

我國推動永續航空燃料(SAF)

發展課題與策略之探討

Study on the Challenges and Strategies of Promoting the Development of Sustainable Aviation Fuel (SAF)

運輸工程及海空運組 胡智超

研究期間:民國 113 年 1~12 月

摘 要

國際民用航空組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)於 2022 年第 41 屆大會通過至 2050 年國際航空淨零排放之長期全球理想目標(Long-term Global Aspirational Goal, LTAG)，透過設定航空業淨零排放長期目標，引導會員國與產業響應。會議一致同意加速採用更先進的科技與技術於航空器上，同時提升營運效率，做為減少航空業碳排放的重要措施。會議上特別強調永續航空燃油(Sustainable Aviation Fuel, SAF)的關鍵角色，並呼籲透過融資與投資，促進 SAF 的生產與應用，進一步推動航空業的綠色轉型。

本研究為掌握全球推動永續航空燃料(SAF)之最新發展與趨勢，蒐集國際各國推動方式與重點，並研析我國推動永續航空燃料之課題與方式，經評估發現目前國際間仍是以積極扶植生產端為主，而使用端則逐漸開始由鼓勵轉為強制，除強制機制外，政府應輔以激勵機制，這部分可參考國際推動之相關措施，如實施政策補貼與稅收減免等，適時評估推動以健全永續航空燃料市場發展。

關鍵詞：

淨零排放、永續航空燃料

我國推動永續航空燃料(SAF) 發展課題與策略之探討

一、前言

溫室氣體的減量已獲得大多數國家的認同，許多國家已經開始制定減量政策，在京都議定書中，特別規定對 CO₂ 的減量計畫。在國際航空運輸方面，國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)針對航空器飛航之排放污染物，在國際民航公約 16 號附約中已明訂未來航空器在各種污染物(包括 CO₂, NO_x 等)之排污係數標準，另 ICAO 在 2009 年舉行第 1 次有關替代能源的研討會，開始全球航空替代燃料架構(ICAO Global Framework on Aviation Alternative Fuels ,GFAAF)，並於 2009 年公布有關合成碳氫化合物作為航空渦輪燃料的標準規範(ASTM D7566-Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons)，此外 ICAO 於 2013 年第 38 屆大會提出全球碳市場機制(GMBM)，並於 2016 年 10 月第 39 屆大會決議採取「國際航空業碳抵換及減量計畫」(CORSIA)，做為推動全球國際航空碳市場機制之方法，以管理全球國際航線之碳排放。

ICAO 亦於 2022 年第 41 屆大會通過至 2050 年國際航空淨零排放之長期全球理想目標(Long-term Global Aspirational Goal, LTAG)，透過設定航空業淨零排放長期目標，引導會員國與產業響應。會議一致同意加速採用更先進的科技與技術於航空器上，同時提升營運效率，做為減少航空業碳排放的重要措施。此外會議特別強調永續航空燃油(Sustainable Aviation Fuel, SAF)的關鍵角色，並呼籲透過融資與投資，促進 SAF 的生產與應用，進一步推動航空業的綠色轉型。

全球主要之航空器製造商如 Boeing 和 Airbus 均針對此相關規定製造研發更環保之航空器。除此之外，歐盟(European Union)為有效抑制航空運輸所造成之全球氣候變化與溫室效應，已將航空運輸納入歐盟國家現有之碳交易市場中。在 2010 年起第 1 架單引擎螺旋槳機使用生物燃料，從加拿大橫跨大西洋飛往德國，隨後在 2011 年第 1 架商業客機使用生物燃料，2013 年有定期航班(紐約-阿姆斯特丹)使用替代燃料，2014 年有 21 家航空公司在商業客機中加入替代燃料，另在 2016 年有 5 個機構通過 ASTM D7566 驗證，提供替代燃料，並且有 2 個機場提供生質燃料，分別為挪威

奧斯陸機場、美國洛杉磯機場。另根據國際再生能源機構(International Renewable Energy Agency, IRENA)報告，全球 59 個國家(航空運量占 79%)表示將會投資永續替代燃料，37 個國家(航空運量占 35%)規劃在機場從事乾淨和可再生能源的使用。

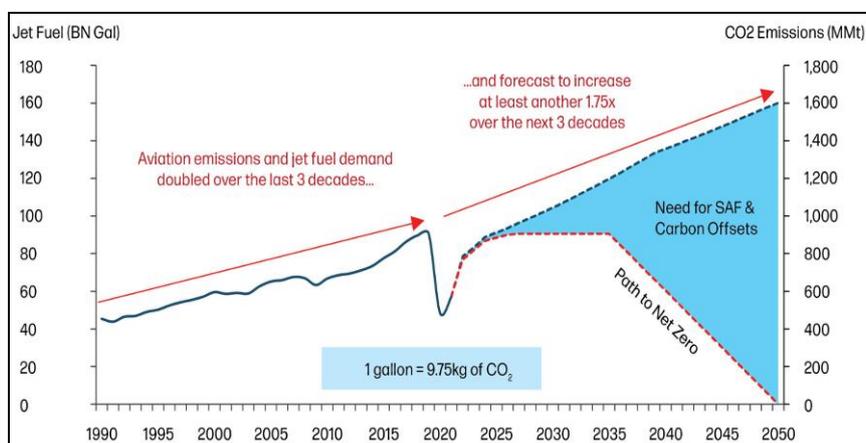
目前各國亦開始推動永續航空燃料(SAF)，包括美國機場與歐洲機場等，美國舊金山機場在 SAF 使用上保持領先地位，2022 年已使用 600 萬加侖 SAF，占機場所有燃料的 6%，而 2023 年 SAF 使用量成長 2 倍，並達到 2025 年占 10%的目標。舊金山機場為擴展 SAF 的使用，在 2017 年成立一 150 個成員的聯盟，組成包括航空公司、燃料供應商與其他組織。其在進行一連串的 SAF 初始測試時，發現供應鏈問題阻礙進展，因此舊金山機場帶領航空公司、燃料供應商進行相關物流、供應鏈及財務等研究。舊金山機場表示，藉由與州政府合作，提出激勵措施有助於鼓勵燃油供應商直接運送 SAF 至機場，且越來越多航空公司簽署使用 SAF。相關措施包括制定「低碳燃油標準(Low Carbon Fuel Standard, LCFS)」、資助 SAF 供應商開發之低息貸款、協調 SAF 供應商與買家之間的承購協議，以確保未來價格穩定，以及對傳統燃料徵稅，並將資金再投資於 SAF 的研發項目。

歐洲荷蘭史基浦機場在 2022 年使用超過 20,000 噸的 SAF，並目標在 2030 年 SAF 使用率可達 30%。在鼓勵航空公司使用永續航空燃料之激勵措施部份，當航空公司使用生質燃料或合成燃料，每噸永續燃料將可分別獲得 500 歐元和 1,000 歐元補助。英國希斯洛機場在 2021 年開始推動 SAF 使用計畫，2022 年時機場使用 SAF 達到 0.5%，並減少 55,000 噸 CO2 排放，機場目標在 2023 年 SAF 使用率達 1.5%，並於 2030 年成長至 11%。機場為鼓勵航空公司使用永續航空燃料，提供降落費減免措施，而多家航空公司(占機場航班數超過 75%)也承諾在 2030 年使用 SAF 比例達到 10%。瑞典政府提倡使用非石化燃料，目標國內航線與國際航線(起飛航班)分別於 2030 年及 2045 年達成完全使用非石化燃料；斯德哥爾摩機場管理當局設定 2025 年機場使用 SAF 可達 5%，提出激勵措施包括使用生質燃料可最高補貼 50% 費用。

二、國際推動永續航空燃料(SAF)發展經驗概況

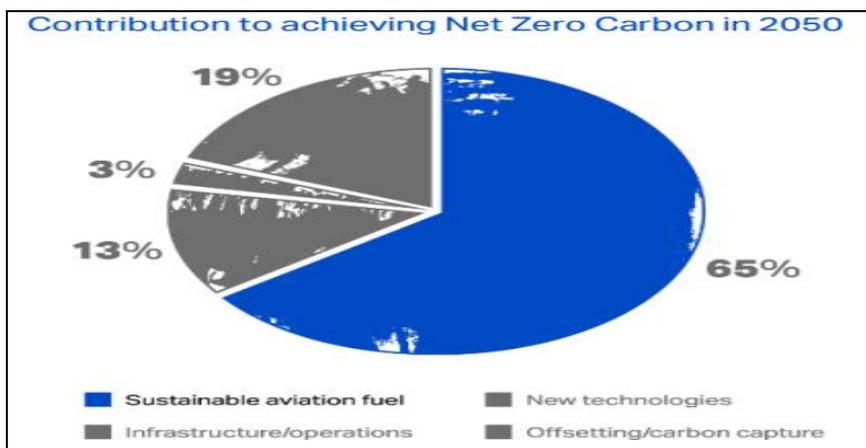
2.1 全球碳排及 SAF 需求概況

依據國際航空運輸協會(International Air Transport Association, IATA)公布資料顯示，2019 年全球航空二氧化碳排放量約為 9 億噸，並預測 2050 年航空碳排將達到 16 億噸(圖 2.1)因此需要有相關減碳措施，方能實現 2050 年淨零排放。IATA 也預估各類航空減碳方式(包括碳抵換/碳捕捉、航機新技術、基礎設施營運效率，以及航空永續燃料)，各類措施之減碳貢獻占比如圖 2.2。其中 2050 年要達到淨零排放 SAF 所貢獻之占比為 65%，此外也預測所需 SAF 需求從 2030 年 230 億公升，增加至 205 年 4,490 億公升(圖 2.3)，方能達到目標。



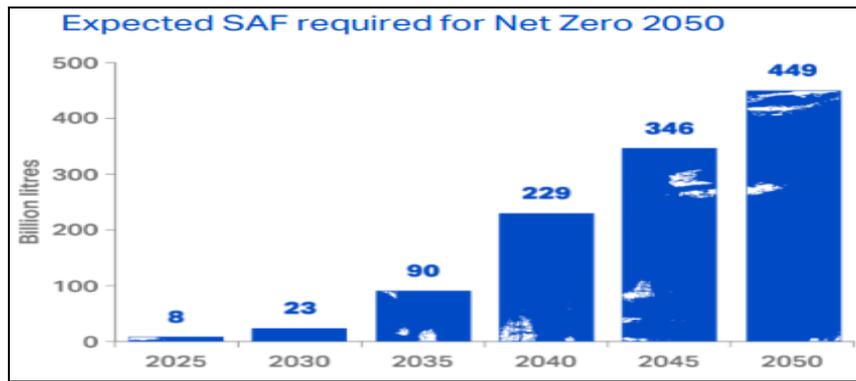
資料來源: 【1】

圖 2.1 全球商用航空燃料需求與碳排預測



資料來源: 【2】

圖 2.2 航空各項減碳方式貢獻比

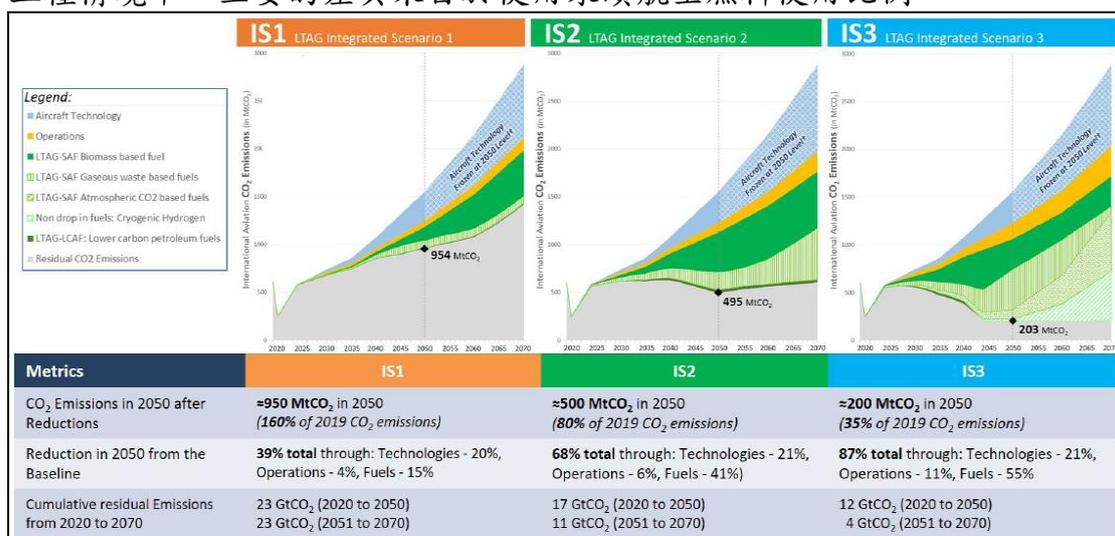


資料來源: 【2】

圖 2.3 SAF 至 2050 年之需求預測

ICAO 指出目前航空業溫室氣體排放量，約占全球排放量 5%，使用永續航空燃料是最有效減少的途徑，可做為石化燃料的替代品，可減少航空業溫室氣體排放 66% 至 94%。此外 ICAO 轄下航空環境保護委員會提出長期全球理想目標 (Long-term Global Aspirational Goal, LTAG) 可行性研究結果，預估到 2050 年及以後的各種情境下，透過產業內各措施可減少國際航空碳排量 (圖 2.4，情境 IS1-IS3)。

1. 樂觀情境(IS3):2050 年碳排 200 百萬噸，與 2019 年相比，碳排減少 65%，絕大部份須靠低碳燃料，貢獻比 55%。
 2. 基本情境(IS2):2050 年碳排 500 百萬噸，與 2019 年相比，碳排減少 20%，大部份須靠低碳燃料，貢獻比 41%。
 3. 悲觀情境(IS1):2050 年碳排 950 百萬噸，與 2019 年相比，碳排增加 60%。
- 三種情境中，主要的差異來自於使用永續航空燃料使用比例。



資料來源: 【3】

圖 2.4 不同情境下航空預估碳排量

截至 2024 年，ICAO 認可共計 11 種低碳燃料(如表 2-1)可做為義務減項(CORSIA 機制之碳抵換)，其中 7 種為與傳統航空燃油性質相近之 SAF，分別是使用 FT、HEFA、SIP、FT-SKA、ATJ-SPK、CHJ、HC-HEFA-SPK 等符合美國 ASTM D7566 標準認可之製程所產製而得的燃料。

表 2-1 ICAO 公布之低碳燃料

標準	製程	簡稱	常用進料	摻配上限
ASTM D7566 Annex 1	費托製程合成煤油(Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene)	FT	煤、天然氣、生物質	50%
ASTM D7566 Annex 2	加氫處理酯類及脂肪酸(Synthesized paraffinic kerosene from hydroprocessed esters and fatty acids)	HEFA	植物油、動物脂肪、廢食用油	50%
ASTM D7566 Annex 3	合成異構煤油(Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars)	SIP	製糖類生物質	10%
ASTM D7566 Annex 4	費托製程-含芳香族合成煤油(Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources)	FT-SKA	煤、天然氣、生物質	50%
ASTM D7566 Annex 5	醇轉化合成煤油(Alcohol to jet synthetic paraffinic kerosene)	ATJ-SPK	來自生物質的乙醇、異丁醇和異丁烯	50%
ASTM D7566 Annex 6	水熱催化(Catalytic hydrothermolysis jet fuel)	CHJ	植物油、動物脂肪、廢食用油	50%
ASTM D7566 Annex 7	由煙合成煤油-加氫處理酯類及脂肪酸(Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon-hydroprocessed esters and fatty acids)	HC-HEFA-SPK	藻類	10%
ASTM D7566 Annex A8	含芳煙的合成石蠟煤油 Synthetic Paraffinic Kerosene with Aromatics	ATJ-SKA	來自生物質的 C2-C5 醇	
ASTM D1655 Annex A1	共處理製程-加氫處理酯類及脂肪酸(co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery)	co-processed HEFA	植物油、動物脂肪、石油加工的生物質製成的食用油”	5%
ASTM D1655 Annex A2	共處理製程-費托製程(co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery)	co-processed FT	與石油共加工的費托碳氫化合物	5%

資料來源：【4】

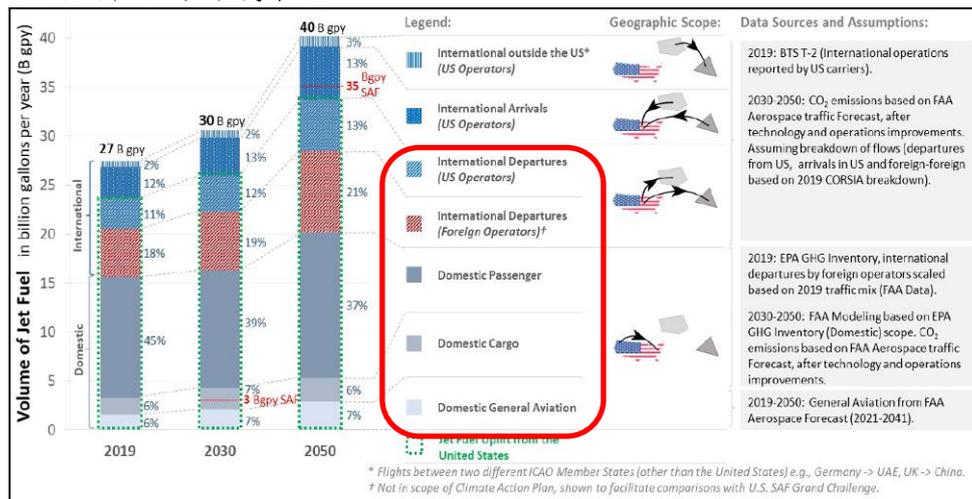
2.2 美國推動概況

美國在 2022 年提出「永續航空燃料大挑戰(SAF Grand Challenge)」計畫，目標除 2030 年每年至少生產 30 億加侖外，更希望在 2050 年時，美國 SAF 年產可達 350 億加侖，屆時可滿足美國航空公司國內及國際航線燃

油 90% 以上的需求(期望達到 100%)，其中滿足國際航線 SAF 需求之估算基準，係以美國航空公司與外籍航空公司從美國機場起飛為主(如圖 2.5)。

美國政府已將 SAF 的開發和部署定為航空減碳優先事項，並成立跨部會組織，包括美國交通運輸部(DOT)、能源署(DOE)、美國農業部等，以實施「SAF Grand Challenge」計畫，期降低成本、增強永續性並擴大規模，並提出相關策略：

1. 降低 SAF 的成本:降低整個供應鏈的生產成本，包括擴大原料和轉化技術組合；利用現有的生產基礎設施，降低產業風險並提供生產激勵等。
2. 強化 SAF 永續性:發展低土地利用變化的原料作物；降低 SAF 供應鏈的碳強度；透過嚴格的生命週期分析來確保 SAF 符合環境標準；批准更高混合等級的 SAF。
3. 擴大 SAF 供應和使用:支持區域原料和燃料生產的開發與示範；透過聯邦計畫提供新的基礎設施和商業化支援；協調軍事工業使用。
4. 經濟誘因:包括摻配稅收抵免和投資稅收抵免，可幫助縮小 SAF 與傳統航空燃料之間的成本差距。



資料來源: 【5】

圖 2.5 美國永續航空燃料需求預估

此外 2021 年美國政府通過「美國航空氣候行動計畫(Aviation Climate Action Plan)」，提出引導航空業到 2050 年實現淨零排放的策略，包括如下：

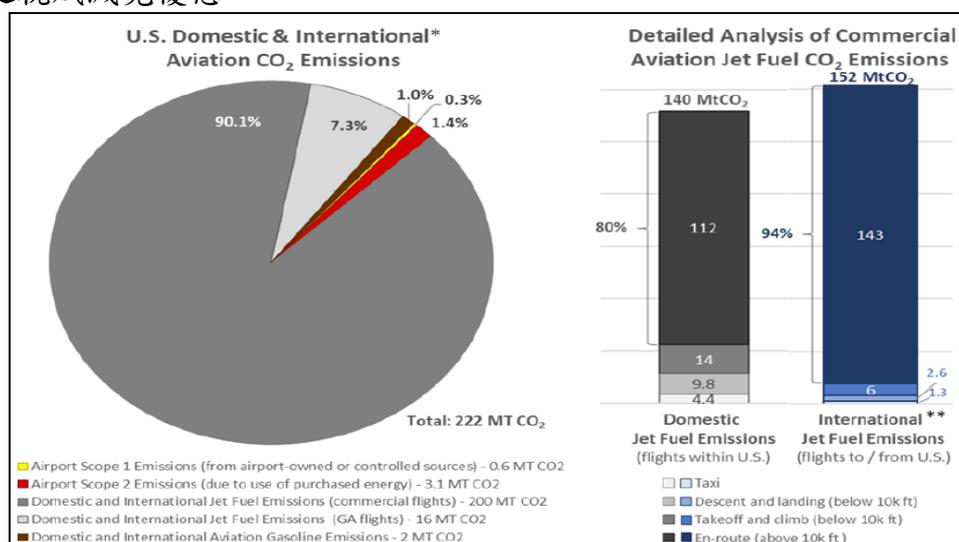
1. 開發新的、更高效率的航空器與發動機技術。
2. 改善整個國家空域系統，使航機運行更有效率。
3. 促進 SAF 的生產和使用，同時研發航機電氣化與潛在的氫能源。
4. 參與 CORSIA 自願減碳階段，以及支持氣候科學相關研究。

圖 2.6 顯示美國整體航空業中，來自於國內及國際商業航空燃料之碳排占

比最高為 90.1%，而在航機運行當中，以巡航時碳排最多，占比 80~94% 之間。此外「美國航空氣候行動計畫」亦提及由可再生與廢棄原料生產的 SAF，對於航空業實現淨零排放目標至關重要(如圖 2.7)。

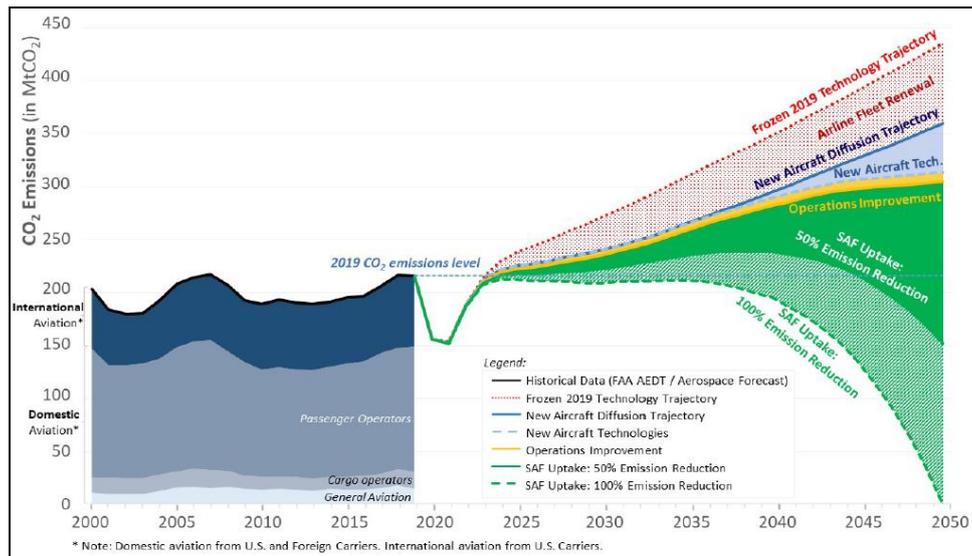
為實現「SAF Grand Challenge」，美國另在 2022 年降低通膨法案 (Inflation Reduction Act ,IRA) 中宣布多項方案。

1. 玉米生質乙醇製成之永續航空燃料可取得再生能源的租稅減免。美國為擴大 SAF 產量、協助航空業加速脫碳，祭出獎勵法規，提高 SAF 業者擴大採用玉米生質乙醇為煉製原料的意願。
2. 美國政府 2023~2024 年投入 2.91 億美元發展替代燃料和低排放航空技術。為提高業者生產意願，提出摻配稅收減免(Blender's Tax Credit, BTC) 措施，當 SAF 生命週期排放量較傳統航空燃油減少超過 50%時，摻配業者即可獲得最低每加侖 1.25 美元之租稅抵免金額。且排放量每超過 1 個百分點還可額外獲得每加侖 0.01 美元的減免。
3. 此外 2025~2026 年將由清潔燃料生產租稅減免 (Clean Fuel Production Credit) 措施接續為業者提供生產誘因；此措施與 SAF 摻配業者租稅減免措施概念雷同，係依減排量多寡，提供業者每加侖 0.35 至 1.75 美元之稅賦減免優惠。



資料來源：【5】

圖 2.6 美國航空業碳排概況(2019 年)



資料來源: 【5】

圖 2.7 美國未來航空碳排放分析(國內和國際)

2.3 歐盟推動概況

歐盟執委會(European Commission)於 2019 年 12 月 11 日提出「歐盟綠色政綱 (European Green Deal)」，設定到 2050 年歐洲將成為第一個碳中和的地區。歐盟對氣候變遷的承諾為 2030 年溫室氣體淨排放量與 1990 年相比將減少 55% 以上中，以實現對「巴黎協定」的貢獻。

此外歐盟執委會於 2020 年 3 月 6 日提出「歐洲氣候法 (European Climate Law)」草案，並於 2021 年 6 月制定完成，目的係為實現 2019 年「歐盟綠色政綱」所確立的目標，並敦促歐盟所有公、私部門，皆能為零碳排願景共同努力。歐盟期望在 2050 年前成為世界第一個碳中和地區，並轉型為一個經濟成長卻不損及資源消耗與開採的綠色經濟體。該法性質屬於「規則」(Regulation) 的法律位階，具有普遍性規範效力，得直接適用於歐盟成員國，意即歐盟成員國必須遵守及實施歐洲氣候法的規範內容，「歐洲氣候法」草案全文共 11 條條文。

為重申歐盟作為全球氣候領導者地位，歐盟執委會於 2021 年 7 月 14 日公布綠色經濟方案「55 套案(Fit for 55)」提案，該方案旨在達成歐盟 2030 年之氣候目標(1990 年溫室氣體淨排放量至少降低 55%)，內容不僅調整現有不合時宜之法令規範，同時亦納入新規定，冀望實現經濟、社會和產業所需之轉型變革。另歐盟執委會於 2023 年 10 月 9 日通過「55 套案」中兩項法案，包括「再生能源指引修正案(the revised Renewable Energy Directive)」及「永續航空燃料法規(ReFuelEU Aviation Regulation)」，讓歐盟對於經濟關鍵產業，具有法律約束力的氣候目標。

1. 「再生能源指引修正案」設定 2030 年歐盟法定再生能源目標為至少 42.5%，高於目前 32%的目標。該項修正案於公告後第 20 日生效，會員國需在 18 個月內將其納入國家立法。
2. 「永續航空燃料法規」針對促進永續航空燃料(SAF)制定歐盟區域內調和規則，並制定使用永續航空燃料以減少航運業二氧化碳排放量的路徑圖。該項法規於公告後第 20 日生效，並於 2024 年 1 月實施。
3. 根據歐盟「再生能源指引(第 2 版)」定義，永續航空燃料包括合成燃料(e-Fuel)，來自農林廢棄物、藻類、生質廢棄物、廢食用油、動物脂肪，以及回收塑膠的燃料都算；但糧食作物、大豆等製成的燃料，因有破壞生態疑慮，不能算在永續航空燃料內。

目前歐盟已提出歐盟機場與燃料供應商提供之航空綠色燃料比例目標，2025 年 2%、2030 年 6%、2035 年 20%、2045 年 42%、2050 年 70%。在 SAF 策略上，規劃推動包括：

1. 在歐洲境內航班上使用 SAF，其產生的排放量免除於歐盟排放交易體系(EU ETS)。
2. 以目前的價格，使用 1 噸 SAF 可折抵碳交易價格 300 歐元以上。
3. 歐洲境內航班的航空燃油稅將針對使用傳統燃料與 SAF 進行差別收費。
4. 航班若使用 SAF 時，CORSA 抵銷要求可減少。
5. 為克服 SAF 生產與行銷障礙，歐盟成立低碳燃料價值鏈聯盟，讓利害關係者(包括生產、供應、需求和監管等)都能參與其中。

2.4 英國推動概況

2022 年英國發布「淨零飛行策略(Jet Zero Strategy)」，列出三大原則及六項政策作為淨零飛行策略的主軸(如圖 2.8)。其中三大原則包含：「強化國際合作」、「跨部門的產業合作」、「擴大機會」，以及六項政策，包含系統效率、永續航空燃料、零碳飛行、市場及碳移除、消費者影響，以及非二氧化碳的排放。

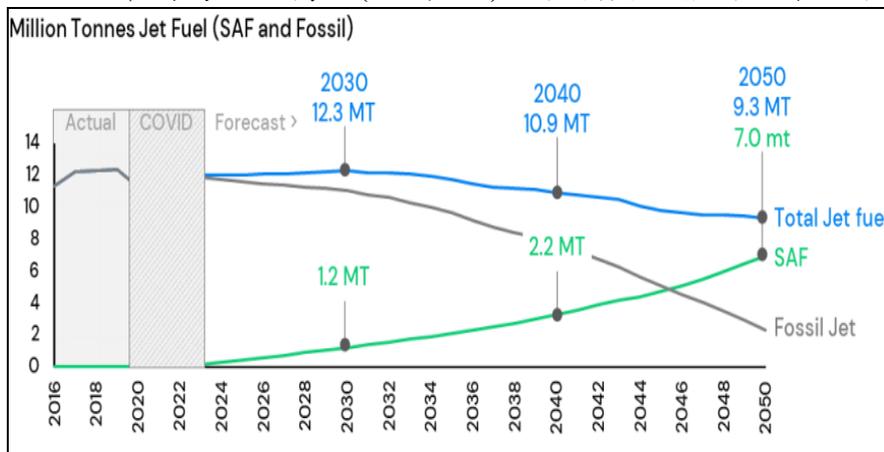
英國政府推動「再生運輸燃料義務(Renewable Transport Fuel Obligation, RTFO)」政策，政府透過提供激勵措施來發展永續燃料，同時鼓勵投資利用廢棄物和殘渣製造永續燃料。在 2019 年 RTFO 已設定「發展燃料」目標，其中包括永續航空燃料，RTFO 期限已延長至 2032 年。



資料來源: 【7】

圖 2.8 英國淨零飛行策略架構圖

英國交通部 2024 年 4 月 25 日宣布永續航空燃料命令(Sustainable Aviation Fuel Mandate)，該項命令國會已批准，將於 2025 年 1 月生效，SAF 使用比例從 2% 並以線性方式增加至 2030 年的 10%，2040 年 SAF 使用須達到 22%，但自 2040 年起，在 SAF 供應有更大確定性之前，該命令將維持在 22%。英國同時預測 2030 年 SAF 需求量為 1.2 百萬噸，2040 年為 2.2 百萬噸，2050 年則為 7 百萬噸(如圖 2.9)，各項具體推動方案如下:



資料來源: 【8】

圖 2.9 英國 SAF 各年預估需求量

1. 英國政府設立先進燃料基金(Advanced Fuels Fund)，規劃提供 1.35 億英鎊資金，資助研發與生產。目前支持英國 13 個具突破性的 SAF 研發計畫，期望每年將提供英國航空產業約 120 萬噸 SAF。
2. 英國政府與 Breakthrough Energy Catalys 合作提供 4 億英鎊資金，促進 SAF 開發和技術測試項目。

3. 英國政府計畫建立價格支持機制(如價格保證方案)，以確保 SAF 生產商的收益，並提高投資者的信心。
4. 英國政府已承諾提供 1.65 億英鎊資金，協助企業在 2025 年開始建造至少 5 座工廠，以生產生質新燃料。
5. 目前英國將唯一一家廢食用油公司 Phillips 66，轉型成為生產 SAF 廠商，但每年僅能生產 2 萬噸 SAF，後續將協助提升產能。

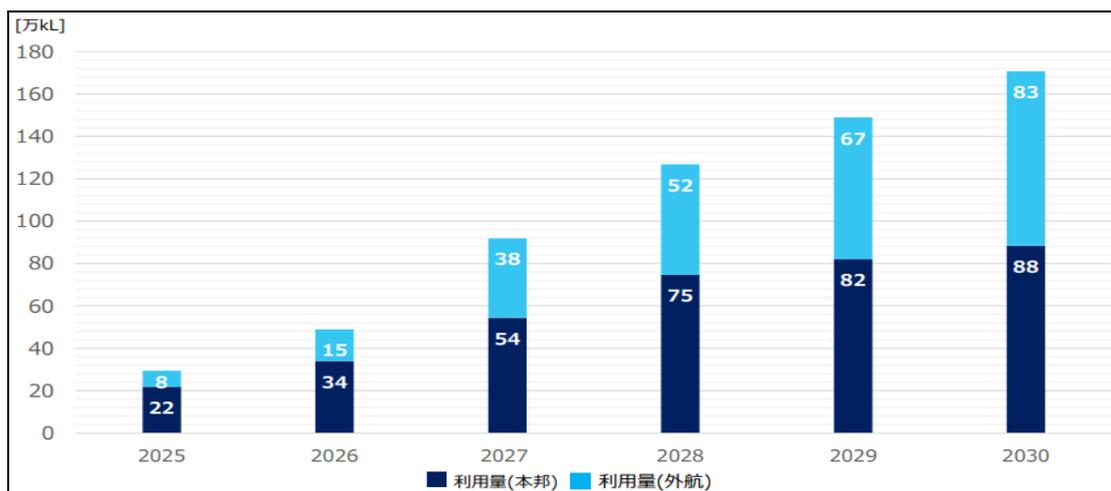
2.5 日本推動概況

日本計畫到 2030 年實現國際航班燃料使用 10% 的 SAF 為目標，這個目標將適用於所有日本機場的國際航班，以及所有日本航空公司運營的國際航班。為達到 2050 年日本計畫全面實現淨零排放目標，利用 SAF 預計可以減少 65% 的航空碳排。

日本國土交通省於 2021 年 12 月提出 2030 年 SAF 摻配率達 10% 之目標構想，並制定「促進航空業減碳時程表」，2022 年 1 月進一步推動進口純 SAF 示範計畫，同年 4 月成立官民協議會負責整合政府與民間資源，6 月則完成航空法與機場法之修訂，確立日本航空業減碳方向，多方位協助航空業更有效率地推動減碳。日本經濟產業省於 2024 年修改「能源供應結構升級法」，以納入 10% 的 SAF 義務要求，該法規不僅針對航空公司，也包括油品批發商，違反規定的企業可能面臨罰款或其他懲罰。

目前日本推動 SAF 概況如下：

1. 日本正在推動國內 SAF 生產設施的建設，例如在千葉縣和神奈川縣的生產設施，使用廢食用油和木質廢料等作為原料。
2. 與國際公司合作，如與芬蘭的 Neste 公司及日本的伊藤忠商事、富士石油公司合作，為全日空(ANA)和日本航空(JAL)供應 SAF。
3. 日本國土交通省民航局 2023 年公布的示範計畫成果報告，由於進口純 SAF 並在日本國內進行摻配，相較於直接進口已在歐盟摻配完成的 SAF，可大幅降低海運運送次數，進而減少 71% 的溫室氣體排放與節省 53% 的海運費，因此在國產 SAF 尚未達商業化規模前，優先以進口純 SAF 並在國內摻配之方式來滿足國內 SAF 使用需求。
4. 日本若於 2030 年需達到 10% 之 SAF 摻配比例目標，則純 SAF 需求量將達約 171 萬公秉，日本航空公司與國際航空公司的需求量分別為 88 萬公秉與 83 萬公秉(如圖 2.10)。



資料來源：【9】

圖 2.10 日本國籍航空與外籍航空 SAF 所需比例

2.6 韓國推動概況

韓國計畫到 2027 年所有國際離境航班至少使用 1% 的永續航空燃料，為此韓國政府規劃推出相關激勵機制構想，鼓勵公私部門採用 SAF。這些措施包括航權分配優惠、補貼與稅收減免、減少機場設施使用費，以及為旅客引入碳減排里程獎勵。

此外政府將放寬廢料回收的法規，並探索替代原料和生產技術，例如微藻及合成燃料(e-SAF)，目前已在部分煉油設施中小規模生產 SAF，並計畫通過與國內外企業合作進一步擴大生產規模。另韓國的四大國內煉油廠計畫到 2030 年投資 4 兆韓元（約 30 億美元）來生產再生燃料，其中包括 SAF。

自 2023 年 8 月以來，韓國已經使用進口的 SAF 混合燃料進行 6 次試飛，該航班涵蓋韓國和洛杉磯之間的航線。

2.7 新加坡推動概況

新加坡計畫 2026 年起離境航班使用 1% 的永續航空燃料，並計畫在 2030 年提升至 3% 至 5%，促使航空碳排 2030 年比 2019 年的減少 20%，並在 2050 年實現淨零碳排放。為此新加坡政府推動相關策略如下：

1. 規劃引入一項 SAF 徵費(燃料費)，用於購買 SAF，同時藉由集中採購來實現規模經濟，並確保 SAF 的供應與使用。該徵費將根據飛行距離和座艙等級進行調整，不同旅客和航班的徵費比例將有所不同。
2. 利用現有的石化產業基礎，與業界合作夥伴合作，擴大 SAF 的生產能力。Neste 於新加坡新廠房於 2023 年 4 月中正式投入運作，每年可生產

高達 100 萬噸的永續航空燃料，係全球最大航空永續燃料提煉廠。Neste 亦宣布將建立一個通往星國樟宜機場的 SAF 供應鏈，亦即 SAF 在前述廠房製成後，先送往裕廊島一個專用設施與航空燃油混合，再輸送至樟宜機場供應給客戶。

3. 星國政府、學界與能源企業三方合作，由美國能源企業埃克森美孚、新加坡南洋理工大學以及新加坡科技研究局 2024 年 4 月 26 日共同設立的「低排放企業研究室」，旨在未來 5 年內展開聯合研究項目，以助低排放技術的發展。其中一個項目將研究如何將生物質轉化為更綠色的航空燃料。
4. 新加坡國立研究基金會轄下「卓越研究與科技企業學園」(Campus for Research Excellence and Technological Enterprise, CREATE) 於 2024 年 7 月 22 日宣布，將投入 9,000 萬星幣 (6,694 萬美元) 資助 9 個去碳研究項目，研究期為 3 年至 5 年。
5. 新加坡國立大學及法國國家科學研究中心的研究為其中一個獲資助的項目，由於航空業的永續航空燃料供應有限，目前僅使用植物或動物油製作永續航空燃料，因此較一般燃料成本高一至兩倍。該研究利用合成生物學原理，利用微生物進行「氣體發酵」的技術，使細菌與二氧化碳產生化學反應，從而製造永續燃料。倘研究取得進展，將為永續航空燃料開拓新的供應來源，同時將工業釋放的二氧化碳轉廢為能，降低碳排放。

三、國際航空運輸協會提出 SAF 之推動方案

國際航空運輸協會(IATA)為協助國際推動 SAF，亦提出多項策略，提供各國參考應用。

3.1 契約差價(Contracts for Difference, CfD)

契約差價是一種政策工具，用於激勵資本密集型且長期的項目，特別是在可再生能源與新興技術領域；目的是通過在一定期限內，確定產品的固定價格來降低供應商與投資者的風險。以下是契約差價的說明：

1. 基本原理:

契約差價是由供應商與政府簽訂，契約中的固定價格稱為「履約價」(Strike Price)，而市場價格則稱為「市場參考價」(Reference Price)。如果市場參考價低於履約價，政府將支付差額給供應商；如果市場參考價高於行使價，供應商則需要支付差額給政府。

2. 優勢:

- (1) 穩定收入流：為供應商和投資者提供穩定的收入預期，減少由於市場價格波動帶來的風險。
- (2) 促進投資：降低新技術或新燃料(如永續航空燃料 SAF、氫能等)早期開發階段的投資風險，鼓勵資本流入，推動產業發展。
- (3) 降低成本差異：通過穩定供應商的收入，減少新技術與傳統技術之間的價格差距，使新技術更具市場競爭力。

3. 執行方式:

- (1) 簽訂契約：政府與燃料供應商簽訂契約，確定一個履約價以及供應商需要在指定期限內交付的燃料量。
- (2) 固定價格期：在契約期限內，如果市場價格低於履約價，政府會支付差額給供應商，以確保供應商的最低收入。
- (3) 高價補償：如果市場價格高於履約價，供應商需要支付超出履約價的部分給政府。
- (4) 風險管理：通過這種方式，供應商和投資者可以預見未來的收益，降低價格波動帶來的不確定性，進一步降低融資成本。

4. 考慮因素:

- (1) 履約價的設定：履約價的設定需要考慮當前 SAF 與傳統燃料之間的價格差距、未來價格預期以及市場發展概況。
- (2) 資金來源：政府需要考慮如何為履約差價提供資金支持，例如來自碳排放交易系統的收入或專款稅收。
- (3) 政策設計：契約差價需要與其他政策工具(如補貼、稅收優惠等)協調，避免產生過多重複支持或市場扭曲。

3.2 Book and Claim 機制

Book and Claim 機制是一種用於追蹤和核算永續航空燃料(SAF)購買的會計機制，目的在分離燃料的實際生產位置與其購買及使用地點，以簡化供應鏈、擴大市場潛力並降低成本。這種機制允許航空公司在不直接使用 SAF 的情況下，藉由購買所需的永續性證書來實現減排目標。

1. 基本原理:

- (1) 分離燃料購買與實際使用：航空公司可在某個地點購買 SAF 的永續性證明書，但實際上 SAF 可在另一個不同的地點進行生產和使用。這樣購買者不必與實際燃料生產或使用的地理位置綁定。
- (2) 永續性證書：購買 SAF 的航空公司會收到一份永續性證書(Certificate of Sustainability)，證明購買者在全球範圍內為 SAF 的生產做出貢獻，無

論他們實際在哪裡加油。

- (3) 避免雙重計算：為防止多個機構或公司同時宣稱同一批 SAF 的環保效益，機制中會有一個追蹤系統來確保每個單位的 SAF 只被認可一次。

2. 優勢:

- (1) 靈活性：Book and Claim 機制允許航空公司在無法實際獲得 SAF 的情況下，仍然可支持 SAF 的生產並達到減排目標。
- (2) 市場擴展性：該機制擴大 SAF 的市場潛力，使更多的航空公司能夠參與到 SAF 的市場中，即使他們所在的機場暫無 SAF 供應。
- (3) 降低物流成本：由於 SAF 不需要被實際運輸到每個購買者所在的機場，因此可以減少物流成本和碳排放。

3. 執行方式:

- (1) SAF 生產商：生產 SAF 並將其投入傳統燃料市場中(例如在某個機場使用)。生產商同時會獲得一個對應於 SAF 量的永續性證書。
- (2) 證書登記系統：SAF 的永續性證書會被註冊在一個集中式的登記系統中，這個系統能夠追蹤所有的 SAF 生產和證書交易。
- (3) 航空公司購買證書：航空公司或其他利益相關者可購買這些永續性證書，從而宣稱其購買等量的 SAF，即使他們實際上使用的是傳統航空燃料。
- (4) 報告與核查：航空公司在碳排放報告中聲明使用 SAF，並且這些證書會在系統中進行核查和登記，防止多重計算。
- (5) 銷售結算：根據登記系統的數據，生產商和購買者之間完成財務結算。生產商可藉由出售證書獲得額外收益，航空公司則可以實現減排目標。

4. 考慮因素:

- (1) 透明度與可信度：系統需要確保所有的證書交易都是真實和透明的，避免出現雙重計算或虛假交易的情況，因此需要一個可信的第三方系統來管理和核查所有交易。
- (2) 市場接受度：航空公司和監管機構需要對這種機制有足夠的理解和接受度，以確保這種間接的減排方式得到廣泛認可。
- (3) 標準化問題：由於不同國家和地區對 SAF 的定義和標準可能不同，因此需要一個全球通用的標準來確保 SAF 的環保效益在全球範圍內得到一致的認可。

3.3 其他推動策略

1. 稅務激勵(Tax Incentives)：

- (1) 稅務減免：針對 SAF 的生產商、銷售商或購買者提供所得稅、銷售稅

或其他相關稅費的減免，這樣可以降低營運成本，進而提高 SAF 的經濟吸引力。

(2) 免稅政策：對於生產 SAF 的設備、設施或原料進口免稅，這可減少企業在生產設施建設及原料採購方面的成本壓力。

2. 公共資本支持和貸款擔保(Public Capital Support and Loan Guarantees)：

(1) 公共資金支持：政府可直接投資或提供補助金來支持 SAF 生產設施的建設和擴建，幫助企業渡過前期高投入階段。

(2) 貸款擔保：政府或公共機構可以為 SAF 生產設施的建設提供貸款擔保，降低生產商的融資風險，使得銀行更願意提供貸款，促進生產設施的快速擴建。

3. 原料補貼(Feedstock Subsidies)：

(1) 原料補貼：對生產 SAF 所需的永續原料，如廢油、農業廢棄物等，提供補貼，降低原料成本，這不僅能促進原料的供應，也能減少 SAF 的生產成本，使其更具競爭力。

(2) 支持機制：如價格保護政策，確保永續原料供應穩定，避免價格波動過大對 SAF 生產造成影響。

4. 金融市場政策(Financial Market Policies)：

(1) 優惠金融工具：針對 SAF 生產設施和研發項目，提供如綠色債券、低息貸款等優惠金融工具，降低企業的融資成本。

(2) 金融機構支持：鼓勵金融機構對 SAF 相關項目進行投資，並對這類投資提供政策支持或獎勵。

5. 會計政策(Accounting Policies)：

(1) 加速折舊政策：允許 SAF 生產設施在會計中進行加速折舊，這樣可以在短期內減少企業的稅務負擔，提高現金流。

(2) 攤銷政策：允許企業將 SAF 生產設施和設備的投資成本在較短時間內分攤至生產成本中，減少財務壓力。

6. 研發計畫支持(Research and Development Support)：

(1) 研發補助金：提供專項資金支持 SAF 相關技術的研發，如新的燃料轉化技術、提高燃料轉換效率的工業技術等。

(2) 技術創新獎勵：針對取得重大技術突破或研發成功的企業提供獎勵，提高企業投入研發的積極性。

(3) 公共研發機構合作：促進企業與大學、研究機構等公共研發機構合作，共同研發新技術，降低企業單獨研發的風險和成本。

3.4 小結

由第二、三章及蒐集相關資料分析後可知，由於推動 SAF 最大障礙還是因為其價格高昂，為此各國政府及國際組織正積極推出一系列發展策略，試圖降低 SAF 的成本，並提升其市場競爭力，然各國推動策略仍是以積極擴增生產端為主，使用端則是以強制航空公司使用。

1. 生產端策略包括下列等：

- (1) 提供生產補貼：政府直接提供資金補助 SAF 的生產商，降低生產成本。例如美國「降低通膨法案」提供每加侖最高 1.75 美元的稅收抵免，鼓勵 SAF 生產；另歐盟的「Fit for 55」計畫也包含類似的生產激勵措施。
- (2) 投資研發：投入資金支持 SAF 生產技術的研發，目標是開發更有效率、更低成本的生產途徑，例如利用農業廢棄物、廚餘、藻類等非糧食原料生產 SAF。例如美國能源部投入大量資金支持生物燃料技術的研發。
- (3) 建立原料供應鏈：協助建立穩定且可持續的 SAF 原料供應鏈，確保生產商能夠獲得足夠且價格合理的原料。這包括與農業部門合作，推廣能源作物的種植，以及開發廢棄物回收利用技術。

2. 使用端的策略則主要以強制性措施為主，包括下列等：

- (1) 設定 SAF 混合比例規定：強制要求航空公司逐步提高其航空燃料中 SAF 的混合比例。例如歐盟的「ReFuelEU Aviation」倡議提議，從 2025 年起，強制要求所有在歐盟機場起飛的航班必須使用一定比例的 SAF，並逐年提高該比例。
- (2) 徵收碳稅：通過提高傳統航空燃油的成本，間接提升 SAF 的價格競爭力，促使航空公司更多使用 SAF。

總體而言，當前 SAF 政策環境呈現出「生產端積極鼓勵，使用端強制推動」的特點。

四、我國推動 SAF 發展現況

4.1 國內 SAF 標準制度

國內如果要使用 SAF，一般有 3 種方式，自產、進口與摻配，為此標檢局已於 112 年 12 月完成訂定 SAF 國家標準(CNS16221)並公告(如表 4-1)，但此項並非強制檢驗項目；經洽詢經濟部標準檢驗局後，航空燃油無論有無添加 SAF，在販賣使用前應進行商品檢驗，並符合 CNS2558 規定(如表 4-2)，檢驗項目包括總硫含量、蒸餾溫度、殘餘量、損失、銅片腐蝕、閃點、密度、存在膠。

1. 自產為國內煉油廠進行提煉生產。
2. 進口為由國外進口已經混合好比例之 SAF。
3. 摻配為進口煙後，國內再進行混合。

表 4-1 含合成煙航空燃油(CNS16221)規定

標準總號	CNS 16221
標準名稱	含合成煙航空燃油
英文名稱	Aviation turbine fuel containing synthesized hydrocarbons
制定重點概要	<p>1.本標準適用範圍如下：</p> <p>(1)適用於產製傳統與合成摻配成分組成之航空燃油。</p> <p>(2)航空燃油之製造、驗證及放行皆符合本標準表 1 所有要求事項者，並符合 CNS 2558 之要求事項，應視為 CNS 2558 航空燃油，不需要重複測試；相同數據可用於本標準及 CNS 2558 之符合性。一旦燃油符合本標準，本標準之獨特要求即不再適用；任何再驗證均應依 CNS 2558 之表 1 進行。</p> <p>(3)一旦燃油被指定為 CNS 2558 航空燃油，則可依照與同等之精煉 CNS 2558 航空燃油之相同方式進行儲運處理。</p> <p>2.主要制定內容</p> <p>本標準內容包括「用語及定義」、「一般要求事項」、「分類」、「材料及製造」、「品質」、「製程、加工及外觀」、「取樣」、「試驗法」、「報告型式」、「產品標示」、「附錄 A(規定)~附錄 G(規定)合成石蠟煤油之 7 種合成摻配成分」、「附錄 H(參考)航空燃油之性能特點」、「附錄 I(參考)合成摻配成分之其他詳細要求事項」及「附錄 J(參考)產品完整性管理」。</p>

表 4-2 航空燃油(CNS2558)規定

油品種類	檢驗項目		檢驗標準
車用無鉛汽油	實驗室全項檢驗	密度、辛烷值、銅片腐蝕、氧化穩定性、膠含量、苯含量、氧含量、芳香烴含量、硫含量、雷氏蒸氣壓、蒸餾溫度。	CNS12614
	NIR快速篩檢	蒸餾溫度、密度、氧含量、苯含量、辛烷值	
車用柴油	實驗室全項檢驗	密度、十六烷指數、銅片腐蝕、閃點、動黏度、藍氏殘碳、蒸餾溫度、灰分、硫含量、多環芳香烴、潤滑性、脂肪酸甲酯、水分及沉澱物、水分、總烴量、流動點、氧化穩定性。	CNS1471
	NIR快速篩檢	蒸餾、密度、閃火點、十六烷指數	
煤油	含硫量、美制比重、銅片腐蝕、閃點、蒸餾性質		CNS1470
航空燃油	總硫含量、蒸餾溫度、殘餘量、損失、銅片腐蝕、閃點、密度、存在膠		CNS2558
燃料油	密度、閃點、流動點、水分及沉澱物、含硫量		CNS1472

4.2 國內主管機關及航空公司推動情形

1. 主管機關推動情形

目前民航局推動航空公司使用 SAF，係以鼓勵國籍航空採用方式，並設定國際線 2030 年使用 SAF 達 5%。此外 ICAO 認可共計 11 種低碳燃料可做為義務減項(可做為 CORSIA 機制之碳抵換)，航空公司須購買 ICAO 認可的 CORSIA 碳權及合格燃油，才適用 CORSIA 機制之碳抵換、碳抵減。

民航局已召開試行計畫工作會議，協調油商、航空公司及機場三方，完成進口、CORSIA 認證、飛航之準備工作；目前中油已於 113 年 12 月取得 ISCC CORSIA (國際永續性與碳驗證-國際航空業碳抵換及減量計畫)及 ISCC EU(國際永續性與碳驗證-歐盟)證書，為國內首家油公司取得符合國際民用航空組織(ICAO)供應銷售具實質減碳效益之永續航空燃油 (SAF) 資格，並規劃 2025 年第 1 季進口 SAF，另台塑規劃 2025 年第 2 季完成 CORSIA 認證並自產。此外民航局將於 2025 年推動試行計畫，並於桃園、松山及高雄機場添加 SAF 進行飛航。

2. 航空公司推動情形

- (1) 中華航空 2017 年率先於 A350-900 新機添加 SAF 飛渡回臺；2021 年起持續於新世代節能客機 A321neo 全機隊交機飛渡作業添加 10%SAF；2023 年 5 月 22 日，新加坡返回臺灣航班添加 10%SAF；12 月 28-30 日新加坡返回臺灣航班添加 35.28 %SAF。
- (2) 長榮航空 2023 年 5 月 7 日新機交付，從美國南卡羅來納州波音工廠飛回臺灣添加 30% SAF；2023 年 8 月 23 日 BR189 日本羽田飛回松山的航班，再次添加 40%SAF。
- (3) 華信航空 2023 年 12 月 29 日新機交付，從歐盟飛回臺北，添加 30%SAF。

五、我國推動 SAF 發展之重要課題與策略

永續航空燃料被視為實現航空業 2050 年碳中和目標的重要技術之一，然而目前 SAF 的使用仍處於初期階段，且其高成本和有限的生產能力限制大規模應用。本研究嘗試以資料分析法，以及政策分析工具 SWOT 與 TOWS 分析法，利用 SWOT 釐清相關問題，並用 TOWS 分析將 SWOT 中的優勢、劣勢、機會和威脅進行組合，更深入的探討，找出各項因素間的關聯，尋求相應的策略。

5.1 SWOT 分析結果

SWOT 分析結果如表 5-1 所示，利用優勢、弱勢、機會、威脅四個面

向可得知，我國在推動 SAF 所面臨之問題，相關分析結果摘述如下：

表 5-1 我國推動 SAF 發展之 SWOT 結果

	S(Strength) 優勢(內)	W(Weakness) 弱勢(內)
內部環境	<ol style="list-style-type: none"> 1. 政府支持並與國際趨勢接軌： 隨國際減碳發展趨勢，臺灣 2022 年也宣布 2050 年達到淨零碳排放的目標，而航空產業減碳亦是重要一環。 2. 技術與研發能力： 臺灣擁有強大的化工、材料與煉油研發實力，這些技術可應用於生產與改進 SAF 的技術。 3. 產業鏈整合能力： 臺灣擁有健全的煉油工業生產鏈，可以快速整合相關供應商和製造商，有利於形成完整的 SAF 生產體系。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 政策和法規的尚未明確： 未能推出具體政策或法規，可能會導致企業在投資和生產上持觀望態度，阻礙 SAF 市場的發展。 2. SAF 成本高昂： 目前具有顯著的價格劣勢，相較於傳統航空燃料，價格競爭力不足。 3. 原料供應不足： 生產 SAF 所需的原料（如廢油、農業殘渣等）在臺灣相對有限，這可能限制 SAF 在地生產能力。 4. 市場需求尚未成熟： 臺灣本土市場的需求尚未被充分激發，航空業界對於使用 SAF 的興趣和接受度仍然較低。 5. 技術發展尚待成熟 SAF 生產技術仍在發展階段，需要持續投入研發，提升技術成熟度和經濟效益。
	O(Opportunity) 機會(外)	T(Threat) 威脅(外)
外部環境	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國際航空組織積極推動： 國際民航組織(ICAO)已推動 CORSIA 計畫，並鼓勵各國積極使用 SAF。 2. 各國政府開始提出激勵措施： 各國為降低使用 SAF 的成本，並促進煉油廠商投資 SAF 的生產與研發，開始推動減稅、補貼等政策。 3. 科技創新與技術進步： 投資新的研發，可藉由技術突破降 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國際各國推動競爭加劇： 鄰近國家如日本、韓國、新加坡等都在積極研發 SAF 技術與推動政策，若無法及時跟上，可能在區域競爭中落後。 2. 原料供應鏈挑戰： 生產原料不足時，可能需要進口更多原材料，這會增加成本和供應鏈風險。 3. 原油價格波動：

	<p>低生產成本，並提高燃料效能。</p> <p>4. 拓展區域合作與投資： 可與東亞或東南亞國家展開合作， 分享技術、資源與投資。</p>	<p>原油價格波動可能影響 SAF 的價格競爭力，對 SAF 產業發展造成不確定性。</p>
--	--	--

本研究自行整理

(1) 優勢:

a. 政府支持並與國際趨勢接軌:

隨國際減碳發展趨勢，臺灣 2022 年也宣布 2050 年達到淨零碳排放的目標，同時展現推動綠色能源的決心，例如近期推動的再生能源政策與減碳目標，而航空產業減碳亦是重要一環，須國際發展趨勢一致。

b. 技術與研發能力:

臺灣擁有強大的化工、材料與煉油研發實力，這些技術可應用於生產與改進 SAF 的技術，如廢棄物轉化為燃料的技術 (Waste-to-Fuel) 等，因此在生質燃料及新興能源領域的技術實力可為 SAF 的研發基礎。

c. 產業鏈整合能力:

臺灣擁有健全的煉油工業生產鏈，可以快速整合相關供應商和製造商，有利於形成完整的 SAF 生產體系，包括原材料供應、燃料加工及物流分配等。

(2) 弱勢:

a. 政策和法規尚未明確:

政府政策的變動可能影響 SAF 產業的投資意願和發展方向；若臺灣未能推出具體的 SAF 推廣政策，或者相關的法律法規不明確，可能會導致企業廠商在投資和生產上持觀望態度，阻礙 SAF 市場的發展。

b. SAF 成本昂貴:

SAF 目前具有顯著的價格劣勢，相較於傳統航空燃料，價格競爭力不足，而 SAF 的生產成本高昂，主要原因為其原材料和製造技術尚未達到大規模商業化生產的經濟條件。

c. 原料供應不足:

生產 SAF 所需的原材料 (如廢油、農業殘渣等) 在臺灣相對有限，這可能限制 SAF 在本生產能力；此外臺灣在生質原料的可用性和進口政策上也需進一步的檢討。

d. 市場需求尚未成熟:

儘管全球對 SAF 的需求持續增長，然而臺灣本土市場的需求尚未被充分激發。一方面航空業界對於使用 SAF 的興趣和接受度仍然偏低，主

要受限於成本較高、供應不足以及政策誘因不明確等因素。

e. 技術發展尚待成熟:

SAF 生產技術仍處於發展階段，面臨技術成熟度不足、成本較高及大規模商業化挑戰等問題，因此須持續投入研發，不僅要優化現有製造流程，提升轉化效率與品質，還須研發創新生產技術與多元化原料來源，以實現技術突破，進一步提高經濟效益和市場競爭力。

(3) 機會:

a. 國際航空組織積極推動:

隨著全球碳中和與淨零排放目標逐步明確，航空業作為碳排放的重要來源之一，正面臨減碳壓力。國際民航組織已推動 CORSIA 計畫，要求航空公司對國際航班的碳排放進行抵消，並鼓勵各國積極採用 SAF 作為減碳解決方案之一。

b. 各國政府開始提出激勵措施:

各國政府開始實施一系列支持性政策，例如減稅、補貼和金融激勵措施，以有效降低 SAF 成本，此外還透過研發補助，以及建立公私合作基金等方式，吸引廠商加大對 SAF 生產設施和技術研發的投資。

c. 科技創新與技術進步:

隨著 SAF 製造技術的不斷進步，尤其是在合成燃料和先進生物燃料技術領域的創新與突破，未來有望顯著降低生產成本，並進一步提升燃料效能與環境效益。合成燃料技術通過捕獲二氧化碳並結合綠色氫氣生產燃料，實現碳中和的同時減少對石化燃料的依賴；先進生物燃料技術則利用農業廢棄物、非食用植物油及其他可再生資源作為原料，拓展生產來源。

d. 拓展區域合作與投資:

臺灣可積極與東亞或東南亞國家展開多層次合作，通過共享技術、資源和投資，推動 SAF 產業的共同發展。例如可與鄰國如日本、韓國等具有技術優勢的國家合作，聯合設立 SAF 生產基地，充分利用區域內的原料資源、勞動力及市場需求，實現成本的有效分攤與規模化生產。

(4) 威脅:

a. 國際各國推動競爭加劇:

鄰近國家如日本、韓國和新加坡等，正積極推動 SAF 技術創新與政策支持，並已展現出顯著的領先態勢。若臺灣未能及時跟進，制定完善的政策框架並加速技術發展，可能無法與各國競爭，進一步影響航空業的國際競爭力與減碳目標的實現。

b. 原料供應鏈挑戰:

若 SAF 原材料的供應不足或價格波動，將直接影響生產成本，甚至可能導致供應短缺。由於臺灣本地資源有限，尤其在農業廢棄物、非食用植物油等原材料的供應上受到環境與土地使用的限制，這使得本地生產的原料恐無法完全滿足需求，因此臺灣可能需要依賴進口更多的原料來支撐 SAF 的生產，這不僅會增加生產成本，還會引入更多的供應鏈風險。

c. 原油價格波動:

原油價格的波動可能對 SAF 的價格競爭力產生重大影響，進而對 SAF 產業的發展帶來不確定性。由於 SAF 的生產成本在很大程度上與原油價格掛鉤，當原油價格大幅波動時，可能會導致 SAF 的生產成本上升或下降，從而影響其市場價格和經濟可行性。尤其在原油價格低迷時，傳統航空燃料的價格競爭力更強，可能使航空公司在短期內更偏向使用傳統燃料，而非投資較高成本的 SAF。此外原油價格波動也可能影響投資者對 SAF 技術研發與生產設施的信心，進而延緩產業規模化發展。

5.2 TOWS 評估結果

本研究應用 TOWS 分析將 SWOT 中的優勢、劣勢、機會和威脅進行組合，更深入的探討，找出各項因素間的關聯，尋求相應的策略。相關分析結果摘述如下:

表 5-2 TOWS 評估結果

內部環境		S(Strength) 優勢(內)	W(Weakness) 弱勢(內)
		外部環境	
O(Opportunity) 機會(外)	SO(進攻策略)		
1. 國際航空組織積極推動 2. 各國政府提供激勵	1. 推動 SAF 產業發展與合作: 可積極整合現有產業	1. 制定相關激勵與強制措施: 政府可以制定 SAF 使用	

<p>措施與補貼</p> <p>3. 科技創新與技術進步</p> <p>4. 拓展區域合作與投資</p>	<p>鏈資源，促進跨領域合作，並引入學術研究單位及創新科技力量，共同精進低成本、高效率的 SAF 製程技術。此外可建立本土 SAF 示範專區(使用、研發生產)，進行技術交流與合作，以提升臺灣在全球 SAF 市場中的競爭力。</p> <p>2. 發展 SAF 關鍵前瞻技術:</p> <p>持續投入 SAF 技術研發，例如開發更高效的轉化技術(ATJ、FT)、探索新的 SAF 原料來源(如藻類、廢棄物等)，以提升 SAF 生產過程的能源效率與環境效益。</p>	<p>目標，鼓勵航空公司使用，並提供稅收優惠等措施，共同推動 SAF 的市場應用。在生產端部分，可制定激勵措施，例如提供 SAF 生產補貼、稅收優惠、價格支持等。</p> <p>2. 擴大原料來源降低生產成本:</p> <p>鼓勵企業投入 SAF 原料研發和生產，同時與東南亞國家合作，透過區域合作機制，確保原料供應穩定。</p>
<p>T(Threat)</p> <p>威脅(外)</p>	<p>ST(迴避策略)</p>	<p>WT(避險策略)</p>
<p>1. 國際各國推動競爭加劇</p> <p>2. 燃料供應鏈挑戰</p> <p>3. 原油價格波動</p>	<p>1. 加速國內技術國際驗證:</p> <p>鼓勵國內廠商投入 SAF 生產技術的研發，以提升 SAF 產量和品質，同時確保我國 SAF 技術符合國際標準及認證。</p> <p>2. 促進產業聯盟提升產業競爭力:</p> <p>政府可鼓勵國內廠商組成產業聯盟，共同投</p>	<p>1. 強化推動吸引產業投資:</p> <p>政府應設定明確 SAF 產量目標，並制定分階段的推動時程及長期產業發展藍圖，為業者提供清晰的發展方向和目標指引，同時建立健全的監管體系，確保產業發展有法可循並符合國際標準。</p> <p>2. 建立多元、韌性的原料供應鏈:</p> <p>促進企業與區域夥伴合</p>

	<p>入 SAF 技術研發和生產，共享資源及分攤風險，並提升整體競爭力。此外亦可推動產學研合作，整合學術界和產業的研發資源，以提升技術研發能力。</p>	<p>作，建立多元的 SAF 原料供應管道，此外亦積極扶植國內 SAF 原料生產。</p>
--	--	---

本研究自行整理

(1) SO(進攻策略):

a. 推動 SAF 產業發展與合作:

SAF 產業鏈涵蓋範圍廣泛，從原料供應、生產技術、運輸儲存到終端應用等各個環節，都需要產業界、政府和學術界的協同合作。因此臺灣可積極整合現有產業鏈資源，促進跨領域合作，並引入學術研究單位及創新科技力量，共同精進低成本、高效率的 SAF 製程技術。此外臺灣可與鄰近國家如日本、韓國、新加坡等建立區域合作模式，並建立本土 SAF 示範專區(使用、研發生產)，進行技術交流與合作，以提升臺灣在全球 SAF 市場中的競爭力。

b. 發展 SAF 關鍵前瞻技術:

持續投入 SAF 技術研發，對於推動航空業的綠色轉型至關重要，因此應加強開發更高效的轉化技術，如 ATJ (醇到航空燃料) 和 FT (費托合成) 等，這些技術不僅能提升燃料產量，還能優化生產過程中的能源使用效率，降低生產成本。此外探索新的 SAF 原料來源亦是關鍵，例如利用藻類、廢棄物等作為原料，這些可再生資源能進一步拓展 SAF 的原料基礎，減少對傳統化石燃料的依賴，並有助於解決原料供應不足的問題。

(2) WO(轉進策略):

a. 制定相關激勵與強制措施:

政府可以制定 SAF 使用目標，逐步提高航空業對 SAF 的採用比例，並以政策手段鼓勵航空公司積極使用。例如可提供稅收優惠、碳減排獎勵或航權優先分配等措施，降低航空公司採用 SAF 的成本壓力，並提升其參與意願。在生產端，政府可制定相關激勵政策，包括提供 SAF 生產補貼、稅收減免、價格支持機制以及研發資金投入等，以促進生產規模化，降低生產成本，並穩定市場價格。

b. 擴大原料來源降低生產成本:

鼓勵企業積極投入 SAF 原料的研發與生產，特別是利用農業廢棄物等其他可再生資源，開發高效且具經濟效益的原料供應鏈。同時臺灣可與東南亞國家建立區域合作機制，通過技術共享、資源整合及跨境投資，實現原料供應的穩定性與多元化。

(3) ST(迴避策略):

a. 加速國內技術國際驗證:

鼓勵國內廠商積極投入 SAF 生產技術的研發，著重提升 SAF 的產量、品質及經濟效益，推動相關技術的創新與突破。同時確保我國 SAF 技術符合國際標準，且積極參與國際合作與技術交流，以掌握最新的市場動態與標準要求。此外政府應協助廠商取得 ISCC CORSIA (國際永續性與碳驗證—國際航空業碳抵換及減量計畫) 及 ISCC EU (國際永續性與碳驗證—歐盟) 等國際認證，確保產品在國際市場上的合法性與競爭力。

b. 促進產業聯盟提升產業競爭力:

政府可積極鼓勵國內廠商組成產業聯盟，做為協調與推動 SAF 技術研發和生產的核心平台，可促進產業間的資源共享與技術交流，同時協助企業分擔研發與生產過程中的風險，並整合供應鏈上下游，形成具有國際競爭力的完整生態系統。此外政府可推動產學研合作，建立專門的 SAF 研究中心，匯聚產官學的資源與技術力量，有助於提升國內人才的技术能力。

(4) WT(避險策略):

a. 強化推動吸引產業投資:

政府應設定明確的 SAF 產量目標，並制定分階段的推動時程及長期產業發展藍圖，為業者提供清晰的發展方向和目標指引。同時須完善相關法規，涵蓋 SAF 的生產、使用、認證及市場流通等環節，建立健全的監管體系，確保產業發展有法可循並符合國際標準。此外政府可成立專項基金，提供資金支持，針對技術研發、設備升級及市場推廣等環節進行補助，並通過政策性補助，降低企業投入 SAF 生產和應用的風險。

b. 建立多元、韌性的原料供應鏈:

政府應積極促進企業與區域夥伴之間的合作，建立多元化的 SAF 原料供應管道，透過跨國合作共享資源與技術，降低對特定國家或地區的過度依賴，有效分散供應風險並提升供應鏈的穩定性與韌性。同時應大力扶植國內 SAF 原料的生產，推動資源循環利用，例如鼓勵農業廢棄物、油脂廢棄物的回收與加工，並支持藻類養殖等創新型原料的發展。

5.3 綜合評估

推動 SAF 的需求與供應發展涉及多個部門的業務範疇，需跨部門協調與合作才能有效推進。使用端主要由交通部門負責，包括航空業的推廣與應用；生產與製造端則涵蓋經濟能源部門的技術開發與基礎設施建設、環保部門的資源回收，以及農業部門對原料供應的支持與發展，因此須建立跨部門協作機制，統籌規劃政策、資源配置及目標實現進度，並促進產業鏈上下游的整合，為 SAF 市場永續發展奠定堅實基礎。

本研究聚焦於**交通運輸部門**對永續航空燃料推動的深入評估，根據 TOWS 分析結果，其中 WO（轉進策略）中制定相關激勵與強制措施是推動使用端採用的重要方式。本研究蒐整國際發展案例的經驗與實務操作，協助提出具體的激勵與強制措施，可做為後續主管機關規劃與推動的參考依據。

表 5-3 使用端推動措施案例說明

推動措施	說明
推動使用 SAF 的強制性規定	<p>規劃各年度永續航空燃料的使用比例，並規定航空公司按比例採用，藉此有效提升 SAF 的市場需求。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 歐洲的「ReFuelEU Aviation」法規設定航空燃油逐年遞增的 SAF 混合比例要求，業者違反法規規定將予以罰鍰，收入將用於支持永續航空燃料領域之研究及創新項目、永續航空燃料之生產或支持機制，以消弭與傳統航空燃料間之價差。2. 英國交通部 2024 年 4 月 25 日宣布永續航空燃料命令 (Sustainable Aviation Fuel Mandate)，將於 2025 年 1 月生效，SAF 使用比例從 2% 並以線性方式增加至 2030 年的 10%。3. 新加坡自 2026 年起要求離境航班使用 1% 的 SAF，並計畫逐步提高至 2030 年的 3-5%。4. 日本經濟產業省規劃修改「能源供應結構升級法」，以納入 10% 的 SAF 義務要求。該法規不僅針對航空公司，也包括油品批發商，違反規定的企業可能面臨罰款或其他懲罰。
制定 SAF 燃料費徵收機制	新加坡規劃引入一項「永續航空燃油稅 (SAF Levy)」，用於購買 SAF，同時藉由集中採購來實現規模經濟，並確保 SAF

	<p>的供應與使用。該徵費將根據飛行距離和座艙等級進行調整，不同旅客和航班的徵費比例將有所不同。</p>
<p>實施將 SAF 納入碳抵銷義務</p>	<p>使用永續航空燃料可做為航空公司碳抵銷義務的一部分，這是因為 SAF 在其全生命週期中比傳統化石燃料的碳排放量低。根 CORSIA 的規範，航空公司可以將使用 SAF 所減少的碳排放量計入碳抵銷義務，從而減少所需購買的碳抵銷額度，這不僅有助於達成全球減碳目標，還能降低航空公司的運營成本。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 芬蘭航空與 Neste 公司合作，在航班中逐步增加 SAF 的比例，減少公司需要購買的碳排放許可證數量。 2. 美國聯合航空透過這些 SAF 使用量來滿足其 CORSIA 義務，減少所需購買的碳抵銷數量。 3. IATA 提出 Book and Claim 機制，這是一種用於追蹤和核算永續航空燃料(SAF)購買的會計機制，目的在分離燃料的實際生產位置與其購買及使用地點，以簡化供應鏈、擴大市場潛力並降低成本。這種機制允許航空公司在不直接使用 SAF 的情況下，藉由購買所需的永續性證書來實現減排目標。
<p>實施航權分配優惠</p>	<p>對積極使用 SAF 的航空公司提供航權的優惠，藉以決定航空公司營運的航線和班次數量。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 韓國曾提出「航權作為激勵」做為 SAF 推動措施之構想。 2. 新加坡民航局曾提出在樟宜機場實施 SAF 獎勵計畫，對使用 SAF 的航空公司可優先分配起降時段。
<p>減少機場設施相關使用費</p>	<p>提供航空公司減免機場設施使用費的優惠，以鼓勵其採用 SAF。這些設施費用通常涵蓋停機坪、登機橋、地勤服務等方面的開支，而減少這些費用，可以直接降低航空公司運營成本，從而激勵更多公司在其航班運營中使用 SAF。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 韓國政府曾提出為航空公司提供減免機場設施使用費的優惠構想。 2. 挪威 Avinor 集團在其營運的機場計畫減少機場設施的使用費用，以推動航空公司增加 SAF 的使用量。
<p>實行政策補貼與稅收減免</p>	<p>為鼓勵航空公司轉型使用永續航空燃料，提供額外的稅收減免與補貼措施，可降低航空公司轉型成本，並減輕經濟負擔，同時促進更多業者參與永續發展計畫，推動綠色航空目</p>

	<p>標。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 韓國針對使用 SAF 的航空公司，曾提出額外稅收減免和補貼構想。 2. 英國希斯洛機場計畫推出一項 SAF 激勵措施，補貼航空公司購買 SAF 和傳統航空燃料之間 50% 的價格差異，減輕航空公司採用 SAF 的經濟壓力。 3. 荷蘭史基浦機場計畫為使用 SAF 加油的航空公司提供每公噸 500 歐元的補貼措施。
--	--

本研究自行整理

六、結論與建議

6.1 結論

1. 為延緩暖化各國積極減碳，航空業推動永續航空燃料亦成為減碳關鍵，而國際民航組織（ICAO）推動「國際航空業碳抵換與減量計畫（CORSIA）」亦是達成其設定之減碳目標手段。目前國際間推動永續航空燃料多從扶植生產及鼓勵使用兩面向研議；但僅靠鼓勵使用，難以在短期內克服永續航空燃料高成本障礙，因此要實現永續航空燃料經濟規模，還須要進一步強化使用端的推動措施機制。
2. 由於全球永續航空燃料供應及價格仍不穩定，且價格為航空燃油 2 至 3 倍，各國多採鼓勵立場，目前僅歐盟及新加坡規範提供永續航空燃料數量及航班添加比例，國際民航組織並未規範強制添加永續航空燃料。
3. 根據歐盟「再生能源指引(第 2 版)」定義，永續航空燃料包括合成燃料（e-Fuel），來自農林廢棄物、藻類、生質廢棄物、廢食用油、動物脂肪，以及回收塑膠的燃料都算；但糧食作物、大豆等製成的燃料，因有破壞生態疑慮，不能算在永續航空燃料內。

6.2 建議

1. 建議應提早規劃國內外航空業所需的永續航空燃料產能與供應，以滿足需求並減少對進口的依賴。若未妥善發展相關產業，過度依賴進口將增加碳足跡與進口成本，不僅不利於實現淨零碳排目標，還可能因進口價格波動影響機票價格，進而損及消費者權益。
2. 我國現階段如要求強制添加，我國民航主管機關評估將影響國籍業者競爭力、部分外籍業者恐停飛臺灣航線，建議應持續追蹤各國推動概況，

滾動檢討並適時評估訂定強制添加之規定。

3. 政策制定者需要平衡生產端和使用端的政策力度，並積極探索更多市場化的激勵機制，才能真正推動永續航空燃料產業的成熟和發展，為航空業的碳減排目標做出貢獻。目前國際間仍是以積極扶植生產端為主，而使用端則逐漸開始由鼓勵轉為強制，除強制機制外，政府應輔以激勵機制，這部分可參考國際推動之相關措施，如實施政策補貼與稅收減免等，適時評估推動以健全永續航空燃料市場發展。

參考文獻

1. Air Transportation Action Group (ATAG) & Barclays Research, International Air Transport Association (IATA)
2. Net zero 2050: sustainable aviation fuels, IATA, 2024
3. Environmental Report, ICAO, 2022
4. <https://www.icao.int/environmental-protection/SAF/Pages/Conversion-processes.aspx>
5. United States 2021 Aviation Climate Action Plan, FAA, 2021
6. policy-net-zero-roadmap, IATA, 2023
7. <https://www.delta-foundation.org.tw/blogdetail/4345>
8. Roadmap for the development of the UK SAF industry, ICF, 2023
9. <https://www.mlit.go.jp/koku/content/001520809.pdf>
10. Saf-Policy, IATA, 2023
11. <https://www.trade.gov.tw/Pages/detail.aspx?nodeID=45&pid=791190>
12. <https://www.iata.org/en/about/worldwide/europe/blog/focus-on-uks-sustainable-aviation-fuel-policy/>
13. <https://www.trade.gov.tw/Pages/detail.aspx?nodeID=45&pid=787566>
14. <https://www.trade.gov.tw/Pages/detail.aspx?nodeID=45&pid=776667>
15. <https://www.trade.gov.tw/Pages/detail.aspx?nodeID=45&pid=782681>
16. Sustainableaviation.co.uk, SUSTAINABLE AVIATION FUELS ROAD-MAP
17. <https://www.delta-foundation.org.tw/blogdetail/4345>
18. <https://www.resourcewise.com/environmental-blog/driving-change-in-aviation-japan-announces-10-saf-mandate>
19. <https://www.icf.com/insights/aviation/saf-ecosystem-in-japan>
20. <https://japannews.yomiuri.co.jp/politics/politics-government/20230527-112434/>
21. <https://senecaesg.com/insights/japan-to-mandate-10-sustainable-fuel-use-for-inter>

national-flights/

22. <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2603345-south-korea-to-require-use-of-saf-for-flights-from-2027>
23. <https://www.rti.org.tw/news/view/id/2196192>
24. Singapore Sustainable Air Hub Blueprint, CAAS, 2024
25. <https://www.trade.gov.tw/Pages/detail.aspx?nodeID=45&pid=762257>
26. <https://www.trade.gov.tw/Pages/detail.aspx?nodeID=45&pid=787528>
27. <https://www.mirrormedia.mg/story/20241202ind001>
28. 國際永續航空燃油推動概況，財團法人台灣綜合研究院，2023 年 6 月
29. 日本永續航空燃油推動措施及產業現況與展望，財團法人台灣綜合研究院，2024 年 6 月