

國際海運減碳趨勢與貨櫃運輸因應探討

Discussion on the trend of carbon reduction in international shipping and responses to container transportation

運輸工程及海空運組 邱雅莉研究員

研究期間：112 年 1 月至 112 年 12 月

摘 要

近年來節能減碳已成為國際間最受關注的課題，海運業的二氧化碳排放約占全球的 2~3%，亦不能置身事外。為能逐步實現溫室氣體排放減量，國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)及歐盟已陸續擬訂多項規範並落實實施，此些環保新規定被海運業視為近年來最大的營運變數，全球航商亦逐步朝船舶使用替代能源的方向發展。

為掌握國際海運減碳趨勢與因應措施，本研究先蒐整海運燃油污染及相關的國際規範，再研析全球航運業因應減碳發展概況，並參考港口營運單位(新加坡及歐盟)之因應措施，及我國海運業(航運業與港口)的因應現況，進而發掘我國海運業未來因應減碳的課題，以提供交通部、航港局、港務公司、航運業者及碼頭營運業者未來因應減碳綠色轉型參採應用。

研究顯示，對海運業整體之供應鏈作業，減碳與能源轉型不只是環保及永續的問題，更攸關未來航運業及港口營運之競爭力。海運業的減碳議題已是箭在弦上的課題，必須積極因應，有待所有海運業界從各個面向齊心努力，研擬因應策略並加速行動。然淨零碳排是很大的議題，許多議題仍在研發摸索中，存在不確定性，為逐步達到 2050 年淨零目標，必須研擬因應藍圖與行動方案，分階段多管齊下。

關鍵詞：

港口減碳、海運減碳趨勢、海運減碳措施

國際海運減碳趨勢與貨櫃運輸因應探討

一、前言

近年來節能減碳已成為國際間最受關注的課題，海運業的二氧化碳排放約占 全球的 2~3%，亦不能置身事外。為能逐步實現溫室氣體排放減量，國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)已陸續擬訂多項規範並落實實施。

IMO 最新已於 2023 年 7 月在第 79 屆海洋環境保護委員會(MEPC)提高長期溫室氣體排放目標，設定在 2050 年實現淨零排放(即「所有溫室氣體」的「排放量」與「清除量」達成平衡)，並在 2030 年減排 20%，到 2040 年減排 70% (相較 2008 年)。2023 年初新上路的控制溫室效應措施新規定包括國際航線的船舶，必須符合國際海事組織的現成船能源效率指數(Energy Efficiency Existing Ship Index, EEXI)與新船能效設計指數(Energy Efficiency Design Index, EEDI)；且總噸 5000 以上的船舶，營運也必須通過碳強度指標(Carbon Intensity Index, CII)的認證分級。由於未能符合新規的舊船仍占有一定的比例，且歐盟自 2023 年起逐步將航運業納入歐盟排放交易系統(European Union Emission Trading Scheme, EU ETS)，此些環保新規定被海運業視為近年來最大的營運變數。

本研究先蒐整海運燃油污染及相關的國際規範，再研析全球航運業因應減碳發展概況，並蒐整港口營運單位(新加坡及歐盟)之因應措施，及我國海運業(航運業與港口)的因應現況，進而發掘我國海運業因應未來減碳的課題，以提供交通部、航港局、港務公司、航運業者及碼頭營運業者未來因應減碳綠色轉型參採應用。

二、海運燃油污染及國際規範

聯合國氣候變遷綱要公約(The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)的締約方大會，是全球最重要的氣候峰會之一。每年召開一次，為 UNFCCC 最高決策會議，由 197 個締約國討論如何因應氣候變遷，最近一次的 COP28 於 2023 年 11 月 30 日至 12 月 12 日於阿拉伯聯合大公國杜拜舉行。

2015 年 12 月在法國巴黎召開的 UNFCCC 第 21 屆締約方大會(COP21)中，各締約方協議未來將一起努力讓地球在本世紀末氣溫的上升幅度，控制較 1850 年至 1900 年水準在攝氏 2 度內的範圍，並進一步朝 1.5°C 努力。此為「巴黎協定」之主要目標。

與防制海洋環境污染有關的重要公約是聯合國中的國際海事組織(IMO)於 1973 年通過的「海洋污染公約」，由於曾在 1978 年提出修訂而稱為「MARPOL 73/78 公約」，於 1983 年 10 月 2 日生效。當時的公約由公約正文、兩個議定書和 5 個附則組成。隨著船舶燃油對大氣造成的污染日趨

嚴重，1997 年議定書增加「附則六一防止船舶造成大氣汙染規則」，1997 年 9 月 26 日制定，2005 年 5 月 19 日生效。

過去船用燃料以重油為主，燃燒生成物包括：二氧化碳(CO₂)、氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)、碳粒(particulate matter, PM)。海運可產生相當程度的大氣汙染，根據 IMO 於 2009 年公布之溫室氣體研究報告，估計國際海運及漁業在 2007 年當中排放相當於全球 CO₂ 排放量的 3.3%，且隨著國際貿易量的增加，國際海運的排碳量還會大幅增長。而船舶年排放的硫氧化物約占世界硫氧化物排放總量的 4%。

船舶航行時，船舶運轉的推進主機和發電機會因燃油燃燒而排放廢氣，以一艘運載 5,500 個 20 英尺貨櫃(5,500 TEU)的貨櫃船為例，一艘船如果以每小時 19 海浬的經濟航速航行，每日的燃油消耗就高達 100 公噸，而燃燒重油 1 公噸會產生 3.11 公噸 CO₂^[1]。

有關航運業之環保標準，目前以 IMO 海洋環境保護委員會(MEPC)所制定之「防止船舶汙染國際公約附則六(MARPOL 73/78 Annex VI)」影響航運界較為明顯，其主要透過控制 CO₂ 排放與限制 NO_x、SO_x 排放，來降低船舶造成之大氣汙染。相關規定如後：

1. 控制二氧化碳(CO₂)排放

為管制船舶運輸的 CO₂ 排放量，IMO 擬定「船舶能源效率設計指數(energy efficiency design index, EEDI)」和「船舶能源效率管理計畫(ship energy efficiency management plan, SEEMP)」兩項船舶能效標準的強制性規定。EEDI 規範單位航速船舶單位載重的碳排放，公約規定自 2013 年起，所有 400 總噸或以上的新船必須把碳排量降低 10%；2020 至 2024 年間再減少 10%；2024 年後要達到減排 30%的目標。至於現成船舶，則要建立 SEEMP，計畫中應明列準則以控管能源效率，且 2023 年起已開始實施現成船能源效率指數(Energy Efficiency ExistingShip Index, EEXI)。

IMO 於 MARPOL 附錄 VI 第 23 條律定 EEXI 達成值(Attained EEXI)、以及第 25 條律定 EEXI 要求值(Required EEXI)。亦即每艘現成船無論建造年份，都須在 2023 年 1 月 1 日以後的第 1 次國際防止空氣汙染(International Air Pollution Prevention, IAPP)法定檢驗前，完成 EEXI 驗證並換發國際能源效率證書(IEEC)，為一次性之驗證。

2. 控制氮氧化物(NO_x)排放

為管制 NO_x 的排放量，2008 年 10 月，IMO 規定船舶柴油機的 NO_x 排放標準分成 3 個階段(如表 1)逐步減排，主要係由新造船舶柴油機的減排設計著手。第一階段(Tier I)適用於 1990 年 1 月至 2000 年 1 月間製造的船用柴油機；第二階段(Tier II)適用於 2011 年 1 月以後製造的船用柴油機；第三階段(Tier III)則適用於 2016 年 1 月以後製造而操作於非排放控制區的船用柴油機。由第一到第二階段，NO_x 排放減量約 20%，到第三階段，NO_x 排放減量將達 80%。

表 1 船舶污染防治國際公約附則 6—氮氧化物排放限制

階段(Tier)	建造日期	氮氧化物限制(克/千瓦小時)		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n > 2000$
Tier I	1990-2000 年 1 月	17.0	$45*n^{-0.2}$	9.80
Tier II	2011 年 1 月以後	14.4	$44*n^{-0.23}$	7.70
Tier III	2016 年 1 月以後	3.4	$9*n^{-0.2}$	1.96

資料來源：MARPOL 公約附則 6

註：n 為柴油機轉速

3. 控制硫氧化物(SO_x)排放

MARPOL 公約除限制船舶廢氣中的硫氧化物排放含量外，並劃設硫排放控制區，現通稱為「排放控制區」(Emission Control Areas, ECA)，目前的排放控制區有歐洲的波羅地海、北海及美洲的北美海岸和美國的加勒比海。另 2022 年 12 月 MEPC 第 79 屆會議上，地中海已被指定為硫氧化物與顆粒物的排放控制區，並自 2025 年 5 月 1 日起生效，至此全球排放控制區分布如圖 1。

為管制 SO_x 的排放量，2008 年修正的 MARPOL 附則 VI 規定 SO_x 的排放量如表 2。2012 年 1 月前建造的船舶，其燃油含硫量不得高於 4.5%；2012 年 1 月後建造的船舶，其燃油含硫量不得高於 3.5%；2020 年 1 月後建造的船舶，其燃油含硫量不得高於 0.5%。如果船舶航行於排放控制區，規定 2010 年 7 月前建造的船舶，其燃油含硫量不得高於 1.5%。2010 年 7 月後建造的船舶，其燃油含硫量不得高於 1.0%。2015 年 1 月後建造的船舶，其燃油含硫量不得高於 0.1%。另歐盟對船舶的硫化物排放量的要求更為嚴格，根據歐盟委員會頒布的法令，從 2010 年 1 月 1 日起，所有停靠歐盟港口的船舶的燃油含硫量最高不得超過 0.1%。

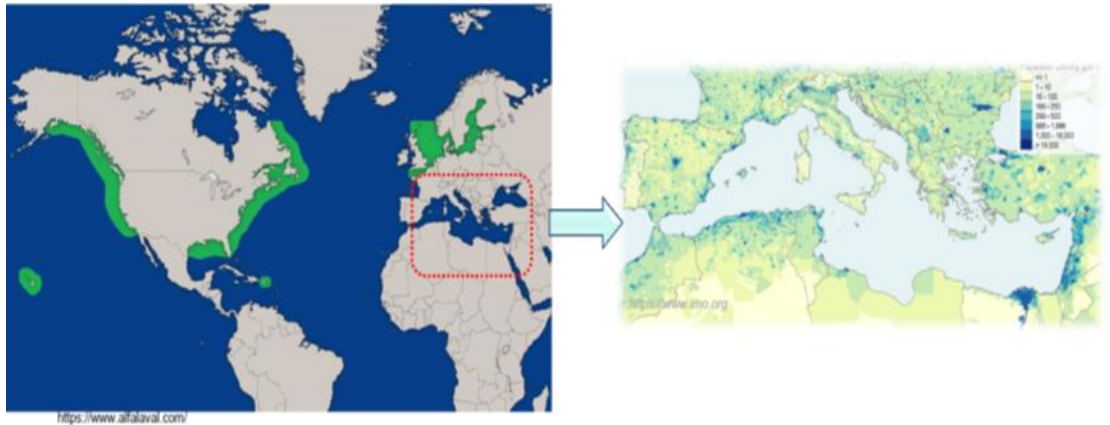
面對公約硫排放要求，已被採用的解決方案大致有下列 3 種：

1. 採用低硫燃料油：降低現有使用的各種船用燃料油的含硫量，以符合 0.1% 的要求，此方式成本相對較高。
2. 安裝廢氣淨化系統(EGCS)：此系統能將硫氧化物的排放減至與燃燒 0.1% 的含硫燃油相同，但此系統需使用海水或淡水來淨化廢氣以移除硫氧化物，而且需對船舶進行改裝。2020 年起，排放管制區外，應使用硫含量 0.5% m/m 之燃油，但可採用等效措施，如使用 EGCS(仍可使用硫含量 3.5% 燃油)，經統計大部分的船舶採用此方式，至 2022 年 2 月，全球共有 3765 艘船舶安裝 EGCS。
3. 直接導入無硫的 LNG 燃料：由於 LNG 不含有硫氧化物，其應用於船舶上可降低 100% 硫氧化物的排放量，且在價格上 LNG 較具吸引力。

表 2 船舶污染防治國際公約附件 6—硫氧化物排放限制

ECA 區域內	非 ECA 區域
2010/7/1 以前 1.5%	2012/1/1 以前 4.50%
2010/7/1 以後 1.0%	2012/1/1 以後 3.50%
2015/1/1 以後 0.10%	2020/1/1 以後 0.50%

資料來源：整理自 MARPOL 公約附則 VI



資料來源：財團法人驗船中心官網^[2]

圖 1 「全球硫排放控制區」分布示意圖

另國際海事組織 IMO 及歐盟近年來不斷擬定及修訂減碳目標、規範及發展措施，以下分別蒐整其擬訂的相關內容。

(一) IMO

IMO 為因應巴黎協議，2018 年於其所屬之第 72 屆海洋環境保護委員會(MEPC)會期中，採納 MEPC.304(72)決議案「IMO 降低船舶溫室氣體排放之初步戰略(the Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships)」，該戰略目標為^[2]：

1. 藉由實施新船能效設計指數(EEDI)要求降低碳排放量；
2. 降低國際航線船舶單位運輸的 CO₂ 排放，與 2008 年的數值相比，到 2030 年降低至少 40%，並到 2050 年降低至少 70%；
3. 使國際航運整體的溫室氣體排放量儘早達到峰值並開始降低，與 2008 年的數值相比，到 2050 年的年度溫室氣體排放量降低 50%，並希望實現在本世紀達到航運無溫室氣體排放的願景。

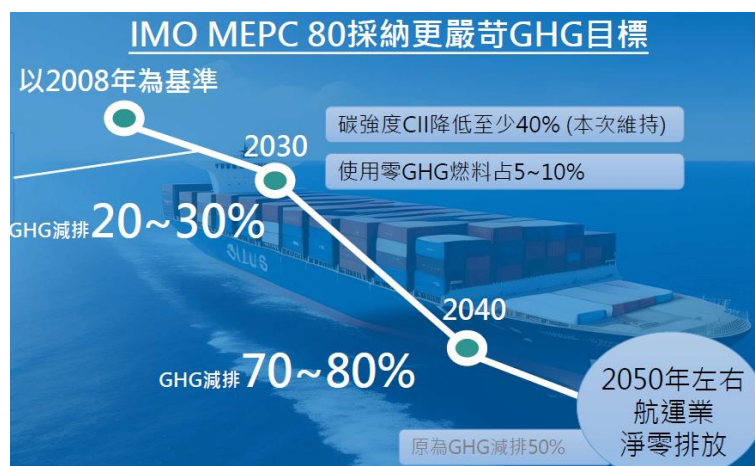
該戰略計畫分為短期、中期及長期措施：

1. 短期措施：於 2018 到 2023 年實施，包括更嚴格的新船能效設計指數(EEDI)、船舶能效管理計畫第 II 部分(SEEMP PART II)的燃油消耗數

據收集(IMO Data Collection System, IMO DCS)等；

2. 中期措施：於 2023 到 2030 年實施，包括現成船能源效率指數(EEXI)、碳強度指標(CII)、船舶能效管理計畫第 III 部分 (SEEMP PART III)的營運碳強度計畫等；
3. 長期措施：於 2030 年後實施，包括替代燃料發展、創新減排機制等。

但 IMO 於 2023 年 7 月在第 79 屆海洋環境保護委員會(MEPC)提高溫室氣體減排目標，設定在 2050 年實現淨零排放，並在 2030 年減排 20%，到 2040 年減排 70%(以 2008 年為基準)，如圖 2。減排目標將考慮到「燃料的 GHG 全生命週期」以避免航運的 GHG 排放轉移到其他行業，並期許 2030 年國際航線船舶所使用的能源占比，應至少有 5%(最好能達到 10%)來自零排放(或接近零排放)的溫室氣體排放技術或燃料(能源)。雖然 IMO 降低船舶溫室氣體排放戰略本身不具有法律強制性，但後續 IMO 將以此目標發展相關公約的強制性修正案。



資料來源：中國驗船中心官網^[2]

圖 2 IMO 於 2023 年擬訂之溫室氣體減排目標示意圖

(二) 歐盟

歐盟認為 IMO 步調太慢，已積極採取一些更強硬手段，來減少航運的溫室氣體排放，早在 2018 年 1 月要求使用歐盟境內港口的船東必須對船舶整年度的溫室氣體排放進行科學性的量測/監督方法，即所謂量測、報告與驗證機制(measurement, reporting, verification, MRV)，透過透明化機制公布週期性的溫室氣體排放資料，讓政府能掌握數據進而規劃下一步行動。

影響海運業較深的歐盟減碳法規主要有「Fit for 55」、「歐盟排放交易系統 (ETS)」及「FuelEU Maritime 法案」。

2021 年 5 月，歐盟委員會提議將海運納入歐盟排放交易系統 (ETS)，以涵蓋停靠歐盟港口船舶的溫室氣體排放。並於 2021 年 7 月 14 日提出「Fit for 55」草案，承諾 2030 年溫室氣體淨排放量要比 1990 年減少 55%。

歐盟理事會已於 2023 年 7 月 25 日通過歐盟 FuelEU Maritime 法案，預計於 2025 年 1 月 1 日生效。法案中有關降低船舶能源 GHG 強度之規定如下：

1. 排放管制物：CO₂，2026 年起將進一步納入 CH₄ 及 N₂O。
2. 適用對象：總噸位超過 5,000 載運貨物或乘客，並到訪歐洲水域之船舶。
3. 規定內容：自 2025 年以後的每一日曆年，船上使用能源以燃料全生命週期(Well-to-Wake)計算其溫室氣體強度，其強度需低於所規定之強度(gCO₂e/MJ)，每 5 年標準會逐漸加嚴（符合規定或完成相關罰款繳納者，才能獲發該年度之符合文件）。
4. 收取碳稅的航程計算方式：在歐盟港口停靠航行歐盟內部的船舶所有排放量、在歐盟以外開始或結束的航次(歐盟外航行)的 50%排放量以及船舶停泊在歐盟港口時產生的所有排放量都將包括在內。

FuelEU Maritime 法案另要求船舶使用岸電：規定 2030 年以後，將要求總噸位超過 5,000 之貨櫃船及客船，在停靠歐盟特定港口時須使用岸電，若未依規定使用岸電，將會以船舶耗電量及停泊時間計算相關罰款。除以下情況外：

1. 停泊時間少於 2 小時。
2. 該船以零碳排科技滿足其電力需求。
3. 非預期且因安全因素之靠泊。
4. 因連接點不可用或不適用而無法連接岸電。

另外值得關注的是船舶融資全球框架波塞冬原則(Poseidon Principles, PP)，PP 是 2019 年在全球海事論壇中，由多家全球航運銀行發起，包括花旗、法國興業銀行和 DNB，以及行業參與者 AP Møller Mærsk、Cargill、Euronav、Lloyd 's Register 和 Watson Farley & Williams 等，另外也包含洛磯山研究所與倫敦大學能源研究所之專家學者。截至 2022 年 7 月已發展到 28 家締約機構，並且覆蓋全球超過 50%的船舶融資。PP 是一個將氣候因素納入融資決策的全球性通用框架，以促進國際航運脫碳，也是全球第一個針對航運業並由金融機構自治的減碳協議，可用來檢視與揭露各種船隊組合之減碳措施效果，其目標與 IMO 的政策一致。簽署方會致力於減緩航運減碳在海事金融各方面的影響，因此不僅將提升金融機構在戰略層面的決策能力，還將為航運業塑造永續環境。PP 適用於全球的貸款人、租賃方和財務擔保人，這些原則將對貸款船舶進行減碳上的評分，銀行可以用來向船東施加壓力，亦即如果船隊不夠環保，資金流就會受影響。海上保險波塞冬原則(The Poseidon Principles for Marine Insurance, PPMI)於 2022 年 5 月正式生效，其匯集數家海事保險機構，代表簽署方將公開揭露其船體與機械(H&M)的碳強度。

三、航運業因應減碳發展概況

航運業目前的重大挑戰之一，是全球減碳政策與規範興起，2023 年初上路的新規定包括國際航線的船舶，必須符合國際海事組織的現成船能源效率指數(EEXI)與新船能效設計指數(EEDI)，且總噸數 5000 以上的船舶，必須通過碳強度指標(CII)的認證分級。而國際海事組織(IMO)及歐盟近期(2023 年 7 月)持續加大對船舶減排強制性規範的力道，如修正船舶溫室氣體排放目標至 2050 年達溫室氣體淨零排放(Net zero GHG emission)，船舶燃料改以全生命週期(Well to Wake)方式計算排放溫室氣體(GHG)，歐盟對船舶排放溫室氣體徵收費用等，對航運業而言，這些法規都是成本增加的來源。

IMO 於 2023 年 1 月 1 日生效的碳強度新規定，將影響船舶有效運力供給，航運業正面臨許多老舊船舶汰換的壓力。IMO 祭出 CII 等規定，要求航運業者節能減碳，預估航運業面對新規定主要有三條路徑：一是研發雙燃料動力船，使用清潔能源；二是透過降速或提高效能減少能源消耗；三是購買碳稅，抵消排放量。降低船速是短期的主要策略，從中長期來看，尋找清潔替代能源是減碳最有效的辦法，而航商未來也必須將碳稅納入財務規劃中。

若船舶將來無法符合 EEXI 或 CII 指標，將會面臨降速的要求，然航商為維持原有的服務航線水準，貨運船舶需求量可能會愈來愈多。若現有船舶無法符合未來的減碳法規，恐怕只剩下淘汰的選項，預期未來將有愈來愈多船舶被迫退場。

因應船舶的節能減碳，IMO 於技術指引手冊內列出船舶減碳技術與預期成效如表 3^[3]，包括利用引擎技術預期可減碳 3-8%、船舶設計可減碳 0.5-10%、優化航程可減碳 0-38%、綠能船舶及碳捕捉最高至 100%、替代性的船舶推動技術可減碳 0.5-15%，及船舶輔助能源可減碳 0.5-50%。

未來船舶使用的減碳燃料是多元的，包括燃料電池、氫、LNG、氨、甲醇、生質燃料、核能及碳捕捉技術。使用替代燃料的優點為可直接減少碳排放及溫室氣體，缺點是需要較大的空間儲放、有危險性、成本高、且相關法規成熟度不足，目前 LNG、甲醇、氫和氨等皆為使用及開發中的替代燃料，其燃料性質、船舶造機技術、IMO 監管法規成熟度及燃料存放艙櫃空間需求等之綜合比較如圖 3^[4]。目前 IMO 對於船舶未來可能採用之低碳及零碳燃料及其對應之相關規範仍在規劃中。

依據 Clarksons Research 的統計資料^[5]，如圖 4 所示，截至 2023 年 9 月已使用替代燃料的船舶，LNG 有 964 艘、LPG 有 89 艘、甲醇 25 艘、乙烷 22 艘、氫氣 7 艘、生質燃料 88 艘、油電混合 439 艘；另新訂船單中使用替代燃料的 LNG 有 896 艘、LPG 有 83 艘、甲醇 165 艘、乙烷 24 艘、

氫氣 15 艘、生質燃料 15 艘、油電混合 278 艘。可知目前 LNG 為船舶替代燃料的大宗(主要為 LNG 運輸船)，其次為油電混合，而甲醇在新訂單中則有明顯的增加，且大都為貨櫃船的訂單。

另依據 Lloyd's List 於 2023 年 2 月至 5 月進行的問卷調查結果顯示^[6]：未來航運業的替代燃料，可能為多種燃料類型，2030 年前，生質燃料、液化天然氣(LNG)和甲醇是最受船東、承租人和營運商歡迎的 3 種過渡燃料選擇，而 2030 年後，氫、核能和氨則是最可能的燃料選擇。而依據 ABS(美國驗船協會)統計報告則指出，2030 年前航商選擇液化天然氣及甲醇，2030 年後逐步換成綠色液化天然氣及綠色甲醇，接近 2050 年，逐步改採氫、燃料電池等零碳燃料，而隨著技術的發展，氫及核能亦為航商於 2050 年燃料選擇方案中^[7]。

2023 年 7 月底，全球第一艘綠色甲醇(馬士基所有)動力貨櫃船已駛達新加坡並利用駁船完成甲醇的加注作業，2015 年開始有卡車對甲醇動力船加注。2021 年鹿特丹完成第一個駁船對船加注作業。目前已可使用駁船加注甲醇的國家包括荷蘭、挪威、新加坡、美國、瑞典等。

綜上，在應用端，現階段可供航運業選擇的低碳和零碳替代燃料主要有 LNG、甲醇、氨、氫四種，與常規燃料相比，替代燃料的屬性導致在安全加注、儲存、使用等環節存在困難，實現清潔燃料在航運業規模化使用的最大挑戰在於燃料供給端的可獲得性。目前各大航商已陸續投資雙燃料船訂單，改用雙燃料引擎船舶，然若要導入新燃料，必須連同港口設備一起升級，且對航運公司而言，提高綠色燃料使用意願，重點在於縮小現有燃料及替代能源間的價差。

除了使用更高性能的新船，以及更低碳排的燃料外，透過大數據系統調度，減少燃油浪費，也能減碳，數位化亦是未來減碳的必要路徑。

船舶減碳新選擇：替代燃料綜合比較

財團法人驗船中心
CCS CLASSIFICATION SOCIETY

	燃料性質	造機技術	IMO監管法規	艙櫃空間需求 MGO為1倍，液態下體積比較
LNG CH₄ 	液化溫度低 (-163℃) 需有低溫 防護設施	造機技術成熟	已有IMO完善的 法規(IGF CODE)	艙櫃空間需求較傳統 燃料稍大(1.6倍)
甲醇 CH₃OH 	可在常溫常壓下 液化儲存	主機已有應用實績	有IMO安全臨時性 準則	艙櫃空間需求較 傳統燃料大(2.5倍)
氨 NH₃ 	有毒且燃料的 人體安全風險最高	目前主機仍在發展	尚無IMO監管法規 (預計2024年產出初稿)	艙櫃空間需求較 傳統燃料大(3.1倍)
氫 H₂ 	液化溫度(-253℃) 最低，易爆易燃	主機正在研發階段	尚無IMO監管法規 (預計2024年產出初稿)	艙櫃空間需求最大 (4.6倍)

2023/12/7

資料來源：黃建樺，財團法人驗船中心 CR^[4]

圖 3 替代燃料綜合比較

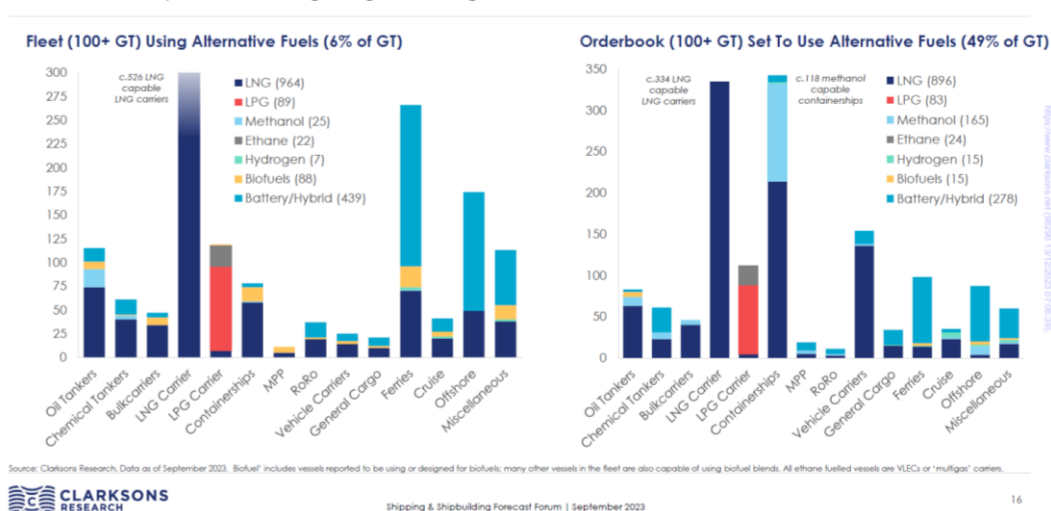
表 3 IMO 技術指引手冊之船舶減碳技術與預期成效

技術範疇	減碳技術	預期減碳成效
引擎技術 (Engine Technology)	強型燃料噴射裝置、油電混合車、進氣門提前關閉系統-EITV、廢熱回收	3-8%
船舶設計 (Vessel Design)	船體尺寸重量優化、球狀船首、艦艇漆膜工程塗裝、攔截器、空氣潤滑系統、船舶壓載物減量與重心優化、無船舶壓載物之船身設計	0.5-10%
優化航程 (Voyage Optimization)	慢速航行、碼頭行政作業優化、船身優化空間、自動駕駛系統、天氣定航、自主航行船舶、電力使用與配置、提升船舶能源使用效率	0-38%
綠能船舶 (Future Energy Carriers)	氫能、氨能、甲烷、液化天然氣、生物液化天然氣、生物燃料、電力(電池)	最高至 100%
碳捕捉 (Carbon Capture)	收集、運輸與儲存或回收二氧化碳進而減少二氧化碳排放量	最高至 100%
替代性的船舶推動技術 (Alternative Propulsion Technologies)	大面積螺旋槳、反向旋轉螺旋槳、吊艙推進器、導管螺旋槳、前置預旋導輪、消渦鰭&球形舵	0.5-15%
船舶輔助能源 (Power Assistance)	弗萊特納轉子、牽引套件、船帆、太陽能、岸電設備	0.5-50%

資料來源：臺灣港務公司，112 年(摘整自 IMO, Port-Emissions-Toolkit-Guide-NO.2)^[3]。

Alternative Fuels: Current Uptake By Sector

LNG fuel still on top but methanol gaining share; long-term 'winner' remains uncertain



資料來源：Clarksons Research, September 2023^[5]

圖 4 現成及預訂的各類船舶(100 總噸以上)使用替代燃料艘次

此外，「綠色航運走廊」是當前被航運業視為能順利過渡到零排放的一項重要途徑。在 2021 年 11 月於英國格拉斯哥舉行聯合國氣候峰會(COP 26)中，由美國、日本、德國、英國、法國及其他等 22 個國家，簽署了《克萊德班克綠色航運走廊宣言(Clydebank Declaration)》，提出「綠色航運走廊(Green Shipping Corridors)」倡議，此倡議是透過港口間建立合作關係，藉由串聯 2 個(或以上)港口的航線，在該航線上導入零排放的替代燃料及技術測試，藉以推動航運業逐步過渡到使用零碳排放燃料之船舶及設施，目標是在 2025 年建立至少 6 條綠色走廊。雖然該宣言不具約束力，但對航運脫碳而言是一重要里程碑，因為其明確點出應透過國家政府與產業界建立合作關係，共同開發綠色燃料，及投資建設低碳/零碳的港口基礎設施，並有助於降低有意投入新技術開發者之投資風險等效果，此效果將逐步外溢至全球海運供應鏈，最終可望達成海運脫碳目標。

在克萊德班克宣言發表 1 周年後，已有 24 個國家表示支持創建綠色航運走廊(全球海事論壇,2022^[8])，截止 2022 年 12 月約有 21 項倡議(如圖 5)，已涵蓋眾多當前重要的遠洋航線。而依據全球海事論壇最近於 2023 年 12 月的統計，全球已有 44 項綠色航運走廊(如圖 6)，其中包含 171 個利害關係者(如圖 7)，主要如船東、航商、提供相關知識與建設之業者、港口管理單位及法規制定監管單位等；而在倡議主導者(leadership)部分，包括有政府(11 項)或港口營運單位(11 項)為主導方發起之倡議，亦有私部門或公私部門共同發起，其中以企業或第三方共同發起佔多數(14 項)。許多倡議是在主導方發起後，再號召相關利害關係人加入。另各綠色航運走廊以採用甲醇燃料最多、其次為氨氣及氫氣；而在已確認的倡議領域中，「貨櫃(Container)」綠色航運走廊倡議佔多數，有 11 項，其次為渡輪及 ro-ro(Ferry

and roro)船共 8 項，散貨船(Bulk)則有 6 項，詳細如圖 8。

在現有走廊中政府扮演重要的推動角色，目前主要重點工作包括擔任主導者、挹注資金執行可行性評估計畫及新技術開發計畫、促進各方對話及國際合作，此外也透過明確擬定國家能源發展政策，以引導提高投資者意願等。

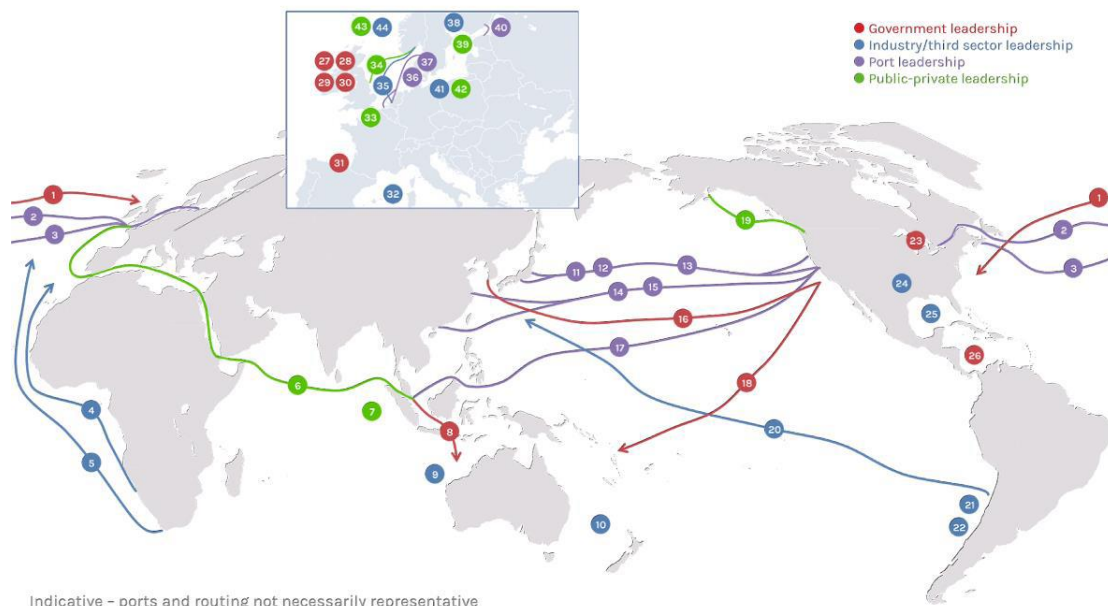
如何吸引關鍵的成員參與綠色航運走廊，各參與者間進行相關研究及執行上如何分配資金，又因為其中涵蓋眾多利害關係人，彼此商業模式、能源運用及營運現況都不相同，如何在彼此間建立信任及設定共同目標，如何達成決策共識等都是倡議需面臨的挑戰，若再納入非航運參與者，例如燃料生產商及貨主，將更為複雜，在此過程公部門介入至關重要，除提供政策指引、法規環境或獎勵措施，還能促成公私合作關係，此為綠色航運走廊倡議存在的重要意義。

目前有 11 項「貨櫃」綠色航運走廊倡議，我國航商陽明及萬海海運公司皆加入絲路聯盟(The Silk Alliance)倡議，絲路聯盟於 2022 年 5 月由勞氏船級社海事脫碳中心(Lloyd's Register Maritime Decarbonisation Hub) 宣布成立，主要是先鎖定在亞洲營運的貨櫃船制定針對特定船隊的燃料轉型戰略，並彙集多元化組織，包括船公司、造船廠、燃油物流供應商、發動機製造商與金融機構一起合作，目標在於藉由供應鏈的合作，針對貨櫃船舶制定兼具安全性及商業面的永續脫碳策略，提供聯盟成員在燃料轉型、投資風險等不確定因素下，有可執行之參考依據。



資料來源：全球海事論壇(2022.12)^[8]

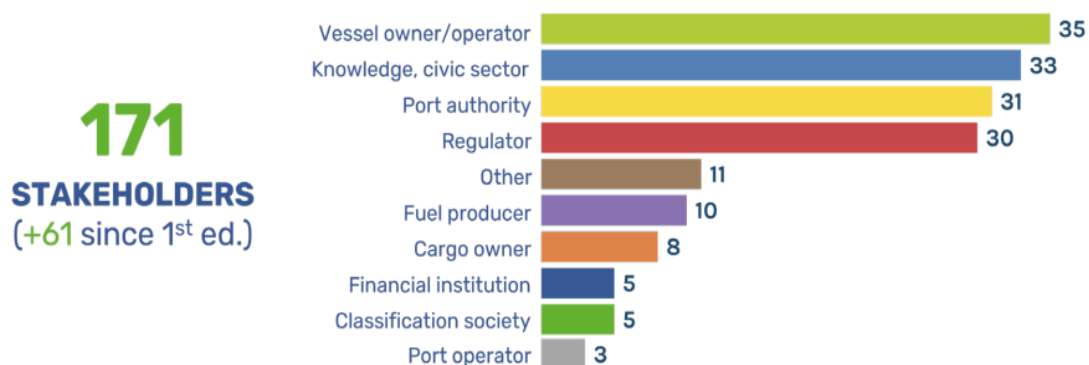
圖 5 國際綠色航運走廊分布圖(2022.12)



- | | | |
|--|---|-----------------------------------|
| 1. US-UK Taskforce | 16. Republic of Korea-United States | 31. Green Corridors Spain |
| 2. Antwerp-Montreal | 17. LA/Long Beach-Singapore | 32. La Méditerranée |
| 3. Halifax-Hamburg | 18. US-Fiji-Pacific Blue Shipping Partnership | 33. Dover-Calais/Dunkirk Ferry |
| 4. Namibia-EU | 19. Pacific Northwest to Alaska | 34. H2 powered North Sea crossing |
| 5. South Africa - Europe Iron Ore | 20. Chile Cu-Concentrate | 35. Oslo-Rotterdam |
| 6. Rotterdam-Singapore | 21. Chile Piscicultura | 36. Gothenburg - Rotterdam |
| 7. The Silk Alliance | 22. Chile sulfuric acid | 37. Gothenburg - North Sea Port |
| 8. Singapore-Australia | 23. Canada-US Great Lakes- St Lawrence | 38. Åland RoPAX |
| 9. Western Australia-North Asia Iron Ore | 24. US Green Bulk | 39. Decatrip |
| 10. Australia-New Zealand | 25. Gulf of Mexico | 40. FIN-EST |
| 11. Oakland-Yokohama | 26. US and Panama | 41. European GC Network |
| 12. LA-Nagoya | 27. UK-Belgium | 42. Nordic Roadmap |
| 13. LA-Yokohama | 28. UK-Norway | 43. Clean Tyne |
| 14. LA-Guangzhou | 29. UK-Netherlands | 44. GREENBOX |
| 15. LA-Long Beach-Shanghai | 30. UK-Denmark | |

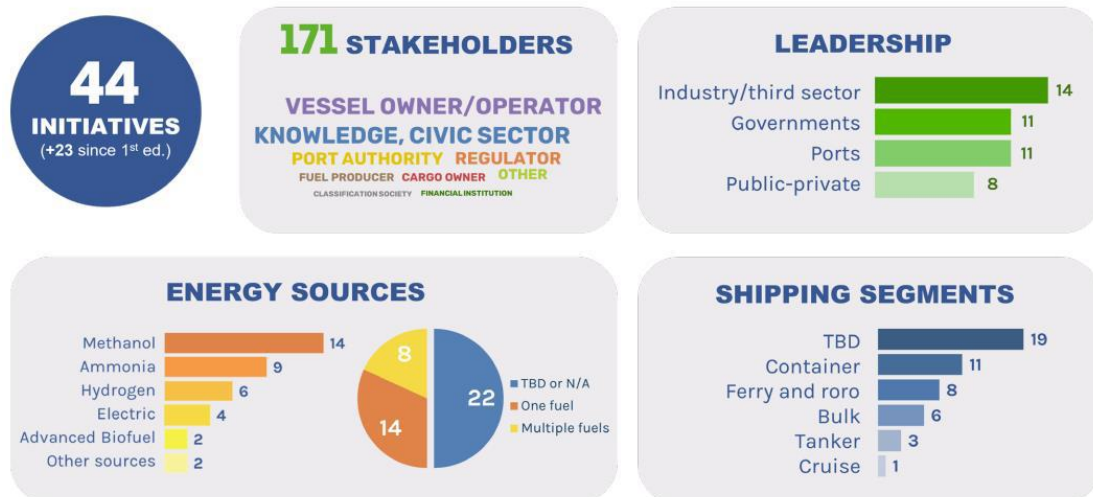
資料來源：全球海事論壇(2023.12)^[8]

圖 6 國際綠色航運走廊分布圖(2023.12)



資料來源：全球海事論壇(2023.12)^[8]

圖 7 國際綠色航運參與者分類圖



資料來源：吳巨聖，裕民航運公司（引述全球海事論壇）^[9]

圖 8 國際綠色航運走廊特性分類圖

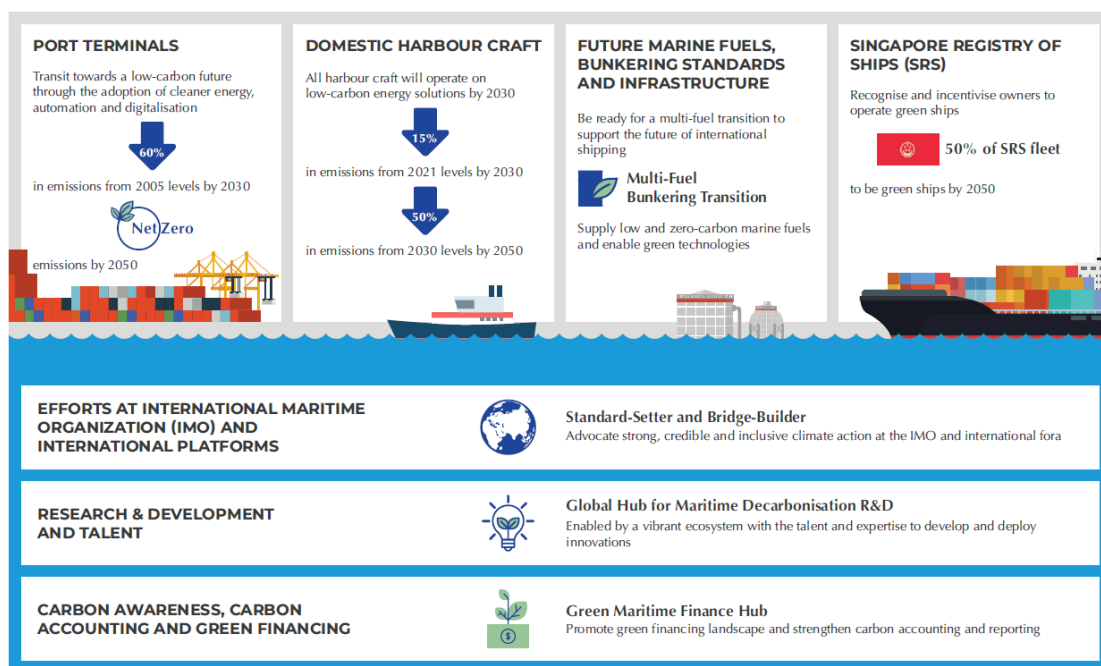
四、港口營運單位之因應措施

本研究蒐整標竿港口新加坡因應港口減碳之相關作為，及挪威船級社和歐洲電力公司合作研究所提出的將歐盟港口轉變為脫碳樞紐的 10 個轉型及相關對策，以供我國港口營運單位參考，說明如後：

(一)新加坡

新加坡 2020 年向《聯合國氣候變遷綱要公約》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)提出該國峰值排放量要在 2030 年前後達到 65Mt CO₂e (CO₂e, carbon dioxide equivalent, 二氧化碳當量)，2050 年更將減半至 33MtCO₂e，期在本下半世紀儘快實現淨零排放。新加坡海事及港口管理局(Maritime and Port Authority of Singapore, MPA)於 2022 年 3 月發布減碳藍圖^[10]，此藍圖採納國際海事脫碳諮詢小組(International Advisory Panel on Maritime Decarbonisation)提出的建議，及為期 2 個月的公眾和業界諮詢所得意見，與業界合作夥伴共同協商制定，描述新加坡建設永續海事的雄心壯志及具體的中長期策略。有助於新加坡履行在聯合國 2030 年永續發展議程 (2030 Sustainable Development Agenda)、巴黎協定及 IMO 船舶溫室氣體減排初始策略下之承諾，強化新加坡做為全球領先樞紐港和國際海事中心的價值定位。

新加坡海事及港口管理局 MPA 研訂的海運業脫碳措施有 7 大關鍵面向，如圖 9，各關鍵面向重點內容如下：



資料來源：Maritime Singapore Decarbonisation Blueprint Working Towards 2050, Maritime and Port Authority of Singapore^[10]。

圖 9 新加坡 MPA 海運業脫碳措施 7 大關鍵面向

1. 港口碼頭

MPA 設定「港口碼頭」領域目標為：在預期貨量成長的情況下，2030 年碼頭的絕對排放量較 2005 年的水準減少 60% 以上；2050 年達淨零排放。

採取的措施為：(1) 碼頭將透過採用潔淨能源、自動化及數位化過渡到低碳未來，包括碼頭裝卸設備、車輛、建物的綠化；增進能源使用效率－碼頭營運商部署智慧系統增進營運效能，減少船舶及車輛的空轉與等待時間；採用較潔淨的能源替代品。(2) 與相關公共機構結合碼頭營運商，在碼頭周邊開發以港口為中心的產業生態系統，藉縮短供應鏈、設施共享及資源優化，產生節省碳足跡的效果。

2. 港勤船舶

MPA 設定「港勤船舶」領域目標為：2030 年所有港勤船舶使用低碳能源，2050 年實現全電力推進和淨零燃料。低碳能源包括：混合生質燃料、LNG、油電混合推進及全電力推進。期能在 2030 年時，港勤船隊的排放量較 2021 年減少 15%；2050 年的排放量為 2030 年排放水準的一半。

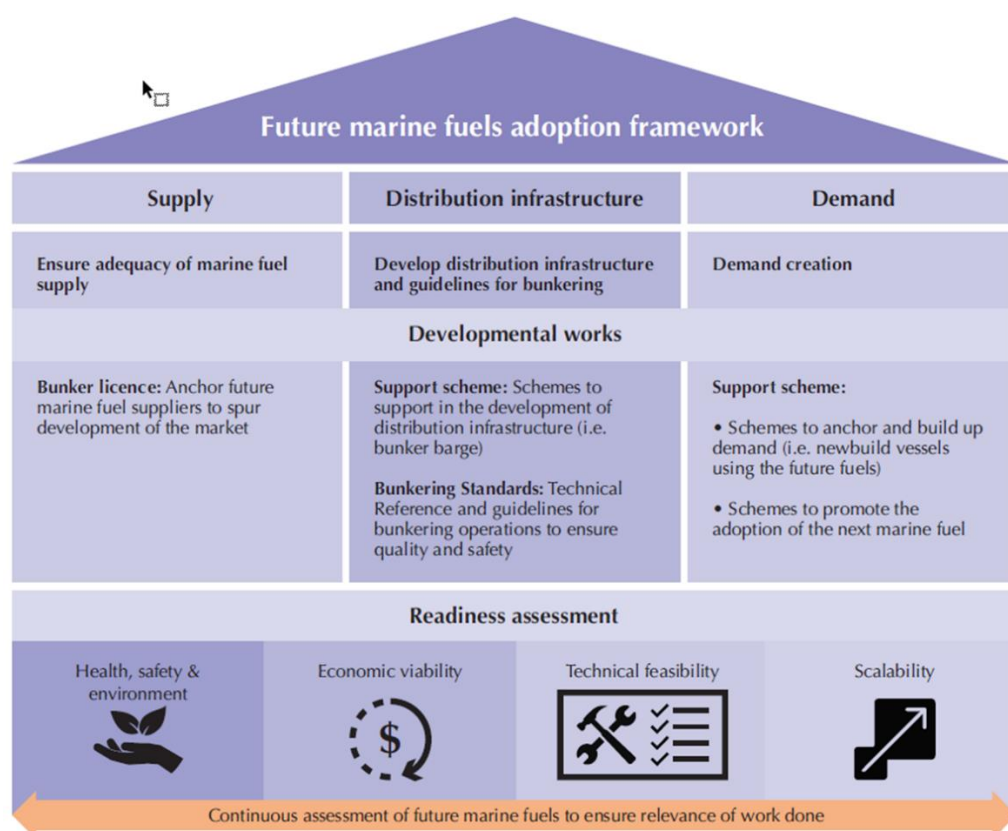
MPA 已於 2023 年 3 月宣布，從 2030 年起，新加坡港的所有新購港務用船隻，必須使用純電、氫能或 B100 生質燃油等動力，也就是所謂「零排放」船，目標是到 2050 年時，新加坡港所有的

港務用船(包括拖船、巡邏船、領航船、接駁船等)都成為零排放船。並已於 2023 年啓用第一座電動船充電站，另能夠服務更多船隻的大型充電站則將於 2025 年完工。

3. 未來的船用燃料、加油標準及基礎建設

MPA 設定「船用燃料」領域目標為：提供低碳和零碳船用燃料(包括生質燃料、甲醇、氨和具潛力的氫)，同時實現碳捕捉、儲存和利用等綠色技術，為多元燃料加注過渡做好準備，以支持國際航運的未來。

對新加坡而言，生質燃料與電氣化是港勤船舶最可行的能源選擇，生質燃料在供給完備性(readiness)、基礎建設及技術成熟度方面尤佳。MPA 預期氫及其載體(carrier)，包括氨、再生電力甲醇 (e-methanol)、及生質 LNG (bio-LNG)，在國際海運中長期脫碳上將扮演重要的角色。MPA 預期未來船用燃料的執行架構如圖 10。



資料來源：Maritime Singapore Decarbonisation Blueprint Working Towards 2050, Maritime and Port Authority of Singapore^[10]。

圖 10 MPA 預期未來船用燃料的執行架構

在通往零碳及低碳燃料過渡期的關鍵措施包括：

- (1) 技術測試與研發：即與業界合作進行可行性研究及先導測試，並建立監管沙盒，供業界測試低/零碳燃料方案。

- (2) 供給面-加油、儲存、銷售：必須改裝既有設施及投資新設施；並尋求與業界先行者共同資助低/零碳燃料供給設施，如 2017 年的 LNG 加注先導計畫；在新加坡發展氨加注生態系統，計畫包括加注程序、基礎設施開發、營運經驗與能力的提升。
- (3) 發展規範與標準：與有志一同的產業或政府夥伴，共同發展未來港口燃料加注的各種指引，讓燃料的過渡及加注更安全；全球海事脫碳中心(Global Centre for Maritime Decarbonisation)一項關於加注氨的先導計畫正在新加坡進行，如果確認可行，MPA 規劃與利害關係人合作，制定一套關於安全加注氨的技術參考指南，並將與國際夥伴合作，以實現全球統一的標準。
- (4) 需求面-市場結構與政策：整合包括運輸、發電和其他國內應用等多元產業需求，創建一具有成本效益的未來燃料生態系統，從而獲得規模經濟；鑒於未來氫氣及其合成物在海運業中的應用潛力，MPA 正與各政府機構合作，評估相關土地使用，基礎設施和資源需求，以建立試驗氫進口、儲存、分銷和運輸所需的生態系統，並研析新加坡不同行業未來燃料的需求預測、監管激勵措施和安全標準。
- (5) 融資：MPA 與新加坡金融管理局及產業合作，將新加坡打造為綠色海事金融中心並擴大綠色融資選項，以增加開發低/零碳燃料解決方案可持續融資的管道。
- (6) 人才與技術發展：低/零碳燃料的需求增加，關於海事脫碳的知識與技能方面的需求也會增加，MPA 將與產業夥伴合作，確認和規劃此些新興的工作角色和技能需求，並支援企業讓新加坡的海事勞動力具備必要的技能和知識，協助新加坡發展為低/零碳燃料加注中心。
- (7) 國際合作：MPA 與鹿特丹港、日本國土交通省簽署合作備忘錄，組成未來燃料港口網路(Future Fuel Port Network)，尋求未來船用燃料標準的統一，並彙集各成員的知識和網路，以刺激未來燃料的發展。並與澳洲共同成立「低排放海事與航運倡議(Low-Emissions Maritime and Shipping Initiative)」，雙方承諾各自提供 1,000 萬美元，透過為國際海事和港口營運提供低排放燃料和科技的合作夥伴，以支援示範和商業規模的專案。

4. 新加坡籍船舶

MPA 設定「新加坡籍船舶」領域目標為：認證並獎勵船東營運綠色船舶，以期 2050 年新加坡籍船隊的綠色船舶至少達 50%。為達目標，2021 年 11 月起，對採用能源效率技術及/或替代燃料，符合相關標準的新加坡籍船，將頒給 SRS 綠標章(SRS Green

Notation)，包括 CR (Carbon Reduction)、LC (Low Carbon)及 ZC (Zero-Carbon)綠標章。取得標章的船除了提升本身被租傭的吸引力，還可享有初始註冊費(Initial Registration Fee)減價，及年度噸位稅的退稅優惠。MPA 預期未來 5 年將有約 150 艘船取得標章。

此外，為鼓勵業者轉向低碳排放方案，採用低碳或零碳燃料的新運輸船舶，得免向新加坡繳交海港稅 5 年，減免日期從運輸船舶的註冊日期起算。海事局的「綠色船舶計畫」和「綠色港口計畫」也將參考國際海事組織最新的全球航運法規，並獎勵採用低碳或零碳燃料的船隻，例如，在新加坡海港採用零碳燃料的遠洋船舶現在可節省 30% 的海港稅。

5. 致力於 IMO 和其他的國際平台

MPA 設定「致力於 IMO 和其他的國際平台」領域目標為：在國際脫碳過程上發揮 3 個關鍵作用，即成為標準制定者、橋梁建立者，並在 IMO 和國際平台上倡導強有力、可信且具包容性的氣候行動。

在成為橋梁建立者的角色上，致力於(1)確保成員間在 IMO 一系列的溫室氣體減排短期策略上達成共識；(2)與 IMO 的其他成員國共同支持航運業所提建立「國際海事研究與發展委員會」的建議(委員會由國際航運業透過每消耗 1 噸船用燃料撥付 2 美元的強制性捐款，提供資金)；(3)積極貢獻 MPA 和新加坡學術機構的專業知識；(4)支持在中長期對國際航運徵收全球碳稅。

在成為包容性氣候行動宣導者的角色上，致力於與 IMO 合作發展 NextGEN 平臺(2020 年推出)，「GEN」是「綠色高效航海」(Green and Efficient Navigation)的縮寫，NextGEN 力求在 2 至 3 年內建立一個海上運輸脫碳倡議的合作平臺和網絡，協助 IMO 成員國、業界和學者共享資訊、找出海事生態系統所面臨的挑戰，並掌握新機遇，並確保所有國家在脫碳過程中都有公平的競爭環境。

2022 年 4 月，MPA 與 IMO 合作推出更新版 NextGEN Connect 平臺，此平臺可協助各行各業提供的解決方案進行配對，同時也能分享因應共同問題的創新和成功方案，一同為亞太地區的海運事業展開去碳化試驗計畫，降低溫室氣體排放量。

6. 研發與人才

MPA 設定「研發與人才」領域目標為：成為全球海事脫碳研發中心，並支持建構一個擁有開發和部署創新人才和專業知識能力的生態系統。

新加坡提供一系列支持及促進綠色技術產品和解決方案的創新措施，如基礎設施研究、監管沙盒、研發和試驗資金、孵化器和加

速器，以吸引許多專注於綠色技術的新創企業、科技公司和研究機構。

MPA 依據 2030 海事研發藍圖(Maritime R&D R2030)，與利害關係人共同提出未來 10 年海事部門的綠色技術能力發展領域(包括電氣化、永續能源、削減排放措施及未來海事燃料)，並創造有利於合作與創新的環境。

在催化研發與創新方面，MPA 承諾為海上脫碳研發提供 8,000 萬美元資金，除支援建立相關的研究中心，也會用於與海事企業和研究執行者合作的其他計畫，預計將催化約 20 個技術專案，並在未來 5 年內培訓 100 多名研究人員、科學家和工程師。

在培養全球海事脫碳人才方面，MPA 協助企業支付其在培養海事脫碳人力的活動成本，預計將在未來 10 年內創造 1,200 個與永續發展相關的工作並提升其技能。

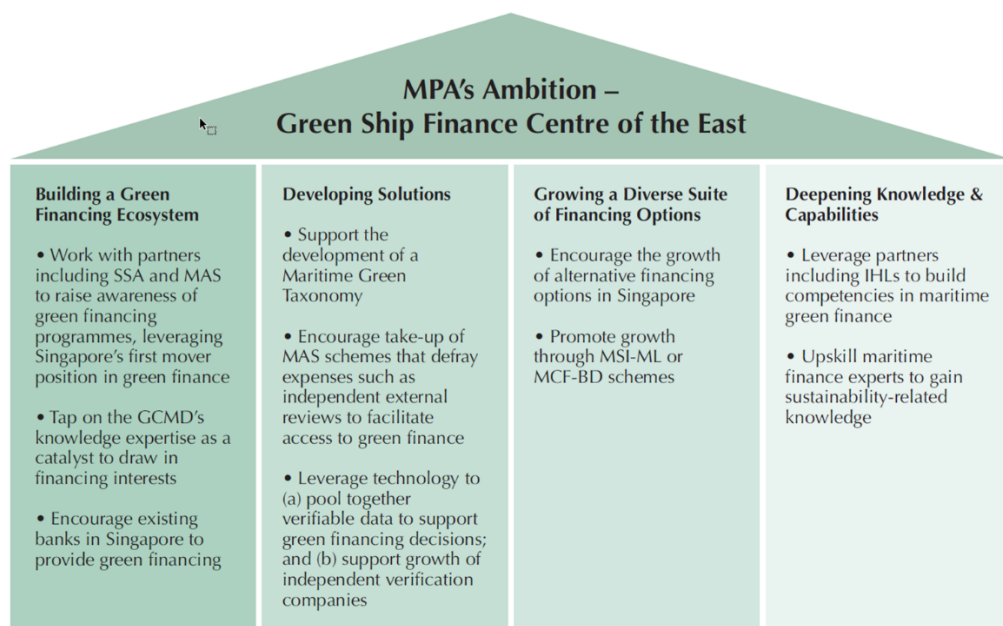
7. 碳意識(awareness)、碳盤查(accounting)及綠色金融

MPA 設定「碳意識、碳盤查及綠色金融」領域目標為：提升綠色金融前景、強化碳盤查報告能力，打造綠色海事金融中心。

MPA 將採取各種策略，確保新加坡作為綠色海事金融中心的地位，以吸引和鞏固碳服務提供者的生態系統，包括海運業。

MPA 的中期目標是制定一份針對海事部門的碳核算指南，根據常見的碳排放分類，建構一個易於使用的碳計量系統，再根據此指南向海運業提供碳報告和核算培訓課程，並擴大這些課程的範圍，包括與碳核算指南相關的生命週期分析和成本計算等。並支援新加坡的海事公司，研析自願使用碳信用額來實現脫碳，及探索為海運業提供碳補償和服務的潛力，以提高產業對自願碳交易的理解，並建立碳核算和抵消方面的能力。

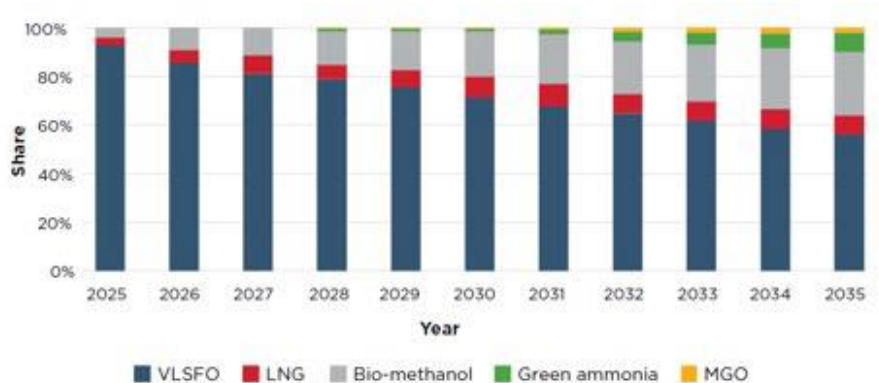
新加坡有約 20 家提供船舶融資組合的國際銀行，另有針對航運業的各種替代融資選擇，包括海運租賃和在新加坡交易所上市的機會等。因此，新加坡 MPA 打造「東方綠色船舶金融中心」之策略，包括發展綠色金融生態系統、開發更廣泛的解決方案、建立一系列的融資方案，並深化相關的知識和能力等，如圖 11。



資料來源：Maritime Singapore Decarbonisation Blueprint Working Towards 2050, Maritime and Port Authority of Singapore^[10]。

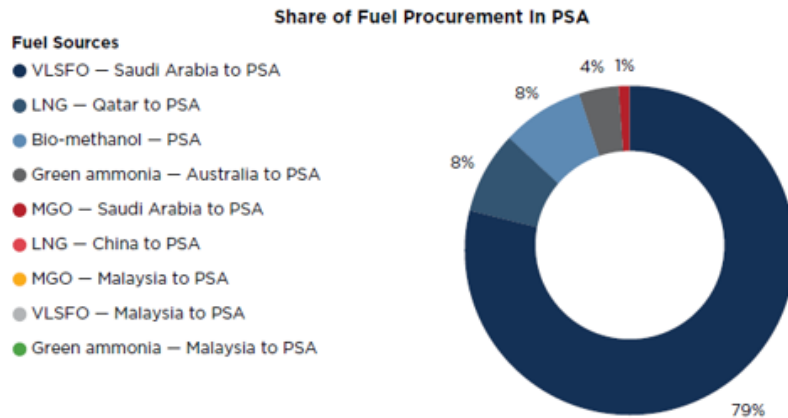
圖 11 MPA 打造東方綠色船舶金融中心策略

此外，新加坡的 PSA 國際港務集團（PSA International，簡稱 PSA），已明確的規劃擬定未來燃料的轉型變化如圖 12，並積極規劃各燃料的來源如圖 13，值得我國參採。



資料來源：王麗凱，「綠色航運走廊」簡報^[7]

圖 12 PSA 未來燃料轉型變化的規劃



資料來源：王麗凱，「綠色航運走廊」簡報^[7]

圖 13 PSA 未來燃料採購來源的規劃

(二)歐盟港口為脫碳目標的轉型

挪威船級社和歐洲電力(DNV.GL & Eurelectric)於 2020 年 6 月合作出版一份「Ports: Green gateways to Europe-10 transitions to turn ports into decarbonization hubs」報告^[11]，闡述港口是歐洲通往綠色的門戶，提出將港口轉變為脫碳樞紐的 10 個轉型，並提出相關對策。本研究研析後摘整如後：

「交通運輸」占歐盟二氧化碳排放總量的 1/3，其中「公路運輸」占總交通運輸二氧化碳排放量的 72%，水運占 14%，航空運輸占 13%。由於已對車輛執行二氧化碳的排放目標，水運排放問題亦應積極解決。

此報告以 DNV GL 的能源轉型展望(DNV GL' s Energy Transition Outlook) 報告為基礎，探討港口的十大關鍵綠色轉型的預期影響，內容包括歐洲港口(包括各種工業港和運輸港)的脫碳潛力；利害相關者如何在港口及其周圍達到工業的轉型和脫碳；港口發揮脫碳樞紐潛力的障礙和必要措施，包括監管、經濟和技術等措施；並建議利用電氣化加速港口脫碳的策略。

報告中將歐盟港口分為兩類，即大型工業港和較小的運輸港，大型工業港擁有大型原油/化工產業集群、發電廠並置，且具連接海上風電的巨大潛力，而較小的運輸港，產業集群有限，貨櫃和客運混合運輸，沒有海上風電連接潛力。綠色轉型的影響因港口而異，因為運輸的貨物類型和數量、工業活動的類型和數量、海上風電連接樞紐的潛力以及作為客運港口的重要性各不相同。

報告中提出將港口轉變為脫碳樞紐的 10 個轉型，如圖 14 所示，說明如後：



資料來源：DNV.GL & Eurelectric^[11]

圖 14 歐盟港口轉變為脫碳樞紐的 10 個轉型

1. 港口相關作業電氣化(ELECTRIFICATION OF PORT CONNECTED ACTIVITIES)

隨著太陽能光電、風電等可再生能源滲透率的提高，發電的碳強度將大幅下降，從化石燃料轉向可再生電力將減少全球的碳排放。港口作業可透過電氣化實現脫碳，這些作業包括加油、起重機作業、處理貨運的物流車輛、(冷藏)儲存、引航船和拖船等服務船、以及辦公室和建築物。

港口也深受周邊及關聯運輸電氣化的影響，如附近的工業、道路、河流和短途海上運輸的電氣化。電力基礎設施不僅需要促進港口本身作業的電氣化，還需要促進關聯運輸的電氣化，亦即港口的配電基礎設施需要進行很大的容量升級(預估運輸港未來的總電力需求增加近 5 倍，岸電需求將大增)，而這需要大量投資以及足夠的空間來部署必要的基礎設施。

2. 海上運輸燃料的轉變 (FUEL SWITCH FOR MARITIME TRANSPORT)

燃料轉換對港口的影響主要是加油設施的變化。替代燃料可能是多元的，大部分其能量密度較低，船舶必須更頻繁地加油，港口的挑戰是必須決定投資哪些燃料的基礎設施。而電力是港口脫碳的共同

需求，擴充充電基礎設施似乎是一個必要的選擇。

3. 工業電氣化 (ELECTRIFICATION OF INDUSTRY)

在某些港口，工業是港口相關活動的重要組成之一，根據歐盟修訂的能源效率指令 Directive on Energy Efficiency (2018/2012)，電氣化是推動工業減排的重要方式。工業電氣化將透過大規模的佈署額外的可再生能源產能、相關電網和存儲等基礎設施、生產綠色氫、電鍋爐和熱泵等方式來實現。工業電氣化可能造成「化石貨物(石油、天然氣、液化天然氣)」減少高達 50%，而這將對周邊產業產生重大影響，如改善中的區域電網、支持公用事業的服務，和其他生產電力的設施。

4. 離岸風電的整合 (INTEGRATION OF OFFSHORE WIND)

離岸風電的整合將對港口能源系統產生重大的影響，而整合離岸風電的最大挑戰之一是與陸上電網的連接。港口是規劃中大量離岸風電的天然著陸點，可以在離岸風電的發展中發揮重要作用，因為港口通常擁有強大的產業集群，有潛力提供靈活性。

許多工業過程都使用氫氣，目前大多數的氫氣是使用天然氣生產的，透過在大型港口附近設立電解槽，工業界將直接獲得由風力發電產生的大量綠色氫氣。且在離岸風電高峰期間，港區用電量的增加將可減少內陸電網容量的需求，但受影響的港口將須建立重型電網。此外，離岸風電的發展將增加風力渦輪機安裝和服務活動的需求，位於大型離岸風電場附近的港口是這種新興安裝和服務產業的天然所在地。

5. 能源系統整合 (ENERGY SYSTEM INTEGRATION)

能源系統整合是由於不同能源的價值鏈將會需要更加的相互關聯，整合的系統將包括產生動力的電力、用於(工業)供暖和原料的天然氣，及用於運輸和離網發電(off-grid electricity generation)的石油。港口是透過運輸和物流串連許多不同部門的物流樞紐，港口現在正在成為能源中心，許多趨勢正在聚集推動能源系統的整合，驅動力包括可再生能源的滲透、能源供需彈性需求的增加、效率的提升和優化。

能源基礎設施方面的挑戰已經顯現出來，包括營運和管理方面的必要投資及其監管架構。由於脫碳壓力越來越大，這一趨勢將越來越重要，期透過優化能源基礎設施，以進一步提高能源效率和可持續性。

6. 使用氫作為原料和能源 (HYDROGEN AS FEEDSTOCK AND ENERGY VECTOR)

正如「歐洲綠色協議(European Green Deal)」中提到的，電氣化是有效且可持續的脫碳方式，但以目前的技術，電氣化還無法覆蓋所有

領域。而氫是一種潛在的能源載體，可以彌補這些領域的電力，氫氣還可用作原料，為航空和遠洋海運等難以脫碳的行業生產碳中和燃料。

當透過電力生產時，這些燃料被稱為電力或電子燃料，包括氫、甲醇、甲酸、合成甲烷 (SNG) 或高級碳氫化合物，即所謂的合成燃料 (syn-fuel)。

目前氫氣主要為化學和石化工業的原料，透過蒸汽重整 (steam reforming) 或部分氧化從天然氣中生產（如果與碳捕捉和儲存相結合，則為藍色氫氣）。因為氫也可以由可再生電力生產（通常被稱為綠色氫），在促進工業脫碳和能源轉型方面具有很大的潛力。而一些港口是連接離岸風電的天然樞紐，因此擁有豐富的可再生電力的優勢，這些電力可以透過電解轉化為綠色氫氣，可提升港口的經濟競爭力。

7. 逐步淘汰化石燃料發電廠 (PHASE-OUT OF FOSSIL-FUELLED POWER PLANTS)

大型港口因為具有多種優勢，同時設置大型化石燃料或生質發電廠的情況很常見。而化石燃料發電廠是歐洲碳排放的一大貢獻者。逐步淘汰化石燃料發電廠，特別是燃煤發電廠是減少碳排放的快速方法。

逐步淘汰化石燃料發電廠還將對港口產生特別重要的影響。由於未來燃料供應方面的變化，在中短期內，煤炭將被生物質、氫氣或天然氣取代，所以應根據發電廠的類型和壽命，進行改造或逐步淘汰，留下寶貴的土地空間用於其他用途，改造選擇如將發電廠轉換為天然氣發電廠、氫發電廠或生物質發電廠。

8. 碳捕捉和封存 (CARBON CAPTURE AND STORAGE, CCS)

捕捉二氧化碳並封存的過程稱為 CCS。CCS 涉及三個主要步驟；從源頭捕捉排放氣體中的二氧化碳，將其運輸到封存地點後，將其深深注入精心挑選的地下庫中永久儲存。

CCS 通常應用於燃煤和燃氣發電站的捕集系統，但其應用範圍更大，包括水泥、鋼鐵、氫氣和氨等主要行業，即所有燃燒或工業過程產生之二氧化碳的捕存。

港口在 CCS 的發展中可以發揮重要作用，尤其是北海擁有巨大的二氧化碳潛在儲存量，透過在遠離人口中心的枯竭氣田進行近海二氧化碳封存，可以增強公眾對 CCS 的支持。荷蘭鹿特丹港以及北極光聯盟下的挪威奧斯陸港和卑爾根港都已經積極參與 CCS。

9. 制定新法規 (DEVELOPMENT OF NEW REGULATION)

監管被認為是總體變革的重要推動要素，亦即是實現聯合國可持續

發展和綠色轉型的重要推動要素。歐盟推動變革的政策方向是由2030年及其後的氣候政策目標所決定的，特別是碳減排目標、可再生能源目標、能源效率目標、IMO規範和歐盟替代燃料的指令等。對歐盟港口，邊境稅調整和新的燃油稅可能會增加成本，並可能減少國際貨運量，由於能源系統整合需要為各獨立的能源提供公平的競爭環境，因此預計稅收將發生變化。

港務局可以透過收取特定的費用和稅費、岸電、提供船舶的移動電源服務，及提高港口營運效率等，來刺激和促進溫室氣體減排。

10. 循環經濟和生物基經濟 (CIRCULAR AND BIO-BASED ECONOMIES)

循環經濟和生物基經濟都是新的歐洲綠色協議的一部分。循環經濟要在生態約束範圍內運作，將以對社會負責的方式有效地處理產品、材料和資源；循環經濟將減少原材料的使用量，在循環經濟中，產品的使用壽命將得到延長，重點是修復、再利用和回收。

未來港口對利用生物質來生產生物基(bio-based)產品的需求將會不斷成長，預期大部分生物質或生物基原材料將從其他地區進口。另港口可以成為循環樞紐，將船舶和海事相關過程中產生的廢料轉化為其他的有價值的產品，例如農業肥料或水泥工業原材料。

此報告強調港口可以扮演能源轉型前導者的重要角色，及港口對於實現歐盟可持續發展和脫碳目標的重要性。而港口發展與政策制定非常相關，因為港口正在引領工業能源轉型，而港口的發展將受益於其他工業領域的脫碳。因此報告中進一步提出相關政策建議，以因應轉型的複雜性，使推動一致性，並促進港口當局、產業、發電商、基礎設施管理者和政府組織等各利害相關者之間的合作。相關政策摘整如後：

1. 應促進岸電標準化，移除遵守標準的障礙

一些岸電標準已經制定，更多新技術標準正在制定中，但這些標準尚未被完全接受。一些充電設備供應商（尤其是渡輪充電設備供應商）並不遵守這一規定，而是選擇更加自動化和自訂的解決方案，以減少連接時間並節省處理成本，可能會限制這些設施以後的應用潛力，應進一步推動現有標準的使用和新標準的演進。

2. 鼓勵先行者為港口相關活動進一步電氣化

電力是最綠色的能源，因此港口脫碳的最大、最快的途徑通常是透過港口相關活動的電氣化。由於充電基礎設施投資較高、初期缺乏使用客戶、目前設備供應商數量有限，後續投資很少。應考慮採取如：為無利可圖的前端開發者提供資金、回購計畫和加速折舊等干預措施來補償先行者執行現有或即將推出的標準。

3. 資助研究、開發和創新

沒有研發和創新就沒有進步，為加速向綠色和可持續歐洲的過渡，為企業研發提供直接資助至關重要，應高度重視電力、燃料領域的研究和創新，以及產業與基礎設施、能源營運商之間合作的商業模式。

4. 提供友善的投資環境

港口和港區的改造通常是昂貴且漫長的，為了增加投資者提高綠色商業決策的意願，需要保證擁有一個友善且簡單的金融監管生態系統。由於港口是從私營部門到公共部門等各種參與者的交匯點，設計有效的監管環境以確保提供可持續的公私合作夥伴關係（PPP）將可加速綠色轉型。

5. 透過港口協作建立海運的環保激勵措施和費率

定價機制可以激勵海事營運商選擇更環保的技術，防止海洋污染。此類港口費獎勵措施，可以激勵船東營運高性能船隊、符合更嚴格的環境要求以及較低排放和污染，同時激勵其他船東效仿。

6. 支持並促進利害相關者對話

當局和相關利害相關者（能源生產商和產業代表、系統營運商、監管機構）應制定整合藍圖，其中包括未來基礎設施、過渡路徑、相關各方之間的作業方式、治理架構和商業模式等，以顯示利害相關者將如何因支持和利用能源生態系統而獲得獎勵。

7. 使港口能夠持續促進可調配及可再生電力間的互動

到 2050 年，電力結構將發生根本性變化。新能源系統將由可再生能源定義，並與發電的可調配性、靈活性和基礎設施（包括氫能）相結合，應允許港口在這方面發揮重要作用。

8. 支持港口在電解製造氫的前期投資

利用風能和太陽能的可再生電力生產氫氣將是未來的一個重要能源生態系統。氫氣可以用作合成燃料的原料，使工業中的熱量產生脫碳，並且能夠長期儲存大量能量而不會造成重大流失。

9. 採取公平的方式與利害相關者分享好處，避免不必要的電網投資。

10. 授權港口當局與配電系統營運商(Distribution System Operators, DSO)協調，促進跨多個能源運輸公司的港口能源基礎設施的發展

能源基礎設施和各種能源運輸公司的使用是相互作用的，這需要所有相關利害相關者(包括 DSO)之間的合作。應授權港口當局與 DSO 協調，與港區各種能源利害相關者合作評估電網的空間、投資和數位化需求等相關的基礎設施。

11. 制定並實施一套結構化方法，以解決立法和稅收監管不一致的問題

現有法規與脫碳目標的發展偶有些不一致，如在生產過剩時對電力使用課稅，可能會導致可再生能源的浪費，而不是將多餘的電力用

於儲能或供暖，需採用一套結構化方法，以系統性的解決此不一致的問題。

五、我國海運業因應減碳現況

(一)我國貨櫃航運公司因應方式

航商因應減碳議題所採取的策略不外乎如第三章所述，而我國二大貨櫃航運公司，陽明海運公司及長榮海運公司，為因應國際法規的規範，及呼應航運界對全球環保減碳倡議的承諾，除擬訂公司的減碳目標外，亦進行許多的減碳措施，蒐整如後。

1. 陽明海運公司

陽明海運公司在綠色續航的相關目標、策略與措施，可由該公司 2023 永續報告書^[12]得知，摘錄如後，其規劃至 2050 年的減碳路徑、策略與措施如圖 15。

在船舶減碳方面，陽明海運公司藉由船隊汰舊換新、布建新型環保船舶、船舶航行作業最佳化、配合配艙作業調整貨物壓載及吃水之節能操作、及透過智慧船舶中心監控利用大數據與雲端等智能技術提升營運效能，並強化船隊減碳管理，監控船舶能源消耗表現，搭配現成船舶節能優化改裝，以達船舶航行期間的減碳成效。另新造貨櫃全面使用水性漆，有效減少 VOC 有機氣體排放。

船舶靠港時，船隊亦使用岸電減少空氣汙染、進行廢水排放管制及調降船速以維護當地海洋生態。陽明海運公司旗下的美國轉投資公司 WBCT 設立及管理 16 座岸電系統(Alternative Maritime Power, AMP)，這些系統不僅符合美國聯邦及當地法規，亦符合加州空氣資源局(CARB)的規範，改善港區空氣品質。而公司配置有岸電設備船舶亦積極配合碼頭，如洛杉磯港、長堤港、奧克蘭港等港口，使用岸電。透過這些岸電系統，貨櫃輪可以在靠港時使用岸上電源，減少使用發動機所帶來的空氣汙染。另陽明公司在高雄港的高明貨櫃碼頭為環保綠能貨櫃碼頭，配有 6 座岸電系統，供貨櫃輪在靠港時使用，積極配合環保署的岸電推動工作。

為實踐 2050 年淨零碳排，陽明公司於 2021 年進行溫室氣體盤查，做為該公司碳排總量基準年。截至 2022 年，陽明公司船舶脫硫器安裝比例為 44%、使用低硫油船也有 56%，氮氧化物及硫氧化物排放之平均單位排放量較 2021 年分別減少 5.17%及 8.3%。

另亦持續關注不同類型船舶替代燃料(如生質燃油、甲醇、氫、氨)之技術成熟度、供應鏈垂直整合之完整性及國際環保法規之發展。由於 LNG

雙燃料碳排放相較於傳統燃油減少約 20%，公司已著手布建 5 艘 15,000 TEU LNG 雙燃料貨櫃船(預計 2026 年起陸續交船)，2022 年成為絲路聯盟(The Silk Alliance)創始成員、加入零排放聯盟 (Getting to Zero Coalition)、船用氣體燃料協會 (The Society for Gas as a Marine Fuel)，攜手海運產業鏈業者共同發展燃料轉型及永續脫碳策略。

為響應綠色辦公，辦公室及基隆(陽明)貨櫃場提升能源使用效率、落實在地採購、綠色採購、源頭減量等，以降低能源使用及減少資源浪費。並進行陸上營運據點低碳投資，包括營運大樓增設綠電、運具電動化、貨櫃場設備電動化等，冷凍櫃則全面改為採用 R134a 冷媒。

● 減碳路徑及策略



▶ 現在措施

船舶節能措施	辦公室及貨櫃場節能措施	防止海洋污染 - 船隊管理
● 船體優化 (高效率節能船殼、船體線型依據實用區間設計)	● 公務車採用電動機車及逐步汰換為油電汽車	● 船隊通過 ISM 與 ISO14001 管理系統認證
● 主機採用 Low-Loading Tuning EGB 模式	● 使用 LED 節能照明設備、分區照明及感應式電燈	● 危險品管理 (結合人工智慧辨識)
● 智能船隊管理 -5G 系統結合衛星通訊衛星船位動態、氣象整合系統、綠色航運模組	● 機具電器化，汰換舊機具	● 減少海洋垃圾
● 船隊汰換新布建新環保船舶	● 優先採購一級能效節能標章之設備	● 採用最新型之減阻防污漆
	● 電梯、電腦及影印機設定自動進入省電狀態	● 船舶定期保養 (採用新式不含鎳的船用油漆)
		● 配鍊管理貨櫃零落海
		● 生物污染管理計畫
		● 壓艙水管理
		● 船舶污水處理

▶ 未來措施

船隊 / 辦公室 / 貨櫃場
● 智慧船舶中心建置 VOS/CII 整合監控平台
● 布建 5 艘 LNG 雙燃料貨櫃船
● 參與國際會議及組織共同發展燃料轉型及綠色走廊計畫
● 研擬總量減量目標
● 船隊主機馬力限制 (EPL) 改造追蹤管理
● 發展船舶替代燃料與節能設備技術
● 自有辦公室使用綠電
● 數位轉型 - 提高電子化使用比例
● 廢棄物管理 - 提升回收再利用比例

註 1: 2009 年設立燃油能效小組於 2019 年改為燃油能效小組。

註 2: 2021 年係為設定基準年設定，由於依據排放源重大性原則結果，排放源類別 3-5 之評估項目僅列，因此基準年之設定應進行調整，類別 1 與 2 之基準年仍定為 2021 年，類別 3-5 之基準年則設定為 2022 年。

註 3: 2021 年溫室氣體盤查數據類別 1+2 為 4,000,525.4688(噸 CO₂e)，類別 3-5 為 120,888.4453(噸 CO₂e)。

資料來源：陽明海運公司永續報告書^[12]

圖 15 陽明海運公司至 2050 年的減碳路徑、策略與措施規劃

2. 長榮海運公司

長榮海運公司在綠色航運方面，主要是朝 7 大面向努力，包括能源與溫室氣體管理、排放管理、環保船舶與貨櫃、科技減碳-數位化航運、水資源管理、生態保護及廢棄物管理^[13]。以下就減碳相關面向的策略與措施摘整說明。

(1) 「能源與溫室氣體管理」面向

長榮海運在海上船舶、貨櫃場和辦公大樓 3 方面管理溫室氣體排放、用水和廢棄物處理，掌握和檢討能源使用狀況，以制定和實施減量方案。

在船舶減少溫室氣體排放措施上，進行船舶燃油數據監控，指派專人每日即時監控船隊各艘船舶的燃油消耗及主機操作狀況，以確保主機推進效能。貨櫃輪在靠港時選擇使用岸上電源，減少使用發動機所帶來的空氣污染。並檢討與分析每月燃油總消耗量、總航行距離等資料，全程監控及改善全船隊的溫室氣體排放，以確保達成船隊減碳目標。

在貨櫃場上，擬訂內陸櫃場五大減碳策略如圖 16，包括針對內陸櫃場減少空櫃滯留天數、減少櫃場內空櫃搬移頻率、減少非必要修洗櫃作業、降低儲率提升作業效率以減少能源損耗、及落實廢棄物管理及回收。2022 年換新 7 部空櫃堆高機提升能源效率，新購環保四級引擎減少空污，持續加大自動門式車機作業區使用效率及利用自動車機區靈活調度，以減少油耗碳排及降低環境污染。另 2023 年新公務車採購更節省油耗之油電混合車或純電動車，將純油耗公務車汰換為油電混合車，以節省油耗。



資料來源：長榮海運公司永續報告書[12]

圖 16 長榮海運公司內陸櫃場五大減碳策略

(2) 「排放管理」面向

長榮海運公司目前採取下列措施以降低二氧化碳排放量：

- (1) 船舶汰舊換新，以最佳能效與環保為船舶設計理念。
- (2) 全程監控船舶燃油消耗及主機操作狀況，以確保主機推進效能。
- (3) 提供船隊即時天候資訊，以避開惡劣天候對船速造成負面的影響。
- (4) 竭力提升貨物裝卸效率，縮短船舶滯港時間。
- (5) 妥善規劃船舶貨物裝載量，並減少壓艙水裝載，以達最大經濟效益。
- (6) 船體換用特殊防污漆。

長榮海運所有新造船皆加裝脫硫器，滿足硫氧化物 (SOx) 排放法規的規範，航路行經排放控制區 (Emission Control Area, ECA) 的船舶更加裝選擇性催化減量 (SCR, Selective Catalytic Reduction) 設備，以滿足氮氧化物 (NOx) 排放法規。至 2022 年底長榮自有船隊共有 131 艘船配置脫硫洗滌塔，營運及管理船隊有超過 7 成(72.5%)完成加裝脫硫設備(以船舶艘數計算)，而部分現成船使用低硫燃油以符合法規要求。

長榮海運公司與船廠及設備商合作研究開發新技術及替代能源，目前已與多家全球新能源供應商洽談合作計劃簽署合作意向書(MOU)，並已於今(2023)年 7 月訂購 24 艘雙燃料甲醇貨櫃船(16,000TEU)，此外，也進行有關碳捕捉技術(Carbon Capture and Storage, CCS) 的規劃，以供未來碳排放法規生效後，船隊安裝脫碳設備的評估。

(3) 「環保船舶及貨櫃」面向

2022 年長榮海運新造約 8 萬只貨櫃，皆採環保貨櫃，藉由安裝廢氣淨化設備系統或將貨櫃塗裝由溶劑漆變更為水性塗料等方法，可有效減少揮發性有機物 VOC (Volatile Organic Compounds) 排放降低溫室效應影響。另加強貨櫃調度，減少區域間貨櫃不平衡衍生的空櫃調度，亦減少空櫃往返碼頭與櫃場間的集港或疏港拖車作業，降低運輸能源使用量及對應的碳排放，同時減少修、洗櫃數亦可減少水、電等能源使用量，而冷凍櫃則改使用變頻機種。

(4) 「科技減碳-數位化航運」面向

2022 年再推出 EVERGEEN LINE，併同 ShipmentLink 數位平台及 GreenX 電商平台，持續提供零接觸服務，使客戶從船期查詢、訂艙、提單、提交驗證總重(VGM)及貨櫃追蹤資訊都能透過線上平台或 EDI 資料交換方式進行，達到資訊及時、零接觸及無紙化減碳效能。

於 2019 年參與數位化貨櫃航運協會(Digital Container Shipping Association, DCSA)，與國際其他航商共同合作推動貨櫃運輸資訊的數位化與標準化，自出口訂艙起至進口放貨的運輸供應鏈作業都以標準化資料傳送，改善整體作業效率。2023 年 2 月再與 DCSA 其他 8 家航運成員公司共同倡議，在未來 5 年內將 50% 的紙本提單轉換為數位化電子提單，並預計 2030 年 100% 全面採用電子提單。

(二) 我國港口因應現況

在港口方面，近年來全球各大港口，均以發展環境友善之港埠作為重點目標之一。美、澳等國提倡「綠色港 (Green Port)」、歐洲及日本等國則以「生態港 (Eco port)」為論述主軸，展現發展「綠色」、「生態」及「永續」港埠之企圖。

我國商港亦朝 2050 淨零碳排目標努力，臺灣港務公司為響應我國「2050 淨零碳排」政策之推動，擬訂公司未來策略經營方向為「接軌國際 SDGs 永續經營理念，打造安全、效率、品質與永續兼具的現代化港口，向全球卓越港埠經營集團邁進」，持續推動溫室氣體管理作業，並已於 111 年完成各國際商港 109-110 年的溫室氣體盤查，於 112 年完成「臺灣港群溫室氣體盤查及減碳路徑藍圖規劃」^[3]，依據港務公司特性調整制定減碳藍圖架構（如圖 17），其中分為能源結構、資源利用、交通減排、船舶運輸、設備升級及其他、碳抵換及組織行為等七大面向，並將執行期程分為近程（2021 年至 2025 年）、中程（2026 年至 2030 年），以及長程（2031 年至 2050 年），另港務公司低碳轉型策略如圖 18。7 大減碳藍圖方案之內涵簡述如後，摘錄如表 4：

1. 能源結構

在能源結構方面，專注於再生能源的建置，包含目前較常見的風能、太陽能或生質能等，亦積極布局新興及前瞻能源，盤點可出租之土地予相關業者進駐開發綠能或做再生能源示範場域，未來相關再生能源建置宜可提供綠電供港務公司及港區內業者使用為首選。

2. 資源利用

關於港務公司能掌控的能源資源，除電力外，其他 GHG 排放項目包含設備操作需要的固定汽油量及固定柴油量、廢棄物處理與再利用及承租廠商用油量等所產生的 GHG 排放，將由設備汰換更換或升級為用電設備等方式達到減量目標。

3. 交通減排

主要聚焦在陸域運具的電動化，以及改變通勤、差旅習慣。運具的電動化包含陸路運輸的汽機車及大小貨車等，另將更積極控管進出車輛的數量與形式，同步考量使用習慣的改變，減少差旅的行程，鼓勵員工搭乘大眾交通工具、步行或自行車，以及通勤或出差使用電動化汽、機車。

4. 船舶運輸

港區業者之船舶，透過電動化、去碳化或設備汰舊換新、提升效能等方式降低碳排，港務公司將瞭解業者對於基礎設施的需求，透過改善基礎建設，如岸電之設置或能源加給站之設置外，另將宣導與鼓勵港區業者汰換船舶硬體設備與逐步更換潔淨燃料等方式降低碳排放量。

5. 設備升級及其他

此方案專注於能源效率的提升，包含在新建物或工程上導入低碳或零碳思維，而舊建物亦可逐年進行改善，將建物導向綠建築、建築能效 1 級

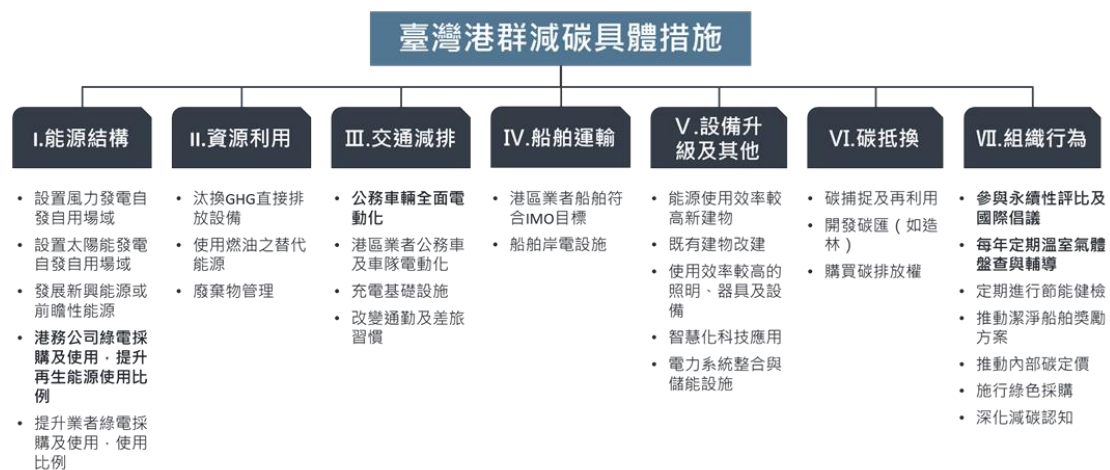
或近零碳建築等方向，使用節能工法及設備。除建物之外，其他硬體設備逐步汰換為節能與自動化設備，且智慧電表、AI 智慧化科技應用、電力系統整合與儲能設施等皆是未來推動的重要基礎建設，而未來電動化需要更多基礎建設來支持。

6. 碳抵換

港務公司將竭力於節能減碳，力求將碳排降低，但最後尚會有剩餘無法消除的碳排量，將利用碳捕捉及再利用、碳匯、購買碳排放權等方式抵換剩餘的碳排量，以達到碳中和。

7. 組織行為

除了具象的實質減量外，港務公司將搭配其他宣導輔導或獎勵方式，達到減碳的深度認知與實踐，且將持續參與永續性評比及國際倡議，並完整落實自身組織之 GHG 盤查、節能健檢輔導、潔淨船舶獎勵方案、推動內部碳定價、綠色採購及深化減碳認知等。



資料來源：臺灣港務公司，「臺灣港群溫室氣體盤查及減碳路徑藍圖規劃」^[3]。

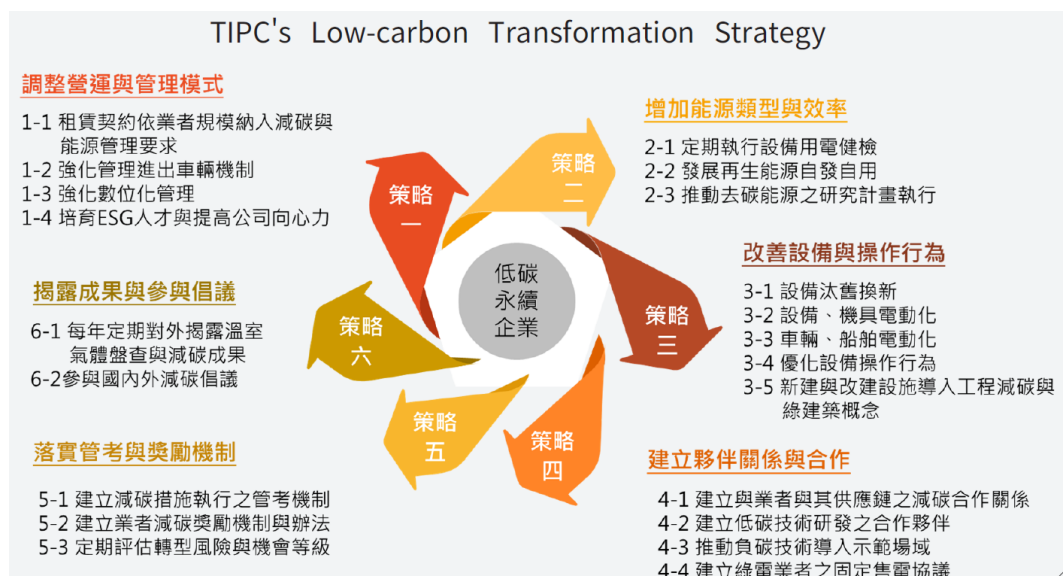
圖 17 臺灣港群減碳藍圖架構圖

表 4 港務公司減碳方案彙整表

分類 (Sectors)	項號 (Items)	減碳方案 (Mitigation options)	類別 (Category)	2025 短	2030 中	2050 長
I. 能源結構	I-1	風力發電	2		V	V
	I-2	太陽能發電	2	V	V	V
	I-3	其他新興能源或前瞻能源	2			
	I-4	綠電採購及使用 (TIPC)	2、4	V	V	V
	I-5	綠電採購及使用 (業者)	5	V	V	V
II. 資源利用	II-1	汰換 GHG 直接排放設備	1	V		
	II-2	使用燃油之替代能源 (TIPC)	1	V	V	
	II-3	使用燃油之替代能源 (業者)	5	V	V	V
	II-4	廢棄物處理	4	V	V	V
III. 交通減排	III-1	車輛電動化 (TIPC)	1、2、4	V	V	
	III-2	車輛電動化 (業者)	5	V	V	V
	III-3	充電基礎設施	1、2、3			
	III-4	改變通勤及差旅習慣	3	V	V	V
IV. 船舶運輸	IV-1	港區業者船舶符合 IMO 目標	3	V	V	V
	IV-2	船舶岸電設施	3			
V. 設備升級及其他	V-1	能源使用效率較高新建物	2			
	V-2	既有建物改建	2			
	V-3	使用效率較高的照明、器具及設備	1、2	V	V	V
	V-4	AI 智能化科技應用	1、2、3			
	V-5	電力系統整合與儲能設施	2			
VI. 碳抵消	VI-1	碳捕捉及再利用				
	VI-2	開發碳匯				
	VI-3	購買碳排放權				
VII. 組織行為	VII-1	參與永續性評比及國際倡議				
	VII-2	GHG 盤查與輔導				
	VII-3	節能健檢輔導				
	VII-5	潔淨船舶獎勵方案				
	VII-6	推動內部碳定價				
	VII-7	綠色採購				
	VII-8	減碳認知深化				

註：1. 為有量化數據之減碳方案， 為雖未能量化但能輔助加速減碳之減碳方案。

2. 資料來源：臺灣港務公司，「臺灣港群溫室氣體盤查及減碳路徑藍圖規劃」^[3]。



資料來源：盧展猶，2023 年運輸學會年會「重大交通政策未來課題研討」簡報^[14]

圖 18 臺灣港務公司低碳轉型策略

六、我國海運業未來因應減碳課題

本研究綜整國際的發展現況與趨勢，再對應我國海運業的發展現況，研析我國海運業未來仍可再精進的減碳課題如下：

(一)航運業

航運公司主要為提供船舶的運送服務，改善 CII 措施包括船舶能效優化(引擎技術、節能裝置、低阻油漆、空氣潤滑、岸電、廢熱回收、風力輔助...)及營運模式優化(準時到港、航線調整、船速調節、使用低碳/零碳燃料...)二大面向，航商為達到國際法規的規範(包括船舶能效指標及碳強度)，在新造船上大都會達到 EEDI 標準以降低碳排放量，惟在替代燃料選擇上仍有所疑慮，而在現成船方面，亦須達到 EEXI 標準，否則將面臨淘汰，雖然航商大都已经積極因應與規劃，以確保未來的永續營運，但為達到 2050 淨零目標，相關規範越來越嚴苛，仍有許多挑戰有待克服及改善，航運業未來仍須再關注與強化的課題如下：

1. 航程優化的再精進

依據一項由支持低碳航運的全球產業聯盟 (Low Carbon GIA) 委託船舶動態整合系統 MarineTraffic 和能源與環境研究協會 (EERA) 的合作研究，發現貨櫃船可借助準時到達(JIT Arrival)航程優化工具減少 14% 的燃料消耗及碳排放^[15]。航程優化對貨櫃運輸尤為重要，雖然大部分航商皆已著手優化，透過大數據系統調度，減少燃油浪費，達到減碳效益，

惟大都侷限於公司內部可控的流程優化，建議應結合數位化與智慧化，與上下游利害關係者(如港口作業業者)合作，加速數位化，縮短靠港時間，提升靠港作業的效能。

2. 可用船隊的妥適規劃

歐盟 FuelEU Maritime 為降低船舶能源的 GHG 強度，自 2025 年起每年使用能源的全生命週期 GHG 強度需低於規定值，超過須繳納罰款。規定值以 2020 年參考線為基線，每 5 年加嚴一次 (2050 年時將減 80%)，若現有船舶無法符合未來的減碳法規，恐怕只剩下淘汰的選項，預期未來將有愈來愈多船舶被迫退場，因此，新造船須確保船舶具備最佳能源效率技術。然航商可選擇船舶「個體合規」或「集體合規」，因此妥適規劃各階段的可用船隊，以確保可因應營運需求，為未來課題之一。

3. 清潔替代燃料的選擇與因應

尋找清潔替代燃料是船舶減碳最有效的方法，使用替代燃料的優點為可直接減少碳排放及溫室氣體，缺點是需要較大的空間儲放、有危險性、成本高、且相關法規成熟度不足。雖然替代燃料的軟硬體與法規尚在發展中，市場上無暫無完美的選項，不同航線皆須考量港口設施、燃料可得性、技術成熟度、艙櫃容積等，惟為因應 IMO 及歐盟持續加嚴減碳規定(IMO 期許 2030 年國際航線船舶所使用的能源占比，應有 5%~10%來自零排放的溫室氣體排放技術或燃料)，導入新燃料為必要的途徑，航運業者應盡速評估因應，以免喪失競爭力。

實現清潔燃料在航運業規模化使用的最大挑戰在於燃料供給端的可獲得性。若要導入新燃料，必須連同港口設備一起升級，航商須與港口營運者合作，確保開始使用新燃料時，有相應之燃料基礎設施。可評估以參與「綠色航運走廊」倡議的方式，與相關單位共同合作，降低風險。

4. 船舶使用岸電的設計規劃

要求船舶使用岸電通常為港口減碳的短期措施之一，已陸續有歐美港口推行相關規定及研訂罰則(收取碳稅等)，FuelEU Maritime 法案已規定 2030 年以後，將要求總噸位超過 5,000GT 之貨櫃船及客船，在停靠歐盟特定港口時須使用岸電，若未依規定使用岸電，將會計算相關罰款。在船舶未使用清潔替代燃料前，航運業應儘早建置船舶連接岸電的相關設施。

5. 因應減碳成本的財務規劃

對航運業而言，船東和航商應考量未來新船舶的投資，包括脫碳技術和低(零)碳燃料相關的額外費用，因應這些減碳的法規都是成本增加

的來源，航商未來也必須將碳稅納進財務報表中妥為規劃因應。另亦應關注「船舶融資全球框架波塞冬原則」對融資及資金流的影響。

6. 規劃建立「溫室氣體排放可視化的單一平台(Emissions Dashboard)」

由於航運業的貨物運輸碳排可能屬各廠商須計算的範疇三碳排，如何快速提供客戶所需的公正的碳排數據，應為未來的必要服務，全球第一大航商馬士基正在建立「溫室氣體排放可視化的單一平台」，整合所有貨運承攬人和運輸方式的排放數據，可讓物流的排放全面可見，使用者可查看端點到端點供應鏈中所有貨物移動的排放數據，提供使用者作為企業責任或是其他排放需求之文件，另可主動提供哪些行動可減少排放，並系統性提出碳中和建議。

7. 持續關注國際貨源及貨量變化以調整運力佈署

歐盟擬自 2023 起逐步將航運業納入歐盟排放交易系統(ETS)，國際海事組織(IMO)也已於 2023 年對現有船舶實施能源效率指標(EEXI)及營運碳強度指標(CII)等控制溫室效應之措施。對航運業者，這些法規都是成本增加的來源。未來廠商設廠必須考慮到運輸成本上漲的問題，若運費持續上漲，廠商可能選擇於消費地(歐美)設廠，縮短運輸距離，供應鏈可能將逐漸由長變短。因此，航運業應高度關注貿易區塊的重組與形成，依據國際貨源及貨量變化而調整運力佈署。

(二)港口

國際港埠協會(IAPH)提及：「港口是陸運和海運之間的重要樞紐，也是實現海運和陸運零排放解決方案的關鍵參與者」，港口在永續發展，扮演重要角色。各國港口為達到減碳目標，亦紛紛擬訂相關措施規範靠港的船舶。本研究蒐整國際港口的減碳作為，再對比國內現今的發展，發掘我國港口未來可再關注與強化的課題如下：

1. 因應全球及我國能源政策的發展變化，審慎擬訂港口在我國能源轉型的角色定位

為達到 2050 年淨零目標，全球能源轉型勢在必行，聯合國已在 COP28 會議上公開呼籲逐步減少化石燃料，我國的能源政策可能也將隨之轉變，而港口在國家的能源轉型扮演重要的角色，應先審慎進行前瞻規劃，擬訂港口在我國能源轉型的角色定位，以利進行後續的港口發展規劃。

2. 為循序達到港區 2050 淨零減碳目標，擬訂明確的階段性減碳目標、措施及實際的行動方案。

由於我國港口的經營屬地主港模式，大部分區域為出租的碼頭與區域，為循序達到整體港區 2050 淨零減碳目標，港口營運與監管單位

應和港區內相關利害相關者共同制定整合減碳藍圖，擬訂明確的階段性減碳目標、措施及實際的行動方案，以利務實有序的達到目標。

3. 因應替代能源的發展與變化，重新思考港口的有限空間配置，並進行基礎設施的重整規劃

布局替代能源與燃料的來源為減碳長期因應之道，應盤點及預估港區所需的替代能源與燃料的轉型需求(如新加坡所擬定之 2025-2035 燃料的轉型變化規劃)，規劃新能源與燃料的來源。電力是最綠色的能源，港口脫碳的最大、最快的途徑通常是透過港口相關活動的電氣化，因此，港口的配電基礎設施需要進行很大的容量升級，而這需要大量投資以及足夠的空間來部署必要的基礎設施。

我國持續發展離岸風電，應與離岸風電業者保持良好溝通渠道，確立風電的港口需求，滾動式調整及升級港口基礎設施，擴大服務量能。另亦應考量新能源系統建設，如管線之使用需求及必要性。

4. 港口碼頭裝卸設備、車輛、建物採用潔淨能源、自動化、數位化及智慧化，增進能源使用效率。

世界經濟論壇(World Economic Forum, WEF) 指出到 2050 年數位科技可加速減少(能源、材料和交通)碳排放量約 20%，透過加速採用數位科技到 2030 年可將排放量減少 4-10%。碼頭營運商部署智慧系統增進營運效能，減少船舶及車輛的空轉與等待時間，亦可在碼頭周邊開發以港口為中心的產業生態系統，藉縮短供應鏈、設施共享及資源優化，產生節省碳足跡的效果。

5. 岸電設施的推行與擴充

要求船舶使用岸電通常為港口減碳的短期措施之一，在船舶未使用清潔替代燃料前，靠港船舶使用岸電可減少碳排放，我國已有多處港口設置岸電設施，惟推行並不順利，後續應持續排除岸電的使用障礙，促進岸電標準化，並增加港口岸電建設比率。

6. 擴充充電基礎設施

「歐洲綠色協議(European Green Deal)」中提到的，電氣化是有效且可持續的脫碳方式，電力是港口脫碳的共同需求，擴充充電基礎設施似乎是一個必要的選擇，電力基礎設施不僅需要促進港口本身作業的電氣化，還需要促進關聯運輸的電氣化，亦即港口的配電基礎設施需要進行很大的容量升級，而這需要大量投資以及足夠的空間來部署必要的基礎設施。

7. 評估港口參與「綠色航運走廊」倡議的可行性，規劃提供低碳和零碳船

用燃料

提供船舶的低碳和零碳燃料加注服務，必須改裝既有設施及投資新設施：包括加注程序、基礎設施開發、營運經驗與能力的提升。港口的挑戰是必須決定投資哪些燃料的基礎設施，提供船舶多元燃料加注服務，及保有港口的競爭力，建議應評估參與「綠色航運走廊」倡議的可行性。

「綠色航運走廊」是當前被海運業視為能順利過渡到零排放的一項重要途徑，此倡議是透過航運業與港口間建立合作關係，藉由串聯 2 個(或以上)港口的航線，在該航線上導入零排放的替代燃料及技術測試，藉以推動航運業逐步過渡到使用零碳排燃料之船舶及設施，亦即推動港口基礎建設為綠色航運走廊的重要環節。

目前全球已多達 44 條綠色航運走廊，平均每年增加 22 條，亞洲區域中已有多條走廊，許多標竿港口均積極參與，鑒於高雄港為亞洲區域重要樞紐港，我國籍航商亦在航運市場佔有一席之地，藉由參與綠色航運走廊，可透過國際間交流獲取最新減碳技術新知，並讓航港產業可實際進行航線測試，帶動我國相關減碳科技的發展與應用。建議我國可借鏡目前其他政府作法，進行相關倡議之國內整備行動，同時藉由國際場域，與其他國家進行綠色走廊相關議題之交流，以評估我國發展綠色走廊之條件及相關作為。

8. 建立友善且簡單的監管生態系統，輔導及獎勵港區相關業者共同加速減碳

港口發揮脫碳樞紐潛力的必要措施，包括監管、經濟和技術等措施，其中監管是總體變革的重要推動要素，除建立公平公正公開的查核機制外，港口和港區的改造通常是昂貴且漫長的，為了增加投資者提高綠色商業決策的意願，需要保證擁有一個友善且簡單的監管生態系統。

而對業者而言，提高綠色燃料及能源的使用意願，重點在於縮小現有燃料及替代能源間的價差。建立港口的環保激勵措施和費率，可以激勵海運業營運商選擇更環保的技術，激勵船東自願減碳營運高性能綠色船隊、符合更嚴格的環境要求，減少排放和污染。

9. 評估擴充港口在新興能源及燃料的應用與發展

港口是透過運輸和物流串連許多不同部門的物流樞紐，由於新興能源及燃料皆有進出口需求，且許多趨勢正在聚集推動能源系統的整合，港口應把握契機轉型成為清潔能源整合中心，成為海運通往零碳排放道路的領航角色。可尋找港口發展新能源（如離岸風電、氫、氨、甲醇等能源）的應用商機，並建立能源示範場域，與業界合作進行可行性研究及先導測試，並建立監管沙盒，供業界測試低/零碳燃料方案。

考慮燃料將採全生命週期 (Well to Wake) 溫室氣體排放的計算，綠色製程燃料將是未來亮點。利用風能和太陽能的可再生電力生產氫氣將是未來的一個重要能源生態系統。港口是規劃中大量離岸風電的天然著陸點，可以在離岸風電的發展中發揮重要作用。除提供大型離岸風電場安裝和維護所需的服務外，許多工業過程都使用氫氣，目前大多數的氫氣是使用天然氣生產的(灰氫)，可評估透過在大型港口附近設立電解槽，提供工業界直接獲得由風力發電產生的大量綠色氫氣。

10. 碳捕捉和封存(CCS)

碳捕捉技術是海運脫碳的潛在關鍵技術，而港口在 CCS 的發展中可以發揮重要作用，港口應關注該技術的發展，實現碳捕捉、儲存和利用等綠色技術。

此外，低/零碳燃料的需求增加，關於海事脫碳的知識與技能方面的需求也會增加，航運業及港口營運與監管單位皆應重視及規劃此些新興的工作角色和技能需求，並支援海事企業的勞動力具備必要的技能和知識。

七、結論與建議

為掌握國際海運減碳趨勢與因應措施，本研究先蒐整海運燃油污染及相關的國際規範，再研析全球航運業因應減碳發展概況，並參考新加坡及歐盟之港口減碳因應措施，及我國海運業(航運業與港口)的因應現況，進而發掘我國海運業未來因應減碳的課題，最後歸納出本研究的結論與建議如後：

(一) 結論

1. 國際海事組織(IMO)及歐盟近期持續加大對船舶減排強制性規範的力道，如修正船舶溫室氣體排放目標至 2050 年達溫室氣體淨零排放(Net zero GHG emission)，船舶燃料改以全生命週期(Well to Wake)方式計算排放溫室氣體(GHG)，歐盟對船舶排放溫室氣體徵收費用等，海運業的減碳議題已是箭在弦上的課題，必須積極因應。
2. 對海運業整體之供應鏈作業，減碳與能源轉型不只是環保、永續的問題，更攸關未來航運業及港口營運之競爭力。
3. 淨零碳排是很大的議題，許多議題仍在研發摸索中，存在不確定性，為逐步達到 2050 年淨零目標，必須研擬因應藍圖與行動方案，分階段多管齊下。
4. 我國海運業雖已陸續規劃逐步減碳，仍有許多如本研究第六章的課題待積極因應，有待所有海運業界從各個面向齊心努力，研擬因應策略並加速行動。

(二) 建議

1. 減碳淨零轉型的改變速度與規模不能以安全為代價，各種新技術的應用必須迅速制定明確且合宜的使用標準(如替代燃料運輸和使用安全)，建議國內相關單位應持續關注國際技術的發展並內國法化，以利順利安全的在國內應用。海員及在供應鏈上的人必須加以訓練，也應發展其他相關的新標準，維持安全並降低風險。
2. 建議後續宜持續追蹤國際海事組織、歐盟及國際海運業最新發展情形，適時輔導我國航商及港口掌握成熟的減碳相關技術。建議未來航港局、臺灣港務公司及國際航商應共同合作，因應船舶減排及新能源技術等發展趨勢，持續完善船舶法規及港口設施，營造永續經營環境，並持續與國際接軌。
3. 為加速綠色轉型技術開發，建議支持並促進利害關係者對話，建立平臺以協助各行各業提供的解決方案進行配對，同時也能分享因應共同問題的創新和成功方案。

參考文獻

1. 曾郁安、施囿丞、吳昌政、吳金翰，IMO 降低船舶溫室氣體排放新規定之介紹與因應策略，船舶科技 57 期，2023 年 1 月。
2. 財團法人驗船中心官網，<https://www.crclass.org/>，2023 年 10 月。
3. 臺灣港群溫室氣體盤查及減碳路徑藍圖規劃委託研究，臺灣港務股份有限公司，2023 年 5 月。
4. 黃建樺，財團法人驗船中心 CR，2023 年運輸學會年會「重大交通政策未來課題研討」簡報，2023 年 12 月。
5. Clarksons Research, September 2023。
6. ‘Low maturity of solutions’ the main barrier to decarbonisation, Lloyd’ s List survey finds, Lloyd’ s List 官網, 2023.05.22 News。
7. 王麗凱(ABS 美國驗船協會技術顧問)，「綠色航運走廊」簡報，航港局辦理「國際海事公約及趨勢動態掌握與因應分析」工作坊，2023 年 9 月。
8. 全球海事論壇，<https://www.globalmaritimeforum.org/>。
9. 吳巨聖，裕民航運公司副總經理簡報(引述全球海事論壇)。
10. Decarbonisation Blueprint: Working Toward 2050, Maritime and Port Authority of Singapore (MPA), Maritime Singapore, March 2022。
11. DNV.GL & Eurelectric, Ports: Green gateways to Europe-10 transitions to turn ports into decarbonization hubs, June 2020。
12. 2023 陽明海運永續報告書，2023 年 6 月，https://esg.yangming.com/esg/sustainability_report/1/。

13. 2022 長榮海運永續報告書，2023 年 7 月，[https://csr.evergreen-marine.com/csr/tw/jsp/ CSR_Report.jsp](https://csr.evergreen-marine.com/csr/tw/jsp/CSR_Report.jsp)。
14. 盧展猶，2023 年運輸學會年會「重大交通政策未來課題研討」簡報，2023 年 12 月。
15. FreightAmigo，<https://www.freightamigo.com/zh-hant/logistics-news-zh-hant/%e7%89%a9%e6%b5%81%e6%96%b0%e8%81%9e-marinetraffic-%e6%ba%96%e6%99%82%e5%88%b0%e9%81%94jit-%e6%9c%89%e5%8a%a9%e8%b2%a8%e6%ab%83%e8%88%aa%e9%81%8b%e6%b8%9b%e7%a2%b3%e6%8e%9214/>，2023 年 12 月。