

廢棄物及資源化

生質物熱解液化轉製 航空生質燃料用油技術

謝哲隆*

摘 要

熱裂解液化生質物技術是一個產製生質航空燃油可行的方向。一般生質航空燃油的原料有生物性油脂(例如：大豆油、麻瘋樹油、廢食用油等)，生產技術主要需先進行加氫處理，然後進行異構化及選擇性裂解反應，產生十至十六碳的石蠟煤油(paraffin/kerosene)。另外一種作法為利用固態生質物(例如：稻稈、竹子、麻瘋樹廢棄物等)經由熱裂解液化技術，產生生質燃料油後，因其成分複雜且含氧量高，亦須經由氫化(hydrogenation)或脫羧反應(decarboxylation)、隨後加氫裂化(hydrocracking)、異構化(isomerization)及選擇性裂解反應(select pyrolysis)，同樣亦可以產生十至十六碳的石蠟煤油，即所謂的生質航空燃油(Biojet fuel, BJ)。生質航油配合 106 年歐盟之 BJ10 航油政策，國內須有能力生產此類航油之技術及設備。除此之外，其中非食用油料源之取得是關鍵，預估每年 BioJet 需求量約 56 萬公秉，產值約 130 億元。生質航油與航空燃油含硫量相比(>3,000ppm)，其一大優點即是其硫含量極低或是幾乎沒有，此對降低空氣中的酸沉降有相當大的助益。各國對此均加以重視並提出各自因應開發研究方案。

【關鍵字】生質航空燃油、熱裂解觸媒液化、生質能、異構化、氫化脫氧

*國立宜蘭大學環境工程學系 教授

一、前言

1.1 緣起

世界上生質燃料產業發展已呈現出 5 大趨勢，1.國際能源貿易戰火持續蔓延；2.航空生質燃料應用市場擴大，RDIF (renewable drop in fuel)崛起；3.第二代非糧生質燃料料源大規模量產；4.第三代生質燃料大規模商業化引信點燃；5.Biorefinery-Complex 概念實現並逐步擴大，生質精煉產品擴大競逐石化製品市場^[1]。因應國際航空市場的擴大競爭，特別是航空燃油市場的需求遽增及面臨的減碳壓力，國際空運協會(IATA)則宣告其於溫室氣體減量的具體目標：將於 2020 年達成碳排放零成長、2050 年之排放量較 2005 年減 50%，而其達成此一目標的主要手段則是藉由生質航油的添加以替代化石燃油，進而有效地減少化石燃油的使用量與碳排放量。依據國際能源總署(IEA)估計，2010~2030 年全球生質燃料投資金額，將達 4,050 億美元。2009 年全球生質燃料的使用量只占運輸燃料比重的 1.5%，預計 2030 年將達到 5%，2050 年將達到 30%。歐盟除了積極推動航空業的碳排放環保機制外，另外在 2008 年 12 月通過的歐盟環保能源指令中要求航空業者積極減碳，並使用生質燃料以減少至少 35%的碳排放量。此一法規的目標希望在 2017 年能夠達到減少至少 50%的碳排放量。歐盟航空業者也樂觀其成，並且在 2009 年承諾將於 2017 年前將目前航空柴油的 10%使用量由生質燃料取代。預期歐盟將於 2017 年將推動添加 10%生質航空燃油 B10 航油政策，並抽取額外碳稅。各國對此均加以重視並提出各自因應方案。

生質能源最主要的優勢是支援引擎運作，這是其他替代能源難以與其競爭的部份。現行海陸空的運輸主要都倚賴石化能源生成的液體燃料(柴油、汽油、煤油)來驅動引擎(或內燃機)。可以說多數的運輸設備(例如：飛機、汽車)以及相關後勤系統(例如：加油站)都是為液體燃料而設計。而當前最能夠以現有系統進行佈署的替代能源就是生質燃料(例如：酒精汽油、生質柴油、生質航空燃油)。其他替代能源如要用於運輸，基本上都要先發電，然後讓運輸設備使用電力。電力車或是電力船概念雖好，然而就現實面而言目前電池容量無法支援長程運輸，同時要佈署更換電池的「電力站」成本太高，等於是重新建立後勤系統；於電力車或電力船上裝置

太陽能板也不足以滿足長程運輸的需求，並且受到天候(日照量)影響甚鉅，更別說以電力支援客機跨越太平洋或是大西洋。因此在未來 10 年甚至 20 年內，生質燃料仍然會是替代能源中最重要的一項^[2]。

航空燃油分為航空汽油、航空煤油兩大類。噴射機燃油包含各種碳氫化合物(從 C4 到 C19)，一般噴射機燃料皆使用 JP 系列之航空燃油，可分為 JP-4、JP-5、JP-8 及 JP-A 系列，JP-4 與 JP-8 燃油為軍用航空器使用最廣泛之 JP 系列燃油，Jet A-1 則為民間航空器使用最廣泛之 JP-A 系列燃油。JP-4 是一種廣泛混合的燃油(C5-C14)，其成分中有 50~60 % 屬於無鉛汽油，40~50 % 為煤油。目前全球航空業用的生質燃料，有 90% 是由芬蘭廠商 Neste Oil 位於芬蘭與新加坡 Tuas 的煉油廠所供應。航空燃油佔航空業總成本結構達 35% 至 40%，數家航空業者已經測試使用過生質燃料，如美國大陸航空公司、紐西蘭航空公司、荷蘭航空公司(KLM)、德國漢莎航空(Lufthansa)和芬蘭航空(Finnair)等。目前已有超過 1,600 架飛機使用生質燃料。航空公司 GOL Linhas Aereas Inteligentes S.A. (GOL) 在巴西是規模第二大的航空公司，僅次於 TAM，主打廉價機票市場。為迎接 6 月 12 日開踢的 2014 年世界盃足球賽(World Cup)，GOL 宣布這兩個月內將會有兩百架次的飛機使用混合了 4% 生質燃料的航空燃料來進行飛行任務。目前國外航空生質燃油使用原料有：廢塑料、海藻、麻瘋樹、油籽、亞麻薺、糖、地溝油、棕櫚油及椰子油混合等。

台灣替代性航空燃油解決方案中，未來的解決方案可發展生質燃油(Bio-fuels) 混合綠色柴油或 JET-A 航空燃油成為替代燃油，不過需要改善生質燃油的生產成本，克服生質燃油在巡航高度結冰，高溫操作缺乏穩定性，以及提升熱效率增加引擎的推力等技術問題。航空生質燃油的製造技術可能改變燃料處理的能量消耗，這些新興技術包括：1. 直接產生碳氫化合物；2. Fischer-Tropsch (FT) 程序；3. 熱裂解處理程序；4. 生物酵素法等。後續油品加工方式主要是利用加氫處理方式，進行生質燃油之加氫除氧，生產綠色柴油(Green diesel)，或進一步異構化生產生質航油，亦可由此製程產製高碳數直鏈烷烴。本文針對成本較低且技術上較為可行之生質物或生質廢棄物熱處理裂解液化技術進行介紹，並進行混合衍生生質油於航空燃油的百分比之可行性做相關探討，以協助國內相關技術開發與推廣，協助做為航空用油油品添加的參考，並可因此估算污染降低及二氧化碳排放減量之效益。評估原物料可選國

內外中含油量較高之生質物或生質廢棄物，混合目標為 JET-A 等煤油含量較高之航空燃油。希望可以協助填補台灣目前航空用油完全使用石化燃料的缺點，發展台灣未來的航空綠色運輸生活方式，特別是桃園航空城的規劃願景及達到生質或有機廢棄物零廢棄全循環之環保要求。

二、航空燃油需求與特徵

2.1 台灣生質燃料的需求與應用前景

全球航空運輸業每年消耗 15 億~17 億桶航空煤油，排放的二氧化碳高達 6.23 億公噸，約佔全球總排放量的 2%。每桶原油價格增加 1 美元，全球航空運輸業成本將增加 16 億美元。現階段發展生質能源燃料將可解決此行業所面臨的航空燃料價格波動難題，為減少碳排放，帶來至少 1,000 億美元的商機。據工研院 IEK 推估到 2050 年時，生質燃油可占交通運輸燃料總量的 27%，尤其可在替代汽油、柴油、煤油或海空航運用油方面做出貢獻。歐盟為減少溫室氣體排放，並預期生質燃油可提供農村地區勞動機會與多元化收入，因而持續努力發展推動零碳交通與燃油供給多元化，以利用生質燃油成為化石燃油的替代能源為目標。歐盟生質燃油策略三個主要目標：確保生質燃油對全球環境有益、改善成本競爭力達到大規模使用、拓展有助於開發中國家發展的機會。

而台灣國內航空燃料的總供給量、國內航空使用量、國際航空使用量及出口量如圖 1 所示。總供給量與出口量有相同趨勢，呈緩慢上升趨勢，至 2009 年達到最高點，分別為 5,609 及 3,235 ML，之後下降至 2011 年再回升。可能原因為受景氣影響而出口下降，連帶使得總供給量下降。但在國際航空用油部分則呈現穩定上升趨勢，在 2012 年達到最高點，為 2,594 ML，約佔總供給量 4,806 ML 的 53.97%。足見國際航空用油隨著客貨運量的強勁上升而需求越顯重要。國內航空用油可能隨著高鐵的啟用後，北高航線減班影響而運量逐漸萎縮中。至 2012 年使用量為 108 ML。如以歐盟於 106 年將推動添加 10% 生質航空燃油 BJ10 航油政策來估算，國內總供給量的 10% 需要量約為 561 ML，以中國石油公司國際航線航空燃油牌價表估算，

其 2014 年 6 月牌價表為 0.8066 US\$/L，因此總市場需求產值約 4.53 億美元，約合新台幣為 136 億元。而隨著未來添加要求量越大，此產值亦將隨之提升。因此台灣急需要本土技術的開發投入，避免未來從航空油量出口轉變成需大量進口航空生質燃油的不利情境。

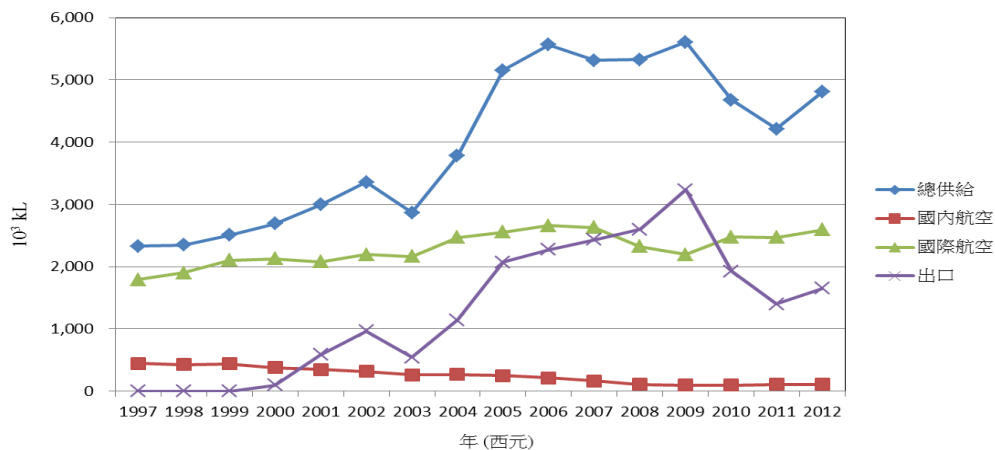


圖 1. 台灣國內航空燃料的總供給量、國內航空使用量、國際航空使用量及出口量

2.2 航空燃料油品特徵

依據石油產品認定基準，航空燃油定義為符合下列條件者：1.蒸餾出百分之十之溫度在攝氏一百六十度以上，蒸餾出百分之九十之溫度在攝氏三百十二度以下，閃火點為攝氏三十八度以上之燃料；2.為廣蒸餾溫度範圍之燃料用油，沸點介於攝氏四十度至三百十二度之間，雷氏蒸氣壓介於十二至二十五 KPA 間之燃料；3.前二項油品中，摻有其他油品或化學品之混合物；4.其他供渦輪引擎飛機燃料用之蒸餾油品(行政院環保署網頁)。蒸餾品質介於輕油與煤油之間。航空燃油是一特殊混合燃料，從原油的清蒸餾液獲得。所有航空燃油必須符合非常嚴格的航空渦輪引擎及燃料系統要求，即必須清純及於高溫區無氧化沉澱物。航空器的操作需要長時間的航行於非常的高度，因此需要具備在非常低溫下仍有良好流動的特性。大部分航空燃油是煤油與石蠟油基的混合油，分類稱為 JET A-1。最常使用的添加劑，如

50 生質物熱解液化轉製航空生質燃料用油技術

抗氧化劑以避免膠化，通常使用烷基酚(AO-30, AO-31 或 AO-37)；抗靜電劑以消除靜電及避免火花；腐蝕抑制劑(DCI-4A 或 DCI-6A)；燃料系統結冰抑制劑(fuel system icing inhibitor (FSII) agents)，例如 Di-EGME。航空器燃料使用較高閃火點燃料原因主要是其具有較低可燃性，因此於輸送及處理時較為安全。最早的航空燃油均以煤油為基礎或是混合汽油的煤油，但大部分航空燃料，如 JET A-1 還是以煤油為基礎^[3]。航空渦輪燃料規格的檢測標準，國際上一般是依據 ASTM D1655 及 MOD Defence Standard (DS) 91-91。如果添加合成碳氫化合物的航空燃油，其檢測標準則依據 ASTM D7566 及 MOD Annex D of DS91-91。如果是一般添加物或是混合劑，則依據 ASTM D4054 為檢測標準^[4]。航空燃料 JET-A 的組成特徵如表 1 所示。與航空燃油含硫量相比(>3,000 ppm)，生質裂解油的一大優點即是其硫含量極低或是幾乎沒有，此對降低空氣中的酸沉降有相當大的助益^[5-6]。

表 1 液體生質燃料特徵^[7]

Properties	Diesel	JET-A	Bio-diesel	Bio-ethanol	Bio-methanol	Pyrolysis oil
Density (kg/m ³)	827.4	807	860-900	794-810	796	984-1250
Kinetic viscosity (cSt at 40°C)	1.7283	0.88	3.5-5	1.4-1.7	1.4-1.7	32-45
Flash point (°C)	44	38	120-180	13	11	56-130
Cloud point (°C)	-6	-	-3 to -12	-	-	-
Pour point (°C)	-16	-47	-15 to 5	-177	-161	-35 to -10
Lower calorific value (MJ/kg)	43	43.23	39-41	25-26	20	13-18
Ignition temperature	250	220	177	423	463	580
Cetane no.	45-55	55	48-60	8	5	10
Stoichiometric air/fuel ratio	14.6	14	13.8	9.79	6:1	34:1
Carbon (% w/w)	80.33	80-83	77-81	52.2	37.5	32-48
H ₂ (% w/w)	14	10-14	12	13.1	12.6	7-8.5
N ₂ (% w/w)	1.76	-	0.03	-	-	< 0.4
O ₂ (% w/w)	1.19	-	9-11	34.8	49.9	44-60
Sulfur (% w/w)	<0.4	<0.4	<0.03	-	-	<0.05

三、生質物熱裂解液化產製航空生質燃料技術現況

3.1 生質物熱裂解液化技術

生質物轉化技術包含生物與熱化學轉化。熱化學轉化技術中包含氣化、液化、碳化及燃燒。液化程序是將生質物轉化成液體產物，其主要包含高含氧碳氫化合物。液化、氣化及碳化可以藉由熱裂解(pyrolysis)或是熱液(hydrothermal)程序而獲得。熱裂解於熱轉化生質物中是一個非常重要的程序，其是為一新興技術，可將生質物轉化為液體、氣體及焦炭，而以液體燃料為主要目標。熱裂解油的使用對於複循環氣渦輪是一個很好的發電選項^[5-6]。裂解油可以由木頭廢棄物或軟木透過真空裂解而獲得。產生油品動黏滯度介於 18-25 cSt, 與原油接近。純裂解油如此高的黏滯度產生噴射燃燒時的問題。黏滯度可藉由噴射注入前加溫來降低，但溫度不可超過 90 °C 以免產生化學降解，亦可藉由添加醇類來降低黏滯度。如果將 80%裂解油混合 20%乙醇其燃燒操作行為近似於 JP-4。此燃料特性為有合理的燃燒熱，低硫，低氮及低灰含量^[8]。此熱裂解油熱值約為柴油燃料的 59%，但因其成本非常低，因此其當量能量成本也是比較低。熱裂解油主要的考量是污染的因素，例如鹼、灰、焦炭、及焦油。這些對於定置型外部燃燒的渦輪機沒有問題，但是對氣動衍生的氣渦輪將產生問題。此高黏滯度、低熱含量及低揮發性特性對於氣渦輪機啟動與停止需要使用其他燃料^[9]。快速裂解是一個生產電力的潛在選項。從生質物獲得電力已確認為可降低 CO₂ 排放的優先方式。乾燥低灰含量的生質物經由熱裂解可以產生最高到 65%的有機液體燃料。另外，於熱液(hydrothermal)程序且於介質中，這些生質物的組成擁有絕佳熱降解的特徵行為，其中非觸媒催化與觸媒催化熱液化生質物近年來受到了廣泛客觀的研究。有關實驗條件，例如：溫度、停留時間、壓力、生質物型態、觸媒型態等對於產品分布均證明有非常重要的影響^[10]。此外，以水為基礎的程序對液化生質物亦是逐漸受到重視，主要原因是水為唯一且對環境友善的優良溶劑。同時此水熱程序擁有非常好的優點，包含適合濕基生質物、需要相對的低溫操作及有非常高的移除生質燃料中氧含量的能力。以水為基礎的液化程序，通常於次臨界或是超臨界下操作。超臨界水情況可於壓力超過 22.1 MPa 及溫度高於 374.8 °C 下獲得^[11]。這些條件一般使用於水熱氣化生質物。而次臨界條件水則定義為於富含

52 生質物熱解液化轉製航空生質燃料用油技術

水的狀態下，在於足夠壓力下維持其液體狀態於溫度範圍 100-370 °C^[11]。次臨界及超臨界水的物理化學特性非常不同於一般環境下水。主要差異性在於其解離離子產物(ionic product)。這些特性使得次臨界水擁有高超的反應介質，讓其於直接液化生質物時作用如同觸媒一般。此足以證明熱裂解液化生質物技術是一個可行的方向。

使用熱裂解液體的優點如下：1.熱裂解液體是最低成本的液體生質燃料，其CO₂平衡估算是非常明顯的正值；2.小規模電力系統的使用乃至於較大的電廠(混燒共燃)均有極大使用可行性；3.液體燃料方便儲存與運輸；4.與大氣環境下生質氣化燃料氣體比有比較高的能量密度；5.可直接使用於現存的電廠當作燃料^[12]。如直接於鍋爐燃燒木頭以產生能量其最大效率為 26%，一個更有效率產生能量的方法是燃燒由熱裂解生質物產生的生質油來取代直接燃燒木頭。但生質裂解油與原油比擁有較低的熱值，因此需要增加液體的流量，此需要進行燃燒器的修改，一般是針對噴嘴的修正。原始熱裂解液淨熱值低於石油燃料(42 MJ/kg)。混合燃料為一種改善的方式，例如添加甲醇雖然會稍微降低熱裂解油熱值，但為了降低黏滯度及密度、增加穩定度，此作法有相當的益處。然而，甲醇的限制在於其混合後的低灰點(low-ash point)，燃料中灰的存在，部分會以鹼金屬氧化物形態存在，會造成氣渦輪的腐蝕^[13]。一般生質裂解液體燃料和商用燃料的組成特徵比較如表 1 所示^[7]，顯示出生質裂解油與商用燃料油特性仍有一大差距。因此如何進行裂解液體油的品質提升及與現有燃料進行摻配混合進行改質以利實用均為非常重要的研究課題。

3.2 生質裂解油新觸媒油品品質提升技術

生質裂解液化燃料油生產品質提升使用之技術可涵蓋觸媒裂解及異構化(pyrolysis, catalysis & liquefaction, PCL)、氣化結合重組合成生質燃料(Biomass to gas (BTG) & Gas to liquid (GTL))等，此兩項技術均可稱為生質物轉製液體燃料技術(Biomass to liquid, BTL)。油品觸媒液化改質與特徵新觸媒開發研究其概念圖如圖 2 所示。將特徵化合物合成複合新觸媒加入液化後油品，調整於最適化操作條件後，進行觸媒催化水熱裂解反應，分離後可獲得生物材料的化學品及改質後油品，再針對改質後油品進行氫化(hydrotreating)與脫氧(deoxygenation)反應後，初步分餾

(fractionation)即可獲得所要的油品，例如：揮發油、噴射航空油及柴油等。因此此製程主要技術關鍵仍在特徵觸媒的合成與應用開發上。

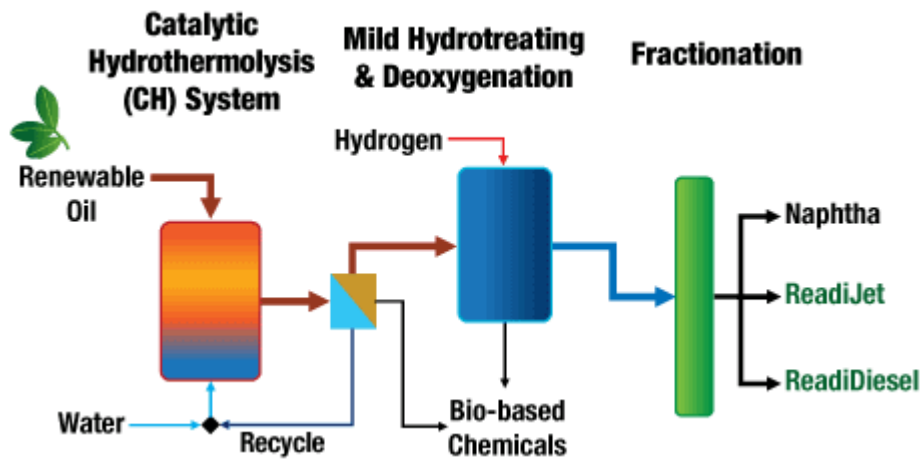


圖 2 觸媒熱裂解液化加氫脫氧異構化油品示意圖 (資料來源: Applied Research Associates, Inc. (ARA), 2013)

3.3 生質裂解油氫化脫氧技術品質提升技術

加氫脫氧製程才能產製高品質之綠色柴油或生質航空燃油，如圖 3 為 UOP 的生質航空燃油製程，一般生質裂解油或植物油一般均含大量中度鏈長的脂肪酸，氫化裂解脫氧處理後，鏈長完全接近常規煤油中存在的烴類長度。一般生質裂解油的氫化裂解，其加氫條件需求約為溫度 300~450 °C，常用的加氫催化劑為 NiMo 硫化物/ Al_2O_3 ，產物主要為 $\text{C}_{15}\sim\text{C}_{18}$ 烷烴。催化溫度低於 350 °C 時， $\text{C}_{15}\sim\text{C}_{18}$ 烷烴的產量隨著植物油量的增加而增加；但另一方面，催化劑性能會因催化過程中有水分而鈍化。

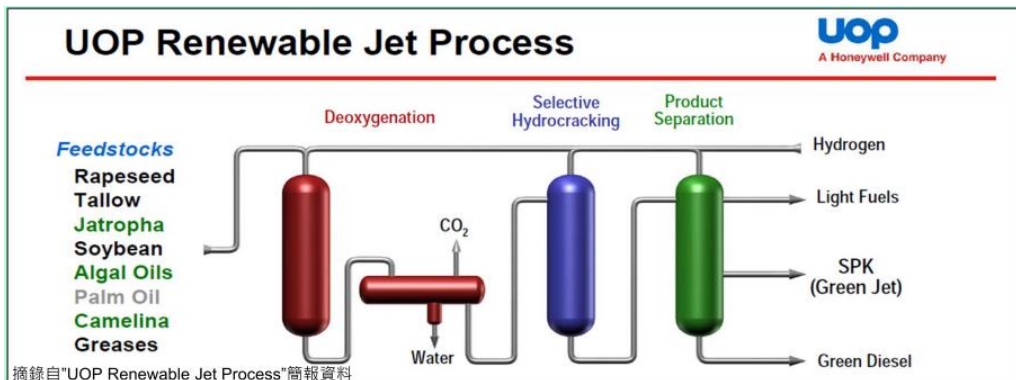


圖 3 UOP 的生質航空燃油製程

3.4 生質燃料添加於航空生質燃油之國內外研究

各式各樣的生質燃料添加於航空燃油的測試與研究一直不斷的持續被驗證出來。例如添加生質柴油同樣是一個新興的領域。使用生質柴油於商業及軍事飛行器的研究不多，Habib et al.^[14] 測試廢食用油及植物與動物油脂所製的生質柴油混合入最多 30% 體積比的 JET- A 中進行氣渦輪引擎測試，其發現隨著生質柴油添加，NO 排放濃度亦跟著減少。於相同輸出功率要求下，純 JET-A 與混合 20% 生質柴油以下的 JET-A 輸出功率無差異。因此，生質柴油無明顯的減低效率情況。生質柴油與航空燃油(JET-A)混合後顯示有相當大的潛力，主要其減少污染排放而無降低淨驅動力^[14]。在引擎熱效率的操作上，比較 JET-A 和大豆生質柴油亦無明顯的差異性^[15]。Chuck and Donnelly^[16] 依據標準規格方式測試從永續資源獲得的 9 種潛在生質燃料衍生物(n-butanol, n-hexanol, butyl levulinate, butyl butyrate, ethyl octanoate, methyl linolenate, farnesene, ethyl cyclohexane and limonene)其與 Jet A-1 航空煤油的相容性。其中只有檸檬精油(limonene)的混合完全符合替代航空燃料的所有要求規格，而丁酸丁酯(butyl butyrate)與辛酸乙酯(ethyl octanoate) 除了其降低能量密度之外是可接受的。

3.5 生質燃料於航空燃油添加上的溫室氣體及成本效益

生質物裂解油生產中每一過程均需使用到石化燃料，而石化燃料能源燃燒替代率及油品摻配比率更直接影響溫室氣體減量成效，因此其過程當中的能量投入及產出亦會直接影響溫室氣體的排放估算量，藉此分析可獲得生質能源工廠的能源使用量資訊與溫室氣體排放關聯。同時最適化規模經濟或產量，亦會牽涉到成本效益，能源油品的消費習慣亦會對能源成本產生影響，包含生產內部成本、生產外部成本等，同時消費法令制度、經濟誘因、獎勵措施、租稅減免、補貼政策等均同樣會影響能源使用及後續的溫室氣體排放與減碳規模。

商業航空是全球的生意，現在大約有 15,750 個航空器使用單一燃料產品，來自於石化燃料，其對全球的碳排放貢獻度大約 2-3%^[16]。Han et al.^[18]以生質燃料為基礎的航空燃料，包含從不同油籽獲得的氫化可再生噴射燃油(hydroprocessed renewable jet, HRJ)、從玉米葉梗及混合煤及玉米葉梗獲得的 Fischer-Tropsch (FT) 噴射燃油(FTJ)、從玉米葉梗熱裂解獲得的熱裂解噴射燃油(pyrolysis jet, PJ)與石化噴射燃油進行溫室氣體(GHG)減量的生命週期分析(Well-to-wake, WTWa)。其利用生命週期分析技術評估新穎熱裂解產製油品，推估其應用於市場取代石化燃料後之溫室氣體(CO₂、NO_x)減量效益，隨後並針對生質裂解油生命週期製程的能源投入及產出及最適規模經濟成本進行估算。與石化噴射燃油相比，HRJ 的 GHG 減量為 41-63%，PJ 為 68-76%，從玉米葉梗獲得的 FTJ 則為 89%。GHG 排放主要來源是在於原料的成長與蒐集階段所使用的肥料與 N₂O 的排放，遠大於製造階段。美國聯邦航空管理局(FAA)提出到 2018 年時美國航空工業使用消耗可再生噴射燃料需達每年一百萬加侖。將三酸甘油酯轉化成柴油及航空燃油，氫化酯及脂肪酸(hydroprocessed esters and fatty acids, HEFA)已經是一個非常商業化的程序。Winchester et al.^[19]針對為達此目標而使用從 HEFA 的可再生燃料進行經濟成本與 GHG 排放的衝擊評估。因目標量小於整體航空用油量的 2% 以下，因此對平均航空用油價格及排放衝擊只有極小的影響。但如果原料使用大豆油，為符合 2020 年的需求量，其生產成本高達每加侖美金 2.69 元。但如果改為利用休耕時輪種植油籽作物，其成本馬上降為每加侖美金 0.35 元。Pearlson et al.^[20]針對單元操作及輔助設施，使用 Aspen Plus 模擬生物精煉材料及能量平衡。並使用折現收益率經濟模式

作為敏感度分析。估算的價格介於 HEFA 產量在 378 MMLyr⁻¹時的\$1.00 L⁻¹到 116 MML yr⁻¹時的\$1.16 L⁻¹。原料成本是燃料成本中最重要的部分，其他如設施規模、融資、產能利用率等也是影響成本的因子。因此成本與原料來源是非常息息相關的。因此如何篩選出適合台灣使用與製造的進口或本土原料關係到此產業的成敗。

四、結 論

生質燃料的發展，除考量技術成熟度、減碳與經濟成本外，尚需考量許多額外因素。例如，以台灣發展 B2 生質柴油經驗來說，經濟部能源局於 2014 年 5 月 5 日公告修正「石油煉製業與輸入業銷售國內車用柴油摻配酯類之比率實施期程範圍及方式」，不再強制石油煉製業及輸入業於車用柴油中添加 2%生質柴油。主因是 2013 年全台陸續發生疑似使用 B2 生質柴油導致油路堵塞、熄火問題的事件，依據調查發現 B2 生質柴油含硫量僅 10ppm(依據環保署規範)，無法抑制柴油的細菌孳生，造成微生物過量累積。因此，經濟部將成立專案計畫儘速進行相關問題之釐清並提出解決對策，作為後續推動生質能之參考^[21]。因此推動生質燃料政策仍需要非常多外在因素與環境能源政策法令的配合才能順利推動。而隨著未來添加生質航空燃油市場需求量越來越大，此產值亦將隨之提升。因此台灣急需要有關本土技術的開發與投入，避免未來在航空油市場從出口轉轉成需大量進口航空生質燃油的不利情境。

參考文獻

1. 謝哲隆，“台灣生質能技術發展現況與展望”，桃園縣大學院校產業環保技術服務團環保簡訊，第 16 期，9 月 14 日，2012。(http://setsg.ev.ncu.edu.tw/Default.aspx?TabId=510)
2. BioEnergyToday 網站，網址：BioEnergyToday.net。
3. 網址：http://www.alglas.com/jet_fuel.htm。
4. Wilson GR, Edwards T, Corporan W, Freerks RL. Certification of Alternative Aviation Fuels

- and Blend Components. *Energy Fuels*, 27(2), 962-966, 2013.
5. Shie JL, Lin JP, Chang CY, Wu CH, Shih SM, Lee DJ. Pyrolysis of Oil Sludge with Additives of Catalytic Solid Wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 71(2), 695-707, 2004.
 6. Shie JL, Chang CY, Lin JP, Wu CH, Lee DJ, Chang CF. Oxidative Thermal Treatment of Oil Sludge at Low Heating Rates. *Energy & Fuels*, 18(5), 1272-1281, 2004.
 7. Gupta KK, Rehman A, Sarviya RM. Bio-fuels for the gas turbine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2496-2955, 2010.
 8. Juste GL, Monfort JJS. Preliminary Test on Combustion of Wood Derived Fast Pyrolysis Oils in a Gas Turbine Combustor. *Biomass and Bioenergy*, 19, 119 – 28, 2000.
 9. Pier JR. Comparisons of Bio-fuels in High Speed Turbine Locomotives: Emissions, Energy Use and Cost. In: *Transportation research board annual meeting*; 1999.
 10. Tekin K, Karagöz S. Non-catalytic and Catalytic Hydrothermal Liquefaction of Biomass. *Res Chem Intermed*, 39, 485 – 498, 2013.
 11. Onwudili JA, Williams PT. Hydrothermal Gasification and Oxidation as Effective Flameless Conversion Technologies for Organic Wastes. *Journal of the Energy Institute*, 81, 102-109, 2008.
 12. Chiaramontia D, Oasmaab A, Solantausta Y. Power Generation Using Fast Pyrolysis Liquids from Biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1056 – 86, 2007.
 13. Bouchera ME, Chaalab A, Roy C. Bio-oils Obtained by Vacuum Pyrolysis of Softwood Bark as a Liquid Fuel for Gas Turbines. Part I: Properties of Bio-oil and Its Blends with Methanol and a Pyrolytic Aqueous Phase. *Biomass and Bioenergy*, 19, 337 – 50, 2000.
 14. Habib Z, Parthasarathy RK, Gollahalli S. Performance and Emission Characteristics of Bio-fuel in a Small-scale Gas Turbine Engine. *Applied Energy*, 87, 1701 – 9, 2009.
 15. Lopp D, Slanlq D. Soya-diesel Blends Use in Aviation Turbine Engines. *Aviation Technology Department, Purdue University*; 1995.
 16. Chuck CJ, Donnelly J. The Compatibility of Potential Bioderived Fuels with Jet A-1 Aviation Kerosene. *Applied Energy*, 118, 83-91, 2014.
 17. Blakey S, Rye L, Wilson CW. *Aviation Gas Turbine Alternative Fuels: A Review*.

58 生質物熱解液化轉製航空生質燃料用油技術

- Proceedings of the Combustion Institute, 33(2), 2863-85, 2011.
- 18.Han J, Elgowainy A, Cai H, Wang MQ. Life-cycle Analysis of Bio-based Aviation Fuels. *Bioresource Technology*, 150, 447-56, 2013.
- 19.Winchester N, McConnachie D, Wollersheim C, Waitz IA. Economic and Emissions Impacts of Renewable Fuels for Aviation in the US. *Transportation Research Part A:Policy and Practice*, 58, 116-28, 2013.
- 20.Pearlson M, Wollersheim C, Hileman J. A Techno-economic Review of Hydroprocessed Renewable Esters and Fatty Acids for Jet Fuel Production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(1), 89-96, 2013.
- 21.經濟部能源局網站，網址：<http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx>。