

# 離岸風場運維管理之重要性績效分析

## IPA Analysis of Operation and Maintenance Management in the Offshore Wind Farm

周建張 (Chien-Chang Chou)<sup>1\*</sup>、黃壬君 (Ren-Jun Huang)<sup>2</sup>

### 摘要

**離**岸風電是近一代海運產業與綠能產業的新機遇，離岸風場能運轉 25~30 年之久，故風場運維管理為政府重視的首要問題。尤其是如何使風場運維人員與離岸風電公司人員彼此合作，俾利協助離岸風機運維及風場運作，提高風場救護能量，並降低風場營運成本，方能發揮最大效益。鑑此，本研究利用 IPA 問卷調查分析法以瞭解風場相關人員之看法。經研究結果發現，離岸風電海難救助程序、取得自主檢修與保養能力、以及供應鏈較長且價格高等三項需立即改善；另外，風電公司維護與技術人員特別重視取得自主檢修與保養能力以及夏天易受颱風襲擾此兩項。以上研究結果可供風場業者及政府相關部會修訂離岸風場管理之參考，希冀有助於我國風場於運維階段之管理。

**關鍵字：**離岸風場、運維管理、重要性-績效分析法

### Abstract

Offshore wind power is a new opportunity for the recent generation of the shipping and green energy industries. Offshore wind farms can operate for 25 to 30 years, so the operation and maintenance management of offshore wind farms is a top priority for the government. In particular, how can the operation and maintenance personnel cooperate

<sup>1\*</sup> 通訊作者，國立高雄科技大學航運技術系教授，聯絡地址：805高雄市旗津區中洲三路482號；電話：07-8100888分機25106；E-mail: ccchou@nkust.edu.tw。

<sup>2</sup> 國立高雄科技大學航運技術系碩士；國立臺灣海洋大學航運管理系研究所博士生。

with the offshore wind power company personnel to support the operation and maintenance of offshore wind turbines and the operation of the offshore wind farm, improve the rescue capacity of the offshore wind farm, and reduce the operating cost of the offshore wind farm, in order to achieve the maximum benefits? Given this, the study uses the Importance-Performance Analysis (IPA) method to understand the views of relevant personnel in the offshore wind farm. This paper concludes that offshore wind power marine disaster rescue procedures, independent repair and maintenance capabilities, long supply chains, and high prices must be improved immediately. In addition, wind power maintenance and technicians pay special attention to independent repair and maintenance capabilities and typhoon disruption in summer. The above results are for offshore wind farm operators and relevant government ministries to revise offshore wind farm management policies in the hope of helping offshore wind farm management in the operation and maintenance phase.

**Keywords:** Offshore wind farm, Maintenance and operation management, Importance-Performance Analysis method

## 壹、緒論

隨著人類的進步，工業需求鉅增，能源耗竭快速。為了持續工業永續發展，以不破壞地球生態為前提下，如何提升綠能產業是各國重視的議題(許敏誌、周建張，2022)。近年來，歐洲丹麥發展離岸風電技術行之有年。而臺灣政府 2011 年起逐漸效仿，並參據歐洲國家將陸岸的風力發電設施移置寬闊之海洋上，藉由大自然的力量推進綠金潮流(吳心恩，2020)。孫士軒(2018)指出地球上最具優質的 20 個離岸風場，其中有 16 個在臺灣的海域。劉文燦

(2018)指出離岸風電是一項鉅額的國家能源政策，如果能提出現今風場管理的不足之處，並加以改善，則得以提高離岸風場營運績效。

離岸風電是近一代海運產業的新機遇，從海床探勘到風場之運維能量，無論是航輪、機電、材料、就業、財政上，均能對臺灣帶來相當可觀的效益。惟，在執行階段，對於風場營運管理之發展一直是政府重視的首要問題(許敏誌、周建張，2022；周建張、黃壬君，2023)。尤其是如何使風場相關運維人員以及離岸風電公司人員合作以協助離岸風機運維及風場

運作，提高風場救護能量並降低風場營運成本，方能發揮最大效益。

本研究操作方法首先將所蒐集的相關文獻分析後，將影響風場運維管理之關鍵因素分成四個構面做成李克特五點量表(Likert Scale)之前測問卷，以彰濱風場海事工程船舶船員以及離岸風電產業相關人員為問卷發放對象。經三位受訪者之建議將統計風場人員救護能量需求(C21)、離岸風場海難救助程序(C34)及需大容量的儲能(C44)修正後並彙整出影響離岸風場運維管理的 16 個關鍵指標之正式問卷，而再發放正式問卷，於正式問卷回收後續以重要 - 績效分析法 (Importance Performance Analysis, IPA)分析風場執行運維管理之未來改善方向。

本研究擬由離岸風場運維人員及離岸風電公司人員對於風場運維管理之看法，瞭解離岸風場運維管理之重要關鍵因素，以供風場業者及政府相關部會參考，希冀日後對我國風場運維管理之執行能更為順遂。此為本研究目的。

## 貳、文獻回顧

### 2.1 離岸風場現況及發展

能源安全和環境保護對人類健康有著無可爭議的影響，是 21 世紀面臨的最

大挑戰，隨著世界能源需求的增加以及二氧化碳造成的問題排放和氣候變化，非常需要可持續能源生產，而風能可以為解決這些問題做出重要貢獻(Borawski et al., 2020)。風能分為陸上風電及離岸風電，目前絕大多數風電來自陸上風場。然而，由於主要人口中心附近缺乏廉價土地以及大型風力渦輪機造成的吵雜噪音，使得它們的增長受到限制。與陸上風電相比，海上風的流動速度往往高於陸上風。因此可以使渦輪機產生更多的電力。據估計，未來 20 年風能開發將大幅增長。其中大部分開發將是海上風能，這意味著未來幾十年全球將對離岸風場進行大量投資。因此，離岸風場有望在不久的將來成為重要的能源來源(Bilgili et al., 2011; O'Keeffe and Haggett, 2012; Higgins and Foley, 2014; Laura and Vicente, 2014; Li et al., 2016; Eikrem et al., 2023)。

離岸風電由於其眾多的優點而最近得到顯著的發展，包括海上風場可望經歷更強、更穩定的風力，且在海上開放環境允許使用更大的渦輪機。儘管離岸風電具有這些優勢，但迄今為止，僅建成少量的海上風場。其原因是因離岸較遠的營運增加海上風電營運和維護 (Operation and Maintenance, O&M) 的成本與風險，這主要是由於安裝、營運和維護成本較高。再者，離岸風力渦輪機的安裝複雜，難以進行檢查、維護和修理，並且需要昂貴的維

修設備與系統。離岸風場的營運支出 (Operating Expenditure) 一直在增加，這反映出潛在投資者和現有營運商將面臨更大的風險。在此背景下，如何降低總成本並考慮到船舶相關成本在總營運成本中所占比例，可以通過優化離岸風電相關營運及維護作業來實現 (Dalgic et al., 2015a; Froese et al., 2022)。

優化離岸風電營運及維護作業時需考慮風場地處離岸距離且偏遠、環境條件特殊、海上結構物進出、作業高度和深度的限制以及海上風場面積廣闊，使海上救援帶來巨大挑戰。目前，海上與陸上相關的應急反應程序系統尚未完全建立，而緊急醫療服務經常無法在接到求助電話後短時間內到達，雇主則必須採取急救措施來彌補這一時期的不足，並在急救時考慮進行危險評估，以因應海上作業的狀況。若風場營運商可以制定離岸風場 (Offshore Wind Farm, OWF) 相關的應急管理 (Emergency Management, EM)，並且協調政府機構如何參與 OWF 的 EM，使用空中醫療救援服務和特定的海上應急反應小組，建立強大的救援鏈，定能提升離岸風場運維品質 (Stuhr et al., 2014; Stuhr et al., 2016; Pedersen and Ahsan, 2020)。

## 2.2 離岸風場運維管理關鍵影響因素

回顧相關文獻，本研究將離岸風場運維管理重要關鍵影響因素分為四大構面：維護與技術、海上救護風險、營運與風險、及成本控制等。四大構面再進行劃分，總共劃分成16項關鍵因素，說明臚列如下並彙整如表1所示。

### 2.2.1 維護與技術

房辰陽等人 (2018) 指出風場擁有者 (OWF Owner) 皆會與風力發電機製造商簽訂全面服務協議 (Full Service Agreement, FSA)，風機維修單位之技術員將會針對後續接管維護與營運公司相關人員進行專業人員訓練，並期望於後續風機運轉五年後能從風機公司取得定期檢修與自主維修保養能力。

臺灣海峽東北季風期間風浪洶湧，運維作業需針對全年海況變化加以評估 (林伯峰，2018)，不僅增加船舶操作的困難，人員交通措施規格勢必較歐洲提高 (Santos et al., 2015)，且維修人員和料件皆需仰賴海事工程船舶從岸邊運送到需要維護的風場風機上才能作業。

風機由於長時間暴露於海面，受到濕度、鹽分等不可抗拒之環境因素導致離岸風機較陸上風機退化的更快。離岸風電產業的各項技術與執行上亦受到諸多限制與發展，例如：風機上的渦輪機載荷量不如陸地風機的渦輪機。不僅如此，臺灣海域潮差大、水動力作用強、颱風頻發的海

洋水文氣象典型特點，還存在颱風圍繞臺灣島直接襲擊風場的極端海況(胡雪揚等人，2020)。

全球風能組織 (Global Wind Organization, GWO)指出培訓對於風電產

業之建設、安裝和運維的工作至關重要。然而合格的勞動力供應困難便是缺乏GWO認證的訓練中心與足夠師資或認證員，皆是目前現今仍面臨的問題(林廷融，2021)。

表 1 離岸風場運維管理重要因素及文獻出處

構面	準則	準則描述與解釋	文獻出處
維護與技術 (C1)	取得自主檢修與保養能力 (C11)	風場擁有者(OWF Owner)皆會與風力發電機製造商簽訂 FSA (Full Service Agreement)至少五年的風機維護合約，風機維修單位之技術員將會針對後續接管維護與營運公司相關人員進行專業人員訓練，並期望於後續風機運轉五年後能自風機公司取得定期檢修與自主維修保養能力。	房辰陽等人 (2018)
	東北季風海況變化大，運維規格高於歐洲 (C12)	臺灣海峽東北季風風浪洶湧，運維需對全年海況變化加以評估，人員交通措施規格勢必較歐洲提高。	林伯峰(2018) ; Santos et al. (2015)
	夏天易受颱風襲擾(C13)	臺灣海域潮差大、水動力作用強、颱風頻發的海洋水文氣象典型特點，還存在颱風圍繞臺灣島直接襲擊風場的惡劣海況。	胡雪揚等人 (2020)
	培訓合格之運維人員(C14)	通過全球風能組織(GWO)訓練專業作業人員以因應全球增長的風電市場需求，GWO 培訓對於風電產業之建設、安裝和運維的工作至關重要，然而合格的勞動力供應困難便是缺乏 GWO 認證的訓練中心與足夠師資或認證員。	林廷融(2021)
海上救護風險 (C2)	統計風場人員救護能量需求 (C21)	離岸風場發生傷者需進一步治療之事故數預測，缺乏足夠離岸風場事故統計資訊做人員救護需求分析。	鄭雅文(2021)
	大型海事工程經驗(C22)	針對風機與葉片的重量與尺寸特殊性，運送與吊運的風險應特別重視，尤其是吊運設備的載重負荷與是否由有經驗的人員操作，在安裝過程中應完全符合工程作業規範。	蔡松樺(2020)
	高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C23)	高空作業風險隨著工作場所作業高度而增加，離岸風機動輒超過海平面高度一百公尺，若發生高空墜落意外，人體往往來不及反應，且造成嚴重的災害，最嚴重將導致死亡，對於高空作業來說正確地選用、安全及使用防墜與擒墜設備相當重要。	鄭達人(2022)
	以投保保險來進行風險控管 (C24)	就離岸風電開發案融資的實務運作來看，融資方在閱讀開發商提供相關的風險控管資料時，需特別注意開發商是否有確實進行風險控管流程，尤其對風險等級高的風險是否有一系列的風險減輕措施，以確保開發案重大風險能有效被控管至可承受的範圍。	林彥碩 (2015)

表 1 離岸風場運維管理重要因素及文獻出處(續)

構面	準則	準則描述與解釋	文獻出處
營運與風險 (C3)	QHSE 管理視為公司文化(品質、健康、安全、環境)(C31)	QHSE 管理體系視為公司文化，包括品質(Quality)、健康(Health)、安全(Safety) 以及環境(Environment)。	陳昱光(2020)
	避免營運設備造成海洋污染(C32)	在設置離岸風電的海域，需確保其建造、營運和退役的過程中，避免離岸風電相關設備造成海洋汙染。	黃釋緯(2020)
	特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C33)	離岸風電開發案因具工程技術複雜與較長的生命週期等特性，本身就潛在相當的營運風險，國內更因大型海事工程具相關經驗的風險控管人才有限，加劇國內離岸風電開發的風險。	黃湘凌(2019)
	離岸風場海難救助程序(C34)	由於政府推動離岸風場開發前兩階段之時程緊迫，且其中潛力場址階段競價獲配風場之躉購電價僅約為遴選風場之半，故競價風場開發商勢必將相當重視設計優化實力。	黃湘凌(2019)
成本控制 (C4)	影響運維成本 (C41)	影響海上風電運維成本因素包括：氣象、海況、風機平臺登陸限制、運維人員數量、值班制度、因故障或定檢停機導致的發電量損失、船舶和運輸限制、碼頭選擇、風場設備停運、備品、以及備件數量等因素。	許強等人(2021)
	供應鏈較長且價格高(C42)	因為海上風電專案與傳統的岸上風電專案相比，需要更長的供應鏈、更複雜的物流，以及更高的初始資本支出和材料。	蘇義淵 (2019); Dalgic et al. (2015b); Sperstad et al. (2017)
	開發系統簡化單樁基礎之成本 (C43)	國外案例七成以上採單樁基礎，累積之設計與施工經驗亦最為豐富，故其成本估算亦較為精確。開發成本分析系統，以提供風場開發設計初期估算投資成本之參考。	冀樹勇、譚志豪 (2015)
	需大容量的儲能 (C44)	缺乏用於儲存風電的設備。數年來，歐洲各國政府都在大力支持新儲能技術的發展，然而由於缺乏技術和經濟上的可行性，這些專案目前仍處於試驗階段。	夏雲峰(2016)

資料來源：本研究自行整理。

### 2.2.2 海上救護風險

鄭雅文(2021)預測在不同規範與條件下離岸風場發生傷者需進一步治療之事

故數，缺乏足夠離岸風場事故統計資訊做人員救護需求分析，風場救護能量的配置將會影響風場是否能穩定運行，如何降低風場營運風險，才是業者所關注的事項。

針對風機與葉片的重量與尺寸特殊性，運送與吊運的風險應特別重視，尤其是吊運設備的載重負荷與是否由有經驗的人員操作極為重要，在安裝過程中應完全符合工程作業規範(蔡松樺，2020)。

運維時高空作業風險隨著工作場所作業高度而增加。離岸風機動輒超過海平面高度一百公尺，其風險之高可想而知。若發生高空墜落意外，人體往往來不及反應，且造成嚴重的災害，最嚴重將導致死亡。對於高空作業來說正確地選用、安全及使用防墜與擒墜設備相當重要(鄭達人，2022)。

就離岸風電開發案融資的實務運作來看，融資方在閱讀開發商提供相關的風險控管資料時，需特別注意開發商是否有確實進行風險控管流程。尤其對風險等級高的專案及風險是否有一系列的風險減輕措施，以確保開發案重大風險能有效被控管至可承受的範圍(林彥碩，2015)。

### 2.2.3 營運與風險

若是離岸風電相關公司能於風場實施品質、健康、安全和環境(Quality, Health, Safety and Environment: QHSE)管理體系，則可提高作業現場之安全(陳昱光，2020)。

在設置離岸風電的海域，需確保其建造、營運和退役的過程中，避免離岸風電相關設備造成海洋污染(黃釋緯，2020)。

離岸風電開發案因具工程技術複雜與較長的生命週期等特性，本身就潛在相

當的營運風險，國內更因大型海事工程具相關經驗的風險控管人才有限，加劇國內離岸風電開發的風險(黃湘凌，2019)。

由於政府推動離岸風場開發前兩階段之時程緊迫，且其中潛力場址階段競價獲配風場之躉購電價僅約為遴選風場之半，故競價風場開發商勢必將相當重視設計優化實力(黃湘凌，2019)。

### 2.2.4 成本控制

影響海上風電運維成本因素包括：氣象、海況、風機平臺登陸限制、運維人員數量、值班制度、因故障或定檢停機導致的發電量損失、船舶和運輸限制、碼頭選擇、風場設備停運、備品、以及備件數量等因素(許強等人，2021)。

海上風電專案與傳統的岸上風電專案相比，需要更長的供應鏈、更複雜的物流，以及更高的初始資本支出和材料(蘇義淵，2019)。因此，租賃從事運維作業之船舶是占總成本的主要部分。然而，如何降低風場營運成本、並使風機能持續不斷運作、提前設計規劃風機保養項目、減少風機停機時間、最大化風機之可用性和持衡發電量，均取決於選擇何種方式來運維，以提升離岸風場的運維效益(Dalgic et al., 2015b; Sperstad et al., 2017)。

國外風電安裝案例七成以上採單樁基礎，累積之設計與施工經驗亦最為豐富，故其成本估算亦較為精確。以單樁風機基礎與支撐結構概念設計，藉簡化力學

分析模式，考量環境載重、支撐結構動力分析、材料疲勞特性與規範應力檢覈等條件，建立以材料重量為基礎之成本估算模式，並整合分析模式與成本計算，開發成本分析系統，以提供風場開發設計初期估算投資成本之參考(冀樹勇、譚志豪，2015)。

離岸風電在歐洲許多國家施行的非常好，成為煤發電的替代品，但缺乏用於儲存風電的設備。因此，數年來，歐洲各國政府都在大力支持新儲能技術的發展，比如大容量電池和使用電動汽車儲能，但由於缺乏技術和經濟上的可行性，這些專案目前仍處於試驗階段(夏雲峰，2016)。

## 參、研究方法

本研究使用問卷調查法、李克特量表以及重要性-績效分析法(IPA)，進行問卷設計、調查及分析，簡單說明如下。

### 3.1 問卷調查法

問卷調查法是一種收集研究數據的方法，通過給受訪者發送問卷，以獲取他們的意見、看法、態度和行為等方面的資訊。問卷調查法通常用於社會調查、市場調查、學術研究等領域，是一種量化研究方法。問卷調查法具有收集大量數據、節

省時間和成本、方便進行數據分析等優點，但也存在樣本偏差、問卷回收率低、問題順序效應等問題。需要在問卷設計和調查實施過程中加以注意和處理。

### 3.2 李克特量表

由倫西斯·李克特(Rensis Likert)博士在1932年所建立的李克特量表。一般來說，李克特量表採取五個等級的選項，從數值1表示強烈反對的態度(非常不同意)；數值2是(不同意)；數值3(既不同意也不反對)；數值4(同意)和數值5(非常同意)等強烈有利的態度。李克特五點量表是常見的問卷型式，常用於態度問卷、滿意度調查、及指標設計…等等。

### 3.3 重要性-績效分析法

重要性-績效分析法(Importance-Performance Analysis, IPA)係Martilla and James (1977)率先提出，用以進行服務品質評估及發展管理策略。由於IPA具有簡化、有效、及易於了解與使用等優點，提供管理單位針對各品質屬性之策略性建議，協助決策者在資源有限下，進行資源分配以提升整體服務績效之決策。

重要性-績效分析法是一種常用於市場調查和品牌管理的方法，它通過對某些要素(如產品、服務、及品牌等)的重要性和表現進行分析，來確定如何改進產品和服

務，以提高客戶滿意度和忠誠度。

一般研究會以「重要度」作為X軸，以「滿意度」作為Y軸，接著以分割中點，讓座標平面形成四大象限，最後以四大象限各自定義如下：

- 第一象限：表示重要程度與表現程度皆高，落在此象限的屬性應繼續保持(Keep up the good work)。
- 第二象限：表示重要程度低而表現程度高，落在此象限內的屬性為供給過度(Possible overkill)。
- 第三象限：表示重要程度與表現程度皆低，落在此象限內的屬性優先順序較低(Low priority)。
- 第四象限：表示重要程度高但表現程度低，落在此象限內的屬性為供給者應加強改善的重點(Concentrate here)。

### 3.4 問卷設計

本研究問卷分為兩個部分，第一部分為受訪者基本資料(含性別、年齡、工作場所、職位、工作年資)；第二部分為重要度滿意度資料，16個問項測量皆採用五點量表，以單選題為勾答方式，重要程度選項為「非常重要」、「重要」、「普通」、「不重要」、「非常不重要」；滿意程度選項為「非常不滿意」、「不滿意」、「普通」、「滿意」、「非常滿意」。以上選項依序為1分到5分，作為測量之基準。

## 肆、離岸風場營運 IPA 問卷分析

### 4.1 問卷受訪者之基本資料

本研究之問卷調查時間為 2022 年 09 月至 2022 年 10 月，共發放出 27 份問卷，共 27 份有效問卷，有效樣本回收率為 100%。本問卷採非隨機抽樣中的立意抽樣，受訪對象為離岸風電公司(運維、建造之離岸風電公司)、離岸風電相關產業(零組件供應鏈、維護、海難救助、及海事探勘工程之離岸風電相關產業)人員，並且以當面訪談填答問卷。本研究受訪者之基本資料分為五項，依次為性別、年齡、工作場所、職位及工作年資，受訪者背景資料詳細如表 2。臺灣風電產業之示範風場福爾摩沙 1 號及臺電 1 號離岸風場目前已開始商轉進入運維階段，因此本研究之問卷主要受訪者為此二風場之相關從業人員，另一部份的受訪者為其他開發與興建中之風場相關從業人員。

性別方面，大部分是男性，一共有 25 位，占樣本數 92.59%；女性較少，一共 2 位，占樣本數 7.41%。年齡方面，50~65 歲占大部分，一共 10 人，占樣本數 37.04%；其次是 30~40 歲一共 7 位，占樣本數 25.93%；40~50 歲一共 6 人，占樣本數 22.22%。工作場所大部分都在海上船舶，甲板、機艙與駕駛臺分別有 6 人、7 人與 9 人，占樣本數 22.22%、25.93%與 33.33%。

職位方面，大部分都是船員，一共 22 人，占樣本數 81.48%；風電公司主管與員工僅 5 人，占樣本數 18.52%。工作年資方面，1~5 年占大部分，一共 10 人，占樣本數 37.04%；其次是 6~10 年與 15 年以上，分別都是 6 人，占樣本數 22.22%。

表 2 問卷受訪者之基本資料

基本資料	項目	人數	百分比%
性別	男	25	92.59%
	女	2	7.41%
	總共	27	100%
年齡	20 歲以下	0	0%
	20~30 歲	3	11.11%
	30~40 歲	7	25.93%
	40~50 歲	6	22.22%
	50~65 歲	10	37.04%
	65 歲以上	1	3.70%
	總共	27	100%
工作場所	甲板	6	22.22%
	機艙	7	25.93%
	駕駛臺	9	33.33%
	離岸風電公司	2	7.41%
	離岸風電相關產業	3	11.11%
	總共	27	100%
職位	船員	22	81.48%
	離岸風電公司員工	2	7.41%
	離岸風電相關產業主管	3	11.11%
	總共	27	100%
工作年資	1 年以下	1	3.71%
	1~5 年	10	37.04%
	6~10 年	6	22.22%
	11~15 年	4	14.81%
	15 年以上	6	22.22%
	總共	27	100%

資料來源：本研究整理。

## 4.2 問卷品質

本研究根據國內外離岸風場運維管理相關文獻，彙整出四個構面，做成李克

特五點量表(Likert Scale)之前測問卷，經回收修正後並且彙整出16個關鍵因素之正式問卷，正式問卷Cronbach's alpha係數在整體重要性0.849、滿意度0.816，以上結果顯示本問卷具有良好之問卷信度與效度。

### 4.3 IPA 問卷結果

本研究問卷回收後統計結果如表3所示。表3顯示從構面層中各構面的重要程度排序依序為海上救護風險(C<sub>2</sub>)、維護與技術(C<sub>1</sub>)、營運與風險規劃(C<sub>3</sub>)及成本控制(C<sub>4</sub>)；從構面層中各構面的滿意程度排序

依序為維護與技術(C<sub>1</sub>)、營運與風險規劃(C<sub>3</sub>)、海上救護風險(C<sub>2</sub>)及成本控制(C<sub>4</sub>)；從準則層中各因素的重要程度排序前五名依序為高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C<sub>23</sub>)、特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C<sub>33</sub>)、夏天易受颱風襲擾(C<sub>13</sub>)、取得自主檢修與保養能力(C<sub>11</sub>)及培訓合格之運維人員(C<sub>14</sub>)；各因素的滿意程度排序前五名依序為特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C<sub>33</sub>)、高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C<sub>23</sub>)、培訓合格之運維人員(C<sub>14</sub>)、東北季風海況變化大，運維規格高於歐洲(C<sub>12</sub>)及夏天易受颱風襲擾(C<sub>13</sub>)。

表 3 IPA 問卷分析結果-全部人員

構面	重要程度 權重及排序	滿意程度 權重及排序	準則	重要程度		滿意程度	
				全部人員	排序	全部人員	排序
維護與技術(C <sub>1</sub> )	4.12 (2)	3.70 (1)	C <sub>11</sub>	4.15	4	3.52	10
			C <sub>12</sub>	3.96	13	3.74	4
			C <sub>13</sub>	4.22	3	3.74	4
			C <sub>14</sub>	4.15	4	3.81	3
海上救護風險(C <sub>2</sub> )	4.13 (1)	3.67 (3)	C <sub>21</sub>	3.96	13	3.48	15
			C <sub>22</sub>	4.11	6	3.70	6
			C <sub>23</sub>	4.33	1	3.85	2
			C <sub>24</sub>	4.11	6	3.63	7
營運與風險規劃(C <sub>3</sub> )	4.04(3)	3.69 (2)	C <sub>31</sub>	3.74	16	3.52	9
			C <sub>32</sub>	4.00	10	3.63	7
			C <sub>33</sub>	4.30	2	4.04	1
			C <sub>34</sub>	4.11	6	3.59	9
成本控制(C <sub>4</sub> )	3.96 (4)	3.50 (4)	C <sub>41</sub>	4.00	10	3.52	10
			C <sub>42</sub>	4.07	9	3.44	16
			C <sub>43</sub>	3.78	15	3.52	10
			C <sub>44</sub>	4.00	10	3.52	10
重要、滿意度平均值				4.06		3.64	

資料來源：本研究整理。

全部受訪者所填答16問項重要性平均值為4.06，而滿意度的平均值為3.64，二者相差達0.42，此表示離岸風場在運維管理方面還是有努力改善的空間。另外，以此兩點(4.06與3.64)為中心點，分成四個象限，可進一步作IPA分析，如圖1 所示。從圖1 IPA分析圖可獲得以下資訊：

- 需立即改善的項目：全部受訪人員覺得取得自主檢修與保養能力(C<sub>11</sub>)、以投保保險來進行風險控管(C<sub>24</sub>)、離岸風場海難救助程序(C<sub>34</sub>)及供應鏈較長且價格高(C<sub>42</sub>)需立即改善。
- 次要改善項目：全部受訪人員認為統計風場人員救護能量需求(C<sub>21</sub>)、QHSE 管

理視為公司文化(品質、健康、安全、環境)(C<sub>31</sub>)、避免營運設備造成海洋污染(C<sub>32</sub>)、影響運維成本(C<sub>41</sub>)、開發系統簡化單樁基礎之成本(C<sub>43</sub>)及需大容量的儲能(C<sub>44</sub>)為次要改善項目。

- 過度努力項目：全部受訪人員認為東北季風海況變化大，運維規格高於歐洲(C<sub>12</sub>)。
- 繼續保持項目：夏天易受颱風襲擾(C<sub>13</sub>)、培訓合格之運維人員(C<sub>14</sub>)、大型海事工程經驗(C<sub>22</sub>)、高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C<sub>23</sub>)及特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C<sub>33</sub>)。

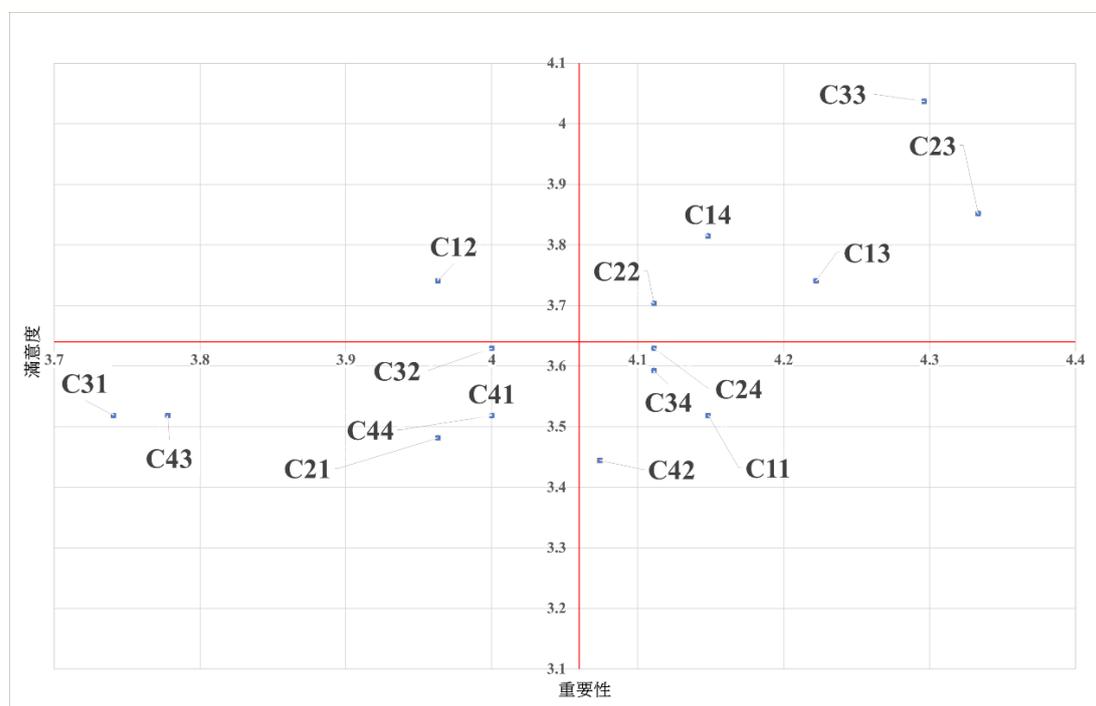


圖 1 IPA 分析(全部人員)

另外，本研究亦額外對離岸風電公司人員進行分析及排序，如表4所示。

表4顯示從構面層中各構面的重要程度排序依序為海上救護風險(C2)、維護與技術(C1)、營運與風險規劃(C3)及成本控制(C4)；從構面層中各構面滿意程度排序依序為海上救護風險(C2)、營運與風險規劃(C3)、成本控制(C4)及維護與技術(C1)；從準則層中各因素重要程度排序前五名依序為高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C23)、培訓合格之運維人員(C14)、取得

自主檢修與保養能力(C11)、大型海事工程經驗(C22)、特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C33)、以及需大容量儲能(C44)；從準則層中各因素滿意程度排序前五名依序為特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C33)、高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C23)、大型海事工程經驗(C22)、東北季風海況變化大，運維規格高於歐洲(C12)及培訓合格之運維人員(C14)。

表4 IPA問卷分析結果-離岸風電人員

構面	重要程度 權重及排序	滿意程度 權重及排序	準則	重要程度		滿意程度	
				離岸風電 公司人員	排序	離岸風電 公司人員	排序
維護與技術 (C1)	4.03 (2)	3.08 (4)	C11	4.40	2	2.20	16
			C12	3.80	9	3.20	4
			C13	4.00	7	3.00	6
			C14	4.40	2	3.20	4
海上救護風 險(C2)	4.20 (1)	3.40 (1)	C21	4.00	7	3.00	6
			C22	4.20	4	3.40	3
			C23	4.80	1	3.60	2
			C24	3.60	11	3.00	6
營運與風險 規劃(C3)	3.95 (3)	3.25 (2)	C31	3.60	11	3.00	6
			C32	3.60	11	3.00	6
			C33	4.20	4	3.80	1
			C34	3.80	9	2.60	15
成本控制 (C4)	3.88 (4)	3.10 (3)	C41	3.60	11	2.80	13
			C42	3.20	16	2.80	13
			C43	3.40	15	3.00	6
			C44	4.20	4	3.00	6
<b>重要、滿意程度平均值</b>				3.93		3.04	

資料來源：本研究整理。

從表4離岸風電公司人員所填答之16問項重要性平均值為3.93，而滿意度的平

均值為3.04，反應出各關鍵因素之滿意度相對於重要性落差平均值相差0.89，表示

風電公司人員對於風場整體運維表現認為仍有改善空間。此差值0.89比表3中全部受訪人員的差值0.42還大，本研究認為潛在原因是因離岸風電公司人員位於海上場域工作，因此比較重視海上救護與風險(C2)及維護與技術(C1)所導致。

緊接著以本研究以此兩點(3.93與3.04)為中心點，分成四個象限，進一步作IPA分析(如圖2)，可獲得相關結論如下：

- 需立即改善的項目：離岸風電公司人員認為取得自主檢修與保養能力(C11)、夏天易受颱風襲擾(C13)、統計風場人員救護能量需求(C21)及需大容量的儲能(C44)。
- 次要改善項目：離岸風電人員認為投保

險來進行風險控管(C24)、QHSE視為公司文化(品質、健康、安全、環境)(C31)、避免營運設備造成海洋污染(C32)、離岸風場海難救助程序(C34)、影響運維成本(C41)、供應鏈較長且價格高(C42)及開發系統簡化單樁基礎之成本(C43)。

- 過度努力項目：而離岸風電公司人員認為東北季風海況變化大，運維規格高於歐洲(C12)。
- 繼續保持項目：離岸風電公司人員認為培訓合格之運維人員(C14)、大型海事工程經驗(C22)、高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C23)及特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C33)。

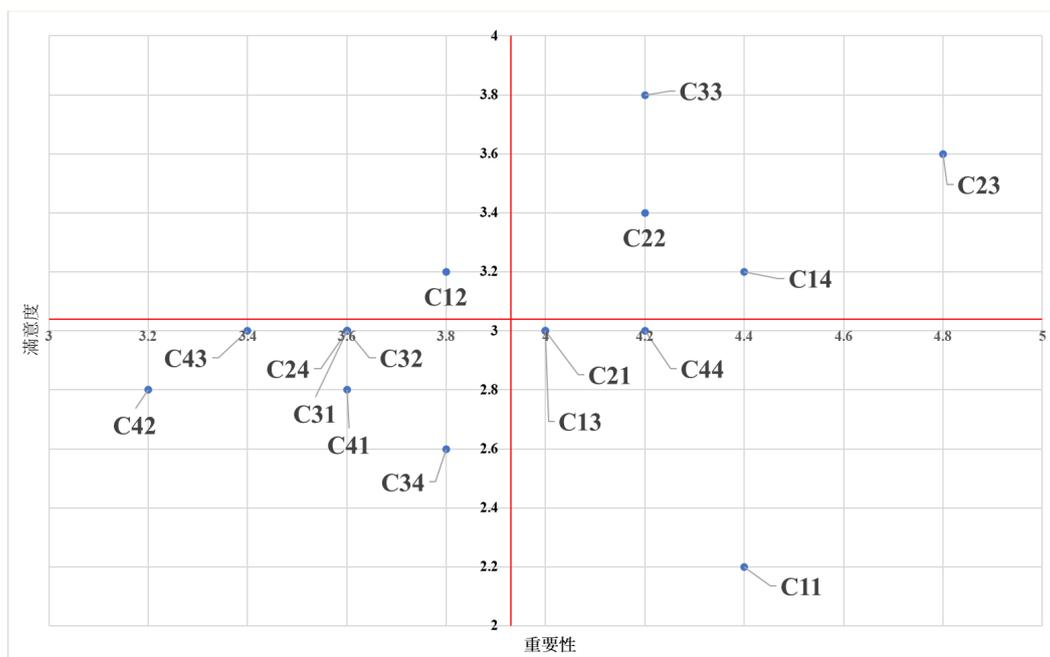


圖 2 IPA 分析(離岸風電公司人員)

本研究針對表3全部人員及表4離岸風電公司人員之IPA分析結果做一個比較的表格來呈現不同對象分別在IPA四個象限中的準則，如表5所示。

表5 IPA問卷分析結果-不同族群之比較

構面	重要程度權重及排序		滿意程度權重及排序		準則	重要程度及排序		滿意程度及排序	
	全部人員	離岸風電公司人員	全部人員	離岸風電公司人員		全部人員	離岸風電公司人員	全部人員	離岸風電公司人員
維護與技術(C1)	4.12 (2)	4.03 (2)	3.70 (1)	3.08 (4)	C <sub>11</sub>	4.15 (4)	4.40 (2)	3.52 (10)	2.20 (16)
					C <sub>12</sub>	3.96 (13)	3.80 (9)	3.74 (4)	3.20 (4)
					C <sub>13</sub>	4.22 (3)	4.00 (7)	3.74 (4)	3.00 (6)
					C <sub>14</sub>	4.15 (4)	4.40 (2)	3.81 (3)	3.20 (4)
海上救護風險(C2)	4.13 (1)	4.20 (1)	3.67 (3)	3.40 (1)	C <sub>21</sub>	3.96 (13)	4.00 (7)	3.48 (15)	3.00 (6)
					C <sub>22</sub>	4.11 (6)	4.20 (4)	3.70 (6)	3.40 (3)
					C <sub>23</sub>	4.33 (1)	4.80 (1)	3.85 (2)	3.60 (2)
					C <sub>24</sub>	4.11 (6)	3.60 (11)	3.63 (7)	3.00 (6)
營運與風險規劃(C3)	4.04 (3)	3.95 (3)	3.69 (2)	3.25 (2)	C <sub>31</sub>	3.74 (16)	3.60 (11)	3.52 (9)	3.00 (6)
					C <sub>32</sub>	4.00 (10)	3.60 (11)	3.63 (7)	3.00 (6)
					C <sub>33</sub>	4.30 (2)	4.20 (4)	4.04 (1)	3.80 (1)
					C <sub>34</sub>	4.11 (6)	3.80 (9)	3.59 (9)	2.60 (15)
成本控制(C4)	3.96 (4)	3.88 (4)	3.50 (4)	3.10 (3)	C <sub>41</sub>	4.00 (10)	3.60 (11)	3.52 (10)	2.80 (13)
					C <sub>42</sub>	4.07 (9)	3.20 (16)	3.44 (16)	2.80 (13)
					C <sub>43</sub>	3.78 (15)	3.40 (15)	3.52 (10)	3.00 (6)
					C <sub>44</sub>	4.00 (10)	4.20 (4)	3.52 (10)	3.00 (6)
重要、滿意度平均值						4.06	3.93	3.64	3.04

資料來源：本研究自行整理。

從表5構面層中所有構面的重要程度排序全部人員與離岸風電公司人員所填答之16問項重要性的差值為0.13；從構面層中所有構面滿意程度全部人員與離岸風電公司人員所填答之16問項滿意度的差值為0.60；全部人員所有關鍵因素之重要性相對於滿意度落差為0.42，而離岸風電公司人員所有關鍵因素之滿意度相對於重要性落差為0.89，表示風電公司人員對於風場整體運維表現認為仍有較大改善空間。

從準則層中各因素重要程度全部人員與離岸風電人員兩者所共同認為較重要的五項為：取得自主檢修與保養能力(C11)、培訓合格之運維人員(C14)、大型海事工程經驗(C22)、高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C23)、特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C33)；但全部人員與離岸風電公司人員於重要排序相差5名以上者為：統計風場人員救護能量需求(C21)、投保保險來進行風險控管(C24)、QHSE視為公司文化(品質、健康、安全、環境)(C31)、供應鏈較長且價格高(C42)及需大容量的儲能(C44)。

從準則層中各因素滿意程度全部人員與離岸風電公司人員兩者所共同認為較滿意的六項為：東北季風海況變化大，運維規格高於歐洲(C12)、夏天易受颱風襲擾(C13)、培訓合格之運維人員(C14)、大型海事工程經驗(C22)、高空作業選用安全防

墜與擒墜設備(C23)及特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C33)；但全部人員在取得自主檢修與保養能力(C11)、統計風場人員救護能量需求(C21)、離岸風場海難救助程序(C34)等三個項目，與離岸風電公司人員之滿意度排序均相差6名以上。

綜合上述在重要程度與滿意程度的差值，離岸風電人員反應出各關鍵因素之滿意度相對於重要性落差值為0.89，比起全部受訪人員的落差值0.42還大。本研究認為潛在原因是因離岸風電公司人員位於海上場域工作，因此對海上救護與風險構面(C2)及維護與技術構面(C1)要求較高所導致；針對各準則之重要程度及滿意程度，不同群體雖有不同看法，但所共同認為較重要且滿意的四項為：培訓合格之運維人員(C14)、大型海事工程經驗(C22)、高空作業選用安全防墜與擒墜設備(C23)及特殊風機尺寸及重量須符合工作規範及有經驗之人操作(C33)。代表離岸風電業者目前在這幾項關鍵重要準則的表現良好。

對於必需立即改善的項目(重要性高於重要平均值，滿意度低於滿意平均值)，全部人員認為取得自主檢修與保養能力(C11)、投保保險來進行風險控管(C24)、離岸風場海難救助程序(C34)以及供應鏈較長且價格高(C42)此四項必需立即改善；而離岸風電人員則認為取得自主檢修與保養能力(C11)、夏天易受颱風襲擾(C13)、統

計風場人員救護能量需求(C21)及需大容量的儲能(C44)此四項必須立即著手改善。

對於過度努力項目(重要性低於重要平均值，滿意度高於滿意度平均值)，全部受訪人員與離岸風電公司人員此二族群均認為東北季風海況變化大，運維規格高於歐洲(C12)此項可減少關注。

## 伍、結論與建議

### 5.1 結論

本研究經IPA分析結果發現，就四個構面來說，全部受訪人員比較重視海上救護風險(C<sub>2</sub>)及維護與技術(C<sub>1</sub>)，目前比較不滿意的部分是海上救護風險(C<sub>2</sub>)及成本控制(C<sub>4</sub>)。全部受訪人員認為需立即改善的項目包括取得自主檢修與保養能力(C<sub>11</sub>)、以投保保險來進行風險控管(C<sub>24</sub>)、離岸風場海難救助程序(C<sub>34</sub>)及供應鏈較長且價格高(C<sub>42</sub>)；全部受訪人員認為次要改善項目包括統計風場人員救護能量需求(C<sub>21</sub>)、QHSE管理視為公司文化(品質、健康、安全、環境)(C<sub>31</sub>)、影響運維成本(C<sub>41</sub>)、開發系統簡化單樁基礎之成本(C<sub>43</sub>)及需大容量的儲能(C<sub>44</sub>)。

就離岸風電公司人員來講，比較重視海上救護風險(C<sub>2</sub>)及維護與技術(C<sub>1</sub>)，目前比較不滿意的是維護與技術(C<sub>1</sub>)及成本控制(C<sub>4</sub>)。離岸風電公司人員認為需立即改

善的項目包括取得自主檢修與保養能力(C<sub>11</sub>)、夏天易受颱風襲擾(C<sub>13</sub>)、統計風場人員救護能量需求(C<sub>21</sub>)及需大容量的儲能(C<sub>44</sub>)；離岸風電公司人員認為次要改善項目包括投保保險來進行風險控管(C<sub>24</sub>)、QHSE視為公司文化(品質、健康、安全、環境)(C<sub>31</sub>)、避免營運備造成海洋污染(C<sub>32</sub>)、離岸風場海難救助程序(C<sub>34</sub>)、影響運維成本(C<sub>41</sub>)、供應鏈較長且價格高(C<sub>42</sub>)、以及開發系統簡化單樁基礎之成本(C<sub>43</sub>)。

### 5.2 建議

1. 關於IPA分析問卷的部分，本研究建議後續研究者未來可增加比較容易改善之項目到IPA問卷，這樣即可得知最容易及最不容易改善項目，作為日後風場業者及政府相關部會排序風場運維階段改善優先項目順序。
2. 關於IPA分析問卷樣本數量的部分，為提高問卷結果的代表性，建議後續研究者增加樣本數量，使問卷的調查結果更具代表性及更加精確。另，在發放問卷時須考慮到東北季風到來，風場維護人員無法出航，而導致採當面訪談填答問卷的問卷回收數量銳減，故本研究建議部分問卷調查可採線上問卷。
3. 綜合上述，本研究得出全部受訪人員以及離岸風電公司人員認為需立即改善的項目及次要改善項目。本研究進而提

出幾點建議，包含：與國外公司商討以爭取盡快取得自主檢修技術；協調國內海難救助公司於風場合作，加入直升機進入風場救援，提高救援效率；促進國內外相關製造業合作，發展出我國風機供應鏈。故，本研究建議政府及風電廠商優先執行這幾個項目，做為風場業者及政府相關部會參考之管理意涵，使離岸風電產業在運維階段得以順利運作並實現真正的風場核心技術在地化。

## 參考文獻

吳心恩，2020，檢視臺灣離岸風電四大系統國產化之困境與因應之道，國立中山大學企業管理學系研究所碩士學位論文，高雄市。

周建張、黃壬君，2023，離岸風場維運管理之重要績效分析，2023 長榮大學海空運論文研討會論文集，臺南市。

房辰陽、簡連貴、許顯騰、鍾承憲、周顯光，2018，離岸風電運維安全規範與管理監督機制研析，*技師期刊*，第 83 期，38-47。

林伯峰，2018，離岸風電之風險評估、對策與管理，*技師期刊*，第 83 期，4-37。

林廷融，2021，2021 年世界風能報告-風能

在實現淨零排放的道路上扮演之角色，工業技術研究院綠能與環境研究所，*能源知識庫電子報*，第 119 期，1-40。

林彥碩，2015，綠能產業風險管理與保險規劃-以離岸風場為例，淡江大學保險經營學系碩士論文，新北市。

胡雪揚、賈小剛、莫偉南，2020，臺灣海峽某典型深遠海域風場風機基礎選型與優化水電與新能源，*水電與新能源*，第 03 期，28-32。

夏雲峰，2016，歐洲海上風電項目成本幾年間降低了一半，*風能*，第 11 期，50-52。

孫士軒，2018，應用科學魚探評估苗栗離岸風電設施聚魚效果之研究，國立臺灣海洋大學環境生物與漁業科學學系碩士學位論文，基隆市。

許強、劉楊、賈瑩超，2021，離岸風電智慧運維管理系統開發，*農村電氣化*，第 12 期，58-62。

許敏誌、周建張，2022，運用五力分析結合層級分析法探討臺灣地區離岸風電產業航運政策之研究：以船員雇傭、船隊聯盟為例，*航海技術學刊*，第 54 卷，第 3 期，1-27。

陳昱光，2020，落實職業安全衛生觀念再造企業文化，*勞動及職業安全衛生研究季*

刊，第 28 卷，第 1 期，16-20。

黃湘凌，2019，離岸風電開發之風險控管與保險規劃方法概述，*臺灣經濟研究月刊*，第 42 卷，第 4 期，120-128。

黃釋緯，2020，臺灣海洋能源發展之現況與展望，*海洋探索*，試刊號，25-34。

劉文燦，2018，臺灣離岸風電開發之作業流程建置及併網臺電系統之衝擊探討，國立臺北科技大學電機工程系碩士學位論文，臺北市。

蔡松樺，2020，論海岸巡防署於離岸風電區實施海難救助案件，國立高雄科技大學海洋事務與產業管理研究所碩士論文，高雄市。

鄭雅文，2021，永續開發海洋資源之新海上防救災需求與商機探討－以臺灣離岸風電產業為例，*臺灣經濟研究月刊*，第 44 卷，第 5 期，87-93。

鄭達人，2022，臺灣離岸風電職業安全研究，國立高雄科技大學輪機工程研究所碩士論文，高雄市。

冀樹勇、譚志豪，2015，離岸風機簡化成本分析(I)：單樁基礎支撐結構概念設計，*中興工程*，第 129 期，19-29。

蘇義淵，2019，亞鄰國家發展離岸風電之政策制度探討，*臺灣經濟研究月刊*，第 42

卷，第 6 期，94-103。

Bilgili, M., Yasar, A. and Simsek, E., 2011. Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 905-915.

Borawski, P., Beldycka-Borawska, A., Jankowski, K.J., Dubis, B. and Dunn, J.W., 2020. Development of wind energy market in the European Union. *Renewable Energy*, 161, 691-700.

Dalgic, Y., Lazakis, I. and Turan, O. and Judah, S., 2015a. Investigation of optimum jack-up vessel chartering strategy for offshore wind farm O&M activities. *Ocean Engineering*, 95, 106-115.

Dalgic, Y., Lazakis, I. and Turan, O., 2015b. Investigation of optimum crew transfer vessel fleet for offshore wind farm. *Wind Engineering*, 39(1), 31-52.

Eikrem, K.S., Lorentzen, R.J., Faria, R., Stordal, A.S. and Godard, A., 2023. Offshore wind farm layout optimization using ensemble methods. *Renewable Energy*, 261, 119061.

Froese, G., Ku, S.Y., Kheirabadi, A.C. and Nagamune, R., 2022. Optimal layout design

- of floating offshore wind farms. *Renewable Energy*, 190, 94-102.
- Higgins, P. and Foley, A., 2014. The evolution of offshore wind power in the United Kingdom. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 599-612.
- Laura, C.S. and Vicente, D.C., 2014. Life-Cycle cost analysis of floating offshore wind farms. *Renewable Energy*, 66, 41-48.
- Li, X., Ouelhadj, D., Song, X., Jones, D., Wall, G., Howell, K.E. and Pertin, E., 2016. A decision support system for strategic maintenance planning in offshore wind farms. *Renewable Energy*, 99, 784-799.
- Likert, R., 1932. A technique for measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 5-55.
- Martilla, J.A. and James, J.C., 1977. Importance-Performance analysis. *Journal of Marketing*, 41, 77-79.
- O’Keeffe, A. and Haggett, C., 2012. An investigation into the potential barriers facing the development of offshore wind energy in Scotland: Case study – firth of forth offshore wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3711-3721.
- Pedersen, S. and Ahsan, D., 2020. Emergency preparedness and response: Insights from the emerging offshore wind industry. *Safety Science*, 121, 516-528.
- Santos, F., Teixeira, Â.P. and Soares, C.G., 2015. Modelling and simulation of the operation and maintenance of offshore wind turbines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229(5), 385-393.
- Sperstad, I.B., Stålthane, M., Dinwoodie, I., Endrerud, O.E.V., Martin, R. and Warner, E., 2017. Testing the robustness of optimal access vessel fleet selection for operation and maintenance of offshore wind farms. *Ocean Engineering*, 145(15), 334-343.
- Stuhr, M., Dethleff, D., Weinrich, N., Nielsen, M., Hory, D., Kowald, B., Seide, K., Kerner, T., Nau, C. and Jurgens, C., 2016. Medical emergency preparedness in offshore wind farms. New challenges in the German North and Baltic Seas. *Anaesthesist*, 65(5), 369-379.
- Stuhr, M., Kraus, G., Weinrich, N., Jurgens, C. and Sefrin, P., 2014. First aid at offshore wind farms in German waters consensus statement from the German social accident insurance (DGUV). *Notarzt*, 30(4), 159-168.