

出國報告（出國類別：開會）

赴 CRIEPI 參加二氧化碳地質封存 合作研究與岩心試驗討論會

服務機關：台灣電力公司 營建處

台灣電力公司 綜合研究所

姓名職稱：焦中輝 地質組長

楊明偉 化學研究專員

派赴國家：日本

出國期間：104 年 12 月 17 日至 104 年 12 月 23 日

報告日期：105 年 2 月 15 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

赴 CRIEPI 參加二氧化碳地質封存合作研究與岩心試驗討論會

頁數 34 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電公司人資處/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

焦中輝/台電公司/營建處/地質組長

楊明偉/台電公司/綜合研究所/研究專員

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他（開會）

出國期間：104 年 12 月 17 日至 104 年 12 月 23 日 出國地區：日本

報告日期：105 年 2 月 15 日

分類號/目

關鍵詞：二氧化碳、捕捉、地質封存、電廠、安全性

內容摘要：

建立二氧化碳捕捉與封存技術(CCS)為本公司減碳的重要工作。CCS 可使舊有或新設燃煤電廠降低碳排放，以減少新發電技術之設置障礙與風險。CCS 試行計畫涉及工程、經濟與環境等面向，封存有效性與安全性將受法規與民意檢視，推動過程須與國際發展銜接，並適時引進新技術。國內 CCS 發展當務之急，為確立台灣是否具備 CO₂ 地質封存場址，目前我國 CCS 推行困難，最大阻力為政策、法規不明及研發經費不足，造成 CCS 執行時程延宕，建議比照國外政府對 CCS 推動設立經費補貼及獎勵措施，以期達成政府所訂定之減碳目標。

目前國際間皆投入大量資金及人力，積極發展火力電廠加 CCS 商業化大型計畫，日本也成立 JCCS 公司進行相關計畫推行。JCCS 承接日本政府計畫，於日本各地進行調查、辦理說明會，並於苫小牧地區進行示範計畫。這種模式可減少政府推行計畫之困擾，最終也促使苫小牧計畫順利設置與進行。反觀我國發展 CCS 處處受限，法規與民意不明，政府缺乏對策。我國政府可參考這種模式，成立專業公司推動相關工作，以加速法規發展與增進民眾對於 CCS 之理解。

本公司執行 CCS 工作藉由與 CRIEPI 等國際研究機構合作研究，使公司對於安全進行二氧化碳封存具有信心，類似模式可廣泛運用之其他技術發展上，減少研發時程。開拓國際合作管道與開放國際組織參與本公司研發計畫，可提升研發成效，藉由國際合作也可獲致不同的觀點修正或加強研發內容，使公眾關心的議題有效地藉由較客觀的方式釐清。

參考日本推動 CCS 示範計畫之成功案例，除逐步進行相關技術的驗證工作之外，對社會各界與民眾的教育宣導工作也十分重要。於計畫發展過程中需隨時讓公眾瞭解過程與其重要性。透過不斷宣導與教育，使公眾認識二氧化碳捕集與封存，對於抑制全球溫暖化效應佔了相當重要的角色。唯有公眾理解與重視二氧化碳捕集與封存對環境保護的重要性，才有可能克服大規模實施時之投資與法規障礙。目前我國民眾對於如何以碳捕集與封存技術來抑制碳排放的認識不多，希政府主管部門加強相關的教育與宣導工作，讓我國的碳捕存的先導計畫與示範計畫可以得到民眾支持。

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

目錄

摘要	i
1. 任務目的	1
2. 過程	2
3. 心得與感想	4
3.1 參訪日本 CCS 公司 苫小牧二氧化碳地質封存示範計畫	4
3.1.1 日本 CCS 公司簡介	4
3.1.2 苫小牧二氧化碳地質封存示範計畫	5
3.1.3 苫小牧示範場址 CCS 設施簡介	11
3.1.4 苫小牧示範場址監測系統設施簡介	13
3.1.5 苫小牧碳捕集設施簡介	15
3.2 參加日本電力中央研究所合作研究技術討論會	17
3.2.1 日本電力中央研究所簡介	17
3.2.2 我孫子土木工程研究實驗室參訪	18
3.2.3 TPC-CRIEPI 合作研究技術討論會	26
3.3 感想與建議	32

1. 任務目的

建立二氧化碳捕捉與封存技術(Carbon dioxide Capture and Storage ; CCS)為本公司減碳的重要工作。CCS 可使舊有或新設燃煤電廠降低碳排放，以減少新發電技術之設置障礙與風險。為此，本公司大會報指示綜研所與營建處等單位成立相關研究計畫，推行 CCS 先導試驗場址之評估與試行等工作，本公司據此已規劃 CCS 發展道路圖，迄今已完成 3,000 米深鑽地質調查工作。CCS 試行計畫涉及工程、經濟與環境等面向，封存有效性與安全性將受法規與民意檢視，推動過程須與國際發展銜接並適時引進新技術。

為加速發展 CCS 技術，本公司綜研所與日本 CRIEPI 於 2009 年簽訂之「Site Selection for Carbon Dioxide Geological Storage」Joint Research Agreement，並陸續與 CRIEPI 進行本公司碳封存試驗場址之「岩心樣品」特性分析，與地質探查井的「井測資料」判讀等多項合作研究項目。CRIEPI 與台電公司已進行多年合作研究，過程中雙方也獲致豐碩成果，對於本公司進行二氧化碳封存之安全性與有效性，均有深入探討，對本公司未來的注儲安全性更有信心。

因本公司 3,000 米之地質探查井已獲得相當多的井測資料與岩心樣本，為避免資料解讀錯誤，本公司定期派員赴 CRIEPI 討論研究進展與檢討岩心試驗方法等，以擴大合作綜效。並與具有二氧化碳地質封存實務經驗之專家進行研討與技術交流，以精進岩心分析技術，減少二氧化碳封存工程設計之風險。

因此，本公司綜合研究所與營建處分別遴派負責執行二氧化碳捕集與封存相關計畫人員化環室楊明偉化學師與地質組焦中輝組長前往 CRIEPI 參加此次研討會，以確認雙方合作研究內容得以符合台電公司發展 CCS 之長期需求，以利本公司後續二氧化碳地質封存試驗計畫之規劃、推行與完成。並藉與 CRIEPI 等國際研究單位，比對本公司計畫執行方向、過程、成果與其他國際間計畫的異同，並藉此落實本公司計畫推動可以達成與國際計畫一致之水平。

此外，本公司二氧化碳地質封存試驗計畫，目前已完成第一口地質探查井之深鑽，後續將再進行第二、三口井開鑽，最後進行試驗灌注，據以驗證封存技術。因此，近期工作將規劃合適之試驗灌注與監測方案，以期收取充分資料與數據，為長期商業灌注預作準備。本次行程透過日本 CRIEPI 安排，特別前往 Japan CCS Co. Ltd. 與其 Tomakomai 碳封存示範場址，討論 Tomakomai 二氧化碳地質封存試驗計畫最新進展，藉此學習實務經驗。

2. 過程

本次行程於 2015 年 12 月 17 日～23 日進行，詳細行程如下：

- | | |
|--------------|---|
| 12 月 17～19 日 | 去程：Japan CCS Co. Ltd. Tomakomai 二氧化碳捕集與封存
示範計畫討論會與參訪 |
| 12 月 20 日 | 路程：(札幌→東京) |
| 12 月 21～22 日 | 討論會：CRIEPI 二氧化碳地質封存合作研究與岩心試驗 |
| 12 月 23 日 | 返程：(東京→台北) |

Japan CCS Co. Ltd. Tomakomai 二氧化碳捕集與封存示範計畫討論會與參訪

Tomakomai 計畫為日本政府出資進行之大型 CCS 示範計畫，本次透過合作夥伴 CRIEPI 安排前往該示範廠實地參訪，並與第一線工作人員做深入討論。

CRIEPI 二氧化碳地質封存合作研究與岩心試驗討論會

為加速發展 CCS 技術，本公司綜研所與日本 CRIEPI 於 2009 年簽訂之「Site Selection for Carbon Dioxide Geological Storage」Joint Research Agreement，並陸續與 CRIEPI 進行本公司碳封存驗場址之「岩心樣品」特性分析，與地質探查井的「井測資料」判讀等多項合作研究項目。CRIEPI 與台電公司已進行多年合作研究，過程中雙方也獲致豐碩成果。

本次派員赴 CRIEPI 討論研究進展與檢討岩心試驗方法等，以擴大合作綜效。並與具有二氧化碳地質封存實務經驗之專家進行研討與技術交流，以精進岩心分析技術，減少二氧化碳封存工程設計之風險。會議參與人員與討論內容如下：

Participants

TPC:

Dr. Ming-Wei Yang, Taiwan Power Research Institute, Taiwan Power Company

Dr. Chung-Hui Chiao, Construction Department, Taiwan Power Company

Dr. Chi-Wen Yu, SinoTech

CRIEPI

Dr. Hideshi Kaieda, Associate Vice President, Geosphere Science Sector, Civil Engineering Research Lab

Dr. Koichi Suzuki, Senior Research Scientist, Geosphere Science Sector, Civil Engineering Research Lab

Mr. Hiroshi Suenaga, Research Scientist, Geosphere Science Sector, Civil Engineering Research Lab

Dr. Shiro Tanaka, Research Scientist, Geosphere Science Sector, Civil Engineering Research Lab
Mr. Kenji Kubota, Research Scientist, Geosphere Science Sector, Civil Engineering Research Lab

Date: December 21, 2015

Welcome addresses by Dr. Kaieda

Introduction of CRIEPI

Technical Discussion 1

Section 1

- Plan of lab experiment (Dr. Tanaka and Mr. Suenaga)
- Transformation analysis (Dr. Suzuki)
- Result of the field experiment (CSAMT) (Dr. Suzuki and Mr. Kubota)
- Risk assessment (Dr. Kubota)

Section 2

- Discussion

Date: December 22, 2015

Technical Discussion 2

Section 1

- TPC research project overview (Dr. Yang)
- Geological data of the TPC project (Dr. Yu)

Section 2

- Discussion of the collaboration research

Lab tours

Section 1

- CO₂ flow apparatus (Mr. Suenaga)

Section 2

- Resistivity apparatus (Mr. Kubota)

3. 心得與感想

3.1 參訪日本 CCS 公司苦小牧二氧化碳地質封存示範計畫

3.1.1 日本 CCS 公司簡介

Japan CCS Co., Ltd (JCCS)是一所私營公司，成立於 2008 年 5 月，為當時在召開 G8 北海道東京環境高峯會議前回應日本政府的號召，發展 CCS 技術作為因應全球暖化對策，由與 CCS 相關領域，包括具有電力、石油、石油開發與工廠工程專長等，主要的幾家公司聯合籌組而成(圖 1)。該公司是世界上一家獨特明確致力於開發及整合 CCS 技術的公司。

該公司成立四年來，在日本政府經濟、貿易與產業省(METI)委託下進行地質調查以確定合適的 CO₂ 封存場址，研究從大型排放源捕獲 CO₂ 的製程，並利用石油探採領域發展之鑽井與儲集層評估技術。

於 2011 年 10 月該公司提出一項基本計畫即苦小牧場址 CCS 示範計畫，日本經產省決定提撥 100% 預算實施此專案計畫，並委託該公司於 2012 年 4 月辦理籌備與興建工作(圖 2)。該公司於 2014 年完成鑽探及改造三口觀測井，並安裝監測設備。也構建主要的 CO₂ 捕獲及注入設施，與鑽探一口 CO₂ 注入井。上述工程依預定工期於 2015 年 10 月完成，並於 2016 年在 METI 監督下開始操作。

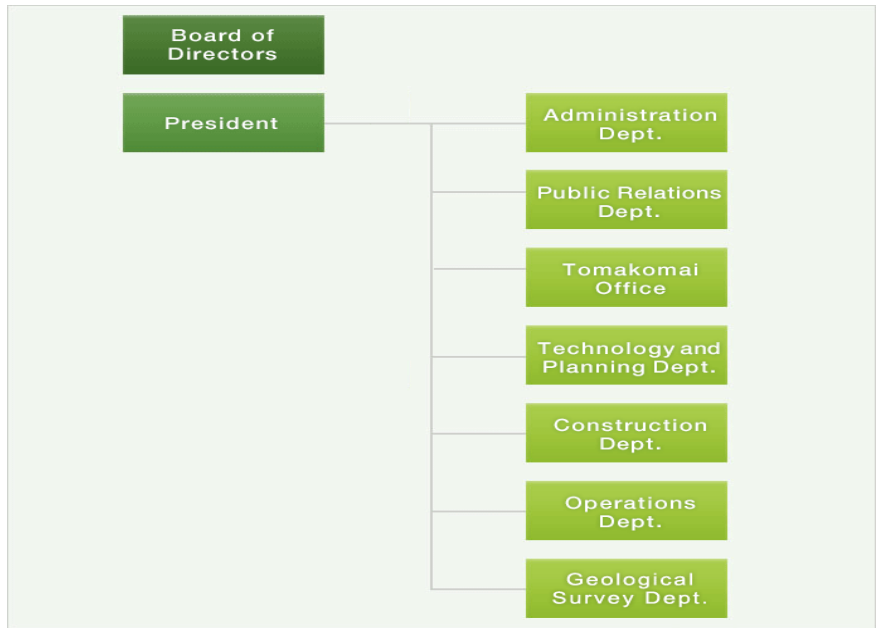
此外，該公司整合私營部門為適用於日本 CCS，早期建立法律、法規和技術標準之意見。為執行前項 CCS 示範計畫，該公司將向主管機關諮詢為 CCS 運轉所需遵循之現行法規，諸如「海洋污染防制法」，並準備申辦事宜。在日本 CO₂ 地質封存在海床以下受到「海洋污染防制法」與「海洋災害防制法」法規管制。因此，在 CO₂ 注入前應先進行海洋調查，以完成海洋環境影響評估，俾獲得封存許可。另為增進民眾的接受及支持度，該公司利用各種機會適時在計畫活動及示範場合作教育宣導。在國際間利用各種機會與世界上進行 CCS 計畫的國家交換資訊，以建立國際作業標準(ISO)。由於 CO₂ 是從化石燃料產生，該公司的使命是通過及促進有安全和保障之 CCS 關鍵技術，使 CO₂ 從大氣層返回到地球內部，以減緩全球暖化的衝擊，並為著世界子孫的未來。

3.1.2 苫小牧二氧化碳地質封存示範計畫

本計畫屬大尺度的示範計畫，其 CO₂ 注入地區為日本離岸的潛在場址。該計畫自 2012 年至 2020 年進行總體 CCS 系統的示範與驗證工作，從 CO₂ 排放源將氣體壓縮、捕獲到存儲在北海道苫小牧地區沿岸海床下之儲集層中，皆位在石油煉油廠鄰近的地區內(圖 3,4)。由以往石油探勘結果獲得的大量地質與地球物理資料，本區僅需進行少量的地質探查工作，諸如於 2009~2010 年進行海上 3D 反射震測工作，以及於 2011 年施鑽 2 口探查井(圖 5)。經由上述新蒐集的資料，該公司評估出適合作為示範計畫地質構造的兩套蓋層與儲集層。將每年 10 萬噸或更多的 CO₂ 注入在離岸約 3~4.2km 苫小牧港灣海底下兩個儲集層(含鹽水的地層)，分別深約 1100m 之 Moebetsu 層砂岩(孔隙率 20%~40%，滲透率 9~25md)與 2,400m 之 Takinou 層 T1-火山岩與火山碎屑岩(孔隙率 3%~19%，滲透率 0.01md~2.6D)。另在該等儲集層四周設置一系列的監測儀器，包括延時性 2D 與 3D 震測探測、儲集層之溫度和壓力量測、微地震和天然地震觀測等分於計畫注入 CO₂ 之前、期間和之後分別進行量測。同時期，尚進行海洋環境監測，以確定是否有任何滲漏情形發生。

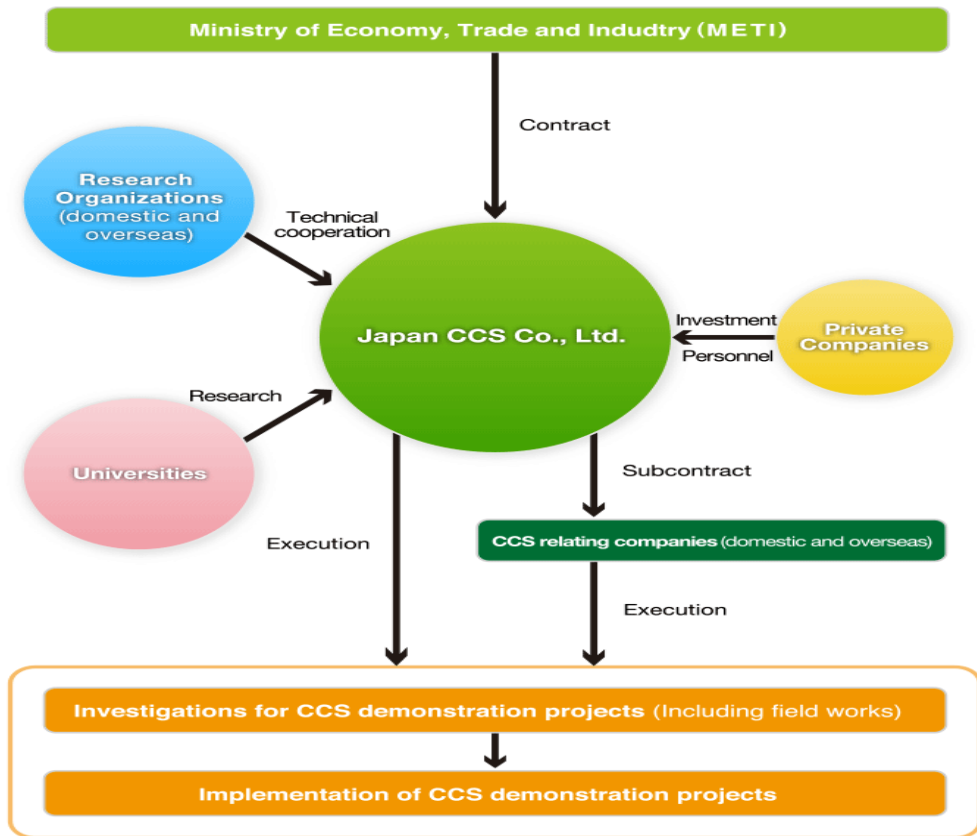
本 CCS 示範計畫設施布置(圖 6,7)，為將現有煉油廠製氫裝置產生的尾氣，經由輸送管運到 CO₂ 捕獲設施，將 CO₂ 分離出來，濃度約為 99%，再經由輸送管運到 CO₂ 兩口高、低壓注入井設施處，藉由這兩口傾斜鑽至海底深、淺不同高程儲集層內之注入點，將超臨界 CO₂ 注入貯存(圖 8,9)。在此期間將安裝覆蓋整個示範區之監控設施。該監測系統包括三個觀測井與井下地震儀、幾個陸地與海底地震儀，並在 CO₂ 注入前利用此等安裝系統，蒐集基線資料至少一年。

本 CCS 示範計畫執行期間為 9 年(2012~2020)，前 4 年為準備工作期，包括主要設施的設計與建造，自 2016 年起開始運轉與 CO₂ 注入，並同時進行監測(圖 10)。



(www.japanccs.com)

圖 1 JCCS 公司組織



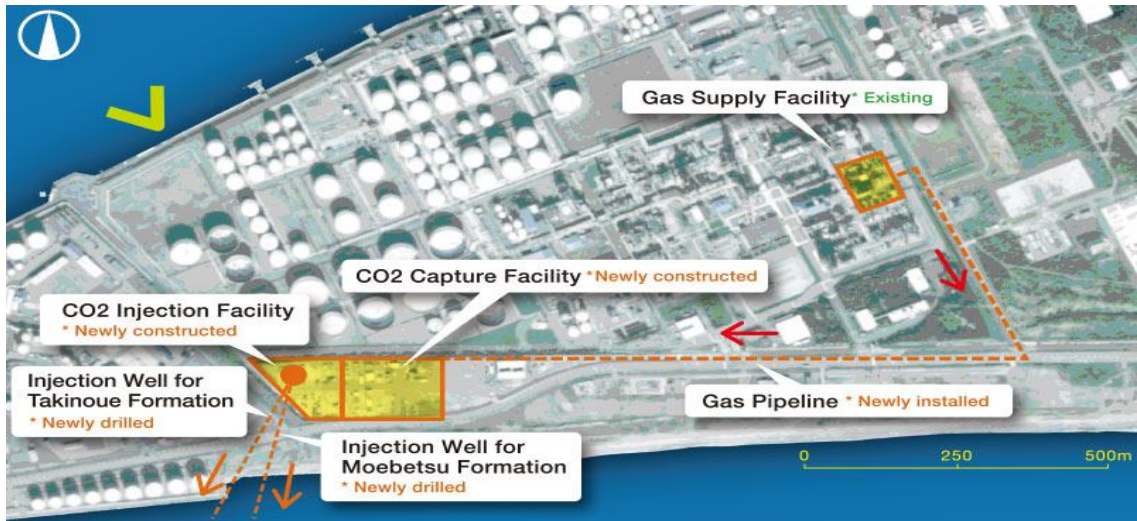
(www.japanccs.com)

圖 2 JCCS 計畫架構暨功能



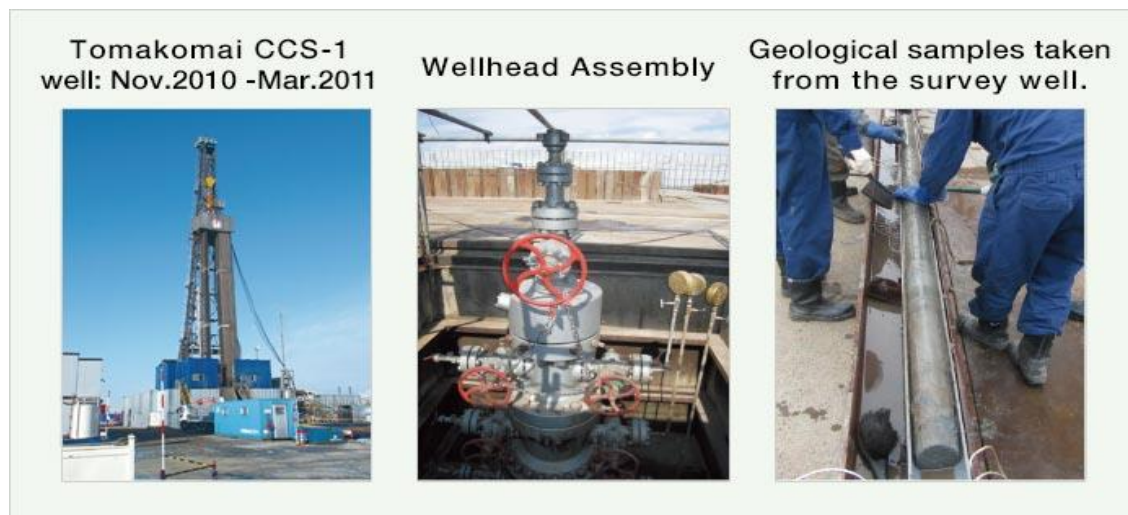
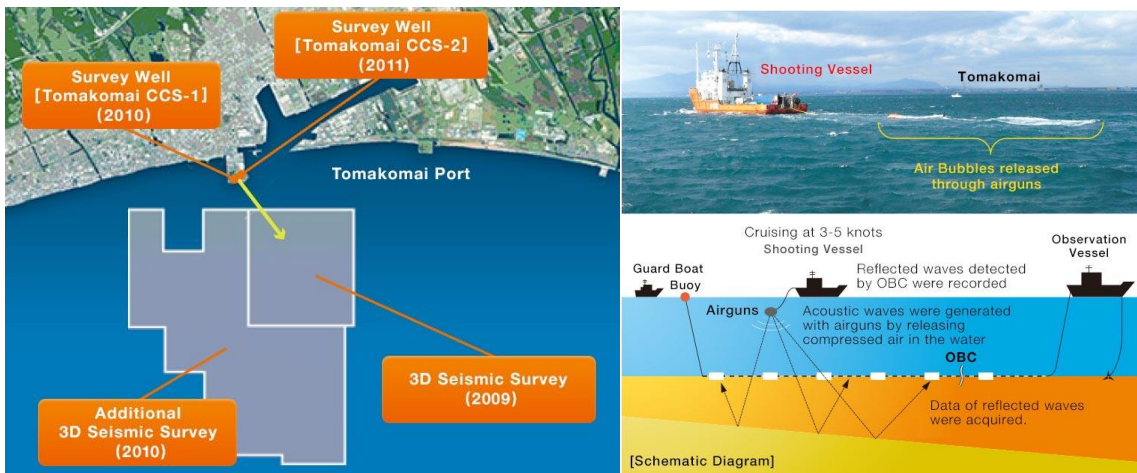
(www.japancs.com)

圖 3 苫小牧西港 CCS 示範計畫區



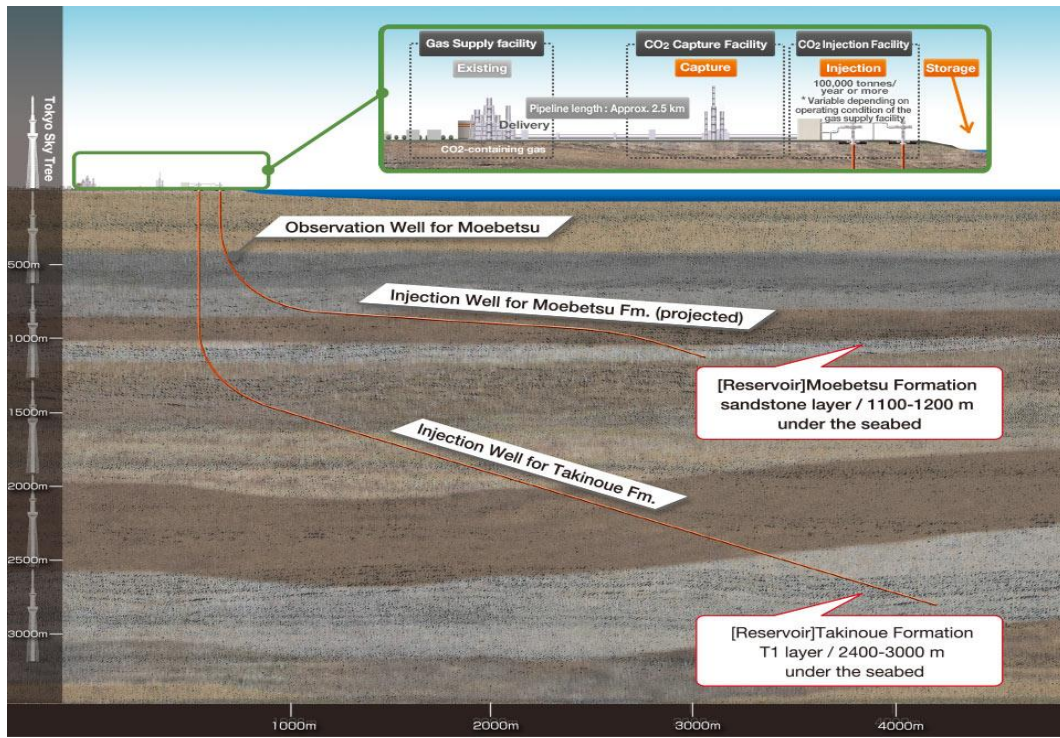
(www.japanccs.com)

圖 4 CCS 示範計畫陸上設備構建



(www.japanccs.com)

圖 5 CCS 示範計畫海域 3D 震測與陸域鑽井探查



(www.japanccs.com)

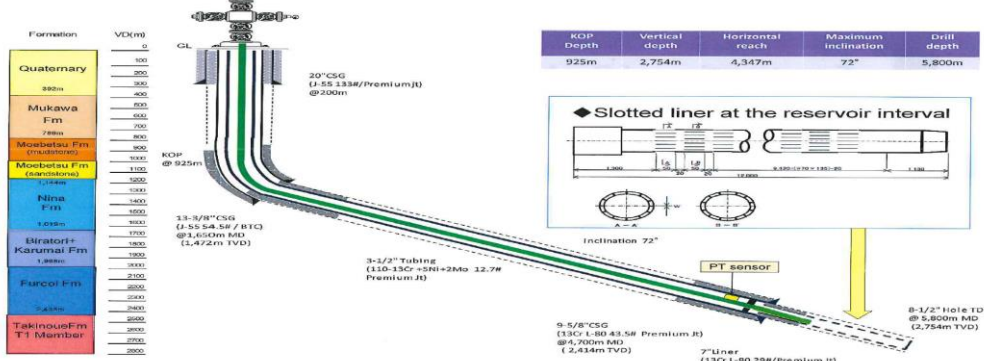
圖 6 CCS 示範計畫設施垂直剖面布置



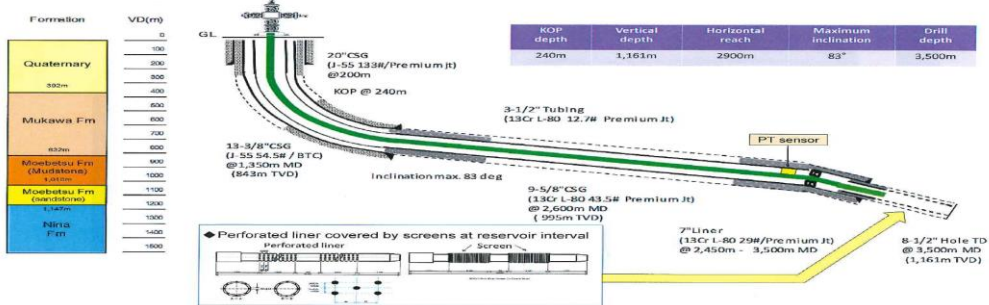
(www.japanccs.com)

圖 7 CCS 示範計畫暨監測系統設施平面布置

Injection Well for Takinoue Formation



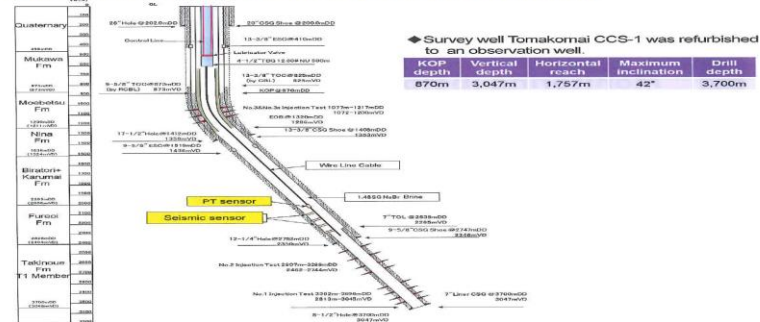
Injection Well for Moebetsu Formation



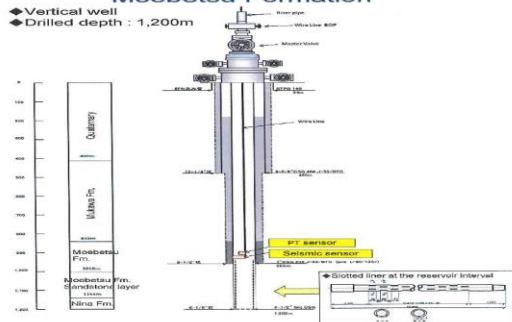
(www.japanccs.com)

圖 8 CCS 示範計畫注入井裝置

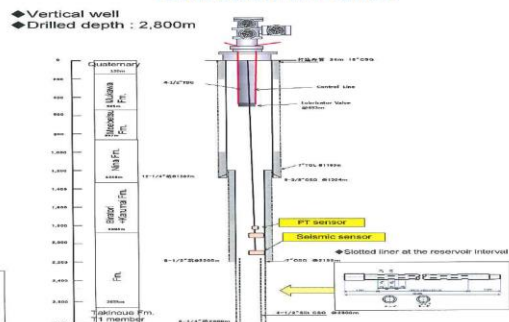
Observation Well OB-1 for Takinoue Formation



Observation Well OB-2 for Moebetsu Formation



Observation Well OB-3 for Takinoue Formation

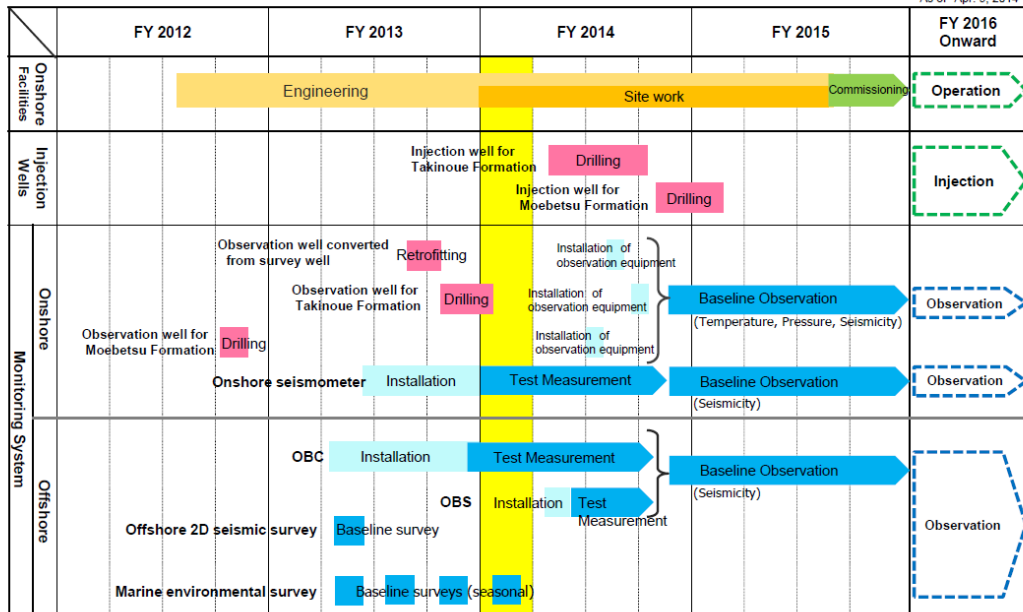


(www.japanccs.com)

圖 9 CCS 示範計畫監測井裝置

Schedule in EPC Period of the Tomakomai CCS Project ²⁰

As of Apr. 9, 2014



OBC (Ocean Bottom Cable) : used for 2D seismic survey and monitoring of micro-seismicity and natural earthquakes.
 OBS (Ocean Bottom Seismometer) : used for monitoring of micro-seismicity and natural earthquakes.

Copyright 2014 Japan CCS Co., Ltd.

JCCS

www.japanccs.com

圖 10 CCS 示範計畫總覽暨路線圖

3.1.3 苫小牧示範場址 CCS 設施簡介

本次參訪苫小牧示範計畫場址，是依照該場址 CCS 總體設施動線進行如下(圖 11)：

- 第一站 供氣輸送管線：本管內氣體是來自煉油廠製氫設施產生之 PSA 分離氣體，含 CO₂。該管線為直徑 24 英吋，長 1.4km (圖 12)。
- 第二站 控制與監測室：本室為集散式控制系統(DCS)，其中控制單元分布在整個控制系統。本系統控制器之層次結構，由命令和監測的通信網路連接(圖 13)。
- 第三站 供氣(PSA 分離氣體)壓縮機：本壓縮機馬達為 4.1MW，變速控制器為 6,170~7,950rpm，排氣壓力為 0.81MPaG (圖 14)。
- 第四站 CO₂ 捕獲高塔設備：本設備有 3 座高塔，自右至左依序分別為 CO₂ 吸附塔、CO₂ 氣提塔及低壓 flash 塔(圖 15)。
- 第五站 三階段式 CO₂ 壓縮機：本設備有 3 部壓縮機，自右側起第 1 部低壓壓縮機與 2 部低壓壓縮機串聯，將 CO₂ 壓力升至 9.3MPaG，並利管線輸送至 Moebetsu 層淺層注入井；繼而將多餘之 9.3MpaG-CO₂ 氣體導入第 3 部高壓壓縮機，將 CO₂ 壓力升至 22.8MPaG，並利管線輸送至 Takinoue 層深層注入井(圖 16)。
- 第六站 CO₂ 注入井設施：本處有兩口 CO₂ 注入井，分別注入 Moebetsu 層與 Takinoue 層內(圖 17~18)。

Bird's Eye View of Onshore Facilities in Tomakomai, Hokkaido Japan

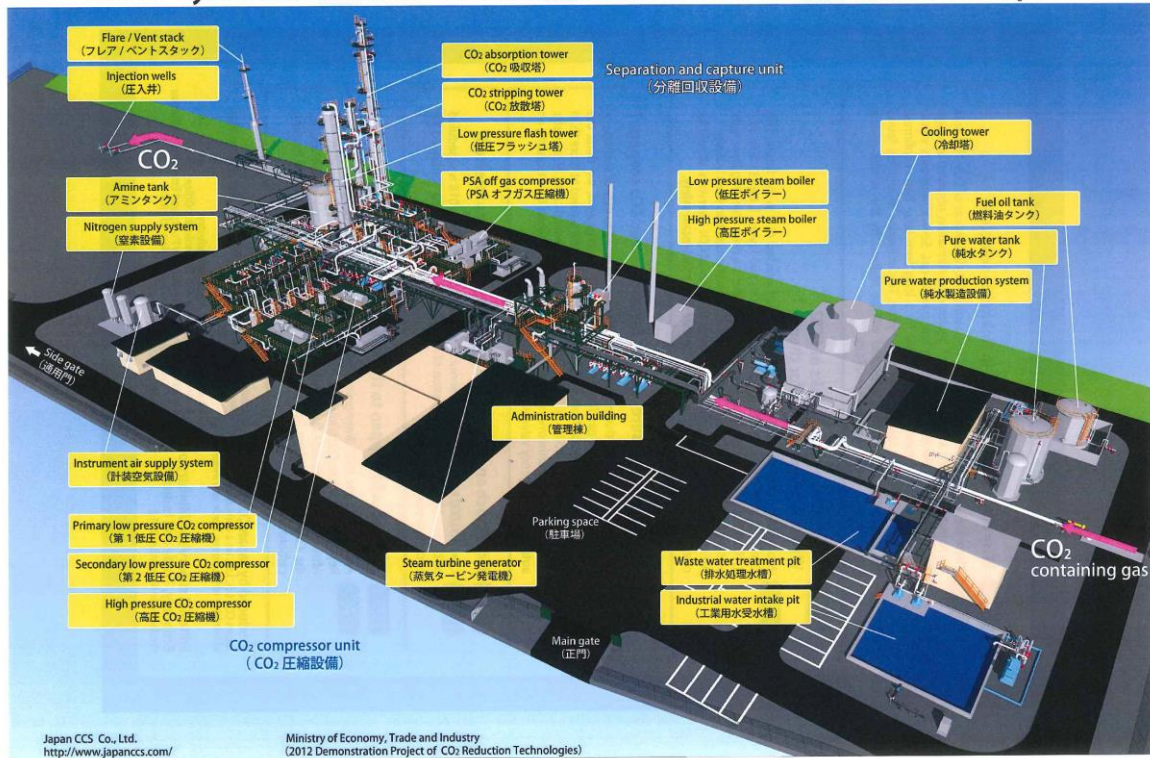


圖 11 苫小牧示範計畫 CCS 總體設施動線圖



圖 12 PSA 分離氣體(含 CO₂)輸送管線



圖 13 DCS 控制與監測室



圖 14 供氣(PSA 分離氣體)壓縮機



圖 15 CO₂ 捕獲高塔設備



圖 16 三階段 CO₂ 壓縮機



圖 17 兩口深層與淺層 CO₂ 注入井設施



圖 18 參訪人員與 JCC 苫小牧操業部長棚瀨大爾(左 1)及 CRIEPI Dr. Kaieda (右 2)合影

3.1.4 苫小牧示範場址監測系統設施簡介

本示範計畫場址監測系統，係依照其概念圖內設施自左至右順序略述如下(圖 19)：

岸上地震儀：

3D 地震儀(1Hz,100Hz sampling)，在苫小牧市西側設置 1 處，觀測項目為微震與自然地震，屬連續性觀測。

觀測井埋設儀器：

三口觀測井下皆埋設有溫壓測量儀、3D 微震儀與地震儀，屬連續性觀測(包括基線觀測)。觀測井 OB-1 是由探測井 CCS-1 改造，用來觀測 Takinoue 層；觀測井 OB-2 用來觀測 Moebetsu 層；觀測井 OB-3 用來觀測 Takinoue 層。

注入井埋設儀器：

兩口注入井分別將 CO₂ 注入 Takinoue 層與 Moebetsu 層。此等井頭皆裝有量測壓力與注入率等錶；井下皆埋設有溫壓測量儀。

OBC 海底電纜：

本電纜直接布置在儲集層注入點上方，用來觀測微震與自然地震，屬連續性觀測。此外，在 CO₂ 注入前、後利用該電纜作為 2D 反射震測的接收器，用來觀測 CO₂ 注入儲集層內移棲分布情形。

OBS 海底地震儀：

四具 OBS，用來觀測微震與自然地震，屬連續性觀測。其中有 1 具於放置在注入點上方，並連線至陸上控制室。其餘 3 具放置在圍繞儲集層注入點四周，每 4 個月作 1 次資料回收暨設備維護。

以上諸儀器，除 3 具 OBS 外，均直接將觀測信號傳送至陸上控制室(圖 20)。另外，尚裝設有海洋環境監測儀器，用來觀測海洋物理、化學與生物等資料，屬週期性觀測，並將所量測之資料與基線觀測資料比對，以瞭解是否對海洋環境有衝擊影響。

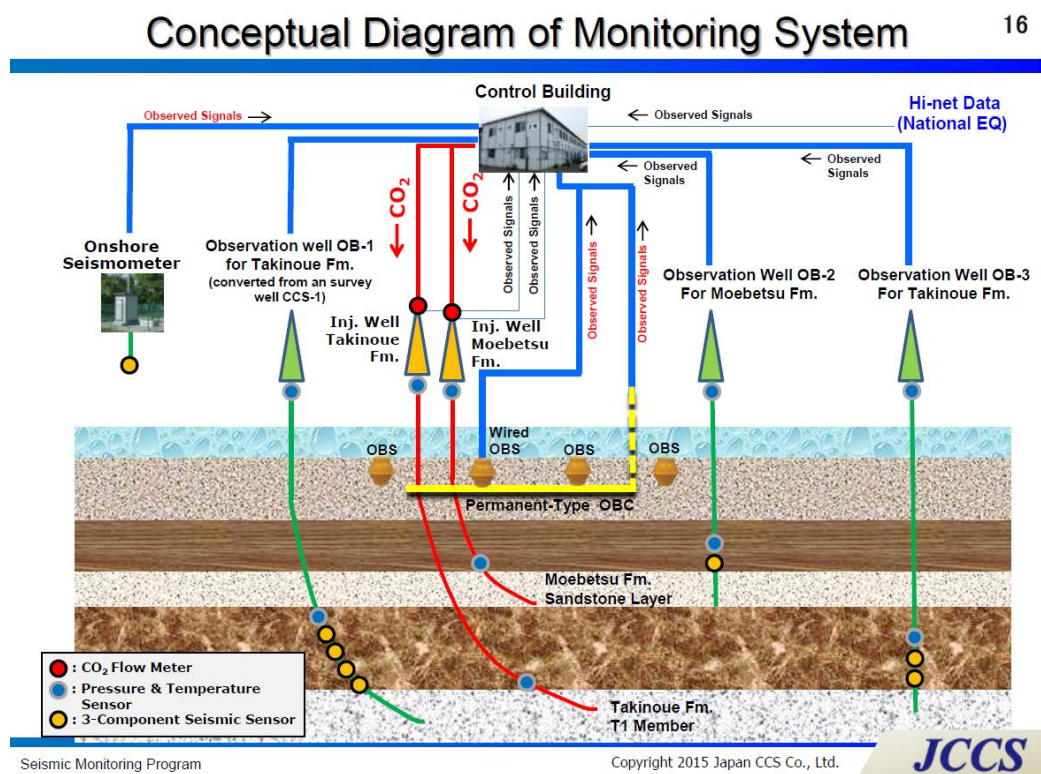


圖 19 苫小牧示範計畫監測系統設施概念圖

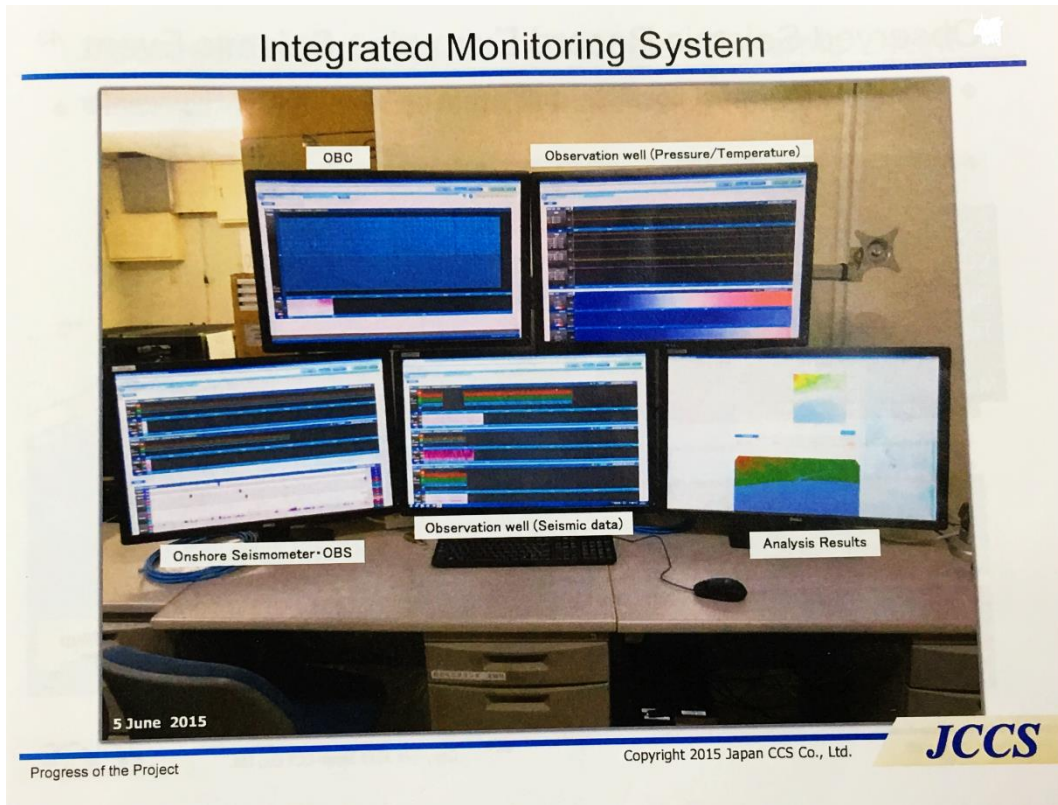


圖 20 苫小牧示範計畫控制與監測室集散式系統(DCS)螢幕顯示概況

3.1.5 苫小牧碳捕集設施簡介

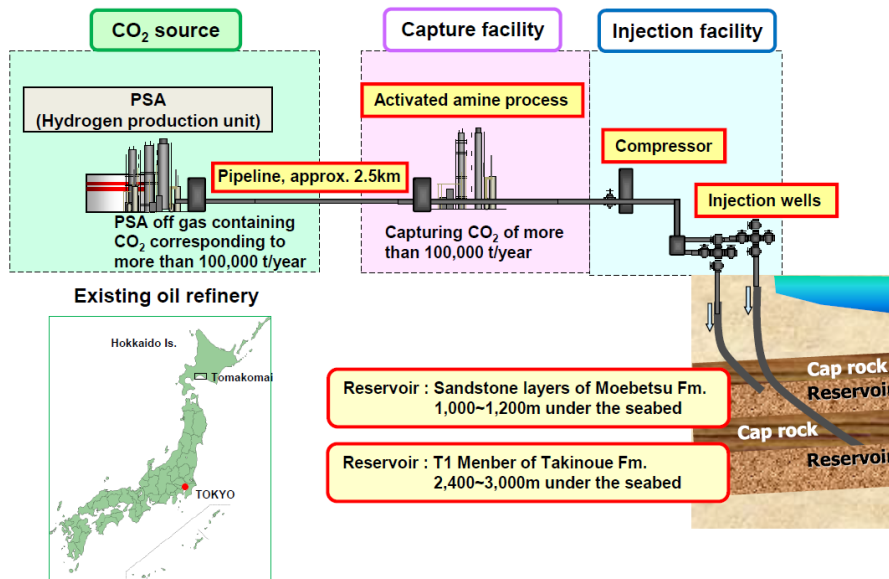


圖 21 苫小牧示範計畫碳捕集設施配置

苫小牧碳捕集示範廠(圖 21)以慣用之醇胺溶劑進行化學吸收法，被吸收的氣體是來自鄰近煉油廠內製氫工廠的尾氣，該尾氣中含有氫氣、甲烷、與二氧化碳等氣體，設計捕獲量為 10

萬噸 CO₂/年，吸收塔高約 48m，技術提供商為 BASF。

由於，製氫工廠的尾氣中二氧化碳濃度約為 52%，且壓力高於火力電廠之煙氣。因此，該碳捕集設施利用尾氣高壓與高濃度特性，以高壓吸收塔、低壓 flash 塔、氣提塔等三塔組合進行。由於操作壓力高於一般電廠所用之捕集程序，氣體密度較高，二氧化碳於氣液間質傳速度較高，所以現場設施尺寸均小於常壓程序，高壓吸收塔、低壓 flash 塔、氣提塔均有較小的直徑與高度。

溶劑於高壓吸收二氧化碳，後循環至低壓 flash 塔與氣提塔進行再生，再生後之溶劑再回送至吸收塔進行吸收。吸收、flash、與氣提等一系列程序均為連續運轉模式，全程由現場操作人員於控制室與現場進行調控與維護。

低壓 flash 塔利用降壓原理，讓溶劑中吸收的二氧化碳部分脫除，因此節省了部分的再生熱能，溶劑再經後續的氣提處理，可將溶劑內的二氧化碳完全脫除以獲得新鮮的溶劑，繼續回送至吸收塔再進行吸收。然而，這樣的程序卻不適用於一般的燃煤電廠，由於燃煤電廠煙氣壓力低，通常是在 1 大氣壓下，無法進行高壓吸收與低壓 flash 程序。

因此，以煙氣特性評估合適的二氧化碳捕集程序是相當重要的工作，相關的設計與操作特性將大大影響效能與成本，台電公司設置碳捕集設施前，須充分評估技術特性與經濟效能，以降低設置風險。

3.2 參加日本電力中央研究所合作研究技術討論會

3.2.1 日本電力中央研究所簡介

電力中央研究所(CRIEPI)，簡稱電中研，是一般非營利基金機構，成立於 1951 年。該研究所的任務是為電力工業深化技術知識，對電力技術和經濟方面，進行研究、試驗與統合協調，而作出貢獻。近年日本的經濟和社會正從東日本大地震損害中復甦。該研究所對支援社會發展之電力工業，提供技術支援，並為快速重建繼續致力俾充分提供專業知識。該研究所執行之活動，是基於董事會之決議案。經過不同研究分所的實驗室密切的合作，全力以赴回應電力工業與社會之需求。該研究所組織架構與各單位位置如圖 22。

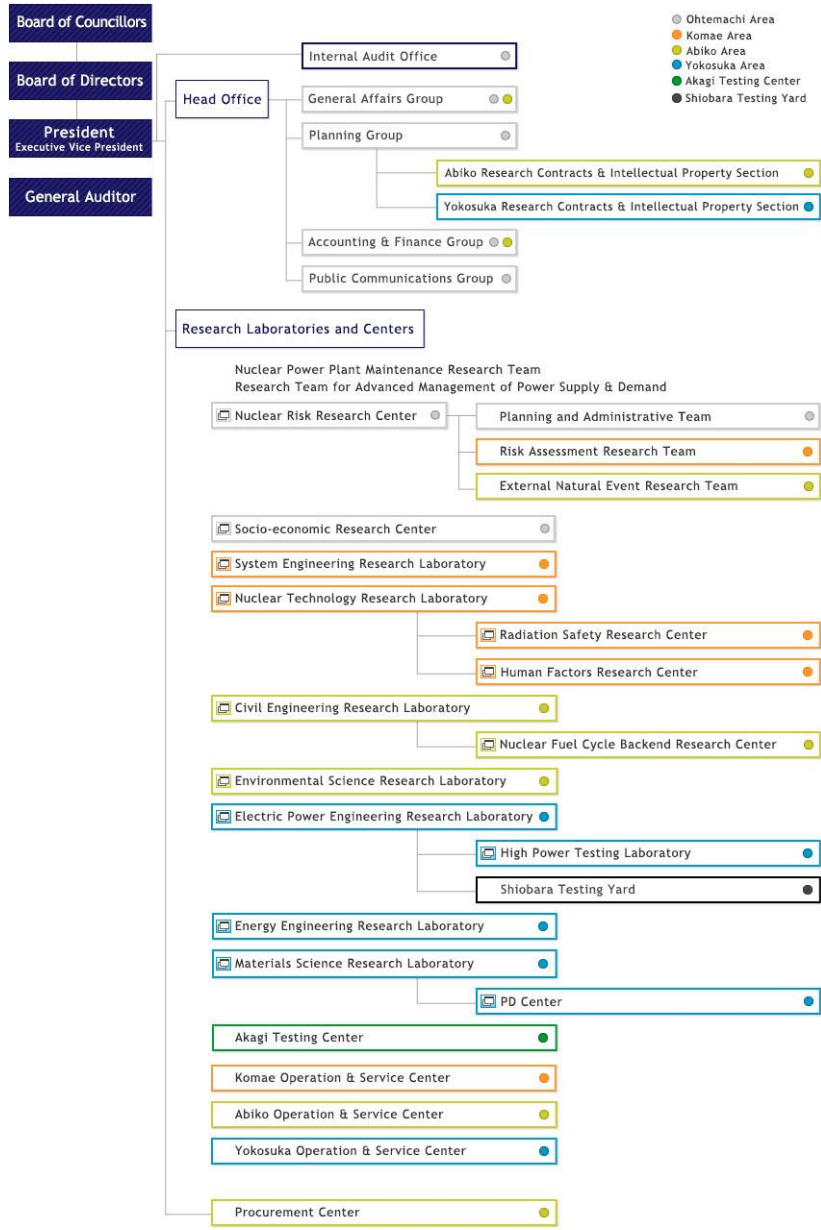
本次參訪的電中研機構，位於鄰近東京都之千葉縣(Chiba)我孫子(Abiko)研究分所。該研究分所包括我孫子合約暨智慧財產權部門(Abiko Research Contracts & Intellectual Property Section)、土木工程研究實驗室(Civil Engineering Research Laboratory)暨核燃料循環後端研究中心(Nuclear Fuel Cycle Backend Research Center)、環境科學研究實驗室(Environmental Science Research Laboratory)，我孫子管理與服務中心(Abiko Operation &Service Center)與採購中心(Procurement Center)。

3.2.2 我孫子土木工程研究實驗室參訪

土木工程研究實驗室是一個專家群組，研究巨型人工建築物 and 自然現象間之交互作用，並挑戰解決地球尺度之問題。該實驗室擁有許多不同領域的專家，包括地質、土壤、地下水、地震、材料、結構、流體、與氣象學，執行有關電力設施之選址及營建、災害減輕與社會基礎設施等進行研究，亦研發有關核能後端廢料之運輸、儲存及放射性處理，與從除役核能電廠排放物料之回收及再利用。

土木工程研究實驗室可分為 5 大部門：地球圈科學組(Geosphere Science Sector)、地震工程組(Earthquake Engineering Sector)、結構工程組(Structural Engineering Sector)、流體力學組(Fluid Dynamics Sector)與核燃料循環後端研究中心(Nuclear Fuel Cycle Backend Research Center)。

該所研究進行對天然災害在電力設施之減災風險技術研究，發展出地震、風、海嘯之防災設計與在電力設施上對策技術。



CRIEPI 組織架構

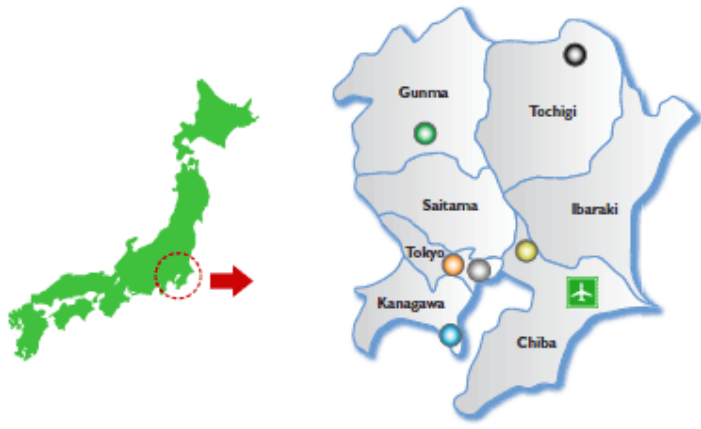


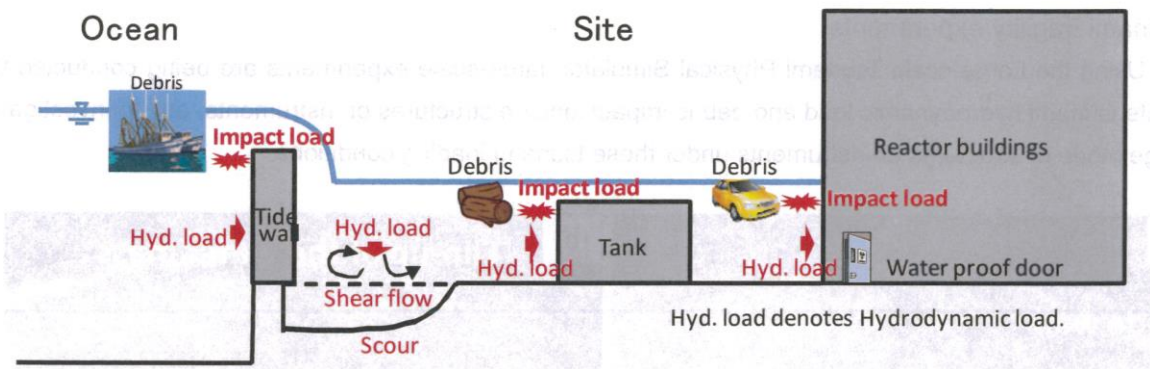
圖 22 CRIEPI 組織架構與各分所分布圖

本次參訪該所自行研發大尺度海嘯物理模擬器(Large-scale Tsunami Physical Simulator)與強震動發生器(Strong Shake Generator)。茲略述如下：

大尺度海嘯物理模擬器：利用該海嘯波流設備，可產生不同型式海嘯氾濫流，具有陡峭的波前、長歷時、高流速與大深度，以模擬在海岸地區電力設施(例如核能電廠反應器)受到碎裂波浪衝擊、水動力荷重與碎屑物撞擊等影響(圖 23)。

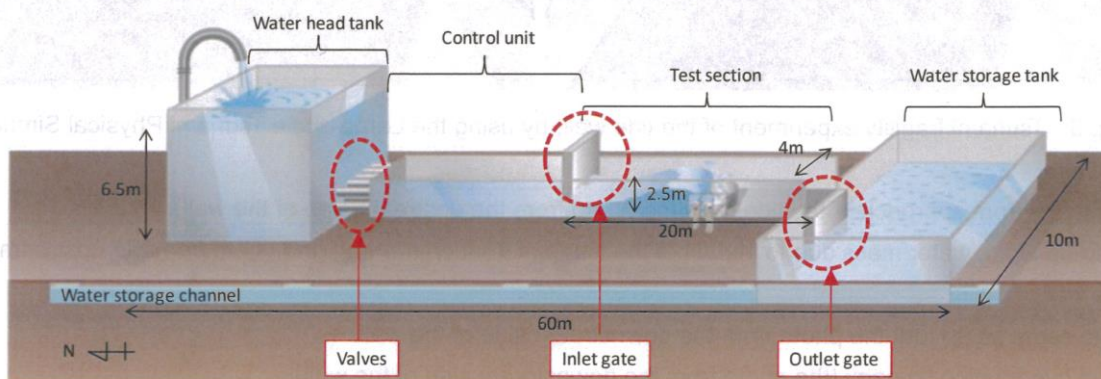
海嘯氾濫流控制的特性如下：

1. 大尺度海嘯物理模擬器是由水頭水槽(Water head tank)、控制段(Control unit)、試驗段(Test section)與儲水槽(Water storage tank)構成(圖 24)。
2. 在水頭水槽與控制段之間設施有 8 個閘門，在試驗段上、下游分別設有進水閘門與出水閘門。
3. 整合控制 8 個閘門、進水閘門與出水閘門，在試驗段會產生不同型式海嘯氾濫流。



(Fluid Dynamics Sector, CERL, CRIEPI)

圖 23 海嘯波流對核能電廠設施與結構物衝擊影響



(Fluid Dynamics Sector, CERL, CRIEPI)

圖 24 大尺度海嘯物理模擬器示意圖

海嘯氾濫流控制規格如下：

1. 試驗段尺寸：長 20m、寬 4m、高 2.5m 與 1m 濬深坑。
2. 最大流速：7 m/s
3. 最大流量：10 ton/s
4. 最大體積重量：650 ton
5. 水頭水槽深度：6.5 m
6. 流水持續時間：3 mins

海嘯易損性實驗

利用該大尺度海嘯物理模擬器實驗，對發電結構物及設施進行水動力荷重與碎屑物撞擊評估，以研究所遭受的損害(圖 25)，海嘯波產生後沖向防潮堤，形成翻轉的水體，並翻覆過防潮堤，繼續沖向目標結構物體模型，研究人員可在水槽側牆開口玻璃窗外觀察，尾水經由出水口進入地下水槽，再流入地下通水路流向水頭水槽抽回循環使用，地下貯水量約為 1,000ton。本海嘯物理模擬器可連續產生海嘯波，海嘯波波形可藉由控制室操作電腦設定。

另有關海嘯物理模擬器現場參訪照片參閱圖 26~圖 29。



(Fluid Dynamics Sector, CERL,CRIEPI)

圖 25 大尺度海嘯物理模擬器海嘯牆之海嘯易損性實驗

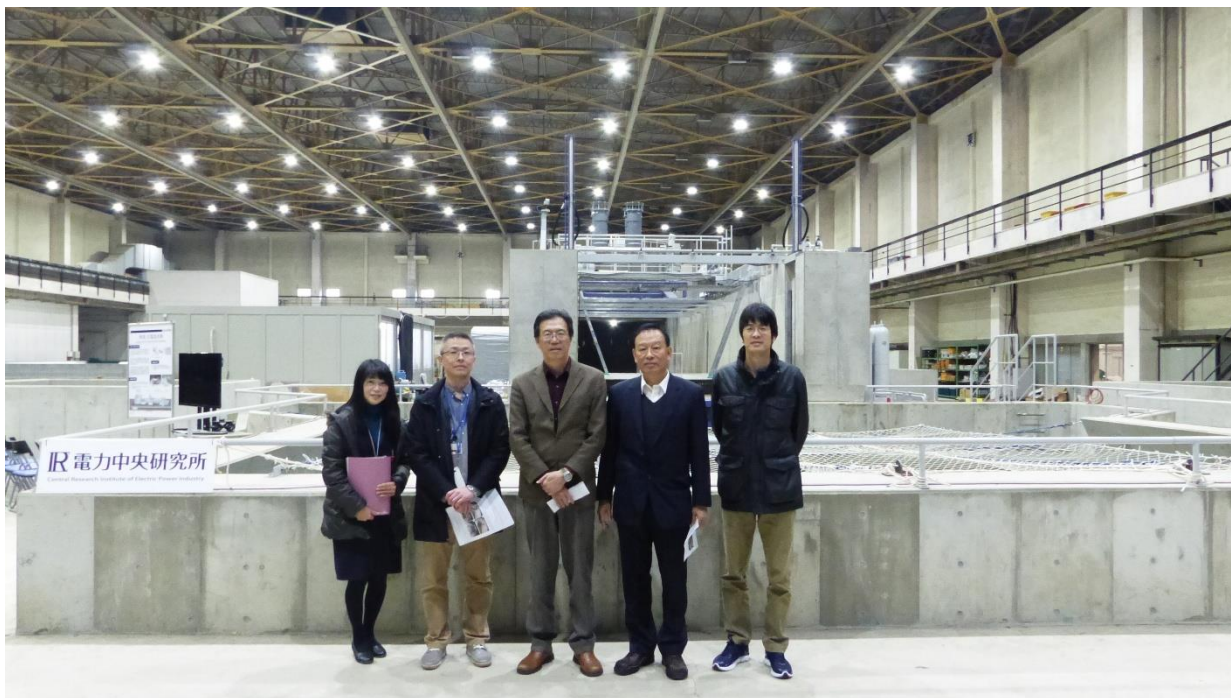


圖 26 參訪人員與 CRIEPI 導覽人員在海嘯物理模擬器地下水槽前合影



圖 27 海嘯物理模擬器水頭水槽與控制段水路連接之流量調節閥門管線



圖 28 海嘯物理模擬器放流控制閘門暨平壓排氣管



圖 29 置放在海嘯物理模擬器試驗水路中之漂流木

強震動發生器：

為改善核能電廠抗震，在強震動下重要結構物、系統與組件之地震安全是有必要作確認。尤其是作為保護核能電廠安全功能之活動組件，諸如主要蒸氣閥門、各式馬達操控閥門等，必須置放在震動台上於極端地震情況下作確認。然而，傳統震動台最大水平加速度之限制，是小於 10G。因此，目前 CRIEPI 發展出世界最大水平加速度 20G 強震動發生器，以因應日本近年發生大地震之需求。

強震動發生器規格如下：

震動台尺寸：2m×2m

最大載重量：10t

最大加速度：±20G

最大速度：±3.14m/s

最大位移：±0.05m

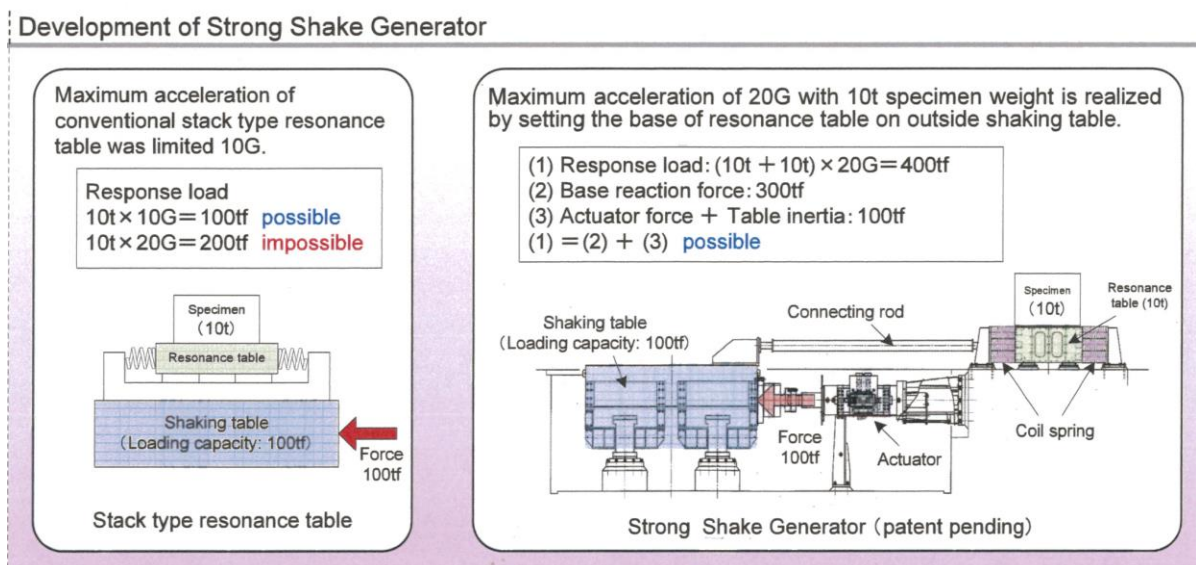
運轉頻率：10Hz

運轉波型：正弦波

強震動發生器設計原理：

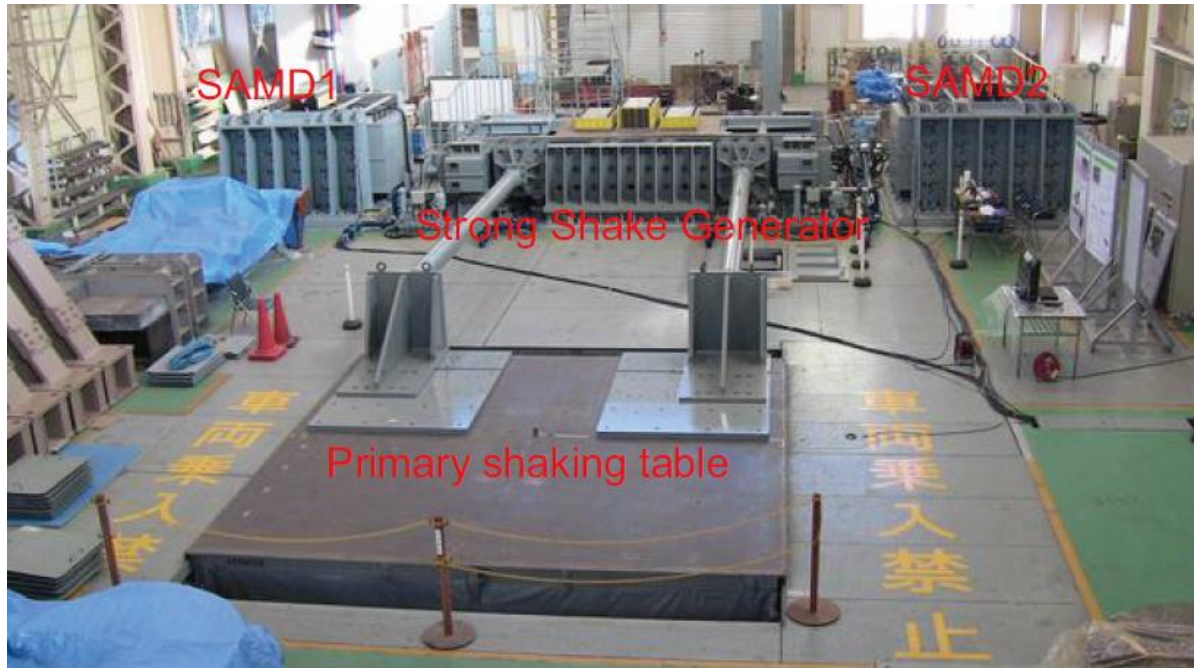
主要樣品承載震動台(Resonance table of specimen loading)，前、後端與雙彈簧構造連結，並經由一連動桿與設置在外部之震動台基座(Base of resonance table)連接(圖 30,31)。該震動台基座兩側端各設有一組半活動質量阻尼器(Semi-Active Mass Damper) (圖 32)，以提供作為該設備震動阻抗的方法。

另有關強震動發生器現場參訪照片參閱圖 31~圖 32。



(Earthquake Engineering Sector, CERL, CRIEPI)

圖 30 傳統疊置型與新研發型之強震動發生器對照示意圖



(Earthquake Engineering Sector, CERL, CRIEPI)

圖 31 強震動發生器全貌照片



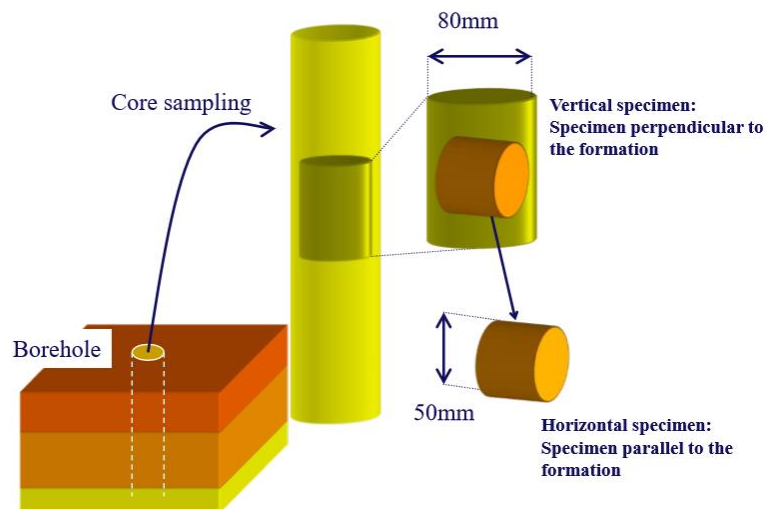
圖 32 強震動發生器樣品承載震動台、連動桿與照片左側阻尼器

3.2.3 TPC-CRIEPI 合作研究技術討論會

3.2.3.1 岩心試驗

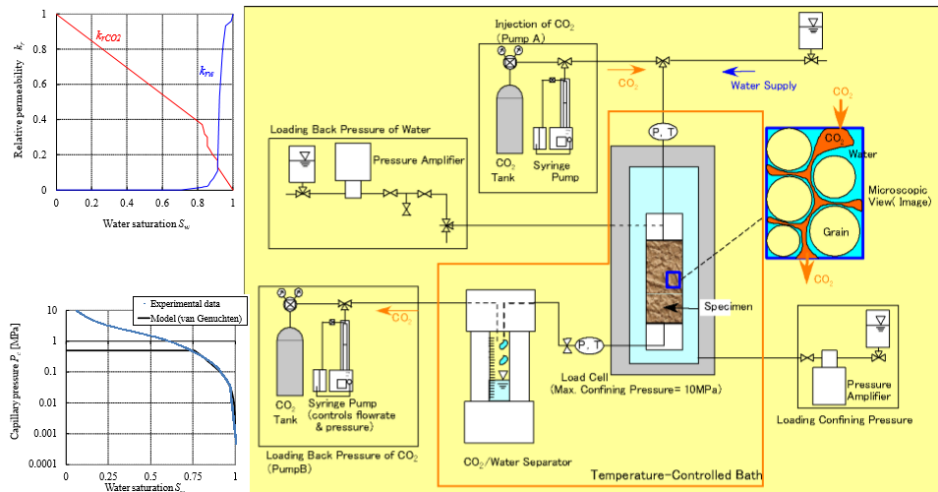
台電綜合研究所(TPRI)提送我孫子土木工程研究(Abiko CERL)台電 CCS 先導試驗計畫 3,000m 深鑽井 TPCS-1M1 之 20 個岩心標本，供作地質試驗 5 種：Abs. Porosity & Permeability, MCIP, Horizontal Relative Permeability, Particle Size Analysis, Thin Section Analysis。岩心標本包括錦水頁岩、桂竹林層與觀音山砂岩，可作為 CO₂ 封存蓋層之頁岩與儲集層之砂岩。由於沉積岩具有方向異質性，CO₂ 長期移棲行為將受到影響。因此，CRIEPI 將從每一地層選出 2 個岩心標本，切割岩心製作成垂直標本，進行絕對與相對之滲透率試驗，再將同一岩心標本取出，再切割製作成水平標本，並進行絕對與相對之滲透率試驗，以量測該等岩心標本之異質性(圖 33)。在二相流實驗中頁岩需要進行長時間試驗，其參數不易取得(圖 34)。但考量 CO₂ 長期移棲，特別是垂直向上移棲，頁岩二相流特性必定是重要的。CRIEPI 將從桂竹林層與觀音山砂岩上方蓋層，分別選出 1 個岩心標本，量測其二相流相對滲透率。

另有關二相流相對滲透率實驗室參訪照片參閱圖 35~圖 38。



(CERL,CRIEPI, 2015)

圖 33 垂直與水平岩心標本製作示意圖



(CERL, CRIEPI, 2015)

圖 34 CRIEPI 二相流相對滲透率實驗設備示意圖



圖 35 CRIEPI 二相流相對滲透率實驗設備現場概況



圖 36 CRIEPI 人員 Mr. Suenaga 講解二相流實驗設備操作過程



圖 37 二相流相對滲透率試驗垂直與水平岩心標本削切製作

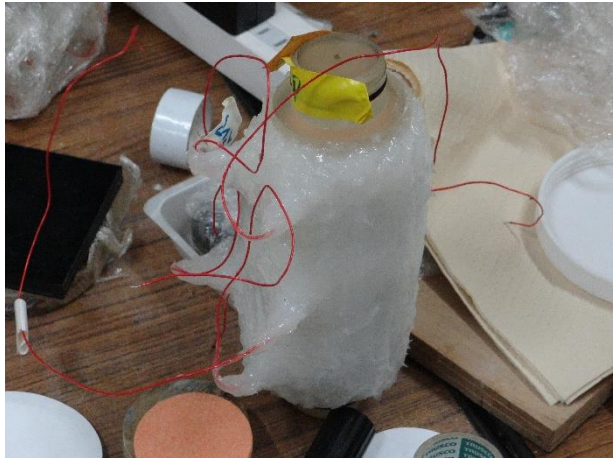


圖 38 二相流電阻試驗岩心標本製作

3.2.3.2 井測資料轉換分析

台電綜合研究所(TPRI)提送我孫子土木工程研究(Abiko CERL)台電 CCS 先導試驗計畫 3,000m 深鑽井 TPCS-1M1 之電測與中子井測資料，供作水文地質特性計算。

有關 CO₂ 地質封存，蓋層高功能封閉性之評估，是一項非常重要的問題。因此，台電與 CRIEPI 人員雙方討論，提議利用地球物理井測資料對頁岩質砂岩之電性模式，進行水文地質特性(滲透率)進行計算。基於此種理論，決議利用 TPCS-1M1 之電阻、自然電位、孔隙率等井測資料，進行錦水頁岩、桂竹林層與觀音山砂岩之滲透率計算。因此，CRIEPI 人員參考 Lima,1995 年文獻公式，建立水力滲透率計算之分析流程。

本次合作研究技術討論會上，CRIEPI 人員將研究成果作成簡報呈現，並雙方已就頁岩中夾砂岩之互層特性，作進一步精進的研討。初步成果顯示，以 CRIEPI 所提供之計算與評估方式，可有效鑑別複雜地層中蓋岩層與儲集層的位置，並對地層滲透性做全面性評估，於實務上可用於選定合適的灌注深度與位置，本公司後續將再利用這些技術進行灌注工程與監測設施之設計與規劃，對計畫完整性很有幫助。

3.2.3.3 可控源音頻頻率大地電磁探查

於雙方合作計畫中，CRIEPI 提供「可控源音頻頻率大地電磁探查」(Controlled Source Audio-frequency Magneto-Telluric Method Survey)技術，並實際應用在彰濱 CO₂ 地質封存先導試驗場址地區，進行地下地質構造之電阻值分布探查(圖 39)，以建置於 CO₂ 注入前基線(Base line)資料，並擬於 CO₂ 注入後再行施測，俾監測 CO₂ 移棲行為。

本探查工作已於 2014 年 11 月展開，發射端之傳輸線位在彰濱場址東側外圍，長度 1.4km，接收端之量測點在彰濱場址 TPCS-M1 鑽井附近；本(2016)年 1 月將擴大展開，發射端之傳輸線位在彰濱場址東北側外圍，沿大肚溪左岸河堤外環布線，長度 5km，接收端之量測點仍在彰濱場址 TPCS-M1 鑽井附近(圖 40)。

於本次合作研究技術討論會上，CRIEPI 人員將前次研究成果作成簡報呈現，由電阻剖面顯示，探查深度可至地表下約 1,000m(圖 41)。雙方並就本年之探查工作，作進一步研討，預定探查深度可至地表下約 3,000m，以應未來 CO₂ 注入後可監測 CO₂ 移棲行為之需要。

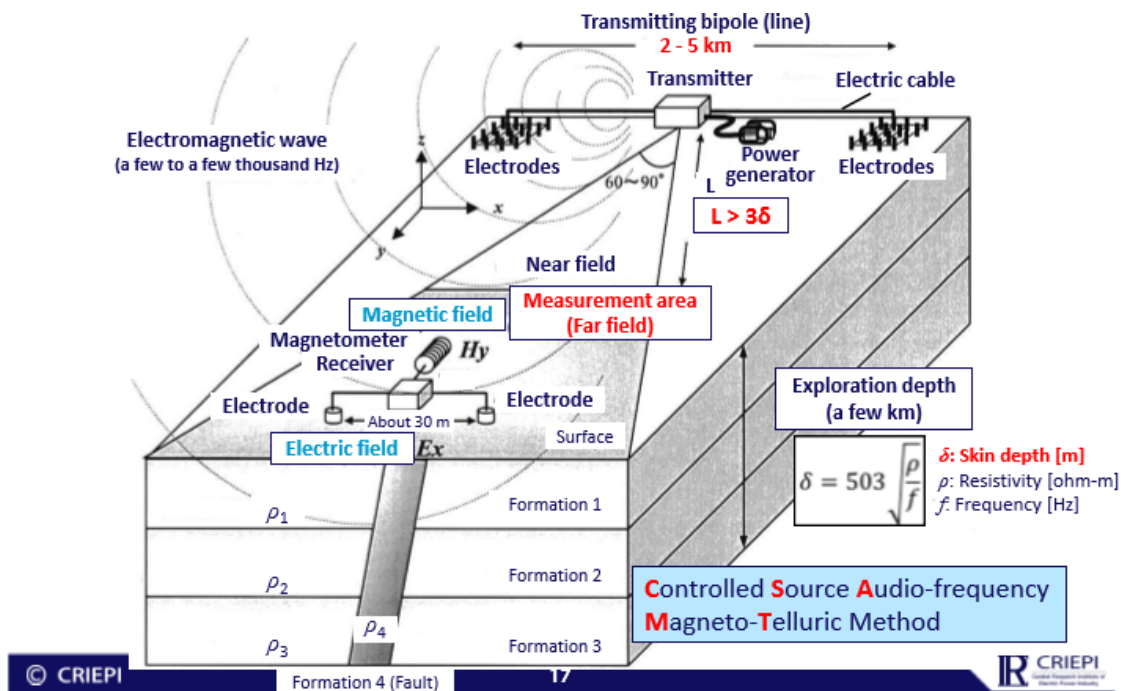


圖 39 可控源音頻頻率大地電磁探查示意圖

CSAMT survey area in 2014 and 2016



圖 40 可控源音頻頻率大地電磁探查發射端之傳輸線與接收端之量測點布置圖

CSAMT survey (Nov. 2014)

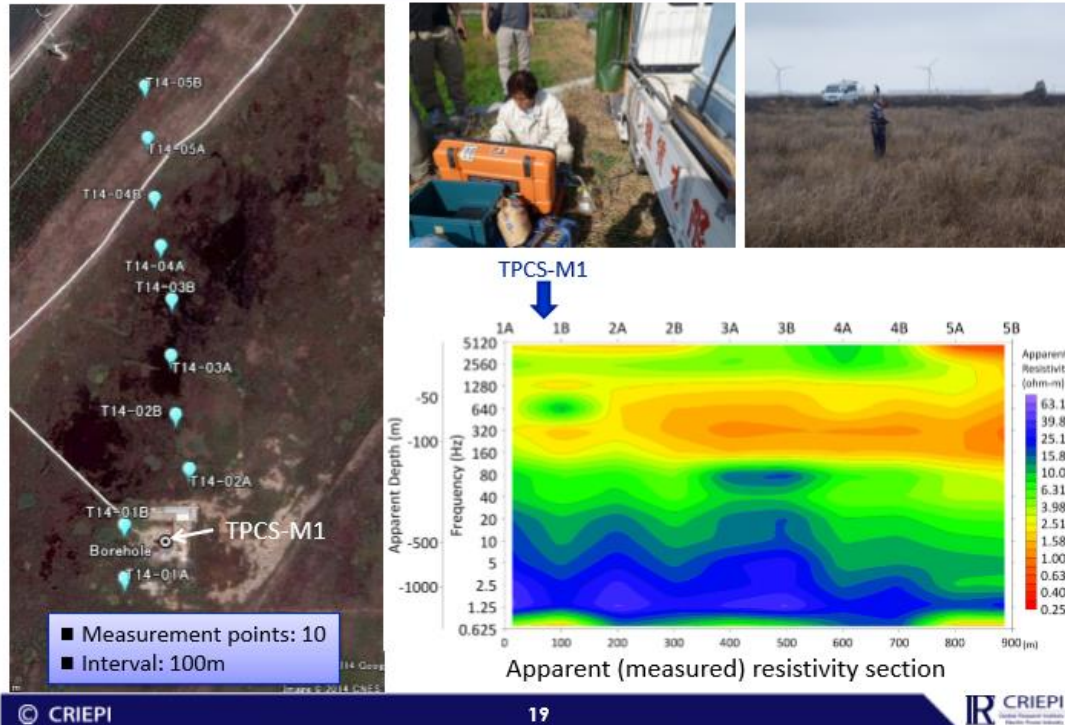


圖 41 2014 年可控源音頻頻率大地電磁探查接收端現場量測作業與電阻剖面圖

3.3 感想與建議

為有效推動本公司與我國 CCS 之長期發展，以下建議擬請本公司與政府主管機關參考：

1. 目前國際間皆投入大量資金及人力，積極發展火力電廠加 CCS 商業化大型計畫，日本也成立 JCCS 公司進行相關計畫推行。JCCS 承接日本政府計畫，於日本各地進行調查、辦理說明會、並於苫小牧地區進行示範計畫。這種模式可減少政府推行計畫之困擾，最終也促使苫小牧計畫順利設置與進行。反觀我國發展 CCS 處處受限，法規與民意不明，政府缺乏對策。我國政府可參考這種模式，成立專業公司推動相關工作，以加速法規發展與增進民眾對於 CCS 之理解。
2. 為了維繫本公司火力電廠持續運轉，本公司 CCS 之相關工作將大幅展開，後續之「碳封存先導試驗」與「碳捕集技術示範廠」也將陸續進行，因技術複雜且規模龐大，並且涉及法規、資金、與民意等諸多面向，以綜合研究所現有人力，無法因應相關工作需求，也無法有效推動 CCS 大型試驗計畫，公司須及早規劃合適人力與資源因應，建請考量於公司內設置「碳捕集與封存之常設專責組織」以利後續工作推動。人力欠缺仍是一大障礙，CCS 因需長期發展且屬新技術，建議公司內成立專設團隊進行相關工作，以利後續大規模實施時降低公司之投資風險。
3. 未來 CCS 技術必定在減碳策略上佔有重要分量，我國可參考日本推展 CCS 之路徑，由政府出資進行大規模的調查工作與示範計畫，以盡早訂出我國碳捕集與封存的法規，讓業者有可以遵循的商業發展模式，使我國商業化碳捕集與封存設施業者有意願投資。健全法規與早期資金挹注是我國政府應負起的責任，希望政府正視我國發展 CCS 試驗計畫的障礙，並積極協助業者排除障礙。
4. 目前日本投入大量資金及人力，成立 CCS 公司積極發展 CCS 技術。本次參訪的苫小牧場址 CCS 示範計畫，是由日本經產省核撥 100% 預算實施此項專案計畫，並將逐年邁向商業化目標。此正顯示出日本政府有計畫及決心發展 CCS 整體技術，以因應全球暖化對策。我國與日本所面臨之環境及民情甚為相似，宜應參考前述日本發展 CCS 技術之經驗，及早由政府主管及相關部門建立及推動國內 CCS 計畫之具體發展策略、制定法規與核撥預算，期能達成政府所訂定之減碳目標，以因應全球暖化對策，並避免國內經濟成長未來受到國際能源價格及排碳限制等因素影響造成衝擊。
5. 本次有幸能參訪日本苫小牧場址 CCS 示範計畫，除可瞭解總體 CCS 系統之示範與驗證工作，需要蒐集及進行之地質探查工作，尤其對 CO₂ 灌注、監測、技術建立與風險分析有那些必要的項目。目前 JCCS 公司已作出該 CCS 示範計畫設施之全盤布置，自本(2016)年起開始進行 CO₂ 注入及監測，屆時各類研究項目就會有顯著的進展與發表，值得作為我國未來發展 CCS 的關注與借鏡，並可作為現階段台電公司推動的「地質封存先導試驗場址地質調查及技術研發」之參考，勢將有所助益。

另由日本成立 JCCS 公司發展方向觀察，我國政府與台電公司宜應依照所規劃之 CCS 發展路線圖(Road map)，及早籌備成立獨立的 CCS 公司，並在政府預算支持下，結合國內外專業技術及研發能力，進行「台西盆地地質封存場址」CO₂ 注入先導試驗、示範計畫等，將可加速達成未來商業化目標。

6. 由許多相關研究發現，大量開發再生能源後會使電網穩定性受到很大衝擊，對於獨立電網的台灣可能衝擊更大，在現有燃煤或燃氣電廠加設 CCS 設施可有效降低這些整合性衝擊。加裝 CCS 設施的傳統火力電廠將是未來新式電廠的重要選項，它可穩定供給電力並且有效抑制碳排放量。加裝 CCS 的新式電廠將可提供我國大量開發再生能源之有效後援，以持續提供穩定、價格低廉、且清淨的電力給社會各界，維繫我國經濟繼續蓬勃發展。
7. 為加速發展 CCS 技術，本公司與日本 CRIEPI 於 2009 年已簽訂「Site Selection for Carbon Dioxide Geological Storage」Joint Research Agreement，並陸續與 CRIEPI 進行多項合作研究項目，進行雙向實質之交流與合作研究，過程中雙方也獲致豐碩成果，有效減少雙方發展相關技術的障礙，加速研發時程。
8. 由於與 CRIEPI 成功的合作模式，使公司對於安全進行二氧化碳封存具有信心，類似模式可廣泛運用之其他技術發展上，減少研發時程。開拓國際合作管道與開放國際組織參與本公司研發計畫，可提升研發成效，藉由國際合作也可獲致不同的觀點修正或加強研發內容，使公眾關心的議題有效地藉由較客觀的方式釐清。
9. 此行參訪日本電力中央研究所我孫子(Abiko)研究分所，發現該所針對 311 地震日本福島核能事件後，自行研發出大尺度海嘯物理模擬器與強震動發生器，均堪稱為世界級大型的實驗設備，可進行對海嘯及地震在電力設施之減災風險技術研究，並發展防災設計與在電力設施上對策技術。近年本公司核能電廠在原能會管制下亦進行海嘯及地震防災工程；本公司為該所明列的國際合作機構之一，宜應多加利用該等實驗設備，加強雙方合作研究，以促進核能安全。
10. 本次赴 CRIEPI 我孫子研究分所土木工程研究部門，實地參訪二相流岩心試驗實驗室，並參加 TPC-CRIEPI 二氧化碳地質封存合作研究技術討論會，可清楚瞭解該所研究人員，將台電 CCS 提送之 TPCS-1M1 深鑽井岩心標本暨電測與中子井測資料，已作妥善處理分析，並得到很好的初步成果。在此次簡報研討過程中，雙方深入研討、氣氛融洽，並彼此間建立良好的互信。此外，尚討論 CRIEPI 即將於 106 年 1 月中旬派員來台在彰濱場址及鄰近地區進行第二次 CSAMT 地物探查之準備工作，並討論未來雙方繼續進一步合作研究意向，俾增加本公司二氧化碳地質封存技術之研發能量。
11. 參考日本推動 CCS 示範計畫之成功案例，除逐步進行相關技術的驗證工作之外，對社會各界與民眾的教育宣導工作也十分重要。於計畫發展過程中需隨時讓公眾瞭解過程與其重要性。透過不斷宣導與教育，使公眾認識二氧化碳捕集與封存，對於

抑制全球溫暖化效應佔了相當重要的角色。唯有公眾理解與重視二氧化碳捕集與封存對環境保護的重要性，才有可能克服大規模實施時之投資與法規障礙。目前我國民眾對於如何以碳捕集與封存技術來抑制碳排放的認識不多，希政府主管部門加強相關的教育與宣導工作，讓我國的碳捕存的先導計畫與示範計畫可以得到民眾支持。