



2025 韌性臺灣


環境事故災害防救韌性科技國際交流





指導單位：環境部 

主辦單位：環境部化學物質管理署 

執行單位：環境事故專業諮詢監控中心（工業技術研究院） 

協辦單位：環科工程顧問股份有限公司 

北區環境事故專業技術小組（國立聯合大學） 

中區環境事故專業技術小組（國立雲林科技大學）  南區環境事故專業技術小組（國立高雄科技大學） 

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

活動議程表

2025 年 10 月 29 日 (週三) Wednesday, October 29, 2025		
本日主題：鋰電池災害應變技術發展 Today's Theme: Development of New Energy Disaster Response Technology		
時間 Time	議程 Topic	講座 Speaker
08:40~09:40	來賓報到 Guest Registration	
09:40~09:45	議程與來賓介紹 Agenda and Guest Introductions	
09:45~09:55	開幕式 Opening Ceremony/大合照 Group Photo	
09:55~10:10	環境部 化學物質管理署 蔡孟裕 署長 致詞 Welcome Speech	
10:10~10:30	頒發聯防組織績優獎與表揚優良運作業業者及軍事機關 Award Ceremony	
10:30~10:40	休息 Break	
10:40~12:00	國外專家專題演講 (一) Keynote Lectures by Foreign Experts (1) 鋰離子電池安全科學研究 Safety Science Research in Lithium-ion Batteries	Dr. Terrence Alger VP, Applied Research and Development 美國 UL Solutions 公司
12:00~13:30	午餐 Lunch	主題展覽 Theme Exhibition
13:30~14:00	國內專家主題 (A) Domestic Expert Topics (A) 國內鋰電池事故案例研討 Domestic Lithium Battery Accident Case Study	陳政任 特聘教授 國立高雄科技大學/南區環境事故 專業技術小組計畫主持人 Dr. Jenq-Renn Chen Distinguished Professor CHA South Region Environmental Incidents Specialist Team, Project Leader

2025 年 10 月 29 日 (週三) Wednesday, October 29, 2025

本日主題：鋰電池災害應變技術發展

Today's Theme: Development of New Energy Disaster Response Technology

時間 Time	議程 Topic	講座 Speaker
14:00~15:20	國外專家專題演講 (二) Keynote Lectures by Foreign Experts (2) 鋰離子電池起火原因及火災 事故案例 Causes of Ignition of Lithium-ion Batteries and the Fire Accident	菊池 善信 理事長 塚目 孝裕 課長 日本 KHK 危險物保安技術協會 Hazardous Materials Safety Techniques Association
15:20~15:40	休息 Break	主題展覽 Theme Exhibition
15:40~16:10	國內專家主題 (B) Domestic Expert Topics (B) 儲能設施及鋰電池災害 預警措施暨應變處理 Incidents Advance-Alert and Emergency Response Mechanism for Energy Storage Systems and Lithium-ion Batteries	廖光裕 組長 國立雲林科技大學/中區環境事故 專業技術小組協同計畫主持人 Mr. Kuang-Yu Liao Team Leader CHA Central Region Environmental Incidents Specialist Team, Co-Project Leader
16:10~	第一天議程結束 End of Day 1 Agenda	

2025 年 10 月 30 日 (週四) Thursday, October 30, 2025

本日主題：災防體系預防及整備

Today's Theme: Disaster Prevention and Preparedness System

時間 Time	議程 Topic	講座 Speaker
08:30~09:00	來賓報到 Guest Registration	
09:00~09:30	國內專家主題 (C) Domestic Expert Topics (C) 新世代延展實境 XR 化災訓練 平台開發與未來研發介紹 Introduction - New Generation Extended Reality XR Chemical Incident Training Application and Future Development	陳新友 經理 財團法人工業技術研究院/環境事 故專業諮詢監控中心計畫主持人 Mr. Shin-Yu Chen Manager Industrial Technology Research Institute CHA Promoting Professional and Technical Service Project of Consulting, Monitoring and Hazard Prevention at Environmental Accidents, Project Leader
09:30~10:40	國外專家專題演講 (三) Keynote Lectures by Foreign Experts (3) 特種氣體緊急應變案例研究 Specialty Gases Emergency Response-A Case Study	Mr. Frank Rudy Sustainability Manager 美國 EMD Electronics 公司
10:40~11:00	休息 Break	主題展覽 Theme Exhibition
11:00~12:15	國外專家專題演講 (四之一) Keynote Lectures by Foreign Experts (4-1) 邁向新能源時代的準備 I 電動車火災對策、液氨洩漏事 故之應變 Response to Electric Vehicle (EV) Fires and Response to Liquefied Ammonia Leaks	Dr. Seiichi Hamada Director Research and Study Office 日本海上災害防止中心 Maritime Disaster Prevention Center, MDPC

2025 年 10 月 30 日 (週四) Thursday, October 30, 2025

本日主題：災防體系預防及整備

Today's Theme: Disaster Prevention and Preparedness System

時間 Time	議程 Topic	講座 Speaker
12:15~13:30	午餐 Lunch	主題展覽 Theme Exhibition
13:30~14:00	國外專家專題演講 (四之二) Keynote Lectures by Foreign Experts (4-2) 邁向新能源時代的準備 II 液化氫氣洩漏事故之應變 Response to a Liquefied Hydrogen Leak	Mr. Takahiro Hagihara Executive Director 日本海上災害防止中心 Maritime Disaster Prevention Center, MDPC
14:00~14:30	國內專家主題 (D) Domestic Expert Topics (D) 國內液氨事故案例研討 Case Studies of Taiwan Domestic Liquid Ammonia Incident	高振山 教授 國立聯合大學/北區環境事故專業技術小組計畫主持人 Dr. Chen-Shan Kao Professor CHA Northern Region Environmental Incidents Specialist Team, Project Leader
14:30~14:50	休息 Break	主題展覽 Theme Exhibition
14:50~15:25	強化毒性及關注化學物質運作安全管理	台灣積體電路製造股份有限公司 企業環境與安全衛生處 供應商安全與稽核管理經驗分享
15:25~16:00		奇美實業股份有限公司 災防自主管理經驗分享
16:00~	第二天議程結束 End of Day 2 Agenda	

2025 年 10 月 31 日 (週五) Friday, October 31, 2025

本日主題：環境事故案例研討

Today's Theme: Environmental Accident Case Seminar

時間 Time	議程 Topic	
08:30~09:00	來賓報到 Guest Registration	
環境事故案例研討 (一) Environmental Accident Case Study(1)		
09:00~09:25	新竹縣台 61 線南下 64 公里氫氟酸 槽車洩漏事故	引言人： 國立聯合大學 高振山 教授 主持人： 工業技術研究院 沈克鵬 組長
09:25~09:50	嘉義縣台 61 線南下 271.5 公里 1,4-丁二醇槽車洩漏事故	
09:50~10:15	高雄市小港區○○貨櫃場 鄰苯二甲酸二異壬酯洩漏事故	
10:15~10:40	休息 Break	主題展覽 Theme Exhibition
環境事故案例研討 (二) Environmental Accident Case Study(2)		
10:40~11:05	臺南市山上區○○企業公司火警事故	引言人： 行政院環境保護署 環境衛生及毒物管理處 宋浚評 前副處長 主持人： 中華民國化學應變協會 鍾玉慰 理事長
11:05~11:30	高雄市林園區○○化學公司氣爆事故	
11:30~11:55	臺南市新營區○○實業公司火警事故	
11:55~12:20	綜合座談/活動抽獎 Panel Discussion/Prize Draw	
12:20~	賦歸 End of Conference	

國外專家專題演講（一）
**Keynote Lectures by Foreign
Experts (1)**

鋰離子電池安全科學研究
Safety Science Research in Lithium-ion
Batteries

Dr. Terrence Alger
VP, Applied Research and
Development
美國 UL Solutions 公司

Dr. Terrence Alger

VP, Applied Research and Development

美國 UL Solutions 公司

Ph.D., Mechanical Engineering, University of Texas at Austin, 2001

M.B.A., University of Texas at San Antonio, 2008

M.S., Mechanical Engineering, University of Texas at Austin, 1999

B.S., Mechanical Engineering, *Distinguished Cadet*, United States Military Academy, 1992

Dr. Alger is a Fellow of the Society of Automotive Engineers and is the Vice President for Applied Research and Development at UL Solutions. His team focuses on developing practical, physics-based safety solutions across the variety of industries served by UL Solutions and supports the UL Solutions teams performing safety testing, inspection and certification. Prior to joining UL Solutions, Dr. Alger spent over 20 years at Southwest Research Institute where he led the Sustainable Energy and Mobility Directorate, which was engaged in developing solutions for low-CO₂ transportation. He has been working on energy storage related topics since 2012, when he led the team that created SwRI's energy storage laboratories and first battery-focused consortium, which was focused on evaluating the performance and safety characteristics of automotive Li-ion batteries.

He graduated from the US Military Academy as a Distinguished Cadet in 1992 and was commissioned as a 2nd Lieutenant in the US Army Corps of Engineers. He received his PhD in Mechanical Engineering from The University of Texas at Austin in 2001. He has been awarded over 30 patents and authored over 70 technical papers. He was awarded the Edith and Peter O'Donnell Award for Technology Innovation from TAMEST (Texas Academy of Medicine, Science, Engineering and Technology) in 2019 and his team have been 6-time R&D 100® award finalists and 4-time winners for the D-EGR® Engine, the DCO® Ignition System, Eco-Mobility with Connected Powertrain concept and the Low Mass High Efficiency Truck Engine.



鋰離子電池 安全科學研究

2025

Terrence Alger
應用研發副總裁
2025年10月29日



© 2025 UL LLC. 保留一切權利。UL SOLUTIONS與UL SOLUTIONS標誌均UL LLC所擁有的註冊商標。© 2025. 保留一切權利。未經UL LLC書面授權，不得複製、轉載或引用本文件，且複製轉載本文件時不得僅擷取部分內容。本文件之撰寫目的僅供一般性資訊提供，不構成法律或其他專業領域之建議。

依據本公司所知所信，在本文件發行當時，其中所記載之內容均為正確資訊。

大綱

- 背景 – 淨零排放目標與鋰離子電池的快速普及
- 鋰離子電池是什麼？它們為什麼會帶來特殊的挑戰？
- 當前的安全挑戰
- 現行標準與解決方案
- 新技術、新風險
- 政策建議

淨零排放目標與 鋰離子電池的快速普及



目前全世界正致力於 在未來達成碳中和 (淨零排放)的目標

通往淨零排放之路

已有針對碳中和目標年度公告法律、政策文件或明確予以宣誓的國家



歐盟已宣誓要在2050年達成淨零排放目標。
資訊來源：Climate Watch資訊平台淨零排放追蹤資訊

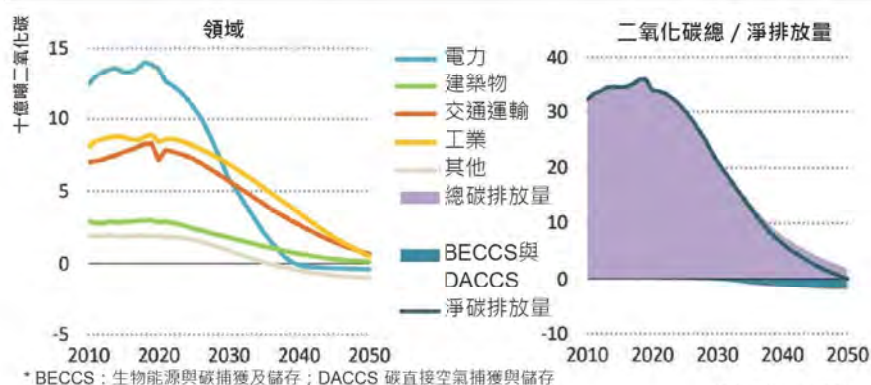


資訊來源：<https://www.statista.com/chart/26053/countries-with-laws-policy-documents-or-timed-pledges-for-carbon-neutrality/>



想要實現淨零目標，就必須需加速能源轉型

圖2.3 全球各領域二氧化碳淨排放量以及全球總 / 淨排放量



* BECCS：生物能源與碳捕獲及儲存；DACCS 碳直接空氣捕獲與儲存

IEA 保留一切權利。

到了2030年代，電力領域的排放量將快速降低，同時工業排放量有所降低，交通運輸領域則有所增加。
2050年時，BECCS與DACCS將可消除約19億噸二氧化碳

資訊來源：IEA (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>, Licence: CC BY 4.0.

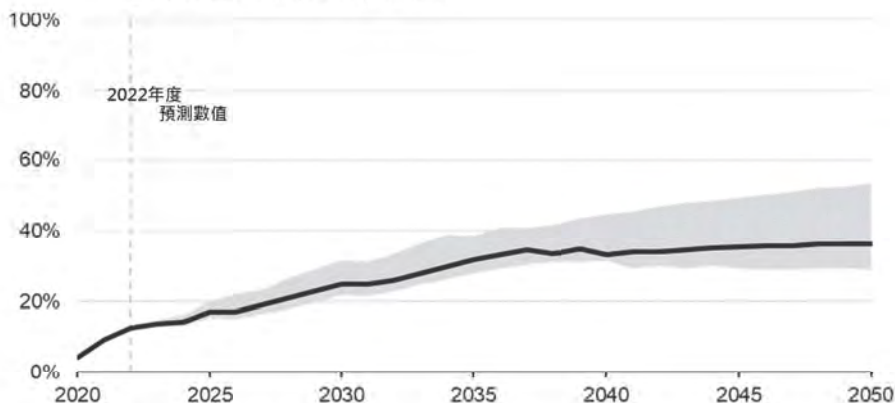


能源轉型意味著什麼？

對一般消費者而言，能源轉型最直接的體現就是電動車(EV)的普及化與其銷量的成長。然而，能源轉型不僅限於電動車領域。



電動輕型車輛(LDV)市佔率



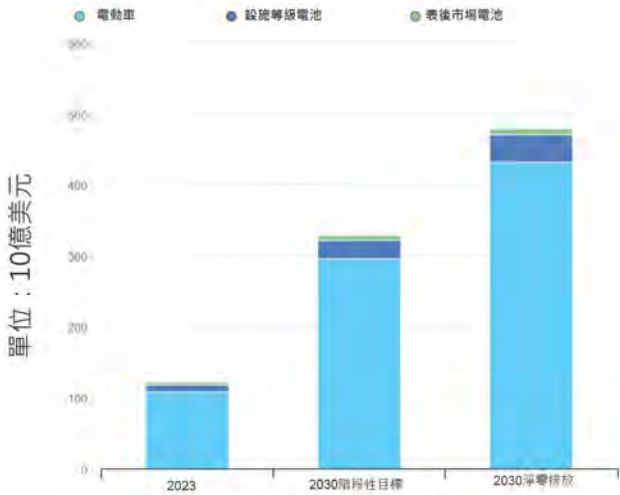
資料來源：美國能源資訊局，世界能源展望2023 (IEO 2023)

圖中陰影部分涵蓋IEO2023文件中所有參考案例與附屬案例在每個預測年度裡的最大與最小值。

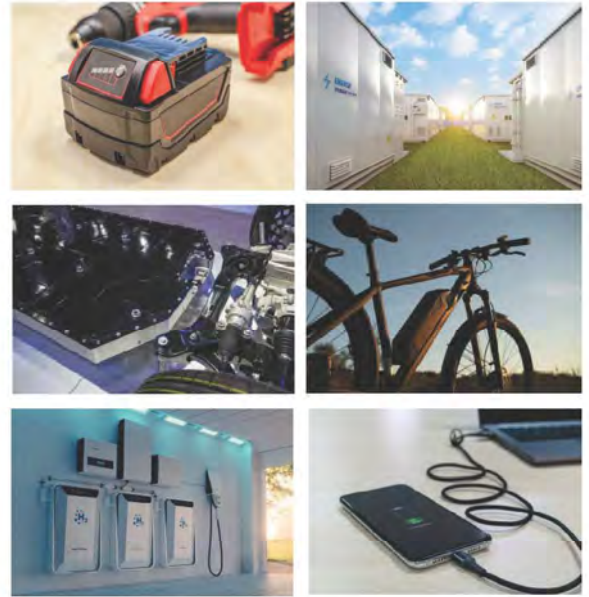
資訊來源：
<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>



所有能源都往電力轉型 表示鋰離子電池將無所不在



資訊來源：IEA (2024) · 各種不同用途與情境下的電池組市場規模(2023年與2030年對比)
巴黎IEA <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/battery-pack-market-size-by-application-and-scenario-2023-and-2030>
授權：CC BY 4.0



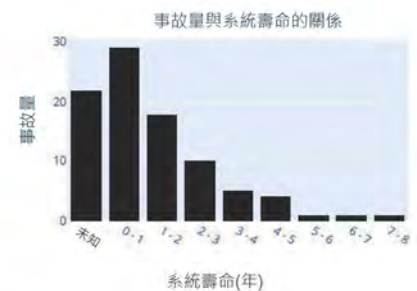
發生問題的情況

- 電動交通工具的成長，導致都市地區的鋰電池數量也隨之增加。2023年，紐約市共發生267起電動自行車火災事故，造成超過150人受傷，18人死亡*。
- 可再生能源的普及也意味著設置在住宅區的大型電池儲電設施會越來越多。
- 相關重大事故會引發媒體關注與公眾憂慮。



資訊來源：
https://storage.wiki.epri.com/index.php/BESS_Failure_Incident_Database

*<https://www.facs.org/for-medical-professionals/news-publications/news-and-articles/bulletin/2024/julyaugust-2024-volume-109-issue-7/electric-bikes-are-emerging-as-public-health-hazard/>

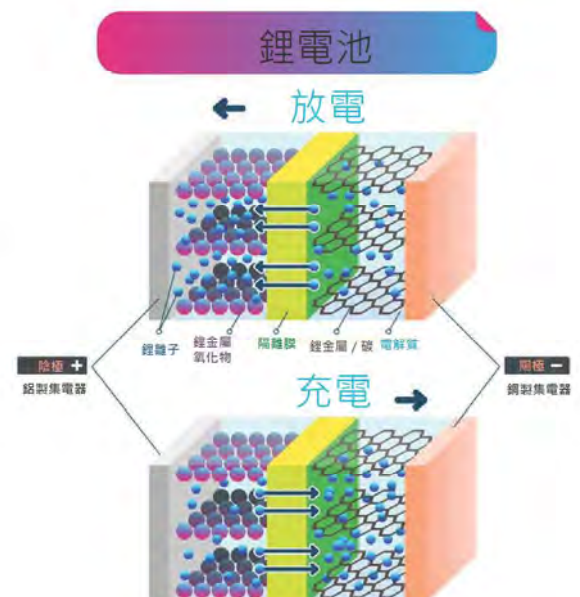


鋰離子電池是什麼？它們為什麼會帶來特殊的挑戰？



鋰離子電池結構

- 外型：軟包型、方型、圓柱型
- 四大主要內部元件：
 - 陰極：鋁箔 + 金屬氧化物覆膜(鎳鈷鋁、鎳錳鈷、磷酸鐵鋰、鈷酸鋰、錳酸鋰)
 - 陽極：銅箔 + 碳覆膜
 - 隔離膜：塑膠(聚乙烯、聚丙烯；厚度：0.0001 ~ 0.0003英吋)
 - 電解液：有機溶劑(酸鹽類)、鋰鹽(LiPF₆)以及添加劑
- 安全設計：排氣口、開關、保險絲、電路系統、PolySwitch自復式電路保護等
- 易燃部位：陰極材料、隔離膜、電解液、外殼(部分狀況下)



為什麼電池會有危險性？

- 電池具有比較高的化學能密度
- 電池中大多數的元件具有可燃性
- 電池中同時包含燃料與氧化劑
- 不論是電池充電或電池放電都涉及放熱化學反應



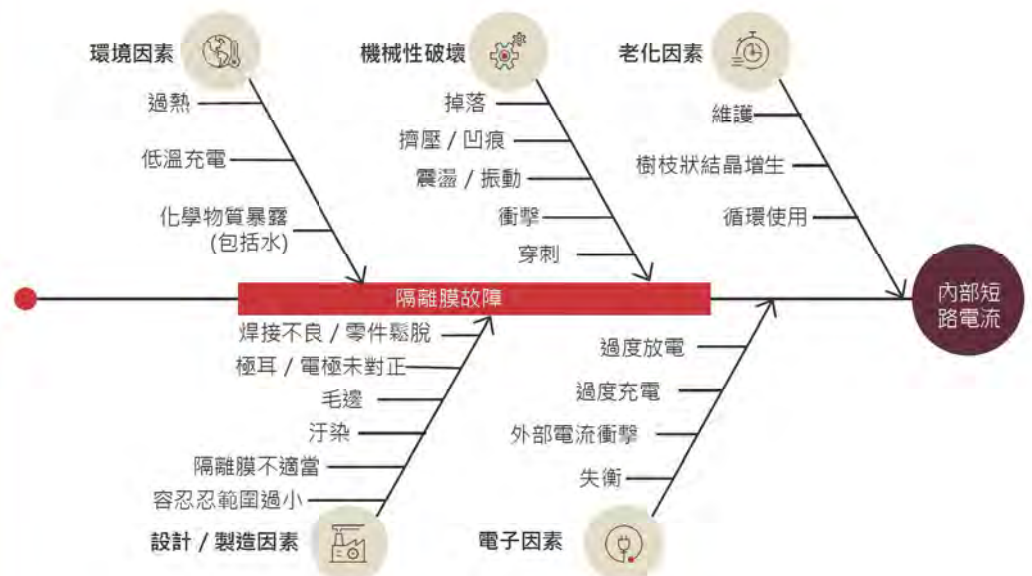
資訊來源：Nitin Muralidharan · Ethan C. Self · Marm Dixit · Zhijia Du · Rachid Essehli · Ruhul Amin · Jagjit Nanda · Ilias Belharouak · Advanced Energy Materials · 次世代無錳錳離子電池產業
結合顧問服務方案 · 2022年1月 · © 2022 Wiley-VCH GmbH.



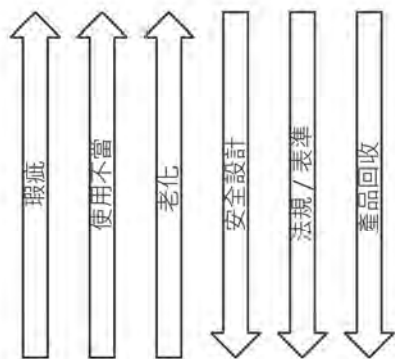
電池故障是怎麼發生的？

短路後，電池組熱失控 (TR) 傳播的因素包括：
短路後電流以及以下電池組熱失控(TR)因素的範圍擴大：

- 熱傳導
- 幾何設計形狀
- 電力交叉連結形式
- 電池管理
- 其他不良使用問題



評估電池危害性的整體風險



頻率	很有可能	輕微 (無傷)	中斷 (傷)	重大 (傷)	致命
	有可能	輕微 (無傷)	中斷 (傷)	重大 (傷)	致命
	不太可能	輕微 (無傷)	中斷 (傷)	重大 (傷)	致命
	罕見	輕微 (無傷)	中斷 (傷)	重大 (傷)	致命
		嚴重性			

傳統風險	非常高
	高
	中
	低

風險 = 頻率 × 嚴重性
 必須針對每個產品 / 使用案例評估



一般來說：
 頻率 = 低
 嚴重性 = 中至高

當前的安全挑戰



規模與環境條件都會影響風險程度

- 以電池組設計來說：
 - 小型電芯(如18650、21700)：較有可能故障
 - 大型電芯(如100Ah軟包電池組、200Ah方型電池組)：故障後果更嚴重
- 電池組設計不良或電池管理系統(BMS)不佳可能無法預防故障升級(引發連鎖反應)
- 現實環境條件可能增加風險：振動、濕度、灰塵、機械性壓力
- 城市環境(例如：公寓、車站等)會提升暴露機率與人身安全風險



© 2025 Underwriters Laboratories Inc.
資訊來源：<https://fsri.org/research/fire-safety-batteries-and-electric-vehicles>



法規盲點

- 消費性裝置往往缺乏強制性安全認證
- 現行安全測試標準的要求可能無法適用於新的用途
- 微型交通工具(如e-bike、滑板車)法規規範層級不同
- 儲能系統安裝標準各地不同，部分仍過時
- 儲能系統(ESS)裝設標準各地不同，且地方規範往往過時
- 網路銷售管道往往對其產品是否通過安全認證含糊其辭或掩蔽事實

<https://www.ul.com/insights/safety-concerns-aftermarket-smartphone-lithium-batteries>



現行標準與 解決方案

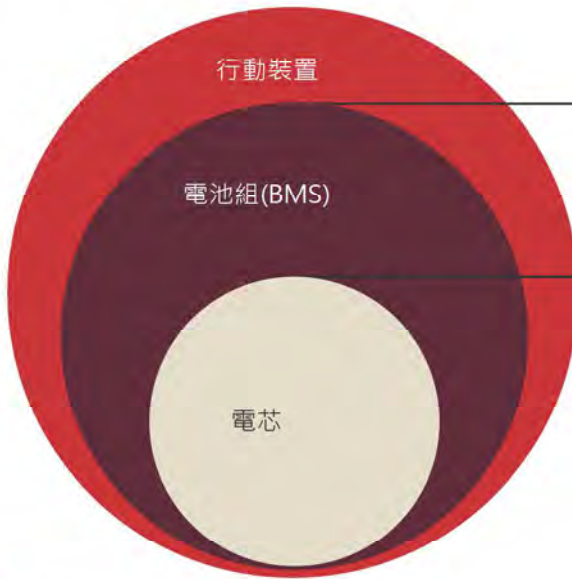


我們目前是用什麼方法管理電池相關風險？

- 利用電池管理系統，即時監測電壓、電流、溫度
- 電芯層級安全防護元件：電流中斷裝置、正溫度係數熱敏電阻裝置、排氣機構、隔離膜斷路機制)
- 在電池組設計中加入熱屏障與防火材料設計
- 為電動車與儲能系統加裝外部滅火系統
- 透過製造端品質管制程序將瑕疵最小化
- 透過第三方認證，確認符合適用標準



關鍵性安全標準與法規： 可攜式電芯與電池



UL 2054 · 家用與消費用電池組(第三版 · 2022年3月10日修訂)
IEC/EN 62133-2
GB 31241
IEEE 1725

UL 1642 · 鋰電池(第六版 · 2022年10月12日修訂)
IEC/EN 62133-2
GB 31241
IEEE 1725



關鍵性安全標準與法規： 可攜式電芯與電池(續)

UL 2056 · 行動電源標準(第一版)

輸入：最大電壓60 V (直流)，或交流家用電源
輸出：最大電壓60 V (直流)
容量：最大100 Wh



UL 2743 · 可攜式充電設備用標準(QPNA/7)

具有一個或多個直流/交流輸出/輸入端口
具有接電(跨接)啟動估能
用於室內/暫時充電或戶外/戶外設備對接



電動車的關鍵性安全標準與法規

UL 2580 · 電動車用電池標準

UL 1973 · 固定式與動力輔助電源用電池標準

UL 2271 · 輕型電動車(LEV)用電池標準

LV 124 · 汽車製造商測試標準

GB 38031 · 電動車牽引電池安全要求

IEC 63057 · 含有鹼性或其他非酸性電解液成分地二次電芯與電池組—道路車輛(非推進用)用二次鋰電池安全要求

ISO 6469-1 · 電動道路車輛—安全規範—第 1 部分：可充電儲能系統 (RESS)

法規測試：包括美國聯邦機動車輛安全標準(FMVSS)、韓國機動車安全標準 (KMVSS)等

SAE J2380 · 電動車電池振動測試

SAE J2929 · 使用鋰基可充電電芯的電動車與混合動力車的推進電池系統的安全標準

IEC 62660-3 · 電動道路車輛推進用二次鋰離子電芯—第 3 部分：安全要求

SAE J1798 · 電動車電池模組性能額定值建議規範



關鍵性安全標準與法規：電池儲能系統

- **UL 1973** · 固定式與動力輔助電源用電池標準
- **UL 9540** · 儲能系統與設備標準
- **UL 9540A** · 評估電池儲能系統熱失控火災蔓延的標準測試方法

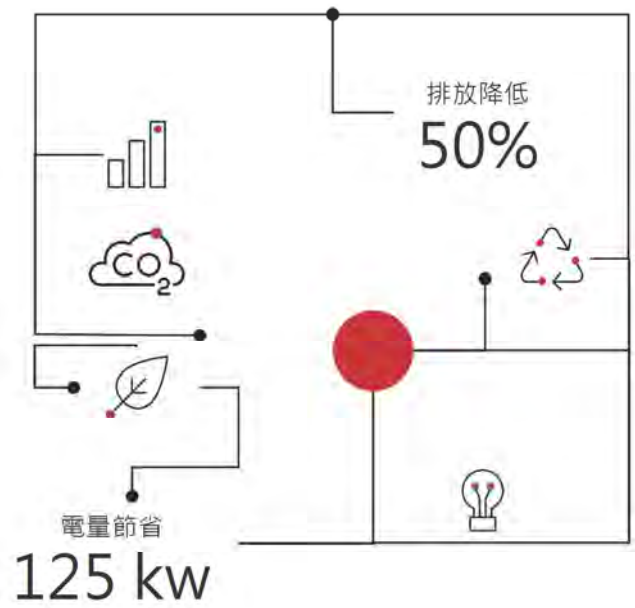


資訊來源：UL Solutions



將永續性視作安全性的一部份

- 若電池廢棄處理不當，會導致廢棄物處理程序中產生火災風險
- 循環再利用可以降低環境影響，減少原材料市場波動性
- 歐盟電池相關新法律(2023)規範碳足跡追蹤義務性要求
- 在設計階段就將拆解方式納入考量，使產品壽命終結時的處理更加安全
- 循環經濟強化長期安全性與韌性



新技術、新風險



電池技術領域裡正在發生什麼樣的改變？

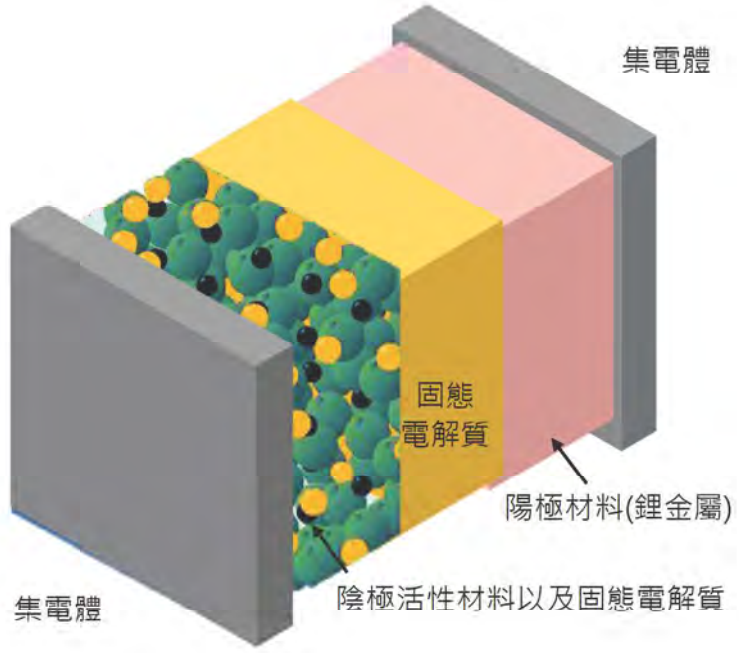
- 能量密度競賽
 - 主流鋰離子電池組如今可以提供大約200至300 Wh/kg的能量密度
 - CATL 2025 年路線圖的目標是將電池能量密度提高到 330 Wh/kg 左右；Panasonic則預計在2031年度以前達到1,000 Wh/L的體積能量密度
 - Factori-Stellantis合作計畫的FEST固態電池(已於2025年完成驗證)已達到375 Wh/kg能量密度，並且具有4C放電能力*
 - 亦有許多個路線圖的目標是在2030年前實現500 Wh/kg或能量密度更高的鋰金屬原型**
- 突飛猛進的效能
 - 快速充電：室溫條件下，FEST電池可以在18分鐘以內從15%充電至90%***
 - 新規格電池(4680、刀片式、無模組(CTP))將會提升電池組的能量密度與整合性



UL Solutions [*https://www.batterydesign.net/battery-cell/roadmap/](https://www.batterydesign.net/battery-cell/roadmap/)
[**https://www.stellantis.com/en/news/press-releases/2025/april/stellantis-and-factorial-energy-reach-key-milestone-in-solid-state-battery-development](https://www.stellantis.com/en/news/press-releases/2025/april/stellantis-and-factorial-energy-reach-key-milestone-in-solid-state-battery-development)
[***https://insideevs.com/news/757542/stellantis-factorial-solid-state-ev-battery/](https://insideevs.com/news/757542/stellantis-factorial-solid-state-ev-battery/)

新技術帶來的新風險

- 陽極材料中的鋰金屬 / 矽含量較高：可能導致大量樹枝狀結晶產生，提早熱失控發生的時機
- 固態電解質(SSE)：脆性界面會導致機械性破裂、局部鋰金屬滲透、釋放危害性氣體*
- 陰極鎳含量高(80%或以上)：氧氣釋放量較高，熱失控起始溫度較低，相較於NMC622，其熱失控起始溫度降低了約30°C**



* <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2024/ee/d4ee02358g>
 ** <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2024/ee/d4ee02358g>

新技術帶來的新風險



- 若不加以控制，超快速充電(6C或更高規格)可在8分鐘或更短時間以內導致電芯核心溫度上升至超過75°C*，而3~4C充電則通常會導致電芯溫度上升至45°C~60°C**。即使是在前述較低的溫度條件下，也會造成鋰鍍層(析鋰現象)風險急遽上升。
- 電池組緊密整合：導致熱質量降低，通風途徑減少，從而提高了熱傳播的速度***

*<https://www.nature.com/articles/s41598-023-38330-3>

**https://ecec.me.psu.edu/Pubs/2021_Liu_JPS.pdf

***https://www.mdpi.com/2571-6255/8/6/223?utm_source=chatgpt.com



政策建議



政策需要與時俱進

- 新電池技術發展的速度超過了現行法規標準以及執法體制。
- 與無認證電池或二手電池相關的事故數量日益增加，利入：紐約市e-bike fires火災。
- 各種區域性規範標準不一，導致安全漏洞。
- 若無法規認證制度擔保，即使是安全可信的技術也可能難以讓獲得大眾接納。



SCOP25ev297/850

政策與法規建議

- 規範鋰電池組與充電器強制接受第三方認證的義務(可以紐約市的做法為例)
- 針對次世代電池化學體系進行濫用測試(abuse testing)流程的標準化
- 針對二手 / 翻修電池進行分類與法規化管理
- 針對民宅與商業住宅中安裝的儲能系統要求更為明確的法律規範。
- 推動國際安全標準一致化。
- 資助安全研究與數據共享平台。



NEW YORK CITY FIRE DEPARTMENT
2022-2023 Fire and Emergency Preparedness Bulletin
For New York City Apartment Buildings

APARTMENT BUILDING FIRE SAFETY

E-Bike Fire Safety
(Fire Safety Hazards Associated with
Powered Mobility Devices)



There have been over 140 e-bike and other lithium-ion structural fires in New York City in the first 10% months of 2022 alone. Six persons died and 140 persons were injured in these fires. Apartments have been severely damaged.

<https://www.nyc.gov/assets/fdny/downloads/pdf/codes/2022-2023-fep-annual-bulletin.pdf>



展望未來

- 必須讓安全科學成為電池創新之中不可或缺的一部份。
- 政策必須跟上技術的腳步，與時俱進，不能總是拖後腿。
- 嚴格的標準不但可以保護消費者，也能幫助優質製造商脫穎而出。
- 為了支持安全而又能永續發展的電力轉型，一同打造專屬法規體系。

安全的電池產業不會自然而然地形成，而是需要科學化的政策與前瞻性標準去推動。



若有疑問 請不吝賜教

Terry Alger
Terrence.Alger@UL.com

UL.com/Solutions





感謝您的聆聽

[UL.com/Solutions](https://www.ul.com/solutions)

Safety. Science. Transformation.™

© 2025 UL LLC. 保留一切權利。UL SOLUTIONS與UL SOLUTIONS標誌均UL LLC所擁有的註冊商標。© 2025. 保留一切權利。未經UL LLC書面授權，不得複製、轉載或引用本文件，且複製轉載本文件時不得僅顯取部分內容。本文件之撰寫目的僅供一般性資訊提供，不構成法律或其他專業領域之建議。依據本公司所知所信，在本文件發行當時，其中所記載之內容均有正確資訊。

國內專家主題 (A)
Domestic Expert Topics (A)

國內鋰電池事故案例研討
Domestic Lithium Battery Accident
Case Study

陳政任 特聘教授
國立高雄科技大學/南區環境事故
專業技術小組計畫主持人
Dr. Jenq-Renn Chen
Distinguished Professor
CHA South Region Environmental
Incidents Specialist Team, Project
Leader



南區毒化災專業訓練中心
SOUTHERN TAIWAN TOXIC SUBSTANCE
EMERGENCY RESPONSE TRAINING CENTER

鋰離子電池事故

陳政任

國立高雄科技大學 環境與安全衛生工程系特聘教授
環境部 化學署 南區環境事故專業技術小組 主持人

Email: jrc@nkust.edu.tw

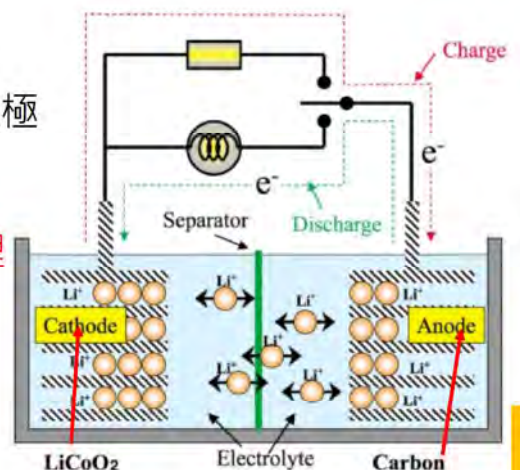


國立高雄科技大學
National Kaohsiung University of
Science and Technology



鋰離子電池

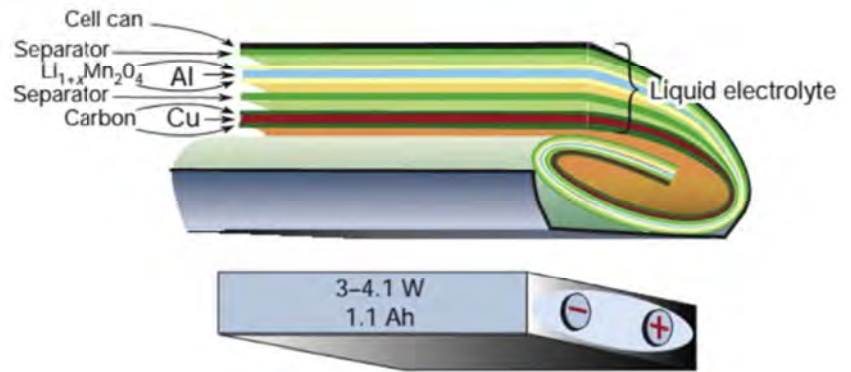
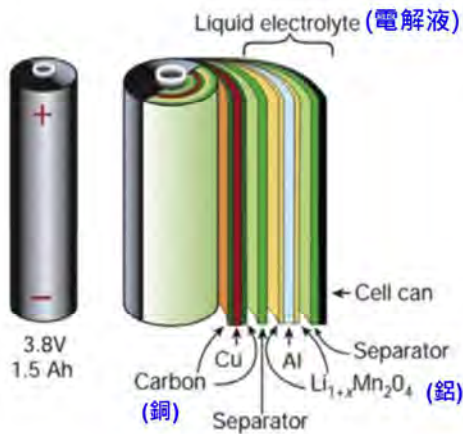
- 鋰離子電池(Lithium ion battery, LIB)：以鋰離子在正負極間移動來工作的充電電池，具有高能量密度、無記憶效應和緩慢自放電等優勢，廣泛用於消費電子和電動載具，但需注意過熱、短路等安全風險
- Sony公司於1991年首次商業化開發出以碳(石墨)為陽極(或負極)、氧化鈷鋰(LiCoO_2)為陰極(或正極)的LIB
- 目前有兩大類型
- 磷酸鐵鋰(LFP)電池：磷酸鐵鋰(LiFePO_4)作為正極材料，碳(石墨)作為負極材料
- 三元鋰電池：「三元(ternary)」指的是包含鎳、鈷及錳(或鋁)3種金屬元素化合物，如鎳鈷錳酸鋰($\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_{1-x-y}\text{O}_2$)作為正極材料，負極材料仍為碳(石墨)，常稱為NCM電池
- 陽極(或負極)=Anode(Negative electrode)
- 陰極(或正極)=Cathode(Positive electrode)



鋰離子電池：類型

(a) 圓柱形

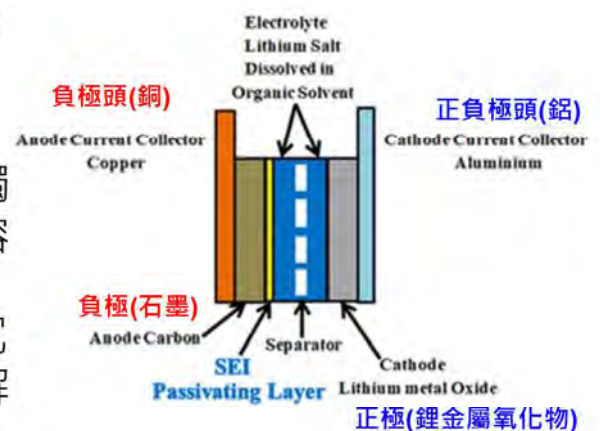
(b) 棱柱形



3

固態電解質界面 (SEI) 及其生成方式

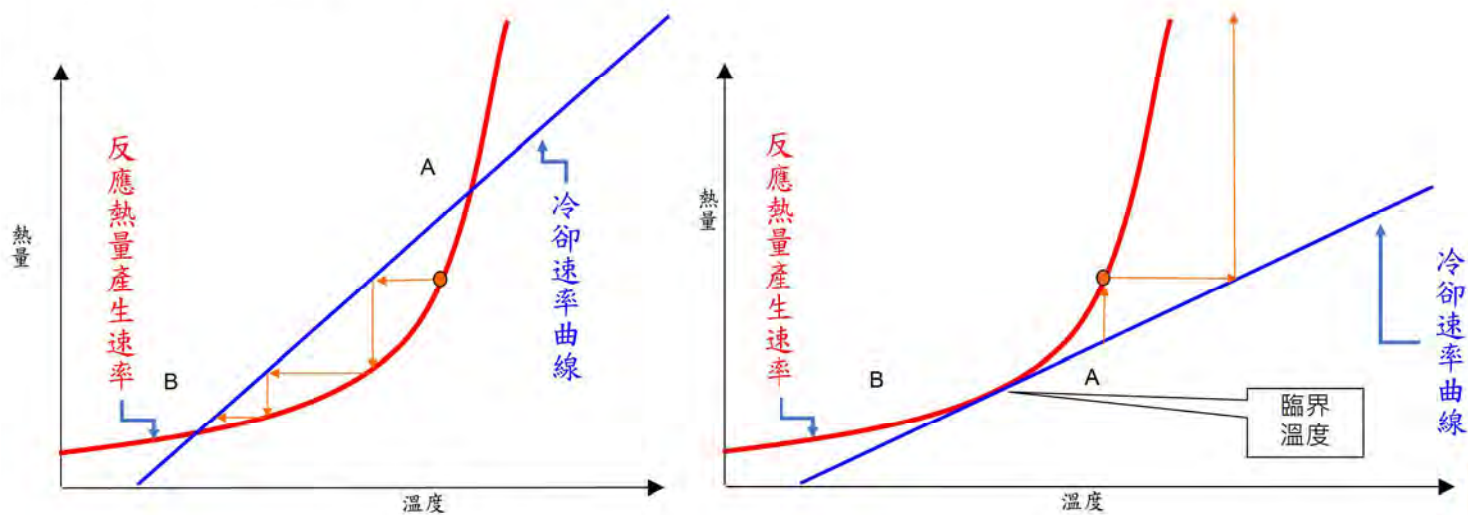
- 固態電解質界面(Solid Electrolyte Interface、SEI)是由電解質分解產物在電極表面形成的鈍化層，允許鋰離子(Li⁺)傳輸，同時阻止電子流動，以防止鋰離子電池中電解質進一步分解
- 在最初幾次充放電循環中，當電解質與電極接觸時，充電過程中伴隨鋰離子而來的電解質中的溶劑會與電極反應並開始分解。這種分解會形成 LiF、Li₂O、LiCl 和 Li₂CO₃ 化合物，這些成分沉澱在電極上，形成幾奈米厚的層，稱為固體電解質界面 (SEI)。此鈍化層可保護電極免受腐蝕和電解質的進一步消耗，
- 最初幾次充放電也常稱為「化成 (formation)」



5

失控反應、熱爆炸

- 因反應所產生的熱量大於系統所能移除的熱量，導致熱量累積、並加速反應，終至熱爆炸。

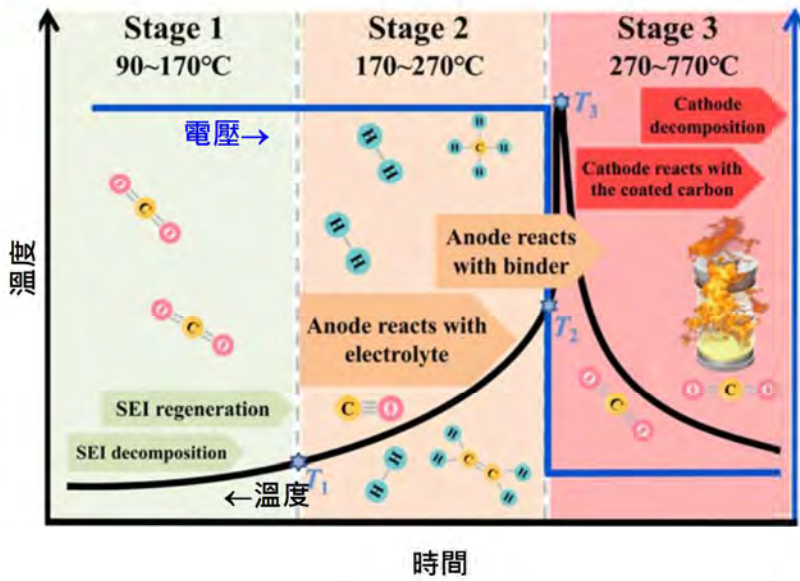


苯乙烯槽車熱爆炸



1996.11, 高雄高速公路岡山路段

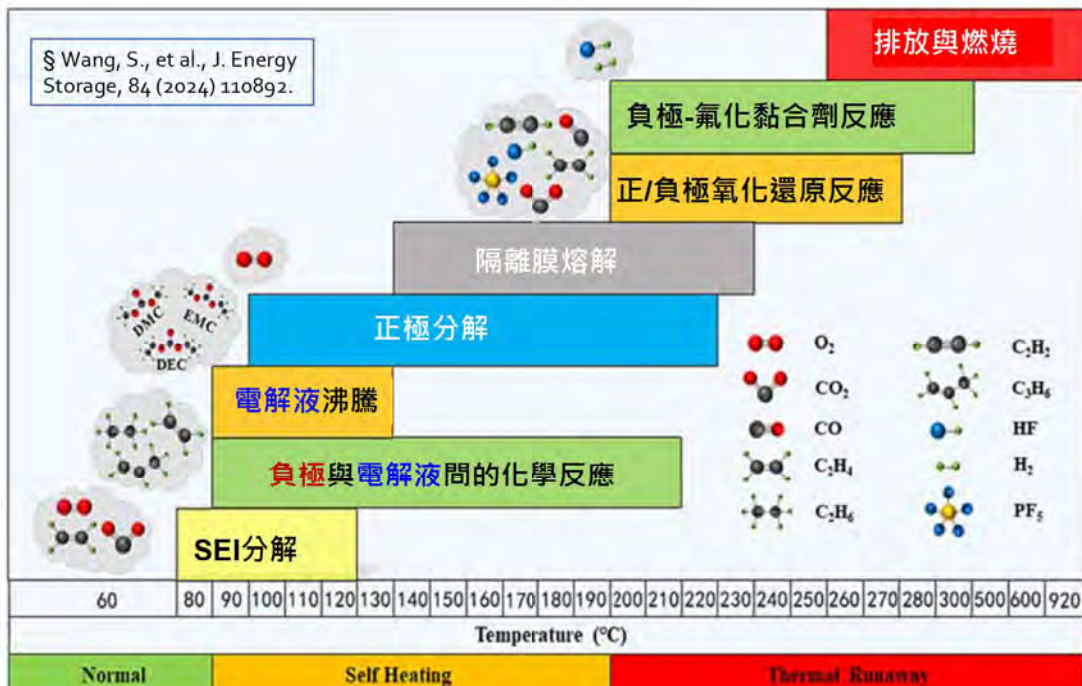
鋰離子電池：溫度的影響



- 電池受熱第一階段主要涉及固體電解質界面膜(SEI)的分解和再生，仍算相對安全
- 在過熱條件下，NCM電池的**正極**會從層狀結構相變為尖晶石結構，並在此過程中釋放**氧氣**。他們還發現，釋放的氧氣與**鋰化石墨負極**之間的**化學反應**會產生**大量熱量**。
- 氧氣與鋰化石墨之間的反應會釋放熱量，約佔電池總熱量的65%。這種熱量的產生是推動電池達到極高溫 T_3 的關鍵因素。
- 另一方面， LiFePO_4 中穩定的P-O共價鍵可作為有效屏障，防止LFP電池在熱失控過程中正極釋放氧氣。
- 研究顯示磷酸鐵鋰電池相比三元鋰電池擁有更優越的本質安全性，但電池熱失控過程中產生的可燃氣體在系統內部的傳輸和積聚，也可能引發嚴重的火災甚至爆炸事故。
- 依據研究*，NCM電池和LFP電池的熱失控行為。LFP電池的 T_2/T_3 為246.8/297.4°C。相較之下，對於NCM電池， T_2/T_3 為243.9/690.1°C。

*Journal of Power Sources 625 (2025) 235728

鋰離子電池：氣體的生成



鋰電池熱失控的原因與後果

後果

原因

變形
穿刺
震動
枝晶
粒子

- 內部電池芯短路
- 外部短路
- 超壓
- 過充
- 過放電
- 過電流
- 外部加熱(火災)

溫度上升

熱失控



危害

- 溫度上升
- 氣體噴發

可燃性
毒性

- 單一電芯失控、排氣、無引燃
- 單一模組失控、排氣、無引燃
- 單一模組失控、排氣、引燃、逐步波及其他模組，產生火災
- 模組連鎖失控、大量排氣、瞬間引燃、產生爆炸與全面燃燒

- 現階段鋰電池一旦燃燒，包含熱失控與產生可燃性/毒性氣體，尚未有單一有效的滅火藥劑！
- 早期發現熱失控、隔離是預防鋰電池火災的最佳方式

10

NCM電池

三元鋰電池
NCM Lithium Battery

哪一種比較危險？

12

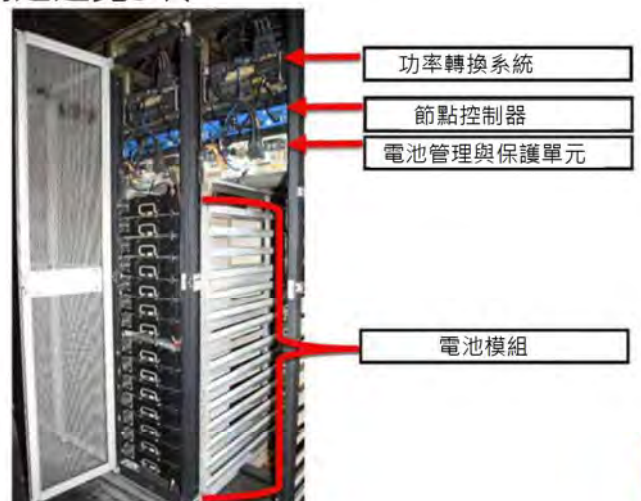
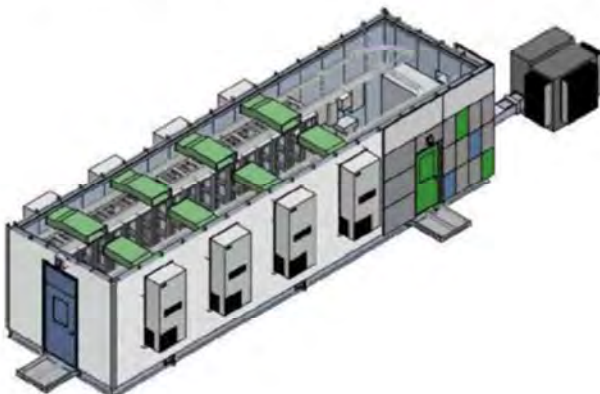
事故案例分析

- #1 – 2019/4/19 – 美國亞利桑那州 McMicken電池儲能系統 (Battery Energy Storage System, BEES)爆炸
- #2 – 2024/6/24 – 韓國Aricell華城鋰電池工廠火災
- #3 – 2025/7/14 – 高雄鋰電池工廠火災



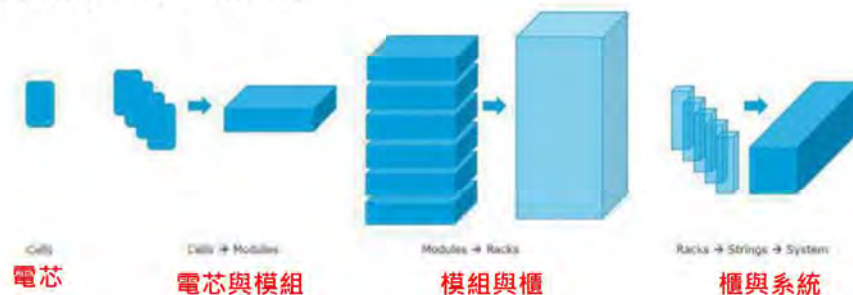
#1-美國亞利桑那州 McMicken電池儲能系統爆炸

- 業主：亞利桑那公用服務公司(Arizona Public Service Company, APS)
- 系統容量：2 MW / 2 MWh，用於儲存太陽能發電，調節用電的高低峰
- BEES統包：AES公司
- 標準貨櫃殼，內部共有36櫃、分兩排、中間走道寬3呎
- 其中27櫃各裝14個電池模組，另有80 kW轉換器、AES監控系統、電池保護單元



電芯與模組

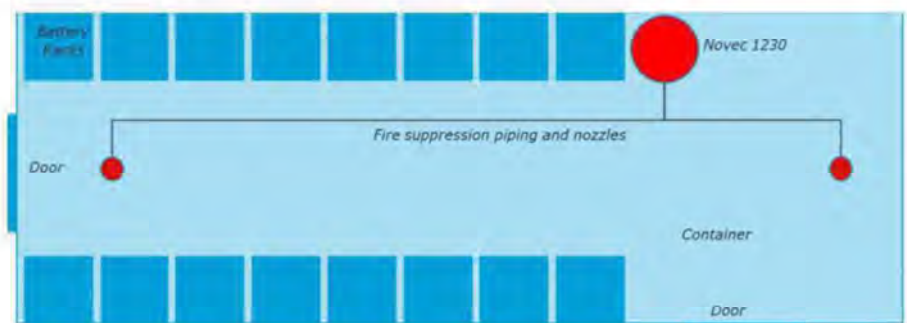
- 電池模組供應商：LG Chem
- 電池類型：鎳鈷錳(NCM)三元
- 每一模組有28顆長方形(Porch)電芯，分兩排組合
- 電芯型式：JP3、容量64 Ah、0.24 kWh，運作電壓 3.0-4.2V，能量密度 200 Wh/kg
- 2顆電芯並聯成一組，而後14組串聯成一模組，容量6.7 kWh
- 每一櫃有28x14=392電芯，27櫃共有 10,584電芯
- 電池管理系統(BMS)：LG Chem



15

消防系統

- 貨櫃內天花板佈有VESDA早期偵煙預警系統，當有警報則送訊號到Honeywell公司的Notifier RP 2002火警系統，再送訊號給Kidde公司的Novec 1230 滅火系統
- Novec 1230滿溢式(total flooding) 火災抑制系統(clean agent fire suppression system)使用潔淨藥劑，藥劑供應商：3M
- 3M公司於2017年8月告知NFPA 852規範委員會，其藥劑無法抑制電池的鏈鎖熱失控



16

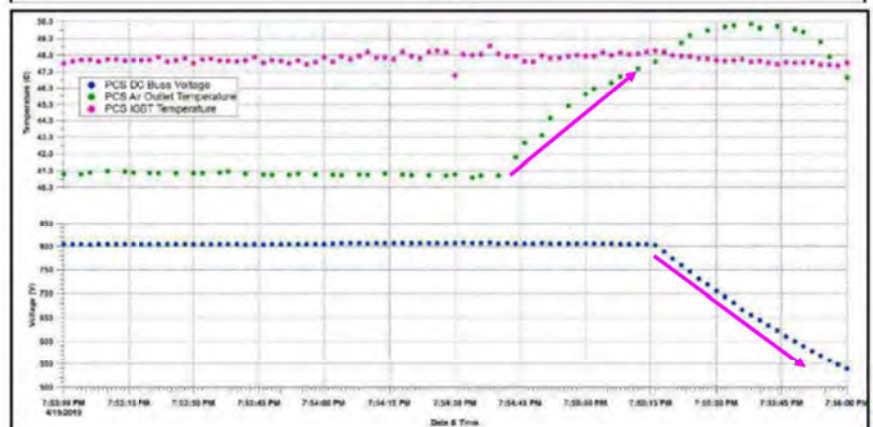
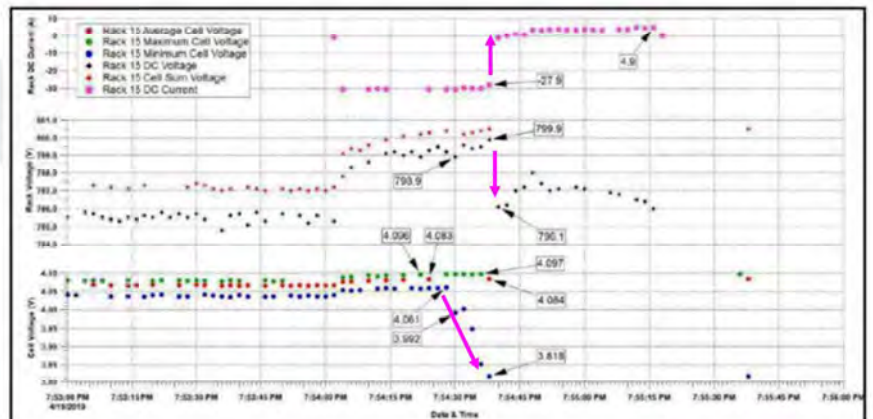
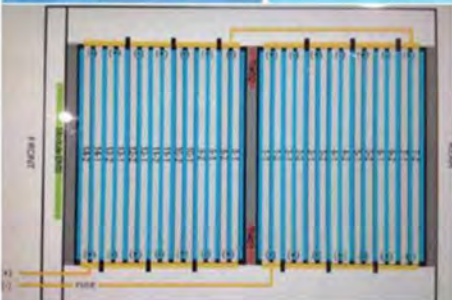
事故過程

- 2019/4/19 16:54::30 - 第15櫃、模組2、電芯7於充電過程中突然出現壓降(voltage drop)，大約等於一個電芯的電壓由 4.06V 降到 3.82V
- 16:54:38 - 第15櫃電壓由799.9降至796.1 V
- 沒多久，模組2、電芯7電流由-27.9 A放電變成4.9 A充電，而後整櫃都異常
- 而後氣溫開始上升，代表有熱異常
- 16:55:20 – VESDA警報與放射 Novec 1230藥劑

17

事故過程

- 此BMS數據證明第15櫃、模組2的第7組電芯為事故的源頭



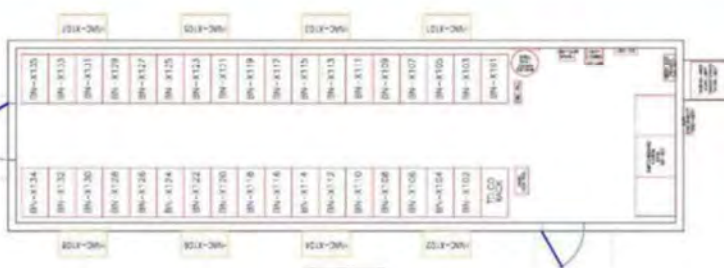
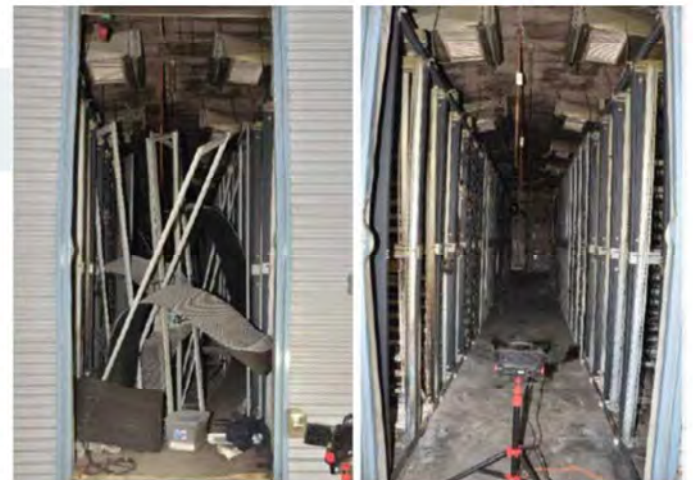
事故過程

- 電芯7的熱失控引發同一模組內、相鄰電芯的熱失控，並進一步引發相鄰模組的熱失控
- 熱失控的噴發氣體造成BESS櫃內形成一可燃性氣雲
- 大約壓降後3小時，消防隊打開貨櫃側邊的门，約2-3分鐘後爆炸發生
- 貨櫃側邊與後方的門被炸開，內部物品飛出，空調也嚴重受損
- 第15櫃有嚴重熱損，但其餘櫃並無異常
- 其餘26櫃花費7星期進行放電，而後才進行詳細的調查



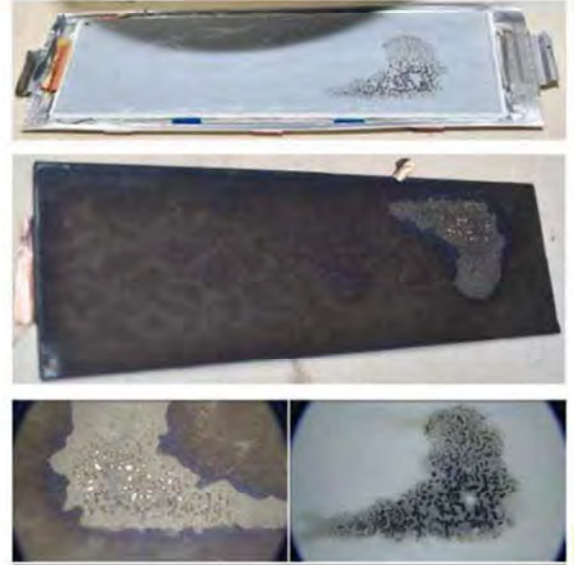
19

爆炸的損害



事故起始原因調查

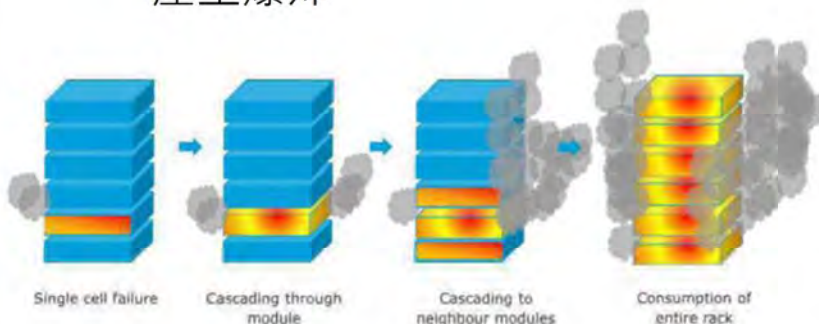
- 調查也發現其他模組內的電芯有異常的鋰沉積物與**異常的枝晶成長**(abnormal dendrite growth)
- 例如：第24櫃、模組6的第7-2組電芯電芯內部發現有鋰沉積物與枝晶成長
- 這些有沉積物的正極、負極、隔離層拆開後開始冒煙、最終引燃，這與鋰金屬於空氣中的反應一致
- 與另一相似規模的BESS的電芯比較，結論顯示是**電芯本身**的問題，不是操作、使用的問題



21

導致爆炸的其他因素

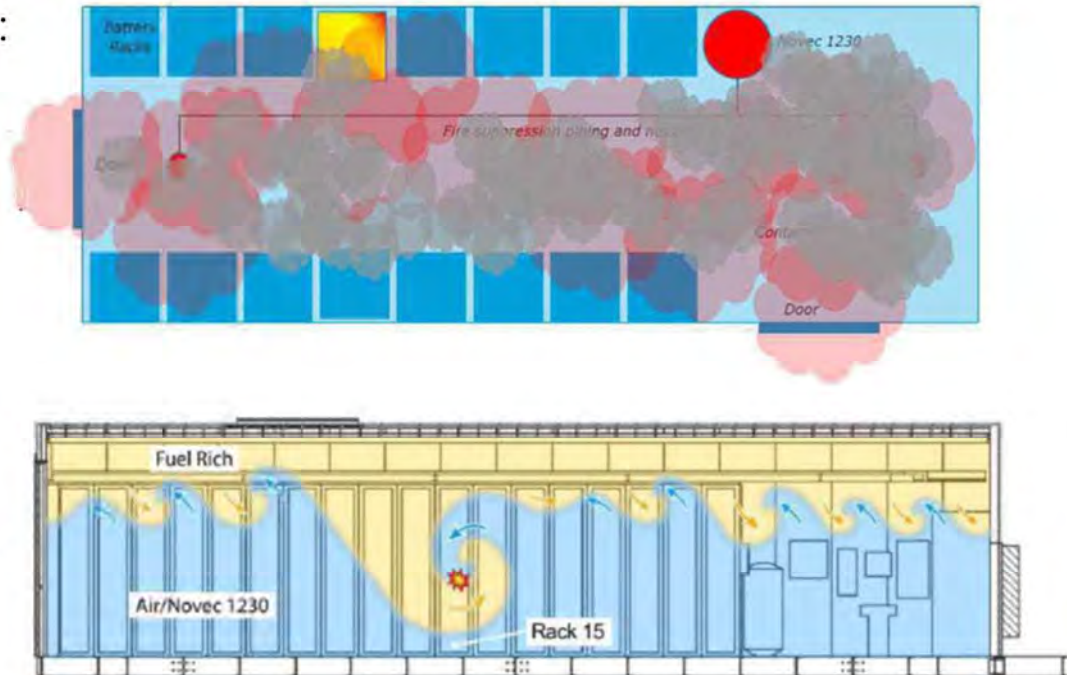
- 滅火系統**無法抑制熱失控**
- 電芯/模組間缺乏熱阻絕層，但相鄰櫃的空隙則阻絕了櫃間的熱傳播
- 熱失控的傳播持續提供大量可燃性氣體
- 缺乏通風系統，造成可燃性氣體蓄積
- 應變人員開門後，空氣進入、引燃產生爆炸



Rack 17 Rack 15 Rack 13

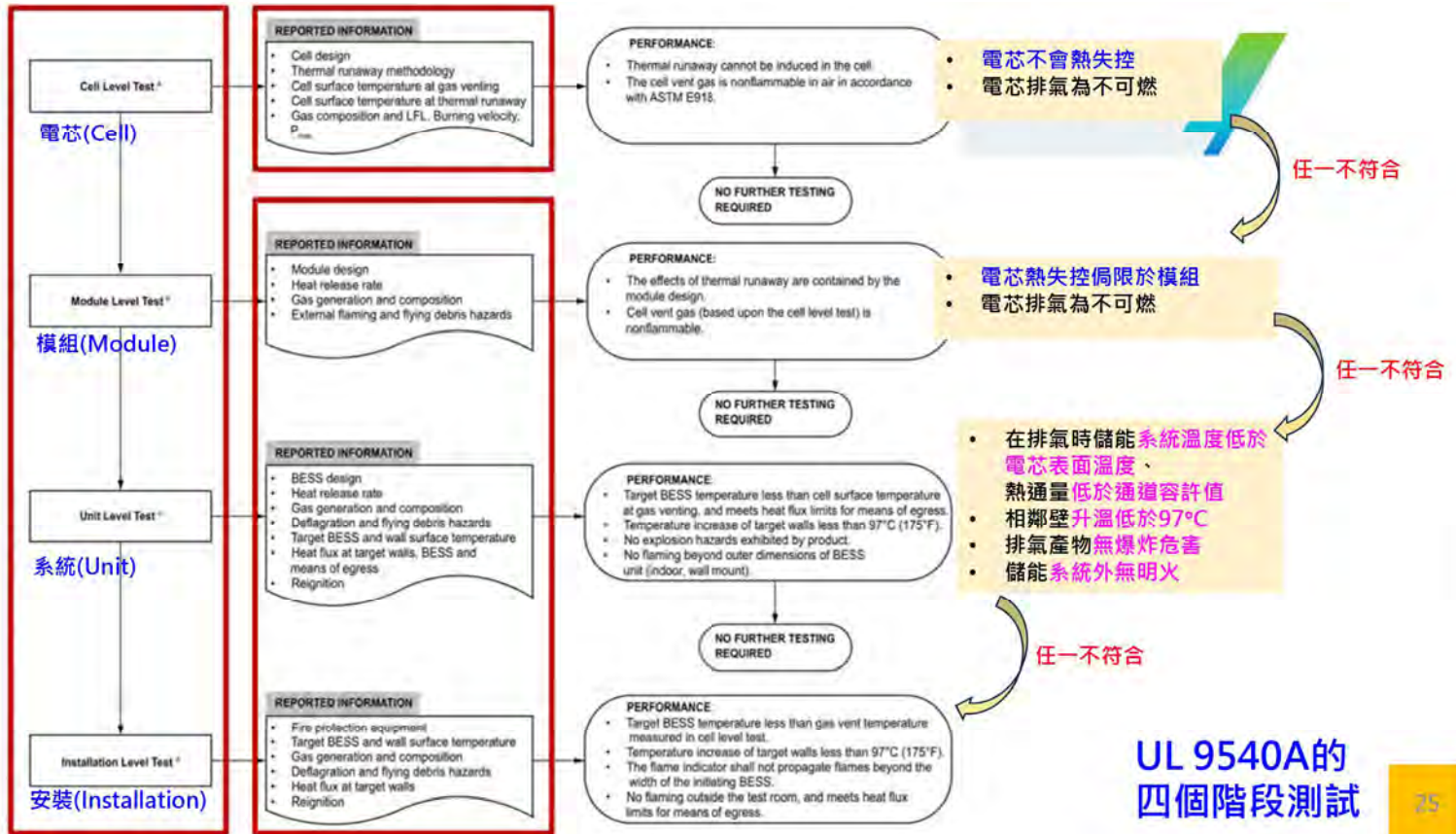
可燃性氣體蓄積

- 估計可燃性氣體的成分：
- Air: 67.5 vol%
- Novec: 8.5 vol%
- H_2 : 7.4 vol%
- C_2H_4 : 2.0 vol%
- CH_4 : 1.6 vol%
- CO: 3.1 vol%
- CO_2 : 9.9 vol%
- 合計燃料：14.1 vol%
- LFL = 4.5 vol %,
UFL = 46.4 vol%
- 引火源可能是失控電池的高溫



導致爆炸的其他因素

- 應變計劃缺乏熱失控事件的滅火、通風、進入的程序
- LG Chem並未提供AES(或APS) 其模組的UL 1973的測試報告，或分享其滅火測試的程序
- 相關的測試、安裝規範
- UL 1973的測試：通過標準：火未傳播至外殼外，或無爆炸 “No fire propagates to the outside of the DUT enclosure or explosion”
- UL 9540規範
- UL 9540A的測試：電芯不會失控→模組內電芯失控不會傳播→櫃內模組失控不會傳播
- NFPA 855規範：限制存放量

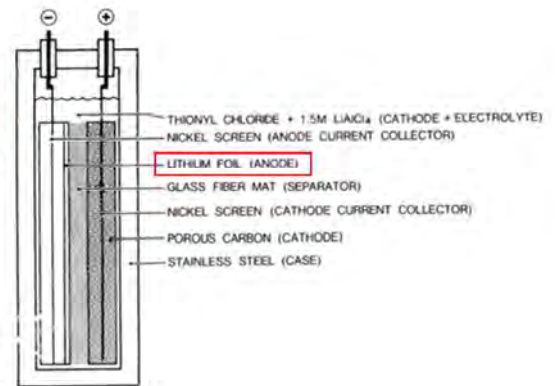


#1- 結論與建議

- 幾乎沒有方法可以抑制電芯的熱失控
- 爆炸的風險高於火
- 儲能站應選擇有通過UL 9540A測試的模組與櫃體
- 檢視電芯/模組的UL 1973測試報告，確認電芯的危害
- 儲能站的熱失控防護設計與應變計畫須強化

#2 – 韓國Aricell華城鋰電池工廠火災

- 電池類型：鋰-氯化亞砷 (Thionyl chloride) 一次性電池
- Li-SOC12電池由**鋰箔(Lithium foil)**陽極、**多孔碳陰極**和四氯鋁酸鋰(LiAlCl_4)在**氯化亞砷(SOCl_2)**中的溶液作為電解質組成。電極由玻璃纖維紙物理隔開。在這些電池中，Li 是陽極活性材料， SOCl_2 既作為陰極，又作為電解質的溶劑。
- 鋰-亞硫酸氯 (Li-SOCl_2) 電池比任何現有原電池具有更高的能量密度。該電池還具有許多其他理想的特性：高工作電壓、出色的電壓穩定性（放電率的 95% 以上）、在很寬的溫度範圍內（-40% 至 +80°C）的工作能力、極長的儲存壽命以及低的材料成本。



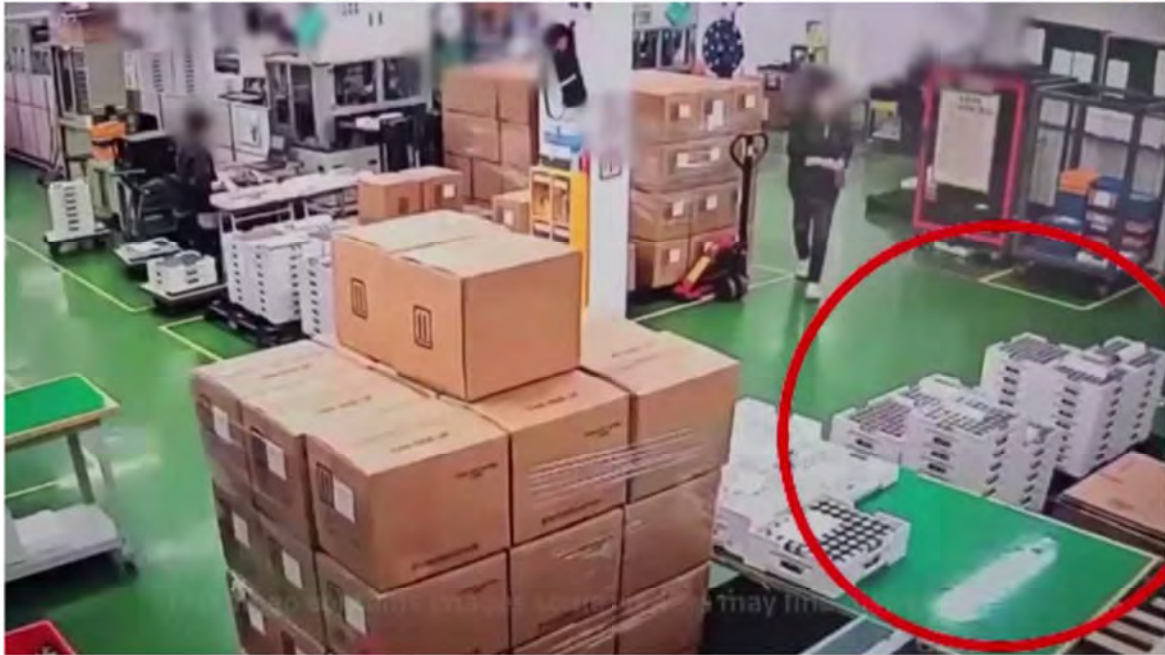
27

事故經過

- 在火災發生前兩個月，該工廠一批電池未能通過軍方品質測試，隨後工廠大規模擴大了產量，以滿足軍方的合約要求
- 為了滿足新的生產計劃，工廠聘用大量未經訓練的派遣臨時工到鋰電池生產線工作，而鋰電池已知有火災隱患
- 113年6月24日，工廠二樓存放著3.5萬個鋰電池，其中一個電池起火後引起了火災，並引發其它部分電池出現一系列爆炸
- 由於火災始於倉庫二樓，罹難者基本上都是發現在工廠的二樓，工人們因受火焰和煙霧影響沒有及時由出口逃出，許多倖存者都是從二樓窗戶跳下才得以逃生，由於事故現場的工人大多為臨時工，並不熟悉建築結構
- 現場共發現22具遇難者遺體，還有1名60歲左右的男性傷者在送醫後不治。23名遇難者中17名為中國籍，1名為寮國籍，5名為韓國籍（其中1人為中國移民）

28

事故的起始



30

#2-結論與建議

- 幾乎沒有方法可以抑制電芯的熱失控
- 對於鋰電池的製造廠，火災的逃生避難是最重要一道防護措施
- 隔離與防護，以降低鋰電池熱失控、火災的蔓延可能是最佳的策略
- 早期預警，如氣體偵測、溫度偵測，可以協助提早預知危害的發生，但未必能預警所有的狀況
- 不良品的檢測應更精確，以降低異常與熱失控的發生

31

#3 – 高雄鋰電池工廠火災

- 電池類型：超高功率動力電池，圓柱型、21700 型NCM三元鋰、
- 直徑：21.55 mm
- 高度：70.15 mm
- 額定電壓：3.6 V
- 額定容量：>5.0 Ah
- 能量密度：> 265 Wh/kg
- 最大放電電流：>75A



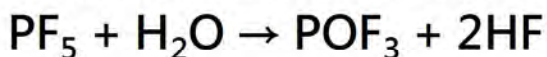
32

電解液的危害

- 六氟磷酸鋰：白色晶體粉末，在非水性極性溶劑(特別是碳酸酯類)中有高溶解度，是鋰離子電池(三元或鋰鐵)電解液的主要成分
- 六氟磷酸鋰遇熱會分解，產生氟化鋰和五氟化磷



- 五氟化磷和六氟磷酸鋰兩者都會輕易地與濕氣反應，生成氟化氫



- 含有六氟磷酸鋰(LiPF_6)電解液混合物燃燒時，每公克的電解液會產生18–60mg之HF氣體

§G.G. Eshetu, J.P. Bertrand, A. Lecoq, S. Grugeon, S. Laruelle, M. Armand, G. Marlair. Fire behavior of carbonates-based electrolytes used in Li-ion rechargeable batteries with a focus on the role of the LiPF_6 and LiFSI salts. J Power Sources, 269 (2014), pp. 804-811,

45

結論

- 鋰電池的熱失控結合了複雜的化學與物理機制、可產生大量可燃性氣體、高溫、**噴射火焰**、甚至是**蒸氣雲爆炸**
- 故熱失控的應變應以**隔離**、**冷卻**電芯、**稀釋**可燃性氣體、注意潛在的爆炸
- 鋰電池除熱危害之外，高溫噴發或燃燒的廢氣都會含有**氫氟酸**、**一氧化碳**的有氣體，應變人員須注意呼吸的防護
- 三元鋰電池比鋰鐵電池有更高的活性、更高的能量密度、與高更的熱失控溫度，其滅火將更困難；此類電池的製造需更加注意安全防護與隔離

46

 南區毒化災專業訓練中心
SOUTHERN TAIWAN TOXIC SUBSTANCE
EMERGENCY RESPONSE TRAINING CENTER

THANKS
For Listening

jrc@nkust.edu.tw

謝謝聆聽 敬請指教

47

國外專家專題演講（二）
**Keynote Lectures by Foreign
Experts (2)**

鋰離子電池起火原因及火災
事故案例

Causes of Ignition of Lithium-ion
Batteries and the Fire Accident

菊池 善信 理事長

塚目 孝裕 課長

日本 KHK 危險物保安技術協會
Hazardous Materials Safety Techniques
Association

菊池 善信 理事長

日本 KHK 危險物保安技術協會

Hazardous Materials Safety Techniques Association

- 最終學歷：東京大學法學部・1991年3月（平成3年）畢業
- 1991年4月（平成3年）進入自治省任職
- 2001年4月（平成13年）總務省自治行政局 公務員部福利課
- 2003年4月（平成15年）內閣府 政策統括官（防災擔當）附屬職
- 2005年1月（平成17年）總務省自治財政局 調整課
- 2006年8月（平成18年）大阪府（財政課長）
- 2009年4月（平成21年）地方公共團體金融機構 資金部資金課長
- 2010年7月（平成22年）總務省情報流通行政局 地區廣播推進室長
- 2011年6月（平成23年）神奈川縣（知事室參事監、保健福祉局長、理事）
- 2014年7月（平成26年）地方公共團體金融機構 資金部長
- 2016年6月（平成28年）內閣官房「地方創生本部事務局」參事官
- 2017年7月（平成29年）總務省自治財政局 交付稅課長
- 2018年7月（平成30年）岡山縣 副知事
- 2021年7月（令和3年）內閣官房 新型冠狀病毒等感染症對策推進室 審議官
- 2023年7月（令和5年）地方職員共濟組合 事務局長
- 2023年9月（令和5年）地方公共團體資訊系統機構（J-LIS） 綜合行政網路系統 全國中心主任
- 2024年7月（令和6年）總務省 自治大學校 校長
- 2025年7月（令和7年）危險物保安技術協會 理事長

塚目 孝裕 課長

日本 KHK 危險物保安技術協會

Hazardous Materials Safety Techniques Association

- 學位：博士（學術）
- 1987 年 4 月埼玉縣警察本部 科學搜查研究所 研究員（1996～1999 年就讀於埼玉大學 研究所理工學研究科 生產科學專攻・取得學位）
- 2011 年 4 月離開埼玉縣警察本部 科學搜查研究所
- 2011 年 5 月消防廳 消防研究中心 技術研究部 危險物質研究室 主任研究官
- 2012 年 4 月消防廳 消防研究中心 技術研究部 特殊災害研究室 室長
- 2016 年 4 月消防廳 消防研究中心 火災災害調查部 原因調查室 室長
- 2024 年 3 月離開消防廳 消防研究中心
- 2024 年 7 月危險物保安技術協會 事故防止調查研修中心 事故原因調查課長
- 2023 年 4 月起東京理科大学 創域理工學部 國際火災科學專攻 客座教授
- 現職主要工作內容
 - 工廠與危險物設施等災害的原因鑑定
 - 燃燒生成氣體的發生機制分析
- 自 2011 年起擔任之主要委員職務
 - 鋰離子電池相關危險物設施安全對策檢討會 委員（總務省消防廳）
 - 壓縮氫氣充填設備設置加油站安全對策檢討會 委員（總務省消防廳）
 - 石油聯合工廠防災體系檢討委員會 委員（總務省消防廳）
 - 市原市石油聯合工廠保安推進檢討委員會 副委員長（市原市）
 - 防火服自主管理委員會（日本消防服裝・裝備協會）委員

鋰離子電池起火原因及火災事故案例

Causes of ignition of lithium-ion batteries and their fire accident cases

危險物保安技術協會
事故防止調查研修中心

塚目 孝裕 Takahiro TSUKAME, Ph.D
tsukame@khk-syoubou.or.jp

鋰離子電池的事故案例

- 1990年代剛開始普遍的初期，生產電池的工場、倉庫，陸續發生多起大規模的火災事故。



存放充電後電池的4層櫃，
電池突然起火後延燒，約燒毀300萬個電池。
燒毀面積約7千m²，約7小時才滅火。發生
於1995年。



存放充電後電池的13層櫃，電池起火延燒。共
燒毀約122萬個電池。
燒毀面積約1,700m²，滅火時間約8小時。發生
於1997年。

這些倉庫都未採取消防法令規定的安全對策。

防範事故於未然，即使發生災害要讓災情止於最小

- 造成災害的鋰離子電池的是哪一種 ⇒ 構造為何？
- 發生火災的當時，做了什麼事情 ⇒ 燃燒性狀如何？
- 正確理解敵人（鋰離子電池事故、火災），思考如何正確因應、如何迎戰（搶救、預防對策）



鋰離子電池的種類

圓筒狀



袋狀



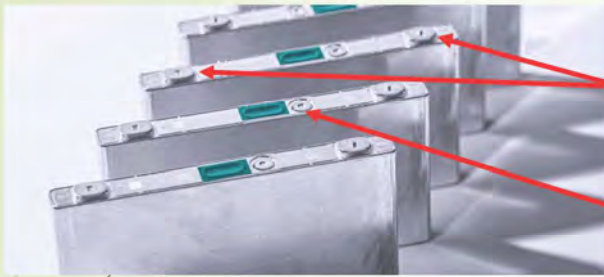
四角形



- 根據用途，有許多種類可供選擇。
- 圓筒狀
直徑和長度，有多種選擇
例：18650 ⇒ 直徑18mm(18)、長度65mm(65)、圓形(0)
可用於多種產品（汽車、手持電風扇等）
- 袋式
電解液浸滲在聚合物軟袋內。形狀可自由調整。
常用於行動電話、行動電源等
- 四角型
常見於汽車的車用電池。根據設計搭載適量的電池。
- 發電、蓄電原理完全相同。相片均為單體電池。

相片：<https://direct-joining.com/column/num-3142/>

車用電池



電極

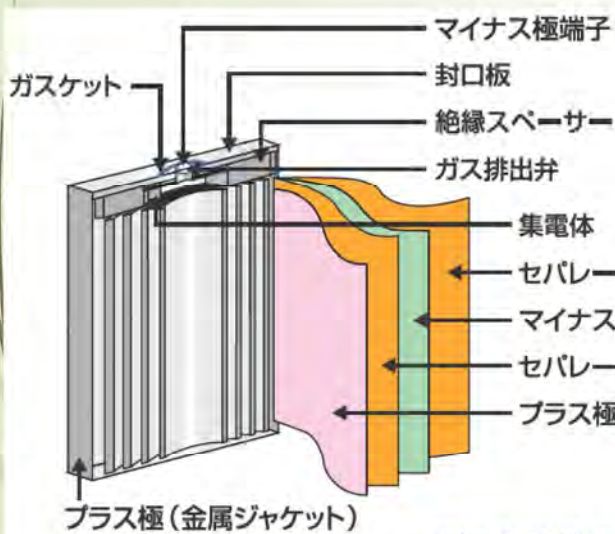
安全閥

- 將多個單體電池（相片上）組合後，形成一個模組（相片下）。
- 一台車，可搭載多個模組。
- 使用多個模組，組合成設計的電壓。



<https://www.toyota-battery.com/jp/products/lib/> (豐田電池的官網)

鋰離子電池的構造及材質



負極：集電體 (Cu箔) 及炭C

隔離膜：聚乙烯、聚丙烯

正極：集電體 (Al箔) 含金屬氧化物
LiCoO₂、LiMn₂O₂、LiFePO₄など

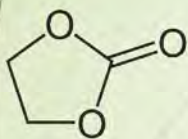
其他還有添加劑LiPF₄、LiCoO₂、以及將C黏在集電體上的黏著劑等

電解液：有機電解液

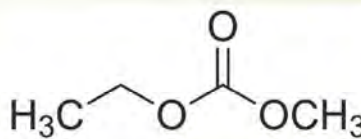
電池工業會網站

<https://www.baj.or.jp/battery/knowledge/structure.html>

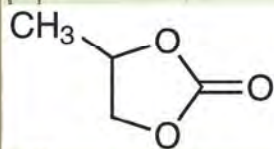
電解液常用的化合物



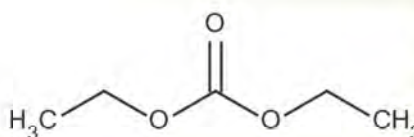
碳酸乙烯酯
ethylene carbonate
Mp.34°C, Fp.150°C
(Solid in room temperature.)



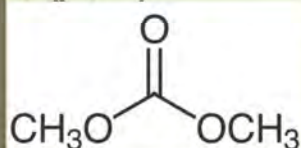
碳酸乙基甲酯
ethyl methyl carbonate
Mp.-53°C, Fp.22°C
Class II



碳酸丙烯酯
propylene carbonate
Mp.-55°C, Fp.132°C
Class III



碳酸二甲酯
ethyl methyl carbonate
Mp.-43°C, Fp.25°C
Class II



碳酸二甲酯
dimethyl carbonate
Mp.2-4°C, Fp.14°C
Class I

Appended Table 1 (Re: Article 2,10,11-4 Fire Service Law)

Category	Nature	Item
Category IV 第4類	Inflammable liquids 易燃液體	(i) Special inflammable materials 特殊引火物 (ii) Class I petroleum 第1石油類 (iii) Alcohols 醇類 (iv) Class II petroleum 第2石油類 (v) Class III petroleum 第3石油類 (vi) Class IV petroleum 第4石油類 (vii) Oil extracted from plants and animals 動植物油類

第1石油類~第4石油類主要是根據閃火點分類

第1石油類 $fp < 21^{\circ}\text{C}$
 第2石油類 $21^{\circ}\text{C} \leq fp < 70^{\circ}\text{C}$
 第3石油類 $70^{\circ}\text{C} \leq fp < 200^{\circ}\text{C}$
 第4石油類 $200^{\circ}\text{C} \leq fp < 250^{\circ}\text{C}$

因使用消防法規範的引火性液體，所以鋰離子電池適用消防法規範的危險物品的規定。

不過，一個電池只含有約2mL的電解液，超過50萬個以上才算管制對象。

⇒ 手持電風扇或行動電源等個人使用的物品，其危險物品（可燃性液體）的數量極少，未達管制量。惟大量生產的廠商或保管倉庫，則屬於管制對象。

UN規格和消防法 ～進出口的電池～

- 進出口的電池，運送過程中，適用UN規格。卸貨上岸後，則適用該國法規。



- 日本的消防法，有些項目比UN規格還嚴格。
- 儲存、運送時適用消防法，產品的品質則有其他法規（電器用品安全法或日本工業規格等）。

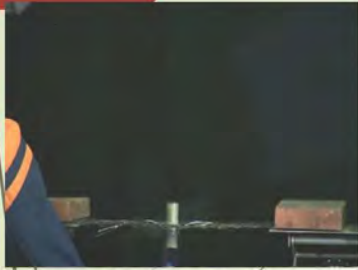
鋰離子電池燃燒後，會如何

- (1) 電解液燃燒
- (2) 100%充電率的18650電池的燃燒
- (3) 50%充電率的18650電池的燃燒

資料來源:日本消防廳「關於鋰離子電池之危險物品場所的安全對策的理想方式之檢討會」報告刊載的燃燒實驗相片

https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kento080_51_03_houkoku.pdf

鋰離子電池電解液的燃燒性狀



開始加熱



6秒後



7秒後



18秒後



26秒後

實驗條件

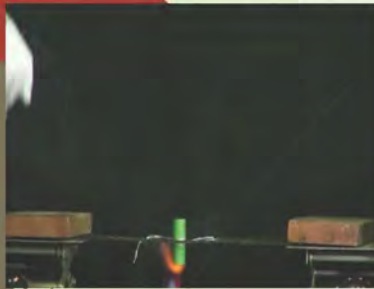
將2mL的電解液放入18650的容器中，用本生燈從下面加熱

結果

加熱後，揮發的電解液因本生燈的火起火燃燒，一直燃燒至電解液燒光為止。

和液體燃料（汽油、煤油、輕油）等的燃燒性狀幾乎相同，含有類似汽油的燃燒性狀的液體之故，燃燒快速

鋰離子電池加熱後的變化



開始加熱



13秒後



13~14秒



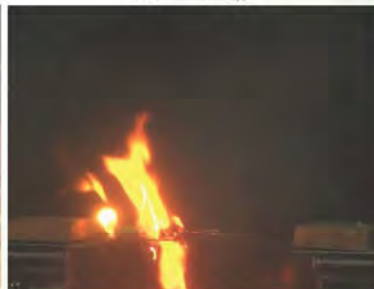
13~14秒



14秒後



14秒後 rapture



14秒後

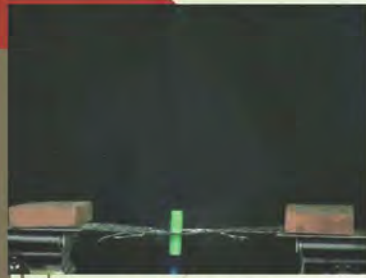


24秒後

條件：充電100%的18650鋰離子電池

結果：13秒後安全閥開啟，揮發後的電解液起火。馬上出現火花劇烈燃燒。1秒後破裂。

鋰離子電池加熱後的變化



開始加熱



23秒後



25秒後



26秒後



27秒後



28秒後



30秒後



53秒後

條件：充電50%的18650鋰離子電池

結果：23秒後安全閥開啟揮發後的電解液起火。出現火花燃燒後，火焰呈放射狀繼續燃燒。



壓力釋放閥

相片：https://www.y-skt.co.jp/magazine/knowledge/type-li_ion_battery/

從這個位置外洩的電解液蒸氣，經熱分解產生的可燃性氣體在空氣中燃燒。因為和壓力一起噴出之故，火焰呈噴射狀。

電極使用氧化物之故

- 和電極相同含有氧化物發生化學反應的例子
黑色火藥
$$10\text{KNO}_3 + 3\text{S} + 8\text{C} \rightarrow 2\text{K}_2\text{CO}_3 + 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 6\text{CO}_2 + \text{N}_2$$
- 這個化學式代表 · ·
- (1) 固態的硝酸鉀 (KNO_3)、硫黃 (S)、炭 (C) 反應後，產生氣態二氧化碳 (CO_2) 和氮氣 (N_2)。
1.2g的固態（黑色火藥）產生0.8g的固體和2.5L的氣體（實際上可能因熱膨脹體積更大）。
假設1.2g \approx 1cm³，體積變成2,500倍。
- (2) 和空氣中的氧 (O_2) 無關的反應。
情況如同在水中使用炸藥。
- 電極為氧化物 \Rightarrow 在鋰離子電池內產生同樣的反應。

反應（燃燒）後產生的物質

- 電極中使用的金屬產生氧化物
 \Rightarrow 氧化鋰 (Li_2O)、氧化鈷鋰 (Co_3O_4) 等
都是呈微粉末狀態散佈在空氣中
- 電解液 (EC、PC、DMC、EMC、DECなど)、添加劑 (PF_4 等)、隔絕膜 (PE、PP) 等因熱分解產生氣體
 CO 、 CO_2 、 C_2H_4 、 CH_4 、 H_2 、 HF 等種類很多
混合物因高溫反應之故，產生各種化合物。
有許多報告均提到會產生氣體。
- 例如
F. Larsson, et.al, "Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires", Scientific Reports, vol.7, art.10018, 2017.
Chengshan Xu, et.al., "A comparative study of the venting gas of lithium-ion batteries during thermal runaway triggered by various methods", Cell Reports Physical Science, vol.4, no.12, art.101705, 2023.
- 每個報告內容有差異。因不同燃燒條件，可能會產生不同的化合物。

燃燒後的鋰單電池



靜岡市HP

[留意鋰離子電池造成的火災！：靜岡市官網](https://www.city.shizuoka.lg.jp/shobo/s000128.html)

<https://www.city.shizuoka.lg.jp/shobo/s000128.html>



函館市HP

[「留意鋰離子電池造成的火災」函館市](https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2024092600038/)

<https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2024092600038/>

- 內壓上昇蓋子鬆開，裡面的集電體等物品噴飛。
- 噴飛的內容物溫度很高，若噴落處有可燃物，就有起火燃燒的疑慮。
- 鋰單電池的內壓上昇，從安全閥噴出的話，電池就會四處飛散。
- 裡面飛散出的物品，射水滅火是有效的。

- 以下網站提供鋰離子電池的燃燒實驗相片等。

- 實驗條件

約50kWh的鋰離子電池

1,950mAh 3.6V 圓筒狀18650電池 7,200個 充電率 60%

<https://www.youtube.com/watch?v=RKtcOryDT7M>

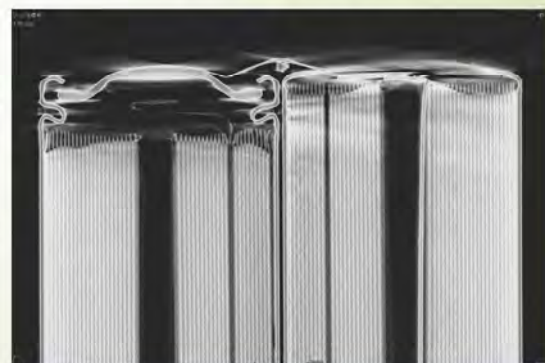
<https://www.youtube.com/watch?v=SNAOvpqWVZ0>

造成事故的電池的相片（X光CT相片）和上述實驗相片不同，有問題的電池



二者都有「捲繞不平均」的問題
疑似是因捲繞不平均，造成內部短路起火

相片來源：消防研究中心原因調查室



燃燒後的鋰離子電池



截取自東京消防廳網站

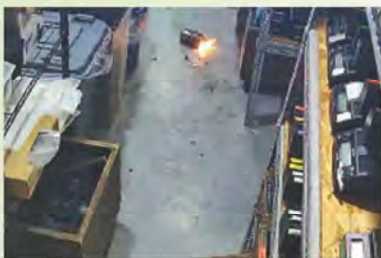
https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/lfe/kasai/lithium_bt.html

- 捲繞的集電體銅箔(Cu)展開後的狀態。
- 燃燒後薄膜狀的銅仍留有原本的樣態。看不見大範圍熔化的痕跡。多處未被認定為熔化造粒。銅箔並未熔解。
- 若是內部短路，有時可觀察到銅箔上的針孔。
- 針孔 ⇒ 部份熔化。因電流通過導致局部產生高溫。
- 殘骸中未見鋁。推測可能已全部燃燒變成 Al_2O_3 微粉末。

延燒擴大案例

內建鋰離子電池產品起火的危險 | 東京消防廳

https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/lfe/kasai/lithium_bt.html



充電中的相機電池起火



充電中的手持電風扇起火



- 即便是小型的數位相機電池，也會引起大火。
⇒ 產生足以延燒的熱源。
- 即便是手持電風扇，只有一顆電池，也曾發生過延燒周圍可燃性物品，導致室內全毀的火災。

各年度鋰離子電池相關火災件數統計（東京都內）

節錄自東京消防廳「2023年版火災概況」

年	建築物				車輛	其他	合計
	全燒	半燒	部分燒毀	小火災			
2015	0	0	3	18	3	1	25
2016	0	0	6	42	2	2	52
2017	0	0	5	42	7	5	59
2018	0	1	4	64	6	7	82
2019	1	1	11	82	2	5	102
2020	0	2	11	80	5	6	104
2021	5	5	16	98	6	11	141
2022	4	0	17	103	10	16	150
2023	1	1	23	126	2	14	167
2024	1	2	15	174	*11	27	230

*含船舶1件

起火原因別與件數（東京消防廳 2024年度）

起火原因	合計	行動電源	行動電話	電動自行車	無線吸塵器	儲能行動電源	無線耳機	電動工具	平板	筆記型電腦	可攜式音響	內建空調工作服	手持電風扇	其他	不明
合計	230	77	29	15	11	10	10	7	7	7	7	4	3	40	3
分解、廢棄等	29	5	14		1				2	3			1	3	
外部衝擊（掉落、外力等）	28	8	9	3	1			2		1		2		1	1
正常使用	14	5	1	1	1	1	2			1	1			1	
產品瑕疵	11	4							1		1			5	
不正確充電	10	1		3	1	2		1				1		1	
其他	44	13	2	2	4	2	3	2	1	1	2		1	10	1
不明	94	41	3	6	3	5	5	2	3	1	3	1	1	19	1

<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/content/000076864.pdf>

起火原因 ~內部短路~

■ 鋰離子電池內部短路

- (1) 集電體間產生碰觸
- (2) 短路造成通電、發熱
- (3) 因高溫而開始反應 ⇒ 演變成熱失控
 - 電解液 (有機溶媒) 分解、燃燒
 - 隔絕膜 (Separator) 加熱分解、燃燒
 - 集電體 (鋁箔) 燃燒
 - 負極的碳素 (C) 燃燒, 正極含氧化合物分解。

此時, 燃燒需要的氧氣, 來自正極的 LiCoO_2 、 LiMn_2O_2 、 LiFePO_4 。Mn系、Fe系的結晶構造不易改變, 不容易起反應。

- 不論是哪個原因, 電解液揮發、氣化、隔絕膜 (固體高分子化合物) 氣化、碳素 (固體) 氣化會造成體積膨脹、內部壓力上昇。使得單體電池破裂。
- 從壓力釋放閥向外噴出, 接觸外面空氣, 開始燃燒。
- 理所當然, 荷電狀態 (SOC) 越高, 火勢燃燒得越大

起火的原因 ~外部加熱~

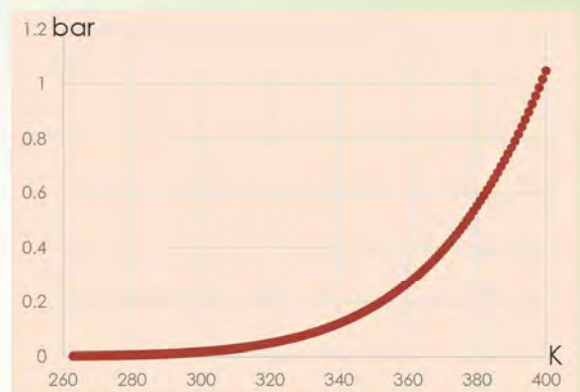
■ 鋰離子電池的外部過熱

- (1) 電池整個被加熱
- (2) 電解液揮發
- (3) 壓力釋放閥開啟

- 曲線是根據Antoine公式計算得到
隨溫度變化, 碳酸二乙酯 (DEC) 的壓力出現變化。
(NIST Chemistry WebBook)
bp (399K) 以下的話, 內壓不超過2atm

- 幾度左右壓力釋放閥會開啟?
中小企業廳網站 (Go-Tech導覽) $2.0 \pm 0.25 \text{ MPa}$
其他的網站 (<https://tritekbattery.com/ja/>)
 $1.8 \pm 0.1 \text{ MPa}$ (開啟) $1.2 \pm 0.1 \text{ MPa}$ (停止通電)
 6.0 kPa (NIFCO網站) ⇒ 因資料來源不同略有差異 $1.5 \sim 2 \text{ MPa}$ (差不多都在一定範圍)

- bp約399K (126°C) 的DEC要達到1.5MPa (15atm) 的話, ·
根據Clausius-Clapeyron公式概算, 約233°C可達到1.5MPa。
若是233°C, 不只電解液, 懷疑還有其他分解氣體也有關係。



起火的原因 ~外部加熱~

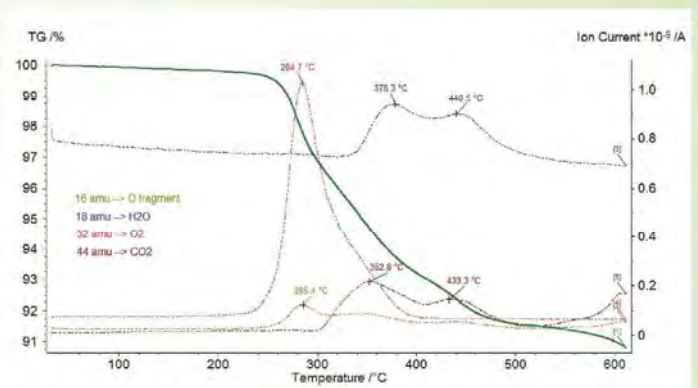
- 溫度繼續上昇的話
(4) 隔絕膜融化 (融化後, Li離子的穿透性下降將停止通電)
- 隔絕膜幾度會融化?
高密度聚乙烯 (HDPE) 約135-145°C融化, 聚丙烯 (PP) 約170°C程度。
隔絕膜融化後, 會暫時停止通電, 溫度繼續上昇的話, 將無法維持不通電。
但是, 融化後變成液態流動, 有可能造成兩極接觸內部短路。
- 達到大約200°C以上, 會發生高分子物質的熱分解。聚乙烯、聚丙烯會分解出可燃性氣體 (碳化氫)。

起火的原因 ~外部加熱~

- 溫度若繼續上昇
(5) 電極分解

根據使用TG(Thermogravimetry)製作的報告了解, 隨著數量減少, 氧(32)大約在220°C左右開始產生。二氧化碳(44)大約在300°C開始形成, 220°C-300°C之間不會出現燃燒反應。

如果只有氧化鈷鋰, 裡面不含碳素, 推測應該是前處理階段, 負極中加入了碳元素。



氧化鈷鋰正極 - 熱安定性 -

NETZSCH Analyzing & Testing

[https://analyzing-](https://analyzing-testing.netzsch.com/ja/applications/batteries/riti-umu-kobaruto-suan-hua-wu-zheng-ji-re-an-ding-xing)

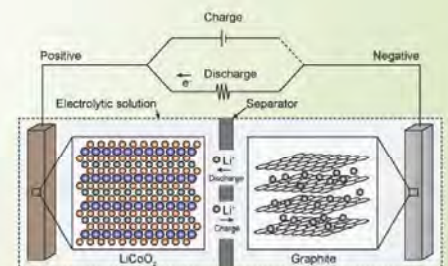
[testing.netzsch.com/ja/applications/batteries/riti-umu-kobaruto-suan-hua-wu-zheng-ji-re-an-ding-xing](https://analyzing-testing.netzsch.com/ja/applications/batteries/riti-umu-kobaruto-suan-hua-wu-zheng-ji-re-an-ding-xing)

起火的原因 ~外部過熱~

- ▶ 溫度若持續上昇
(6) 超過電極分解以上的溫度後
內部的各種材料開始燃燒、熱分解
- ▶ 負極的碳素
 $C + 1/2O_2 \rightarrow CO + 283kJ$ 體積增加 約2倍+熱膨脹的部分
 $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 393.5kJ$ 體積增加 熱膨脹的部分
- ▶ 隔絕膜
聚乙烯 \rightarrow 碳化氫 體積增加 (還要考慮吸熱反應)
- ▶ 鋁
鋁 \rightarrow 氧化鋁 + 835kJ 體積未增加 (熱反應)
- ▶ 到此階段，電池會發生熱失控反應。熱失控的內部燃燒很難壓制。
- ▶ 其最高溫度，由於集電體的Cu殘留未融化之故，估計最高約800-900°C

起火的原因 ~過充電、過放電~

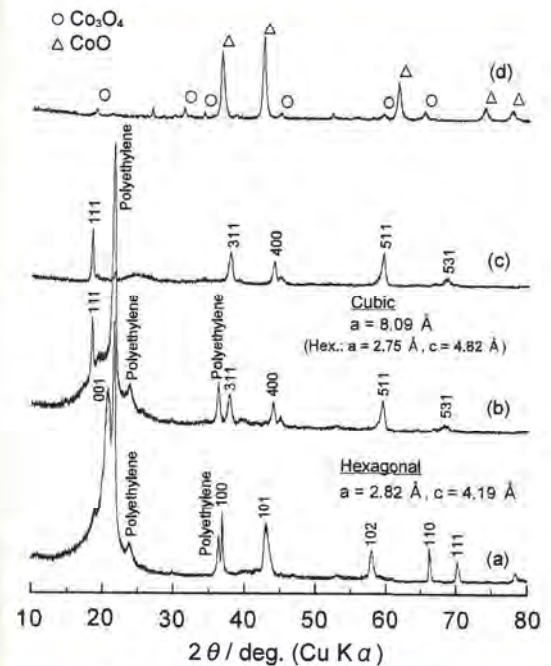
- ▶ 兩極間離子的移動 (充電時)
正極： $LiCo_2 \rightarrow Li_{1-x}Co_2 + xLi^+ + xe^-$
負極： $C_6 + xLi^+ + xe^- \rightarrow Li_xC_6$
符合該產品的充電器大概以4.2V充電，由過充電保護基盤控制。
- ▶ 充電的時候，正極的氧化鈷鋰會釋放出Li離子，嵌入負極的碳素端
- ▶ 氧化鈷鋰 ($LiCo_2$) 會變成鋰離子較少的氧化鈷鋰 ($Li_{1-x}Co_2$)。
- ▶ 若以超過規定的電壓充電的話，從氧化鈷鋰脫離的鋰離子會變多。
- ▶ \Rightarrow 少了Li的氧化鈷鋰的安定性會變差。
變得容易分解，釋放出氧，自己產生發熱反應。
已經有很多和安定性相關的報告。
- ▶ 此外，過充電的話，容易析出金屬。
析出金屬若結晶化，容易弄破隔離膜，造成內部短路。
- ▶ \Rightarrow 內部起火



https://mkyengineering.web.fc2.com/portfolio/03_detail/20141221/20141221.html

過充電使結構產生變化的案例 正極

- 使用X光繞射 (X-ray diffraction) 檢測的結果，ARC (Accelerating Rate Calorimeter) 使用5.0V充電的LiCo₂電極·下層·未做熱處理(a)·使用ARC進行120°C加熱(b)·150°C加熱(c)·400°C加熱(d)。
- 未進行熱處理是六方晶，但120°C、150°C加熱過後變成立方晶。若是用400°C加熱，則不被認為是LiCo₂的結晶結構，變成CoO和Co₃O₄。
- 以120°C加熱的話，只有結晶系出現變化，不會釋放出氧。400°C的變化，不僅結晶構造，化合物也有產生變化。



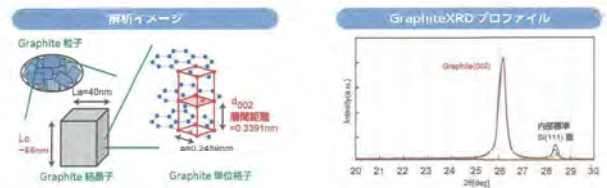
北野真也他, GS YUASA Technical Report, 2, 18(2005)

過充電使結構產生變化的案例 負極

- 使用X光繞射(X-ray diffraction)檢測的結果，石墨的單位格子晶面間距為0.3391nm。(002)結晶面與其相符。
- 聚集大量Li離子的Graphite石墨層的充電狀態和釋放後的放電狀態的晶面間隔，放電狀態的Graphite石墨單位格子的數值幾乎相同，充電狀態下，晶面間距的高峰向低角度側偏移（間隔擴大）。
- $n\lambda = 2d\sin\theta$ (Bragg's law)
通常 $n=1$ 、 $\lambda=\text{const.}$ (入射光波長·定值) 之後的晶面間距 d
 $d = n\lambda / 2\sin\theta$ 且 $0 < \theta < 90$ ， $\sin\theta$ 為 $1 \rightarrow 0$ 之故 θ 越大， d 就變小。
($\sin 12^\circ > \sin 13.2^\circ$)

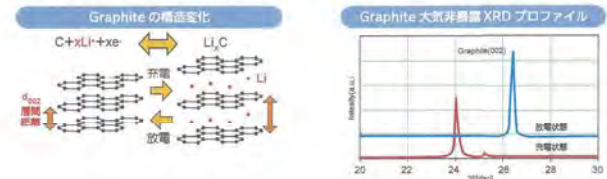
負極活性物質の格子定数および結晶子サイズ測定

標準試料Siを内部標準とした炭素材料構造の定量化[JIS R7651:2007に準拠]



充電状態の負極活性物質の構造評価

- ・大気非暴露によるEx-situ測定
- ・サイクル試験前後や劣化電池間などで比較



三井化學分析中心 X光繞射分析事例

<https://www.mcanac.co.jp/db/technical-note/tec-9034.php>

鋰離子電池火災

- 電解液使用易燃液體。
 - ⇒ 碳酸乙烯酯（2類mp.34-37）、碳酸丙烯酯（4類3石）、碳酸二甲酯（4類1石）、碳酸乙基甲酯（4類2石）、碳酸二乙酯（4類2石）等
 - ⇒ 消防法指定易燃液體為危險物品，列入管制。
 - ⇒ 屬於低沸點化合物，加熱後液體揮發導致內壓上升。
- 正極使用金屬氧化物。
 - （ex.氧化鈷鋰 LiCoO_2 。最近也有鈷以外的金屬氧化物）
 - ⇒ 負極的石墨、正極集電體的鋁箔，剩餘的電解液即使不接觸空氣，仍會因金屬氧化物釋放的氧而起火燃燒
 - ⇒ 鋁燃燒的過程會產生高溫高熱。
 - ⇒ 石墨燃燒則會伴隨高溫與體積的大幅膨脹。
- 電解液屬低沸點化合物，在起火初期便會揮發、燃燒。容量少，只因這些溶媒就導致大規模火災的情況極少見。主要原因通常是因為上述內容物中的化學物質，出現化學反應時，伴隨高溫高熱與燃燒。
 - ⇒ 此時可透過灑水降低溫度，抑制反應與發熱。

大型鋰離子電池火災案例



節錄自Pveye網站

https://www.pveye.jp/eye_sight/view/5101/

- 2024年3月27日太陽能發電場內之蓄電池（鋰離子電池）設備起火
- 起火原因與外界因素無關，起火點為蓄電池。
- 開門確認內部情況的瞬間，建築物爆炸，前往滅火的4名消防隊員受傷。
- 推測爆炸的原因
 - (1) 鋰離子電池因某種原因自然起火
 - (2) 周圍的鋰離子電池受熱，導致接連起火
 - (3) 室內充滿有機物分解後產生之氣體
 - (4) 開門導致出現爆燃現象
 - (5) 內部壓力上升，火焰從開口處竄出
- 行動時的注意事項
 - (1) 部分鋰離子電池分解後產生之氣體具可燃性。空間內若存有大量的電池，受熱後「即將熱失控，且經加熱之電池」有可能成為下一個起火點。
 - (2) 若現場只有鋰離子電池，只要用大量的水進行冷卻，便能夠滅火（滅火與停止反應）。此次因連接太陽能發電，部分情況無法射水。
 - (3) 鋰離子電池燃燒的原因，與其說是可燃性液體導致火災，其實更接近化學物質作用後所導致之火災。且，大多是在電池內部反應、燃燒。

因鋰離子電池造成的火災逐漸增加

- 廢棄物處理場、垃圾回收車的火災
- 事先不知廢棄物中含有電池，混在一般垃圾中
- 因粉碎等變形後，內部短路起火
- 延燒旁邊的可燃物
- 垃圾焚化廠等設施若發生火災，損失金額高達數億日圓，嚴重時發生過停工數個月的案例。
- 鋰離子電池廢棄物的數量增加
- 地方政府各自落實對民眾的宣導



図 3-10 火災の年間規模別発生件数

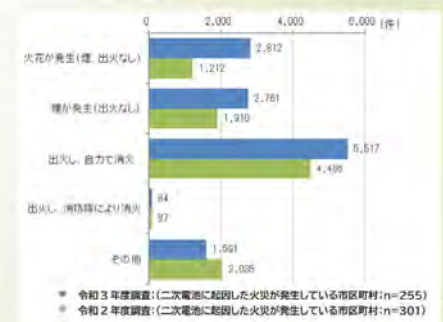


図 3-11 (参考) 火災の年間規模別発生件数

環境省：鋰電池等処理困難物対策集（令和5年2023年度版）2024.3.31

有辦法減少電池引起之火災與延燒嗎？

- 從消防的角度來看，有些可以，有些則沒有辦法。
- 無法應對
電池結構、內部短路、捲繞不均等電池本身的問題
⇒ 只能靠技術的進步與廠商的努力
- 可以應對
保證品質的規定 ⇒ 電器用品安全法、製造物責任法
抑制擴大延燒等的規定 ⇒ 消防法
(針對管制設施) 確立滅火方法 ⇒ 消防的努力
防止外部加熱與短路等的宣導活動 ⇒ 消防等相關機關宣導



有效的滅火方式為何？

- 電池內部起火。
→無法直接朝火源灑水。灑水僅能達到冷卻效果。
- 窒息法滅火的效果也有限。
→化學物質會釋放氧氣。窒息法僅對電池外面的火有效。
- 可燃性液體密封在電池內，雖然泡沫滅火藥劑適用於可燃性液體，在此並無法達到對可燃性液體的滅火效果。
→也有報告顯示，搭載電池的電動車裝船後，泡沫滅火藥劑能夠有效發揮作用。
(唯，此報告採取蓋住車輛周圍，使泡沫不會擴散之措施)
鈴木陽介、2023年度日本火災學會研究發表會概要集、p151、2023.5
- 目前，並沒有絕對有效的方式。
- FM Global(US)、德國保險協會規定使用大容量灑水系統
→使用大量的水滅火。
日本也放寬限制，只要確定灑水系統可以抑制火勢擴大，且符合荷電狀態規範，並與其他可燃物保持一定距離，則不需設置泡沫滅火設備，裝設灑水系統即可通過危險物品場所之檢查（危險物品場所之例外）。

瑕疵產品等其他事件案例

～多起因於消費者的使用方式或產品為瑕疵品～

- 在法令要求下，嚴格執行防範對策，電池性能提升，起火案例減少，同時，製造商及存放倉庫等起火之案例亦減少。此外，從製造商到終端使用者，在這段過程中，電池幾乎未發生過大規模火災。
- 然而，電子用品到消費者之後，內部搭載的鋰離子電池起火燃燒的案件漸多。部分案例甚至因電池起火延燒至其他家具、用品、房屋等。
 - 內建鋰離子電池的機器增加
⇒錯誤的使用方式
ex. 使用不適合的充電器、放在褲子後方口袋導致變形等
 - ⇒電池的瑕疵・導致事故增加
多為進口商品。進口後直接在網路上販售。
發生事故時，進口業者已停業。
符合電器用品安全法基準者，貼有PSE認證標章



防止起火的方式～適用消費者～

- 使用鋰離子電池的產品極多，從大型產品到攜帶型的小電器。只要一般民眾於日常生活中，能正確使用產品，便能大幅減少起火事故。



- 1. 勿大力碰撞電池
⇒ 小心使用，避免造成內部短路
- 2. 充電時，使用指定的充電器
⇒ 充電時以0.1V單位控制。充電時電壓過高會造成起火。

- 3. 勿擠壓造成電池變形
⇒ 電池變形會造成內部短路。



- 4. 勿靠近熱源。
⇒ 電解液蒸發導致內部壓力上升

- 5. 使用經安全認證的產品（PSE認證標章）。



- 6. 使用後遵照指定，分類廢棄。



ご清聴ありがとうございました
Thank you for your attention
感謝聆聽



國內專家主題 (B)
Domestic Expert Topics (B)

儲能設施及鋰電池災害
預警措施暨應變處理

Incidents Advance-Alert and
Emergency Response Mechanism for
Energy Storage Systems and Lithium-
ion Batteries

廖光裕 組長

國立雲林科技大學/中區環境事故
專業技術小組協同計畫主持人

Mr. Kuang-Yu Liao

Team Leader

CHA Central Region Environmental
Incidents Specialist Team,
Co-Project Leader

儲能設施及鋰電池災害預警 措施暨應變處理

-Incidents Advance-Alert and Emergency Response Mechanism for Energy Storage Systems and Lithium-ion Batteries

報告人:廖光裕 協同主持人



01

儲能系統基本架構



儲能系統發展與類型

- 💡 能源效率提升
- 📈 峰值電力需求管理
- ⚡ 增加電網韌性
- ♻️ 再生能源整合



儲能系統 (Energy Storage Systems, ESS) 作為能源轉型與淨零碳排時代下的能源整合技術，對於**電力需求的削峰填谷**與**電網供需韌性**扮演關鍵的角色。隨著 ESS 的設置需求量日漸增加，其**安全性與風險管理**應有足夠的規範依據及**消防量能**支撐。

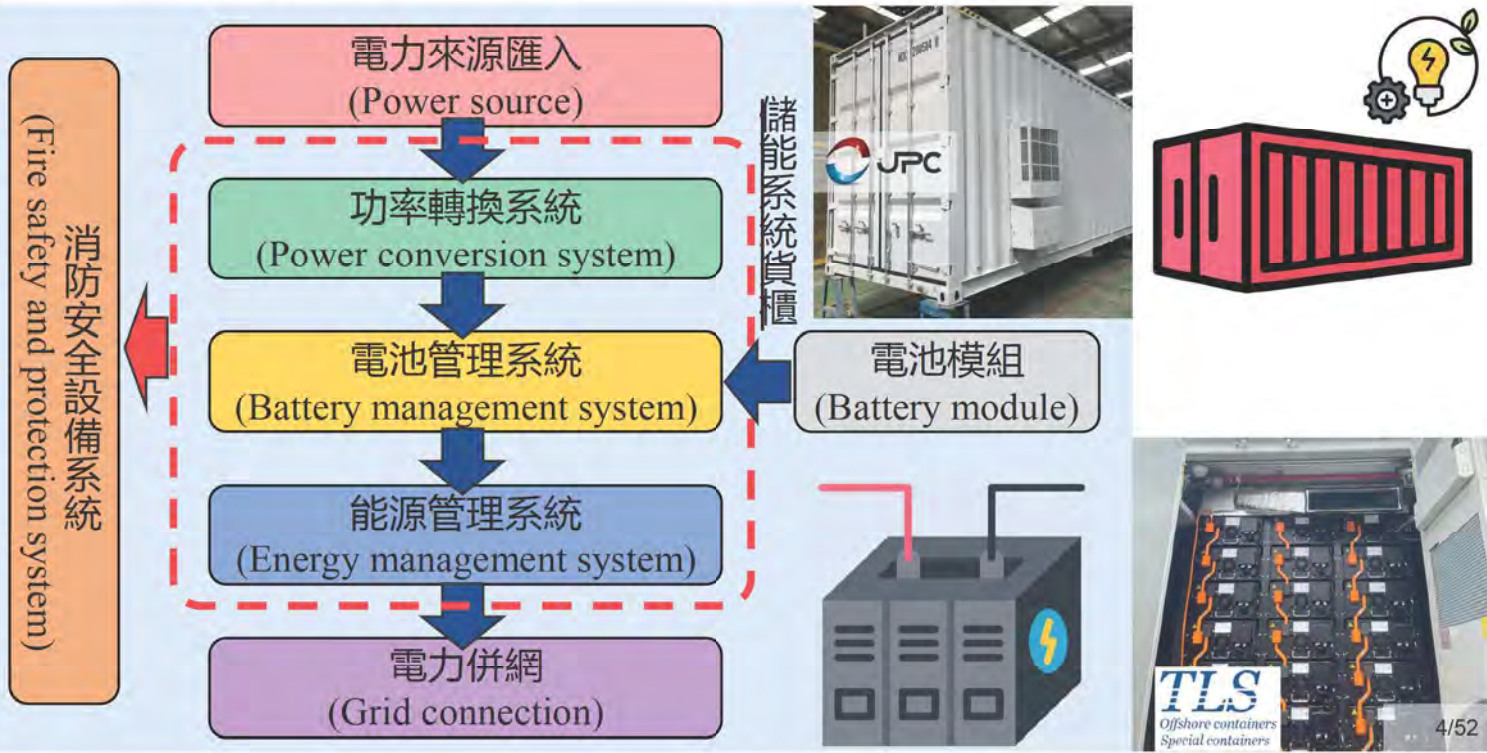
儲能系統 (ESS)

- 機械儲能**
 - ✓ 抽蓄水力儲能(PHS)
 - ✓ 壓縮空氣儲能(CAES)
 - ✓ 飛輪儲能(FES)
- 化學儲能**
 - ✓ 燃料電池
 - ✓ 氫儲能
 - ✓ 合成天然氣
- 電力儲能**
 - ✓ 超級電容(SC)
 - ✓ 超導磁儲能(SMES)
- 熱能儲能**
 - ✓ 熱泵儲能(PHES)
 - ✓ 熔鹽儲能
 - ✓ 液態空氣儲能(LAES)
- 電化學儲能**
 - ✓ 二次電池:鉛酸電池、鋰電池、鈉硫電池等
 - ✓ 液流電池

◆ 戶外或室內設置儲能系統皆討論利用二次電池的電化學儲能方式

資料來源: 能源教育資源中心

儲能系統架構



儲能系統架構-功率轉換系統



- 電力轉換：將來自電池或其他能源的電力轉換為所需的電壓和電流，以供應給負載。
- 過載保護：當負載需求**過大**時，功率轉換系統可以**限制**輸出電流，以防止系統過載和損壞。
- 電壓穩定：功率調節器可以確保輸出電壓穩定，以確保負載得到**穩定的**電源。



功率轉換系統
(Power Conversion system)

5/52

儲能系統架構-電池管理系統與能源管理系統

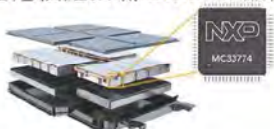
電池管理系統

(Battery management system)

- 熱管理：電池在充電和放電過程中會產生熱量，電池機櫃通常設計有熱管理系統，如散熱風扇或液冷系統，以確保電池的**溫度**在安全範圍內。
- 安全性：電池機櫃的主要功能之一是提供**安全性**，防止電池系統因外部環境或不當使用遭受損壞或發生危險。包括**防火、防水、防塵和防震**特性。
- 能源監控：**監控**和**記錄**能源系統的能源使用情況，以便分析優化。
- 能源優化：使用演算法和策略，最大程度**提高效率**，降低能源成本。
- 能源儲存：將能源存儲在電池或其他儲能設備中，以在需要時供應給負載。

※EMS 通常以雲端方式控制或於儲能貨櫃中設置控制箱

電池模組搭載 BMS IC 晶片

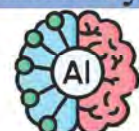


BMS IC和電路板(硬體)



能源管理系統
(Energy management system)

AI 技術導入



6/52

儲能系統架構-消防安全設備系統

消防安全設備系統

(Fire safety and protection system)



- 通風系統：防止**爆燃**機械通風裝置，指引建議設置**兩套**以上，以確保在發生故障或火災時能夠迅速排除有害氣體和煙霧，以保持室內空氣的清潔和安全。
- 防火隔離：電池和其他電子設備放置在防火隔離區域內，**隔離**潛在的火源，並**降低火災擴散**的風險。
- 防火材料：建築設計中通常會使用**防火材料**，如防火牆壁和地板，隔離和抑制火災的擴散。
- 滅火系統：安裝自動滅火系統，如氣體滅火系統或自動噴淋系統，發生火災時迅速滅火。



儲能系統架構-消防安全設備系統

消防安全設備系統

(Fire safety and protection system)



1. 細水霧顆粒極細 ($< 100 \mu\text{m}$)，噴出後**迅速汽化**，能從火源吸收大量熱量，有效降低電池與周邊溫度，阻止熱失控擴散。
2. 蒸發過程中**置換**燃燒空間中的氧氣，削弱火焰持續條件，並隔絕熱輻射，進而抑制燃燒。
3. 「氣體 + 細水霧」混合策略：**氣體抑制火焰**，**細水霧**則提供**後續冷卻**，兩者互補，整體滅火效率更高。
4. 需**較長時間**蒸發並降溫，適用火災初期抑制，對於進入熱失控或高熱釋出的情境，可能無法在短時間內完全抑制火勢。

細水霧滅火系統：

資料來源:全球安防科技網

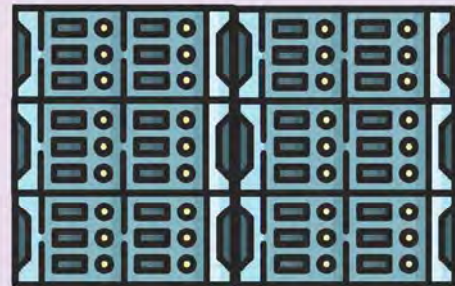
8/52

儲能系統整體架構中可能存在的風險

電池模組 (Battery module)	功率轉換系統 (Power conversion system)	電池管理系統 (Battery management system)	儲能貨櫃通風系統 (Ventilation system)
<ul style="list-style-type: none"> ❑ 電池芯/電池模組熱失控 ❑ 電氣濫用 (Electrical abuse) ❑ 機械濫用 (Mechanical abuse) ❑ 熱濫用 (Thermal abuse) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 功率過載、防護失效 ✓ 局部高溫、電弧產生火花 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 控制失效致異常充放電 ◆ 偵測異常電池不及時，風險加劇 ◆ 冷卻系統異常導致熱無法如期排出導致熱蓄積 	<p>若通風系統無法在電池發生熱失控後有效排出可燃氣體，將導致貨櫃內部可燃氣體濃度達到燃燒範圍</p>

※ 通常直接整合成電池櫃的系統

- (Energy storage container)
儲能貨櫃
- ✓ 貨櫃本身設計應具有**防火及通風洩壓**設計，失效時可能會造成火勢蔓延至周圍貨櫃
 - ✓ 火勢發生在貨櫃內會造成氧氣耗盡，若突然有新鮮空氣進入將產生**爆燃**
 - ✓ 滅火系統若在貨櫃與外部電力未中斷時進行灑水，可能導致短路引起其它電氣火災



9/52

02

國內外儲能系統相關災例



10/52

國外儲能系統相關災例

美國亞利桑那州 Surprise (McMicken) 2.16 MWh BESS 爆炸事件

- **日期:** 2019/04/19
- **地點:** 美國亞利桑那州 Surprise 市 McMicken Battery Energy Storage System (BESS) · 由 Arizona Public Service (APS) 公司營運
- **規模:** 設施容量 2.16 MWh · 採用 LG Chem NMC 鋰電池模組 (18650 型電芯) ，安裝於一個戶外金屬儲能櫃。
- **案件說明:** 下午偵測到儲能櫃冒煙後，消防與 HazMat 小組到場監測並等待氣體濃度下降，**開門後因通風導致氣體爆燃**，產生火球與衝擊波。
- **傷亡:** 此次事故無居民傷亡，但爆炸造成 4 名消防員重傷



資料來源: McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations



11/52

國外儲能系統相關災例-時序

McMicken Battery Energy Storage System Event

監控系統觸發 **煙霧警報**，電池儲能櫃內部已出現熱失控徵兆，產生煙霧與氣體。

消防隊到場後發現煙霧來自鋰電池儲能櫃，立即通知 **HazMat** 危害物質應變小組支援。



資料來源: McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations



12/52

國外儲能系統相關災例

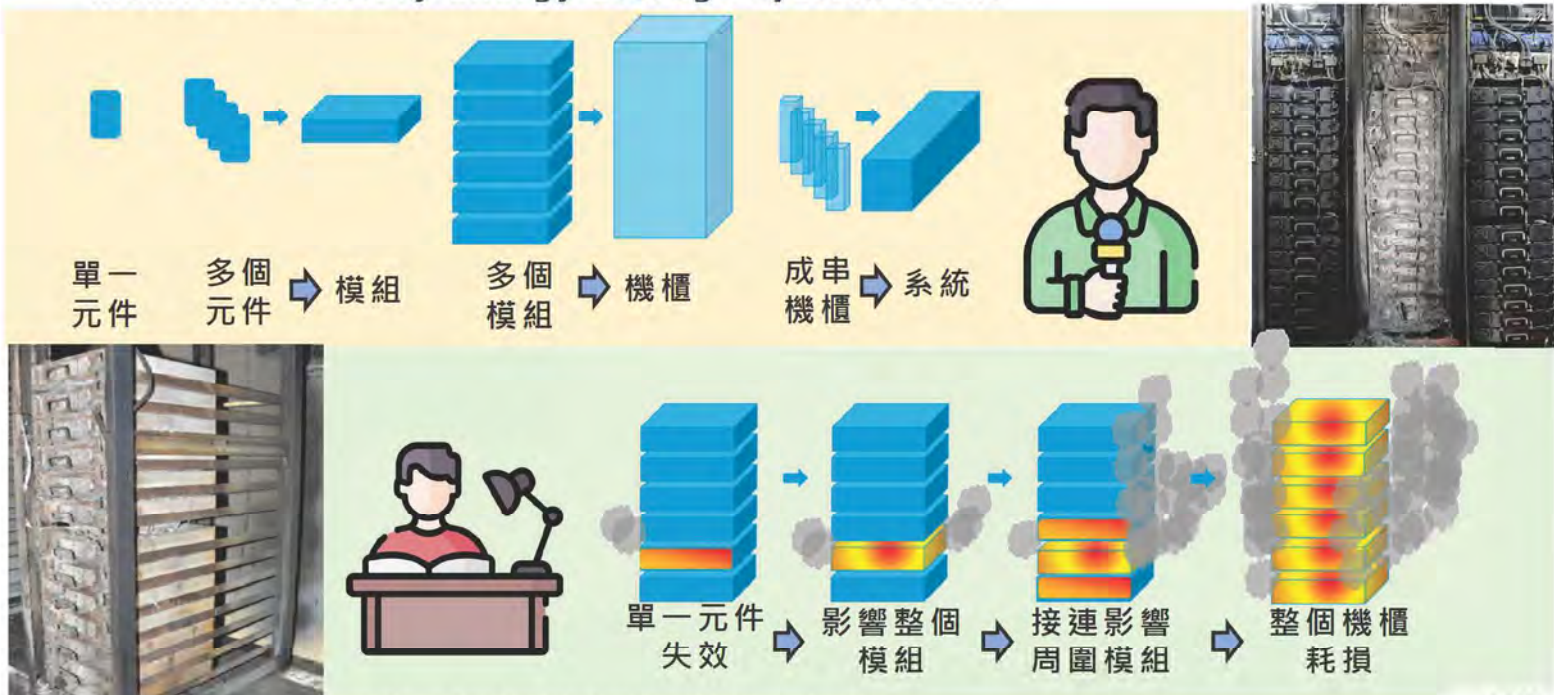
McMicken Battery Energy Storage System Event



資料來源: McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations

國外儲能系統相關災例

McMicken Battery Energy Storage System Event

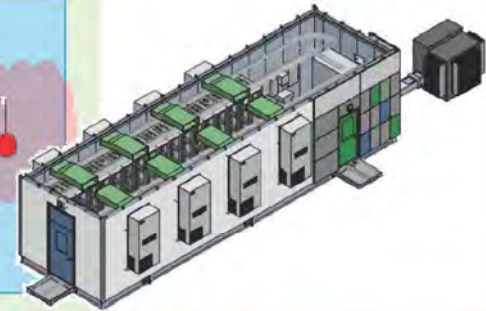


資料來源: McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations

國外儲能系統相關災例

McMicken Battery Energy Storage System Event

當發生熱失控時novec1230發揮作用



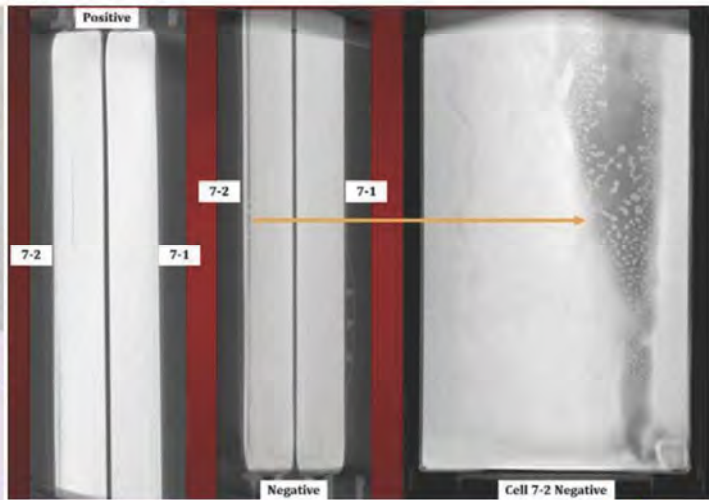
當熱失控連續反應，novec1230從容器中被釋放出並生成更多氣體時



資料來源: McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations

國外儲能系統相關災例

McMicken Battery Energy Storage System Event



資料來源: McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations

國外儲能系統相關災例

McMicken Battery Energy Storage System Event

Test 07
Phi=1, Empty, Closed
35% H₂, 25% CO, 20% CO₂,
15% CH₄, 5% C₂H₄



資料來源: Battery Energy Storage Systems - thermal runaway and explosion testing for Lithium-ion battery gas ([Video source](#))

17/52

國外儲能系統相關災例

McMicken Battery Energy Storage System Event



資料來源: BESS Explosions: Summary of BakerRisk Research ([Video source](#))

18/52

國外儲能系統相關災例-結論

McMicken Battery Energy Storage System Event

➤ **密閉式儲能櫃屬**，無**強制排氣/通風**及**爆壓釋放結構**，導致大量**可燃氣體積聚**在爆炸極限範圍內，消防人員亦未充分掌握櫃內可燃氣體積聚風險，打開櫃門時未採用遠端通風或氣體濃度檢測流程，瞬間通風觸發爆燃。

➤ 建議主管機關要求 BESS 供應商提供 worst-case scenario 氣體釋放量、爆炸壓力計算，作為審查及應變的參考，制定鋰電池儲能系統火災專屬 SOP，包含進入前的**氣體監測**、**遙控開門及安全距離指引**。

➤ 改善 BESS 設計，增加**防火分隔**、**強制排氣與爆壓釋放系統**，並整合 UL 9540A 測試結果。



19/52

國外儲能系統相關災例

美國加州 Moss Landing Vistra BESS

- ◆ **日期:** 2025/01/16
- ◆ **地點:** 美國加州 Monterey County Moss Landing 電廠內的 Vistra 鋰電池儲能系統 (BESS)，為全球最大型室內電池儲能設施之一。
- ◆ **規模:** 300 MW ESS 內部起火，火勢集中於混凝土建築內
- ◆ **案件說明:** 位於**混凝土廠房內**的 300 MW ESS 起火後在高溫混凝土廠房內擴散，釋出大量濃煙與有毒氣體火情持續多日才初步控制，期間曾於數日再度復燃。
- ◆ **傷亡:** 4 人重傷



國外儲能系統相關災例

美國加州 Moss Landing Vistra BESS



資料來源: LA wildfires: One of world's largest battery storage plants catches fire in California ([Video source](#))

國外儲能系統相關災例-時序

美國加州 Moss Landing Vistra BESS

Phase 1 (300 MW / 1,200 MWh) 電池系統內部開始起火，濃煙從混凝土機房冒出。

17:40

Monterey County 下達 1,200-1,500 名居民撤離令，同時關閉 Highway 1 附近道路。

(Jan16)
15:00

火勢迅速蔓延，火舌與濃黑煙猛烈噴出，消防部門初步抵達。

18:30



火勢再度猛烈，第二波燃燒高峰出現，但未超出原始受影響範圍。

(Jan18)

火災殘餘物料再次自燃，經控管後於 24 小時內再度受控。

(Jan17)
13:00

初步火勢已大幅減弱，煙霧明顯減少，EPA 建立九個空氣監測站進行追蹤。

(Feb 15)

資料來源: McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations

國外儲能系統相關災例

美國加州 Moss Landing Vistra BESS



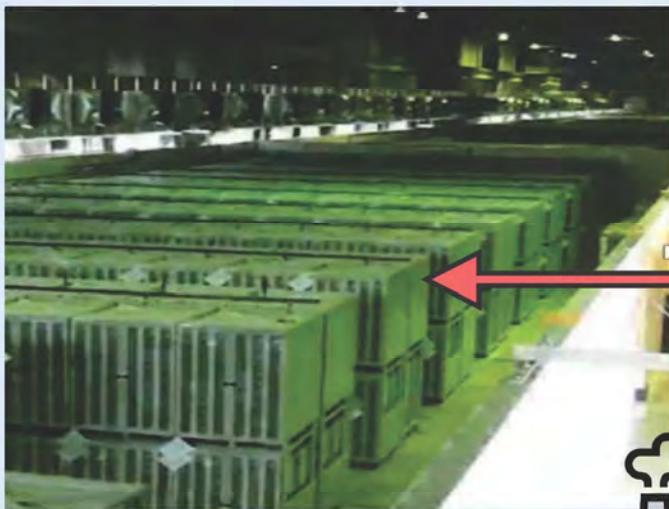
- ✓ 三樓有最高之天花板與展現整個倉庫之寬度與長度，中間沒有牆壁間隔。
- ✓ 三樓具有通往二樓之鴻溝，鴻溝使防火安全標準無法達成。
- ✓ 所有樓層:如果沒有防火塗層，鋼筋容易融化。

資料來源: Never Again Moss Landing "why and how findings by the central naml investigation team"

23/52

國外儲能系統相關災例

美國加州 Moss Landing Vistra BESS



PUC事故報告F-19頁，
2021年9月4日
Vistra水霧



Vistra社群會議，
2024年三月與四月



資料來源: Never Again Moss Landing "why and how findings by the central naml investigation team"

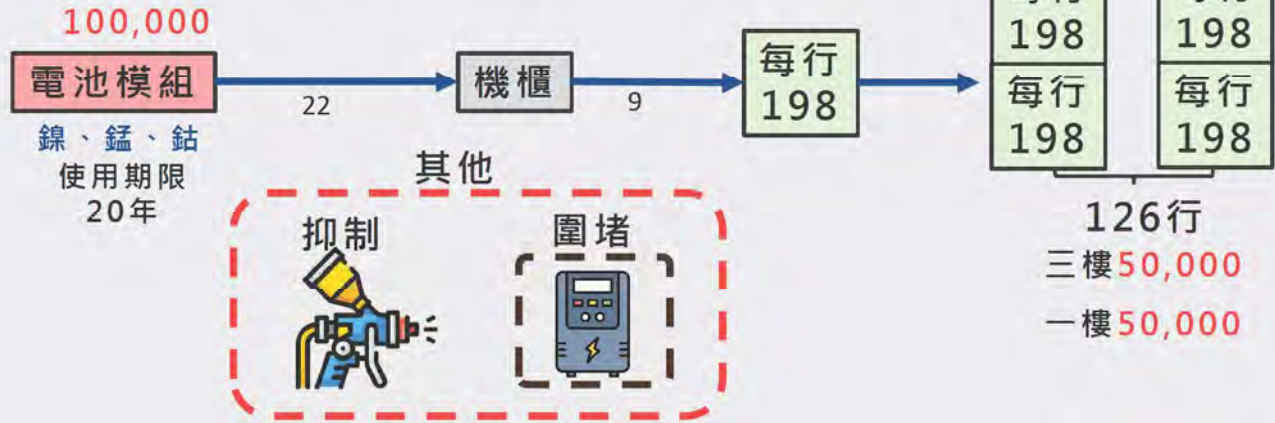
24/52

國外儲能系統相關災例

美國加州 Moss Landing Vistra BESS

儲存物品

初步調查與縣規劃資料
2025年1月21日BoS能源會議



粗估約有數千萬顆 **18650** 電池芯參與此次事故

資料來源: Never Again Moss Landing "why and how findings by the central naml investigation team"

國外儲能系統相關災例

美國加州 Moss Landing Vistra BESS



資料來源: Another disaster has struck Monterey County. (Source) · Never Again Moss Landing "why and how findings by the central naml investigation team"

國外儲能系統相關災例-結論

美國加州 Moss Landing Vistra BESS

- 火災初期即超出傳統滅火系統能力，消防單位經評估採取控制燃燒與**外圍防護策略**，避免直接進入高危險區域，以降低二次爆炸風險。
- 火災煙霧與落塵中檢出大量**鎳、鈷、錳**等重金屬，部分沉降至 Elkhorn Slough 濕地及農業區土壤，濃度為背景值數百倍，且居民陸續出現**喉嚨痛、頭痛、呼吸道刺激**等症狀，顯示**局部污染與健康影響**仍需長期追蹤，土壤與水體的重金屬殘留可能對當地農業生態造成累積性污染風險。
- 單一建築內高能量密度帶來極大熱負荷與結構連鎖崩塌風險，且熱失控可自供氧燃燒，難以透過缺氧或傳統消防方式抑制。
- 事故起因於**單一模組或機櫃的熱失控**，引發高溫、火焰與大量可燃氣體釋放，Phase 1 為室內**高密度堆疊設計**，約 10 萬顆模組集中於封閉建築，缺乏足夠**防火隔間與隔熱屏障**，導致熱量快速跨樓層傳導。



27/52

國外儲能系統相關災例

韓國華城 (Hwaseong) Aricell 鋰電池製造廠火災

- **日期:** 2019/06/24
- **地點:** 韓國京畿道華城市西部工業區的 Aricell 電池製造工廠位於首爾南方約 45 公里。
- **規模:** 二樓電池包裝與檢測作業區，當時現場存放約 35,000 顆鋰電池。
- **案件說明:** 火災疑因電池在包裝過程中發生**異常短路或熱失控**，造成初始爆炸後火焰迅速蔓延引發**多次爆燃**並釋放**高濃度有毒煙霧**。現場部分臨時工人因吸入煙霧迅速失去意識，無法及時逃生。
- **傷亡:** 事故共造成 23 人死亡、8 人受傷，其中大多數罹難者為外籍臨時工（18 名中國籍、1 名老撾籍，其餘為韓國籍）。



28/52

國外儲能系統相關災例

韓國華城 (Hwaseong) Aricell 鋰電池製造廠火災



24 June

Hwaseong, South Korea



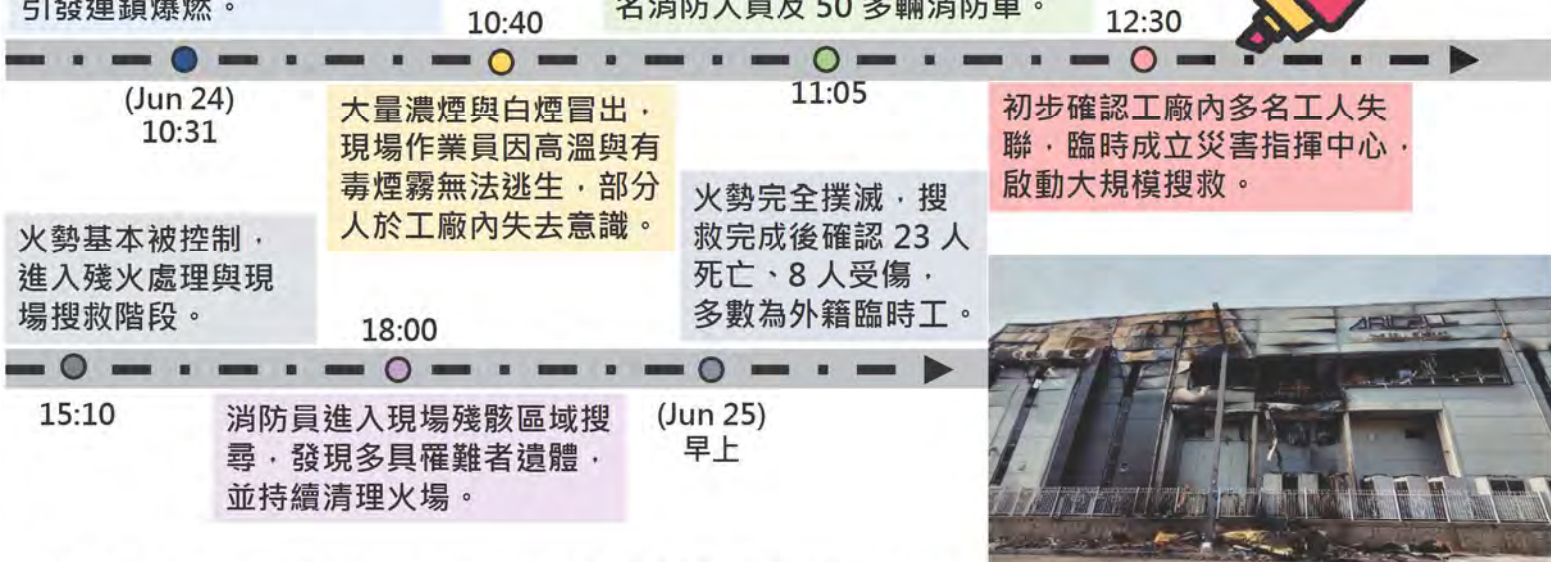
資料來源: 경기도(京畿道) 종합보고서 : 《눈물까지 통역해 달라-경기도 전지공장 화재사고, 그 기록과 과제》·KILSH (韓國勞動安全 NGO / 學術聯盟) 初步報告 : 《진상규명·재발방지팀 1차 보고서 29/52

國外儲能系統相關災例-時序

韓國華城 (Hwaseong) Aricell 鋰電池製造廠火災

華城市西部工業區的 Aricell 電池工廠二樓包裝區發生爆炸並起火，火勢迅速擴散並引發連鎖爆燃。

Hwaseong 消防部門接獲報案後趕赴現場，因火勢猛烈隨即升級為 2 級緊急響應，動員超過 145 名消防人員及 50 多輛消防車。



資料來源: 경기도(京畿道) 종합보고서 : 《눈물까지 통역해 달라-경기도 전지공장 화재사고, 그 기록과 과제》·KILSH (韓國勞動安全 NGO / 學術聯盟) 初步報告 : 《진상규명·재발방지팀 1차 보고서 30/52

國外儲能系統相關災例-時序

韓國華城 (Hwaseong) Aricell 鋰電池製造廠火災



10點30分03秒
最初火災發生
電池第一次爆炸



10點30分14秒
過11秒後
初步移動電池



10點30分28秒
過25秒後
電池二次爆炸



10點30分45秒
過42秒後
監視器螢幕關閉

高密度存放:2樓僅 200 m² 空間內存放**大量鋰電池**，無防火分隔、無防火隔間、無爆壓釋放裝置，一旦進入熱失控難以控制。

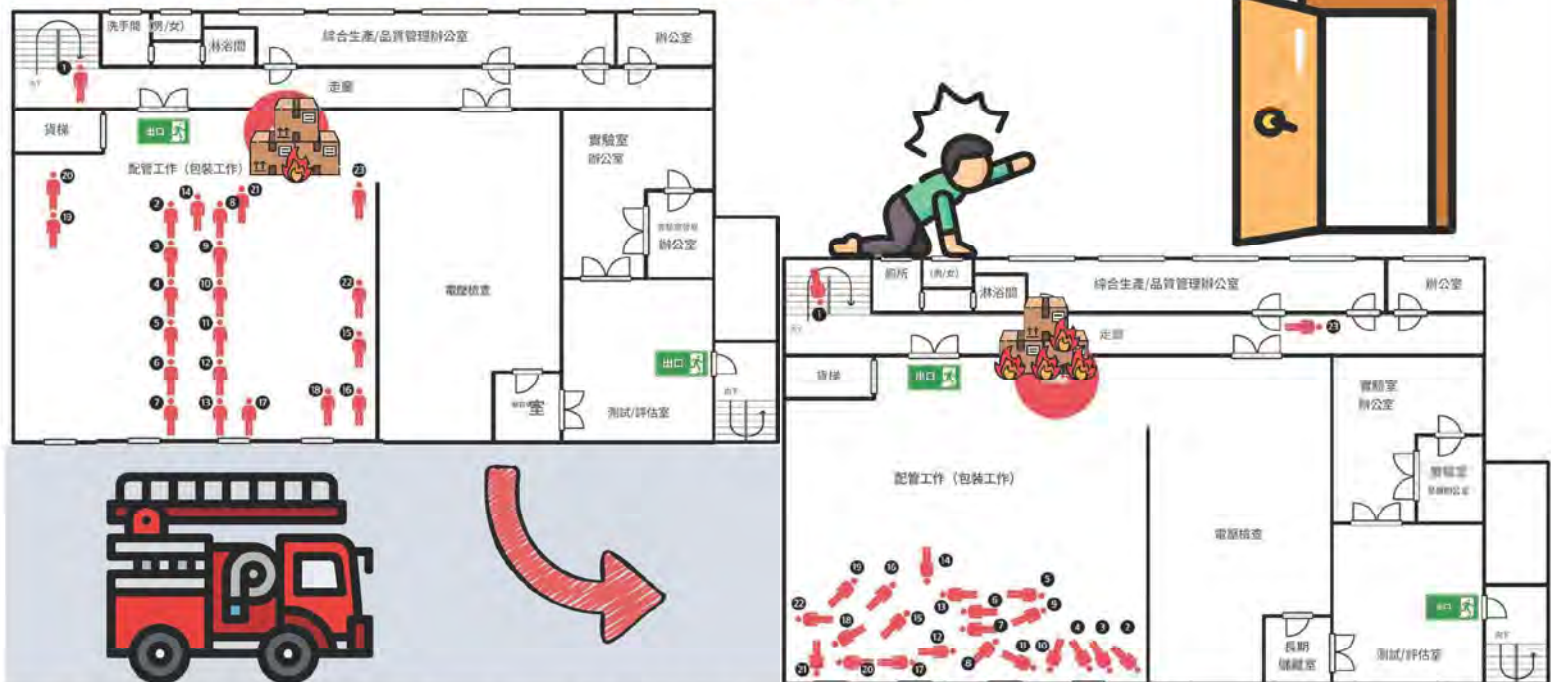
缺乏自動消防安全系統:工廠內**沒有**自動灑水或惰性氣體滅火系統，也未配置毒性煙霧排放與通風裝置，火災進程迅速造成現場工人無法逃生。

管理與安全文化缺失:臨時外包工占多數，對工廠結構與逃生路線不熟悉，且缺乏基礎火災應變訓練，安全管理鬆散，**疏散路線部分上鎖**或標示不清，進一步阻礙逃生。

資料來源: 경기도(京畿道) 종합보고서 : 《눈물까지 통역해 달라-경기도 전지공장 화재사고, 그 기록과 과제》·KILSH (韓國勞動安全 NGO / 學術聯盟) 初步報告 : 《진상규명·재발방지팀 1차 보고서》 31/52

國外儲能系統相關災例-時序

韓國華城 (Hwaseong) Aricell 鋰電池製造廠火災



資料來源: 경기도(京畿道) 종합보고서 : 《눈물까지 통역해 달라-경기도 전지공장 화재사고, 그 기록과 과제》·KILSH (韓國勞動安全 NGO / 學術聯盟) 初步報告 : 《진상규명·재발방지팀 1차 보고서》 32/52

國外儲能系統相關災例-時序

韓國華城 (Hwaseong) Aricell 鋰電池製造廠火災



資料來源: 경기도(京畿道) 종합보고서 : 《눈물까지 통역해 달라-경기도 전기공화 화재사고, 그 기록과 과제》, KILSH (韓國勞動安全 NGO / 學術聯盟) 初步報告 : 《진상규명·재발방지팀 1차 보고서》 33/52

國外儲能系統相關災例-時序

韓國華城 (Hwaseong) Aricell 鋰電池製造廠火災

✓ 廠內堆放約35,000顆**鋰硫化亞鈉** **一次性電池**，其具高能量密度及存放介於高電量狀態，廠內未具**防火隔間**、消防系統未啟動抑制、人員第一時間錯估形勢、逃生演練及動線規劃不良，導致引發嚴重事故。

✓ 一開始考量**金屬鋰原料**，避免大量用水滅火，後續研判燃燒面積已極大，且電池反應不可逆，才決定使用大量水冷卻降溫。



國外儲能系統相關災例

電池製程流程與潛在可能危害

分區	製程內容	潛在危害
原料儲存區	儲放活性材料粉末 (石墨、LFP、NMC、鋰鹽)、有機溶劑	粉塵爆炸、 有機溶劑蒸發導致可燃氣體散佈
混合與塗佈區	漿料 (Slurry) 製作→塗佈於箔材→乾燥 (120-130 °C)	有機溶劑火災 、粉塵爆炸、短路風險
壓實與分切區	電極壓平/切割成尺寸	機械破壞隔膜短路
乾燥區 (真空或惰性氣氛)	真空或惰性氣體乾燥以除去殘留溶劑	殘留溶劑受高溫加熱後起火
電芯組裝與注液區	注入電解液、電極隔膜捲製 / 封裝	電解液洩漏、注液污染短路、化學危害
形成/老化區	初次充放電循環 (SEI 形成)	過充/過熱引熱失控 、毒氣如 HF 產生
模組/PACK 組裝區	電池串並聯、BMS 與冷卻 / 外殼整合	電氣短路、連鎖熱失控、BMS 故障、 點焊產生火花
測試驗證區	含短路、跌落、過充測試	測試 失敗產品若未區隔排出 ，可能後續蔓延
成品倉儲區	完成 PACK 的儲存與待出貨	高架 堆疊導致物理性損傷 、 倉庫溫度升高導致熱蓄積
廢品與返工區	處理不良品電芯、返工、更換模組	不良電芯熱失控或化學洩漏風險

35/52

國外儲能系統相關災例

結論與事故學習

救災前的資訊化及日常準備

- ◆ 危險物管理資訊：廠區須提供消防單位即時存量資訊 (電池總量、SOC 電量狀態、化學品位置)。
- ◆ 火災模型演練：業者可偕同消防人員定期針對不同類型災害進行演練包刮初期主被動災害控制、逃生動線、現場情勢管控...
- ◆ 針對特殊廠域如電池製造廠、模組廠、電動機車廠... 進行防火區劃、消防系統、**電池電量/存量及環境人員**的要求及管理。

防火分區設計

1. 每個防火區域不得超過 600~1,000 kWh 能量密度 (NFPA 855)
2. 成品倉儲需設置 防火牆、防爆隔間，並**設置**強制通風/排煙管道
3. 電池模組堆疊**不得超過 2 層**，樣品保存須保持距離，並禁止與大量金屬鋰原料及易燃性 (電解液) 物質共同存放。



36/52

國外儲能系統相關災例 結論與事故學習

消防系統配置

1. 配置早期熱異常/失控的**監測系統** (溫度、VOC、可燃氣體感測器、IR 熱顯像)
2. 配置**自動滅火系統**如水霧進行滅火及降溫阻止或延緩熱失控蔓延速度
3. 可配置認證的 D 類滅火器針對小規模的失控進行初步主動滅火

電池電量/存量管理

1. 模組、成品在倉儲或製程中應盡可能降低電量 SOC，延緩熱失控擴散的速度。
2. 建立每棟/每區的**存儲能量上限 (MWh)**

環境與人員管理

1. 儲存環境**溫度**及**濕度**管理。
2. 制定逃生指引及定期非預期性的演練

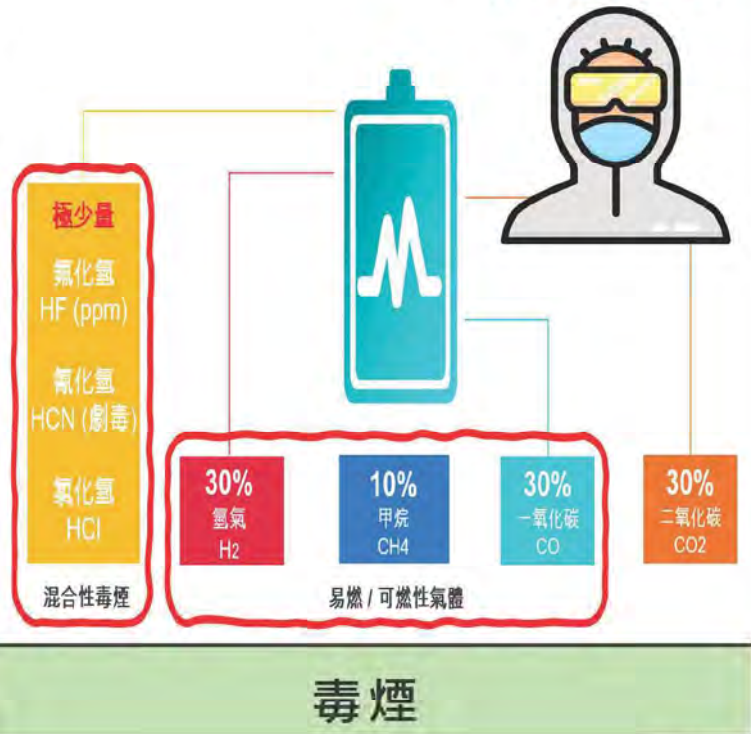
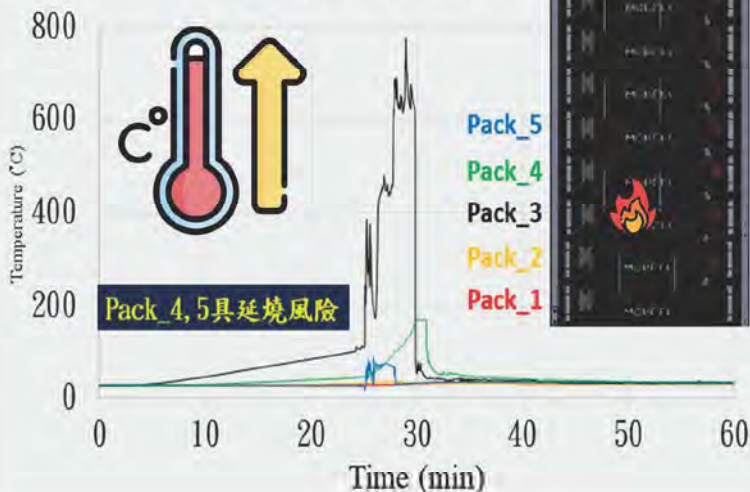


37/52

鋰電池熱失控危害

高溫

電池溫度曲線



38/52

儲能櫃失控測試實驗

近年來，台灣本地陸續發生鋰電池起火、爆炸與延燒案例，但目前尚缺乏針對大型儲能櫃之實地熱失控測試與消防應變模擬，故消防署消防科技研發辦公室攜手臺灣水泥公司與國立雲林科技大學，共同執行「**儲能櫃失控測試實驗與消防應變研究案**」。

研究目的主要為下列五點：

1. **模擬鋰電池模組於櫃體中熱失控情境**，觀察其溫度擴散與氣體釋放行為。
2. **比較不同櫃體材質**（如金屬、水泥）對熱傳導、燃燒壓力與消防效率之影響。
3. **驗證不同滅火介入策略**（灌水、細水霧、消防機器人等）之可行性與安全性。
4. 建立消防射水角度、水量、水壓與介入時機之應變參數與實證建議。
5. 彙整研究成果，作為消防搶救訓練教材、政策規劃與法規修訂之基礎依據。



Fire Science and Technology Research and Development Office
內政部消防署消防科技研發辦公室

39/52

實驗設計

研究分三階段進行：

1. 第一階段：建置以高強度水泥製成之儲能櫃，內部配置鋰三元電池模組，進行單點加熱誘發熱失控，**觀察火勢啟動與灌水抑制效果**。
2. 第二階段：採用**金屬與水泥櫃為對照組**，進行封閉式加嚴失控測試，記錄熱傳模式、氣體擴散、櫃體壓力與溫度變化。
3. 第三階段：導入自研消防裝備與滅火機具，於完全熱失控狀態下進行控制性介入，驗證搶救策略與裝備效能。



南投訓練中心 - 09/05 - 實驗中

40/52

第一次實驗

採用水泥櫃體，**模擬單一電芯熱失控後以目視起火立即灌水**，驗證人工注水法能否有效阻止擴散與復燃。

測試開始



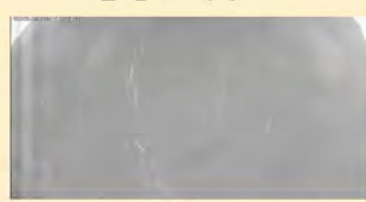
10:37

電芯溫度470°C




10:40

水淹完成
電芯溫度33°C



10:14




10:38



起火
電芯溫度97°C

10:42



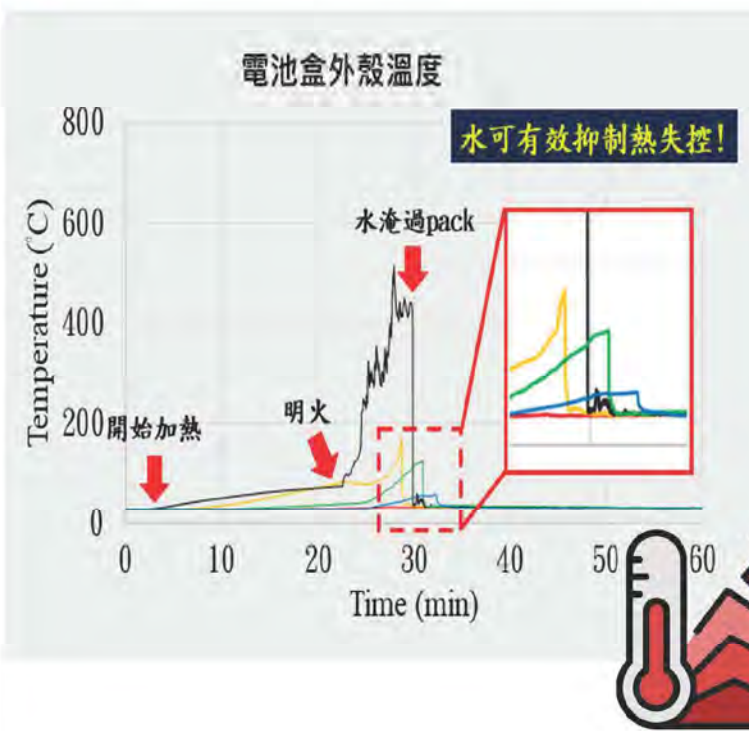
電芯溫度775°C



R
I
S
K

41/52

第一次實驗溫度曲線



- ◆ 電池溫度曲線：實驗開始5分鐘加熱片達250°C，開始對電池加熱。第23.5分鐘電池溫度達97°C，失控發生。第28.9分鐘溫度升至750°C，正上方第4、5電池盒溫度亦升170°C及100°C，第29.5分鐘水淹至失控組溫度隨即陡降。
- ◆ 電池盒溫度曲線：與電池差異不大，最明顯為灌水後5秒，溫度即呈現斷崖式的降至50°C以內。



第二次實驗

金屬櫃體VS水泥櫃體



金屬櫃50秒後鋼樑撈彎，門板釋壓開啟



水泥櫃呈現長時間高溫悶燒狀態，具氣體累積與復燃風險

實驗證實水泥櫃與金屬櫃因**材質差異**，對**火勢擴散行為**有顯著影響：

- 金屬櫃導熱快、熱釋壓劇烈，易引發瞬間火球與門板炸裂
- 水泥櫃則蓄熱高，熱擴速度慢但火場維持時間長，形成高溫缺氧燃燒狀態。

43/52

03

儲能系統設置及消防安全相關規範



44/52



45/52

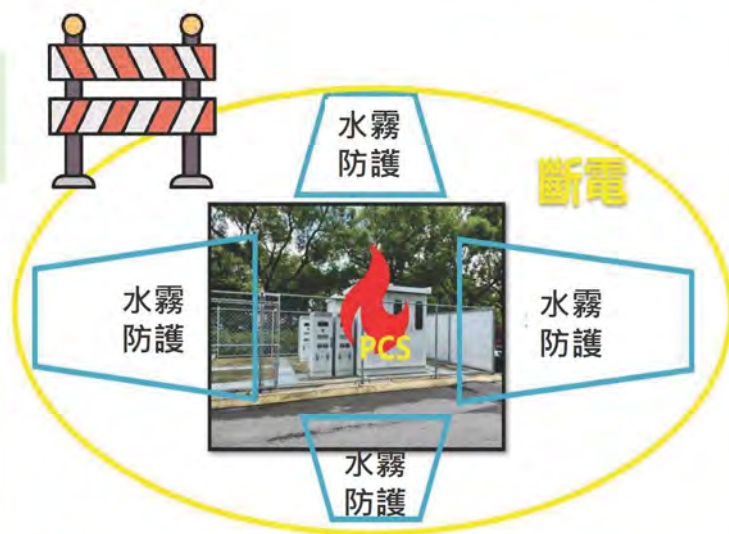
搶救方式

- 接近事故貨櫃式ESS貨櫃時，必續以**45度角**或側面接近，已降溫防禦式作戰

安全區域 安全區域 安全區域



安全區域 安全區域 安全區域



- 接近事故**ESS-PCS交直流轉換系統**(儲能變流器)，斷電後水霧防護



- 未來許多建築物頂部設置有太陽能板，卻可能在地下室機房內配置有電池櫃
- 當地消防局進行消防會勘時，原規劃空間通常是空的，且都沒有說明會置放儲能設施(電池櫃)，等會勘完後才將儲能設施進駐
- 目前法令尚未完整規範，就不屬公共危險範疇，根據各類場所消防安全設備設置標準，只需一支滅火器和60A的防火門就合法
- 該場所危險性很大，一但失火，不但搶救困難，濃煙難排，而且需大量消防用水灌救，災後如何排水以及長時間受火害之建築物結構受損，都值得在設計時就應詳加深思考量

儲能系統設置國內外規範

針對小型家用儲能設備 (<20 kWh)

- ◆ 經濟部標準檢驗局 (下稱標準局) 於113年12月20日公告，將「家用儲能設備」及「電力轉換系統」等2項產品納入應施檢驗範圍，以保護消費者權益。
- ◆ 「家用儲能設備」檢驗範圍為電池容量在20度電 (kWh) 以下，「電力轉換系統」檢驗範圍為容量在20 kW以下，具備雙向電力傳輸功能或具連接轉換太陽光電發電設備者自115年7月1日起，應完成檢驗程序後，始得輸入或運出廠場。

裝置	檢驗標準	檢驗方式
放置型鋰儲能裝置(限檢驗電池容量 20kWh以下，且電能系統轉換裝置 20kW 以下者)	1. CNS 63056 (110年版) (需執行延燒)	型式認可 逐批檢驗 或 驗證登錄 (2+4,5,7)
	2. CNS 62477-1 (112年版) 或 具有太陽光電模組輸入者：CNS 15426-1 (100年版) 及CNS 15426-2 (102年版)	
	3. CNS 14674-1 (112年版) 及CNS 14674-3 (111年版) 或 CNS14674-2 (112年版) 及CNS 14674-4 (111年版)	
	4. CNS 15382 (107年版) 或 併網型儲能系統電力轉換系統併聯要求技術規範 (113年版)	
	5. 儲能電力轉換系統之資安檢測技術規範 (113年版)	
	6. CNS15663第5節「含有標示」 (102年版)	

儲能系統國內外消防安全規範

表 6 國內外儲能系統消防安全規範

規範名稱	發布年份	適用範圍	主要內容與要求
國際規範			
NFPA 855	2023	ESS 容量分級及安全設計	室內外分艙、耐火隔牆 (2小時以上)、防爆排風、自動火災抑制系統、防火間距及消防安全設計。
UL 9540 / UL 9540A	2025	ESS 系統整體安全認證	UL 9540系統安全認證；UL 9540A實驗量測熱失控蔓延，評估火災爆炸風險，指導現場間距及防火設計調整。
NFPA 1 Chapter 52	2024	ESS 消防系統連動	ESS 必須與消防通報系統、煙霧及可燃氣體偵測系統連動，實現自動警報與抑制，管控火勢及毒氣風險。
IFC §1207	2024	ESS 室內外防火規範	室外 ESS 保持 ≥3公尺防火間距；室內配置密閉排氣及自動滅火系統，整合 NFPA 855 與 UL 9540A要求。
IEC 62933-5-1	2024	ESS 風險識別與管理	SIL分級風險管理，涵蓋火災、爆炸、洩漏及系統失控，提出設計緩解及系統驗證指引。
PAS 63100 (BSI)	2024	微型住宅/商用 ESS (≤20 kWh)	防火封裝、通風設施、燃氣及煙霧偵測、火源隔離及細水霧等初期滅火設計標準。
台灣地區規範			
BSMI 戶外電池儲能系統案場驗證技術規範	2024	戶外 ESS 案場設置	要求通過 UL 9540A 或 CNS 等價熱失控蔓延測試，與現場消防設計整合，確保案場安全性。
消防署《提升儲能系統消防安全管理指引》	2024	容量≥20 kWh ESS	強制氣體偵測 (H ₂ 、CO)、水霧/濕式撒水系統 (灑水密度12.2 L/m ² /min，壓力≥0.1 MPa，持續30分鐘以上)、排煙設計及火源隔離牆。

49/52

儲能系統國內外消防安全規範

表 7 戶外儲能系統案場驗證相關依據與測試項目



項目類別	驗證內容	依據法規或標準	驗證目的
火災防護測試	自動滅火啟動、感測模組反應時間、熱偵測觸發點	消防署《提升儲能系統消防安全管理指引》	確保異常升溫時能及時 啟動滅火機制
通風洩壓測試	自然/強制排氣效能、煙霧導流、防爆閥運作情境	消防署《提升儲能系統消防安全管理指引》	避免可燃 氣體累積 與壓力失控
電氣安全測試	緊急切斷開關、保險絲/斷路器作用、BMS 故障通報	《用戶用電設備裝置規則》、IEC 62933	防止電氣異常造成 連鎖災害
系統整合測試	災防系統、自動通報、緊急電源切換等整合效能	地方政府實地驗收規範、台電備查流程	確保與廠區既有系統順利整合

50/52

儲能系統常見滅火方式

表 8 儲能系統常見滅火系統配置



滅火方式	機制	優點	缺點 / 限制	適用場景
自動灑水系統	大量水流降溫	成熟技術、成本低、降溫效果佳	用水多、對電子 / 設備可能損害	室外 BESS、機房開放架構
細水霧系統	高壓微霧汽化吸熱、抑制燃燒	適合狹小空間、水災初期抑制	穿透力較差、較長時間需維持噴灑	容器內部、密閉或敏感區域
氣體滅火系統	降氧滅火、不干擾電氣系統	無殘留、設備友好	無法直接降低溫度、易回燃、需配置氣密結構	控制櫃內、電子室、與其他系統搭配
濃縮氣溶膠系統	微粒與氣體混合中止燃燒反應鏈	輕巧、直接進入模組間隙有效滅火	冷卻效果較弱、對大型模組難完全控制	機櫃型 ESS、小型密閉配置
直接注入型滅火 (Direct injection)	直接作用於熱失控模組	快速、針對性強、可防止蔓延	設計複雜、成本高、需 UL 9540A 驗證	高階模組應用、新興 ESS 技術

※滅火系統主要作用在火災初期迅速抑制，若火勢規模擴大，滅火系統便會無效

51/52

總結 - 救災救護建議

搶救前 (Pre-incident)

- 制定緊急應變計畫 (ERP)
- 消防單位演練與熟悉設備
- 快速取得相關單位技術協助

搶救中 (During Incident)

- ✓ 確認並嚴守警戒距離
- ✓ 穿戴足夠防護裝備
- ✓ 封鎖場域、控制火勢蔓延
- ✓ 防範爆炸與二次燃燒
- ✓ 與電力系統隔離


搶救後 (Post-incident)

- 現場管制待命
- 事故再檢討與強化



針對電池工廠內部動線與區域分佈

52/52



感謝您的聆聽～～

Thank you for your time and attention.

 YunTech

國內專家主題 (C)
Domestic Expert Topics (C)

新世代延展實境 XR 化災訓練
平台開發與未來研發介紹
Introduction — New Generation
Extended Reality XR Chemical
Incident Training Application and
Future Development

陳新友 經理
財團法人工業技術研究院/環境事故
專業諮詢監控中心計畫主持人

Mr. Shin-Yu Chen

Manager

Industrial Technology Research Institute
CHA Promoting Professional and Technical
Service Project of Consulting, Monitoring and
Hazard Prevention at Environmental
Accidents, Project Leader



新世代延展實境XR化災 訓練平台開發與未來研發介紹

工業技術研究院緊急應變諮詢中心

陳新友 經理/正工程師



Copyright ITRI 工業技術研究院



背景說明

毒化災事故
近10年平均

450 件

事故搶救
黃金期

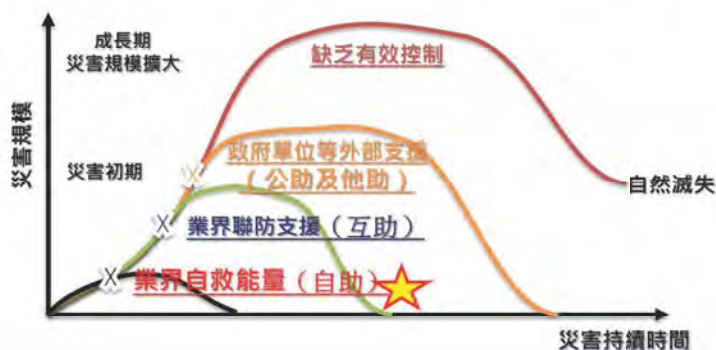
30 min

職場安全
訓練/回訓

3hr/3年

化災應變
訓練

無明確
規定



- ◆ 歷史重大事故案例
無法重建場景
- ◆ 傳統訓練模式
無法模擬洩漏樣態



Copyright ITRI 工業技術研究院



應變訓練學習模式轉變契合概念

傳統教學訓練模式

- ❑ 化災洩漏情境擬真度不足
- ❑ 化學品運輸載具與訓練地點選擇受限
- ❑ 運輸容器規格變化多，應變工具須與時俱進
- ❑ 訓練場地建置與實地實物操作限制性高

情境仿真與XR虛擬實境

- ❑ 同尺寸設備元件並搭配煙霧與水壓設計，仿真洩漏情境
- ❑ 等比例縮小機具，增加多種訓能與便利性
- ❑ 整合各式閥件，功能導向運用更靈活
- ❑ 導入XR虛擬實境，結合災害情境處置經驗，整合訓練平台



Copyright ITRI 工業技術研究院



移動式仿真訓練模組載具

情境仿真與XR虛擬實境

- ❑ 同尺寸設備元件並搭配煙霧與水壓設計，仿真洩漏情境
- ❑ 等比例縮小機具，增加多種訓能與便利性
- ❑ 整合各式閥件，功能導向運用更靈活
- ❑ 導入XR虛擬實境，結合災害情境處置經驗，整合訓練平台



高危害性高壓模組



低危害性常壓模組



地區性聯防模組



虛擬實境模組

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright ITRI 工業技術研究院



XR化災訓練建置歷程

設計仿真模組
教具與10種訓練
SOP影片

第一個容器
止漏VR模組
(53加侖桶)

環境事故區域
管制AR模組

化災應變現地
指揮體系戰情
研析MR模組



化災數位實境
訓練AI教官



構想
萌芽



第一個危害
辨識VR模組
(化學倉儲)

11種容器止漏
VR模組以及
4種危害辨識
(科技廠、石化廠、
實驗室)



建構DRTSM
兵棋推演系統

化災數位實境
訓練雲端平台



Copyright ITRI 工業技術研究院



XR化災訓練運用-基於化災專業應變人員訓練



Copyright ITRI 工業技術研究院

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute



VR化災應變訓練模組



智慧型場控監視系統
切換模擬各種突發狀況，即時控場及追蹤訓練人員

AI數位教官
追蹤學員落實標準作業程序，提供後臺學習履歷追蹤



化災事故數位實境場域



四大常見化災事故數位實境場域
多達500種化災應變經驗模組



操作錯誤回饋
如施作錯誤動作有回饋機制



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright ITRI 工業技術研究院



成績履歷系統



- 依序步驟 [引導式操作]**
1. 使用檢核器觀察洩漏狀況
 2. 於對應位置擺放警示立牌
 3. 移動工具箱至安全處並開啟
 4. 使用工具嘗試轉緊瓶閥
 5. 使用測漏劑檢測
 6. 取出罐蓋並開啟盲蓋和洩壓瓶閥
 7. 調整罐蓋上方鎖環螺絲旋轉到定位

學習等級

Level: 1

+2個專案通過成功可進下一個等級

檢測成功完成度

Kit A: 1/4 專案

Kit B: 0/6 專案

Kit C: 0/2 專案

Kit E: 0/2 專案

專案清單

專案名稱	專案ID	開始日期	結束日期
Kit A: 1/4 專案	001	2023-10-10	2023-10-10
Kit B: 0/6 專案	002	-	-
Kit C: 0/2 專案	003	-	-
Kit E: 0/2 專案	004	-	-

2023年10月10日 13:55-14:45 檢測

得分 86 /100 分
時間 33 /25 分鐘

區域管制 14 /15 分
止漏行動 60 /60 分
步驟檢核 8 /12 分
個人安全考量 4 /7 分

“你在此專案中展現了不錯的專業素養！執行速度相對較慢，需多加練習。區域管制、止漏行動項目執行佳，可多加強個人安全考量。步驟檢核項目仍待加強，除了執行任務，也要注意人員身處危險位置嗎？”
- 教官A



技術優勢

- 得知訓練系統使用情況
- 得知學員訓練情況
- 瞭解自身進行VR訓練效果
- 進行訓練專案管理

工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright ITRI 工業技術研究院



環境事故區域管制AR模組

以平板裝置建置指令系統進行情境編輯

01 3D物件

- 40L鋼瓶
- 53加侖桶
- IBC Tank

02 洩漏跡象

- 煙霧
- 水漬

03 洩漏源

- 可燃性氣體
- 氧氣
- 揮發性有機物

由洩漏源向外有濃度梯度遞減的效果

技術價值

- 建置**虛擬氣體偵測器**，導入化災偵檢數值演算邏輯
- 導引參訓學員**視覺感官**，化學品洩漏場景擬真化
- 輔以災害區域管制與環境偵檢實場運用之**訓練、測試與檢核**



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright ITRI 工業技術研究院



化災應變現地指揮體系戰情研析MR模組

技術應用

搭配真實座標定位，整合國土建物資料，建構現地環境研析平台

- 運用**動態情境編輯**功能，輔助應變策略與戰術戰略擬定
- 導入**現場指揮系統**的角色與任務分工，**提升應變人員溝通與協作能力**
- 整合**跨平台資訊設備**(MR眼鏡、AR平板、PC系統)
- 系統功能涵蓋**10種**指揮戰術、**11項**應變手段以及**29種**災害情境



當遇到火災的災害時應變人員可放置水錨來進行滅火
水錨可設置**仰角**以及**水霧**、**水柱**模式



可在地圖中放置**消防水線**提示點以及**指揮站**
來提醒應變人員設置的地點



場景沉浸

伺服器主機
3D圖台編輯器

研究院

Copyright ITRI 工業技術研究院



多人同步暨跨平台連線機制

- ❑ 提供電腦與其他至少2種(含)以上實境工具，執行跨平台連線與同步展示
- ❑ 電腦端連線同步樣態具備創建獨立的虛擬教學空間，自由切換場景中的視角進行「操作教學」模式觀察
- ❑ 各平台顯示的虛擬環境畫面，同步3D虛擬教官的空間座標及角度
- ❑ 以不對外的區域網路連線方式，進行多人同步暨跨平台連線

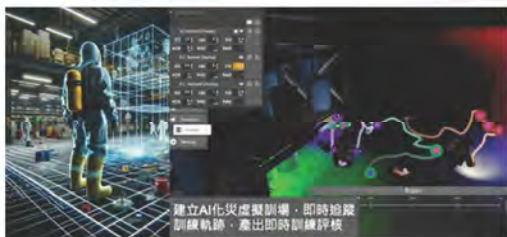


工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright ITRI 工業技術研究院



XR化災應變訓練未來建置規劃



採用IPCC公告之最新版溫暖化潛勢 (AR6) 進行碳排放量換算

日期	類型	總碳排放量	減碳效率
6/20 桃園市	虛擬	0.234	47.5%
	實體	0.446	
7/18 臺中市	虛擬	0.151	38.6%
	實體	0.246	
8/08 新北市	虛擬	0.218	52.0%
	實體	0.454	
8/16 苗栗縣	虛擬	0.179	44.2%
	實體	0.321	
8/30 新竹市	虛擬	0.202	45.8%
	實體	0.373	
9/06 臺北市	虛擬	0.237	53.0%
	實體	0.504	



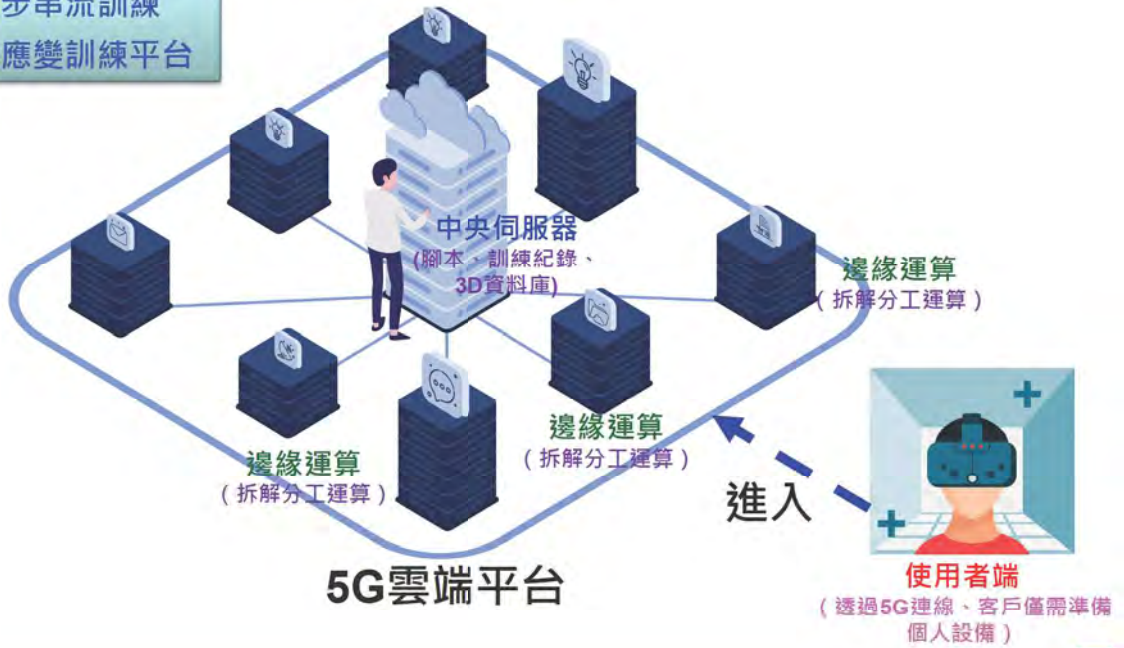
工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

Copyright ITRI 工業技術研究院



化災數位實境訓練雲端平台

- ✓ 建立跨域同步串流訓練
- ✓ 打造次世代應變訓練平台



災防工作勤推動，減災降災顯成效 災害意外偶有時，應變慎行護平安

電話諮詢
049-
2345678

事故通報
0800-055119
0800-057119



國外專家專題演講（三）
**Keynote Lectures by Foreign
Experts (3)**

特種氣體緊急應變案例研究
**Specialty Gases Emergency Response-
A Case Study**

Mr. Frank Rudy
Sustainability Manager
美國 EMD Electronics 公司

Mr. Frank Rudy

Sustainability Manager

美國 EMD Electronics 公司

工作經歷



EMD Electronics

6年1個月

- **Environmental Sustainability Manager**

全職

2025年6月 - 現在 · 5個月

Allentown, PA · 混合型

- **Sustainability Manager - Specialty Gases**

全職

2022年5月 - 2025年5月 · 3年1個月

美國 賓夕法尼亞州 亞林鎮

- **Manager, US Product Compliance**

2019年10月 - 2022年5月 · 2年8個月



- **Manager, Product Compliance and Risk Management**

Versum Materials

2016年8月 - 2019年10月 · 3年3個月

美國 賓夕法尼亞州 亞林鎮

Provide global compliance leadership for a \$1 billion business.

Lead a multidisciplinary team that is responsible for Product Safety (product / dangerous goods / trade compliance), Sustainability and Security Operations.



- **Air Products**

25年6個月

- **Manager, Global Product Safety**

全職

2001年9月 - 2016年7月 · 14年11個月

美國 賓夕法尼亞州 亞林鎮

- **Environmental Specialist**

1996年1月 - 2001年8月 · 5年8個月

美國 賓夕法尼亞州 Tamaqua

- **Environmental Coordinator**

1992年11月 - 1995年12月 · 3年2個月

美國 賓夕法尼亞州 亞林鎮

- **Research Assistant**

1991年2月 - 1992年11月 · 1年10個月

美國 賓夕法尼亞州 亞林鎮 · 現場

教育背景



美國賓州州立大學

Bachelor of Science - BS, Environmental Resource Management

1986年 - 1990年



美國康乃爾大學

Certificate, Management Fundamental

2008年5月

歐克電子事業部 | EMO Electronics (美國、加拿大)

特殊氣體緊急應變

合作案例研究

Frank Rudy

台灣 CHA 年會 · 2025/10/30



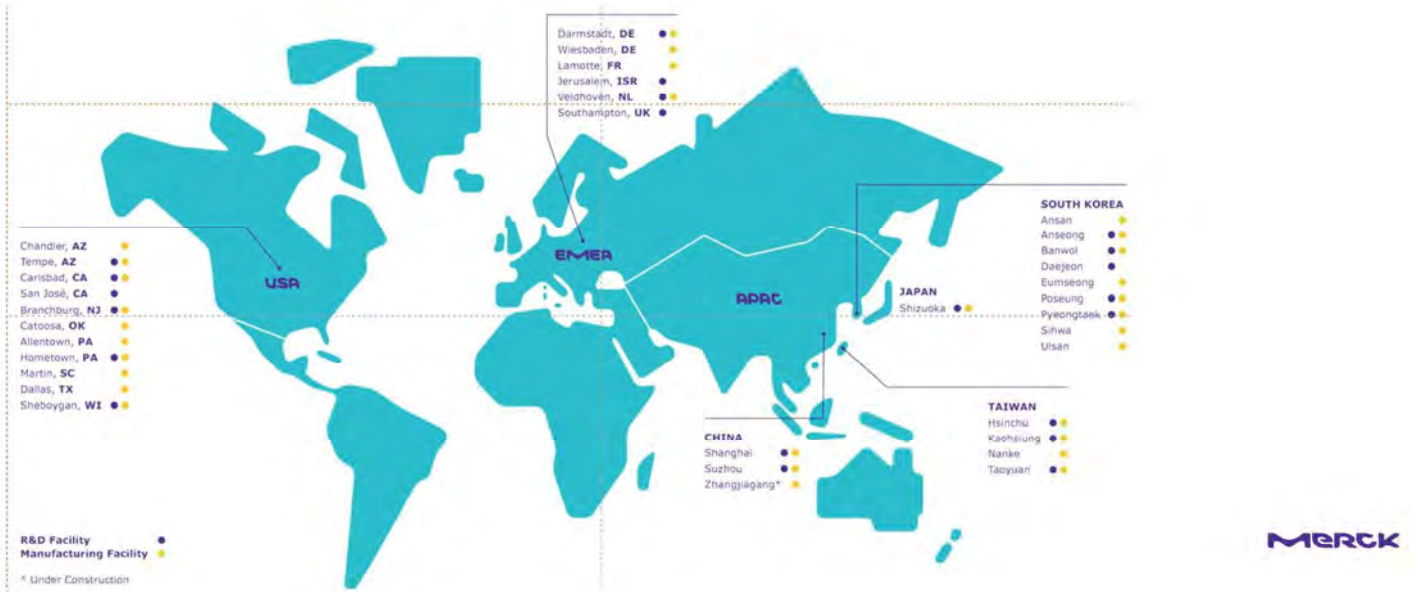
MERCK

01

簡介

MERCK

默克電子
全球半導體材料供應商



3 Taiwan CHA Conference | 30.10.2025

台灣沿革





Frank Rudy
環境永續發展經理 (電子事業部)



空氣化工產品有限公司 (25 年)

發ER之旅的起點

美商慧盛先進科技有限公司

EMD 電子公司
德國達姆施塔特默克集團電子事業部

MERCK

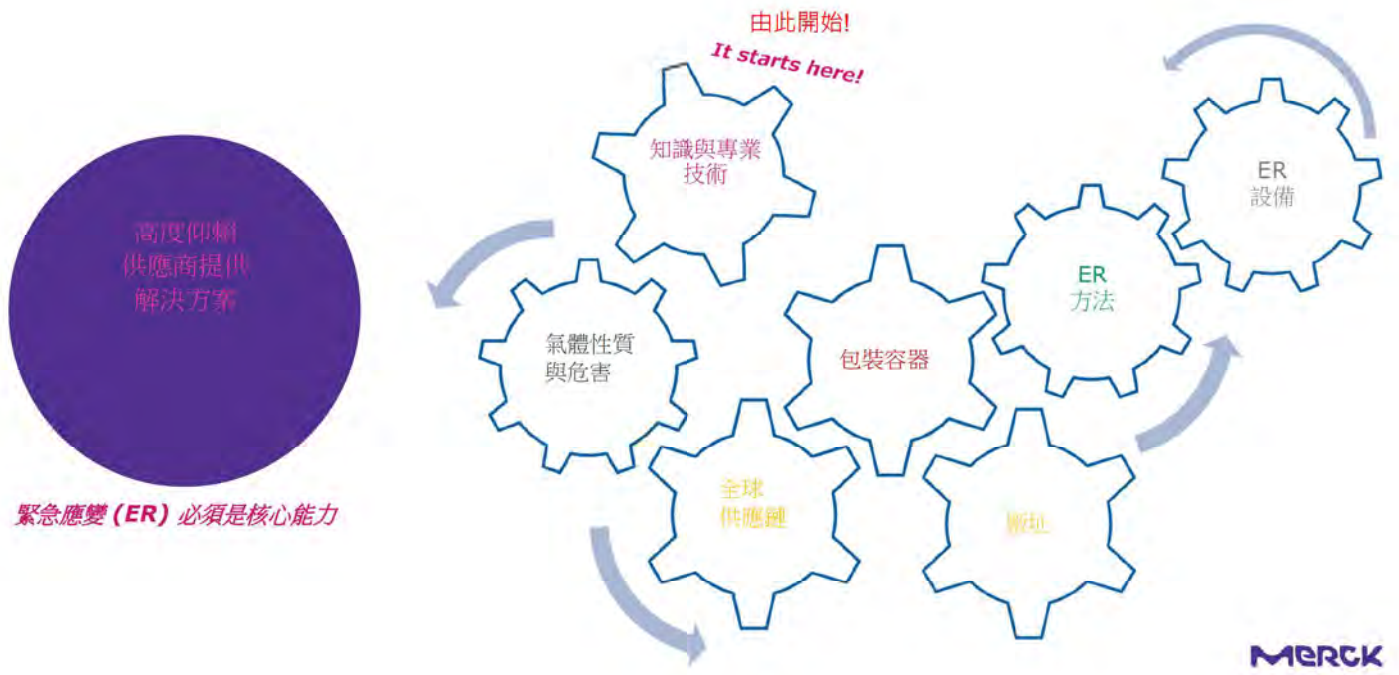


02

特殊氣體

MERCK

特殊氣體為何「特殊」？



03

特殊氣體

特殊氣體的挑戰
它們總想偷溜！

固體



穩定可預測

液體



受重力作用

氣體

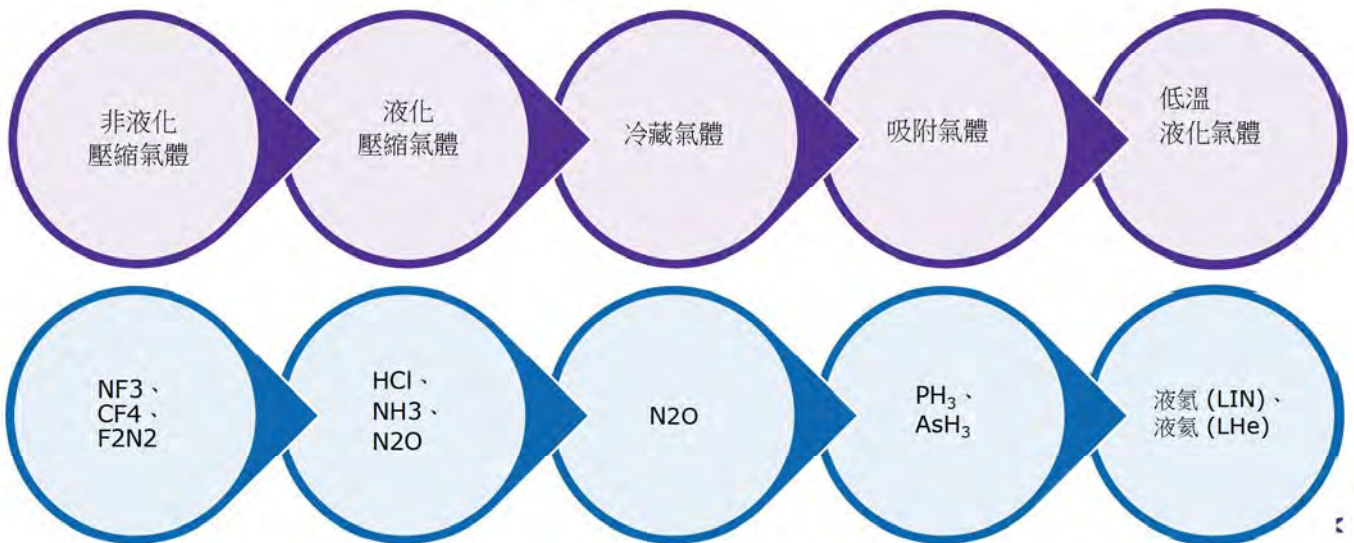


特性就是容易偷溜！

MERCK

必須考慮不同氣體形態

其物理性質會影響 ER 策略



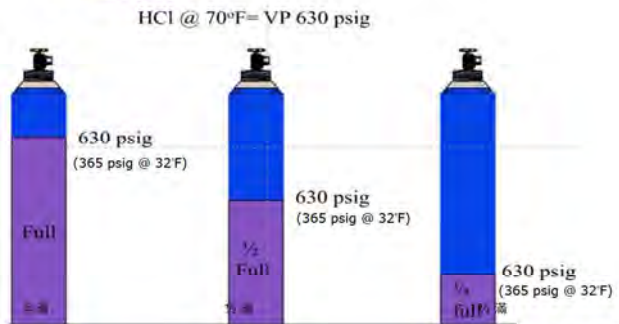
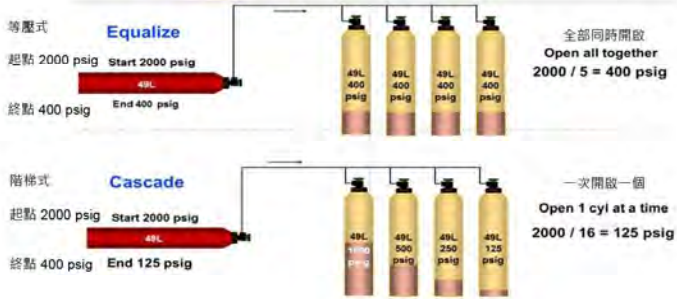
物理性質 了解重要項目與原因

非液化壓縮氣體

- 臨界溫度
未冷卻無法液化
- 波以耳定律： $P_1V_1=P_2V_2$
增加容器體積可降低壓力
階梯式傳遞的基礎

液化壓縮氣體

- 蒸氣壓力非常重要
(受溫度影響)
- 達爾頓定律： $P_1 + P_2 + P_3 = P_{total}$
- 壓力傳輸的基礎
- 蒸氣洩放
液體冷卻會導致壓力下降



物理性質 了解重要項目

減災考量因素
圍堵、轉移、處置

mitigation considerations
(containment, transfer, disposal)

偵測
detection

外觀與氣味

決定減災選項
determines
mitigation options

物理
形態



沸點

溶解度

比重

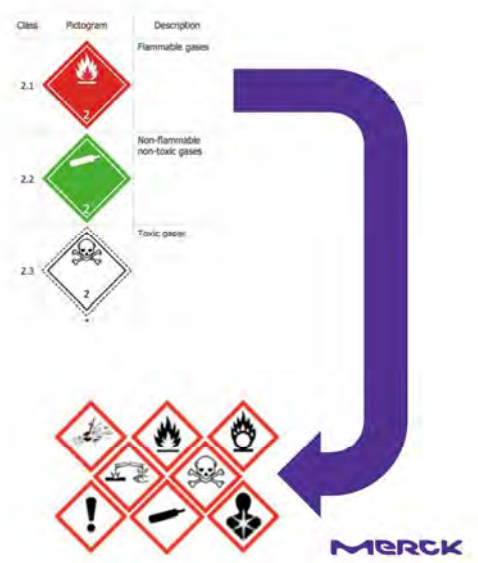
相容性

反應性

酸鹼化學



危害分類
危險貨物分類 (運輸) 或 GHS 分類 (使用)

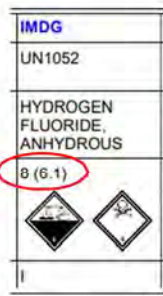


危險貨物分類 (運輸) 或 GHS 分類 (使用)
為何兩者同樣重要

IMDG-Code
UN number : UN 3423
Proper shipping name : TETRAMETHYLAMMONIUM HYDROXIDE, SOLID
Class : 8
Packing group : II
Labels : 8



Danger
H300 + H310 Fatal if swallowed or in contact with skin.
H314 Causes severe skin burns and eye damage.
H370 Causes damage to organs (Central nervous system).
H372 Causes damage to organs (Liver, thymus) through prolonged or repeated exposure in contact with skin.
H411 Toxic to aquatic life with long lasting effects.



Danger
Contains gas under pressure; may explode if heated.
Causes severe skin burns and eye damage.
Toxic if inhaled.
Causes damage to organs.

結果與後果 了解危害

布質外套暴露於氧化劑後起火



鹽酸運輸槽車
(液體溢出)

不鏽鋼導管被污染後與氧化劑反應



NF₃ 在閥門中燃燒
(絕熱壓力 + 污染)



氟氣閥門燃燒
(填充壓蓋洩漏引起)



04

包裝

特殊氣體包裝容器類型



Y 型鋼瓶

一氧化二氮 (N_2O)
 無水氨 (NH_3)
 三氟化氮 (NF_3)
 無水氯化氫 (HCl)



噸桶



多元氣體容器(MEGC)／槽車

一氧化二氮 (N_2O)
 無水氯化氫 (HCl)
 三氟化氮 (NF_3)
 20% 氧氣／氮氣混合氣



ISO

一氧化二氮(冷藏)
 無水氨



一般鋼瓶

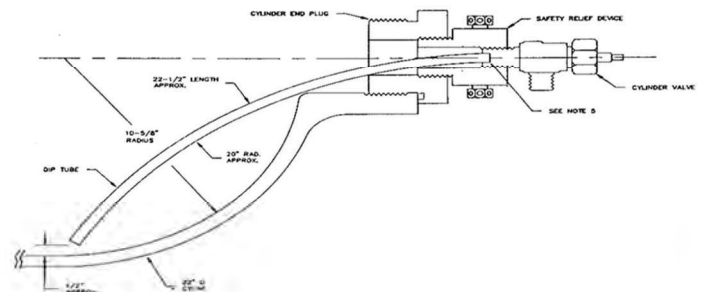
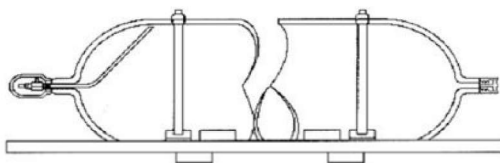
WF6、AsH3、PH3、GeH4,
 BCl3、CF4、C2F6...

* 主要材質為碳鋼 (部份清洗、鈍化、內襯處理)

MERCK

液化壓縮氣體 浸管組件

使用者可抽取氣相或液相



緊急應變人員必須確認是否配有浸管及其方向

MERCK

包裝範例
 氯化氫 MEGC (多元氣體容器)

客戶抽取
 氣相
 浸管朝上



產品充填
 液相
 浸管朝下



MERCK

閥門與連接件



氣動式



高純度



手動式

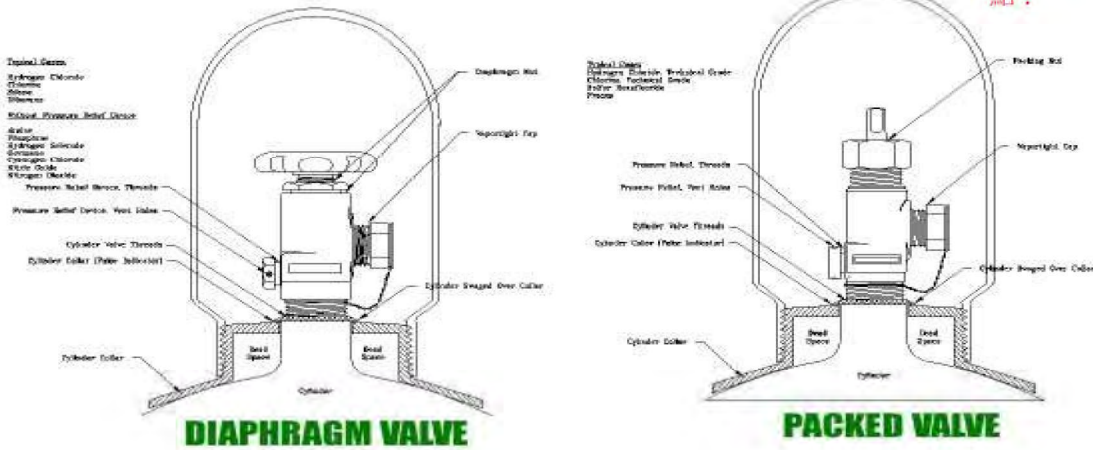


工業用

MERCK

閥門 最大潛在洩漏源

每個機械連接點都可能成為洩漏點！



Version Material: Confidential



閥門 型式多樣，選擇繁多



手動式
手輪操作

說明書
扳手操作



重要選擇依據

- 氣體用途
- 相容性
- 品質
- 客戶偏好
- 法規要求

氣動閥



緊急手動開啟裝置



壓力洩放裝置：依法規要求進行安裝(必須、禁止、可選)

連接件 關鍵元件—更多種類

金屬對金屬的子彈式插接



DISS 高完整性連接



墊片式連接



墊片材質



緊急應變組件必須包含各種連接件與墊片

惰性與高純度氣體：使用鐵氟龍、氟橡膠

其他危險氣體：使用 銅、鉛、鎳



閥門 其他考量因素

出口連接規格要求

子彈型接頭
密封所需扭矩：35 ft-lb
建議最大扭矩：50-60 ft-lb

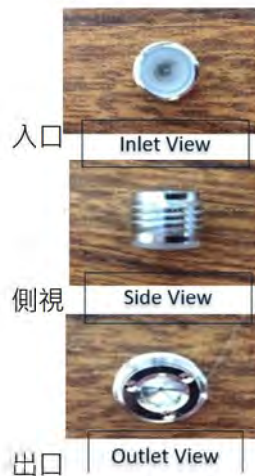
CGA 墊圈式接頭

Teflon、Kel-F： 最小扭矩 15 ft-lb 最大扭矩 25 ft-lb
填充式 PTFE： 最小扭矩 20 ft-lb 最大扭矩 35 ft-lb
金屬 (鉛)： 最小扭矩 30 ft-lb 最大扭矩 45 ft-lb

DISS 接頭

金屬(鎳)： 最小扭矩 35 ft-lb 最大扭矩 45 ft-lb
Kel-F： 最小扭矩 12-15 ft-lb 最大扭矩 12-15 ft-lb

限流孔口



安全措施：安裝於閥門喉部以降低出口流量

ER 考量因素：確認其是否存在，必要時移除以便轉移或處置





05

緊急應變減災 (邏輯、方法與設備)

偵測 是否發生洩漏？

非儀器式方法

現場狀況



氣味



儀器式方法



有多種選項。考量因素：

洩漏偵測液體



其他

- 試紙(pH、KI)
- 水溶液(稀氨水 / 稀鹽酸)
- 壓力(客戶系統)

- 特异性
- 靈敏度
- 可靠度
- 反應速度
- 準確度 / 精密度
- 監測週期(連續性)
- 人體工學

風險：是否為洩漏事故？

狀況能否降級？



MERCK

應變圖譜：事件分級



MERCK

制定應變計畫：控制、減災、復原



物質處於哪種狀態？
 是否有空容器？
 能否取得必要物資？





考量因素

- 了解性質 (特別是不宜使用)
- 限制 (強氧化劑)
- 能否運輸？



MERCK

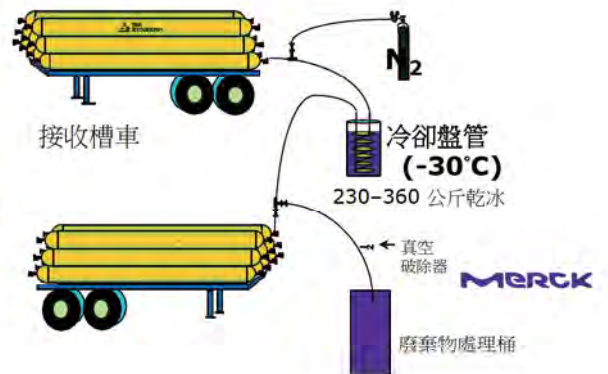
非液化壓縮氣體

需使用經妥善處理、符合該氣體適用規範的容器。



液化壓縮氣體

需使用經妥善處理、符合該氣體適用規範的容器。需要更詳細的化學和流程知識。不適用於大型容器。

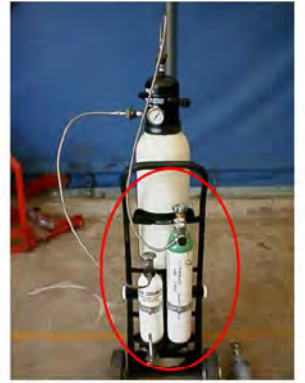




中和處理
(苛性鈉、
水或冰水)

廢棄處置

固體吸附劑
/ 吸收劑



燃燒塔

不常用。
沒有單純可燃氣體。
需要第三方支援。



06

應變流程



ER (應變) 部署

全面套用氣體產業標準

➢ 服務層級 1、2、3*

1. ER 通報管理

➢ 二階段流程：CHEMTREC → Merck

2. 現場技術顧問

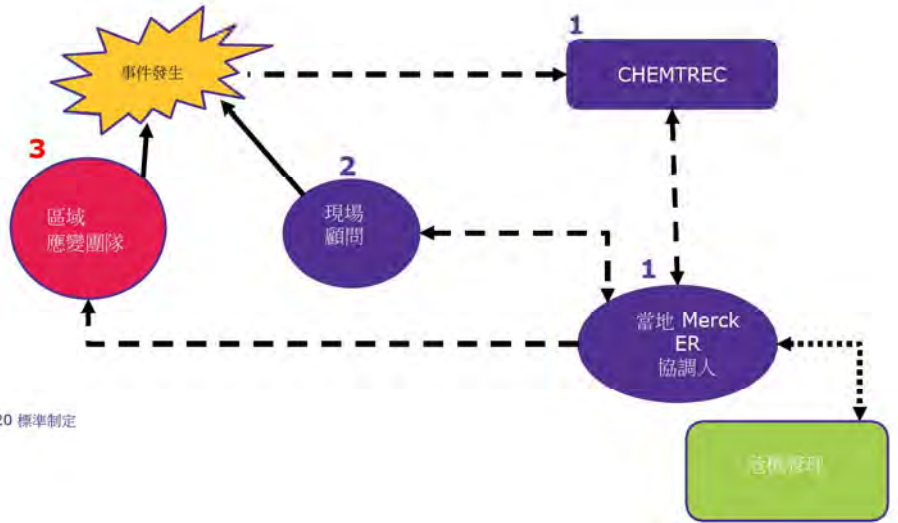
➢ 當地專家

3. 現場 ER 介入

✓ 利用當地內部和第三方支援

❖ 此架構依據 NFPA 472 與美國 OSHA HAZWOPER 29 CFR 1910.120 標準制定

❖ 依法律規定升級



服務層級 1：ER (應變) 通報管理



Security Operations Center
 Hometown 保安運作中心 / 보안 센터
 For information or assistance
 獲取信息或協助 / 문의 및 지원
 Phone (24/7): +1-570-261-4911
 Email: versum.security@emdgroup.com



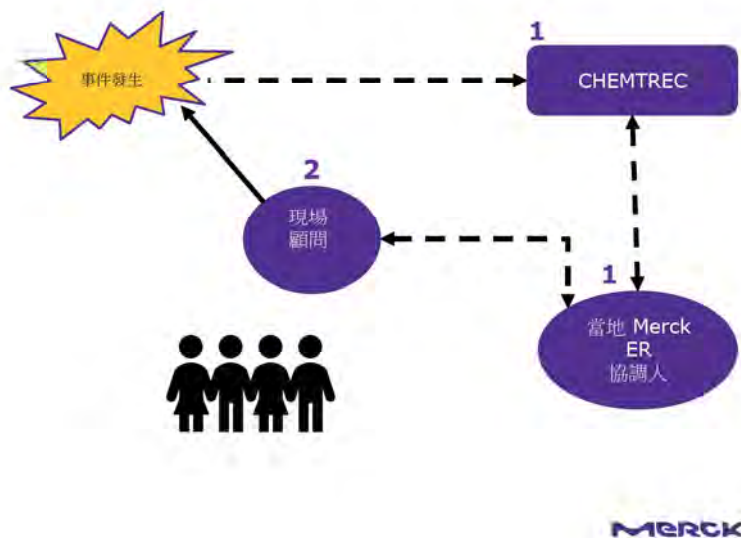
- 符合法規要求
 - 24 小時全年無休、本地電話與在地語言支援
- 區域 ER 協調人
 - 易聯繫、語言支援、當地知識
- 由中央安全營運中心支援
 - 24 小時全年無休可聯繫專家



服務層級 2：現場技術支援

運用在地資源

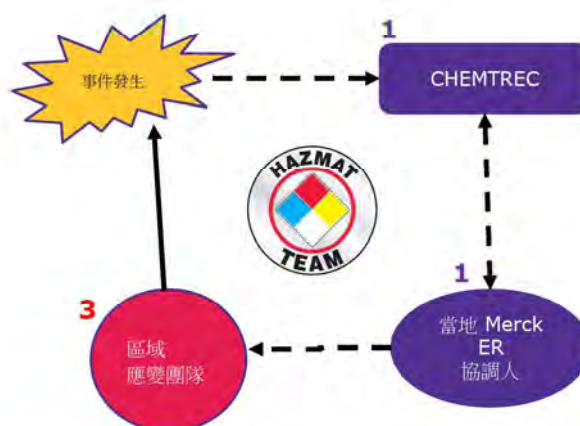
- ✓ ER(應變)協調人
- ✓ 作業
- ✓ 產品專家
- ✓ 運輸/包裝工程師
- ✓ 現場服務工程師/技術人員

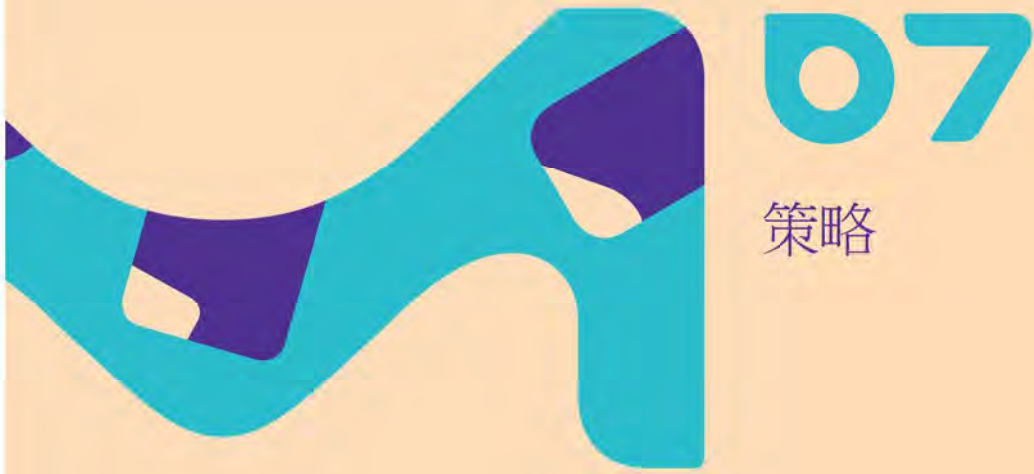


服務層級 3：ER(應變)團隊介入

視事件嚴重程度，應變團隊將：

- ✓ 調查並與主管機關、客戶及地方單位溝通
- ✓ 穩定現場情況
- ✓ 透過圍堵、轉移或廢棄等方式進行控制與減災
- ✓ 執行現場復原





全球供應鏈
風險管理



建立在地能力
擴大網路

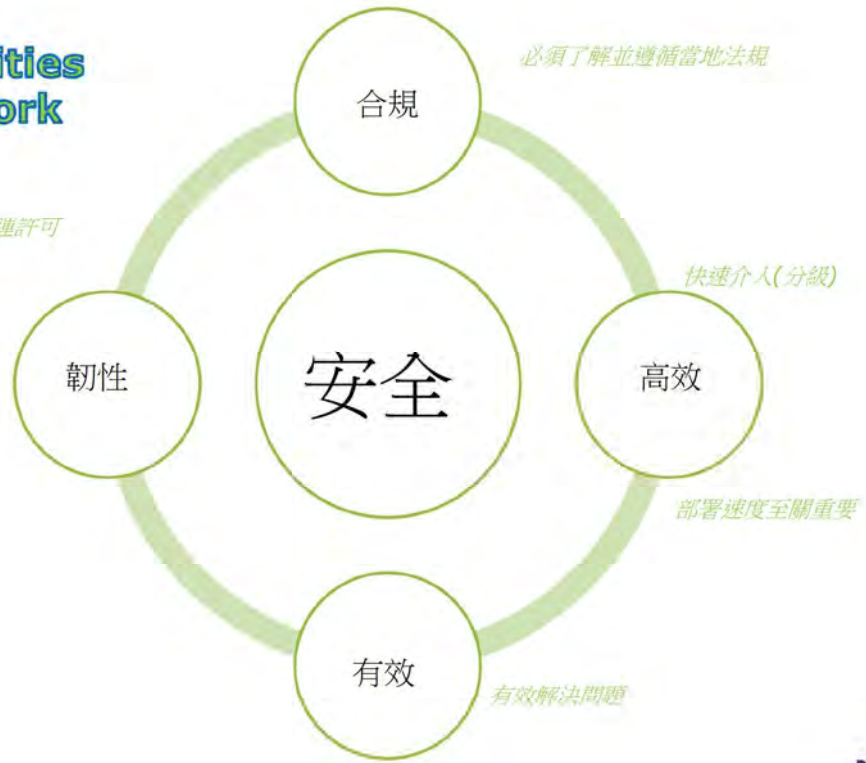
Build local capabilities Expand our network

復原、改善、維持營運許可



緊急應變是「保險機制」

- ✓ 遵循法規
- ✓ 管理風險
- ✓ 提升客戶價值



MERCK

DB
合作

MERCK

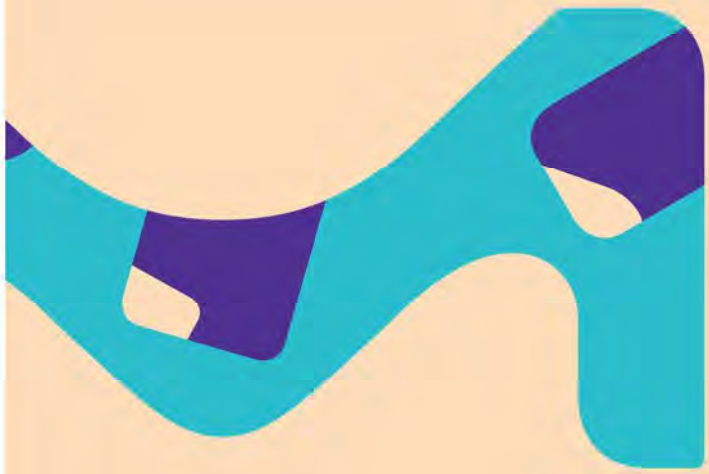


MERCK

結語



MERCK



09

Q&A

MERCK

國外專家專題演講（四之一）

**Keynote Lectures by Foreign
Experts (4-1)**

邁向新能源時代的準備 I
電動車火災對策、液氨洩漏事故之
應變

Response to Electric Vehicle (EV)
Fires and Response to Liquefied
Ammonia Leaks

Dr. Seiichi Hamada

Director Research and Study Office

日本海上災害防止中心

Maritime Disaster Prevention Center,

MDPC

濱田 誠一 博士 Dr. Seiichi Hamada

Director Research and Study Office

日本海上災害防止中心

Maritime Disaster Prevention Center, MDPC

- 2008 年 9 月新潟大學理工學博士畢業
- 1995 年 4 月至 1997 年 3 月，日本大學 (地球與環境科學) ，助理研究員
- 1997 年 4 月至 2011 年 3 月，北海道地質調查研究所，科學研究人員
- 2011 年 4 月迄今，**Director**, Research and study office，海上災害防止中心 (Maritime Disaster Prevention Center, MDPC)
- 「模里西斯共和國海洋災害預防及漏油安全應變機構能力提升資訊收集調查」，潮流調查與溢油漂移模擬規劃負責人
- 國際協力機構 (JICA) 知識共創計畫團體及地區焦點計畫 (海上搜救、海上災害預防、海上保安廳官員海洋環境保護) 培訓講師
- 《阿布達比國家石油公司集團溢油應變能力提升聯合計畫》 (經濟產業省計畫) 潮流調查及油污漂移模擬計畫
- 期刊論文：石油殘留物與海岸礫石形狀的關係、使用 GPS 漂流浮標進行表面流觀測、使用 GPS 漂流浮標在風蓮湖進行表面流觀測、使用環境敏感度指數評估海岸垃圾收集作業難度等

為新能源時代作準備 I

~ 電動車火災的應對方式 ~
~ 液態氫外洩事故的應對方式 ~



電動車火災



液化天然氣
外洩

氫外洩

一般財團法人 海上災害防止中心
調查研究室長 濱田 誠一

主題

電動車火災

1. 調查資料概述
2. 電動車火災概述
3. 電動車火災測試結果

氫外洩

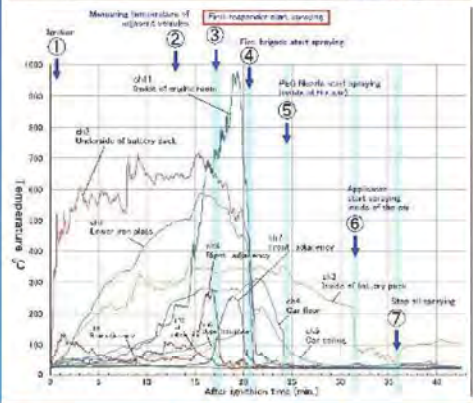
1. 氫的特性
2. 氫外洩測試概述
3. 外洩測試結果



海上災害
防止中心

電動車火災

1. 調查資料概述



火災測試



自動車運搬船内 電気自動車火 スキルシ

Skill sheet for in Car Car

Skill Sheet1 How to storage the hose (1/2)

To avoid from stopping water while discharging, the hose needs to be extended without any kinks. The hose that is stored in vessels is rolled and the rolled hose takes time to extend straight. This section shows the storage method that enables the fire hose extending smoothly.

※Please see Skill Sheet2 for the procedure of the hose extending.



Step 1
Kneel on the floor and bend up the hose in a horse-shoe shape along your knees.

Pay attention not to kink. If there is a kink, it ruins the good point of this hose storage method.



Step 2
Put the hose in the Fire hose rack.

To storage the hose, set in order both ends completely in the rack to prevent cargo from damaging by scattering. Only hanging the hose on the rack may cause of scattering.

It is recommended that the fire hose racks be numbered. It helps you to indicate the location of the fire. (eg. port side No.5 = P-6)

このスキルシートを船内に貼るのみならず、シートの内容に沿った訓練を行うことも重要とし、船員が常にこのスキルシートを参照し、訓練を受けることによる訓練効果の向上を図る。

電動車火災手冊

社會背景



用來進行實驗的電動車
日產 Leaf (初代ZE 0型)
2010年12月 上市

(參考) 日本次世代汽車年度銷售數量變遷



(經濟產業省資料)

電動車、混合動力
車及其中古車
船運量增加

消防策略



網路上所能看到的
電動車火災事故

火災的特殊性
研討因應電動車火災的具
體應對方法

主要調查流程

主題

PCC火災



船上調查



火災測試



手冊
技能清單
活動示意圖



船內調查(載貨狀況 / 機器與材料確認)、火災實驗(有效性確認)
製作船內專用手冊(技能清單等)

2. 電動車火災概述

鋰離子電池



電池組



單電池(電池芯)

電池模組內部

1個電池模組產生7.9V的電壓

單電池(電池芯)



電極與隔離膜等薄片結構在模組內部彼此重疊



維修插頭

電池組

電池模組

控制器

48個電池模組總計產生350V電壓

(參考)
乾電池



電動車火災範例

①



在車輛停靠時突然冒煙起火

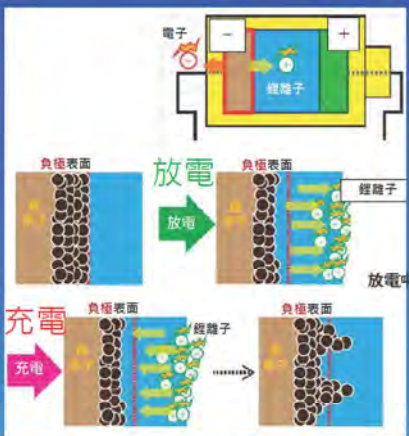
②



衝撞後起火

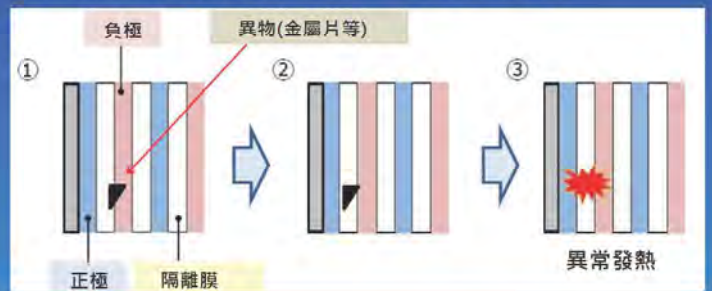
起火原因 (1)

由於在製程中有異物混雜
導致樹枝狀結晶產生



形成樹枝狀結晶

異物(金屬片等)與負極接觸 →
容易產生樹枝狀結晶 → 內部短路



短路導致電池內部發熱

造成電解液沸騰、起火

此過程不需要氧氣助燃

(參考) 樹枝狀結晶範例

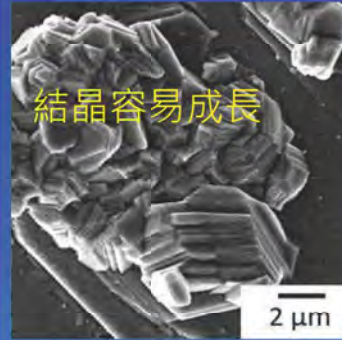
樹枝狀結晶範例



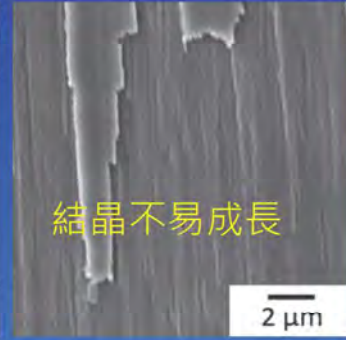
錳



銀

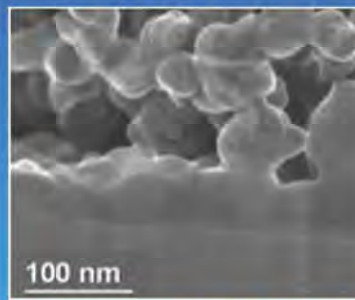


結晶容易成長



結晶不易成長

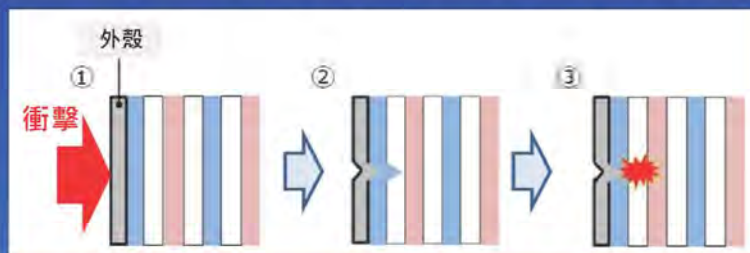
調整結晶方向



形成多孔性電極

導電添加劑層
 導電添加劑+黏結劑
 一氧化矽薄膜
 不鏽鋼基板

起火原因 (2) 隔離膜因為車禍事故等所造成的衝擊而破損



短路導致電池內部發熱

造成電解液沸騰、起火

此過程不需要氧氣助燃

電解液中的
 碳酸酯的
 沸點、燃點

	閃點	沸點	燃點
碳酸二乙酯	25°C	146°C	445°C
碳酸二甲酯	14°C	90.3°C	458°C

3. 電動車火災測試結果

前導實驗 (調查鋰離子電池的燃燒特性)



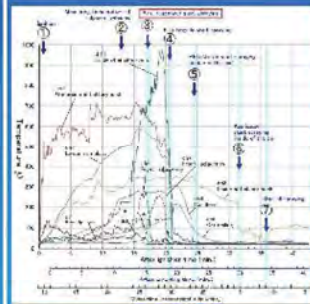
準備 (搬運電動車進行實車實驗)



在假想條件(PCC船內)下實施火災測試

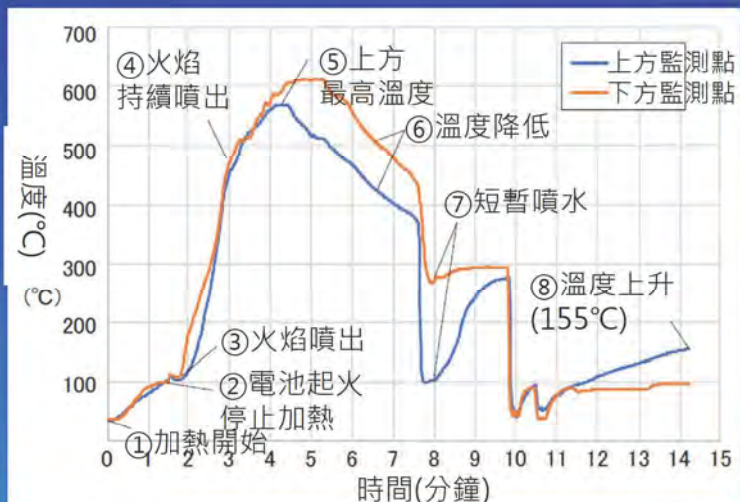


分析測試結果



確認火災狀況、確認水對於火災的抑制效果

前導實驗結果



- 水霧可以抑制火災 > 滅火作業中可以使用水霧
- 火焰熄滅後會產生大量白煙 > 船內通風排氣的管控很重要
- 若在火焰熄滅後停止水霧噴射，則溫度會再度上升
電池內部難以冷卻 > 必須充分以噴水方式冷卻電池

安裝測試用熱電偶



在11個固定位置量測溫度 確認噴水的效果

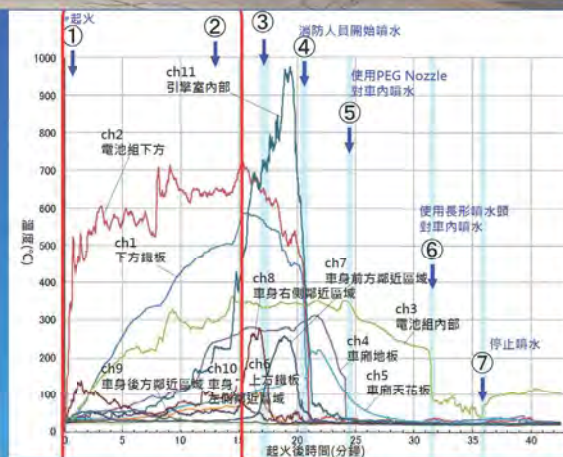


在假想條件(PCC船內)
下實施火災測試

- ①點火
- ②在冒煙後
任其燃燒15分鐘



右側鄰接物體 278°C
頂板 108°C
電池內部 350°C
鐵板(甲板) 600°C
電池下方 700°C

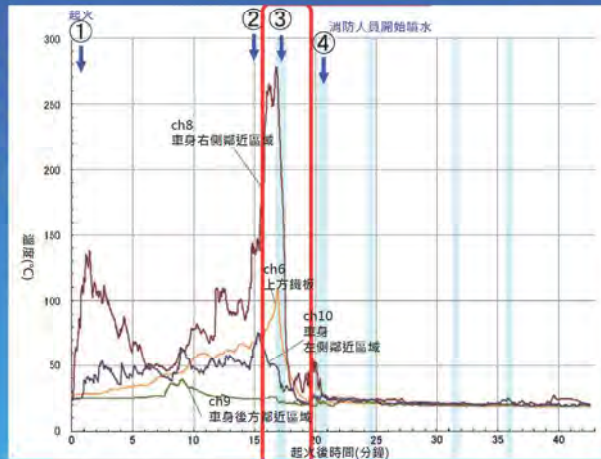


③開始噴射水霧
(初步滅火開始)



右方鄰接物體 278°C → 32°C
 頂板 108°C → 35°C
 左方鄰接物體 70°C → 30°C

火勢受到抑制
 周遭溫度降低
 延燒防止效果顯著

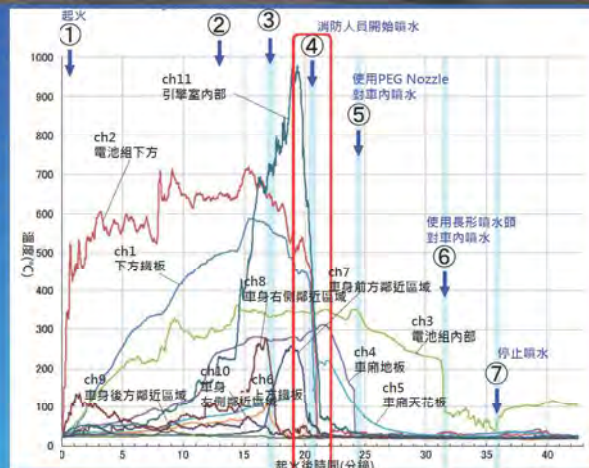


④消防隊開始噴水
(正式滅火行動開始)



引擎室 967°C → 76°C
 電池組下方 500°C → 35°C
 鐵板(甲板) 450°C → 35°C
 前方鄰接物體 260°C → 35°C

冷卻周遭與車輛表面溫度
 從防止延燒到限制火勢



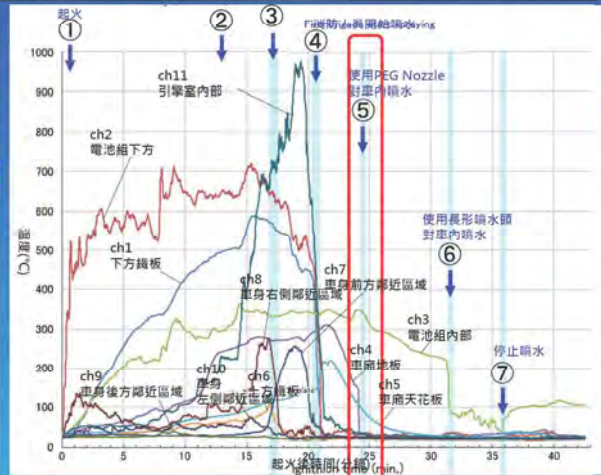
⑤使用PEG Nozzle噴射
(對車體內部噴水)



以水霧冷卻車內 產生水蒸氣

車內地面 147°C→25°C
電池組內部 350°C→220°C
(溫度逐漸降低)

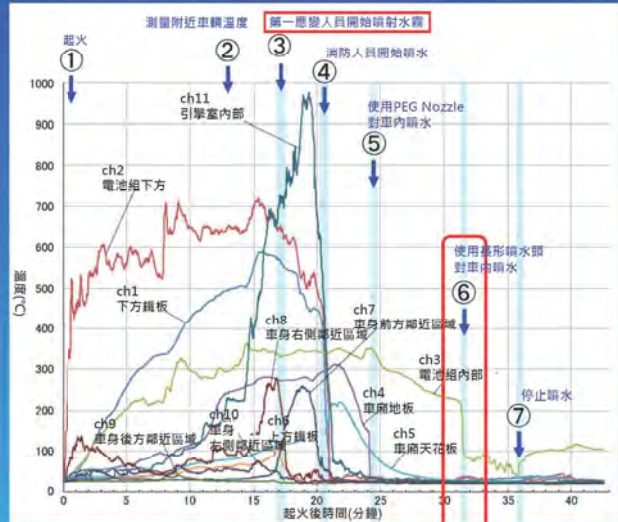
冷卻車輛內部
逐漸冷卻電池組
以滅火為目的進行冷卻



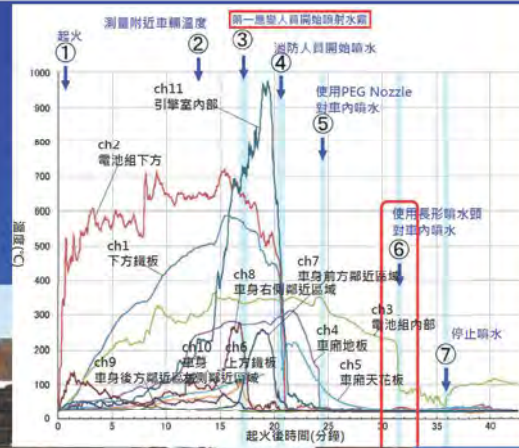
⑥使用長形噴水頭
(Applicator)對車內噴水



電池組內部 220°C→95°C
對電池組內部
噴水冷卻
以滅火為目的進行冷卻

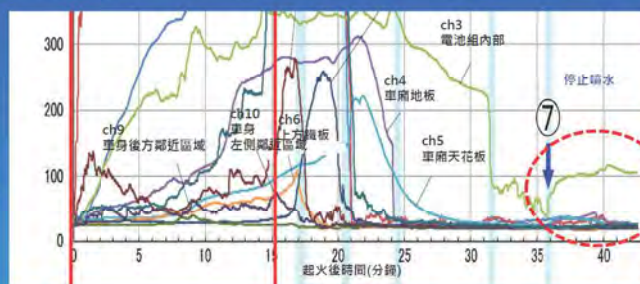


⑦停止噴水



誤判已經壓制火勢

⑧再起火



電池組內部溫度降至100°C
溫度回昇後再起火

持續冒出白煙5小時左右

必須持續噴水冷卻

木材火災與電動車火災的差異

木材



表面燃燒

噴水消滅表面火焰
就可以撲滅火勢

電池



內部短路而發熱

即使暫時撲滅表面火勢
也會因為內部發熱而再度起火

電動車火災測試的反思

1. 水霧是抑制電動車火災的有效手段
 - 避免火勢延燒至周遭環境
 - 有必要冷卻車輛內部與電池
 - 必須在火災早期、火勢上小時開始噴水
2. 必須充分冷卻鋰離子電池
(碳酸二乙酯的沸點為 146°C)
會在噴射水霧後冒出蒸氣的高溫部位屬於危險區
監控白煙狀況十分重要
3. 透過通風排氣管控將煙霧與熱量排出船體之外
對於噴水後所產生的艙底水的管理很重要

依據實驗結果建立的火災對策 ①



自
電
火
災
測
試
S
k
i
l
l
s
i
n

Skill Sheet How to storage the hose (1/2)

To avoid from stopping needs to be extended via. The hose that is stored takes time to extend etc. This section shows the hose extending smooth.

Please see Skill She extending.



Skill Sheet Deploying and preparation of Hose (2/2)

Skill Sheet Fire on Electric Vehicle (2/4)



Step3 Cooling the Burning Vehicle:

With an Applicator Nozzle

- On the Fire Deck, cool the heated area of the vehicle.
- It is efficient to cool the bottom of the vehicle in a case of the Lithium Ion battery is burning.
- Even if the battery does not burn (only white smoke is generated), there is a risk that the battery will suddenly ignite and become flash burn.
- Do not approach without cooling battery by water spray.
- When Above fire Deck has openings such as Lashing holes, insert the nozzle into it, which locates near or above the Burning Vehicle and cool it off.
- When the Fire Deck has openings such as Lashing holes, insert the nozzle into a Lashing Hole which locates under the Burning Vehicle and cool it off.
- Be aware of water or debris that flows from the Fire Deck.

應變手冊

與航運公司一起製作包含應變流程圖與照片的手冊

依據實驗結果建立的火災對策 ②



PEG Nozzle(PEG噴嘴)

在船上配備可以專門針對車體內部噴水的特殊噴嘴

依據實驗結果建立的火災對策 ③

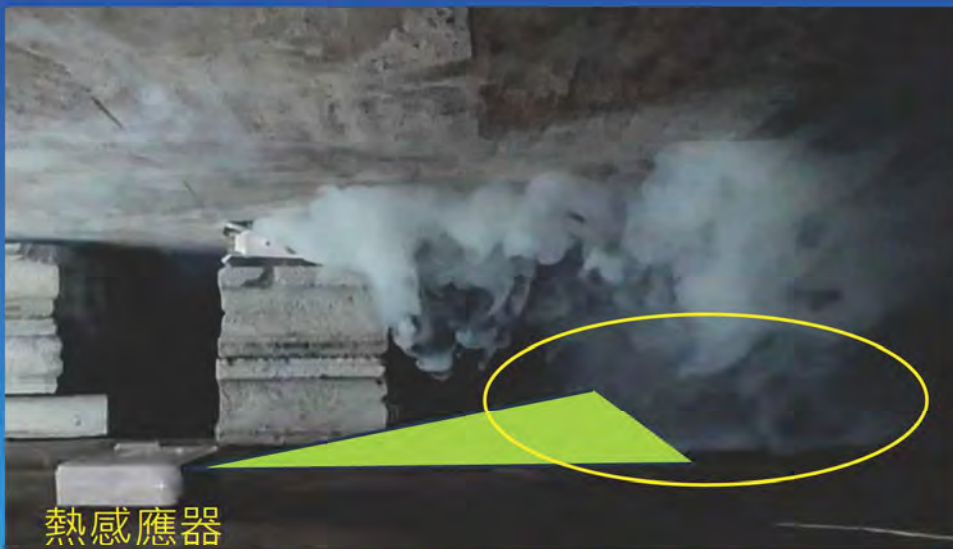


火災徵兆警報器

可以及早檢測電動車火災，以便在火勢尚弱的火災前期開始噴水的裝置

發煙現象的特徵

1. 白煙比重較重，有在低處表面蔓延的傾向
2. 白煙的溫度超過 100°C



熱感應器

在船艙內部地面設置熱感應器



氨外洩

1. 氨的特性



氣體比重0.6

美國愛荷華州克雷斯頓近郊

無水氨
液態氨



氨氣
(氣體)



將氨氣壓
縮冷卻並
液化

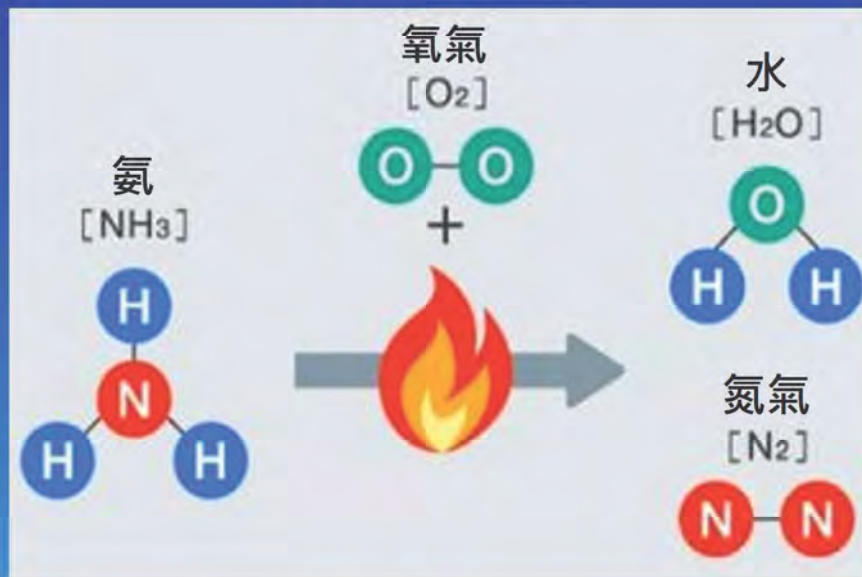
氨氣溶解
於水中

氨水
氫氧化銨



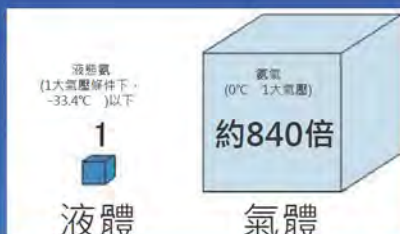
市售產品範例
濃度25%

氨的優點(1)



- ① 即使燃燒也不會產生二氧化碳
- ② 不須轉換成氫氣，可以直接燃燒

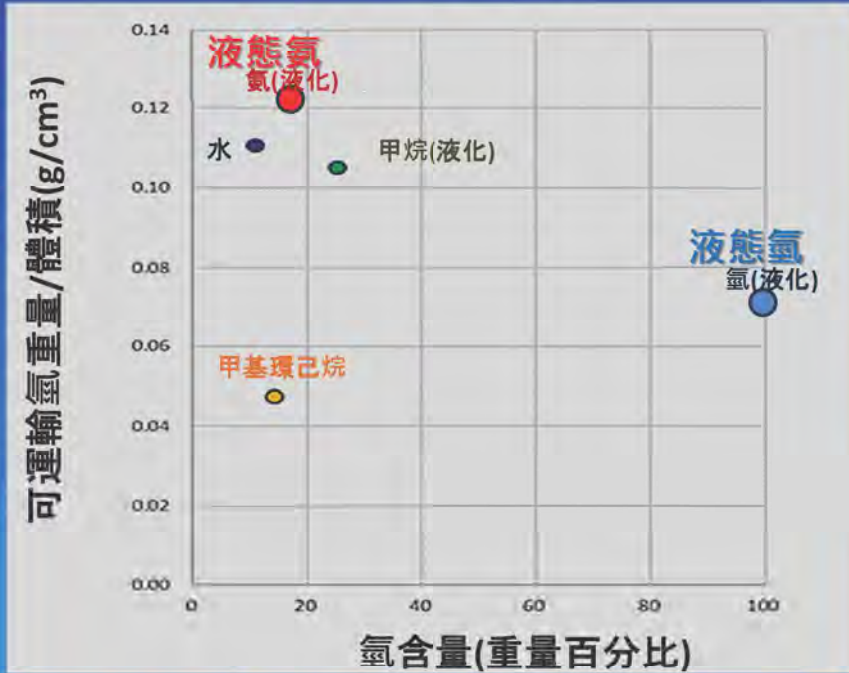
氨的優點(2)



物質	溫度	壓力
氨	-33.4°C	1大氣壓
	20°C	8.46大氣壓
	132.4°C (臨界溫度)	112大氣壓
甲烷 (液化天然氣主成分)	-82.1°C以下 (臨界溫度)	45.8大氣壓
氮氣	-240°C以下 (臨界溫度)	12.8大氣壓

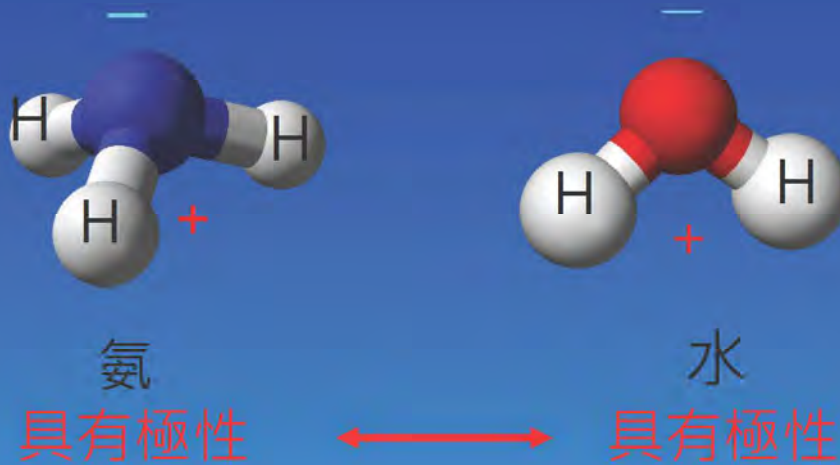
- ③ 容易液化(20°C條件下約9大氣壓即可液化)
適於運送、儲存(液化後體積縮減至1/840以下)
- ④ 在氮肥、冷媒、脫硝還原劑等方面具有廣泛的用途，
在製造、運輸、儲存等方面有技術與基礎設施完備。

氫的優點(3)



- ⑤ 單位體積氫重量含量高(是液態氫氣的1.5 ~ 1.7倍)
(在船舶等空間受限的環境下可以運輸的氫更多)

氫的優點(4)



易溶於水，溶解度 $89.9 \text{ g}/100 \text{ cm}^3$ (0°C)
(溶解時放熱)



由於氨具有水溶性，因此可以透過大量噴水予以應對

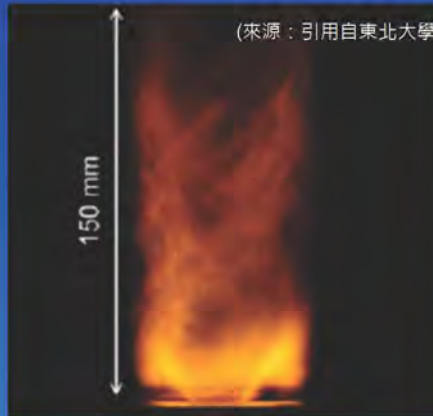
氨的缺點(1)

濃度(ppm)	影響的嚴重程度
1~5	可感知臭味的最低濃度，習慣此濃度後會無法辨別是否有臭味
5~10	可明顯感知到有臭味
25	容許濃度(厚生勞動省、日本產業衛生學會) 美國ACGIH TLV-TWA (時量平均濃度) 每日8小時，每週40小時工作期間的加權平均濃度容許值
30	美國AEGL-1 (10分鐘) 超過此一濃度就會引發不適感
35	美國ACGIH TLV-STEL (短期暴露限值) 15分鐘暴露條件下不得超過此一時量平均濃度限制
20~50	無法忍受的刺激性臭味、重複暴露在此濃度下會對眼、鼻、喉嚨造成刺激
220	美國AEGL-2 (10分鐘) 此數值以上的濃度會導致長期健康障礙、降低避難能力
200~300	刺激妨礙呼吸
300~500	短時間(20~60分鐘)可忍受的極限
2700	美國AEGL-3 (10分鐘) 此濃度以上會導致死亡
1600~4500	引發氣管與肺部水腫，30分鐘即可引發生命危險
5000~10000	呼吸停止，在短時間以內死亡

日本基準
勞動環境基準

人體毒性

氨的缺點(2)



- ① 雖然氨具有可燃性，但難以燃燒
必須維持高溫(閃點 132°C)、高濃度(爆炸下限LEL： 15%)條件才能持續燃燒
- ② 燃燒氨會產生氮氧化物
一氧化二氮(N_2O)的溫室效應約為 CO_2 的300倍
二氧化氮(NO_2)對人體有毒

氨的缺點(3)



腐蝕金屬

- ③ 氨對於銅合金具有腐蝕性
- ④ 氨水對於銅、黃銅、鋁、鋅、錫及其合金具有腐蝕性
- ⑤ 曾有從襯墊、配管的針孔等處外洩而發生事故的案例

金屬腐蝕引發事故案例

閥門破損致死案例



2017年7月28日(日本愛知縣)
 在檢查過程中，以扳手關閉連接儲槽與液面計的管路的閥門時，
 閥門斷裂，造成液態氨約20,000L噴出，導致3人緊急送醫，
 其中1人死亡

氨外洩事故成因

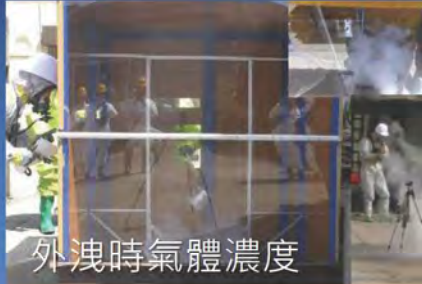
海上災害防止中心依據日本國立醫藥品食品衛生研究所(1999-2022)調查統整

發生原因(大分類)	次數	比例	發生原因2(小分類)	次數	比例
劣化、保養檢查不足，設計不佳導致的缺陷	54	43%	劣化	37	29%
			腐蝕	6	5%
			設備結構缺陷	3	2%
			零件鬆脫	3	2%
			堵塞	2	2%
			焊接不良	1	1%
			保管方式不適(保管於直射日照下 等)	2	2%
人為錯誤	53	40%	作業疏失	18	14%
			鎖緊不良	8	5%
			忘記關閉	6	5%
			擲作失誤	6	5%
			確認不足	5	4%
			注意不足	4	3%
			知識不足	2	2%
			聯絡不足	2	2%
			惡作劇	1	1%
			不明	1	1%
未預期設備異常	13	10%	高低溫度差異	2	2%
			凍結	1	1%
			異常原因不明	10	8%
自然災害(地震)	2	2%	—	2	2%
汽車交通事故	1	1%	—	1	1%
船舶衝撞事故	1	1%	—	1	1%
火災	1	1%	—	1	1%
原因不明	4	3%	—	4	3%

約4成為維護保養不良、約4成為人為失誤



2. 氨外洩測試概述



外洩時氣體濃度



可燃性



揮發性

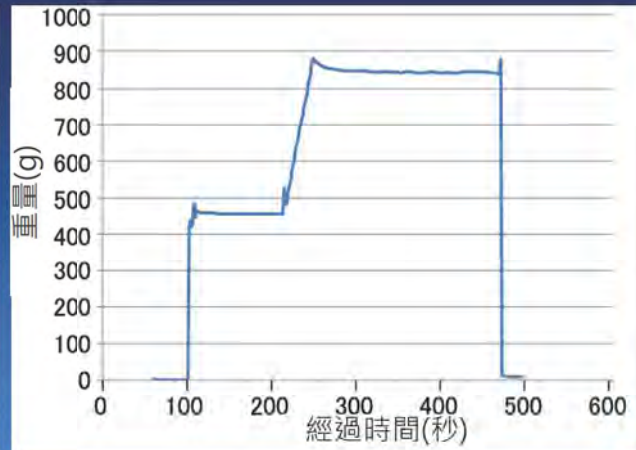
目的：了解氨外洩之實際狀況

液態氨外洩時的狀況



外洩後會立刻發生液體(液態氨)累積的現象
由於高壓氨氣絕熱膨脹導致溫度降低至沸點以下，
因此形成液態而累積於外洩處
外洩後，累積的液態氨表面會發生沸騰現象，
但很快就會停止沸騰

液態氨在低絕熱性容器中的性質



在寶特瓶或不鏽鋼容器中，
仍然容易發生液態氨積蓄的狀況
(因為液態氨比熱高、沸點高、汽化熱也高)

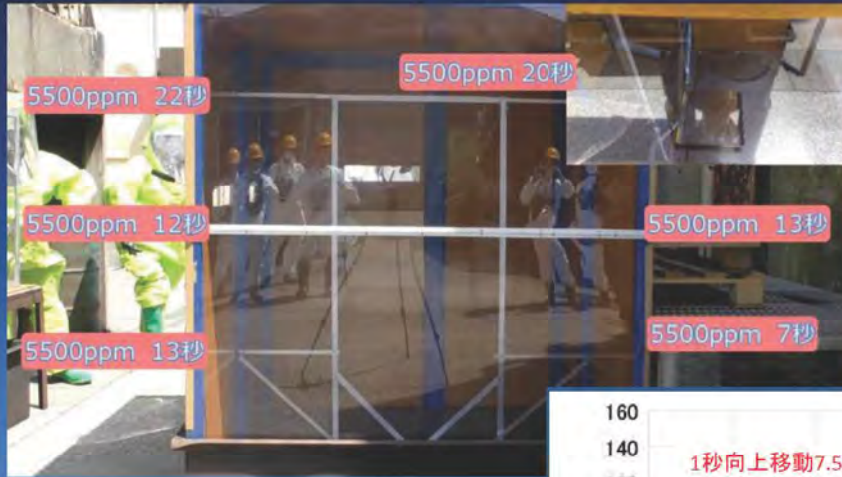
3. 外洩測試結果

① 釋放液態氨(約100mL)後的瞬間 (地板條件：乾燥)

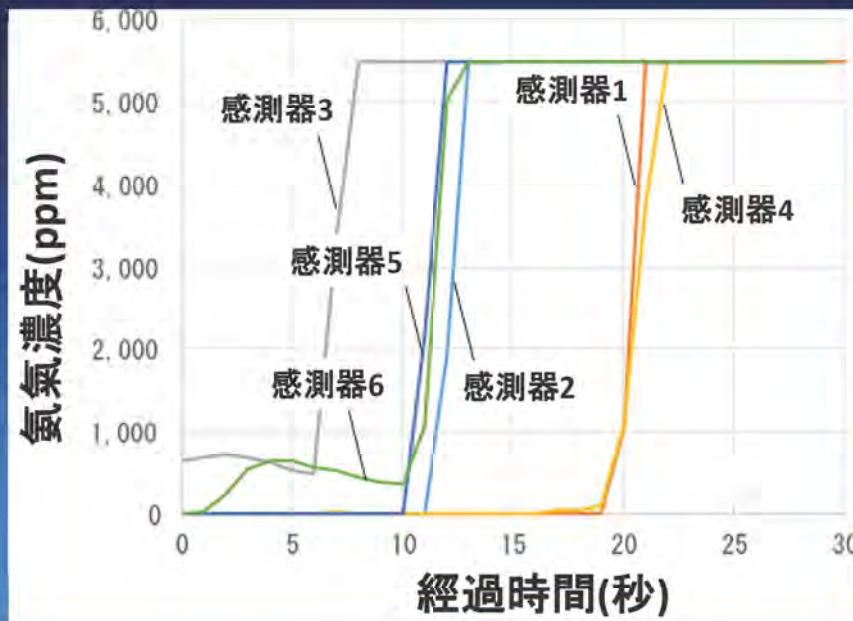
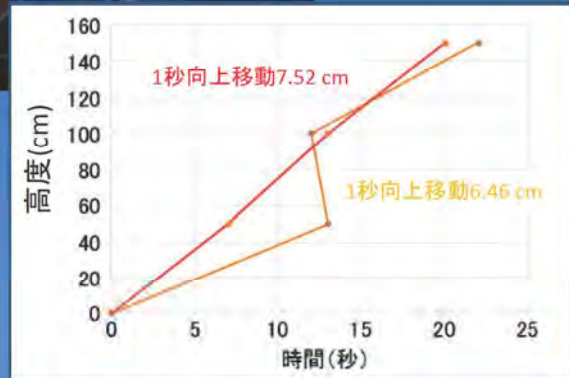


液態氨由於油盆所帶有的熱能而汽化
產生高濃度氨氣

② 氨氣(濃度：5500ppm)上昇 (乾燥環境)



汽化後的氨氣
在1秒以內向上移動了
6.5 cm ~ 7.5 cm



在氣體抵達上圖中各高度後
在1 ~ 2秒以內便達到足以致死的超高濃度

③ 實驗中釋放的液態氨



在油盆上殘留許多液態氨

④ 為了抑制氣體濃度而噴射少量水霧



此時液態氨殘留液體汽化而產生氣體，
反而形成了高氣體濃度的危險狀態

⑤ 釋放液態氨(約100mL)後的瞬間 (地板條件:海水)

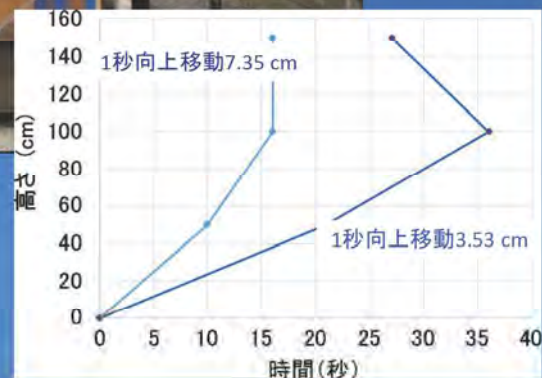


海水不會吸收太多氨
液態氨受到海水帶有的熱能影響而急遽汽化

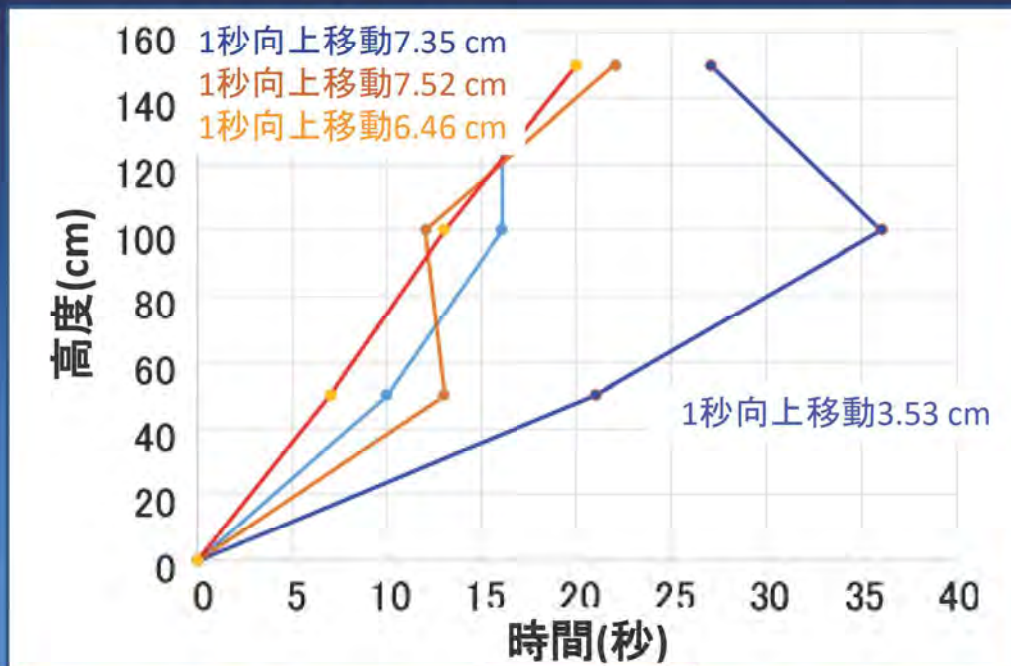
⑥ 氨氣(濃度: 5500ppm)上昇 (海面上)



汽化後的氨氣
在1秒以內向上移動了
3.5 cm ~ 7.4 cm



⑦ 氨氣(濃度：5500ppm)上昇 (乾燥環境 / 海面上)



有部分在海水上方外洩的氨氣向上移動的速度較慢

⑧ 將氨釋放到海水中時產生的色彩變化

釋放氨時，氨與海水反應的狀況



海水白濁化(氫氧化鎂)

⑨ 氨的可燃性



使用火把嘗試點燃液態氨，無法點燃
僅有液態氨的狀況下難以燃燒

⑩ 在A類火災(木片)場景中釋放液態氨

(釋放100 mL左右 第一次)



(釋放100 mL左右 第一次)



對燃燒中的木片釋放液態氨
導致氨氣燃燒

⑪ 在 B 類火災(煤油)場景中釋放液態氨



對燃燒中的煤油釋放液態氨
導致氨氣燃燒

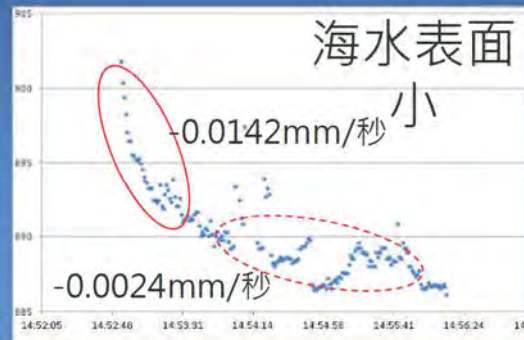
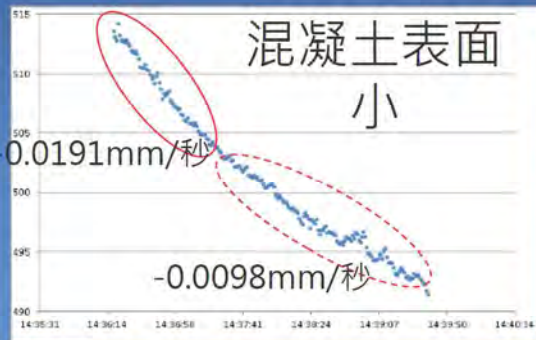
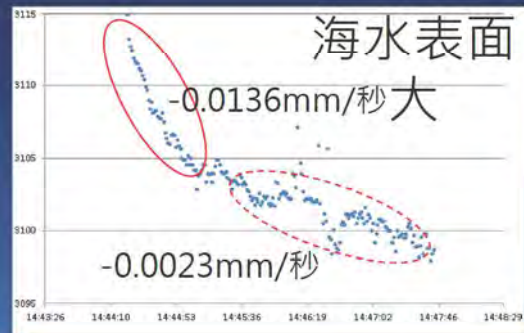
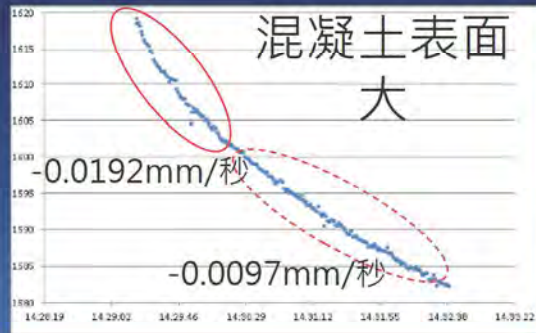
⑫ 液態氨的蒸發速度 (液面降低速度)

① 蒸發率 外洩表面大 乾燥
外洩量 : 101.1 g
外洩面 : 29.8°C



將液態氨釋放於混凝土與海水表面，
測定其重量變化

液態氨釋放後瞬間的液面降低速度



混凝土表面-0.019mm/秒 水面-0.014mm/秒

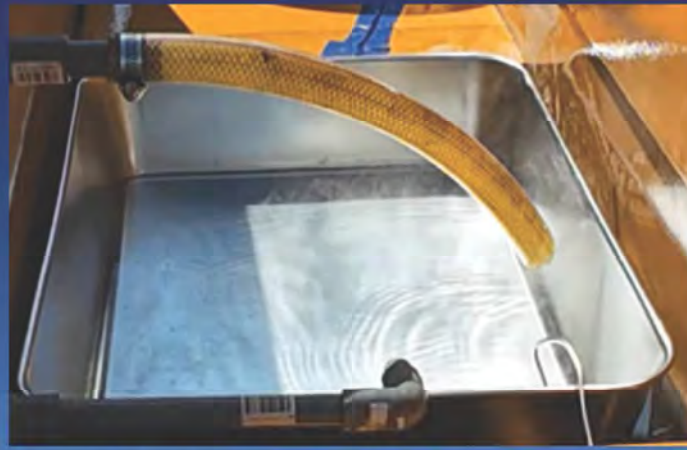
液態氨釋放後瞬間的液面降低速度

		面積(cm ²)	g/秒	cm ³ /秒	mm/秒
混凝土表面大	初期 急遽	208.67	-0.270	-0.4007	-0.0192
	初期 緩慢		-0.137	-0.2026	-0.0097
混凝土表面小	初期 急遽	122.72	-0.158	-0.2344	-0.0191
	初期 緩慢		-0.081	-0.1208	-0.0098
海水表面大	初期 急遽	208.67	-0.191	-0.2834	-0.0136
	初期 緩慢		-0.032	-0.0480	-0.0023
海水表面小	初期 急遽	122.72	-0.117	-0.1740	-0.0142
	初期 緩慢		-0.020	-0.0289	-0.0024

(參考 液面降低速度)

液化天然氣 -0.42 mm/秒

液面降低速度為液化天然氣的約1/20以下 不易蒸發



釋放後靜置1小時以上的液態氨
液面降低速度 **-0.002049 mm/秒**

(參考 液面降低速度)
液化天然氣 -0.42mm/秒

液面降低速度為液化天然氣的約**1/200**以下 不易蒸發

⑬ 液態氨約1L外洩於混凝土表面上



氣體擴散(水平方向)
風速: 0.7 m/s
外洩量: 774 g

在外洩位置附近(距離50cm)
濃度立刻就達到5500 ppm以上，超過致死濃度

氨外洩測試的反思

1. 氨氣向上移動的速度為**6.5 ~ 7.5 cm/秒**
2. 氨會與海水反應，使海水**白濁化** (產生氫氧化鎂)
3. 液態氨在外洩後**不易蒸發**
4. 液面降低速度

- 30°C混凝土 外洩後瞬間 **-0.019 mm/秒**
- 24°C海水 (夏季條件) 外洩後瞬間 **-0.014 mm/秒**
※約為**液化天然氣(-0.42 mm/秒)**的**1/20**以下
- 於不鏽鋼板上靜置 30分鐘 **-0.002 mm/秒**
※約為**液化天然氣(-0.42 mm/秒)**的**1/200**以下

5. 對液態氨少量噴水會造成**氣體濃度增加**
6. 以明火接觸液態氨也無法將其點燃
對燃燒中的物體**傾倒**液態氨則會導致其燃燒

國外專家專題演講（四之二）

**Keynote Lectures by Foreign
Experts (4-2)**

邁向新能源時代的準備 II

液化氫氣洩漏事故之應變

Response to a Liquefied Hydrogen
Leak

Mr. Takahiro Hagihara

Executive Director

日本海上災害防止中心

Maritime Disaster Prevention Center,
MDPC

萩原 貴浩 常務理事 Mr. Takahiro Hagihara

Executive Director

日本海上災害防止中心

Maritime Disaster Prevention Center, MDPC

- 1988 年 3 月日本近畿大學法學系畢業、1989 年 3 月日本海上保安廳預備軍官學校畢業
- 1982 年 10 月至 1995 年 3 月，日本海上保安廳/海洋環境保護，包括：
石油洩漏緊急應變和國際海事組織訓練課程規劃負責人
(石油、油品、潤滑劑和危險物質洩漏緊急處理環境工程師)
- 1995 年 4 月迄今，海上災害防止中心 (Maritime Disaster Prevention Center, MDPC)，常務理事
- 「模里西斯共和國海洋災害預防及漏油安全應變機構能力提升資訊收集調查」專家
- 國際協力機構 (JICA) 知識共創計畫團體及地區焦點計畫 (海上搜救、海上災害預防、海上保安廳官員海洋環境保護) 培訓講師
- 《阿布達比國家石油公司集團溢油應變能力提升聯合計畫》 (經濟產業省計畫) 主要研究員，危險物質工程師，負責處理毒物、危險物質和爆炸物
- 危險物質工程師，處理毒物、危險物質和爆炸物專業應變人員
- 海事官員 (三副、工程師)、危險物質緊急應變技術人員訓練 (美國 TEEX 訓練)
工業消防隊：初級/高級外部消防 (美國 TEEX 訓練)

為新能源時代作準備 II ~ 液態氫外洩事故的應對方式 ~

一般財團法人 海上災害防止中心
常務理事 萩原 貴浩



目錄

1. 以碳中和為目標的措施
2. 新能源燃料船與相關預期事故
液化石油氣燃料船/液化天然氣燃料船/甲醇
燃料船/氨燃料船/氫燃料電池船
3. 了解液態氫(各種實驗)
4. 預期事故與防災對策

海上災害防止中心(MDPC)的使命

➤ 平時防患未然的努力鑽研正是防災力量的來源。以「不戰而勝」為目標

➤ 在災害現場實施防災活動的目的不在於獲得收益。

使命：公共安全 & 遵守法令

立場：遭遇災害的業者

公領域

私領域



- 為落實公共安全目標，代理遭遇災害的業者，挺身面對事故與災害
- 海防法第42條之20「管理階層與一般職員在本條1號或2號所規範之業務範疇下，就刑法與其他相關法律罰則之量刑，均視作執行公務之職員」
- 例如：收賄、事前收賄、妨礙公務、強迫勞動等

日本的碳中和目標

- 以2013年為基準，在2030年以前，將溫室效應氣體「削減46%，並挑戰削減50%的進一步里程碑」。
- 目標：「於2050年達成碳中和」
- 具體方案
 - 在煤炭火力發電廠引進液化氫混燒技術

日本的碳中和目標

➤ 具體方案

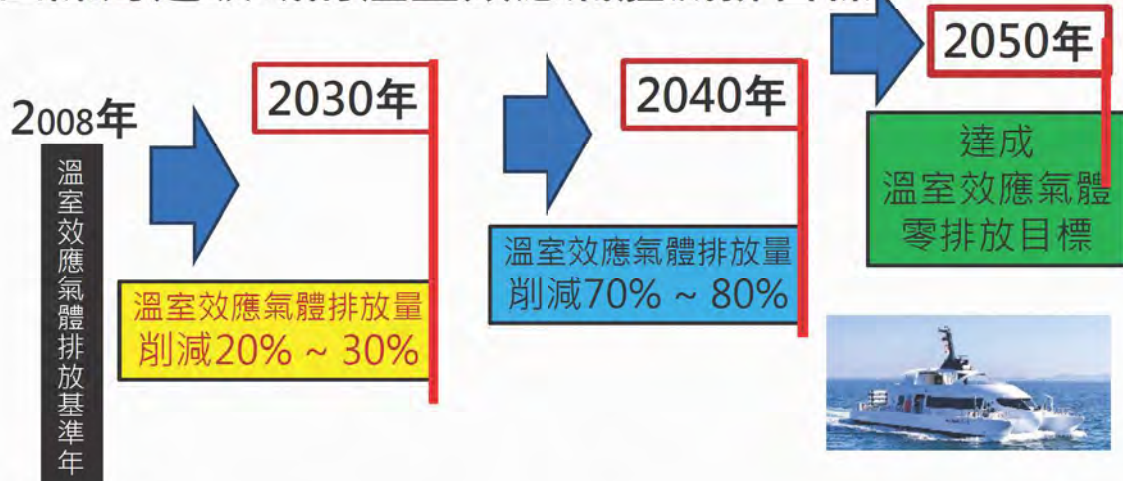
- 回收、液化二氧化碳，並將其貯留於海底
- 建設海上風力發電設施
- 推廣太陽能發電
- 開發次世代 地熱發電技術
- 以液態氫為目標，發展能源轉型
- 2030年：日本國內引進數量達到300萬噸
2050年：約2,000萬噸
- 2050年：將供應成本降低至20日圓/Nm³以下(小於等於瓦斯火力成本)

海事領域的碳中和目標



IMO 溫室效應氣體削減策略

國際海運領域的溫室效應氣體減排目標





雙燃料船的建造與啟用



液化石油氣燃料船

甲醇燃料船

預測2050年全世界船隻有
40%會是甲醇燃料船



【船對船加油】



圖1 典型氣體燃料儲槽配置圖



因應甲醇火災的準備

【3種泡沫滅火藥劑(消防法施行規則)】

- 蛋白泡沫(Protein foam)
- 合成介面活性劑泡沫(Synthetic surfactant foam)
- 水成膜泡沫(Aqueous Film-Forming Foam)



【特殊泡沫滅火劑】

耐酒精型泡沫滅火劑 = 配備於化學品運輸船

(Alcohol Foam)

高分子凝膠型耐酒精泡沫滅火劑

(Aqueous Gel Forming Foam)

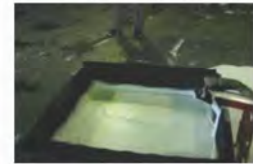
→ 海上災害防止中心(MDPC)

東京灣/伊勢灣/大阪灣、瀨戶內海

已有20艘消防功能船配備



12/29の写真(インターネットより入手)



1/9の映像フジTVニュース映像



雙燃料船的建造與啟用



液化天然氣燃料渡輪

※日本國內外共有約600艘實際航行中

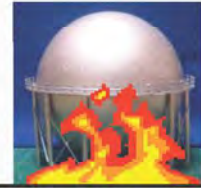


【卡車對船加油】

世界首創
氫燃料拖船



氨燃料船※示意圖



Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
沸騰液體膨脹蒸氣爆炸(BLEVE)



【疑慮】

若燃料槽為耐壓容器，則必須將輪機艙或其他火災因素所引發的「BLEVE現象」納入考量。



沸騰液體膨脹蒸氣爆炸 (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion = BLEVE)



消防功能船必須具有「大量噴水能力」



液態氫運輸船



Suiso Frontier

全長	116.0	m
型寬	19.0	m
型深	10.6	m
總噸數	8,000	T
貨艙容積	12,050	m ³
推進系統	柴油發電、電力推動	
航行速度	約13.0節	
額定人員	25人	

進行日本與澳洲之間的液態氫海上運輸
 在本領域中是「全世界第一個國家規劃事業」

- 將以澳洲褐煤所製造的氫氣運往日本
- 冷卻至零下253°C，體積壓縮至1/860
- 真空絕熱雙層結構液態氫儲槽



氫燃料電池船※氣態氫



- ① 將氣態氫填充至儲槽 ⇒ ② 利用燃料電池發電
 ③ 電池充電 ⇒ ④ 馬達推動

【氫燃料電池 客運、汽車】



【客運事業所中的加氫站(東京都)】



【加氫站與氫燃料電池車】

大量裝載液態氫的環境下可以預期會發生的事故

可以預期在連接大量裝載液態氫的碼頭設施與運輸船的卸料臂進行連接與脫離時，有可能會發生外洩事故



設備需求

為了在緊急狀況下可以迅速而簡便地停止裝載並讓船隻離泊，必須配備緊急停止系統 (ESDS)、緊急脫離系統 (ERS) 等設備。

液化天然氣船裝載事故案例



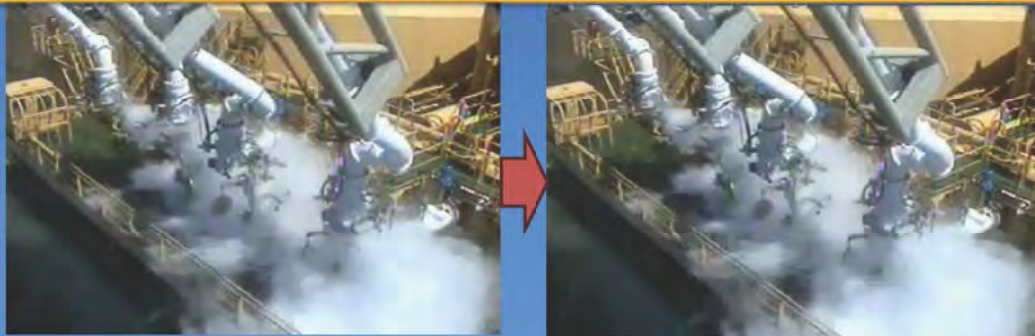
2015年 液化天然氣船 操作失誤
導致大量外洩



液化天然氣船緊急脫離裝置 實際運作案例

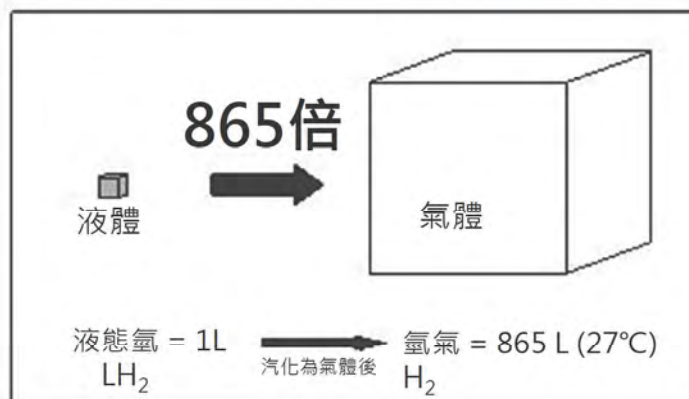


裝載液態氫的時候發生這種事故會是什麼狀況？



氫的物理性質

- ① 無色、無味、無臭
- ② 液態氫也是無色的
- ③ 無毒
- ④ 汽化後體積約為860倍

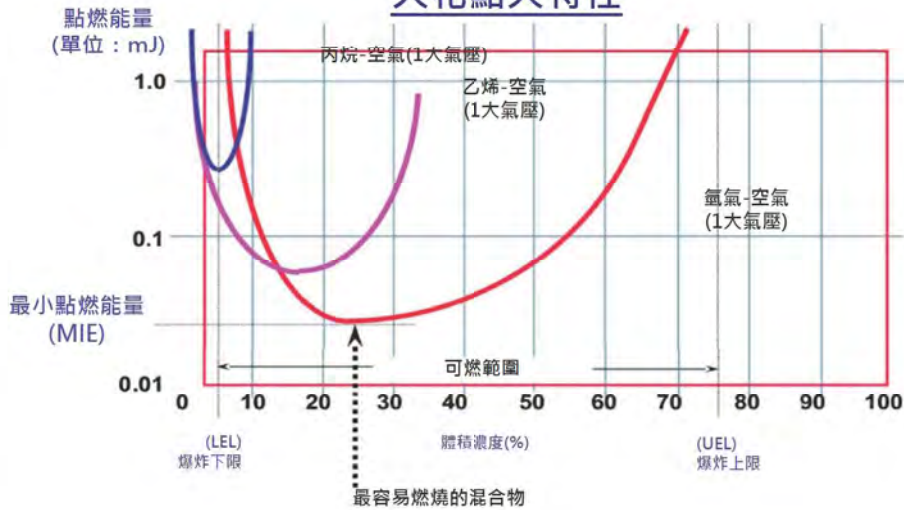




氫的物理性質

- ⑨ 最小點燃能量低
 氫最小點燃能量為「0.02 mJ」
 是甲烷、丙烷(0.28mJ)的 約1/10
 人體帶電的靜電能量約為 約15 mJ

火花點火特性



氫的物理性質

- ⑩ 氫氣容易滲透外洩
 氫的分子量低2.016 g/mol 是最小的分子結構
 容易穿透細微的縫隙

- ⑪ 氫燃燒時的火焰為無色透明



有如熱流閃爍/游絲一樣
透明



灑鹽後會產生焰色
反應

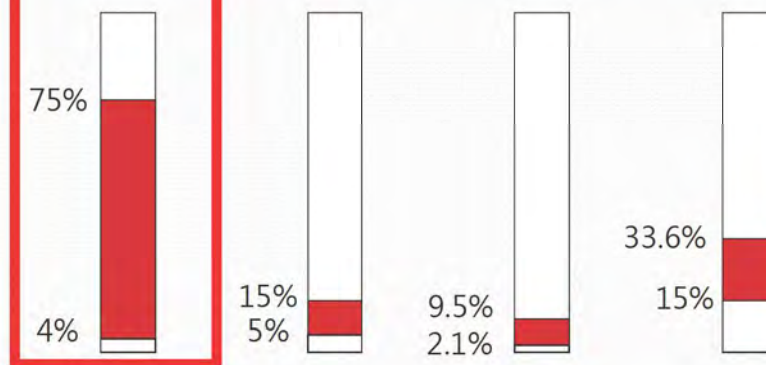


熱成像
紅外線攝影機

氫的物理性質

⑫ 爆炸極限範圍廣

	氫氣 (空氣中)	甲烷 (空氣中)	丙烷 (空氣中)	氨 (空氣中)
UEL (爆炸上限)	75%	15%	9.5%	15 ~ 16%
LEL (爆炸下限)	4%	5%	2.1%	25 ~ 33.6%



⑬ 氫氣燃燒火焰溫度高

氣態氫混合率31.6%時的火焰溫度

氫氣燃燒火焰	2,045°C
甲烷氣體燃燒火焰	1,875°C
丙烷氣體燃燒火焰	1,925°C

⑭ 氫燃燒火焰熱輻射低

⑮ 單位體積發熱量小，單位重量發熱量大

燃料單位體積發熱量(Kcal/L)	
液態氫	2,410
液化天然氣	5,640
汽油	8,590
甲醇	4,290
氫氣(0°C、1大氣壓)	2.95
天然氣(0°C、1大氣壓)	9.59

燃料單位重量發熱量(Kcal/kg)	
氫	33,940
甲烷	13,280
汽油	11,450
柴油	11,070
乙醇	7,100
甲醇	5,400



①⑥

液態氫燃燒的火焰難以撲滅 氣態氫燃燒的火焰易於撲滅



①⑦

一旦撲滅火焰，就會難以確認發生氣體燃燒現象的位置



以熱成像技術拍攝
氫氣燃燒現象的範例



①⑧

火焰傳播速度快

氫(空氣中) 2.65m/秒

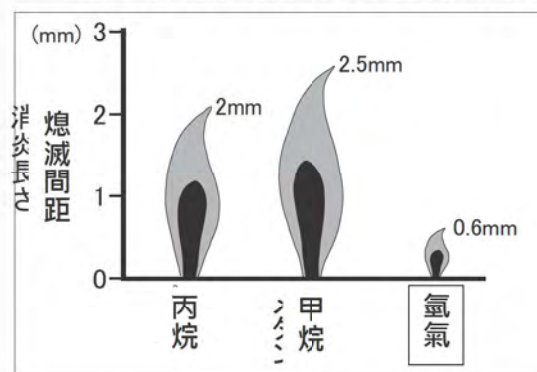
甲烷(空氣中) 0.4 m/秒

丙烷(空氣中) 0.51m/秒

①⑨

熄滅間距短

氫氣用火焰防阻器的孔徑較細



液態氫 外洩事故注意事項

※未發生火災時

1. 在一般人的認知裡，外洩的液態氫會急遽蒸發，但因為氫氣的比重極輕，容易遭受風力影響，與溼氣形成白雲狀氣團後隨風飄走。
2. 隨著液態氫的外洩，周遭空氣會急遽降溫，導致空氣中的氧氣(液化溫度： -186°C)轉變為液態氧。液態氧屬於氧化能力極強的「氧化劑」，因此液態氧飛沫接觸到塗料或瀝青，有可能會導致起火。
3. 接觸液態氫的鋼製甲板等物體發生低溫脆性破壞的可能性很高。※大量噴水可能具有防止低溫脆性破壞的可能性。

液態氫外洩的應對方式：準備容量遠超液態氫外洩量的水，並實施大量噴水。

液態氫 噴出火災的應對方式

基本滅火戰術 =

「以撲滅火災為目的，不以撲滅火焰為目的」

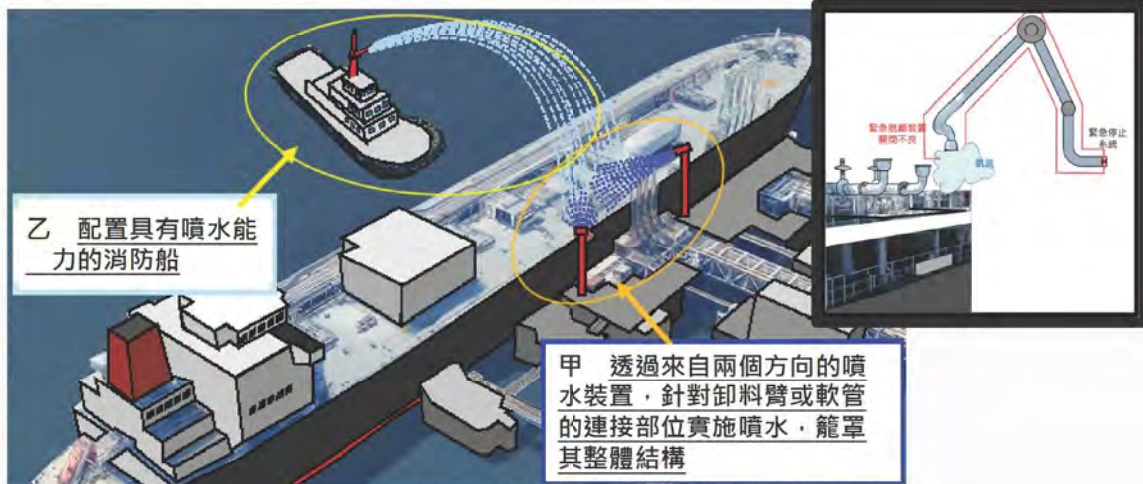
1. 實施海水噴霧，透過海水的焰色反應來確認並掌控火焰(氫氣噴出)的位置以及火焰籠罩的範圍。
【確認噴水】
2. 由負責當前警戒任務的消防船或泊位端的噴水設備實施海水噴射(圓錐狀噴水)，圍堵火焰籠罩的區域。
【局部噴水】
3. 比重極輕的氣態氫容易被風吹走，所以在下風處進行水霧噴水，避免火勢擴散，並同時稀釋燃燒氣體
【遮蔽噴水】

※除了人員搶救等非常狀況以外，「不可以」利用乾粉滅火劑或高壓直射水柱等方式撲滅火焰。



大量裝載液態氫時 因應外洩的對策

- 預期場景：在已發布大規模地震、海嘯警報的狀況下，在緊急脫離裝置啟動使運輸船離泊以前，預先在卸料臂附近大量噴水，避免起火並稀釋氣體擴散的影響。
- 泊位端：從運輸岐管兩端噴射海水，以便徹底籠罩岐管整體結構
- 海上端：利用具有20,000 ~ 40,000 l/min噴水效能的消防功能船實施噴水，壟罩卸料臂整體結構。



國內專家主題 (D)
Domestic Expert Topics (D)

國內液氨事故案例研討
Case Studies of Taiwan Domestic
Liquid Ammonia Incident

高振山 教授
國立聯合大學/北區環境事故專業
技術小組計畫主持人
Dr. Chen-Shan Kao
Professor
CHA Northern Region Environmental
Incidents Specialist Team, Project
Leader

國內液氨事故案例研討



2025 環境事故災害防救韌性
科技國際交流論壇

國立聯合大學/ 北區環境事故專業技術小組

高振山 教授

陳湧盛 隊長

2025.10.30

簡報大綱

- 一、全國近年事故概況
- 二、氨事故案例分享
- 三、問題探討與分析
- 四、致災原因分析
- 五、結語與建議
- 六、國內電廠火警事故案例分享



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY



一、全國近年事故概況



全國近年事故概況

國內氨氣災害事故統計

96-114年(近19年)事故分布與數量統計



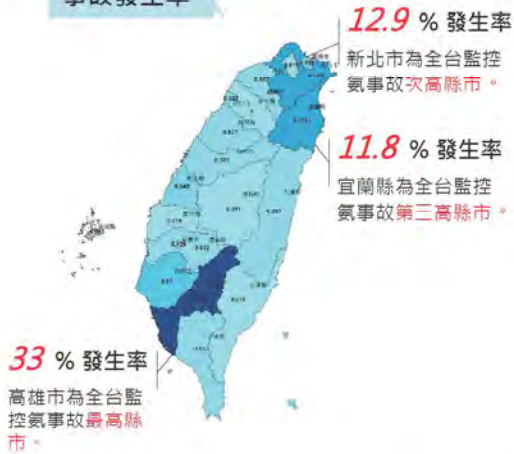


全國近年事故概況

國內氨氣災害事故統計

96-114年(近19年)事故發生與出勤統計

事故發生率



事故出勤率



北市、桃園、苗栗、雲林因發生率相對低，顯示高出勤率情形。綜觀發生/出勤率，**新北市及宜蘭縣**為氨氣事故應變重點區域。



全國近年事故概況

國內氨氣災害事故統計

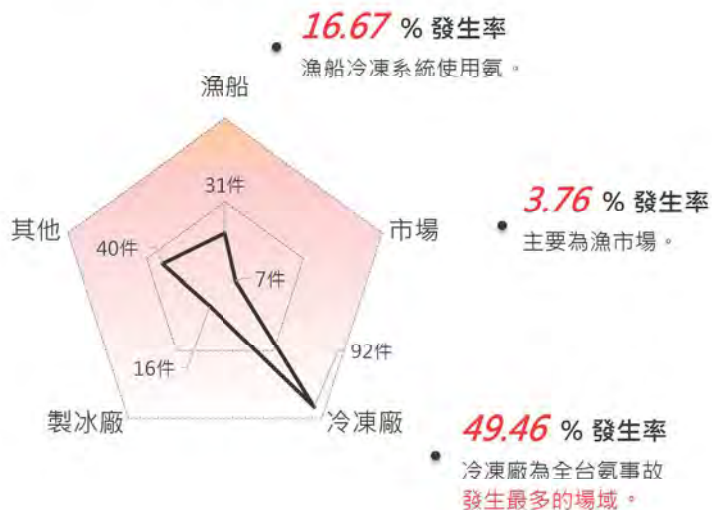
96-114年(近19年)事故場域分析

21.51% 發生率

如鋼瓶、科技廠、電力公司、槽車、機械廠、生技廠、化工廠、或「不明」等場域。

8.60% 發生率

包含漁業製冰、食品製冰。





國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

二、氨事故案例分享

7



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

案例分享

氨(Ammonia)介紹

物化特性



氣體膨脹擴散	外觀：無色、壓縮或液化氣體	氣味：強刺激味	異味導致陳情
強烈氣味特徵	嗅覺閾值：0.6-53 ppm	熔點：-77.7 °C	
強鹼環境污染 體液接觸腐蝕	pH值：11.6(溶於水，在25 °C)	沸點/沸點範圍：-33.4 °C	
	易燃性(固體，氣體)：-	閃火點：/	
	分解溫度：-	測試方法(開杯或閉杯)：-	爆炸風險疑慮
	自燃溫度：850 °C	爆炸界限：15.5 %~25 %	受到溫度影響 氣體縱向擴散
加壓氣體特性	蒸氣壓：7.76 atm(21.1 °C)	蒸氣密度：0.6	應變戰術參考 人員暴露風險
	密度：0.682(-33 °C)	溶解度：易溶	
	辛醇/水分配係數(log Kow)：-	揮發速率：/	

氨氣具**氣體膨脹**、**強烈氣味**特徵，經常導致民眾**陳情異味**，應變人員須留意**爆炸風險**及**腐蝕性**等危害特性，並利用易溶於水特性，以**水霧降低氣體濃度**，並進行**環境圍堵**，避免污染周遭水體。



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

案例分享

國內案例

小港漁船氨氣外洩事故(2018)



密閉空間

濃度蓄積

窒息風險

低溫危害

水霧捕捉

維修防護

專業知識

環境污染

預防措施

應變整備

資料來源：公視新聞



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

案例分享

國內案例

宜蘭冷凍廠氨氣外洩事故(2025)



緊鄰民宅

廠房老舊

多次事故

異味擴散

水霧捕捉

專業訓練

應變設備

環境污染

預防措施

應變整備

資料來源：華視新聞



三、問題探討與分析

11



問題探討與分析

人員層面

應變人力組成、教育訓練、應變能力素養

人力組成

- 現場多為冷凍廠/製冰廠/船員等**非專業應變背景**人員，支援者多為**冷凍系統維修技師**(低估危害與應變專業)。
- **缺乏專業應變背景人員**到場應變。
- 應變**人力配置不足**、無常駐人力，亦無法落實夥伴系統。

教育訓練

- 現場應變人員，大多**未受專業應變教育訓練**，嚴重低估危害。
- 高風險應變環境，因**缺乏專業訓練**，使應變風險不斷增加。

能力素養

- 非專業應變人力，執行應變工作，**常造成死傷情形**(統計96年迄今的氨氣事故，**186**件中有**29**件有死傷情形(約**16%**)，共計**29**件事故造成**6**死**82**傷。多為**皮膚灼傷**、**吸入性嗆傷**。
- 執行應變工作因缺乏應變能力素養，**應變本身即是風險因子**。

12



問題探討與分析

人員層面

應變人力組成、教育訓練、應變能力素養



宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍廠氨氣外洩事故
(2016)



宜蘭縣五結鄉○○食品公司氨氣外洩事故
(2025)

13



問題探討與分析

人員層面

應變人力組成、教育訓練、應變能力素養



宜蘭縣冬山鄉○○冷凍公司氨氣洩漏事
故(2022)



花蓮縣○○冷凍公司氨氣外洩事故(2013)

14



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

問題探討與分析

設備層面

個人防護、應變偵知/減災/防爆/圍堵/除汙器材

個人防護

- 事故廠大多**未備置或防護能力不足**之個人防護設備。
- 部分備置適合應變設備廠家，**缺乏正確防護知識**。
- 經常在**未受保護、錯誤防護或防護不足**情況下導致傷亡。

減災設備

- **缺乏偵知設備**，無法災害第一時間掌握災況。
- **缺乏主動減災設備**，如自動灑水系統，無法以非人工方式主動降低環境濃度。

應變設備

- **缺乏合適應變設備**，如個人防護設備、水霧系統、偵測設備、防爆工具、圍堵器材、廢水處理系統、除汙設備等。

15



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

問題探討與分析

設備層面

個人防護、應變偵知/減災/防爆/圍堵/除汙器材



宜蘭縣五結鄉○○食品公司
氨氣外洩事故(2025)



宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍公司
氨氣外洩事故(2024)



宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍廠
氨氣外洩事故(2016)

16



問題探討與分析

設備層面

個人防護、應變偵知/減災/防爆/圍堵/除汙器材



宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍廠氨氣外洩事故
(2024)



宜蘭縣五結鄉○○食品公司氨氣外洩事故
(2025)

17



問題探討與分析

環境層面

災害場域空間、鄰近敏感區域、區域管制

災害場域

- 多數災害場域為**密閉空間**或**半閉密空間**，災害場域具**人員窒息**、**濃度蓄積**、**爆炸**等風險。
- 部分業者為**避免財損**，**不願關斷電源**，增加爆炸風險。

敏感受體

- 經濟發展與產業特性，**多數事故場所與民宅比鄰而居**。
- 敏感受體民眾，對於此類型災害事故，**並無危害風險認知**。
- 明顯異味導致新聞報導，**社會關注度較高**。

區域管制

- 受異味影響，現場圍觀民眾眾多，且社會關注度高，影像紀錄者眾多，造成**區域管制困難**。

18



問題探討與分析

環境層面

災害場域空間、鄰近敏感區域、區域管制



宜蘭縣五結鄉○○食品公司氨氣外洩事故(2025)



宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍廠氨氣外洩事故(2024)



宜蘭縣五結鄉○○食品公司氨氣外洩事故(2025)

19



問題探討與分析

環境層面

災害場域空間、鄰近敏感區域、區域管制



宜蘭縣五結鄉○○食品公司氨氣外洩事故(2025)



民宅

宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍公司氨氣外洩事故(2024)

工廠

20



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

問題探討與分析

環境層面

災害場域空間、鄰近敏感區域、區域管制



21



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

四、致災原因分析

22



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

致災原因分析

主要災因分析

基本因素

環境因素

- 廠內、外均為**高濕度環境**，導致金屬設施容易產生**腐蝕**現象。

設備因素

- 儲存槽體、輸送管線、閥件材質**非耐腐蝕材質**。
- 未有**主動偵知及減災設備**，忽略常態性微量洩漏。

人為因素

- 防災重視程度欠佳**，**危害認知不足**，未正視化學品災害風險。
- 氨系統操作熟悉度不佳**(輪閥脫落、過量裝載)。

維修保養

- 設備**年久失修**，**維修保養頻率及落實度不足**，大多僅針對洩漏處或明顯損壞處進行修復，未進行整體設備檢查及維修。
- 部分洩漏處容易**因結冰、保溫材包覆而忽略微量洩漏**情形，而未及時處理。

23



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

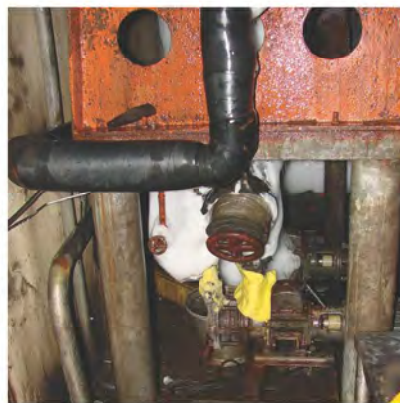
致災原因分析

主要災因分析

基本因素



花蓮縣新城鄉○○冷凍儲槽氨氣外洩事故 (2013)



新北市汐止冷凍工廠氨氣外洩事故 (2013)



台北市萬華區○○公司氨氣外洩事故 (2013)

24



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

致災原因分析

主要災因分析

基本因素



宜蘭縣冬山鄉○○冷凍公司氨氣洩漏事故(2022)



宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍廠氨氣外洩事故(2025)

15



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

致災原因分析

主要災因分析

深層因素

經濟層面

- 漁業興盛時期，促使大量冷凍廠林立，並使用氨作為冷媒，隨著經濟活動與產業型態改變，冷凍廠(尤其是漁業)，整體需求量降低，**產值與維修成本成反比成長**，業者**不願投入成本進行整體維修**，導致重複發生。

管制層面

- 冷凍廠歇業後，未移除冷凍系統中的氨，同時面臨高壓液化容器老舊、腐蝕等問題，但此類廠址**不一定是受管制的危害源**，卻是**相對高風險的場域**，未來如經濟活動與產業型態持續改變，此類狀況將會持續增加，**廢棄冷凍工廠為氨洩漏事故潛在風險**。

16



致災原因分析

主要災因分析
深層因素



基隆市暖暖區○○冷凍公司疑似氨氣洩漏事故(2024)



致災原因分析

主要災因分析
深層因素



宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍廠氨氣外洩事故

1. 2024.04.03-管線洩漏
2. 2025.08.16-閥件洩漏

宜蘭縣蘇澳鎮○○冷凍廠氨氣外洩事故

1. 2010.09.03-管線洩漏
2. 2015.04.17-管線洩漏



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

五、結語與建議

29



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

結語與建議

自災害層面思考

強化源頭管理、管制/改善、預防整備、訓練/人力/設備

Step 1 - 主動減災

(1) 洩漏自動偵知

第一時間透過自動偵測設備偵知洩漏情形。

(2) 管制 - 引火源

關閉電源(財損問題)，
啟動緊急應變工作，
使用防爆工具。

(3) 水霧自動捕捉

自動水霧噴灑，降低環境濃度，避免濃度蓄積，降低爆炸危害風險。

Step 2 - 緊急應變

(4) 應變策略擬定

以水霧防護降低環境濃度、提升能見度，確保人員安全。

(5) 應變人力設備

以專業應變人力/設備執行應變工作，減少應變衍生的風險。

(6) 執行應變策略

洩漏源控制後，持續水霧降低環境濃度，最後才執行通風換氣。

Step 3 - 善後復原

(7) 環境污染控制

廠家需增加廢水圍堵、引流、暫存、抽除設備。

(8) 人員健康追蹤

追蹤應變人力健康情形。

(9) 災後檢討改進

了解災因與應變處置缺失，作為後續災害預防與應變整備參考資料。



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

六、國內電廠火警事故案例分享

31



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

事故案例概述

高雄○○電廠火警事故

事故案例基本資料

- 一、發生時間：114年09月09日19時57分
- 二、事故地點：高雄市永安區興達路
- 三、受傷人員：0人死亡、0人受傷
- 四、事故類型：工廠事故
- 五、災害規模：新2-2號機天然氣加熱器相關管線及輔助設備，主發電設備本體未受損壞。新1號機與新2-1機受影響輕微；鄰近住戶截至09月21日確認**28戶受災**，其中3戶已修復、8戶排修中，餘17戶協調處理中
- 六、波及化學品：天然氣
- 七、事故概述：**新2-2號氣渦輪機 (GT22)** 7月25日點火後至9月8日均使用**常溫燃料**，9月9日事故當天**首次啟用「天然氣加熱器」(PCHE)**，天然氣逐步升溫至**攝氏297度**，系統隨即**偵測到天然氣外洩**，**20時05分起火**，20時24分消防局進場滅火，20時40分隨後火勢撲滅，無人員傷亡。

32



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

事故案例概述

高雄○○電廠火警事故

事故時序

🕒 19:57-20:05

通報

- 19:57 現場偵測到**天然氣外洩**。
- 19:59 **關閉GT22**，現場人員停機疏散通報。
- 20:05 **現場起火**。

🕒 20:24-20:40

應變

- 20:24 消防隊抵達現場，**進行滅火**。
- 20:40 現場已無明火，**火勢撲滅**，無人員傷亡。



災因調查

事故發生後，調查人員在 9/10 和 9/17 拆開該法蘭檢視時，**未發現墊片殘留**。該廠研判不是墊片被燒毀熔化導致消失，而是根本**未安裝正規/正式的墊片**，或換裝了**不符合規格的零件**。

33



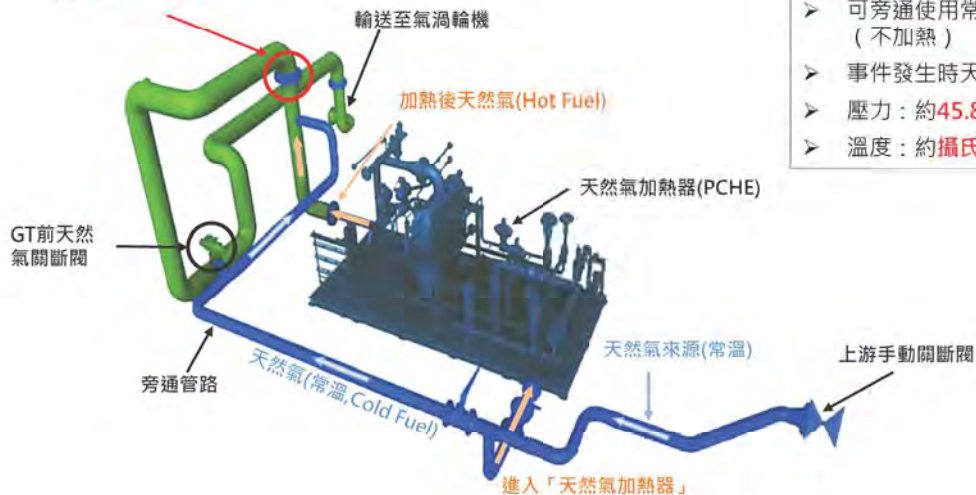
國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

事故案例概述

高雄○○電廠火警事故

事故時序

此次事故法蘭



- 加熱天然氣以提升發電效率。
- 可旁通使用常溫天然氣(不加熱)
- 事件發生時天然氣狀態
- 壓力：約 45.8kg/cm^2
- 溫度：約攝氏 297 度

34



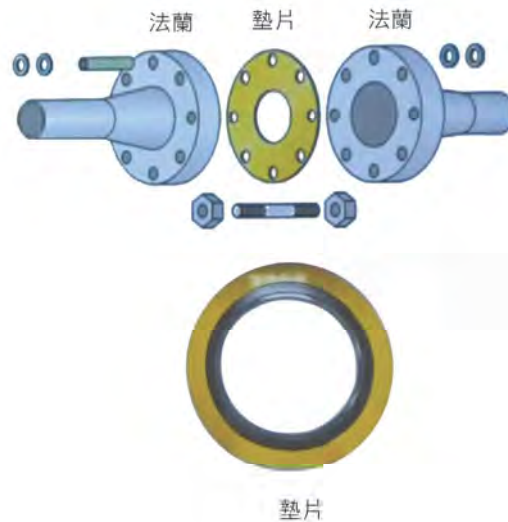
國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

事故案例概述

高雄○○電廠火警事故 災因研討

法蘭間須使用墊片以防止管內氣體或液體自法蘭面滲漏，○○公司設計之SWG符合**國際標準**及**合約規範**要求。

- ◆ 國際標準：依據ASME B16.5規定，墊片建議使用 **Ring Joint (RJG)** 或 **spiral wound gasket(SWG)**。
- ◆ 合約規範：天然氣系統之法蘭至少需達到**ANSI Class 600**標準，且墊片應為1.5 mm耐油、不含石棉成分之平環墊片。



三



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

事故案例概述





國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

事故案例概述

高雄○○電廠火警事故 災因研討



9/10查看GT22天然氣加熱器
下游法蘭接合面縫隙、初判無
墊片殘留



9/17火場調查時，法蘭撐開
後，確認無墊片殘留

由於「水壓試驗」及「氣密試驗」皆合格無洩漏情形，且7月25日點火後至9月8日事故發生前，該管路法蘭已使用常溫燃料進行試運轉，時數共195小時，故該法蘭之墊片有安裝，即事故前該法蘭面有墊片存在。

37



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

事故案例概述

高雄○○電廠火警事故 災因研討

1. 直接原因：承攬商使用不符合規範的密封墊片，於高溫高壓下失效，導致天然氣外洩並引發火警。
2. 異常狀況：事故後檢查未發現墊片殘留，顯示施工或安裝過程存在疑慮。
3. 試運轉紀錄：在事故前，機組曾於常溫條件下運轉約 200 小時，未出現洩漏，表示問題僅在高溫條件下顯現。

總結：

「事故因墊片規格不符，在高溫條件下失效而引發洩漏，且事故前僅於常溫試運轉，未能及早暴露風險。」



GT2-1相同位置，法蘭
正確墊片

people have short memory

38

殷鑑不遠



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

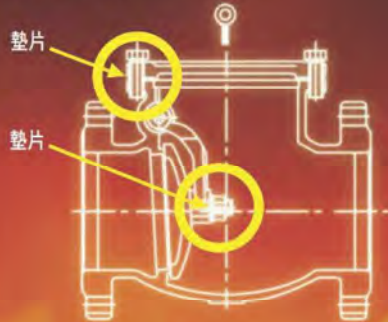
台塑大火

引用媒體報導內容:

1. 2010年7月的台塑六輕大火，經勞檢處調查發覺，是因一個逆止閥**墊片**材料不耐高溫，導致被溶解而造成，實地訪查後，竟發現還有13個墊片有類似風險。
2. 對於出事原因，台塑承認事件出在「**變更管理**」，是工作人員換錯了材料，屬人為疏失。
3. 逆止閥其中的「**墊片**」，就是**關鍵零組件**。尤其煉油廠或石化廠管線間輸送的逆止閥，需要高度的耐酸鹼、耐高溫，才能夠將油料或是氣體緊緊地鎖住不外漏。

釀成災禍的逆止閥與解構圖

造成六輕火災的「元凶」就是類似圖片中的逆止閥。逆止閥中的墊片（圖中黃色地方）疑似腐蝕，無法發揮「阻隔」作用，才會釀成巨災。



39

變更管理MOC(Management of Change)



EPA NEIST

- 變更的定義
 - 現有**設備**、**製程**、**化學品**、**操作程序**或**安全措施**之任何更換/更改均稱為變更，包括暫時性及永久性之變更
 - **所有非同型(Not-in-kind)的更換**都應納入
- 設備零組件故障損壞之更換，及在既有的規格與標準之內所做的調整，屬於“**同類替換**”及在安全操作範圍內改變操作條件時，可以不列入變更管理範圍。
- 所有關鍵性(高溫、高壓、低溫、高毒性、高腐蝕性...)設備、製程、管線、材料、物質、操作...，都應建立變更管理程序

40

變更管理程序



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

- 變更管理程序中應執行並**記錄**：
 - 修改/變更的**技術基礎/理由**
 - **危害風險分析**：安全衛生**影響評估**
 - **修改/更新**相關的操作、維修、測試/檢查**程序**
 - 變更的**有效期間**
 - **核准權限**

41



國立聯合大學
NATIONAL UNITED UNIVERSITY

Thank You!

強化毒性及關注化學物質運作安全管理專題

台灣積體電路製造股份有限公司
企業環境與安全衛生處
供應商安全與稽核管理經驗分享

高秉宏 技術副理



禁止拍照攝影
NO PHOTO NO VIDEO

※本專題禁止拍照、攝影，敬請與會先進配合遵守※

強化毒性及關注化學物質運作安全管理專題

奇美實業股份有限公司
災防自主管理經驗分享

吳健銘 股長

奇美實業 智能防災經驗分享



奇美是一家總部設立於台灣的高性能材料公司。

成立

1960

總部

台灣, 台南市

員工

3,600 人

子公司

鎮江奇美、漳州奇美、奇菱科技、
CHIMEI GLOBAL SG PTE. LTD.

營業額 (2024)

新台幣 **1,329 億元**



CHIMEI

我們研發並製造各種尖端性能材料
來協助全球客戶提升產品到一個新的水準。



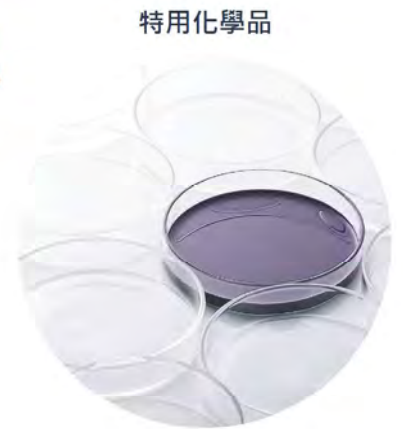
塑料



合成橡膠



機能材料



特用化學品

CHIMEI

推動實例-科技防災資訊

極端氣候**面對、正視**

資訊**→推估、判斷**災情發展



CHIMEI

推動實例-科技防災資訊

天然災害即時資訊掌握



1/2-奇美實業總值室警報：即時顯示警報大圖
(1) 廠界圍牆外區域有積水，車輪胎中線仍可通過
(2) 區域內道路無積水可以通行，請大家繼續作業

1/2-奇美實業總值室警報：即時顯示警報大圖
(1) 廠界圍牆外區域有積水，車輪胎中線仍可通過
(2) 區域內道路無積水可以通行，請大家繼續作業



應變指揮中心進駐



風災及水災

二級開設(海上警報) 啟動會議
一級開設(陸上警報、影響台南)



地震

25 gal(四級)通知
150 gal(五級)召回



工廠運作_{accident} - 科技應變(事故最後一道防線)



事故初期

降災、控制



奇美消防隊成立

1990年

2018年

購置全國首台
高空砲塔化學車

應變平板

空拍機

高空砲塔化學車

2023年

2019年

與台南市政府消防局
簽署支援協議

2022年

聯合示範演練

全國毒災演練

消防機器人

CHIMEI

7

建構化學品管理平台-應變時即時查詢化學品資訊

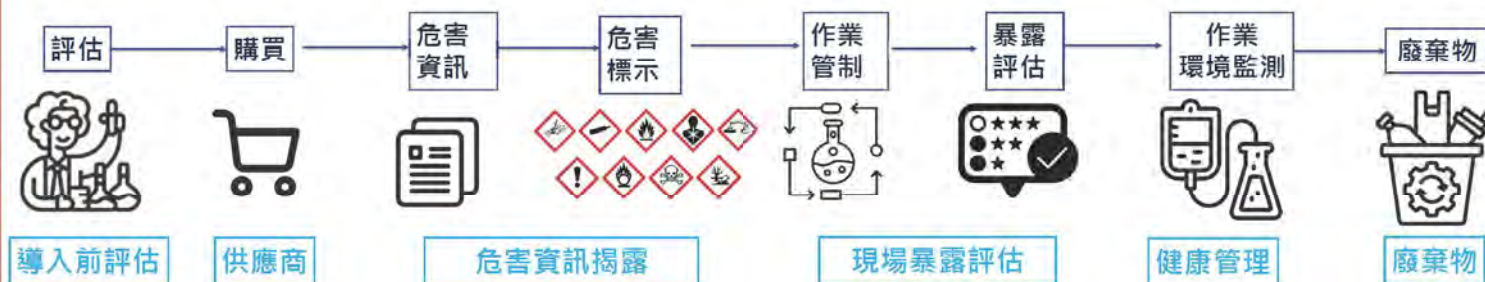


CHIMEI
化學品暨供應商SDS管理平台
Chemical & Supplier SDS management platform

登入 (Sign in)

帳號 (Account)
a13458

密碼 (Password)



CHIMEI

遠距救災設備導入



無人機監控災害情況

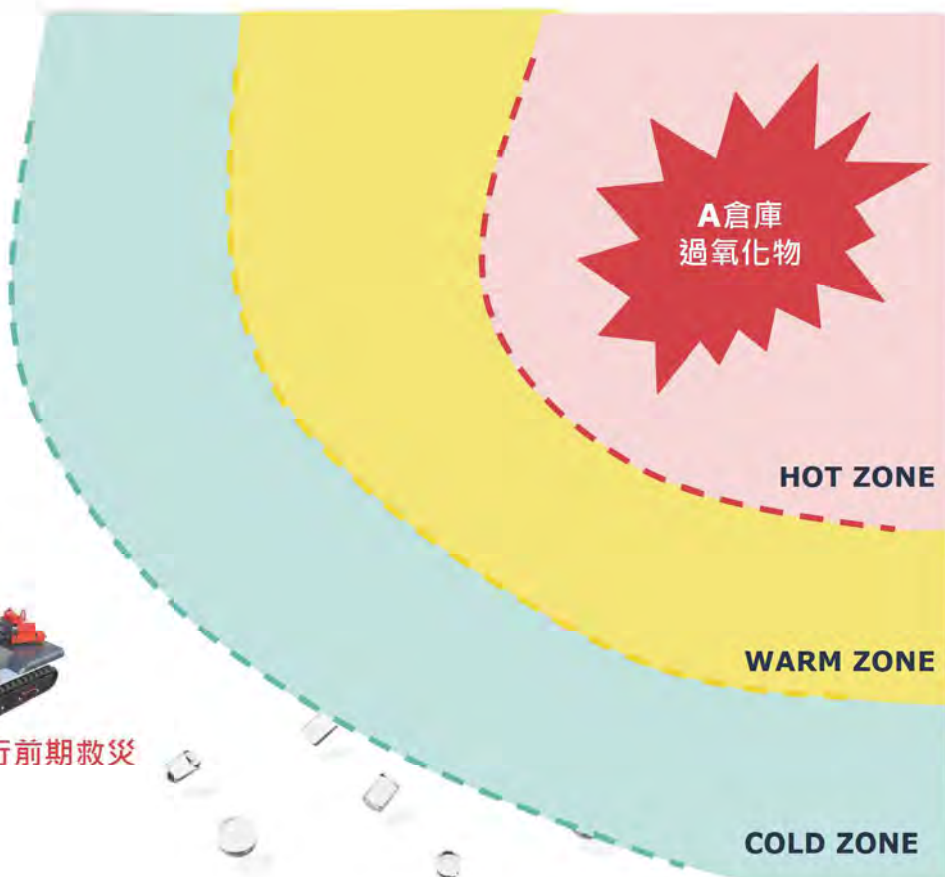


應變平板查詢化學品資訊



消防機器人進行前期救災

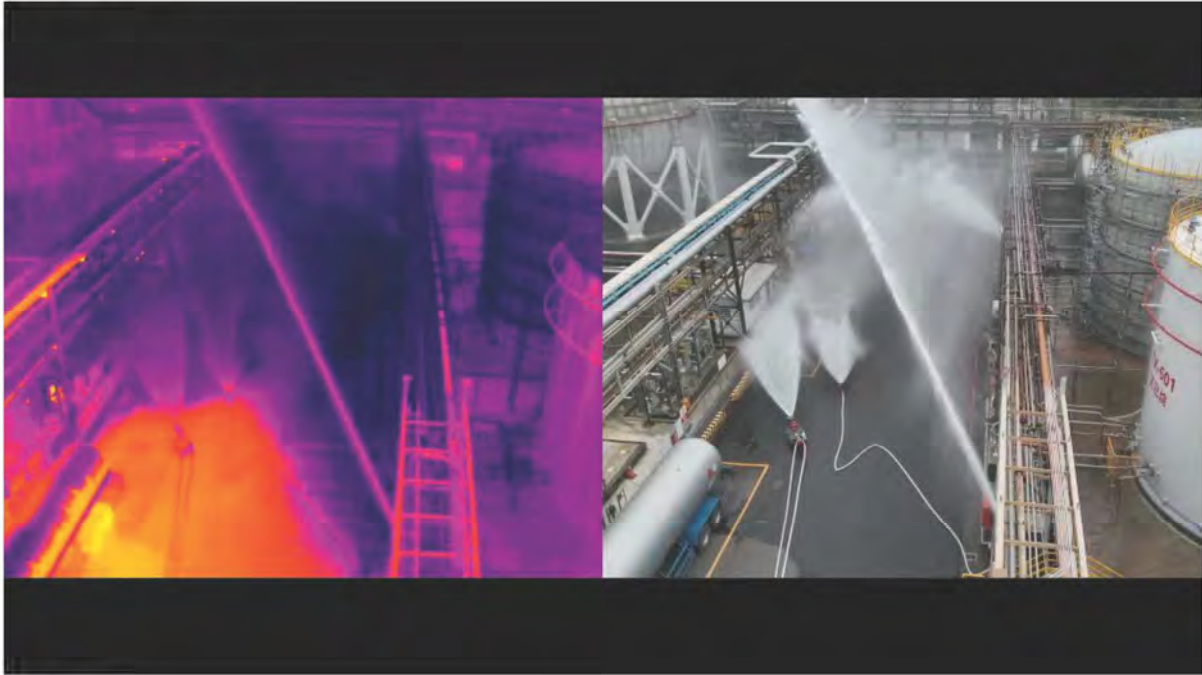
CHIMEI



A 冷藏倉科技防災部署演練

CHIMEI

無預警演練



CHIMEI

11

擴大無人機運用



CHIMEI

屋頂浪板

重量輕、施工快速、多樣性外觀

缺點:

易受外力變形(風、重物)

熱漲冷縮

生鏽



定期檢查

12

高處施工與設備巡查



CHIMEI

13

3D建模差異比對



施工架開口處使用欄杆阻斷進行防護確認

CHIMEI

14

為社會做出貢獻來實現深厚的幸福感才是奇美存在的目的

於2019年與台南市政府消防局簽署支援協議，藉以支援台南市消防局救災任務。



CHIMEI



15

Thank You

1
6

環境事故案例研討（一）
Environmental Accident Case
Study(1)

新竹縣台 61 線南下 64 公里氫氟酸槽車洩漏事故

楊承祐；羅琪兆

○○化工股份有限公司

桃園市觀音區工業五路 11 號

一、摘要

114 年 7 月 19 日早上 6 點 15 分，○○物流公司所屬司機江○銀，駕駛車牌號碼 KEQ-5972 曳引車於台 61 線南下 64Km+600M 處，因遇前方路口號誌為紅燈，便緩慢停於路口停止線前，當時正處於停等紅燈時，遭後方車號 HBD-5285 砂石車不明原因追撞，導致拖拉之貨櫃 ISOTANK 槽體後方左上方遭穿刺破損，司機員當下雖遭受強大力量衝擊而幸未受傷，因所載運之化學原料為氫氟酸為危害性關注化學物質而不敢稍有遲疑，立即撥打警察與消防單位通報專線 110 與 119 通報事故相關訊息，司機員下車並著 C 級防護衣及抗化靴、防毒面具等 PPE 下車察看，檢視 ISOTANK 槽體受損、氫氟酸液體洩漏至環境及現場天候之狀況，並隨後將事故現場相關情況通報 Y00154 氫氟酸僑力化工全國聯防應變組織，啟動全國聯防組織應變人員到場協助搶救與災後環境復原及應變裝備器材整備等作業；新竹縣消防局與警察局及環境部北區環境事故專業技術小組桃園與新竹隊(以下簡稱技術小組)陸續到場進行道路封鎖，區域管制及化學品洩漏濃度量測，新竹縣環保局陸續到場勘查；僑力全國聯防組織應變人員於早上 8 點抵達事故現場，整裝完畢後即著手進行洩漏液體圍堵與 ISOTANK 槽體破孔處止漏作業，同時間應變器材車與 ISOTANK 應變槽車及移動式起重機整備完成旋即出發前往，於 8 點 45 分抵達，隨即啟動事故移槽作業及環境復原作業，事故於下午 1 點 50 分處理完畢，並同時間恢復開放南下車道通行。

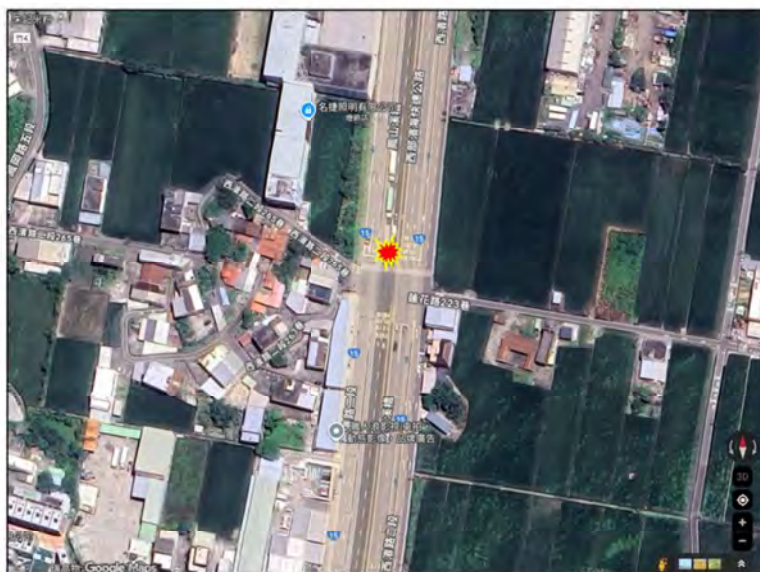
關鍵詞：(1)氫氟酸、(2)槽體洩漏、(3)追撞事故

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

二、事故簡介

- (一) 廠商名稱：○○化工股份有限公司
- (二) 廠區地址：桃園市觀音區工業五路 11 號
- (三) 發生時間：114 年 07 月 19 日 06 時 15 分
- (四) 傷亡人數：無人受傷
- (五) 事故場所：台 61 線西部濱海快速公路南下 64.6 公里處
- (六) 毒性及關注化學物質名稱：氫氟酸



圖一、事故地點



圖二、事故現場

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

(七) 事故經過

114 年 7 月 19 日早上 6 點 15 分，○○物流公司所屬司機江○銀，駕駛車牌號碼 KEQ-5972 曳引車於台 61 線南下 64Km+600M 處，因遇前方路口號誌為紅燈，便緩慢停於路口停止線前，當時正處於停等紅燈時，遭後方車號 HBD-5285 砂石車不明原因追撞，導致拖拉之貨櫃 ISOTANK 槽體後方左上方遭穿刺破損，氫氟酸洩漏至環境汙染事件。

三、應變過程

(一) 應變時間序

表一、應變程序及狀況描述

日期	時間	應變程序及狀況描述
7/19	05:45	○○物流公司所屬車號 KEQ-5972 曳引車，拖拉運送○○化工公司裝有氫氟酸化學原料之 ISOTANK 槽車，前往○○化工公司麻豆轉運站。
	06:15	途經南下 64.6Km 停等紅燈時，遭後方車號 HBD-5285 砂石車追撞。
	06:16	駕駛立即通報 110 與 119 報案。
	06:27	Y00154 氫氟酸僑力化工全國性聯防應變組織接獲通知，立即啟動應變整備。
	07:27	應變人員整備完成，出發前往事故發生地點。
	08:00	應變器材車與應變 ISOTANK 移槽車整備完成，出發前往事故發生地點。 應變人員抵達事故發生現場，即刻進行洩漏災害應變，槽車止漏作業。
	08:20	協力廠商觀音吊車，2 部 120 噸移動式起重機出發前往事故發生地點。
	08:45	應變器材車與應變 ISOTANK 移槽車，抵達事故發生現場。
	08:50	洩漏槽車與應變槽車，氣、液相閥對接完成，開始以氣動泵浦進行移槽作業。
	08:55	應變人員進行環境復原作業，路面灑以石灰粉酸鹼中和，環境除汙等復原作業。
	11:50	移槽作業完成，進行槽體吊掛作業、砂石車拖運、路面清洗等作業。
13:50	事故完成處理，恢復台 61 線南向通車。	

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

(二) 應變小組、外部支援單位、應變器材

表二、應變分工及事故調查單位

應變分工及協助事故調查單位			
聯防組織應變作為	1. 事故通報 2. 啟動聯防應變 3. 止漏及移槽作業 4. 除汙及環境復原		
應變人數	1. 緊急應變人員： 指揮級(1名) 專家級(1名) 技術級(5名) 共計 7 名 2. 應變人員： 除汙 環境復原 器材整備 共計 9 名	外部支援單位	新竹縣消防局與警察局 環境部北區環境事故專業技術小組 桃園與新竹隊
應變分工	現場搶救組先以止漏器材進行槽車止漏，使用吸液棉進行洩漏圍堵，派遣應變槽車進行移槽善後復原組鋪灑石灰粉進行酸鹼中和及道路清洗作業		

表三、應變器材清單

應變器材清單				
項次	種類	數量	可支援數量	存放位置
1	C-吸液棉(盒)	6	6	駕駛座後方緊急應變箱
2	D-C 級防護衣(套)	16	16	駕駛座後方緊急應變箱
3	D-耐酸鹼手套	32	32	駕駛座後方緊急應變箱
4	D-濾罐(防酸)(個)	10	10	駕駛座後方緊急應變箱
5	D-濾清式防毒面罩(個)	10	10	駕駛座後方緊急應變箱
6	B-pH 試紙	10	10	自有
7	B-VOC 氣體偵測器	8	1	自有
8	D-抗化膠帶	5	3	自有
9	D-安全帽(個)	10	10	自有
10	D-護目鏡(個)	10	10	自有
11	D-化學防護靴	10	10	自有
12	D-耐酸鹼手套	32	30	自有

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇 全國環境事故案例研討會

(三) 洩漏復原

環境部化學物質管理署環境事故專業技術小組人員及儀器在場，監測周界之氫氟酸濃度及監控應變作業；其監測周界之氫氟酸數為 0.6ppm，未有致命風險。



圖三、圍堵作業



圖四、移槽作業



圖五、石灰粉酸鹼中和



圖六、車輛吊掛



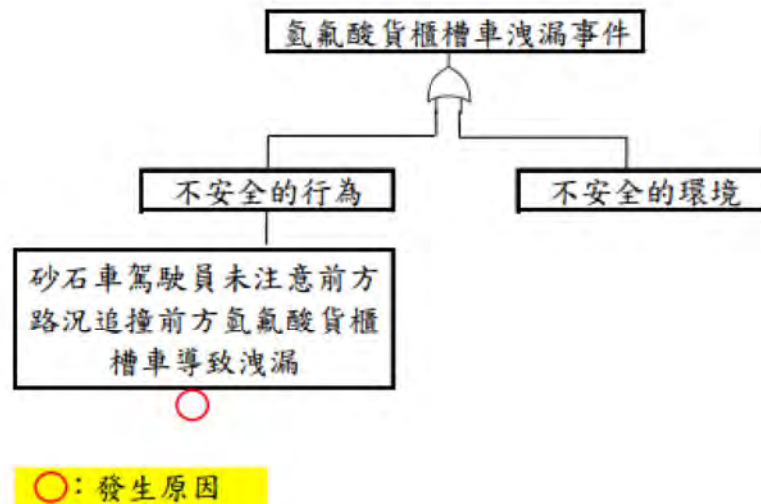
圖七、路面復原

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

四、災因分析

(一) 失誤樹分析



圖八、失誤樹分析

(二) 事故原因分析

1. 直接原因：砂石車追撞氫氟酸貨櫃車導致洩漏
2. 間接原因：砂石車駕駛未注意前方路況保持安全車距
3. 基本原因：砂石車駕駛人員安全意識不足

五、災後處理與復原

當日發生氫氟酸洩漏事件，立即啟動緊急應變處理機制，應變人員進行事故通報後立即著個人防護器具進行洩漏液體圍堵與 ISOTANK 槽體破孔處止漏作業。聯防組織成員及緊急應變槽車抵達現場，人員穿戴個人防護具後隨即進行移槽作業及環境復原。事故槽車內剩餘殘液經由移槽作業移至應變槽車內後送回○○化工觀音廠暫存；緊急應變及環境復原產生之廢棄物如個人防護具、吸液棉(索)等，集中收集至有害事業廢棄物處理袋並委託合法清運商-昂O企業有限公司、處理商-日O環保科技股份有限公司進行妥善清運處理。本案於事故發生後3日內提送速報14日內提送結報。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

六、結語與建議

本次氫氟酸槽車遭後方砂石車追撞導致洩漏事故，顯示化學品運輸仍存在缺口。直接原因來自外力撞擊，間接原因涉及駕駛操作不當，而更深層的基本原因則反映安全意識的不足。事故不僅威脅到駕駛人員與民眾安全，更可能引發重大環境污染與社會恐慌，值得高度重視。未來將持續強化聯防組織的訓練以增進緊急應變的效能，減少環境衝擊與降低人員危害風險。

- (一) 廠內每半年規劃辦理「緊急應變演練(廠場)」、「無預緊演練(全國)」
- (二) 每年度廠內「專業應變人員」安排再回訓訓練
- (三) 於出車前皆須自主確認車台狀況(車輛、板架、貨品、槽體、隨車工具、隨車文件)並加以紀錄確認。且廠內車輛皆依規定進行年度保養、里程確認
- (四) 增設北、南區應變器材貨櫃，即時馳援
- (五) 尋覓操作時間短，易操作應變止漏器材設備。

七、參考文獻

關注化學物質氫氟酸洩漏事故調查處理報告(案件編號：J20250721-002)

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

嘉義縣台 61 線南下 271.5 公里 1,4-丁二醇槽車洩漏事故

蔡文雄*；林育烜

○○公司參寮廠

雲林縣參寮鄉台塑工業園區 25 號

一、摘要

114 年 7 月 26 日上午 08 時 30 分一輛載運 1,4-丁二醇槽車行經嘉義縣布袋鎮台 61 線南下 271.5K 處，疑似該處路面因下雨潮濕，槽車駛過高架橋伸縮縫時，車身明顯開始晃動，接著槽車左右偏擺，最後失控撞上中央分隔島，左側翻於分隔島上，化學品有洩漏，司機未繫安全帶遭彈出至對向車道，受到輕傷。司機於 08:33 通報運輸公司；運輸公司於 08:38 通報 119 及 09:21 通報嘉義縣消防局，嘉義縣消防局於 08 時 55 分到達現場將司機送至醫院進行治療。

現場應變單位有環境事故專業技術小組、聯防組織成員、消防局、環保局、警察局及運輸公司等單位。聯防組織於 10:05 抵達現場，先以吸液棉圍堵周界排水孔及確認槽車洩漏狀況，再以塑鋼土對破孔止漏。同時聯繫移槽空槽車一台、吊車兩台及移槽設備到場，聯防組織人員約 13:17 進行移槽，15:14 將槽車吊掛扶正，扶正後，聯防組織人員持續進行止漏、盛接、移槽，。移槽完成後，進行環境復原作業，以水車清洗台 61 線高架橋路面，同時橋下方安排清溝車抽除汙水，高架橋路面確認除汙完成後，16:58 台 61 線高架路面恢復通車，接者進行台 61 線高架橋下方平面道路清洗路面，平面道路確認除汙完成後，平面道路恢復通車，所有單位及人員撤離，19:00 狀況解除。

關鍵詞：(1)1,4-丁二醇、(2)槽車洩漏

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

二、事故簡介

(一) 廠商名稱：○○公司麥寮廠

(二) 廠區地址：雲林縣麥寮鄉台塑工業園區 25 號

(三) 發生時間：114 年 7 月 26 日 08 時 30 分

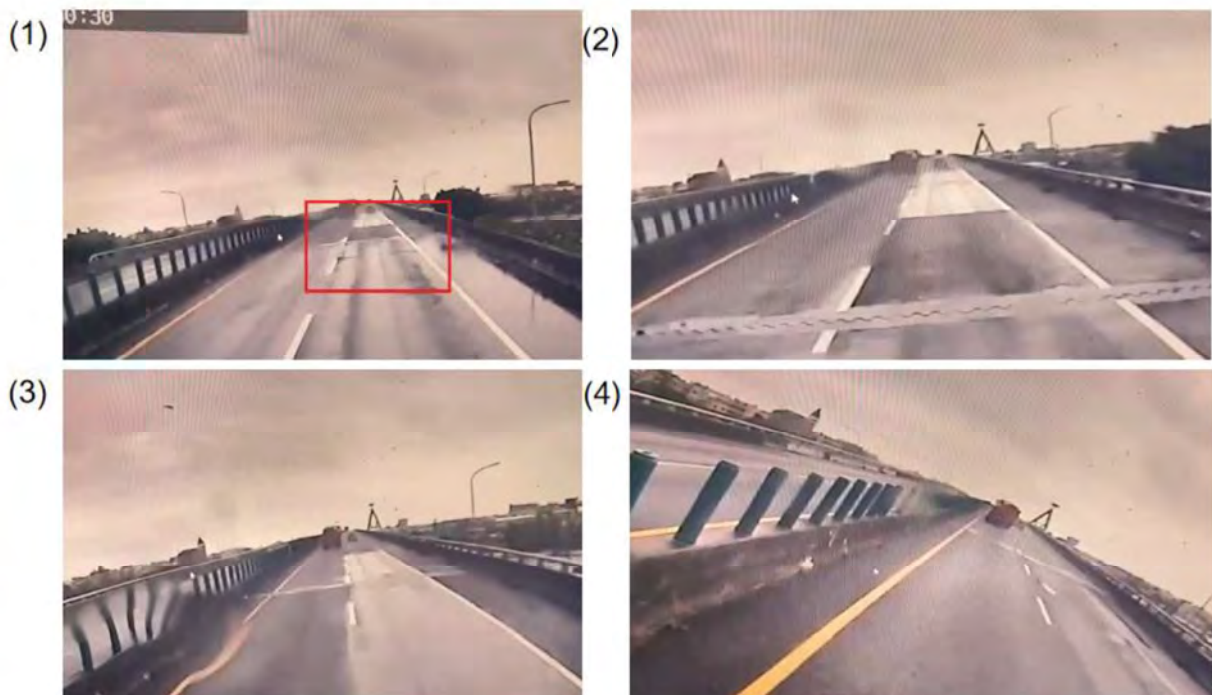
(四) 傷亡人數：1 人輕傷送醫

(五) 事故場所：嘉義縣布袋鎮

(六) 毒性及關注化學物質名稱：1,4-丁二醇(BDO)

(七) 事故經過：114 年 7 月 26 日上午 08 時 30 分一輛載運 1,4-丁二醇槽車行經嘉義縣布袋鎮台 61 線南下 271.5K 處，疑似該處路面因下雨潮濕，槽車駛過高架橋伸縮縫時，車身明顯開始晃動，接著槽車左右偏擺，最後失控撞上中央分隔島，左側翻於分隔島上，化學品有洩漏，司機未繫安全帶遭彈出至對向車道，受到輕傷。

(八) 通報內容：司機於 08:33 通報運輸公司；運輸公司於 08:38 通報 119 及 09:21 通報嘉義縣消防局；麥寮廠於 09:22 通報雲林縣環保局(由公害陳情專線轉接)及 09:25 通報嘉義縣環保局(由公害陳情專線轉接)。



圖一、事故槽車行車紀錄畫面

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
 全國環境事故案例研討會



圖二、事故現場照片

三、應變過程

(一) 應變時間序

表一、應變程序及狀況描述

時間	內容
10:05~10:44	1.1 聯防組織出動 12 人抵達現場，確認槽車 4 處洩漏，先以吸液棉圍堵周界排水孔。 1.2 使用吸液棉及塑鋼土對 4 處破孔止漏完成。 1.3 聯防組織人員與中區技術小組、嘉義縣消防局、嘉義縣環保局討論後續作業方式。
10:58~11:08	2.1 嘉義縣消防局指揮官指示人員都在南下車道(下風處)，全員需移至北上車道(上風處)。 2.2 運輸公司 2 人到場，答覆嘉義縣環保局、嘉義縣警察局布袋分局相關運輸問題。 2.3 第一台吊車抵達，等待後續移槽空槽車及 PUMP 設備到場。
11:50~13:00	3.1 運輸公司移槽空槽車一台、第二台吊車及聯防組織支援人員 8 人及移槽設備抵達現場。 3.2 中區技術小組環境偵檢及採樣、嘉義縣消防局在上風處布置水線戒備。 3.3 聯防組織人員與中區技術小組制定流程：圍堵、移槽、吊掛扶正。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
全國環境事故案例研討會

13:17~15:14	<p>4.1 聯防組織人員著 C 防進行圍堵、接管、移槽作業，持續由事故槽車移動至空槽車，直至聯防組織人員回報移槽管線抽無化學品。</p> <p>4.2 聯防組織人員打開槽頂人孔，人孔無化學品流出。</p> <p>4.3 聯防組織人員與中區技術小組討論後，修改流程：圍堵、吊掛扶正、移槽。</p> <p>4.4 由二台吊車進行槽車吊掛扶正。</p> <p>4.5 吊車扶正後，槽車破孔有化學品流出，聯防組織人員進行止漏、盛接、移槽。</p>
15:15~16:58	<p>5.1 水車 4 台、清溝車 1 台抵達現場。</p> <p>5.2 移槽完成後，進行環境復原作業，先以水車清洗台 61 線高架橋路面，同時橋下方安排清溝車抽除汗水。</p> <p>5.3 中區技術小組採樣確認高架橋路面除汙完成，相關人員撤離，台 61 線高架橋路面恢復通車。</p>
17:25~19:00	<p>6.1 高架橋路面除汙完成完成後，再進行台 61 線高架橋下方平面道路環境復原作業，以水車清洗路面、清溝車同步抽除汗水。</p> <p>6.2 中區技術小組採樣確認平面道路除汙完成，所有單位及人員撤離，平面道路恢復通車。</p>

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇 全國環境事故案例研討會



圖三、區域圍堵



圖四、針對應變流程討論



圖五、槽車吊掛扶正



圖六、移槽作業



圖七、橋面道路清洗



圖八、確認橋面完成清污



圖九、橋面下道路清洗



圖十、確認橋面下道路完成清污

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

表二、應變器材清單

項次	種類	數量	存放位置
1	A-室外消防栓(個)	10	廠區
2	C-儲筒修護包(組)	1	器材車
3	C-管件修護包(組)	1	器材車
4	D-A 級氣密、耐用型防護衣(套)	3	控制室
5	D-C 級防護衣(套)	12	控制室
6	D-自攜式空氣呼吸器(套)	3	控制室
7	D-安全帽(個)	8	控制室
8	D-護目鏡(個)	6	控制室
9	D-濾清式防毒面罩(個)	6	控制室
10	G-器材車(部)	1	停車場
11	AA-急救箱	1	行政辦公室
12	D-耐酸鹼手套	12	控制室
13	D-耐酸鹼防護鞋(長統)(雙)	6	控制室
14	C-吸收棉(條)	1	控制室
15	C-防液提	1	廠區
16	A-C-03-中央廣播系統	1	廠區
17	D-備用鋼瓶	2	控制室
18	B-固定式毒性氣體偵測器	14	廠區
19	D-濾罐(有機氣體/酸性氣體)(組)	12	控制室
20	A-消防用蓄水池	1	廠區
21	B-光離子化偵測器(PID)	1	控制室
22	D-A 級防護靴	3	控制室

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

四、災因分析

(一) 事故原因

車輛壓到潮濕的路橋伸縮縫打滑，司機此時往左打方向盤，接著車輛劇烈左右晃動，隨即往內側車道翻覆。

(一) 原因分析

1. 司機經驗不足，僅有半年的駕駛槽車經歷，高速之下，方向盤轉動幅度過大，造成載重槽車偏擺翻覆，導致車輛翻覆。
2. 運輸公司的司機管理制度欠佳，沒有妥善的安全駕駛訓練。

五、災後處理與復原

(一) 現場恢復狀況

1. 安排 1 台清溝車及 4 台灑水車進行橋面道路、橋面下道路清理復原及橋下抽除污水。
2. 經檢測，確認高架橋路面完成清污，高架橋路面恢復通車。
3. 經檢測，確認平面道路完成清污，平面道路恢復通車。

(二) 產生污染物恢復狀況

1. 事故槽車抽除之化學品與清理橋面及道路之污水收集至移槽車輛與清溝車，應變完成後載運至麥寮廠，兩者皆打入製程設備進行回收。
2. 應變過程使用的吸液棉等應變物品，載運麥寮廠，以密閉容器暫存，使用後應變物品屬於一般事業廢棄物，將送焚化處理。

六、結語與建議

(一) 預防及改善建議事項

1. 針對運輸公司的「司機管理、行車影像稽核、緊急應變能力」等項目，進行查訪與改善追蹤。
2. 定期抽查運輸公司車內「行車紀錄影像」，確保依規定繫安全帶，違規者依運輸罰則處罰。
3. 要求運輸公司依此事故教育所有司機，應依道路速限注意氣候風速減速慢行，並定期對司機實施槽車安全駕駛基本觀念與安全防衛駕駛。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

(二) 應變缺失檢討及改善

1. 止漏完成後，等待移槽用空槽車及軟管工具到場時間較長，應於事故發生初期即平行聯繫備妥。
2. 現場安排 3 台灑水車及 1 台清溝車執行清除作業，應再視情形增加灑水車及清溝車，以提早復原現場速度。

七、參考文獻

114 年 7 月 26 日台 61 線民生議題類關注化學物質(1,4-丁二醇)事故調查處理報告。

高雄市小港區○○貨櫃場鄰苯二甲酸二異壬酯洩漏事故

楊順傑；王致凱

○○塑膠工業股份有限公司

雲林縣麥寮鄉台塑工業園區 2 號

一、摘要

113 年 12 月 27 日運輸公司司機載運○○公司 DINP 貨櫃，當日交運高雄港途中，司機返回運輸公司高雄櫃場拿取報關資料，離開櫃場前進行發車前檢查，14:00 發現貨櫃後方有 DINP 滴漏現象，隨即通知運輸公司調度員，調度員轉通知業主○○可塑劑廠，可塑劑廠於 14:20 通報高雄市環保局並啟動聯防組織要求台塑貨運仁武站於 2 小時內至現場進行應變。應變初期以盛接桶收集 DINP 洩漏液，聯防成員台塑貨運仁武站抵達現場後，鋪設帆布以吸油索進行圍堵避免災害持續擴大，由於貨櫃袋無法進行止漏作業，故研擬貨櫃袋一貨櫃袋進行移櫃，後續貨櫃袋廠商及新櫃陸續到場，由貨櫃袋廠商進行移櫃前置作業，待業主抵達後隨即進行移櫃作業，轉移後之新櫃直繳高雄港結關，應變相關有害事業廢棄物經環保局同意得封存於事故櫃中，待後續依法完成清除處理。

關鍵詞：(1)可塑劑、(2)貨櫃袋洩漏、(3)移櫃作業

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

二、事故簡介

- (一) 廠商名稱：○○塑膠公司麥寮廠區可塑劑廠
- (二) 事故位置：高雄市小港區中安路與高鳳路交界處
- (三) 發生時間：113 年 12 月 27 日 14 時 00 分
- (四) 傷亡人數：0 人
- (五) 事故場所：運輸公司高雄櫃場
- (六) 毒性及關注化學物質名稱：DINP 鄰苯二甲酸二異壬酯
- (七) 事故類型：洩漏(未波及周邊)
- (八) 災損狀況：DINP 洩漏量 540kg
- (九) 事故經過：運輸公司司機黃員載運本公司 DINP 貨櫃，於 2024/12/27 14:00 發現貨櫃袋微洩漏，位置於高雄市小港區櫃場，事故初期以盛接桶收集洩漏液，避免直接污染環境。



圖一、運輸公司櫃場平面圖



圖二、事故現場照片

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

三、應變過程

(一) 應變時間序

表一、應變程序及狀況描述

日期	時間	應變程序及狀況描述
113 12/27	14：00	司機黃員發現貨櫃袋微洩漏，運輸公司通知業主公司○○可塑劑廠。
	14：10	初期使用盛接桶持續收集 DINP 洩漏液。
	14：20	○○公司通報高雄市環保局，並啟動聯防組織要求台塑貨運仁武站於 2 小內至現場進行應變。
	14：50	聯防單位台塑貨運仁武站抵達後，鋪設帆布以吸油索進行圍堵，避免災害持續擴大。
	15：16	派遣司機提領新櫃。
	16：30	貨櫃袋廠商抵達，進行移櫃前置作業。
	19：00	應變人員利用泵浦將破損貨櫃袋料品移至新貨櫃袋。
	21：50	移櫃完成，應變人員進行災後環境整理及除污。
	22：30	申請運送聯單，轉移後之新櫃托運磅重直繳高雄港結關。
22：50	破損櫃袋、廢液及除污等有害事業廢棄物妥善封存事故櫃中。	

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

(二) 應變小組、外部支援單位、應變器材

表二、應變分工及事故調查單位

應變分工及協助事故調查單位			
運作場所應變作為	1.人員初期盛接、圍堵 2.移櫃作業 3.除污作業	運作場所外部支援單位	高雄市環保局土壤及水污染防治科、南區毒災應變諮詢中心、台塑貨運仁武站、運輸通運公司、貨櫃袋廠商
應變人數	業主○○可塑劑廠等 6 員	支援單位應變人員	高雄市環保局土壤及水污染防治科等 3 員、南區應變諮詢中心應變人員、台塑貨運公司等 3 員，運輸公司等 3 員，貨櫃袋廠商等 10 員
應變分工	依「全國性第 Y00080 組塑化劑南亞毒災聯防組織設立計劃」之任務分組，指揮官、安全官、偵檢圍堵組、除污組、環境圍堵組、止漏組、複偵組、支援組通訊組		

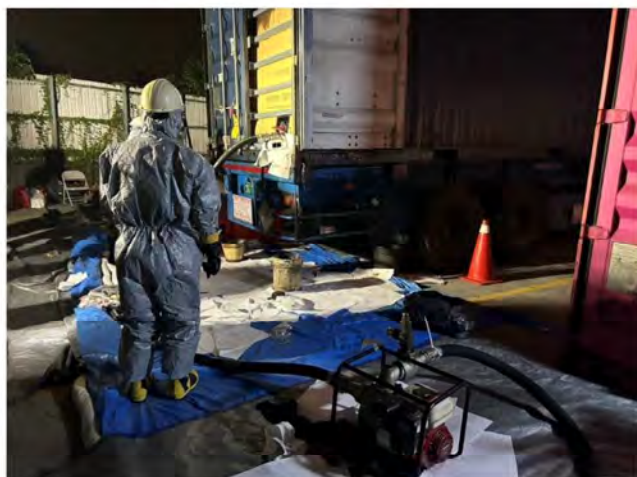
表三、應變器材清單

應變器材清單			
項次	種類	數量	存放位置
1	D-濾毒罐(個)	38	工安器材室
2	C-吸油繩(公尺)	70	工安器材室
3	C-吸油布(公斤)	20	工安器材室
4	D-防護手套(耐酸鹼)	3	工安器材室
5	D-濾清式防毒面罩(個)	2	工安器材室
6	D-護目鏡(個)	13	工安器材室
7	D-防護鞋(雙)	7	工安器材室
8	D-安全帽(個)	18	工安器材室
9	D-自攜式空氣呼吸器(套)	6	工安器材室
10	D-C 級防護衣(套)	23	工安器材室
11	D-B 級防化、抗腐蝕之防護衣(套)	4	工安器材室
12	D-A 級氣密、耐用型防護衣(套)	11	工安器材室

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇 全國環境事故案例研討會

13	C-管件修護包(組)	3	工安器材室
14	C-堵漏修護包(組)	2	工安器材室

(三) 移櫃作業



圖三、移櫃作業 1



圖四、移櫃作業 2



圖五、捲摺貨櫃袋進行殘液集中

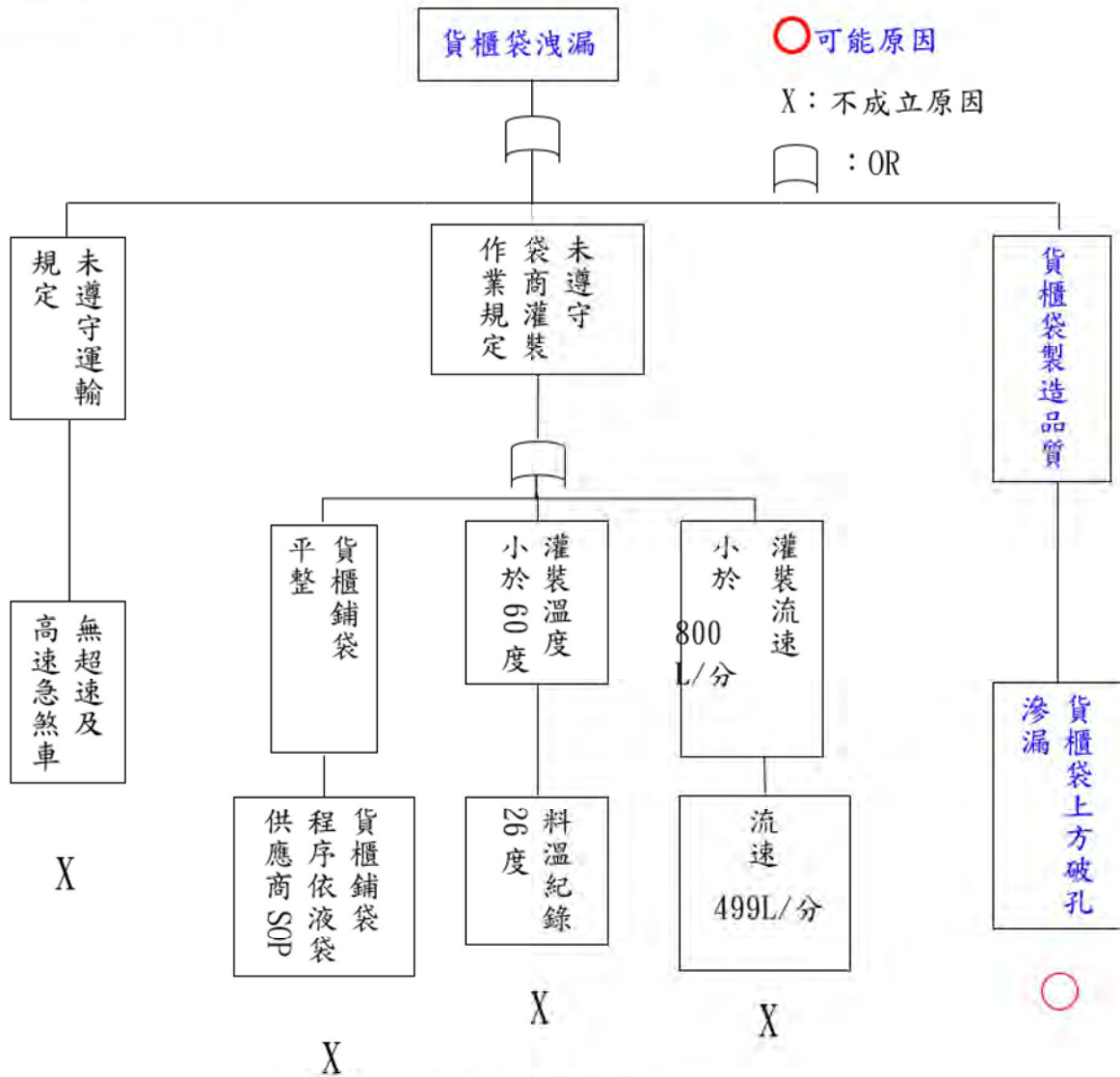


圖六、管線抬管排空

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇 全國環境事故案例研討會

四、災因分析

(一) 失誤樹分析



圖六、失誤樹分析

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

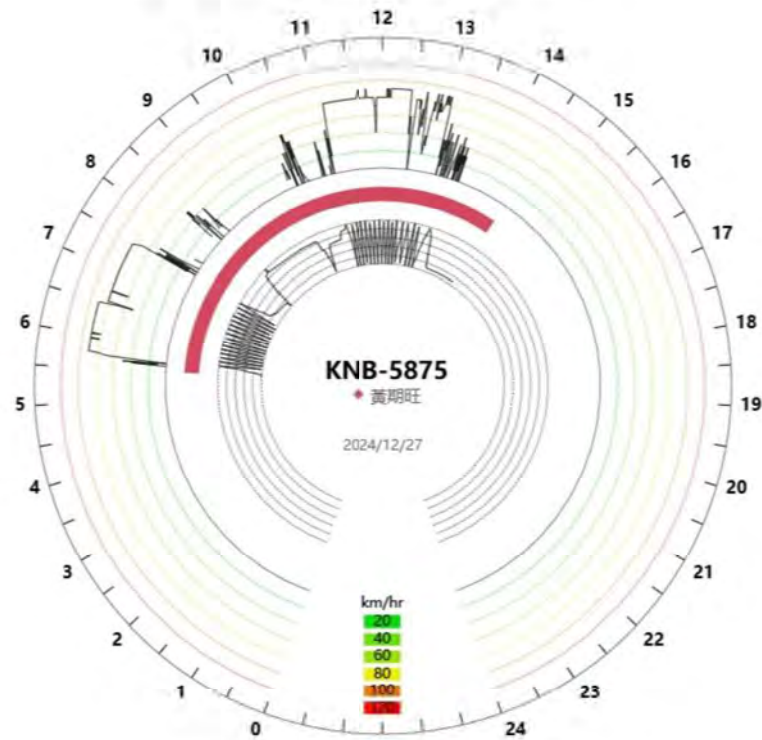
(二) 事故原因分析說明

表四、原因分析說明

項次	可能原因	分析說明	結論
1	未遵守運輸規定	經查貨櫃車當日數位行車紀錄圖，如(圖七)，行車速度平穩未有高速急煞等情形，研判非洩漏原因。	排除本項為貨櫃袋洩漏之原因
2	貨櫃袋鋪袋不平整	貨櫃鋪袋程序均依灌裝 SOP 進行作業，灌裝作業前、中、後均以 PDA 檢查拍照上傳，如(圖八)。	排除本項為貨櫃袋洩漏之原因
3	灌裝溫度未低於 60°C	灌裝流體溫度為 26°C，如(圖九)。	排除本項為貨櫃袋洩漏之原因
4	灌裝流速未低於 800L/分	灌裝流速為 499L/分，如(圖十)。	排除本項為貨櫃袋洩漏之原因
5	貨櫃袋製造品質	(1)貨櫃袋規格： 內袋四層 PE、厚度 0.125mm/層，加一層外袋 PP、厚度 165gsm(gsm 為 1 克/平方公尺) 相當於厚度為 0.56mm/層，屬國際性通用包裝材，液袋相關製造及測試須符合國際 PAS1008：2016，(附圖十一)。 (2)經查貨櫃袋供應商出廠測試報告雖符合國際 PAS1008：2016 規範，如(圖十二)，但仍發生液袋本體上部破孔洩漏。	本項可能為貨櫃袋洩漏之原因

本次事件經開櫃檢視包裝材，液體流向痕跡為由上至下，研判貨櫃袋洩漏點為櫃袋本體上部，經由失誤樹分析，從運輸作業、灌裝作業及貨櫃袋品質三大面向探討原因。結果顯示，運輸與灌裝作業皆嚴格依相關規定執行，異常主要歸因於貨櫃袋本身的製造瑕疵。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
 全國環境事故案例研討會



圖七、貨櫃車數位行車記錄圖



1. 確認櫃號(NYKU3861357)無誤。



2. 空櫃檢查：櫃體正常無異物。



3. 液袋鋪設完檢查：液袋平整。



4. 灌裝作業中進行巡視作業。



5. 灌裝完成檢查：貨櫃無變形、無洩漏。

圖八、貨櫃袋灌裝 SOP

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇 全國環境事故案例研討會



圖九、12/2709:00 灌裝流體溫度為 26°C

DOP	貨櫃袋	正常	新怡貨運	黃期旺	KNB-5875	367G	裝運前	目視貨櫃外觀無破孔、凹陷或凸出		2024/12/27 08:39:23	2024/12/27 08:58:50	0時 19分 27秒	N000028067 陳啟民
DOP	貨櫃袋	正常	新怡貨運	黃期旺	KNB-5875	367G	裝運前	貨櫃內無銹蝕、地板無刮痕、蟲害、螺絲、油污及尖銳物		2024/12/27 08:39:23	2024/12/27 08:58:50	0時 19分 27秒	N000028067 陳啟民
DOP	貨櫃袋	無	新怡貨運	黃期旺	KNB-5875	367G	裝運中	板車放板，放置 2PC 板車支撐架後，關閉管制門並上鎖	照片1	2024/12/27 09:18:47	2024/12/27 09:20:39	0時 1分 52秒	N000028067 陳啟民
DOP	貨櫃袋	正常	新怡貨運	黃期旺	KNB-5875	367G	裝運中	確認品別正確		2024/12/27 09:18:47	2024/12/27 09:20:39	0時 1分 52秒	N000028067 陳啟民
DOP	貨櫃袋	正常	新怡貨運	黃期旺	KNB-5875	367G	裝運中	灌裝軟管無破漏，貨(液)櫃袋裝卸口、灌島及軟管手動關閉		2024/12/27 09:18:47	2024/12/27 09:20:39	0時 1分 52秒	N000028067 陳啟民
DOP	貨櫃袋	正常	新怡貨運	黃期旺	KNB-5875	367G	裝運中	啟動灌裝，確 流量顯示器穩定計量，管線無鬆脫、洩漏		2024/12/27 09:18:47	2024/12/27 09:20:39	0時 1分 52秒	N000028067 陳啟民
DOP	貨櫃袋	正常	新怡貨運	黃期旺	KNB-5875	367G	裝運後	鎖櫃、接地板及支撐架定位		2024/12/27 09:58:26	2024/12/27 09:58:26	0時 3分 26秒	N000028067 陳啟民
DOP	貨櫃袋	正常	新怡貨運	黃期旺	KNB-5875	367G	裝運後	列管物運送聯單資料正確交司機存檔，入廠憑證已簽名		2024/12/27 09:58:26	2024/12/27 09:58:26	0時 3分 26秒	N000028067 陳啟民

圖十、灌裝流速紀錄

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會



(2023) ZTJ (YB) 字第 W0030 号
Page 1 of 17

China Railway Test and Certification Center Co., Ltd. Test Report First Page

Product name	Single-use Flexitank System	Model & Type	4×Layer+Sleeve, 24m³, Top load Bottom unload
Entrusting party	Infinity Bulk Logistics Sdn Bhd		
Manufacturer	Infinity Bulk Logistics Sdn Bhd		
Test classification	Entrusted test	Sample source	Entrusting party sending
Sampling date	/	Sample quantity	1 suit of flexitank system, 1 suit of bulkhead
Manufacturing date/Batch	/	Sample serial number	23(YB)W0030
Arriving date	February 23rd, 2023	Sample status	No obvious defect of appearance
Sampling method / Judging basis	PAS 1008:2016 Specification for the performance and testing of a single-use flexitank Annex B		
Test standards	PAS 1008:2016 Specification for the performance and testing of a single-use flexitank Annex B		
Test items	Flexitank system rail impact test		
Test location	1.CRRC Erqi vehicle Co., Ltd 2.CRCC Transportation Packaging Lab	Test date	February 23rd, 2023
Test conclusion	The Single-use Flexitank System been tested fully meets the rail impact requirements of PAS 1008: 2016 Annex B.		
Remark	Unique Design Reference: 2431Q		

Edited by: LIN Yan

Checked by: ZHAO Hua

Approved by: WANG Hao

Test Report No. C06231ZTJ (YB) 字第 W0030 号

Report date: March 20th, 2023

圖十一、國際液袋測試規範 PAS1008 : 2016

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Order Number : HCO24-2686 Batch Quantity : 188units
 Flexitank Serial Number : I22210124001377 - I22210124001564
 Manufacturing Date : 30.07.2024

PAS 1008:2016 出廠管制基準出廠檢測結果

Material	Properties		Testing Method	PAS Standard	Infinity Standard	Test Result
Flexitank	Capacity (L)					22,000
	Dimension (mm)					Length = 7400 ± 50 / Width = 3650 ± 50
	Weight (kg)					46 ± 5
	Material					1 ply outer PP Woven + 4 ply Inner PE Film
	Minimum/ Maximum Working Temperature					-20°C / 70°C
Inner PE Film	Tensile Strength (N/mm²) 抗拉強度	MD	ASTM D882	≥ 26	≥ 30	45.7251
		TD	ASTM D882	≥ 26	≥ 30	43.4053
	Elongation (%) 伸長率	MD	ASTM D882	≥ 600	≥ 650	846.184
		TD	ASTM D882	≥ 600	≥ 650	848.284
	Dart Impact (g) 落標衝擊力		ASTM D1709-09	≥ 730	≥ 1000	1890
Sealing Tensile Strength (N/mm²) 密封強度		ASTM D882	≥ 100% yield strength of parent film	≥ 100% yield strength of parent film	24,142	
Outer PP Woven	Tensile Strength (N/50mm) 抗拉強度	Warp	ASTM D5035	≥ 1400	≥ 1400	1861.89
		Weft	ASTM D5035	≥ 1400	≥ 1400	1462.83
	Elongation (%) 伸長率	Warp	ASTM D5035	≥ 15	≥ 15	21.41
		Weft	ASTM D5035	≥ 15	≥ 15	22.76
Stitch Strength (N/50mm)		ASTM D5035	≥ 500	≥ 500	576.931	
Loading/ Discharge valve	Type and Material	3" Polypropylene Male Type Camlock Ball Valve				
Pressure Relief Valve	Type	Not Applicable				
	Relief Pressure (bar)	Not applicable				
	Seal Core Type Material	Not Applicable				
	Cap and Body Material	Not Applicable				
	Flange Type and Material	Not Applicable				
Hose Type and Material	Not Applicable					
Flexitank Certification/ Compliance	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, FSSC 22000, ISO 22000:2018, HACCP, Kosher, HALAL, SUCC, US FDA, European Commission Regulation (EU), COA Compliance, Rail Impact Test					

* Testing specification is according to PAS 1008:2016.
 * Flexitank MUST be filled up to min of 98% full and max. of 102% full.

Prepared By	Approved By
Name : Muhamad Firdaus Bin Asri	Name : Tian Jia Yi
Position : Quality Control Supervisor	Position : QA Officer
Date : 30.07.2024	Date : 30.07.2024

圖十二、2024/12/27 液袋 COA

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

五、災後處理與復原

(一) 廢棄物處置狀況與環境復原

1. 帆布、吸油索、吸油布、防護器具等應變器材屬高汙染物先裝入廢棄物處理袋，再封存於事故櫃中。
2. 盛接桶、舊櫃袋表面擦拭後，直接封存於事故櫃中。(圖十三)
3. 本次事件產生之相關廢棄物共計 0.76 公噸，委由合格清除處理公司處理。
4. 2024/12/31 提報有害事業廢棄物處置計畫，經高市環保局核備後於 2025/01/17 完成有害事業廢棄物清除處理。(圖十四)
5. 2025/02/04 高市環保局派員進行查核作業，並未發現遺留廢棄物未清理之情事。

(圖十五)



圖十三、相關有害事業廢棄物封存於事故櫃中

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
全國環境事故案例研討會



圖十四、有害事業廢棄物清除處理



圖十五、災後環保局環境複查未發現遺留廢棄物之情事

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

六、結語與建議

本次事故 DINP 液袋洩漏點為本體上部，研判為運輸過程液體波動衝擊超出內袋抗拉強度規範($26\text{N}/\text{mm}^2$)及伸長率(600%)，經與供應商檢討改善

說明如下：

(一) 改善方案一

依原規格內袋四層 PE、厚度 $0.125\text{mm}/\text{層}$ ，加一層外袋 PP(厚度 $0.56\text{mm}/\text{層}$)，請購不同供應商之液袋測試。

(二) 改善方案二

評估請購內袋第一層厚度 $0.125 \nearrow 0.25\text{mm}$ (抗拉強度 $26 \nearrow 32\text{N}/\text{mm}^2$)、伸長率($600 \nearrow 900\%$)，如圖十六，二、三層(厚度 $0.125\text{mm}/\text{層}$)加一層外袋 PP(厚度 $0.56\text{mm}/\text{層}$)規格測試。

(三) 本次事故屬貨櫃袋製造瑕疵所致，已依方案一改善，測試結果均未有洩漏情事。

(四) 建議事項

1. 事故應變期間歷經夜間作業發現照明設備略顯不足，已增加相關無線照明設備。
2. 本次移櫃作業僅一台移液泵浦，為避免故障無法移櫃作業，已增加一台備台。
3. 為避免貨櫃袋至貨櫃袋移櫃作業仍存在洩漏風險，爾後如若再發生擬採貨櫃袋至槽車進行移櫃作業。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
全國環境事故案例研討會



Infinity Bulk Logistics Sdn Bhd (609736-H)

OFFICE:
Lot 54, Jalan Sungai Pinang 5/7,
Taman Perindustrian Pulau Indah 2,
42920 Pelabuhan Klang,
Selangor, Malaysia.
Tel: +603-3385 2248 Fax: +603-3385 2246

PE FILM TECHNICAL SPECIFICATION

Properties		Testing Method	PE film thickness	
			0.125 mm	0.250 mm
Tensile Strength (N.mm ⁻²) 抗拉強度	MD	ASTM D882	> 26	> 32
	TD	ASTM D882	> 26	> 32
Elongation (%) 伸長率	MD	ASTM D882	> 600	> 900
	TD	ASTM D882	> 600	> 900
Tear strength (N) 撕裂強度	MD	ASTM D1008	> 18	> 33
	TD	ASTM D1008	> 18	> 33
Dart Impact (g) 落錘衝擊力		ASTM D1709-09	>900	>1600
Seal strength (N.mm ⁻²) 密封強度		ASTM D882	> 40	
Flex cracks resistant 抗彎裂紋		ASTM F392	< 10 pin holes	
Oxygen Transmission Rate (cm ³ /m ²) 氧氣透率		GB/T 1038-2000	108.9	78.2
Water Vapor Transmission Rate (g/m ²) 水蒸氣透率		GB/T 1037-2021	2.38	1.93

圖十六、內袋厚度 0.125mm 與 0.25mm 測試項目對照表

七、參考文獻

- (一) 毒性化學物質(DINP)洩漏事故調查處理報告 (案件編號: J20241228-002)

環境事故案例研討（二）
Environmental Accident Case
Study(2)

全國環境事故案例研討會

臺南市山上區○○企業公司火警事故

潘力嘉

○○企業股份有限公司台南廠

台南市山上區明和里興旺路 85 號

一、摘要

113 年 7 月 18 日約 08 時 30 分，日常進行聚醋酸乙烯樹酯生產反應過程時，因製程設備之冷卻系統失效，致使反應鍋之溫度、壓力持續上升，故而現場作業人員立即進行緊急應變處理且通報主管，於 08 時 40 分仍發緊急應變無法有效控制處理，當下立即進行廠內緊急廣播並下令進行撤離疏散全體員工，且於 08 時 44 分因不明原因引燃致火災事故發生，同時已立即進行通報臺南市消防局、環保局等各處，09 時 05 分消防隊抵達現場立即成立應變指揮中心，經各消防分隊協同支援滅火，於約 16 時 00 分逐漸控制火勢，翌日 04 時 00 火勢全數撲滅並陸續撤離。

關鍵詞：(1)冷卻系統失效、(2)火災、(3)緊急應變處理

二、事故簡介

(一)發生時間：113 年 7 月 18 日約 08 時 30 分

(二)發生地點：○○企業股份有限公司台南廠(台南市山上區明和里興旺路 85 號)

(三)發生位置：公共危險物品一般處理場所 F 棟(如圖一、圖二)

(四)人員傷亡:無人傷亡

(五)火災面積:燃燒面積約 8000 平方公尺(如圖一)

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
全國環境事故案例研討會



圖一、廠區平面配置圖



圖二、事故發生地點 4F

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

(六)過程簡述：

1. 於 113 年 7 月 18 日約 08 時 30 分公共危險物品一般處理場所 F 棟，日常進行聚醋酸乙烯樹酯生產反應過程時，反應階段因製程設備之冷卻系統異常失效，致使反應鍋之溫度、壓力持續上升，故而現場作業人員立即進行緊急應變處理並通報主管。



一般處理場所(F)主要製程與產品

2. 於 08 時 40 分仍發緊急應變無法有效控制處理，當下立即進行廠內緊急廣播並下令進行撤離疏散全體員工，且於 08 時 44 分因不明原因引燃致火災事故發生，同時已立即進行通報臺南市消防局、環保局等各處。
3. 於 9 點 05 分山上消防分隊、大內消防分隊、善化消防分隊、南科消防分隊、消防大隊、左鎮消防分隊及新市消防分隊等陸續抵達現場，共 90 名消防人員、42 名義消，以及出動無人機、消防機器人、水箱消防車、小型水箱車、化學車、救助器材車、災情勘查車..等共 44 輛車陸續抵達現場，並已立即成立應變指揮中心，並派消防隊員攜消防機器人在工廠外圍進行灑水戒備滅火。
4. 應變中心指揮官因考量廠內已完成點名確認所有人員皆完成疏散撤離且無人員傷亡，而廠內存放多種危險物化學品致危險、風險性較高，故而會暫於外圍進行逐步控制火勢，並廠內各專責人員於指揮中心待命，提供各化學品資料及廠內路線等救災資訊，並於約 16 時 00 分逐漸控制火勢並於翌日 04 點 00 分火勢全數撲滅即完成任務陸續撤離。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

三、應變過程

(一) 應變時間序

表一、應變程序及狀況描述

日期	時間	應變程序及狀況
113/7/18	08:30	作業人員於公共危險物品一般處理場所 F 棟進行生產作業 1. 反應階段時發現製程設備之冷卻系統異常失效。
	08:31	1. 作業人員立即重啟冷卻系統 2. 閘門切換進行外排釋放反應鍋內壓力 3. 通報單位主管並添加反應抑制劑
	08:40	1. 作業人員、單位主管於緊急應變後，仍發現無法有效控制處理 (廠內逸散溶劑異味、溫度、壓力) 2. 立即進行廠內緊急廣播並下令進行撤離疏散全體員工(如圖三)
	08:44	1. 不明原因引燃致火災事故發生 2. 立即進行通報臺南市消防局、環保局等各處
	09:05	1. 山上消防分隊、大內消防分隊、善化消防分隊、南科消防分隊、消防大隊、左鎮消防分隊及新市消防分隊等陸續抵達現場，共 90 名消防人員、42 名義消，以及出動無人機、消防機器人、水箱消防車、小型水箱車、化學車、救助器材車、災情勘查車..等共 44 輛車陸續抵達現場 2. 即成立應變指揮中心且廠內各專責人員於指揮中心待命，提供各化學品資料及廠內路線等救災資訊(如圖四)
	12:30	協同支援環保局人員進行放置沙包、攔油索阻絕廢水(如圖五)
	16:00	消防人員已逐漸控制火勢
113/7/19	04:00	消防人員已火勢全數撲滅即完成任務陸續撤離(如圖六)

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇 全國環境事故案例研討會



圖三、人員緊急疏散撤離



圖四、成立應變指揮中心



圖五、支援環保局人員進行放置沙包、攔油索阻絕廢水



圖六、火勢全數撲滅

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

四、災因分析

(一)事故發生原因分析

1. 異常原因：反應鍋溫度壓力失控→製程設備冷卻系統失效→冷卻水泵異常
→電控箱異常
2. 火災原因：反應鍋洩壓含可燃性蒸氣蓄積致不明原因引燃
3. 火災延燒原因：因易燃液體流至廠內溝渠並互相接連流通致延燒

(二)事故異常/失控分析

異常發生：作業反應過程時，因製程設備之冷卻系統異常，致使反應鍋內溫度、壓力持續上升。

1. 設備失效分析：

- ✓操作設備、冷卻系統每日作業前已確實進行試運轉且檢點正常
- ✓操作設備、冷卻系統例行保養維護
- ✗冷卻系統泵異常停止(因電控箱異常)

2. 緊急應變處理失效分析：

- ✗重啟冷卻系統，確認運轉後也異常停止且無備用冷卻系統
- ✗反應階段無冷卻系統且反應速度過快，致使無法有效降低反應鍋壓力
- ✗反應壓力過大致使反應抑制劑無法順利添加進入鍋內
- ✗製程設備無另設置遠端操控、監控及異常偵測警報

(三)火災發生原因分析

洩壓處理→反應鍋洩壓外排含可燃性蒸氣

1. 火災發生分析：

- ✗未有設置緊急應變之外排釋放壓力緩衝暫存槽(無管線導引至安全區域外排)
- ✗外排區域向外蓄積擴散(雖無明火但製程區外四周皆含有其各電器相關設備)

(四)火災發生原因分析

1. 火災發生及擴大分析：

- ✗廠內溝渠無緊急應變之阻隔設計並互相接連流通(致易燃液體四處流竄延燒)
- ✗危化品室外儲槽區未有適當位置及足夠安全距離、保留空地

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

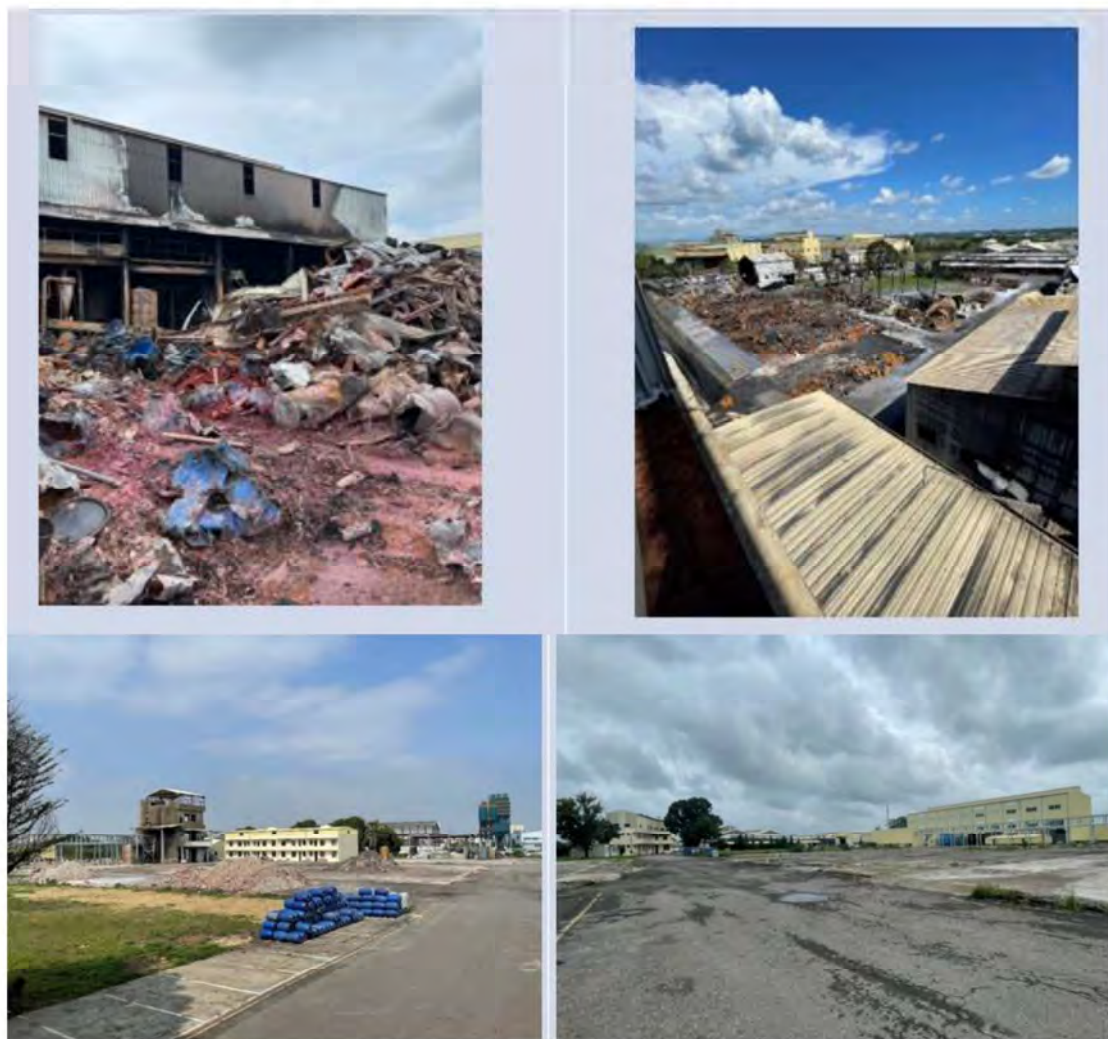
五、事故防止對策

- (一) 規劃各相關之備用系統
- (二) 規劃設置製程設備之異常偵測系統、自動監控及遠端控制系統
- (三) 規劃設置緊急應變之外排釋放壓力之緩衝暫存區且四周位置需適當、風險評估考量
- (四) 添加反應抑制劑時機流程以及添加方式需再改進
- (五) 規劃評估廠內危品儲放倉庫及室外儲槽區之適當位置、阻隔設計、安全距離及空地
- (六) 需規劃廠內緊急事故之阻隔方式避免易燃液體流入溝渠並致使四處流竄

六、災後處理與復原

- (一) 災後廢棄物處理及毀損復原(如圖七)
 - 1. 配合消防局及各主管機關進行火災相關調查。
 - 2. 廠內未波及毒化物、化學物質盡速移轉至供應商與其他業者，避免發生二次洩漏。
 - 3. 廠內已燒毀之廢棄物由合格認證清除、處理商依照廢棄物清理法申請清除處理，預計 3~6 個月。
 - 4. 處理善後完成，尚在會同各消防、建築、職安、環保等技師評估後續重建一事。
- (二) 救災時即已斷水、斷電，災損廠房待後續保險勘查完成後進行清理。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇 全國環境事故案例研討會



圖七、災後處理與復原

七、結語與建議

- (一) 緊急應變訓練應培養同仁對於現場危險情境之通報流程迅速、流暢。
- (二) 同仁應對於現場危險情境之緊急廣播仔細聆聽、遵從指示並疏散正確位置。
- (三) 培養同仁現場危險情境的判斷力（危險預知訓練），並採取積極作為以避免危難。
- (四) 感謝各相關主管機關的教導與指教。

高雄市林園區○○化學公司氣爆事故

李中義

○○公司林園廠區

高雄市林園區林園產業園區工業二路 3 號

一、摘要

113 年 7 月 3 日維護課同仁四位技術員接獲派工進行再沸器(E41)進行新石墨墊片安裝作業，上午 11 時 14 分將鄰苯二甲酐(PA)工廠蒸餾區五樓粗 PA 再沸器(E41)上端蓋板開啟，以鋁片覆蓋上端蓋口，再進行法蘭面之舊墊片清理，上午 11 時 42 分完成舊墊片清理進行用餐休息。下午 13 時 10 分四位技術員回到(PA)工廠蒸餾區五樓進行再沸器(E41)新石墨墊片安裝作業，由邱○德與黃○琅負責穩定石墨墊片，對準凹槽位置，簡○洲與黃○治負責將覆蓋鋁片抽出，當鋁片抽出一半的位置時，昇華之鄰苯二甲酐(PA)因靜電及空氣流入，造成閃燃，四位技術員受到不同程度的灼傷，製程轄區人員立即啟動緊急應變程序。下午 13 時 23 分應變人員對灼傷較嚴重之簡○洲進行敵腐寧噴淋，同時 B、C、邱○德由同仁帶往建佑醫院急診室就診，下午 13 時 30 分林園消防隊救護人員對簡○洲進行初步處理後偕同安衛人員前往長庚醫院急診。

經查當安裝石墨墊片，沿法蘭面抽開鋁片時，鋁片與法蘭摩擦產生靜電，鄰苯二甲酐(PA)昇華在生成再沸器內之 PA 絮狀物，當鋁片移開後氮氣逸散導致氧氣流入，而達到爆炸界限，造成閃燃事件發生。

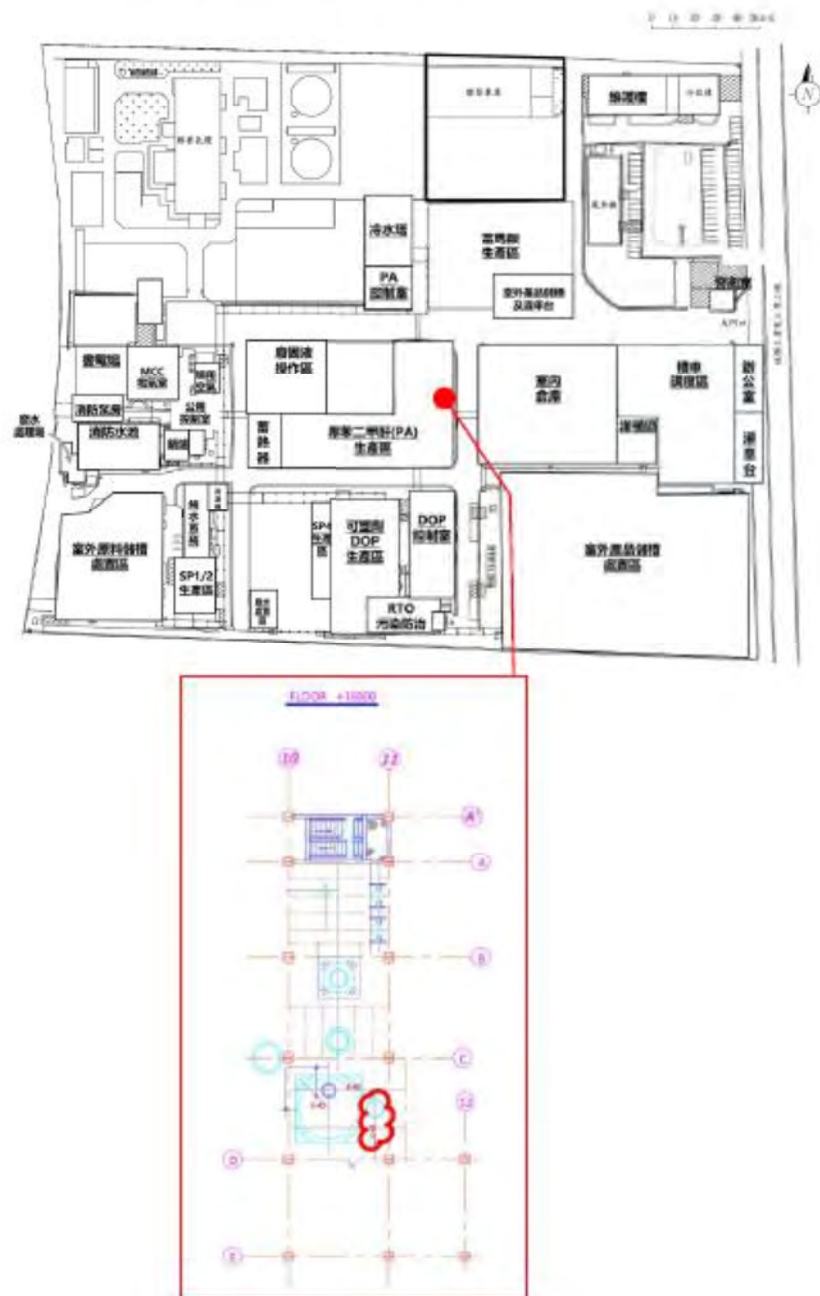
關鍵詞：(1)鄰苯二甲酐、(2)化學品昇華、(3)閃燃

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

二、事故簡介

- (一) 廠商名稱：○○公司林園廠
- (二) 廠區地址：高雄市林園區林園產業園區工業二路3號
- (三) 發生時間：113年07月03日13時10分
- (四) 傷亡人數：4人送醫
- (五) 事故場所：PA廠蒸餾區
- (六) 毒性及關注化學物質名稱：鄰苯二甲酐(PA)



圖一、事故地點及配置圖

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

(七) 事故經過

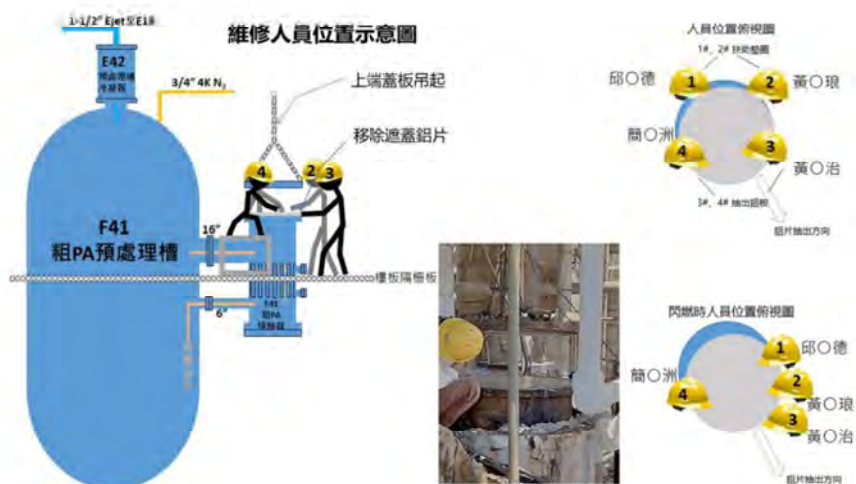
113 年 7 月 3 日上午維護課技術員簡○洲、黃○琅、黃○治、邱○德等四位技術員接獲派工後於上午 11 時 14 分將鄰苯二甲酐(PA)工廠蒸餾區五樓粗 PA 再沸器(E41)上端蓋板開啟，四位技術員為避免作業中清除物落入 PA 再沸器(E41)中故以鋁片覆蓋 E41 上端蓋口，再進行 PA 再沸器(E41)上端蓋板及蓋口法蘭面之舊墊片清理，上午 11 時 42 分完成舊墊片清理作業，因臨近中午，四位技術員決定現場工具稍做整理後，下午再執行新石墨墊片安裝作業。

下午 13 時 10 分四位技術員回到鄰苯二甲酐(PA)工廠蒸餾區五樓粗 PA 再沸器(E41)進行新石墨墊片安裝作業，因石墨墊片質軟易斷裂，由邱○德與黃○琅負責穩定石墨墊片，對準凹槽位置，簡○洲與黃○治負責將鋁片貼著法蘭口緩慢抽出，當鋁片抽出約達一半的位置時，昇華之鄰苯二甲酐(PA)因靜電及空氣流入，造成閃燃，四位技術員受到不同程度的灼傷，轄區人員立即啟動緊急應變程序。

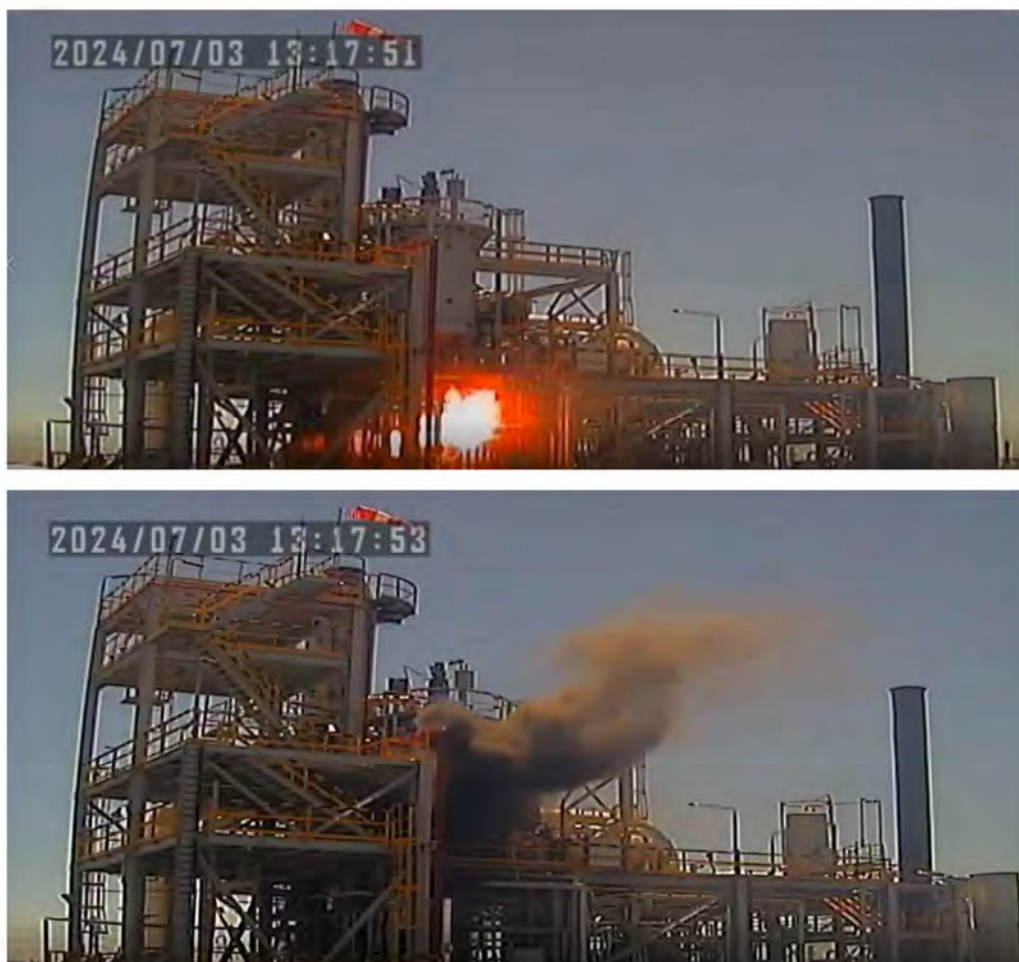
下午 13 時 23 分轄區人員會同安衛人員對灼傷較嚴重之簡○洲進行敵腐寧噴淋，同時邱○德及黃○琅、黃○治兩位由林姓同仁駕駛公務車前往建佑醫院急診室就診，下午 13 時 25 分林園消防隊出動四台救護車抵達現場，下午 13 時 30 分林園救護人員對簡○洲進行防止體液流失等初步處理後偕同安衛人員前往急診。

環保局進場監測發現有鄰苯二甲酐(PA)逸散，因鄰苯二甲酐為毒性化學物質需先將粗 PA 再沸器(E41)進行上端蓋板復原，停止鄰苯二甲酐(PA)逸散。經查當安裝石墨墊片，沿法蘭面抽開鋁片時，鋁片與法蘭摩擦產生靜電，鄰苯二甲酐(PA)昇華在生成再沸器內之 PA 絮狀物，當鋁片移開後氮氣逸散導致氧氣流入，而達到爆炸界限，造成閃燃事件發生。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇 全國環境事故案例研討會



圖二、事故作業方式示意圖



圖三、事故區域監視器畫面

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

三、應變過程

(一) 應變程序及狀況描述

表一、應變程序及狀況描述

日期	時間	應變程序及狀況描述
7/3	13:17	四人回到原作業區，繼續進行新石墨墊片安裝，當抽出鋁片抽出，到達約一半的位置時，發生 2 秒閃燃(圖三)。
	13:23	轄區人員會同安衛人員對灼傷較嚴重之簡員進行敵腐寧噴淋，同時邱員及兩位黃員由同仁駕駛公務車前往建佑醫院急診室就診
	13:25	消防隊出動四台救護車抵達現場
	13:30	林園消防隊救護車對簡員進行防止體液流失等初步處理後偕同安衛人員前往長庚醫院急診
	14:40	環保局毒化物承辦人進場進行事件調查。
	15:15	毒災應變技術小組進場監測發現有鄰苯二甲酐(PA)逸散
	16:30	將再沸器(E41)進行上端蓋板復原，停止鄰苯二甲酐(PA)逸散。

(二) 事故調查過程說明

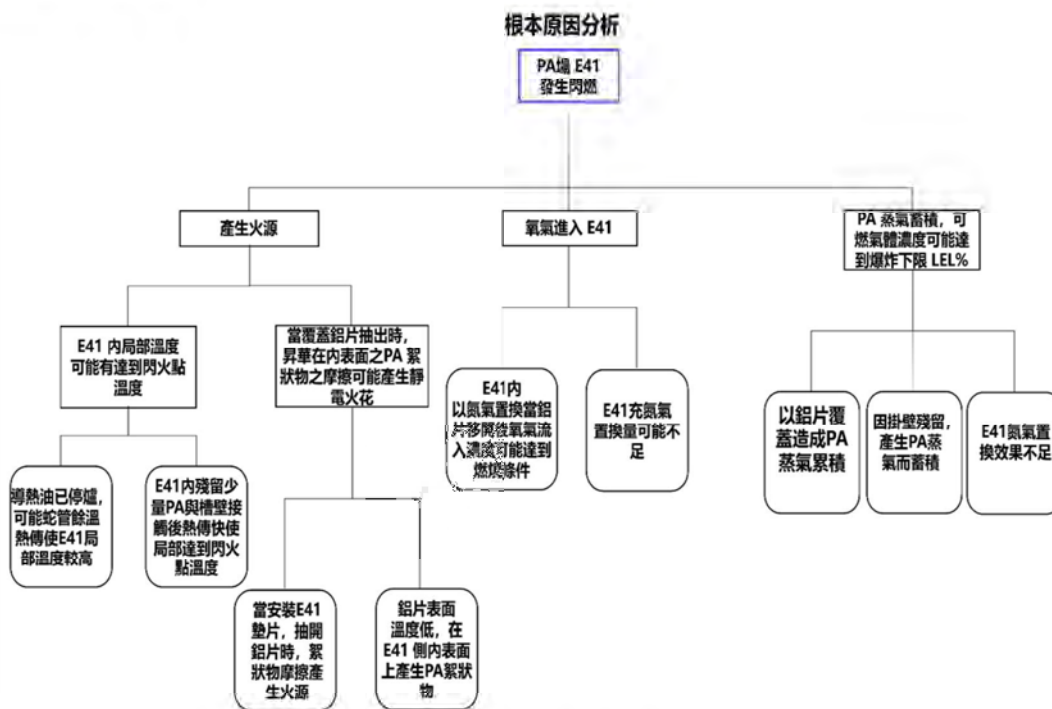
- 1.事件發生轄區人員立即通報 EHS 及啟動緊急應變流程，維護四位人員立即至沖淋洗眼器進行緊急沖洗降溫，其他轄區人員到場協助以敵腐寧等物品沖淋傷患。
- 2.緊急應變小組(生產、安衛、維護、轄區、環保、總務、人資等單位)到現場後，分別對於人員照顧及現場設施設備進行檢查、復原工作。
- 3.轄區確認現場安全，為去除毒化物逸散風險，由維護進行現場墊片復原及裝置。
- 4.隔日進行人員訪談及現場設備器材相關資訊蒐集，協助調查事件發生的經過，釐清事件發生的時序。
- 5.訪談人員：當事人、轄區作業監護、醫護人員、工程師、轄區主管以及第一時間到達搶救、戒備人員。
- 6.詢問原廠探討設備在其他國家是否有相同事件發生。
- 7.模擬事發的溫度、壓力、操作模式等進行實驗。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

四、災因分析

(一) 失誤樹分析



圖四、失誤樹分析

(二) 事故原因分析

1. 直接原因：再沸器覆蓋鋁片造成 PA 蒸氣在 E41 再沸器內蓄積，當鋁片移開後氮氣逸散導致氧氣流入達到爆炸界限，鋁皮與法蘭口磨擦能量觸發造成閃燃。
2. 間接原因：
 - (1) 再沸器導熱油管路降溫時間不足，以冷水沖淋保溫層強制降溫但效果不佳，導致 E41 局部溫度仍有過高，達到閃火溫度。
 - (2) 氧氣濃度增加：當覆蓋鋁片沿法蘭口抽出時，氧氣從缺口處進入 E41，使氧氣濃度上升。
 - (3) PA 蒸氣在 E41 再沸器內蓄積，PA 可燃氣體濃度達到爆炸下限 LEL% 濃度(1.7%)
3. 基本原因：針對廠內設備更換墊片之設備或管路降溫標準未修訂完善標準。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

五、災後處理與復原

當日發生員工送醫事件，立即啟動緊急應變處理機制，給予第一時間急救，並後送醫院持續治療。員工送醫後由應變人員著防護器具，進行再沸器(E41)注水降溫，即上端蓋板復原，並確認無鄰苯二甲酐(PA)絮狀物逸散，運作場所無污染周界環境之虞，30分鐘內通報地方主管機關，於14日內提送事故調查處理報告（本案於113年7月12日上傳結報）。

六、結語與建議

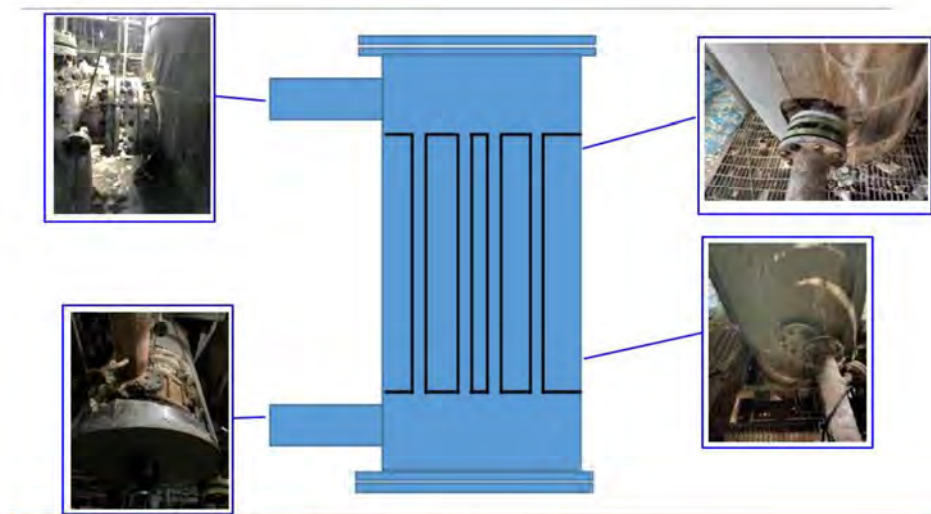
本事件因管理不周延、相關作業標準制定未完善，造成員工受到傷害，將持續以本質安全為目標，消除不安全環境及行為，並強化訓練提高個人危機意識，避免疏忽未遵守 SOP。本廠對製程、安全等各方面採取積極的態度及有效的方式提升廠內設備及人員安全。

PA 蒸餾區完成設備、管道等檢查並進行強化措施，修訂標準作業程序及完成製程安全管理相關訓練。進行 MOC 修正製程程序，不再使用粗 PA 再沸器(E41)運轉至今，製程的運行正常、減少 PAVapor 可能逸散的問題，降低事故發生可能性。

針對 PA 製程蒸餾區受波及區域為強化該區域之製程安全進行以下措施：

（一）事故設備隔離改善

PA 再沸器(E41)與粗 PA 預處理槽(F41)相連管線進行雙盲封及 PA 再沸器(E41)所有管線進行盲封。



圖五、設備隔離改善示意圖

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

(二) PA 再沸器(E41)周遭管線與粗 PA 預處理槽(F41)進行相關非破壞性檢測

閃燃波及區域為粗 PA 再沸器(E41)周遭 5m 內管線及旁邊的粗 PA 預處理槽(F41)，進行超音波厚度、鐳道液滲、鐳道磁粒、金相等檢測其檢測結果如下表所示。

表二、非破壞性檢測結果分析表

檢測區域	檢測項目	檢測數量	檢測結果
粗 PA 預處理槽(F41)端蓋、胴體、胴體插管、附屬管線	超音波厚度測量	122 點	檢測數據無異常
	鐳道液滲檢測	84, 940mm	檢測後數據無異常。
	金相檢測	6 點	無潛變現象，追蹤檢測即可。
粗 PA 再沸器(E41)東北插管、東南插管、東南管排等周遭 5m 內管線	超音波厚度測量	130 點	檢測數據無異常
	鐳道液滲檢測	159.5dB	檢後數據無異常。
	磁力檢測	113.75dB	檢測數據無異常
粗 PA 再沸器(E41)周遭管線	金相檢測	4 點	無潛變現象，追蹤檢測即可。

(三) 標準作業程序(SOP)強化

- 1.修訂高溫管線設備檢修作業程序及設備墊片工作說明書，針對設備/管線降溫至內容物閃火點再減 5°C 以下之溫度或設備/管線表面溫度至 60°C 以下；加熱系統為蒸氣:在夾套灌水冷卻至 60°C 以下；加熱系統為熱煤油可長時間停車:以自然降溫至凝固點以下或至 60°C 以下；僅能短時間停車:設備注入廠用水冷卻至 60°C 以下。
- 2.針對已制定高溫管線設備檢修作業程序及設備墊片工作說明書，對同仁重新進行教育訓練及考核。

全國環境事故案例研討會

1. MTN-W-E08-0162設備墊片工作說明書



2024年8月19日修訂

2. EHS-05-UPC*高溫管線設備檢修作業程序

設備/管線降溫至內容物閃火點再減5°C以下之溫度或設備/管線表面溫度至60°C以下。



加熱系統為蒸氣,在夾套灌水冷卻至60°C以下。

圖六、作業標準改善圖

(四) 增設靜電消除設備及沖淋設備

- 1.全廠易燃液體的輸送管線已既設跨接線、設備已設置接地裝置，但考量人體會因氣候因素而累積靜電值，全場增設 15 座靜電消除樁，11 條接地線。
- 2.全廠總共設置 16 座沖淋設備，經過全面盤查沖淋設備的操作便利性，更新增設 32 座，全廠總共設置 48 座。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

新設15座靜電消除樁

轄區	數量
PA製程-氧化區	2
PA製程-蒸餾區	2
PA製程-熱煤鍋爐區	1
FA製程區	1
DOP製程區	1
SP製程區	1
SP4製程區	1
UT儲槽區	1
DOP儲槽區	1
儲運-MPA灌裝區	2
儲運-原料灌充區	2



新設11條移動式接地線

轄區	數量
PA製程-氧化區	2
PA製程-蒸餾區	2
FA製程區	2
DOP製程區	2
SP製程區	2
SP4製程區	1



圖七、增設靜電消除設備

沖淋設備(合計48座)

新設31座，更換位置1座，既設16座

轄區	樓層	數量	備註
PA製程-氧化區	1F	1	新設1座
	2F	1	新設1座
	3F	1	新設1座
PA製程-蒸餾區	1F	3	新設2座、改設2座
	2F	3	新設2座、改設1座
	3F	2	新設1座、改設1座
	4F	2	新設1座、改設1座
PA製程-熱煤鍋爐區	1F	1	新設1座
	1F	4	新設1座、原設3座(更改位置1座)
FA製程區	2F	1	新設1座
	3F	1	新設1座
	4F	2	新設1座、原設1座
	5F	1	新設1座
DOP製程區	1F	1	改設1座
	2F	2	新設1座、改設1座
	3F	1	新設1座
SP製程區	4F	1	新設1座
	5F	1	新設1座
	1F	1	新設1座
SP4製程區	2F	1	新設1座
	3F	1	新設1座
	4F	1	新設1座
	1F	1	新設1座
UT區	1F	6	新設4座、原設2座
蒸氣-化驗室	2F	1	原設1座
儲運-MPA灌裝區	1F	1	新設1座
儲運-原料灌充區	1F	1	原設1座



圖八、增設沖淋設備

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

臺南市新營區○○實業公司火警事故

林毅恆

環境部化學物質管理署南區環境事故專業技術小組臺南隊

臺南市新市區環東路一段 1 號

一、摘要

113 年 9 月 5 日 6 時 41 分，○○實業股份有限公司發生火警事故。由於非上班時段，由公司警衛立即通報臺南市政府消防局救災救護指揮中心與產業園區服務中心，廠內及鄰近公司人員均已疏散撤離，無人員傷亡，但有明顯異味。火勢起於二廠農業成品倉並波及一廠半成品倉，燃燒物含多種農藥製劑。該廠毒性化學物質貯存實驗室未受波及。消防局於廠區周邊進行管制並以機器人及水砲戒護。

雖業者初期已使用沙包圍堵，惟大量消防廢水仍造成溢流，臺南市政府環境保護局確認部分廢水流入鹽水大排並於水體採樣送驗，業者隨即調派 1 噸立方桶進行廢水抽除。技術小組於現場進行連續氣體監測及採樣分析，測得多種芳香烴化合物濃度偏低；下風處學校偵測結果均為背景值。殘火最終於 20 時 43 分撲滅，業者設置截流溝防止雨水外溢並持續抽除廢液。後續清查廠內毒性化學物質運作量與運作紀錄相符；盤點受災倉儲農藥成品殺菌劑、除蟲劑、除草劑共計 73 項。消防廢液共計抽除 142 桶。

此次事故除凸顯消防廢水截流設施之關鍵性。為避免污染物進入外部水體造成二次環境污染，各化工產業應於平時即完善廠內雨污水分流與緊急截流設計，並定期演練啟動機制；主管機關亦應納入稽查與防災檢核項目，以確保災時可迅速防止污染擴散，降低環境風險與社會影響。

關鍵詞：(1)農藥、(2)廢水、(3)倉庫

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

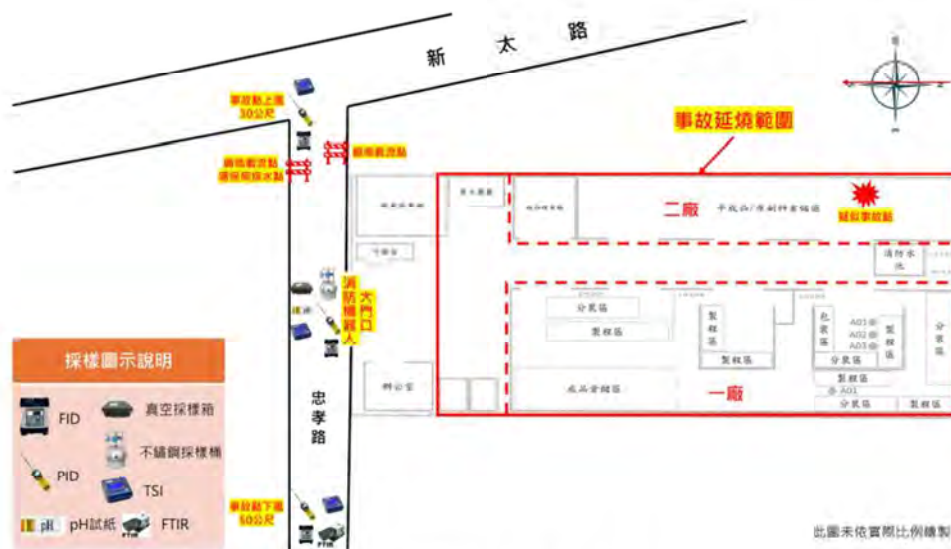
全國環境事故案例研討會

二、事故簡介

- (一) 發生時間 113 年 9 月 5 日 06 時許。
- (二) 事故地點：臺南市新營區忠孝路 64 號(圖一)。
- (三) 傷亡統計：0 人死亡、0 人受傷。
- (四) 事故場所屬性及類型：工廠火警事故。
- (五) 災害規模：燃燒面積約 1,000 平方公尺。
- (六) 財物損失：約新台幣 2 億元。
- (七) 疑似起火點：成品倉庫後段烘箱附近(圖二)。



圖一、事故工廠、鄰近敏感受體與大排溢流相對位置



圖二、事故工廠平面圖

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
 全國環境事故案例研討會

表一、已波及化學品

化學物質名稱	CAS No.	UN No.	環境部 列管編號
施得圃	40487-42-1	---	--
固殺草	77182-82-2	---	---
丙酮	67-64-1	1090	---
甲醇	67-56-1	1230	---
異丙醇	67-63-0	1219	---
稀釋劑-170(混合物如下)			
二甲苯	1330-65-1	---	---
正丙基苯	103-65-1	---	---
3-乙基甲苯	620-14-4	---	---
4-乙基甲苯	622-96-8	---	---
1,3,5-三甲基苯	108-67-8	---	---
2-乙基甲苯	611-14-3	---	---
1,2,3-三甲基苯	95-63-6	---	---
1,2,4-三甲基苯	526-73-8	---	---

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
 全國環境事故案例研討會

表二、未波及化學品

化學物質名稱	CAS No.	UN No.	環境部 列管編號
六氯苯	118-74-1	2729	058-01
二硫化碳	75-15-0	1131	089-01
蓋普丹	133-06-2	3077	028-01
鄰苯二甲酸二丁酯	85-68-7	3082	068-03
鄰苯二甲酸二異丁酯	84-69-5	3082	068-10
鄰苯二甲酸二辛酯	117-84-0	--	068-02
鄰苯二甲酸二乙酯	84-66-2	--	068-06
乙腈	75-05-8	1648	105-01
鄰苯二甲酸二甲酯	131-11-3	3082	080-01
1,2-二氯乙烷	107-06-2	1184	075-01
鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯	117-81-7	--	068-01

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

三、應變過程

本文僅就環境部化學物質管理署南區環境事故專業技術小組支援本起事故之角度，分享應變經歷、供各界先進參考。

(一) 事故通報與初期應變作為

113 年 09 月 05 日 06 時 41 分臺南市政府消防局救災救護指揮中心（以下簡稱消防局）接獲○○實業股份有限公司（以下簡稱業者）通報廠內發生火警，相關資訊隨即轉知環境事故專業諮詢監控中心（以下簡稱諮詢中心）查證。南區環境事故專業技術小組臺南隊（以下簡稱技術小組）於 07 時 49 分接獲諮詢中心通報，依支援二號作業出勤。08 時 34 分技術小組臺南隊抵達事故現場，現場應變單位包括消防局、臺南市政府環境保護局（以下簡稱環保局）、業者及產業園區服務中心等單位。經會銜了解，業者表示事故發生於非上班時段，初期由公司警衛通報並以滅火器嘗試滅火，惟現場放置大量紙箱與成品，故無法控制火勢。

業者表示起火地點為二廠之農業成品倉，火勢全面燃燒波及至一廠農業半成品倉。該公司產品種類達上百種，用途多為除蟲、除草、殺菌劑等（其成分多為除蟲菊類、有機磷類、銅劑等），惟辦公室因斷電無法調閱庫存清單；該廠毒性化學物質貯存及運作區位於廠區入口處辦公室 2 樓實驗室，未受火勢波及。消防局於廠區大門口忠孝路前後 200 公尺進行人車管制，並以無人水砲塔及調派消防機器人戒護臨廠及未受波及之區域。消防局表示火勢於 08 時 43 分控制，並持續進行殘火處理，現場無人員傷亡但有明顯異味。由於業者提供成品資訊有限，現場建議消防人員殘火處理間全程配戴呼吸防護具。

(二) 災情評估

技術小組抵達時業者雖有調派沙包截流廠外雨水溝，但消防廢水量體較大，現場可見有色之消防廢水溢流情形，消防廢水以 pH 試紙量測酸鹼值為中性（圖三），業者表示該顏色應為廠內染劑與成品除草劑（施得圃與固殺草）。經環保局水域及毒物管理科會銜後派員至新太路太子宮橋（圖四），確認部分消防廢水已流入鹽水大排，業者已調派 1 噸立方桶（以下簡稱 IBC 桶）於廠外放流口進行抽除作業、工業區服務中心亦調派人力將雨水排消防廢水抽至園區污水排。由於除草劑對於水生生物影響甚大，建議環保局持續督導業者落實抽除作業，並評估調派圍堵資材與抽除機具前往下游追蹤處置。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會



圖三、消防廢水 pH 檢測



圖四、鹽水大排溢流情形

(三)應變行動方案決策與執行

08 時 45 分技術小組於大門口以直讀式儀器量測數據，光離子偵測器（以下簡稱 PID）測得最高 440 ppm。09 時 20 分環保局派員前往雨水排下游採集水樣送驗（圖五）。初步瞭解現場狀況後，技術小組隨即部署環境監測作業，抵達時現場風向為北風，11 時 03 分起持續於事故點上風處 30 公尺、大門口及下風處 50 公尺共三處以 PID、FID 及粒狀分析儀定時監測回報數據（圖六），另於大門口東面 100 公尺處架設 FTIR 進行連續監測。10 時 00 分於大門口採集空氣樣品 1 袋以 GC/MS 分析，測得苯 0.046 ppm、甲苯 0.055 ppm、乙苯 0.102 ppm、對-二甲苯 0.124 ppm、鄰-二甲苯 0.138 ppm、1,2,4-三甲基苯 4.0 ppm、1,3,5-三甲基苯 0.622 ppm。09 時 00 分消防局調派 2 輛重機具抵達現場協助破壞鐵皮及鋼構。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

經查毒災防救管理資訊系統下風處臺北里之敏感受體，包括太子國中及新興國小。10 時 20 分及 10 時 35 分技術小組分別於上述學校以 PID、FID 偵測器均為背景值(圖七)、粒狀分析儀總懸浮微粒最高為 0.023mg/m³；11 時 15 分於事故點大門口採集空氣樣品 1 袋以 FTIR 分析，測得一氧化碳 2.7 ppm (半定量濃度)。

11 時 20 分環保局水域及毒物管理科完成現況討論會議先行離開，由於業者表示斷電下無法進入實驗室，預計隔日返廠進行毒化物與災損清點，現場由環保局稽查科同仁持續協助環境監測。

14 時 15 分技術小組以空氣採樣鋼瓶於事故點大門口下風處採集空氣樣品進行證據保全作業。15 時 45 分消防殘火處理進行開挖作業時，有桶裝容器內產生大量白煙，隨即暫停開挖作業。發煙容器內盛裝粉末原料，以 PID 測得 50ppm，業者表示容器內均為粉狀半成品，成份包含施得圃或固殺草及其他固體原料、玉米澱粉等組成，疑似悶燒後產生白煙。16 時 31 分技術小組、業者及消防局完成現況討論，排除開挖風險，遂以 2 線消防水霧持續開挖作業以減少煙霧逸散。



圖五、環保局水體採樣



圖六、技術小組執行偵檢作業



圖七、下風處敏感受體監測

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

(四)環境復原

18 時 45 分目視廠內除部分鐵皮悶燒外已無明火，技術小組於上風處 50 公尺、大門口及下風處 30 公尺以 PID 及 FID 量測皆為背景值，業者仍持續調派噸桶進行廢液抽除作業，並已抽取 51 桶(圖八)，抽除作業仍持續進行中。16 時 46 分與現場消防局、業者完成現況討論會議，消防局將配合怪手開挖悶燒鐵皮進行殘火處理、現場暫無技術小組協助事項，技術小組於 19 時 15 分賦歸。



圖八、暫存容器抽除作業

四、災因分析

- (一)直接原因：電線設備老舊造成走火。
- (二)間接原因：消防設備未能符合現行要求、現場堆置過多紙箱包材與成品。

五、災後處理與復原

113 年 9 月 25 日聯繫事故業者，追蹤後續處置情形與災損統計。累計抽除廢水共 142 噸，IBC 桶目前暫存至廠內。廠內雨水排已設置截流溝與收集井(圖九)，依工業區服務中心要求，如有降雨應持續抽除，避免廠內殘存廢液溢流；該公司於 9 月 6 日至 9 月 27 日至區外排水系統持續將受影響之水體生物屍體撈除，共計約撈除 450 公斤(圖十)。針對本起事故檢討，業者內部防止對策如下：

- (一)電線定期檢查更換。
- (二)生產設備訂定保養檢修計畫。
- (三)消防設備要求應與時俱進，重新檢討全廠防火區劃並做對應改善。

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇
全國環境事故案例研討會



圖九、廠區路面切割設置臨時截流溝



圖十、下游水體生物屍體撈除

2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技國際交流論壇

全國環境事故案例研討會

六、結語與建議

本次事故雖無人員傷亡，但波及多項農藥成品與半成品，消防廢水混入農藥後外溢流入鹽水大排，導致下游水體嚴重污染，造成魚類及水生生物大量暴斃。事故顯示化學品倉儲火災除空氣污染外，亦可能引發長期水域與農業灌溉系統之次生污染。雖各單位應變得宜、成功防止毒化物區受波及，惟事件仍暴露業者在倉儲防火管理、電氣老化與消防廢水防制設施方面的不足。其改善建議如下：

- (一) 強化倉儲火災預防：定期檢測與汰換老舊電線及電氣設備，防止短路起火；倉儲區應清除棧板、紙箱等助燃物，維持防火間距與通風，降低燃燒蔓延風險。
- (二) 完善化學品資訊管理：建立雲端與離線化學品資料庫，確保災時能即時提供危害物資訊，協助指揮單位判斷應變策略。
- (三) 健全消防廢水截流設施：設置截流閘、暫存池與廢水導流系統，並定期演練啟動程序，確保滅火廢水不外洩至河川或灌溉渠道，以防影響水生生態與農作環境。

七、參考文獻

- (一) 環境部化學物質管理署南區環境事故專業技術小組/2024/臺南市新營區○○實業公司火警事故/第一版/環境部化學物質管理署。
- (二) ○○實業股份有限公司/2024/113 年度臺南市毒性及關注化學物質暨災害防救動員案例研討會講義/88/臺南市政府環境保護局。

應變資材展攤型錄

環災護盾，呼吸無憂

一般有害物暴露 | 粉塵與霧滴環境 | 化學品與生物危害

3M

個人安全防護專家

動力空氣濾淨式呼吸防護具



3M Versaflo TR-315E+
動力式呼吸防護具套裝組



3M Versaflo TR-619A
動力式呼吸防護具套裝組



CEA CHAIN

世筌企業股份有限公司
Cea Chain Enterprise Co., Ltd

3M DuPont™ Ansell MAPA[®]
PROFESSIONNEL



地址：235新北市中和區中山路二段327巷5號4樓
電話：02-22496777 傳真：02-22481277
客服信箱：123@ceachain.com.tw
網址：https://www.ceachain.com.tw

更多產品請詳見官網



空氣呼吸器檢測

氣瓶水壓測試

氣瓶充氣

背板功能測試

- 氣瓶水壓測試站。
- 氣瓶乾燥機。
- 光纖氣瓶檢測燈。
- 氣瓶瓶閥拆裝機。

- 潔淨、高品質的空氣。
 - 提供空氣品質報告書。
 - 採BAUER 高壓氣體空壓機。
- 含微電腦控制系統，控制空氣品質、濾材更換時間及溫度控制。

- NFPA 及非 NFPA 系統，美國及歐洲規範。
- SCBA 背板功能檢測及面具密合度測試。



呼吸防護具密合度測試

3M呼吸防護具密合度測試（定性）

- 3M FT-10 甜味組
 - 3M FT-30 苦味組
- 適用於密合型口罩或半面式防毒面具。



呼吸防護具密合度測試（定量）

定量測試儀器，採密合係數測量方法，藉由呼吸運動即時測量。

可檢測包含 N95、N99、N100、P1、P2、P3 等級口罩、半面式及全面式防毒面具、PAPR 動力濾淨式及 SCBA 空氣呼吸器等多種面具的密合度



化學意外的綠色管理方案

化學事件優化管理 保護人員、設備和環境



化學除污劑
LeVert F (HF)
LeVert(泛用)



酸性吸附中和劑



廣用中和固化劑
推腐靈®



鹼性吸附中和劑



泛用吸附劑 - 普立得



化學除污劑
Safurex(泛用 + HF)



敵腐靈®



適用一般化學品

六氟靈®



適用氟酸類化學品



氟離子測試紙



CPR 反饋型
全自動型 AED

察覺化災風險，正念預防救人
推動有價值的產品，永保感念的服務與情懷

燒燙傷
緊急降溫



CITEX LIMITED
永百實業股份有限公司

電話：03-6682946
網站：www.citex.tw

Email: marketing@citex.com.tw
地址：新竹縣竹北市台元二街 12 號 7 樓之五

方傑有限公司

mPower / POLI MP400 系列

四合一/五合一氣體偵測器(吸引式/擴散式)

- 四用氣體偵測器享有終生免費每年校正一次之服務



mPower/MP100 UNI321 攜帶式單用氣體偵測器

- UNI321(H₂S,CO,O₂)-3 或 2 或 1 年免維護
- MP100 可測氣體種類:CO,H₂S,O₂,NH₃,Cl₂,ClO₂,H₂,HCl,HF,HCN,NO,NO₂,O₃,PH₃,SO₂,C₂H₄O,ETO,CH₃SH,THT



mPower / NEO MP18X 系列

手持式揮發性有機物(VOCs)氣體偵測器(吸引式)



mPower/MP81X 系列

固定式 VOC/可燃性/毒性氣體偵測器(ppb ppm)

- 偵測原理-PID(光游離偵測)/觸媒燃燒式 / 電化學式 / IR
- 偵測範圍 0.01~5,000 或 0.001~200 ppm 或其他



TSI Portacount 呼吸防護具定量密合度測試儀

8048;8040



MAGNASEAL/NEOTHANE

抗化磁性止漏墊片/磁性導流片

- 具高強力磁性吸力(只適用於鐵製材質)
- 可選配加強抗化性 Teflon 墊片
- 各種尺寸及重量供選擇



翁肇鴻

電話 : (02) 82280009

傳真 : (02) 82280412

手機 : 0918-677820

E-mail : fangjie6553@gmail.com

地址 : 23511 新北市中和區建八路二號七樓之四

Metrohm IBEX

多功能 現場探勘 生化機器狗



- ✓ 遠距遙控確保現場操作人員安全
- ✓ 高科技性能，直覺式簡易操作
- ✓ 提供快速的現場結果，即時做出反應
- ✓ 危險範圍周界探勘
- ✓ 戰場與環境危害物質的檢測和監控
- ✓ 化學品、毒品、易燃物監測、偵察和監視



絕對安全的現場勘查極致之選！

Metrohm 的生化機器狗系統配備了自動化的遙測技術，整合拉曼光譜儀、易燃氣體偵測儀、輻射偵測器、化學戰劑偵測器於一身的高性能高整合介面高安全性的最佳解決方案。

Gemini FTIR/拉曼 手持式分析儀



ARFA & ARFA Mk II 防毒面具

下掛式濾罐

側掛式濾罐



XRT | RC3® ENSEMBLE ENSEMBLE 個人防護衣



VISION 60® Q-UGV® 全天候地面四足機器人



Second Sight® MS 遠距毒氣偵檢儀



ChemProX 毒氣偵檢儀



永亮股份有限公司

BRIGHT FUTURE HOMELAND SECURITY CO., LTD.

地址：320017 桃園市中壢區西園路 111之 2號 2樓

電話：03-4222155

NERVA® LG 偵查機器人



FTIR固、液、氣體分析儀

快速辨識22,000種固、液體
及5,600種氣體
(兼具定性及定量功能)



XplorIR

ThreatID

ProtectIR

FTIR + RAMAN 固、液體分析儀

SSP智慧光譜處理，整合分析，快速辨識
39,000種固、液體



VIPIR

ALAKAI
Defense Systems



高田科技有限公司
KAOTEN SCIENTIFIC CO., LTD.



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

十米外遠距偵檢 化學戰劑 爆裂物品 毒品

ARGOS 偵測器
對使用者更安全
更快速



無人載具採樣器

採樣器結合無人載具 (UAV或UGV) 輕裝、
快速且多點進入現場採樣



- ▶ 化災應變
- ▶ 污染源追蹤
- ▶ 遙距採樣

多種固定方式
重量僅約110克



採樣後直接以偵測設備
快速分析結果
採樣至分析時間<15分鐘
(傳統採樣及分析時間約12~24小時)

本產品為工研院獲得的中華民國專利授權
證號:發明第1848379號



高田科技有限公司
KAOTEN SCIENTIFIC CO.,LTD.
Http://www.kaoten.com

高雄市前鎮區擴建路 1-25 號 4 樓
TEL : 07-8412688 FAX : 07-8412679
台北市內湖區民權東路六段 123 巷 24 號 4 樓
TEL : 02-27901477 FAX : 02-27901998



我們專注於氣體偵測，您專注於重要任務

德國 **GfG Safety Group** 是全球領先的氣體偵測與安全監測設備製造商，60 多年來 **GfG** 一直致力於透過開發和製造氣體檢測系統來保護人員、設備和環境。致力於提供最先進高品質、堅固耐用且創新的便攜式氣體檢測儀和固定式氣體檢測系統。產品廣泛應用於石化、半導體製造、礦業、消防、環保及實驗室等領域，確保人員與環境安全。

GfG Safety 氣體偵測產品系列

FIXED GAS DETECTION SOLUTIONS

- GMA32 Controller**
 - For applications with up to 4 transmitters
 - Simple calibration
 - 4 - 20 mA, Modbus, AEXC
- GMA400 Controller**
 - Monitor up to 128 transmitters
 - Up to 200 mbar
 - 4 - 20 mA, Modbus, ICHH, AEXC
- Access via web interface** **NEW**

GMA400 Visual & Web Interface
You can view and configure a variety of information on the controller status, summaries of all measuring points, trends and alarms as well as the data logger and system information in the web interface.
- EC22 Transmitter**
 - economical solution for toxic gases, O₂ and noncombustible gases
 - also suitable with H₂ or CO for 20 mbar
 - 4 - 20 mA or Modbus
- EC28 Transmitter**
 - independently detect toxic gases, O₂ and H₂
 - available as CC28 for combustible gases at 20 mbar
- IR 29 Transmitter**
 - certified for use in its zone 1
 - Color display (optional) and safety display
 - for combustible gases and vapors
- CC33 Transmitter**
 - Manufacturer approved for Zone 1
 - can be equipped as a fixed alarm solution (beeper and relay optional)
 - fast response time for flammable gases

PORTABLE GAS DETECTION DEVICES

- G999**
 - Integrated pump for measuring before entering confined spaces
 - 3 sensors: O₂, H₂, CO, H₂S, or PID
 - for up to 7 gases
 - Ex-rated and IP67 approved
- G888**
 - 5 sensors: O₂, H₂, CO, H₂S, or PID
 - for up to 7 gases
 - Ex-rated and IP67 approved
 - compact and lightweight
- TeamLink**
 - Designed up to 10 users
 - monitoring with G888 / G999 gas detectors
 - range up to 100m
 - real-time monitoring of alarm, measured values and communication status
- Micro 5**
 - 2 sensor (O₂ for monitoring toxic gases, O₂ and H₂)
 - approved for Zone 0
 - rugged housing and IP57 protection class
- Docking Station 400/404**
 - 1 function: first adjustment with hanging function
 - with one or four test gas inlets
 - data storage on SD card, also suitable for PC

GfGsafety.com

MAD E IN GERMANY

F_2 , HCl , C_2H_2 , C_4H_8 , AsH_3 , B_2H_6 , Br_2 , C_2H_4 , C_3H_8 , C_2H_6 , C_4F_6 , C_5F_8 , CH_3F

GfG Gesellschaft für Gerätebau mbH - Klönnestraße 99 | 44143 Dortmund | Germany

GfG Taiwan Ltd.(德量安全科技有限公司)

Sales contact: **Winston Lau**

Phone : +886 931288881

E-mail: winston.lau@gfg-twn.com

GfGsafety.com





- ◆ 韓國唯一自主研發生產電化學式及紅外線傳感器的製造公司，可提供多種氣體選擇
- ◆ 韓國唯一 KOSDAQ 股票上市的傳感器及氣體偵測器製造商
- ◆ 產品具有超過 160 種國際品質認證
- ◆ 獲韓國總統及工業部長頒發技術創新獎



blacklinesafety

在挑戰重重的工作環境中，您需要的不只是裝備，而是完整的安全守護。Blackline Safety 為您打造「連網安全」的全方位方案：可穿戴或落地式氣體 / 輻射偵測器搭配 24/7 雲端監控，讓每一位工人都能即時連線、即時救援。更重要的是，我們將數據變成洞察，協助企業提升安全文化、優化流程、降低風險。



遙測式 FT-IR 氣體分析儀 — 作業環境、空氣品質、污染監測

- 使用 ABB Bomem 工業用耐候型 FTIR 分析儀主體，耐震防潮，穩定度及可靠度最高。
- 光學、另組件皆使用不會潮解材料，充分適應台灣或亞太地區高溫高濕環境。
- 使用方便，可即時同時監測多種預選之目標氣體(Target Gases)及快速輸出結果。適用於各種不同用途之氣體量測需求。
- 可規劃成為多點監測系統，以一台主機對多點反射鏡循序監測，形成有效的監測空間或監測面。
- 有效監測距離可達 500 公尺
- 具擴充性，可依需要快速改裝或轉換為抽氣式氣體分析儀系統。抽氣式分析儀，可選用 6.4 至 100 公尺長光徑或 0.5 公分至 1 公尺短光徑氣體測試腔(Gas Cell)，充分滿足數 ppb 至數百 ppm 之氣體量測需求。



FACE-OP300B
遙測式 FT-IR 氣體分析儀

抽氣式 FT-IR 氣體分析儀

Mastek FACE-EB3200 新型高效能 FTIR

- 光譜儀 10 年無常態性更換耗材
- 自動分析，無須人為操作
- 多點抽氣式達 48 埠取樣點
- 光譜解析度：1.0 cm⁻¹
- 可同時分析多種成分
- 非破壞性分析，無分析耗材
- 新型 FTIR，訊號-雜訊比大幅提升
- 即時告警功能，可連線廠區內急應變系統

「智慧型多點採樣 FTIR 氣體分析技術」

- 自動辨識非預期產生的物質(選配)
- 可編輯分析物種，增加監控項目
- 分析光譜永久保留可供異常追查
- 程序控制，可自定分析程序

救災式 FT-IR 氣體分析儀

- 小型輕量化設計，適用於快速移動檢測
- 使用 APP 控制連線，及時分析結果
- 迅速反應分析物特性與危害性質



FACE-MPS200
多點抽氣式 FTIR



FACE-EB3000
移動抽氣式 FTIR



FACE-EB3400
救災式 FT-IR 氣體分析儀

無線電派遣指揮及應用

語音派遣

GPS 定位

語音錄音

室內定位

遠端遙控

事件紀錄

工單派發

事件通知

文字簡訊

無線網路與無線電

4G無線電

4G

4G無線電

4G

開道器

手持無線電

開道器

手持無線電

喉震式大型PTT無線電解決方案 (適用各種防護衣及SCBA)

MOTOROLA P6600i 數位無線電

說明:

1. 空氣導管耳機: 軟式材質穿戴舒適, 用於接收無線電聲音
2. 喉震式麥克風: 利用說話時喉嚨的震動將聲音傳給無線電發話

基於衛生考量可單獨替換耳機蘑菇頭

說明:

1. 大型PTT按鍵: 超過8公分大小即使穿戴手套也可以輕鬆按壓
2. 背面採旋轉背夾設計方便穿戴

危害偵檢辨識 AR 訓練模擬器

教官模擬佈置現場



教官需搬運真實容器與設備
模擬化災現場環境進行訓練前準備

教官虛擬訓練場景編輯



運用AR技術重現化學品洩漏情境
打造逼真化災訓練環境

傳統訓練 vs 新型態訓練

學員區域劃分偵檢訓練



學員持氣體偵測器依想像判定安全範圍
放置三角錐與告示牌完成區域劃分訓練

學員區域劃分偵檢訓練



學員運用虛擬感測器進行危害辨識
於真實場域中設置虛擬物件完成訓練



化學數位實境 訓練模組DRTSM



隨時遠端操作、追蹤和收集資料的危險災害訓練，並能提供多名學員同時訓練擔任指揮官、訓練員教官的技能。

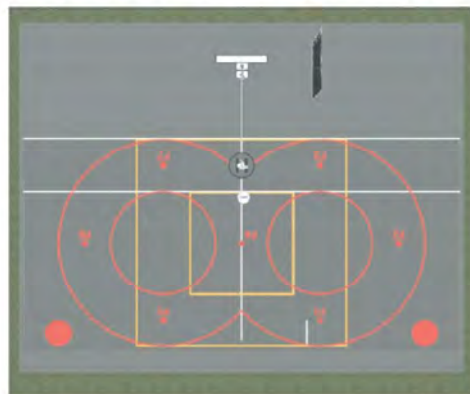
VR虛擬實境 災害事故訓練



VR災害事故訓練系統有助於降低訓練成本、減少訓練時間、蒐集可追蹤數據，提高訓練效率。

VR虛擬實境 消防滅火訓練

VR無人機 操作證術科





延伸實境 XR

化災應變訓練中心
EXTENDED REALITY For HAZMAT Training Center



為強化第一線人員對於化學品災害事故應變認知，工研院導入多年積累本土化災應變經驗模組創建AI教官訓練並輔沉浸式體感方式，整合VR虛擬實境、AR擴增實境及MR混和實境，建構「延伸實境XR」化災應變培訓機制，藉以提供企業對於人才培訓及強化工安文化的關鍵基礎。

VR

化災應變虛擬實境

環境偵檢危害辨識

專業技術容器止漏

沉浸式化災應變技術



專業應變模組
化災應變經驗模組
(Kit AE、Kit A、Kit B
Kit-C2、ERCV...等)



沉浸式實境場域
真實情境腳本訓練
(石化廠、高科技廠、
化學倉儲及實驗室)

環境偵檢訓練系統

現場環境偵檢

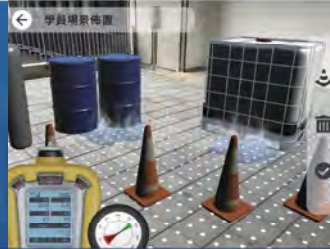
區域管制技巧

環境偵檢訓練系統

AR



增擴實境
真實環境搭配3D物件
即時創造訓練環境



操作訓練
洩漏跡象辨識及
環境檢測訓練

MR

戰情研析操作模組系統

指揮帶隊情境模擬

應變任務推演分工



戰情研析操作
混合實境技術，
推演任務分流



指揮系統
情境任務下達
第三視角判讀
調控特定參數

多類型偵檢情境互動

災害即時動態及氣候模擬

數位實境訓練模擬模組

DRTSM



實境訓練
教官即時互動
器材場域編輯



即時多人連線
指揮體系專業訓練





中華民國化學應變協會

Chemical Emergency Response Association (CERA)

聯絡電話 : 049-2345381

電子郵件 : cera.taiwan@gmail.com

認證實蹟

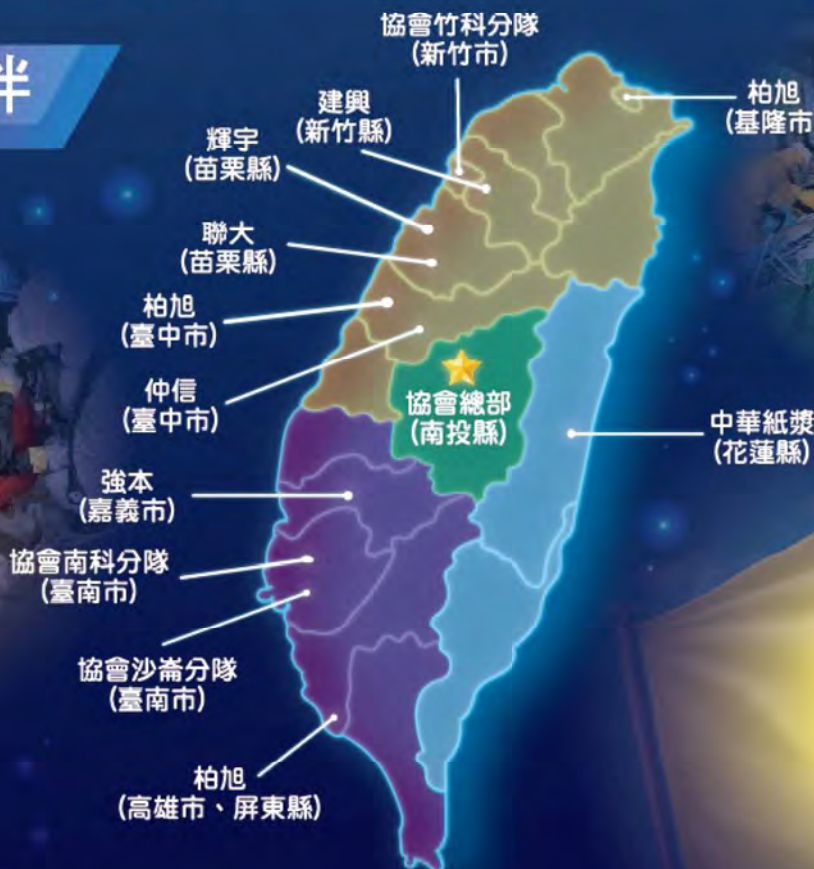


中華民國化學應變協會於112年通過國內第一個環境事故專業應變機構，服務項目含災情評估與行動計畫研擬、熱區常/高壓容器應變作業及環境事故未知物鑑認，服務範圍擴及至全臺灣。

2 HOURS 2小時內抵達事故現場為目標，提供應變支援服務



合作夥伴



HazMat 緊急應變指南電子書



適用於行動裝置手機或平板

相容性：IOS 11以上、Android 7以上

APP

中文版緊急應變指南 (ERG)，為加拿大運輸部 (TC)、美國運輸部 (DOT) 和墨西哥運輸、通訊部 (SCT) 以及阿根廷緊急化學資訊中心 (CIQUIME) 共同發展與研究而成，並經由工業技術研究院翻譯成中文。本指南的功能目的在於“應變初期階段”，提供在到達事故現場時，危險品存在及/或辨識的確認、最初的保護行動和區域安全作業的啟動，以及尋求合格援助人員的支援，但不提供危害物質的物理或化學性質等資訊。

功能與特色

- 1) 提供中文名稱、英文名稱、聯合國編號 (UNNO) 搜尋介面
- 2) 提供圖像式搜尋介面，包括標示牌與槽車型式
- 3) 快速索引緊急處理原則
- 4) 提供NFPA 704危險品緊急處理系統鑒別參考資訊
- 5) 提供危險品個人暴露容許濃度標準、生物指標以及環境污染指標 (僅提列我國勞委會資料)
- 6) 初期隔離和保護行動距離表介紹
- 7) 提供初期隔離及疏散距離
- 8) 提供六種常見吸入性危害物質細部初期隔離及疏散距離
- 9) 提供液體沸騰膨脹蒸氣爆炸 (BLEVE) 安全防護措施距離
- 10) 罪犯/恐怖份子使用之化學/生物/放射性試劑
- 11) 提供即時引爆裝置 (Improvised Explosive Device, IED) 危害隔離距離
- 12) 詞彙術語
- 13) 出版資料 (及相關訊息)








環境事故簡訊電子報


e-Newsletter

每季發行一期，內容包含：


 【案例事故專欄】最新案例事故與應變分析

 【法規園地專欄】法令修訂與重點解析


 【專題文章專欄】專家觀點與實務探討

 【人物專訪專欄】聚焦防災第一線人物

分享環境守護的真實故事

 歡迎訂閱，掌握最新環境災防資訊！


 電子報網址：<https://toxicdms.moenv.gov.tw/edm/>

 徵稿啟示 | 環境事故簡訊電子報


歡迎各界專家、學者及業界人士踴躍投稿，分享專業見解與實務經驗！


 徵稿主題

- 列管化學物質之分析與採樣
- 列管化學物質之災害與應變
- 列管化學物質之預防改善與健康危害
- 列管化學物質之國際發展與管制趨勢

 投稿資訊

 字數：約 2,000–3,000 字

 來稿時間：隨時接受投稿

 稿費：文稿採用者稿酬從優！

 一起推動環境安全知識交流，誠摯邀請您分享寶貴經驗！



2025 年韌性臺灣-環境事故災害防救韌性科技

國際交流論壇

意見調查表

各位貴賓與先進好：

非常感謝您參與本次活動，為了瞭解活動辦理情形與品質，以作為未來規劃之參考，煩請您撥冗填答下列問卷，給予我們寶貴與具體的意見，再次感謝您對本活動的全程參與和支持!

