

林木資源生質能潛力及「生質能的階梯式應用原則」探討

洪瑋嶸

國家原子能科技研究院 綜合企劃處研發策略室

2023/10

台灣正積極推動發展再生能源，以達成 2050 年淨零排放的目標。生質能作為再生能源的一環，將發揮關鍵作用。本文探討台灣生質能發展的現況與未來展望，並分析林木資源在生質能供應鏈中的潛力與限制。本文指出國際上推行的木質生質能「階梯式應用原則」(the principle of cascading use)，優先使用林業剩餘資材，減少對森林的砍伐，以保育林木資源與保存碳匯。台灣宜持續發展多元低碳燃料，逐步減少依賴傳統生質燃料，以取得生質能可持續發展的目標。

壹、國發會生質能規劃目標

我國生質能裝置容量至 2022 年 8 月，累計達 724MW，包括生質能發電 92MW(含沼氣)、廢棄物發電 632MW。生質物發電(農林資材與沼氣) 以發電、熱

能應用為主，2021 年全年發電量 1.7 億度；廢棄物發電以大型焚化廠之廢熱發電為主，2021 年全年發電量 36 億度。

根據國發會未來目標，將從場域、技術、制度及環境社會等面向思考，解決現有面臨之料源、副產物去化等問題，於 2030 年達成目標累積裝置容量 805~1,329 MW(如表 1)，且 2050 年達成目標累積裝置容量 1.4~1.8 GW；

表 1 臺灣 2050 淨零轉型 「前瞻能源」關鍵戰略行動計畫之規畫

總體績效指標	現況說明 (含 2021 基準年)	衡量標準及目標值	
		2025 年目標 (民國 114 年)	2030 年目標 (民國 119 年)
1. 地熱發電	我國地熱發電已併網裝置容量 5MW，年減碳量 1.6 萬噸。	累計裝置容量 20MW，年減碳量 6.4 萬噸。	累計裝置容量 56~192MW，年減碳量 18~62 萬噸。
2. 生質能	我國生質/廢棄物能目前裝置容量為 724 MW (廢棄物能 632 MW；生質能 92 MW)。	累積裝置容量達 778 MW，年減碳量 206 萬噸。	累積裝置容量達 805~1,329 MW，年減碳量 218~400 萬噸。
3. 海洋能	目前無海洋能併網案例。	累積裝置容量達 0~0.1MW，年減碳量 0~0.013 萬噸。	累積裝置容量達 0.1~1 MW，年減碳量 0.013~0.13 萬噸。

生質能	持續建構使用環境	2-1 躉購費率及示範獎勵帶動市場。 2-2 務實推動 SRF 電廠、農廢、沼氣發電設置。
	建立大型專燒系統	2-3 生質能專燒系統建立/引進。 2-4 海外料源布局。
	優化技術擴大量能	2-5 發展高效率轉換技術。 2-6 有效應用副產物。

其中推動方式包含 a.持續建構使用環境：躉購費率(Feed-In Tariff, FIT)及示範獎勵，帶動生質能/廢棄物發電市場，穩健推動固體再生燃料(Solid Recovered Fuel, SRF)電廠、農業廢棄物、沼氣發電設置及燃煤機組轉型生質能發電機組等。 b.建立大型專燒系統：引進大型生質能專燒系統技術(台電公司)，並建構系統運維經驗；布局海外生質料源(木質顆粒燃料)增加國內供應潛能，並建立料源後勤機制(如料源運輸及儲放)。 c.優化技術擴大量能：活化並整合國內料源發展多元燃料轉換技術如氣化發電、沼氣發電技術優化，並擴大副產物應用範圍如共醱酵沼液/沼渣、生質灰、混燒灰等再利用推廣。

貳、我國林木生質料源現況

根據農業部的資料，我國每年木材需求量約 400 萬立方公尺(約 260 萬噸以平均比重 0.652g/cm^3 計算)，而國產材年生產量僅 3 至 4 萬立方公尺(約 2-2.6 萬噸)、木材自給率約為 1%。

2016 年我國進口木質顆粒與棕櫚殼共 5.7 萬噸，大概貢獻 0.53 億度電(約 7.4MW 以一年運轉 300 天熱值 $4,000\text{Kcal/kg}$ 以及熱轉換效率 20%來估計)，同時國產材也較進口材昂貴，故過往國產材都是拿來製成林製品，生質能之料源通常是林廢棄物(林剩餘資材)。此外，因為森林法規定，只要在山坡地進行森林砍伐都需經過環評，確保水土保持，曠日廢時，所以國內可以順利執行砍伐的林地，

甚至運輸木材的林道都很稀少，因此拉高國產材成本，也造成林業發展困難，人才凋零，所以即使國發會預估 2030 年累計的森林經營面積目標是 2025 年目標 100 倍，國產材合乎疏伐原則的目標產量也只有 2 倍，從 10.4 萬立方公尺提升為 20 萬立方公尺(如表 2)。

表 2 國發會的 2050 淨零轉型 「自然碳匯」目標

策略	措施	森林關鍵績效指標(KPI)	
		2025 年	2030 年
2. 加強森林碳匯經營管理	2-1 推動外來種移除改正造林、復育劣化林地，並加強低蓄積人工林撫育更新，以擴大森林碳吸存效益，以達成人工林永續經營目的	自 2016 年起累計森林經營 9,500 公頃	自 2016 年起累計森林經營 916,400 公頃
	2-2 推動老化竹林更新，活化竹林碳吸存能力	自 2022 年累計竹林經營 5,000 公頃	自 2022 年累計竹林經營 30,000 公頃
3. 提高國產材利用	3-1 強化國產木竹材供應鏈及推動林產品全材利用，促進林產業經濟效益及碳保存功能	國產材產量 10.4 萬立方公尺	國產材產量 20 萬立方公尺

參、國際林木生質能應用趨勢

國際趨勢的走向，一向都大幅影響我國淨零排放政策的制定，美國將林產品列入溫室氣體排放清冊的森林碳匯內，歐盟也逐漸落實森林的永續發展(含竹林)，依據木質生質能的「階梯式應用原則」(如圖 1)前提下，禁止把優質的木材直接

作為燃料，因為它可以被用作更有價值的原材料(例如林產品)，同時也可將碳匯保存更長時間。自 2026 年 12 月 31 日起歐盟成員國不得在純電力裝置中以森林生物質用來發電除非滿足以下其中一個條件：

一、電力在歐盟委員會批准的領土公正過渡計畫(Territorial Just Transition Plans, TJTPs)中的地區生產並符合第 29 條第(11)款規定的相關要求；

二、電力採用生物質二氧化碳捕集和封存技術 (Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS) 生產並符合第 29 條第(11)款第二項規定的要求。

上述第 29 條，係指歐盟再生能源指令第 29 條有關生質能之補助標準，第(11)款乃對 50MW 以上較大規模的發電裝置有較高發電效率之要求，如發電裝置 50MW~100MW 應搭配高效率之汽電共生技術或採用可取得之最佳效率技術，100MW 以上，則淨發電效率(net-electrical efficiency)達 36%以上。為維持森林健康成長，森林經營會需疏伐木材，輪伐雖然也是森林經營的一部分，但日本關西地區人工林經營以保護森林、培育森林及活化森林為經營策略，以長伐期疏伐生產木材的循環方式永續經營森林，已跳脫傳統的生產輪伐期概念，把原來 50 年輪伐期調整為 200 年甚或 400 年的長伐期，而木材加工的廢木材(林剩餘資材)，才可做成木質顆粒當作生質能。



圖 1 木質生質能的「階梯式應用原則」

資料來源:SAF(2021) Cascading principle of biomass use

肆、不同情境下我國林木生質料源潛量探討

若基於森林永續的國際趨勢與碳匯保存需求(若碳匯減少等同排碳)，及台灣林材價值高之情況下，台灣可能只適合將林剩餘資材轉作生質能，台灣森林一年吸收二氧化碳約 2,000 萬噸等同新增 1,300 萬噸木質生質能(約 2,000 萬立方公尺)，林剩餘資材不太可能超過新增木質生質能 10%，所以林剩餘資材若能有 130 萬噸就算高標，相當於一年可發 12 億度電(169MW)，不過要先確保林道通過環評審查才行。而國內學者也推估，全國森林覆蓋面積達 219.7 萬公頃，假設每年年生長量平均約為 5 立方公尺/公頃(約 2.3 噸/公頃)，新增的森林利用率可以達八成，則每年約有 800 多萬立方公尺(約 370 萬噸)木原料投入國產材市場。惟若該等以進行加工利用為主以剩餘資材產生率 15% 估算，每年亦可獲得之剩餘資材約為 130 萬立方公尺約為 60 萬噸重。這些估計皆已遠高於國發會與林務局森林

碳匯經營管理的目標，林務局 2030 國產材目標為自給率 5% ，2040 目標為自給率 10%，國發會 2030 年森林碳匯經營管理之累計目標為約 95 萬公頃(如表 2) ，2025-2030 平均每年目標為 18 萬公頃，但 2030 年國產材目標產量每年僅 20 萬立方公尺(約 13 萬噸，以平均比重 0.652g/cm^3 計算)，相當於每公頃只產 0.7 噸木材，這是盡量保留新增碳匯(因碳匯新增等同減碳) ，只砍不利森林永續發展的樹木或有林產品價值(非生質燃料價值)的樹木，就國際觀點來看，做為林產品時，固碳時間可長達數十年，不影響碳匯增減。若生質能考量只使用林剩餘資材的話，能使用的國產量只會更低。扣除廢棄物發電的情形下，國發會 2030 的生質能目標為 173-697MW，2050 的生質能目標為 800-1,200MW，所以光是國內的林剩餘資材潛力將無法因應這些目標，所以必須擴大種植森林面積、活化並整合國內料源(納入農廢棄物及其他) ，發展多元燃料轉換技術如氣化發電、沼氣發電技術優化以及開拓其他進口木質顆粒的國家。

而最樂觀的情境為核研所提出的快速輪伐，台灣人工林約 41 萬公頃，林木資源量最高有機會達到 8,200 萬噸(200 噸/公頃) ，分 10 年輪伐，輪伐下的優質木材通通拿來做木質顆粒，此情境下每年可有 820 萬噸木質生質能，相當於一年 76 億度電(1,066MW) ，但在計算台灣總排碳時，這些木材的碳匯將先被扣除，另一個風險是未來輪伐後的優質木材，根據歐盟的「階梯式應用原則」應該優先製成林製品，如果優先拿來做燃料，有可能不被承認為生質燃料。而不同利用情境之下的假設，木材產量與碳匯損失有很大的差異，要由最終目標來決定使用何種

假設，而考量生質能發電成本時就國家的角度來看，也應該把碳匯影響納入計算。

因國際上對木質生質能已朝採「階梯式應用原則」之趨勢，因此建議先計算新增的國產林材，再將部分比例的國產林材當成加工後的”剩餘資材”，以此估算為國產生質燃料潛力，可能較符合國際上對森林碳匯及生質能應用之趨勢。

此外生質能只是低碳燃料的一種，國際上低碳燃料的來源為了朝向逐步降低來自森林(傳統生質能)還有糧食(第一代生質能)的比例，目前各國都在努力發展與擴增其他來源，如先進生質燃料(第二代生質能以上包含農林剩餘資材、藻類、基因改殖可攝取二氧化碳的菌種等)，所以我國再生燃料除農林剩餘資材外，也可以朝其他方向努力。

參考文獻

1. 國發會，03_前瞻能源關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年
2. 王怡穩，持續造林木材自給，農業部，2022 年 3 月
3. 羅時芳、吳周燕，臺灣生質燃料產業趨勢分析，中華經濟研究院綠色經濟研究中心，2017 年
4. 國發會，09_自然碳匯關鍵戰略行動計畫(核定本)，2023 年
5. EU， Directive (EU) 2018/2001 RED(Renewable Energy Directive) II: Article 29 — Sustainability and greenhouse gas emissions saving criteria for biofuels， bioliquids and biomass fuels， Official Journal of the European Union， 2018
6. 林世宗，日本人工林疏伐經營與林木收穫利用，2013 年
7. 郭佩鈺，台灣林業在發展生質能源的路上，2021 年
8. 李海光，「淨零科技整合研發策略」芻議，國家原子能科技研究院，2023 年