

出國報告（出國類別：考察）

地熱資源調查與評估

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：李錦發組長、陳棋炫技正、李柏村技士

派赴國家：日本

出國期間：106年10月29日~106年11月04日

報告日期：107年2月2日

目 錄

一、摘要.....	7
二、目的.....	8
三、過程.....	10
四、心得及建議	58

圖目錄

圖 1 各種發電方式每度發電所排出的二氧化碳量，可見地熱發電的二氧化碳排出量僅次於水力發電，為一乾淨的能源(資料來源：日本經產省)。.....8	8
圖 2 日本地區 2009 年地熱發電廠位置圖與地熱活動度指數分布圖(摘自日本地熱協會).....9	9
圖 3 杉乃井地熱發電廠，右方白色建築為汽機廠房以及控制室..... 11	11
圖 4 杉乃井地熱發電廠的溫泉井及氣水分離器..... 12	12
圖 5 杉乃井地熱發電廠的蒸氣渦輪機..... 12	12
圖 6 杉乃井地熱發電廠內的控制螢幕..... 13	13
圖 7 杉乃井飯店附近地區的地質圖(左)以及該地區的地熱地質模型(右)..... 14	14
圖 8 滝上地熱發電廠..... 15	15
圖 9 滝上地熱發電廠位置圖..... 16	16
圖 10 滝上地熱田的調查探井，白色點位為探勘井，黑色點位為生產井及回注井..... 17	17
圖 11 滝上地熱發電廠的汽機廠房，右方為冷卻塔..... 18	18
圖 12 滝上地熱發電廠的生產井及回注井井位配置..... 19	19
圖 13 滝上地熱發電廠的設備配置圖..... 19	19
圖 14 滝上雙循環系統發電廠..... 20	20
圖 15 滝上地熱發電廠地 2 號回注井基地，共有 10 口回注井..... 20	20
圖 16 八丁原地熱發電廠的生產井管線(左)以及冷卻塔(右)，根據圖中的汽車比較可以瞭解其規模之大..... 21	21
圖 17 八丁原地熱發電廠的生產井區..... 22	22
圖 18 八丁原地熱發電廠廠區內發電設備配置圖..... 22	22
圖 19 八丁原地熱發電廠展示館內展示的岩心..... 23	23
圖 20 現場展示鑽井用的鑽頭以及結垢的井管..... 23	23
圖 21 小松地獄地區地質略圖..... 25	25
圖 22 小松地獄..... 26	26
圖 23 小松地獄的溫泉水經廣用試紙檢測，pH 值介於 2~3 之間..... 26	26
圖 24 九重地熱發電廠..... 27	27
圖 25 九重地熱發電廠的管線配置十分緊湊..... 28	28
圖 26 九重地熱發電廠控制盤及各項儀表..... 28	28
圖 27 菅原地熱發電廠..... 29	29
圖 28 菅原循環地熱發電廠所使用的渦輪發電機..... 30	30
圖 29 工作流體儲槽(前)以及大型的氣冷式冷卻塔(後)..... 31	31
圖 30 調整回注尾水酸鹼度的硫酸儲槽..... 31	31
圖 31 設置於工作流體管線周圍的氣體偵測器..... 32	32
圖 32 由北向南觀看阿蘇破火山口，阿蘇五岳橫亘期間..... 33	33

圖 33 阿蘇破火山口高差約 300~500 公尺，為四期火山熔岩流覆蓋形成，十分宏偉	34
圖 34 阿蘇火山白內的民眾與活火山相依共存	34
圖 35 山川地熱發電廠位置圖	35
圖 36 山川地熱發電廠	36
圖 37 山川電廠周圍有一連串的火山口分布	36
圖 38 山川地熱發電廠的汽機廠房以及主蒸氣管線	37
圖 39 山川地熱發電廠的冷凝器，右方背景可見新生產井鑽鑿的井架	38
圖 40 山川地區地熱儲存層溫度剖面(南北方向)	39
圖 41 山川地熱發電廠展示館	40
圖 42 山川地熱電廠的汽機廠房內設置有說明牌供參訪人員了解發電設備結構	40
圖 43 現場展示的蒸氣渦輪葉片為維修更換之部品，可供參訪人員了解發電核心設備的材質與型態	41
圖 44 山川製鹽所舊址，當地居民利用地熱將海水加熱用以製鹽	42
圖 45 伏目地區的海岸主要為火山碎屑岩組成，地熱噴氣沿著發達的地表裂隙冒出	43
圖 46 地熱噴氣孔整齊排列於海灘，其分布方向與岩層裂隙走向一致	44
圖 47 位於指宿市南端的山川地區有一連串的火山白與火口湖，途中可見圓形的窪地與湖泊，最右側為池田湖	45
圖 48 池田湖為一火口湖，照片背景為有九州富士之稱的開聞岳，亦為一火山	45
圖 49 霧島地區為著名的溫泉區，境內溫泉旅社林立	46
圖 50 霧島國際大飯店地熱發電廠	47
圖 51 霧島國際大飯店地熱發電廠所使用的小型地熱發電機組	47
圖 52 大霧地熱發電廠位置圖	49
圖 53 大霧地熱發電廠	50
圖 54 大霧地區的地熱構造剖面圖(堀越等，2005)	50
圖 55 大霧地熱發電廠的管線規模相當大(照片右方的人員為比例尺)	51
圖 56 大霧地熱發電廠通往回注井區的尾水管線	51
圖 57 大霧地熱電廠位於國立公園內，管線及建築配色以白色與茶色為主	52
圖 58 大霧地熱發電廠最近剛完工的新井，井深約 3,000 公尺	52
圖 59 大霧地熱電廠現場展示深 1,160 公尺的地質鑽探岩心當中含有石英脈，為岩層判斷依據	53
圖 60 福岡大學	55
圖 61 研修人員李柏村技士說明大屯火山研究現況	55
圖 62 於福岡大學地球圈學科討論臺灣地質概況	56
圖 63 研修人員李錦發組長代表致贈並說明本所地質期刊內容	56

圖 64 田口教授於野外說明地熱地質概況57

圖 65 田口教授於滝上地熱發電廠協助研修人員詢問並說明地熱電廠開發細節
.....57

一、摘要

經濟部中央地質調查所在 106 年度臺日技術合作經費的支持下，選派區域地質組李錦發組長、陳棋炫技正以及李柏村技士等三人赴日本九州進行地熱資源探勘評估研修。研修地點為九州福岡大學理學部地球科學科，研修內容包含地熱地區地質概述、地熱資源探勘方法、地熱地區野外地質調查以及包含八丁原、滝上、大霧、山川等近十個地熱發電廠參訪。研修人員於福岡大學與該校理學部地球科學科田口幸洋教授研討，並介紹臺灣地區地熱資源調查與火山活動觀測現況。

日本政府於四十年前即開始全國性的地熱地質調查工作，迄今已完成三次全國性地熱資源總合調查，內容包括地表地質調查、地球物理以及地球化學分析等多項工作，並根據調查成果出版相關調查圖集以及說明書。日本九州地區具有豐富的地熱資源，設置多座地熱發電廠。針對各場址的地質條件，自探勘、開發、營運及後續維護都有不同的因應措施，值得我國借鏡。

地調所目前正進行地熱地質調查與資源評估計畫研擬，此次藉由台日技術合作計劃支持前往日本研修，汲取日本前端地熱探勘技術與經驗，所獲成果將作為相關計畫研擬及執行參據，提升我國地熱地質調查技術水準，早日達到 2025 年「非核家園」的政策目標。

二、目的

隨著產業的持續發展，人類對能源的需求日益增加，傳統的化石燃料儲量有限，且燃燒化石燃料所造成的環境汙染及溫室氣體排放等問題，且對環境的衝擊日益嚴重，促使對替代能源的需求以及其研究與開發漸為先進國家所重視，為避免開發和使用能源對環境的衝擊，追求綠色、永續的能源成為當前重要的課題。在諸多替代能源當中，可穩定產出的地熱被視為基載電力的有效能源。而臺灣位於板塊邊界，受板塊擠壓碰撞影響，全島無論火山、變質岩或沉積岩都有地熱徵兆分布，地熱蘊藏量非常豐富，尤其我國缺乏石化資源的產出，發展地熱發電應是未來能源發展的重要課題。美國 2013 年在工業上使用地熱能源約有 12,000 MW，另有約 600MW 地熱能源也即將上線。已發展地熱發電的國家數量來看，2007 年有 46 個國家發展地熱，至 2013 年 9 月 GEA 統計已有 70 個國家發展地熱發電，目前全世界包括臺灣有接近 700 個地熱能源計畫正在進行中。

一般資源的開發，需歷經評估、探勘、驗證、生產及應用等歷程，而地熱資源的開發亦是如此。臺灣的地熱地質環境有發展地熱發電的條件，全世界許多國家發展地熱，大部分也已有實際供電營運，技術已不是問題。核能發電有安全及核廢料問題、火力發電有化石燃料供給受國際燃料市場影響甚鉅且大量排放溫室氣體的嚴重問題(圖 1)，水力發電則有影響生態等問題，惟有地熱發電對這些環境衝擊可降至最低。

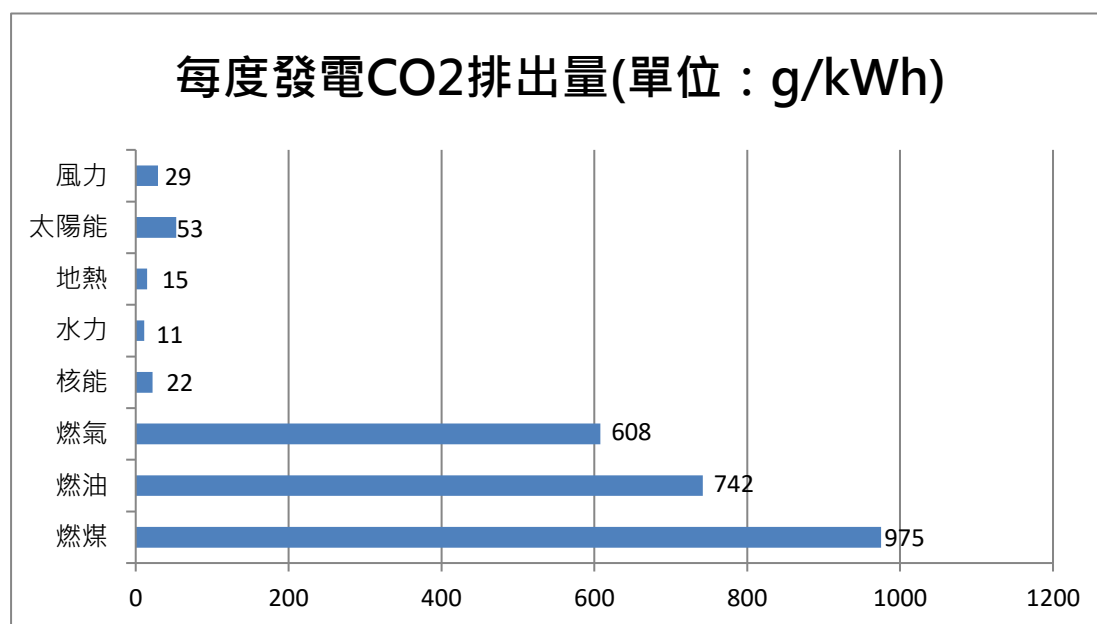


圖 1 各種發電方式每度發電所排出的二氧化碳量，可見地熱發電的二氧化碳排出量僅次於水力發電，為一乾淨的能源(資料來源：日本經產省)。

三、過程

行程表

日期	參訪研修地點	所在位置
Oct. 29	11:25 抵達福岡機場	福岡縣福岡市
	13:00 自福岡離開前往別府	
	16:00 杉乃井地熱發電廠(Suginoi Hotel geothermal power plant)及周邊地熱露頭	大分縣別府市
Oct.30	09:30 滝上地熱發電廠參訪 (Takigami geothermal power station)	大分縣九重町
	13:30 八丁原地熱發電廠參訪(日本最大規模的地熱發電廠)及周邊地熱區野外地質調查 (Hatchobaru geothermal power station)	
	15:00 小松地獄地熱噴氣區野外地質調查 Komatsu-jigoku screaming ground. The largest geothermal manifestation in the area.	
	16:00 九重觀光飯店地熱發電廠參訪 (Kuju Kanko Hotel power plant) 九重觀光ホテル	
Oct. 31	09:30 菅原地熱發電廠參訪及研修(Sugawara power station)	大分縣九重町
	12:00 至阿蘇火山觀察其火山地形	熊本縣阿蘇市
	16:00 前往鹿兒島市	鹿兒島縣鹿兒島市
Nov.1	10:30 參訪鹿兒島縣山川地熱發電廠及研修，並了解鄰近海域地區的地熱探勘及海水熱循環模式 Yamakawa geothermal power station	鹿兒島縣
	12:00 竹山地熱噴氣區地熱地質調查 Takeyama thermal manifestation area	指宿市
	14:00 鰻池火口湖火山地質調查與研修	
Nov.2	10:00 大霧地熱發電廠參訪及研修 Ogiri geothermal power station	鹿兒島縣霧島市
	16:00 至福岡大學地球圈科學科進行地熱地質調查探勘研修與討論	福岡縣福岡市
Nov.3	09:00 至福岡大學地球圈科學科進行地熱地質調查探勘研修與討論 Department of Earth System Science, Fukuoka University	福岡縣福岡市
	18:00 當日研修結束	
Nov. 4	09:00 至福岡大學地球圈科學科進行地熱地質調查探勘研修與討論 Department of Earth System Science, Fukuoka University	福岡縣福岡市
	15:00 前往福岡機場準備搭機返國	

杉乃井地熱發電廠

杉乃井地熱發電廠(圖 3、圖 4)位於大分縣別府市，由杉乃井飯店投資興建，1981 年 11 月開始運轉發電，裝置容量為 3,000kw。興建目的為提供飯店內的電力、冷暖氣、溫室以及溫泉沐浴。別府市為日本九州地區著名的溫泉地區，日本最早的地熱發電試驗就在此地進行，足見別府地區的地熱資源相當豐富。本發電廠建造初始時有 6 座生產井，井深約 300 公尺，蒸氣產出量每小時 45 噸，但因使用日久，生產量日益減少(2006 年每小時產出量僅剩 24 噸)，2006 年 1 月將舊有之地熱發電設備停止使用並換新，新裝置由富士電機製作的蒸氣渦輪發電機進行發電，裝置發電量為 1,900kw(圖 5)。原有 6 座生產井目前已有兩座無法生產，現僅有 4 座生產井，每小時蒸氣量約 15 噸。

在蒸氣渦輪機房旁，就是整個發電廠的控制中心，空間約 30 坪左右，控制人員可以利用各項讀表了解發電廠的運作狀況(圖 6)。發電廠廠長西原先生表示，平日僅需兩位人員值勤監看，晚上由一位人員輪值即可。該發電廠在夏天可供應該飯店約 46% 的電力，在秋冬較不使用冷氣的季節，飯店所需電力可完全由地熱發電廠提供，所發餘電則售出，估計每年約可為飯店節省 2 億元的水電及瓦斯費用。售電的部分，過去均直接授予九州電力公司，自 2007 年起，杉乃井旅館與 SONY 公司簽訂發電委託契約，每年基準發電量為 1000 萬度。



圖 3 杉乃井地熱發電廠，右方白色建築為汽機廠房以及控制室



圖 4 杉乃井地熱發電廠的溫泉井及氣水分離器



圖 5 杉乃井地熱發電廠的蒸氣渦輪機



圖 6 杉乃井地熱發電廠內的控制螢幕

別府地區位於九州中部的火成岩地區東緣，區域內最高山為中央的由布岳 (1583.5m)，東北方與別府灣相接，別府市區海拔均在 200 公尺以下，南北兩側則多為 400 公尺以上的山地，分別以正斷層相接，因此別府市區為一陷落的地塹構造。由於別府地區的基盤岩為安山岩，下方有岩漿庫，地塹兩側的正斷層系統成為地熱通道，將天水加熱形成溫泉。

杉乃井飯店位於別府市區的南方，與別府市以朝見川斷層為界。座落於表層的砂、礫及火山灰上，下方即為兩層安山岩熔岩流。因正斷層系統使得地下的熱源有機會沿著斷層上升而鄰近地表，因此利用鑽井取得高溫的熱水及蒸汽取熱發電(圖 7)。

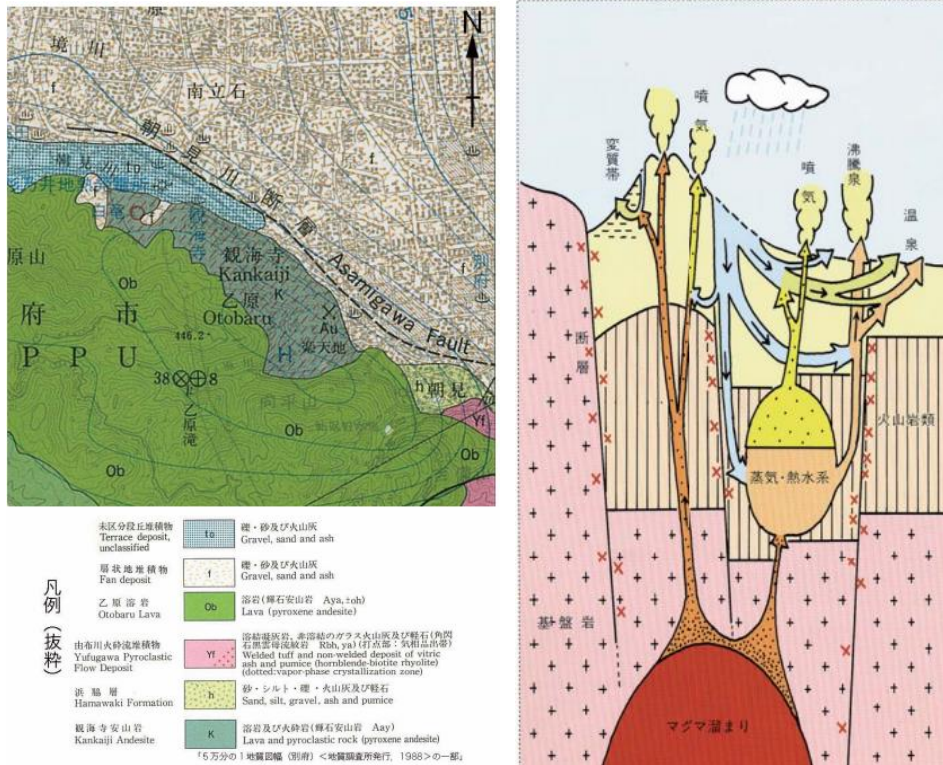


圖 7 杉乃井飯店附近地區的地質圖(左)以及該地區的地熱地質模型(右)

滝上地熱發電廠

滝上地熱發電廠(圖 8)位在大分縣九重町，大約在大分縣的西南部。九重町東南側緊鄰阿蘇九重國立公園的九重連山，西接耶馬日田彥山國立公園周圍的山脈，中央有九醉溪流經，是個充滿高原與山谷的地區(圖 9)。滝上地熱田的地熱勘探工作由出光地熱有限公司於 1979 年開始進行，並由 1993 年成立的大浦出光地熱有限公司進一步開發，出光公司於此地區進行了許多的鑽井以及探勘工作(圖 10)。



圖 8 滝上地熱發電廠



圖 9 滝上地熱發電廠位置圖

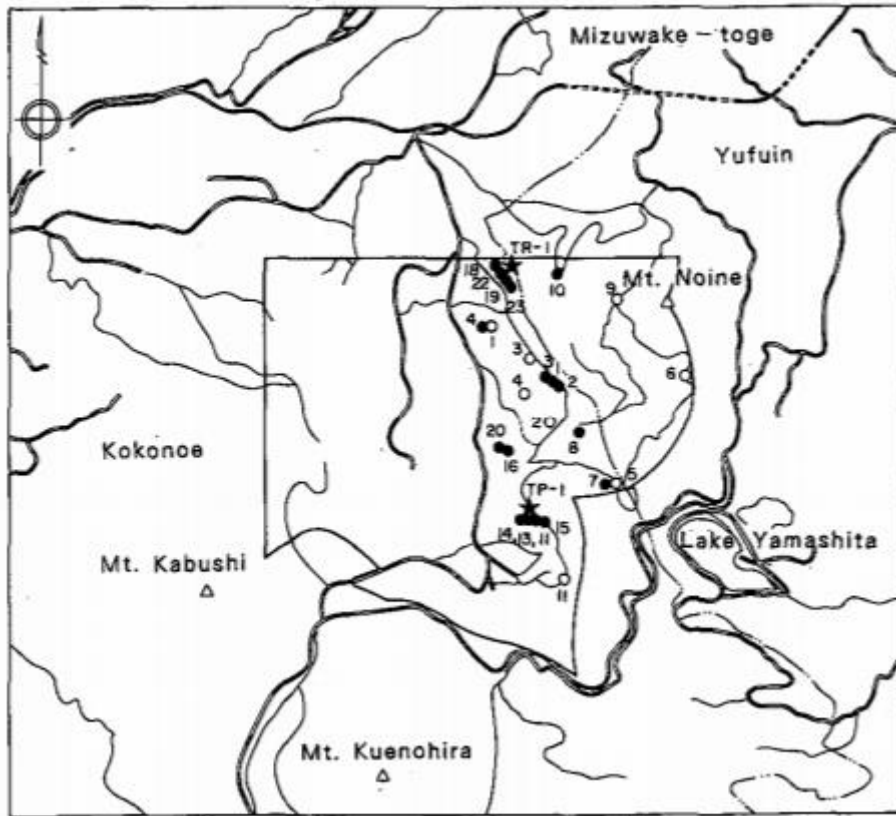


圖 10 滝上地熱田的調查探井，白色點位為探勘井，黑色點位為生產井及回注井

滝上地熱田在地表沒有地熱表現，表層由厚層的不透水層覆蓋，不透水層的主要成分為蒙脫石，由火成岩經熱液蝕變所形成。在不透水層的上方為厚層的含水層，和由蒙脫石為主的不透水層形成儲集層的蓋層。根據流體化學分佈、地溫以及滲透率的大小，可將熱水儲集層劃分為東北和西南兩部分，以走向近南北向的野稻斷層帶為界。東北方的儲集層氯離子含量低（約 450 ppm）且溫度較低，介於 160~210°C 之間，在淺部發育多處裂隙；西南方的儲集層體系具有較高的氯離子含量（約 600ppm），高溫高於 250°C，地下地熱流體從儲層的西南向北部和東北部流動。

經過廣泛的調查探勘之後，於 1993 年 6 月開始建廠，1995 年 11 月 1 日開始運轉，是九州地區第五座商業用地熱發電廠(前四座為大岳、八丁原、山川、大霧地熱發電廠)，也是日本第十一座商業用地熱發電廠(圖 11)，由出光大分地熱公司(負責蒸氣出產)以及九州電力公司(負責發電)共同經營，裝置容量為 25,000kW(25MW)。此地熱發電廠共有 7 座生產井，分別位於五個生產基地(圖 12)，井深 1,100 公尺至 2,700 公尺不等；回注井共有 10 座，深度 1,339~2,811 公尺。蒸氣溫度約 126.8~129.3°C，壓力約 0.147~0.167MPa，蒸氣使用量每小時約 260 噸，發電廠配置圖如圖 13 所示。由於該發電廠的海拔較高(約 800 公尺)，冬季時常會因下雪而使人員無法進入且運補困難，發電廠的運轉狀況可由

距離 20 公里遠的大岳地熱發電廠進行監控。



圖 11 滝上地熱發電廠的汽機廠房，右方為冷卻塔

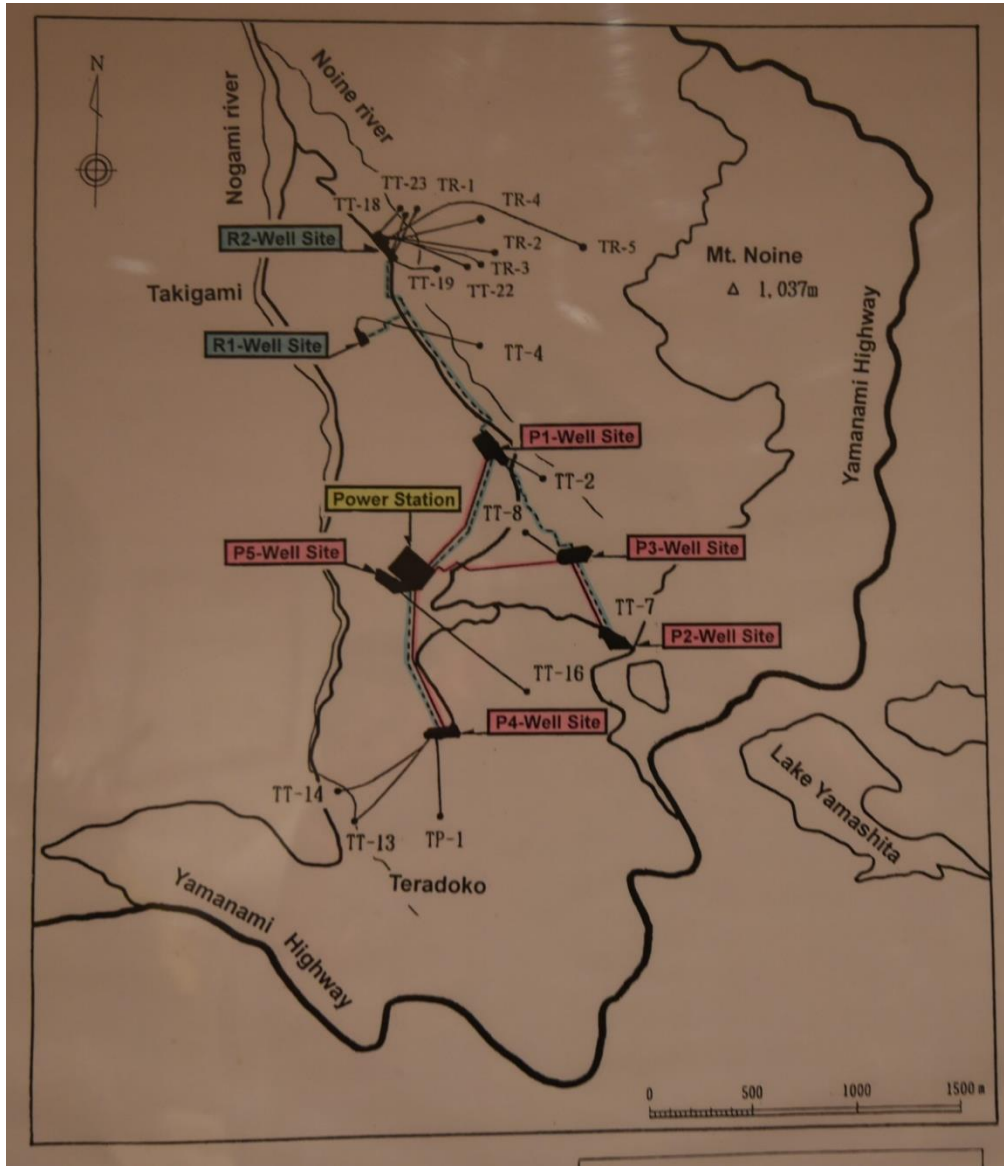


圖 12 滝上地熱發電廠的生產井及回注井井位配置

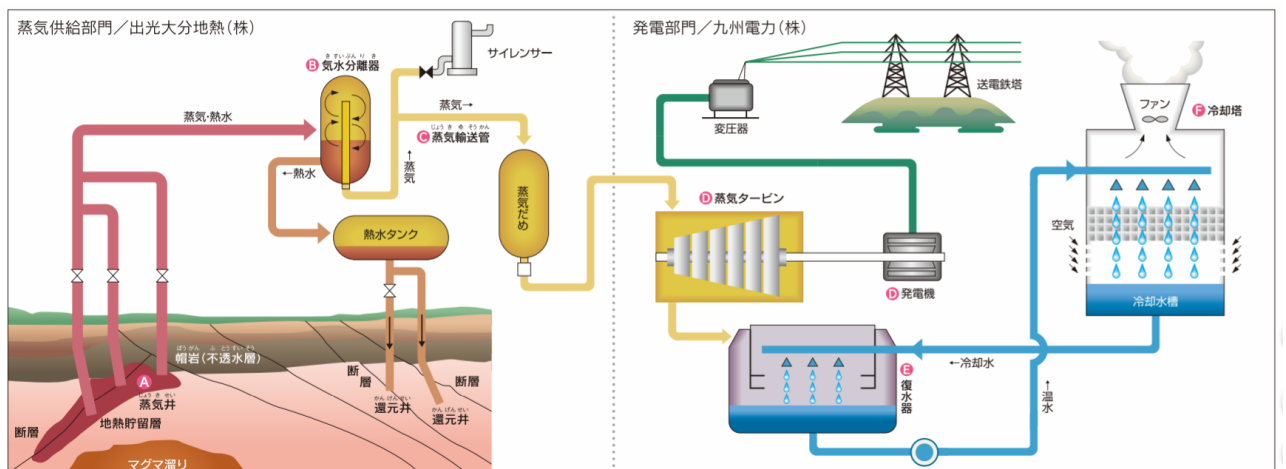


圖 13 滝上地熱發電廠的設備配置圖

因應日本的新能源政策，出光大分地熱公司也於附近增設了雙循環系統發電設備，建置滝上雙循環地熱發電廠，裝置富士電機製作的蒸氣渦輪機，利用正戊烷作為工作流體進行雙循環系統發電。裝置容量 5,050kW(5.05MW)，於 2017 年 3 月開始運轉，是日本國內裝置容量最大的雙循環系統地熱發電廠(圖 14)。發電後的尾水則透過管線送達廠區內的回注井基地，以單井最大每分鐘 200 公升的速度回注至含水層內(圖 15)。



圖 14 滝上雙循環系統發電廠



圖 15 滝上地熱發電廠地 2 號回注井基地，共有 10 口回注井

八丁原地熱發電廠

八丁原地熱發電廠亦位在大分縣九重町，位於滝上地熱發電廠的西南方約 35 公里處，於 1977 年開始運轉，為九州第二座(僅次於大岳地熱發電廠)，全日本第五座商用地熱發電廠。八丁原發電廠具有 2 部發電機組，1 號機於 1977 年 6 月開始運轉，2 號機於 1990 年 6 月開始運轉，總裝置容量為 110,000kW(110MW)，為全日本規模最大的地熱發電廠(圖 16)。生產井共有 19 座，深度 759~3,031 公尺(圖 17)，回注井 19 座，深度 1,123~1,903 公尺。八丁原地熱電廠的地熱蒸氣量多且溫度很高，約為 158.1~164.2°C，壓力約為 0.49~0.59MPa，每小時使用蒸氣量約 890 噸。也由於此處的蒸氣溫度相當高，經過氣水分離器的高壓熱水經降壓後會再產生二次蒸汽一併經管線推動蒸氣渦輪發電(圖 18)。

早期九州電力公司開發八丁原地區時，因日本鑽井技術人員短缺，我國中油公司曾受邀派員協助，於 1981 至 2003 年間共為日方鑽鑿了十六口地熱井，是我國鑽井技術及人員首度對日輸出，也展現了我國於資源探勘取用的技術水準達符合國際需求。



圖 16 八丁原地熱電廠的生產井管線(左)以及冷卻塔(右)，根據圖中的汽車比較可以瞭解其規模之大



圖 17 八丁原地熱發電廠的生產井區

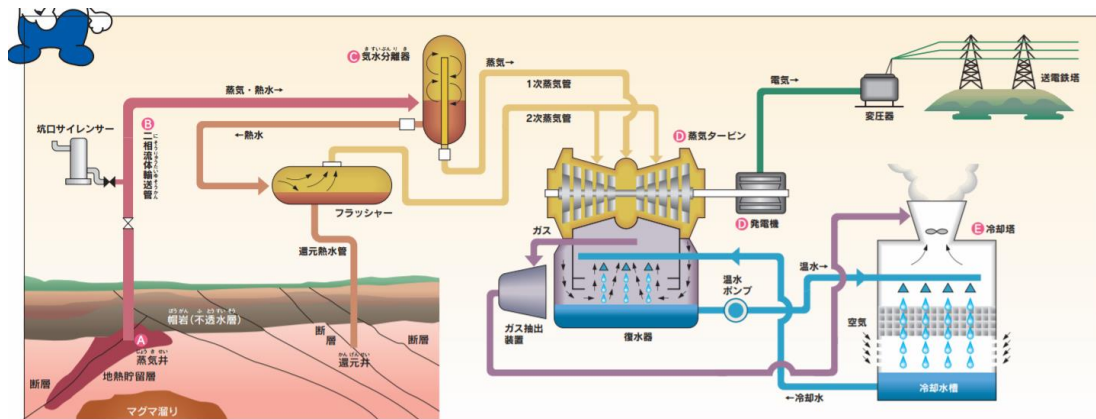


圖 18 八丁原地熱發電廠廠區內發電設備配置圖

除了傳統的閃發式發電之外，八丁原地熱發電廠於 2003 年興建雙循環 (binary cycle) 電廠，雙循環電廠是用一種低沸點的工作流體蒸氣來推動，這種低沸點的工作流體常態是液態，使用 150°C 左右的液體和它作熱交換就可以讓它蒸發成蒸氣。由於目前大部分的地熱資源溫度都在 150°C 以下，未來可能會成為地熱發電的主流方式，特別是在一些地熱溫度不高的地區。八丁原電廠就是根據此理論進行雙循環發電廠的測試，於八丁原一號機旁設置了一座雙循環系統發電廠，鑽鑿一口深 1,700 公尺的生產井作為蒸汽來源，可發出 2,000kW(2MW) 的電力。

作為日本規模最大的地熱發電廠，八丁原地熱發電廠內設置有功能完善的展示館，包含可播放介紹影片的地熱解說教室以及戶外各發電設施的解說牌等。除了有專人解說導覽之外，現場並展示鑽探岩心、鑽探使用的鑽頭以及井管結垢的橫切面可供實際參觀，深具教育意義(圖 19、20)。



圖 19 八丁原地熱發電廠展示館內展示的岩心



圖 20 現場展示鑽井用的鑽頭以及結垢的井管

小松地獄(噴氣孔)

在日文當中，地獄即為火山噴氣孔地區，形容該處寸草不生，人類難以生存之地。小松地獄位於八丁原地熱發電廠的東北方約 300 公尺的位置，標高約 1,050 公尺，為大岳-八丁原地熱地區噴氣活動最明顯、分布最廣泛之區域。分布範圍長約 350 公尺，寬約 70 公尺(圖 21)，長軸伸向略朝北北西-南南東方向。行近此處即可聞到空氣中含有硫磺氣味，與陽明山的噴氣孔十分類似(圖 22)，該處地面上佈滿了經強烈熱液換質作用後的泥狀物，主要為明礬土，少數區域則被高嶺土覆蓋。經量測水溫為 93°C，且 pH 值為 2~3 之間，表示其熱水應為火山氣體加熱形成，而非來自於地下深處的八丁原地熱田。

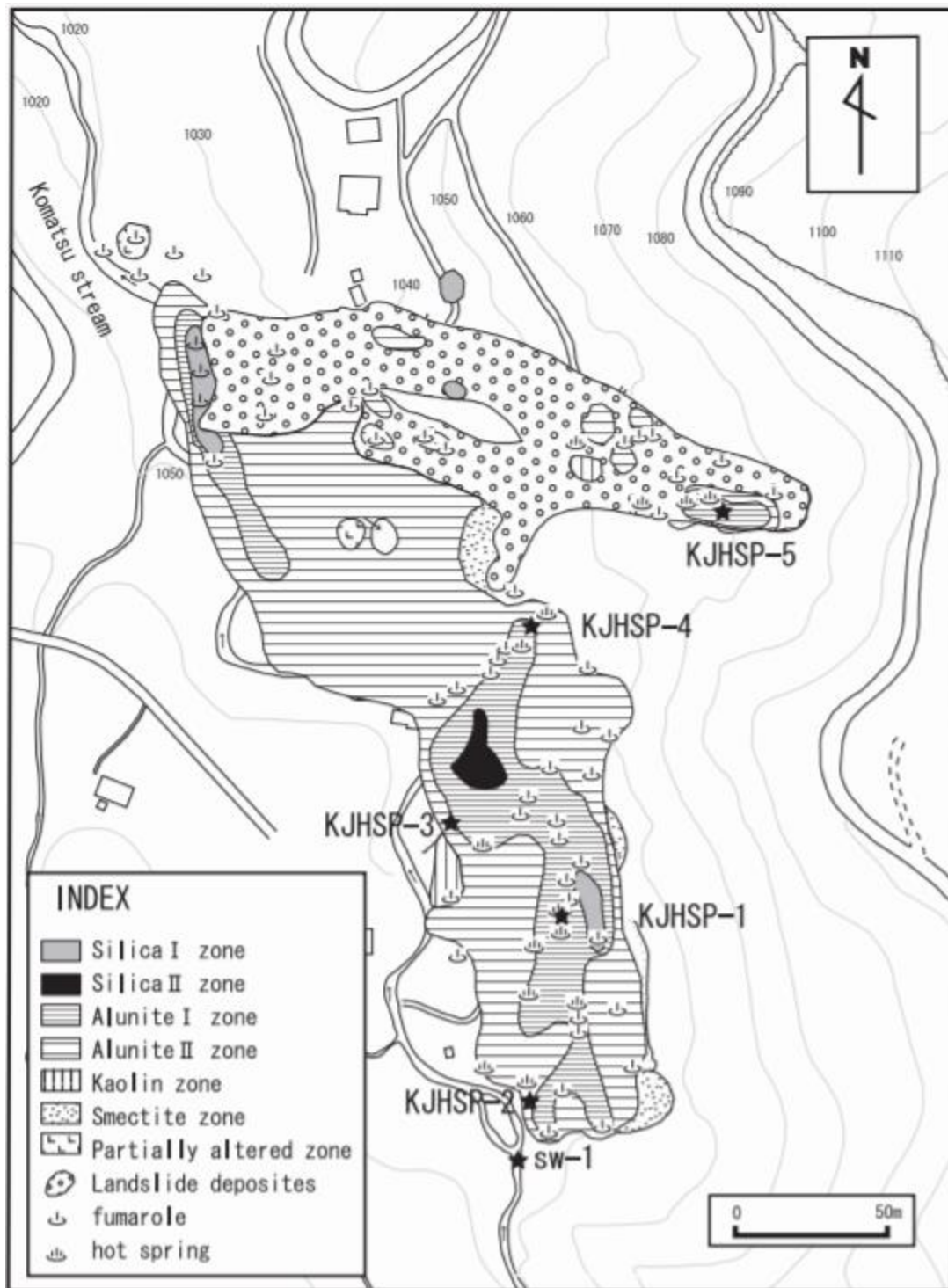


圖 21 小松地獄地區地質略圖



圖 22 小松地獄



圖 23 小松地獄的溫泉水經廣用試紙檢測，pH 值介於 2~3 之間

九重地熱發電廠

九重地熱發電廠位於大分縣九重町，是當地的九重觀光飯店投資興建。最早於 1993 年進行地熱發電試驗與研究，1995 年飯店挖掘溫泉井時鑽獲大量的溫泉，經營者開始有了想要開發地熱發電的想法。事實上，在大分縣杉乃井飯店的私人地熱發電廠也是這個計畫推動的動力之一。此處位於第二級國家公園用地內，因此有關電廠的興建與利用受到相關法規的限制(圖 24)。



圖 24 九重地熱發電廠

在 1995 年，挖掘出第一口蒸汽井，深度 350 公尺，1997 年，挖掘第二口蒸汽井，深度 405 公尺。原始設計的裝置容量為 2,000kW(2MW)，但因飯店的用電量不大(約 500kW)，且因鄰近的溫泉飯店業者擔心地熱發電會導致溫泉水量減少而反對，因此實際裝置發電量較小的發電機組，為川崎重工製造，裝置容量為 990kW，於 2003 年開始運轉發電。

九重地熱發電廠係以九重觀光飯店旁僅存的空地興建，因此各項發電設施的配置均非常緊湊(圖 25)。除此之外，以機械式操作開關以及指針顯示儀表所組成的發電廠控制盤(圖 26)，操作簡易且故障率低，為一相當具有特色的小規模發電廠。



圖 25 九重地熱發電廠的管線配置十分緊湊



圖 26 九重地熱發電廠控制盤及各項儀表

菅原地熱發電廠

菅原地熱發電廠位於大分縣九重町，是一座完全以雙循環系統發電的地熱發電廠，由九重町地方政府與九電礦物能源公司(九州電力公司的子公司)共同營運。於 2015 年 6 月 29 日開始運轉，裝置容量為 5,000kW(5MW)，為日本規模次大的雙循環系統地熱發電廠(圖 27)。

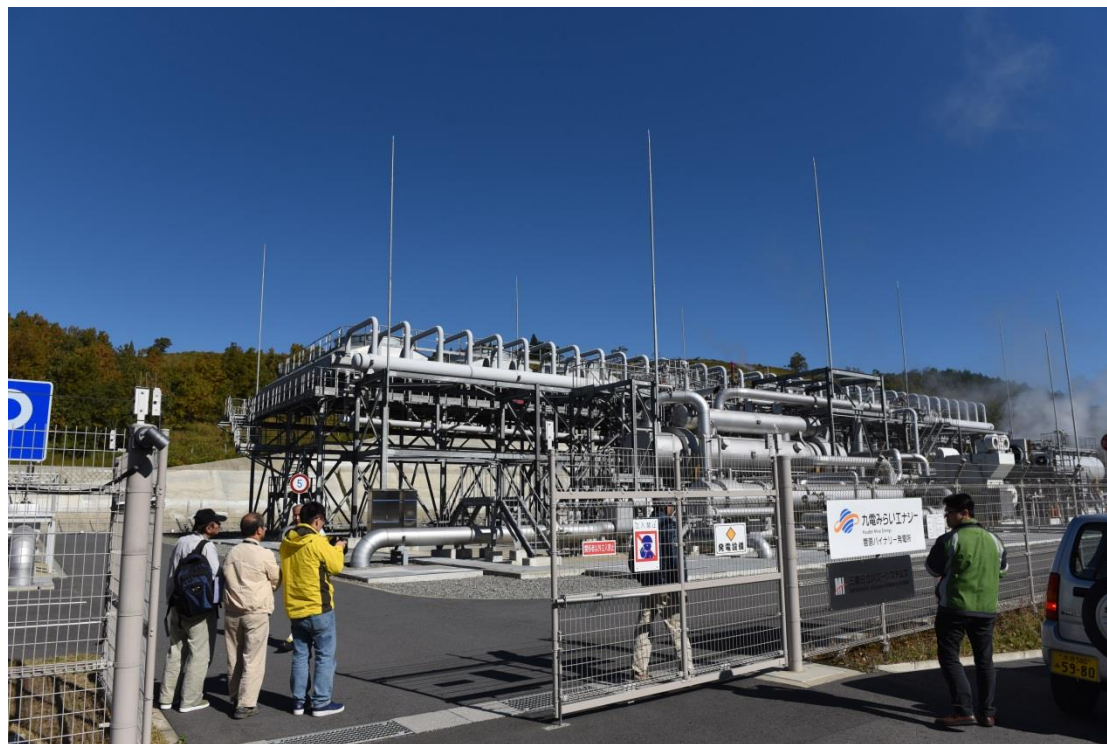


圖 27 菅原地熱發電廠

菅原地熱發電廠最早由日本獨立行政法人新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)於 1988 年進行地熱地質調查以及驗證實驗探井挖鑿，2003 年，將兩口生產井以及一口回注井無償移撥給九重町地方政府使用。2010 年，九重町與九州電力公司討論共同開發地熱資源的可行性，並於 2012 年進行噴氣試驗，同時對周邊溫泉進行觀測以了解地熱井對於周邊溫泉使用量的影響。2013 年，由九重町、九州電力以及西日本環境能源公司共同定發協議，並於 2014 年開始興建電廠，後因西日本環境能源公司將建廠工作移轉給九電礦物能源公司，至此開發方終於底定，2015 年 6 月開始運轉發電。

菅原發電廠具有兩口生產井(井深 811、870 公尺)以及一口回注井(井深 552 公尺)，蒸汽溫度 142.4°C，壓力 0.286MPa，蒸汽流量每小時 40.1 噸。經過熱交換器把熱能轉換給工作流體(正戊烷，沸點 36.1°C)，將工作流體加熱 137.5°C，壓力 0.953MPa，以每小時 298 噸的流量推動渦輪發電(圖 28)。菅原地熱發電廠特殊的地方是該發電廠所選用的冷凝器為氣冷式冷凝器，因此並未設置冷卻塔灑水器，因而在運轉過程當中十分安靜，不會有其他地熱發電廠如下大雨般的

聲響(圖 29)。所發電的尾水因溫度較低，灌注至含水層過程恐產生結垢現象，廠方於尾水回注前視情況加入硫酸調整回注水的酸鹼度，避免產生結垢現象(圖 30)。

該電廠平日亦僅有 3 名人員於控制室監看發電廠運作現況，為避免工作流體洩漏影響發電機組運轉，廠方於工作流體管線經過之處設置了多個氣體偵測器，在工作流體發生洩漏時可立即通知監看人員並適時停止運作(圖 31)。



圖 28 菅原循環地熱發電廠所使用的渦輪發電機



圖 29 工作流體儲槽(前)以及大型的氣冷式冷卻塔(後)



圖 30 調整回注尾水酸鹼度的硫酸儲槽



圖 31 設置於工作流體管線周圍的氣體偵測器

阿蘇破火山口

阿蘇破火山口位於熊本縣東北方，東西寬 18 公里，南北長 25 公里，為一座巨型的破火山口。由距今 27 萬年至 9 萬年前經九州中部和北部的巨大火山岩漿四期噴發分別覆蓋而成。雖然當時的火山噴發堆積物已有部分被侵蝕，但現可見的殘存火山岩體積也達到 175 立方公里。

從大觀峰向南眺望到的破火山口內的景觀，中央有火山口丘群(根子岳、高岳、中岳、屋帽子岳以及杵島岳)東西相連(圖 32)，左右可見海拔相距 300 至 500 米的雄壯的阿蘇破火山口山壁綿延伸展(圖 33)，阿蘇火山為活火山，於近年內仍有噴發的現象，有賴於嚴謹的觀測與警戒，使住在火山口裡的 50,000 名民眾和仍有活火山活動的阿蘇破火山口大自然相存相依共生(圖 34)。



圖 32 由北向南觀看阿蘇破火山口，阿蘇五岳橫亘期間



圖 33 阿蘇破火山口高差約 300~500 公尺，為四期火山熔岩流覆蓋形成，十分宏偉



圖 34 阿蘇火山臼內的民眾與活火山相依共存

山川地熱發電廠

山觀地熱發電廠位於鹿兒島縣指宿市(圖 35)，是一座由九州電力公司經營的地熱發電廠(圖 36)。與其他位於九州的地熱發電廠皆位於山區不同，本座地熱發電廠位於離海相當近的低地(海拔僅 43 公尺)，是利用九州南方一連串破火山口當中其中一處阿多力破火山口下方的地熱地帶進行取熱發電(圖 37)。該處鄰近海邊，年雨量約 1600mm，豐沛的雨水滲透進入地下含水層，配合地底深處的熱源形成了良好的儲熱條件。

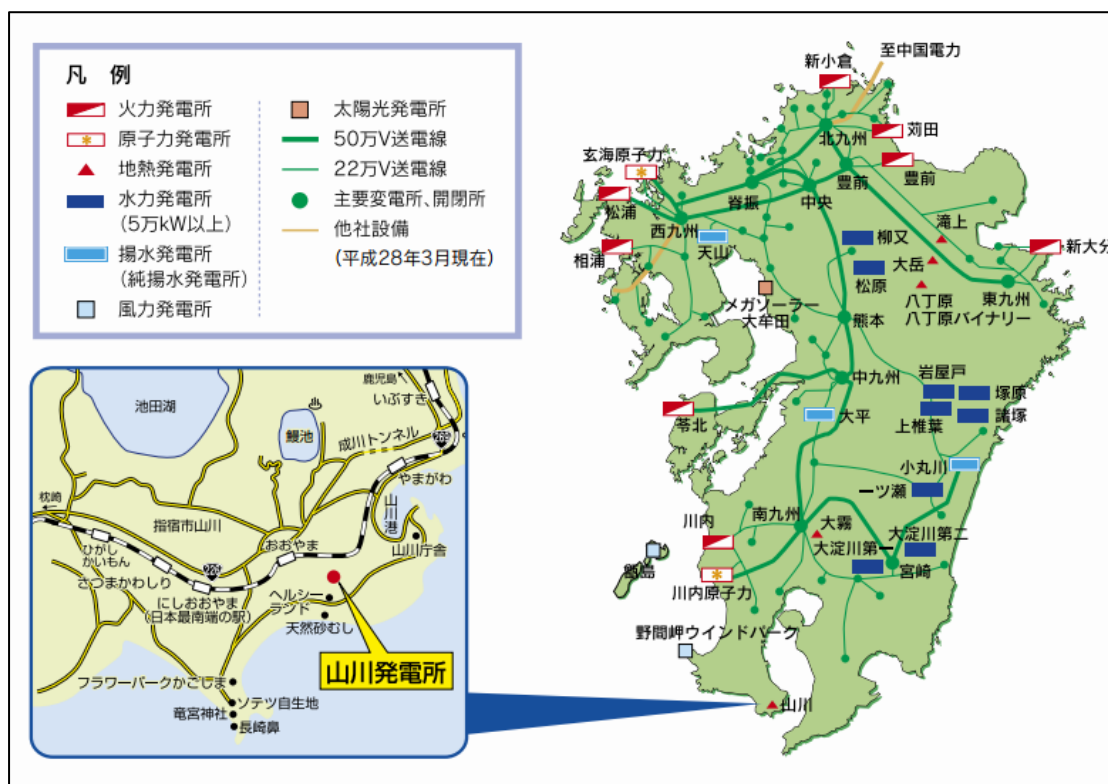


圖 35 山川地熱發電廠位置圖



圖 36 山川地熱發電廠

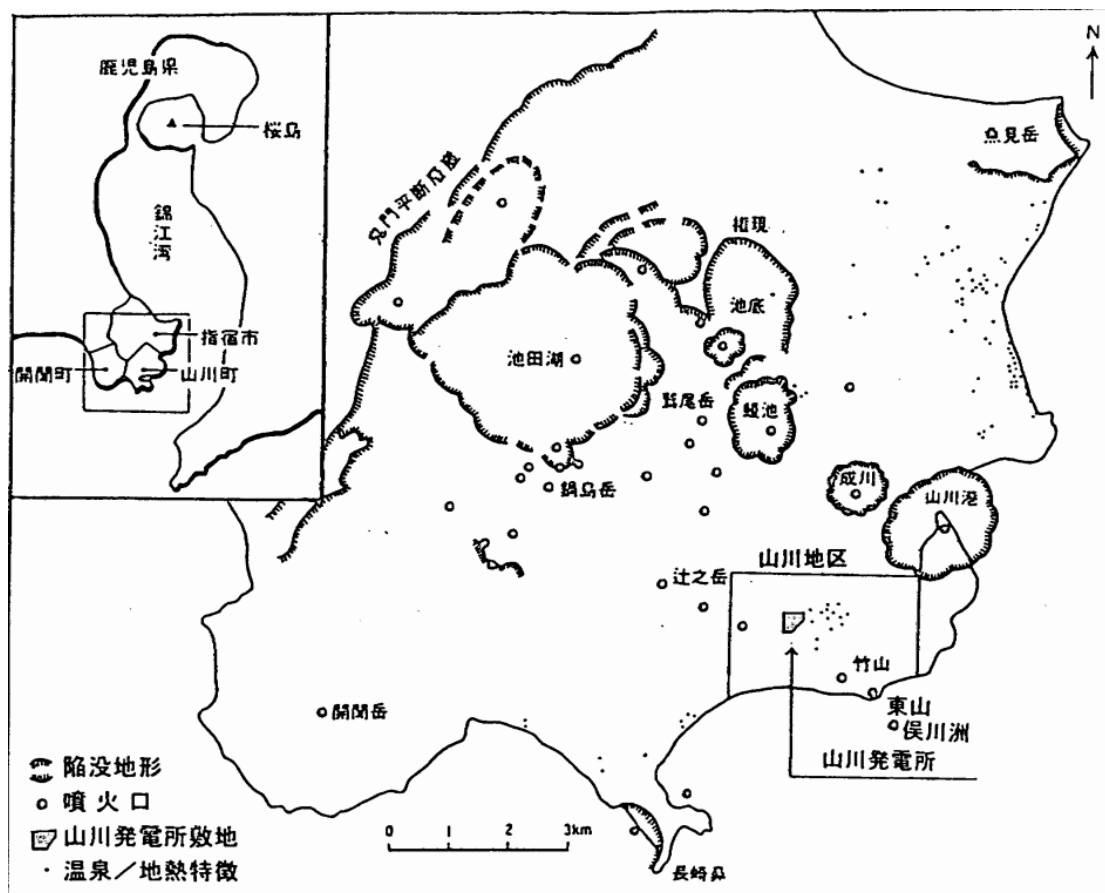


圖 37 山川電廠周圍有一連串的火山口分布

山川地熱發電開發始於 1977 年，由日本石油資源開發公司進行地熱調查，於 1986 年獲得地熱賦存區可產出約 30,000kW(3MW)的能力。1988 年，與九州電力公司訂約共同開發，並於同年 12 月由日本石油資源開發公司成立九州地熱公司進行地熱開發與生產井、回注井管理，由九州電力公司負責發電業務與發電設備營運。1995 年 3 月開始運轉，共計有生產井 12 口(深度 1,800~2,105 公尺)，回注井 12 口(深度 990~2,505 公尺)，每小時蒸氣使用量約為 225 噸，蒸氣溫度 183.2℃，壓力 0.98MPa(圖 38、39)。



圖 38 山川地熱發電廠的汽機廠房以及主蒸氣管線



圖 39 山川地熱發電廠的冷凝器，右方背景可見新生產井鑽鑿的井架

根據地質調查結果顯示，山川地熱發電廠下方深 1500~2000 公尺基盤為一連續正斷層系統，在正斷層系統中心有一石英安山岩體入侵，因而帶來地底的高溫。地溫探井顯示，在沉積岩基盤內的溫度普遍可達 200°C，在石英安山岩附近的地熱儲存層，溫度可高於 300°C(圖 40)。

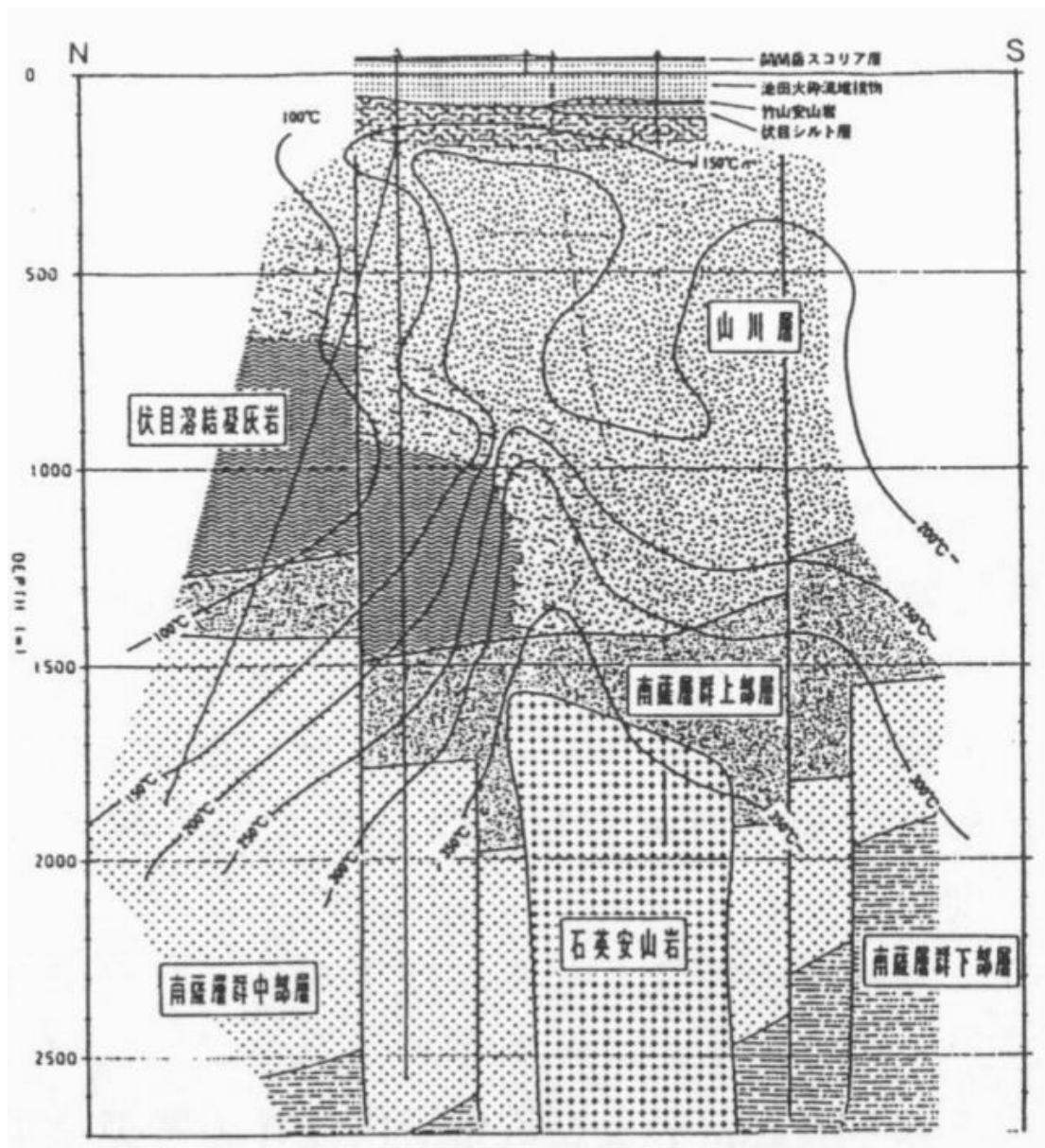


圖 40 山川地區地熱儲存層溫度剖面(南北方向)

山川地熱發電廠設置有完善的展示館(圖 41)，在汽機廠房內放置了維修更換下來的蒸氣渦輪組供參訪者了解設備規模(圖 42、43)，另有多媒體教室、模型(圖 44)以及相關的海報與說明文件(圖 45)。除硬體設備之外，展示所亦配置專責導覽人員導覽發電廠內的各項設備，發電業者如此力行社會教育的盡責態度，令人印象深刻。由於山川電廠的蒸氣溫度相當高，發電完後的氣體餘溫尚可進行二次利用。山川電廠現正興建雙循環系統發電廠，裝置容量 4,950kW(4.95MW)本次研修參訪時已接近完工狀態，預計於 2018 年 3 月完工，為日本再生能源最新的生力軍。



圖 41 山川地熱發電廠展示館



圖 42 山川地熱電廠的汽機廠房內設置有說明牌供參訪人員了解發電設備結構

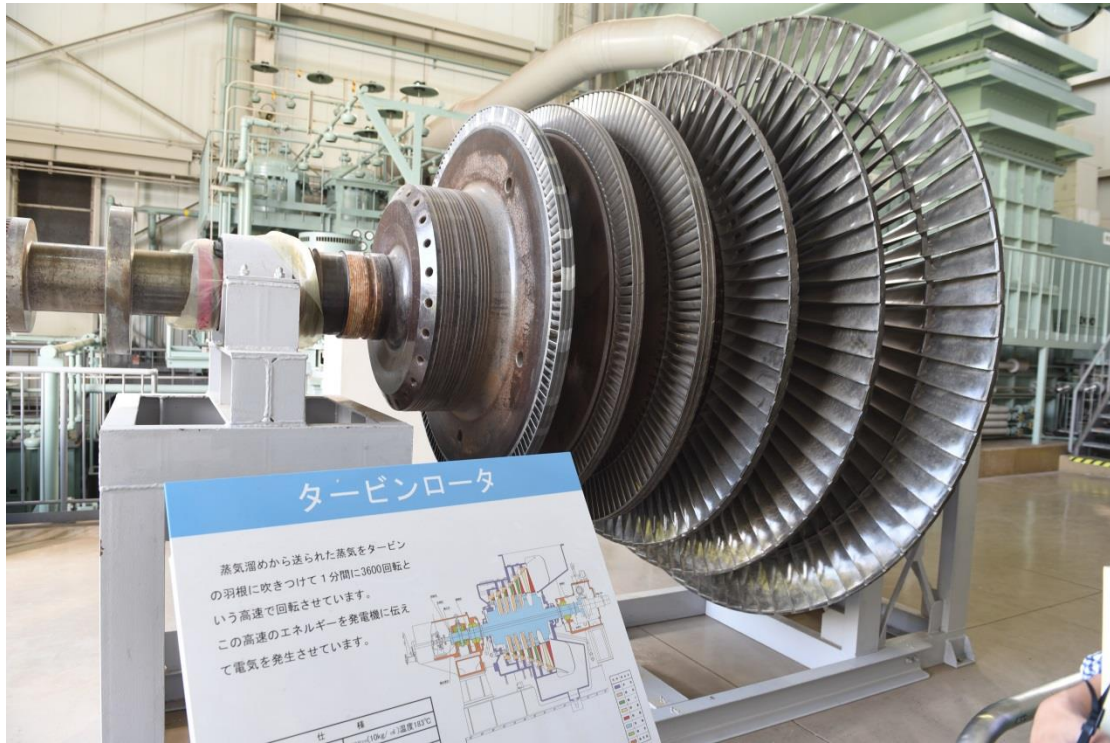


圖 43 現場展示的蒸氣渦輪葉片為維修更換之部品，可供參訪人員了解發電核心設備的材質與型態

由於山川地熱電廠距離海岸不遠，本次研修亦前往山川地熱電廠旁的伏目海岸進行野外調查，該處因地表裂隙發達，使地下的熱水與蒸氣上升至地表。在海岸旁的山川製鹽廠舊址，即是利用噴氣孔冒出的熱氣將海水加熱蒸發來製鹽(圖 44)，足見當地民眾對資源利用的巧思。該處的岩層以火山碎屑堆積岩為主，係為火山噴發時噴出的火山岩與火山灰共同堆積形成，由凝灰岩為主要的成分，中夾顆粒大小不等的火成岩礫。在一旁海岸除可見到有熱氣自岩石裂隙冒出(圖 45)，在海浪退去的沙灘上可見到一整排的噴氣孔(圖 46)，噴氣孔排列的方向與當地裂隙的走向一致，也可見到此地豐富的地熱徵兆。



圖 44 山川製鹽所舊址，當地居民利用地熱將海水加熱用以製鹽

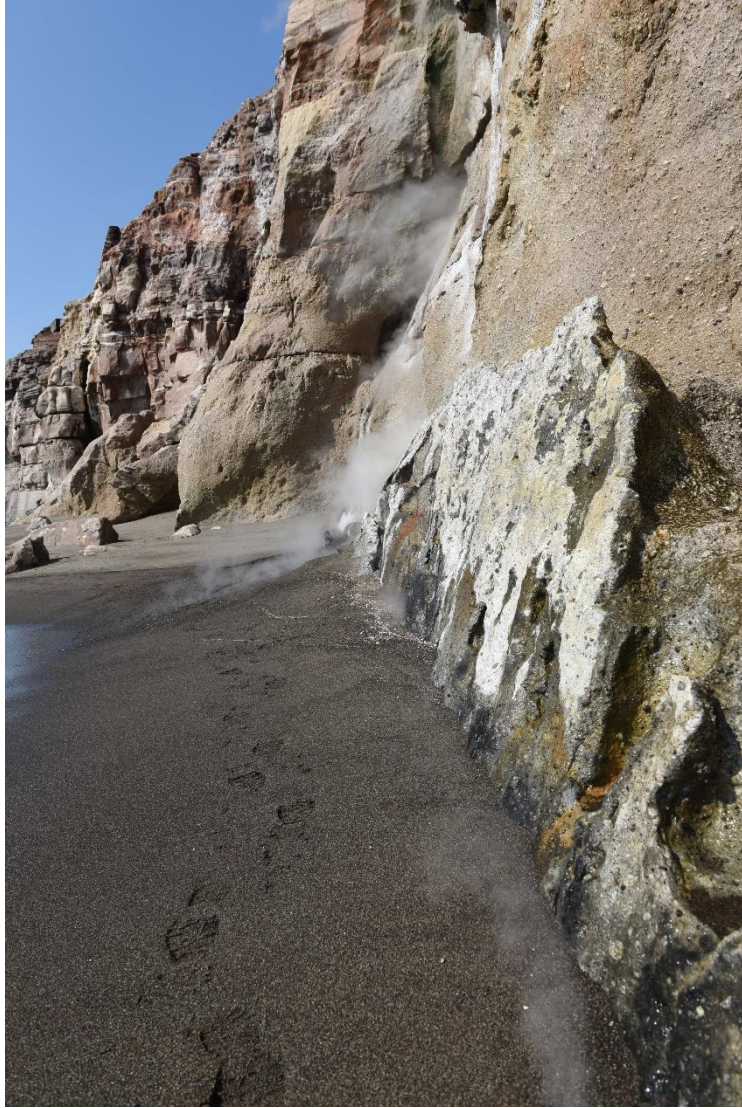


圖 45 伏目地區的海岸主要為火山碎屑岩組成，地熱噴氣沿著發達的地表裂隙冒出



圖 46 地熱噴氣孔整齊排列於海灘，其分布方向與岩層裂隙走向一致

山川地熱發電廠所在的指宿地區具有一連串的火山臼及火口湖(圖 48)，其中規模最大的池田湖(圖 49)，為九州島上面積最大的湖泊，湖面海拔 66 公尺，深 233 公尺，最深度位於海平面下方 167 公尺，湖面直徑約 3.5 公里，湖底為一直徑約 800 公尺，高約 150 公尺的火山。其形成原因為距今約 5,500 年前，阿多南火山臼西北邊緣發生劇烈的火山噴發後，火山口塌陷形成的火山就因長期累積雨水所形成。目前雖沒有明顯的火山活動特性，但日本氣象廳仍積極監測，確保周圍居民的安全。



圖 47 位於指宿市南端的山川地區有一連串的火山口與火口湖，途中可見圓形的窪地與湖泊，最右側為池田湖



圖 48 池田湖為一火口湖，照片背景為有九州富士之稱的開聞岳，亦為一火山

霧島國際大飯店地熱發電廠

霧島國際大飯店地熱發電廠位於鹿兒島縣霧島市，該處為著名的溫泉地區，溫泉店林立(圖 49)，霧島國際大飯店於 1984 年配合日本新能源與環境開發機構(NEDO)中小型地熱發電機組開發研究，建置地熱發電廠(圖 50)，裝置容量 100kW(0.1MW)，期能提供飯店內的電源供應。該發電廠擁有三口生產井，使用富士電機所製作的小型發電機組(圖 51)。所發出的電力可供給飯店內約 1/4~1/5 的電力。自 2006 年開始，該飯店亦建置小型的雙循環系統地熱發電設備，裝置容量 220kW(0.22MW)。小型發電設備所需的設備、管線與用地均不大，以霧島國際飯店所裝置的 100kW 發電量，可供應約 50 戶的家戶用電需求，在臺灣具有溫泉資源的高山聚落，如可發展小型的地熱發電，可使高山聚落擁有獨立的電源供應，避免因颱風或水災造成輸電線路中斷而增加搶修的時間與成本，提升高山聚落民眾生活品質。



圖 49 霧島地區為著名的溫泉區，境內溫泉旅社林立



圖 50 霧島國際大飯店地熱發電廠



圖 51 霧島國際大飯店地熱發電廠所使用的小型地熱發電機組

大霧地熱發電廠

大霧地熱發電廠位於鹿兒島縣霧島市湧水町(圖 52)，由九州電力公司與日鐵鹿兒島地熱公司共同營運，裝置容量 30,000kW(30MW)，於 1996 年 3 月開始運轉。該發電廠鄰近霧島活火山，位於海拔 826 公尺的丘陵區，為九州地區第 4 座地熱發電廠(前三座為大岳、八丁原、山川地熱發電廠)，也是全日本第 10 座商用地熱發電廠。

1973 年，日鐵礦業公司進行大霧電廠區域的地下資源調查，調查初始以地表地質調查以及地球物理調查為主。隨後的兩年，由日本新能源開發機構(NEDO)進行地熱開發基礎調查以及地熱開發精密調查，初步的調查結果認為此處具有地熱開發的潛能。1979 年開始，由新日本製鐵公司與日鐵礦業公司開始進行一連串的地質鑽井、井測以及產能測試工作，共計鑽鑿小口徑 11 口、大口徑 12 口的地質探勘井(其中 4 口地質探勘井及觀測井鑽鑿經費來自於日本政府)。1986 年前後，經九州電力公司「大霧地區地熱潛能評價委員會」綜合評估結果，此地區有 30,000kW 的開發潛能，九州電力公司遂根據此結果與當地的地方政府簽訂開發基本協定。1990 年，日鐵礦業公司成立日鐵鹿兒島地熱公司，並與九州電力公司合作進行正式的開發與建廠，於 1994 年完工試運轉，並於 1996 年正式運轉發電(圖 53)。

本區域地熱形成地質條件主控於縱貫此區域的銀湯逆斷層(圖 54)，本地區鄰近霧島火山群，地下為多次火山噴發所產生的熔岩層層交疊，再深處則為接近岩漿的熱源。地表下約 500 公尺處存在一由火成岩經熱水換質作用形成的黏土化變質帶(佐賀利溶岩層)，成為地熱儲存區的良好蓋層。後因銀湯斷層的形成，使火成岩體出現一條破碎帶，促使地下的熱氣藉由斷層上升，形成了銀湯斷層地熱儲存層。

大霧地熱發電廠共有 15 口生產井(深度 990~3,097 公尺)，回注井 9 口(深度 808~1,598 公尺)，發電蒸氣溫度 132.9°C，壓力 0.196MPa，每小時使用的蒸氣量最高達 290 噸，所發出的電約可提供 10,000 戶民眾用電。由於該廠的蒸氣用量相當大，因此廠區的管線尺寸明顯較大(圖 55)。考量本區域的回注井區域距離主要廠區約兩公里，該發電廠於規劃建造時便設計了兩條通往回注井區的管線，平時使用一條，遇緊急狀況或需檢修時可切換至備用管線，避免發電中斷(圖 56)。

本電廠用地位於霧島屋久國立公園的普通用地範圍內，因此廠區的建築顏色以配合當地自然環境的白色與茶色為主(圖 57)，在營運過程，亦持續進行地熱資源調查評估，並鑽鑿新的生產井。根據廠方人員表示，該地熱電廠甫完成一口近 3,000 公尺的生產井鑽鑿(圖 58)，所需經費約日幣 10 億元(約合台幣 2 億 7,000 萬元)。由於本的區的地熱資源豐沛，目前在距離大霧地熱電廠區較為東南側的白水越地區正規畫大霧地熱電廠二號發電基地，預計裝置容量亦為

30,000kW(30MW)。

大霧地熱電廠現場展示了當初進行地質探勘的鑽井岩心(圖 59)，由於該電廠的目標地熱儲存區位於銀湯斷層內，因此利用所鑽鑿出來的岩心以及裂隙當中所結晶的礦物判斷是否鑽遇斷層是十分有效且直接的方法，並充分說明鑽井取心於地熱地質調查的重要性。



圖 52 大霧地熱發電廠位置圖



圖 53 大霧地熱發電廠

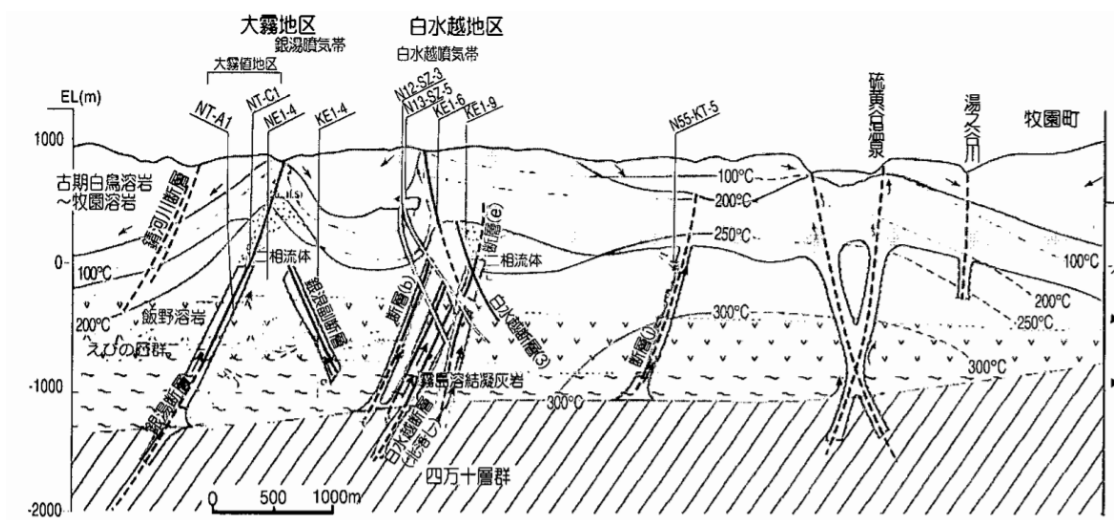


圖 54 大霧地區的地熱構造剖面圖(崛越等，2005)



圖 55 大霧地熱發電廠的管線規模相當大(照片右方的人員為比例尺)



圖 56 大霧地熱發電廠通往回注井區的尾水管線



圖 57 大霧地熱電廠位於國立公園內，管線及建築配色以白色與茶色為主



圖 58 大霧地熱發電廠最近剛完工的新井，井深約 3,000 公尺

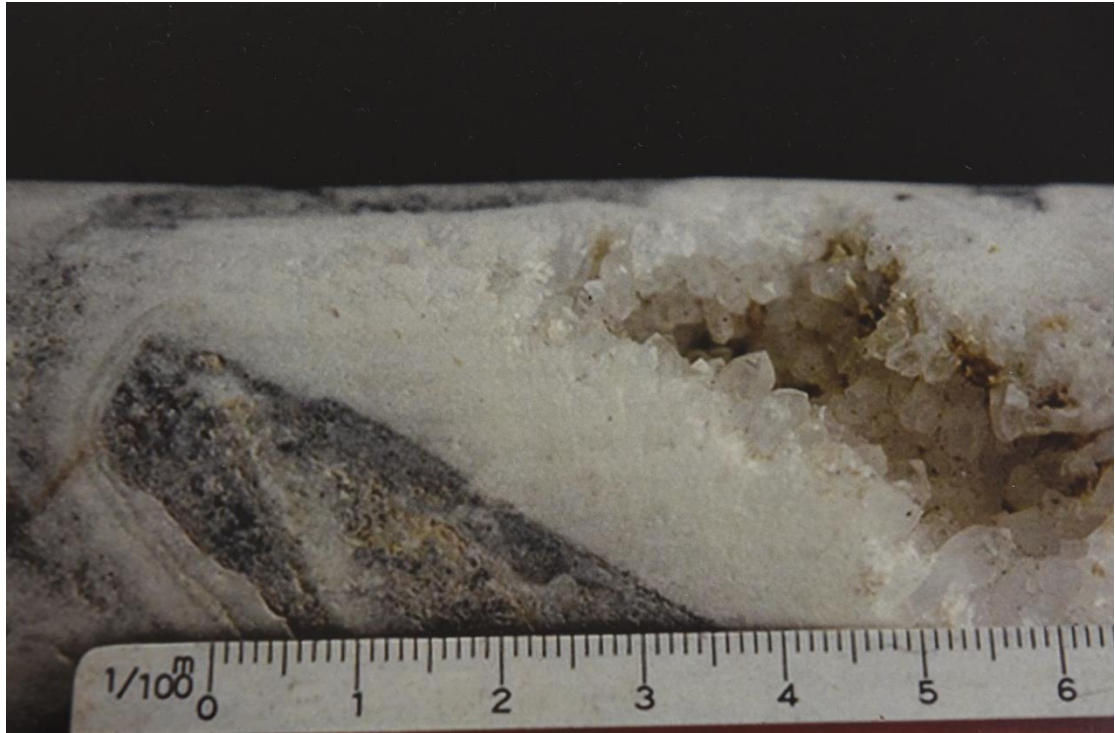


圖 59 大霧地熱電廠現場展示深 1,160 公尺的地質鑽探岩心當中含有石英脈，為岩層判斷依據

福岡大學地球圈科學科

本次研修主要由福岡大學地球圈科學科田口幸洋(Taguchi Sachihiro)教授安排與帶領，田口幸洋教授為九州大學理學博士，現年 68 歲，博士論文為霧島火山的區的地熱地質調查研究，研究專長為地熱地質學、礦物學與地球資源系統工學。田口教授取得博士學位後先於九州大學擔任博士後研究員，後接受福岡大學延攬進入地球圈科學科擔任教授，持續投入九州的地區的地熱地質研究工作迄今。

福岡大學位於福岡縣福岡市城南區(圖 60)，設立於 1937 年，為一所私立大學，地球圈科學科隸屬於該校理學部，學科內分為地球科學、地球物理學以及生物科學等三個分組。其中地球科學組聘有專職教授四名、助教四名，學生約 240 人。

本次研修福岡大學研討的項目包含九州地區的地熱地質概況、各電廠的地質背景討論以及臺灣地區地質概述與地熱地質調查展望等。研討首先由李柏村技士說明臺灣地區的地質概況、火山分布情形、目前的火山觀測研究成果以及地熱調查發展現況(圖 61)，之後雙方再就各議題進行討論與交流(圖 62)，並致贈相關領域的研究出版品(圖 63)。

田口教授求學期間正逢九州地區地熱地質調查工作的活躍期，因此對於九州地區的地熱電廠的地質背景以及開發背景甚為瞭解。研修人員事先就研修的內容與地點與之書信往來數次，對於此次研修預計參訪與調查的地點亦先行蒐集資料，因此在研修過程很快進入狀況，溝通無礙。田口教授在野外調查與參訪過程中，利用所準備的地質圖與研究論文等資料，於野外詳細的說明(圖 64)，並協助研修人員詢問有關地熱電廠探勘以及營運的相關問題(圖 65)，使此次研修不僅視野豐富，內容更是充實。

田口教授指出，日本九州地區的地熱來源主要為火山，火山噴發形成的火成岩經熱液換質作用之後形成的細顆粒礦物會大幅降低岩層透水性，此為形成的溫蓋層的絕佳條件與機會。臺灣地區的大屯火山群與九州的九重火山或霧島火山均有類似之處(均為多個火山聯合的山彙或是連峰)，且岩性亦均為安山岩為主，也有活躍的熱液換質現象。建議對於大屯火山的研究除了徹底的空中與地面地球物理調查之外，藉由地表地質調查建立熱液換質帶分布圖是尋覓良好地熱蓋層的必要工作。本所為我國政府機關內唯一的地質調查單位，亦刻正進行地熱地質調查工作規畫，未來將積極進行相關調查工作，協助地熱地質探勘與資源開發。



圖 60 福岡大學

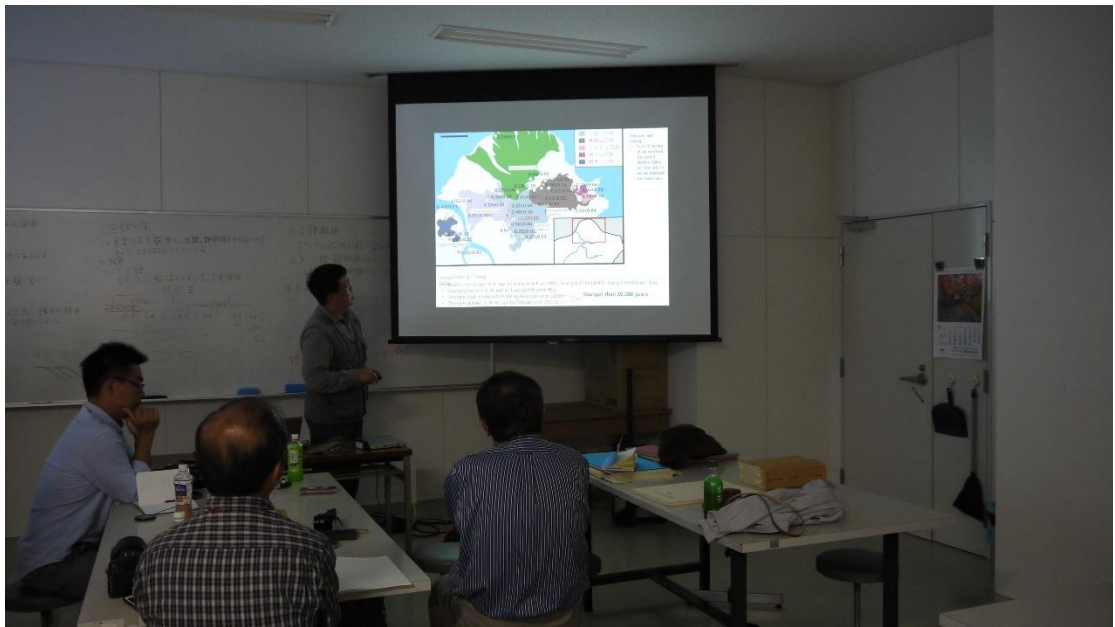


圖 61 研修人員李柏村技士說明大屯火山研究現況



圖 62 於福岡大學地球圈學科討論臺灣地質概況

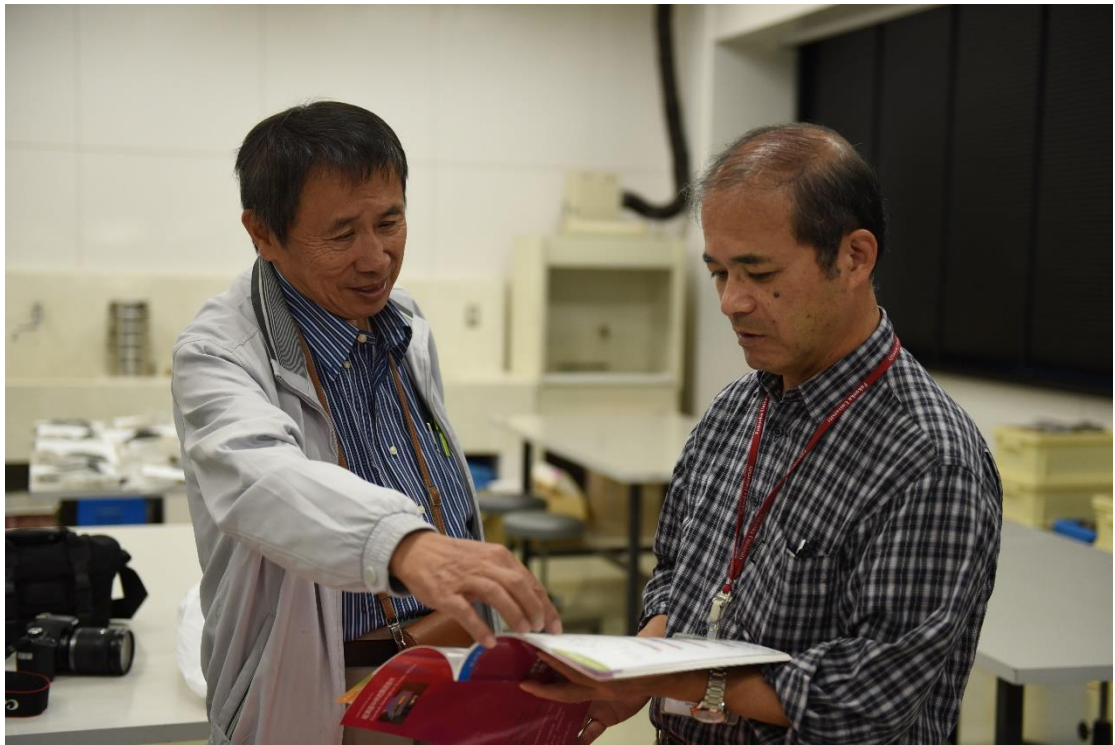


圖 63 研修人員李錦發組長代表致贈並說明本所地質期刊內容

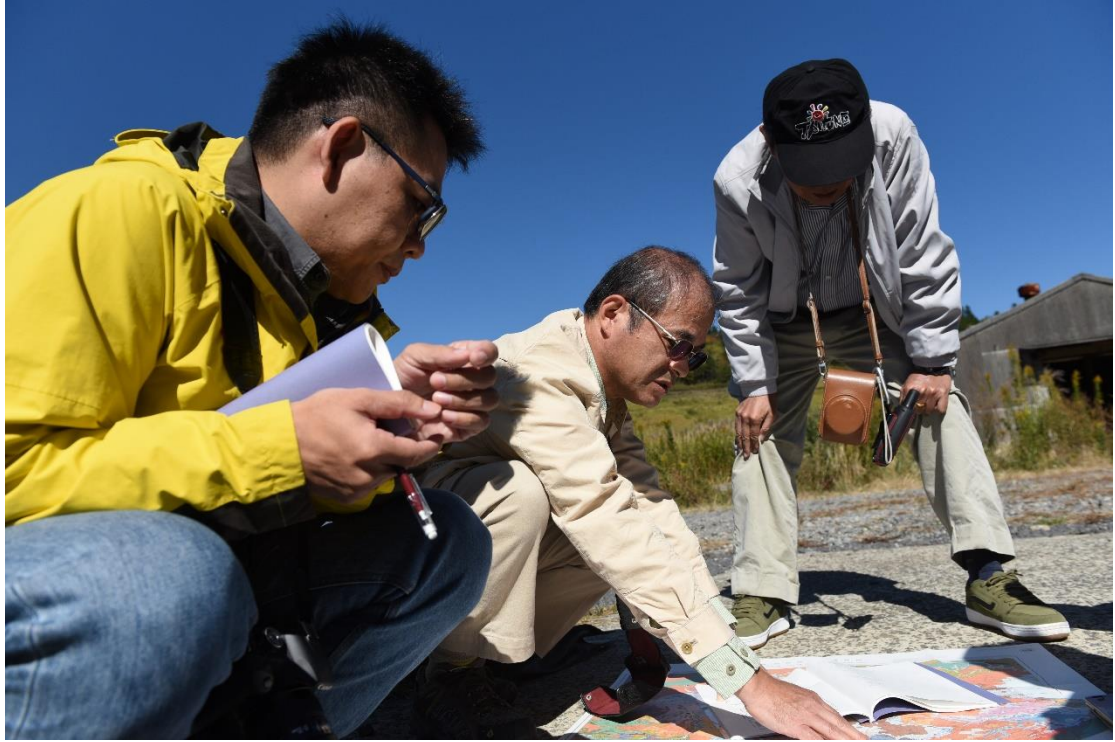


圖 64 田口教授於野外說明地熱地質概況



圖 65 田口教授於滝上地熱發電廠協助研修人員詢問並說明地熱電廠開發細節

四、心得及建議

首先感謝本次能獲派赴日本進行地熱資源探勘與評估研修，事先的充分準備以及國家經費的支援，讓此行十分順利，幾項心得及建議如下：

- 一、 日本的全國地熱地質調查於 40 年前即已開始進行，至 1992 年已完成 3 次的全國地熱資源調查。探測項目包含區域地質調查、地熱地質、大地電磁、磁力異常、地電阻、重力與地球化學分析等。在調查初期，均由政府機構帶領投入探勘工作，獲得初步的評估資料以後，將資料提供予民間單位，並在民間單位進行場址尺度的細部探勘工作時，由政府單位設置觀測井監控民間單位的探勘以及開發行為對於環境的影響程度。政府應積極投入探勘前期工作，協助整體地熱產業發展，建議國內如欲進行地熱地質調查工作，宜參考日本做法，綜合以上的調查方式並將各項調查成果繪製成等值線圖套疊於相關的地質圖上，以利研判地熱徵兆可能賦存範圍。
- 二、 日本雖有許多的地熱資源，但仍舊建立在詳實的地質調查上，每一個地熱區，均投入多年的調查工作，且地質探勘井數量動輒皆以十口計。藉由鑽井獲得的地下地質資料驗證地表各項調查成果，方能對地下地質構造以及地熱資源存在的深度範圍以及地下溫度剖面有直接的掌握。地質探勘井的鑽鑿有絕對的必要性，建議未來相關計畫務必要考慮探勘鑽井工作項目與數量，並須利用所取得岩心進行岩象分析以及詳實的電井測作業，建立三維地熱地質模型。
- 三、 為實際評估的熱賦存的範圍與含量，在地質探勘完竣並建立地熱地質模型之後，需進行完整的產能測試工作。地熱賦存地區與溫泉資源賦存地區有高度的重疊性，為了避免地熱開發造成周圍的溫泉資源取用受到影響，再進行產能測試工作時，須同步進行周邊溫泉資源監測。同時為涵養地熱賦存區，必須同時考慮回注井的設置，在取用熱水及蒸汽發電時，能將尾水回注至賦存區內。根據日本九州地區的經驗，回注井的設置須依據地熱賦存地區的地下水流狀況，將回注井設置於地下水流上游之處，因此對於地下水流的掌握是進行地熱開發前重要的一項工作。
- 四、 一個地熱發電廠在運作時，根據其設計發電量的大小會有不同數量的生產井以及回注井。由於在地熱發電廠運轉過程當中，可能因結垢或是管線的問題造成蒸氣無法持續提供，因此地熱發電廠(尤其是商用)至少需要兩口以上的生產井，以供定期維修或單一生產井無法供應蒸氣時尚能維持發電能力。
- 五、 地熱發電除可提供實質的電力之外，更重要的是其為一乾淨的能源且

屬於再生性的能源，日本各地熱發電廠均利用空間建立展示廳並提供學生、社會大眾以及國外人員參訪學習，不僅可推廣地熱調查探勘及取用技術，更可讓民眾自小建立保護環境與珍惜資源的觀念，具有社會教育的遠大效益，值得我國借鏡。

六、 日本從 1960 年代起開始注意地熱發電的效益，但迄今實際用來發電的量不到 2%，最主要的原因在於可用來進行地熱發電的活火山，有 8 成都位於國家公園內，園內開發受到嚴格限制。2011 日本東北大地震造成福島第一核電廠事故，關閉核電廠的措施造成了相當期間的電力短缺。為了開發新能源，日本在 2012 年 3 月迅速修改了部分的法令，讓地熱開發開始變得活躍，也帶動了一系列的產業發展。國內的大屯火山地區以及中央山脈部分地熱徵兆區亦屬於國家公園境內，受限於我國的法令限制，目前無法進行地熱開發工作，建議政府正視並適度修改相關法規，以利後續地熱探勘及能源開發。

最後，再次感謝國家提供經費讓本所人員能前往本次研修，希望在研修所獲得的經驗與心得，可做為未來相關研究工作的參考依據，並建立新型調查技術發展的引子，同時在工作崗位上能多有應用，回饋國家社會。