

## フランス フェザンの LPG タンク爆発火災 【1966年1月4日、フランス フェザン】

小林光夫（東京大学大学院 新領域創成科学研究科）  
田村昌三（東京大学大学院 新領域創成科学研究科）

この事故は小さなヒューマンエラーが巨大な災害をもたらしたものであり、その内容は LPG（液化石油ガス）の持つ危険性がよくあらわれ、大型のタンクの立地について考えさせられる事故でもある。また、BLEVE という現象が明らかになった最初の事故でもある。

1966年1月4日早朝 フランス南部リヨンの郊外の町フェザンにあるフランス国立石油会社 ウニオン・ド・ゼネラル・ド・ペトロール社のフェザン製油所で大規模な LPG の爆発・火災事故が発生した。要求された作業のため3人の作業員が、1200m<sup>3</sup>のプロパン球形タンク底部の直列に設置された2インチバルブ2ヶを開けた。何らかの原因でバルブが閉まらなくなり、LPG が流出した。流出した LPG は、空気より重いので地面に沿って拡散し、蒸気雲を作りながら、

60m 離れた高速道路やそれに並行する県道に拡散していった。高速道路の交通は遮断されたが、県道は交通遮断されておらず、通りかかった乗用車により流出した LPG が引火し、爆発した。火は最初に漏洩したタンクに到達し、タンク火災からタンク蒸気相部分の爆発破壊（BLEVE と言われる）が起こり、同じタンクヤードの5基のLPGタンクが延焼し、隣接する原油などのタンクの多くが被害を受けた。この事故の被害は死者18名（最大81名説もある。）負傷者数十名（最大130名説）損害額は事故当時で約18百万ドル（1990年換算 約70百万ドル）と言われている。



事故発生地（フランス南部 リヨン郊外 フェザン）

石油系の燃料で LPG が最も危険であるが、その LPG の特性が特徴的に表れた事故であ

る。LPG の危険性とは a)蒸気比重が空気より大きいため、漏れたガスが地上を這って遠くまで拡がること（蒸気雲の発生） b)平衡蒸気圧の関係から、圧力が下がると非常に低温になること、c)貯蔵タンクの火災時に BLEVE とされる特殊な形態の爆発・破壊を起こすこと等である。LPG のガスは無色・無臭であるため、当事故の場合該当しないが、漏洩に気が付かずに爆発事故を起こすことがある。工場に限らず、一般消費においても同じであり、レジャー施設“ねむの郷”のバーベキュー食堂で起こった惨事はそれにあたる。

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion の略で、ブリーブまたはブレイブと読み、液体の急激な相変化（気化）に伴う爆発現象を言う。加圧容器に貯蔵されている液体物質は、その時の気液平衡状態にあるが、火災により容器が熱せられると、容器内の液体はその物質の大気圧下での沸点より十分高い温度まで加熱され、圧力も高くなる。この状態で容器が破損すると容器内の圧力が瞬時に大気圧まで下がる。この時容器内の平衡状態が破られ、液体は突沸し気体になるという爆発現象をおこす。これを BLEVE という。

図 1 に LPG タンクでの BLEVE 現象を示す。最初に何らかの原因により球形タンク下で火災が起こる。するとタンク内の LPG が加熱されてタンク内圧が上昇をする。内圧がリリーフ弁（安全弁）の設定圧より高くなると、LPG 蒸気が大気に放出され、この蒸気が引火する。球形タンクの液面より高い部分の壁面は強く加熱され、強度が落ち、最終的には内圧により破裂する。破裂により、タンク内部の圧力も大気圧まで瞬時に低下し、BLEVE 現象が起こる。ここで発生した大量の蒸気が巨大な火の玉（ファイアボール）になる。

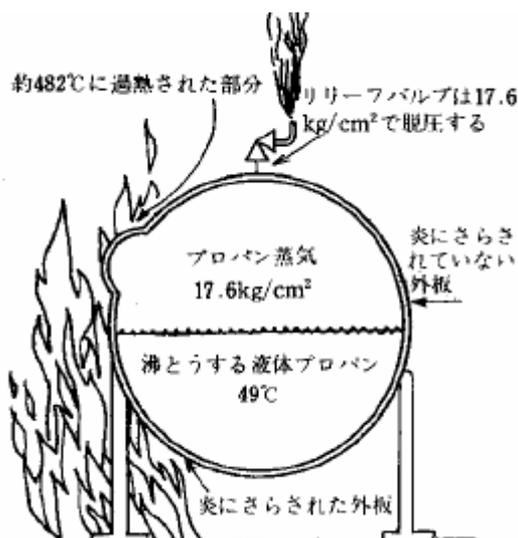


図 1 BLEVE 説明図

### 1. 事象

1966 年 1 月 4 日、フランス南部リヨン市郊外のフェザン製油所で 1200kl のプロパンを貯蔵する LPG 球形タンクで作業中バルブが閉まらなくなり、LPG の漏洩から火災・爆発事故が発生した。発災したタンクは 8 基の球形タンク( 1200kl 4 基のプロパンタンクと 2000kl 4 基のブタンタンク )がおかれたタンクヤードにあった。LPG タンクヤードに隣接して、ジェット燃料（灯油留分）の 400kl クラスの常圧タンク 4 基のタンクヤードがあった。

LPG タンクの下部に貯まった遊離水を排出するため、作業員 3 人が作業に向かった。15

分程で作業を終えてバルブを閉めようとしたが、バルブは完全には閉まらなかった。バルブは2ヶ直列で配置され、上流のバルブが閉まらなかった。3人は下流側のバルブを閉めずに（あるいは閉められなかったのかも知れないが）現場を離れた。計器室でアラーム（ガス検知器と推定）が鳴り、フェザン全地区に警報を発した。一方、流出したLPGは蒸気雲を形成しながら、タンクから60m離れた自動車専用道路方向に拡散していった。自動車専用道路に並行して、小さな県道があった。自動車専用道路の交通は遮断されたが、県道は遮断されなかった。県道に一台の乗用車がさしかかった。ガス流を認めた運転手はガス流の手前数メートルで停車した。その瞬間に巨大な炎が燃え上がり、火炎はタンク方向に逆流し、漏洩タンクが炎に包まれた。火炎の周辺は水と泡消火で消火作業が行われ、周囲の球形タンクは散水ノズルにより散水冷却されていた。発災タンクの安全弁が作動し、ガスを放散していた。突然最初の発災タンクの爆発が起こり、続いて第2、第3のタンクの爆発が起こった。さらに石油製品、原油などにも引火し、大事故になった。

なお、この様に可燃性物質が漏洩後直ちに着火せず、可燃性物質の蒸気が大気中に雲のように拡散したのち、着火爆発する現象を（自由空間）“蒸気雲爆発”と言い英語名の Unconfined Vapor Cloud Explosion の頭文字を取り UVCE と略称している。

## 2. 経過

早朝6時30分に、作業員3人が発災タンクの水切り作業を開始した。水切り流速の調整は、直列に2ヶ配置されたバルブの上流側バルブを全開にし、下流側バルブの開度を調整することで行うのが基本であるが、当日の具体的な作業方法は記入されていない。

約15分後に水切り作業は終了したようだ。先ず第1バルブを閉めようとした。第1バルブとは上流側バルブであろう。全閉できずにLPGが流失を始めた。第2バルブ（下流側バルブ）の操作は記されていない。しばらくした後に3人は蒸気に包まれ、ふらつきながら現場を離れた。流出したLPG液は一部蒸発しながら、自動車専用道路の方へ拡散していった。この頃に計器室でアラームが鳴った。

7時5分過ぎ頃、全フェザン地区に警報がなった。全フェザン地区とあるのは、工場のことと思われるが、フェザンの町全体かは資料からでは分からなかった。直ちに工場の第1消防車が出動した。7時20分にリヨン市の消防隊が到着した。リヨン市の消防隊到着より早いと思われるが、製油所に隣接する自動車専用道路の交通制限を開始した。

7時30分少し前に、一台の乗用車がまだ交通制限をされていない県道にさしかかり停車した。その後直ぐに、爆発が起こったようだ。閃光とともに火勢が強まり、火は洩れたLPGを伝い、発災タンクは火で覆われた。

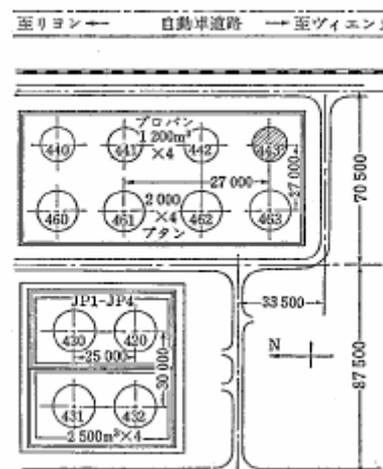


図2 球形タンク配置図

8時40分にLPGを流失させて球形タンクが爆発(BLEVE)した。さらに、その5分後までに第2,第3の球形タンクが爆発した。引き続き2基の球形タンクと石油タンクが火災になった。

翌日朝になってようやく鎮火した。

### 3. 原因

#### 3.1. 漏洩原因

水切りをしていたバルブの凍結であるが、凍結は結果であって原因ではない。LPG、この場合はプロパンであるが、それを大気圧まで下げれば温度は-40℃まで低下する。この温度では周辺の空気中の水分を液化させるだけでなく、LPG中の水分とLPGが反応して固形の水和物(ハイドレート)を生成する。水和物ならそれほどの低温を必要としない。この水和物によりバルブが全閉できなくなったか、氷結した水分でバルブハンドルが固着したと思われる。

LPGタンク底部のドレンバルブあるいはサンプリングバルブは、氷結を考慮して、通常直列で2ヶ配置される。その状況例を図3に示した。使用開始時のバルブを開ける時の基本操作は次の通りである。最初に上流側第1バルブを全開にし、下流側の第2バルブ入口側を加圧する。次に第2バルブを微開から徐々にバルブ開度を開け、必要な流量に調整する。第2バルブ入口まで加圧された状態に置き、温度降下をさせないためである。作業中に第2バルブの出口側が冷却され、第1バルブが低温にならない距離を置く

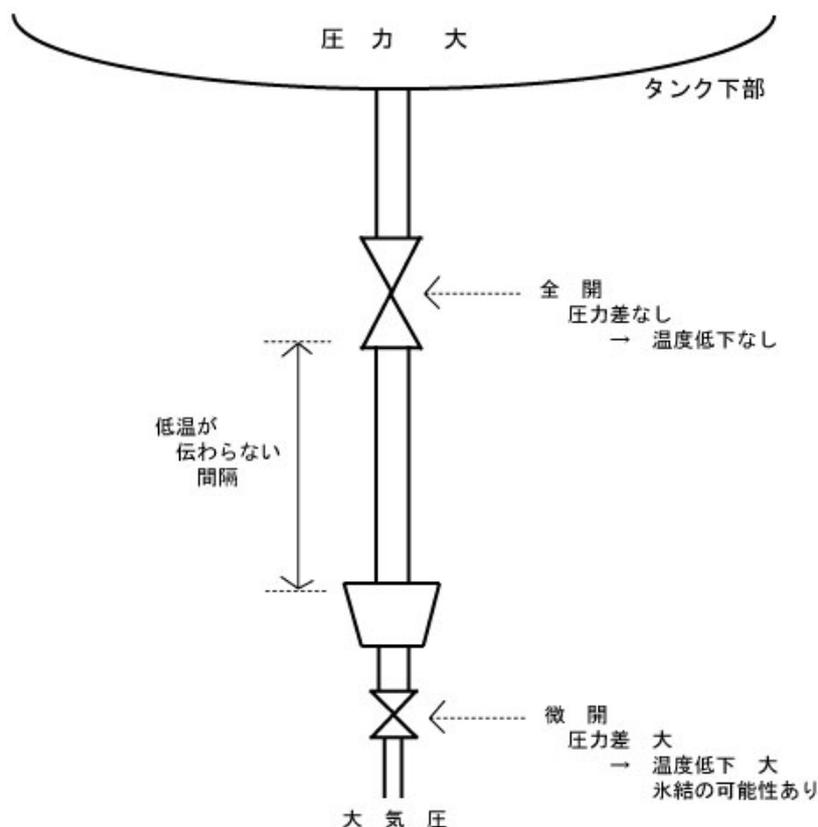


図3. LPGドレンバルブの開閉のイメージ

ことも重要である。この事故では第1バルブが冷却されたことは、第1バルブを全開にしないで圧力差を付け、第1バルブ出口でほぼ大気圧にしたと思われることが原因と推測できる。絶対に行ってはならない作業である。したがって、作業員のヒューマンエラーか、

作業方法や意味を説明しなかった管理側のミスのものであろう。

また、作業員が第2バルブを閉めなかったことも漏洩の原因の一つだが、その理由は明確な記述はない。第1バルブと同様に氷結したか、水切りが終わった時に急激に大量のLPGが流出したのではないかと推定される。大量のLPGが流出したならば、第1バルブが閉まらなかった状況でパニックに陥り、第2バルブを閉めることを忘れた可能性はある。本来なら水切り前に大体の水切り量を予測し、水の中にLPGが混入し始めたら調整用の第2バルブの開度を小さくするが、その作業も忘れていたか、あるいは第2バルブも氷結していたため不可能だったことが考えられる。

### 3.2. 着火原因... (図2参照)

漏洩したLPGが地面に沿って拡散し、県道に進入してきた自動車により引火したものと推定されている。停止した自動車の運転手のタバコの火であるとか、あるいはプロパン蒸気がエンジンに入り着火したと言われている。

問題は自動車専用道路が交通制限できたのに、何故県道は交通遮断できなかったのかであろう。仮に時間的余裕があり、現地の道路に詳しい人が指揮を取っていたら県道にも早く対処が取れたであろうと思われる。

自動車の規制が遅れたことが直接の問題ではあろうが、基本的にはレイアウトに問題があると考えられる。巨大なLPGのタンク群から僅か50m以上の間隔があれば、自動車専用道路が許されていた。しかも、写真を見る限りLPGタンクに防液堤がない。これではLPGが大量に流出した場合、地面に沿って拡散し、自動車専用道路上にLPGの蒸気が流れていく。この距離規制とタンクに防液堤がないことが最大の原因であろう。

別の着火原因として、LPG噴出時の静電気火花説がある。噴出初期に着火したのなら流出LPGが大量に蓄積してから爆発になるのではなく、火災になるであろう。また大量に流出した後だと、流出バルブ辺りはLPG濃度が高すぎて爆発上限界を超えて引火することはできないのではないかとと思われる。静電気説は可能性が低いと考えられよう。

### 3.3. 最初の爆発の原因

LPGを流出したタンクは火炎に包まれたが、内部にLPGのある限りLPGが蒸発し、その蒸発したLPGはタンクの設計圧力を超えるとタンク頂上に設けられたリリーフ弁(安全弁)から放出されるので、タンクの破壊、爆発はないと考えられていた。それが爆発し、タンクは大小様々な破片になり、飛散した。

この現象は既に紹介したBLEVE現象で説明される。(図1参照)このフェザンの事故がBLEVE現象が指摘された最初である。

現在の日本の球形タンクや円筒型のLPGタンクは一定能力以上の散水設備が義務づけられているが、このタンクではタンク頂上からの冷却散水は行われてなかった模様で、そのためタンク気相部が加熱されて、BLEVE現象が起こり、爆発したものと考えられている。

### 3.4. 誘爆・火災の原因

隣接したタンクが BLEVE で爆発し、破片が飛散した。その破片で配管が破損した。それではタンクの誘爆にはならないと思われる。いくつかの原因が挙げられており、どれも確認が取れたものではないが、何れも一理あると思われる。

1点目はタンクを冷却していたが、そのタンクの冷却能力が不足していたのではないか。冷却能力が不足していれば、BLEVE が起こっても全く不思議はない。2点目は球形タンクの支柱が耐火構造になっていない。支柱は鉄でできているので、熱せられると急激に強度が低下するので、球形タンクは転がってしまう。(図4参照) 3点目はタンク間距離が短く隣のタンクの影響を受けやすいことが上げられる。プロットプラン(図2参照)を見るとタンクの中心間距離は27mで、タンク直径はプロパンタンクが14m、ブタンタンクが16m程度なので、タンク間距離はプロパン - プロパンで13m、プロパン - ブタンで12mしかない。決して十分とは言えない現在の日本の規制...大きいタンクの直径分で、この事故の場合なら16m...も満たしていない。火災の高さが最初75m、最後に30mの火災に対しては十分な距離とは言えないであろう。

### 4. 原因解明のプロセス

手元を集められた報告書類は、最初の調査報告や調査実態を示す資料はなく、どんな手法で原因解明を行ったかは分からない。一般的には、聞き取りや計器室に残る記録から事実関係を時間順に並べることから始め、それらの事実から無理なく推定できる原因を求める。この事故はこの一般的な手法で、事故原因が推定できたであろう。

### 5. 対処

経過でも示したように、計器室でのアラーム吹鳴が最初の報告であろう。報告書などに明記はないが、ガス漏洩検知器が作動したと推測する。(パリ マッチ誌を引用したある講演資料によれば、)ガス検知器の作動により全フェザン地区に警報が発令されている。それと同時に自衛消防隊と考えられる第1消防車が出動し、会社の守衛によりハイウェイの交通規制がされたとある。言い換えると、警報、緊急消防隊、交通規制と一連の対処が行われた。

### 6. 対策

事故の直接の発端となった流出原因、着火原因さらに BLEVE 防止から他タンクへの被害拡大防止など考えるべきことは多数ある。事業者側で取れる対策、社会との関係の中で考えられる対策について述べる。

#### 6.1. バルブの凍結対策

- a) サンプルバルブあるいはドレンバルブの直列2重化；この事故では既に2重化は

できていたが、LPG タンクではやはり 2 重化が最低必要の設備である。シングルバルブだとバルブ本体が冷却され周辺水の凝縮、水和物の生成などでバルブの閉止機能が損なわれる可能性が大きいので、必ずダブルバルブにすべきである。なおダブルバルブの間隔は第 2 バルブの低温が第 1 バルブに影響のないようにすべきであり、第 2 バルブのサイズはサンプリングなら 1/2 インチ以下に、ドレン切り作業なら必要な最低サイズにすべきである。

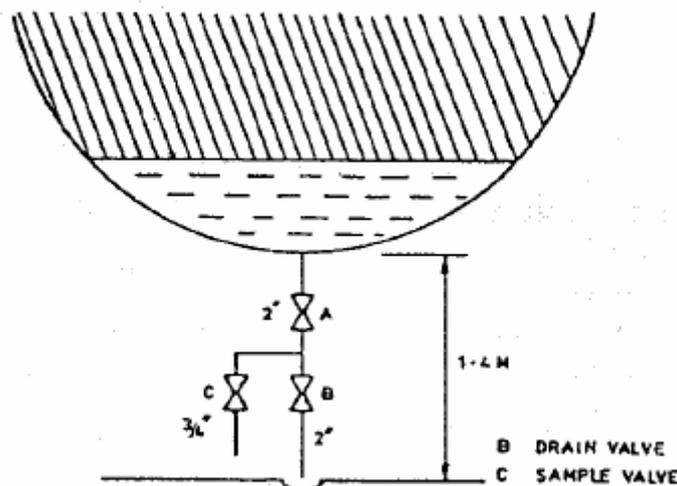


図 4 発災タンクのバルブ構成

図 4 は発災タンクのドレンおよびサンプリングバルブの構成を示してあるが、バルブ A,B 間、あるいはバルブ A,C 間の距離を適切に、可能なら 1m 以上取ることが望ましく、バルブ B も 3/4 インチ以下が望ましい。

b) ダブルバルブの使用法の教育・訓練；第 1 バルブを低温にしないように、第 1 バルブは全開にし、第 2 バルブで流量調節を行うことを徹底する。理由は流出原因の項でも記した。同時にドレン切り作業の監視の徹底を図る。

## 6. 2 . 設備対策...日本国内では最低基準が法により義務づけられている。

- a) 防液堤の設置；LPG は直ぐにはガス化しない。ガス化しても空気より重いので地面を這って拡散していく。この拡散防止には防液堤が有効である。
- b) タンク頂上よりの散水冷却設備；BLEVE 対策として、タンク壁面の冷却用である。
- c) 支柱の耐火構造；鉄製支柱の熱による劣化からタンクの倒壊を防止する。
- d) タンク間距離の確保；隣接タンクへの(からの)拡大防止。現在日本では高圧タンク間距離は大きいタンクの直径分が必要とされているが、これは最低基準であり可能ならばもっと離すべきである。
- e) ガス検知器の設置；漏れた場合の覚知用である。
- f) 安全弁の吹き出し口；規則では“安全なところに設ける”程度であるが、実際にはタンク頂部の設置位置の直近で上方に向けて放散させていることが多い。必ずしも安全とは言いきれない。
- g) 過剰流量が流れた場合の自動遮断 ( excess flow valve )；この事故とは直接関係がなく、日本では法規制もないが、タンク底部の液配管から大量に液流出が起こる場合、自動的に液流れを遮断する装置がある方が望ましい。台湾等では既に取り入れている。

### 6.3. 社会との関係の中で考える対策

LPG が大量に漏洩・流出した場合の爆発・火災被害は巨大である。大量に LPG を貯蔵し取り扱うところは、漏洩時の地元自治体への通報、住民への広報、交通規制のあり方などについて十分な体制作りを地元自治体などと考え、実行すべきであろう。

その流出時の影響が大きいことから、大量の LPG 貯蔵位置は事業所内だから何処でもいだろうではなく、事業所周辺の環境や施設との兼ね合いの中で注意深く検討すべきである。(日本では距離規制が行われている。)

### 7. 教訓(知識化)

a) LPG は大気圧まで減圧されると低温になり、周囲の水分を氷結したり水和物を作ったりしてバルブの氷結事故を起こすことがある。大気圧まで減圧する可能性があるドレン切り作業やサンプリング時など低温障害の起こらない設備と方法が重要である。これは LPG 取扱い、石油精製、石油化学など LPG を取り扱う関係者なら誰でも知っておかねばならない事項である。

b) 漏洩・流出した LPG は蒸気比重が空気より大きいこと、沸点が低いために広い範囲の温度で簡単に蒸発し可燃性混合気を作りやすいこと、ガスは無色、無臭であることから非常に危険な物質である。貯蔵・取扱いには十分な注意と設備対応が必要である。

c) LPG タンクには BLEVE という特別な爆発形態がある。タンク設計で鉄の許容応力は常温での数値に基づいており、液体のない部分が加熱され高温にさらされた場合に許容応力が小さくなることが一つの原因である。タンク火災時にタンク頂上部から十分な冷却散水が必要な理由である。タンク内圧は液の温度の平衡圧力であるが、気相部の温度はそれと独立に決まる可能性があり、局部加熱時に平衡関係がなくなる一例である。

### 8. 失敗の影響

死者、負傷者は先に記したように諸説あるが、消防従事者を含め死者 18~81 名、負傷者は 80~130 人程度と思われる。物的被害は 1200kl プロパンタンクと 2000kl ブタンタンクで計 5 基、原油やジェット燃料の常圧タンク多数が被災しフェザン製油所は壊滅的な被害を受けた。周辺地区への被害に言及した報告書類は見あたらず不明である。被害総額は、発災当時の金額で 18 百万ドル、1990 年換算で 70 百万ドルとの報告がある。実際には近隣の被害、工場の再建、不稼動損など考えたらこんな金額ではとても納まらないであろう。

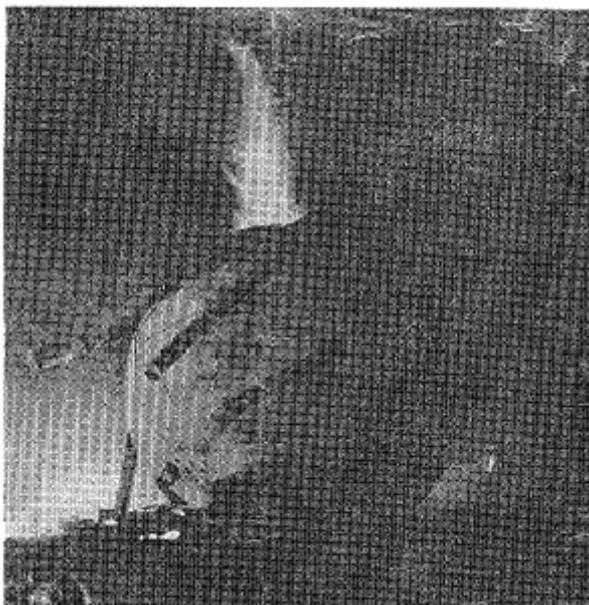


図4 転倒した発災タンク



図5 被災タンクヤード概観

## 9. よもやま話

LPGの事故例は非常に多い。特に1984年11月に起こったメキシコシチーのベメック社LPGターミナルの爆発事故は大型球形タンク6基、小型横型円柱タンク48基が破損し、周辺住宅地区を破壊し、死者500人以上、負傷者4,000人以上、破壊・焼失家屋数千～数万と言われている。この事故の原因は明快には書かれていないが、ターミナルの管理が杜撰で境界すらはっきりせず、盗ガスなども行われていた模様で、何らかの原因で大量のガス流出があったようである。先に記したLPGの危険な挙動そのままに拡散し、何処かで着火し大惨事に至った。日本でもボンベ充填所などで危険を無視したための大きな事故が何件か報告されている。

なお、当事故の報告書や解説は数多く出ているが、それぞれ内容が異なり、どれが事実かは定かではない。ここではプロパンタンクの水切り中に水和物によりバルブが完全閉止できず、流失したLPG蒸気が製油所外の一般道路で走行中の自動車により引火したとする。

### 参考文献

- ・Frank P.Lees、Loss Prevention in the Process Industries、PAGE890、898-899(1980)
- ・北川徹三、試料採取弁の閉止不能によるLPガスの漏洩、爆発災害の解析、PAGE161-164(1980)
- ・東京海上火災保険株式会社・三浦徹、LPG圧力貯蔵タンク事故に学ぶ、高圧ガス、No.237、PAGE2933(1990)
- ・化学工業協会、事故災害事例 LPG球形タンク、事故災害事例と対策 化学プラントの安全対策技術4、PAGE230-231(1979)