

出國報告（出國類別：開會）

參加「日本苫小牧碳捕集與封存 計畫交流會」出國報告

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：黃鐘地質研究專員

派赴國家/地區：日本/北海道苫小牧市；新瀉縣長岡市；東京都

出國期間：111年10月16日至111年10月20日

報告日期：111年12月13日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加「日本苫小牧碳捕集與封存計畫交流會」出國報告

頁數 37 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司/陳德隆/02-2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

黃鐘/台灣電力股份有限公司/綜合研究所/地質研究專員/02-8369-5758

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：111 年 10 月 16 日至 111 年 10 月 20 日

派赴國家/地區：日本/北海道苫小牧市；新瀉縣長岡市；東京都

報告日期：111 年 12 月 13 日

關鍵詞：二氧化碳地質封存、北海道膽振東部地震、環境監測

內容摘要：

由於國發會已將碳捕集、再利用與封存（CCUS）技術列為我國 2050 淨零碳排之重要項目，因此我國需於 2030 年前建立 CCUS 相關技術，以期達到減碳之目標。因碳封存計畫之成功與否與當地之地質狀況極為相關，故我國學研單位近年來對於日本 JCCS 公司於北海道苫小牧市的碳封存計畫特別關注。全球目前碳封存試驗或商轉計畫中，僅有苫小牧碳封存試驗場址曾經歷較大規模之地震，且震後並未發生二氧化碳洩漏之情況。由於我國與日本同處板塊交界處且屬於地震好發地區，因此該計畫即成為我國進行碳封存試驗之地震防災參考範例，故本次會議即藉由與 JCCS 公司人員之交流，了解碳封存計畫之井體設計與監測設施布置方式，以做為我國未來碳封存計畫規劃之參考依據。

摘要

由於國發會已將碳捕集、再利用與封存（CCUS）技術列為我國 2050 淨零碳排之重要項目，因此我國需於 2030 年前建立 CCUS 相關技術，以期達到減碳之目標。因碳封存計畫之成功與否與當地之地質狀況極為相關，故我國學研單位近年來對於日本 JCCS 公司於北海道苫小牧市的碳封存計畫特別關注。全球目前碳封存試驗或商轉計畫中，僅有苫小牧碳封存試驗場址曾經歷較大規模之地震，且震後並未發生二氧化碳洩漏之情況。由於我國與日本同處板塊交界處且屬於地震好發地區，因此該計畫即成為我國進行碳封存試驗之地震防災參考範例，故本次會議即藉由與 JCCS 公司人員之交流，了解碳封存計畫之井體設計與監測設施布置方式，以做為我國未來碳封存計畫規劃之參考依據。

目錄

摘要	I
目錄	II
圖目錄	III
表目錄	V
壹、出國目的	1
一、目的	1
二、參加人員	2
貳、出國行程	3
參、會議紀要	4
一、JCCS 公司 CCUS 中心參訪與意見交流會議	4
二、SLB 公司長岡儀器設備作業基地參訪與意見交流會議	19
三、三菱重工公司參訪與意見交流會議	28
肆、心得與建議	36

圖目錄

圖 1 我國 2050 淨零排放規劃.....	1
圖 2 聽取 JCCS 公司澤田嘉弘（Yoshihiro Sawada）顧問之簡報	4
圖 3 碳封存注入井頭房舍外觀.....	5
圖 4 萌別層（Moebetsu Formation）注入井頭外觀	5
圖 5 參訪團員與 JCCS 公司人員合照	6
圖 6 苫小牧區域地層剖面圖	7
圖 7 苫小牧碳封存路徑圖	7
圖 8 苫小牧港區與二氧化碳封存井、監測井與監測設施位置圖.....	8
圖 9 Takinoue 層灌注井示意圖.....	10
圖 10 Moebetsu 層灌注井示意圖	10
圖 11 苫小牧灌注試驗監測設施示意圖.....	11
圖 12 苫小牧海域 3D 震測成果圖	12
圖 13 北海道地體構造圖.....	14
圖 14 北海道膽振東部地震震源與地層剖面示意圖.....	15
圖 15 苫小牧市周圍地震監測網位置圖.....	17
圖 16 苫小牧市微震監測成果	17
圖 17 膽振東部地震前後 Moebetsu 層注入井溫度壓力監測數據	18
圖 18 SLB 公司簡介	19
圖 19 SLB 公司於全球 CCS 業務範圍.....	20
圖 20 SLB 公司於碳封存計畫生命週期業務內容概述.....	22
圖 21 SLB 公司於碳封存計畫生命週期業務內容詳述.....	22
圖 22 SLB 公司門傳孝（Takashi Monden）經理簡介該公司日本業務發展狀況..	23

圖 23 SLB 公司錢海燕經理簡介該公司未來新能源業務發展方向.....	23
圖 24 LWD 感測設備（圖中銀色桿狀物）.....	24
圖 25 長岡設備作業基地倉庫內狀況.....	24
圖 26 LWD 泥漿脈衝信號產生器.....	25
圖 27 井下電測感應設備.....	25
圖 28 井下電測感應設備近照.....	26
圖 29 井下震動與溫度感應光纖地表資料蒐集器.....	26
圖 30 可移動式井測監控室.....	27
圖 31 參訪團員與 SLB 公司人員合照.....	27
圖 32 MHI 火力發電廠與航空發動機等產品一覽.....	29
圖 33 MHI 核能發電系統等產品一覽.....	29
圖 34 MHI 化工廠（包含碳捕集廠）、船舶與軌道車輛等產品一覽.....	30
圖 35 MHI 軌道車輛與工廠設施等產品一覽.....	30
圖 36 MHI 裝卸機械、空調系統與農用機械等產品一覽.....	31
圖 37 MHI 一般機械產品一覽.....	31
圖 38 MHI 防衛系統與太空系統等產品一覽.....	32
圖 39 MHI 航空系統產品一覽.....	32
圖 40 MHI 公司 2021 年財務狀況.....	33
圖 41 目前全球採用 KM CDR Process 之碳捕集廠分布圖.....	33
圖 42 目前全球採用 KM CDR Process 之商轉碳捕集廠列表.....	34
圖 43 KS-21 溶劑應用於挪威 TCM 之測試結果.....	34
圖 44 本人於會議中向 MHI 人員進行提問情形.....	35
圖 45 參訪團員與 MHI 公司人員合照.....	35

表目錄

表 1 出國行程表.....	3
----------------	---

壹、 出國目的

一、 目的

國家發展委員會於今（111）年 3 月底公布之我國 2050 淨零目標中指出，若在 2050 年須達成淨零碳排之目標，則每年必須以二氧化碳捕集、再利用與封存方式去化 4,020 萬公噸之二氧化碳（圖 1）。

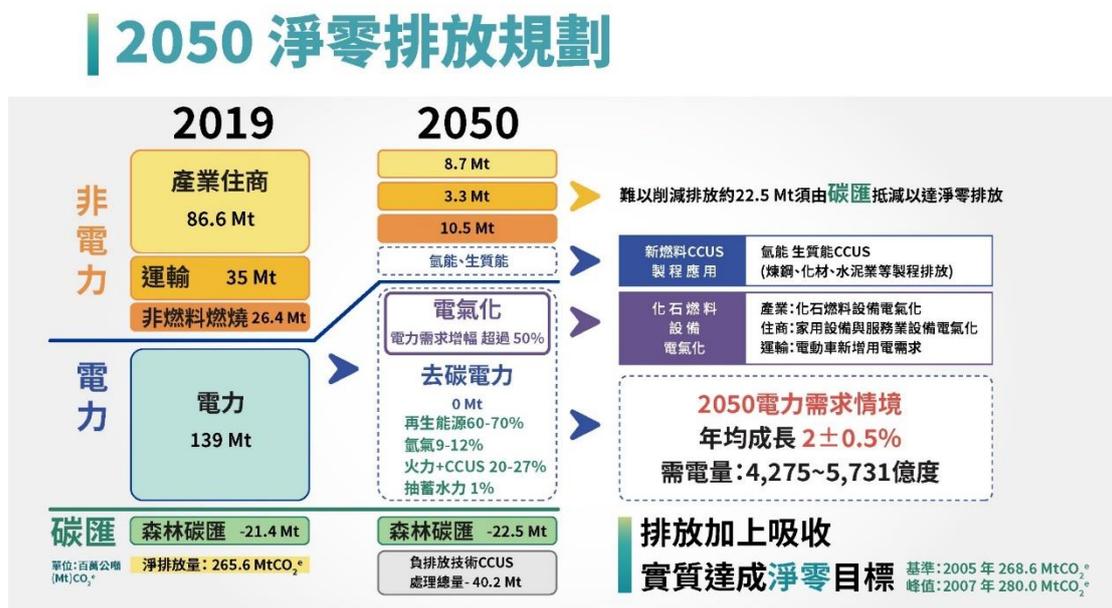


圖 1 我國 2050 淨零排放規劃

達成每年 4,020 公噸之碳封存並非一蹴可幾之事，需要事先建置下列設施，如二氧化碳捕集廠、二氧化碳運輸設施、以及二氧化碳地質封存設施。目前全球已有燃煤發電廠成功捕集尾氣中的二氧化碳，同時全球目前亦有多處二氧化碳地質封存計畫之進行，每年封存將近四千萬公噸之二氧化碳至地層之中，因此就技術層面而言，在 2050 年前建立起二氧化碳捕集、運輸、以及封存之相關設施，尚屬於可執行之計畫。然而，因我國目前尚無大型碳捕集與封存之設施建立，因此在規劃大規模二氧化碳捕集與封存計畫前，須先赴已進行二氧化碳捕集與封存之單位進行交流。

本次考察與參訪地點分別為日本北海道苫小牧市 JCCS 公司碳捕集與封存示範場域、新潟縣長岡市 SLB 公司儀器設備作業基地，以及東京市三菱重工總部，分別就碳捕集與封存場域運作、碳封存地質鑽探工程進行方法、以及減碳技術等三個面向進行考察以及意見交流。本次考察之重點為苫小牧市碳捕集與封存示範場域，因該場域於 2018 年 9 月 6 日曾遭遇震度 6 強之「平成 30 年北海道膽振東部地震」，但並無發生地震引發地層中之微震增加，亦無設備受損造成，因此該場域可做為未來我國進行碳封存計畫之地震安全案例說明。

二、 參加人員

本次參加人員包括台灣中油股份有限公司石化事業部許副執行長晉榮、陳工程師朝鈺、陳工程師君文、盧工程師怡靜，財團法人中興工程顧問社俞副主任旗文，SLB 公司錢經理海燕、門傳經理孝、謝經理雅君，台塑石化股份有限公司許副組長恆彬、王高工師興桂、鄭高工師鈞元，中鼎工程股份有限公司陳執行長振欽、陳助理總工程師坐源、紀資深經理茂樹，台灣經濟研究院左副院長峻德、尤副組長晴韻、陳副組長秉奇及本人，合計共十八人前往日本參加交流活動。

貳、 出國行程

本次出國行程為 111 年 10 月 16 日至 10 月 20 日共計 5 天，出國行程如表 1 所示：

表 1 出國行程表

日期	城市	工作內容
10/16		往程（台北－東京－北海道苫小牧市）
10/17	苫小牧	參訪 JCCS 公司 CCUS 中心與意見交流會議
10/18	長岡	早：移動（北海道苫小牧市－新瀉縣長岡市） 午：參訪 SLB 公司長岡儀器設備作業基地 晚：移動（新瀉縣長岡市－東京）
10/19	東京	參訪三菱重工公司與意見交流會議
10/20		返程（東京－台北）

參、 會議紀要

一、 JCCS 公司 CCUS 中心參訪與意見交流會議

日本北海道苫小牧 CCS (Carbon capture and storage) 示範計畫由日本政府推動，進行二氧化碳捕集、利用、運輸，地下封存技術調查與研發，商業化調查與驗證測試；整體計畫由日本 CCS 調查株式會社 (簡稱 JCCS) 負責執行。JCCS 公司創立於 2008 年 5 月，由 33 家與 CCS 產業相關的公司合資成立，包含電力公司、石油公司、石油開發公司、以及工程與設備公司等。成立宗旨即為碳捕集及封存整合性示範計畫在日本進行全面性的調查與研究。

本次會議於 10 月 17 日前往參訪 JCCS 公司之 CCUS 中心，首先於該中心之會議室聽取該公司碳封存計畫現況之簡報 (圖 2)，並於聽取完成簡報後前往碳封存注入井之房舍參訪 (圖 3、圖 4)，並於離開該中心前全體人員合影留念 (圖 5)。



圖 2 聽取 JCCS 公司澤田嘉弘 (Yoshihiro Sawada) 顧問之簡報



圖 3 碳封存注入井頭房舍外觀



圖 4 萌別層（Moebetsu Formation）注入井頭外觀



圖 5 參訪團員與 JCCS 公司人員合照

該公司之簡報表示，JCCS 在 2008~2011 年調查階段選定了北海道苫小牧市（Tomakomai City）港區下方兩組不同深度的地層（萌別層、滝ノ上層），作為二氧化碳封存的儲集層。示範計畫於 2019 年 11 月 22 日已達成總灌注量約 30 萬噸的預設目標，此計畫做為儲集層之兩組深度不同的岩層分別為砂岩（萌別層，Moebetsu Formation，後稱 Moebetsu 層）以及火成岩（滝ノ上層の t1 段，t1 member of Takinoue Formation，後稱 Takinoue 層），此二儲集地層之分層如剖面所示（圖 6）。

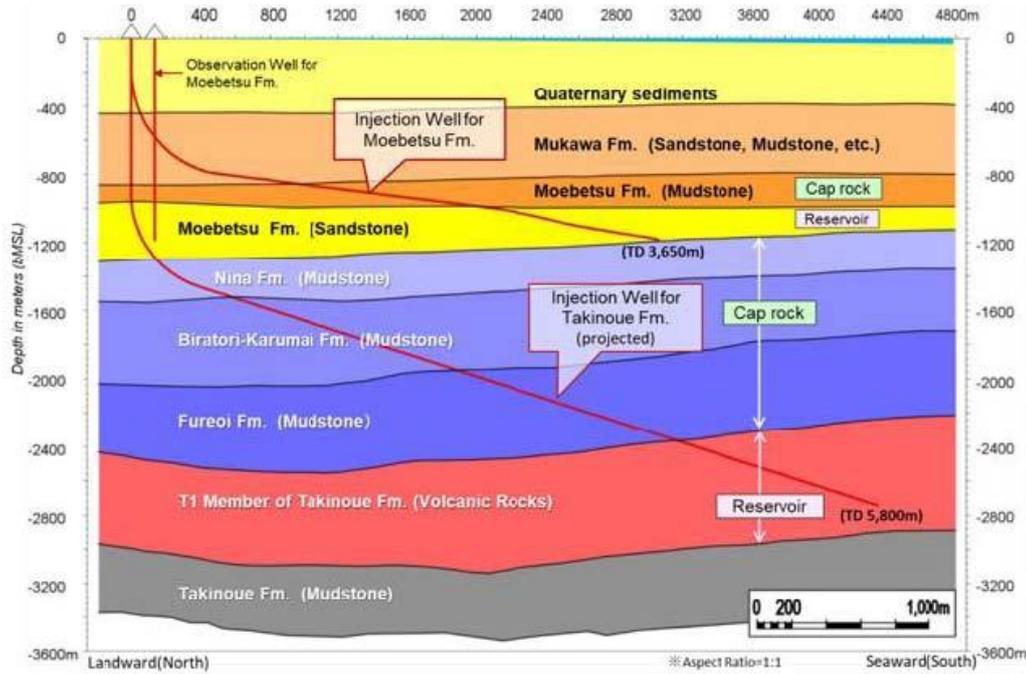


圖 6 苦小牧區域地層剖面圖

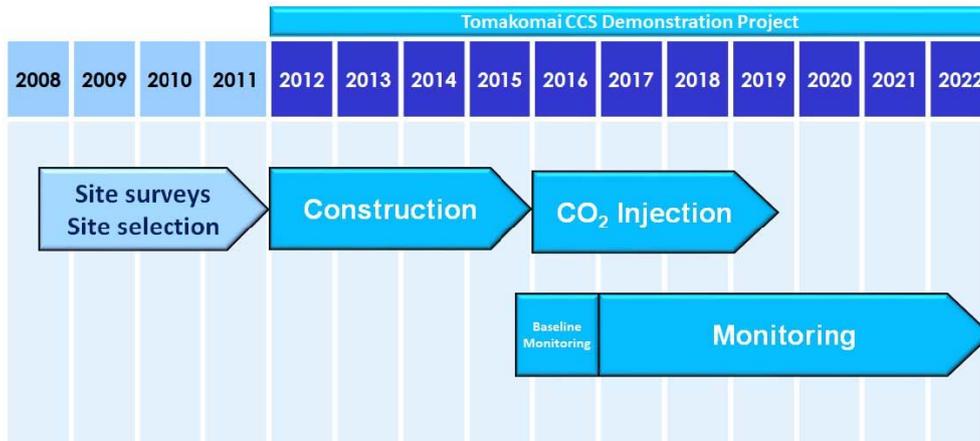


圖 7 苦小牧碳封存路徑圖

示範計畫總時程迄今共十五年（路徑圖如圖 7 所示）。其中可分為四階段，說明如下：

2008~2011 年（調查階段）：進行選址作業。

2012~2015 年（興建階段）：選址完成後，進行二氧化碳注入設備的設計與建造、鑽鑿注入井以及法規與安全準則之研究。

2016~2019 年(灌注階段): 進行二氧化碳灌注作業, 目標灌注量為 30 萬噸。

2015~2022 年(監測階段): 2015 年起進行基線監測; 2016 年灌注作業開始進行後, 同步執行監測作業, 直到 2022 年。

計畫場址位於北海道苫小牧港區一帶, 緊鄰北太平洋(如圖 8), 在 2008~2011 年調查階段透過海域三維震測、探查井岩心分析、井測資料等, 選定了兩組深度不同的砂岩、火成岩作為二氧化碳封存目標儲集層, 此二儲集地層之分層剖面示意圖如圖 6 所示。

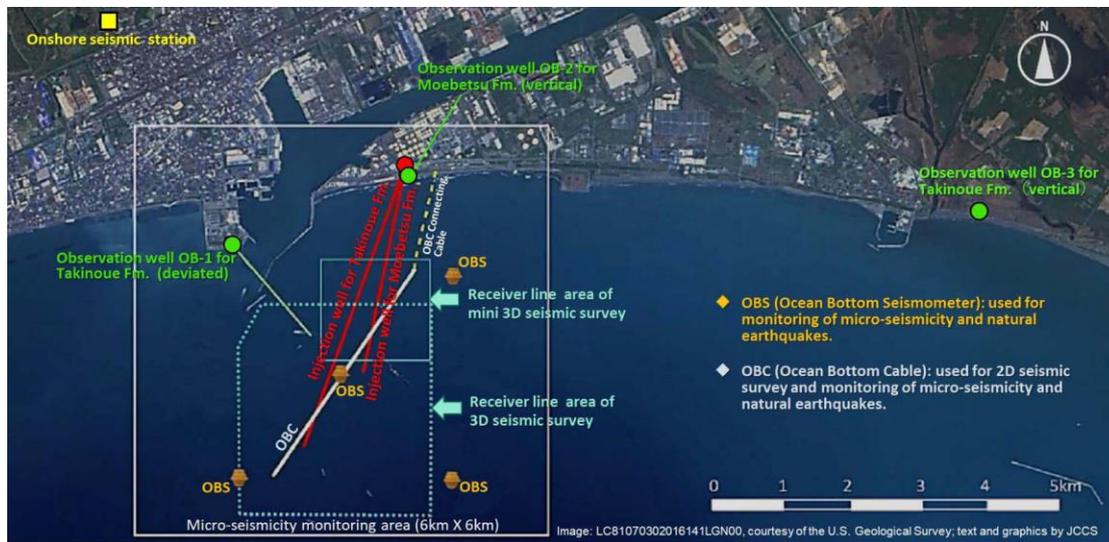


圖 8 苫小牧港區與二氧化碳封存井、監測井與監測設施位置圖

苫小牧碳封存計畫的兩個儲集層分別為距地表較淺的 Moebetsu 層, 以及較深的 Takinoue 層。Moebetsu 層深度約在海床下 1,000~1,200 公尺, 為第四紀砂岩層, 岩層厚度約 100 公尺, 孔隙率約 20~40%, 滲透率約 9~25 md。此儲集層上方有厚度約 200 公尺泥岩作為蓋層。Takinoue 層深度約在海床下 2,400~3,000 公尺, 為中新世火成岩或火山碎屑岩, 岩層厚度約 600 公尺, 孔隙率約 3~19%, 滲透率約 0.01~7 md。此儲集層上方有厚度約 1,100 公尺中新世泥岩層作為其蓋層。

本區因無岩層出露地表, 因此 JCCS 公司先鑽取一口斜井(圖 8 西側之 OB-1 觀測井), 取得地層岩心後再進行孔隙率與滲透率量測。在進行岩心試驗時, 雖

Takinoue 層之滲透率較 Moebetsu 層為差，且國際上尚無利用火山碎屑岩作為二氧化碳儲集層之先例，但因日本活火山廣布，海陸域較多火山噴發後形成之火山碎屑岩，因此日本政府認為，若可利用火山碎屑岩作為碳封存之儲集層，未來日本碳封存前能將有明顯之提升。

兩口注入井皆從陸域垂直往下深鑽，到了預定深度後轉向朝海域方向斜鑽，持續鑽進到最有可能的儲集層位置，穿孔注入點座落於離岸約 3~4 公里處。以 Takinoue 層為儲集層的注入井 IW-1 最大傾斜角度為 72 度，總計鑽進 5,800 公尺，鑽進垂直深度為 2,753 公尺，鑽進水平長度為 4,346 公尺，注入開篩段長度為 1,134 公尺（如圖 9）。以 Moebetsu 層為儲集層的注入井 IW-2 最大傾斜角度為 83 度，總計鑽進 3,650 公尺，鑽進垂直深度為 1,188 公尺，鑽進水平長度為 3,058 公尺，注入開篩段長度為 1,194 公尺（如圖 10）。

Moebetsu 層灌注作業從 2016 年 4 月開始進行，Takinoue 層灌注作業則從 2018 年 2 月開始。因 Moebetsu 層之地層壓力於灌注後仍保持穩定，升壓量小，故成為主要儲集層，在整個試驗期間內注入了 300,012 公噸之二氧化碳。然而，Takinoue 層之火山碎屑岩因孔隙連通條件不佳，灌注過程發現升壓太快，因而於短期內便停止灌注，於試驗期間內僅注入 98 公噸之二氧化碳。

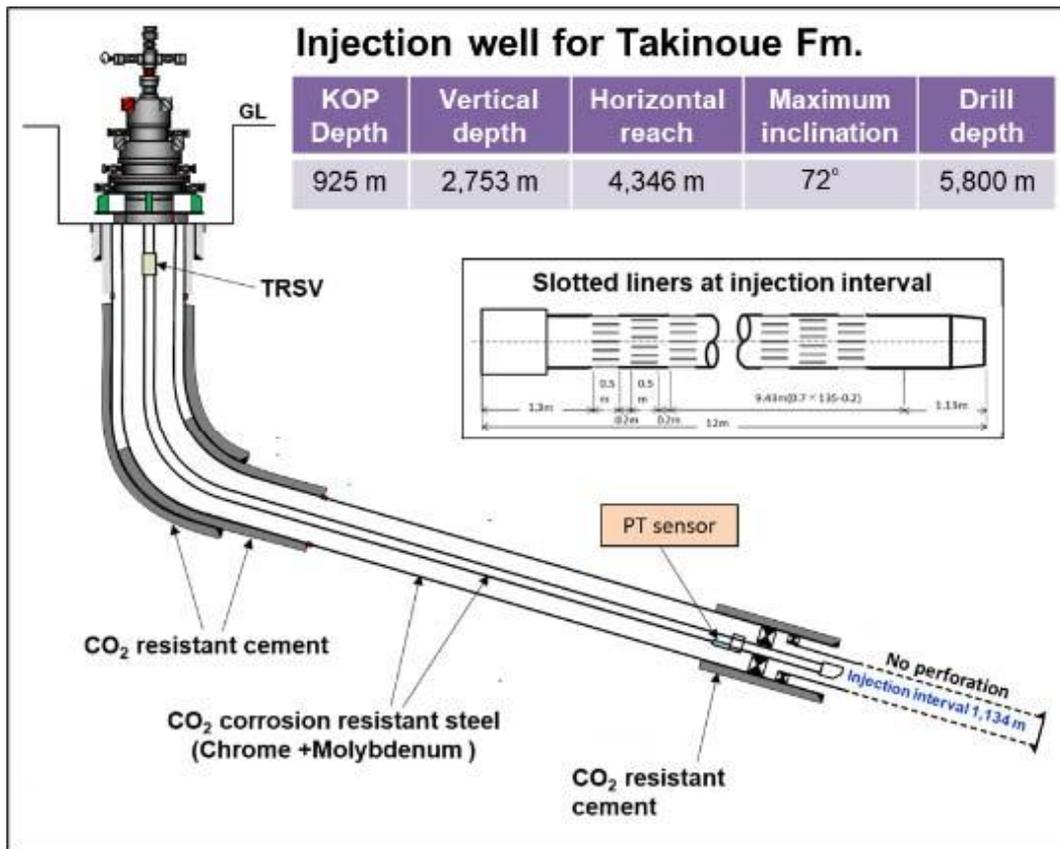


圖 9 Takinoue 層灌注井示意圖

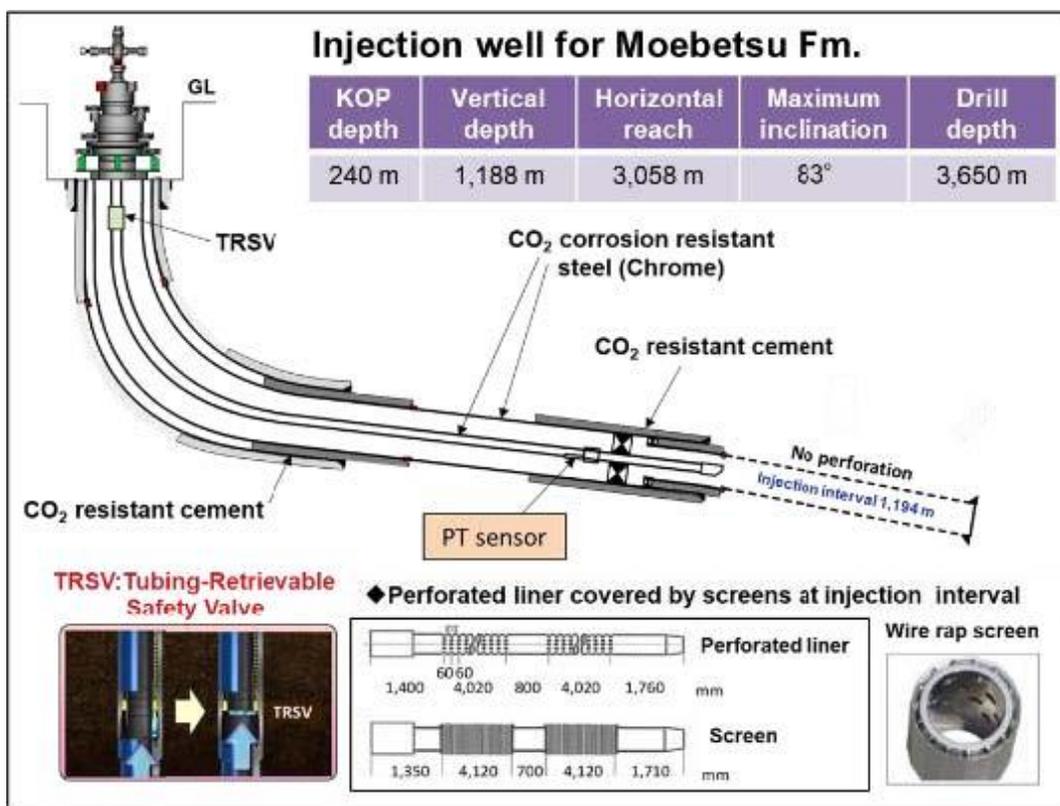


圖 10 Moebetsu 層灌注井示意圖

就結果論而言，火山碎屑岩似乎無法成為良好之二氧化碳儲集層，但以碳封存試驗之角度而言，此案例顯示地下岩心取得後，若僅進行實驗室內之岩石物理與化學特性量測，可能仍無法產出代表大規模儲集層可注性之數值。本次參訪苦小牧碳封存試驗場址時，JCCS 專家亦表示，OB-1 取岩心位置與 Moebetsu 層注入段之間距不超過 2 公里，但仍無法以岩心樣本預測實際灌注行為，因此 JCCS 專家建議，本公司若要進行碳封存灌注試驗，地質探井之岩心取樣位置距灌注井之注入段的空間中直線距離最好小於 1 公里，以免發生類似的情況。

在全球二氧化碳地質封存計畫中，為確保安全性與穩定性，監測二氧化碳在儲集層中的移棲行為即成為計畫運作之首要之務，一般以 MMV (Measurement Monitoring and Verification) 作為簡稱，由於日本是一個地震相當頻繁的國家，必須建立完整且詳實的 MMV 計畫，以比對二氧化碳地質封存與本區之地震發生是否有關連，同時亦須了解遠處發生之地震是否會造成本計畫之二氧化碳灌注設施之毀損，導致二氧化碳洩漏。因此，本計畫除在兩口注入井 (IW-1, IW-2) 設置溫度與壓力感測器之外，尚有三口裝有溫度壓力感測器與井下地震儀的監測井 (OB-1, OB-2, OB-3)、一條可感知地表震動以及作為 2D 反射震測接收端之海底電纜 (Ocean bottom cable, OBC)、四組海底地震儀 (Ocean bottom seismometer, OBS) 以及配合的一組陸上地震儀 (如圖 11 所示)。

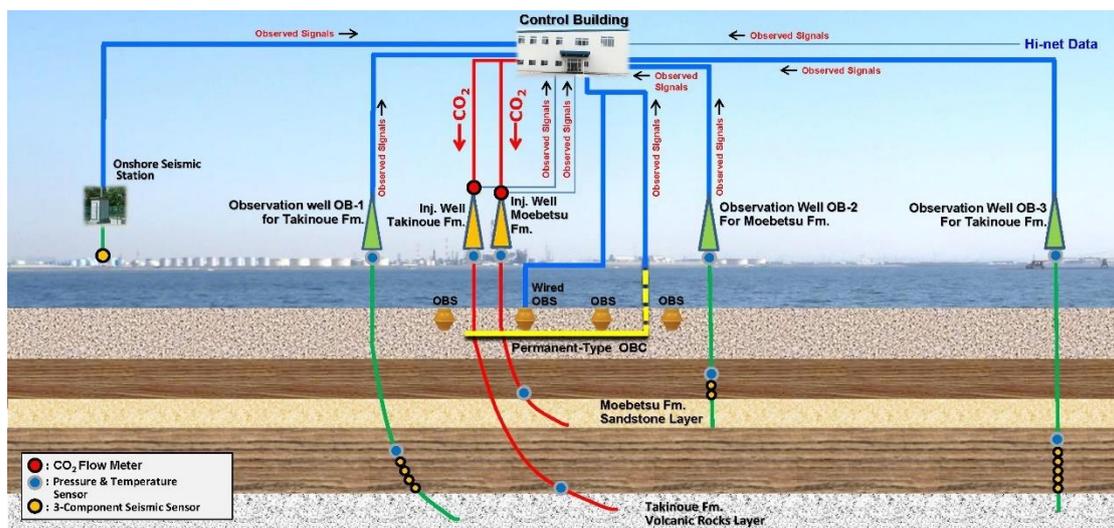


圖 11 苦小牧灌注試驗監測設施示意圖

為了解二氧化碳在地層中移棲行為，於 2017 年累積注入二氧化碳至 Moebetsu 層達到 65,000 噸後，進行 3D 震測與資料比對分析。比對分析主要係將量測結果與未注入前基線調查成果相互比較，而該計畫亦在 2018 年注入量達 207,209 公噸、2019 年完成注入 300,012 公噸後的 58-79 天、以及 233-257 天進行三次 3D 震測調查，從震測比對訊號差異處可視為封存至該地層的二氧化碳分佈範圍（如圖 12 所示）。在圖中可以發現，代表二氧化碳團塊的黃色與綠色區域隨著灌注量的增加而有擴大之趨勢，2017 年第一次進行 3D 震測時，二氧化碳團塊在平面之直徑大小約 300 公尺，而進行最後一次 3D 震測時，二氧化碳團塊在平面之大小直徑僅止於 500 公尺左右，且與前一次調查之二氧化碳團塊大小相近，代表此試驗之二氧化碳灌注後，駐留於砂岩層中，可能已進入礦化程序。若本區二氧化碳進入礦化程序，則代表二氧化碳未來較難逸氣進入大氣層中，達到固碳、減碳之目的。

◆ The 2nd, 3rd, 4th and 5th monitor seismic surveys at cumulative CO₂ injection of approx. 65,000, 207,000 and 300,000 tonnes into the Moebetsu Formation detected anomalies, indicating evolution of the CO₂ plume

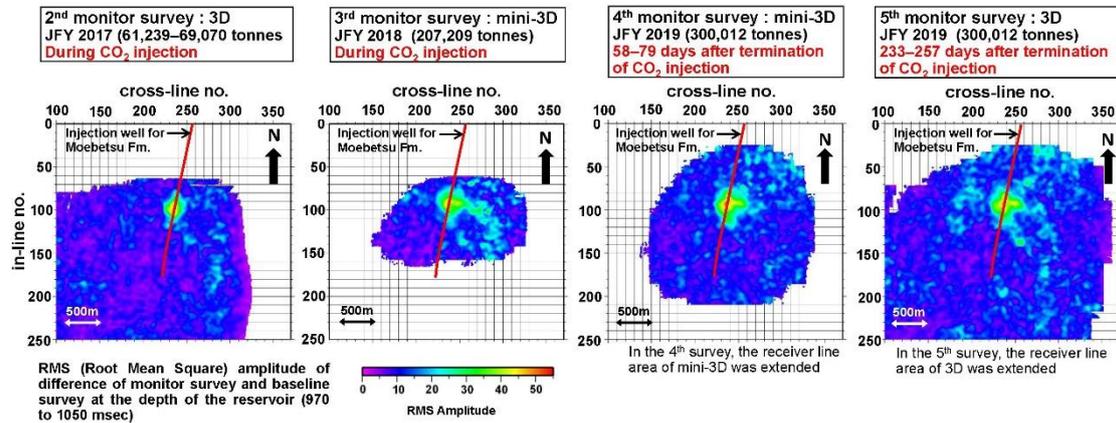


圖 12 苫小牧海域 3D 震測成果圖

北海道苫小牧市位處環太平洋火山帶，與台灣同為板塊相互碰撞擠壓之區域。本區地體構造為太平洋板塊隱沒至千島海溝（Kuril trench），千島島弧（Kuril arc）由東往西碰撞東北日本島弧（Northeastern Japan arc）。千島島弧的上部地殼擠壓造

成一系列的逆衝斷層，形成日高山脈（Hidaka mountain range）；千島島弧的下部地殼則向下移動至東北日本島弧之下（如圖 13 所示）。而在膽振（Iburi）東部區域，從日高（Hidaka）至浦河町外海（Offshore of Urakawa）一帶，本區地震的特徵是震央位於外海的地震較深，震央位於陸域的地震則較淺。

在 2018 年 9 月 6 日凌晨 03:07 時，本區在北緯 42.7 度、東經 142.0 度發生規模為 Mw 6.7，深度約 37 公里之地震。日本氣象廳命名為平成 30 年北海道東部膽振地震（Hokkaido Eastern Iburi Earthquake）。地震震央位在日本北海道苫小牧市東邊約 30 公里，為苫小牧 CCS 示範計畫自 2016 年 4 月灌注二氧化碳開始以來，所遭逢的最大地震侵襲。震央距離二氧化碳注入區域水平距離約 30 公里，區域範圍內量測到最大震度為 7 級；在苫小牧 CCS 示範場址附近所量測到的震度則小於 5 級（158 gal）。隨後，於 2019 年 2 月 21 日，同地又發生了一次規模為 Mw 5.8 的地震。

本次地震事件震源與地質剖面 X-X' 如圖 14 所示，剖面顯示震源位於增積岩楔深處的結晶岩體中，與淺部褶皺逆衝帶西側注入二氧化碳場址所在的沉積岩地區似無空間關聯性，故應可排除膽振東部地震是因為二氧化碳注入所誘發。

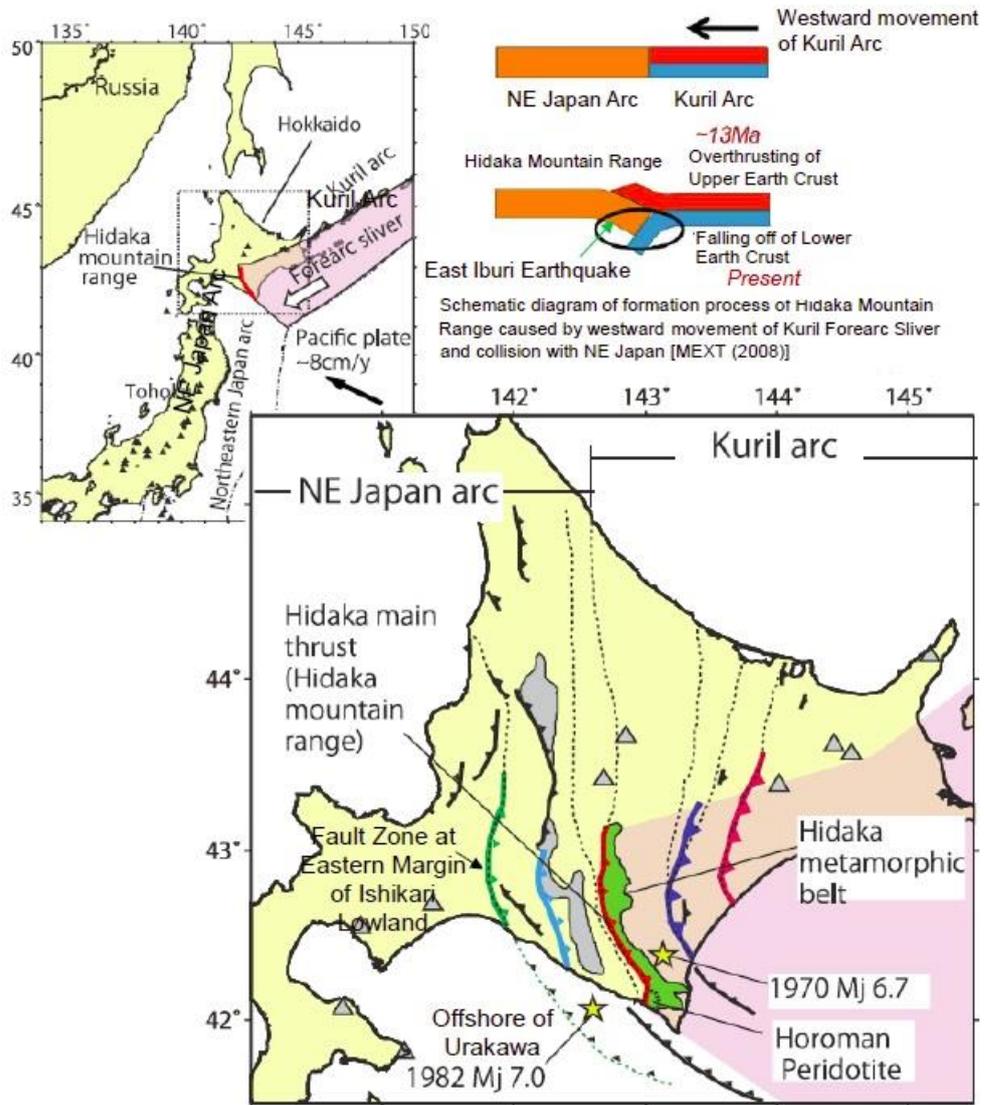


圖 13 北海道地體構造圖

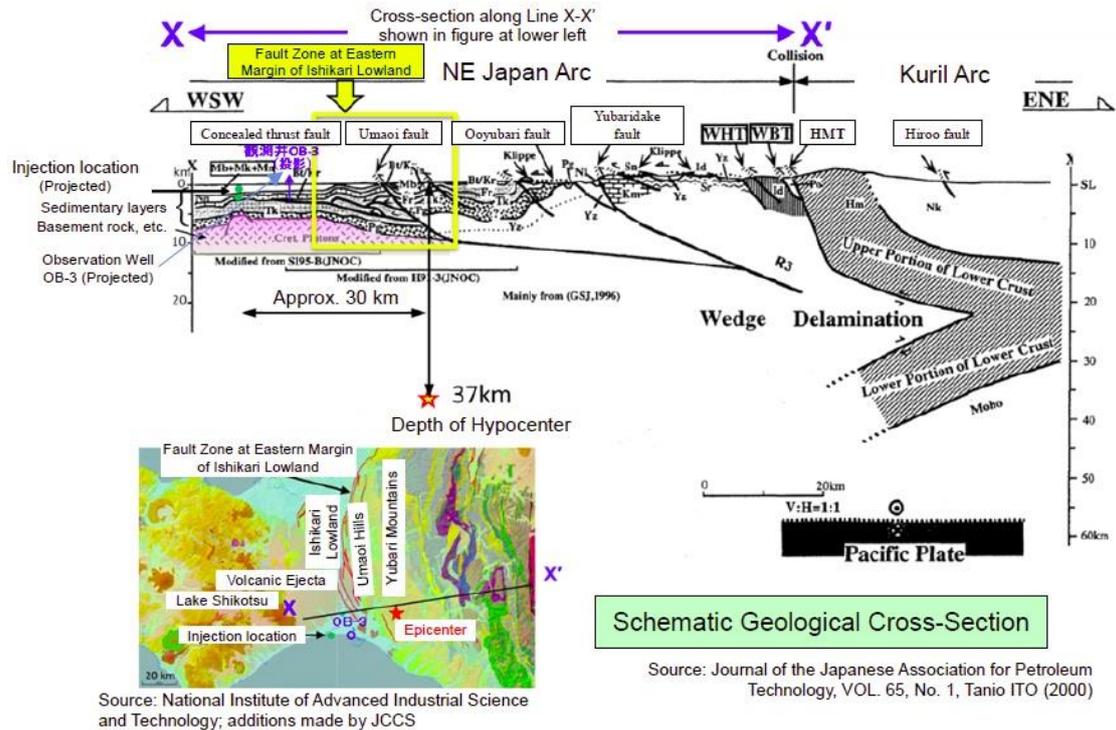


圖 14 北海道膽振東部地震震源與地層剖面示意圖

在二氧化碳灌注進行前，JCCS 將注入點周圍東西 6 公里、南北 6 公里，深度約 15 公里的區域定義為微震監測區，本區內除設置高感度地震儀之外，另結合附近四個日本政府設置的 Hi-net (High-sensitivity seismograph network) 地震網，透過觀測資料來評估注入作業對儲集層的影響。微震監測區位置如圖 15 所示，監測系統能監測到所有與二氧化碳注入有關的微震活動，觀測精度可達地震規模 -0.5 以上的地震事件。

2015 年 2 月 1 日至 2020 年 5 月 30 日之間，微震監測結果如圖 16 所示。在 2015 年 4 月至 2015 年 8 月之間，也就是注入作業開始前，在微震監測區測到 9 次微震事件；在注入作業開始後，2017 年 8 月測到 3 次微震事件。這些微震均發生在約 6 公里或更深的位置，代表監測可以記錄到該地區可能發生之最小規模自然地震。2017 年 8 月 3 次微震事件後，在微震監測區域就未再監測到有類似微震事件發生。在圖 16 中時間序列亦包括 2018 年北海道東部膽振地震事件。

另外，與上述相同時間序列內，亦監測到樽前山 (Mt. Tarumae) 以南地區與

石狩低地 (Ishikari lowland) 東部邊界斷層帶南部鄰近及其延伸地區，有明顯的微小地震活動。但這些監測到偶發的小地震和微震事件，與苫小牧場址注入作業時間點，以及 2018 年 8 月膽振東部地震時間點，並沒有明顯的相關性。

如先前所述，在地震發生前自然地震監測區確有觀測到許多小型地震活動。膽振東部地震發生後，在苫小牧港東部自然地震監測區內也可觀測到許多小地震和微震事件。這些地震被認為是主震後發生的餘震活動。儘管地震發生次數顯著增加，但震源位置並沒有超出先前歷史地震震源分佈範圍。在二氧化碳封存位置附近微震監測區內，根據監測資料直到 2019 年底灌注結束，皆未觀察到與膽振東部地震對應的地震活動或區域變化。

本計畫注入井中部署石英振盪高精度感測器，以進行井內溫度與壓力持續性觀測，經過井內觀測值歷時變化，可反饋改善數值模型分析準確性，亦可作為注入操作安全指引。在地震發生前，於 2018 年 9 月 1 日，由於煉油廠源頭停止供應二氧化碳，使得注入作業暫時停止，因此，注入井的壓力呈現下降趨勢。另由於注入二氧化碳溫度高於地層溫度之故，所以在注入停止後，井下溫度亦呈下降趨勢。膽振東部地震發生時（圖中 Main Shock 處），由於地震停電導致監測數據中斷，而在電力系統修復後，Moebetsu 層注入井的注入作業於 2018 年 7 月 25 日恢復。檢視整體資料，地震前、後井內溫度與壓力的變化趨勢，並沒有出現異常，因此本監測數據成為碳封存計畫面臨地震時重要的安全評估佐證資料（如圖 17 所示）。

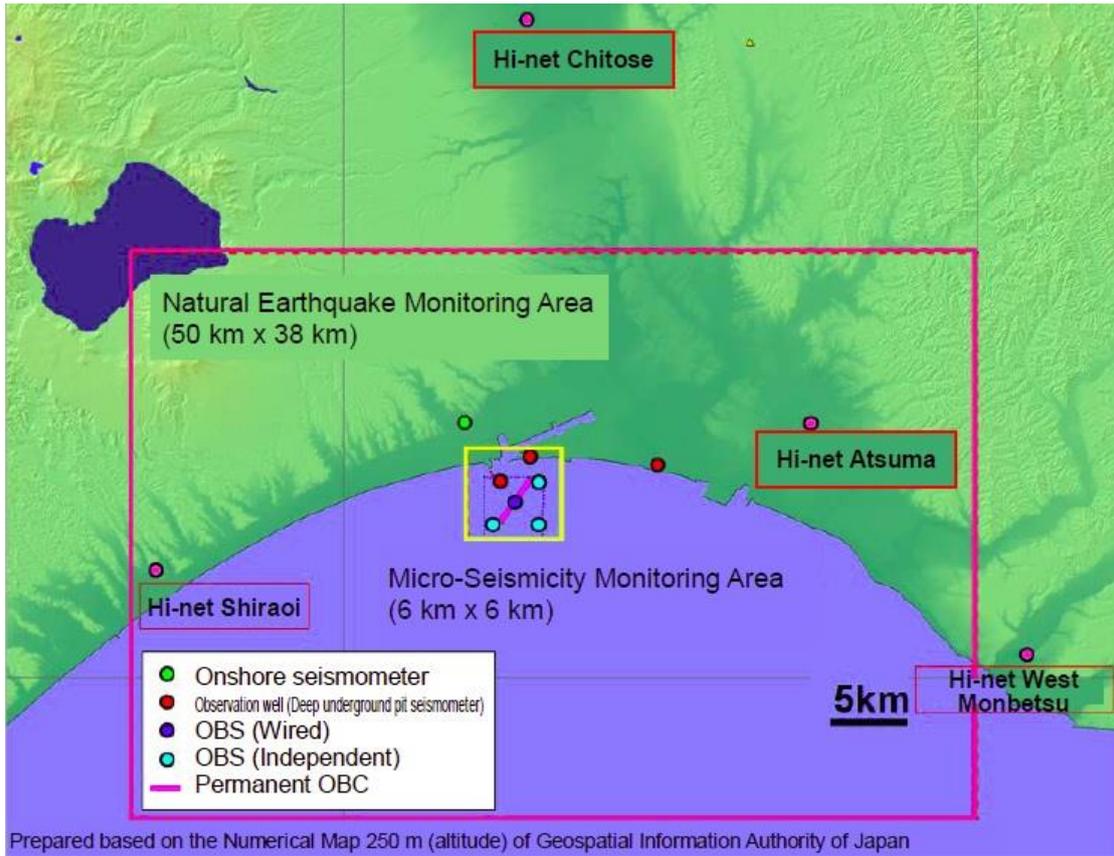


圖 15 苫小牧市周圍地震監測網位置圖

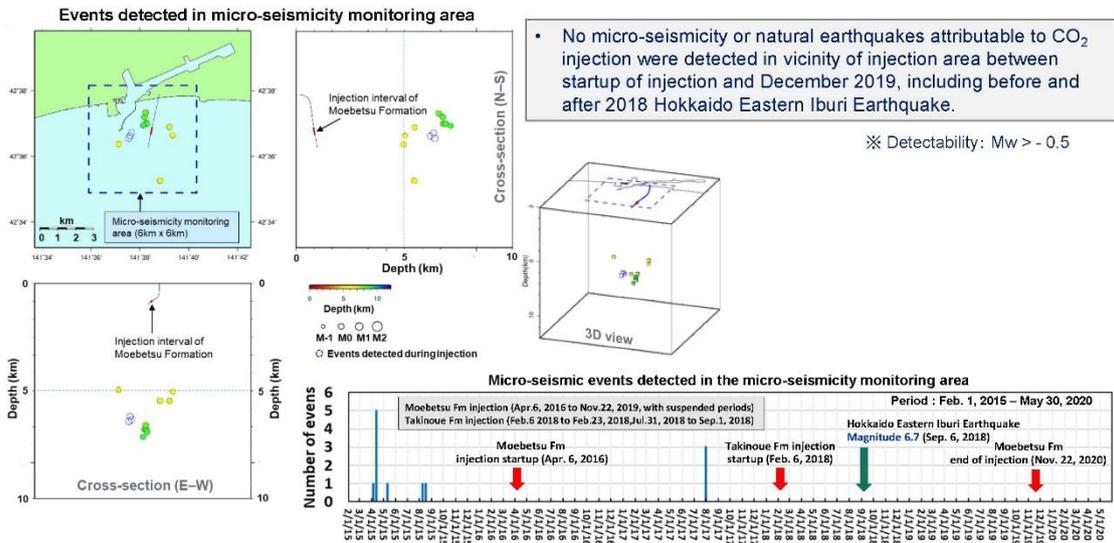


圖 16 苫小牧市微震監測成果

- Bottom hole pressures, temperatures of Moebetsu Formation injection well before/after earthquake

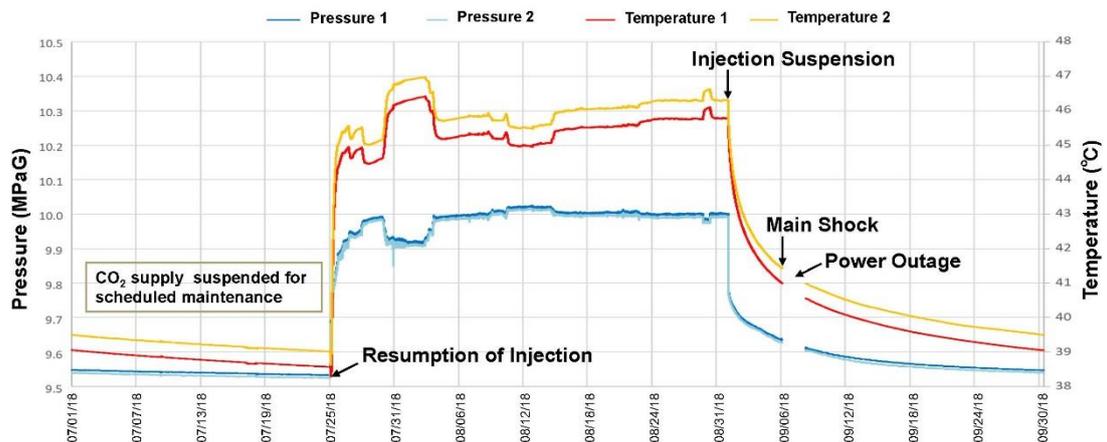


圖 17 膽振東部地震前後 Moebetsu 層注入井溫度壓力監測數據

最後，在 2018 年 11 月 JCCS 出版的安全評估報告內結果指出：(1) 北海道東部膽振地震震源與灌注點位置比對，顯示在地質上兩者並無連續性關係，可排除北海道東部膽振地震是因二氧化碳注入兩個儲集層所誘發；(2) 灌注區域連續進行微震監測關聯事件分析，顯示地震前後並未有微震事件發生，因此排除二氧化碳封存作業與北海道東部膽振地震有直接關聯；(3) 從數值模擬結果與實測結果相互驗證得知，地震發生後監測的壓力升高，可解釋為與震央位置附近之斷層位移，使得地殼變形所致；(4) 根據實測儲集層壓力和溫度數據，北海道東部膽振地震並未造成地層內二氧化碳洩漏。

本次事件提供了二氧化碳封存計畫因應地震發生的事前準備與事件衝擊安全評估資訊，可作為我國推動二氧化碳封存計畫之參考，希望可藉由汲取此事件歷程之經驗，規劃出適切的場址風險管理程序以及完整之監測系統。

二、SLB 公司長岡儀器設備作業基地參訪與意見交流會議

斯倫貝謝公司（Schlumberger Limited，簡稱 SLB）是一家油田服務公司，由 Conrad Schlumberger 與 Marcel Schlumberger 兩兄弟於 1926 年在巴黎創立，目前在巴黎、休斯頓、倫敦和海牙設有主要辦公室。SLB 是目前世界上最大的海上油氣鑽井承包商，在財富雜誌世界 500 強企業名單中，SLB 於 2016 年排名第 287 位，同時該公司亦入選富比士雜誌全球 2000 強名單，於 2022 年排名第 349 位。該公司於 2021 年的收入為 240 億美金，員工人數 85,000 人，於全球 120 個國家進行服務，同時有九十多個技術發展與設備製造中心（圖 18）。

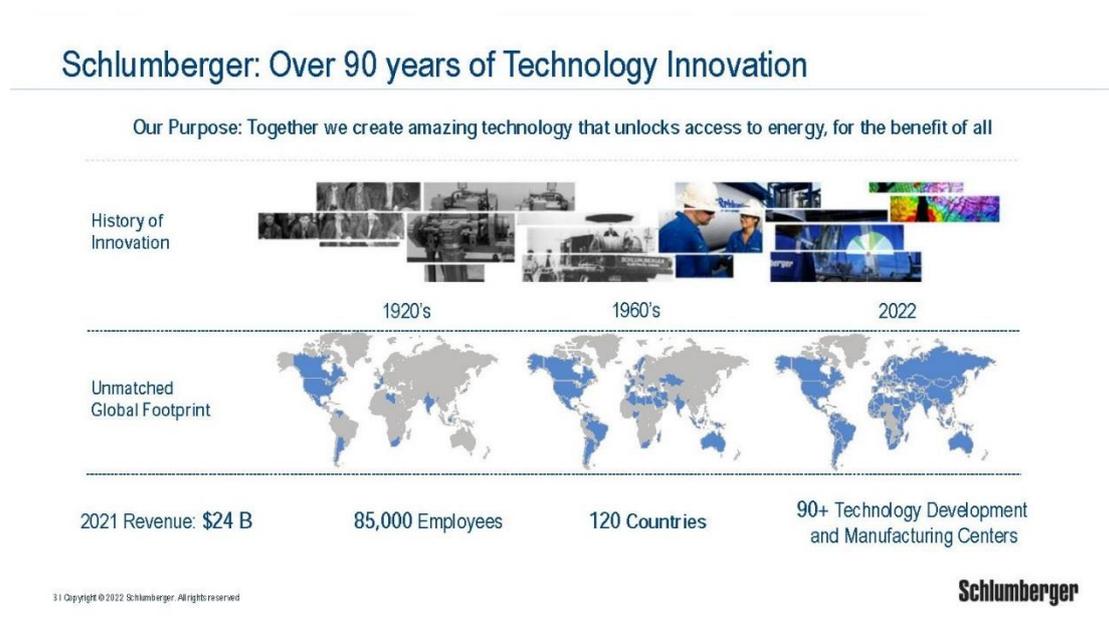


圖 18 SLB 公司簡介

SLB 為油氣開採與生產公司提供震波探測數據處理、儲集層分析、油氣探勘井與油氣田評估、生產井定向鑽井施作、固井工程、油氣增產工程、人工開採、完井、流動保障、一般諮詢以及軟體及和資訊管理等服務。該公司還涉足地下水開發和碳封存計畫。就技術面而言，SLB 提供的技術與設備包括地表地球物理探勘設備銷售與技術服務、井下電測設備銷售與技術服務、定向鑽孔設備銷售與工程服務、隨鑽井測（Logging While Drilling, LWD）設備銷售與工程服務、固井水泥銷售與工程服務、修井工程服務等。

SLB 長岡分公司負責日本能源開發提供技術服務與產品的業務，內容主要為石油和天然氣開發計畫，同時也參與再生能源（地熱發電、風力發電等）、離岸甲烷水合物、二氧化碳地質封存等其他領域之開發與評估。

SLB 在全球各大洲已協助多個二氧化碳捕集與地質封存計畫進行，就二氧化碳封存之地點而言，可分為陸域以及海域，而封存之目標可分為深部鹽水層以及枯竭油氣田，另封存之目的亦可分為油氣增產以及最終地質封存。SLB 於全球進行之碳捕集與封存計畫之合作產業可分為乙醇製程、甲醇製程、藍氫製程、生質能碳捕集與封存（Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, BECCS）、油氣生產、加強油氣增產、水泥、發電、鋼鐵、以及製氧等（圖 19）。

SLB Experience in Carbon Capture & Storage



圖 19 SLB 公司於全球 CCS 業務範圍

SLB 碳封存產業之服務可分為四階段，分別為規劃、興建、營運、以及灌注後（內容如圖 20、圖 21）。以下是該公司於碳封存計畫各階段可提供服務之說明：

（一） 規劃階段：

1. 初始範圍界定：可行性研究整合
 - 盆地資料蒐集、場址辨別與普查、封存可行性研究、碳源量評估、可行性評估、工程概念設計、二氧化碳流動保障。
2. 評估：提供灌注測試結果
 - 灌注表現評估、容量與污染評估、既存舊井鑑定、試灌注、背景基線值調查、計畫全程經濟評估、風險整合評估。
3. 細部設計：灌注廠、管線、井與地下設施設計，評估灌注期間靜態、動態以及岩石環境等力學影響
 - 灌注計畫整合、封存經濟評估、風險整合評估、許可請照、工程監測計畫、灌注井與監測井細部設計、灌注廠細部工程規劃。

（二） 興建階段：

- 灌注井與監測井興建、修井、抗酸水泥、完井、井體完整性評估與儲集層評估、灌注場址管理。

（三） 營運階段：

- 二氧化碳壓縮以及注入營運與管理、營運監測、注入量管理與財務管理、環境監測管理與報告撰寫。

（四） 灌注後階段：

- 報告撰寫、完工後監測、封井與棄井。

以上內容均為 10 月 18 日參訪 SLB 長岡分公司時聽取該公司人員報告所述，聽取簡報照片如圖 22 與圖 23 所示，聽取完簡報後，並參觀該公司之設備作業基地並合照留念（圖 22 至圖 31）。

Schlumberger's End-to-End Storage Technology and Services



61 Copyright © 2022 Schlumberger. All rights reserved.

Schlumberger

圖 20 SLB 公司於碳封存計畫生命週期業務內容概述

Schlumberger CCS Services and Offerings



71 Copyright © 2022 Schlumberger. All rights reserved.

Schlumberger

圖 21 SLB 公司於碳封存計畫生命週期業務內容詳述



圖 22 SLB 公司門傳孝 (Takashi Monden) 經理簡介該公司日本業務發展狀況



圖 23 SLB 公司錢海燕經理簡介該公司未來新能源業務發展方向



圖 24 LWD 感測設備（圖中銀色桿狀物）



圖 25 長岡設備作業基地倉庫內狀況



圖 26 LWD 泥漿脈衝信號產生器



圖 27 井下電測感應設備



圖 28 井下電測感應設備近照



圖 29 井下震動與溫度感應光纖地表資料蒐集器



圖 30 可移動式井測監控室



圖 31 參訪團員與 SLB 公司人員合照

三、三菱重工公司參訪與意見交流會議

三菱重工係日本主要重工公司，創立於 1884 年，是日本綜合機械製造商，也是日本最大的國防工業承包商，為三菱集團的旗艦企業之一。其業務範圍涵蓋化工製程、交通運輸、船舶、航空、太空、軌道車輛、防衛系統、電動馬達、發動機、火力發電、核能發電、空調設備等各種類型機械機器設備之生產製造（詳如圖 32 至圖 39）。員工人數將近 8 萬人，2021 年營收為 322 億美金（詳如圖 40）。碳捕集相關計畫主要是由該公司旗下之 MHIENG (Mitsubishi Heavy Industries Engineering, Ltd.) 主導。

MHIENG 自 1983 年起即與關西電力公司 (Kansai Electric Power Company, Inc., KANSAI) 合作研究碳捕集技術，1990 年代已開發碳捕集重點技術 KM CDR Process™ (Kansai Mitsubishi Carbon Dioxide Recovery Process) 高性能吸收劑 (KS-1™)，與傳統之溶劑二氧化碳捕集方法每公噸 3 至 4 GJ 之能耗相比，KS-1 捕集每公噸二氧化碳所需之能量僅為 1 至 2 GJ，因此目前已有多个碳捕集廠採用該溶劑（如圖 41）。KM CDR Process 應用於燃燒後化學溶劑捕集法之捕集系統，已用於 16 家營運中的 CO₂ 捕集廠(扣除美國 2011 年完成之 SoCo 示範廠，詳如圖 42)。目前在挪威蒙斯塔德技術中心 (Technology Centre Mongstad, 縮寫 TCM) 使用 KS-21 胺基溶劑單乙醇胺 (MEA)，該捕集系統捕集率為 95~98%，捕集所需能量不大於每公斤 700 Kcal，改進後的操作條件下最高捕集率甚至達 99.8%（如圖 43 所示）。

Products - ENERGY SYSTEMS



- Power Systems**
- MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
 1. Gas Turbine Combined Cycle (GTCC) Power Plant/Tohoku Electric Power Co., Inc. Sendai Thermal Power Plant No. 4 (Japan)
 2. Steam Power Plant/UEJA Co., Inc. Hitachinaka Thermal Power Station No. 1, No. 2 (Japan)
 3. Integrated coal Gasification Combined Cycle (IGCC) Power Plant/Nakoso IGCC Power GK Nakoso (IGCC plant)
 4. Geothermal Power Plant/Reykjavik Energy Hellisheidi Geothermal Power Plant (Iceland)
 5. Aero-derivative Gas Turbine FT8® MGSLEPAC®
 6. M50 IJ Gas Turbine
 7. LP Steam Turbine Rotor with 54-inch Diapas for Nuclear Power Plant
 8. 1,028 MVA Turbine Generator
 9. Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)/Mikro Gas Turbine (MGT) Hybrid System
 10. Flue Gas Desulfurization Plant/Kozienice Power Plant (Poland)
 - TURBOOEN S.P.A.
 11. Organic Rankine Cycle (ORC) Power System
 - Marine Machinery**
 - MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES MARINE MACHINERY & EQUIPMENT CO., LTD.
 12. MET Turbocharger
 13. Ultra Steam Turbine (UST) Plant
 14. Auxiliary Boiler
 15. Fin Stabilizers
 16. Steering Gear
 - Aero Engines**
 - MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES AERO ENGINES, LTD.
 17. V2500 Series (Turbfan)
 18. Trent Series (Turbfan)
 19. PW1000G Series (Turbfan)
 20. MRO - Maintenance, Repair and Overhaul
 21. TS1 (Turboshaft) Engine, Output Power: 884 SHP (Observation Helicopter OH-1)
 - Compressors**
 - MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES COMPRESSOR CORPORATION
 22. Cracked Gas Compressors and Steam Turbines for Ethylene Plant
 23. Main Gas Compressor Trains for FPSO
 24. Product Gas Compressors and Steam Turbines for PDH Plant
 25. Rotor of Steam Turbines

© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

4

圖 32 MHI 火力發電廠與航空發動機等產品一覽

Products - NUCLEAR ENERGY SYSTEMS



- Nuclear Energy Systems**
- MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
 26. Pressurized Water Reactor (PWR)/Kansai Electric Power Co., Inc. Takahama Nuclear Power Station Nos. 1-4 (Japan)
 27. Next-Generation PWR
 28. Small Reactors (Multi-purpose Power Source)
 29. Reactor Vessel
 30. Steam Generator
 31. Reactor Internals
 32. Reactor Coolant Pump
 33. Rokkasho Reprocessing Plant
 34. Casik
 35. Nuclear Fuel
 36. Fast Reactor
 37. High Temperature Gas-Cooled Reactors (for Hydrogen Production)
 38. International Thermonuclear Experimental Reactor (Nuclear Fusion Reactor)
 39. EX-ROVER, The Autonomous, Explosion-proof, Plant Inspection Robot
 40. Fuel Debris Removal Robot Arm

© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

5

圖 33 MHI 核能發電系統等產品一覽

Products - PLANTS & INFRASTRUCTURE SYSTEMS



Commercial Ships



Commercial Ships

- 1. Ferry, HAKUREI
- 2. Cargo-passenger Ship, SALVA MARU
- 3. RO/RO Ship, HIMAWARI 8
- 4. Marine Resources Survey Ship, HAKUREI
- 5. Patrol Vessel, ASA/UKI
- 6. LPG Carrier, FUTURE ENERGY
- 7. 3D Engineering System of Ships Mates
- 8. LNG Fuel Gas Supply System (FGSS)
- 9. Power Prediction and Lines Selection System
- 10. SOx Scrubber Systems for Small to Medium Output Engines

CO₂ Capture Plants



Chemical Plants



Transportation Systems



CO₂ Capture Plants

- 11. CO₂ Capture Plant for EOR (U.S.)
- 12. CO₂ Capture Plant (Qatar)
- 13. Compact CO₂ Capture System

Chemical Plants

- 14. Ammonia and Methanol Co-production Plant (Tatarstan/Russia)
- 15. Ammonia/Urea Plant (Malaysia)
- 16. Methanol Plant (Finland and Tobago)
- 17. Polyethylene Plant (Mexico)
- 18. Acrylic Acid Plant (Bashkortostan/Russia)
- 19. LNG Receiving Terminal (Niigata, Japan)

Transportation Systems

- 20. AGT for Tokyo Yurikamome
- 21. Mascot LRT
- 22. Tampa International Airport APM (U.S.)
- 23. Super AGT

© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

6

圖 34 MHI 化工廠（包含碳捕集廠）、船舶與軌道車輛等產品一覽

Products - PLANTS & INFRASTRUCTURE SYSTEMS



Transportation Systems



Transportation Systems/Transportation Equipment



Environmental Systems



Metals Machinery



Transportation Systems

- 24. Urban Transportation System (Doha Metro)
- 25. High-speed Rail (Taiwan)
- 26. LRV (Light Rail Vehicle) for Hiroshima Electric Railway Co., Ltd.
- 27. Suspended-type Monorail (Chiba Urban Monorail)
- 28. Catenary Wiring Vehicle for Shinkansen
- 29. Brake Control Unit/Pneumatic Brake Caliper

Transportation Systems/Transportation Equipment

- 30. Variable Opening Type Platform Door
- 31. Passenger Boarding Bridge

Environmental Systems

- 32. Waste-to-Energy Plant (Nagasaki, Japan)
- 33. Waste-to-Energy Plant (Tuas South, Singapore)
- 34. Sewage Sludge Carbonization Plant (Tokyo, Japan)
- 35. Industrial Waste-to-Energy Plant (Mie Chuo-Kanatsu Energy Plaza)

Metals Machinery

- 36. Sinter Plant Equipped with Waste Gas Recirculation and MERO® Dry-FGD
- 37. Directed Reduction Iron-making Plant
- 38. Converter
- 39. Slab Caster
- 40. Electric Arc Furnace
- 41. Hot Strip Mill
- 42. IBox Pickling Tank
- 43. Tandem Cold Mill
- 44. HYPER LCM Universal Control Mill
- 45. Continuous Galvanizing Line
- 46. Arvedi ESP (Endless Strip Production) Plant

© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

7

圖 35 MHI 軌道車輛與工廠設施等產品一覽

Products - LOGISTICS, THERMAL & DRIVE SYSTEMS



<p>Material Handling Equipment</p>  <p>Engine & Energy</p>  <p>Turbochargers</p>  <p>Air-Conditioning & Refrigeration</p>  <p>Automotive Air Conditioners</p>  <p>Agricultural Machinery</p> 	<p>Material Handling Equipment</p> <p>■ MITSUBISHI LOGISHNEXT CO., LTD.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reach-type Forklift 2. Small-sized Engine-powered Forklift 3. Large-sized Engine-powered Forklift 4. Storage System 5. Laser-guided AGV <p>Engine & Energy</p> <p>■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES ENGINE & TURBOCHARGER, LTD.</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Diesel Engine Generator Set, MGS 7. Gas Engine Coporation System 8. Gas Engine 9. Marine Diesel Engine 10. Small Diesel Engine 11. Gas Engine 12. Triple Hybrid Stand-alone Power Supply System, EBLGX <p>Turbochargers</p> <p>■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES ENGINE & TURBOCHARGER, LTD.</p> <ol style="list-style-type: none"> 13. Turbocharger for Gasoline Engine Integrated with Sheet-metal Exhaust Manifold 14. Variable Geometry (VG) Turbocharger for Diesel Engine 15. Variable Geometry (VG) Turbocharger for Gasoline Engine <p>Air-Conditioning & Refrigeration</p> <p>■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES THERMAL SYSTEMS, LTD.</p> <ol style="list-style-type: none"> 16. Residential Air-conditioner 17. Inverter Packaged Air-conditioner 18. Multi-split Type Air-conditioner 19. Air-sourced Heat Pump Chiller, MSV 20. Commercial Use CO₂ for Air-to-Water Heat Pump, Odori and Tank 21. Variable Speed Drive Cartridge Chiller, ETTAZ 22. Plug-in Hybrid Transport Refrigeration Unit, TE30 <p>Automotive Air Conditioners</p> <p>■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES THERMAL SYSTEMS, LTD.</p> <ol style="list-style-type: none"> 23. Electric Scroll Compressor 24. Belt-type Scroll Compressor 25. HVAC Module (Heating, Ventilation and Air-conditioning) <p>Agricultural Machinery</p> <p>■ MITSUBISHI MAHINDRA AGRICULTURAL MACHINERY CO., LTD.</p> <ol style="list-style-type: none"> 26. Tractor GA552 27. Combine Harvester V6120A 28. Rice Planter LE80AD
---	--

© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

8

圖 36 MHI 裝卸機械、空調系統與農用機械等產品一覽

Products - MACHINERY SYSTEMS



<p>Machinery Systems</p>   	<p>Machinery Systems</p> <p>■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES MACHINERY SYSTEMS, LTD.</p> <ol style="list-style-type: none"> 29. 3D Cultural/Sports Facility (Setama Super Arena) 30. Full-scale Aero-acoustic Wind Tunnel 31. Mechanical Parking System 32. Industrial Chimney 33. Penstock 34. Car Crap Simulator 35. Asphalt Piler 36. Intelligent Transport System 37. Accelerator 38. Box-Making Machine, EVOL 39. Newspaper Offset Press, DIAMONDSTAR 40. Tire Inspection Machine
---	--

© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved

9

圖 37 MHI 一般機械產品一覽

Products - INTEGRATED DEFENSE & SPACE SYSTEMS



Aircraft & Missile Systems

Space Systems

Land Systems

Naval Ship & Maritime Systems

Advanced System Programs

Aircraft & Missile Systems

■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

1. F-2 Fighter
2. F-15J Jet Fighter
3. SH-60K Maritime Patrol Helicopter (JMSPF)
4. Air-to-Air Missile (AIM-9S)
5. Surface-to-Air Missile System (PATRIOT PAC-3 (MSE))
6. SM-3 Block 2A Flight Test
7. Type 12 Surface-to-Ship Missile System (12SSM)

Space Systems

■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

8. Launch of H-IIA Launch Vehicle
9. Launch Complex for Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
10. HTV-X (Under Development)
11. LE-7A/LOx/H₂ Engine, Thrust: 112 Tons (Vacuum) for H-IIA and H-IIB Launch Vehicle First Stage
12. Cell Biology Experiment Facility-Left (CBEF-L) for "Kibo" Module on International Space Station (ISS)
13. Space Propulsion System/Monopropellant Thrusters

Land Systems

■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

14. Type 10 Main Battle Tank
15. Type 18 Mobile Combat Vehicle
16. Heavy Wheeled Recovery Vehicle
17. Forklift with Radiation Shielded Cabin
18. BMMU Engine

Naval Ship & Maritime Systems

■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES MARITIME SYSTEMS CO., LTD.

19. Frigate, MUGAMI
20. Submarine, TAIGEI
21. Ocean Surveillance Ship, AKI
22. Patrol Vessel, MIYAKO
23. Unarmed Underwater Vehicle (Fr-jp Joint Research Project)
24. Vertical Launching System (VLS Mk41)
25. Excavator (JOGNEC)

Advanced System Programs

■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

26. Cyber Security Solution for Critical Infrastructure Control Systems (InterSePT®: Integrated Resilient Security and Proactive Technology)
27. Networked Coastal Security System, Coas Titan®
28. Satellite Image Data Real-time Analyzing System (BRAINS®: Big data Real-time Analyzing System)

© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved 10

圖 38 MHI 防衛系統與太空系統等產品一覽

Products - COMMERCIAL AVIATION SYSTEMS



Commercial Aircraft

Airport Ground Support

Commercial Aircraft

■ MHI Aviation ULC

30. CRJ

Airport Ground Support

■ MHI AEROSPACE PRODUCTION CO., LTD.

31. Passenger Steps with Elevator

Aero Structures

■ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.

Boeing 787 (MHI: Composites Main Wings)
Boeing 777X (MHI: Aft Fuselage Panels, Tail Fuselage, Passenger Entry Doors & Bulk Cargo Doors)
Boeing 737 (MHI: Inboard Flaps)
Boeing 787 (MHI: Aft Fuselage Panels & Cargo Doors)
Boeing 747 (MHI: Center Wing)
Bombardier Global 5000/6000 (MHI: Wings, Center Fuselage & Center Wing)

© Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. All Rights Reserved 11

圖 39 MHI 航空系統產品一覽

Financial Highlights(FY2021)



	Revenue (consolidated basis)	USD32.2 bn		Chairman: Shunichi Miyanaga
	Profit from business activities	USD1.34 bn		President & CEO: Seiji Izumisawa
	Profit attributable to parent	USD946 mn		Employees: approximately 80,000
	Order Intake (consolidated basis)	USD33.9 bn		Foundation: July 7, 1884

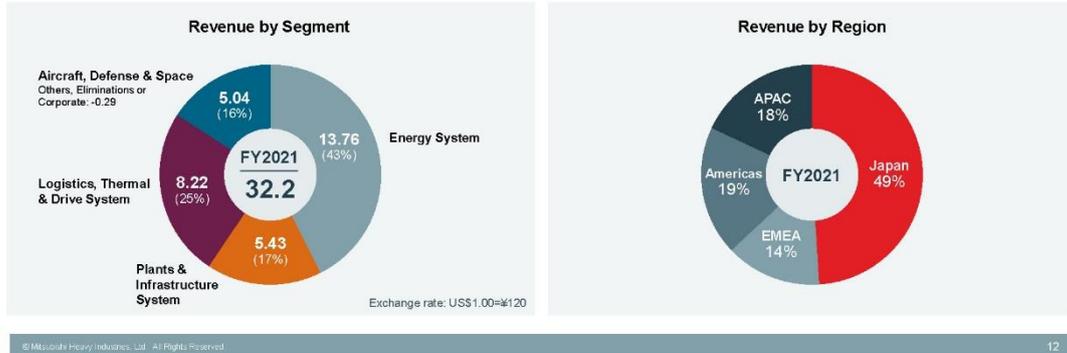


圖 40 MHI 公司 2021 年財務狀況

KM CDR Process™ - Worldwide Commercial Experience



MHI's experienced global KM CDR Process™ team stands ready to meet customer requirements for commercial CO₂ capture plants on various coal exhaust from conceptual design through detailed engineering and project delivery.

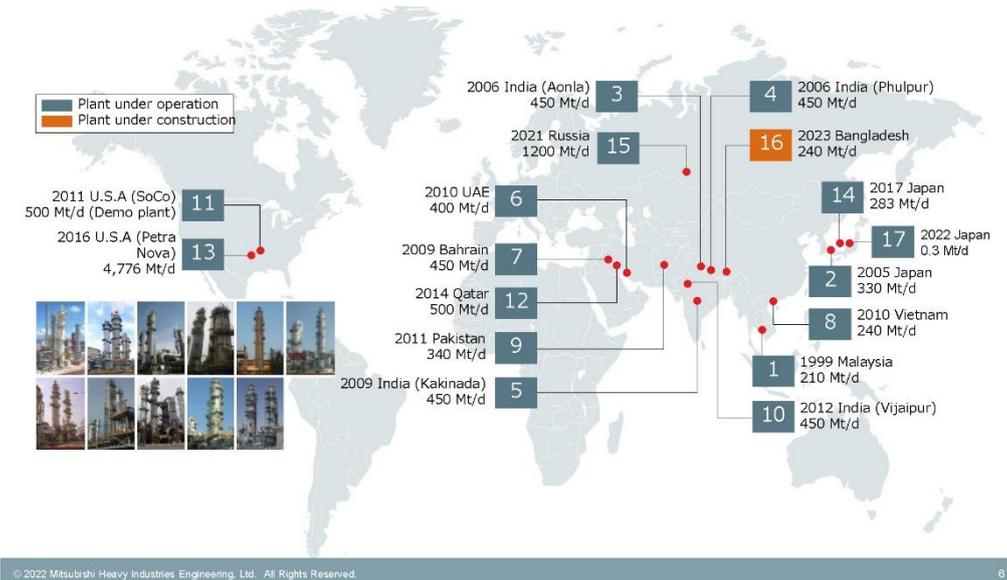


圖 41 目前全球採用 KM CDR Process 之碳捕集廠分布圖

Year of Delivery	Country	Flue Gas Source	CO ₂ Capacity (TFD)	Application
1999	Malaysia	NG Fired Furnace	210	Urea Production
2005	Japan	NG and Heavy Oil Boiler	330	General Use
2006	India	NG Fired Furnace	450	Urea Production
2006	India	NG Fired Furnace	450	Urea Production
2009	India	NG Fired Furnace	450	Urea Production
2009	Bahrain	NG Fired Furnace	450	Urea Production
2010	UAE	NG Fired Furnace	400	Urea Production
2010	Vietnam	NG Fired Furnace	240	Urea Production
2011	Pakistan	NG Fired Furnace	340	Urea Production
2012	India	NG Fired Furnace	450	Urea Production
2014	Qatar	NG Fired Furnace	500	Methanol Production
2016	USA	Coal-Fired Boiler	4,776	Enhanced Oil Recovery
2017	Japan	Gas Fired Furnace	283	General Use
2021	Russia	NG Fired Furnace	1,200	Urea & melamine Production
2023	Bangladesh	NG Fired Furnace	240	Urea Production

圖 42 目前全球採用 KM CDR Process 之商轉碳捕集廠列表

Latest Demonstration Project at TCM / Norway

Successfully Completes Testing of New “KS-21™” Solvent for CO₂ Capture

Mitsubishi Heavy Industries Engineering (MHIENG), part of Mitsubishi Heavy Industries (MHI) Group, has entered into an agreement with Technology Centre Mongstad (TCM) to test its proprietary solvent for capturing CO₂ at the amine plant located in Mongstad, Norway. The test campaign complete in Oct 2021.



- KS-21™ solvent, jointly developed with KEPCO, achieves up to 99.8% flue-gas carbon capture rate
- TCM offers world's largest and most flexible facilities and expertise
- MHI aims to expand its carbon capture business in the UK and Europe

圖 43 KS-21 溶劑應用於挪威 TCM 之測試結果

以上內容均為 10 月 19 日參訪 MHI 公司時聽取該公司人員報告所述，會議照片如圖 44 所示，會議後全體人員於該公司與 MHI 人員合照留念（圖 45）。



圖 44 本人於會議中向 MHI 人員進行提問情形



圖 45 參訪團員與 MHI 公司人員合照

肆、心得與建議

- (一) 由於我國 2050 年需達成淨零碳排之目標，屆時需利用碳捕集、再利用與封存技術每年去化 4,020 萬公噸之二氧化碳。以目前全球各國每年總共二氧化碳封存量約等同四千萬公噸之量體而言，在未來不到 30 年之期間內需達成此一目標需要極大之決心。目前因國內相關產業尚處於起步之階段，因此未來在實現此規劃時，或可引進國外相關碳捕集與封存技術，並扶植國內產業以及培育國內人才，以期在 2050 年前如期如質完成淨零碳排目標。
- (二) 日本苫小牧碳封存計畫雖於二氧化碳注入期間遭遇 2018 年 9 月 6 日北海道膽振東部規模 6.7 的地震，但因該計畫事前地質調查清楚，確定灌注場域無斷層之存在，故地震發生時無引發二氧化碳洩漏或其他危害環境之負面事件。由於日本地球科學研究發展基礎紮實，同時相關產業亦蓬勃發展，因此在進行碳封存計畫前的地球物理以及調查確實，使 2018 年地震對該碳封存計畫之影響得以降到最低。我國地球科學相關產業因市場規模較小，並不如同日本一般發達，以致目前尚無具規模之民間企業可進行商轉規模碳封存計畫之地球物理探勘。未來進行商轉碳封存計畫前，可能需借助政府機關或國營事業之能量，挹注國內民間業者發展商轉規模碳封存前期地質探勘技術，以利未來碳封存計畫之推動進度。
- (三) 碳封存計畫進行時，最主要的關鍵即為鑽井工程之技術。由於我國鑽井工程發展較國外主要石油天然氣開發公司為慢，且目前具有深於 3,000 公尺鑽井能力之公司數量較少，因此未來進行碳封存計畫時，因可進行深鑽井之團隊較少，故有可能與地熱鑽井計畫產生競爭，在鑽井機具與人力資源使用上發生衝突，導致需於兩種減碳技術中擇一推行。為防止未來我國推動減碳技術時可能面臨此一困境之情形，建議政府主管機關可輔導並補助獎勵國內鑽井業者發展深鑽井技術，使未來我國零碳與去碳

能源之發展能量可厚植於國內產業中。

- (四) 由於近年國際淨零碳排風氣已成形，因此，國外各相關產業如碳捕集設備商或碳封存鑽井工程公司等均展開技術佈局以及市場開發，未來我國進行相關規劃時，建議多與國外相關廠商進行交流，俾便了解國外最新進度，使我國減碳規劃可跟上國際發展，加速我國減碳之進度。