

台灣亟需有遠見的再生能源政策與做法—— 德國經驗的啓示

劉明德、徐玉珍*

《摘要》

台灣的自產能源非常缺乏，99% 以上的能源仰賴國外進口，而且，大部分來自政治不穩定的中東地區，加上化石能源燃燒所排放的溫室氣體公認是全球氣候變遷的主因，而原油價格屢創新高，更對國家經濟、民眾生活造成沈重的負擔。有鑑於此，世界各國皆致力於發展再生能源，德國更是其中翹楚。在德國再生能源發展中，弗萊堡的太陽能產業發展是最為亮眼的成功經驗，其效益不僅呈現在綠色能源提供方面，更帶動相關產業發展，吸引旅客，促進地方人口成長。而此成功發展經驗，雖是以太陽能為主體，但其相關發展經驗應可適用於其他再生能源的發展上。本文即探討弗萊堡發展再生能源成功經驗的要素，並據此前瞻的政策規劃與成功的經驗做為我國發展再生能源的借鏡，提出我國再生能源發展可行方向的建議。

本文發現弗萊堡太陽光電產業成功的因素包括：聯邦政府的政策支持、人民的環保意識和危機感、地方政府和議會的推動、全體市民的參與、完整的知識產業價值鏈聚落、不打折的執行力等等因素。我國規劃再生能源發展政策時應掌握這幾項要素，提出具遠見的發展政策與作法。

[關鍵詞]：再生能源、太陽光電、能源政策、環境政策、永續發展

此文為「評論論文」，非送審查文章。

* 劉明德為四川大學公共管理學院副教授，e-mail: liumingte@hotmail.com。

徐玉珍為四川大學公共管理學院副教授，e-mail: ychsu123@gmail.com。

壹、研究背景

台灣的自產能源非常缺乏，99% 以上的能源都必須仰賴國外進口，而且，大部分來自政治不穩定的中東地區，¹ 這對台灣的能源供應安全是一大隱憂；加上化石能源終有用盡的一天；而化石能源使用所排放的溫室氣體公認是全球氣候變遷的主因，其對自然環境的破壞以及人類身體的危害處處可見；至於原油價格屢創新高，甚至在民國九十七年七月達到每桶 147 美元的高峰，更是對國家經濟、民眾生活造成沈重的負擔，種種因素的考量，使得我們必須及早尋找替代能源。

有鑑於此，世界各國莫不發展再生能源，德國更是其中翹楚。德國自從 2000 年 4 月 1 日起實施再生能源法 (Erneuerbare-Energien-Gesetz) 之後，再生能源所提供的電力比重越來越高，在 2009 年已經達到德國電力供給總量的 16%，聯邦政府的目標是，再生能源的發電量在 2020 年時，能夠至少提高到 30%。相對於德國政府對於再生能源的重視和推動力度，台灣政府在這方面的施政成績則讓人感到汗顏。根據經濟部能源局 2010 年公布的統計資料，再生能源只佔台灣全部能源供給量不到 1%，其中，太陽熱能 0.08%，太陽光電和風力發電 0.06%，水力發電 0.26% (經濟部能源局，2010：31)。可以說，再生能源在台灣的利用率非常低。

德國的再生能源的裝置容量和發電量佔比，全世界最高，2011 年上半年時，德國再生能源的發電量已經佔終端能源電力消費量的 20% 以上，² 為此，德國聯邦環境部長羅特根 (Norbert Roettgen) 很自豪的表示，這是一個「很大的成功」(ein grosser Erfolg)。因此，我國若能以德國的再生能源發展模式為範型，相信對台灣的再生能源發展會有很大幫助。在此前提下，筆者大量蒐集德國再生能源政策、相關推動措施、成果以及影響效益的資料，發現弗萊堡 (Freiburg) 這個城市的太陽能發展相當具有代表性，不僅政策制定與推動上相當成功，其產生的影響效益更不僅在能源運用方面，更帶動地方高產值產業以及旅遊業的發展，除此之外，

¹ 台灣的原油幾乎百分之百來自國外 (自產只佔 0.029%，連 1% 都不到)，而且，集中在中東地區，其中，沙烏地阿拉伯佔 34.1%、伊朗佔 7.8%、阿曼佔 5.1%、科威特佔 20.2%、伊拉克佔 9.8%、阿拉伯聯合大公國 4.6%，這六個國家的石油進口佔進口總量的 81.6% (經濟部能源局，2010：53)。

² 德國聯邦環境部新聞稿，2011 年 8 月 30 日發佈，
http://www.bmu.bund.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/47718.php。

也因此帶入居住人口的成長，這樣多面向的效益，對於我國再生能源政策的發展，更是相當大的誘因與鼓勵。弗萊堡的成功經驗，堪稱是全球太陽能產業發展的典範，究竟它的成功要素是什麼？德國聯邦政府以及弗萊堡市政府在此產業發展上各投入哪些努力？這些都是相當值得探討的問題。而此成功發展經驗，雖是以太陽能為主體，但其發展模式相信也可應用於其他再生能源的發展上。以下就針對德國弗萊堡的成功發展經驗，就經濟面、政策面以及執行面三個層面進行分析，並提出適於台灣且具有遠見的能源發展政策建議。

貳、弗萊堡太陽能產業的效益

一、弗萊堡的太陽能發展現況

弗萊堡在太陽能的應用不只在德國領先，甚至可以說是全球佼佼者。弗萊堡的太陽能產業發展快速，截至 2009 年 12 月底，弗萊堡安裝了 15,000 平方公尺的太陽熱能集熱器以及 15MW 的太陽光電容量，其中，太陽光電所產生的電力就能滿足 5,500 個 2 口一家的家庭一整年的電力需求（Stadt Freiburg im Breisgau, 2010a: 32）。

由下表一得知，在弗萊堡的各種再生能源當中，太陽光電的成長最為驚人，在 2002 年時，太陽光電所產生的電力才 1,438MWh，到了 2009 年已經成長 8.7 倍，達到 12,624MWh。水力發電與生質能發電則在過去近十年當中，不但沒有成長，還倒退。其中，水力發電從 2002 年的年發電量 1,470MWh 掉到 2009 年的 1,346MWh，減幅 8.4%，而生質能衰退最多，從 2002 年的年發電量 18,343MWh 降到 2009 年的 12,885MWh，減幅高達 29.8%。而風力發電原本有快速爬升的趨勢，在 2007 年時，達到年發電量 15,276MWh 的高點，但在 2007 年之後，就往下發展。由此可見，水力、風力和生質能在弗萊堡的重要性有不斷下降的趨勢，弗萊堡傾全力發展太陽光電產業，太陽能已成為弗萊堡成長最快也是最有長期發展潛力的產業，是再生能源產業當中的明星。

表一 再生能源在弗萊堡的發電量（單位：MWh）

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
水力	1,470	904	1,398	1,362	1,407	1,666	1,687	1,346
生質能	18,343	18,557	20,102	16,515	14,496	11,108	12,632	12,885
太陽光電	1,438	2,234	2,631	5,122	5,997	7,899	9,761	12,624
風力				10,666	14,331	15,276	14,792	12,052

資料來源：*Statistisches Jahrbuch 2010* (p. 188), by Stadt Freiburg im Breisgau, 2010, Stadt Freiburg: Breisgau Freiburg.

二、太陽光電產業對弗萊堡的效益

在弗萊堡，不只市政府，以及與太陽能直接有關的企業，甚至包括行銷、營造、研究、教育以及旅遊業…等，都與太陽能有關，處處展現了太陽能對整個城市的正面影響力以及該產業的巨大外溢效果。弗萊堡是德國太陽能研發和應用中心，太陽光電對整個區域的永續發展產生了廣大與深刻的正面影響。作者認為，太陽光電產業為弗萊堡帶來的正面效益主要呈現在提高地方產值、帶動地方人口成長、促進地方旅遊發展、以及增加地方就業人口，成功抵禦全球金融海嘯四個方面，依序說明如下：

（一）提高地方產值

太陽能產業部門是弗萊堡各產業部門裡面成長最快速的。與太陽能直接相關的公司，在弗萊堡有 100 家左右，提供約 2,000 個就業機會。生物科技、醫療和綠能並列為弗萊堡的三大核心產業，其中綠能產業為弗萊堡貢獻了 10% 的勞動力、創造了 6.5 億歐元的產值、12,000 個就業機會以及 2,000 家大小公司（Stadt Freiburg im Breisgau, 2010a: 54）。

雖說太陽能產業的就業人口在數量上並不是弗萊堡最大的部門，但是太陽能的正面形象給弗萊堡這個城市很大的加分作用，讓弗萊堡吸引更多觀光客以及更多人想到弗萊堡定居、就業、發展以及投資。

（二）促進地方旅遊發展

2008 年金融海嘯波及導致德國大多數城市旅客人數減少，但前往弗萊堡旅遊的人數卻持續增加。從下表二得知，在 1994 年時，在弗萊堡的過夜人次為

605,800，經過 15 年的時間已經成長超過一倍，達到 125 萬人次。值得注意的是，外國人前往弗萊堡觀光的人數在 1994 年之後大幅成長：在 1994 年時，還只有 15.2 萬人次，到了 2009 年，達到 38.5 萬人次，增幅達到 153.3%。（Stadt Freiburg im Breisgau, 2010）對此現象的解釋為：「弗萊堡的旅遊業之所以能大幅成長，與弗萊堡在國際上享有綠色城市（Green City）的盛名有很大關係，特別是近年來，弗萊堡常常接待來自世界各地的專業旅遊團和官方代表團。現在在弗萊堡，有將近三分之一的遊客是外國人。

表二 自 1979 年以來在弗萊堡的旅館飯店等過夜的旅客人次

年份	旅客過夜人次			
	總人次（德國人加外國人）	成長率（%）	外國人過夜的人次	成長率（%）
1979	456,115		97,166	
1984	519,614	13.9	129,784	33.6
1989	551,606	6.2	155,119	19.5
1994	605,800	9.8	152,081	-2.0
1999	801,442	32.3	197,233	29.7
2004	958,841	19.6	266,138	34.9
2009	1,254,502	30.8	385,203	44.7

資料來源：Statistisches Jahrbuch 2010 (p. 10), by Stadt Freiburg im Breisgau, 2010 Stadt Freiburg: Breisgau Freiburg.

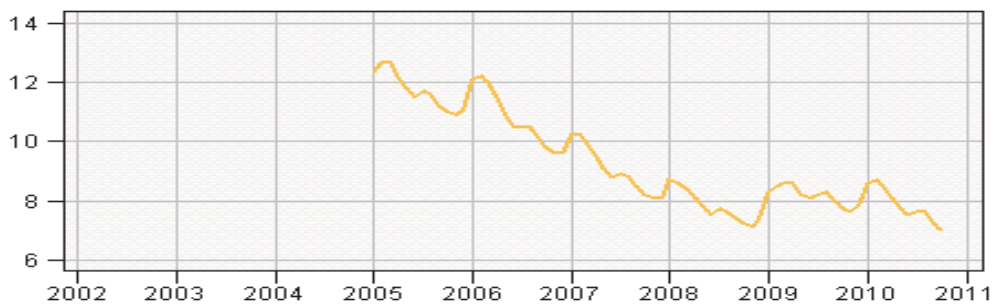
（三）增加地方就業人口，成功抵禦金融海嘯

2008 年的全球金融海嘯波及德國的巴登符騰堡邦，導致其在 2009 年的就業人口比 2008 年少了 29,000 人，同時減少 3.39 億個工時。但是，身為弗萊堡邦內的城市弗萊堡不但沒有受到影響，反而增加了 1,031 名就業人口。（Stadt Freiburg im Breisgau, 2010b）。在失業率方面，根據德國聯邦勞工局（Bundesagentur für Arbeit）的統計，弗萊堡在 2009 年 12 月底時，總共有 6,253 個人登記失業，從下表三可知，在過去這十年當中，2005 年時的失業人數最多，達到 9,668 人，接下來就持續下降。相對於德國這幾年的失業率維持在 7-12% 之間（見圖一），而弗萊堡只有 5-8%，足見弗萊堡是德國各城市裡面經濟表現最好的城市之一。

表三 弗萊堡失業人數與失業率

年	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
失業人數(人)	7,155	7,468	7,495	7,840	7,544	9,668	8,239	7,504	6,640	6,253
失業率(%)	-	-	6.8	7.0	6.9	7.8	6.3	5.6	5.1	5.1

資料來源：*Statistisches Jahrbuch 2010* (p. 9), by Stadt Freiburg im Breisgau, 2010 Stadt Freiburg: Breisgau Freiburg.

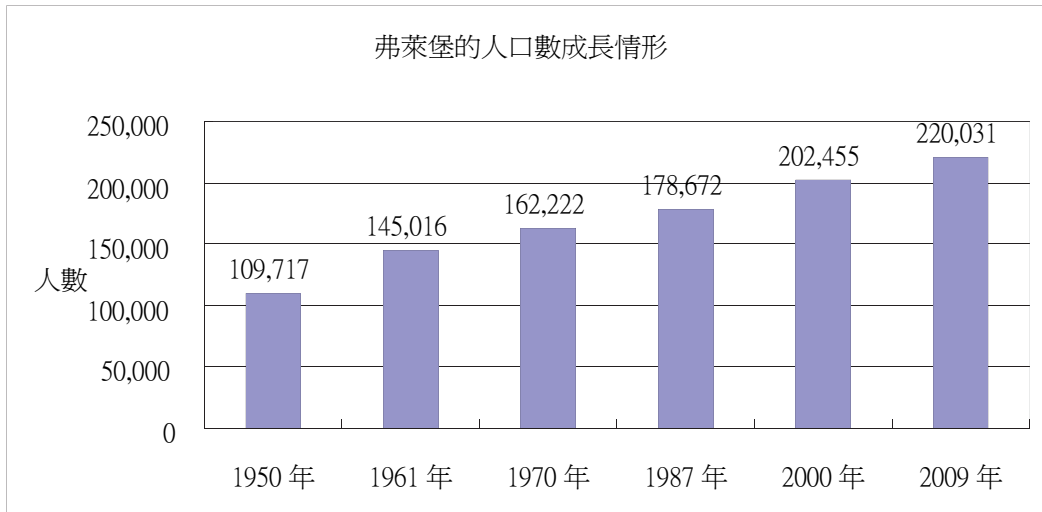


圖一 德國 2005-2010 年的失業率

資料來源：德國聯邦統計局官方網站（2010）

（四）帶動地方人口成長

從下圖二得知，弗萊堡的人口呈現持續成長態勢，在 1950 年，弗萊堡只有 10 萬 9,717 人，到了 1987 年有 17 萬 8,672 人，在 2009 年達到 22 萬人，其中，從 2000.1.1 到 2009.9.30 這十年之間，人口成長 8.7%（Stadt Freiburg im Breisgau, 2010b）。



圖二 弗萊堡的人口成長情形

資料來源：作者整理

參、弗萊堡太陽能產業發展之成功要素探討

歷經三、四十年的努力，弗萊堡的太陽能產業發展得非常成功，也已經成為整個德國的太陽光電產業中心。然而，是哪些因素促成的呢？經過歸納整理，作者認為，弗萊堡太陽光電產業成功的因素是中央與地方政府以及當地居民共同投入的結果，包括：聯邦政府的政策支持、人民的環保意識和危機感、地方政府和議會的推動、全體市民的參與、完整的知識產業價值鏈聚落、不打折的執行力等等因素。詳如下：

一、聯邦政府的角色

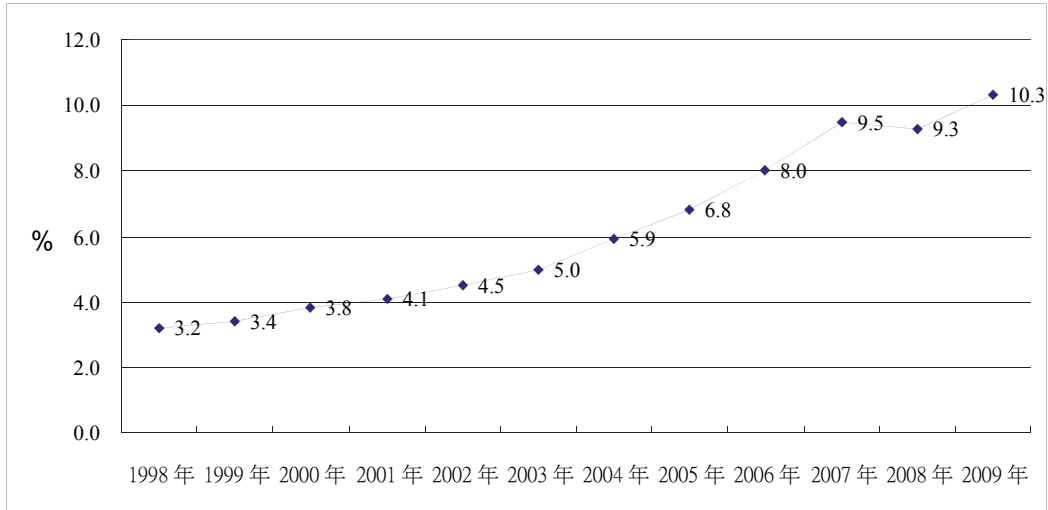
德國聯邦政府在發展太陽能產業的角色扮演包括：提出願景、通過立法、示範實驗、提供鉅資和提高安裝誘因等，以下分別說明。

（一）願景與立法

為了推廣再生能源，德國聯邦政府首先在 1991 年通過〈再生能源電力供給公共網絡法〉（Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das

öffentliche Netz，簡稱〈電力輸送法〉），強制要求公用電力公司購買再生能源所生產的電力。接著，又在 2000 年通過再生能源法（Erneuerbare- Energien- Gesetz / Renewable Energy Act），該法第一條規定，德國要在 2010 年時，再生能源電力佔總電力消費比率達到 12.5%；也規定再生能源法每四年要重新檢討一次。在 2008 年，再生能源法第二次修正，2009 年 1 月 1 日實施，其第一條第二項提出政府努力的目標，也就是德國要在 2020 年之前，將再生能源的發電量提高到所有電力供應的最少 30%。接著 2010 年六月，德國聯邦政府又通過「2050 能源規劃願景（Energiekonzept 2050）」，打算在 2020 年之前，將再生能源利用比例佔終端能源消費達 18%（2009 年時，該比例為 10.3%，見圖 3），接著這個比例在 2030 年達到 30%，到 2050 年達到 60%；而再生能源的發電量應該在 2050 年達到發電總量的 80%（Bundesministerium für Umwelt, 2010a, 2010b）。也就是說，德國打算在看得到的未來，以再生能源取代傳統的火力、煤炭或核能等發電方式。2010 年九月時，德國聯邦政府重新設定目標，德國應該在 2020 年時，將再生能源的發電量佔所有能源發電總量從 2009 年時的 16.4% 提昇到 35%。

再生能源法對於再生能源，特別是太陽光電的推進具有歷史性的意義。首先，相對於〈電力輸送法〉沒有明訂收購電力期間，〈再生能源法〉保證收購再生能源電力長達 20 年之久，如此有利於投資者做長期規劃，而不用擔心補助突然消失；其次，根據不同的再生能源種類、裝置容量以及裝設地點的不同，再生能源法引入不同的固定費率，而且，這個固定費率相當大方，特別是對於太陽能產業而言，投資等於保證賺錢（Laird & Stefes, 2009: 2624）。以 2006 年為例，1 千瓦時（kwh）的太陽光電電力，政府補助 51.8 歐分（以匯率 1:40 計算，相當於 20.74 元台幣），這個價格幾乎是傳統能源市場電價的 10 倍（Frondel, Ritter, & Schmidt, 2008: 4199）。因此，太陽光電產業加速成長。



圖三 德國再生能源佔終端能源消費比例的趨勢圖

資料來源：作者整理

(二) 示範

大凡一個新的事物，在成效未知以及成本很高，非一般人能負擔的情況下，都需要政府以國家資源投入嘗試，而德國的太陽能光電系統就是這樣一個例子。1990年，德國聯邦政府以及地方政府展開了一項「一千個屋頂」的太陽光電計畫（Bund-Länder- 1000- Dächer- Photovoltaik- Programm，簡稱：1000-Dächer- Programm），這是當時全世界第一個這樣的計畫。此計畫目的只是想測試當時德國的太陽能科技到達什麼程度以及收集經驗，沒想到意外掀起安裝太陽光電的風潮。計畫提供全德國 2,250 個補助名額，光是巴登符騰堡邦就有 13,000 戶申請安裝。那時候，安裝太陽光電系統平均要 25,000 馬克（約 50 萬台幣），其中 70% 由政府補助（Hoffmann, 2008，王琪、唐小莉、陳仁德譯，2005）。我們可以說，這一個示範為德國的太陽光電發展起了先鋒的作用。由於該計畫成功實施，證明太陽光電系統所生產的電力可以連接到公共電網，才有後來 1999 年的「10 萬個屋頂計畫」。「從 1999 年到 2003 年，德國太陽光電系統的市場增加了 10 倍，設備價格則平均每年下降 5%」（王琪等譯，2005：107），從此，太陽光電系統安裝在德國突飛猛進。

(三) 投入鉅資發展太陽能

德國政府爲了發展再生能源投入鉅量資金，包括：設備補貼和研究經費等等，以下以設備投資數額作爲說明。

表四 2009 年德國對各式再生能源設備投資分佈（單位：百萬歐元）

再生能源	水力	地熱	太陽熱能	生質熱能	生質電能	風能	太陽光電	總計
投資額	70	1,000	1,250	1,350	2,100	2,650	12,000	20,420
百分比	0.34%	4.90%	6.12%	6.61%	10.28%	12.98%	58.77%	100.00%

資料來源：*Entwicklung der erneuerbaren energien in deutschland im jahr 2009- grafiken und tabellen* (p. 40), by Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reakorsicherheit, 2010, Berlin: BMU.

由上表四可知，德國政府以及民間集中資源投資在太陽光電產業，以 2009 年爲例，投資金額高達 120 億歐元（以當時匯率計算，折合 5,154 億元台幣，約佔台灣 99 年度中央政府總預算的 3 成），佔所有再生能源投資總額的 58.8%。其目的是很清楚的，那就是德國政府與企業將透過更集中資源的投資，使德國在太陽光電技術繼續在世界佔有領導地位，繼續掌握技術標準的制訂權，繼續攻佔未來的能源市場，保持在全世界太陽光電系統的高市場佔有率，掌握產業的核心競爭力，以獲取最大的利益。因爲，誰制定的標準爲世界所認同，誰就可以從中獲得市場主導權以及巨大的經濟利益。由下表可知，德國在 2009 年太陽光電的裝置容量達到 3,800MW，高居世界第一。

表五 2009 年世界各國的太陽光電裝置容量

國家別	德國	義大利	日本	美國	捷克	比利時	法國	其他	總計
PV 裝置容量 (MW)	3800	730	484	477	411	292	185	821	7200
比例 (%)	52.78%	10.14%	6.72%	6.63%	5.71%	4.06%	2.57%	11.40%	100%

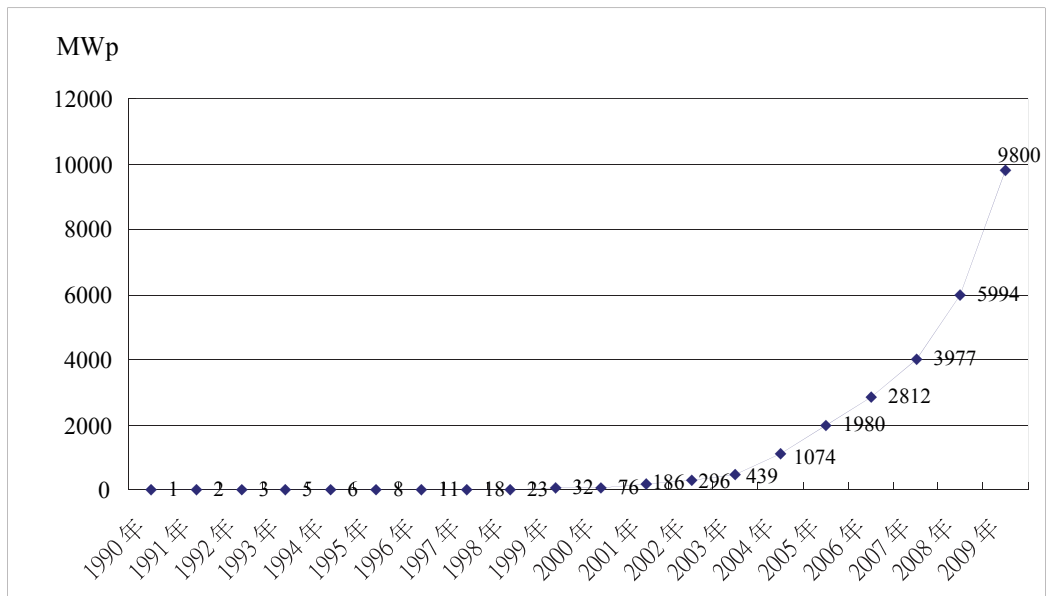
資料來源：作者整理

表四及表五顯示：有投入才有產出。正因爲德國政府對太陽能產業的大力投入，德國才有全世界最大的太陽光電裝置容量。反之，若政府投入不足，產業發展也受限。例如，美國完全有機會在太陽光電產業上領先德國，但是，正因爲美國政

府的支持力度不夠以及政策不連貫，³ 導致發展不如德國。

（四）提高安裝誘因

德國早在 1991 年就制訂〈電力輸送法〉，但是因為所訂費率誘因不足，Bechberger 和 Reiche (2004: 50) 指出：「當時德國政府的躉購費率只夠支付太陽光電投資者生產成本的 10%」，導致太陽光電安裝成效不彰。由下圖四得知，從 1991 年立法實施至 1999 年年底，整整十年的時間太陽光電累計才安裝了 32MW，但是，自從 2000 年通過再生能源法，提高躉購費率之後，德國的太陽光電系統安裝就一日千里，在 2009 年時達到累計安裝容量 9,800MW。換言之，光是有法，也無法達到法的目的，還必須考慮法的內容，要有足夠誘因。



圖四 德國太陽光電累計裝置容量 1990-2009

資料來源：*Statistisches Jahrbuch 2010* (p. 11), by Stadt Freiburg im Breisgau, 2010 Stadt Freiburg: Breisgau Freiburg.

³ 美國政府對於再生能源政策反反覆覆，在此引用佛里曼的話：「…雷根也刪除卡特總統的替代能源計畫大部分的預算，特別是當時才剛起步的太陽能研究所（Solar Energy Research Institute）及該所四個地區中心。雷根的白宮和民主黨主導的國會也聯手，中止對太陽能和風力新創公司的賦稅獎勵措施。這些公司及其技術最初是在美國納稅人提供的資金下發展，後來有幾家被日本和歐洲企業買走，加速了那些國家的再生能源產業。雷根甚至拆掉卡特裝設在白宮屋頂的太陽能板」（丘羽先等，2009）。

故在 2000 年的再生能源法裡面，特別強調誘因機制，也就是讓投資者在 20 年的時間裡面，從設備所生產的電力可獲得一定利潤。同時規定，考量技術不斷進步導致成本不斷下降，政府的躉購費率（feed-in tariff）將按一定比例逐年下降（見下表六），之所以如此，其目的在鼓勵創新、形成成本壓力，促使成本降低、讓設備更有效能，最後達到在沒有政府補助的情況下也能在市場上具有競爭力。附帶說明，德國的這一套躉購費率模式已經被至少三分之二的歐盟國家所採用（Laird & Stefes, 2009: 2624）。在太陽光電的躉購費率方面，由於 2009 年太陽電板的價格大幅下幅，因此，2010 年一開始，躉購費率就大幅調降，甚至在同年的七月和十月又調降了兩次，以下是德國政府自 2004 年以來的躉購費率一覽：

表六 2004-2011 年躉購費率—以安裝在建築物上的太陽電板為例（單位：歐分/kWh）

安裝類型 (kW)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
< 30	57.4	54.53	51.80	49.21	46.75	43.01	39.14	28.74
30 ~ 100	54.6	51.87	49.28	46.82	44.48	40.91	37.23	27.34
100 ~ 1000	54.0	51.30	48.74	46.30	43.99	39.58	35.23	25.87
> 1000	54.0	51.30	48.74	46.30	43.99	33.00	29.37	21.57

資料來源：作者整理

二、地方政府的角色

在已開發國家，交通運輸以及家計能耗合計約佔所有能源消耗的幾乎達三分之二（Flavin & Lenssen, 1992: 251）。可見，地方政府對於重塑我們的能源未來也扮演了重要角色。例如，地方政府可以用很多方法鼓勵家戶節約能源、改變通勤工具、制訂有利於節能減碳的建築法規和政策。而且，因為再生能源分佈廣泛，故每一個地方政府都能支持再生能源利用。而弗萊堡的市政府和市議會剛好是箇中典範。

弗萊堡市議會在弗萊堡的能源環保政策扮演推動者的角色。正是因為弗萊堡市議會的鞭策，弗萊堡的二氧化碳排放量不斷減少、再生能源產業不斷成長茁壯。在過去二十多年當中，弗萊堡市議會已經通過多次有關再生能源的重大決議：

1. **1986 年**：弗萊堡市議會通過能源供給方案（Energieversorgungskonzept），要求使用再生能源，並同時放棄核能，從此，弗萊堡開始提倡太陽能、發展太陽

能產業。

2. **1993 年**：弗萊堡市議會通過決議，業者利用自己的設備生產電力並將之儲入公共電網，每度電可獲得 2 馬克（約 40 元新台幣）的補助（王琪等譯，2005：65）。
3. **1996 年**：弗萊堡的市議會又通過「1997 氣候保護方案（Klimaschutzkonzept 1997）」決議，要把二氧化碳的排放量到 2010 年時減少 25%（相對於 1992 年）。要達到這個目標，重點工作放在交通和能源部門，只要這兩個部門能更環保、更節能，就有可能達到目標。
4. **2007 年**：市議會委託生態應用研究所擬定氣候保護策略，而市議會就依照專家的建議，在 2007 年 6 月通過決議。決議中要求：弗萊堡要在 2030 年之前把二氧化碳的排放量減少到 1992 年時的 40%（Umweltschutzamt Freiburg, 2007: 1）。

為了達成市議會通過的上述決議，市政府在推動節能減碳和太陽光電的普及也是功不可沒，以下是其推動做法例舉：

1. **以身作則**：弗萊堡市政府非常鼓勵太陽光電的應用，包括市政廳、公共場所、公立學校等等都裝置太陽光電系統。
2. **政策引導**：自從 1986 年起，弗萊堡市政府就著手支持太陽能的研究與應用，包括：專案推動、撥款資助和規劃太陽能社區（弗萊堡市經濟-旅遊-會展促進署：6）。而「弗萊堡太陽區（SolarRegion Freiburg）」、「免費太陽（Freesun）」⁴ 專案的實現，促進了太陽能知識的普及以及太陽能設備的應用。
3. **財務支持**：當地的能源供應商巴登諾瓦（badenova）除了參與市政府的太陽能計畫之外，更成立了一個水暨氣候保護創新基金（Innovationsfonds für Wasser- und Klimaschutz）用於發展再生能源，資助市民或企業安裝太陽能系統。自該基金成立以來已經資助 162 件環保研究計畫，總計金額達到 1,800 萬歐元。此外，從 2008 年起，市政府還要從巴登諾瓦每年上繳給市政府的特許費（Konzessionsabgabe）拿出 10%，也就是 120 萬歐元，用來投資氣候保護項目，特別是用在交通和建築的節能減碳上面（Umweltschutzamt Freiburg, 2007:

⁴ 弗萊堡希望在未來實現太陽光電所產生的電力達到所有電力需求的 35%。在這樣的思考下，有了 FREE SUN 專案。該專案提供給所有對太陽光電以及太陽熱能系統有興趣安裝的市民上網查詢，到底他們的屋頂適不適合安裝。

1)。

4. **舉辦會展**：爲了推動再生能源產業發展以及促進商機，弗萊堡（22 萬人口）從年頭到年尾主辦或協辦各種大型會議與會展。其中最知名的是國際太陽能技術博覽會（Intersolar）⁵ 以及每年十月的國際太陽能高峰會（Solar Summits Freiburg）。此外，地方永續國際會議（International Conference Local Renewables Freiburg）、弗萊堡綠金（Grünes Geld Freiburg）會展、弗萊堡工業展（Die Industriemesse）、有關規劃、建造和整修的效率論壇（effizienz.forum）、有關建物、能源、科技（Gebäude. Energie. Technik）的會展。
5. **舉辦弗萊堡環境獎（Umweltpreis der Stadt Freiburg）選拔**：弗萊堡市政府爲了鼓勵所有與環境保護、能源效率和再生能源有關的改善措施、解決方法、成果和應用，從 1992 年開始，每兩年舉辦一次環境獎選拔，至今已經是第九次。該獎分爲兩大類：企業獎（Unternehmen）和環境團體獎（Umweltgruppen），前者的申請者爲：公司、企業、研究機構，而後者的申請者爲社團、協會、自然人、學校班級、學生團體、幼稚園團體等。除了證書之外，每一類的環境獎得主還有 3,750 歐元的獎金。

三、內在驅力：危機感和環保意識

德國人的危機感和環保意識是驅使德國比其他國家更早、也更大力投入再生能源發展的原動力。德國本身是一個資源匱乏的國家，Laird 與 Stefes（2009: 2620）也指出：1973 年的石油危機讓德國的政治人物產生震驚，再生能源從而吸引到政治人物的目光，並開始在能源，也包括再生能源，投入大量的 R&D 支出；再加上德國習慣，也是擅長長程思考（例如：在 2010 年 6 月就通過 40 年後希望做到的事情：2050 年能源規劃願景），因此，德國很早就投入再生能源產業。

除了危機意識，不願意被產油國控制之外，弗萊堡居民的環保意識也是促成太陽能產業深根於弗萊堡的成功因素。要不是清楚認識到核能的可能危害以及石化能源對自然環境所造成的污染，弗萊堡人不會堅持發展再生能源。爲了環保，弗萊堡人更願意不開車，改搭大眾運輸工具或步行或騎單車。例如：從 1982 年到 1999 年

⁵ Intersolar 原本在弗萊堡舉行，後來因爲當地的展覽館不夠大，自從 2008 年起已經移師至慕尼黑國際展覽館。

之間，騎腳踏車的比例從 15% 提高到 27%，而搭大眾運輸系統的人從 11% 提高到 18%，至於開車出門（包含共乘）的人則從 38% 降到 32%，預計在 2020 年時，更將降至 28%（Stadt Freiburg im Breisgau, 2010a: 19）。

四、市民參與

一個產業能夠永續發展，不可能只依賴政府政策，更重要的是，全體市民有共識，主動參與，甚至熱愛這個產業，而弗萊堡的太陽光電產業就是這樣一個例子。在弗萊堡，發展太陽能不只是政府或太陽能公司、太陽能建築師的事情，也不只和學校、研究機構有關，而一般市民也參與，致力於把弗萊堡變成太陽能之都。

爲了普及太陽能系統，就在弗萊堡火車站附近就設有一個非常專業的諮詢服務中心。由於安裝太陽電板有地方政府輔導以及金融機構的優惠貸款（因爲安裝太陽能電板需要一筆費用，包括：充電板、集電設備、拉接線路等的費用，並非每一個人都能負擔），所產生的電力除了自用之外，多餘的電還可以賣給電力公司；「至於款項不是很充足或是自己沒有屋頂的人，他們也會採取數戶合資的方式，在某一住戶裝設太陽能板，再按出資比例分得用電量」（陳文樹、員眷，2009：32）。由於投資報酬率極爲良好，因此，安裝的人越來越多。

五、建造地標型太陽光電一體建築物

位於弗萊堡中央車站旁的太陽能塔（Solar Tower Hauptbahnhof Freiburg）爲一太陽光電一體建築（Building-integrated photovoltaics, BIPV），其不只是辦公大樓，還可以發電，甚至還是觀光景點。樓高 19 層的太陽能塔是弗萊堡的地標建築（19 樓已經是當地，甚至是整個南德地區最高的建物），其外牆覆有 246 片 190×70 平方公分的太陽光電模組，面積 327 平方公尺，發電功率 34.4KWp（千峰瓦），每年可供應 24,000 度電，可以提供 8 戶四口一家一年的用電量（胡湘玲，2008：19）。這麼高的太陽光電建築，讓人深刻印象，這對於太陽能的推動有明顯的加分作用。

六、完整的太陽光電產業聚落

在弗萊堡已經形成越來越強大的產業價值鏈，從太陽能的基礎研究、到技術轉移、到產品製造乃至到全世界的市場行銷，都在弗萊堡。

弗萊堡不是一個工業城市，但是，卻聚集了一些國際級的太陽能產品開發與製造商，例如：太陽能工廠公司（Solar-Fabrik AG，“太陽能工廠”是公司名稱）⁶、S.A.G. Solarstrom AG、Solarmarkt AG、Concentrix Solar GmbH、ENERGOSSA GmbH、Hüttinger Elektronik、Laplace System Co., Ltd.、Rena GmbH、Somont GmbH、ReSys AG-Paradigma 等等（王孟傑，2010：73-75）。

弗萊堡除了有完整的太陽能產業鏈之外，還提供太陽能產業的諮詢、教育和訓練課程，例如在「弗萊堡太陽能示範區 SolarRegion Freiburg」就是一個多功能的太陽能教育事業區，在這裡集合了太陽能技術、太陽能基礎研究、學校、社團和環保團體。弗萊堡除了是太陽能研究中心之外，也是世界有名的太陽能知識交流中心，故能成為主要的國際太陽能會展所在。

全德國獨一無二的太陽能領域的專門中心座落於弗萊堡的太陽能信息中心（Solar Info Center），在這裡結合了不同領域的太陽能專業，例如：太陽能諮詢（能源服務公司，ESCOs）、太陽能市場投資、太陽能建築設計與建造、室內設計師、工程公司、律師以及和太陽能有關的財務融資、行銷和教育專業人士等全都在一個屋簷下工作。因此，只要是對再生能源科技有興趣的企業或地主（例如：想興建節能屋或被動屋或太陽光電一體建築等），都可以在此找到合適的專家。

七、強大而密集的研發機構

要是沒有強大研究能力的科學研究機構，弗萊堡的太陽能經濟將大打折扣。在太陽能研究中，德國弗勞恩霍夫應用研究促進協會（Fraunhofer Gesellschaft）下屬的太陽能系統研究所（Institut für Solare Energiesysteme，ISE）⁷ 堪稱是歐洲最大的太陽能研發中心。

再者，成立於 1977 年，位於弗萊堡的生態應用研究所（Öko-Institut）⁸ 不只是德國也是歐洲第一個獨立的研究和諮詢機構。除了上述 ISE 以及生態應用研究所之外，在弗萊堡的太陽能研究機構還有弗萊堡大學的再生能源中心（Zentrum für

⁶ 太陽能工廠公司成立於 1996 年，2010 年的產能 130 MWp，2009 年的營業額 1 億 3650 萬歐元，資料來源：<http://www.solar-fabrik.de/home/>。

⁷ 目前 ISE 總共有 936 名員工，其中，研究員 345 名，博士生 99 名，碩士生 112 名，研究助理 229 名，實習生 53 名，客座學者等 98 名，資料來源：<http://www.ise.fraunhofer.de/>。

⁸ 生態應用研究所除了在弗萊堡之外，還在柏林以及達姆城（Darmstadt）設有辦公室，資料來源：<http://www.oeko.de/aktuelles/dok/544.php>。

erneubare Energien, ZEE) 以及專門研究太陽物理的齊益后研究所 (Kiepenheuer Institut für Sonnenphysik)。由於這些研究機構的強大研發能力，使得德國的太陽能科技領先其他國家。

八、知名的環保機構所在地

由於弗萊堡在發展太陽能產業獲得很大的成就，因此，與太陽能有關的非政府組織也選擇落腳在弗萊堡。目前，在弗萊堡比較知名的環保組織如下：⁹

1. **國際太陽能協會** (The International Solar Energy Society, ISES)：成立於 1954 年的國際太陽能協會在 1995 年將她的總部搬遷到弗萊堡，使弗萊堡在太陽能領域的地位有如如虎添翼。
2. **弗萊堡地區能源暨太陽能聯營促進會** (Der Förderverein Energie- und Solaragentur Region Freiburg e.V., fesa e.V.)：該組織的宗旨在促進再生能源的發展應用以及解決地區能源供應問題。該會促成了許多風機、太陽能設施以及水力發電站的興建，同時發行「太陽區雜誌“Solar Region”」。
3. **國際地方環境倡議理事會歐洲總部**：弗萊堡是國際地方環境倡議理事會 (International Council of Local Environmental Initiatives, ICLEI) 的歐洲總部。ICLEI 工作重點放在地方永續經營的發展與執行，在全世界有 500 個會員，成員主要是縣市、鄉鎮以及一些環保組織。ICLEI 致力於全球的永續發展，提供各種活動、出版、訓練、諮詢、線上查詢、研究以及試驗計畫的執行等。

九、說到做到有執行力

在世界上，有很多國家的政府其實早就說要推動再生能源了，但是，大部分都是說得多，做得少。但是，德國人說到做到。例如當初德國政府設定要在 2010 年達成再生能源發電佔總電力消費 12.5% 的目標，¹⁰ 弗萊堡市政府要把二氧化碳的排放量在 2010 年時減少 25%，這些當初設定的目標，都已經達到。¹¹ 又例如德國政府承諾，在 2012 年之前，實現與 1990 年相比降低 21% 的二氧化碳排放目標。

⁹ 參見 http://www.fwtm.freiburg.de/servlet/PB/menu/1174682_11/index.html。

¹⁰ 這個比例在 2009 年時已經達到 16.4%，遠遠超過當初設定的目標 (Bundesministerium für Umwelt, 2009)。

¹¹ “Bürgermeisteramt stellt klar Klimaschutzziele nicht verfehlt”，弗萊堡市政府新聞發佈，2010-10-4 http://www.freiburg.de/servlet/PB/menu/1230407_11/index.html。

根據德國聯邦環境部公佈的資料，2007年時，德國就已經減排 21.3%（約 259 噸溫室氣體），提前完成目標。¹²

肆、結論與建議

發展再生能源產業是改造台灣的契機。推動再生能源產業有利於能源安全、國家競爭力提昇、有利於環境保護、可以增加就業機會、多元化產業、有利於產業升級與轉型、降低對傳統能源的依賴程度、減少石油價格波動對經濟發展的衝擊、沒有石化業的高污染、也有利於國民身體健康，減少醫療支出、有利於觀光旅遊業的發展等等，是標準的一魚多吃產業。

同時，從弗萊堡長期堅持發展太陽能產業，成功的原因非常多，包括：國民的環保意識和危機感、市民參與、完整的產業聚落、強大而密集的研發機構、是國際太陽能協會的所在地、受到地方議會的支持、地方政府有高度執行力，當然，聯邦政府的政策願景與實際支持，包括法令的完善、示範計畫、刺激誘因、鉅資投入研發等等，都是促成太陽能產業在弗萊堡落地生根、成長茁壯的因素。

台灣日照十分充足，僅有少數地區未達 1,500-2,000 小時的終年日照量，有些地方甚至可達 2,500 小時的日照量，年平均日照量每平方公尺達 3,000-4,300 千卡（黃慧文，2007：69）。此外，我國還有強大的半導體與光電產業基礎，而業者在創新能力、製程管理、人才素質、技術研發也都有競爭優勢，因此，台灣非常適合發展太陽能產業，前景大有可為。從德國的再生能源政策以及弗萊堡的發展經驗給我們如下啓示：

（一）提昇能源自給率為首要目標：由於台灣化石能源缺乏，加上生活水準提高，能源消耗不斷增加，以致進口能源依存度逐年攀升，至今高達 99.25%（經濟部能源局，2010：19）。要降低對進口能源的依賴以及提昇能源安全，應仿效德國，大力發展再生能源產業，舉凡、太陽能、地熱能、海洋能、風能等等，台灣都有非常好的條件，尤其是在太陽能方面，台灣的條件更是明顯優於德國。

（二）能源暨產業結構必須轉型：有捨才有得。弗萊堡因為拒絕核能並考量石化能源對環境的破壞，才被迫尋找替代能源，而決定發展再生能源。弗萊堡以及德

¹² 德文維基，關鍵字：Kyoto-Protokoll，http://de.wikipedia.org/wiki/Kyoto-Protokoll#Mitgliedstaaten_der_Europ.C3.A4ischen_Union。

國當初所面對的問題，也是台灣從以前至今所面對的困境。因此，台灣必須進行能源暨產業結構的轉型，離開核能與石化燃料，離開核事故以及環境污染。根據德國著名的諮詢公司羅蘭貝格（Roland Berger Strategy Consultants）的研究報告，到 2030 年德國綠能產業產值將達到 1 兆歐元（約 40 兆新台幣），到時候將超過機械、汽車等行業成爲德國第一大產業，¹³ 完成德國的產業轉型。

（三）改變發展策略：應採德國的發展模式，藉由先普及太陽光電的裝置容量來推動太陽能技術的創新，而非現行的「先行技術提昇以及成本降低，再普遍推廣」，否則一旦我國的太陽能技術遲遲無法突破以及自主的話，則國內的太陽光電市場將永無普及之時。

（四）政策推廣目標應該明確遠大，完成時間也應列入：宜在〈再生能源發展條例〉中直接明訂目標和時間，並廢除再生能源裝置的獎勵上限。

（五）應優先發展再生能源，逐年降低石化能源的使用，最後，由再生能源完全取代石化能源。

（六）適當的躉購費率訂定：雖然產業發展初期特別需要政府的大量資金投入，但是其中還是有技巧、方法、階段性差異等等戰術差別運用。從補助來說，不是砸錢就能成功，有時候，反而適得其反，如：西班牙和韓國都是揠苗助長的案例。西班牙在 2008 年推出極爲優厚條件的補助方案，導致全球投資客大量搶進，使得西班牙成爲當年全球最大的太陽光電市場；韓國也是類似的例子，導致 2008 年的裝置容量暴增爲 2007 年的六倍。王孟傑（2010：22）也指出：「兩國過度補助的結果造成財政惡化、補助金額沒有流入國內廠商、全球性的太陽光電市場泡沫，結果並沒有把太陽光電產業帶上正軌」。固然，補助不能毫無限制，但是，誘因不足也難以達到效果，例如德國早期的〈電力輸送法〉對於太陽光電產業的發展助益不大就是因爲補助太少。台灣在躉購費率方面也應以此爲戒，固然補助不應太多，以免造成產業泡沫；但也不能缺少誘因，以免造成產業停滯。以目前政府的太陽光電政策而言，問題應不在於躉購費率太高，而在於政策連貫性和一致性不足，這才是新生產業發展的致命危機。

（七）選擇重點產業發展：在各種不同的再生能源裡面，德國政府把超過一半的預算投入太陽光電，太陽光電才有快速的發展。同樣的，在台灣所有再生能源裡面，政府也必須評估優先順序，選擇某一項再生能源做爲優先發展產業，方能獲得

¹³ 另有一說是，在 2020 年時，德國的環保科技將比德國汽車產業提供更多的就業機會（Stadt Freiburg im Breisgau, 2010）。

國家的最大利益。

(八) 配備強大的研發單位：研發中心關係某一產業的關鍵技術。弗萊堡的 ISE 有強大的研發能力以及研究陣容，因此，太陽能技術可以不斷創新，研究成果可以很快技轉給當地的太陽能業者。台灣如果沒有建立強大的研發中心，其結果就是台灣的太陽能產業永遠只能做代工，賺取微薄的毛利，還必須面臨隨時被抽單的風險。因此，如何強化以及整合國內的太陽能研發能力，¹⁴ 應是政府須面對的課題。

(九) 形成產業聚落：以弗萊堡為例，整個弗萊堡就是一座太陽能產業的完整聚落，不只有研發中心、太陽光電製造商、太陽能建築物、太陽能社區、太陽能示範區、國際太陽能高峰會和大型會展、太陽能的非政府組織、太陽能產業的教育訓練諮詢機構、系統裝置成品…，全部都在弗萊堡，甚至連旅館也使用太陽能等再生能源。無怪乎，弗萊堡被稱為太陽能之城。同樣的，台灣也應該尋找太陽能的完整產業聚落。依弗萊堡的經驗，這個點的選擇應以台灣主要的太陽能研發中心為位址。

(十) 與德國進行研究與技術合作：德國太陽光電市場目前全球最大、太陽能科技目前也領先其他國家，因此，我國應該積極與最先進的德國進行技術合作和交流，如此，對產業升級才會更有助益。所以，我國政府應派研究員（包括工程師等）赴弗萊堡 ISE 取經，而國內的太陽光電廠也應與弗萊堡的太陽光電大廠合作。

(十一) 在台北市中心興建超高太陽光電一體建築：參照弗萊堡在中央車站旁興建 19 層樓高的太陽光電一體建築，台灣也可以在台北車站周遭興建一棟超高的太陽光電一體建築，例如 51 層樓，以達到建立典範的效果（但需注意採光的角度並避免被鄰近大樓遮蔽）。

最後，就是政府暨全民堅定不移的執行力。發展再生能源不只是政府口頭上一個「無悔的政策」，更應該是一個堅定不移，必須貫徹到底的政策。從弗萊堡的例子得知，再生能源能夠成功發展，不是一蹴可幾的，需要很長的時間。在發展過程中，政府需要發揮堅定不移的執行力，持之以恆，而民眾除了需要響應參與之外，也應發揮監督的力量，讓再生能源才成為改造台灣經濟、社會、環境與能源結構面

¹⁴ 於 2006 年成立的工研院太陽光電中心原本是國內最具規模的研究單位，但是該中心已於 2010 年併入綠能研究所。到底綠能研究所有多少研究人員、在太陽能方面的研發能力如何，這些事項，我們從工研院的網站上無法得知。因此，我們無法判斷工研院綠能研究所是否可以像弗萊堡的 ISE 一樣，帶領台灣的太陽能技術在世界上佔有一席之地。

貌的推進器。

參考文獻

- 王孟傑（2010）。**推動高雄地區發展太陽能產業之策略規劃**。行政院經濟建設委員會成果報告，未出版。
- 王琪、唐小莉、陳仁德（譯）（2005）。**太陽電力公司—新能源、新機會**（Alt, Franz 原著）。台北：新自然主義。
- 丘羽先、李欣容、許貴運、童一寧、黃孝如、楊舒瑁、蔡菁芳、顧淑馨（譯）（2009）。**世界又熱，又平，又擠**（Friedman, Thomas L 原著）。台北：天下文化。
- 弗萊堡市經濟-旅遊-會展促進署。**弗萊堡綠色之都—通往可持續發展之路**，2011 年 11 月 12 日，取自：http://www.fwtm.freiburg.de/servlet/PB/show/1186039/GreenCity_china.pdf。
- 胡湘玲（2008）。**太陽房子**。台北：天下文化。
- 陳文樹、員眷（2009）。德國使用太陽能最著名的市鎮—弗萊堡。**台電月刊**，**555**，30-33。
- 黃慧文（2007）。亞洲版圖下的綠色能源發展—太陽能產業。**台灣經濟研究月刊**，**30**（12），66-71。
- 經濟部能源局（2010）。**中華民國 98 年能源統計手冊**。台北：經濟部能源局。
- 德國聯邦統計局官方網站（2010）。Arbeitsmarktstatistik，2010 年 12 月 22 日，取自：www.destatis.de。
- Bechberger, M., & D. Reiche (2004). Renewable energy policy in Germany: Pioneering and exemplary regulations. *Energy for Sustainable Development*, **8**, 47-57.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010). *Entwicklung der erneuerbaren energien in deutschland im jahr 2009- grafiken und tabellen*. Berlin: BMU.
- Bundesministerium fuer Wirtschaft und Technologie (2010). *Energiekonzept- für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare energievorsorgung*. Berlin: BMWi & BMU.
- Flavin, C., & N. Lenssen (1992). Policies For A Solar Economy, *Energy Policy*, **20**, 245-256

- Frondel, M., N. Ritter, & C. M. Schmidt (2008). Germany' solar cell promotion: Dark clouds on the horizon. *Energy Policy*, **36**(2008), 4198-4204.
- Laird, F. N., & C. Stefes (2009). The diverging paths of German and United States policies for renewable energy: Sources of difference. *Energy Policy*, **37**(2009) 2619-2629.
- Stadt Freiburg im Breisgau (2010). *Statistisches Jahrbuch 2010*. Stadt Freiburg: Breisgau Freiburg.
- Umweltschutzamt Freiburg (2007). *Beschluss-Vorlage Drucksache G-07/102*. Stadt Freiburg: Breisgau Freiburg.

The Urgent Needs of Forward-looking Policies to Develop Renewable Energy in Taiwan— the Enlightenment from Germany

Ming-Te Liu, Yu-Chen Hsu*

Abstract

Energy in Taiwan is scarce. More than 99% of the energy in Taiwan is imported mostly from the politically unstable Middle East. The emissions from fossil fuel combustion gases have been recognized as the main cause of global climate change. And the rising prices of crude oil have great impact on the country's economy and people's lives. In view of this, most countries are committed to the development of renewable energy. Among them, Germany plays a leading role. Of the development of renewable energy in Germany, Freiburg's solar industry enjoys most outstanding success. The effectiveness is not only salient in the provision of green energy, but also in the development of related industries, which has resulted in the increase of the number of visitors and promoting local population growth. Although this successful experience is based on solar energy, it has potential to be applied to other renewable energy development. This paper investigated the essential factors of Freiburg's successful experience, which can provide a useful reference for Taiwan.

The result indicated that, Freiburg's successful elements in solar industry include: supports from the federal government's policy, people's environmental awareness and the public sense of crisis, promotion by both the local

* Ming-Te Liu, Associate Professor, School of Public Administration, SiChuan University.
Yu-Chen Hsu, Associate Professor, School of Public Administration, SiChuan University.

government and parliament, public participation, complete clusters of knowledge in the industry value chain, consistent execution and so forth. In planning forward-looking renewable energy policies and strategies, authorities in concern should therefore learn from Freiburg's successful experience.

Keywords: Environmental Policy, Energy Policy, Photovoltaic (PV), Renewable Energy, Sustainable Development