

重大事故から学ぶこれからの 安全管理

国立大学法人 東京工業大学 中村昌允^{*}

○司会 それでは、本日の最終講演に移らせていただきます。まず講師の先生をご紹介します。中村昌允先生、1945年に東京大学工学部工業化学科を卒業後、ライオン油脂株式会社に入社されました。この在職時に開発責任者として導入したプラントの爆発事故を経験され、その原因追及に取り組まれたそうです。事故当時者の立場に立って、安全関係、特に技術者の判断・行動に着目し、その真相原因に迫るという考え方、これを仮想体験というそうですが、これを提言されました。これまで国内で発生した化学プラント事故の事故調査委員や労働安全衛生総合研究所の外部評価委員長等も務められ、東京農工大学教授、東京工業大学客員教授等を歴任されております。詳細はテキストの57ページに記されておりますので、またご覧ください。先生、お願いいたします。

○中村 どうも紹介ありがとうございます。みなさんこんにちは。ただいま紹介いただき

ました中村でございます。私の略歴は今紹介していただいた通り、私は最初企業にいて、それから大学に移っております。企業にいた時に何をやったかというのは、先ほど紹介していただいた通りで、私がライオン（株）のプロセス開発研究室長であった1991年6月26日に、図1の写真の事故を起こしてしまいました。

「起こしてしまった」というのは、ちょっと変な言い方かもしれませんが、私が開発責任者として工場に導入したプロセスで、稼働してから3カ月後に爆発事故が起きました。その事故で2人の方が亡くなられ、13人の方が負傷された重大事故でした。

私は、自分の技術者としての未熟さと安全に関する知識のなさを痛感して、それ以降、色々な事故の原因究明に携り、安全と真剣に向き合ってきました。

私は労働安全コンサルタントの資格を持っております。それは事故の責任者であった以上、失職する可能性があります。これから先生生きていくには、自立していける力が必要です。そのためには何か資格が必要と考え、まず、工学博士、それから技術士、そして労

^{*}中村昌允（なかむら まさよし）
環境・社会理工学院
イノベーション科学系・技術経営専門職学位課程
特任教授



図 1 企業での事故

働安全コンサルタントの資格を取得しました。

私は大学教員といっても社会人大学院の教員でございます。今、社会人の方で平日の夜間と土曜日に勉強される方が結構いらっしゃいます。文部科学省は社会人大学院（技術経営系専門職大学院）を設立する際に、設立要件の中に教員の3割以上は実務経験者であるという条件を付けました。そこで企業にいた私に、大学に来ないかという誘いが掛かりました。そのような幸運があって、今、大学教員を務めております。

この爆発事故で二人の方が亡くなられましたが、どれくらい激しい事故だったのかをお話します。化学系の方はご存知のように、蒸留塔は物質の沸点差によって分離する装置で、この蒸留塔で水とメタノールを分離していました。爆発物質は有機過酸化化物で、その

沸点は水（100℃）とメタノール（64℃）との中間の87℃でした。蒸留塔運転停止操作の過程で、蒸留塔中央部に局部的に有機過酸化化物が0.1%から40%以上の高濃度に濃縮され爆発しました。

この蒸留塔の材質はステンレスで厚みが5mmでした。飛んでいった破片の厚みは3mmになっていました。急激な圧力膨張によってステンレスがグット延びて、耐え切れずに破裂し、破片が周囲に飛び散っていきました。亡くなられた方は、その飛んでいった破片に当たった方で、運転員ではありません。

私は、この事故の原因究明と再発防止のために、色々な方に助けていただき、ご指導を得て、今日まで生きてきました。

今、この事故を振り返って、三つのことを申し上げたいと思います。

一つ目は、事故調査をやっていた吉田忠雄東大名誉教授から、第一声、「お前は甘い」と言われました。なぜ、「甘い」と言われたかという、「お前は、自分が取り扱っている物質についてどれだけ調べたのか！過酸化物という危険な物質を取り扱うにしては、全然調査が足りない」と言われました。

二つ目は、事故の後、多くの会社を訪問して、「どうやったらいいでしょうか」と相談に行った時に、例外なく言われたことは、「いろいろな会社があるが、事故を起こしていない会社はないよ。事故が起きた時に、その事故を克服した会社は今も生き残って繁栄している。その時に怯んで「危ないことはやらない」といった会社は衰退している」といわれました。

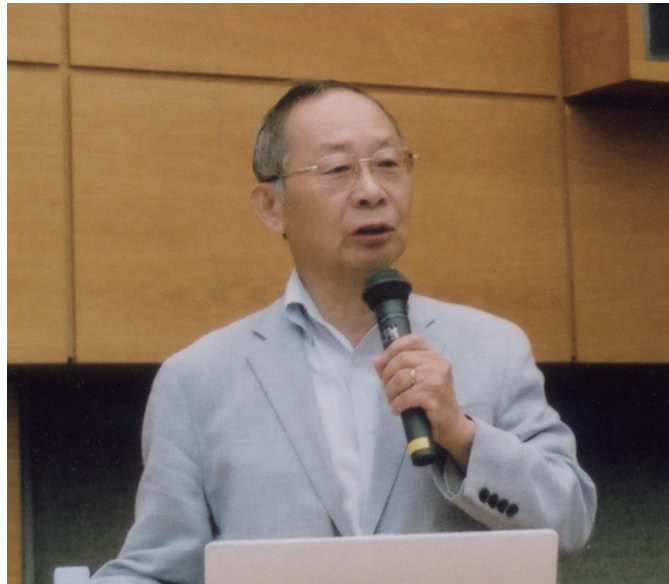
すなわち、新しいことをやる以上、そこには未知のリスクが潜んでいる。そのリスクに立ち向かった会社が今も生き残って繁栄していると励まされました。

三つ目は、「事故を起こした会社の社会的責任は何か」ということです。「事故を起こした会社の社会的責任は『謝る』ことでは済まないだろう」、「なぜ、事故になったかの背景と原因を社会に説明して、類似事故が再び起きないようにすること、それが本当の『謝罪』じゃないか」と言われました。

私はこの三つの言葉を胸に、今日まで安全の仕事をしてきました。この事故の詳細は、拙著「技術者倫理とリスクマネジメント」、「製造現場の事故を防ぐ安全工学の考え方と実践」に記載していますので、お読みいただければ幸いです。

私は、今、嘗てとは、逆の立場で化学会社で起きた爆発・火災事故の事故調査委員を務めております。

そういう経験の中から、今日申し上げたいことを以下にまとめております。



講演する中村昌允氏

一つ目は、事故は、技術的原因はそれぞれ違うけれども、安全管理上のポイントは、結構、共通している。それは、リスクアセスメントと変更管理の徹底です。

二つ目は、「どこまで安全を求めるか」です。

このことをそれぞれの企業がどの様に考えているかです。本当に「リスクゼロ」ができるのか。「リスクゼロ」は理念目標であるが、現実にできることは、経営資源やその時の技術が達成できることとの制約の中で、どこまでの「安全」を求めるかです。

三つ目は、「強いといわれてきた日本の現場力に陰りが見えてきた」ことです。これは皆さんが、日々労働安全コンサルタントとして企業と付き合ってきて来られて実感されていることと思います。

「現場力が低下していることをきちんと受け止めた安全管理ができているか」これが、多くの重大事故の背景要因として問われていることです。

現場力の低下といいましたが、その背景に

は各事業場での年齢構成が変わってきていることがあります。従来は「二山構造」といわれておりましたが、近年は熟練技能者が退職し、若手主体の「一山構造」に移行してきています。そこで問題になったことは、若手世代と熟練世代とでは経験が全く違うということです。経験が全然違っている時に、技術伝承を含めて、これからの安全をどうやって確保していくかが大きな課題になっております。

重要なことは、「人間の対応能力には限界がある」ということです。これを念頭に置いた設備やシステムの設計と共に、製造業のこれからの生き残りを考えた技術改革に備える必要があります。従来、日本が得意としてきたプロセスイノベーションではなくて、新しいプロダクトイノベーションが求められ、新しい技術や製品を世に出していく必要があります。

この様な状況を考えたときに、今、「日本の安全管理は岐路に来ている」と思います。

1. 重大事故から学ぶリスクマネジメントの課題

リスクマネジメントの課題は三つあります。

一つ目は、リスクアセスメントが重要だと言われますが、本当に機能しているのだろうかと考えさせられます。

二つ目は、今、起きている事故の約 6 割が変更管理の不備に起因していることです。

三つ目は、設備やシステム設計の問題です。

安全管理の前提は「人間は過ちを犯し、機械は壊れる」です。これを前提とした設備システムが求められます。表 1 にこれらを記載します。

(1) リスクアセスメント

ここに A 社（東ソー）、B 社（三井化学）、C 社（日本触媒）、D 社（三菱マテリアル）の重大事故が何故起きたのかを考えてみます。

具体的に、リスクアセスメントで何が問題なのか。それをまず見てみようと思います。

一つ目の課題は、「リスクアセスメントが実施できていたとしたら、本当に事故は防げたといえるのか」「今のやり方でよいのか」

表 1 リスクマネジメントの課題

1. リスクアセスメント (RA) は適切に機能しているか？

RA が実施されていれば、事故は防げたといえるか？

→ RA を機能させるには、何が求められるか？

2. 変更管理の不備

事故の 6 割は、変更管理の不備に起因

3. 設備・システム設計の課題

事故の背景には、設備・システム設計の課題がある。

(1) 事故になった際の影響の極小化

(2) アラームシステムは、異常を伝えられなかった。

(3) 緊急事態における人間と機械との役割の分担

→ システム的に安全停止（安全計装）

ということです。

よく、「危険源を網羅的に挙げろ」と言いますが、危険源を網羅的に挙げたとして、その全てにリスク低減対策を実施できるのですか？ 経営資源や現在の技術で可能なことはどこまでか？を良く考えなければいけない。そしてリスクの大きさに応じてリスク低減対策を実施すること（リスクベースの安全管理）が必要です。

リスクアセスメントの実施には、経験と専門能力が必要です。各社は、リスクアセスメントを実施する体制が本当にできているのか？そのような時間と場をちゃんと与えているか？

リスクマネジメントの基本というのは、事後処理から未然防止ということになりますが、私たちの安全の歴史は、残念ながら、大きな災害があって、痛い目に遭って、技術的対策を講じて来たことが現実の姿です。

具体例で見ていきます。

東ソー（株）南陽事業所の事故は、オキシ反応工程に付けられていた緊急放出弁の故障が発端でした。

そのためオキシ反応工程 A 系にインターロックが掛かってストップしました。その結果、後工程にある塩酸塔（蒸留塔）の能力が従来の 100% から 45% にまで低下した。

その能力大幅変動時に運転制御がうまくいかずに、蒸留塔の塔頂から塩ビモノマーと塩酸が留出し、還流槽に約 10 時間滞留した。この間に塩ビモノマーと塩酸とが鉄さびを触媒として反応し事故になった。

- ・この事故をどうすれば防げたでしょうか？
- ・事前に防止対策を講じることが可能だったでしょうか？

このプラントは平成 8 年に設備能力 30 万トンで建設されましたが、平成 11 年に設備

能力が 50 万トンに増強されました。その際に塩酸塔は元々能力があったので、オキシ反応工程と EDC 分解工程の設備が増設されました。この設備増強時のリスクアセスメントがどの様に行なわれたのでしょうか？

ここで重要な質問があります。化学プラントは、この様な大型設備増強では、リスクアセスメントに「HAZOP」が使われます。

「HAZOP」の重要なガイドワードは何ですか？「もし止まったら」ではないですか？

HAZOP を実施していれば、増強したオキシ反応工程や EDC 分解工程の 1 つが止まった場合に、塩酸塔がどのような運転（能力の大幅変動）になるかは想定できたはずですが。

残念ながら、この通りのことが起きて、事故になった。リスクアセスメントをちゃんとやったと言えるんですか。設備増設時の変更管理がうまくできていなかったことになると思います。あるいは HAZOP の支援区分エリアの見直しが必要かもしれません。

次の事例を見てみます。これは日本触媒の事故です。この事故はアクリル酸モノマーの中間タンクで起きました。通常はこのタンクに 25 ～ 30m³ の液を貯めていましたが、この日は、回収塔の能力アップテストをするために 60m³ の液を貯めました。これだけの液量を貯めたのはこの日が初めてでした。

アクリルタンクへの流入配管は、これまでタンクは温水ジャケットが採用されていましたが、温水ジャケットは腐食しやすいので、このタンクをつくる際に、スチームジャケットに変更されました。設計者は温度管理の重要性がわかっているので、ちゃんと温調弁を付けてました。ところが運転開始後、温調弁は詰まるので外されてしまいました。その結果、精製塔から液は 65℃ で排出されたが、タンクには 100℃ で入っていました。そのことを現場は知りませんでした。

ここで大事な質問があります。

事前にリスクアセスメントを実施したとしても、タンクへの流入液温が 100℃であることを知らなかったら、事故は防ぐことができたでしょうか？

タンク上層部の液温が 100℃であったために、アクリル酸モノマーの二量体化反応が起きて、液温が 100℃からさらに上昇し 130℃以上にまで達しました。その結果、重合禁止剤が所定量入っていたにも拘わらず、アクリル酸モノマーの重合反応が始まり、温度がどんどん上がっていった、遂には反応暴走となり爆発した。これが日本触媒の事故です。

「おかしいじゃないか。タンクには循環ラインがあるじゃないか」と指摘されると思いますが、事故当日、このタンク液循環ラインは止まっていた。

「なぜ、液循環ラインが止まっていたのか」

それはタンクに付いていた液面計の取付けラインの改善提案のためです。液面計はタンクに直接取付けられており、取付配管がすぐ詰まってしまう問題がありました。そこで現場は工夫をします。タンクの液循環ラインから分岐配管をつくり、一部を液面計の取り付け配管につないだ。そして循環液の一部を流すようにしたら、取り付け配管の詰まりが改善された。液面計が最もうまく作動したのは全部の循環液を液面計の取り付け配管に流したときでした。その結果、タンク液循環ラインは止めた状態で使用されるようになりました。

通常運転時には液量が 25 ～ 30m³ のため、タンクの冷却コイルによって冷却されるので、問題は起きなかった。現場には、「タンクに多量の液を溜める時は循環ラインを使用する」と掲示されていたが、操作室にはなかった。

日本触媒事故の背景には、タンクへの液流入配管設備の変更履歴管理の不備と、液面計

使用に関する現場の改善提案を採用する際の変更管理の不備がありました。

もう一度先ほどの質問に返って、「実装置でテストをするから、リスクアセスメントをやりましょう」と言ったとしても、タンクの流入液温や循環ラインの情報を知らなかったら、事故は防げなかった。

色々な改善提案があるじゃないですか。

その改善提案を採用する時に、どの様なリスクアセスメントがなされているか。この場合は、通常の循環ラインから分岐するのではなく、この液面計用の循環ラインを作っておれば、事故ならなかった。

改善提案で、せっかく良いことを提案したとしても、それを採用する時に、きちんと、リスクアセスメントを実施する必要があります。

もう 1 つの事例を見てみます。

これは JXTG の和歌山工場の火災事故です。

ご存知のように、この事故は配管が腐食して孔が開き、そこから可燃性液体が漏洩して起きました。

重要なポイントは、孔が開いたのは古い配管ではなくて、更新した新しい配管だということです。

なぜ、更新した配管の方が著しく腐食してしまったのか、それがこの事故のポイントです。

事故報告書には「腐食は水硫化アンモニウムによって起きた。原油の性状が変わって、どんどん水硫化アンモニウム濃度が上がっていったために腐食した。」と記載されています。しかし、古い配管はもっと長くこの濃度の水硫化アンモニウムの液に接しています。なぜ更新した配管に孔が開いたのか？それがこの事故の大きな課題だと考えです。

事故報告書には、リスクアセスメントが重要と書いてあるが、一方では、この事故は予

測困難であったと書いてある。それじゃ、リスクアセスメントをやってもやっぱりダメということになる。

そういう目で事故報告書を読むと「新品の試験片は流速の増加に比例して減肉が増加する。しかし、予め、ここにマッキナワイトかパイライトのような腐食したスケールを付着させておけば、流速が増加しても減肉はしなかった」、さらに、古い配管の腐食の進行は0.1mm／年、更新した配管の腐食の進行は5～6mm／年であったと記載されています。

これは何を言っているのでしょうか。

設備関係の方はお気付きのように、腐食の激しい配管は、予め、腐食液に浸して、配管の内面に腐食した耐食性皮膜を作ってから使

用する使い方があります。

古い配管は長年低濃度の水硫化アンモニウムに浸されているうちに耐食性皮膜が形成された。更新した配管はいきなり高濃度の水硫化アンモニウムに接して一気に腐食が進行した。このように考えると、この事故がなぜ起きたかが理解できます。

リスクアセスメントに欠けていたのは、腐食に関する専門知識を有する者、あるいは配管腐食の経験者の参画ではなかったかと思えます。

このようなことをきちんと考えないと、リスクアセスメントの課題が分らないことになります。リスクアセスメント適用上の課題をまとめてみます（表2）。

表2 リスクアセスメント適用上の課題

1. 安全は常に見直さなければ、安全の程度は劣化する。
→“RAは繰り返さなければならない”
 - ① 設備の変更や改良
 - ② 定期的なインターバル（年数を経ての経年等の変化）
 - ③ 現場のインシデント、ヒヤリハット情報、他社情報
 - ④ 新しい技術・材料の採用
2. 危険源を見出すには、経験と専門能力を必要とする。
 - ① 危険源を網羅的にリストアップしても、「危ない」と思わなければ、リスク低減措置は実施されない。
3. “許容可能なリスク”に達したかどうかは、関係者の“価値観”によって決まる。
4. 残留リスク情報（危険情報）提供の流れを作り、関係者で情報を共有する。
 - ① 残留リスク情報は、設計側から使用者側に伝わっているか？
 - ・“伝えた”ではなく、“伝わっているか”
 - ・誰がリスクに関する情報と技術を有しているか？
 - ② 現場の状況が設計者にフィードバックされているか？
5. 誰が、リスクアセスメントを実施するか？
 - ① 現場の作業者が、RAを実施するのは当然。
 - ② 監督者自らがRAのリーダーシップを発揮しているか？（RA実施責任は総括安全衛生管理者）
 - ③ 専門家が危険源特定、リスク評価に加わっているか？

申し上げてきたように、時間が経過すると、人が変わっていきます。新しく加わってくる人は、熟練者のレベルとは違っているのです、嘗てのリスクアセスメントが、今も OK ということにはならない。

設備が老朽化していくということは、その老朽化した設備に対応したリスクアセスメントを実施する必要があります。すなわち、リスクアセスメントを定期的に繰り返さなければいけないことになります。

危険源を特定するには、先ほどの腐食のように、経験と専門的能力を必要とします。危険源を網羅的に挙げろといっても、リスクアセスメントを実施する人が「危ない」と思わなかったら、リスク低減措置は実施されないんです。

危険源を網羅的に挙げることも、「どのリスクをリスク低減措置の対象として絞込んでいくか」の方が重要です。技術はコスト、納期等の制約条件の中であるところで割り切ることによって成り立ちます。

次に問われることは、「どこまでリスクを低減するか」です。リスクアセスメントを徹底的に実施してリスクをゼロにする。理念として分るが、そんなことをやっていてグローバルな競争に勝てますか？

リスクがある程度まで低減したら「OK」と言わなくてはならない。それは誰が決めるのか。それはその会社が決めることになります。それがリスクアセスメントにおける大きな課題になります。

リスクを許容レベルにまで下げたら「OK」ということは、逆に言えば、リスクはゼロではなく、リスクが残っていることになります。そういう残っているリスク（残留リスク）をどの様にして関係者に周知するか。

重要なことは、「伝えた」と「伝わる」とは違うということです。具体的に、情報を口

頭で伝達した場合と、紙で伝えた場合とでは、災害発生率は半分になります。紙で伝え、なおかつ現場で指し示しながら伝えと、また災害発生率は半分に減ります。

すなわち、単に「伝えた」ということではなくて、「いかに関係者に伝わっているか」それが重要です。

私は、現在、中央労働災害防止協会（中災防）の労働安全マネジメントシステムの認定審査委員を務めていますが、各社のリスクアセスメントの実情を見ていると、リスクアセスメントが担当者任せになっており、総括安全衛生管理者が、本当に関与しているのだろうかと思うことが多々あります。

本来、リスクアセスメントは、図 2 に示すように設計段階と使用段階の二段階で実施するものです⁽¹⁾。

設計者あるいは設備を作った側から、使用者側に使用上の情報をきちんと伝える。そして、使用段階は、この大事な情報をきちんと取り入れた格好で、リスクアセスメントを実施するものです。この点もあまり考慮されていないように感じます。

更に、リスクアセスメントを実施しても、まだリスクが残っている。実際に設備を稼働させると、設計時には分らなかった課題も新たに出てくる。その情報がきちんと設計段階にフィードバックされているのか。そのサイクルがきちんと回っていなかったら、良い設備はできない。

ご存知のように、ISO ガイド 51 は 2014 年改正されました。改正された部分は「残留リスクは許容できるか」で、残留リスクが残っていても、そのリスクが許容できるならば、バリデーションとドキュメンテーションということで終了としている。

これが本来のリスクアセスメントです。

製造者と使用者の関係

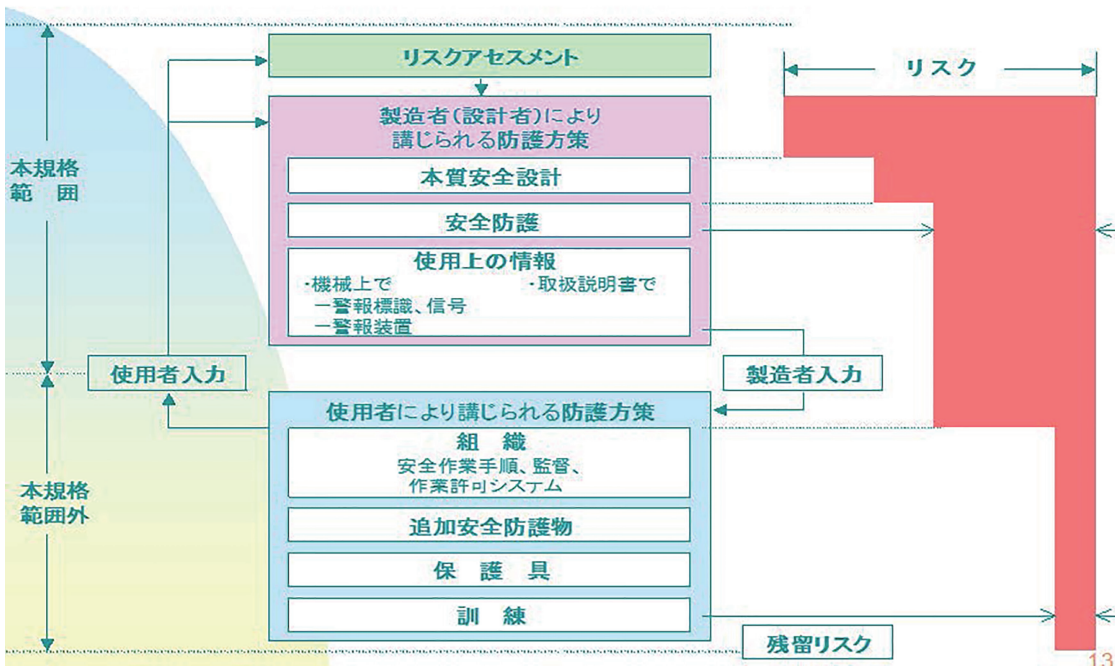


図2 RAにおける製造者・使用者の関係

(2) 変更管理

今度は変更管理の実態を見てみます。製造現場では色々なことを判断する必要がありますが、その時に、全ての変更事項を変更管理システムに掛けることができますか？

そんなことをしていたら、生産は成り立たない。実際にはどうしているかというと、現場のライン長（課長・係長）が、変更しても良いかどうかを判断しています。問題は、今のライン長がそのような判断能力を有しているかどうかです。これが変更管理の課題です。

ルール遵守の問題があります。ルールがどんな背景でつくられ、どんな意味を持って作られたかを、運転員が理解していないと、ルールに対する変更が安易に行われて、ルール遵守が徹底されないことになります。

よく「Know Why」と言われますが、分
りやすく言うと「設計の基本思想」と「条件

設定の根拠」の事です。これがしっかりと伝承されているかという問題です。多くの会社を視察させていただいていますが、「設計の基本思想」、「条件設定の根拠」のに関する資料が操作室に置いている会社と、技術部などに置いてあって、そこへ見に行かないといけな会社があります。これは「Know Why」を理解するという観点では大きな差になります。

ルールを理解するためには、そのための「時間」と「場」が必要です。時間と場を工夫している事例として、連続運転をやっている事業所は夜間勤務時を利用しています。夜間はなるべく条件をいじらない方がいいですよ。しかし、ただ黙って操作盤を見ているのではなく、そういう時間を利用して、「このルールはなぜ必要か」を運転員同士で話し合っているそうです。ルールはその必要性が理解されて初めて守られると思います。

三井化学（株）岩国工場で爆発事故のあった反応器を示しております。まず重要なことは、この事故の爆発箇所です。爆発箇所は反応器全体ではなく、冷却コイルの付いていない反応器の上層部です。

通常反応では、反応器下部から空気を導入し、循環水を使いながら冷却して反応しております。

発災当日、工場全体のスチーム系のトラブルがあって緊急運転停止指令（ESD）が出ました。そこで、このレゾルシン反応設備も運転を停止することになりました。

ESD では空気は緊急用窒素に切り替えます。また循環冷却水は緊急冷却水に切り替わります。発災当日、ESD はこの通りに実施されました。

ところが ESD を実施しているのに、反応器の温度がなかなか下がらない。レゾルシンは過酸化物のため早く温度を下げる必要がある。そこで緊急冷却水の流量を上げようと思って、ポンプの元圧を上げたが、温度が下がらない。

この運転員はベテランなので、緊急冷却水よりは循環冷却水の方が流量のあることを知っていた。そこで緊急冷却水から循環冷却水に切り替えた。この時、インターロックが解除され、反応器への窒素ガスの流入も止まった。これがインターロック解除です。

この結果、反応器内の液循環が停止し、冷却コイルのない反応器上層部ではレゾルシンの分解によって温度が上昇し、分解速度が速くなり、その結果、更に温度が上昇して分解速度が速くなり、遂には反応暴走となって爆発した。冷却コイルのあった反応器下部は問題が起きなかった。

この運転員は設備を良く知っていたが故に、緊急冷却水から流量の多い循環冷却水に切り替えようとした。すなわち、緊急冷却水の流

量を、設計時にきちんと確保しておけば、インターロックの解除はなかった。

一般には、この事故は運転員の判断ミスによる「インターロックの解除」が原因であるとされているが、本当はそうではなくて、設計がきちんとなされていれば、こんな事故にならなかったといえます。

次の重要な問題は、なぜ、反応器の上部に、冷却コイルが設置されていなかったのかということです。

調べてみると、事故の前年に、「低温酸化反応」が導入されていました。それは酸化反応の温度を低くすると、副反応を抑制できる。そこで反応温度を下げたが、ただ温度を下げたのでは反応速度が遅くなって生産能力が下がる。そこで、現場は反応器の内容積の余裕がある所まで、反応液の仕込み量を増やそうとした。その結果、反応器の上部の冷却コイルのない部分にまで液量が増加されました。

問題は、「低温酸化反応の導入」を変更管理システムの対象とするかどうかにかかってくるかどうかです。

変更管理システムに掛かっていなかった理由は、「今までよりは低い反応温度にしたんだから、より安全サイドの反応になっており、軽微な変更である」という判断でした。

その結果、反応液量の増量部分には、冷却コイルは増設されないで低温酸化反応法が導入されました。

発災当日、この増量部分の液が分解し反応暴走が起きて爆発した。

ある意味で、非常に日本的な事故だと思います。

ただ反応温度を下げたら生産能力が下がるので、「装置容積の余裕を活かして反応液量を増やす」という改善を実施した。

この様に現場が工夫する能力があるので、日本の現場は強いといわれてきたが、今回は

裏目になってしまったといえます。

こういう変更に関して、アメリカはどう考えているのかを調べてみると、現場が条件を変更するには沢山の手続きを必要とする。何を言いたいかといいますと、「現場は決められた条件通りに生産せよ」といっているんです。

現場とは条件通りに運転するのが仕事で、仮に条件を変更したければ、変更に関わる全ての手続きを完了させる必要があるということです。

一方、日本の現場は色々な工夫をしながら製造条件を作り込んでいく。だから、日本の現場は強い。

現場における変更管理は、この日本の改善活動と密接に絡んだ問題になります。日本の現場は優秀といわれるが、それは現場に裁量権があるからです。

欧米は現場に裁量権はなく、ほとんどの条件は設計段階でエンジニアが決めます。

日本は変更事項の是非判断は、現場のライン長が行なっています。嘗てのライン長は、ライン長を支える技術スタッフが充実していたこともあり、的確に判断できたが、今のライン長にはそのようなサポート部隊がない。

そこで、組織としては「現場が自主的にど

こまでやってもよいか」ということと「何が専門的判断を要するか」を、ガイドラインとして示す必要があります。

同時に課長・係長をサポートする技術スタッフを計画的に強化するという課題があります。

技術スタッフの力量は、どれだけ多くのトラブルを経験し、解決したかによって決まります。

今の現場は、技術が改善され進歩して自動化が進んだがゆえに安定しています。トラブルを経験することなく設備が動くようになった結果、技術スタッフといいながらも、トラブルを経験する機会が少なくなってしまった。

それが技術スタッフの弱体化の背景要因です。

変更管理の課題を表3に整理します。

(3) アラームシステム

重大事故の共通点として、アラームの問題がありました。各社の事故に共通していることは、現場は事故直前まで危ない事態が迫ってきているとは思っていなかった。それは運転員のリスク感性が不足しているというよりも、アラームがたくさん鳴って、アラーム洪水が起きたからです。

ここにアラーム設計に関する日本と欧米と

表3 変更管理の課題

1. 日本の現場は優秀であった。

- ・日本では、製造現場にかなりの裁量権がある。(TPM / QC 活動に代表される活動が、現場力の源泉)
- ・欧米は、製造現場に裁量権がなく、条件は、設計段階でエンジニアによって決められる。
⇒ 変更管理は、厳密な手続きを必要とする。

2. 変更管理を機能させるために、ライン長が鍵

ライン長の判断能力を補佐するために

- (1) 組織が「ガイドライン」として、現場が自主的に判断して良い領域と専門的判断を要する領域を示す。
- (2) 現場技術スタッフの強化

の考え方の差があると思います。

欧米は、運転員というのは自主的に判断するものではないというのが基本です。だから、アラームが鳴れば、必ず運転員は対応するように設計します。

日本は運転員が優秀なので、アラームが鳴れば、その状況を見ながら、これは対応しなくてはいけないアラームか、そうではないアラームかを判断する。すなわち、現場がアラームの重要性を判断するという前提でアラームを取付けてきました。

その結果、起きたことは、アラーム洪水でした。

今、各社の現場へ行くと、多数の緊急アラームが表示されていますが、そんなことで本当にアラームに対応できるのでしょうか。

重要アラームと通常アラームとをきちんと層別されているのか。また、通常アラームは多数設置されているが、本当にそれだけ必要なのか。

今までは、設計はアラームを多数設置する方が、現場に対しては親切だと思っていた。

でも本当にそうなのか。

これは1つの基準ですが、IECの基準には、普通のオペレーターが対応できるアラーム数は、一般的には一時間に6つである。頑張っても12であると示されています。

さあ、各社のアラーム設置基準はどうなっているのでしょうか？ それ以上に設置しすぎていることはないだろうか？これが一連の重大事故で問われたアラームの問題です。

表4に日本と欧米との考え方を整理します。

基本的な考え方は、日本は開発サイドが決めた概略条件を製造現場が作り込んでいくことによって技術を確立してきた。「作り込み」によって不良品が発生しないようにするのが日本の製造現場でした。

欧米は設計段階で基本条件を決めると、現場はそれを守って運転します。したがって条件通りにつくっても不良品が出るので、検査

表4 日本と欧米との安全の考え方の比較

項目	日本	欧米
基本的考え方	・開発サイドが決めた概略条件を製造現場で作り込むことによって、技術を確立する。	・基本条件は、設計段階で決め、現場は、それを守って運転する。
変更管理	・現場に、かなりの裁量を認めて、現場が、条件変更等を実施する。 → 改善提案、改善活動が活発 → その改善の実施可否判断は、ライン長の判断に委ねられる。 → 変更管理システムが重要	・製造条件変更には、厳格な手続きを必要とする。 提案する変更の論拠 操作手順を修正後、関係者に通知 訓練後実施 法的要求事項との整合確認 等
アラームマネジメント	・アラームが鳴れば、運転員が、アラームの重要性を判断し、対応措置を執る。 → アラームが多数設置される。 → アラーム洪水に埋没	・アラームが鳴れば、運転員は、対応する。 → 設計段階から、運転員が対応可能な範囲でアラームを設定する。

規定やトレーサビリティ規程がしっかりしている。

日本の各社がISO 認証取得で一番苦労したのは、検査規定とトレーサビリティでした。

変更管理について、日本は現場に製造条件の変更にかんがりの裁量を認めてきた。

一方、欧米は変更するためには非常に面倒な手続きがある。すなわち、現場は条件を変えるなどといった。

アラームについては、日本は、運転員が重要性を判断して対応措置を取ると考えているので、多数設置される。その結果、アラーム洪水になって重要アラームが埋没してしまった。

一方欧米は、アラームが鳴れば必ず対応するようにしておく。従って、設計段階から人間はどれほどのアラームなら対応できるものかを考えて、アラームを付けることになる。

2. 原発事故のリスクマネジメントの課題

福島原発事故におけるリスクマネジメントのポイントについて説明します。

(1) リスクアセスメント

第一番目に重要なことは、アメリカから日本に技術を導入する際に、どのようなリスクアセスメントが行なわれたかです。

原子力発電所には多量の冷却水を必要とします。アメリカは大河や湖のほとりに設置したが、日本は海に面して設置したという立地上の違いがあります。

アメリカはテロを恐れて重要施設を地下に設置したが、そのまま日本に持ってきたことによって、津波による非常発電設備の喪失をもたらした。

逆に、日本の技術を海外に輸出する際には、この事故を教訓に、リスクアセスメントは、

立地の違いを考慮して、しっかりと取り組む必要があります。

次に、平成 21 年に原子力安全・保安院から出された福島第一・第二原子力発電所の耐震安全性再評価結果を見えます。原発事故は平成 23 年ですから、事故の約 2 年前に出されたリスクアセスメントです。

なぜ再評価が行なわれたかという点、中越沖地震で、新たに活断層の問題が見つかったからです。

再評価では、図 3 に示す項目がリストアップされ、耐震安全性は「OK」と評価されました。

重要なことは、今回は①安全上重要な建物・構造物、②安全上重要な機器・配管系について評価したという記載です。項目としては、地震随伴事象や屋外重要土木構造物も挙がっていますが、リスク低減対象とはならなかったことです。

私は他人事のようにいってしまったんですが、実は、私が関与したライオンの事故でも同じようなことがありました。

私は、新しい界面活性剤をつくる反応装置が最も危ないと考えて、このリスク低減を一所懸命にやりました。しかし蒸留塔はシミュレーションでも設計できるのでリスクは少ないと考えました。しかし、事故は周辺機器であった蒸留塔で起きました。

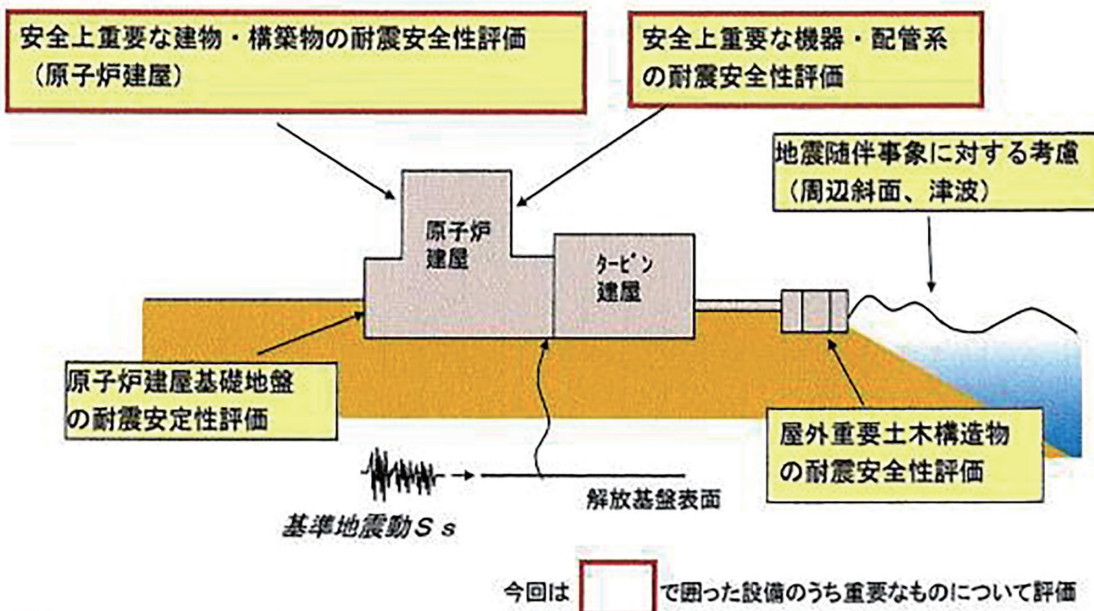
技術者にとって「大丈夫」と思っていたところで事故が起きることはしばしばあります。私がライオンの事故で経験したと同じことが福島原発の耐震性評価でも起きたと考えると、リスクアセスメントの難しさを感じます。

〈参考〉「木登り名人」 徒然草

木登り名人が弟子に高いところの梢を切らせていた。弟子が切り終えて屋根の高さまで降りてきた時に、名人は「油断するな。心し

バックチェックの方法(耐震安全性評価)

基準地震動 S_s を策定し、下記の施設等の耐震安全性評価を実施。



平成21年7月 原子力安全・保安院
「福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所の耐震安全性について」

21

図3 福島原発の耐震安全性評価

て降りろ」と言った。

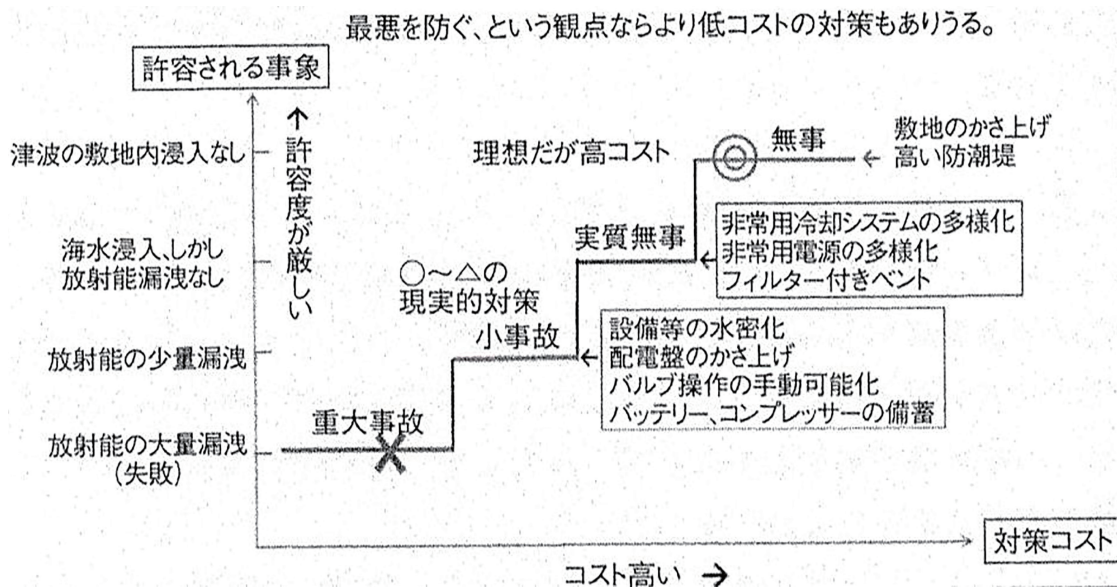
周りの人が、なぜ高いところにいる時ではなく、飛び降りることもできるところで注意をしたのかと聞くと、名人は「高いところでは自分が危ないと思って気をつけている。低いところでは大丈夫と思ってしまう」事故とはそのようなときに起きる。

(2) リスクマネジメント

福島第一、第二、女川原発、いずれも想定を超える津波に襲われました。しかし、みなさんご存知の通り、致命的事故になったのは福島第一でした。

なぜ、福島第二と女川はなぜ大丈夫だったのか。これこそが、私たちがこの福島原発事故から学ばなければならないことと思います。

政府事故調の委員長を務めた畑村洋太郎先生は、こういうことを言っています。「日本の原発技術は材料技術、機器の信頼性、および地震対策などの面で優れていた。しかし、それらのほとんどは小さな事故を起こさないための技術であり、ある程度の規模の事故が起こってしまった後の、減災のための安全技術は含まれていなかった。つまり、日本は小さな事故を起こさないためには神経を集中させてきたが、いったん事故が起こった後のこ



とを十分には考えて来なかった」と総括できると指摘しています⁽¹⁾。

具体的には図 4 に示す内容を示しています。

高い防潮堤によって津波を完全に防ぐことは理想的だが高コストである。現実の話として、例えば設備の水密化をやる。あるいは配電盤のかさ上げをやる。そうすれば小事故で済んだのではないか。

現実には、福島第二の発電設備は水密化された設備の中にあった。女川原発は非常用発電設備を初めから高い所に設置した。だから津波に耐えることができた。

そう考えれば、何が何でもお金を掛けて万全な対策を講ずるよりも、もしも津波が防潮堤を乗り越えても、致命傷にならないような対策を打つことこそが、リスクマネジメントの大事なポイントです。

また、致命的な事態は、たとえ発生確率が小さくとも、何らかのリスク低減対策を講じて、減災措置を執る。

これが、福島原発事故が私たちに語りかけている大事な教訓になると考えます。

3. 現場力の低下

今、製造現場で実際どんな変化が起きているかを、表 5 にまとめます。

一つ目は人の変化です。

これは JR 東日本従業員の年齢構成です。2012 年の段階では、こんな「二山構造」をしていましたが、2017 年には高齢者層が減少し、若年層主体の「一山構造」に移行していることが分ると思います。

あと、5～10 年後には、どんな年齢構成になっているか？

嘗て「二山構造」といっていたが、若年層主体の「一山構造」の年齢分布になる。これからの製造現場は、この年齢構成の変化を前提に考える必要があります。

「二山構造」の熟練技能者は、自分の手で設備やプラントを動かしてきた人と色々なトラブルも経験し、それを解決しながら技術や技能を身に付けてきた世代です。

一方、若年層は、現場の技術が上がった故

表 5 製造現場で起きている変化

一つ目は、“人”の変化

年齢構成：“二山構造”から若手世代主体の“一山構造”へ移行

50 代以上：設備の新・増設に携わり、トラブルを経験、解決することにより、技術力を身に付けてきた。

20 代・30 代：子供の頃から「危ないこと」をしないで育ち、企業においても、自動化された設備を運転し、トラブルを経験する機会が少ない。

一方では、当初の設計に関与した熟練技能者が退職

→設計の基本思想、運転条件の設定根拠が伝わっていない

→定常時は運転できるが、非定常時には対応できない

二つ目は、“設備”の変化

設備の新・増設が減少し、着実に老朽化が進む。

少品種大量生産型→多品種少量生産型に移行

三つ目は、一人一人の“管理範囲”の拡大

一人当たりの生産量は嘗ての 3～5 倍と一人一人の作業負荷が増え、特に、ライン長の業務量がオーバーフロー。

に、トラブルも減った。そして自動化された設備を動かしている。

二つの層では、それぞれが有している経験が大きく異なっていることを念頭に置いて安全管理や技術伝承を考える必要がある。

技術伝承が重要といわれ、多くの企業で苦労しているけれども、うまくできていないのが実態ではなかろうか？その背景には二つの層の経験の差が大きい。

今は、熟練技能者が雇用延長によってまだ残っているから良いが、あと 5～10 年したら、熟練技能者層はいなくなる。

その時に、どうやって生産体制、安全管理を創りあげていくのか。それが大きな課題だと考えます。

これは化学工学会のプラントペレーション分科会が、2016 年に発表した「オペレーターの意識の調査」の結果です。

その調査結果では、どんな教育を受けたいかという質問に、1 番目は「設備の構造やメ

ンテナンス」、2 番目は「原理や理論の教育」と応えています。

私は大学にいて大変申し訳ないと思いますが、大学が、先端技術の研究に走って、産業の基盤を支える原理や理論の教育をきちんと教えてないということの結果です。各社は自社内教育でこれらのことを教えざるを得ないというのが実情です。

これは高圧ガス保安協会がまとめた「高圧ガスプラントの事故原因に関する調査」です。

高圧ガス保安協会は毎年調査結果を発表しています。図 5 は平成 23 年から 28 年までの結果をまとめて集計したものです。

まず、見ていただきたいのは、設備の維持管理不良が事故の約 6 割を占めていることです。次が、設計や製作の不良です。ヒューマンエラーが事故の原因と言われますが、それは約 2 割です。

多くの設備やプラントが、維持管理に関する「バスタブ曲線」の「摩耗故障期」にさし

平成23年～28年の高圧ガス保安協会のデータを基に作成

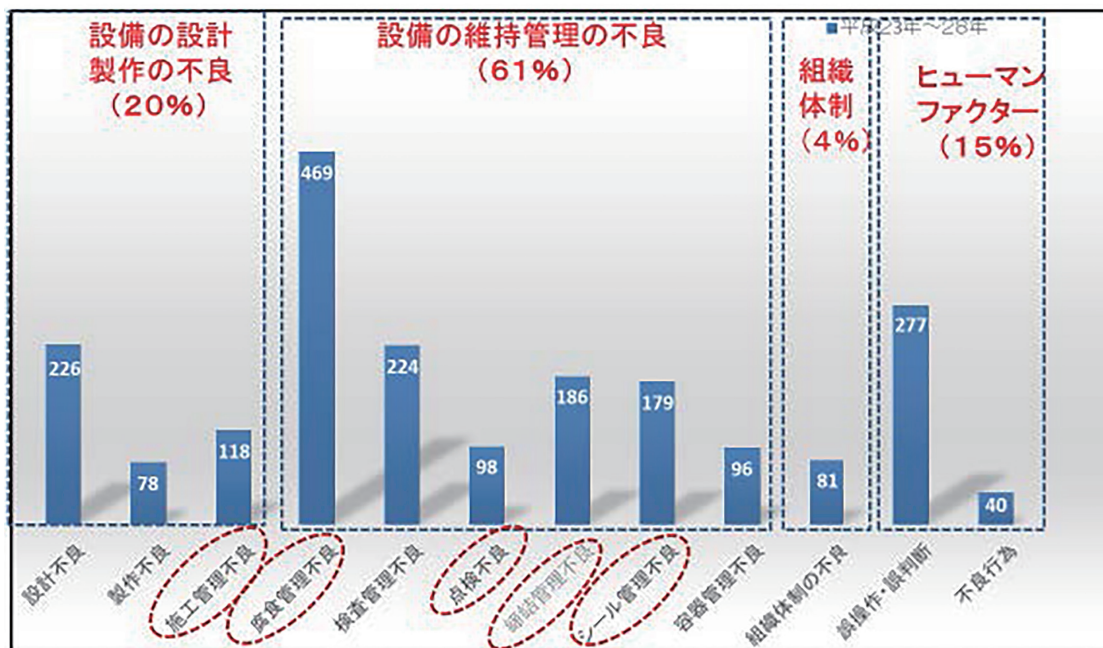


図5 高圧ガスプラント事故の要因

かかってきたことがこの様な結果になっていると考えます。

各社とも「部品交換による故障率の低減」や「部分更新による耐用年数の延長」に取り組んでいます。

先ほどライン長の話をしましたが、今のライン長の実情に関するアンケート調査があります。

まず、今のポジションでの在籍年数ですが、1年未満の管理職が25%もいる。5年未満の管理職が約6割もいる。多くの会社の方は、「ウチはそんなことはない、もっと長く在籍している」と言いながら、数えてみたら、ああ、やっぱりウチも同じようなものだとおっしゃいます。すなわち、長く1つの部署に在籍している管理職は、そんなにいないということになります。

もう1つの問題は、管理職が実際にどんな

仕事をしているかです。書類の作成・承認で3割、公式会議や他部門との調整で25%、本当は部下との面談や指導、自主的パトロールが必要と思いながらも、その時間を割けていないのが実情です。

この調査で抜けている重要な項目があります。メールの対応時間です。この調査にメールの対応時間が入っていたら大変な結果になると思います。

要するに現場パトロールとか部下との面談が重要と思っていながらも実施できていないのが、今の管理職の実態ということになります。

そういう状況の中で、オペレーターはどの程度プラントを動かすことに自信を持っているのか。

「担当したプラントの全てを知っている」というのは、班長で15%ぐらい、オペレー

ターになると 5% ぐらいです。「未経験のトラブルが起きたら、対処する自信がある」といっているのは、班長で 10% 強、オペレーターで 5% ぐらいという回答でした。

実際にトラブルが発生すると、もっとうまく対応すると思いますが、現場力の実態に関する厳しい調査結果になります。

「何に不安があって困ったか」という問いには、「老朽化で大きなトラブルが起きる」、「ベテランが抜けて、大きなトラブルが起きた時に対処できない」という回答が上位を占めています。

川崎市の消防局が、危険物施設で起きている事故原因を調べた調査結果があります。

事故の背景要因の一番目に挙がっているのは「異常が発生することの予測をする想像力が足りない」です。次は、「マニュアルや作業基準の内容が不十分」、「異常へ繋がる軽微な変化の兆候の見逃し」と続いています。

これは今の若い方にとっては、大変酷なことをいっていることになります。今の若い方は、子どもの頃から危ないことをしないようにして育てられてきています。嘗ては「ナイフを使ったことがない」といっていたけれど、最近は「マッチを擦ったことがない」というようになっています。そのような人たちが大学へ来ると、大学もシミュレーションを主体にして、なるべく「危ない実験をしない」ようにして、卒業させようとしています。

その人たちが会社に入ってくる訳です。そうすると、この様な調査結果が出てくることになります。

今の若い世代は「何が危ないか」が分っていないし、「経験したこともない」、しかも動かすプラントは自動化されたプラントで、自分で触る機会が少ない。

50 代以上の方は、自分が体験したトラブルから経験を積んで、技能を磨いて、事故防

止のノウハウを身に付けて来られた。

今は運転が安定して、トラブルを経験する機会が減ってしまった。座学等で知識は得られるけれども、座学だとやっぱり体験したものとは違います。

技術伝承の最も効果のある施策に関する調査結果は、今でも「OJT」です。

今、製造現場で起きている、「人」と「設備」と、「管理」に関わる問題を、現実の課題として真剣に受け止めて、そして、管理していくことが必須の課題です。

精神論や文化論では事故は防げないと思います。

東ソーの事故の後、日本経済新聞の石塚史人記者がこういうことを書きました。

「昔の設備はレーシングカーで、運転員はレーサーだった。今の設備はオートマチック車に進化した。したがって、運転技能もオートマチック免許で済む。ところが、いったんトラブルが起きると、オートマチック車はレーシングカーになってしまう。その時、オートマチック免許しかない運転員では対応できなかった。」

これが最近の事故の背景にある事情を言い当てていると思います。

そういう風に考えて安全管理を考えていかないと、実際の安全は確保できないと思います。

ここには日本独特の事情もあります。どんどん、海外の工場に大規模生産型を移転していった結果、日本は多品種少量生産を加速し、色々な配管を繋いで設備を作るようになってきた。すなわち「コモディティ」ではなくて、「スペシャリティ」に移行することが至上命題になっている。

今の現場は、そういう状況にあります。

4. 日本と欧米との比較

日本と欧米をもう一度比較してみます。

日本は基本的には、人が注意し、ルールを守ることによって、安全を担保できると考え、教育・訓練と管理が重要だと考えていました。

欧米は、安全管理の前提を「人間とはミスをするもので機械とは壊れるものである」と考えています。

それから事故防止の考え方も根本的に違います。

日本は、「小さな事故を全部なくすように考えて、事故発生件数を重視した事故防止の考え方」を採ってきました。

欧米は、「全ての事故は防げないとだから、重大災害防止に重点を置いて、安全管理を行なう」と考えています。

図6は、日本社会と欧米との安全の考え方を比較したものです。青棒の高さがリスク

の大きさだと思ってください。

日本社会はリスクがゼロになったら「安全」、リスクがあったら「危険」と思っています。

ところが欧米は、ある程度までリスクが低下したら「受け入れ可能」と考え「安全」としています。

一方、ある程度以上の大きさになったリスクは、「受け入れ不可能」と考えて「危険」と考えています。その間に「ALARPの領域」と考えています。

ALARP (AS Low AS Reasonably Practicable) の原則という考え方は、合理的に実行可能な限り、リスクを低減するという考え方です。

具体的には、リスクを低減するために要する費用と、リスクを低減することによって得られるメリットとのバランスを評価して、そのリスクを我慢できるかどうかを判断する考え方です。

例えば、今、交通事故で亡くなる人は、日本

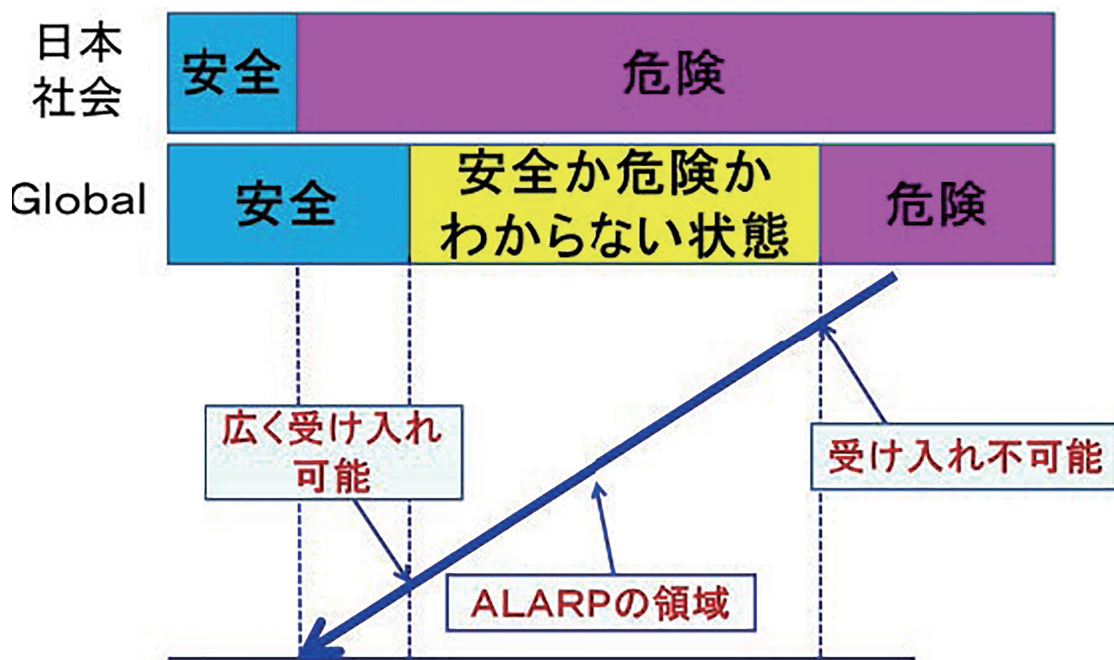


図6 日本と欧米の安全に関する考え方

では年間約 4,000 人です。製造業の事故で亡くなる人は年間約 1,000 人ぐらいですから、自動車の方が死亡リスクは高いことになります。

社会は、製造業の事故が起きると大騒ぎしますが、自動車事故はもっと多いにも拘らず、皆さんはそれを許容しているではないですか。

なぜ許容するのですか。

それは自動車の持っている便益を考えたら、もっと正確に言えば、今や自動車無しの生活が考えられないからではないですか。

一方では、本当に事故をゼロにしようと思ったら、途方もない費用が掛かり、どの位になるかも分らない。だからこのリスクを認める訳ではないが、我慢しながら車を使っていると考えているのではないですか？

すなわち、私達は「リスクゼロ」を希求し

ながらも、現実には「ALARP の原則」に則って判断していることになります。

図 7 に示すように、1 年間に 1/100 万以下の死亡確率だったら、これは広く受け入れ可能で、ネグリジブルリスクと考えます。一方、1 年間に 100 万人に対して 100 人以上の死亡確率は我慢できない（受け入れられない）と考えます。

この間のリスクは、リスク低減に要する費用と得られる便益とのバランスによって判断します。

実際にどの様に適用しているかをイギリスの例で見えますと、イギリスの安全衛生庁（HSE）は 1999 年に重大事故防止策（Control of Major Accident Hazard Regulation）を出しております。

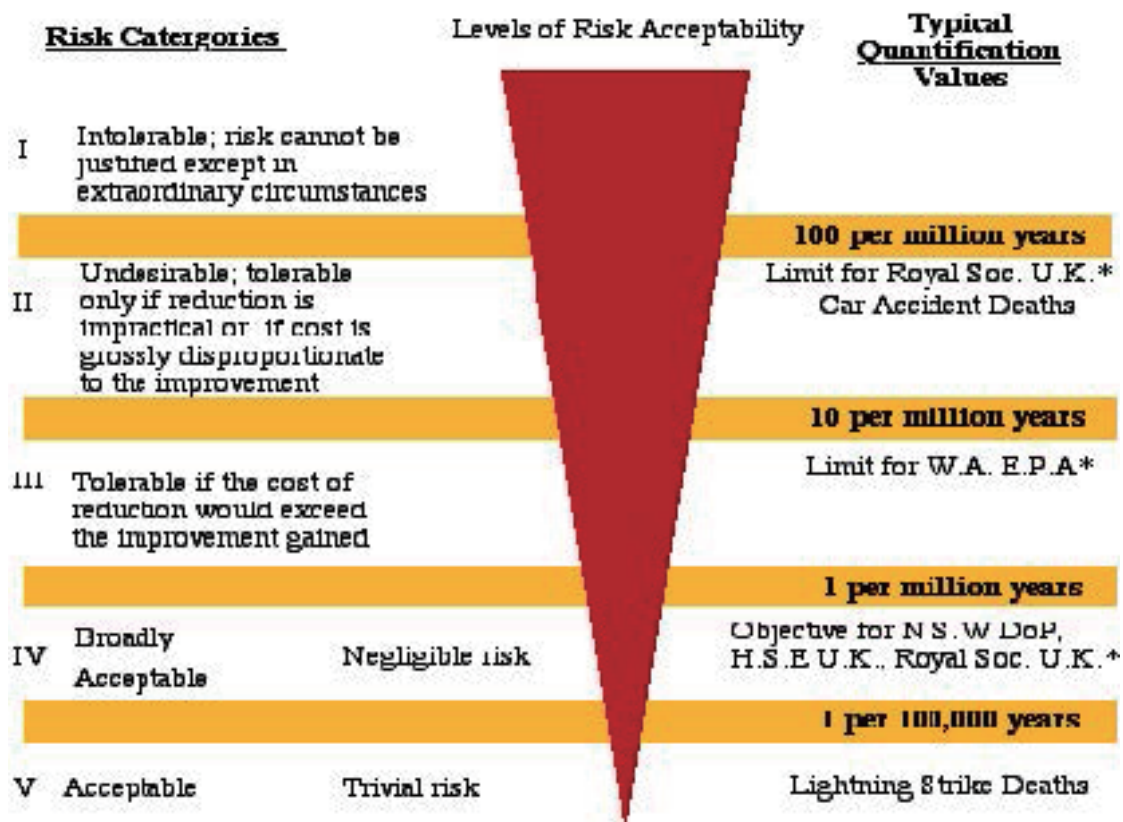


図 7 ALARP の原則

事業者は、考えられる重大事故のシナリオと、その発生確率、それに対する必要な措置がALARPの原則に則って講じられていることを、ちゃんとHSEに説明することを義務付けています。

すなわち、「設計段階から、重大事故防止に重点を置いて安全対策を実施せよ」ということであり、全てのリスクに対応せよということではありません。

リスク低減費用とリスク低減によるメリットとのバランスについて、HSEは、「リスク低減に要する費用が、リスク低減によって得られるメリットの10倍を超えるならば我慢する」というガイドラインを示しています。例えば、低減によって1億円のメリットがあるとします。そうすると、低減費用がメリットの10倍の10億円を超えるならば我慢する。10倍以下ならば低減措置を実施しなければ

ならないというガイドラインです。

次に、日本と欧米の災害発生率を見てみます（表6）。

死亡災害率と休業4日以上災害率とを比較しております。すぐ分ることは、休業4日以上災害率は、日本は他の国に比べて格段に優れている。一方、日本の死亡災害率は必ずしも良いとは言えない。

私が中災防の機関誌である『安全と健康』にこの表を発表した時に、「これはおかしい。日本の休業災害発生率が低いのは、本当は無理して出社させているからではないか」という投書がありました。

一方、「この表のデータが正しいとしたら、ハインリッヒの法則は何なんですか。休業4日以上災害発生率がこの様に小さいならば、死亡災害発生率はずっと小さくて良いはずだ」という指摘がありました。

表6 日本と欧米との災害発生率

	死亡災害率	休業4日以上災害率
日本	2. 1	2. 4
アメリカ	2. 3	44. 0
EU平均	2. 5	30. 1
イギリス	1. 3	11. 4
スウェーデン	1. 5	10. 9
オランダ	1. 7	28. 3
ドイツ	2. 1	32. 8
フランス	3. 4	40. 2
スペイン	3. 5	55. 3

死亡災害率 1年間に労働者10万人当たりの死亡者数

休業4日以上災害率 1年間に労働者千人当たりの休業4日以上死傷者数

中央労働災害防止協会「海外の労働安全衛生統計－EU域内、日米労働災害比較（2005）
https://www.jisha.or.jp/international/statistics/200807_04.html

44

ハインリッヒの法則は、1つの重大事故の陰には29の軽傷があって、300の無災害事故があるという「1:29:300の法則」のことです。

それで、もう一度、ハインリッヒの原典である『産業災害防止論』を読んでみました。ハインリッヒは二つのことを書いていました。

一つ目は、安全担当者は重大な事故が小さな事故の副産物で起きていると信じて、小さな事故を減らすことに取り組んできた。これが「1:29:300の法則」であり、ヒヤリハット活動の基盤となる考え方です。

二つ目は、データを良く調べると、災害頻度を増す原因（度数率）と強度を増す原因（強度率）とは異なったものである。重傷の発生を抑制しようとするならば、それを発生するところを予見しなければならない。

日本では一つ目だけがクローズアップされ、「重大事故を防ぐには設計段階から対策を講じる必要がある」という二つ目の指摘が、残念ながら、軽視されたことになります。そして、一つ目の指摘に沿って、「ヒヤリハット活動」が各社の安全活動に取り入れられました。

これは、日本の安全活動を考える上で重要なポイントになります。

安全には、プロセスそのものに起因する災害と、できあがった設備を如何に安全に、労働災害を抑えながら稼働させるという二つの面があります。

前者は“Process Safety”，後者は“Personal Safety”と呼ばれます。この二つの安全を確保して初めてプラントの安全が確保されます。

“Process Safety”のためには、設計段階から重大事故を予測し、重点を置いて防止対策に取り組むことが必要です。

“Personal Safety”のためには、ツールボックスミーティング、危険予知活動などの地道な日常活動が必要です。

そこで、もう一度、表6の災害発生率をみると、日本と欧米の考え方の違いが分ります。

欧米は重大事故防止に重点をいているために、死亡災害率が低い。一方、日本は全ての事故を防止と考えているために、休業4日以上災害発生率が低いにも拘わらず、死亡災害率は欧米と変わらないことになります。

日本と欧米との安全に対する考え方を比較すると、大きな違いは、自らの開発技術によって発展した国と、欧米からの導入技術を基に発展した国の違いになります（表7）。

日本は明治以降、欧米が確立した技術を導入して、生産体制を確立してきました。その結果、開発段階のリスクやトラブルを経験することなく、産業化できた。

開発段階のリスクやトラブルは、注意しても防げるものではなく、技術力がないと防げない。

すなわち日本はプロセスや設備そのものに起因するリスク（開発段階で具現化するリスク）を解消した技術を導入した結果、注意して運転すれば事故は起きないと考えた。だから管理や教育を強化してきた。

今、問われていることは、これからはそのような考え方では生き残っていけないということです。

同じものを作ろうとしていたら、中国や東南アジアで作るものに価格競争力で勝てないではないですか。そこで、どうしても新しい物質や新しい技術を開発するしかないことになります。

それが今の安全管理の抱えている最重要課題ではないですか。

一方、欧米は、企業規模が大きいですね。当然、開発のリスクに対する対応能力というか、耐久性があります。日本の企業はそれほど大きくないので、一つの失敗が企業経営に

表 7 日本と欧米との安全に対する考え方

	日本	欧米
1. 基本的考え方	・ 運転員が注意すれば、事故は防げる。 ・ リスクゼロは達成できる。	・ 機械は壊れ、人は過ちを犯す ⇒ 仮に、運転員がミスしても、運転員の安全と品質を確保 ・ 全てのリスクに対応できない。
2. 運転員の質	・ 現場の運転員は優秀。 ⇒ 現場で作り込むことによって良い製品ができる。 現場の改善活動が盛ん。 (現場の裁量範囲が大) ⇒ 卓越した現場力	・ 運転員は、信頼できない。 ⇒ ISO管理体制 ・ 現場は、優れた人(技術者)が、決めたルール通りに生産する。 ex. 変更管理、アラーム ・ 不良品は、確率的に発生する。 ⇒ 検査、トレサビリティの充実
3. 技術開発の経緯	・ 第2次世界大戦後、欧米から技術導入し、生産体制を確立。 ・ 工業化実績のある技術を導入。 (開発に伴うリスクは解決済) ⇒ 注意すれば事故は起きない。 ⇒ 管理体制/教育訓練	・ 技術開発した成果を工業化 (新たな開発には未知のリスク) ⇒ トラブルは技術力で解決 ・ 第三者検証

及ばず影響が大きい。どうやって欧米と立ち向かっていきますか？

そこで、衰えたといわれても、まだ、欧米から羨ましがられる日本の製造現場の現場力を活かして、「開発力+現場力」で対抗していくことが必要になります。

5. これからの安全管理

(1) 人の変化への対応

私が申し上げたいことは、製造現場の変化、特に「人の変化」にどの様に対応するかです。現在の「二山分布」が、5～10年後には若手主体の「一山分布」になります。いくら雇用延長しても、現場から熟練技能者はいなくなります。

その時にどう備えていくか？

今、いくつかの会社を見学して感じることは、この様な人の変化に対応して、今の若い世代に運転要領を全部作らせています。なぜ、今作るのか。

それは、まだ今だったら、まだ熟練技能者が現場に残っているので、修正が効くので、今、その世代に作らせているんだと説明してくれます。

次の問題です。

日本は今まで平等に教育を与えるといってきました。しかし、実際に力を付けるチャンスというのは、新しいプラントを造る時、初めて設備を動かす試運転、あるいは新規開発技術の工業化、そういう時だと思います。そういう経験は積もうと思っても、現実には、その機会が少なくなってきた。

その時に、従来と同じような考え方で、技

術スタッフを育成しようとしたら無理があるのではないか。

そういう人たち（次代を担う人材）に、優先的にそういうトラブルを経験する機会を積みませなくてはいけないのではないか。

新しい技術を開発して工業化する経験、海外での運転経験、大きな設備の改造と定期点検、定期修理とかそういう経験を、そういう選抜された人に優先的に機会を積みませなかったら、次の生産を担っていける技術スタッフは生まれてこないのではないか。

さらに、今までは人間の対応能力に限界があることを真剣に考えてこなかったが、アラームが鳴ってからでは、人間の対応では間に合わなかったんです。

では、人間を訓練して OK かというと、そうではなくて、そういう間に合わないのが人間の特性（ヒューマンファクタ）であり、現場のレベルだと認識して、そのような時でもシステマ的に安定な状態を作るように、設備を設計していくことが必要になる。

それが「人の変化」ということで問われていることだと思います。

(2) 現場の裁量

日本の現場が強いと言われたことの背景には、現場の裁量を認めてきたことがあります。

一方、変更管理の不備によって6割の事故は起きているといったように、現場の裁量を認めれば認めるほど、変更管理の不備によるリスクが増えます。

そこで、現場がやって良いことと、本社技術部門の判断を仰ぐこととの「ガイドライン」が必要です。

日本は、現場でものを作り込んで来たから強かった。しかし、これからもそのような現場が期待できるのか。もう一度、真剣に考えてみなくてはならない課題だと思います。

しかし、現場の裁量を認めることはリスク

がありますが、リスクのないところに進歩はありません。

どうやってリスクを許容の範囲内に収めながら、現場の裁量を認めながらやっていくのか。

これが各組織の問われている課題で、そのために必要なことが、「組織としてのガイドライン」と「技術スタッフの強化」と考えます。

(3) どこまでの安全を求めるか

資源が無限にあるものならば、限りなくリスクを低減することが可能である。しかし、現実には経営資源は限られている。その資源で全ての事故を無くせと要求すると、当然どこかが手薄になります。

そういう意味で、「どこまで安全を求めるか」という課題が問われていると思います。

私は今、日本学術会議の安全目標検討委員会の委員を務めています。学術会議は、『学術の動向』を機関誌として発行しています。

図8は、2016年3号の表紙です。

安全には基準値Aと基準値Bとがあります。

基準値Aとは、最低限満足すべき基準です。

基準値Bとは、ここまでリスクを低減したら、更なる改善を必要としない基準です。

基準値Aと基準値Bとの間の判断は、ALARPの領域として、ALARPの原則に則って行ないます。

図9は、工学システムの安全目標として示したものです。

基準Aは、いかにその工学システムが社会に対して有効であったとしても、最低限満足すべき基準で、それは社会との合意によって決まる。

基準Bは、更なる改善を必要としないレベルで、それは関係者間の合意によって決まる。

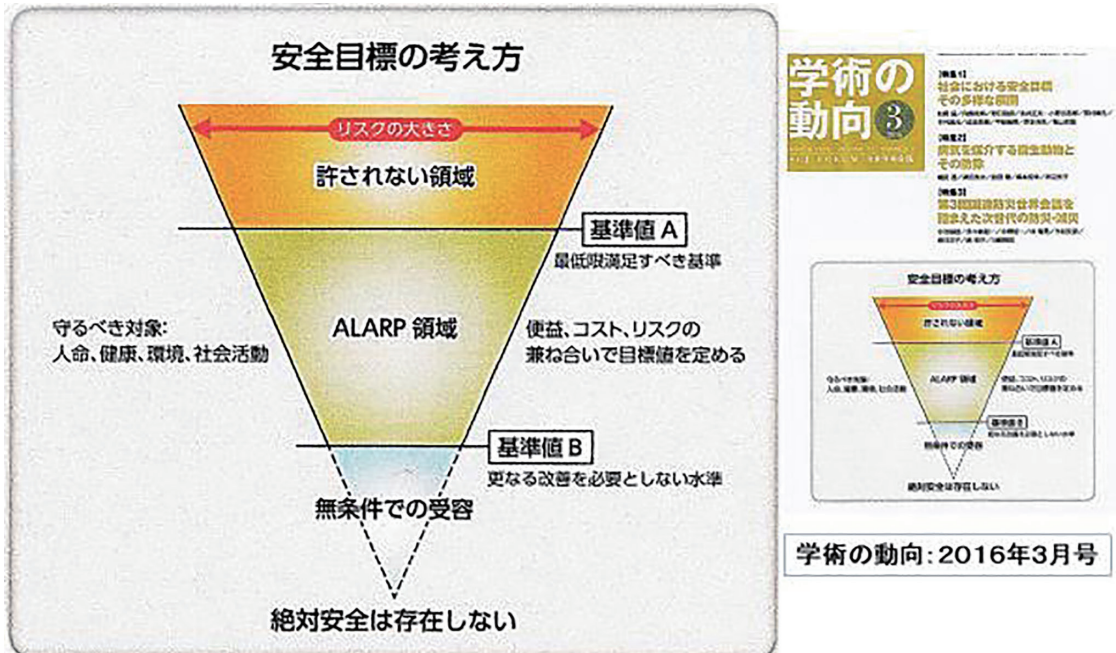


図 8 学術の動向 (2016 年 3 月号)

化学プラントを事例に説明します。

化学プラントの事故は、関係者が起きないように努めているが、残念ながら、毎年起きています。しかし、化学プラントは事故原因調査をやって再発防止策を講じると、社会はプラントの運転再開を認めています。それは、化学プラントの事故は自社の敷地内、少なくともコンビナートエリア内に収まっているからです。例えば、2011 年の 3.11 の大地震の時に、東京湾にあったコスモ石油の工場で大きな火災事故が起きました。鎮火後、運転が再開されましたが、それは被害範囲がコンビナート内で収まっており、一般社会には影響を及ぼさなかったからではないですか。

嘗て化学プラントは、セベソ事故、ボパール事故のような重大事故を起こしました。その結果、化学産業の存続のためには、自分の敷地外に影響を及ぼすような事故は起こさないということが共通認識となりました。その

後、各企業はそれを懸命に守ってきました。

その結果、化学産業が存続しています。

それがこの基準 A だと考えています。

基準 B とは何か。

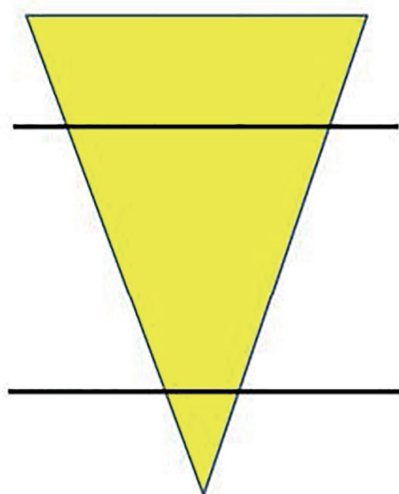
具体的な例を労働災害で考えると、全てのケガも全部許容しないというのではなく、例えば医務室災害程度の事故は許容しなければならないという考え方です。

みなさんご存知のように、年齢別の災害発生率が高いのは、30 才以下と 50 才以上の方です。50 才以上の方の災害が多い理由は、知識も経験もあるけれども体力が付いていないからです。しかし、昨今は、60 才以上の人も働く時代です。そういう現状を踏まえた時に、全ての災害ゼロと言えるのだろうか。

それが基準 B という考え方で、関係者間でどう合意するかということになります。

安全対策の対象は、人命だけではなく、経

リスクの許容基準



基準 A

工学システムが如何に社会に対して有効な機能を有していても、最低限満足すべき目標

基準 B

満足すれば無条件で許容できる
更なる改善を必要としない

1. 基準A : 社会との合意によって決まる。
2. 基準B : 関係者間の合意
3. 基準Aと基準Bとの間の領域は、ALARPの原則に則って判断

2014年9月17日 日本学術会議総合工学委員会 工学システムに関する安全・安心・リスク検討部会

図 9 工学システムの安全基準

済、環境、社会への影響を含めた総合的なものになります。

例えば石油化学工業協会（石化協）は表 8 のような基準を、アメリカの CCPS（化学プロセス安全センター）を参考に制定しています。

石化協では、人の健康、火災・爆発（経済的損出）、漏洩の影響と環境への影響、社会への影響を対象に、事故の大きさを評価しております。

基準 B は、もう一度、日本社会が、どこまでの安全を求めるかという問題として考えなきゃいけないのではないかな。

安全基準を厳しくするという事は、それだけ投資が必要になるが、その投資をしていくことによって、グローバルな競争の中で勝っていけるのかということも考える必要があ

ります。また、安全基準を厳しくするという事は、それに要するコストを受益者が負担することになります。

一方、全ての災害を無くすといっても、メンテナンス等、安全対策を講じることが困難な作業もあります。対策を講じることが技術的に可能かということも含めて、考えていく必要があります。

2006 年に労働安全衛生法（労安法）の改正があり、リスクアセスメントが努力義務化され、「リスクアセスメント指針」が出されました。その指針の解説に、「この指針は、合理的に実現可能な限り、より高い優先順位のリスク低減措置を実施することにより、合理的に実現可能な程度に低い（ALARP）レベルにまで、適切にリスクを低減するという

表 8 石化協の事故評価基準

強度 レベル (ポイント)	人の健康	火災・爆発	漏洩の潜在的影響	環境への影響 (環境対応費用)	社会への影響 (参考データ)
1(27)	複数死亡	直接被害額 10億円超	複数死亡の可能性 のある放出	2.5億円超	(参考;レベル2)
2(9)	1名死亡	1億～10億円	構外で死亡の可能性 のある放出	1億～2.5億円	
3(3)	休業災害	1千万～1億円	敷地内放出	1億円未満	(参考;レベル3)
4(1)	応急手当	250万～1千万円	放出が二次防護施設 内でしきい値以上	短期的な改善対応	(参考;レベル4)
5(0.3)	レベル4未満	250万円未満	レベル4未満	レベル4未満	—

考え方を規定したものである」と明記されています。

すなわち、日本も2006年の労安法の改正時期から、ALARPの原則に則ってリスク低減対策を実施することを定めていたわけです。

しかし、一般の理解がどうなっているのか。

厚労省は社会に、ALARPの原則に則って、リスクアセスメントを実施することを説明する責任があると思います。

これからの安全管理のポイントとして、三つあると思います。

一つ目は、人の変化をどう捉えていくのか。

二つ目は、現場の裁量をどう考えるか。

三つ目は、どこまでの安全を求めるか。

これは『なぜ起こる鉄道事故』という本で、JR東日本の今日の安全の基礎を築かれた山之内秀一郎元副社長が書かれました。お読みになられた方もあると思います。非常に重要な提言があるので、それをいくつかを引用しました。

1番目は、「二度と事故を繰り返しません。こんな誓いの言葉で事故が防げるのか」。

2番目は、事故のデータをよく見ると、きちんとした安全システムや技術的な対策を立てた時に、事故が減っている。その背後には、大きいな事故があった。山之内さんはこういう説明をされます。

「新幹線と在来線とを比較してみよう。新幹線は事故がないですよ。なぜか。そうするとハッキリしていることがある。新幹線には踏切がない。線路にもし人が入ったら、それは法的に罰せられるようになっている。在来線はそこまでいっていない。それから新幹線とは高速専用線路である。この様に考えれば、安全はシステムによって決まるということになるが、「最後は人間だ」と思う。

システムは人間が創ったものであり、残留リスクは人間に委ねられるということです。

技術者の仕事とは何か。やはり、1人1人が各々の分野の中で、事故やトラブルに悩んで、その中で、新しい技術やシステムの開発を進めて、技術の完成度を上げてきた。それが私たちの歴史だと思います。

今日、私は色々なことを安全の専門家の皆

様の前で話をしました。今日申し上げたことを整理してみます。

一つ目は、今の製造現場が変わってきているということです。変わってきていることに対して、どう対応していくのか。

二つ目は、安全には2つの側面があることです。

① Process Safety

設備やプロセスそのものに起因するリスクがあります。重大事故というのは設計段階で予測し、その低減措置を講じる必要があります。

そのためには、的確なリスクアセスメントをしっかりとやることであり、残留リスクに備えていくことが必要です。

② Personal Safety

日ごろの安全管理、これは安全の基本になってくる。その大事なポイントは、ルール遵守と情報伝達の徹底です。

具体的には、危険予知とヒヤリハットをしっかりとやることです。

三つ目は、これからの安全を考えた時に、人間と設備システムとでは、どう役割を分担

していくのか。

緊急事態が起きた時、人間の対応能力には限界があります。人間の対応能力の限界に対しては、設備やシステムで安全を確保しなくては行けないと

その時に、人と機械とは、どのようなコミュニケーションを保ちながらやっていくのか。いかに技術を創り上げていったとしても、最後はやはり人間になってくる。

これで終わろうと思います。ご安全に！

○司会 中村先生、どうもありがとうございました。ご自身の経験を踏まえて、ALARP領域の考え方、対応等を含む安全対策についてご教授をいただきまして、誠にありがとうございました。

参考文献

- (1) 向殿政男：日本機械学会誌 Vol 106 no1012 p40～p41 (2003 年)
- (2) 畑村洋太郎，安部誠治，洲上正朗：「福島原発事故はなぜ起ったか 政府事故調核心解説」，p77～p78 (2013 年) 講談社