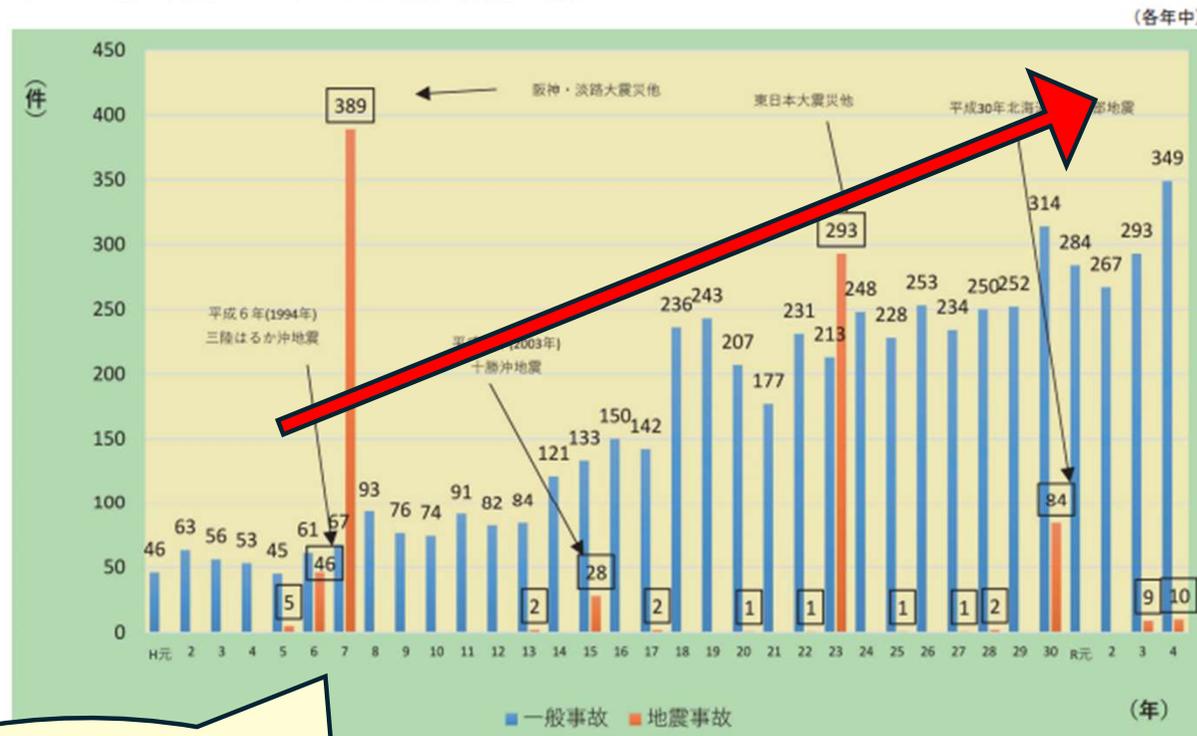


近年増加する石油コンビナートでの爆発事故

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

爆発事故が企業に与える影響

事業所で爆発事故の発生が起きると、近隣住民も含めた広範囲な被害が想定されます

経済的な影響

- ・ 修復・再建費用
- ・ 被害者への補償
- ・ 生産停止による損失など

社会的影響

- ・ 地域住民の避難
- ・ 関係者の心理的サポートなど



物理的な影響

- ・ 人的被害
- ・ 施設、設備の破壊
- ・ 環境への影響など



弊社の爆発シミュレーションの活用

発災時の**影響度評価**と**警防計画**などの対策案検討を行います。

近隣住民との
リスクコミュニケーション

社内**防災教育**や
研修の充実

防災設備の
補修・見直し

消防への
申請資料として

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



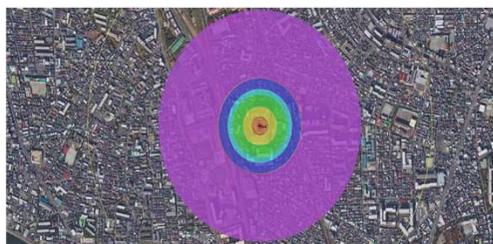
災害シミュレーション

計算結果

防災シミュレーション

消火対策・
警防計画

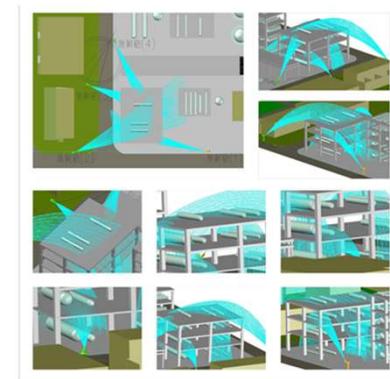
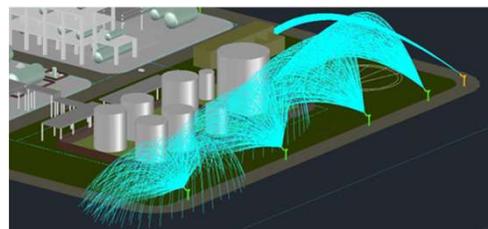
距離	圧力	破損
0m	> 100kPa	全壊
10m	50kPa ~ 100kPa	大破
20m	20kPa ~ 50kPa	中破
30m	10kPa ~ 20kPa	小破
40m	5kPa ~ 10kPa	軽破
50m	2kPa ~ 5kPa	無破



*1 V.J.Clancey : Diagnostic Feature of Explosion Damage, Sixth International Meeting of Forensic Science, Edinburgh, 1972
 *2 難波柱芳監督, 平野敏右・堀内學編 : 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、鋼板建物が破損する。油貯槽が破綻する。(*1)
 注記 3 : 未強化コンクリートやブロック塀が破綻する。(*1)
 注記 4 : 大小の窓ガラスが普通破綻される。窓枠も時には破綻される。
 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%が破綻される

【結果表示例】 蒸気雲爆発



【防災シミュレーション例】 水放射

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】



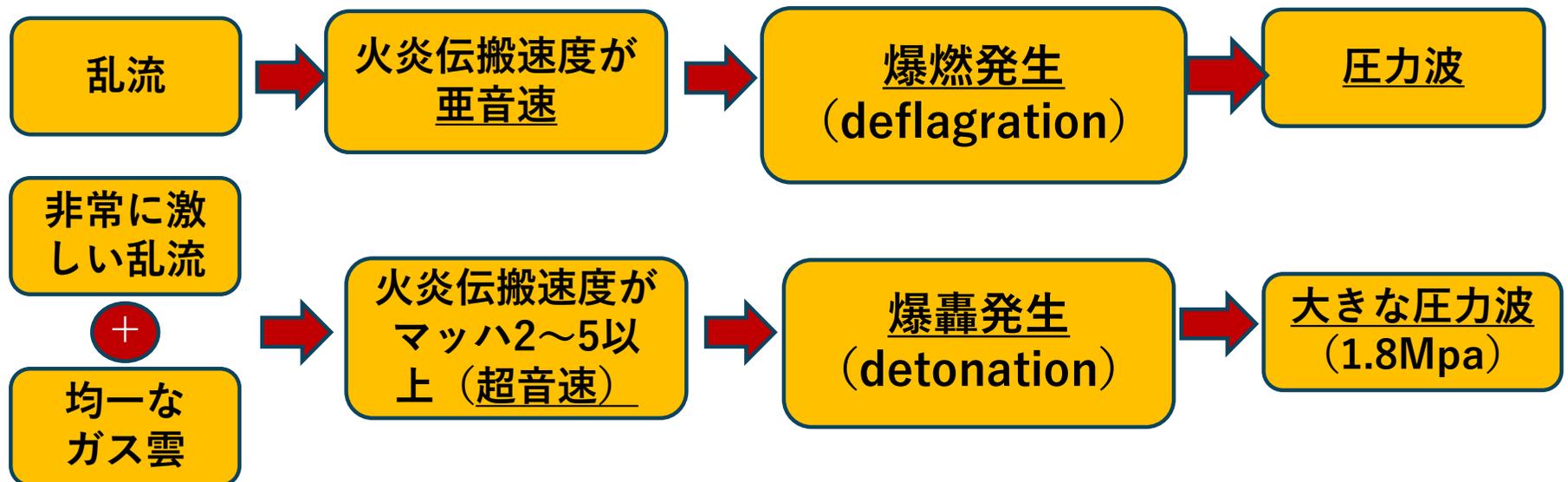
蒸気雲爆発 VCE のメカニズム

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。

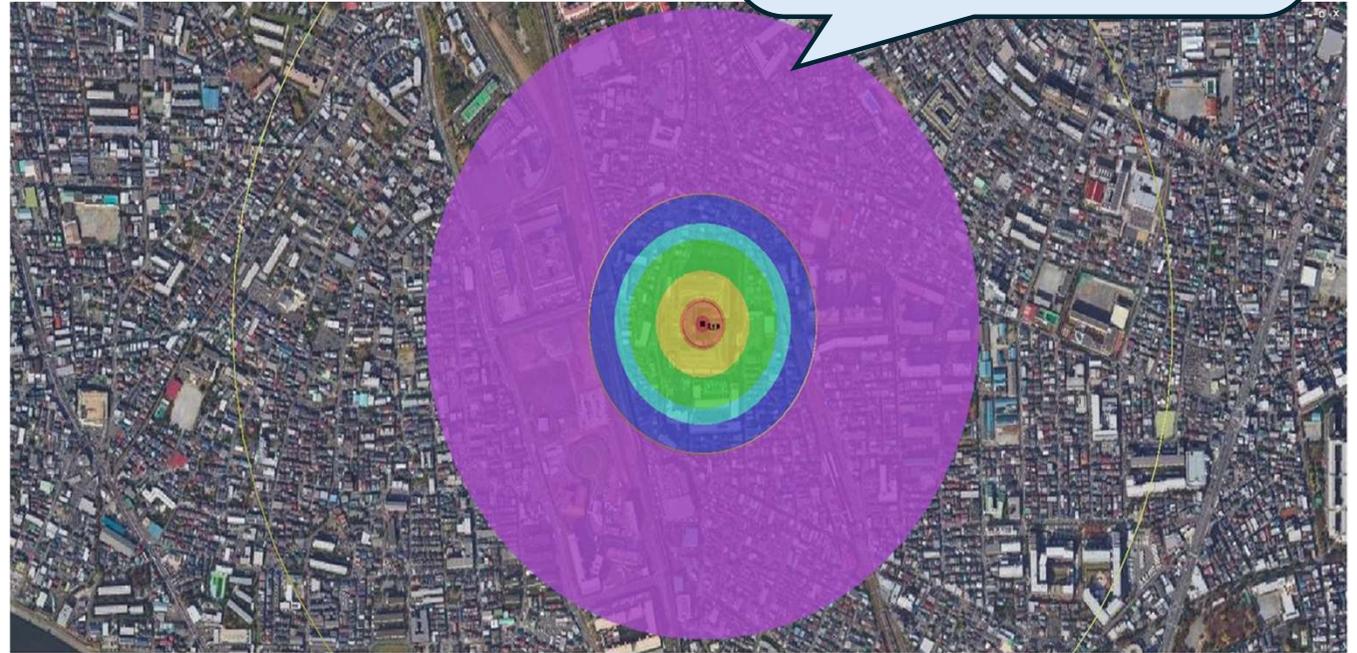


蒸気雲爆発

【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

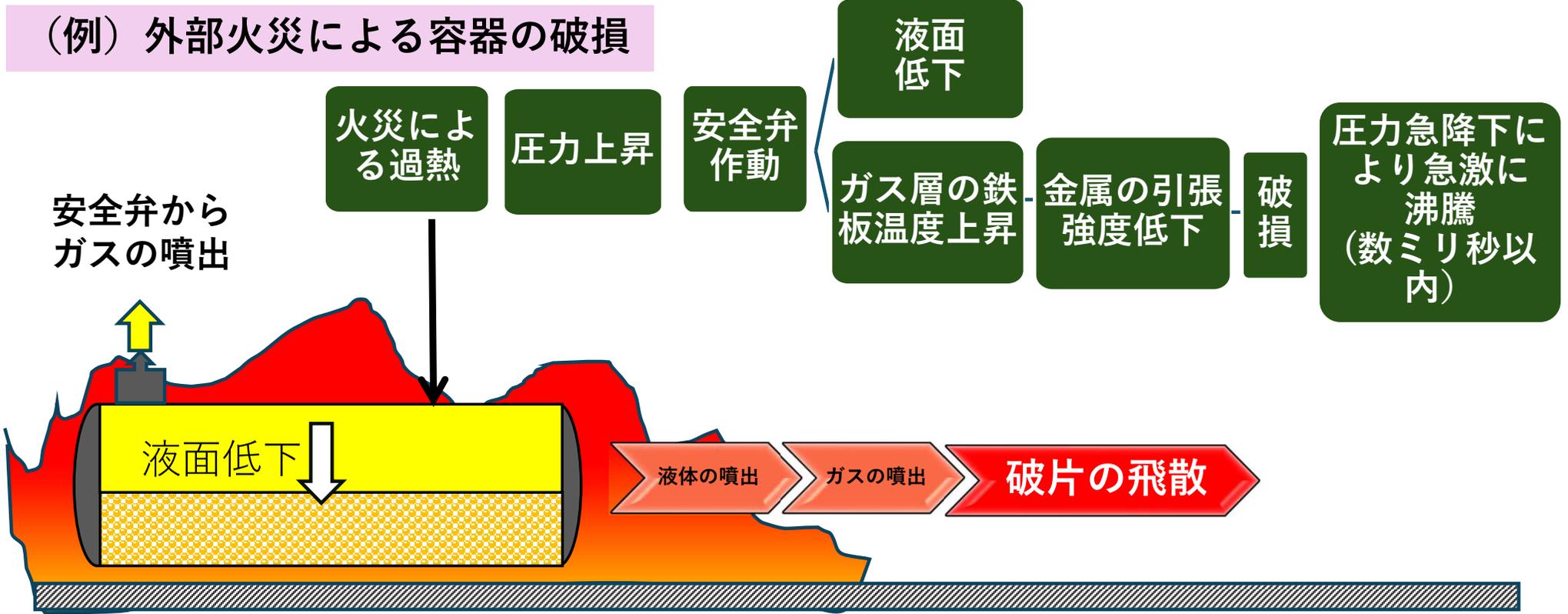
【シミュレーション結果例】

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)



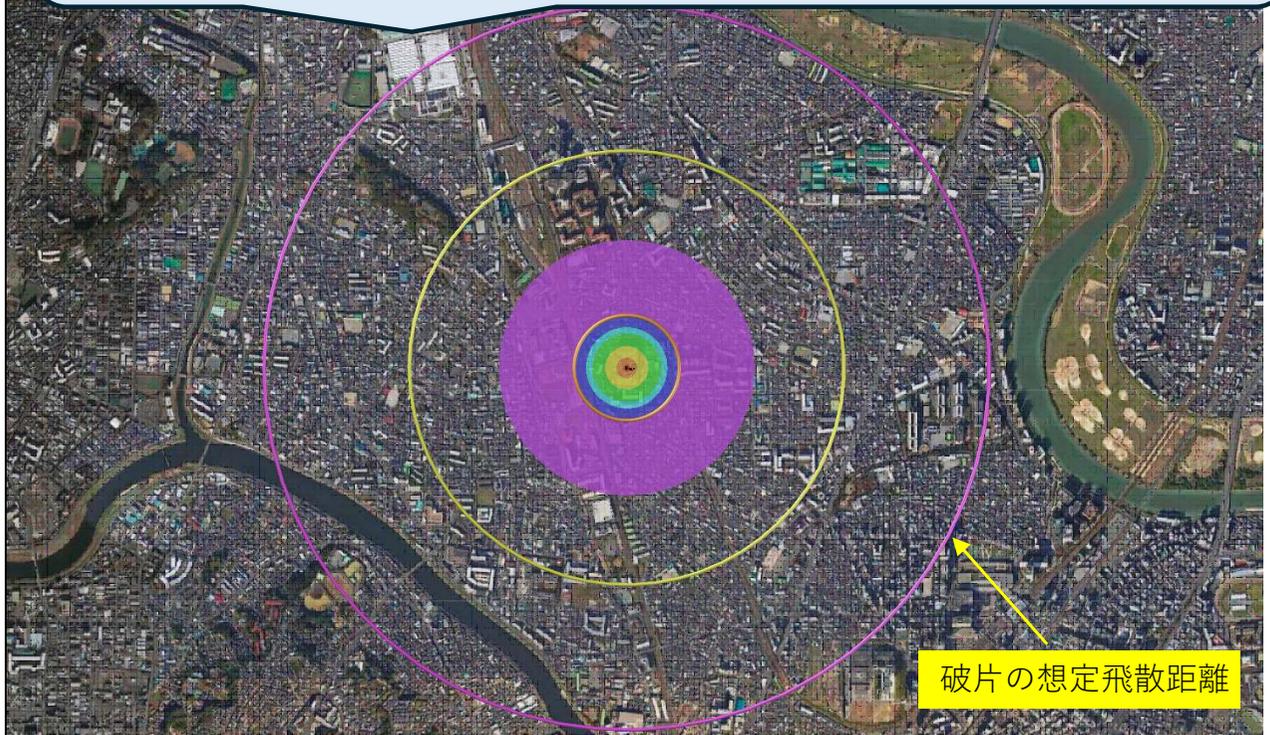
破裂時の温度	破裂箇所	放出内容物	着火に伴う起こり得る危険
高温ではない	and	ガス相部分	Flash fire or VCE
高温である	or	液相部分	Fire Ball

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)

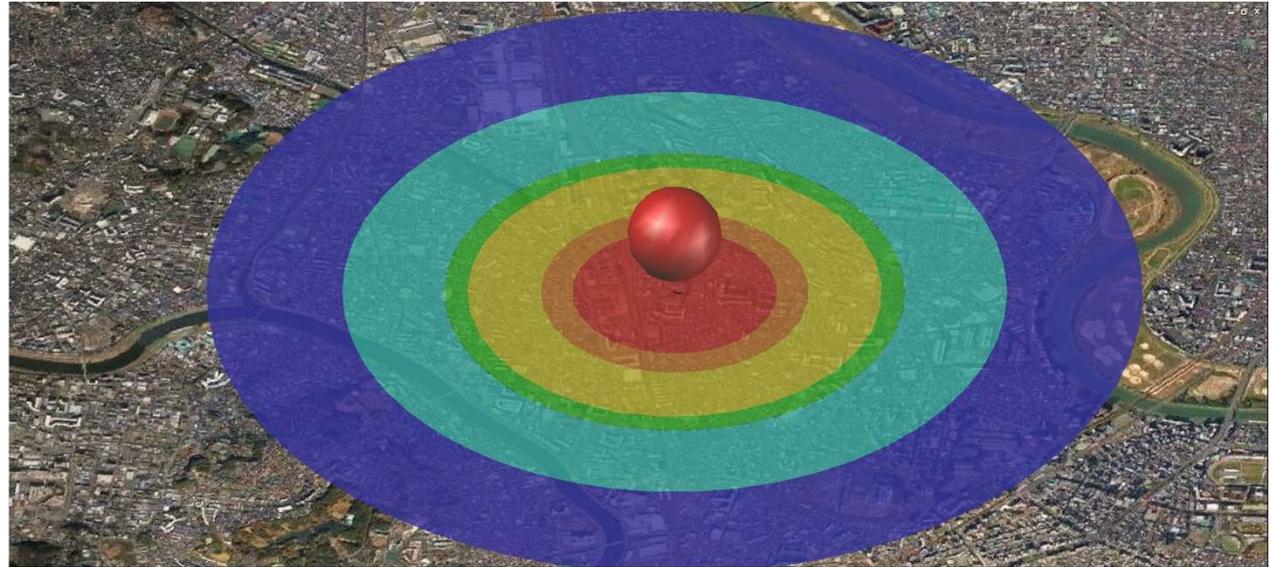


ファイアーボール FIREBALL

【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 ²]	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

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**

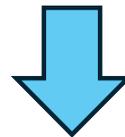
任意のスプレー角度で放射軌跡をシミュレート

- **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

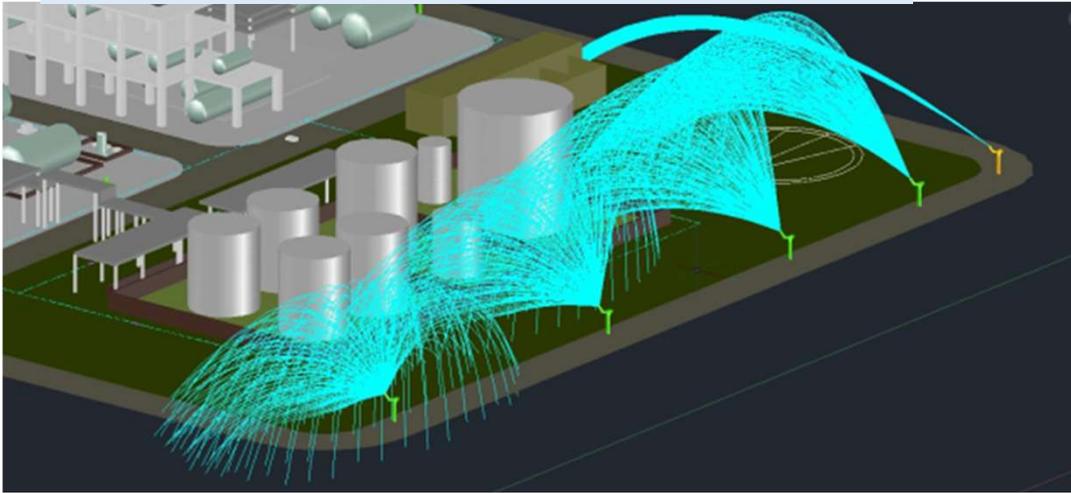


シミュレート結果表示

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

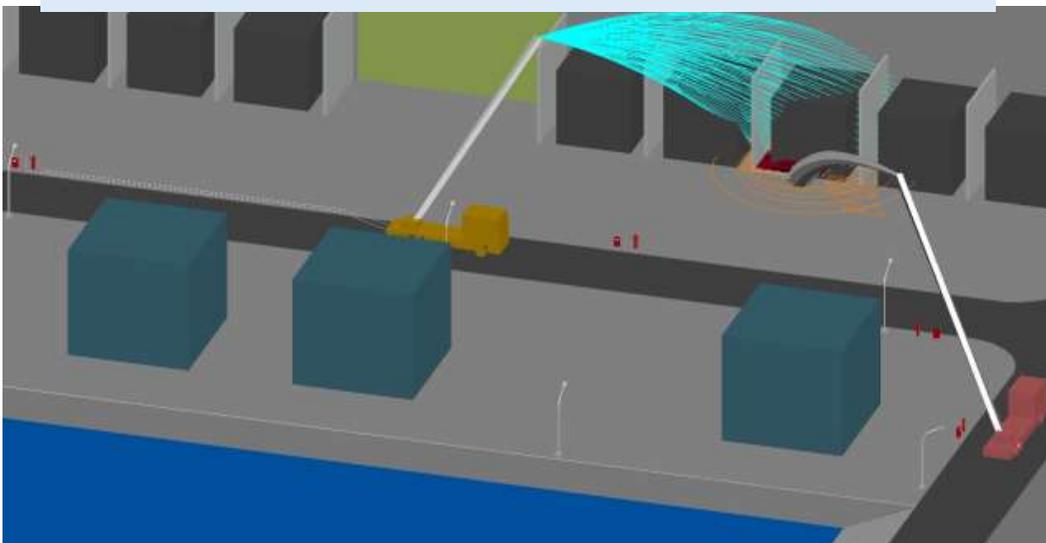
水放射シミュレーション 表示例

固定式放水銃からスプレー角度を変えて放水

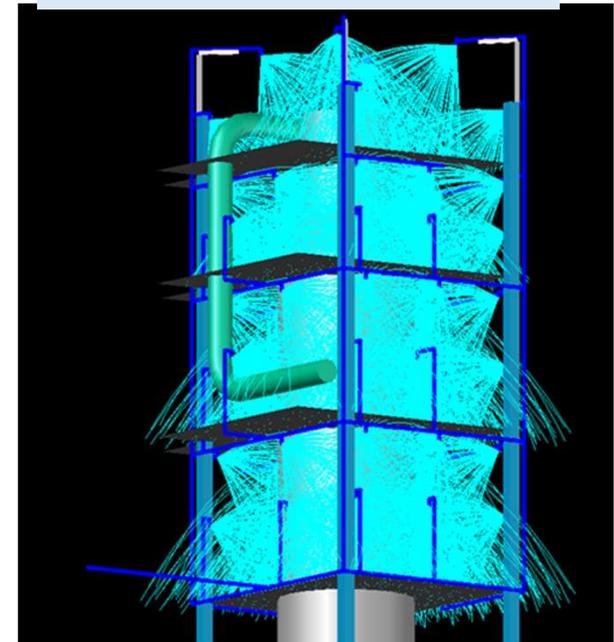


水放射時に**障害となる構造物**
を考慮したシミュレーション
を実施します

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



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>