

出國報告（出國類別：開會）

# 赴挪威進行碳捕捉與封存技術實場 參訪與技術交流報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：鍾年勉 所長

高靖棣 化學研究專員

派赴國家/地區：挪威

出國期間：113年4月12日至113年4月21日

報告日期：113年5月28日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴挪威進行碳捕捉與封存技術實場參訪與技術交流報告

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/翁玉靜/02-2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

姓名	服務機關	單位	職稱	電話
鍾年勉	台灣電力公司	綜合研究所	一般工程監	02-8369-5758
高靖棣	台灣電力公司	綜合研究所	化學師	02-2681-5424

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：113 年 4 月 12 日至 113 年 4 月 21 日

派赴國家/地區：挪威

報告日期：113 年 5 月 28 日

關鍵詞：碳捕捉與封存技術(Carbon Capture and Storage)、北極光計畫(Northern Lights Project)、蒙斯塔德碳捕捉測試中心(Technology Centre Mongstad)

內容摘要：(二百至三百字)

本次出國行程由台美 CCS 聯盟和 DNV 公司邀請，參與單位包括台灣經濟研究院、中油公司、中鼎公司、信鼎公司、三井造船公司和台電公司。行程涵蓋拜訪挪威國家石油公司 Equinor、OneSubSea、Northern Lights 碳封存示範場域、Technology Centre Mongstad 碳捕捉測試場域及 DNV 在 Bergen 的測試中心。

挪威在此領域投入甚早，其國有油氣公司 Equinor 擁有豐富的海下採油氣與二氧化碳灌注經驗。OneSubSea 則具備海下設施的相關經驗，有利於二氧化碳海床下灌注經驗。DNV 公司則參與並制定許多與碳捕捉與封存的相關標準。此次行程旨在與多家技術廠商交流，並獲取該技術推動經驗與挑戰，並協助台電公司規劃相關推動路徑，並透過參訪多個實際場域，有助於實地了解技術應用與挑戰。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

## 摘要

本次出國行程由台美 CCS 聯盟和 DNV 公司邀請，參與單位包括台灣經濟研究院、中油公司、中鼎公司、信鼎公司、三井造船公司和台電公司。行程涵蓋拜訪挪威國家石油公司 Equinor、OneSubSea、Northern Lights 碳封存示範場域、Technology Centre Mongstad 碳捕捉測試場域及 DNV 在 Bergen 的測試中心。

挪威在此領域投入甚早，其國有油氣公司 Equinor 擁有豐富的海下採油氣與二氧化碳灌注經驗。OneSubSea 則具備海下設施的相關經驗，有利於二氧化碳海床下灌注經驗。DNV 公司則參與並制定許多與碳捕捉與封存的相關標準。此次行程旨在與多家技術廠商交流，並獲取該技術推動經驗與挑戰，並協助台電公司規劃相關推動路徑，並透過參訪多個實際場域，有助於實地了解技術應用與挑戰。

# 目錄

摘要.....	1
表目錄.....	3
圖目錄.....	3
壹. 出國目的.....	5
貳. 本次出國任務參與人員.....	6
參. 本趟行程過程及相關交流資訊.....	6
一、參訪 Northern Lights 計畫場域 .....	6
二、參訪 Technology Centre Mongstad .....	12
三、Equinor 公司交流.....	16
四、OneSubSea 公司交流 .....	20
五、DNV 公司交流 .....	25
六、TUCA 會議交流.....	30
肆. 結論及建議.....	31
肆. 參考文獻.....	33

## 表目錄

表一、本次出國任務參與人員.....	6
--------------------	---

## 圖目錄

圖一、本次 TUCA 團赴 Northern Lights 實場參訪合照.....	7
圖二、Northern Lights 地面設施圖，第二期計畫用地為圖內 Future Expansion 區域 <sup>[1]</sup> .....	8
圖三、Northern Lights 計畫的全程示意圖.....	9
圖四、Northern Lights 計畫內所設計的液態二氧化碳運輸船模型.....	9
圖五、Northern Lights 計畫內之二氧化碳運輸管線.....	10
圖六、Northern Lights 計畫內之二氧化碳卸載臂.....	10
圖七、Northern Lights 計畫內之液態二氧化碳儲槽.....	11
圖八、Northern Lights 計畫內之岸上灌注設施，圖右為往海域延伸之管線注入口.....	11
圖九、本所代表與 TCM 領隊及 DNV 人員於 TCM 場域內之合照，右圖為 TCM 場域之招牌.....	13
圖十、TCM 可提供的服務，包含碳捕捉程序的基礎了解、捕捉廠設計與課題、運轉須知與程序模擬等.....	14
圖十一、曾於 TCM 場域測試過的公司，其它也有不願公開的廠商.....	14
圖十二、TCM 場域內之幾個捕捉測試廠.....	15
圖十三、本所代表與 TUCA 代表團及 Equinor 公司成員合照.....	17
圖十四、Equinor 提供之 Snøhvit 計畫於地底下封存二氧化碳之遷移情形.....	18
圖十五、Equinor 提供之 Sleipner 計畫之地底團塊移動模擬情形.....	19
圖十六、Teesside 計畫之規劃及 3D 模擬圖.....	19

圖十七、本所代表及 TUCA 成員與 OneSubSea 公司(左)及製造工廠合照(右)...	21
圖十八、OneSubSea 公司之海床下管線內二氧化碳流量計開發歷程.....	22
圖十九、OneSubSea 開發之海床下管線中二氧化碳流量計種類.....	23
圖二十、OneSubSea 公司與 Aker Solution 公司合作之海床下碳捕捉與封存示意圖.....	24
圖二十一、OneSubSea 公司開發之海床下加壓灌注技術與設備.....	24
圖二十二、DNV 公司於挪威 Bergen 測試中心.....	26
圖二十三、Bergen 中心之高壓釜試驗設備與四點抗折強度試驗.....	27
圖二十四、DNV 公司可提供與碳捕捉與封存技術相關服務能力.....	27
圖二十五、Bergen 中心的大型船纜繩強度試驗 <sup>[5]</sup> .....	28
圖二十六、根據 DNV 公司協助 Northern Lights 所擬定的液態二氧化碳規格...	29
圖二十七、DNV 公司可協助提供碳捕捉與封存技術鏈的風險評估服務.....	29

## 壹. 出國目的

本次奉公出國行程主要由兩項任務所組成，分別由台美 CCS 聯盟(Taiwan Unite state CCS Association, TUCA)與 DNV 公司邀請參與之挪威 CCS 參訪行程，臺灣方面參與單位包含台灣經濟研究院、中油公司、中鼎公司、信鼎公司、三井造船公司與台電公司。行程包含拜訪挪威國家石油公司 Equinor、挪威海下設備製造公司 OneSubSea、挪威知名碳封存示範場域 Northern Lights、挪威碳捕捉測試場域 Technology Centre Mogstad 以及 DNV 位於 Bergen 的測試中心。

根據國發會於民國 111 年 3 月所頒佈之國家淨零發展路徑規劃，臺灣於 2050 年在火力機組搭配碳捕捉與封存技術應用於電力業發電規劃比例須達 20-27%，台電公司為台灣最大電力業者，也是國內最大排碳源，對於碳捕捉與封存技術需提早先行佈局。挪威過往對於碳捕捉與封存技術投入甚早，其國內數家公司更具備碳捕捉與封存技術之關鍵技術。如其國家石油公司 Equinor 對於海下採油氣之經驗豐富，更是早已投入全球許多碳捕捉與封存技術之示範案，尤其在碳封存示範計畫上如 Sleipner、Snohvit 等指標性案例；OneSubSea 公司為海下鑽井、壓縮機、增壓機等之供應商；DNV 公司更是全球標準建立的權威公司之一，已建立包含二氧化碳捕捉程序的定義、碳封存的方法與定量等；本次未訪問到之 Aker Solution 公司更為國際知名碳捕捉程序提供商。

本次行程藉由與數家碳捕捉與封存技術廠家交流，有助於本所獲取各項碳捕捉與封存技術之推動經驗與挑戰，並協助本公司規劃該項技術之發展佈局與路徑。本次並參訪數個碳捕捉與封存之實際場域，有助於本所實際了解未來碳捕捉與封存技術之實場樣貌，並協助公司推動相關業務。

## 貳. 本次出國任務參與人員

表一、本次出國任務參與人員

編號	姓名	職稱
1	鍾年勉	台灣電力公司綜合研究所 所長
2	高靖棣	台灣電力公司綜合研究所 化學研究專員

## 參. 本趟行程過程及相關交流資訊

### 一、參訪 Northern Lights 計畫場域

#### 1. 參訪背景與目標

Northern Lights 計畫為現今為國際上最著名也是首座跨國的碳捕捉與封存技術實證場域，其坐落於挪威西北邊，該計畫屬於挪威政府的 Longship 計畫中的一環，負責二氧化碳的運輸與封存業務。Longship 是一個想驗證由工業上碳捕捉到封存產業鏈在商業面可行的示範計畫，與目前台灣能源署想推動的碳捕捉與封存示範計畫概念相同，但因碳捕捉與封存技術大多由油氣公司開發投入，而台灣過往欠缺此方面經驗，因此在台灣的示範規模會遠小於 Longship 計畫，且關注點會著重在技術的可行性上。本次參訪 Northern Lights 場域，目標包含：

- (1) 獲取 Northern Lights 對於二氧化碳跨境運輸的可行性，以利台電公司未來如在電廠煙道氣捕捉下二氧化碳，其利用液態二氧化碳運輸船跨境運輸，並至它地封存的可能。
- (2) Northern Lights 屬於海床下鹽水層封存技術，與未來台灣可能封存的技術相同，本次希望了解該項技術之執行細節、風險與可行性。

(3) 了解二氧化碳儲槽技術與實績。不論未來台電所捕捉下的二氧化碳需要於本國灌注封存或跨境運輸，都需要儲槽暫存，Northern Lights 另一著名的即為其已興建 12 座 8,500m<sup>3</sup> 的液態二氧化碳桶槽。

(4) 了解國際上商業化規模碳封存、運輸及儲存的規劃與用地。台電公司不論需自行或委託執行上述業務，用地的面積與選址都是挑戰。

## 2. 過程及資訊

參訪過程分別由 Equinor 與 Shell 安排，並先透過安全講習後穿上個人防護具，至實場參訪，參訪結束後並至會議室進行討論。圖一為本所代表與 TUCA 成員之合照，其中圖內後方即為 Northern Lights 之液態二氧化碳桶槽。以下並說明獲取之重點資訊摘要：

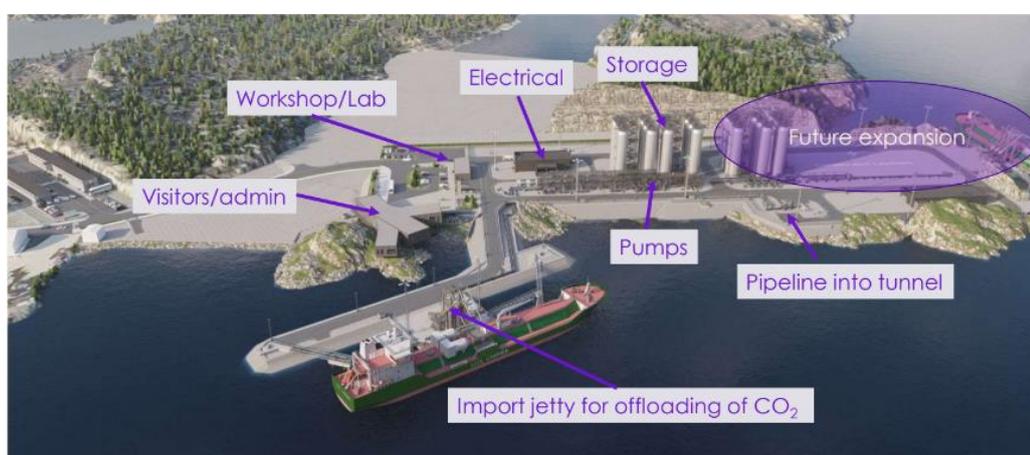


圖一、本次 TUCA 團赴 Northern Lights 實場參訪合照

### (1) 場址與執行概要

A. Northern Lights 計畫中第一期灌注計畫，目前二氧化碳的來源規劃共年 1.5 百萬噸，將包含(A) 2025 年起由 Heidelberg materials Brevik 的水泥廠捕捉而來，其搭配挪威 Aker Solution 的碳捕捉技術，提供的二氧化碳規模在年 400,000 噸，並利用槽車運送至 Northern Lights 場域；(B) 2026 年起由 YARA 公司，由製氨過程捕捉二氧化碳，並利用船運方式提供年 700,000 噸二氧化碳；(C)Orsted 的生質能發電廠捕碳，並利用船運方式提供其年 430,000 噸二氧化碳。

- B. Northern Lights 計畫中第一期計畫中 80%的經費由挪威政府補助，如拓展到第二期，規模將達年 5-7 百萬噸灌注量，資金來源預估來自歐盟以及碳排放源的給予的碳封存費用。
- C. 其中第一期使用的碼頭、接收臂、運輸管線、儲槽與地面設施已興建完成並如圖二所示，根據 Google 地圖量測初估用地約 30,000 m<sup>2</sup>。其提到第二期時預期使用的用地位置與面積如圖二所示，根據 Google 地圖量測初估用地約再新增 10,575 m<sup>2</sup>。



圖二、Northern Lights 地面設施圖，第二期計畫用地為圖內 Future Expansion 區域  
[1]

- D. 截至本次參訪前，Northern Lights 之解說人員提到，目前該場域尚未進行任何二氧化碳灌注行為，主因在於尚未取得二氧化碳碳源，其說明在今年 10 月會取得第一批碳源進行試驗型灌注。

(2) 運輸與封存鏈說明:

- A. Northern Lights 計畫的全程示意圖如圖三所示，其中該碼頭設置為接受液態二氧化碳運輸船，船體由該計畫設計，並委託中國大連造船廠製作，目前第一期計畫已預定 2 艘船體，並正在建造中，未來可能擴充到 4 艘，船體的模型如圖四所示。船體的設計為可運送 7,500 m<sup>3</sup>的液態二氧化碳，其溫度與壓力約在-26°C 與 15 barg。該船的動力為採用液態天然氣為燃料，但會搭配風力輔助推進系統與空氣潤滑系統(Air lubrication system)，預期可

降低約 34%的碳排放係數。

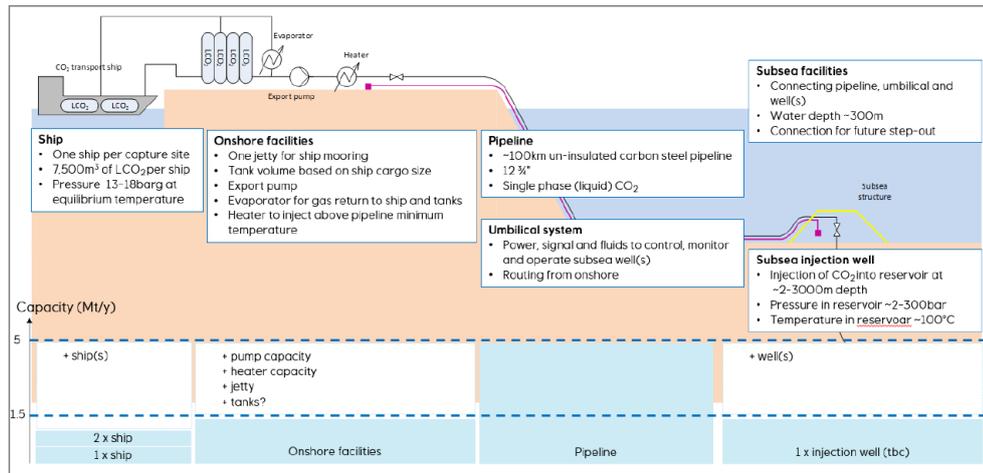


Figure 2-2 Northern Lights concept building blocks with capacities in the first phase shown with blue shading.

圖三、Northern Lights 計畫的全程示意圖<sup>[1]</sup>

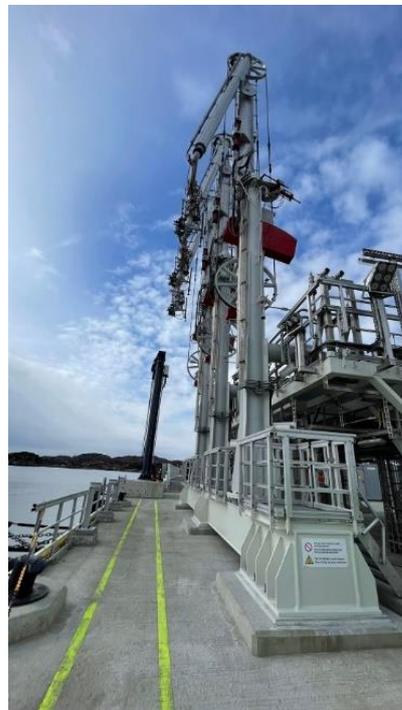


圖四、Northern Lights 計畫內所設計的液態二氧化碳運輸船模型

B. 當運輸船運送到碼頭後，會透過二氧化碳卸載臂(Unloading arm)將二氧化碳透過管線輸送至儲槽，輸送的壓力會保持與運輸船儲存的相同，管線如圖五所示。卸載臂如圖六所示，現今共建設 3 支，分別設計給液態二氧化碳、氣態二氧化碳，以及一支備用使用，液態二氧化碳卸載的流速可達 800 m<sup>3</sup>/h，而氣態二氧化碳則為約 800 m<sup>3</sup>/h。而氣態二氧化碳功能作為船至儲槽的運輸的壓力來源，將少量液態二氧化碳氣化後提供給推動壓力使用。而多餘的氣態二氧化碳將不經過再液化裝置，將直接排至大氣中。



圖五、Northern Lights 計畫內之二氧化碳運輸管線



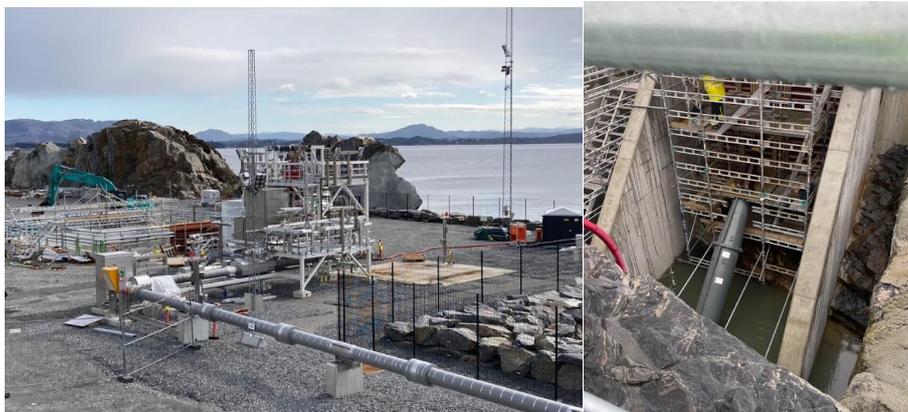
圖六、Northern Lights 計畫內之二氧化碳卸載臂

- C. Northern Lights 目前已建置共 12 座液態二氧化碳儲槽，功能作為暫存二氧化碳使用，並供給後續灌注封存使用。每座儲槽間互相連通，船運來的液態二氧化碳將由儲槽上方進入儲存，每組儲槽體積約在  $8,250\text{m}^3$ ，設計基準為提供每艘船體的+10%餘裕，儲槽實體照片如圖七所示。



圖七、Northern Lights 計畫內之液態二氧化碳儲槽

D. 二氧化碳的灌注則經由儲槽傳輸到岸上的地面加壓設施加壓成超臨界流體，再通過岸上灌注設施(如圖八所示)向下並斜管傳輸至海外 100 km 外的海底灌注井進行約 2,600 米深的灌注封存，運輸過程中不再提升任何壓力，過程的壓力損失約在 10 bar 左右，其宣稱不影響灌注。目前在海床已準備 2 組灌注井，其中 1 組為備用，避免其中 1 組灌注位置堵塞。



圖八、Northern Lights 計畫內之岸上灌注設施，圖右為往海域延伸之管線注入口

E. 其中我們認為在 Northern Lights 計畫中，其準備數種灌注模式，除上述的

地面設施加壓外，他們預期將與 OneSubSea 公司合作，利用其提供的 X' mas Tree 海下加壓與灌注設施，將儲槽的液態二氧化碳直接輸送至海床後，再利用海床下加壓設施加壓成超臨界態再行灌注，避免運輸過程所造成的壓損。

## 二、參訪 Technology Centre Mongstad

### 1. 參訪背景與目標

挪威的 Technology Centre Mongstad (TCM)是全球最大的碳捕捉技術測試場域，其位於挪威西海岸的蒙斯塔德(Mongstad)。TCM 是由挪威國家石油公司(Equinor)、殼牌(Shell)、挪威國家碳捕捉與封存企業(Gassnova)與法國石油公司(TotalEnergies)共同合作建設。TCM 服務內容包含協助碳捕捉溶劑商進行效能驗證、協助想導入碳捕捉程序的客戶進行事前評估，以及協助挪威政府進行碳捕捉與封存技術的宣導及提供示範場域。台灣國科會也曾於近年組團參訪該場域。本次參訪 Technology Centre Monstad 場域(以下簡稱為 TCM)，目標包含：

- (1) 獲取 TCM 對於碳捕捉程序與捕捉溶劑的測試經驗，引導台電公司於台中電廠減碳園區內的小型碳捕捉測試廠未來測試重點與方向。
- (2) 藉由 TCM 對於碳捕捉程序的實廠建置經驗，協助台電公司未來導入商業化規模碳捕捉廠的指引方針。
- (3) TCM 已完成碳捕捉程序的對照組溶劑(包含 MEA、CEASR-1)的測試標準與基線資料，該項效能資訊對外來台電公司愈引進成熟碳捕捉程序商之先期篩選與驗證，可提供有力資訊。

### 2. 過程及資訊

本次參訪先由 TCM 人員說明安全指引，並穿上防護具後赴場域參訪，參訪過後回到會議室進行簡報與討論。其中因場域內部禁止拍照，因此無法提供相關照片說明。圖九為本次與 TCM 領隊及 DNV 人員之合照，其中圖內後方即為 Alstom

公司在 TCM 場域測試的碳捕捉設施。以下並說明獲取之重點資訊摘要：

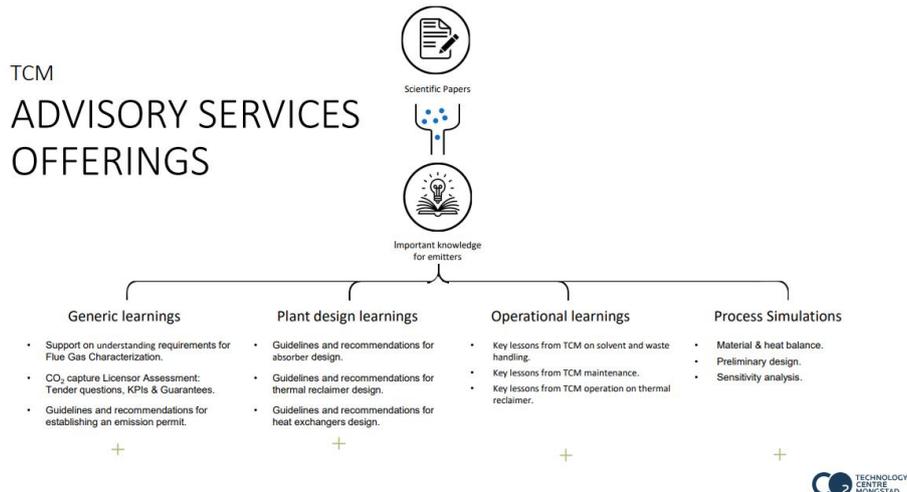


圖九、本所代表與 TCM 領隊及 DNV 人員於 TCM 場域內之合照，右圖為 TCM 場域之招牌

#### (1) TCM 廠址與執行概要

A. TCM 場域建置費用約 60 億元挪威克朗，換算台幣約 180 億台幣。該場域目標為：

- (A) 協助各溶劑開發廠商驗證其程序效能，並提供相關優化諮詢，並透過 TCM 在 MEA 與 CESAR 1(AMP+PZ)(兩者普遍做為碳捕捉化學法溶劑之基準線)的測試經驗比較；
- (B) 協助想導入碳捕捉溶劑程序的業主了解碳捕捉程序與知識及建議，如圖十所示。
- (C) 協助挪威政府進行碳捕捉與封存技術之推廣及示範場域。



圖十、TCM 可提供的服務，包含碳捕捉程序的基礎了解、捕捉廠設計與課題、運轉須知與程序模擬等<sup>[2]</sup>

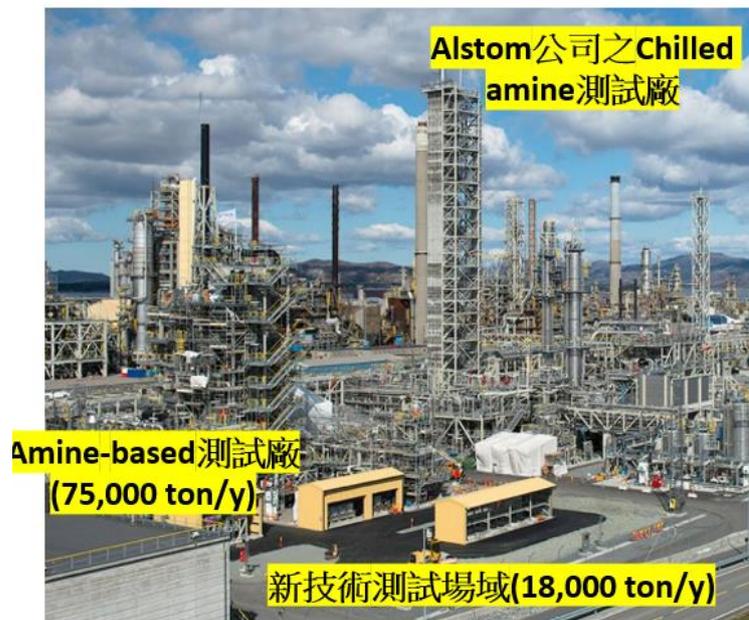
B. 目前公開有在 TCM 場域測試過的碳捕捉溶劑公司包含 Alstom、Shell、Aker、Carbon Clean、Flour、Mitsubishi、RTI、Ion 等，如圖十一所示，皆為國際知名大廠，欲測試前也需要先經過 TCM 一連串的評估資料認可。



圖十一、曾於 TCM 場域測試過的公司，其它也有不願公開的廠商<sup>[2]</sup>

C. 該場域主要以化學溶劑法為測試標的，但也開放其它捕捉技術至該場測試(但僅限於小規模)，目前提供兩種測試規格供開放(主要依據煙氣量、蒸氣量與用地大小、技術成熟度來區分)，包含年 18,000 噸的規模，主要提供

技術 TRL-3 左右的測試，避免雙方資源的浪費；另一規模為年 75,000 噸之規模，目前僅接受化學溶劑法捕捉測試，並希望以 TRL-5 以上的技術測試。下圖十二即為其規模為年 75,000 噸的碳捕捉廠，圖中間 Alstom 公司至該地測試捕捉廠因屬機密，因此無法參觀，本次參訪為其 amine-based 的捕捉廠。



圖十二、TCM 場域內之幾個捕捉測試廠<sup>[2]</sup>

(2) Amine-based 的捕捉廠設施(年 75,000 噸)說明

- A. TCM 會提供包含二氧化碳的煙氣來源，利用周遭煉油廠的煙道尾氣以及汽電共生廠的煙道尾氣，再透過空氣來調配與模擬成不同濃度的二氧化碳進氣條件，其中 TCM 可以提供並模擬出 1-20%二氧化碳濃度、以及不同粉塵量的煙氣，來作為各種行業的煙氣條件。
- B. 上述兩種煙氣來源會先經過空氣冷卻塔，降低煙道氣體溫度以利吸收，並同時洗滌其中的 SO<sub>x</sub> 與粉塵。
- C. 而再生塔的熱源來源取自場外的汽電共生廠，其採用燃氣複循環機組發電

並產生的蒸汽，並拉引蒸氣管線給予 TCM 使用，蒸汽溫度約在 160°C。

- D. 該廠會提供一組二氧化碳吸收塔，並提供兩組高度可選擇，藉此測試不同二氧化碳來源的濃度，通常較高的位置會提供更多的反應面積，可協助來源濃度較低捕捉，反之。
- E. 該廠會提供兩組二氧化碳再生塔，兩組的高度不同用來驗證不同的碳捕捉率，當再生塔的高度越高，原則上可獲得較高的碳捕捉率，反之。其提到考量到經濟效益，化學法碳捕捉製程，捕捉率以 80-90% 為較佳的條件。
- F. 其它設施包含煙道氣的粉塵過濾裝置、再沸器(Reboiler)、熱交換器、冷卻水、溶劑儲槽、溶劑再生器(Reclaimer)與除霧器(Demister)皆會提供。

(3) 與 TCM 討論與本公司未來可能合作議題

- A. TCM 提到因本所代表針對化學法碳捕捉製程上已相當熟悉，建議未來在實際運行碳捕捉程序時，可特別考量煙氣中粉塵的粒徑分佈，雖粉塵的總量也會影響捕捉製程，但特定大小顆粒容易在吸收塔內變成大液滴並冒泡或卡在管道，嚴重影響捕捉程序。
- B. 另外在醇胺類溶劑，在溶劑受到如氧氣、硫氧化物、氮氧化物、溫度等影響降解過程，可能產生各種不同難以預測的物質，其中有幾項可能有致癌性，需特別考量。
- C. TCM 對於碳捕捉程序經驗豐富，也對該程序有建立各種模擬模型，台電公司未來對於如何鍵結發電設施與碳捕捉廠，尤其當未來燃氣機組須配合快速起停的情景下，是一大難題。未來可透過 TCM 在製程模擬、溶劑基線測試資訊(MEA 與 CESAR1)以及在碳捕捉製程的豐富經驗，來協助台電來克服相關難題。

### 三、Equinor 公司交流

#### 1. 參訪背景與目標

挪威 Equinor 公司（原名 Statoil）是一家挪威國有石油公司，該公司成立於 1972 年。Equinor 在全球範圍內擁有廣泛的業務，涵蓋石油和天然氣的勘探、生產、加工和銷售。Equinor 為北海的石油和天然氣開發商，也是北歐地區的主要能源供應商。雖 Equinor 公司屬油氣產業，與台電公司屬性較不同，但其投入眾多碳捕捉與封存之技術開發，國際上也許多相關投資案場。本次目標包含：

- (1) 了解其對於減碳規劃的目標與方式，學習國際大型公司之規劃與方針。
- (2) 了解該公司對於碳捕捉與封存，尤其投資在封存場域過往經驗與未來規劃。
- (3) 交流雙方對於未來碳捕捉與封存技術對油氣業與電力業所扮演的角色，以及該技術未來可能的商業模式、法規訂定與對產官學及民眾的溝通模式。

## 2. 過程及資訊

本次參訪與 TUCA 參訪團共同赴 Equinor 公司於挪威 Oslo 的總部，並進行相關交流討論。**圖十三**為本所代表與 Equinor 人員及 TUCA 參訪團之合照。以下並說明獲取之重點資訊摘要：

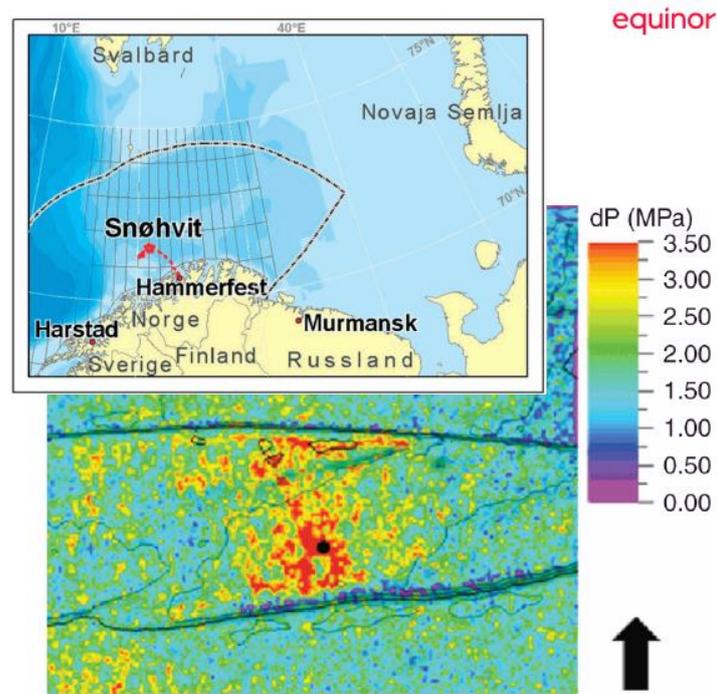


圖十三、本所代表與 TUCA 代表團及 Equinor 公司成員合照

### (1) Equinor 公司之過往減碳案例

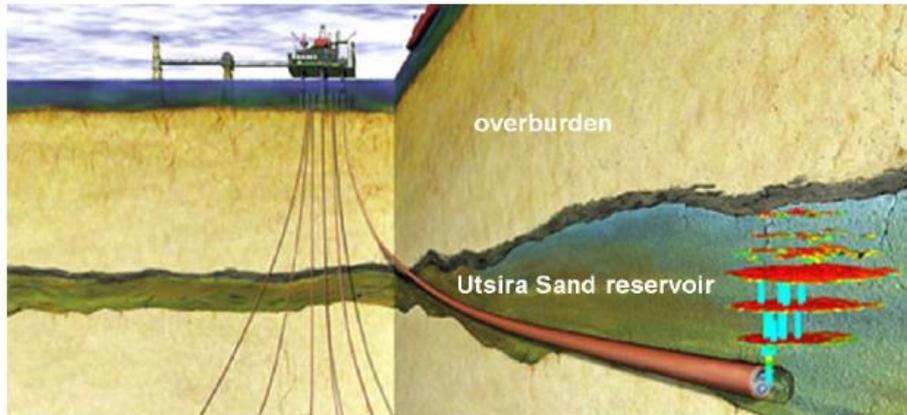
- A. 過往 Equinor 在挪威及北海實施包含 Sleipner 和 Snøhvit 的碳捕捉與封存項目；投資挪威 TCM 碳捕捉測試場域；與 DNV 合作開發 CCS 項目的安全與設計軟體。

B. Snøhvit 計畫每年由天然氣開採過程中捕捉並儲存約 70 萬噸二氧化碳，但該計畫被認為是一個失敗的案例，雖然在事前地質封存評估時結果良好，但實際灌注時，因為發現地質孔隙不連通，導致灌注時壓力持續增大而失敗，如圖十四所示。



圖十四、Equinor 提供之 Snøhvit 計畫於地底下封存二氧化碳之遷移情形<sup>[3]</sup>

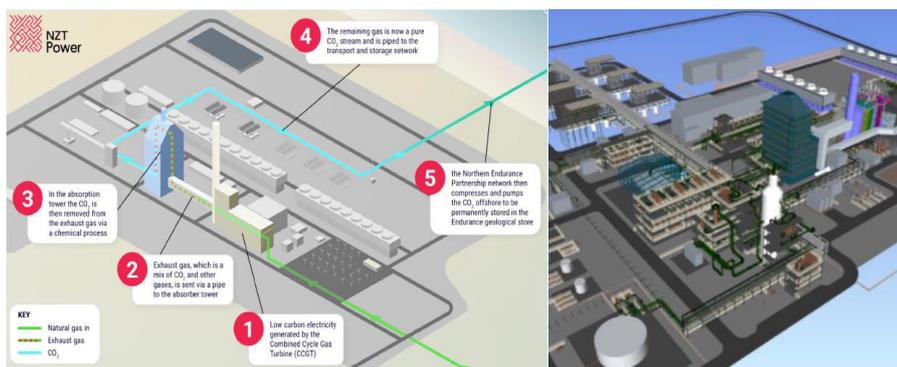
C. Sleipner 計畫自 1996 年運營以來，已成功地將超過 2,300 萬噸二氧化碳注入鹽水層中，如圖十五所示。該計畫起初是為了應對挪威對石油和天然氣行業徵收的二氧化碳稅，並且解決 Sleipner 天然氣中捕捉約 9% 的二氧化碳含量並灌注。該計畫也提供了在鹽水層執行碳封存的重要的數據和經驗。其使用四維地震監測技術來追蹤地下二氧化碳的行為。



圖十五、Equinor 提供之 Sleipner 計畫之地底團塊移動模擬情形<sup>[3]</sup>

(2) Equinor 公司減碳規劃與未來目標

- A. Equinor 公司目標在 2030 年降低其公司業務中 40%的碳排放量，並協助其客戶與供應鏈達到淨零目標。其目標採用四種減碳手段，包含降低 Oil and gas 製程的碳排、電氣化(用電取代使用油或氣的設備)、CCS 以及碳匯。
- B. Equinor 目前也持續廣泛投資 CCS 相關計畫，與發電業相關的屬近期英國 Teeside 電廠，該電廠希望於 740 MW 的機組安裝碳捕捉裝置，並預期抓下全部的排碳量，捕捉量約年 2.4 百萬噸，該計畫 FID 預期在 2024 年 9 月完成。根據其技術 3D 模型設計圖，該規模碳捕捉設施的佔地大小，約大於一座燃氣機組的大小，如圖十六所示。



圖十六、Teeside 計畫之規劃及 3D 模擬圖<sup>[3]</sup>

- C. 未來打算開發 Smeaheia 計畫，旨在挪威建立一個大規模的 CO2 儲存設施。此項目計劃每年運輸和儲存高達 2,000 萬噸的 CO2，藉此協助歐洲內陸達

到減碳目標。

D. Northern Lights 計畫則與本報告上述說明相同。

### (3) Equinor 公司對於碳捕捉與封存技術之建議

- A. 其認為在碳封存主要的風險有三個，分別為地質上的風險，例如模擬的結果與實際的情況仍有落差，實際二氧化碳的可灌注率也需真實灌注才結果，最著名的案例即為上述 Snohvit 案例，附近的斷層導致各個封存區塊被隔絕，降低實際封存的灌注率、壓力分佈等；第二項為井的風險，例如二氧化碳可能從一些廢棄井、水井甚至灌注井洩露；第三項為法規風險，目前如灌注的二氧化碳洩漏或地底下擴散到其他國界，法規尚未明定解決方法。
- B. 其認為封存的模擬技術目前有幾個難點，四維的模擬太貴太耗時、每個二氧化碳的團塊(plume)會因為壓力、溫度、密度等會重疊在一起，不容易分開評估。
- C. 其建議未來在如何降低碳捕捉與封存技術的成本上有幾個重點，首要避免在任何流程中使用儲槽，意即減少二氧化碳的接點與儲存，並且避免任何在離岸或海下的工作，該工作普遍會比岸上工作多出十倍費用。
- D. 民眾溝通部分，該公司當初在選擇 Northern Lights 計畫時，初篩出 3 個可能位置，並且皆至當地溝通，各地皆爭取到該地設置，主因為挪威油氣產業開發已久，民眾對於油氣的開採與二氧化碳的封存認知度且信任度高，且可增進當地工作機會，因此在挪威並無民眾溝通問題。

## 四、OneSubSea 公司交流

### 1. 參訪背景與目標

OneSubsea 是由 Schlumberger、Aker Solutions 和 Subsea7 共同組成的合資企

業，專門提供海底下採油行業相關技術與設備。包括海底生產系統(從水下油氣藏提取油氣)、海底加工系統(包括分離系統，用於將產出的流體分離為油、氣和水)、海底增壓和壓縮，以及海底輸電系統。OneSubsea 近期也投入碳捕捉與封存技術，尤其在海床下加壓與灌注技術。本次拜訪 OneSubSea 公司，目標包含：

- (1) 藉由該公司對於海床下碳封存設備開發經驗，了解實際海床下碳封存之可行性。
- (2) 藉由該公司與 Aker Solution 與 Schlumberger(SLB)之合作關係，了解其對於碳捕捉與封存技術之進展與規劃。
- (3) 藉由該公司開發之不同相態之二氧化碳量測技術，了解未來電廠導入相關量測儀器之適用性

## 2. 過程及資訊

本次與 OneSubSea 公司交流，包含赴其 Oslo 之辦公室討論相關技術議題，本所代表及 TUCA 成員與 OneSubSea 公司於 Oslo 代表合照如圖十七。並赴其於 Bergen 製造中心進行工廠參訪與討論，本所代表及 TUCA 成員與 OneSubSea 製造工廠代表合照如圖十七。



圖十七、本所代表及 TUCA 成員與 OneSubSea 公司(左)及製造工廠合照(右)

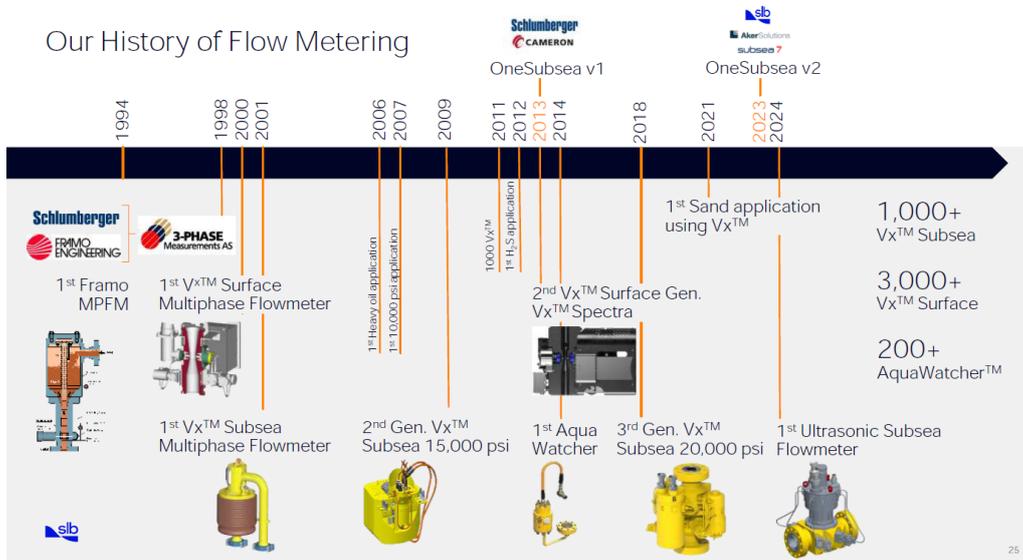
### (1) OneSubSea 公司業務及與碳捕捉與封存技術規劃

A. OneSubSea 為三間公司合資，目前員工約 10,000 人，主要業務在生產海底

幫浦、壓縮機、電纜等項目，參與包括各項國際海底採氣、採油、Northern lights 等計畫，在全球各地也都設有分公司，在馬來西亞有生產工廠。

B. OneSubSea 利用其已經驗證的基礎設施和優化解決方案的知識，該公司的專長包括從岸上通過管道或將裝有二氧化碳儲槽的船直接連接到海底泵來運輸二氧化碳並直接海床下灌注；或是使用現有的管道，由陸域運輸二氧化碳，再通過海床下加壓與灌注設施將其注入地下儲藏室。

C. 該公司也有開發流量量測設備，開發歷程如圖十八所示，利用 UltraSonic 法量測，該設備可在海下 3,000 米深、20 kpsi 仍可量測，並可同時量測不同相態的流體，準確度在 3% 以內，相關規格如圖十九所示。目前有開發油氣與二氧化碳(液態氣態)的量測設備，並利用壓力與溫度來校正準確度。目前正在開發三相態的流量計(液態、氣態、超臨界態)。



圖十八、OneSubSea 公司之海床下管線內二氧化碳流量計開發歷程<sup>[4]</sup>

## Existing technology (Venturi) versus USM

Comparison	Omni SPFM	Subsea USM
Application	Single phase gas or liquid	Single phase gas or liquid
Accuracy	As low as 1 % for water and about 3 % for gas flows. Uncertainty will usually increase at lower flow rates.	Typically, better than <2% Accuracy class 0.5 for natural gas.
Design	4in/5in 10k Psi +	4in/5in 10k Psi
Throat	Beta from 0.4-0.7	Full bore
Material choice	FF-trim 22Cr Duplex HH-trim Inconel A718	FF-trim 22 or 25Cr Duplex HH-trim Inconel A625
Turn down ratio	1:10	> 1:100
Pressure drop	Approx -20% dp	No pressure drop
Readiness	TRL7	TRL4/5*

\*OneSubsea USM is currently TRL4 and scheduled to be TRL5 with in Q3-24.

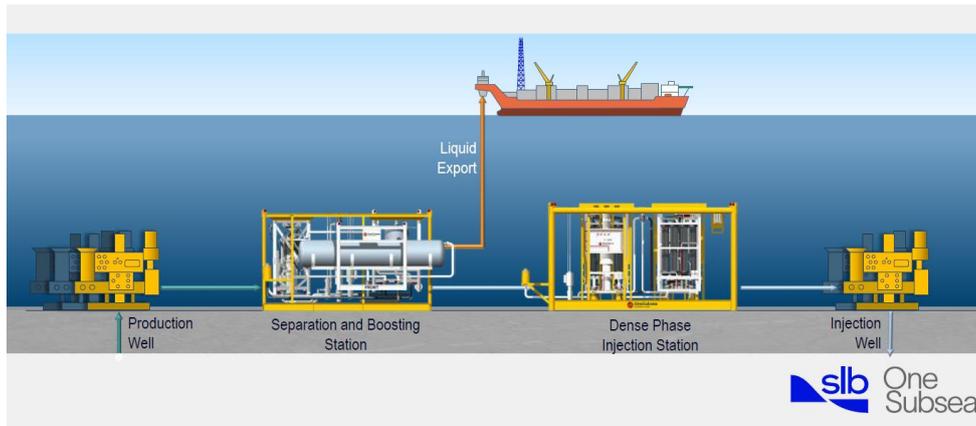


圖十九、OneSubSea 開發之海床下管線中二氧化碳流量計種類<sup>[4]</sup>

### (2) OneSubSea 公司對於海床下碳封存建議

- A. 其提到過往對於海下的油氣開採技術成熟，不認為未來在海下灌注與封存二氧化碳的技術是問題，為一需注意的是，抽取油氣與灌注二氧化碳的部分製程特性會相反，例如油氣抽取過程對管線是吸熱反應，但二氧化碳灌注是放熱反應；抽取時地底起始有壓力，後續再補壓，但灌注在一開始需額外加壓，設計上須注意。
- B. 他們認為二氧化碳封存技術，在未來封井後的監測技術難度高，主因在於監測時間久(監測計畫普遍需大於 20 年以上)，如在海底下，後續的電、訊號的供給、聯繫、維修等都是挑戰。
- C. 提到未來目標計畫項目為，搭配 Aker 公司開發的油氣/二氧化碳分離設施，由海床下採油並分離二氧化碳，並在海底下直接加壓二氧化碳至超臨界碳，並至海下灌注，全程海下作業，相關示意如圖二十所示。

## Key drivers for development



圖二十、OneSubSea 公司與 Aker Solution 公司合作之海床下碳捕捉與封存示意圖<sup>[4]</sup>

D. 目前支援 NL 的計畫，提供設施稱之為 X' mas Tree，為一相模組化設施，目前已開發型號為 Mark1，可直接在海床下灌注(根據提供資料內容為灌注氣態二氧化碳，但會議提到可壓到超臨界態)，可能可搭配其海下增壓裝置來達到，相關開發進展如圖二十一所示。



圖二十一、OneSubSea 公司開發之海床下加壓灌注技術與設備<sup>[4]</sup>

## 五、DNV 公司交流

### 1. 參訪背景與目標

DNV 為全球最富權威的驗證與標準訂定公司之一，尤其在能源、海事、石油和天然氣、再生能源等領域擁有廣泛的專業知識，許多國際標準(如 ISO)皆由 DNV 制定的標準再微調改良而成。DNV 公司過往也大量投入碳捕捉與封存領域上，尤其在二氧化碳灌注與封存的定量方式與方法學、二氧化碳運輸管線的規格標準制定、灌注風險管理，以及近期在二氧化碳灌注的純度與不純物標準等。本所過往與 DNV 台灣分公司在碳捕捉與封存項目過往也有許多合作，包含台中電廠減碳園區的可行性評估即委託其協助完成。其在挪威 Bergen 中心專注在海洋和能源技術的研究與開發。DNV 在 Bergen 中心並同時含有氫能、二氧化碳捕捉與封存供應鏈等專家與驗證技術。本次參訪目標包含：

- (1) 透過與該中心氫能與二氧化碳捕捉與封存技術之專家討論，了解該技術未來之發展與可能方向
- (2) 了解該中心氫能及二氧化碳捕捉與封存技術之相關驗證實驗室
- (3) 討論 DNV 對於未來二氧化碳封存之可能之封存量計算與驗證、相關風險、封存與運輸管線材料之驗證與規格之經驗與發展。
- (4) 透過該中心實驗室，獲取未來於中火減碳園區內所建置的碳捕捉測試廠未來之發展方向與可能獲取資訊。
- (5) 未來當碳捕捉與封存技術於台灣擴大導入時，相關的維運與維修測試業務，將可能部分由本所來執行，討論相關測試技術與實驗室建置的能力。

### 2. 過程及資訊

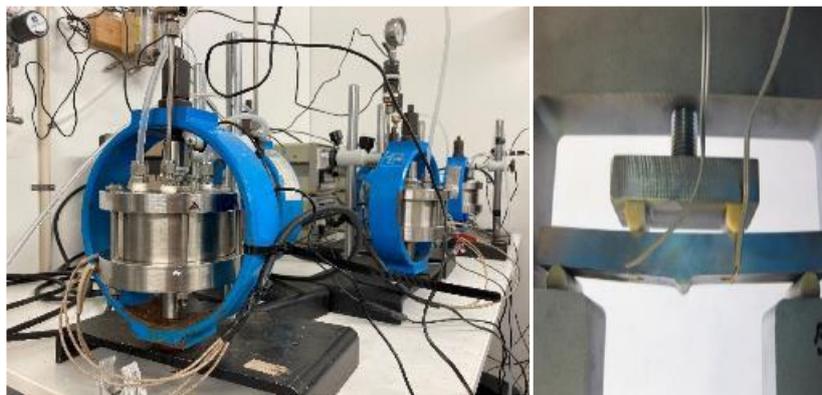
本次赴 DNV 於 Bergen 的研究中心參訪與交流，由其中心主任率與氫能及碳捕捉與封存技術之 3 位專家接待，並先於會議室討論相關議題，並聽取 DNV 公司提供之簡報後，赴該中心 4 個中心參觀。該中心外觀如圖二十二所示，因該中心禁止拍照，因此部分圖片擷取至其當天簡報內容。



圖二十二、DNV 公司於挪威 Bergen 測試中心

(1) Bergen 中心之研究業務

- A. 在 DNV Bergen 目前有 4 個技術中心，包含主責海洋與船舶相關測試業務的測試中心(Tech. Centre for Offshore Mooring and Lifting)、主責材料與腐蝕的測試中心(Tech. Centre for Materials and Corrosion)、主責氫能與二氧化碳捕捉與封存的測試中心(Tech. Centre for Hydrogen and CCS)以及橋梁測試中心(Tech. Centre for Bridge technology and Testing)。
- B. 材料與腐蝕測試中心(Tech. Centre for Materials and Corrosion)內具備鹽霧試驗設備、電子顯微鏡、晶相實驗、實際模擬海域環境試驗設備、鍍膜剝落分析設備、高壓釜等，可模擬試驗不論是在海域上使用的電纜、管線、拖引或固定材料、以集二氧化碳與氫氣運輸管線的相關腐蝕行為。此中心較屬於小型樣品試驗，主屬行為與可能分析實驗室，圖二十三即為其高壓釜試驗設備與四點抗折強度試驗。



圖二十三、Bergen 中心之高壓釜試驗設備與四點抗折強度試驗<sup>[5]</sup>

C. 氫能與碳捕捉與封存中心(Tech. Centre for Hydrogen and CCS)主要也是針對相關材料的設施進行驗證，該中心仍持續擴增規模中，現今包含可進行如實際模擬氫氣氣態高壓管線、氫氣儲存槽材料、氣態高壓二氧化碳管線等材料之性質測試，包含拉伸、破碎、韌性、動態應變、疲勞破壞等試驗。非實驗室測試能力則依靠相關專家，如本次共同討論之 Bergen 中心成員即包含曾在 Shell、TCM 等服務過之經驗共同討論，可提供服務包含風險分析、經濟可行性計算、二氧化碳運輸網絡規劃、管線線材料與規格評估、海運船體規格、封存場址驗證、封存量估算、封存風險管理、監測技術、封存量計算等服務，如圖二十四所示。



圖二十四、DNV 公司可提供與碳捕捉與封存技術相關服務能力<sup>[5]</sup>

D. 海洋與船舶測試中心(Tech. Centre for Offshore Mooring and Lifting)為 DNV Bergen 之試驗重點項目，其中具備大規模的測試設備，可測試接近實際操作環境下，包含如船纜繩、海底電纜等設備的性能檢驗，相關試驗設備如圖二十五所示。



圖二十五、Bergen 中心的大型船纜繩強度試驗<sup>[5]</sup>

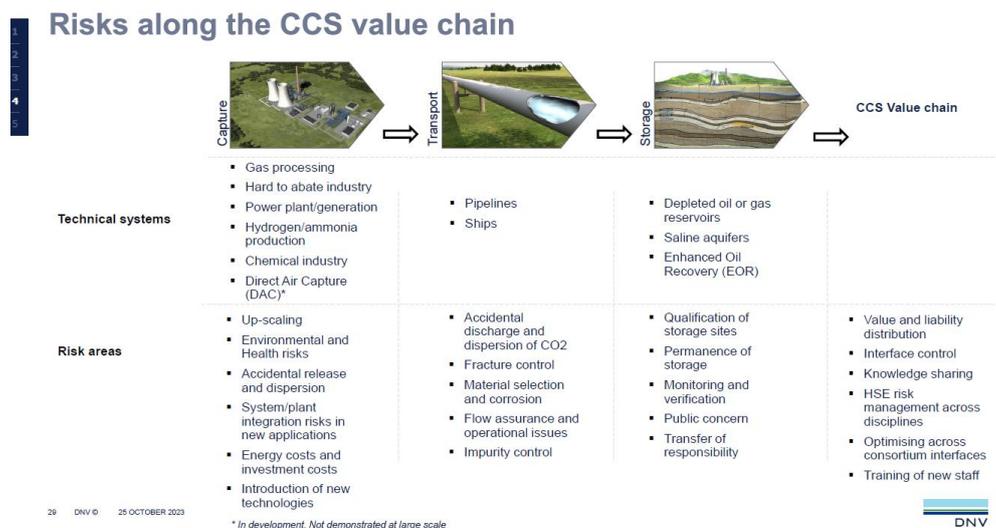
(2) 與該中心成員討論與碳捕捉與封存未來相關業務說明

- A. 尤於未來當碳捕捉與封存技術於台灣擴大導入時，相關的維運與維修測試業務，將可能部分由本所來執行，相關的試驗技術與實驗室為可參考對象。目前該實驗室目前尚未有液態二氧化碳的試驗設備，僅有氣態測試，但其提到未來會陸續增添。
- B. 目前未有碳捕捉溶劑能力測試設備，未來暫時不考量擴增，主因在避免與該國其它產業業務重疊，該業務目前由挪威當地研究機構與大學合作負責，大型的測試場域與技術則由 TCM 負責。
- C. DNV 目前正在擬定二氧化碳運輸與封存之規範，例如二氧化碳的純度、不純物的容許量、壓力等，相關目前訂定內容如圖二十六所示。

Liquid CO <sub>2</sub> (LCO <sub>2</sub> ) Quality Specifications		
Component	Unit	Limit for CO <sub>2</sub> Cargo within Reference Conditions <sup>1</sup>
Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> )	mol-%	Balance (Minimum 99.81%)
Water (H <sub>2</sub> O)	ppm-mol	≤ 30
Oxygen (O <sub>2</sub> )	ppm-mol	≤ 10
Sulphur Oxides (SO <sub>x</sub> )	ppm-mol	≤ 10
Nitrogen Oxides (NO <sub>x</sub> )	ppm-mol	≤ 1.5
Hydrogen Sulfide (H <sub>2</sub> S)	ppm-mol	≤ 9
Amine	ppm-mol	≤ 10
Ammonia (NH <sub>3</sub> )	ppm-mol	≤ 10
Formaldehyde (CH <sub>2</sub> O)	ppm-mol	≤ 20
Acetaldehyde (CH <sub>3</sub> CHO)	ppm-mol	≤ 20
Mercury (Hg)	ppm-mol	≤ 0.0003
Carbon Monoxide (CO)	ppm-mol	≤ 100
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	ppm-mol	≤ 50
Cadmium (Cd), Thallium (Tl)	ppm-mol	Sum ≤ 0.03
Methane (CH <sub>4</sub> )	ppm-mol	≤ 100
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	ppm-mol	≤ 50
Argon (Ar)	ppm-mol	≤ 100
Methanol (CH <sub>3</sub> OH)	ppm-mol	≤ 30
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	ppm-mol	≤ 1
Total Volatile Organic Compounds (VOC <sup>2</sup> )	ppm-mol	≤ 10
Mono-Ethylene Glycol (MEG)	ppm-mol	≤ 0.005
Tri-Ethylene Glycol (TEG)	ppm-mol	Not allowed
BTEX <sup>3</sup>	ppm-mol	≤ 0.5
Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	ppm-mol	≤ 0.5
Hydrogen Cyanide (HCN)	ppm-mol	≤ 100
Aliphatic Hydrocarbons (C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub> ) <sup>4</sup>	ppm-mol	≤ 1,000
Ethane (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	ppm-mol	≤ 75
Solids, particles, dust	Micro-meter (µm)	≤ 1

圖二十六、根據 DNV 公司協助 Northern Lights 所擬定的液態二氧化碳規格<sup>[5]</sup>

D. DNV 公司目前也正在協助一些碳排放源進行碳捕捉可行性評估，包含在荷蘭的 AEB 的廢棄物能源工廠(Waste to energy)，捕碳規模在年 430 千噸、挪威的 Norcem 水泥廠，捕碳規模在年 500 千噸。並協助挪威政府投資的 Gassnova 公司，完成挪威國家級碳捕捉與封存計畫 Longship 的供應鏈與風險的規劃，圖二十七即為 DNV 公司可提供相關風險的項目一覽。



圖二十七、DNV 公司可協助提供碳捕捉與封存技術鏈的風險評估服務<sup>[5]</sup>

## 六、TUCA 會議交流

### 參訪背景與討論目標

本次 TUCA 參訪單位與單位包含台經院左俊德副院長、台經院陳映蓉組長、中鼎陳振欽執行長、信鼎紀茂樹經理、中油探採事業部吳偉智副執行長、彭雯鈿副處長、商船三井譚仁杰專員、台電綜研所鍾年勉所長與高靖棣研究專員。各參訪單位本行目標概述如下，本所目標已於上述各項提及：

- (1) 台經院此行希望以推動無碳電力憑證(Carbon free electricity certificate, CFEC)為主要目標，並循國際各相關單位取經並推動，未來預期將該概念由英國 BSI 認證。無碳電力憑證提供一種類似綠電憑證的概念，以利加速各減碳單位，尤其電力公司的商業誘因推動，並期望未來購買 CFEC 的公司其產品，也可獲得降低碳足跡的效益。
- (2) 台經院並希望利用量表，在電廠的進口、出口、碳捕捉前後、壓縮前後、封存前進行二氧化碳的量測，以利建立無碳電力憑證的標準。
- (3) 中鼎與信鼎公司近期希望投入碳捕捉與封存市場，中鼎公司做為國內最大工程公司，認為碳捕捉與封存是未來重點業務，其並已獲得中油公司在鐵砧山封存試驗計劃的地表工程標案。
- (4) 中油公司未來希望著重在封存業務，並已投入資源在台灣陸域與海域探勘，看是否有適合進行碳封存的場域。此外，中油公司並希望評估 Northern Lights 模式引入台灣，本次也對此項目特別感興趣。
- (5) 商船三井本業為造船與航運公司，具有目前全球的船隊，雖本身目前並無與碳捕捉與封存業務，但希望針對未來如液態二氧化碳以船運方式跨境運輸、液態二氧化碳運輸船等先行了解，以利盡早投入相關業務。

### 叁. 結論及建議

本次行程之結論可綜整為下述幾點：

- (1) 挪威政府與其國有油氣公司 Equinor 大力推動碳捕捉與封存技術原因有二，其一因挪威電力生產以水力為主，佔比高達 90%，低度仰賴火力發電，使得碳稅制度甚早開始徵收，油氣公司在開採油氣過程中二氧化碳也會隨之採出，使得必須採行減碳措施才可避免高額碳稅，碳捕捉與封存即為方法之一，Sleipner 即為其代表計畫；其二為為因應全球淨零排碳的情景下，油氣公司為了持續銷售其產品，勢必須協助其客戶達到減碳目標，因此 Northern Lights 計畫即是其代表性計畫，未來或可協助購買其產品之客戶，將捕捉下來的二氧化碳輸送至該地灌注封存。
- (2) 不論是高壓氣態或液態二氧化碳運輸與儲存技術，在技術成熟度皆已成熟，國際上甚至挪威就已示範各種可能與實場案例。台灣所關注的鹽水層封存技術，在挪威的 Sleipner 計畫中並已由 1996 年起持續灌注至今，並已成功灌注高達 2,300 萬噸二氧化碳。
- (3) 即便封存技術已有商業化且成熟案例，但二氧化碳跨境輸送與灌注的案例卻仍需待 Northern Lights 計畫來驗證，主要困境並非在技術挑戰，而是二氧化碳在多國之間的跨境認定，二氧化碳封存後的監測與其長時間下遷徙的管理責任。
- (4) 碳捕捉技術過往在油氣工業與化學產業導入已久，但火力電廠導入的商業化案例全球僅在加拿大與美國兩例。主因在於碳捕捉廠的設備資本支出過高、用地過大以及碳稅並未明確。如在 TCM 內所設置的每年 75,000 噸碳捕捉廠，如需捕捉煙道尾氣中 20% 二氧化碳，面積即占地 5,800 m<sup>2</sup>、吸收塔高度達 62 m。以台中電廠 550 MW 亞臨界汽力機組而言，滿載情況一年排碳約 430 萬噸二氧化碳，未來當電廠欲碳捕捉設施放大用地即為最大挑戰。

- (5) 當未來火力電廠導入碳捕捉與封存技術，該先行捕捉或封存技術一直是過去所討論的關鍵議題之一，本次行程參訪 Northern Lights，年灌注量 1.5 百萬噸的商業化規模封存的實際場址，不論在經費與用地上，甚至在風險上皆低於碳捕捉技術。如未來商業化規模碳捕捉與封存技術欲導入火力電廠，碳封存技術先行準備好再待碳來源，在經濟與風險考量上應該是較為可行作法。

**本次行程之對於本公司未來對於推動或導入碳捕捉與封存技術之建議可綜整為下述幾點:**

- (1) 根據國際趨勢與技術發展，碳封存在技術與經驗上應已成熟，唯未來導入台灣之配套法規、商業誘因與民情需克服，但比較捕捉與封存兩者技術上經濟與風險考量上，如封存場域可先準備好是較為理想作法。
- (2) 電廠導入商業化規模碳捕捉技術之資本投資高，因此在哪些機組優先安裝碳捕捉設備上是關鍵考量，建議盡可能已基載電力為建置優先考量，增加碳捕捉廠的容量因子。另碳捕捉程序中再生塔的蒸氣需求，考量到本公司電廠用地侷限以及降低機組改裝風險上，建議仿造美國 Petranova 與挪威 TCM 場域，建置如汽電共生廠供給熱源，提升碳捕捉廠用地彈性，並降低再生能耗，另可降低汽渦輪機改裝與停機風險。
- (3) 碳捕捉廠屬性偏化工產業，與過往本公司電力業之營運經驗有落差，目前國際上對於此塊經驗也甚缺，未來如何鍵結電廠與碳捕捉廠兩者間的操作參數與經驗可能是一大挑戰與研究重點。
- (4) 如台灣未來在國內碳封存業務仍無法相前推動，建議可循如 Northern Lights 計畫，將電廠捕捉下之二氧化碳船運至國外封存，目前 Shell 公司正擬推動亞洲版 Northern Lights 計畫，將持續關注相關動向與收集相關資料。

## 肆. 參考文獻

- [1] Northern Lights JV, Meeting Presentation between TUCA and Northern Lights, 16th April 2024.
- [2] Technology Centre Mongstad, Meeting Presentation between TPRI and Technology Centre Mongstad, 17th April 2024.
- [3] Equinor, Meeting Presentation between TUCA and Equinor, 15th April 2024.
- [4] OneSubSea, Meeting Presentation between TUCA and OneSubSea, 15th April 2024.
- [5] DNV, Meeting Presentation between TPRI and DNV, 18th April 2024.