

# 「有核不可」一書之減碳技術潛力及成本說明

陳治均

核能研究所 能經策略中心

2015/08

為了剖析核電存廢問題，清華大學榮譽退休教授彭明輝所著之「有核不可」從許多層面闡述反對核電的原由，包括從其它減碳技術的潛力與成本來考量，書中認為扣除核電使用尚有極大的減碳潛力，該書此一論述的基礎主要引用自第一期能源國家型計畫 (NEP-I) 研究報告<sup>[1]</sup>的資料，而本文也參閱同樣的引用資料，針對書中減碳潛力與成本所進行相關論述予以說明釐清。因此，本文分三部分進行說明，前兩部分主要是釐清該書引述資料後的論述及意涵；第三部分旨在闡述該書所引述之資料對於節電的減碳潛力推估值之合理性。

## 壹、「減碳潛力」之說明

圖 1 為「有核不可」一書論述減碳潛力及成本所依據之 2025 年台灣溫室氣體減量曲線，橫座標表示每種減碳技術可以減碳的潛力，寬度越大則表示潛力越大。縱座標則表示每種減碳技術的單位減碳成本，若減碳成本為負值，則表示該減碳技術以全生命週期來看不但不花錢，長遠看來甚至可以省錢，負值越大表示越省錢，但這類減碳技術通常先期都必須投入較高的成本；且基於人性，個人觀點的成本考量通常會先於社會成本，因此就算某些減碳技術的社會成本為負，但就個人觀點來看則可能會是正的；例如以 LED 燈替代省電燈泡，以全生命週期來看該技術是效益極佳、減碳成本為負的技術，但 LED 燈比一般燈泡都貴上許多，因此民眾大都遲疑於採行此類技術。此外，「有核不可」書中提及 NEP-I 研究報告針對減碳潛力的主要結論是：如果單位減碳成本在

300 美元/噸 CO<sub>2</sub>e 以下的減碳技術全部採用的話，2025 年我國的減碳潛力為 143.94 百萬噸 CO<sub>2</sub>e，但在圖 1 中明顯看到另外標示了一個數字 43.36 美元，此數字由歐盟碳交易市場成立以來最高的碳價 31 歐元換算而來，此也表示以 300 美元/噸 CO<sub>2</sub>e 以下所估算出的減碳潛力，恐過於樂觀與高估，若以 43.36 美元/噸 CO<sub>2</sub>e 以下所估算出的減碳潛力則減少為 98.10 百萬噸 CO<sub>2</sub>e(核電貢獻約占 46%)，而原報告作者也擔心一般讀者只看到曲線圖的表面數據，而未能實際了解數據背後的意涵，進而在報告第十一章「減碳成本曲線的涵義」中不厭其煩地提醒與說明，以確保報告數據能被讀者正確地解讀。

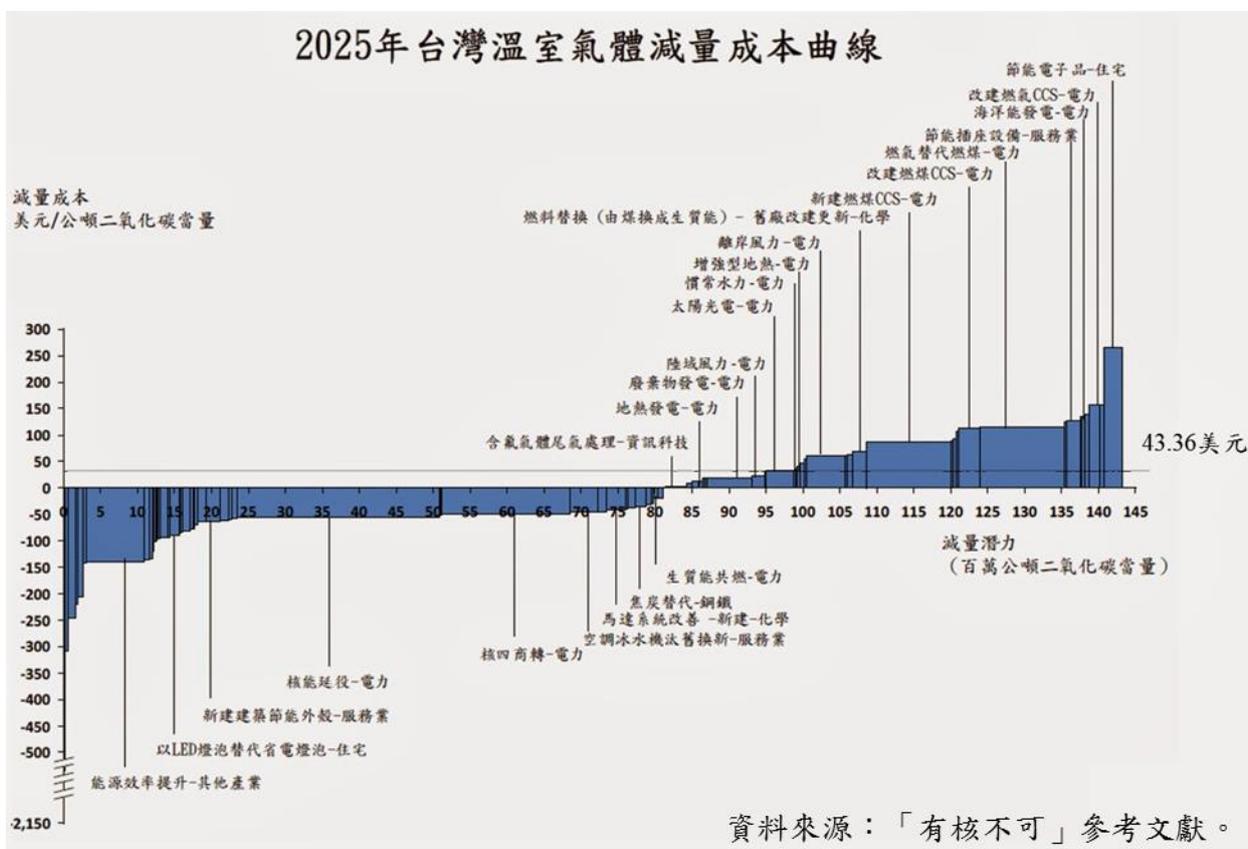


圖 1 台灣溫室氣體減量曲線 (2025)

「有核不可」書中 P.147 提到扣除核電後減碳量分別來自六項技術，但經計算後卻發現書中所述之六項技術減碳量加總為 1.13 億噸，大於 NEP-I 所計算之 0.99 億噸，如表 1 所示。此外，該書並未對第一項之較潔淨的綠能有清楚定義，但經整理書中所引述的資料後，發現廣義綠能(再生能源+燃氣替燃煤+廢棄物發電)及 CCS 減碳貢獻為 0.47 億

噸，如表 2 所示，與「有核不可」書中所提 0.57 億噸減碳，略有差異。而針對改善發電效率的減碳潛力計算上，書中亦無進一步說明，難以追溯，但經本文參閱書中所引述之參考資料，發現發電效率的改善係屬其基準情境的自然進步，已經隱含在基準情境裡，不算是減碳手段的一部份也不能計算成減碳貢獻，因此將其與核四之減碳貢獻對比並不適宜。另一方面，若再細究發電部門未來的減碳手段，其中再生能源與燃氣替代燃煤(等同現行政策之擴大天然氣方案)皆屬政府現行規劃之既定政策，已不能算是額外增加的減碳手段與潛力；若檢視參考資料針對 CCS 的假設，2025 年要有 3GW 的新燃煤 CCS 正式商轉且 20%既有燃煤電廠與 5%既有燃氣電廠加裝 CCS，按現行我國發展情況於實際層面上均難以達成，其減碳貢獻恐亦無法實現。因此，嚴格來講扣除核電後，電力部門額外且較為可行的減碳潛力只有廢棄物發電的 0.06 億噸以及核電的 0.45 億噸(附表一)，所以核電對於我國未來減碳實有相當大的貢獻。

**表 1 扣除核電後的減碳潛力彙整表**

技術項目		「有核不可」 減碳量(億噸)	NEP-I 減碳量(億噸)
1	較潔淨的綠能或加裝碳捕捉技術	0.57	0.47
2	改善發電效率	0.29	非減碳手段
3	提升服務業部門能源效率	0.12	0.12
4	提升住宅部門能源效率	0.08	0.08
5	提升運輸部門能源效率	0.03	0.03
6	提升資訊部門能源效率	0.04	0.04
7	提升工業部門能源效率	無說明	0.16
8	提升農業部門能源效率	無說明	0.09
扣除核電後的減碳潛力總合		1.13	0.99

資料來源：摘錄自「有核不可」與參考文獻。本文彙整。

**表 2 廣義綠能減碳潛力彙整表**

減碳潛力 (億噸)	備註

再生能源	0.13	水力、太陽光電、陸域、離岸、海洋、淺層地熱、深層地熱、生質能
CCS	0.15	新建燃煤 CCS 減碳為 0.11 億噸(2020 年開始商轉，每年 500MW，共 3GW)，既有燃煤改建減碳為 0.03 億噸(既有燃煤電廠 20% 加裝 CCS)，既有燃氣改建減碳為 0.01 億噸(既有燃氣電廠 5% 加裝 CCS)。
燃氣替代燃煤	0.13	燃氣將成為基載發電
廢棄物發電	0.06	假設將垃圾轉化成衍生燃料(RDF)
合計	0.47	廣義綠能減碳潛力總合

資料來源：「有核不可」參考文獻。本文彙整。

## 貳、「減碳成本」之說明

經參閱書中引用之參考資料，2025 年全國的減碳潛力為 143.94 百萬噸 CO<sub>2</sub>e，而單位平均減量成本為 -7.55<sup>[2]</sup> 美元/噸 CO<sub>2</sub>e。正確的總減碳支出應該是減少 10.87<sup>[3]</sup> 億美元，該書 P.146 所提之可減少 1,086.75 億美元，相差 100 倍，應屬誤植，而 P.147 後續之相關論述也根據此誤植之數值所衍生。

因此相較於正確的減碳支出，延役所帶來減碳支出的減少 15.28 億美元<sup>[4]</sup> 與核四商轉的減少支出 8.73<sup>[4]</sup> 億美元就相當關鍵，若扣除核電在減碳成本抑低效果，減碳花費將從減少 10.87 億美元的支出轉為增加 13.14<sup>[5]</sup> 億美元的支出，並非書中根據誤植數值所計算之仍能節省 1,062.74 億美元的支出，而單位平均減碳成本則由 -7.55 轉為 13.27 美元/噸 CO<sub>2</sub>e(書中根據誤植數值計算為 -1,072.72 美元/噸 CO<sub>2</sub>e)，因此，實際上核電對於減碳成本支出應有相當顯著的抑低貢獻，如表 3 所示。

表 3 減碳成本比較表

	「有核不可」	NEP-I
總減碳成本	減少 1086.75 億美元	減少 10.87 億美元
扣除核電後的減碳成本	減少 1062.74 億美元	增加 13.14 億美元
扣除核電後的單位減碳成本	-1,072.72 美元/噸 CO <sub>2</sub> e	13.27 美元/噸 CO <sub>2</sub> e

資料來源：摘錄自「有核不可」與參考文獻。本文彙整。

### 參、引述參考資料對於節電所帶來之減碳潛力說明

根據本文整理書中參考資料所評估的減碳潛力(附表一)，需求部門減碳潛力主要來自於節電(2025年約0.26億噸)，其假設所對應節電量的碳排放係數為0.91噸CO<sub>2</sub>e/MWh，但依據其基準情境發電預估與本文推估(附表二)，2025年新舊燃煤機組混合的碳排放係數應該為0.85噸CO<sub>2</sub>e/MWh，而燃煤、燃氣、燃油混合的平均碳排放係數應該為0.75噸CO<sub>2</sub>e/MWh，皆低於其假設之節電碳排放係數，理論上，節電的碳排放係數不可能高過燃煤，因此所引述之參考資料中計算的節電減碳潛力，恐有高估的情況，若減少的發電為燃煤、燃氣、燃油混合，其節電的減碳貢獻應該為0.21億噸。此外，根據我國電力結構的現實情況，節電所帶來的效果於發電部門應該是優先降低成本較高的燃氣發電(中、尖載)，而非減少燃煤的發電出力(基載)，所以節電的實際減碳潛力將遠不到及所推估之值，若減少發電的為燃氣機組，其節電的減碳貢獻大幅降低為0.097<sup>[6]</sup>億噸，如表4所示。因此，較為合理的節電減碳貢獻若對比於核電的0.449億噸亦相對有限。

表4 節電減碳潛力比較表

	NEP-I	本文推估
節電部份的碳排放係數	0.91 噸 CO <sub>2</sub> e/MWh	0.34 噸 CO <sub>2</sub> e/MWh
節電部份的減碳貢獻	0.26 億噸	0.097 億噸

資料來源：摘錄自「有核不可」參考文獻與本文推估。

### 肆、結語

鑒於一般社會大眾對於第一期能源國家型計畫中，我國的減碳潛力及成本資訊大多經由報章、書籍等間接引述得知，始終難以清楚地了解兩者的實際組成。因此，期藉由本文對於「有核不可」書中減碳潛力及成本進行輔助說明，協助一般讀者了解兩者的全貌與意涵，並提供讀者進一步的思考空間。

## 註解

[1] 台灣溫室氣體減量進程與綠能產業發展政策之基礎研究附件二「溫室氣體減量的成本曲線估計」，行政院國家科學委員會，2013。

[2] 若措施的減碳成本為負值，則表示此措施以全生命週期計算，是可以減少支出的。

[3] 根據 NEP-I 計畫研究報告，總減碳成本計算如下： $143.94 \times 10^6 \times (-7.55) / 10^8 = -10.87$  億美元。

[4] 根據 NEP-I 計畫研究報告。延役的減碳潛力為 27.25 Mt CO<sub>2</sub>e，減碳成本為-25.7 美元/t CO<sub>2</sub>e；核四的減碳潛力為 17.62 Mt CO<sub>2</sub>e，減碳成本為-49.6 美元/t CO<sub>2</sub>e。

[5] 根據 NEP-I 計畫研究報告，扣除核電後的減碳成本計算如下： $-10.87 - (-15.28 - 8.73) = 13.14$  億美元。

[6] 根據我國電力結構的現實情況而評估，若節電而減少發電的為燃氣機組，其節電的減碳貢獻則為 0.097 億噸 =  $0.26 \times 0.34 / 0.91$ ，將大幅降低。

附表一 參考資料減碳潛力彙整(百萬噸)

減碳手段		減碳潛力 (百萬噸) 2025 年	本文 評估	備註
再生能源	水力	0.66	既定 政策	2025 年裝置容量 2502 MW
	太陽光電	3.8		2025 年裝置容量 2500 MW
	陸域風電	1.78		2025 年裝置容量 1200 MW
	離岸風電	5.23		2025 年裝置容量 1800 MW
	生質能	0.56		既有燃煤電廠 15%混燒 RDF
	海洋能	0.14		2025 年裝置容量 200 MW
	淺層地熱	0.69		2025 年裝置容量 115 MW
	深層地熱	0.25		2025 年裝置容量 35 MW
	再生能源合計	13.11		再生能源裝置容量按推廣目標發展
CCS	新 CCS	11.43	恐不 易 達成	2020 年進入，每年 500MW，至 2025 年 達 3GW
	改燃煤 CCS	2.88		既有燃煤電廠 20%加裝 CCS
	改燃氣 CCS	0.64		既有燃氣電廠 5%加裝 CCS
	CCS 合計	14.95		
核電	既有核電延役	27.25	額外 手段	
	核四	17.62		
	核電合計	44.87		
其它	燃氣替燃煤	13.13	等同既 定政策	不加蓋新燃氣電廠，而燃氣容量因素從 44%(2010 年)增加至 75%(2025 年)，燃氣 將成為基載發電(等同擴大天然氣使用政 策)
	廢棄物	5.98	額外 手段	假設將垃圾轉化成衍生燃料(RDF)
電力部門合計 P.101 <sup>1</sup>		92.04		
需求部門	住宅 P.279 <sup>1</sup>	7.77	2.90 <sup>2</sup>	全屬節電減碳
	服務 P.453 <sup>1</sup>	11.99	4.48 <sup>2</sup>	全屬節電減碳
	運輸 P.537 <sup>1</sup>	2.55		
	鋼鐵 P.631 <sup>1</sup>	6.51		
	化學 P.687 <sup>1</sup>	8.15	6.52 <sup>2</sup>	部份節電減碳
	石油 P.747 <sup>1</sup>	2.57		
	資訊 P.818 <sup>1</sup>	3.65	1.36 <sup>2</sup>	全屬節電減碳
	減碳總計	43.19	26.90 <sup>2</sup>	需求部門節電貢獻減碳為主因
節電減碳部份估計		26.01	9.72 <sup>2</sup>	本文根據參考資料估算
其它(農林業)		8.71		參考資料無詳盡說明
全國減碳潛力 P.35、37 <sup>1</sup>		143.94		

註 1：本表係根據 NEP-I 計畫研究報告的資料彙整而成，上述標示頁數係為該報告的頁碼

註 2：根據我國電力結構的現實情況而評估，若節電而減少發電的為燃氣機組，其節電的減碳貢獻將大幅降低

附表二 參考資料的電力排放係數估算

2010 年為既有發電數據		2010	2015	2020	2025	資料來源
A	新增燃煤發電量(TWh)	71.77	43.79	58.51	56.53	P.45 <sup>1</sup>
B	燃煤排放係數(噸 CO <sub>2</sub> /MWh)	0.99	0.82	0.82	0.73	P.48 <sup>1</sup>
C	新增燃煤排碳量(A*B)	71.05	35.91	47.98	41.27	依參考資料估算
A、B、C 資料來源為 NEP-I 計畫研究報告 D、E 為本文根據參考資料所進行的推估						
D	燃煤平均碳排係數 <sup>2</sup> 2010+2015+...2030 (C/A)	0.99	0.93	0.89	0.85	本文推估 <sup>2</sup>
E	燃煤、燃氣、燃油 <sup>3</sup> 平均排放係數	0.73	0.73	0.76	0.75	本文推估

註 1：數據來源為 NEP-I 計畫研究報告

註 2：燃煤平均碳排係數 D 計算邏輯以 2025 年為例

$$0.85 = (71.05 + 35.91 + 47.98 + 41.27) / (71.77 + 43.79 + 58.51 + 56.53)$$