

行政院及所屬各機關出國報告書

(出國類別：開會)

2017 年離岸風能國際研討會及 洽商離岸風力等相關業務出國報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：陳蒼賢/副總經理

李書賢/機械設計專員

出國地區：瑞士、英國

出國期間：106/5/31~106/6/10

報告日期：106 年 8 月 2 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

2017 年離岸風能國際研討會及洽商離岸風力等相關業務出國報告

頁數 33 含附件：☐是☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

陳蒼賢/台灣電力公司/副總經理/(02)2366-6920

李書賢/台灣電力公司/機械設計專員/(02)2366-6933

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☐4 實習☒5 其他：國際會議

出國期間：106/5/31~106/6/10

出國地區：瑞士、英國

報告日期：106 年 8 月 2 日

分類號/目

關鍵詞：離岸風力發電、ABB 公司、Dong Energy 公司、Offshore Wind Energy
2017。

內容摘要：(二百至三百字)

本公司為台灣電力之主要供應者，然在缺乏自有能源的情況下，能源價格的波動影響層面甚巨。因此在面對國際二氧化碳減量的協議及環保的趨勢下，政府推動了「再生能源極大化」之新能源政策。由此可以預見離岸風力發電將是未來 20 年內再生能源開發之主力之一。

爰此，本次出國任務將針對未來台灣、大陸、日本等離岸風力的市場發展、離岸風力技術發展趨勢、事故案例分析與預防、安裝大型離岸風機的挑戰及解決方案、浮式離岸風機發展現況及離岸風力未來市場潛力等多項議題，藉由參訪全球電氣設備元件最大的獨立供應商之一，亦為離岸風場與電網連接技術的領先者 ABB 公司、及目前全球離岸風力發電領導之開發商 Dong Energy 公司、以

及參與 6 月 6 日至 6 月 8 日假英國倫敦由歐洲風能(WindEurope)、英國再生能源(Renewable UK)共同舉辦之離岸風能國際研討會及展覽(Offshore Wind Energy 2017)，瞭解先進國家之經驗及未來技術之發展，以期對本公司在推動離岸風力上有所助益。

目次

摘要

壹、 出國目的與過程.....	1
一、 緣起	
二、 目的	
三、 行程	
貳、 參訪及實習內容.....	3
一、 ABB 公司	
1. 公司簡介	
2. 參訪內容	
二、 Dong Energy 公司	
1. 公司簡介	
2. 參訪內容	
三、 Offshore Wind Energy 2017 會議	
1. 會議及展覽簡介	
2. 會議內容	
參、 心得與建議.....	32

圖目錄(1/2)

圖 1 ABB 組裝工廠參訪

圖 2 第一座創新絕緣氣體的生態高效 GIS 設備變電站於蘇黎世

圖 3 陳副總經理與 ABB Oliverira 先生合影及會議情形

圖 4 DONG Energy 公司業務發展情形

圖 5 DONG Energy 公司全球業務合作夥伴

圖 6 ROC 模擬中心

圖 7 第三者驗證流程

圖 8 拜會 Dong Energy 公司及會議討論情形

圖 9 離岸風機逐年平均單機裝置容量

圖 10 離岸風場逐年平均裝置容量

圖 11 Offshore Wind Energy 2017 展場參訪

圖 12 一次側輸入電壓效益分析

圖 13 海纜輸送電壓成本分析

圖 14 不同風機型式之單位發電成本比較

圖 15 DNV GL 現行風機安裝船資料庫

圖 16 風機各主要組件及其設計荷重迭代

圖 17 ST3 offshore 公司 jacket 系列式生產線

圖目錄(2/2)

圖 18 jacket 基礎標準化設計

圖 19 單樁基礎與 jacket(傳統/未來)基礎成本比較

圖 20 傳統 point to point jacket 基礎與 ST3 標準化 jacket 基礎成本比較

圖 21 組合式套件製造

圖 22 傳統式 V.S 產業式 jacket 基礎製造方式之效益比較圖

圖 23 小型套筒式構架安裝流程

圖 24 早期除役之離岸風場

表目錄

表 1：參訪行程表

表 2：GIS 設備防水保護等級

表 3：GIS 設備塗層厚度標準

表 4 Offshore Wind Energy 2017 會議議程

表 5 歐洲各國 2015 年完工風場之風機資料統計表

表 6 現行離岸風機主流機型統計表

表 7 早期風場除役情形

表 8 離岸風場年預測除役裝置容量

摘要

本公司為台灣電力之主要供應者，然在缺乏自有能源的情況下，能源價格的波動影響層面甚巨。因此在面對國際二氧化碳減量的協議及環保的趨勢下，政府推動了「再生能源極大化」之新能源政策。由此可以預見離岸風力發電將是未來 20 年內再生能源開發之主力之一。

爰此，本次出國任務將針對未來台灣、大陸、日本等離岸風力的市場發展、離岸風力技術發展趨勢、事故案例分析與預防、安裝大型離岸風機的挑戰及解決方案、浮式離岸風機發展現況及離岸風力未來市場潛力等多項議題，藉由參訪全球電氣設備元件最大的獨立供應商之一，亦為離岸風場與電網連接技術的領先者 ABB 公司、及目前全球離岸風力發電領導之開發商 Dong Energy 公司、以及參與 6 月 6 日至 6 月 8 日假英國倫敦由歐洲風能(WindEurope)、英國再生能源(Renewable UK)共同舉辦之離岸風能國際研討會及展覽(Offshore Wind Energy 2017)，瞭解先進國家之經驗及未來技術之發展，以期對本公司在推動離岸風力上有所助益。

壹、出國目的與過程

一、緣起

本公司為台灣電力主要供應者，然而，對於缺乏自有能源的台灣而言，能源價格的波動影響社會經濟層面甚巨。再者，面對國際二氧化碳減量的協議與環保的趨勢以及日本福島核災後，政府所推動「再生能源極大化」之新能源政策，近期世界各國無不積極發展離岸風力發電，而英國、德國、丹麥等國更為離岸風力發電發展最為快速的國家。然而，本公司實際參與案例甚少，相關規劃設計、海事工程等經驗亦闕如，故有必要派員至歐洲離岸風力開發商、工程顧問公司、及供應商研習相關作法與技術。倘若能將此技術應用於未來離岸風場之建置，將更有助於本公司再生能源之推廣。

二、目的

藉由參加此次國際研討會及國際離岸風力發電知名公司業務洽商，瞭解先進國家之經驗及未來技術之發展，並拓展技術交流與互惠合作的機會，除供目前本公司離岸風力發電第一期計畫規劃參考外更對本公司在未來推動離岸風力發展上有所助益。

三、行程

本次行程主要針對離岸風力技術發展趨勢、事故案例分析與預防、安裝大型離岸風機的挑戰及解決方案、浮式離岸風機發展現況及未來市場潛力、風場的規劃設計、施工安全及品質、經濟效益等項目進行研習考察，由瑞士蘇黎世 ABB 總部拜訪開始，再至英國倫敦 Dong Energy 公司，最後參訪 Offshore Wind Energy 2017 會議，共計 11 天：行程紀要如下表所示：

表 1 參訪行程表

日期	主要參訪行程
106/5/31	往程(台北-阿姆斯特丹-蘇黎世)
106/6/1~106/6/4	拜會 ABB 簡報會議及 ABB 製造工廠參訪
106/6/5	往程(蘇黎世-倫敦)
106/6/6~106/6/8	拜會 Dong Energy 簡報會議及 參訪 offshore wind energy 2017 會議
106/6/9~106/6/10	返程(倫敦-阿姆斯特丹-台北)

貳、參訪及研習內容

一、ABB 公司

1. 公司簡介

艾波比股份有限公司 (ABB) 是全球電力和自動化技術領域的領導廠商，致力卓越的技術讓電力公用產業與工界客戶們能在提昇績同時並減低對環境所造成的影響。ABB 集團的業務遍佈全球 100 多個國家，擁有超過十四萬五千名員工。總公司設在瑞士蘇黎世，ABB 全球有 7 個研究中心，為開展研究和技術的重鎮，該公司承諾繼續投資研發技術，以不斷地創新作為企業的核心價值。

ABB 公司為全球電氣設備元件最大的獨立供應商之一，亦為離岸風場與電網連接技術 HVDC 與 HVAC 海上變電所、輸電線路的技術領先者，併具備風電規劃、製造、連接傳輸、監控之能力，更以多年風電行業經驗設計產品，幫助風機製造商在風機設計中提供可靠且高效能的產品。

2. 參訪內容

本次參訪 ABB 公司蘇黎世 GIS 工廠，係由該公司銷售經理 Dieter Oliverira 先生進行簡報介紹併進行雙方的意見交流，由於離岸風場無論是風機或變電站皆位於海上，因此終年須承受著最惡劣的海象和天候，往往造成電氣設備之鏽蝕或鹽害，因此相關之變壓器、絕緣設備及監控保護系統等輕量化、防蝕、防鹽害、通風、散熱等問題，於規劃設計時均須審慎評估，惟國內目前並無相關規劃設計實務經驗；因此本次洽商將針對下述議題及電氣設備海上規劃設計、監控保護及運轉維護時須注意事項等方面，進行資料蒐集及意見交流：（1）海上電氣設備輕量化、模組化、防蝕、防鹽害、通風、散熱問題（2）創新絕緣氣體的生態高效 GIS

設備：

(1) 海上電氣設備輕量化、模組化、防蝕、防鹽害、通風、散熱問題

ABB 公司強調為配合離岸風力海上變電所的需要，其相關電氣設備如：GIS 設備設計已朝緊湊型(Compact type)及模組化(Modular)設計，以電壓等級 420kV 的 GIS ELK-3 與 GIS ELK-3 compact 為例，其緊湊型拱位所需空間相對傳統型式(Class type)縮小了 33%，六氟化硫 (SF6) 需求量減少了 35%，重量減少了約 20%，且其在工廠組裝試驗完畢後即可將一個拱位進行運輸，可減少 40%安裝及測試時間，這對於海事工程施工上無疑是一大優勢。另本次參訪亦針對海上變電站之防蝕問題進行討論，而 ABB 公司也以開關設備為例進行說明，會中提到事實上海上變電站與陸地上所使用設備於製造上並無不同之防蝕標準，而是利用加強防蝕塗料、填充 silicon grease 以避免法蘭間隙之腐蝕問題、海上變電站內維持微正壓及使用電熱器加熱避免水蒸氣凝結等方法防止設備之腐蝕。



圖 1 ABB 組裝工廠參訪

表 2 GIS 設備防水保護等級

GIS designation	Temperature range (°C)	Ambient	IP Code IEC 60529
Indoors	-5 ... +40 (50)	GIS is inside of a building	IP 43
Outdoors	-30 ... +40 (50)	GIS is exposed to weathering	IP 54

Table 1: GIS designation, ambient conditions and IP Codes

表 3 GIS 設備塗層厚度標準

GIS designation	Layer thickness
Indoors	min. 35 µm
Outdoors	min. 70 µm

Table 2: Varnish layers

(2) 創新絕緣氣體的生態高效 GIS 設備

由於全球暖化日益嚴重，因此減少溫室效應對全球環境所造成的影響成為刻不容緩之目標，而經介紹得知目前 ABB 公司正積極與 3M 公司在開關設備中共同研發具有創新絕緣氣體(AirPlus)的生態高效 GIS 設備(Eco-GIS)，另 ABB 公司也表示新的氣體混合物是一種開創性的生態效率氣體混合物，目前正逐步的研發，對比六氟化硫 (SF6) 對環境造成的影響更少，其全球暖化潛勢值 (註 1) 更是小於 1，且不會損害系統的質量和可靠性，未來相當看好取代 SF6 氣體廣泛的使用在電氣設備中。



圖 2 第一座創新絕緣氣體的生態高效 GIS 設備變電站於蘇黎世

註 1：全球暖化潛勢（Global warming potential，簡稱 GWP）是溫室效應的影響因子之一，亦作全球升溫潛能值，是衡量溫室氣體對全球暖化的影響。是將特定氣體和相同質量二氧化碳比較之下，造成全球暖化的相對能力。而二氧化碳的全球暖化潛勢定義為 1。



圖 3 陳副總經理與 ABB Oliverira 先生合影及會議情形

二、Dong Energy 公司

1. 公司簡介

Dong Energy 公司為成立於 1972 年的丹麥 Fredericia，當時是 Dansk Naturgas A/S 的國營公司，目前是丹麥最大的能源公司，全球僱用超過 6200 名員工。營業內容橫跨風能發電事業(80%)、地熱能生質能發電事業(4%)、油氣生產事業(4%)及配電與顧客解決方案事業(12%)等。Dong Energy 目前擁有 22 個營運中的離岸風場，6 個目前正在建置的離岸風場，而在全球建造完成的離岸風場，裝置容量合計超過 3.8GW。DONG Energy 於全球風能發電市占率為 29%(裝置容量超過 7.4GW，而市占率居次為 Vattenfall 其裝置容量為 2.1GW)。

離岸風力發電的開發是否成功，分包協力廠商扮演舉足輕重的角色，而 DONG Energy 公司目前在全球已組成堅實的開發團隊，此外 DONG Energy 公司本身自己亦為 EPC 廠商，不需搭配分包廠商進行離岸風場之開發；與本公司皆為電力開發商身分，因此也是本公司學習的對象。

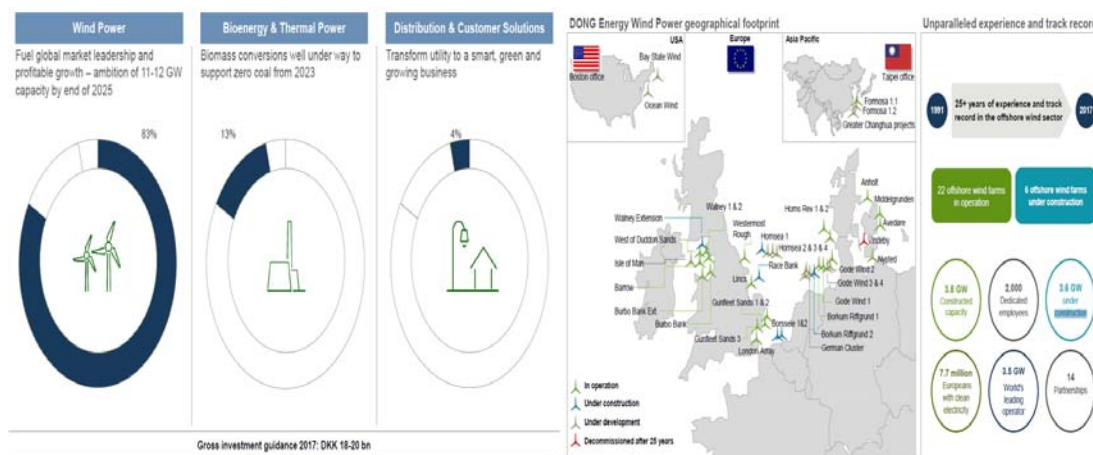


圖 4 DONG Energy 公司業務發展情形(資料來源 Dong Energy)

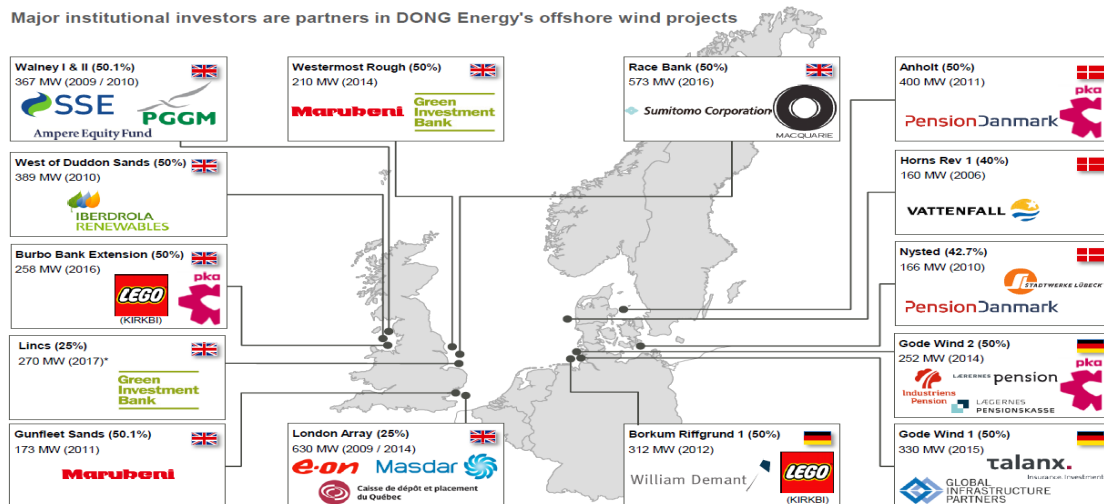


圖 5 DONG Energy 公司全球業務合作夥伴(資料來源 Dong Energy)

2. 參訪內容

本次參訪 DONG Energy 公司將針對以下主題進行討論：(1) 海事工程施工安全相關議題(2) 計畫驗證(Project certification)。

(1) 海事工程施工安全相關議題

有關海事工程施工安全方面，Dong Energy 公司提出了 ROC (Rehearsal of Concept，概念排練)的觀念，而此觀念最主要的目的就是消除同一時間在同一地點多方工作所造成的危險，以確保工作場所之安全。

會中提到藉由以下四個重點進行施工人員及團隊防護：

- i. 整個團隊(包括所有承包商)皆須專注於整個風場建置的過程中(包括風機設備安裝，試運轉等)。
- ii. 識別出所有安裝過程活動中可能發生的介面衝突
- iii. 確保能管理及掌控施工中可能發生的風險
- iv. 建立團隊間和協的合作關係(重點：開發商、所有承包商及主管健康與安全之管理人員皆為同一團隊)。

同時 Dong Energy 公司也建議本公司施工處能為「概念排練」準備一專門的場地，藉由無論是玩具或模型，每日在施工現場與所有承包商，規劃人員，監造人員和健康與安全管理人員進行演練(每天下午 4 點進行隔日的工程排練)；而現場實際施工遇到介面衝突，必要時就必須停止工作並重新研擬施工計畫。



圖 6 ROC 模擬中心(資料來源 Dong Energy)

(2) 計畫驗證(Project certification)

有關風場計畫驗證方面於台灣多聽到以下論點：A. 本公司為國營公司，並無資金融資之需求 B. 本公司已委託專業技術服務顧問公司，因此並無第三者驗證之需要，且第三者驗證將大幅增加計畫時程，使得計畫執行窒礙難行，因此本公司無須進行風場計畫驗證之程序；爰此，本次也藉由拜訪同為電力開發商性質之 Dong Energy 公司針對此議題進行討論，而 Dong Energy 公司也以自身經驗分享以下之觀點：

i. 第三者認證公司之由來

公正的第三者認證，最初係始於造船與航運界，在國際上已運作百餘年。成立的目的是，早期係出自於對船舶載重吃水的合理限制，乃至於後來發生的許多沉船及火災等之教訓，基於人命安全優先之人道精神，漸而形成國際公義，在安全事項進行管控，被視為海事技術之良知。而現今其運作之精神也擴展到各行業，尤其針對規模龐大且關係複雜的離岸風力發電產業，確有其存在之必要與價值。

另離岸風力發電開發多需引進保險及融資，才能讓離岸風場業者無後顧之憂地進行開發，這是市場機制需求所使然，然而沒有絕對的強制性(Dong Energy 公司也舉例：德國規定離岸風場需進行計畫驗證，然而英國對風場開發並無強制規定)，不同於入籍後之船隻或建築物的強制法規依循。

ii. 第三者認證納入之時機及流程

第三者認證之時機係始於設計階段，申請人需送圖說供其審查與監督，該等圖說經核可後，第三者認證會派遣如驗船師或同等職務的人士前來駐廠或赴現場進行檢驗、或參與測試或試俾、或核對 Type Approved 裝備及其證書號碼、或核對具公信力之測試或檢驗報告等。

其中計畫驗證(Project certification)部分的內容，主要將依循保險公司的態度及其所提出條款而訂，因此，此部分應先行找第三者認證單位協商，列出必要依循的法規及搭配的報價，而保險公司再行提出繳費情況及理賠條件，供申請者衡量利害情況、自我能力與可能支援後執行；但若有保險慣例可供依循，也許具悠久公信力的第三者認證可以幫忙先作建議，事後再找保險公司配合，也可變通為之。

爰此，Dong Energy 公司也建議本公司如需進行計畫驗證 (Project certification)，應於規劃設計之初始階段，就應進入上述相關協商，以利確認技術法規的依據，讓設計工作能明確啟動，同時也可將未來計畫驗證 (Project certification) 之要求納入發包的對應合約內，避免有所遺漏。

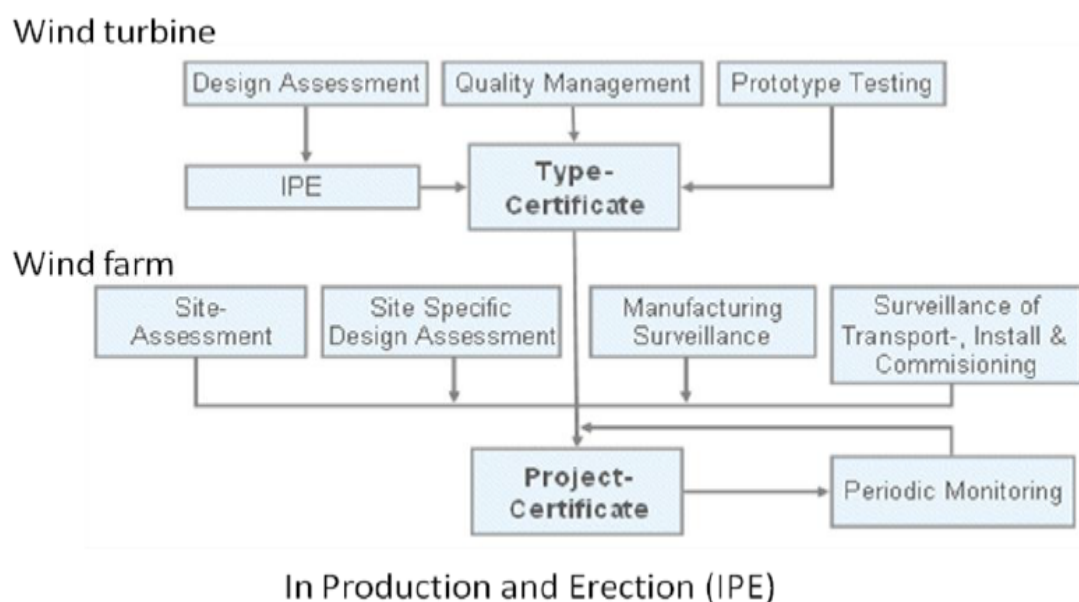


圖 7 第三者驗證流程(資料來源 Dong Energy)

iii. 對台電之建議

對應龐大之工程案件，因大多數開發商無法獨力承擔有關的風險，因此多希望藉由主管單位背書、保險公司擔保、廠商保固等諸多的共同確認上，藉由各方專長互補來分攤責任，才能安心地建置與營運。

因此 Dong Energy 公司也再次強調，雖然法規上並無強制要求開發商須進行計畫驗證 (Project certification)，但不要忘记計畫驗證 (Project certification) 是具公信力且技術代表性之監督角色的存在，尤其針對國人不熟悉的國外法規。而未來一旦發生事故必須上法院不可，也可藉由第三方

公證單位出面協助佐證，以維護開發商該有的權益，而法官通常也會信任公信力的第三方驗證，這都是降低風險的方法，另目前本公司雖為國營公司，並無資金融資之迫切需求，然而倘若日後本公司未來民營化，離岸風場之開發通常還是得進行計畫驗證及保險公司願意接受投保後，貸款或投資之單位才會放款，這也是自備籌資之基本條件。

再者，開發商如能藉由計畫驗證(Project certification)過程確認及分析計畫場址的風場條件，成功評估後，開發商也才能確認本計畫所使用之風機、基礎形式等適用於本開發場址；另會議中也提到風場引入涵蓋能承受熱帶風暴影響的風力發電機(Class T 等級)，對工業發展上是有利的。然而，它不是驗證的先決條件，計畫驗證(Project certification)更重要的是確保該風機能在台灣海域風場條件下進行安全地運轉。



圖 8 拜會 Dong Energy 公司及會議討論情形

三、Offshore Wind Energy 2017 會議

1. 會議及展覽簡介

隨著離岸風力持續發展，如今對歐洲的整體的能源結構已不可或缺。因此，於 6 月 6 日至 6 月 8 日由 WindEurope 和 RenewableUK 共同主辦之 Offshore Wind Energy 2017 假倫敦 ExCel 展覽中心舉行，本次會議是世界上最大的海上風電會議和展覽會。來自全球風能相關的企業皆參加了此次活動。本屆共超過 400 家企業參與展出，包括政府部門、風力發電製造商、開發商、銀行業者及有興趣開發離岸風力之單位，除提供參觀者與許多業界專業人士面對面的機會外，也可於展覽中與許多風電供應商進行交流。而本次參訪也針對以下議題進行資料蒐集：(1)未來風力機組發展趨勢預測(2)未來 jacket 基礎設計製造及施工安裝發展趨勢(3)離岸風場除役相關議題。

2. 會議內容

表 4 Offshore Wind Energy 2017 會議議程

6/6(二)

09:30-11:00	Opening session			
11:00-11:45	Networking break & poster viewing			
11:45-13:00	Offshore wind and the wider energy system			
13:00-14:30	Lunch & poster viewing			
14:30-15:45	Offshore wind market outlook		Technology developments – scaling up and bringing costs down	
15:45-16:30	Networking break & poster and exhibition viewing			
16:30-17:45	Market developments in China	Offshore wind wakes: using operational data to improve models and reduce uncertainty	Making today's technology more competitive	Ports: a cooperative approach to integration in the offshore wind supply chain
17:30-19:30	Networking reception, sponsored by LM Wind Power			

6/7(三)

09:30-10:45	Global market developments	Sensing offshore wind	Software: Advances in control technology and software simulation for transmission and multi-connection grids	New initiatives to improve health and safety
10:45-11:30	Networking break & poster and exhibition viewing			
11:30-12:45	Share Fair: Winning contracts in offshore wind	Advancing technology by better design and validation	Further reducing the cost of capital	Learning from offshore wind incidents
12:45-14:15	Lunch & poster and exhibition viewing			
14:15-15:30	Working with your neighbours: cross-border in the North Sea & Baltic	Modelling offshore wind	Dealing with long-term price risks	Improving planning of offshore wind farms & coexistence in increasingly busy seas
15:30-16:15	Networking break & poster awards ceremony			
16:15-17:30	The role of site tendering vs. leasing in delivering cost reduction across Europe	Innovative technology for offshore turbines	O&M game-changers	Using innovation to address consenting risk
17:30-18:30	Exhibition visiting time and stand parties			
18:30-22:30	Gala Dinner Cruise: Cruise the Thames on the Silver Sturgeon, sponsored by JDR (separate ticket required)			

6/8(四)

09:30-10:45	Hardware: new technologies for offshore energy transmission and connection	Making floating wind energy commercially competitive	Installation challenges & solutions
10:45-11:30	Networking break & poster and exhibition viewing		
11:30-12:45	Offshore wind in the UK: a forward look	Design and analysis of floating wind turbines	Making the most of synergies between oil and gas and offshore wind
12:45-14:30	Lunch & poster viewing		

(1) 未來風力機組發展趨勢預測

i. 風力機組發展趨勢

隨著各風機製造商技術的精進，現今風機單機裝置容量已逐漸往大型化發展。自 2011 年後風機平均單機裝置容量已超過 3.5MW；同樣的趨勢一樣反映在葉片大小上，目前風力機組所採用之扇葉直徑約為 130m 至 160m 左右，而會議中也提到未來為提供更大的發電量，扇葉直徑將超過 200m。風場平均裝置容量也自 2011 年前之平均裝置容量不超過 200MW，到目前未來計畫中之風場平均裝置容量已高達 900MW。

而參考 2015 年所完工之離岸風場(詳表 5)，也可得知歐洲目前主要風機製造商包含：Siemens、MHI Vestas、Adwen 及 Senvion 等，另美國、日本等國家亦積極投入開發離岸風力發電，然而由於離岸風機製造技術門檻較高，且須長期投入大量研發成本，故現僅有少數幾家廠商具備製造離岸風機的能力，目前較知名製造商包含歐洲的 Adwen、MHI Vestas、Senvion 及 Siemens 等公司；亞洲主要為日本 Hitachi 公司；而美洲則為 GE 公司(詳表 6)。

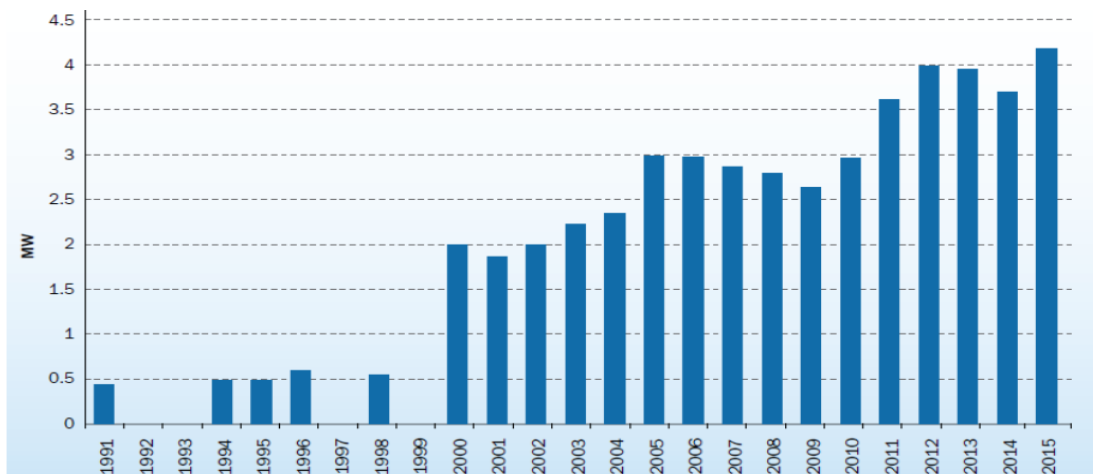


圖 9 離岸風機逐年平均單機裝置容量

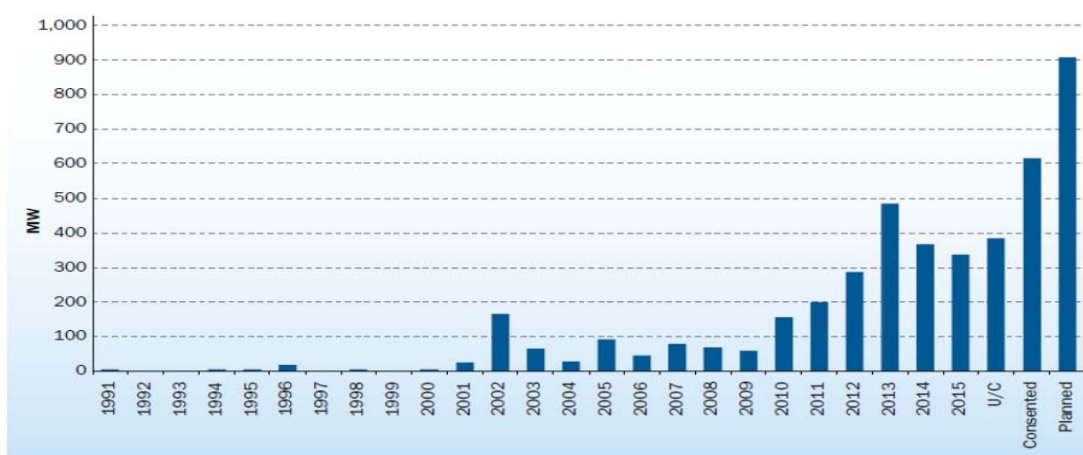


圖 10 離岸風場逐年平均裝置容量

表 5 歐洲各國 2015 年完工風場之風機資料統計表

風場名稱	國家	裝置容量	風機機型
Gwynt y Mor	英國	576 MW	Siemens SWT-3.6-107
Humber Gateway	英國	219 MW	MHI Vestas V112 3.0MW
Westernmost Rough	英國	210 MW	Siemens SWT-6.0-154
Kentish Flats 2 Extension	英國	140 MW	MHI Vestas V112 3.0MW 及 MHI Vestas V112 3.3MW
Meerwind Süd Ost	德國	288 MW	Siemens SWT-3.6-120
DanTysk	德國	288 MW	Siemens SWT-3.6-120
Amrumbank West	德國	302 MW	Siemens SWT-3.6-120
Baltic 2	德國	288 MW	Siemens SWT-3.6-120
Borkum Riffgrund I	德國	312 MW	Siemens SWT-4.0-120
Butendiek	德國	288 MW	Siemens SWT-3.6-120
Global Tech 1	德國	400 MW	Areva M5000-116 (Adwen AD 5-116)
Nordsee Ost	德國	295.2 MW	Senvion 6.2M-126
Trianel Windpark Borkum I	德國	200 MW	Areva M5000-116 (Adwen AD 5-116)
Luchterduinen	荷蘭	129 MW	MHI Vestas V112 3.0MW

表 6 現行離岸風機主流機型統計表

廠商	現行主流機型	採用風場及現況
Adwen (包含 Areva 及 Gamesa)	M5000-116 (單機 5MW)	Trianel Windpark Borkum(phase 1) 已於 2015 年開始商轉，該機型現已停售
	AD 5-135 (單機 5MW)	Wikinger Offshore Wind Farm 預計 2017 年開始商轉
	AD 8-180 (單機 8MW)	原型機測試中，預計 2018 年量產
GE	Haliade 150-6MW (單機 6MW)	Block Island Wind Farm 部分機體已於 2016 年底開始商轉
Hitachi	HTW 2.0-86 (單機 2MW)	Sakiyama 2MW floating wind turbine 已於 2016 年開始商轉
	HTW5.0-126 (單機 5MW)	原型機測試中
MHI Vestas	V112-3.3MW (單機 3MW)	Eneco Luchterduinen Offshore Wind Farm 已於 2015 年開始商轉
	V164-8.0 MW (單機 8MW)	Burbo Bank Extension Offshore Wind Farm 風機已安裝，預計 2017 年開始商轉
Siemens	SWT-3.6-120 (單機 3.6MW)	Riffgat Offshore Wind Farm 已於 2014 年開始商轉， 該機型目前已停售
	SWT-4.0-120 (單機 4.0MW)	Borkum Riffgrund 1 Offshore Wind Farm 已於 2015 年開始商轉
	SWT-4.0-130 (單機 4.0MW)	Sandbank Offshore Wind Farm 預計 2017 年完工
	SWT-6.0-154 (單機 6.0MW)	Westermest Rough Wind Farm 已於 2015 年開始商轉
	SWT-7.0-154 (單機 7.0MW)	Walney Extension Offshore Wind Farm 已取得訂單，預計 2017 年量產
	SWT-8.0-154 (單機 8.0MW)	原型機預計 2017 年開始測試
Senvion	5M (單機 5.0MW)	Ormonde Wind Farm 已於 2012 年商轉，該機型目前已停售。
	6.2M126 (單機 6.2MW)	Nordsee-Ost Offshore Wind Farm 已於 2015 年商轉
	6.2M152 (單機 6.2MW)	Trianel Windpark Borkum II 預計 2018 年初開始建置風場



圖 11 Offshore Wind Energy 2017 展場參訪

ii. 大型風力機組變壓器發展分析

隨著風機大型化之發展趨勢，除風機本身變壓器需維持輕量化及緊湊型的設計外，風機發電機及海纜傳送之電壓等級亦是此次會議中談論的主題之一，而 ABB 公司也針對變壓器輸入一次側及輸出二次側電壓等進行比較與分析。

輸入變壓器之一次側部分是由風機發電機端輸出，而不同發電機端所輸出的電壓等級(低壓等級 LV：690V、中壓等級 MV：3300V)將造成維護、損失及成本上差異，總體來說，當一次側輸入電壓等級超過 1KV 並用於風機型式 8MW 以上時將較具有效益(詳圖 12)；另針對變壓器輸出之二次側部分，當風機型式大於 8MW 或以上時，使用 66KV 電壓輸出在電纜長度及線路損失上，相較於 33KV 將增加總體 7%之效益(詳圖 13)。因此，會議中最後也提到當風機型式大於 8MW 或以上，使用一次側輸入電壓等級 3300V 及二次側部分輸出之電壓等級 66KV 將能降低風場建置之單位發電成本 4%。

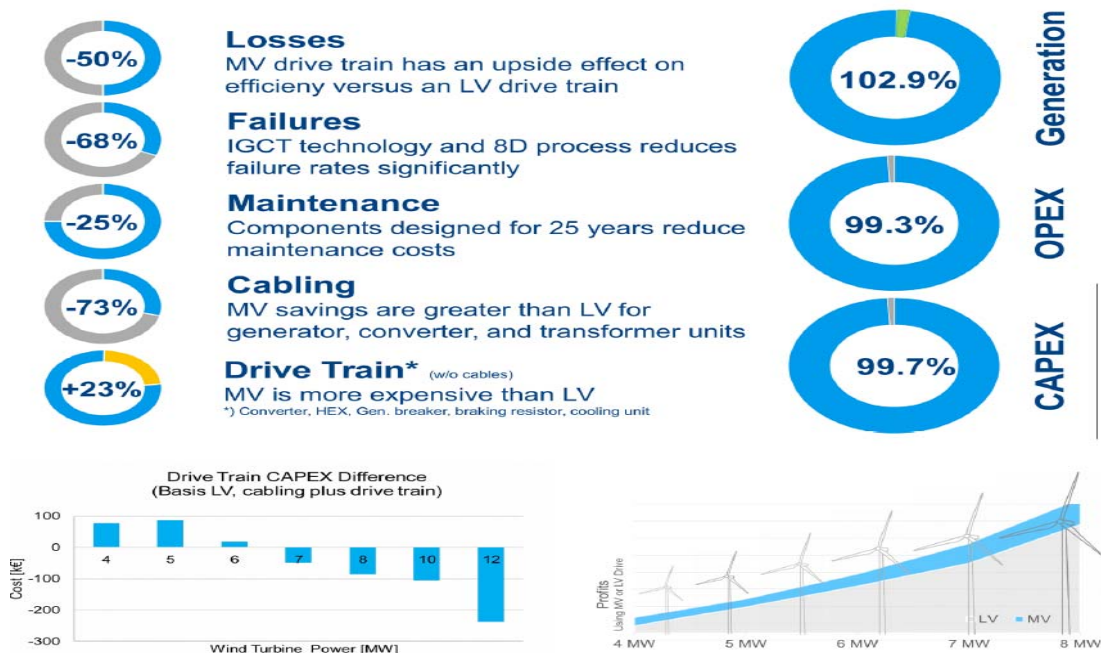


圖 12 一次側輸入電壓效益分析

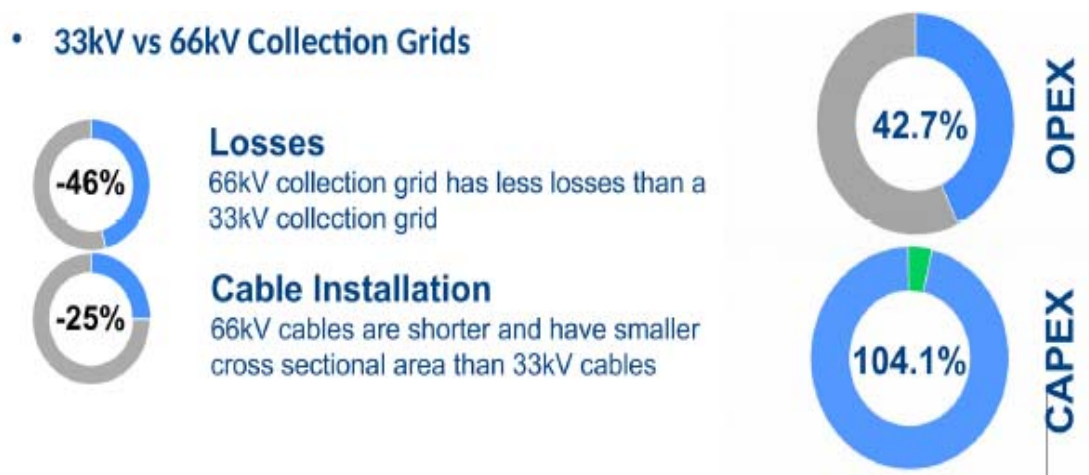


圖 13 海纜輸送電壓成本分析

iii. 成本分析及未來風險

近年來能源花費已大幅降低，其中最主要的原因就是大型風機的發展，因此 DNV GL 亦使用其開發之電腦軟體(Turbine Architect，註 2)針對未來幾年主流的三種風機型式(8MW、10MW、13MW)進行成本分析，由於風場模擬設定條件(500MW、平均風速每秒 10 公尺、水深 40m、離岸 50m、下部結構為 jacket 型式)也同時加入英國實際施工及運維碼頭等因素，因此運輸成本將反應於單位發電成本(LCoE)計算之中。最後根據模擬的結果顯示，風機選擇從 8MW 到 10MW 大約可減少 4%的單位發電成本(LCoE)，而從 8MW 到 13MW 大約可減少 7%的單位發電成本(其中已考量包含：發電量增加、可用率增加及運維支出減少等因素)。

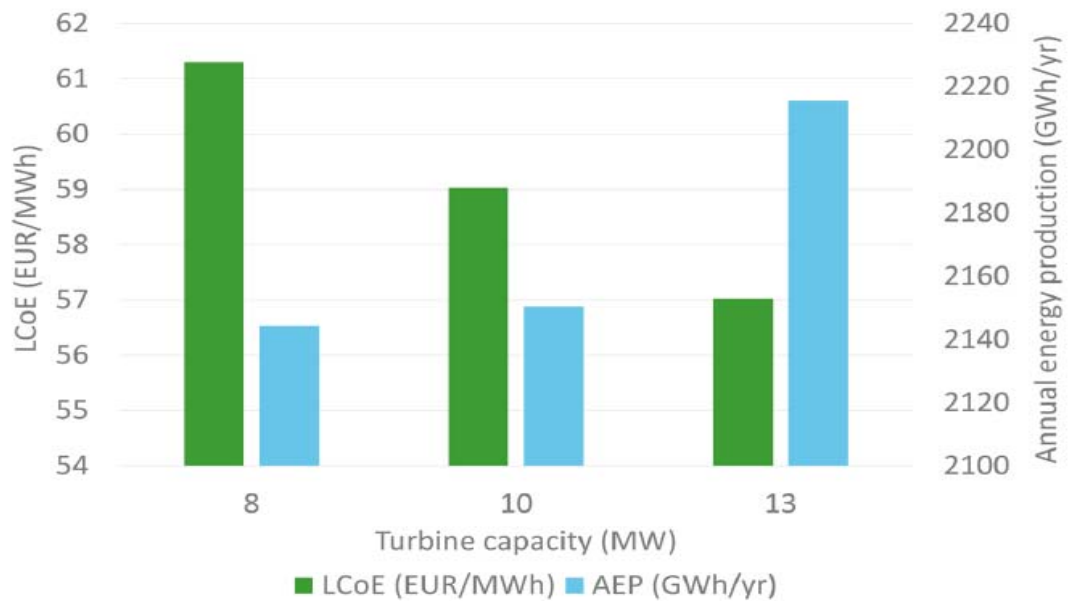


圖 14 不同風機型式之單位發電成本比較

另會議中也指出，雖然未來大型風機的發展將使發電成本降低，然而隨著風機的大型化，風機的組件及下部結構重量也大幅增加。以 13MW 風機(轉子直徑 210m、輪轂高度 127m、機艙重量 800T)為例，根據 DNV GL 現行風機安裝船資料庫顯示，當輪轂高度達 120m 以上及水深達 50m 深後，可工作之風機安裝船數量將大幅下降，這也造成未來大型風場在建置時將產生安裝費用大幅增加以及計畫延遲等風險。因此，風機安裝商能否藉由投資新的安裝船機及增加起重機吊升能力將是未來能否降低建造風險的關鍵。

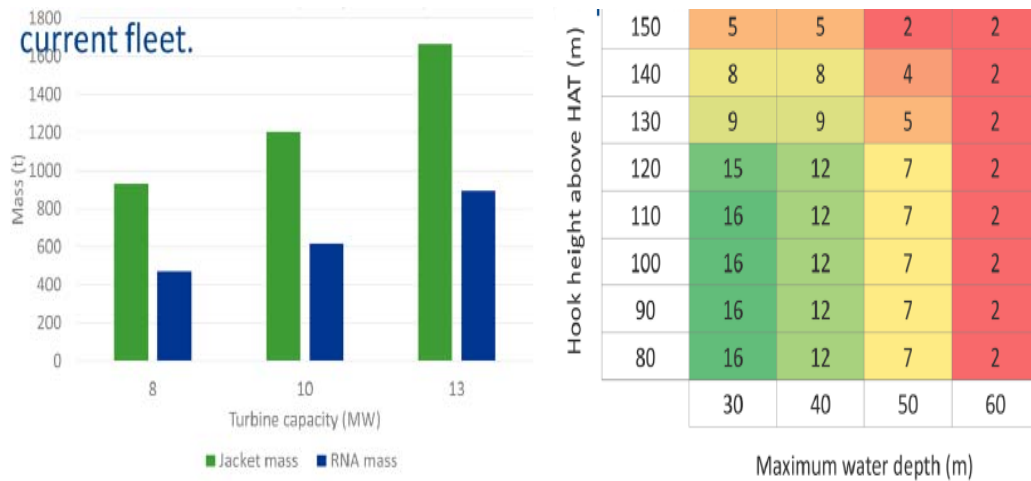


圖 15 DNV GL 現行風機安裝船資料庫

註 2：Turbine Architect 為 DNV GL 公司依據過去設計準則及經驗開發之軟體，藉由風機各主要組件及其設計荷重迭代後產生風機設計及成本預測之參數(load envelope)，最後將其參數與不同風機型式進行運算後將產生其成本及效益分析，並能夠確保風機最終的設計是有辦法承受極限應力與疲勞負載。

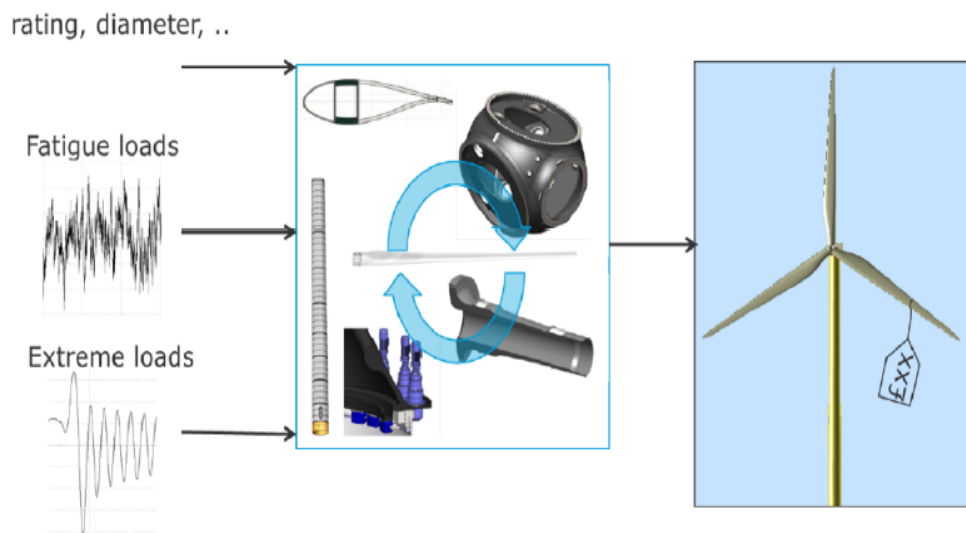


圖 16 風機各主要組件及其設計荷重迭代

(2) 未來 jacket 基礎設計製造及施工安裝發展趨勢

i. jacket 基礎設計製造發展趨勢

未來離岸風場計畫持續地往深水區域及大型化風機作規劃，對固定式基礎的效能及標準要求也從未降低，目前幾乎所有的開發商於深水區域固定式基礎的選擇仍不外乎採單樁及 jacket 等兩種基礎型式；業界雖視單樁為較成熟之選項，然而其設計尺寸卻已達其可行之界限。因此，jacket 基礎型式相較下雖實績較少，但因其具備在鋼材用量低與價格優化潛力等因素，jacket 基礎仍被視為具誘因之選項。目前業界的目標主要是在日益加深的設計水深及風機尺寸加大下，著手進行系列式生產(serial production)jacket 基礎，其考量包含：(1) 建立具經濟效益的 jacket 基礎系列式生產(serial production)設計準則(2)如何系列式生產(serial production)jacket 基礎(3)在環境衝擊較低下，jacket 基礎較具發展的機會及優勢(詳圖 17)。



圖 17 ST3 offshore 公司 jacket 系列式生產線

其中投入 jacket 基礎標準化設計的業界先驅 ST3 offshore 公司表示，標準化 jacket 基礎將適用於大部分的海床、水深及風機型式，包含(1)採預先製造的元件進行自動化組裝(2)利用鋼廠的規格管材進行標準化設計(3)製造時採系列式生產(serial production) (4)理想製造場地須考慮地域便利及出港安裝成效等降低建造費用的特性(詳圖 18)。

STANDARDIZED JACKET DESIGN

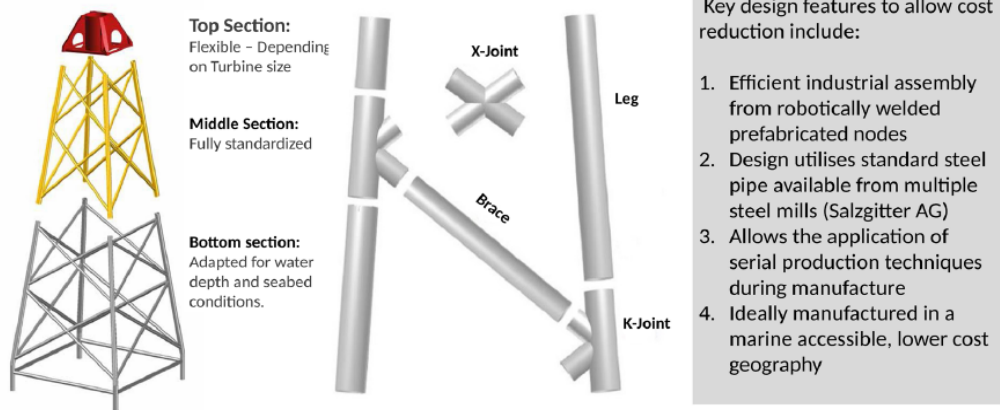


圖 18 jacket 基礎標準化設計

ST3 offshore 公司也提出標準化的 jacket 基礎設計的優勢包含：(1)更高的生產率及廠房使用率(2)藉由機械化原件地生產及組裝提高產品再製率(3)產量大幅提升(4)提供剛性佳及輕量化之 jacket 基礎。另該公司也將單樁、傳統 point to point jacket 及 ST3 標準化設計 jacket 基礎進行工程費用及製造成本之比較，後者明顯減少可觀的工程費用(詳圖 19、20)。

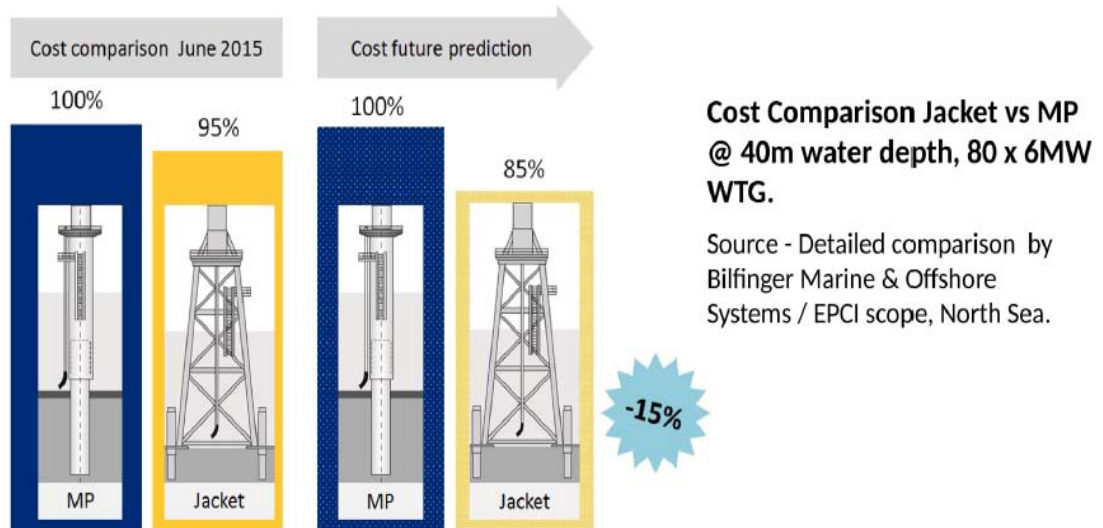


圖 19 單樁基礎與 jacket(傳統/未來)基礎成本比較

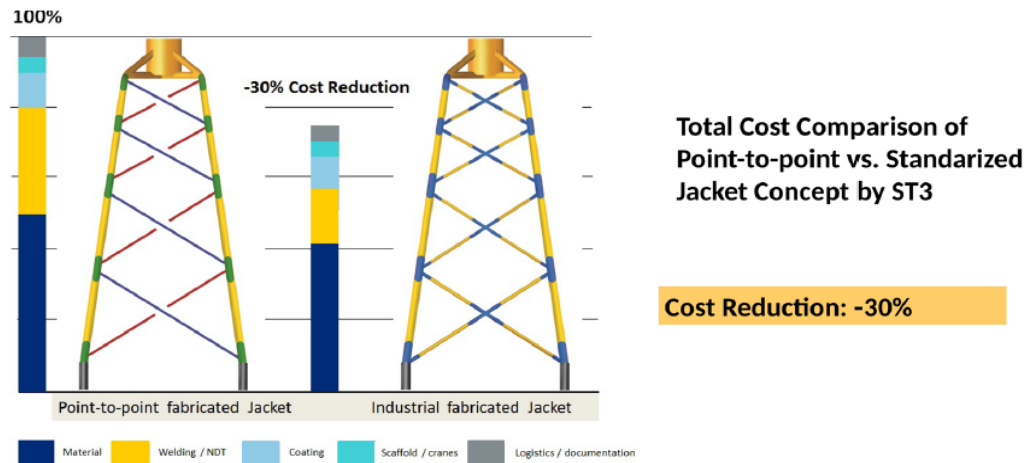


圖 20 傳統 point to point jacket 基礎與 ST3 標準化 jacket 基礎成本比較

ST3 offshore 係第一座針對自動化 jacket 基礎製造工廠，該公司已規劃發行相關基礎的標準化設計及工作指引，並針對水深 35m 以上之離岸風力計畫，該公司也著手證明採系列式生產(serial production)及標準化的 jacket 基礎設計，除可克服技術及環境上的困難外，也將會是一個有效降低施工成本的正確選項。

ii. 案例說明

會議中以 SALZGITTER MANNESMANN RENEWABLES 公司為例說明了目前基礎製造產業的發展情形，其中也針對 jacket 與 XL-monopiles 基礎進行了比較，傳統 jacket 基礎由於需投入大量勞力進行單元桿件的製造，因此在經濟性上是較不具規模效益，因此在製造及安裝上必須降低成本才能和 XL-monopiles 基礎進行價格上的競爭。

SALZGITTER MANNESMANN RENEWABLES 公司 jacket 基礎的製造係透過以下方式進行系列式生產(serial production)：

標準化桿件

- 全自動化焊接及非破壞性檢驗
- 低幾何公差(減少焊接及組裝之時間)
- 較訂製管件具價格優勢

自動化節點焊接

- 管件焊接(jacket 基礎製造效益指標)
- 藉自動化焊接以加速製造
- 穩定的焊接品質

軌道式自動焊接及組裝

- 更有效率的對焊
- 與人工焊接相比大幅減少焊接的費用與時程

此外 SALZGITTER MANNESMANN RENEWABLES 公司也利用包含：(1)組合式套件：包含 K、Y、X 節點、標準桿件、腳柱、斜撐斷面或完整構架(2)套件選擇於當地工廠或碼頭製造等方式，大幅降低製造時間與提升組裝效益(詳圖 21)。

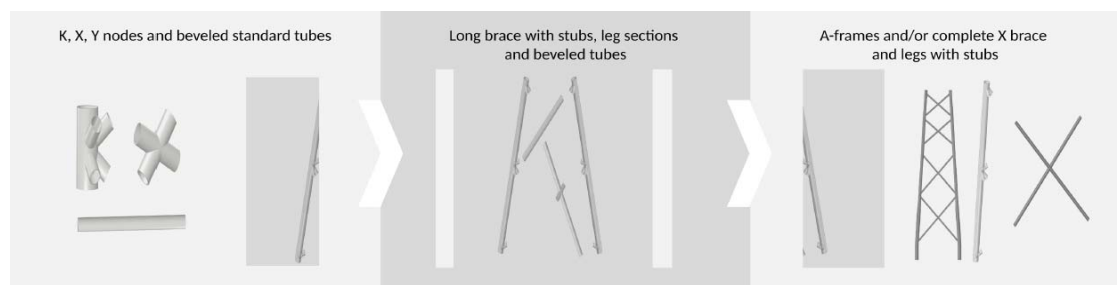


圖 21 組合式套件製造

綜上，SALZGITTER MANNESMANN RENEWABLES 公司表示若 jacket 基礎的製造能採用模組式優化設計、預製元件、標準桿件及系列式生產(serial production)流程，將可減少傳統 jacket 基礎使用點對點(point to point)製造方式 30%的製造費用(詳圖 22)。

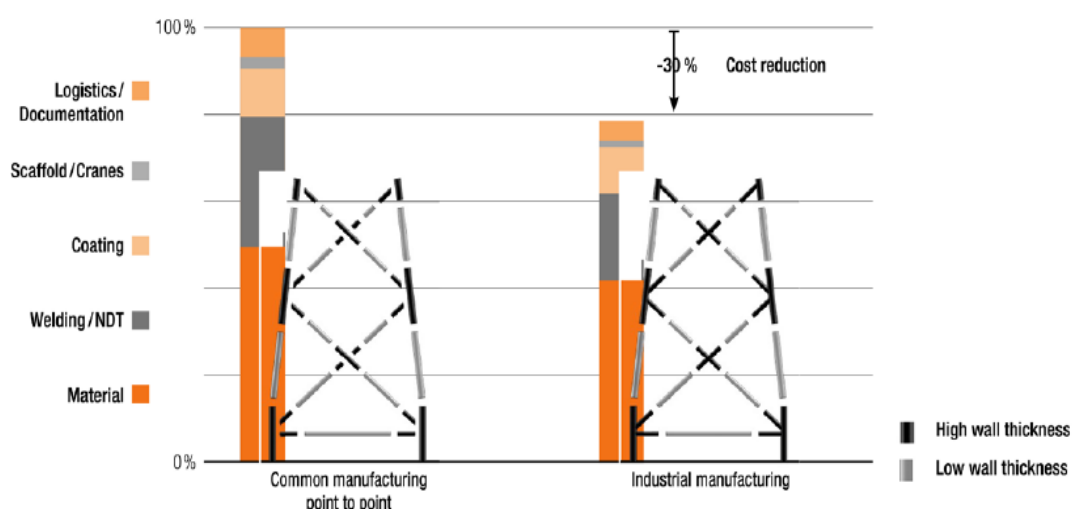


圖 22 傳統式 V.S 產業式 jacket 基礎製造方式之效益比較圖

iii. 小型套筒式構架(Mini Jacket)之施工安裝

隨著離岸風機持續地往離岸較遠的深海佈置，傳統的基礎尺寸及重量也不斷地向上攀升。而目前大部分的風場開發商仍偏向採用單樁式基礎，其主要原因仍來自相對其它基礎提供較好的經濟性。然而，單樁的基礎受限於尺寸上的限制，目前也僅有少數的船機製造商具有足夠的產能足以生產安裝 XL-monopiles 基礎安裝船，而歐洲的產業鏈也因其一直不斷加大(重)的基礎而窮於應付。面對接踵而來的離岸風場建置計畫，業界急需一套具創新及競爭力的基礎設計及施工安裝；因此，小型套筒式構架(Mini Jacket)之構想將格外受關注。會議中 TWD 公司表示小型套筒式構架(Mini Jacket)除結

合傳統基礎優勢並屏除既有缺點外，基礎的製造與安裝亦可配合目前產業既有的供應鏈，協助開發商更可靠且經濟的完成風場的建置。

目前小型套筒式構架(Mini Jacket)適用於 30m 至 40m 之水深，利用小型套筒式模架(Jacket Template)與安裝船上的懸臂鋼架固定，以樁錘錘擊之方式將三支斜樁穿過小型套筒式模架(Jacket Template)的套筒進行施工安裝，最後再以機械式壓接方式(Swaged)固定基樁與小型套筒式模架(Jacket Template)。由於三支斜樁相較於單樁具有較好的結構支撐效果，因此可大幅降低製造所需的鋼材用量，以支撐 8MW 風機之小型套筒式構架為例，主要 4 個組件將各控制於 450T 以下，以利於日後的安裝與吊裝作業(詳圖 23)。

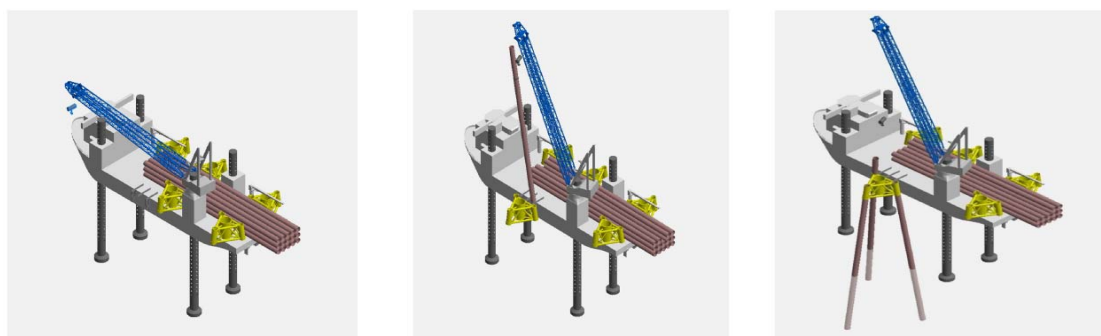


圖 23 小型套筒式構架安裝流程

與傳統 jacket 基礎相比，小型套筒式構架(Mini Jacket)將有效降低下部基礎的材料重量及製造複雜度。此外，透過模組化的元件製造，除便利陸上的運輸及增加製造商參與的機會外，也開啟了亞洲市場的可能性。另小型套筒式構架(Mini Jacket)也適用於現行業界普遍使用的安裝船隻(包含被 XL-monopiles 基礎所排除的安裝船)。綜上所述，小型套筒式構架(Mini Jacket)在製造及安裝上大約可降低採用原傳統 jacket 基礎 30~40%的施工成本。

(3) 離岸風場除役相關議題

i. 風場除役及數量預測

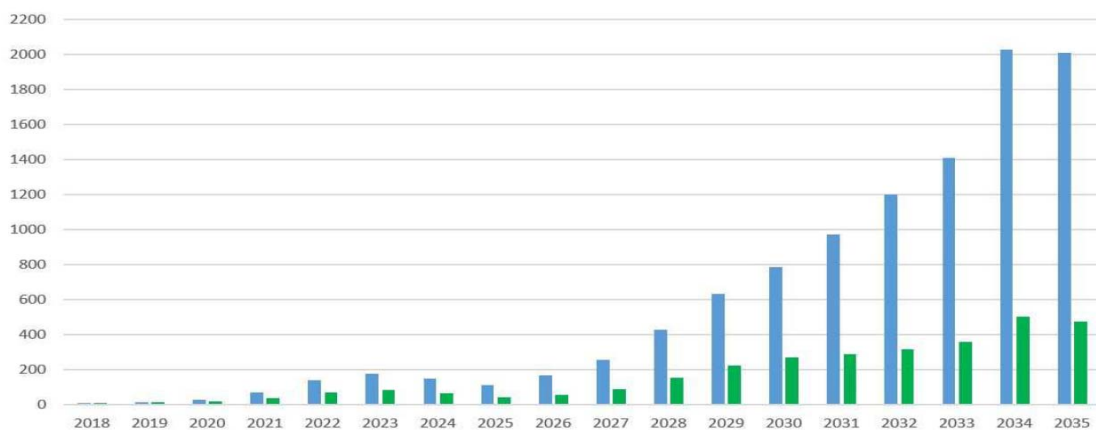
在過去的兩年中，有幾個較早期設置的風場已經除役，包含 Yttre Stengrund, Lely, Hooksiel 和 Vindeby 等風場(詳表 7)，而其餘風場也已經接近設計年限。相比於離岸石油和天然氣於 30 多年前就開始累積的大量經驗與技術發展，離岸風場除役之經驗就相較匱乏，而目前可獲得的經驗大多是從海上石油和天然氣技術轉移所得。隨著未來離岸風場建置速度及越趨大型的風機尺寸，除役工作將變得更具挑戰性。估計到 2035 年，每年將有 2 GW 之風場即將除役。相較於石油和天然氣除役成本主要是使用於環境清潔和防止拆除所造成的污染風險上，離岸風場的除役花費主要是用於海上的拆除作業。

在未來幾年，海上風場除役工作的數量將迅速上升。而目前既有風場的開發商正在評估風場生命週期延長的方式，包含使用新的風機於現有的基礎上，或完整的計畫拆除與更新。表 8 顯示了未來至 2035 年海上風場預計除役的狀況，這些預測是依據 WindEurope 數據所統計，其中歐洲地區以外除役的風場因數量不多，所以在表格中暫不列入。在這個分析中，均假設風場除役的平均時間是每個風場完成後的 20 年，而這個平均時間大約從 2010 年開始才普遍被大家所認定。其中資料顯示到 2020 年，每年平均有一至兩個風場將除役，且少於 10MW。然而從 2020 年到 2025 年間，第一個大型丹麥風場（Horns Rev 1 和 Nysted）及英國 UK Round 1 風場將開始除役，預計每年除役量將達 200MW（100 台風機），而到 2035 年後，估計每年將有 4 至 6 個大型風場，約 2 GW（500 台風機，風機平均裝置容量大約 4MW）需進行除役工作。

表 7 早期風場除役情形

Turbines / wind farms	Country	Number, turbine size	Foundation	Built	End of service	Removed
Nogersund/Blekinge/Svante	Sweden	1 x 220 kW	Tripod	1991	2004	2007
Yttre Stengrund	Sweden	5 x 2 MW	Drilled MPs	2001	2015	2015
Robin Rigg (2 of 60)	UK	2 x 3 MW	MP	2010		2015
WindFloat	Portugal	1 x 2 MW	Floating	2011	2016	2016
Hooksiel	Germany	1 x 5 MW	Tripile	2008	2011	2016
Lely	Netherlands	4 x 500 kW	MP	1994	2014	2016
Vindeby	Denmark	11 x 450 kW	GBS	1991	2016	2017

表 8 離岸風場年預測除役裝置容量



ii. 除役成本與方法

目前除役所須考量之問題包含以下兩點：

- 任何風場計畫從初始規劃階段，即需要先將未來除役方法對成本造成的影響預先評估，例如：設計較大及可以分解成部分零件的組件。
- 評估延長風場生命週期後的成本與效益。

而海上風場的除役主要分為初步工作、制定詳細的施工計劃和取得施工許可

等階段；緊接著才是實際移除風機及其基礎，並處理其他海上結構物和海纜等工作。一般風力機組拆卸的方式是依安裝時相反的程序進行，利用自升式平台船上的起重機拆卸葉片、機艙和塔架。而拆卸的機具主要取決於風機安裝的尺寸和高度，例如：小型自升式起重船上之移動式起重機或浮式起重船就適用於較淺的水深。基礎的拆除方法主要取決於基礎類型以及當時可用的施工船機，單樁或套筒式基礎由海床面上進行切割，包含過渡件在內移除整個基座，而重力式基礎會在卸載後被提起或漂浮至岸邊。



圖 24 早期除役之離岸風場

離岸變電站則是使用類似於拆除小型鑽油平台之方式，使用浮動式重型起重船進行拆卸，首先進行上部變電站，然後才是下部基礎的拆卸。會議中也提到是否移除陣列和輸出電纜是一個未來值得關注的議題，具體取決於現行法規的規定與短期花費成本之間。

而過去幾年針對風場除役的要求已越來越清楚，且成本估算也越來越趨保守及全盤考量。根據研究顯示，每支風機除役成本將超過 4000 萬台幣，其中超過三分之二費用用於拆卸作業之專業船隻，最大的成本不確定性也是在專業船隻的每日動員費上，因其受市場力量的強烈影響，而其他不確定性則包括具體船隻設備的動員時間、操作方法和天候延遲等狀況。

參、心得與建議

- 一、 藉由此次參加離岸風電相關國際研討會及與國際知名公司業務洽商，除瞭解到許多未來離岸風力發電相關政策與技術發展現況外，亦蒐集到許多極具參考價值之資料，對本公司未來在推動及開發離岸風電上將具有重要的參考價值。
- 二、 離岸風力無論是風機或變電站皆位於海上，終年須承受著最惡劣的海象和天候，因此相關之變壓器、絕緣設備及監控保護系統等輕量化、防蝕、防鹽害、通風、散熱等問題，未來於規劃設計時均須審慎評估；此外由於全球暖化日益嚴重，具有創新絕緣氣體(AirPlus)的生態高效 GIS 設備(Eco-GIS)未來亦相當看好取代 SF6 氣體廣泛的使用在電氣設備中。
- 三、 離岸風場的建置，海事工程是一大挑戰，特別是海事工程施工安全方面，因此建立施工期間 ROC (Rehearsal of Concept，概念排練)的觀念以及辨別出所有安裝過程活動中可能發生的介面衝突進而確保海事工程施工場所之安全將相當重要。
- 四、 對應龐大之工程案件，因大多數開發商無法獨力承擔有關的風險，因此，雖然法規上並無強制要求開發商須進行計畫驗證(Project certification)，但計畫驗證(Project certification)是具公信力且技術代表性之監督角色的存在，藉由風場計畫驗證(Project certification)，將確保本公司維護該有的權益及有效降低開發之風險。
- 五、 隨著各風機製造商技術的精進，現今風機單機裝置容量已逐漸往大型化發展。

六、 近兩年來，首座離岸風場已經拆除，然而相比於離岸石油和天然氣於30 多年前就開始累積的大量經驗與技術發展，離岸風場除役之經驗就相對匱乏，且隨著未來離岸風場建置速度及越趨大型的風機尺寸，除役工作將變得更具挑戰性，因此唯有於早期風場規劃階段就將包括：具體船機設備的操作時間、除役使用的方法等考量其中，才能降低其不確定性。