

減碳的靈「丹」妙藥－從丹麥的減碳政策反思臺灣

連致博

☒ 高中生組

☐ 大學生組

☐ 研究生組

臺北市立建國高級中學

主辦單位：財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心

中華民國 108 年 12 月

壹、前言

近年來，全球氣候產生極大的變化，日益嚴重的暖化現象，讓整個地球不僅氣候變異、環境與生態也迎來了巨變。溫室氣體是造成暖化的主要元兇，而二氧化碳為溫室氣體大宗，因此減少二氧化碳排放量已成了世界重要議題。臺灣身為地球村的一分子，究竟我們在減少碳排放量上的表現如何呢？

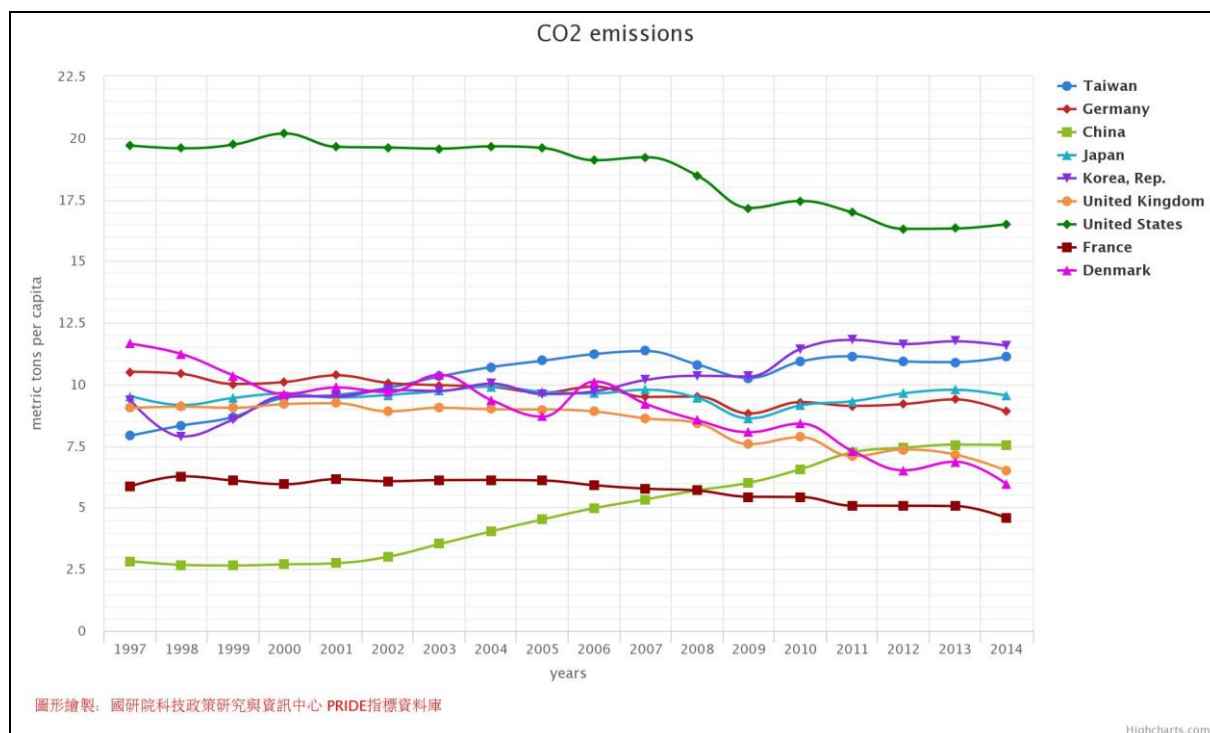
為因應氣候變遷，許多歐洲國家已經採取各種減碳行動，例如：採用再生能源取代高碳排放量的火力發電，丹麥即為一個成功的例子。丹麥在我們臺灣人眼中，是安徒生的故鄉與樂高積木的發源地，較少人注意到其在減少二氧化碳排放量上的成就，而且過去四十餘年，丹麥致力發展再生能源，其再生能源占總能源比例高達百分之六十五，成為全球使用再生能源比例最高的國家。

臺灣的地理條件與丹麥接近，兩國均瀕臨海洋，本土面積亦相去不遠，但是臺灣人的平均碳排放量卻排在世界前幾名，使用再生能源比例非常低，我們是否可以藉由丹麥成功的經驗，在減碳政策上為臺灣找出一條最合適的道路？

本文將聚焦於臺灣和丹麥的減碳狀況，以丹麥成功的經驗來思考臺灣的方向。以下將依下列幾個面向說明：首先分別敘述臺灣和丹麥在能源、運輸業、工業的二氧化碳排放情況，並進行數據比較，接著深入探討丹麥成功的原因。最後，希望藉由丹麥的減碳經驗，對臺灣的未來政策提出建言。

貳、臺灣二氧化碳排放概況

近年來，全球氣候變遷，造成地球暖化，溫室氣體排放量便成為世界各國關心的重要議題。在全世界人為的溫室氣體排放量中，二氧化碳就占了76%⁽¹⁾，很明顯地，二氧化碳排放量是探討此議題的極重要指標。臺灣是二氧化碳排放的大國，由圖一可知，臺灣的人均二氧化碳排放量大約在世界各國的前半段，高於日本，與南韓近似。根據能源局提供的資料(如表一)，臺灣各部門的碳排放量，以能源、工業和運輸三個部門為最大宗。以下分別就臺灣的能源、工業、運輸方面的二氧化碳排放量進行探討：



系統編號：BE10311-0149；WB10205-0130

資料來源：能源局；World Bank

圖一、各國歷年人均二氧化碳排放量

表一、臺灣各部門二氧化碳排放數量及比例

單位：萬公噸CO₂

| 年度 | 能源 | | 工業 | | 運輸 | | 農業 | | 服務業 | | 住宅 | | 合計 | |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 數量 | % | 數量 | % | 數量 | % | 數量 | % | 數量 | % | 數量 | % | 數量 | % |
| 2015 | 3,715 | 14.37 | 12,576 | 48.66 | 3,623 | 14.02 | 281 | 1.09 | 2,858 | 11.06 | 2,793 | 10.81 | 25,847 | 100.00 |
| 2016 | 3,712 | 14.12 | 12,702 | 48.33 | 3,732 | 14.20 | 282 | 1.07 | 2,902 | 11.04 | 2,951 | 11.23 | 26,281 | 100.00 |
| 2017 | 3,787 | 14.05 | 13,063 | 48.48 | 3,701 | 13.73 | 288 | 1.07 | 3,042 | 11.29 | 3,065 | 11.37 | 26,945 | 100.00 |
| 2018 | 3,778 | 14.16 | 13,201 | 49.46 | 3,632 | 13.61 | 272 | 1.02 | 2,866 | 10.74 | 2,939 | 11.01 | 26,688 | 100.00 |

資料來源：經濟部能源局⁽²⁾，2019年8月。

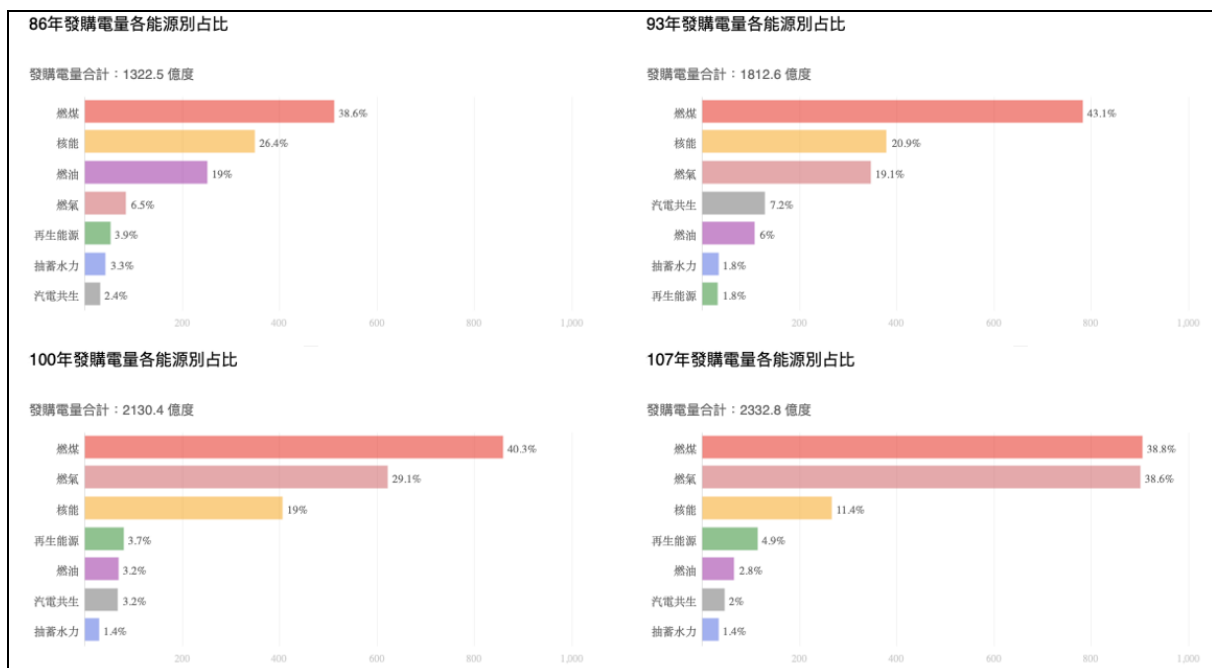
一、能源方面

臺灣能源部門的二氧化碳排放量在所有部門中排名第二，在 2018 年的資料中占 14.16% (參見表一)。由於近二十年來經濟的快速發展，使得各產業及人民的用電需求上升，因此能源部門的二氧化碳排放量有上升的趨勢 (如圖二)。同時，臺灣使用高二氧化碳排放量的火力發電比例也有上升的趨勢 (如圖三)。近年臺灣雖積極發展再生能源，但根據能源局的資料 (如圖四)，臺灣的再生能源比例自 1988 年的 4.4% 至 2018 年的 4.59%，僅上升約 0.19%。整體而言，臺灣的能源結構在近幾年均未出現結構性的改變。



系統編號：BE10311-0312

圖二、臺灣歷年能源部門之二氧化碳排放量



資料來源：臺灣電力公司⁽³⁾，2019年10月。研究者整理。

圖三、民國86、93、100、107年臺灣之發電量比例

註：火力發電可分為燃煤、燃氣、燃油發電，本圖擷取了民國86、93、100、107年臺灣的發電量比例，由各年度的燃煤、燃氣、燃油的百分比總和可知臺灣的火力發電比例有上升的趨勢。



系統編號：BE10311-0147

圖四、臺灣歷年再生能源供電比例

二、工業方面

根據中華經濟研究院統計自行政院主計總處的資料⁽⁴⁾，2018 年工業部門貢獻臺灣 GDP 的 36.45%，並非 GDP 占比最高的產業(服務業 61.86% 為最高)，但其碳排放量高居所有部門之冠，在 2015 至 2018 年間皆高達 48% 以上(參見表一)。根據能源局提供的資料(如圖五)，臺灣的工業部門的碳排放量自 1997 年以來持續上升，於 2001 年超過了一億公噸，雖然 2007 到 2015 年這八年間工業的排碳量大約持平，但 2016 年至 2017 年又有上升的趨勢。



系統編號：BE10311-0313

圖五、臺灣歷年工業部門之二氧化碳排放量

三、運輸方面

臺灣運輸部門的二氧化碳排放量是所有部門中的第三名，占 13% 左右(參見表一)。由能源局提供的資料可知(如圖六)，自 1997 年以來，運輸部門的碳排放量持續升高，2006 年到 2008 年雖曾一度下降至三千四百萬公噸，2008 年後大致維持上升的趨勢。



系統編號：BE10311-0314

圖六、臺灣歷年運輸部門之二氧化碳排放量

四、小結

由以上三個部門的數據可以看出，臺灣的二氧化碳排放量始終居高不下。能源方面，臺灣發電配置始終未能有結構性的改變，火力發電的比例仍持續升高；工業部門並非貢獻 GDP 比例最高的產業，但其二氧化碳排放量卻是一至三級產業之冠；交通運輸部門的碳排放量持續升高，整體碳排放量未見改善。綜上所述，臺灣是人均碳排放量的大國，因此本文試圖尋找適當的國家，來做為臺灣減碳政策的典範及學習對象。

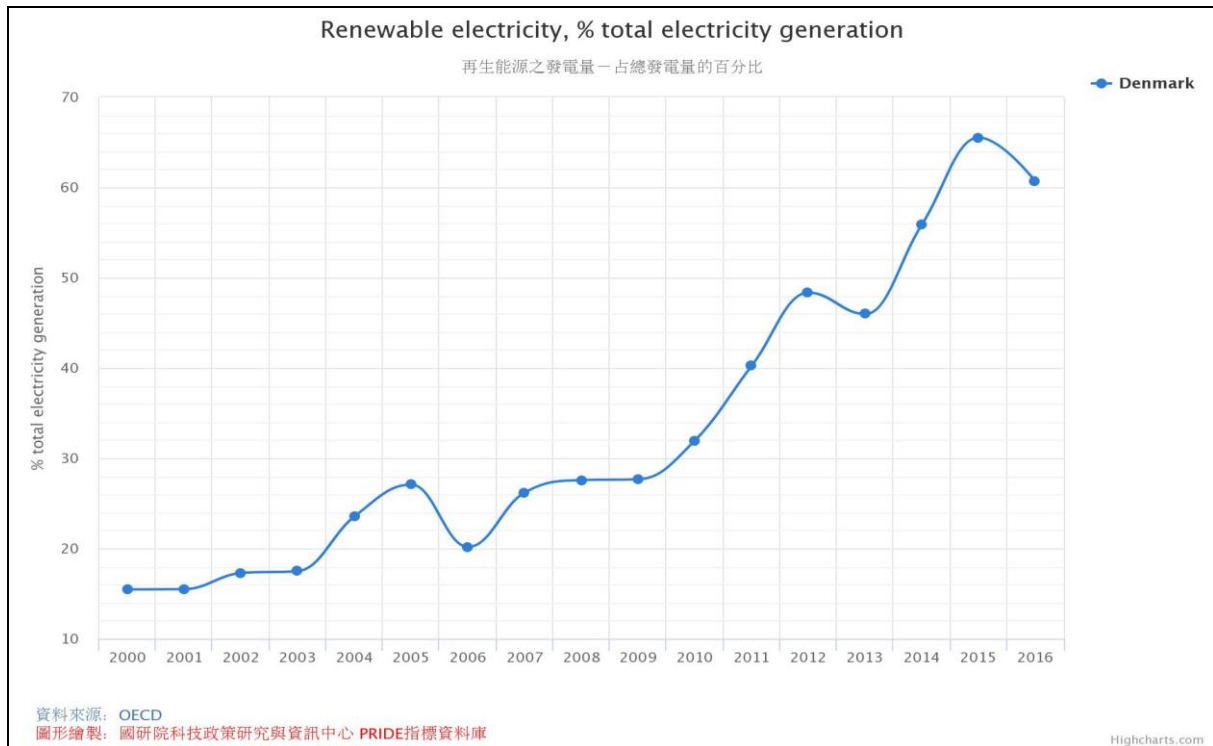
參、丹麥的二氧化碳排放概況與政策

在世界的另一端，有一個和臺灣本土面積相去不遠的國家－丹麥。丹麥的國土面積約為四萬三千平方公里，總人口數約為 570 萬人；丹麥三面環海：西北臨北海，東臨波羅的海，擁有長達 7,314 公里的海岸線，丹麥的人均 GDP 超過 45,000 美元⁽⁵⁾⁽⁶⁾，高出了臺灣不少。對許多人而言，這個國家只是一個美麗的童話王國、樂高的起源地，殊不知丹麥也是減碳及綠色生活的模範國家。

從很多地方可以發現，丹麥人是重視環保的。在日常生活方面，丹麥約九成人民擁有自行車，且每人平均每日騎行 1.6 公里⁽⁷⁾，在能源方面，其再生能源占總發電量的百分比在近十年來顯著成長，在 2015 年已達 60%(如圖七)，由此可看出丹麥在環保方面的努力。圖八顯示了丹麥各部門的二氧化碳排放量比例，能源、交通、工業依序占據了

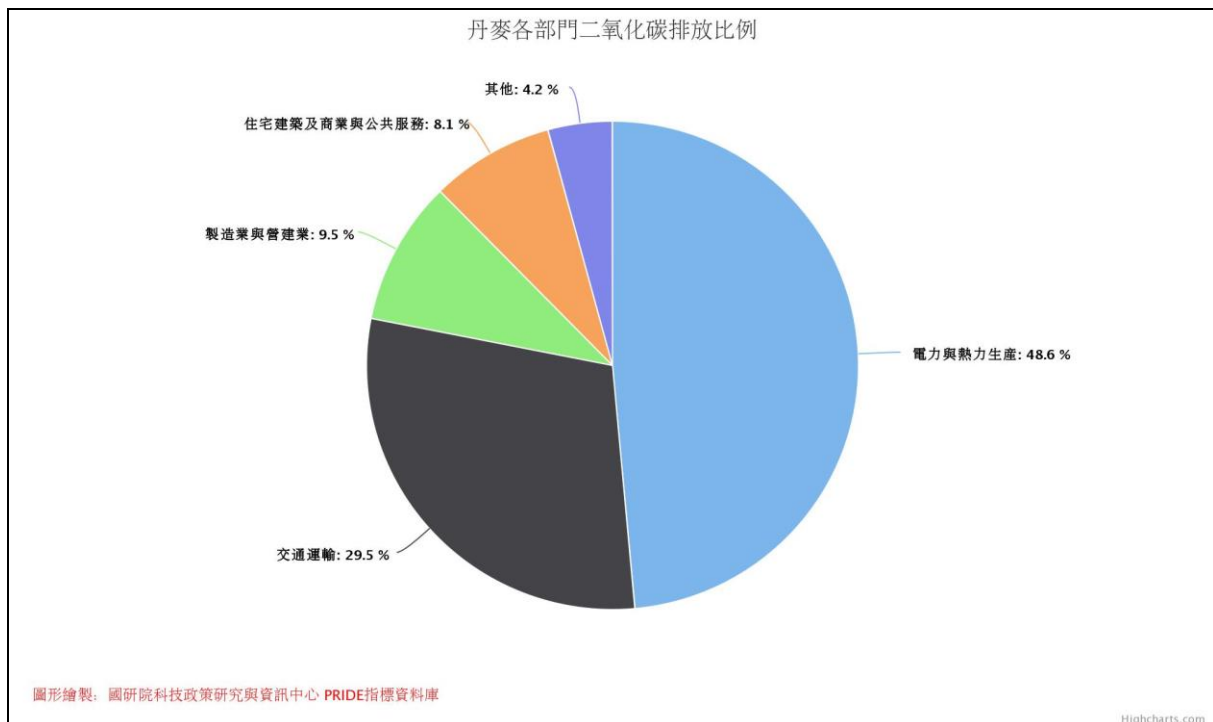
「2019 Win the PRIDE：用指標說故事」競賽文稿

前三名。以下透過 World Bank 資料庫中丹麥與條件相似之歐洲國家的資料就其能源、工業、運輸方面的二氧化碳排放量進行比較：



系統編號：OE10301-0117

圖七、丹麥歷年再生能源占總發電量的百分比



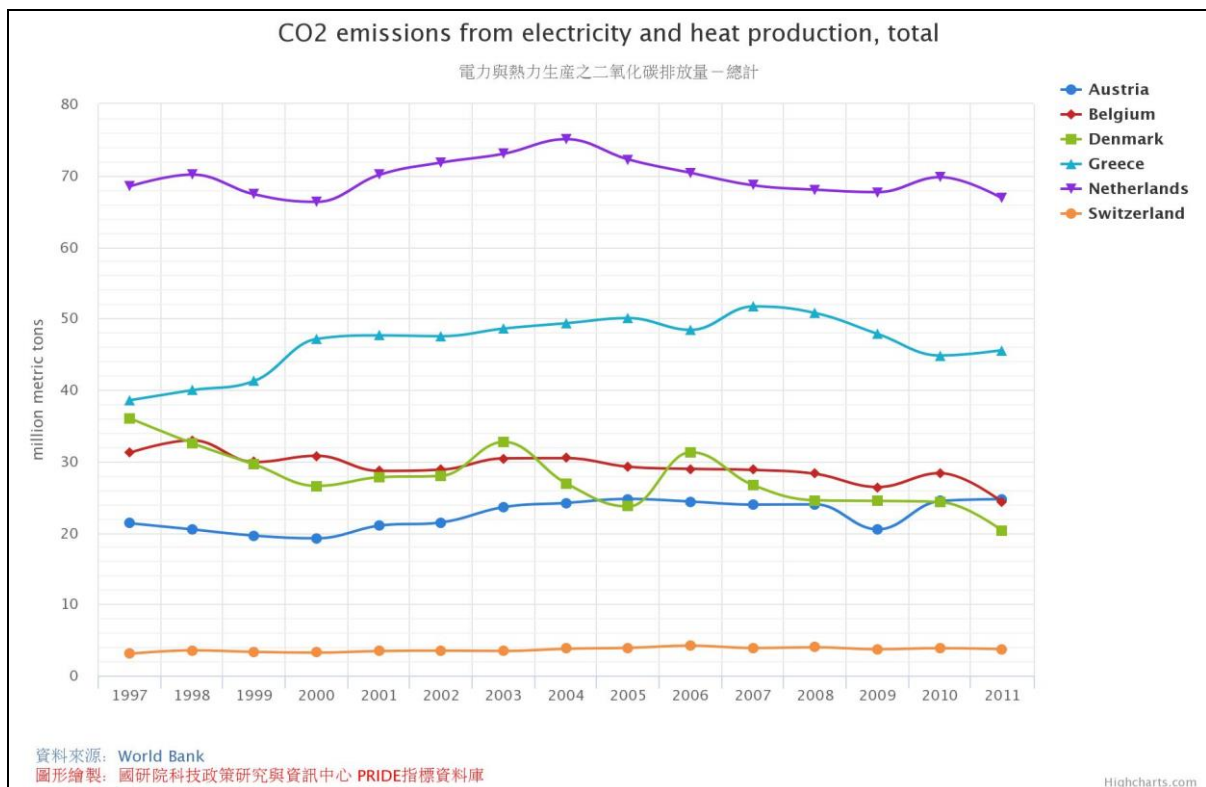
系統編號：WB10303-0148；WB10303-0153；WB10303-0154；WB10303-0155；WB10303-0195

資料來源：World Bank

圖八、2011 年丹麥各部門二氧化碳排放比例

一、能源方面

由 World Bank 提供的資料可知(如圖九)，在 1997 年至 2011 年之間與丹麥鄰近、面積大小相近的歐洲國家之中，荷蘭的電力與熱力生產的二氧化碳排放量最高，歷年均超過五千萬公噸；其次為希臘，其排放量約在五千萬公噸左右；低於五千萬公噸的國家為比利時、奧地利、丹麥與瑞士，雖然丹麥的二氧化碳排放量高於瑞士，但丹麥近二十年降低的能源碳排放量明顯比瑞士多，由圖九可知，在能源部門方面，丹麥相較其他歐洲國家在二氧化碳的減排上有更多的具體作為。且自 2000 年（15.46%）至 2016 年（60.49%），其再生能源比例已提高了 45 個百分點(參見圖七)。

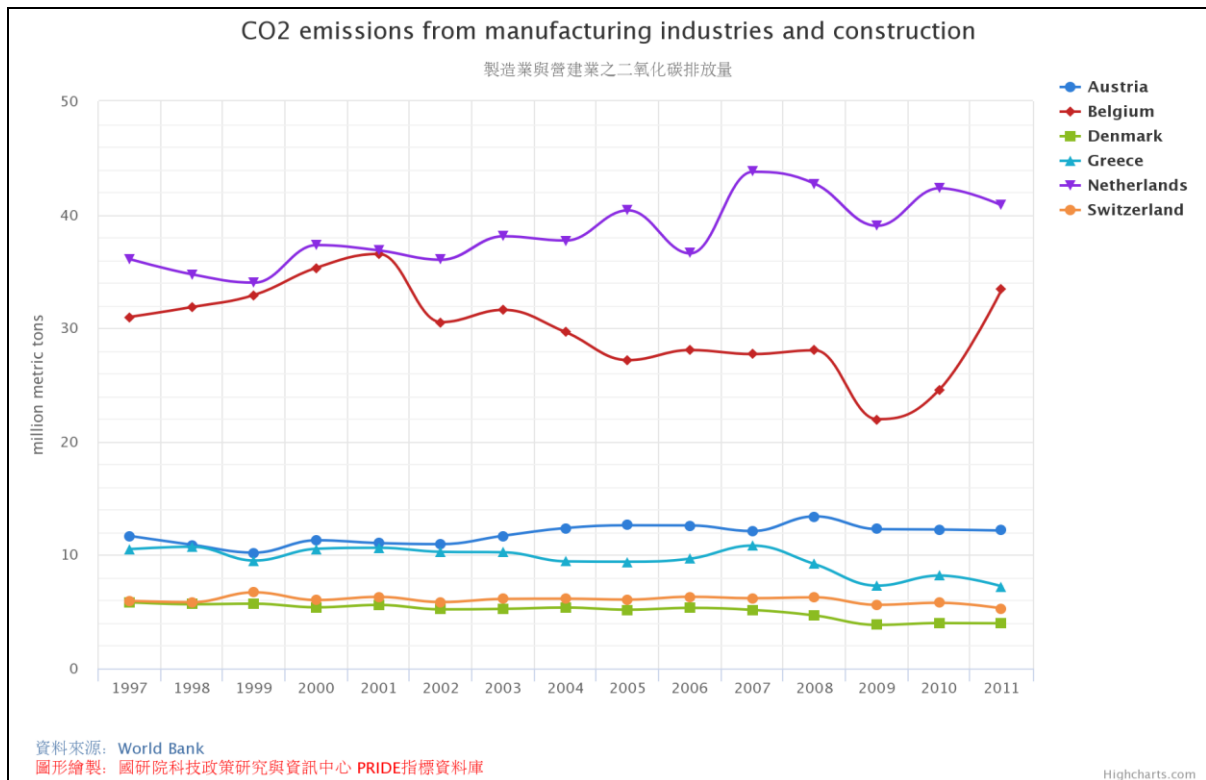


系統編號：WB10303-0148

圖九、丹麥與其他歐洲國家歷年能源部門之二氧化碳排放量

二、工業方面

比較丹麥與其他歐洲國家的工業碳排放量表現，根據 World Bank 提供的資料(如圖十)，荷蘭和比利時分別占據第一和第二的位置，製造業與營建業的碳排放量始終高於兩千萬公噸；低於兩千萬公噸的國家有奧地利、希臘、瑞士與丹麥，由圖十可以看出，丹麥自 1997 年以來都很穩定地控制其工業方面的碳排放量。

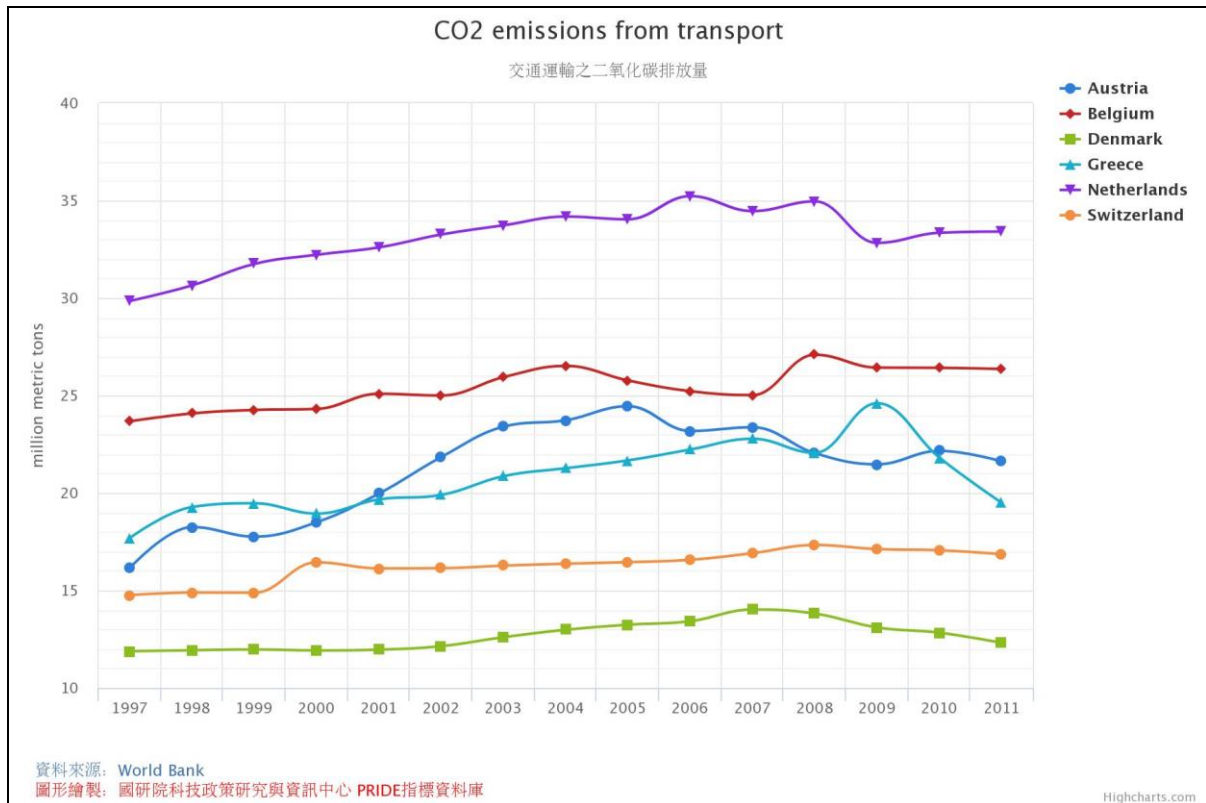


系統編號：WB10303-0153

圖十、丹麥與其他歐洲國家歷年工業部門之二氧化碳排放量

三、運輸方面

由 World Bank 的數據可以看出，在運輸的碳排放量方面，荷蘭自 1997 年以來每年均超過三千萬公噸居首，比利時、奧地利、希臘與瑞士皆高於一千五百萬公噸，只有丹麥始終低於一千五百萬公噸。雖然丹麥近幾年於運輸方面的碳排放量有些微的波動，但歷年均低於其他歐洲國家(如圖十一)。



系統編號：WB10303-0195

圖十一、丹麥與其他歐洲國家歷年運輸部門之二氧化碳排放量

四、丹麥的減碳政策

丹麥在能源、工業、運輸部門的碳排放量均有好表現，以下再更深入地探討它的減碳相關政策：

(一)風力發電的發展

丹麥預計於 2050 年擺脫對化石燃料的依賴⁽⁸⁾，這意味著火力發電的比例必須在那之前歸零，也就是丹麥得提高其再生能源之比例。1973 年發生石油危機，大部分石油靠進口的丹麥，以風力發電異軍突起，不僅使丹麥能源自主，甚至可以出口⁽⁹⁾。2002 年，丹麥更安裝了第一座大型離岸風力發電廠，成為世界第一個發展離岸風電的國家⁽⁸⁾。同時，丹麥風力發電創造出 2 萬多個工作機會，吸引許多外資前來投資，使得丹麥成為全球第一大風力發電設備生產國家⁽¹⁰⁾，由此可見，丹麥的風力發電在世界上位居領導地位。

(二)自行車發展狀況

丹麥騎乘自行車的人口比例聞名於世。1970 年代的能源危機和日益提高的環保意識，使得丹麥的交通從汽車逐漸轉向自行車和大眾運輸，對於改善自行車環境的呼聲也越來越高，自行車開始成為丹麥日後交通政策的重要考量面向⁽¹¹⁾。如今，丹麥約九成人民擁有自行車，每人平均每日以自行車行駛 1.6 公里，研究指出，丹麥的自行車騎士平

均每年為國家減少兩萬公噸的二氧化碳排放量⁽⁷⁾。

(三)大眾運輸發展狀況

在大眾運輸方面，以首都哥本哈根為例，為鼓勵人民搭乘大眾運輸工具，政府利用共用車票的方式，共用公車、火車與地鐵的車票，三種交通工具可以免費換乘，並立法禁止不同業者制定不同票價；同時哥本哈根市政府也計劃未來將會把所有的大眾運輸工具以及市議會的車輛之動力來源由原本的汽油和柴油改為電力和生質能⁽¹²⁾。

(四)丹麥的集中供熱系統

丹麥冬季嚴寒，人民若使用傳統暖氣取暖勢必消耗大量能源及製造大量二氧化碳，丹麥政府想出了解決方案：熱氣公司在大城市底下，埋下一兩百公里的管線，把熱水傳送出去，熱水會製造熱能，再透過轉換器，送到家庭裡。哥本哈根大概有九成七的居民，使用這套地區性的系統。此系統每年為丹麥減少一百萬公噸的碳排放⁽¹³⁾。

肆、討論－從丹麥的減碳政策省思臺灣

臺灣和丹麥都是環海國家，國土面積相近，天然資源有限，但是丹麥卻能發展出自身的優勢，讓政策成功實施，有效地減少碳排放量，成為環保的模範生。回顧丹麥的各項資料，本文就能源、工業及交通運輸三個面向來討論，並省思臺灣的未來的發展。

一、丹麥的做法

首先，從能源的部分來看，丹麥自從 1970 年能源危機發生時，便意識到能源配置的重要性，為了降低對石化能源的依賴，丹麥善用其三面環海，西風盛行的地理優勢，開發以風力為主的再生能源，因此其能源部門的碳排放量大幅降低，能在歐洲國家中脫穎而出。

其次，從工業生產的面向來分析，可以發現丹麥工業占比並不高(參見圖八)，且丹麥較發達的工業為輕工業，如：家具工業、紡織業，以及高科技產業，如：電信、資訊、自動控制裝置產業、生物科技業等。由於丹麥主要發展的產業並非高二氧化碳排放量的重工業，因此工業部門可以有效地控制碳排放量，讓其表現優於其他歐洲國家。

最後，在交通運輸方面，丹麥鼓勵大眾運輸工具，並且提倡以自行車通勤。在政策上，政府為鼓勵民眾搭乘大眾交通工具，因此立法管制大眾交通費率，並且規劃車輛動力以電力和生質能源來取代石油。此外，民眾普遍具有環保意識，以自行車通勤比例非常高，因此減少了汽機車使用的比例，也為丹麥減少了許多二氧化碳排放量。

二、丹麥對臺灣的啟示

反觀臺灣當前情況，能源方面，近年來能源的配比並未有結構上的改變，再生能源比例僅些微上升，火力發電仍長期占據臺灣能源大部分的比例。相較於丹麥，臺灣二千三百萬的人口，遠高於丹麥五百七十萬，這樣的人口差異，造成臺灣每年的總用電量高

「2019 Win the PRIDE：用指標說故事」競賽文稿

出丹麥極多。因此，短時間想要使再生能源發電的比例提高至與丹麥相似，勢必會因為成本過高而難以實行，但仍可參考丹麥風力發電的發展過程，重新思考臺灣的能源配置，訂定明確的目標，逐步降低火力發電的比例；另一方面，可以發展適合本國的再生能源，帶動相關能源產業的發展。

臺灣的工業以金屬機電、資訊電子、化學工業為主，二氧化碳排放量是所有部門之冠，工業結構與也丹麥並不相同，雖然無法直接仿效丹麥的做法，但可以透過推行高碳排工廠的回饋機制，如：工廠使用再生能源作為供電來源、各企業配合政府減碳政策監控每年碳排放量等，逐步降低工業的碳排放量。

至於運輸方面的減碳，臺灣面對的困難有二：（一）對傳統化石燃料的依賴性高。（二）公共運輸成長率亟待提升⁽¹⁴⁾。這兩個問題分別可以透過提高電動車與自行車比例及加強各城市對大眾運輸的規畫來改善。檢視臺灣各都市的自行車與大眾運輸發展狀況，除臺北市之外，其餘五都的大眾運輸系統及自行車規劃並不算完善，中央政府應更積極鼓勵各縣市佈建大眾交通運輸系統。雖然臺北市的大眾運輸系統如公車、捷運等較為齊全，有些區域更規劃自行車專用道，但是汽機車使用比例仍然偏高。因此，未來政府對於運輸部門的減碳政策可以朝向發展各重要城市的大眾運輸系統，並仿效丹麥，鼓勵人民搭乘大眾運輸和自行車通勤。

伍、結論

近幾年臺灣的二氧化碳排放量並無下降的趨勢，可以推斷臺灣的減碳政策應是遇到了瓶頸。如果對此事置之不理，不積極採取行動，不僅將使氣候持續惡化，更可能遭致國際的撻伐。

對此，丹麥的各方面政策可提供參考。能源長期在臺灣為一個棘手的問題，臺灣的人口約為丹麥的四倍，總用電量十分可觀，如果要讓臺灣的再生能源發電占總發電量的比例和丹麥相似，勢必會因為所需資金過高而窒礙難行，但仍能適度仿效丹麥能源轉型的過程，逐步降低火力發電的比例，以達到既不花費巨額資金，又使再生能源占有一定比例的效果；工業方面，高碳排放的企業應提供適當的回饋方案或行動，才能將碳排放量降至最低；交通方面，臺灣各城市應仿效丹麥，更加積極發展大眾運輸與提倡自行車，並制定鼓勵的政策以減少汽機車數量。

綜合以上所述，臺灣可以丹麥的做法為借鏡，並利用本身的優勢，訂定可行的目標，化危機為轉機，尋找減碳的靈丹妙藥！

參考文獻

1. Center for Climate and Energy Solution. (n. d.). *Global Emissions*. Retrieved October 18, 2019, from <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
2. 經濟部能源局(2019)。我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析。取自：
https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentDesc.aspx?menu_id=6998
3. 臺灣電力公司(無日期)。動態圖表。2019 年 10 月 31 日，取自：
https://www.taipower.com.tw/tc/chart_m/b06_%e7%99%bc%e9%9b%bb%e8%b3%87%e8%a8%8a_%e6%a0%b8%e8%83%bd%e7%87%9f%e9%81%8b%e7%8f%be%e6%b3%81%e8%88%87%e7%b8%be%e6%95%88_%e6%ad%b7%e5%b9%b4%e7%99%bc%e8%b3%bc%e9%9b%bb%e9%87%8f%e7%b5%90%e6%a7%8b%e5%8f%8a%e6%a0%b8%e8%83%bd%e7%99%bc%e9%9b%bb%e9%87%8f%e5%8d%a0%e6%af%94.html
4. 中華經濟研究院(2019)。各業產值概況。取自 <http://www.cier.edu.tw/cef/p2.pdf>
5. 外交部(無日期)。丹麥王國。2019 年 10 月 27 日，取自：
<https://www.mofa.gov.tw/CountryInfo.aspx?CASN=FB01D469347C76A7&n=9C9CC6640661FEBA&sms=26470E539B6FA395&s=B7E0652B10F73024>
6. 丹麥商務辦事處(無日期)。關於丹麥。2019 年 10 月 27 日，取自：
<https://taipei.um.dk/zh-TW/about-denmark-cn/>
7. Ministry of Foreign Affairs of Denmark. (n. d.). *A nation of cyclists*. Retrieved October 18, 2019, from <https://denmark.dk/people-and-culture/biking>
8. Danish Energy Agency. (n. d.). *Danish climate policies*. Retrieved October 20, 2019, from <https://ens.dk/en/our-responsibilities/energy-climate-politics/danish-climate-policies>
9. 劉光瑩(2018)。丹麥小漁港靠風電翻身臺灣如何借鏡？取自：
<https://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5089479>
10. 經濟部(2007)。丹麥投資環境簡介。取自：
http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moea/111728/Denmark.pdf
11. Cycling Embassy of Denmark. (2019). *Bicycling History*. Retrieved from
<http://www.cycling-embassy.dk/facts-about-cycling-in-denmark/cycling-history/>
12. 經濟部(2007)。哥本哈根與倫敦的低碳城市措施。取自：
<https://www.go-moea.tw/download/message3/2013%E5%B9%B4%E6%9C%88-%E5%93%A5%E6%9C%AC%E5%93%88%E6%A0%B9%E8%88%87%E5%80%AB%E6%95%A6%E7%9A%84%E4%BD%8E%E7%A2%B3%E5%9F%8E%E5%B8%82%E6%8E%AA%E6%96%BD.pdf>
13. 地理教室無國界(2009)。丹麥冬天嚴寒 生活仰賴熱水暖氣。取自：
http://lovegeo.blogspot.com/2009/12/blog-post_9606.html
14. 交通部(2018)。運輸部門溫室氣體排放管制行動方案(第一期階段)。取自：
<https://www.epa.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=B271D28058C73160>