



プラント災害・防災シミュレーション

株式会社FPEC

# 災害・防災シミュレーションを行い 事業所の防災管理体制の向上を

災害・防災シミュレーションは、以下のような取り組みに活用でき  
防災管理体制の向上に役立てられます

## 近隣住民への安全対策

消防庁の石油コンビナートの防災アセスメント指針に示されるように災害時の被害想定を確認し、近隣住民への避難誘導・安全に対する理解と周知に活用できます



## スーパー認定事業所の認定取得のため

経済産業大臣が認定するスーパー認定事業所の認定要件として高度な緊急時対応訓練があります。被害想定シナリオとそのシナリオに基づく適切な訓練の実施が求められ、弊社の災害・防災シミュレーションをご活用いただけます。スーパー認定事業所となれば、連続運転期間を最大8年までに設定できるなどの利点があります。



## 保安力の向上のため

保安力向上センターが実施する保安力評価では、災害シミュレーションの活用が望まれています。  
事業所の保安力の向上の一環として  
災害シミュレーションを活用するとともに、  
評価対策として活用できます。

# プラント災害シミュレーション

弊社では、火災、爆発、ガス拡散および、これらの対策のためのプラント災害シミュレーション用各種ソフトウェアを自社開発し、発災時の影響度評価と警防計画などの対策案検討を行っております。

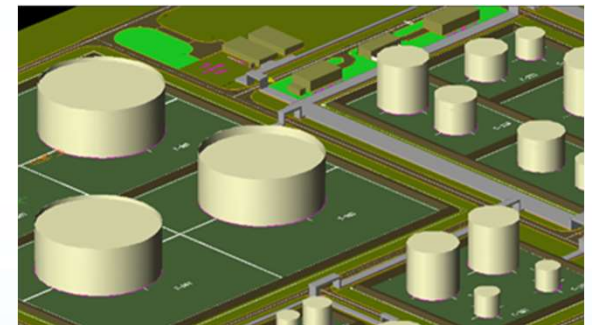
製造プラントに潜む災害は以下のような現象が考えられます。

## 危険物の漏洩とガス拡散

- ・ 漏洩
- ・ 液の広がり
- ・ 蒸発
- ・ ガス拡散

## 火災

- ・ 輻射熱
- ・ ボイルオーバー



## 爆発

- ・ 蒸気雲爆発VCE (Vapor Cloud Explosion)
- ・ フラッシュファイア(Flash Fire)
- ・ BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)
- ・ ファイアーボール(Fire Ball)

これらの災害は初期事象（漏洩）から一連の流れとして発生していきます

## 一連の災害シナリオに沿ったシミュレーション

弊社では下記例のように漏洩・蒸発などの初期事象から、ガス拡散・火災・爆発までの一連の流れについて一貫した災害シミュレーションを実施し、報告書としてまとめます。

災害シナリオ	危険物の漏洩→着火	原油タンクの全面火災	危険物の漏洩→着火せず拡散	毒性ガスを含む漏洩→着火せず拡散
シナリオの内容	漏洩・蒸発 (漏洩シナリオに基づき、漏洩・蒸発量を計算)	原油タンク全面火災 (輻射熱の影響範囲を図示)	漏洩・蒸発 (漏洩シナリオに基づき、漏洩・蒸発量を計算)	漏洩・蒸発 (漏洩シナリオに基づき、漏洩・蒸発量を計算)
	↓	↓	↓	↓
	ガス拡散 (LELの50%範囲の経時変化を図示)	消火できずボイルオーバーが発生	ガス拡散 (ppm / LELの50%のいずれかで、影響範囲の経時変化を図示)	ガス拡散 (ppm / 臭気強度のいずれかで、影響範囲の経時変化を図示)
	↓	↓		
	着火しフラッシュファイアが発生	(発生までの時間および残油量を計算)		
	↓	↓		
	バックファイアにより防油堤火災が発生 (輻射熱範囲を図示)	ボイルオーバー発生時の輻射熱の影響範囲、及び油の飛散範囲を図示		
	↓			
	BLEVEが発生 (圧力波および破片の飛散範囲を図示)			
	↓			
ファイアーボールが発生 (輻射熱の影響範囲図示)				

# 漏洩・液の広がり・蒸発 シミュレーション

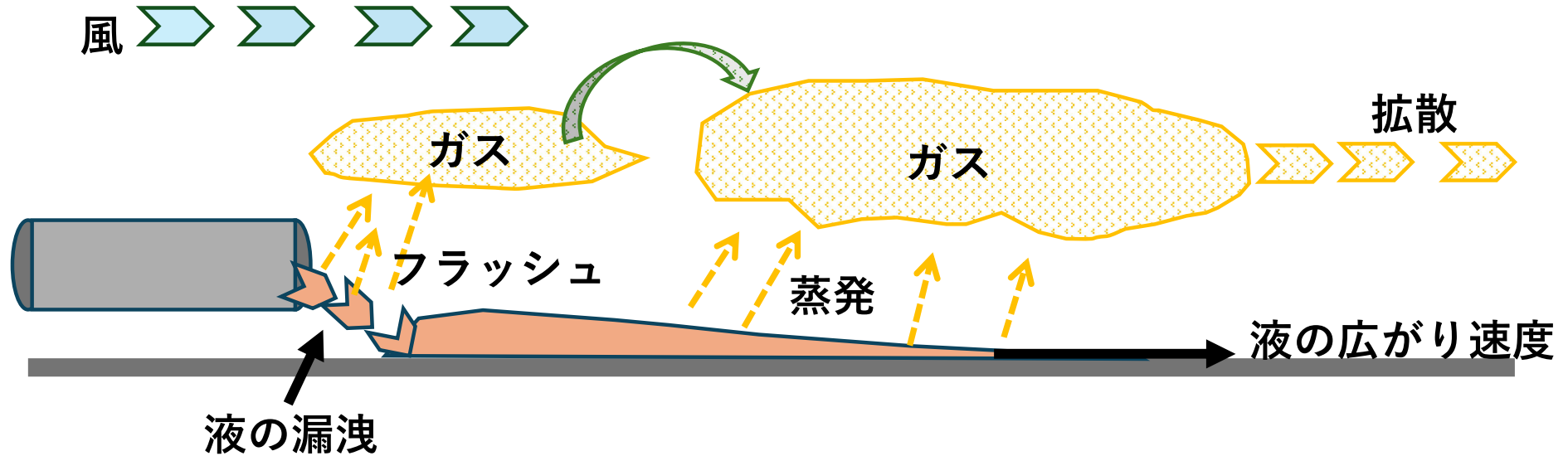
危険物液体の漏洩時の状況解説と弊社のシミュレーション方法と結果についてご紹介します

- **漏洩・液の広がり・蒸発のイメージ**  
(防油堤がない場合)
- **漏洩・液の広がり・蒸発のイメージ**  
(防油堤がある場合)
- **流体の貯蔵状態別の漏洩**
- **液の広がりおよび蒸発の計算方法**
- **シミュレーション結果例**

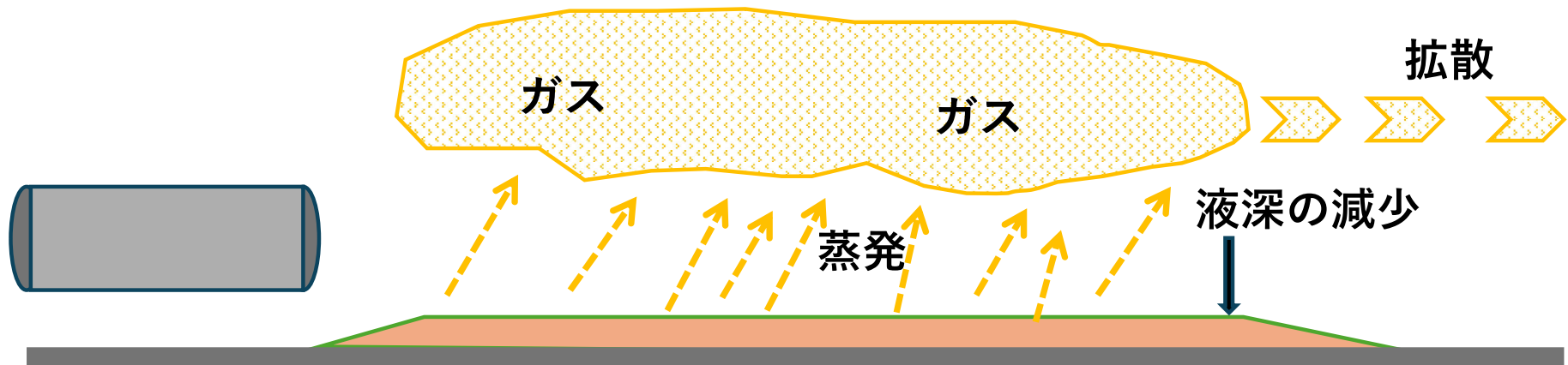


# 漏洩・液の広がり・蒸発のイメージ

防油堤・防液堤がない場合

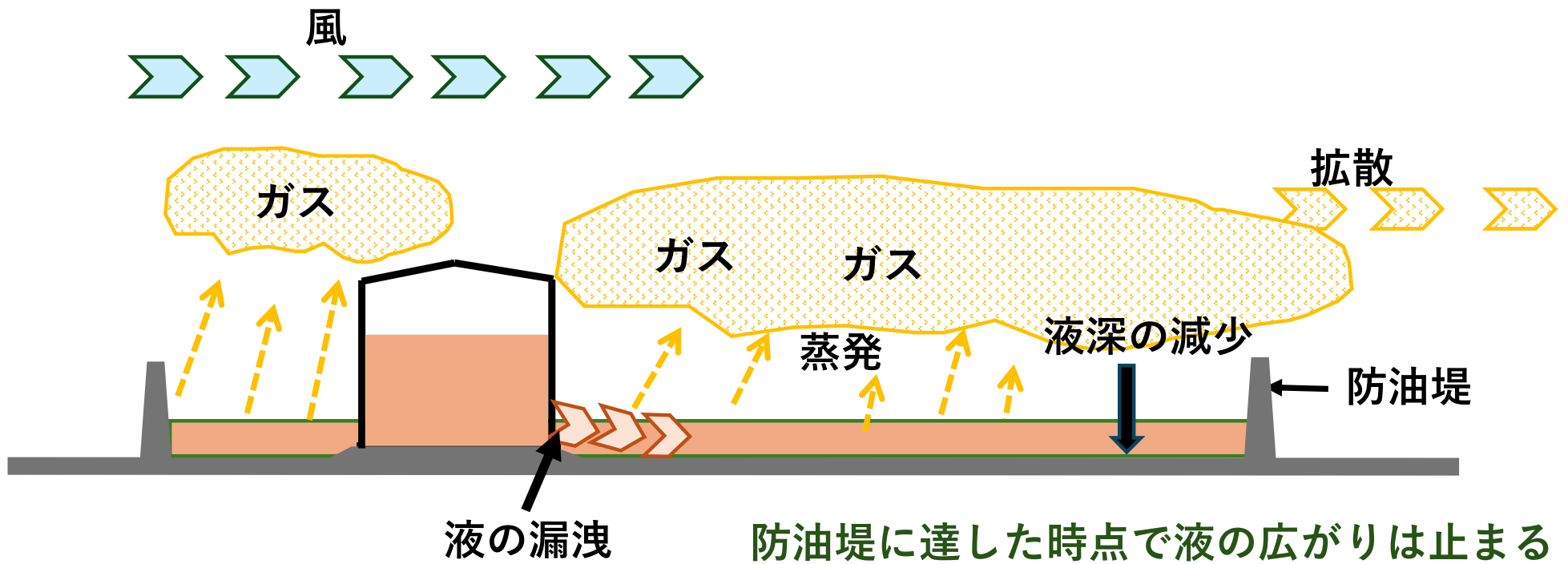


風 漏洩が止まった後も蒸発は続き、ガスが排出し続ける



# 漏洩・液の広がり・蒸発イメージ

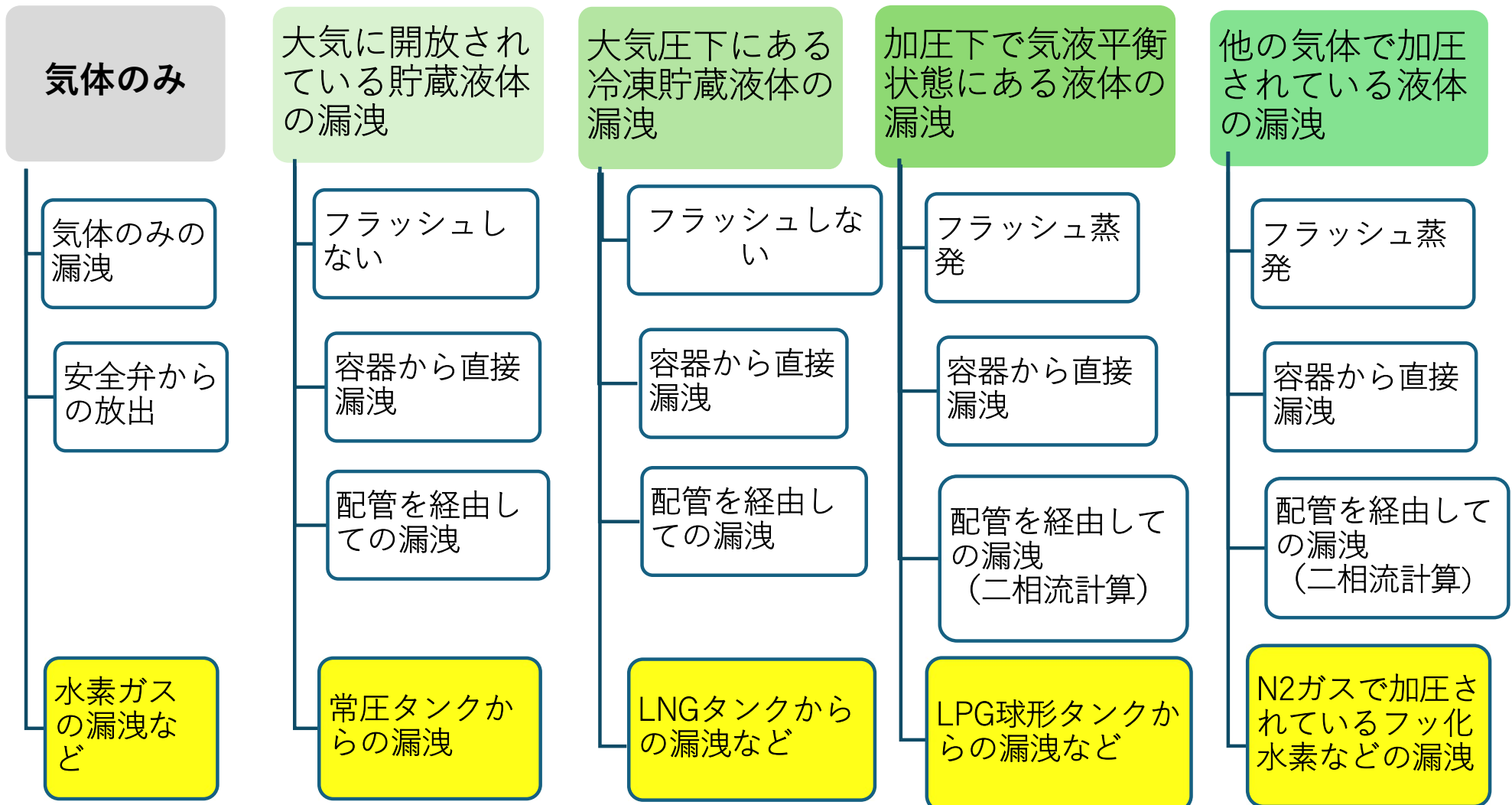
防油堤・防液堤がある場合



防油堤は蒸発速度 [kg/Hr]を抑える効果が最も大きい

# 流体の貯蔵状態別の漏洩

## 漏洩





# 漏洩液体の広がり・蒸発の計算方法

以下のいずれの計算方法にも対応可能です

## 漏洩液体の 広がり

**KHK-E-007**で採用されている方法  
(LNGなど低温液体に使用)

**USA. EPA**で採用されている方法  
液体の厚さを一律 1 cm として計算する。(米環境保護庁)

**USA.FEMA**で採用されている方法  
液体の広がり面積は漏洩液体量の約1/2乗に比例する。(米連邦緊急事態管理庁)

**ALOHAプログラム**で採用されている方法  
KHKで採用されている方法と似た方法であり、広がり速度が早い。  
(米商務省, 海洋大気局)

## 漏洩液体の 蒸発

**KHK-E-007**で採用されている方法  
LNGなど低温液体に使用されるもので、地面からの熱吸収のみ考慮している。

**USA. EPA**で採用されている方法  
LNGなど低温液体に使用されるもので、地面からの熱吸収のみ考慮している。

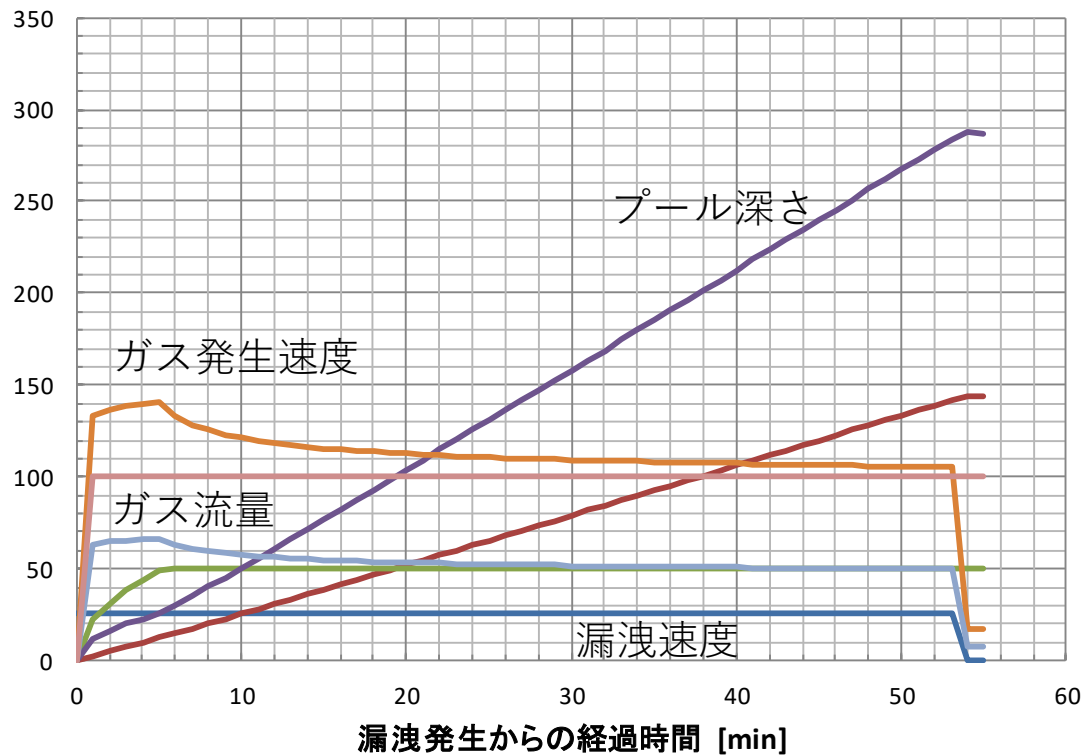
**USA.FEMA**で採用されている方法  
液体の燃焼速度から推算する方法

**USA Air Force**で採用されている方法  
ヒドラジンの実験データとの比較計算方法

**ALOHAプログラム**で採用されている方法  
太陽光からの入熱、大気との熱交換、地面からの熱吸収など全ての熱バランスから蒸発速度を求める方法

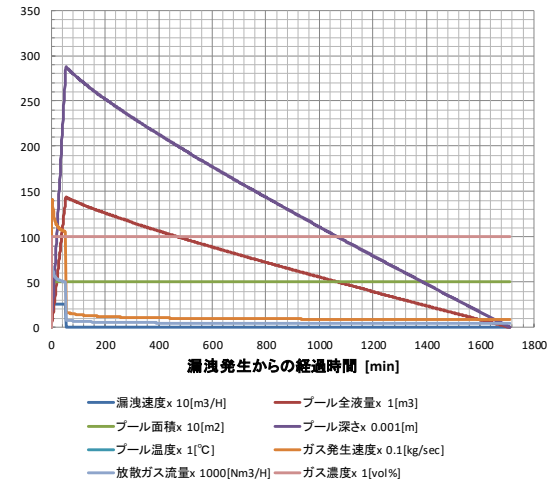
# 漏洩・液の広がり・蒸発 【シミュレーション結果例】

## アンモニア液の漏洩と蒸発速度（全量漏洩まで）



- 漏洩速度x 10[m3/H]
- プール面積x 10[m2]
- プール温度x 1[°C]
- 放散ガス流量x 1000[Nm3/H]
- プール全液量x 1[m3]
- プール深さx 0.001[m]
- ガス発生速度x 0.1[kg/sec]
- ガス濃度x 1[vol%]

## 液の漏洩と蒸発速度



計算条件	CND3		アンモニア		タンク型式	円筒機型タンク	
列番号   漏洩物質名	20		アンモニア		タンクの直径	円筒機型タンク	
分子量	M	17.03	—		タンクの高さ (長さ)	Dt	5.0 [m]
大気圧に於ける沸点	Tboil	-33.3	[°C]		タンク初期液面高さ	Lhf	2.8 [m]
液の密度@Ts	$\rho l$	594.5	[kg/m3]		漏洩口の直径	Dn	50.0 [mm]
ガスの密度@Ts,Ps	$\rho g$	7.79	[kg/m3]		漏洩口の高さ	Lhole	0.00 [m]
ガスの密度@Tatm,Pa	$\rho g$	0.69	[kg/m3]		流出係数	Cd	0.60
蒸気圧@Ts	PETs	11.755	[Kg/cm2A]		タンク貯蔵温度	Ts	30.0 [°C]
蒸気圧@Tatm	PETatm	11.755	[Kg/cm2A]		防油堤の有効面積	Ad	500.0 [m2]
液の粘度@Tboil	$\mu$	0.0	[kg/m · s]		防油堤の風下長さ	Lpd	15.0 [m]
ガスの比熱@Tboil	CpG	0.5	[kcal/kg/°C]		漏洩時間	$\theta$ max	100 [Min]
蒸発潜熱@Tboil	$\Delta$ Hev	327	[Kcal/kg]		表示時間間隔	$\delta$ $\theta$	1 [Min]
真発熱量	$\Delta$ comb	4,443	[Kcal/kg]		計算時間間隔	$\Delta$ $\theta$	10 [sec]
引火点	FP	-123.0	[°C]		タンク貯蔵圧力	Ps	10.722 [Kg/cm2G]
爆発下限界	EPL	16.0	[%]				[m]
爆発上限界	UPL	25.0	[%]				[m]
配管内径	Dp	0.000	[m]		配管長さ	Lp	0.20 [m]
蒸発速度計算方法	4	ALOHA Method			漏洩面積計算方法	1	Ap計算法
大気温度	Tatm	30.0	[°C]		風速 (at 10m)	Uw10	6.0 [m/sec]
湿度	RH	50	[%]		雲量	CJ	0.0 -
地面の温度	Tgrd	30	[°C]		西暦	year	2018 -
地面の種類	soil	concrete			日時 (月、日、時刻)	8	15
プール表面上の風速	u	1.5	[m/sec]		緯度/経度	34.56	136.38 [度]
計算結果							
最大漏洩速度	254.2	[m3/H]		漏洩プール最大面積	500.0	[m2]	
漏洩停止時のタンク液面高さ	0.00	[m]		上記に達するまでの経過時間	6.0	[Min]	
全漏洩液量	226.7	[m3]		漏洩プール最大液深	0.287	[m]	
放散ガスの平均濃度	100.0	[Vol%]		上記に達するまでの経過時間	54.0	[Min]	
最大放散ガス流量	66,543.2	[Nm3/H]		漏洩物質の最大ガス発生速度	14,053	[kg/sec]	
上記に達するまでの経過時間	5.0	[Min]		上記に達するまでの経過時間	5.0	[Min]	
平均放散ガス流量	6,193.1	[Nm3/H]		プールの完全蒸発経過時間	1710.7	[Min]	
大気安定度	C			フラッシュ率	FlashX	0.213 -	
プール平均温度	Tpav	-33.300	[°C]		液の密度@Tpav	$\rho l$	681.8 [kg/m3]
蒸気圧@Tpav	PETp	1.045	[Kg/cm3A]		ガス密度@Tpav、Pa	$\rho g$	0.9 [kg/m3]
蒸発潜熱@Tpav	$\Delta$ Hev	327.171	[kcal/kg]		液の比熱@Tpav	CpL	1.0 [kcal/kg/°C]

# ガス拡散シミュレーション

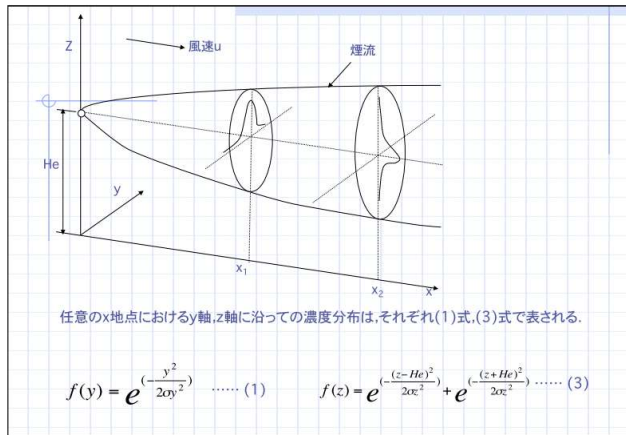
1. 計算モデル
2. 弊社拡散プログラム
3. シミュレーション結果例  
二次元表示（アンモニア・PPM表示）
4. シミュレーション結果例  
三次元表示（アンモニア・PPM表示）



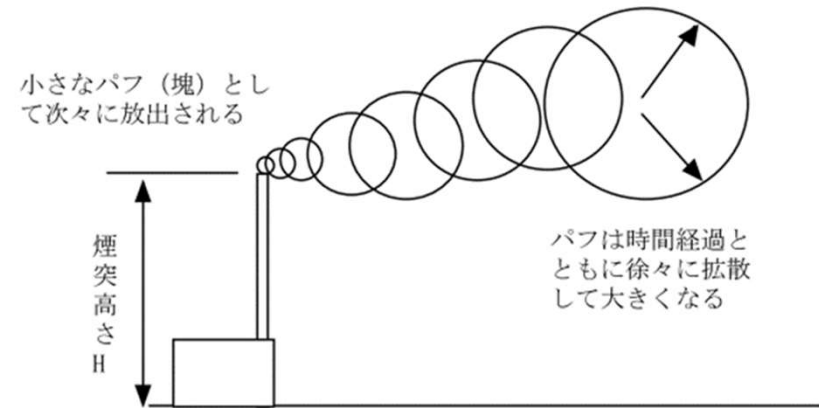
# ガス拡散計算モデル

弊社ではパフモデルにより拡散計算を実施

## プルームモデル



## パフモデル

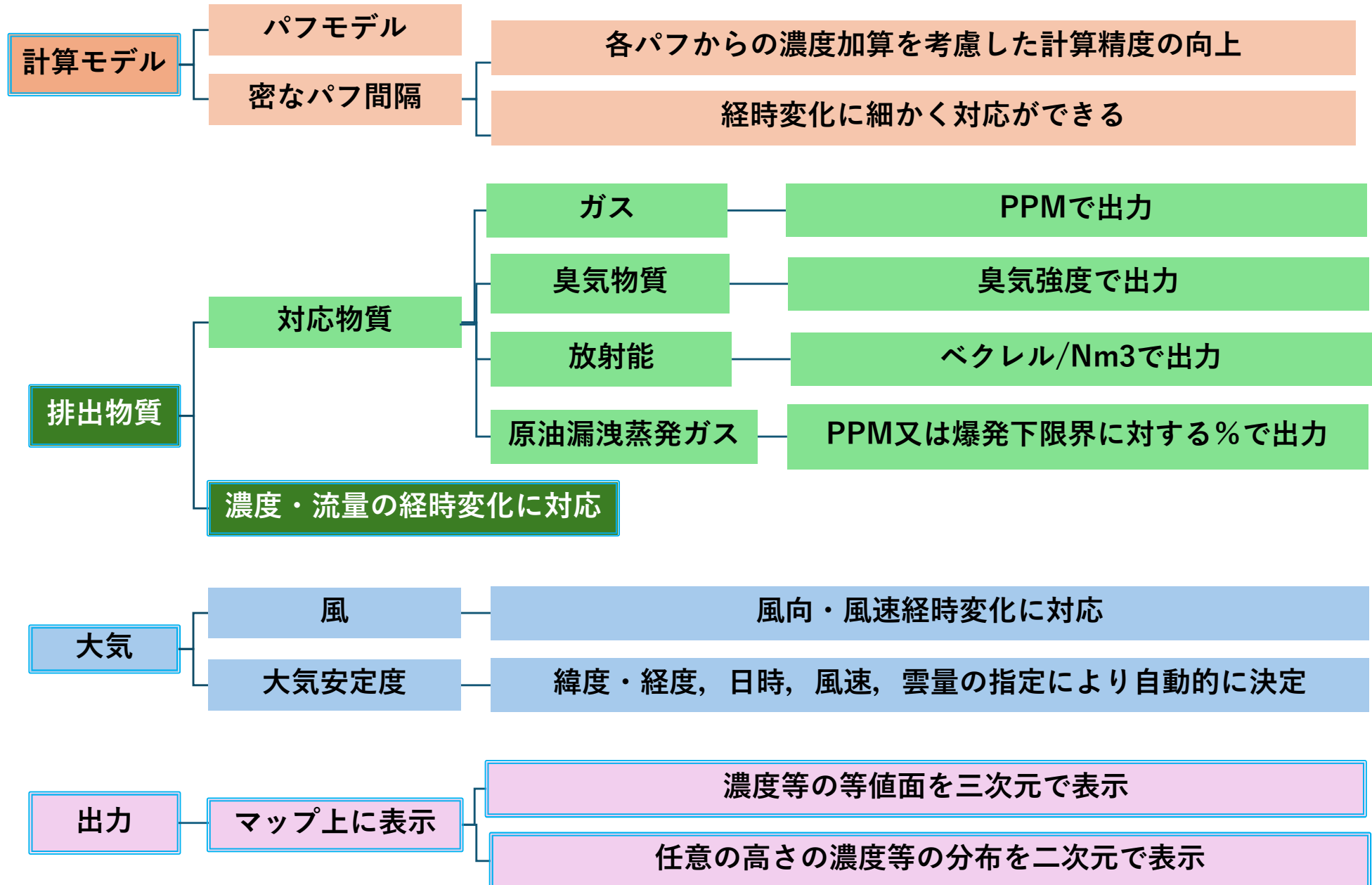


プルームモデルは、ガスが十分に広い空間において、連続的に煙突から排出される。一方向且つ一定の風速下で風下に拡散していく場合に適用される。

風向・風速および放出ガスの経時変化には対応できないため、弊社のプログラムでは採用していない。

各々のパフがプルームモデルにおける煙突のような拡散計算をする。パフの動きは風の動きに左右され変化する。ガスの排出量および排出濃度の変化は時々々のパフの大きさ、濃度に影響する。

# 弊社プログラム概要

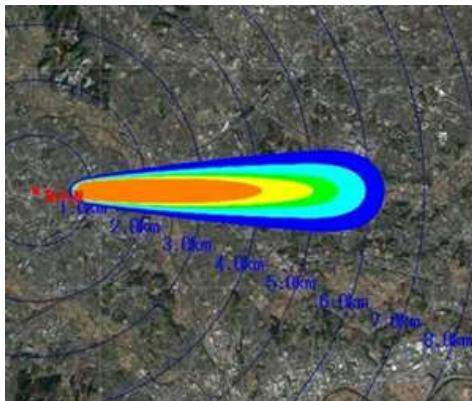


# 【シミュレーション結果例】

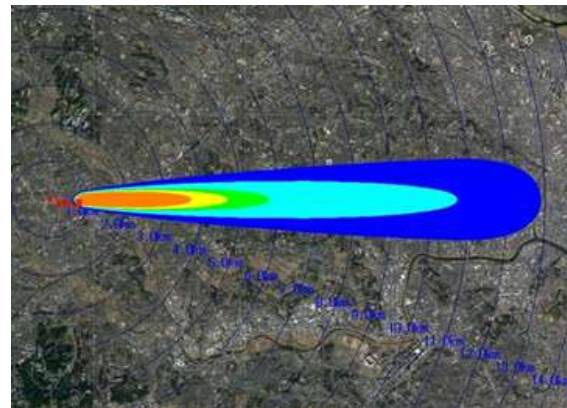
## 二次元表示(アンモニア、PPM 表示)

排気ガス名		単一成分ガス		対象ガス名		アンモニア		
風速	温度	湿度	雲量	安定度	流量	濃度	放出高さ	放出面積
[m/s]	[°C]	[%]	-	-	[Nm3/min]	[ppm]	[m]	[m2]
6	30	50	7	D	1092	1,000,000	0	500
表示濃度[ppm]		500	50	35	25	10	2	
表示高さ[m]		1.5						

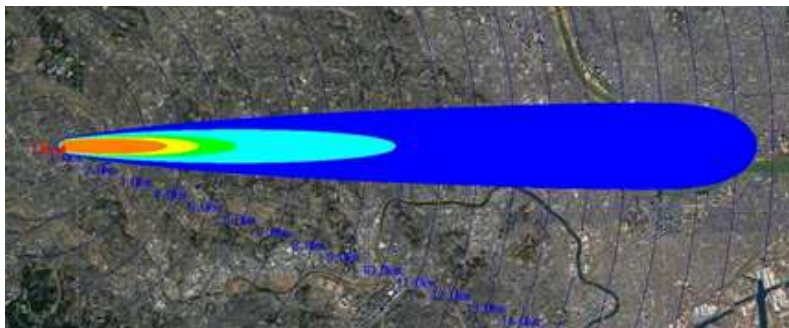
濃度 [ppm]	マップ上に着色	影響の内容
500	赤	IDLH (米国NIOSHによる、即時に生命に危険が及ぶレベル)
50	オレンジ	労働安全衛生局による8時間労働時の許容濃度 (OSHA PEL)
35	黄	米国産業衛生専門家会議によるTLV-STEL (短時間被爆の許容濃度)
25	緑	日本産業衛生学会 (2005年版) および米国産業衛生専門家会議による8時間労働時の許容濃度(TLV-TWA)
10	青	臭気強度4 (強いにおい)
2	濃青	臭気強度3 (らくに感知できるにおい)



放出10分後、高さ1.5m



放出20分後、高さ1.5m



放出30分後、高さ1.5m



放出60分後、高さ1.5m

# ガス拡散【シミュレーション結果】

## 三次元表示(アンモニア、PPM 表示)

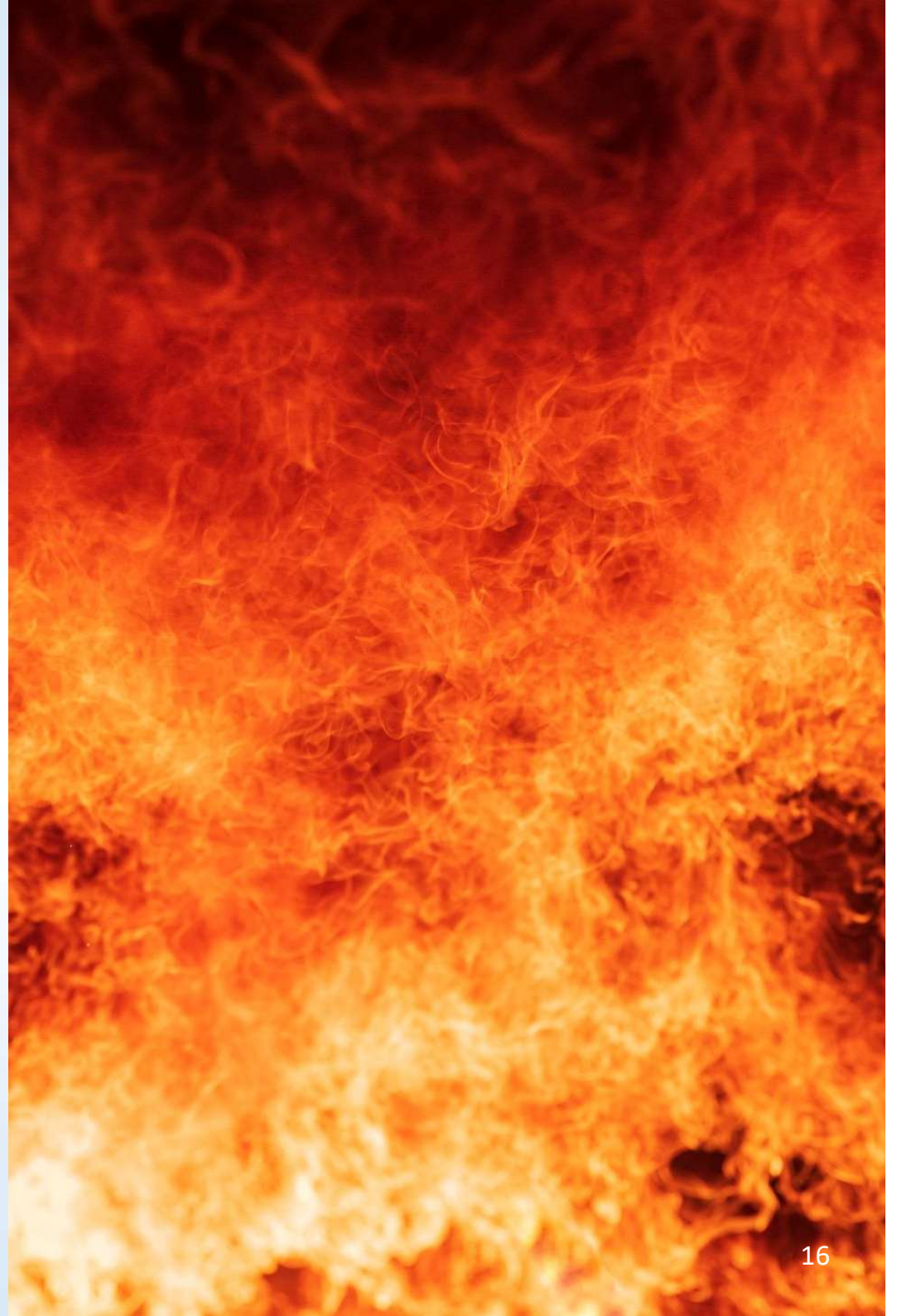
前スライドで紹介した《アンモニア液の漏洩と蒸発速度》排出ガスデータを入力してシミュレーションしたものです。放出後60分後の状態。

(図中、左のマップは立面図で、下のマップは側面図を示します。  
臭気濃度での表示も可能です。)



# タンク火災による 輻射熱・ボイルオーバー

- 輻射熱計算方法
- 輻射熱  
【シミュレーション結果例】
- ボイルオーバーのメカニズム
- ボイルオーバー  
【シミュレーション結果例】





# 輻射熱の計算方法

いずれの方法でも計算可能です

弊社では、  
こちらの方法  
を採用

## KHKの方法

無風条件のみ

受熱面は垂直面のみ

炎の高さは1.5D

炎の高さと直径の比率を一定としている為、タンク直径が大きくなった時は炎の高さが実際より大きくなり過ぎ、結果、大きな輻射熱計算結果となる

## 石油コンビナートの 防災アセスメント 策定方針 (特殊災害室)

無風条件のみ

受熱面は垂直面のみ

炎の高さは1.5D

**低減率0.3**→計算値が実際とかけ離れる事が大きいので、計算値の30%とした。低減率以外はKHKの方法と同じ。

輻射熱が小さすぎる結果となり、どこでも安全という事になる

## NISTIR6546 (USA) 米国国立標準技術研究所

無風及び有風

受熱面は最大受熱面角度及び垂直又は水平  
→選択可

炎（特に明るく輝いている部分、ルーミナスバンド）の高さをタンクの直径と燃料の物性から計算

輻射発散度は燃料に限らず一定

消火活動を行う火災タンク近傍の輻射熱としては合理的な結果が得られる

## NFPAハンド ブック記載の 方法でMudan法

無風及び有風

受熱面は最大受熱面角度及び垂直又は水平  
→選択可

炎の高さをタンクの直径と燃料の物性から計算  
(NISTとは異なる式)

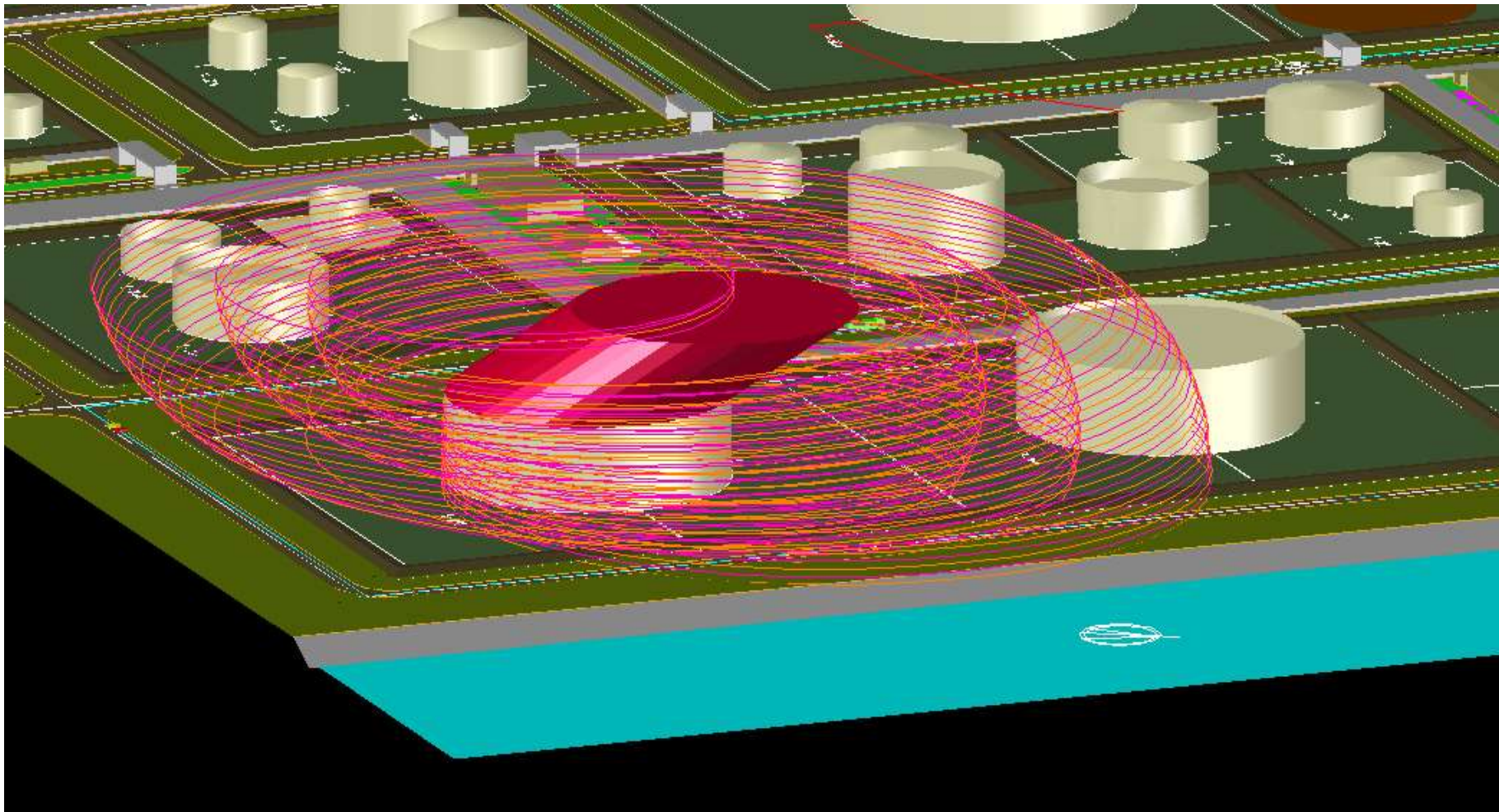
輻射発散度は入力、またはMudan特有の方法で計算  
→選択可

輻射発散度が入力でき、且つ燃料の物性により計算結果に差がでるので実用的

# 火災による輻射熱 【シミュレーション結果例】

## 受熱面の高さによる変化と三次元表示

受熱面の高さを地上から炎の高さまで変化させたもので、高さ方向の輻射強度の変化を表示  
下の例は輻射強度の等値面を3段階で立体的に表示。

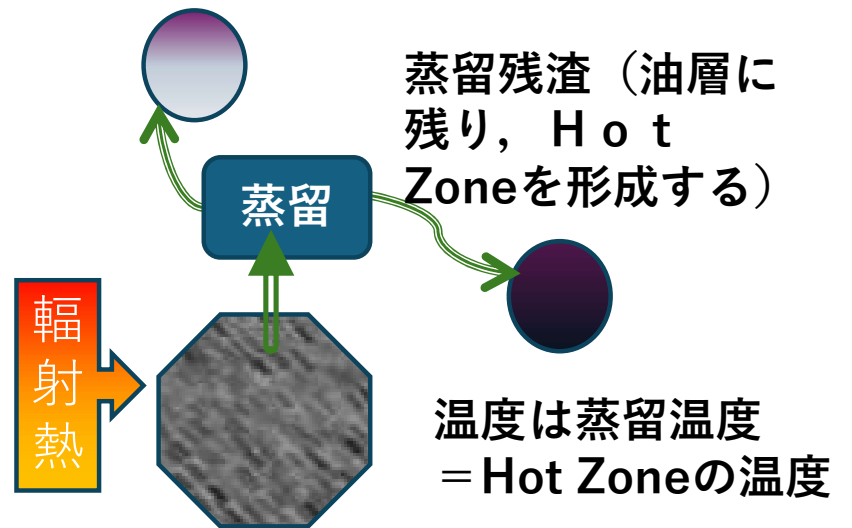
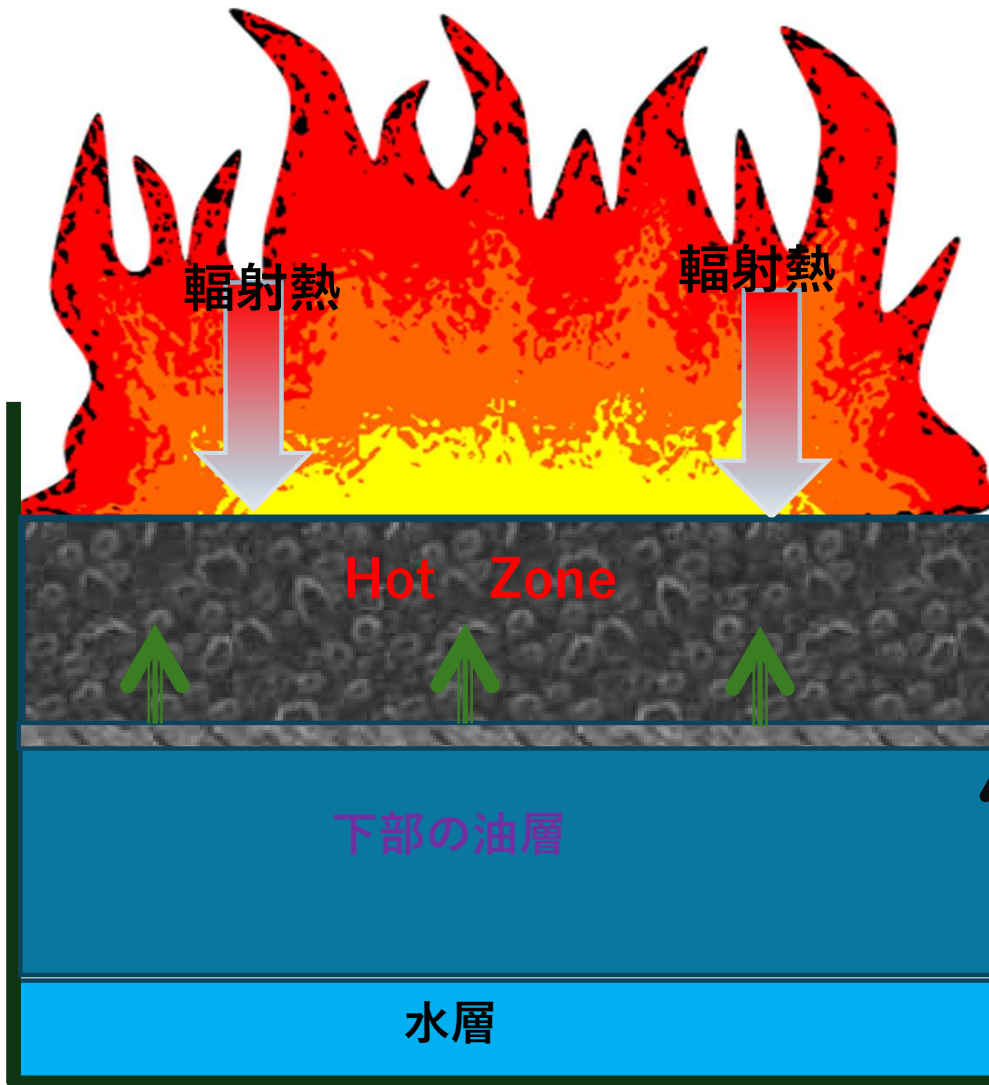


# ボイルオーバー発生のメカニズム1/2 (原油など多成分の場合)

火災における伝熱の特徴

上から加熱→対流が起こらない→  
熱伝導のみ→下方への伝熱は極めて遅い

気泡（燃焼する＝燃焼速度）



下層から上が  
てくる油の塊

Hot Zoneと下層油の接する界面  
で加熱され油の塊が上昇して行く

# ボイルオーバー発生メカニズム2/2 (原油など多成分の場合)

(Hot Zone の温度が高いとき)  
**120°C以上**

**Fire Ball**

著しく大きな輻射熱が頭上に襲いかかる。

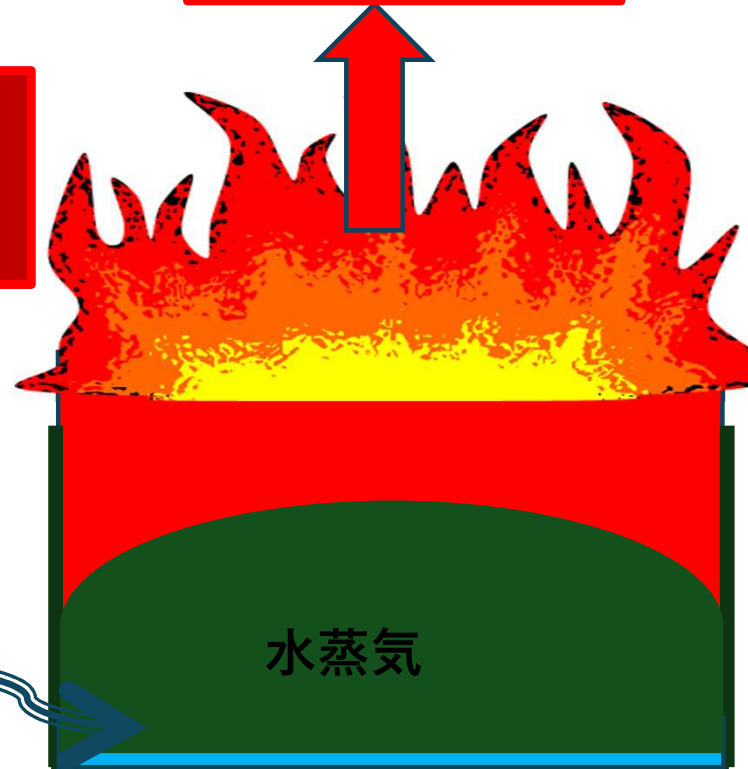
バーニング・フロスがタンクの直径の10倍の高さに吹上。

約9m/sec  
の速度

燃烧油がタンクの直径の5,6倍の距離まで到達。

敷地境界線を越えて油が燃えながら落下。

急激に水蒸気層が拡大して油を吹き上げ、ボイルオーバーが発生する。



## バーニング・フロス

上方に吹き飛ばされた燃烧塊のことで、油とスチームから形成されており、その合計体積はタンクの容量を遙かに超える。

# ボイルオーバー 【シミュレーション結果例】

ボイルオーバー発生時間

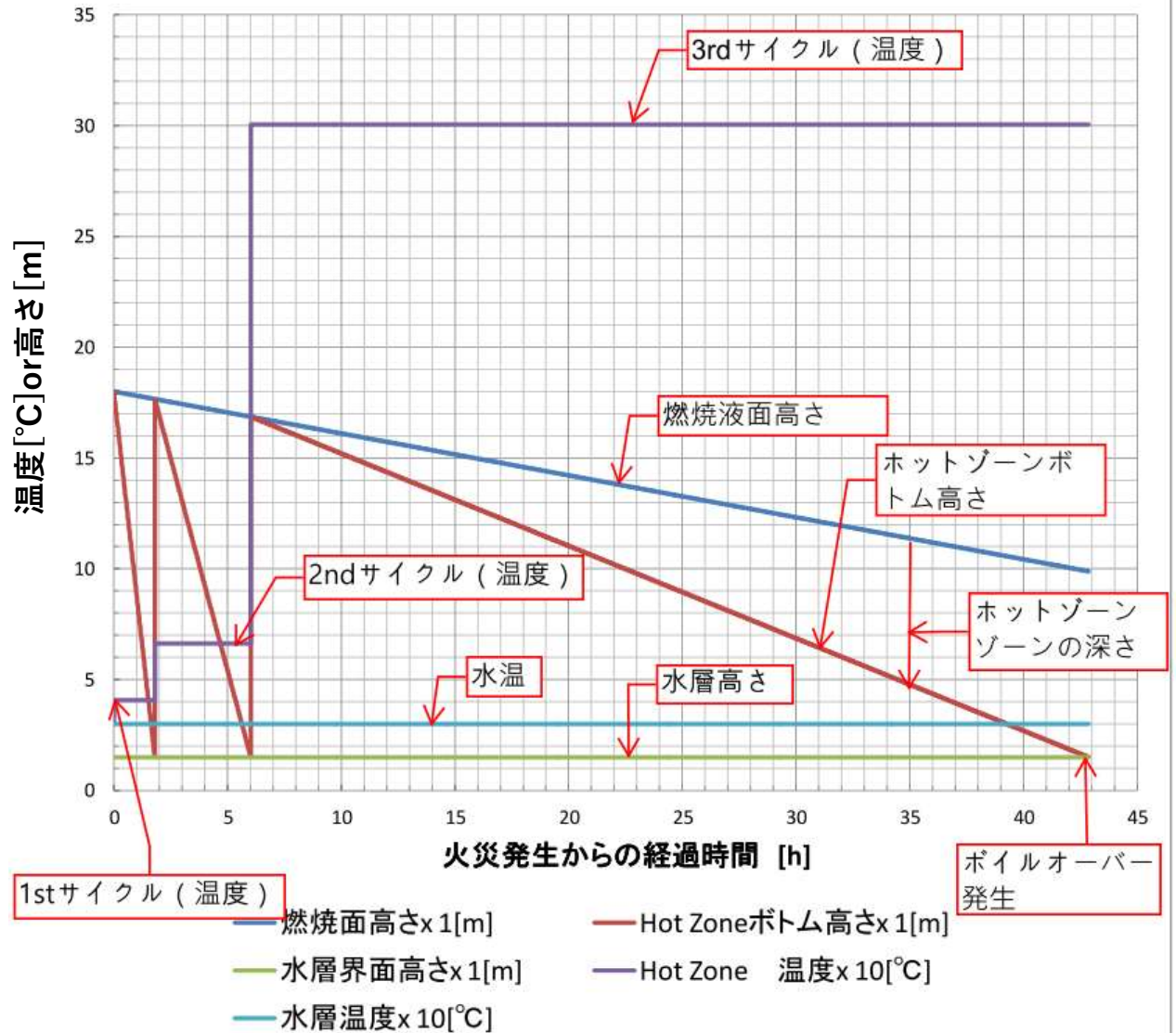
(原油2のシミュレーション結果)

計算条件			
列番号	漏洩物質名	6	原油-2
タンク直径	Dt	80.0	[m]
タンク高さ	Ht	22.0	[m]
初期液面高さ	Lt	18.0	[m]
定圧比熱(Hot Zone)	CpLTz	0.650	[Kcal/kg/°C]
定圧比熱(下層oil)	CpLTo	0.650	[Kcal/kg/°C]
定圧比熱(水層)	CpLTw	1.000	[Kcal/kg/°C]
熱伝導率(Hot Zone)	$\lambda$ Tz	0.1290	[Kcal/m/hr]
熱伝導率(下層oil)	$\lambda$ To	0.1290	[Kcal/m/hr]
熱伝導率(水層)	$\lambda$ Tw	0.5236	[Kcal/m/hr]
計算時間刻み	$\Delta \theta$	1.0	[sec]
最大計算時間	$\theta_{max}$	6000.0	[min]
表示時間刻み	$\delta \theta$	1.0	[min]

計算結果			
Boilover時の;			
Hot Zone 温度	Tz	300.4	[°C]
燃焼液面高さ	Hsf	9.9	[m]
発生時間		42.9	[h]
発生時間		1.8	[day]

タンク内燃焼前温度	Tinit	30.0	[°C]
燃焼前水層温度	Twint	30.0	[°C]
大気温度	Tatm	30.0	[°C]
燃焼速度	Vb	162	[kg/m2/hr]
蒸発潜熱@Tz	$\Delta HevTz$	70	[kcal/kg]
初期水層高さ	Lw	1.5	[m]
密度(Hot Zone)	$\rho$ LTz	855.8	[kg/m3]
密度(下層oil)	$\rho$ LTo	855.8	[kg/m3]
密度(水層)	$\rho$ LTw	1,000.0	[kg/m3]
計算精度	Acc	1.0	[%]
Boilover 発生温度	TwB	120.0	[°C]
蒸留カーブ最大温度	Tzmax	500.0	[°C]

液面降下速度	Vsf	-0.19	[m/h]
Hot Zone 成長速度	Vhz	0.20	[m/h]
Cycle数	cycle	3	[—]



# 爆発シミュレーション

## 1. 蒸気雲爆発・VCE

- ・ VCEのメカニズム
- ・ 【シミュレーション結果例】

## 2. フラッシュファイア

- ・ フラッシュファイアのメカニズム
- ・ 【シミュレーション結果例】

## 3. BLEVE

- ・ BLEVEのメカニズム
- ・ 【シミュレーション結果例】

## 4. ファイアボール

- ・ ファイアボールのメカニズム
- ・ 【シミュレーション結果例】



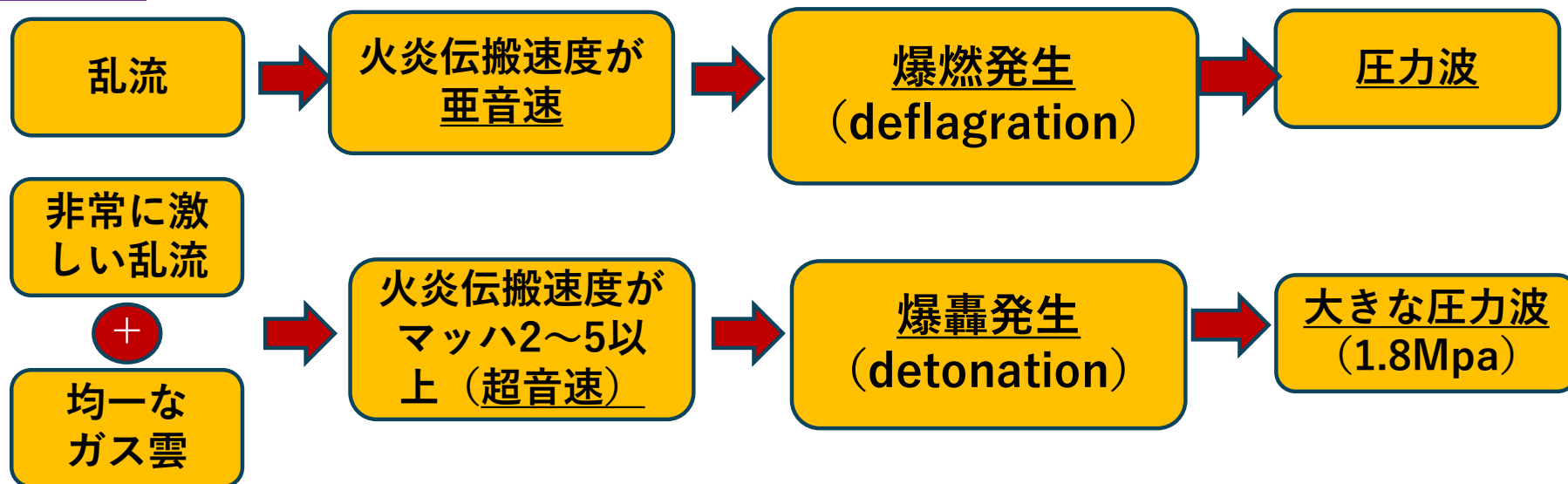
# 蒸気雲爆発 VCE のメカニズム

## 蒸気雲爆発VCEの起こる条件

- ◆ 引火に先立って十分大きなガス雲（屋外）であること。  
引火の遅れは、通常1分から5分である。
- ◆ ガス濃度が爆発限界内にあること。
- ◆ 燃焼過程で乱流が起こる必要がある。
  - 漏洩時の勢い（JET）によって引き起こされる乱流
  - 爆発によって押されたガス雲が狭い空間を通過することによって引き起こされる乱流

## 爆燃と爆轟

殆どの場合、爆燃である。爆轟はめったに起こらない。

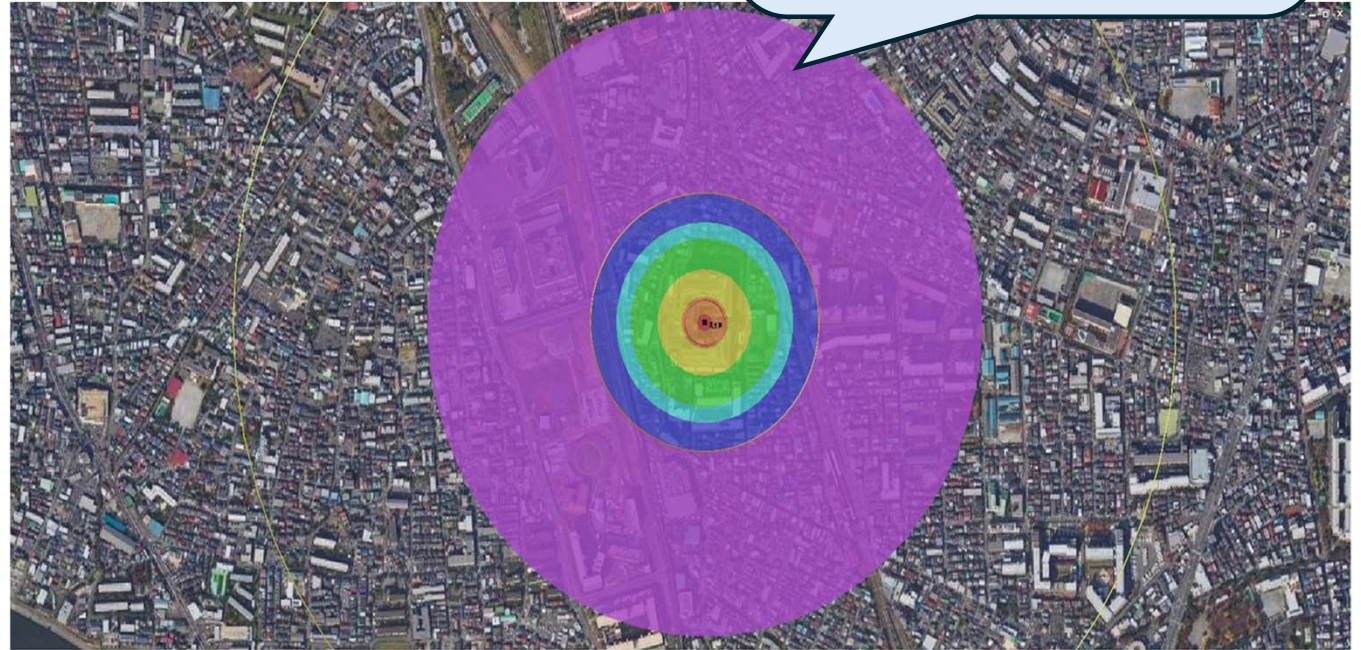


# 蒸気雲爆発

## 【シミュレーション結果例】

「石油コンビナートの防災  
アセスメント指針」のTNT  
等価法に基づき、  
Detonation時の爆風圧を  
計算します

爆風圧 [kPaG]	マップに 着色	マップに 円(線)とし て表示	距離 (半径) [m]	影響の内容	出典
255	赤	線	16	LPGタンク破壊	*2
70			43	ほとんどの建物が崩壊する。	*1
63	オレンジ	線	47	貨車が全壊する。	*1
58.8			49	LPGタンク小破	*2
55	黄緑	線	51	注記1	*1
50			55	注記1、家屋が全壊する。	*1
35	黄	線	72	家屋が全壊する。	*1
28			83	注記2、軽量建築物が全壊する。	*1
22.6	緑	線	100	注記2、石油タンク小破	*2
21			110	注記2、注記3	*1
17	黄緑	線	128	注記3、レンガ造家屋の50%が破壊する。	*1
16			136	注記3、建物の大きな被害の限界。	*1
14	緑	線	143	注記3、家屋の壁や屋根が一部破壊する。	*1
12.3			159	人体に対する被害限界値	*2
9.8	青緑	線	189	保安物件の限界値	*3
9			201	建物のスチール製フレームが多少曲がる。	*1
7	青	線	243	注記4、住めなくなる程度に家屋の一部が壊れる。	*1
5			315	注記4、家屋が多少の被害を被る。	*1
3.5	紫	線	415	注記4	
2.8			480	建物の小さな被害の限界。	*1
2.1	紫	線	592	注記5	*1
1			1006	ガラスが破壊される一般的な圧力。	*1
0.7	紫	線	1354	歪のある小さな窓が破壊される。	*1
0.21			3170	歪のある大きな窓ガラスが破壊される。	*1



\*1 V.J.Clancey : Diagnostic Feature of Explosion Damage, Sixth International Meeting of Forensic Science, Edinburgh, 1972

\*2 難波桂芳監修, 平野敏右・堤内學編: 爆発防止実用便覧, サイエンスフォーラム, 1983

\*3 コンビナート等保安規則

注記1: 強化していない厚さ20~30cmのブロックがせん断等により破損(\*1)

注記2: 無筋建物、鋼板建物が破壊する。油貯槽が破裂する。(\*1)

注記3: 未強化コンクリートやブロック塀が破壊する。(\*1)

注記4: 大小の窓ガラスが普通破壊される。窓枠も時には破壊される。

注記5: 安全限界(この値以下では0.95の確率で大きな被害はない)。推進限界(物が飛ばされる限界)。

家の天井の一部が破損。窓ガラスの10%が破壊される



# フラッシュファイア (Flash Fire)



- ◆ フラッシュファイアでは圧力波は生じない。  
従って衝撃による破壊は起こらない。
- ◆ ガス濃度が爆発限界内にあること。  
これは爆発限界内の濃度エリア域にのみ存在する危険である
- ◆ 輻射熱というよりは炎そのものに包み込まれる危険である。  
燃焼時間は1秒以下とされているので輻射熱は考慮する必要が無い

# フラッシュファイア Flash Fire

## 【シミュレーション結果例】

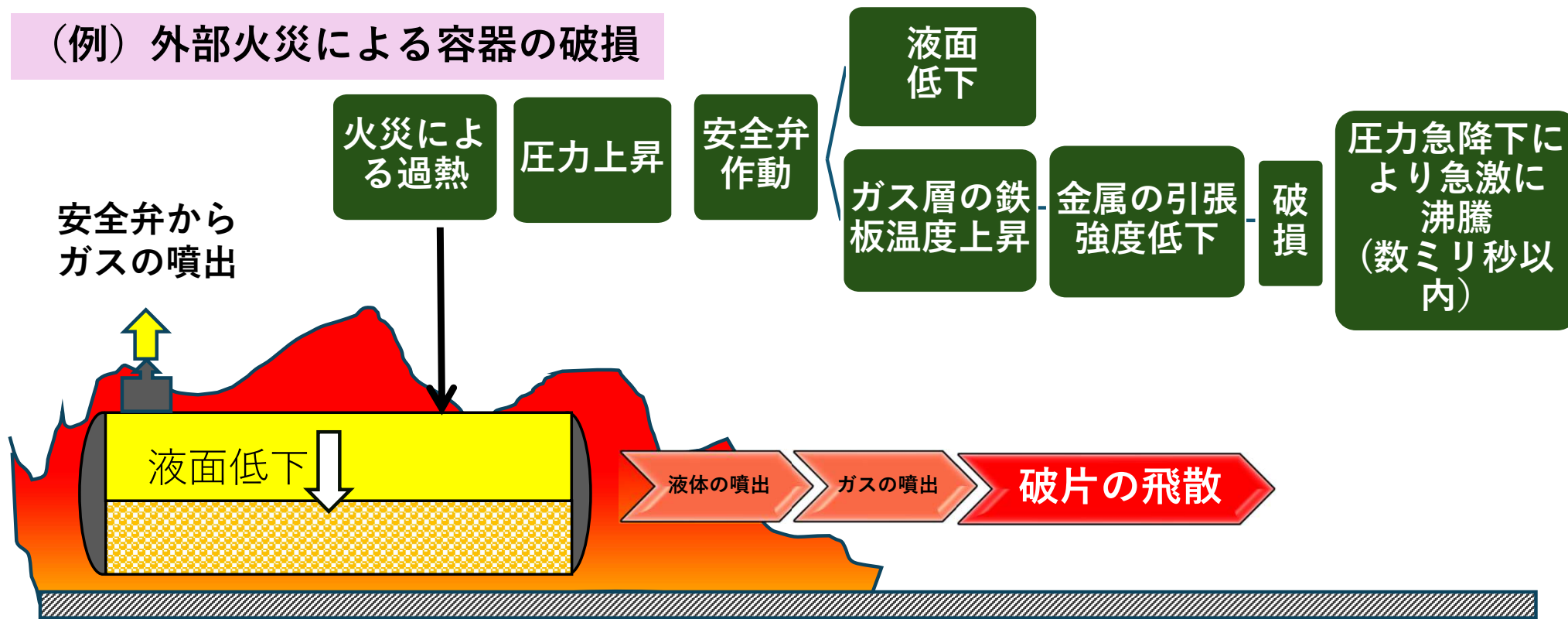
ガス拡散シミュレーションの結果、濃度範囲がLEL（爆発下限界）濃度の50%以上となる範囲をフラッシュファイア発生範囲として図示します。



# BLEVEのメカニズム

(沸騰液膨張蒸気爆発)

(例) 外部火災による容器の破損

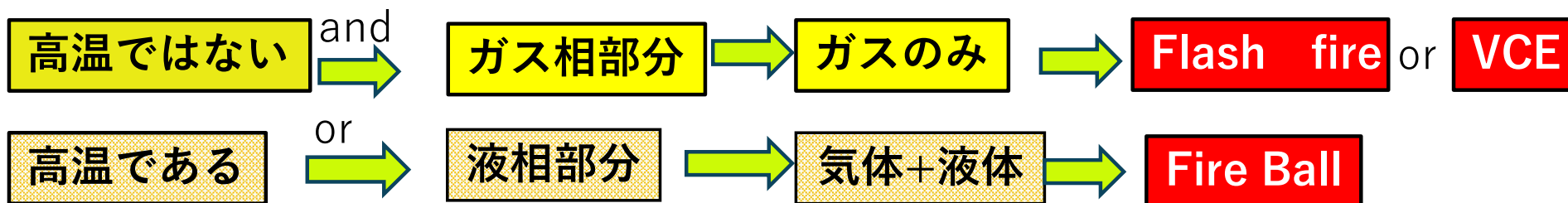


破裂時の温度

破裂箇所

放出内容物

着火に伴う起こり得る危険

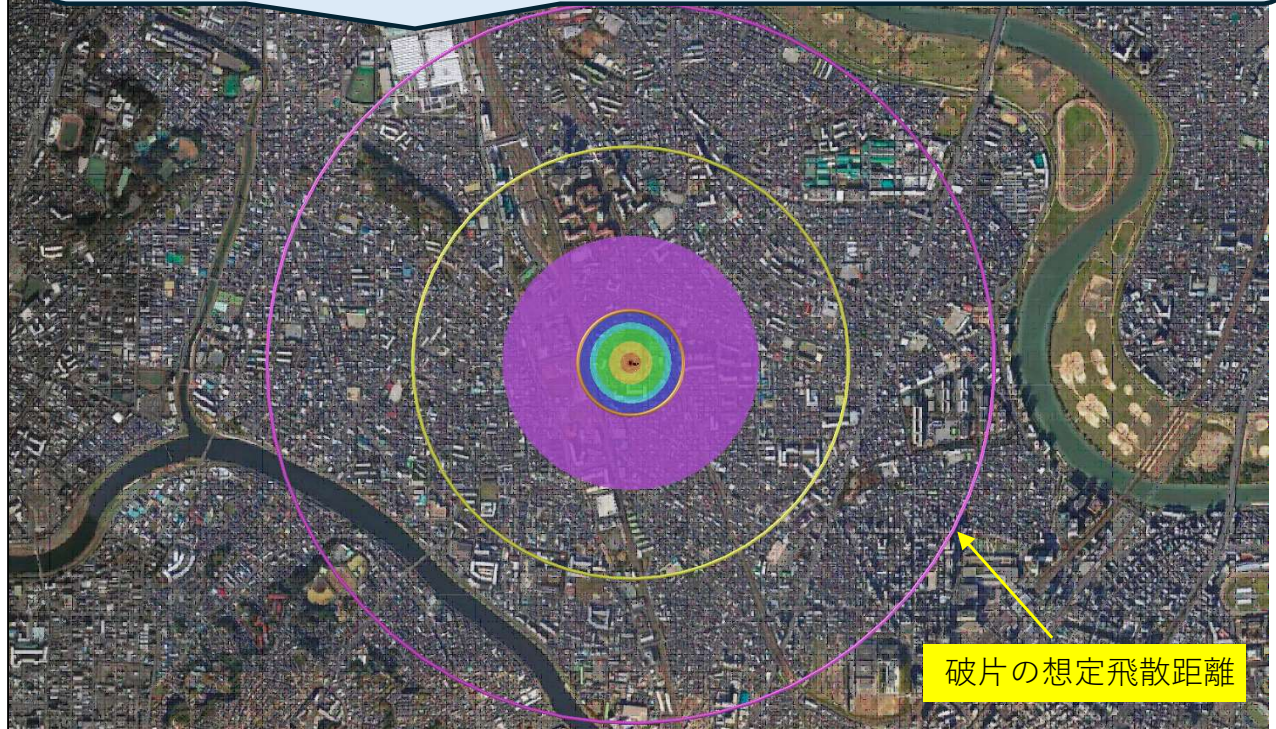


# BLEVE

## 【シミュレーション結果例】

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」に基づき、容器破裂前後の圧力差から放出エネルギーを計算し、これと等価なTNT等量を求めて、爆風圧を計算します。タンク貯蔵量が小さくなり、気相部の体積が大きいほど爆風圧は大きくなります

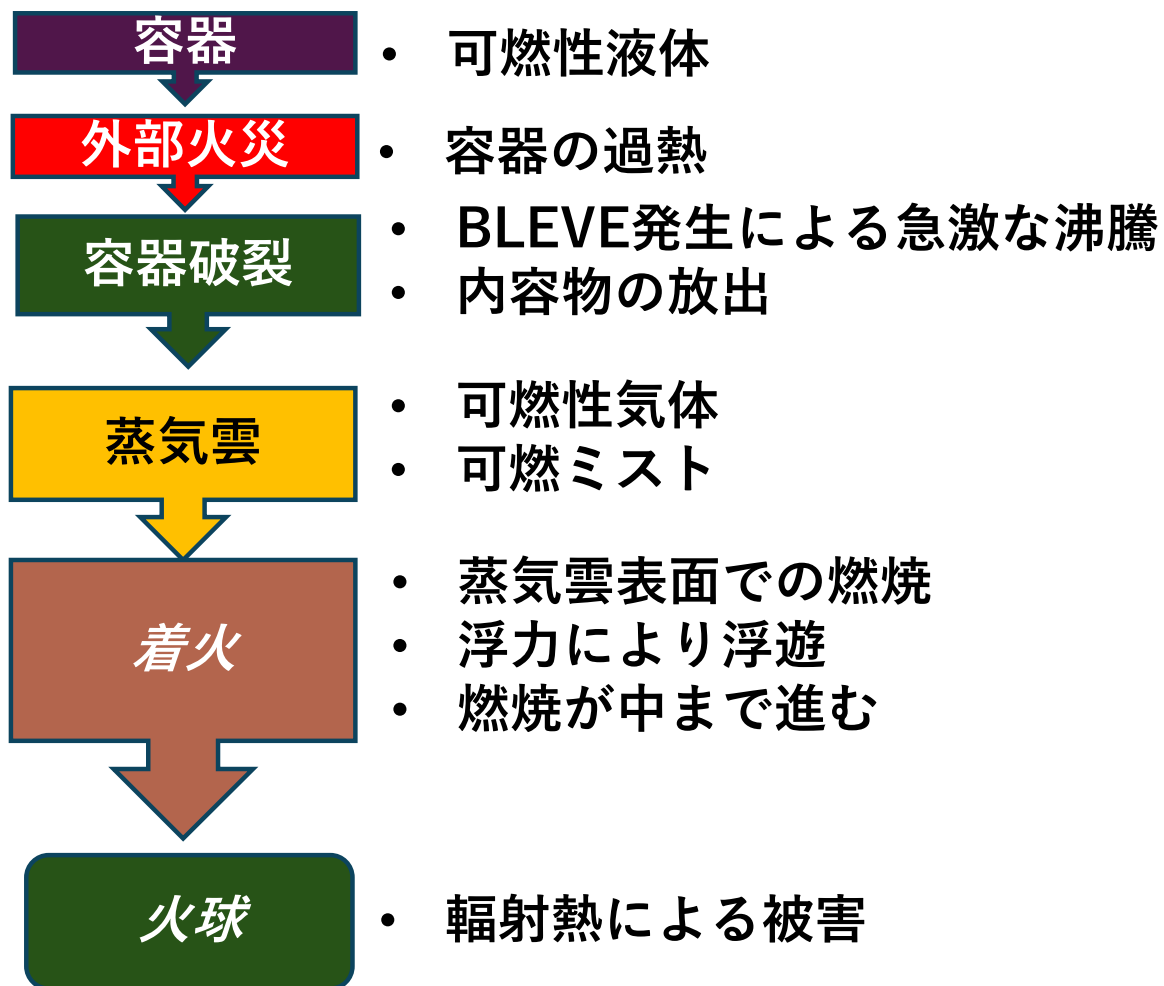
爆風圧 [kPaG]	マップに着色	マップに円(線)として表示	距離 (半径) [m]	影響の内容	出典
255			18	LPGタンク破壊	*2
70			47	ほとんどの建物が崩壊する。	*1
63			50	貨車が全壊する。	*1
58.8			54	LPGタンク小破	*2
55			56	注記1	*1
50			61	注記1、家屋が全壊する。	*1
35			79	家屋が全壊する。	*1
28			89	注記2、軽量建築物が全壊する。	*1
22.6			110	注記2、石油タンク小破	*2
21				注記2、注記3	*1
17			121	注記3、レンガ造家屋の50%が破壊する。	*1
16				注記3、建物の大きな被害の限界。	*1
14			151	注記3、家屋の壁や屋根が一部破壊する。	*1
12.3			175	人体に対する被害限界値	*2
9.8			208	保安物件の限界値	*3
9			222	建物のスチール製フレームが多少曲がる。	*1
7			268	注記4、住めなくなる程度に家屋の一部が壊れる。	*1
5			346	注記4、家屋が多少の被害を被る。	*1
3.5			409	注記4	
2.8			505	建物の小さな被害の限界。	*1
2.1			651	注記5	*1
1			1,106	ガラスが破壊される一般的な圧力。	*1
0.7			1,815	歪のある小さな窓が破壊される。	*1
0.21			3,493	歪のある大きな窓ガラスが破壊される。	*1



- \*1 V.J.Clancey : Diagnostic Feature of Explosion Damage, Sixth International Meeting of Forensic Science, Edinburgh, 1972
- \*2 難波桂芳監修, 平野敏右・堤内學編 : 爆発防止実用便覧, サイエンスフォーラム, 1983
- \*3 コンビナート等保安規則

注記1 : 強化していない厚さ20~30cmのブロックがせん断等により破損 (\*1)  
 注記2 : 無筋建物、鋼板建物が破壊する。油貯槽が破裂する。 (\*1)  
 注記3 : 未強化コンクリートやブロック塀が破壊する。 (\*1)  
 注記4 : 大小の窓ガラスが普通破壊される。窓枠も時には破壊される。  
 注記5 : 安全限界(この値以下では0.95の確率で大きな被害はない)。推進限界(物が飛ばされる限界)。家の天井の一部が破損。窓ガラスの10%が破壊される

# Fire Ballのメカニズム (ファイアーボール)

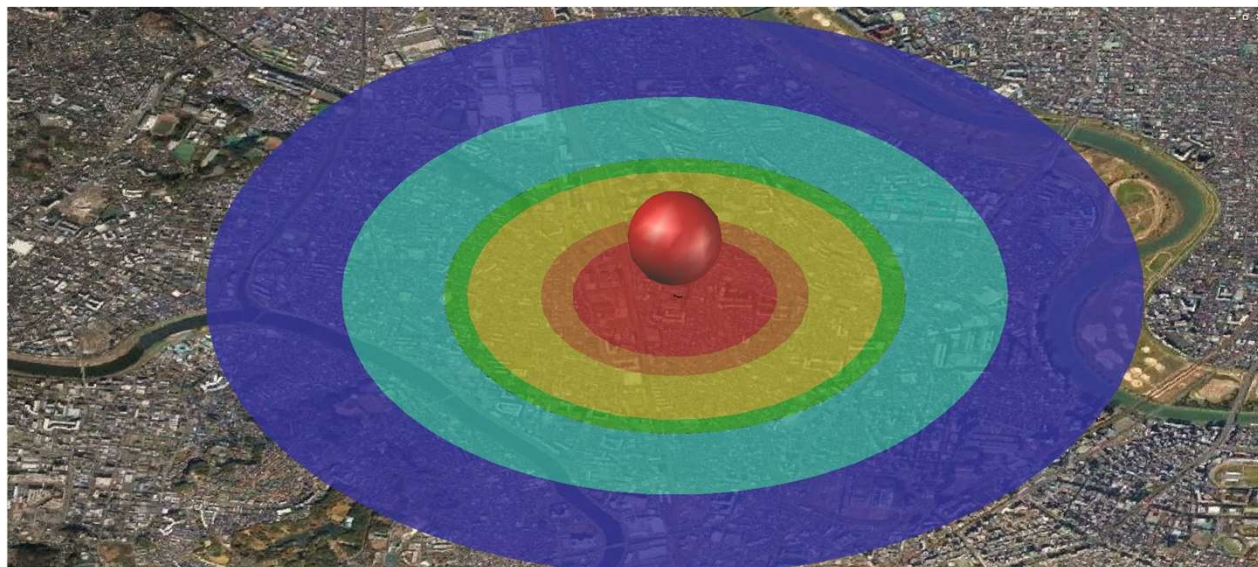


# ファイアーボール FIREBALL

## 【シミュレーション結果例】

「石油コンビナートの防災アセスメント指針」またはAiChE法に基づき、ファイアーボールの直径、持続時間および輻射熱を計算します。

輻射強度 [kW/m <sup>2</sup> ]	マップ上に着色	Fire Ball 中心からの水平距離半径R[m]	影響の内容	出典
37.5		505	プロセス機器に被害を与えるのに十分な強度	*4
32		603	LNGタンク火災時に、隣接するコンクリート外装の貯蔵タンクに対する許容値	*5
25		660	長時間暴露により木片が自然発火する最小エネルギー	*4
15		832	LNGタンク火災時に、隣接する金属製の貯蔵タンク、圧力タンク、プロセス機器に対する許容値	*5
12.5		915	木片が引火する、あるいはプラスチックチューブが溶ける最小エネルギー	*4
11.6		1,020	注記1	*1
9.5		1,133	8秒で痛みの限界に達し、20秒で第2度の火傷(赤く斑点ができ水泡が生じる)を負う	*4
8.1		1,235	注記2	*1 *5
5		1,586	LNGタンク火災時に、管理建屋および敷地境界外の他の工場や都市部の民家などに対する許容値	*5
4.6		1,635	注記3	*1 *6
4		1,735	20秒で痛みを感じる強度。皮膚に水泡を生じる場合があるが、致死率0%	*4
2.4		2,283	地震時の市街地大火に対する避難計画で用いられる許容限界	*3
2.3		2,303	露出人体に対する危険範囲(接近可能)1分間以内で痛みを感じる強度	*2
1.6		2,405	注記4	*4 *5
1.3		2,438	人が長時間暴露されても安全な強度	*1



- \*1: 高圧ガス保安協会: コンビナート保安・防災技術指針(1974)
- \*2: 消防庁特殊災害室: 石油コンビナートの防災アセスメント指針(2001)
- \*3: 長谷見雄二, 重川希志依: 火災時における人間の耐放射限界について, 日本火災学会論文集, Vol.31, No.1(1981)
- \*4: Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques, ed.P.J.Kayes. Washington, DC: Office of Environmental and Scientific Affairs, World Bank. (1985)
- \*5: EN 1473:2007 Installation and equipment for liquefied natural gas. Design of onshore installations, Annex A
- \*6: 「タンク冷却用散水設備に関する運用指針」及び「屋外タンク貯蔵所に係る防火へい及び水幕設備の設置に関する運用基準」について(消防危第80号)

注記1: 現指針(平成13年)に示されているファイアーボールの基準値(ファイアーボールの継続時間は概ね数秒以下と考えられることによる) 約15分間に木材繊維などが発火する強度(\*1)

注記2: 10~20秒で火傷となる強度(\*1) LNGタンク火災時に、コントロール建屋、作業場建屋、ラボ建屋、倉庫、および敷地境界外の郊外の民家などに対する許容値(\*5)

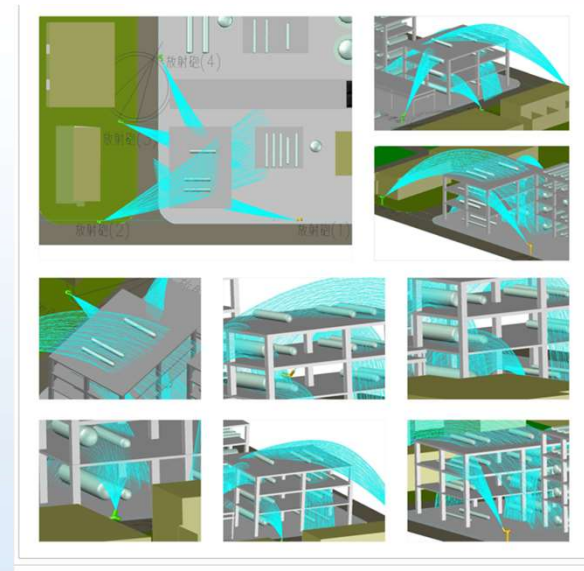
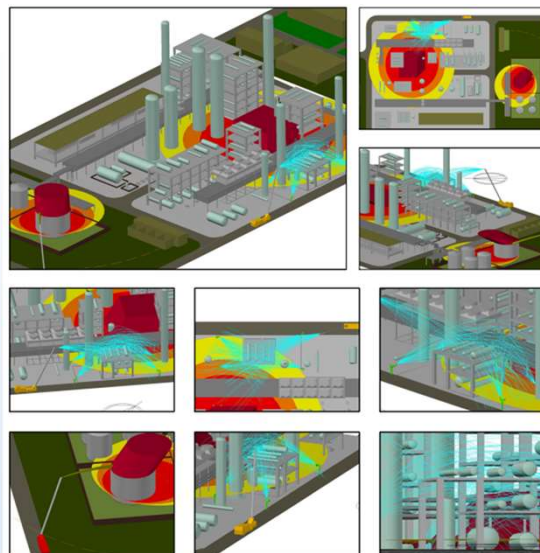
注記3: 10~20秒で苦痛を感じる強度、古い木板が長時間受熱すると引火する強度、フレアスタック直下での熱量規制(高圧ガス保安法他)(\*1) プラント境界線での閾値(\*6)

注記4: 長時間さらされても苦痛を感じない強度(\*4) LNGタンク火災時に、敷地境界外の重大な建屋に対する許容値(\*5)

# プラント防災シミュレーション

防災シミュレーションには以下のラインナップがあり、自社プラント配置に基づく消火活動シミュレーション、風向・風速の変化など様々な火災状況における消火活動の模擬訓練ツール、警防計画・消火戦術の立案への活用ができます

- 水放射シミュレーション
- 泡放射シミュレーション
- タンク火災シミュレーション



# 水放射シミュレーション

水放射シミュレーションは、次にあげる機能を有しており  
実際的なシミュレーションが可能です

- **対応ノズル**

可変式放水ノズル、ジェットノズル、水幕ノズル  
スプレーノズル、スプリンクラーノズルなどの  
様々なノズルタイプに対応

- **放水パターン**

任意のスプレー角度で放射軌跡をシミュレート

- **風の影響**

任意の風向、風速で吹く風の影響を反映

- **放水方向**

任意の角度で放水をシミュレート



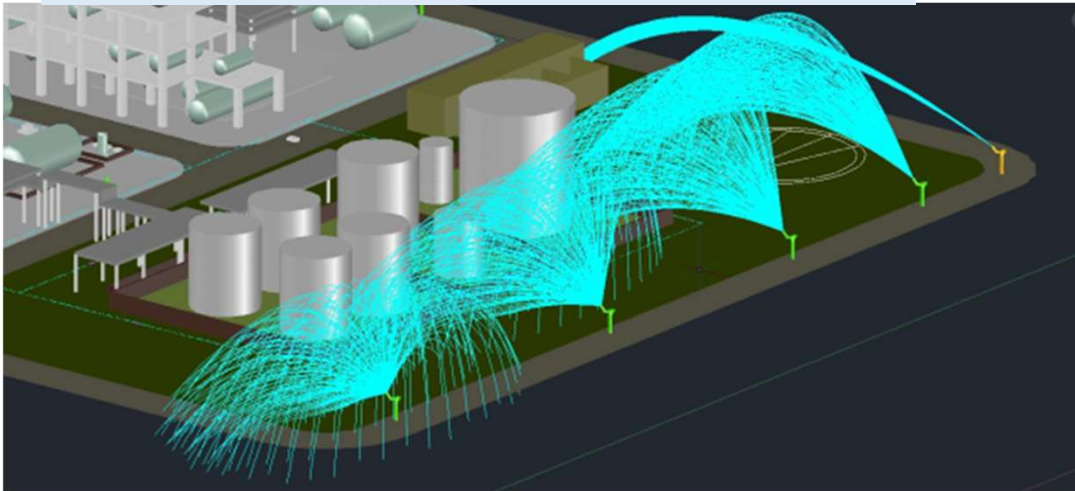
## シミュレート結果表示

3次元データで描いたプラントレイアウト（AutoCAD図）上に放射軌跡を表示します



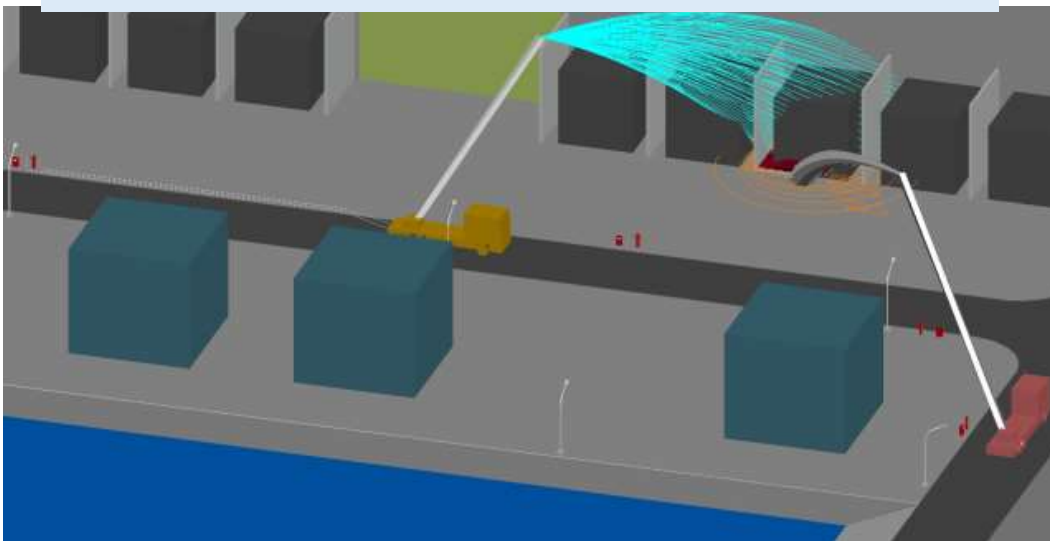
# 水放射シミュレーション 表示例

固定式放水銃からスプレー角度を変えて放水

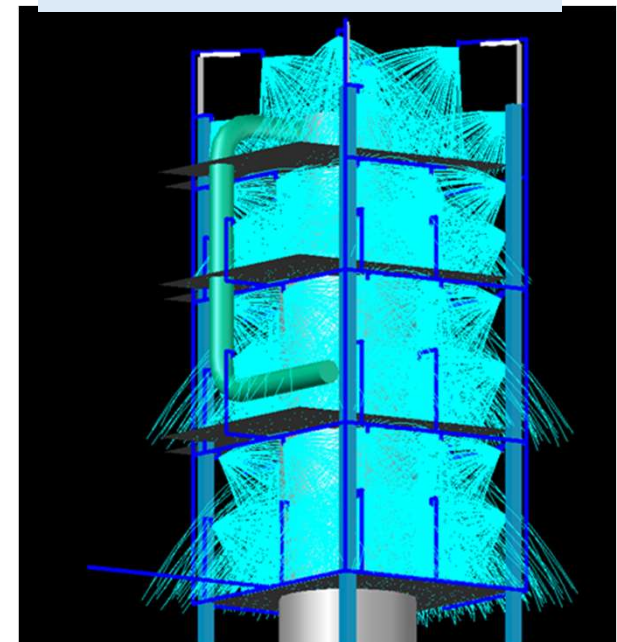


水放射時に**障害となる構造物**  
を考慮したシミュレーション  
を実施します

発電所のトランスに消防車（はしご車）から放水



水噴霧ノズルの3次元配置



# 泡放射シミュレーション

泡放射シミュレーションは、次にあげる機能を有しており  
実際的なシミュレーションが可能です。

- **対応ノズル**  
(アスピレーターノズル、ノンアスピレーターノズル)
- **発泡倍率**  
滞空時間による発泡倍率の変化を考慮
- **放水パターン**  
棒状放射のみに対応
- **風の影響**  
任意の風向、風速で吹く風の影響を反映
- **放射方向**  
任意の角度で放射をシミュレート



## シミュレート結果表示

3次元データで描いたプラントレイアウト (AutoCAD図) 上に放射軌跡を表示します

# 泡放射シミュレーション 表示例

プロセスエリア火災時に消防車から泡放射

泡放射時に**障害物となる  
構造物を考慮した**  
シミュレーションを  
実施します



# タンク火災消火シミュレーション

タンク火災消火シミュレーションは、次にあげる計算機能を総合的に組み合わせ、実際的なシミュレーションが可能です。

- 泡放射の飛行軌跡計算、飛行中の泡損失
- 安全確保のための輻射強度計算
- 火災液面上の上昇気流速度計算
- 泡による橋頭保確立までの時間推算
- 泡展開による消火時間計算



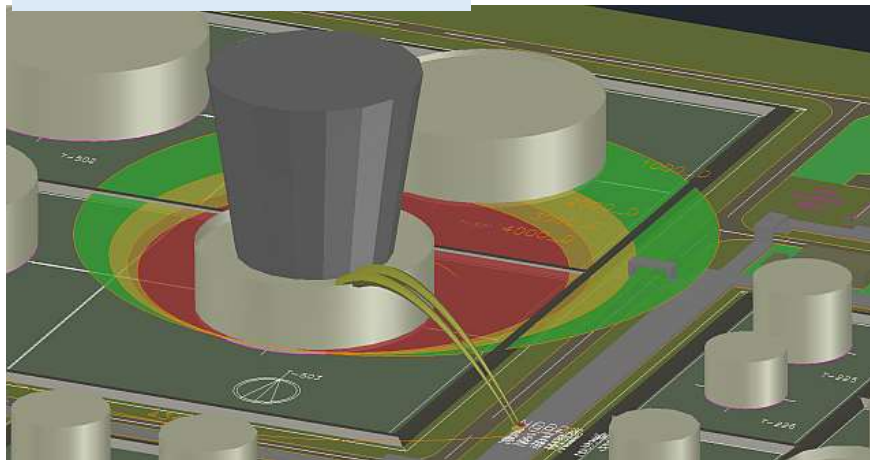
## シミュレート結果表示

3次元データで描いたプラントレイアウト（AutoCAD図）上に放射軌跡を表示します

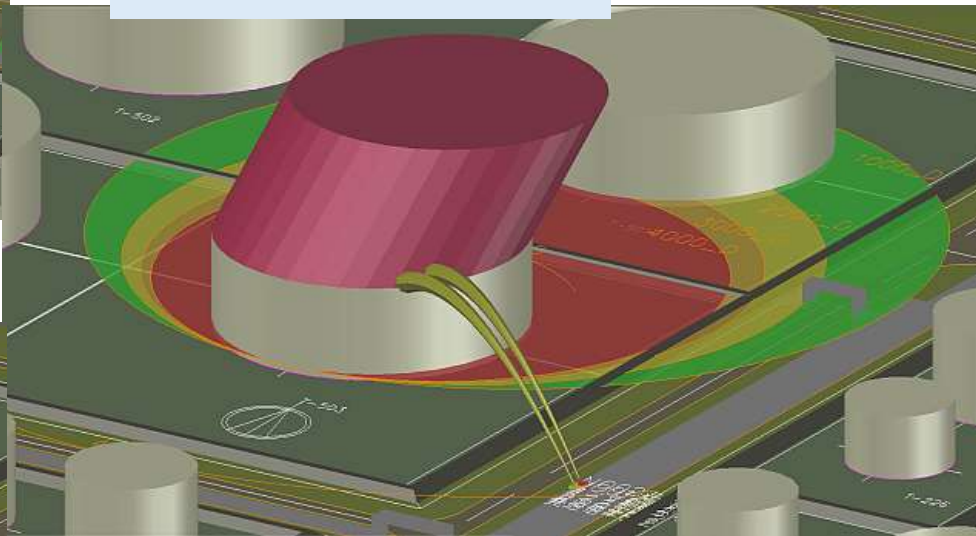
# タンク火災消火シミュレーション 表示例

大容量放射砲による浮き屋根式タンク全面火災の消火方法をシミュレートした表示例です。

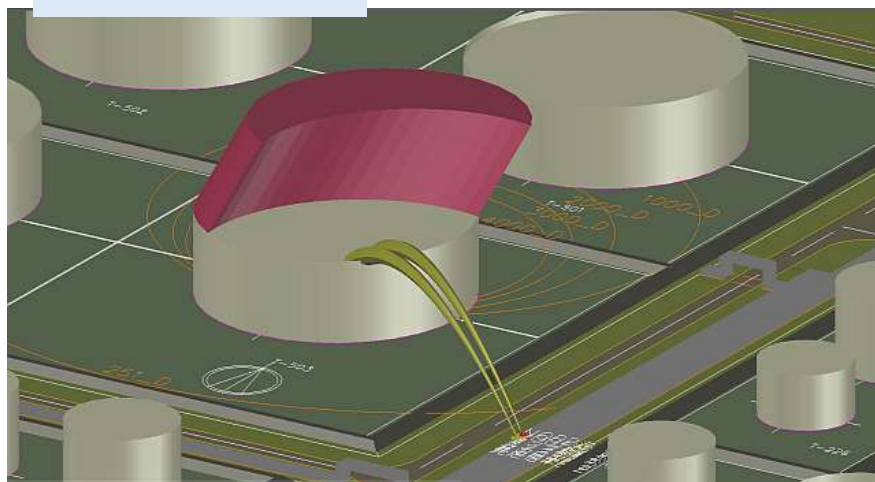
泡放射と上昇気流速度



泡放射と泡の橋頭保確立



泡の展開と消火



プラント災害・防災コンサルティングについてのお問合せ



# 株式会社 F P E C

〒231-0023 横浜市中区山下町195 ラ・トゥール・クオー・ファン 7F

TEL 045-222-8870 FAX 045-222-8869

<http://www.fpec1.co.jp>