

# 四方乾淨氫戰略倡議：以美國、日本、澳洲及印度發展氫能源合作促淨零碳排為例

林士清<sup>1\*</sup>

## 摘要

由美國、日本、澳洲及印度組成「四方安全對話」(Quad)被視為處理印太地區事務之首要團體，印度提出之「四方乾淨氫戰略倡議」(Quad Clean Hydrogen Strategic Initiative)乃重大觀察指標。首先，本研究探討Quad之歷史演變軌跡、乾淨能源供應鏈原則聲明；再者，透過比較個案研究法分析美國、日本、澳洲及印度在氫能源政策發展現況；第三，援引四國雙邊外交關係定位來檢視彼此氫能源合作內容。最後，發現國際合作機制賦予美國、日本、澳洲及印度透過多邊互動機制及雙邊外交關係定位促進氫經濟實現淨零碳排的目標。

關鍵詞：四方安全對話，四方乾淨氫戰略倡議，氫經濟，淨零碳排，比較個案研究法

## 1. 緒言

歐盟推動「碳邊境調整機制」(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)業已於2023年10月正式試行，政策議題焦點除歐盟「碳排放交易體系(Emissions Trading System, ETS)」制度之外的所有第三國的高碳排放製造，涉及對象包含鋼鋁、水泥、肥料、電力及氫能等。依Rübelke *et al.* (2022)針對鋼鐵業轉型之實證研究中，指出歐盟推動CBAM最主要目標是2050年實現碳中和以因應全球氣候變遷。此外，另有澳洲學者指出歐盟CBAM不僅僅是一種碳邊境稅，其實具有外交意圖(Hancock and Wollersheim, 2021)。

基於印太區域涉及因應氣候變遷、促進能源轉型及地緣政治威脅等重大議題，由美國、

日本、澳洲及印度等醞釀多時終於正式於2021年宣布建立「四方安全對話」(Quadrilateral Security Dialogue, Quad)，Quad亦包含四方在多邊機制之外來強化雙邊合作關係，也利於於建構自由、開放的印太區域。事實上，若比較與「印太」與「亞太」概念：「印太」概念所指涉的核心是「區域安全合作」優先於經濟合作，主要針對的對象就是俄羅斯與中國大陸，對現行「以規則為基礎國際秩序」的威脅與挑戰(黑快明，2021)。

### 1.1 氫能源被視為是真正的綠能

氫通常被視為促進淨零碳排的重要能源載體，目前大多數氫是透過天然氣中的甲烷蒸氣重整生產的「灰氫」，因其二氧化碳排放量較高，目前環保價值不若使用碳捕獲和儲存

<sup>1</sup>國立臺灣大學國際企業學研究所博士生、財團法人商業發展研究院副研究員  
\*通訊作者，電話：0911-386316，電郵：[d09724007@ntu.edu.tw](mailto:d09724007@ntu.edu.tw)

收到日期: 2023年08月31日  
修正日期: 2023年11月15日  
接受日期: 2023年11月16日

生產的「藍氫」，而不會產出污染源的「綠氫」將會成為未來氫能源之主力(Howarth and Jacobson, 2021)。事實上，氫被許多國家視為真正之綠色能源，氫能產業鏈涉及「製氫」、「儲氫」、「運氫」、「用氫」等四個環節，各項環節的能效以及是否形成閉環效應，是決定氫能經濟以及氫能效率的關鍵要素(林茂文，2022)；具有零污染、高轉換效率、低噪音的氫燃料電池，在國際上已普遍被認為是潛力無窮之乾淨電力來源與發展重點(許雅喬，2022)；關於氫能源在技術上及經濟上的適用性，學者Rezaei *et al.* (2022)亦透過太陽能製造綠氫之技術上(電解槽效率、光伏容量係數)和經濟上(名目利率、通貨膨脹率)等進行敏感性測試。

## 1.2 國際能源署世警全球氫能源供應鏈之契機與阻礙

化石能源在上世紀中葉之後發展迅速，能源政策亦隨即是被視為經濟發展的重要基礎。然而，氫的催化作用是改變傳統能源產業之遊戲規則(Falcone *et al.*, 2021)。依據國際能源署(The International Energy Agency, IEA)發布《全球氫能回顧2023》報告，該篇報告不僅回溯2022年全球氫能源之生產端和需求端、基礎設施建設、貿易政策及監管治理，更預測至2030年全球氫能源之發展趨勢。然而，全球氫能源技術擴展持續高漲，但由於缺乏來自政策激勵，以及可能面臨之全球能源危機、通貨膨脹及供應鏈中斷等因素導致投資成本上升，IEA世警上述原因恐導致低碳氫能之全球價值鏈受到影響而面臨成長的阻礙。尤甚，各類氫能源類型中以「綠氫」(green hydrogen)最具有獨特的能力，可促使沒有綠色替代品的產業進行減碳(Oliveira *et al.*, 2021)。

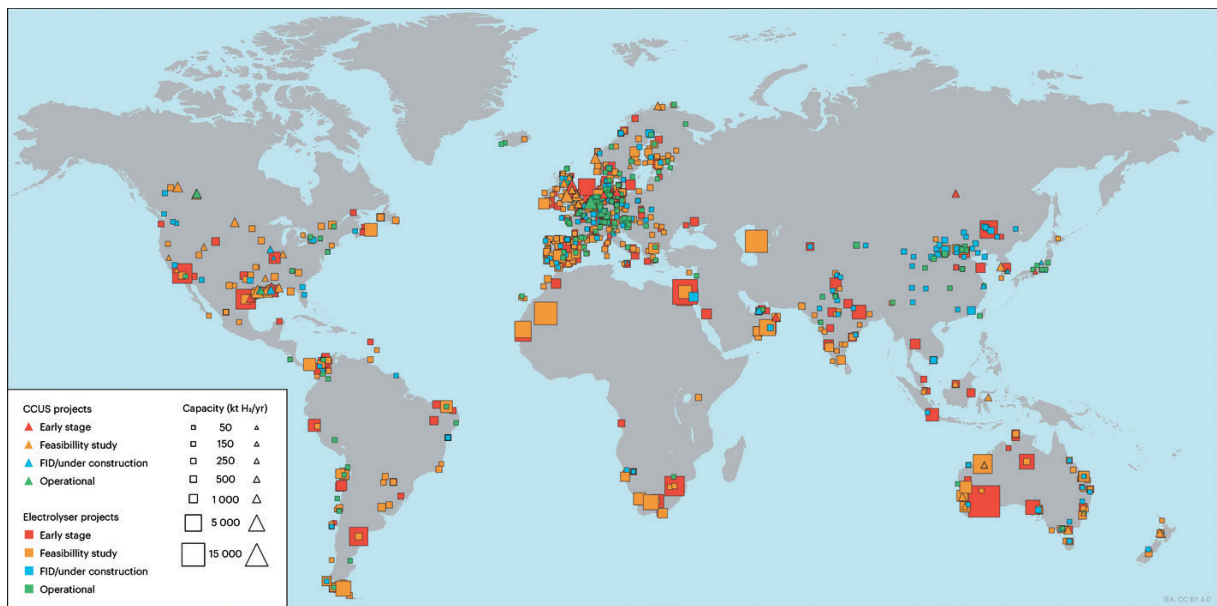
## 1.3 氫能源被為取代傳統化石燃料的終極乾淨能源

上世紀70年代因中東地區爆發兩次的「石油危機」，讓學界開始思索傳統化石能源的資源有限性，尤其以學者Bockris (2013)認為氫不僅是宇宙最豐富的元素，且氫的能量密度大燃燒後不會產生二氧化碳，因此大膽提出「氫經濟」(Hydrogen Economy)的願景：氫通過管道輸送到工廠、家庭和加氫站，並在使用現場以燃料電池轉換回電能。氫擁有最大的能量密度，在釋放能量時，因不會產生廢氣污染環境的特點，成為最有潛力的乾淨能源(徐韶徽與洪崧富，2023)。此外，氫能逐漸被視為供應運輸產業燃料及工業轉型之關鍵，其中綠氫製程於目前氫製造技術中相對具備市場價格競爭力(蔡宛樺，2021)。根據IEA的《全球氫能回顧2023》指出：全球氫能需求在2022年已達到歷史最高峰，全球氫能源使用量達到9,500萬噸，除歐洲以外的消費地區對氫能源都出現需求增長的趨勢。事實上，根據IEA全球氫能源應用的發展圖示中，顯現出澳洲、美國、南亞地區(印度)、北非地區(埃及)、中東地區(沙烏地阿拉伯)及南美地區(智利)具有大規模生產綠氫的潛力，尤其澳洲至2030年前具有生產1,500萬噸綠氫的潛力<sup>1</sup>(圖1)。

## 1.4 國際合作機制促進氫能源達成淨零碳排目標

全球業已步入COVID-19後疫情時代，全球經濟面臨通貨膨脹的壓力和能源供應斷鏈的影響，意味著各國皆有動機編列龐大預算支持氫能源的應用，同時也需要國際投資來來縮小氫能源和傳統化石燃料之間的成本差距。

<sup>1</sup> 資料來源：<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023/executive-summary> (最後檢索日期：2023/11/14)。



資料來源：IEA

圖1 全球氫能源發展圖示

多邊或雙邊的國際合作機制亦能促進氫能源達成淨零碳排之需求，例如：歐盟推動「歐洲氫能骨幹倡議」(European Hydrogen Backbone Initiative)考慮規劃興建多條氫能運輸管線<sup>2</sup>；「世界銀行」(World Bank)積極合作發展綠氫給予如智利等能開發綠氫之家1.5億美元貸款，促進智利綠色氫能項目的投資，主旨加強能源轉型加速並支持以實現淨零碳排之承諾<sup>3</sup>；「歐洲復興開發銀行」(European Bank for Reconstruction and Development, EBRD)與埃及簽署生產綠氫之合作協議；「國際再生能源機構」(The International Renewable Energy Agency, IRENA)分析表明埃及生產綠氫的價格具有市場競爭力<sup>4</sup>。

## 1.5 研究目的

大量化石能源使用所排放的溫室氣體造成暖化、酸雨、空氣污染等問題正衝擊全球生態

環境，其中氫能因燃燒時不會產生高漲，可用於能源供應、工業、儲能等領域，受到的關注提高(黃靖穎等，2022)。此外，檢視相關探討氫能源研究文獻，泰半集中於氫能源技術發展及成本障礙，甚少考慮氫能源發展背後的地緣政治驅動因素(Graaf *et al.*, 2020)；氫的新作用是遊戲規則的改變者，並在發揮聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDG)及在各國發展出特定能源轉型之政策框架(Falcone *et al.*, 2021)。

職此，本研究動機起源於觀察到氫能源發展不僅涉及淨零排碳趨勢，更涉直接地緣政治穩定與否的影響，倘若有國際合作機制的國家將透過合作機制共享政策資源投入研發氫能源的技術，可依照地緣政治情勢強化氫能源管道的部署。印度在四方安全對話議程提出之「四方乾淨氫戰略倡議」(Quad Clean Hydrogen Strategic Initiative)乃重大觀察指標，美國、日

<sup>2</sup> 資料來源：<https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/gencomm-generating-energy-secure-communities/news/european-hydrogen-backbone-full-article/> (最後檢索日期：2023/11/14)。

<sup>3</sup> 資料來源：<https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/06/29/chile-to-accelerate-its-green-hydrogen-industry-with-world-bank-support> (最後檢索日期：2023/11/14)。

<sup>4</sup> 資料來源：<https://www.irena.org/Digital-Report/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation> (最後檢索日期：2023/11/14)。



本、澳洲及印度依能源轉型的國情脈絡下發展氫能源達到淨零碳排目標，本研究目的說明如下：

- (1) 回溯美國、日本、澳洲及印度如何透過 Quad 之國際合作機制而朝向常態化、機制化之趨勢，並探究 Quad 的成立過程、聚焦議題及議程設定來鞏固印太地區之地緣政治依賴關係；
- (2) 針對美國、日本、澳洲及印度現階段的氫能源發展現況進行比較研究，盤點四國雙邊外交關係發展乾淨能源供應鏈之合作計畫，又如何透過能源轉型政策部署氫能源已達成淨零碳排目標；
- (3) Quad 積極發展乾淨能源供應鏈，組成氫能廊帶及建置經濟安保航線讓印太地區的地緣政治競爭更為詭譎，探討臺灣同時身處印太地區亦有參與國際機制合作或引入大型外資的發展氫能源達成淨零碳排的契機為何。

## 2. 四方安全對話及其歷史發展軌跡

### 2.1 四方安全對話之形成背景

「四方安全對話」之議程設定結構並非是經過政策制定者界定清楚與結構完整的政府議程。根據 Cobb *et al.* (1976) 之研究，議題邁入議程亦可分為四個階段，分別是議題啟動(initiation)、明確(specification)、擴散(expansion)與進入(entrance)等四個議程階段。本研究依據「議程設定」(Agenda setting)的時間序列發展，歸納 Quad 形成背景與議程設定大致可分為四個階段(表1)：

#### 2.1.1 啟動階段：2006年日本倡議「自由與繁榮之弧」

Quad 的概念最早可追溯至 2004 年之南亞大海嘯打亂全球供應鏈，尤其供應鏈斷鏈問題受到矚目。當時日本為了援助受海嘯地震影響之東南亞各國，時任日本首相安倍晉三隨即提倡美國、日本、印度、澳洲等四國應該「以海洋作為連結」近一步討論戰略合作與支援體系。2006 年日本藉由倡議「自由與繁榮之弧」(Arc of Freedom and Prosperity)，期待和同樣具有尊重自由、民主、人權、法治、市場經濟等基本普世價值之美國、澳洲及印度等國應一同納入「自由與繁榮之弧」。

#### 2.1.2 明確階段：2012年日本提出「亞洲民主安全之鑽」

2012 年日本再次發生政黨輪替，自民黨在兩院選舉擊敗民主黨重新取得執政權，安倍晉三擔任總理前甚至投書海外，提出美國、日本、澳洲及印度應該再次攜手合作。同年底安倍晉就任總理後另行提出「亞洲民主安全之鑽」(Asia's Democratic Security Diamond)的構想，由日本號召籌組美國、澳洲、印度「四國菱形連線」，從太平洋圍堵中國重要戰略支點國家，四國應共同對抗中國大陸崛起及海洋霸權對地緣政治所帶來的威脅，惟當時美國、澳洲及印度對中國威脅論的看法尚未有一致的共識，亞洲民主安全之鑽的理念未能落實。

#### 2.1.3 擴散階段：2017年東協峰會重啟四方安全對話

2017 年東協峰會期間重新邀請美、日、澳、印四國加入談判。東協峰會舉辦地點在菲律賓的馬尼拉，時任澳洲總理麥肯、時任日本首相安倍晉三、時任美國總統川普及印度總理莫迪皆期待恢復四邊安全對話。2018 年川普政府執政期間實施「美國優先」關稅政策，導致美中開啟長達多年的貿易戰、科技戰、金融戰

表1 Quad之歷史發展軌跡

階段	實例
啟動階段	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2004年之南亞大海嘯打亂全球供應鏈後，產業斷鏈議題受到亞太地區國家矚目。</li> <li>● 2006年日本倡議「自由與繁榮之弧」，積極提倡美國、日本、印度、澳洲等四國須「以海洋作為連結」完善支援體系。</li> </ul>
明確階段	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2010年吉拉德勝選擔任澳洲總理後，澳洲則迅速地和美國恢復雙邊關係。另一方面，美國、印度、日本仍繼續通過「馬拉巴爾」(Malabar)舉行聯合軍事演習。</li> <li>● 2012年時任日相安倍晉三提出「亞洲民主安全之鑽」(Asia's Democratic Security Diamond)之構想，希冀籌組日本、美國、印度及澳洲「四國菱形連線」，共同因應中國大陸在海洋崛起的威脅。</li> </ul>
擴散階段	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2017年東協峰會期間有感於地緣政治的躁動，ASEAN (The Association of Southeast Asian Nations)成員重新參加談判，期待恢復美、日、印、澳之四邊安全對話。</li> <li>● 2018年時任澳洲總理麥肯、時任日本首相安倍晉三、時任美國總統川普及印度總理莫迪等在菲律賓的馬尼拉達成共識，同意重啟安全對話，對抗中國大陸的軍事、外交及政治的擴張。</li> <li>● 2019年因美中貿易戰、科技戰、金融戰後出於對第二次冷戰的擔憂，四邊安全對話再次得到重視。</li> </ul>
進入階段	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2020年四國進行馬拉巴爾演習之後，時任美國國務卿龐佩奧會見四國成員，希冀將Quad轉型為「共同的安全和地緣政治目標」的「亞洲版北約」。</li> <li>● 2021年2月下旬，四國舉行舉行線上外長視訊會；2021年9月24日，Quad領袖首次面對面高峰會在華盛頓白宮召開。</li> <li>● 2022年2月「四方安全對話」舉行第4次外交部長會議發布《印太合作聯合聲明》。</li> <li>● 2022年7月印度在Quad議程上提出「四方乾淨氫戰略倡議」(Quad Clean Hydrogen Strategic Initiative)</li> <li>● 2023年澳洲主辦Quad領袖峰會，澳洲總理安東尼、印度總理莫迪、日本首相岸田文雄及美國總統拜登現場會談，會後重申乾淨能源供應鏈四方原則聲明。</li> </ul>

資料來源：本研究自行彙整。

等。時至2019年實現首次四國外長會談，雖擔憂中美貿易戰後出於對第二次冷戰的擔憂，但四國對於中國大陸在印太地區的威脅達成一致的共識，促使Quad在印太地區的重要性大幅上升。

#### 2.1.4 進入階段：2020年Quad升級為亞洲版北約

2020年全球陷入COVID-19疫情蔓延風暴，澳洲政府因質疑病毒起源於中國大陸導致雙方關係交惡，又因為和印度爆發邊界衝突問題，兩國陸續齟齬不斷甚至引發小規模邊境軍事衝突。同時，美國、日本、澳洲及印度等四

國外長在同年10月時於東京舉辦會談，直至2020年四國進行馬拉巴爾演習之後，時任美國國務卿龐佩奧會見四國成員，討論將安全對話轉變為具有「共同的安全和地緣政治目標」之「亞洲版北約」。至2021年9月24日，Quad首次領袖面對面高峰會在華盛頓白宮召開，四國領導人談及氣候變遷、乾淨能源、經濟合作、以及如何強化與東協聯繫等列入Quad之議程<sup>5</sup>。

#### 2.2 Quad迄今朝向常態化、機制化發展的趨勢

Quad著重政策議題內容及行動項目包含：疫情終結、基礎建設、氣候變遷、關鍵新興技

<sup>5</sup> Japan-Australia Leaders' Meeting Joint Statement, <https://www.mofa.go.jp/files/100116180.pdf> (最後檢索日期：2023/11/14)。

術與太空領域等議題領域。然而，儘管在面對上述關鍵議題，美、中之間無法完全排除彼此競爭之可能。在美國主導之下，Quad逐漸朝向常態化、制度化發展的趨勢，本研究茲彙整四方安全對話在各議題之未來規劃重點如下<sup>6</sup> (表 2)：

## 2.3 Quad發布乾淨能源供應鏈原則聲明

Quad目標是透過合作機制在需求呈指數級增長的同時，擴大乾淨能源技術的製造，並實現關鍵零組件和系統的商業規模來帶動生產製造，乾淨能源供應鏈原則聲明有以下作法<sup>7</sup>：

(1) 印太地區乾淨能源供應鏈多元化：Quad發

布聲明表示不僅有助於強化集體能源安全，更在印太地區創造新的經濟機會以支持全球能源轉型，以實現美國、日本、澳洲及印度所面臨本世紀中葉達成淨零碳排的能源轉型目標。

(2) 透過對針對性的技能發展創造高效、體面和優質的新就業機會：Quad認為透過乾淨能源轉型中的公平、包容、性別平等來共同努力實現多樣性，不僅是支持乾淨能源勞動力的需求，更要創造未來的乾淨能源及勞動力之需求。

(3) 探索技術標準、政策和措施的互通性：Quad認為對有效促進印太地區乾淨潔能源產品和服務的投資、供應鏈發展、研發合作

表2 四方安全對話涉及政策議程及行動項目

Quad政策議程內容及行動項目	
疫情終結	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 協助全球接種疫苗(Help Vaccinate the World)</li> <li>● 立即拯救生命(Save Lives Now)</li> <li>● 重建更好的健康安全(Build Back Better Health Security)</li> </ul>
基礎建設	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 啟動Quad基礎設施協調小組(Launch the Quad Infrastructure Coordination Group)</li> <li>● 引領高標準基礎設施(Lead on High-Standards Infrastructure)</li> </ul>
氣候變遷	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 形成綠色航運網絡(Form a Green-Shipping Network)</li> <li>● 建立乾淨氫合作夥伴關係(Establish a Clean-Hydrogen Partnership)</li> <li>● 強化氣候適應、復原力和備災能力(Enhance Climate Adaptation, Resilience, and Preparedness)</li> </ul>
關鍵新興技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 發布 Quad 原則聲明(Publish a Quad Statement of Principles)</li> <li>● 建立技術標準聯絡小組(Establish Technical Standards Contact Groups)</li> <li>● 啟動半導體供應鏈計畫(Launch a Semiconductor Supply Chain Initiative)</li> <li>● 支持5G部署和多樣化(Support 5G Deployment and Diversification)</li> <li>● 監測生物技術掃描(Monitor Biotechnology Scanning)</li> </ul>
太空領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 共享衛星數據來保護地球及其水域(Share Satellite Data to Protect the Earth and its Waters)</li> <li>● 促進永續發展之能力建設(Enable Capacity-Building for Sustainable Development)</li> <li>● 規範和指南諮詢(Consult on Norms and Guidelines)</li> </ul>

資料來源：本研究彙整。

<sup>6</sup> The White House (2021), “Joint Statement from Quad Leaders,” <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/24/joint-statement-from-quad-leaders/> (最後檢索日期：2023/11/14)。

<sup>7</sup> 資料來源：<https://www.pmc.gov.au/resources/quad-statement-principles-clean-energy-supply-chains-indo-pacific> (最後檢索日期：2023/11/14)。

等合作具有重要意義。

- (4) 促進加強合作：Quad認為推動乾淨能源供應鏈的環境、社會和公司治理(environmental, social, and corporate governance, ESG)之實踐，提高市場透明度並促進永續發展。
- (5) 鼓勵更多的公共和私人投資以及乾淨能源研究、開發和示範：Quad認為針對創新的合作對於提高可負擔性、縮小試點項目和商業規模之間的差距，以及減少採用乾淨技術的障礙至關重要。合作研究和技術共同開發對於加速創新乾淨能源技術的商業化，即便分享從政策設計和實施推廣新技術的經驗教訓是必要的。
- (6) 鼓勵和激勵企業推廣碳排解決方案：對於促進乾淨能源產品和服務在整個印太地區的擴散至關重要。

## 2.4 Quad關注氣候變遷及能源基礎設施

為因應極端氣候所延伸之環境危機，Quad制定2030年各國排放和再生能源目標、綠色源創新和部署。本研究歸納Quad在氣候變遷之工作重點如下：

### 2.4.1 形成綠色航運網絡

Quad所轄之海域普遍為全球主要海上航運樞紐。因此，四國將會利用處於獨特的位置，大規模部署綠色港口基礎設施和綠色能源，並且成立Quad Shipping Taskforce來組織相關的工作，並將邀請包括洛杉磯、孟買、雪梨、橫濱等主要港口組成致力於航運價值鏈綠色化和碳排的航運網絡，其主要目標是到2030年建立2至3個零排放航運走廊。

### 2.4.2 建立乾淨氫合作夥伴關係

Quad宣布建立乾淨氫合作夥伴關係，並利用其他論壇中已有的雙邊和多邊機制，企圖降低乾淨氫價值鏈的所有要素之成本，包括：技術開發和有效擴大乾淨氫的生產規模，識別和開發交付基礎設施確保安全有效地運輸、儲存於最終用途的乾淨氫能源，並刺激市場需求以加速印太地區乾淨氫能源之貿易。

### 2.4.3 強化氣候適應、復原力和備災能力

Quad承諾改善關鍵氣候資訊共享和抗災基礎設施已提高印太地區對氣候變遷之復原力。此外，Quad亦將召集氣候資訊服務工作小組，並通過抗災基礎設施聯盟成立新型態的技術設施，為開發中的島嶼國家提供技術援助。

## 2.5 Quad面臨能源轉型及地緣政治的劣勢

依據美國2022年2月發布《印太戰略報告》(Indo-Pacific Strategy of the United States)，指陳以美國為主導，協同日本、澳洲及印度等國，從Quad的視角涉及印太地區的能源轉型仍有劣勢：首先，印太地區在地理分布上太過分散；再者，美國、日本、澳洲、印度等四國政府的機構能力各有不同；第三，四國的經濟體呈現較大的貧富差距差距；第四，印太地區的能源系統嚴重依賴煤炭和進口化石燃料；第五，印太地區的溫室氣體排放量龐大且不斷增加(Saunders and Gilchrist, 2022)。

## 3. 研究方法

### 3.1 比較個案研究法

本研究目的在於探討Quad如何發展乾淨能源供應鏈，以參與Quad—美國、日本、澳洲、



印度等國現階段發展氫能源政策為主要研究對象，故採用「比較個案研究法」(comparative case study) (Yin, 2000)，針對Quad多邊國際合作機制的氣候變遷和能源轉型背景下，美國、日本、澳洲、印度如何透過雙邊外交關係定位關係如何進行氫能源合作促成淨零碳排。此外，本研究之所以選擇比較個案研究法，其主要研究目的是在於透過歷史性解釋及推論因果關連，探討四國之氫能源發展現況及未來合作趨勢。

### 3.2 資料來源及政策資訊蒐集

關於資料來源及政策資訊蒐集部分，比較個案研究法的資料來源可分為「縱斷面分析」及「橫切面分析」：前者是透過縱斷面來個別探討四國當前因應淨零碳排的背景下對氫能源的政策規劃、管理機制以及氫能源供應鏈之投入與產出；後者乃透過橫切面選擇Quad成立過程相近的時間點，藉由整體性比較Quad之多邊機制下，歸納四國的因應淨零碳排及氫能源政策合作計畫。職此，本研究透過自為落實巴黎協定規範本世紀中葉的淨零碳排目標，並蒐集美國、日本、澳洲及印度當前氫能源之政策資訊，除探討Quad國際合作的多邊機制之外，更進一步分析四國雙邊外交關係定位如何推動彼此氫能源合作。

### 3.3 透過比較個案研究法找尋印度在氫能源模式之定位

學者石蕙菱(2021)歸納各國氫能源依發展目標大致可分為三種氫能源模式：「模式一」以內需市場示範營運模式，如日本、韓國、中國大陸等；「模式二」以擴大氫能源占比達成減碳目標，如美國、歐盟、德國、英國等；「模式三」則是著重氫能源出口，如澳洲、中東和北非等地區為主。若依上述模式分類，研

究者很難給予印度一個明確的模式定位。倘若比較印度與澳洲皆有發展綠氫出口之企圖，但印度目前氫能源基礎設施尚不完善；比較印度與日本皆有將內需市場示範營運之需求，但印度能源轉型速度遠不如日本；比較印度與美國則知曉印度亦想仿效美國利用擴大氫能源占比達成減碳之目標，但印度缺乏開發新能源的預算資金。

沒有運用比較個案研究法於歷史性的解釋及因果關係分析，很難將印度氫能源發展放入前述三項模式。然而，若以Quad多邊體制為座標的比較個案研究法，納入印度提出之「四方乾淨氫戰略倡議」進行分析，目前印度經濟發展階段尚處於「開發中國家」，尚難納入上述三種模式，必須分析符合印度國情的氫能源政策研究，方能釐清印度是否該化約何種模式，抑或跳出原先模式。

### 3.4 國家氫能源發展模式之構面分析

本研究依比較個案研究法彙整國家氫能源發展模式之構面分析(表3)：首先，政策理念(Policy idea)：在本世紀中葉淨零碳排之能源轉型目標前提下，氫能源發展扮演之政策功能為何；再者，產業利益(Industrial interests)：氫能源生產選擇自主生產抑或選擇進口；第三，制度化(Institutionalization)：能源政策是否有財政補貼支持氫能源技術的市場競爭條件，以及氫來源及氫能應用為何；第四，互動機制(Interactive mechanism)：多邊機制(Quad)及雙邊外交互動機制(條約同盟、全面性戰略伙伴、特殊戰略伙伴、特殊戰略與全球伙伴、主要防衛伙伴)對氫能源合作是否產生影響；第五，如何詮釋(Interpretation) CBAM：四國對歐盟提出CBAM的反應及後續措施為何。



表3 國家氫能源發展模式之構面分析

構面	說明
政策理念 (Policy idea)	● 在本世紀中葉的淨零碳排的能源轉型目標前提下，氫能源發展扮演之政策工具與功能為何
產業利益 (Industrial interests)	● 產業利益(Industrial interests)：氫能源生產選擇自主生產抑或選擇進口
制度化 (Institutionalization)	● 能源政策是否有財政補貼支持氫能源技術的市場競爭條件，以及氫來源及氫能應用為何
互動機制 (Interactive mechanism)	● 多邊機制(Quad)及雙邊外交互動機制(條約同盟、全面性戰略伙伴、特殊戰略伙伴、特殊戰略與全球伙伴、主要防衛伙伴)對氫能源合作是否產生影響
如何詮釋 (Interpretation) CBAM	● 四國對歐盟提出CBAM的反應及後續措施為何(贊成/中立/反對)

資料來源：本研究彙整。

## 4. 四方氫能源政策發展現況之比較

本研究認為美國、日本、澳洲及印度的國家氫能源發展模式(National energy policy for hydrogen resources)與印太地區的地緣政治情勢密不可分，至印度在Quad議程上提出「四方乾淨氫戰略倡議」，可比較出美國、日本、澳洲及印度在氫能源政策發展現況，並從政策理念、產業利益、制度化、互動機制、詮釋CBAM等分析如下(表4)：

### 4.1 美國：2050年完成淨零碳排並實踐氫經濟

- (1) 政策理念：拜登政府發布2050年淨零碳排的行政命令，擺脫2015年不簽署《巴黎和會》及前任川普政府漠視淨零碳排的消極不作為。拜登政府不願意美國背負是僅次於中國大陸的第二大溫室氣體排放國，拜登政府為未來能源轉型政策之核心理念應自主建立氫能源供應鏈，並在全美各地設立區域氫能中心帶動就業機會來建構「氫經濟」。
- (2) 產業利益：拜登政府推動「國家乾淨氫能戰

略和路線圖」(U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap)表明不僅要向乾淨能源轉型，尚且需要風能、太陽能以外之技術來為滿足飛機燃料、發電和電力工業等。美國氫能源政策的非常強調市場及企業的賦能，唯有聯手方能帶動氫能源供應鏈自主及帶動氫能源產品海外出口機會。

- (3) 制度化：美國2021年底通過「聯邦永續發展促進乾淨能源產業及就業之行政命令」，美國能源部撥款提供6,400萬美元於氫研究項目基金，企圖推動氫能源生產、氫能源運輸及氫能源儲存等一系列技術升級及落實綠色採購。此外，美國政府透過制定「氫彈計畫」規劃出國內整體氫能發展架構與方向，更藉由對氫能產業進行投資、稅收抵免等方式鼓勵企業與民間共築美國的氫能經濟鏈(魏逸樺等，2022)。
- (4) 互動機制：以美國為主導Quad等一系列重大能源會議，讓日本、澳洲及印度等國皆同意推動乾淨燃燒氫作為技術開發為發展乾淨能源為重大戰略之一。美國和澳洲正在合作推進大規模氫能源生產，目標是將氫能源運送到印度和日本，美國推動「區域乾淨

表4 比較美國、日本、澳洲及印度在氫能源政策發展現況

	美國	日本	澳洲	印度
政策理念	2050年實現淨零碳排目標	2050年實現淨零碳排目標	2050年達成淨零碳排目標	2070年達成淨零碳排目標
產業利益	「國家乾淨氫能戰略和路線圖」，興建區域氫能中心及降低再生製氫之成本	「氫能基本戰略」強化能源產業之製氫、運輸、建構國際氫能供應鏈	創造就業機會、建立受國際認可氫能認證機制，擴大氫能出口規模	「綠色氫能政策」宣告擬透過稅制、費用等，建立綠色氫能產業鏈
制度化	期待擴大補貼氫能源在工業領域的應用，加強乾淨能源供應鏈及確保能源安全的重要性	氫安全戰略制訂5至10年之行動方針：資訊共享、人才培育及氫安全法規	基於天然氣基礎建設能換軌適用於氫能，積極打造「氫能全球供應鏈藍圖」	「國家綠色氫能使命計畫」，指陳氫能源發展上需要大幅減少對化石燃料進口的依賴
互動機制	美國在Quad扮演核心，更與日本、澳洲不僅簽署政治軍事之「條約同盟」，並將印度視為印太地區之「主要防衛伙伴」	日本在Quad與美國締結「條約同盟」，與澳洲結為「特殊戰略伙伴」，將印度視為「特殊戰略與全球伙伴」	澳洲與美國保有政治軍事之「條約同盟」，與日本為「特殊戰略伙伴」，亦和印度發展成為「全面性戰略伙伴」	印度將美國視為「主要防衛伙伴」，與日本、澳洲的雙邊關係中屬於「特殊戰略與全球伙伴」及「全面性戰略伙伴」
詮釋CBAM	表達CBAM的重要性，研擬實施類似CBAM措施	不違反WTO規則下另倡議類似之碳邊境稅	指控歐盟CBAM是保護主義貿易措施	CBAM打著環境保護的名號高築貿易壁壘

資料來源：本研究彙整。

氫能源中心計畫」(Regional Clean Hydrogen Hubs)，提供70億美元補助給日本三菱等得標團隊，利於後續進行氫能源供應鏈的建設<sup>8</sup>。

- (5) 對歐盟推動CBAM之反應：美國已與英國、歐盟發表聲明，將緊密合作，減少各自溫室氣體排放，以達2050年溫室氣體淨零排放目標，象徵美國業已明確表達其對因應氣候變遷重要性，並積極推動其境內可行之碳邊境調整措施。此外，拜登政府向國會提交之「2021貿易政策議程暨2020年度報告」提及美國將持續透過雙邊、多邊方式推動永續環境，研擬未來實施類似CBAM措施。

## 4.2 日本：2050年完成淨零碳排並制訂《氫能基本戰略》

- (1) 政策理念：日本宣布至2050年實現淨零碳排，將溫室氣體排放量減到零以實現日本無碳社會為目標，為國內有不少商社及中小企業質疑損害國際貿易之公平性。目前日本氫能來源技術主要是電解、化石燃料(Carbon Capture Utilization and Storage, CCUS)，氫能源運用領域包含：建築、發電、鋼鐵、精煉、船運及運輸等。自2011年福島大地震後，日本便積極尋求替代新能源的方案。
- (2) 產業利益：經產省於2023年3月再次修訂《氫能基本戰略》，當中就安全領域制定

<sup>8</sup> 資料來源：<https://asia.nikkei.com/Business/Energy/U.S.-to-invest-7bn-in-hydrogen-hubs-with-eye-on-export-to-Japan> (最後檢索日期：2023/11/14)。

「氫安全戰略」專章、就產業面向特制定「氫產業戰略」。其中「氫能基本戰略」中所揭示之氫能社會目標，強化氫能應用於製鐵、石油精煉、石油化學等工業領域。尤其，目前日本能源產業之製氫、運輸、燃料發電、建構國際氫能供應鏈等氫能產業面臨強大競爭。

- (3) 制度化：「氫安全戰略」為強化氫能安全性特別制訂5至10年之長期行動方針：首先，以科學數據證明氫能之安全性及氫能源數據分享給公私部門作為參照；再者，以第三方驗證機構作為制定技術標準及建立合理使用氫能源使用之法律規範；第三，加強氫能訊息流通與風險溝通與未來培養氫能安全性使用之人才；第四，「氫安全戰略」建議日本應當積極參與氫能安全法規之國際會議。
- (4) 互動機制：日本與美國締結「條約同盟」，與澳洲結為「特殊戰略伙伴」，將印度視為「特殊戰略與全球伙伴」。此外，日本因此亟需進口低碳的「乾淨能源」，才能配合國家整體的「能源轉型」計畫。此外，印度有意加入日本提出的「亞洲能源轉型倡議」，該倡議試圖拉攏東協國家採用日本乾淨能源產品技術，實現印太地區乾淨能源合作的泛安全化。
- (5) 對歐盟推動CBAM之反應：日本推動在不違反WTO (World Trade Organization)規則的「碳邊境稅」制度設計，包括溫室氣體排放量的計算方法、碳定價方法及確保數據透明等。日本亦向各國推薦針對去碳化貢獻較大的產品削減關稅作為「碳邊境稅」之替代方案。不過，國內的環境省及經產省對於碳定價機制持有不同立場，且日本中小企業及工商團體對CBAM的反彈力道超乎預期。

#### 4.3 澳洲：2050年完成淨零碳排且尋求氫能源出口機會

- (1) 政策理念：澳洲參議院於2022年通過「氣候變遷法」(Climate Change Bills)，正式將2030年減排43%及2050年淨零碳排等兩大目標完成立法工作<sup>9</sup>。目前澳洲的氫能源之來源主要有燃煤/天然氣(CCUS)、再生能源等，而氫能運用領域包含：建築、發電、出口、工業、船運、運輸等，澳洲企圖尋求氫能源能海外出口仍保持樂觀。
- (2) 產業利益：2019年發布「澳洲國家氫能戰略」基於國土廣大、資源豐厚、人口稀少等國情特質，澳洲希冀快速發展氫能源產業並積極為創造就業機會。目前澳洲正積極尋求國際認可的氫能認證機制，期待擴大氫能源的出口規模。事實上，亦有學者認為相對於歐盟的德國，澳洲是積極出口氫能源產品的非歐盟國家(Hancock and Wollersheim, 2021)。
- (3) 制度化：澳洲因為地廣人稀，且因國內存有大量天然氣的優勢，並已建立完善之輸氣系統及港口設施，澳洲政府正積極研擬天然氣基礎建設能換軌適用於氫能運輸。此外，全球正在期盼綠氫的技術成本降低的同時，此乃澳洲積極打造「氫能全球供應鏈藍圖」的契機。
- (4) 互動機制：澳洲與美國保有政治軍事之「條約同盟」，與日本為「特殊戰略伙伴」，亦和印度發展成為「全面性戰略伙伴」。澳洲極欲擺脫淨零碳排時程後半段的印象，轉化高碳排放量的化石產業為乾淨出口能源，因此積極響應Quad在印太地區建立「乾淨氫能供應鏈」版圖，甚至倡議「四

<sup>9</sup> 資料來源：<https://www.legislation.gov.au/Details/C2022A00037> (最後檢索日期：2023/11/14)。



方氣候變遷調適與減緩方案」(Quad Climate Change Adaptation and Mitigation Package, Q-CHAM)<sup>10</sup>。

- (5) 對歐盟推動CBAM之反應：澳洲作為煤鐵鋁等化石燃料出口大國，便指控歐盟CBAM是保護主義的貿易措施。澳洲在WTO的推動歐盟CBAM之替代方案，針對超過50種環境商品及服務削減關稅。此外，澳洲政府表示其執行的2050淨零排放計畫，將會詳細參考所有政策選項的設計，並且考慮到貿易關係、與國際規則一致性，以及與歐盟等其他計畫的互通性。

#### 4.4 印度：2070年實現淨零碳排並積極成為綠氫出口國

- (1) 政策理念：印度總理莫迪於2021年英國格拉斯哥的氣候峰會(COP26)上宣布：印度將於2070年之前達成淨零碳排。盤點目前印度的太陽能 and 風能發電容量約占總發電量的20%。綠色電氣化戰略涉及傳輸、配電和儲電，顯見印度的能源轉型企圖在不犧牲經濟成長的情況下發展綠電。
- (2) 產業利益：印度電力部於2022年2月公布「綠色氫能政策」(Green Hydrogen Policy)，宣告擬透過稅制、費用等財稅誘因，建立綠色氫能產業鏈，主要核心作法有三：首先，將綠氫定義為「直供」或「轉供」再生能源電力電解所得之氫能；再者，鼓勵2025年6月30日前營運之綠氫能生產業者，可免除25年的州際電力傳輸費用；第三，境內各州輸配電業，應允許綠氫生產業

者加入電力交易市場<sup>11</sup>。

- (3) 制度化：印度政府的「國家綠色氫能使命計畫」(National Green Hydrogen Mission)，預計投資970億美元發展綠氫，至2030年前達到綠氫年產能至少500萬公噸的目標，使印度成為綠氫出口國。此外，印度是有潛力開拓出口市場，受惠於較低的再生能源發電成本、充足的土地供應和人力資本，但也會面臨來自中國大陸及中東地區國家的激烈競爭，因此在氫能源發展上需要減少對化石燃料進口的依賴<sup>12</sup>。
- (4) 互動機制：印度總理莫迪要求已開發國家應籌集一兆美元，方能幫開發中國家加速轉型乾淨能源。綠氫的生產乃再生能源電力所產生，故其相較於灰氫(由石化過程所產生之氫能)及藍色氫能(經碳封存之灰氫)而言，擁有更低之碳排放。然而，就經濟層面而言，綠氫成本因為其產生、運輸、儲存過程要求相當高之費用，顯現印度發展再生能源及淨零碳排的癥結在於財源。
- (5) 對歐盟推動CBAM之反應：印度表示會遵守聯合國的巴黎氣候協定決定在2070年的時間點實行碳中和，並質疑歐盟徵收碳關稅的合法性。事實上，印度認為歐盟推動CBAM是打著環境保護的名號高築貿易壁壘，打擊印度和其他開發中國家的出口。此外，歐盟提議針對從印度進口的鋼鐵、礦石和水泥等高碳排商品課徵20%至35%的關稅，對此，印度打算對此向世界貿易組織(WTO)提出告訴<sup>13</sup>。

<sup>10</sup> 資料來源：<https://www.pmc.gov.au/quad-2023/quad-working-groups> (最後檢索日期：2023/11/14)。

<sup>11</sup> 資料來源：<https://stli.iii.org.tw/article-detail.aspx?no=64&tp=1&d=8793> (最後檢索日期：2023/11/14)。

<sup>12</sup> 資料來源：<https://www.crisil.com/en/home/our-businesses/ratings/Newsletters/2022/december/article-of-the-month/green-hydrogen-hype-or-gamechanger.html> (最後檢索日期：2023/11/14)。

<sup>13</sup> 資料來源：<https://www.reuters.com/world/india/india-plans-challenge-eu-carbon-tax-wto-sources-2023-05-16/> (最後檢索日期：2023/11/14)。



5. 四方雙邊外交關係定位及氫能源合作

Quad關注氣候變遷議題所涉及多邊機制之「建立乾淨氫合作夥伴關係」(Establish a Clean-Hydrogen Partnership)，透過Quad之國際合作機制在印太地區形塑出一條乾淨能源供應鏈，此乾淨能源供應鏈符合美國、日本、澳洲及印度等雙邊外交關係定位及開展氫能源合作計畫。然而，Quad之多邊機制之參與國基於共同或各自利益之考量，著重各自加強在外交、軍事、經濟等多領域的互動，尤其四國對於中國大陸及俄羅斯等安全議題態度不一。職此，關於Quad型塑四國雙邊外交關係定位，本研究認為雙邊外交關係定位會影響氫能源合作計畫之內容，故檢視四國外交之雙邊關係定位及氫能源合作關係(表5)：

5.1 印度：多重結盟策略發展氫能源外交

印度在Quad中因地緣位置鄰近中國大陸及俄羅斯有國界衝突及地緣政治壓力，致使印度過往從冷戰時期不結盟，到現今喊出印度崛起開啟多重結盟之外交策略，甚至在Quad議程上提出「四方乾淨氫戰略倡議」，主要著重於推動氫能技術的創新，提高氫能的生產效率並尋找更環保和永續的氫能生產方式。惟國際情勢演變及地緣政治的壓力下，印度因應美國印太戰略構想而將美國視為「主要防衛伙伴」，在與日本、澳洲的雙邊關係中屬於「特殊戰略與全球伙伴」及「全面性戰略伙伴」。Quad現階段與印度有關的乾淨氫能源的具體合作案例包含：美-印戰略能源夥伴關係啟動氫能工作小組、印-澳於新能源和再生能源的技術合作、日-印乾淨能源夥伴關係等(劉翎端，2022a)。

5.2 澳洲：藉由國際合作機制擴展氫能源出口

澳洲原先與美國就保有政治軍事之「條約同盟」，在中國大陸崛起及東協(ASEAN)團結的地緣政治壓力下，與日本發展成「特殊戰

表5 四國雙邊外交關係定位及氫能源合作關係

	印度	澳洲	日本	美國
印度	--	特殊戰略伙伴 (澳-印新能源和再生能源的技術合作)	特殊戰略與全球伙伴 (印-日能源部長對話)	主要防衛伙伴 (美-印能源戰略夥伴關係)
澳洲	全面性戰略伙伴 (印-澳洲新能源和再生能源的技術合作)	--	特殊戰略伙伴 (日-澳合作液態氫航運全球首航抵墨爾本)	條約同盟 (美-澳美簽署新的清潔能源技術合作)
日本	特殊戰略與全球伙伴 (日-印乾淨能源夥伴關係)	特殊戰略伙伴 (印度經濟戰略2035)	--	條約同盟 (美國提區域乾淨氫能源中心計畫與日本三菱合作)
美國	主要防衛伙伴 (印-美戰略能源夥伴關係啟動氫能工作小組)	條約同盟 (澳-美簽署新的清潔能源技術合作)	條約同盟 (日-美乾淨能源倡議)	--

資料來源：本研究彙整。

略伙伴」，亦和印度發展成為「全面性戰略伙伴」，澳洲正積極和印度全面商討「全面經濟合作協定」。事實上，澳洲與美國業已簽署新的清潔能源技術合作；澳洲發布《印度經濟戰略2035》(An India Economic Strategy to 2035)，指出澳洲與日本在氫能運輸技術合作上的突破，亦即將太陽能或風能製造的綠氫作為能源載體，可使澳洲成為印度的氫能供應來源國，故提倡澳洲與日本、印度共同合作，將可發掘氫能產業商機<sup>14</sup>。此外，美國、日本與澳洲擁有較前端的乾淨氫能製造技術，而印度則因有較低廉的勞力與土地成本等優勢，被看好在未來可作為乾淨氫能之生產中心(劉翎端，2022a)。

### 5.3 日本：創造印太地區氫能源供應鏈之安全穩定

日本與美國締結「條約同盟」關係，日本正與美國通用汽車合作建立氫能源供應鏈；亞太地區之利益上與澳洲結為「特殊戰略伙伴」，日本及澳洲正在合作全球首次液態氫航運，為下一世代氫能源造船進行布局。在中國大陸崛起的壓力下，日本積極與印度發展雙邊關係，將印度視為「特殊戰略與全球伙伴」，目前以「日-印能源部長對話」推動綠氫與技術合作，鼓勵日企至印度投資<sup>15</sup>。尤甚，乾淨氫能合作模式是先以美國、日本、印度、澳洲四國之間雙邊關係或多邊機制進行合作為基礎，擴大納入其他印太區域，甚至歐洲地區的國家，以求在綠氫等替代能源上能創造新的區域供應鏈(劉翎端，2022b)。

### 5.4 美國：打造印太地區之綠能供應鏈的多樣性與安全性

美國在Quad扮演的是絕對核心之角色，不僅日本、澳洲簽署「條約同盟」，更倡議印太戰略中積極拉攏在南亞地區具有影響力之印度，並將印度視為「主要防衛伙伴」。目前美國提出區域乾淨氫能源中心計畫與日本三菱企業合作，也與澳洲簽署新的清潔能源技術合作。此外，Quad積極發展乾淨能源供應鏈之更重要目的，則是藉由塑造綠氫等新的綠能供應鏈，與目前領先印太區域再生能源發展能與中國大陸大幅脫鉤，藉由邀請與凝聚其他印太地區盟國夥伴，促使該綠能供應鏈的多樣化提升區域能源安全(劉翎端，2022b)。

### 5.5 他山之石：國際合作機制對臺灣發展氫能政策之意涵

本研究認為從Quad探究「國際多邊機制-雙邊外交互動-政府氫能源政策」等跨層次分析氫經濟與淨零碳排之關連性，可知悉維持「以規則為基礎的國際秩序」及區域平衡，勢必是最符合國家利益的選項。美國、日本、澳洲及印度透過國際合作機制發展乾淨能源供應鏈，亦需要雙邊外交關係定位開啟氫能源合作項目，希冀在印太地區形塑出乾淨能源供應鏈，對身處印太區域的臺灣發展氫能政策的意涵如下：

- (1) 檢視美國、日本、澳洲及印度針對氫能源之發展理念，應當將發展氫能源技術進行能源轉型，視為達成本世紀淨零碳排之重要政策工具之一，加入印太地區之乾淨能源供應鏈，有助臺灣朝向氫能源與達成淨零碳排；
- (2) 臺灣的氫能源發展不能「閉門造車」，可仿效印度在Quad提出之「四方乾淨氫戰略倡議」，我國應該也能在APEC (Asia-Pacific

<sup>14</sup> 資料來源：<https://www.dfat.gov.au/publications/trade-and-investment/india-economic-strategy/ies/index.html> (最後檢索日期：2023/11/14)。

<sup>15</sup> 資料來源：[https://www.mofa.go.jp/s\\_sa/sw/in/page1e\\_000587.html](https://www.mofa.go.jp/s_sa/sw/in/page1e_000587.html) (最後檢索日期：2023/11/14)。

Economic Cooperation)積極參與亞太地區氫能源發展的多邊合作機制積極發表國際倡議，透過吸引國際資本投入合作開發氫能源新興項目；

- (3) Quad四國之中，就以日本發展氫能源的國情脈絡與臺灣較為類似，我國可參照日本制訂「氫能基本戰略」建立自身的氫能源供應鏈，並仿效日本「氫安全戰略」，臺灣也應當積極參與氫能安全法及印太地區氫能源輸出管線等國際倡議。

## 6. 結論及建議

### 6.1 國際合作多邊、雙邊機制賦予氫能源合作契機

以美國、日本、澳洲及印度等國組成Quad被視為處理印太事務之首要區域團體，尤其印度提出之「四方乾淨氫戰略倡議」最為關鍵。本研究希冀從比較個案研究中探究「國際多邊機制-雙邊外交互動-政府氫能源政策」等跨層次分析中探討氫經濟與碳中和之間關連。Quad結合美國、日本、澳洲在綠氫之生產、運輸及儲存之技術優勢，結合具有生產優勢的印度共同發展綠氫出口之潛力。職此，本研究認為氫能源與碳中和並非是閉門造車，需要政府協同企業在國際策略聯盟的經驗價值，在Quad乾淨能源發展供應鏈的案例中得出三項政策建議：

首先，在國際合作之多邊機制及雙邊互動的合作誘因下，資源投入使氫能源缺點伴隨開採技術發展逐漸縮小；

再者，氫能源不僅涉及生產、儲存、運輸等基礎設施，倘若有國際合作資源引導氫能源在發電、交通、產業領域等擴大應用；

第三，臺灣透過國際合作機制關注以綠氫、藍氫為大宗，並設法逐步取代不具環保效

益之灰氫，方能開啟發展氫能源促淨零碳排之能源轉型。

### 6.2 研究限制

本研究限制首先無法最新政策資訊，由於美國、日本、澳洲及印度在氫能源政策及合作計畫資訊不斷地更新，受限於人力、物力及時間等因素，故本研究無法及時更新及消化相關氫能源發展之相關文獻。目前本研究的時點是以2015年巴黎協議為起點，至近期歐盟CBAM和印太地區成立Quad文獻為主，另在蒐集美國、日本、澳洲及印度相關政策資訊部分，由於各國涉及能源轉型及氫能源資料公開度不一，勢必會有所遺漏。此外，在Quad的多邊機制及四國雙邊外交關係定位之氫能源政策之比較分析，本研究就四國的政策理念、產業利益、制度化、互動機制、詮釋CBAM等六個構面做初步探索性研究，亦同時受限於相關研究限制，故無法針對每個構面進行更進一步深入的探討、比較及延伸。

### 6.3 後續研究建議

本研究屬個案研究比較法，藉由Quad國際合作多邊機制，以及美國、日本、澳洲、印度等四國氫能源政策發展現況，後續研究者可擴大印太地區之其他國家，探討其氫經濟與淨零碳排之因果關連，除進行大規模實證研究之外，更探討印太地區的能源轉型與地緣政治之關連性。

## 參考文獻

石蕙菱，2021。2021全球氫氣應用現況與趨勢，IEK產業情報網，[https://ieknet.iek.org.tw/iekrpt/rpt\\_more.aspx?actiontype=rpt&indu\\_idno=5&domain=28&rpt\\_](https://ieknet.iek.org.tw/iekrpt/rpt_more.aspx?actiontype=rpt&indu_idno=5&domain=28&rpt_)

- [idno=632024394](#)。
- 林茂文，2022。2050淨零碳排下的氫能發展方向與挑戰，石油季刊，第58卷1期：1-42。
- 徐韶徽與洪崧富，2023。氫經濟產業趨勢與氫能源產出方式，化工，第70卷2期：46-55。
- 許雅喬，2022。2050淨零碳排之能源新星－氫燃料電池產業，台灣經濟研究月刊，第45卷8期：104-112。
- 黃靖穎、林志嘉、楊證皓與張文升，2022。氫能發電系統關鍵零件的開發與應用，化學，第80卷4期：439-447。
- 黑快明，2021。澳洲政府對美國印太戰略的回應：參與四方安全對話的分析，安全與情報研究，第四卷第二期：85-139。
- 劉翎端，2022a。四方安全對話之乾淨能源供應鏈安全，國防情勢特刊，第20期：63-69。
- 劉翎端，2022b。日澳乾淨氫能合作趨勢，國防情勢特刊，第56期：31-34。
- 蔡宛樺，2021。液化天然氣及氫能於能源轉型中之角色，台灣經濟研究月刊，第44卷11期：109-119。
- 魏逸樺、李志偉與徐立翰，2022。淨零碳排趨勢下美國氫能政策發展情勢，經濟前瞻，第204期：99-106。
- Bockris, J., 2013. "The hydrogen economy: Its history", *International Journal of Hydrogen Energy* Vol.38(6), pp. 2579-2588.
- Cobb, R., J.-K. Ross and M. H. Ross, 1976. *Agenda Building as a Comparative Political Process*, *The American Political Science Review*, Vol.(70), pp.126-138.
- Falcone, P. M., M. Hiete and A. Sapio, 2021. "Hydrogen economy and sustainable development goals: Review and policy insights", *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Vol. 31, pp. 1-8.
- Graaf, T., V. Overland, D. Scholten and K. Westphal, 2020. "The new oil? The geopolitics and international governance of hydrogen", *Energy Research & Social Science*, Vol. 70, pp. 1-5.
- Hancock, L. and L. Wollersheim, 2021. "EU Carbon Diplomacy: Assessing Hydrogen Security and Policy Impact in Australia and Germany", *Energies* vol. 14(23), pp.1-27.
- Howarth, R. W. and M. Jacobson, 2021. "How green is blue hydrogen?" *Energy Science and Engineering*, Vol. 9(10), pp.1676-1687.
- Oliveira, A. M., R. Beswick and Yan, 2021. "A green hydrogen economy for a renewable energy society", *Current Opinion in Chemical Engineering*, Vol. 33, pp.1-7.
- Rezaei, M., A. Akimov and E. M. Gray, 2022. "Economics of solar-based hydrogen production: Sensitivity to financial and technical factors", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 47(65), pp. 27930-27943.
- Rübbelke, D., S. Vögele M. Grajewski and L. Zobel, 2022. "Hydrogen-based steel production and global climate protection: An empirical analysis of the potential role of a European cross border adjustment mechanism", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 380(2), pp. 135040.
- Saunders, P. J. and A. K. Gilchrist, 2022. "Toward an Indo-Pacific Clean Energy Framework", *Energy innovation reform project*, pp. 1-54.
- Yin, R. K., 2000. "Case study evaluations: A decade of progress?", *New Directions for Evaluation*, pp. 185-193.



# Quad Clean Hydrogen Strategic Initiative: A Case Study of Hydrogen Energy Cooperation between the United States, Japan, Australia, and India to Promote Net-Zero Carbon Emissions

Mark Lin<sup>1\*</sup>

## ABSTRACT

The 'Quad,' composed of the United States, Japan, Australia, and India, is regarded as the primary group for handling affairs in the Indo-Pacific region, and India's proposed 'Quad Clean Hydrogen Strategic Initiative' is considered a significant milestone. Firstly, this study examines the historical evolution and principles outlined in the Clean Energy Supply Chain declaration of the Quad. Secondly, through a comparative case study approach to analyzes the current status of hydrogen energy policy development in the United States, Japan, Australia, and India. Thirdly, it references the bilateral diplomatic relationships of the four countries to examine the content of hydrogen energy cooperation. In conclusion, this study find that international cooperation mechanisms empower the United States, Japan, Australia, and India to promote the goal of achieving a net-zero emissions in the hydrogen economy through multilateral interactions or positioning in bilateral diplomatic relationships.

**Keywords:** Quadrilateral Security Dialogue (Quad), Quad Clean Hydrogen Strategic Initiative, Hydrogen Economy, Net Zero Emissions, Comparative Case Study.

---

<sup>1</sup> PhD student, Department of International business, National Taiwan University;  
Associate research fellow, Institute of Commerce Development Research Institute  
(CDRI).

\*Corresponding Author, Phone: +886-(0)911386316, E-mail: [d09724007@ntu.edu.tw](mailto:d09724007@ntu.edu.tw)

Received Date: August 31, 2023  
Revised Date: November 15, 2023  
Accepted Date: November 16, 2023