

# 淺談全球離岸風電發展關鍵趨勢

台灣亞太產業分析專業協進會 107 年認證產業分析師 朱珮綺

## 一、前言

回顧離岸風電的歷史，1991 年丹麥安裝了全世界第一座離岸風場—Vindeby，自此揭開了離岸風電產業的序幕。歐洲是離岸風電的起源地，丹麥與英國更是最早投入發展的國家，經過數十年的發展，2007 年全球在離岸風電的累積裝置容量突破 1GW，隨後整個產業逐漸以 1 年 1GW 的新增速度進入爆發性的成長，自 2010 年起至 2019 年為止，離岸風電在過去 10 年的年均複合成長率(CAGR)達 28.0%，再再顯示這個新興產業仍處在蓬勃發展的成長期。

進一步以國家來看，全球總計有 18 個國家在離岸風電產業的發展上有了初步的成果，2019 年累積裝置容量前 10 名的國家分別為英國(9,792MW)、德國(7,507MW)、中國大陸(5,930MW)、丹麥(1,701MW)、比利時(1,556MW)、荷蘭(957MW)、瑞典(203MW)、台灣(128MW)、越南(99MW)與芬蘭(73MW)，其中，英國的離岸風電累積裝置容量長年位居全球之首，而在前 10 名的國家中，亞洲國家僅有中國大陸、台灣與越南，台灣則是自 2019 年底完成海洋風場後，一躍成為亞洲第二大裝置容量的國家。

近幾年台灣將再生能源視為重要政策，離岸風電更是重中之重，2019 年底在苗栗外海豎立的兩支風機更是替我國離岸風電產業注入了強心針。為維持台灣離岸風電產業在亞洲的領先地位，並在技術發展趨勢同步國際，本研究後續將針對歐洲、亞洲與美洲等離岸風電領先國家之技術發展趨勢進行研析，並作為後續我國發展離岸風電相關技術之參考建言。

## 二、歐洲離岸風電發展動態

### (一)離岸風電新興技術

離岸風電新興技術泛指在該產業中運用新科技協助離岸風場運作，或是透過產品材料與製程的改善，提升產品運作效能與附加價值。據此，彙整「風場監控技術應用」、「風場維護技術」與「葉片材料與回收技術」等三大主題，詳述如下：

## 1. 風場監控技術應用

### (1) 英國赫爾大學與 ORE Catapult 監測海洋波浪以提高運維效率

該項計畫主要由英國赫爾大學與離岸再生能源整合開發中心(ORE Catapult)共同合作，透過沃旭能源於利物浦建置的 Burbo Bank Extension 風場中安裝朝海面(向下)偵測的雷達，運用海象數據蒐集與模型的建立來預測風場周遭波浪的高度、方向與風機周邊的波浪週期，進而減少耽誤維護工程時間、提升決策效率與人員的安全性。

## 2. 風場維護技術

### (1) 英國 Galloper 風場裝設 ScareTech 系統防止海鳥糞便覆蓋

海鳥的糞便具有高度致癌物，易造成離岸工作人員的健康風險且難以從風場設施上去除，故 RWE Renewables 公司在其英國 Galloper 風場進行一項為期一年的試驗，透過在海上變電站中裝設 ScareTech 系統將鳥糞覆蓋率由 50%-60%降至零，其作法主要是透過裝設稻草人模型，並加裝感測器以偵測風場周圍是否有鳥類飛行，一但有鳥類靠近，即發出巨響與頻閃燈，該系統透過鋰電池與浮動式太陽能板供電，詳參【圖 1】所示。

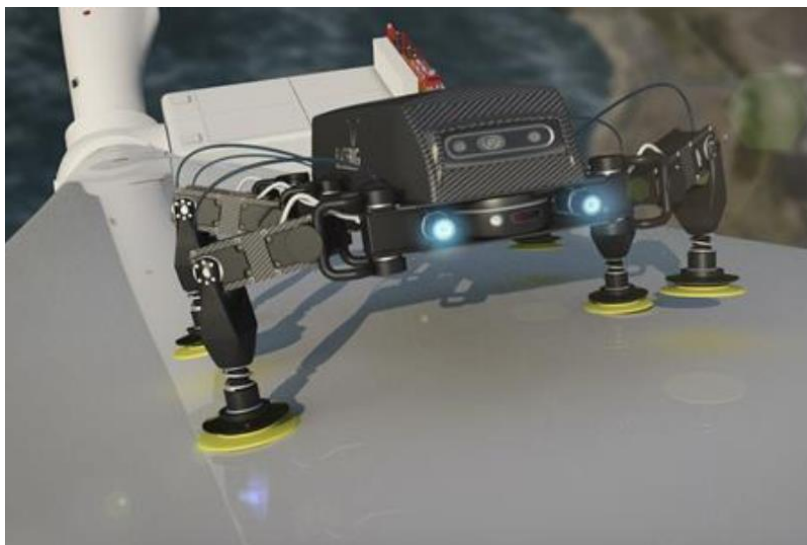


資料來源：ScareTech/金屬中心 MII-ITIS 研究團隊(2020/09)。

**圖 1 ScareTech 系統**

## (2) 英國 ORE Catapult 執行極端情況下多平台 O&M 計畫(Mimree)

英國離岸再生能源整合開發中心(ORE Catapult)正在執行一項針對離岸風電全自動機器人檢查與維修方案，其主要目的係用於在極端環境條件下執行風場的營運與維護。目前此項計畫已納入無人駕駛船與無人機及其系統整合方案(如透過無人駕駛船上發射無人機以進行維護工作)，並透過其他附加技術來增進營運維護流程，像是透過爬行無人機履帶接觸面來蒐集葉片狀況，詳參【圖 2】所示，該計畫預計於 2022 年完成，而無人駕駛船的加入，可在全自動機器人檢查與維修方案中替每個風場平均節省約 2,870 萬歐元。



資料來源：WindPower/金屬中心 MII-ITIS 研究團隊(2020/09)。

圖 2 BladeBUG 機器人

### 3. 葉片材料與回收技術

#### (1) 歐洲風能協會針對葉片回收進行研究

歐洲風能協會(WindEurope)預估 2023 年歐洲將有 14,000 個風機葉片退役，故葉片的回收將成為急欲解決的問題。葉片回收現階段問題在於其構成主要為複合材料，需要透過特殊工法才能分離，故歐洲風能協會、歐洲化學工業理事會(Cefic)和歐洲複合材料工業協會(EUCIA)針對葉片回收展開研究，目前發現透過水泥窯協同處理(Cement Co-processing)可處理大量廢物，然而該技術尚未具備經濟效益。

## (2) 英國遊艇業者之子公司 ACT Blade 使用遊艇帆製造超輕型風機葉片

專門從事遊艇製造的英國業者 SMAR Azure 的子公司 ACT Blade，透過使用遊艇帆輕巧耐用的結構來製造超輕型的風機葉片，葉片內部用複合材料製成，但表面則改用類似於帆布的織布材質，據稱該葉片可增加轉子掃掠面積、提高 9% 的年發電量同時降低能源均化成本 (LCOE)，目前 ACT Blade 預計於 2020 年底前將三支葉片安裝於蘇格蘭西部的 Myres Hill 陸域風場，詳參【圖 3】所示。



資料來源：ACT Blade / 金屬中心 MII-ITIS 研究團隊(2020/09)。

圖 3 ACT Blade 新型葉片測試示意圖

## (3) MHI Vestas 計畫於 2040 年實現零廢物產生之風機

風機製造商 MHI Vestas 擬於近期採用循環經濟的戰略，對風機的設計、生產、服務與報廢進行一系列的處理服務，並預計於 2025 年將葉片可回收的比例達到 50%，2030 年達到 55%。目前風機約有 85% 的零組件可進行回收再利用，然而葉片主要是由不可回收的複合材料製成，是現階段回收上的主要問題，因此 MHI Vestas 將投入複合廢料的新回收技術研究，包含玻璃纖維回收與塑料零件回收，同時亦將研究如何減少葉片退役後送往垃圾掩埋場的廢料量。

## (二)離岸風電創新產業模式

離岸風電創新產業模式係指在該產業中透過新型態的商業模式或跨領域應用整合，來引領下一世代的產業發展型態，據此，本研究彙整「離岸風電新型模式」與「離岸風電跨領域應用」等兩大主題，詳述如下：

## 1. 離岸風電新型模式

### (1) 丹麥計畫建置 2 座跨國家能源島

丹麥政府於 2020 年宣布一項提案，希望透過離岸風電能源島的打造，將其綠色電力出口至歐洲鄰近國家，目前預計於北海的人工島及波羅的海的 Bornholm 島建置海上能源樞紐，前者將可連接至荷蘭，後者可與波蘭相接，兩座島初步的裝置容量規劃總計為 4GW，未來亦可這些能源島嶼多餘的電力將可轉化為綠色氫能，並進一步作為飛機、卡車、輪船與暖氣的燃料，以實現國際 2030 年的氣候目標(排放量減少 70%)。

### (2) 歐洲各國投入浮動式離岸風電技術研發

浮式風電是歐洲各國目前相當重視的議題，英國離岸再生能源整合開發中心(ORE Catapult)在政府的支持下，偕同歐洲 10 多間能源開發商(含 Equinor、EDF、Shell、Total 等)建立浮動海上風能卓越中心(FOWCoE)，其旨在降低浮動風能的能源成本、加快浮動風場的建設，並為英國供應鏈創造機會，協助建立下一世代的浮動風機技術。

## 2. 離岸風電跨領域應用

### (1) 比利時、德國、荷蘭、丹麥與英國運用離岸風電生產氫氣

近年來歐洲各國紛紛運用多餘的離岸風電電力來進行電解，從而將水分解為氫氣與氧氣，並將氫氣用於電力、運輸、燃料及工業用途，其相關案例包含比利時 Deme Concessions 與 Oostende 港口共同合作，預計透過執行 Hyport 計畫，於港口建立 300MW 具備商業規模製氫工廠，並於 2022 年開始進行，並於 2025 年投入營運。德國 Enercon 與荷蘭 Noord-Holland Noord(NHN)公司，則透過 4MW 風機連接至電解槽以生產氫氣，並預計 2021 年第二季開始進行。丹麥沃旭能源及其德國 9 位合作夥伴已獲得德國政府支持，未來將在現實世界實驗室(Reallabore)進行 Westküste100 項目，現階段總預算金額為 8,900 萬歐元，目標是打造 700MW 的電解槽系統。英國政府承諾投資 900 萬歐元來支持 Gigastack 項目的研究，該計畫主要是由丹麥沃旭能源、電解製造商 ITM Power、石油公司 Phillips 66 和顧問公司 Element Energy 來進行，預計透過沃旭能源 1.2GW 的 HornseaII 發電廠連接以 20 個 5MW 組成的電解槽(100MW)來進行氫氣製造之研究。

## (2) 荷蘭與比利時預計於離岸風場打造全世界第一座海藻養殖場

荷蘭公司 Seaweed Harvest Nordsea、Murre Technologies 與比利時公司 AtSeaNova、GEOxyz 將共同於比利時的 Norther 離岸風場建置大型海藻養殖場，預計於今年年底播種棕色海藻，並於明年 5 月收割，爾後在進行生物精煉與萃取，作為潛在能源替代與健康食品的原料，該項目預計每公頃可生產 100-140 噸，而業者未來也希望可同時進行收割與風機維護，從而降低成本。

## 三、亞洲離岸風電發展動態

亞洲離岸風電的發展較晚，多數國家目前仍專注於政府政策制定、專案招標、風場前期規劃、財務融資等項目，在離岸風電技術方面雖有投入，然而少有突破性的進展，多數亦仰賴歐洲業者的技術支援。爰此，盤點 2019-2020 年間亞洲各國的動態，主要以浮動式離岸風電的研究為主，詳述如下：

### (一) Equinor 測試韓國的浮動式風力發電潛力

挪威國營石油公司(Equinor)目前正在進行韓國水域的調查，以確保未來在韓國東南沿海的 800MW 浮動式離岸風電工程之可行性。Equinor 公司主要透過離岸光達浮標來蒐集風浪數據，並確保與海床之間的距離，該公司目前則與韓國國家石油公司和電力公司 Korea East-West Power 共同合作，預計在蔚山附近開發一個 200MW 的浮動式發電專案。

### (二) 日本正式啟動浮動式離岸風電的競標

日本政府於 2020 年 6 月宣布將尋求該國首次浮動式離岸風電廠的拍賣者，該項目主要是在長崎南部建造浮動式風場(約 16.8MW)，並預計於 2020 年 12 月截止、2021 年 6 月確認得標者，此項目競標者需考慮其商業計畫可行性，並優先考慮擁有良好在地關係與離岸風電經驗之廠商。

## 四、美洲離岸風電發展動態

美洲離岸風電的發展仍處於起步階段，因此不僅在國家政策上仍在規劃，相關的專案招標與融資亦多以美國為主，而美國是科技大國，不僅有相當多的國際型企業(如 GE)，在陸域風

電與其他技術領域(如電子、機械、資通訊等)上也累積豐厚的經驗與知識，故未來在美洲地區的發展將以美國為首，並預估在 2023 年後會有大幅度的市場成長。爰此，盤點 2019-2020 年間美國在離岸風電的動態如下：

### **(一)運用火箭的減震解決方案來提升浮動式離岸風電發電效率**

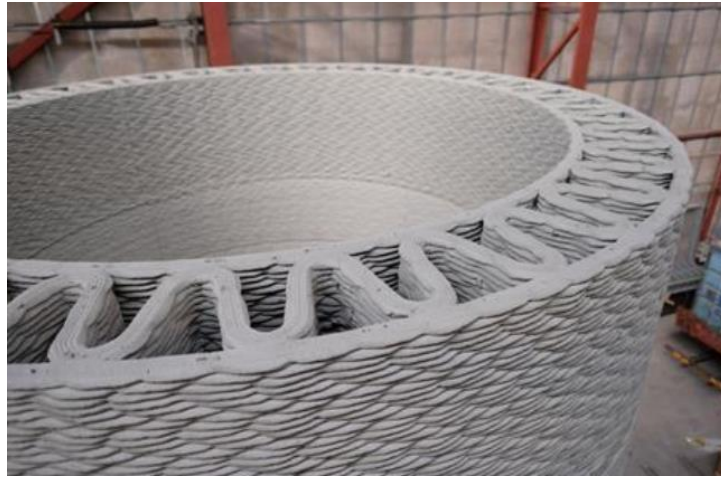
美國國家航空暨太空總署(NASA)與緬因大學共同合作與設計，將用於火箭的減振技術用於浮動風機，經過實際測試與聯網，該技術有效降低 90%浮動式載台上下運動的幅度，並使風機發電達到更高的效率。此項計畫受到 Houston Offshore Engineering 的關注，未來將考慮進一步於實際的浮動式風機上裝設該設備，並發展出降低浮動式風力發電成本的技術，使其更具競爭力。

### **(二)新英格蘭 16GW 電網計畫**

美國電力開發商 Anbaric 向美國海洋能源管理局(BOEM)申請，未來將在新英格蘭(緬因州、新罕布夏州、佛蒙特州、麻薩諸塞州、羅德島州、康乃狄克州)開發一個海上電網系統，並將 16GW 的離岸風電連接到陸地。這個海上電網將是獨立運作，並透過一條公共連接點將風能連接到特定區域(如波士頓，羅得島州的納拉甘西特灣，馬薩諸塞州的南海岸和康涅狄格州)，並向該地區居民提供離岸風電。

### **(三)GE 打造 3D 混凝土風機基座**

奇異公司(GE)與丹麥機器人和自動化公司 Cobod、瑞士建築材料公司 LafargeHolcim 共同合作開發運用 3D 列印建造出來的風力發電機基座，其製造目的主要原因來自於塔架的增高可以幫風力發電機產生更多的電力，而運用 3D 列印來製作可以幫助降低製造成本與運輸的困難，目前 GE 與其合作夥伴的主要目標是生產帶有塔架的風力發電機原型，並運用混凝土材料與 3D 列印機來擴大生產規模，該團隊於 2019 年已生產了第一個 10 米高的塔架基座，未來預計要打造高達 200 米的基座，如【圖 4】所示。



資料來源：Wind Power /金屬中心 MII-ITIS 研究團隊(2020/09)。

圖 4 3D 列印塔架底座

## 五、結論與建議

隨著全球對於綠色意識的抬頭，離岸風電已成為各國發展再生能源重要的一環，在未來產業的進程上，歐洲各國(含英國、丹麥、荷蘭、比利時等)將繼續作為離岸風電領先者，持續帶領全球探索新的離岸風電技術與方向，而亞洲(日本、韓國)則在浮動式離岸風電的發展上有相當大的潛力，美國雖較晚進入離岸風電產業，但憑藉著其在科技領域的深厚實力，有機會在離岸風電產業內開創新的局面。在各國積極的投入下，估計在 2025 年前全球離岸風電市場將有另一波爆發性的成長，而台灣如何在這波浪潮中站穩立足之地，有賴於透過研究開發進行市場布局，據此提出未來技術發展關鍵與建議如下：

### (一)智能化運維技術－自動化、無人化、智慧化

離岸風場所在位置與環境大多相當嚴苛，若遇到天候不佳的極端狀況(如：颱風、地震)，風場檢修作業的難度與風險皆會大幅上升，容易造成營運管理進度落後，故未來智能化運維技術的發展勢在必行。根據本研究結果，目前在智能化技術的布局上，又以英國的規劃最為詳盡與前瞻，包含 ORE Catapult 所提出的全自動機器人檢查與維修方案、水陸兩棲機器人的開發等，皆是以實現無人載具以及多載具協同作業的目標進行規劃，而後端的檢測資料處理技術導入人工智慧(AI)，將可帶來更深入的見解，大幅降低人力的需求，並運用更精準的方式進行風場營運管理。我國軟體技術、機電與半導體產業能量強，建議未來在風場管理智能化議題上，可研擬適切的推動策略，提高整體產業之附加價值。



## (二)先進材料應用與回收技術開發

歐洲離岸風場逐漸邁向除役階段，風機機組的回收問題也開始受到關注。歐洲風能協會已針對葉片回收議題展開研究，為的就是解決 2030 年歐洲市場即將退役的 14,000 個風機葉片。另一方面，風機大廠 MHI Vestas 亦規畫於 2040 年實現零廢物生產之風機計畫，再再顯示出先進國家對於產品回收與環保議題的重視。在先進材料的開發上，英國也開始投入超輕型風機葉片的研究，期盼能藉此降低能源均化成本(LCOE)，以提高離岸風場的營收與建置誘因。我國材料技術實力厚實，建議可提早進行相關布局。

## (三)離岸風場跨域應用方案

隨著全球綠能意識抬頭與藍色經濟的快速發展，離岸風場如何與其他項目產生綜效，以多元應用風場空間，亦成為先進國家投入探討的議題。本研究觀察到德、比、荷、丹、英等國家已結合創能與儲能的概念，將離岸風電產生的多餘電力透過電解方式分解為氫氣與氧氣，用於其他領域如運輸、燃料及工業用途。荷蘭及比利時則是將離岸風場結合大型海藻養殖場，將進行棕色海藻種植，預計未來可透過生物技術製作能源替代與健康食品的原料，此外，收割海藻的作業亦可與水下基礎檢修作業同時進行，最大化兩個產業共同發展的綜效。在我國藍色經濟發展的同是，亦可思考離岸風場多元應用之方案，以提高附加價值。

(本文作者為金屬中心執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>