

特集 化学反応の危険性を評価・制御する技術

昨今、日本国内の石油化学プラントで化学品の火災爆発事故が頻発しております。事故原因の一つに挙げられています化学反応の危険性に着目し、産官学の研究者、技術者の方々から、事故事例の解析、危険性を評価・制御する技術等について解説、御紹介頂きます。

(編集担当：斎藤昌男)†

化学プロセスの安全化と危険性評価

田村 昌三

1. はじめに

化学物質は、これまでエネルギー、材料、ファインケミカルズ等としてわれわれの衣食住をはじめ、われわれの豊かな生活のために有用なものとして重要な役割を果たしてきた。しかし、化学物質には、爆発・火災等のエネルギー危険、有害危険あるいは環境汚染の潜在危険を有するものもあり、研究開発、製造、輸送、貯蔵、消費、廃棄等の化学物質のライフサイクルにおいて、われわれが化学物質の取扱を誤ると、その潜在危険が顕在化して爆発・火災災害、健康被害あるいは環境汚染等の社会的問題を引き起こす。

化学関連産業においては、安全確保のために懸命の努力をしているが、最近、大手で、安全について熱心に取り組んでいる企業において化学物質による爆発・火災事故が連続して発生した。これらの爆発・火災事故のトリガーは、緊急装置の誤作動、用役トラブル、非定常作業であり、異常時、緊急時、非定常作業への対応が適切でなかったり、異常反応発生状況把握が十分でなかったこと等が挙げられており、危険への感性の低下、知識不足、異常時や緊急時への対応力不足等、かつて日本の強みでもあった現場力の低下のおそれが心配されている。



Chemical Process Safety and Hazards Evaluation
Masamitsu TAMURA
1969年 東京大学大学院工学系研究科燃料工学専門課程博士課程修了
現在 東京大学名誉教授
連絡先：〒277-0882 柏市柏の葉3-6-23
E-mail mtamura@khc.biglobe.ne.jp

2013年12月13日受理

これらの背景には、近年の産業環境の変化や人や社会のものの考え方も変わってきたことが考えられる。教育の変化、少子化や核家族化、国際化等による社会性の低下、危険への感性の低下や価値観の多様化の問題等が指摘されている。

一方、産業の高度化、多様化、国際化の進展の中で、取り扱う物質や反応、プロセス、システム等は複雑化し、潜在危険は明らかに増大している。また、作業は分化、専門化が進み、また、コンピュータの導入により、全体像が分からず、また、中身が分からなくなっているため、異常時への対応が困難となってきている。さらに、世代交代、合理化等により、かつてプラントの立ち上げを経験し、プラントの中身を熟知していたベテランの退職により技術・技能の次世代への伝承を国内でのプラント建設の機会が少なくなっている中でいかにいかなうかも重要な課題であろう。

2. 化学プロセスの安全化に向けて

21世紀は環境安全調和社会であり、技術立国を目指す我が国は安全、環境、品質、安定生産によるものづくりの技術で世界の先導性をもつことが期待されており、我が国のものづくりを支えてきた現場力の低下の兆しは大きな問題である。産業安全の確保、向上に向けて、化学プロセスの安全化を図ることが重要であるが、そのためには現場が化学プロセスの安全化の考え方を理解するとともに、それを実行する上で現場力の強化に努める必要がある。

† Saito, M. 平成25、26年度化工誌編集委員(4号特集主査)
出光興産(株)生産技術センター 基盤技術室

3. 化学プロセスの安全化の考え方

化学プロセスの安全化を図るためには、次に示す四つのステップが重要である。

化学プロセスの安全化

- ①化学プロセスにおける危険要因の把握
- ②各危険要因に対する化学プロセスの潜在エネルギー危険性評価
- ③化学プロセスのエネルギーリスク評価
- ④化学プロセスの安全化対策

化学物質は条件により発火・爆発を起こすが、化学物質にどのような種類のエネルギーが与えられるかにより、その発火・爆発の起こりやすさ(感度)と起こったときのエネルギーの発生量および発生速度(威力)は異なる。したがって、まず、反応、蒸留、貯蔵、混合・溶解、乾燥、粉碎、洗浄等の化学プロセスに存在する危険要因を漏れなく抽出する必要がある。

化学プロセスに存在する危険要因は化学プロセスにより異なるが、一般的に以下に示すようなものが考えられる。

化学プロセスに存在する危険要因

- ①化学物質に関する危険要因
温度、圧力、濃度、取扱量、雰囲気、容器材質、不純物、熱、打撃・摩擦、衝撃、静電気、可燃性混合気、火炎、火花等
- ②化学反応に関する危険要因
反応系(反応熱、反応速度定数)、反応量、反応温度、反応圧力、反応組成、雰囲気、容器材質、不純物、温度制御系等

次いで、その危険要因に対する化学プロセスの潜在エネルギー危険性を評価することである。化学物質や化学反応の潜在エネルギー危険性評価をおこなうに当たっては、その物質や反応に与えられるエネルギーの種類に対する物質や反応の感度と威力を調べる必要がある。化学プロセスの潜在エネルギー危険性評価法については後に述べるが、化学物質の潜在エネルギー危険性評価は、反応物や反応生成物のみならず、中間生成物や副反応生成物等についてもおこなうことであり、一方、化学反応の潜在エネルギー危険性評価は、主反応のみならず、副反応や二次的反応についてもおこなうことが重要である。

また、各潜在エネルギー危険性評価法の特徴を理解し、その適用限界を十分に認識して評価結果を正しく解釈する

ことである。結果の拡大解釈は事故の原因となる。

化学プロセスの各危険要因に対する潜在エネルギー危険性評価が終わると、その結果を基に化学プロセスの取扱い条件下でのエネルギーリスクを評価しなければならない。化学物質や化学反応の危険事象の発生確率は感度特性と取扱い条件との関係により決まり、影響度は威力特性と取扱量との積により決まる。

以上述べたように、化学プロセスにおける危険要因を漏れなく把握し、次いで、その各危険要因に対する化学プロセスの潜在エネルギー危険性を適切に評価することによって、その評価結果を基に、化学プロセスの各危険要因に対する取扱い条件下でエネルギーリスクの評価が可能となり、必要な場合には、取り扱う化学物質や化学反応の見直しも含めて、設備、操作および管理面での適切な安全対策をとることができる。

4. 化学プロセスの潜在エネルギー危険性評価

化学プロセスの安全化を図る上で基本となるのが化学プロセスの潜在エネルギー危険性評価である。ここでは、化学プロセスの潜在エネルギー危険性評価法についてその概要を述べる。

化学プロセスの潜在エネルギー危険性評価を効果的におこなうためには、次に示す段階的評価法を用いるのが適当であろう。

化学プロセスの段階的潜在エネルギー危険性評価法

- ①文献情報からの潜在エネルギー危険性推定
物質危険性情報、反応危険性情報、事故事例、危険物データシート
- ②熱化学計算による潜在エネルギー危険性予測
手計算、REITP、CHETAH
- ③実験による潜在エネルギー危険性評価
スクリーニング試験、標準試験

まず、文献情報からの潜在エネルギー危険性推定であるが、これは特別な設備を用いることなく適切な文献等を調べることにより化学物質や化学反応の潜在エネルギー危険性に関する貴重な知見を得ることができる点において、最初におこなうべき潜在エネルギー危険性評価法であろう。

次に、熱化学計算による潜在エネルギー危険性予測であるが、これは化学物質が発火・爆発を起こしたり、反応を起こしたりしたときの生成物を予測し、反応系の生成熱と生成系の生成熱との差から反応熱を算出し、その大きさから潜在エネルギー危険性を予測しようとするものである。

$$\text{反応熱} = \Sigma(\text{反応系の生成熱}) - \Sigma(\text{生成系の生成熱})$$

この潜在エネルギー危険性予測法は、その原理から発火・爆発や燃焼あるいは反応時の発生エネルギーの大きさを推定することはできるが、そのエネルギーの発生速度やその起こりやすさを予測することはできない。

最後におこなうのが実験による潜在エネルギー危険性評価である。実験による潜在エネルギー危険性評価はもっとも信頼できるものである。既に述べたように、化学物質は与えられるエネルギーの種類によりエネルギー発生挙動は異なるため、それがおかれる環境下で、遭遇するエネルギーに対するその感度と威力を適切な試験法を用いて評価する必要がある。

この実験による潜在エネルギー危険性評価も、試験の規模により段階的におこなうのが効率的である。すなわち、スクリーニング試験は、少試料量で、安全に、しかも、簡便におこなうことができるため、種々の条件下で試験をおこなうことができ、多くの情報が得られる点に特徴があるが、標準試験結果と対応関係がなければならず、最後は標準試験による確認が必要である。標準試験は適正規模の試験であり、現在もっとも信頼できる方法といえる。したがって、規則等による潜在危険性の評価手段として、この標準試験法が主として用いられている。

化学物質や化学反応について、種々の環境条件下で各種危険要因に対する潜在エネルギー危険性評価を全て実験的におこなうことはかなりの設備、技術、労力、時間、経費等を必要とするであろう。一般的には、まず、文献情報や事故情報を調べ、おおよその潜在エネルギー危険性を推定し、また、必要によっては熱化学計算により潜在エネルギー危険性の予測を試み、エネルギー危険性が予知されるもの

については、スクリーニング試験により潜在エネルギー危険性の一次評価をおこない、最後にその確認のために標準試験による評価をおこなうのが適当であろう。

5. おわりに

化学プロセスの安全化の考え方とその基本となる化学プロセスの潜在エネルギー危険性評価について述べた。

化学関連産業において、爆発・火災事故を防止するためには、化学プロセスの安全化の考え方を理解し、それを実行することが重要である。

そのためには、化学プロセス環境に存在する危険要因を漏れなく把握することができる危険に対する感性や知識・技術、それらの危険要因に対するリスク評価をおこない、必要により適切な安全対策をとることができる知識・技術、また、化学プロセスの異常の予兆を検知し、その進展の防止に努めることができる感性や知識・技術を普段から身につけておくことが必要である。

参考文献

- 1) 田村昌三：第1章 21世紀の産業安全と安全工学の役割，安全工学会監修，実践・安全工学シリーズ3「安全マネジメントの基礎」，pp. 3-25，化学工業日報社（2013）
- 2) 田村昌三，新井充，阿久津好朗：エネルギー物質と安全，朝倉書店（1999）
- 3) Bretherick, L. and P. G. Urben (田村昌三監訳)：プレスリック危険物ハンドブック第5版，丸善（1998）；“Bretherick's Handbook of Reaction Chemical Hazards,” Butterworth (1995)
- 4) 田村昌三編：化学物質・プラント事故事例ハンドブック，丸善（2006）
- 5) 吉田忠雄，田村昌三監修，東京消防庁編：化学薬品の混触危険ハンドブック第2版，日刊工業（1997）
- 6) 田村昌三編著：化学プロセス安全ハンドブック，朝倉書店（1999）
- 7) 田村昌三編著：第5版実験化学講座30巻化学物質の安全管理，丸善（2006）