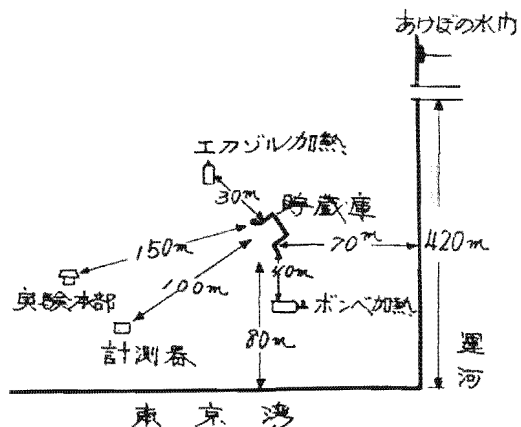


LPガス火災実験結果(第2報)

(LPガスボンベ貯蔵庫の火災危険)

池田 一郎*
加藤 勝文**

第2図 実験配置図



1. はしがき

流出したLPガスの危険性あるいはその抑止方法等発災時における消防対策については、昭和41年度において各種実験をおこない資料を得て研究所報第4号で報告したが、さらに42年度においても実験を重ねたのでその結果について報告する。

実験内容はLPガスボンベが収納されている貯蔵庫周囲で火災が発生した場合、内部におよぼす状況、および50kgボンベを単独加熱した場合の爆発危険についておこなった。

又参考までに、たびたび爆発事故をおこしているエアゾル製品についても加熱実験をおこない状況を観測した。

2. 実験日時、場所

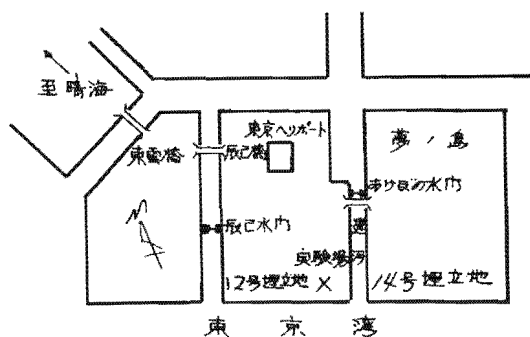
昭和42年3月23日

東京湾12号埋立地(第1, 2図参照)

3. 実験実施者

東京消防庁消防科学研究所

第1図 実験場



4. 実験項目

- 1) LPガスボンベ貯蔵庫火災実験(外周部の火災)。
- 2) 50kg用LPガスボンベの加熱実験。
- 3) 参考実験 エアゾル製品の加熱実験。
 - ア、不燃性(フロンガス)製品の加熱実験。
 - イ、可燃性(LPG)製品の加熱実験。

5. LPガスの性状

本実験に使用したLPガスの性状は第1表のとおりである。(昭石川崎工場にて分析)。

なお特殊成分として貯蔵庫実験における50-A, Bボンベには第2表の成分(純プロパン)のものを使用した。

* 第2研究室長

** 第2研究室

第1表

| 組 成 | | | 試 験 月 日 42年3月22日 | |
|------------------|------------------------------------|------|---|--------|
| 軽 質 分 | CH ₄ | 0% | 室 温 | 24°C |
| | C ₂ H ₄ | 0 | 液 比 重 at 15.0°C | 0.534 |
| | C ₂ H ₆ | 5.8 | 蒸 発 試 験 °C 95% vol JISK-2552 | -3 |
| ブ ン 分 | C ₃ H ₈ | 63.7 | 不 飽 和 分 % vol JISK-2553 | 0 |
| | C ₃ H ₆ | 0 | 蒸 気 圧 kg/cm ² at 37.8°C JISK-2554 | 11.4 |
| ブ タ ン 分 | iso-C ₄ H ₁₀ | 0 | 硫 黄 分 % wt JISK-2555 | 0.01以下 |
| | C ₄ H ₈ | 0 | 水 分 JISK-2556 | 認めない |
| 重 質 | iso-C ₄ H ₁₀ | 7.2 | | |
| | n-C ₄ H ₁₀ | 23.2 | | |
| 重質 | C ₅ -higher | 0 | | |

第2表

| 組 成 | | | 試 験 月 日 42年3月22日 | |
|------------------|------------------------------------|-------|---|-------|
| 軽 質 分 | CH ₄ | 0% | 室 温 | 24°C |
| | C ₂ H ₄ | 0 | 液 比 重 at 15.0°C | 0.508 |
| | C ₂ H ₆ | 0.2 | 蒸 発 試 験 °C 95% vol JISK-2552 | -41.0 |
| ブ ン 分 | C ₃ H ₈ | 0 | 不 飽 和 分 % vol JISK-2553 | 0 |
| | C ₃ H ₆ | 99.8 | 蒸 気 圧 kg/cm ² at 37.8°C JISK-2554 | 12.1 |
| ブ タ ン 分 | iso-C ₄ H ₁₀ | 0 | 硫 黄 分 % wt JISK-2555 | 0 |
| | C ₄ H ₈ | 0 | 水 分 JISK-2556 | 認めない |
| 重 質 | iso-C ₄ H ₁₀ | Trace | | |
| | n-C ₄ H ₁₀ | 0 | | |
| 重質 | C ₅ -higher | 0 | | |

6. 実験経過および結果

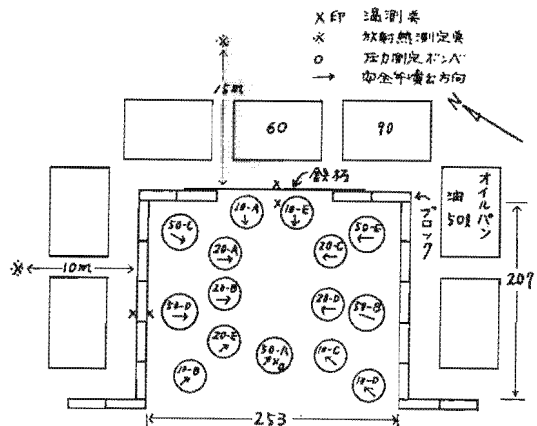
1) LPガスボンベ貯蔵庫火災実験

実験はコンクリートブロック造LPガスボンベ貯蔵庫周囲の火災を想定しておこなった。すなわち貯蔵庫周囲で発生した火災に際して、ブロックあるいは防火戸の防火効果、および内部に収納されているボンベが受ける熱影響等について実験観察し、その結果にもとづいて貯蔵庫の構造、収納方法、消防活動等の参考にする。

ア. 実験方法

コンクリートブロックおよび鉄板で、約5㎡の貯蔵庫（高さ190cm）を作り、内部に50kg、20kg、10

第3図 貯蔵庫および収納ボンベ



kgポンベ各5本を置いて建物周囲から7ヶのオイルパンで同時に加熱し、内部のポンベの受熱状況、安全弁の作動状況、爆発の可能性などについて状況を観察し、各種計測をおこなう。なお観察を容易にするため、貯蔵庫の一方は開放にした(第3図参照)。

イ、使用資器材および計測。

ア) 供試ポンベ

本実験に使用したポンベは第3表のとおりである。

第3表 供試ポンベ一覧表

| ポンベ種別 | 実験記号 | 容器記号 | 容器番号 | 製造年月 |
|-------|------|------|--------|----------|
| 10kg | 10-A | UCO | 5,568 | 1954. 3 |
| | 10-B | UCO | 7,544 | 1954. 1 |
| | 10-C | UCO | 9,281 | 1955. 2 |
| | 10-D | UCO | 846 | 1956. 12 |
| | 10-E | UCO | 847 | 1956. 12 |
| 20kg | 20-A | WDB | 17,591 | 1967. 3 |
| | 20-B | WDB | 17,592 | * |
| | 20-C | WDB | 17,593 | * |
| | 20-D | WDB | 17,594 | * |
| | 20-E | WDB | 17,595 | * |
| 50kg | 50-A | PHW | 37,360 | 1958. 12 |
| | 50-B | PLF | 15,883 | * |
| | 50-C | PLF | 12,532 | 1960. 11 |
| | 50-D | PHW | 99,636 | 1961. 2 |
| | 50-E | PHW | 99,644 | 1961. 3 |

安全弁; スプリング式口径9mm
 作動圧24kg/cm²
 吹出有効面積0.48cm²
 吹出量(C₃H₈)1,170kg/hr
 (0.325kg/sec)

イ) 貯蔵庫

コンクリートブロック造一部防火戸付、屋根鉄板葺、207×253cm(約5m²)高さ190cm。

壁体; コンクリートブロックC種(強化ブロック 厚10cm)使用。

防火戸; 乙種防火戸を想定し、0.5mm厚の鉄板(90×180cm)2枚を3cmアングルで補強して設置した(180×180cm)。

屋根; 3cmアングルで補強した0.5mm厚鉄板葺。

ウ) 加熱方法

貯蔵庫周囲にオイルパン7ヶを埋設し各燃料に同時に点火する。

オイルパン; ドラム缶縦半切。開口面積0.54m²(60×90cm)。

燃料; 各オイルパン共50ℓ。

(ケロシン25ℓ, 自動車抜オイル25ℓ)。

エ) 温度測定

φ1mmA・C熱電対10mおよび補償導線90mを用いて下記測定点の温度を自記温度記録計で測定する(測定点第3図×印)。

- ブロック内外壁の温度測定(地上高1m)。
- 防火戸内外壁の温度測定(内側温度は防火戸より10cm離して測定)地上高各1m。
- 50kgポンベ(50-A)胴体中央部および安全弁吹出口の温度測定

オ) 圧力測定

50kgポンベ(50-A)のガス充填孔に長さ20m、φ8mmの銅パイプを接続して圧力変換器をつけ、100mのケーブルを径てポンベの内圧変化を動ひずみ測定器で測定記録する。

カ) 放射熱測定

貯蔵庫北側10m, 西側15m, 地上高各1mに放射ヘッドをセットし、これに100mのビニル電線を接続して放射熱量をmV計で測定記録する。

ウ) 実験結果

実験当時の気象状況

風位風速, 北々西2.2m/sec(最大5.1m/sec) 気温12℃, 湿度44%, 気圧1,013mb

実験は貯蔵庫周囲のオイルパンに同時に点火して開始した。火炎の拡大にともなって模擬防火戸下部のすき間から火炎が若干内部に進入し、このため防火戸附近の10kgポンベ(10-E)は加熱されて内圧が上昇し、4'35"で安全弁が作動してガスを噴出した。その噴出炎で20-Cポンベが加熱されて安全弁からガスを噴出し、さらに他のポンベを加熱するという具合に、以後は連鎖的に互いに加熱し合う結果となり、13~14分で各ポンベはパッキンを焼失して連続的に火炎を噴出するようになった。この間の状況については、貯蔵庫内部のため判然としない部分もあったが、観測できた範囲ではつぎのような状況である。

| 経過時間 | 状 況 |
|-------|--|
| 35" | 各オイルパン共火炎が拡大して周囲に火が廻り、模擬防火戸に炎が這い上る。 |
| 1'15" | 東側では火炎が3~4mに達する。模擬防火戸下部より火炎が若干貯蔵庫内に進入し、10-A, Eを加熱する。 |

| 経過時間 | 況 状 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|---|---|-------|---|-------|---|---|-------|---|-------|---|---|-------|---|--|--|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1'30" | 炎が貯蔵庫全表面を覆う。庫内変化なし。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2'00" | 模擬防火戸下部より常時火炎が庫内に進入。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3'00" | 屋根のすき間から炎がはいり、50-Bを加熱する。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4'00" | 10-Bも一部加熱される。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4'35" | 10-E安全弁より噴出(約1秒) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 以後の安全弁の噴出状況は次のとおり、○印噴出 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="5">10 kg</th> <th colspan="5">20 kg</th> <th colspan="5">50 kg</th> </tr> <tr> <th>ボンベ記号</th> <th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th> <th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th> <th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4'50"</td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>5'05"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>5'20"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> </tr> <tr> <td>5'30"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>5'40"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>5'50"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> </tr> <tr> <td>6'00"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> </tr> <tr> <td>6'15"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>6'25"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>6'35"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>6'40"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>6'55"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> </tr> <tr> <td>7'05"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> </tr> <tr> <td>7'15"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> </tr> <tr> <td>7'25"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> </tr> <tr> <td>7'35"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>7'50"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>8'05"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>8'15"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td>○</td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>8'25"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>8'45"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>8'55"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>9'15"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>9'30"</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>○</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table> | | | 10 kg | | | | | 20 kg | | | | | 50 kg | | | | | ボンベ記号 | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E | 4'50" | | | | ○ | | | | | | | | | | | | 5'05" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 5'20" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 5'30" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 5'40" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 5'50" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 6'00" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 6'15" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 6'25" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 6'35" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 6'40" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 6'55" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 7'05" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 7'15" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 7'25" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | 7'35" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 7'50" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | 8'05" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | 8'15" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | 8'25" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | 8'45" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | 8'55" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | 9'15" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | 9'30" | | | | | ○ | | | | | | | | | | |
| | 10 kg | | | | | 20 kg | | | | | 50 kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ボンベ記号 | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4'50" | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5'05" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5'20" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5'30" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5'40" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5'50" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6'00" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6'15" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6'25" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6'35" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6'40" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6'55" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7'05" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7'15" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7'25" | | | | | | | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7'35" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7'50" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8'05" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8'15" | | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8'25" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8'45" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8'55" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9'15" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9'30" | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | 10 kg | | | | | 20 kg | | | | | 50 kg | | | | |
|---------|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|
| ボンベ記号 | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E |
| 9'40" | | | | | | | | | ○ | | | | | | |
| 9'50" | | | | | | | | | ○ | | | | | | |
| 10'15" | ○ | | | | | | | | ○ | | | | | | |
| 10'20" | | | | | | | | | ○ | | | | | | |
| 10'40" | ○ | | | | | | | | | | | | | | |
| 10'50" | ○ | | | | | | | | | | | | | | |
| 11'05" | ○ | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 11'20" | ○ | | | | | | | | ○ | | | | | | |
| 11'35" | ○ | | | | | | | | ○ | | | | | | |
| 12'30" | | | | | | | | | ○ | | | | | | ○ |
| 13'30" | | | | | | | | | | | | | | ○ | |
| 13'45" | 庫内では数本のボンベから火炎が噴出して全面に広がり内部の状況は不明瞭になる。 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20'00" | 50-Eは間歇的に噴出。屋根のアンクルおよび鉄板がたれ下り、模擬防火戸は若干外側に膨張して金属色に輝く。風向がわずかに変わり、火炎が南側に集中(21'45"),ブロックは地上1m以上の部分が灰白色に焼ける。 | | | | | | | | | | | | | | |
| 23'00" | 50-A転倒しているのがみえる。各ボンベとも火炎を噴出。 | | | | | | | | | | | | | | |
| 24'~29' | 火勢徐々に弱まる。 | | | | | | | | | | | | | | |
| 30'00" | 50-A, 10-E, Dは噴出終了。 | | | | | | | | | | | | | | |
| 30'15" | オイルパンの燃料燃えつきる。 | | | | | | | | | | | | | | |
| 34'30" | 実験終了 | | | | | | | | | | | | | | |
| 40'00" | 50-C, D, Eのみわずかに火炎を噴いている。 | | | | | | | | | | | | | | |

温度、圧力の測定は実験途中で計測用電源が不良になったため中断したが、温度測定のみ再開した。

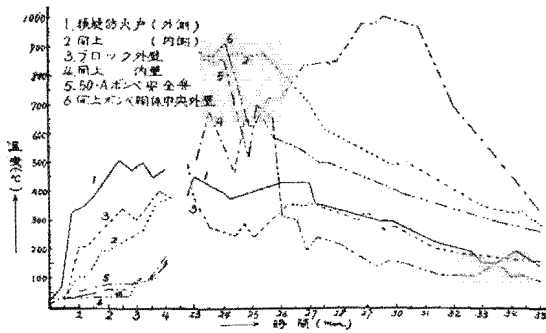
ア) 温度測定(第4図参照)

温度測定は一時中断したため貯蔵庫内部が加熱される状況を完全に記録することはできなかったが、模擬防火戸内側の温度は4分で約400℃と、他に比較して短時間に急上昇し、火炎が内部に進入して10-Eポンベを加熱している状況が明らかでこれは状況観測結果とも一致する。

温度測定を再開した23分項には外周部の温度は450℃程度とかなり下火になっているが、貯蔵庫内部の温度は900℃をこえる高温で、各ボンベのガス

噴出が最盛期にあることを示している。

第4図 貯蔵庫実験の温度曲線

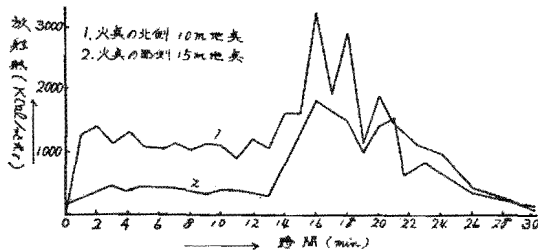


イ) 放射熱測定 (第5図参照)

測定点が貯蔵庫北側10m, 西側15mといずれも風上側であったため放射熱量は比較的小さく, 加熱時の最盛期でも10m地点で約 1200Kcal/m²hr 程度であった。しかし貯蔵庫内ポンベのガス噴出がはげしくなる14分頃から急上昇し, 約 3,000Kcal/m²hr と2倍以上になり, 貯蔵庫内でも, 多数のポンベが同時に火炎を噴出した場合, 周囲におよぼす熱影響の大きいこと, すなわち危険性の大きいことを示している。なお今回風下側は測定しなかったが, 数倍の熱量があったものと推定される。

放射熱量は一般に距離の2乗に反比例するといわれているが, これは測定点A, Bの数値の差としてあらわれている。

第5図 放射熱曲線



エ, 実験の考察

LPガスボンベ貯蔵庫周囲で火災が発生した場合, 貯蔵庫内部におよぼす熱影響, あるいは内部の安全性の問題, およびその処置については各種議論されていた。周囲の火災で内部のポンベに大きな熱影響がなければ, 周囲の火災のみに専念できるが, 内部に収納したポンベに危険を生ずる場合は, それに対する処置も必要となり, この点については結論がなされていなかった。しかし今回の実験結果では貯蔵庫周辺で発災した場合, 内部に相当の危険を

生ずることが明らかになった。すなわち隣接家屋, あるいは流出した油など, 周囲の火災では, 火災が貯蔵庫上下に設けられている通気孔, あるいは防火戸のすき間などから進入し, 内部のポンベを直接加熱する危険が考えられる。今回の実験でも防火戸内側付近では点火4分後に約400°C迄温度上昇し, 近くの10kgボンベはすでに約 25,000Kcal/m²hr の受熱があり, 安全弁作動圧近くまで内圧は上昇していた。

ガスボンベの貯蔵という目的においては通気孔を設けることは不可避の条件であるが, 開口部のために火災が進入して危険を増すという矛盾が生じる。これの解決策としては, 貯蔵庫周囲から可燃物を除去することが基本で, 周囲に数米の保有空地を設けること, あるいは現在貯蔵庫内部のみ地面から一定の高さにするよう指導されているのを, 貯蔵庫周囲2~3m程度に縁を設け, 油など可燃性液体が流れて来るのを防ぐなどの処置が必要である。またポンベの加熱を防止するには貯蔵庫内に噴霧注水し, ポンベの加熱およびそれによる内圧上昇を抑制するなどの処置も有効で, これは前回の実験でポンベ内圧上昇の抑制には水噴霧による冷却が最も効果的であることが確認されている。また通気孔に引火防止網を張ることも火災の進入および引火を防止する上に効果があると思われる。

貯蔵庫の構造については, 現在Cブロックを使用するよう指導されており, これは断熱効果が大きいため周囲の火災に対しても内壁温度は比較的上昇しないが, 鉄製防火戸内側は高温になり易く, すき間などから火災も進入することが実験結果で明らかになったので, 防火戸の構造あるいはポンベの収納位置については検討の要がある。なおコンクリートブロックはLPガスの噴出炎等で強熱されると著しく強度が低下し, 注水等により倒壊の危険もあるので注意を要する。

貯蔵庫内で多数のポンベが噴炎した場合に周囲におよぼす熱影響は, コンクリートブロックの隔壁があるにもかかわらず約 3,000Kcal/m²hr と急激に増大するので周囲に対して十分な警戒が必要である。一般に木材の安全限界受熱量が2,500Kcal/m²hr, 人間が火災に直面した場合は3,400Kcal/m²hr で2~6"といわれているので, 今回の風上側10mの位置もすでに危険範囲にあるといえるので, 風下側では危険範囲はさらに大きくなるものと思われる。

2) 50kg用LPガスボンベの加熱実験

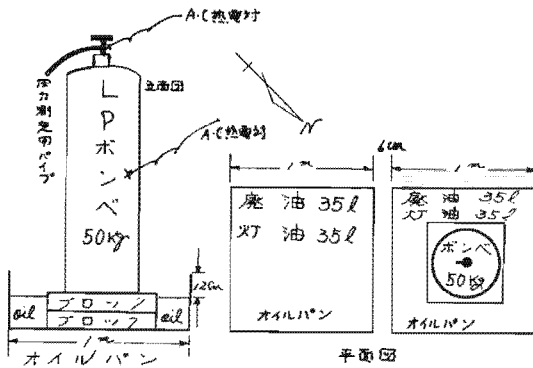
LPガスボンベが加熱された場合, 容器が発炎する可能性については各種論じられているがまだ結論

が得られていないので、実験をおこない安全弁の作動状況とボンベ爆発の可能性を究明する。

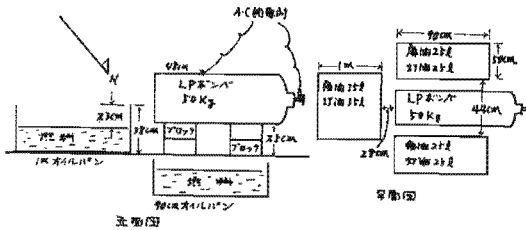
7. 実験方法

LP G50kgを充填した50kg用ボンベを10m離して2本、縦および横置きにセットし、下部からオイルパンの炎で加熱してボンベの状態と安全弁の作動状況を観察し、あわせてボンベ胴体外壁および安全弁の温度測定、又縦置きのボンベは内圧の測定をおこなう。各セットの状況は第6、7図のとおりである。

第6図 縦置ボンベのセット状況



第7図 横置ボンベのセット状況



イ、使用資器材および計測

ア) 供試ボンベ

本実験に使用したボンベは下記のとおり。

縦置き横置きとも50kg用ボンベにLP G50kg充填。

安全弁; スプリング式口径9mm

作動圧24kg/cm²

吹出有効面積0.48cm²

吹出量 (C₃H₈) 1.170kg/hr
(0.325kg/sec)

イ) 加熱方法

オイルパンを埋設し、内部にブロックを積んでその上にボンベをそれぞれ縦および横置きにセットし、オイルパンの燃料で加熱する。

オイルパン; 縦置 1×1m²ケ

横置 1×1m¹ケ

60×90cm²ケ

燃料; 縦置 140ℓ (ケロシン70ℓ自動車抜オイル70ℓ)。

横置 170ℓ (ケロシン85ℓ,自動車抜オイル85ℓ)。

ウ) 温度測定

φ1mm A・C熱電対10mおよび補償導線90mを用いて縦、横置きボンベとも胴体中央部および安全弁の温度を自記温度記録計で測定する(測定点第6、7図×印)。

エ) 圧力測定

縦置きボンベのガス充填孔に長さ20m、φ8mmの銅パイプを接続して圧力変換器をつけ、100mのケーブルを径でボンベの内圧変化を動はずみ測定器で測定記録する。

ウ、実験結果

実験当時の気象状況

風位風速、北西1.7m/sec (最大2.6m/sec) 気温13℃、湿度44%、気圧1,012mb,

実験は縦置き横置きボンベとも各オイルパンに同時に点火して開始した。オイルパンの炎は急速に拡大し、数秒後には横置きボンベは完全に火炎に包まれて受熱量を増し、点火後26秒で安全弁が作動してガスを噴出した。一たん噴出は停止したが、以後数秒間隔でかんけつ的に噴出している。

縦置きボンベは火炎がなびいてボンベ下部を加熱し、圧力測定用パイプも火炎をうけて点火後1'45", ボンベ内圧22kg/cm²でパイプが破裂してガスを噴出した。しかしパイプに異常のない場合でも、受熱量から判断して1'50"で内圧は24kg/cm²に達し、安全弁が作動したものと推定される。

経過時間とボンベの状況は次のとおりである。

| 経過時間 | 縦置ボンベ | 横置ボンベ |
|-------|---------------------------|---|
| 0" | 点火 | 点火 |
| 26" | | 安全弁作動(3秒間断続噴出) |
| 30" | 主にボンベ下部が加熱される。 | 同上(5秒間*) |
| 40" | | 同上(3秒間*) |
| 1'04" | | 1'04"~4'40"の間は1~7秒間隔で断続的に安全弁が作動し5~6mの火炎を噴出したが、噴出力は徐々に弱まる。 |
| 1'45" | 圧力測定用パイプが破裂してガス噴出(内圧22kg) | |
| 3'45" | 安全弁も作動してガス噴出 | |
| 6'50" | 安全弁の噴出は停止・パイプからの噴出は継続 | |

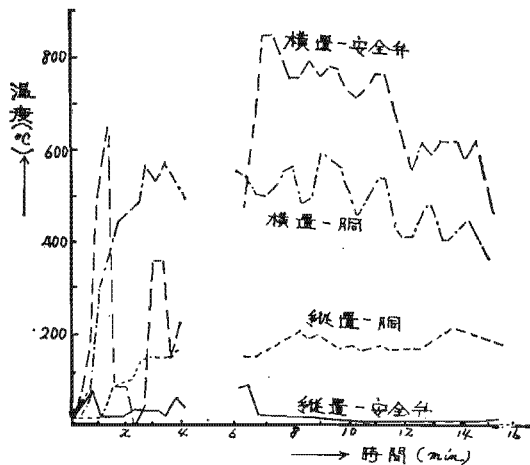
| 経過時間 | 縦置ポンベ | 横置ポンベ |
|--------|---------------|-------|
| 7'45" | | 噴炎終了 |
| 11'00" | パイプから若干噴炎するのみ | |
| 15'00" | 実験終了 | |

ア) 温度測定

各点の温度測定結果は第8図のとおりで、縦置きポンベは火炎が胴体下部に集中したため、中央部および安全弁の温度は比較的低く最大約200°Cであった。一方横置きポンベは火炎に包まれて各測定点ともごく短時間に急激に上昇し、7分後に安全弁部分で約850°Cと最高を記録した。

なお横置きポンベの安全弁の温度は、ガス噴出が激しくなった1分過ぎから急激に低下し、噴出力が弱まった4分以後再び上昇しており、ガス噴出時の潜熱の状況をよくあらわしている。

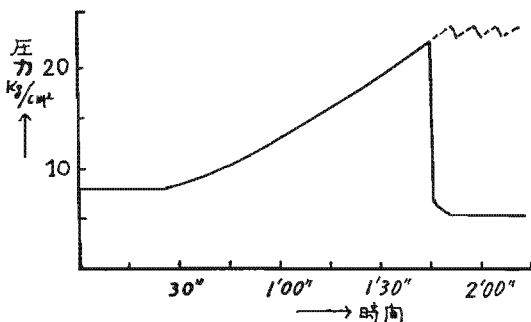
第8図 ポンベ加熱実験温度曲線



イ) 圧力測定

縦置きポンベは、加熱の状況から判断して受熱量

第9図 縦置ポンベの内圧測定



が比較的小さく圧力上昇も小さいように思われたが、実際には点火後25"から上昇し始め、1'45"で内圧22kgまで上昇するのを計測したが、測定用パイプが破裂したため以後の計測はできなかった。しかし受熱量および圧力上昇曲線から判断して、点火後1'50"で内圧は24kg/cm²に達して安全弁が作動し、以後は平衡に達するものと推定される(第9図参照)。

エ、実験の考察

LPポンベは直立状態で使用し、あるいは貯蔵するのが原則であるが、何らかの原因で転倒しそのまま加熱されることも考えられるので、縦置き、横置きと2通りについて実験をおこなった。加熱方法は、昨年の実験で噴出火災等で部分的に加熱される状態、すなわち局部加熱についておこなったので、今回は火災時の状態すなわち全加熱とし、液量は全充填でおこなった。

加熱によるポンベの内圧上昇と安全弁作動の関係、さらにはポンベ破裂の可能性などについては、実験途中で圧力測定を中止したため詳細に究明することはできなかったが、9mm口径の正常な安全弁をつけたポンベは、昨年および今回と相当苛酷な条件下で実験したにもかかわらず、縦置き、横置きいずれの場合も爆発しなかった。

一般にポンベの爆発の原因としては、安全弁の噴出能力に基因する場合と、加熱による鋼板材質劣下による場合が考えられる。前者の原因については、現在の9mm口径の安全弁が噴出量1,170kg/hrと大きいため、これに基因する爆発の可能性は特殊な加熱の場合(スーパーヒート)以外ないといわれている。しかし実際には安全弁の未作動、あるいは弁リフトの縮少によるガス噴出量の低下など、弁管理の不十分に基因する爆発事例がたびたびみられる。

次に加熱による材質劣下であるが、一般に鋼板は高温になるほど引張強度は著るしく低下し、LPポンベに使用されている鋼板は、500°Cにおいて約1/3、800°Cでは約1/8(10kg/cm²)と急激に劣下するため、安全弁の作動圧以下で破裂する場合がある。これら材質劣下の原因は、ポンベが加熱される状態により大きく左右される。すなわち縦置き、横置きのいずれで加熱されるか、あるいは充填されている液量などにより異なる。ポンベが周囲から加熱された場合、一般に縦置きポンベでは上部からガスで噴出するために内圧が低下し、容器も蒸発潜熱である程度低温に保ち、容器材質の劣下を防ぐので爆発の危険が少ないが、横置きの場合には液のまま噴出するのでガス量は増大してガス圧は低下せず、蒸発による

冷却効果も得られないので、爆発の危険が大きいといわれていた。

次に液の充填量の差による爆発の危険性については、全充填の場合ボンベ鋼板の大部分がぬれ面（ウェットサーフェス）すなわち容器に液体が接しているため、受熱は蒸発潜熱として液体にうばわれるので、容器温度は上昇せず比較的安全に保たれるが、充填量の少ない場合には大部分がガス体で容器も乾面（ドライサーフェス）が多いため冷却作用が得られず、容器は高温になりやすく、材質劣下をきたして爆発の因となる。

3) エアゾル製品の加熱実験

殺虫剤、ヘアスプレー等のエアゾル製品には、その噴出剤に不燃性のフロンガス、可燃性のLPガス等を使用したものがあるが、これが加熱されて爆発する事故例がたびたびみられ、その爆発危険性が問題視されていた。今回LP実験に関連して加熱実験をおこない爆発の状況などについて観察したので参考までにその概略を記す。

ア、不燃性エアゾルの加熱実験

ア) 実験方法

実験は1㎡（1×1m）のオイルパン上に綱目3cmの金網を張り、上に不燃性エアゾル100本を立てて並べ、下部からオイルパンの炎で加熱する。セットの状況は第10図のとおりである。

エアゾル（ヘアスプレー）

充填ガス：フロン

ベース：アルコール

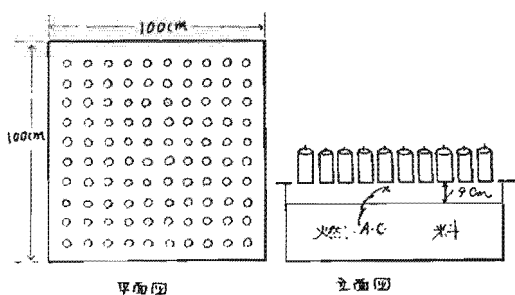
充填圧：2～3 kg/cm²

容器耐圧：13kg/cm²以上

燃料：40ℓ（ケロシン20ℓ，自動車抜オイル20ℓ）

加熱温度測定：φ1mmのA.C熱電対で測定

第10図 エアゾルのセット状況



イ) 実験結果

実験当時の気象状況

風位風速北西2.0m/sec（最大4.4m/sec）気温13

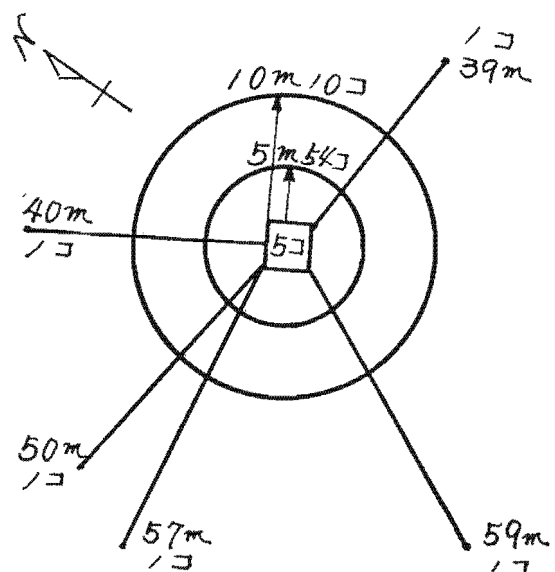
℃，湿度40%，気圧1,012mb,

実験はオイルパン内の燃料に電気点火して開始した。点火後15″～20″で火炎が拡大して急速にボンベを加熱する状況になり、1′00″で最初のボンベが爆発し、以後爆発が連続したが、1′55″で終了した。その間の状況は次のとおり。

| 経過時間 | 状況 |
|-----------|--------------|
| 0″ | 点火 |
| 15″ | 全面に火が廻る |
| 45″ | 火炎が大きくなる |
| 1′00″ | 1本破裂 |
| 1′05″ | 3本連続破裂 |
| 1′07″～55″ | この間連続的に破裂 |
| 1′55″ | 1本大きく破裂、爆発終了 |
| 3′00″ | 実験終了 |

爆発したボンベは4～5m範囲の火炎を生じ、中には60m近く飛散したものもあったが、その距離は第11図に示すとおり、約半数は半径5m以内の範囲であった。爆発した容器の状況は、缶体が完全に破裂したものもみられたが、大部分は底が抜けてロケット状に飛散したものである。又破裂箇所はカシメ部分、あるいは胴板などに特異な現象はみられず、ボンベの構造上の判断を下すことはできなかった。加熱温度の測定結果は第13図に示す。

第11図 不燃性エアゾルの飛散状況



イ、可燃性エアゾルの加熱実験

ア) 実験方法

実験は前回の不燃性エアゾルの場合と同じ要領でおこなった。用いたエアゾルは噴出剤に可燃性ガス、ベースに灯油および水を使用した殺虫剤各50本、計100本である。

エアゾル (殺虫剤)

充填ガス; LPガス

ベース; 水および灯油各50本。

充填圧; 2~3 kg/cm²

容器耐圧; 13kg/cm²以上

燃料, 加熱温度測定は前回におなじ。

イ) 実験方法

実験当時の気象状況

風位風速東南東5.5m/sec, (最大7.1m/sec) 気温

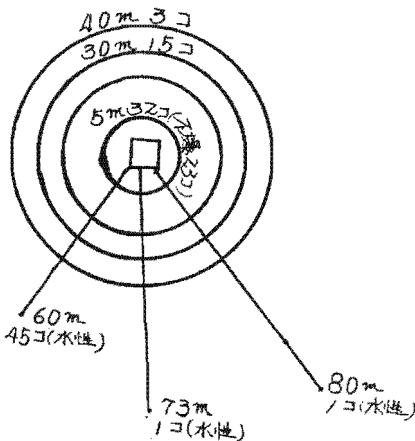
14℃, 湿度42%, 気圧1,009mb

実験は前回と同じ要領で開始した。点火後15"で最初のボンベが破裂し, 20"以後爆発が連続した。その状況は下記のとおりに。

| 経過時間 | 状 況 |
|--------|-----------------------|
| 0 | 点 火 |
| 15" | 1本破裂 |
| 20" | 大きく数個はねる |
| 29"~ | 急速に破裂はじまる |
| 1'15" | 大きく破裂(高さ30~40m, 横70m) |
| ~6'00" | 破裂継続 |
| 9'00" | 実験終了 |

今回の可燃性エアゾルは, 全般に不燃性に比較し

第12図 可燃性エアゾルの飛散状況

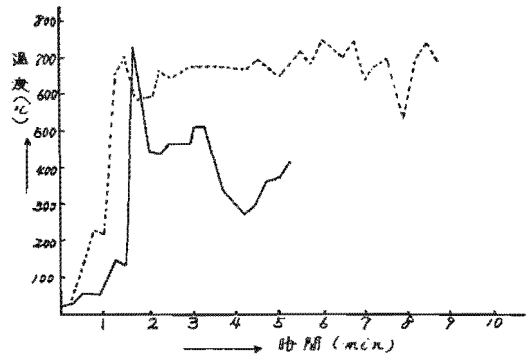


て爆発力, 飛散力とも大きく, 上空30~40m, 水平方向80mに達するものもあった。これら飛散の状況は第12図に示す。

なお前回の不燃性の場合のみられなかったが, 爆風で飛ばされた未爆発のボンベが周囲に落ちて放射熱を受け, 後刻散発的に破裂しており, このため前回に比較して実験終了までに時間を要したが, ボンベの破裂状況は前回と大差ない。

加熱温度の測定結果は第13図に示す。

第13図 エアゾル製品加熱温度



ウ、実験の考察

エアゾル製品には噴出剤として一般に可燃性のLPガス, あるいは不燃性のフロンガスなどが充填圧2~3kgで使用されているが, これらが加熱された場合, 容器の耐圧は一応13kg/cm²以上とされているが安全装置がないために当然爆発の危険が生じる。しかし少量物であるためにその危険性はもちろん, 爆発の状況についてもあまり知られていなかった。これらを究明するために実験をおこなったのであるが, その結果加熱の状況によって差のあることはもちろんであるが, 15"~20"という短時間で爆発し, しかも予想以上に爆発力の大きいことが明らかになった。その状況はそれぞれ実験結果の項で概略述べたが, 一般に可燃性エアゾルの方が爆発に至る時間も短かく, かつ強力である。特に加熱後短時間で爆発したのは, ほとんどウオーターベースのものと思われる。これは噴出剤のLPガスが水に溶けないうために常時ガスと水が分離した状態にあり, 加熱されるとガスが急激に膨張し, 内圧が上って破裂するものと思われる。

不燃性ガスを用いたエアゾルもヘアスプレーなど化粧品類はベースに50wt%程度のアルコールを使用しているため, ボンベが破裂した場合はこれに引火して数米の火柱を生じ, 爆発火災は可燃性のものと大差なかった。

エアゾル缶体の破裂ヶ所については缶底の抜けたものが主であるが、胴板あるいはカシメ部分の裂けたものも相当みられ特異な傾向は現われなかった。またエアゾル製品は原則として縦置きに保管されるので今回の実験においても縦てて、下部から加熱したが、この場合受熱面積が大きくなり、爆発エネルギーを増して遠くへ飛散する傾向が強く、特に可燃性エアゾル製品について顕著であった。

7. あとがき

昭和41年度および42年度と2回にわたってLPガスの大規模な火災実験をおこない、その危険性、あるいは対策について幾多の知見を得ることができ、消防対策を進める上に有益かつ多大の効果があった。もちろん限られた条件での野外実験であって、詳細な結論を得るためにはさらに数多くの実験をおこなう必要があるが、今回の成果の上にとって今後さらに検討を重ね、より完全なものにして行く予定である。