

出國報告（出國類別：考察）

地熱地質探勘、火山活動觀測與災 防技術考察

服務機關：經濟部地質調查及礦業管理中心

姓名職稱：陳棋炫科長、李柏村技正

派赴國家：紐西蘭

出國期間：112年11月13日~112年11月23日

報告日期：113年2月23日

目次

一、摘要.....	10
二、目的.....	12
三、過程.....	16
四、心得及建議.....	85

圖目錄

圖 1 國際有關傳統型地熱及增強型地熱之發展預估 (李柏亨等，2014);美國地熱裝置容量至2050前之預測發展路徑(Geovision, 2019).....	13
圖 2 紐西蘭地熱資源分布圖(摘自紐西蘭 GNS).....	15
圖 3 會議現場報到處	18
圖 4 主辦單位以毛利傳統迎接歡迎儀式 歡迎與會者	18
圖 5 會議籌備委員會委員 Sadiq J. Zarrouk 說明議程及研討會時間及空間配當	19
圖 6 研討會場茶敘交誼場地	29
圖 7 廠商攤位區 展示各廠商的工作實績與特色	30
圖 8 會議論文口頭發表	30
圖 9 研討會視訊發表論文情形	31
圖 10 簡報結束後的現場問答討論	31
圖 11 本中心陳棋炫科長(右)、李柏村技正(左)等人發表海報說明本中心於大屯火山所進行的地熱地質資源調查成果.....	32

圖 12 本中心委託財團法人工業技術研究院辦理花東變質岩區深層地質鑽探與 環境資訊調查計畫，於本次研討會發表相關成果進行口頭論文宣讀.....	33
圖 13 國立臺灣大學新碳勘科技研究中心執行本中心委託調查案件成果獲得最 佳海報論文獎.....	34
圖 14 會場交誼場地各界與會人士討論情形	34
圖 15 於海報區進行討論情形	35
圖 16 參訪奧克蘭大學地熱模擬團隊研究中心	36
圖 17 朗依托托火山是一座玄武岩質的火山，因岩漿流動性佳而呈現盾狀且對 稱的火山外觀.....	38
圖 18 朗依托托火山調查路徑，比例尺位於圖片右下角，當天為雨天	39
圖 19 朗依托托島港口旁多孔玄武岩熔岩流露頭	39
圖 20 步道兩旁廣佈厚層玄武岩質火山渣	40
圖 21 登山步道從玄武岩質火山渣層開闢，以利行走	41
圖 22 靠近火山頂部的火成岩，受強烈風化形成紅土	41
圖 23 玄武岩因受風化而形成洋蔥狀風化外觀特徵	42

圖 24 朗依托托距離奧克蘭市僅數公里，因此紐西蘭政府設置火山活動監測設備進行監測.....	42
圖 25 位於火口湖畔的羅托路亞市	44
圖 26 羅托路亞火口湖與湖內流紋岩穹丘形成的島嶼	45
圖 27 Rachel Pool 溫泉池.....	46
圖 28 Rachel Pool 高溫熱水(近攝氏100度)及矽質溫泉華沉澱	47
圖 29 Mark Gibson 經理說明 GNS 組織與相關業務	51
圖 30 地球化學實驗室負責人 Dr. Stuart Sanderson 說明實驗室設備、採樣及分析情形。	51
圖 31 Dr. Bruce Mountain 說明地熱流體高溫高壓反應裝置與實驗產出流體協助進行地熱儲集層狀態模擬研究的過程.....	52
圖 32 Dr. Andrew Rae 介紹地質實驗室設備.....	53
圖 33 岩屑顆粒螢光分析儀器與標本收集盛裝方式，盒中的數字代表不同深度(單位：公尺).....	54
圖 34 地質研究室所在的 GRANGE Building.....	58

圖 35 本中心李柏村技正簡報說明臺灣地熱發展與案場推動現況	59
圖 36 臺紐雙方進行技術交流討論	60
圖 37 Dr. Andrew Rae 介紹 Wairakei-Tauhara 地熱系統與發電使用狀況	61
圖 38 Dr. Andrew Rae 介紹紐西蘭地熱資源直接使用案例.....	62
圖 39 GNS 火山監測及火山災害評估技術說明，並說明火山活動異常資訊通報 的機制.....	66
圖 40 Dr. Geoff Kilgour 介紹陶波湖周邊火山地形及周邊地質架構.....	67
圖 41 陶波火山帶地質簡介及火山氣體分布特徵說明	69
圖 42 火山逸氣調查研究區域介紹	69
圖 43 將各式無人機、無人船設備改裝為火山氣體採樣工具	70
圖 44 陶波地區 CO ₂ 逸氣研究成果說明.....	70
圖 45 Craters of the Moon 地熱徵兆	72
圖 46 Craters of the Moon 大型噴氣陷落口，噴氣口因會隨時間改變地點，構 築於其上的步道會變更位置以確保遊客安全(照片中間左方暗綠色處即為舊 的橋梁護欄).....	73

圖 47 位於 Waiotapu 地熱露頭區中的香檳池景點，其下為熱液噴發口，因熱液當中的二氧化碳隨熱液上升過程冒出，形成終年冒泡的景觀，如同香檳一般而得名。.....77

圖 48 Wairakei 地熱電廠是紐西蘭最早的地熱電廠..... 78

圖 49 Wairakei 地熱電廠全景..... 79

圖 50 Wairakei 地熱電廠發電機組廠房及冷卻塔.....80

圖 51 Te Huka 地熱電廠.....82

圖 52 Ohaaki 地熱電廠.....84

表 目 錄

表 1 2023 NZGW 會議議程(15 Nov).....	20
表 2 2023 NZGW 會議議程(16 Nov).....	21
表 3 2023 NZGW 會議議程(17 Nov).....	22

一、摘要

經濟部地質調查及礦業管理中心選派區域地質組陳棋炫科長以及李柏村技正等二人赴紐西蘭執行地熱地質探勘、火山活動觀測與災防技術考察。考察地點為紐西蘭奧克蘭(Auckland)以及陶波(Taupo)地區，考察內容包含於紐西蘭地熱工作坊研討會(NZGW2023)發表論文及參與研討會瞭解各國地熱發電及地熱探勘技術發展現況，並參訪奧克蘭大學地熱研究中心以紐西蘭地質與核能研究所(GNS Science)，就臺、紐兩地的地熱地區地質概況、地熱資源探勘方法、火山活動情形、火山活動觀測以及火山災害潛勢等項目進行討論。此外，考察人員亦至奧克蘭地區 Rangitoto 火山島、陶波地區 Waiotapu、Ohaaki、Nga Awa Puru、Te Huka、Wairakei 等地熱發電廠、地熱露頭以及火山地區進行野外考察。並於紐西蘭地熱與核能顏介紹臺灣地區地熱資源調查與火山活動觀測現況。

地礦中心現前正進行地熱潛力區塊資訊擴建及鑽井計畫研擬，此次前往紐西蘭研修，汲取紐西蘭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及資源評估技術水準，早日達到2050年「淨零碳排」的政策目標。

二、目的

我國2050淨零碳排政策，已於2022年底公布「淨零轉型之階段目標及行動」，內容涵蓋能源轉型、產業轉型、生活轉型、社會轉型等4大策略及科技研發、氣候法制等2項治理基礎，與對應的12項關鍵戰略。而其中與經濟發展相關的項目為經濟部主責的「能源轉型」。為了因應淨零政策，能源轉型除了風力、光電之擴增、氫能的應用、電力系統整合與儲能，同時也增加地熱發電、生質能與海洋能等前瞻能源開發。

地熱發電持續且不受氣候與晝夜變化的影響，對環境的低衝擊特性，使其成為極具潛力的基載電力來源，在我國2050淨零碳排政策12項關鍵戰略的前瞻能源項目中亦設立了2030年達56-192MW、2050年達3-6.2 GW 的階段性目標。根據 Geovision (2019)統計美國的地熱資料，認為在現階段的探勘技術下，仍有大量未確認的傳統型地熱資源的存在。透過進一步的調查與探勘，可大幅提高傳

統型地熱的潛能(圖 1、2)。我國過去僅在1970-1980年代發展過短期的傳統型地

熱能源，探勘與確認新的傳統型地熱區域仍為當前務實的必要歷程。

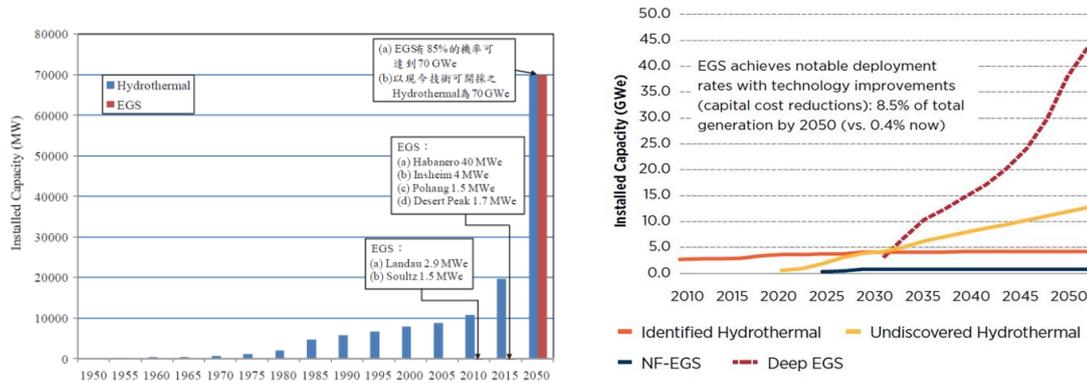


圖 1 國際有關傳統型地熱及增強型地熱之發展預估 (李柏亨等，2014);美國地熱裝置容量至2050

前之預測發展路徑(Geovision, 2019)

全球地熱資源的分布主要集中在3個地區：第一是環太平洋火環帶，含美國、紐西蘭、印尼、菲律賓、日本與臺灣；第二是大西洋中洋脊帶的部分海洋，含北部的冰島；第三是地中海到喜馬拉雅山一帶，包括義大利和西藏，目前全球共有76個國家、約700個地熱開發計畫進行中，且裝置量持續增加中。臺灣位於歐亞板塊及菲律賓海板塊隱沒交界處，亦位於環太平洋火環帶(Ring of Fire)中的一個區域。在該火環帶的鄰近地區，包含美國、日本、菲律賓、印尼、紐西蘭等國家，均有許多火山、溫泉及地熱資源。與臺灣同位處環太平洋

火環帶的紐西蘭，發展地熱已超過60年，地熱發電裝置量達1,005MW，居全球

第四，地熱產業鏈發展成熟。本次出國計畫前往紐西蘭進行地熱地質探勘、火

山活動觀測與災防技術。考察內容包含地熱地區地質概況、地熱資源探勘方

法、地熱地區及火山露頭野外地質調查以及數處地熱電廠及地熱露頭的參訪。

期能汲取紐西蘭的地熱地質探勘、開發以及火山活動觀測之經驗與技術，應用

於我國刻正進行的相關工作。



圖 2 紐西蘭地熱資源分布圖(摘自紐西蘭 GNS)

三、過程

行程表

日期	研討會/參訪地點	所在位置
11.13	啟程搭機	桃園機場
11.14	經澳大利亞布里斯本機場轉機-抵達紐西蘭奧克蘭	紐西蘭奧克蘭
11.15	2023 NZGW 參加由奧克蘭大學主辦之第45屆紐西蘭地熱研討會。	紐西蘭奧克蘭
11.16	2023 NZGW 參加由奧克蘭大學主辦之第45屆紐西蘭地熱研討會。	紐西蘭奧克蘭
11.17	2023 NZGW 參加由奧克蘭大學主辦之第45屆紐西蘭地熱研討會，並進行口頭論文發表。	紐西蘭奧克蘭
11.18	奧克蘭周邊火山區 奧克蘭-朗依托托島(Rangitoto Island)火山地質考察。	紐西蘭奧克蘭
11.19	紐西蘭奧克蘭-羅托路亞-陶波 自奧克蘭移動製陶波地區，沿途考察羅托路亞火山口(Rotorua caldera)地形。	紐西蘭奧克蘭、羅托路亞、陶波
11.20	參訪紐西蘭地質及核能研究所(GNS)、陶波地區地熱區 簡報說明臺灣地熱發展現況說明與探勘技術交流、參訪 GNS 地球化學與地質實驗室、參訪陶波地區 Craters of the Moon 地熱區。	紐西蘭陶波
11.21	參訪紐西蘭地質及核能研究所(GNS)、陶波地區地熱區 參訪 GNS 火山監測中心組織、聽取火山活動監測技術簡報並討論火山災害評估技術成果。參訪陶波湖周邊火山地形、電廠、地熱區；訪問 GNS Jimmy Yang 博士候選人，進行氣體採樣新裝備儀器與陶波地區 CO ₂ 逸氣特徵研究交流。	紐西蘭陶波
11.22	紐西蘭陶波-奧克蘭	紐西蘭陶波-奧克蘭
11.22	返程搭機	紐西蘭奧克蘭機場
11.23	經澳大利亞雪梨機場轉機-抵達臺灣桃園機場	桃園機場

(一) 第45屆紐西蘭地熱研討會

本年度是第45屆紐西蘭地熱研討會(45th New Zealand Geothermal Workshop, 2023 NZGW)，由奧克蘭大學主辦，會議日期為2023/11/15~11/17，會議地點位於紐西蘭奧克蘭大學工程大樓(圖3)，3天會議議程分別見表1、表2、表3。

本屆研討會邀請4位世界知名地熱研究學者進行專題演講，並收錄83篇技術論文、21篇地熱產業最新動態，與會人員來自紐西蘭及世界各地，人數超過350人。除了實體會議形式，本次研討會亦開放註冊者以虛擬與會者方式與會，並可透過虛擬平台觀看所有研討會的實況內容。

在研討會開始之前，主辦單位以毛利族傳統的迎接歡迎的致詞與儀式-Mihi whakatau 歡迎各國人員參與本次研討會(圖4)，充分展現紐西蘭尊重當地原住民族傳統的用心，接著由再由籌備委員會委員 Sadiq J. Zarrouk 副教授說明議程細節及研討會進行方式(圖5)，並由另一位籌備委員會委員 Dr. John O'Sullivan 致歡迎詞，隨即由專題邀請演講為本次研討會拉開序幕。



圖 3 會議現場報到處



圖 4 主辦單位以毛利傳統迎接歡迎儀式 歡迎與會者



圖 5 會議籌備委員會委員 Sadiq J. Zarrouk 說明議程及研討會時間及空間配當

表 1 2023 NZGW 會議議程(15 Nov)

New Zealand Geothermal Workshop 2023 Programme Draft			
Tuesday 14 November			
3:00	Registration Open		
5:30	Welcome Reception University of Auckland Engineering Building		
7:00			
Wednesday 15 November			
8:00	Registration Open		
8:30	Mihi whakatau		
8:40	Housekeeping: Sadiq J. Zarrouk		
8:45	Welcome and Opening: Richard Clarke, incoming Dean of Engineering, Sadiq J. Zarrouk and John O'Sullivan, Co-Directors, Geothermal Institute, The University of Auckland		
9:00	WORKSHOP AWARDS		
9:15	KEYNOTE TITLE: Recent advances in regional-scale geothermal exploration and resource evaluation to unlock hydrothermal potential in the Great Basin region, western USA and beyond Keynote Speaker Dr Bridget Ayling, Capability Lead - Reservoir Strategy, Geothermal Generation and Trading Capability, Contact Energy, New Zealand		
10:00	Morning Tea		
	Session 1.1 - INDUSTRY UPDATES SESSION CHAIR Katie McLean Lecture Theatre 401.401	Session 1.2 - RESERVOIR MODELLING 1 SESSION CHAIR Ryan Tonkin Lecture Theatre 401.439	Session 1.3 - GEOTHERMAL GEOLOGY 1 SESSION CHAIR Sadiq Zarrouk Lecture Theatre 423.342
10:30	ICELAND DRILLING INDUSTRY UPDATE Sveinn Hannesson	46 Equation of state modules for Waiwera including water, chloride and non-condensable gas - Adrian Croucher	13 Fracture permeability in basement greywacke for supercritical drilling planning - Sarah Millich
10:45	AECOM NEW ZEALAND INDUSTRY UPDATE Dennis Preston, June Chin	23 Numerical model of the Tikitere geothermal system - Michael O'Sullivan	26 2012-2023 Comparative Ground Penetrating Radar and Temperature Survey at Orakei Korako, Taupō Volcanic Zone, New Zealand - Bridget Lynne
11:00	MARUBENI-ITOCHU TUBULARS OCEANIA INDUSTRY UPDATE	87 Assessment of Enhanced Geothermal System (EGS) Methodology for Harnessing Geothermal Energy Potential in Depleted Gas Fields - Rohit Duggal	65 Geologic Controls on Geothermal System Location and Type - Irene Wallis
11:15	XCALIBUR MULTIPHYSICS INDUSTRY UPDATE Craig Annison	95 Cloud computing for complex geothermal simulations using the parallel software Waiwera - Ken Dekkers	50 Highlights of Borehole Imaging, Tauhara Geothermal Field Drilling, New Zealand - Sarah Millich
11:30		73 Fast-tracking numerical modelling projects using Volsung and Leapfrog Energy - Jonathon Clearwater	66 Geologic Controls on Permeability Revealed by Borehole Imaging: Case Studies from Sumatra, Indonesia and the Taupō Volcanic Zone, New Zealand - Irene Wallis
11:45		94 Greenfield resource assessment: maximising early stage data to constrain uncertainty - Tia Jones, Claudia Saunders	102 Updated Geological Structure and 3D Intrusion Model as Veritable Fracture Driver of Fracture Characterization in Wayang Windu Geothermal Field, Indonesia - Mei-yanto Purnomo
12:00-1:30	Lunch and Poster Session: 57 Insight into the Geothermal Structure in Tatun Volcano Group, Taiwan - Chi-Hsuan Chen 74 The geothermal reservoir characteristics of metamorphic terrain, an initiative of geological and geophysical survey of Qingshui, Tuchang, and Renze, NE Taiwan - Gong-ruei Ho 79 Geothermal characteristics of the Paolai Hot Spring area, Taiwan - Shao-Yi Huang 64 Regional geothermal exploration in Dongpu Geothermal Field of Central Taiwan - Hsin-Yi Wen 86 Exploring mildly acidic to neutral hot fluids through carbonate clumped isotope (Δ47) thermometer in the Liuhuangtuziping Area - Yi-Chia Lu 83 A review of non-condensable gases (NCGs) reinjection within the geothermal industry and a comparison with other carbon capture and storage (CCS) technologies - Aston Carmichael 39 Numerical Simulator for the Coupled Model of Wells and Fractured Reservoirs - Mitsuo Matsumoto 5 Hydrothermal Alteration and Mineralogy Characterization at the Lake-Assal and the Hatchobaru Geothermal Fields - Holey Mohamed Awaleh		
1:30	MB CENTURY INDUSTRY UPDATE Greg Thompson		

1:45	NZGA Industry-led CO ₂ emissions reductions project update Kennie Tsui			
	Session 2.1 - INDUSTRY UPDATES SESSION CHAIR Clare Baxter Lecture Theatre 401.401	Session 2.2 - PRODUCTION & MANAGEMENT 1 SESSION CHAIR Theo Renaud Lecture Theatre 401.439	Session 2.3 - GEOPHYSICS SESSION CHAIR Bridget Lynne Lecture Theatre 423.342	
2:00	WAIKATO REGIONAL COUNCIL INDUSTRY UPDATE Katherine Luketina	82 A process model for geothermal power generation - Anu Choudhary	47 Towards a national temperature model for New Zealand - Alison Kirby	
2:15	BAY OF PLENTY REGIONAL COUNCIL INDUSTRY UPDATE Penny Doorman	43 MakBan Drilling Campaign Offset Wells Monitoring and Post Drilling Production Evaluation - Edward Bermido	55 Seismic reflection data acquisition in the Taupō Volcanic Zone: Reprocessing of Broadlands-Ohaaki 1984 seismic data - Callum Kennedy	
2:30	JRG ENERGY INDUSTRY UPDATE John Gilliland	81 Analysis of Heat Recovery Time Predictions for Multiple Periods of Temporary Reinjection in Geothermal Well Production at Lumut Balai Field - Erwandi Yanto, Aris Budiyanto	15 Long Term Production in TVZ Geothermal Systems using a 2D Source to Surface Model - Warwick Kissing	
2:45		85 Detection and Diagnosis of Abnormal Conditions in the Feed Pumps of a Geothermal Binary Power Plant Using Feature-based Time-series Analytics - Paul Michael Abrasaldo	31 Insights into the Waiotapu Geothermal Field using High Resolution SkyTEM Data - Robert Reeves	
3:00		88 Reinjection Management Evaluation in Karaha Bodas Field 2022 - Kristina Emeralda Cici		
3:15	Afternoon Tea			
	Session 3.1 - INDUSTRY UPDATES SESSION CHAIR Leighton Taylor Lecture Theatre 401.401		Session 3.3 - GEOCHEMISTRY SESSION CHAIR Claire Newton Lecture Theatre 423.342	
3:45	MERCURY NEW ZEALAND INDUSTRY UPDATE Stewart Hamilton		18 REGEMP 2022: Waikato Regional Geothermal Monitoring Programme - Katherine Luketina	
4:00	EASTLAND GROUP INDUSTRY UPDATE Alice Pettigrew		53 Reversing Carbon Emissions in the Geothermal Energy Industry Project: A Geoscience Perspective - Eylem Kaya	
4:15	CONTACT ENERGY INDUSTRY UPDATE Bridget Ayling		27 The effect of CO ₂ reinjection on silica scaling in geothermal reservoirs - David Byrne	
4:30	WESTERN ENERGY INDUSTRY UPDATE Marcus Prestney		33 Rhyolite of the Tauhara Geothermal Field: insights and correlations from geochemistry - Mark Simpson	
4:45	WESTERN ENERGY INDUSTRY UPDATE Abandoning Challenging Assets - Decommissioning a bunch of little annoying wells - Ben Drew			
5:00	SEQUENT INDUSTRY UPDATE Jeremy O'Brien			

表 2 2023 NZGW 會議議程(16 Nov)

Thursday 16 November			
8:45	Housekeeping		
9:00	KEYNOTE TITLE: Improving Geothermal Energy Production: Forward Modelling and Data Assimilation with Consideration of Uncertainty Keynote Speaker Associate Professor Denis Voskov, TU Delft, The Netherlands		
9:45	TRIVENI TURBINES INDUSTRY UPDATE Shailesh K., Tushar SV		
10:00	Morning Tea		
	Session 4.1 - INDUSTRY UPDATES	Session 4.2 - DRILLING & WELL TESTING	Session 4.3 - ENVIRONMENTAL ASPECTS 1 / SOCIAL ASPECTS / MĀTAURANGA MĀORI
	SESSION CHAIR Jeremy O'Brien	SESSION CHAIR Adrian Croucher	SESSION CHAIR Ru Nicholson
	Lecture Theatre 401.401	Lecture Theatre 401.439	Lecture Theatre 423.342
10:30	JACOBS INDUSTRY UPDATE Jane Brotheridge	16 Machine Learning Opportunities for Geothermal Drilling Operations: An Overview - Aira Aspiras	62 Using Temperature Methods to Improve Geyser Monitoring at Rotorua, New Zealand - Brook Keats
10:45	LFF NEW ZEALAND INDUSTRY UPDATE Matt Goodin	70 Geothermal Temperature and Pressure Transient Analyses of Well CHI-8A, El Salvador During Pressure Falloff - Jorge Alberto Rangel Arista	8 Geothermal Systems of the Bay of Plenty Region, Aotearoa New Zealand - Inventory and Systems Extent - Mariana Zuquim
11:00	MTL INDUSTRY UPDATE	69 Collaborative and Holistic Applications Drive Record Drilling Performance in Mak-Ban Geothermal Field, 2020-2022 - Aira Aspiras	61 Groundwater Modelling Assessment of Shallow and Deep Geothermal Aquifer Interactions Around Otumuheke Stream, Wairākei-Tauhara Geothermal Field - Jake Scherberg
11:15	CASIL TECHNOLOGIES INDUSTRY UPDATE Jim Johnston	19 Cementing and Aerated Drilling Solutions for Curing Shallow Loss Circulation - Aira Aspiras	17 State of the Environment Reporting using the DPSIR Model in the Waikato Region - Katherine Luketina
11:30	ITALMATCH CHEMICALS GB LTD INDUSTRY UPDATE Davide Parravicini	76 Reducing Casing Heatup Rates in Geothermal Production Wells by using Coiled Tubing Gas Lift - Matthew Sophy	48 Incorporating Māori world views in the Rotorua geothermal system management plan - Tamara Mutu
11:45		107 Preliminary Analysis of Geothermal Drilling Results in Eastern Taiwan - Hsin Han Chen	
12:00	Lunch		
1:00	KEYNOTE TITLE: Managing geothermal – a Local Government perspective on changing relationships and responsibilities Keynote Speaker Penny Dorman, Geothermal Programme Leader, Bay of Plenty Regional Council, New Zealand		
1:45	ORMAT TECHNOLOGIES INC. INDUSTRY UPDATE Rotem Ezer		
	Session 5.1 - INDUSTRY UPDATES	Session 5.2 - SCALING & CORROSION	Session 5.3 - RESERVOIR MODELLING 2
	SESSION CHAIR Samatha Alcaraz	SESSION CHAIR Wei Gao	SESSION CHAIR John O'Sullivan
	Lecture Theatre 401.401	Lecture Theatre 401.439	Lecture Theatre 423.342
2:00	GNS SCIENCE INDUSTRY UPDATE Isabelle Chambefort	22 Modelling Particle Tracking of Moisture Droplets in Geothermal Steam Pipeline - Kim Fong Chan	37 Changes in geothermal reservoirs due to hydrothermal eruptions and fault reactivation - James Patterson
2:15	GEOTHERMAL INSTITUTE INDUSTRY UPDATE Sadiq J. Zarrouk, John O'Sullivan	56 Laboratory HCl acid condensate testing of geothermal casing steels - Soroor Ghazlof	32 Investigating Influences on Hydrothermal Fluid Flow in the Taupō Volcanic Zone with Numerical Models Constrained by Magnetotellurics - Sophie Pearson-Grant
2:30	THORNDON COOK INDUSTRY UPDATE Roger Hudson	38 Update on the Casil technology: economically solving global silica scaling, enabling low temperature direct heat extraction and electricity generation - Michael Schweig	78 The influence of boundary conditions in a reservoir model on the accuracy of the simulation results - Bo Jin
2:45	WING INDUSTRY UPDATE Katherine Newman	41 Development of a novel HT calcite scale inhibitor for geothermal applications - Davide Parravicini, Alessandro Guidetti	60 Ensemble Methods for Geothermal Model Calibration - Alex de Beer
3:00	DOBBIE CONSULTING INDUSTRY UPDATE	42 Case study: Silica Inhibitor Trial in Central America Plant - Alessandro Guidetti, Jonhson Kuy	24 Numerical modelling of tracer tests in the Ohaaki geothermal system - Michael O'Sullivan
3:15	Afternoon Tea		
	Session 6.1 - INDUSTRY UPDATES	Session 6.2 - DIRECT USE	Session 6.3 - ENVIRONMENTAL ASPECTS 2
	SESSION CHAIR Mike Allen	SESSION CHAIR Bart van Campen	SESSION CHAIR Rony Nugraha
	Lecture Theatre 401.401	Lecture Theatre 401.439	Lecture Theatre 423.342
3:45	NZTE - Indonesia INDUSTRY UPDATE Putri Wuningsari	103 Update of Direct Geothermal Energy Use Inventory and Management for New Zealand - Lucy Carson	49 Vegetation in the Wairākei-Tauhara Geothermal System: History and Future Options - Christopher Bycroft
4:00	NZTE - Philippines INDUSTRY UPDATE Maricon Popanes-Lim	67 Low-Temperature geothermal – a decarbonising solution for covered crop growers in New Zealand? - Anya Seward	44 Geothermal vegetation of the Waikato Region: 2023 update - Sarah Beadel
4:15	NZTE - Taiwan INDUSTRY UPDATE Peg Tsai	63 Assessing the potential of low to intermediate temperature geothermal resources for direct use - Maureen Nechesa Ambunya, Willis Ambuso	104 Preliminary ESG Consideration for Geothermal Development in Indonesia: What Relevant Environmental, Social and Governance Aspects Need to be taken into Account? - Dewi Permatasari
4:30	NZTE - Japan INDUSTRY UPDATE Zea Rose	99 Geothermal Direct Use Implementations and Its Potential Developments in North Sulawesi - Armando Ariakta Aloanis	

表 3 2023 NZGW 會議議程(17 Nov)

Friday 17 November		
8:45	Housekeeping	
9:00	KEYNOTE TITLE: The Role of Kiwis in the International Geothermal Industry Keynote Speaker Jim Randle, Consultant, GT Management, Indonesia	
9:45	Morning Tea	
	Session 7.1 - INDUSTRY UPDATES SESSION CHAIR Fiona Miller Lecture Theatre 401.401	Session 7.2 - PRODUCTION & MANAGEMENT 2 SESSION CHAIR Eylem Kaya Lecture Theatre 401.439
		Session 7.3 - HINDSIGHT & FORESIGHT SESSION CHAIR Michael Gravatt Lecture Theatre 423.342
10:15	UPFLOW INDUSTRY UPDATE Andrew Marsh	89 GeoEjector: Extracting geothermal fluid from a low-pressure geothermal well - Maria Gudjonsdottir
10:30		91 Study & Design of Binary ORC Using Wet Cooling Tower (Existing) of Unit V & VI in Lahendong Geothermal Field, Indonesia - Adhiguna Satya Nugraha
10:45		10 Double Energy Input IV, a proposal for a novel source of energy - Daniel Ramirez Ordas
11:00		51 Supercritical Well Performance Simulation using GFlow Wellbore Simulator: A Case Study of Ultra-hot IDDP Wells in Iceland - Julius Marvin Rivera
11:15		21 Comparison of Icelandic Supercritical Well Forecasts with Subcritical Geothermal Production Well Outputs - Julius Marvin Rivera
11:30		45 Carbon Negative Geothermal: Theoretical Case Study for Biogenic CO2 Removal at Ngāwhā Power Station - Karan Titus
11:45	Lunch	
12:45	WING Panel Challenges and opportunities in building a resilient and diverse Geothermal workforce Facilitator: Katherine Newman	
	Session 8.2 - RESERVOIR MODELLING 3 SESSION CHAIR Mike O'Sullivan Lecture Theatre 401.439	Session 8.3 - GEOTHERMAL GEOLOGY 2 SESSION CHAIR Bridget Lynne Lecture Theatre 423.342
1:45	12 Understanding Mineralogical and Geochemical Evolution in Geothermal Reservoirs through Reactive Transport Modelling - Dale Emet Altar	59 Regional geothermal exploration and potential assessment in the Taitung Hongye area, Eastern Taiwan - Pei-Shan Hsieh
2:00	105 Kawah Kamojang Pilot Injection Test: Production Monitoring Evaluation and Numerical Reservoir Modelling Study to Support Kamojang Injection Optimization Program - Fathan Hamim Abdurachman	106 The Impact of an Active Strike-slip Fault to The Principal Horizontal Stress Orientations and Fluid Flow in the Karaha Bodas Geothermal Field, Indonesia - Muhammad Ikhwan
2:15	58 Quantifying Geothermal Resource Potential and Uncertainty Analysis using a Natural State Model of Kotamobagu Geothermal Field in North Sulawesi, Indonesia - Bei Nagoro	28 Combining geophysical, isotopes and geological studies toward geothermal models at Hongchailin for geothermal power generation in NE Taiwan - Jian-Cheng Lee
2:30	71 Development module of a geothermal reservoir in sedimentary rocks in Taiwan - Bieng-zih Hsieh	
2:45		108 An Integration Solution of Geomodelling Tools in a Geothermal Modelling Framework - Jeremy Rihet
3:00	Workshop close - Sadiq J. Zarrouk, John O'Sullivan	
	*programme correct as at 31 October 2023	
	International oral presentations - virtually presented	

本屆研討會的4場專題邀請演講之概要介紹如下：

第一場：講者 Dr. Bridget Ayling

講者：Dr. Bridget Ayling，演講題目：Recent advances in regional-scale

geothermal exploration and resource evaluation to unlock hydrothermal potential in

the Great Basin region, western USA and beyond。Bridget Ayling 博士是紐西蘭

Contact Energy 公司的儲集層策略主管人員。她曾擔任內華達大學雷諾分校 (University of Nevada, Reno , UNR)大盆地地熱能中心(Great Basin Center of Geothermal Energy)主任以及美國內華達州礦業和地質局副教授。她負責地熱能源開發領域的研究和教育項目，以了解上地殼流體流動的複雜性及其對地熱資源勘探和開發的影響，並管理內華達州的地熱數據資料庫以及國家地熱學院的培訓計劃。

在2016年加入 UNR 之前，她曾在澳大利亞政府的地球科學機構澳大利亞地球科學局(Geoscience Australia)以及美國猶他大學(University of Utah)能源與地球科學研究所工作，並擔任地熱崛起(前地熱資源委員會)和國際地熱協會的董事會成員以及美國國家科學院、工程院和醫學院的地球資源常務委員會成員。她是地熱女性(Women in Geothermal ,WING)的倡導者和成員，該組織是一個全球性組織，旨在支持地熱行業女性的專業發展和權利。

Dr. Bridget Ayling 介紹美國大盆地地區、美國西部及其他區域規模地熱勘探和資源評估的最新進展以及熱液潛力。包含介紹高光譜岩心成像技術於地熱調查

的應用、發展大盆地地熱系統的精細 3D 和概念模型、應用地熱通道 (PF) 分析來繪製區域潛力圖、將機器學習方法整合到應用地熱通道工作流程中、評估資訊價值 (VOI) 方法以支援鑽探目標和勘探決策、區域資料彙編和分析，並開發用於預測資源測繪和評估的整合、綜合工作流程，以加速發現商業上可行的地熱系統以及應用的機會。

第二場；講者 Dr. Denis Voskov

講者 Dr. Denis Voskov，演講題目：Improving Geothermal Energy Production: Forward Modelling and Data Assimilation with Consideration of Uncertainty，介紹其所發展的 DAPwell 專案技術，係運用多種地球物理工具，於地熱場域中的生產井及觀測井進行監測及數據收集，並對地熱能生產的正演建模、數據同化和不確定性量化提出了新的說明及挑戰。

Denis Voskov 博士是俄羅斯國立古布金石油天然氣大學應用數學博士(Gubkin's Russian State University of Oil and Gas)，現職是荷蘭代爾夫特理工大學地球科學與工程系(Department of Geoscience and Engineering, TU Delft)副教授，美國史丹

佛大學(Stanford University)能源、科學與工程系兼任教授。他領導的研究小組致力於開發能源轉型應用的先進模擬能力，其中包括地熱、二氧化碳封存和氫儲存。Voskov 博士發表了50多篇相關主題的論文，在加入代爾夫特理工大學之前，他於美國史丹佛大學能源資源工程系擔任高級研究員，他也曾擔任多家民間公司技術長、首席工程師以及俄羅斯科學院力學研究所首席專家。

第三場：講者 Penny Doorman

講者 Penny Doorman，演講題目：Managing geothermal - a Local Government perspective on changing relationships and responsibilities，探討紐西蘭政府透過訂定<<資源管理法>>以及<<地方政府法>>以及相關指導管理的政策文件研擬，與毛利民族共同管理地熱資源及分配其所產生之利益之各階段發展進程。Penny Doorman 是紐西蘭北島北部豐盛灣地區委員會(Bay of Plenty Regional Council)的地熱計畫負責人。她負責審查管理羅托路亞地熱系統的區域規劃架構，這項工作涉及社區、毛利部落和主要利害關係人的參與，並投入於政策制定當中。

第四場：講者 Jim Randle

講者：Jim Randle，演講題目：The Role of Kiwis in the International Geothermal Industry，從紐西蘭在國際上人口相對較少(至2021年統計約512.3萬人口)但在世界的地熱發展具領先地位談起，探討紐西蘭如何從能源發展選擇的過程巧妙地運用地熱資源轉化為能源，並在獲得豐富探勘經驗後，積極將技術開展到鄰近的東南亞國家並建立國家聲譽，充分顯示紐西蘭政府在外交上的開明思維與成功策略。此外，紐西蘭人具備「起身出發」和「我們可以讓它發揮作用」的工作態度促進了這個行業的發展，且紐西蘭地質調查所地熱研究所培養研究人員，跨學科工作的能力也是對早期產業的重要貢獻，並促使人們願意思考和推廣新事物，而不是只遵循以前的做法。

Jim Randle 是位於印尼的私人機械工程師和自由顧問，專門從事地熱專案開發和管理。他在勘探、鑽井、設計、施工和營運(包括採購和專案融資)方面擁有將近40年的經驗，並接觸過所有工程和地球科學學科。他的早期職業生涯是在英國皇家海軍核潛艇部隊擔任工程官，之後移居紐西蘭，與當時的紐西蘭電力公司合作展開 Ohaaki 計畫。他曾領導 DesignPower NZ 公司一段時間，然後加入 KRTA，隨後離開紐西蘭，前往尼加拉瓜和印尼擔任專案管理職務。Jim

Randle 在紐西蘭、菲律賓、印尼、尼加拉瓜、肯亞、衣索比亞、加勒比海地區、俄羅斯和智利的地熱計畫中累積了豐富的國際經驗。

在這四個不同場次的特邀專題演講當中，講者分別來自產、官、學、研界，且所探討的內容從地熱探勘技術、儲集層評估及管理技術、地熱資源地法令制定進程、在地原住民族文化的尊重與共榮發展、乃至於討論紐西蘭政府將地熱產業技術向外拓展到鄰近國家促進外交並再提升自我技術能量的成功經驗，值得我們作為借鏡，並可讓國內相關單位進行施政規劃時的參考。

研討會交誼場地(圖6)周圍並有多家廠商攤位(圖7)，包括：Contact Energy、MB Centry、Iceland Drilling、Seequent、Mercury、GNS、University of Auckland 等，提供多項產業資訊、服務項目與研發成果。

每一場專題演講後，議程分別於3個會議室同時進行口頭論文發表(圖8)、自新冠疫情所發展出的視訊發表(圖9)，並於發表完後事時間進行現場研討(圖10)，各會議室的主題涵蓋地熱資源開發所有之重要面向，第一天上午主題為產業資訊更新(Industry Updates)、儲集層模擬(Reservoir Modelling)、地熱地質

(Geothermal Geology)，第一天下午為產業資訊更新(Industry Updates)、生產與管理(Production & Management)、地球物理(Geophysics)；第二天上午主題為產業資訊更新(Industry Updates)、鑽探與井測(Drilling & Well Testing)、環境/社會議題(Environmental Aspects/Social Aspects)，第二天下午為產業資訊更新(Industry Updates)、結垢與腐蝕(Scaling & Corrosion)、儲集層模擬(Reservoir Modelling)、直接使用(Direct Use)、環境議題(Environmental Aspects)；第三天早上主題為生產與管理(Production & Management)、後見之明與遠見(Hindsight & Foresight)、儲集層模擬(Reservoir Modelling)、地熱地質(Geothermal Geology)。

此次本中心由陳棋炫科長、李柏村技正等人以 *Insight into the Geothermal Structure in Tatun Volcano Group_Taiwan* 為題，以海報方式發表本中心近年來於大屯火山地區所進行地熱地質調查與評估以及火山活動觀測成果(圖11)。本中心委託研究計劃花東變質岩區深層地質鑽探與環境資訊調查由計畫主持人代表進行口頭論文發表(圖12)，本次研討會另有9篇海報論文發表，其中由國立臺灣大學新碳勘科技研究中心黃韶怡助理研究員代表所發表之海報，以寶來地熱案勘成果為主題，獲得最佳海報論文獎(Best Poster Award) (圖13)。研討會場上除

了與本次研討會主辦方紐西蘭奧克蘭大學地熱研究中心、紐西蘭地質與核子科學研究所(GNS)討論地熱儲集層模擬技術與未來可能合作方向外，亦與我國參加本次會議其他單位，包含中央研究院地球科學研究所、國立臺灣大學地質科學系及新碳勘研究中心、國立中央大學地球科學系、臺灣中油公司探採研究所等，針對各單位/公司投入之地熱開發案場之近況與技術內容進行交流(圖14)。



圖 6 研討會場茶敘交誼場地



圖 7 廠商攤位區 展示各廠商的工作實績與特色



圖 8 會議論文口頭發表



圖 9 研討會視訊發表論文情形

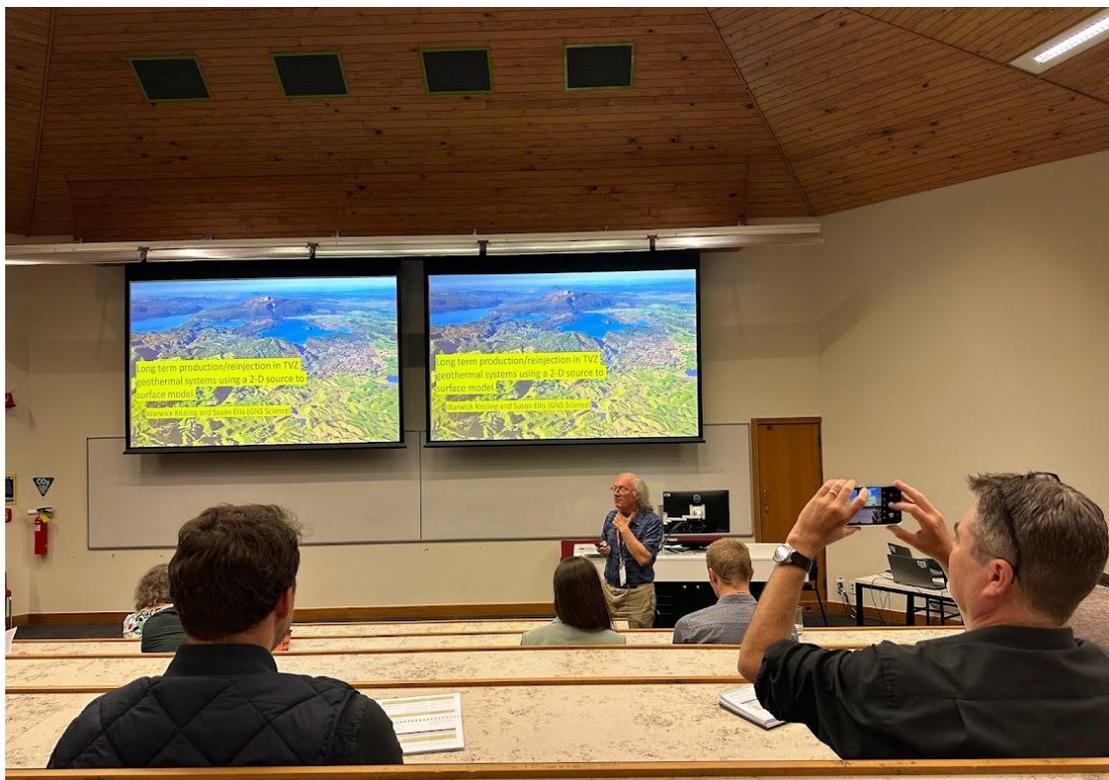


圖 10 簡報結束後的現場問答討論

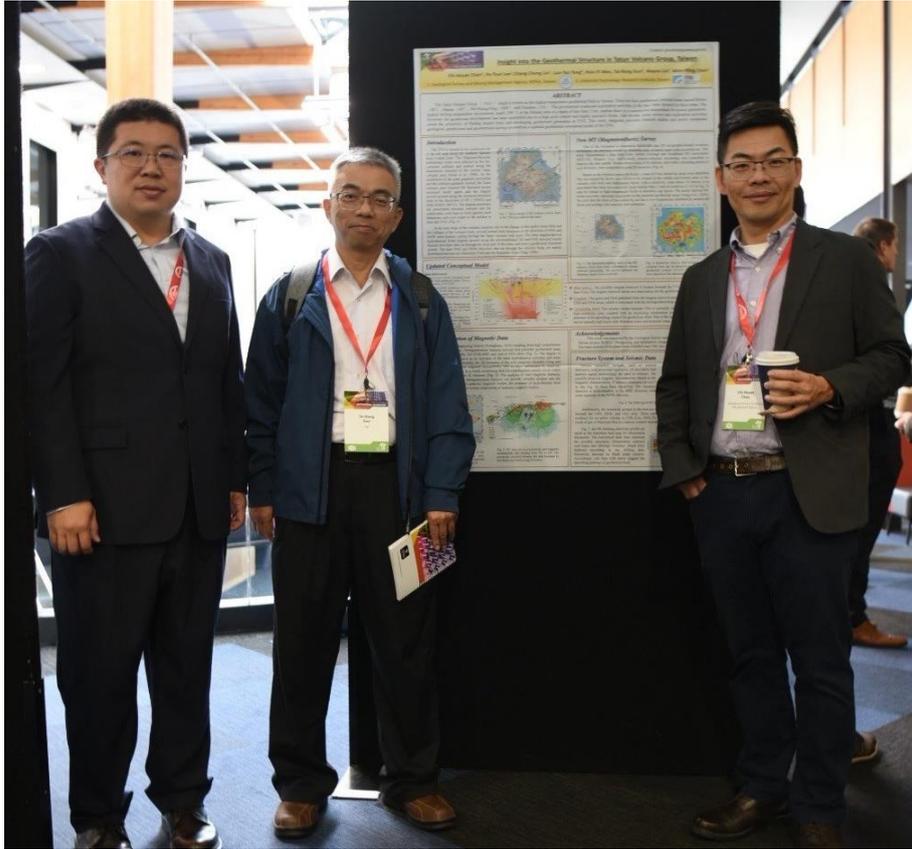


圖 11 本中心陳棋炫科長(右)、李柏村技正(左)等人發表海報說明本中心於大屯火山所進行的地

熱地質資源調查成果



圖 12 本中心委託財團法人工業技術研究院辦理花東變質岩區深層地質鑽探與環境資訊調查計

畫，於本次研討會發表相關成果進行口頭論文宣讀



圖 13 國立臺灣大學新碳勘科技研究中心執行本中心委託調查案件成果獲得最佳海報論文獎

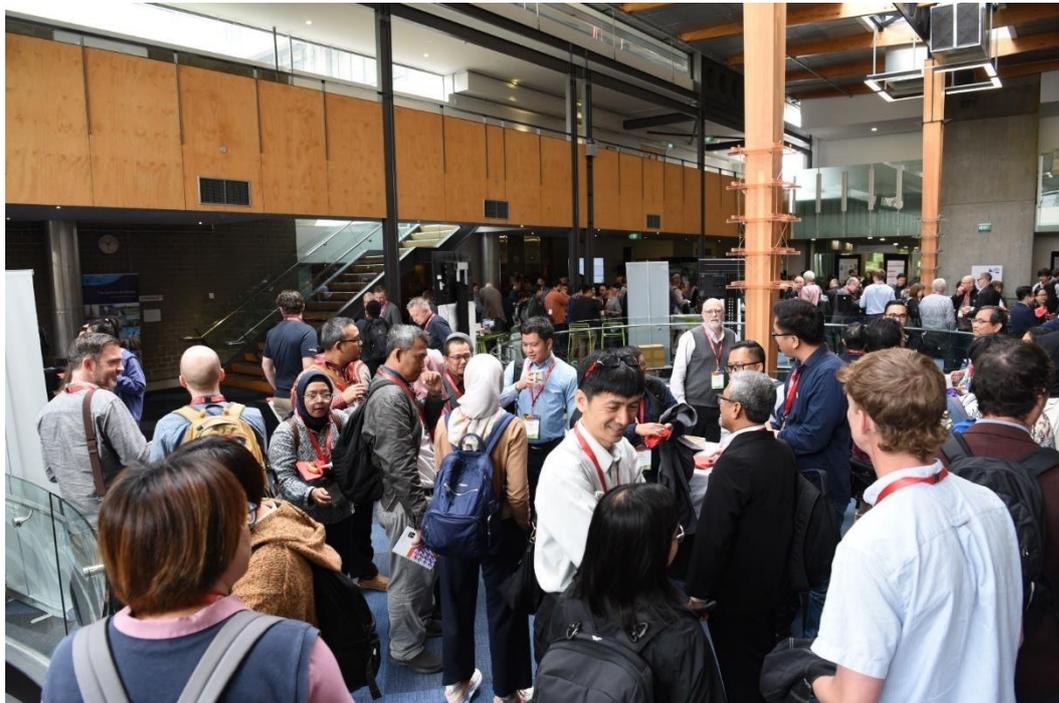


圖 14 會場交誼場地各界與會人士討論情形

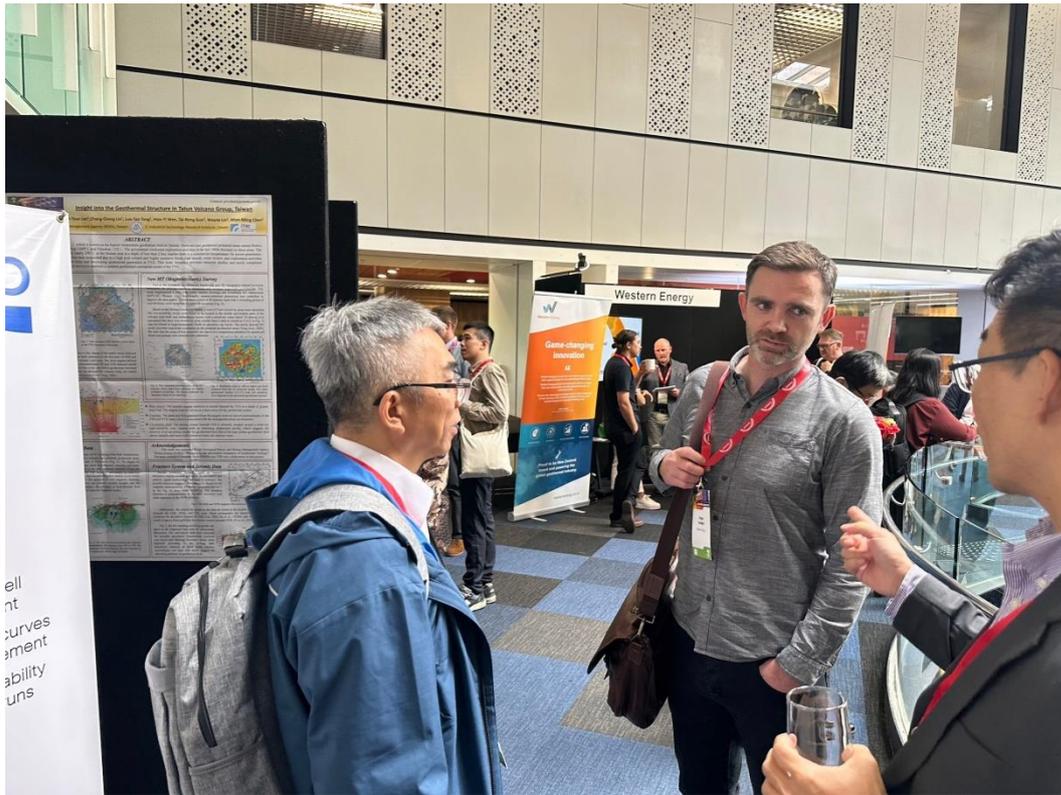


圖 15 於海報區進行討論情形

(二) 紐西蘭火山地區地質野外

奧克蘭周邊地區

除地熱研討會之外，本次亦參訪奧克蘭大學模擬團隊研究中心(圖16)與朗依托托島(Rangitoto Island)火山地形。



圖 16 參訪奧克蘭大學地熱模擬團隊研究中心

朗伊托托島是奧克蘭附近豪拉基灣中的一座火山島，也是奧克蘭地區近50座火山當中最年輕、最大的一座，它的噴發年代距今約600年前，最初被居住當地區域的毛利人所見並記錄，現為一座受保育部管理之無人島嶼。朗伊托托島最寬處約5.5公里、最高點海拔高度約260公尺，是一座對稱的盾狀火山(圖17)，頂部覆蓋著玄武岩質火山渣(scoria)。根據紀錄，此火山曾於西元1450年和1500年分兩期階段噴發，每次噴發可能只持續5至10年，噴發面積達2,311公頃。第一階段噴發大約626年前(553±7年 BP，放射性同位素碳十四定年測定)，噴發初期岩漿不僅潮濕、含水量高，並產生了大量的火山灰。這些火山灰由來自北火山錐體地區；大約距今577年前(504±5年 BP)的噴發後期則較為乾燥的，該次噴發形成了朗伊托托島的大部分地區，亞鹼性玄武岩質熔岩流噴發，形成了盾狀火山底座以及頂部南部火山渣錐，並埋住了北錐體。火山爆發的物質幾乎相當於奧克蘭周邊火山近20萬年以來歷經多次噴發產生的物質總和。

自奧克蘭搭乘船隻登島後順著登山路徑，由火山盾底部往火山口走去，距離約7公里(圖18)。港口旁可見多孔玄武岩熔岩流露頭(圖19)，在登山步道上常可看到遍佈的的大量玄武岩質火山渣(或稱渣塊熔岩 aa lava)散佈在路徑兩側，十

分壯觀(圖20、圖21)。典型的火山渣比重略大，具有多尖銳氣孔。玄武質的原岩含有較多的鐵鎂礦物，受風化作用而出現鏽染或紅土化(圖22)。在登山步道中亦常可見到洋蔥狀風化的現象(圖23)。從入口解說牌得知火山口地形明顯，雖因野外考察當天因天候不佳，無法清楚觀察到火山口的樣貌。但因該火山距離奧克蘭市區非常近(圖24)，因此紐西蘭政府亦設置多個地震儀設備監測火山活動。



圖 17 朗依托托火山是一座玄武岩質的火山，因岩漿流動性佳而呈現盾狀且對稱的火山外觀

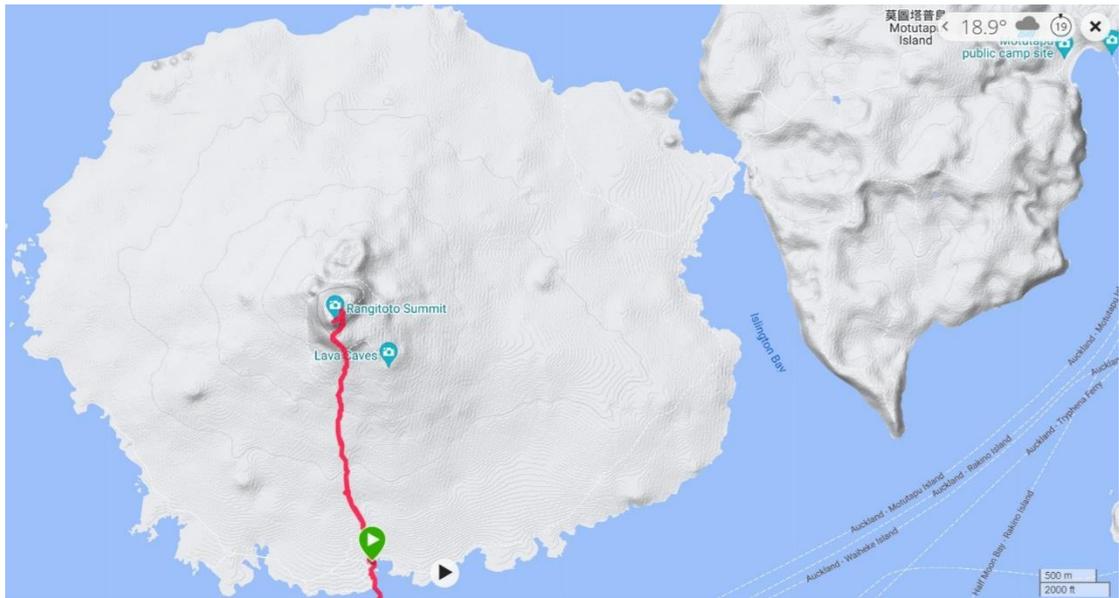


圖 18 朗依托托火山調查路徑，比例尺位於圖片右下角，當天為雨天



圖 19 朗依托托島港口旁多孔玄武岩熔岩流露頭



圖 20 步道兩旁廣佈厚層玄武岩質火山渣



圖 21 登山步道從玄武岩質火山渣層開闢，以利行走



圖 22 靠近火山頂部的火成岩，受強烈風化形成紅土



圖 23 玄武岩因受風化而形成洋蔥狀風化外觀特徵



圖 24 朗依托托距離奧克蘭市僅數公里，因此紐西蘭政府設置火山活動監測設備進行監測

羅托路亞地區

羅托路亞火山口(Rotorua Caldera)位於紐西蘭北島，是一個大型流紋岩火山口，最寬處直徑約22公里。這個火山口是24萬年前的一次大噴發所形成的，此後火山口亦曾發生較小規模的噴發，最近一次噴發距今不到25,000年，是紐西蘭北島陶波火山帶的幾座大型火山之一，火山口現在因較無劇烈的火山活動，且因火山噴發後陷落，蓄集周邊發育出的河流所帶來的地面水成為火口湖，稱為羅托路亞湖。位於鄰近火山口畔的平地則隨人類居住而發展成主要人口聚落-羅托路亞市(圖25)，該市有地熱系統活動，包括：Tikitere 和 Whakarewarewa 地熱區。

羅托路亞火山口是在單一大噴發事件中形成的，噴發年代約 $240,000 \pm 11,000$ 年前，僅持續幾週，此次噴發的火山爆發指數(Volcanic Explosivity Index, VEI)為7，估計產生超過340立方公里的流紋岩質岩漿。火成岩厚度達145公尺，覆蓋面積約3,100平方公里，可從停車場搭乘纜車到鄰近較高處俯瞰火口湖。現今的火山口湖像是兩個偏移的蛋形體，靠近湖中心的莫科亞島(Mokoia Island)是一個晚

期噴發的流紋岩穹丘圓頂，近期研究成果證實其噴發年齡距今不到50,000年(圖

26)。



圖 25 位於火口湖畔的羅托路亞市



圖 26 羅托路亞火口湖與湖內流紋岩穹丘形成的島嶼

位於羅托路亞湖畔的政府花園(Government Gardens)是一座大眾公園，紐西蘭政府於1908年在這裡開設了一座大型浴場。該建築於1995年進行大規模整修，並改建為博物館，可俯瞰整座政府花園。在花園裡保留有源頭溫泉水流入的 Rachel Pool 溫泉池(毛利語 Whangapipiro)，水溫可達100 °C，水質富含二氧化矽，明顯可見矽質溫泉華(圖27、圖28)，此地區也是地熱資源直接應用與加值應用的極佳案例。



圖 27 Rachel Pool 溫泉池



圖 28 Rachel Pool 高溫熱水(近攝氏100度)及矽質溫泉華沉澱

(三) 紐西蘭地質及核子研究所 GNS 參訪

1. 地熱研究項目

本次參訪紐西蘭地質及核子研究所 GNS Science (後簡稱為 GNS)的 Wairakei Research Centre，共計參訪兩日，主要聯繫窗口為資深地熱地質師 Dr. Andrew Rae。第一天到訪時先聽取該研究所 Mark Gibson 經理說明 GNS 組織與業務簡報(圖29)。GNS 前身為紐西蘭地質調查所(最早設立時間為西元1865年)，其設立目的為調查紐西蘭地區的金礦與煤礦。1926年紐西蘭科學技術研究部(The Department of Scientific and Industrial Research, DSIR)成立，紐西蘭地質調查所始隸屬其中。後隨著組織發展而相繼有地球物理部門(1951-1990)、地質與地球物理學研究所(1990-1992)以及核科學研究所(1959-1992)的設立。1992年，紐西蘭政府組織重整，成立了皇家研究所(Crown Research Institutes, CRI)，將部分研究機構公司化，現以 GNS SCIENCE Limited 為名登記為紐西蘭之國營公司，迄今傳承了超過150年的知識與經驗。

GNS 目前約有500名研究人員，著重於地質學、地球物理學(地震學和火山學)

和核子科學(離子束技術、同位素科學和定年學)，除了進行基礎研究、營運國家地質災害監測網絡(GeoNet)和國家同位素中心(NIC)外，GNS Science 還將擴展服務至位於新墨西哥州的各種私人團體(特別是能源公司)，並向紐西蘭和海外，或是中央和地方政府機構提供科學建議和資訊。GNS Science 的總部位於威靈頓東北方的下哈特市(Lower Hutt)，其他設施位於懷拉基(Wairakei)、奧克蘭(Auckland)、格雷斯菲爾德(Gracefield)、達尼丁(Dunedin)和日本東京(Tokyo, Japan)。GNS 的科學研究領域包括自然災害與風險(Natural Hazards and Risks)、環境與氣候(Environment and Climate)、能源未來(Energy Futures)、陸域與海域地球科學(Land and Marine Geoscience)。

聽取完概要簡報後，接著參訪 GNS 的地球化學以及地質實驗室。GNS 的地球化學實驗室(圖30)分析了大量來自紐西蘭國內外研究或私人單位委託的樣本，多數與地熱研發或產業相關，研究人員同時也持續進行地熱創新技術與概念的研發，例如了解二氧化矽在儲集層不同溫度下的溶解度變化，進行不同高溫高壓下的水-岩反應(圖31)，提供相關模擬實際參數，提出回注 CO₂以減緩二氧化矽結垢的概念等；地質實驗室則是著重於鑽井岩屑的岩性分析、蝕變礦物相分

析、礦物液包體分析等，以獲得地熱系統基本岩石參數、地熱儲集層溫度等資

訊(圖32、圖33)。



圖 29 Mark Gibson 經理說明 GNS 組織與相關業務



圖 30 地球化學實驗室負責人 Dr. Stuart Sanderson 說明實驗室設備、採樣及分析情形。



圖 31 Dr. Bruce Mountain 說明地熱流體高溫高壓反應裝置與實驗產出流體協助進行地熱儲集層

狀態模擬研究的過程



圖 32 Dr. Andrew Rae 介紹地質實驗室設備



圖 33 岩屑顆粒螢光分析儀器與標本收集盛裝方式，盒中的數字代表不同深度(單位：公尺)

GNS 是個歷史悠久的單位，其建築房舍亦均以過往有卓越貢獻的研究人員命名。例如地質研究室所在的 GRANGE Building 就是為了表彰紐西蘭首任的土壤局主任 Dr. Leslie Issott Grange 在紐西蘭北島地區進行首次大規模火山地質調查研究工作以及引領地熱調查及放射性礦物研究的重大貢獻而命名設立(圖34)。

結束實驗室參訪後，雙方隨即進行臺灣地熱發展現況說明與探勘技術交流。由李柏村技正簡報說明臺灣地熱發展以及本中心推動之案場概略現況，並特別說明了目前大屯火山區鑽探進度與鑽井岩屑之蝕變礦物分析結果(圖35)，雙方對臺灣地熱推動現況、大屯山概念模式與鑽井規劃以及中央山脈變質岩型地熱，現場討論與問答相當熱烈(圖36)。接續由 Dr. Andrew Rae 介紹紐西蘭陶波地區火山帶與相關地熱區之火山地熱活動分布與地熱地質概念模式(圖37)。陶波火山帶(Taupo Volcanic Zone, TVZ)中央主要岩性為流紋岩，其南部及北部則以安山岩為主。陶波火山帶的地熱系統透過電阻率方法已經確定有20多個以流紋岩為主的地熱系統，位於奧卡泰納(Okataina)和陶波噴發中心之間。地熱系統的間距與範圍約為10-15公里及20平方公里，熱液循環是由地熱儲集層中的熱水和較冷的水之間的密度差異所造成，而來自天水的補注至少流至5公里以上的深度。

地熱流體主要來源是天水，而岩漿貢獻約佔6-14%。

Dr. Andrew Rae 也介紹了 Wairakei-Tauhara 地熱系統與發電使用狀況以及直接使用的案例(圖38)。紐西蘭已經開發有~1,055 MWe 的地熱備載發電量，佔紐西蘭總發電量約18%，另有355 MWe 的電廠正在規畫當中。其中已運作近70年的 Wairakei 電廠已邁向除役，當地的地熱資源開發重心正移往熱能更豐富的 Te Mihi 地區。紐西蘭的地熱鑽井數量雖然在2018年後有明顯減少，但從2020年之後又漸漸增加。在1950年之前，Wairakei 地區的地熱資源都是拿來直接使用，例如加熱、泡澡、醫療及烹飪等，在1950年代起才開始使用熱水系統進行發電。目前對於 Wairakei-Tauhara 地熱系統之地熱地質模式已相當了解，兩個地熱系統是分別獨立的，但在淺部亦有構造連通。生產井設計鑽鑿深度多約1500-2000公尺之間，有些深度超過2000公尺，而回注井則設計位於兩個系統之間，深度約1000-1500公尺。

目前坐落於 Wairakei-Tauhara 地區的电廠如下：

(a) Te Huka：2010年啟用，裝置有28 MWe 雙循環(binary, Ormat)發電機，

是 Tauhara 地區第一座地熱發電廠，計有2口生產井，1口回注井。

(b) Te Mihi：2003年啟用，裝置2部83 MWe 雙閃發蒸氣渦輪(double flash steam turbine) 發電機，現正準備擴廠中；由38座兩相(2-phase)液體生

產井與7座乾蒸氣(dry steam)生產井提供產能。

(c) Wairakei：1958年啟用，裝置132 MWe 蒸氣渦輪(steam turbine) 發電機

以及 2005年啟用的14 MWe 雙循環(binary, Ormat) 發電機，閃發電廠尾

水約為130°C。

(d) Poihipi：1996年啟用，裝置50 MWe 雙閃發蒸氣渦輪(double flash steam

turbine) 發電機。



圖 34 地質研究室所在的 GRANGE Building



圖 35 本中心李柏村技正簡報說明臺灣地熱發展與案場推動現況



圖 36 臺紐雙方進行技術交流討論

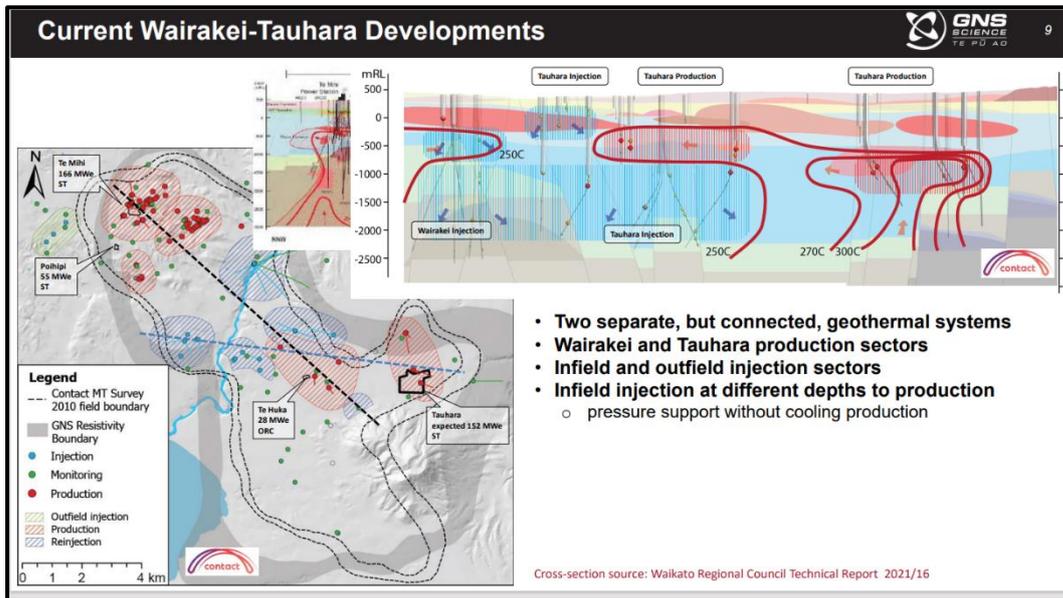
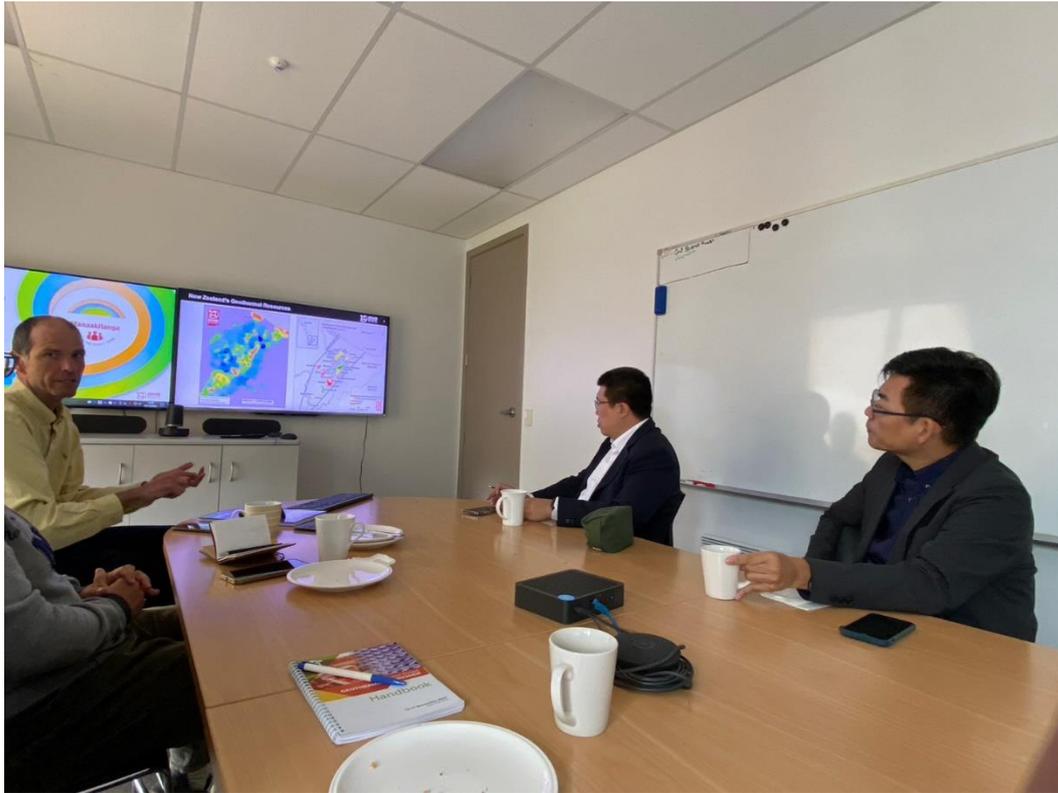


圖 37 Dr. Andrew Rae 介紹 Wairakei-Tauhara 地熱系統與發電使用狀況

Wairakei-Tauhara Geothermal Direct Use – Timber drying



- 400,000 tonnes a year of logs processed
- Drying 150,000 m³ timber/year
- In 2006 moved to Geothermal Kiln Drying
 - Replaced a natural gas fired system
 - CO₂ emissions reduced by 27,000 tonnes/year
- Using two phase geothermal fluid (well TH6)
- Kilns run at 180°C and 150°C

Carey et al (2018) NZGW



- Compressed wood fibre pellets
 - heating fuel
- Fibre dried before compressed into pellets
- Drying 170,000 tonnes of fibre/year
- In 2019 moved to low carbon geothermal drying
 - Replaced a biomass fired system
- Using two phase geothermal fluid (well TH6)
 - excess from Tenon
- Kilns run at 135°C

Stephenson and Goodwin (2019) NZGW



圖 38 Dr. Andrew Rae 介紹紐西蘭地熱資源直接使用案例

2. 火山監測項目

第二天到訪 GNS，由火山學家 Dr. Geoff Kilgour 簡報說明 GNS 火山監測組織架構與監測技術(圖39)。Dr. Geoff Kilgour 介紹了 GNS 負責火山監測科學項目，火山是紐西蘭地形中的標誌性景觀，其中一些火山目前正處於活躍狀態，或有可能在未來變得活躍。它們對人民的生命、生計、基礎設施和景觀都構成了極大的威脅。Dr. Geoff Kilgour 指出研究火山可以了解過去噴發的時間、規模和範圍，這為預測和建模未來的噴發提供了非常有用的資訊。紐西蘭有八個活火山區，這些地區有幾座活火山和潛在活火山，儘管在任何一年中爆發影響大面積的可能性相對較低，但紐西蘭仍需要為一系列火山爆發做好準備，這就是火山監測小組成立與存在的目的。這一點與日本櫻島火山觀測站的主任井口正人教授所提及的觀念相同，井口教授指出，火山的噴發容易造成大量的災害，因此預測其發生的時間並不是最重要的事情。以防災的觀點來說，當火山噴發的時候，是否已準備好，才是真正保障人民生命財產的作為。

GNS 組織一支跨學科團隊，長時間監測火山，該小組密切關注火山狀態的變

化，使對應機構能夠評估危險情況而做出決策。火山監測團隊每日分三班值班，全年無休，且有負責人員隨時在監測中心監看所有數據與即時影像，當出現噴發徵兆時，由團隊組織確認風險與等級後，上報相關訊息給中央與地方政府部門，由公部門發布相關警報。同時也介紹監測的技術，包括：地球化學(溫泉、火山氣體)採樣與火山活動監測站、火山微震站與 GeoNet 地球物理網路、衛星影像(SAR)、地表變形(GPS)、即時影像等的遠端及現場監測，同時也為火山研究以及災害管理和疏散計劃提供資訊。每座活火山皆設置火山警報等級 (VAL)，用來區分火山的當前活動狀態，並在火山活動公告(VAB)中將此狀態告知對應機構、利益相關者、基礎設施運營商和公眾。由於臺灣的大屯火山及龜山島為活火山，目前亦有相關的火山活動觀測以及火山災害潛勢評估初步成果，本中心參加我國交通部中央氣象署依火山災害防救業務計畫成立火山活動專家小組以及工作小組，現正進行火山活動等級的制定與討論。臺紐雙方針對火山監測方法與技術進行熱烈交流討論，包括組織架構與人員配置、現場取樣頻率與儀器設備、示警時間與程序等。

結束室內簡報後，由 Dr. Geoff Kilgour 在觀景平台上解說陶波湖周邊火山的

分布與岩性、噴發時間序列、可能的岩漿來源與分化模式，以及湖水來源與排放(圖40)，這些地質科學資訊都是建構區域地熱地質模型之重要基礎，也控制了地熱資源整體開發規劃與營運策略。

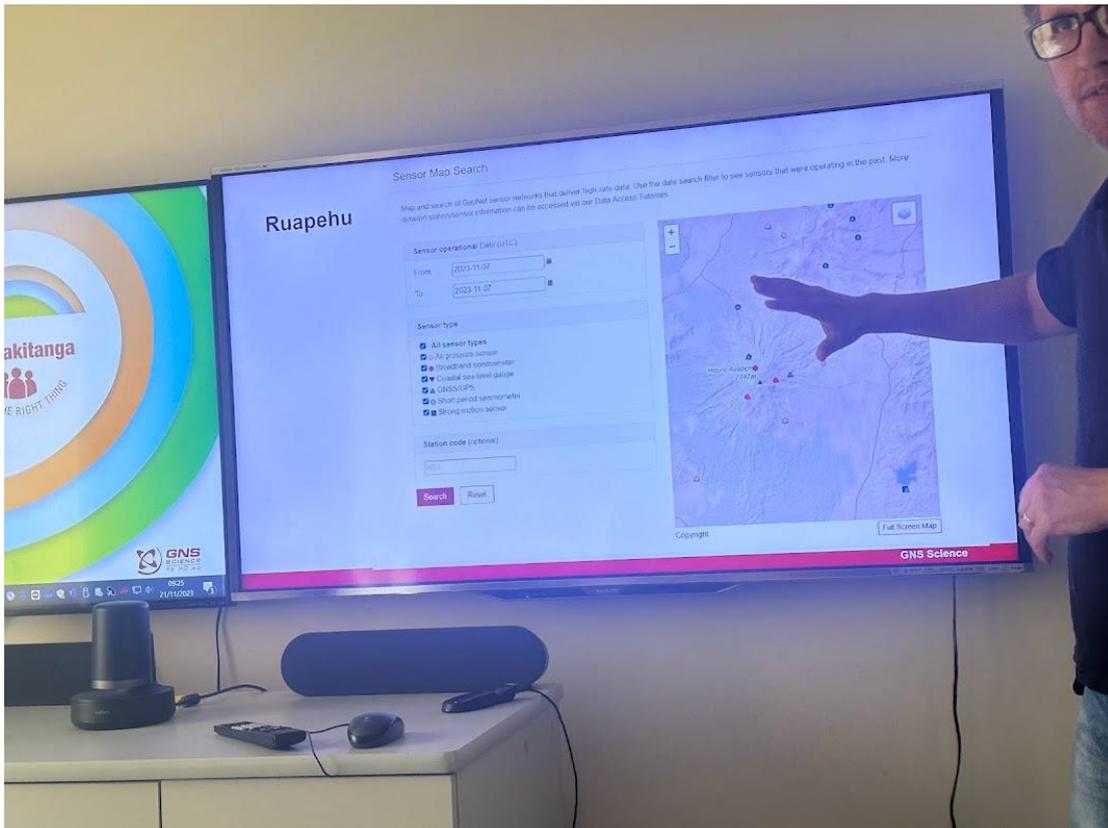


圖 39 GNS 火山監測及火山災害評估技術說明，並說明火山活動異常資訊通報的機制



圖 40 Dr. Geoff Kilgour 介紹陶波湖周邊火山地形及周邊地質架構

3. CO₂逸氣項目

本次考察亦訪問 GNS 熱水換質系統與礦物部門(Hydrothermal Systems and Minerals)的 Jimmy Yang 博士候選人，進行氣體採樣新裝備儀器與陶波地區 CO₂ 逸氣特徵研究交流(圖41、圖42)。Jimmy Yang 介紹了由他共同改裝建置的各式採樣設備，能克服不易靠近或危險的環境(例如高溫、水中、空中等)，甚至包括將無人機、無人船或將載人直升機門板改裝成為方便採樣的設備(圖43)。該團隊是 GNS 中專門針對氣體採樣與分析的實驗室，人員組成一半為研究人員，而另一半則是專門的技術人員，專職負責各項設備儀器的改裝維護、創新設計，分工細膩且各司其職。Jimmy Yang 針對他個人在陶波地區的 CO₂逸氣量研究進行說明，從氣體地化的角度，檢視陶波火山帶島弧來源成因或張裂來源成因的分區與特性(圖44)。也因為在紐西蘭地區強烈與巨量的天然 CO₂逸氣，目前 GNS 除了地熱資源評估外，也需要思考減碳議題，甚至提出將 CO₂回注到地熱儲集層能以降低地層流體的 pH 值，並抑制減緩矽質結垢的先進概念，目前仍在模擬理論驗證中。



圖 41 陶波火山帶地質簡介及火山氣體分布特徵說明

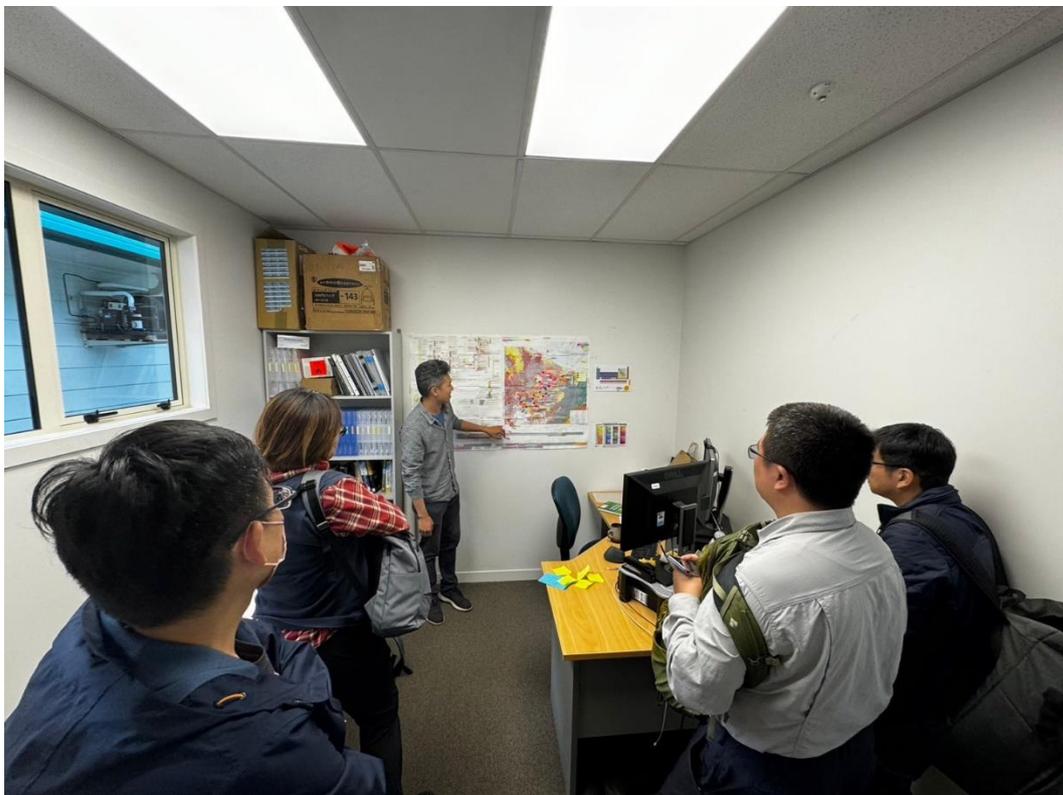


圖 42 火山逸氣調查研究區域介紹



圖 43 將各式無人機、無人船設備改裝為火山氣體採樣工具



圖 44 陶波地區 CO₂逸氣研究成果說明

(四) 陶波地區鄰近地熱區地質野外與電廠參訪

1. 地熱徵兆區

(A) Craters of the Moon

Craters of the Moon 位於陶波市北方約5公里處，是一條貌似月球景觀的地熱步道，行走於該步道，可見到陶波的自然地熱活動，包括蒸汽噴口、冒泡的陷落坑和熱液蝕變作用下呈現繽紛色彩的土壤。1950年代，陶波以北的大片土地突然開始變熱並冒出蒸氣，出現了沸騰泥漿的火山口以及其他地熱現象(圖45、圖46)，恰好當時世界正處於探索月球的風潮當中，於是這個貌似月球表面崎嶇且寸草不生的 Craters of the Moon 就誕生了。經過仔細地探究，這事件是由附近地熱發電廠地下水壓變化引發的，隨著地下深處的熱水從儲集層被抽出，深層地下水位下降，剩餘的水因受熱而沸騰得更劇烈，進而產生更多的蒸氣。大量額外的蒸氣與熱水循地下通道上升到表面，從任何能逸散的出口逸出，而且逸氣會隨時間定期移動，產生新的逸氣口。為保護觀賞美景的遊客安全，紐西蘭政府於當地建造的木板步道也會隨著新逸氣的出現而定期移動。



圖 45 Craters of the Moon 地熱徵兆



圖 46 Craters of the Moon 大型噴氣陷落口，噴氣口因會隨時間改變地點，構築於其上的步道會變更位置以確保遊客安全(照片中間左方暗綠色處即為舊的橋梁護欄)

(B) Waiotapu geothermal area

Waiotapu 地熱區位於 Reporoa Caldera 與 Okataina Volcanic Centre 之間，在 Rotorua 東南方約25公里處。屬於陶波火山帶內最大的地熱地表活動區域，其面積約有17平方公里，從北方兩座石英安山岩(dacite)火山(其名稱分別為 Maungakakamea, Maungaongaonga)側翼的蒸氣口起，南到混合酸性硫酸鹽-氯化物(sulphate-chloride)和碳酸氫鹽-氯化物(bicarbonate-chloride)水質的 Ngakoro 湖。

地熱熱液噴發在 Waiotapu 的地質歷史中是一項重要的地質特徵，在過去900年來噴發過數次。噴發口發生在 Ngapouri 斷層北部、沿線或附近(例如 Ngapouri 湖、Ngahewa 湖、Okaro 湖)，在南部則可由熱液活動定義的線形，推斷出北北東向的小斷層和可能的東西向構造。熱液噴發口(恩加科羅湖、旺吉歐特朗吉湖和香檳池)出現在這些小型結構的交會處，這些噴發口中最引人注目的是香檳池(Champagne Pool)，它是所有 Waiotapu 地表徵兆中逸流量最大的噴發口。

從地質鑽孔資料和地表泉水地球化學資料，可建立 Waiotapu 水文地質模式：

深層上升的氯化物液體在深度<500 m、300°C 至230°C 之間沸騰，並與系統上方和邊緣富含 SO₄和 CO₂的加熱水蒸氣混合，少量流體向南部和雷波羅阿盆地 (Reporoa Basin)流出。重要特殊的地熱地景有：

- (a) 陷落口(Collapse Craters)：淺部的酸性硫酸鹽流體與圍岩反應，產生化學蝕變反應，導致地面不穩定和陷落口。許多陷落口被掉落的岩屑覆蓋，並位在地下水位上方，形成魔鬼墨水罐(Devil's Ink Pot)景觀，而其他則含有混合酸性硫酸鹽氯化物、pH=2.5的水質，則形成彩虹火山口(Rainbow Crater)景觀。圍岩被熱液蝕變轉為硫、方石英、明礬石和高嶺石。
- (b) Papa Wera：湖底上湧富含氣泡的溫泉水，以及火山氣體，所以造成不穩定的湖底結構，但是這裡卻是 Poaka 鳥的棲息地，它們靠吃周圍的小昆蟲為生，並且挖洞築巢在陷落噴氣口的周圍岩壁上。
- (c) Puke Whanariki 的硫磺丘(Sulphur Mound)：硫磺丘出現在乾涸的湖底熱液礦床，當熔融硫磺排放到湖底時，凝固為多孔硫磺碎屑，散佈著

細小的硫磺碎片疊層著方石英床。

(d) 硫磺結晶噴氣口：噴氣口周圍可以發現明顯的硫結晶，代表上湧蒸氣

富含硫元素，遇冷凝結於噴氣口周圍。

(e) 泥漿池(Mud Pool)：地熱蒸氣與圍岩反應，形成岩石蝕變，原本的堅

硬的造岩礦物蝕變為低強度的黏土礦物類，而形成泥池，當下雨時累

積於池底，就變成泥漿池。

(f) 香檳池(Champagne Pool)：池子的高程比周圍蝕變地面高約10公尺，這

是一個深60公尺的熱液噴發口，並覆蓋由從深層儲集層流出的高溫液

體(約230°C)，由於對流，水池具有垂直均勻的溫度74°C。水中會冒出

二氧化碳(圖47)，氣泡在約1公尺深度處成核，由於二氧化碳含量較

高，使池水 pH 值穩定在5，呈現弱酸性。



圖 47 位於 Waiotapu 地熱露頭區中的香檳池景點，其下為熱液噴發口，因熱液當中的二氧化碳隨熱液上升過程冒出，形成終年冒泡的景觀，如同香檳一般而得名。

2. 鄰近地熱電廠參訪

(A) Wairakei Geothermal Power Plant

Wairakei Geothermal Power Plant 由 Contact Energy 營運，1958年啟用，是世界上第一個蒸氣型的地熱電廠。1950年代起開始在 Wairakei 蒸氣區開始探勘，過去曾有200多口地熱井，現在約有60口在生產中。地熱井深度超過2000公尺，地下熱流的溫度可達230~260°C；當地熱流體上升到地表，可藉由旋風分離器

(cyclone separator)分為蒸氣與熱水，熱水可以收集到兩相發電廠，進行第二次發電。每小時約有1400噸蒸氣可以產出，並經由管線進入電廠發電(圖48、圖49、圖50)。



圖 48 Wairakei 地熱電廠是紐西蘭最早的地熱電廠



圖 49 Wairakei 地熱電廠全景



圖 50 Wairakei 地熱電廠發電機組廠房及冷卻塔

(B) Te Huka Geothermal Power Plant

Te Huka Geothermal Power Plant 由 Contact Energy 營運，於2010年啟用，發電量為23 MWe，這樣的電量已經足夠供應陶波市全年24小時的住家、學校、醫院與營業場所暖氣供應。Te Huka 採用兩相 ORC (organic rankine cycle)發電機組進行發電(圖51)。



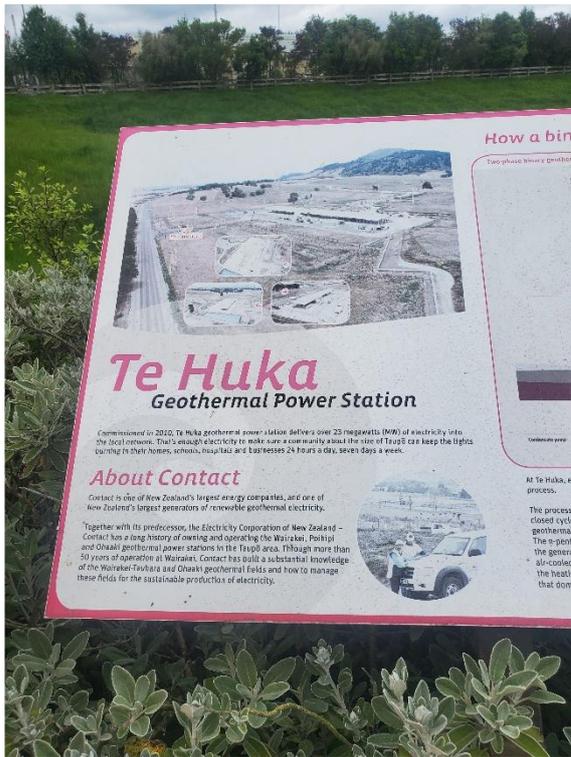


圖 51 Te Huka 地熱電廠

(C) Ohaaki Geothermal Power Plant

Ohaaki Geothermal Power Plant 由 Contact Energy 營運，於1989年啟用，這座電廠的一大特色是其105公尺高的自然通風冷卻塔(圖52)，這是紐西蘭唯一的此類冷卻塔。最初建設的發電量是104 MWe，但隨著蒸汽田產能的衰退，目前最大量僅剩約65 MWe。目前有3台渦輪機正在運作，1台較小的渦輪機運行高壓蒸汽，然後將高壓蒸汽回饋到為兩個主要機組供電的中壓系統，主渦輪機後端的冷凝器從冷卻水塔供給冷卻水，將蒸汽冷凝回液態水，在此過程中獲得的額外凝結水，則重新注入地下。

這個規模甚大的自然通風冷卻塔，原為當地的著名地標，隨著紐西蘭地區環保意識的抬頭，這樣子的通風塔由於貌似核能或其他火力發電廠的相關設備，近來反而受到當地民眾的抗議，可見紐西蘭民眾對於自身國家環保形象的塑造相當積極且主動。



圖 52 Ohaaki 地熱電廠

四、心得及建議

首先感謝本次能獲派赴紐西蘭進行地熱地質探勘、火山活動觀測與災防技術考察，參加2023紐西蘭地熱工作坊研討會，並赴紐西蘭地質與核子科學研究所討論地熱探勘、儲集層評估技術、火山活動觀測以及火山災害評估模式等技術方法，與紐國政府及研究人員實質交流。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、參加本次研討會獲取紐西蘭相關最新地熱發展資訊，不僅接觸到最新的地熱探勘與開發技術、研究發現以及產業趨勢，瞭解紐西蘭產、官、學、研界於地熱探勘以及地熱發電產業領域的分工以及負責部門。不僅拓展自身的知識領域，能夠更深入地了解地熱能源的應用和挑戰。該地熱工作坊已是全世界地熱研究領域之盛事，多國研究人員均透過該研討會平台交流分享地熱探勘及相關研究成果。

二、本次由本中心及委辦計畫單位共計發表共5篇論文，向包含印尼、菲律賓、澳洲及紐西蘭等新南向國家及其他國家近300位地熱研究人員介紹臺灣多處案場地熱探勘成果，並探討未來合作機會。藉由國際研討會的辦理，可以與國際地熱領域研究人員互相交流，並對外發布我國的地熱資源探勘與研究成果，開拓我國學術與技術發展能見度。

三、本次參訪紐西蘭地質與核子科學研究所(GNS)，討論臺紐兩國地熱探勘、儲集層評估、火山地質研究與火山活動監測方法異同並交流兩國火山活動近況。透過實地案例的分享與討論，有助於理解地熱探勘調查項目的實際執行過程，探討複雜議題並獲得專業建議與見解。

四、紐西蘭自1950年起，即開始進行地熱探勘與發電廠建置，紐西蘭2022年地熱發電裝置容量達1,037MW，為全世界排名第5大國家，具有豐富的地熱資源並累積六十多年地熱探勘技術經驗。從探勘、鑽井，到電廠設計、專案管理、建造工程和營運，已經建置完整的地熱發電產業鏈，地熱產業成熟且積極推動亞洲國家之國際合作。同時在地熱潛力

地區與原住民毛利部落多有重疊，無論在地質、地熱資源或是原民文化，與臺灣都十分相似。本次出國所獲之地熱探勘與開發的最新技術與產業訊息，可增進相關計畫未來擬加強發展的技術資訊。紐西蘭的學術(例如奧克蘭大學)及政府研究單位(如 GNS)具備地熱地質模型建模、熱水流場模擬與潛在產能模擬方面的專業，並具有完備的知識、經驗、分析實驗室，後續可列為合作或請益對象。特別是紐西蘭對於原住民文化的重視與尊重，透過充分的溝通以尋求共識，爭取對各族群最佳的成果效益，值得我國參考借鏡。

五、本次出國計畫亦考察紐西蘭火山地質及火山活動觀測項目，簡報介紹臺灣最具地熱潛力之大屯火山地區地質架構、地熱地質調查與探勘成果。實地踏查距今約600年前發生噴發之火山，探討紐國近期發生火山噴發所造成之火山災害影響範圍。紐西蘭當地亦有數處活火山，並建立24小時不間斷的火山活動監測團隊，可即時掌握火山活動異常訊息，並即時通報災防機關，爭取民眾防救災的時間，此點值得我國未來面對火山活動若趨活躍時的應變參考。本次亦討論臺紐兩國火山活

動狀態分級、火山災害潛勢圖資繪製依據與災害潛勢資料發布原則，

促進兩國政府機關人員技術交流。

六、參考紐西蘭實例，較低溫的地熱資源可直接透過熱交換取熱使用，或

是利用熱水來進行產業增值，例如木材加工、食品加工、旅館休閒

等。臺灣部分地熱潛勢地區位處偏遠山區，地熱儲量也較小，考量產

量與建置饋線輸配電的經濟效益或許不高，可以評估直接使用或搭配

直接使用，以增進地熱資源利用的價值。

最後，再次感謝國家提供經費讓本中心人員能前往本次考察，希望在考

察獲得的經驗與心得，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，持續加強國際產業技術鏈之情報資訊蒐集，同時在

工作崗位上能多有應用，回饋國家社會。