

出國報告（出國類別：考察）

紐西蘭地熱發電參訪團
(New Zealand geothermal power
generation delegation)

服務機關：台灣中油股份有限公司
姓名職稱：副執行長 胡雅折、地質師 杜開正
派赴國家：紐西蘭
出國期間：108年7月20日至7月28日
報告日期：108年8月15日

摘要

108年5月紐西蘭商工辦事處(NZCIO)處長 Moira Turley 拜會新上任之游局長，除洽談臺紐雙方地熱合作議題外，並邀請游局長赴紐西蘭進行地熱參訪，以促進雙方未來在地熱開發上的合作。本參訪團即在紐方熱切邀請下，由能源局游局長振偉帶隊參訪。能源局並邀請工研院及中油等單位派員同行。為提高本公司的地熱探勘暨開發發電能力，並建立與紐西蘭雙方地熱合作契機，本公司探採事業部選派胡副執行長雅折與杜開正地質師於108年7月20日至7月28日赴紐西蘭威靈頓、羅托路亞、陶波及奧克蘭，參加「紐西蘭地熱發電參訪團(New Zealand geothermal power generation delegation)」考察。

紐西蘭積極推動再生能源發展，目前約有80.8%的電力來自再生能源，其中地熱發電約979 MW、風力發電(陸域)約683 MW。在電力建設上，2010年的電力產業法案指明配電端將逐漸自由化，目前已有5家發電公司(其中兩家為完全民營)、1家輸電公司、29家區域配電公司，紐西蘭在再生能源及電力自由化的發展經驗，對我國地熱發展具備相當豐富的參考價值。

本參訪團參加人員如下表1，出國期間及各主辦單位(行程紀要)如下表2。

表1、參加人員

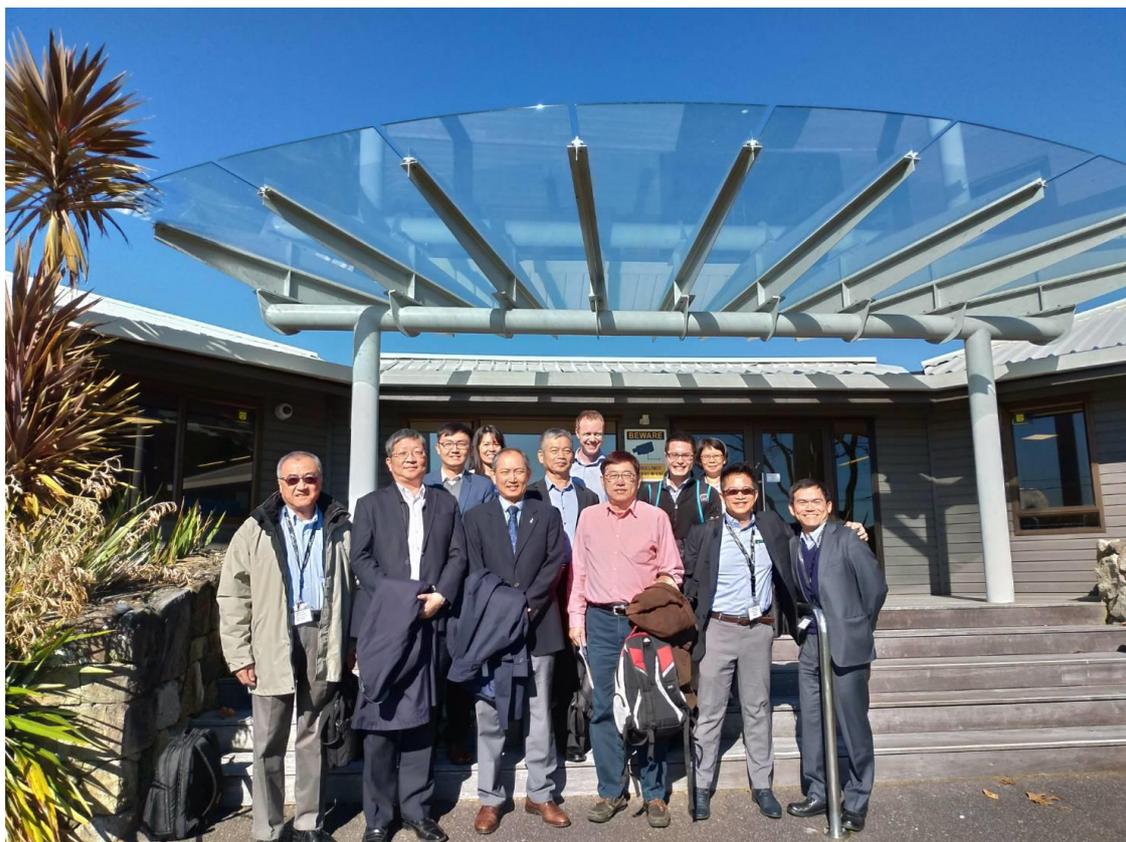
| 單位 | 姓名 | 職稱 |
|--|--------------------------|--|
| Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute (GEL/ITRI) 工業技術研究院 綠能與環境研究所 | Hu, Yie-Zu Robert 胡耀祖 | Vice President and General Director 所長 |
| | Li, Yi-Heng 李奕亨 | Deputy Director Natural Resources Technology Division 副組長 |
| | Tu, Pei-Shin 杜培欣 | Manager 經理 |
| Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs 經濟部能源局 | Yu, Cheng-Wei 游振偉 | Director General 局長 |
| | Cheng, Ju-Min 鄭如閔 | Senior Executive Officer 專門委員 |
| New Zealand Trade Development Centre 紐西蘭貿易發展中心 紐西蘭商工辦事處 | Adrian Collier 康安俊 | Director 處長 |
| | Peg Tsai 蔡佩君 | Business Development Manager 商務經理 |

| 單位 | 姓名 | 職稱 |
|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| CPC Corporation, Taiwan 台灣中油股份有限公司 | Hu, Yea-Jer 胡雅折 | Deputy Executive Manager 副執行長 |
| | Du, Kai-Cheng 杜開正 | Geologist 地質師 |
| TECO 紐西蘭台北 經濟文化代表處 | Chen, Bill Keh-Ming 陳克明 | Representative 代表 |
| | Chung, Michael 鍾昇宏 | Economic Secretary 秘書 |

表 2、出國期間及各主辦單位(行程紀要)

| 日期 | 行程內容摘述 |
|------------------------|--|
| 07/20(六) - 07/21(日) | 去程 (臺灣臺北→奧克蘭(Auckland)→威靈頓 (Wellington, New Zealand)) |
| 07/22(一) | 威靈頓會議地點 NZTE -WLG L-15 討論議題 <ul style="list-style-type: none"> • Electricity market in NZ (Tim Street/Chris Otton) • Economics of geothermal projects (Ted Montague) • NZ Energy overview • Special topic: Geothermal energy (Gareth Wilson) • International Partnership for Geothermal Technology (IPGT) (Kennie Tsui/Seishi Gomibuchi) |
| 07/23(二) | 前往機場搭機至羅托魯阿(Rotorua)並拜會 Mercury Energy 討論議題 <ul style="list-style-type: none"> • Reservoir engineering (Ian Richardson/Farrell Siega) |
| 07/24(三) | 會議地點： GNS Wairakei Research Centre 討論議題： <ul style="list-style-type: none"> • Waikato District Council (Katherine Luketina) • Geothermal overview and work done in Taiwan to date (Andrew Rae) • Drilling and down-hole tools discussion (Richard Adams) • Geothermal cooperation signing ceremony (GNS, NZTE, BOE, TECO, ITRI) |
| 07/25(四) | 參訪 Wairakei 地區電廠及拜會紐西蘭地熱協會 參訪： <ul style="list-style-type: none"> • Te Huka facility(28 MW Binary plant; Contact Energy) • Te Mihi facility(166 MWe Flash plant; Contact |

| | |
|----------|---|
| | Energy) 討論議題 • Energy policy and environmental regulation (Steven Daysh, New Zealand Geothermal Association) 前往機場轉飛奧克蘭 |
| 07/26(五) | 會議地點: Auckland NZTE, L-6, Sangrahan 討論議題: • Geothermal Institute, Auckland University (Rosalind Archer) • AECOM (Peter Geoghegan) • Jacobs (Scott Henderson/Brian Lovelock) • Geothermal New Zealand (Dr. Mike Allen) |
| 07/27(六) | 會議總結討論 • Wrap-up and summarising the last week - 行程總結 與整體彙整討論 回程台灣 奧克蘭(Auckland) →臺北 |



全體團員合影於 Mercury Energy 公司前。前排左二為能源局游振偉局長、前排左三為紐西蘭台北經濟文化代表處陳克明代表、前排左一為工研院綠能所胡耀祖所長、最後排白人面孔者為紐西蘭貿易發展中心紐西蘭商工辦事處 Adrian Collier 處長，中間者為胡副執行長雅折。

目次

| | |
|-------------|----|
| 目的 | 1 |
| 過程 | 2 |
| 具體成效 | 13 |
| 心得及建議 | 15 |

目的

紐西蘭積極推動再生能源發展，目前約有 80.8%的電力來自再生能源，其中地熱發電約 979 MW、風力發電(陸域)約 683 MW。在電力建設上，2010 年的電力產業法案指明配電端將逐漸自由化，目前已有 5 家發電公司(其中兩家為完全民營)、1 家輸電公司、29 家區域配電公司，紐西蘭在再生能源及電力自由化的發展經驗，對我國地熱發展具備相當豐富的參考價值。

本行程包含參訪紐西蘭地熱電廠及負責再生能源發展政府單位，針對再生能源推動、加速地熱電廠推動及電力自由化後的電業發展，進行深入交流並建構與紐方的產研合作交流平台。本次參訪團之目的說明如下：

1. 透過政府單位、民間組織及電廠開發業者之議題討論，學習紐西蘭在地熱開發之法律、推動、公(原)民參與及探勘策略與作法。
2. 建立臺紐雙方正式技術合作管道，促進與奧克蘭大學、地質與核子科學研究所(GNS Science)等技術單位合作。
3. 以紐西蘭協助世界各地熱發電國之開發經驗，研析儲集層評估、電廠環控、環境友善之技術訓練與引進，促進我國地熱發電產業。

過程

(一)108 年 7 月 22 日(星期一)

1. 紐西蘭電力管理局(Electric Authority)

(1)概述

電力管理局(以下簡稱電力局)根據紐西蘭“2010 年電力法”於 2010 年 11 月 1 日成立，主要任務為管理水力儲存，並改善電力市場，特別是零售市場的競爭。電力局負責紐西蘭電力市場管理機制的制定、實施和管理監控。電力局雖然是國家單位，但可以自由訂定電力競爭機制，達到電力市場的可靠性和效率。

(2)考察內容

電力局批發市場經理 Tim Street 表示紐西蘭的電力市場雖屬自由競爭，但仍優先考量降低排放、創新技術、效率及公平性。由於南島水力發電佔全國 76% 能源供應，而地熱發電約 17%，在豐水期市場買方會增購低價的水力發電，在枯水期市場賣方會有較高的售價，因此年降雨量將直接影響電力公司的售電利潤。而因為降雨難以預估，電價也難以預估，所以該局利用程式每 5 分鐘追蹤一次電價，使電價雖然浮動但是具有即時性。電價高的時候，消費者可以選擇節電措施，也使得用電量降低而間接影響電價，形成一回饋機制使市場趨於平衡。

2. Contact energy 電力公司

(1)概述

Contact energy 公司主要業務包括:電力供應、替代能源、天然氣供應等，目前為紐西蘭第二大的電力公司，共擁有 12 個電廠包含：地熱(5 座)、水力(2 座)及天然氣電廠(3 座)。

地熱電廠:共 5 座，包括:(1)Waikato 地區的 Ohaaki 電廠(70MW)；(2)Poihipi Road 電廠(50MW)；(3)Wairakei 電廠(161MW)；(4)Taupo 地區的 Te Huka 電廠(28MW)；(5)Te Mihi 電廠(166MW)，地熱電廠裝置容量合計達 475MW。目前尚有一個位於 Taupo 附近的地熱電廠開發計畫(Tauhara stage 2)，開發目標裝置容量 250MW。

Wairakei 電廠為紐西蘭歷史最悠久的地熱電廠，運轉期間超過 60 年(1958~迄今)，分為 Wairakei A 與 Wairakei B 兩座電廠，發電機組共 10 座蒸汽渦輪發電機組，發電機組的裝置容量不均約從 4~30MW 都有。

(2)考察內容

地熱開發經理 Ted Montague 具有豐富的電廠設置及營運操作經驗，特別提到 RMA 會專注開發電廠對環境造成的結果及影響，發展的規模無關緊要，但潛在的環境影響以及監測和管理計畫更為重要。一般的背景調查 Baseline Monitoring System 至少要有 3 點監測(基本原則)，包括：地表水、200~300 公尺淺層地下水、微震等環境因子。

鑽井的成本是地熱開發的重要投資因子，如果沒有正確的地質概念模式及研

究鑽井投資占比。將會過度增加成本，造成開發案失敗。當生產井或地層中結垢生成時，政府同意特定化學物質注入洗井，但須取得法規同意，且不可影響其他地下水層或地表水質。紐國地熱開發案的投資報酬率通常約為銀行借款利率加上 3-5%，不是取得暴利的開發案，所以前期鑽井成本的影響至為重大。

3. Ministry of Business, Innovation and Employment (MBIE), Energy Section

(1)概述

MBIE 創立於 2012 年 7 月，由前經濟發展部(Ministry of Economic Development)、前科學與創新部(Ministry of Science and Innovation)、前勞工部門(Department of Labour)和前建築與住家部門(Department of Building and Housing)等四個政府單位組合而成，成立宗旨以促進所有紐西蘭人更好生活品質的經濟成長為目標。MBIE 的願景為使紐西蘭商務活動更有競爭力、促進所有人的就業機會，以及確保更負擔得起的高品質居住環境。

能源與資源部屬 MBIE 「商務、科學與創新」業務下的行政部門之一，主管紐西蘭能源事務，管理項目包含能源策略、能源數據與模型、發電效率與環境、能源安全、電力市場、液體燃料市場、天然氣市場、國際關係及執行紐西蘭能源部門的回顧與諮商活動。

紐西蘭氣候變遷策略主要由環境部(Ministry for the Environment)為主要負責機關，在能源部份，主要執行機構為經濟發展部(Ministry of Economic)，其中能源效率則由能源效率和節能管理局(Energy Efficiency and Conservation Authority, EECA)專責，電力部份則由電力管理局(Electricity Authority)專責。

EECA 為紐西蘭之能源效率及節能的主管部門，工作範圍為通過獎勵、促進與支持能源效率與節約能源，並以再生能源的使用來改善並提高人們對於能源使用的選擇性。政策制訂是為了滿足社會各層面的需求，包括工業、產品、住宅及運輸等各方面。EECA 的主要職責包括：訂定產品最低能源效率標準、於校園開設能源管理課程、表揚能源管理優秀人員、提高一般民眾及產業之節能、幫助政府發布有關節能之最新動態。

(2)考察內容

MBIE 在紐西蘭地熱發展扮演極關鍵的重要角色，由於紐西蘭能源政策以多目標利用為考量，因此再生能源政策的改變一直在滾動前進，除推動 NZ Energy Efficiency and Conservation Strategy 2017-22 現行政策，更積極訂於 2030 年 100% 再生能源目標，惟能源政策的持續性，可能會受政黨更換及地方政府開發方針之影響。目前正在進行的政策制定工作，是研究解決可再生能源設施發展的障礙，包括：資源管理架構下的障礙、電力傳輸併接問題、缺乏投資動力及乾燥年份和冬季保險的可負擔技術的前景不確定。

紐西蘭政府開始對地熱開發投入始於 1950 年，大規模的地質普查、資料收集整合後，公開探勘資訊並召集開發提案，依據提案計畫目標，由政府提供經費或資助開發，計畫經費規模透過溝通協調調整經費規模。一般開發策略以十年為

期，結束前期後再檢核下一階段資金提供及執行成效。紐西蘭地熱開發是由國家決定最重要的十項議題之一，每年提供約 350 萬紐幣支援學校或業界，進行相關儲集層調查、生產技術、健康環境、地熱地質模式等研究。

4. International Partnership for Geothermal Technology (IPGT)

(1)概述

地熱技術國際夥伴組織於 2008 年 8 月 28 日在冰島凱夫拉維克 (Keflavíkflugvöllur, Iceland)，由澳洲、冰島和美國的代表簽署了“地熱技術國際夥伴關係憲章協定”，IPGT 成立目的是通過國際合作加速地熱技術的發展。瑞士與紐西蘭分別於 2010 年 10 月、2011 年 11 月加入 IPGT 組織。

(2)考察內容

投資運營評估經理 Kennie Tsui 說明紐西蘭政府共有 6 個單位進行研發投資，決定是否補助要看計畫內容(50%)及產業效益，因此要找企業一起研擬研究計畫，今年度已有 11 項國際合作計畫獲得補助，包括：氣候變遷、高溫鑽井、地熱二氧化碳排放、地熱抽注行為誘發地震與萃取稀有礦物應用等研究。

(二)108 年 7 月 23 日(星期二)

5. Mercury Energy

(1)概述

Mercury Energy 是紐西蘭一家電力生產與售電公司，員工有 800 人，51% 以上的股權為紐西蘭政府所有，但是 CEO 非政府派任。其電力產生來源 100% 來自再生能源，其中包括 9 座水力發電站與 5 座地熱發電廠，2017 年全年售電量占紐西蘭國內總售電市場 19%。

Mercury Energy 公司所屬的 5 座地熱發電廠均位於紐西蘭北島中部，主要在陶波境內，包括：(1) 2000 年運轉的 Mokai 電廠，裝置容量 112MW，年均發電量 926GWh；(2) 2000 年運轉的 Rotokawa 電廠，裝置容量 33MW，年均發電量 270GWh；(3) 2008 年運轉的 Kawerau 電廠，裝置容量 100MW，年均發電量 831GWh；(4) 2010 年運轉的 Nga Awa Purua 電廠，裝置容量 140MW，年均發電量 1132GWh；(5) 2013 年運轉的 Ngatamariki 電廠，裝置容量 82MW，年均發電量 687GWh。

地熱發電具備基載特性，穩定提供國家電力，營運效率高達 95%，光 Kawerau、Nga Awa Purua 與 Ngatamariki 三家電廠年發電量就有 2800GWh，穩定提供紐西蘭 33 萬戶家庭使用。

除了 5 座地熱發電廠在運轉外，Mercury 仍持續發展地熱發電，Te ia a Tutea 電廠正在探勘中。此外，未來一年將再打 4 口 3000 米以上之地熱井，2 口在 Rotokawa，2 口在 Kawerau，以確保電廠的穩定發電與超過 20 年的營運期。此外，Mercury Energy 還有境外地熱發電擴展計畫，包括在美國加州設置的 5MW 地熱發電廠，以及在智利與德國都有地熱探勘計畫在執行。

(2)考察內容

計畫及研究經理 Ian Richardson 提到地熱能源開發之風險最主要在前期探勘階段，以紐西蘭、菲律賓及印尼為例，在發展初期均由國家進行潛能普查及發展策略規劃。地熱發展需要穩定的能源政策及方針，以紐西蘭第一階段 1950-1990 年之開發期之潛能評估、鑽井、社會及環境法令的衝突之風險及失敗，均由國家承擔。一般地熱田探勘井的規畫數量，最少 3~4 口，可分兩階段鑽探，須交由專門的地熱鑽井公司執行，而後再進行 3 口開發井規劃、完鑽並進行生產。平均每口鑽井費用為 1000~1500 萬紐幣，井深為 2000-3000 公尺。紐國沒有任何一個現行開發生產的地熱田是沒有政府先期挹資鑽探勘井的，即便如此，該公司在早期發現之探勘好景區仍有失敗案例(因為滲透率過差無法商業生產)，足見地下地質掌握不易。紐國所有地熱蓋層皆因熱水換質作用造成，主要黏土礦物為膨潤石。地球物理資料與地熱系統隨著時間可以匹配。鑽井時該公司沒有使用空氣鑽井 (air drilling)，用清水泥漿即可避免產層浸污，而產注井建議彼此至少相隔 2 公里。

紐西蘭地熱電廠重視保持與原住民溝通與參與的多樣性，包括公司、個人對原住民的持續溝通友好，以 Mokai 地熱田為例，開發實際是由毛利部落發起，Mercury 電力公司提供技術支持。紐西蘭民間電力公司對於地熱發電推動之資源調查工作，建議由政府投資在野外調查、地球物理探測及探勘井鑽鑿計畫之階段，再將調查結果交由市場開發。

之後由公司主要地球化學家 Farrell Siega 進行 Ngatamariki 地熱發電廠開發簡介，該電廠位於 Taupo 北方約 17 公里，裝置容量 83MW(4 部發電機組)，自 2000 年取得探採開發權後，於 2004 完成 MT 地物探測確認潛能區後，2008 年起完成 9 口鑽井工程(最深 3500 公尺)，到 2013 年 8 月正式並網商轉，地熱水最高溫 290 度，單井最大產能達 800TPH，目前以其中 3 口為生產井 4 口回注，產能測試期程約 1~2 周。

(三)108 年 7 月 24 日(星期三)

6. Waikato Regional council

(1)概述

Waikato 區域委員會於 2016 年 12 月制訂了 Waikato 區 4 年計畫指導方針” Waikato Regional council’ s strategic direction 2016-2019” ，做為 Waikato 區域發展的重要依據。地熱發電供應紐西蘭 17%的能源供給，其中大部分來自 Waikato 區域，預計 2030 年地熱能源供應量將會提升至 30%。

Waikato 區域委員會從地熱資源源保育與有效利用兩個方面著手進行，主要工作內容包括:

- 地熱資源特性研究。
- 地熱資源分類及最佳管理策略。
- 地熱流體回注與長期生產管理。
- 透過分階段生產與開發管理計畫，促進地熱資源永續利用。

(2)考察內容

Waikato 區域政府 Katherine 表示地熱資源探勘早期由政府主導進行大規模潛能調查，劃定可開發區、保護區、有限開發區、研究區(資料不足)及其他小型區；地熱資源不屬於政府或任何人，地主只擁有使用權，而定向井須取得鑽井路徑經過的所有地主同意；在資訊公開議題上，區域政府鼓勵私人電力公司將調查資料應儘量公開有助地方溝通，包括詳細調查工作及可能影響，以及定期環境監測資料，區域政府得邀請專家進行同行評審，交叉檢視監管資料；此外，政府每 10 年檢討開發策略，調整各地熱區域的範圍。

單一開採機制(single-tapper)政策是目前區域政府的共識，一般當地政府較喜歡單一開發商。然而 Kawerau 是一個共同開發的案例，至少有 4 個同意持有者 consent holders 來開採地熱流體，在這種情況下同意持有人必須共同製定資源管理計畫，交由區域政府委員會審查。而準備整合資源管理計畫也是同意過程的一部分，即使在獲得同意後也會定期進行審核。

此區域政府審查每一階段(探勘、開發、生產)所需時間為 7 個月，並且設有聽證會讓人民有上訴機會，而注水行為通常會形成環保議題，所以不只非注不可，還要監測對地表和地下水質。

7. GNS Science

(1)概述

GNS Science 為紐西蘭政府認證之皇家研究所(Crown Research Institute)，員工人數約 390 人，其中 75%的員工在威靈頓、20%員工在陶波(Taupo)、5%員工在但尼丁(Dunedin, 紐西蘭南島)，約 85%員工直接參與科學研究。

GNS Science 主要研究部門包括:地球科學、能源與資源、自然災害、環境與材料等四個部門，地熱能源相關業務隸屬於能源與資源部門，相關業務包括地熱資源研究、地熱開發顧問等。經費來源包括:標案及政府研究計畫(40-45%)、公私營機構委託技術與顧問服務(20-30%)、地質與地震災害監測(15-20%)、中央(或地方)政府顧問(5-10%)及政府補助款(5-10%)。

GNS Science 參與紐西蘭國內地熱開發計畫包括: Rotokawa 地區的 Mokai, Ohaaki, Kawerau, Nga Tamariki 電廠及 Wairakei 地區 Contact Energy 的 Te Huka facility 電廠。除協助紐國內部地熱電廠開發外，該研究所也協助擔任國外地熱開發顧問。GNS 協助的國家包括:智利、斐濟群島、印尼、日本、馬達加斯加、太平洋群島、巴布亞新幾內亞、菲律賓及烏干達等國。

(2)考察內容

由資深地熱地質師 Andrew Rae 進行地熱資源探勘、開發與管理專題報告，其核心目的是了解地底系統運作及資源，並將其轉換為經濟、環境與社會利益。所有地熱資源都具有直接勘探和開發的特徵，以及其他不利的特徵，因此地球科學是降低開發風險的工具，經由資源數據整合來分析地熱系統，進而建立科學策略協助決策決定。

地熱系統是獨一無二的地質構造，在一個水文環境中適當的探勘方法，可能

在其他地方不會成功；地質概念模型很有用，但可能很複雜或具有誤導性；通過整合各種技術來萃取大量的資訊，可以降低開發風險；儘早判識與資源相關的風險，尤其是環境面與法規面的限制條件。

8. MB Century Drilling & Energy Services (NZ) Limited

(1)概述

紐西蘭唯一世界級全方位(one-stop-shop)的地熱與能源生命週期解決方案供應商，擁有熱能擷取、井測、地熱蒸汽田設計、施工與維護等相關技術，並參與「紐西蘭地熱深井鑽探實行規範(Code of practice for deep geothermal wells NZS 2403:2015)」編譯工作。

參與紐西蘭 Kawerau、Wairakei、Rotokawa、Mokai、Ohaaki、Ngawha 等地熱電廠蒸汽田設計與施工服務。此外，亦有菲律賓、印尼、巴布亞新幾內亞及智利等國家之地熱電廠蒸汽田設計與施工服務。服務範圍包含地熱/油氣鑽井(Geothermal & Oil/Gas Drilling)、地熱蒸汽田設計與工程(Steam field Design & Engineering)、地熱儲集層井測(Reservoir Data Logging)、水利工程與顧問(Hydro Engineering/Consultancy)、地熱與水力電廠維護(Geothermal & Hydro Power Station Maintenance)、重工製造(Heavy Fabrication)、精密加工(Precision Machining)、工業塗料(Industrial Coatings)、地化與水質分析(Water & Geothermal Sampling Analysis)、環境監測(Environmental Monitoring)、土木施工(Construction)等。

地熱管線屬於高溫高壓環境，焊接施工須以最高標準為準則。MB Century 擁有一群高素質且經驗豐富的焊接團隊，該團隊符合 ASME B31.1、ASME IX AWS D1.1、AS/NZS 1554.1、ASME VIII、BS5500 等相關標準。

地熱鑽井方面，MB Century 擁有淺、中、深等現代化地熱鑽井機具，其中，Drillmec HH350 鑽機為紐西蘭目前鑽先進之鑽機。機械維護保養方面，以水力電廠為主；地熱電廠維護保養則包含地熱發電渦輪機組檢修、維修中心與團隊。

地熱儲集層井測服務，包含井套管內外腐蝕量測設備、鑽井測量設備、井測、完井測試、生產回注試井、儲集層工程、井下攝影技術、徑向水泥固結量測、先進鋼纜鏈結技術、示蹤試驗、地化採樣分析、環境監測、現場尺度實驗室測試技術等。此外，MB Century 也提供地熱蒸汽田設計與建造服務。

(2)考察內容

鑽井服務經理 Richard Adams 提供紐西蘭地熱鑽井工程的相關資訊：2,000~3,500 公尺，工期 40~60 天，8~10 million/井；Slim holes 1.3~5.0 million/井 for HQ-2,000 公尺。

套管在高溫環境下容易變形，下水泥也不易封固，所以要一步做好，才進行下一步，要不然容易前功盡棄(例如熱水汽從套管與裸孔間溢流，不僅無法順利生產，亦造成公安危險而導致封廢井)。所以此鑽井公司鑽進率不高，平均一天鑽進 55 公尺，最後生產區間若下 13 吋篩管，前期鑽進會分成 4 期。鑽井泥漿採用清水，無使用空氣鑽井，而產注井建議彼此至少相隔數公里(日本有相隔 1 公

里失敗經驗)，與 Mercury Energy 公司所述一致。

電測方面，該公司強調地熱井注重的電測資料是溫度，所以未施作傳統油氣井大滿貫電測，通常施作 PTS 電測(壓力溫度 Spinner3 項資料取得，該電測單次花費約 10 萬紐幣)、HTCC(5 年檢查 1 次套管腐蝕狀況)、CBL(水泥封固電測)與井下持壓持溫採樣器(可以採樣未沉澱固結碳酸鈣，以測試注入防垢化學品種類與濃度)。該公司未採用 ESP，因為耗電費用驚人，也不建議我方使用注入氬氣誘噴機制，因為通常會損壞套管(馬槽 2 號井可能即因此而壞井)。該公司採收破碎帶岩心時，採收率差，常為 0 採收率。

(四)108 年 7 月 25 日(星期四)

9. Te Huka facility

(1)概述

Te Huka Geothermal Power Station 又稱為 Tauhara On，是位於紐西蘭陶波附近的一座 23 MW 的雙循環地熱發電廠，目前由 Contact Energy 運營。

本電廠由 Ormat Technologies 於 2008 年開始建造，於 2010 年完成並開始運轉。本電廠地熱蒸汽由 Tauhara 蒸汽田供應，發電尾水回注至 Tauhara 蒸汽田的邊緣，以確保資源永續利用。發電廠所發電力透過 33 千伏電源線將電力連接到 Transpower 的 Wairakei 變電站，再送到陶波(Taupo)配電網絡和國家電網。

(2)考察內容

本電廠於 2010 年運轉(28 MW Binary plant; Contact Energy)，建置時間約 21 個月，係屬於 Tauhara 地熱田，電廠發電入口溫度約 230°C，發電機組為 Binary cycle 系統，工作流體採用戊烷(沸點約 38°C)，因廠區仍有可燃氣體溢散於空氣中，手機及電子用品均不得攜入。

10. Te Mihi facility

(1)概述

Te Mihi 為位於陶波火山區 (Taupo Volcano Zone, TVZ) 的火山型地熱田，以蒸汽為主，蒸汽壓達到 20~25 Bar，儲層最高溫度 260 °C。電廠位於紐西蘭 Taupo 市鄰近，由 Contact Energy 公司負責建造，於 2014 年 5 月完工，電廠規模為 166 MW，造價 7.5 億美元，。

Te Mihi 電廠現擁有兩台 83MW 之雙閃發蒸汽渦輪發電機組(steam turbine generators using dual-flash steam separation)。Te Mihi 地熱田原先僅提供蒸汽給遠在 5 公里外的 Wairakei 地熱發電廠使用，但由於距離遠造成能量損失嚴重，且 Wairakei 地熱儲集層蒸汽資源日漸衰竭，因此在 Te Mihi 地熱田現地建立地熱發電廠。新設置之地熱發電廠也配置了除硫系統，使得冷卻尾水可直接回注地層，避免排放污染。

Te Mihi 電廠計劃在 2026 年 Wairakei 地熱發電廠除役後，增建第三台機組，目前兩個電廠聯合輸出功率為 114MW，足以供應 11 萬戶家庭電力使用。

(2)考察內容

電廠於 2014 年運轉(166MWe;Flash plant; Contact Energy)，建置時間約 30 個月，屬於 Wairakei 地熱田，兩部機組滿載共發 166MW，為低壓發電系統，發電機組為 Flash steam 閃發發電渦輪系統，工作流體採用戊烷，沸點約 38°C。每日熱水供應約 4000 噸，以蒸汽發電熱水輸送至下游 ORC 機組。由於 Te Mihi 電廠參觀時程過久，改變行程至 Wairakei lookout point。

11. NZ Geothermal Association

(1)概述

紐西蘭地熱協會(NZ Geothermal Association)為包含科學、教育與文化等相關非政府與非營利組織，為國際地熱協會(International Geothermal Association, IGA)與紐西蘭皇家學會的附屬成員，目前約有 340 個會員。服務範圍包含地熱相關政策制訂、地熱資源行銷、定期舉辦研討會等。會員資格包含個人、學生、附屬成員、公司、機構、名譽等。

在公司會員部分，共分為金牌、銀牌、銅牌等三種階級。其中，金牌會員包括:Tuaropaki 電力公司、Mercury NZ、GNS Science、Contact Energy 及 Top Energy 等 5 家公司；銀牌只有 Ngati Tuwharetoa 地熱資產公司(販售地熱流體：蒸汽與熱水)；銅牌部分包含 MB Century、SGS、Halliburton、奧克蘭大學地熱研究所(Geothermal Institute)、地美特新能源(華人公司)等共 20 家公司。

紐西蘭地熱協會協助制訂「紐西蘭資源管理法(Resource Management Act，RMA)，本協會也因應實際開發情況適時修訂 RMA 的相關內容。

(2)考察內容

協會董事 Stephen Daysh 說明 NZGA 在紐西蘭和海外開發地熱政策、地熱可行性及同意項目的計畫管理方面擁有 25 年的經驗，並協助日本專家制定地熱新政策，促進日本可持續的開發地熱。建議一個好的地熱政策必須深思熟慮、能夠適應新信息、高效益和可執行及與現有的法律體系相結合。

在紐西蘭地熱開發不會“消耗”水，因此必須將每日抽取熱水量補注回環境，各地區域政府熟悉當地條件，更適合對環境持續監測和執法，及訂立「區域資源管理計畫」規範地熱資源利用的政策和詳細規則。至於中央與地方政府的權責分工，可考量是否允許單一層面管理？或者兩者兼而有之？開發許可證是作為單一許可證頒發？或是作為地熱開發各個方面的多重許可證？

(五)108 年 7 月 26 日(星期五)

12. The University of Auckland (Geothermal Institute)

(1)概述

紐西蘭奧克蘭大學地熱研究所(Geothermal Institute, University of Auckland)為世界領先的地熱研究和培訓中心，自 1978 年起一直致力於為國際地熱產業提供研究開發，實驗室測試與服務，以及商業諮詢和教育培訓。

奧克蘭大學地熱研究所最主要專長與貢獻，包括(1)開發新一代的地熱儲集層數值模擬工具；(2)地表工程設施優化；以及(3)地球科學勘探方法等。這些技術已在國際不同場址進行測試與驗證，並與印尼、菲律賓等海外研究人員或產業專業人員定期進行國際合作且數量持續增加中。該研究所為世界少數針對地熱研究設立學位的大學，通過修習後獲得地熱技術碩士學位(PGCertGeothermTech)，包含 Geothermal Resources and their Use、Geothermal Exploration、Geothermal Energy Technology、Geothermal Project、Geothermal Engineering 等。

地熱研究所亦針對產業界需求，設立短期進修課程(Short courses)，包含「政策與規畫」、「地球科學」、「儲集層模擬」、「儲集層工程」、「地表設施工程」等領域，提供的課程主題包含：

- Geothermal Reservoir Engineering(4 天)
- Role of a Geoscientist(3 天)
- Sustainability from a Geoscience Perspective(1 天)
- Environmental Impacts: Natural or Induced(1~3 天)
- Hydrothermal Alteration(2 天)
- Geothermal Surface Activity(4~7 天)

此外，可根據需求進行客制化設計，地點可在紐西蘭本地或海外公司或大學進行。

(2)考察內容

所長 Rosalind Archer 介紹奧克蘭大學有四萬名學生，一萬名研究生，6000 位國際學生來自世界八十個國家；地熱研究所是一個包含工程、地球科學、法律、社會學等跨系所研究的教學單位，目前主要研究領域包括：

- 高壓高溫全岩石反應與物理特性研究(岩石的地震/電氣特性、高溫高壓反應容器)
- 建立 Waiwera(毛利語-熱水)超級模型軟體
- 儲集層模型可提供關鍵預測的不確定性量化
- 結合 GIS 及系統最佳化產生複合校準模型樣本
- 加強型地熱系統研究(整合岩石物理，流體模擬軟體，同時模擬裂縫，微地震，熱傳導，流體運動)
- 二相流體分離器設計
- 建立 Kaitiaki(毛利語-守護者)地熱開發模式

此外地熱研究所可提供顧問服務及客製化課程，例如：2018 進階地熱課程，可學習使用當前最新技術和模擬軟體、地熱計畫管理(四週課程)。

13. AECOM

(1)概述

AECOM 的命名為建築、工程、諮詢、運營和維護 (Architecture, Engineering, Consulting, Operations and Maintenance) 的首字母縮寫，是一家世界知名的頂級建築工程顧問公司，提供專業技術和管理服務的全球集團，業務涵蓋交通運輸、

基礎設施、環境、能源、水務、政府服務等領域，在財富 500 大公司中(Fortune 500)排名第 156 位，業務遍及全球 150 多個國家。

台灣艾奕康工程顧問股份有限公司(AECOM Taiwan Corporation)為該集團在台灣設立之子公司，營業項目偏向專業區開發、廢(污)水處理、環境保護工程專業營造業等。

AECOM 協助印尼 Wayang Windu Powers 公司在西爪哇萬隆開發地熱資源，華安溫杜目前是印尼最大的地熱發電廠，總造價約 2 億美元，該地區也是世界上最大的地熱田之一。華安溫杜電廠預計在 42 年營運期間，可生產高達 400MW 的電力，1999 年竣工的第 1 號機組(110MW)，是當時世界上最大的地熱渦輪機，自 2000 年以來一直滿負荷生產(可用率超過 98%)，AECOM 為第 1 號機組提供工程服務、設計、備標和施工監督，第 2 台 117 兆瓦機組的產量是 1 號機的兩倍多。

(2)考察內容

首席機械工程師 Peter Geoghegan 說明公司地熱之四大領域：

- 學習(初步/概念/可行性研究、場址佈置/初步廠區規劃、電力規劃社會/環境評估、影響分析和許可證協助)
- 工程(前端工程設計、投標/細部設計、投標計畫準備/分析、質量保證/控制、供應商協調)
- 計畫管理(業主/銀行家/貸方工程師溝通、採購服務、規劃/安排、成本估算/成本控制、培訓和能力建設)
- 施工管理(合約管理、環境/健康和 safety、檢驗和加快作業、施工管理和現場監督、啟動/測試和調整測試)

另外討論到 Downhole Pump 井下泵在美國多應用於低溫大流量之淺層地下水抽水井，在流量大於 150LPH 會出現馬達散熱問題，應用於地熱生產井須克服 150°C 高溫障礙。

14. Jacobs NZ

(1)概述

Jacobs NZ 為全球 Jacobs Engineering Group 之一員。Jacobs Engineering Group 為財富 500 大排名的公司之一，公司經營十分多元。該公司因在肯亞奧爾卡裡亞(Olkaria, Kenya)地熱區進行 280 MW 地熱電廠開發工作，榮獲肯亞發電公司(KenGen in Kenya)頒發卓越貢獻獎(Gold Award of Excellence)。

紐西蘭 Sinclair Knight Merz (SKM)是一家擁有 6,900 人的地熱、礦業、工程、電力及管理專業服務公司，總部設於澳大利亞。SKM 曾在紐西蘭 Te Mihi west of Wairakei 進行地熱鑽鑿，自詡為鑽鑿業的領導者，SKM 公司於 2013 年與 Jacobs NZ 合併。

(2)考察內容

首席顧問 Scott Henderson 介紹該公司為全球第二大工程顧問服務公司，工業服務領域超過 20 項，自 1970 年投入地熱開發技術服務，協助紐西蘭、卡達、

印尼等國家之地熱開發，參與全球 35%地熱電廠計畫之建置。可針對各種地熱田型式進行發電設計，創新技術包括：開發低溫地熱抽水井、儲集層改變之電廠因應、低成本結垢控制系統、MT/3D 成像技術、低成本 Forked wells(叢式鑽井)技術。並認為我國仁澤鑽井溫度成果下，使用詹姆士法取得之流量和蒸氣比屬可信，惟建議使用示蹤元素法可取得更可靠資料。此公司亦不建議使用井口 ESP，該裝置耗電率 1MW，需在極高滲透率地區才具經濟效益，而井下 ESP 則極易損壞(可能 1 天即壞)。

15. New Zealand Geothermal (GEONZ, 紐西蘭地熱公司)

(1)概述

GEONZ 是一個獨立的非營利組織，由紐西蘭商業貿易部(New Zealand Trade and Enterprise, NZTE)支持所成立。該公司提供地熱開發不同階段顧問推薦工作，內容包括:資源調查、探勘井鑽鑿、發電潛能評估、電廠設計、建置與運轉等不同階段的顧問服務。

(2)考察內容

Mike Allen 教授建議未來地熱產業專業人員之訓練及技術培養為穩定關鍵因素之一，並願意協助整合訓練之規劃。

具體成效

本次參訪了解到紐國地熱開發案的投資報酬率通常約為銀行借款利率加上 3-5%，所以地熱開發案不是取得暴利的投資。而地熱能源開發之風險最主要在前期探勘階段，也就是目前本公司主責部分。為了有效的降低風險，使投資能儘量達到經濟門檻，或可藉由以下幾方面達到成效。

第一，紐西蘭由政府投資野外調查 Field Investigation、地球物理探測 Geophysics Exploration 及探勘井鑽鑿計畫 Exploration Drilling Plan，再將調查結果交由市場開發，民間電力公司對於地熱發電推動之經濟門檻與風險即大為下降。紐國沒有任何一個現行開發生產的地熱田是沒有政府先期挹資鑽探探勘井的，即便如此，早期發現之探勘好景區仍有失敗案例(因為滲透率過差無法商業生產)，足見地下地質掌握不易。政府相關單位應善用紐國經驗，向政府部門爭取經費補助進行探勘，以降低風險。

第二，鑽井規畫上，紐國一般地熱田探勘井的規畫數量，最少 3~4 口，可分兩階段鑽探，須交由專門的地熱鑽井公司執行，而後再進行 3 口開發井規劃、完鑽並進行生產。紐國平均每口鑽井費用為 1000~1500 萬紐幣，井深為 2000-3000 公尺。鑽井時幾乎沒有使用空氣鑽井(air drilling)，用清水泥漿即可避免產層浸污。而因為套管在高溫環境下容易變形，下水泥也不易封固，所以要一步做好，才進行下一步，要不然容易前功盡棄(例如熱水汽從套管與裸孔間溢流，不僅無法順利生產，亦造成工安危險而導致封廢井)，所以紐國鑽井鑽進率不高，平均一天鑽進 55 公尺。最後生產區間若下 13 吋篩管，前期鑽進則會分成 4 期，鑽井期長。採收破碎帶岩心時，採收率也差，常為 0 採收率，與本公司所遇困難相同。

第三，生產規畫上，紐國專家認為我國仁澤鑽井溫度成果下，使用詹姆士法取得之流量和蒸氣比屬可信，惟建議使用示蹤元素法可取得更可靠資料。專家不建議使用井口 ESP，該裝置耗電率 1MW，需在極高滲透率地區才具經濟效益，而井下 ESP 則極易損壞(可能 1 天即壞)。也不建議我方使用注入氬氣誘噴機制，因為通常會損壞套管(馬槽 2 號井可能即因此而壞井)。產注井建議彼此至少相隔 2 公里(日本有相隔 1 公里失敗經驗)。

電測方面，紐國施作 PTS 電測(壓力溫度 Spinner3 項資料取得，該電測單次花費約 10 萬紐幣)、HTCC(5 年檢查 1 次套管腐蝕狀況)、CBL(水泥封固電測)與井下持壓持溫採樣器(可以採樣未沉澱固結碳酸鈣，以測試注入防垢化學品種類與濃度)。以上鑽井、生產與電測規畫皆可供本公司參考，並已與相關公司建立橋樑，計劃將來可能之顧問合作案。

第四，地質概念模式推展至數值模式對地熱開發具關鍵重要性，地質概念模式之建立應由基礎調查至場址調查，逐漸增加各項資訊加以建構，並透過鑽探驗證。紐國因為所有地熱蓋層皆由熱水換質作用造成(火山岩區域特徵，類似我國大屯火山群)，主要黏土礦物為膨潤石。致使地球物理資料與地熱系統隨著時間可以匹配。所以易於配合井下資料調整地質概念模式至現地實際情況，提供地熱

田操作管理及生產預測之信心。紐國專業建模團隊有 GNS 與奧克蘭大學，已與相關團體建立橋樑，計劃將來可能之顧問合作案。

最後，紐國區域政府審查每一階段(探勘、開發、生產)所需時間為 7 個月，頗具效率，這是因為紐國地熱相關法令較我國完備。我國若法令規劃上尚需時間統整，本公司站在開發商角度，則暫時只能靠自己統籌所有申請程序與地方(部落)溝通，以維持開發案行政效率。另外，注水行為通常會形成環保議題，所以不只非注不可，還要監測對地表和地下水質與微震的影響。

心得與建議

有幸獲派參加這次紐西蘭地熱發電參訪團，收穫滿滿大開眼界。整理以下心得與建議供參考。

法令相關

1. 政府針對國家再生能源政策制定適用法令，並調整政府組織提升發展效率。紐西蘭自 1991 年國家地熱脫離礦業法，而改由 RMA 的環境管理法規所控制之法源確立，在 RMA 法案下將最重要的決策權下放給區域政府，並為地熱和其他資源開發提供了一個明確的開發許可程序及時間架構，由區域政府訂立地熱開發計畫指導方針，以便充分與地方溝通。紐西蘭在 RMA 法案制定前，地熱開發需要無數的法律根據同意或限制且無統一的原則，授權機構的複雜與相關部會間不協調及無法整合，民眾反對、環保團體及民意代表阻礙。此經驗與台灣目前面臨的發展困境相似，台灣應該有屬於自己本土條件之策略規劃及短中長期之明確做法，達到國家再生能源之永續與效能。
2. RMA 的另一個重要效能是制定法定的時間架構，明確規定開發同意的最短處理時間，並要求區域政府議會遵守這些時限。2009 年 RMA 為具有國家意義的大型計畫，建立的新程序大大縮短了發展許可過程，從通常的一年到兩年或更長時間縮短至九個月，新法規程序做出的決定是最終的，從而消除了訴訟風險。
3. 環境及永續的議題是在一個超然制度下受管制及審議，而非受制於非專業之 NGO 團體或民意代表。地熱開發策略或計畫的環境影響評估，須透過區域政府組成專家委員會及環境法庭 (Environment Court) 進行審議。在整體策略性的環境評估過程中，可以解決許多與環境有關的問題，並在個別過程開始之前減低地方的擔憂，降低開發的不確定性。紐西蘭的地熱發展與環境、原住民共生共榮，十分值得台灣借鏡，紐西蘭區域政府扮演協調人的角色，以專家環境議會為基礎，實質參與開發審核與溝通協調，比對台灣以部落會議決定地熱開發之模式較具可行性。
4. 地熱開發的審核原則是要有效使用資源、再回注及整合資源管理(包括：地表水、淺層含水層等)，不會限制電廠的開發量，而是要看對環境的影響程度，鼓勵採漸進式開發，以避免過度使用資源。整合資源的管理與審核，大都授權給區域政府 Regional Council 來負責，單一開採機制(single-tapper)政策是目前區域政府的共識。

開發技術

1. 地熱能源開發之風險最主要為前期探勘，各成功開發國家如紐西蘭、美國及印尼，在發展初期均是由國家進行潛能普查及發展策略規劃。地熱發展需要穩定的能源政策及方針。以紐西蘭為例，地熱資源探勘早期(1950-1990)由政府主導進行大規模潛能調查，劃定可開發區、保護區、有限開發區、研究區(資

- 料不足)及其他小型區 5 種 Categories，每 10 年檢討開發策略，調整各地熱區域的範圍。由於地熱開發前期屬高風險、高投資之產業，若民間公司在無土地及法令保障下進行開發，難以控制風險。因此在地熱開發策略上，政府應主導國家整體資源之探測、評估及基本數量之探勘井鑽鑿，確定地熱資源並劃分資源潛能區及開發屬性(可開發區、限制開發區及保護區)。
2. 地質概念模式推展至數值模式對地熱開發具關鍵重要性，地質概念模式之建立應由基礎調查至場址調查，逐漸增加各項資訊加以建構，並透過鑽探驗證，再調整地質概念模式至現地實際情況，地質概念模式後續之重要技術即數值模擬技術，用以數值化儲集層行為，最後利用數值計算對地熱系統預測未來行為，提供地熱田操作管理及生產預測之用。台灣在面對再生能源目標壓力下，無論開發商或政府，應避免在調查資料缺乏、資源未確認及地質概念模式不明(包括熱流、地球化學模型及地球物理模型)條件下進行鑽探，以降低資源浪費及政策受阻，以大屯山為例需重新檢視資料可信度及部分補充調查，而地球化學則須要重新有系統的分析及建構理論模型。
 3. 紐西蘭之地熱電廠均為無人電廠，僅安全人員巡視維護，工作人員分為電廠操作及地熱田維護兩組技術人員，電廠監控中心對於地熱田之井場供應熱水之溫度、噸數、壓力進行操控，而地熱田維護人員則需對於地下流體以各種地球物理/化學技術或監測井進行壓力、流體遷移監控及評估，其中包括數值模擬與預測。
 4. 鑽井技術合作及引進部分：MB Century 顧問公司歡迎且同意以各種方式進行技術合作，包括高級技術工程師、鑽井工程團隊及顧問進行海外技術服務。根據菲律賓、印尼、日本等技術服務經驗，鑽機通常為當地機具配合。(ITRI/MB 中油顧問案洽談中)。
 5. 奧克蘭大學國際合作部分：除一般表列各式學程外，可進行兩周之高級軟體操作訓練，後續以台灣指定案場，進行數值超級模型建立，以 6-8 周時間進行深入建模及討論，以建立本國案場深入之數值模擬技術。
 6. GNS 國際合作部分：建議未來以變質岩地熱系統地質區，進行雙方技術合作發展之項目。目前紐西蘭亦對於南島中低溫變質岩區有興趣，而國內除大屯山外均為變質岩地熱系統，地質概念與地熱系統均不一樣，或可列入將來技術合作目標。
 7. 地熱生產回注方式並非一體適用，需針對每一地熱田的特性來處理回注的方式。回注地點的選擇十分重要，回注地點選擇高、低溫會帶來不同的效能，回注冷水(大約 130°C)灌入地熱田中，造成岩石收縮、孔隙增加、岩石的滲透性增加，可增加回注的效率，回注方式以自然重力方式回注，無須加壓。
 8. 有關回注與微地震方面之關聯性，紐西蘭在 Wairakei 及北部的 Ohhaki 均設立微地震追蹤網路，結果顯示 Wairakei 本身就有很多微地震，Ohhaki 較少發生微地震，在 Warakei 偶而會發生 2~3 級地震，但紐西蘭本身就是地震頻繁的地區，民眾對這些地震的反應並不在意，電廠也未對此改變回注或生產的程序。