

港口優惠費率吸引綠色船舶靠泊——以高雄港為例

Price Incentive to Promote Green Shipping – A Case Study of the Kaohsiung Port

王怡婷 (Yi-Ting Wang)^①、許書耕 (Shu-Keng Hsu)^②

摘要

本研究以高雄港為案例分析，評估港口給予綠色獎勵效果，分析獎勵措施能否提高航商投資綠色技術意願，從而增加綠色船舶靠泊，以達到綠色港口政策目標。本研究設計三種獎勵措施，採現金流量折現法進行財務評估，結果顯示僅安裝 SCR 系統，港口費折扣比率至少需達 70%，才可有效提高航商投資意願，若給予同時安裝 SCR 及閉環式洗滌器系統獎勵，燃油節省收入可提高投資意願，在改裝 LNG 發動機系統獎勵措施方面，由於 LNG 價格低廉，即使無獎勵仍具投資吸引力。分析顯示燃油溢價是影響投資意願的要因，然而本研究方法未納入其他投資風險及不確定，可能低估潛在投資成本，港口欲鼓勵替代燃料，除透過獎勵誘因，亦須協助降低使用該替代燃料時可能產生的不確定性。

關鍵詞：綠色港口、港口獎勵措施、港口費率、減排技術。

Abstract

Kaohsiung port is investigated to evaluate the effectiveness of the incentive plans on green shipping practices and this study aims to find whether the incentive could be an additional driver for the shipping companies to invest in

① 交通部運輸研究所運輸工程組副研究員；Email: yiting@iot.gov.tw。

② 交通部運輸研究所運輸工程組組長；E-mail: keng@iot.gov.tw。

green technology. Three abatement technologies were chosen to implement price incentive plans. The financial assessment is supported by a discount cash flow method to calculate the potential effect of introducing price incentive plans. The results indicate that the port tariff rebate rate should be at least a 70% discount to stimulate more SCR installation. Integrating the SCR + Scrubber makes the investment profitable due to the potential fuel cost-saving generated from installing Scrubber. Without port tariff-based incentives, the low LNG price is able to make the retrofitting LNG-powered system attractive. However, the limitations of the pure financial assessment underestimate the uncertainty and possible operation risk. The port authority needs to fulfill its strategic role in the possible maritime energy transition by eliminating the risk and uncertainty besides the provision of financial support.

Keywords: Green port, Port-based incentive, Port dues, Abatement technology

壹、緒論

國際海事組織 (International Maritime Organization 簡稱 IMO) 於第 72 屆海洋環境保護委員會會議 (MEPC 72) 通過一項具歷史意義的協議，即「在 2050 年前將航運業的溫室氣體 (GHG) 總排放量較 2008 年減少 50%」。為達成此目標，IMO 現已推出多項措施來規範船舶的設計與營運。然而，這些措施勢必增加航運業者的成本，若僅依靠航運業者為航運減排做出貢獻，其效果恐怕十分有限，因此港口部門在幫助航運業者邁向綠色航運的過程中，扮演著非常重要的角色。此外，以港口管理者角度，港口的環境汙染問題亦導致港區本身與其周圍環境逐漸惡化，為了追求永續

發展目標，「綠色港口」營運模式已成為全球港口經營的趨勢。

根據統計，當前全球前百大港口已紛紛祭出綠色航運獎勵措施，除可緩解航商面對嚴苛國際環保法規所造成的成本壓力外，也可同時達成綠色港口永續目標，例如美國加州長灘港提供船舶進出港減速優惠、巴拿馬運河管理局啟動「綠色聯通環境識別計畫」(Green Connection Environmental Recognition Program)、瑞典推出差異化的港口靠泊費等，給予環境友善的船舶港灣費用的減價。

為改善臺灣港區空氣品質，交通部亦研訂「國際商港空氣汙染防制方案」，推出四大具體措施，包括岸電設施擴大使用、船舶進出港減速、船舶使用低硫燃油及港

區施工機具及其他機械之減汙作為優惠措施等。但目前為止，尚未採取針對綠色船舶靠泊提供優惠獎勵措施，例如對靠港的綠色船舶減免特定比例的港口費，以鼓勵航商投資減少汙染物或低碳排的減排設備，來降低港口區域空汙問題。然而儘管港口提供綠色獎勵措施似已成為顯學且有其重要性，但實際執行效果如何仍需進一步評估。

1.1 國際綠色航運相關法規

IMO 為聯合國中負責改善船隻在海上安全和防止海洋汙染的一個組織，其任務為制定防止船舶汙染，以促進綠色航運等相關國際法規。自 2011 年 IMO 針對新造船設計，制定船舶能效的強制性標準，例如能效設計指數 (Energy Efficiency Design Index, EEDI) 和船舶能效管理計畫 (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP)，並首度引入空汙排放控制區 (Emissions Control Area, ECA) 制度。近年來，IMO 逐步制定越來越嚴格的措施和標準，以減少船舶航運過程中產生的空氣汙染，主要包括硫氧化物 (SO_x)、氮氧化物 (NO_x) 和粒狀顆粒物 (PM)，例如從前年開始實施之 IMO 2020 硫含量上限 (Sulphur Cap)，規定自 2020 年 1 月 1 日起開始，對船舶燃料中的硫含量，限制須降低到 0.5%。

為了滿足漸趨嚴格的國際環保法規要求，航運公司被迫將排放的空氣汙染等外部成本內部化，航商須更熟悉各種可採用

的減排選擇，以權衡其營運與空汙成本，但無論採用任何減排方案，勢必會增加營運成本並影響其市場競爭力。

1.2 綠色港口倡議的興起

從全球環保法規到國家內部綠色港口政策，港口在綠色航運過渡期中扮演重要的角色。理論上，港口當局可透過制定更嚴苛的國內法規，限制靠港船舶的汙染排放，但如此可能削弱其與鄰近港口的競爭力，也因此許多港口選擇不制定更嚴苛的國內法規，反而採取與航運公司共同合作的策略，面對航運的空汙或溫室氣體排放議題，反饋達成綠色港口目標。

要成功達成綠色港口目標，需透過協助綠色航運，讓靠泊港口的船舶更環保，減少對港口及周邊區域的汙染。較常使用的合作策略是透過港口給予綠色船舶獎勵措施，鼓勵航商投資綠色技術。而最常見的獎勵措施是對靠港的綠色船舶給予港口費折扣。理論上港口費是港口管理單位對靠港船舶收取費用，以換取港口服務，現在港口費已被視為提高航運業環保意識的戰略工具 (Acciaro, 2013; Lam and Notteboom, 2014)。目前國際上已有許多港口提出類似的獎勵措施，截至 2018 年全球前 100 大港口 (以總貨運量計算排名) 中，共計有 28 個港口已提出為環保船舶提供獎勵措施的計畫 (ITF, 2018)，其中包括例如德國漢堡港及荷蘭鹿特丹，亞洲區域則包括日本、南韓及新加坡。

儘管港口費折扣制度似乎是一可行方法，但 ITF (2018) 報告指出，提供獎勵措施對減少全球航運空汙排放影響效果似乎不高，且只有更多港口能提供此項制度，才能提高獎勵措施的效果。

1.3 研究目的

「推動綠色港口並鼓勵綠色航運發展」為我國推動綠色航港的環境政策，港務公司可規劃合適的獎勵措施，作為實現綠色港口計畫的行動方案。但是要如何設計合適且有效的獎勵措施，以提高航商投資環保相關設備或技術的意願，尚需進一步研析，亦為本研究目的。

本研究以高雄港為案例分析，設計並評估獎勵計畫的有效性，分析獎勵措施是否可提高航運公司投資綠色技術。本研究將以現金流量折現法進行財務評估，計算獎勵計畫的潛在影響，以回答下述三問題：(1) 獎勵措施提供的港口費折扣額是否大到足以鼓勵綠色技術投資？哪種獎勵計畫更有效？(2) 哪些相關參數會影響航商的投資決策？(3) 最後考慮航商間船隊異質性，以分析獎勵措施對不同船隊結構的公司產生的效果。

1.4 研究方法

本研究採用現金流量折現法 (Discounted Cash Flow Method, DCFM)，計算投資項目的淨現值 (Net Present Value,

NPV) 和折現回收期 (Discounted Payback Period, DPP)，作為分析獎勵措施有效性的問題。DCFm 通常用於海事部門評估投資選擇標的一個客觀評估工具。

每艘船舶在決定投資項目決策時 (本文的投資項目特指該船舶投資某減排方法)，將考量其投資成本及收益，其中船舶的機械特性 (例如發動機尺寸) 和營運行為 (即港口停靠次數) 是估算投資成本和收入的相關參數。本研究設計三種獎勵計畫，並評估在不同的獎勵計畫下，給予不同折現率對投資決策的財務可行性的影響。此外，本研究亦考慮了航運公司間的異質性，分析獎勵措施對具備不同規模的公司所帶來的不同影響。

貳、文獻回顧

2.1 綠色航運獎勵機制

近年來，許多港口當局已實施綠色航運獎勵措施，以鼓勵航商在港口區域靠泊時使用低汙染排放的燃料或採用環保設備來減少空汙排放。實施獎勵措施的港口國家中，共計有 6 成以上位於歐洲區域，其次是北美區域，亞洲區域的國家相對較少，僅有日本、南韓及新加坡，而提供港口費折扣為最常見的獎勵方式 (ITF, 2018)，亦即若該靠港船舶符合「綠色」規定，則港口可提供該船舶港口費減免。

「綠色」船舶的定義是基於該船舶符合「綠色」性能，包括船舶安裝減排技術設備（例如安裝洗滌器）、使用替代船用燃料（例如使用液化天然氣 Liquefied Nature Gas, LNG）或參與任何自願性環保認證指標（現行的自願性環保認證指標包括有 Environmental Ship Index (ESI)、Green Award 和 Clean Shipping Index (CSI) 等）。

港口費折扣是指港口對靠泊的綠色船舶收取較低的靠港費用，折扣方式大致可分為兩種，一種為給予固定折扣額，另一種是採百分比折扣。前者是對每次靠港的合格船舶折免固定金額，例如美國洛杉磯港對每次靠港的合格船舶給予 US \$ 6,000 折免。雖然給予固定金額折扣有利於港口管理單位估算年度獎勵預算，但其缺點為對不同尺寸船舶提供相同的環境獎勵標準，如此對於大型船舶而言，折扣可能會偏低而無法達成效果。若採百分比折扣，由於港口費是按船舶總噸位 (Gross Tonnage, GT) 計算，因此大型船舶可比小型船舶獲得更多的折扣，目前多數港口偏好適用的折扣率範圍落在 0.5% 到 20% 之間 (ITF, 2018)。

實務上，合格船舶在同一個港口中多次靠泊可累計折扣，因此即使僅提供低比例折扣，若該艘船舶靠泊次數較高，仍可累計到龐大獎勵折扣金額。甚至，若全球有更多港口實施綠色獎勵計畫，則合格船舶可因靠泊不同港口，累積獲得更高的獎勵折扣金額，提高獎勵措施效果。

2.2 減排方法概述

船用柴油燃料的主要污染物包括 NO_x，SO_x，和 PM，減排技術即是用來處理及降低燃料使用後產生的 NO_x 和 SO_x 排放。根據統計，2010 年海運船舶 NO_x 及 SO_x 排放量約占全球總排放量 15% 和 4 ~ 9% (Lee et al., 2020)。

現有許多減排技術，已確保可將污染排放量降低到符合規範的標準。當前的技術通常可以分為三個領域：廢氣處理技術、替代船用燃料，和節油策略。本節將介紹航商可用來減少排放和提高能源效率的減排技術。表 1 蒐整大部分航商選擇採用的減排措施及其可達到的減排量。

2.2.1 廢氣後處理技術

1. NO_x 減排技術

在減少 NO_x 排放方面，現有三種排氣淨化技術可用來滿足 MARPOL 的 NO_x 排放規定，例如濕空氣動力系統 (Humid Air Motor, HAM)，廢氣再循環 (Exhaust Gas Recirculation, EGR) 和選擇性催化還原系統 (Selective Catalytic Reduction, SCR)。在所有這些系統中，SCR 系統屬於後處理應用，其技術發展相當成熟，也由於船型使用無限制，被認為是最有效的方法，也是目前商業化使用程度最高的應用 (Seddiek and Elgohary, 2014; Winnes et al., 2015)。

2. SO_x 減排技術

至於減少 SO_x 排放方面，航商可採取直接選用極低硫燃料油 (VLSFO，最大硫含量為 0.5%) 或船用輕柴油 (MGO，最大硫含量為 0.1% m/m 或 0.5% m/m)。但由於 VLSFO 和 MGO 價格普遍高於高硫燃油 (HSFO，最大硫含量為 3.5% m/m)，加上由於 IMO 限硫令於 2020 年 1 月 1 日正式施行後，可能造成短期內 VLSFO 燃料供應不足，而進一步拉抬 VLSFO 價格等疑慮，因此安裝洗滌器 (Scrubber) 成為航商另一選擇。

洗滌器是一種可靠且技術成熟的廢氣後處理系統，藉由洗出廢氣中的 SO_x 減少 SO_x 排放到空氣。由於加裝洗滌器可使航商繼續使用較便宜的 HSFO，因此近年來受到航商相當大的關注。

但使用洗滌器仍存在另一個環境問題，一般而言洗滌器可分為三種不同系統類型：開環式 (Open-Loop)、閉環式 (Closed-Loop) 和混合式 (Hybrid) 洗滌器，其中開環型是透過海水洗滌後再將其排放回海，而這些洗滌後的污染海水可能對海洋環境造成影響，惟目前尚無明確定論，但已有部分國際港口選擇立法禁止使用開環洗滌器；另一個混合系統則是允許船舶操作員根據操作模式和當地法規，在開環和閉環模式之間切換。對航商而言，在選擇使用洗滌器時多會優先選擇成本較低的開環式，即使可能面臨被禁止而無法使用的可能性，但對港口當局而言，應考量開

環式洗滌器可能對環境造成不良的影響。

2.2.2 替代船用燃料

除了降低海運對環境的影響，IMO 進一步在 2018 年設下 2050 年減少 50% 溫室氣體總排放量的長期目標，迫使航商近年來需積極尋找零排放的替代能源。根據挪威船級社研究報告指出，當前共有五種較有潛力作為未來船用替代燃料，分別為液化天然氣 (Liquefied Nature Gas, LNG)、液化石油氣 (Liquefied Petroleum Gas, LPG)、甲醇、生質燃料，和氫氣等，而在這五種候選替代能源中，LNG 為最具吸引力的選項，除因其技術相對成熟外，另一主因是由於 LNG 市場競爭激烈，使得 LNG 價格偏低，可大幅減少航商燃料成本 (DNV, 2018)，且使用 LNG 燃料，還可降低 9 成以上 SO_x 排放，及 8 成 NO_x 排放 (如表 1 所示)，換句話說，航商不需要另外安裝任何設備，即可滿足 SO_x 和 NO_x 的排放限制，這些因素都讓使用 LNG 作為替代燃料，被認為是極為可行的解決方案。

截至 2019 年 1 月，已有 143 艘採用 LNG 動力的船舶投入營運，另外共計 139 艘 LNG 燃料造船訂單，尤其在排放管制區的造船訂單近幾年也大幅增長 (Sharples, 2019)，此外歐盟 Trans-European Transport Network (TEN-T) 運輸網的港口將在 2025 年建構 LNG 加氣核心網絡 (EC, 2014)。然而，採用 LNG 的最主要挑戰，來自其昂貴的初期投資成本，這讓大多數航商為之

表 1 各減排方法可達到減排效果

減排方法		可減少的排放量 (%)			
		SO _x	NO _x	CO ₂	PM
廢氣後處理技術	選擇性催化還原 (SCR)	—	90	—	—
	廢氣再循環 (EGR)	—	80	—	—
	洗滌器裝置 (Scrubber system) (2.7% S 降到 0.5% S)	75 ~ 95	—	—	25
替代燃料	低硫燃油 VLSFO 0.5 % S (2.7% S 降到 0.5% S)	81	—	—	20
	液化天然氣 (LNG)	90	80	20	100
節油策略	內部引擎改裝	—	30	—	—
	岸電系統 (SSP)	46	92	25	—

資料來源：Seddick and Elgohary (2014)、Burel et al. (2013)。

卻步，尤其是資本較小的航商，因其較無法承擔長期投資風險。

2.2.3 節油策略

節油策略的概念是透過提高能源效率來節省或減少燃料消耗，以降低船舶的廢氣排放量。本研究介紹以下三種目前最為常見節油策略：

1. 優化發動機和船體設計

透過改造發動機是提高能源效率的方法之一，船舶可採用直流電網系統、低損耗混合動力系統，或降低發動機設定值等。另外透過船體設計降低船舶阻力，也可提高船舶燃油效率，例如優化船舶設計減輕船舶重量、修改船首形狀降低航行阻力、導入空氣潤滑系統降低船體與海水之間的阻力等。

2. 慢速航行 (Slow Steam)

基於節能管理的概念，採用航線優化和自動駕駛系統等，也是用來節省燃料

的解決方案。慢速航行（降低船速）已成為航商最常使用來降低燃油使用的方法，Lindstad 等人 (2011) 指出，降低船速可顯著減少運輸過程中的 CO₂ 排放，同時降低海上運輸成本。較慢的速度通常會提高船舶的燃油效率，從而使承運人節省燃油費用。

但是，亦有學者對低速航行對經濟和環境方面造成的問題提出不同論點，Psaraftis 和 Kontovas (2014) 認為降低船速可能會導致貨物運輸時間增加，使得航商需布署更多的船舶，連帶造成更多污染排放物，亦即低速航行不一定能減少海運的污染或溫室氣體排放。

3. 岸電系統 (Shore-Side Power, SSP)

岸電系統讓船舶在港口靠泊期間，改以港口安裝的岸電系統為船舶提供電力，以減少柴油輔助發動機的污染排放，並改善港口和周邊區域空氣品質 (Yu et al., 2019)。

目前全球共計 43 個港口設置岸電系統，但仍有許多國際港口仍在評估階段，例如新加坡、香港及日本東京港。世界各國的電壓與頻率規格不一，遠洋船舶使用的電壓與頻率亦不同，缺乏國際統一標準也是造成國際港口推動岸電的最大障礙。此外，船舶使用岸電系統的成本，可能比在船上燃燒船用燃料更為昂貴。目前只有少數幾個港口當局（例如美國加州）強制要求靠泊船舶須使用岸電系統，若缺乏港口管理單位的強制性規定，航商可能沒有意願主動使用岸電系統，短期而言岸電系統的普遍化仍有許多困難尚待克服。

參、研究模型

3.1 研究問題描述

本研究的目的是在分析以下幾個問題：獎勵方案的設定是否合適且足以鼓勵航商投資綠色環保設備？由於不同的航商船隊結構不同，獎勵計畫是否會導致航商間的不公平競爭？

政府獎勵計畫的有效性是取決於航商的投資決策，因此需先瞭解航商如何做出投資決策，以及影響航商投資決策過程的因素。從航商角度，投資決策在於選擇成本最低或獲利較高的減排解決方案，同時又可符合環境法規。從港口經營者角度，獎勵目的在鼓勵航商投資減排設備，

減少空汙排放。鼓勵航商投資綠色技術需要適當的獎勵計畫，港口經營者須決定目標，並分析在何種條件下該獎勵措施能有效的影響投資決策。為了設計有效的獎勵計畫，需評估獎勵措施對航商投資決策的影響，本研究假設航商採用現金流量折現值法中淨現值法 (NPV) 及折現回收期法 (DPP)，來評估其投資項目的財務可行性。淨現值法是將未來現金流量折現到投資日再予以加總，若淨現值等於或大於零時，代表該投資計畫可行。此外航商亦會估計投資計畫需多長時間才能償還本金，達到損益兩平，投資回收期越短，代表該項目的投資可行性越高，而在本研究中重要的是需考量每艘船舶的使用壽命，若投資回收期超過船舶的剩餘使用壽命，該投資仍無法獲利。

3.2 獎勵措施設計

港口營運單位目標在減少 NO_x、So_x 及二氧化碳，因此若靠港船舶安裝可減少排放 NO_x 及 SO_x 的設備，或者使用替代燃料來減少二氧化碳等，該船舶靠港時，便可獲得港口費減免的獎勵。本研究選擇了三種減排技術作為提供獎勵措施基礎，當船舶採取下列其一措施，就可獲得港口費減免獎勵：

1. 船舶安裝 SCR 系統。
2. 船舶同時安裝 SCR 系統和閉環洗滌器系統 (Closed-Loop Scrubber)。

3. 船舶改裝使用 LNG 燃料的發動機系統。

在鼓勵船舶安裝 SCR 系統的獎勵設計部分，由於目前 IMO 對全球 NO_x 排放限制尚未如 SO_x 排放嚴格，航商無投資 SCR 系統的迫切需要，且投資 SCR 與投資於其他設備不同（例如洗滌器和 LNG 燃料），使用 SCR 不會產生額外燃油投資收益，僅能從港口獎勵措施獲得的港口費減免收益，可以預期第一項獎勵機制效果應該不大。

考量到純粹透過獎勵措施可能無法有效說服航商採用 SCR 系統，本研究設計第二項獎勵機制，亦即只有在航商同時安裝 SCR 和閉環式 Scrubber 系統，才可獲得獎勵。

航商因為 IMO 限硫令實施後，VLSFO 已成為船上必要使用的合規燃料類型，但 VLSFO 價格較高，須負擔更高燃油成本支出，若選擇改裝 Scrubber 系統後，可持續使用價格較便宜的 HSFO，從而獲得燃油價差的投資收益，如此從投資 Scrubber 額外獲得的燃油價差收益，可望提高 SCR 系統的投資意願，此外，本研究規定只有在安裝閉環式 Scrubber 類型時，才可獲得獎勵，以減少使用開環式 Scrubber 可能帶來的環境汙染。

最後一個獎勵機制納入使用替代燃料油，是希望鼓勵航商轉向使用低碳燃料，來減少二氧化碳排放量。由於當前 LNG 的價格偏低，與使用昂貴的 VLSFO 相

比，航商更有意願使用 LNG 作為船用燃料，因此除港口提供獎勵措施外，低價的 LNG 將成為航商改裝 LNG 燃料發動機的另一重要誘因。

3.3 計算模型

獎勵方式是給予港口費用折扣，採每艘船舶的總港口費給予比例折扣，如此大型船舶較小型船舶可獲更多的折扣獎勵金，同時折扣金採逐次累計式，若船舶靠港次數越多，累計獲得總折扣獎勵金也隨之越高。

本研究使用兩個指標 NPV 和 DPP 來量化投資成本和收益，如式 (1) 和式 (2) 所示：

$$NPV = -\text{Cost}_0 + \sum_{t=1}^T \frac{\text{Benefit}_t - \text{Cost}_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} NPV(DPP) \\ = -\text{Cost}_0 + \sum_{t=1}^{T=DPP} \frac{\text{Benefit}_t - \text{Cost}_t}{(1+i)^t} \\ = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$DPP \leq T, \text{ year}$$

其中 Cost_0 為初始投資成本； Benefit_t 是 t 期間的投資收益； Cost_t 是 t 期間的營運成本； $\text{Benefit}_t - \text{Cost}_t$ 在 t 期間的淨現金流（出）入； i 為折現率； T 是船舶剩餘壽命，本研究假設船舶最高壽命為 25 年。

NPV 越高或 DPP 越短，代表該投資越有吸引力。所以如果給予獎勵措施，可讓 NPV 大於零，或可協助縮短 DPP，則

代表獎勵措施可有效地鼓勵航商增加投資減排設備。茲分成成本與收益部分說明如下：

1. 成本部分

成本部分可分為固定成本 (CAPEX) 和變動成本 (OPEX)。在固定成本包括投資設備的資本支出，變動成本為用於營運 (即機組人員，維護和維修) 的維護成本及航行成本 (如燃油消耗及港口費用)。

由於本研究僅考慮現行船舶進行改造，因此式 (1) 中總投資成本僅計算額外的初始投資成本及額外的 OPEX 成本。對每艘船舶而言，選擇投資綠色技術 (z) 的營運成本包含初期資本支出及年度額外非燃料運行 / 維護成本，總現金流出折算為現值如式 (3) 所示：

$$C_{i,j}^z = C_{i,j,0}^z + \sum_{t=1}^{T_{i,j}} \frac{C_{i,j,t}^z}{(1+i)^t} \quad (3)$$

其中 $C_{i,j}^z$ 是 i 公司的 j 船舶投資 z 技術的總投資現金流出現值， $C_{i,j,0}^z$ 是 i 公司的 j 船舶投資 z 技術的初期資本支出，而 $C_{i,j,t}^z$ 是投資 z 後第 t 年的額外非燃料運行 / 維護成本。 $T_{i,j}$ 是剩餘壽命。

所以若採用減排方法，將帶來額外的燃料成本「節省」並獲得港口費折扣金。其中燃料成本節省來自於，由於 VLSFO 是船上使用的常規燃料，因此在改裝 Scrubber 或 LNG 燃料發動機後，航商可賺取燃油價差作為投資收益。

2. 收益部分

$$B_{i,j}^z = \sum_{t=1}^{T_{i,j}} \frac{FCS_{i,j,t}^z + I_{i,j,t}}{(1+i)^t} \quad (4)$$

$B_{i,j}^z$ 是船舶公司 j 的第 i 艘船安裝 z 的總投資現金流入現值； $FCS_{i,j,t}^z$ 是安裝 z 後節省的燃料成本； $I_{i,j,t}$ 是港口費折扣。燃料成本節省和港口費折扣等兩部分，如式 (5) ~ (6)：

$$FCS_{i,j,t}^z = FC_{i,j,f,t} - FC_{i,j,VLSFO,t} \quad (5)$$

$$I_{i,j,t} = (\alpha) * (D * GT_{i,j}) * N_{i,j,t} \quad (6)$$

$FC_{i,j,f,t}$ 是使用 f 燃料的年燃料成本； $FC_{i,j,VLSFO,t}$ 是使用 VLSFO 燃料的年燃料成本； D 是港口費率； GT 是船舶總噸數； α 為折扣百分比； $N_{i,j,t}$ 為年靠泊次數。

燃油成本差異來自於，當船舶選擇安裝減排設備後，其所需的燃油成本，相較於無配備減排設備相比，所能減少的燃油費用，由於 VLSFO 是合規燃油以符合限硫令法規，所以當船舶安裝 Scrubber 後，可選擇使用價格較低的 HSFO，如此兩種油品間 (HSFO-VLSFO) 的燃油溢價，可視為投資收益的一部分。換句話說，當投資綠色技術可讓航商使用更便宜的燃油時，所產生的負額外燃料成本則產生投資收益。

年度燃油成本和年度燃油消耗計算式為 (7) ~ (7-1)：

$$FC_{i,j,f,t} = P_f \times F_{i,j,f,t} \quad (7)$$

$$F_{i,j,f,t} = S_f \times 0.7 \times \text{MCR}_{i,j} \times 24 \times 365 \times 10^{-6} \quad (7-1)$$

$F_{i,j,f,t}$ ：使用 f 燃料的 t 年燃料消耗量； P_f ： f 燃料價格； S_f ： f 燃油消耗率 (Specific Fuel Oil Consumption, SFOC) (g/KWh)； MCR ：70% 的連續最大出力 (Maximan continuous Rating, KWh)； $F_{i,j,f}$ ：使用 f 燃料的年燃料成本； $24 \times 365 \times 10^{-6}$ ：假設船舶運轉不間斷 (24 時 $\times$ 365 日)，並將克換算為噸。

肆、案例研究

本研究以高雄港為例，蒐集 2019 年國籍三大航商靠泊高雄港的所有船舶數為本研究樣本船舶，計算每艘船舶在獲得港口費折扣後的 NPV 和 DPP，以評估獎勵計畫是否能有效提高航商投資減排設備。

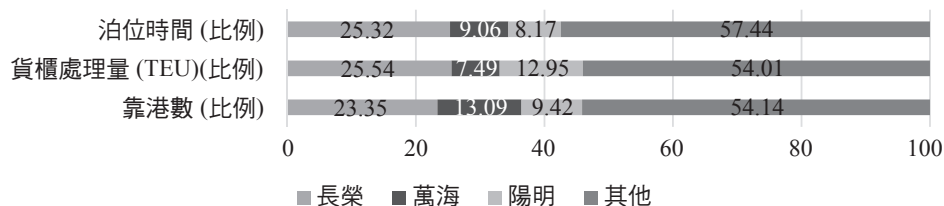
4.1 研究樣本

在 2019 年高雄港有超過 8,750 艘貨

櫃船停靠，主要來自國籍三大航商，包括長榮 (以下稱 E)，萬海 (以下稱 W) 和陽明海運 (以下稱 Y)，達到超過 4,000 次靠港。圖 1 顯示，總靠港次數中有近 1/2 靠泊數來自國籍三大航商，E 公司、W 和 Y 公司合計約占總進港船舶數的 46%，由於三大國籍航商的年泊位時間相較其他航運公司長，因此本研究選擇 E，W 和 Y 公司為本研究樣本公司，蒐集其在 2019 年靠泊高雄港的所有船舶為本研究樣本船舶。

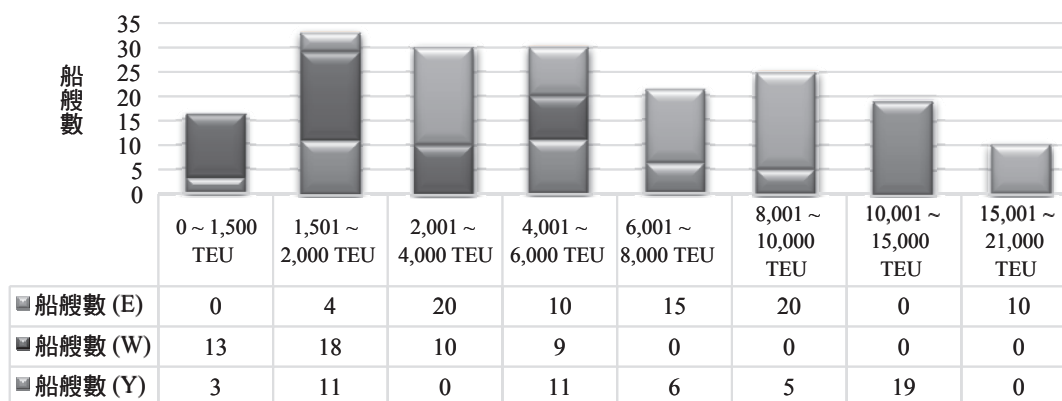
考量 NPV 方法考慮金錢的時間價值，因此定義船舶的使用壽命也相當重要。通常貨櫃船在報廢之前的預期壽命為 25 至 30 年。但近年來由於嚴格的環保法規及安全標準，船舶報廢年限明顯下降，在 2016 ~ 2018 年間，報廢船舶的平均年限為 25 歲 (Hoffmann, 2020)，因此本研究樣本船舶僅挑選限於建造於 1995 年以後的船舶。

經蒐集三家國籍航商在 2019 靠泊的所有船舶，總樣本船舶數量計有 184 艘。圖 2 顯示，不同航商間的船隊結構有相當大的差異，E 公司樣本船舶數占總數 43%，W 和 Y 則分別占了 27% 和 30%。



資料來源：AlphaLiner。

圖 1 國籍三大航商 2019 年靠港統計



資料來源：Alphaliner。

圖 2 國籍三大航商 2019 年靠港船舶類別

在船舶運能 (TEU) 部分，E 公司的船隊包含有小型，中型和大型船舶，且布署 10 艘超大型船舶 (大於 20,000 TEU) 靠泊高雄港，顯示 E 公司不僅營運跨洋海運服務，同時提供不少的區域航線服務。W 公司船隊共布署 50 艘船，占總樣本船舶數 27%，其中一半以上小於 2,000 TEU，且無船舶超過 6,000 TEU，顯示 W 的主要利基市場為區域航運服務。Y 公司的船舶數占總數 30%，同樣擁有從小型、中型和大型船舶，但其大型船舶運能均小於 15,000 TEU，顯示 Y 的經營策略類似 E 公司，但在某一程度上也做了市場區隔，從圖 2 顯示此三家樣本航商間船隊結構不同，其市場能力具有相當程度上的差異性。

4.2 所需數據

經本研究蒐集及整理，三種減排方法的單位成本彙整如表 2 所示，表 3 則匯總了各減排方法所需的燃料類型和單位燃料價格。

安裝 SCR 系統，需要使用 VLSFO (0.5% S) 燃料，若安裝 Scrubber 系統，則允許使用 HSFO，如改裝 LNG 發動機，則 LNG 是主要燃料來源。本研究假設燃料價格固定，不考慮燃料價格的波動與不確定性。用於分析的燃料價格設定為 2019 年全球 20 個港口的平均船用燃料價格，其中 VLSFO 為 577 美元 / 噸，HSFO 為 405 美元 / 百萬噸 (Ship and Bunker, 2020)，LNG 價格設定為 5.44 美元 / mmBtu (= 217 美元 / 噸) (IMF, 2020)。為了進行分析，將 LNG 價格轉換為噸標準。此外，另一影響燃料使用量的因素是燃料消耗量 (Specific Fuel Oil Consumption, SFOC) 和燃氣消耗量 (Specific Fuel Gas Consumption, SFGC)，代表該能源在每單位可產生的千瓦能量，燃油發動機的平均 SFOC 值為 200 克 / 千瓦，而 LNG 的 SFGC 平均為 149 克 / 千瓦，LNG 燃料具有較高的能源效率，可比燃油柴油機包含更多的燃料質量百分比，換句話說，要產

表 2 各獎勵措施減排方法的單位成本

成本類別	成本項目	安裝 SCR 系統	安裝 Scrubber 系統	改裝 LNG 發動機系統	單位
資本支出	設備價格	45	150	—	美元 / 千瓦
	引擎價格	—	—	740	美元 / 千瓦
	LNG 供氣系統和儲氣槽	—	—	245	美元 / 千瓦
	改裝成本 (改裝 LNG)	—	—	175	美元 / 千瓦
	安裝成本	9	225	150	美元 / 千瓦
營運支出	汙泥處理、額外燃油消耗、貨櫃運能損失	—	2.5	—	美元 / 兆瓦 / 年
	尿素消耗和儲存槽	21.5	—	—	美元 / 兆瓦 / 年
	清潔工作	8000	—	—	美元 / 年

資料來源：Entec (2005)、DMA (2012)、CE Delft (2015)、Nikopoulou et al. (2013)。

表 3 2019 年燃油價格

成本類別	成本項目	加裝 SCR 系統	加裝 SCR + Scrubber 系統	改裝 LNG 發動機系統	單位
燃油成本	燃油類型	VLSFO (0.5% S)	HSFO	LNG	
	單價	577	405	217	美元 / 百萬噸
	SFOC/SFGC	200	200	149	克 / 千瓦
	HSFO - VLSFO 燃油價差	—	172	—	美元 / 百萬噸
	LNG - VLSFO 燃油價差	—	—	360	美元 / 百萬噸

資料來源：Ship and Bunker (2020)、IMF (2020)。

生相同的動力，使用 LNG 可較省能源。

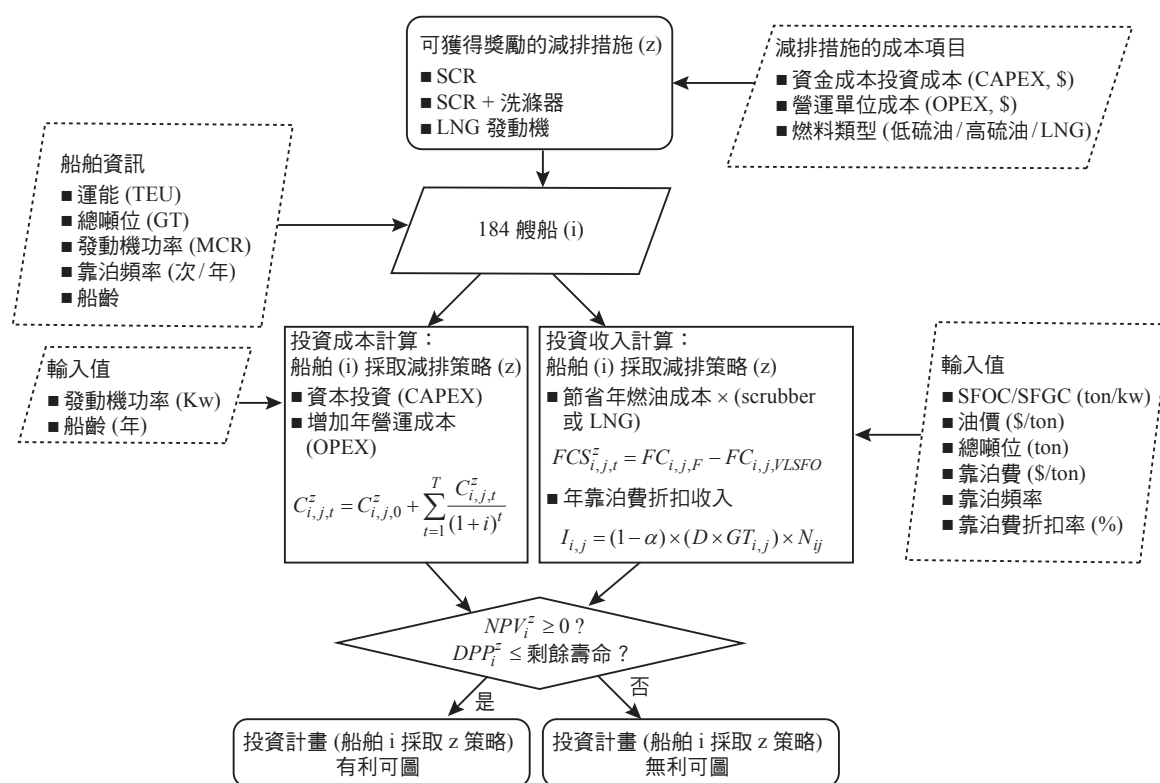
在港口費部分，高雄港費率為 0.25 美元 / GT，且本研究模擬了四種不同的折扣比率，分別為港口費折扣率為 0%、25%、50% 及 70%。設計 0% 折扣率是為了反映，當沒有獎勵機制時，投資收益純粹來自於燃油價差對財務指標的影響。另外，儘管港口不大可能提供 50% 或 70% 的折扣率，但此為了反映，當國際上有更多港口實施獎勵措施，而該艘船舶可在

該航線服務上靠泊不同港口，所獲得的總折扣金額。最後，假設投資風險由固定折現率計算，財務折現係數假設為 4% (Kelderman, 2017)，且所有預期的現金流量都在年底實現。

4.3 實證案例分析

4.3.1 計算步驟

計算步驟如圖 3，各投資項目代表每艘樣本船舶選擇其中一種獎勵機制進行投



資料來源：本研究繪製。

圖 3 計算步驟

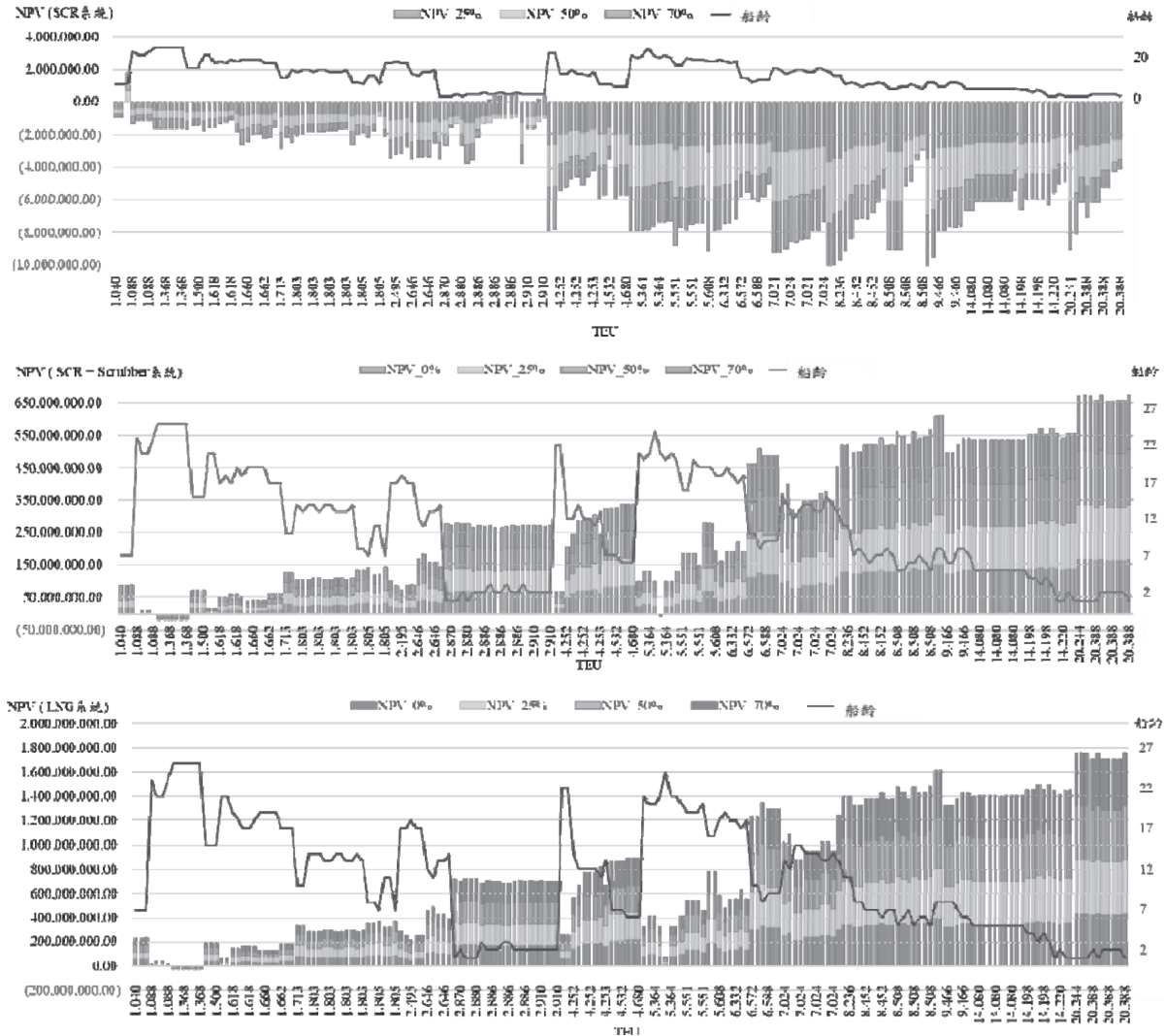
資，透過計算每個投資項目的財務指標 (NPV 和 DPP)，分析三種獎勵機制的有效性。本節說明各投資項目的 NPV 和 DPP 結果，若 NPV 值等於或大於零，且其 DPP 值不超過其船舶剩餘使用壽命，則代表該投資項目可被接受。因此，透過本研究可分析，獎勵計畫之有效，代表其可以讓 NPV 值轉正且縮短 DPP。此外，考慮到三家樣本公司間存在不同船舶船隊，本研究進一步分析獎勵計畫是否存在分配不均問題，最後以敏感性分析燃油價格的變化對結果的影響。

4.3.2 分析結果

1. 淨現值法 (NPV)

各投資項目 NPV 值如圖 4 堆疊條形圖，各堆疊條中不同顏色的分段代表在給予不同折扣率後之 NPV 值 (以 NPV_% 為示)，橫軸為各投資項目，以船舶運能排序。

圖 4 第一張圖為各樣本船舶選擇投資 SCR 系統並獲得港口費折扣後的 NPV 值，結果顯示若僅給予 25% 的折扣，其獎勵金額顯然不足以提高投資誘因，只有一艘小型船可能會投資安裝 SCR 系統 (因



資料來源：本研究繪製。

圖 4 以淨現值法比較各獎勵機制

為 NPV 大於零)，若折扣率提高至 70% 後，有 11 艘小型船的投資淨利可以轉負為正。此結果顯示，當給予較低獎勵折扣率以及對於大型船舶而言，投資 SCR 系統不具財務可行性。

圖 4 第二張圖為各樣本船舶同時採用 SCR 和閉環式 Scrubber 系統，以獲得

港口費折扣後 NPV 值，大多數投資方案都可以被接受 (NPV 大於零)。結果顯示第 2 種獎勵機制的設計 (同時採用 SCR 和閉環式 Scrubber 系統)，有利於改善第一種獎勵機制 (只加裝 SCR 系統) 財務不可行的狀況，但同時代表即使港口當局未實施獎勵計畫，投資後可獲得多少燃油價差收

益，是航商在決定投資決策時之決定性的因素。

改裝 LNG 動力系統的結果如圖 4 第三張圖所示，結果類似於第二張圖，即使沒有提供港口費折扣，大多數投資計畫都可產生淨投資利潤，獎勵折扣金額僅占投資現金流入的一小部分。同樣的，燃油成本的節省顯然才是決定投資與否的主因。但這結果也顯示，儘管 LNG 燃料發動機初期投資費用相當昂貴，但投資後所獲得的燃料成本節省幾乎抵銷了高初期投資成本。

分析結果證明，船齡和船舶靠港數是影響獎勵措施有效與否的兩個主要因素。因為年輕的船舶具備較長的使用壽命，可累積較長的投資年收入，伴隨較高的靠港數累計高港口費回饋金額，可以抵銷初期資本成本，例如在投資 SCR 系統部分，幾艘具投資潛力的樣本船舶，其平均船齡和平均港口停靠次數分別為 3.08 年和 32 次。在同時安裝 SCR + Scrubber 的例子，共有 8 艘運能位於 1,000 ~ 1,500 TEU 和 1 艘 5400 TEU 的樣本船舶，不具投資效益，因為該些船舶屬於船齡較高的小型船，缺乏足夠營運年限累積現金流入。

此外，船舶尺寸亦是影響獎勵計畫的重要參數，第 2 項和第 3 項獎勵計畫（即 SCR + Scrubber 和 LNG 投資）較吸引大型船舶，從第二和三張圖中顯示，大型船可獲得較小型船更高的投資收入，這是因為投資產生收入包括兩部分——港口費折扣

獎勵金及燃料成本節省。首先由於獎勵機制是採比例式回饋，大型船舶可獲得的港口費折扣自然高於小型船舶，但更為關鍵的燃油成本的節省，因為大型船本質上需要更多的燃料消耗，也因此可節省的燃油成本幅度高於小型船舶，此外，由於在本研究中的大型樣本船舶，船齡普遍偏低，這也代表能夠產生較高 NPV 值的能力。

整體而言，大型船舶較小型船隻可獲得更高 NPV 值，這結果與 Panasiuk 和 Turkina (2015) 相同，即在初始投資成本回收後，其燃料價格差帶來燃油成本節省的高投資利潤，大幅提高投資 NPV 值。

此外圖 4 顯示改造 LNG 燃料系統的投資效益較 SCR + Scrubber 來得更高（可獲得更高的淨現值），這是因為燃油成本可節省額度，除來自燃油價差外，不能忽略燃油效率的影響，LNG 的燃油效率高於傳統化石燃料，可降低船舶燃油消耗量，由於使用 LNG 推進器，具有較傳統燃油更高的能源效率（意味著消耗 LNG 的 SFGC 低於消耗發動機的 HSFO 的 SFOC，代表使用 LNG 作為船用燃料，船舶可以燃燒較少的液化天然氣，但產生相同功率），因此與傳統的燃油發動機相比，透過改裝 LNG 燃料發動機系統，可節省的總燃料成本更多。過去已有許多研究都提出相同論述，用 LNG 作為船舶替代燃料，相當具有經濟吸引力（Acciaro, 2014; Elgohary et al., 2015; Fokkema et al., 2017; Nikopoulou, 2017）。

2. 折現回收期法

本小節利用折現回收期法 (DPP) 比較不同獎勵計畫的獎勵效果。DPP 代表投資達到收支平衡的所需時間，為分析獎勵計畫能否縮短投資回收期，本小節觀察不同獎勵計畫及提供不同折現率後，所有投資項目的平均 DPP 變化，如表 4 所示。

表 4 中計算的平均 DPP，是僅考慮該投資項目的 DPP 不超過剩餘壽命的項目，此外由於安裝 SCR 的投資現金流入僅來自獎勵折扣金額，因此有些投資項目無法達到正淨現值，或其 DPP 值為負數或不合理數字等，均以 NA 表示。表 5 顯

示當獎勵折扣率提高時，平均 DPP 也隨之降低，例如在船舶運能 0 ~ 1,500 TEU 類別中，當給予 25% 港口費折扣，約需 18 年達到收支平衡，但當折扣率提高至 70% 後，該些投資項目的平均 DPP 可降至 5.6 年。

其次安裝 SCR + Scrubber 的初始投資成本，即使無提供獎勵措施 (DPP_0%)，最長可在 2.2 年內回收，但提供獎勵折扣，對縮短投資回收期之效果並不明顯，即使給予 70% 港口費折扣，平均 DPP 至多也只能減少 0.05 年。然而較高的折扣率小船影響較為明顯，通常小型船舶的靠港

表 4 比較各獎勵辦法的折現回本期 (DPP)

獎勵措施	船舶運能 (TEU)	年平均 DPP_0%	年平均 DPP_25%	年平均 DPP_50%	年平均 DPP_70%
安裝 SCR	0 ~ 1,500		18.00	7.00	4.00
	1,501 ~ 4,000		NA	NA	17.00
	4,001 ~ 8,000		NA	NA	NA
	8,001 ~ 15,000		NA	NA	NA
	15,001 ~		NA	NA	NA
安裝 SCR + Scrubber	0 ~ 1,500	2.20	2.18	2.15	2.15
	1,501 ~ 4,000	2.20	2.18	2.17	2.17
	4,001 ~ 8,000	2.19	2.19	2.18	2.18
	8,001 ~ 15,000	2.19	2.19	2.18	2.18
	15,001 ~	2.19	2.18	2.18	2.18
改裝 LNG 發動機	0 ~ 1,500	1.25	1.24	1.24	1.24
	1,501 ~ 4,000	1.25	1.24	1.24	1.24
	4,001 ~ 8,000	1.25	1.24	1.24	1.24
	8,001 ~ 15,000	1.25	1.24	1.24	1.24
	15,001 ~	1.25	1.24	1.24	1.24

資料來源：本研究計算。

表 5 樣本公司間異質特徵

項目	公司	船舶運能 (TEU)							
		0 ~ 1,500	1,501 ~ 2,000	2,001 ~ 4,000	4,001 ~ 6,000	6,001 ~ 8,000	8,001 ~ 10,000	10,001 ~ 15,000	15,001 ~ 21,000
平均發動機尺寸 (MCR)	E	—	12,474	24,260	48,745	53,800	56,070	—	59,250
	W	9,789	16,012	23,813	39,026	—	—	—	—
	Y	12620	16,660	—	47,854	57,200	68,644	52,334	—
平均總噸位 (GT)	E	—	17,887	32,432	65,801	75,589	99,715	—	217,382
	W	15,057	17,469	27,270	48,610	—	—	—	—
	Y	—	16,488	—	54,228	75,924	90,493	146,137	—
平均船齡 (年)	E	—	18	2	21	15	7	—	2
	W	20	14	15	9	—	—	—	—
	Y	15	14	—	15	9	10	4	—

資料來源：本研究計算。

次數較高，這結果顯示當船舶的靠港次數越高，獎勵措施的效果也更顯著，同時也表示小船對獎勵措施實施與否較為敏感。對改裝 LNG 燃料發動機的獎勵機制而言，即使無提供獎勵折扣，各投資項目最長僅需 1.25 年即可回收。

整體而言，獎勵措施對縮短安裝 SCR + Scrubber 或改裝 LNG 燃料發動機系統的投資回收期，其效果相當有限。此外，表中顯示安裝 SCR + Scrubber、改裝 LNG 系統，僅需相當短的投資回收期 (DPP)，這也可解釋圖 4 中許多投資項目可獲得相當高的 NPV 值，在收支平衡點後，所有投資收入累積高淨利潤。

3. 獎勵措施在各樣本公司間的效果

從前兩節分析顯示，船舶特性，如船齡、船舶運能 (TEU) 與年靠港數等因素會

影響獎勵措施的有效性，例如船齡低且具高靠港次數之船舶，給予獎勵措施效果最為明顯。然而從本研究蒐集來自三樣本公司 (E, W, Y) 的 185 艘樣本船舶特徵顯示如表 5，各樣本公司間的船隊結構存在明顯異質性，這使得獎勵措施對受獎勵者有不同效果，因此本節分析重點在於探討獎勵措施是否對能力較強 (市占率較高) 的航商更有利。

表 6 顯示獎勵措施在各樣本公司間的效果，計算航商對不同獎勵措施的接受率及平均 NPV 值，其中接受率為該航商可接受的投資項目數 (NPV 大於零) 與擁有總船舶數間比率，以安裝 SCR 的獎勵措施為例，W 公司有 41 艘 0 ~ 4,000 TEU 船舶，其中僅有一艘可投資獲利，則接受率為 2.4% (= 1/41*100%)。

表 6 獎勵措施在各樣本公司間的效果

獎勵措施	船舶運能 (TEU)	0% 折扣率		25% 折扣率			50% 折扣率			70% 折扣率		
		航商 (接受率)	平均 NPV	航商 (接受率)	平均 NPV	總回饋金額	航商 (接受率)	平均 NPV	總回饋金額	航商 (接受率)	平均 NPV	總回饋金額
安裝 SCR	0-4,000			W(2%)	6,683	11,921	W(2%)	629,141	98,340	W(5%)	589,070	108,765
				NA	NA		NA	NA		E(40%)	234,108	110,609
	4,001-8,000			NA	NA		NA	NA		NA	NA	
	8,001-15,000			NA	NA		NA	NA		NA	NA	
安裝 SCR + Scrubber	15,001-			NA	NA		NA	NA		NA	NA	
	0-4,000	E(100%)	57,706,785	E(100%)	58,101,582	671,269	E(100%)	58,496,380	1,342,537	E(100%)	58,812,218	1,879,552
		W(80%)	22,365,797	W(80%)	22,520,019	618,697	W(80%)	22,674,242	1,237,394	W(80%)	22,797,620	1,732,352
		Y(100%)	24,435,360	Y(100%)	24,612,684	260,968	Y(100%)	24,790,007	521,936	Y(100%)	24,931,865	730,710
	4,001-8,000	E(96%)	55,946,535	E(96%)	56,058,901	365,570	E(96%)	56,171,268	731,140	E(96%)	56,261,161	1,023,596
		W(100%)	72,713,450	W(100%)	72,880,184	141,272	W(100%)	73,046,919	282,544	W(100%)	73,180,307	395,562
		Y(100%)	80,870,715	Y(100%)	81,277,611	698,544	Y(100%)	81,684,508	1,397,089	Y(100%)	82,010,025	1,955,924
	8,001-15,000	E(100%)	131,383,537	E(100%)	131,812,154	643,380	E(100%)	132,240,770	1,286,761	E(100%)	132,583,664	1,801,465
		W(0)	0	W(0)	0	0	W(0)	0	0	W(0)	0	0
		Y(100%)	135,321,541	Y(100%)	135,766,660	756,612	Y(100%)	136,211,779	1,513,224	Y(100%)	136,567,874	2,118,513
	15,001-	E(100%)	165,056,765	E(100%)	165,727,905	435,880	E(100%)	166,399,045	871,761	E(100%)	166,935,957	1,220,465
		W(0)	0	W(0)	0	0	W(0)	0	0	W(0)	0	0
		Y(0)	0	Y(0)	0	0	Y(0)	0	0	Y(0)	0	0
改裝 LNG 發動 機	0-4,000	E(100%)	151,971,893	E(100%)	152,366,690	671,269	E(100%)	152,761,487	1,342,537	E(100%)	153,077,325	1,879,552
		W(85%)	47,729,653	W(85%)	47,883,846	661,747	W(85%)	48,038,038	1,323,498	W(85%)	48,161,392	1,852,890
		Y(100%)	67,460,791	Y(100%)	67,638,115	260,968	Y(100%)	67,815,438	521,936	Y(100%)	67,957,296	730,710
	4,001-8,000	E(96%)	155,997,303	E(96%)	156,106,219	365,570	E(96%)	156,215,135	731,140	E(96%)	156,302,268	1,023,596
		W(100%)	196,602,597	W(100%)	196,769,332	141,272	W(100%)	196,936,067	282,544	W(100%)	197,069,455	395,562
		Y(100%)	222,307,922	Y(100%)	222,714,818	698,544	Y(100%)	223,121,715	1,397,089	Y(100%)	2,234,447,232	1,955,924
	8,001-15,000	E(100%)	348,182,348	E(100%)	348,610,964	643,380	E(100%)	349,039,581	1,286,761	E(100%)	349,382,474	1,801,465
		W(0)	0	W(0)	0	0	W(0)	0	0	W(0)	0	0
		Y(100%)	357,656,017	Y(100%)	358,546,255	756,612	Y(100%)	358,546,255	1,513,224	Y(100%)	358,902,350	2,118,513
	15,001-	E(100%)	432,041,136	E(100%)	432,712,277	435,880	E(100%)	433,383,417	871,761	E(100%)	433,920,329	1,220,465
		W(0)	0	W(0)	0	0	W(0)	0	0	W(0)	0	0
		Y(0)	0	Y(0)	0	0	Y(0)	0	0	Y(0)	0	0

資料來源：本研究計算。

在安裝 SCR 的獎勵措施，當給予 25% 折扣時，W 有 2% 的船舶可選擇投資，當折扣率提高至 70%，E 公司 40% 的小型船和 W 公司 3% 的小型船可轉為正 NPV。即使獎勵措施效果不高，但仍使 E 和 W 可選擇在部分船舶中選擇投資安裝 SCR 系統，但 Y 公司則完全不會採取投資 SCR 項目在其船隊。

其次安裝 SCR + Scrubber 系統的獎勵措施，成功提高航商投資 SCR 系統的意願，在所有樣本船舶中，只有 25 艘船齡較高的船舶，無法獲得正投資收益，其餘船舶均具備投資效益。在改裝液化天然氣系統部分，其結果幾乎與 SCR + Scrubber 相同，且其中 W 公司在改裝 LNG 設備的接受率甚至提高了 5%。

表 6 結果也證實，能力較高的公司確實可獲得較高投資收益，假設所有可投資項目都在投資後獲得獎勵，則三航商獲得的總獎勵金顯著的不同。這是由於 E 公司靠泊的船舶數量明顯多於 W 和 Y，又加上高接受率，因此 E 公司相對其他航商而言，可獲得最高的總獎勵金。

此外，船隊中擁有大型船比例亦是另一個影響獎勵金分配的主因，當航商擁有較多大型船舶時，投資的機會較小型航商來的高（因為大型船可節省的燃料成本較高），也讓其更有機會獲取獎勵金。在本研究比較 E、Y 及 W，由於 E 擁有超過 15,000 TEU，使 E 獲得的總獎勵比 Y 多。而由於 W 多屬小型船舶，獲得的總獎勵少於 E 和 Y。

4.3.3 敏感度分析

考慮到海事部門的波動性，當項目大多超過 10 至 15 年時，投資的現金回報通常具有很高的不確定性。在所有可能影響不同獎勵措施效果的參數中，燃料價格波動對於財務可行性顯然最為重要，因此，本小節以敏感度分析評估研究結果對燃油價格變化的敏感程度。本研究用來估算的燃料價相對保守（如表 3 所示），若燃料價差增加 / 減少，則投資收益將增加 / 減少，從而可能使投資更有利可圖 / 不可接受。本小節用來分析的燃料價格變化如表 7 所示，其他假設不變，分析燃油價差變化對 NPV 和 DPP 的影響。

自 IMO 於 2020 年實施限硫令，VLSFO 的價格持續上漲，但由於供應有限和需求增長，預計 VLSFO 的價格將比 HSFO 和 LNG 的價格成長更快。另根據 ING 預測，VLSFO 與 HSFO 的價差範圍可能落在為 165 ~ 300 美元 / 噸 (ING, 2019)。但由於 COVID-19 以及全球旅行和運輸限制，到 2020 年 3 月的 VLSFO 與 HSFO 價差為 119.50 美元 (Ship and Bunker, 2020)，研判 COVID-19 可能會對

燃油價格產生長期影響。在 LNG 價格部分，由於 LNG 需求不斷增加，以及 LNG 燃料基礎設施不斷發展，都促使 LNG 價格更具競爭力，預計 LNG 和 VLSFO 之間的價格差距會擴大。在 2019 年，LNG 平均價格偏低，加上 COVID-19 和液化天然氣供過於求，價格預測下調至 2020 年的 4.63 美元 / mmBtu (= 185 美元 / 噸) (Rystad Energy, 2020)。

假設價差的波動來自於 VLSFO 價格變化，基礎情境假設 VLSFO 價格為 360 美元 / 噸，而 VLSFO-HSFO 和 VLSFO-LNG 價差分別為 172 美元 / 噸和 360 美元 / 噸。在低價差情境，假設 VLSFO 價格上漲 30% 至 750 美元 / 噸，則 VLSFO-HSFO 和 VLSFO-LNG 之間的價差分別提高至 345 美元 / 噸和 535 美元 / 噸。在高價差情境下，假設 VLSFO 價格下降 30% 至 405 美元 / 噸。則 VLSFO-HSFO 和 VLSFO-LNG 之間的價差分別降至 0 美元 / 噸和 188 美元 / 噸，其中零價差代表採用 Scrubber 無法節省燃料成本。

表 8 顯示不同情境下結果變化，在高價差情境下，即使提高獎勵折扣率，都

表 7 燃油價差不同情境

分析情境	基準 (US\$/mt)	高燃油價差 (US\$/mt)	低燃油價差 (US\$/mt)
VLSFO (5% S) 價格	577	750	405
HSFO - VLSFO 燃油價差	172	345	0
LNG - VLSFO 燃油價差	360	533	188

資料來源：本研究計算。

表 8 敏感度分析結果

獎勵措施	折扣率	基準情境	高價差情境	低價差情境
		具投資效益的船艘數	具投資效益船艘數的變化	
安裝 SCR + Scrubber	0%	175	0	-175
	25%	175	0	-126
	50%	175	0	-120
	70%	175	0	-120
改裝 LNG 發電機	0%	177	+1	-2
	25%	177	+1	-2
	50%	177	+1	-1
	70%	177	+1	0

資料來源：本研究計算。

無法提高投資數量，這是因為儘管燃油價格價差提高或提高折扣率，對於使用年限已相當短的船舶，因無法投資回本而不具投資效益。在低價差的情況下，原具投資效益 SCR + Scrubber 投資項目數量大幅減少，且隨著價差消失，無任何船舶可因此獲利，但若港口當局提供 25% 的折扣，可鼓勵 49 艘樣本船進行改裝，在提高折扣率到 50 ~ 70%，最多只再增加 6 艘可投資的樣本船。結果發現，VLSFO 價格變化對 SCR + Scrubber 投資決策影響明顯，獎勵措施可達到一定影響力，但提供高獎勵折扣的效果相當有限。

在 LNG 改裝部分，反而對價差變化較不敏感。在低價差情況下，可投資項目數量僅減少了兩艘，即使給予折扣對於提高改裝船艘數效果不大。LNG 有較高的燃油效率，因此在一定程度上降低了價差的重要性。

4.4 小結

本研究設計了三種獎勵措施，第一種在提供安裝 SCR 系統以減少 NOx 排放的獎勵措施部分，案例分析顯示僅提供 25% 的折扣率時，無法有效達到提高安裝 SCR 系統的誘因，至少需提供 70% 折扣率，才可能吸引更多船舶安裝 SCR。這也反映只有當全球更多港口願意提供類似的獎勵折扣計畫，讓船舶有機會累積到足夠獎勵金收入，提高其投資誘因。但若 NOx 仍非全球強制性的環境標準，且投資 SCR 系統無法帶來高額的投資效益，航商不大可能會主動積極投資。

因此若獎勵計畫同時結合 SCR 和 Scrubber 系統（代表第二種獎勵措施），亦即只有同時安裝兩種系統，才給予獎勵金回饋的設計，案例分析顯示可大幅提高航商投資意願。由於安裝 Scrubber 後所獲得的 HSFO 和 VLSFO 間的燃油溢價，可補

償同時安裝 SCR + Scrubber 初期投資成本外，還可獲得額外的投資收益。此外，若航商對 Scrubber 的投資需求富有彈性，表示港口當局僅須提供低度獎勵金額，即可達到提高投資意願的目的，另一好處是，由於此獎勵措施只核予投資閉環式 Scrubber，這可連帶誘使航商選擇安裝閉環式 Scrubber，而非仍有環保爭議的開環式 Scrubber。

第三種措施是獎勵改裝 LNG 發動機系統的船舶，以鼓勵船舶使用 LNG 船用替代能源。本研究顯示由於 LNG 價格低廉，使得改裝使用 LNG 燃料可產生相當高的燃油溢價收入，因此若 LNG 價格持續維持低價，即使沒有給予獎勵金，航商仍可以選擇改以 LNG 作為船用替代燃料。但對這結果須更謹慎，因為選擇是否使用液化天然氣作為燃料，除營運成本考量外，由於其存在其他不確定性和操作風險，尤其目前全球的液化天然氣加油基礎設施仍相當有限，這些因素使得航商無意願改裝 LNG 發動機系統，此研究使用財務評估方法，並無納入這些操作風險，而低估潛在使用成本。

此外，在獎勵措施之設計是否考量到正確參數部分，由於提供獎勵措施目的在吸引更多船舶投資綠色設備，而船齡較低的船舶往往具備較高的燃油效率，較不易對環境造成破壞 (UNCTAD, 2019)，換句話說港口提供的獎勵措施，除要能留住那些重視港口永續性的優良船舶，進一步可

以吸引綠色船舶增加靠泊，有助於港口的永續經營 (Lam and Li, 2019)。

本研究獎勵措施的設計，偏好獎勵船齡較低且來訪頻率較高的船舶，因為獎勵措施設計按每年提供年度獎勵折扣，而非逐次給付，以吸引船齡較低的船舶。此外，獎勵採可累積式設計，讓船舶每增加一次靠泊可獲得一次獎勵，以增加船舶靠泊誘因。

此外，本案例顯示獎勵機制的獎勵金在三個樣本公司間分布並不平均，倘航商具備較高市占率且擁有較多大型船舶，可獲得的獎勵金也相對較多。例如 E 航商。但市占率較低且多服務近洋區域航線的 W 航商，可獲得的總獎勵金相對較少。可是獎勵措施的存在與否，對 W 在做投資決策時反而較敏感，因為即使政府不提供獎勵機制，E 和 Y 仍可能選擇安裝 SCR + Scrubber 或改裝 LNG 燃料系統，以節省燃料成本，但如果投資後的淨現金流量不足以承擔可能的風險，W 可能不願意在小型船舶上進行改裝。

儘管如此，仍沒有足夠的證據說明獎勵機制可能會影響市場競爭，因為 E、Y 和 W 擁有不同利基市場，導致其船隊結構不同，形成不完全競爭市場，且航運市場應在全球範圍內更大規模衡量，本案例研究僅分析臺灣高雄港，若納入全球市場分析，則可能出現不同的結果，因此無法定論獎勵計畫造成航商間不公平競爭。

伍、結論與建議

為滿足國際更嚴格的汙染及碳排放要求，航運公司被迫採取更積極的減排措施，而在「綠色航運」過渡時期，港口扮演了一重要角色，國際上已有許多港口當局透過提供獎勵措施，積極參與了綠色航運轉型。

本研究以高雄港進行案例分析，設計了三獎勵計畫，當船舶改裝 SCR 系統、船舶改裝 SCR + 封閉式 Scrubber 或船舶改裝 LNG 燃料系統等，可提供港口費減免獎勵金，並透過 DCFM 來研究獎勵措施有效性的問題。研究結果顯示第 1 種獎勵措施無法有效提高航商投資 SCR 設備的意願，而第 2 種獎勵機制有機會提高航商投資 SCR 設備意願，因為安裝 Scrubber 後節省大量的燃料成本，除可彌補初期投資成本外，亦產生高額的投資收益，同時可誘使航商選擇較無環保爭議的閉環式 Scrubber。第 3 種獎勵措施，由於 LNG 價格低廉，以 LNG 為替代燃料可產生高燃油溢價收入，即使不存在獎勵措施，航商仍可能選擇投資。

從案例分析結果顯示，燃油溢價才是影響投資環保設備的重要因素，因此港口當局無需提供高額獎勵金，吸引航商投資環保設備。此外，本案例分析顯示小型船舶較大型船舶對獎勵措施的敏感度較高，但若獎勵折扣採比例式，大型船舶反而可

獲得較高的獎勵金額，因此在設計港口費折扣時，可思考以固定金額給予折扣，如此可提高小型航商獲得的總獎勵金額，以降低不同航商間獎勵金的懸殊。

然而本研究方法僅考慮投資的現金流量，無納入其他投資風險及不確定，可能低估潛在的投資成本而高估航商投資意願。以投資改裝 LNG 燃氣系統為例，其存在的操作風險及不確性還包括全球港口加注 LNG 設備不足，以及操作 LNG 燃料船舶的船員訓練成本等，都是影響投資 LNG 燃料船的阻礙，因此港口在思考鼓勵航商投資替代船用燃料時，除透過提供獎勵金協助降低其使用成本，亦須考量協助降低使用該替代燃料時可能產生的不確定性，例如提供適格的船員、完善的燃料加注設備或充電設備（如岸電）等層面。

參考文獻

- Acciaro, M. (2013): A critical review of port pricing literature: What role for academic research? *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29(2), 207-228.
- Acciaro, M. (2014): Real option analysis for environmental compliance: LNG and emission control areas, in: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 28, 41-50.
- Burel, F., Taccani, R., & Zuliani, N. (2013): Improving sustainability of maritime transport

- through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion, *Energy*, 57, 412-420.
- CE Delft (2015): *Scrubbers—An economic and ecological assessment*, CE Delft: Delft.
- DMA, (2012): *North European LNG Infrastructure Project: A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations*, full report, Danish Maritime Authority (DMA): Copenhagen.
- DNV GL (Det Norsk Veritas) (2018): *Assessment of selected alternative fuels and technologies in shipping*, DNV GL: Antwerp.
- EC, (2014): *Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure* Text with EEA relevance, Brussels: European Commission.
- Entec, U. K. (2005b): *Service contract on ship emissions: assignment, abatement and market-based instruments task 2c-SOx abatement*, European Commission Directorate General Environment: Brussels.
- Elgohary, M. M., Seddiek, I. S., & Salem, A. M. (2015): *Overview of alternative fuels with emphasis on the potential of liquefied natural gas as future marine fuel*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, in: Part M: *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 229(4), 365-375.
- Fokkema, J. E., Buijs, P., & Vis, I. F. (2017): *An investment appraisal method to compare LNG-fueled and conventional vessels*, in: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 229-240.
- Hoffmann, J. (2020): *Decarbonizing maritime transport: Estimating fleet renewal trends based on ship scrapping patterns*, UNCTAD: Geneva.
- IMF (2020): *Primary commodity price*, online in the internet: URL [Jhttps://www.imf.org/en/Research/commodity-prices](https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices) [5 June 20].
- ING (2019): *How the 2020 sulphur cap reshapes global shipping*, ING: Amsterdam.
- ITF (2018): *Reducing shipping greenhouse gas emission: Lessons from port-based incentives*, ITF programme on Decarbonisation of Transport, OECD: Paris.
- Kelderman, B. (2017): *Ex-ante cost/benefit analysis of business cases for standard LNG Configurations*, EIBIP: Rotterdam.
- Lam, J. S. L., & Notteboom, T. (2014): *The greening of ports: a comparison of port management tools used by leading ports in Asia and Europe*, *Transport Reviews*, 34(2), 169-189.
- Lam, J. S. L., & Li, K. X. (2019): *Green port marketing for sustainable growth and development*, in: *Transport Policy*, 84, 73-81.
- Lee, H., Park, D., Choo, S., & Pham, H. T. (2020). *Estimation of the Non-Greenhouse Gas Emissions Inventory from Ships in the Port of Incheon*. *Sustainability*, 12(19), 8231.
- Lindstad, H., Asbjørnslett, B. E., & Strømman,

- A. H. (2011): Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds, in: *Energy Policy*, 39(6), 3456-3464.
- Nikopoulou, Z., Cullinane, K., & Jensen, A. (2013): The role of a cap-and-trade market in reducing NO_x and SO_x emissions: Prospects and benefits for ships within the Northern European ECA. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 227(2), 136-154.
- Nikopoulou, Z. (2017): Incremental costs for reduction of air pollution from ships: a case study on North European emission control area, in: *Maritime Policy & Management*, 44(8), 1056-1077.
- Panasiuk, I., & Turkina, L. (2015): The evaluation of investments efficiency of SO_x scrubber installation, in: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 87-96.
- Psaraftis, H. N., & Kontovas, C. A. (2014): Ship speed optimization: Concepts, models and combined speed-routing scenarios, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 44, 52-69.
- Rystad Energy (2020): Global oil & gas prices in 2020 set to fall short of earlier forecasts as coronavirus spreads, online in the internet: URL <http://www.rystadenergy.com/Databases/UCube> [21 Oct. 20].
- Seddiek, I. S., & Elgohary, M. M. (2014): Eco-friendly selection of ship emissions reduction strategies with emphasis on SO_x and NO_x emissions, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 6(3), 737-748.
- Sharples, J. (2019): LNG supply chains and the development of LNG as a shipping fuel in northern Europe. Oxford Institute for Energy Studies: UK.
- Ship and Bunker (2020): World Bunker Prices, online in the internet: URL <https://shipandbunker.com/prices> [2020/10/21].
- UNCTAD (2019): Review of Maritime Transport 2019, UN: New York.
- Winnes, H., Fridell, E., Yaramenka, K., Nelissen, D., Faber, J., & Ahdour, S. (2015): NO_x controls for shipping in EU Seas, Study commissioned by Transport & Environment, Report No. U, 5552.
- Yu, J., Voß, S., & Tang, G. (2019): Strategy development for retrofitting ships for implementing shore side electricity, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 74, 201-213.

