

以新興替代能源探討淨零碳排能源轉型研究

A Study on Achieving Net-Zero Carbon Emissions through Emerging Alternative Energy Sources

交通部運輸研究所(運輸技術研究中心)

副研究員

李政達

Cheng-Da Lee

助理研究員

林受勳

Shou-Shiun Lin

摘 要

在國際發展趨勢下，各國紛紛啟動淨零轉型行動，包括歐盟與日本的碳邊境調整機制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)、新加坡等港埠氫氨燃料補給設施佈建計畫，以及多國制定脫碳路徑圖，皆顯示低碳轉型已成為國際競爭與環境治理的核心策略；相較於歐盟、日本等推動碳邊境調整、氫氨燃料補給與港埠轉型的實質進展，反觀臺灣雖然港口密集、國家過去以來以航運發達見長，但在港埠脫碳政策、替代燃料基礎建設、以及相關制度配套方面仍處於起步階段，例如：港區尚未建立氫氨燃料補給能力，現行法規對於新興替代能源缺乏誘因機制，亦未見明確的規劃路徑與落實架構，故轉型滯後不僅不利臺灣在國際供應鏈之永續形象，也可能逐漸影響未來之競爭力；因此，臺灣需針對能源轉型，逐步建設低碳港埠設施，並於法規誘因與產業應用連結上，應逐漸彌補技術落差與減少政策規劃延遲之現象。

關鍵詞：淨零碳排、碳邊境調整機制、替代能源、綠氨、基礎建設

Abstract

Amid global trend of development, countries around the world are actively initiating net-zero transition actions. These include the European Union and Japan's implementation of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), hydrogen and ammonia bunkering infrastructure plans at ports such as those in Singapore, as well as national-level decarbonization roadmaps. These efforts indicate that low-carbon transition has become a central strategy in international competition and environmental governance. In contrast to the tangible progress seen in the EU and Japan regarding carbon border adjustment policies, hydrogen and ammonia fueling, and port decarbonization efforts, Taiwan—despite its dense network of ports and long-standing prominence in global shipping—remains in the early stages of policy development for port decarbonization. Currently, there is no established hydrogen or ammonia bunkering capability at Taiwanese ports, and existing regulations lack

incentive mechanisms to support emerging alternative fuels. Moreover, clear planning pathways and implementation frameworks are still absent. As a result, this delayed transition not only hinders Taiwan's sustainable image in international supply chains but may also undermine its future competitiveness. Taiwan must therefore progressively develop low-carbon port infrastructure as part of its broader energy transition, while also working to close the technological gap and reduce policy lag by strengthening regulatory incentives and integrating industry applications.

Keywords: Net-zero emissions , Carbon border adjustment mechanism , Alternative energy , Green ammonia , Energy infrastructure

一、前言

在全球氣候變遷環境與國家追求永續發展浪潮下，許多能源轉型實踐正發生，例如：歐盟已透過碳邊境調整機制，明確納入鋼鐵及鋼鐵製品、水泥、肥料、鋁及鋁製品、電力與氫氣為碳排放量管制對象與貿易標準。因此，新加坡、南韓與日本等已開發國家亦同步推動綠氫燃料補給設施及部署脫碳基礎建設，標誌替代能源轉型已刻不容緩，此刻正是全球供應鏈重新建構之關鍵時刻。隨著航運業運量持續增加，總溫室氣體排放量已從 2012 年的 9.77 億噸增加至 2018 年的 10.76 億噸，依據 2020 年國際海事組織 (International Maritime Organization, 簡稱 IMO) 第 4 次溫室氣體 (Greenhouse Gas, 簡稱 GHG) 研究，建議船舶燃料採用從源頭到船艙 (well-to-wake) 的全生命週期溫室氣體排放的計算方式，故航運業排放在全球人為溫室氣體排放量換算為比例，已從 2012 年的 2.76% 增加到 2018 年的 2.89%，並持續增加中。為避免淨零碳排失序，國際海事組織 2024 年舉行的海洋環境保護委員會 (Marine Environment Protection Committee, MEPC) 第 82 屆會議 (簡稱 MEPC 82)，會議通過最新溫室氣體戰略目標，船舶溫室氣體排放減量戰略目標：新造船舶的碳強度持續下降，強化能源效率設計，國際航運平均碳強度於 2030 年前每運輸單位 CO₂ 排放較 2008 年下降至少 40%；截至 2030 年，全球航運能源中零或近零排放技術、燃料與能源使用比例達至少 5%，並盡力達到 10%；長遠來看，國際航運總體溫室氣體排放將於 2050 年實現淨零排放，以符合巴黎協定中第 2 條長期控溫與淨零轉型目標。

由於海運約占全球貿易總量的 80%，其碳排放控制在全局氣候變遷因應策略中具有舉足輕重的地位，航運業身為全球經濟的主要命脈之一，其碳排放占比不容忽視，特別係對於高度依賴海運的島嶼經濟體臺灣而言，雖已逐步回應國際趨勢並積極推動相關政策，促使運輸部門加碼減碳力道，但在實際碳減量的落實上仍顯緩慢。其原因之一在於國際航運的流動性排放量未被納入國家碳排計算，缺乏強制性，使得執行面持續面臨挑戰，進一步對照國際發展趨勢，臺灣雖具備地理優勢與航運基礎，但受限於港埠腹地有限，資源配置不均，替代能源供，如氫、氨、甲醇燃料儲備設施及法制誘因機制，仍存在明顯不足。同時，政府在航運業替代燃料導入的支持機制仍缺乏明確規劃，產官學界對於能源轉型涉及的風險、成本與技術成熟度亦存有疑慮，致使政策推動與規範制定延

宕；因此，本研究將以替代能源的角度切入，探討淨零碳排能源轉型之可行性，協助臺灣政策轉型參考，以及因應國際減碳浪潮。

二、新興替代能源

本研究所謂新興替代能源概分為綠色氫氣(Green Hydrogen)、綠氨(Green Ammonia)、綠色甲醇(Green Methanol)與生質燃料(Biofuel)等，根據國際能源總署(International Energy Agency, 簡稱 IEA)的分類，氫氣依其生產製程的潔淨程度可分為不同顏色。以煤炭為原料並經熱裂解或水解方式生產的氫氣稱為褐氫，其碳排放量高，對環境衝擊大；以天然氣等碳氫燃料透過蒸氣重組方式製得的氫氣稱為灰氫，是目前最普遍的製氫方式，但伴隨大量二氧化碳排放；若同樣以天然氣為基礎，並結合碳捕捉與封存技術，則為藍氫能有效降低碳排放，屬於相對潔淨的製程；以水為來源，透過風能、太陽能等再生能源進行電解而製得的氫氣稱為綠氫，其製程幾乎零碳排，被認為是碳足跡最小的氫氣形式，除此之外，尚有藍綠氫，以天然氣進行高溫熱裂解，產生固態碳副產物以降低排放，潔淨程度介於藍氫與綠氫之間；以及粉紅氫，同樣以水為原料，但電解過程使用核能發電，碳排放相對較低，也被視為低碳氫氣來源，如表 1 所示。

表 1 國際能源總署氫氣分類方式

氫氣類型	原料	製程方式
褐氫	煤炭	熱裂解、水解
灰氫	液化天然氣	蒸氣重組
藍氫	液化天然氣	蒸氣重組+碳捕捉封存
藍綠氫	天然氣(氣態或液態甲烷)	高溫熱裂解
粉紅氫	水	電解水，能源來自核能
綠氫	水	電解水，能源來自再生能源

綠氨是以再生能源電力進行水電解產氫，並從空氣中分離氮氣後，再透過哈柏法製程合成氨氣，其生產過程可實現 100% 再生與碳中和，因此，被視為最具潛力的航運替代燃料之一，歐盟正推動在海運領域使用氨以加速去碳化，研究指出氫與氨的應用是目前最有效的航運脫碳方式之一。綠色甲醇是以再生能源電力生產氫氣，並結合回收的二氧化碳進行合成而成，所使用的二氧化碳可來源於燃氣排放，例如：發電廠或工業製程或直接從大氣中捕捉，相較於傳統甲醇製程，綠色甲醇能減少溫室氣體排放，展現出顯著的減碳效果，並被認為是符合國際海事組織未來數十年氣候減碳目標的重要途徑之一。生質燃料的來源可分為原生生質燃料與生物廢棄物生質燃料，前者因需依賴專門作物種植，被認為並不永續，後者如動物糞便或農業廢棄物，所生產的生質燃料，則具有

相對永續性。然而，生質燃料的發展仍面臨土地資源有限的挑戰，其生產往往與糧食需求競爭，且供應量不足與成本偏高，故限制其推廣與普及的主要障礙，難以支撐大規模應用。

三、臺灣淨零碳排目標

回顧臺灣 2050 淨零轉型的推動歷程，自 2021 年蔡總統首次宣示國家淨零目標以來，陸續提出淨零路徑與十二項關鍵戰略，併於 2023 年將淨零目標正式納入氣候變遷因應法，確立我國減碳政策的重要里程碑。隨後在 2024 年政府啟動國家希望工程及相關氣候治理組織，籌組「國家氣候變遷對策委員會」與「淨零轉型專案小組」，以強化跨部門的推動能量，直至 2025 年 1 月 23 日賴清德總統正式發布國家自訂貢獻行動 3.0 (Nationally Determined Contributions 3.0, 簡稱 NDC 3.0)，做為臺灣最新的減碳目標，如圖 1 所示。



圖 1 臺灣減碳目標推動歷程(圖片來源：行政院)

行政院於 2025 年核定第三期溫室氣體階段管制目標，交通部並於同年提出第三期運輸部門溫室氣體減量行動方案(草案)，目標設定至 2030 年，全體運輸部門溫室氣體排放量需由 2005 年的 3,797 萬噸二氧化碳當量降至 3,037 萬噸，實現約 20%的減碳幅度。為達成此目標，交通部提出三大策略方向，第一強化公共運輸服務量能與系統接軌性，並設定 2030 年公共運輸年運量達 28.29 億人次，以推動大眾運輸與都市步行、自行車通勤網絡的整合，建構日常低碳通勤模式；第二全面推動交通運具電動化與無碳化，涵蓋電動小客車、機車、公車、物流車及垃圾車等，並配合充電基礎設施建置與法規引導，逐步轉型車輛能源結構；第三提升能源效率以穩定中長期減碳動能，具體措施包括智慧運輸系統 (ITS) 導入、節能輪胎推廣及車輛能效標準強化。未來，臺灣仍可藉由關鍵技術研發、基礎建設完善、政策規劃及支援行動，以提升國內航線的減碳成效。

四、臺灣淨零碳排能源轉型的永續作法

具體行動上，交通部以電動小貨車、大貨車與氫燃料大客車之示範推廣方案，並逐步拓展至永續航空燃料(SAF)，規劃於 2030 年達成 5%使用比例，雖目前尚未納入國家自訂貢獻行動(NDC)統計範疇，但已展現我國對國際航空脫碳責任。相較之下，航運部門仍缺乏具體減碳部署與關鍵績效指標，主要因船舶排放屬於移動性排放，依國際海事組織與巴黎協定之國際慣例，國際航行碳排放不計入任何單一國家總量，致使臺灣航運減

碳策略限於國內航行範疇，因此，現階段的措施，例如：日月潭電動船升級推動計畫，透過將柴油船改裝為電動船以降低水域環境衝擊，亦顯示我國在短程航運電動化運具努力。此外，臺灣主要國際商港長期承擔工業原料進口、能源運輸與國際航運樞紐的角色。隨著淨零轉型與再生能源推動政策的推展，港口逐步從傳統貨物流通節點，轉型為低碳能源與綠色燃料供應的示範場域，其作法可概括如下：

1. 多元化港區功能：各大商港皆兼具貨櫃、散雜貨、能源轉運與風電設備裝卸等多元業務，並透過自由貿易港區與產業聚落的結合，逐漸發展為具備製造、物流與能源整合的複合型港區。
2. 再生能源連結與應用：港區鄰近電力、煉鋼與石化等高耗能產業，除具備終端用能需求外，也結合政府推動的離岸風電與太陽能設施，建構再生能源直接供應的條件，為後續氫能與氨能應用奠定基礎。
3. 低碳燃料基礎設施建置：臺灣各港正陸續規劃或建置氫能、氨能相關設施，包括：低溫氨儲槽與液氨全球供應鏈平台、液氨與氨的接收與輸儲設施、加氫站與可移動式加氫設施與配套的重件物流系統與專用碼頭，此類基礎設施的逐步完成，將支援國際船舶加氫、加氫與在地產氫的示範應用。
4. 綠能產業專區與示範場域：各港務公司皆規劃專用碼頭與重件作業區，提供風電產業及綠色燃料產業使用，同時成為風電水下基礎組裝等實體示範場域，加速技術驗證與應用場景整合，如圖 2 所示。

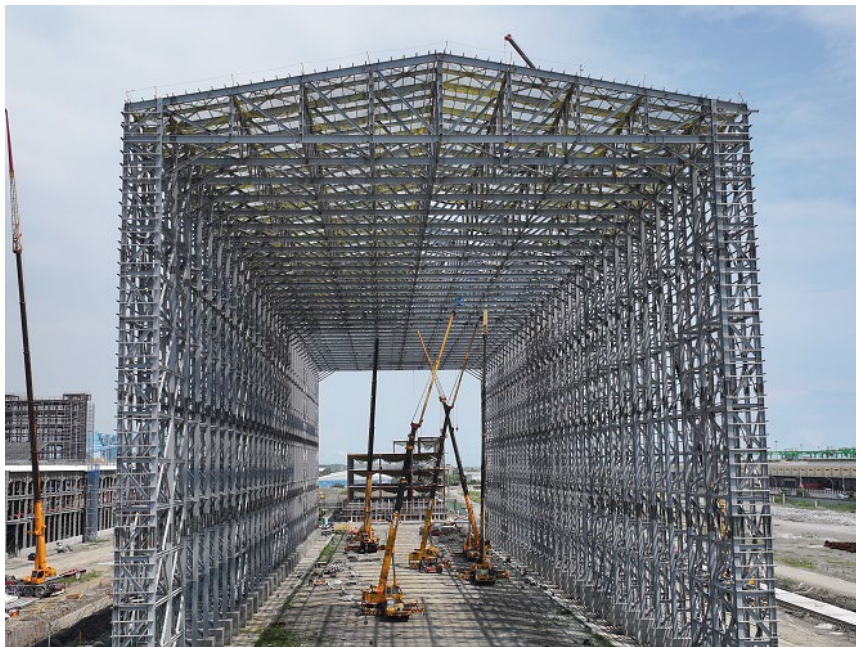


圖 2 高雄港洲際一期離岸風場水下基礎組裝基地(圖片來源：高雄港務分公司)

5. 國際合作與產業鏈連結：港區積極與國內外能源企業及基金合作，例如推動低碳氫、低碳氨的生產與進口計畫，並規劃未來與澳洲等氫氣出口國建立戰略夥伴關係，形成區域能源樞紐，支持航運與產業供應鏈的低碳轉型。

港埠投入科學減碳，綠電先行為淨零轉型之核心方針，設置船舶進出港減速、設置智慧能源管理系統、建置 209 座岸電及推廣再生能源，並積極開發港區太陽能與風能設施，帶動供應鏈共同減碳，目標在 2030 年達成商港 100%綠電使用目標。同時，透過定期舉辦業者說明會、制定再生能源使用與電動化運具的獎勵辦法，攜手港區業者共同邁向淨零，並與員工及利害關係人合作落實環保責任，推動港區永續發展。

臺灣港埠在能源基礎建設方面正逐步發展，雖各港進程不同，但整體而言已具備低碳能源轉型的潛力與價值。依託完整的產業聚落、再生能源連結及能源專用碼頭等設施，港埠正逐漸形成低碳能源港的優勢。此外，港區鄰近火力發電廠、鋼鐵廠等大型終端用能產業，產業鏈集中且具備能源集散功能；同時受惠於臺灣海峽豐沛的離岸風電資源，已具備推展綠氫與綠氨製程所需的再生電力條件，若能結合液化儲槽、加注設施與重件物流系統，並由國內能源企業與產業夥伴共同推動製氫廠與供應設施，將可逐步建立在地化氫氨燃料供應體系。展望未來，隨著基礎設施持續完善，臺灣港埠有機會鏈結至新興氫氨替代能源之貿易夥伴，進一步奠定亞太區域低碳燃料供應與綠色航運示範的戰略地位。

五、結論

雖然臺灣已將 2050 年淨零目標納入氣候變遷因應法，並建立碳費與碳定價等政策基礎，但臺灣在推動低碳燃料的制度設計上仍顯不足，相關配套尚未完備。現階段雖有內水載客船舶電動化規劃與補助研究，但碳費或空污費課徵尚未正式實施，商港雖推動船舶進出港減速、設置智慧能源管理系統，以及於碼頭建置 209 座岸電設施持續進行中，但仍欠缺岸電友善措施，亦缺乏實質性的經濟誘因，例如：提高替代燃料使用比例獎勵、碳強度目標改善獎勵、靠泊費減免或綠色船舶優先調度等。

整體措施偏重鼓勵導向，欠缺強制性規範，加以基礎設施尚未健全，港口尚未建置綠色燃料加注設施，使航商缺乏足夠誘因停靠，反而可能轉向其他國家尋求服務，削弱我國商港轉型動能，建議政府應儘速啟動零碳走廊政策測試點，做為替代燃料導入與船舶轉型的重要起步，併可比照國際經驗，優先選擇具備再生能源優勢的港口，推動氫氨低碳能源測試區、固定式加注站與船型驗證平台，建立示範船隊，逐步累積技術成熟度並提升政策可行性。此外，應同步推動法規與誘因配套，例如設立低碳航運轉型專案基金，以降低業者初期投入門檻，並搭配靠泊費優惠、綠色船舶優先調度等措施，形成更具吸引力的誘因體系。透過示範場域、制度誘因與產業合作三管齊下，將可有效提升臺灣航運業參與替代燃料轉型的意願，並建構良性循環的綠色經濟體系。

參考文獻

- 1.行政院，「第三期溫室氣體階段管制目標」，2025。
- 2.交通部，「第三期運輸部門溫室氣體減量行動方案(草案)」，2025。
- 3.IEA，Global Energy Review：CO2 Emissions in 2021, 2021.

4. Strömich-Jenewin, M., Saidi, A., Pivatello, A., & Mazzoni, S., “Net-Zero Backup Solutions for Green Ammonia Hubs Based on Hydrogen Power Generation.” *Energies*, 18(13), p. 3364, 2025.
5. Sadiq, M., Micallef, A., Apap, M., Licari, J., Caruana, C., & Su, C. L. “Next-Generation Sustainable Shipping: A Bibliographic Analysis of Alternative Fuels in Maritime Systems.” *IEEE/IAS 61st Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)*, pp. 1-6, May, 2025.
6. Emblemståg, J. “A Study on the Limitations of Green Alternative Fuels in Global Shipping in the Foreseeable Future.” *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(1), p. 79., 2025.
7. Lyridis, D., & Kostidi, E. “Bridging Technical Challenges and Economic Goals: Project Management for Energy Transition in Maritime Retrofitting.” *Energies*, 18(4), p. 804., 2025.
8. Li, W., Hu, Z., & Chen, X. “Governmental Functions in Establishing Alternative Marine Fuel Supply Chains in Shipping Decarbonization Governance.” *Sustainability* , 17(7), pp. 2071-1050, 2025.