

由日本法規鬆綁看臺灣國家公園地熱開發

盧乙嘉^{1,3}，宋聖榮¹，王祈¹，田口幸洋²

¹國立臺灣大學地質科學系；²日本福岡大學地球系統科學系；³通訊作者 E-mail:

luyichia@ntu.edu.tw

[摘要] 地熱可當基載電力又是自主能源，加上二氧化碳排放量低，是綠能源中的明日之星。讓特殊地景生態在國家公園的保育之下，也使地熱資源能有開發的可能，是近十年來日本各界努力的方針。日本環境省在國家公園地熱資源法規鬆綁的同時也訂出兼顧生態環境的但書。臺灣目前面臨與日本類似的環境挑戰，皆有減碳的需求與自主能源不足的困境，而陽明山國家公園擁有豐富的地熱資源，或可參考日本的國家公園地熱法規沿革，以期在地熱開發與地景保育上達到雙贏功效。

關鍵字：日本、國家公園、地熱電廠、國家公園法

Adapting Japan's Regulation Reform for Application in Geothermal Development in Taiwan National Parks

Yi-Chia Lu^{1,3}, Sheng-Rong Song¹, Chyi Wang¹ and Sachihito Taguchi²

¹Department of Geosciences, National Taiwan University; ²Department of Earth System Science, Fukuoka University; ³Corresponding author Email: *luyichia@ntu.edu.tw*

ABSTRACT Geothermal as a promising option for green energy is a self-sustained and baseload sustainable energy source with low carbon dioxide emissions. In the past ten years, communities across Japan have invested heavily in finding ways to balance environmental conservation and geothermal production in national parks. The Ministry of Environment in Japan relaxed regulations on the development of geothermal resources in national parks and formulated a proviso that takes environment protection into account. Taiwan faces a similar challenge in reducing carbon emission while meeting the demand to produce self-sustained energy. Japan's experience represents a paradigm shift in the concept of national parks, thus serving as a good model for Taiwan, in particularly Yangmingshan National Park, Taipei, in balancing green energy utilization and nature conservation of rich geothermal resources.

Keywords: Japan, national park, geothermal plant, regulation

前言

日本和臺灣皆坐落於環太平洋火山帶，由於位處板塊擠壓碰撞區，地震事件頻繁，卻也因此擁有龐大的地熱資源。日本是世界上擁有第三大地熱潛能的國家，僅次於美國和印尼；

臺灣島面積雖小卻也遍布豐富的溫泉資源，堪稱地熱的寶島(表 1)。由於地熱發電不僅是乾淨的可再生能源、排碳量小(環境省自然環境局 2017)、且具有不被天候影響的特點，運轉率達 90%以上，可做為基載能源(宋聖榮 2017)，更重要的是可做為不被他國制約的自主能源，

表 1. 各國潛在地熱資源量

國名	活火山數(個)	地熱資源量(MW)
美國	173	30,000
印尼	139	27,790
日本	128	23,470
肯亞	22	7,000
菲律賓	50	6,000
墨西哥	42	6,000
冰島	32	5,800
紐西蘭	29	3,650
義大利	16	3,270
臺灣	2	989

資料來源：柳志錫等 2012，日本資源能源廳 2016

對於需大量仰賴化石燃料進口的日本和臺灣都是彌足珍貴且難以取代的再生能源。

近十年，日本政府逐一放寬國家公園內的地熱開發限制，同時為了兼顧生態環境訂下但書，本文茲就日本近十年來地熱發展的背景、國家公園地熱發電的法規沿革、國家公園地熱發電的施行細節做介紹，最後檢視臺灣現況，提出未來可努力的方向，希冀陽明山國家公園有朝一日也能在兼顧地景生態保育的前提下為綠能盡一份心力。

日本發展地熱能源的背景

日本的地熱發展起步很早，1966 年岩手縣的十和田八幡平國立公園興建日本第一座地熱電廠：松川地熱發電所。爾後幾座地熱電廠皆坐落於國家公園：阿蘇九重國立公園的大岳地熱電廠(1967)、十和田八幡平國立公園的大沼地熱電廠(1974)、栗駒國立公園的鬼首地熱電廠(1975)、阿蘇九重國立公園的八丁原地熱電廠(1976)、十和田八幡平國立公園的葛根田地熱電廠(1978)。然而與化石燃料相比，地熱發電所需的探勘建造時間較長，加上日本極為重視溫泉文化，人們對於使用深層熱水的地熱發電是否會影響淺層溫泉水有所顧慮。1974 年起，政府原則禁止在國家公園內開發新的地熱電廠，但已進行探勘開發者不在此限(環自企 1974)。許多火山區因被指定為國家公園而無法開發，地熱發電從此進程踟躕。

反觀核能發電因為被視為是高科技的潔淨能源，1990 年代中期以後，政府公部門大力推展核能發電，並終止地熱發電的補貼，地熱探勘與電廠興建隨之沒落(Ohira 2016)。

1992 年，聯合國為了防止全球氣候受到人為干擾，同時使生態系統能夠自然地適應氣候變化、確保糧食生產不虞匱乏，制定了《聯合國氣候變化綱要公約》。1997 年《京都議定書》，針對包括二氧化碳在內之氟氯碳化物等六種溫室氣體，定出具體減量目標。2009 年《哥本哈根協議》以《聯合國氣候變遷綱要公約》為基礎，提出「保持全球平均溫度和工業化時代相比升幅不超過 2°C 甚至小於 1.5°C」，並要求各國做出減碳承諾。日本提出的目標為：2020 年將溫室氣體排放量與 1990 年相比減少 25%。隨後日本於 2010 年由環境省長提出《溫室氣體濃度的穩定化中長期對策》。在該份文件中核能佔有重要地位，而地熱在 2020 年發電量須是 2005 年的 3 倍(由 53 萬瓩增至 171 萬瓩)(環境省自然環境局 2017)。

2011 年的 3 月 11 日本宮城外海發生芮氏規模 9 的大地震引發海嘯，福島核電廠發生事故，核能安全面臨全面檢視，也粉碎了以核能取代化石燃料的政策。在經歷 311 地震海嘯後，日本東北 11 座地熱電廠安然無損，在災後成為重要的供電來源，在廢核的聲浪下，地熱發電再次受到重視(新能源・產業技術綜合開發機構，2019)。等檢證委員會重新檢視各類能源的發電成本，將建廠資本費(以使用年限攤平)、

運轉維持費、燃料費、CO₂對策費用、政策經費、事故風險費用加總，核能為 8.9-∞ 円/瓩小時、煤 10.3-10.6 円/瓩小時、石油 25.1-41.9 円/瓩小時，地熱發電僅須 9.2-11.6 円/瓩小時，若加上環境友善度，更具有壓倒性優勢(等檢證委員會 2011)。

為了加速地熱發電的發展，過去由新能源部 (New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO) 負責所有再生能源的開發，在地熱項目中包含資源調查、探勘、鑽井、生產、發電技術開發、及各種補償金的承辦，從 2012 年開始 NEDO 的大部分工作移交給石油天然氣金屬礦產資源機構 (Japan Oil, Gas and Metals National Corporation, JOGMEC)，NEDO 則專注於地熱發電的後端精進。一連串促進地熱發展的措施也從 2010 年施行，至今已開始展現成效。

近年來日本國家公園地熱發電沿革

日本的國家公園是由環境省根據《自然公園法》指定，並由所在縣管理。日本共有 32 個國家公園，佔國土總面積的 9.17%，約有 50% 地熱資源位在國家公園內(石塚博昭 2019)。根據 2011 年等檢證委員會的資料，2007 年日本地熱發電量為 30 億瓩小時。若估計國家公園以外、有 150°C 以上熱液資源的地區，地熱區發電潛力約為 260 億瓩小時。但倘若加上國家公園內 150°C 以上熱液則發電潛力可提高至 420 億瓩小時。如果把溫度標準調降為使用最新技術的雙循環地熱發電的下限，以 53°C 以上熱液資源做計算，發電潛力甚至可提高至 930 億瓩小時 (等檢證委員會 2011)。

1994 年，日本環境廳自然保護局放寬國家公園普通地域的地熱開發(環境廳 1994)。然而地熱潛能最好的地方常常在保護區內，如果從保護區外部向內以鑽斜井方式挖掘，會因為水平距離拉長而增加投資成本，加上地質的不確定性，鑽到熱液的可能性也會降低。於是等檢證委員會在《成本核査委員會報告》中建議：

為了擴大地熱能的使用，須解決政策問題，例如明確規範國家公園地熱開發許可的條件(等檢證委員會 2011)。

2010 年 3 月 11 日，日本成立內閣官房國家戰略室監管制度改革小組委員會，該委員會中的「綠色創新工作組」專責調查現有地熱發電廠運行狀態、電廠周圍自然環境狀況、日本和國際最新地熱技術進展、地熱發電項目對自然環境的影響、嘗試解決地熱在風景區之景觀障礙以及相關法規鬆綁的研究(環境省 2012)。委員會於同年 6 月 15 日彙編了第一份報告並由內閣制定了《監管/體制改革的應對方針》。內閣會議中決議「改革法規讓國家公園和溫泉區的再生能源和地熱發電可以加速並更有彈性」(環境省自然環境局 2017)。6 月 18 日行政改革委員會的監管和制度改革小組委員會上決定「如果斜鑽不會對國立公園的地表產生影響，(地熱發電的)商業計劃書在調查/審查後可以被批准」(環境省自然環境局國立公園課 2016)。

2011 年 11 月 1 日，監管和制度改革小組在第四屆能源環境會議的《能源/環境會議行動計劃》中「允許斜鑽進入自然公園。並檢討國家公園內不同分區是否許可地面探勘、挖掘調查、發電設備安裝等的進行、執行方式的明確化，並在相關部會就特定項目達成共識，以促進產生優良的地熱案場。」(環境省 2012)。環境省根據內閣的決策，聘請相關領域的專家組成「地熱發電事業自然環境影響檢討會」，從 2011 年 6 月至 2012 年 2 月，共召開五次會議，研究地熱發電的最新技術、評估地熱發電對自然環境的影響、地熱發電對自然公園景觀上影響，以及了解過去法規的基本思路並提出緩解措施的方法，也邀請自然保護團體和相關組織對國家公園的地熱開發提出看法(環境省 2012)。

2012 年 3 月，環境省自然環境局局長發布《環境省第 120327001 號通知》，又稱《平成 24 年通知》。其中的重點有：國家公園根據《自然公園法施行規則》依照自然風光和生物

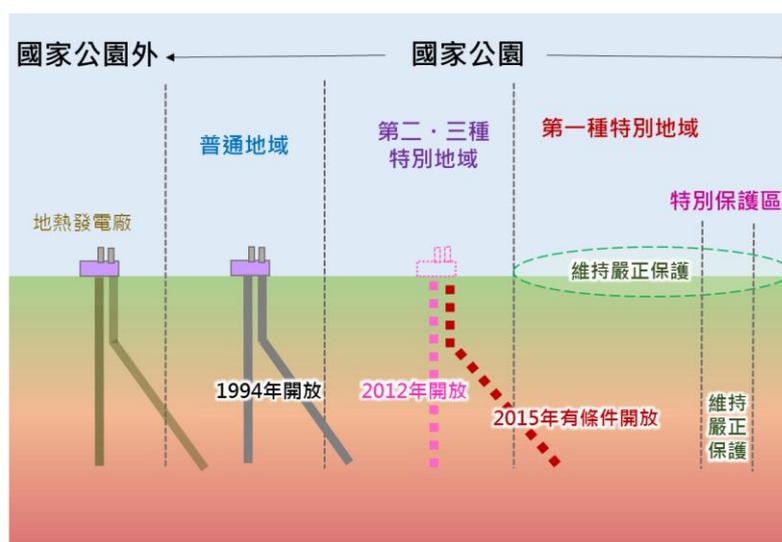


圖 1. 日本國家公園興建地熱發電廠法規沿革

多樣性的程度，將保護區土地分為「特別保護區」和「第一種至第三種特別地域」，其中第二種特別地域和第三種特別地域的管理相對寬鬆。將允許進行垂直鑽井(圖 1)(環境省自然環境局國立公園課 2016)。

在 2015 年法國巴黎的《聯合國氣候變遷綱要公約》(COP21，也稱《巴黎協定》)，日本內閣決定再度提高再生能源的比例，以達到 2030 年的溫室氣體排放量比 2013 年減少 26% 的新標準。同年環境省經過四次的討論會各方達成共識，通知全國相關部門和地方政府《國家公園地熱開發指南》的修訂版：若評估結果對地表環境影響不大，第二種和第三種特別地域可鑽斜井至第一種特別地域之下(圖 1)。發電設備的建物高度限制由原本硬性規定不得高於 13 米，修改為較為柔性的，允許搭配周圍環境視覺景觀做適度調整。

2018 年日本內閣批准「第五次能源基本計畫」，將 2030 年再生能源佔總電力供應比例提高到 24%，其中地熱佔有關鍵的地位。國家公園內的地熱電廠應盡最大的努力減少對自然環境的衝擊，而地熱開發公司、地方政府、當地居民、自然保護組織、溫泉業者都是參與其中的關鍵，須建立有制度且良好的溝通管道(新能源・產業技術綜合開發機構 2019)。

現行日本國家公園地熱發電廠準則

平成 27 年(2015)日本環境省自然環境局國立公園課，頒布環境省自然環境局長通知(環自国発第 1510021 号)為了達到「與自然環境和諧相處，並進一步促進地熱發展」，規定了國立/國定公園的地熱開發處理方法如下(環境省自然環境局國立公園課 2016)：

一、原則上不允許在國家公園的特別保護區或重要意義特殊區以及會產生重大影響的區域進行地熱開發。經評估後倘若不會影響特別保護區地表噴氣帶或溫泉，第二種和第三種特別地域才可能批准鑽斜井至第一種特別地域之下。

二、在國家公園實施地熱開發可能會對當地發展有很大影響。因此，需與溫泉業者和自然保護團體的人們達成共識，並根據協議，制定地熱發展計劃。

三、使用現有已開發之溫泉水做為雙循環地熱發電系統(Binary System)之用水，因為規模小、對景觀影響小，且可供給該地區的能源需求，因此國家公園應積極推動，並提供相關信息。

四、如果需在特別保護區和第一種特別地域掌握地熱資源的狀況，例如施行重力和磁力調查，因為對自然環境無重大影響，且調查結束可恢復原始狀態，在確認地熱探勘的必要性和時程後，可以個案方式批准。但即使允許調查探勘，也需要確保稀有的野生動植物並無受到影響。對此，相關單位應給予調查單位適當的指導。

五、對於第二種和第三種特別地域，地熱發電廠建設主體建築、冷卻塔、管線、輸電塔、道路若對風景名勝區和生物多樣性有很大影響將不允許進行開發。

六、地方政府、地熱開發公司、當地居民、自然保護團體及溫泉業者等，為了減輕地熱開發過程中地熱設施對環境的影響，應召開會議並聘請專家給予建議並取得共識。地熱開發公司可考慮供應熱水給溫泉經營者和農民，並對電廠周圍進行綠化以達社會貢獻。

七、地熱發電後應對自然環境，溫泉等進行長期監測，並將資訊公開共享。

八、由於地熱資源為地下資源，資料量和準確性會隨著地質調查精度提升而提高。鑽井與井測等除了須說明施測狀況外，還需隨時判斷是否可以進行下一步的工作。

日本國家公園開放地熱電廠成效

日本自 1994 年開放國家公園普通區地熱發電、2012 年允許第二種和第三種特別地域垂直鑽井、2015 年放寬第二種和第三種特別地域可鑽斜井至第一種特別地域之下。這些政策使得日本國家公園的地熱發電廠探勘如雨後春筍般萌芽。表 2 蒐羅 1994 年以來建於國家公園的地熱發電廠。其中至少有 10 座已開始供電、18 個地熱案廠正在探勘或興建中(表 2)。

其中位於福島磐梯朝日國立公園內的土湯溫泉度假村是個非常成功的案例，也是 311

地震後第一家成立於國家公園內的小型地熱電廠：在 311 後土湯溫泉區榮景不再，面臨沒有遊客的窘境，業者於 2012 年引進小型的雙循環地熱發電系統，地熱的躉購金成為「土湯溫泉重建振興委員會」的重建基金，讓地熱發電成為凝聚社區的向心力。發電後的尾水則支援養蝦產業，遊客在此可以享受泡湯、釣蝦、享用鮮蝦大餐等服務。土湯溫泉度假村成功吸引日本各地的遊客，也證明地熱發電廠可以與溫泉產業共存，且不會對自然美景和生態造成負面影響(IRENA 2018)。這個快速建立的小型地熱電廠更提高了日本各溫泉區業者建立地熱電廠的投資意願。

臺灣現況

臺灣目前非聯合國氣候變化綱要公約的締約方，也還沒有簽署及加入巴黎協定，按理說在國際法上並沒有減少溫室氣體排的相關義務需要遵守。然而巴黎協定的內容中提到：城市、私人企業、隸屬於國家之相關部門等也應努力因應氣候變遷。意謂著若臺灣的城市或企業要走入國際市場，應履行世界公民的義務減少溫室氣體排放。

臺灣於 2015 年實施《溫室氣體減量及管理法》，設下「五年一期」的溫室氣體階段管制目標。其中第 4 條載明，二氧化碳排放的長期目標是 2050 年時降到 2005 年時的 50% 以下。即過去靠化石燃料的發電形式在未來必須大幅降低，而核一廠已於 2019 年停止運轉，核二廠和核三廠也即將在 2023 和 2025 年除役，再生能源發電的比例提升迫在眉睫。地熱可以作為穩定供電的基載電力，且完全不會受控於他國，是臺灣彌足珍貴的自主能源。臺灣島上的各個地熱區塊中，陽明山國家公園與龜山島都是能量很高的火山源地熱田。

陳肇夏(Chen 1970)估計大屯火山區蘊含 80-200 MW 的地熱資源；工研院調查大屯火山的淺層地熱潛能是 85 MW，若將深層地熱納入計算，發電潛能超過 500 MW (礦研所 1969、

表 2. 1994 年後日本國家公園的地熱發電廠興建計畫與進度

	所在地	與自然公園的關係	發電部門	認可出力	開始運轉時間
上の岱	秋田県湯沢市	栗駒国定公園内	東北電力(株) 東北水力地熱(株)	28,800kW	1994
澄川	秋田県鹿角町	十和田八幡平国立公園外部斜井	東北電力(株) 三菱マテリアル(株)	50,000kW	1995
柳津西山	福島県柳津町	只見柳津県立自然公園内	東北電力(株) 奥会津地熱(株)	65,000kW	1995
大霧	鹿児島県霧島町	霧島屋久国立公園内	九州電力(株) 日鉄鹿児島地熱(株)	30,000kW	1996
九重観光ホテル	大分県九重町	阿蘇くじゅう国立公園内	(合)九重観光ホテル	990kW	1998
八丈島	東京都八丈島	富士箱根伊豆国立公園内	東京電力(株)	3,300kW	1999
霧島国際ホテル	鹿児島県牧園町	霧島屋久国立公園内	大和紡観光(株)	100kW	2010
土湯温泉 16 号源泉一発電所	福島県福島市土湯温泉町	磐梯朝日国立公園内	元気アップつちゆの株主:湯遊つちゆ温泉協同組合	440kW	2012
摩周湖温泉熱利用温度差発電施設	北海道川上郡弟子屈町	阿寒摩周国立公園内	株式会社セイユウ	100kW	2013
洞爺湖温泉 K H-1 地熱発電所	北海道虻田郡洞爺湖町	支笏洞爺国立公園内	洞爺湖温泉利用協同組合	50kW	2017
計畫區域	所在地	與自然公園的關係	發電部門	現況	
羅臼町	北海道羅臼川地域	知床国立公園内	オリックス(株)	2020 鑽井調査，預計未來發電量 2,000kW	
後志ニセコ地域	北海道ニセコ町・倶知安町・蘭越町・共和町	ニセコ積丹小樽国定公園	日本重化学工業(株) 三井石油開発(株)	2020 年起開始鑽井計畫	
白水沢	北海道上川町	大雪山国立公園内	丸紅(株)	2013 進行人文、蝕變帶、景觀等調査	
八雲町	北海道八雲町熊石	檜山道立自然公園内	前田建設工業(株)	鑽井調査中，預計 2021 開始發電	
八甲田北西地域	青森縣青森市	十和田八幡平国立公園内	川崎重工業(株) 東日本旅客鉄道(株) (株)大林組	2013 年起施行詳細地表調査	
岩木山嶽地域	青森縣弘前市	津軽国定公園内	中部電力(株) 弘前市嶽開発(株)	2017 年起施行詳細地表調査	
大松倉山南部地域	岩手県岩手郡雫石町	十和田八幡平国立公園内	東日本旅客鉄道(株)、清水建設(株)、日本電設工業(株)、日本重化学(株)	2017 年起施行詳細地表調査	
志賀高原地域	長野県下高井郡山ノ内町	上信越高原国立公園内	中部電力(株)	2017 年起施行詳細地表調査	
フスプリ山地域	長野県北安曇郡小谷村 および新潟県糸魚川市	中部山岳国立公園内	日本重化学(株)、中部電力(株)	2017 年起施行詳細地表調査	

(續)表 2. 1994 年後日本國家公園的地熱發電廠興建計畫與進度

計畫區域	所在地	與自然公園的關係	發電部門	現況
磐梯周辺	福島県耶麻郡 磐梯町、猪苗 代町、北塩原 村	磐梯朝口国立公園内	福島JV(株)、石油資 源開發(株)、三菱マテ リアル(株)国際石油 f 開發帝石(株)、三井石 油開發(株)、住友商事 (株)、三菱商事(株)、 地熱技術開發(株)、日 本重化学(株)	2013 施行詳細地表調査
白山ろく地域	石川県白山市	白山国立公園内	山崎商事(株)、JAG 国 際エナジー(株)	2017 年起施行詳細地表調 査
木地山・下の 岱	秋田県湯沢市	栗駒国立公園内	東北水力地熱(株)	2010 年開始地質調査和温 泉監測、2018 年鑽獲 300 度熱水，目前探勘工作持續 進行
かたつむり山 発電	秋田県湯沢市	栗駒国立公園内	出光・帝石三井石油 開發	
川俣わよび周 辺地	栃木県日光市	日光国立公園内	東京電力ホールディ ングス(株)	2017 年起施行詳細地表調 査
南阿蘇村阿蘇 山西部	熊本県阿蘇郡 南阿蘇村	阿蘇くじゅう国立公 園内	九州電力(株)三菱商事 (株)	2017 年起施行詳細地表調 査
湯の谷地域	熊本県阿蘇郡 南阿蘇村	阿蘇くじゅう国立公 園内	株式会社フォーカス 株式会社レノバ デナジー株式会社	2017 年起開始鑽井計畫
小国町西里北 里地域	熊本県阿蘇郡 小国町	耶馬日田英彦山国立 公園内	スズ力電工株式会社	2016 年起施行詳細地表調 査
平治岳北部地 域	大分県由布 市、竹田市、 九重町	阿蘇くじゅう国立公 園内	九州電力(株)	2013 年起施行詳細地表調 査與溫泉監測

資料整理：石油天然氣金屬礦產資源機構 2017，上杉哲郎 2018，經濟產業省資源エネルギー庁 2020(北海道更新至 2020 年 1 月其餘更新至 2018 年)

1970、1971、1973)。張竝瑜(2012)利用過去的探勘資料和最新的熱流量，估計大屯火山群在國家公園內和國家公園外深層的地熱潛能分別為 1,405 MW 和 1,481 MW。曾衡之(2014)利用體積法和蒙地卡羅法估計大屯山淺層地熱潛能為 425 MW 而深層地熱潛能則約為 1,193 MW。雖然各研究的依據及算法不同，導致結果不盡相同，但都指示陽明山國家公園內地熱潛能不容小覷。加上其鄰近台北盆地，電力在運輸途中因距離短、耗損少，相較於偏遠地區，其輸配電力的效能高，若能善加利用不僅能為臺灣提供寶貴的自主綠色能源，也可在減碳議題上貢獻心力。

按照現行之「陽明山國家公園保護利用管制原則(102.07.15 實施)」，特別景觀區土地使

用限制極為嚴格，若非修法則完全無地熱開發之可能。而遊憩區與一般管制區地熱是否允許以公用事業設施申請用地？此議題因為過去沒有前例可循，目前定位尚不明朗。再加上國家無設立地熱專法，地熱資源的開發管理權責不明，目前僅以水利署依據《溫泉法》管理，但《溫泉法》僅針對溫泉開發及觀光需求立法管理。行政院《礦業法》第三條內曾指定地熱(蒸氣)為礦種，但目前《礦業法》第三條已無指明地熱為礦種，除非在第六十一款下由行政院指定。國內法規僅《水利法》針對再生資源設計的管理法規，而《再生能源條例》僅獎勵地熱能源使用但未規範地熱資源的使用及管理(王守誠等 2016)。繁冗且無所適從的法令讓有意願的開發商只能坐望興嘆。

日本處理國家公園地熱電廠的議題，有以下幾點可以提供臺灣將來做規畫時的參考：

一、日本的內閣官房在成立「國家戰略室監管制度改革小組」後，聘請各領域的專家委員針對地熱面臨的法規問題一件一件著手解決，才讓地熱在近十年蓬勃發展。臺灣當務之急是讓國家公園的地熱開發有法可循。因為臺灣目前沒有國家公園內建立地熱電廠的前例，該如何進行地熱資源調查、水文調查、生態環評乃至於電廠興建過程中應遵守哪些規範、建廠後又該進行哪些監測、各項管理的權責單位隸屬目前仍然有許多空白。建議應召集政府相關單位委就各細項釐清法源填補空白。唯有建立完善且明確的法規，投資者才能評估投資效益決定是否要進場開發。

二、國家公園內的地熱開發需首重生態與地景的保育。任何開發都不應違背當初國家公園設立的原則。但因國家公園幅員遼闊，少數區塊若有地熱發電潛能，又不至於對生態景觀產生重大影響，應可在有完善的配套措施下，以對環境影響最小的原則進行開發。

三、地熱開發的審議應由主管機關邀請政府相關部門、開發商、當地居民、學者專家、環保團體等共同參與，並充分溝通找出解決方案，減少未來突發的狀況或衝突。

四、地熱發電廠址選定後，應對自然環境，溫泉等進行長期監測，並將資訊公開。

五、地熱資源為地下資源，資料量和準確性會隨著地質調查精度提升而提高。政府部門應審慎規畫，在現有基礎上做更詳盡的地熱資源調查，調查過程中需隨時判斷是否要停止開發或規劃建廠。

六、地熱發電之盈餘可規劃適當比例回饋國家公園做為保育基金，以期達到保育和減碳雙贏

效果。

結語

日本近年來因應氣候變遷，試圖讓再生能源與國家公園的自然保育取得新的平衡，由內閣訂定明確的再生能源政策目標，環境省再重新檢視最新的地熱技術以及地熱對環境的影響等，權衡利弊與因應方法後，逐一解禁國家公園的地熱開發。臺灣的陽明山國家公園擁有龐大的地熱資源，或可參考日本近年來的政策修法，給予國家公園的地熱發展更多的彈性，以增加地熱發電的比例。

誌謝

本研究為《地熱開發對大屯火山群火山活動的影響評估》中的一個主題。此計畫承蒙陽明山國家公園管理處 109 年度委託辦理計畫支持，計畫編號：1080717，感謝陽明山國家公園管理處同仁協助各項行政工作，使研究得以順利進行。

引用文獻

- コスト等檢證委員會。2011。コスト等檢證委員會報告書。エネルギー・環境会議。共 86 頁。
- 上杉哲郎。2018。地熱資源利用と山岳地の自然環境保全。地球環境 Vol.23 No.1&2. 45—52。
- 日本資源能源廳(日本經濟產業省資源エネルギー庁)。2016。エネルギー白書 2016。共 180 頁。
- 王守誠、陳永松、張忠誠、李篤華、莊慶達、李昭興。2016。我國地熱能環境效益潛能及近年國際成功策略比較，臺灣能源期刊 3(4): 477-490。
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構。2017。平成 29 年度「地熱資源量の把握のための

- 調査事業費助成金交付事業」の採択結果について。平成 29 年 10 月 20 日。ニュース。
- 石塚博昭。2019。国立・国定公園での地熱発電開発促進に向けた環境保全手法の評価を実施、2019 年 9 月 2 日、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ニュース。
- 宋聖榮。2017。臺灣地熱能源發展的現況、展望與困境。氣候變遷下的國家發展藍圖，頁 255-277。
- 柳志錫、郭泰融、李清瑞、李伯亨、韓吟龍、劉力維、王俊堯。2012。地熱發電發展現況與未來展望。工程。第 85 卷，第四期，頁 114-129。
- 環境省。2012。地熱発電事業に係る自然環境影響検討会報告(平成 23 年度)。
- 張竝瑜。2012。宜蘭清水地熱能源研究: 探勘技術平台的建立與深層地熱(3/3) 101 年度國科會期末報告。
- 經濟産業省資源エネルギー庁(2020) 地熱エネルギーの宝庫・東北エリアで見る、地熱発電の現場(前編)2020-01-09 (後編) 2020-01-15。
- 曾衡之。2014。大屯火山群之地下三維模型及地熱發電潛能：國立臺灣大學理學院地質科學研究所碩士論文，共 103 頁。
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(新エネルギー・産業技術総合開発機構)。2019。環境アセスメント迅速化手法のガイド-地熱発電所総論－前倒環境調査の方法論を中心に－。国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構。株式会社建設環境研究所(2018 年 3 月 30 日初版，2019 年 3 月 31 日修正)
- 環自企。1974。昭和 49 年 9 月 17 日 環自企第 469 号 環境廳自然保護局企画調整課長通知。
- 環境省。2011。国立・国定公園内における地熱開発に係る通知見直しに向けた基本的考え方。「地熱発電事業に係る自然環境影響検討会」報告 参考資料 1
- 環境省自然環境局。2017。温泉資源の保護に関するガイドライン(地熱発電関係)(改訂について)。平成 29 年 10 月 18 日。環自整発第 1710181 号。各都道府県知事宛 環境省自然環境局長通知
- 環境省自然環境局国立公園課。2016。国立・国定公園内における地熱開発の取扱いについて及び同通知の解説。共 32 頁。
- 環境廳。1994。国立・国定公園内における地熱発電について。平成 6 年通知。平成 6 年 2 月 3 日 環自計第 24 号・環自国第 81 号環境廳自然保護局計画・国立公園課長通知。
- 礦研所。1969。大屯火山群地熱探勘工作報告之一，經濟部聯合礦業研究所，報告 90 號。
- 礦研所。1970。大屯火山群地熱探勘工作報告之二，經濟部聯合礦業研究所，報告 102 號。
- 礦研所。1971。大屯火山群地熱探勘工作報告之三，經濟部聯合礦業研究所，報告 111 號。
- 礦研所。1973。大屯火山群地熱探勘工作報告之四，經濟部聯合礦業研究所，報告 126 號。
- Chen C. H. 1970. Geology and geothermal power potential of the Tatun volcanic region. *Geothermics* 2 (2):1134-1143.
- IRENA, International Renewable Energy Agency. 2018. Unlocking Geothermal Potential in Japan Through Small-scale Generation, 23 July 2018, International Renewable Energy Agency.
- Ohira Y. 2016. Japan sees opportunity in the Earth's percolating heat. NIKKEI Asia NEWS-Biotechnology (November 16, 2016).