

Li-ion Batteries: What You Need to Know 鋰離子電池：你需要知道什麼？

會議日期：2025/02/06

主辦單位：Public Services Group, Institution of Occupational Safety and Health

主持人：Matt Harrington (Fire Officer, London Fire Brigade; Committee Member, IOSH)

主講人：Giles Kition (Former Chief Fire Officer, Glasgow Airport)

會議連結：https://www.youtube.com/watch?v=GYA_s_di88A

背景與電動載具火災特性

"Technology and safety must progress together, not in conflict." – Giles Kition
科技進步應與安全並行，而非彼此衝突。

隨著全球電動化與能源轉型，鋰離子電池已廣泛應用於電動載具 (Electric Vehicles, EVs)、電動腳踏車與儲能系統 (Battery Energy Storage Systems, BESS) 用途皆為綠色能源轉型關鍵，而該技術普及帶來前所未有的職業安全與消防挑戰。

研討會由英國職業安全與健康協會主辦。講者以實際案例與統計數據探討五大核心主題：(1) 電動載具與儲能系統火災特性；(2) 熱失控與氣體危害；(3) 消防應變與滅火策略；(4) 跨機構應變指南 (Multi-Agency Incident Response Guide, MIRG) 制定經驗；(5) 公眾認知與政策挑戰。

"We see more EVs on our roads every day, but our knowledge has not kept pace." – Giles Kition
技術發展的速度早已超越安全制度的調整步伐。

電動載具與儲能系統的火災特性

鋰電池火災的危險並非來自外部燃料，而是源於內部劇烈的化學反應。電動汽車與電動腳踏車的鋰電池模組結構緊密、電芯排列密集，散熱空間有限；若發生過度充電、損壞或短路情形，電解質便可能迅速分解並引發燃燒。而大規模儲能系統，只要一個模組發生熱失控，就可能引起連鎖反應，導致上百顆電芯同時產生劇烈反應，形成持續且極難控制的高溫火災。在熱量與氣體持續自我供應的情況下，火焰可竄升至數公尺高，並迅速蔓延至車體及周邊車輛。若發生於儲能設施，燃燒過程更可能釋放大量含氟氣體，形成具毒性的氣體雲，導致廣泛污染並迫使人員進行緊急疏散。

 **"This is not a normal fire – it's a reactor that breathes." – Giles Kition**
這不是普通的火勢，而是會呼吸的反應器。

熱失控機制與消防應變策略

熱失控機制與氣體危害

鋰電池火災的根本原因在於熱失控 (Thermal Runaway)。當電芯溫度超過80°C時，固態電解質介面層 (Solid Electrolyte Interphase, SEI) 開始分解；達130°C時，陰極材料釋放氧氣；超過180°C後，電池內部即發生熔化並引發劇烈的連鎖化學反應。這過程會自行產生氧氣，火勢即使在缺氧環境中也能持續燃燒。

01	02	03
80°C：SEI層分解	130°C：氧氣釋放	180°C：連鎖反應
固態電解質介面層開始分解	陰極材料釋放氧氣	電池內部熔化並引發劇烈化學反應

熱失控過程中，電池同時可能釋放出高濃度的氟化氫 (HF) 與氯化氫 (HCl) 氣體，其致命濃度分別僅約170 ppm 與620 ppm。這些氣體比空氣重，容易聚集於地表低處，若現場未設置良好通風或氣體監測系統，極易造成人員嚴重職業暴露與二次災害。鋰電池火災應變不應僅著眼於撲滅火焰，更需同步控制熱反應進程與有毒氣體逸散，確保人員與環境安全。

消防應變困難與滅火策略

傳統滅火劑 (乾粉、泡沫及二氧化碳等方式) 皆無法有效撲滅火勢，因為鋰電池燃燒時的氧氣來自內部化學反應，而非外部空氣。唯一可行的方法是以長時間、大量注水方式進行冷卻，直到電芯溫度降至安全範圍為止。一場電動車火災往往需耗費超過 100 公噸的水，冷卻過程可持續四小時以上。消防人員必須全程配戴 FFP3 等級防護具，並與火源保持至少25公尺的安全距離，以防吸入含氟化物或其他有毒氣體。

FFP3等級防護具

屬於歐洲標準中最高等級的呼吸防護面具，對懸浮微粒的過濾效率可達 99%，主要用於防護燃燒後產生的細懸浮物與顆粒污染，但其無法阻隔具腐蝕性或有毒氣體，如：氫氟酸 (HF) 與揮發性有機物，因此在鋰電池火災現場通常需搭配自給式呼吸器 (SCBA) 使用，以確保消防人員呼吸安全。

先進冷卻技術

- **鋰電池車輛冷卻槽**：將整輛車輛吊入密閉水槽內持續浸泡24至72小時，以均勻降溫並防止復燃
- **車底導水冷卻系統**：可從車底將水流導入電池模組內部的定向冷卻裝置，可遠距操作、降低人員暴露風險

部分歐洲國家已開發出鋰電池車輛冷卻槽 (immersion cooling chamber)，可將整輛電動車吊入密閉水槽中，持續浸泡24至72小時，以確保電芯徹底降溫並降低復燃風險；另有車底導水冷卻系統 (Tactical Suppression System, TSS)，可從車底將水流直接導入電池模組內部進行定向冷卻。這些技術在控制火勢與防止復燃方面成效良好，但由於設備成本高、部署條件嚴格，目前尚未普遍導入。即使火勢撲滅後，鋰電池仍可能因殘餘熱反應而再次燃燒，因此現場污染水與氣體的監測需長期持續，以確保環境與人員安全。

"Extinguishing the fire is not the real challenge – the real battle begins after it's out." – Giles Kition
滅火並非唯一的挑戰，真正的難題往往出現在火勢撲滅之後。

跨機構協作與全球治理進展

跨機構應變指南制定經驗

為因應日益複雜的火災情境，蘇格蘭政府於2024年制定跨機構應變指南，由多個公共部門協力推動。該指南整合消防、警察、環境、公共衛生及地方政府等單位的職責，建立明確的分工與協調機制，涵蓋事故分級、疏散決策、污染水處理及事後復原等程序。該指南已在兩起電池回收廠火災中成功運作，證明跨部門協作與資訊整合是降低災害風險、提升應變效率的關鍵。

☐ "The value of MIRG is that everyone knows when to step in, when to step back, and who to call." – Giles Kition
MIRG能讓各部門清楚掌握自身在事故應變中的角色與時機，明確知道何時進場、何時撤離，及應向誰通報與協調。

公眾認知與政策挑戰

社會大眾對於鋰電池火災的風險認知仍明顯不足；多起事故現場曾出現民眾為拍攝畫面而靠近火源，最終因吸入有毒氣體而受傷害。又媒體報導也常將電池火災簡化為爆炸事件，忽略其長期可能復燃特性與化學污染風險。多數國家目前仍尚未建立專法，現行制度多依環保法規與電氣安全規範進行管理，難以涵蓋電池熱失控、污染水處理及職業暴露預防等實質風險。部分地區雖建議充電設施應距離建築物十公尺以上，但在都市高密度區域中往往難以實現。

能源安全與消防風險專家呼籲各國政府應盡速建立鋰電池全生命週期安全管理制度，從製造、使用、儲存到回收各階段，全面納入風險預防、監測與應變管理，確保能源轉型能在安全與永續的基礎上推進。

"The greatest risk of the future is what we think we already understand." – Giles Kition
最值得警惕的，不是未知的挑戰，而是那些我們深信自己已經理解的風險。

從事後救援到設計預防：鋰離子電池火災的全球治理與台灣進展

國際現況

鋰離子電池火災的預防管理正迅速發展中。以英國為例，該國電動化與儲能產業規模持續擴張，截至2024年，電動車(含插電式混合動力車)數量已突破200萬輛[1]，全國共有161座儲能設施，總裝置容量約4.4 GW[2]。2020年利物浦一座20 MW電池儲能廠發生火災，歷時59小時才被完全撲滅，事件促使英國政府全面檢討消防應變程序、保險承保條件及儲能系統的設計與審查制度[3]。

歐盟於2023年正式通過並於2024年生效《電池與廢電池規則 (Regulation (EU) 2023/1542)》，首度將電池安全納入全生命週期管理框架，要求製造商對產品設計、使用、回收與報廢負責，並明確規範標示、碳足跡及再利用標準，將安全與永續並列為政策核心[4]。

根據美國電力研究院 (Electric Power Research Institute, EPRI) 全球電池儲能系統事故資料庫統計，韓國自2018年以來已發生逾30起儲能系統火災事故，為全球事故率最高的國家之一[5]。2024年6月，華城市一座鋰電池工廠發生重大火災，造成嚴重人員傷亡，促使韓國政府啟動全國性安全檢討並強化製程安全管理[6]。歐美與亞洲各國正逐步從事後救援轉向設計預防，透過制度化監控及管理、跨部門協作與國際知識交流，推動電池安全從單一技術議題提升為能源轉型與職業安全政策的核心挑戰。

台灣現況

台灣的電動化與儲能市場正迅速成長。根據交通部公路局統計，電動機車登錄數已突破100萬輛，電動汽車數量也逐年攀升[7]。隨著鋰電池應用範圍擴大，住宅火災、倉儲爆炸及施工現場電池模組燃燒等事故的發生頻率亦明顯增加。

行政院公共工程委員會與勞動部職業安全衛生署已於2024年分別修訂公共工程安全衛生項目編列參考附表及營造工程風險評估技術指引，明確將儲能設施與高壓電池模組列為高風險來源，並新增火災防護及電氣風險評估程序[8,9]。消防署近年於多縣市推動電動車火災模擬演練，引入熱影像偵測、污染水回收及車底導水式冷卻系統等技術[10]；國際間有國際電工委員會 (IEC)、聯合國危險品運輸、以及國際標準化組織 (ISO) 系列標準，業界如國際半導體產業協會 (SEMI Taiwan) 於2022年啟動將草擬鋰離子電池儲能站安全標準。目前台灣尚未建立專門針對鋰離子電池火災的應變指引，現行廢電池管理制度仍以環保法規回收與資源再利用為核心，對於火災復燃控制、有毒氣體釋放及現場安全防護等議題，尚未完備系統性的規範、監督與控管機制。

結論與政策建議

鋰離子電池象徵著能源轉型的未來，同時揭示安全治理的缺口。國際經驗顯示，火災防治應從事故應變導向轉向源頭預防導向，並由單一部門的責任擴展為跨機構協作的整合體系。制定鋰電池安全管理指引與儲能防災準則，建立跨部會通報與資訊共享平台，確保各單位在事故發生前即可有效協同，應為現今不容克緩的共同課題。

鼓勵產業與同業公會研發防火模組、熱失控監測與污染水處理等關鍵技術，將安全設計納入產品生命週期管理，亦需加強消防人員的專業訓練與社會大眾的風險認知，使社會理解鋰電池火災的本質是一種化學性災害。透過制度、技術與安全教育意識提升三者結合並進，保護工作者安全與設施環境，能源轉型才能在安全與韌性的基礎上持續推動，邁向真正的永續發展。

"We must learn not only to extinguish fires, but to coexist with new technologies." – Giles Kition
不能只學會滅火，還要學會與新科技共存。

參考資料

1. Society of Motor Manufacturers and Traders. (2024, April 17). More than a million EVs on UK roads as vehicle ownership reaches new high. Retrieve from: <https://www.smmt.co.uk/more-than-a-million-evs-on-uk-roads-as-vehicle-ownership-reaches-new-high/>
2. Edina. (2024). UK battery energy storage pipeline exceeds 95 GW. Retrieve from: <https://www.edina.eu/news/uk-battery-energy-storage-pipeline-exceeds-95gw>
3. Merseyside Fire & Rescue Service. (2023). Battery Energy Storage System (BESS) thermal event, Carnegie Road, Liverpool – Investigation and recommendations. The Institution of Fire Engineers. Retrieve from: <https://ife.ie/wp-content/uploads/2024/03/Merseyside-Fire-Rescue-Service-Irish-IFE-and-Dublin-Fire-Senior-Team-October-2023-1.pdf>
4. European Union. (2023, July 28). Regulation (EU) 2023/1542 of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries. Official Journal of the European Union. Retrieve from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng>
5. Electric Power Research Institute. (2024, January). Insights from EPRI's Battery Energy Storage Systems (BESS) Failure Incident Database: Analysis of failure root cause (Report). Retrieve from: <https://restservice.epri.com/publicdownload/000000003002030360/0/Product>
6. Peter G. Kim & Hyunsu Yim. (2024, June 25). Probe into Hwaseong battery factory fire begins. The Korea Herald. Retrieve from: <https://www.koreaherald.com/article/3424306>
7. 交通部公路局 (n.d.)。車輛概況／機動車輛登記數統計 (資料庫入口，依月份與燃料別檢索)。Retrieve from: <https://stat.thb.gov.tw/hb01/webMain.aspx?funid=11100&sys=100>；另參機動車輛登記數－按縣市別及使用燃料分。Retrieve from: <https://statis.motc.gov.tw/motc/Statistics/Display?Seq=102&lang=zh-Hant-TW>
8. 勞動部職業安全衛生署 (2025)。營造工程風險評估技術指引 [第三版 (含 2021、2025 修正說明)]。Retrieve from: <https://www.osha.gov.tw/1106/29646/1150/33055/33057/>
9. 行政院公共工程委員會 (2024)。檢送修正之〈公共工程安全衛生項目編列參考附表〉函 (各機關轉知公告；附表最新版連結)。Retrieve from: <https://www.klep.b.kl.c.gov.tw/tw/klpb1/3473-294983.html>
10. 內政部消防署 (2022)。車禍救援挑戰賽－電動車救援安全講習 [中部場 (含實作演示：防火毯、穿刺瞄子、擋水板等戰術)]。Retrieve from: https://www.nfa.gov.tw/cht/index.php?article_id=12679&code=list&flag=detail&ids=1571