



台灣區電機電子工業同業公會
Taiwan Electrical and Electronic Manufacturers' Association

台灣儲能系統產業推動聯盟



Digital Twin 應用於定置型儲能系統全 過程安全監控

李達生 特聘教授

國立臺北科技大學 能源與冷凍空調工程系

儲能聯盟 技術組召集人

2022年10月19日

簡報大綱

1. 電電公會及儲能聯盟簡介
2. 定置型儲能系統市場簡介
3. 儲能系統常見熱失控原因簡介
4. 防止熱失控的方案簡介
5. 美國McMicken儲能系統事件分析報告
6. BMS與EMS設計簡介
7. Digital Twin應用於儲能系統安全監控
8. 建築緊急用電系統產業標準與DT儲能安全應用



電電公會及儲能聯盟簡介

台灣儲能系統產業推動聯盟簡介

- ✓ 台灣儲能系統產業推動聯盟於2018/1/31舉行成立大會
- ✓ 經濟部長沈榮津、理事長郭台強等來賓一同出席成立大會親自參與及指導
- ✓ 國內15間儲能系統相關業者參與、產學研顧問團達10人
- ✓ 經過三年的發展，聯盟成員已達到93家
- ✓ 聯盟致力推動儲能產業良性發展



執行秘書：劉家銘
秘書處：陳銘祥

台灣區電機電子工業同業公會
能源與儲能委員會
主任委員胡惠森

最高指導顧問
施顏祥

榮譽總召集人萬其超
秘書長教授

台灣儲能系統產業推動聯盟
總召集人：劉如熹
副總召：曾重仁、張孫堆

政策研究組
召集人：林若蓁

技術交流組
召集人：李達生

產業推動組
召集人：楊政晁

- ✓ **政策研究組**：擔任政府與產業溝通橋樑角色，協助政策制定發展政策、反應業者需求、改善儲能產業發展環境。
- ✓ **技術交流組**：辦理培訓及考證照課程、辦理大型儲能論壇及直播，設置YOUTUBE頻道、辦理技術交流會。第一期電力交易平台專業人員資格測驗：

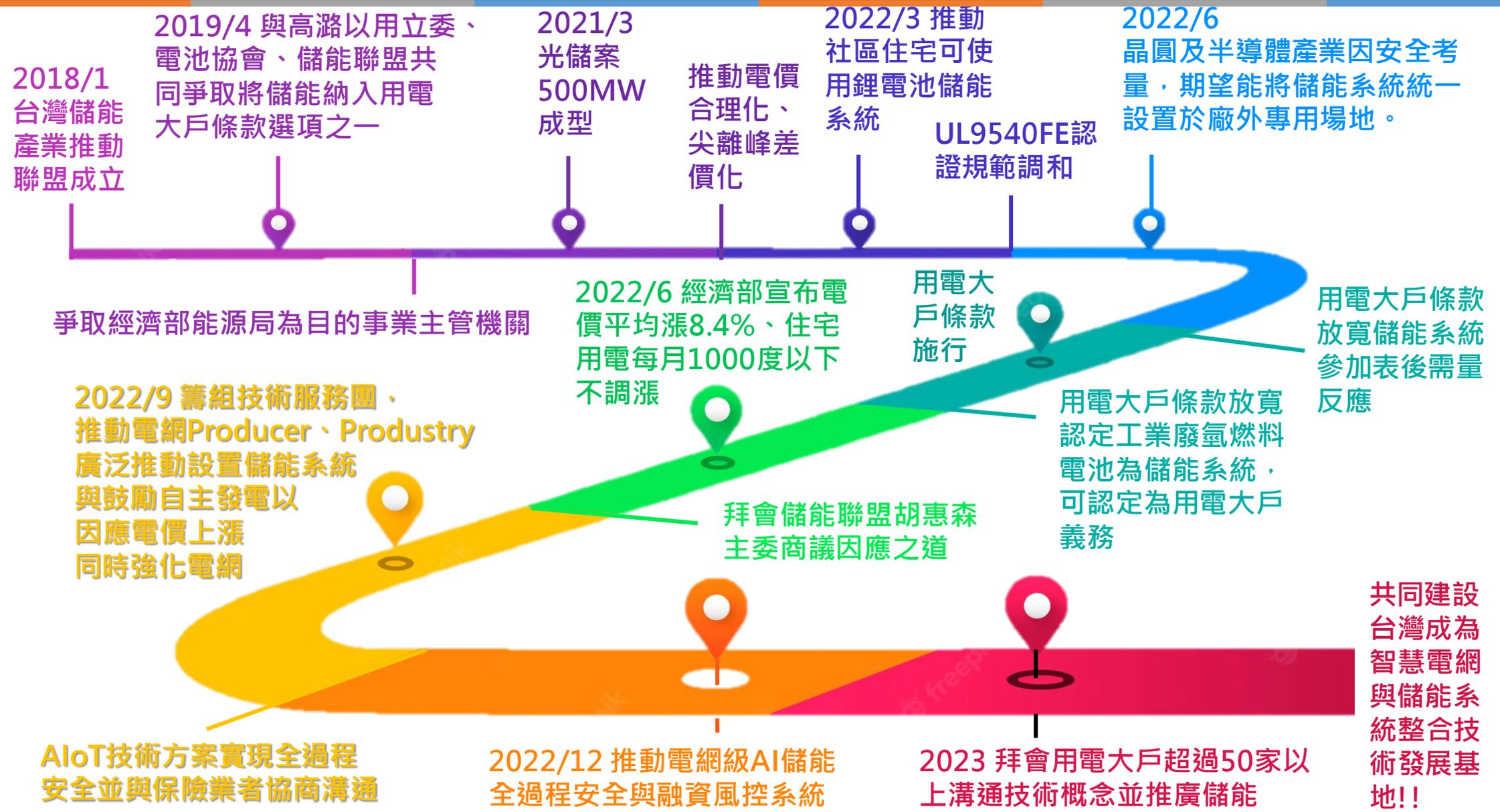
儲能聯盟台電電力交易平台專業人員資格認證人才培訓成果			
	2021第一期	2021第二期	2022第一期
全部報考人數	886	562	1000
通過人數	653	148	190
通過比例	74%	26%	19%
參加聯盟培訓人數	70	35	76
培訓後報考人數	55	15	58
培訓後通過人數	48	5	12
培訓後通過比例	88%	34%	21%

- ✓ **產業推動組**：國內外儲能案場招標資訊傳發、每年辦理國內外大型展覽「再生能源暨儲能系統產業主題館」參展及補助、辦理組團參訪。
- ✓ **秘書處**：辦理儲能聯盟會員大會、建置儲能群組、入會、退會、線上客服等工作。



電電公會及儲能聯盟簡介

儲能產業推動歷程



用電大
戶條款

社區大
樓儲能

台電輔
助服務

RE100
供應商

離島電
網



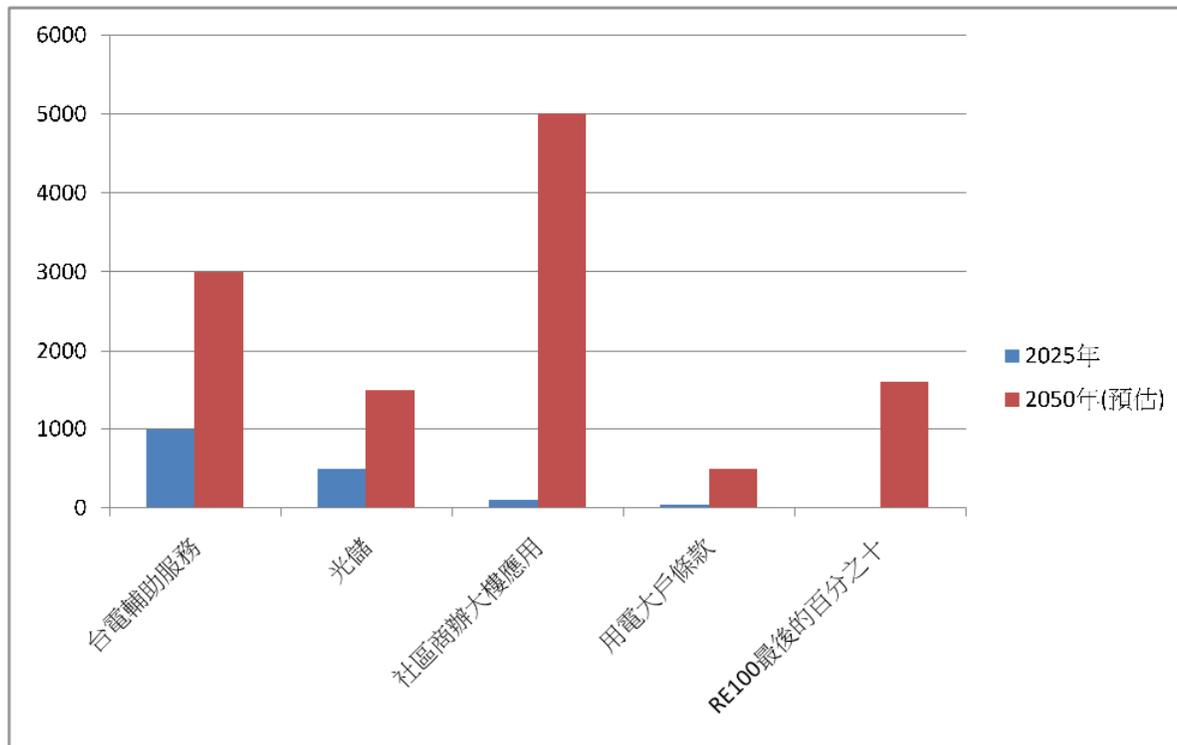
跟隨世界發展趨勢我國能源轉型以減煤、增氣、展綠、非核之潔淨能源發展方向為規劃原則，確保電力供應穩定，兼顧降低空污及減碳。為擴大再生能源推廣，經濟部訂定2025年再生能源發電占比20%政策目標。現正積極推動太陽光電及風力發電，預計2025年太陽光電裝置容量達20GW，離岸風力裝置容量則達5.7GW以上，隨著再生能源佔比增加，需要利用儲能系統來穩定電網，因此衍生國內儲能商機：

- ✓台電輔助服務：目前台電釋出1000MW，160M為台電自建標案，840MW為購買輔助服務，1M建置費約為NT\$2000萬~4,000萬台幣左右，經濟規模達356億。
- ✓用電大戶條款需設置契約容量10%再生能源裝置責任，5000kw以上約506家(800kw以上約5000家)，預估有500M以上的儲能潛力，經濟規模達200億。
- ✓台灣有許多電子大廠需符合國際RE100供應鏈要求，但夜間無再生能源可用無法達到100%要求，儲能系統可將白天的再生能源儲存後夜間使用，提供夜間生產再生能源用電。台灣RE100企業的再生能源需求，2020年達4.8GKWh，夜間用電約為1/3，以1.6GKWh計算，約需使用1.6G的儲能系統，未來經濟規模達640億。
- ✓提升電動車佔有率，需先在社區大樓安裝充電樁及儲能系統，全台約有1G的儲能需求量，經濟規模達400億。
- ✓台灣離島如金門馬祖有智慧電網之需求。
- ✓以上預估總計約有1596億台幣之規模。

台灣儲能市場簡介

台灣定置型儲能系統的市場有哪些？

	再生能源佔比	再生能源	台電輔助服務	光儲	社區商辦大樓應用	用電大戶條款	RE100最後的10%
2025	20%	27G	1000MW	500MW	100MW	50MW	10MW
2050(預估)	60%	81G	3000MW	1500MW	10GW	500MW	1600MW



儲能成本資料		
項目	單位	數量
固定成本		
電網儲能量	MW	
電池建置成本(鋰電池)	元	15,000,000
電能轉換設備成本	元	5,000,000
配套設備相關成本	元	5,000,000
施工與測試成本	元	7,000,000
期初成本合計	元	32,000,000
期初成本攤提年數	年	15
每年固定運維成本	元/年	2,000,000
每年攤提儲能成本	元/年	4,133,333
每日儲能量	kWh	1,000
損失量	kWh	50
每年放電量	kWh	350,000
每度儲能固定成本	元/度	12

*期初成本=電池建置成本+電能轉換設備成本+配套設備相關成本+施工與測試成本

*每年攤提儲能成本=期初成本/期初成本攤提年數+每年固定運維成本

*每度儲能固定成本=每年攤提儲能成本/每年放電量



參與商品項目	最大輸出功率 (MW)	預設容量費 (NTD/MW.h)	效能費 (NTD/MW-h)	全年參與時數 (小時/年)	年度總收入 (NTD/年)	建議規格 (MW : MWh)
即時備轉	10	300 *(即時)	100	8,400	\$33,600,000	1 : 1
dReg0.5	10	450 *(調頻)	275	8,400	\$60,900,000	1 : 1
sReg	10	450 *(調頻)	275	8,400	\$60,900,000	1 : 1
dReg0.25	10	450 *(調頻)	350	8,400	\$67,200,000	1 : 1.5
E-dReg	10	450 *(調頻)	275	8,400	\$95,860,000 (含增強效能及電能服務費 34,960,000)	1 : 2.5

*僅為參考價格，實際由日前輔助服務市場結清。

*110年10月價格調頻備轉約590元/MW、即時備轉約400元/MW

投資：1MW=3,000萬~4,000萬

每年收入：1MW=850元X8,000hr=680萬

大約4~6年回本

過充電電流密度決定了電池反應的發熱速率，電流越高，單位時間內產生的熱量越多，從而增加熱失控的風險，過充電發生一般分為四階段：

第一階段： $1 < \text{SOC} < 1.2$

電池電壓穩步上升，因為BMS功能失效或電芯故障，造成充電電壓超過其標稱截止電壓

第四階段， $\text{SOC} > 1.6$

$\text{SOC} > 1.6$ ，電池熱失控，產生釋氣甚至爆炸，溫度可高達 780°C



第二階段， $1.2 < \text{SOC} < 1.4$

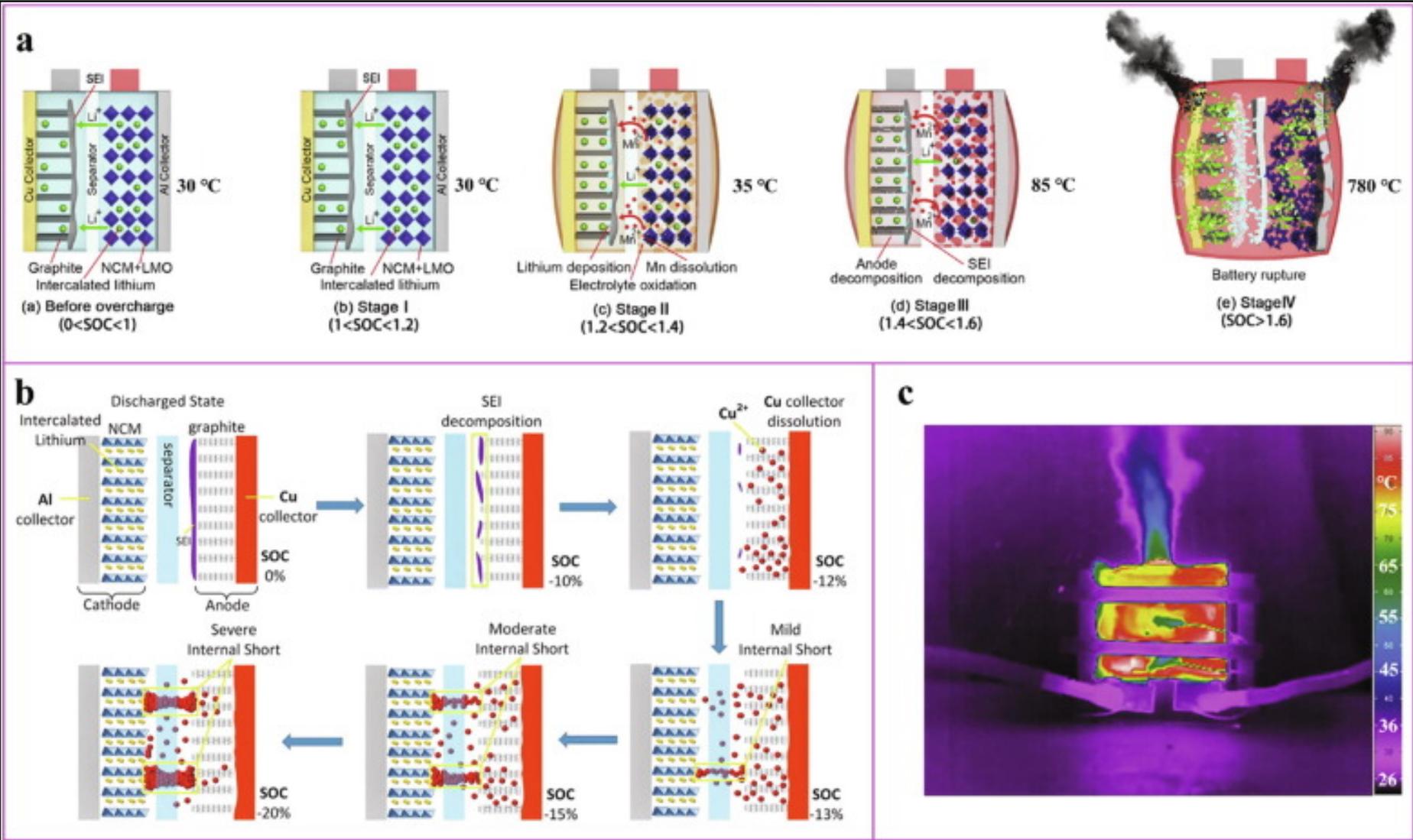
電池內部電解質開始產生成分變化與晶格錯位，電池外殼開始膨脹

第三階段， $1.4 < \text{SOC} < 1.6$

電池絕緣層開始出現破壞，急速升溫到 85°C 以上。

儲能系統常見熱失控原因簡介

過度充電狀況(圖解)



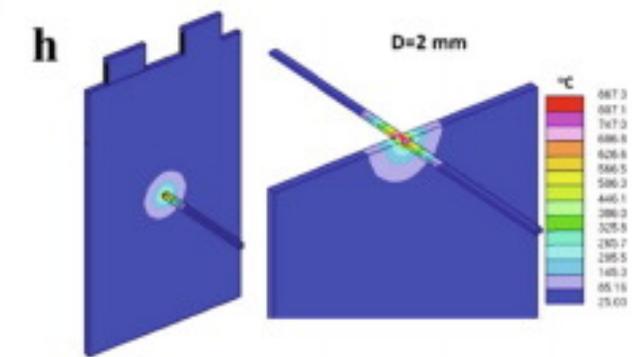
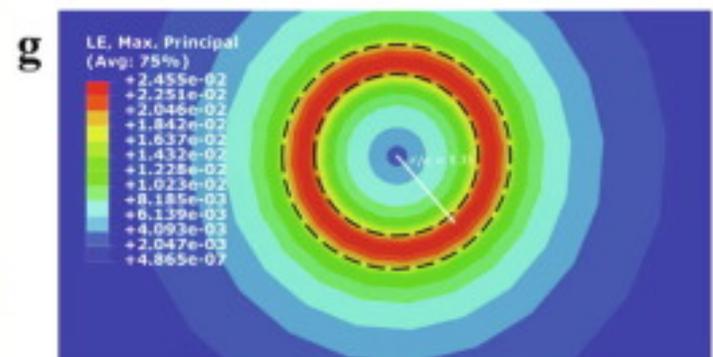
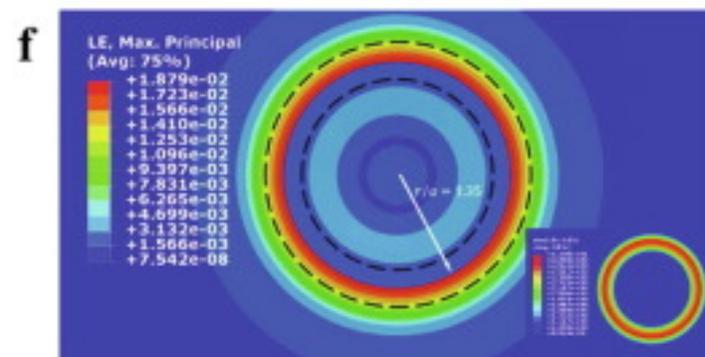
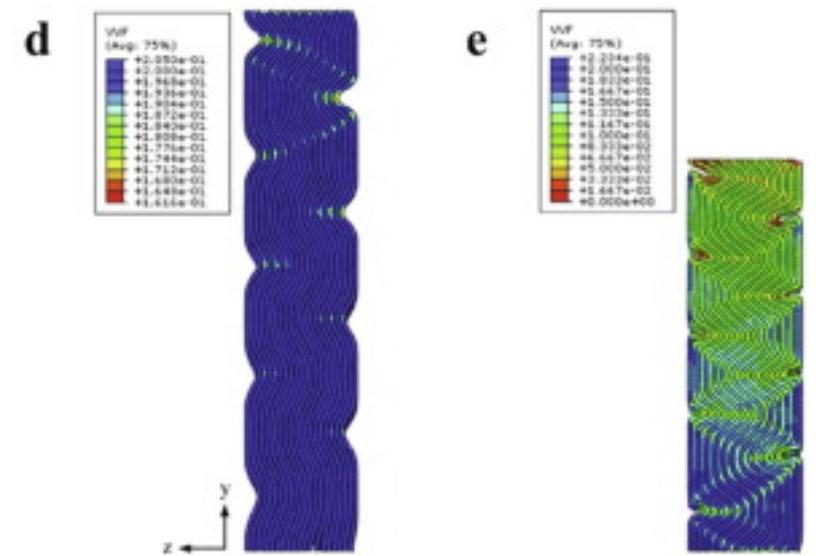
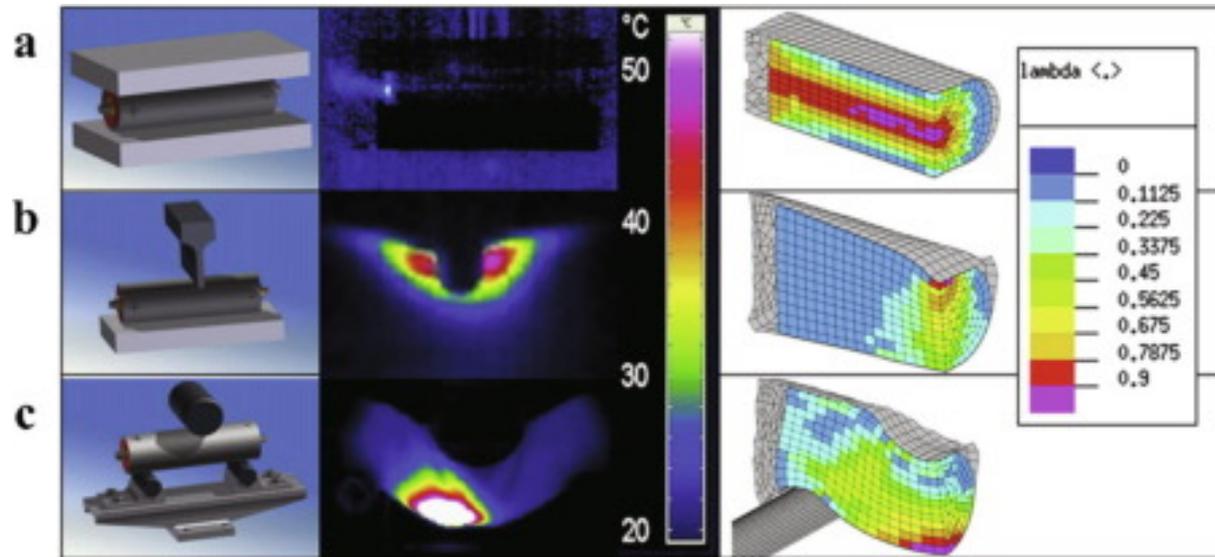
- a. 熱失控四步驟
- b. 不同SOC狀況下電池芯材料內部變化情況
- c. 熱影像分析

Ref: A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards, Journal of Energy Chemistry Volume 59, August 2021, Pages 83-99



- 過放電的狀況與過充電非常類似，同樣可能因為**BMS**不良，使得部分電池提前達到設定的放電狀態 (**SOD**)。此時，如果電池被迫繼續放電，就會發生過放電。
- 過放電狀況下，會不斷從負極釋放 Li^+ ，從而改變石墨結構並破壞絕緣層。在非常深的 **SOD** 下，負極鋰電銅箔可能被氧化，而釋放的銅離子則可能沉積在陰極表面，銅沉積過多時即導致電池短路。
- 在第一階段，引用的研究報告中，過度放電可以比 **SOD** 低 **11%**，此階段，電壓首先迅速下降，這是由於鋰離子從陽極釋出，脫嵌到陰極中。
- 第二階段，一般狀況是低於 **SOD 20%**，此時銅箔產生氧化反應，導致不穩定的電壓升降。
- 第三階段，**SOD**低過**90%**以下，此時由於銅離子長出枝晶，發生短路，電壓會逐漸或快速降低。
- 第四階段，當同一電池的陰極和陽極通過導體直接接觸時，就會發生外部短路。此時，電池溫度上升至 **77 – 121 °C**，巨大熱應力會使電池最終破裂，導致電解液洩漏。

- 即使在正常運行條件下，電池產生的熱量也無法完全消除，尤其是在炎熱的天氣或大型電池組中，因此，大型儲能系統，例如貨櫃型儲能裝置的散熱設計以及搭配空調降溫，需要精算其負荷，特別是在台灣這樣高溫高濕的環境。
- 無法控制的內部發熱，將導致電池內部釋氣，進一步產生大量副反應，特別是陰極材料釋放的氧氣，是觸發發熱失控的重要原因。
- 其他熱濫用狀況包含隔膜缺陷，會在電池中造成短路，並且快速釋放存儲在其中的能量，造成大量熱量的釋放。
- 荷電(SOC)狀況過高引起電解質分解，特別是在陰極界面。這會導致熱量積聚並因此從陰極釋放氧氣並損壞隔膜。
- 局部高溫引起的電化學副反應組成。如果在正常鋰電池操作過程中產生的熱量不能足夠快地消散，則該特定位置的隔膜會收縮或破裂。
- 電池發生機械損壞，例如電動車碰撞，會導致短路和/或空氣穿透電池。



(a) 徑向破碎；(b) 壓痕；(c) 彎曲；(d) 8.5% 和 (e) 34% 的約束壓縮模擬的應力變化；扭曲前和 (g) 扭曲 12° 後的總和 (f) 在隔離層中的應力分佈；(h) 針刺過程中軟包電池的溫度分佈

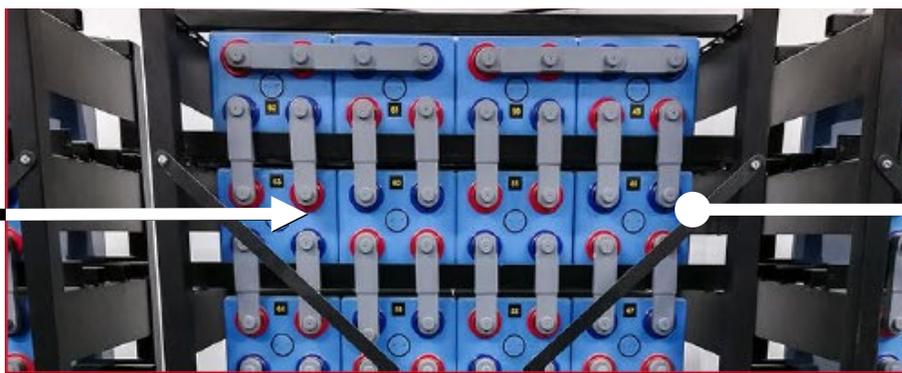
- 安全風險按圓柱形電池 < 軟包電池 < 方形電池的順序，依序遞增。
- 方形電池的散熱性差，這使得冷卻過程和電池組裝更具挑戰性。
- 圓柱形電池的小尺寸、較低的儲能以及每個單體電池之間的間隙較大，從而使得圓柱形電池組具有更好的散熱性能，亦可防止熱濫用情況。

- 絕緣層是多孔聚合物膜。它的作用是将陰極與陽極物理分離，但允許離子在它們之間通過。
- 內部短路的發生取決於活性材料和電解質的化學性質、發熱和散熱的速度以及對外力的耐受性。
- 良好的電池設計應能有效避免內部短路，相關設計可從評估電極活性材料、電解質和隔膜開始，因為這些是最可控的因素。
- 傳統的絕緣層使用聚烯烴的多孔膜，其熱不穩定且結構脆弱。在高溫下會收縮，需要解決隔膜收縮時的抗收縮性和防止電池內部短路，同時增進聚烯烴隔膜的整體機械穩定性。
- 目前研究對商業隔膜進行一些改進，包括用陶瓷顆粒或其他具有高熱穩定性的材料進行塗層，可以有效地將熱降解開始的溫度提高到約 **250 °C**，大幅降低絕緣層因熱產生破壞的狀況。
- 電池受潮造成內部含有水分子，在溫度變化下容易造成絕緣層破壞，這是目前發現電池火災的主要原因。

- 以上所述主要為鋰電池電芯的安全問題，也是學術研究的主要項目，然而，今日電池芯已被大量組裝，成為電網級的大型儲能系統，其故障問題已經不再限於前述四種原因(但**主要仍是由電池芯四種故障原因綜合引起電網級儲能系統事故**)，而需考量是由電池芯、電池模組、儲能系統到案場，四個層級，從機械到電氣故障產生的問題。



電池芯



電池模組及其堆疊



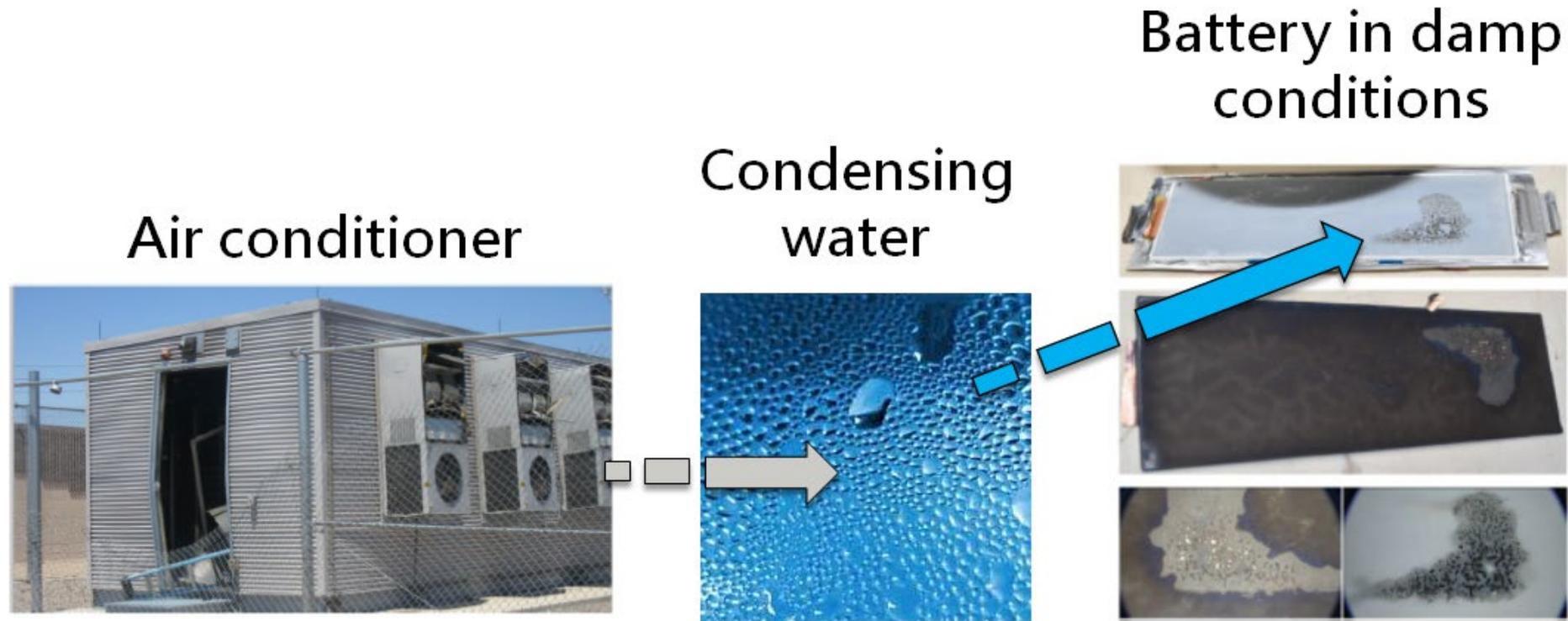
儲能系統/貨櫃



安裝案場

圖片來源: 台電金門夏興電廠

- 台灣主要調和的IEC 62933規範，對於儲能系統安全認證與測試，包含下列故障危害狀況：
電氣危害(Electrical hazards)、機械危害(Mechanical hazards)、爆炸(Explosion)、由電磁場引起的危害(Hazards arising from electric, magnetic and electromagnetic field)、火災及延燒危害[Fire hazards (propagation)]、高溫危害(Temperature hazards)、化學效應(Chemical effects)、控制與通訊周邊設備引起危害(Hazards arising from auxiliary, control and communication system)、環境危害(Hazards arising from environment)等十種可能故障危害狀況。
- 主要是由電池芯的四大故障原因，結合系統與安裝案場各項外部因素，產生複雜的故障情況。
- 除爆炸以外，最大儲能系統的危害就是火災。



- 高濕度容易造成電池櫃，甚至是電池芯上結露，濕度造成電池內部結出枝晶，破壞絕緣造成電池芯故障，進一步引發連鎖反應，造成整體系統火災。

- 利用化學感測器偵測電池故障發生前的微量釋氣，可提供2.9-12.3分鐘的預警處理時間。

Li-ion Tamer Sensor的偵測原理

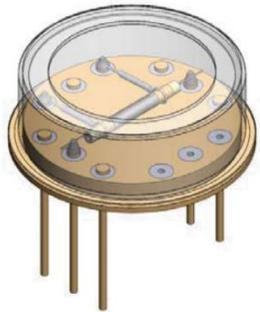


FIGURE 1 CONFIGURATION OF SENSING ELEMENT.

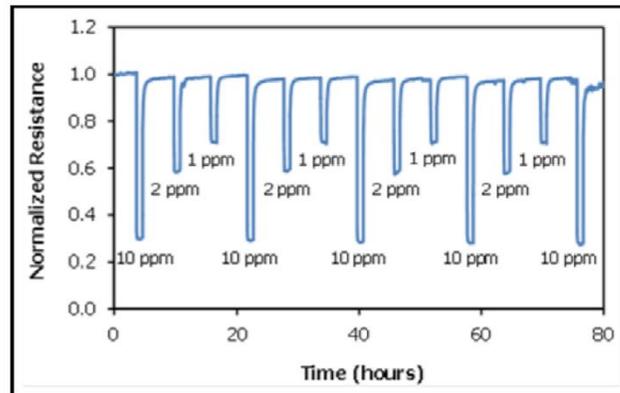
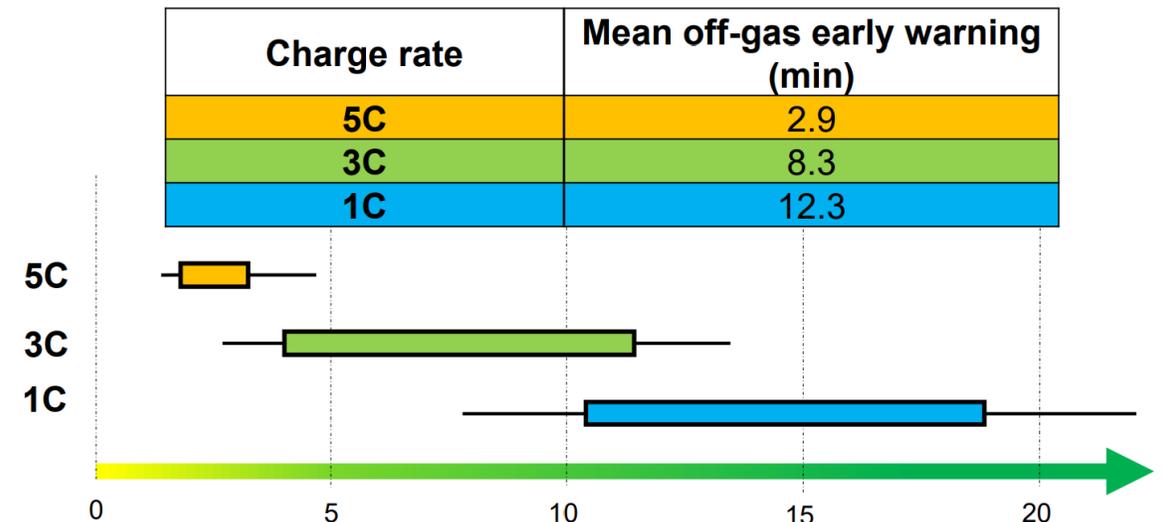
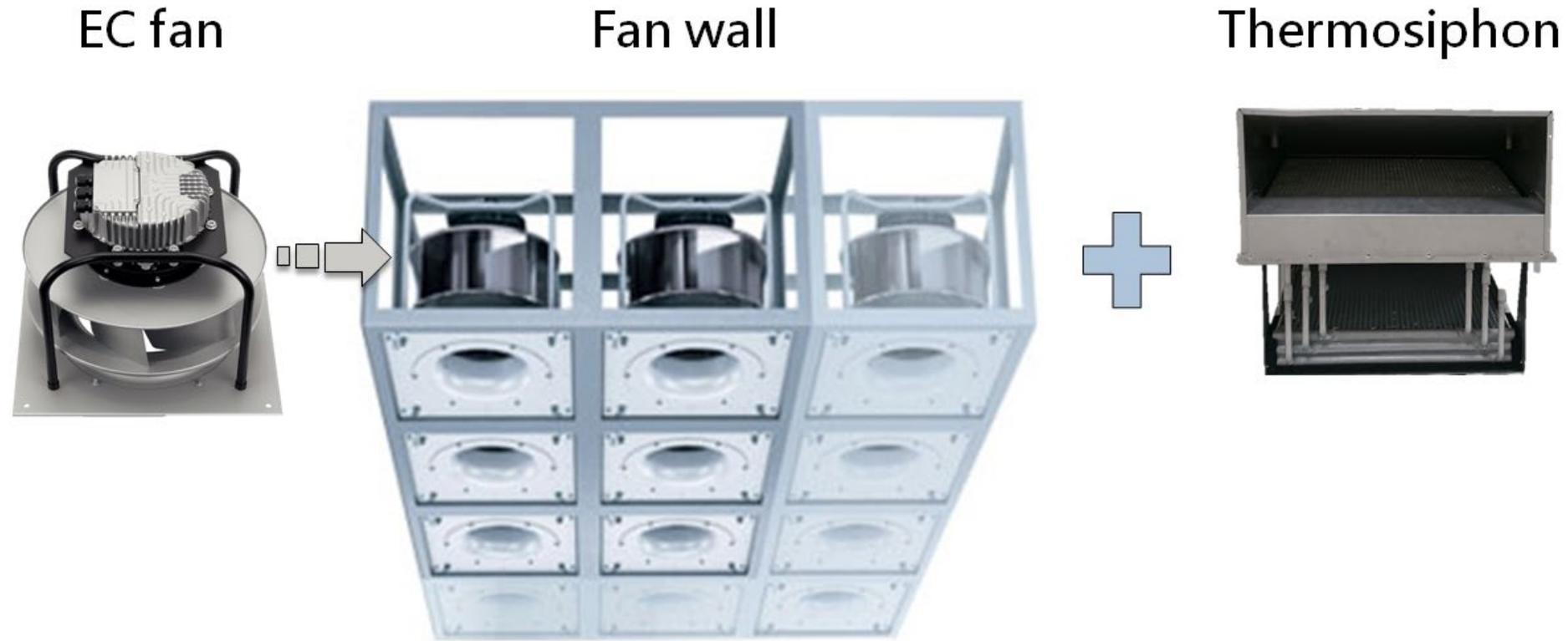


FIGURE 2 OFF GAS SENSOR ANALOG OUTPUT AS A RESULT OF GAS DETECTION.

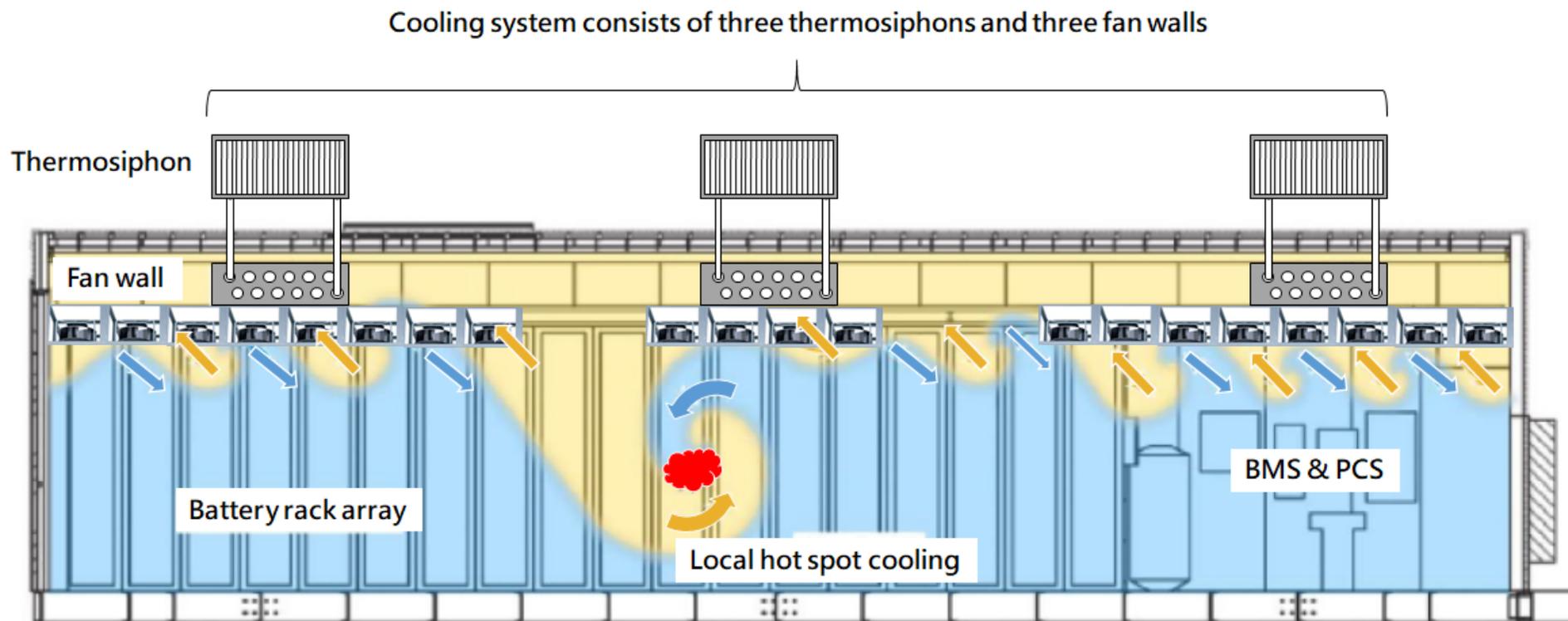
Chemi-resistive Sensor (化學-電阻感測器: 當偵測到VOC時，電阻值瞬間降低，靈敏度到數十ppb等級)

不同條件下(electrical abuse)單電芯熱失控測試
Li-ion Tamer系統可取得的『黃金時間』





包含利用電子換相風扇(EC fan)與風牆(Fan wall)設計概念進行輔助冷卻設計，這套系統平時即可節省儲能系統空調製冷功率，也由此提升其放電調度輸出功率0.9-1.8%。

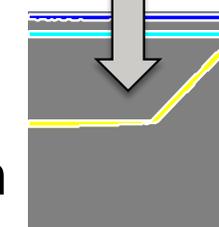
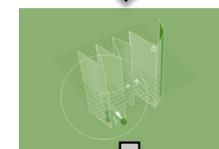
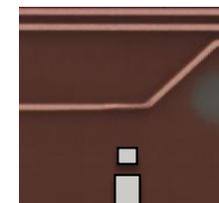
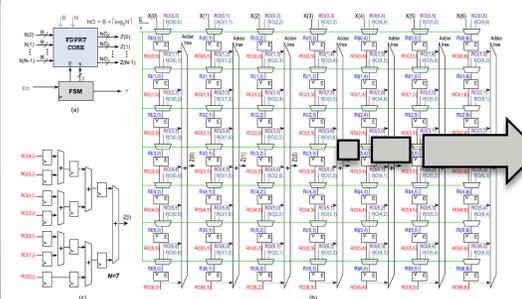
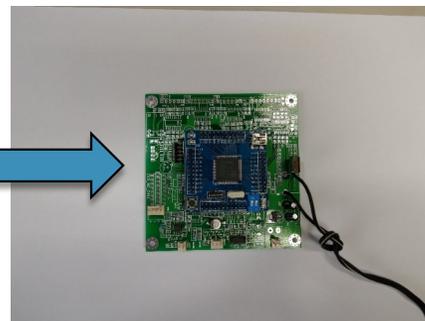
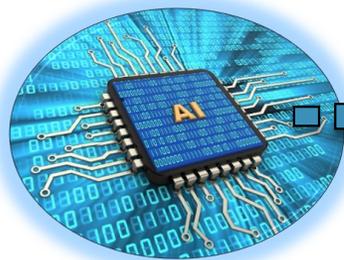
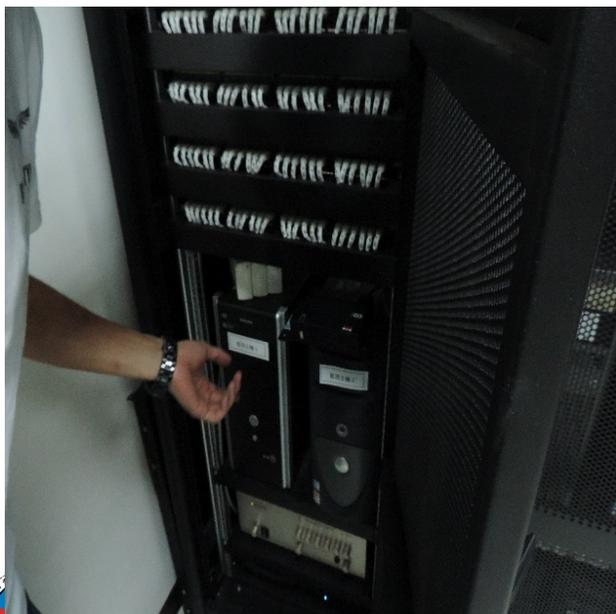


使用頂置安裝形式，安裝於貨櫃型儲能系統上，對貨櫃內安裝電池櫃以及周邊所需的功率管理系統，包含**BMS**與**PCS**一併進行冷卻，而使用**EC fan**配合水霧降溫，能夠在空間中製造漩渦氣流，實現熱點加強冷卻的氣流控制。

防止熱失控的方案

AI技術進行電池包微米等級膨脹的檢測

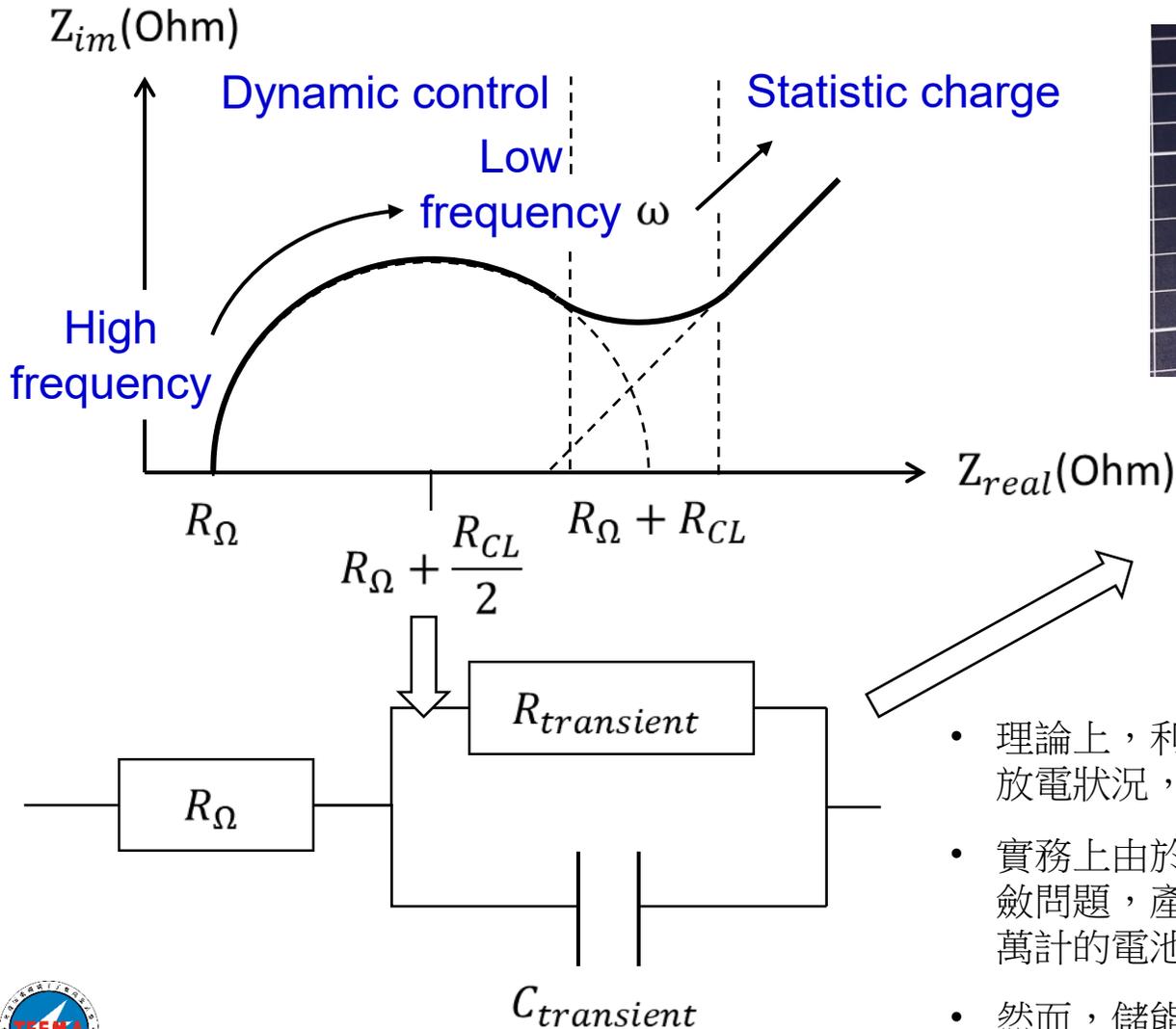
- 儲能系統需定期維護，可以透過最新的AI技術發展，使用低價的感測器，就能做到微米等級電池包膨脹的檢測，配合BMS操作分析，提前汰換健康狀況不良的電池芯，提高儲能系統安全性。



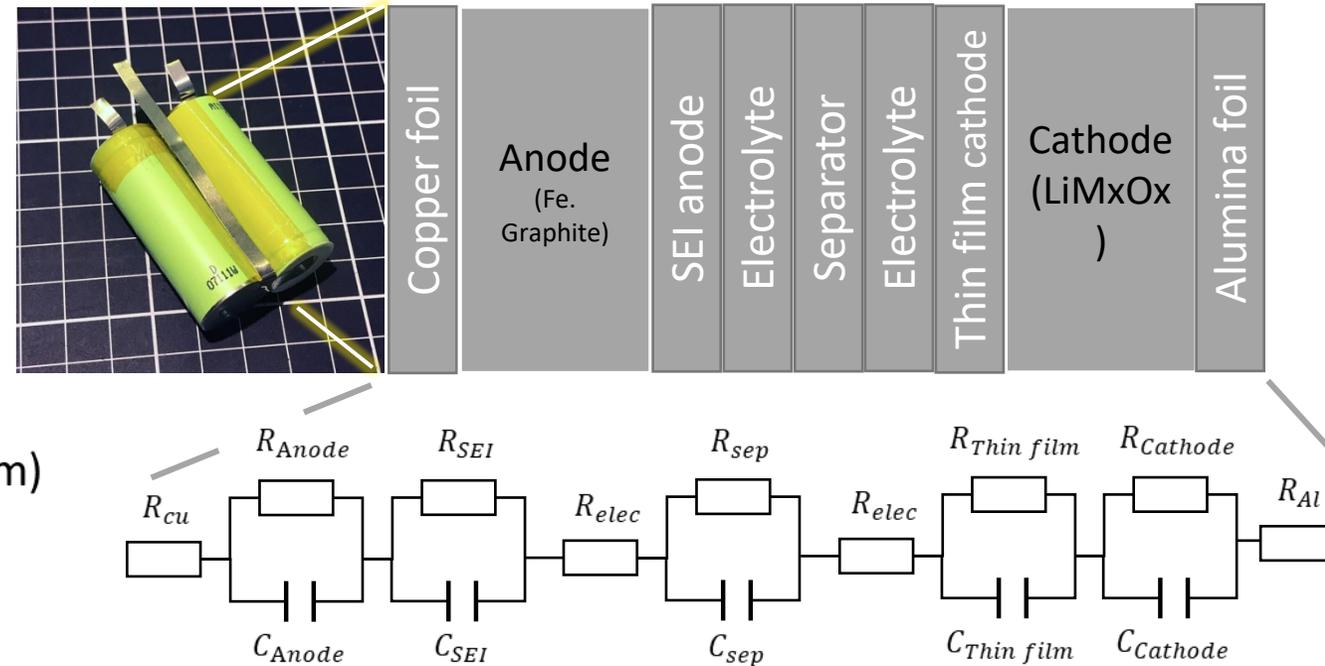
Random
Transfer
Sinogram
Analysis

40μm

Nyquist plot



Battery structure



- 理論上，利用EIS可以得到電池動力模型，再由暫態分析(Transient)可以由電池充放電狀況，得出電池健康狀況指標(SoH)。
- 實務上由於電池組成複雜，暫態分析不易收斂，而由直流電阻估測充電量，因收斂問題，產生誤差在5-10%，影響了健康狀況的判斷，特別是在儲能系統由數以萬計的電池組成的狀況下，很難監測單一電池即將到來的故障問題。
- 然而，儲能系統就是一顆電芯問題，造成的連鎖意外事件。

儲能系統概況

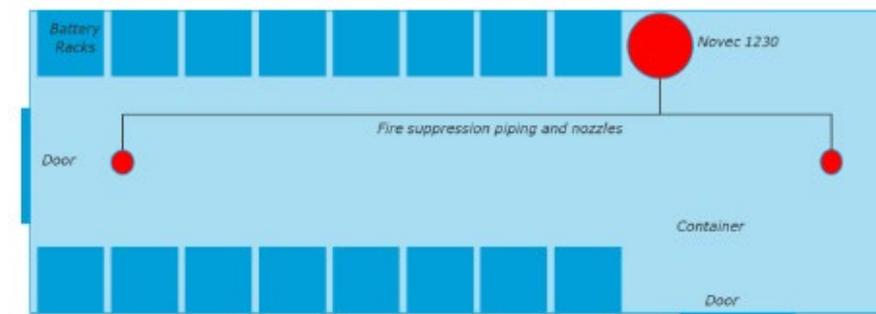
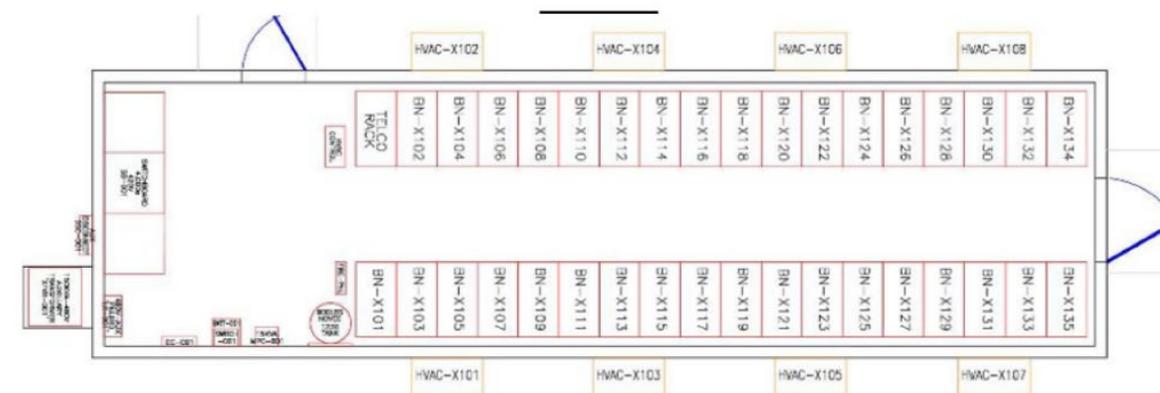
- 業主 亞利桑那州公共服務公司APS (Arizona Public Service Company)
- 系統整合商 AES Corporation
- 電池儲能系統 LG Chem Ltd
- 操作與維護廠商 AES Corporation
- 2017.3.14 系統完成建造試車完成加入營運。
- 發生熱失控事件前成功運轉 25 個月

儲能系統設計

- 64Ah, 0.24kWh 軟質包裝電池芯，操作電壓為3.0-4.2V
- 28 個電池 2P14S 組成一個電池模組
- 14 個電池模組成一個電池櫃(Rack)，儲能量為93.8kWh
- 27 個電池櫃組成整個系統，共計有 10,584顆電池，額電儲能量為2.0 MW/2.0MWh
- BMS由 LG Chem提供

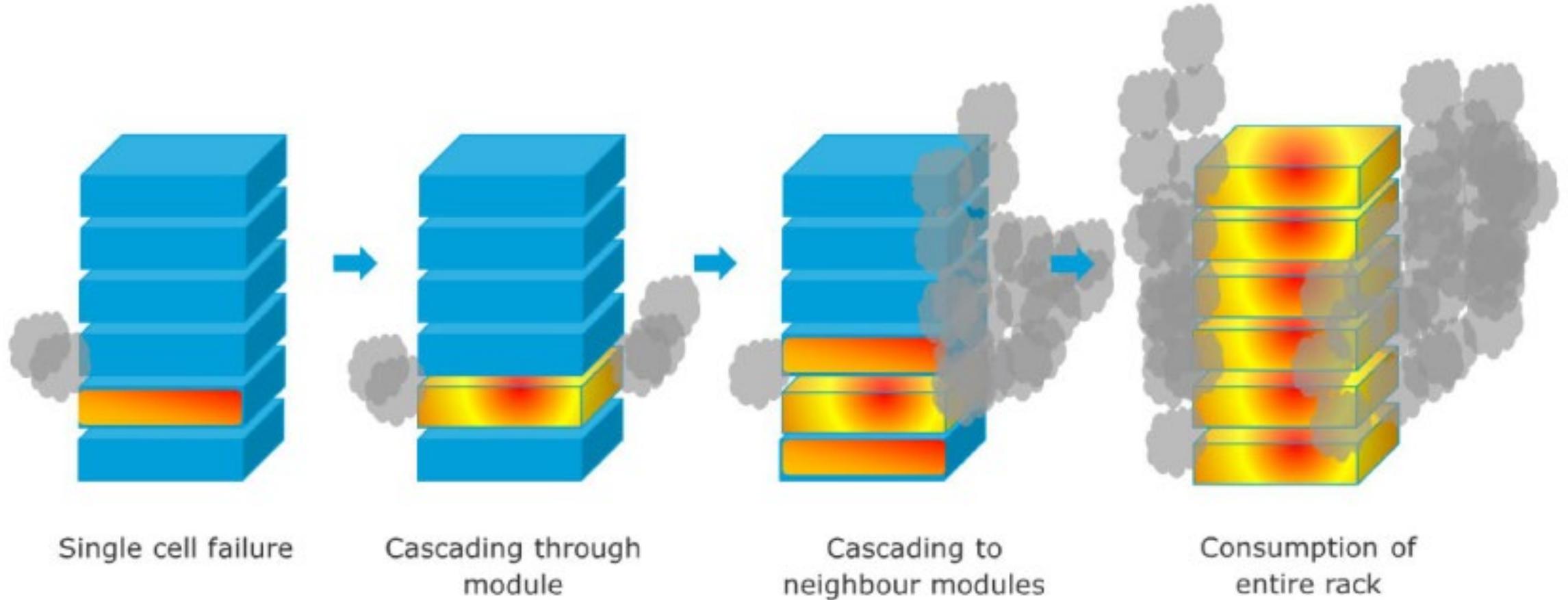
- 安裝有 VESDA (Very Early Smoke Detection Apparatus)
- VESDA 的雷射偵測器平均安裝在貨櫃天花板以偵測微量煙霧粒子。
- 使用 Honeywell Notifier RP2002 的火災警報盤，控制潔淨滅火藥劑消防系統

Novec 1230.

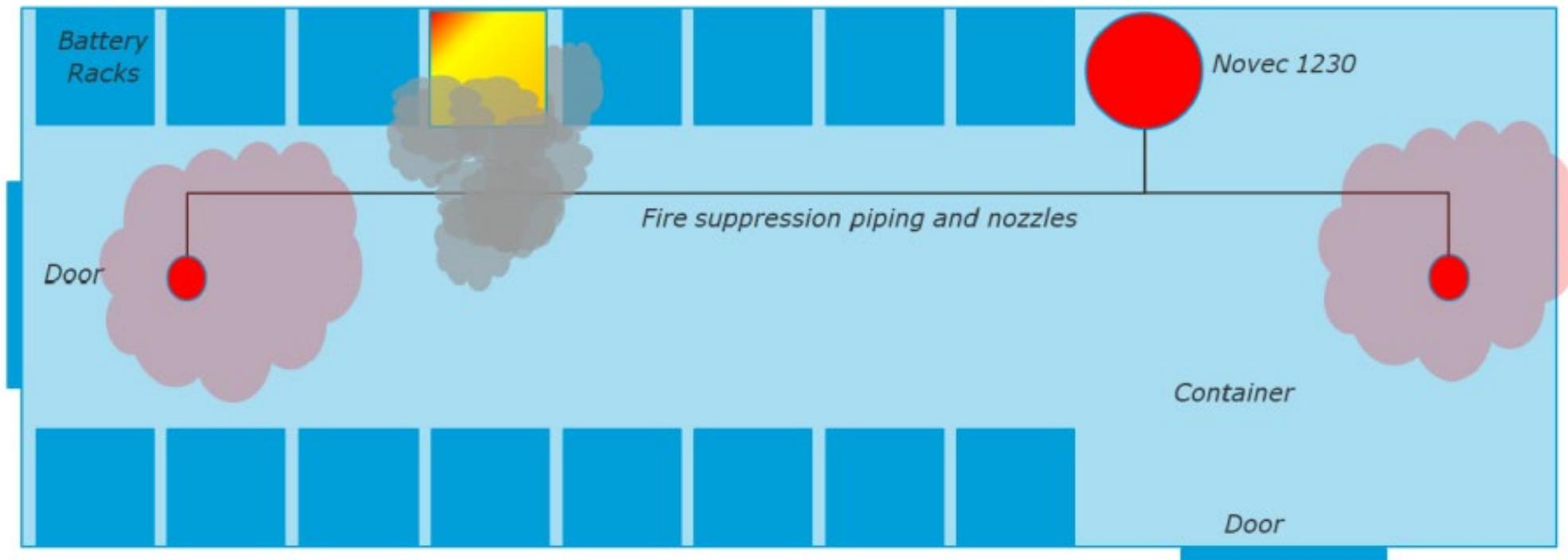


- 火災與最後的爆炸，是由單一電池芯故障而引起的連鎖 熱失控 擴散造成 (cell pair 7, module 2, rack 15).
- 經過 合理的科學鑑定，可以認為這種故障是由電池內部缺陷導致，特別是異常的鋰金屬沉積和樹枝狀結晶生長。
- 電池儲能系統中安裝的清潔滅火 劑 系統在事故發生時 VESDA 消防偵測系統按照設計運行，但無法抑制電池熱失控的連鎖反應。
- 潔淨藥劑滅火系統的設計是為了撲滅普通可燃物中的初期火災，此類系統無法防止或阻止電池儲能系統中的 鋰電池連鎖性 熱失控 與火災的擴散。

單一電池芯故障造成連鎖熱失控的過程假說



- 假說設定可能滅火，但電池內部化學反應仍然持續放熱，並產生大量可燃氣體。



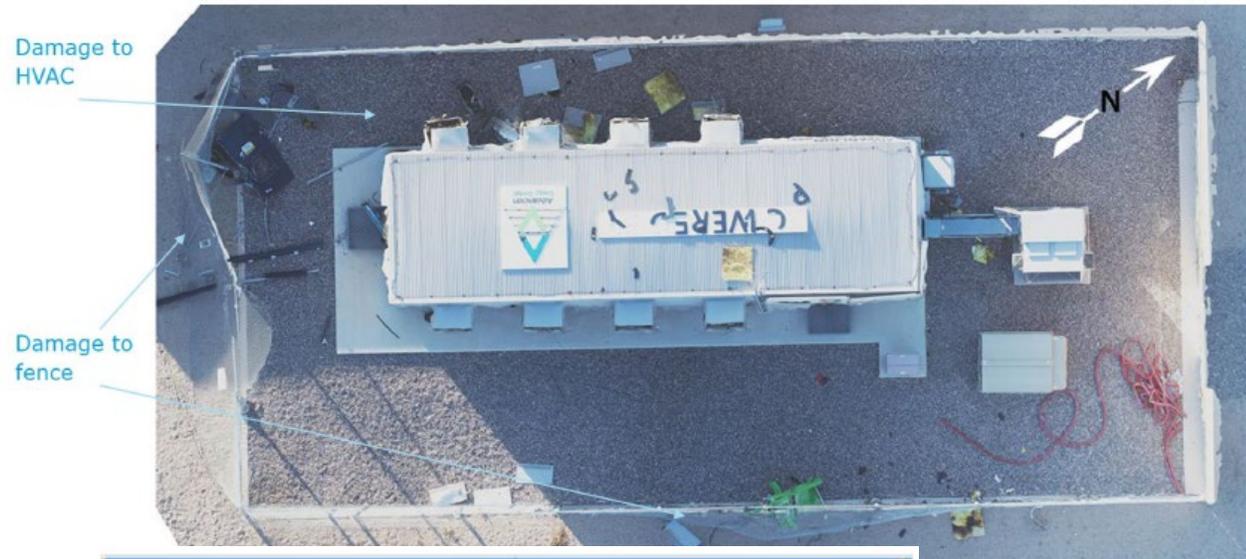
- 滅火藥劑無法抑制可燃性爆炸氣體大量產生



McMicken 儲能系統事件分析

可燃氣體產生爆炸

- 貨櫃大量新鮮空氣進入，可燃氣體擾動接觸設備高溫源點火發生爆炸



25

30

- 受潮的鋰電池形成樹枝狀鋰金屬結晶破壞正負極間絕緣層

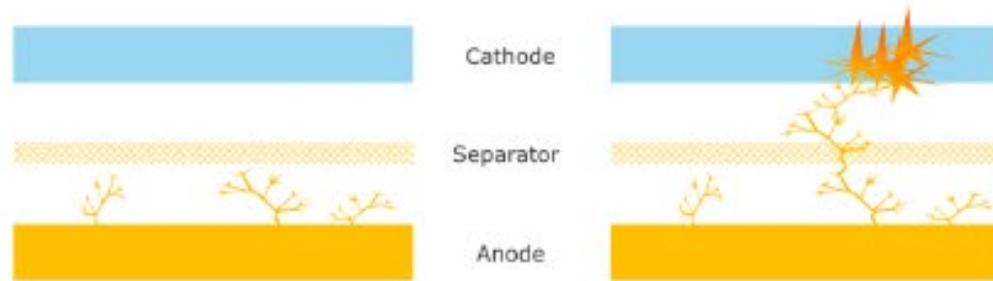
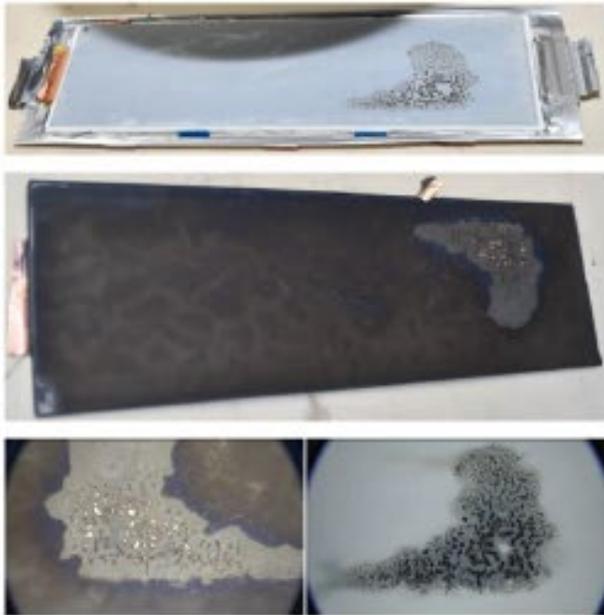


Figure 18 A 3D reconstructed image of the CT-scanned battery cell 7-2 demonstrates the absence of material in the bottom corner of the battery cell (image credit: SEL)

- McMicken儲能系統長期處在相對濕度(Relative Humidity, RH)高於80%的狀況。
- 露點溫度隨運轉時間逐步升高，表明環境處於長期變化，而非封閉系統。
- 在儲能櫃中，可能因高濕度產生水珠凝結在電子設備上的作用，造成短路，而非鋰電池缺陷引起。
- 觀測系統狀況的溫度與濕度量測器放置位置不當造成量測誤差等。

- 目前已有完整測試規範，可參考並據以建立安全的儲能系統。
- 儲能系統是由數千乃至於數萬個電池芯組成，單一電池芯的缺陷可能造成整體儲能系統熱失控乃至於失火，避免火災風險的主要關鍵，仍是依照規範，建立起防火區隔。
- 儲能系統滅火須遵照緊急應變程序，包含斷電→降溫冷卻(噴水或滅火藥劑) →滅火藥劑噴灑後應以低換氣率排氣避免可燃性氣體累積→著防護衣人員進入滅火。
- **應用AI預測，或許能提供儲能系統更好的安全保障，也可與保險業者合作，利用有效的智能監控，降低理賠機率，也讓儲能系統業者更無須擔心不可預期的風險!!**

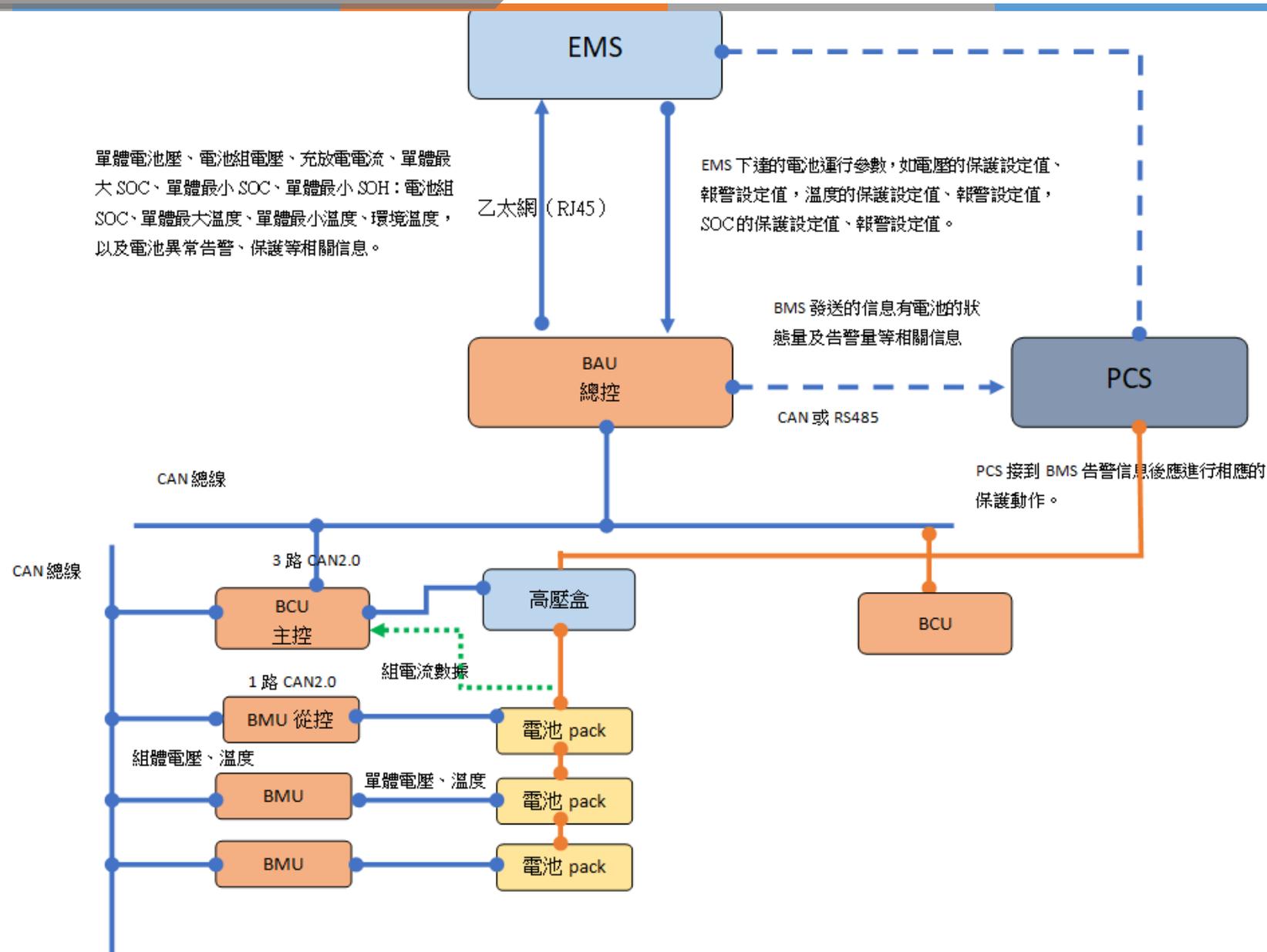
- **BMS**是電池儲能系統，負責監控電池儲能單元內各電池運行狀態，保障儲能單元安全可靠運行。
- **BMS**能夠即時監控、採集儲能電池的狀態參數（包括單顆電池電壓、電池極柱溫度、電池迴路電流、電池組端電壓、電池系統絕緣電阻等），並對相關狀態參數進行必要的分析計算，得到更多的系統狀態評估參數。
- **BMS**根據特定保護控制策略實現對儲能電池本體的有效管控，保證整個電池儲能單元的安全可靠運行。
- **BMS**可以通過自身的通信接口、模擬/數字輸入輸入接口與外部其他設備（**PCS**、**EMS**、消防系統等）進行信息交互，形成整個儲能電站內各子系統的聯動控制，確保電站安全、可靠、高效併網運行。

儲能系統BMS與EMS設計簡介

定置型儲能BMS架構

➤ 儲能BMS則因為電池組規模龐大，大多都是三層架構，在從控、主控之上，還有一層總控。

➤ 就像電池構成電池簇、電池簇構成電堆；三層BMS中也遵循這樣層層向上的規律。



➤狀態管理測量與估算：包括電壓、電流、溫度等基本參數、狀態，以及SOC、SOH等電池狀態數據的計算。動力電池領域還涉及SOP（state of power）、SOE（state of energy）的計算。

□電芯測量：

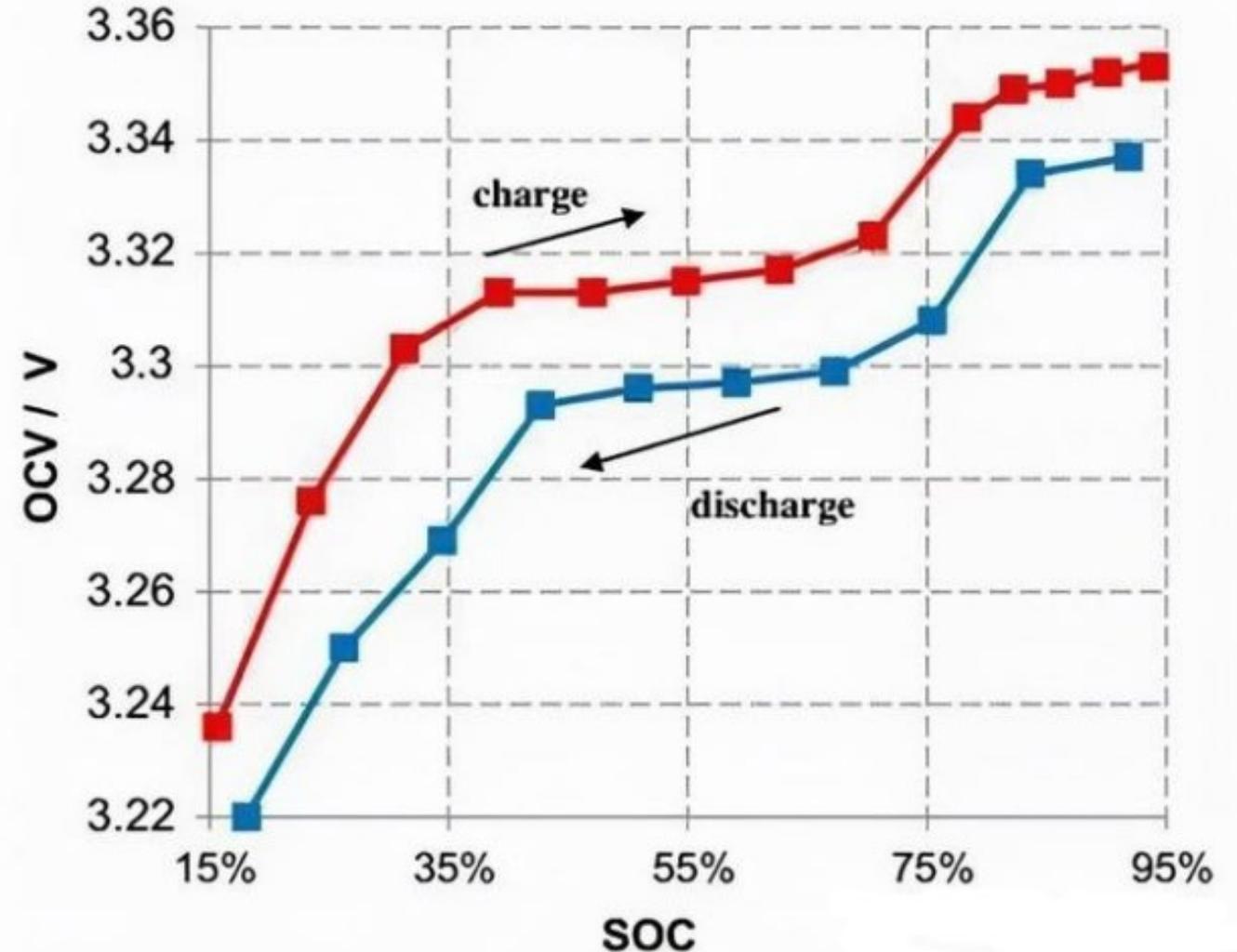
- 1)基本信息測量：測量電池單顆的電壓，電流和溫度。
- 2)絕緣電阻檢測：對整個電池系統和高壓系統進行絕緣檢測。
- 3)高壓互鎖檢測(HVIL)：當高壓系統迴路完整性受到破壞的時候啟動安全措施。

□SOC計算：電池剩餘容量。SOC估算方法有開路電壓法、電流積分法、卡爾曼濾波法和神經網絡法。比較常用的是前兩種。

1)開路電壓法：利用電池在長時間靜置的條件下，開路電壓與SOC存在相對固定的函數關係，從而根據開路電壓來估算SOC。

1. 電池須經過長期靜置，否則開路電壓短時間內很難穩定。
2. 電池存在電壓平台，特別是磷酸鐵鋰電池，在SOC30%-80%期間，端電壓和SOC曲線近似為直線。
3. 電池處於不同溫度或不同壽命時期，儘管開路電壓一樣，但實際上的SOC差別可能較大。

➤1)開路電壓法：假如當前SOC顯示100%，在加速啟動下電壓下降，電量可能顯示80%，停止加速時電壓回升，電量又會跳回100%。所以我們的小電車電量顯示不准，停下來有電開起來就沒電了，可能不是電池的問題，而是BMS的SoC算法太簡單。



- 2) 安時積分法：直接通過SOC的定義來實時計算SOC值。
- ✓ 在已知SOC初始值的前提下，只要可以測量出電池的電流（式中放電電流為正），通過電流積分，可以準確地計算出電池電量的變化情況，進而得到剩餘電量SOC。
- ✓ 該方法在短時間內的估計結果比較可靠，但由於電流傳感器的測量誤差以及電池容量的逐漸衰退，長時間的電流積分會引入一定的偏差。所以其一般與開路電壓法估計初始值配合，用於精度要求不高的SOC估計，也可以與卡爾曼濾波法配合，用於短時的SOC預測。

$$Soc(t) = Soc(t_0) - \frac{\int_{t_0}^t i(t) dt}{C}$$

➤3) SOC修正：由於電流波動會導致SOC估算偏差較大，計算出的SOC可能不夠可靠，估算時還需要結合各種各樣的修正策略。

✓4) SOH計算：SOH，指State of Health，電池健康狀態（或電池劣化程度）。主要表徵當前電池的健康狀態，為0-100%之間數值，一般認為低於80%以後電池便不可再用。

✓可以用電池容量或內阻變化來表示，用容量時即通過電池運行過程數據估算出當前電池的實際容量，與額定容量的比值即為SOH。

•基於容量衰減的SOH定義（Capacity Fade）

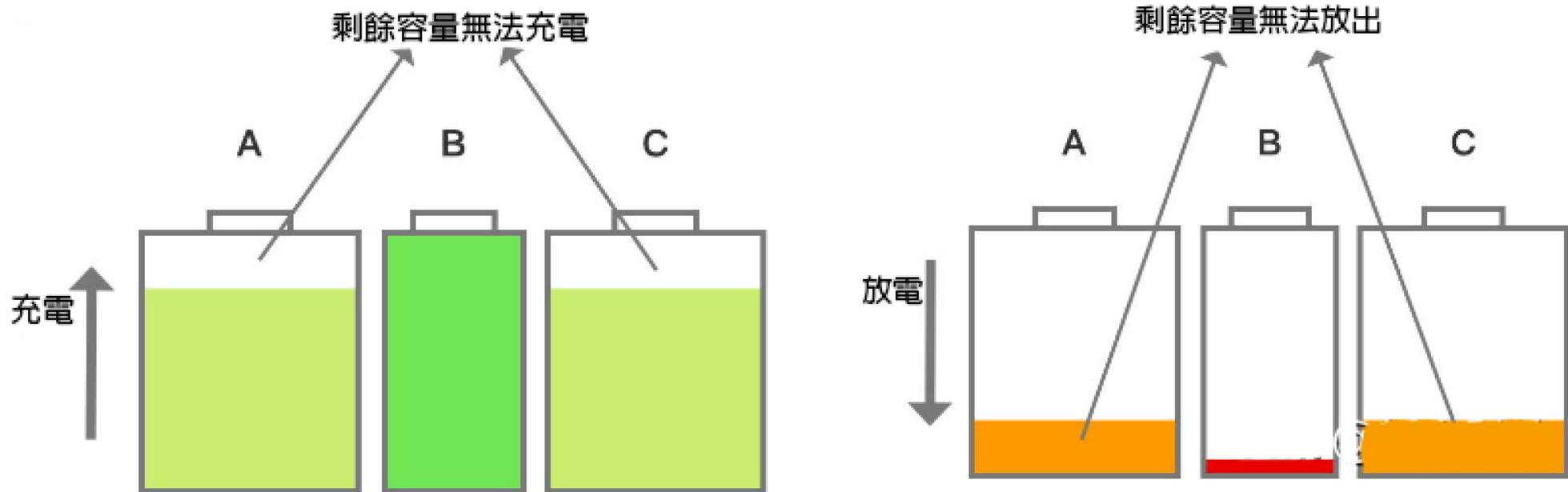
$SOH = (C_{\text{standard}} - C_{\text{fade}}) / C_{\text{standard}} \times 100\%$

IEEE標準1188-1996中規定，動力電池容量能力下降到80%時，就應該更換電池。

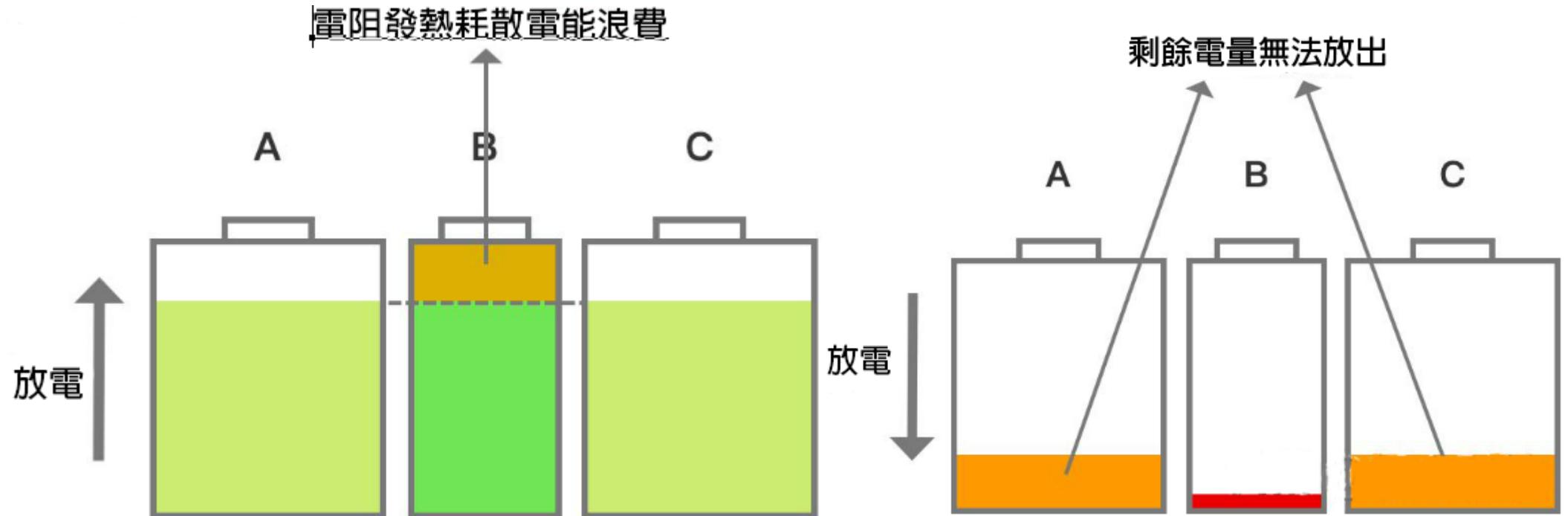
•基於功率衰減的SOH定義（Power Fade）

幾乎所有類型的電池的老化都會導致電池內阻的增加，電池的內阻越高，其可用的功率就越小。因此，可以用功率的衰減來估計SOH。

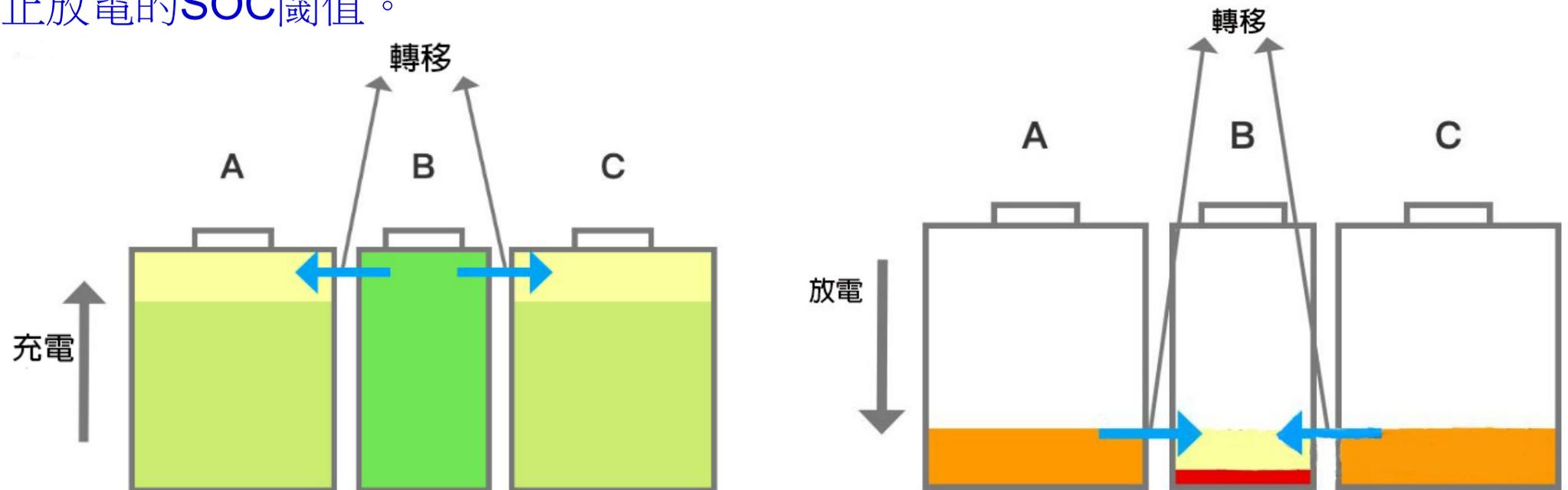
- 每個電池都有自己的「個性」：即使是同一廠家同一批次生產的電池，也都有自己的生命周期。在電池充放電的過程中，即使兩個電芯的生產加工一模一樣，但是熱環境在電化學反應的過程中是永遠不可能一致的。
- 串聯成組的電池組遵循木桶短板效應：在串聯成組的電池組系統中，整個電池組系統的容量由容量最小的單體決定。



►被動均衡：原理是在每串電池上並聯一個可以開關的放電電阻，**BMS**控制放電電阻對電壓較高的單體放電，電能以熱的形式**耗散**掉。例如當電池**B**快充滿時，打開開關讓電池**B**上的電阻放熱，讓**B**多餘的電能以熱能形式耗散，再繼續充電，直到**A**和**C**也充滿。



- 主動均衡：多串的電池之間通過算法藉助電容將電壓高的電芯的能量轉移給低電壓電芯，對電壓較高的電池放電，放出的能量用來對電壓較低的單體進行充電，能量主要是**轉移**而不是耗散。
- 在充電時，讓電壓最先達到100%的電池B自放電給A和C，三個電池再一起充滿；放電時也是一樣，當電池B剩餘電量過低時，讓A和C給B「充電」，讓電芯B不會那麼快觸及停止放電的SOC閾值。

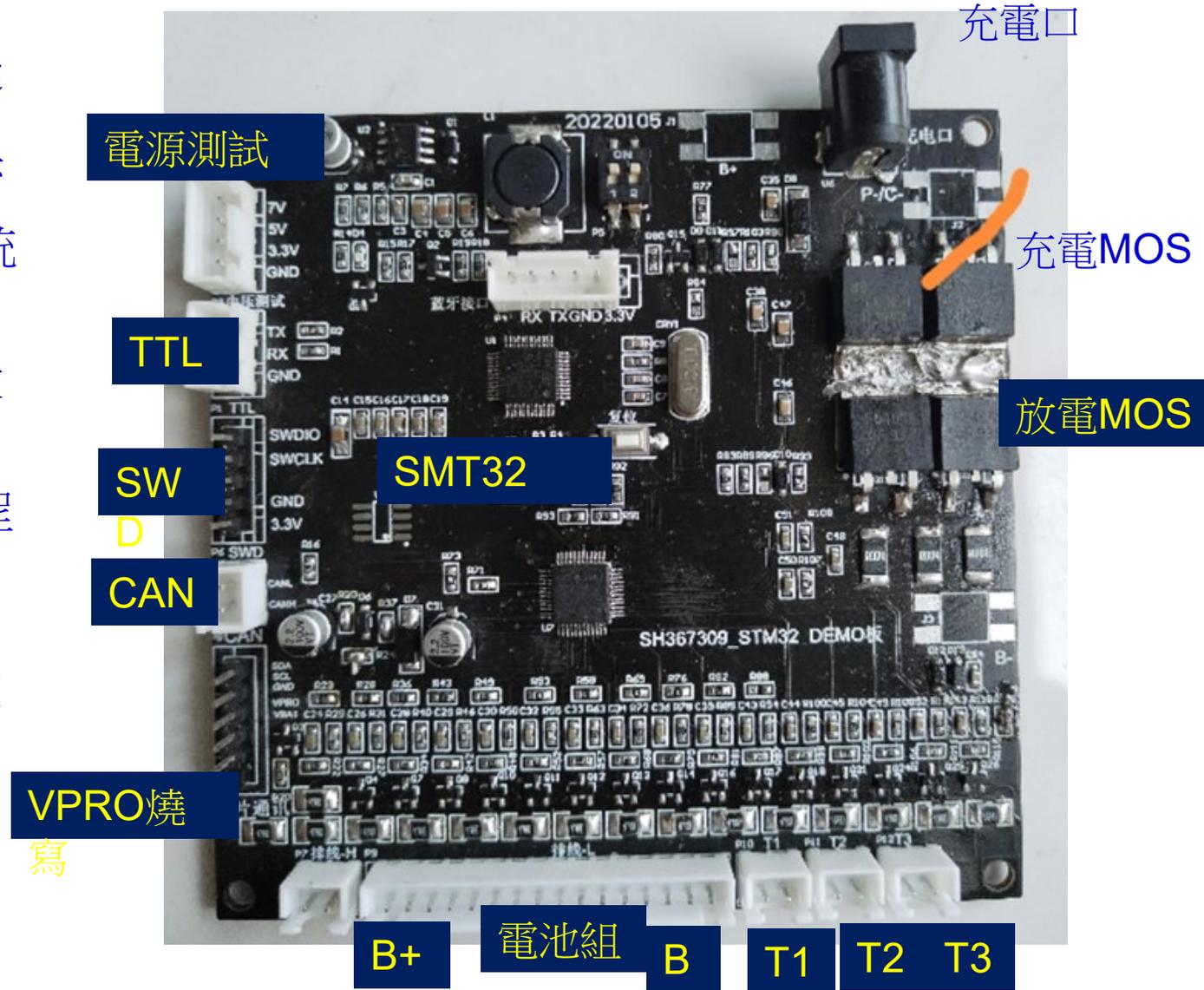


- 以嵌入式系統為基礎所發展的**BMS**，由於計算能力及空間有限，只能粗略的進行管理，當成是自動控制的環。
- 儲能**BMS**與內部的通訊基本都採用**CAN**協議，但其與外部通訊（外部主要指儲能電站調度系統**PCS**）往往採用網際網路協議格式**TCP/IP**協議和**modbus**協議
- 本研究提出可將**BMS**所採集到的單顆電池在每一次充放電**Life Cycle**所採集到的電壓、電流、**SOC**、**SOH**、溫度通過**TTL**或**CAN**協議傳輸到數據庫中進行大數據分析，可以提早數週預測出每一顆電池的**SOH**是否低於**80%**，給予管理人員充份的時間進行更換，以避免熱失控的產生。

儲能系統BMS與EMS設計簡介

BMS保護板實例

- ▶具單顆電池電壓、總體電壓檢測、過充、過放警示及保護功能。
- ▶具有充放電電流檢測，充放電過流警示及保護功能，可傳送至伺服器顯示充放電狀態。
- ▶MCU負責測量電池電壓、溫度、電流、系統狀態等，自身可以完成過壓保護，欠壓保護，過流保護，短路保護，高溫保護，低溫保護。
- ▶具有均衡功能，均衡條件程序預設值壓差大於50mV，可設置其它閾值。
- ▶具有通訊功能，有TTL、CAN2種通訊方式，同時具有藍牙無線傳輸功能，支援微信小程序即可查看實時電池信息。
- ▶TTL可以將採集到的電池資料傳回電腦進行數位雙生開發。
- ▶SMT32 MCU工控板開發之BMS系統，總電壓不超過70V的鋰電池PACK，可串5到16串鋰電池。



► 初期以18650鋰電池6顆進行數據採集至EMS及資料庫。

SH367309 STM32V1.0 (20220713)

BMS連接
端口: COM6
baud rate: 115200
 字符串收發
 hex收發
斷開連接 自動連接

調試信息
已接收電池串信息!
已接收電池串信息!
已接收電池串信息!
已接收電池串信息!
已接收電池串信息!
已接收電池串信息!

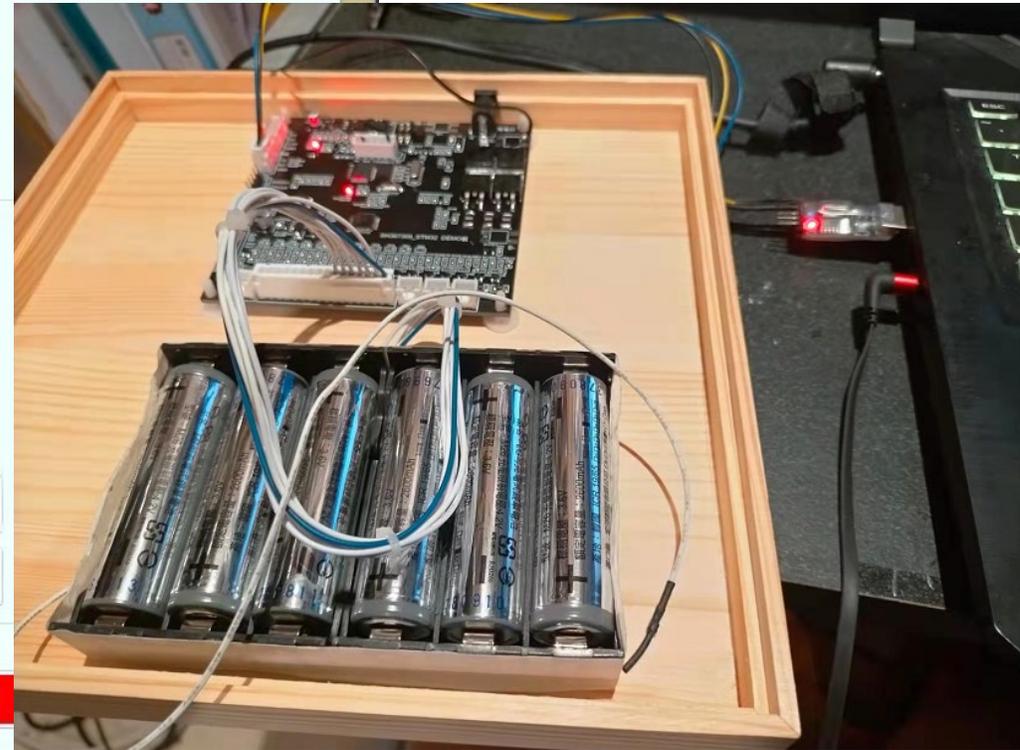
剩餘電量(SOC)
67 %

PACK信息	均衡開關	均衡狀態	均衡開關	均衡狀態
1 3752 mV	開啟	開啟 9 0 mV	開啟	開啟
2 3751 mV	開啟	開啟 10 0 mV	開啟	開啟
3 3736 mV	開啟	未開啟 11 0 mV	開啟	未開啟
4 3744 mV	開啟	開啟 12 0 mV	開啟	開啟
5 3755 mV	開啟	未開啟 13 0 mV	開啟	未開啟
6 3738 mV	開啟	未開啟 14 0 mV	開啟	未開啟
7 0 mV	開啟	未開啟 15 0 mV	開啟	未開啟
8 0 mV	開啟	未開啟 16 0 mV	開啟	未開啟

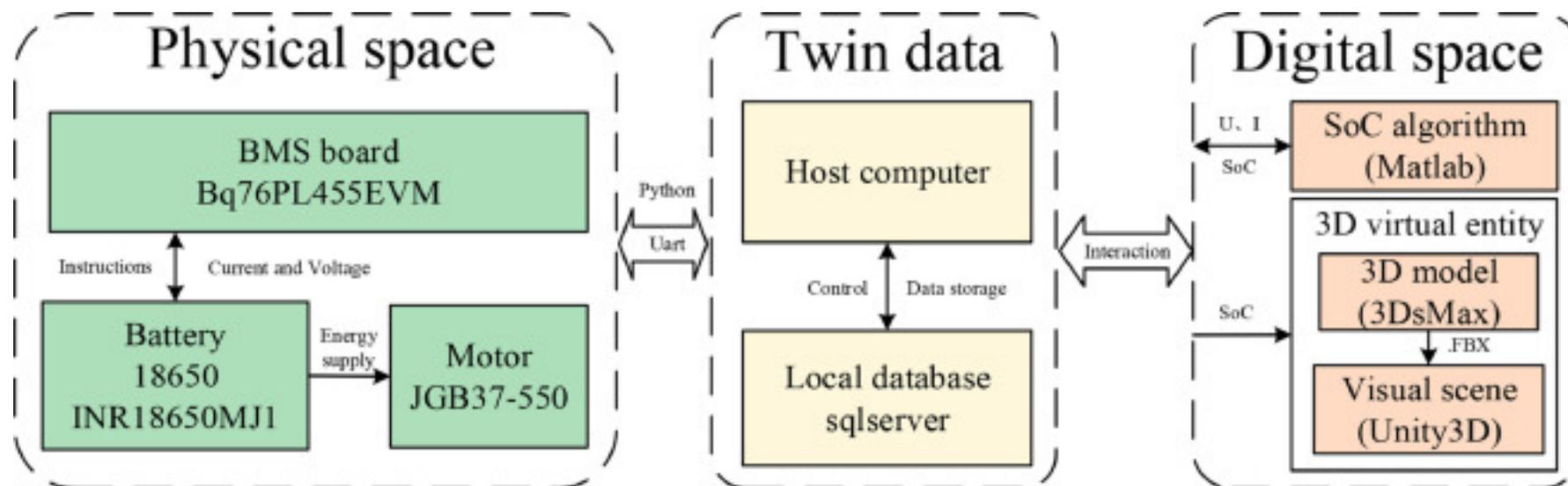
充電MOS狀態 開啟
放電MOS狀態 開啟
To_V 22476 mV
Cur 28 mA
Tem1 31.97 °C
Tem2 25.88 °C
Tem3 30.02 °C
讀取數據
清空數據

2022/9/26 下午 04:01:03

EXIT



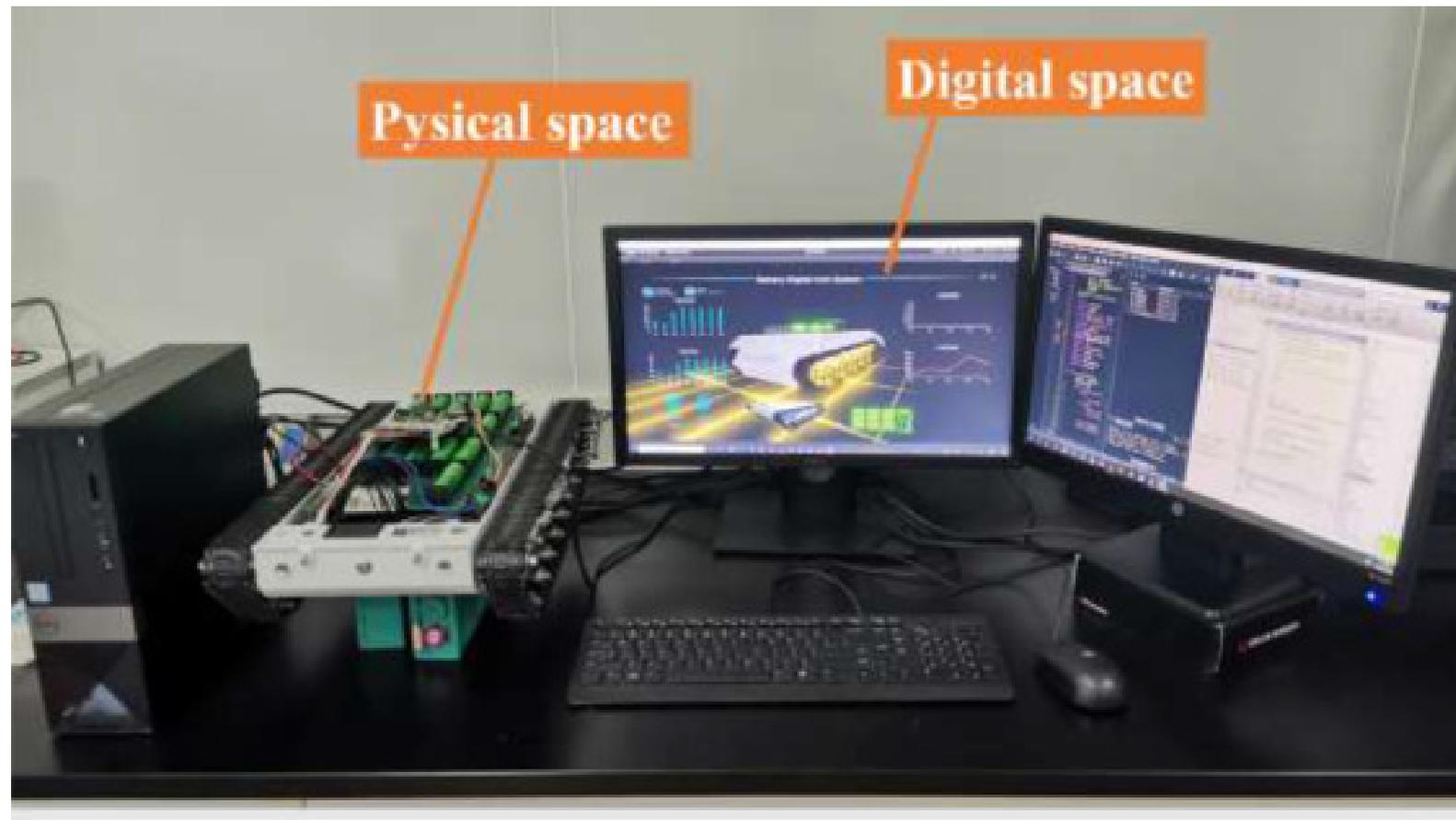
- 2002 年密歇根大學的Michael Grieves 首次提出數位雙生 (Digital Twin, DT) 技術的概念後，隨著機器學習、無線通信、雲計算等技術的興起，DT 技術在2020年後，得到了突飛猛進的發展。
- DT技術在BMS中的應用是近兩年才開始的，BMS可以使用雲計算和物聯網 (IoT) 技術，在遠端建立起雙生模型。



- DT技術在BMS中的應用是近兩年才開始的，目前，DT發展存在以下問題：
 1. BMS數據共享困難，不同電池廠商的BMS數據無法共享。
 2. 嵌入式系統計算能力有限，只能將資料未經處理就上傳，隨著大型儲能系統電池數量的增加，BMS所需的通訊量和數據存儲量呈指數增長。
 3. 欠缺歷史數據，一些以大數據為基礎的AI算法無法應用。
- 近年來，Edge computing與創新類神經網路可以解決這些問題，經由Distributed AI的方式，可以將更多BMS底層資料，經處理後上傳，而新式類神經網路，可以利用簡單模型，搭配神經元回歸(Recurrent)處理，得到可信賴的電池數據資料，特別是模型化的電池資料，這種數位電子模型，也將增加對電池老化機理的認識。

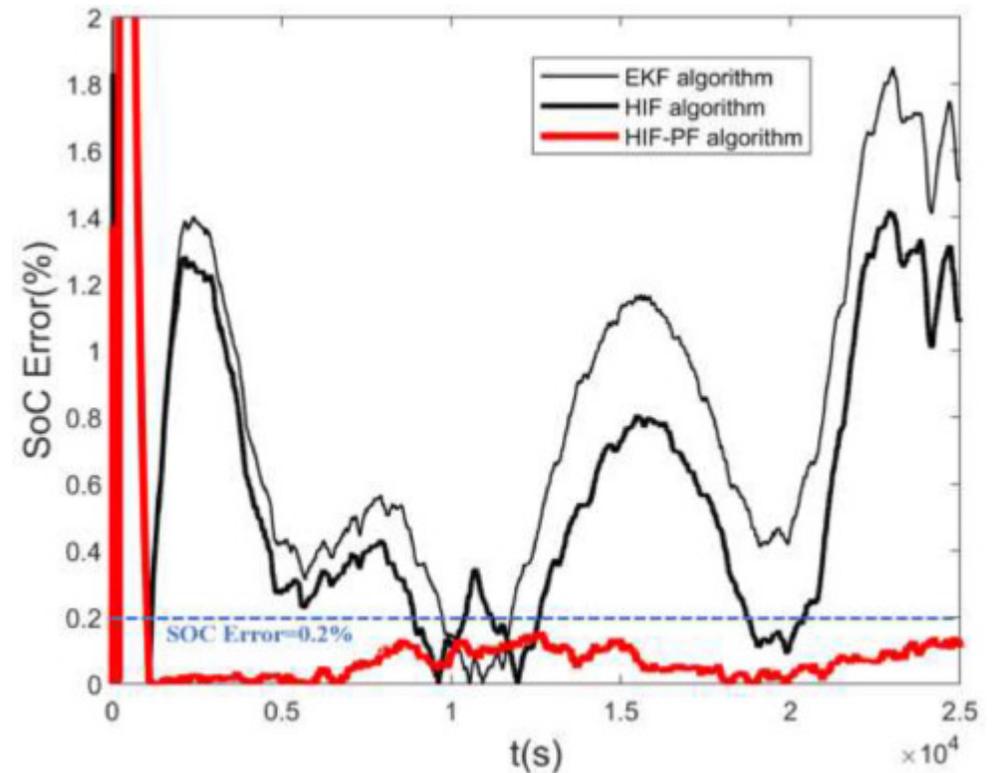
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X21013542>

- 目前已有研究文獻提出小型電池模組重現於數位空間上
- 物理空間產生的數據被傳輸到數字空間。然後可以使用這些數據在數字空間中執行複雜的演算法計算，從而彌補嵌入式系統的缺點。



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X21013542>

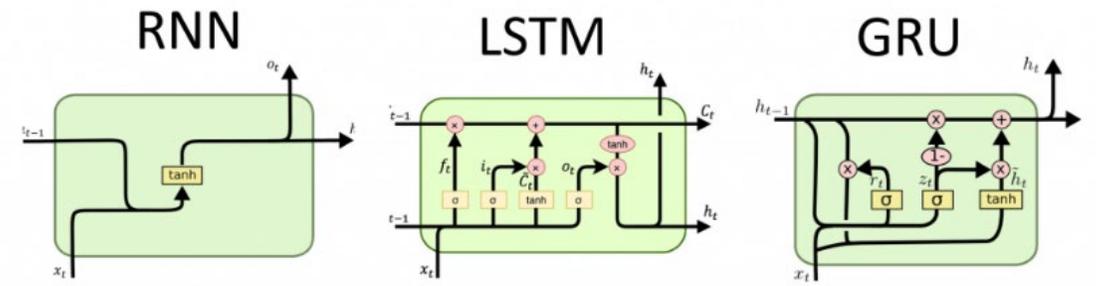
- HIF-PF的 SoC 估計曲線，在運行狀態下經過 2000s 後，逐漸收斂，最終接近真實值，誤差最終可小於0.2%以下。
- Battery digital twin測試，在打開Spyder軟件（運行Python的環境）、Maltlab、Sqlserver和Unity3D後，先打開Python，2000s初始化後，可以啟動Matlab操作，同時可以啟動Unity3D。HIF-PF 聯合估計 SoC 的 2000 秒工作數據，總計耗時 25,000秒，完成一個電池用於估算 SoC/SoH的所有數據輸出。



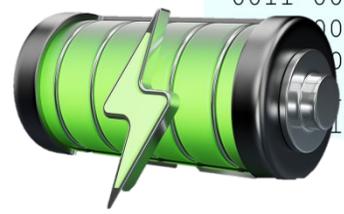
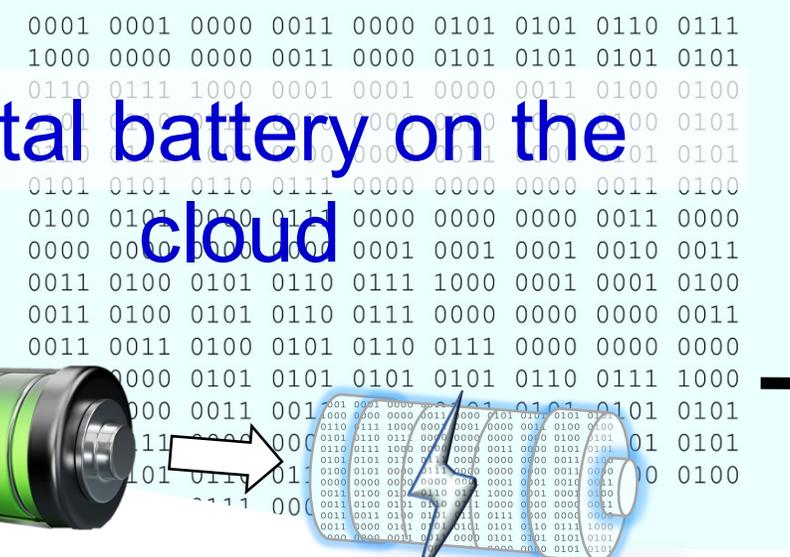
DT應用於儲能安全監控

DT改變傳統監控概念(沉浸式體驗)

Battery monitoring system



Digital battery on the cloud



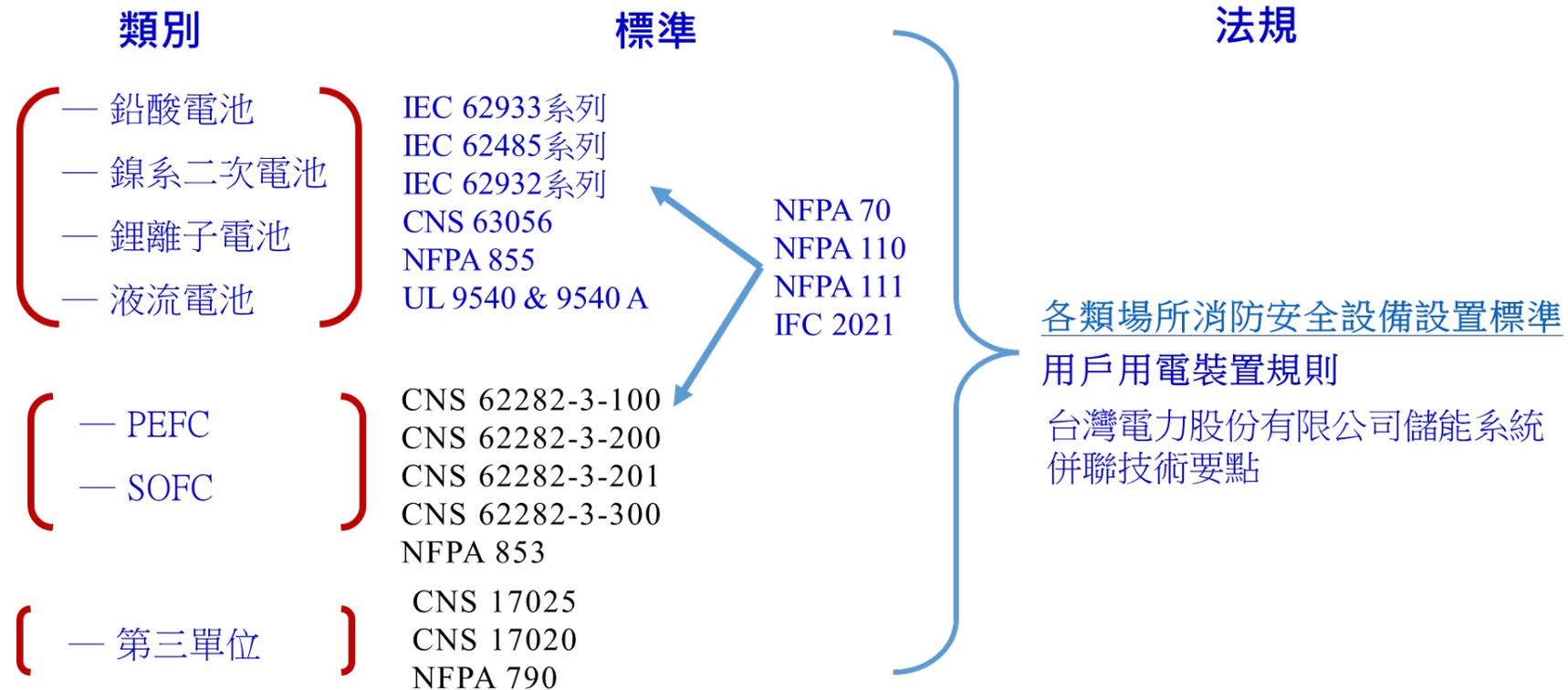
- 創新感測裝置，能偵測單一電池芯的過熱狀況或是輕微膨脹，預先告警處理。
- 能具體給出預警時間
- 能進行局部降溫冷卻，避免延燒影響整個儲能系統。
- 火災仍不可避免時，系統可準確導引進行滅火，避免爆炸意外。
- 儲能系統滅火須遵照緊急應變程序，包含斷電→冷卻(噴水或滅火藥劑)→滅火藥劑噴灑後應以低換氣率排氣避免可燃性氣體累積→著防護衣人員進入滅火。
- 應用AI建立Digital Twin，或許能提供儲能系統更好的安全保障，也可與保險業者合作，利用有效的致能監控，降低理賠機率，也讓儲能系統業者更無須擔心不可預期的風險!!
- 量化評估風險可能性，提供保險業者或是金融業者參考，作為保險與放款依據。

建築緊急用電系統產業標準與DT 儲能安全應用

推動住宅大樓儲能系統安裝與全過程安全

制定緊急電源系統產業團體標準計畫

- 大樓儲能除了可與太陽能搭配優化電價及消防緊急用電外還可以參加需量反應、與電動車充電樁搭配建置
- 建築物推動裝置儲能系統，技術不是問題，但更需要全過程安全，目前儲能聯盟，已制定**緊急電源系統產業團體標準計畫**
- 儲能聯盟可向建築業者可推動**基於數位雙生的人工智慧全過程安全監控系統**



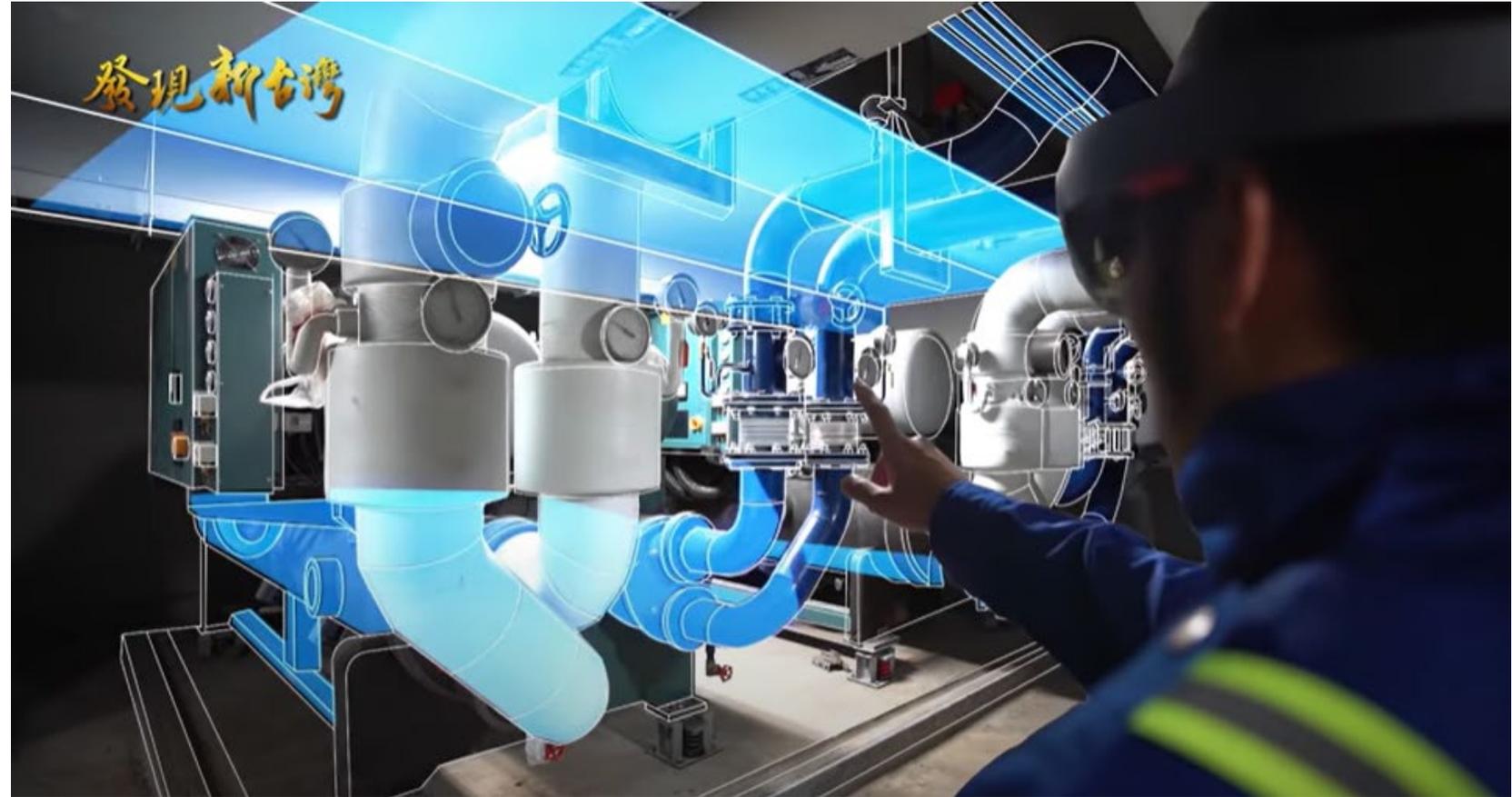
建築緊急用電系統產業標準與DT 儲能安全應用

- 根據儲能聯盟規劃，建商「永琦國際開發」位於中和區都更建案將率先導入這份產業標準，作為示範場域，大樓將使用60kWh（度）儲能系統作為緊急電源。此外每戶將導入15 kWh家庭儲能設備，該案預計2024年第2～第3季完工，全棟共20戶
- 特別是這幾年國內供電吃緊，經常發生區域跳電與降壓供電的情況，容易對於家庭電器造成傷害。奇岩綠能科技執行副總陳文賢指出，「未來每戶加裝儲能，即便發生停電，也足以供應1到2天的家庭用電需求。」
- 為了加快成本回收，未來儲能設備可上台電電力交易平台，參與電力輔助服務市場，當台電有電力不足時，**社區的緊急電源儲能系統，就可提供電力參與需量反應（配合調整用電），賺取額外的電費收入。**

響應淨零碳排建築，中和都更案率先導入 儲能系統



- 將規劃國宅導入數位雙生智慧建築，提供住戶沉浸式體驗
- BMS產生之大數據可接入建築數位雙生可監看儲能系統之狀態
- AI進行電池之壽命預測，將未來幾週SoH低於80%之電池進行預警，達到早期維護目標



簡報完畢 謝謝聆聽



台灣區電機電子工業同業公會
能源與儲能委員會
台灣儲能系統產業推動聯盟
陳銘祥組長



alan@teema.org.tw



886-2-87926666#324



www.teema.org.tw