

出國報告(出國類別：實習)

## 日本地熱發電及儲能應用實習

服務機關：台灣電力公司再生能源處

姓名職稱：劉家成.規劃專員

派赴國家：日本

出國期間：105.10.3~105.10.15

報告日期：105.12.22

# 目錄

一、目的	3
二、行程與工作概要	5
三、研習內容及過程	6
3.1 山川地熱發電所簡介 (九州電力)	6
3.2 八丁原地熱發電所簡介 (九州電力)	10
3.3 九州電力公司總部	14
3.4 鬼首地熱發電所簡介 (J-Power)	18
3.5 住友電工橫濱工廠	22
3.6 北海道南早來變電所儲能示範項目 (住友電工.北海道電力)...	25
3.7 森地熱發電所 (北海道電力)	27
四、心得及建議	28
附錄	29

## 一、 目的

自石油危機之後，各國深曉能源自主性的重要，紛紛開始尋求自產能源，尤其如日本、台灣這種傳統能源資源不豐的國家，更積極投入再生能源開發的行列。本公司早期配合政策發展開發風電及光電，除了技術穩定成熟外，技術及投資門檻較低也為其優勢。相較地熱發電由於探勘技術及投資資金門檻較高，早期由國家主導開發，過去本公司在宜蘭清水營運之清水地熱發電廠係由國科會出資，中油公司及工研院鑽井，本公司負責建廠及電廠營運，經過約 10 年的營運，最後因為產能不足不敷經濟效益而關閉，歸究其原因主要為最初規劃時尚無相關經驗，發電方式選擇及地熱田管理等關鍵因素規劃錯誤使電廠走向結束的命運。為建立本公司自主開發地熱發電技術，有必要赴開發經驗豐富之地熱大國取經，學習相關知識與經驗。

另由於再生能源屬間歇性出力，其發電占比逐漸增加後，將造成電力系統之不穩定，特別在獨立系統或小型電網如本國各離島區域此問題更為顯著，故勢必須相關穩定電網之設備如儲能設備來穩定電網。本公司近來亦對儲能系統規劃啟動學習與了解，以做為未來離島小電力系統規劃和改善參考，並為大系統整合調度預做準備。

實施要領及要求成果：選派相關研究域同仁赴國外參加國際型會議與展覽，並前往具有專業技術、前瞻性產品之公司機構研習。研習之內容以符合本公司未來規畫項目為原則，以達成技術引進、學習新知及擴展研發智能之目標。本年度研究計畫目標，本次派員出國之成果至少包括：

- (1) 赴九州電力株式會社之山川地熱發電所及八丁原地熱發電所參訪，研習觀摩地熱發電廠之規劃、設計及運轉方式等技術，可做為後續規劃地熱發廠之參考基礎。
- (2) 赴電源開發株式會社(J-Power)之鬼首熱發電所參訪，研習觀摩地熱發電廠之規劃、設計及運轉方式等技術，可做為後續規劃地熱發廠之參考基礎。
- (3) 赴住友電氣工業株式會社之橫濱製作所及全釩液流電池(Vanadium

Redox Flow Battery, VRFB)實驗室，研習觀摩電網級全釩液流電池於再生能源貯電應用之相關技術，並對與併網管理之演算、控制及相關之電能轉換技術進行資料收集，以作為後續規劃改善離島電力系統整體架構之參考基礎。

- (4) 赴北海道電力株式會社之森地熱發電所參訪，研習觀摩地熱發電廠之規劃、設計及運轉方式等技術，可做為後續規劃地熱發廠之參考基礎。

## 二、 行程與工作概要

日期	研習機構	研習內容	接待人員
105.10.3	-	往程	
105.10.4	-	前往鹿兒島	
105.10.5	九州電力株式會社山川地熱發電所	赴九州電力株式會社山川地熱發電所參訪研習地熱發電原理及電廠設施	月本清隆 副經理 大保 徹 工程師 渡邊正喜 所長
105.10.6	九州電力株式會社八丁原地熱發電所	赴九州電力株式會社八丁原地熱發電所參訪研習地熱發電原理及電廠設施	月本清隆 副經理 大保 徹 工程師 川副聖規 副所長
105.10.7	九州電力株式會社總部	赴九州電力株式會社總部交流經驗及技術分享	月本清隆 副經理 大保 徹 工程師
105.10.8~10	-	日本休假日	
105.10.11	電源開發株式會社(J-Power)鬼首發電所	赴電源開發株式會社鬼首地熱發電所參訪研習地熱發電原理及電廠設施	加藤伸一 經理 洪淑貞 專員
105.10.12	住友電氣工業株式會社橫濱製作所	赴住友電氣工業株式會社橫濱製作所研習全鈳氧化還原液流電池儲能與電能管理技術	孟科 副經理 志賀信夫 技術長
105.10.13	住友電氣工業株式會社北海道儲能示範廠址	赴住友電氣工業株式會社北海道儲能示範廠址參訪研習	孟科 副經理 鹿儀彭久 副經理
105.10.14	北海道電力株式會社森地熱發電廠	赴住北海道電力株式會社森地熱發電廠參訪研習	孟科 副經理 平床光明 副所長
105.10.16	-	返程(10/15 公畢後自費參觀)	

## 三、 研習內容及過程

### 3.1 山川地熱發電所簡介 (九州電力)

山川地熱發電所位於鹿兒島縣指宿市薩摩半島之東南端，電廠廠址海拔高度約 43 公尺，鄰近山川港。其地熱資源來自地底岩漿庫，由鄰近電廠之地形地貌可以看出此區域地熱資源豐富，其西側有一海拔高度 924 公尺之活火山-開聞岳，西北側為直徑約 4 公里大之火山口湖-池田湖。

山川地熱發電所之開發始於西元 1977 年，由日本石油資源開發株式會社 (JAPEX) 啟動地熱資源探勘，1988 年九州電力株式會社與 JAPEX 合作，隨後於 1993 年開工，1995 年開始營運，是九州電力株式第三座地熱發電廠。

山川地熱發電所裝置容量為 30MW，僅一組蒸氣發電機，共有 12 口深度在 1,800~2,100 公尺間之生產井及 12 口深度在 1,000~2,500 公尺間之回注井(日本稱還原井)。發電方式採單閃發式系統(Single Flash System)，僅使用蒸氣發電，從生產井產出的二相流體，包含熱水與蒸氣，經過管線傳輸，先至汽水分離器(steam separator)將熱水與蒸氣分離，熱水傳輸至熱水槽，最後經由回注井注回儲集層。蒸氣傳輸至氣渦輪機並推動葉片旋轉帶動發電機發電，電力經由場內變壓再進入輸電系統。發電後蒸氣進入冷凝器(日本稱復水器)先冷凝成較高溫的液態水，在經過循環水泵抽至冷卻塔，經過空氣之冷卻形成低溫水，部分低溫水回輸至冷凝器使蒸氣降溫，令多餘的水則經過處理後排出至排水系統，其系統工作流程如圖 1。





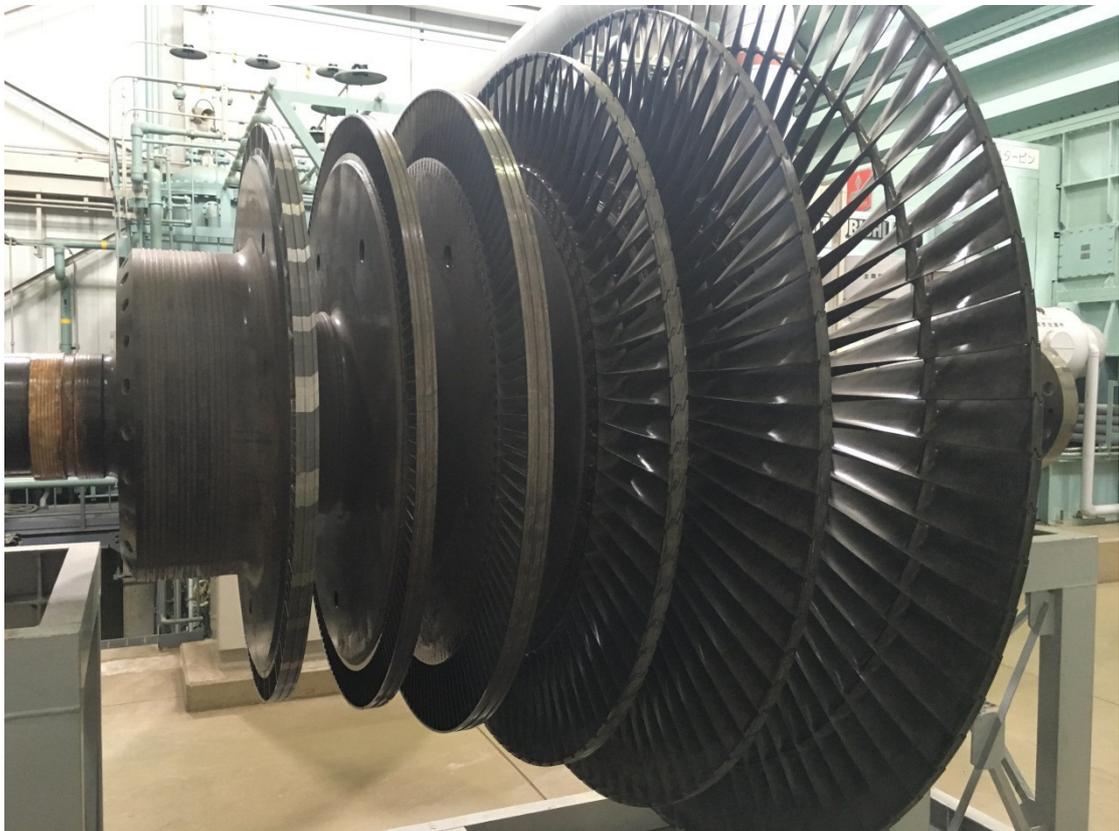
照片 1、山川地熱発電所展示館



照片 2、山川地熱発電所演藝廳



照片 3、山川地熱發電所發電廠房



照片 4、山川地熱發電所備用汽渦輪



照片 5、山川地熱發電所生產井基地

### 3.2 八丁原地熱發電所簡介 (九州電力)

八丁原地熱發電所位於九州大分縣玖珠郡九重町阿蘇九重(Aso Kuju)國家公園境內。其地熱資源來自火山地底岩漿庫，鄰近區域可見許多火山活動與構造。

八丁原地熱發電所之開發始於西元 1949 年，在大分縣進行地熱資源調查，1964 年在大竹與八丁原間鑽鑿兩口試驗井，隨後 1975 年一號機開工，並於兩年後商轉，後續新增二號機於 1990 年商轉及雙循環系統於 2006 年商轉。

八丁原地熱發電所是世界首創雙閃發式系統(Double Flash System)的電廠，運作流程為自生產井產出的二相流體(熱水與蒸氣)，經過管線傳輸，先至汽水分離器將熱水與蒸氣分離，自生產井產出之蒸氣稱為初級蒸氣(primary steam)，先輸送至氣渦輪機做功。熱水部分會輸送至閃發器(flasher)降壓後會產生二次蒸氣(secondary steam)，再送至氣渦輪機做功，可以增加額外 15%~20%的出力，剩餘的熱水由回注井注回儲集層，發電後蒸氣冷凝循環過程大致如同前述山川地熱電

廠，其系統工作流程如圖 2。

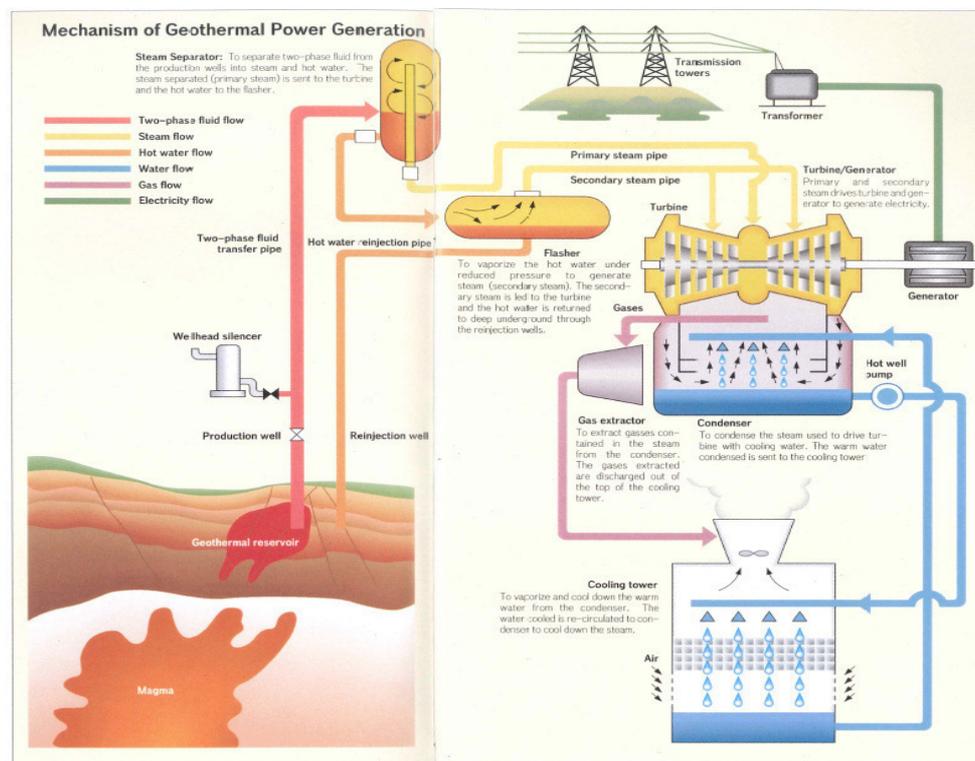


圖 2、八丁原地熱發電所工作原理

八丁原地熱發電所有兩組各 55MW 之發電機組，目前共有 15 口生產井，分別 8 口提供 1 號機及 7 口提供 2 號機，回注井共 14 口(其中 1 口目前尚在施工)，再加上 2006 年商轉之雙循環地熱系統 2MW，共 112MW 之裝置容量為目前日本最大的地熱電廠。

### 10/6 參訪記事

早晨搭乘 JR 九州至大分縣玖珠町豐後森車站，隨後搭乘計程車至山中之電廠，車程約 40 分鐘。至電廠由副所長接待先至接待室介紹八丁原電廠現況，隨後前往廠區介紹發電相關設備，包含汽水分離器(照片 6)、閃發器(照片 7)、冷凝器、冷卻塔(照片 8)及 13 號生產井基地(照片 9)等。其中 13 號生產井基地相對處於高位，可以俯視整座廠區(照片 10)，鄰近景觀相當優美，廣闊翠綠的山嵐令人心曠神怡。本日參訪行程因地點深入山區，交通往來時間花費較長，故在廠區停留時間不多，身處日本最大之地熱電廠應有許多值得學習之處，為此深感可惜，若來日還有機會再來拜訪，定當安排多些時日學習。



照片 6、八丁原地熱発電所汽水分離器



照片 7、八丁原地熱発電所閃發器



照片 8、八丁原地熱發電所冷卻塔



照片 9、八丁原地熱發電所 13 號生產井基地



照片 10、八丁原地熱發電所

### 3.3 九州電力公司總部

#### 10/7 參訪記事

本日至九州電力株式會社總部交流，由國際事業處海外事業部月本清隆副經理接待，有幸先會面海外事業部部長三原道生先生(照片 11)，隨後由工程組工程師大保徹先生簡介九州電力地熱發展之現況。日本最早地熱發電可追溯到 1925 年於九州大分縣別府市太刀川平治博士成功產出 1.12 瓦，九州電力地熱開發始於 1949 年，在大分縣進行地熱資源調查，1951 年於別府市進行 30 瓦的試驗發電。1967 年大岳地熱發電廠商轉，為九州電力第一座地熱發電廠(日本第一座地熱發電廠為東北能源株式會社 1966 年商轉之松川電廠)，隨後陸續開發八丁原、山川、大霧及瀧上等地熱發電廠。



照片 11、拜會九州電力海外事業部部長三原道生先生

截至 2013 年日本地熱總裝置容量為 51.5 萬瓩，其中九州電力為 21.2 萬瓩，占比約 41%，其地熱電廠分佈如圖 3。然九州電力在地熱發電管理技術的重視並持續精進，使其地熱發電量近年來已超越日本其他地熱電廠發電量之總和(如圖 4)。而地熱發電管理技術可分為兩大類，分別為地熱田(地下資源)管理及發電設備管理。地熱田管理從開發前的調查開始，由大尺度調查(25-400km<sup>2</sup>)包含既有資料審視、遙測地質構造、地物測勘等，進一步到小尺度調查(3-5km<sup>2</sup>) 包含細部地質、地物調查、井位選擇、探勘井鑽鑿及分析、環境調查等，最後進入生產井、回注井鑽鑿及建廠階段。在探勘井鑽掘後須進行井測及產能測試，包含井下溫度、壓力、蒸氣含量及熱焓等性質，依據產能測試結果建立地熱構造模式(或稱地熱概念模式)，並進行數值模擬，對未來能量產量進行預估，以建立最佳化的建廠設計。其中電廠裝置容量設計的關鍵因素在於對地熱資源評估之準確性及使用量，如圖 5 所示紅線表示地熱使用量大於地熱資源；黑線表示使用量(小於)等於地熱資源；藍線表示使用量小於地熱資源，唯有使用量小於地熱資源才能使地熱田永續經營。若使用量大於地熱資源，隨使用增加，地熱資源會逐漸下降，即使新增地熱生產井也無法保持地熱資源的產量。對於地熱田管理需進行循環式管理，從電廠營運後須監測地熱井狀況並進行分析，一段時間後更新地熱構造模式，再次進行數值模擬，調整最佳化地熱出力，若有必要時再鑽新井，按此流程(如圖 6)

循環檢視，以確保地熱資源永續經營。

## Current state of geothermal power development

➤ Output of geothermal power PSs permitted  
515,340kW for 17 sites (as of Mar. 2013)

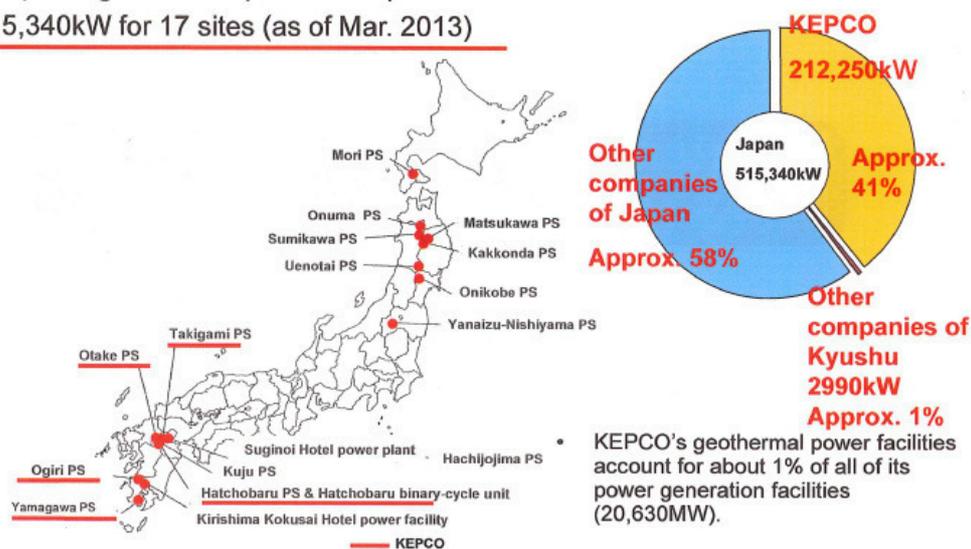


圖 3、日本地熱發電廠分布

## Japan's current geothermal power generation

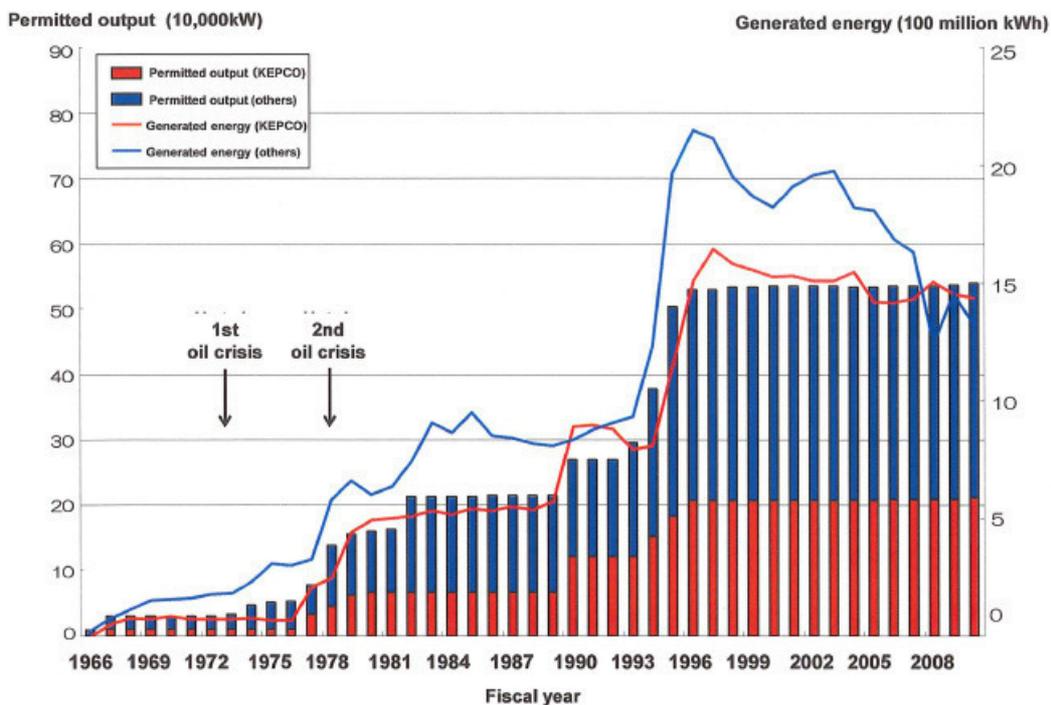
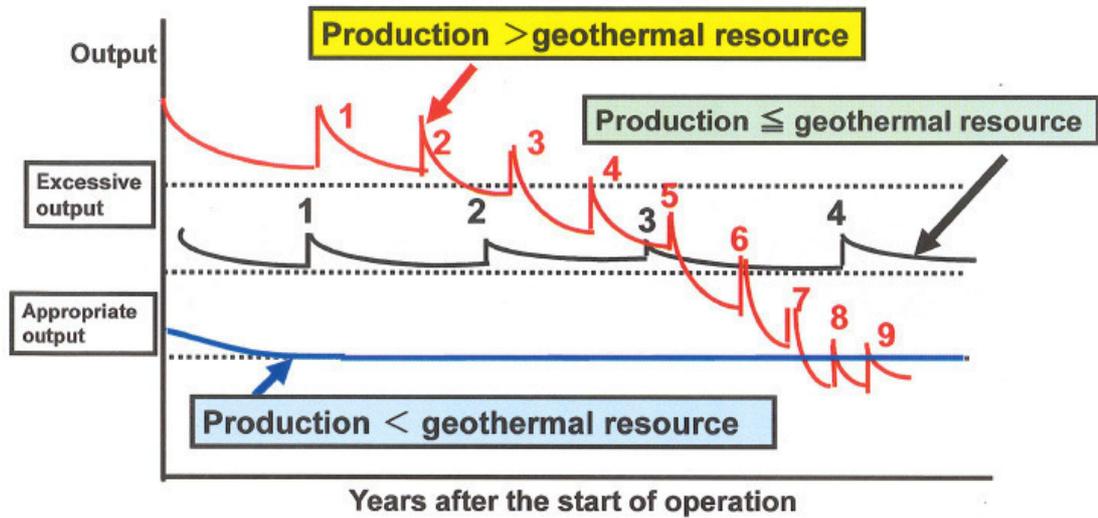


圖 4、九州電力與其他電力公司地熱營運情形

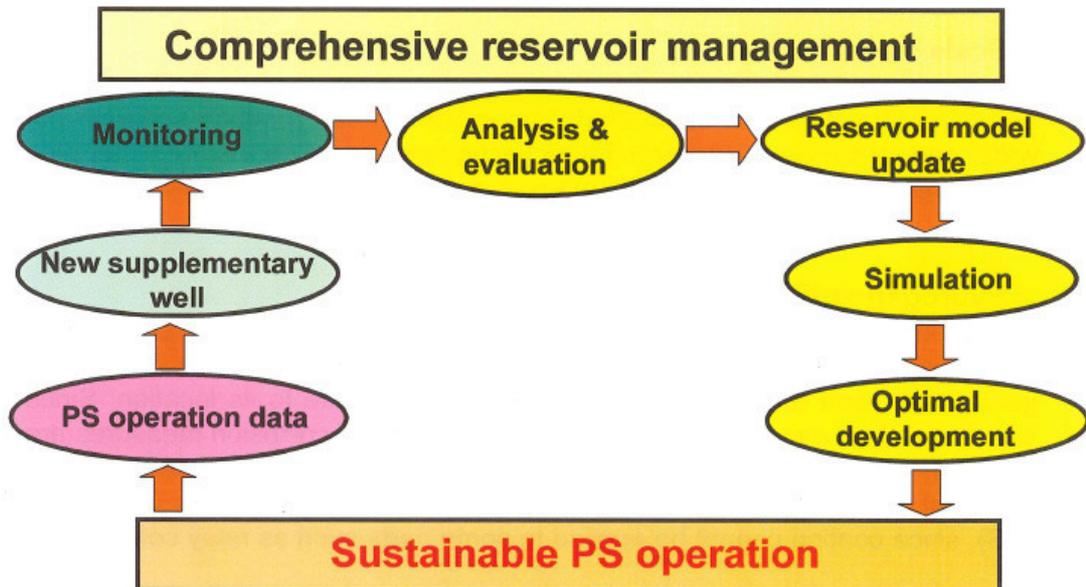
## Appropriate development scale and electrical output



If the development scale is too great for the geothermal resource, the output cannot be maintained even if supplementary wells are added.

圖 5、地熱發電產量與地熱資源

## Comprehensive reservoir management



The reservoir is managed by analyzing the underground and aboveground data.

圖 6、地熱田有效管理技術流程

在發電設備管理方面，面臨兩個主要挑戰，分別為結垢問題及硫化氫氣體腐蝕問題。地熱流體中通常含有許多礦物質，例如矽酸鹽、碳酸鹽、鈣離子、鈉離子、硫離子等，當地熱流體在管線中輸送時，原先溶解的礦物質會因為溫度及壓力條件改變而逐漸解析並沉澱下來，在管壁上形成結垢，一旦結垢增厚會使管徑逐漸縮小，使地熱產能下降。通常在去除結垢有幾種手段，包含物理刮除、高壓水衝擊、加入結垢抑制劑等；另在地熱流體中也常存在著不凝結氣體(non-condensing gas)如硫化氫氣體( $H_2S$ )，這種氣體會使電氣設備腐蝕，故有效監控及排除硫化氫氣體也是電廠重要的工作之一。

### 3.4 鬼首地熱發電所簡介 (J-Power)

鬼首地熱發電所位於宮崎縣大崎市鳴子溫泉北方約 20 公里，電廠廠址海拔高度約 530 公尺，鄰近栗駒國家公園。該發電所於西元 1962 年在開始進行地熱資源調查，1973 年通過電源開發審議會認可，並於 1975 年商轉，初始出力為 9MW，隔年增加至 12.5MW。

鬼首地熱發電所為日本第四座商轉之地熱電廠(繼松川、大岳、大沼發電所之後)，採單閃發式系統，目前共 4 口生產井運作，深度約在 900~1,400 公尺，其平均之汽水比例約 1:5；共 8 口回注井，深度約在 300~800 公尺。僅一組 15MW 之蒸氣發電機，整體工作原理與山川地熱發電所相似。

#### 10/11 參訪記事

早晨搭乘 JR 東日本(陸羽東線)至宮城縣大崎市鳴子溫泉車站，隨後由電廠人員駕車接待至電廠，先至簡報室簡介電廠概要。本電廠為 J-Power 第一座地熱電廠，為一試驗型電廠，故其電能只以約躉購費率的 1/4 販售給東北電力株式會社。在累積了一段時間的經驗後，此電廠現正準備更新並擴大容量，將現在 15MW 提升至 23MW，預計於 2023 年商轉，屆時即可用躉購費率售電。

此電廠於 2010 年 10 月 17 日曾發生噴氣事故，事實上於 10 月 8 日時 128 號生產井(如圖 7)附近噴出含有泥狀物的蒸氣，並且範圍慢慢擴大。隨後為了防

止情況加劇，在蒸氣噴出口投放鵝卵石，另為了抑制噴氣活動，在井上安裝了水管進行加壓注水。於 10 月 17 日下午三點半左右，約一人高度之蒸氣突然噴出，並挾帶著岩塊，導致工作人員 1 死 1 重傷。J-Power 於事後調查其事件發生原因，推測噴氣約從地下 40 公尺的地層中噴出，在該地層中積存了高壓熱水及蒸氣，而蒸氣隨裂隙散逸噴出至地表，使地層中熱水壓力下降進而解壓蒸發，隨時間累積了巨大的能量，最終突破岩盤噴發導致悲劇。此次事故後，J-Power 安裝地震儀及傾斜儀等監測系統，並制定監測噴氣活動之防治對策，也在辦公室中放置本次事件之看板(照片 12)，以時時警惕。

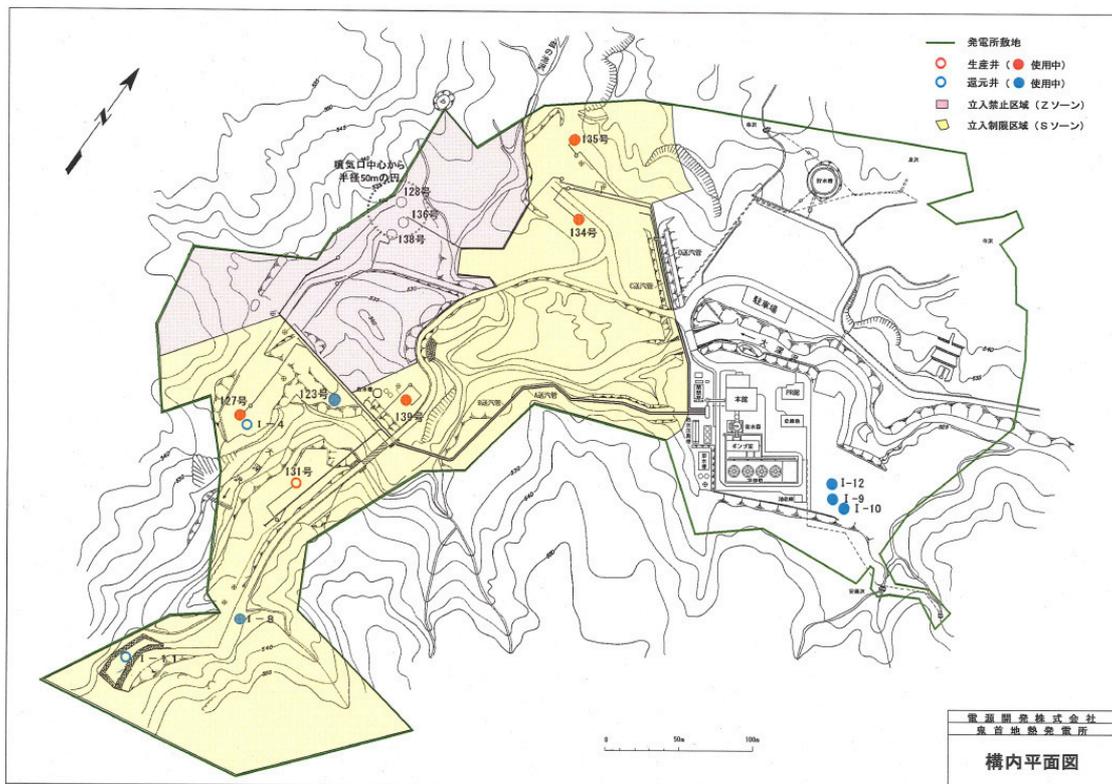


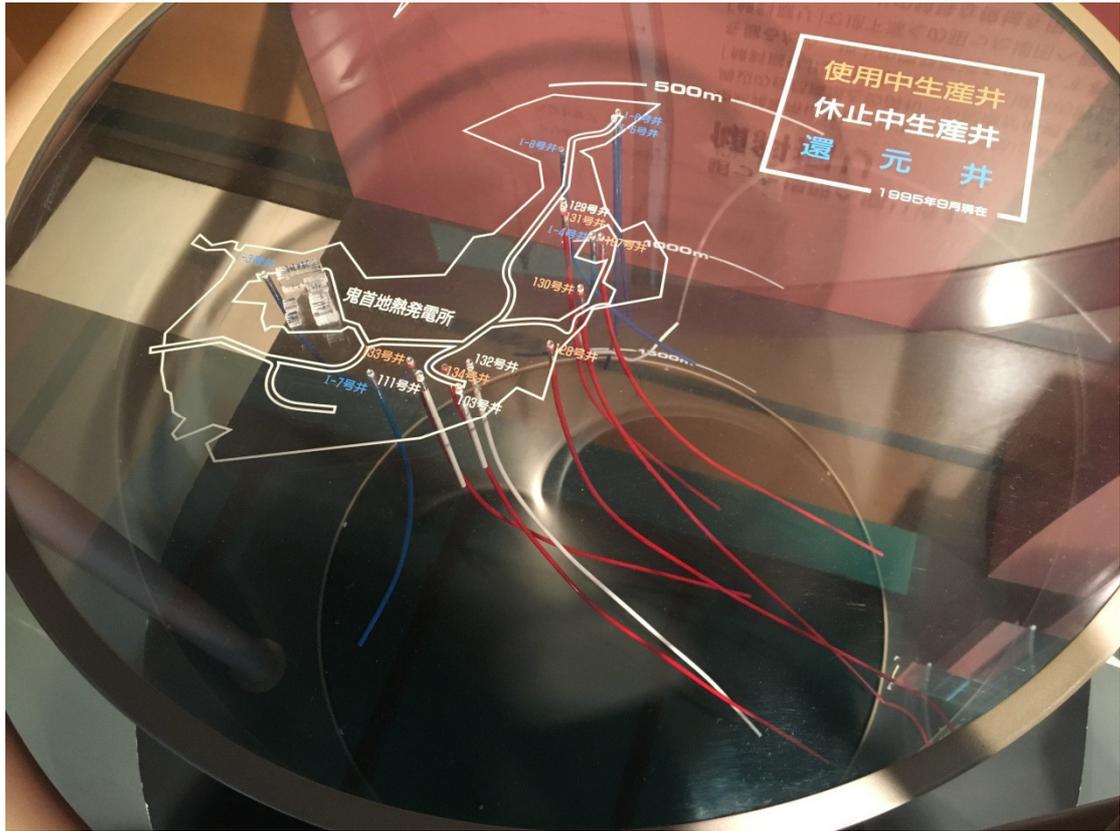
圖 7、鬼首地熱發電所廠區配置圖



照片 12、鬼首地熱發電所噴汽事故看板

J-Power 與三菱材料公司及三菱瓦斯化學公司合作在秋田縣芥末澤正進行新的地熱電廠開發，預計鑽鑿 6~7 口生產井及 5~6 口回注井，發電廠規模約 42MW，預計於 2019 年完工商轉。

聽取簡報完畢後，至電廠附屬之教育館參觀，館中有許多地熱發電相關的展示內容，其中有一個廠區井位模型(照片 13)最讓我印象深刻，大部分的井都不是垂直向下，而是採用斜井鑽井技術鑽鑿。隨後參訪電廠各項設施，包含井場區(照片 14)、發電廠房、冷卻塔等，在井場區可以看見 128 號井發生事故後的模樣(照片 15)，可以想像事故發生當時的嚴重性。



照片 13、鬼首地熱發電所展示館



照片 14、鬼首地熱發電所井場區



照片 15、鬼首地熱發電所噴汽事故現場

### 3.5 住友電工橫濱工廠

#### 10/12 參訪記事

至住友電工橫濱工廠參訪，該工廠主要產品為光纖電纜，自 2012 年起在工廠內設置聚光型太陽光電系統(Concentrator Photovoltaic, CPV)搭配汽電共生及鈔電池儲能系統，其光電模組為 7.5kW 共 15 組(照片 16)，裝置容量為 100kW；汽電共生裝置容量為 3.6MW；單組鈔電池含 1 個電堆組及 2 個電解液槽(照片 17)容量為 125kW，最大放電時間為 5 小時，本示範系統共 8 組，最大出力為 1MW，容量共 5MWh。



照片 16、住友電工橫濱工廠聚光型太陽光電



照片 17、住友電工橫濱工廠儲能系統

在該廠內設有能源監控中心(Factory Energy Management System Center, FEMS Center) (照片 18)，監控廠內各種電力來源，包含柴油機組、光電系統、儲能系統及市電，並擁有多種調控模式，如成本最佳化、輸出平滑化、孤島模式等，可即時監控市電端的電壓及頻率、再生能源出力再搭配儲能系統來進行電力輸出平滑化，使整體電力系統穩定運行。

除了上述儲能系統外，該公司亦開發新型態貨櫃型的電池，每組貨櫃電池(12.2m×2.4m×2.9m)容量為 125kW，最大放電時間為 4 小時。在參訪期間該公司亦在廠內進行裝設(照片 19)，此種電池不僅輸送方便及裝置簡單，在空間使用上也有優點。



照片 18、住友電工橫濱工廠 FEMS Center



照片 19、住友電工橫濱工廠貨櫃型儲能系統

### 3.6 北海道南早來變電所儲能示範項目 (住友電工·北海道電力)

#### 10/13 參訪記事

至住友電工與北海道電力合作開發之儲能示範廠址(照片 20)參訪，該示範廠位於北海道苫小牧市南早來變電所旁，容量為 15MW，最大放電時間為 4 小時。於 2013 年動工，並於 2015 年完工，預計試驗時間為 2016 年-2018 年。整個廠房共兩層樓(照片 21)，一樓擺放電解液槽，二樓設置電堆，因電解液槽相當重，固本廠房地基較一般建築物更為深。其設立目的為因應北海道地區再生能源發電設備的快速發展，以大型儲能設施來進行電網各項調控工作，此示範項目為政府出資補助。另外政府亦補助東芝與東北電力合作於宮城縣仙台變電站開發之鋰電池示範項目(40MW-20MWh)，有讓兩開發團隊較勁的意味。

值得注意的是北海道地區電力平均負載約 3,800MW，而其再生能源裝置容量約 1,300MW，已占約 1/3，其電力調度及電網加強相關設施之運作，應值得本公司學習。



照片 20、南早來變電所儲能示範廠



照片 21、南早來變電所儲能示範廠模型

### 3.7 森地熱發電所 (北海道電力)

#### 10/14 參訪記事

至北海道電力森地熱發電所參訪，該發電所為日本第 8 座商轉之地熱電廠，亦為北海道地區唯一的地熱電廠，採雙閃發式系統，目前共 10 口生產井運作，深度約在 650~3,300 公尺；共 10 口回注井，深度約在 500~2400 公尺。僅一組 25MW 之蒸氣發電機，雙閃發式系統，整體工作原理與八丁原地熱發電所相似。最初成立時額定輸出為 50MW，但因近年來產能減少，故將額定輸出調降至 25MW。

該所副廠長先在簡報室簡介該廠運作後，隨後領我們參觀發電廠相關設施，其中比較有趣的是其冷卻塔的部分，他所選用的通風板材料與其他電廠不同，選用木材(照片 22)而不用金屬，目的是為了避免鏽蝕問題及便於更換。另外因北海道所在緯度較高，天氣較寒冷，冬季也有積雪問題，故在冷卻塔通風版外圍加裝熱水管線(照片 23)，使冷卻通道不致因積雪阻塞。



照片 22.23、森地熱發電所冷卻塔

## 四、心得及建議

本次前往日本參訪，與九州電力、J-Power、住友電工及北海道電力等公司，主要針對地熱發電廠規畫及相關設施進行了解，在規畫部分，因各地熱場址特性不同，應先充分了解當地的地理及地質環境，並做詳盡的地球物理探勘，及適當數量的試驗井，因地熱電廠開發前期的投資風險較高，鑽鑿生產井及回注井的費用也相當昂貴，故為避免減少鑽鑿無效井的數量，上述的前置工作需徹底進行。

在營運過程中，對於地熱田管理也至關重要，為避免產能逐漸下降，地熱田需進行循環式管理，從電廠營運後須監測地熱井狀況並進行分析，一段時間後更新地熱構造模式，再次進行數值模擬，調整最佳化地熱出力，若有必要時再鑽新井，按此流程循環檢視，以確保地熱資源永續經營。在電廠經營部分，在營運初期會在廠內留有值班人力，待電廠營運穩定之後(約 2~3 年)，即可由附近較大的火力電廠進行遠端監控。

在儲能電池系統部分，為因應未來國內再生能源快速成長，勢必造成電力系統之不穩定，特別在獨立系統或小型電網如本國各離島區域，此問題更為顯著，故儲能設備就顯得重要，本公司應積極學習與了解儲能系統並啟動規畫。以目前儲能系統商品看來，無論在系統功能、施工建置及用地範圍等考量，貨櫃型的儲能設備似乎是不錯的選擇。

本公司已於 105 年規畫「小型再生能源發電計畫」，預計在金門、馬祖、蘭嶼、綠島等離島建置中型風機及小型光電系統，惟以目前的規畫，多數離島地區的再生能源可建置量已幾近飽和，未來若想再提升離島再生能源的占比，甚至是本島大型再生能源電廠，如本公司太陽光電三期計畫(100MW)、離岸風力發電第一期計畫(110MW)，儲能設備用以調控電網特性將不可或缺。