

令和4年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業
 (石油精製プラント等の事故調査)

高圧ガス事故を題材とした視聴覚資料の整備(国外) 補足説明資料

原題	Behind the Curve
邦題	曲線の背後で…* (2010)
映像時間	13分59秒
資料の概要	<p>米国ワシントン州アナコルテスにある、Tesoro Refining & Marketing 社 (TRM 社) のテソロ製油所で、発生した熱交換器の大爆発事故を題材として、以下の項目で構成。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 事故と被害の概要 2. 事故発生までの経緯 3. この事故における問題点 4. CSB による事故原因調査の結果と教訓
事故の概要	<ol style="list-style-type: none"> 1) 発生日時： 2010年4月2日 午前0時30分頃 2) 発生場所： 米国ワシントン州アナコルテス (シアトルの北西 113km)、TRM 社テソロ製油所 3) 被害等： 人的被害：死亡7名 (製油所作業員) 物的被害：ナフサ水素化処理装置の熱交換器の破裂と装置全体の爆発・火災 4) 概要： テソロ製油所は、ナフサ水素化処理装置を保有しており、原油の軽質成分 (粗製ナフサ) から、硫黄、酸素、窒素化合物といった不純物を除去している。 粗製ナフサは、処理装置の反応塔に導入される前に熱交換器で予熱されるが、反応塔を出た後にも、精製ナフサとして熱交換器で熱が回収される。 このナフサ水素化処理装置には、2系列の熱交換器があり、開放点検のため、1系列のみの運転を行っていた最中に事故が発生した。 開放点検の後、対象系列の再稼働を行っていたところ、可燃性ガス (高温水素+ナフサ) の漏えいが発生した。 この漏えいを通常の出来事と判断した製油所の担当者は、近隣装置から5名を動員し、計7名に再稼働支援に当たさせたが、昼から夜間にかけての作業となった。 この間、再稼働対応中の熱交換器のみならず、既に稼働中だったもう1系列からも可燃性ガスの漏えいが始まり、瞬く間に火災と大爆発を引き起こした。 この火災・爆発により3名が現場で即死し、重傷で救命センターに搬送された4名も数時間～数日以内に全員が死亡した (計7名死亡)。 CSB の調査により、以下の事項が判明した。 <ol style="list-style-type: none"> ① 水素侵食による金属 (鋼材) の劣化と強度低下が、熱交換器の破裂原因であった。 ② テソロ製油所の技術者は、水素侵食の事前の対策として、水素侵食の「ネルソン曲線」 (米国石油協会発表) のデータを利用していた。 ③ 「ネルソン曲線」は、プロセス温度と水素分圧が、装置を構成する各種の材質に与える影響を予測するための指標だが、製油所技術者は、実際のプロセス温度を測定せずに、設計時の理論温度を使用していたため、この曲線が示した使用可能範囲の水素分圧の条件を超えた領域で運転していたことが分かった。 ④ 水素侵食による製油所のトラブルは、この事故以前に、少なくとも8件発生しており、特に水素の影響を受けやすい炭素鋼の使用条件予測のためには、「ネルソン曲線」は信頼できず、クロムやモリブデンの割合が高い鋼材の選択が適切だったことも分かった。 ⑤ また、テソロ社では、過去にも熱交換器の破裂を経験していたが、根本原因追求と対策の実行を怠るなど、基本的な安全文化が欠如していると思われる事案が見つかった。特に、漏えい、火災に対しては通常の事象とみなし、発生すれば追加人員を動員し、場当たりの対応している実態も判明した。

用語解説	<p>【high temperature hydrogen attack】 直訳では“高温水素侵食”となるが、日本の学術用語としては「水素侵食」である。水素侵食とは、高温高圧環境下で、鋼材の中に侵入した水素が、炭化物と反応してメタンガスを発生し、この圧力によって鋼材の内部で多数の微細な亀裂が生じ、破壊を引き起こす現象である。反応化学式は次のとおり。 $\text{Fe}_3\text{C} + 4\text{H} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{CH}_4$ 鋼材中の炭化物（Fe₃C）が水素（H）と反応することで、鉄（Fe）とメタン（CH₄）になる。同時に鋼材からは炭素が失われて軟鋼となる「脱炭」と呼ばれる現象が起きる。発生条件が「高温高圧環境下」に限定される現象であり、特に 200℃以上の温度環境において、水素の圧力が高いときに起こりやすい現象である。 なお、水素は常温常圧では分子として存在するが、高温高圧環境下ではラジカル的な挙動をすることから、水素侵食の化学反応式では原子として表現する。</p> <p>【Nelson curve】 水素侵食を防止するには、クロム、モリブデン、ニオブ、チタン、バナジウムなどの元素を鋼材に添加するのが有効ということが判明している。これらの元素は安定な炭化物を形成し、メタンの生成を防ぐためである。 元素の添加の際に、元素の量と温度との関係は、「ネルソン曲線」、あるいは「ネルソン線図」と呼ばれるグラフから知ることができる。ネルソン曲線は、米国石油学会（API）が過去の損傷事例を集め、分析した結果を反映している。1949 年に初めてネルソン曲線の発表がなされてから、数度の改訂によって精度を向上させながら浸透してきている。現在では、水素侵食防止のための世界的な技術標準となっている。</p> <p>【safety culture】 「安全文化」と訳される。「安全文化」とは、組織やグループで共有されている安全に関する信念、価値観のことをいう。James T. Reason（スイスチーズモデル提唱者）は、安全文化が構築されるための 4 つ要件を掲げた。 ① 報告できる文化：自分自身のミスやエラーなど、自分に不利な事柄も報告できる ② 正義の文化：意図的で悪意の感じられる不安全行為は厳しく罰する ③ 柔軟な文化：予想し得ない事態に直面した時、臨機応変に対応できる ④ 学習する文化：過去の事故やニアミスに対応すべく、組織内意識を変化させている 類似の用語として「安全風土」があり、安全な行動を誘発する組織の雰囲気の意味する。安全風土は、安全文化によって形作られるとも言える。</p> <p>【ALARP】 As Low As Reasonably Practicable の頭文字から、アラープの原理と呼ばれる安全に関する理論であり、リスクは合理的に実行可能な限り出来るだけ低くしなければならないとする思想。リスクが ALARP まで減少したか否かを判断する際には、避けるべきリスクの評価とリスク回避に費やす金や時間の評価、それら 2 つの比較が必要である。ただし、単に損失に対して利益を量的に比べるのではなく、リスクと社会的利益のバランスから判断することが留意点である。</p>
備考	<p>1) Behind the curve とは、英語の慣用句として「（対策などが）後手に回る」という意味である。本件事故は、ネルソン曲線の利用方法の誤りが原因の一つであり、「曲線」を意味する curve、及び安全文化の欠如によって、事前の対策が不十分となり、対策が後手に回ったことを、うまく「かけ言葉」として表現している。邦題は、これらの趣旨を踏まえて「曲線の背後で…」と邦訳した。</p>
参考となる CSB の 事故報告書	<ul style="list-style-type: none"> ● Investigation Report — (REPORT NO. 2010-08-I-WA)

注記 1：本視聴覚資料は、米国政府機関である CSB（Chemical Safety and Hazard Investigation Board）が作成した事故再現映像に対し、CSB の許諾を受けて、経済産業省の委託事業（令和 4 年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（石油精製プラント等の事故調査））で、日本語字幕および日本語ナレーションを作成した。