



工業事故災害案例研析

(107年度產業安全衛生技術輔導成果發表會)

報告人：

資深工程師/室經理 何大成

中華民國 107 年 11 月 22 日



危害生命週期評估

Prevention Oriented (Input)

預防 (Prevention)

- 機械完整性
- 預知/預防保養
- 操作訓練
- 人因工程

Monitoring & Control (Process)

控制 (Control)

- 自動控制系統
- 人為控制
- 備用系統

Protection Oriented (Output)

保護 (Protection)

- 警報
- 互鎖系統
- 緊急停機
- 緊急排放
- 點火源控制

消滅 (Mitigation)

- 緊急應變
- 灑水系統
- 防溢堤
- 防爆牆
- 個人防護具

危害
(Hazard)

原因
(Cause)

異常偏離
(Deviation)

後果
(Consequence)

衝擊
(Impact)

物質/能量
適當的控制

- 毒性
- 易燃性
- 反應性
- 高溫高壓

起始事件

- 機械失效
- 程序失效
- 外來因素

超越安全操作
/設計極限

- 無流量
- 溫度過高
- 液位過低
- 不純物
- 加錯物料
- 步驟省略

物質/能量外洩

- 火災
- 爆炸
- 危害物外洩

損失後果
嚴重性

- 人員死傷
- 財物損失
- 商業中斷
- 環境污染



國際規範趨勢

- 國外重大危害物質管制之法規已經走向化學物質災害後果影響分析 (**Consequence Analysis**) 與量化風險分析 (**Quantitative Risk Analysis** , **QRA**) 之趨勢，國內則逐步引進製程危害分析 (**Process Hazard Analysis** , **PSM**) 階段
 - EPA RMP's “the Worst Case Scenario”
 - EU's “ALARP” , “Risk Matrix”
- 除法規制式規定外，允許業界提出以風險為基準 (**Risk-based**) 或以功能性為基準 (**Performance-based**) 之方法



執行量化風險評估之驅動力

■ 為何要執行風險評估

- 國內外重大化災事件回顧
- 意外事故案例統計分析

■ 重大危害物管制國際法規

■ 風險定義

■ 安全評估方法

- 定性分析
- 半定量分析
- 定量分析



國外消防車POWER! (功能性值得評估借鏡)





25年來襲日最強颱風「燕子」

■ 2018/09/04颱風「燕子」中午登陸四國德島南部

- 隨後在下午2點左右登陸神戶市附近 (日本氣象廳最新的氣象資料顯示)
 - 目前以時速65公里的速度向西北東前進
 - 大阪測得每秒47.4公尺的57年來的最強陣風風速
 - 多地也出現16、17級以上的強陣風，打破多個測站的風速紀錄 (為日本近年來罕見的風力)
- 燕子帶來的強風豪雨配合大潮，讓建立在人工島上關西國際機場滅頂
- 對外唯一聯絡道還被一艘油輪給撞上

■ 燕子所引發的風暴潮，讓建在人工島上關西空港慘遭滅頂

- 地勤作業車輛、空橋全都泡在海水，情況慘烈
- 一艘停泊在大阪灣的油輪「寶運丸」遭強風吹離港口，撞上機場唯一對外聯絡道，雖然船上11名船員沒有大礙，但聯絡橋結構受到破壞，目前船仍卡在橋上。(消防首要事件)



Jebi typhoon hit Japan

燕子所引發的風暴潮，讓建在人工島上關西空港慘遭滅頂



<https://www.uttarakhandleaks.com/typhoon-jebi-kills-at-least-9-in-japan-boats-move-tourists-from-flooded-airport/>



關西機場關鍵性的潛在風險

對外唯一聯絡道還被一艘油輪給撞上



<https://www.uttarakhandleaks.com/typhoon-jebi-kills-at-least-9-in-japan-boats-move-tourists-from-flooded-airport/>



17級以上的強陣風風速紀錄

臺灣颱風風速紀錄

氣象測站	持續風力				陣風				備註
	發生時間	風暴名稱	風速 (m/s)	蒲福氏 風級	發生時間	風暴名稱	風速 (m/s)	蒲福氏 風級	
臺北	1962年8月	歐珀 (Opal)	33	12級	1962年8月	歐珀 (Opal)	49.1	15級	
澎湖	1949年9月	尼利 (Nelly)	37	13級	1986年8月	韋恩 (Wayne)	68	>17級	
恆春	1953年8月	莉泰 (Rita)	36	12級	1991年7月	艾美 (Amy)	49.4	15級	
臺中	1969年9月	艾爾西 (Elsie)	21.7	9級	1969年9月	艾爾西 (Elsie)	39	13級	
臺南	1952年11月	貝絲 (Bess)	31	11級	1987年9月	傑魯得 (Gerald)	45.6	14級	
臺東	1965年6月	黛納 (Dinah)	43	14級	2016年7月8日上午4時36分	尼伯特 (Nepartak)	57.2	17級	自1901年建站以來最大陣風紀錄[1]
花蓮	2005年10月2日上午5時8分	龍王 (Longwang)	45.2	14級	2005年10月2日上午5時12分	龍王 (Longwang)	64.9	>17級	自1948年有觀測紀錄以來最大持續風力及最大陣風[2]
高雄	1962年10月	黛納 (Dinah)	35.3	12級	1977年7月	賽洛瑪 (Thelma)	53	16級	
鞍部	1971年7月	娜定 (Nadine)	43	14級	2015年9月28日下午5時23分	杜鰲 (Dujuan)	54.5	16級	自1937年建站以來最大陣風紀錄[3]
竹子湖	1977年7月	薇拉 (Vera)	42	14級	1985年8月	尼爾森 (Nelson)	66	>17級	
阿里山	1952年11月	貝絲 (Bess)	27.5	9級	2006年7月25日上午0時31分	凱米 (Kaemi)	38.1	13級	
日月潭	1956年9月	黛納 (Dinah)	25	10級	1986年8月	韋恩 (Wayne)	54	16級	
玉山	1971年7月	娜定 (Nadine)	40	13級	2006年7月25日上午1時15分	凱米 (Kaemi)	51.5	16級	
彭佳嶼	1966年9月	寇拉 (Cora)	62.7	>17級	1966年9月	寇拉 (Cora)	80	>17級	
宜蘭	1962年8月	歐珀 (Opal)	50.7	15級	1962年8月	歐珀 (Opal)	66	>17級	
新竹	1961年9月	波密拉 (Pamela)	33.4	12級	1961年9月	波密拉 (Pamela)	42.7	14級	1991年遷至竹北現址[4]
大武	1962年10月	黛納 (Dinah)	31.3	11級	2012年8月24日上午4時19分	天秤 (Tembin)	59.1	17級	
成功	2000年8月22日下午10時47分	碧利斯 (Bilis)	52.3	16級	2000年8月22日下午10時41分	碧利斯 (Bilis)	78.4	>17級	
蘭嶼	1961年5月	貝蒂 (Betty)	74.7	>17級	1984年7月	亞力士 (Alex)	89.8	>17級	
淡水	1961年9月	波密拉 (Pamela)	36.7	12級	1971年7月	娜定 (Nadine)	46.9	15級	
基隆	1959年8月	瓊安 (Joan)	43	14級	1971年9月	貝絲 (Bess)	67	>17級	
東吉島	1986年8月	韋恩 (Wayne)	49.1	15級	1987年9月	傑魯得 (Gerald)	70	>17級	1962年建站[5]
嘉義	1986年8月	韋恩 (Wayne)	27.5	10級	1986年8月	韋恩 (Wayne)	42.7	14級	1968年建站[6]
梧棲	1986年9月	艾貝 (Abby)	33	12級	2015年8月8日上午5時5分	蘇迪勒 (Soudelor)	54.2	16級	1976年建站[7]
蘇澳	1994年9月	葛拉絲 (Gladys)	40.2	13級	1994年9月	葛拉絲 (Gladys)	68.6	>17級	1981年建站[8]
板橋	2015年8月8日上午3時23分	蘇迪勒 (Soudelor)	19	8級	2015年8月8日上午3時19分	蘇迪勒 (Soudelor)	36.7	12級	2002年建站[9]
馬祖	2005年9月1日上午10時9分	泰利 (Talim)	24	9級	2015年8月8日下午2時16分	蘇迪勒 (Soudelor)	48.9	15級	2003年建站[10]
金門	2016年9月15日凌晨3時4分	莫蘭蒂 (Meranti)	42.2	14級	2016年9月15日凌晨2時57分	莫蘭蒂 (Meranti)	61.7	>17級	2004年建站[11]
新屋	2015年8月8日上午5時6分	蘇迪勒 (Soudelor)	29.7	11級	2015年8月8日上午5時3分	蘇迪勒 (Soudelor)	47	15級	2013年建站[12]

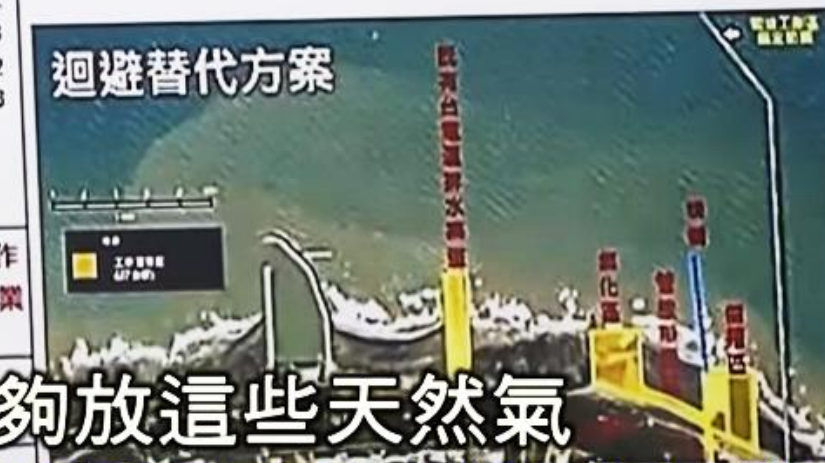


Only QRA? (藻礁! Climate change, 民意!)

工業區差異比較

■ 迴避替代方案開發內容僅 LNG接收站及相關設施

項目	原方案	迴避替代方案
開發面積 (公頃)	232	▼84% 37
分區面積 (公頃)	LNG氣化區 82.02 水泥/砂石區 24.00 石化品區 24.00 公共行政區 16.60 冷能利用區 10.27 備廠 18 農土保安地 23.27 道路 13.49 區間綠地 1.83 溫排水渠道 16.42 對外道路 2	儲槽區 13 氣化區 11 管線迴避區 3 對外道路 2 既有台電溫排水 8 渠道
北側海堤	有	722公尺不施作 · 以橋樑與工業港連接
廢水量	532	▼84% 8



TVBS HD

才能夠放這些天然氣

關西機場填海造陸下沉3米 台灣有能力填海蓋接氣站?



台中液化天然氣廠供氣網絡

■ 中油輸氣管線分布概況圖

台中廠 → 通霄配氣站 → 大潭電廠



接收站2座

台電及民營天然氣電廠1座

永安通霄36吋海管237.7 km

台中大潭36吋海管135 km(台中至通霄45km, 通霄至大潭90km)

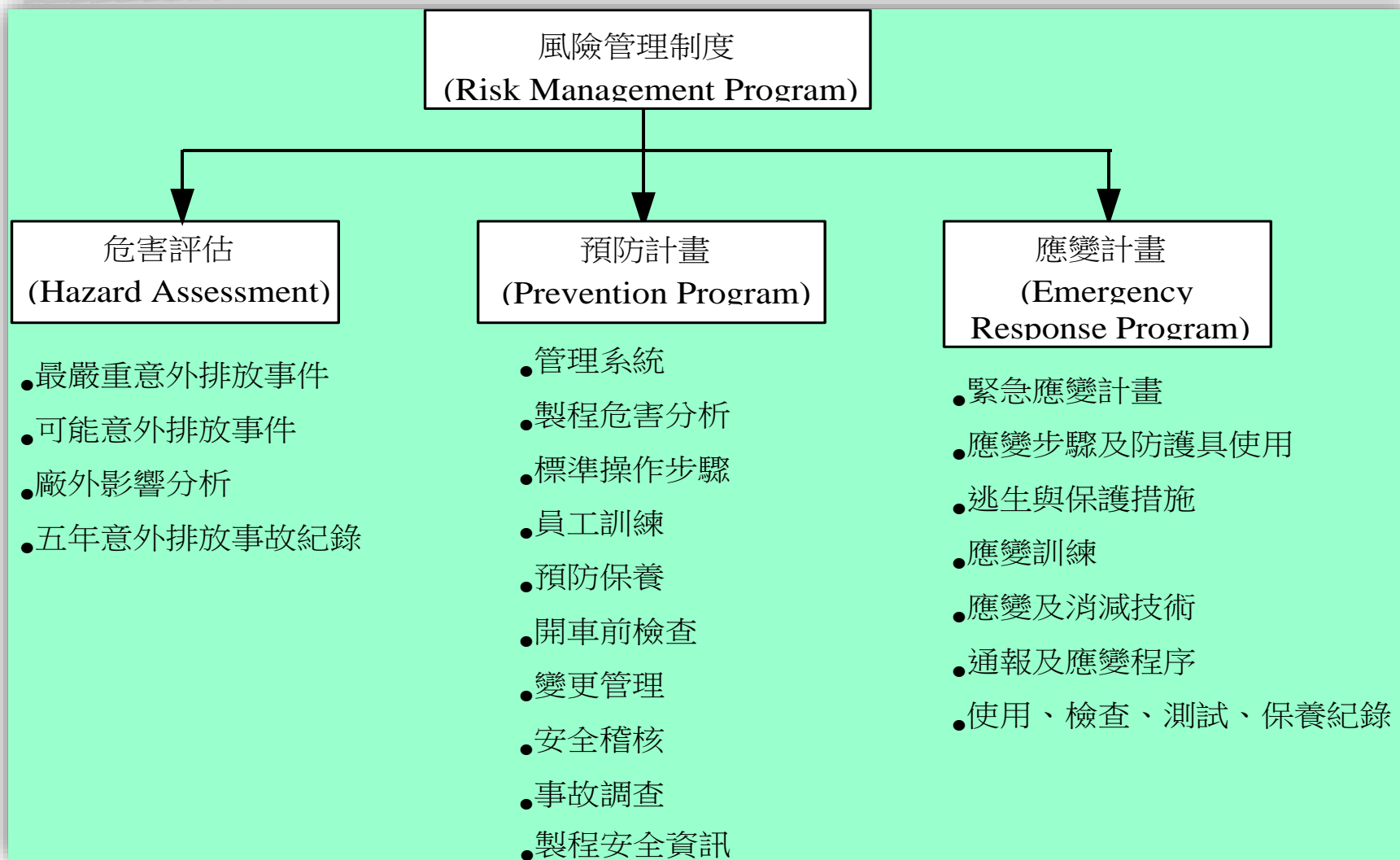
陸上輸氣幹線(天然氣進口事業), 合計2,148 km

配氣站/隔離站/開關站, 45座/30座/21座 (106年6月更新)

鐵砧山注氣廠

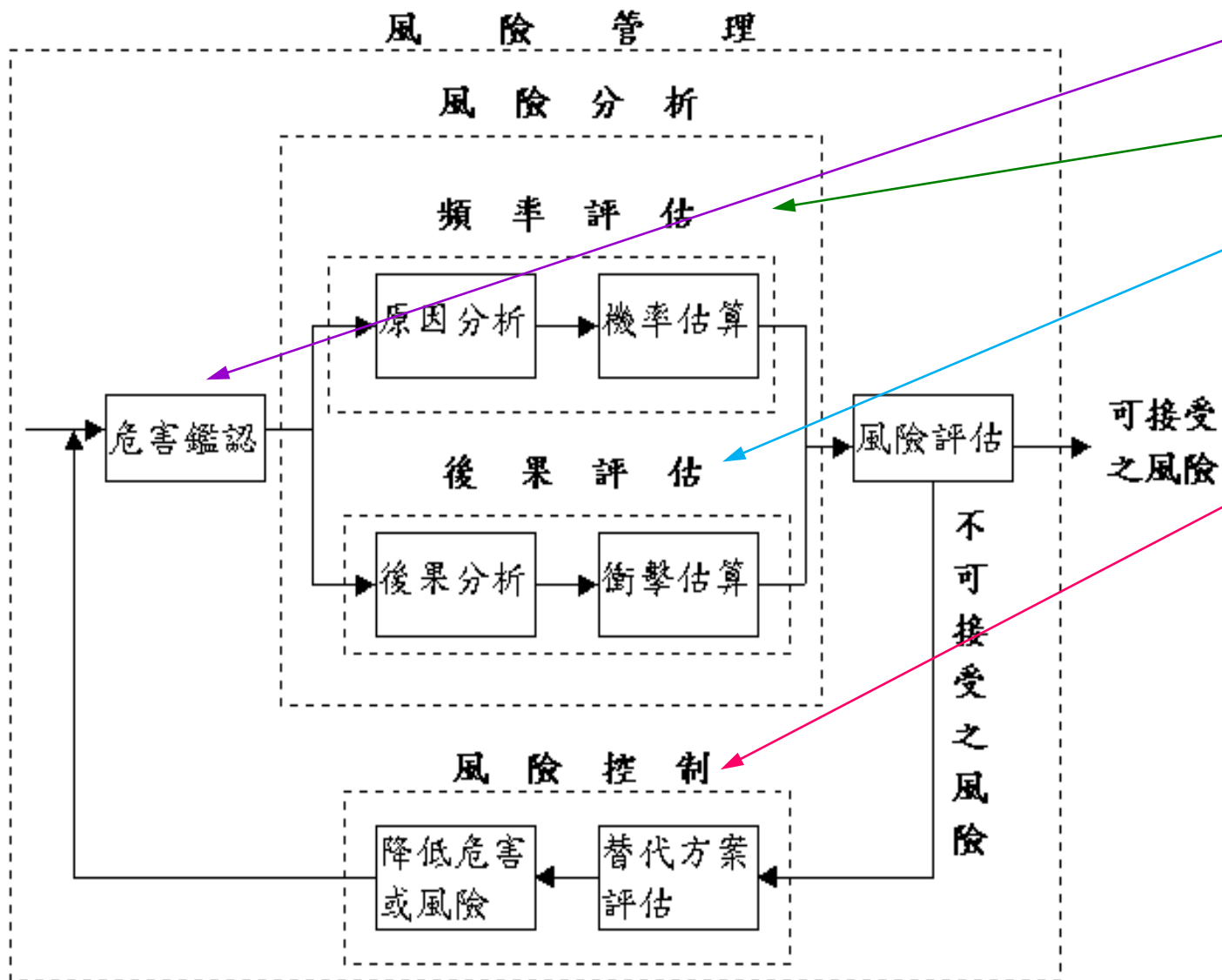


美國U.S. EPA's RMP執行架構





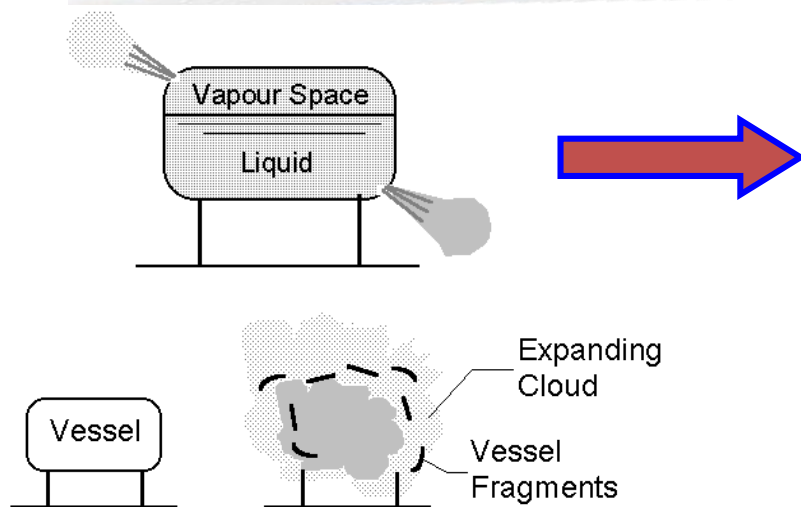
後果分析與風險評估之架構



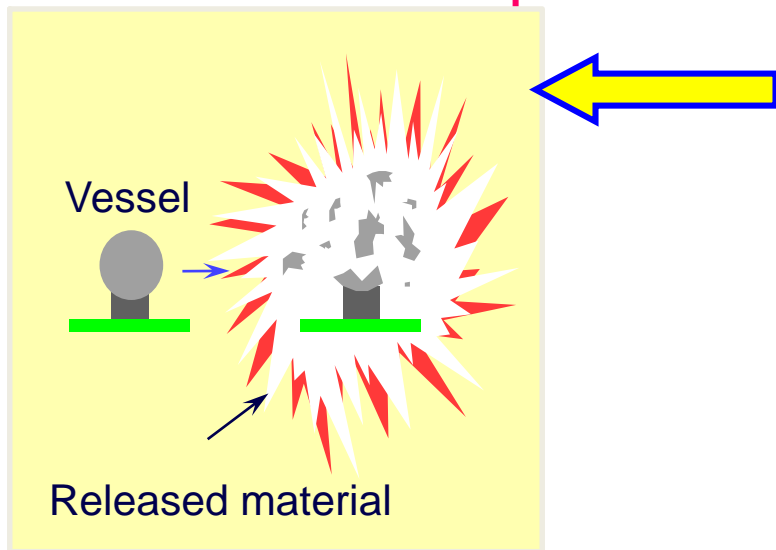
- 危害辨識
- 頻率分析
- 後果分析
- 緊急應變與事前規劃
- 風險評估與控制



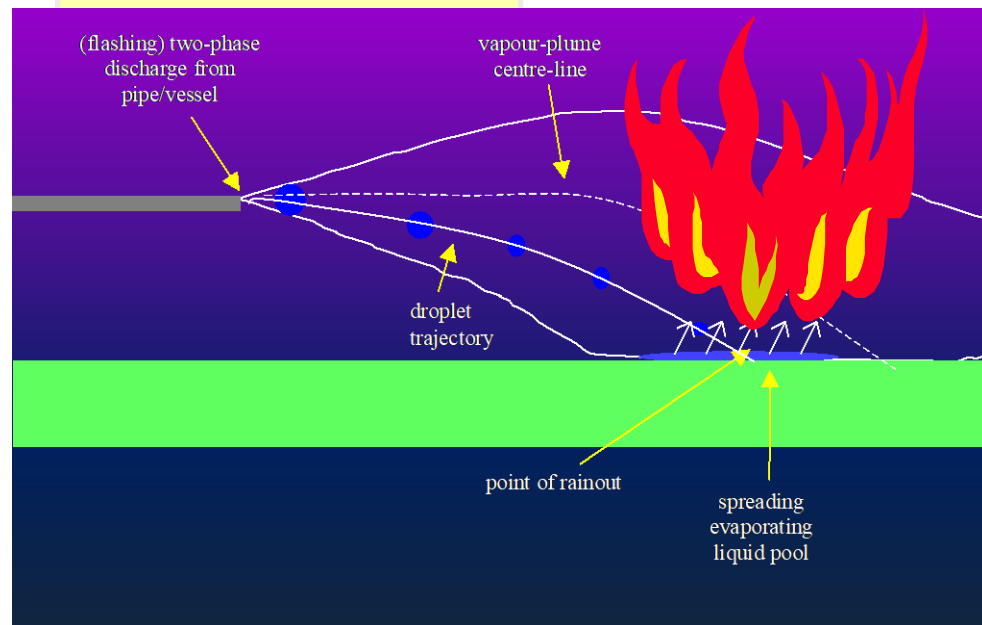
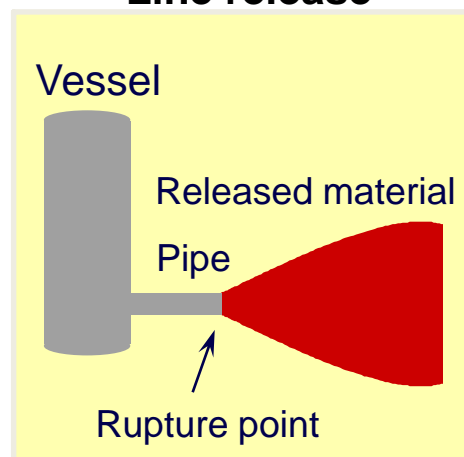
易燃性化學品儲槽失誤情境發展



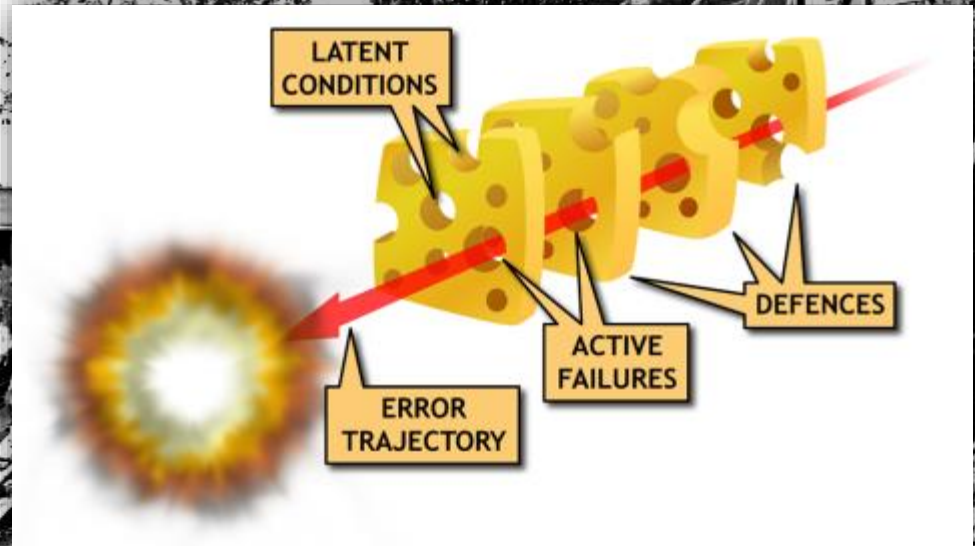
Instantaneous or catastrophic release



Line release



瓜達拉哈拉大爆炸 (Guadalajara)



起司理論 (Swiss Cheese Model)

In 1990, James Reason and Dante Orlandella at the University of Manchester developed what is commonly called the Swiss Cheese Model.

就是這麼的湊巧！

最嚴重的狀況「居然」發生了。

Critical Event ?



PHMSA

All Reported Incidents

Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, DOT / USA

Pipeline Significant Incident 20 Year Trend

年份	事件數	死亡	受傷	損失經額
1998	295	21	81	177,637,649
1999	275	22	108	181,501,952
2000	290	38	81	262,267,142
2001	233	7	61	80,500,887
2002	258	12	49	126,935,438
2003	297	12	71	167,179,722
2004	309	23	56	320,479,579
2005	336	16	46	1,504,761,913
2006	257	19	34	160,282,112
2007	265	15	46	151,288,365
2008	279	8	54	603,710,095
2009	275	13	62	184,034,185
2010	264	19	103	1,887,768,213
2011	286	11	50	455,473,279
2012	254	10	54	238,343,108
2013	303	8	42	361,306,244
2014	302	19	94	310,979,755
2015	329	10	51	348,336,583
2016	308	16	86	316,093,864
2017	296	8	33	222,733,121
總數	5,711	307	1,262	8,061,613,207

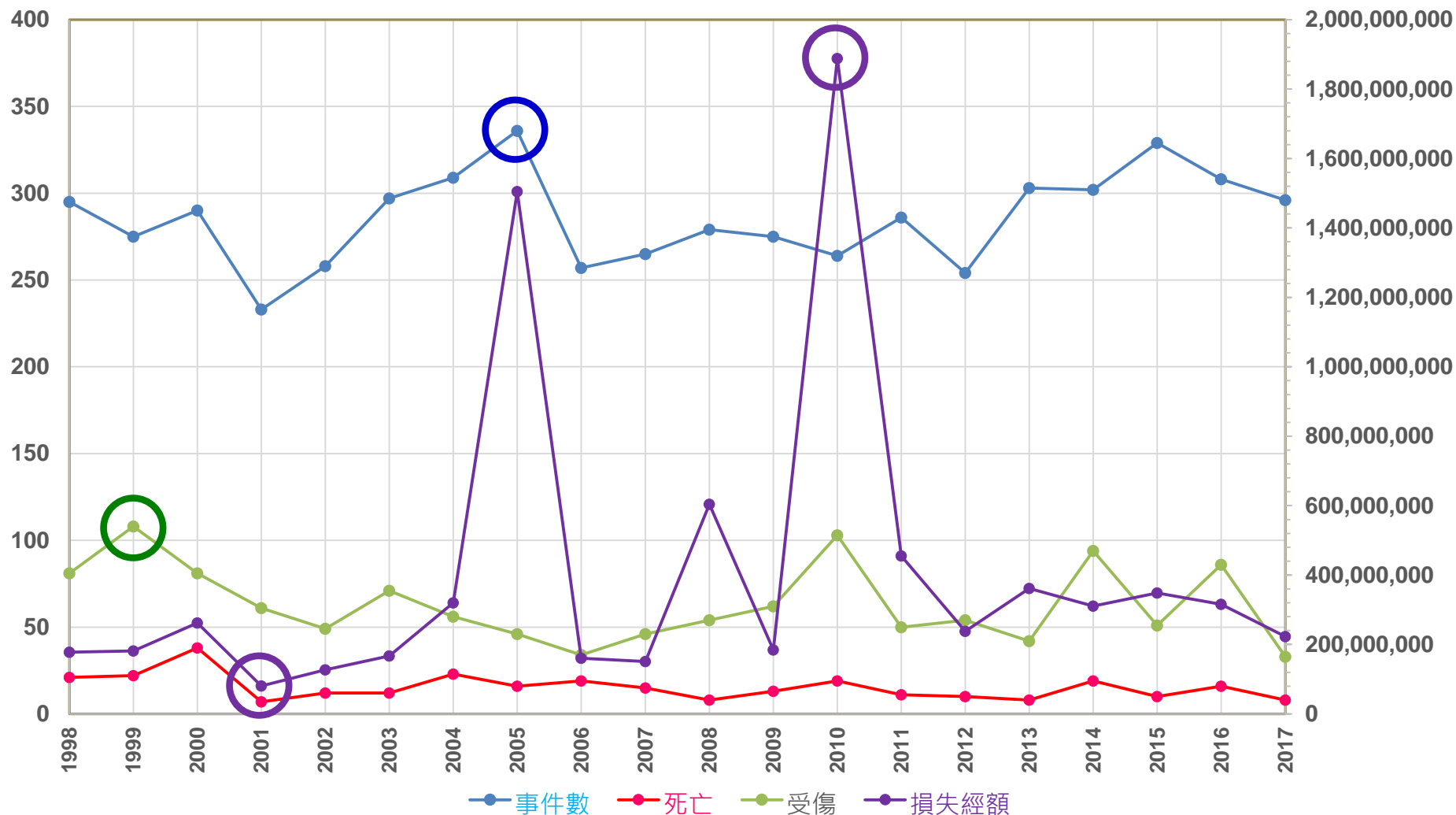


PHMSA

All Reported Incidents

Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, DOT / USA

事故統計分析





易燃性化學品儲槽失誤情境

■ IPA廢液儲槽失誤情境

- 外部潛在點火源點燃擴散氣體
- 爆炸（伴隨閃燃）/爆震波
- 外洩液體形成池火（Pool fire）
- 4 kg/cm²G破裂壓力下洩漏氣體擴散與熱輻射影響範圍
- 4 kg/cm²G破裂壓力下立即點燃/延遲點燃爆炸過壓影響範圍
- 儲槽內部爆炸火焰竄燒情境

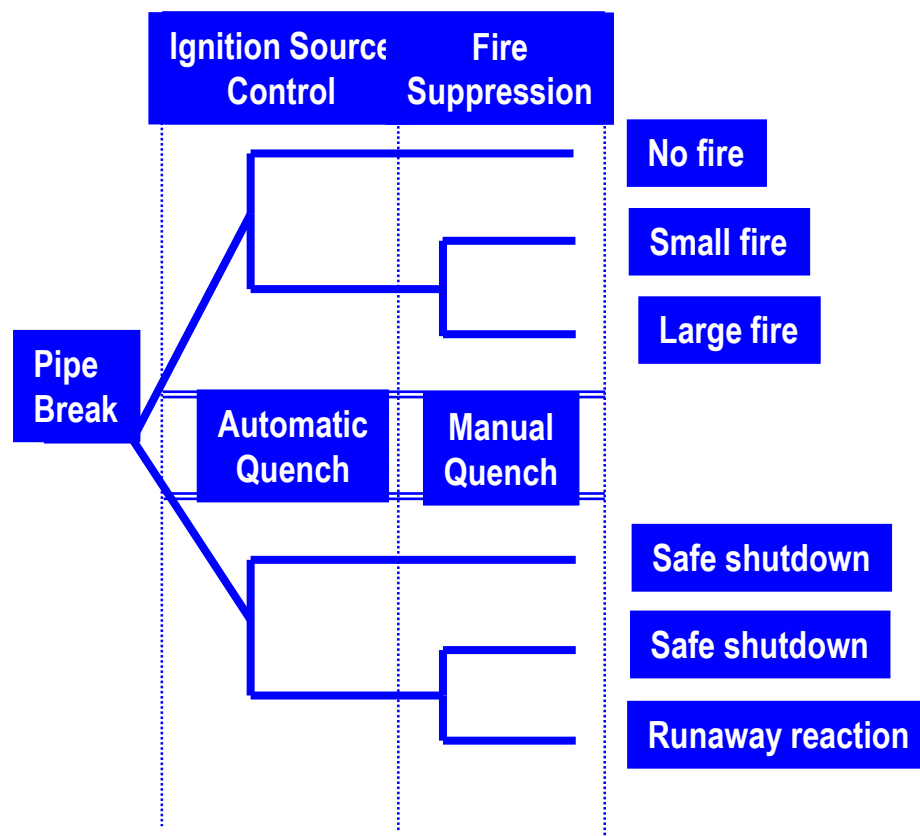
■ SEX之sub-main管線火災情境

- 關閉damper避免火勢延燒main duct
- 附近電力、網路訊號等系統功能應變防護與失誤
- 複合型事故（高濃度H₂SO₄、HF污染）
- SEX之main duct發生爆炸
- Sub Fab尾氣處理機台管線斷裂



危害分析方法論

- 初步危害分析
(Preliminary Hazard Analysis)
- 相對危害等級(Relative Ranking)
- 檢核分析表(Checklist Analysis)
- 如果-會如何(What-if)
- 失誤模式與影響分析
(Failure Modes and Effects Analysis, FMEA)
- 危害與可操作性分析
(Hazard and Operability Study, HAZOP)
- 失誤樹 (或故障樹) 分析
(Fault Tree Analysis, FTA)
- 事件樹分析(Event Tree Analysis, ETA)
- 原因-後果分析
(Cause-Consequence Analysis, CCA)
- 人為可靠度分析
(Human Reliability Analysis, HRA)

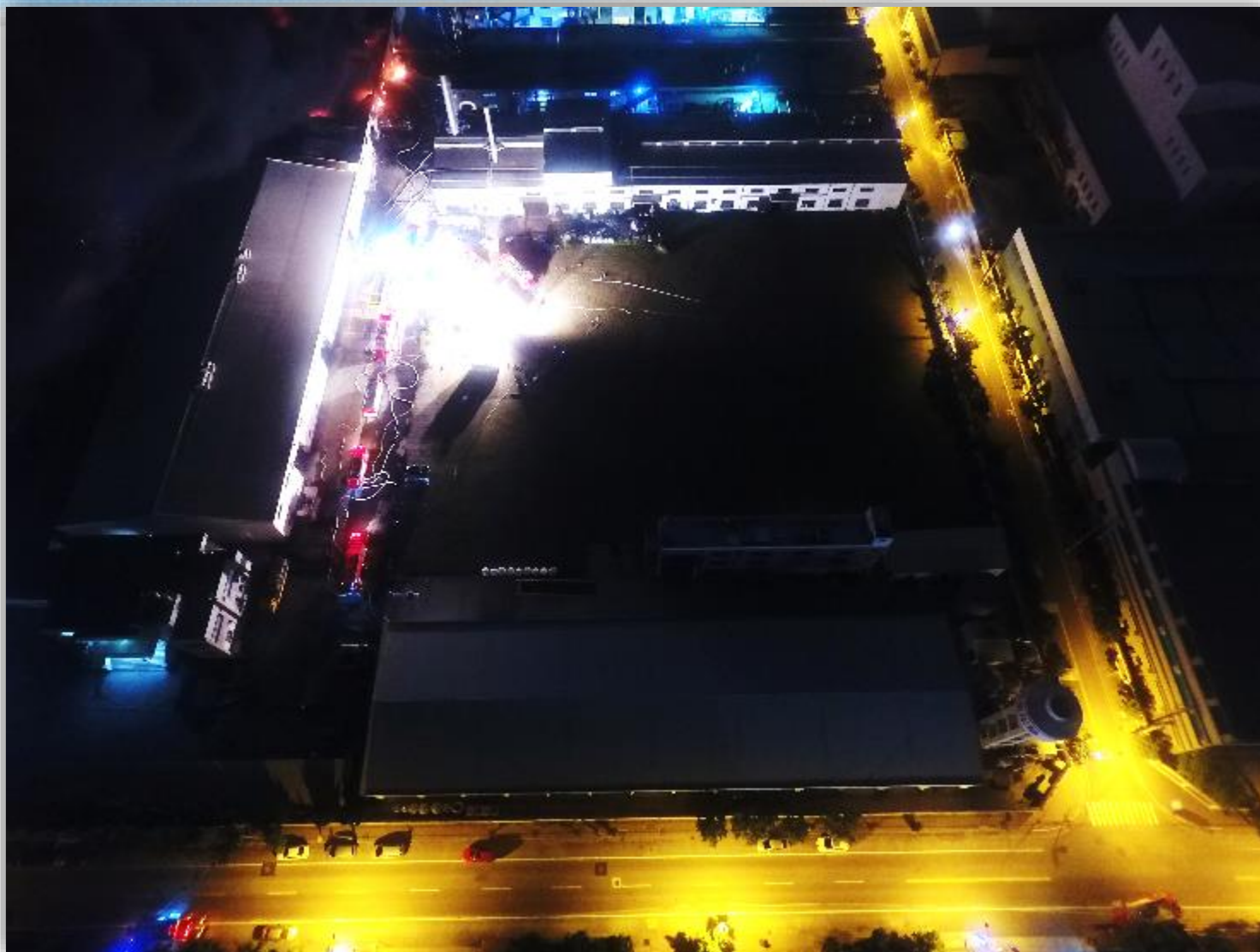




毒性化學物質運作廠場火災

第一時間空拍與災情研析作業

夜間



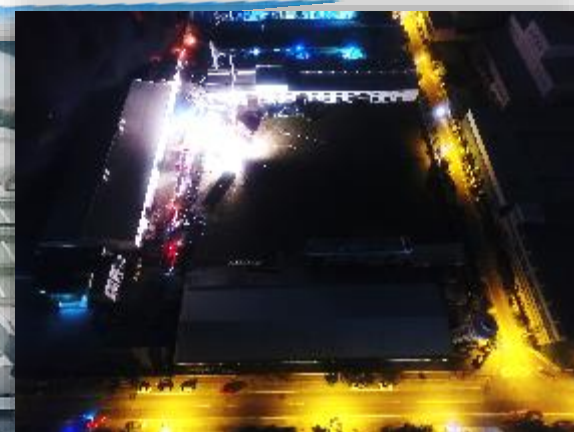
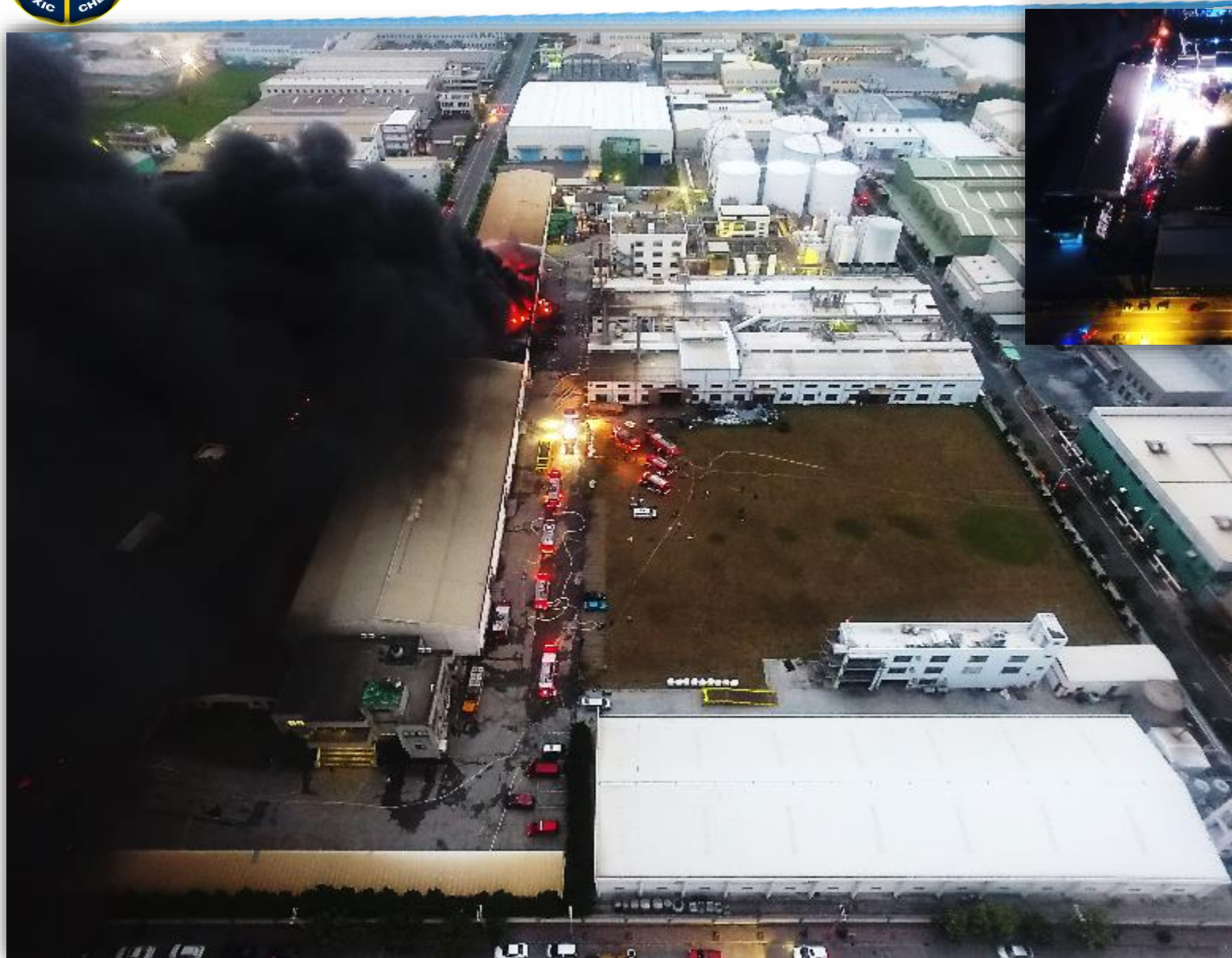
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute



毒性化學物質運作廠場火災

第一時間空拍與災情研析作業

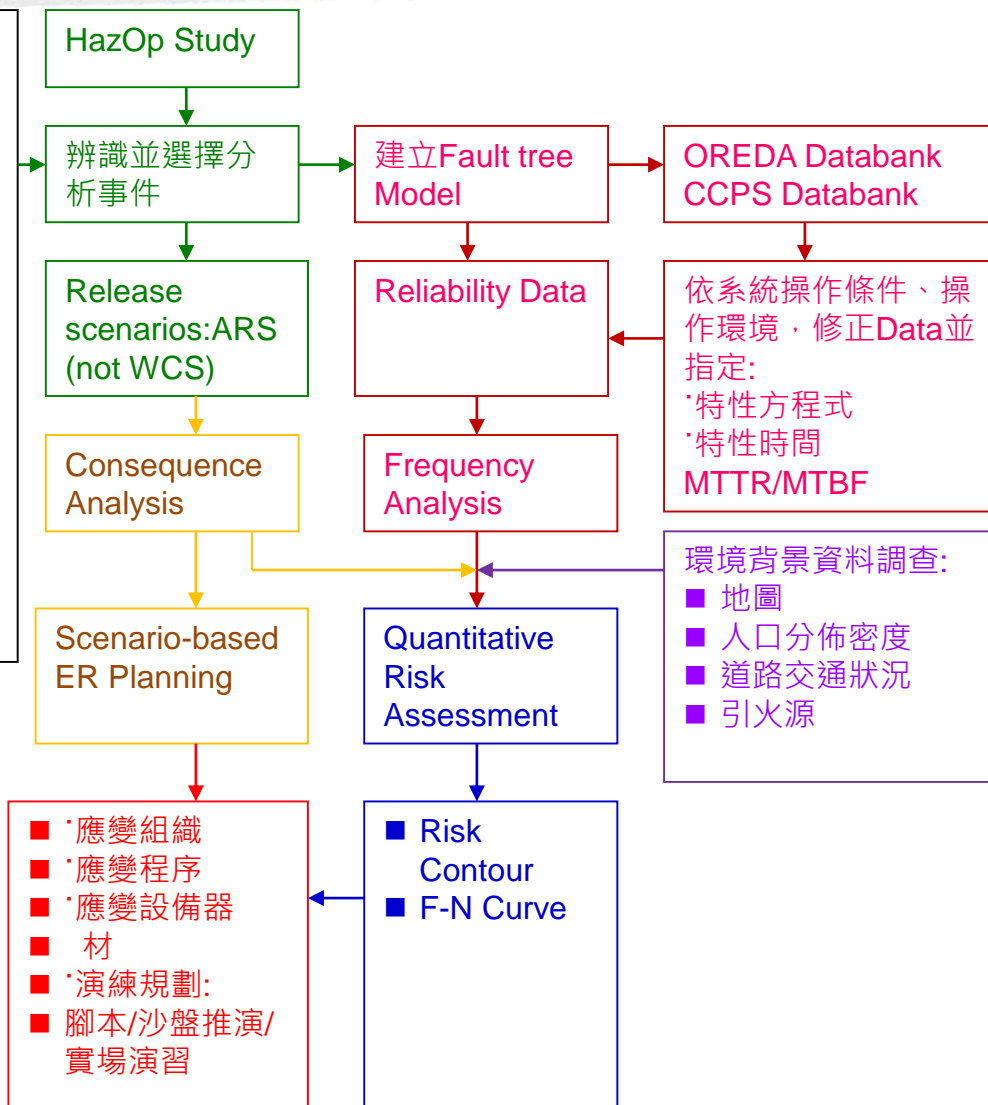
日出天亮





後果分析與風險評估執行架構

- 設備故障→後果
- 儀控系統故障→後果
- 外洩:
 - (1)製程管線:
 - $D < 2"$ → 完全破裂
 - $2" < D < 4"$ → 洩漏口 = 2"
 - $D > 4"$ → 20 % 截面
 - (2)軟管→完全破裂
 - (3)PSV:設定壓力下之釋放流率
 - (4)塔槽:考慮相連接管線之外洩
 - (5)儲槽溢流:產生液池後再蒸發





擬定行動方案

儲槽管線發生洩漏

- 確認洩漏點
- 佈署監測點
- 選用防護裝備
- 進行災情研析 (Size up)



儲槽底部產生洩漏點

- 洩漏速率評估
- 持續進行災情研析 (Size up)
- 擬定應變方案
- 採取Defense or Offense戰術
- 修正監測點佈署
- 現場必要措施研提
- ★ 徵詢廠場負責人員
- ★ P&ID或PFD資料取得

⇒ 緊急關斷/止漏
⇒ 氣/液態洩漏
⇒ 存量/儲槽條件
⇒ 廠方應變動員
⇒ 聯防機制啟動
⇒ 臨廠協防
⇒ 其他潛在危害
⇒ 儲槽連通確認
⇒ 槽車卸收料
⇒ 持續擴大？

洩漏點附近逐漸形成白色蒸氣雲

- 根據現場狀況評估洩漏變化趨勢與預估
- 持續與修正進行災情研析 (Size up)
- 修正應變方案
- 調整Defense or Offense戰術
- 評估監測點佈署
- ★ 確認與跟催現場必要措施

Follow up

- ✓ 完成程序確認
- ✓ 戰術確認
- ✓ 指揮官決策
- ✓ 廠內/外監測
- ✓ 不利條件
- ✓ 無法執行措施
- ✓ 預警潛在危害
- ✓ 廠內/外危害
- ✓ 現地安全告警
- ✓ Zoning修正！

蒸氣雲範圍逐漸擴大

- 持續根據現場狀況評估洩漏變化並修正趨勢與預估
- 持續與修正進行災情研析 (Size up)
- 修正應變方案
- 調整Defense or Offense戰術
- 評估監測點佈署
- ★ 確認與跟催現場必要措施

Follow up

- 做最壞狀況準備 Worst case

- ☐ 就地避難
- ☐ 人員疏散
- ☐ 氣候條件
- ☐ ICS(post)修正
- ☐ 臨廠協防
- ☐ 調度外部支援



毒化物管線破裂何者「非」可能肇因？



1. 焊道不良
2. 管內過壓
3. 外力破壞
4. 管壁腐蝕



化學品洩漏至溝渠何者為優先措施？



1. 外洩物質截流
2. 土壤除污
3. 地下水污染
4. 排土客土之污染整治



管線破裂造成輸送化學品洩漏

Pipeline and Hazardous Materials Leakage



「罹災人員」？緊急疏散附近居民！

Keystone XL pipeline 「Largest aquifer in the central US！」

■ 狀況描述 (最重要！)

■ 確認管線 (通報！)

■ 災情評估

- 地上管線 (道路、建物)
- 氣候、風向、風速
- 環域認知 (陸地、樹林)
- 洩漏 (量)、起火、噴射或擴散 (量測/檢知)
- 輸送物質
- 地表面洩漏 (液態/氣態)
- 洩漏流向、地勢 (蓄積在低窪處)

■ 區域管制與



管線破裂造成輸送化學品洩漏 (續1)

Pipeline and Hazardous Materials Leakage



- 攔油索
- 水體浮油撈取
- 岸際油污清理
(人力與裝備)
- 土壤除污
- 汲油船
(吸泥車)
- 化學性清理
- 生物性處理
- 水生魚類
- 養殖漁業
- 底泥？

「整個水體」水域！

「廣大水域應變！」



管線破裂造成輸送化學品洩漏 (續2)

Pipeline and Hazardous Materials Leakage



- 攔油機制
- 水體浮油撈取
- 土壤除污
(人力與裝備)
- 化學性清理
- 生物性處理
- 水生魚類
- 養殖漁業
- 河體流域？

「地下水」污染！

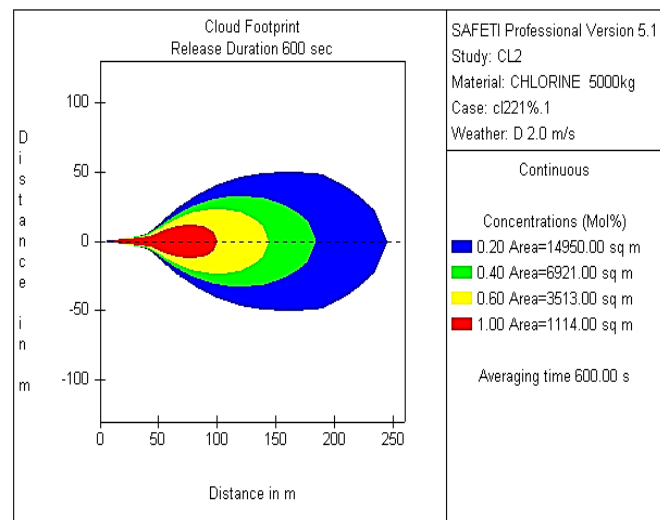
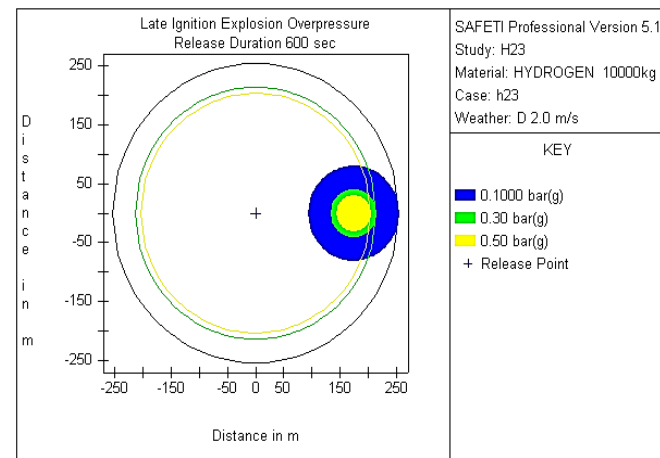
「排土客土」整治污染場址！



後果（影響）評估

- 周界變數：風速、大氣穩定度、大地溫度、濕度、地表粗糙度、人口密度、點火源
- 事件類型，一般有下列不同的物理模式：
 - 外洩危害源：常壓/壓力容器、氣體/液體/兩相流體外洩、驟沸/蒸發
 - 擴散模式：自然擴散或高斯模式、重質氣雲擴散模式
 - 火災：池火、噴射火焰、火球、氣雲火災
 - 爆炸：氣雲爆炸、物理性爆炸、沸騰液體膨脹蒸氣爆炸、粉塵爆炸

將不同危害事件之對人員或設備之影響（熱危害、爆壓、毒性）轉換成相同的危害指標之效應模式（**Effect Models**），即可估算出不同事件之相對風險之高低

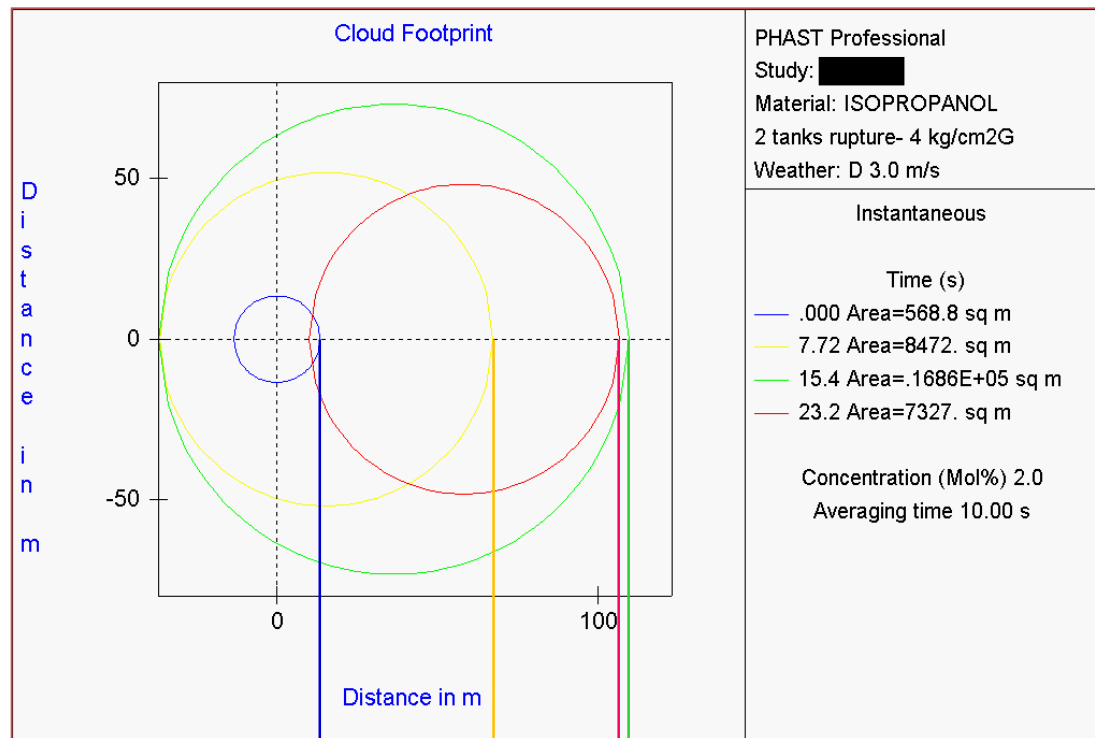




儲槽完全破裂洩漏氣體擴散

■ 破裂壓力下洩漏氣體擴散影響範圍

LEL燃燒爆炸下限濃度：2%：最遠擴散距離(m)



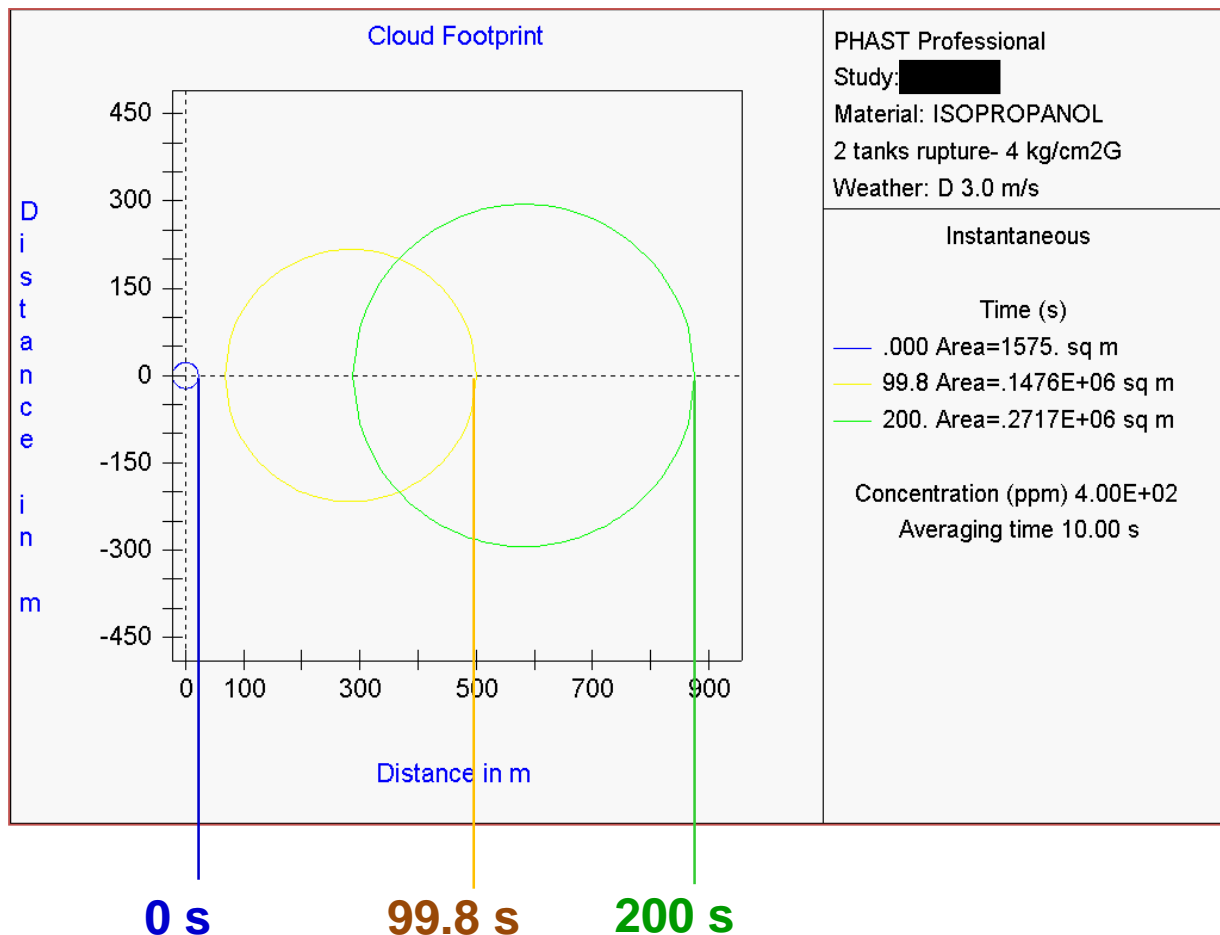
0 s 7.72 s 23.2 s 15.4 s



儲槽完全破裂洩漏氣體擴散 (續)

■ 破裂壓力下洩漏氣體擴散影響範圍

TEEL-2: 400 ppm : 最遠擴散距離(m)



■ **TEELs** :
Temporary
Emergency
Exposure Limits
(15min)



重質氣雲擴散實例 (事故現場照片為 Cl_2)

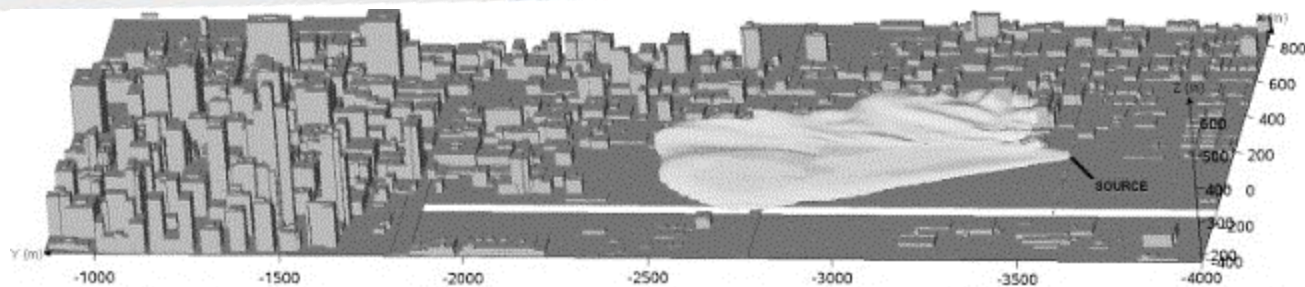
- **丙烷氣體**比空氣重，會像液態流體（如水般）蓄積在低窪處（如地下室或地窖）
- 丙烷中添加的**硫醇**，在管線與儲槽內會**與鐵銹反應**，從地下管線洩漏丙烷中的硫醇，地表下**土壤**也可將硫醇自丙烷中抽離



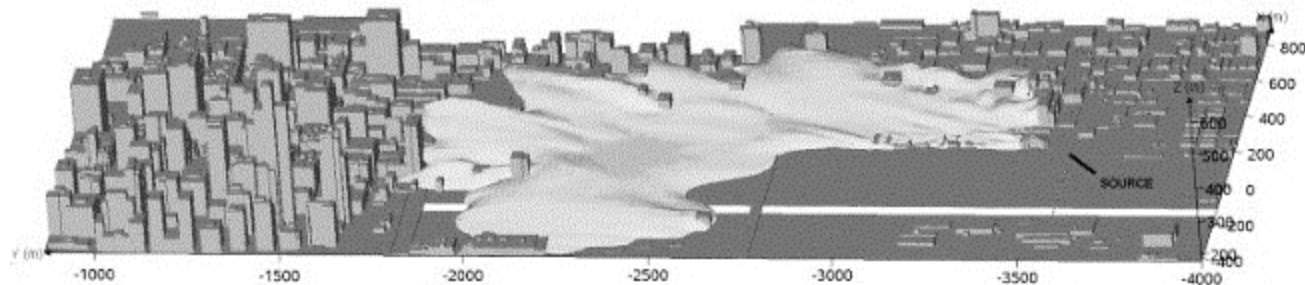


大範圍危害濃度降低未必狀況解除 (重質氣雲)

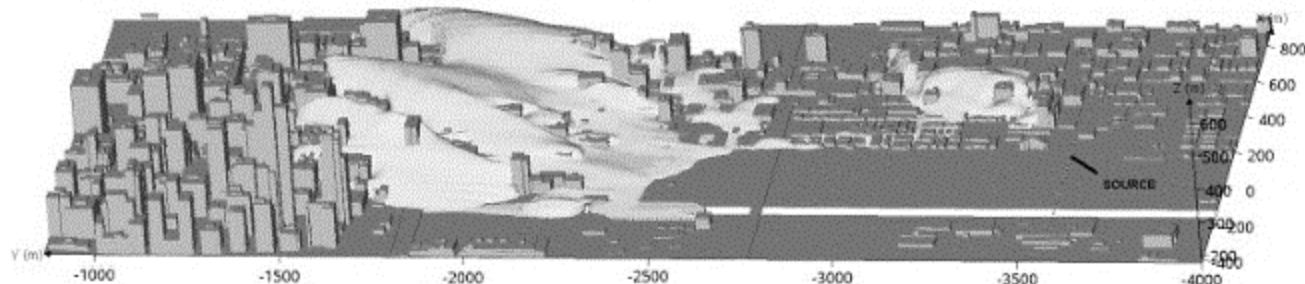
■ 400秒



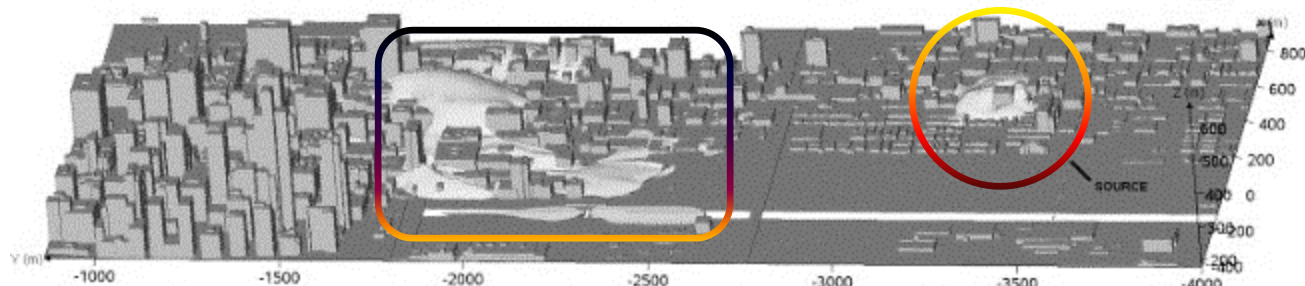
■ 800秒



■ 1,500秒



■ 2,000秒





何者「非」槽車洩漏可列入研析的表徵？



1. 重質氣雲
2. 冷凍保溫槽體
3. 高壓液化物質氣化
4. 黃綠色特殊逸散氣體





何者「非」 **LNG**長時間外洩的擴散行為？



1. 外洩**LNG**轉換成氣體，形成霧狀氣雲隨風向往下風處擴散
2. **NG**氣體可能會滲入下水道系統，將延溝渠擴散
3. **NG**氣體分子量比空氣輕，會迅速向上擴散
4. **LNG**長時間洩漏，洩漏處地面會因熱傳作用而降溫，造成氣化速率降低



熱輻射之影響

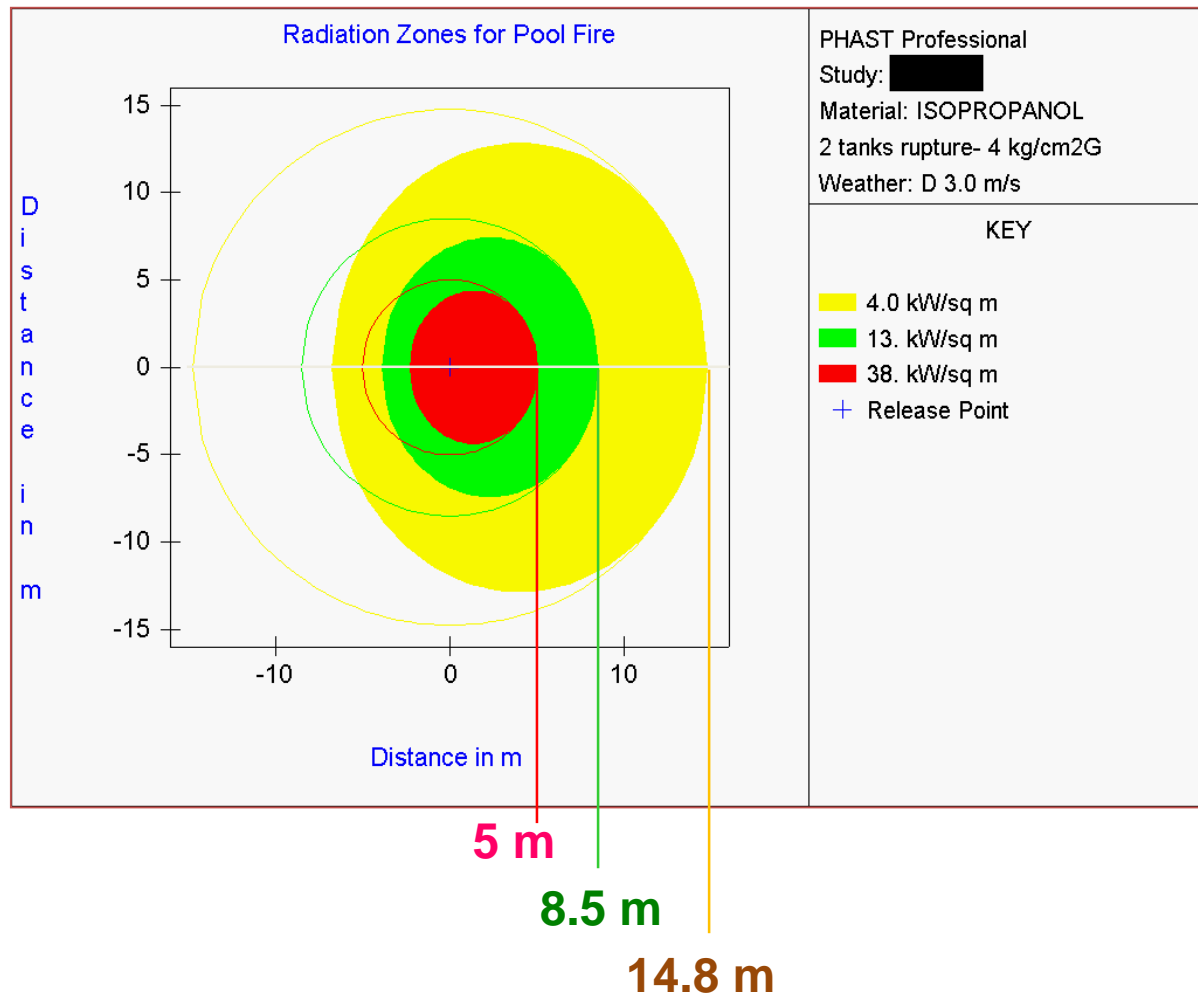
輻射強度 (kW/m ²)	觀察到的影響
37.5	對程序設備足夠造成損害。曝露時間 1 分鐘之致死率為 100%。
25.0	在無限期地長時期曝露下足以點燃木材的最低能量。
15.8	操作員無法從事作業並藉遮蔽物隔離輻射熱（例如：設備後側）之區域內的熱強度。
12.5	起始點燃木材、熔化塑膠管所需之最低能量。曝露時間 1 分鐘之致死率為 1%。
9.5	8 秒後到達疼痛極限；20 秒後造成二級灼傷。
4.0	如果在 20 秒內無法到達掩蔽物遮蔽，對人員足以造成疼痛感；然而可能導致皮膚起泡（二級灼傷）；致死率為 0%。
1.6	長時間曝露將不會造成不舒適感。



儲槽完全破裂洩漏池火熱輻射

■ 破裂破裂壓力下洩漏氣體池火熱輻射影響範圍

池火熱輻射影響範圍：最遠影響距離(m)



37.5 kW/m²

對程序設備足夠造成損害；
曝露時間1分鐘之致死為100%

12.5 kW/m²

點燃木材、熔化塑膠管所需之最低能量；
曝露時間1分鐘之致死率1%

4.0 kW/m²

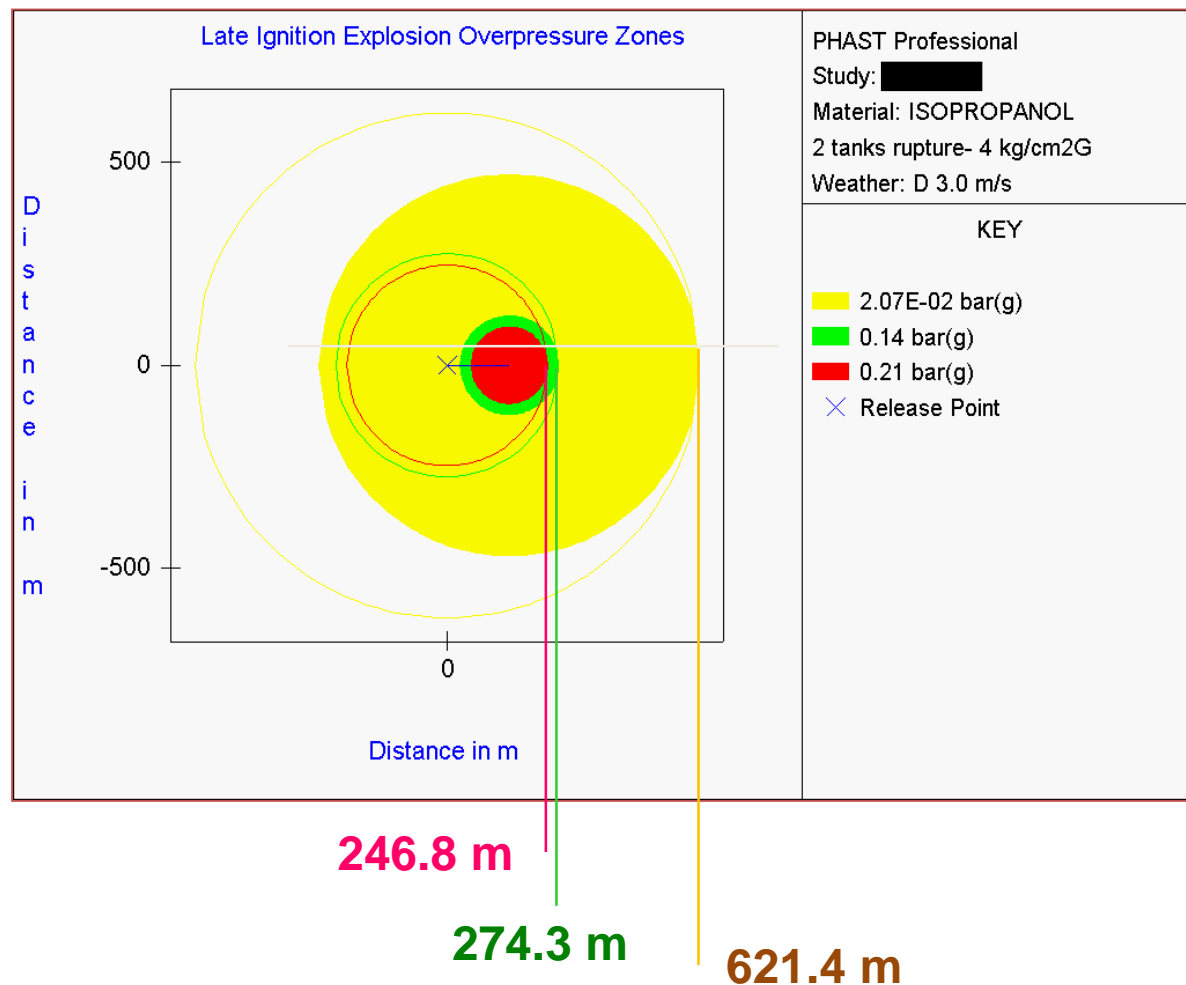
20秒內無遮蔽人員疼痛感；
導致皮膚起泡(二級灼傷)；
致死率為0%



儲槽完全破裂洩漏氣體爆炸 (續) ?!

■ 破裂壓力下延遲點燃爆炸過壓影響範圍

爆炸過壓影響範圍：最遠影響距離(m)



0.02068 barg

“安全距離” (在此值外有95%的或然率不會有嚴重損害)；
射出的投射極限；
造成天花板部份的損壞；
10%的窗戶玻璃破損

0.1379 barg

房屋的屋頂及牆壁部份崩塌
(非鋼筋水泥)

0.2068 barg

工業建築物內重機具(3000磅)
蒙受少許的損壞；
建築物的鋼骨結構扭曲並脫
離地基對程序設備足夠造成
損害



化工廠倉庫火災何者「非」優先考量重點？



1. 高壓儲槽
2. 臨廠潛在危害
3. 常壓儲槽
4. 緩衝槽



化學品槽車洩漏何者「非」優先措施？

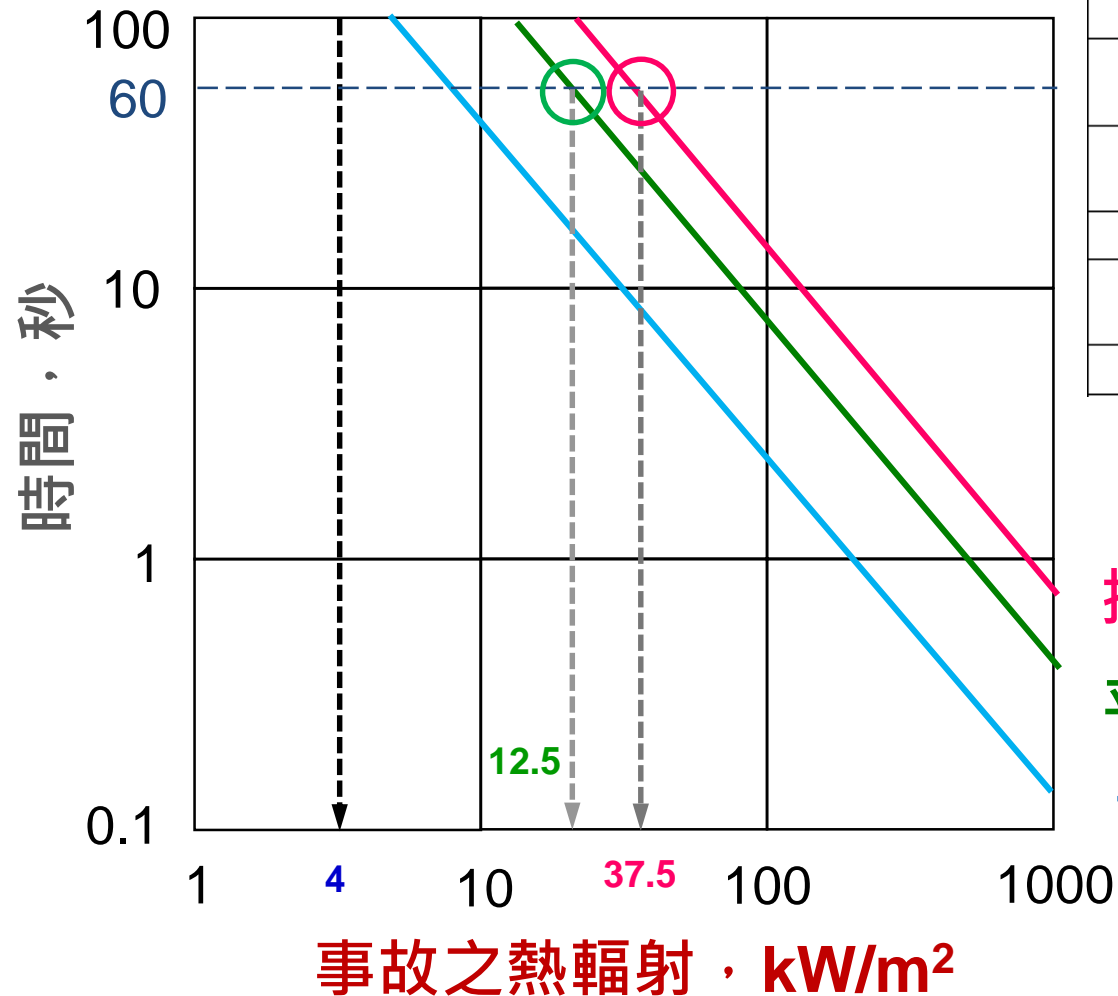


1. 確認裝載之化學品
2. 對駕駛人製作事故筆錄
3. 區域管制控制點火源
4. 事故槽車槽體損壞與潛在洩漏評估
5. 預置消防滅火措施

油罐車爆炸-營救嘗試_高清版



熱輻射之致命程度



輻射強度 (kW/m ²)	觀察到的影響
37.5	對程序設備足夠造成損害。曝露時間 1 分鐘之致死率為 100%。
25.0	在無限期地長時期曝露下足以點燃木材的最低能量。
15.8	操作員無法從事作業並藉遮蔽物隔離輻射熱(例如設備後側)之區域內的熱強度。
12.5	起始點燃木材、熔化塑膠管所需之最低能量。曝露時間 1 分鐘之致死率為 1%。
9.5	8 秒後到達疼痛極限；20 秒後造成二級灼傷。
4.0	如果在 20 秒內無法到達掩蔽物遮蔽，對人員足以造成疼痛感；然而可能導致皮膚起泡(二級灼傷)；致死率為 0%。
1.6	長時間曝露將不會造成不舒適感。

接近100%致命

平均50%致命

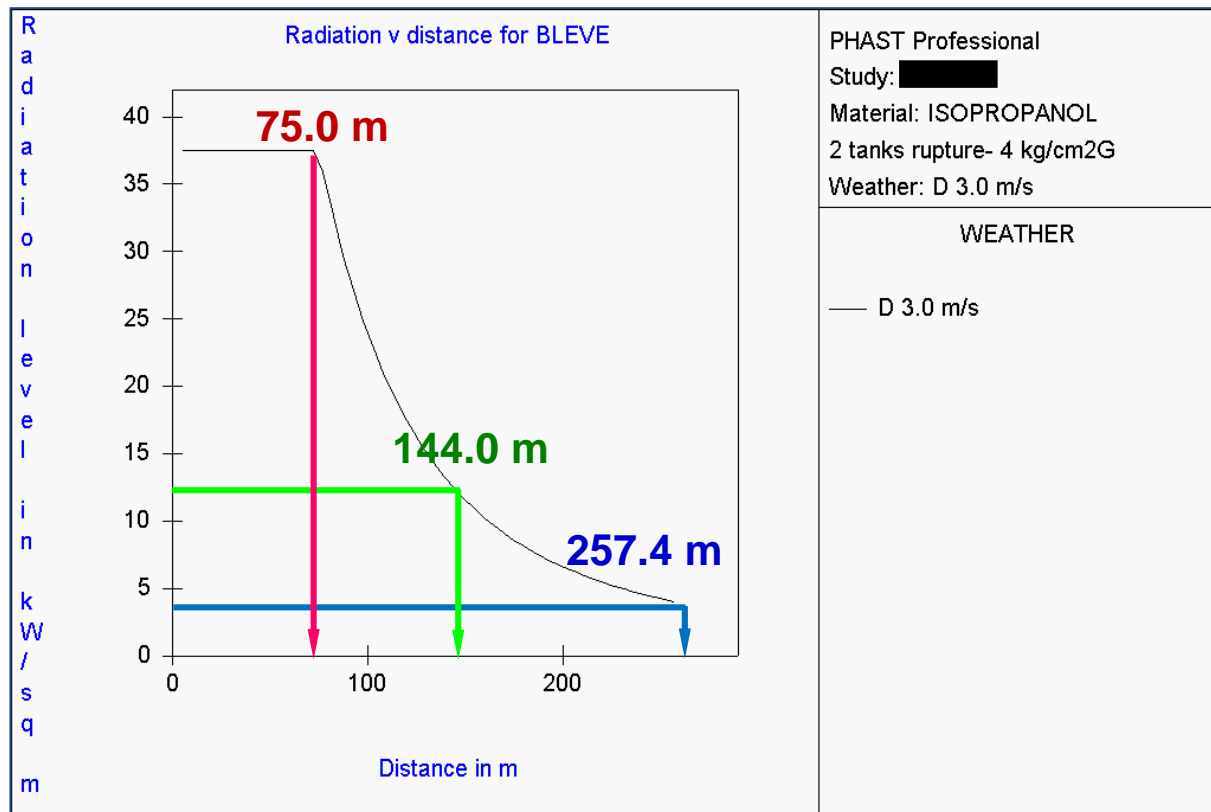
1%致命



儲槽完全破裂洩漏BLEVE

■ 破裂壓力下立即點燃Fireball熱輻射影響距離

熱輻射影響範圍：最遠影響距離(m)



37.5 kW/m²

對程序設備足夠造成損害；
曝露時間1分鐘之致死為
100%

12.5 kW/m²

點燃木材、熔化塑膠管所需
之最低能量：
曝露時間1分鐘之致死率1%

4.0 kW/m²

20秒內無遮蔽人員疼痛感；
導致皮膚起泡(二級灼傷)；
致死率為0%



1998年岡山苯乙炔槽車BLEVE



TVBS新聞台

HD

高雄

南投
26~31



驚險!油罐車忽炸 原子彈般火球烈燄



天然氣運作設施爆炸

■ 至少造成26人死亡！

- 4名Pemex員工及22名外包商死亡
- 7名工人失蹤、28人送急救、2人傷重



■ Pemex墨西哥國家石油公司

Burnt cars and gas storage tanks are seen at a gas facility of Pemex in Reynosa, **September 18, 2012.**



爆炸過壓的影響

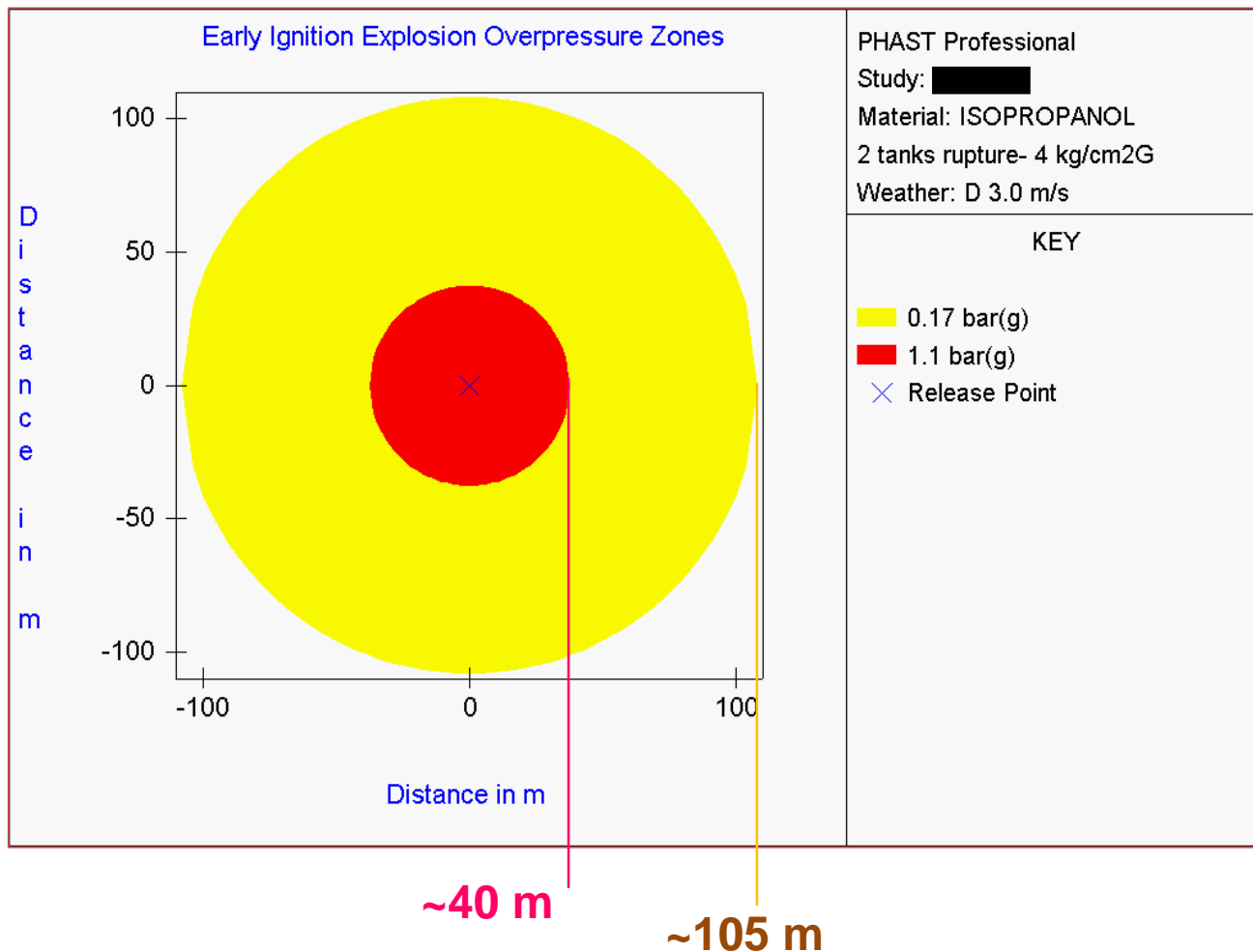
壓 力		損 害
(psig)	(barg)	
0.02	0.00138	惱人的噪音 (137dB 低頻 10~15Hz)
0.04	0.00276	巨大噪音
0.15	0.01034	典型的玻璃破裂壓力
0.3	0.02068	“安全距離” (在此值外有 95%的或然率不會有嚴重的損害) ；射出的投射極限；造成天花板部份的損壞；10%的窗戶玻璃破損
0.7	0.04826	對房屋結構造成輕微的損壞
1.3	0.08963	建築物的鋼骨結構稍微扭曲
2	0.1379	房屋的屋頂及牆壁部份崩塌
2~3	0.1379~ 0.2068	水泥或磚塊(非鋼筋水泥)牆破碎
2.3	0.1586	結構嚴重損害的下限
2.4~12.2	0.1656~0.8411	1~99%人員耳鼓膜破裂
3	0.2068	工業建築物內重機具(3000 磅)蒙受少許的損壞；建築物的鋼骨結構扭曲並脫離地基
3~4	0.2068~ 0.2758	無鋼骨結構、自裝鋼鐵鑲板外框之建築物完全破壞；石油儲槽破裂
5~7	0.3447~ 0.4826	房屋幾乎完全損壞
7~8	0.4826~ 0.5516	磚造鑲板(8~12 吋厚，非鋼筋水泥)因變形或彎曲而崩落
8	0.5516	12 吋未補強磚牆損毀
10	0.6894	建築物近乎完全解體；重機具(7000 磅)移動且嚴重損壞，非常重的機具(12000 磅)可以倖免
15.5~29.0	1.0686~1.9994	1~99%人員致死



儲槽完全破裂洩漏氣體爆炸

■ 破裂壓力下立即點燃爆炸過壓影響範圍

爆炸過壓影響範圍：最遠影響距離(m)



0.1656~0.8411 barg

1~99%人員耳鼓膜破裂

1.0686~1.9994 barg

1~99%人員致死

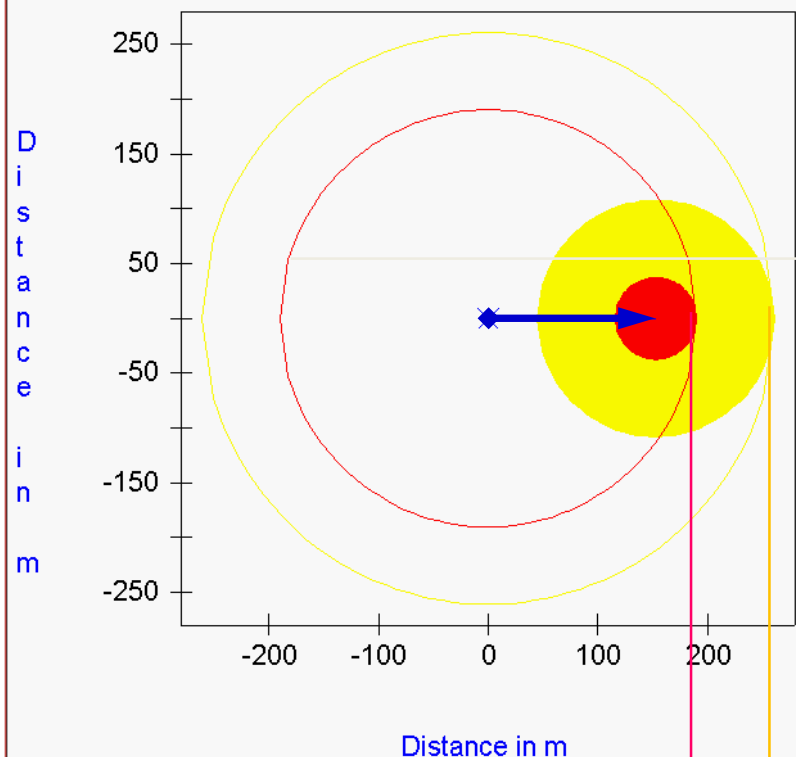


儲槽完全破裂洩漏氣體爆炸 (續)

■ 破裂壓力下延遲點燃爆炸過壓影響範圍

爆炸過壓影響範圍：最遠影響距離(m)

Late Ignition Explosion Overpressure Zones



PHAST Professional
Study: [REDACTED]
Material: ISOPROPANOL
2 tanks rupture- 4 kg/cm2G
Weather: D 3.0 m/s

KEY

- 0.17 bar(g)
- 1.1 bar(g)
- × Release Point

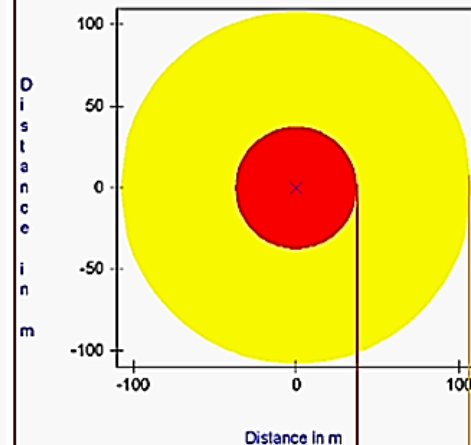
0.1656~0.8411 barg

1~99%人員耳鼓膜破裂

1.0686~1.9994 barg

1~99%人員致死

Early Ignition Explosion Overpressure Zones



PHAST Professional
Study: [REDACTED]
Material: ISOPROPANOL
2 tanks rupture- 4 kg/cm2G
Weather: D 3.0 m/s

KEY

- 0.17 bar(g)
- 1.1 bar(g)
- × Release Point

~40 m

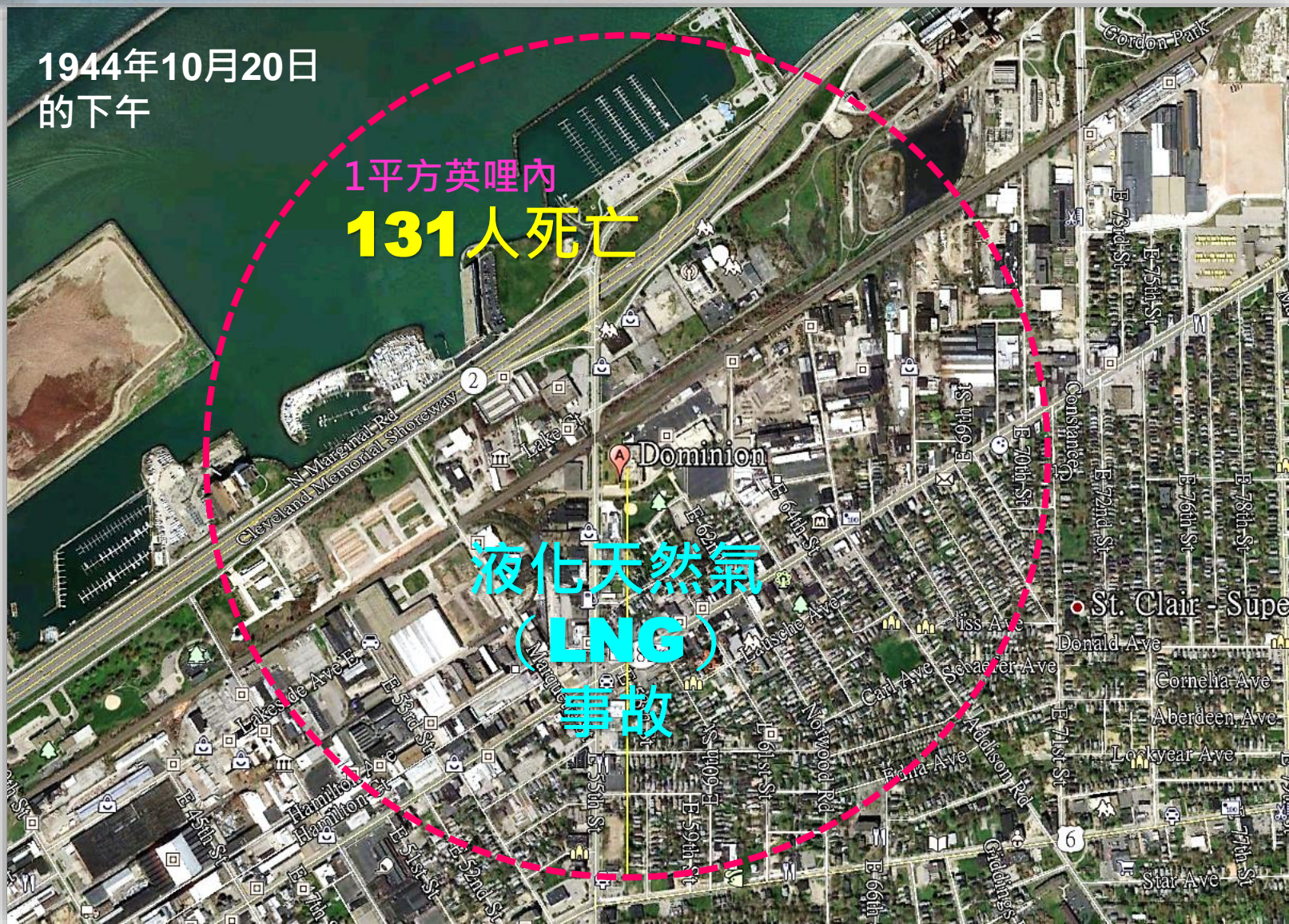
~105 m

190.3 m

260.9 m



克里夫蘭市歷史上最嚴重的災害





20世紀最大規模的LNG爆炸案

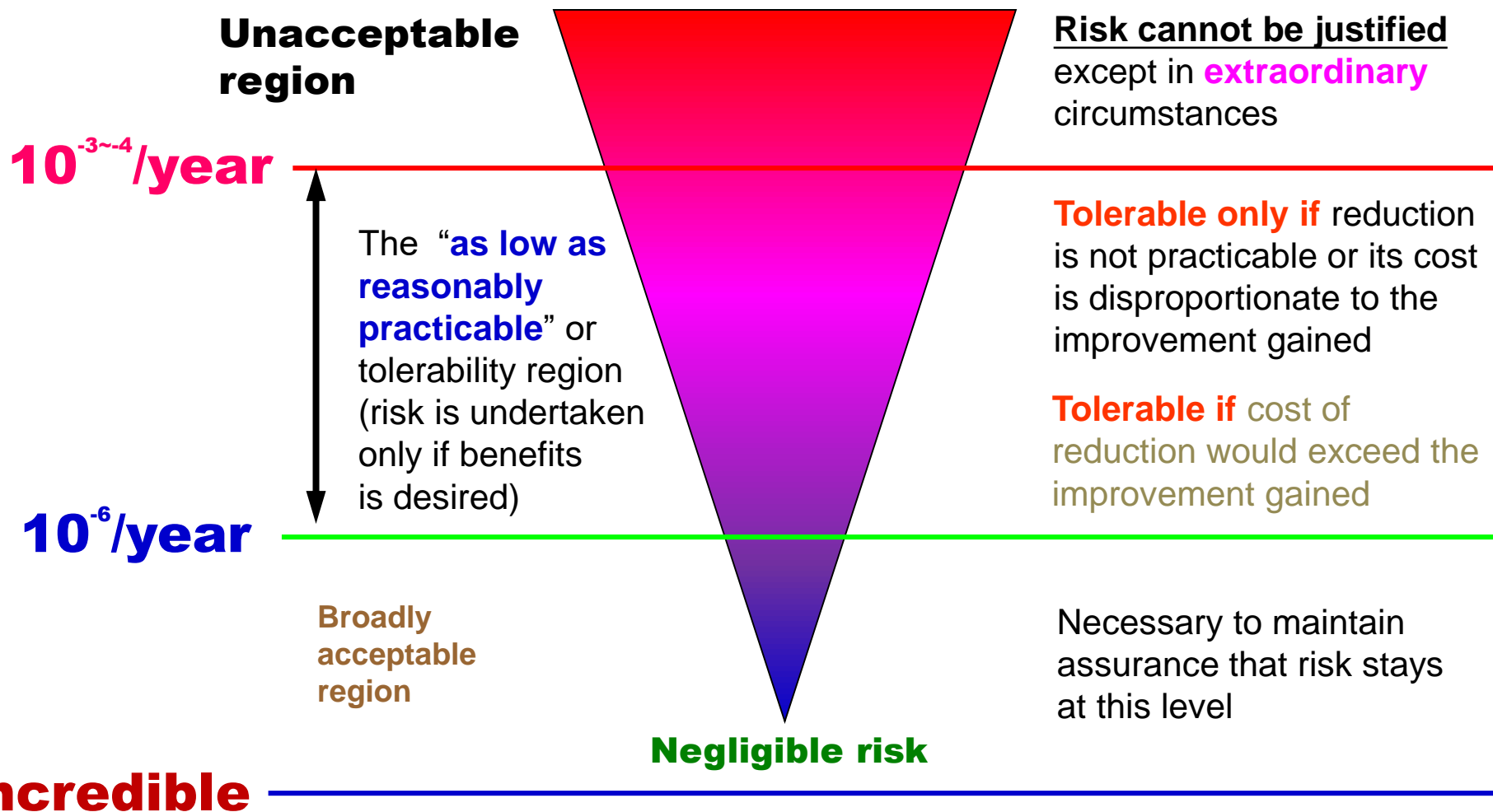
■ 爆炸事故廠址



- 克里夫蘭市10月份
平均溫度為**3.5°C**
- **災民如何安置？！**



ALARP (合理務實降低風險原則) 之觀念





個人風險等位圖與社會風險曲線

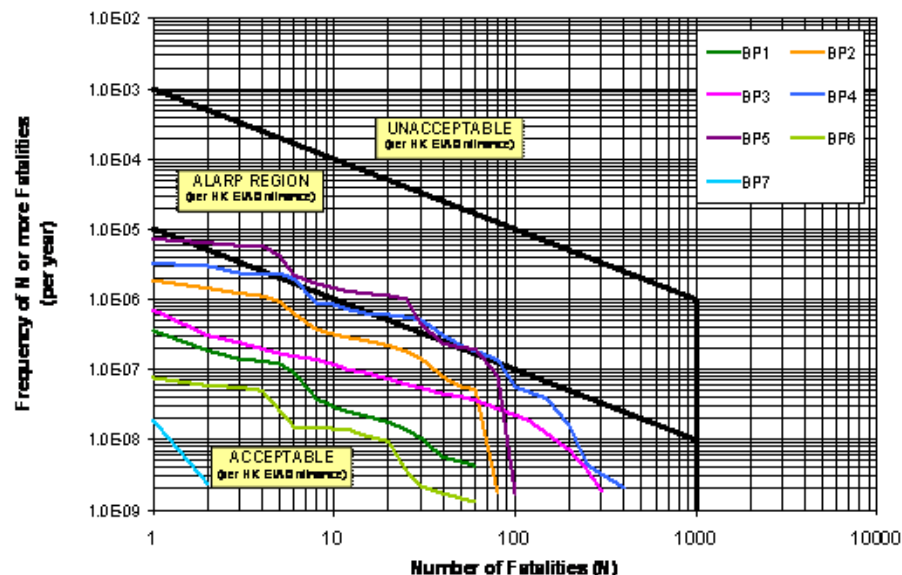
FIGURE 9.1: CUMULATIVE BIP INDIVIDUAL FATALITY RISK

LEGEND:

- 0.5×10^{-6} per year
- 1×10^{-6} per year
- 5×10^{-6} per year
- 10×10^{-6} per year
- 50×10^{-6} per year



BlackPoint - 2021F - Small Carrier





風險排序矩陣

Event Frequency (YR ⁻¹) Consequence Category	10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1
	EXTREMELY UNLIKELY	VERY UNLIKELY	UNLIKELY		POSSIBLE	PROBABLE	REGULAR	
5 – EXTREMELY SERIOUS								
4 – MAJOR						INTOLERABLE		
3 – SEVERE			TOLERABILITY BAND (ALARP)					
2 – SERIOUS		BROADLY ACCEPTABLE						
1 – SIGNIFICANT								

利用所收集的災情資訊



是否遺漏了什麼？！

要一直挑戰自己的決策

plan A, plan B, &
plan C...同步產生

- 內容物為何？
- 駕駛？清單？
- 槽體結構與外觀
- 資料是否吻合？
- 氣味、顏色、現象與特徵等
- 比對、研析
- 災情研析
 - 觀察、理解現狀
 - 蒐集所有可用之資訊（眼觀、用心、切勿落入先入為主的窠臼）
 - 嚴重程度確認
 - 發展機制推論
 - 骨牌效應、研析
 - 再修正、再驗證
- 訂定應變方案

複合型槽車事故 (重點解析現場呈現的訊息)

有何可用之訊息？
如何分析？

還有其他的潛在危害源？
(火災、爆炸、反應性、失控)

儲槽左側燻黑嚴重
左側爬梯受熱傾倒
呼吸閥無燃燒現象

你的size up？

後方至少還有另一顆儲槽

槽車歷經常時間的燃燒

槽車受熱輻射潛在危害

池火向橫向兩側延伸



評估有效性的應變作為

- 儘可能彙整**所有可用資訊**，提供後續研判及作為之需
- 釐清事故本質問題、並**全面性分析**各資訊之間的關連性
- 制訂**階段性目標**，製作plan A、plan B甚至plan C...
- 首先要**穩定災情**（stabilization），避免事故擴大
- 執行**化學性危害之定性與定量等作為**，與潛在危害分析
- 綜整高度民眾關切與棘手環境議題，制訂應變措施
- 建置**ICS架構**，執行各功能小組現地應變程序
- 持續研析事故與應變動態發展的過程，適時進行討論及修正
- 協助主管單位、應變團隊進行聯合救災及人員物資支援調度
- 特別注意複合型及衍生型事故的size up與動態性修正
- **各功能小組：研析災情、制訂行動方案、說明應變程序、確認操作步驟、回饋現場現況、進行動態修正，並全程掌控**

由具備資格 (Qualified) 的人員掌控全局



安全管理-保護層分析LOPA模型

時序順



評估與儲放程序

溫度儀控警示

斷電消防措施

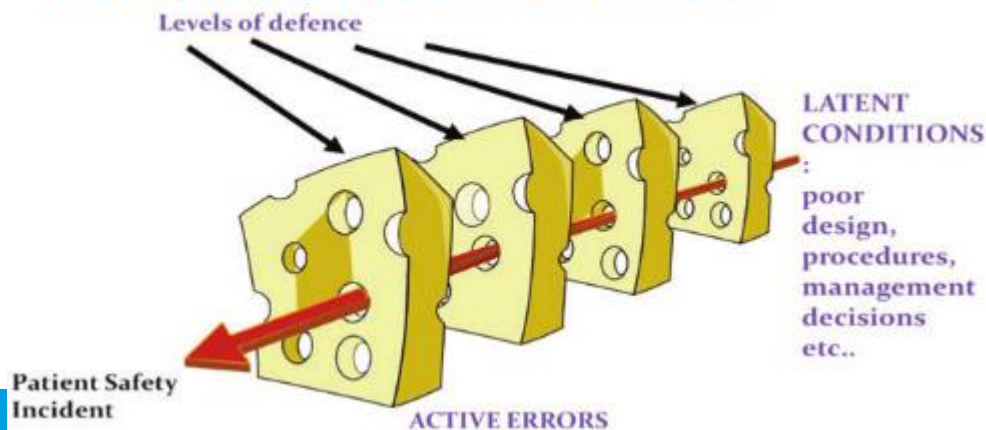
緊急應變程序

分析策進



儲能程序之LOPA分析作為

Reason's Swiss cheese model





PCB製造工廠

化學品+高溫高壓PCB每年燒一座



<https://www.businessweekly.com.tw/article.aspx?id=22615&type=Blog>

圖片來源：「桃園市平鎮義勇消防分隊」粉絲專頁



PCB製程本質危害 (化學品、高溫、排風管)

■ PCB從業人員認為：

- 近年以來所發生的多起**PCB**事故，根本災因都是「化學藥劑(品)儲放和處理不當」，但是廠內製程不可能不儲放和使用化學藥劑(品)
- 製程與設備也必需使用高溫/高壓，目前的生產無法避掉高溫/高壓
- 雖然說「製程的本質危害」是既有的事實，但在研析可能起火源和失誤狀況的同時，現階段是急需尋求「降低火勢(降低規模)」的可行方案
- 另外**PCB**廠排風管外露於廠房之外，一旦廠房內發生火災，火勢就會沿著排風管快速燒向其他樓層及防火區劃空間



PCB工廠火災歷史回顧

■ PCB廠是否真的容易發生火災：

- **2002年**：金像電桃園中壢廠失火
- **2010年**：聯茂平鎮廠
- **2011年**：華通大園廠、欣興山鷺廠
- **2012年**：金像電常熟廠
- **2014年**：健鼎無錫廠、建鼎平鎮廠
- **2015年**：耀華土城廠
- **2016年**：志超蘇州廠、欣興德國廠
- **2017年**：耀華土城廠、健鼎無錫廠
- **2018/04/28**敬鵬平鎮三廠（集團內第二度釀災）



印刷電路板 (重大火災)

印刷電路板PCB產業歷年重大火警

時間	廠商名稱	傷亡狀況
2002	金像電中壢	火勢延燒10小時，無人傷亡
2010	聯茂平鎮	火勢延燒近1小時，員工1死4傷
2011	華通大園	火勢1小時內撲滅，無人傷亡
2012	金像電大陸常熟	無人傷亡
2015	耀華土城	1員工嗆傷
2016	志超大陸蘇州	無人傷亡
2016	欣興電德國廠	無人傷亡
2017	耀華土城	11消防員強酸灼傷
2018	敬鵬平鎮廠	7死（5消防員、2移工）、7傷

製表：葉書宏



敬鵬PCB廠房外牆

(排放管外掛外牆至頂樓)



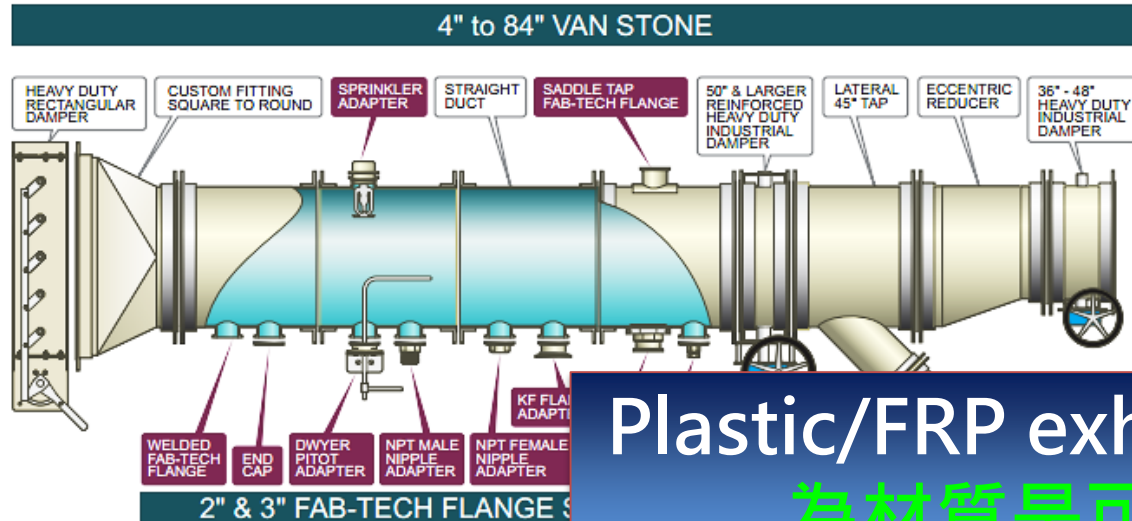
Plastic/FRP exhaust duct FIRE

便利性 vs 後果嚴重程度：

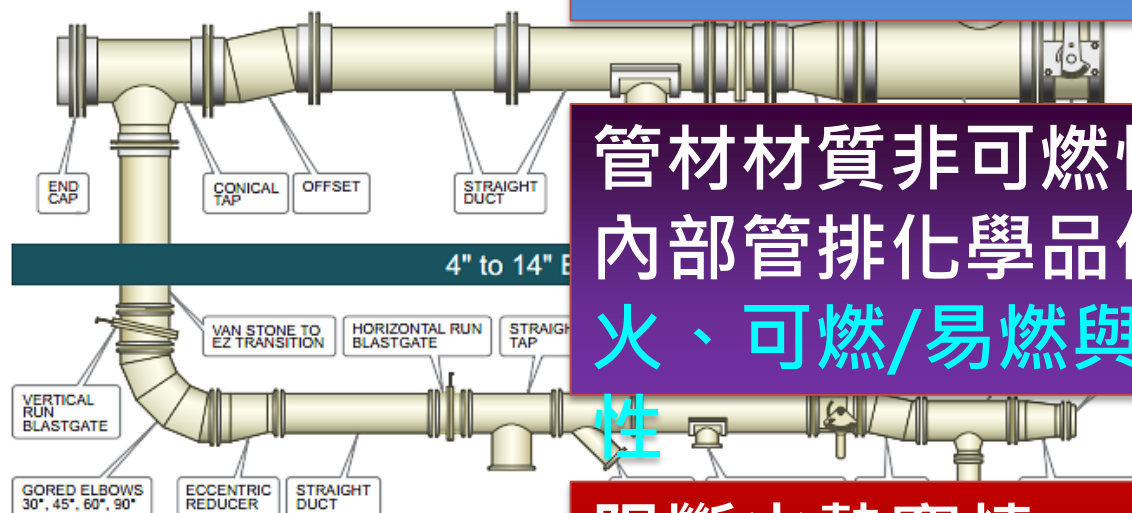
- Building loss in excess of **\$400 million USD**, exclusive of production and downstream interdependency losses.
- A contributing factor to the spread of the fire was the use of plastic exhaust duct.
- Estimated **\$1 million USD** cost of fire damage to this waste water treatment plant (FRP duct system)



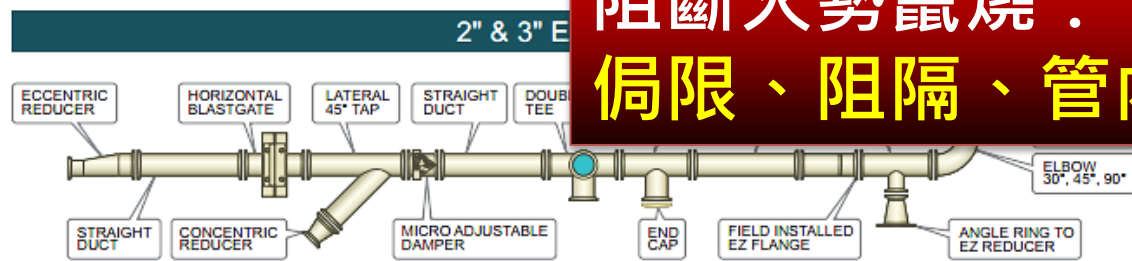
管排火災 議題



Plastic/FRP exhaust duct
為材質是可燃性



管材材質非可燃性：
內部管排化學品仍有自發
火、可燃/易燃與反應等特
性



阻斷火勢竄燒：
侷限、阻隔、管內滅火



***In God
We Trust!***

簡 報 完 畢
敬 請 指 教