

RBM/RBI のための確率論的リスク評価手法の化学プラントへの導入に関する研究

日大生産工 (学部) ○宮路 瑠唯 日大生産工 (学部) 廣川 紗英
 日大生産工 (学部) 恒田 駿介 日大生産工 三友 信夫

1 緒言

1976年にイタリアで発生したセベソの化学プラントでの爆発事故や、1984年のインドで発生したボパール化学プラントの毒ガス漏洩事故のように、化学プラントで事故が発生すると、多数の死傷者、長期にわたる環境への影響の可能性が考えられる。

一方、日本の化学プラントでは前述のような大規模な事故は発生していないものの、毎年多くの事故が発生している¹⁾。実際、高圧ガス保安協会の報告では、平成28年度には製造事業所での事故は、397件発生したことが報告されている¹⁾。

以上のことから、国内の化学プラントにおいても事故は発生しており、前述したように化学プラントで大事故が発生した場合には、多くの死傷者や環境への多大なる影響の可能性が考えられ、化学プラントの安全な運転のためにはリスク評価の必要性がある。

一方、原子力プラントに代表される大規模システムの安全性については、確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment : PRA) 手法が導入されている²⁾。そこで本研究では、化学プラントの安全な運転のために PRA の導入について検討を行った。

2 方法

2.1 確率論的リスク評価

確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment : PRA) は、リスク評価を3段階に分けて実施し、レベル1 PRA では原子炉の炉心損傷頻度 (Core Damage Frequency : CDF) を、レベル2 PRA では炉心損傷によって放出される放射性物質の挙動、レベル3 PRA は CDF と放射性物質の挙動を用いて公衆の被曝量を評価する。その概要を図1に示す。

特に、汎用性が高いと考えられるレベル1 PRA では、シーケンスの発生頻度を、シナリオ解析をもとに、イベントツリー解析手法とフォールトツリー解析手法を組み合わせることによって評価を行うことが一般的である。

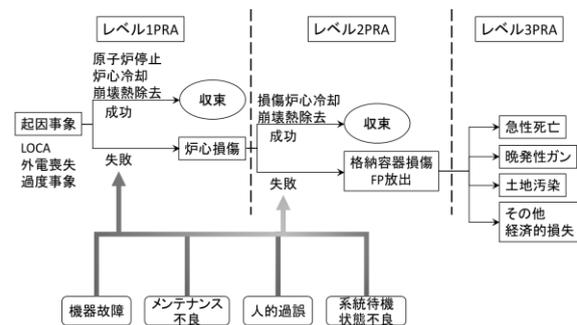


図1 レベル1, 2, 3 PRAの概要³⁾

2.2 MLD手法

レベル1 PRAにおいてハザードの同定やシナリオの解析手法として、MLD (Master Logic Diagram) 手法が知られている⁴⁾。MLD手法は、頂上事象から素事象へと展開していくトップダウン手法である。FTA (Fault Tree Analysis) に似ているが、MLDは、数学的要素を持たない論理図である。ボトムアップ方式であるFMEA (Failure Modes and Effects Analysis) 手法と組み合わせることにより、起因事象をさらに抜け落ちなく確認することも可能である。

本研究では、I.A. Papazoglou らの "Master Logic Diagram: method for hazard and initiating event identification in process plants" による、化学プラントのMLDを用いて解析を行った³⁾。引用したMLDを図2に示す。

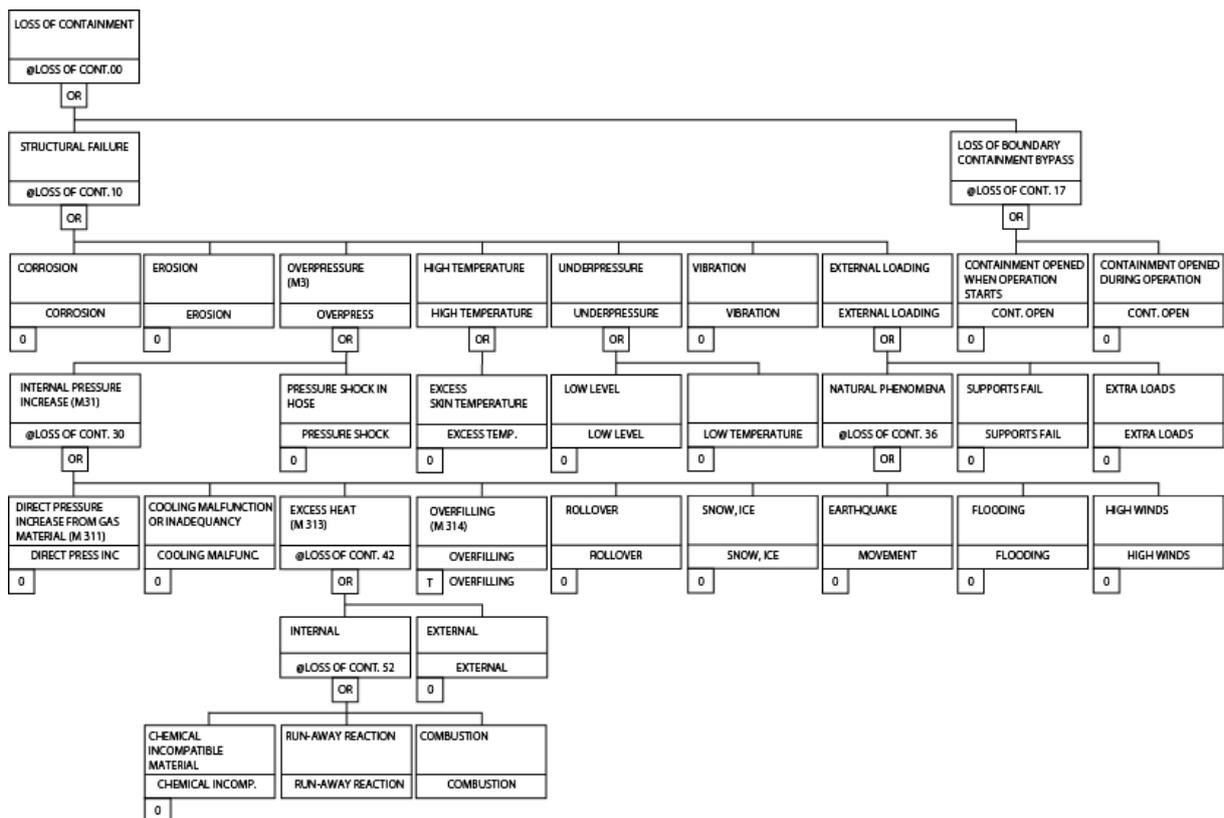


図 2 化学プラントの漏えい事故に対する一般的な MLD

2.3 イベントツリー解析

イベントツリー解析手法は、MLD手法と同様に、レベル1 PRAにおいて用いられる。本解析では、化学プラントのリスク評価として、このイベントツリー手法の導入を検討する。

イベントツリー手法は、事故シーケンスの展開に適した解析方法で、図3に示すようにツリー構造となっている。起因事象を左端に出発点として設定し、起こり得る後続の事象を時間経過に従って前向きにたどることで、最終状態に至るまでの事故シーケンスを明らかにすることができる。複数の安全バリアの作動が、成功する場合と失敗する場合とに分けながら事故進展シナリオを数え上げる。イベントツリーの作成においては、ヘディングの選択や順序が重要となる。

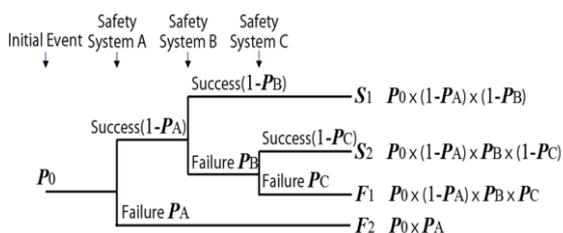


図 3 イベントツリーの例

2.4 解析方法

本研究ではまず、ハザードの同定やシナリオの作成のための MLD 手法の妥当性について検討を行う。

さらに MLD により作られたハザード等のもとに、イベントツリーの作成を行う。

そのために、化学プラントの事故として「漏えい」を対象とした。事故については、高圧ガス保安協会の事故データベースから「漏えい」のデータを抽出し、2.2 で述べた Papazoglou らの MLD を用い、これらの事故

表 1 「漏えい」事故の分類

No.	項目	件数	No.	項目	件数
11	STRUCTURAL FAILURE	1	32	PRESSURE SHOCK IN HOSE	1
21	CORROSION	64	38	EXTRA LOADS	10
22	EROSION	3	41	DIRECT PRESSURE INCREASE FROM GAS MATERIAL (M 311)	2
24	HIGH TEMPERATURE	1	44	OVERFILLING (M 314)	6
26	VIBRATION	2	47	EARTHQUAKE	2
28	CONTAINMENT OPENED WHEN OPERATION STARTS	1	49	HIGH WINDS	1
29	CONTAINMENT OPENED DURING OPERATION	2	52	EXTERNAL	2
31	INTERNAL PRESSURE INCREASE (M31)	5	合計		174

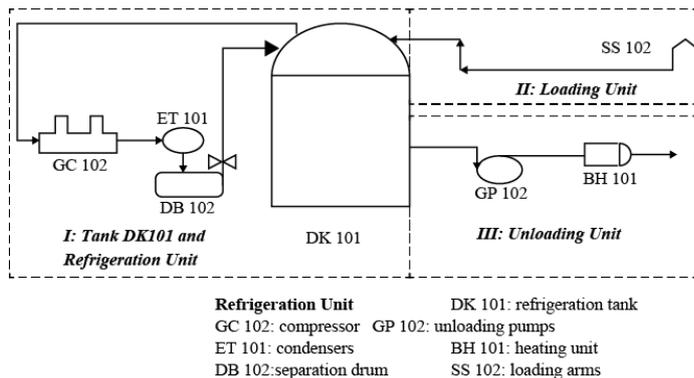


図4 アンモニア貯蔵タンクの概略図

の分類を行う。

3 結果

3.1 MLD手法の妥当性

高压ガス保安協会の事故事例データベースにおける漏えい事故の件数は392件であった。これを事故の概要に基づき分類をし、その中でPapazoglouらのMLDに該当するものを表1に示す。その結果 Corrosion が最も多く、表に含まれないものとしては、輸送中（輸送車の横転など）や、HE（Human Error）に関するものが多かった。この結果から、PapazoglouらのMLDにおいて、実際に発生した「漏えい」事故の分類を行うことができ、またそれらが妥当性のあるものであることから、Papazoglou らのMLDで、化学プラントのハザードの同定やシナリオの作成を行うことが可能であると判別した。

3.2 イベントツリーの作成

3.1より、MLDはハザードの同定やシナリオの作成に有効であることが分かった。そこで、MLDを用いてイベントツリーの作成を検討する。

Papazoglou らはアンモニア貯蔵タンクについても MLD 手法による解析例を報告している⁴⁾。アンモニア貯蔵タンクの概略図と、そのMLDの一部をそれぞれ図4, 5に示す。このMLDについて、高压ガス保安協会のデー

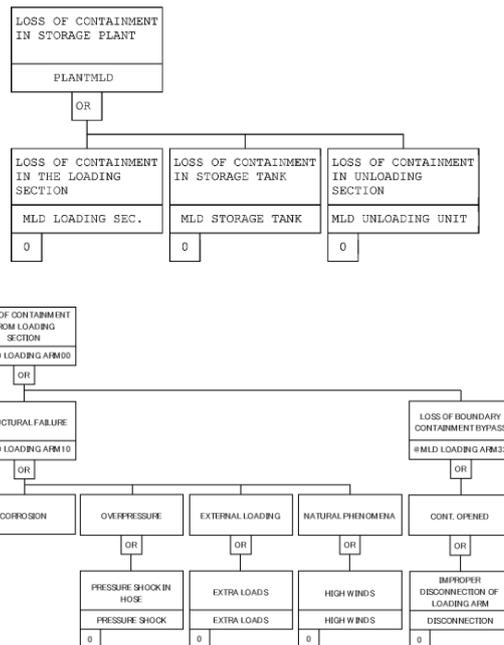


図5 アンモニア貯蔵タンクのMLD

タベースより、アンモニア貯蔵タンクの漏えい事故に関するデータを抽出した。その結果、事故データとしては2件得られた。2件の事故はいずれも図5の”STRUCTURAL FAILURE”に該当した。これら、Papazoglou らによるアンモニア貯蔵タンクのMLDと、高压ガス保安協会のデータを基にシナリオを作成し、イベントツリーの作成を行った。

3.1で述べたように化学プラントの事故のハザードとして”Corrosion”が多いことから、この事故の原因として、バルブフランジの腐食(Corrosion)を仮定した。

さらに、高压ガス保安協会のデータをもとにヘディングとして、以下の項目を設定した。

- A) アンモニアローディング開始
- B) バルブフランジ腐食
- C) バルブフランジからの漏えい
- D) 漏えいの発見
- E) 散水等対応

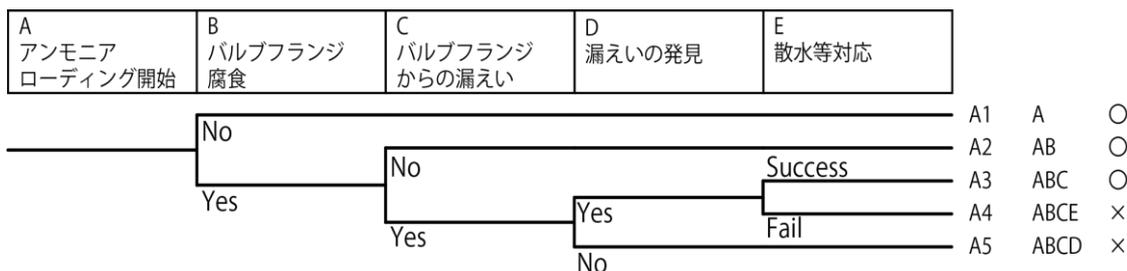


図6 作成したイベントツリー

これらをシナリオとし、作成したイベントツリーを図6に示す。

4 考察

化学プラントの安全評価のためには、事故の要因を検討することが重要である。レベル1 PRA では、CDF への寄与の観点から、各操作や機器の失敗の事故要因の抽出方法として重要度評価が行われる。重要度評価手法にはいくつか種類があるが、本研究では、2つの手法の導入について検討する。この2つの手法について説明する。

リスク低減評価値 (Risk Reduction Worth : RRW) はある事象 (例えばある機器の故障) の発生確率を 0 とした時にリスクがどれだけ低減されるかを示す指標であり、次式で定義される。

$$\text{Risk Reduction Worth} = \frac{P(CD)}{P(CD/A=0)} \quad (1)$$

リスク増加価値 (Risk Achievement Worth : RAW) はある事象が必ず発生するとした時にリスクがどれだけ増加するかを表す指標であり、次式で定義される。

$$\text{Risk Achievement Worth} = \frac{P(CD/A=1)}{P(CD)} \quad (2)$$

P (CD) : 炉心損傷確率

P (CD/A = 0) : 事象 A の発生確率を 0 に変化させた場合

P (CD/A = 1) : 事象 A の発生確率を 1 に変化させた場合

リスク低減価値指標は、プラントに何らかの改良を行ってリスクの低減化を図ろうとする際に、注目すべき機器の候補を同定する際に有用である。一方リスク増加価値指標は、点検や定例試験などの計画作成における優先度の設定などに有効である⁵⁾。

今回はイベントツリーにおいて分岐確率が設定できなかったため、重要度評価については具体的な検討ができなかった。しかしながら、分岐確率が設定され、定量的評価が可能となれば、これらの手法により事故原因の抽出が可能であると考えられる。

5. まとめ

PapazoglouらのMLDと、高圧ガス保安協会の「漏えい」事故データを検討した結果、MLDによるハザードの同定やシナリオの作成が可能であることが分かった。そこでMLDを用いて、化学プラントの事故のイベントツリーを作成することができた。

今回は検討できなかったが、イベントツリーにおいて分岐確率が設定できれば、定量的評価が可能となり、事故原因の抽出が行えると考えられる。

以上より、化学プラントにおいてもPRAを用いて、リスク評価を行うことが可能であると考えられる。

[参考文献]

- 1) 高圧ガス保安協会, 高圧ガス関係事故集計 (平成29年1月末現在), 参照日 2018/10/16, https://www.khk.or.jp/public_information/information/incident_investigation/hpg_incident/statistics_material.html
- 2) 原子力委員会, 第16回原子力委員会臨時会議 配布資料(1-1), 参照日 2018/10/11, <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy2014/siryoy16/index.htm>
- 3) 日本原子力学会, リスク評価のために, AESJ-SC-TR011:2015, 参照日 2018/9/24
- 4) I.A. Papazoglou, O.N. Aneziris, Master Logic Diagram: method for hazard and initiating event identification in process plants, Journal of Hazardous Materials A97, (2003) pp.11-30.
- 5) 日本原子力学会, 原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価手順, 2002 AESC-SCP001:2002, 2002年4月, P.154-156.