

高圧ガス事故概要報告

整理番号 2011-078	事故名称 LPG 球形貯槽の倒壊による火災及び爆発		
事故発生日時 2011-3-11 15 時 15 分頃		事故発生場所 千葉県市原市	
施設名称 LPG 出荷装置及び貯槽設備	機器名 LPG 球形貯槽	主な材料 球殻:高張力鋼(RA60H) ブレース:STK41	概略の寸法 球殻内径:15,700mm 肉厚:34~35mm 設計容量:2000kl 支柱構造:標準型 10 本 ブレース外径:216.3mm 肉厚:5.8mm
内容物 LPG(プロパンまたはブタン)	高圧ガス製造能力 17,423,709Nm ³ /日	常用圧力 0.98MPa	常用温度 35℃
<p>被害状況</p> <p>東北地方太平洋沖地震、及びその約 30 分後に発生した茨城県沖地震により、LPG 球形貯槽が倒壊し、配管が破損し、LPG が漏洩して火災となり、その後、隣接する球形貯槽が破裂、爆発した。被害状況は以下のとおりである(図 1~6、写真 1~8 参照)。</p> <p>①人的被害 負傷者 6 名(重傷者 1 名、軽傷者 5 名)</p> <p>②物的被害</p> <ul style="list-style-type: none"> ・T-3(貯蔵施設地区)LPG タンクヤード内の 3PK ヤードに設置された球形貯槽(17 基)、配管、機器、建屋(計器室、電気室、事務所等)、道路等が損傷又は焼損した。 ・球形貯槽の被害状況は、破裂 4 基、大きく移動 4 基、倒壊又は倒壊寸前 5 基、自立していた状態は 4 基(うち 1 基は傾斜)であった。 ・隣接するアスファルトタンクが損傷した。 ・爆発による飛散物、爆風等の影響により、隣接する 2 事業所の構内で火災が発生した。 <p>③社会的被害</p> <ul style="list-style-type: none"> ・他の近隣事業所、居住地区等において、爆発による飛散物、爆風等の影響により、窓ガラス、シャッター、スレート等の破損、及び保温材等の軽量飛散物による車両の汚損が発生した。 <p>なお、近隣住民約千人に一時避難勧告(約 14 時間)が出された。</p>			
<p>事故概要</p> <p>平成 23 年 3 月 11 日</p> <p>14 時 46 分、東北地方太平洋沖地震(市原市で震度 5 弱、事業所内地震計 114gal)が発生し、全ての出荷を停止した。この地震により、球形貯槽(364 番)の支柱の鋼管ブレースの多くが破断した。</p> <p>14 時 52 分頃 所内災害対策組織を組織し、所内の点検を開始した。また、自家用発電設備発電所(6EG)の停止に伴い、燃料供給ポンプの停止操作を実施した。</p> <p>14 時 57 分頃 隣接事業所への原料供給ポンプの停止操作を実施した。</p> <p>15 時 15 分 茨城県沖地震(市原市で震度 4、加速度 99gal)が発生し、364 番貯槽の支柱が座屈し、364 番貯槽が倒壊し、周辺の複数の配管が破損し、LPG が漏洩した。</p> <p>15 時 16 分頃 倒壊した 364 番貯槽周辺のガス検知器が発報した。</p> <p>15 時 18 分頃 製造装置からの LPG 受入れの切替え先の検討を開始した。</p>			

15時23分頃 払出緊急遮断弁、自動弁の閉止操作を開始した。
15時24分頃 固定措置がなされた緊急遮断弁の固定を外すため、現場に向かったところ、すでにLPGが大量に滞留しており、近づける状況ではなかった。
15時30分頃 製造設備からのLPG受入れの切替え先が見つからない状況であったが、この製造設備の停止要請には至らなかった。
15時35分頃 自衛防災隊がLPG漏洩を確認し、防災センターへ連絡し、共同防災組織に出動要請し、近隣他社へ連絡した。また、3PKヤードの全貯槽に対し散水を指示した。
15時37分頃 消防局へLPG漏洩を通報した。
15時47分頃 漏洩、拡散したLPGに着火し、364番貯槽付近で火災が発生した。このため、災害対策組織が、動力装置以外の全装置の緊急停止を指示した。
15時48分頃 3PKヤードの緊急操作に精一杯であり、散水操作が完了していないことが判明した。この時、計器室は全照明が消灯し、天井パネルが落ちる等危険な状態であり避難指示が出ていたが、従業員が計器室に戻り、15時54分頃に散水作業を完了した。
17時04分 火災の影響により、364番貯槽に隣接する374番貯槽が爆発して、火災が拡大した。その後、周辺の複数の貯槽が爆発し、火災が3PKヤード全域に拡大した。(17時04分～17時50分の間に、合計5回の爆発が確認された。)

3月21日

10時10分 鎮火した。なお、防消火活動は火災発生当初から継続して行なった。

事故原因

(1)364番貯槽のブレースの破断及び貯槽の倒壊

- ①364番貯槽は開放検査が行われ、気密試験検査完了後、内部の空気をパージするため、水が注入され、満水状態であった(比重:水1、LPG約0.5)。このため、内容物の重量は、耐震設計重量の約2倍であった。
- ②通常は、満水状態で保持される期間は数日程度であるが、諸手続、連絡等の遅れにより、地震発生まで12日間、満水状態が継続した。
- ③364番貯槽は、1982年通達*1を満足する耐震性を有していたが、内容物が軽量のLPGではなく、満水状態であったので、東北地方太平洋沖地震で支柱のブレースに過大な地震荷重が作用し、ブレースの交差部が破断した。
- ④その後の茨城県沖地震で、貯槽の支柱に地震荷重が作用して座屈し、364番貯槽の倒壊に至った。
- ⑤地盤については、ボーリング調査後に簡易液状化判定を実施した結果、基礎、杭に及ぼす液状化の影響は殆どないと推定された。

(2)配管の破損及びLPGの漏洩

- ①事故調査報告書*2では、事故後の配管の調査、配管応力解析、LPGの漏洩拡散シミュレーション及び火災の状況の結果を総合して、LPGの漏洩の原因となった配管の破損箇所として、3箇所(図4、図5におけるNo.6、No.7、No.11)を抽出し、破損の可能性と破損による漏洩、火災のシナリオを検討している。事故調査報告書のシナリオを図6に示す。
- ②事故調査報告書が取り纏められた後、配管の破損箇所の詳細調査が実施された。その結果、3箇所(No.6、No.7、No.11)の破面は、シャーリップ(せん断縁)のみで形成される完全な延性破壊の様相を示し、極低サイクル疲労、脆性破壊などの部分破断又は割れの様相はないことが判明した。すなわち、3箇所ともに、瞬時に塑性崩壊で部分破断または完全破断したと考えられる。
- ③上記の結果から、364番貯槽のブレース破断後の地震荷重または364番貯槽の倒

壊により、364 番貯槽と 363 番貯槽の接続配管系のどこか(複数もある)が部分破断(割れ)又は完全破断したと推定される。漏洩箇所と漏洩時期が特定できなくとも、LPG が大量漏洩したという結論は変わらない。

- ④上記の 3 箇所の破断は、364 番貯槽のブレース破断後の地震荷重、364 番貯槽の倒壊による変形だけではなく、火災発生後の貯槽の爆発による 363 番貯槽移動(約 33m)の影響を受けており、その識別は困難である。
- ⑤364 番貯槽と 363 番貯槽の接続配管系には、可とう性が低いクロスティー(T字型に直交する配管同士の接続継手)が用いられていた。クロスティーの設置が、配管系の損傷の一因となった可能性がある。
- ⑥364 番貯槽と 363 番貯槽の接続配管の緊急遮断弁は、開状態で固定されていた。理由は、地震発生時の約 1ヶ月前、緊急遮断弁を開閉するための空気を供給する計装空気配管で微量の漏洩が確認されたので、補修を行うまでの間、空気圧力が低下した場合に緊急遮断弁が閉止することを避けるためであった。
- ⑦緊急時は、現場で開状態の固定を解除する運用としていたが、当日は大量の LPG 漏洩により、現場に近づいて解除することができず、結果的に緊急遮断弁はその機能を発揮できなかった。なお、配管の破断順序の識別が困難なことから、この遮断弁の不作動のみを、事故の主因とすることはできない。

(3)着火源及び爆発、延焼

- ①着火源は、調査を行ったが特定はできなかった。
- ②周囲の貯槽に対して、散水による冷却を継続していたが、364 番貯槽付近で発生した火災の勢いが強くなり(プール火炎→ジェット火炎)、隣接する貯槽への散水が蒸発することにより、表面温度が上昇して強度が低下し、内圧に耐えられず貯槽が破裂し、延焼したと推定される。
- ③ジェット火炎に変化した要因は、配管からの漏洩の継続、火炎の熱影響により液体ブタンの蒸発が促進されたことが推定される。
- ④一部の散水管が破損していたことが事故後に確認されたが、破損の時期は不明である。いずれかの段階から、破損により散水量が低下し、冷却効果が低くなった可能性がある。
- ⑤最初に爆発した 374 番貯槽について、熱影響、温度上昇について検討した結果、散水がなされていない場合は、出火後約 7 分後には、貯槽の表面温度が上昇し、強度低下により破裂が生じる結果となった。実際には火災が継続していることから、散水はある程度なされていたと推定される。
- ⑥消火用海水ポンプは、必要な海水量を確保するためのシーケンスが組み込まれ、それに応じたポンプ台数が、火災発生時に正常に稼働した。その後、追加起動の指示が出されたが、稼働ポンプの負荷に十分な余裕があったこともあり、他の緊急対応を優先したため追加起動が遅れ、一回目の爆発以降に起動することとなり、対応が遅れた。

(4)その他の特記事項(安全管理体制等)

- ①364 番貯槽を満水にすることは、開放検査のための一時的な措置であった。その間に地震が発生した場合における、潜在リスクに係る認識が不十分であった。
- ②緊急遮断弁を開状態で固定するなどの運転措置、及び貯槽への水張りなどの作業工程について、法令と潜在リスクの確認が不十分であった。
- ③ガス検知器発報直後、製造設備からの LPG 受入れの切替え先が検討されたが、漏洩箇所が特定されていなかったため、製造設備の停止要請には至らなかった。また、オフサイト設備の異常時における、オンサイト設備の停止を即座に実施できる体制ではなかった。

- ④以前の組織統合時に、変更管理が不十分であったため、無人となった計器室又はその近くの現場ヤードに、ガス検知器の警報発生位置を示す外部パネル、外部警報装置、緊急操作スイッチ等を残していたため、緊急時対応が遅れた。
- ⑤自部署で対応できる訓練は実施していたが、大規模漏洩を想定した複数の部署間が連携する訓練は実施していなかった。また、マニュアルには、現場に近付けない程の大規模漏洩時の対応手順に関する記述がなかった。
- ⑥常駐計器室は、地震により全照明が消灯し、天井パネル及び天井照明が脱落した状態となり、係員が避難せざるを得ない状態となったため、その後の対応に影響が出た。なお、実際には、一部の係員が、緊急操作を継続した。

再発防止対策

(1)設備面

- ①今後、貯槽の水張り作業時における満水状態の期間をできるだけ短くし、満水状態におけるリスク低減を図る。
- ②満水状態にする時は、万が一貯槽が倒壊しても貯槽付近の配管、設備等が破損し、LPGの漏洩が発生しないよう、配管、設備等の保護、縁切り、切り離し等を行うことにより、安全対策を強化する。
- ③既存の貯槽について、満水状態を考慮し、耐震設計に関して再評価を実施し、問題がある場合は補強等の対策を実施する。
- ④貯槽を新設する場合は、現行法を満足するとともに、耐震性能に優れたブレースの採用等を実施する。
- ⑤新規に貯槽周りの配管設計を行う際には、単純化し、適切な可とう性を持つ配管構造を検討する。
- ⑥緊急遮断弁の開状態での固定措置を禁止する。
- ⑦常駐の計器室の耐震強度を高め、また無人の計器室等にあった警報発生位置を示す外部パネル、外部警報装置等を常駐計器室に設置し、緊急時対応を強化する。
- ⑧大規模火災時には、発災場所に近づくことが困難であり、通常の自衛消防車では放水の到達距離が不足したことから、三次元火災に対応した防消火設備(多機能型消火砲等)を発災後に導入した。

(2)管理面

- ①緊急異常時の対応能力向上を目指し、大規模災害を想定した訓練をこれまで以上に実施し、緊急時対応の意識向上を図るとともに、訓練時は部署間の連携を再点検し、マニュアルをより実効度の高いものに改善する。
- ②プロセス危険予知活動を活性化させ、リスク想定能力の向上を図り、事業所内において継続した技術の伝承を行う。
- ③安全装置に関するチェックリストを用いて作業点検、相互確認を実施し、法令、社内安全基準の理解を深めるとともに、その背景にある潜在リスクを正しく認識できるよう、社内教育を実施する。
- ④再発防止に関する活動の進捗状況を、事業所自らがチェックすると共に、本社及び他事業所による監査を実施して確実に実行する体制とする。また、再発防止策を実行する際に抽出された改善点は他事業所への展開を行い、全社で安全レベルの向上を図る。
- ⑤オフサイト設備の異常時には、担当課の判断で緊急停止措置ができることを明確化して所内に周知徹底し、訓練を実施する。
- ⑥緊急操作スイッチを常駐計器室で操作できるようにするなど、緊急操作に係るシステムを再検討する。

(3)災害対応として機能した事例

- ①震災後、回線が混雑していたため、事業所内で携帯電話が使用できない状況であったため、所内連絡において無線機が役立った。
- ②火災時には、以前から委託契約を締結していた会社により、海上からの冷却散水が実施された。陸上での消火活動との連携が円滑に実施され、火災の拡大防止の一助となった。
- ③大規模災害であったが、日頃の訓練の成果により、避難誘導を行うことができた。

教訓

- ①事故後の検討の結果、鋼管ブレースの交差部(溶接部)については、これまで考慮されていなかった応力を生ずることが明らかにされた。補強も視野に入れた、鋼管ブレース構造の耐震性向上の検討が重要である。
- ②事故の発端は、貯槽の満水状態時に、大きな地震が短時間に2回発生したことであり、極めて稀な状況であった。しかし、満水状態時に大地震が発生した場合におけるリスク、対処方法等については、事前に十分検討しておくべきであった。
- ③貯槽間の接続配管系は、複雑かつ可とう性が低い状況であった。配管系については、可とう性の向上及び単純化が重要である。
- ④緊急遮断弁は、保安上極めて重要な設備である。有事の際に確実に作動する状態としておかなければならない。さらに、緊急時に操作する場合の判断基準、運用基準などの整備、共用も必要である。
- ⑤事業所では、これほどの大規模火災を想定していなかったが、大規模火災が発生した場合の火災拡大防止方法を改めて検証し、同様な事故に備えることが重要である。

備考

- *1 既存高圧ガス設備の耐震性向上対策について(球形貯槽・横置円筒形貯槽)
昭和57年4月1日付 57立局180号
- *2 千葉製油所液化石油ガス出荷装置及び貯槽設備 火災・爆発事故調査報告書、
2011年8月2日

関係図面



図1 事業所レイアウト

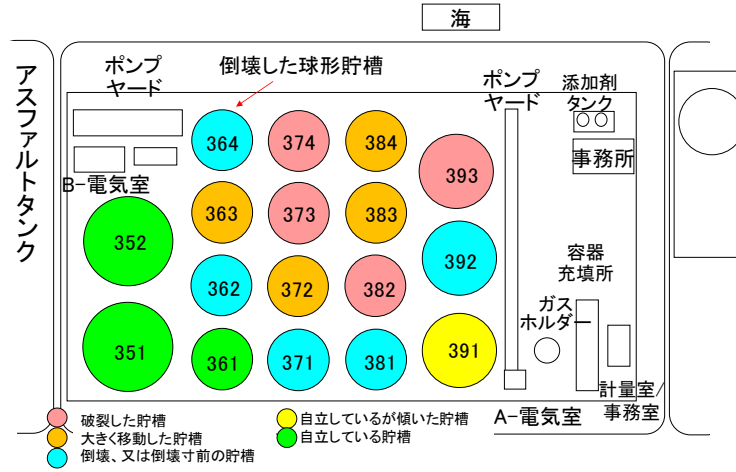
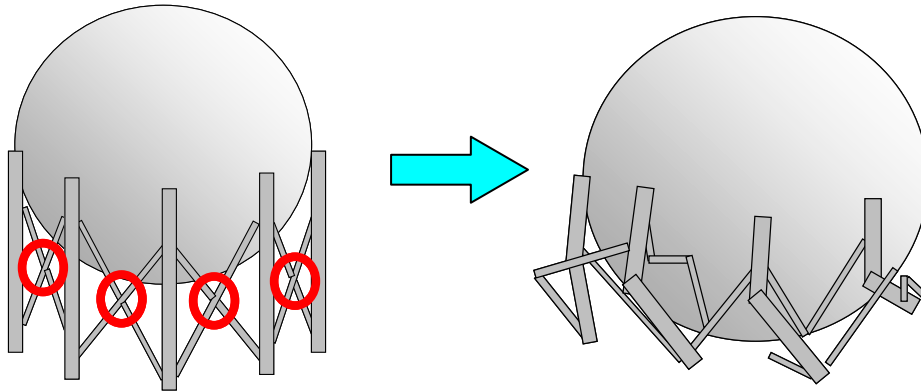


図2 3PK ヤードレイアウト



14:46 の東北地方太平洋沖地震で
複数のブレース(交差部)が損傷

15:15 の茨城県沖地震後に倒壊

図3 貯槽の倒壊イメージ

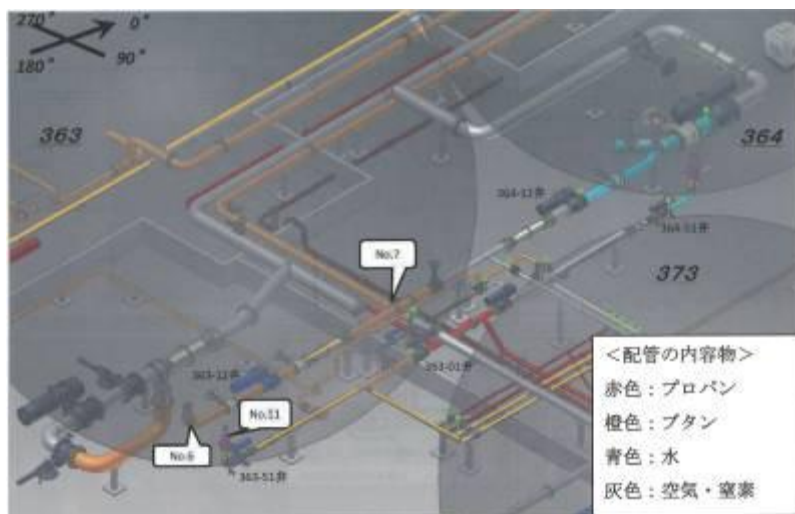


図4 363番貯槽、364番貯槽廻りの配管図

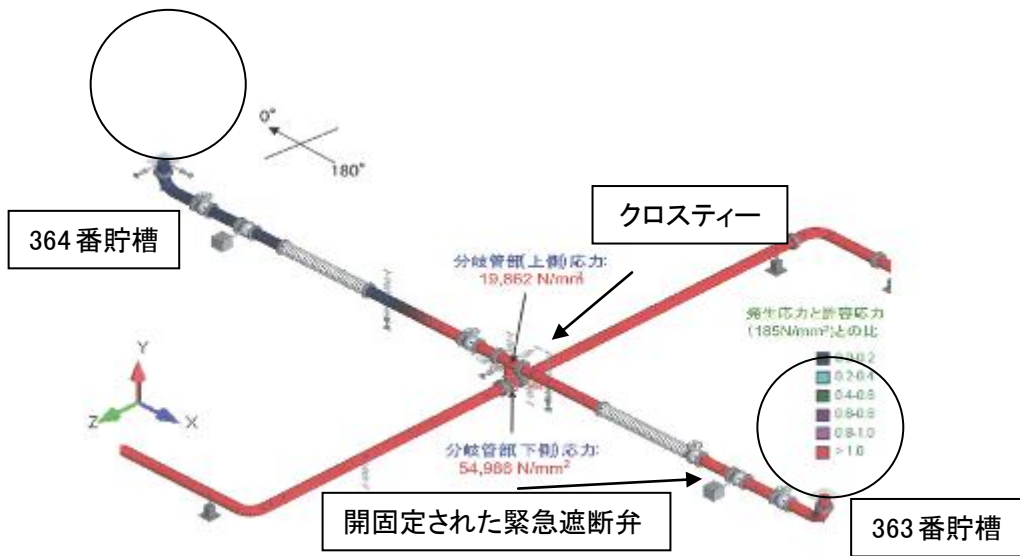


図 5 破断箇所 No.7 の応力解析結果

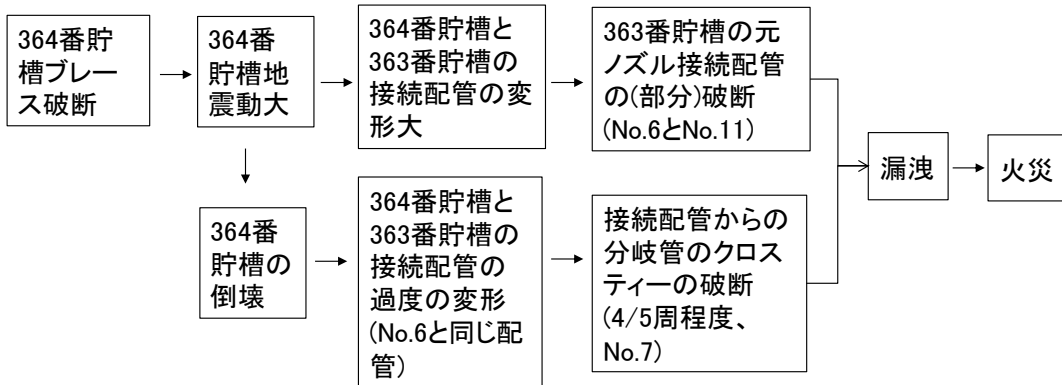


図 6 配管の破損による漏洩、火災のシナリオ(報告書*1)



写真 1 倒壊した球形貯槽(事故後撮影)



写真2 所内モニタにて撮影された火災の状況



写真3 事故の経過



写真4 貯槽破裂後に飛散した破片



写真5 隣接するアスファルトタンクの損傷状況



写真6 クロステー



写真7 破断したブレース
(交差部全体)



写真8 破断したブレース(溶接部)