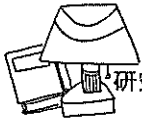


タンク火災を考慮した化学プラントの災害シミュレーション



研究ノート

倉敷哲生*, 座古勝**

Disaster Simulation for Chemical Plants Considering Tank Fire

Key Words : Simulation, Chemical Plants, Heat Radiation, Monte Carlo Method, Reliability

1. はじめに

原料や精製品を備蓄し集中・効果的に活用する石油精製・石油化学プラントが各地に拡張・増大している。資源が少なく、国土の狭い我が国にとって、重要な存在であることは言及するまでもない。しかし、タンクが密集したプラント内で不慮の事故が発生した場合、火災・爆発等の災害が発生、拡大する恐れがある。最近、国内外の化学プラントにおいてガス漏れ、火災、爆発等の災害が多発し、安全性の再確認や防災設備の完備、再点検が重要視されてきている。特に、先の阪神大震災や東海村の臨界事故の例を踏まえて、化学プラントの安全運営の面から防災計画見直しの傾向にあり、起こり得る災害の危険性とその影響範囲を把握するシミュレーションシステム開発の必要性が高まっている。

タンク等のプラント設備機器の設計としては、自重や内容物の貯蔵圧力による負荷の影響のみならず、

万一、災害が発生した場合に被る要因の影響(火災であれば火災が放出する大量のふく射熱、爆発であれば爆風による過大な圧力)をも考慮する必要がある。これらの災害の発生及び拡大状況はその時々極めて複雑な条件により左右される。例えば、風向、風速等の気象条件が挙げられる。空気が乾燥したり強風が吹いている時には、可燃性気体と空気との拡散混合が進むことから延焼し易い状況となる。また、漏洩燃料の種類や量によっても、発生する火災の規模や持続時間が異なる。このように種々の条件を網羅し、起こり得る災害の影響を実験により推定することは、膨大な回数や費用を要する点から非常に困難であることは言うまでもない。したがって、これらの点を考慮して、災害発生後の被害状況をコンピュータ上で時刻歴に評価できるシミュレーションが安全評価に対し非常に有効となる。一般的な火災シミュレーションは、木造やコンクリート建屋の燃焼エネルギーおよび建屋消失に関するものであるが、化学プラントでは安全性評価やその許可等のため、規制に基づいた手法¹⁾を用いてシミュレーションを行う必要がある。以下では、著者らが取り組んでいるシミュレーションの例について概説する。

2. タンク火災シミュレーション

プラント内で発生した火災が放射するふく射熱量を基にタンク間の延焼を評価し得る災害シミュレーションの例を示す。図1の模擬プラントモデル内で円筒型ガソリタンクから初期火災が生じたと想定する。この火災から他のタンクへ放射するふく射熱量からタンク壁温上昇および内部圧力上昇を算出し、上昇温度と引火点から火災発生の有無ならびに圧力上昇によるタンクの破壊などのタンク二次崩壊を判定する。これらの事象を時刻歴に把握すれば、火災による被害拡大シミュレーションとなる²⁾。図1に火災発生から120分後での被害状況を示す。



* Tetsusei KURASHIKI
1971年2月24日生
1997年大阪大学 大学院 工学研究科
博士課程修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・
生産科学専攻・機能化設計学講座、
助手、博士(工学)、信頼性工学
TEL 06-6879-7564
FAX 06-6879-7570
E-Mail kurasiki@mapse.eng.
osaka-u.ac.jp



** Masaru ZAKO
1945年2月18日生
1973年大阪市立大学 大学院 工学研
究科 博士課程修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・
生産科学専攻・機能化設計学講座、
教授、工学博士、信頼性工学、複合
材料工学
TEL 06-6879-7563
FAX 06-6879-7570
E-Mail zako@mapse.eng.osaka-
u.ac.jp

シミュレーションでは、120分程度でプラントの大半が被害を受けることになるが、実際はこのような被害状況には至らない。その理由は、消火を考慮していないからである。そこで、スプリンクラーの設置等の安全策がなされているとし、タンクが火災からふく射熱を受けた場合にはスプリンクラーが作動して水を噴霧放出することによりタンク表面を冷却し、熱上昇を抑制して二次災害への伝ばを防止するシミュレーションの例を示す³⁾。図2はプラント内に供給されるスプリンクラー総水量を20000/min. (消防車約7台分に相当)として、火災のふく射熱の影響を受けているタンクに水量を配分した場合の120分後のタンク崩壊状況図である。消火を施さない場合では約半数のタンクが崩壊するのに対し、スプリンクラー消火を施した場合ではタンク二次崩壊に至らず、明白な差違が現れる。

また、プラント内に蓄えられる消火水量は有限であるため、効率の良い消火水量の配分方法が存在するものと考えられる。これに対しても本シミュレーション

により、災害が発生してから次のタンクが延焼するまでの時間を最大限延長する消火水量を決定することが可能となる。

3. 火災のふく射熱が周囲に及ぼす影響

近年、化学プラントの中に高速道路を通したり、遊園地や公園などのレジャー施設を作ることが増えてきている。このような場合には、プラント内における災害が周囲に与える影響を把握し、安全性を十分に確保する必要がある。

タンク火災によるふく射熱が周囲に及ぼす影響の評価として、我が国では高圧ガス保安協会の指針による手法¹⁾が一般に多くの同意が得られている。指針では、Stefan-Boltzman則と大規模火災実験より得た実験式を併用しふく射熱を評価している。しかし、指針では障害物の無い空間における単一の被害を想定しており、林立するタンク群や建屋によるふく射受熱の遮断を考慮されていない。さらに、風は火災の延焼拡大に最も影響を及ぼす危険要因の一つであるが、指針では無風状態のみを想定しており、

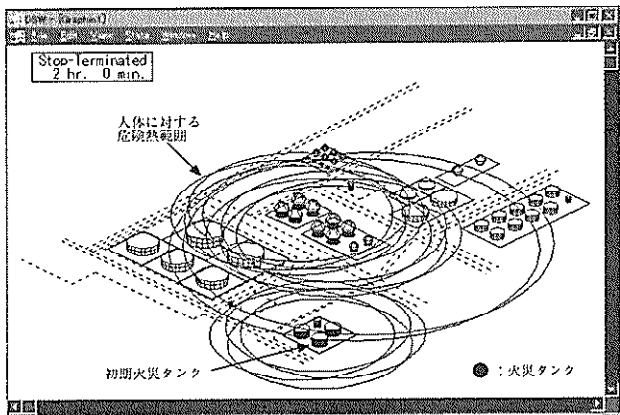
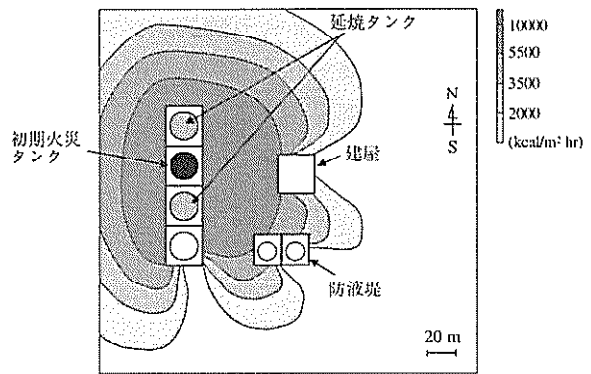


図1 模擬プラントでの120分後のタンク崩壊状況



(a) 初期火災発生後14分後

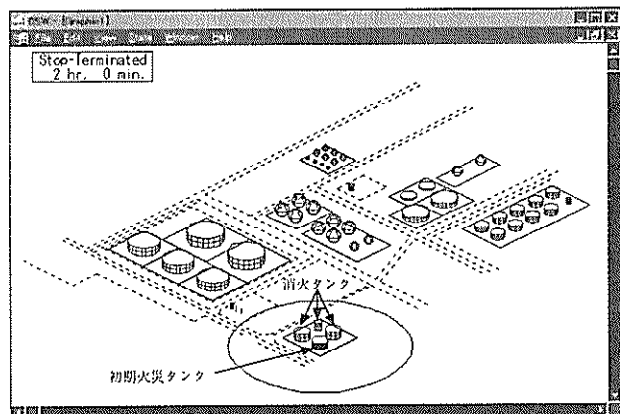
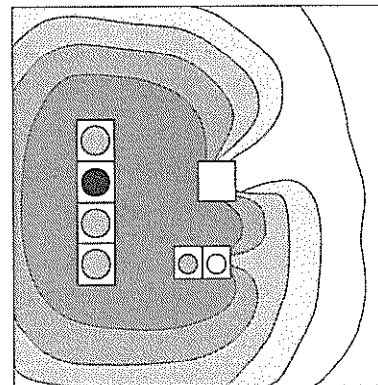


図2 消火を施した場合120分後のタンク崩壊状況



(b) 初期火災発生後42分後

図3 熱影響分布(西風2.0m/sの場合)

風速・風向の影響によりふく射熱が増大する効果を考慮していない問題点がある。

このようなふく射熱解析問題に対し、近年、コンピュータの発達に伴ってモンテカルロ法が使用され有力な手段となっている。すなわち、ふく射熱量を分割し独立した放射光子とみなし、光子の挙動を乱数を用いて多数回解析し、その蓄積された結果よりふく射熱量を得る⁴⁾。モンテカルロ法の利点は、タンク火災の形状や、介在物となるタンクや建屋の形状などの幾何条件の下で問題を忠実に解くことが可能となる点にある。これにより、風向・風速により火災形状が傾く場合や、ふく射受熱を遮断するタンク群や建屋等の影響も考慮することが可能となる。

例として、図3に示す模擬プラントにおいて、球型プロピレンタンクから初期火災が発生した場合の解析結果を示す⁵⁾。なお、図3は西風2.0m/sの条件において、地表での熱影響範囲を二次元表示したものである。時間経過に伴い、初期火災タンクの隣接タンクへの延焼に進展し、熱影響範囲(2000kcal/m²hr = 1分間暴露により人体に痛みを与える熱量、10000kcal/m²hr = 木材繊維が発火する熱量)も拡大する。さらに、本手法により隣接タンクや建屋によりふく射受熱が遮断される効果も把握することが可能となる。容量と配置の異なるタンクから初期火災が発生した場合についても同様に、周囲に及ぼす危険性を経時的かつ定量的に評価可能であることから、本手法は化学プラントの安全性支援に寄与すると考える。

4. おわりに

シミュレーションの利点は、プラントの大きさや、原油等の可燃物を入れたタンクの配置を自由に変化できるため、タンクをプラント内のどの位置に設置すれば安全性が最も向上するかといった評価が可能となることである。また、熱影響範囲を予測することで火災時の避難経路を指示することも可能である。さらに、消火に要する放水量や消火位置など、災害による周囲への被害波及を最小限に食い止める方法が決定できる。災害シミュレーションは災害の拡大を示す目的のみならず、如何にすれば防げるかを考える上でも意義あるものと考えられる。

また、化学プラントの災害として本稿では可燃性液体に着火した際に生ずるタンク火災を取り上げたが、可燃性気体に着火した際に生ずるファイヤーボー

ルや爆発についてふく射熱や爆風圧が周囲に及ぼす影響を評価し得るシミュレーション^{6),7)}の開発も行っている。さらに、火災・爆発の主原因である貯蔵物の漏洩・流出・拡散を連続した事象として扱い、拡散濃度分布を把握するシミュレーション^{8),9)}も構築している。構築した災害シミュレーション法に基づいて災害時の被害(リスク)の大きな事故形態を把握し、リスクを価格(コスト)と結びつけて計算すれば、リスクの低減手法を示唆することも可能となる¹⁰⁾。また、老朽化によるタンクの経年劣化等も考慮することにより、シミュレーションが定期的なメンテナンスにも有効な手段になり得るものと考えられる。

文 献

- 1) 高压ガス保安協会：コンビナート保安・防災技術指針，KHK E 007-1974，(1974)。
- 2) 座古，倉敷：化学プラントの災害シミュレーション，ケミカルエンジニアリング，40，11，(1995)，879-884。
- 3) 座古，松本，倉敷：化学プラントの災害シミュレーション(消火を考慮した場合)，材料，42，483，(1993)，1381-1386。
- 4) 座古，倉敷：災害シミュレーションに基づく化学プラントのリスク評価手法，日本機械学会論文集(A編)，63，615，(1997)，2449-2455。
- 5) 青山：大阪大学卒業論文，(2001)。
- 6) 座古，倉敷：化学プラントの災害シミュレーション(累積被害を考慮した配管に及ぼす連続爆発の影響)，日本機械学会論文集(A編)，62，594，(1996)，583-588。
- 7) T. Kurashiki and M. Zako：Effect of Explosion Pressure on Pipe Collapse in Chemical Plants，ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference，315，(1995)，307-312。
- 8) 倉敷，座古，安武：化学プラントの災害シミュレーション(貯蔵物の流出・蒸発・拡散を考慮した場合)，材料，50，1，(2001)，40-46。
- 9) 倉敷，座古：貯蔵物の流出・拡散を考慮した化学プラントの安全性評価手法，第4回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム論文集，(2000)，541-544。
- 10) T. Kurashiki and M. Zako：Risk Analysis of Chemical Plants based on Disaster Simulation，Strutural Safety and Reliability，7，1，(1998)，249-254。