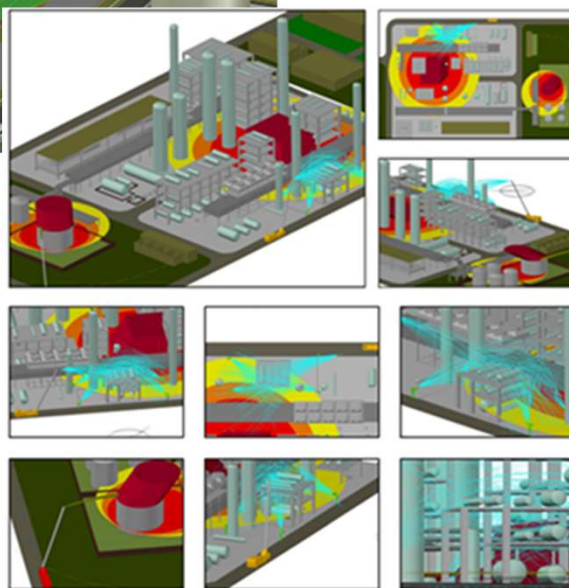
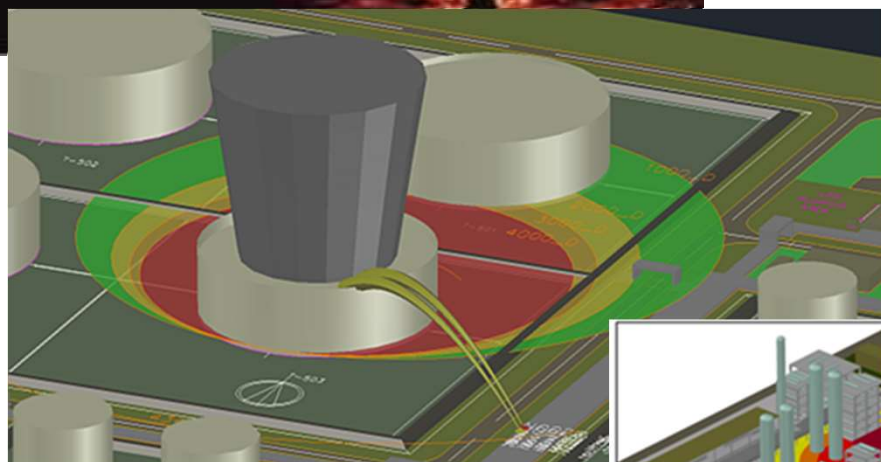


出典：総務省消防庁 H26版消防白書

プラント災害・防災 シミュレーション 【火災】

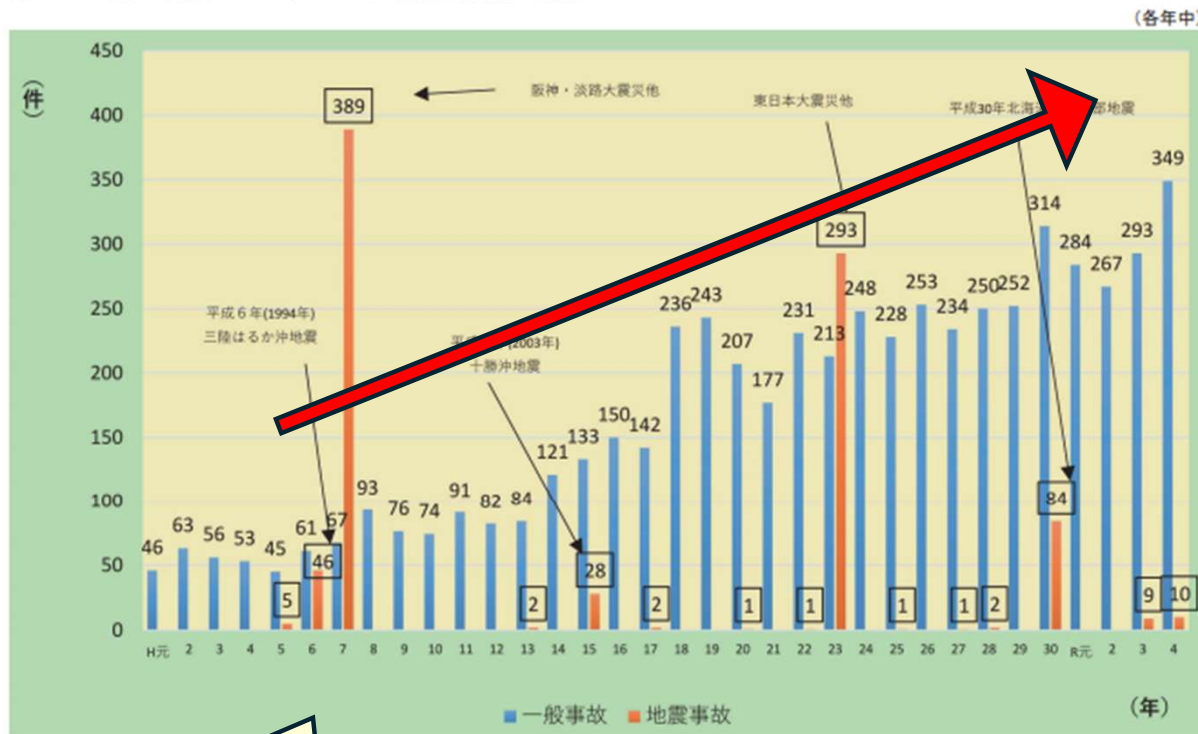
- ・近年増加している危険物施設での火災
- ・災害時に対応した現場の声
- ・災害・防災シミュレーションご相談の流れ
- ・タンク火災による輻射熱・ボイルオーバー
- ・プラント防災シミュレーション



株式会社FPEC

近年増加する石油コンビナートでの火災事故

第 1-3-1 図 石油コンビナート事故発生件数の推移



(令和5年版 消防白書より)

事故・災害要因として

- ・ 人員不足
 - ・ 施設の老朽化
 - ・ 技術、知識の伝承不足
- など

事故件数の増加・過去最多

火災129件 (前年比23件増)

爆発7件 (前年比4件増) 等

令和4年中

災害時に対応した現場の声

火災の温度が高く接近できず、熱で変形した鉄骨などが重なった部分に**放水が奥まで届かなかった**

火災が発生した施設個々の責任者に事情を聞く必要があり、**全容把握まで時間を要した**



消火活動中に爆発が発生し、現場消火活動隊員に危険が及んだ。**状況に応じて活動方針の変更が必要となった。**

めったに起こらない災害のため、大規模火災の**消火活動経験者がおらず**対応に苦慮した



弊社の災害・防災シミュレーション

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シミュレーションによりより**実践的な消火活動の模擬訓練ツール**として活用できます

災害・防災シミュレーション ご相談の流れ

ご相談



- ・ Web会議
- ・ メールなど

資料提供



- ・ 評価対象物質データ
 - ・ P&ID等
- 必要に応じて

お見積り

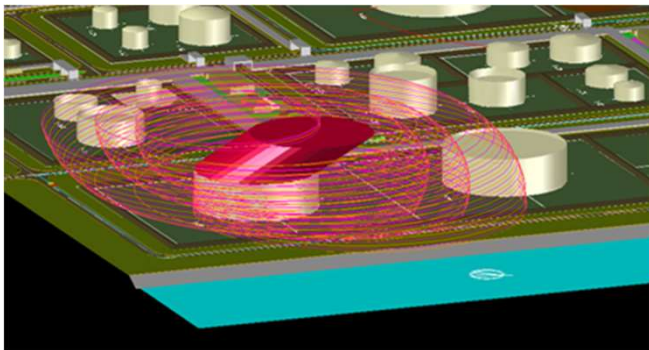


災害シミュレーション

計算結果

防災シミュレーション

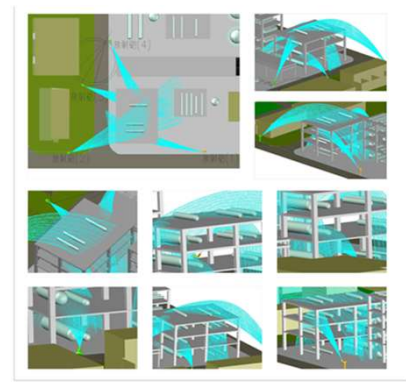
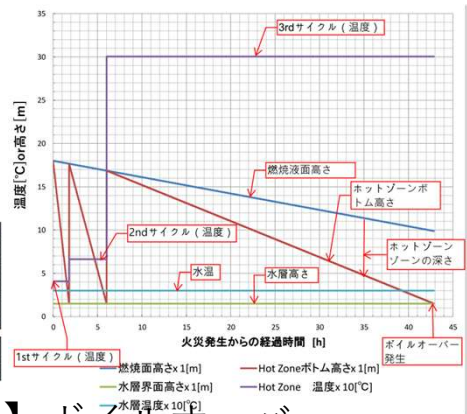
消火対策・
警防計画



【結果表示例】 輻射熱の影響範囲

計算条件	
対象物質	LPガス
タンク高さ	80.0 [m]
タンク直径	98 [m]
放射線量高さ	18 [m]
放射線量	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(1st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(2nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(3rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(4th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(5th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(6th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(7th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(8th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(9th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(10th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(11th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(12th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(13th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(14th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(15th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(16th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(17th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(18th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(19th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(20th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(21st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(22nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(23rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(24th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(25th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(26th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(27th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(28th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(29th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(30th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(31st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(32nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(33rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(34th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(35th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(36th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(37th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(38th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(39th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(40th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(41st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(42nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(43rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(44th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(45th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(46th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(47th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(48th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(49th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(50th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(51st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(52nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(53rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(54th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(55th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(56th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(57th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(58th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(59th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(60th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(61st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(62nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(63rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(64th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(65th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(66th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(67th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(68th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(69th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(70th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(71st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(72nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(73rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(74th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(75th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(76th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(77th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(78th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(79th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(80th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(81st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(82nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(83rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(84th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(85th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(86th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(87th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(88th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(89th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(90th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(91st Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(92nd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(93rd Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(94th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(95th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(96th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(97th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(98th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(99th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]
放射線量(100th Cycle)	0.000 [Kcal/m ²]

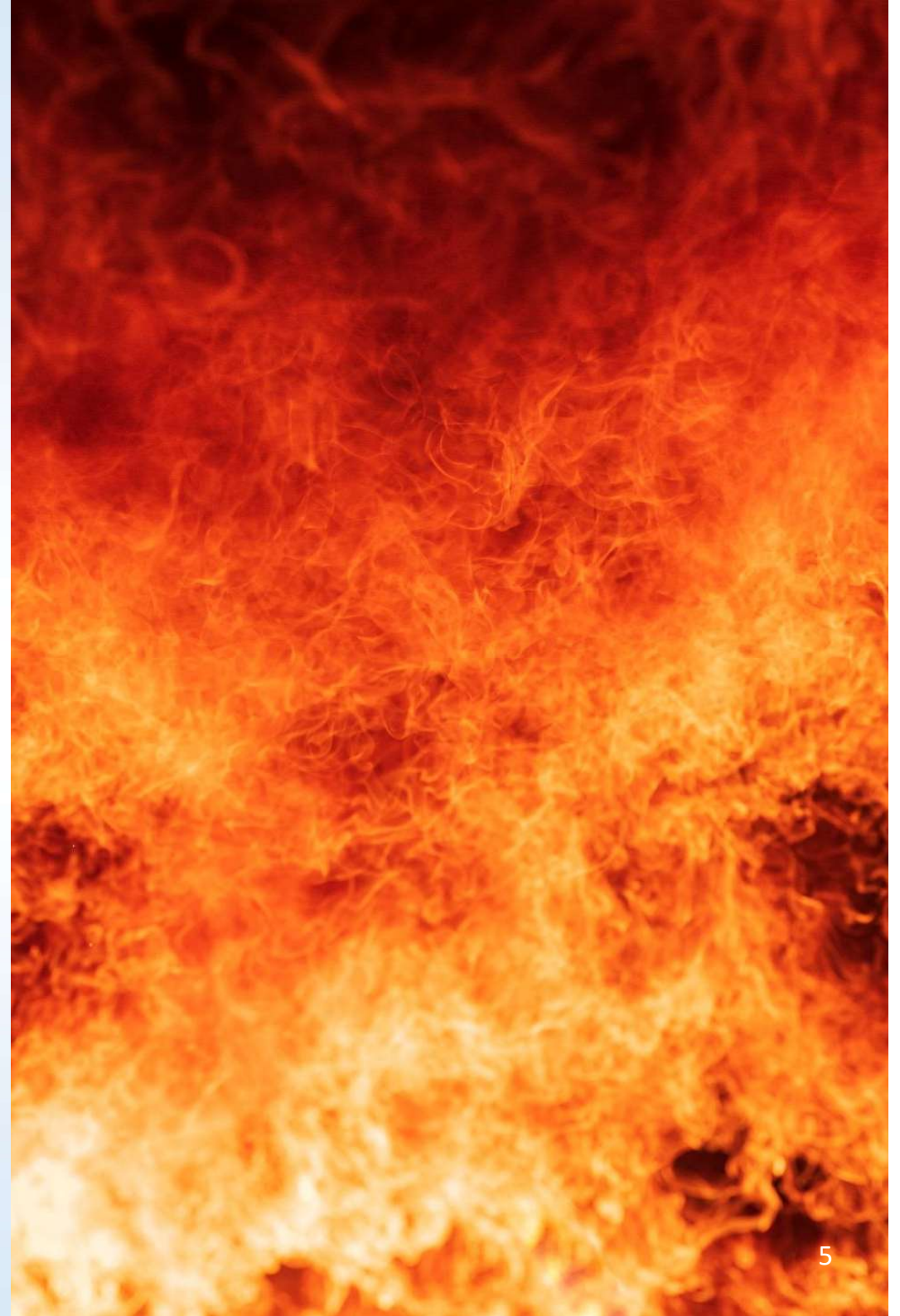
【計算結果例】 ボイルオーバー



【防災シミュレーション例】 水放射

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)

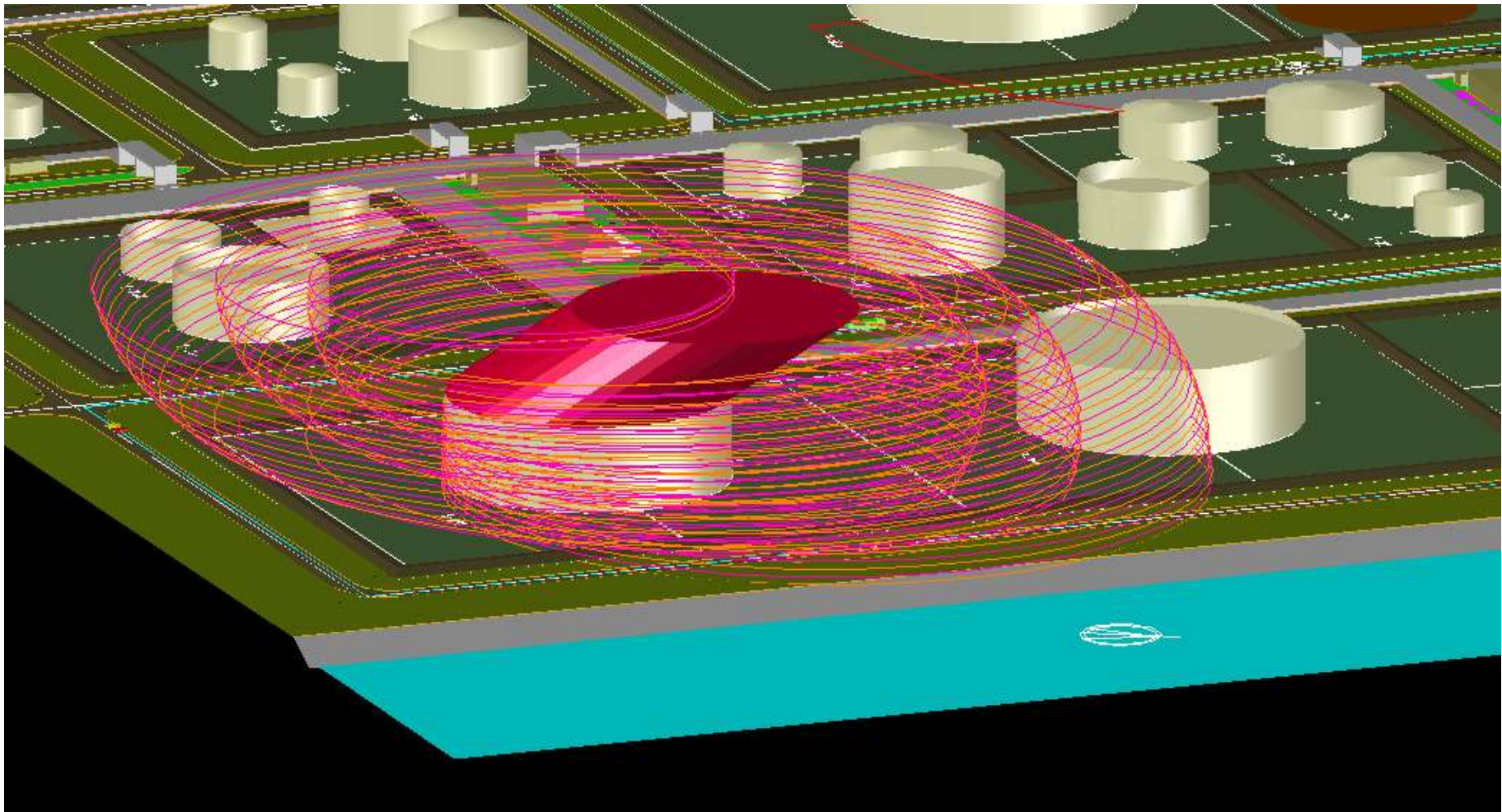
輻射発散度は入力、またはMudan特有の方法で計算
→選択可

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あるので実用的

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。

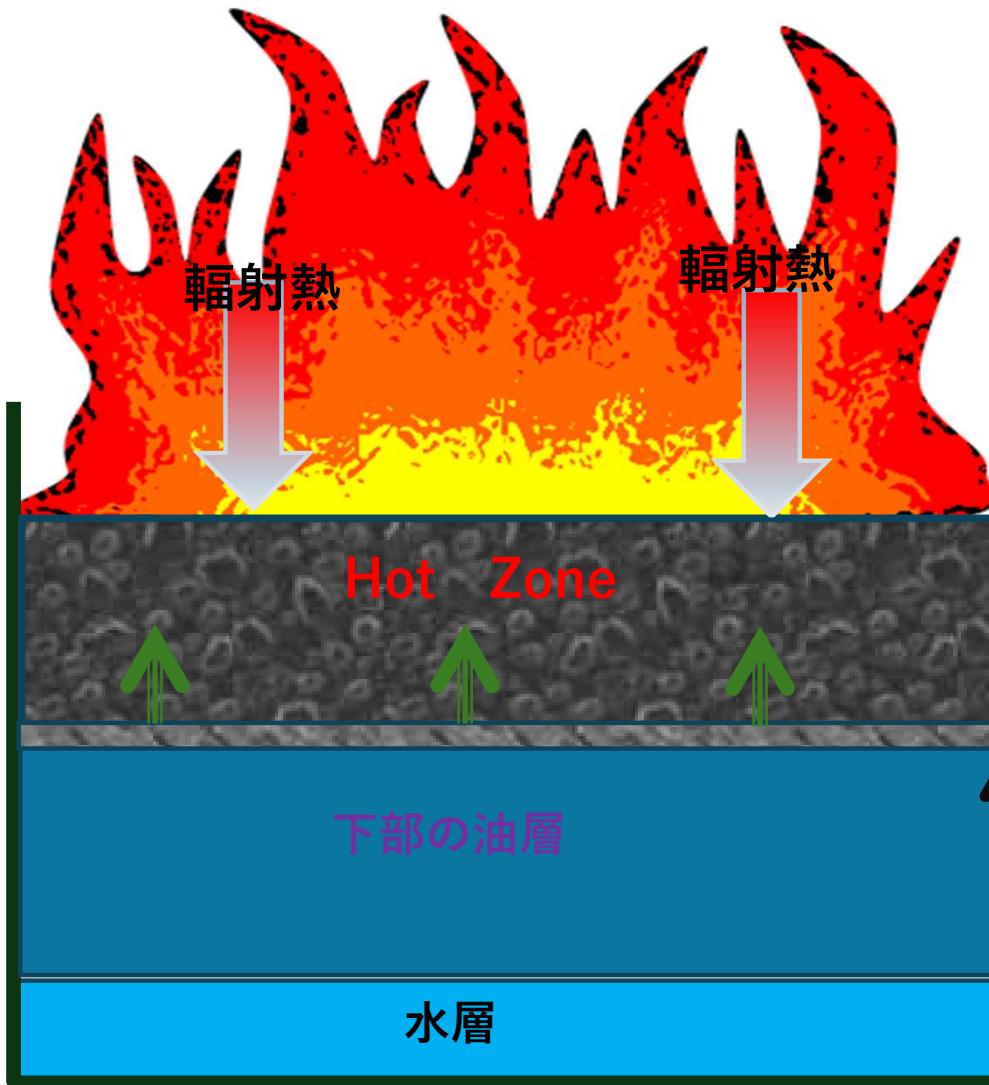


ボイルオーバー発生のメカニズム1/2 (原油など多成分の場合)

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（燃烧する = 燃烧速度）



蒸留残渣（油層に
残り, Hot
Zoneを形成する）

蒸留

温度は蒸留温度
= Hot Zoneの温度

輻射熱

下層から上がっ
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。

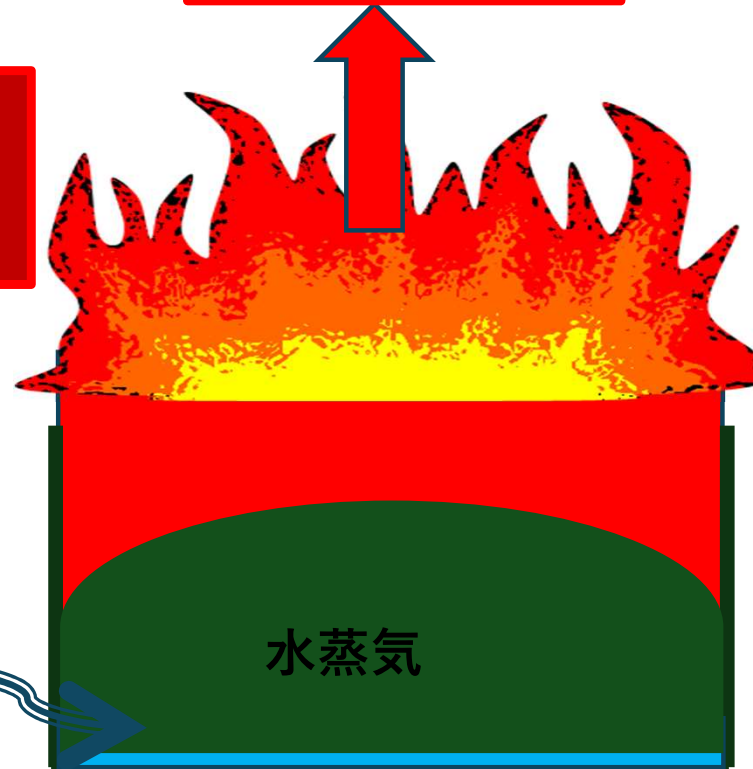
バーニング・フロスがタンクの直径の10倍の高さに吹上。

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

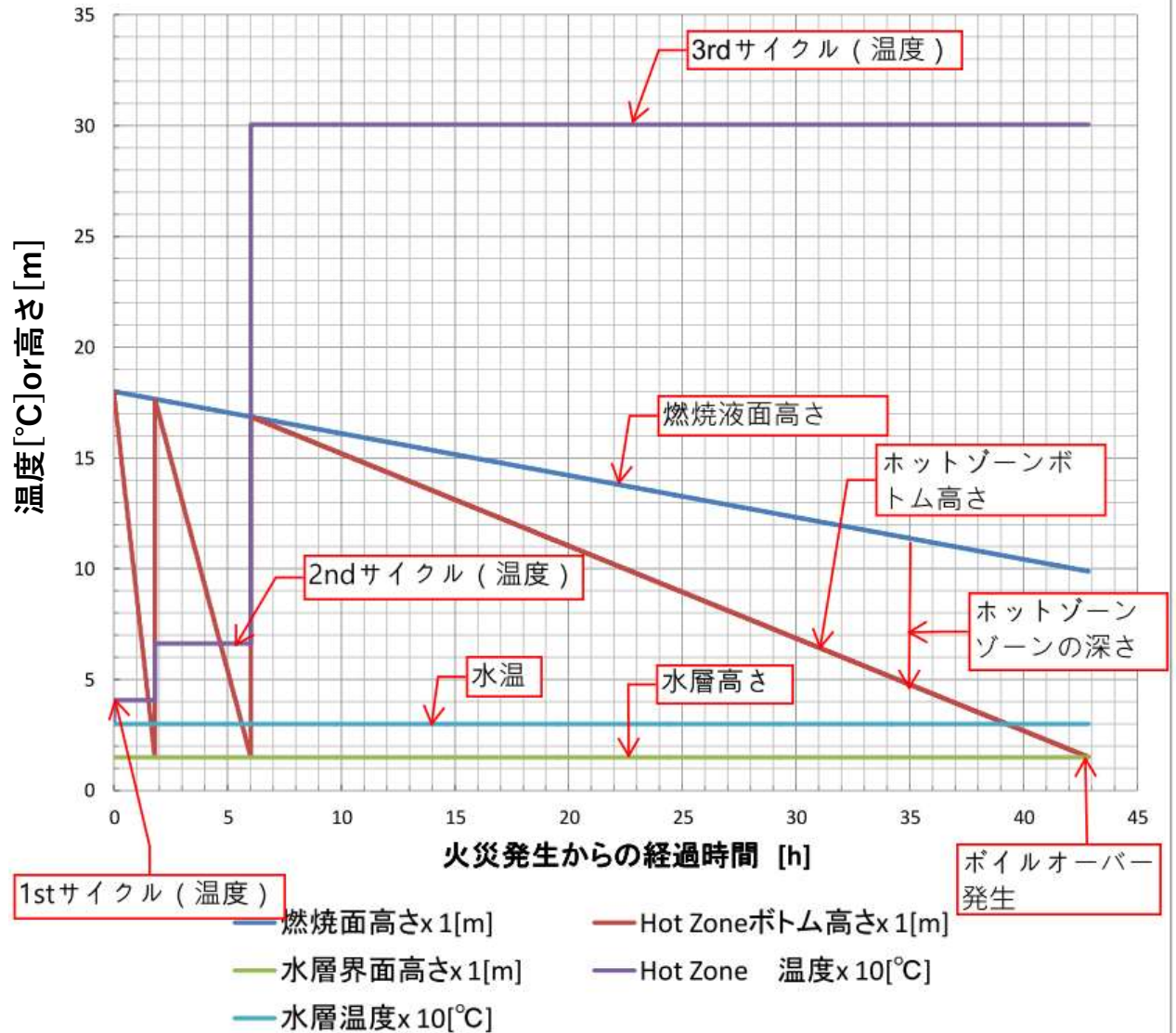
(原油2のシミュレーション結果)

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)	λ Tz	0.1290	[Kcal/m/hr]
熱伝導率(下層oil)	λ To	0.1290	[Kcal/m/hr]
熱伝導率(水層)	λ Tw	0.5236	[Kcal/m/hr]
計算時間刻み	$\Delta \theta$	1.0	[sec]
最大計算時間	θ_{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)	ρ LTz	855.8	[kg/m3]
密度(下層oil)	ρ LTo	855.8	[kg/m3]
密度(水層)	ρ 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]

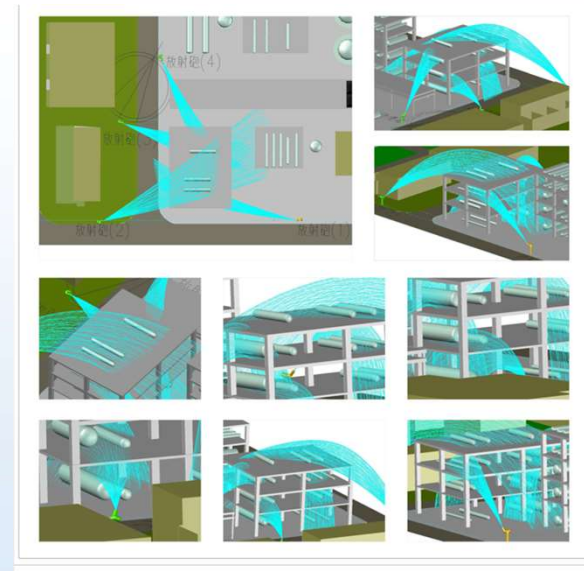
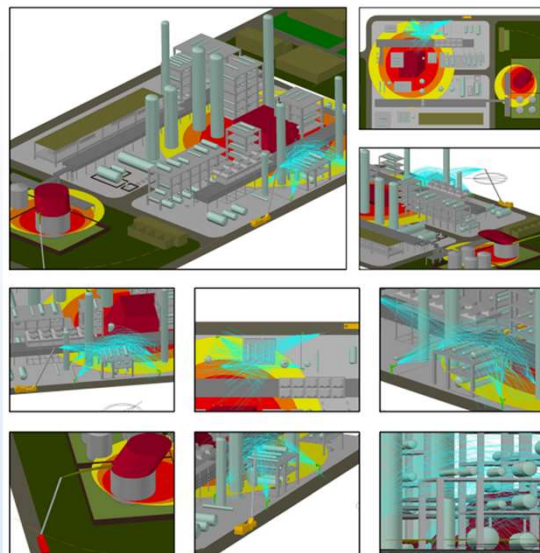
液面降下速度	Vsf	-0.19	[m/h]
Hot Zone 成長速度	Vhz	0.20	[m/h]
Cycle数	cycle	3	[-]



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

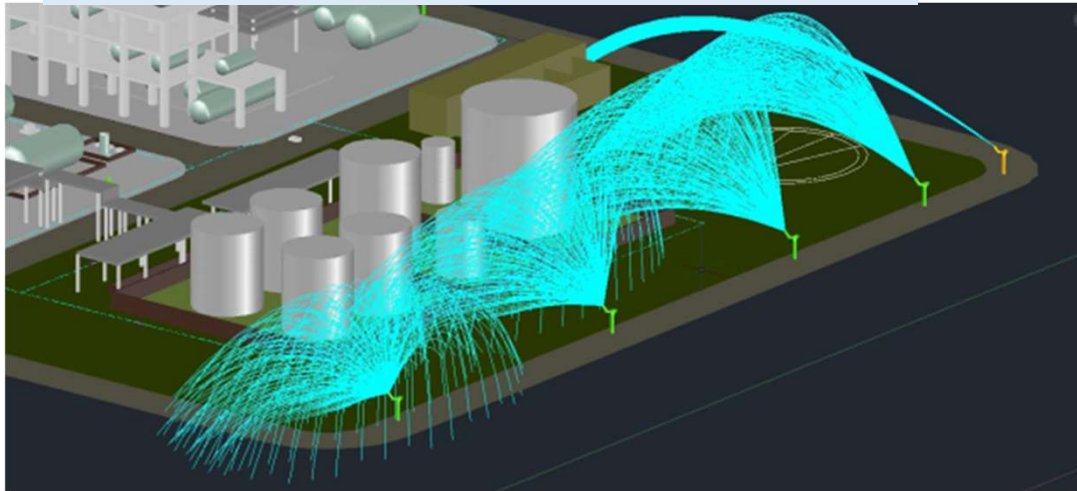


シミュレート結果表示

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

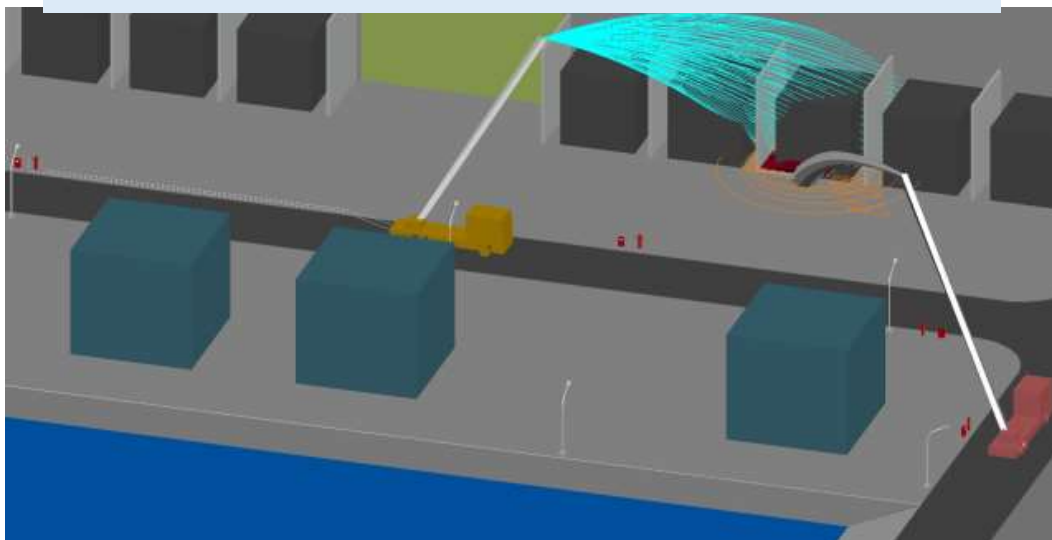
水放射シミュレーション 表示例

固定式放水銃からスプレー角度を変えて放水

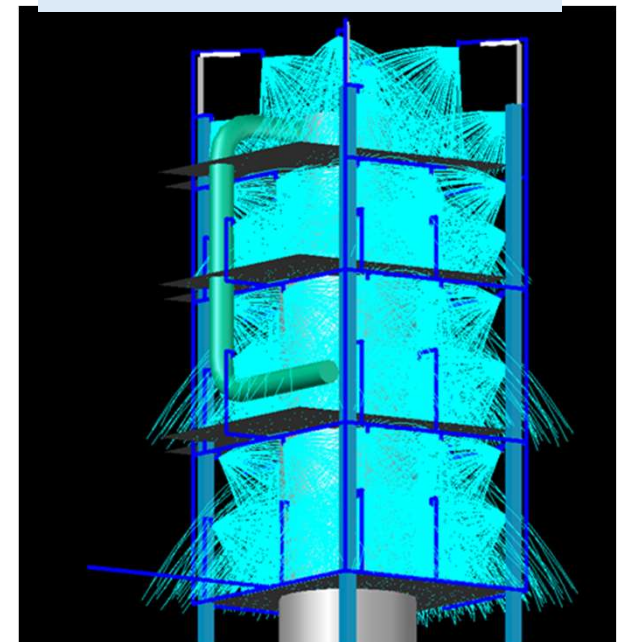


水放射時に**障害となる構造物**
を考慮したシミュレーション
を実施します

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



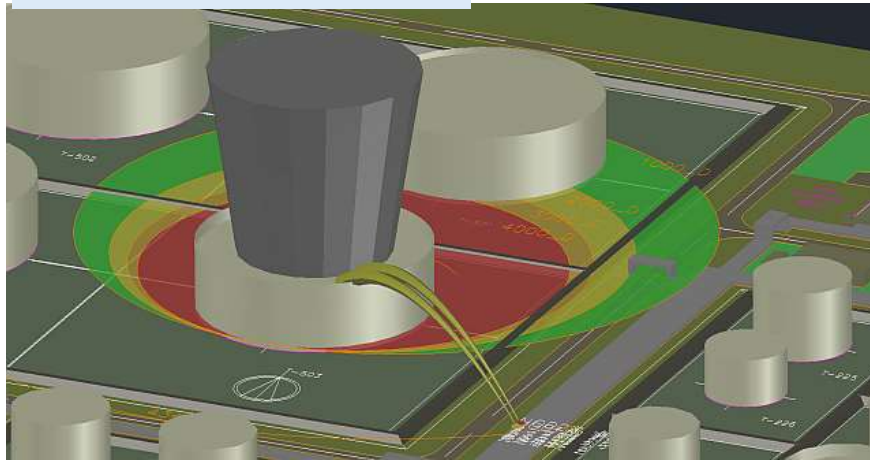
シミュレート結果表示

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

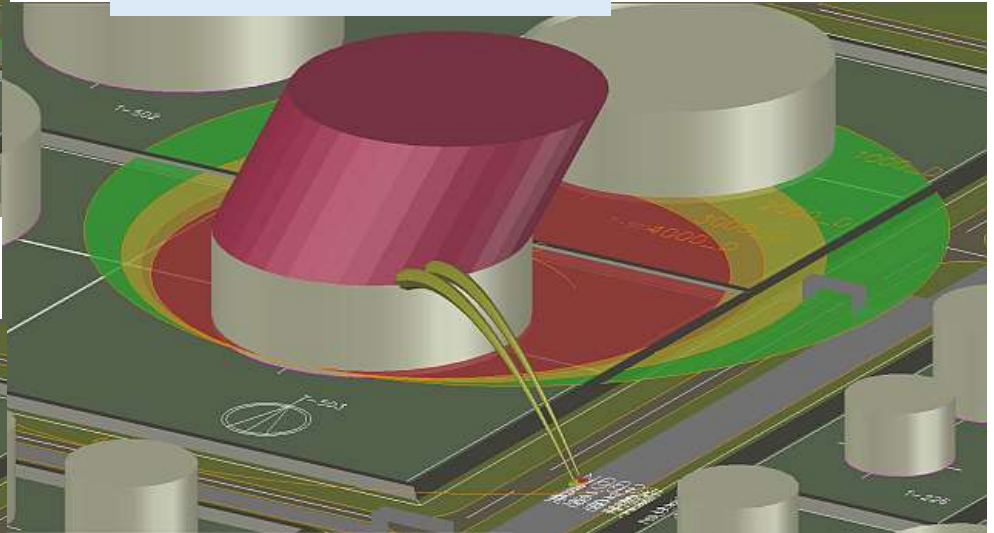
タンク火災消火シミュレーション 表示例

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。

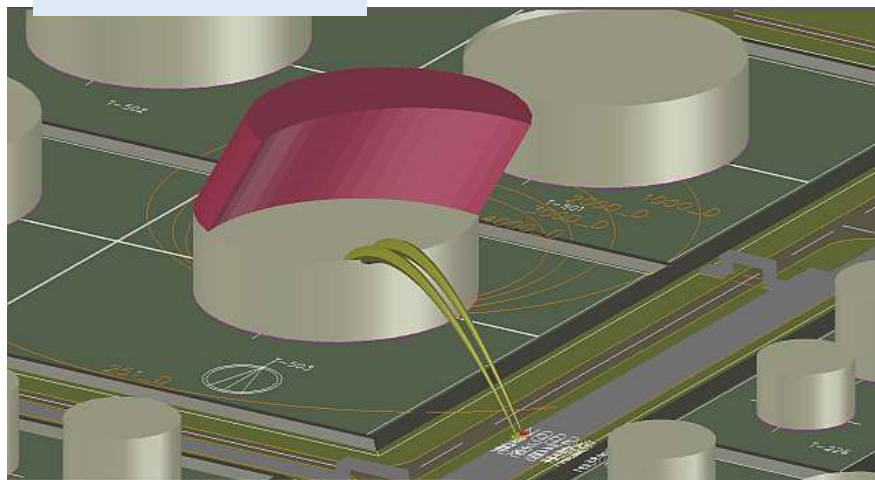
泡放射と上昇気流速度



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>