

出國報告（出國類別：考察）

日本九州地熱發電鑽井現場參訪

服務機關：台灣中油探採事業部鑽探工程處
姓名職稱：王崇興組長、賴政雄鑽井技術員、
謝發梁鑽井技術員
服務機關：台灣中油探採研究所
姓名職稱：吳偉智副所長
派赴國家：日本
出國期間：107年9月25日至107年9月28日
報告日期：107年10月19日

摘要

本次參訪「日本九州八丁原地熱鑽井現場」、「八丁原地熱發電場」及「小浜(Obama)溫泉發電所」。該地熱鑽井目的為還原回注井，使用空氣泥漿的技術為「充氣泥漿」方式。

參訪中釐清所謂空氣鑽井，並非以空氣代替泥漿系統，而是在原有泥漿系統中加裝一條空氣供應管，當鑽井過程中發現漏泥時，可導入空氣，適時降低泥漿比重，減少泥漿洩漏至地層中。所需增加設備為：入口端之小型壓縮機與昇壓機、出口端破乳化機…等，佔用井坪不大，產生噪音仍在容許範圍，值得於地熱鑽井時應用。本井之鑽井服務商為 SHINCOH 公司，曾與本公司合作執行日本地熱鑽井，設備為(DJK)公司所提供。評估引進「充氣泥漿」應先以技術服務方式進行，在技術服務過程中亦由本公司派員學習設備操作，如使用需求量大，則可採購必要設備自行操作。

在參訪發電廠後，認為大型地熱發電廠其主要條件除了熱源外，需要有良好的天然地下水循環補注系統，地下水循環和熱源已自然達到平衡，因此其出水量與出口溫度穩定，雖然有人工注水井，主要是將發電後尾水注入地層，並非以此注入水量經地熱加溫後發電。在地下水補注量較小溫泉區，並未採取人工注入系統，反而建立 125K 瓦小型簡易發電廠，其建廠成本約 4 千萬台幣，平時一人進行維護與操作，其利用自然環境降低人為衝擊的觀念，是推動綠能同時值得我們深思與借鏡之處。

目錄

一、	目的-----	4
二、	過程-----	6
	2.1 行程與工作概要-----	6
	2.2 八丁原(Hatchobaro)地熱鑽井現場參訪-----	7
	2.3 八丁原(Hatchobaro)地熱發電所簡介-----	14
	2.4 小浜(Obama)溫泉發電所簡介-----	20
三、	心得及建議-----	25

一、目的

為達成非核家園的期望，停止核能發電後的電力缺口，將由火力發電補充，然而火力發電對於化石燃料的需求，將受到國際燃料市場的制肘，而造成價格的波動，甚至若無法得到充足的供應，將造成國家安全的隱憂。並且火力發電過程中，所產生的二氧化碳、硫化物、氮化物…等。不僅造成空氣污染影響民眾健康，排放之溫室氣體亦會使氣候變遷加劇，因此自主而乾淨的綠色電力來源，是目前國家積極尋求的目標。

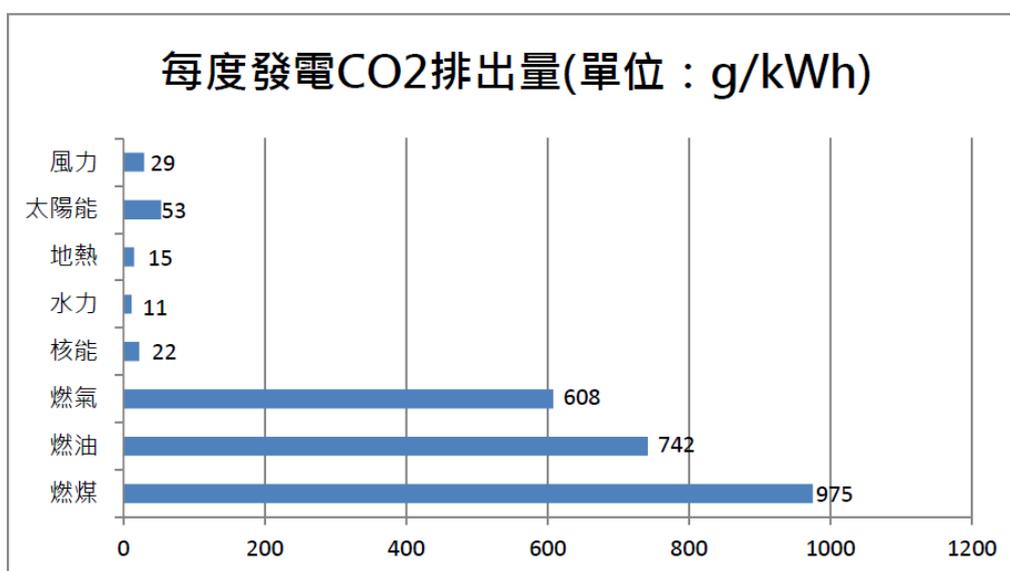


圖 1 各類發電二氧化碳排出量(資料來源：日本產經省)

綠能發電主要為：水力、風力、太陽能、潮汐、地熱發電…等。由於台灣河川陡、急、短、腹地不足，因此水力發電廠建置十分困難。風力、太陽能發電與天候關連甚大，無法長期提供隱定的電力來源。潮汐發電尚無商業運轉實例。綜合上述，以台灣現況而言，發展地熱發電做為基載電力來源，是最可行的方向，也是目前技術及可靠性最佳的選擇。

106年發電量結構

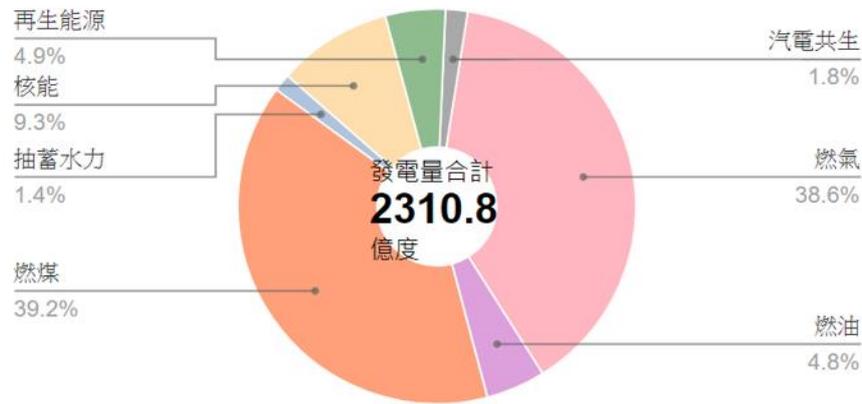


圖 2 台灣 106 年電力結構(資料來源：台灣電力公司)

台灣地處大陸板塊與菲律賓板塊交界，位於環太平洋火山帶，擁許多地熱資源，依據科技部第二期能源國家型計畫報告，估計台灣傳統型地熱發電潛能為 730Mkw，而深層地熱(3km~6km)甚至可達 31GW，是 11 座核能電廠的發電量。台灣中油公司曾於民國 65 年至 76 年間，於全台地熱潛能區鑽探 34 口地熱鑽井。亦與台電公司合作於清水地熱區，進行商業發電運轉，經過 10 餘年的營運，最後因井口結垢及蒸氣產能不足…等等原因，結束營運迄今。台灣中油公司已有 30 餘年未再鑽鑿地熱井。

日本位於東北亞，地理條件與台灣有許多相似之處，而九州八丁原地熱發電場是日本最大的發電場，並且在民國 74 年至 90 年間，本公司曾派員參與該地鑽井工作達 16 口井，除了歷史的淵源，該地區之地熱開發鑽鑿工作未曾停頓。本次由貝克休斯公司安排，參訪九州地熱鑽井現場、小浜發電場，觀摩相關設備器材及操作方法，並交流國際地熱鑽井趨勢與工程操作重點、技術人員配置、保養維修方式、井場佈置及鑽井工作紀要，尤其針對充氣泥漿鑽井技術的現場佈置，做為評估引進技術之依據，以提升本處地熱鑽井技術並與國際接軌。

二、過程

2.1 行程與工作概要

日期	工作地點	工作內容	陪同人員
9/25	中正機場→福岡機場 →日知市	1. 中正機場飛九州福岡機場 2. 前往日知市	DJK Kohki Luke Hagimine
9/26	日知市→八丁原 (Hatchobaru)電廠→ 鑽井現場→日知市	1. 安全簡介 2. 八丁原地熱發電場參訪 3. 井場考察「充氣泥漿鑽井設備佈置考察」	DJK Kohki Luke Hagimine SHINCOH 八丁原所長 西園英俊
9/27	日知市 →小浜 (Obama) 溫泉發電場 →福岡	1. 小浜 Binary 地熱溫泉發電場考察 2. 由小浜至福岡行程 3. 進行結束會議	DJK Kohki Luke Hagimine DJK Ryusuke Huey Tanaka SHINCOH 部長牟田明 SHINCOH 取締役副社長 松野尾淳
9/28	福岡機場 →中正機場	返國	

*因 BHGE 公司人員生病無法陪同參訪，由該公司日本代理商社第一實業株式會社 (DJK) 派員陪同參訪。

*SHINCOH 公司為日本九州電力公司鑽井作業服務承攬商。民國 74 至 90 年間由該公司引進台灣中油鑽井工程隊，進行 16 口地熱鑽井服務。

2.2 八丁原(Hatchobaro)地熱鑽井現場參訪

2.2.1 充氣泥漿簡介

鑽井工程過程中，泥漿的重要性，就如人體之於血液，沒有血液人無法存活；沒有泥漿也無法進行鑽井作業。泥漿的功能如下：懸浮顆粒、排除鑽屑、冷卻及潤滑鑽頭、鑽串；形成井壁、穩定井孔；支撐管串部份重量；傳遞水馬力；帶動井底馬達；傳播信號…等。因為泥漿對鑽井工程有著眾多的功能，並深刻的影響鑽井的效率，所以選用合適的泥漿性質，是所有鑽井活動面臨的課題。地熱鑽井有一項顯著的傾向，就是以裂縫或破裂帶為目標地層，或是選擇穿越斷層。而這樣的傾向，有極大的機率造成鑽進過程中，泥漿漏失或是泥漿不循環，衍生更多的鑽井事故。

為了解決泥漿漏失或不循環的問題，降低泥漿比重是最有效的手段，雖然同時也增加了噴井的風險，幸運的是，地熱鑽井活動中所面對的流體，僅是高溫的氣體或是熱水，並不像石油鑽井的流體會產生燃燒甚至爆炸。因此如何安全地降低泥漿比重，是地熱鑽井過程中會遭遇的重要工作。假設地熱鑽井之地層壓力來源為連通水壓，要將比重降至比水的比重小，才能達到預防漏泥的效果，而欲降低泥漿比重至 1 以下，最簡單的方式，就是將氣體導入泥漿中，均勻混合後，即能有效的降低泥漿比重。這樣的泥漿鑽井方式又稱為空氣鑽井(Air drilling)。表 1 為空氣鑽井之分類：

分類	說明
Dust Drilling	使用純高壓氣體，將鑽屑由環孔中清理出來
Mist Drilling	霧化鑽井，在空氣鑽井中加入水、皂化物或化學物質，可增加鑽屑移除能力。
Foam Drilling	泡沫鑽井，使用化學添加劑，使流體成為穩定的泡沫狀，鑽屑移除能力為霧化鑽井之 6~7 倍。
Aerated Drilling	充氣泥漿鑽井，使用空氣或氮氣注入鑽井泥漿中，可有效的降低泥漿比重。

表 1 空氣鑽井分類及說明

2.2.2 地熱鑽井現場參訪

本次參訪之地熱鑽井現場，鄰近八丁原發電場，是九州電力公司，為了將發電後之尾水還原回注至地層，而委託 SHINCOH 公司鑽鑿，下列為該井基本資料。

業主：九州電力公司

承攬商：SHINCOH 公司

定向服務公司：斯倫貝謝公司

鑽井目的：回注井

井底溫度預估：攝氏 90 度

井深：1,700m

垂深：1,607m

套管：9-5/8” 至 774m

起斜點：830m

已鑽至：870m

充氣泥漿使用時機：泥漿不循環或大量漏泥

由於該井正進行定向鑽進，正處於造斜段作業，由斯倫貝謝公司服務中，因此該井負責人 SHINCOH 公司八丁原所長 西園英俊，僅同意在井場周圍做操作解釋，未能進入井場觀摩實際操作現狀。雖然有些遺憾，但是能看到充氣泥漿的設備規模及其佈置狀況，也達成本次參訪的最大目的。

我們一行人，由 SHINCOH 公司人員帶領，先進行安全教育，帶妥個人安全防護具，並配戴 SHINCOH 公司參訪人員胸章後，就跟著 SHINCOH 公司現場工程師，一起進入井場。該井之鑽機仍為傳統鑽機，輪班方式為每班 12 小時，每班為 10 人，上班期間，這 10 人負責整個井場的運作。目前鑽井工作人員是由(DJK)公司，為其引進之菲律賓鑽井工作人員。因此在整個鑽井過程中，SHINCOH 公司做為鑽井監督統合工作，其餘各細項工作再分包給各個工作團隊。其中定向鑽井工作即分包給斯倫貝謝公司服務，而部份材料，如鑽頭則由貝克休斯公司提供。這些分包的服務公司都是全球知名的鑽井服務公司。



圖 3 在鑽井現場入口研討人員配置及充氣泥漿管線佈置

在八丁原鑽井現場，因為場地腹地狹小，因此充氣泥漿主要設備、空壓機及升壓機都放置在井場入口空地，並以 2 吋鋼管焊接，輸送空氣至井場內。



圖 4 兩台空壓機及其油線場地約 10mX10m



圖 5 空氣經昇壓後由 2 吋鋼管輸送到鑽井管串內

充氣泥漿在井場內除了必要的輸送管線，還需 2 個空氣泥漿分離塔，做為泥漿出環孔後，進入循環系統前，消除氣泡使用。

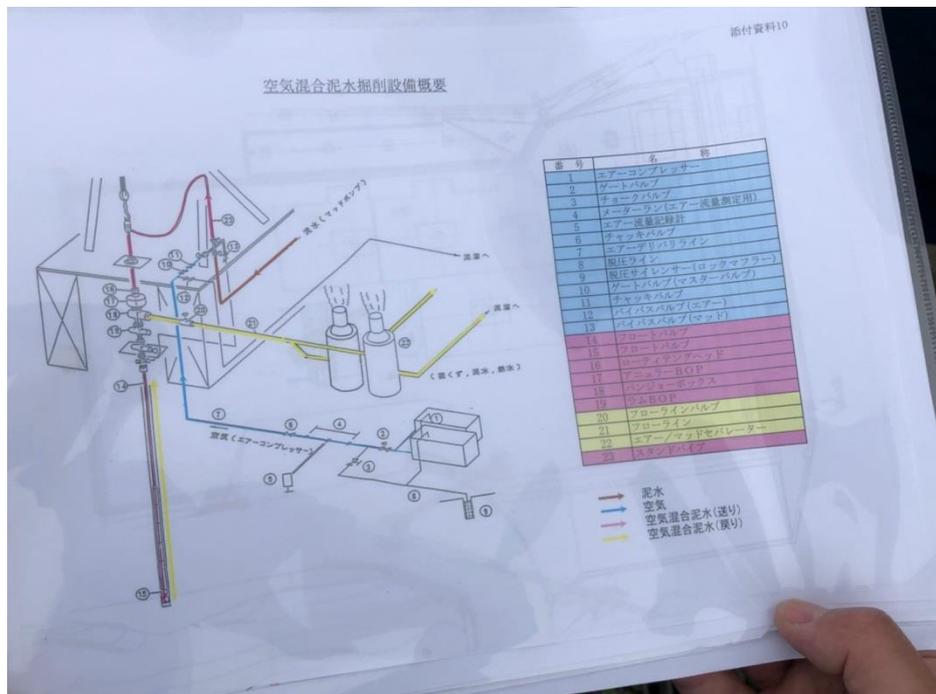


圖 6 充氣泥漿設備佈置及循環路徑

充氣泥漿在井內鑽井管串中，主要增加器材為噴射接頭(Jet Sub)，其功用，乃將空氣旁通至環孔內，而降低環孔泥漿柱壓，其位置應設於漏泥層前 10 公尺，並於每次起鑽更換位置。另外，為了防噴，在鑽頭接頭(Bit Sub)處應加設浮閥(Float valve)。

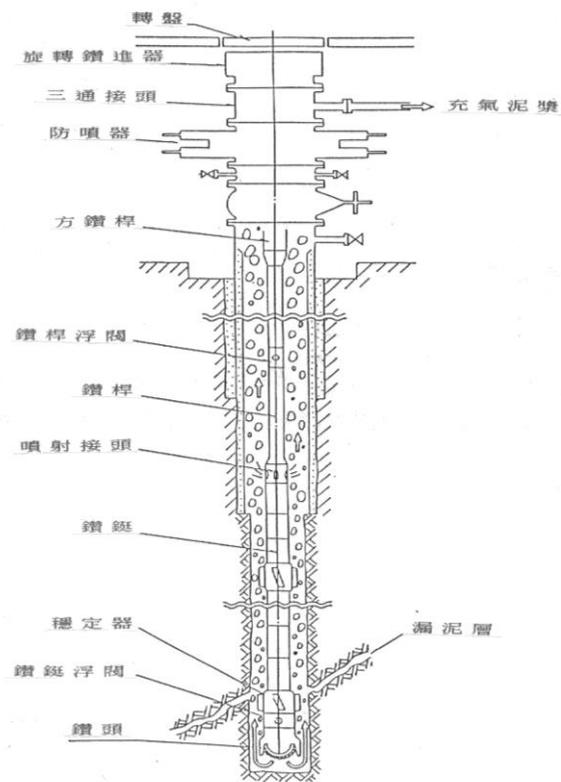


圖 7 空氣泥漿鑽進管串示意圖

充氣泥漿之井口裝置，需在環狀防噴器上加裝防噴旋轉頭(RCD)，防止蒸氣衝噴至工作台面，而在瓣狀防噴器與環狀防噴器之間，亦需加設三通接頭((Banjo box)，使空氣泥漿通過。

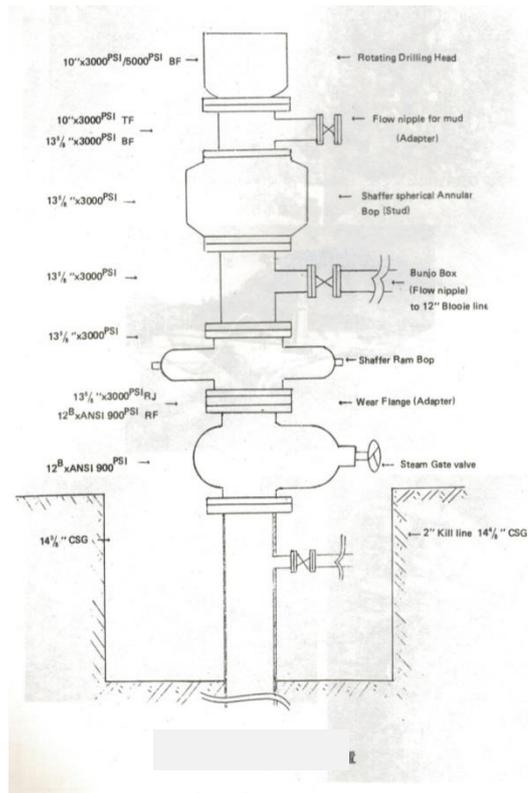


圖 8 空氣泥漿鑽進井口裝置示意圖

在參訪過程中，發現有一些細節的部份，即在井場內如有噪音源，井隊都會以隔音布隔離，這可做為降低鑽井噪音干擾的借鏡。



圖 10 噪音源使用隔音布隔離

在整個井場器材中，有一個最特殊的高塔，目測約有 5 公尺高，其功用為泥漿冷卻塔，可降低泥漿循環溫度。並做為泥漿除氣使用。



圖 11 泥漿冷卻及除氣塔

2.3 八丁原(Hatchobaro)地熱鑽井現場參訪

八原地熱發電所隸屬於九州電力公司，位於九州大分縣玖珠郡九重町阿蘇火山 Aso Kuju 國家公園境內，地熱資源來自火山地底岩漿庫，鄰近區域有許多火山活動與構造。是日本最大的地熱發電場。共有 15 口生產井，15 口回注井。現正續增鑽鑿 1 口回注井中。



圖 12 八丁原發電所空照圖

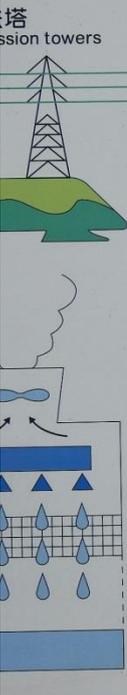
該所設有兩部 55MW 的地熱發電機組，發電量總共為 110MW，1 號機和 2 號 分別於 1977 年和 1990 年，開始營業運轉，是全世界首度採用雙重閃蒸系統（Double Flash System），比單個閃蒸系統（Single Flash System）多出 15%至 25%的發電量。

八丁原発電所のあらまし Outline of Hatchobaru Power Plant

所在地 Location: 大分県玖珠郡九重町大字湯坪字八丁原601番地
Yutsubo, Kokonoe-machi, Kusu-Gun, Oita Prefecture

敷地面積 Site Area: 181万㎡
1,810,000㎡

	1号機 No.1 Unit	2号機 No.2 Unit
出力 Out Put	55,000 kW	55,000 kW
営業運転開始 Start of commercial operation	昭和52年6月 June 1977	平成2年6月 June 1990
総工事費 Total construction cost	140億円 14 billion yen	230億円 23 billion yen
蒸気井 Production well	9本 wells	6本 wells
還元井 Reinjection well	8本 wells	7本 wells
タービン形式 Turbine type	単気筒複流衝動-反動型混圧復水タービン Single cylinder, double flow, mixed pressure, condensing type	
発電機 Generator	横置円筒回転界磁形 Horizontal, cylindrical, revolving field type	
発電機冷却方式 Cooling method	水素冷却方式 Hydrogen cooling method	空気冷却方式 Air cooling method
主変圧器 Main transformer	59,000 kVA	59,000 kVA
年間発生電力量 Annual generated elec. power	9億2千万 kWh 920,000 MWh	



塔
ssion towers

冷却水槽
Cooling water reservoir

圖 13 八丁原發電所基本資料

發動機組的主要流程（以 2 號機為例）地熱井抽出的二相流體，即氣相的水蒸氣和液相的熱水，進入氣水分離器（Steam Separator），將水蒸氣和熱水分離，水蒸氣經由第 1 液蒸氣管路進入汽輪機帶動發動機，此部分屬高壓水蒸氣其設計壓力為 6.0Kg/cm 平方（即為 6 個大氣壓），設計溫度為 164.2°C，設計流量為 320 噸/小時，底部的熱水則進入降壓的閃蒸器(Flasher)，使熱水再蒸發形成較低壓力的水蒸氣和熱水，水蒸氣經由第 2 液蒸氣管路進入汽輪機帶動發電機，此部分屬低壓水蒸氣其設計壓力為 0.3Kg/cm²，設計溫度為 106.6°C，設計流量為 110 噸/小時。底部的熱水再注入地熱井。

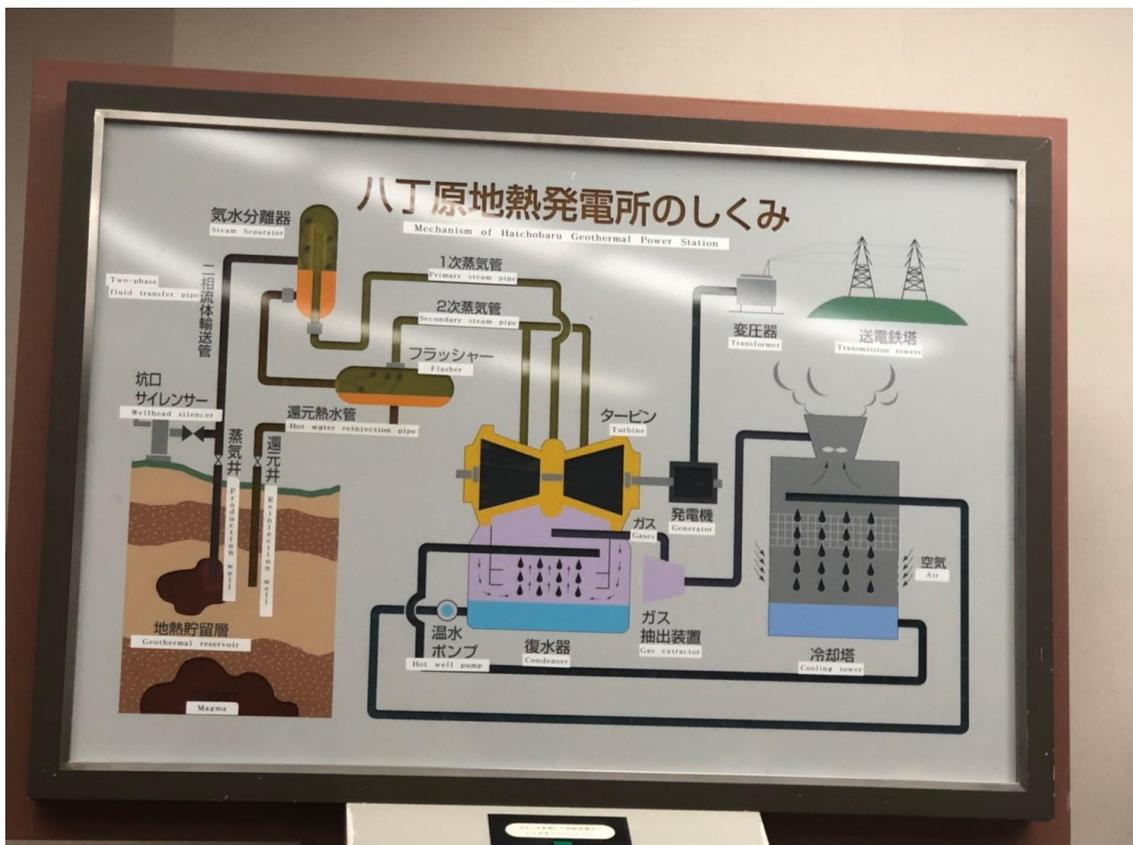


圖 14 八丁原發電所發電原理及流程。

發電機組主要設備（以 2 號機為例）

氣水分離器（Steam Separator）直立式共有 2 個，其分離蒸氣設計量為 197 噸/小時，分離熱水設計為 591 噸/小時。



圖 15 八丁原汽水分離器

水平式 1 個，其分離蒸氣設計量為 132 噸/小時，分離熱水設計量為 1183 噸/小時。



圖 16 八丁原汽水分離器

汽輪機 (Steam Turbine)

單殼·雙流·反動式設計，軸長 7m 軸直徑 0.96m，左右對稱的 2 組葉法。每組葉法有 5 段不同長度的葉法，第 1 段為 162 枚，第 2 段為 168 枚，第 3 段為 154 枚，第 4 段為 120 枚，第 5 段為 120 枚，第 5 段葉法最長為 0.64m。



圖 17 八丁原汽輪機

發電機

容量為 62000KVA, 電壓為 11000V, 水平氣冷式。



圖 18 八丁原汽輪發電機組

冷凝器

直接噴灑型，真空度為 686mmHg(91.5Kpa)，設有不凝結氣體抽氣裝置其設計流量為 3460Kg/小時，使用 Ejector 和鼓風機抽氣。冷卻水塔共有 5 個模組，容量為 15000m³/小時。



圖 19 八丁原冷卻水塔及冷凝器

2.4 小浜(Obama)溫泉發電所

小浜溫泉發電所係使用當地的溫泉水發電，屬區域小型綠電發電廠，2015 年開始賣電。參訪時，進入發電機組溫泉水的溫度為 104°C，冷卻用海水溫度為 25°C，發電量為 80Kw（設計額定發電量為 135Kw），預估每年可發 79 萬度電，營收為 3 仟 1 佰 6 拾萬日元。



圖 20 小浜溫泉發電所日看板數據

發電機組流程概述

小浜溫泉電廠係採用有機朗肯循環（ORC, Organic Rankine Cycle）的發電技術，使用低沸點溫度有機工作流體的熱機循環系統，其主要流程為將液態有機工作流體泵經熱交換器，吸熱轉化成氣態蒸汽，去轉動汽輪機帶動同軸之發電機發電，後將做完工較低溫的氣態工作流體經由熱交換器冷卻成液態，形成一個封閉的熱機循環，持續發電。

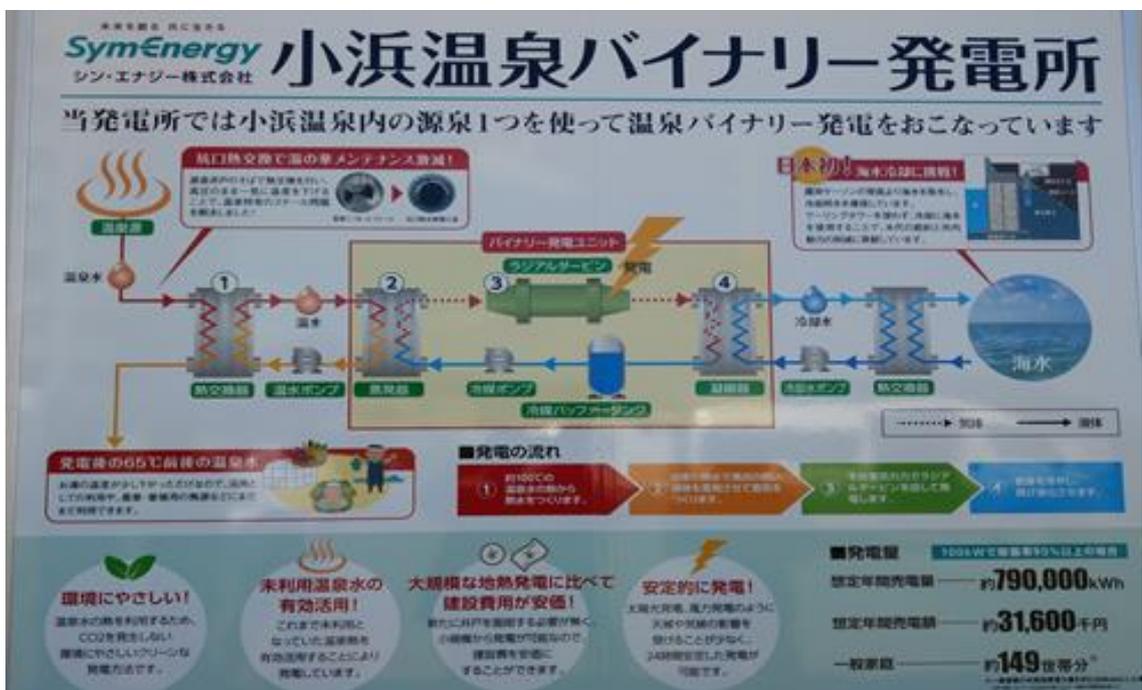


圖 21 小浜溫泉發電所發電流程

發電機組主要設備概要

(1) 整合式汽輪發電機

額定發電量 135Kw，輸出電壓 375VAC，最大連續電流 220A，三相二極，設計壓力 2.0Mpa(290psi)，設計溫度 0-149°C，額定轉速 24,500RPM，總重 408Kg。



圖 22 小浜温泉發電所整合式汽輪發電機

(2) 有機工作流體桶槽

容量 421 公升，最高使用壓力 1.98MpaG，常用壓力 0.13MpaG，最高使用溫度 149°C，最低使用溫度 -10°C。



圖 23 小浜温泉發電所有機工作流體桶槽

(3) 4 組板式熱交換器

第 1 組：抽取熱溫泉水與封閉式的冷水進行熱交換，再將溫度下降的溫泉水排入大海，不會影響當地的環境，因為當地有海底溫泉。

第 2 組：將上組加熱後的水和封閉式低沸點液態的有機工作流體進行熱交換，使後者轉化成蒸氣進入汽輪發電機發電。

第 3 組：將上組做完功後降溫的氣態有機工作流體與封閉式的冷水進行熱交換，使有機工作流體由氣態冷卻成液態。

第 4 組：將上組溫升的水和抽取的海水進行熱交換，使前者冷卻降溫，後者溫度略升後再排入大海，對環境影響極微。

上述 4 組熱交換器均為板狀型式，以第 1 組為例由 60 片鈦金屬熱交換板堆疊鎖緊而成，溫泉水流經的面較易產生結垢，須經常清洗，水流經的那面則不易產生結垢，祇需於大修時清洗即可。第 4 組海水流經的面，易為海生物附著，也須經常清洗，其他為封閉性流體流經的面，均祇需於大修時清洗即可。



圖 24 小浜溫泉發電所鈦合金熱交換板組



圖 25 小浜温泉發電所鈦合金熱交換板結垢拆下清洗

三、心得及建議

鑽井作業中，泥漿性質的良窳，是工程成敗的關鍵。尤其地熱探井，其目標多選擇於裂隙發達、流體連通的地層，或鑽穿斷層。這樣的地層條件，常在鑽進過程中，造成漏泥、泥漿污損…等困擾，面對這樣的地層特性，比重比水輕的「充氣泥漿」提供了一個經濟可行的方案。充氣泥漿對鑽井工程的好處如下：

1. 提高鑽進率(地層將有如爆米花般的鑽爆開來)
2. 延長鑽頭壽命，可減少起下鑽時間
3. 控制漏泥程度，降低鑽井困擾
4. 可採收乾淨無污染之岩心
5. 正確得到低壓地層之測試資料
6. 降低泥漿侵污地層，維持生產層滲透率。
7. 降低鑽井成本

雖然「充氣泥漿」對於鑽井工程有諸多的好處，但在使用中仍有許多的限制及缺點：

1. 為避免沖蝕井孔,鑽入生產層或低壓層前,必須下完中間套管,始可考慮使用。
2. 充氣泥漿鑽井.僅適合於硬地層,及出水量少的地層,崩塌嚴重之地區無法使用。
3. 鑽串沖蝕及腐蝕問題極為嚴重,須注入藥劑保護鑽串。
4. 使用中產生巨大噪音,需使用有效的隔音裝置。

經過本次參訪，瞭解充氣泥漿的設備需求，及井場佈置，回到鑽探處盤點本處的設備如下表。

設備名稱	盤點結果	備註
空氣壓縮機	無	可採購
空氣昇壓機	無	可採購
旋轉鑽進器(Rotating head)	有	2018 年購入

鑽串浮閥(float valve)	有	2018 年可新購
噴射接頭(Jet sub)	有	
三通接頭(Banjo box)	無	可採購
空氣泥漿分離器(separator)	無	可自製
藥劑擠注泵	無	可採購
空氣計量設備	無	可採購
其他或高壓空氣管線	無	可採購

表 2 鑽探處內充氣泥漿設備點檢表

由於傳統地熱鑽井，深度約在 1500 公尺至 2500 公尺內，因此空壓機並不要求特別強力，且由於科技及材質的進步，空壓機的體積較 20 年前縮小許多，在這樣的背景下，提供了在台灣使用「充氣泥漿」鑽井的良好條件。

目前鑽探處尚缺充氣泥漿的主要設備，人員也無使用充氣泥漿鑽井的經驗，因此若要引進充氣泥漿鑽井技術，最可靠快速的方式，應以「充氣泥漿鑽井服務」的方式，於 1~2 口鑽井使用。並在使用中評估該技術在台灣使用的狀況，並於服務公司執行中共同學習此技術後，採購合適的設備，來發展本公司的充氣泥漿技術。

在這次的參訪中與(DJK)公司和 SHINCOH 公司的結束會議裡，商談到無論是設備的採購建置或工程服務，兩家公司都對本公司充氣泥漿的技術發展，強烈的表達參予的熱情。SHINCOH 公司取締役副社長 松野尾淳先生，在會中主動提起要安排近期來台商務訪談的意願，這樣的結果，可以加快引進「充氣泥漿」鑽井技術的期程。

期望經過本次日本地熱鑽井現場之實物參訪，透過本報告的描述介紹後，能使有關同仁對充氣泥漿鑽井技術，有巨觀的認識，做為日後引進該技術的評估參考。

如果鑽鑿的地熱井，蒸氣熱水產能不足，或因場地限制。小浜溫泉發電所的商轉經驗，是值得借鏡的模式，而本次訪談之(DJK)公司，是建置小浜溫泉發電所，所有的設備的供應來源，若要開發這類型的發電場，應可多向該公司請教。