

2026-2035 台灣永續航空燃料 產業推動策略與政策路徑 白皮書



SAF



《2026-2035台灣永續航空燃料產業推動策略與政策路徑白皮書》

**White Paper on Strategic Promotion and Policy Roadmap for
Taiwan's Sustainable Aviation Fuel Industry(2026-2035)**

發布單位：財團法人中華經濟研究院

中華民國 115 年 6 月





目錄

《推薦序》	7
科技前瞻的航空減碳——寫在台灣 SAF 產業的政策啟航之際	7
飛向零碳未來：台灣永續航空燃料產業的戰略關鍵時刻	9
摘要.....	11
壹、現況篇：改變中的國際航空業.....	13
一、國際航空減碳趨勢	13
二、台灣面臨的挑戰	14
三、台灣國際航空燃油與 SAF 需求預測	16
貳、技術篇：SAF 技術路徑評估 - HEFA/ ATJ / FT	20
一、SAF 技術在台灣之系統性評估	20
二、由總論走向分論：SAF 技術路徑的功能性分化	21
三、台灣 SAF 技術路徑之最終政策判斷	29
參、情境篇：情境假設與技術選項.....	32
一、原料進口制度是決定 SAF 路徑的關鍵變數	32
二、三種情境假設說明	32
三、各情境下的技術規劃比較 (HEFA / ATJ / FT)	33
四、政策選項比較與治理重點	34
五、綜合比較結論	34
六、為何 2035 年為關鍵政策檢討點	37
肆、政策篇：觀察 2030 與 2035 政策檢討與 ICAO、CORSIA 及主要航空市場之 制度互動關係.....	39
一、英、日、新三國 SAF 推動策略.....	40
二、三國 SAF 發展模式之整合比較	46
伍、政策討論與建議.....	49
一、前言	49
二、對台灣推動 SAF 的政策建議.....	49
三、台灣 SAF 政策推動的制度整合路徑.....	52
參考資料.....	54



附錄 專家觀點與建議.....	55
郭家倫（國家原子能科技研究院副所長）	55
王鈞鈞（中技社顧問）	57



圖目錄

圖 1 2024–2030 年日韓 SAF 預估產能與政策需求目標圖.....	16
圖 2 台灣國際航空燃油歷史用量與三種情境預測 (單位：萬噸).....	17



表目錄

表 1 2030 年不同情境與摻配比下 SAF 需求預測(單位：萬噸).....	18
表 2 2035 年不同情境與摻配比下 SAF 需求預測(單位：萬噸).....	18
表 3 各類航空燃料技術路徑之經濟指標與生命週期溫室氣體排放分析	21
表 4 三種 SAF 技術在台灣落地的 SWOT 比較	29
表 5 台灣 SAF 三情境制度假設與政策選項對照.....	35
表 6 台灣 SAF 三情境對應政策時程 (2026 / 2030 / 2035 / 2040)	36
表 7 ICAO × CORSIA × 三國政策 × 台灣對應	48
表 8 英、日、新三國 SAF 推動障礙與政策工具配置.....	49
表 9 台灣 SAF 政策工具配置.....	51



《推薦序》

科技前瞻的航空減碳——寫在台灣 SAF 產業的政策啟航之際



隨着全球氣候變遷挑戰愈趨嚴峻，淨零碳排已非單純的環保倡議，而是重塑全球產業競爭力與國家地緣戰略的關鍵賽局。在國家「淨零碳排」總體戰略中，臺灣淨零科技方案推動小組的核心任務，便是扮演國家前瞻科技布局的「大腦」，透過整合跨部會資源、鏈結產學研能量，為台灣布建具備長期調適能力的低碳科技基石。在諸多減碳範疇中，航空業因其高度依賴高能量密度的液體燃料，被國際公認為減碳困難度相對高(Hard-to-adddate)的領域。

然而，國際民航組織 (ICAO) 的 CORSIA (國際航空業碳抵換及減量方案) 機制與歐盟 RefuelEU Aviation 法規所設定的強制摻配時程已箭在弦上。面對這波綠色經濟的巨浪，加上台灣正處於以半導體與 AI 產業為核心的「黃金盛世」，如何強化國家在亞太區域的航空與物流樞紐角色，正需要透過 SAF 的政策佈局，提出具戰略性與積極度的抉擇。

中華經濟研究院是國家級的智庫，協助政府多個部會規劃並推動 2050 淨零減碳的各項目標，更令人感佩的是在此關鍵時刻發布《2026-2035 台灣永續航空燃料產業推動策略與政策路徑白皮書》，為台灣邁向淨零空域提供了極具戰略高度與實務可行性的科技治理解方與政策時序建議。

從行政院《淨零科技方案》的佈局來看，永續航空燃料 (SAF) 的推動絕不只是單純的被動因應「航空業減碳」的規範或以「海外採購成本」評估來解決供應不足的窘境；相反地，它是一場「以能源轉型驅動產業升級」的重大戰略契機。台灣雖面臨地狹人稠、本土生物質 (如廢食用油、農林廢棄物) 總量有限的天然限制，但我們擁有全球引以為傲的化學工程技術、精準的製程管理能力，以及強大的綠色供應鏈生態系。這本白皮書最卓越的貢獻，在於其不流於空泛的口號，而是透過嚴謹的技術經濟評估 (TEA) 與生命週期評估 (LCA)，將 HEFA、ATJ、FT 三大主流技術路徑在台灣的系统性定位做了清晰的剖析。



白皮書提出的 ATJ (Alcohol-to-Jet，酒精轉航油) 技術路徑，精準地破解了台灣本土油脂料源不足的致命傷。透過「原料進口制度」的彈性設計，引進國際符合低碳認證 (如 ISCC、CORSIA) 的生質乙醇，結合儲運與後段高階催化轉化製程，台灣完全有能力轉被動為主動，打造自身成為亞太區域的 SAF 供應樞紐。

這種兼顧國際供應鏈鏈結與在地技術落地的思維，正是臺灣淨零科技方案推動小組近幾年積極與部會協作所一貫堅持的「系統整合」與「跨界鏈結」精神——將外部技術壓力轉化為本土生質能源與化學工業高階化的新動能。這本白皮書，補足了推動小組在政策路徑上未及之處，白皮書所勾勒的短中長期路徑圖——從初期的法規打底與原料進口，到中期的財務激勵機制研擬，再到長期的自主產能重新配置，為政府展現了如何用「動態校準」的科技治理思維，引領產業在高度不確定性的國際市場中穩健前行，亦可作為政府推動政策規劃時所需的動態動能評估機制。

科技的落地，離不開體制的創新與公私協力。航空淨零是一場考驗國家治理能力的總體戰，它橫跨了交通部的航權規劃、經濟部的能源與產業發展、環境部的碳機制對接，以及農業部的料源盤點。中經院這本白皮書不僅敲響了產業升級轉型的進行曲，更為產官學研凝聚了清晰的合作共識。透過科技前瞻與政策路徑的雙軌並進，台灣不僅能成功化解航空減碳的國際壓力，更能將其轉化為推動本土生質能源與綠能產業升級的巨大動力。期盼這本白皮書能成為指引台灣綠色航空起飛的關鍵藍圖，為台灣成為亞洲 SAF Hub (樞紐) 的重要參考方針。

台灣淨零科技方案推動小組首席顧問 **周素卿**

周素卿



《推薦序》

飛向零碳未來：台灣永續航空燃料產業的戰略關鍵時刻



當全世界致力於交通運輸的深度脫碳時，航空業因其高能量密度的能源需求，被公認為全球最難減碳的產業之一。國際航空運輸協會（IATA）在今年 6 月提出最新數據，2026 年全球永續航空燃料（SAF）的預估產量約 240 萬噸，但僅佔總航空燃料使用量的 0.8%，與 2050 年達到 65% 的目標相距甚遠。IATA 認為成效不如預期的主因是因為政府政策未能順利接軌，石油業者對此議題也有不同意見。即便如此，隨著國際民航組織（ICAO）碳抵換及減量計畫（CORSIA）的實施，以及全球主要航空市場對永續航空燃料（SAF）需求比例的強制推動，航空燃料的轉型已非「選修題」，而是關乎國家航空產業國際接軌與供應鏈韌性的「必修題」。

國際接軌與供應鏈韌性的「必修題」。

在此關鍵轉折點，中華經濟研究院發布《2026-2035 台灣永續航空燃料產業推動策略與政策路徑白皮書》，精準對接了當前的時代課題，也為台灣航空產業如何在國際競賽中維持競爭力，提供了紮實且具備高度前瞻性的戰略指引。

以科學為本的產業願景

中華經濟研究院係為國內首屈一指的研究智庫，美國穀物暨生質產品協會（U.S. Grains & BioProducts Council, USGBC）多年來非常榮幸地與中華經濟研究院並肩站在減碳淨零倡議的第一線，我們深刻體會到，任何成功的轉型策略都必須建立在嚴謹的科學分析與務實的制度基礎上。中華經濟研究院以客觀中立的立場，探討生質能源與減碳政策的深度整合，其價值觀不僅在於提出願景，更在於為政策建構可執行的路徑。

白皮書的核心願景是希望建構穩定且具韌性的台灣 SAF 產業生態鏈，透過明確的政策目標與階段性規劃，將台灣從能源進口國，轉型為具備綠色航空產業技術整合與供應能量的轉運樞紐。這份藍圖乘載著可執行的減碳路徑，能帶動航空、石化、農業廢棄物處理



及綠色金融產業的全面升級，讓台灣在邁向 2050 淨零轉型的道路上，展現出具備國際水準的實踐能力。

政策解方：穩健路徑與產業協作

白皮書從「路徑規劃」與「治理設計」的角度切入，對於可預見的 SAF 產業推動方式，白皮書提出的關鍵解方不只是單一補貼，而是系統性的制度創新。首先，在技術路徑選擇上，強調根據台灣資源特性，建立技術與時序的分工——短期優先採用技術成熟的 HEFA 作為制度啟動工具，中期則確立 Alcohol-to-Jet (ATJ) 為產業化主軸，並為未來 Fischer-Tropsch (FT) 等深度減碳技術預留空間。其次，在政策工具配置上，建議政府建立與國際接軌的需求訊號 (Mandate)，並導入類似差額合約 (CfD) 的收入穩定機制，以降低產業投資風險，解決市場初期面臨的資金配置難題。

最重要的是，白皮書呼籲打破部會藩籬，透過跨部會的合作治理，從能源政策的供需盤點、原料採購認證、到碳費體系的整合，建構一個能讓企業界願意長期投入的營運環境。這些解方的利益是希望透過階段性的法規鬆綁與資源挹注，營造出市場誘因與政策引導並行的良性循環，方能打造供需循環的運作機制。

感謝、傳承與行動號召

非常感謝中華經濟研究院團隊的堅毅精神與專業洞見，以及所有專家學者提供的寶貴建議，讓白皮書能匯集許多產官學研各界專家的研討與數據驗證。這份行動倡議試圖傳達的是全球航空業正面臨減碳的緊迫性，若政府能將白皮書中的政策路徑轉化為具體的施政指標，相信國內產業界也能在明確的目標下共同打造 SAF 產業供應鏈，一同打造亞太地區的綠色航空先鋒。

環境的永續，是我們留給下一代最好的資產。雖然轉型之路漫長且充滿挑戰，但我們相信，透過這份白皮書所勾勒的願景，台灣定能發揮獨特的科技與產業優勢，在國際航空減碳的戰場上，飛出屬於我們的綠色航道，攜手打造台灣淨零轉型的新引擎。

美國穀物暨生質產品協會駐台代表 盧智卿



摘要

本白皮書就 2026 至 2035 年台灣永續航空燃料 (Sustainable Aviation Fuel, SAF) 產業之發展策略與政策路徑進行整體規劃之建議。在全球航空減碳壓力升高背景下，主要國家已陸續導入強制摻配制度與產業補助政策，SAF 需求快速成長並正在重塑國際供應鏈。台灣作為亞太重要航空樞紐，亟需建立自主供應能力與制度化市場機制，以兼顧減碳目標、能源安全與產業競爭力。

在技術路徑上，本白皮書聚焦三大主流方向：(一) HEFA 具短期商業化成熟度，可快速建立初期供應；(二) ATJ 具中期擴張潛力，可結合國內工業副產物與生質來源；(三) 費托合成永續航空燃料 (Fischer-Tropsch, FT-SAF)，可利用氣化後之多元原料 (如生質或廢棄物)，具規模化與長期供應潛力。分析結果提出，目前重點不在於選出「唯一正確的技術」，而在於建立一套能隨時間修正的政策邏輯，使台灣 SAF 發展能在穩定推進中，保留必要的彈性與校準空間。

本研究是基於三種情境進行分析：(一) 低度推動情境 (以進口為主、缺乏制度誘因)、(二) 穩健推動情境 (導入摻配義務並部分國產化)，以及 (三) 積極發展情境 (建立完整供應鏈並具出口潛力)。若以 2030 年 SAF 摻配率達 2–5%、2035 年提升至 5–10%，逐步建立國產供應能力作為政策目標，結果顯示，在完全不開放廢食用油及農廢進口的情境下，酒精轉航空燃料 (Alcohol to Jet, ATJ) 具備不可替代的結構性地位；在有限開放廢食用油的情境下，ATJ 與氫處理酯類和脂肪酸 (Hydrotreated Esters and Fatty Acids, HEFA，一般又稱廢油脂轉製) 應形成分工而非競逐；即便在高度開放情境下，基於各類技術發展的進程，ATJ 仍是連結本土產業能力與長期減碳目標的關鍵支點。

在國際政策方面，列舉了英國、日本與新加坡分別展現不同政策模式：英國透過建立 SAF 摻配義務與長期價格保障機制 (如差價合約)，強調市場機制與投資穩定性；日本由政府主導航空公司與能源企業合作，透過產業聯盟與明確使用目標推動示範應用；新加坡則以區域航空與能源樞紐定位出發，推動 SAF 供應鏈布局並發展國際加注與交易中心。參考三國經驗，建議我國當前 SAF 發展，實需因地制宜的結合市場機制、產業協調與區域定位，由政府建立長期且具可預期性的制度環境，以引導投資並促進產業形成。

在政策設計上，台灣 SAF 政策的核心並不在於單一工具的選擇，而在於能否同時處理三個關鍵面向：透過 mandate 解決「是否有需求」、透過收入保障機制解決「是否有投資」，並



透過技術互補策略解決「是否能形成供應」。唯有在需求、投資與供應三者同步成立的情況下，SAF 才能由政策導入轉化為具有持續性的產業體系。

此外，本白皮書亦提出以 **2030 年與 2035 年為雙檢核年之政策推動架構**，強化政策執行與動態調整能力：

- (一) **2030 年 (第一檢核年)**：重點在於完成市場制度建立與初步供應能力形成，包括正式實施 SAF 摻配制度、建立憑證市場、達成初期國產化與進口平衡供應，並完成關鍵示範案 (含 HEFA 及 ATJ) 商轉驗證。
- (二) **2035 年 (第二檢核年)**：目標為擴大國內產能、降低成本差距並提升國際競爭力，包括提高摻配比例、形成穩定供應鏈、推動先進技術 (FT 或其他) 規模化發展，並評估出口與區域供應潛力。

透過雙檢核年設計，可建立**政策、市場、技術**三者兼具之滾動式修正機制，確保台灣能因應國際市場變動，持續優化發展路徑。

對 2030 的台灣而言，SAF 不僅為航空減碳之必要工具，更是持續推動能源轉型與產業升級之戰略切入點。而關鍵在於政府當前能否以制度創造市場、以市場帶動投資，並透過明確檢核節點與跨部會整合。推動台灣 SAF 不僅能滿足自身所需，甚而有機會成為亞太地區具競爭力之永續航空燃料供應中心。



壹、現況篇：改變中的國際航空業

一、國際航空減碳趨勢

未來航空業的減碳正站在一個關鍵的十字路口。在全球邁向去碳化的過程中，航空業展現出極強的成長韌性，並持續扮演石油需求成長的重要引擎。與道路運輸不同的，航空業短期內難以擺脫對高能量密度液體燃料的依賴。根據 BloombergNEF (BNEF) 「經濟轉型情境」 (Economic Transition Scenarios, ETS) 的預測，即便技術與營運效率持續提升，在缺乏更強政策干預的情況下，化石燃料仍將主導至 2050 年。屆時，航空業每日燃料需求將達 1,080 萬桶，較 2024 年增加 56%；永續航空燃料 (Sustainable Aviation Fuel, SAF) 占比恐仍低於 8%；碳排放量約為每年 18 億噸二氧化碳當量 (CO₂e)，較 2019 年增加 44%，顯示減碳壓力仍然巨大。

這樣的困境，很大程度來自需求端的爆發性成長。隨著新興市場人均收入提升，航空需求已進入結構性擴張階段。客運與貨運的復甦與成長呈現不同節奏：客運需求 (按照收入乘客公里 Revenue Passenger Kilometers, RPK 計算) 已在 2024 年恢復至疫情前水準，並預計以約 3% 的年均複合成長率持續成長，至 2050 年達 19.4 兆延人公里；貨運需求 (按照貨運收益噸公里數 Freight Tonne-Kilometers, FTK) 則受貿易與電商帶動，預計至 2050 年成長 84%，且需至 2028 年才會完全回到疫情前水準。在此背景下，全球航空機隊規模也將大幅擴張，預計 2050 年商業機隊數量將達 51,810 架，較 2024 年成長約 91%；年載客量將突破 96 億人次，增幅超過一倍，其中客機仍占 92%，而貨機則因部分需求由腹艙分擔，數量成長至約 4,000 架。

區域發展方面，亞太地區將成為主要成長區域，貢獻全球近一半的燃料需求增量。其中印度尤為突出，其旅客需求年均成長率高達 7.1%，遠高於全球平均，並由航空公司積極擴張所支撐，例如 IndiGo 持有超過 900 架待交付訂單，印度航空亦有超過 500 架的新機訂單，顯示市場對未來需求高度樂觀。

在減碳工具中，SAF 被視為最具可行性的方案，但目前發展仍高度依賴政策推動。歐洲已走在前端，2025 年起歐盟與英國正式實施 SAF 混合授權，起始比例為 2%，英國更規劃於 2040 年提升至 22%。亞太地區亦逐步跟進，中國開始試點混合政策，日本則訂出 2030 的強制目標，東南亞各國也釋出積極訊號。然而，即便在 ETS 情境下，2050 年 SAF 全球消費量也僅約每日 83 萬桶，占比約 7.7%，減碳效益僅能避免約 1 億噸 CO₂e 的排放，對整體減碳貢獻仍是有限的。



SAF 推廣面臨多重結構性障礙。首先是政策與經濟誘因的不確定性，例如美國在 2025 年將 SAF 稅收抵免由每加侖 1.75 美元降至 1 美元，削弱其市場競爭力，使業者更傾向生產利潤較高的再生柴油。其次是煉油結構限制，目前全球煉油體系主要針對汽柴油優化，要轉向生產航空燃料需進行昂貴且技術複雜的改造，影響供應彈性。此外，即便 SAF 持續成長，其減碳貢獻仍難以抵銷航空需求快速擴張所帶來的排放增量。

另一方面，技術進步本身也面臨瓶頸。過去航空業透過複合材料與氣動設計等「低垂果實」已取得顯著效率提升，但未來改進空間逐漸有限。預計單位飛行距離燃料消耗僅能從 2024 年的 0.039 桶改善至 2050 年的 0.032 桶，進步幅度相對有限。若效率提升停滯，2050 年全球每日燃料需求將額外增加 270 萬桶，相當於一個中型經濟體的石油消耗量，顯示技術停滯的成本極高。

從區域與產業結構來看，全球航空市場的重心也將轉移。北美與歐洲的客運占比將由 2024 年的近 50% 降至 2050 年的 34%，亞太與撒哈拉以南非洲將成為主要成長及排放來源。同時，隨著電動車普及使道路運輸用油需求在 2030 年後下滑，航空燃料與石化產品將成為石油需求的主要支柱，航空燃料占比將由 6.8% 提升至 12.4%。

在 BNEF 的分析中揭示了航空業減碳的艱難現實：即使考慮效率提升與 SAF 的導入，2050 年排放仍將比 2019 年增加 44%。現有由市場驅動的改善速度，顯然無法追上需求成長。未來若缺乏更強力的政策工具，例如高比例 SAF 強制規定，或如氫能與電力推進等突破性技術，航空業將持續是全球最難減碳的部門之一，並在能源與石油市場中維持關鍵戰略地位。

二、台灣面臨的挑戰

在國際航空減碳趨勢與 SAF 導入的背景，台灣恐將面臨多層次且結構性的挑戰，這些問題不僅來自技術與成本，更深層涉及制度、產業結構與區域競爭力。

台灣在政策工具與市場機制不明確的情況下，可能因此落後於國際。從歐盟、英國到部分亞太國家 SAF 的推動高度依賴強制混合比例與補貼制度，形成穩定需求與投資訊號。然而台灣目前 (2026/6) 仍缺乏明確的 SAF 採用目標、時程與經濟誘因設計，若未及時建立制度，航空公司將缺乏導入誘因，供應端也難以形成投資規模，導致整體推動速度落後於主要競爭機場 (如新加坡、首爾、東京)，進而影響樞紐機場競爭力。

其次，SAF 供應來源與產業基礎不足是關鍵瓶頸。台灣本身缺乏大規模生質原料與能源資源，SAF 發展勢必高度依賴進口或特定技術路線。然而全球 SAF 本就供給稀缺且價格高昂，



主要將優先滿足已有政策強制的市場（如歐洲）。這代表台灣若無長期政府承諾與採購機制，很可能在全球供應鏈中處於劣勢位置。此外，現有煉油體系以傳統石油產品為主，要轉型生產 SAF，需要龐大的資本支出與技術改造，對於市場規模有限的台灣而言，投資風險偏高。

第三，成本轉嫁與航空產業競爭壓力將更加明顯。SAF 成本通常為傳統航空燃料的數倍，若無補貼機制，最終將轉嫁至航空公司與旅客。台灣航空業以國際航線為主，若導入成本高於鄰近競爭對手（例如未強制 SAF 的機場），可能導致航班轉移、票價上升或競爭力下降。特別是在東亞樞紐競爭（如香港、新加坡、仁川）下，若政策不同步，可能產生「碳成本不對稱」，影響轉機與航網布局。

第四，能源政策與電力結構的限制也會影響 SAF 長期發展。若台灣考慮發展電力轉化燃料（Power-to-Liquid SAF）或氫基燃料，其前提是大量低碳電力供應。然而目前台灣電力系統仍高度依賴燃氣，且再生能源擴張面臨土地與電網限制，這將限制低碳燃料的實質減碳效果與經濟性。換言之，即便技術上可行，若電力碳強度未明顯下降，SAF 的減碳價值將被削弱。

第五，需求成長與減碳目標之間的結構性衝突在台灣同樣存在。台灣為外向型經濟體，航空運輸在商務、半導體供應鏈與觀光中扮演關鍵角色，未來運量仍可能持續成長。然而從全球趨勢來看，航空需求的擴張速度遠高於燃油效率與 SAF 的改善幅度，意味著即便導入 SAF，總排放仍可能上升。這將使台灣在國際碳規範（如國際航空業碳抵換及減量計畫(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA)或未來更嚴格機制）下面臨額外壓力，例如碳費或碳抵換成本增加。

第六，區域競爭與策略定位模糊也是潛在問題。亞太地區將是未來航空成長核心，新加坡、日本、韓國已積極布局 SAF 供應鏈與區域加注中心，試圖成為「綠色航空樞紐」（如下頁圖 1）。若台灣缺乏整體戰略（包括港口、煉油、航空、電力整合），可能錯失成為區域 SAF 供應或轉運中心的機會，反而轉為純需求端，長期依賴進口且承擔較高成本。

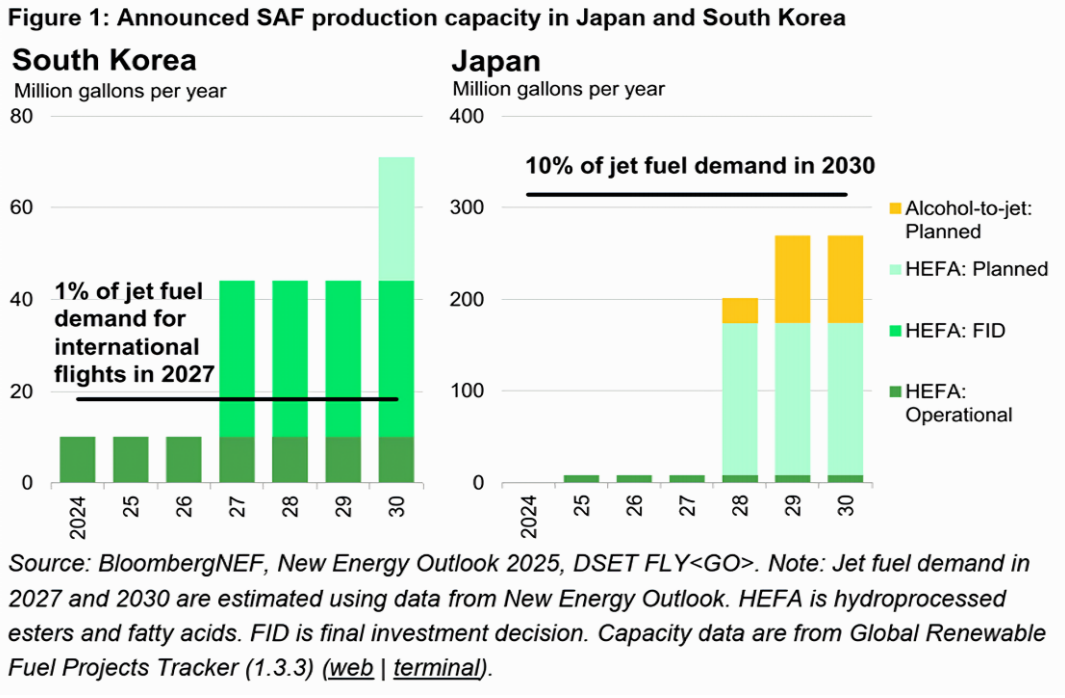


圖 1 2024–2030 年日韓 SAF 預估產能與政策需求目標圖

從制度面來看，跨部會協調與市場設計能力將是成敗關鍵。SAF 涉及能源、交通、環保與產業政策，若仍維持傳統分工與行政邏輯，容易出現政策碎片化（例如能源政策未支援航空減碳、或補貼機制未與實際需求對接）。此外，若缺乏市場機制（如長期採購契約、碳定價、綠色溢價轉嫁機制），單靠行政指令難以形成可靠且永續的產業生態。

台灣在航空減碳與 SAF 導入上，實非單一技術或成本問題，而是「制度、能源、產業與國際競爭」的系統性挑戰。若未能及早建立政策誘因、確保供應來源並同步調整能源結構，將在全球航空低碳轉型中處於被動位置，不僅影響航空產業競爭力，也可能在未來碳約束體系下承擔更高成本。

三、台灣國際航空燃油與 SAF 需求預測

台灣國際航空燃油需求在過去近二十年間呈現明顯的階段性變化（如下頁圖 2）。2007 年至 2019 年間，隨著國際航空運輸成長與區域轉運功能逐步強化，航空燃油需求由約 206 萬噸穩定攀升至約 295 萬噸，整體呈現長期成長趨勢。然而自 2020 年至 2022 年間，受到 COVID-19 疫情影響，跨境旅運幾乎停滯，航空燃油消耗大幅下降至約 177 至 183 萬噸，形成短期低點。隨著國際逐步解封與航空需求回溫，2023 年起市場快速反彈，至 2025 年已達約 328 萬噸，並超越疫情前水準，顯示台灣航空燃油需求已回歸結構性成長軌道。

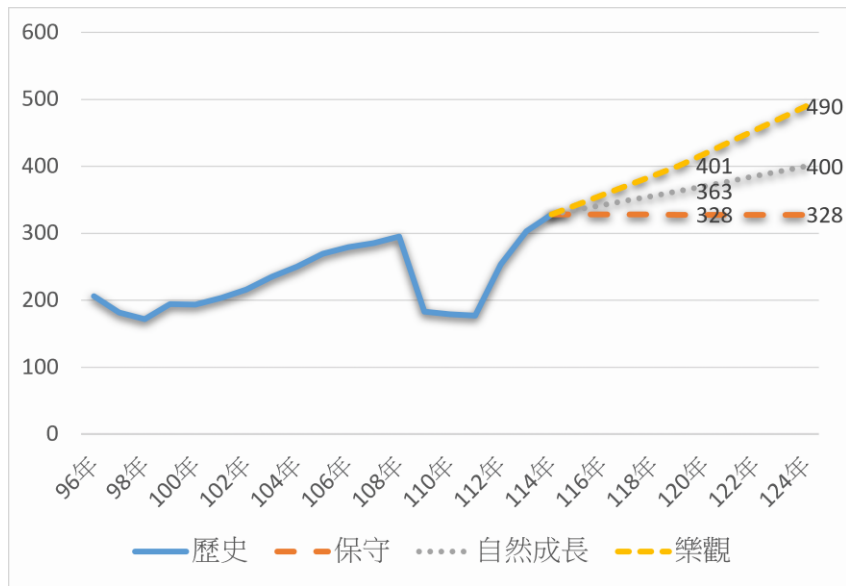


圖 2 台灣國際航空燃油歷史用量與三種情境預測 (單位：萬噸)

在未來發展方面，以 2025 年 328 萬噸為基準，依不同產業發展情境進行推估。若採保守情境，假設市場成長停滯，則 2030 年與 2035 年需求皆維持於約 328 萬噸水準；在自然成長情境下，假設國內用量歷史值的自然成長率約 2%，則 2030 年需求約為 363 萬噸，至 2035 年將進一步提升至約 400 萬噸；若為樂觀情境，加倍擴張的研究假設年均成長約 4%，並反映台灣航空轉運地位提升，則 2030 年需求可達約 401 萬噸，2035 年則可上升至約 490 萬噸。整體而言，未來十年台灣航空燃油需求將落在約 330 萬噸至 490 萬噸之間，其差異主要取決於國際旅運復甦程度及台灣在區域航空市場中的競爭力。

在 SAF 導入方面，2030 年可視為台灣由示範階段邁向制度化推動的關鍵時間點。若以 1%、3%、5% 之摻配比進行推估 (如下頁表 1)，在自然成長情境 (363 萬噸) 下，SAF 需求約為 3.6 萬噸、10.9 萬噸及 18.2 萬噸；在較樂觀情境 (401 萬噸) 下，則約為 4 萬噸、12 萬噸及 20 萬噸。不同摻配比所代表的意義亦有所差異，其中 1% 屬於政策起步與象徵性導入階段，主要可依賴進口與小規模示範產能支撐；3% 則表示市場已然成形，急需建立穩定供應鏈及採購機制，且已超過國內自產 HEFA 的最大上限；而 5% 則為產業發展的關鍵臨界點，需求規模已達 15 萬噸以上，將對供給端形成明顯壓力，力促新技術投資並有賴政策配套逐步到位。



表 1 2030 年不同情境與摻配比下 SAF 需求預測(單位：萬噸)

情境	總燃油需求	1%	3%	5%
保守	328	3.3	9.8	16.4
自然成長 (主軸)	363	3.6	10.9	18.2
樂觀	401	4.0	12.0	20.1

至 2035 年，SAF 預期將逐步從試辦階段邁入制度化發展，但整體推動仍可能維持審慎漸進（如下表 2）。以自然成長情境（約 400 萬噸）為例，在 3%、5%、10% 參配比下，SAF 需求約為 12 萬噸、20 萬噸及 40 萬噸；在樂觀情境（約 490 萬噸）下，則約為 15 萬噸、25 萬噸及接近 50 萬噸。相較於 2030 年，此一階段需求雖持續成長，但仍屬穩定擴張而非快速跳升，顯示 SAF 將由「政策導入的替代燃料」逐步轉為「航空能源結構中的重要組成」。

表 2 2035 年不同情境與摻配比下 SAF 需求預測(單位：萬噸)

情境	總燃油需求	3%	5%	10%
保守	328	9.8	16.4	32.8
自然成長 (主軸)	400	12	20	40
樂觀	490	15	25	49

然而，從供給面觀之，台灣 SAF 摻配比例於 2035 年前不易顯著超過 10%，主要受到結構性限制影響。這是因為在原料供應方面，目前主流 SAF 生產仰賴廢食用油及動植物油脂，但台灣本地來源有限，且須與其他產業競爭使用，難以支持大規模擴張。其次，在產能與技術方面，既有煉油體系需投入大量資本進行轉型，短期內難以形成商業化產能，供給成長速度有限。最後，在成本因素上，SAF 價格普遍高於傳統航空燃油數倍，若缺乏補貼或強制政策，將對航空公司營運成本及市場競爭力造成明顯壓力，使政策推動須兼顧產業承受能力。

台灣 SAF 的發展實呈現需求逐步成長但供給相對受限的特性。2030 年可視為市場啟動階段，需求約落在 3 至 20 萬噸，重點在於政策導入與供應鏈建立；2035 年則進入制度化發展階段，需求將擴大至約 12 至 50 萬噸，但供給瓶頸將逐步浮現並成為主要限制因素。整體發展路徑顯示，在既有條件下，SAF 摻配比較可能維持於 10% 以下，且未來相當期間仍需依賴進口以支應需求。



當前台灣航空燃油需求已回歸成長動能，而 SAF 將逐步導入並擴大應用，但受限於原料、成本與產能等因素，2035 年前若要達到高比例摻配比例，政策對供應能力的支持程度與方式，將成為決定其發展速度與規模的關鍵變數。



貳、技術篇：SAF 技術路徑評估 - HEFA/ ATJ /FT

一、SAF 技術在台灣的系統性評估

在全球航空產業邁向淨零排放的背景下，SAF 被普遍視為中短期內唯一可大規模應用、且能與既有航空機隊與基礎設施相容的減碳工具。然而，SAF 並非單一技術，而是一組高度依賴原料型態、製程邏輯、能源系統條件與政策治理能力的技術路徑集合。對台灣而言，SAF 技術的評估核心，不僅在於「某一路徑是否技術、成本可行」，而在於其是否能在本地資源結構與制度前提下，形成可擴張、可治理且可隨時間修正的實際發展路徑。

從工程與產業現實來看，不同 SAF 技術在成熟度、風險結構與放量條件上存在顯著差異。部分技術已高度成熟，可在短期內即可商業化並被航空公司接受；部分技術雖仍處於示範與初期商業化階段，但具備透過制度設計逐步放大的潛力；亦有技術在長期具備深度減碳價值，卻對能源結構、治理能力與投資耐心提出較高要求。若未加以分辨，將容易誤將「短期可用性」等同於「中長期可行性」，導致政策預期與實際成果脫節。

依台灣當前條件，SAF 技術評估必須優先納入原料結構的現實限制。台灣屬高度能源進口國，國內可用原料總量有限，且在短期內對部分關鍵原料仍採取審慎的進口管理立場。在此條件下，任何 SAF 技術若高度依賴單一、量體有限且難以擴張的原料來源，即便技術成熟，仍將面臨結構性放量上限；反之，能夠透過制度明確界定原料永續性、並調整供應結構的路徑，才具備中期放量的實務彈性。

同時，SAF 的落地並非純粹的工程問題，而是高度依賴制度與市場機制的政策治理課題。由於當前 SAF 成本顯著高於傳統航空燃料（如下頁表 3），其量能成長必然仰賴政策工具創造需求確定性，例如使用比例要求、長期採購合約、差價合約或其他市場型誘因。因此，適合台灣的 SAF 技術，關鍵不在於其單位成本最低或工程風險最低，而在於其主要風險是否屬於「可由制度治理的風險」，而非一次性高資本或高度僵固的系統性風險。



表 3 各類航空燃料技術路徑之經濟指標與生命週期溫室氣體排放分析

燃料類型	價格 (USD/加侖)	價格相對化石 航煤	生命週期碳強 度(gCO ₂ e/MJ)	相對減碳幅度 vs. 化石航煤
既有航空燃油 (Jet A / Jet A-1)	2.3–3.0	1.0×	~88–95	基準
低碳化石燃料 (LCAF)	2.5–4.0	1.1–1.5×	~60–85	10–30%
HEFA (UCO/動物脂)	5–8	2–3×	~15–35	60–85%
ATJ (乙醇/異丁醇)	6–10	2.5–4×	~25–60	30–70%
FT-SAF (生質/廢棄物氣化)	7–12	3–4×	~15–40	55–85%
FT-PtL / e-kerosene (預估)	8–15+	4–6×	~5–15	80–95%

基於上述條件，台灣 SAF 發展不宜採取「單一路徑押注」或「多路徑等量推進」策略，而應建立具有明確時間序列的技術角色分工。短期階段，可透過成熟技術完成制度啟動與國際接軌；中期階段，則需依賴具原料彈性與放量潛力的路徑，形成實質供應能力；至長期階段，方有條件評估高度資本密集且系統整合度更高的深度減碳選項。

二、由總論走向分論：SAF 技術路徑的功能性分化

在上述評估架構下，台灣 SAF 技術路徑已呈現明確分化趨勢。不同技術並非在同一時間尺度或同一政策功能上競逐，而是在整體路線圖中各自承擔不同角色。為避免抽象討論流於概念化，本白皮書以下將以三種主要 SAF 技術路徑為對象，分別進行系統性評估，具體檢視其在台灣落地的結構性條件、政策風險及合理定位：具備不可替代的結構性地位；

- **氫處理酯類和脂肪酸 (Hydrotreated Esters and Fatty Acids, HEFA)**：著重於其作為制度啟動與國際接軌工具的功能性角色。
- **酒精轉航空燃料 (Alcohol to Jet, ATJ)**：評估其在原料彈性與制度可治理性下，成為中期主軸路徑的可行性。



- **費托合成永續航空燃料 (Fischer-Tropsch, FT-SAF)**：分析其長期深度減碳潛力與台灣條件下的政策時序定位。

以下各分節將不再以「技術是否存在」或「海外是否已有案例」作為討論起點，而是回到同一套政策判準：該技術在台灣現有原料結構、能源系統與治理條件下，最適合承擔的是何種政策功能、位於何種時間尺度，以及其制度風險是否可被有效管理。

透過逐一拆解 HEFA、ATJ 與 FT-SAF 的工程特性與制度含意，本白皮書將進一步說明：為何部分技術雖成熟卻不宜放量，為何部分技術雖成本仍高卻具備主體潛力，以及為何某些技術必須被保留到特定政策檢討節點之後再行評估。此一分析，不在於選出「唯一正確的技術」，而在於建立一套能隨時間修正的政策邏輯，使台灣 SAF 發展能在穩定推進中，保留必要的彈性與校準空間。

(一) HEFA 路徑在台灣落地之結構性條件、制度角色與政策評估

1. 前言：HEFA 的關鍵價值在制度啟動，而非長期量能

HEFA 為目前全球最成熟、商業化程度最高的 SAF 技術路徑，亦為當前國際市場 SAF 供給的主要來源。從工程成熟度與操作穩定性來看，HEFA 幾乎不存在技術不確定性，常被視為 SAF 發展的「起點技術」。然而，HEFA 是否適合作為台灣 SAF 發展的政策主軸，必須超越技術成熟與否的層次，回到其對原料結構的高度依賴，是否與台灣的資源條件與政策前提相容。

因此，以下說明對 HEFA 的評估重點，並非在於其製程是否可行，而在於其在台灣整體 SAF 路線圖中，最合理的政策角色與時序定位。

2. HEFA 製程特性與工程成熟度的客觀評估

HEFA 製程本質上屬於加氫裂解與異構化反應體系，可大量沿用既有煉油與再生柴油 (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO) 之設備、操作經驗與安全管理規範，反應條件為中溫、中壓，系統穩定性高，故障風險低，亦易於複製與標準化。其最終產品已全面通過美國材料與試驗協會 (ASTM) 航空燃料適航認證，可直接作為航空燃料混摻使用，屬典型可直接替代燃料。

就技術成熟度 (Technology Readiness Level, TRL) 而言，HEFA 已達 TRL 8-9，是三種主要 SAF 路徑中成熟度最高者。此一特性使 HEFA 成為短期內最容易落地、亦最容易被航空公司接受的選項。



3. 油脂原料依賴性所形成的結構性限制

然而 HEFA 路徑的核心限制來自其對油脂類原料的高度依賴，包括 UCO、動物脂肪及其他脂質副產品。此類原料具有數項關鍵結構特徵：其一，總量本質上由飲食與消費結構所決定，屬於衍生型資源，難以透過能源政策有效放大；其二，全球競逐激烈，同時被 SAF、再生柴油與化工用途爭奪，價格高度市場化且波動性高；其三，一旦本地回收體系趨於成熟，後續任何量能擴張幾乎必然依賴進口。

在台灣情境下，國內 UCO 與油脂回收量體有限，且回收率已接近制度與實務上的上限；在既定政策前提下，台灣短期內並不開放 UCO 或其他油脂原料進口，意味著 HEFA 的可用原料實際上已被制度性封頂。此一限制並非技術可突破，而是資源結構所決定的上限。

4. 黑水虻油脂作為補充原料的可能性

近期國內正致力於將黑水虻 (Black Soldier Fly, BSF) 油脂作為一種新興生質原料，具備轉化為 SAF 的潛力，特別適用於目前主流的 HEFA 製程。黑水虻的主要優勢在於其高效率的生質轉換能力。黑水虻幼蟲可利用廚餘、農業殘渣及有機廢棄物為飼料，在短時間內快速增殖並累積油脂，其脂肪含量約可達 20%至 40%，且其油脂組成以中長鏈脂肪酸為主，與 HEFA 製程相容性高。因此，相較傳統生質油料作物，黑水虻不需額外耕地，亦可迴避糧食競爭問題，具有循環經濟與廢棄物再利用的雙重效益。

就供給潛力而言，黑水虻油脂雖具有擴張空間，但仍存在規模限制。台灣廚餘與有機廢棄物資源量有限，且需與飼料、肥料等既有用途競爭。即使大幅導入黑水虻養殖，其可轉化為油脂的規模推估仍多落在數萬噸等級，難以單獨支撐十萬噸以上的 SAF 需求。因此，黑水虻油脂較適合作為「補充型原料」，用以緩解 UCO 供應瓶頸，而非成為主力來源。

黑水虻油轉製 HEFA 燃料仍需配合煉製端調整，包括前處理 (去雜質、脫水) 與油脂品質穩定化。此外，現有 HEFA 設施多設計以傳統油脂為原料，若大量導入黑水虻油，仍需進行流程優化與混料調整。相較之下，其最大優勢在於可直接沿用既有 HEFA 煉製體系，無須開發全新製程，降低技術門檻與資本風險。

從政策角度來看，黑水虻油脂的價值不在於「大規模替代」，而在於「邊際擴產」與「本地供應鏈建立」。在 2030 年 SAF 需求約 10 至 20 萬噸的情境下，黑水虻油脂可望提供 1 至 3 萬噸級的原料貢獻，對降低進口依賴具有一定幫助；但至 2035 年若需求提升至 20 至 50 萬噸後，其占比將下降，顯示仍需搭配其他來源 (如進口 SAF、合成燃料或 ATJ 技術) 才能滿足需求。



黑水虻油脂可作為 HEFA 製程的重要補充原料，有助於緩解廢食用油供應瓶頸並建立在地供應鏈，但其規模受限，難以單獨支撐 SAF 需求成長，定位應為「增量來源」而非「主力供給」。

5. 不開放原料進口前提下的功能性收斂

在不開放 UCO 進口的情境下，HEFA 在台灣的政策功能勢必發生收斂。即使將所有可得之國內油脂優先配置於航空用途，其所能產出的 SAF 量體，仍不足以對整體航空燃料結構產生實質影響。此時，HEFA 的價值並非來自減碳量能，而在於制度層面的啟動效果。

在此條件下，HEFA 最合理的應用場景包括：建立 SAF 的認證流程與混燒規範、建構加油與供應鏈操作經驗、支撐示範航班或官方與企業環境保護、社會責任以及公司治理（Environmental, Social, Governance, ESG）應用，以及作為台灣與國際民用航空組織（International Civil Aviation Organization, ICAO）、CORSIA 接軌的初期市場工具。若政策論述未明確區分「制度啟動」與「量能擴張」的差異，而將 HEFA 預期為中期以上的主要減碳手段，將容易造成政策期待與實際成效之間的落差，並擠壓其他具放量潛力技術的制度準備空間。

6. 若中期有條件開放進口之過渡性角色

在假設台灣於 2030 年後於嚴格永續認證與配額管理下，有條件開放部分 UCO 進口的情境中，HEFA 的量能確實可望在短至中期內有所提升，成為 SAF 供應的補充來源。然而，即便在此情境下，HEFA 仍面臨成本受制於國際原料市場、補貼效益外流以及長期供給不穩定等結構性問題。

因此，即使在選擇性開放進口的條件下，HEFA 仍較適合作為保底及過渡性量能工具，而非長期產業與能源轉型的主幹路徑。

7. HEFA 與 ATJ、FT 之相對政策時序定位

在台灣整體 SAF 路線圖中，HEFA、ATJ 與 FT 之角色差異主要體現在時間尺度與可治理風險結構。HEFA 具備最高成熟度，但量能受限；ATJ 原料彈性較高，製程可模組化，具備中期放量與制度治理優勢；FT-SAF 則屬於高資本、高整合度、需長期治理能力支撐的戰略型選項。在此比較脈絡下，HEFA 的合理定位，並非與 ATJ 或 FT 競逐政策主軸，而是作為其前置與輔助工具。



8. 結論與政策建議：HEFA 作為制度啟動型 SAF 路徑

綜合製程特性、原料結構、政策前提與時間尺度評估，可得出清楚結論：HEFA 在台灣並非量能不可行，而是量能不可擴。其真正的政策價值，在於協助台灣完成 SAF 制度建構、累積操作經驗，並爭取其他中長期路徑（特別是 ATJ）所需的政策與市場準備時間。政策上，宜正面且清楚地將 HEFA 定位為：「台灣 SAF 發展的制度與市場啟動型路徑，而非中長期量能主幹。」

在此定位下，HEFA 可發揮其最適功能，同時避免因角色錯置而造成政策誤判，有助於台灣在航空減碳上維持路徑清晰、風險可控與時序一致。

(二) ATJ 路徑在台灣落地之結構性優勢、制度條件與政策風險評估

1. 前言：ATJ 的關鍵不在技術突破，而在制度選擇

在 SAF 的多元技術路徑中，ATJ 長期被視為介於高度成熟的 HEFA 與高度資本密集的 FT-SAF 之間的中間選項。然而，ATJ 在台灣情境下的重要性，並非來自於其製程本身「是否足夠先進」，而在於其原料彈性與制度可塑性，使其成為當下唯一能在不開放 UCO 進口的政策前提下，仍具備中期放量潛力的 SAF 路徑。

因此，以下說明對 ATJ 的評估重點，並非單純檢視其技術可行性，而是分析其製程特性與台灣能源、產業與治理條件之間，是否存在結構性的適配關係。

2. ATJ 製程特性與技術成熟度定位

ATJ 路徑以酒精類原料為起點，透過脫水、聚合、氫化及異構化等反應步驟，將酒精轉化為符合航空燃料規範的碳鏈分佈。就核心製程而言，ATJ 屬於中低溫化工反應體系，其操作條件顯著低於 FT 氣化與合成反應，亦不具 HEFA 對油脂分子結構的高度依賴。

從技術成熟度評估，ATJ 已進入 TRL 7 至 9 區間，部分路徑與產品已完成 ASTM 認證，並具備商業示範與初期商轉案例。雖然整體成熟度仍略低於 HEFA，但其工程風險已屬可預期與可管理範圍，並不構成 ATJ 在台灣推動的主要限制。

3. 酒精原料彈性所帶來的結構性優勢

ATJ 路徑在台灣的最關鍵優勢，在於其對原料的高度彈性。相較以油脂為核心的 HEFA，ATJ 所使用的酒精可來自多元來源，包括農業剩餘物轉化之酒精、纖維素酒精，乃至工業副產酒精。在制度設計允許下，酒精亦可透過國際市場進口，形成穩定且可調整的供應結構。



此一特性使 ATJ 能有效避免油脂原料「衍生型資源、總量封頂」的結構性限制，也使政策能透過原料認定與永續標準，主動引導供應結構，而非被動承受市場競逐結果。對台灣而言，這種原料彈性代表 ATJ 在制度上具備被放大的可能性，而非一開始即被封頂。

4. 製程可模組化與放量路徑的可治理性

與 FT 路徑所需的大型連續化高溫化工系統不同，ATJ 的製程結構更接近傳統化工單元的組合，可採模組化設計、分期擴建與逐步放量。此一特性在台灣具有高度政策含意，因其允許政府與產業在不承擔一次性高資本與高系統風險的情況下，逐步驗證技術、市場與制度安排。

從政策治理角度來看，ATJ 所面對的主要風險並非工程失敗，而是成本回收、需求不確定性與原料永續性爭議，這些皆屬於可透過長期採購合約、差價合約(Contract for Difference, CfD)、規範比例要求與原料認證制度加以管理的風險類型。相較之下，ATJ 的風險明顯較 FT-SAF 路徑屬於「可治理風險」。

5. 台灣情境下的關鍵挑戰：制度而非技術

儘管 ATJ 具備多項結構性優勢，其在台灣落地仍面臨關鍵挑戰，而這些挑戰大多源自制度設計本身。首先，若未清楚界定可接受之酒精原料類型，ATJ 極易被捲入「糧食對能源」或永續性爭議，進而喪失政策與社會支持。其次，在缺乏長期需求確定性之情況下，ATJ 初期成本難以被資本市場吸收，將直接抑制投資意願。

因此，ATJ 的成功條件並非「再等技術成熟」，而是能否建立清楚且穩定的制度框架，使投資人與產業能合理評估風險並進行長期配置。

6. ATJ 與 HEFA、FT 路徑之相對定位

在台灣現行政策前提下，ATJ 扮演的角色與 HEFA、FT 形成清楚區隔。HEFA 具備最高成熟度，但在原料不開放進口的情境下，僅能扮演制度啟動與示範角色；FT-SAF 則因高度資本密集與系統風險，屬於 2035 年以後方具討論空間的長期戰略選項。相較之下，ATJ 恐是目前條件下，唯一能在 2030 年代中期承擔 SAF 量能成長任務的技術路徑。

7. 結論與政策建議：ATJ 作為台灣中期 SAF 發展的核心主軸

綜合技術成熟度、原料結構、製程彈性與制度可治理性等因素，ATJ 路徑在台灣具備明確的結構性優勢。其並非因「成本最低」或「技術最成熟」而被推薦，而是因其能在現有政策前提下，提供唯一具備中期可放大量能、且風險可由政策治理的 SAF 發展路徑。



政策上，宜正面將 ATJ 定位為：「2030-2035 年間台灣 SAF 發展的核心主軸路徑」，並以 HEFA 作為制度啟動與補充工具，FT 作為 2035 年後的長期戰略選項。此一分工架構，有助於台灣在維持政策彈性與治理可控的前提下，實質推進航空減碳，並避免重複過往生質能源政策中「技術存在、但制度錯配」的失敗經驗。

(三) FT-SAF 路徑在台灣落地之結構性條件、技術定位與長期政策評估

1. 前言：FT-SAF 的關鍵價值在長期結構，而非短期量能

FT 為歷史悠久且技術基礎深厚的合成燃料製程，在合成氣轉化為液態燃料與化學品領域已累積豐富的工程經驗。於 SAF 的技術路徑中，FT 常被視為能對應深度減碳與長期淨零願景的潛在選項。然而，FT 是否適合作為台灣 SAF 發展的主幹路徑，其判斷不能僅停留在「技術是否存在」或「是否已於其他國家示範」，而必須回到其整體製程邏輯，是否與台灣的能源結構、政策治理能力與時間尺度相容。

因此，以下說明對 FT-SAF 的評估目標，並非否定其技術價值，而是釐清其最合理的政策時序與角色定位。

2. FT 製程特性與系統邏輯的客觀理解

FT 路徑的核心在於兩個高度耦合的子系統：前段的氣化製程與後段的 FT 合成反應。氣化系統必須在高溫條件下穩定運作，以確保產生具有特定比例與純度的一氧化碳與氫氣(合成氣)；後段 FT 合成則需要在受控條件下長時間連續運轉，以維持催化反應效率與產品分佈穩定性。

此一「高溫、連續、整合」的製程邏輯，本身並非技術缺陷，而是 FT 技術成熟應用所必須承擔的工程特性。在能源與原料條件充足、規模足夠且治理能力健全的情境下，這樣的系統可實現高度穩定與高轉換效率。然而，其對原料一致性、能源供應穩定性與整體系統協調的高度要求，也意味著 FT 並非一項可以輕易模組化或快速縮放的技術。

3. 從 FT 甲醇到 FT-SAF 的非線性技術跨度

在評估 FT-SAF 的可行性時，必須特別區分「FT 技術本身」與「FT 用於 SAF 的特定應用」。目前 FT 在全球最成熟的商業應用，主要集中於甲醇(單碳)、合成天然氣或低碳鏈化學品，其產品規格相對單純，下游市場成熟，對反應條件與分子量分佈的要求亦遠低於航空燃料。

相較之下，SAF 所需的碳鏈範圍為 C8-C16，且必須同時滿足極為嚴格的航空燃料規範。這意味著 FT-SAF 不僅需要前段氣化與合成維持高度穩定，亦必須配置後段氫化裂解、分離與



異構化等額外製程單元，以控制最終燃料性質。從技術觀點來看，FT-SAF 並非 FT 甲醇的線性延伸，而是一條需要跨越額外門檻的高階分支，其整體技術成熟度合理評估落於 TRL 6-7。

4. 原料彈性與實務治理之間的落差

從理論層面看，FT 路徑具備三種 SAF 技術中最大的原料彈性，能對應多元的生質或廢棄物來源，亦可與未來氫能或碳捕捉系統結合，成為合成燃料與合成永續航空燃料 (e-SAF) 的重要基礎。然而，在實務運作中，這種原料彈性必須建立在高度一致的前處理、穩定的供應節奏與長期治理能力之上，否則反而會轉化為系統風險來源。

在台灣情境下，相關挑戰並非單純原料種類不足，而在於原料高度分散、物流與處理成本偏高，以及整體能源系統尚未形成支撐 FT-SAF 長期滿載運轉的結構條件。這些問題並非無法在技術上解決，而是涉及長期制度、跨部會協調與產業整合能力，難以在短中期快速建立。

5. 資本密集性與時間尺度的政策含意

FT-SAF 系統屬於高度資本密集型投資，其經濟性高度依賴於長期、高負載的穩定運轉與明確且持續的需求訊號。就政策治理角度而言，這類技術對政策穩定性與長期承諾的要求，顯著高於 HEFA 與 ATJ。

在 2030 年代前半，台灣 SAF 政策仍處於制度建立與量能放大的關鍵階段，過早要求 FT-SAF 承擔主體角色，將使政策暴露於過高的不確定性與財務風險。相對而言，將 FT-SAF 視為中長期戰略準備項目，可在不承擔立即量能責任的情況下，逐步累積技術與治理經驗，反而較為穩健。

6. FT 與 HEFA、ATJ 之相對政策時序定位

綜合比較三種 SAF 路徑，可清楚辨識 FT-SAF 與 HEFA、ATJ 在政策時間尺度上的根本差異。HEFA 適合用於制度啟動與國際接軌，但無法放量；ATJ 具備中期放量與政策可治理性，是 2030-2035 年間的核心主軸；而 FT-SAF 則應被定位為銜接 2035 年後、乃至 2040 年以後深度減碳需求的結構型選項。

7. 結論與政策建議：FT-SAF 作為 2035 年後的長期結構性選項

綜合工程特性、技術成熟度、原料治理條件與政策時間尺度評估，可以得出清楚結論：FT-SAF 在台灣並非不可行，而是不適合作為 2030 年代前半的政策主幹。其真正價值在於中長期對接深度減碳、合成燃料與 e-SAF 發展潛力，而非短期量能補充。



政策上，宜正面將 FT-SAF 定位為：「2035 年政策檢討後，具備進入實質應用條件評估的長期戰略型 SAF 路徑」。在此定位下，FT-SAF 可在不承擔即時減碳壓力的情況下，持續累積制度、技術與治理能量，為台灣航空減碳的下一階段保留結構性選項，同時避免因過早投入而放大系統性風險。

三、台灣 SAF 技術路徑之最終政策判斷

(一) 總體判斷原則：從多技術並列走向角色分工

綜合對 HEFA、ATJ 與 FT-SAF 三種 SAF 技術路徑的系統性評估（如下表 4），可以明確指出，台灣 SAF 政策的關鍵不在於「選擇哪一項技術勝出」，而在於是否能根據時序、制度前提與系統風險，為不同技術設定清楚且不互相衝突的政策角色。

表 4 三種 SAF 技術在台灣落地的 SWOT 比較

技術	TRL	Strengths (優勢)	Weaknesses (劣勢)	Opportunities (機會)	Threats (威脅)
HEFA	8-9	技術成熟、工程與操作風險極低；可立即使用；高度符合現有航空與加油體系；適合作為制度啟動工具	原料高度受限（UCO、油脂）；在台灣幾乎無增加空間；高度依賴進口原料市場	示範航班、制度建置、CORSIA 與國際接軌、爭取政策緩衝時間	被誤判為中期或長期解方，排擠 ATJ 等具放量潛力路徑，造成政策延誤
ATJ	7-9	原料彈性高（酒精來源多元）；製程可模組化、可逐步增加規模；最符合台灣中期條件	初期成本仍偏高；高度仰賴政策穩定性與原料永續性界定	形成在地 SAF 產業鏈；成為 2030-2035 年中期主軸；與化工與生質產業結合	政策不連續、原料定義模糊或過早轉向高風險路徑，削弱投資信心
FT-SAF	6-7	長期減碳潛力高；理論原料彈性最大；可銜接深度淨零與 e-SAF 願景	系統風險高；資本密集；高溫連續運轉僵固性強；短中期難以落地	2035 年後的戰略選項；作為長期結構性減碳技術	過早示範造成高成本或失敗案例，反而拖累整體 SAF 政策可信度



三種技術皆具備其技術合理性，但在台灣條件下，其可承擔的政策功能與時程位置存在本質差異。若未加以區分，將容易出現政策資源錯置、路徑鎖定或過度樂觀預期，反而削弱航空減碳的實質成效。更進一步來說，TRL 由高到低並不等於政策優先順序；在台灣情境下，制度可放大量能與可治理性，才是 2030 年代 SAF 技術選擇的關鍵判準。

(二) HEFA / ATJ / FT 的最終角色定位

1. HEFA：制度啟動與國際接軌型路徑，而非量能主體

HEFA 是目前技術成熟度最高、工程風險最低的 SAF 路徑，其最重要的政策價值，在於可立即使用、可快速對接 ICAO 與 CORSIA 規範，並協助台灣建立 SAF 的認證、混燒、加油與碳盤查制度。就「啟動 SAF 制度與市場」而言，HEFA 具有不可取代的功能性地位。

然而，在台灣國內油脂原料有限、且短期內不開放相關原料進口的政策前提下，HEFA 的量能已被結構性封頂。即使中期有條件開放進口，其成本、供給與補貼外溢風險仍難以由台灣本土掌控。因此，HEFA 不宜被定位為中期或長期 SAF 量能擴張的主軸。

最終政策判斷為：HEFA 應被明確定位為「制度與市場啟動型 SAF 路徑」，其功能在於鋪設制度，而非承擔減碳量能成長。

2. ATJ：2030-2035 年間台灣 SAF 發展的核心主軸路徑

ATJ 路徑在三種技術中，並非成熟度最高，也非短期成本最低，但在台灣條件下，卻是唯一同時具備中期可放大量能與制度可治理風險結構的 SAF 技術。

其原料為酒精，來源高度彈性，可透過政策制度界定永續性門檻，避免油脂原料「總量封頂」的結構性問題；其製程屬中低溫化工體系，可採模組化設計與分期擴建，允許政策與產業逐步驗證並放量；其主要風險集中於成本與需求確定性，屬於可透過政策工具管理的風險型態。

在 HEFA 無法放量、FT 尚不具短中期穩定落地條件的情況下，ATJ 成為唯一能在 2030 年代中期承擔 SAF 供應成長任務的路徑。此一地位並非政治選擇，而是由制度前提所導出的結構性結果。

最終政策判斷為：ATJ 應被正面界定為台灣 2030-2035 年間 SAF 發展的核心主軸路徑，相關制度設計與資源配置應以此為中心展開。



3. FT：2035 年後的長期戰略選項，而非當前主幹

FT-SAF 路徑在理論上具備高度原料彈性與深度減碳潛力，亦可銜接合成燃料（e-SAF）與長期淨零願景。然而，其實務落地條件涉及高溫氣化、連續運轉僵固性、高度系統整合與資本密集投資，對台灣現階段的能源結構、治理能力與政策耐心皆提出極高要求。

在 2030 年代前半，FT-SAF 的主要價值不在於立即承擔量能任務，而在於作為技術學習、制度準備與長期戰略備案。過早將 FT-SAF 設定為主軸，反而可能因高成本或示範失敗，拖累整體 SAF 政策的社會信任與投資信心。

最終政策判斷為：FT-SAF 應被定位為 2035 年政策檢討之後才具實質討論意義的長期結構性選項，而非 2030 年代前半之量能型路徑。

(三) 整體發展建議

綜合三項技術路徑的工程特性、原料結構、制度可治理性與時間尺度差異，台灣 SAF 政策最合理的收斂結果，可歸納為以下清楚且具操作性的分工架構：

- **HEFA**：負責啟動制度與市場，建立 SAF 的「可用性」
- **ATJ**：承擔中期量能成長，形成 SAF 的「實質供應」
- **FT**：作為長期戰略備案，預留深度減碳的「結構可能性」

此一架構的核心精神，不在於押注單一技術，而在於避免技術角色混淆，確保每一項政策投入皆能對應其最適時間尺度與風險屬性。SAF 政策的核心，不是一次選對答案，而是建立可以隨時間修正的正確順序。



參、情境篇：情境假設與技術選項

一、原料進口制度是決定 SAF 路徑的關鍵變數

發展 SAF 需高度依賴對於原料的掌握，而原料可否大量、穩定且價格實惠的提供，將直接決定各項技術路徑的可放大量能、成本結構與政策風險。尤其對於台灣這種資源有限的國家而言，廢食用油與農業廢棄物是否、以及如何開放進口，並非技術選擇的附屬議題，而是決定 SAF 發展路線排序的核心制度變數。

因此，本章將 SAF 發展情境明確區分為三種，並在各情境下比較 HEFA、ATJ 與 FT 的合理定位與相對優先順序，以避免因政策認知與制度前提的不同，導致論述的差異。

二、三種情境假設說明

(一) 情境 A：完全不開放國外廢食用油與農業廢棄物進口及其他油脂受出口國管制 (高度保守情境)

在此情境下，台灣 SAF 的 HEFA 與 FT 原料必須完全來自國內料源，不論是廢食用油或農業廢棄物皆不可進口。此情境符合現行法規，亦反映出相關單位對原料可追溯性、環境治理與跨境廢棄物流向的既有態度。另外目前部份國家基於自身需要，亦開始加嚴了對於油脂的出口管制。

(二) 情境 B：2030 年後有條件開放「部分廢食用油」進口及他國放鬆油脂出口管制 (中度開放情境)

在此情境下，台灣於中期 (2030 年後) 在嚴格永續認證、配額總量控管與用途限制下，允許進口部分廢食用油作為 SAF 原料，但農業廢棄物仍不開放進口。

(三) 情境 C：2030 年後有條件開放「廢食用油與農業廢棄物」進口及他國油脂出口不受管制 (高彈性情境)

此情境下，台灣於中期在可有效制度化控管的條件下，同時開放部分廢食用油、農業廢棄物與其他油脂進口，SAF 原料取得彈性顯著提高，但對政策治理能力要求亦最高，市場競合亦將更為顯著。



三、各情境下的技術規劃比較 (HEFA / ATJ / FT)

(一) 情境 A 下的技術規劃：ATJ 成為唯一可放大的中期主軸

在完全不開放任何 UCO、農廢進口及其他油脂受出口國管制的情境 A 下，HEFA 的發展潛力受到結構性封頂。由於國內廢食用油供給量有限且回收率已高，HEFA 僅能支撐約 6 萬噸 SAF 的產量，其政策角色應收斂為制度啟動與示範用途，例如技術驗證、初期市場建立、與因應碳盤查制度，而無法承擔中期減碳量能。

在此情境下，FT-SAF 同樣面臨原料不足與規模不經濟問題，加上高資本密集特性，使其恐不利於過早成為市場化選項。

相對而言，ATJ 因符合既有制度之合格酒精來源 (如國外既有大量商源、搭配國內次世代酒精或工業副產酒精)，成為唯一未被制度前提直接封頂、且可逐步放大的 SAF 路徑。因此在情境 A 中，ATJ 並非選擇性方案，而是結構性必然主軸。

(二) 情境 B 下的技術規劃：HEFA 回歸量能工具，ATJ 仍為產業主線

在情境 B 下，HEFA 因部分開放廢食用油進口及他國放鬆油脂出口管制下，得以在 2030 年後短至中期內擴大量能，成為滿足 SAF 法規與航空公司需求的有效工具。然而，其成本高度受國際油脂市場影響，且補貼外流風險仍然存在，因此諸如多數國家，HEFA 在此情境下較適合作為過渡性量能工具，而非長期產業發展核心。

ATJ 在情境 B 中仍然維持重要地位，原因在於其可與國內產業結構結合，政策可控性高於 HEFA，且自產與進口原料可彈性調度。換言之，在此情境下，HEFA 負責「建立基礎」，ATJ 承擔「擴大產業化」，兩者呈現功能分工，而非競逐關係。

FT-SAF 在情境 B 中仍屬高風險選項，僅適合進行前期規劃與制度準備。

(三) 情境 C 下的技術規劃：多路徑並行，但治理能力成為核心限制

在情境 C 中，原料取得彈性最高，HEFA、ATJ 與 FT-SAF 均具備放大量能的理論可能性。然而，這並不代表三條路徑應等量推進。HEFA 雖可快速放量，但補貼與原料競逐風險更高；ATJ 則仍具產業整合與制度可控優勢；FT 則因可結合進口農業廢棄物而首次具備實質經濟規模可能性。此情境的核心挑戰不在技術，而在政策治理是否具備同時管理多種進口原料、用途區隔與永續驗證的能力。若治理能力不足，反而可能導致資源錯置與路徑鎖定。而此市場發展的初階段，政府有序規劃與政策支持亦是有其必要性的。



四、政策選項比較與治理重點

情境 A：制度鋪路優先，避免過度補貼

政策重點應放在建立 SAF 制度架構，並以 ATJ 作為中期發展主線，避免將有限政策資源投入無法持續放量的 HEFA。

情境 B：量能與產業雙軌並行

政策需同時管理 HEFA 的進口配額與補貼風險，並持續以 ATJ 作為本土產業化核心，避免完全依賴特定進口原料。

情境 C：治理能力決定成敗

政策選項從「是否支持技術」轉變為「是否有能力治理技術」，必須高度重視跨部會整合、永續認證與長期需求管理，並政策支持市場建立與有序擴張。

五、綜合比較結論

綜合三種情境可見，開放程度越高，技術選項越多，但對政策治理能力的要求亦呈等比例上升。在完全不開放進口的情境下，ATJ 具備不可替代的結構性地位；在有限開放情境下，ATJ 與 HEFA 應形成分工而非競逐；即便在高度開放情境下，ATJ 仍是連結本土產業能力與長期減碳目標的關鍵支點。

因此，台灣 SAF 政策的核心問題並非「要不要開放進口」，而是在不同開放程度下，是否清楚界定各技術的角色分工，並避免將短期量能解讀為長期解方（如下頁表 5、表 6）。



表 5 台灣 SAF 三情境制度假設與政策選項對照

項目	情境 A	情境 B	情境 C
	完全不開放國外原料進口及其他油脂受出口國管制	有條件開放部分廢食用油進口，及他國放鬆油脂出口管制	有條件開放廢食用油與農業廢棄物進口，及他國油脂出口不受管制
制度假設	不開放國外廢食用油與農業廢棄物進口；HEFA 與 FT 產量受國內料源之限制	2030 年後，在嚴格永續認證與配額管理下，有限度開放廢食用油進口，並獲得部份進口油脂的補充	2030 年後，在嚴格永續認證與配額管理下，同時開放廢食用油與農業廢棄物進口，及可自由獲得其他油脂的補充
原料彈性	有限	中	高
SAF 可放大量能	部份規模受限	中度提升	顯著提升
HEFA 技術定位	僅具制度啟動與示範功能；量能恐受限	短至中期補量工具；成本與原料競逐風險高	可快速放量，但補貼外流與國際競逐風險最高
ATJ 技術定位	唯一可結構性放大的中期主軸；但近仍仰賴政策支持	發展本土產業化主線；與 HEFA 形成分工	仍為關鍵產業支點，但不再是唯一路徑
FT-SAF 技術定位	原料與規模皆不足；僅適合長期研究與選址評估	仍屬高風險選項；僅限前期準備	首度具備實質可行性；屬國家級戰略選項
政策重點	制度鋪路優先；避免將資源投入無法放量之路徑	量能與產業雙軌管理；防止過度依賴單一進口料源	強化治理能力；避免多路徑失序發展
主要政策工具	SAF 法規架構、認證與揭露制度、ATJ 去風險化工具	HEFA 配額與永續控管；ATJ 長期需求確定性	跨部會治理、進口原料用途區隔、長期需求與投資協調
主要風險	SAF 減碳成效有限；進度過慢	補貼外流、路徑鎖定、產業錯位	治理複雜度過高、政策失靈、資源錯置
整體政策判斷	ATJ 被結構性推升為不可替代主軸	HEFA 補量、ATJ 產業化的功能分工模式	選項最多，但成功關鍵在治理能力而非技術本身



表 6 台灣 SAF 三情境對應政策時程 (2026 / 2030 / 2035 / 2040)

時程 節點	情境 A	情境 B	情境 C
	完全不開放國外原料進口 及其他油脂受出口國管制	有條件開放部分廢食用油 進口·及他國放鬆油脂出口 管制	有條件開放廢食用油與農 業廢棄物進口·及他國油脂 出口不受管制
2026	<ul style="list-style-type: none"> - 明確不開放任何國外廢 食用油與農業廢棄物進口 - HEFA 僅限使用國內廢 食用油進行商業量產 - 建立 SAF 初期市場、技 術規範、碳盤查相關制度 - ATJ 納入正式政策與產 業規劃 	<ul style="list-style-type: none"> - 與情境 A 相同 (原料尚 未開放) - 開始評估「廢食用油有條 件開放」之制度設計與永續 認證機制 	<ul style="list-style-type: none"> - 與情境 A 相同 (原料尚 未開放) - 啟動原料進口治理能力 與跨部會協調盤點
2030	<ul style="list-style-type: none"> - 維持不開放任何原料進 口 - HEFA 明確封頂為制度 示範用途·恐難承擔量能成 長 - ATJ 成為唯一中期 SAF 發展主軸 - FT 僅限於研究、場址選 定與制度準備 	<ul style="list-style-type: none"> - 有條件開放部分國外廢 食用油進口 (配額制) - HEFA 作為調度與過渡 工具 - ATJ 為本土產業化主線 - FT 進入前期制度與可行 性準備 	<ul style="list-style-type: none"> - 同步有條件開放廢食用 油、農業廢棄物進口 (配額 制與用途區隔) 與取得部份 其他油脂作為補充 - HEFA 與 ATJ 並行發展 - FT 首度具備實質規劃條 件
2035	<ul style="list-style-type: none"> - 系統性檢視 ATJ 放量 成效、成本下降與原料穩定 性 - 評估是否調整「完全不開 放原料進口」政策前提 - 持續排除 HEFA 作為量 能主體的政策選項 	<ul style="list-style-type: none"> - 檢討廢食用油配額制度 與補貼外流情形 - 確認 ATJ 是否足以承 擔 SAF 主體角色 - 決定是否啟動 FT 示範 或維持觀望 	<ul style="list-style-type: none"> - 評估多原料並行的治理 成本與制度複雜度 - 關鍵決策點：FT 是否進 入實質建設階段 - 強化原料用途區隔與系 統整合治理
2040	<ul style="list-style-type: none"> - SAF 量能高度仰賴 ATJ - HEFA 長期維持象徵性與 示範角色 - FT 或 e-SAF 視國家能源 與減碳政策條件再行評估 	<ul style="list-style-type: none"> - ATJ 成為 SAF 的主要 供應技術 - HEFA 比例逐步下降 - FT 視能源結構、碳定價 與治理能力成熟度導入 	<ul style="list-style-type: none"> - 多路徑並行體系成形 - FT / e-SAF 成為重要結 構性支柱之一 - 政策重心轉向整體系統 治理與路徑協調



(一) 2026 年制度先行，三情境尚未分岔

在 2026 年前後，不論採行何種情境假設，台灣 SAF 政策的共同任務皆為制度啟動，包括初期市場建立、技術規範、碳盤查相關機制。此階段原料是否開放進口尚未成為分歧點，HEFA 的使用皆侷限於國內廢食用油示範，ATJ 與 FT-SAF 主要停留在政策與技術評估層次。

(二) 2030 年是關鍵節點，三種情境在此明顯分化。

在情境 A 中，UCO 與農廢進口持續封閉且其他油脂取得不易，HEFA 被制度性封頂，SAF 若要成長只能倚賴 ATJ，使其成為結構性、不可替代的中期主軸。在情境 B 中，部分 UCO 與其他油脂獲得進口使 HEFA 得以小額增量，但 ATJ 仍維持發展本土產業化之樞紐；政策重點轉為「避免過度依賴單一進口料源」。在情境 C 中，原料彈性大幅提高，FT-SAF 首次具備可規模化的制度基礎，但治理複雜度同步上升。

(三) 2035 年的發展再檢視

2035 年在台灣 SAF 發展路徑中，具有關鍵的「政策校準」意涵。相較於 2030 年著重於方向選擇，2035 年更適合作為檢視既定路徑是否成立、以及是否需要調整制度前提的評估節點。此時，ATJ 的產業化程度、成本下降幅度與原料供應穩定性，應已具備初步可觀測成果，足以作為是否延續、加碼或調整政策支援的依據。

在情境 A 中，2035 年將是再檢討「完全不開放原料進口」是否仍具合理性的第一個實質時點；在情境 B 中，則是檢驗 UCO 有條件開放是否造成過度依賴進口、或補貼外流的關鍵校正期；而在情境 C 中，2035 年更是判斷 FT-SAF 是否應由規劃階段進入實質投資的關卡。因此，2035 年並非單純的延續點，而是避免路徑過早鎖定、確保政策彈性的核心節點。

(四) 2040：成熟期的市場選擇

到了 2040 年，政策選項不再是「選哪一條路」，而是「如何調整各路徑比例」。情境 A 將形成 ATJ 主導、HEFA 象徵、FT-SAF 視條件再議的穩定結構。情境 B 則呈現 ATJ 為主、HEFA 為輔、FT-SAF 視情勢導入的動態平衡。情境 C 則可進入多路徑並行，但政策成功與否，將完全取決於治理能力而非技術選項本身。

六、為何 2035 年為關鍵政策檢討點

2035 年可被定位為我國永續航空燃料 (Sustainable Aviation Fuel, SAF) 政策之關鍵檢討節點，兼具「制度校準」與「國際接軌」雙重意義。此一時間點不僅位於國內中期政策推動成果



可被實證檢視之後，亦與國際航空減碳治理架構進入深化實施階段之時序高度重疊，具有承先啟後之關鍵性。

對外依據 ICAO 及主要航空市場之規劃，2030 年前後為全球航空業由自願性減碳措施邁向更具約束力制度的重要轉折期，而至 2035 年左右，各國 SAF 使用比例、供應穩定性與成本下降趨勢，預期已具初步可比較之國際經驗與市場基準。換言之，2035 年將是國際航空減碳政策由「方向確認」轉向「市場化、規模化」的重要節點，我國若欲避免與主要航空市場脫鉤，須於此時同步進行政策盤點與調整。

對內相較於 2030 年前以制度啟動與路徑選擇為主的階段，至 2035 年時，SAF 各主要技術路徑（包含 HEFA、ATJ 與 FT）在量能擴張、成本結構、原料供應穩定性及產業參與程度等面向，已具備可觀測之實證資料。此一條件使政策判斷得以由高度仰賴前瞻假設，轉向基於實際運作成果之調整，符合漸進式政策治理原則。

以 2035 年做【政策再檢討】之目的，並非對既定方向的否定，而在於確認原先設定之境況假設（包括原料進口政策、技術角色分工及政策工具強度）是否仍與國際趨勢與國內發展現況相符。此一檢討將作為後續達成 2050 國家總體淨零目標下，SAF 政策配置之依據，協助判斷是否需要調整不同技術路徑之相對定位，或重新校準政策資源投入重心。

若在缺乏中期檢討節點之情況下，SAF 政策恐易陷入路徑鎖定風險，亦可能因國際規範與市場環境變化而逐漸失去競爭力。將 2035 年制度化為政策檢討點，有助於在不破壞政策穩定性與投資可預期性的前提下，保留必要之調整彈性，確保我國 SAF 發展路徑能與國際航空減碳體系保持動態一致。

基於上述理由，2035 年應被明確界定為我國 SAF 政策之「關鍵校準點 (calibration point)」，其核心精神在於：在維持長期航空減碳目標不變之情況下，結合國際航空減碳進程與國內實證成果，理性調整政策工具、技術分工與時序安排，以確保我國航空產業具備持續接軌國際之能力。



肆、政策篇：觀察 2030 與 2035 政策檢討與 ICAO、CORSIA 及主要航空市場之制度互動關係

依據 ICAO 既有規劃，全球航空減碳路徑係循序由效率提升、營運改善與市場型措施，逐步過渡至以 SAF 為核心之結構性減碳。在此過程中，2030 年前後構成第一個制度轉折點。此一階段標誌著國際航空減碳由早期的「效率改善與碳抵換為主」，逐步轉向「實體減排 (in-sector reduction)」為核心的政策邏輯轉變。

具體而言，在 2030 年前後，CORSIA 將由初期以自願參與為主的階段，邁向涵蓋更多國家與航線之擴大實施期；同時，包括歐盟、美國、日本及新加坡等主要航空市場，已開始建立或實施 SAF 使用比例要求或等效制度，使 SAF 自政策選項逐漸轉變為實際政策義務。在此時點，SAF 尚未成為主體供應來源，但已完成由「示範應用」向「制度性需求」的關鍵轉換。

因此，2030 年的政策意義在於確認方向：各國航空體系是否正式進入以 SAF 為核心的減碳路徑，並形成初步的市場需求與制度框架。在此階段，政策重點在於建立機制與釋放需求訊號，而非立即解決供應與成本問題。

相較之下，至 2035 年左右，多數主要航空市場預期已累積相當程度之 SAF 使用經驗，並可對其供應穩定性、成本結構及認證制度形成初步共識。在此國際脈絡下，2035 年構成第二個關鍵節點，即制度校準點：一方面，CORSIA 對 SAF 作為合格減排工具的認定與計量方法已相對成熟；另一方面，各國已由「如何導入 SAF」轉向「是否調整配置 SAF 來源、成本與技術路徑」的實務問題。

此外，歐盟、美國及其他主要市場於此階段，預期已將 SAF 納入更具實質約束力的政策工具，例如更高比例要求、長期採購機制或與碳市場連動之價格訊號。此一發展意味著，各國航空產業未來是否能有效取得合格 SAF，將直接影響其國際營運成本與競爭力，而不再僅為減碳承諾之象徵。

在此架構下，2030 與 2035 年應被視為一組連續的制度演進節點：前者確立「如何進場」，後者決定「是否調整」。若缺乏 2030 年前的制度建立，則 2035 年將無從檢討；反之，若缺乏 2035 年的校準機制，則 2030 年的政策選擇將可能固化為路徑依賴，增加長期調整成本。

因此，我國於 2035 年設立 SAF 政策檢討機制，實質上亦係一項「國際接軌盤點」。透過此一節點，得以系統性評估我國 SAF 發展路徑是否符合 ICAO 及 CORSIA 所建構的全球制度



邏輯，並檢視我國航空產業在原料來源、供應結構與成本條件上，是否具備持續符合國際減碳規範的能力。同時，亦應回溯檢討 2030 年前所作之制度選擇，確認其是否仍具合理性。

此外，2035 年亦有助於我國比較不同主要航空市場在 SAF 推動上的政策取向差異，並據此調整國內技術路徑與政策工具配置。例如，若國際間逐步形成偏重某些 SAF 技術或原料類型的趨勢，我國可藉由此一檢討節點，評估是否需要調整技術角色分工，以避免日後遭遇制度或市場接軌風險。此一比較同時亦檢驗我國在 2030 年前的路徑選擇，是否已與國際主流趨勢產生偏離。

綜合而言，2030 與 2035 年構成 SAF 政策之轉折與校準雙節點結構：前者決定是否進入全球航空減碳制度主流，後者則決定是否仍能維持在該制度內有效運作。2035 年之 SAF 政策檢討，因而不僅是國內能源與產業政策的中期校準，更是我國航空減碳策略能否持續嵌入 ICAO 與 CORSIA 架構、並與主要航空市場同步演進的重要制度關口。透過此一制度化檢討節點，可在維持政策穩定性的同時，確保我國航空產業在全球減碳轉型過程中，不致因路徑失配而承擔額外制度成本。

一、英、日、新三國 SAF 推動策略

在進行永續航空燃料 (SAF) 國際比較時，本研究選擇英國、日本與新加坡作為主要對照國家，係基於三者分別代表當前全球 SAF 發展中三種具代表性的政策模式。

- (一) 英國以法制化規範與金融機制 (如差價合約) 為核心，屬於制度與資本市場驅動型國家；
- (二) 日本則透過政府主導之需求與供應雙向政策安排，形成具體產業化進展，代表國家動員型發展路徑；
- (三) 新加坡則依其航空樞紐地位，採取以市場穩定與供應整合為優先的策略，屬典型的樞紐市場型模式。

三者政策工具、技術選擇與供應策略上呈現明確差異，且均已進入制度運作或產業落地階段，具備足夠的觀察與參考價值。相較之下，台灣目前仍處於制度規劃與技術評估階段，透過與上述三種模式進行對照，不僅有助於辨識自身所處的發展位置，亦有助於釐清未來政策設計應優先強化之方向與工具。



1. 英國 SAF 的推動政策與發展

在全球 SAF 政策發展中，英國屬於**制度相對最完整、政策強度最高、產業落地最積極的國家之一**。其 SAF 策略的核心特徵，在於透過法律化規範、財務保障機制與產業投資誘因的結合，將 SAF 從減碳選項轉化為具確定性的能源市場。與日本以國家動員推動供需的模式不同，英國更強調透過制度設計與市場機制，形成可長期運作的產業生態系，並將 SAF 明確納入能源產業轉型的一環。

在政策目標方面，英國已透過立法建立 SAF 強制使用制度 (SAF Mandate)，要求航空燃料供應商自 2025 年起逐步提高 SAF 摻配比例，並規劃於 2030 年達到約 10%，2040 年進一步提升至 22%。由於此項目標具法律拘束力，而非僅為政策宣示，因此能夠向市場提供長期且穩定的需求訊號，使投資人與能源業者得以根據可預測的市場需求進行產能規劃與投資布局。相較於多數仍處於示範或規劃階段的國家，英國已率先進入以制度鎖定需求的發展階段。

然而，需求保障並不足以促成產業投資。對於 ATJ 等新興 SAF 技術而言，其最大的挑戰往往並非技術可行性，而是商業化過程中的收入不確定性。由於 SAF 生產成本普遍高於傳統航空燃料數倍，且受到原料價格、能源成本及油價波動影響，即使完成建廠，企業仍可能因市場價格不足以反映其生產成本而面臨長期虧損風險。因此，若僅提供建廠補助或資本支出補貼，雖能降低初期投資門檻，卻無法解決營運階段的收入風險，金融機構也難以據此提供長期融資。

為解決此問題，英國進一步導入收入確定機制 (Revenue Certainty Mechanism, RCM)，其概念與再生能源領域廣泛採用的 CfD 相似。透過設定合理的目標價格，當市場價格低於該水準時，由制度補足差額，使 SAF 生產者能夠獲得相對穩定的收入來源。此機制的核心功能並非單純補貼成本，而是降低價格波動對投資回收的影響，使專案具備可預測的現金流，進而提高金融機構與投資人的參與意願。換言之，英國的政策設計不只是降低技術成本，更重要的是透過制度重新分配市場風險，使 SAF 專案成為具備融資能力的投資標的。

在技術路徑方面，英國採取「多元技術並行發展」的策略。短期內，由於技術成熟度高且供應鏈相對完整，HEFA 仍是主要供應來源。然而英國政府亦明確指出，UCO 及其他油脂類原料供給存在全球性限制，難以支撐長期需求成長，因此逐步將政策資源轉向第二代 SAF 技術，包括 ATJ 及 FT-SAF 等路徑。

其中，ATJ 被視為英國中期發展的重要技術選項。其優勢在於原料來源較具彈性，可利用農業殘餘物、都市廢棄物、生質酒精等多元資源作為前端原料，透過酒精轉製航空燃料技術建立不依賴油脂原料的供應體系。此一模式不僅可降低對國際 UCO 市場的依賴，也符合英國提



升能源自主性與發展本土供應鏈的政策方向。此外，ATJ 製程具有相對模組化的特性，較容易於既有工業區或能源聚落部署中型規模設施，降低大型集中式投資所帶來的風險與資本需求。

值得注意的是，雖然 ATJ 可使用乙醇或異丁醇等不同酒精作為原料，但英國現階段已明確以乙醇路徑作為產業發展主軸。從技術角度而言，異丁醇因碳數較高且具有支鏈結構，在脫水與寡聚反應中具有較高燃料產率及較少副產物，被認為是理論上更具效率的 ATJ 原料。然而，產業化發展除技術效率外，更受到原料供應規模與基礎設施成熟度影響。英國在 E10 汽油政策推動下，已建立相當成熟的乙醇生產與運輸體系，相較之下，異丁醇無論在英國或全球市場均缺乏大規模商業供應能力。因此，為配合 SAF Mandate 所帶動的快速需求成長，英國近年支持的 ATJ 專案多以乙醇作為主要原料，包括英國航空 (British Airways) 主導的 Project Speedbird 等代表性計畫皆採取乙醇路徑。此趨勢亦反映在國際產業發展上，部分原先主推異丁醇技術的企業近年亦逐步轉向乙醇，以追求更快的商業化與規模化部署。

在產業推動方面英國也已透過「Advanced Fuels Fund」等政策工具支持多項 SAF 示範與商業化計畫，涵蓋 ATJ、FT-SAF 及廢棄物轉燃料等技術路徑。許多專案已進入商轉或準商轉階段，預計於 2030 年前後逐步形成商業規模產能。特別是在 ATJ 與廢棄物轉燃料領域，英國正逐步建立從原料收集、轉化、精煉到燃料供應的完整本土價值鏈，顯示其政策目標不僅著眼於航空部門減碳，更希望藉此帶動能源產業發展、創造就業機會並促進區域經濟轉型。

在此發展趨勢下，LanzaTech 與其子公司 LanzaJet 所建立的技術體系，被視為英國與全球 ATJ 產業化的重要代表案例。LanzaTech 的核心技術在於利用氣體發酵 (Gas Fermentation) 將鋼鐵廠、化工廠等重工業排放的一氧化碳與二氧化碳轉化為低碳乙醇，突破傳統生質酒精仰賴糧食作物的限制。其後由 LanzaJet 進一步將乙醇轉製為航空燃料，形成完整的供應鏈。此模式不僅有助於降低航空部門排放，也同時為鋼鐵、水泥等難減碳產業提供碳利用途徑，因而受到英國與歐洲政策高度關注。目前 LanzaTech 授權的商業化氣體發酵工廠已於多國投入運轉，而 LanzaJet 的商業化 ATJ 設施亦已進入穩定營運階段。在英國方面，相關技術正透過 Project Dragon 等計畫推動商業部署，並獲得航空、能源及製造業企業共同投資，被視為未來乙醇基 ATJ 供應鏈的重要組成。

英國的 SAF 發展模式呈現出「制度先行、產業跟進」的鮮明特徵。政府先透過法規建立長期需求，再透過收入保障機制降低投資風險，最後結合產業基金與示範計畫推動多元技術商業化。在此架構下，HEFA 主要扮演短期供應角色，而 ATJ 與 FT-SAF 則被視為支撐 2030 年代以後市場需求的重要技術路徑。其中，ATJ 並非唯一發展主軸，但因兼具技術成熟度、原料彈性與供應鏈擴張潛力，被認為是連結短期市場需求與長期產業發展的重要橋梁。



2. 日本 SAF 的推動政策與發展

從全球航空減碳政策的發展來看，日本是亞洲少數已建立完整 SAF 政策體系的國家之一，其發展特徵在於政策目標明確、制度工具完整，並已由政策規劃逐步邁向產業化落地。日本政府已設定至 2030 年 SAF 使用比例達航空燃料總量約 10% 的目標，對應年需求規模約 110 萬至 170 萬公秉（約 88 萬至 136 萬噸）。此一規模已超越示範性質，而具有實質能源供應意義，顯示日本已將 SAF 視為能源轉型的重要組成部分，而非單純的減碳政策工具。

在制度設計上，日本採取相對少見的「供需同步推動」模式，同時對需求端與供應端施加政策約束。一方面，航空公司須逐步提高 SAF 使用比例；另一方面，石油與燃料供應商亦被要求提供相應數量的 SAF 供給，使需求與供給同步被制度化鎖定，更進一步確保市場具備基本供應能力，降低初期發展階段可能出現的供需失衡風險。

除法規要求外，日本政府亦透過設備投資補助、技術研發支持、初期營運協助以及綠色轉型（GX）金融資源等政策工具，降低企業投入 SAF 產業的門檻。此類措施特別有助於 ATJ 等尚處於商業化初期的技術，加速示範計畫擴展至商業規模生產。

日本之所以採取如此高強度的政策介入，主要原因在於 SAF 市場在發展初期並不具備自行形成的條件。相較於傳統航空燃料，SAF 成本顯著較高，而其減碳效益又無法完全反映於市場價格之中，導致航空公司缺乏足夠的經濟誘因主動採購。同時，SAF 生產設施具有高度資本密集特性，在缺乏穩定需求與價格預期的情況下，企業與金融機構亦難以進行長期投資決策。此種「需求不足導致投資缺乏，而投資不足又限制供給形成」的循環，使 SAF 市場容易陷入典型的「雞生蛋、蛋生雞」困境。

因此，日本透過雙邊義務確保供需同步形成，再藉由補助與金融工具降低投資風險，逐步建立 SAF 市場運作所需的基本條件。從政策功能角度而言，其制度設計同時兼具市場啟動、供給形成與市場穩定三項功能，使 SAF 得以由政策概念逐步轉化為具備商業規模的產業體系。

在技術路徑選擇上，日本已形成明確的階段性分工。短期內，HEFA 因技術成熟度高而被用於滿足初期市場需求，但由於其高度依賴進口 UCO 及動物脂等原料，供應規模受到明顯限制，因此日本並未將 HEFA 視為長期發展主軸，而是定位為過渡性技術。

相較之下，日本已逐步將 ATJ 確立為中期 SAF 發展的核心方向。其主要考量在於酒精原料具有較高的供應彈性與政策可控性。相較於全球供應量有限的油脂原料，乙醇等酒精產品可透過進口、多元生產來源或未來低碳製程取得，較具長期擴張潛力。此外，政府亦可透過制度



規範原料來源與永續標準，降低糧食競爭及土地利用等爭議，使 ATJ 更符合日本追求供應穩定與能源安全的政策需求。

在產業發展層面，日本已開始推動 ATJ 技術的實質落地。多個由石油公司、商社及航空相關企業主導的計畫，已導入國際成熟技術進行商業化建廠規劃，並預計於 2020 年代末期陸續投入營運，部分單一產線規模可達十萬噸等級。這些專案顯示，日本 SAF 政策已由規劃階段進入實際投資階段，並逐步形成國內供應能力。此外，日本大型金融機構與 GX 基金亦已參與相關專案融資，顯示 ATJ 已逐漸被視為具有商業可行性的產業投資標的，而非僅具示範性質的新興技術。

從整體發展邏輯來看，日本 SAF 策略呈現出明確的時間序列與技術分工。短期階段主要透過進口及既有 HEFA 供應滿足初始需求；中期則透過 ATJ 技術建立國內生產能力，以降低對進口油脂原料的依賴；長期則保留合成燃料及氫能等技術作為深度減碳的潛在選項。此種「短期過渡、中期放量、長期轉型」的發展架構，使日本在 SAF 領域建立了相對明確且具可執行性的技術路徑。

日本的 SAF 發展模式呈現出鮮明的「政府主導、市場跟進」特徵。與英國透過需求保障與收入機制引導市場投資不同，日本更傾向由政府直接介入供需兩端，透過合約、雙邊義務及補助工具同步推動市場形成。在此架構下，ATJ 不僅是技術選擇，更是能源安全、供應穩定與產業政策綜合考量下的結果。其經驗顯示，對於油脂資源有限的國家而言，SAF 技術路徑的選擇不應僅以技術成熟度為依據，更應考量原料可擴張性、供應鏈韌性及制度治理能力。當政策能夠同時建立需求、支持供給並降低投資風險時，ATJ 等新興技術便有機會在相對短時間內跨越示範階段，進入實質產業化發展。

3. 新加坡 SAF 的推動政策與發展

新加坡的 SAF 發展策略呈現出與英國、日本截然不同的政策取向。相較於英國著重透過制度設計引導投資，日本透過政府主導建立供需市場，新加坡則將維持國際航空樞紐競爭力作為核心目標，在推動航空減碳與維持航空產業競爭力之間尋求平衡。因此，其 SAF 政策更重視市場穩定、成本管理與供應彈性，而非追求本土產業規模或特定技術領先。

在政策目標方面，新加坡已宣布自 2026 年起，所有自新加坡出發的航班須使用至少 1% 的 SAF，並規劃依據全球供應能力與價格變化，逐步提高至 2030 年的 3% 至 5%。相較於日本直接設定 10% 的目標，新加坡採取較為漸進的推動方式，其主要考量在於避免過快提高航空營運



成本，影響新加坡作為國際航空樞紐的競爭優勢。因此，SAF 在新加坡不僅是減碳工具，更被視為影響航空市場競爭力的重要政策變數。

在制度設計上，新加坡建立了以 SAF 附加費（SAF Levy）及集中採購（Centralized Procurement）為核心的市場管理機制。政府透過向航空旅客或航空公司收取 SAF 相關費用，再利用該資金統一採購 SAF 並投入航空燃料供應體系。此種模式的核心目的，在於將 SAF 相較於傳統航空燃料所產生的額外成本分散至整體航空市場，避免由單一航空公司獨自承擔價格風險，進而降低對航線營運與票價競爭力的衝擊。

新加坡在政策推動過程中亦對初期時程進行「務實性調整（Pragmatic Pause）」。原先規劃自 2026 年 4 月 1 日起開始對售出機票徵收 SAF 附加費，並自 2026 年 10 月起對出發航班實施 1% SAF 摻配要求；然而，在考量市場準備度、供應條件與成本影響後，相關時程已調整為自 2026 年 10 月 1 日起售出之機票才開始計費，並將實際航班的強制執行時間延後至 2027 年 1 月 1 日。同時，原定於 2026 年達成 1% SAF 使用比例的目標，也相應順延至 2027 年起正式實施。此一調整反映新加坡在政策推動上強調「漸進導入」與「市場吸收能力優先」的治理思維。

同時，透過集中採購機制，新加坡得以整合國內需求，提高在國際市場中的議價能力，降低價格波動風險，並確保供應量能與實際需求相互匹配。此種模式反映出新加坡政府在 SAF 市場中的角色並非直接主導產業發展，而是扮演市場協調者與風險管理者，透過制度安排降低供需失衡與價格劇烈波動的可能性。

此一制度之所以能夠運作，與新加坡本身的產業條件密切相關。作為單一樞紐機場主導的航空市場，新加坡具備高度集中的航空運輸體系，使政府較容易執行統一收費與燃料管理機制。此外，新加坡長期作為亞洲重要的能源交易與石油煉製中心，擁有成熟的燃料交易、儲運及供應鏈管理能力，使其具備進行大規模國際採購與區域燃料調配的基础條件。這些優勢使集中採購模式能夠有效降低市場風險，並維持供應穩定。

技術方面，新加坡刻意維持技術中立的政策立場，並未明確押注 HEFA、ATJ 或 FT-SAF 等特定技術路徑。由於本身土地與生質資源有限，新加坡並不具備發展大規模 SAF 原料供應或生產設施的條件，因此其 SAF 供應主要仰賴國際市場進口，再結合既有煉油、調和與儲運能力進行供應管理。

短期而言，HEFA 仍將是主要供應來源，原因在於其技術成熟度高且市場供應相對穩定。然而，新加坡並未將 HEFA 視為長期唯一選項，而是保留 ATJ、PtL 及其他次世代燃料的導入



空間。其中 ATJ 因具備較佳的原料彈性與供應擴張潛力，被視為具有長期發展潛力的技術路徑，但新加坡並未如日本般積極投入本地 ATJ 製造設施建設，而是傾向於未來透過國際市場取得相關燃料供應。因此，ATJ 在新加坡政策中的定位更偏向潛在供應來源，而非本土產業發展主軸。

新加坡的優勢主要體現在其既有能源與物流樞紐地位。政府積極吸引國際能源企業、航空公司及燃料供應商於新加坡建立 SAF 儲存、交易及認證能力，並希望進一步發展成為亞太地區 SAF 的重要集散與分配中心。相較於英國或日本著重於建立生產能力，新加坡更希望掌握價值鏈中的交易、物流與市場服務環節，使其在未來全球 SAF 供應鏈中維持關鍵節點地位。

新加坡的 SAF 發展模式展現出鮮明的「市場管理型治理」特徵。與英國透過制度創造投資誘因、日本透過政府直接推動供需形成不同，新加坡選擇以制度設計分散成本、穩定供應並維持市場競爭力。其經驗顯示，對於資源有限且高度依賴國際連結的國家而言，SAF 政策的重點未必在於建立本地生產能力，而可能在於如何透過市場治理與供應鏈整合，掌握全球價值鏈中的關鍵節點。此一模式雖較難培育本土技術領先優勢，但能以較低風險推動航空減碳，並維持國際樞紐的競爭地位。

二、三國 SAF 發展模式之整合比較

綜合日本、新加坡與英國在 SAF 發展上的政策作為，可以觀察到三種具有代表性的國家策略模型，分別反映不同資源條件、產業結構與政策優先順序下的選擇。

日本採取明確的「國家動員型」模式，透過設定具約束力的 SAF 使用目標，並同步對航空公司與供應端業者施加政策要求，形成由政府主導的市場建構機制。在技術路徑上，日本已逐步將 ATJ 確立為中期發展主軸，其核心邏輯在於油脂原料供應有限的現實下，必須轉向原料彈性較高的非油脂路徑，以確保供應可持續性。此一模式的特徵，在於政府主動選定技術路徑並透過制度與投資工具加速產業形成，使 SAF 發展與國家能源與產業政策高度整合。

相較之下，新加坡則呈現出典型的「樞紐市場型」模式。在高度依賴國際航空連結與能源進口的條件下，新加坡 SAF 政策的核心不在於發展本土製造，而在於確保航空樞紐地位與市場穩定性。其採用集中採購與 SAF 附加費等機制，由政府作為市場中介，降低價格波動對航空業的影響，同時維持技術選擇的中立性。在此架構下，新加坡並未明確押注任何單一技術，包括 ATJ 在內，皆被視為可隨全球供應鏈發展而導入的選項。其關鍵在於掌握分銷、調和與制度節點，而非生產端技術競逐。



英國則代表另一種「制度與金融驅動型」模式。透過具有法律拘束力的 SAF mandate，搭配收入確定機制及公共資金支持，英國成功將 SAF 從政策倡議轉化為具備投資可行性的產業。其技術策略採取多路徑並行，但政策方向已逐漸從以油脂為基礎的 HEFA，轉向更具長期潛力的 ATJ 與 FT-SAF 等非油脂路徑。英國的特點在於並未直接由政府指定單一技術，而是透過制度設計，使資本自然流向在成本與供應條件上較具競爭力的路徑，形成市場導向的技術篩選機制。

進一步整合觀察，可將三國 SAF 策略收斂為以下一句具有高度概括性的分類：

日本 = 國家動員型 (ATJ 主軸)

新加坡 = 樞紐市場型 (不押技術)

英國 = 制度金融驅動型 (多路徑並行但逐步導向 ATJ / FT)

此一分類不僅反映各國政策工具的差異，更揭示其背後的核心決策邏輯：日本重視供應自主與產業發展，新加坡重視市場穩定與樞紐地位，英國則強調制度可持續性與資本動員能力。

對台灣而言，此三種模式提供了如何因應 ICAO-CORSIA 的清楚政策參照座標 (如下頁表 7)。若政策目標在於建立本土供應與產業鏈，則日本模式具高度參考價值，並指向 ATJ 作為中期主軸的合理性；若優先目標為維持航空網絡競爭力，則新加坡模式提供以市場機制為核心的替代路徑；若希望在技術不確定性下維持政策彈性，則英國透過制度引導資本配置的作法，則提供另一種可行選擇。



表 7 ICAO × CORSIA × 三國政策 × 台灣對應

面向	ICAO (全球架構)	CORSIA (市場工具)	英國	日本	新加坡	台灣 (現況對應)
制度角色	全球航空減 碳總體框架 (LTAG)	國際碳抵換 制度	法制化市場 創造者	國家動員市 場建立者	樞紐型市場 管理者	制度未成形
政策階段	由效率 → SAF 主導	自願→擴大 → 強制	已進入強制	已進入強制	漸進導入	前期規劃
2030 意義	SAF 為核心 減碳工具	覆蓋範圍擴 大	SAF mandate (~10%)	SAF 10%	SAF 1-5%	尚未設定
2035 意義	技術與制度 校準節點	SAF 計量成 熟	調整技術比 例	評估供應自 主	評估提高比 例	尚未設計檢 討機制
主要 政策工具	技術、燃料、 市場	碳 抵 換 、 SAF 認證	法規、CfD、 補助	法規、補助、 雙邊義務	附加費、 集中採購	缺乏政策工 具
需求創造	要求逐步減 碳	強化合規成 本	法定比例	法定比例	減碳費驅動	無
供應策略	鼓勵 SAF 供 應鏈	承認 SAF 減 量	在 地 製 造 (ATJ/FT)	ATJ 主軸	以進口為主	幾乎無
技術路徑 邏輯	SAF 為核心	認 證 不 同 SAF	多路徑→轉 ATJ/FT	ATJ 主軸	中立	尚未決定
HEFA 角色	短期供應	可抵減碳	過渡	過渡	主要供應	尚未定位
ATJ 角色	中長期重要	可計入減量	中期主力之 一	主軸	潛在導入	尚未政策化
FT-SAF 角色	長期核心	可計入減量	長期選項	長期選項	長期選項	僅概念
產業發展	鼓勵全球供 應鏈	無直接投資	工業化	工業化	平台型	無
金融支持	無直接	無直接	CfD/資本支 持	政府+金融	非核心	無
國際接軌 能力	定義規則	定義碳成本	高度同步	高度同步	高度同步	潛在風險
風險類型	路徑轉換風 險	碳成本上升	成本控管	供應不足	成本競爭	路徑未定風 險



伍、政策討論與建議

一、前言

在全球航空減碳進程加速與 ICAO 及 CORSIA 制度逐步深化的背景下，SAF 已由早期示範性技術，轉變為航空產業不可迴避的結構性要素。對台灣而言，如何在兼顧國際接軌、產業發展與市場競爭力的前提下設計適切的 SAF 政策，已成為能源與交通治理的重要課題。在此過程中，國際經驗之比較與借鏡，並非單純模仿成功案例，而在於理解不同制度環境下政策工具如何影響市場形成與技術選擇。

前一章選擇英國、日本與新加坡作為主要比較對象，係基於三者分別代表目前全球 SAF 發展中三種具代表性的政策模式，並涵蓋三種不同的政策優先順序與治理邏輯。三國間的差異，不僅反映政策工具選擇的不同，更呈現 SAF 發展在不同國家條件下的路徑分化(如下表 8)：一為透過制度與資本市場形成產業(英國)，一為由政府直接推動產業化(日本)，一為以市場穩定為目標整合外部供應(新加坡)。此一比較架構，有助於釐清 SAF 政策並不存在單一最佳模式，而是需依據國家在市場規模、產業結構、能源條件與政策承擔能力上的差異，選擇適合之工具組合。

表 8 英、日、新三國 SAF 推動障礙與政策工具配置

國家	核心問題	工具核心
英國	投資風險	法規、CfD、補助
日本	市場不存在	法規、補助、雙邊義務
新加坡	成本與競爭力	附加費、集中採購

透過與英國、日本與新加坡三種模式進行對照，不僅可明確辨識台灣在全球 SAF 發展中的定位，也有助於判斷何種政策工具組合最能回應台灣在「需求建立」、「投資誘因」與「供應形成」三方面的結構性問題。

二、對台灣推動 SAF 的政策建議

綜合 ICAO 與 CORSIA 所構成之全球航空減碳制度架構，以及英國、日本與新加坡三國在 SAF 推動上的實務經驗，可清楚觀察到，國際航空減碳已由「政策倡議」轉入「制度運作」階段，而 SAF 則逐步成為航空業不可迴避的結構性要素。在此背景下，台灣目前所面臨的核心



問題，並非技術選擇本身，而是尚未進入全球 SAF 市場與制度的實質運作層級，缺乏需求訊號、供應策略與政策工具的整體配置。

對台灣而言，首要任務應為建立最低限度之需求確定機制。國際經驗顯示，不論英國透過法制化規範，或日本採取需求與供應雙向約束，抑或新加坡以附加費與集中採購形成需求，均反映 SAF 市場無法以純市場機制自發形成。因此，台灣應於 2030 年前明確設定 SAF 使用目標（例如分階段導入），並透過配套制度（如混摻比例、公共採購或碳工具）創造穩定需求，以避免在 ICAO / CORSIA 體系深化後，航空業因無法取得合格燃料而承擔額外制度成本。

在技術路徑方面，三國經驗呈現出一致趨勢，即以 HEFA 作為短期過渡工具，但逐步轉向非油脂路徑以支撐中期供應。對台灣而言，在國內油脂原料有限且短期不開放進口的前提下 HEFA 的角色應限於制度啟動與示範用途，而非量能主體。相較之下，ATJ 路徑因其原料來源彈性與供應可擴張性，為目前唯一可在台灣條件下承擔 2030-2035 年間 SAF 之技術選項。此一判斷與日本之政策實踐相符，亦與英國逐步導向非油脂路徑之趨勢一致。

在供應策略上，台灣應避免長期依賴進口 HEFA 的路徑鎖定，而應及早規劃以 ATJ 為核心之中期供應架構。具體而言，可透過原料政策（例如酒精來源分類與永續認證）、投資誘因（資本支出補助或低利融資）、以及長期採購機制等工具，降低 ATJ 初期投資風險，逐步建立在地或區域供應能力。此部分可參考英國透過金融機制降低投資不確定性之作法，使技術選擇由市場在制度框架內完成，而非完全仰賴單一政府判斷。

在政策工具選擇上，台灣面對的並非單一問題，而是需求不足、投資風險過高與成本壓力並存的複合性結構。因此，單純移植任一國家之 SAF 推動模式，均難以有效回應本地條件。若僅採新加坡以附加費為核心之市場管理工具，雖可在短期內分攤成本、穩定市場，但無法創造本地供應能力，亦難以支持 ATJ 等技術形成產業；若僅採日本以法規與補助為主之國家動員模式，雖可快速建立市場與推動供應，但在缺乏金融機制下，仍可能因投資回收不確定而限制產業規模擴張；而若僅採英國以制度與金融工具為主的市場驅動模式，在缺乏初期需求基礎的情況下，亦可能無法有效啟動市場。基於此，台灣最適策略並非三擇一，而是建立一套結合不同工具功能的混合型架構（如下頁表 9）。



表 9 台灣 SAF 政策工具配置

政策功能	工具來源	台灣應採工具	是否必要
建立需求	英國 / 日本	SAF 法規 (2030 起)	核心關鍵
建立供應	日本	ATJ 主軸及補助	必須
確保投資	英國	CfD / 收入保障	核心關鍵
管理成本	新加坡	附加費 (部分導入)	輔助
避免市場失衡	日本	供需同步設計	必須
確保彈性	英國	開放多技術	必須

實際操作上，台灣 SAF 政策可依時間序列逐步建構。於 2030 年前的第一階段，政策重點應在於「建立市場」，透過設定初始 SAF 使用比例（例如 3–5%）形成需求訊號，並可輔以適度的機制分攤成本，同時以補助方式啟動 ATJ 等技術之示範與初期投資。在 2030 至 2035 年的第二階段，政策核心則應轉向「確保投資與放量」，導入類似英國的收入保障機制，降低價格風險並吸引資本投入，使 ATJ 能由示範走向規模化供應，並逐步降低對進口 HEFA 的依賴。至 2035 年以後，則進入「制度校準與技術調整」階段，依據國際趨勢與成本變化，評估是否引入 FT-SAF 或 PtL 等長期技術，完成 SAF 技術組合之調整。

在此整體架構下，台灣 SAF 政策的核心並不在於單一工具的選擇，而在於能否同時處理三個關鍵面向：透過法規解決「是否有需求」、透過收入保障機制解決「是否有投資」，並透過技術互補策略解決「是否能形成供應」。唯有在需求、投資與供應三者同步成立的情況下，SAF 才能由政策導入轉化為具有持續性的產業體系。反之，若政策僅處理其中一環，則極可能出現市場存在但供應不足，或技術存在但無人投資的結構性失衡。

從決策角度而言，台灣當前的關鍵選擇，並非是否發展自產 SAF，而應儘早建立使 SAF 得以成立的制度條件。若未導入完整政策工具組，SAF 恐將無法突破投資與市場門檻，最終仍將回歸依賴進口燃料的路徑；反之，若能在適當時點導入需求機制與投資保障工具，則有機會在 2030-2035 年間形成具規模的本地或區域供應能力。換言之，政策工具的配置，將直接決定台灣 SAF 發展是停留於示範階段，或實質進入產業化軌道。

此外，台灣應明確將 SAF 發展納入 2030 與 2035 雙時點政策架構：以 2030 年作為制度建立與進場節點，完成基本市場機制與技術路徑選擇；並以 2035 年作為校準節點，檢視 ATJ 成



效、國際技術趨勢與供應結構是否需要調整。此一設計，可使台灣在初期不過度承擔技術風險，同時避免因過晚進場而錯失全球市場接軌時機。

台灣在 SAF 政策上的最適策略，並非單一模仿英國、日本或新加坡，而應建立一套兼具三者優點的混合模式：在制度設計上引入英國式需求與金融工具，在技術路徑上採取日本式 ATJ 主軸判斷，在供應策略上保留一定程度的新加坡式彈性與國際連結能力。在此架構下，台灣方能自目前「制度形成前階段」，逐步進入 ICAO 與 CORSIA 所定義之全球航空減碳體系，並在未來競爭中維持可調整與可持續的發展空間。

三、台灣 SAF 政策推動的制度整合路徑

政府若能明確訂定 SAF 使用目標，並建構穩定且具前瞻性的市場需求機制，應視為推動 SAF 產業發展的關鍵起點。然而，目前跨部會推動機制仍面臨「供給需求孰先孰後」的政策困境。為突破上述困境，建議可從制度設計與供應鏈管理雙軌並進，逐步建構可行的 SAF 推動架構。

首先，建議交通部可優先明訂 2030 年 SAF 混摻目標，例如設定 3%至 5%之政策門檻，以建立市場明確訊號。在制度設計上，可適度放寬執行方式，例如允許航空公司於境外完成 SAF 添加，或導入碳權抵換機制作為替代手段，以提升制度彈性並降低短期供應限制對產業的衝擊。透過此類彈性措施，一方面可消除交通部對於國內供應不足的顧慮，另一方面亦可使經濟部據以進行中長期 SAF 產業發展規劃，包括國內生產佈局與技術路線選擇，進而同步建立需求與供給的基礎條件，形塑初步的剛性市場。

其次，在原料供應端，建議可參考新加坡之作法，由政府指定專責單位或委託具備能力之機構，統一負責國內外廢食用油及生質乙醇等關鍵原料的進口與管理。此種集中式管理模式，一方面可有效避免市場完全開放後可能產生的治理風險，例如廢食用油流入食用市場等食品安全問題；另一方面亦可透過集中採購的規模優勢，提升議價能力，降低原料進口成本，進而改善整體 SAF 製造經濟性。此機制亦有助於建立可追溯之原料管理體系，符合未來國際永續認證與碳強度管理要求。

最後，建議在國家重大建設規劃中納入 SAF 發展要素，以擴大政策綜效。目前政府積極推動桃園航空城建設，具備航空運輸、物流與產業群聚等優勢，可評估將 SAF 供應、調配甚至小規模生產納入其規劃架構中，形成與航空城發展相互支撐的能源供應體系。透過將 SAF 議



題納入航空城整體論述，不僅有助於提升該計畫的策略高度與國際連結，也可強化政府推動 SAF 政策的整體力道，並創造跨部門整合與產業發展的綜合效益。

綜言之，台灣推動 SAF 政策應由「設定明確目標」、「建立原料供應機制」及「結合國家重大建設」三方面同步推進，以打破現階段供需不確定所造成的政策停滯，逐步建立具備彈性且可持續發展的 SAF 市場與產業體系。



參考資料

1. BloombergNEF(2025). New Energy Outlook 2025.
2. IATA. Fact Sheet 2 Sustainable Aviation Fuel: Technical Certification.
<https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-technical-certifications.pdf>
3. IATA(2025). Global Feedstock Assessment for SAF Production Outlook to 2050.
<https://www.iata.org/globalassets/iata/publications/sustainability/global-feedstock-assessment-for-saf-production-outlook-to-2050.pdf>
4. IATA. Offsetting CO2 Emissions with CORSIA.
<https://www.iata.org/en/programs/sustainability/corsia/>
5. Minnesota Corn(2025). Ethanol and SAF as Market Opportunities for Corn.
6. Reuters(2025). Singapore to set up company to procure green jet fuel.
<https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/singapore-set-up-company-procure-green-jet-fuel-2025-10-30/>
7. S&P Global(2026). Singapore's DPM Gan flags SAF as strategic bet in broader push to future-proof economy. <https://www.spglobal.com/energy/en/news-research/latest-news/agriculture/051426-singapores-dpm-gan-flags-saf-as-strategic-bet-in-broader-push-to-future-proof-economy>
8. Singapore Business Review(2025). Singapore is emerging as a key global SAF hub.
<https://sbr.com.sg/aviation/news/singapore-emerging-key-global-saf-hub>
9. UK Government. Aviation fuel plan. <https://www.gov.uk/government/speeches/aviation-fuel-plan>
10. UK Government. CORSIA: how to comply. <https://www.gov.uk/guidance/corsia-how-to-comply>
11. UK Government. Sustainable Aviation Fuel (SAF) Mandate.
<https://www.gov.uk/government/collections/sustainable-aviation-fuel-saf-mandate>
12. Yomiuri The Japan News(2026). Japan Mulls Subsidizing Sustainable Aviation Fuel for Domestic Airlines; Would Require Fuel Suppliers to Provide Mixture.
<https://japannews.yomiuri.co.jp/politics/politics-government/20260126-306491/>
13. 經濟產業省(2025). Japan's Biofuel Policy. [https://www.cefia-dp.go.jp/hubfs/8th%20Forum/Session2.2%20Yoshiko%20Maejima\)%20CEFIA_biofuels_JP%20presentation.pdf](https://www.cefia-dp.go.jp/hubfs/8th%20Forum/Session2.2%20Yoshiko%20Maejima)%20CEFIA_biofuels_JP%20presentation.pdf)



附錄 專家觀點與建議

郭家倫（國家原子能科技研究院副所長）

永續航空燃料的推動與發展，已逐漸成為一個改變運作規則的國際趨勢，因此面對這不可逆的潮流，建議應以正向積極的思維，探討如何化危機為轉機，如何備戰因應挑戰，據此，擬拋磚引玉，就產業推動策略與政策路徑提供以下建議，作為未來推動與討論的參考依據：

1. 國際現況已反應積極面對 SAF 推動的必要性: ICAO 的推動步調與各國的因應作為，建議應持續關注與掌握，首先從 ICAO 近期發布的 *Guidance on Policy Measures for SAF Development and Deployment* 可知，使用 SAF 不再是航空公司自願性減碳的作為，ICAO 已直接提供各國政府推動 SAF 的政策工具建議選項，並強烈要求各國須提出政策工具支持 SAF 發展，又鑒於亞洲鄰近國家也陸續提出推動 SAF 的目標與支持性政策，並漸有朝法制化發展的趨勢，此皆顯示 SAF 的使用應已為全球的主流價值，因此現階段可務實考量從「如何推動」朝「如何積極推動」的方向調整。
2. 完備我國推動 SAF 論述方能促使國家利益最大化: 由於順應國際趨勢推動 SAF，需要投入相當的資源，因此建議可將發展 SAF 的動機，由產業提升至國家的立場，方能聚焦推動重點，並展現最大的衍生綜效，據此應可參酌亞洲鄰近各國推動 SAF 動機，擬定符合我國需求之因應對策，例如新加坡聚焦於維繫樟宜機場的國際競爭力及化工業轉型，日本除了擬提升機場競爭力及發展新興產業外，亦將國安議題與能源自主納入推動考量，因此在周遭國家已加大力道推動 SAF 的情勢下，應積極思考我國投入 SAF 後，想要獲得的「最大國家利益」為何，方能完備推動 SAF 論述及擬定相對應的對策，以免在這波推動 SAF 的潮流中，失去優勢或先機，無法帶給國家最大的效益。
3. 確立 SAF 需求目標為建構市場與發展產業的起手式: 從各國推動經驗來看，明確訂定 SAF 市場需求，是突破各種推動瓶頸的必要起手式。唯國內 SAF 推動進程似乎仍陷於「先有雞還是先有蛋」的困境，例如使用端可能因無法掌握國內供給 SAF 量能，而未能確立未來 SAF 的需求目標，供應端則因無明確的需求目標政策，以致無法規劃 SAF 生產量能藍圖，因此為突破上述困境，建議主責部會應明訂 2030 年 SAF 混摻目標或需求量，但不要陷於只能自產 SAF 提供的想法，應可考量階段性放寬 SAF 可於境外添加或外購，或可建立碳權折抵的機制取代無法達成的 SAF 使用量，如此航空公司能有更彈性的選項，亦可消除使用端認為國內無足夠量能供應 SAF 的疑慮，而供應端則能藉由明確的市場需求目

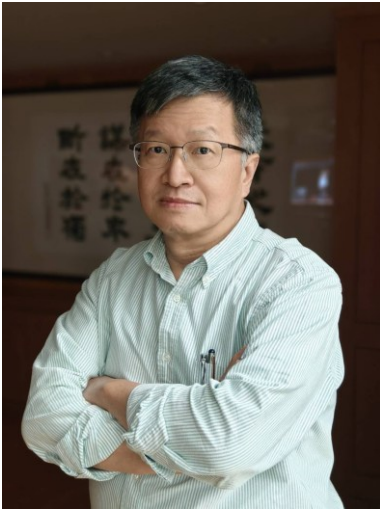


標，開始規劃國內自產 SAF 的藍圖，據此應有機會併同消除相關利害關係者的顧慮，協助國內建立剛性的 SAF 市場需求。

4. 彈性搭配不同政策工具得以滿足利害關係者所需: SAF 市場需要剛性目標，但執行方法建議應具有彈性，方能適時因應需求調整，因此與我國同為島國的新加坡及日本是值得借鏡的國家，例如推動初期可考量採用新加坡收取 SAF levy(永續燃料費)的策略，維繫航空公司競爭力；新加坡由專責單位統一進口廢食用油，亦能避免開放後進口廢食用油有機會落入食用管道的風險，同時亦能以量制價降低進口成本；日本儘管擬採用強制命令確立 SAF 需求市場，但也採用供需同步調整的策略，據此可兼顧 SAF 供應鏈與使用端的鏈結需求及避免供需失衡，因此隨著各國 SAF 政策的逐漸推展，應有相當的案例可供國內借鏡，建構符合國內需求且具執行彈性的政策工具。
5. 完備相關配套技術的鏈結才能提升 SAF 的競爭力: 近期在推動 SAF 過程中，大多會聚焦於已進入商轉階段的 HEFA、ATJ 等 SAF 生產技術，但由於 SAF 競爭力需要兼顧生產成本與碳強度，事實上有諸多技術需要配合。例如美國近年來大力推動 ATJ 技術落地，考量降低 SAF 碳強度需求，即致力於低碳玉米農耕技術，降低原料端玉米生產碳排放，並將乙醇發酵過程產生的高純度二氧化碳與碳捕捉與封存(CCS)整合，降低乙醇生產的碳排放，另運用風力發電生產低碳氫，提供 ATJ 進行氫化生產 SAF。因此，低碳農耕、CCS 及低碳氫等技術，雖然都不是直接生產 SAF 的技術，但皆為提升 SAF 競爭力不可或缺的配套技術選項，因此在推動 SAF 生產過程中，除了發展次世代的前瞻 SAF 生產技術，以擴大 SAF 生產量能外，完備上述相關配套技術的鏈結，亦至關重要，不應被忽略。
6. 以佈局全球的高度與思維因應方能克服我國推動 SAF 的挑戰: 建立自主生產 SAF 量能，不僅能增加自主供給 SAF 的韌性，亦能協助國內發展新興的 SAF 產業，帶動低碳農耕、CCS 及低碳氫等技術的落地應用，應為值得投資發展的必然方向，唯我國天然資源有限，無法以自產量能滿足未來 SAF 的市場需求，是需要務實面對的課題，唯有以佈局全球的策略推動，方能在維繫 SAF 供給韌性外，增加 SAF 供給的彈性。因此建議我國可從自產 SAF 及進口 SAF 的二分思維，擴充延伸為掌握國際 SAF 供應鏈的佈局策略，例如若要發展 ATJ，可簽署長期海外生質乙醇進口合約，但於合約中逐步要求降低碳強度，以兼顧供給來源穩定與競爭力；抑或是與國外公司合作，於海外生質原料豐沛地區合資設廠，建立可穩定供給 SAF 或 SAF 生產原料的海外供應鏈，開闢多元供料管道，正是唯有「看得更遠」，才能走對方向，加速抵達目的地。



王新銘（中技社顧問）



航空業由於長程飛行，需要極大量的能源，加以受限於飛行體有限的空間與重量限制，因此不論是從體積或質量的的角度考慮，都需要高能量密度的能源載體，而今日普遍使用於各類交通運輸的液體燃料相較於鋰電池等其他能源載體，在能源密度上都要高出一個級數以上，因此在考量全球減碳的趨勢與急迫性上，航空業引用 SAF 實有其必然性。依據 ICAO 的規劃，全球航空業將在未來 10 年逐步過渡至以 SAF 為核心之減碳行動，進一步顯示未來 SAF 的供需也將是全球一個重要的課題。台灣在面對全球航空業將導入 SAF 的趨勢，該如何作為，個人有幾點淺見提供參考：

一、確認以發展 SAF 產業為政策重心，而非僅止於航空業減碳：

這本白皮書提供了英國、新加坡、日本等三個國家推動 SAF 的做法。從架構上看，三個國家雖然全然不同，但本質上就一個重點：建立 SAF 供需，發展國內生產能力的建立，異言之，是追求產業與經濟發展。當然新加坡基於本身的限制，一如新加坡在石油天然氣的作法，朝供需的樞紐發展規劃，但究其本質仍是經濟發展考量。我國雖也是地狹人稠，天然資源短絀，但是製造業的實力卻是舉世皆知，雖然相較於英國、日本完整性不足，但基於自主性與國家經濟發展與競爭力，政策規劃重點仍應以 SAF 的生產製造發展為重心，一如英、日兩個國家。事實上隨著 SAF 產業發展，本土的 SAF 供需問題自然會迎刃而解。

二、推動行動越快越好：

日本工業實力強於我國，且不論政策面或產業面，均已先行，還好現在都只是起步階段，相距不遠，今年日本也剛決定從美國引進第一套 ATJ，我們還來得及，只要趕快行動。不論從料源、製造，與環境角度而言，與 SAF 產業發展有直接關聯的政府部門較少，不同於其他低碳能源，如風能、太陽能等。因此發展 SAF 產業，相關政策面牽動亦較窄，應較易啟動推行。

三、仿台積模式，邀請國外 stakeholders 與國內團隊共同投資：

台積成立時基於市場與產業特性邀請了飛利浦參與；SAF 的生產受原物料與相應技術所影響，其中的 FT 技術選項，其成本效益除了與生質料源有關，也受到下游的其他產品所左右。因此在 SAF 產業發展邀請的國外 stakeholders 方面，擁有原物料與技術能力的團隊應該都可納



入為考慮爭取對象。其次，我國的煉油石化業者自然是希望邀請參與，畢竟我國的煉油石化工業發展已逾 50 年，從上游的煉製，以致中下游的石化原料與橡塑膠產品，發展相當完備，累積了可觀的技術與經驗。因此投入 SAF 的產業發展，技術面我們不是從零開始，是有一定的基礎，這是有利的一面。

四、提早海外市場布局，尤其是東南亞：

新加坡與日本已經先行，而且日本在東南亞長期經營，著力甚深，加以近年大陸石化工業倏然而起，在東南亞也有所投資，因此我國需儘早布局，尤其是原物料的掌握，這點與後續 FT 技術發展關係密切，影響後續產業的發展茁壯。可以在 HEFA、ATJ 階段就進行策略聯盟，以擴大產能與供級面，同時降低單位成本，提高競爭力。

五、當下應積極引進技術與進行技術開發國際合作，縮短與國際技術差距：

譬如在輸入美國的生質酒精時，同時引入美國的酒精製備技術，甚至包括從纖維素製備酒精。ATJ 技術除了須積極引進外，可以思考跟技術擁有者進行後續相關的研究，如製程改善，或者從已有技術(如：控制寡聚合)進一步發展應用至 FT 衍生領域。

六、育成時期相關政策措施是必須：

事業體草創時期的資金需求、產品因缺乏價格競爭力所需的差價補貼、產品市場需求的機制建立等等，都有合理合時的政策支持，否則事業單位無以立足；其次，研發能力的支援也非常重要。寧德時代今天能在全球鋰電池占主導地位，一路有大陸中科院 5 位院士領導研究群積極投入，也是關鍵之一。

野人獻曝，一笑置之無傷。



主辦單位：  中華經濟研究院
CHUNG-HUA INSTITUTE FOR ECONOMIC RESEARCH

協辦單位：  U.S. GRAINS &
BIOPRODUCTS
COUNCIL

初版日期： 115年6月

