

2. プロパンの漏えい(複合シナリオ)

【概要】

炭化水素の漏えいによる火災・爆発を対象とした例題です。炭化水素は着火して火炎を形成するだけでなく空気と混ざり合うと条件によって爆発を起こします。火災では主に輻射熱により被害を受け、爆発では発生する衝撃波によって被害を受けます。ここでは発生する被害の特性についても示します。

1) 事故について

2006年7月25日現地時間12時30分、サウスカロライナ州コロンビア（Columbia, South Carolina 州）の大規模な工業地帯で列車が脱線しました。脱線した車両には130立方メートルのプロパンを積載したタンク貨車（DOTクラス112J400W：タンクの長さは約20メートル）がありましたが、無傷なようでした。このプロパンは圧縮液化されていました。

事故時は、気温20℃、北風（360°）、秒速4.5メートル（高度10メートルの米国立気象局値）、空は完全に雲で覆われており、湿度は67%で逆転層はありません。タンクは積荷と切り離し線路から撤去する必要がありますが、転倒の際に大きな衝撃を受けているので撤去作業中の事故が懸念されています。

想定される事故シナリオとして

- ・ BLEVE（Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion：沸騰液膨張蒸気爆発）を突然引き起こす大事故
 - ・ フラッシュ火災や蒸気雲爆発などを引き起こす漏えい
 - ・ タンクからのジェット火災を引き起こす破損
- の3つが考えられます。

2) 問題

周辺住民を考慮した安全対策のために、事故概要から予想される危険性を評価します。

ALOHA を使い、それぞれの想定シナリオについて危険領域を計算してください。

想定シナリオのうち最後の2つは、タンクにできた長さ1メートル、幅0.0025メートルの長方形の穴からの漏えいとしています。

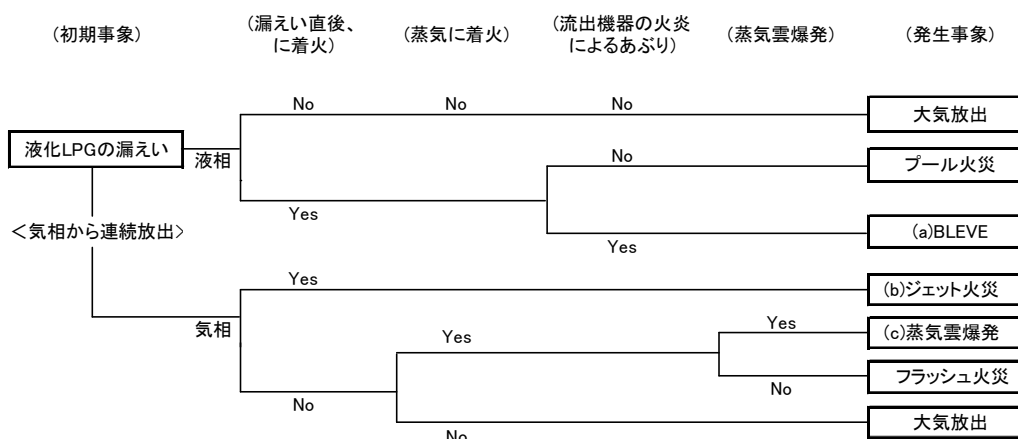


図 本シナリオのイベントツリー

3) 解答手順

評価の前の設定事項

- i) 「SetUp」 → 「Calculation Options」
「Calculation Options」 → 「Let ALOHA decide」 クリック → 「OK」 クリック
- ii) 「Display」 → 「Display Options」
「Display Options」 → 「Metric units」 (グラム、メートル単位) 選択 → 「OK」 クリック

A) データの整理

1. 都市と日時

South Carolina 州 Columbia 2006 年 7 月 25 日 現地時間 12 時 30 分

2. 化学物質 プロパン

3. 気象状況 天候、風速、風向、地形、雲量、大気安定度、逆転層の高さ、湿度

天候：曇り 空は完全に雲で覆われている

気温：20°C 湿度：67% 逆転層：なし

風速・風向：北風 (360°) 秒速 4.5 メートル(高度 10 メートルの米国立気象局値)

4. 流出状況

流出元

130 立方メートルの積載容量をもつタンク貨車 長さ 20 メートル

穴の大きさ、穴の高さ

長さ 1 メートル、幅 0.0025 メートルの長方形

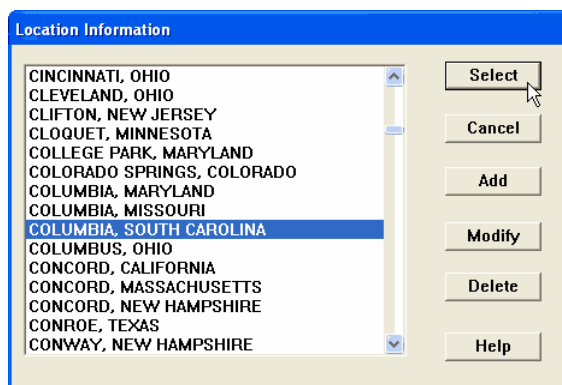
5. ALOHA による解析

- ① BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion : 沸騰液膨張蒸気爆発) を引き起こす突然の重大な事故
- ② フラッシュ火災や蒸気雲爆発などを引き起こす漏えい
- ③ タンクからのジェット火災を引き起こす破損

B) データの入力

1. 場所 : 「SiteData」 → 「Location」

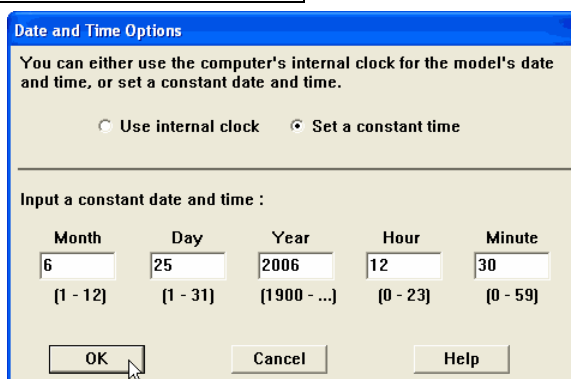
「COLUMBIA, SOUTH CAROLINA」を選択 「Select」をクリック



日時 : 「SiteData」 → 「Date&Time」

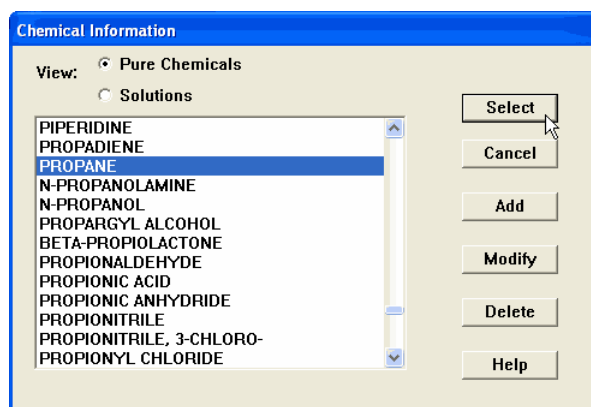
「Set a constant time」の下段「Input a constant date and time」に

「2006年7月25日現地時間12時30分」入力




2. 化学物質 : 「SetUp」 → 「Chemical」

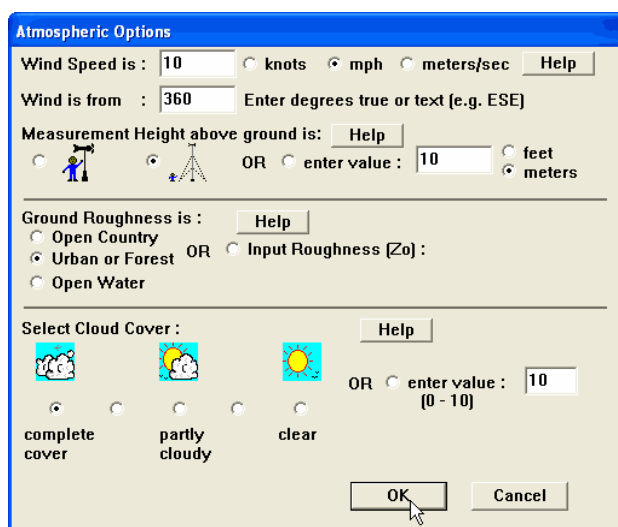
「Pure Chemicals」を選び「PROPANE」を選択 「Select」をクリック



3. 気象状況：「SetUp」 → 「Atmospheric」 → 「User Input」

[Atmospheric Options]画面

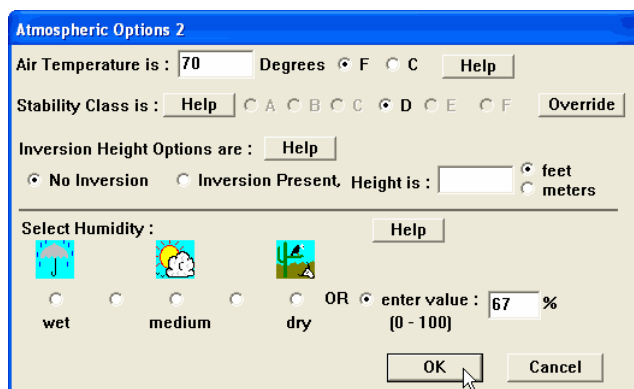
- ① 「Wind Speed」(風速)：「4.5」を入力 単位「meters/sec」をクリック
- ② 「Wind is from」(風向)：「360」を入力
- ③ 「」をクリック 右側に「10」が自動入力され「meter」にチェック
- ④ 「Ground Roughness」(表面粗度)：「Urban or Forest」選択
- ⑤ 「Select Cloud Cover」(雲量)：
「complete cover」(全天曇り)をクリック
自動的に「10」が表示
- ⑥ 「OK」をクリック



※参考画像は単位が違います。

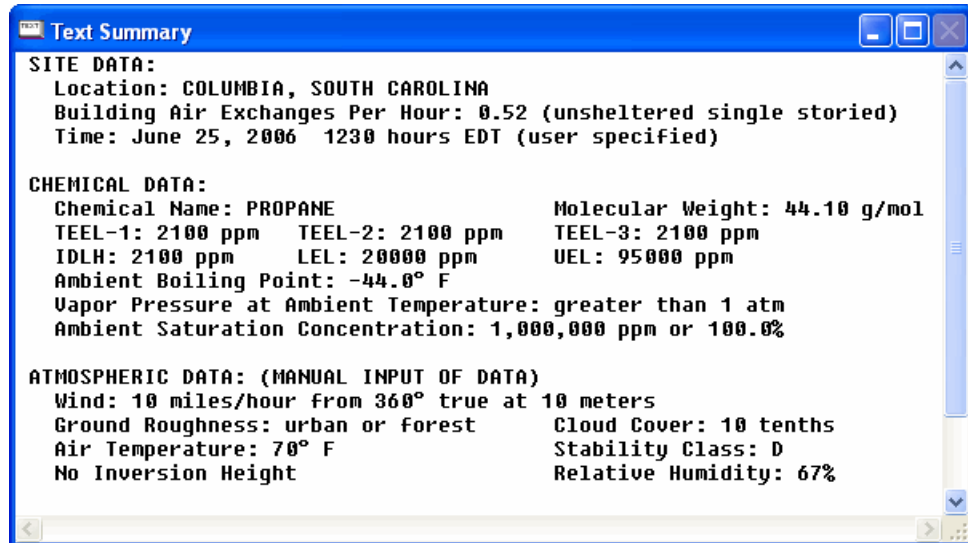
[Atmospheric Options 2]画面

- ① 「Air Temperature」(気温)：「20」を入力 摂氏を示す「C」をクリック
- ② 「Stability Class is」(大気安定度)：「D」が自動的に指定されていることを確認
- ③ 「Inversion Height Options are」(逆転層の高さ)：「No Inversion」を選択
- ④ 「Select Humidity」(湿度)：「enter value」(数値入力)の右欄に「67」を入力
- ⑤ 「OK」をクリック



※参考画像は単位が違います。

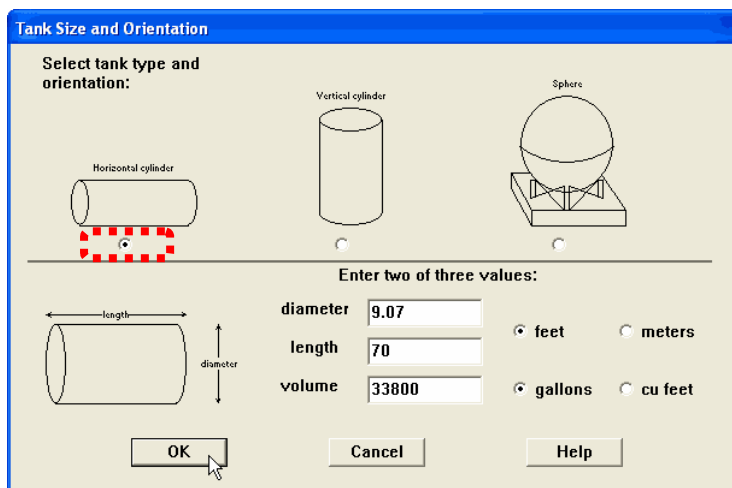
[Text Summary]画面の確認



4. 流出状況(Source Strength) : 「SetUp」 → 「Source」 より 「**TANK**」 選択

[Tank Size and Orientation]画面

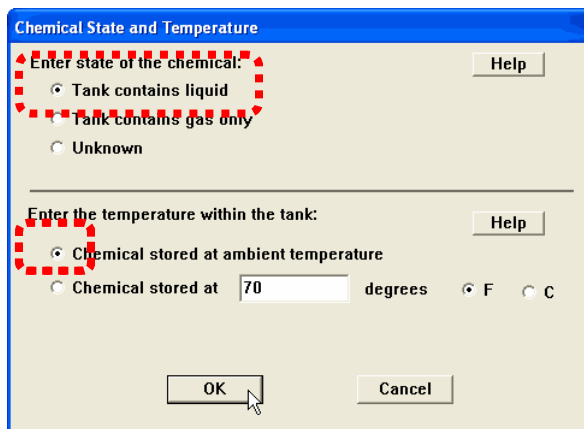
- ① 「Select tank type and orientation」 : 「**Horizontal cylinder**」 (横型円筒タンク)を選択
- ② 「length」 (円筒の長さ) : 「**20**」 を入力 単位は 「**meters**」 を選択
- ③ 「volume」 (容積) : 「**130**」 を入力 単位は 「**cu meters**」 を選択
- ④ 「diameter」 (円筒の外径) : 自動的に 「**2.88**」 が表示
- ⑤ 「**OK**」 クリック



※参考画像は単位が違います。

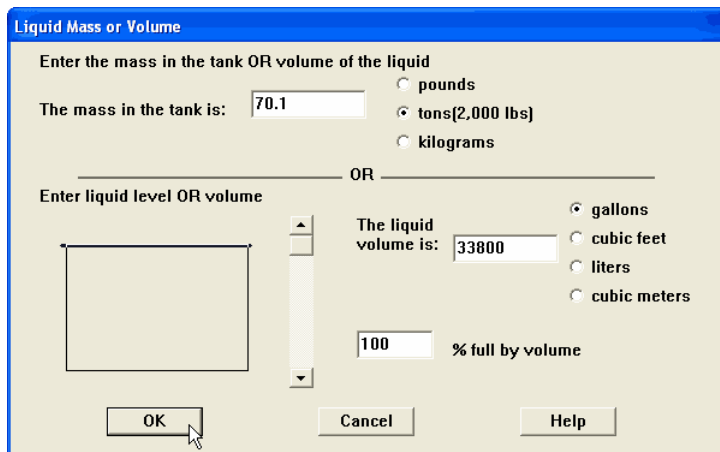
[Chemical State and Temperature]画面

- ① 「Enter state of the chemical」 (物質の状態) : 「**Tank contains liquid**」 (液体)を選択
- ② 「Enter the temperature within the tank」 (タンク内温度) :
「**Chemical stored at ambient temperature**」 (常温)を選択
- ③ 「**OK**」 クリック



[Liquid Mass or Volume](液体の重量または体積)画面

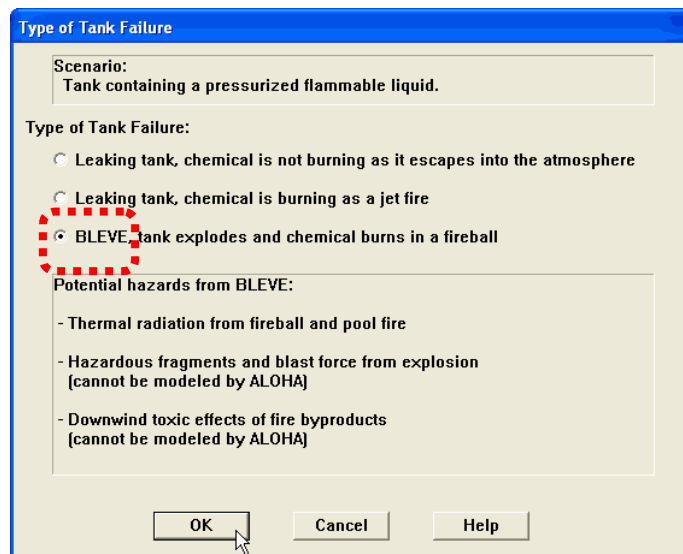
- ① 上段「Enter the mass in the tank OR volume of the liquid」(液体重量または体積) :
「The mass in the tank is」に「**64863**」を入力 単位は「kilograms」を選択
※下段に「**100**」が入り、タンク容積の100%が液体プロパンで満たされていることになる。
- ② 「OK」クリック



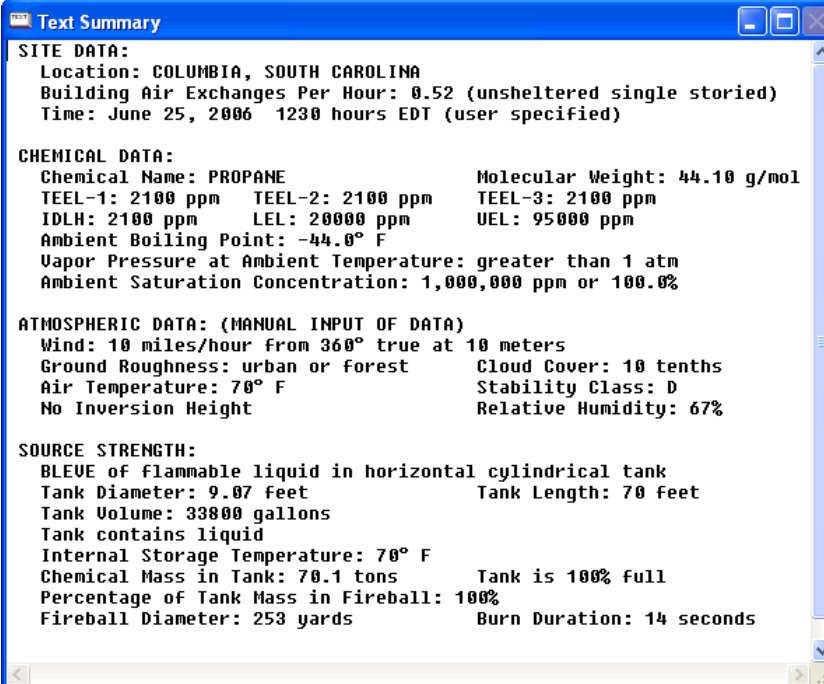
※参考画像は単位が違います。

[Type of Tank Failure](タンクの事故タイプ)画面

- ① 「BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball」を選択
- ② 「OK」クリック



5. [Text Summary]の確認



```
Text Summary
SITE DATA:
Location: COLUMBIA, SOUTH CAROLINA
Building Air Exchanges Per Hour: 0.52 (unsheltered single storied)
Time: June 25, 2006 1230 hours EDT (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: PROPANE Molecular Weight: 44.10 g/mol
TEEL-1: 2100 ppm TEEL-2: 2100 ppm TEEL-3: 2100 ppm
IDLH: 2100 ppm LEL: 20000 ppm UEL: 95000 ppm
Ambient Boiling Point: -44.0° F
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 10 miles/hour from 360° true at 10 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 10 tenths
Air Temperature: 70° F Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 67%

SOURCE STRENGTH:
BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank
Tank Diameter: 9.07 feet Tank Length: 70 feet
Tank Volume: 33800 gallons
Tank contains liquid
Internal Storage Temperature: 70° F
Chemical Mass in Tank: 70.1 tons Tank is 100% full
Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%
Fireball Diameter: 253 yards Burn Duration: 14 seconds
```

SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in horizontal cylindrical tank

Tank Diameter: 2.88 meters

Tank Length: 20 meters

Tank Volume: 130 cubic meters

Tank contains liquid

Internal Storage Temperature: 20° C

Chemical Mass in Tank: 64,863 kilograms

Tank is 100% full

Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%

Fireball Diameter: 233 meters

Burn Duration: 14 seconds

BLEVE によって放出されるプロパンによって形成されるファイヤーボールは直径 233 メートルにも及び、燃焼持続時間は 14 秒となります。

C) 評価

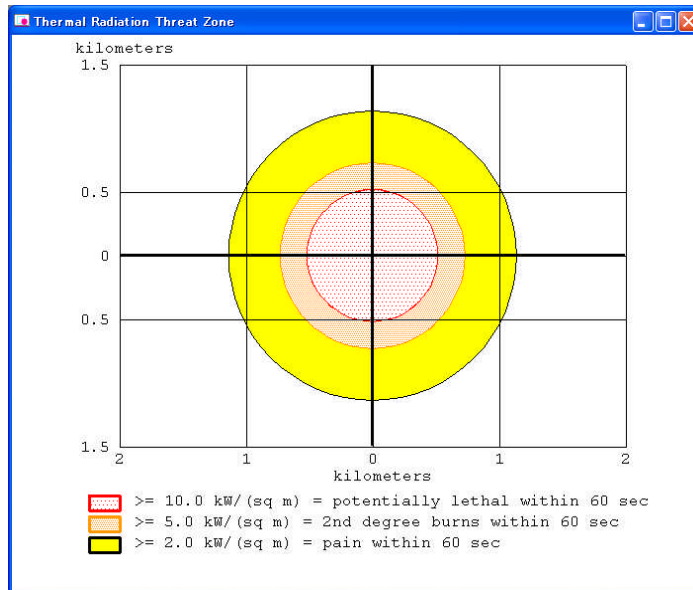
I. 危険領域の表示(BLEVE による危険領域の評価)

1. 「Display」 → 「Threat Zone」 (危険領域)を選択

[Thermal Level of Concern]画面

- ① ALOHA の初期値表示
- ② 「OK」 クリック

2. 危険領域の画面表示



3. [Text Summary]の最下部に、「Threat Zone」の項目が追加
BLEVE による危険領域は以下のような距離となると計算されます。
最も危険性の高い赤の領域は中心より 517 メートルの領域に広がることがわかります。

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from fireball

Red : 517 meters --- ($10.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$) = potentially lethal within 60 sec)

Orange: 730 meters --- ($5.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$) = 2nd degree burns within 60 sec)

Yellow: 1.1 kilometers --- ($2.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$) = pain within 60 sec)

※BLEVE では、輻射熱による危険性のほかに、飛散物・爆風圧・二次火災・爆発他を生じる恐れがあります。ALOHA ではこれらの評価を行うことはできません。

注) 新しい影響評価を始めると、前の評価結果は消えてしまいます。

「File」 → 「Print All」 で、評価結果を印刷してください。

「File」 → 「Save As」 で、「保存場所」と「ファイル名」を入力して保存してください。

II. 危険領域の表示(フラッシュ火災および蒸気雲爆発による危険領域の評価)

1. 漏えいによって生じる可燃性蒸気の危険性評価

「SetUp」→「Source」→「Tank」を選択

- ① [Tank Size and Orientation]画面→変更なし「OK」クリック
- ② [Chemical State and Temperature]画面→変更なし「OK」クリック
- ③ [Liquid Mass and Volume]画面→変更なし「OK」クリック
- ④ [Type of Tank Failure]画面

「Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere」を選択
「OK」クリック

- ⑤ [Area and Type of Leak](漏えいのタイプ)画面

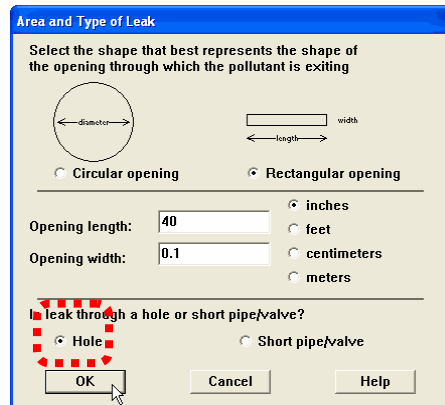
本シナリオではプロパンは長さ 1 メートル幅 0.0025 メートルの長方形の穴から漏えい
上段: 「Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting」: 「Rectangular Opening」(長方形)を選択

中段: 「Opening length」(穴の長さ): 「1」を入力

「Opening Width」(穴の幅): 「0.0025」を入力 「meters」をクリック

下段: 「In leak through a hole or short pipe/valve?」: 「Hole」を選択

「OK」クリック



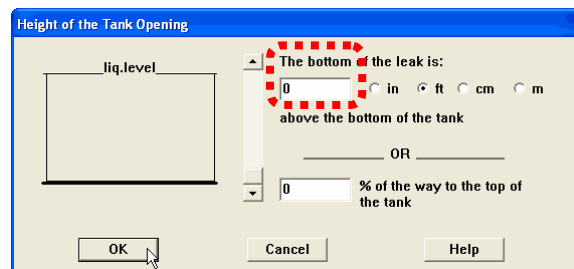
※参考画像は単位が違います。

- ⑥ [Height of the Tank Opening](タンクの穴の高さ)画面

本シナリオでは最悪条件を想定し、穴はタンクの底部に開くこととする。

「The bottom of the leak is」(タンク底部からの穴の高さ): 「0」を入力

「OK」クリック



※[Text Summary]の「Source Strength」の欄が変更

プロパンの放出は28分間継続し、最大平均流出速度は毎分2480キログラムとなります。

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical escaping from tank (not burning)

Tank Diameter: 2.88 meters

Tank Length: 20 meters

Tank Volume: 130 cubic meters

Tank contains liquid

Internal Temperature: 20° C

Chemical Mass in Tank: 64,863 kilograms

Tank is 100% full

Opening Length: 1 meters

Opening Width: 0.0025 meters

Opening is 0 meters from tank bottom

Release Duration: 28 minutes

Max Average Sustained Release Rate: 2,480 kilograms/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 64,863 kilograms

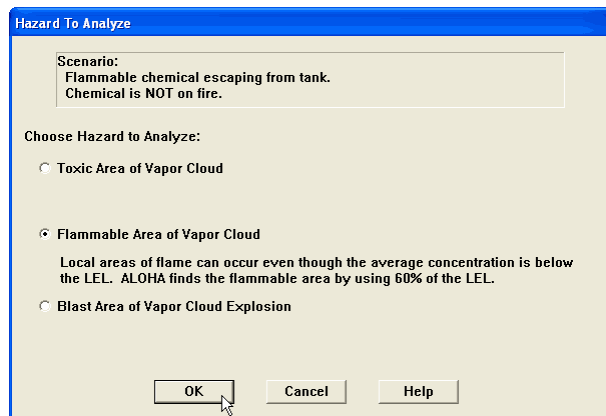
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

2. 発生する被害の予測

- 1) 危険性のしきい値の設定と火災が起こる可燃性混合気濃度となる範囲の予測
「Display」 → 「Threat Zone」 を選択

[Hazard analyze]画面

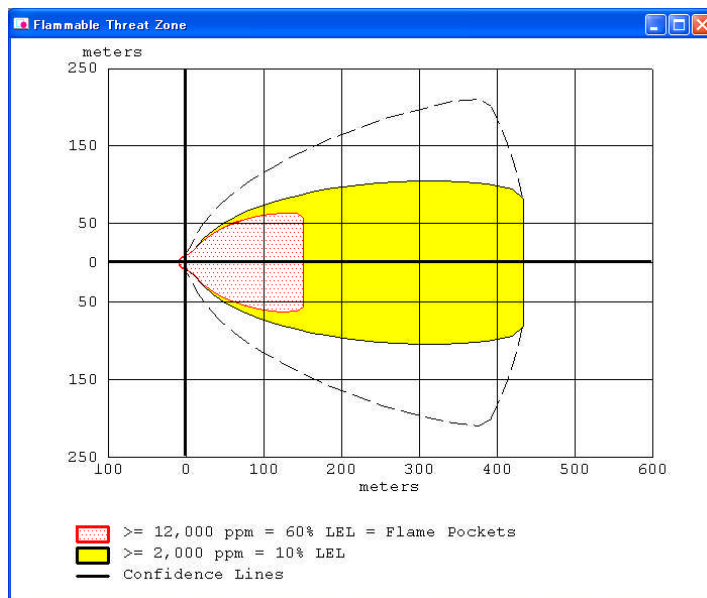
- ① 「Choose Hazard to Analyze」 : 「Flammable Area of Vapor Cloud」 選択
- ② 「OK」 クリック



[Flammable Level of Concern]画面

表示される初期値の状態で「OK」

※以下の画面が表示されます。



赤の領域は爆発下限界濃度の 60%の濃度となる領域で、フラッシュ火災や蒸気雲爆発が生じる危険性の高い領域となっています。

[Text Summary]に危険領域は以下の距離であると表示されます。

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Flammable Area of Vapor Cloud

Model Run: Heavy Gas

Red : 152 meters --- (12,000 ppm = 60% LEL = Flame Pockets)

Yellow: 434 meters --- (2,000 ppm = 10% LEL)

以上のことから、蒸気雲の可燃性領域がどこであるか計算できることがわかります。さらに、その領域内にある着火源の種類（スパークなど）、障害度を入力することができます。障害度は乱流を生じる物体(建物、構造物など)の密度を示します。木の茂み (shrub) のように一般的に小さな障害物は火炎先端を妨害しません。一方、建物などの大きな障害物は火炎先端を妨害するため、ここでは障害物として取り扱うのは適切ではありません。**ALOHA** では、樹木が密集している場合や配管棚がある場合など、ヒトが行き来することが困難となる場合を障害がある(congested)とし、ヒトの行き来が容易な場合は障害がない(uncongested)としています。

注) 新しい影響評価を始めると、前の評価結果は消えてしまいます。

「File」→「Print All」で、評価結果を印刷してください。

「File」→「Save As」で、「保存場所」と「ファイル名」を入力して保存してください。

- 2) 蒸気雲爆発を起こす蒸気雲の一部(Flammable Threat Zone の Red Zone の部分)が、スパークなどの着火源や上記の障害度を有する領域を通過することを前提とする蒸気雲爆発による危険性評価

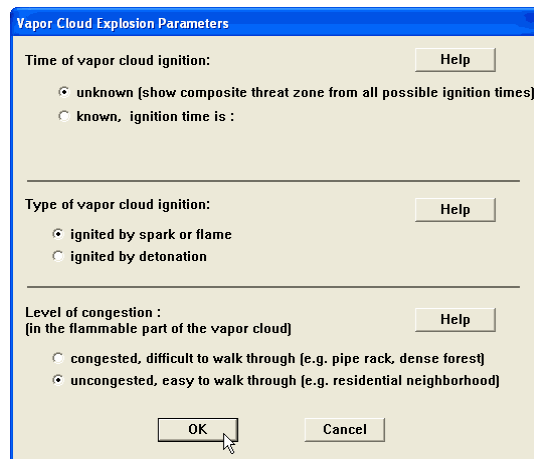
「Display」 → 「**Threat Zone**」 を選択

[**Hazard analyze**]画面

- ① 「Choose Hazard to Analyze」 : 「**Blast Area of Vapor Cloud Explosion**」 選択
- ② 「**OK**」 クリック

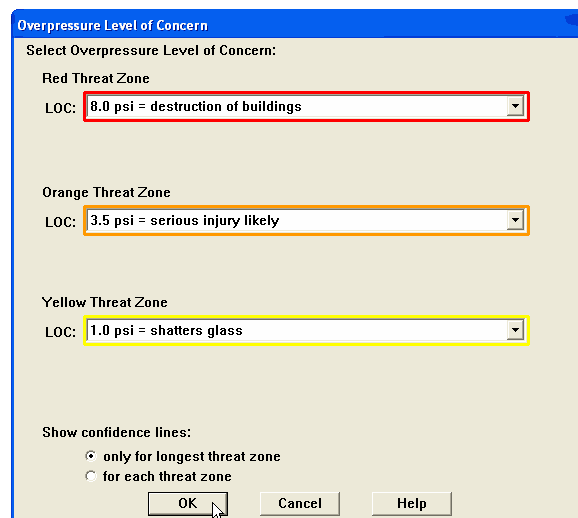
[**Vapor Cloud Explosion Parameters**] (蒸気雲爆発の設定) 画面

- ① 「Time of vapor cloud ignition」 : 「**unknown**」 を選択
- ② 「Type of vapor cloud ignition」 : 「**ignited by spark of flame**」 を選択
- ③ 「Level of congestion」 : 「**uncongested, easy to walk through**」 を選択
- ④ 「**OK**」 クリック

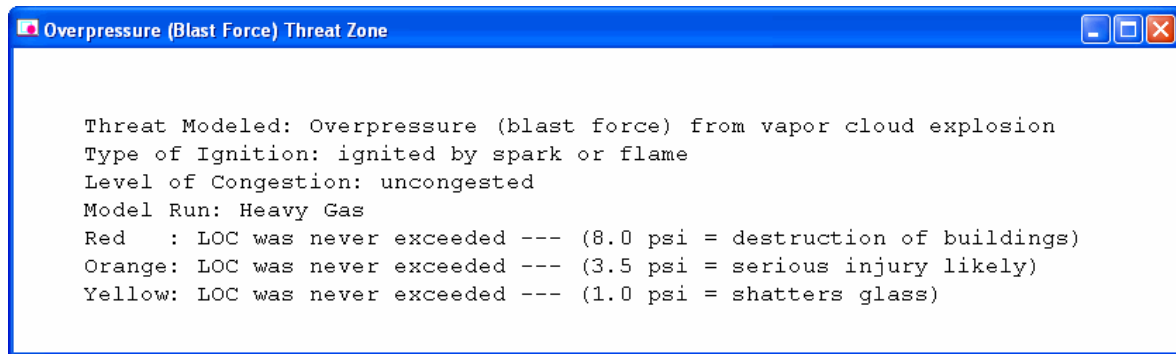


[**Overpressure Level of Concern**]画面

表示される初期値の状態ですべて「**OK**」 クリック



※結果の表示



```
Overpressure (Blast Force) Threat Zone

Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
Type of Ignition: ignited by spark or flame
Level of Congestion: uncongested
Model Run: Heavy Gas
Red : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)
Orange: LOC was never exceeded --- (3.5 psi = serious injury likely)
Yellow: LOC was never exceeded --- (1.0 psi = shatters glass)
```

この結果は、赤色 (Red) オレンジ色 (Orange) 黄色 (Yellow) のいずれのレベルを超える領域も無いことを示しています。したがって、前の例題のような危険領域を示す図は表示されません。

ここで設定したシナリオでは、蒸気雲爆発による危険性の高い爆風圧を発生しないことを示しています。つまりフラッシュ火災の可能性はありますが、爆風圧を生じません。事実、障害度の低い領域(uncongested area)で蒸気雲に着火して爆発する高反応性の化学物質は、**ALOHA** の化学物質ライブラリの中では、アセチレン、エチルアセチレン、エチレンオキサイド、水素、プロピレンオキサイドおよび 1,3-プロピレンオキサイドに限られています。また、蒸気雲爆発は障害度の高い領域である場合や、爆ごう波によって着火される場合に発生しやすくなります。

3) 被害が高い領域(congested area)での評価

「Display」 → 「**Threat Zone**」を選択

[**Hazard analyze**]画面

- ① 「**Choose Hazard to Analyze**」より「**Blast Area of Vapor Cloud Explosion**」
- ② 「**OK**」クリック

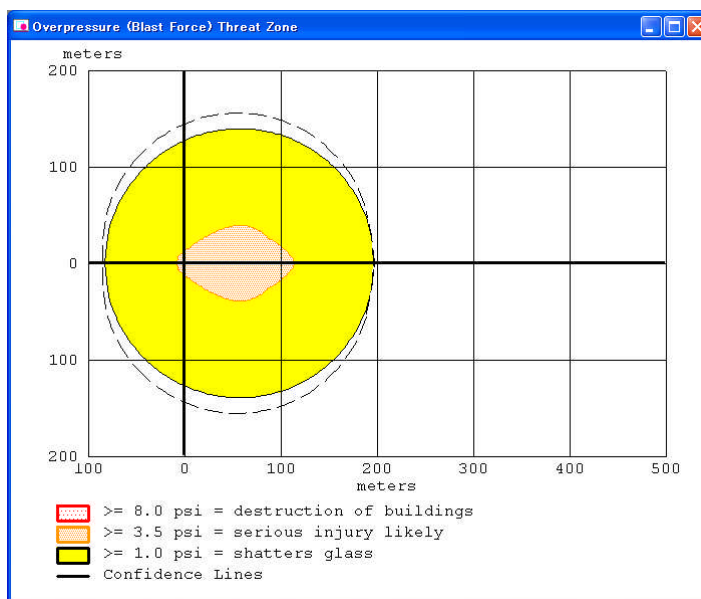
[**Vapor Cloud Explosion Parameters**] (蒸気雲爆発の設定) 画面

- ① 「**Time of vapor cloud ignition**」: 「**unknown**」を選択
- ② 「**Type of vapor cloud ignition**」: 「**ignited by spark of flame**」を選択
- ③ 「**Level of congestion**」: 「**congested, difficult to walk through**」を選択
- ④ 「**OK**」クリック

[**Overpressure Level of Concern**]画面

表示される初期値の状態で「**OK**」

※結果の表示



[Text Summary]には、以下のように表示されます。

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion

Type of Ignition: ignited by spark or flame

Level of Congestion: congested

Model Run: Heavy Gas

Red : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)

Orange: 113 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)

Yellow: 197 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

危険レベルが、建物破壊が発生する領域となる Red を超えることはありませんが、大きな人的被害となるオレンジ色 (Orange) の領域は風下方向に 113 メートルの地点まで広がることになります。ガラスが割れる黄色 (Yellow) の領域も図のとおりです。しかし、この領域は一度の爆発で生じる危険性の高い領域ではありません。

ここでは、入力した条件に対して着火までの遅延時間の数値を入れて得られる全危険領域の評価結果を積算して表示しています。

3. 危険領域の表示(ジェット火災による危険領域の評価)

タンクからプロパンが漏えいし、広がるプロパンが瞬時に着火されるとジェット火災が発生します。これより、ジェット火災の危険性評価を行います。

A) 「SetUp」 → 「Source」 → 「Tank」 を選択

- ① [Tank Size and Orientation]画面：変更なし「OK」クリック
- ② [Chemical State and Temperature]画面：変更なし「OK」クリック
- ③ [Liquid Mass and Volume]画面：変更なし「OK」クリック
- ④ [Type of Tank Failure]画面：
中段：「Leaking tank, chemical is burning as a jet fire」を選択
「OK」クリック
- ⑤ [Area and Type of Leak] (漏えいのタイプ)：変更なし「OK」クリック
- ⑥ [Height of the Tank Opening] (タンク底部からの穴の高さ)：
タンク上部に穴ができたこととし、「100」%を指定
「OK」クリック

[Text Summary]に以下の条件値が表示

最大燃焼速度は毎分 2480 キログラムで、この液体プロパンを積載したタンクからジェット火災を生じた場合、燃焼持続時間は1時間を越えることが予測されました。

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Flammable chemical is burning as it escapes from tank

Tank Diameter: 2.88 meters

Tank Length: 20 meters

Tank Volume: 130 cubic meters

Tank contains liquid

Internal Temperature: 20° C

Chemical Mass in Tank: 64,863 kilograms

Tank is 100% full

Opening Length: 1 meters

Opening Width: 0.0025 meters

Opening is 2.88 meters from tank bottom

Max Flame Length: 32 meters

Burn Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Burn Rate: 2,480 kilograms/min

Total Amount Burned: 59,485 kilograms

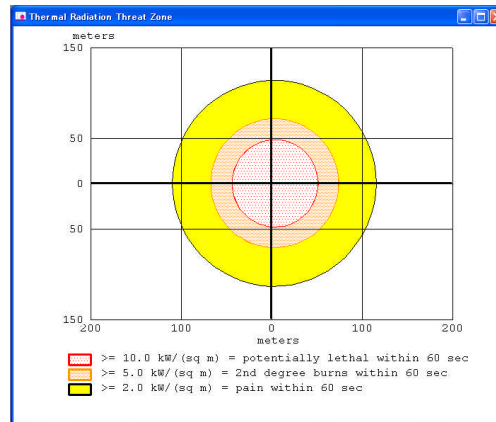
Note: The chemical escaped from the tank and burned as a jet fire.

B) 「Display」 → 「Threat Zone」 (危険領域) を選択

[Thermal Level of Concern]画面

ALOHA の初期値が表示されます。このまま「OK」クリック

※右の画面が表示されます。



赤色の最も危険性の高い領域は半径 52 メートルに広がることがわかります。

THREAT ZONE:

Threat Modeled: Thermal radiation from jet fire

Red : 52 meters --- (10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec)

Orange: 74 meters --- (5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec)

Yellow: 116 meters --- (2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec)

4) 解答と解説

これまでに、タンクより液体プロパンが漏えいしたときの危険性として、

1. BLEVE を突然引き起こす大事故
2. フラッシュ火災や蒸気雲爆発などを引き起こす漏えい
3. タンクからのジェット火災を引き起こす破損

の3つのシナリオについて評価を行いました。

これらをまとめると以下の通りです。

シナリオ	危険性	危険領域 (Threat Zone)			燃焼持続 時間	
		Red	Orange	Yellow		
I	BLEVE	輻射熱	517m	730m	1100m	14 秒
II	可燃領域	フラッシュ火災 の危険領域	52m	LOC の設定なし	434m	-
	蒸気雲爆発 (低障害度)	爆風圧	LOC に到達しな い	LOC に到達しな い	LOC に到達しな い	-
	蒸気雲爆発 (高障害度)	爆風圧	LOC に到達しな い	113m	197m	-
III	ジェット火災	輻射熱	52m	74m	116m	1 時間以上

この中では、BLEVE の危険性は最も広範囲である可能性があります。しかし、BLEVE はそれほど長く持続しません(14 秒)。これに対してジェット火災では、危険領域はそれほど広くありませんが、1 時間を越えてもプロパンの燃焼が持続する可能性があります。このように、危険領域だけでなく危険である時間も化学物質の危険性評価では重要な指標となります。