

以生質料源與碳封存限制條件下初估 BIGFC/CCS 發電潛力

袁正達、柴蕙質、廖偉辰

國家原子能科技研究院-綜合企劃處研發策略室

2023/12

摘要說明

根據國原院「淨零科技整合研發策略」芻議(2023)，考量我國生質能發電潛能後，於保守與樂觀情境下，BIGFC/CCS 發電潛力分別可達 528 億度與 721 億度，可達 2050 年發電占比之 12%~17%，而根據臺灣 2050 淨零轉型目標，2030 年的碳封存目標為 4.6 百萬噸 CO₂/年，2050 年的碳封存目標為 40.2 百萬噸 CO₂/年，在 BIGFC/CCS 平均每度電可移除 1,185 公克的 CO₂ 假設下，其所對應的 BIGFC/CCS 年發電量為 39 億度與 339 億度，短期內如達到封存上限後，仍可視為零碳的發電技術；若未來封存技術許可，以深部鹽水層進行封存，則可進一步提升碳封存的數量，充分利用海域封存潛力，有效提升我國能源自主與安全。

壹、生質料源潛力

根據臺灣 2050 淨零轉型十二項關鍵戰略，其中前瞻能源的生質能部分，2030 年累積裝置容量目標為 0.8~1.3GW；2050 年累積裝置容量目標為 1.4~1.8GW。而根據國原院「淨零科技整合研發策略」芻議(2023)生質能發電潛能估算，在保守

與樂觀情境下分別為 $5.72 \times 10^{17} \text{J}$ 與 $7.82 \times 10^{17} \text{J}$ ，在保守情境下(陸基料源為主)，生質能發電裝置容量可達 6GW，相當於可發 430 億度電(假設效率 28%)；在樂觀情境下(海基料源擴大應用)，裝置容量可達 8.4GW，相當於可發 605 億度電；若以 Jaiganesh et al., (2022)，BIGFC/CCS 以較高的發電效率 33% 計算，保守與樂觀情境的發電量分別為 528 億度與 721 億度，各別占 2050 年發電量的 12% ($528/4,275=12\%$) 與 17% ($721/4,275=17\%$) (其他相對應之 BIGFC/CCS 發電量可參考表 1)。

表 1. 生質能裝置容量對應 BIGFC/CCS 發電量

	目標與潛力	裝置容量	對應 BIGFC/CCS 發電量 (億度)	2030 發電量 占比 (%)	2050 發電量 占比 (%)
國發會(2022) ¹	2030 年目標	0.8GW~1.3GW	60~99	2~3	
	2050 年目標	1.4GW~1.8GW	104~134		2~3
國原院(2023) ²	保守情境	6GW	528		12
	樂觀情境	8.4GW	721		17

註 1:淨零轉型階段目標及行動，BIGFC/CCS 以容量因素 0.85 進行計算。

註 2:「淨零科技整合研發策略」芻議，我國生質資源潛能在保守與樂觀情境下分別為 $5.72 \times 10^{17} \text{J}$ 與 $7.82 \times 10^{17} \text{J}$ ；BIGFC/CCS 以發電效率 0.332 計算(Jaiganesh et al., 2022)。

註 3:根據經濟部「111 年度全國電力資源供需報告」，假設 2030 年全國用電量為 3,216 億度。

註 4:根據國發會十二項關鍵戰略淨零轉型之階段目標及行動，假設 2050 年電力需求 4,275 億度。

註 5:目前國內生質能以垃圾、廢棄物為主，未來將加強農林廢棄物、生質物混燒、非沼氣類生質能/廢棄物等相關示範獎勵措施；國原院保守情境已納入農廢/竹材、林木等潛力，而樂觀情境則進一步納入海藻、長期未耕地等潛力。

貳、碳封存潛力

根據臺灣 2050 淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關鍵戰略行動計畫，我國 2030 年 CCUS 規劃為每年 176-460 萬噸 CO_2 ，而到 2050 年目標為 40.2 百萬噸。但 BIGFC 要作為負碳技術，可能受限於封存量，根據科技部負碳技術工作圈之負碳技術減碳貢獻度初步分析(台經院，2021)，2046-2050 CCS 導入的都是燃氣電廠。故假

設 2050 年所規劃的火力+CCS 20-27%都以燃氣發電進行試算，捕獲量約 45 百萬噸，已相當 2050 年的年封存目標 40.2 百萬噸。因此，火力+CCS 20-27%指的是燃氣電廠（若採燃煤電廠的排碳係數，碳捕獲量會增加一倍，且未來燃煤電廠轉為備用導致使用率低，CCS 效益可能降低）。

假設以 BIGFC/CCS 為主要發電技術，碳封存的目標全由 BIGFC/CCS 所貢獻，在碳封存 460 萬噸的目標下，則 2030 年 BIGFC/CCS 裝置容量相當於 443 MW，相當於發電達 39 億度的排碳量¹，占 2030 年發電量的 1.2% ($39/3,216=1.2\%$)²；於 2050 年 40.2 百萬噸的碳封存目標下，BIGFC/CCS 裝置容量相當於 3,872 MW，相當於發電 339 億度，占 2050 年發電量的 8% ($339/4,275=8\%$)。³

我國碳封存潛力彙整如表 2，相較於國發會 2030 年的目標，台經院(2021)評估認為 2030 年每年碳捕捉量介於 200 萬噸至 851 萬噸之間；另外陸域碳封存潛力達 28 億噸，根據 Jaiganesh et al., (2022)參數計算，BIGFC/CCS 平均每度電移除二氧化碳 1,185 g/kWh，則相當於 BIGFC/CCS 發電 23,622 億度電的排碳量，根據 111 年經濟部能源局「全國電力資源供需報告」，2022 年全國總發電量約 2,882 億度，若假設全部來自 BIGFC/CCS 發電，該陸域封存潛力相當於可以封存 8 年由 BIGFC/CCS 發電所產生的碳排放量。海域碳封存潛力則高達 90~680 億噸，相當於 BIGFC/CCS 發電 75,928~573,683 億度電的排碳量。國科會(2014)則估計在

¹根據 Jaiganesh et al., (2022)參數計算，BIGFC/CCS 平均每度電移除二氧化碳 1,185 g/kWh。

²經濟部「111 年度全國電力資源供需報告」，118 年全國用電量預測達 3,216 億度電。

³國發會十二項關鍵戰略淨零轉型之階段目標及行動，2050 年電力需求為 4,275 億度與 5,731 億度之間。

未來技術許可下，積極考慮深部鹽水層封存，全台可封存量可達 459 億噸，相當於 BIGFC/CCS 發 387,236 億度電的排碳量，以 2022 年我國總發電量約 2,882 億度來看，假設全部來自 BIGFC/CCS 發電，則深部鹽水層的封存潛力相當於可以封存 134 年由 BIGFC/CCS 發電所產生的碳排放量。

表 2. 碳封存潛力對應 BIGFC/CCS 發電量

	目標與潛力	封存量	對應 BIGFC/CCS	2030 發電量	2050 發電量
			發電量 (億度)	占比(%)	占比(%)
國發會(2022) ¹	2030 年目標	460 萬噸	39	1.2	
	2050 年目標	40.2 百萬噸	339		8
	2030 年目標	200~851 萬噸	17~72	0.5~2.2	
台經院(2021) ²	陸域潛力	28 億噸	23,622		553
	海域潛力	90~680 億噸	75,928~573,683		1,776~13,419
國科會(2014) ³	深部鹽水層潛力	490 億噸	387,236		9,058

註 1:淨零轉型階段目標及行動。

註 2:科技部負碳技術工作圈。

註 3:能源國家型淨煤主軸專案計畫「台灣二氧化碳地質封存潛能地圖集」。

註 4:根據 Jaiganesh et al., (2022)參數計算，BIGFC/CCS 平均每度電移除二氧化碳 1,185 g/kWh。

註 5:根據經濟部「111 年度全國電力資源供需報告」，假設 2030 年全國用電量為 3,216 億度。

註 6:根據國發會十二項關鍵戰略淨零轉型之階段目標及行動，假設 2050 年電力需求 4,275 億度。

註 7:因陸、海域、深部鹽水層封存潛力極大，其相對應之 BIGFC/CCS 發電量極大，導致估算 2050 年發電占比時高於 100 的情形。

參、未來封存技術許可下，可提高 BIGFC/CCS 發電量，有效提升負碳效益

在目前 2030 年與 2050 年的碳封存目標下，其所對應的 BIGFC/CCS 發電量為 39 億度與 339 億度。如達到封存上限後，仍可視為零碳的發電技術；若未來封存技術許可，以深部鹽水層進行封存，將不受碳封存量的限制，但基於本土生質料源，在保守與樂觀情境下，BIGFC/CCS 發電潛力分別可達 528 億度與 721 億度，分別占 2050 年發電量的 12%與 17%。由上述分析可知，BIGFC/CCS 雖具

發電潛力，但目前仍受限於碳封存量，後續透過國發會規劃開發本土潛力封存廠址，包含展開碳封存試驗廠址可行性研究，並推動試驗陸域小型注儲廠運行及海域試驗廠址注儲，未來有機會進一步提升該技術的發電潛力。

參考文獻

1. Jaiganesh, N., Po-Chih Kuo, Vipin Champatan, Girigan Gopi, R. Ajith Kumar and P.V. Aravind, (2022). *Negative emission power plants: Techno-economic analysis of a biomass-based integrated gasification solid oxide fuel cell/gas turbine system for power, heat, and biochar co-production—part 2*. Front. Energy Res. 10:826227. doi: 10.3389/fenrg.2022.826227
2. 國發會、環保署、經濟部、科技部、交通部、內政部、農委會、金管會等，「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，(2022)。
3. 國發會，十二項關鍵戰略「淨零轉型之階段目標及行動」，(2022)。
https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=6BA5CC3D71A1BF6F
4. 國科會、經濟部、環保署，臺灣 2050 淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關鍵戰略行動計畫，(2023)。
5. 經濟部能源署，「111 年度全國電力資源供需報告」，(2022)。
6. 科技部，負碳技術工作圈-政策配套研商會議，(2021)。
7. 國原院，李海光，「淨零科技整合研發策略」芻議，(2023)。
8. 能源國家型淨煤主軸專案計畫，林殿順、楊健男等，「台灣二氧化碳地質封存潛能地圖集」，(2014)。