



分散式光儲氫系統整合應用淺談

An Overview of the Integrated Application of Distributed Solar PV-Storage-Hydrogen Systems

楊証皓 C. H. Yang¹、黃朝揚 C. Y. Huang²、林福銘 F. M. Lin³
工研院(ITRI) 綠能與環境研究所 ¹專案經理、²經理、³正研究員/組長

摘要/Abstract

本文探討分散式太陽光電、儲能及氫能系統之整合應用，可實現於高能源利用率、減碳效益和能源自給之潛力。除概述相關之架構與原理外，同時佐以案例分析，例如：在國際上，德國和西班牙實證光儲氫系統可用於小型場域；在國內，工研院致力開發小型分散式光儲氫系統整合技術，於2024年台灣燈會之綠能燈區展示了分散式光儲氫系統在22 kW太陽能板、120 kWh電池儲能和5 kW燃料電池組合下的成效；此外，所開發的移動式光電光儲系統，包含4 kW太陽能模組和40 kWh儲能裝置，亦示範驗證快速部署和應急救災的靈活性。未來將繼續致力於技術優化和成本降低，推動多元系統應用和商業化發展。

This paper examines the potential of distributed solar photovoltaic (PV), energy storage, and hydrogen systems in achieving high energy utilization efficiency, reducing carbon emissions, and promoting energy self-sufficiency. Case studies from Germany and Spain demonstrate the application of solar-hydrogen systems in small-scale settings. The 2024 Taiwan Lantern Festival – Green Energy Light District showcased the effectiveness of a distributed solar-storage-hydrogen system that included 22 kW solar panels, 120 kWh battery storage, and a 5 kW fuel cell. Additionally, a mobile solar PV and storage system featuring a 4 kW solar module and a 40 kWh energy storage device highlighted its potential for rapid deployment and emergency disaster relief. Future efforts will focus on optimizing technology and reducing costs to promote diverse system applications and commercial development.

關鍵字/Keywords

太陽光電(Solar PV)、分散式能源(Distributed Energy)、光儲氫系統(Solar PV-Storage-Hydrogen System)



前言

分散式多元太陽光電(Solar PV)技術應用將可擴大再生能源應用發展領域，而分散式能源(Distributed Energy)系統可整合太陽光電、儲能和氫能等技術，能夠最大化利用太陽能資源。透過分散式光電系統在不同場所（如屋頂、牆面、道路和水面）安裝太陽光電模組，可擴大太陽能利用範圍；儲能系統在發電過剩時存儲電能，並在需求高峰或夜間用電時釋放，確保能源供應的穩定；氫能技術則利用燃料電池系統發電或採用電解水產生氫氣，作為氫能儲存和利用技術應用路徑。

其中，太陽光電系統的多元應用已成為推動可再生能源發展和實現永續發展目標的關鍵途徑。傳統於地面安裝光電系統雖然在提高能源供應方面發揮了重要作用，但其應用範圍受限於土地資源，為解決這一問題，浮式光電、道路整合型光電、城市光電應用、建築整合型光電(BIPV)、農電共生以及車輛整合光電等多種創新技術應運而生，不僅充分利用了水體、道路、建築物、地力不足農田和車輛等多種區位，擴展光電系統的應用範圍，也在提高能源利用效率、減少碳排放和促進經濟發展方面展現出巨大潛力。例如：浮式光電系統利用水面的冷卻效果提升光電模組效率；BIPV技術將光電模組融入建築材料，實現能源與建築美學的結合；農電共生技術則透過在農田上方安裝光電模組，實現農業生產和能源供應的雙重收益。多元光電系統應用技術不僅有助於提高可再生能源在全球能源結構中的比重，還能有

效應對土地資源緊張和環境污染等挑戰，為全球能源轉型和綠色發展提供了堅實的技術支撐。

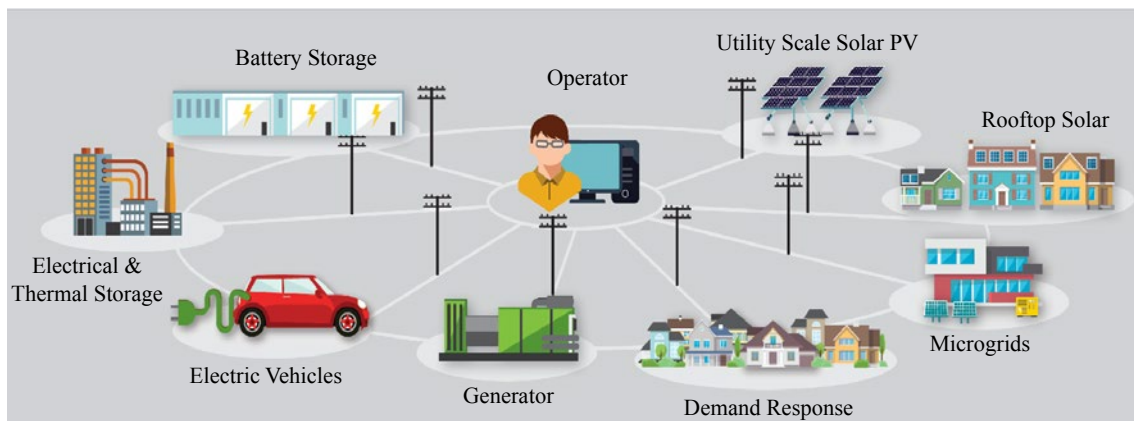
分散式智慧能源系統利用太陽能、儲能和氫能等分散式能資源，實現在地化的再生能源發電及運用，將大幅提高能源利用效率，減少對傳統電網的依賴，同時降低碳排放並提升能源自給自足能力。隨著可再生能源需求的增長，分散式智慧能源展現了在家庭、企業和社區中的巨大應用潛力，推動能源轉型和持續發展（圖一）。

分散式光儲氫應用架構與原理

分散式光儲氫技術結合光電系統、氫能和電池儲能技術，實現能源即時高效轉化與儲存。光電系統在日照充足時產生電能，供應即時電力需求並儲存在鋰離子電池中。當太陽光電發電超過需求時，可利用多餘電力於電解槽將水分解生成氫氣，並通過壓縮機將氫氣儲存在氫氣罐中。在電力需求高峰或光電發電不足時，儲存的氫氣便能夠通過燃料電池轉換為電能，作為備用電力以滿足基礎用電需求。

系統中的鋰離子電池可用於應對快速負載變化，確保系統穩定運行。燃料電池和電解槽產生的廢熱被回收並用於家庭供暖及熱水供應，進一步提高了能源利用效率。這種架構在不依賴集中式電網的情況下，實現了能源電力與熱供給的自發自用。此架構可應用於住商、工業、農業領域，透過整合太陽光電、儲氫及氫能等能源技術和智慧能源管理，可實現穩定綠能之自給自足可能性。

分散式光儲氫系統結合了太陽能光電



▲圖一 智慧分散式能源系統平台架構概念示意圖⁽¹⁾

發電、儲能技術和氫能技術，具有多項顯著優勢。首先，這種系統通過太陽能光電發電和氫能技術的結合，可高效率利用再生能源並提升將間歇性能源進行長時間儲能之效率。根據Gupta等人(2020)的研究，氫能產/儲/用與燃料電池之應用，可有效地儲存多餘的可再生能源，還能在需求高峰時釋放，提供穩定的電力供應。此外，氫能系統具有高能量密度和低運行成本的優勢，適用於長期和大規模儲能需求，並能減少對傳統化石燃料的依賴，而氫能長時間儲能最短可搭配每日或週間循環調度，最長可作為季節性儲能之選項⁽²⁾。

He等人的研究建構了風能、太陽能和氫儲能系統的微電網最佳容量配置模型，提出最大化微電網效率和可靠性的最佳配置。微電網配置包含100 kW風力發電機、200 kW太陽能電池板和50 kW氫儲能系統，使用IDW-PSO算法，優化後的系統配置可達到最佳能效，年均發電量提升了15%。系統在不同負荷情況下運行穩定，峰值負荷期間的電力供應保障率達到99.2%。這種系

統在波動性高的可再生能源環境中，能夠提供穩定的電力供應，提升能源系統的可靠性和靈活性⁽³⁾。

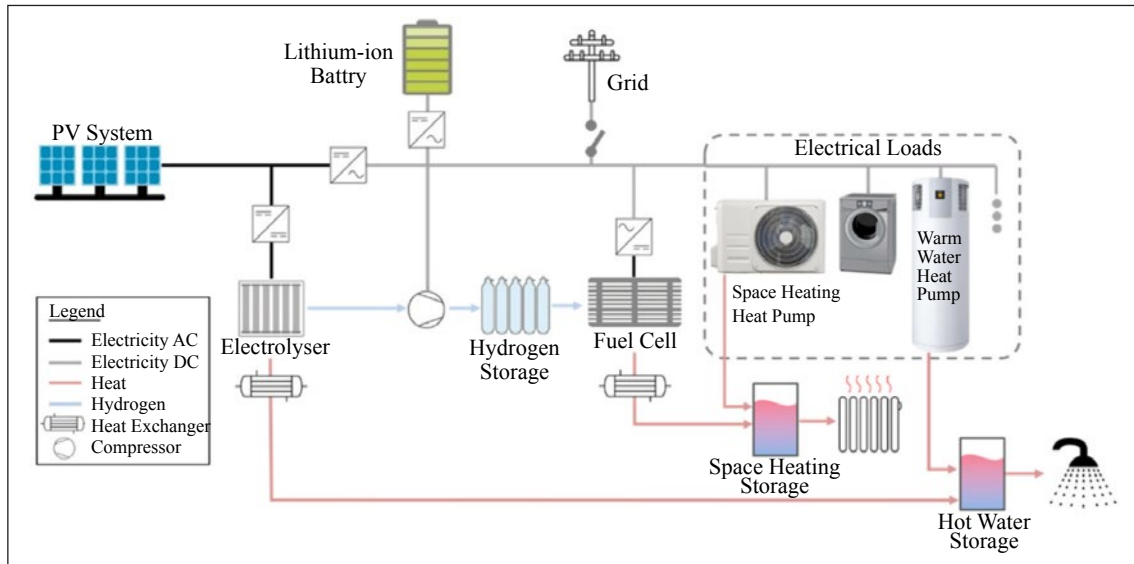
分散式光儲氫多元能源整合系統應用架構如圖二所示，此圖展示了一個整合太陽能發電系統、鋰離子電池、電解槽、氫儲能、燃料電池及電熱泵的混合能源系統，系統運作可分為三部分：

①電力供應鏈：太陽能光電系統生成的電力優先供給儲存在鋰離子電池中，多餘的電力則供應給電解槽進行氫氣生產，在電力需求高峰滿載時，可透過燃料電池發電供給作為備用手段。

②綠氫能源轉換與利用：電解槽生成的氫氣儲存在氫儲存系統中，當系統需要發電時，將氫氣輸送至燃料電池轉化為電力和熱能，供應電網和熱泵系統。

③熱能管理：燃料電池產生的熱能被用於空間加熱和熱水供應，透過熱能儲存系統保障熱能供應的穩定性。

這種多元能源系統透過太陽能、電池儲能、氫儲能和燃料電池的協同運作，可



▲圖二 分散式光儲氫之基礎應用架構示意圖⁽⁴⁾ (彩圖請見材料世界網)

提高能源利用效率，並增強了能源系統的可靠性，適用於需要高效電力和熱能管理的應用場域。

分散式光儲氫系統國際應用案例

分散式光儲氫系統是一種結合太陽能光電發電、氫氣生產及儲存技術的綜合能源解決方案。這種系統通過利用太陽能發電來進行水電解產氫，並將生成的氫氣儲存在高壓罐中，以供日後在需求高峰或太陽能不足時使用。這一技術在提升能源自給自足性、減少二氧化碳排放以及支持可再生能源的高效利用方面展現了顯著優勢。然而，這些系統仍面臨一些挑戰，如：高成本的氫氣生產和儲存技術、電解槽和燃料電池的效率和壽命問題，以及能源管理和系統整合的複雜性。未來的研究和發展需要著重於降低成本、提高技術效率和耐用性，並完善能源管理系統，以實現更廣泛

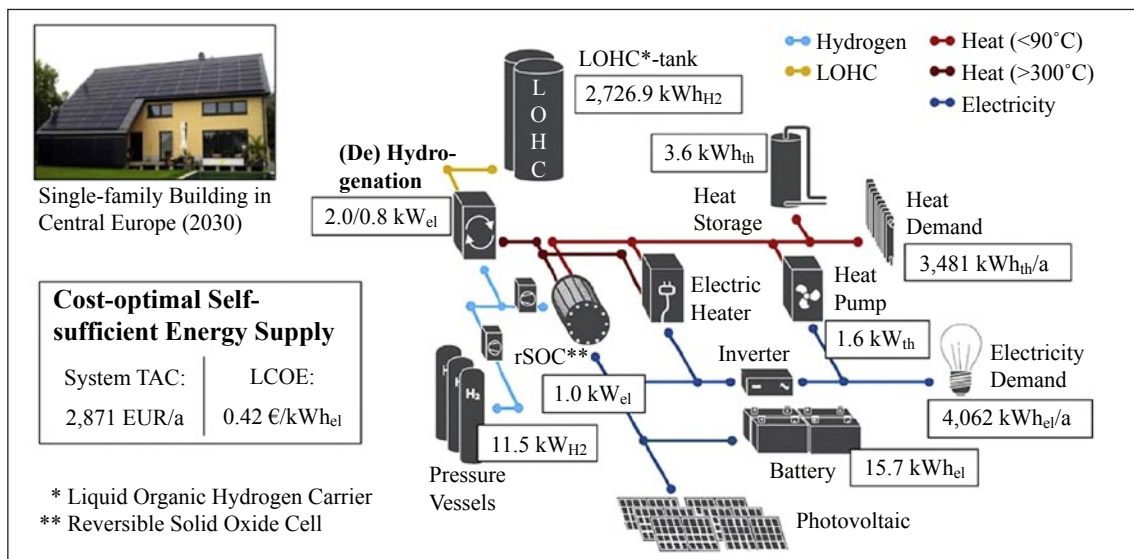


▲圖三 國際分散式光儲氫案場—日本FH2R⁽⁵⁾

的應用和可持續發展。本節將就國際分散式光儲氫之實際案例進行說明及分析。

1. 日本福島大型研究場域(FH2R)

FH2R位於日本福島縣浪江町，是世界最大的可再生能源氫氣生產設施，其展示了如何將大規模氫氣生產整合到現有的能源系統中，如圖三所示。該場域中包括一個20 MW的太陽能發電廠、10 MW級的水電解系統，每小時可生產最多1,200 Nm³

▲圖四 國際分散式光儲氫案場—德國⁽⁶⁾ (彩圖請見材料世界網)

的氫氣，生產之氫氣儲存在壓力達19.7 MPa的高壓罐中，並透過能源管理與預測優化太陽能電力和電網電力的使用，確保高效的氫氣生產，並應用於燃料電池車和負載發電之燃料電池系統。

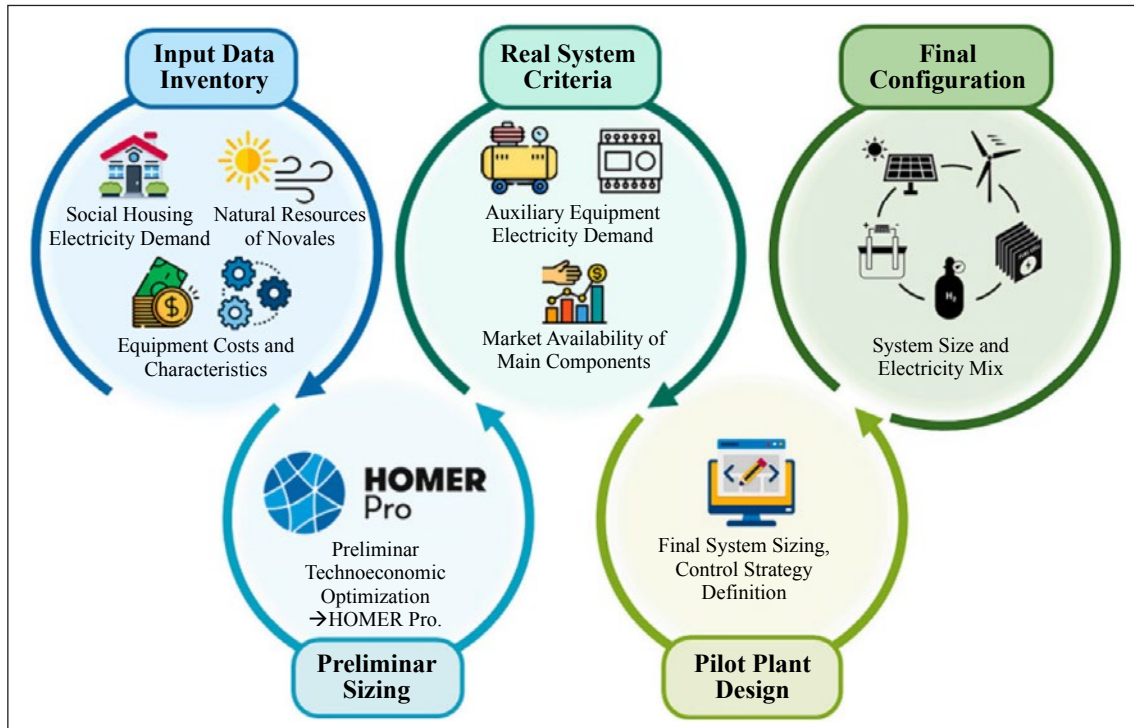
2. 德國高效率光儲氫系統應用

本研究探討在德國高效能單戶住宅中，結合太陽能光電(PV)系統、電池儲能與氫能儲存的混合儲能系統，以實現完全能源自主。模擬的太陽能光電系統轉換效率為17.8%，最大裝機容量為26.8 kW，而電池儲能系統的充放電效率為95%。液態有機氫載體(LOHC)系統的電到電轉換效率為30~40%，熱利用效率可達70%，系統質能平衡與架構如圖四所示。研究發現，熱整合LOHC系統與可逆固態氧化物電池(rSOC)相比，氫氣儲存需求減少25%，總年化成本降低80%，使自給自足供電的平準化電力成

本(LCOE)達到0.42歐元/kWh，與僅使用鋰離子電池系統相比，混合儲能系統的年度額外費用僅為電網供應成本的52%。此結果顯示，整合PV、電池與氫能儲能技術，能有效提升能源自主性並降低成本。

3. 西班牙分散式光儲氫能源自主住宅

本研究在西班牙Novalles鎮設計並實施了一個混合太陽能光電-氫能的示範系統(PVHyP)，以實現社會住宅的100%電力自給自足，該系統架構如圖五所示。由圖中可知分散式能源系統的設計流程：首先，收集輸入數據，包括社會住房的電力需求和設備成本；接著，考慮實際系統的標準，如輔助設備需求和主要組件的市場可用性；然後，使用HOMER Pro進行初步技術經濟優化；最後，設計試點工廠並確定最終系統配置和控制策略。該系統包括10 kW太陽能光電板、10 kWh鋰離子電池儲能



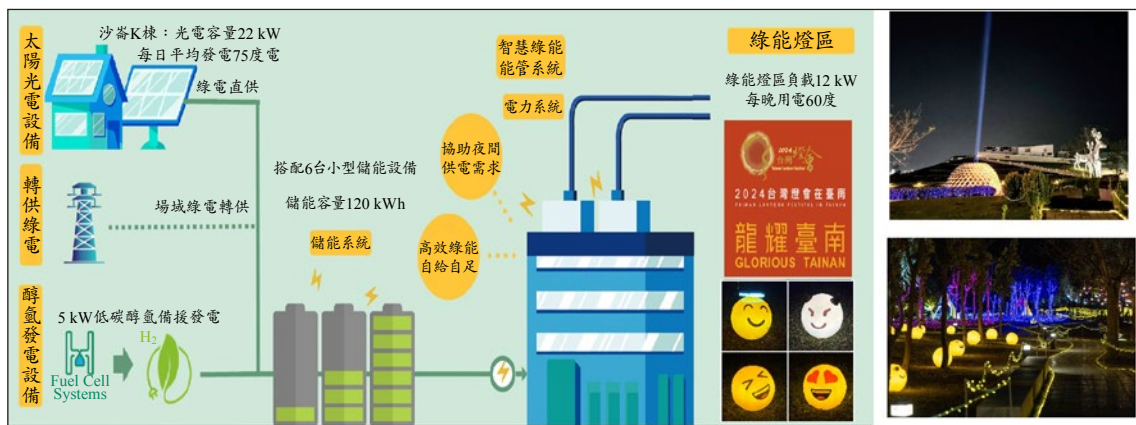
▲圖五 國際分散式光儲氫案場—西班牙⁽⁷⁾

系統、2.5 kW電解槽和5 kW燃料電池。系統在22個月的遠程操作和連續監控期間，成功實現了全年無CO₂排放和電費減免。

台灣光儲氫系統整合應用實證

台灣首座光儲氫示範驗證場域為位於台南之「沙崙綠能科技示範場域」，由經濟部能源署設立、工研院相關單位進駐，場域發展目的在於示範及推廣綠能科技，促進綠能產業發展和國際鏈結。場域內設有多種先進的綠能技術系統，包括1 MW的太陽能光電發電裝置、200 kWh的鈦液流電池儲能系統，以及產氫能力超過20 Nm³/h之電解槽，建置氫氣儲存能力為167 Nm³（約500 kWh）之儲能設施，並通過50 kW的燃料

電池系統將氫氣轉化為電能，以提升能源使用效率和靈活性。透過上述太陽光電系統、儲能及氫能相關設施，展示沙崙場域光儲氫整合應用之技術能量，完整呈現再生能源自發自用、減碳電力排碳，以及導入及展示綠能技術的最新發展，對推動我國光儲氫系統整合應用具有重要意義。除此之外，工研院致力於開發小型分散式光儲氫系統整合技術，並積極應用可移動式太陽光電與儲能整合系統，這一技術可結合光電發電、儲能和氫能三種先進技術，達成能源自給自足及商業化應用之途徑。以下就小型分散式光儲氫能系統及移動式光儲系統應用依序說明。



▲圖六 台南綠能燈區之分散式光儲氫系統應用示意圖與綠能燈區一隅⁽⁸⁾

1. 台南綠能燈區光儲氫系統整合應用

分散式能源系統整合了多種綠色能源技術，包括：太陽能發電、儲能技術及燃料電池備用電力系統。其中，太陽能板系統能產生22 kW的電力，並直接供應給燈區的照明和其他能源需求，太陽能板還與電池儲能系統相連接，用於非照明時段的能源儲存；電池儲能系統能儲存來自太陽光電日間多餘電力，電池儲能總容量達120 kWh，確保夜間或光照不足時也能持續供電；另一部分的能源來自5 kW的燃料電池系統，此燃料電池系統主要作為備用電力供應給燈區使用，可進一步提高整體系統的能源穩定性及自給自足率。而所有的能源系統皆可通過遠距能管系統進行監控。本(2024)年度台南燈會期間，台南市政府於綠能燈區採用工研院相關團隊所建置的光儲氫分散式能源系統供給綠色電力，不僅減少了整體的電力消耗，也為未來的活動樹立了範例。綠能燈區之分散式光儲氫系統整合應用示意圖如圖六所示。

2. 智慧城市移動式光儲系統應用

工研院投入之分散式光儲氫系統，已經初步應用於移動式光電光儲能源系統開發，此系統設計具備快速部署的特點，適合應用於多種能源需求場景。系統包括額定發電功率達4 kW的太陽能光電模組和40 kWh儲能系統，其太陽能模組包含10片400 W的高效能太陽能板，能在全日照條件下提供穩定的電力輸出。此系統初步整合於智慧共桿使用，供給涵蓋照明、Wi-Fi服務和CCTV安全監控等多功能用途。E-Cube的金屬結構採用鋼材或鋁合金製成，具備優秀的強度重量比和耐腐蝕性。外殼設計為可移動結構，便於快速部署和靈活應用，適用於臨時活動、災害應對或偏遠地區的長期使用。2024年5月9日~10月30日於大台南會展中心北面通道處，運轉示範城市智慧共桿與電子公車牌之能源供應，如圖七所示。此外，移動式光儲系統尚運用於海安商圈及三井Outlet之綠能市集，進行移動式光儲系統示範驗證，提供一種創新綠能應用之



▲圖七 應用於智慧綠能城市之移動式光電與光儲系統應用，(a)設計示意圖；(b)移動式光儲系統

模式，促進光儲系統技術普及化的可能性。

結 論

本文探討分散式光儲氫系統之基本架構原理、國際案場及國內應用實例。分散式光儲氫系統透過結合太陽能光電發電、電池儲能和氫能技術，實現了高效且靈活的能源生產、存儲和利用，展示出顯著的減碳效益和能源自給自足的潛力。透過日本、德國及西班牙等國際案場分析瞭解，光儲氫系統整合應用非僅適用於大型場域案場，也可運用於小型分散式應用領域，如家庭住宅及商辦等場，展示分散式光儲氫系統完全能源自給自足的前景。因此，本文研究團隊透過2024年台灣燈區，以分散式光儲氫系統概念，實現綠能燈區供電之系統整合應用實證，該燈區內的光儲氫系統包括22 kW的太陽能板、120 kWh的電池儲能系統及5 kW的燃料電池系統，為未來大規模推廣分散式光儲氫技術提供了寶貴經驗。同時，也初步開發驗證可供快速部署、緊急救災及偏遠地區使用之移動式光儲能源系統，該系統包含4 kW的太陽能發電模組和40 kWh的磷酸鋰鐵電池儲能裝

置，已初步通過示範運作驗證系統之可靠度及實用性評估。未來將更專注於技術優化並降低成本，以促進這些技術的廣泛應用和商業化發展，為創新綠能技術開發及應用發展貢獻心力。☒

誌 謝

感謝經濟部能源署「沙崙智慧綠能科學城委託專業服務案」計畫經費挹助推動與執行。

參考文獻

1. Open Access Technology International, Inc. (2016, November). When is a distributed energy resource management system necessary? OATI Blog. Retrieved from <https://www.oati.com/blog/grid-modernization/november-2016-when-is-a-distributed-energy-resource-management-system-necessary/>
2. Gupta, R. B., Basile, A., & Veziroglu, T. N. (2020). Hydrogen energy and fuel cells: Advances and applications. Elsevier.
3. He, G., Wang, Z., Ma, H., & Zhou, X. (2023). Optimal Capacity Configuration of Wind-Solar Hydrogen Storage Microgrid Based on IDW-PSO. Batteries, 9(8), 410. <https://doi.org/10.3390/batteries9080410>
4. Krauter, S., Wippermann, S., & Grohmann, T. (2022). Hybrid Energy System Model in Matlab/Simulink Based on Solar Energy, Lithium-Ion Battery and Hydrogen. Hydrogen, 3(1), 34-58. <https://doi.org/10.3390/hydrogen3010003>
5. Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation. (2020). The world's largest-class hydrogen production, Fukushima Hydrogen Energy Research Field. Retrieved from <https://www.global.toshiba/ww/news/energy/2020/03/news-20200307-01.html>
6. Knosala, K., Kotzur, L., Röben, F.T.C., Stenzel, P., Blum, L., Robinius, M., & Stolten, D. (2021). Hybrid Hydrogen Home Storage for Decentralized Energy Autonomy. International Journal of Hydrogen Energy, 46, 21748-21763. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.04.036
7. Maestre, V. M., Ortiz, A., & Ortiz, I. (2024). Sustainable and self-sufficient social home through a combined PV-hydrogen pilot. Applied Energy, 363, 123061. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123061>
8. <https://newstaiwan.net/2024/02/19/148921/>