

出國報告（出國類別：洽公）

參加 Axens 公司舉辦之低碳解決方案 研討會

服務機關：台灣中油股份有限公司煉製事業部桃園煉油廠

姓名職稱：李錦明 化學工程師

：陳柏廷 化學工程師

派赴國家/地區：法國/巴黎

出國期間：114 年 04 月 06 日~

114 年 04 月 12 日

報告日期：114 年 05 月 02 日

摘要

Axens 公司於 114 年 4 月 8 日至 4 月 10 日於法國舉辦低碳解決方案研討會，並於 4 月 10 日安排參訪活動，包含位於敦克爾克的 BioTfuel 示範工廠與位於里昂的 IFP Energies nouvelles (IFPEN) 研發中心。本次研討會內容涵蓋 SAF 製程發展趨勢、E-fuel 技術、碳捕捉整合應用、共煉技術 (Co-processing)，以及資金籌措與實際投資案例等，主要議題包括：

- SAF 全球展望與各區域政策分析
- Co-processing 製程整合與技術更新
- Vegan®製程應用於 SAF 生產
- DMX™碳捕捉技術與 E-fuel 整合策略
- 酒精轉換為航空燃料 (Alcohol to Jet)
- 其他低碳燃料案例分享

參加 Axens 公司舉辦之低碳解決方案研討會

目次

壹、 目的.....	4
貳、 過程.....	4
參、 具體成效	5
一、 SAF 全球展望與各區域政策分析.....	5
二、 Co-processing 製程整合與技術更新.....	9
三、 Vegan®製程應用於 SAF.....	11
四、 DMX™碳捕捉技術與 E-fuel 整合策略.....	14
五、 酒精轉換為航空燃料（Alcohol to Jet）	16
六、 其他低碳燃料案例分享.....	18
七、 參訪 BioTFuel 與 IFPEN.....	19
肆、 心得與建議	23

壹、目的

為掌握全球永續航空燃料（Sustainable Aviation Fuel, SAF）技術發展趨勢與低碳煉製應用策略，並蒐集與本公司未來能源轉型相關之製程整合、投資可行性與碳管理實務案例，特派員工前往法國參加由 Axens 公司主辦之「低碳解決方案國際研討會（Low Carbon Solutions Seminar 2025）」。本次出國之主要目的包括：

1. 參與技術研討課程，深入瞭解 SAF 製程（HEFA、ATJ、FT-SPK、e-fuel 等）、共製程（Co-processing）、碳捕捉（DMX™）、預處理與催化技術等重點議題；
2. 評估 Axens 公司所提供技術在我國煉油體系內之導入可能性、所需基礎設施、原料來源配套與減碳效益；
3. 實地參訪 BioTfuel 示範工廠與 IFPEN 研發中心，觀察低碳燃料技術之實際建置與放大實績；
4. 與國際煉製與能源公司進行技術交流，掌握未來投資趨勢與政策驅動脈絡，回饋本公司中長期低碳布局規劃。

貳、過程

本次出國活動期間自 2025 年 4 月 6 日至 4 月 12 日，行程內容如下：

- 4 月 6 日（星期日）晚間：自台灣搭乘長途航班出發，啟程前往法國。
- 4 月 7 日（星期一）早上：抵達巴黎戴高樂機場，當日進行行前整備與資料整理。
- 4 月 8 日至 9 日（星期二至三）：參加由 Axens 公司主辦之「低碳解決方案國際研討會」。會議主題涵蓋全球 SAF 政策趨勢、共製程應用（Co-processing）、Vegan® 製程案例、E-fuel 與碳捕捉整合技術（DMX™）、酒精轉換製程（ATJ）等議題。
- 4 月 10 日（星期四）：安排分組參訪行程，一組前往前往法國北部敦克爾克（Dunkirk）參訪 BioTfuel 示範工廠，瞭解固態生質物轉換為 SAF 之完整製程鏈運行實例；另一組前往 IFPEN（法國新能源研究中心），觀摩其各類燃料試驗單元（如 Vegan®、FT、ATJ、DMX™），並與技術開發團隊交流。進行技術單元導覽與催化研發流程簡報交流。
- 4 月 11 日（星期五）上午：自巴黎啟程搭乘航班返回台灣。
- 4 月 12 日（星期六）上午：班機抵達台灣，行程結束。

參、具體成效

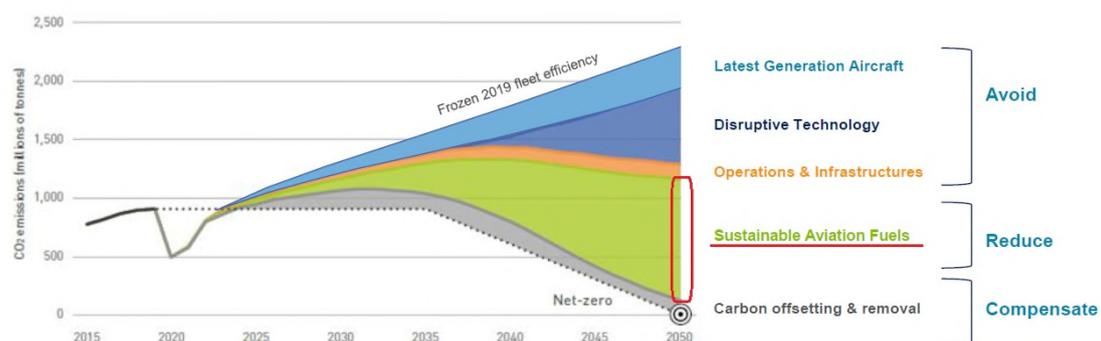
一、SAF 全球展望與各區域政策分析

1. 全球能源轉型與 SAF 的角色

隨著全球航空業朝向淨零排放目標推進，永續航空燃料（SAF）已成為減碳的關鍵策略之一。根據 Airbus 公司分析，未來航空業碳減量中超過 50% 需仰賴 SAF 來實現，且 SAF 能直接使用於現有航空器，不需大幅修改引擎或燃料系統。因此，包括政府、產業與飛機製造商在內，均積極推動 SAF 供應與使用。

Aviation's decarbonisation roadmap

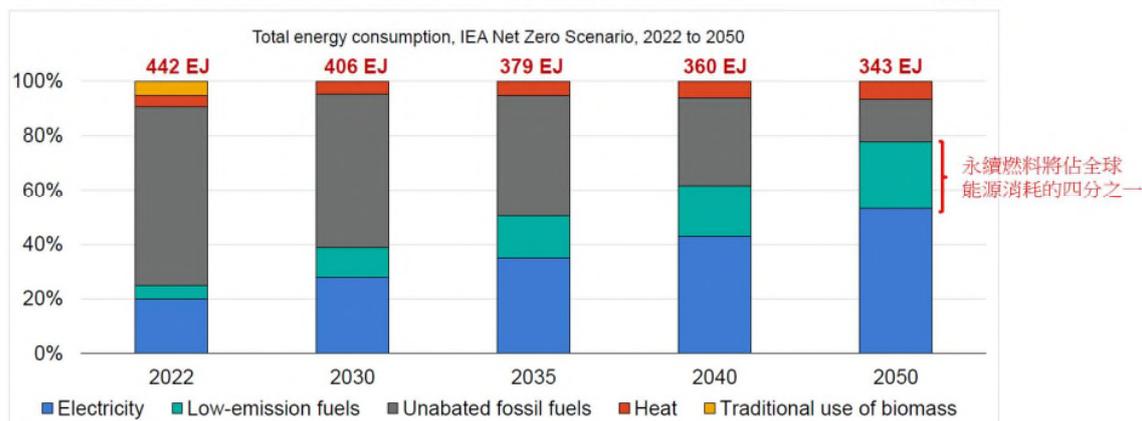
Airbus supports ATAG's most ambitious technology scenario



圖一、Airbus 提出之航空業減碳路徑藍圖

此外，根據 IEA（國際能源署）設定的 2050 年淨零排放政策，未來全球能源消費結構將大幅改變。其中，像生質燃料、氫氣這類永續燃料（Low-emission fuels）將急速成長，到 2050 年將占全球能源消費約四分之一，重要性媲美現在的全球電力需求。這也意味著，推廣永續燃料，不只是航空業、運輸業，而是全球能源轉型的關鍵一環。

Sustainable fuels are a pillar of the energy transition

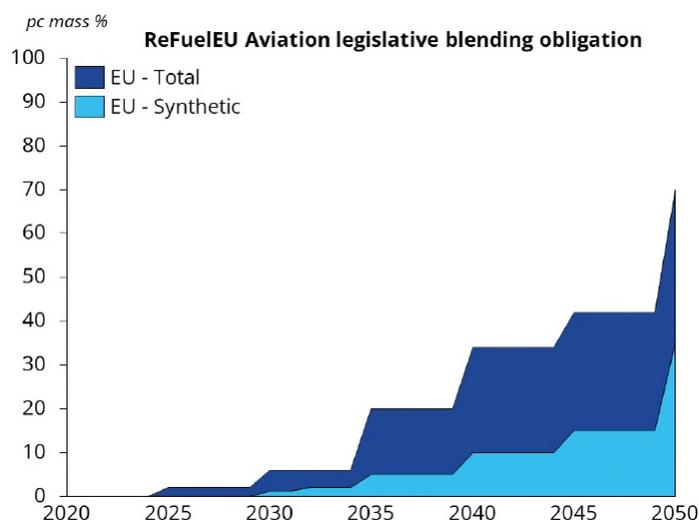


圖二、IEA 淨零排放路徑情境下的全球能源消費（2022 到 2050 年）

2. 主要政策推動與區域趨勢

歐洲 (EU)

- 2025 年起施行 RefuelEU Aviation 法規，要求航空燃料混摻 2% SAF，對於航空燃料中永續成分的要求也將逐步提高，最終目標是在 2050 年達到 70% 的 SAF 混摻比例，其中 35% 為 Power-to-Liquid (PtL) 合成燃料 (即 e-SAF)。
- 禁止以食用作物為原料製作 SAF，僅允許使用廢油脂 (如 UCO) 等列於 Annex IX 的原料來源。
- 未達標之罰款高達 2,702 歐元/噸 (一般 SAF)，若屬 e-SAF 則為 13,922 歐元/噸。



圖三、歐盟 ReFuelEU 對永續航空燃料和合成燃料的強制混摻比例計畫時程圖

美國 (US)

- 雖未訂定全國 SAF 混摻義務，但提供強力財政支持，包括：
 - 45Z 乾淨燃料生產稅收抵免（最高 1.75 美元/加侖）。
 - 可透過自願性 SAF Grand Challenge 於 2030 年達成每年 30 億加侖消費量。
- 各州另設立額外誘因，例如加州 LCFS 計畫允許 SAF 產生碳權交易收益。

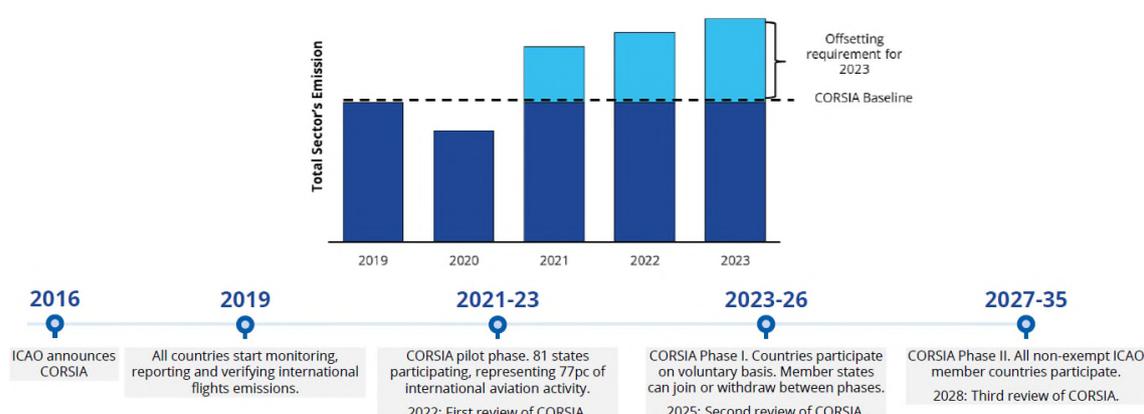
亞洲與其他地區

- 印尼設定 2060 年達成 50% SAF 混摻率，是全球最高目標之一。
- 日本目標為 2030 年前，國內航班使用 10% SAF。
- 新加坡自 2025 年起課徵搭乘附加費，作為推廣 SAF 基金。
- 巴西則自 2027 年起要求航空業每年減少 1% 碳排放，至 2037 年達 10%。

全球倡議

- ICAO (國際民航組織)於 2019 年啟動 CORSIA (國際航空業碳抵換計畫)機制，要求航空業碳排超過 2019 年基準量時需抵換或減碳。
- 目前處於 CORSIA 第一階段 (Phase I，自願參加)。未來自 2027 年起，將進入第二階段 (Phase II)，屆時所有非豁免國家將強制參與減碳或使用 SAF。

ICAO implements CORSIA



圖四、ICAO CORSIA 時程圖

3. 產業發展現況與市場展望

- 全球 SAF 需求預估至 2035 年達 3,200 萬公秉，占總航空燃料需求 6%。
- 供應儘管成長快速，但至 2035 年仍將面臨顯著缺口。
- 現行技術以 HEFA 製程為主，未來須加速推進 ATJ、FT-SPK 與 e-SAF 技術以擴大產能。
- SAF 生產成本高於化石燃料，短期內仍需仰賴政策支持及碳交易市場拉動。

4. 推動 SAF 發展的挑戰與對策

- 原料限制：需開發木質纖維素、廢棄物及非糧食型生物資源。
- 技術成本高：e-SAF 與 FT-SPK 技術需進一步降低成本。
- 標準不統一：急需全球統一的可持續性標準與 GHG 強度標籤。
- 產業鏈尚未完善：融資、供應鏈協作與基礎建設仍在建置中。

5. 國際企業典範與投資案例

公司	重點策略
Galp 能源	Sines 建設 270 ktpa HVO/SAF 廠，推動綠氫製造，響應歐洲能源轉型。
Macaron 計畫	法國 28 kt/y 正極材料工廠建設，切入電動車供應鏈。
NACRE 生質乙醇項目	以木質纖維素生產 30 kt/y 第二代乙醇，支援交通減碳。
Moeve 公司	西班牙 Huelva 建 500 kt/y HEFA SAF 廠，並布局 e-SAF 及循環經濟一體化創新平台。

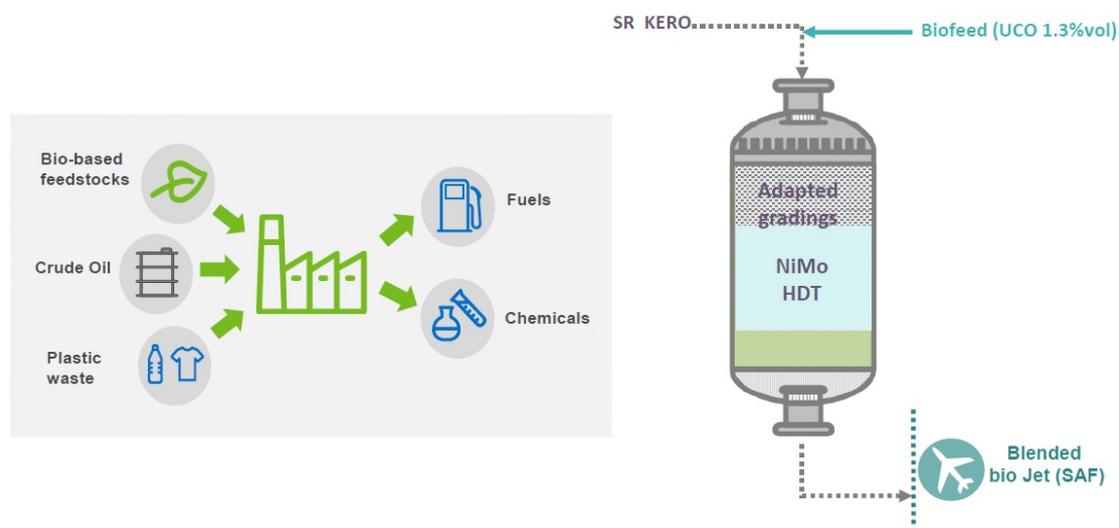
6. 未來展望

永續航空燃料已成為航空業與全球能源轉型不可或缺的關鍵元素。隨著各國政策驅動、技術創新加速與企業投資擴大，SAF 產業正邁向規模化商業運作。未來成

功突破原料供應、製程成本與標準化挑戰，將決定全球能否在 2050 年達成航空業淨零排放目標。

二、Co-processing 製程整合與技術更新

隨著各國逐步推動低碳轉型，許多煉油廠選擇以 Co-processing（共煉製程）作為過渡策略，將再生原料（如廢棄油脂、生質油或塑膠熱解油）與傳統石化原料一同進料至現有的加氫脫硫（HDT）、加氫裂解（HCK）或常壓蒸餾單元中，生產出符合永續規範的柴油與航空燃料（SAF），實現低資本投入下的減碳目標。



圖五、Co-processing 製程示意圖

相較於建造新建的 HEFA 或 e-SAF 廠，Co-processing 具備 **低 CAPEX**、**快速導入**、**彈性高** 等優勢，特別適合於現有煉油體系內的小規模轉型應用。目前主流進料為 UCO（廢食用油）、POME（棕櫚廢水油）與動物脂肪等廢棄油脂，而塑膠熱解油（Plastic Pyrolysis Oil）與生質原油（Bio-crude）也逐步進入可商業化驗證階段。

然而 Co-processing 的實務推動亦面臨數項挑戰，包括：

- **原料品質不穩定**：廢油與熱解油常含有磷、氯、金屬雜質，對觸媒與設備

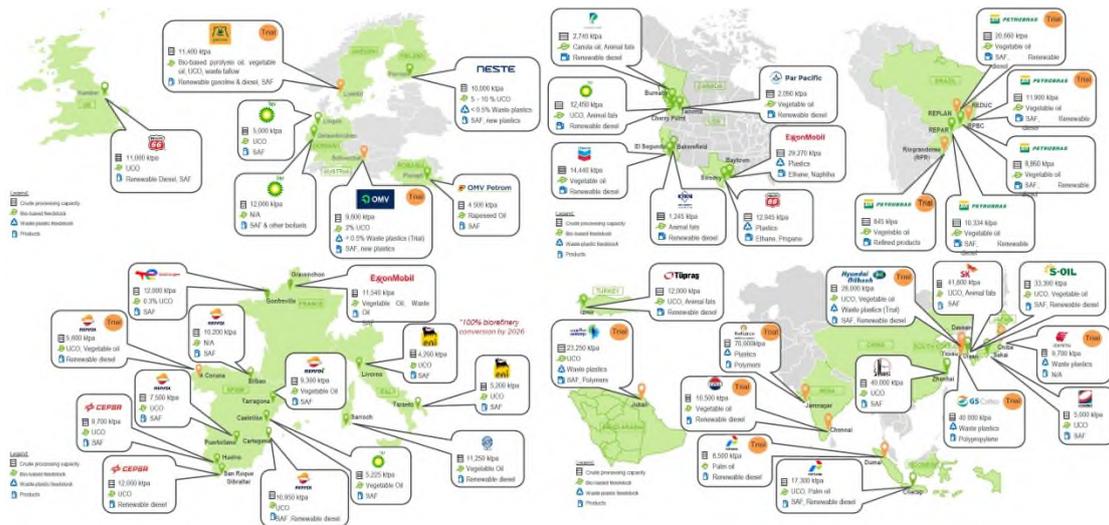
產生腐蝕、壓降提升等風險；

- **SAF 產品凝固點控制困難**：高碳鏈脂肪酸（如 C18）在共處理後可能導致 Jet A-1 產品凝固點不合規；
- **氫氣需求上升**：此類再生原料往往含有高氧化物與不飽和鍵，需更大量的氫氣才能完成飽和與除氧反應，導致整體製程的氫氣消耗顯著增加，對煉廠氫源平衡形成壓力；
- **再生碳追蹤難度高**：需透過 ISCC 等國際驗證制度及「質量平衡法」精確追蹤可再生碳含量與來源。

Axens 公司針對此類挑戰，提供了 **完整的觸媒組合與技術解方**。例如：

- 使用 NiMo 系列加氫脫硫觸媒搭配特殊 dewaxing 層（如 PHI756），可有效調整石蠟結構，改善產品凝固點；
- 採用梯度式填料設計與抗污染陶瓷材質，以降低磷脂與雜質導致的壓降與觸媒失活；
- 提供全套流程模擬與試驗方案，包括 MOL 集團與 Galp 煉油廠的實例皆已證實能穩定運轉超過 60 個月，並維持產品品質。

目前歐洲多家煉油廠已透過 HCK 或 HDT 單元導入 Co-processing 技術，每年可混入 1 - 7%的廢油脂進料並轉化為合規 SAF 產品，形成「多元進料—整合生產—即時切換」的靈活操作模式。



圖六、主要進行 Co-processing 製程的地區與國家

綜上所述，Co-processing 技術代表現階段既實用又可擴展的低碳煉製路徑。隨著原料來源逐漸拓展與政策驅動加強，其角色將於未來 10 年內，逐步從「過渡選項」走向「核心能力」之一，成為許多傳統煉廠邁向永續的關鍵技術樞紐。

三、Vegan®製程應用於 SAF

Vegan® 是由法國 Axens 公司開發的 HEFA（加氫處理脂肪酸與酯類）技術，專用於生產符合 ASTM D7566 規範的永續航空燃料（SAF）與再生柴油（RD）。此製程已獲得全球 26 筆商業案授權，遍及歐洲、美洲與亞洲，並成功導入多套具備年產能 64 至 700 kton（即 6.4 至 70 萬公噸）的商業單元。

- 26 commercial awards
 - ▶ 12 feasibility studies
 - ▶ 14 Process Design Packages / licenses

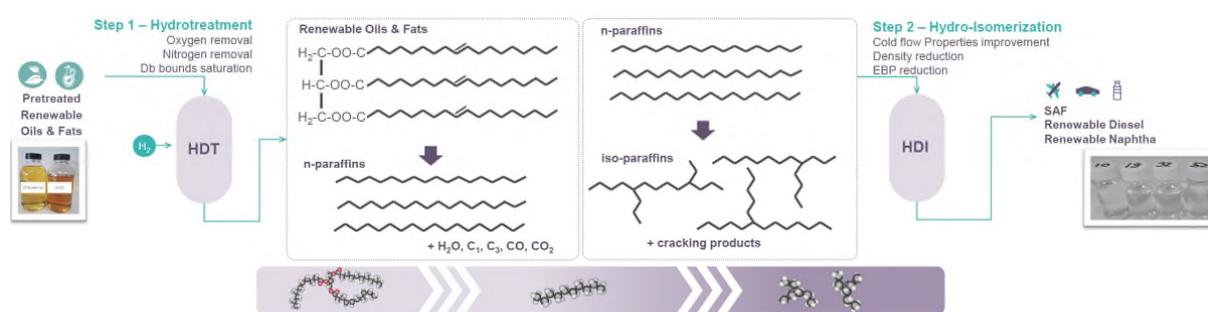
全球首座全SAF生產單元

Zone	Capacity, kty	Feed type	Product type	Status	Start-up date
Europe	640	VO, UCO & AF	RD & SAF	Operating	July 2019
America	160	VO	RD & SAF	Operating	Nov. 2023
Europe	300	UCO & PFAD	RD & SAF	Operating	Mar. 2024
Asia	300	VO, UCO & AF	RD & SAF	Operating	Mar. 2025
Europe	360	Undisclosed	Undisc	EPC	Sept. 2025
America	250	VO & AF	RD	EPC	Jan. 2026
Europe	300	VO, UCO & AF	RD & SAF	EPC	Mar. 2026
Asia	64	VO, UCO	RD & SAF	FEED	2027
America	525		RD & SAF	PDP	2027
Asia	200	VO, UCO & AF	RD & SAF	PDP	2027
Europe	712	VO, UCO & Tall Oil	RD & SAF	PDP	N/A
Europe	200	VO & Tall Oil	RD & SAF	PDP	N/A
America	330	VO & AF	RD	FEED	N/A
America	205	VO & AF	RD & SAF	FEED	N/A

圖七、全球 Vegan® 商業化案例

Vegan® 製程由兩大核心單元組成：

1. **第一段(HDT)加氫處理區**：將預處理後的廢食用油(UCO)、植物油(VO)、動物脂肪(AF)等脂質與氫氣反應，完成去氧(Decarboxylation)、飽和(Saturation)與去氮處理，產生線性飽和烷烴(n-paraffins)。
2. **第二段(HDI)加氫異構化區**：進一步透過異構化催化劑改變分子結構，提升冷流性、降低密度與沸點，達成航空燃料所需的凝固點與蒸餾範圍規格。



圖八、Vegan® 製程流程圖

此技術具高度彈性，可根據市場需求切換「全 SAF 模式」、「再生柴油模式」，或同步生產兩者的共製模式，為市場首創支援 100% SAF 生產的商業單元之一。

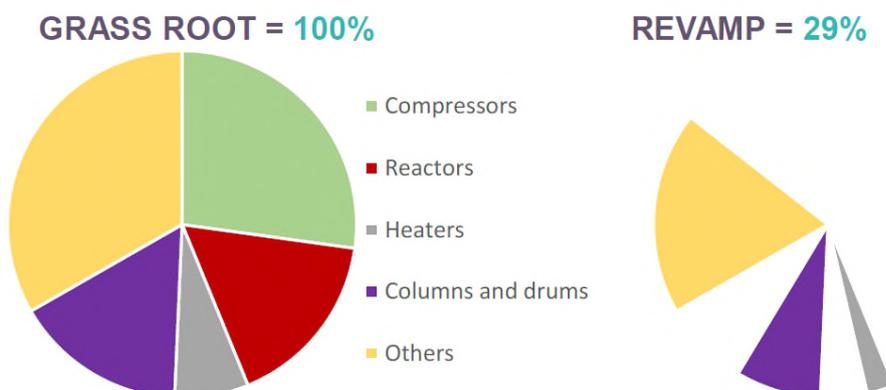
Vegan® 技術可依據客戶條件提供三種應用模式：

- **模式一：現有煉油廠改造 (Revamp)**，適用於具備氫氣、設施與公用系統的場域，可整合既有加氫單元進行改裝。
- **模式二：現場增設脂質預處理單元**，對原料品質要求較高者可選擇設置 Degumming 與 Adsorption 單元以去除磷、金屬、氯等雜質。
- **模式三：綠地建廠 (Greenfield)**，於空地新建 Vegan® 主製程、預處理與製氫單元，提供全整合解決方案。

在一項歐洲煉油廠改造為 SAF 生產單元的案例中，透過回收再利用壓縮機、反應器與冷卻系統等關鍵設備，最終實現年產 150 kton SAF 的能力，其整體改造成本 (ISBL Capex) 僅為全新建廠的 29%，展現該技術在成本控制與資產再利用方面的卓越優勢。

■ Study Basis (150 KTA SAF production)

- ▶ 2 HDS units available for revamp
- ▶ Focus on major equipment & Long Lead Items
- ▶ Metallurgy and design conditions
- ▶ Pressure balance
- ▶ Hydraulics



圖九、改造與新建案 CAPEX 成本比較圖

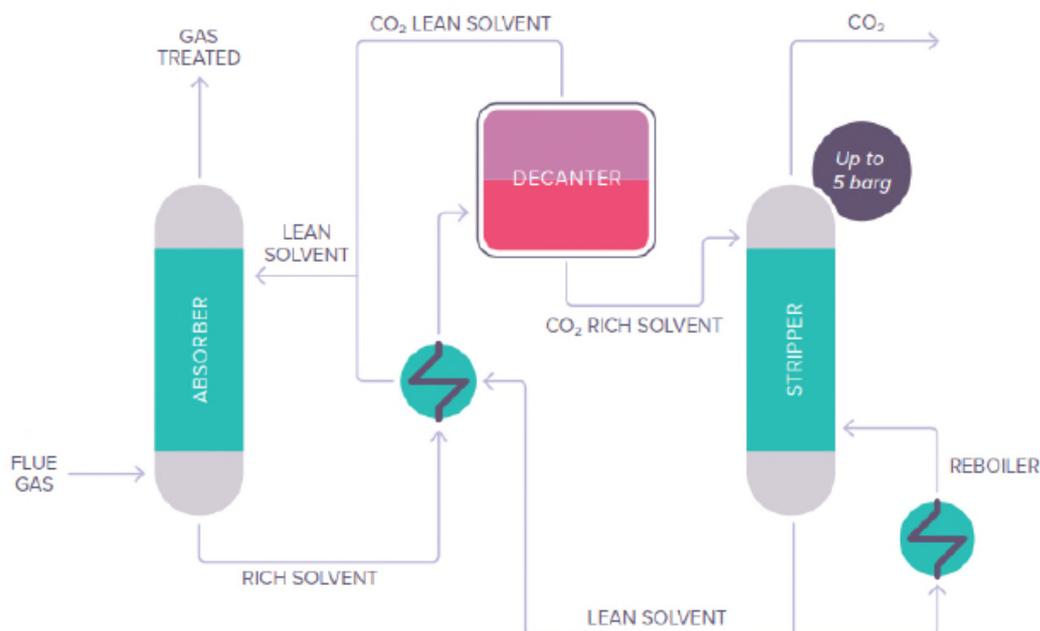
碳排方面，根據 Axens 進行的可行性評估，Vegan® 製程生產之 SAF 的碳足跡可比歐盟 RED III 標準值（94 gCO_{2e}/MJ）低約 91%。此表現受原料來源、收集距離與氫氣生產方式影響甚鉅，尤其製氫部分若能導入綠氫或使用製程副產品（如 LPG、Naphtha）為原料，將有助進一步降低整體碳排。

整體而言，Vegan® 技術提供了一套模組化、可擴展且具彈性配置的 SAF 生產解決方案，特別適合傳統石化煉製產業在原有架構下進行低碳轉型。其成熟的商業化應用與實際建廠經驗，已在全球多地獲得驗證，為煉油廠朝向永續能源轉型提供具體範本。

但在原料取得受限的條件下，建議以小規模、共處理導向為推動起點，並結合現有氫氣回收與副產品再利用設計，提升整體碳效益。未來如能透過技術授權或合作開發模式引進此類製程，將有助於我國同步因應全球淨零壓力與航空減碳政策趨勢，進一步強化綠色轉型布局的可行性與實務支撐力。

四、DMX™碳捕捉技術與 E-fuel 整合策略

碳捕捉技術能有效從工業排放源中移除二氧化碳，搭配再生能源製得的氫氣，進一步轉化為甲醇、e-diesel、e-kerosene 等合成燃料，可望取代傳統化石燃料，實現淨零排放。特別是在鋼鐵、水泥等高排產業中，以高效率、低能耗為核心的碳捕捉解方，將成為推動 E-fuel 發展的上游關鍵。



圖十、DMX™碳捕捉示意圖

DMX™技術是一種新型的二氧化碳捕捉製程，使用多元混合胺類溶劑(demixing solvent)，其特色為吸收 CO₂後可進行液相分離，提升捕捉效率並降低能源消耗。該技術由 Axens 公司開發，應用於工業示範計畫中(稱為 3D 計畫，DMX™ Demonstrator in Dunkirk)，該示範工廠從 ArcelorMittal 鋼鐵廠的 BFG 管線中直接取得含 CO₂的高爐氣作為原料氣體，作為碳捕捉之進氣。

DMX™溶劑特點：

- 低能源消耗、熱穩定性佳
- 對氧氣不敏感
- 可達高捕捉率 (>90%)
- 捕捉後的 CO₂ 純度高 (>99.8 mol%)

環保與操作效益：

- 極低溶劑降解 (<0.02 kg/tCO₂)、揮發性有機物 (VOC) 排放低

- 無泡沫產生
- 腐蝕速率低（碳鋼 $<5 \mu\text{m}/\text{yr}$ 、不鏽鋼 $\sim 0 \mu\text{m}/\text{yr}$ ）
- CO 吸收極低（ $\ll 0.1\%$ ）
- 餘胺與氨含量極低（Amine $<1 \text{ ppmv}$ 、Ammonia $<2 \text{ ppmv}$ ）



圖十一、Dunkirk 示範計畫（3D Project）實際單元圖

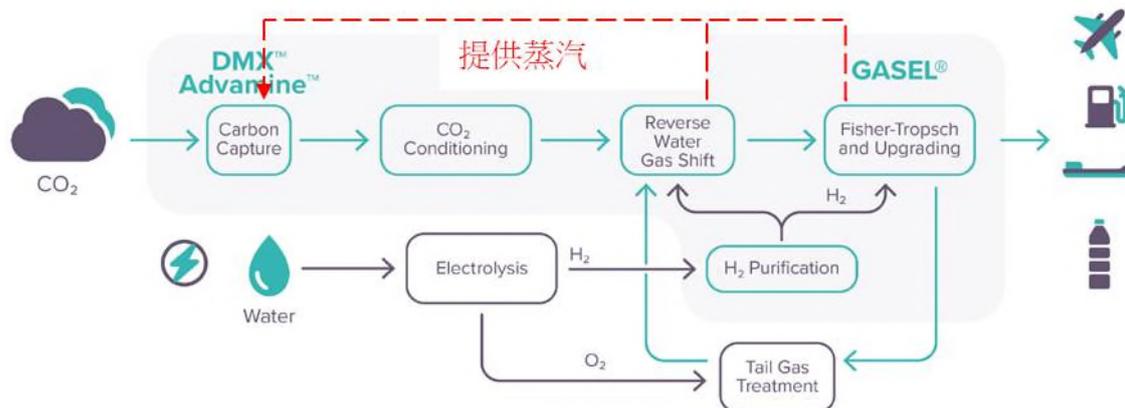
- 地點：法國 Dunkirk，ArcelorMittal 廠區
- 運行期間：2022 年 10 月 - 2024 年 11 月
- 處理能力：0.5 噸 CO_2 / 小時
- 進氣氣體成分 (mol%)： CO_2 (25%)、CO (23.4%)、 N_2 (46.9%) 等
- 氣體流量：200 - 1100 Nm^3/h

操作參數（關鍵數值）：

- 吸收壓力：0.2 - 1.8 barg
- 再生壓力：2 - 5 barg
- CO_2 捕捉率： $>90\%$
- 溶劑流量：2500 - 7500 kg/h

因歐盟預計於 2041 年開始強制 E-fuel 中必須要有生質源(biogenic) 或直接空氣捕捉的 CO_2 ，來自石化工業的 CO_2 所生產的非生物源再生燃料(Renewable Fuels of Non-Biological Origin, RFNBOs)將不再被允許使用，因此要實現大規模且成本效益高的 E-fuel 生產，取得低價生質碳源為一大挑戰。

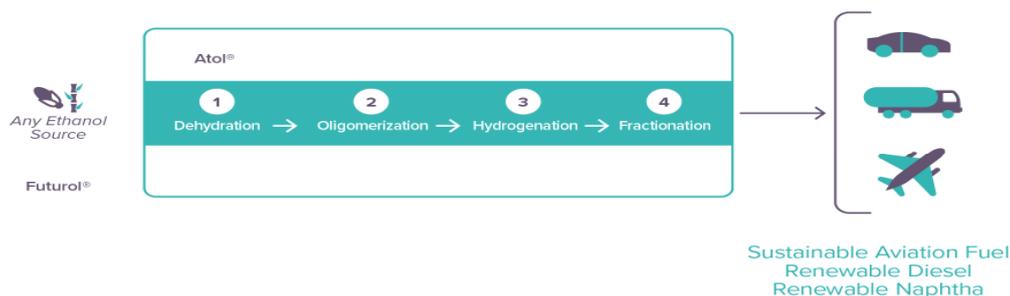
DMX™與 E-fuel 的生產過程是互補的，碳捕捉的胺液再生需要熱能，而 E-fuel 反應為放熱反應，並會產生蒸汽，可藉由熱整合，提供具競爭力的原料來源和經濟的碳捕捉價格，從而降低 E-fuel 的生產成本。



圖十二、碳捕捉單元與 E-fuel 單元整合示意圖

五、酒精轉換為航空燃料（Alcohol to Jet）

Axens 公司的 Jetanol™ 為將乙醇轉化為航空燃油(ATJ)的製程專利，可分為三個主要步驟，乙醇脫水（Dehydration）、乙烯寡聚化（Oligomerization）、加氫（Hydrogenation）再分餾生成航空燃料。會議中分享了兩個目前進行中的 ATJ 投資案例，一間是位於美國的 Gevo 公司，另一間為日本的 Idemitsu(出光興產)公司。



圖十三、ATJ 流程示意圖

美國 Gevo 公司 ATJ-60 投資案：

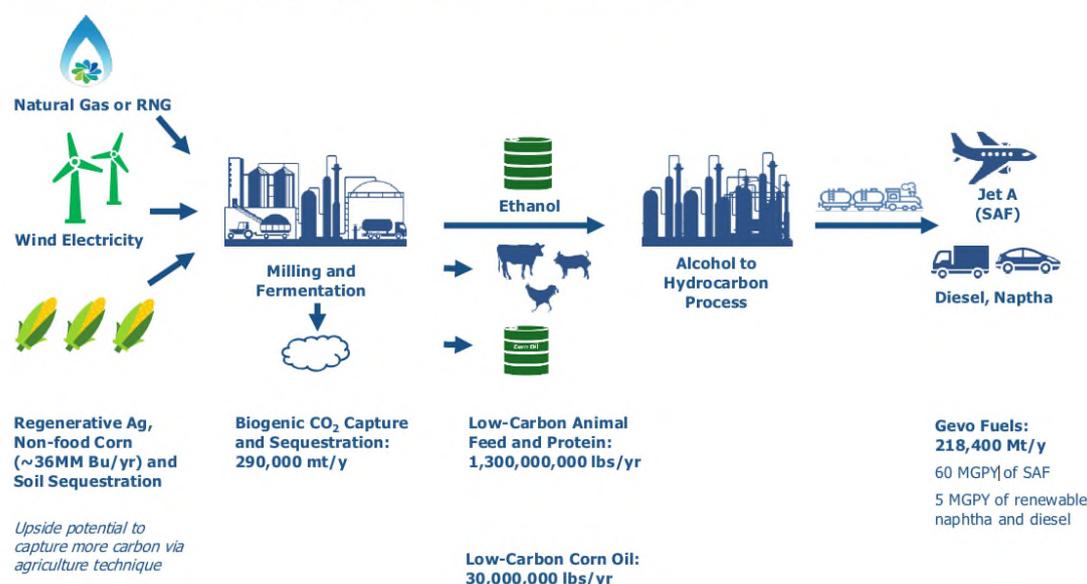
Gevo 的 ATJ-60 投資項目預計於 2028 年生產，將採用 100% 來源於美國的原料，預計每年可生產約 6,000 萬加侖永續航空燃料（SAF）、約 13 億磅蛋白質與動物飼料副產品，以及約 3,000 萬磅玉米油。由於美國為全球主要玉米生產國，擁有成熟的第一代乙醇產業鏈（1G ethanol），該項目可直接利用當地低碳強度（CI, Carbon Intensity）的乙醇作為原料進行 SAF 製造。

在技術方面，Gevo 擁有涵蓋乙醇轉油品（Ethanol to Jet, Ethanol to Olefins）的完整流程，並與 Axens 和研究機構 IFPEN 合作，共同開發低步驟、高效率的創新製

程，以進一步提升生產效率並降低碳排放，且導入綠電（風電），整體能效與碳強度進一步降低。

從財務角度來看，美國當地提供 45Q 與 45Z 稅收抵免政策，針對碳捕集與低碳燃料項目，依據其碳強度提供大幅度稅賦減免。此外，Gevo 的 ATJ-60 項目已獲得美國能源部貸款計畫辦公室（DOE LPO）核准的條件性貸款承諾，總額高達 16.3 億美元，幾乎涵蓋整體建廠資金需求，為其投資提供了堅實的資金保障。

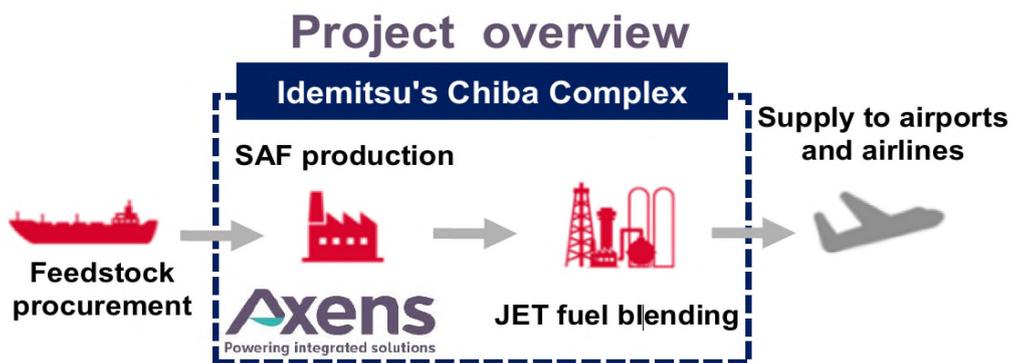
Alcohol-to-Jet 60 (ATJ-60) Growth Project: Cost effective SAF that Abates Carbon



圖十四、美國 Gevo 公司投資案示意圖

日本 Idemitsu(出光興產)公司 ATJ 千葉投資案:

出光興產是日本第二大石油公司，於 2022 年啟動 ATJ 投資計畫，獲得日本新能源產業技術綜合開發機構（NEDO）「綠色創新基金」的支持，計畫總額達 457 億日圓，預計於 2022 至 2028 年間執行。該計畫將從國內外來源採購每年 18 萬公秉的生物乙醇，並開發全球首座年產 10 萬公秉級的商業化 ATJ 製程，生產的 SAF 將主要供應給東京地區的主要機場。



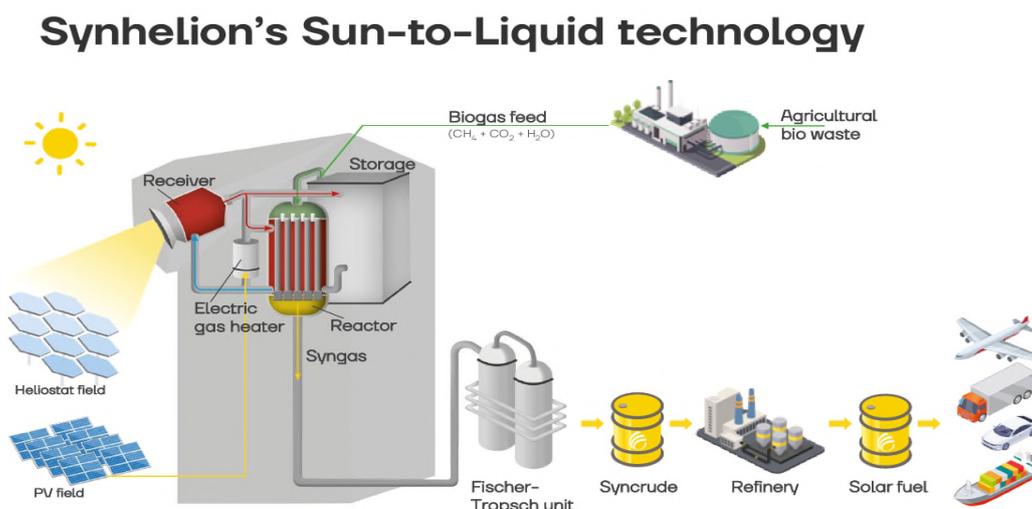
圖十五、日本出光興產公司 ATJ 千葉投資案

我國並非生物乙醇生產國家，若需興建 ATJ 製程較可能比照日本透過進口生物乙醇方式生產 SAF。ATJ 的進料彈性較高，包含第一代與第二代乙醇、固體廢棄物等皆可使用，興建時亦須考量穩定且低碳強度之進料來源。此外，目前投資案多透過政府租稅優惠與補助或資金支持推動，可供我國未來參考。

六、其他低碳燃料案例分享

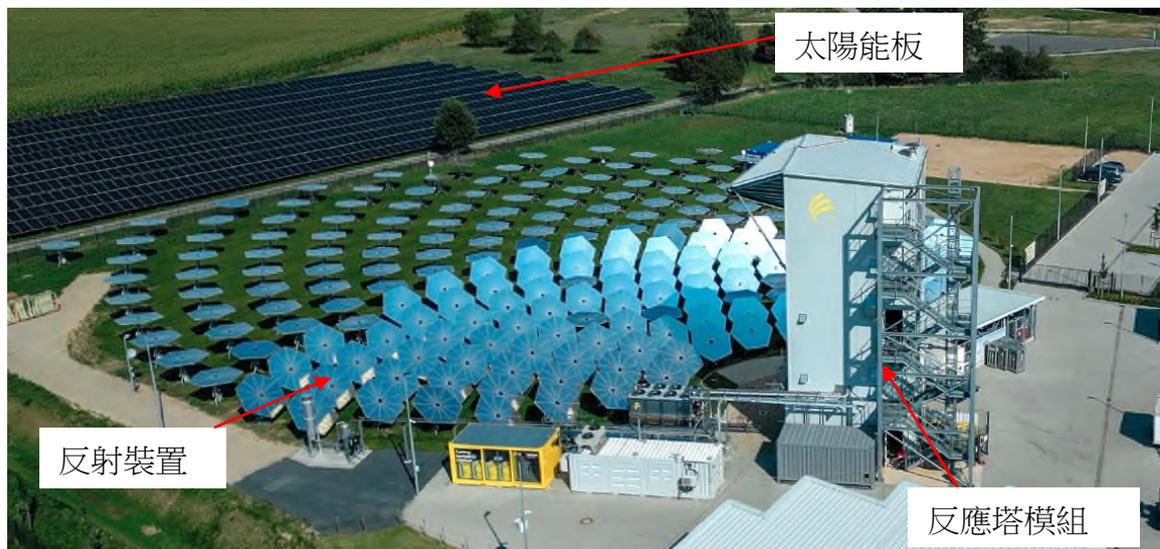
瑞士 Synhelion 公司太陽能合成燃料：

Synhelion 於 2024 年啟用全球首座工業級太陽燃料示範工廠 DAWN，其核心技術是「高溫太陽熱化學反應」，利用聚光太陽能將 CO₂與水產生為合成氣 (CO + H₂)，再經費托合成轉為液態燃料。



圖十六、瑞士 Synhelion 公司太陽能合成燃料示意圖

- 年產能：100 公噸太陽能合成燃料（對應 107 Nm³/h 合成氣）
- 能源來源：
 - 600 kW 太陽能接收器（Concentrated Solar Thermal）
 - 300 kW 電加熱器輔助
 - 1 MWh 熱能儲存系統（支援 24 小時運轉）
- 產品型態：
 - 生產 Syncrude 與蠟（wax）
 - 升級製程可產出航空燃料、柴油與汽油
- 製程流程：Sun-to-Liquid（利用太陽能接收器集熱、太陽能板供電與電加熱器加熱）
- 製程運作高度整合：此製程需要極高溫（>1200°C）與特殊陶瓷反應器。從反應物預熱、氣體混合、催化合成氣生產至控制系統，全設於塔狀多樓層模組中。



圖十七、瑞士 Synhelion 公司示範工廠實際單元圖

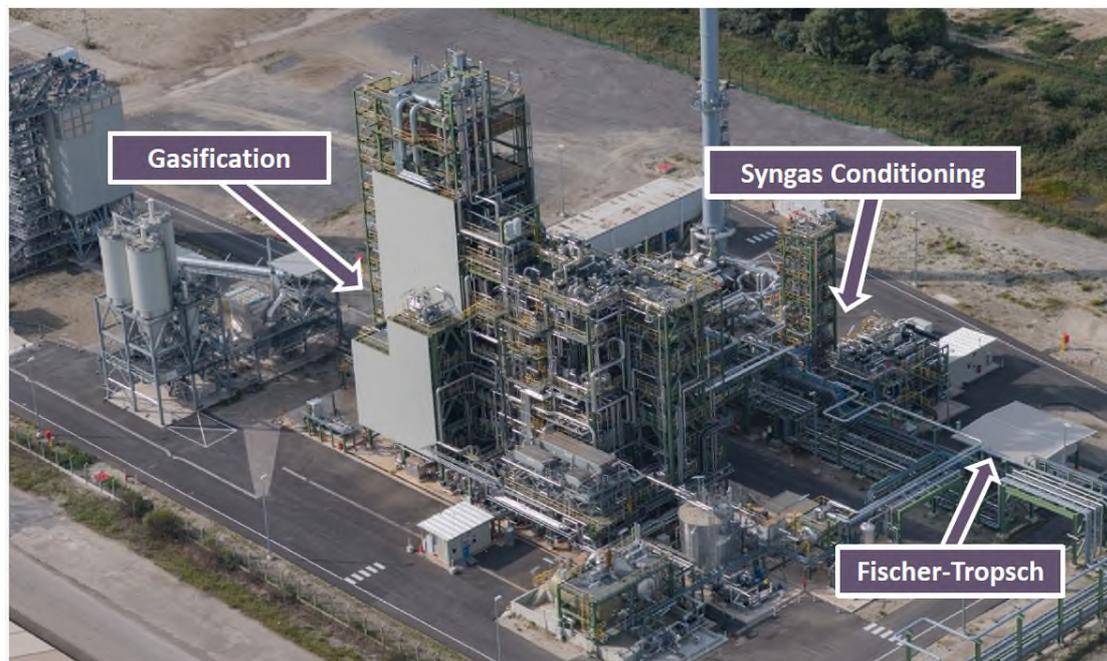
就產能與經濟性而言，此技術仍屬於示範規模，目前產能有限、經濟效益尚未成熟，短期內仍無法與 HEFA 等商用 SAF 製程競爭，屬於「技術潛力高、但中長期可行性須評估」之技術。

七、參訪 BioTFuel 與 IFPEN

BioTFuel 參訪：

位於法國 Dunkirk 的 BioTfuel® 試驗工廠是全球首座完整展示由固態生質物（Solid Biomass）轉化為永續航空燃料（SAF）的「全鏈式（Full Chain）前商轉示範單元」。該工廠由 Axens 聯合多家世界級技術業者共同開發，投入超過 1.9

億歐元研發經費，歷時逾十年建構，最終成功累計完成超過 1,000 小時以上的純生質操作測試。

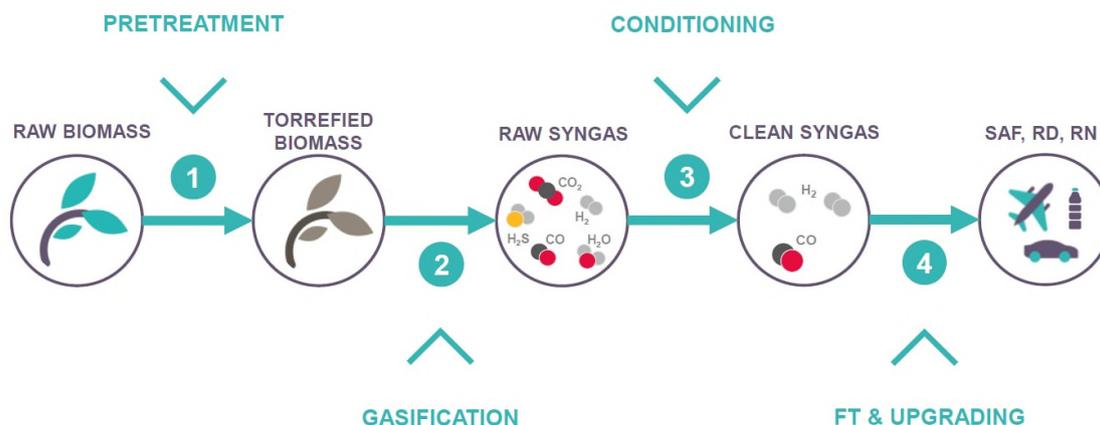


圖十八、本次參觀 Dunkirk 的 BioTfuel® 試驗工廠廠區示意圖

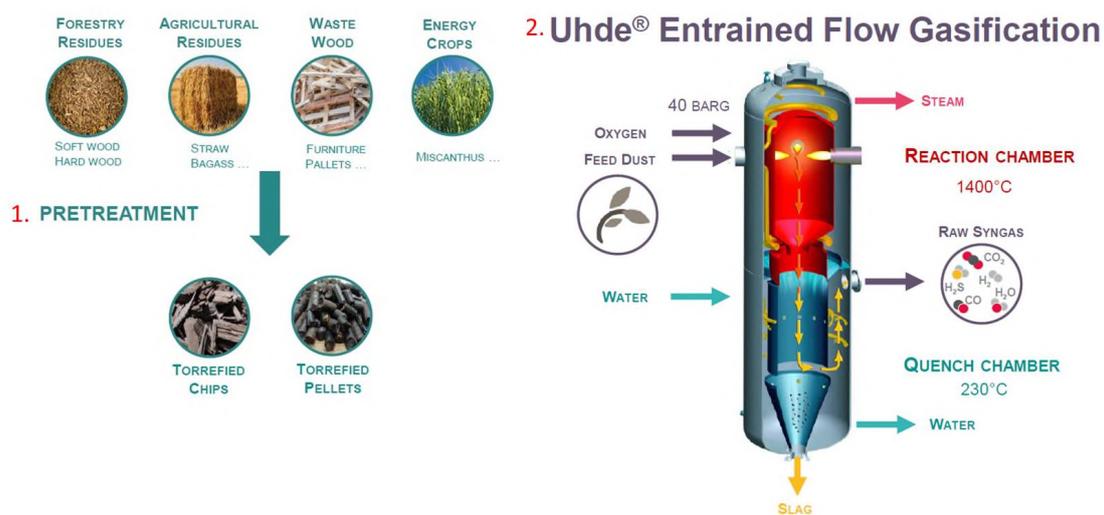
BioTfuel® 製程由四大模塊組成：

1. **預處理 (Pretreatment)**：將原始木質纖維素（如稻草、木屑、廢木）進行乾燥與低溫裂解 (Torrefaction)，製成能量密度更高的焙燒生質物 (Torrefied Biomass)。
2. **氣化 (Gasification)**：採用高溫高壓氣化技術產生原合成氣 (Raw Syngas)，副產物熔渣可再利用。
3. **合成氣淨化 (Syngas Conditioning)**：去除 H_2S 、 CO_2 、 Cl 等雜質，產出穩定純合成氣。
4. **費托合成與升級 (FT & Upgrading)**：經費托反應合成長鏈烴，再加氫裂解與異構化產出 SAF、RD、RN 等產品。

Quick Overview - The BioTfuel[®] Technology

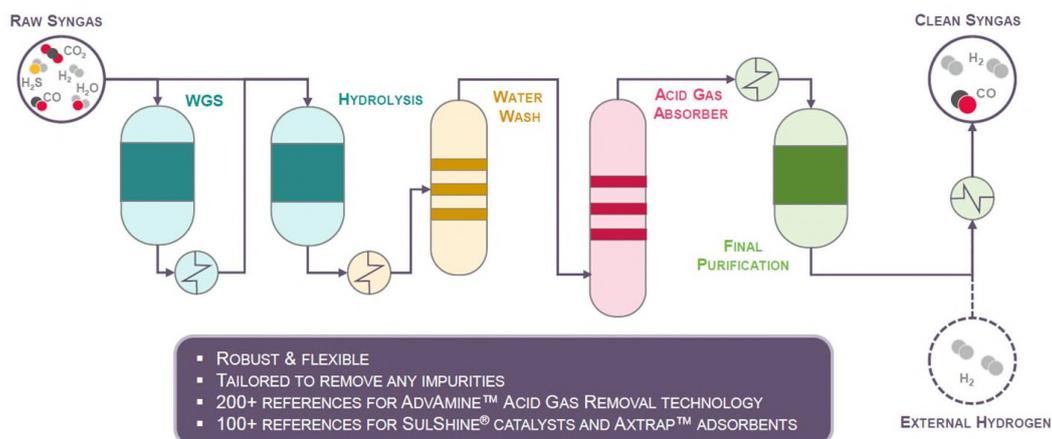


圖十九、BioTfuel[®]製程流程圖

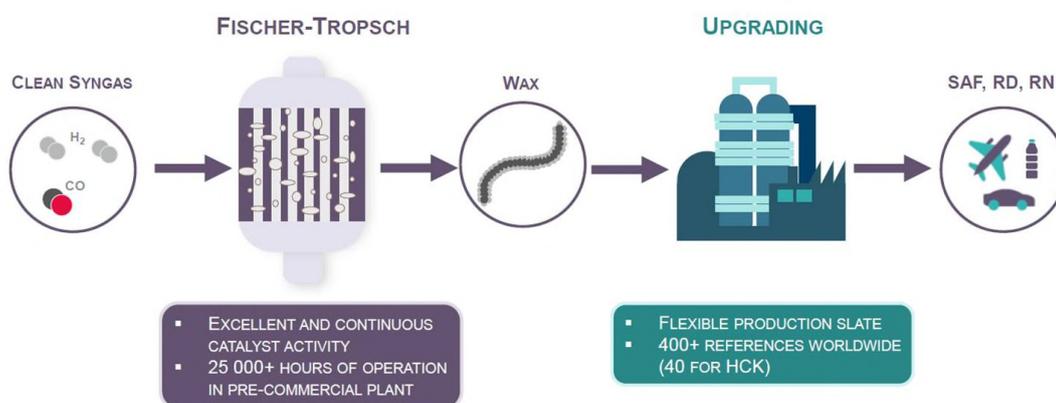


圖二十、預處理與氣化示意圖

3. Technology – Syngas Conditioning



4. Technology – Gasel® Fischer-Tropsch & Upgrading



圖二十一、合成氣淨化、費托合成與升級示意圖

本計畫特別採用「Venette + Dunkirk」的二地點模組化配置策略：Venette 地區靠近森林與農業帶，適合集中收集木質與農業廢料，其工廠負責上游焙燒預處理，處理木質廢料與稻草等原料；Dunkirk 為港口城市，具備重工業基礎與氫氣、公用工程優勢，便於執行高壓氣化與費托製程，為主製程示範單元，執行氣化、合成氣處理與 SAF 升級製程。此雙點運作模式模擬商轉時區域收料與中央轉化廠分工架構，刻意將前處理與主製程分開設點，模擬未來實際商業運作可能的「分散收料 + 集中製程」模式，亦有助於控制投資規模並分散風險，展現未來建廠佈局彈性。



圖二十二、Venette 工廠和 Dunkirk 工廠雙地點配置模式

工廠設計處理能力約為每小時 3 噸焙燒生質料，並採用非糧作原料（廢木、稻草、家具板材等），具高度來源彈性。雖本案為示範型工廠，操作完成即停產，但其整合能量已足以驗證整鏈 FT-BTL 製程可行性。計畫亦同步評估導入電解製氫（E-BioTfuel®）以提升碳轉換效率與 SAF 產率，朝向生質 + 再生電力的混合能源路徑發展。

BioTfuel® 所展現的製程模組化與前後段分離式佈局，對我國能源轉型具有重要啟發。台灣固態生質物資源雖受限，但透過林業廢棄物或農作副產物整合，可評估建立小規模 Venette 式預處理中心，搭配既有工場發展 Dunkirk 類型轉化模組，作為 SAF 示範鏈之起點。若能搭配綠氫生產與碳回收路徑，更可強化中油低碳轉型佈局與跨部門合作契機。

IFPEN 參訪：

IFPEN 為法國公營研究機構，受法國能源與環境政府部門支持，致力於開發永續能源相關技術，其研究成果常轉由其旗下之商業化公司 Axens 進行技術商品化與推廣。兩者關係密切，IFPEN 主導技術研發與前期測試，Axens 則負責技術包授權與全球推廣，形成完整的研發至商業化供應鏈。

此次參訪內容涵蓋多項技術的試驗工廠，因其技術保密規定，試驗工廠處皆無法攝影，故以文字摘錄內容如下：

1. ACP/FX Analysis Lab
了解其對液相與氣相產品進行分析的方法與設備，對觸媒反應生成物的評估提供強大支援，為觸媒開發與製程優化的重要基礎。
2. Dimersol™ T473 Lab Pilot Unit
Dimerso™製程為烯烴寡聚化為長碳鏈的過程，屬於 ATJ 類製程的重要部分。
3. DMX™ Pilot Unit
此單元為碳捕捉關鍵技術之一，採用具高選擇性的胺類溶劑，進行 CO₂ 吸收與再生程序。
4. FT-Upscaling Pilot Unit
展示其在 Fischer-Tropsch 合成反應的放大技術，針對 CO₂ 轉液體燃料路徑進行試驗，屬於 F-T 類製程，亦可作為未來 SAF 路線之一。
5. Vegan® Pilot Unit
VEGAN 技術針對動植物油或廢棄脂肪進行加氫裂解與異構化處理，以生產再生柴油與永續航空燃料，屬於 HEFA 類製程。

此外，IFPEN 亦展示其試驗工廠放大至實廠策略與觸媒研發流程，說明從核心技術（如 HEFA、FT）開發、催化劑配方設計、實驗室試驗、放大至實廠應用的完整流程。

肆、心得與建議

本次研討會由 Axens 公司主辦，除可實地了解最新永續航空燃料（SAF）技術發展趨勢，亦有機會與其他國際業者面對面交流，針對既有製程單元（如共製技術 Co-processing）或新建 SAF 製程（如 Vegan®、Alcohol to Jet、E-fuel）之適用性進行實質討論，對於本公司後續評估導入 SAF 技術具有參考價值。

茲整理本公司於推動 SAF 相關製程之可行方向如下：

1. 共製程(Co-processing)導入：
利用現有加氫脫硫（HDT）單元，摻入廢食用油等可再生原料共製程生產 SAF，具備資本支出低、轉換速度快等優勢，為近期落實 SAF 生產的可行選項。
2. 新建 Vegan®製程整合探討：
Vegan®技術為 Axens 主打之 HEFA 製程，儘管 HEFA 製程成熟，並為目前全球主流之 SAF 製造技術，但其前處理、氫氣需求及原料供應穩定性仍需詳細評估，特別是在本公司現有設施整合及未來營運成本之考量下，需審慎評估經濟效益與可持續性。此外，需搭配穩定 UCO 或脂肪酸來源，

建議可同步規劃 UCO 供應鏈與前處理系統設計，並與專利商洽詢模組化建廠可行性，以加速時程。

3. E-fuel 技術：

針對歐盟 2041 年後 e-fuel 強制使用 biogenic CO₂ 規範，建議針對 DAC（直接空氣捕碳）或工場內部生物質碳源可能性研討，並因應國內碳法規與政策補助政策規劃。

4. 政策與財務法令協助為關鍵：

推動 SAF 製程除技術選型外，尚需料源協尋、政策支持及財政法令面給予實質協助，避免日後建廠完成卻面臨原料斷供等問題，導致營運困難或投資失敗。

透過此次實地與技術交流，已初步掌握各項 SAF 技術發展與其適用範疇，中油公司將以共製程作為短中期切入點，並針對各種新建製程之長期方案審慎評估，以符合政府永續航空燃料政策之「短期進口、長期自產」方向。