

出國報告(出國類別：訪問)

## 循環材料之高值化專案計畫 赴紐澳參訪報告

服務機關：科技部工程技術研究發展司

姓名職稱：文端儀助理研究員

派赴國家：紐西蘭、澳洲

出國期間：109 年 1 月 30 日至 2 月 9 日

報告時間：109 年 4 月 24 日

## 摘要

本參訪團由循環材料之高值化專案計畫規劃團隊共 4 人組成。參訪單位包含：紐西蘭 Wai-O-Tapu 地熱園區、懷卡託大學、奧克蘭大學，及澳洲雪梨大學和新南威爾斯大學等機關。透過與相關專家學者交流，進一步提升臺灣循環材料高值化之技術發展。

紐西蘭產業主要是以出口農畜品與觀光業為主，當中畜牧業與觀光業是碳排放量主要來源。澳洲主要經濟產業是服務業、工業以及農牧業，但其廢棄物處理亦為該國所要面臨的挑戰。兩國的現況和挑戰與臺灣有諸多方面相似，如：經濟發展迅速造成碳排放量高、再生能源的技術發展、大量廢棄物處理問題等。本次參訪對於「循環材料之高值化」專案計畫之未來規劃與發展具有正面效益。

## 目次

### 本文

|                  |    |
|------------------|----|
| 一、 目的 .....      | 4  |
| 二、 過程 .....      | 5  |
| 三、 心得及建議事項 ..... | 18 |

## 一、目的

「循環材料之高值化專案計畫」為產業創新研發補助旗艦計畫之一，目標在於由廢棄資源和再生資源生產出高價值的材料與燃料，其內容涵蓋廢棄物再生之高值產品、循環製程所需的關鍵材料與技術、可再生材料高值化技術、及綠色製程開發。

「循環材料之高值化專案計畫」的規劃團隊，於執行期間辦理專案計畫之推動協調、審查管考、報告統整及成果推廣。本專案全程計畫自 106 年至 109 年，合計四年。已於 106 年、107 年公告徵求第一期、第二期計畫，目前執行中計畫共計 35 案。「循環材料之高值化專案計畫」的規劃團隊經過近三年多年各執行計畫的觀察，並規劃為 109 年計畫重點，希望透過本次參訪獲得相關資訊及業界需求。

本參訪團由循環材料之高值化專案計畫規劃團隊，及科技部工程司專案計畫承辦人文端儀助理研究員，共 4 人組成。此行參與之教授專家來自於國內各大學，由中央大學化材料曹恒光講座教授為領隊，曹教授為科技部工程司化學工程學門前任召集人，亦為規劃本案專案計畫的主持人，其研究領域在於軟物質及界面科學，長年執行科技部計畫，多次擔任複審委員，曾獲科技部兩次傑出獎，熟悉化工學門學者研究專長與研究現況。其他成員包含：中央大學化材系劉振良副教授，研究領域為有機電子/光電材料及相關元件，獲得中大學術研究傑出獎及科技部高分子學門優秀年輕學者計畫、哥倫布計畫；台灣大學化工系康敦彥副教授，研究領域為開發新穎溼製程鍍膜技術，製備沸石、陶瓷奈米管與金屬有機骨架薄膜，獲得化工學會勵進獎及科技部化工學門優秀年輕學者計畫、哥倫布計畫。參訪成員所包含工程司跨領域資深及年輕優秀之研究人員，以及專案業務承辦人，對於「循環材料之高值化」專案計畫之未來規劃與發展具有正面效益。

## 二、過程

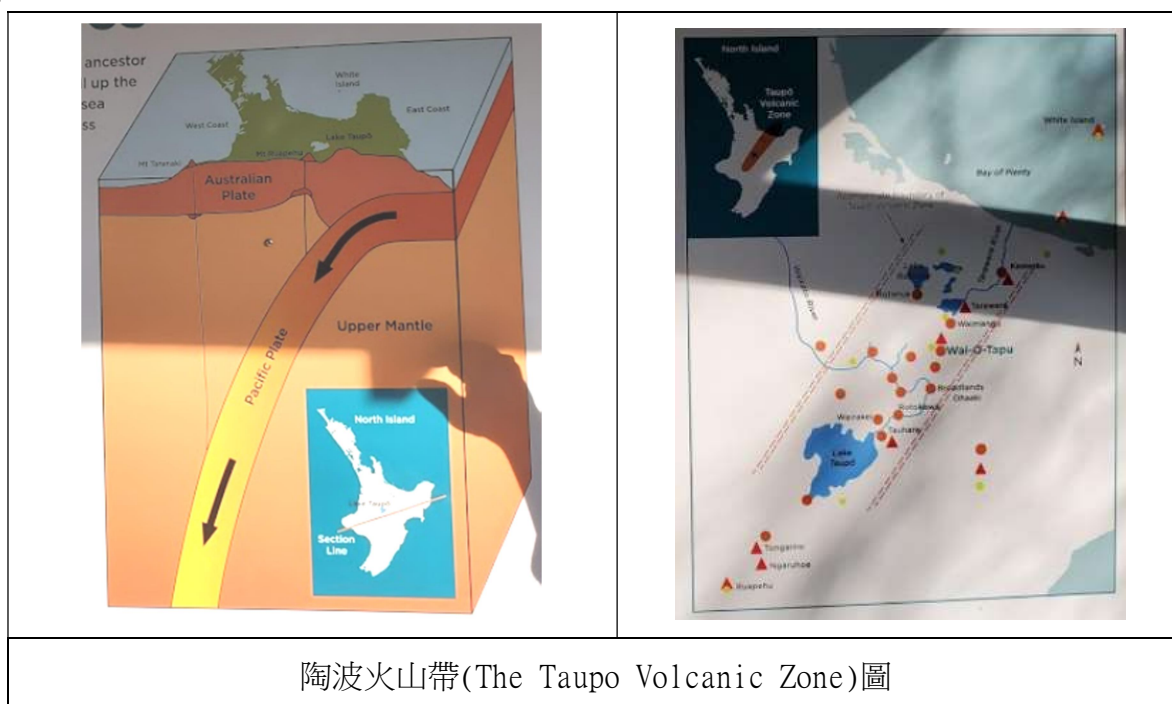
(一)參訪行程如下：

| 參訪日期                            | 參訪地點             | 參訪內容                                                    |
|---------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------|
| 2020/1/30 (四)-<br>2020/1/31 (五) | 台灣→紐西蘭奧克蘭        | 啟程                                                      |
| 2020/2/1 (六)                    | 紐西蘭羅托魯亞          | Wai-O-Tapu 地熱園區 (Wai-O-Tapu Geothermal Park)            |
| 2020/2/2 (日)                    | 紐西蘭羅托魯亞→<br>漢米爾頓 | 移動日/準備資料                                                |
| 2020/2/3 (一)                    | 紐西蘭漢米爾頓          | 懷卡託大學 (University of Waikato)                           |
| 2020/2/4 (二)                    | 紐西蘭奧克蘭           | 奧克蘭大學 (University of Auckland)                          |
| 2020/2/5 (三)                    | 紐西蘭奧克蘭→澳<br>洲雪梨  | 移動日/準備資料                                                |
| 2020/2/6 (四)                    | 澳洲雪梨             | 雪梨大學 (University of Sydney)                             |
| 2020/2/7 (五)                    | 澳洲雪梨             | NSW Environment Protection Authority<br>(NSW EPA) 環境保護局 |
| 2020/2/8 (六)                    | 澳洲雪梨             | 新南威爾斯大學 (University of New South<br>Wales)              |
| 2020/2/9 (日)-<br>2020/2/10 (一)  | 澳洲雪梨→台灣          | 回程                                                      |

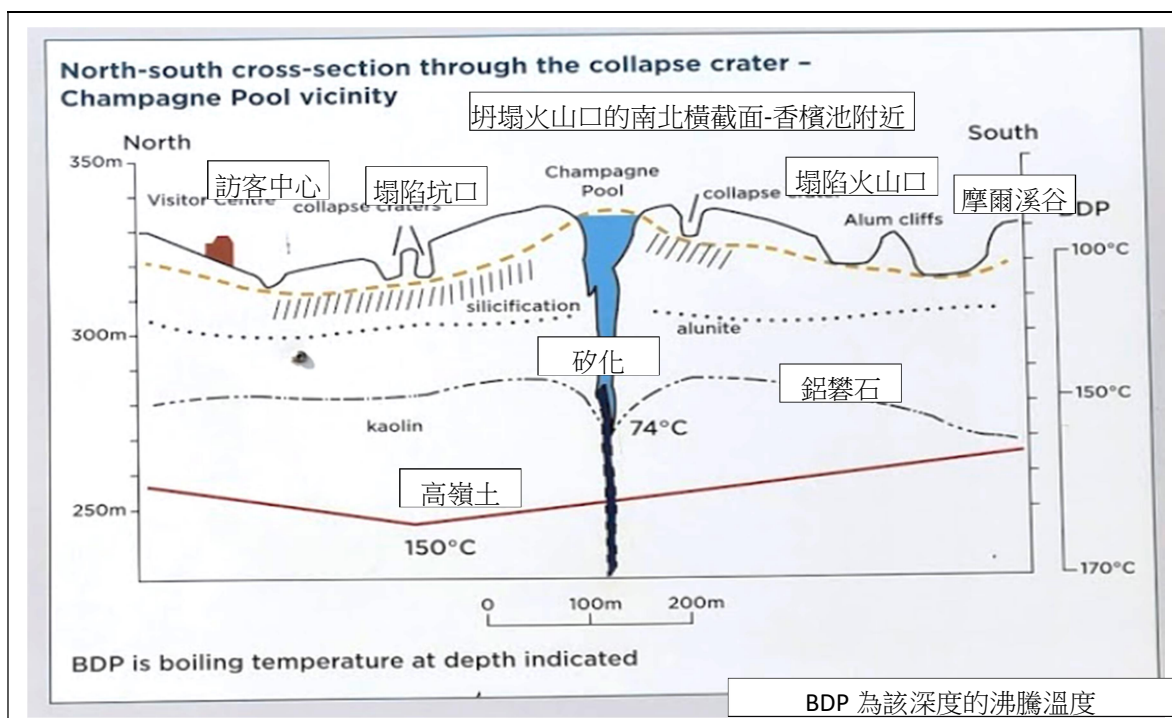
## (二)參訪過程：

### 1.Wai-O-Tapu 地熱園區：

Wai-O-Tapu 地熱園區位於紐西蘭陶波火山帶(The Taupo Volcanic Zone)，是地球上活躍的火山區之一。園區共 18 平方公里，位在南半球最大的火山口邊緣。園區中因為火山活動、噴發的礦物質、水位變化等等，造成各種不同景觀。此園區除了展示火山地貌景觀外，也可以透過相關介紹讓民眾瞭解地熱與火山資訊，同時發展觀光與科普教育。



紐西蘭利用旺盛的板塊和火山運動所產生的豐富地熱資源，發展再生能源發電系統。此地熱區就有 17 個地熱田(hydrothermal fields)，對於開發地熱相對來說容易。該區域的地熱(再生能源)發電，供應了紐西蘭總電力的 5%。其中該園區最靠近的地熱發電站為 Ohaaki geothermal power station，主要是由 Contact Energy 公司經營。此發電站的裝置容量(Capacity)約 50MW，年發電量約 330GWh。



園區中經香檳池為中心之地底剖面圖



火山活動造成的景觀



參訪園區

## 2. 懷卡託大學 (University of Waikato) :

懷卡託大學為紐西蘭國立大學之一，該校主要特色是發展毛利和太平洋文化的研究。由於臺灣原住民文化與其文化有很多共通點(南島語系)，所以該校教授也有來台交流之經驗。此次赴懷卡託大學的參訪行程為一小型研討會，針對雙方國內的循環經濟與技術推動交流討論。

| 議程                                                                                 | 主講人                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Karakia                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                            |
| Āmiomio Aotearoa – A Circular Economy for the Wellbeing of NZ                      | <b>Trevor Drage, Associate Dean</b><br>Global Engagement and Partnerships                                                                                                                                                                  |
| Circular Economy – Sustainable materials                                           | <b>Kim Pickering, Professor of Engineering</b><br>Waikato Centre for Advanced Materials and Manufacture (WaiCamm) & Division of Health, Engineering                                                                                        |
| Sustainable Energy, Water and Resilience Systems Group                             | <b>Michael Walmsley, Professor</b><br>Chemical & Biological Engineering, School of Engineering                                                                                                                                             |
| High-Value Materials from Waste and Renewable Resource: Circular Economy in Taiwan | <b>Heng-Kwong Tsao, Chair Professor</b><br>Department of Chemical and Materials Engineering, National Central University & Project office of “Materials and Technologies In Circular Economy” of Ministry of Science and Technology (MOST) |
| light refreshments                                                                 | Māori Team                                                                                                                                                                                                                                 |
| Innovation in Energy Law and Technology                                            | <b>Barry Barton, Professor of Law</b><br>Research Centre Director - CEREL (Law)                                                                                                                                                            |
| Economic Policy in New Zealand: Environment, Development and Sustainability        | <b>Les Oxley, Professor of Economics</b><br>Economics Co-director of Responsible and Sustainable Management Unit - New Zealand Institute for Business Research                                                                             |
| Visit the campus                                                                   | <b>Amanda Wilson, Research Administrator</b><br>Waikato Management School                                                                                                                                                                  |
| Closing                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                            |



首先 Trevor Drage 副院長針對紐西蘭發展循環經濟之做法簡介。針對紐西蘭的生產與消費系統進行跨學科的物質流基礎研究，優化整體物質/物料流，希望達到減少資源消耗甚至整體循環的目標。並且紐西蘭擁有獨特的文化、社會、地理、政治等因素的影響，其中推廣循環經濟也需要能被毛利族人接受認同。所以紐西蘭發展循環經濟的概念，也需要從毛利精神出發探討。

Kim Pickering 教授說明該中心(Waikato Centre for Advanced Materials and Manufacture, WaiCamm)目前是研究可持續發展材料(sustainable materials)，主要研究項目有高性能天然纖維複合材料、鈦粉末冶金、合成羥基磷灰石應用於骨再生、廢棄甲殼再利用等；並說明紐西蘭有一科學挑戰賽，針對可再生的生物材料和奈米纖維素進行研究，希望可以透過 3D 列印技術提高其利用層面。Walmsley 教授也提到，循環材料的設計與開發，需要具備高度耐用性、可重複使用、可回收、可生物降解、或是利用目前廢棄物製造等條件，亦是與本專案計畫所希望推動的目標相同。

Michael Walmsley 教授則是研究工業能源系統，在當中如何整合流程、改善能源與回收效率。其中該團隊的合作伙伴與研究方法與本專案有相同處，是透過政府組織補助大學端可以進行科學研究和培育人才，並與產業端合作(提供所需數據和需求)，使大學端可以進行有目標性的研究，進而提升紐西蘭工業技術。Walmsley 教授亦說明，如何將學界研究的成果落實於產業應用也是發展循環經濟相當重要的一環，所以該團隊除了執行計畫外，也會舉辦網路研討會和相關的短期課程，推動所研發的技術。

本專案辦公室召集人曹恆光教授亦在會中分享，目前臺灣針對循環經濟的發展，與本專案計畫推動的做法與亮點成果。在座學者對於臺灣本專案推動的方法與成效相當有興趣，對於學界團隊所發展的技術也希望未來可以有機會分享交流。

Barry Barton 教授和 Les Oxley 教授則是分別從法律和政策的角度，說明目前紐西蘭推動循環經濟的方向。其中 Barton 教授提到，經濟學家的角度乃是希望結合「政府(政策/法律)」、「使用民眾」、和「科技/工業」，在當中去衡量政策如何制訂(HOW)，則可推動循環經濟、改變人的行為(DO)。Les Oxley 教授亦說明，發展科技不只是為了讓人類可以「長期」生活，而是為了可以「永久」生活。所以零廢棄(0-Waste)是目前循環經濟的短期目標，新科技可朝向材料可以永久循環的方向發展。

由於目前紐西蘭對於推動垃圾分類尚開始起步，但在政策開始推動前，懷卡託大學則在校內與鄰近社區則自發性的推動垃圾分類。如舉辦活動讓學生可以參與創作分類垃圾桶的圖示，並透過票選選出優勝者。透過相關活動提高學生對於垃圾分類與資源回收的意識。



競選優勝的分類垃圾桶圖示（玻璃、塑膠、鋁罐、一般垃圾）



開幕祝禱



開幕致詞

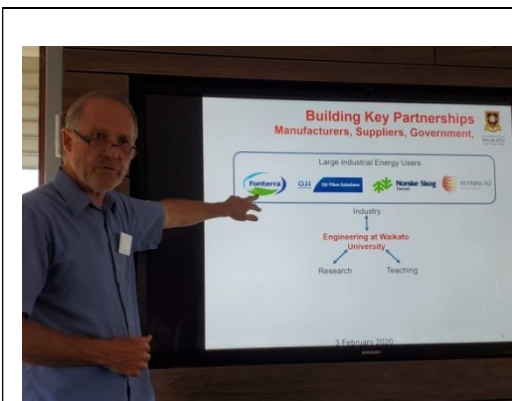


Trevor Drage 副院長分享

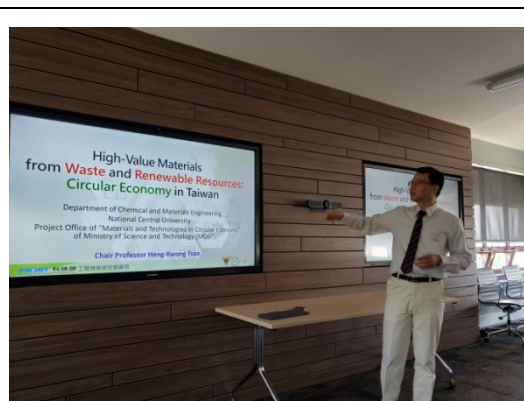


Kim Pickering 教授分享

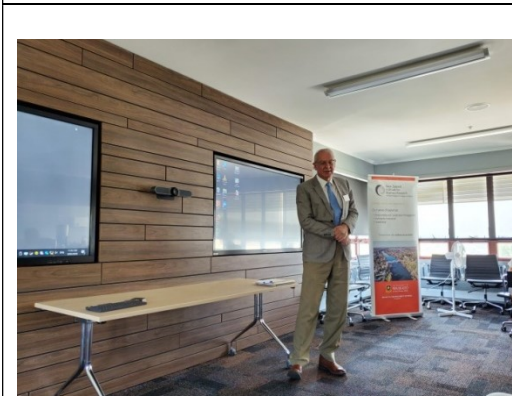




Michael Walmsley 教授



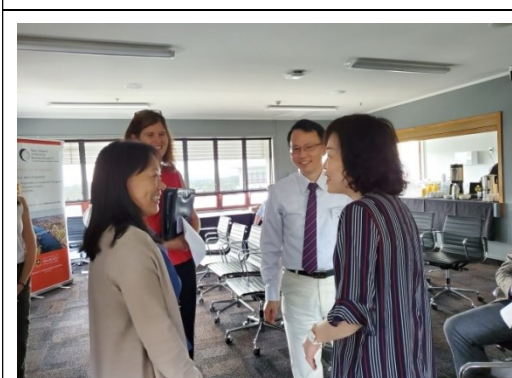
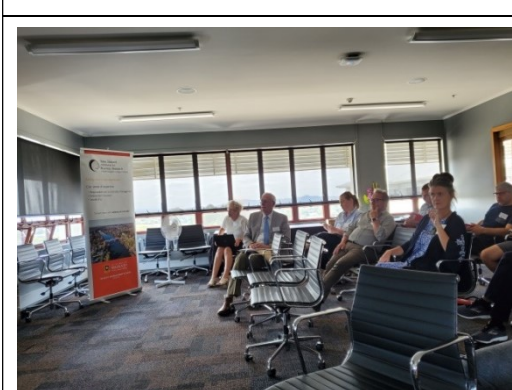
曹恆光教授分享



Barry Barton 教授分享



Les Oxley 教授



會中交流、討論



參訪校園

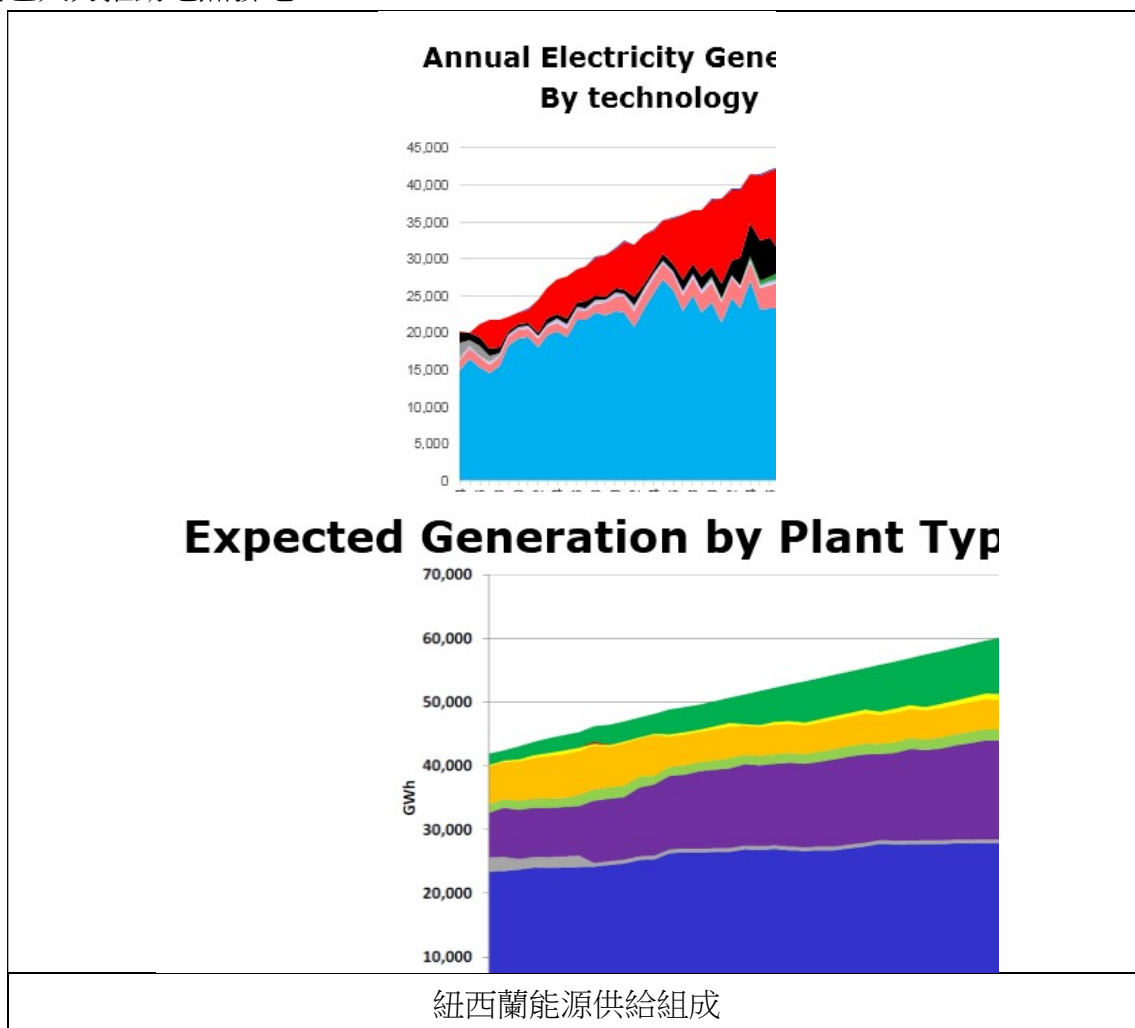
### 3. 奧克蘭大學 (University of Auckland)：

此行程與奧克蘭大學能源經濟學系(Faculty of Business and Economics)系主任/能源中心(The Energy Centre)主任 Basil Sharp 教授交流討論可再生能源之利用發展。Sharp 教授首先分享目前紐西蘭能源市場是採取市場自由機制，非透過政府單位管制，讓能源市場在供需機制下可以具有競爭優勢。Sharp 教授並說明紐西蘭目前能源分析現況，據統計資料顯示，紐西蘭目前能源供給主要還是由原油與石油產品為主(約 46%)，目前以燃料供應一次能源的需求量是石油>天然氣>地熱>水力發電。由於紐國目前政策是希望到 2025 年可以使用 90%的再生能源、2050 年實現淨零碳(Net-zero carbon)的目標，所以將大力推動可再生能源的使用。亦發表「可再生能源聲明」(National Policy Statement for Renewable Electricity Generation)，主要是希望市場機制與法規管理的刺激鼓勵下，電力業者發展再生能源供電。

Sharp 教授也介紹紐西蘭目前主要發展的可再生能源有水力發電(hydro)、地熱(geothermal)、風力(wind)。再生能源中，水力仍為主要發電的方式(約佔再生能源的



50%)，但水力發電目前也已經達飽和的階段，較無法再有更多水力發電建設，故紐西蘭也大力推動地熱發電。



紐西蘭現在有 129 個地熱區域是具有高溫特性( $>200^{\circ}\text{C}$ )，現在多所使用的技術是將地熱水抽取出來，做為發電交換熱源；交換完的水源可再注回地層，因此具有可再生性。雖然地熱發電前期風險較高(探勘、鑽井等)；也有需要與毛利人和當地居民洽談土地使用的問題，但是如建設成功將有助於實現可再生能源目標和減少溫室氣體排放。所以地熱發電也會與當地居民達成共識，發展成發電與經濟共生的策略，例如居民提供土地開發發電廠，而產出的電力可使當地酪農使用(產乳製品)、水也可以做為農業耕種用。

紐西蘭目前有 19 個陸上風力發電廠，發電能力約佔目前電力的 5%。以地理條件，紐西蘭有相當好的風能資源，風力發電容量因數(capacity factor)可達 40%。因此未來紐西蘭也將增加風力發電來源，希望到 2030 年可使風力發電佔比達 20%。

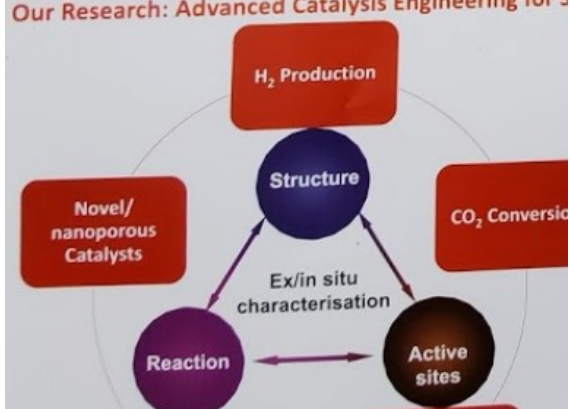
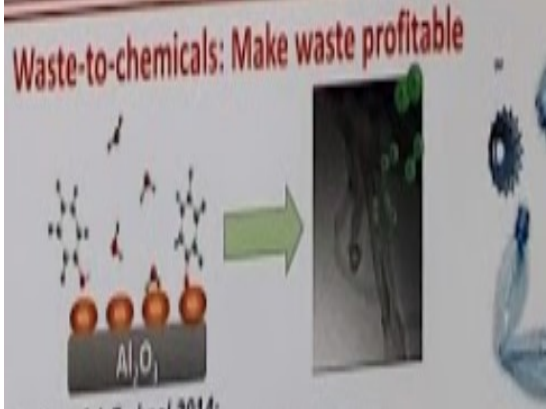
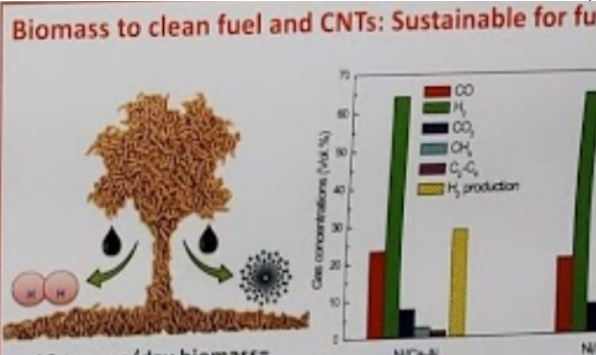
對於能源供應乃是採取市場自由機制，除了傳輸線路是國有外，其餘從發電到銷售皆由發電業者負責。Sharp 教授表示使用者可以透過公開透明的電力價格，選擇所要的電力供應者。這也表示雖然發展再生能源不會直接的獲得相關補助，但是透過使用者對於價格的競爭選擇與對於環境保護的意識，亦可使電力業者自發性的發展可再生能源。



#### 4. 雪梨大學 (University of Sydney) :

此行程原訂與雪梨大學化學與生物分子工程學院 Jun Huang 副教授、交流討論，但由於 Huang 副教授甫自中國大陸返澳，會議改以視訊方式進行。首先，由曹恆光教授分享臺灣循環經濟的發展，與本專案計畫推動的做法與亮點成果。再請 Huang 副教授分享其團隊主要研究新穎的催化劑與其機制，可將廢棄物轉化成有價值、可再利用的材料。如將廢塑料(HDPE、PVC)利用催化熱解技術產生氫和碳奈米管(carbon nanotubes, CNTs)、木質素轉化成氫氣(clean fuel)和碳奈米管、或是將二氧化碳透過奈米催化劑(沸石)

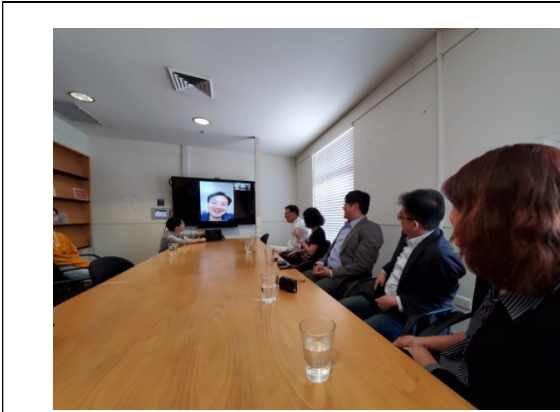
轉化成燃料等等。該團隊透過創新的催化劑提高轉化率，可使在處理廢棄物的同時減少二次污染和能源消耗，並使產出的再生材料具有成本效益和可持續發展的可能性。

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| <p>該團隊研究催化劑與其學理機制</p>                                                              | <p>轉化廢塑料</p>                                                                        |
|  |  |
| <p>木質素轉化</p>                                                                       | <p>奈米催化劑(沸石)</p>                                                                    |

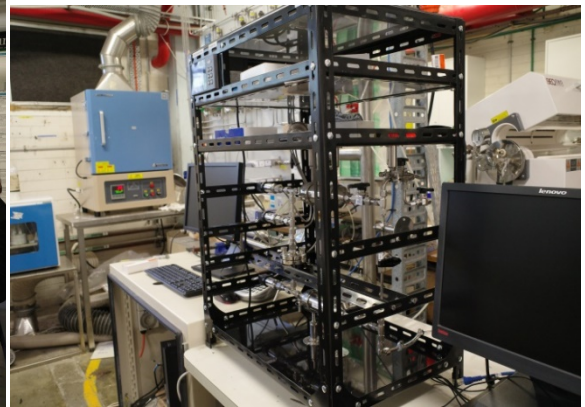
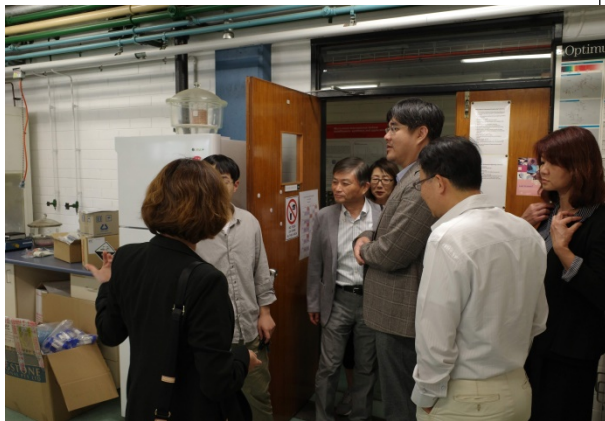
之後由 Huang 副教授的博士生帶參訪團參觀實驗室，值得一提的是該團隊實驗室也將循環再利用的概念應用在抽風櫥設計。由於某些實驗設計流程需要確保實驗溫度，故抽風櫥特別設計可再循環利用的冷凝水降溫，避免過多水資源的消耗。

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| <p>系統循環抽風櫥</p>                                                                      |                                                                                      |





與 Xiaozhou Liao 教授、Jun Huang 副教授交流分享



參觀實驗室

## 5. NSW Environment Protection Authority (NSW EPA) 環境保護局：

澳洲對於垃圾分類多採三類：一般垃圾、可回收垃圾、紙或紙板、有機垃圾，在垃圾桶分別以紅色、黃色、黃色、綠色上蓋標示。此分類不像臺灣，以材質標示分類，且由於澳洲的回收分類也會隨著處理方式與所在地點不同而有所異動，因此澳洲官方也特



別設計網站(<https://www.whichbin.sa.gov.au/>)宣導。

在垃圾收集與分類處理的部分，澳洲也有許多民間機構針對不同材質的回收物進行處理。像一次性的薄塑膠袋或生物可降解的塑膠材質，在澳洲不能做為可回收垃圾，需放置一般垃圾(紅色垃圾桶)處理。但目前機構”REDcycle”可回收軟性的塑膠製品(如一次性塑膠袋、餅乾袋、食品包裝袋等)，並宣導民眾可以帶到特定的超市進行回收。亦有販售可再生的食物包裝容器公司(BioPak)，且其垃圾可放置於有機垃圾桶(綠色)中。該公司除了販售包裝容器，亦針對垃圾進行回收處理。



針對公共場所設置的垃圾桶，往往人潮多時無法即時處理，造成滿溢的狀況。澳洲有公共場所引進可壓縮垃圾的垃圾桶，透過太陽能板提供電力，並偵測垃圾量。當達一定體積時，則可啟動壓縮桶內垃圾，減少垃圾體積。且因為可監控垃圾量，清潔人員也可透過此功能安排清理。



## 6. 新南威爾斯大學 (University of New South Wales) :

因應防疫措施，會議當天該中心人員無法接待參訪團成員。但另外與該校材料系 (School of Materials Science & Engineering) Sammy Chan 教授有機會面晤。陳教授近年主要針對能源材料、儲氫材料進行研究。由於未來能源走向是希望減少碳的排放量，因此氫氣能源則是一個有發展性的低碳替代能源。只是發展氫氣能源雖然污染少，但是所要儲氫與其發展成本尚有需多困難要克服。透過研究前瞻的儲氫複合材料(奈米碳材、金屬複合基材等)，希望可加速氫經濟(Hydrogen Economy)的發展。



## 三、心得與建議事項：

紐西蘭由於重視毛利文化，其精神也影響該國發展循環經濟。從學界學者說明在毛利文化的思想中，其實並沒有所謂的廢棄物，而是如何妥善利用資源、透過技術可以再次使物質流循環使用。紐西蘭學者也說明目前推動垃圾分類對於他們較不容易，一方面是近年開始建立觀念；二方面是該國地廣人稀，回收量不大，故對於臺灣的垃圾分類做法與成效相當感興趣。但臺灣目前近十幾年已經建立垃圾分類的觀念後，後續如何將分類的資源再次妥善使用，則是學界與業界應妥善思考的方向。發展技術與製程循環雖然不易，但是在臺灣欠缺資源與國際未來將提高使用再生資源產品的趨勢下，學界應可透過技術發展，降低臺灣業界進入循環製程的門檻。除了透過技術發展，應也持續透過跨部會推動相關觀念與政策。

如同紐西蘭目前發展循環經濟，除了發展相關廢棄物回收技術外，亦需從市場需求與政策推動著手。除了使生產者對於所生產的產品有相對應的責任外；亦能帶動消費者

在市場選擇中，願意因應環保政策而選擇可能消費較高的可再生產品或循環再生產品。紐西蘭民眾與企業自發性的行為有些已經在政策之前就已經產生，如紐國連鎖超市已經不提供和販賣一次性的塑膠袋，民眾對於自備可重複使用的購物袋甚至是容器盛裝也已經習慣。所以在紐西蘭 2019 年針對企業公布禁塑令時，所受到的衝擊較沒有這麼大。而且因為紐西蘭天然的地理與地形資源，也使得發展再生能源有優勢。目前紐西蘭主要希望提升地熱和風力的發電容量，亦可借鏡紐西蘭對於電力市場所規劃的方式，透過供應需求的調整，可使再生電力價格隨之變動。另外臺灣目前亦有規劃地熱發電，應可借鏡其與當地居民互動共生之方法，使地熱發電達最大功效。

目前澳洲民間機構對於廢棄物分類處理有相當多可借鏡之處，如可透過民眾自發使用可再生食品容器、利用機械手段與發展 AI 感測裝置改良垃圾桶等，亦是臺灣目前可效法的地方。澳洲學者對於廢棄物轉化之研究相當有突破，此次參訪亦得到相當好的互動交流。而所參訪的學者對於未來可與本專案計畫的研究團隊，進行國際合作相當有興趣；應可規劃邀請相關研究學者赴台參與本專案之研討會，可望在技術與業界合作之經驗，進行更多討論。