

評估船舶降速對碳排放效率之研究：以海岬型散裝現成船降速為例¹

Evaluating the Impact of Ship Speed Reduction on Carbon Emission Efficiency: A Case Study of Existing Capesize Bulk Vessels

郭思瑜 (Szu-Yu Kuo)²、王志敏 (Chih-Min Wang)^{3*}、薛佳芃 (Jia-Wen Hsueh)⁴、
黃雅恩 (Ya-En Huang)⁴、林芷綺 (Zhi-Qi Lin)⁴

摘要

基於國際海事組織(IMO)於 2023 年 1 月 1 日強制執行「現成船能源效率指標(EEXI)」及「營運碳強度指標(CII)」規範現成船舶的能源效率標準，本研究使用模擬評估模型和海岬型現成散裝貨船的數據來評估降低航速對營業毛利的衝擊以及減少二氧化碳排放的效率。研究結果如下：(1)選擇降低航速是現成船低成本和高效率節能減碳的重要策略。(2)船舶選擇經濟減速可以減少碳排放量，減少經營毛利損失，亦會降低船舶運輸能力。因此，為滿足 IMO 對於 EEXI 和 CII 之要求，船舶營運者應根據市場現況來調整最佳的船舶經濟航速，除了有助於船舶營運燃油成本下降，更有利於航運公司的永續經營。

關鍵字：能源效率指數、碳強度指標、散裝現成船、降速

Abstract

Based on the regulations of the Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) and

¹ 本文部分內容已發表於 2023 年海空運論文研討會，並獲得推薦至航運季刊進行學術審查，非常感謝主辦單位與評審的推薦。

² 國立高雄科技大學航運管理系副教授；E-mail: sykuo@nkust.edu.tw。

^{3*} 通訊作者，長榮大學航運管理系兼任助理教授；E-mail: wang8200@gmail.com。

⁴ 國立高雄科技大學航運管理系四年級學士生。

the Carbon Intensity Indicator (CII) launched by the International Maritime Organization (IMO) on January 1, 2023, this study conducts a simulation evaluation model to assess the impact of gross operating profit and the efficiency of CO₂ emission reductions through speed reduction, using data collected from existing Capesize Bulk Vessels. The findings of the study are twofold. First, the choice of speed reduction, optimal fleet management, and proper hull maintenance is a cost-effective strategy for reducing carbon emissions in existing ships. Second, selecting an economical speed for vessels can reduce carbon emissions, minimize operational profit loss, and lower the shipping capacity of the vessels. Therefore, in order to meet the IMO requirements for EEXI and CII, ship operators should adjust the optimal economic speed of their vessels based on market conditions. This approach not only helps reduce fuel costs for ship operations but also contributes to the sustainable operation of shipping companies.

Keywords: Energy Efficiency Existing Ship Index, Carbon Intensity Indicator, Existing Capsize Bulk Vessels, Speed reduction

壹、緒論

依據 International Maritime Organization (IMO, 2020a)的統計，航運業的二氧化碳排放以 CO₂e 當量表示，過去在 2012 年為 9.62 億噸，然 2018 年卻增長 9.3%，達到 10.56 億噸二氧化碳排放量，顯示近年航運碳排放正呈現明顯增長之情勢。再者，航運業之碳排放量占全球人為之碳排放比例之統計，於 2012 年為 2.76%，且 2018 年持上升至 2.89%，再加上全球海運船隊總載重噸位也由 2012 年 15.34 億載重噸位，在 2022 年增加 43.3%，達到 21.99 億載重噸位(IMO, 2020a)，船舶

總載重噸位逐年成長且碳排放量不斷增加，更是引發碳排放過量之警訊。全球航運船隊噸位不斷增長引起碳排放量繼續增長，遠未能達到「巴黎協定」將全球暖化限制在 1.5°C 以內的溫度目標，如何減少船舶營運時所產生的碳排放量已成為航運業永續發展之關鍵(United Nations Climate Change, 2023)。

自 2023 年 1 月 1 日起 IMO 有二項新的法規生效，其目的主要在減少海上船舶碳排放量，降低航運對環境的影響。第一項法規為現成船能源效率指標(Energy Efficiency Existing Ship Index, EEXI)，超過 400 總噸的船舶，船東必須評估其船舶的

能源消耗及二氧化碳排放量，以符合特定的效能要求；第二項法規為船舶年度營運碳強度指標(Carbon Intensity Indicator, CII)，適用於 5,000 總噸和以上船舶，自 2023 年起應每年進行 CII 之 A 到 E 等級評比，其評比內容將逐年朝較嚴格的方向修正至 2030 年，對於連續三年獲得 D 級或單次獲得 E 級的船舶，船東需要制定糾正行動計畫以改善船舶的燃料消耗及效率(財團法人驗船中心，2023；UNCTAD, 2022)。以上二項指標勢必對國際航運業者在營運及成本上造成很大的衝擊，例如船舶未來將面臨更嚴格的低碳排效能要求，未來船東若無法立即投入新資金及時進行汰換老舊船舶以符合現行法規要求，則需要另尋其它解決之道作為新的因應策略。因此，本研究希望藉由文獻探討彙集航運業者受到現行法規影響後，藉由船舶數據分析其面臨 EEXI 和 CII 規定時，若海岬型散貨船採取降速策略，是否可將利用降速之道，將成本及營運衝擊降至最小，同時發揮船舶最大的二氧化碳減排放量效益。

過去許多研究指出在短期內，船舶降速航行是減少海上二氧化碳排放量良好措施(張瀨之、王志敏，2010; Degiuli et al., 2021; Czermański et al., 2022)，惟甚少研究針對船舶降速對運輸能力之衝擊或模擬燃油價格與運價變動之情境下，船舶降速對航運營業毛利的衝擊。因此，本研究除了以海岬型散裝船案例計算 CII 和 EEXI

指標外，亦將建構相關的評估模式，分析降速對運輸能力影響以及模擬降速對航運營業毛利的衝擊程度。本研究目的主要分為三點：(1)從文獻回顧探討 EEXI 和 CII 規定和因應策略；(2)建構船舶採取降速策略因應 EEXI 和 CII 規定之評估模型；(3)以海岬型散裝現成船降速策略為例，進行衝擊與因應策略效益實證分析。研究結果可提供國際航運業者面對船舶降低排放的發展趨勢，以利於航運業者獲得完整的資訊，設定短中長期的策略規劃，落實船舶降低排放溫室氣體的改善目標。

貳、文獻回顧

2.1 EEXI 和 CII 規定內容與實施時程

國際海事組織(IMO)在 2021 年 6 月的海洋環境保護委員會第 76 次會議(The Marine Environment Protection Committee, MEPC76)內容上正式通過現成船能源效率指標(EEXI)及營運碳強度指標(CII)兩大碳排放的環保規定(IMO, 2021a)，已於 2023 年 1 月正式上路，本研究從會議資料與相關報告中彙集 EEXI 和 CII 規定內容與實施時程詳如表 1。MEPC 發展至今已於 2024 年 3 月召開第 81 屆會議，與第 76 屆相異之處主要在操層面包含：(1)CII 指標計算採用 2022 年的燃料消耗數據及

2019~2022 年 CII 作為計算之依據；(2)若船舶計算後的 CII 指標表現不佳，應依 2024 年的船舶效能管理計劃(Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEM)指南作為主要操作規定(IMO, 2024)。

EEXI 和 CII 對航運業已成為一個挑戰，尤其是 EEXI 及 CII 都是複雜而且不斷地修正，航運業現在需要仔細考慮和理解規定，以便受到該規定限制的船舶可以開始執行節能減碳計畫，表 1 列出了 EEXI 和 CII 的規定要點，並解釋 EEXI 和 CII 需要考慮的一些關鍵問題。EEXI 描述了船

舶安裝的發動機功率、運輸能力和船速相關的標準化二氧化碳排放量，其中排放量是根據主機的裝機功率、燃油消耗量以及燃料與相應二氧化碳間的換算係數計算得出的。而船舶的 CII 計算為是以年為單位的二氧化碳總排放量與船舶總運輸量的比率，船舶碳強度指標的等級是通過將船舶的營運碳強度性能與其他同類船舶的平均性能進行比較來確定的，並隨著時間的推移，可以推算每艘船所需減少二氧化碳排放量是要增加或保持穩定，以確保國際航運碳排放達到 IMO 的預期目標。

表 1 EEXI 和 CII 規定內容與實施時程

項目	EEXI	CII
生效日期	修正案於 2022 年 11 月 1 日生效	修正案於 2022 年 11 月 1 日生效
實施時程	總噸位 400 以上現成船適用 EEXI 在 2023 年 1 月 1 日以後的第一次國際防止船舶空氣污染(International Air Pollution Prevention, IAPP)定期檢驗、中期檢驗或是換證檢驗(以較早遇到者為準)前，須對其 EEXI 進行驗證，並換發國際能源效率證書(International Energy Efficiency Certificate, IEEC)。	總噸位 5,000 以上且適用 EEDI(Energy Efficiency Design Index) 能源效率設計指標之船舶，於 2023 年 1 月 1 日前須在制定船舶能效管理計畫(SEEMP)中加入 CII 達成計畫並經認可組織(Recognized Organization, RO)認可簽發符合確認書(Certificate of Conformity, CoC)。
規定內容	評估所屬船舶，EEXI 達成值(Attained EEXI)，能否夠達成新規定要求。船舶評估的 EEXI 達成值，應等於或小於允許的 EEXI 要求值(Required EEXI)。	從 2023 年 1 月 1 日起，每年需計算並回報其年度 CII 值，並每年進行評等，等級按優劣分為 A 級到 E 級，然後每一年該等級數值將愈來愈嚴，若船舶連續 3 年落入 D 級或有一年落入 E 級，則須制訂矯正計畫並取得認可組織(RO)之認可。

表 1 EEXI 和 CII 規定內容與實施時程(續)

項目	EEXI	CII
屬性要求	技術層面	操作層面
規定依據	MEPC. 334 (76)	MEPC. 336 (76)
計算方式	中國驗船中心 (Classification Society, CR) 開發 CREEXI Calculation 的評估可視化程式，輸入船舶載重噸及主機馬力，得出 IMO 規定的 Required EEXI 曲線及該船目前 Attained EEXI 數值。透過圖示方便船東獲得船舶 EEXI 所在位置及區域。	中國驗船中心(CR)也提供 CII 估算程式，將 IMO 所蒐集的年度燃油消耗數據 (Data Collection System, DCS)，輸入適用船舶類型、載重噸、各種燃油類型消耗量及航程距離，即可取得 CII 達成值，能即時得知所屬評比等級。
船舶應採取對策	如果計算之 EEXI 達成值不能滿足要求的 EEXI 要求值，船舶應限制軸/發動機功率、增加節能裝置等。	計算之 CII 表現不佳的船舶暫時不會直接導致懲罰性，但需要制定改正計劃並納入船舶能效管理計劃(SEEMP)，船舶應降低船舶燃料消耗、增加節能裝置等。

資料來源：財團法人驗船中心(2023)、IMO (2020b, c)。

2.2 航運業面對 EEXI 和 CII 規定因應策略

為減緩氣候變遷對地球生態與經濟發展造成的衝擊，船舶營運面臨更嚴格的 EEXI 及 CII 的法規，在法規執行後，預估將有 30%至 40%的貨櫃船及乾散貨船不合乎 IMO 規定(UNCTAD, 2022)。然而，此時無法立即進行船舶汰換，惟另尋其它能符合法規的因應之道。減少現行船舶碳排放量的方法主要有二種，其一為直接降低船舶的航行速度；其二則船東利用先進的節能科技來改造船舶，使船舶得使用其它替代燃料(如液化天然氣、甲醇、氨、或電

力)，或進行操作修正等方式減少碳排放量問題。後者雖然可行，然大幅度的船舶結構改造及修改，極可能增加船舶營運成本並影響保險範圍，船東需考量未來獲利及資本投入等風險。若船東使用替代燃料作為改善方案，其成本是目前傳統燃料的 2 至 5 倍，甚至部份替代燃料尚未達到商業化可行的目標，以上重重困境造成執行面呈現更多難重重(UNCTAD, 2022)。反觀直接降低船舶的航行速度，船舶營運者直接利用現行船舶，使用最經濟速度及產生符合 EEXI 及 CII 之法規碳排放量，在現有船舶進行汰換之過渡期，得不中斷目前的船舶營運。

洪亦萱(2017)彙整針對現成貨櫃船舶節能減碳策略與效益的研究，發現「優化船隊管理」之效益(5% 至 50%)最佳、「使用風箏帆(Kite sail)」之效益(10%至 35%)次之、「優質的船體維修」之效益(5% 至 20%)則居第三位、「航程最佳化操作與能源管理」之效益(1% 至 10%)最低，顯示船舶進行節能減碳策略應從「優化船隊管理」著眼。韓子健等人(2021)研究亦證實大型散裝船宜採取「降低船舶之阻力、船舶推進之效率、航行時間之優化」的策略，可有效降低主機燃油消耗量，減少船舶碳排放量以符合現行法規之要求。根據 Czernański et al. (2022)的研究指出，降低船舶碳排放量的策略可區分為「替代燃料」及「解決方案和技術」，藉由高科技和經濟可行性條件下，進而達到減碳之效果。在「替代燃料」方面包括燃料電池(利用液態氫氣)、生質氨(Bio-ammonia)、生質甲醇(Bio-methanol)、以及混合生質燃料(Blending biofuel)；另一方面，「解決方案和技術」方面包括風帆、船體加長、船底空氣潤滑系統、螺旋槳更新、風箏帆等。

2.3 船舶降速對達成 EEXI 及 CII 指標之衝擊與效益

為有效達到IMO預期在2050年規劃的減碳目標，符合其設計的EEXI及CII指標，除了要求新造船符需達到能源效率設

計指標(EEDI)外，對於現成船舶最直接的改善方式即是降低船速或淘汰舊船(Czernański et al., 2022)。根據Czernański et al. (2022)之研究指出為符合IMO對船舶減碳目標，船舶應在2050年將碳排放量減少70%。除了降低船速，還可能需要考慮減少船隊容量，並可能需要用新船替換已經現成的舊船，實施此類策略所需的成本對海運業者來說顯然是龐大成本，會導致整體運輸費用增加，將衝擊運輸和消費者成本。

DeGiuli et al. (2021) 研究貨櫃船航行中降低船速並使用LNG為燃料可減少49%的碳排放量，雖然降速能有效減少碳排放量，從成本角度觀察，亦可能造成負面衝擊。從張瀨之、王志敏(2010)研究各種船型之現成船的碳排放量，得知在降速20%之下平均減少35%碳排放，尤其是高速船(燃油消耗量大)的貨櫃輪，適切的降低船速對於降低營運成本的正面效果，即降低船務雖有助於減碳，但對於船速過低的大型船舶，將使其增加營運成本，且降速比例愈大損失愈多。

參、建構船舶降速對達成 EEXI 及 CII 指標之效益、營運成本與運輸能力之影響評估模型

3.1 船舶降速對達成 EEXI 指標之效益評估模型

3.1.1 現成船 EEXI 達成值計算方程式

依據 IMO (2021b, c) 公布的 MEPC.

$$\frac{(\prod_{j=1}^n f_j) (\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) + ((\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{nEff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)}) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE(i)}) - (\sum_{i=1}^{nEff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FEM} \cdot SFC_{ME})}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m} \quad (1)$$

其中：

EEXI：每一載重噸行駛1海浬所排放二氧化碳排放量(g)；

ME：現成船舶主機；

AE：現成船舶輔機；

SFC：每產生千瓦小時(kWh)所需消耗燃油量(g/kWh)；

CF：燃油二氧化碳排放係數(公克/噸)；

Capacity：為船舶載重噸位；貨櫃船則設定為船舶載重噸位65%；

PME(i)：主機(ME)功率(i)輸出，設定在i=75%(單位為kW)；

PTI(i)：輔機(AE)功率(i)輸出，設定在i=75%(kW)；

Peff(i)：因創新機械節能技術使主機功率(i)減少比率；

350(78)與MEPC. 351(78)之2022年現成船能源效率指標計算方法指南，EEXI指標係以方程式(1)估算船舶CO₂排放效率(Mettälä, 2021)。

PAEeff(i)：因創新機械節能技術使輔機功率(i)減少比率；

fj：依據船舶的特定設計因素(j)的修正係數；

f_w：依據天氣狀況(w)例如海上波浪高度、頻率和風速等的修正係數；

feff(i)：依據有效創新節能技術所產生效益的修正係數(例如風力或太陽能發電)；

fi：節能效益受到技術或管理能力的限制的修正係數；其他修正參數*f*應視適用船型及情況而定，若無或不適用則代入數值1；

Vref：船舶速度在最大貨物裝載量且無風無浪的氣候情況下，主機輸出功率設定為75%。

散裝船參考速度近似計算公式如式(2)：

$$V_{ref,avg} = V_{e,ref} - mv \times \left[\frac{\sum P_{ME}}{0.75 \times MCR_{avg}} \right]^{\frac{1}{3}} (knot) = (10.6585 \times 178065.8^{0.02706}) = V_{e,ref} - mv \times \left[\frac{\sum P_{ME}}{0.75 \times 23.751 \times 178065.8^{0.54087}} \right]^{\frac{1}{3}} (knot) \quad (2)$$

3.1.2 現成船 EEXI 要求值計算

現成船EEXI要求值是針對船舶類型和載重噸位所允許的最大EEXI達成值，每艘現成船之EEXI達成值應小於或等於其EEXI要求值，否則應以限制功率或其他增進船舶能源效率之措施來達成。EEXI要求

值係以EEDI基本參考值計算為基礎，按照表2顯示載重噸位(DWT) ≤ 279,000 DWT之散裝船船型係以(961.79)乘以船舶載重噸的-0.477次方進行計算，如方程式(3)：

$$Required\ EEXI = 961.79 \times DWT^{-0.477} \dots\dots\dots (3)$$

表 2 散裝船 EEXI 要求值基準線計算參考係數

船舶類型與載重噸位		基準線
Bulk vessels	DWT ≤ 279,000	961.79 x DWT ^{-0.477}
	DWT > 279,000	961.79 x 279,000 ^{-0.477}

資料來源：本研究整理。

EEXI要求值折減公式為：EEXI = (1 - X/100) × EEDI Reference Line)。X：為折減係數(依據船舶類型與噸位決定)。2020

~2024年EEXI要求值需折減20%，2025~2030年EEXI要求值需折減30%(如表3所示)。

表 3 散裝船 EEXI 要求值基準線折減係數

船舶類型與載重噸位		折減係數(X)%
Bulk vessels	200,000 DWT and above	15
	20,000 - 200,000 DWT	20
	10,000 - 20,000 DWT	0-20*

資料來源：本研究整理。

3.2 船舶降速對達成 CII 指標之效益評估模型

船舶營運碳強度指標評估必須遵照

四個準則，分別為2021年營運碳強度指標和計算方法準則(G1準則)、2021年與營運碳強度指標聯合使用的參考基線準則(G2準則)、2021年與參考基線相關的營運碳強度折減係數準則(G3準則)和2021年船舶營

運碳強度評級準則(G4準則)，依據四個準則可以獲得船舶CII的計算和評定等級。

3.2.1 碳強度指標達成值(CII)達成值計算方程式(G1 準則)

$$\frac{(\sum_j C_{Fj} \cdot \{FC_j - (FC_{voyage,j} + TF_j + 0.75 - 0.03y_i) + (FC_{electrical,j} + FC_{boiler,j} + FC_{others,j})\})}{f_i \cdot f_m \cdot f_c \cdot f_{iVSE} \cdot Capacity \cdot (D_t - D_x)} \dots\dots\dots (4)$$

其中：

- C_{Fj} ：代表燃料種類 j 的CO₂排放係數；
- FC_j ：是在 IMO DCS下報告的一年 j 類型消耗燃料的總重量(以克計算)；
- $FC_{voyage,j}$ ：該船一年內航行期間消耗的 j 類型燃料的總重量(以克計算)；
- $TF_j = (1 - AFTanker) \cdot FCS, j$: STS (ship to ship)：包括在港口的燃料消耗或穿梭油輪運行而移除的燃料重量；
- y_i ：是一個連續的編號系統，從 $y_{2023} = 0, y_{2024} = 1, y_{2025} = 2$ ；
- $FC_{electrical,j}$ ：電力生產所消耗的 j 種燃料重量(克)；
- $FC_{boiler,j}$ ：油輪上用於貨物加熱和貨物排放之鍋爐所消耗的 j 種燃料重量(克)；
- $FC_{others,j}$ ：油輪卸貨作業中由獨立發動機驅動的貨泵所消耗的 j 種燃料重量(克)；
- f_i ：冰級船舶運輸能量校正係數；
- f_m ：IA Super和IA的冰級船舶係數；

依據 IMO (2022) 公布 MEPC.355(78) 2022年CII計算修正係數和航程調整的臨時準則(CII準則, G5)，其CII指標計算方法係以方程式(4)估算船舶二氧化碳排放量效率。

- f_c ：化學品船的立方容積修正係數；
- f_{iVSE} ：船舶特定自願結構增強的修正係數，僅適用於自卸散裝船；
- D_t ：表示根據IMO DCS 報告的總行駛距離(以海浬為單位)；
- D_x ：代表航行期間的航行距離(以海浬為單位)，可根據指南從CII計算中扣除。

3.2.2 碳強度指標基線值(CII)計算方程式

根據 IMO (2021d) 公布的 MEPC.328 (76)CII基線值與評等以方程式(5)估算船舶二氧化碳排放量效率，散裝船型其相關係數如表4。依G2準則CII基線值計算公式為： $CII_{ref} = a \times Capacity^{-c} \dots\dots\dots (5)$

依G3準則CII基線值評定之折減係數如表5，每年CII要求值之折減公式如式(6)：

$$Required\ CII = (1 - Z/100) \times CII_R \dots\dots (6)$$

表 4 散裝船船型所對應基線值(CII)相關係數

Ship type	Capacity	<i>a</i>	<i>c</i>
Bulk vessels less than 279,000 DWT	DWT	4,977	0.626

註：散裝船型參考基線以 2019 年之統計數據為基準。
資料來源：本研究整理。

表 5 CII 基線值各年折減係數

Year	Reduction factor (Z) relative to 2019	Year	Reduction factor (Z) relative to 2019
2023	5%	2025	9%
2024	7%	2026	11%

資料來源：本研究整理。

CII基線值評定之評定等級準則(G4準則)：依據CII採用2點(dd)所產生的基線之向量值(vector) 的方式進行評等，船舶年營運之碳強度CII達成值為中間點往上或往下展開分為A、B、C、D以及E級。散裝船CII基線向量值計算相關係數如表6，

CII基線值向量評等計算公式(7)如下：

$$\text{Superior boundary} = \exp(d_1) \times \text{required CII}$$

$$\text{Lower boundary} = \exp(d_2) \times \text{required CII}$$

$$\text{Upper boundary} = \exp(d_3) \times \text{required CII}$$

$$\text{Inferior boundary} = \exp(d_4) \times \text{required CII}$$

$$\dots\dots\dots (7)$$

表 6 散裝船 CII 基線向量值計算相關係數

Ship type	Capacity in CII calculation	基線向量值(dd vector) (after exponential transformation)			
		Exp(<i>d1</i>)	Exp(<i>d2</i>)	Exp(<i>d3</i>)	Exp(<i>d4</i>)
Bulk vessels	DWT	0.86	0.94	1.06	1.18

資料來源：本研究整理。

若以某一年散裝船其CII要求值為 $10\text{gCO}_2/(\text{dwt.n mile})$ ，則4條界線分別為8.6、9.4、10.6以及11.8 $\text{g CO}_2/(\text{dwt.n mile})$ ，在此情況下，若該船當年之CII達成值為 $9\text{gCO}_2/(\text{dwt.n mile})$ ，則該船當年之CII等級為B等級。

當船舶連續3年被評為D級或一年被評為E級，需制定糾正行動計畫(此計畫包含在船舶能效管理計畫(SEEMP))，並需按照計畫採取行動，以達到合適的CII等級。也鼓勵主管機關、港口當局和其他相關方為等級為A或B的船舶提供獎勵。

$$TC_{year} = NV_{year} \times DWT = \frac{365}{(D/S_r/24)+PT} \times DWT \dots\dots\dots (8)$$

其中：

TC_{year} ：全年運輸能力(噸)；

NV_{year} ：全年航程數(次)；

$D/S_r/24$ ：航程之航行時間(日)

D ：航程距離(海浬)；

S_r ：航程船速為每小時行駛 r 海浬；

PT ：每航次滯港裝卸貨天數；

DWT ：船舶貨物載重量(噸)。

3.4 船舶速度、燃油價格與運價變動對營業毛利之衝擊評估模型

船舶營業毛利計算方程式為營收減

3.3 船舶降速對運輸能力之衝擊評估模型

船舶行駛的速度可決定航程所需時間，當船舶高速行駛可以縮短航程，每年航次數增加，相對全年貨物運輸量也會增加，因此若船速受限則運輸能力亦會減少。由於船舶全年的運輸能力會因船舶故障、進塢檢修或因故停航等因為有所差異，實務上海運業在評估船舶績效多以365天為基礎，因此船舶降速對全年運輸能力評估模型可以建構如方程式(8)：

去營業成本，毛利為公司衡量一個產品或服務本身成本變化的指標，同時反映公司是否做好成本控制，所以當產品或服務的成本上升時，營業毛利則會下降。對海運業者而言，營收來自運費或租金收入，銷貨成本是提供運送服務的直接成本，但不包含行政管理、租傭仲介費等營運所產生的間接成本。若毛利太低，海運業者亦無足夠的成本支費間接費用，故以營業毛利變動來詮釋得簡便快速評估降速對海運經營衝擊方法。依據Stopford (2009)航速的改變與主機功率及燃油消耗量呈三次方關係，船舶降速將減少燃油消耗量，降低燃油成本，同時燃油價格高低也將影響燃

油成本支出多寡，另外船舶貨物載重量增加或減少，還有運價上漲或下跌都將影響

營收高低，因此船舶營業毛利變動評估模型(鄭鎮樑等人, 2022)可建構如方程式(9):

$$\Delta R = FR_{income} - FO_{cost} = FR_m \times DWT - \left(\frac{S_r}{S_0}\right)^3 \times FC \times FP_n \dots\dots\dots (9)$$

其中

FP_n : n 期間之燃油價格(美金/噸)。

ΔR : 營業毛利變動(美金) ;

FR_{income} : 航程運費收入(美金) ;

FO_{cost} : 航程燃油成本(美金) ;

FR_m : m 期間之運價(美金/噸) ;

DWT : 船舶貨物載重量(噸) ;

S_r : 降速後之新船速(海浬/小時) ;

S_0 : 主機設計船速(海浬/小時) ;

FC : 航程燃油消耗量(噸) ;

3.5 船舶降速對二氧化碳碳排放影響計算

依據張澗之、王志敏(2010)建構船舶二氧化碳當量(Carbon dioxide equivalent, CO_{2e})評估係以燃油總消耗量乘以燃油二氧化碳排放係數，因此降速所造成船舶二氧化碳排放量變動，可以建構計算模式如方程式(10)：

$$\Delta E_{CO_2} = CF_{CO_2} (FC - RFC_r) \dots\dots\dots (10)$$

其中：

ΔE_{CO_2} : 二氧化碳排放量變動(公斤) ;

CF_{CO_2} : 燃油二氧化碳排放係數(公克/噸) ;

FC : 航程燃油總消耗量(噸) ;

RFC_r : 航程船舶速度降至每小時 r 海浬之燃油總消耗量(噸)。

4.1 資料說明

計算船舶EEXI和CII評估使用數據資料，如表7列出案例分析的海岬型散裝船基本資料，以高雄港至南非裝載煤炭之航線為例，進行EEXI和CII指標評估，航行天數依據船舶速度計算，航行距離為7,791海浬，船舶裝有脫硫器，並且主機輔機與鍋爐使用IFO 380燃料油。

肆、實證分析

表 7 研究相關參考資料(船舶、航線、運價與燃油價格)

Vessel specific information			
Type	Year of built	Summer deadweight (mt)	Lightweight (mt)
Capsize bulk vessels	2010	178,065.8	27,364.5
Machinery			
Main engine		Auxillary engine	
Power	Grade fuel used	Number & power	Grade fuel used
16,860KW/91RPM	Heavy F.O. up to 380 cst	3×970KW/900 RPM	IFO 380
Fuel consumption at a speed of about 16.1 kts (original installed power limit to Maximum Continuous Rating (MCR), Cruising speed 14.5 kts and fuel consumption 58 tons/ day			
Ship at sea (tons/ day)		Ship in port (tons/ day)	
Main engine about 71.46 mt IFO 380	Auxillary engine about 3.5 mt IFO 380 (without ballast pumps)	Auxillary engine about 3.5 mt IFO 380 (without ballast pumps)	Boiler fuel consumption about 1.5 mt IFO in port
Sea route		Distance (Nautical miles)	Time of ship in port
Kaohsiung to Richards Bay (South Africa)		7,791	10 days
Capsize Voyage charter Freight Rate		Global 20 Ports Average Bunker price	
6 美金/噸~18 美金/噸		300 美金/噸~550 美金/噸	

資料來源：InterShip Navigation Co., Ltd. (2022) and Clarkson Research Shipping Intelligence Network。

4.2 海岬型現成船 EEXI 達成值與 EEXI 要求值評估

4.2.1 EEXI 達成值計算

海岬型現成船舶主機功率之EEXI計算方式，依安裝了主機功率限制(Engine

Power Limitation, EPL)的情況下，以主機功率為最大功率的75% (12,598 KW)為基準進行計算，主機燃油消耗率為98.60 (g/kWh)，在主機功率輸出功率12,598 KW限制下，船速降為12.03 (kts)可以節省燃油消耗，經計算2023年EEXI達成值為2.22 (g-CO₂/ton-mile)，計算資料詳方程式(11)。

$$2.22 = \frac{(1)(12,598(\text{kW}) \times 3.114 \times 98.60\text{E}(\text{g/kWh})) + (2 \times 900(\text{kW}) \times 3.114 \times 108\text{E}(\text{g/kWh}))}{1 \times 1 \times 1 \times 178066(\text{DWT}) \times 1 \times 12.03(\text{kts}) \times 1} \dots\dots (11)$$

4.2.2 EEXI 要求值計算

圖2為海岬型現成船EEXI要求值，係以EEDI基本參考值計算(式1)為基礎，按照IMO散裝船船型以961.79乘以船舶載重

噸的-0.477次方進行計算，2020~2024年EEXI要求值需乘以0.8，其結果為2.41 (g-CO₂/ton-mile)，2025~2030年EEXI要求值需乘以0.7，其結果為2.11 (g-CO₂/ton-mile)，計算資料詳如下方程式(12)。

$$2.41 = 961.79 \times DWT^{-0.477} \times (1-20\%) = 961.79 \times 178065.8^{-0.477} \times 0.8 \text{ (required EEXI 2020 ~ 2024)}$$

$$2.11 = 961.79 \times DWT^{-0.477} \times (1-30\%) = 961.79 \times 178065.8^{-0.477} \times 0.7 \text{ (required EEXI 2025 ~ 2030)}$$

..... (12)

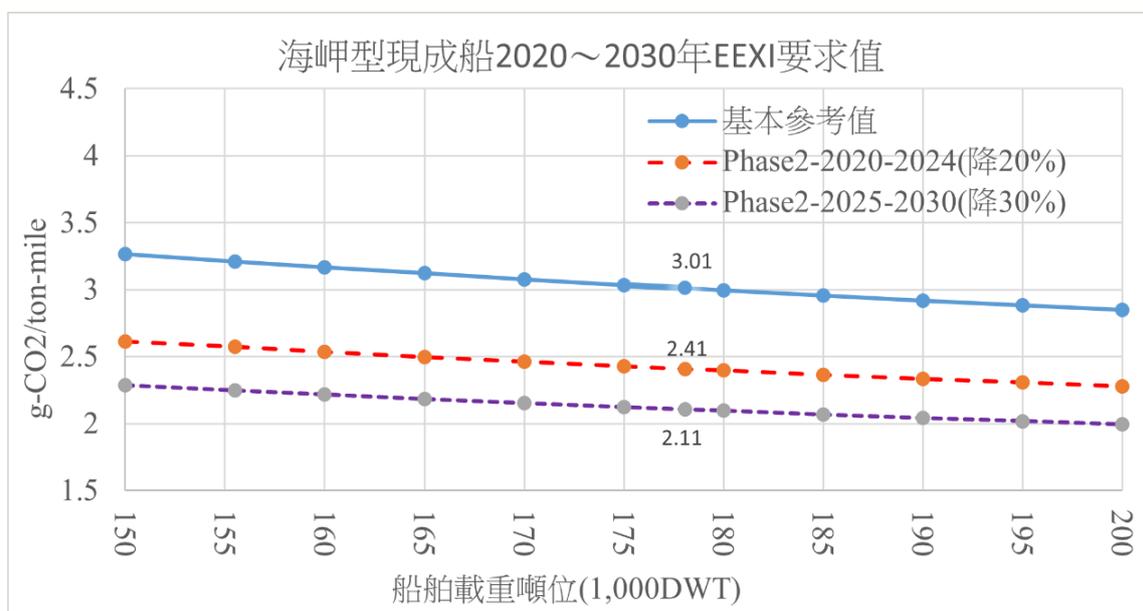


圖 2 海岬型現成船 2020~2030 年 EEXI 要求

4.2.3 EEXI 達成值與 EEXI 要求值

圖3比較海岬型現成船EEXI要求值與EEXI達成值(式3)，在2020~2024年EEXI達成值(2.22 g-CO₂/ton-mile)小於EEXI要

求值(2.56 g-CO₂/ton-mile)，亦即降速至12.03 kts，符合MEPC.335(76)規定，但如與2025~2030年EEXI要求值(2.11g-CO₂/ton-mile)比較，海岬型現成船2020~2024年EEXI達成值無法符合2025~2030

年規定，需進一步降速才能達到目標，經模擬降速至11.4 kts時EEXI達成值(2.10 g-CO₂/ton-mile)小於 EEXI 要求值 (2.11 g-CO₂/ton-mile)。

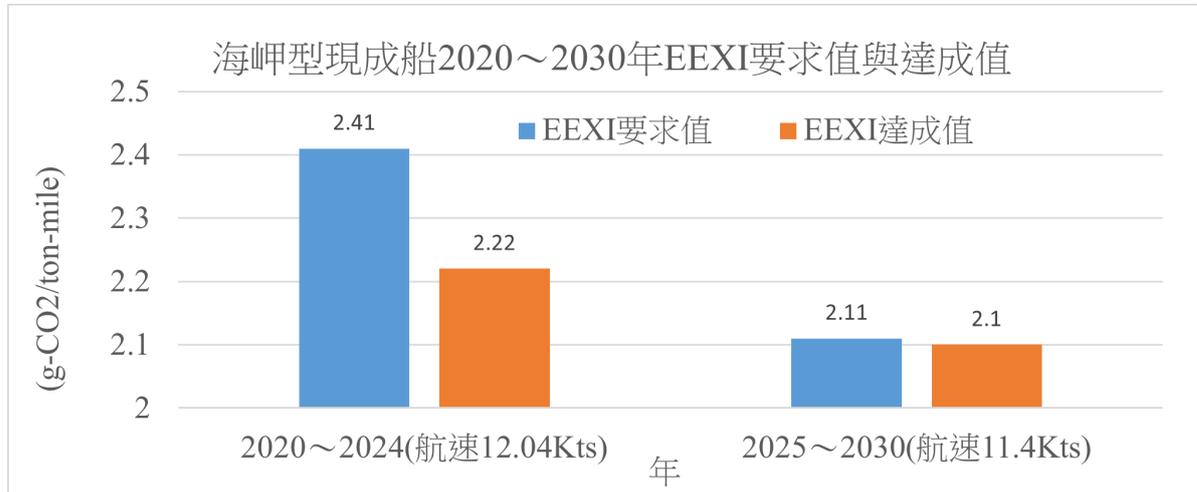


圖 3 海岬型現成船 2020~2030 年 EEXI 要求值與達成值

4.3 海岬型現成船年營運之碳強度 CII 達成值與 CII 要求值評估

4.3.1 船舶年營運之碳強度 CII 達成值計算

海岬型現成船年營運之碳強度CII達成值，依降速至12.03 kts(主機功率為最大功率的 75%)時，全年燃油消耗量(34,033.662 噸)除以船舶裝載能量

(178,065.8噸)與全年航行距離(7,791.1 n mile)乘積，經計算2022年CII達成值為2.27(g/t DWT·n mile)，計算資料詳如下方程式(13)，其中依據IMO MEPC G5準則為避免CII評級對特定船型、特殊航程、特殊航線的船舶帶來不利影響，例如，冰級船舶在冰區航行、緊急情況下海上人命救助、油輪或載運需要加熱的油化貨物等，並不適用於本研究之案例之散裝船及高雄至南非航線，因此相關影響因素在計算時設定為1。

$$2.27(g / t DWT n mile) = \frac{3.114 \times \{34,033.66 - (0+0+0.75-0.03y_i) + (0+0+0)\}}{1 \times 1 \times 1 \times 178,065.8(DWT) \times (7,791-0)(n mile)} \dots\dots\dots (13)$$

依據CII採用向量的方式進行評等，圖4以海岬型現成船年營運之碳強度CII達成值(式6)為中間點往上或往下展開分為A、B、C、D以及E級，發現海岬型現成船年營運之碳強度CII達成值達到B級為次佳。

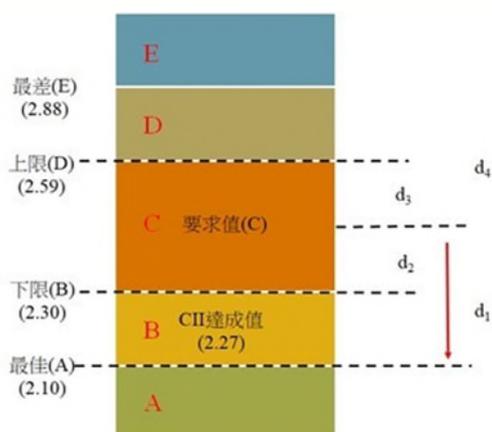


圖 4 海岬型現成船 2022 年營運之碳強度 CII 達成值

4.3.2 船舶年營運之碳強度 CII 要求值計算

海岬型現成船CII基線值計算公式 $CII_{ref} = a \times Capacity - c$ ，其中Capacity為該船的載重量，依船型為其載重噸位(DWT)或總噸位(GT)；a及c為不同船型所對應的係數，另2022年後年營運之碳強度CII要求值逐年折減，計算公式 $CII = (1 - Z/100) \times CII_{ref}$ ，Z為折減因子，為相對於CII基線值需折減的百分比值，並定2023年時折減因子為5%，而隨後每年再折減2%至2026年，表8為經計算2022年CII要求值為2.57 (g/ DWT · n mile)、2023年CII要求值為2.44 (g/ DWT · n mile)、2024年CII要求值為2.44 (g/ DWT · n mile)、2025年CII要求值為2.39 (g/ DWT · n mile)、2026年CII要求值為2.29 (g/ DWT · n mile)。

表 8 海岬型現成船 2022~2026 年之年營運之碳強度 CII 要求值

散裝船 CII 要求值參考資料			2022~2026 年 CII 要求值				
a	b (DWT)	c	2022	2023 (-5%)	2024 (-7%)	2025 (-9%)	2026 (-11%)
4,745	178,065.8	-0.622	2.57	2.44	2.39	2.34	2.29

4.3.3 海岬型現成船 2022~2026 年營運之碳強度 CII 要求值與達成值比較

依據圖5海岬型現成船2022年在載重噸位(178,065.8噸)營運之碳強度CII達成值為2.27 (g /t DWT · n mile)與2022年至

2026年CII要求值比較，可以發現海岬型現成船2022年營運之碳強度已符合2026年CII要求值標準。

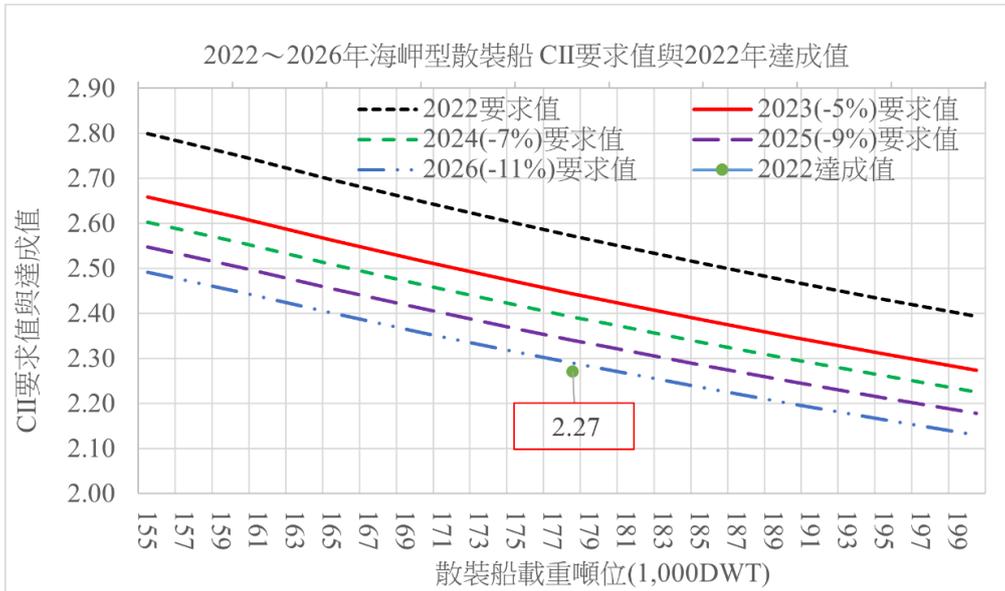


圖 5 海岬型現成船 2022~2026 年之年營運之碳強度 CII 要求值與達成值比較

4.4 模擬船舶降速對船舶運輸能力、營運毛利、二氧化碳排放量影響評估

模擬海岬型現成船五種船速：第一種情境為船速為原始營運船速14.5 kts；第二種情境為船速降為12.03 kts(主機功率為最大限制功率的75%)；第三種情境為船速降為11.4 kts (EEXI達成值符合2025~2030年規定)；第四種情境為船速降為10.0 kts；以及第五種情境為船速降為8.0 kts。從不同船速計算船舶運力變動情形，再從降速後燃料消耗量變動，計算營運毛利(運費收

入與燃料費支出)的變化及二氧化碳排放量之變動。

4.4.1 模擬船舶降速對船舶運能影響

降低船速導致航行時間增加，每年運航次數將減少，圖6顯示船速14.5 kts時，每年可運航次數為6.3次，運輸能力為每年1,121,530噸；船速降低至12.03 kts時，每年可運送貨物航次數為5.39次，此時運輸能力減少為每年1,089,717噸(降低14.37%)；當降速至11.4 kts時，每年可運送貨物航次數為5.15次，運輸能力減少為每年917,568噸(降低18.19%)；當降速至10.0 kts時，每

年可運送貨物航次數為4.6次，運輸能力減少為每年819,924噸(降低26.89%)；當降速至8.0 kts時，每年可運送貨物航次數為3.78

次，運輸能力減少為每年673,928噸(降低39.9%)。上述模擬結果顯示船舶降速對船舶運輸能力有顯著減少。

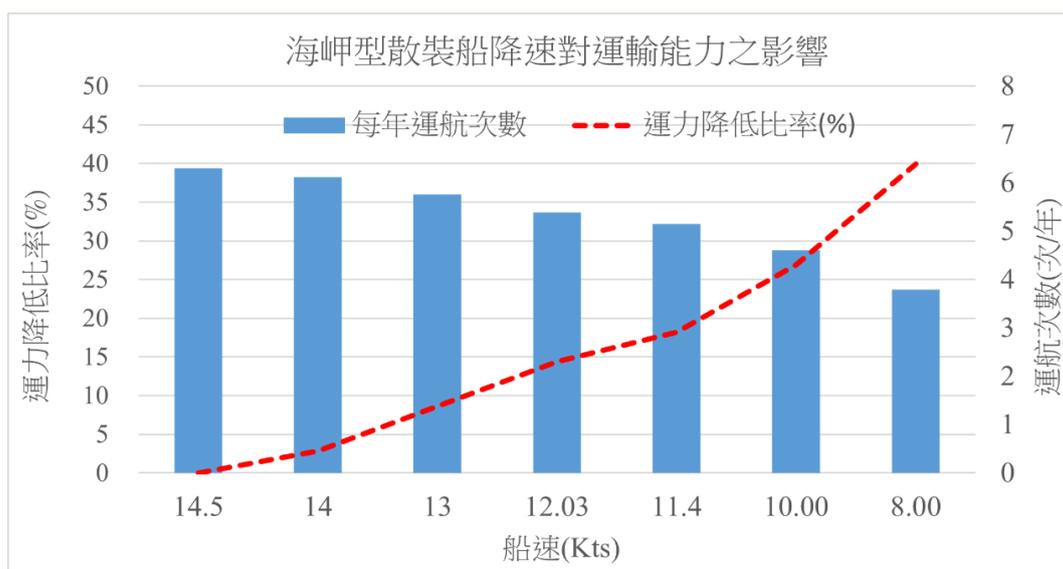


圖 6 模擬海岬型散裝船降速對運輸能力之影響

4.4.2 模擬船舶降速對二氧化碳排放量之影響

降低船速可減少燃油消耗量，因此二氧化碳排放量也減少，圖7顯示當降速至12.03 kts時，每年二氧化碳排放量減少38.5%，當降速至11.4 kts時，每年二氧化碳排放量減少45.88%，當降速至10.0 kts時，每年二氧化碳排放量減少60.6%，當降速至8.0 kts時，每年二氧化碳排放量減少75.9%，因此船舶適度的降低船速將有助於減緩地球暖化。

4.4.3 模擬海岬型散裝船船速、燃油價格與運價變動對營運毛利之影響

降低船速將影響船舶運輸能力與燃油消耗量，在以運費12.0美金/噸(平均值)與燃油價格429美金/噸(平均值)之情境下，計算船舶在不同降低船速，其營運毛利的變動差異，如果以船速別比較營運毛利高低，最高為11.4 kts (6,911,011 USD/年) > 10.0 kts (6,851,458 USD/年) > 12.0 kts (6,840,619 USD/年) > 12.03 kts (6,830,537

USD/年) $>$ 13.0 kts (6,589,074 USD/年) $>$ 8.0 kts (6,261,637 USD/年) $>$ 14.0 kts (6,263,630 USD/年) $>$ 14.5 kts (最低 5,882,688 USD/年)。圖8顯示海岬型散裝船高速行駛時，燃油費用成本增加，會導致營運毛利降低，當海岬型散裝船以低速行

駛時，運費收入減少，也會導致營運毛利降低，因此必須適宜降低船速才可以節省燃油消耗，由於燃油費用支出下降幅度高於運費收入減少，營運毛利進而增加，獲得節省能源的紅利。

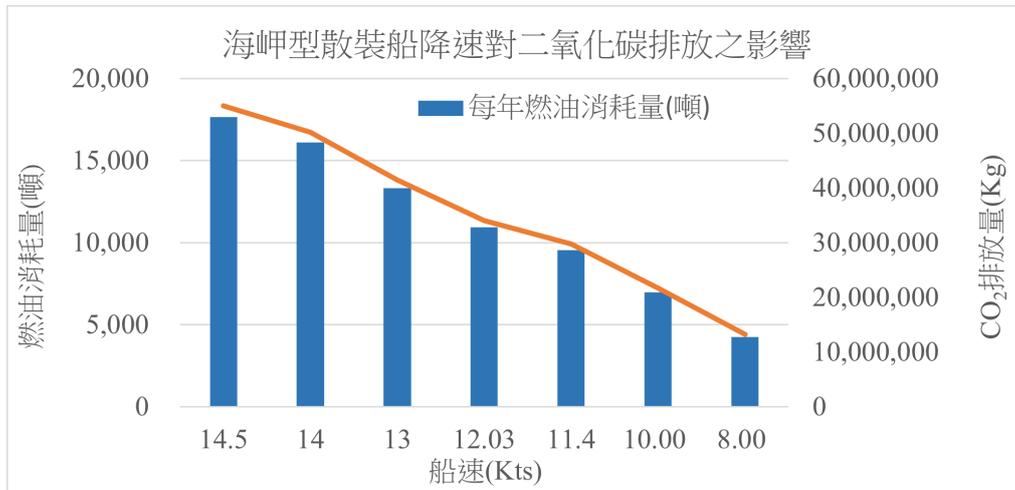


圖 7 模擬船舶降速對二氧化碳排放影響

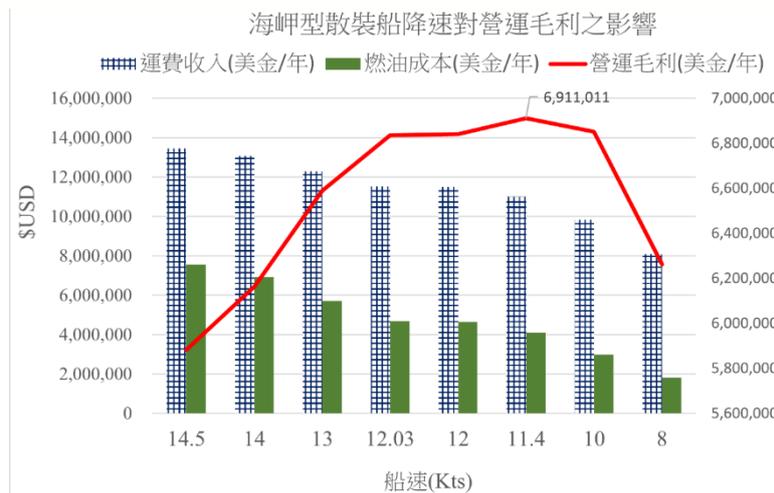


圖 8 海岬型散裝船降速對營收毛利之影響

經由模擬運費(6美金/噸(最低)~18美金/噸(最高))與燃油價格(300美金/噸(最低)~550美金/噸(最高))兩者價格最高與最低之4種組合情境下，比較船舶在不同船速，其營運毛利的變動差異。表9顯示在情境1高運價高燃油價格，當船速為12.03 kts時，營運毛利是最高(11,275,190美金/年)；在情境2高運價低燃油價格，當船速為14.5 kts時，營運毛利是最高(14,895,012美金/年)；在情境3低運價高燃油價格，當船速為8.0 kts時，營運毛利是最高(1,702,670美金/年)；在情境4低運價低燃油價格，當船

速為10.0 kts時，營運毛利最高(2,830,293美金/年)。在模擬的四種組情境下可以發現當散裝海運市場運費高漲之情勢，降低船速至經濟速率(最省油的船舶行駛速度)，可以節省燃油消耗，減少燃油費用支出，進而獲的節省能源的紅利，但是當散裝海運市場運費低迷之情勢，運費收入減少，船速過高會使燃油費用成本增加，會導致營運毛利虧損，而散裝船只有採取低速航行，避免產生高燃油費用成本，導致營運毛利降低。

表 9 模擬海岬型散裝船船速、燃油價格與運價變動對營收毛利之影響

情境	運費價格	燃油價格	營運毛利(美金/年)				
			船速 14.5 kts	船速 12.03 kts	船速 11.4 kts	船速 10.0 kts	船速 8.0 kts
1	高	高	10,480,286	11,275,190*	11,250,562	10,928,336	9,789,809
2	高	低	14,895,012*	14,007,501	13,639,724	12,669,376	10,853,854
3	低	高	-2,981,504	-248,992	246,084	1,089,254	1,702,670*
4	低	低	1,433,223	2,483,318	2,635,245	2,830,293*	2,766,715

註：*代表最高的營運毛利。

整體而言，現成船降低船速來符合IMO船舶EEXI及CII要求標準，如果船舶降速的選擇，能夠依據最省油之船舶行駛速度(經濟航速)而且是屬於動態模式，依據運費與燃油價格各有最適宜的航速，經本研究模擬海岬型散裝船案例分析船速維持10~12 kts間，最有利於船東平均營運

毛利的增加。

伍、結論與建議

5.1 結論

本研究經由模式建構與實證分析，評估船舶降速之能源與減碳效益，並模擬船舶降速、燃油價格與運價變動，進行運力、營業毛利變動的比較，獲得以下幾項重要發現。

1. 航運公司面臨逐漸嚴格的國際環保法規，為符合排放標準航運公司必須謹慎地提出因應之策略，勢必增加航運的成本，尤其是現成船受限於船舶設計與設備變更的困難度，沉重的成本負擔，更需要採取低成本高效率的節能減少碳排放方案。本研究結果表明使用替代燃料、降低船速等策略皆是現階段船東可選擇的高效益的優質節能減碳策略。
2. 本研究模擬現成船降速發現，船舶由 14.5 kts 降至 12.03 kts 或 11.4 kts 可以獲得明顯減少碳排放的效益(減少 38.5%~45.88%)，但是也會減少運輸能力(減少 14%~18%)。因此降速有利於減少碳排放量，可減緩航運公司對環境面之衝擊。

綜合上述，航運業者為了符合船舶 EEXI 和 CII 能源效率標準的相關要求，在新船建造之餘且積極尋找低碳可行的替代能源，但對於當前大多數正在營運的船舶新能源的改裝費時、成本高，並不適合船東優先選擇的策略。同時，實際船舶營運中燃油消耗亦受到氣象、營運方式和經營管理等因素的影響。因此，本研究提出

二個重要策略，第一項策略為「智慧化」船舶能源管理是針對船舶採取降速時從風、浪、流水、船體以及設備等要素納入考量，將營運特點、市場狀況與多樣化的能源優化方法，做為船舶能源效率評估模式之基礎並符合法規；第二項策略為「營運精實管理」，海運業者以大數據分析及時調整營運模式來調整營運模式，聚焦於降低成本，針對營收毛利變動，對船隊特性進行財務優化管理，上述兩種策略與降速研究皆高度相關。在達到以上兩項的前提之下，相信未來無論航運公司面臨任何嚴格船舶環保規定，都能確保公司的永續經營，並對社會、環境與經濟三者的永續發展有所貢獻。

5.2 建議

1. 未來研究可針對其他類別船舶(例如貨櫃船與油輪)面臨新環保規定時，如何採取適宜的因應策略降低衝擊作為研究的主題。
2. 未來可預期 IMO 將更積極地推動「船舶淨零排放」，更嚴格環保規定勢必衝擊現成船營運，當面臨減速、改裝、甚至面臨拆船，航運業如何「超前部署」節能商機重新調整經營模式，也是值得探討研究的議題。
3. 依據本研究建構的船舶營業毛利計算模式，再以海岬型散裝現成船數據實證

分析，發現在不同市場狀況，現成船最佳經濟船速存在明顯差異。為配合 EEXI 和 CII 要求標準時，未來研究建議可依據運價與燃油價格，計算動態的最佳模式適當的調整船速，降低船舶營業毛利減少的衝擊。

參考文獻

- 洪亦萱，2017，節能船舶設計和管理之效益評估：以貨櫃船為例，106 年科技部補助大專學生研究計畫研究成果報告。
- 張靜之、王志敏，2010，徵收碳稅對船舶減速與營運成本間之影響評估，*運輸計劃季刊*，第 39 卷，第 4 期，441-460。
- 韓子健、賴家農、鄭信鴻、鍾政棋，2021，散裝航運公司船舶能源效率改善成效影響因素之分析，*運輸計劃季刊*，第 50 卷，第 1 期，31-55。
- 鄭鎮樑、李珍穎、許銘元，2022，*財產保險要論*，五南書局，臺北市。
- 財團法人驗船中心，2023，現成船能源效率指數 EEXI，<https://reurl.cc/jRA4d4>，2023 年 2 月 18 日。
- Czermański, E., Oniszczyk-Jastrząbek, A., Spangenberg, E.F., Kozłowski, L., Adamowicz, M., Jankiewicz, J. and Cirella, G.T., 2022. Implementation of the energy efficiency existing ship index: An important but costly step towards ocean protection. *Marine Policy*, 145, 105259.
- Degiuli, N., Martić, I., Farkas, A. and Gospić, I., 2021. The impact of slow steaming on reducing CO₂ emissions in the Mediterranean Sea. *Energy Reports*, 7, 8131-8141.
- International Maritime Organization (IMO), 2020a. Fourth Greenhouse Gas Study 2020. Available at: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20%20Full%20report%20and%20annexes.pdf> (Accessed 18 February, 2023).
- International Maritime Organization (IMO), 2020b. Resolution MEPC. 334(76), 2021 Guidelines on Survey and Certification of the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI). Available at: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.334\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.334(76).pdf) (Accessed 18 February, 2023).
- International Maritime Organization (IMO), 2020c. Resolution MEPC. 336(76), 2021

Guidelines on Survey and Certification of the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI). Available at: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.336\(76\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.336(76).pdf) (Accessed 18 February, 2023).

International Maritime Organization (IMO), 2021a. IMO MEPC 76 Meeting Summary. Available at: https://www.lisecr.com/sites/default/files/lisecr_imo_regulatory_updates/Summary%20IMO_MEPC%2076.pdf (Accessed 18 February, 2023).

International Maritime Organization (IMO), 2021b. Resolution MEPC. 350(78), 2022 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI). Available at: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.350\(78\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.350(78).pdf) (Accessed 18 February, 2023).

International Maritime Organization (IMO), 2021c. Resolution MEPC.351(78), 2022 Guidelines on Survey and Certification of the Attained Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI). Available at: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.351\(78\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.351(78).pdf) (Accessed 18 February, 2023).

International Maritime Organization (IMO), 2021d. Resolution MEPC.328 (76), 2021 Revised MARPOL Annex VI. Available at: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/MEPC.328%2876%29.pdf> (Accessed 18 February, 2023).

International Maritime Organization (IMO), 2022. Resolution MEPC.355(78), 2022 Interim Guidelines on Correction Factors and Voyage Adjustments for CII Calculations (CII Guidelines, G5). Available at: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.355\(78\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.355(78).pdf) (Accessed 18 February, 2023).

International Maritime Organization (IMO), 2024. Marine Environment Protection Committee 81st session (MEPC 81). Available at: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/MEPC-81.aspx> (Accessed 10 May, 2024).

Intership Navigation Co., Ltd., 2022. Vessel Specific Information. Available at: <https://www.intership.com.tw/shipinfo/> (Accessed 10 May, 2024).

<http://www.intership-navigation.com/>
(Accessed 18 February, 2023).

Mettälä, O., 2021. The Basics of EEXI – from 2023, 2021, All Existing Ships Must Meet New Energy Efficiency Standards. Available at: <https://www.napa.fi/the-basics-of-eexi-from-2023-all-existing-ships-must-meet-new-energy-efficiency-standards/>
(Accessed 18 February, 2023).

Stopford, M., 2009. *Maritime Economics. Third Edition*, Routledge: New York.

United Nations Climate Change, 2023. What is the Paris Agreement? Available at: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> (Accessed 18 February, 2023).

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 2022. Review of Maritime Transport 2022. Available at: <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2022> (Accessed 18 February, 2023).