

# Analysis on the development trend of international floating offshore wind technology industrialization

Ray-Yeng Yang <sup>1\*</sup> Chung-Chun Hsu <sup>2</sup> Yun-Lu Ma <sup>3</sup> Chun-To Tso <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

<sup>2</sup> Associate Research Fellow, Research Division I, Taiwan Institute of Economic Research

<sup>3</sup>Assistant Research Fellow, Research Division I, Taiwan Institute of Economic Research

<sup>4</sup>Research Fellow, Research Division I, Taiwan Institute of Economic Research

## ABSTRACT

Offshore wind power has become an essential option for the development of the novel renewable energy since the onshore wind market has reached its saturation point. In the past, the development of offshore wind power is mainly located in Europe, and the fixed-bottom offshore wind industry has developed a mature business model. However, due to the limitation of the weight of the base structure, the conventional fixed offshore wind lacks economic benefits and can only be developed in the offshore area. Many regions with high wind speed and stable wind direction are located in the sea area further away from the shore. Therefore, many countries have begun to bring in floating platform technology into offshore wind power development, so as to make more effective use of offshore wind energy resources and create higher economic efficiency. This study collected the development policy measures, industrial technology development status and the development bottleneck of floating offshore wind power internationally. As for the development trend of the commercial operation techniques, this paper puts forward the planning and implementation status of major international demonstration plans, and analyzes the latest development trends such as its technical advantages and disadvantages and commercialization schedule, so as to accelerate the promotion of Taiwan's floating offshore wind power by drawing on international experience.

**Keywords:** Floating offshore wind power, floating offshore wind industrial policy, floating offshore wind commercial operation .

\* Corresponding author, E mail: ryyang@mail.ncku.edu.tw

## 國際浮動式離岸風電技術產業化發展趨勢分析

楊瑞源<sup>1\*</sup> 許中駿<sup>2</sup> 馬雲瑋<sup>3</sup> 左峻德<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 國立成功大學水利及海洋工程學系副教授

<sup>2</sup> 台灣經濟研究院副研究員

<sup>3</sup> 台灣經濟研究院助理研究員

<sup>4</sup> 台灣經濟研究院研究員

### 摘要

離岸風力發電在陸域風力發電市場漸趨於飽和後，目前已成為發展新興再生能源的重要選項。在過去，離岸風電的發展主要位於歐洲地區，固定式離岸風電業已發展出成熟的商業開發模式。然而，傳統固定式離岸風電因受制於基座結構的重量，欠缺經濟效益並導致開發多半僅能侷限於近岸海域。

然而，許多風速較大且風流向較為穩定的區域恰好位於離岸較遠的海域，因此許多國家皆開始將浮動平台之技術導入離岸風電的開發，以便更有效地利用海上風能資源，創造更高的經濟效益。本研究蒐集國際上浮動式離岸風電之發展政策措施、產業技術發展現況、及發展瓶頸。針對商轉技術發展趨勢部分，提出國際間重大示範計畫規劃與實施現況，並研析其技術優劣勢、商業化時程等最新發展趨勢，以借鏡國際經驗，加速我國浮動式離岸風電的推動。

**關鍵詞：**浮動式離岸風電、浮動式風電產業政策、浮動式風電商轉技術發展

\* 通訊作者 E mail: ryyang@mail.ncku.edu.tw

## 一、前言

全球 80 % 最強的風資源都位於水深約 60 公尺以外的水域，根據 Wind Europe 於 2017 年出版的 Floating Offshore Wind Vision Statement 報告指出，水深 60 公尺以上的海域蘊含的風能潛力，歐洲有 4,000 GW，約占其整體離岸風力資源的 80%；美國有 2,450 GW，占其整體離岸風力資源的 60%；日本則有 500 GW，占其整體離岸風力資源的 80%；至於台灣，則估計有 90 GW 的蘊藏量。因此，浮動式風力機技術越來越被人們視為離岸風電的未來。風力發電機在尺寸和裝置容量方面的可擴展性已促使其輸出和效率的顯著提高。開發人員正在進入大型商業項目，其中浮動裝置的規模經濟和批量生產將使每 MW 的資本支出可望降低，甚至促使更低的均化發電成本 (Levelized Cost of Electricity, LCOE)。目前全球的離岸風電專案計畫中，有 50 到 100(甚至 200)個浮動機組的風電場將提供專案項目經濟性的提升，以消除長期以來「浮動式」相較於「固定式」更為昂貴的爭議(如圖 1 所示)。

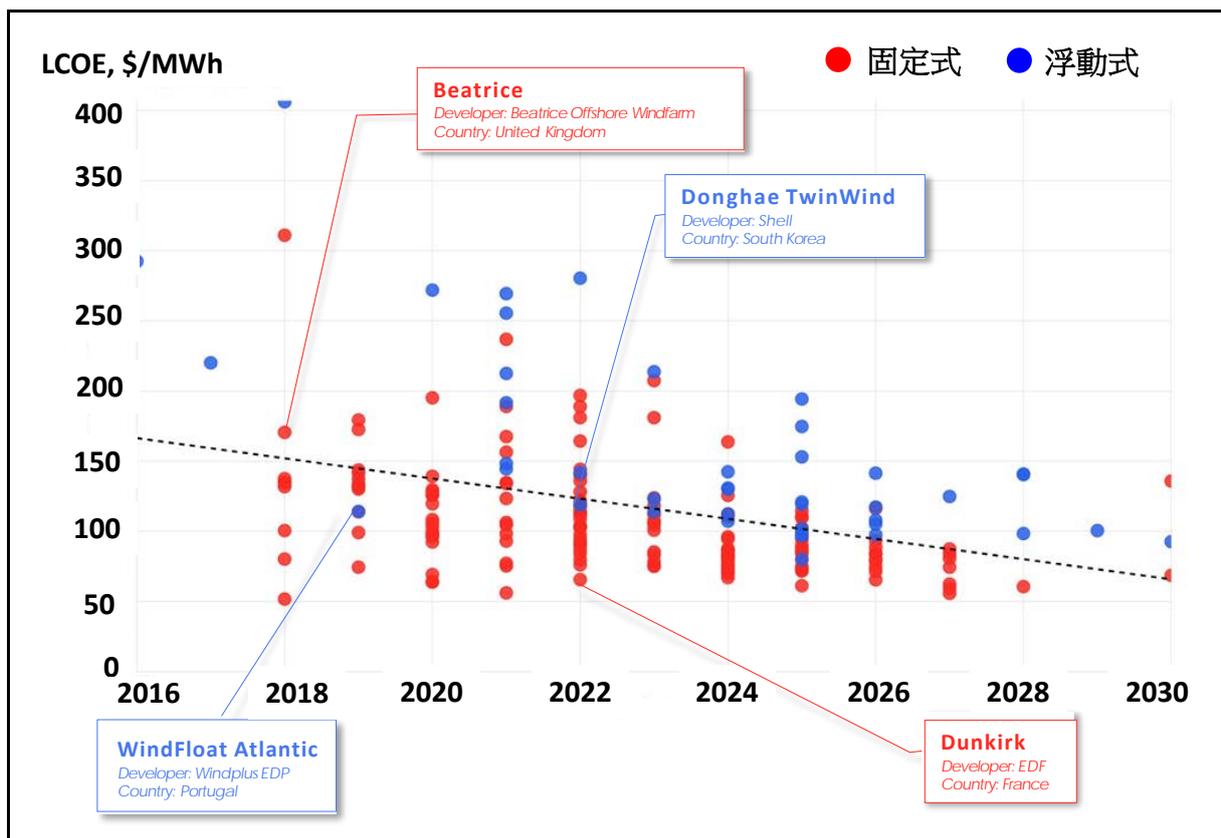


圖 1 固定式和浮動式長期均化發電成本趨勢比較

## 二、研究方法

### 2.1 全球浮動式離岸風電產業化政策措施之探討

在離岸風電產業發展過程中，傳統的固定式在經濟誘因的提升上將減少吸引力，該行業正在採用各項浮動式技術，且浮動式離岸風電目前已在歐洲有商業化實績。根據 Quest Floating Wind Energy 最新報告顯示，全球目前確認的浮動式離岸風電專案 68 個，總容量 17.56 GW。其中營運和開發中專案分別為 55 MW、808 MW；計畫中以及可能性專案分別為 3,344 MW、13,360 MW。法國、挪威和英國在開發浮動式離岸風電方面一直處於領先地位，日本、葡萄牙和西班牙緊隨其後。其中法國 107 MW、挪威 93 MW、英國 81.5 MW。Quest Floating Wind Energy 預測到 2033 年全球範圍內浮動式離岸風電產業，美國、英國、台灣、日本、韓國和西班牙將會在計畫專案以及可能性專案的累積容量領先。預計到 2050 年，全球按國家和地區劃分，浮動式離岸風電重點區域發展部署可以達到 95 GW，亞洲地區將超過 45 GW，美國將幾乎與歐洲持平超過 22 GW。顯示亞洲地區為未來浮動式離岸風電產業發展的熱點。

因浮動式風機仍為發展中逐漸成熟的科技，大部分國家尚在研發及示範風機階段，故如何扶植相關技術的發展，有賴於政府在各個技術發展階段推出合宜的政策措施，以提供技術發展的誘因，促使新興產業加速形成。參考浮動式離岸風電發展較早的歐洲國家經驗，大致將浮動式風機技術的發展分為「示範前研發(Pre-demonstration R&D)」、「全尺寸原型示範風機(Full-scale prototype demonstration)」、「商業化前示範風場(Pilot/pre-commercial array)」、「商業化(Commercial Projects)」等四個階段，並於各階段採取相應的政策措施。

#### 2.1.1 示範前研發階段與全尺寸原型示範風機階段之產業化政策措施

在浮動式離岸風電技術能夠規模化開發前，由於僅有建置少數示範風機或尚處於先期研發階段，技術不成熟及缺乏開發經驗，導致無法藉由歷史經驗預估成本，投資不確定性極高。另外，示範風機運轉期間通常只有 2 年至 5 年，使得收入也難以支應龐大的資本支出。故政府在示範前研發階段與全尺寸原型示範風機階段，除了採取躉購電價(Feed-in Tariff, FiT)等傳統政策工具外，更宜對技術發展與風場建置進行直接補貼。以下簡述挪威、葡萄牙、英國、法國、日本、美國的相關政策作法。

##### (1) 挪威

2009 年挪威國家石油公司 Statoil 安裝全球第一座 2 MW 全尺寸等級的浮動式離岸風力發電機組，其中 5,900 萬挪威克朗(約新台幣 2.2 億)由公共機構 Enova 資助。

## (2) 葡萄牙

葡萄牙 WindFloat 第一階段示範計劃 2 MW 半潛式(Semi-submersible)機組的資金來源為葡萄牙政府斥資 1,900 萬歐元及 Demowfloat 計劃部分資助。

## (3) 英國

英國政府為了推動離岸風力發電，由 DECC (Department for Energy and Climate Change)和美國能源部簽訂了浮動式風力技術合作備忘錄，並由皇家財產局(The crown Estate)委託 DNV 進行離岸風電浮動平台的潛能評估後，於 2013 年推出了測試驗證階段(Testing and Demonstration round)政策，開始進行離岸風電浮動平台的產業化推動。

此外，英國亦有 Energy Catalyst、InnovateUK、GROW Offshore Wind 等補助金方案對浮動式風機的先期研發提供資金，例如 GROW Offshore Wind 方案會將 200 萬英鎊預算額度分給致力於浮動式風機技術研發的英國企業，每間公司可得 50 萬英鎊。進入全尺寸原型示範風機階段後，則有更高額的資金補貼方案可供業者申請，例如蘇格蘭基金 SWIFT 及歐盟資助的 DemoWind、NER300、NER400 分別有 1,500 萬英鎊、2,400 萬歐元、21 億歐元、90 億歐元的相關支援預算。

## (4) 法國

法國斥資 3,600 萬歐元於 FLOATGEN 示範風場計畫，該計畫雖取得歐盟 FP7 補助款、ADEME 的 730 萬歐元補助款及法國巴黎銀行和 Caisse d'Epargne 銀行的 120 萬歐元貸款，但龐大的開發金額仍使計畫面臨資金需求問題。因此在 2017 年 7 月又增資 800 萬歐元，除既有股東如 Terium、PACA Investissement、Conseil Plus Gestion 的支持外，再引進 Siem Offshore Contractors、日立造船株式會社(Hitachi Zosen Corp)和法國東方匯理的私募基金(Amundi Private Equity Funds)。

## (5) 日本

自 2011 年福島核災以來，日本政府在浮動式離岸風電的研發和示範驗證上投入了大量資金，並建立產學聯盟，以分享技術研發成果，並共同從開發計畫中獲得經驗。日本經濟產業省(METI)已在福島計畫中投資 530 億日元，分別投資了 2 MW、7 MW 和 5 MW 的浮動式風機。而環境省(MOE)則針對東大公司(Toda Corporation)、福永海洋開發工程公司(Fuyo Ocean Development & Engineering)、富士重工(Fuji Heavy Industries)及京都大學共同在五島列島的樫島海域建置的深水浮筒式機組，提供約 60 億日元的補助。另外，NEDO 預計於 2018 於九州西南部安裝 IDEOL Damping Pool 的計畫，目前已獲得到合作夥伴 Hitachi Zosen 的支持。

## (6) 美國

美國能源部(DOE)在 5 年內資助 1,200 萬美元予 DeepCWind，並於 2013 年安裝了 1：8 比例的 VoltturnUS 浮動式機組(縮尺示範風機)，為美國首座離岸風機和世界上第一個複合混凝土材質的浮動式離岸風機平台。

### 2.1.2 商業化前示範風場階段之產業化政策措施

由全尺寸原型示範風機階段進入較大規模的商業化前示範風場開發階段後，雖開發規模的擴大與較長期的示範期間(約 20 年至 25 年)讓投資的可回收性較高，也使政府補貼的支出效益提升。但相對於已商業化的成熟科技，浮動式離岸風電的風險仍然偏高，造成計畫不易籌資。尤其對於規模較小的開發商而言，不僅沒有充裕的資本，更難以在資金市場上順利融資。因此，政府在此階段宜以補助款、協助廠商增資或取得低利息貸款的方式，使開發計畫能夠順利籌資。

政府除為計畫的資本支出(Capital Expenditure, CAPEX)提供資金外，還可資助機組系統與零組件的技術創新或品質認證，有助於降低成本和不確定性。此外，就浮動式離岸風電的某些特定技術領域而言，政府對創新所投注的支持還可能間接為其他海洋科技(例如：固定式離岸風電、波浪能與潮汐能)的研發活動帶來正面效益，刺激跨領域的開發研究。

## (1) 葡萄牙

葡萄牙 WindFloat 計畫的第二階段將擴建 3 座 8.3 MW 機組，總裝置容量為 25 MW，預計於 2019 年商轉。擴建資金來源除歐盟 NER300 補助計畫，尚有 Repsol、Trust Wind、Mitsubishi Corporation 和 Chiyoda Corporation 注資。

## (2) 英國

自 2002 年以來，英國主要採行再生能源義務制(Renewables Obligation，簡稱為 RO，又稱作「再生能源發電配額制(Renewable Portfolio Standard, RPS)」)作為推動再生能源發展的主要政策工具。此制度係以法律規定電力供應商必須逐步增加其再生能源發電量佔比，否則須購買足夠數量的再生能源義務憑證(Renewable Obligation Certificates, ROCs)，直到滿足法律所要求的比例。並且，為促進新興能源技術發展，英國 RO 制度會針對較不成熟的科技發放較多單位的再生能源憑證，以提供新技術開發者較高的投資誘因。2017 年，再生能源義務憑證制度被差價合約躉購電價(Contract for Difference Feed in Tariff, CfD FiT)制度取代，浮動式離岸風電適用 RO 制度的寬限期到 2018 年 9 月 30 日結束。此外，歐盟的 NER300 和 NER400 亦有 21 億和 90 億歐

元的預算可供申請，除支持可以降低離岸風電成本之創新技術的開發與示範，也贊助示範風場的設立。

### (3) 法國

法國政府於 2014 年 12 月宣布投資浮動式離岸風場，以 ADEME 管理的未來投資計劃(PIA)提供 1.5 億歐元補助業者開發，針對 Groix、Gruissan、Faraman、Leucate 四個計畫(總裝置容量為 96 MW)，將直接補助投資額的三分之一，剩餘三分之二以優惠貸款的形式給予補貼。此外，對於每 MWh 之發電量將給予 150 至 275 歐元的躉購電價。法國政府預期這四個計畫可在 2020 年之前建置完成並進入運轉狀態。

### (4) 美國

美國能源部(DOE)已向美國兩個潛在的浮動式示範機組提供 400 萬美元的補助款，分別是採用 WindFloat 半潛式概念的 5 台 6 MW 風力機以及 DeepCWind 在緬因州的 2 台 6 MW 的 VoltumUS 概念示範機組。另外，Principle Power 最初本被分配到高達 4,700 萬美元用於俄勒岡州的建設計畫，但因其未能獲得購售電合約(PPA)，導致補助金被政府收回，並重新分配給 DeepCWind。

#### 2.1.3 商業化階段之產業化政策措施

當技術邁入可商業化的發展階段，預計浮動式離岸風電的成本已降到可與其他能源技術競爭的水準，開發者的投資風險將顯著降低，使得籌資可行性大幅提高。故政府宜採取的政策措施為建立穩健可行的收入支持機制，或促成廠商可取得較優惠的貸款條件。

英國在商業化階段主要採用二項政策措施，第一是由 Green Investment Bank (GIB)、European Fund for Strategic Investments (EFSI) 提供高達 400 億英鎊的擔保，促進浮動式風電開發計畫的融資。第二是用 CfD FiT 制度(取代退場的 RO 制度)使開發業者能有穩定收入，但又不至於過度補貼業者造成財政重擔。

在 CfD FiT 制度下，再生能源發電業者與國有的低碳合約公司(Low Carbon Contracts Company, LCCC)將簽訂長期契約，當再生能源發電業者在市場上的年平均售電價格低於長期合約設定的履約價(strike price)，LCCC 將向再生能源發電業者支付差額(年發電量乘以價差)；當年平均售電價格高於履約價，則反過來由發電業者支付差額給 LCCC。合約的履約價則由競標過程決定，發電業者須先提交報價，代表其願意接受的最低售電價格，報價越低者就越優先分配到 CfD 機制的預算，直到 LCCC 完

全用盡其年度預算為止。

因此，CfD FiT 制度的優點是可提供再生能源發電業者穩定的售電價格，並同時控制補貼支出的總金額，及利用競價機制確保補貼的技術具備相當的成本競爭力。但其缺點是，因為所有種類的再生能源都一同競標，導致較不成熟的技術由於不具成本競爭力，難以取得此制度的支持，造成發展較為艱困。

## 2.2 浮動式離岸風電商轉技術發展趨勢之分析

因浮動式風機仍為發展中逐漸成熟的科技，大部分國家尚在研發及示範風機階段，因此投入相關開發的資本有較高風險，致使市場上的投資意願較低，不易推動技術發展與形成產業。故如何扶植相關技術的發展，有賴於政府在各個技術發展階段推出合宜的政策措施，以提供技術發展的誘因，促使新興產業加速形成。在技術發展的早期階段，浮動式風機計畫必然需耗費相當高的成本，也伴隨高度風險，因此政府宜祭出補助金及收益支持政策，以減低企業投資的風險，加速技術開發與市場發展。待技術成熟之後，為避免扭曲市場機制及付出過多補貼，政府宜減少扶植力度，僅需確保企業能順利取得貸款，便足以促成大規模計畫之開發。本節以下將浮動式風機技術的發展分為「示範前研發(Pre-demonstration R&D)」、「全尺寸原型示範風機(Full-scale prototype demonstration)」、「商業化前示範風場(Pilot/pre-commercial array)」、「商業化(Commercial Projects)」四個階段，分別羅列各國在各階段採取的政策措施，並作出初步評析。

此外根據 Quest Floating Wind Energy 統計，截至 2019 年 11 月全球浮動式離岸風場包括已運營、正在開發、計畫開發、以及可能開發的專案中，包括的浮動式技術分為五類，共計 2,097 部，其中半潛式浮動平台(Semi-submersible)共計 1,213 部、深水浮筒式平台(Spar-buoy)共計 613 部、駁船式浮動平台(Barge)共計 186 部、半潛單柱式平台(Semi-spar)共計 82 部、張力腿式(TLP)共計 3 部(如圖 2 所示)。數據顯示，半潛式浮動平台(Semi-submersible)為全球較多採用的技術發展方向。

由於半潛式浮動平台裝置對水深要求較彈性，淺水或深水區皆可，重要運維作業可在岸陸域進行，唯平台結構複雜，具較多連接件，需配置動態穩定性系統及主動壓載系統。葡萄牙北部海域 Windfloat Atlantic 和英國蘇格蘭 Kincardine 風場為著名實績案例，兩個項目所採用的基座設計為 Principle Power 公司所開發的 Windfloat 技術，前者已佈建 3 台 Vestas 的 8 MW 風機，後者將佈建完成 5 台 Vestas 的 V164-9.525 MW 風機，為全球第一個風機超過 9 MW 的浮動式風電專案，兩個風場項目所採用的技術相較成熟。深水浮筒式平台結構簡單，較少複雜零件，平台穩定性高，不需要額外的

動態穩定系統，唯結構吃水範圍大，不易在岸上進行組裝和維修，對比其他的概念需要一定的水深(>100 公尺)。英國蘇格蘭北海的 Hywind Scotland 為目前世上唯一在該技術類型已有商業化運行項目，其採用 5 台 6 MW 的 Siemens 風力機，容量因數達到 65%，深水浮筒式平台規格長 91 公尺，直徑 882 公尺，重達 3,450 噸。

駁船式浮動平台有採用阻尼池(Damping Pool)，以創新混凝土和施工方法建置而成，例如：法國 FLOATGEN 由 4 家產業與 3 家學術單位共同參與完成，並已於 2018 年商轉；近期亦有採用的新技術為旋轉雙體船(SATH)，即利用 2 個混凝土船體組成類似雙體船的結構，並通過轉軸和單一錨泊連接點連接，船體及風機本身將繞著該點轉動。採用單點錨鏈連接點，可先在港口建造低吃水平台，縮短安裝時間、成本和風險，如風機需要大修，可較為方便的與連接點斷開，拖回港口維修。目前有西班牙工程顧問公司 Saitec Offshore 獲得由歐盟執委會提供的近 200 萬歐元，用於建造創新混凝土浮動風機設計的縮小模型(1:6 SATH, Swinging Around Twin Hull)，展開研發測試及示範。半潛單柱式平台之結構則由三個提供浮力及穩定性的外側圓筒和一個與塔筒連接的中央圓筒組成，該技術結合了半潛式在基礎施工、運輸及安裝階段和單柱式在運行階段的各別優勢，結構底部底板和靜態壓載艙用於降低重心，確保安裝階段穩定性，和 Windfloat 一樣採用主動壓載系統。國際上有幾個採取該技術的專案，像是位於西班牙加納利群島的 Flocan 5 Canary、美國的 Magellan CIP、南韓的 White Heron 等(如表 1 所示)，皆在規劃中並將於 2026 年前商業化運轉。

張力腿式平台結構較輕、較少移動零件、易於檢測，獨特的張力錨鏈佈置使平台穩定性高且不需要動態穩定系統，可在陸域進行簡易運維作業，唯錨碇、維修及安裝過程相對複雜，錨鏈需承受較高負荷，易產生金屬疲勞。法國地中海海域 Provence Grand Large(PGL)計畫為全球唯一將採用該技術的浮動式風電項目，總裝置容量 24 MW，預定 2021 年商轉，將實現風機機艙晃動最小化。



圖 2 全球浮動式平台類型及各地區數量統計

表 1 全球具代表性之浮動式離岸風電專案參考

計畫名稱	狀態/ 運轉年度	國家	總裝置容量/ 部數	平台類型	投資金額 (百萬美元)
Hywind I (Demonstrator)	營運中/ 2009	挪威	2MW(1 部)	Spar	110
Hywind Scotland II (Commercial)	營運中/ 2017	英國	30MW(5 部)	Spar	185
Fukushima FORWARD Ph1 (Demonstrator)	營運中/ 2013	日本	2MW(1 部)	Semi-sub	175
Fukushima FORWARD Ph2 (Demonstrator)	營運中/ 2015	日本	5MW(1 部)	Spar	
Fukushima FORWARD Ph2 (Demonstrator)	營運中/ 2016	日本	7MW(1 部)	Semi-sub	
Kincardine Tranche 1 (Commercial)	營運中/ 2018	英國	2MW(1 部)	Semi-sub	TBD
Floatgen (Demonstrator)	營運中/ 2018	法國	2MW(1 部)	Barge	TBD
WindFloat Atlantic: Phase 2 (Pre-Commercial)	營運中/ 2019	葡萄牙	25MW(3 部)	Semi-sub	180
Provence Grand Large(Faraman) (Pre-Commercial)	開發中/ 2021	法國	24MW(3 部)	TLP	230
DemoSATH	開發中/ 2021	西班牙	2MW(1 部)	Barge	TBD

計畫名稱	狀態/ 運轉年度	國家	總裝置容量/ 部數	平台類型	投資金額 (百萬美元)
(Demonstrator)	2021				
EolMed(Gruissan) (Pre-Commercial)	開發中/ 2021	法國	24MW(4 部)	Barge	TBD
Hywind Tampen (Commercial)	開發中/ 2022	挪威	88MW (11 部)	Spar	550
Magellan CIP (Commercial)	規劃中/ 2023	美國	30MW(5 部)	Semi-spar	7,000
White Heron (Commercial)	規劃中/ 2026	南韓	200MW (25 部)	Semi-spar	TBD

註：TBD (To be determined)表示待決定。

### 三、加速浮動式離岸風電推動之討論

#### 3.1 實驗與示範階段作法之討論

當浮動式離岸風電仍在初步測試或示範階段，對於相關法令遵循議題，政府應盡可能將法令規範透明化，以利於開發商估計其所需投入的成本與時間，降低投資不確定性。另外，政府也可以依照測試或示範計畫的規模，調整相關許可或法令遵循項目的行政作業方式，降低廠商初期投入的難度，增加投資誘因，以下為二種不同的政策實施方向：

##### 3.1.1 提供無風險之示範風場場址

就開發商之立場，如果政府能提供一個核可的場址，而沒有任何法令遵循問題帶來的不確定性，那開發商便有極高的投資誘因，因開發風險很大程度上皆轉嫁至政府負責。是故，如果政府可劃定一塊海域，親自包辦場址評估、申辦各項行政許可、完成併網工程，便可讓開發商無後顧之憂地投入開發資本。然而，如此作法有賴政府精心設計出整套方案，需要具備對浮動式平台技術的充分知識，也要耗費高額的規劃與行政成本，才可能執行。因此這樣的作法較適合該國開發商難以籌資的情況。

##### 3.1.2 增加場址申設條件的彈性與透明度

在政府無法或不宜替開發商包辦場址申設的各項行政程序的狀況下，政府仍可從鬆綁場址申設條件或增加行政流程的透明度著手，增加開發商的投資誘因，具體方式有四點。第一，允許開發商在不會對環境造成劇烈影響的前提下，可自由選取其所要採用的發電技術和機組型式，如此可讓開發商有更大彈性採用可降低成本的創新技術。

例如，可允許現有的固定式離岸風場增設浮動式機組。第二，允許開發商在其申設場址可以擴大風機數量，讓單一示範風機可以擴建為小規模示範風場，示範風場則可擴大為商業化的大規模風場，增加開發商申設場址的意願。第三，採用風險基礎方法(Risk Based Approach)核發開發許可，此方法即根據開發計畫的規模、科技的風險與場址的敏感性綜合評估是否核發許可。在技術研發初期，因開發規模很小，只要科技本身的風險不大，場址的生態環境不算太脆弱，允許開發的副作用並不大，政府若欲促進新興技術發展，應盡可能鬆綁不必要許可標準。最後，各種行政許可的條件與流程應盡可能簡化與透明化，使開發商能減少行政流程所帶來的不確定性，明確預期時程進度，此點不僅可降低企業的法令遵循成本，亦有助於取得融資，從而提高市場對浮動式離岸風場的投資誘因。

## 3.2 商業化階段作法之討論

對於更大規模的商業性離岸風場，上述法規制度的設計建議依然適用，不過在租賃海床方面，政府宜依照市場成熟度進行調整。當市場還不成熟時，政府宜歡迎各種開發者的提案，讓其盡可能自由試點。而當市場漸趨成熟，政府可對海床執行大規模策略性環境影響評估，並規劃各潛在場址的裝置容量，以利於投資者大舉申請開發。

## 四、結論與建議

按過去推動離岸風力技術發展至風場開發實際應用經驗，新技術的落實需花費約十年以上的時間。離岸風機單機容量發展持續大型化，全球離岸風場開發預計採用的風機單機容量已達 9-12 MW。隨著風機大型化，固定式基座成本及施工難度將大幅增加，浮動式基座在技術成熟後有機會提供較低成本開發方式，為目前離岸風場開發商考慮採行的技術方案之一，而這樣的趨勢也替離岸風電產業帶來新的機會與挑戰。採取浮動式設計，錨碇系統及電纜系統將扮演相當重要的角色，至於浮動式平台，我國採用何種形式的平台，將取決於區塊開發水深、組裝浮台的場地或船塢大小、區塊開發國產化技術暨產業政策推動的力度等因素。

國際上浮動式風力發電的技術進步，多以透過模型試驗場域，進行斷纜及錨碇沉陷分析研究、繫纜疲勞分析、浮台數值分析、風機尾流模擬與控制、浮台設計、電纜動態模擬的研發等逐步推進，並將技術從實驗室階段過渡到全尺度及商業化場域。台灣海峽彰化以北之外海，仍有許多水深較深海域且風況相當良好之場址，若國內能優先建立浮動式離岸風力發電研究能量和技術，隨技術成熟和成本下降，未來將可國際接軌、爭取浮動式離岸風力發電商機。

我國現行離岸風電遴選機制主要考量開發商的「技術能力」(建造能力、工程設計、

運轉與維護規劃)和「財務能力」(財務健全性、國內金融機構關聯性)，而開發商的兩大產業與環境關聯方案，包括「產業關聯執行方案」和「生態環境融合及企業社會責任項目」。國內現行已有固定式離岸風電的遴選機制經驗，故建議應借鏡過去的經驗進一步審視調整符合浮動式風電區塊開發國產化的意義和作法，除了顧及本土零組件產業，浮動式風電本土產業技術能力以及整體離岸風電的發展環境，應提前部署在先期去做研發能量的累積與建立，以銜接 2026 年後的區塊開發推動，如此在產業發展的技術推動與投資成本上，將會有莫大幫助。

## 謝 誌

感謝科技部 109 年度產學合作計畫“抗颱風型浮動風機關鍵技術開發與實海域驗證(2/2)”MOST 109-3116-F-006-013-CC1 計畫與合作企業廠商宏華營造股份有限公司研究經費之挹助及支持，使本文得以順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

- [1] Hillegeist, P. and Rijkers, E. (2019), 2020 Global Floating Wind Energy Market and Forecast Report 2019-2034, Quest Floating Wind Energy, Texas, USA, pp. 32-39.
- [2] IRENA (2019), Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, pp. 57-59.
- [3] Musial, W. Beiter, P. Spitsen, P., Nunemaker, J. and Gevorgian, V. (2018), 2018 Offshore Wind Technologies Market Report, U.S. Department of Energy, Washington, USA, pp. 12-13.
- [4] ORE Catapult (2018), Macroeconomic benefits of offshore wind in the UK, Offshore Renewable Energy, Glasgow, UK, pp. 18-24.
- [5] WindEurope (2017), Floating Offshore Wind Vision Statement, Wind Europe, Brussels, Belgium, pp. 5-7.