

2050 淨零之軌跡與行動路徑專題

製造業低碳化升級與儲能應用效益分析

黃建中*、鄭光利**、鍾明軒***、余家興***、曾義翔****

摘 要

面對國際減碳浪潮，台灣作為出口導向經濟體、在全球供應鏈中擔任重要角色，也必須積極跟進，接軌國際市場。本文以製造業為例，從低碳化升級的手法導入，簡要說明組織型溫室氣體盤查和產品碳足跡評估的應用，並分析製造業溫室氣體減量可由製程改善、能源轉換和循環經濟 3 大面向著手；在能源應用部分，則討論製造業導入儲能應用的效益分析，除了可以提升綠電供需的匹配程度，並能提供廠區電力備援，若為用電大戶則可滿足用電大戶的義務設置量，並可參與「義務儲能需量反應措施」，並穩定電網夜尖峰用電，強化電網韌性。本文並介紹汰役電池轉用儲能系統導入製造業案例，發現具有電池循環再利用之環境效益，及抑低尖峰用電的效益，若搭配綠電使用，將更能展現整體減碳效益。

【關鍵字】低碳化升級、碳管理、儲能系統

*	工業技術研究院綠能與環境研究所電池儲能研究室	專案經理
**	長榮大學綠能與環境資源學系	助理教授
***	長榮大學綠能與環境資源學系	學士
****	明創能源股份有限公司	協理

一、2050 淨零排放與國家政策

「全球暖化的時代已經結束。全球沸騰的時代 (era of global boiling) 已經來臨。」2023 年 7 月將成為史上最熱的 1 個月，聯合國秘書長古特瑞斯 (Antonio Guterres) 在 7 月底對世人發出警訊 (環境資訊中心, 2023)。

近來極端氣候已實際發生在你我週遭，世界氣象組織 (WMO) 和歐洲哥白尼氣候變化服務中心 (C3S) 正式確認，2023 年 7 月為全球平均氣溫有紀錄以來最熱月份。世界各地會因炎熱乾旱導致野火蔓延，也會因為瞬間暴雨成災，對於人類活動及經濟發展的影響也越來越大。

為了減緩全球暖化帶來的影響，包含歐盟、美國、英國、日本及韓國，全球已經有超過 130 個國家或地區聯盟宣示 2050 淨零排放的目標，同時多家國際品牌大廠也宣示在 2030 年要達一定比例減排，更要在 2050 年全面使用再生能源、達到碳中和目標 (經濟部, 2023)。

面對國際減碳浪潮，作為出口導向經濟體、在全球供應鏈中擔任要角的臺灣，也必須積極跟進，接軌國際市場。因此，我國在 2021 年 4 月宣示 2050 淨零轉型目標，並在 2022 年 3 月發布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，另在 2022 年 12 月公布 12 項關鍵戰略的行動計畫，展現和世界共同邁向淨零的決心。同時，我國也在 2023 年 2 月公布將「溫室氣體減量及管理法」修正為「氣候變遷因應法」，除了將 2050 淨零排放目標入法、強化氣候變遷調適措施，更導入碳費機制，為臺灣邁向淨零之路奠定法制基礎 (經濟部, 2023)。

我國 2050 淨零排放路徑將會以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等 4 大轉型，及「科技研發」、「氣候法制」2 大治理基礎，輔以「十二項關鍵戰略」(如圖 1)，就能源、產業、生活轉型政策預期增長的重要領域制定行動計畫，落實淨零轉型目標。

本文以製造業為例，說明低碳化升級，可先導入碳管理手法盤點現況，並由製程改善、能源轉換和循環經濟 3 大面向具體實現減碳，包括著手使用高能源效率設備、

建立智慧能源管理系統、轉換低碳燃料、設置再生能源、採用二級原料、建立產業共生系統，其中在設置再生能源部分，可以搭配儲能系統使用，因此後續也討論製造業導入儲能應用的效益分析，以作為國內製造業的參考。



圖 1 臺灣 2050 淨零轉型之 12 項關鍵戰略（國發會，2022）

二、製造業碳管理導入

在全球面臨 2050 淨零排放的迫切需求下，製造業前十大碳排企業排碳量，占全台 38%（遠見，2022），製造業成為減碳重點產業之一。在淨零排放下所言之「碳」管理，關注對象不僅二氧化碳，實則涵蓋所有的溫室氣體，如甲烷（ CH_4 ）、氧化亞氮（ N_2O ）、氫氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、六氟化硫（ SF_6 ）和三氟化氮（ NF_3 ）等。本文將製造業的碳管理分為溫室氣體評估和溫室氣體減量兩部分。

2.1 溫室氣體評估

2.1.1 組織型溫室氣體盤查

組織型溫室氣體盤查（或簡稱碳盤查），是以組織實體地理位置為邊界，盤查邊界內所有的溫室氣體排放量。ISO 14064-1（2018）已針對組織型溫室氣體盤查，

22 製造業低碳化升級與儲能應用效益分析

建立相關要求。碳盤查主要分為 3 個步驟，分別為邊界設定、排放源鑑別和排放量計算。實務上依評估者需求，可製作溫室氣體盤查報告，以及申請驗證（高雄市政府，2023）。

邊界設定為定義組織實體的地理邊界，以確保需盤查的溫室氣體排放源。ISO 14064-1 將組織的溫室氣體排放源分為 3 個範疇，範疇之下再分為 6 個類別，詳如

表 1 所示。在確定組織邊界和排放源後，蒐集邊界內所有排放源的活動數據，依下式（1）計算，即可得組織整體的溫室氣體排放量。式（1）中活動數據為前述步驟排放源之相關能源或物料使用量，例如燃煤鍋爐的燃煤用量（kg）、製程切割使用之乙炔量（kg），以及運具運輸使用之汽油量（L）。排放係數為單位活動量的溫室氣體排放量（CO_{2e}），代表該溫室氣體對氣候變遷的影響，以全球暖化潛勢（global warming potential, GWP）表示。

表 1 組織型溫室氣體排放源

範疇	類別	類型	排放源
範疇一：直接排放	類別 1：直接排放	1.1 固定式燃燒	發電設備、加熱設備和瓦斯爐
		1.2 移動式燃燒	交通運輸設備、移動式柴油引擎機具
		1.3 工業製程	二氧化碳焊接、乙炔切割、滲碳表面處理
		1.4 人為系統逸散	冷凍、冷藏或空調設備的冷媒、運具冷凍、冷藏或空調設備的冷媒、滅火器、化糞池
範疇二：能源間接排放	類別 2：輸入能源	2.1 外購電力	電力使用設備
		2.2 外購蒸汽	蒸汽或熱使用設備

範疇	類別	類型	排放源
範疇三：其它間接排放	類別 3：運輸產生	3.1 上游運輸	主要原物料運輸、輔助材料運輸
		3.2 下游運輸	下游產品運輸、廢棄物運輸
		3.3 員工通勤	接駁車、私人運具、大眾運輸運具
		3.4 客戶與訪客運輸	私人運具、大眾運輸運具
		3.5 商務旅行	私人運具、大眾運輸運具
	類別 4：組織使用的產品	4.1 購買商品	外購電力上游排放 外購燃料 (如汽油、柴油或天然氣等) 的上游排放 自來水的上游排放 主要原料的上游排放 輔助原料的上游排放
		4.2 資本物品	資本財的上游排放，例如電腦
		4.3 廢棄物處置	委外廢棄物處置 (包括焚化、再利用或其它處理) 產生的碳排放
		4.4 上游租賃資產使用	使用租賃產品產生的碳排放量，例如自動販賣機冷媒、租賃車冷媒
	類別 5：使用組織相關產品	5.1 產品使用的排放	因使用組織產品導致的碳排放 (如用電、燃料等) 組織提供半成品，委外加工之碳排放
		5.2 下游租賃資產	組織空間租賃之碳排放源
		5.3 產品廢棄	組織產品使用週期結束後，廢棄處置相關碳排放
		5.4 金融投資	組織提供資金專案融資或投資衍生的碳排放
	類別 6：其它相關	其它類別無法報告者	其它類別無法報告

資料來源：ISO 14064-1 (2018)

$$\text{組織溫室氣體排放量} = \sum \text{活動數據} \times \text{排放係數} \dots \dots \dots (1)$$

2.1.2 產品碳足跡評估

溫室氣體評估的第二種方式為針對產品的碳足跡評估 (ISO 14067, 2018)。產品碳足跡 (carbon footprint of a product, CFP) 為產品 (products) 在整體生命週期過程中，所產生的溫室氣體排放量總和。在碳足跡評估或生命週期評估 (life cycle assessment, LCA) 所述之產品，皆包含有形的貨品 (goods) 和無形的服務 (services)。完整的生命週期指產品的一生，泛稱搖籃到墳墓，包含原料開採、生產製造、配送銷售、使用階段和廢棄處理階段。

然而依實際情況，產品的生命週期通常有三種形式，分別為搖籃到大門、搖籃到墳墓，以及搖籃到搖籃。貨品和服務的生命週期範疇如圖 2 所示。碳足跡評估範疇不僅只有二氧化碳 (CO₂)，實為包含所有溫室氣體。產品生命週期中，所有溫室氣體排放量的總和以二氧化碳當量 (CO_{2e}) 表示，即為產品碳足跡。



圖 2 產品生命週期範疇

碳足跡為生命週期評估中的一項衝擊類別，評估產品在生命週期中對氣候變遷的衝擊。衝擊結果以全球暖化潛勢表示。各物質的 GWP 於政府間氣候變化專門委員會 (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 評估報告 (assessment report, AR) 中不定期更新。碳足跡評估步驟為依循 ISO/CNS 14040 中 LCA 的架構，分別為目標與範疇界定、盤查分析、衝擊評估和闡釋 (鄭光利, 2012)。

1. 目標與範疇界定

碳足跡評估於目標與範疇界定中，必須先確立評估動機、評估產品、評估結果預期的使用方式以及預期溝通的對象。接續界定評估產品的生命週期、功能單位或宣告

26 製造業低碳化升級與儲能應用效益分析

單位，產品足跡的時間和地理範疇。此外，必須設定在碳足跡評估過程中的數據品質要求和分配原則，以確保評估結果的準確性和可比較性。

2. 盤查分析

盤查分析於 ISO 14067 的正式用語為生命週期盤查分析 (life cycle inventory analysis, LCI)，此階段必須依前項界定之生命週期系統範疇，盤查所有投入至系統，或系統產出的活動數據。在實際的評估過程中，首先會依產品的生命週期繪製流程圖，接續建立盤查表單、蒐集數據和整理數據，為下階段衝擊評估使用。

3. 衝擊評估

衝擊評估在生命週期評估中，需考量不同的衝擊類別與類別指標，因此過去有衝擊評估的優化研究 (黃建中，2005)，在 ISO 14067 的正式用語為生命週期衝擊評估 (life cycle impact assessment, LCIA)。產品碳足跡僅針對產品生命週期系統範疇內溫室氣體的所有投入和產出活動量化，評估氣候變遷造成的衝擊。此量化方式如下式 (2) 所示，活動數據為產品在生命週期中投入和產出的活動量，通常以重量或能量單位記錄。例如投入的原物料量 (kg)、水資源量 (kg) 和電力使用量 (kWh)。排放係數為單位活動量的溫室氣體排放量 (CO_{2e})，代表該溫室氣體對氣候變遷的影響，以 GWP 表示。將各別活動數據與相應的排放係數相乘後加總，即為產品的碳足跡 (CO_{2e})。

$$\text{碳足跡} = \sum \text{活動數據} \times \text{排放係數} \dots \dots \dots (2)$$

4. 闡釋

在闡釋階段將綜合衝擊評估的結果，從生命週期或活動數據角度判視碳足跡熱點，作為產品低碳化的機會。碳足跡闡釋也必須呼應初始評估動機，並以預期的使用方式與預期的對象溝通。

組織型碳盤查與產品碳足跡同為溫室氣體評估方法，但兩者方法學互相獨立，執行上無先後次序，或彼此相依之關係，企業可單獨執行或擇一執行。若企業同時執行有組織型碳盤查與產品碳足跡，在盤查階段有相同項目之數據可互相引用，但方法學不可互相移植使用。以兩者方法學範疇界定說明，組織型碳盤查著重於鑑別組織地理

邊界相關的直接和間接溫室氣體排放源，強調排放源管理。產品碳足跡則是關注在產品的生命週期過程中，所有物質和能資源投入和產出所衍生的溫室氣體排放。產品碳足跡著重於生命週期管理，強調無煙囪（排放）也有污染的概念。組織型碳盤查與產品碳足跡在管理目標有顯著差異，企業決策者可依管理目的選擇適當之評估方法作為瞭解組織碳資訊之依據。

2.2 溫室氣體減量

製造業溫室氣體減量可由製程改善、能源轉換和循環經濟 3 大面向著手（表 2）。經濟部於 2023 年 4 月規劃了 3 年的疫後特別預算，提供溫室氣體評估和減碳技術等輔導與補助。輔導補助類型包括：諮詢診斷、技術發展 / 輔導、盤查輔導、設備購置 / 汰換、系統設備改善、系統管理、能源轉換、應用示範、商業模式轉型、人才培育、貸款優惠和綠能購買（經濟部，2023）。

表 2 製造業溫室氣體減量規劃

	低碳化	零碳化
製程改善	使用高能源效率設備 建立智慧能源管理系統	採用含氟氣體替代技術 採用高爐噴氫
能源轉換	轉換低碳燃料 設置再生能源	使用零碳能源
循環經濟	採用二級原料 建立產業共生系統	提高二級原料使用占比 碳捕捉、再利用及封存

資料來源：經濟部（2023）。

三、製造業導入儲能系統之效益

3.1 淨零排放與儲能技術

在我國「2050 淨零排放路徑」報告的「永續能源領域」也提到「儲能技術」，指出「用電需求的尖離峰差異，有賴儲能技術加以調節，將需求離峰時間多餘電力儲存，以供尖峰時間使用，強化電力調度彈性；或將再生能源所轉換電力先儲存起來，降低

再生能源發電之間歇性對於電力系統的影響，協助提升電力供應穩定度；此外，儲能系統具快速充放電能力，協助電網快速反應電力系統短暫的頻率變動，以強化供電穩定性與可靠度。

因應使用型態，儲能設備可區分為定置型及移動型 2 大類。定置型儲能主要應用於一般商業及工廠，如大型發電廠及企業用備援電力；短期需克服空間配置及饋線需求，長期以培養併網級儲能系統產業為主。至於移動型儲能，為帶動我國電動車產業發展之關鍵，需開發高能量、快充放電動車電芯，同時兼顧安全性及降低生產成本，如鋰固態等。」（國發會，2022）

3.2 用電大戶條款中的儲能應用

而臺灣用電尖離峰差異大，工業用電超過 50%，要達成綠能減碳目標，需要工商業高用電戶共同協助參與，鼓勵再生能源發展，善盡社會責任。

因此經濟部公告「一定契約容量以上之電力用戶應設置再生能源發電設備管理辦法」，又稱用電大戶條款，並於 110 年 1 月 1 日生效。初期以契約容量 5,000 kW 以上者（占全國用電量 49%）為優先推動對象，用電大戶義務履行方式如表 3 所示。

表 3 用電大戶義務履行方式

項目	計算公式
設置再生能源發電設備	義務裝置容量 = 義務契約容量 * 10%
購買再生能源電力及憑證	年購買額度 = 義務裝置容量 * 選購再生能源類別之每 年售電量
設置儲能設備	設置容量 = 義務裝置容量 * 最小供電時數 2 小時
繳納代金	年繳交金額 = 義務裝置容量 * 2,500 度 / 瓩 * 4 元 / 度

本條款同時設有「提前履行優惠」，用戶應於 5 年內完成義務履行；提前完成者，可扣減義務裝置容量（3 年內扣減 20%、4 年內扣減 10%）。

到目前為止，依照申報情形分析，義務戶是以「設置再生能源發電設備」（64%）及「購買再生能源電力及憑證」（30%）為主，設置儲能系統僅有 6%（經濟部能源局，2023），如圖 3 所示。主要原因是兩者均可作為 RE 100 宣告，再生能源發電設備設

置成本較低，為多數產業優先選擇；其次為購買再生能源電力及憑證則較無空間限制；而儲能設置成本較高，在原先規範中無法參與台電各種需量反應或電力交易方案，因此採用此履行方式的義務戶較少。

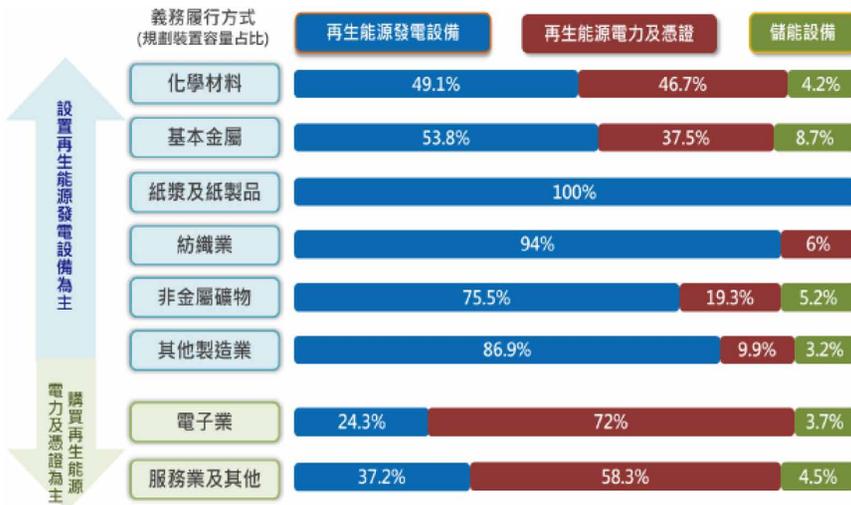


圖 3 用電大戶義務戶辦理情形（經濟部能源局，2023）

目前用電大戶申報裝置儲能設備的總量已經達到 41.6MW（台電月刊，2023），2023 年下半年開始會陸續安裝完成。為鼓勵儲能資源有效運用，台電也將同步試辦「義務儲能需量反應措施」，推動用電大戶所設置的儲能設備，參與台電系統調度，妥善運用用電大戶所設置之儲能設備，穩定我國電力系統。

目前方案是設定用電大戶儲能系統在星期一至星期五（離峰日除外）下午 6 時至 8 時放電 2 小時，每日以 1 次為限，且不得於執行放電時段安排儲能設備進行充電。再依據放電度數給予用戶電費扣減，用戶有「義務時數型」和「累進回饋型」2 種方式可以選用。

用戶應於執行放電月份開始前申請本措施，於約定之執行放電期間內，經中央主管機關同意設置儲能設備不得再選用其他種類之需量反應負載管理措施或電力交易平台之輔助服務商品。

30 製造業低碳化升級與儲能應用效益分析

依照義務儲能申報目標 41.6MW 估算，總儲電量可達約 8.32 萬度，相當可供 16 萬個家庭用戶 1 小時的用電，同時兼具抑低夜尖峰負載的效益。

3.3 製造業導入儲能的效益

因此對於製造業導入儲能來說，有以下的效益：

1. 滿足用電大戶的義務設置量，義務儲能設置可參與「義務儲能需量反應措施」，提升 IRR（內部報酬率），並穩定電網夜尖峰用電。
2. 可進行契約容量優化，以及時間容量移轉進行電價套利，同時針對廠區內充電樁與電動車充電行為進行尖峰調控。
3. 提高再生能源利用率，可儲存綠電餘電，提升綠電供需的匹配程度。
4. 提供廠區電力備援，鋰電池儲能系統可與緊急發電機搭配，作為短時間與長時間的電力備援系統。
5. 若非用電大戶義務設置量，可參與台電一般需量反應方案。

四、製造業導入汰役電池轉用儲能系統應用案例

4.1 我國運具電動化推動與汰役電池產生

我國在 2021 年 4 月宣示 2050 淨零轉型目標，並在 2022 年 3 月發布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」（國發會，2022），考量我國產業發展特性及社會環境，國內在運具電動化推動路徑，以公共運輸先行策略及政府帶頭示範，優先推動 2030 年市區公車及公務車電動化，如圖 4 所示。



圖 4 我國運具電動化推動里程碑 (國發會, 2022)

然而根據 Nissan Leaf 電動車的實測數據 (Myall, 2018)，車用動力電池一般使用約 5~6 年，電池健康狀態 (State of Health, SOH) 就會衰退到 80% 以下，也就是動力電池在多次循環使用後，電池的最大容量只剩新品時的 80%，一般認為此時的電池狀態不再適合應用於動力載具上，必須從載具上卸除汰換，此時汰換下來動力電池可以稱為「汰役電池」。此時汰役電池可經過篩選和檢測，視其性能優劣進行利用於其他用途，一般電池健康狀態 (SOH) 在 50~80% 階段，可應用於不斷電設備、儲能系統或其他低速動力載具，汰役動力電池降階做為儲能使用可以延長電池使用生命週期，減低電池廢棄之環境衝擊，且可有效降低儲能系統成本，更容易導入工廠應用，不僅可以進行循環經濟的具體展現，更名為製造業導入儲能應用提供另一個選項，如圖 5 所示。



圖 5 汰役電池儲能系統可導入製造業應用

4.2 汰役電池轉用儲能系統於廠內應用

政府推動 2030 年大巴士全面電動化，某能源集團積極投入，並加速優化電池模組自主技術，2016 年迄今已交付超過 110 輛電動巴士，迄今行駛里程超過 1,200 萬公里，已累積一定數量汰役電池（超過 600kWh），其子公司與工研院合作，將電動巴士上的汰役電池透過測試、篩選之後，搭配高安全性的低電壓併聯系統架構，重新組成汰役電池儲能系統，在廠區進行應用。每台電動巴士原先配置 195kWh 的動力電池，在汰役之後經過篩選之後，可組成 70kW/100kWh 的汰役電池儲能系統（如圖 6 所示）。完成整個儲能系統之後，後續進行儲能系統實場驗證。

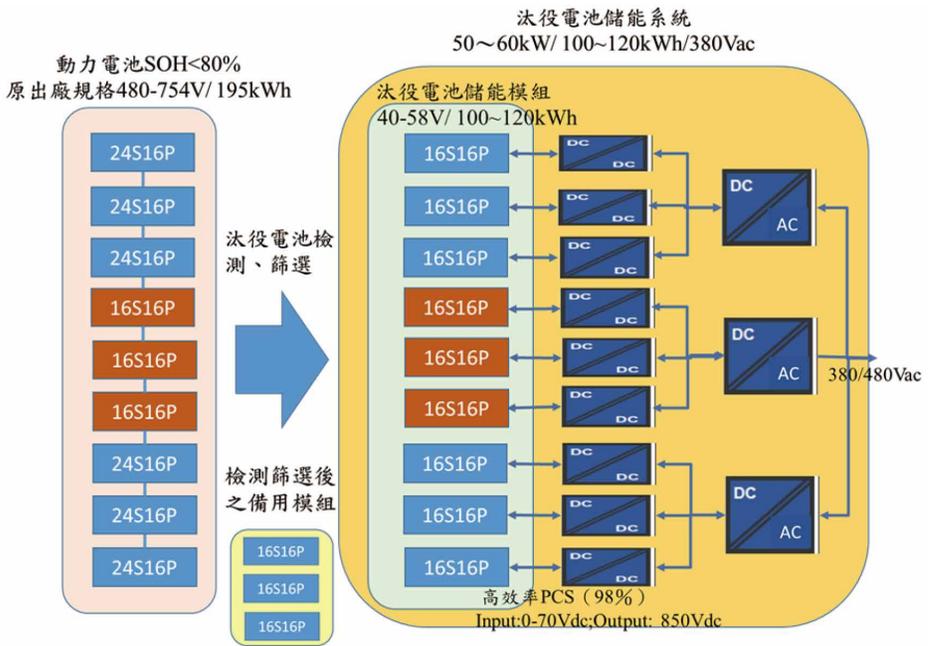


圖 6 每台電動巴士汰役電池可組成 100kWh 的儲能系統

4.3 導入製造業廠區應用之效益

利用儲能系統在白天尖峰時間進行廠區用電最佳化的調節，可以將工廠尖峰用電（藍色曲線），抑制在 50kW 以下，如圖 7。

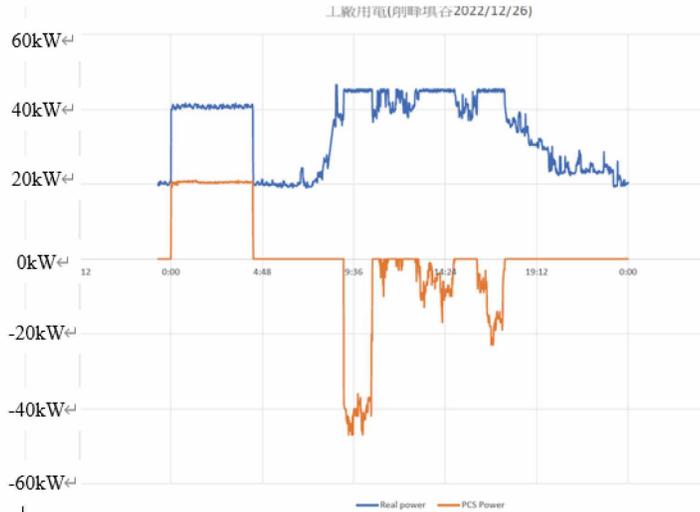


圖 7 廠區用電透過儲能系統有效抑低尖峰用電

一般電價差異是尖峰離峰價差，金額較少。最好結合契約容量的降低，可以達到更好的效益。廠區契約容量目前費用 236.2 元 /kw/ 月，假設契約容量減少為 50kW，每月可節費 11,810 元，具有一定的經濟效益。後續若要展現減碳效益，則需再搭配綠電購買使用，將工廠用電時間移轉與綠能發電時間相匹配，減碳效益將更為明確。

五、結論

為因應全球氣候變遷，國際上對於減碳的需求持續加大力道，因此各國以 2050 年達到淨零排放為共同目標，並且建立多種非關稅的貿易障礙，如歐盟的「歐盟碳邊境調整機制 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)」以及「美國清潔競爭法案 (Clean Competition Act, CCA)」，歐盟於 2023 年 10 月起開始要求受管制產品進行申報，美國則是預期最快在 2024 年上路實施。

因應此情況，國內製造業需進行低碳化升級，透過碳管理了解本身的減碳熱點，並導入綠電使用，若再搭配儲能使用，則能提升綠電供需的匹配程度，並能提供廠區電力備援，若為用電大戶則可滿足用電大戶的義務設置量，並可參與「義務儲能需求反應措施」，並穩定電網夜尖峰用電，若非用電大戶義務設置量，可參與台電一般需

量反應方案，對業者而言可謂一舉數得，同時可強化我國電網韌性。

國內目前已有電動巴士業者，利用車上汰役之動力電池重組成儲能系統，並導入廠區應用，發現具有電池循環再利用之環境效益，及抑低尖峰用電的效益，若搭配綠電使用，將工廠用電時間移轉與綠能發電時間相匹配，將更能展現整體減碳效益。

參考文獻

- 遠見 ESG (20220509)，製造業碳排占四成，環團籲企業減碳莫跳票，<https://esg.gvm.com.tw/article/4653>
- 環境資訊中心 (20230827)，你見過極端氣候的長相嗎？六張 NASA 衛星影像見證「沸騰時代」，<https://e-info.org.tw/node/237298>。
- 經濟部 (2023)，企業淨零行動手冊。
- 國發會 (2022)，臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明。
- 高雄市政府 (2023)，製造業碳管理作業手冊彙編。
- ISO 14064-1 (2018) Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals
- ISO 14040 (2006) Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework
- 鄭光利 (2012)，回收物質再利用之碳足跡評估方法及不確定性分析研究 - 以台灣鋼鐵業廢鋼為例，碩士論文，國立成功大學。
- 黃建中 (2005)，生命週期衝擊評估之客觀權重方法，博士論文，國立台灣大學。
- ISO 14067 (2018) Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification
- 經濟部 (2021)，一定契約容量以上之電力用戶應設置再生能源發電設備管理辦法。
- 經濟部能源局 (2023)，用電大戶條款檢討意見徵詢會議簡報 (20230715)。
- 台電月刊 (2023)，727 期，2023 年 7 月號 p12。
- Myall, D.; Ivanov, D.; Larason, W.; Nixon, M.; Moller (2018), H. Accelerated Reported Battery Capacity Loss in 30 kWh Variants of the Nissan Leaf. Preprints, 2018030122 (doi: 10.20944/preprints201803.0122.v1) .