

出國報告（出國類別：考察、實習）

丹麥離岸風電產業鏈及挪威浮動式風場考察 (含丹麥、挪威浮動式離岸風場規劃研習)

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：徐造華 副總經理

蔡英聖 再生能源處處長

張瑋麟 儀電工程師

派赴國家/地區：丹麥、挪威

出國期間：112年02月24日至112年03月05日

報告日期：112年04月17日

摘要

我國離岸風電 3 階段推動政策下，已邁入第 3 階段區塊開發，在離岸風電開發上台電未曾缺席，從示範階段的 109MW 風場(離岸一期)建置，在 110 年起陸續併聯，並持續商轉發電，到潛力場址階段取得 300MW 風場開發(離岸二期)，目前展開設備製造及陸域設施施工。接下來的區塊開發階段，台電不斷檢討精進，以最適合台電參與的方式持續投入；區塊開發階段的同時，政府已著手規劃台灣深水區、遠海區推動浮動式風電的可能性，並提出浮動式離岸風電示範規劃草案，台電為能多加了解及掌握浮動式風機之發展狀況，規劃本次出國計畫，透過交流歐洲離岸風電以及浮動式離岸風電發展和未來趨勢等議題，及赴研究測試中心、風機機艙製造工廠及浮動式離岸風電示範計畫現址參訪，從產業鏈中不同的角度瞭解更多的想法與資訊，做為後續可能評估及參與浮動式風機開發的參考基礎。

本次拜訪單位分別在離岸風電產業鏈中扮演不同的角色，包含準則制定、驗證服務及能源顧問服務的國際機構—DNV、浮動式離岸風電驗證及風機機艙驗證的研究測試中心—MET Centre、LORC、風機設計與製造的風機系統商—Vestas 以及浮動式離岸風電所需的浮台設計公司—Stiesdal 等，藉由面對面交流和分享，台電從各方專家所提出的見解中汲取了離岸風電規劃、開發經驗，並看到專家們對於未來離岸風電的展望，這些寶貴的經驗分享都成為未來台電在離岸風電開發、規劃評估上的重要資訊。

目錄

一、	緣起及目的	1
(一)	緣起	1
(二)	目的	3
二、	過程	4
(一)	行程紀要	4
(二)	工作內容	5
1.	Det Norske Veritas, DNV	5
2.	Marine Energy Test Centre, MET Centre	8
3.	Lindø Offshore Renewables Center, LORC	11
4.	Vestas Wind Systems A/S	13
5.	Stiesdal A/S	15
三、	討論議題	18
(一)	浮動式離岸風電	18
(二)	海域空間規劃	24
(三)	整合應用、能源島	26
四、	心得及建議	28
	參考文獻	30

圖目錄

圖 1 與 DNV 團隊合影.....	6
圖 2 與 DNV 哥本哈根辦公室交流會議.....	7
圖 3 於 MET Centre 交流會議.....	9
圖 4 TetraSpar Demonstrator.....	10
圖 5 Hywind Demo/Unitech Zephyros.....	10
圖 6 於 LORC 交流會議.....	12
圖 7 機艙測試平台模型.....	12
圖 8 離岸風機系統商市場占比(2021 年營運中風機).....	13
圖 9 離岸風機系統商市場占比(2021 年已公布計畫).....	13
圖 10 Vestas 機艙工廠(Lindø)合影.....	14
圖 11 與 Vestas 交流會議.....	14
圖 12 與 Stiesdal 交流會議.....	16
圖 13 TetraSub 模型.....	16
圖 14 2020 年與 2050 年風力發電開發成本變化.....	19
圖 15 Flex2power S1 示意圖.....	26
圖 16 Deep Purple™ Pilot 示意圖.....	26

一、緣起及目的

(一) 緣起

我國最早的離岸風電法令可追溯至西元(下同)2007年「第一階段設置離岸式風力發電廠方案」及同年修正「電業登記規則」，掀開離岸風電開發的扉頁，2009年公布之「再生能源發展條例」即定義了離岸風電設置範圍，惟當時國內尚無相關海事工程經驗，開發上面臨較高的投資及技術風險，考量到生態環保議題及相關配套法規不明確的情況下，在「第一階段設置離岸式風力發電廠方案」登記備案受理期間，未有開發商提出申請，致使離岸風電於該段期間尚無實質進展。

我國為能順利推動離岸風電，2010年經濟部、行政院先後召開會議，會議決議以離岸風電由示範計畫做起，並於2012年公布「離岸風力發電示範獎勵辦法」，透過經費補助鼓勵開發商設置示範風場，並於2013年公布評選結果，係為我國離岸風電開發重要里程碑，2013年後開發商分別於苗栗、彰化地區設立3座海氣象觀測塔，其中2座示範風場也分別於2019年、2021年併聯商轉。

開發商投入示範風場開發後，經濟部於2015年公布之「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」及36處潛力場址，鼓勵開發商提早辦理風場開發作業，2017年行政院核定《風力發電4年推動計畫》，確立我國「先淺海、後深海」開發模式，及「先示範獎勵、次潛力場址、後區塊開發」3階段推動策略，明確規劃我國離岸風電發展藍圖，2018年公告之「離岸風力發電規劃場址容量分配作業要點」，揭露潛力場址係採「先遴選、後競價」原則進行容量分配，遴選結果共計有7家開發商、10件開發案取得容量分配，依併網年度不同，各開發商將肩負不同程度的產業關聯任務，扶植國內離岸風電供應鏈；競價結果則有2家開發商、4件開發案取得容量分配，得標價格約為2.2~2.5元/度，預計2025年開發容量可達到5.5GW。

為能延續示範獎勵、潛力場址階段開發量能，經濟部於2021年先後公布「離岸風力發電區塊開發場址規劃申請作業要點」及「離岸風力發電區塊開發場址容量分配作業要點」，將再分配15GW開發容量於2026年至2035年併網，市場上超過15家開發商、45件開發案投入競爭，111年底經濟部也公布了區塊開發第1階段第1期選商容量分配結果，共計有6個開發商、7件開發案取得容量分配，將於2026、2027年併網。

除前述3階段推動策略外，因應國際上離岸風電逐漸邁入深海區進行開發，有越來越多的浮動式離岸風電計畫，我國在推動區塊開發的同時，行政院、經濟部亦於2022、2023年召開浮動式離岸風電示範規劃的討論

會議，希冀在浮動式離岸風電示範風場推動下，建立我國浮動式離岸風電的成功典範；且「再生能源發展條例」修正草案預計將刪除離岸風電的領海限制，這也顯示我國持續與國際接軌，離岸風電朝向深海區、遠海區進行開發。

台電為能配合再生能源政策推動，早於 2004 年即委託工研院辦理「台灣西部海域離岸式風力發電廠址初步評選研究」，基於前案研究結果，2006 年到 2009 年再行辦理「彰化離岸風力發電計畫可行性研究」，惟當時存在配套法規尚不明確、無海上測風塔收集現地資料、躉購費率尚未訂定等諸多因素，無論從技術面、財務面或社會面進行考量，皆存有開發風險，是故台電當時未能於「第一階段設置離岸式風力發電廠方案」受理期間投入離岸風電開發。

在「離岸風力發電示範獎勵辦法」公布後，台電延續過往研究結果，持續針對彰化地區離岸風電開發可行性進行研究，基於配合政策且財務分析尚可情況下，台電啟動了示範風場開發，先於 2007 年在彰化外海設置海氣象觀測塔，台電離岸一期風場(TPC Offshore Wind Generation Project Phase I/ Changhua Demonstration)再於 2021 年完成併聯商轉；因應再生能源極大化政策及能源轉型，台電持續參與離岸風電開發，2018 年潛力場址遴選結果中，台電以彰化外海第 26 號場址取得 300MW 分配容量，預計於 2025 年併聯商轉，並持續投入後離岸風電區塊開發。

(二) 目的

過往研究調查和離岸風場設計、施工及營運經驗，使台電也更加了解固定式離岸風場的開發風險，在區塊開發的市場競爭下，台灣離岸風電開發也將面臨可開發風場水深較深的議題，除了固定式水下基礎外，浮動式水下基礎(下稱「浮台」)也會是未來的開發選項之一，政府提出了浮動式離岸風電示範規劃(草案)的當下，台電為能了解浮動式離岸風電的技術發展及未來趨勢，故推動本次出國計畫。

從近年來國際上推動浮動式離岸風電中，可以發現到雖然已經開始有以風場的形式進行開發，惟具規模的開發計畫較少(摘要如下)，故本次安排拜訪國際驗證機構、研究中心、風機系統商、浮台設計公司，從不同角度了解浮動式離岸風電技術發展，且於交流過程中，交換我國與歐洲發展現況，並赴研究中心測試場域參訪浮動式風機，透過面對面交流汲取歐洲的市場經驗，做為未來區塊開發或浮動式離岸風電開發規劃的決策參考。

離岸風場	位址	開發規模	浮台型式	完工併聯
Hywind Scotland	英國	5×6MW	浮筒式	2017年
WindFloat Atlantic	葡萄牙	3×8.4MW	半潛式	2019年
Kincardine	英國	5×9.5MW+1×2MW	半潛式	2021年
Hywind Tampen	挪威	88MW	浮筒式	2023年(預計)
Provence Grand Large	法國	3×8.4MW	張力腿式	2023年(預計)

二、過程

(一) 行程紀要

本次出國行程自 02 月 24 日至 03 月 05 日，分別拜訪 DNV 丹麥辦公室、丹麥離岸再生能源中心(Lindø Offshore Renewables Center, LORC)、Vestas 機艙工廠、浮台設計公司(Stiesdal)、DNV 全球總部、挪威海洋能源測試中心(MET Centre)，包含國際驗證機構、研究中心、風機系統商及浮台設計公司等，透過與離岸風電產業鏈進行交流，針對浮動式離岸風電發展經驗及離岸風電發展概況等議題進行討論，以及實際參訪機構設施、製造工廠和測試場域，行程摘要如下：

日期	行程
02/24	• 台北前往哥本哈根(København)
02/25	
02/26	• 拜訪 DNV(Danmark)辦公室，針對歐洲離岸風電及浮動式離岸風電驗證進行交流
02/27	• 參訪 Lindø Offshore Renewables Center(LORC) • 參訪 Vestas Lindø Nacelle Factory，並針對浮動式離岸風電議題行交流
02/28	• 拜訪 Stiesdal 辦公室，針對浮動式離岸風電浮台議題進行交流 • 哥本哈根(København)前往奧斯陸(Oslo)
03/01	• 前往 DNV(Headquarters)全球總部，拜會全球總裁及能源部門 CEO
03/02	• 拜訪 DNV 團隊，針對浮動式離岸風電、藍色經濟議題進行交流，並參訪實驗室 • 奧斯陸(Oslo)前往海于格松(Haugesund)
03/03	• 拜訪 MET Centre，針對浮動式離岸風電議題行交流 • 參訪 Offshore Test Site • 海于格松(Haugesund)返回奧斯陸(Oslo)
03/04	• 奧斯陸(Oslo)返回台北
03/05	

(二) 工作內容

將分別按拜訪單位說明本次出國計畫交流工作，本次出國計畫中具關聯性的討論議題將另於下一章節說明。

1. Det Norske Veritas, DNV

DNV 自 1864 年成立迄今，係為風險管理及認證的非營利組織，並以保護生命、財產及環境安全為宗旨，早期以船舶規範及船級業務為主，逐步擴展油氣、再生能源、認證服務等業務，2013 年與德國勞氏船級社(Germanischer Lloyd, GL)合併後成為全球最大船舶及海事工程之船級社，亦為全球 3 大管理系統認證機構之一；現階段共有 6 大業務領域，分別為海事(Maritime)、能源系統(Energy Systems)、數位服務(Digital Solutions)、國際認證(Business Assurance)、供應鏈及產品認證(Supply Chain & Product Assurance)及加速器(Accelerator)。

在全球可預見的能源結構改變下，DNV 於 2021 年，整合油氣、再生能源及電力資源成立能源系統，以因應新興能源的發展，並有 4000 名專業顧問，可提供風能、太陽能、儲能、氫能及脫碳等技術服務及風險管控，協助各國及產業達成全球能源轉型的發展目標。

- 全球總部(Headquarters)：
- 與會人員：

單位	人員
DNV	Remi Eriksen (Group President and CEO)、 Ditlev Engel (CEO of Energy Systems)、 Magnus Ebbesen (Floating Wind Segment Lead)、 Kristin Nergaard Berg (Senior Principal Consultant)、 Bente Pretlove (Programme Director)、 Gustav Heiberg (Head of Section - Structural Integrity Advisory)、 張仁榮 (台灣分公司總經理)、 張明輝 (亞太區離岸風電負責人)、 童琮志 (台灣風能及太陽能團隊負責人)
台電	徐造華 (策略行政副總經理)、 蔡英聖 (再生能源處處長)、 張瑋麟 (儀電工程師)

- 交流摘要：

本次赴 DNV 全球總部拜會其集團總裁 **Remi Eriksen** 及能源系統執行長 **Ditlev Engel**，感謝 DNV 在對台灣及台電在離岸風電推動上的諸多協助，並與浮動式離岸風電、藍色經濟團隊交流討論。



圖 1 與 DNV 團隊合影

DNV 持續對離岸風電相關的新技術投入研究，也與產業界有緊密的合作，本次拜訪 DNV 團隊也分享了 3 個準備開始的產業合作計畫 (Joint Industry Project, JIP)，分別為混凝土水下結構、海纜和錨繫系統及浮動式海上變電站，此類的合作計畫都是以合理安全範圍內避免過度設計進行研究，並以訂定新的規範、準則或指引為目標，產業界可透過參與 JIP 的研究過程中，提出不同面向、不同需求的討論，很值得台灣產業界的參與，從全球性研究中找到台灣的立足點。

DNV 在全球設有多個實驗室，與傳統業界實驗室有所不同，DNV 與產業界有著密切合作，針對產業界當下遇到的課題進行突破，因此，實驗室的測試環境也配合研究課題不同、設備使用環境不同，進行客製化實驗條件，DNV 也分享了全球總部實驗室針對錨繫系統的壽命延長、灌漿材質和程序分析及疲勞破壞等不同的實驗空間及設備。

- 丹麥辦公室(Danmark Office)：
- 與會人員：

單位	人員
DNV	Kim SANDGAARD-MORK (Executive Senior Vice President, Renewables Certification) 、 Per Enggaard HAAHR (Regional Manager APAC, Renewables Certification) 、 Peter C. BRUN (Offshore Wind Segment Lead) 、 張明輝 (亞太區離岸風電負責人)、 童琮志 (台灣風能及太陽能團隊負責人)
台電	徐造華 (策略行政副總經理)、 蔡英聖 (再生能源處處長)、 張瑋麟 (儀電工程師)

- 交流摘要：

DNV 再生能源驗證業務是能源系統下組織比較小的部門，全球大約有 250 位專責同仁及 100 位支援同仁，主要辦公室位於哥本哈根及漢堡，目前 DNV 與驗船中心(CR Classification Society)也有合作，協助 CR 掌握專案驗證的流程，兩邊的切入角度不盡相同，DNV 主要以風險管控及國際規範進行專案驗證，CR 則是未來可以朝向政府的立場或是在地規範來進行審視。



圖 2 與 DNV 哥本哈根辦公室交流會議

以風險管控進行型式認證(Type Certification, TC)和專案驗證(Project Certification)所累積的經驗，讓 DNV 可以更全面的審視離岸風場開發計畫，在浮動式離岸風電這個新領域中，DNV 會針對新技術、新設計、零組件及原型機等不同發展階段做技術及品質驗證，目前 DNV 所參與超過 25 件以上的浮動式離岸風電計畫。

2. Marine Energy Test Centre, MET Centre

海洋能源測試中心(Met Centre)坐落於挪威第 14 大城市—海于格松(Haugesund)，該城市係為北海油氣產業的基地之一，具有完善的碼頭設施及相應海事工程產業；Met Centre 成立於 2009 年，其理念係提供新型海洋再生能源技術進行海域測試，Met Centre 具有開發特許權、基礎設施及 2 個測試場域，分別為深海測試區(水深超過 200 公尺)及淺水測試區(水深約為 20~40 公尺)，並可協助產業鏈媒合。

2009 年，挪威國家石油公司(Equinor)所推動的浮動式離岸風電計畫(Hywind Demo/Unitech Zefyros)在 Met Centre 設立了全球第 1 座浮動式離岸風機，後續也有 Google 在此進行了風箏能源系統(kite-energy system)的研究計畫(Makani)，2021 年，第 2 個浮動式離岸風電計畫(TetraSpar Demonstrator)也成功安裝併聯發電，未來也預計會有 6 個浮動式離岸風電計畫在 Met Centre 進行安裝。

- 與會人員：

單位	人員
MET Centre	Hanne Tvedt (Project Manger)
MRC	Alfred Risan (Business Development Manger)
DNV	Magnus Ebbesen (Floating Wind Segment Lead) 、 張仁榮 (台灣分公司總經理)、 張明輝 (亞太區離岸風電負責人)、 童琮志 (台灣風能及太陽能團隊負責人)
台電	徐造華 (策略行政副總經理)、 蔡英聖 (再生能源處處長)、 張瑋麟 (儀電工程師)

- 交流摘要：

本次與 Met Centre 交流先由台電首先分享台灣離岸風電政策、開發規模及浮動式離岸風電示範規劃(草案)，說明台灣規劃從固定式離岸風電邁入浮動式離岸風電，並簡要介紹台電，並針對台電離岸風電開發現況及離岸風電併網規劃進行說明。

MET Centre 亦邀請 MRC Global 一同參與本次交流，該公司為一間美國公司，在挪威離岸風電產業鏈中非屬一線供應鏈，但該公司將其油氣產業的經驗帶入再生能源產業，較偏向於系統整合的廠商，會依客戶需求尋找合適的供應鏈進行整合，目標市場包含了離岸風電、碳捕捉、離岸養殖魚場及氫能發電站；該公司已有參與數個離岸風電計畫，採用的水下基礎包含單樁(Monopile)和半潛式(Semi-Submersible)

浮台，充分應用美國與歐洲的供應鏈提供服務；此外，該公司亦有參與離岸養殖魚場的開發，其開發規模達到 500 萬尾鮭魚。



圖 3 於 MET Centre 交流會議

MET Centre 致力於推動全球領先的離岸風電供應鏈，推動離岸風電在地化(挪威)市場、技術創新及國外出口，也配合挪威政府 2040 年 30GW 的離岸風電目標，MET Centre 提供了機會讓在地化廠商接觸開發商，每年於 Haugesund 舉辦浮動式離岸風電研討會。

MET Centre 最早的浮動式離岸風機計畫即為 2009 年的 Hywind demo/Unitech Zefyros，當時設置了 15MW 容量的海底電纜，期待可以提供機會給不同專案進行測試，但直至 2019 年才有第 2 個浮動式離岸風機計畫 TetraSpar Demonstrator，目前可以同時提供 6 個不同專案進行測試，MET Centre 亦有參與其他離岸風電計畫，包含混合式的離岸發電系統(Flex2power)，或是垂直式離岸風機(SEATWIRL)等；Met Centre 也希望將挪威的開發經驗帶到亞洲，也與日本和南韓有所聯繫。

此外，MET Centre 也有其他技術、研究和開發計畫，如下所示：

→ 鳥類監測：

與挪威公司 Spoor 在 TetraSpar Demonstrator 安裝後 1 個月開始做進行鳥類監測及辨識研究，累積 21,000 次監測次數，未有鳥擊事件發生；

→ 現場監控系統(Surveillance and Asset Protect)：

監控船舶進出減低對漁民活動的影響；

→ 數位孿生(Digital Twin of METCentre)：

於開發計畫安裝前，可針對 MET Centre 的場址條件進行模擬，系統安裝完成後再行比對驗證；

→ 港口擴建：

充分利用既有設施，提供浮動式風機進行安裝，目前已取得政府支持，如果資金到位的話，預計可於 2024 年完成。

會議交流後，赴 MET Centre 深海測試區參訪浮動式離岸風機，2 個示範計畫概況如下：

→ TetraSpar Demonstrator：

已於 2021 年開始運轉，採用 TetraSpar 浮台，該浮台高度約為 30 公尺，工作平台高度約為 16 公尺，浮台系統水下深度約為 66 公尺(含浮台水下部分、Keel 及懸垂系統)，搭配西門子 SWT-3.6-120 風機，該風機具備齒輪箱，其額定容量 3.6MW，啟動風速(Cut-in)為 3~5m/s、截止風速(Cut-out)為 25m/s；

→ Hywind Demo/Unitech Zephyros：

已於 2009 年開始運轉，採用浮筒式(Spar)浮台，工作平台高度約為 17 公尺，浮台水下深度約為 100 公尺，搭配西門子 SWT-2.3-82 風機，該風機具備齒輪箱，其額定容量 2.3MW，啟動風速(Cut-in)為 3~5m/s、截止風速(Cut-out)為 25m/s。



圖 4 TetraSpar Demonstrator



圖 5 Hywind Demo/Unitech Zephyros

3. Lindø Offshore Renewables Center, LORC

Lindø 離岸再生能源中心 (Lindø Offshore Renewables Center, LORC) 係由多家投入離岸再生能源參與者於 2009 年共同成立，為一個非營利商業基金會，以促進離岸再生能源創新發展和降低能源均化成本 (Levelized cost of electricity, LCOE) 為目標，提供結構、零組件測試及風機發電機的整機測試。

- 與會人員：

單位	人員
LORC	Torben Lorentzen (CEO)
VESTAS	Elena Farnè (Head of Global Deal Support)、 Pablo Necochea (Lead Advisor Floating)、 張雅惇 (公共事務經理)
DNV	Peter C. BRUN (Offshore Wind Segment Lead)、 張明輝 (亞太區離岸風電負責人)、 童琮志 (台灣風能及太陽能團隊負責人)
台電	徐造華 (策略行政副總經理)、 蔡英聖 (再生能源處處長)、 張瑋麟 (儀電工程師)

- 交流摘要：

LORC 說明測試中心現階段以風電產業的測試驗證為主，並因應風機大型化來提升中心的設備性能，分別有 14MW、16MW 及 25MW 的機艙測試平台，目前已累積 172 個月的商業測試經驗，其中 25MW 的測試排程已經規劃到 2025 年的上半年，概要如下：

- 14MW 測試平台：

主要用於電氣系統的性能測試，針對功能、性能及是否符合國際規範及各地電網法規進行可變電壓 (Variable Voltage)、可變頻率 (Variable Frequency)、高壓穿越 (HVRT) 及低壓穿越 (LVRT) 等不同項目的測試，並可針對不同風速條件進行模擬測試；

- 16MW 測試平台：

主要用於機艙及傳動鏈之設計驗證及高加速壽命試驗 (Highly Accelerated Life-time Testing, HALT)，並可模擬在風力不平衡條件下機艙的受力或扭轉情況；

→ 25MW 測試平台：

於 2019 年設置完成，為全球最大機艙測試平台，主要用於機艙以及傳動鏈之設計驗證、高加速壽命試驗(HALT)及功能測試，其中非直驅式風機機艙高加速壽命試驗上限約為 16~17MW，直驅式風機機艙高加速壽命試驗上限約為 22~23MW。



圖 6 於 LORC 交流會議



圖 7 機艙測試平台模型

LORC 也具備了結構和元件測試設備，可針對現階段的離岸結構物進行機械測試，廠區內也可見到海上變電站下部結構、單樁式 (Monopile) 水下基礎等不同結構物等待測試；也考量離岸風場場址條件相對嚴苛，LORC 可針對不同元件進行極端氣候(溫度、濕度、鹽分及曝曬等)條件測試；中心也分享測試設備建置的資金來源，每套測試設備民間捐款的出資方不盡相同，但很大一部分仰賴政府的貸款，甚至政府貸款也接受有廠商付費測試時再還款的還款條件。

LORC 亦針對設備擴建分享 3 個具可行性的規劃，如下：

→ 儲能測試設備：

針對各國電網規範不同，在全球發展儲能的趨勢下，提供不同電網條件進行測試；

→ 下世代傳動鏈測試平台：

現階段可以看到 14、15MW 的風機，甚至 GE 也在近期宣布要將風機 Haliade-X 提升到 17~18MW，需要針對產業對於下世代風機規模設想下，規劃容量更大的測試平台；

→ 軸承測試設備：

風機大型化趨勢下，軸承損耗可能較過往更加劇烈，規劃相關測試設備進行軸承測試及驗證。

4. Vestas Wind Systems A/S

Vestas 歷史可追溯至 1898 年的鐵匠工坊，其前身 Vestjysk Stålteknik A/S(當時即簡稱 VESTAS)於 1945 年成立，主要生產家電、農業及工業機具，後續於 1970 年代進入風力發電產業，並於 1987 年成立了新公司 Vestas Wind Systems A/S；現階段已在全球安裝 164⁺GW 裝置容量，並提供 144⁺GW 的風機設備運轉維護服務，依據美國能源效率和再生能源辦公室報告指出，2021 年 Vestas 營運中的裝置容量約為 8GW，並自公布之離岸風電開發計畫中取得約 10GW 的訂單(Musial et al., 2022)。

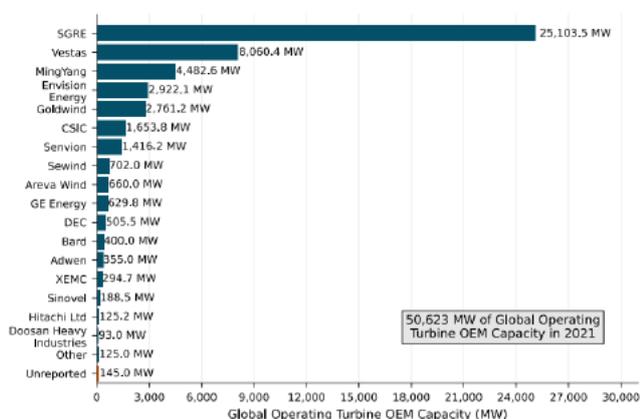


圖 8 離岸風機系統商市場占比(2021 年營運中風機) (Musial et al., 2022)

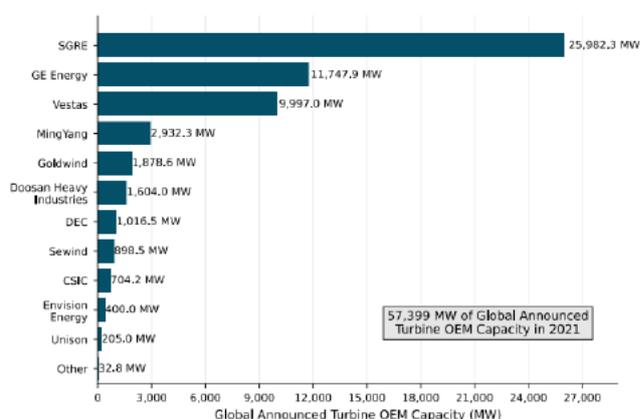


圖 9 離岸風機系統商市場占比(2021 年已公布計畫) (Musial et al., 2022)

- 與會人員：

單位	人員
VESTAS	Poul Clausen (Head of Operation)、 Elena Farnè (Head of Global Deal Support)、 Pablo Necochea (Lead Advisor Floating)、 張雅惇 (公共事務經理)
DNV	Peter C. BRUN (Offshore Wind Segment Lead)、 張明輝 (亞太區離岸風電負責人)、 童琮志 (台灣風能及太陽能團隊負責人)
台電	徐造華 (策略行政副總經理)、 蔡英聖 (再生能源處處長)、 張瑋麟 (儀電工程師)

- 交流摘要：

本次拜訪 Vestas 的 Lindø 機艙工廠，該機艙工廠係生產單機容量達 8MW 以上之風機機艙，無論是現階段 9.5MW 或是未來的 15MW 的風機機艙都會在此生產，廠區內組裝廠房約有 15,000 平方公尺及倉庫

25,000 平方公尺，並設教育訓練中心培訓原廠工程師，組裝廠房中有 9.5MW 風機機艙正在組裝，Vestas 說明約 2~3 周可以組裝完成 1 個機艙，並透過流水線作業模式，每周約可出貨 2~3 個機艙；同時 Vestas 將展開第 2 個 15MW 機艙組裝，廠區內採取開發式的組裝規劃，以優化機艙設計及工序。



圖 10 Vestas 機艙工廠(Lindø)合影

Vestas V236-15MW 已於 2022 年取得 5GW 的優先供應協議(Vestas, 2023)，其中包含浮動式離岸風電計畫，Vestas 也說明相關計畫最快將於 2026 年併網，考量全球市場及台灣浮動式離岸風電示範規劃(草案)，未來提供離岸風電市場之風機為 V236-15MW；同時，由於全球成功設置之浮動式離岸風電計畫中，皆未有整合大型風機與浮台的相關經驗，在沒有財務誘因下，開發商難以承擔風險，除了躉購機制(FIT)外，建議浮動式離岸風電也可以比照台灣示範獎勵階段的補貼政策，或是將浮動式離岸風電示範規劃與後續大型商業化離岸風場開發容量有所連結，在越明確的政策規定及較大的開發規模都可以有效提升市場能見度；另一方面，Vestas 也擔心離岸風電區塊開發及浮動式離岸風電示範規劃在碼頭使用上產生排擠效應，影響專案的開發期程。



圖 11 與 Vestas 交流會議

5. Stiesdal A/S

Henrik Stiesdal 係為風能產業的先驅者，也是現代主流風機形式的設計者之一，先後擔任不同風機系統商的重要職務，並參與全球第一個離岸風場(Vindeby)建置，其退休後於 2016 年創立 Stiesdal A/S(下稱「Stiesdal」)，專注於開發及商業化可減緩氣候變遷的關鍵技術，並針對不同課題設有 4 間子公司，分別為：

- Stiesdal Offshore A/S: Tetra 浮台開發、製造；
- Stiesdal Storage A/S: 電網級儲能技術(加熱/冷卻)；
- Stiesdal Hydrogen A/S: 電解製氫技術；
- Stiesdal SkyClean A/S: CO2 封存/捕捉技術。

Stiesdal 與殼牌(Shell)、東京電力(TEPCO)及萊茵能源(RWE)合作，2021 年於 MET Centre 安裝浮動式離岸風機(TetraSpar Demonstrator)，採用 TetraSpar 搭配西門子 SWT-3.6-120 風機。

- 與會人員：

單位	人員
Stiesdal	Jesper Moller (Head of Sales and Business Development)、 Oliver Terman Pedersen (Manager)
DNV	Peter C. BRUN (Offshore Wind Segment Lead)、 張明輝 (亞太區離岸風電負責人)、 童琮志 (台灣風能及太陽能團隊負責人)
台電	徐造華 (策略行政副總經理)、 蔡英聖 (再生能源處處長)、 張瑋麟 (儀電工程師)

- 交流摘要：

Stiesdal 說明該公司主要透過授權的方式提供浮台技術，包含設計、技術支援及協助選商等都是該公司服務的範疇，在浮動式離岸風電計畫開發前期提供部分細部設計；另一方面，該公司也說明不會提供元件製造、錨繫系統、組裝、開發、營運或 EPCI 等服務，但會將技術指引、運維計畫交由合適的廠商達到專業分工。

Stiesdal 在浮台設計上充分考量維護成本及維護風險，因此 Tetra 浮台整體設計上採用免維修的概念；浮台製造上並同樣以降低風險為出發點，由於風機塔筒製造屬於成熟製程，故浮台以風機塔筒為概念，

進行模組化設計及製造，進一步降低製造不確定性，且模組化元件不會有浮台組裝完成後尺寸過大的問題，可藉由陸上運輸將模組化元件運抵港口與風機一同進行組裝，再透過拖船(Tug)、駁船(Barge)至海上錨定安裝，在整體的規劃下，無須額外的風機安裝船(WTIV)，可降低海上施工風險及安裝時間。

另外，該公司充分了解浮台和風機控制系統的重要性，且風機商不具意願配合浮台設計調整風機控制系統，故為能減少與風機系統介面，在具有主動式平衡及被動式平衡的專利下，Tetra 浮台選用被動式平衡的設計。

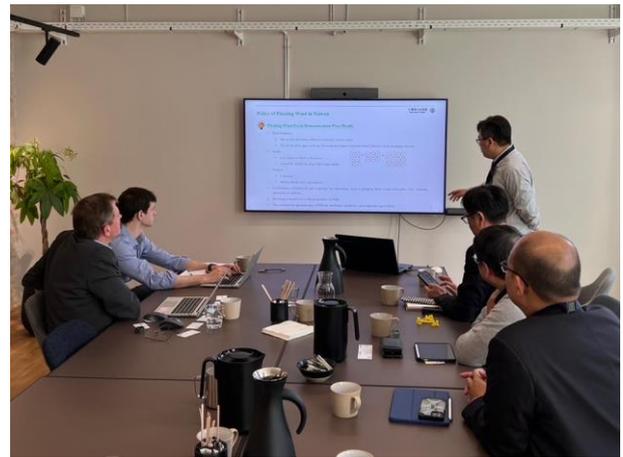


圖 12 與 Stiesdal 交流會議

Tetra 浮台有半潛式(Semi-Submersible)、張力腿式(Tension Leg Platform, TLP)及浮筒式(Spar)等不同設計概念，TetraSpar Demonstrator 即採用浮筒式(Spar)浮台；不過大部分專案選擇採用半潛式 TetraSub 的設計，主要考量係為了減低風浪對運輸造成的風險，其中前述的 3 種設計概念中，TetraSub 和 TetraSpar 目前已有相關的細部設計，僅 TetraTLP 尚處於設計概念階段，還未有進一步的細部設計結果。

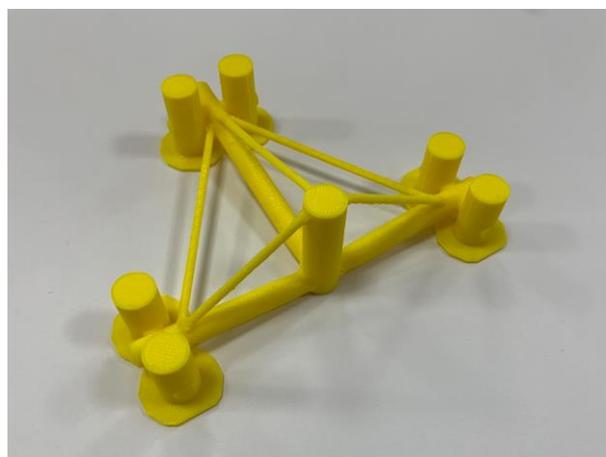


圖 13 TetraSub 模型

Stiesdal 也額外分享其電解製氫技術和碳捕捉/碳封存技術的發展進程，其中電解製氫技術與印度公司合作，設計上與 Tetra 浮台一樣，以達到工業化的目的為出發點，採用風機塔筒進行模組設計，並盡可能地使用風機電力設備，透過熟成的製程技術減少製造、組裝風險，現階段已展開 2+MW 等級的設備驗證，預計 1 年半後會有 6MW 等級的設計；而碳捕捉/碳封存技術則是已有 2MW 的實績，下一個發展目標設定為 20MW。

三、討論議題

(一)浮動式離岸風電

- 發展、趨勢：

2022 年烏俄戰爭爆發以來，國際能源價格高漲，更有石油公司因油氣增產，將放緩其碳排放量削減計畫，但長期而言，烏俄戰爭將不會影響全球能源轉型的發展；DNV 預估 2050 年再生能源將提供全球約 83% 電力需求(不含生產、運輸需求)，其中的 1/3 將來自於風力發電，而離岸風電大約占 25%，固定式離岸風電占比仍是高於浮動式離岸風電(DNV, 2022)。

DNV 和 Vestas 同樣認為浮動式離岸風電的興起，一部分來自於適合開發的淺水區域逐漸減少，另一部分則是因為位於深海區的國家也想參與離岸風電，甚至 Vestas 認為 80% 深海區域(水深大於 60 公尺)都具有發展浮動式離岸風電的潛力；開發容量(Gross Capacity)、風機間損失(WTG Interaction Loss)、風機可用率、基礎設施可用率及發電效率等條件影響著開發效益，且浮台的設計概念已有上百種，但絕大部分都未臻成熟，不若固定式水下基礎已經有公認的業界標準，這都會是浮動式離岸風電的開發風險，但整體而言，浮動式離岸風電仍然是利大於弊。

在全球離岸風電發展趨勢下，浮動式離岸風電會逐漸增加，韓國是亞洲地區發展浮動式離岸風電比較快的國家，不過 DNV 也認同台灣先從示範計畫啟動，再進入商業化案場開發的策略，因為現階段浮動式離岸風電開發風險及不確定仍然太高，必須要在前端規劃、設計上就考量設備選用及最佳利用率的營運策略，透過示範計畫先行的作法，可以透過風場現址驗證設計結果及初步效益，後續商業化浮動式離岸風場上可再進行調整，進而提出更加適合的風場規劃和設計。

以 Stiesdal 現階段提供浮動式離岸風電計畫的技術服務而言，雖然相關計畫的開發容量達到 21GW，但考量到場址重疊、開發可行性等因素，預估僅有 11GW 可以順利推動，就該公司的市場判斷而言，2030 年全球浮動式離岸風電裝置容量將不超過 20GW，10~15GW 會是一個比較務實的預估結果。

以 Vestas 的觀點而言，市場似乎對於成本評估過於樂觀，無論亞洲或歐洲，浮動式離岸風電仍在起步階段，尤其全球都沒有大型風機與浮台的整合經驗，更遑論浮台設計、錨繫系統及動態海纜等都有不同的風險存在，即便大型浮動式離岸風場可以創造經濟規模，但開發

成本仍然會伴隨著各種新興技術的風險增加而提高，以 Vestas 立場而言，上風式(Upwind)、3 葉片式、塔筒式會是最適合的風機型式，設計創意越少、越簡單越更能促使浮動式離岸風電開發計畫成功。

各方皆認同 2030 年會是一個比較好的時機，來檢視浮動式離岸風電技術提升及成本下降的狀況；在 DNV 的預估下，2050 年浮動式離岸風電開發規模可達 300GW，近 20,000 座浮動式離岸風機(DNV, 2022)，屆時開發成本會大幅下降，市場競爭也成為常態。

Drivers of change for the global average levelized cost of wind between 2020 and 2050

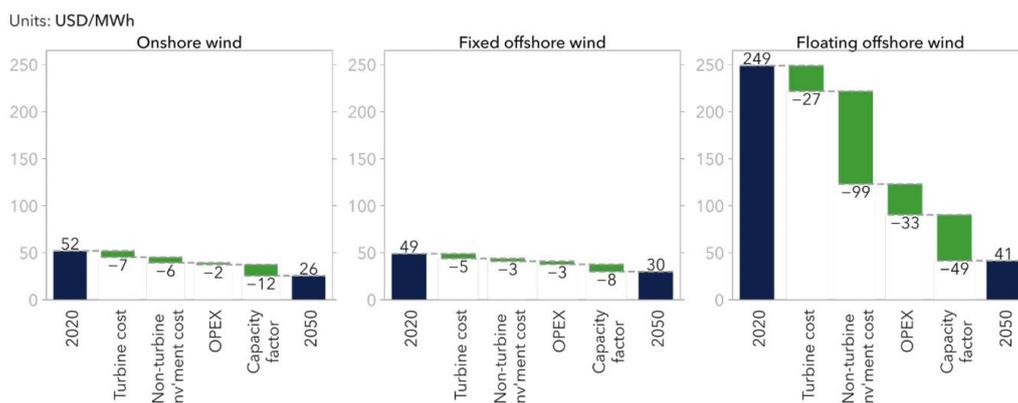


圖 14 2020 年與 2050 年風力發電開發成本變化(DNV, 2022)

此外，DNV 也針對全球 200 多位浮動式離岸風電專家進行訪談，有 80%的專家認為 2040 年就能夠達成 0 補貼的商業化浮動式離岸風場，甚至有 60%的專家認為可以提早到 2035 年(DNV, 2023b)。

- **規劃、風險：**

浮動式離岸風電的生命週期大致可分為前期開發(3~10年)、施工期為(2~3年)及營運期(20~35年)；Vestas認為浮動式離岸風電計畫與固定式離岸風電計畫相比有著非常大的差異，其中風機和浮台選商以及設計都需要比固定式離岸風電計畫提早6個月到1年，以保留足夠的時間讓風機系統商與浮台設計商/製造商進行溝通整合，Vestas認為從設計概念、迭代分析到最終設計大概需要2年的時間。

Stiesdal也認為浮台設計與風機系統商的磨合至關重要，這也是Tetra浮台採用被動式平衡的原因，減少了額外控制系統更能加速浮動式離岸風電計畫的開發速度，且該公司目前設計上係以15MW模擬機進行初步設計，與現在風機大型化的趨勢相符，後續基於客戶選用的風機不同及個案需求，再與風機系統商進行2~4次迭代計算來完成最終設計。

碼頭需求也會是在開發上需要考量的一環，Vestas認為會需視個案不同再行評估碼頭的使用規劃，以現階段台灣的浮動式離岸風電計畫而言，目前還沒有明確定案的設計，比較難在現在的時間點去評估碼頭的使用需求；不過拜訪Stiesdal時，該公司說明其所設計的Tetra浮台採無焊接組裝，對於港口腹地需求較小，其中TetraSub對於港口水深的要求不高，且沒有特殊的承載力需求，可以進一步探討此類型浮台對於台灣的適用性。

Vestas分享2021年設置完成的葡萄牙浮動式離岸風場(WindFloat 1)，該風場採用Vestas 2MW風機(V80)，搭配Principle Power所設計的半潛式(Semi-Submersible)浮台，5年運轉期間內，風機與浮台在低風浪的狀態下與實驗室數據差異不大，即便處於高風浪的狀態下，浮動式離岸風機仍然可以處於相對穩定的狀態，Vestas認為在整體的營運維護上，沒有想像中的困難。

蘇格蘭的浮動式離岸風場—Kincardine，採用Vestas 9.5MW(V164)和2MW(V80)風機，開發規模將近50MW，Vestas分享該計畫係於開放式港口進行風機組裝，開放式港口易受到高風浪氣候條件的影響，因此影響了風機安裝工作，這會是浮動式離岸風機預組裝上可能面臨的風險。

除了開發風險外，本次交流中也針對營運期間的風險進行討論，尤其Kincardine去(2022)年即遭遇到需要將浮動式離岸風機拖運回港口維修的狀況，在此種情況下，浮動式離岸風電的運維風險、成本也

隨之增加，DNV 以專案驗證的角度分享，浮動式離岸風電在設計階段就必須定義清楚故障維修的處理方式(現地維修/返港維修)，其中返港維修的成本高昂，目前歐洲也在討論重件設備現地維修的可行性和處理方式，且離岸風場除了設計、施工階段會進行專案驗證外，營運期間開發商也會視需求辦理專案驗證，獨立機構會進行文件審查及現場抽樣，從中檢視相關措施是否符合要求，來檢視離岸風場的營運狀況，下表為 DNV 評估，浮動式離岸風電營運期的潛在風險。

項目	說明
主要元件故障	每座風機生命週期約 1~2 次
動態海纜故障	2007~2018 年公開資訊，約 43 起海纜事故
錨繫系統故障	每座風機生命週期約 0.3~0.5 次

- 在地化：

全球離岸風電開發上，在地化議題都是敏感且重要的，整體發展上應該是一個漸進式的過程，普遍認為單一國家要達到 50%在地化是非常困難的挑戰，考量到原料及運輸成本，區域性供應鏈會是一個比較好的發展策略，透過區域性的市場競爭，達成技術品質的提升和降低開發成本。

Stiesdal 認為浮動式離岸風電成功的必要條件就是工業化，唯有降低成本，離岸風場開發才有可能成功，以英國為例，因為市場競爭、工業化、低鋼價、風機大型化、高容量因素等條件，促使英國離岸風電開發成本持續下降。

另一方面，Vestas 說明設備在地化勢必增加離岸風電的開發成本，在穩定的市場需求下，該公司也樂於投入台灣的在地化工作，但也希望可以有更彈性的執行模式，促使在地廠商可以完成了解製造流程，而非僅有衝高製造量，這也會是在地廠商從在地供應鏈走向區域供應鏈的關鍵。

供應鏈工業化、在地化外，開發規模增加就會伴隨著供應鏈的成長和擴大，原料供應就會逐漸成為新的問題，即便是歐洲地區本地原料供應，也難以滿足歐洲地區所有鋼鐵材質浮台的需求；以挪威而言，就會思考是混凝土水下結構的浮台型式，以降低鋼鐵進口需求，以合理的開發成本推動浮動式離岸風電。

- 小結：

在浮動式離岸風電開發風險或投資風險上，有幾個議題是比較受到關注的，包含技術標準化、明確且清楚的政策及政府補貼，不僅是浮台的技術標準化，錨繫系統、動態海纜、浮動式海上變電站都是需要達到技術標準化的一環，其中浮台牽涉最廣，相較於油氣產業，浮動式離岸風電的浮台數量更多、相互影響的程度、介面整合的複雜度也更高，且浮台同時需要與錨繫系統、動態海纜及風機進行整合，雖然現階段的浮動式離岸風電計畫單機容量都小於 10MW，尚未有單機容量 10MW 或是 15MW 的實績，開發商無法直接複製成功經驗，但是這些浮台設計的過程都有與風機系統商進行磨合，可提供未來開發單機容量更大的浮動式離岸風電計畫借鏡，對於時間風險會有相當大的助益。

政策及補貼機制也是相當重要的一環，明確的政策導向，有助於開發商和供應鏈了解這個產業的發展，各方也多次討論到政府政策對於浮動式離岸風電的開發進度影響程度很高；我國離岸風電 3 階段的開發政策受到相當的認同，當離岸風電邁向深水區，政策必須適度的因應，讓開發計畫可以有依循方向；補貼機制更是直接的誘因，在全球商業化浮動式離岸風電尚未成熟之際，良好的補貼機制，會讓開發商更有意願投資，因此，政策方向的前瞻性與補貼機制的誘因，都能促使我國發展浮動式離岸風電；在這次的拜訪過程中，也多次提及到挪威政府 2040 年 30GW 的離岸風電開發目標，以及今(2023)年預計招標的 1.5GW 浮動式離岸風電，這也呼應到明確的政策有助於離岸風電發展。

(二)海域空間規劃

離岸風電對於海域空間的需求持續擴張，影響著全球海域的空間利用，DNV 也持續對於海洋發展、藍色經濟(Blue Economy)進行探討，藍色經濟受到生產毛額(GDP)、海洋能源、海水淡化、漁權、海洋養殖、運輸、旅遊等不同面向的相互影響，最重要的切入角度就是：

→ 2050 年想像中的藍色經濟是什麼？

→ 2050 年藍色經濟需要什麼樣的空間條件？

移轉(Shift)、產業轉型(Industry Transitions)及空間競爭(Race to Space)是推動藍色經濟發展的關鍵要素，從石化產業轉向其他項目、從歐洲市場轉向亞洲市場，產業、區域性的移轉，都會是藍色經濟的一環，討論過程中也提及亞洲市場是現階段相對受矚目的投資地區。

因應氣候變遷，包含捕撈漁業、養殖漁業、離岸風電、海水淡化、船舶產業、運輸產業等涉及海洋領域的產業都會面臨轉型，除了轉型外，也同時面對產業間對於空間需求的競爭問題；因此，找出可以利用的空間就是一個關鍵課題，以北海為例，DNV 就有針對其空間競爭提出了 2050 年的預測(DNV, 2023a)。

海洋能源也屬藍色經濟的一環，不過考量到其他海洋能源仍然存在較大的開發風險，因此，DNV 在能源轉型上的預測並不會將該類海洋能源的新技術歸類其中，仍然是以相對穩定的離岸風電進行評估，討論過程中，也提到在台灣離岸風電與漁業競合是個敏感議題，離岸風電開發計畫確實影響了漁業活動，離岸風場出於安全考量，在日常維修或重件維修都會需要保持 250~500 公尺安全距離，但即便如此，固定式水下基礎有著類似人工魚礁的效果，某種程度上而言，是能促進海洋生態系的發展或復原，間接的影響漁業發展達成正向循環。

我國離岸風電推動過程中，也有著海域空間規劃上的積極作為，無論是潛力場址階段所公告的 36 處潛力場址，或是區塊開發階段所公告的「場址規劃之海域範圍敏感區域」，都逐步顯示台灣在海域空間上對於離岸風電的想像，但誠如前面所述，海域空間規劃上不單只有離岸風電，仍涉及漁權、養殖、運輸航道甚至國防等不同層面的議題，難以透過簡單的敏感區域進行排除，但有了區域劃分的概念和形式後，開發商確實可以減少很多場址選擇上的不確定性，台灣也持續推動「海域管理法(草案)」，也許未來台灣對於海洋空間規劃會有更清晰的討論。

從離岸風電與漁業競爭這件事情就可以看到不同產業都會競爭著同

樣的海域空間，在 DNV 的預測中，2050 年 368,000 平方公里的海域會用於能源及糧食的生產(DNV, 2021)，因此海域空間規劃(Marine Spatial Planning)就十分重要，尤其是海域空間使用、產業整合和共存(Coexistence)的議題，都是可以在各個計畫開發前期就先行討論。

2019 年即有學者針對海域空間共存提出了有四種不同程度的架構(Schupp et al., 2019)，從空間、時間及功能性作為區分，分別為：

- 多用途(Multipurpose)：同空間、同時間，且共用主要基礎設施；
- 共生(Symbiotic use)：同空間、同時間，且共用部分輔助設施或服務；
- 共同位址(Co-location)：同空間、同時間；
- 再利用(Repurposing)：同空間。

海域空間的共存上，可以有效的利用海域空間、減少開發面積，但除了從技術面可以提早討論進行規劃、設計外，仍然缺乏相關的配套法規，開發商會面臨到無法滿足各地、各區域的監管需求，從前面提到 4 種架構中可以發現到，除了再利用(Repurposing)可能僅會涉及 1 種用途外，其餘 3 種架構下，都可能涉及到不同的目的事業主管機關，這也是海域空間規劃在共存議題上面臨到的難題。

(三)整合應用、能源島

全球離岸風電發展趨勢下，歐洲也持續觀察離岸風電應用的可能性，包含單純發電、單純製氫或是混合式，目前對於最佳應用模式尚未有所定論，與其他能源整合的規劃也是選項之一，交流過程中，DNV 及 MET Centre 也分享了 2 個國際上所推動的示範計畫—Flex2power 及 Deep Purple™ Pilot，概要說明如下：

→ Flex2power：

浮台上整合風力發電(5MW)、波浪發電(6MW)及太陽光電(0.2MW)，預計 2024~2025 年進行安裝(Flex2power, 2023)。

→ Deep Purple™ Pilot：

透過多餘風力將水電解為氫氣和氧氣，氫氣將儲存於海底，有電力需求時，再透過將氫氣轉化為電能(TechnipFMC plc, 2023)。

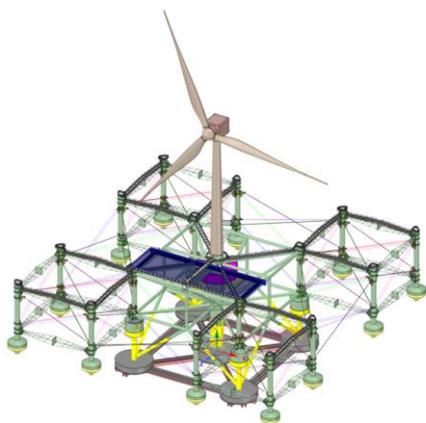


圖 15 Flex2power S1 示意圖

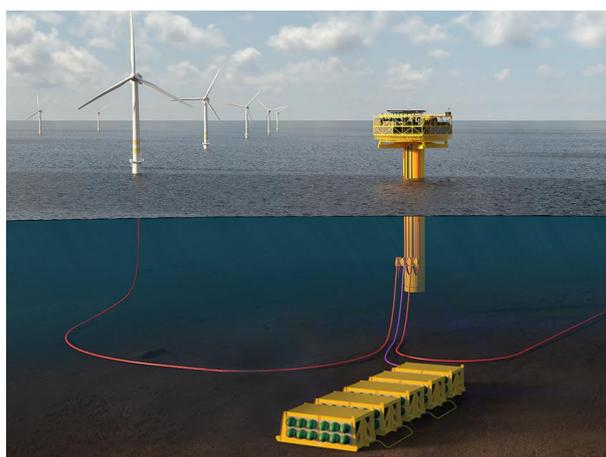


圖 16 Deep Purple™ Pilot 示意圖

除了前面提到整合不同能源的離岸計畫外，因應北海風況豐沛，離岸風電成本有機會下降，歐洲對於能源議題有更進一步的想法—能源島 (Energy Island)，在面臨人口密集且能源需求高的情況下，海域空間的利用就是另外一個目標，最初概念會是能源樞紐，透過再生能源的發展達到脫碳的目標，不過其他產業潔淨能源的需求也日益漸增，因此透過能源島製氫也變成新的選項。

丹麥政府預計於今(2023)年啟動能源島招標，2033 年可以完成第 1 期的建置工作，預估初始容量可達 3GW，2040 年的目標容量為 10GW，該能源島離岸距離約為 50~80 公里，2033 年會有第一期的能源島開始運作，可於能源島上製氫，在規劃上係考量包含丹麥在內整個歐洲的氫能需求，除了作為能量儲存外，也可在運輸產業上提供船舶動力需求，其中全球最

大海運公司 **Maersk** 也投入了相當資源在這一方面，擴大能源島應用的產業面向，此舉可以避免離岸風電受到躉購費率波動的影響，更具有財務誘因下，開發商會更願意投入能源島的開發。

同時比利時也有相關的能源島規劃，集中附近海域的離岸風場電能(約 3.5GW)，以高壓直流(HVDC)輸送到比利時及英國等附近國家，也有規劃與丹麥能源島相連，預計 2024 年辦理招標，2029 年投入使用。

能源島是一個有趣的議題，人口密集、能源需求同樣也是台灣面臨的狀況，離岸風電、氫能亦是能源轉型重要的一環，除了邁向企業購電協議(CPPA)的離岸風電，發展離岸製氫也可以是未來選項之一，台灣亦可以持續關注歐洲能源島發展的情況。

四、心得及建議

從哥本哈根機場前往市區的路途中，可以感受到該城市為淨零排放的努力，儘管去(2022)年宣布無法達成 2025 淨零排放的城市目標，但放眼望去，Middelgrunden 離岸風場、Prøvestenen 濱海工業區的陸域風機及生質能發電廠 (Amager Bakke/Copenhill)無一不是潔淨能源的一環，其中生質能發電廠除了提供電能與熱能基本功能外，還包含了人工滑雪場的複合型場域，成為融入城市居民的娛樂生活中的一環，也看到哥本哈根市政府所推動的公民電廠，設置於 Prøvestenen 濱海工業區的 3 座陸域風機中，其中 1 座提供居住在該陸域風機位址半徑 4.5 公里內的居民享有優先承購部份股份的權利，可以發現到再生能源已深入城市設施與居民的生活，展現能源永續的具體落實。

行程中拜訪 DNV、MET Centre、LORC、Vestas 及 Stiesdal 等不同單位，透過與專家的面對面對談，針對離岸風電及浮動式離岸風電的技術發展及未來趨勢進行交流，感受到在全球能源發展下，風力發電為未來再生能源的重要一環，其中離岸風電是具有發展潛力的項目，浮動式離岸風電更是可以拓展這個項目的發展，進一步帶動更多產業的參與和整合；另一方面，海洋能源的開發也漸漸發生結構性的轉變—從油氣產業逐步轉向再生能源產業，而離岸風電技術在海洋能源中具有較高的成熟度，且市場上也持續將油氣產業的技術經驗移轉到離岸風電產業，也致使離岸風電會成為海洋能源開發中舉足輕重的要角，在明確且清楚的政策與補貼機制以及技術標準化(包含浮台、錨繫系統、動態海纜和海上變電站等)的條件下，離岸風電開發過程也會更加順利；此外，專家們也大多認為 2030 年會是觀察全球浮動式離岸風電技術、開發成本的時間點，雖然現階段的浮動式離岸風電計畫單機容量都小於 10MW，尚未有單機容量 10MW 或 15MW 的大型化浮動式離岸風機實績，開發商無法直接複製過往的成功經驗，但是這些浮台設計、與風機系統商整合的過程與經驗，都可提供未來開發單機容量更大的浮動式離岸風電計畫借鏡，對於時間風險會有相當大的助益；而各國政策的鼓勵、技術能力的提升和區域性供應鏈的發展等不同條件，都是讓浮動式離岸風電持續成熟，朝向大型化、商業化發展的關鍵之一。

市場上特別關注浮動式離岸風電開發上的潛在風險，包含開發期程的規劃、浮台選用的考量、風機大型化的整合等不同面向，未來如果投入浮動式離岸風電開發，需要更全面的考量來精進風險管控；另外，錨繫系統的材質/生命週期、動態海纜及浮動式海上變電站等都是需要突破的關鍵技術；團隊在前往 MET Centre 深海測試場域參訪 TetraSpar Demonstrator 及 Hywind Demo/Unitech Zephyros 等 2 個浮動式離岸風機的示範計畫後，親眼見證了浮動式離岸風機實際運轉狀況，強化了浮動式離岸風機的技術發展信心。

對於歐洲而言，浮動式離岸風電同樣是新興領域，雖然有許多關鍵技術需

要持續突破，但伴隨著技術快速發展，可見到開發上所需要面臨的風險會越來越得以掌控，目前亞洲地區的日本、韓國也同樣積極佈局浮動式離岸風電，其中韓國是發展進程較為領先的國家，但相關計畫也尚未進入施工階段；我國政府已規劃浮動式離岸風電示範規劃(草案)，且有諸多開發商表達參與示範計畫的興趣，可以預見我國將有機會建置浮動式離岸風電，從示範風場開始逐步推展至商業化風場，我國在離岸風電產業上投入的資源，整體產業鏈雖受限工業發展的環境，尚不比日本、韓國完整，但相信隨著浮動式離岸風電開發的需求增加，將能帶動產業鏈的發展、轉型，未來也有機會逐步建立區域性離岸風電供應鏈。

淨零排放亦是台灣需要共同面對的課題，國家發展委員會去(2022)年公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，其中離岸風電朝向浮動式、大型化機組發展，裝置容量目標為 40~55GW，離岸風電可以說是淨零排放路徑中舉足輕重的發展標的之一，且在面臨能源轉型的當下，能源結構中再生能源的占比逐漸增加，台電除了維持穩定供電的任務外，如何持續維持一定的再生能源發電占比也會是台電未來的挑戰，尤其台灣同樣面臨地狹人稠的課題，朝向海域發展將會是選項之一，除了持續在台灣推動再生能源外，台電也需要時常與國外進行交流，了解國際上新科技、新技術的發展趨勢，以及國際上的開發經驗，雖然在地的場址條件有所不同，但實際面臨課題也值得學習借鏡，時時刻刻準備好以迎接未來淨零排放的挑戰。

最後，在這次交流過程中發現到共存(Coexistence)會是一個很值得關注的議題，像是離岸風電結合製氫技術及能源島，這都不僅僅是一種技術上的選擇，而是將時間軸拉長、思考層面提升，是以國家或是區域性的能源需求或是環境影響來做考量，進而提出來一種發展概念，在這種作法下或許更能達到我們想像中的「永續」。

參考文獻

1. Musial, Walter, Spitsen, Paul, Duffy, Patrick, Beiter, Philipp, Marquis, Melinda, Hammond, Rob, & Shields, Matt. Offshore Wind Market Report: 2022 Edition. United States. <https://doi.org/10.2172/1883382>
2. Vestas. (2023). Annual Report 2022. <https://www.vestas.com/en/investor/reports-and-presentations/vestas-reporting>
3. DNV. (2021). Ocean's Future To 2050. <https://www.dnv.com/oceansfuture/index.html>
4. DNV. (2022). Energy Transition Outlook 2022. <https://www.dnv.com/energy-transition-outlook/index.html>
5. DNV. (2023a). Spatial Competition Forecast. <https://www.dnv.com/Publications/spatial-competition-forecast-237261>
6. DNV. (2023b). Floating Wind: Turning Ambition into Action. <https://www.dnv.com/focus-areas/floating-offshore-wind/floating-wind-turning-ambition-into-action.html>
7. Schupp, M. F., Bocci, M., Depellegrin, D., Kafas, A., Kyriazi, Z., Lukic, I., Schultz-Zehden, A., Krause, G., Onyango, V., & Buck, B. H. (2019). Toward a common understanding of ocean multiuse. *Frontiers in Marine Science*, 6(APR), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00165>
8. Flex2power. (2023). Renewable Energy Production From Floating Installation. <https://flex2power.com/>
9. TechnipFMC plc. (2023). Deep Purple™ Pilot. <https://www.technipfmc.com/en/what-we-do/new-energy/hydrogen/deep-purple-pilot/>