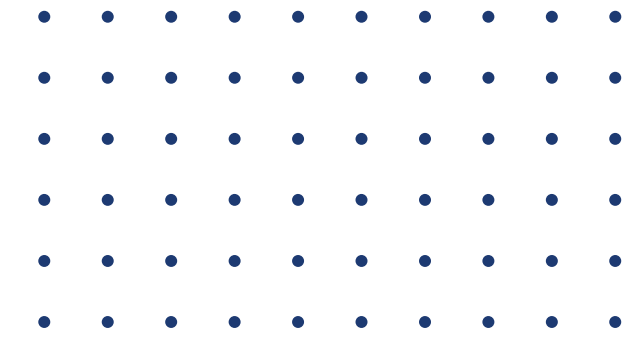




航運脫碳2050年淨零之路徑： 目前脫碳進展、綠色走廊轉型與挑戰



Pathway to Net-Zero for Shipping Decarbonization by 2050



目前航運能源轉型進展狀況

- 全球航運能源轉型持續加速，替代燃料船舶在新造船訂單中的占比已首度超越傳統燃料船舶。除LNG動力船隊持續擴大外，全球已有逾100艘甲醇動力船投入營運、逾300艘列入訂單，另有近50艘氨燃料船舶納入建造規劃。
- 然而，燃料供應仍是轉型的主要瓶頸。綠色甲醇、綠氨及生質 / 電子LNG (bio/e-LNG) 等技術皆尚未形成規模化產能，許多規劃中的燃料設施因缺乏長期承購協議，難以作成最終投資決定。對船東而言，簽訂長達10年、總額可能逾10億美元的燃料承購合約，也伴隨龐大的價格、供應及營運風險。
- 在航線進展方面，全球已宣布了84項積極推動中的「綠色航運走廊」(Green Shipping Corridors)倡議。且已有4條廊道已成功邁入「實現階段」(Realization)，包含波羅的海與北海的生質甲烷渡輪和貨櫃船航線，以及亞太地區的澳大利亞—東亞鐵礦砂氨燃料動力船航線，這標誌著零排放航運已經正式啟航。



可行的航運脫碳路徑

根據國際航運公會(International Chamber of Shipping, ICS)調查[1]，面對地緣政治動盪及國際法規不確定性，全球航運業對於「**航運脫碳路徑**」(Maritime Decarbonization Pathways)的規劃思維，已由追求單一理想解方，逐步轉向兼顧技術成熟度、燃料取得性、成本與法規風險的務實作法。航運公司亦不再押注單一燃料，而是採取多元燃料並行、分階段導入及保留技術彈性的過渡策略，以分散投資與營運風險。

綜合目前各類燃料、船舶技術及商業機制的發展，航運脫碳路徑可歸納為以下四大核心面向：

1. 近期及過渡期燃料路徑：導入阻力較低、技術成熟度較高的方案
2. 中長期零碳燃料路徑：電子合成燃料 (e-fuels) 規模化挑戰
3. 節能及技術中立路徑：導入輔助推進與混合動力
4. 關鍵商業及市場機制：透過長期承購、綠色航運走廊、碳定價及成本分攤機制，縮小綠色燃料與傳統燃料間的成本差距。

[1]International Chamber of Shipping (ICS). 2026. ICS Maritime Barometer Report 2025-2026. <https://www.ics-shipping.org/wp-content/uploads/2026/06/ICS-Barometer-2025-2026-full-report-v10-compressed.pdf>

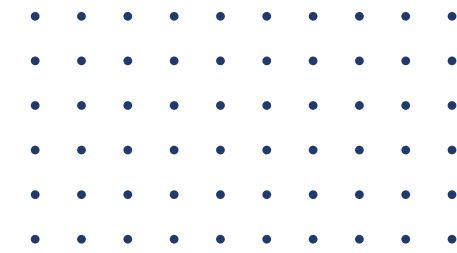


1. 近期與過渡期燃料路徑：導入阻力較低、技術成熟度較高的方案

由於綠色電子合成燃料(e-fuels)成本高昂且供應鏈未成熟，航運業目前優先選擇能夠直接相容於現有船舶與基礎設施的「低阻力合規(Low-friction compliance)」方案：

- **生質燃料(Biofuels)與「即用型/滴入式燃料」(Drop-in Fuels)：**

生質燃料（如 FAME、HVO）大幅飆升，與 LNG 並列為未來十年最被看好的可行燃料。其優勢在於無需改裝船舶引擎即可直接混燒，能迅速滿足歐盟 EU ETS 與 FuelEU Maritime 等法規需求。



- **液化天然氣(LNG) 與生質甲烷 (Bio-LNG / Biomethane)：**

LNG 依然是當前最具商業規模與即時可用的替代燃料。隨著生質甲烷在歐洲（如 Wasaline 與 Viking Line 航線）成功透過質量平衡（Mass Balance）驗證並進入合規池交易，它為LNG 雙燃料船隊提供了一條平滑轉型至零碳的過度路徑。



[2] Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (MMMCZCS). Mapping the adoption process for new drop-in fuels. <https://www.zerocarbonshipping.com/files/mapping-the-adoption-process-for-drop-ins.pdf>

2. 中長期零碳燃料路徑：電子燃料(e-FUELS)的規模化挑戰

電子合成燃料 (Electro fuel, e-fuels)對於達成 2050年淨零目標至關重要的零碳燃料，但始終存在根本性挑戰--便是缺乏「長期承購協議」(offtake agreements)，而這類協議通常是燃料生產計畫取得融資的重要條件。雖然近期新型船舶訂單已持續增加，但仍面臨融資困境及承購的障礙：

- **綠色甲醇(Green Methanol) /電子甲醇(e-Methanol) /生質甲醇(Bio-methanol)：**

近期甲醇船舶訂單量顯著增長（全球已有逾 100 艘在營運及300艘新船訂單）[3]。然而，由於上游綠色氫能與再生碳源競爭激烈、綠色產能零散，導致業界對其短期能源產線的規模化信心度下滑，故市場狀況逐漸從「近期普及」重新定位為「依賴再生能源生態系成熟的中長期選項」。

- **綠色氨 (Green Ammonia) 電子氨(e-Ammonia)：**

氨被視為具備高度潛力的遠洋零碳燃料，已有澳洲—東亞鐵礦砂航線（如 國際礦業公司BHP、福特斯克金屬集團Fortescue、商船三井株式會社MOL）下訂氨預備（Ammonia-capable）大型散裝船。但由於製程安全管理（Process Safety Management, PSM）門檻高、基礎設施尚未普及以及價格昂貴，業界對其近期的商業可行性評估出現大幅下滑。[4]

- **綠色氫能(Green Hydrogen)與電池(Batteries)：**

氫能作為遠洋船舶的直接燃料可行性降低，認同度從去年的18%降至10.27%，主因液氫或氣氫的體積能量密度低、儲存條件苛刻、加注基礎設施極度匱乏，且綠氫生產成本居高不下。逐漸轉為生產甲醇與氨的「上游衍生原料」；而電池與純氫燃料船舶則集中於短途航運(Short sea shipping)、渡輪(ferry)及港口岸電 (shore power)系統[5]。



[3] F. Spiegelenberg, J. Boyland & J. Weterings. 2026. Innovative compliance pooling for fuels facing offtake challenges.
https://assets.ctfassets.net/gk3lrimlph5v/3V5Ooa1216RgTAGXMpr8q/cfe6b6d7155e05cb47828baa7e146389/Innovative_compliance_pooling_for_fuels_facing_offtake_challenges.pdf

[4] MMMCZCS. 2026. Ammonia Process Safety Management Maturity Self-Assessment Tool.
<https://www.zerocarbonshipping.com/publications/ammonia-process-safety-management-maturity-self-assessment-tool>

[5] ICS. 2026: P.34.

3. 節能與技術中立方案：輔助推進與動力混合化

為了降低對特定燃料供應鏈的依賴，船東大量導入「燃料中立(Fuel-agnostic)」的節能技術來降低整體碳強度：

- **風力輔助推進 (Wind-assisted Propulsion)**

隨著全球燃料供應路徑日趨分化—液化天然氣 (LNG) 集中於特定出口地區、生質燃料供應受原料地緣政治因素制約，以及甲醇和氨的規模化發展仍不均衡—風動力技術正因其置身於這些爭議性燃料供應體系之外，航運業者正擴大採用漸進式且不受燃料類型限制的節能技術，風力輔助推進技術的市場情緒因此呈現溫和上升趨勢。。風帆與旋翼系統在跨大西洋與太平洋航線上加速部署，能在不改變燃料體系的前提下直接減少燃料消耗[6]。

- **混合動力系統 (Hybrid Systems)：**

受惠於效率提升及監管政策差異，該解決方案在港口、渡輪及近海航運領域的部署正持續擴大。結合內燃機、電池組與岸電連接，使船舶在不同航段保持最佳能效，成為應對法規分歧與燃料不確定性的靈活避險工具，藉此提升效率並降低排放[7]。

- **先進核能 (Nuclear)：**

與以燃料為基礎的發展路徑不同，核動力推進日益以能源獨立與供應鏈隔離為核心，能提供持續的高密度動力，且無需依賴全球船用燃料補給網絡。仍存在重大障礙，包括監管框架、公眾接受度，以及合適商業模式的開發。美英等國已開始探索核能綠色走廊，但受限於民用海事法規與技術成熟度，預計要到 2030 年代以後才可能普及[8]。



4. 關鍵商業與市場機制：打破「成本缺口」

技術固然重要，但商業模式的創新才是決定脫碳路徑能否落地的關鍵[9]：

- **綠色航運走廊(Green Shipping Corridors)：**

全球目前已有 84 個綠色航運走廊倡議（超過半數為深海遠洋航線），綠色航道聚集了船東、港口、燃料商與貨主，作為新燃料供應鏈與創新商業模式的先導性測試平台。

- **創新合規池(Innovative Compliance Pooling)：**

透過推動多年期合規池 (Compliance Pooling) 與價格上下限設計，將零散的法規合規需求集結為長期、具融資可行性 (Bankability) 的信用額度合約，能為綠色甲醇與綠色氨消除 60% 至 88% 的成本缺口，協助燃料生產商做出最終投資決策(Final Investment Decisions, FID)。

- **預訂與索賠 (Book and Claim)機制與環境屬性憑證(Environmental Attribute Certificates, EACs)：**

為貨主 (Cargo owners) 與貨運代理提供彈性採購管道，解綁實體燃料供應點與運輸航線，利用綠色溢價拉動市場需求。



[9] Global Maritime Forum (GMF). 2026. Accelerating market participation in maritime book and claim.
<https://globalmaritimeforum.org/insight/accelerating-market-participation-in-maritime-book-and-claim/>

海運脫碳機制與綠色航運走廊轉型

在海運脫碳與綠色航運走廊轉型的大背景下，根據Getting to Zero Coalition與 Global Maritime Forum相關資料彙整分析，將綠色航運走廊定位為推動海運產業從「技術測試」跨越至「商業規模化」的核心試驗場^[10]。並對綠色航運走廊的定義、全球進展、推動架構、瓶頸與商業機制進行剖析：

一、綠色航運走廊的定義與核心標準

- 綠色航運走廊倡議最早於 2021 年 COP26 上由 22國簽署的《克萊德班克宣言》（ Clydebank Declaration ）提出。全球海事論壇(GMF)將其定義為：「透過公私部門共同行動，催化零排放航運可行性的特定貿易航線」。
- 為了防止概念濫用與「漂綠」疑慮，**合規倡議必須符合 5大條件標準**：
 - ✓ 致力於使用零排放燃料或能源作為船舶主要的推進動力；
 - ✓ 支援非商業化替代燃料或能源在航運業的商業化；
 - ✓ 具備高度的跨價值鏈合作，並有國家或地區政府的深度的參與；
 - ✓ 自啟動階段起即明確命名為綠色航運走廊；
 - ✓ 聚焦於遠洋航行船舶（ Ocean-going vessels ）。

[10] Global Maritime Forum，2024；邱雅莉，2025。

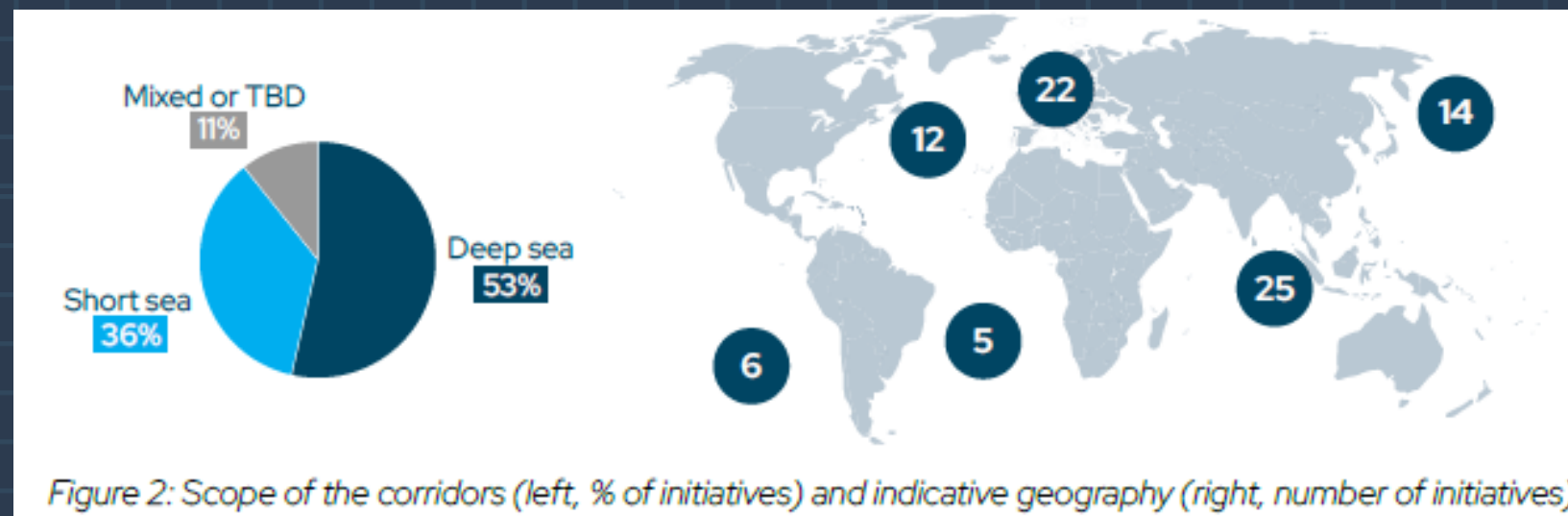
海運脫碳機制與綠色航運走廊轉型

二、全球發展現況與趨勢（截至 2025 年最新報告）(1/2)

根據全球海事論壇 2025 年度的統計數據，全球綠色航運走廊展現出強勁的擴張趨勢，但也呈現出顯著的分化：

- 規模與涵蓋範圍：

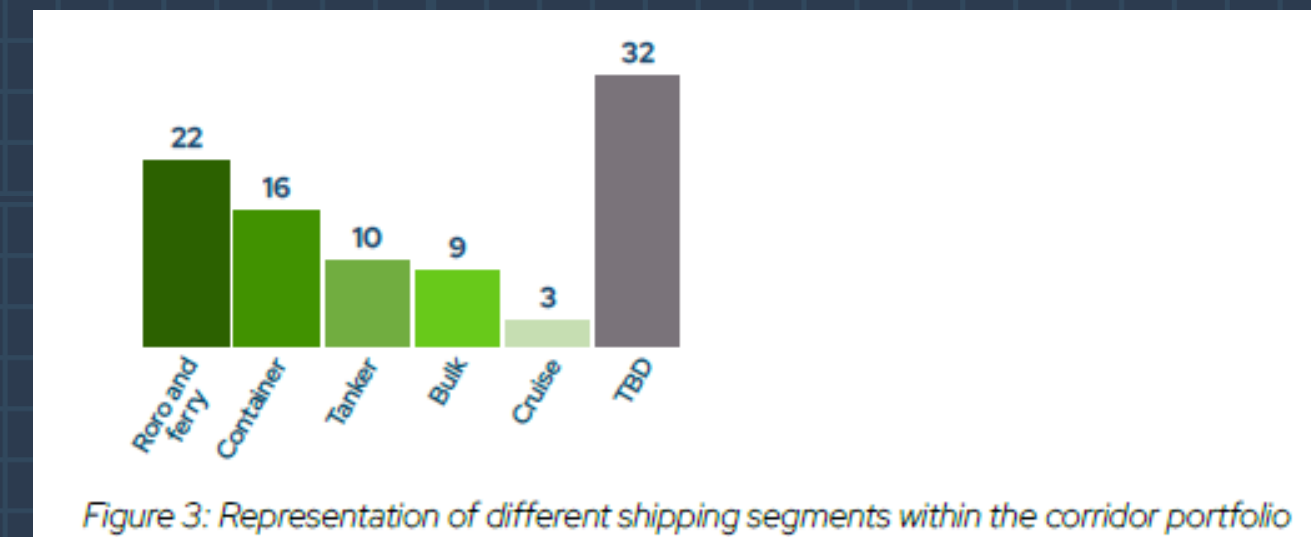
全球活躍的綠色航運走廊倡議已達 84 個（較去年增加 25 個），共吸引 305 個利益相關者參與。遠洋航線（Deep-sea routes）佔比達 53%，顯示航運走廊正致力於聚焦於航程較長、減排難度較高的遠洋航線。



資料來源：Global Maritime Forum (2025.11: P.8)

- 應用船型：

客滾船與渡輪（22 個）、貨櫃船（16 個）最為活躍，油輪（10 個）與散裝船（9 個）緊隨其後；有 32 的待定航道（to-be-determined, TBD）屬於今年新宣布的綠色廊道，相關細節仍在制定中。



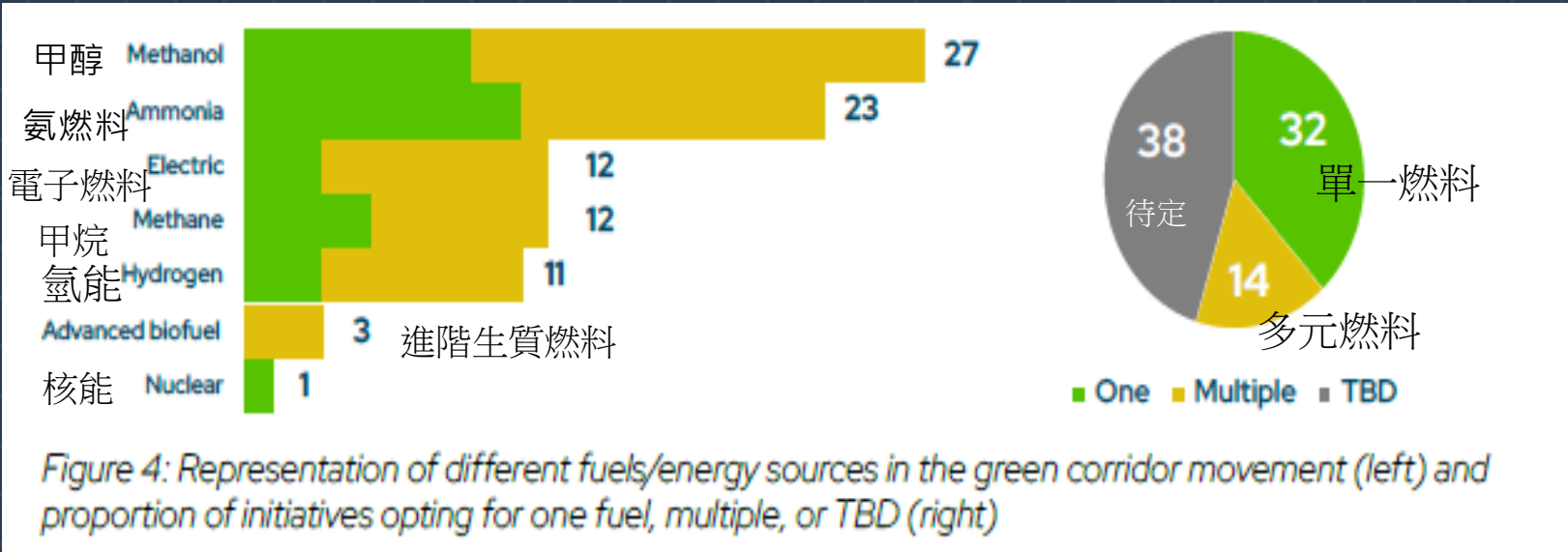
資料來源：Global Maritime Forum (2025.11: P.9)

海運脫碳機制與綠色航運走廊轉型

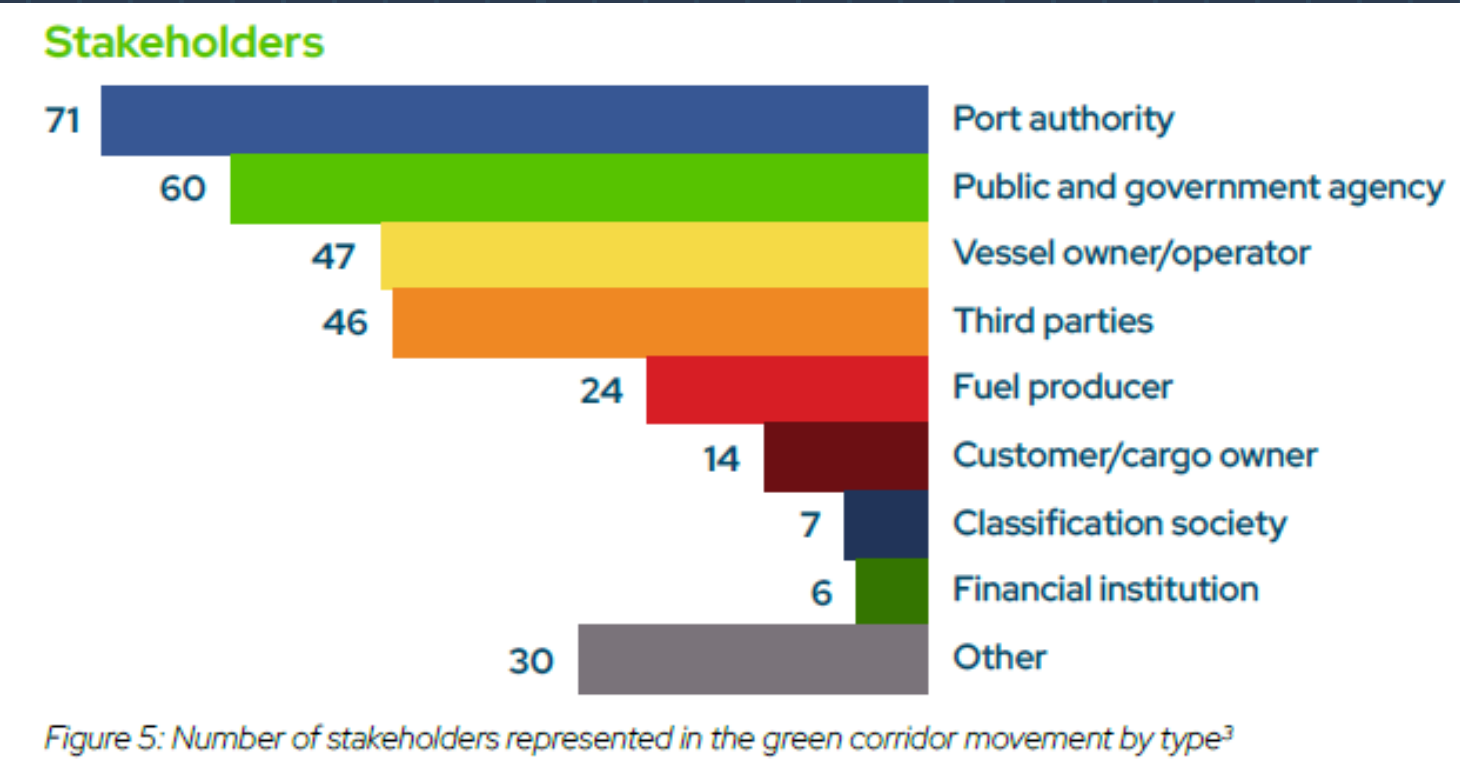
二、 全球發展現況與趨勢（截至 2025 年最新報告）(2/2)

根據全球海事論壇 2025 年度的統計數據，全球綠色航運走廊展現出強勁的擴張趨勢，但也呈現出顯著的分化：

- 替代燃料路徑：甲醇燃料（27 個倡議）與氨燃料（23 個倡議）仍是最受青睞的兩大路徑，因其最需要跨價值鏈高度協同。此外，對甲烷（生質/電子天然氣）與氫能的興趣持續成長，甚至出現了美英兩國首度發起的核能走廊倡議。
- 利益相關者結構：港口管理機關（71 個）與政府機構（60 個）仍持續扮演主導的核心領導角色，船東/航商參與度大幅成長逾 30%（達 47 個）；然而，金融機構（6 個）的直接參與度依然偏低。



資料來源：Global Maritime Forum (2025.11: P.9)



資料來源：Global Maritime Forum (2025.11: P.10)

海運脫碳機制與綠色航運走廊轉型

三、綠色航運走廊四階段發展框架

全球海事論壇(GMF) 將綠色走廊的演進與推動進度建立了「四階段發展框架 (**Four-Stage Progress Framework**) 」 [11]：

- 啟動階段 (Initiation)：
建立倡議、跨國/跨產業對接、進行預可行性評估與建立治理架構（平均需時 6至12 個月）。
 - 探索階段 (Exploration: Early & Advanced)：
進行航線可行性研究、船隊規劃、燃料選擇與成本差距分析（平均需時 9 個月至1.5 年）。
 - 準備階段 (Preparation: Pre-commercial & Commercial)：
跨政策對話、工程設計、發包簽約、特定目的機構(Special Purpose Vehicle, SPV)與爭取政策補助（平均需時 2至3年多）。
 - 實現階段 (Realisation: Construction & Operation)：
零排放船舶與加注設施正式建造（Construction），並正式投入零排放航行營運（Operation）。
- 2025 年最新分佈：24個尚處於啟動階段、44個處於探索階段（16個早期、28個高階）、12個處於準備階段，並有 4個走廊倡議首度跨越門檻，正式進入實現階段。

[11] Global Maritime Forum (GMF). 2025. Annual progress report on green shipping corridors 2025.

https://assets.ctfassets.net/gk3lrmlph5v/7zsVf5G9wzNPhEjFPjCrFC/f2918a81c76b734952c6ed4024ef42d9/Annual_progress_report_on_green_shipping_corridors_2025.pdf

海運脫碳機制與綠色航運走廊轉型

四、衝破「可行性障礙」(Feasibility Wall)與突破案例

儘管倡議數量持續增加，但大多數走廊仍面臨「可行性障礙」的卡關，主要阻礙包括：

- **燃料成本缺口 (Fuel Cost Gap)**：零碳替代燃料價格極高（例如綠氨總運算成本比重油高45%、電解甲醇高64%），而貨主自願支付綠色溢價的意願相當有限。
- **政策觀望期與延宕**：國際海事組織（IMO）淨零框架（Net-Zero Framework, NZF）投票延期，導致許多走廊進入「觀望期」，增加了未來法規收益的不確定性。

突破「可行性障礙」進入實現階段的 4 個先鋒案例：

1. **Vaasa–Umeå (芬蘭–瑞典客滾船航線)**：Wasaline的客輪 Aurora Botnia 自 2025年 8月起使用電子甲烷(e-Methanol)，並透過將 FuelEU Maritime 合規盈餘售予 Stena Line 來彌補燃料溢價。
2. **Stockholm–Turku (芬蘭–瑞典客滾船航線)**：Viking Line在其 Viking Glory 與 Viking Grace 客輪上使用了 50%生質天然氣，並加入由 Gasum 運作的合規池出售合規點數變現。
3. **Oslo–Rotterdam (挪威–荷蘭貨櫃船航線)**：由歐盟資助的HyShip計畫，Samskip 已訂購兩艘氢能動力船舶，作為綠色航運走廊SeaShuttle 新示範船（第一艘預計 2027 年交付）。
4. **Australia–East Asia (澳洲–東亞鐵礦砂散貨航線)**：BHP、Fortescue、MOL 與 COSCO等巨頭已正式下訂並租賃多艘氨預備（Ammonia-capable）大型散裝船。

海運脫碳機制與綠色航運走廊轉型

五、與海運脫碳機制的深度融合與未來建議

為避免綠色航運走廊淪為紙上談兵，應將走廊的自願性承諾與強制性航運脫碳制度有效銜接。儘管全球綠色航運走廊倡議持續增加，多數計畫仍停留在可行性評估或準備階段，尚未轉化為具體投資與營運成果。突破此一瓶頸的關鍵機制包括：

- **以合規池/合規聯營（ Compliance Pooling ）作為商業推動引擎**：Vaasa–Umeå及Stockholm–Turku航線的經驗顯示，綠色航運走廊難以僅依賴客戶自願支付綠色溢價。透過FuelEU Maritime的合規聯營機制，以及使用低碳燃料所產生的EU ETS減排效益，可將合規價值轉化為實際收益，進而縮小綠色燃料與傳統燃料間的成本差距。
- **透過多年期特殊目的公司聚合需求**：綠色甲醇及綠氨計畫通常需要7至10年的長期承購合約，才能支持燃料設施投資。可於走廊中成立特定目的機構(SPV)，整合多家航運公司的燃料需求，並設定合理的價格上下限及風險分攤機制，以提高計畫的商業可行性與可融資性（ Bankability ）。
- **需求端買家聯盟（ Book & Claim / ZEMBA ）**：將貨主（ Cargo owners ）的範疇三（ Scope 3 ）減排需求透過環境屬性憑證（ EACs ）直接對接到走廊，實現實體加注與碳權歸屬的靈活解綁。
- **避免任務漂移（ Mission Drift ）**：綠色走廊能帶來諸多效益，從知識交流到釋放投資潛力皆然。然而，綠色走廊的核心影響邏輯—透過公私部門的協作行動，促進零排放資產的早期部署—應最終作為指導各項倡議中資源分配的準則。走廊倡議應專注於**解決高技術門檻且難以單獨部署的電子燃料（ e-fuels ）**與跨價值鏈基礎設施投資，而非僅停留在宣傳或單一企業即可完成的產業轉型項目。

邁向2050年的挑戰與可行性建議

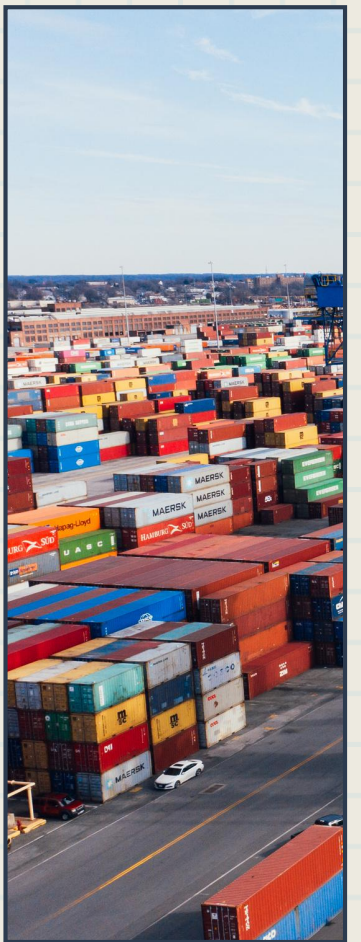
欲邁向2050年，全球航運要實現全面淨零，必須克服多重考驗。其中最大的挑戰在於「高昂的綠色燃料溢價」以及「貨主支付意願低落」。即便企業高喊脫碳口號，但面對通膨與成本壓力，真正願意長期為綠色溢價買單的客戶仍屬少數。針對這些挑戰，產業相關人員提出了以下四項關鍵行動建議：

- **推動「創新合規聯營 (Compliance Pooling) 」**：船東與燃料供應商不應只依賴短期合約，應走向多年度承諾、更穩定的價格結構，甚至共同成立特定目的機構(SPV)。這可以將分散的合規需求轉化為可融資的、長期的燃料需求，協助綠色燃料工廠取得最終投資決策 (FID) 。
- **強化買方聯盟 (如 ZEMBA) 與憑證透明度**：利用零排放[海運買家聯盟 \(ZEMBA \)](#) 等平台進行聯合採購，將有雄心壯志的貨主聚集起來，共同分攤綠色溢價。同時，提高憑證 (EACs) 的資訊透明度，揭露原料來源、生產路徑與加注地點，以增強市場對憑證真實性的信心。
- **善用國家政策支持與補貼配套措施**：積極媒合並參考各國新興的政策工具，例如[歐盟氫能銀行 \(EU Hydrogen Bank \)](#) 的融資計畫、澳大利亞的[Hydrogen Headstart 計畫](#)、以及[挪威](#)國營機構Enova SF對氨或氫動力船LH2 Shipping的資助，來補足商業前期的成本缺口。
- **加速人才培訓與安全框架建設**：替代燃料 (如氨的毒性、氫的易燃性) 帶來了全新的安全風險。業者可參照「海事公正轉型工作小組」 (MJTTF) 制定的培訓框架，提前進行船員的專業技能升級，確保綠色轉型過程中的操作安全。



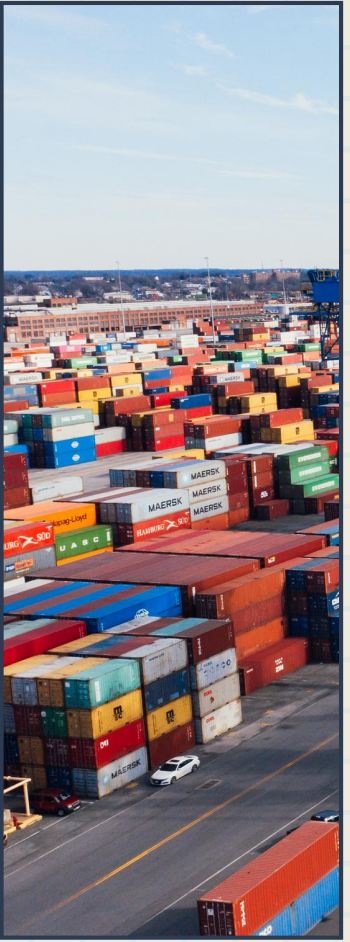
參考資料

1. Det Norske Veritas (DNV). 2026. CO₂ Abatement Potential from OCCS Application on Vessels of Five Container Liners on the North Europe-Asia Corridor. 1, Rev. 3 (24 Feb 2026). <https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2026-02/DNV-Liners-OCCS-Report.pdf>
2. DNV. Net-zero shipping: Key findings from the latest Maritime Forecast. <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/net-zero-shipping/>
3. DNV. DNV's Maritime Forecast to 2050. <https://www.dnv.com/maritime/maritime-forecast/>
4. Global Maritime Forum (GMF). 2025. Annual progress report on green shipping corridors 2025. https://assets.ctfassets.net/gk3lrimlph5v/7zsVf5G9wzNPhEjFPjCrFC/f2918a81c76b734952c6ed4024ef42d9/Annual_progress_report_on_green_shipping_corridors_2025.pdf
5. GMF. Aggregating Demand For Zero-emission Shipping Fuels. <https://globalmaritimeforum.org/insight/aggregating-demand-for-zero-emission-shipping-fuels-concepts-and-approaches/>
6. GMF. Innovative compliance pooling for fuels facing offtake challenges. (25 June 2026) https://assets.ctfassets.net/gk3lrimlph5v/3V5Ooa1216RgTAGXMpr8q/cfe6b6d7155e05cb47828baa7e146389/Innovative_compliance_pooling_for_fuels_facing_offtake_challenges.pdf
7. International Energy Agency (IEA). Global Hydrogen Review 2026. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/af4b6218-0311-4963-91ab-903cb18ca0ca/GlobalHydrogenReview2026.pdf>
8. International Chamber of Shipping (ICS). ICS Maritime Barometer Report 2025-2026. <https://www.ics-shipping.org/resource/ics-maritime-barometer-report-2025-2026/>



參考資料

9. International Maritime Organization (IMO). EEXI and CII - ship carbon intensity and rating system.
<https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/eexi-cii-faq.aspx>
10. J. Musau, M. Wang. 2026. Accelerating market participation in maritime book and claim.
https://assets.ctfassets.net/gk3lrmlph5v/5wkYJYFDyvSBrCt7Mggcvb/bb4223e6a8865744e71724761483dd40/Accelerating_market_participation_in_maritime_book_and_claim.pdf
11. Lloyd's Register (LR), 13/2025: New IMO CII Guidelines require SEEMP Part III revisions.
https://maritime.lr.org/l/941163/2025-07-14/cjbvf/941163/1752502233hm8JNEGA/13_25_class_news.pdf
12. Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (MMMCZCS). Mapping the adoption process for new drop-in fuels.
<https://www.zerocarbonshipping.com/files/mapping-the-adoption-process-for-drop-ins.pdf>
13. MMCZCS. Ammonia Process Safety Management Maturity Self-Assessment Tool.
<https://www.zerocarbonshipping.com/publications/ammonia-process-safety-management-maturity-self-assessment-tool>
14. Jamey Bergman. 2025. Wasaline claims carbon neutrality, first 'international green corridor in operation. '
<https://www.rivieramm.com/news-content-hub/wasaline-signs-biofuels-contracts-to-create-green-shipping-corridor-85766>
15. Shipping Telegraph. 2024. Wasaline Sign LoI For Supply Of eMethanol. <https://shippingtelegraph.com/cruise-amp-amp-ferry-news/wasaline-sign-loi-for-supply-of-emethanol/>
16. World Economic Forum (WEF). 2024. Net-Zero Industry Tracker: 2024 Edition.
https://reports.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Industry_Tracker_2024.pdf
17. 邱雅莉，2025。〈全球海運綠色航運走廊發展之研析〉。交通部運輸研究所。
https://www.iot.gov.tw/xhr/universal_table/download?file=67d106eb08577792379bb075



115年「國際海事公約及趨勢動態掌握與因應分析」後擴服務案

THANK YOU



2026/10/6