

出國報告（出國類別：考察）

# 考察丹麥職業安全衛生相關機構 及歐洲氫能相關發展

服務機關：勞動部職業安全衛生署

姓名職稱：萬榮富主任秘書

翁立穎技正

派赴國家/地區：丹麥/哥本哈根、歐登塞

出國期間：113年6月15日至6月25日

報告日期：113年9月5日

## 摘 要

綠色能源發展將是我國驅動經濟發展的新引擎，行政院已將綠能科技列入「5+2」產業創新計畫，其「綠能科技產業創新推動方案」之規劃，以「綠能推動」、「產業發展」與「科技創新」為方案之三大願景，其目標為 114 年達到太陽光電裝置容量 20GW、風力發電 4.2GW 之布建與 113 年達到 300 萬戶智慧電表之裝設，以落實政府能源轉型目標。為因應我國綠能產業發展及衍生作業危害，勞動部職業安全衛生署組團考察丹麥綠能產業相關機構，並為拓展台丹雙方交流，強化我國職業安全衛生及勞動保護，勞動部職安署於 113 年 6 月 15 日至 6 月 25 日由萬榮富主任秘書率隊赴丹麥考察，拜訪丹麥 DNV 辦公室、丹麥國家工作環境研究中心與綠能產業離岸風電相關事業單位等並參與第五屆歐洲氫能研討會，以建立合作夥伴關係與溝通諮詢管道，相互分享綠能產業安全衛生資訊，借鏡其綠能產業發展經驗，提升產業安全效能及競爭力。

透過此次考察，除對丹麥政府相關勞動監管單位之政策及安全衛生推動實務有更深入瞭解外，同時促進台丹之溝通交流管道，交流成果豐富，期間所見所聞將有助我國相關政策檢討及精進。

# 目 錄

	頁碼
摘 要 .....	I
目 錄 .....	II
表目錄 .....	III
圖目錄 .....	IV
壹、 考察緣起與目的 .....	1
貳、 考察行程及說明 .....	3
參、 參訪交流與心得 .....	4
一、 拜訪丹麥相關政府單位 .....	4
二、 拜訪事業單位 .....	11
三、 出席 Hydrogen & P2X 2024 研討會 .....	33
四、 參觀哥本哈根焚化廠 CopenHill .....	40
肆、 心得與建議 .....	42
一、 職業安全衛生推廣與國際交流 .....	42
二、 離岸風電職業安全衛生技術與管理 .....	43
三、 氫能職業安全衛生技術與管理 .....	44

## 表目錄

	頁碼
表 1. 考察行程安排表 .....	3

## 圖目錄

	頁碼
圖 1. 拜訪 NFA 雙方交流情形.....	5
圖 2. 拜訪 NFA 雙方於會議室合影、職安署於 NFA 辦公室外留影.....	6
圖 3. 穿著外骨骼輔助設備情形.....	7
圖 4. 丹麥職業安全衛生組織圖.....	10
圖 5. 拜訪 DNV 雙方交流情形.....	12
圖 6. 參訪團致贈 DNV 伴手禮及職安署年報.....	12
圖 7. 參觀 Topsoe 門口合影留念.....	15
圖 8. Ørsted 雙方交流情形.....	19
圖 9. 與 Ørsted 風險與程序安全相關部門雙方會後合影.....	20
圖 10. 與 Ørsted 工程及能源管理部門雙方會後合影.....	21
圖 11. 沃旭環境安全衛生永續作法.....	28
圖 12. 沃旭能源首座丹麥碳捕捉設施作業流程圖.....	29
圖 13. 沃旭能源碳捕作業流程圖.....	29
圖 14. 與 Vestas 機艙廠外合影.....	30
圖 15. 職安署參訪團致贈 Vestas 伴手禮與職安署年報.....	31
圖 16. 歐盟 RED III 法規.....	38
圖 17. 丹麥氫能發展架構.....	39
圖 18. 歐洲潛在工業部門氫氣需求.....	39
圖 19. Hydrogen & P2X 2024 研討會合照.....	40
圖 20. 於焚化廠外合影留念.....	42

## 壹、考察緣起與目的

隨著溫室效應造成之全球氣候變遷日益嚴重，「碳中和」與「淨零排放」等減少溫室氣體排放的目標儼然成為全球典範，加上近年烏俄戰爭更引起各國在能源供給上擔憂，使各界關注於能源轉型並陸續加入淨零排放的宣示與行動。我國淨零路徑於 2022 年規劃完成，2050 淨零排放將會以兩大基礎「科技研發」、「氣候法制」及四大轉型「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」就能源、產業、生活轉型政策預期增長的重要領域制定行動計畫，落實淨零轉型目標。綠色能源及其產業發展將是未來驅動經濟發展及環境永續的新引擎，台灣自 2016 年啟動能源轉型將其能源政策及產業政策扣合，行政院更將綠能科技列為「5+2」產業創新計畫之一，其中以風電、光電、氫能及電動化為首要發展項目，與世界共邁向淨零目標。

1970 年代丹麥經歷石油危機下轉向再生能源，自 1980 年代起開始發展風力發電，1991 年由丹麥能源（Dong Energy，現為 Ørsted，即沃旭能源）興建了世界第一座商業營運離岸風力發電場—溫德比(Vindeby Offshore Wind Farm)，總裝置容量為 4.95MW，每年可供應近 5 千戶家庭使用，也是全球第一座完成退役的離岸風場，在 2017 年完成了風場退役，共計營運了 25 年，具有離岸風場完整生命週期經驗。根據 2022 年環境績效指數(EPI)指出丹麥位居世界第 1 名，其政策包含 2019 年訂定 2030 年相較 1990 年需減少 70%的溫室氣體排放的國家目標，2045 年以前達到淨零排放；丹麥位居歐盟產油國之首，更於 2021 年提出 2050 年實現淨負排放。

在丹麥推動綠能產業的路徑中又以離岸風力發電及氫能應用為最關鍵。在離岸

風電方面，依全球風能協會(GWEC)統計報告截至 2023 年止，達 75.5GW，丹麥設置容量占全球 4%以上。目前參與我國離岸風電的丹麥風電商諸多，如離岸風電領導者沃旭能源 (Ørsted) 及全球最大的風機製造商維斯塔斯(Vestas)等，沃旭的大彰化東南及西南離岸風場已完工並併網及維斯塔斯提升我國在地組裝能力，可見台丹已建立深厚合作關係並深入國內本土在地化，進而能從其經驗學習離岸風電技術與管理及高風險作業職業災害預防相關知能；在氫能方面，丹麥自 2021 年啟動 Power to X (PtX)計畫，為綠色轉型一項重要技術，將風力渦輪機及太陽能發電場等剩餘的綠色電力(綠氫、綠氨)轉換為其他能源載體，不僅提供家庭熱源，也使用於卡車、船舶等運輸工具甚至未來供新型飛機作為燃料使用。另丹麥與德國於 2023 年簽訂 2028 年啟動兩國氫氣管道之基礎建設協議，利用德丹邊界已建置長達 94 公里之瓦斯管線改為氫氣輸送管線，不僅加速 PtX 產業的發展也開啟未來綠氫外銷之潛能。

有鑑於此，勞動部職業安全衛生署今年特別派員考察丹麥上述綠能發展之現況，實地瞭解丹麥離岸風場與氫能相關安全技術以及政府單位在職業安全衛生監督管理上的相關制度與措施，期盼本次的考察可以有助於我國綠能擴建發展，並使勞動部職業安全衛生署可以做為我國 2050 淨零排放發展上避免勞工發生重大職業災害的堅強後盾。

## 貳、考察行程及說明

本次丹麥考察行程從 6 月 15 日出發至 6 月 25 日返抵國門，期間參訪丹麥 DNV 辦公室、丹麥國家工作環境研究中心(NFA)、丹麥沃旭總部(Ørsted)、維斯塔斯(Vestas)、托普索等(Topsoe)等，當中也安排兩日參加 Hydrogen & P2X 2024 研討會，相關之考察行程安排如表 1 所示。

表 1. 考察行程安排表

日期 星期	地點	主要行程
6/15 星期六 6/16 星期日	桃園→英國倫敦→ 丹麥哥本哈根	去程，搭乘飛機前往丹麥
6/17 星期一	丹麥哥本哈根	1. 拜訪 DNV 丹麥辦公室並進行交流 2. 拜訪 NFA 研究中心
6/18 星期二	丹麥哥本哈根	1. 參訪 Topsoe 電解槽 2. 拜訪沃旭總部
6/19 星期三	丹麥哥本哈根	參加 Hydrogen & P2X 2024 研討會
6/20 星期四	丹麥哥本哈根	參加 Hydrogen & P2X 2024 研討會
6/21 星期五	丹麥歐登塞	參訪維斯塔斯 Vestas 機艙組裝廠並進行 交流討論
6/22 星期六	丹麥哥本哈根	參觀 CopenHill 焚化廠
6/23 星期日	丹麥哥本哈根	蒐集資料，會議準備
6/24 星期一	丹麥哥本哈根→ 英國倫敦→桃園	1. 拜訪沃旭總部 2. 回程，搭乘飛機返回台灣(6/25 抵 達)

## 參、參訪交流與心得

### 一. 拜訪丹麥相關政府單位

#### (一) 拜會丹麥國家工作環境研究中心 (簡稱 NFA)

本次拜訪丹麥國家工作環境研究中心是繼 97 年行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所拜訪該中心後，為我國中央行政機關 2 度拜訪，藉此機會至丹麥勞動部項下之研究中心進行職業災害相關研究及經驗交流。以下就本次考察及參訪過程的幾項重點摘述：

##### 1. NFA 機構簡介

該機構為丹麥勞工主管機關 (Ministry of Employment) 下所設置之國家級研究單位，全名為國家工作環境研究中心 (National Research Centre for the Working Environment，簡稱 NFA)，負責工作環境安全政策擬定，協調工作安全相關研究工作及了解國際工作環境研究及發展趨勢。目前研究分項目包含心理社會工作環境、肌肉骨骼疾病與體力負荷、工作意外與安全文化、化學危害與工作環境、毒理學、奈米安全與微生物學、職業流行病學及健康安全的工作生活。

##### 2. NFA 與會代表出席情形

本次參訪 NFA，該中心出席人員甚多，由心理社會工作環境特別顧問 Marie Svensmark Krag 女士 (Special Consultant/Psychosocial Working Environment) 及安全文化和工作事故 Pete Kines 博士 (PhD & Senior Researcher/Safety Culture and Accidents at Work) 負責代表接待，及社會心理工作環境與安全文化以及工作事故研究主管 Henriette Bjørn Nielsen (Head of Research/Psychosocial Working Environment & Safety

Culture and Accidents at Work)、化學工作環境研究主管 Nicklas Raun Jacobsen(Head of Research, Chemical Working Environment)、心理社會工作環境 Anne Helene Garde 教授(Professor/ Psychosocial Working Environment)、安全文化和工安事故 Jeppe Lykke Møller 博士(PhD & Researcher/Safety Culture and Accidents at Work)、心理社會工作環境 Anders Pilmark 研究助理(Research Assistant /Psychosocial Working Environment)等進行各項研究計畫簡報，可以看出 NFA 對於我方參訪的重視程度，又雙方交流情形如所圖 1 所示，會後職安署參訪團致贈 NFA 伴手禮及職安署年報如圖 2 所示，雙方會議室及門口合影如圖 3 所示。



圖 1. 拜訪 NFA 雙方交流情形



圖 2. 拜訪 NFA 雙方於會議室合影、職安署於 NFA 辦公室外留影

### 3. NFA 實驗室及參訪紀要

(1) 本次拜訪先由 Pete Kines 博士介紹 NFA 相關背景及組織結構，接續由職安署由翁技正介紹台灣勞動部及職安署相關部門及職權。NFA 主要介紹目前研究的項目計畫，包含工作時數安全與健康、社會心理工作環境與安全文化及化學與微生物工作環境主題討論，中場安排以下兩個實驗室參觀與討論，各實驗室之說明如下：

- A. 外骨骼輔助設備：根據工作場所需要用到肌肉骨骼作業進行採樣後再利用大數據資料分析，其分析性別，分析大多以男性為主，工作內容如搬運磚塊重物及天花板施作工程等，依數據分析製作肌肉外骨骼輔助設備，包含背負式安全帶等降低肩膀骨骼、背部搬運之職業傷害，如圖 3 所示。
- B. 空氣過濾分析設備：利用過濾分析設備過濾暴露於工作場所的空氣粒子，包含灰塵、飛灰等透過軟體及掃描分析，快速辨別空中懸浮粒子種類，另也有石棉相關分析研究。



圖 3. 穿著外骨骼輔助設備情形

#### 4. NFA 討論重點摘錄

- (1) NFA 組織結構：該獨立研究機構為丹麥勞工主管機關（Ministry of Employment）下屬的單位，約有 130 名全職員工及 100 名全職研究人員，其職員皆屬於公務員，主要資金來源 50%為政府撥款，50%來自計畫研究補助金，目前進行大約 150 件研究項目。
- (2) 丹麥職業安全與衛生背景：丹麥自 1873 年制定工人保護法規，並同時成立政府機構—丹麥工作環境管理局(WEA)監督該法案遵守情形，爾後引進機械防護制定並制定工廠法，於 1954 年擴大適用範圍至一般工人，直至 1975 年統一合併為單一法條「丹麥工作環境法」並適用於所有地面上的工作，自 2019 年起更新工作環境法，新增心理社會工作環境、更新工作場所檢查法及國家工作環境目標的政治協議(包含安全文化、化學、人體工學及心理社會工作環境)，丹麥職業安全衛生組職如圖 4 所示。

- (3) 丹麥工作環境局(WEA)職權及政策：過去 WEA 針對丹麥事業單位查核其工作健康和安​​全是否依據政府規範執行，針對不遵守工作環境規則的企業進行處罰甚至可命令勒令停業，近年來從「統一適用」(one size fits all)策略，將勞檢策略調和為遵循符合歐盟內部的整體發展，主要為更針對性的篩選企業進行檢查及相關預防措施。
- (4) NFA 與 WEA 合作關係：NFA 各個計畫團隊每月都會與 WEA 召開會議，主要透過大數據資料分析、評估並將研究結果即時提供 WEA，迅速根據研究結論轉化為政策工具並協助訂定相關法規及政策。
- (5) 勞工法規方面：丹麥公司員工若超過 10 人以上需建立健康安全組織 (AMO)，主要確保安全健康的工作環境，其組織成員都需要受訓管理及改善提高工作健康及安全標準。
- (6) 社會心理工作環境與安全文化議題：
- A. 使用北歐職業安全氛圍問卷 (NOSACQ-50) 診斷職業安全氛圍和評估安全氛圍介入的工具，該問卷包含 7 個安全氛圍維度的 50 個項目，即小組成員對以下方面的共同看法，反映了員工對組織中安全真正價值的看法，作為減少意外傷害的促成因素，目前全球翻譯共 45 種語言，尚缺中文版本，NFA 也邀請本單位若有興趣可協助一同作業。
  - B. 丹麥鑑於該國興建丹麥-瑞典跨海大橋公共工程發生多起重大職災，NFA 爰與工程機關合作。於公共工程推動實​​施工程全生命週期工作及工法風險評估，以期於初期工作規劃即考慮預防措施。
  - C. NFA 開發「安全觀測 APP」(A Safety Observer)，透過由事業單

位或勞工上傳照片、影片、文字等方式，經由 AI 分析運算安全指數，確認施工作業前中後是否符合安全檢測，包含個人防護具、施作場地、起重機吊掛設備等。

(7) 丹麥夜班輪值工作議題：

- A. 根據研究顯示連續工作後休息小於 11 小時與休息 15-17 小時相比，受傷危險比例高於 39%。Nielsen HB et al. SJWEH (2018)，對比我國目前勞基法已同明定輪班制勞工每周變換班次時，須間隔 11 小時休息。
- B. 針對孕婦工作時數研究顯示一星期輪值超過 1 個夜班，在未來幾周流產危險機率增加 20%。(Begtrop et al. 2019)(目前我國勞基法禁止妊娠女性從事夜班工作，該研究結論進一步為法規提供科學佐證)。
- C. 研究證明為降低罹癌風險及輪班制排程結論如下：
  - a. 輪班制勞工需小於等於連續 3 個夜班班次。
  - b. 輪班制勞工每周變換班次時，須間隔 11 小時休息。
  - c. 輪值制勞工最長工時需小於等於 9 小時。

(8) 化學與微生物工作環境議題：

- A. 消防員：救援火災現場環境充斥著多環芳香烴碳氫化合物(PAH)，容易附著於皮膚造成血球中的 DNA 損傷，進而影響到致癌風險，為利有效去除有害物質，建議提供一輛淋浴貨車放置在救災現場以利執勤結束消防員方便使用。
- B. 養豬場工作人員：豬隻身上使用抗生素導致金黃葡萄球菌(MRSA)產

生抗藥性並透過空氣傳播；研究中安排 24 個受測者參訪養豬場後於 1 小時後 94% 人皆於鼻腔內發現 MRSR，建議進入養豬前配戴個人防護配備。

- C. 廢棄物回收人員：透過 E-cloth 及個人 GPS 空氣採樣器取樣 1 至 2 天的工作環境中暴露的細菌與真菌，分析後建議調整裝載垃圾高度、注意工作環境溫度、定期清潔駕駛座並備有洗手液及更換手套。
- D. 綠能產業相關研究：NFA 目前與生質燃料工廠合作，分析 15 年後工作者暴露於危害環境的身體狀態，也針對固態生質燃料包含木材燃料作業環境容許濃度暴露研究，本署針對這部分有高度的興趣，會後 NFA 也同意留下雙方聯絡資訊，以利後續聯繫，併提供資料供參。

### The Danish Occupational Safety and Health organisation

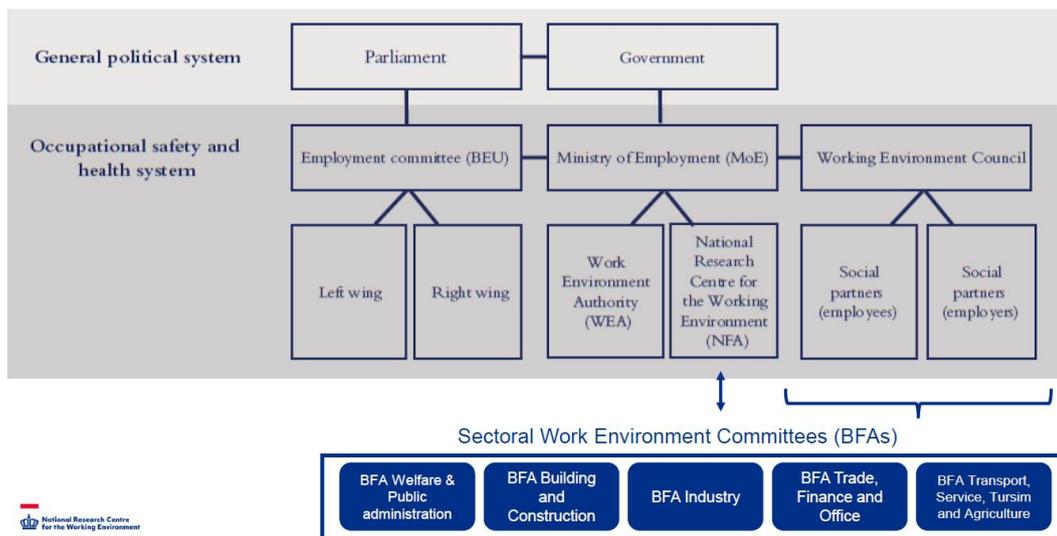


圖 4. 丹麥職業安全衛生組織圖

## 二. 拜訪事業單位

### (一) Det Norske Veritas 丹麥辦公室 (簡稱 DNV)

本次拜訪 DNV 丹麥辦公室交流離岸風電相關驗證及職業安全經驗。以下就本次考察幾項重點摘述：

#### 1. DNV 機構簡介

DNV 於 1864 年成立於挪威，是一個獨立機構，並以商船技術檢查及評估為其主要業務，後以基金會方式成立，並以保護生命、財產與環境為宗旨，目前分布於 100 多個國家，共有 300 餘辦公室，約 9000 餘名員工，其風險管理及認證的非營利組織，有 6 大業務領域，分別為海事、能源系統、數位服務、國際認證、供應鏈及產品認證、加速器等。因應新興能源發展，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目標。

#### 2. DNV 與會代表出席情形

本次參訪 DNV 因離岸風電相關人員有其他要務在身，故由 APAC 區域經理 Mr. Per Enggaard Haahr 接待。雙方交流情形如圖 5 所示，參訪團致贈對方紀念品與職安署英文年報如圖 6 所示。



圖 5. 拜訪 DNV 雙方交流情形



圖 6. 參訪團致贈 DNV 伴手禮及職安署年報

(左起為)職安署萬榮富主任秘書、DNV APAC 區域經理 Mr. Per Enggaard Haahr

### 3. DNV 討論重點摘錄

- (1) Per Enggaard Haahr 先針對 DNV 組織架構進行介紹，DNV 主要服務項目包含第三方驗證檢查、協助尚未訂定標準的新興產業提供建議標準、諮詢並與許多利害關係企業合作建立新規則及準則，經團隊研究及測試後設計出該產品準則及架構。
- (2) 丹麥工作環境法規有關個人安全議題

- A. 陸域風力發電有完善個人安全衛生法令及規範，相對離岸風力發電目前尚未制訂完善規範，加上目前歐盟尚未有離岸風電明確個人安全衛生規範，僅能參考歐盟石油及天然氣相關規定作業及陸域風力發電規範執行。
  - B. 因應丹麥無離岸風電個人安全衛生相關法規，有些承包商於計畫內會特別明確規定需要完成 GWO 訓練，其屬額外附加項目不屬於法規範圍，故丹麥目前遇到的挑戰即為建立相關法規或是於承包商合約裡面附加其相關規定。
  - C. 有關離岸風力機組及變電站附設之載人升降設備，因丹麥任何電梯皆須符合丹麥工作環境法規定並定期檢查，其涉及人身安全故若委託 DNV 承包會將風機及塔內電梯一同檢查。
  - D. 有關 PtX 計畫將離岸風力機組產製綠氫供調節電網，部分新創公司設想於海上現地產氫再使用管線將氫氣運回陸地，DNV 認為有設備、管路安全疑慮，認應將電力傳回陸地後使用陸上產氫設備產氫。
- (3) 台灣面臨能源挑戰：丹麥 PtX 計畫可以將多餘的氫能、電力儲存並透過網絡與歐洲他國進行買賣，因應台灣地理位置關係，無法像歐洲鄰近國家可互相交易，DNV 建議可從其他能源補足。
- (4) DNV 面臨的挑戰
- A. 離岸風電相關基礎：丹麥目前離岸風電相關作業訓練皆由陸域風電技術轉移過來，如何去針對離岸風電進行調整及規定為一項挑戰，包含高空作業及海運人員轉移等。

- B. 浮動式風機：從深水碼頭轉移至海上風險管理為一項挑戰，其涉及電纜、電力等，因應丹麥施工場地電線、電纜等規定不能放置於地上，需架高其位置等皆須符合規定。
- (5) 因離岸離岸風力機組及變電站等離岸風力設施設置於海上，現行以陸域環境訂定之安全衛生法規、標準未必適用於離岸設備，故 DNV 發展多項運用於離岸設備之安全標準或指引，如防爆電氣、機械安全、設備壽命評估…等，目前 DNV 離岸變電站有相關規章，其內容無涉及專利技術層面，故 DNV 表示可提供本署參考，有利未來我國離岸風電相關準則訂定。

## (二) 拜訪托普索(Topsoe)

### 1. Topsoe 機構簡介

托普索（原名 Haldor Topsøe）是一家丹麥公司，由 Haldor Topsøe 於 1940 年創立。該公司專注於碳減排技術，為全球能源轉型提供技術、催化劑和服務。其中包括專有的固體氧化物電解槽（SOEC）高溫電解技術及多項催化劑的生產。

### 2. Topsoe 與會代表出席情形

本次參訪 Topsoe 為參加 Hydrogen & P2X 2024 研討會額外提供的免費報名行程，Topsoe 安排相關人員簡報包含行銷主管 Greg Jessiman(Head of Marketing)、產品開發主管 Christian Wix(Head of Product Development)、SOEC 電池專家 Peter Blennow(SOEC Cell Expert)、資深業務開發處長 Joachim Harteg Jacobse(Senior Business Development Director)、產品線處長 Sandra Winter-Madsen (Product Line Director)，會後於門口合影留念如圖 7 所示。



圖 7. 參觀 Topsoe 門口合影留念

### 3. Topsoe 參訪紀要

(1) 本次參訪於 Topsoe 總部會議室中進行 Topsoe 的歷史簡介、SOEC 商業規模及氨裂解介紹等，目前 Topsoe 專注於固態氧化物電解電池(SOEC)，其綠氫生產是 PtX 鏈的核心，流程依序包含可再生能源 SOEC 電解、綠氫、合成技術與過程到最後化學品、燃料、運輸、電力和公用事業、鋼鐵、化肥並應用於船運、航運、運輸及化學方面。

#### (2) 固體氧化物燃料電池技術發展

A. 於 1989 年 Topsoe 開始固體氧化物燃料電池技術的研究與發展，即預測未來替代燃料的需求，故以此由協助解決問題，包含能源需求指數級增長、能源價格上漲、全球變暖加劇及化石燃料的能源運輸限制，其研究從電解所有組成包含電極、單元、堆棧、核心和系統皆有涵蓋各種規模調查。

B. Topsoe 選擇 SOEC 進行研究與發展主要原因包含效率、燃料靈活性、二氧化碳排放減少、擴展性、城市兼容性及能源安全，其先進技術應用如下：

a. 分佈式發電：優勢在於能夠減少傳輸和分配損失，提高能源效率，並增加電力供應的可靠性。

b. 輔助電源單元 (APU)：提供推進以外的功能所需的能源。通常用於飛機、大型卡車等車輛的電力系統。

c. 微型熱電聯供 (M-CHP)：為分佈式發電技術的形式之一，其生產電力及熱能，適用於住宅及小型商業建築。

(3) 合成燃料(electro-fuels)：從綠色來源(如氫氣、電力和從煙氣或空氣

中捕捉的二氧化碳)合成的燃料,Topsoe 選擇其主因為來自可再生來源的 eSAF 需求增加(如電力、水和二氧化碳)加上這種需求主要通過立法推動,其中 eREACT™技術為合成燃料裡生產最佳方式,能夠將各種原料轉化為低碳氫化合物或其他化學品和燃料。

- (4) 鑑於製氫設備安全高效運作對於保護人員和維持獲利能力至關重要,為確保加氫裂解裝置的安全運行,Topsoe 蒐集國際上加氫裂解裝置事故中的安全策略與經驗教訓、預防性維護、安全殼失效和溫度偏差等,並編撰為訓練課程,可供我國借鏡。

### (三) Ørsted 沃旭總部

#### 1. 沃旭總部簡介

總部位於丹麥，前身為丹麥石油與天然氣公司 (DONG Energy)，是丹麥最大的能源公司，也是全球最大的離岸風電開發商。沃旭能源開發、建造和經營海陸風力發電廠、太陽能發電廠、儲能設施、再生氫氣和綠色燃料設施，以及生質能源廠。

沃旭以前被稱為東能源，是一間傳統化石燃料公司靠銷售熱電賺取了大部分收入，其中 85%來自煤炭。2009 年，東能源宣佈一項重大戰略轉變制定了 85/15 的新戰略和願景，希望將熱能和發電組合，從 85%的傳統、15%的再生能源，更改為 85%的再生能源、15%的發電組合，花了 30 年從化石燃料轉向綠色能源，沃旭能源大量投資離岸風電和逐步淘汰煤炭。

#### 2. Ørsted 與會代表出席情形

本次參訪沃旭總部二次，分別拜訪不同部門，其一主要為風險與程序安全相關部門，代表出席人員包含 QSHE 風險設計與供應鏈管理主管 Mr. Ben Turgoose(Head of QHSE Design Risk & Supply Chain Management)、程序安全管理主管 Henrik Sønberg Fanø(Head of Process Safety Management)、程序安全資深專案經理 Louise Grann Laurson(Process Safety Senior Project Manager)、資深程序安全專員 Shen Zhao(Senior Process Safety Specialist)及 QSHE 顧問 Uni Lin，雙方交流情形如所圖 8 所示，與 Ørsted 風險與程序安全相關部門會後合影如圖 9 所示。

其二拜訪單位主要為工程及能源管理部門，代表出席人員包含 QSHE 亞太區臨時負責人 Åse Saar(Interim Head of QHSE APAC/Head of APAC QHSE

Supplier management)、資深 HSE 經理 Ulla Trabjerg Juhl(Senior HSE Manager Construction Management & QSHE)、碳捕捉儲存中心產品優化專案處長 Kathrine Høeg Joanson(Program Director CCS Hub Portfolio Optimisation & Project) 及工程管理、QSHE 生物能源主管 Hans Rasmussen(Head of Construction Management & QSHE Bioenergy)及 QSHE 顧問 Uni Lin。與 Ørsted 工程及能源管理部門雙方會後合影如圖 10 所示。



圖 8. Ørsted 雙方交流情形



圖 9. 與 Ørsted 風險與程序安全相關部門雙方會後合影

左起分別為工安協會 黃建平副秘書長、溫晨昀管理師、翁立穎技正、萬榮富主任秘書、QSHE 風險設計與供應鏈管理主管 Mr. Ben Turgoose(Head of QHSE Design Risk & Supply Chain Management)、程序安全管理主管 Henrik Sønberg Fanø(Head of Process Safety Management)、資深程序安全專員 Shen Zhao(Senior Process Safety Specialist)、程序安全資深專案經理 Louise Grann Laurson(Process Safety Senior Project Manager)及 QSHE 顧問 Uni Lin



圖 10.

圖 11. 與 Ørsted 工程及能源管理部門雙方會後合影

(上)左起分別為工安協會溫晨昀管理師、職安署翁立穎技正、職安署萬榮富主任秘書、QSHE 亞太區臨時負責人 Åse Saar(Interim Head of QHSE APAC/Head of APAC QHSE Supplier management)、QSHE 生物能源主管 Hans Rasmussen(Head of Construction Management & QSHE Bioenergy)及 QSHE 顧問 Uni Lin

(下)左起分別為職安署萬榮富主任秘書、QSHE 亞太區臨時負責人 Åse Saar

### 3. 沃旭總部參訪紀要

(1) 拜訪沃旭時會針對訪客先行提供平面圖涵蓋職業安全相關資訊，如緊急逃生出口路線、各部門緊急集合點、自動體外心臟電擊器(AED)位置及救護車路線等，足見沃旭對於其員工職業安全方面之重視程度及工安文化落實。

#### (2) 風險與程序安全相關部門

A. 會議上沃旭程序安全管理主管 Henrik Sønberg Fanø 準備安全衛生議題討論「2019年挪威加氫站爆炸事件」作為引言，透過程序安全層面探討主要引發爆炸原因，其主因為高壓儲存裝置的氫氣罐中特定插頭的裝配錯誤及螺栓未正確安裝，導致氫氣泄露，整個過程皆涉及程序安全細節，包含螺栓鎖固、選材等。

B. 本次參訪由QHSE風險設計與供應鏈管理主管 Mr. Ben Turgoose 介紹沃旭歷史背景、目前運作狀況及未來發展等；沃旭主要目標為安全衛生前提下發展綠能轉型並執行QHSE策略，後續則由程序安全資深專案經理 Louise Grann Laurson 及資深程序安全專員 Shen Zhao 分別介紹案場設計規劃階段引入量化風險評估(Quantitative Risk Analysis)方法降低建造及營運階段之安全衛生風險及事故風險成本，並製程安全管理理論及製程安全管理作業(PSM)。

C. 製程安全管理作業：製程安全管理 Process Safety Management(PSM)是一種系統化的方法，用於辨識、評估和控制涉及危險物質的工業流程中的風險。在離岸風場的管理中，製程

安全管理作業的實施對於風場運營的安全極其重要，特別是在極端氣候條件下運行的大型風力發電裝置中。

- D. 製程安全第一步為危害辨識如風機故障、電氣故障、極端天氣條件、船隻碰撞及相關安全操作程序包括風機的啟動和關閉程序、日常維護、突發事件應對等，另也針對設備做定期檢查和維護包括風機、電纜、變電站等設施，以防止設備故障。
- E. Ørsted 充分應用製程安全管理作業針對離岸風場進行管理，透過持續改善過程以確保風場運營安全及環境保護，得以有效地預防事故發生，並在事故發生時迅速應對，以降低風險、保護人員及設施安全。
- F. NFA 提及的職業安全氛圍問卷（NOSACQ-50）-工安對談紀錄（PRD）及安全觀測 APP-工安對談紀錄工具，兩項研究成果沃旭目前已實際納入運用，其目的為紀錄工安作業是否確實執行並利用改進措施以減少事故，工安對談紀錄表詳如附件一。
- G. 因應淨零政策沃旭提出相關環安衛永續做法，包含回收再利用太陽能板、積極與他國合作建設離岸風廠等，並將永續性和誠信融入其營運中，如圖 12 所示。
- H. 沃旭針對台灣綠能發展之建議
  - a. 因台灣離岸風電法規訂定僅為最低安全標準無法保障人身安全，導致沃旭與承攬商在溝通上遇到一些挑戰，故建議若我國未來法規訂定可要求更嚴謹的制度確保個人人身安全，將朝更好的職業安全方面邁進。

- b. 針對台灣綠能擴建部分，若是能在進入市場前有個明確規範，包括將安全衛生放入投標階段及政府相關的協助，將能夠更順利執行計畫；由於目前台灣離岸風電僅有通案性訓練課程但沒有其專門訓練課程，後續將與台灣合作的開發商召開共識會議並提供確切作業時間，包含事前作業及後續公私合作等部分，希望後續能與沃旭合作召開交流會議建立屬於台灣的離岸風電作業安全評估手冊及研提可能解決方案。
- c. 目前沃旭在世界各地皆有安排安全意識教育訓練課程，以安全引導歸納五個主題重點，其一為意外事故發生，透過相關數據統計了解意外事故後果及其安全預防，其二為外部預防措施，透過法規、職業安全衛生管理系統及工安對談紀錄(PRD)等做相關預防措施、其三為個人防護裝備，了解如何選擇及正確使用個人防護具以預防意外事故發生，其四為內部預防措施，包含辨識潛在風險和危害、改善的可能性、有主動的安全行為和預防意外事故發生等，其五為訊息回報，為找出需要被改善和回報的項目並學習如何使用工安對談紀錄工具，未來人員訓練部分亦可參考其課程規劃，提供安全意識教育訓練。
- d. 沃旭提供各國標準訂定的規範及方向供參考，如挪威制定其安全標準制度相對歐洲極其嚴苛，若未達標即為吊銷執照；英國目前則除石化業外亦針對離岸風電規定皆需建立安全系統標準(performance standard)，其架構可供未來我國離岸

風電訂定作業安全評估手冊及研提可能解決方案可朝這方面參考並蒐集資料。

### (3) 工程與能源管理相關部門

- A. 本次參訪由 QSHE 亞太區臨時負責人 Åse Saar 擔任接待，並由碳捕捉儲存中心產品優化專案處長 Kathrine Høeg Joanson 介紹沃旭能源丹麥首座碳捕捉設施，後續由工程管理、QSHE 生物能源主管 Hans Rasmussen 介紹工程管理職業安全部分。
- B. 沃旭能源丹麥首座碳捕捉 (carbon capture and storage, CCS) 設施
  - a. 2023 年 12 月 4 日沃旭展開建置凱隆堡能源站(Kalundborg Hub)兩座碳捕捉 (carbon capture and storage, CCS) 設施，將用於捕捉和封存來自位於丹麥西蘭島西部凱隆堡的 Asnæs 木屑生質能電廠，和位於哥本哈根地區的 Avedøre 秸稈(小麥、玉米等禾本作物成熟脫粒後剩餘之莖葉)生質能電廠的碳排，其作業流程圖如 11 所示。
  - b. 沃旭能源於 2023 年 5 月獲得丹麥能源局此項碳捕捉計畫 20 年合約，預計從 2026 年初起，每年可捕捉及封存來自這兩座汽電共生廠約 430,000 噸生物源二氧化碳。從燃燒秸稈和木屑的生質能發電站中捕捉和儲存二氧化碳有助於去除大氣中的二氧化碳，為丹麥 2025 年和 2030 年的氣候目標做出實質貢獻。
  - c. 自 2021 年起，木質能源有了國家永續發展和溫室氣體減排標

準，其所有木質生物質都是經過第三方認證達到標準。

C. 丹麥碳捕捉作業

a. 碳捕捉過程首先透過直接冷卻器 (Direct Contact Cooler) 將煙氣噴灑水降溫，並去除其中的顆粒物，煙氣會通過風扇進入吸收塔，塔內即會噴灑專用的胺溶液，胺會從中提取二氧化碳並過濾除去產生的鹽及雜質，再由解吸器加熱從胺中排出二氧化碳，其純二氧化碳被冷卻、冷凝水分離再回到胺循環，其碳捕捉作業流程圖如圖 12 及圖 13 所示。

b. 儲存及運輸：捕捉的液化二氧化碳會透過卡車或船隻運送至最終的永久地質儲存設施。該設施由 Northern Lights 公司運營，提供安全的地下儲存服務，並將二氧化碳注入海床下 2,600 米的鹽水層中，最終二氧化碳會在岩石孔隙中礦化。

D. 沃旭凱隆堡電廠及阿斯耐斯電廠於 15 年前皆已從煤炭發電轉型為生質能發電，因供應商網絡皆已穩定建立，故生質能燃料能穩定供給。

E. 沃旭鍋爐作業流程：根據 10 至 15 年研究及測試後選擇粉狀作業處理燃料而非固體燃料，主要能控制鍋爐流程標準化。燃料若為木屑則被磨成粉末後進入鍋爐，因鍋爐底部有沙子，當加熱時會變成流化狀態並透過調節來控制溫度；若為秸稈，進入鍋爐前會有特殊的過濾方式讓其均質化及流體化處理。

F. 沃旭二氧化碳設施議題：

a. 二氧化碳純度的控制是以鍋爐沸煮轉到儲存槽，過程中有使

用觸媒加上儲存槽有再一層的過濾器，使其確保純度夠高，整個二氧化碳販賣有明確的規範。

- b. 目前二氧化碳販賣對象僅限工業用途，未來希望普及推廣。
- c. 執行 MRV 計畫(Monitoring, Report, Verification plan)：每年檢查並更換二氧化碳設施零件，利用完善數據作業將其報告提供給丹麥政府及合作夥伴。

#### G. 沃旭針對台灣離岸風電面臨挑戰提供建議

- a. 風力不穩定議題：因應風力不穩定，台灣目前仍然需要火力發電廠作為基載電力，沃旭建議可以透過使用電解槽，以風力發電產生的多餘電力來電解水產生氫氣，並將其儲存起來。在風力不足時，即可以使用儲存的氫氣來發電，確保電力供應的穩定性。以氫氣作為一種儲能介質，緩解風力發電的問題，並提高整體電力系統的可靠性和靈活性。
- b. 拆除零件議題：台灣在拆除零件時皆為整件賣給供應商，以供應商角度為盡快完成拆除作業換取現金為主，則與職業安全衛生前提有所衝突；相對丹麥政府依職業安全衛生法及環境法特別規定拆除零件必須依照其片數及尺寸等進行買賣，賣的時候也須遵循賣方的規定，加上需要拆除的業主皆須依法規上完教育訓練才能進行買賣。針對這部分，因台灣需根據不同行業別個別制定詳細規範，故以目前法制上若要參照執行相對具挑戰性也較難實施，但仍可以參考丹麥政府做法作為借鏡。

c. 工作時數議題：丹麥工作時數為 8 小時，歐洲總月時數為 48 小時，若遇到工期延宕將會有緩衝時間，相對台灣工作環境部分將工期安排較緊湊比較沒有足夠的緩衝時間做準備，丹麥工程統包給一家作業，負責時程控管。建議台灣在計畫工程時將正常工時考量進去，但因目前台灣公共工程委員會招標規定針對工時抓較緊，業者未於期限內完成違約也須繳交罰款故以目前台灣現況來說還是相當具有挑戰性。



圖 12. 沃旭環境安全衛生永續作法

## Our key partners in Ørsted Kalundborg CO2 Hub

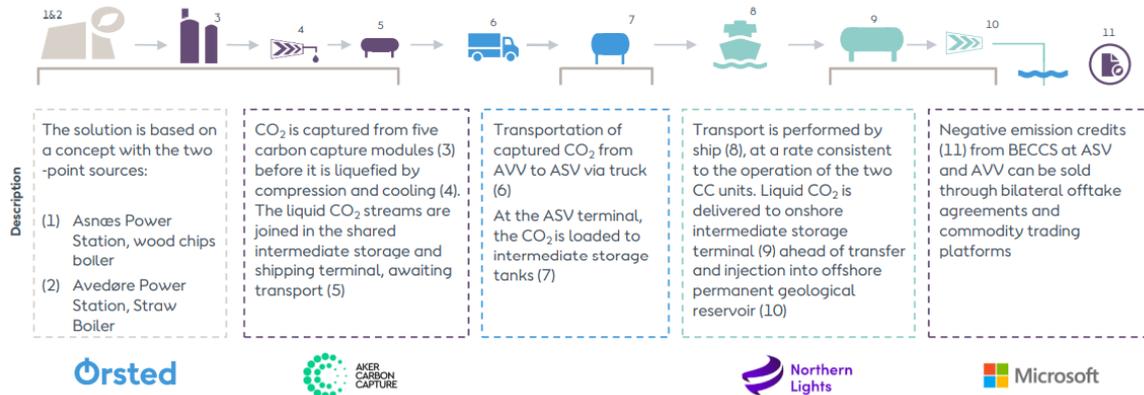


圖 13. 沃旭能源首座丹麥碳捕捉設施作業流程圖

## Aker JustCatch100, 13 t/h carbon capture unit – process walkthrough

- In the Direct Contact Cooler, the flue gas is sprayed with water to bring down the temperature and remove remaining particles.
- The flue gas fan blows the flue gas into and through the absorber.
- In the absorber, the flue gas is sprayed with a special amine that extracts the CO<sub>2</sub> from the flue gas. At the top of the absorber the clean flue gas is sprayed with water to remove any amine that is suspended in the flue gas.
- The amine with absorbed CO<sub>2</sub> is taken out at the bottom of the absorber and filtered to remove salts which is sometimes created due to impurities in the flue gas.
- The flue gas is led to the desorber, where it is heated to expel the CO<sub>2</sub> from the amine. At the top of the desorber, the CO<sub>2</sub> is sprayed with water to remove any amine which is suspended in the CO<sub>2</sub>.
  - In the reboiler, the amine with CO<sub>2</sub> is heated by steam
  - To minimize energy costs in the amine process an extra element has been introduced to save energy.
  - The amines are gradually degenerating in the process so a chemical treatment is done to a part of the stream to keep the amine fresh.
- The pure CO<sub>2</sub> is cooled and any condensed water is separated and fed back into the amine loop.
- Since the absorber needs to be cool and the desorber needs to be hot, the warm amine from the desorber is cooled with the cool amine from the absorber for improved energy efficiency.

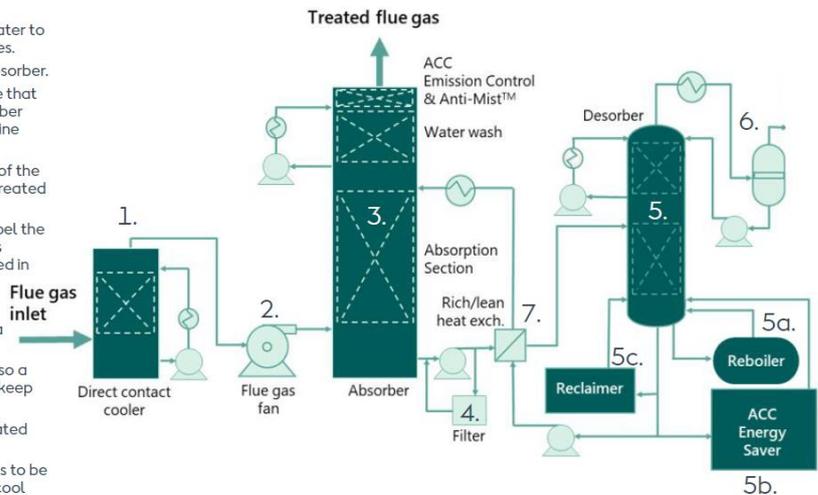


圖 14. 沃旭能源碳捕作業流程圖

#### (四) 維斯塔斯(Vestas)

##### 1. 維斯塔斯公司簡介

Vestas 創立於二戰後的丹麥，是一家小型家庭經營的製造商。多年來，該公司為輕型卡車製造和供應液壓系統。在 1970 年代，它開始研發替代能源的解決方案，並於 1979 年完成了第一台商業用風力渦輪機。自 1989 年以來，該公司專注於風力渦輪機的生產，並在全球設計、製造、安裝和服務風力渦輪機，為全球風力發電領域的領導者。

##### 2. 維斯塔斯與會代表出席情形

本次拜訪維斯塔斯與會代表 HSE 專員 Cecilie Randa Rasmussen(HSE Specialist) 及製程安全專員 Steffen Hassel Rosenfeldt(Nacelle Production)二位帶領參觀 Vestas 機艙廠，因廠內無法拍照攝影故於廠外合影如圖 14 所示及參訪團致贈對方紀念品與職安署英文年報如圖 15 所示。



圖 15. 與 Vestas 機艙廠外合影



圖 16. 職安署參訪團致贈 Vestas 伴手禮與職安署年報

左起分別為職安署萬榮富主任秘書、維斯塔斯 HSE 專員 Cecilie Randa Rasmussen

### 3. 維斯塔斯參觀紀要與討論重點摘要

(1) 維斯塔斯於參訪廠房前預先安排 3 分鐘安全宣導影片，讓訪客了解進入廠房前重要須知，包含穿著 Vestas 工作服、頭盔及安全鞋，進入廠房後需行走於綠色走道及遇到各緊急狀況各廠房安全逃生路線及集合點，看得出來維斯塔斯對於職業安全方面做足相關措施。

(2) 本次參觀共兩座廠房，包含舊式機艙廠及新式機艙廠，作業程序一致，僅差異在設備新舊及設計不同，參觀內容如下：

A. 機艙安裝作業：分為四個階段，該階段完成後會向後移至下個階段作業，包含從一件式馬達、外殼烤漆到最後測試階段為一條線作業方式，確認測試無誤後直接從大門推出去作業。

## B. 機艙廠內職業安全作業

- a. 各廠房外皆放置檢查表，當緊急發生事故或火災時，各廠負責人會確認廠內是否有人員意外或傷亡並填妥廠區確認卡依各廠房安全路線至集合地點，若無拿取該廠區確認卡消防員即前往該廠救援。
  - b. 歐洲法制規定各廠房機器旁皆需安裝緊急安全鈕，當發生意外時可直接按下緊急安全鈕停止機器作業，以防意外事故發生。
- (3) WEA 檢查作業議題：WEA 針對丹麥各事業單位會派檢查員不定期且不經告知即來訪，檢查是否遵循每一項指示和法規。丹麥事業單位有義務去符合 WEA 的檢查項目，其檢查頻率根據公司規模大小而有所不同，如 Vestas 目前廠區人員眾多 WEA 大約每年來 3-4 次檢查，若較小規模公司相對地可能每年 1-2 次檢查，若無法遵守相關法規則需繳交罰款。
- (4) 外籍移工證照議題：針對外籍移工部分若需要操作起重機或升降機皆需擁有丹麥相關專業證照，可以選擇於丹麥政府申請將外國證照轉為丹麥證照，但所需時間過於冗長，故大多數的外籍移工仍會選擇於丹麥重新考取相關證照。

### 三. 出席 Hydrogen & P2X 2024 研討會

#### (一) Hydrogen & P2X 2024 研討會

##### 1. Hydrogen & P2X 2024 研討會簡介

第五屆氫能研討會於 6 月 19 日及 20 日丹麥哥本哈根 Crowne Plaza Copenhagen Towers 飯店會議廳辦理，此次主辦單位為 RamBoll，其贊助商包含 DNV、SIEMENS、COWI 等氫能相關廠商，本次參與會議人數高達 200 人，主要針對氫能相關最新發展及各企業於氫能突破性創新分享，於會議結束前皆安排一場專家會議討論。

##### 2. Hydrogen & P2X 2024 研討會紀要

(1) 根據 2019 年挪威加氫站爆炸事故，目前丹麥針對氫氣案例有相關適用的基礎設施及設備的法條，包含工作環境法、瓦斯安全法、電力安全法、環境保護法及環境評估法等，其歐洲及國際標準氫氣主題亦可參考 2023 年 3 月 European Clean Hydrogen Alliance (ECH2A) 發布的 Roadmap on Hydrogen Standardisation。

##### (2) 歐盟執委會(European Commission)

A. 氫和天然氣市場脫碳相關方案於 2024 年 5 月開始適用並補足歐盟氫能框架，包含制定未來氫能網絡及定義低碳燃料(包含氫)，如第 90 條通過授權法案，具體明確評估低碳燃料溫室氣體減量的方法等，為避免利益衝突未來將成立一個氫傳輸網絡營運協會(ENNOH)。但與會業者詢問歐盟官員針對未來氫氣相關管制規定規劃時，歐盟政策官員 Carla Benauges 回答：『我無法預測未來科技發展，我不知道』，並補充考量氫能技術進步迅速，歐盟近年來

針對工業氫氣及運輸安全，係以提出新的範例及建議等因應。

#### B. REPowerEU 計畫

- a. 2022 年 5 月實施 REPowerEU 計畫，為應對俄羅斯入侵烏克蘭造成的困難和全球能源市場的混亂，逐步停止俄羅斯化石燃料進口並保護歐盟公民及企業免受能源短缺影響，透過削弱俄羅斯的戰爭資金支持烏克蘭，加速了向清潔能源的過渡期穩定其價格。
- b. 為確保歐盟氫能進口管線之應用，積極締結雙邊及歐盟層級合約，目前已與 10 多個國家簽署氫能合作備忘錄，包含摩洛哥、烏克蘭等。

#### C. 歐洲氫能銀行 EHB(European Hydrogen Bank)

- a. 支持歐盟內部再生氫能的使用，促進歐盟的氫氣經濟轉型並提供固定補貼，以減少綠色氫氣的生產成本。
- b. RED III: 歐盟過去 12 個月針對工業氫氣及運輸實施的法規，促進綠色氫氣和低碳燃料的需求，RED III 法規如圖 16 所示。
- c. 目前已完成第一輪招標，針對歐洲可再生氫生產進行的試點拍賣共有 17 個歐洲國家項目的 132 份投標申請，最終以 7 個計畫得標，每年需繳交 158,000 噸氫氣。

### (3) PtX 目前發展階段

- A. 歐盟法規到位：歐盟已經制定了一系列法規，旨在刺激對綠色氫氣和低碳燃料的需求。這些法規為市場提供方向和穩定性，有助

於推動相關技術的發展。

B. 氫氣基礎設施的逐步建立：歐洲各國正在加速建設氫氣基礎設施，其中德國在這方面表現尤為突出，其他國家也希望效仿。

C. 管線計畫：有強大的歐洲管線計畫。

#### (4) 丹麥目前可再生能源及電氣化狀態

##### A. 可再生能源和電氣化

a. 可再生能源的使用：丹麥在可再生能源和電氣化方面取得了顯著進展，特別是在風能和太陽能方面，丹麥已經成為全球領先的國家之一。

b. 電氣化進程：丹麥的電氣化進程也在加速，包括使用電動汽車、熱泵和電力驅動的工業解決方案等。

##### B. 氫氣架構

a. 北海風能：利用北海的風能資源，丹麥正在建設大規模的風能發電設施。

b. Jutland 的 PtX 項目：在 Jutland 地區推進的 Power-to-X 項目，旨在將可再生能源轉化為氫氣和其他能源形式。

c. 丹麥-德國管道：建立連接丹麥和德國的氫氣輸送管道，促進跨國能源合作。

其透過三項方式進行氫氣擴展及儲存，並與他國跨國合作，丹麥氫能發展架構如圖 17 所示。

(5) COWI 為丹麥能源轉型諮詢公司，於 2024 年 5 月 30 日參與丹麥第一座氫基礎設計畫，該計畫預計延伸 500 公里氫氣管道穿過丹麥日德蘭

半島至德國，將丹麥產出綠氫出口至歐洲。

- (6) 氫氣歐洲協會(Hydrogen Europe)為代表氫工業及其利益相關者的歐洲協會，致力於推動氫成為零排放社會的推動者，目前歐洲潛在工業部門氫氣需求如圖 18 所示。
- (7) 當產生的電力能直接使用是最佳解，氫氣則為次優選項，當氫無法使用地方，則可選擇替代燃料如甲醇、氨等，氫氣。氫氣優點在於零排放和高效率，但面臨的挑戰包括生產成本高、基礎設施建設需求大以及目前技術仍需進一步完善。
- (8) DNV 宗旨為提升產業安全發展、保護生命財產和環境並成為全球轉型值得信賴的驗證單位，其在氫能、爆炸防護和安全標準領域擁有豐富的經驗，亦參與 CostFX 計畫並針對氫爆炸防護進行專業的技術支援與分析。計畫第一階段為透過基礎知識了解氫爆炸相關原理，並測試爆炸結果蒐集相關數據分析，於第二階段則更新其設計方法和指南並提供氫相關作業人員安全指南，DNV 參與計畫相關作業如下：
  - A. 技術評估與建議：DNV 通過先進的風險分析工具與模擬技術，針對氫氣爆炸的潛在風險進行深入評估，並提出最佳的防護措施，以保障設施的安全。
  - B. 技術驗證和改進：DNV 針對新型防爆材料、防爆設備和監測系統進行測試，以確定它們是否能夠在真實環境中有效預防和控制氫氣爆炸風險。
  - C. 標準制定與遵循：DNV 協助 CostFX 計畫參與方遵循相關的國際標準和安全規範，確保氫氣的安全儲存、運輸與使用，並協助開發

新技術和標準以適應快速發展的氫能產業。

- D. 數據基礎奠定決策方向：DNV 透過相關數據的分析並持續監控氫氣的使用狀況，協助企業制定安全操作手冊及維護計畫，以降低事故發生率。
- E. 教育與培訓：DNV 為計畫團隊和相關企業提供專業的培訓課程，課程內容涵蓋氫氣安全、風險管理和緊急應變等方面的知能，不僅使參與者提高對氫氣爆炸風險的認知，亦能有效的預防危險事故發生。

#### (9) 氫相關技術發展

- A. 氫氣合成過程關鍵技術包含水電解製氫、二氧化碳捕捉及後續的合成反應，從而生產出清潔的燃料，其水電解系統如下：
  - a. 鹼性水電解：歷史最悠久技術，為廣泛應用，使用鹼性電解液來提高導電性，其成本較低，但效率相對於其他技術稍低。
  - b. 質子交換膜（PEM）電解：利用質子交換膜作為電解質，提高製氫方式，其反應更靈活但成本較高，需昂貴材料如鉑等貴金屬。
  - c. 固體氧化物電解(SOE)：運行溫度較高（700°C 至 1000°C），使用固體氧化物作為電解質，其高溫有助於提高電解效率，特別是當有餘熱資源可用時，目前尚處發展階段。
- B. 根據國際再生能源機構（IRENA）的報告，甲醇是未來實現能源儲存及提高綠色能源價值的關鍵技術，透過 FlexMethanol 模組化系統，可應對不同的生產條件，使用二氧化碳和氫氣作為原料的情

況下，將可再生能源轉化為甲醇來提升綠色能源的價值，欲成為未來氫氣運輸和儲存的重要解決方案之一。

C. 氫燃料電池技術具高效、安靜且零排放的特點，為替代柴油發電機的理想選擇，應用於陸域電力、備援電力及電動車充電等場域。

(10)Everfuel 與大阪瓦斯氫能(Osaka Gas)有簽署策略合作協議，為其強大策略夥伴，未來本署有意赴日拜訪大阪瓦斯氫能並洽談合作可行性。

3. 研討會結束後於外合影留念如 19 所示。

## RED III: EU regulation implemented in past 12 months Targets for RE, industrial hydrogen and transport

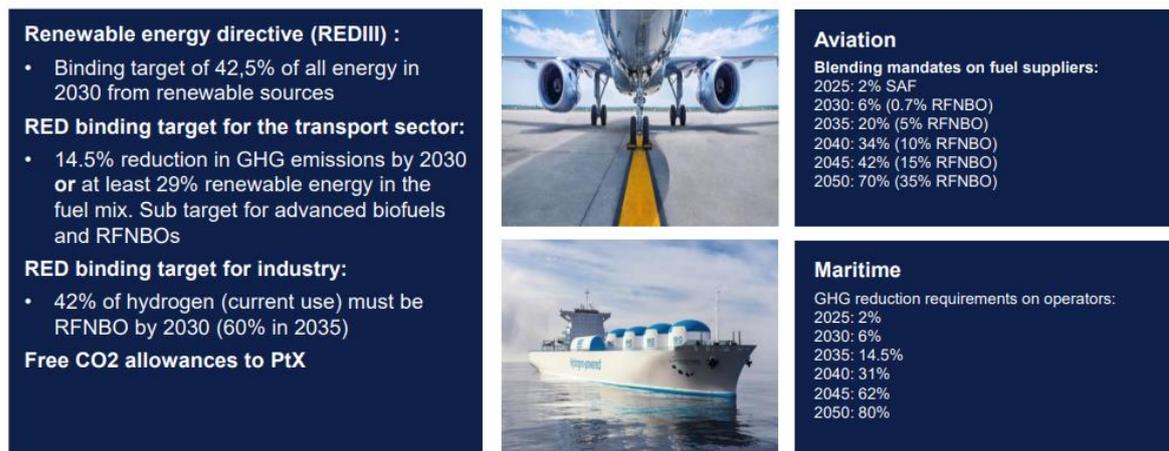


圖 17. 歐盟 RED III 法規



圖 18. 丹麥氫能發展架構

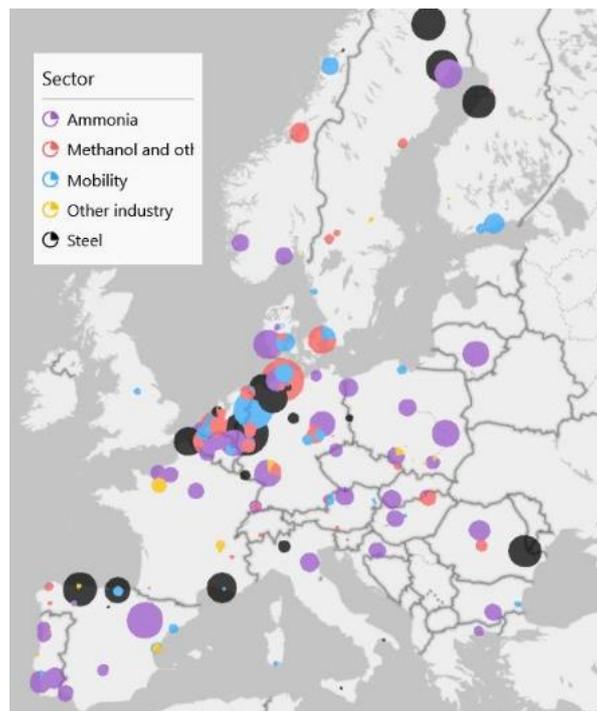


圖 19. 歐洲潛在工業部門氫氣需求



圖 20. Hydrogen & P2X 2024 研討會合照

## 四. 參觀哥本哈根焚化廠 CopenHill

### (一) 哥本哈根焚化廠

#### 1. CopenHill 簡介

CopenHill 為耗資 6.7 億建成了這棟丹麥最大的環保計畫項目，此焚化廠以垃圾發電取代過去以化石燃料發電的方式，不僅讓廢物有效利用也達到綠色環保。焚化廠內部有熔爐、蒸汽機、渦輪機等發電設備，加上最新的廢物處理和能源生產技術的運用，每年可以將 44 萬噸廢物轉化為清潔能源，為 15 萬戶家庭提供電力和集中供熱，該建築由 BIG 建築事務所設計，長 200 公尺，寬 70 公尺，高 124 公尺（包括煙囪），佔地 4.1 萬平方公尺，站在頂層可以看到整個城市的風景，完建後達到多項紀錄，包括「世界上最乾淨的垃圾發電廠」、「世界上最高的人造攀岩牆」、「哥本哈根最大的建築」等，也贏得哥本哈根新型垃圾焚燒發電廠國際設計競賽。

#### 2. CopenHill 參訪紀要

因應綠能計畫規劃參訪位於哥本哈根市中心附近的 CopenHill 焚化廠，該廠內設有發電廠及行政空間，因內部無開放訪客參觀故僅能透過電梯內的玻璃往內觀看，頂樓部分設有滑雪場及咖啡廳可俯瞰城市風景，也可近距離看到焚化廠煙囪的排放，該焚化廠不僅綠化建築也發展各項運動吸引當地居民前往。

CopenHill 針對員工和訪客的安全採取許多相關的措施並符合丹麥和歐盟的相關標準。整座焚化廠擁有完善的緊急應變計畫，包括火災、爆炸、化學洩漏等突發事件的應對策略及先進的監控系統包括火警、氣體洩漏檢測，以安全監控設施內的各項安全。另針對訪客的安全管理也十分重

視，訪客區及工業區為完全隔離，並設有專門的安全導引系統和警示標誌，訪客進入後皆須遵守設施內的所有安全規則，並由專業人員指引。本署參訪人員於焚化廠外合影留念如圖 20 所示。



圖 21. 於焚化廠外合影留念

## 肆、心得與建議

藉由本次丹麥的參訪考察行程可以獲得許多寶貴的經驗，以下藉由職業安全衛生推廣與國際交流、離岸風電職業安全衛生技術與管理、氫能職業安全衛生技術與管理三大面向予以說明：

### 一. 職業安全衛生推廣與國際交流

1. 針對工作環境指引的方式，本次拜訪的單位針對工作環境安全指引非常充足，當進入拜訪單位時其接待人員皆會介紹及播放發生緊急事故指引、逃生門及其人員疏散路線等，以利發生突發狀況可以緊急應變，針對各部門及相關單位亦可製作相關影片及圖表提供訪客參考，顯見丹麥社會已將安全衛生及緊急應變處理深植於基本概念中。
2. 加強職業安全衛生數位化 AI 的應用，NFA 空氣過濾分析設備使用軟體即可掃描分析暴露於工作場所的空氣粒子，以建立數據伺服器，及安全觀測 APP 智慧工作安全分析等，創建更好的職安衛生工作環境，非常值得參考學習。
3. 對於丹麥新興職業安全衛生議題的研究，例如心理社會工作環境可參考使用北歐職業安全氛圍問卷 (NOSACQ-50) 診斷職業安全氛圍和評估安全氛圍介入的工具，反映了員工對組織中安全真正價值的看法，作為減少意外傷害的促成因素，及固態生質燃料作業環境容許暴露研究及其工作者暴露危害環境身體狀態等，觀念頗為新穎，非常值得參考。
4. 本次出訪丹麥交流具有一定意義，但與世界各國的交流應該是持續且深化地進行。本次為拓展台丹雙邊職業安全衛生合作機制，瞭解丹麥職業安全衛生監督制度實務做法，並建立溝通諮詢管道，拜訪 DNV 驗證制度及丹麥國家工作環境研究中心研究計畫與結果，有利於我國瞭解該等作業可能風

險，值得我國借鏡。

## 二. 離岸風電職業安全衛生技術與管理

### 1. 針對離岸風電職業安全衛生管理及教育訓練專章部分：

- (1) 本署於 108 年 1 月公布之離岸風電海域作業安全指引，建議從事離岸風電海域作業之人員接受離岸風電作業基本安全訓練(GWO Basic Safety Training)包含急救、手動操作、高空作業及消防意識共五項模組課程，其兩年證書有效期過後，需進行 BST 複訓，以保持證書有效性。
- (2) 目前國內離岸風電海域作業安全指引內容亦針對組裝相關作業規範，包含於就近碼頭設立製造或組裝工廠，以利直接就地預組再輸出到離岸場址安裝。若否，則靠陸運、海運將相關工件集中到後線碼頭，經過預組後，依序、分批運送到離岸場址進行安裝，其預組港口以越接近安裝場址者越好。
- (3) 目前我國離岸風電場所相關職業安全衛生教育訓練，除依「職業安全衛生教育訓練規則」規定辦理外，亦持續與台灣的開發商針對包含事前作業及公私合作方式滾動精進管理機制，並定期召開交流會議滾動精進屬於台灣的離岸風電作業安全評估手冊及解決方案，本署可參考沃旭的發展經驗，以加速產業安全發展。
- (4) 法規僅屬最低安全標準，為提升保障每位工作者人身安全，減少離岸風電商與承攬商在溝通上遇到之困難，未來我國離岸風電項目事業單位對承攬管理部分強化尤其重要，如事業單位可參考沃旭更詳盡的作業安全評估手冊及安全方案，不僅確保工作者人身安全亦可使承攬雙

方於合作上無認知上的落差，沃旭作法值得我國離岸風電開發商學習，未來也建議在合適的場合（例如離岸風電商交流會議）進行分享與推廣。

2. 針對離岸風電或電廠設備拆除零件部分，我國做法為整件賣給供應商，以供應商的角度即為盡快完成拆除作業換取現金為主，則與職業安全衛生前提有所衝突；相對丹麥政府依環境法規定執行，包含拆除零件必須依照其片數及尺寸等進行買賣，賣的時候也須遵循賣方的規定，加上需要拆除的業主皆須依法規上完教育訓練才能進行買賣。針對這部分，因台灣根據不同行業別制定法規須更詳細，故以目前法制上若要參照執行相對具挑戰性也較難實施。
3. 有關工作時數部分，丹麥工作時數為 8 小時，歐洲總月時數為 48 小時，若遇到工期延宕將會有緩衝時間，相對台灣工作環境部分將工期安排較緊湊故無法有緩衝時間做準備；丹麥工程則統包給一家作業，負責時程控管，因目前台灣公共工程委員會招標規定針對工時抓較緊，即使在計畫工程時將正常工時考量進去，業者未於期限內完成違約也須繳交罰款故以現況來說還是具有挑戰。
4. 考量離岸風力發電設備興建日程長，海上維運變數多，發電設備從製造、維運至拆除之全生命週期職業安全衛生管理較陸域設備複雜，丹麥藉由事前導入量化風險評估及設備全生命週期安全衛生預測管理機制，值得我國借鏡。

### 三. 氫能職業安全衛生技術與管理

1. 因應台灣風力不穩定，未來可透過電解槽，以風力發電產生的多餘電力來電解水產生氫氣，並將其儲存起來。在風力不足時，即可以使用儲存的氫氣來發電，確保電力供應的穩定性。以氫氣作為一種儲能介質，緩解風力發電的問題，並提高整體電力系統的可靠性和靈活性。
2. 目前丹麥氫氣管道部分，與德國已經達成協議，建設一條從丹麥到德國的氫氣管道，為滿足兩國的綠色能源需求。該管道將出口丹麥多餘的氫能、電力儲存並與歐洲他國進行買賣氫氣，包含德國、比利時和荷蘭等國，協助鄰近國家綠色轉型，因應台灣地理位置關係，無法像歐洲鄰近國家以管線直接運輸，較類似澳洲與日本透過船舶運輸方式交易。
3. 針對氫能法規管制，目前工業用氫氣設備於歐監管制法規為《高壓設備指令》及《氣體設備指令》等原則性規範，但考量氫能技術進步迅速，歐盟近年來針對工業氫氣及運輸安全，係以提出新的範例及建議等因應，與目前我國針對氫氣安全係藉由與相關公會辦理安全夥伴計畫，辦理相關安全論壇、建議指南與案例分享，與歐盟對於新科技之氫能安全執行模式相同，未來我國可持續追蹤學習歐盟最新範例及建議，持續精進安全。
4. 丹麥政府非常重視職業安全，針對這方面採取了多項措施及完整法規和制度以確保所有工人的安全和健康，包含 DNV 也在 Hydrogen & P2X 2024 研討會中引用了 Trevor Kletz 名言「如果你認為安全是高昂的，那就請試著發生事故吧」，希望每個產業的老闆皆能將安全放在第一順位。針對這部分，研討會問答時間也有廠商提及他們希望政府干涉氫產業越少越好，DNV 針對這個問題，嚴正回應「在丹麥，有政府管理，人民才能夠放心」，由此

可知他們職業安全管理已做到深入人心，相信政府會為人民安全做把關，期許未來台灣也能將職業安全衛生相關理念深入每個工作者，讓其了解安全的重要性。