

電子燃料發展概況分析

2023 年 9 月

2023Q3 知識物件—評析類

財團法人台灣綜合研究院 | TAIWAN RESEARCH INSTITUTE

2023 年 3 月，歐盟理事會排定就 2035 年禁售燃油車法案進行投票立法前夕，德國臨時杯葛最終表決程序，要求放行使用電子燃料 (e-Fuels) 的新車；連番磋商後，歐盟於 3 月 28 日最終通過的法案中，豁免了完全使用電子燃料的車輛可於 2035 年後繼續在歐洲上路，而今年以來歐盟針對海運及空運減碳政策通過的多項臨時協議，同樣也為電子燃料的發展創造良好條件。無獨有偶，國際海事組織 (International Maritime Organization; IMO) 於 2023 年 7 月 7 日閉幕的海洋環境保護委員會第 80 屆會議 (MEPC 80) 上，除決議將航運業淨零碳排目標年提前到 2050 年，另規定 2030 年以前國際航線船舶所使用的能源需有至少 5% 來自零碳排 (或接近零碳排) 的技術或燃料，同樣也使可直接用於現有燃油引擎的電子燃料成為航運業者推動減碳的重要選擇。

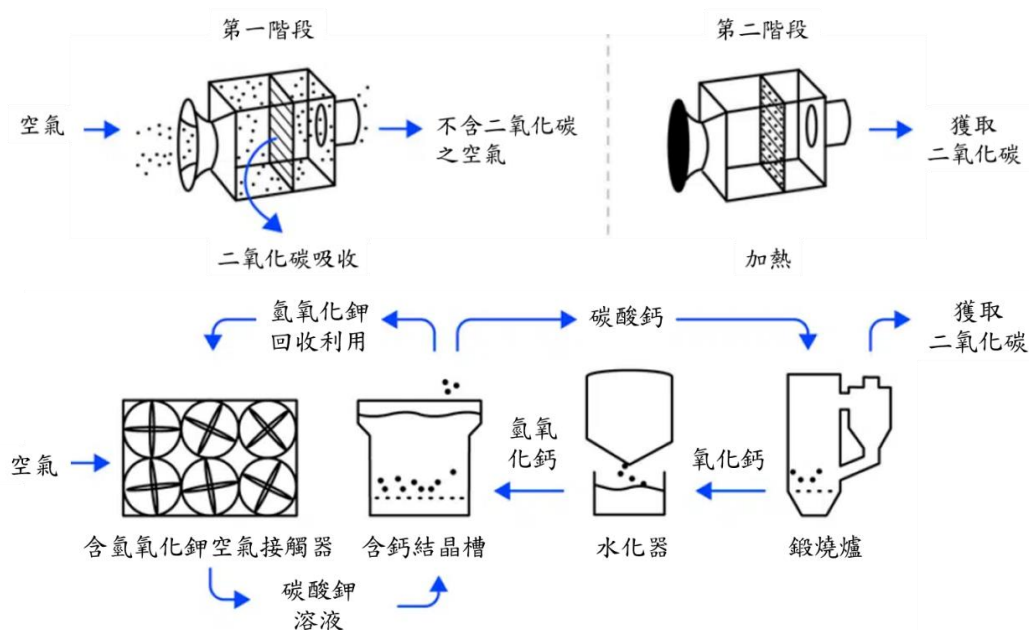
鑒於電子燃料在運輸部門的應用潛力愈來愈受到各界重視，本評析將從電子燃料的產製、優缺點及其在運輸部門的應用可能性等面向，探討電子燃料的發展概況及其於國際推動淨零減碳過程中可扮演的角色。

一、電子燃料的產製

電子燃料 (Electrofuel; e-Fuel) 是一種合成燃料 (Synthetic Fuel)，廣義上泛指所有利用電能製造的可燃燃料，包含利用再生能源電解水製造的綠氫，以及利用綠氫製作的衍生燃料，如氨等。本評析所探討的電子燃料專指利用綠氫和二氧化碳所合成而得的烷烴類碳氫化合物或甲醇等燃料；此類電子燃料雖在燃燒時會產生二氧化碳，但因用來產製電子燃料的二氧化碳可自空氣中捕獲而來，所以可說是一種碳中和燃料。

二氧化碳的捕獲方式主要有兩種，一種是碳捕獲 (Carbon Capture; CC)，另一種是直接空氣捕獲 (Direct Air Capture; DAC)，兩者最大不同在於 CC 技術專指捕獲從工廠、發電廠或煉廠等排放源所釋出的二氧化碳，DAC 則不受排放源的限制。由於利用 CC 從燃燒化石燃料的工廠捕獲到的二氧化碳來合成電子燃料，可能會產生難以界定二氧化碳排放歸屬的問題，也容易讓人質疑將電子燃料視為碳中和燃料之正當性，故若要製造零碳排電子燃料，只能使用利用 CC 技術從完全以生質燃料為能源的工廠所捕獲到的二氧化碳，或用 DAC 技術捕獲之二氧化碳，才符合碳中和的條件。

目前 DAC 技術依吸收二氧化碳之吸附劑不同，分為 S-DAC (Solid DAC) 和 L-DAC (Liquid DAC) 兩類。S-DAC 利用固態物質作為二氧化碳過濾器，空氣中二氧化碳在流經此固態物質時被吸附，再通過加熱此固態物質至約 100°C ，使其釋放並獲取二氧化碳 (見圖 1 上)。L-DAC 較為複雜，主要利用鹼性液態物質吸收二氧化碳再加熱分解，例如先把空氣中的二氧化碳與氫氧化鉀結合形成碳酸鉀溶液，再將碳酸鉀溶液置於結晶槽中與氫氧化鈣之鈣離子結合成碳酸鈣與氫氧化鉀，氫氧化鉀可回收再利用，碳酸鈣則透過加熱至 900°C 分解出二氧化碳 (見圖 1 下)。



參考資料：<https://carboncredits.com/how-direct-air-capture-works-and-4-important-things-about-it/>

圖 1 直接空氣捕獲技術原理示意圖

表 1 S-DAC 與 L-DAC 比較

	S-DAC	L-DAC
成本 (USD/tCO ₂)	100 ~ 600	95 ~ 230
能源消耗 (GJ/tCO ₂)	7.2 ~ 9.5	5.5 ~ 8.8
規模 (tCO ₂ /年)	每模組 50	50 萬 ~ 100 萬
溫度需求	80 ~ 120°C	900°C
能量來源	可用再生能源	化石燃料
排放量 (tCO ₂ /tCO ₂)	低至 0.03	低至 0.1

參考資料：<https://carboncredits.com/how-direct-air-capture-works-and-4-important-things-about-it/>

L-DAC 技術雖可一次性收集較多二氧化碳，但因所需溫度較高，仍須仰賴化石燃料作為能源才能達到，故製程總排放量較高。而 **S-DAC** 為模組化機具，可依二氧化碳捕獲數量調整機台數，雖單位成本及能源消耗較高，但因溫度需求低，使用再生燃料作為能源來源即可達到，故整體排放量明顯較低（見表 1）。

常見的綠氫電解技術則依電解質不同分為鹼性電解（Alkaline Electrolyzers; AE）、質子交換膜電解（Polymer Electrolyte Membrane Electrolyzers; PEM），以及固體氧化物電解（Solid Oxide Electrolyzers; SOE）3 種¹。AE 電解含氫氧化鉀或氫氧化鈉的溶液，水在陰極分解成氫氣與氫氧根離子，氫氧根離子經多孔傳導膜移動至陽極，氧化反應後產生水和氧氣；PEM 利用固態酸性薄膜作為電解質，可直接引入純水在酸性環境下電解，水在陽極分解成氫離子與氧氣，氫離子通過該酸性薄膜後在陰極接收電子產生氫氣；SOE 使用可傳導氧離子的固態陶瓷材料作為電解質，水須以水蒸氣方式在陰極電解成氧離子與氫氣，氧離子移動至陽極形成氧氣。

AE 為傳統製氫工藝，技術發展成熟，成本較低，大型產氫設備通常使用此技術；PEM 具電流密度高可提高產量，及氫氣輸出壓力高有助減少運輸成本等優點，不過需使用耐酸性的貴金屬作為電極材料，成本較為昂貴；SOE 雖有最佳電解效率，但須在高溫且潮溼環境下運作，容易造成材料耗損降低電解槽使用壽命（見表 2）。

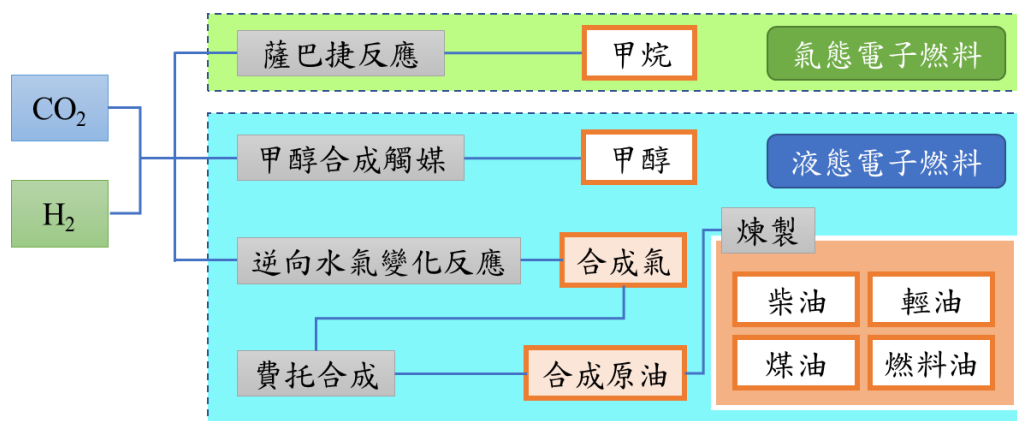
表 2 電解氫氣技術比較

	AE	PEM	SOE
成本 (USD/kW)	270	400	>2000
能源消耗 (kWh/kgH ₂)	50~78	50~83	45~55
系統壽命 (千小時)	60	50~80	<20
運作溫度 (°C)	70~90	50~80	700~850
電流密度 (A/cm ²)	0.2~0.8	1~2	0.3~1
輸出壓力 (bar)	<30	<70	<10

參考資料：IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal,

¹ 另有陰離子交換膜水電解（Anion Exchange Membrane; AEM）技術，此技術雖結合了 AE 和 PEM 的優點，但受制技術成熟度低，目前較少使用此方法生產氫氣。

經碳捕獲技術或前述 DAC 技術所獲取之二氧化碳，以及利用綠電電解水所得到的氫氣，可透過薩巴捷反應（Sabatier Reaction）製成電子甲烷（e-Methane），亦可利用觸媒合成電子甲醇（e-Methanol），或是讓二氧化碳與氫氣先通過逆向水氣變化反應（Reverse-Water Gas Shift Reaction）產生合成氣²後，再透過費托合成反應（FT Synthesis Process）產出合成原油，而此合成原油透過傳統煉油工藝即可製成電子柴油（e-Diesel）、電子汽油（e-Gasoline）、電子煤油（e-Kerosene）等電子燃料（見圖 2）。



註：氣態電子燃料又稱電轉氣（Power-to-gas; PtG）；液態電子燃料又稱電轉液（Power-to-liquid; PtL）。

參考資料：https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/gosei_nenryo.html

圖 2 電子燃料製作流程圖

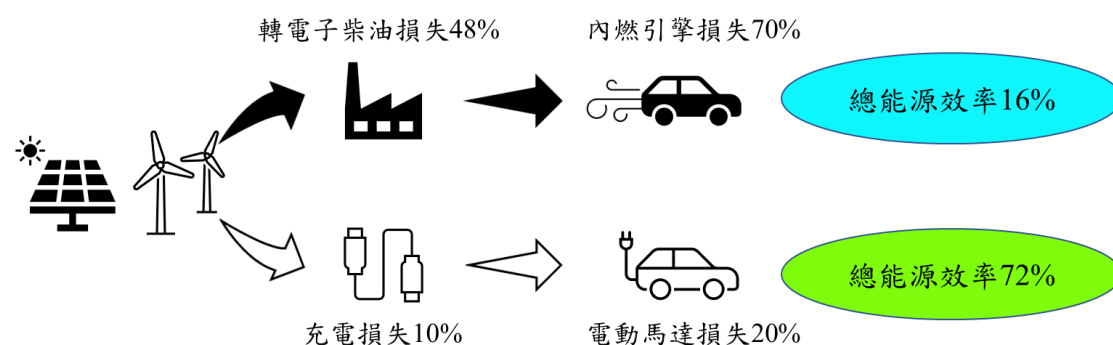
二、電子燃料的優缺點

電子燃料可透過捕獲與燃燒後釋放等量的二氧化碳來達到碳中和，且其化學性質近似傳統化石燃料，可混入傳統燃油甚至直接取代傳統燃油，提供現行內燃機運具使用，不像由氫能或電能驅動的運具需另外研發專用引擎以及能源運輸和儲存設備，整體轉換成本較低；再加上電子燃料是一種非生物源再生能源（Renewable Fuels of Non-Biological Origin; RFNBO）³，而 RFNBO 因不僅具有與一般生質燃料相同的低排放優點，也不會造成與糧食作物爭取有限資源，減少農用土地面積等困擾，是相對優質的低碳燃料，已被歐盟列為擴大再生能源使用的推動重點，使得電子燃料相當受到傳統運具製造商和石油公司的青睞。

² 含一氧化碳、二氧化碳和氫氣的氣體。

³ 根據歐盟定義，所謂的 RFNBO 係指以生質能以外再生能源為來源且溫室氣體排放量較化石燃料少 70% 以上的液態或氣態燃料，如以再生能源產製之氫氣及氫基合成燃料（hydrogen-based synthetic fuels）（如氨和電子燃料）等即屬於此類能源。

然而電子燃料的產製相當複雜且耗能，無論是電解水產生氫氣，或是捕獲二氧化碳及後續的合成製程，都消耗相當大量能源，且費用昂貴，加上內燃機的能源效率又比電動引擎差，使得使用電子燃料的總體效益備受各界質疑。以使用電子柴油為例，從電能轉換成電子柴油的過程即已消耗約 48% 能源，若再計算內燃機僅約 30% 的燃油效率，使用電子柴油做為內燃機汽車燃料總計將浪費超過 8 成的能源；而若直接使用電動車的話，電力輸送及充電只消耗 10%，電動車馬達能源效率也高達 80%，最後僅將消耗不到 3 成的能源（見圖 3）。因此在能容易進行電動化轉型的產業中，使用電子燃料的優先性較低，若將過多綠電用於製造電子燃料，排擠到其他產業使用再生能源的空間，反而不利於整體碳排放的降低。



參考資料：<https://theicct.org/e-fuels-wont-save-the-internal-combustion-engine/>

圖 3 電子燃料與電動車能源損耗率比較

再者，電子燃料雖是碳中和能源，且幾乎不含硫，不會釋放出硫化物，但使用時仍會排放氮氧化物（ NO_x ）、一氧化碳（ CO ）等對人體有害的空氣汙染物。根據歐洲運輸與環境聯合會（Transport & Environment）的研究，燃燒電子汽油排放之懸浮微粒雖比 E10 酒精汽油⁴少至少 80%，但氮氧化物的排放量卻沒有顯著差異，甚至還會排放比 E10 酒精汽油多至少 1.2 倍的一氧化碳⁵。另外，燃燒電子汽油仍會排放氧化亞氮（ N_2O ），由於氧化亞氮是溫室氣體的一種，因此就算電子燃料是碳中和能源，還是有加劇全球暖化的可能。

⁴ 摻入 10% 生質乙醇的汽油。

⁵ 惟電子汽油以及 E10 酒精汽油的排放物已遠低於歐盟針對汽油所設定的排放限制規範。

三、電子燃料的應用可能性

(一) 空運

目前航空燃油的替代能源有以生物為來源的永續航空燃油 (Sustainable Aviation Fuel; SAF)、電子煤油⁶、電力和氫氣，惟若要改用電力與氫氣，需要設計研發專屬的電動馬達或氫氣渦輪機作為動力引擎才能實現。受制技術上的困難，加上飛機使用年限可達 30 年，航空公司不太可能會為推動減碳而在短時間汰換舊型機種，各國現階段多將擴大使用 SAF 列為政策重點，另考量料源不確定性可能限制未來生物質 SAF 之供應能力，遂將以電子煤油 (亦即電轉液 SAF) 來彌補生物質 SAF 供應缺口列為配套措施。如歐盟於 2023 年 4 月達成一項臨時協議，將逐步提高歐盟機場使用 SAF 的比例 (從 2025 年的 2% 增加至 2050 年的 70%)，其中電子燃料等 RFNBO 合成燃料的使用比例將由 2030 年的 1.2% 增加至 2050 年的 35%⁷；德國也在 2021 年頒布的 PtL roadmap 中，訂定 2030 年電子煤油使用量將達 20 萬公噸 (約為該國 2019 年航空煤油消費量的 2%) 的目標。

電子航空煤油具有土地利用少，不會與其他產業如農業競爭原料製造燃油的優勢，也不像 SAF 有摻配比例限制⁸，可完全替代傳統航空燃油，整體生命週期碳排放量較低。此外，電子煤油不會釋放硫化物，燃燒後產生之懸浮微粒少，讓飛機在飛行過程中周圍的水氣不易凝結附著於顆粒上產生機尾雲而加劇全球暖化⁹。然而受制於產製電子燃料需消耗大量能量且成本高昂，目前市場投資重心多偏向興建生物質 SAF 生產設施，僅有零星電子煤油產能建設投資案，整體發展進度較為緩慢。例如 2019 年成立的挪威電子燃料公司 Norsk e-Fuel 在 2023 年 4 月與挪威廉價航空公司 Norwegian 簽署投資和承購合作協議，並在獲得挪威政府大力補助後，規劃於 2024 年興建挪威第 1 座大型電子煤油生產廠，預計 2026 年開始量產，年產量可達 5,000 萬公升，而待 2030 年完成第 3 座工

⁶ 電子航空煤油也是 SAF 的一種，但來源為非生物質，有時被稱為電轉液 SAF (PtL SAF)。為便於討論，「生物質 SAF」將專指以生物為來源的 SAF，「SAF」則代表未特別指明料源之所有永續航空燃油。

⁷ <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230424IPR82023/fit-for-55-parliament-and-council-reach-deal-on-greener-aviation-fuels>

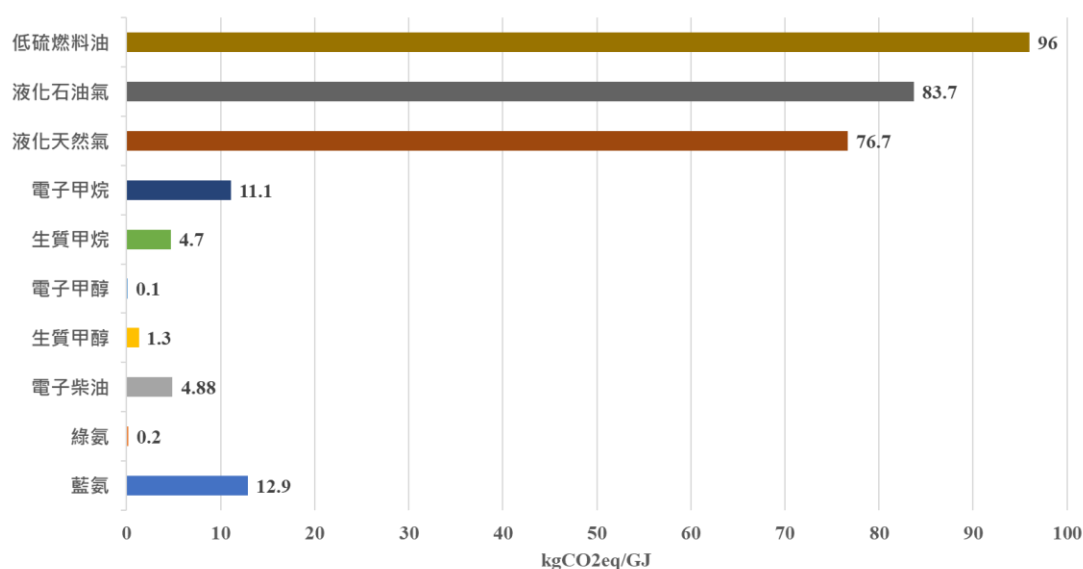
⁸ 雖然 SAF 號稱可完全取代傳統化石航燃，亦即添加比例可達 100%，但目前尚處於小規模測試狀態，尚未正式獲得可 100% 添加之認證。

⁹ 機尾雲會反射地球輻射阻礙熱能散發，根據 D.S. Lee et al. (2021) 研究，航空業造成的溫室效應中約有 57% 為機尾雲所致。

廠後，每年將可生產 2.5 億公升電子燃料¹⁰。美國新創公司 Air Company 製作出的電子煤油也早在 2022 年通過美國空軍使用測試，並取得捷藍航空（Jetblue）、維珍航空（Virgin Atlantic）和超音速客機設計公司 Boom Technology 等公司的承購合約，未來數年供應量預估可達超過 10 億加侖，相關發展都有助加速電子煤油的實用化步伐。

(二) 海運

海運因具備多種可替代化石燃料的低碳能源選擇，加上這些替代能源都還處在早期應用探索階段，使得海運部門並未形塑明確且單一的減碳轉型方案。在各種海運低碳替代能源中，綠氨及甲醇是生命週期排放量最低的選項（見圖 4），但因業界投入時間先後有別，兩者發展進度不可同日而語。具體來說，以氨作為船運燃料是在氫能逐漸受到各界重視後才引發討論的話題，目前實際發展還很難稱得上進入萌芽階段，不僅以氨燃料驅動之船舶尚處於概念設計狀態，相關燃料加注基礎設施以及燃料儲運技術也還在進行商業可行性評估或擬定示範計畫程度，整體進展遠遠落後於近期已邁向實用階段的甲醇。



註：此研究僅計算二氧化碳排放以及甲烷逸散，不包含其他溫室氣體排放。

參考資料：Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (2022), NavigaTE well-to-wake Position Paper.

圖 4 各種船用燃料 2050 年生命週期排放預估

¹⁰ 根據該公司煉油技術，其中近 80%為電子煤油，剩下副產品以電子輕油為主。

甲醇因具有常溫下為液態，容易運輸儲存，且汙染排放物較少等優點，吸引包括挪威 **Maersk** 公司等國際海運物流巨擘紛紛將轉換使用甲醇動力船舶列為公司減碳戰略，**Maersk** 並已於今年 7 月獲交付韓國現代尾浦造船廠打造的全球首艘可使用甲醇或傳統海運燃料的雙燃料貨櫃船，同時和荷蘭 **OCI Global** 公司簽訂供應合約，取得該貨櫃船首航所需之生質甲醇（**Bio-Methanol**）燃料。在供應端方面，除了生質甲醇外，也有不少廠商開始投資生產電子甲醇，如丹麥能源公司 **European Energy** 旗下子公司正在建立電子甲醇生產廠，預計 2024 年開始每年可產出 4.2 萬噸電子甲醇，且已經獲得 **Maersk**、樂高集團（**LEGO**）和藥廠 **Novo Nordisk** 等公司之訂單，其中 **Maersk** 公司承諾將購入該廠約一半之產出以供應旗下甲醇動力船舶使用。

使用 **LNG** 作為海運燃料雖然同樣會排放大量二氧化碳，但因硫化物等其他汙染物排放量較少，且市場供應較其他替代燃料更為充裕，相關運輸儲存技術也相對完善，因而成為不少航運業者擬定減碳策略的優先選擇，目前已使用量僅次於傳統燃油的海運燃料，連帶為電子甲烷未來的商業化應用創造良好條件。世界第一艘使用液態電子甲烷的 **LNG** 動力船（**ElbBlue**）也在 2021 年 9 月成功完成首航，雖然此次航行僅摻入 50% 的液態電子甲烷，但已展示了電子甲烷作為海運燃料的商業化應用可能性。

電子柴油雖也可直接替代傳統燃油用於內燃機驅動之船舶，但受制能源效率偏低，且製造成本過於高昂，目前幾乎沒有專門生產海運電子柴油的廠商。不過歐盟於今年 4 月與 3 月針對空運（如前述）與海運¹¹部門擴大使用再生能源（尤其是 **RFNBO**）所達成的最新協議，仍為海運電子柴油的發展創造了契機。由於生產電子煤油的過程會伴隨產出電子柴油¹²，在歐盟有關逐步提高航空燃油 **RFNBO** 使用比例之規定，帶動全球電子煤油使用量日益增加的背景下，電子柴油產量也有望隨之增加，進而有助吸引海運業者以增加使用電子柴油來滿足歐盟對於提高 **RFNBO** 使用率之要求。

全球最大船級社 **DNV** 即相當看好電子燃料在海運上的應用，該機構在 2022 年發布的 **Maritime Forecast to 2050** 報告中，建立了 24 種情境預測 2050 年各項海運燃料之使用占比。其中在達到 **IMO 2018** 年脫碳目標¹³，且電力成本

¹¹ 使用 **RFNBO** 之船商可以 2 倍計算其減碳額，但若到了 2031 年此項措施仍未使海運 **RFNBO** 使用率達到 1%，則 2034 年將強制要求須使用 2% 之 **RFNBO**。

¹² 根據 **Transport & Environment** 的推算，經費托程序合成之原油，經煉製後可產出 50% 之電子煤油，以及 25% 的輕質油和 25% 的電子柴油。

¹³ **IMO 2018** 年所設定之目標為 2050 年海運溫室氣體排放量較 2008 年減少 50%。

較生物質以及碳捕獲技術低廉的情境下，2050 年電子海運柴油 (e-MGO) 占比將達到 20%，而在 2050 年淨零排放情境下，其占比更有機會超過 50%，顯示 IMO 於今年 7 月將航運業的淨零碳排目標年提前到 2050 年，將有助於推動電子燃料使用率的大幅成長。

(三) 陸運

在全球多國相繼提出禁售燃油車目標的背景下，以電子燃料取代傳統汽、柴油來驅動道路運具是最具爭議的話題。支持者如 e-Fuel 聯盟 (e-Fuel Alliance) 認為不應將車輛電動化視為道路交通減碳的唯一解方，從而忽視了電子燃料可能發揮的減碳潛力。該聯盟進一步指出，電子燃料除具備可直接用於傳統內燃機車輛，並使用現有加儲油設備與管線設施等優點外，其能源效率不佳的缺點亦可透過在綠電較為豐沛的地區以餘電生產之方式來加以改善。如以日照時數和平均風速皆優於德國的北非為例，該國綠電產能約為德國的 2.41 倍，若利用此處豐沛的綠電來生產電子燃料再運送至德國提供給燃油車使用，則電子燃料從生產至消費的總能源效率可達約 46%¹⁴，遠高於多數機構所指稱的不到 20% (如圖 3)。此外，除了可直接用於現有內燃機車輛及使用現有燃油輸儲設施等優勢外，電子燃料還具有能量密度高於電動車所使用的鋰電池，讓駕駛不需擔憂續航力問題，以及在能源儲存和運輸上消耗較少能量等優點。

反之，以 Transport & Environment 為首反對電子燃料的團體則認為，電子汽油可能使用非完全碳中和的製程製造，例如二氧化碳來源非 DAC、氫氣非以再生能源製造等，由於目前沒有配套措施得以確認電子燃料是否為碳中和，且電子汽油與傳統汽油兩者性質幾無差異，很難避免車輛駕駛因難以辨別而繼續使用 (或誤用) 傳統汽油的情事發生，進而讓減碳效益大打折扣。再則，電子燃料應優先供應給飛機或船舶等較缺乏其他低碳替代燃料或運具的領域使用，才能發揮較大減碳效益，若道路車輛也擴大使用電子燃料，勢必將排擠空運與海運部門的燃料取得；而整體電子燃料需求的增加，也將加劇氫能及電子燃料產業間的競爭，進而可能推升整體能源價格。最後，因歐盟已決定在 2035 年後禁售燃油車，開放電子燃料車反而容易帶動 2035 年以前的燃油車銷量¹⁵，使得 2035 年後需使用更多傳統汽油，進而造成更多的碳排放量。

¹⁴ <https://www.efuel-alliance.eu/efuels/global-energy-potentials-efficiency>

¹⁵ 主要因部分消費者可能會在 2035 年後可改用碳中和電子燃料的考量下，決定繼續採購燃油車，車輛製造商可能也會因此延緩不再推出新款燃油車的時程規畫。

事實上，電子燃料的減碳效益頗受各界質疑。根據 Prussi, M. et al. (2022) 比較使用不同能源之卡車，其生命週期碳排放的研究¹⁶可知（見表 3），使用以綠能產製之電子燃料的卡車，其排放強度雖大幅低於使用傳統柴油的卡車，但仍明顯高於電動卡車，因此直接轉換使用電動車才是道路交通減碳的最佳選擇。

表 3 各種卡車燃料生命週期碳排放

卡車種類	使用燃料	WTW 碳排放(gCO ₂ eq/t km)			
		原油	歐洲電網	太陽能	風力
電動車	電力	-	36.5	4.9	1.3
懸鏈卡車 (Catenary truck)	電力	-	29.6	4.0	1.1
燃料電池車	液態氫	-	92.8	12.8	3.9
燃氣引擎車	液態電子甲烷	-	100.3	12.7	3.6
柴油引擎車	電子柴油	-	145.7	19.7	5.2
	柴油	67.1	-	-	-

註：除柴油外，其他燃料皆假設為碳中和燃料，無尾氣排放。

參考資料：Prussi, M. et al. (2022).

此外，由於電動車的硬體開發進度良好，各國政府又相繼推出多種獎勵措施並不斷增設充電樁，近幾年全球電動車（包含純電動車與燃料電池車）銷量持續成長，今年上半年電動車於總體新車的銷售占比已達 15%¹⁷，再加上各家車廠紛紛提出未來將不再銷售燃油車的電動化目標¹⁸，使得電子燃料在道路交通低碳化進程上的發展空間可能相當有限。目前僅汽車製造商保時捷（Porsche）¹⁹對電子燃料展現較大興趣，並已和電子燃料公司 HIF Global 合作在智利設廠，利用當地豐富的風電生產電子汽油，年產能可達 13 萬公升，並有機會在 2020 年代中後期提高至 550 萬公升²⁰。

¹⁶ 該研究利用 well-to-wake (WTW) 方式計算燃料生命週期碳排放，首先計算燃料在製作、運輸儲存以及燃燒階段 (well-to-tank) 所產生之碳排放，並轉換為該燃料產生 1 百萬焦耳 (MJ) 能量之碳排放公克數 (gCO₂eq)，接著計算卡車載重 1 公噸行走 1 公里 (tkm) 所消耗之能量 (tank-to-wake)，從而計算出最終之生命週期碳排放量。

¹⁷ <https://cleantechnica.com/2023/08/02/world-ev-sales-now-19-of-world-auto-sales/>

¹⁸ 如福斯汽車規劃 2040 年歐美等主要市場的電動車銷量占比將達近 100%，奧迪計畫 2033 年全球市場電動車銷量達 100%，通用汽車為 2035 年全球市場電動車銷量達 100%，賓士、福特與本田都是在 2040 年全球市場電動車銷量達 100%。

¹⁹ 不過該公司仍訂定於 2030 年全球市場電動車銷量占比達 80% 之電動化目標。

²⁰ 此案電子汽油製程較為不同，先製成電子甲醇後，再用甲醇合成汽油。

四、結語

電子燃料是一種以綠氫和經捕獲之二氧化碳為原料，透過合成反應產出的液態碳氫化合物燃料，不僅低碳（甚至可達碳中和）且可直接用於現有內燃機，省去研發硬體設備的麻煩，但由於製作過程繁瑣導致能源效率低，若沒有開發足夠綠電將難以大量生產。因應淨零排放趨勢，由於目前航空與海運等替代能源較少或仍需時間發展，使得電子燃料在前述交通領域的應用有不錯發展潛力。至於在陸運方面，相比於電動車，使用電子燃料的車輛不僅能源效率較低，生命週期碳排放也較高，加上各國政策重點多為推廣使用電動車，且若將能量耗費在生產電子汽、柴油，將排擠到其他適用於航空或海運之電子燃料的生產，甚至氫能與綠電之供應，因此電子燃料在道路交通的發展空間將相當有限，未來可能僅用於賽車等對車輛性能有極度要求的領域，或是滿足內燃引擎愛好者的使用需求。

參考資料

- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2021), PtL roadmap
Sustainable aviation fuel from renewable energy sources for aviation in Germany
- D.S. Lee et al. (2021), The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018
- Deutsche Energie-Agentur (Publisher) (2022) “E-Kerosene for Commercial Aviation, From Green Hydrogen and CO₂ from Direct Air Capture – Volumes, Cost, Area Demand and Renewable Energy Competition in the United States and Europe from 2030 to 2050”
- DNV (2022), Maritime Forecast to 2050
- IRENA (2020), Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal,
- Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (2022), NavigaTE well-to-wake Position Paper
- Prussi, M.; Laveneziana, L.; Testa, L.; Chiaramonti, D. (2022) Comparing e-Fuels and Electrification for Decarbonization of Heavy-Duty Transports.
- The International Transport Forum (2023), The Potential of E-fuels to Decarbonise Ships and Aircraft
- Transport & Environment (2021), FAQ: the what and how of e-kerosene: Why the aviation sector needs e-kerosene, and how to deploy it sustainably

Transport & Environment (2021), Magic green fuels: Why e-fuels in cars will not solve pollution

Transport & Environment (2023), Scholz is fuelled with illusions: How costly e-fuels are threatening the EU's climate targets

Transport & Environment (2023), Why an e-fuel mandate for ships? Questions & Answers (FuelEU Maritime Regulation)

網路資源

Air Company, <https://www.aircompany.com/>

CarbonCredits.Com, How Direct Air Capture Works (And 4 Important Things About It) <https://carboncredits.com/how-direct-air-capture-works-and-4-important-things-about-it/>

eFuel Alliance, Global Energy Potentials & Efficiency <https://www.efuel-alliance.eu/efuels/global-energy-potentials-efficiency>

European Council, 'Fit for 55': Council adopts regulation on CO2 emissions for new cars and vans <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/03/28/fit-for-55-council-adopts-regulation-on-co2-emissions-for-new-cars-and-vans/>

European Energy, Mitsui will acquire stake in Northern Europe's largest solar plant and the world's largest e-methanol facility <https://europeanenergy.com/2023/07/06/mitsui-will-acquire-stake-in-northern-europes-largest-solar-plant-and-the-worlds-largest-e-methanol-facility/>

European Parliament, Fit for 55: deal on new EU rules for cleaner maritime fuels <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230320IPR77909/fit-for-55-deal-on-new-eu-rules-for-cleaner-maritime-fuels>

European Parliament, Fit for 55: Parliament and Council reach deal on greener aviation fuels <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230424IPR82023/fit-for-55-parliament-and-council-reach-deal-on-greener-aviation-fuels>

HIF Global, <https://hifglobal.com/>

International Council on Clean Transportation, E-fuels won't save the internal combustion engine <https://theicct.org/e-fuels-wont-save-the-internal-combustion-engine/>

Norsk e-Fuel, Norwegian partners with norsk e-fuel to build new e-fuel plant in Norway https://www.norsk-e-fuel.com/articles/partnership_with_norwegian

經濟産業省 資源エネルギー庁, エンジン車でも脱炭素? グリーンな液体燃料

「合成燃料」とは

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/gosei_nenryo.html