再教育を行っていました。私が知る限りでは、許可手続も検査作業も確実に実施されていて、ケガ・事故はなかったですが、安全インターロックを解除する鍵は製造課長と職長だけが使える仕組みになっていて、設備の現場に誰でも操作できる解除スイッチはなかったです。
- 竹内： 単体機器メーカーによる点検の際に点検口を開放して「ちょい回し」で確認する必要がある場合に、点検口のインターロックを解除する申請を出していました。
- 司会： ガス燃焼設備の重要なインターロックにパージタイマーがあるとのことですが、炉内への燃焼ガス誘因の爆発事故のご経験や知見がありましたらご紹介ください。
- 林： 廃水焼却炉のパイロットバーナーが消火しているのにウルトラビジョン(火炎検出器)が液面遊動などで機能せず、燃料ガスの供給が続き炉内爆発したトラブル事例があります。2out of3などで冗長化して対策しました。
- 司会： 事故防止の安全防護策として、重要なインターロックですが、その設計および運用において、配慮すべき点や工夫、事故を防ぐためのインターロックの作動確認の方法など、皆様のご経験や知見をもとにコメントが戴ければ幸いです。
- 塩谷： Beaconにもあるようにスタートアップ時には一部のインターロックを切ってスタート操作を開始することがあります。スタート操作手順書に、スタート操作前にインターロックをオンにするものとオフにするものを明確化していました。スタート操作前には、チェックリストにて操作手順書の指示通りにインターロックのオン/オフが設定されていることを確認し、その後スタート操作開始が許可されていました。また操作手順書には、スタート操作のある段階に達したら、オフ状態のインターロックは必ずオンとしなければならないことを明記してありました。スタート操作中においてこの段階に達すると、チェックリストにもオンにせよとの記述はありましたが、DCSからガイダンスにてインターロックをオンにすることを促し、操作の忘れがないように工夫していました。
- 林： 高圧ガスの保安検査におけるインターロック機構の作動確認は、1年に1回作動検査により行うことが求められており、組み込まれている遮断弁の作動検査を含みます。ただ認定制度に伴う運転中の作動検査では、模擬信号により動作させ、操作端に正常に出力されているかを確認する検査で、組み込まれている遮断弁などの実作動検査は含みません。

塩谷:	定修の最終段階で、すべてのインターロックシステムの作動テストを運転員主体で実施していました。保全部担当者にインターロック作動条件の確立を疑似信号で設定してもらい、インターロックのロジック図をベースにその作動確認を行い、現場にて遮断弁等の実際の作動状況も確認します。運転員は、インターロックシステムの作動の条件、インターロック作動の範囲と実際の作動状況、そして影響する現場機器の位置等を確認することができ、インターロックの理解度が格段に深まったと思いました。
飯濱:	私が勤務した会社では、基本プロセス制御システムと安全インターロックは完全に独立した機器システムで構成する基準になっていて、今月の事故事例は制御システムの全体状況が詳しく説明されていないのですが、安全インターロックの設置基準や例外措置の許可手続きがかなりゆい印象を受けます。驚いたことに、現場に誰でも操作できるインターロック解除スイッチがあったようですが、私の勤務していた会社では有り得ないことです。一言で安全インターロックと言いますが、プロセスの温度・圧力・流量等のパラメーターを基にアラームのレベルを設定するものもありますし、可動機械に作業者が挟まれたり巻き込まれたりしないようにする仕組みもあり、事故を確実に防ぐためにはプロセスハザード分析を実施して、安全インターロックの信頼性・能力の限界を規定し、関係者に十分理解させておく必要もあります。また、生産プロセスの幾つかの場面で、個々のプロセス特有の例外的措置(インターロックをバイパス／条件付き無効化)を必ず厳格に決めて、教育しておく必要があります。 例えば温度アラームのレベルの設定では、H、HH、HHH の段階があります。H では軽いピーピーピーのような音声警報が鳴り、ボードマンが制御盤の制御を設定し直すか、無視してブザー停止スイッチを押します。HH ではもう少し深刻で、異常をきたすので必ず操作をしなければならず、ブーブーのような警報と画面が赤くブリンクして、「必ず操作せよ」などの音声ガイダンスが入るようにしています。HHH ではもはやオペレータの操作に期待するのではなく、インターロックが機能して自動的に停止するか、反応停止材を強制的に注入するかなど、人の手を介さずに安全装置が機能する考え方です。他社でも段階的アラームコントロールはしているはずで、安全インターロックは人間の注意力や操作を介さずに自動的に安全側に停止させるのが基本原則だと思います。それらをきちっと設計すれば、誰もが使えるインターロックの解除スイッチが現場に存在するなど基本的に許されないことです。
三平:	バッチ反応方式の PVC 製造プラントの自動化で使ったシーケンス制御では、インターロック回路を多用しました。複数の重合反応器と一列の原料仕込み、製品抜き出し、残ガス回収の諸設備を組み合わせ、必要な操作を進めて行くので、特定の反応器への操作の際に他器が関わらないように複雑なインターロック回路が組まれていました。このような制御系のインターロック回路は切る必要はなく、スイッチは設けていませんでした。後に連続式プラントに関わってから、インターロック回路を一時的に切る操作の必要性が分かりましたが、実際に設計やオペレーションには関与していません。
司会:	最後に全体を通して補足事項、問題提起などありましたらご教授ください。
竹内:	今回はインターロックのバイパスが話題となっていますが、あらゆる安全装置において、機能させないようにすることは事故の元だと思います。これは、厳密にはインターロックとは呼べないものだと思いますが、クレーン車にはブームの角度から荷重オーバーを検知して動作を止め、警報を出すシステムが付いているものが多くなっています。荷重オーバーギリギリで操作しようとして、この機能を止める様な行為も、私たちはインターロック違反に該当すると説明してきました。実際には、そのようなことにならないように、事前に綿密なリギングプランを立てて、計画に従って作業をして貰っていました。リギングプランでは、吊り荷の重量を事前に確認して、クレーン車の設置位置からどの程度の距離の場所で荷を操作するかを計画します。クレーン車の吊り上げ能力ギリギリになるようであれば、クレーン車を一回り大きなものに変更することなども必要です。
司会:	今回の談話室では、2017 年のオランダの製油所での事故を起点に、他のインターロック・バイパスの不適切な運用による事故事例も参考にして、インターロックのバイパスの安全性やその設計と運用、さらにインターロックの定義や分類、法規制などについて意見が交わされました。参加者の皆様にはインターロックのバイパスを中心に安全にかかわる多くの示唆を戴きありがとうございました。まずはインターロックのバイパス管理で、チェックリストを含めたスタートアップ時の操作手順や DCS ガイダンスの事例が説明され、例外措置の厳格な管理の必要性が指摘されました。また、過去の事故を振り返り、バッチ運転プラントのシーケンス制御によるインターロックの事例も紹介されました。インターロックに関する法規制、定期的な作動テストの実施方法などが述べられ、インターロックの定義や種類、その設計と運用では安全インターロックシステムの独立性や設置基準に触れ、アラームレベルの段階的な設定とインターロックの自動作動の重要性も説明されました。読者にはそれらが参考になり、事故の原因となったインターロックのバイパス管理への対応や、安全システムの改善を図る一助になれば幸いです。
キーワード	インターロック・バイパス、バイパススイッチ、バイパス管理、パージタイマー、スタート操作手順書、プロセスインターロック、安全インターロック、シーケンス制御、安全計装、SIL、リギングプラン、インターロック機構
【談話室メンバー】	
安喜 稔、飯濱 慶、今出 善久、上田 健夫、牛山 啓、木村 雄二、塩谷 寛、澁谷 徹、竹内 亮、中田 吉彦、林 和弘、春山 豊、藤村雅也、松井 悦郎、三平 忠宏、山岡 龍介、山本 一己、頼 昭一郎	