

東日本大震災レポート

第 12 報 (石油コンビナートの地震火災について)

奥山 憲昭 Noriaki Okuyama

リスクエンジニアリング事業本部

リスクエンジニアリング部 シニアコンサルタント

玉田 真也 Shinya Tamada

リスクエンジニアリング事業本部

リスクエンジニアリング部 主任コンサルタント

はじめに

3月11日に発生した東日本大震災では、宮城県で震度7の非常に大きな揺れを観測し、関東地方でも震度5強の大きな揺れを観測するなど、広範囲にわたって地震被害を受けました。とくに、今回の震災の特徴として、東北地方を中心に広い範囲で津波被害も発生しました。また、海岸に面した石油コンビナートでは、地震による揺れや津波により、LPGタンクの炎上や石油精製施設で火災が発生し、石油コンビナートにおける地震火災の影響の大きさが報道などで大きく取り上げられました。

このような状況を踏まえ、総務省消防庁に「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討会」が発足（第1回 5月17日開催）し、石油コンビナート施設を含む危険物施設などの地震・津波対策の検討が開始されました。また、総務省消防庁消防大学校消防研究センターでは、石油コンビナートの被害状況の調査を実施し、その速報（4月26日）を公表しています。

そこで、第12報では、東日本大震災で発生した石油コンビナートの地震火災に着眼し、被災状況の報告および消防研究センターの調査結果を紹介するとともに、石油コンビナートにおける地震火災事例および地震火災の特徴についてとりまとめました。



(写真提供:よみうり報知写真館)

1. 東日本大震災による石油コンビナートの被害状況

1.1. 石油コンビナート地震火災の概要

A 社製油所の LPG 火災

千葉県にある A 社製油所の LPG 施設で、高圧ガス球形タンクの座屈落下により、タンク周辺下部のガス配管が損傷し、漏洩したガスが爆発炎上しました。この火災で、石油コンビナート各社で構成する共同防災組織の高所放水車、東京消防庁の消防艇が出動して消防活動を行う一方、周辺住民千人以上が一時避難を行いました。この火災により、17基あった LPG 球形タンクのうち15基が焼損しましたが、製油装置への延焼拡大は阻止で

きました。また、ガス火災であったため燃え尽きるまで消火できず、鎮火まで10日間を要しました。同製油所によると、施設の耐震性については「問題はなかった」とし、近隣住民への影響については「爆発で破片などが飛んできてガラスが割れた」「火災の煙などで車が汚れた」などの苦情が寄せられたとのこと。

現在、社外有識者を含めた事故調査委員会や、国・県・市の監督官庁による事故調査が行われています。また、経済産業省原子力安全・保安院によると、事故原因は現在調査中としながらも、定期点検で LPG よりも比重の大きな水を満たしていたため、通常の運転状況よりも大きな荷重が加わったことが一因だと報告し、同様の事故が発生しないよう耐震設計構造物の保安確保に関する要請を発しています¹。

B 社製油所の火災

宮城県にある B 社製油所では、地震による直接の被害、津波による冠水で事業所全体に被害が発生したほか、陸上出荷施設の一部から火災が発生しました。火災場所は出荷設備に集中し、周辺の製品タンクなどに被害は及びませんでした。なお、津波による避難勧告を受け、所員が避難した後に出火したため、火災による負傷者はありませんでした。

表 1 A 社精油所における地震火災の概要

発生日時	2011年3月11日(金曜日)15時47分頃		
発生場所	LPGタンク付近		
経緯	3月11日(金)	14時46分頃	地震発生
		15時00分	総合災害対策本部を設置
		15時35分	LPGタンク付近で漏洩を確認
		15時37分頃	I市消防局へ通報
		15時47分頃	LPGタンク付近で火災を確認、全装置停止
		16時04分頃	LPGタンク消火活動開始
		以降、I市消防局指示の下、消火活動を実施	
	3月21日(月)	10時10分	鎮火確認
負傷者	6名		

出典:A社ホームページ ニュースリリース

表 2 B 社精油所における地震火災の概要

3月11日	14:46	地震発生、全装置緊急運転停止
	15:00頃	大津波警報発令、所員は2階および屋上へ避難
	15:45	津波により冠水
	20:00頃	爆発音発生、火災を確認したため所員は所外へ避難
3月12日	23:25	精油所西地区のLPGタンク付近の火災発生
	9:30	LPGタンク付近ではなく陸上出荷設備の火災
3月13日	11:20頃	半径2km以内の住民へ避難指示(当社より町長へ依頼)
	当局と共に今後の対策を検討	
3月13日	13:00~	町長の要請により、所轄消防と当社社員が自衛隊ヘリにて状況確認
	21:00	対策として、出火場所へ配管でつながっている別エリア(東地区)のタンク元弁を閉鎖することを決定
3月14日	11:30頃	当社社員がタンク元弁の閉鎖作業完了
3月15日	11:00頃	消火活動開始
	14:30	鎮火

出典:B社ホームページ ニュースリリース

¹ 経済産業省原子力安全・保安院「耐震設計構造物の保安の確保について(要請) 2011年5月26日」
<http://www.nisa.meti.go.jp/oshirase/2011/files/230526-1-1.pdf>

1.2. 消防研究センターによる「石油コンビナート被害状況」の報告

総務省消防庁消防大学校消防研究センター（以下、消防研究センター）が石油コンビナートを有する各地（9市10地区）の消防本部と連携して、石油コンビナート被害の実態調査を行っています。その調査結果が速報として4月26日に消防研究センターのホームページに公表されました²。

当調査の結果によると、被害の状況は図1のとおり、津波被害、短周期地震動による被害、長期地震動（スロッシング）による被害の3つに大別されます。津波や地震動および地震動に伴う液状化などによる損害が数多く発生していますが、ここでは、地震火災に関する情報に着眼し、次のとおり整理しました。

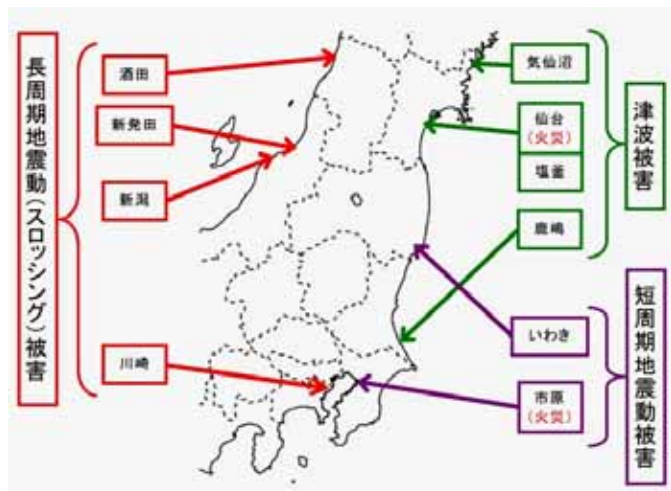


図1 石油コンビナートの被害状況

出典：消防研究センター ホームページ

表3 石油コンビナートの主な施設における火災と出火原因

損害部位	被害原因			
	津波	地震動	液状化	不明
屋外貯蔵タンク 【本体】	転倒・消失 漏洩	スロッシングによる浮屋根タンクのポンプ内部への滞油、デッキ上への漏洩	沈下は発生しているが漏洩・火災はなし	他施設からの火災により延焼し焼損
高圧ガスタンク 【本体】	-	-	-	爆発（ガスタンクの破片が飛散）

※消防研究センターホームページの写真より当社が整理

東日本大震災により、東日本に所在する石油コンビナートでは、主な施設として屋外貯蔵タンク（ガソリン）および高圧ガスタンクの焼損が発生しています。いずれも火災原因はまだ公表されていません。東日本大震災では屋外貯蔵タンクのスロッシング（タンク内の液面揺動）被害も発生していますが、2003年の十勝沖地震のようにスロッシングに起因する火災の報告はありません。

² 総務省消防庁消防大学校消防研究センター「東日本大震災による危険物施設等の被害状況に係る緊急調査の結果について」
http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/index.cgi?ac1=JNN2&ac2=&ac3=740&Page=hpd_view

2. 石油コンビナートにおける過去の地震火災の事例

石油コンビナートの地震による主な被害事例は以下に示すとおりです。とくに、このたびの東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）のように地震の発生に伴う火災事例は、新潟沖地震、日本海中部地震、十勝沖地震で発生しています。

石油コンビナートにおける主な地震被害

事故発生日	地震	事故概要
1964年6月	新潟沖地震（M7.5）	製油所石油タンクなどの火災（下記に詳細）
1978年6月	宮城沖地震（M7.4）	製油所からの重油などの漏洩 68,160kL
1983年5月	日本海中部地震（M7.7）	火力発電所原油タンクの火災
1995年1月	兵庫県南部地震（M7.2）	屋外タンクの側壁座屈など
2003年9月	十勝沖地震（M8.0）	製油所の原油タンクリング火災およびナフサタンク全面火災（下記に詳細）
2011年3月	東北地方太平洋沖地震（M9.0）	製油所 LPG タンク火災、津波による陸上出荷施設火災など

新潟地震による石油タンク火災

事故発生日	1964年6月16日
事故発生場所	新潟県新潟市
概要	新潟県粟島沖を震源とする新潟地震（M7.5）の発生により、新潟市内は震度6の地震に見舞われた。製油所の原油タンク5基が2週間近くにわたって燃え続け、近隣の民家286棟が全焼する大災害となった。この火災によって、1,200m ³ LPG球形タンク2基が火災に包まれ、タンクを支える支柱1本が開口、座屈した。また、横置タンク、タンク車を始めとした製油所全施設が被災した。
出火原因	地震により原油が揺動するスロッシング現象によってタンク内の浮屋根が側面に衝突し、火花によって着火したものである。火花が発生したのは浮屋根と側壁とのシール機構が金属製であったため、現在は合成ゴムやウレタンフォームなどに交換されている。

2003年十勝沖地震による石油タンク火災

事故発生日	2003年9月26日
事故発生場所	北海道苫小牧市
概要	北海道沖を震源とする2003年十勝沖地震（M8.0）の発生により、震度6弱の地震に襲われた製油所で、浮屋根式の33,000kLの原油タンクおよび付属配管で火災が発生し、約7時間後に鎮火した。その2日後、地震で損傷を受けた浮屋根式33,000kLのナフサの貯蔵タンクで火災が発生した。この火災では浮屋根が沈み、ナフサが浮屋根上全面に滞留していたところに引火したものである。消火までに44時間を要し、泡消火薬剤が不足したため、日本全国から集められた。
出火原因	地震直後の火災は、①長周期地震動の周期と原油タンクの固有周期が一致し、原油タンクの内容物が共振するスロッシングで原油が3~4メートル揺動し、浮屋根の上に溢れ出した。②浮屋根と側壁の接触により発生した火花により原油が引火して発生し、リング火災となった。2日後の火災は、破損した浮屋根が油中に没して露出したナフサが静電気火花で着火し、全面火災となったものである。 同地区には同製油所以外にも多数の浮屋根式タンクがある。いわゆる新法タンクでは、浮屋根上へのわずかな漏れ以外の被害はでていない。漏れの大きい被害のあったタンクは全て旧法タンク（昭和52年に改正された技術基準の適用を猶予されていた特定タンク）であることも指摘されている。

3. 石油コンビナートにおける地震火災の特徴

大規模地震の襲来によって発生する火災では、通常の火災と異なり、多くの特異要素が考えられます。ここでは、石油コンビナートで発生する地震火災の特徴や危険性、留意事項を考察しました。

3.1. 同時多発

地震火災は、他の災害と異なり、同時に複数の箇所から発生するおそれがあることです。通常時の火災は、同一構内の複数箇所から同時に火災が発生する危険性はまずありません。

しかし、大規模地震の場合、同一構内で多くの建物や設備が同時に被災するため、複数の箇所から同時に出火する危険性が考えられます。

この同時多発リスクが地震火災の最大の特徴と考えます。

3.2. 各種危険物・可燃性ガスが併存

石油コンビナートの特徴の一つとして、同一構内あるいは隣接構内に多種多様の危険物、高圧ガス、可燃性ガスが多量に存在することが挙げられます。このため、地震の衝撃や震動によって、いずれかから危険物やガスが漏洩・流出すると、余震による衝撃火花や電気スパークなどによって引火・爆発する危険性があります。また、隣接する危険物タンクでは、別なタンク火災の輻射熱によって延焼拡大する危険性も潜在しています。構内で危険物の流出事故が発生している場合、発生した火災が危険物に延焼して広範囲に拡大する危険性もあります。

なお、東日本大震災では、千葉県のLPGタンク火災が隣接する石油化学会社の製造プラントに延焼しています。

3.3. 公設消防に頼れない

日本では公設消防力が強力であり、とくに石油コンビナートを抱える消防署には化学消防車を含めた強力な消防ポンプ車や耐火服を装備した消防隊員を多数常駐させています。また、コンビナート近隣に所在していることが多いため、迅速に駆け付け、消火を行うことが可能になっています。

ところが、大規模震災で火災が多くの場所から発生すると、公設消防は通報の早かった箇所や市街地の消火を優先するため、石油コンビナートに駆け付けることは、ほとんど期待できません。頼りになるのは、自衛消防あるいは相互協定による応援消防となります。

なお、東日本大震災で発生した千葉県のコンビナート火災は、震源から遠い地域で発生したため市街地で火災が発生せず、公設消防は早い時期から消火・延焼防止活動を行うことができました。

3.4. 長時間停電

大規模地震が発生すると、公共電力が停電となり、石油コンビナートへの送電も停止することが予想されます。停電中に火災が発生すると、モーターを動力源とする消火設備の運用に支障が生じることになります。重要な設備には非常用発電機を備えていることが多いですが、地震による停電は長時間継続することが多いため、消火や散水冷却の途中で発電機の燃料がなくなり、電気の供給が途絶える危険性があります。通常時であればタンクローリーなどによって発電機に燃料を補給し、発電を継続することは可能ですが、大規模地震ではタンクローリーによる給油は期待できません。

3.5. 消火薬剤の不足

危険物火災に対応する泡消火設備は石油コンビナートにおける消火設備の代表ですが、設備の設計にあたってはとくに地震を想定していません。したがって、泡消火薬剤の貯蔵量は 15 分から 30 分間の泡放出ができるように準備しているだけです。このため、30 分以上の消火を行うと、泡原液が不足し、泡消火が継続できなくなる危険があります。化学消防車には泡原液の補充が容易ですが、差圧調合方式（プレッシャープロポーションナー）の場合の泡原液貯槽に追加補充することは容易ではありません。ただし、大型の泡消火設備に使用されるポンプ調合方式（プレッシャーサイドプロポーションナー）の泡原液タンクは消火活動中でも原液の補充が容易です。

3.6. 泡調合器の能力不足

泡消火設備を有効に機能させるには、適切な泡水溶液を混合させることが重要となります。この役目を担うのが泡調合器です。泡調合器には適正流量範囲が設定されており、流量範囲を逸脱すると適正な泡水溶液を製造することができなくなります。この結果、発泡した泡の強度が不足して燃焼液面を覆うことができず、消火に失敗する要因となります。

流量範囲が逸脱する最大の要因は、火災の同時多発により、2つ以上のタンクの泡消火設備を同時に作動させることです。同時に2つ以上を消火できない設備内容を理解して、適切な消火活動を行うことが不可欠です。

3.7. ガス火災の消火困難性

可燃性ガスが地震で漏洩すると、衝撃火花や電気スパークなどで簡単に火災が発生します。地震時以外では、ガス火災が発生した場合、ガスの供給を遮断できる元バルブを閉鎖して、自然鎮火を待つて処置することが可能です。ところが、地震時では元バルブの閉鎖ができなかったり、途中の配管が折損するなどガスが噴出を止められないケースがあります。ガスの噴出を止められないと消火できません。すなわち、炎を消すと未燃ガスが流出することになり、爆発危険が高まるからです。

なお、東日本大震災で発生した千葉県の LPG 火災は燃え尽きるまで 10 日間を要しました。

3.8. BLEVE の危険性

LPG のように、液化した可燃性ガスを貯蔵するタンクで火災が発生すると、大規模な BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) を引き起こす危険性があります。

液化ガスを収容したタンクが外部から火災の高熱にさらされると、液体が沸騰状態になり内圧が上昇します。安全弁が作動して、ガスを放出して内圧の上昇を防止しますが、放出にともなって液面が低下すると、火炎にさらされた部分のタンク強度が低下して、裂け目が生じます。裂け目が生じた瞬間、タンク内部で高温・高圧の沸騰状態にあった液化ガスが常温、大気圧に急減圧されるため、急激に気化して空気（酸素）と混合して爆発範囲に達すると、火の玉状の爆発が発生します。この爆発では、火の玉（ファイアー



図 2 BLEVE のイメージ

ボール) から放散される爆風および放射熱によって周辺に多大な被害を及ぼします。

今回の東日本大震災では、千葉県石油コンビナートの LPG タンク火災で、BLEVE により発生したと想定されるファイアーボールが見られる記録映像がありました。

3.9. BLEVE による被害想定

爆発は一旦、発生すると大規模な損害をもたらします。このため、大規模爆発の危険がある事業所では、最悪の損害範囲や影響を事前に評価しておく（リスクアセスメント）ことが重要です。

そこで、大規模な液化石油ガスタンクで爆発が発生した際の、損傷範囲の評価例を図 3 に示します。図 3 の例では、液化プロパン 100 キロリットルが爆発に関与した場合（500 キロリットルの場合）、ファイアーボールの直径は 218 メートル（同 369 メートル）と見積もります。なお、1966 年にフランスのフェザンで発生したプロパンガス球形タンクの BLEVE による爆発では、344 キロリットル（液化プロパン 200 t）で、ファイアーボールの直径が 300~400 メートルであったと報告されています³。

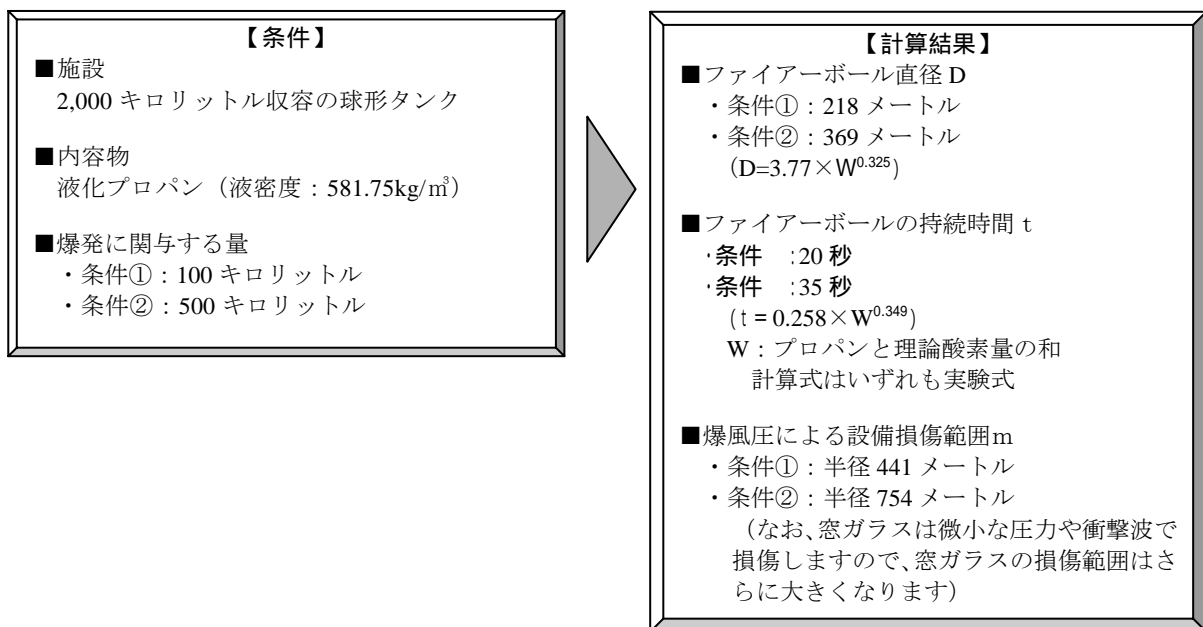


図 3 BLEVE による被害想定（損傷範囲の評価例）

3.10. 石油コンビナートの優位点

今までは、石油コンビナートの地震火災の危険面を述べてきましたが、逆の優位事項もありますので、以下にそれらを記述します。

1. 海岸に立地しているため、陸上からの消火活動だけでなく、海上からの消火活動が期待できる。
2. 消火・冷却水源に無限の海水が利用できる。
3. 近隣の応援協定により、強力な自衛消防力が発揮できる。
4. 自衛消防隊の訓練が定期的に行われており、消防機材の扱いに慣れている。
5. 民家とは十分な距離を有しており、民家に大きな損害を及ぼす危険が少ない。

³ BLEVE (2008) Fire & Emergency Services Authority of Western Australia

おわりに

現在、「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討会」が行われているなど、このたびの東日本大震災における石油コンビナートの被災状況を踏まえて、今後の対応方法や被害想定の見直しについて議論され始めています。

また、行政や民間企業が石油コンビナートの防災アセスメントを実施する際の被害想定ガイドラインとなる「石油コンビナートの防災アセスメント策定指針（消防庁特殊災害室）」や各種の安全基準は、これまでも災害後に修正が加えられていることから、今後見直しが行われることが予想されますが、各企業においても早期に被害想定や防災対策の見直しを行い、対応を進めることが望まれます。

執筆者紹介

奥山 憲昭 Noriaki Okuyama

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部
シニアコンサルタント
専門は火災全般

玉田 真也 Shinya Tamada

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部
主任コンサルタント
専門は火災、自然災害

NKSJ リスクマネジメントについて

NKSJ リスクマネジメント株式会社は、損保ジャパンと日本興亜損保を中核とする NKSJ グループのリスクコンサルティング会社です。全社的リスクマネジメント（ERM）、事業継続（BCM・BCP）、火災・爆発事故、自然災害、CSR・環境、セキュリティ、製造物責任（PL）、労働災害、医療・介護安全および自動車事故防止などに関するコンサルティング・サービスを提供しています。詳しくは、NKSJ リスクマネジメントのウェブサイト（<http://www.nksj-rm.co.jp/>）をご覧ください。

本レポートに関するお問い合わせ先

NKSJ リスクマネジメント株式会社
リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部
〒160-0023 東京都新宿区西新宿 1-24-1 エステック情報ビル
TEL：03-3349-4321（直通）