

福和會2024能源暨零碳論壇

地點：台灣大學公共衛生學院201講堂
時間：2024年9月7日



主辦：
福和會

(02) 2716-6180
FRAtwn2018@gmail.com

12:30	大會議程		
	報到、入場		
13:00	開幕致詞	福和會理事長	林逸民醫學博士
13:05	貴賓致詞	經濟部次長	連錦漳
13:20	主題演講	我國淨零碳排策略與路徑	行政院能源及減碳辦公室副執行長 林子倫
14:00	第一節	捕捉台電中鋼中油排碳生產甲醇，我們做到了！	
	論壇	引言 台大高分子所創所所長、福和會理事	謝國煌教授
14:40		主講 工業研究院材料化學所所長	李宗銘博士
14:50	Q&A		
15:00	第二節	台灣低碳燃料起手式——淨零碳排的機會與挑戰	
	論壇	引言 台大高分子所創所所長、福和會理事	謝國煌教授
15:20		主講 中油煉製研究所所長	蔡銘璋
15:30	Q&A		
15:30	貴賓致詞	國防外交委員會 立法委員	陳冠廷
15:40	第三節	殼牌藍氫製程(SBHP)，台灣可借鏡嗎？	
	論壇	引言 台灣環境保護聯盟創會會長	施信民教授
		預錄演講 台大高分子研究所第三任所長 中興大學化工系主任 美國殼牌石油資深研究員	林江珍教授
16:30	Q&A	主講 台大高分子所創所所長、福和會理事	謝國煌教授
16:40	結語	尚機公司總經理、福和會常務理事	李建畿
16:50	閉幕致詞	福和會理事長	林逸民醫學博士
17:00	散會		

開幕致辭

林逸民理事長



很感謝大家出席我們今天的零碳論壇。前座都是這方面的專家，我在專家的前面不敢多說，不過我知道現在天氣這麼炎熱一定與排碳問題相關。我記得聯合國的 IPCC（政府間氣候變化專門委員會 Intergovernmental Panel on Climate Change）告訴我們，如果要降低攝氏 1.5 度，在 2030 年前至少要減碳百分之四十三，在 2050 年才能達到零碳。所以，今天的議程中就有我們福和會的謝國煌教授與林江珍博士他們共同研究將 CO2 回收再利用的相關內容。

台灣正在發展的能源其實很多樣，像是太陽能，不過太陽能到晚上就沒辦法繼續供電，還有水力與風力發電必須在鄉間較空曠的地區，無法在都市發展。日本在秋田以及大阪則是利用地下水發電可以減碳，杜拜也是如此，日本的三菱重工也不斷在研究各樣新的技術都是為了達到減碳。我們也還有地熱發電，今天來到現場的高成炎教授就是在宜蘭從事地熱的研究，這種能源的運用發展也不是那麼容易進行，我們探索許多方法都是希望能增加電力能源。

比爾蓋茲在美國北達他科達州 State of North Dakota 有一個公司叫做 TerraPower 公

司，他的公司就是在研究用氫能發電，可以建立較小型的電廠。童子賢也有提到要發展小型的核電廠，但目前還不知是否可行，比爾蓋茲曾說，如果他的公司研發成功，他要在美國建十九個電廠，若是她成功，將來我們也可以把這個技術列入考慮。

過去民進黨一直在推動反核，但是現在為了有效減碳，我們國家能源政策也應該要有所調整，尤其時代不斷進步，會有許多新技術出現。舉例來說，我是第四代醫師的家庭，在我阿公的時代接受白內障手術後，要休養兩個禮拜，到我父親的年代，手術後需休養一個禮拜，而到我到台大醫院實習的年代手術後要休養五天，當我到美國讀書時，發現在美國病人接受白內障手術，只需要休養一天。我到美國讀書大約三年，原本手術傷口需要縫十五條線，我剛學時是縫七條線，很快就進步到只需要縫三條線，之後又進展到只要縫一條線，到現在都不需要縫線。現在有一種「飛秒手術」，健保不給付，病人要自費十萬塊，還有一種微創手術，其實，我還在美國時就有這樣的技術，如今只是換個名稱，費用就增加三萬。

我在二十年前是第一個發表使用雅銘雷射來治療白內障。所以，科學不斷在進步，我們也要跟上時代。我們今天有關減碳議題，也應該要

跟上時代的進步。我想應該把時間留給在座的專家，特別歡迎我們的經濟部連錦漳次長蒞臨。

貴賓致辭

連錦漳(經濟部常務次長)



林理事長、以及在座的幾位教授，還有現場所有朋友，大家好，其實剛剛林理事長提到的內容以及今天談的議題，現在我們的政府都逐步在做，我們的目標是推動多元淨零，所以，地熱發電我們也很認真在做，氢能部分還有些技術要突破，我們也成立專案小組在研議地熱發展。

在開始之前播放的影片是關於中鋼在做將二氧化碳捕捉再發展其他化學產品，這些現在陸續都有在做，影片也特別提到我們現在有些新的發電技術，其實台電也很願意嘗試新的電力來源，現在先初步從加入一定比例的氫來做，當然我們也一定要朝低碳電力來發展，各位所建議的新技術，只要可行，經濟部一定都會虛心的接受去好好做研究。

像中鋼現在面臨被課碳費的問題，我鼓勵他們要認真研發，不管分氫，分氨都可以去做，甚至是考慮將一些前端的製程先移到國外，這樣就可以將大部分的碳留在國外，所以不管是從能源去著手，或是從製程去做一些改善都好。

尤其是現在我們除了在發展多元面的時候在深度節能。我們今年開始我們部長交代說一定要努力去做，那我們現在真的要把全國的國有事業，甚至是例如像醫院的深度節能，我們現在也要跟 TESCO（能源技術服務產業）結合，譬如說跟台大以專案方式全省推動，這樣的量才可以比較大，否則以前都是分散開來量很小，比較看不出成效，所以我們現在針對深度節能，跟 TESCO 還有跟金管會的保險基金銀行一起合作努力。所以，不管是從多元的綠能或是深度節能，甚至是剛才講的印刷電路板廠欣興電子現在也有做燃氫，從天然氣以裂解方式將氫儲存起來供應自己，這個也是一個低碳的電力，這部分我們也正在發展。

另外，我們要怎麼去穩定電力的供應最重要。今天很高興來參加這個論壇，希望大家以後有什麼意見都提供給我們經濟部，今天林子倫副執行長也在這裡代表行政院，我們是一體，可以共同研討大家的意見。

主題演講

我國淨零碳排策略與路徑

林子倫(行政院能源暨減碳辦公室副執行長)



壹、前言

全球淨零排放(Net Zero Emissions)議程的形成，是一段由科學驅動、政治促成的演進過程。2015 年的《巴黎協定》雖設定了「將全球平均氣溫升幅控制在 2°C 以內，並力求限制在 1.5°C 」的目標，但當時並未將「淨零」作為明確要求。真正的轉捩點出現在 2018 年，IPCC 發布《全球暖化 1.5°C 特別報告》(Special Report on Global Warming of 1.5°C)，該報告明確指出，為達成 1.5°C 的目標，全球需在 2030 年前將二氧化碳排放量相較於 2010 年減少約 45%，並在 2050 年左右達到淨零。至 2023 年時，全球已有 145 國宣布或考慮淨零目標，淨零排放目標的達成需要全球共同努力，台灣也可以協助全球減碳。接下來將簡要說明全球氣候政治與淨零轉型的主要趨勢，以及台灣邁向淨零的主要措施。

貳、氣候政治與淨零轉型的七大趨勢

三十年以來的全球氣候政治與淨零轉型可分為七大趨勢，分述如下：

一、氣候變遷已經從科學議題演進到政治議題

氣候變遷已從單純的科學議題，演進成為重要的政經議題。科學家透過提供氣候科學報告向大眾與決策者告知目前環境的狀態，但實際的行動仍有賴於政治來解決，因此可以看到聯合國的氣候談判會議成為各國政治經濟的角力。另一方面，美國早在 20 年前已將氣候變遷視為國家安全的議題，因為它影響了傳統和非傳統的安全議題。此外，氣候議題還可能引起資源分配、糧食安全的問題。

二、「去碳化」(decarbonization)重塑全球地緣政治版圖

過去由於此地區豐富的石油蘊藏，中東問題一直是國際政治的焦點。然近來中東的地緣政治與石油政治問題熱度不再，與美國自 2019 年成為石油的自產國有關。再生能源的崛起、區域衝突所造成的能源武器化問題，讓過去依賴俄羅斯天然氣的歐洲國家，開始大量擴增再生能源的使用。化石燃料的退場、撤資、轉型等倡議也在國際氣候治理間獲得共識。能源出口國家的地緣政治開始走向低碳經濟、促進能源民

主，扭轉了過去石油主導的政經局勢。國際能源總署的研究報告指出，許多工業國家的經濟成長已經和溫室氣體成長脫鉤(decoupling)，近年來在台灣也可觀察到脫鉤的趨勢。

三、能源轉型大趨勢已定，智慧電網與儲能系統為重要關鍵

REN 21 報告指出，再生能源的新增裝置容量已連續六年超越化石燃料及核電。再生能源發電量的持續提升，是未來主要趨勢，國際智庫發布的報告大多呈現類似的趨勢，化石燃料、核能會逐步退場。而再生能源以太陽能為主要，風電成本最低。新設再生能源的成本較煤具有競爭力，使得發展中國家有能力負擔再生能源。過去電力系統依賴化石燃料或核電做為基載的架構也在進行典範移轉，這使得智慧電網和儲能系統的角色至為關鍵。

四、碳定價(carbon pricing)時代來臨

國際上主要有兩個制度針對碳進行定價，分別為「碳稅」與「碳排放交易」；亦即必須要為排碳付出代價，而不是將碳排外部化。2024 年全球已有 75 個碳稅(carbon tax)和排放交易制度(ETS)正在實施，台灣的碳費制度已於 2024 年啟動，並將於 2025 年開徵，希望可鼓勵企業履行減排。歐盟碳邊境調整機制(carbon border adjustment mechanism)，於 2023 年生效，美國、日本也可能提出類似碳關稅政策，未來或許將形成碳關稅壁壘或貿易衝突。

五、城市與次國家體系在氣候治理議題扮演重要角色

城市的排碳量和能源消費佔全球七成以上，是氣候變遷的成因之一，但也是氣候治理積極行動者，使得全球氣候治理從過去國家中心的治理逐漸演變為多中心(polycentric)治理。在國際組織包含 ICLEI、C40 以及全球四百多位市長的推動之下，將城市和次國家體制(cities and subnational authorities)的角色納入《巴

黎協定》條文，肯認城市在氣候議題解決的重要角色，開啟了城市氣候外交的新網絡。面對氣候議題的衝擊，城市在經濟轉型、氣候調適與社會韌性等面向扮演領頭羊的角色。

六、企業應對氣候議題的關鍵角色

過去企業或工業部門一般被認為是氣候問題或環境污染的元兇，但自 2014 年 RE100 倡議啟動後，截至 2024 年，全球已有超過四百家企業加入，台灣也有 30 多家企業加入。這些加入 RE100 倡議的企業，公開承諾將在 2020 至 2050 年間達成 100%使用再生能源電力的時程。值得強調的是，這樣的倡議不只是企業自我要求，同時也要求企業的供應鏈一起遵循，換言之，一個超越國家治理、透過私部門力量促成的轉變正在發生。

七、新氣候政治的崛起

氣候議題不再侷限於環境或科學領域，也與永續發展、性別、青年、人權、原住民、世代衡平、氣候正義、能源民主等議題緊密連結，開啟了的新氣候政治的視野與想像。例如，氣候青年領袖 Greta Thunberg 喚起了全球青年世代對於氣候議題的關心，台灣的青年也在 2012 年成立台灣青年氣候聯盟(TWYCCC)，進行國內外氣候議題的串聯與倡議。當前世代必須立即採取行動，否則弱勢族群及未來世代將面對更大的不公平。

參、淨零排放與 2050 年台灣淨零排放目標

根據 IPCC 的定義，淨零排放意指在一定時間內，全球人為造成的溫室氣體排放量，扣除人為的移除量為零。到 2023 年為止，全球已有 145 國宣布或考慮淨零目標，約覆蓋了全球溫室氣體排放量的九成。台灣也已經提出淨零轉型目標與相應政策以及行動策略規劃。2021 年，前總統蔡英文承諾台灣於 2050 年達成淨零目標，並於 2022 年國發會公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，提出「能源轉型」、「產業

轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型，及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎（參



圖 1、臺灣 2050 淨零轉型之策略與基礎。資料來源：國家發展委員會（2022a）



圖 2、臺灣 2050 淨零轉型 12 項關鍵戰略。資料來源：國家發展委員會（2022a）

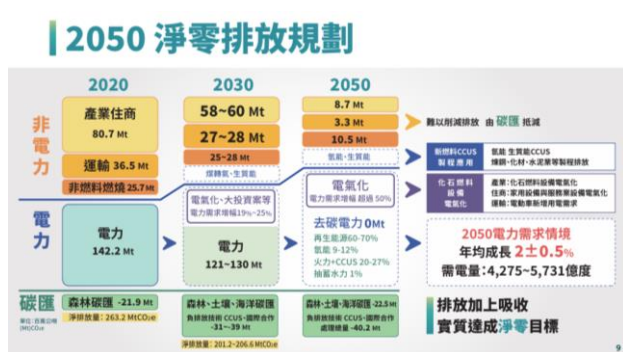


圖 3、臺灣 2050 淨零排放規劃。資料來源：國家發展委員會（2022b）

而賴清德總統也於 2024 年宣布「國家希望工程」，並提出了「綠色成長與 2050 淨零轉型」五大策略（參見圖 4），包括：（1）啟動第二次能源轉型，建立智慧共享的綠能戰略；（2）推動數位與綠色產業的雙軸轉型，將以智慧與淨零

科技雙軸帶動產業發展；（3）形塑淨零永續綠生活，透過零浪費低碳飲食、友善環境綠時尚、節能綠建築、低碳運輸網路等方式，推廣以服務取代購買，並經由全民對話溝通，落實低碳生活；（4）透過建立產業技術服務團隊以及數位服務平台，以及定期公布淨零相關行動指引，協助產業低碳轉型，降低對產業衝擊；（5）推動不遺落任何人的公正轉型，確保在轉型過程中，個人、產業與群體的發展機會。



圖 4、臺灣綠色成長與 2050 淨零轉型 5 大策略。資料來源：國家發展委員會（2024）

肆、促進淨零轉型的創新解方

實現 2050 淨零排放是一項系統性工程，它需要的不僅是技術的革新，更是一場深刻的商業、社會運作模式與生活型態的轉型。我們無法沿著舊有的路徑，到達一個全新的未來，需要多元且創新的解決方案，並且需要眾人一起行動。現在全球與台灣已經採取不同概念發展出創新方案，部分列舉如下：（1）運用科技解方，透過材料、技術、製程創新提升能源效率，減少碳排放；（2）採用自然解方，人類與自然與生態系統合作，透過恢復生態與生物多樣性以應對氣候變遷；（3）重視人文社會關懷解方，實踐淨零策略的過程中，重視不同群眾的條件與需求，擴大社會效益；（4）運用市場解方，於商品製造、運送、銷售過程中納入碳中和考量，藉由消費促進淨零；（5）發展虛擬電廠(Virtual Power Plant, VPP)，透過平台整合多元與分散的電力系統，即時調整電網供電量與用電量，舒緩尖峰用電的需求。

伍、結語

邁向 2050 淨零排放的道路充滿挑戰，但也蘊含著巨大的機遇，台灣已提出淨零轉型路徑以及涉及不同面向之關鍵戰略規劃。實際上，淨零轉型不僅涉及技術轉型，更會連帶影響商業、社會以及一般民眾的生活，亦即台灣各個層面都會進入系統性的轉型，亟需新的減碳策略與作法。然而走舊路無法抵達新的方向，因此，我們需要以更開放的視野、更具創意的思維，並集結產、官、學、研、社各界的力量，眾人共同擘

劃並實踐一個永續、韌性且公正的淨零未來。並且讓台灣於全球邁向淨零的目標上，貢獻一份心力。

參考資料：

國家發展委員會，(2022a)，〈臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明〉，國家發展委員會。

國家發展委員會，(2022b)，〈淨零轉型之階段目標及行動〉，國家發展委員會。

國家發展委員會，(2024)，〈國家發展計畫 - (114 至 117 年)〉，國家發展委員會。

第一節論壇

二氧化碳捕獲與再利用製備化學品技術 ——捕捉台電、中鋼、中油碳排 生產甲醇，我們做到了！

李宗銘（工研院協理兼任材化所所長）



謝謝理事長、謝謝福和會的貴賓跟長官還有行政院林博士。很高興今天有機會跟大家一起分享工研院在碳捕捉再利用的技術開發，前面林博士特別提到——走舊的路，就沒有辦法得到更新的幸福；就是我們不要只看現有的東西，其實還有不同的路徑可以探索。在 2015 年聯合國氣候峰會中，通過了巴黎協定降低溫室氣體排放，2016 年政府就開始覺得這一塊應該

要加速投入。一開始我們是從循環經濟的角度來思考，由於影響全球暖化最多的溫室氣體為二氧化碳，如果能將二氧化碳從源頭就把它捕捉下來再利用或封存，就可以降低碳排放量；例如，台灣的火力發電廠或者是汽電共生廠，這對我們要達到 2050 的淨零排放目標很有幫助，另外也可以來帶來新的經濟效益。也就是說，透過碳捕捉再利用，我們可以為企業界提供一種新

的低碳能源。台灣作為一個以製造業為核心的出口導向經濟型態，若無法開發低碳產品，將在國際市場上面臨激烈競爭的劣勢。所以，藉這個機會跟大家來報告我們從 2016 年至今近十年的研發成果，感謝行政院與經濟部的大力支持，如果當初沒有這筆經費讓我們啟動這個計畫，台灣在減碳技術上可能會遠遠落後於國際。尤其在全球積極投入碳捕捉與再利用技術研發的趨勢下，未來即便我們再想去引進國外技術，不但困難重重，甚至可能沒有人願意移轉給我們，所以我們很感謝政府的投入，做了很多的事情。

我國2050淨零排放規劃

今天特別要講的就是二氧化碳捕捉再利用生產原物料，包括化學品或者是燃料；因為我們是以製造為主的國家，我們所生產的材料或者是製品要賣給人家時，如果沒有一個低碳、負碳的原料，未來的經濟發展會很辛苦，每一家企業都必須要去面對這個問題。

台灣主要溫室氣體排放量統計

	CO ₂ emission capacity (M tons-CO ₂ e)				
	2018	2019	2020	2021	2022
 台灣電力公司 TAIPEI ELECTRIC POWER CO., LTD.	97.9	91.3	93.1	98.5	98.2
 台灣中油股份有限公司 TAIPEI PETROCHEMICAL CO., LTD.	7.0	6.7	5.7	6.3	6.0
 中鈺公司  大韓鋼鐵 DAEHAEN STEEL CO., LTD.	30.7	29.2	27.3	30.4	27.1
台塑集團 (台塑、台塑化、南亞、台化、麥寮、華亞)	52.3	50.8	50.1	49.1	44.9
水泥業 (台泥、亞泥、信大、環球、潤泰、幸福)	8.7	7.7	9.2	9.4	8.8
Total	196.6	185.7	185.4	193.7	185
台灣溫室氣體排放*	283.9	274.4	272.3	283.6	273.7

首先看我們台灣主要溫室氣體到 2022 年的排放量統計，這個是環境部公布的數據，大概全台灣一年的溫室氣體有兩億七千萬噸左右。其中台電占了將近三分之一以上，但是台電的占比算是我們大家的共業，不能只歸因於台電，因為每個人都在用電，所以大家都要想辦法節電。中油公司在製程上，他有汽電共生廠的碳排；中鋼集團有煉鋼製程將近三千萬噸的碳排；台塑集團有將近四、五千萬噸的碳排，台塑的量是因為他有發電，他也有幫忙國家發電，他不是只有化工製程的碳排；那水泥業也不少，因為水泥生產製程中，石灰石也就是碳酸鈣需經過加熱煅燒變成氧化鈣，過程中會脫去二氧化碳，這個就

些固定式的排放源，都是從煙囪將 CO₂ 排放至大氣中，讓我們能夠用各種方法由煙囪裡面加以捕捉下來。剛剛謝教授也講過，在化工製程中，早就有將所要氣體成分自混合氣中分離出來的技術，只是需要高效率化，低成本化還有跟現有的系統要能連接在一起。

一般火力發電廠的煙道氣裡面，以燃煤電廠來說，它的 CO₂ 濃度大概在 10%~15%，如果是燃氣電廠的話大約是 5% 的 CO₂ 濃度，而經過捕捉製程是可以將 CO₂ 純度提高至 99% 以上，也比較適合再利用，特別是轉變為化學品。

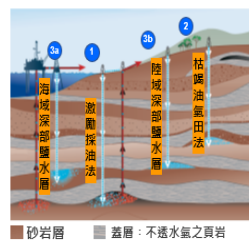
捕捉下來的 CO₂ 再利用，可以轉變成化學品，也可以進行物理利用，或者是用在促進植物生長、養藻等等。此外，以物理利用來說，比如說我們所喝的汽水，現在台灣的氣泡水大部分都是將化學製程中副產的 CO₂ 經分離純化後，再加壓灌入到水溶液中製成，可口可樂裡面的 CO₂ 大部分都是從這裡來的，礦泉水裡面的氣泡水也是，有些日本料理會看到的乾冰也是物理利用，乾冰就是將 CO₂ 冷卻固化所得。另外一個就是你可以把它變成化學品或者是燃料，就可以給產業應用；CO₂ 轉化燃料的循環利用，歐洲現在所倡議的 e-Fuel，就是從 CO₂ 或是從生質轉化過來；但是，整體來說 CO₂ 再利用的經濟效益是比較大，可是它的 CO₂ 去化量，會受限於要有足夠的氫或者是足夠的其他化學品來一起反應，但它是有經濟效益的減碳方案。

捕捉下來的 CO₂ 另外一個去化方案就是封存，透過封存，我們可以大量地將 CO₂ 埋入地底下，在適當的岩層中，具有特定的鹽類成分可以跟 CO₂ 反應形成碳酸鹽固化，這個也是一條路。封存可以大量的去化 CO₂，但是在執行上就很困難，因為台灣的土地面積小，可以封存地點有限；其實十幾年前中油也有利用他們的廢棄礦坑，嘗試將 CO₂ 灌進去，可是周邊的居民就會來抗議，所以等一下我也會簡單的跟大家說明，每一個去化 CO₂ 方案都有正反兩面，我們要去選擇一個大家可以接受最佳的方案。

碳捕獲封存(CCS)主要機制

封存場址條件：

1. 封存深度>1公里
2. 條件：具有良好儲集砂岩層及緻密蓋層



類別	說明
1. 激勵採油法 (Enhanced Oil Recovery, EOR)	將 CO ₂ 注入生產力低的 油氣田，擠出油氣提昇 經濟價值
2. 枯竭油氣田 (Depleted oil and gas reservoir)	將 CO ₂ 注入枯竭油氣構造進行封存
3. 深部鹽水層 (Deep saline aquifer)	加壓 CO ₂ 形成超臨界流體注入鹽水層內，透過溶解、礦化等多重機制封存

資料來源: IPCC: 政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change) (2005)

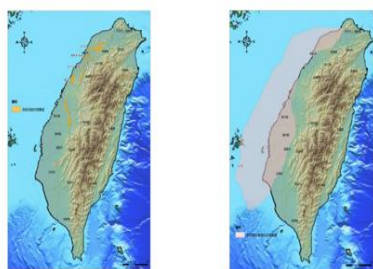
有關於碳捕捉封存基本上不是隨便找一個地方，挖一個井，就將 CO₂ 打下去就可以封存了；這個井的地底結構，一般要有一個砂岩層讓 CO₂ 有可滲入的孔隙，要有一個鹽水層可吸收 CO₂，然後最上面還要有一個很緻密的覆蓋層的頁岩，以阻止灌入的 CO₂ 洩漏，要有這樣的地層結構，才能夠做封存，否則是沒辦法的。

現在全球大約有幾種主要的碳封存技術，一種就是如美國採用最多、規模最大的方案激勵採油法，簡稱 EOR 就是 Enhance Oil Recovery；主要應用在頁岩氣開採區或德州油田等地，當油氣田進入開採後期、地層中的油氣已難以用傳統方法取出時，他們就會透過將鄰近燃煤電廠所捕捉的 CO₂，壓縮後注入，進一步提升地層壓力或降低油的黏稠度，幫助把殘留在地層中的油氣擠出來。等一下，我會介紹幾個案例，都是在做這個最多已經到百萬噸級的碳捕捉技術。

另外的方案，就是封存在枯竭的油氣田，因為枯竭的油氣田的地形結構就是剛剛我們看到的這個結構，因為它能夠蘊藏石油氣本身的結構都是很緻密，很穩定的，所以可以將已經採完的礦坑，作為封存 CO₂ 的用途；另外一個就是深部的鹽水層，就是說在底層底下有一些鹽礦，含鎂、鈣或者是其他的鹽類，可讓 CO₂ 溶解在鹽水中，形成碳酸鹽，並沉澱下來，進一步固化；其前提就是深度要夠，理想的深度範圍通常在 800 公尺至 3000 公尺之間，第二個要有緻密的緻密的頁岩層以阻止洩漏，這個是基本的架構。

台灣發展CCUS-CO₂封存的可能性

- 一、臺灣陸域封閉構造(含枯竭油氣田及附近鹽水層)估計可封存潛能28億噸，民眾抗爭不易施行
- 二、臺灣平原區、濱海及海域深部鹽水層估計可封存潛能459億噸



陸域封閉構造(枯竭油氣田及附近鹽水層) 平原區、濱海及海域深部鹽水層

資料來源：臺灣二氧化碳地質封存地圖集(2014)；溫室氣體盤點報告書(2020)

這個是經濟部近這幾年所做的盤點，由資料可以看得出來，台灣的陸地上有一些枯竭的油氣田跟鹽水層在地底下，從經濟部與國科會裡面這個第二期能源國家型科技計畫(NEP II)裡面，老師們所做的一些結果來看，他們估計可封存量大概有 28 億噸的 CO₂；那如果是在這個平原區、濱海及海域深部的鹽水層，則可以封存將近 460 億噸 CO₂。如果真的可以實現，我們可以封存台灣大約 200 年的 CO₂ 排放量；可是呢，台灣又是一個地震帶，民眾就會擔心說我要是將 CO₂ 打到地底下，可能造成地質不穩定，然後地震一來，封存的 CO₂ 通通都變成氣泡釋放出來，產生危害，或者是造成地層塌陷了怎麼辦？這也是大家最擔心的地方之一。現在的問題是民眾可能會有反對聲音，所以我們要評估這種情況發生的機率，還有它對整個計畫可能造成的影響。有風險是正常的，沒有任何一件事可以保證百分之百安全，但我們可以靠科技和制度來把風險降到最低，做到可預防、可控制。

國營事業碳封存跨部會試驗計畫構想

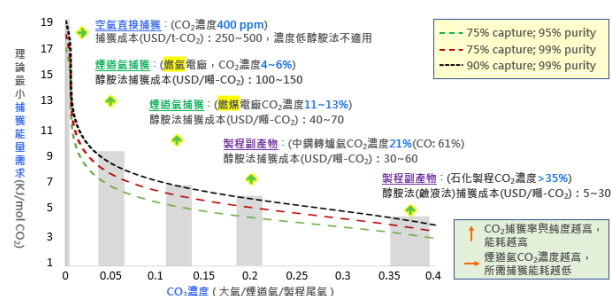
- 111/5/20 曾次長率隊赴國發會，由能源局陳崇基組長報告「我國碳捕存(CCS)沙盒計畫構想規劃」及前續預算(中油、台電預算約9.42億元)
- 張主委指示修正為「我國碳捕存(CCS)跨部會試驗計畫」，相關法規事宜，由國發會跨部會協調
- 將由能源局研擬計畫書，送陳經濟部轉報行政院核定，俾儘速以後續分工推動事宜

台電、中油 沙盒計畫	台電試驗計畫	中油試驗計畫
CO ₂ 來源	• 台中電廠燃煤機組捕獲(2千噸/年) • 中龍石灰窯捕獲	• 鄰近電廠(港電)或工業捕獲(未定) • 預計10萬噸/年
運輸方式	管線(廠內)	槽車
封存方式	垂直井	垂直井

政府其實早在 2022 年就開始推動碳封存，當時曾文生次長就已展開相關規劃工作。我們也一直認為碳封存是邁向淨零的重要路徑之一。台電目前已在沙鹿和龍井進行小型的沙盒實驗，中油則在鐵砧山規劃一項試驗計畫，但還沒正式核定。

碳封存需要時間來驗證效果，我們必須先建立模型，觀察在經過 10 年、20 年，甚至地震後，CO₂ 會不會洩漏出來。像日本也在做相關研究，他們在北海道苫小牧注入了 20 萬噸 CO₂，並設置許多感測器，觀察長期變化，確認安全性後才會進一步推動。這樣的長期觀察和驗證，是每個科學工程必要的步驟。

各種情境CO₂捕獲的相對能耗與成本概況



資料來源：DOI: reproduced from 10.1039/C7EE02342A (Review Article) Energy Environ. Sci. 2018, 11, 1062-1176

接下來談一下碳捕捉有哪些方案。碳捕捉可以直接從空氣中進行，像 Google 與新創公司 Holocene 合作，就投入了「直接空氣捕捉」(DAC)的技術。雖然空氣中的 CO₂ 濃度很低，只有大約 400 ppm，不到 0.04%，所以每噸 CO₂ 的捕捉成本高達 500 美元，但他們還是願意做，因為這種技術可以拿到碳權，聯合國也承認這種從大氣中移除 CO₂ 的碳權。

除了空氣，國內的燃煤電廠、燃氣電廠或是工業製程的排放，也可以進行碳捕捉。這些來源的 CO₂ 濃度比較高，技術上更容易、能耗也比較低。簡單來說，CO₂ 濃度越低，捕捉越困難、能耗越高；濃度越高，就越容易處理。這是規劃碳捕捉與再利用時很重要的考量因素，目前我們在國內也已有一些相關技術可以應用。

碳捕捉方法

CO ₂ 排放源	CO ₂ 濃度(%)	捕捉方法
Natural Gas (power)	3~5	化學吸收法(醇胺、立體阻氣...)
Coal (power)	10~15	化學吸收法(醇胺、立體阻氣...)
Ethylene production	7~12	化學吸收法(醇胺、立體阻氣...)
Hydrogen production	30~45	化學吸收法(醇胺、立體阻氣...)
Ammonia processing	>98	化學吸收法(醇胺、立體阻氣...)
Natural gas processing	96~99	化學吸收法(醇胺、立體阻氣...)
Ethanol (Fermentation)	96~99	化學吸收法(醇胺、立體阻氣...)
Iron and steel production	20~27 (16~42)	PSA 固體吸附(沸石、中空纖維+沸石)
Cement production	14~33	鈣迴路捕捉
Air	0.04	DAC 化學吸收法(KOH _{aq})、醇胺、立體阻氣...

PSA: Pressure Swing Adsorption ; DAC: Direct Air Capture

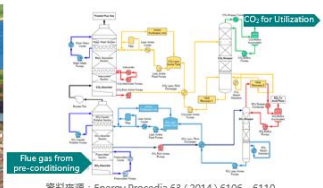
不同燃料的火力發電廠間，碳排放濃度差異很大，例如燃氣電廠的 CO₂ 濃度大約是 4~6%，碳排相對較低；燃煤電廠的 CO₂ 濃度則比較高，約在 10~15% 之間。所以有人建議，把台中火力發電廠的燃料從燃煤改成燃氣，碳排就可以先減少一半。不過這之間也有取捨的問題，因為燃煤可以大量長期儲存，但天然氣受限於儲槽容量，只能儲存一到兩個月，儲備相對不穩定。簡單來說，使用天然氣來發電，減碳效果好，但有儲存不易的問題；燃煤穩定，但碳排係數高。政策上需要在減碳與能源安全間做一平衡。

如何讓燃煤電廠的污染降低？這就是另外一個主題。碳捕捉有各種不同的方法，比如我們可以利用醇胺水溶液來捕捉 CO₂，透過酸鹼中和的原理，因為 CO₂ 溶到水性溶液裡面就是一種酸，所以水溶液中，只要含有鹼性成分，就可透過化學反應吸收方式將它捕捉下來，不過捕捉下來以後，需要加熱把它釋放並收集起來，此一過程就有能耗的問題。所以我們要想辦法讓它可以很快吸收，但要把 CO₂ 釋出時又可以很低耗能，這個就是我們各種化學研究的方案在做的，所以最初始大都是使用醇胺水溶液或者是使用 KOH 水溶液。另外還一種就是物理吸附的方式，透過壓力的變動來做吸脫附；比如說我們將含有 CO₂ 的混合氣加壓，再讓它通過可吸附 CO₂ 的吸附劑，例如中空纖維、沸石等，此時混合氣體中的 CO₂ 會被吸附劑吸附；然後，當減壓時，被吸附的 CO₂ 從吸附劑上脫附出來後，將其收集起來，此時的吸附劑也被再生。這個是一個

PSA (Pressure Swing Adsorption, 壓力振盪吸附) 的方案；那另外一種就是水泥廠現在使用的鈣迴路，利用氧化鈣(CaO)在高溫吸收燃氣中的 CO₂，形成石灰石(CaCO₃)，然後再將石灰石在煅燒爐中分解成氧化鈣(CaO)和高純度 CO₂，完成一個循環。

加拿大Boundary Dam- CO₂捕捉封存

- 第一個在燃煤電廠的商業規模 CCS 專案，位於加拿大的 Estevan in Saskatchewan。
- 2014 年啟動，每年最多可捕捉 100 萬噸，至 2023 年累計捕捉超過 580 萬噸，所捕捉的 CO₂ 應用在 EOR。
- 採用 Shell Cansolve 技術，設置成本 14 億美元。(成本：100 美元/噸-CO₂，使用醇胺捕捉劑)。



資料來源：Energy Procedia 63 (2014) 6106–6110

加拿大 Boundary Dam 是一座由 SaskPower 電力公司所設置的燃煤電廠，他們在 2014 年前蓋了一個百萬噸級的 CO₂ 的捕捉設備；這個發電廠捕捉 CO₂ 後，再應用到激勵採油，不過那時候技術不夠進步，捕捉成本貴，每一噸 CO₂ 捕捉成本大概就要 100 塊美金，這個是殼牌(Shell)去幫他們做的技術，總投資額達 14 億美金。

美國Petra Nova - CO₂捕捉封存(激勵採油)

- 廠址：Tompsons 德州/美國 技術來源：三菱重工(MHI)
- 主要應用在 EOR，日捕獲 CO₂ 量：4,776 噸/日 (240MW*24 hr，碳排係數 0.829kg/度電)
- 2017 起營運，2020 因原油價格下跌及燃煤發電市場萎縮等問題，宣布停止營運。
- 2023 年重啟。

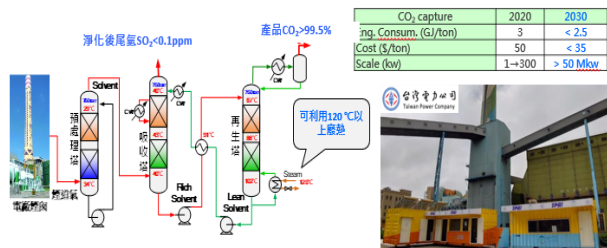


Item	Description
Plant location	Tompsons (Texas, U.S.A)
Plant owner	Petra Nova (joint venture between NRG Energy Inc. and JX Nippon Oil & Gas Exploration Corporation)
Gas source	NRG WA Parish power generation plant 610MW (Net) coal-fired power generation facility
Process	KM CDR Process™
Absorption liquid	KS-1™ solvent
Plant scale	Corresponding to 240MW
CO ₂ recovery rate	90 percent
CO ₂ capture amount	4,776 metric tonnes per day

2017 年在美國德州採用三菱重工的技術，建造了一個百萬噸級的碳捕捉工廠，那時候也是用來激勵採油，每天可以捕捉的二氧化碳的量將近五千噸，一年下來大概將近 1~2 百萬噸的量。因為他們已經進展比較好，投資成本也比較低，每一噸 CO₂ 捕捉成本大概是 60 塊美金。但是到 2020 年因為天然氣、原油價格下降，所以停工，最近因為油價上漲又開工，所以又開工就繼續做激勵採油封存。

煙道氣二氧化碳醇胺捕提劑捕獲製程-台電中火實證

1. 場域：台中火力發電廠，2019年底啟動，已運轉 > 20,000小時
2. 自煙道氣捕提CO₂(醇胺捕提劑)，每年可捕提7噸，將再建置年捕提2千噸CO₂的CCU驗證(招標中)
3. 捕提劑：立體阻胺捕提劑配方，具高吸收捕獲效率及低脫附耗能



我們工研院在經濟部的支持下，也開始投入建立碳捕捉的技術，早在六年前，我們就與台電、中火合作，利用立體阻胺技術開發了台灣第一套燃煤電廠的碳捕捉設施。這套設施雖然規模較小，每年可捕捉約 7 噸的碳，一天大概是 20 公斤，但是不要小看這個量，這是我們台灣的第一套燃煤電廠的碳捕捉設施，而且持續運轉到現在，已經超過兩萬小時，這兩萬小時代表的就是我們在裡面使用的化學吸收劑可以一直不斷地穩定操作，而且得到很好的效果。所以，台電就持續投入建造一個每年捕捉兩千噸的設備，預估未來會持續放大來做。

這裡的數據顯示我們的技術有更低的能耗，而且成本未來預估可低於每一噸 35 塊美金；如此，未來以捕捉 CO₂ 來做化學利用時就會很有效益。每一項新的技術開發初期，通常會因為成本較高而令人卻步。但是，這是一個普遍的趨勢，就像智慧型手機剛推出時價格高昂，但隨著時間推移逐漸普及後，成本也會隨之降低。對於化學利用領域的新技術而言，情況亦是如此。

100MW燃煤發電機組之碳捕捉之減碳量估算

- CO₂轉化學品需控制含S等不純物，以免傷害觸媒，需有預處理塔
- 目前以100 MW系統估算，每捕獲 1噸 CO₂，淨捕獲量估算約0.653 噸-CO₂
- 如有120°C以上餘熱可用，淨捕獲量可達 0.9 噸 (可再增加0.282噸)

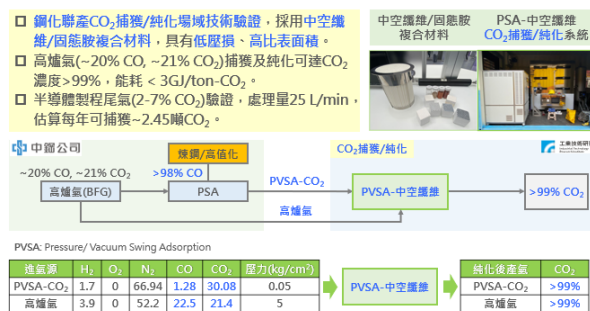
A. 捕獲CO ₂ 製程所耗		2.98	GJ/噸CO ₂
熱能的碳排	捕獲1 ton CO ₂ 約需排放量(沒熱值)	0.282	噸-排放CO ₂ /噸-捕獲CO ₂
B. 製程用電碳排	捕獲1 Kg CO ₂ 用電排耗CO ₂ (131度)	0.065*	噸-排放CO ₂ /噸-捕獲CO ₂
捕獲CO ₂ 製程碳排	合計(A+B)	0.347	噸-排放CO ₂ /噸-捕獲CO ₂
	實際淨捕獲CO ₂	0.653	噸CO ₂ /噸-捕獲CO ₂

* 採用2023年電力碳排係數0.494 kg/kWh

分析項目	說明
氣源	燃煤電廠
吸收劑	MCL-CS1
CO ₂ 捕獲量(噸/年)	641,230
捕獲設施土地需求(坪)	1,500

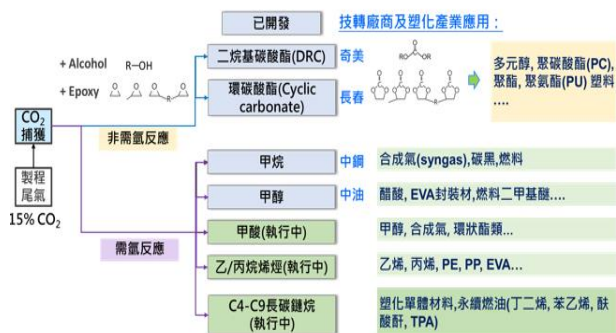
我們的技術運用所累積的數據，進行初步效益分析時，採用規模 100 MW 的燃煤電廠的模型，進行了模擬估算。初期，我們的技術預計每捕捉一噸二氧化碳，可實現 0.6 噸的淨捕捉量。這表示在扣除操作過程中的能耗後，實際減少的二氧化碳排放量為 0.6 噸。相較於過去普遍只有 0.3 至 0.4 噸的淨捕捉量，我們的技術顯著提升了效率，解決了以往因淨捕捉量過低而導致經濟效益不彰的問題。更令人振奮的是，若能進一步將電廠產生的餘熱整合應用於碳捕捉的脫附程序中，預計淨捕捉量可提升至 0.9 噸。這項突破性的進展，充分證明了低碳排、高效率的碳捕捉技術在未來是完全可行的減碳方案。目前，我們正積極與台電、中油及中鋼等重要夥伴合作，共同推動這項先進的碳捕捉技術。

中空纖維CO₂純化/捕獲系統



另外，如果製程中有比較高濃度的 CO₂ 副產品，比如說像中鋼，他們的高爐氣中的 CO₂ 濃度大概在 20~21%，這一類的我們就會利用 PSA 技術，就是用壓力差的震盪加上吸附劑，來做一個比較高效率節能的捕捉，在這個部分我們也可以得到每一噸的 CO₂ 捕捉能耗低於 3 GJ 的成果，有很好的捕捉效益，我們採用的核心技術是結合中空纖維與固態胺的碳捕捉方法。這與先前在台電使用的立體阻胺技術有所不同。我們利用中空纖維的特性，搭配壓力震盪的方式來捕捉高濃度的二氧化碳。因為 CO₂ 捕捉設施的體積可以變得很小，所以我們最近也將此方案應用於半導體廠的尾氣處理。

碳捕獲再利用(CCU)合成化學品技術架構



當經由碳捕捉製程後可以得到 CO₂ 濃度達 99.9 以上時，我們就開始想說，我們要怎麼樣來將其轉化成化學品，這個也是過去幾年我們所投入的重點；CO₂ 轉化為化學品，基本上有兩種路徑；因為 CO₂ 其實是相當穩定的氣體分子，即使在高溫下也不容易分解，反應性低，我們必須找一個高活性的物質來跟它反應。高活性的物質就是比如說醇類或者是有環氧基的化學品，它們的活性就可以透過觸媒催化跟 CO₂ 反應得到衍生物。這類型的反應，例如我們跟奇美合作，做成聚碳酸酯 (PC)，或是跟長春合作，做成環碳酸酯 (Cyclic Carbonate)，並用在它們的產品製程上。另外一個就是跟氫氣反應的，跟氫氣反應我們可以將 CO₂ 轉化為甲烷、甲醇，另外我們也開始發展將 CO₂ 轉化為乙烯、丙烯的觸媒與製程技術。台灣石化產業進口石油生產乙烯，一年大概有 400 萬噸，如果這 400 萬噸未來不要使用進口石油，而是透過 CO₂ 來再利用合成，我們除了可以來維持我們石化業的一些製造能量，又可以達到低碳的效益，更可降低石油的進口，這就是減碳。此外，還有一些長碳鏈的產品，例如燃油或燃料，也是我們目前正在做的。甲醇是最近大家看起來最熱門的話題，做成航運的燃油，或是進一步將甲醇轉化為航空燃油，這是一個大家所關注的材料。

碳捕獲再利用(CCU)在合成燃料E-Fuel的發展

歐、美、日各國均積極推動CCU政策投入技術開發，以降低石化原料開採，CO₂合成燃料(E-fuel) 預估燃料占CO₂再利用約7~9成。

- 海運**
 - 2023年：國際海事組織IMO承諾國際航運業在2050年實現淨零，以2008年基準，目標2030年、2040年分別達到減少碳排放達30%及70%，以永續燃料取代化石燃料。
 - 2023年：全球最大航運公司Maersk第一艘甲醇動力船9月啟航，2028年將超過200艘；長榮海運花1,352億，下訂24艘甲醇雙燃料新船。
- 航空**
 - 2023年：歐盟批准了ReFuelEU Aviation提案，要求進入歐洲航班，使用永續航空燃料，須達到2%(2025)、6%(2030)、70%(2050)。
 - 2022年：日本提出航空業減碳路徑，規劃2030年，所有從日本起飛的國際航班，都要添加10%的SAF。
- 汽車**
 - 2023年：歐盟委員會和德國政府就「有條件地」允許2035年以後使用合成液體燃料「e fuel」引擎車的新車銷售達成協議。

運輸界的綠色燃油規範造成目前綠色甲醇售價為一般石化源的3倍，永續航空燃料售價為6倍。IRENA預估至2050年甲醇需求量，將由目前的1億噸/年 提升至 5億噸/年。

資料來源：<https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/co2-capture-and-utilisation>
資料來源：Pavel Tsvetkov, A.E. Cherepovitsyn, Sergey Fedoseev, Sustainability 11(20):5834 2019

我剛剛提到的，就是說用 CO₂ 來做成 e-Fuel，就是甲醇，或是汽車、航空的燃油，這一塊大家都已經開始在利用了，歐洲國家都一直在推這個，很多汽車廠，除了電動車以外，他們在法規上已經允許用 e-Fuel 來做，所以海運、航空、汽車產業這些都有，每一個國家也開始在做。像國內的長榮海運最近訂了 24 艘的貨櫃輪，採用 Dual-fuel Engine，就是可使用重油或是甲醇的引擎，兩邊燃料可以做互換，長榮海運已經非常積極的來做這件事情，所以未來甲醇會變成一個很關鍵運輸能源。在航空燃油部分，也已經有規定，未來航空燃油要有一部分是使用永續航空燃料 (SAF)，那這個 SAF 來源可以從廢油、廢食用油，經氫化處理獲得、也可以從 CO₂ 來；關於汽車用的燃油，德國已經開始允許以後使用 e-Fuel 引擎的銷售，所以可以看出歐洲並沒有一直強調停止生產使用引擎的車子，因為 e-Fuel 已經出來了。

碳捕獲再利用(CCU)在化學品發展機會

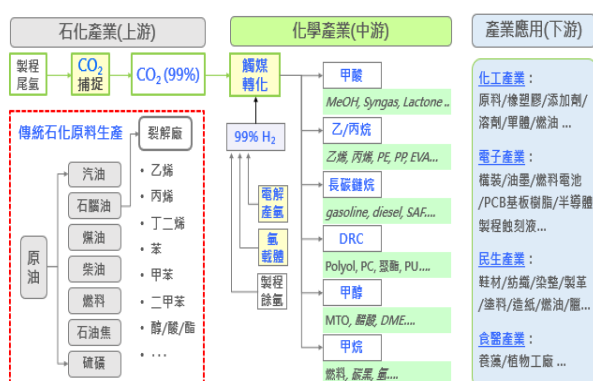
CO₂透過反應可以製備：甲醇、甲烷、多元醇產製 PU/PC到往乙烷與長碳鏈烷烴化學品等多方布局

- 2024年：日本UBE公司(宇部興產)在二氧化碳製造乙烷方面，目前已經開始投入將其轉換為C4、C12的製程開發，預計將與旗下合成橡膠、尼龍12的生產鏈結合。
- 2023年：法國Technip Energies與美國LanzaTech Global公司，共同展開二氧化碳生產乙烷技術合作。
- 2023年：英國Econic Technologies公司宣布技術授權與中國和印度的化學公司，以擴大其CO₂基多元醇與聚脲(PU)技術。
- 2022年：美國Twelve公司宣布將其電化學還原 CO₂技術擴展到從塑膠到燃料等各種產品。
- 2022年：比利時第一座將鋼鐵排放氣體轉化為乙醇(年產80萬噸)的大型捕集Steelanol廠投入運作。
- 2022年：日本MGC公司(三菱瓦斯化學)建立CO₂合成甲醇與聚碳酸酯(PC)試驗工廠，評估商轉可行性。
- 2022年：日本IHI公司推出甲烷化系統，為利用加氫轉化二氧化碳以合成甲烷的小型商業化技術，特色是高反應性、長壽命觸媒和製程設計技術。
- 2020年：冰島CRI公司在全球已裝置累計超過20萬噸CO₂合成甲醇的工廠，包括芬蘭與中國。

資料來源：<https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/co2-capture-and-utilisation>

另外，我們來看化學品，全世界每一個大的化學廠都開始努力想要利用 CO₂ 來做化學品，包括日本 UBE 公司、美國的 LanzaTech Global 要做乙烯；英國 Econic 朝著做成 PU 的技術發展；美國 Twelve、比利時三菱瓦斯來做成 PC；日本的 IHI 則是推出甲烷化系統；冰島 CRI 公司則是做甲醇，CRI 的技術已經相當成熟，而且還在中國設了一個從 CO₂ 做甲醇的工廠，全世界都已經開始在做。

碳捕獲再利用CCU 開拓石化產業新料源



傳統上，石化產業將地底下的石油開採出來，經煉製成燃料和化學品。這些產品最終都會產生大量的碳排放，並燃燒，導致碳排放量不斷增加。如果我們能從工業製程尾氣中捕捉 CO₂，並將其循環利用，就不需要持續開採新的石油。這種方式能讓碳元素在一個封閉的系統中不斷循環，那整個淨排放量就不會增加。我們透過碳捕捉技術再加上觸媒轉化技術可以得到各種的化學品，跟氫反應或不跟氫反應都可以。

接下來，我要介紹一個是我們做的化學品，還有一個就是氫怎麼來？這個部分我也會簡單的介紹。因為大家都在想說我要用氫，比如說發電廠規劃採用氫作為燃料，不就可以降低電廠碳排放，可是氫要從哪裡來呢？這個就是一個很大的問題，但化工技術可以來解決這個問題。

ITRI已建立之CO₂再利用技術

■ ITRI已具備CO₂轉化甲醇、甲烷、碳酸酯(DRC)、甲酸以及部份長碳鏈烷類等化學品的關鍵觸媒製備與製程設計能量。

化學原料/石化來源成本 (美元/噸)	CO ₂ 轉化製程	碳排 (噸/噸)	碳排 (灰氫)	應用
甲醇	250~450	二氯化碳 銅銻基-觸媒 → 甲醇	-0.6 噸CO ₂ /噸甲醇	化學溶劑、生產醫藥
甲烷	205~615	二氯化碳 鐵基-觸媒 → 甲烷	-0.86 噸CO ₂ /噸甲烷	燃料
乙/丙烷轉乙烷	~1200	二氯化碳 鐵基-觸媒 → 乙/丙烷轉乙烷	-0.5 噸CO ₂ /噸乙烷	乙烯、丙烷原料及衍生物材料
甲酸	1300~1600	二氯化碳 鈷基-觸媒 → 甲酸	-0.7 噸CO ₂ /噸甲酸	工業溶劑及銅料添加劑
碳酸酯 (DRC)	~850	二氯化碳 銅銻基-觸媒 → 碳酸酯	-0.34 噸CO ₂ /噸DRC	醫藥溶劑(PC)、醫藥(PU)發泡材

註：(1).1噸甲醇需1.375噸CO₂、1噸甲烷2.75噸CO₂、1噸乙烷1.88噸CO₂、1噸甲酸2.35噸CO₂。
(2).碳定價尚未納入計算。
(3).氫氣2030以4美元/公斤計算、2040以1美元/公斤計算。
(4).灰氫碳排：10噸CO₂/噸氫。

這是我們的研究摘要，我們從甲醇、甲烷、乙烷、丙烷，那甚至於到乙烯、甲酸、碳酸酯，都已經有做，而且我們利用各種相關的觸媒，包含綠氫、灰氫，一一計算出碳排，灰氫就是用我們石油原料甲烷所製得的氫氣，我們已經有相關的技術，就不一一敘述。

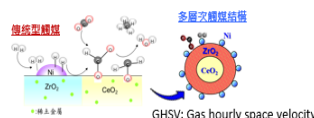
CO₂轉化甲烷製程示範技術

技術特色

- 高活性觸媒，適用CO₂高流速 $\geq 20,000\text{ h}^{-1}$ ，降低整體反應系統體積，而高放熱製程配合3段式移熱反應器，有效控制反應溫度 $\leq 150^\circ\text{C}$ 。
- CO₂進料採分流設計製程，無需循環轉化，減少壓縮循環能耗，並可減少水氣累積，降低觸媒積碳失活速率。觸媒2000hr失活測試，失活下降產率 $\leq 10\%$ 。

技術創新

- 多層次觸媒結構設計，降低活性中心因高溫失活：利用多元素改質載體觸媒，增加晶格中氧空位型及增量CO₂吸附，並減弱水分子強吸附而減緩結焦失活。
- 已獲台灣與美國專利—用於甲烷化反應的觸媒及甲烷的製備方法



目標規格	工研院	Benchmark
反應溫度(°C)	220	250
GHSV(h ⁻¹)	≥ 20000	2500
CO ₂ 轉化率(%)	≥ 99	≥ 99
CH ₄ 產率(%)	≥ 90	≥ 90
觸媒金屬量	Ni $\leq 20\%$	Ni $\geq 30\%$

這是我們建立的把 CO₂ 轉成甲烷的技術，這裡面我們發展了一個新的觸媒，觸媒可以降低反應過程當中的活化能，是讓反應能耗可以降低的關鍵。觸媒一般有兩個要求：首先是必須要有一個有效的轉換的效率，第二個就是壽命要長，一般可用的觸媒，壽命大約至少 1~2 年才需要更換一次，因此觸媒很重要。

大家都知道鎳也可以用來催化將 CO₂ 與氫反應轉換為甲烷，但是重點是要如何讓它可以穩定而又可以持續保持活性，所以我們做了很多表面的處理，並透過製程設計，讓它的失活率下降，同時又可維持很好的轉化效率，這個是我

們在這個部分跟國際上其他技術來相比，都有很好的效果。

台電CO₂捕獲轉化為甲烷再發電之示範驗證場域

□ 捕獲CO₂轉化為甲烷驗證

1. 運用台中火力發電廠捕獲的CO₂氣源轉化為甲烷，反應溫度 $\leq 250^{\circ}\text{C}$ ，純度 $>99\%$ 。
2. 甲烷產速：6L/min
3. 氧氣來源：太陽能電解產氧。



當初我們與台電開始合作的時候是先確定CO₂捕獲系統能不能穩定運作，後來，他們發現不能每次把它CO₂捕獲後又把它排出去，所以他們想到要如何運用CO₂，我們跟他們說可以把CO₂變成甲烷，讓它回到發電系統，讓它去補一些燃料，降低碳排係數，因為他們本身有一些電能，餘電可以來做電解產氧，那這樣子就可以成為降低碳排係數的路徑，所以這個案例裡面，我們是把這個CO₂捕獲系統安置在一個貨櫃來做就可以了，而另一個貨櫃則是安置CO₂氫化反應成甲烷的驗證設施，並讓它串聯持續式運轉，這個部分正在跟台電正在做合作。

中鋼 - 鋼化聯產跨域資源整合減碳

- 與中鋼合作啟動國內首座鋼化聯產先導工場(年捕獲碳4,900噸)：結合工研院驗證系統包括CO₂捕獲/純化、電解製氫以及CO₂再利用轉化甲醇/甲烷系統
- 預計後續規劃年捕獲24萬噸與最終290萬噸CO₂生產線，2040年成立「鋼化聯產」碳循環經濟園區，鏈結中油、中石化、等下游化工廠，以二氧化碳化學品創造永續循環



我們跟中鋼合作鋼化聯產，中鋼之前已經成立了一個團隊並且已經研究了五、六年，在研究的過程中也一直在反覆確認與評估的階段。直到有經濟部的計畫支持工研院做出一些結果來跟他們中鋼合作，就像臨門一腳，讓中鋼繼續投資，所以他們在幾年前就建了一個先導工場，

這大概是國內最大的碳捕捉再利用驗證場域，年捕捉CO₂大概有五千噸。現在他們正在規劃年捕捉二十四萬噸的設施，目的就是要把他們的轉爐氣中CO₂捕獲以後，並將其還原成一氧化碳，再提供給周邊的石化廠作為原料，所以像中油、長春、聯成都有在跟他們談，這個部分，中鋼正努力的來做以降低碳排，這個就是一個經濟的效應。

仁儀鍋爐尾氣CO₂捕獲轉化甲烷再發電示範驗證場域

- 仁儀公司為電子包裝材廠(半導體、SMD/SMT等產品市場)，面臨供應端減碳壓力：與材化所合作建立熱源鍋爐尾氣CO₂捕獲及再利用示範驗證場域，逐步落實減少碳排。
- 於關西廠中，合作驗證3項示範系統：CO₂捕獲系統(捕獲CO₂ 70噸/年)，CO₂轉化甲烷系統(生產甲烷26噸/年)，並透過氣轉電驗證系統進行發電(10萬度/年)，轉換成廠內使用電能效益。



仁儀CCU驗證場域空拍圖

年捕獲70噸CO₂示範系統

年轉化26噸甲烷示範系統

氣轉電示範驗證系統

我們最近跟一個小型企業合作，在龍潭的一家仁儀公司，他們是專門做包材供應給台積電或者是半導體廠。當半導體廠開始要求他們提出減碳的方案時，因為他們工廠有使用鍋爐，燃燒會產生排碳，剛好工研院已經建立了一個每天可以捕捉200公斤CO₂的驗證設施，我們就把這樣的實驗設施，安置到他們公司燃氣鍋爐的尾端，每年可幫他們捕捉70噸CO₂，而且還可以轉成甲烷再讓他回去燃燒，這個減碳方案的成果，讓他們增加了低減碳競爭力，因為現在每一家公司都可以要求你提出減碳方案，所以我們在碳捕捉再利用這邊除了大企業以外，我們也開始用小型化的技術服務國內的中小企業。

CO₂轉化甲醇觸媒

技術特色

- 反應溫度 $\leq 220^{\circ}\text{C}$ ，高生產力觸媒， $>1000\text{MeOH/g Cat.h}$ ，甲醇選擇率 $>99.5\%$ ，觸媒壽命測試 $\geq 4500\text{h}$ ，成型觸媒 crush strength $\geq 150\text{ N/m}$ 。



技術創新

- 高穩定性、高產率、低溫操作甲醇觸媒技術
- 可大量生產、高強度成型觸媒技術
- 觸媒二氧化碳轉化甲醇生產技術

專利佈局

- TW公開公告號 1739254
- US申請案號 16/895,202

我們已經在做的是將 CO₂ 轉化成甲醇，這個過程最重要的活性物質就是觸媒，觸媒主要是銅鋅氧化物構成，我們 2016 年在開發這個技術的時候還沒有完整的技術，那時候政府希望我們能加速開發或是自國外引進技術。那時候我們就想到日本有一個機構叫 AIST 有這樣的觸媒技術，我們就去跟他們接洽引進，因為他們從 2000 年開始，在日本政府經費支持下發展這個技術已經超過 15 年；但因為國際上都覺得這個沒效益不想做，所以他們覺得這個計畫快停掉了，好不容易有人想要這個技術，所以就賣給我們了。我想，如果我們是 2021 年去談，可能 AIST 就不會賣了。有時候我們需要的，就是一個決斷，那這個決斷就是我們 2016 年當時就引進甲醇的技術，讓我們可以在這基礎上，進一步開發，並做到更低的轉化溫度與更高的選擇率，同時我們不是只是在實驗室做到，更進行放大試量產，目前我們也能夠做到噸級的規模，同時也取得自有的專利。

中油大林廠 - CO₂合成甲醇 - 碳循環場域實證

- 甲醇年進口量約130萬噸，如以CO₂為原料，氫化合成甲醇，約可以去化180萬噸的CO₂
- 協助中油建置CO₂捕獲與轉化甲醇系統，可提供後續設計大型示範工廠參考

CO ₂ to CH ₃ OH	AIST	ITRI
Rxn. Temp. (°C)	250	< 220
H ₂ /CO ₂	3	3
Prod.*	630	> 1,000

*Productivity (g MeOH/g catal.h)



我們目前跟中油大林廠已經開始合作，在大林廠設置了一個小型的碳捕捉與轉化為甲醇的驗證設施，目前正在做製程的一些改善工作，因為每一個技術要真正到最佳化都還需要有一些製程優化的過程，我們若運轉成功，以後中油會再擴大投資，上次我們去拜訪中油的董事長時，他說他們一定會投資在甲醇這一塊裡面，因為這有很好的經濟效益跟減碳效益。

CO₂轉化烷烯烴先導系統

- 以CO₂為原料轉換最終產物 C1-C9+ 烷烯烴，可直接與現有之石化煉製系統串接(中油/台塑化)。
- CO₂轉化 C4-C9+ 觸媒10Kg裝填完成，進行試運轉及反應參數調整。
- 在反應器溫度300 °C與CO₂進料0.2 kg/小時下進行初步穩定測試(連續5小時)
- CO₂轉化率83.56 %、C2-C3 烷烯烴產率30.5 % (乙烷/乙烷比例 2.1:1)



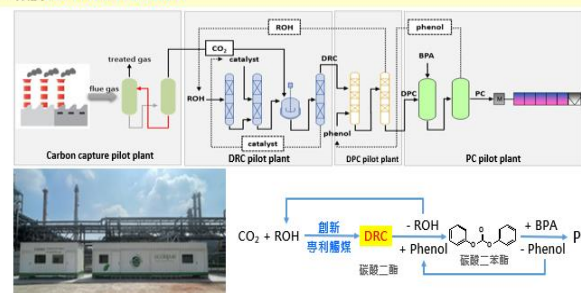
系統測試現況			
項目	國際指標*	ITRI先導系統	
原料	CO ₂	CO ₂	CO ₂
反應溫度 (°C)	320	320	300
CO ₂ 轉化率 (%)	54.46	83.56	
烷烯烴產率 (%)			
C2-C3	10.4	30.5	
C4-C9	25.6	25.1	

CO₂轉化
乙烷、丙烷/
PE、PP
工程塑膠
塑膠容器

另外，就是做成烷烯烴，剛剛我提過的，國內中油或台塑他們都會進口原油來煉成乙烯、丙烯，再往下做成化學品，那如果我們用 CO₂ 來做，不僅可以降低原油的進口，更可以降低我們的碳排。我們可以將 CO₂ 轉化成 C1 到 C9 以上的化學品，結合國內已經具備的完整石化的體系，就可以來連接現有的化工生產技術，改用 CO₂ 作為原料。雖然我們做成的 C2 到 C3 的轉化率有到 30 %，好像不高，可是依據台塑的說法，只要轉化率到可以達到 20%以上，對台塑而言就有經濟效益，所以他們也持續在跟我們進行合作討論。另外，C4 到 C9 可以做成更多不同的化學品或者是苯，以上是我們在相關的技術上，已經開始來做以 CO₂ 為石化上游整合的原料的技術開發。

奇美-煙道氣碳源製造固碳PC技術開發

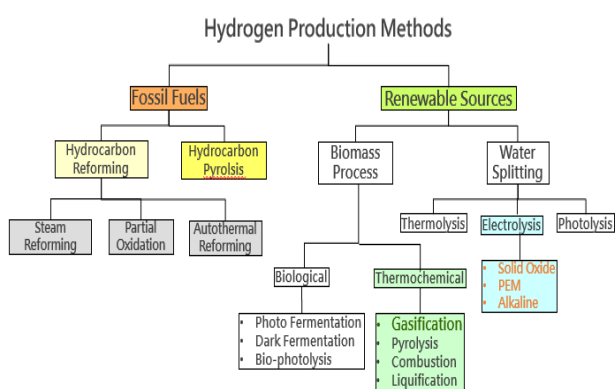
- 創新專利觸媒：CO₂ to DRC (產能 ≥ 60 Kg/日，純度 ≥ 98%)，接續合成6PC。
- 以此技術生產聚碳酸酯(PC)之碳排量，預計可較傳統製程降低約40%。
- 榮獲2024 R&D100 Award



另外，我們最近跟奇美也合作，我們國內的塑膠產業確實面臨很大的競爭，PC 是一個塑膠材料，可以做成遮光板或者是汽車的摩托車的遮燈座，也可以做成皮箱，PC 的生產通常有兩種技術，一個是光氣法，另一個是用 CO₂ 來做。

我們跟奇美合作幫他們建立一個新的比較節省的路徑讓他們在 CO2 反應的時候可以直接得到這個 DRC 再轉換成苯環的二苯酚，直接就可以降低他的碳排 17%以上，讓他們的产品就是一個低碳排的 PC；國內的 PC 一年只有生產 40 萬噸，中國的 PC 的生產量是 400 萬噸，你要在國際上要跟他競爭，如果你沒有一個低碳的效益你根本價格就輸他了，所以我們最近跟奇美已經完成了這方面的研究，他們也開始投了一兩億元在做製程的擴建。

氫氣主要生產技術分類



那最後我想跟大家來分享氫氣主要生產技術分類，要把 CO2 再利用最重要的來源就是氫氣，要降低火力發電的碳排放，也要用氫氣，那氫氣怎麼來？一般氫氣的來源有兩種，一種從化石燃料來源(煤、石油氣)進行重組製程產氫或者是透過裂解製程產氫；另外則是從可再生資源獲得，如水的裂解或是生質原料裂解製程。目前氫氣主要來源，就是天然氣的水蒸氣重組技術，但是他每一公斤的氫氣的碳排大約 10~14 公斤的 CO2；這個是非常高的碳排，所以一般稱為灰氫。現今大家都想要是零碳排的綠氫，比如說用綠電來電解水獲得的氫氣。今天的研討會，最後林江珍教授還會跟大家分享一下怎麼樣來透過這個部分得到更有效的氫氣來源。

氫載體選用分析

特性	Lique H ₂	MCH	NH ₃	CH ₄
體積 (vs. gas H ₂)	約 1/800	約 1/500	約 1/1,300	約 1/600
液態條件 毒性	-253°C 常壓 無毒性	常溫常壓 甲本有毒	-33°C 常壓 具毒性及腐蝕性、	-162°C 常壓 無毒性
可否直接利用	N.A. (無化性變化)	不可	可 (與石化燃料混燒)	可 (取代現有天然氣)
高純度附加設備	不用		需要(脫氮時)	
特性變化等 能量損失	現在: 25~35% 未來: 18%	現在: 35~40% 未來: 25%	現在: 7~18% 脫氮: 20%以下	現在: ~32%
現有基礎設施 可用性	無法國際運輸(需新 設)、可國內運送	可 (化學品船等)	可 (化學品船等)	可 (液化天然氣油 輪、城市瓦斯管等)
技術問題	需要開發大型海上 運送技術(大型液化 器、運輸船等)	需要進一步減少能 量損失	需要開發直接利用 放大技術與脫氮設 備技術	生產基地須具備有 競爭力的可再生能 源產氫與CO ₂ 來源

氫氣因為密度低一般儲存或者是運送需要液化處理以縮小體積，但是氫氣要低於負 253°C 才能夠液化，所以氫氣的輸儲具有一定的困難，不是很方便。有很多人建議，那我們就從澳洲運綠氫進來，但做這個比運天然氣還更累，像日本建了一條運輸液氫的實驗船，到現在也還沒有真正把它量產化。

既然至接運送氫有困難，日本另外的構想是把氫跟一個化學品先結合成一個比較有利於運送的化學品-氫載體；比如是轉化為液態甲烷、液氨或者是甲基環己烷，那就可以依照現成的運輸架構去走，那運到國內時，再來把它裂解釋出氫氣或直接來燃燒應用，這個部分是目前正在推動的進口氫氣方案。我們認為台灣可以跟日本的連結是很重要的，因為日本的需氫量體大，台灣只要跟自他們的供應鏈 share 一點，我們就可以得到一定的氫氣供給量。

日本氫氣供應鏈驗證



這個是日本的供應鏈，日本初步做的是在澳洲拿褐煤汽化產氫並捕捉 CO2 加以封存或者是用綠電電解產綠氫，再把它液化運回日本，後

來發現成本非常高；但如果是把它變成一個甲基環己烷(MCH)或者是氮氣再來運送，那就會有比較好的效益。我們可以構思，如何利用在阿拉伯、中東、印尼或者澳洲這幾個地方來生產氮氣與氫載體的做法，不過政府要有一個整體的配套的政策方案，不是由單一企業想辦法來做。

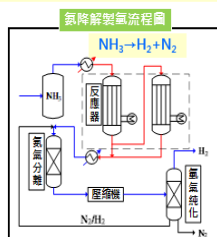
產氫技術之碳排估算

低溫製程	流程示意	最終碳排估算 (kg-CO ₂ /kg-H ₂)	成本估算 (US\$/kg-H ₂)
氮降解 產氫	液氮 (1.81 kg) (卡達) → 運送 (0.052 kg) → 台灣 → 低溫裂解 (1.69 kg) → H ₂ (3.552kg)	3.552	1.51~1.98
甲烷乾式 重組產氫	液化天然 氣 (2.724 kg) (澳洲) → 運送 (0.0867 kg) (含運送損失) → 台灣 → 乾式重組 (0.8 kg/kg-H ₂ -CO) (H ₂ (8.2%) + CO (91.8%))	3.524	1.5~2
甲烷裂解 產氫	液化天然 氣 (2.724 kg) (澳洲) → 運送 (0.0867 kg) (含運送損失) → 台灣 → 裂解產氫 (0.0867 kg) (採用綠電)	2.811	3.77
常壓低溫 裂解甲烷產氫	甲基環己烷 (0.30 kg) (卡達) → 運送 (12,000 km) (0.4 kg) → 台灣 → 低溫裂解 (2.05 kg) (H ₂ (8.211 kg) + 副產物氫)	3.15	3.7
電解水產氫	風光綠電 (零碳排) → 電解水產氫 (零碳排)	0	< 4.5 (0.03\$/度電)
生物質裂解產氫	農林/林 業廢棄物 (0.03 kg) (路徑100公里) → 運送 (0.03 kg) → 設備所 在地 → 化學過程產氫 (2.97 kg) (H ₂ (3.0 kg))	3.0	1.98~3.6

那產氫有不同的方案，我們也做了一些對應技術開發評估，包括：氮氣降解、甲烷乾式重組或者甲烷的裂解，常溫的環己烷釋氫、電解產氫或者是用生物質像我們一般樹木、樹葉，它也可以裂解來產氫。甲烷熱裂解來產氫也是一個低碳排放的氫，有各種的方案，可以得到不同的成本的氫氣，如果是用這個碳排來看的話這樣子得到的碳排都是低的。我剛剛講過，現在的主要產氫製程天然氣蒸汽重組的碳排，大概每一公斤的氫氣要 10 公斤到 14 公斤碳排，所以這些新的產氫的方法，都算是綠氫的或是藍氫的製程，目前全世界都在努力往這一塊來走。

低溫高效氮降解產氫觸媒技術

- Ru金屬觸媒結合高穩定銻鉍合金氧化物載體，抵抗氫與氮浸蝕，成型觸媒穩定性佳，操作2,000小時，其失活率<2%。
- 驗證設備，年產氫氣3.3噸，氮氣使用量22.4噸。
- 每公斤氮氣，所需氮原料的碳排~1.81 kg-CO₂，低溫解氮製程碳排~1.69 kg-CO₂，卡達至台灣運送碳排~0.052 kg-CO₂，總計~3.552 kg-CO₂。



氮降解產氫設備	
氮氣進氣量	氫氣產氣量
22.4 tons/year	3.3 tons/year
2.8 kg/hr	0.4 kg/hr
4 m ³ /hr	5 m ³ /hr
純度	氫氣純度 ≥ 99.9 % 氮氣濃度 < 1 ppm
反應條件	操作溫度：450~500℃； 操作壓力：常壓

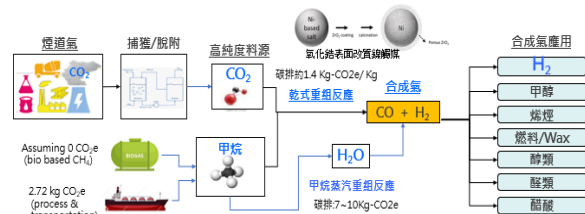


這個是我們工研院正在開發的，我們把氮

氣來做解氮產氫，就是把氮氣裂解變成氫氣跟氮氣，氫氣就可以拿來使用而且是低碳排的氫氣。因為氫氣與氮氣合成氨氣是一個很古老的製程；所以我們可以在中東做或者是在澳洲取得綠氫或者是藍氫，在合成綠氫或者是藍氫，這個是很容易來做，而且運回來以後我們直接把它拿去燒也可以，但是如果我們要取得氫氣，那你就得把它裂解出來，裂解出來你就要有一個低耗能的裝置，我們已經建立了相關的技術，目前每公斤的氫氣只有 3.5 公斤的 CO₂ 的碳排，比蒸汽重組的低很多。

低能耗CO₂甲烷乾式重組 - 低碳合成氣路徑產氫

現今氫氣80%來源甲烷蒸汽重組反應(Steam Reforming Methane, SRM)但其製程耗電，合成氣的碳排約 7~10Kg-CO₂e/(-10~12 CO₂e/ Kg-H₂)。工研院開發低能耗甲烷乾式重組技術(Dry Reforming Methane, DRM)，透過高活性、低積碳氧化鋁改質銻鉍觸媒及製程設計技術，可將CO₂與甲烷轉化為合成氣，預估碳排約1.4 Kg-CO₂e/Kg Syngas(~3.5 CO₂e/ Kg-H₂)，成本約在1.5~2USD/Kg Syngas。



在前幾年，日本千代田發展了一個甲烷乾式重組技術，就是甲烷加上從煙道氣捕捉的 CO₂ 反應重組變成一氧化碳跟氫氣 (CO + H₂) 的合成氣。如此，可將原本拿去燒的甲烷，轉而與 CO₂ 變成化學品或得到氫氣，這個是一個很低碳排的氫氣來源而且效益很高，我們目前也正在發展這樣的系統，這是未來可以化學法來得到氫氣的路徑。

低能耗CO₂甲烷乾式重組觸媒與製程技術比較

	Chiyoda	Linde-BASF	ITRI
catalyst	Noble metal/MgO	NiCoLa-MgAlOxide	Surface-coated NiRu-based/Mixed Oxide
Temp(°C)	850-900	950	800
Pressure (bar)	Ambient to 20	Ambient to 20	Ambient to 20
Conversion (%)	≥95% at 850-900°C	66-82% at 950°C	~90% at 800°C
cost	high	Low	Low-medium
H ₂ /CO	2	1.1	1-2
Stability (h)	~1000	~800	Under testing (goal: >1000h)
Steam addition	medium	low	Medium to low

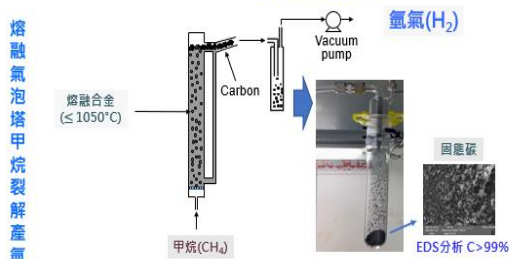
*The stabilities in most reported literatures were less than 100 hours.

這 Noble metal /MgO 觸媒是日本的千代田

公司的技術；我們工研院也投入發展自己的觸媒與製程技術，我們的技術也可以得到很好的H₂/CO比例與效果。

去碳燃氫－甲烷裂解產氫

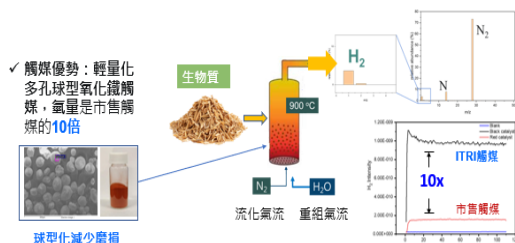
- 甲烷熱裂解產氫碳排比甲烷蒸汽重整低，氫氣碳足跡僅 2.811 kg-CO₂/kg-H₂，耗能為電解產氫的1/4。
- 掌握熔融金屬 (NiBi、NiSn、Sn、CuSn) 特性，設計溢流式反應器搭配真空pump取氫，避免反應器因金屬冷凝與積碳造成阻塞，已可連續操作超過180hrs。



另外一個就是去碳燃氫，這個是中央研究院院長在過去幾年一直談的，用電漿法把甲烷裂解變成氫氣跟固態的碳。因為在考量整體效益上，我們覺得可以用另外一種方案達成，所以我們工研院做的是熔融的金屬鹽的裂解方法，先用電將金屬鹽類加熱熔融後，經保溫處理之後，持續投入的熱量就不用那麼高，甲烷通過這個爐子後會裂解掉，因為它裡面的熔融合金是裂解觸媒，觸媒馬上就可以把這個CH₄裂解成氫氣跟固態的碳，固氣分離時，需要解決的是如何讓固態的碳渣不會把管子塞住，我們也正在研究解決方法，這個方法的碳排也非常的低，本來我們就有進口天然氣，如果我們要得到氫氣這個也是一個利用的路徑。

低碳排生物質氣化產氫反應觸媒與製程設計

- 透過CLH系統可將生物質氣化轉化為氫氣，開發串聯式化學迴路產氫系統(C LH)，透過輕量化觸媒改善與生物質密度差異過大問題改善及系統模擬與設計技術，可將生物質轉化為具有成本競爭優勢的低碳氫氣(成本預估：1.7~3.6 USD/Kg-H₂) (碳排預估：-3.66~1.08 kg-CO₂/kg-H₂)



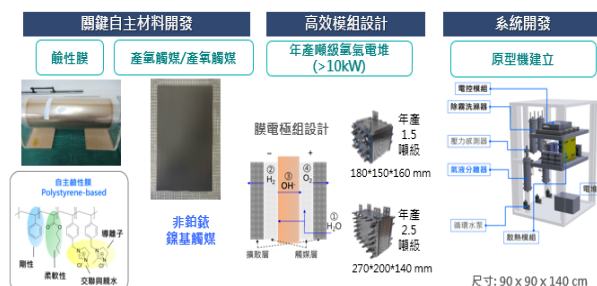
最後就是可以用我們的生物質的物料，比如說用稻殼或者是用木材都可以來做那經過高溫的氣化，那在氮氣絕氧的狀況利用鐵來當觸

媒，就可以來得到氫氣，環境部估計國內一年可以有 600 萬噸的生質廢棄物，如果能夠把它變成氫氣的話，我們預估會得到 80 萬噸的氫氣，我們算過全台灣要發電加上化學品一年大概需要 1,500 萬噸的氫氣，並不是很高，就是看我們要選擇哪一個方案來做，如果氫氣有解，我們基本上在國家方案裡面就很容易來達到低碳跟零碳的社會。

我們每次在談很多各種不同的方案，大家都有不同的想法，但是在這個裡面我們國內既有的石化產業應該好好的來鼓勵他，讓他們去投入，不要一直認為石化產業是汙染產業，我們就不要了，我們可以充分利用它，讓石化產業技術可以進一步好好地貢獻社會的減碳，我認為這是應該大家一起來努力的。

材化所-鹼性膜電解水產氫技術

- 鹼性膜電解產氫技術效率>80%、綠電高相容。(響應<1秒)
- 完成10 kW原型機，年產氫氣1噸以上，產氫耗電量56度電/公斤。(國際58~64)



還有就是電解產氫技術，大家都想到說氫氣可以電解水取得，但因為耗電量高，不太能接受用電解水產氫的方案；所以我們也發展了一個低耗能的電解產氫機。我們開發了一個鹼性膜的產氫機，我們從材料到組裝到整個成型，在國際上是領先的，我們現在可以做到 10KW，全世界大概在 2 KW。產氫的整機耗電量我們有很好的效率，每公斤大概在 56 度，國際上現在是 58 到 64 度的電；可是 56 度的電如果以台灣的碳排系數是 0.5，要 28 公斤的 CO₂ 碳排，除非你能使用綠電，比如說白天的太陽能綠電產很多，那我就先把它來做產氫，那晚上太陽能不夠的時候，就把這個氫氣拿去燒，也是一個儲氫的路徑，這就是如何從系統面整合來做架構。

電解產氫技術

材化所自主電解產氫技術－鹼性膜電解與雙極膜電解

電解產氫技術	氯鹼法 (Chlor-alkali)	鹼性電解 (AEL)	質子交換膜電解 (PEMEL)	鹼性膜電解 (AEMEL)	雙極膜電解 (BPMEL)
生產製造商	Asahi Kasei	NEL (挪威)	NEL (挪威)	Enapter (德國)	材化所
系統示意圖					
電堆產氫能耗 (beginning of life)	約110度電/kg 1kg-H ₂ 35kg-Cl ₂ 81kg-濃鹼	50度電/kg		48度電/kg	< 40度電/kg
技術特點	氯氣為副產物	非貴金屬觸媒	貴金屬觸媒 產率高	非貴金屬觸媒	非貴金屬觸媒 產率高
綠電相容性	低	中	高	高	高

裝置成本(CAPEX, Capital expenditure)=電堆+周邊；在相同功率下，AEMEL電堆較AEL電堆便宜60~75%。因電堆佔總CAPEX成本50%，故系統在相同功率下，AEMEL裝置成本較AEL便宜30~37.5%。

我們比較各種不同的電解產氫技術，國內現在已經有的量產型設備就在台塑公司，台塑他們的氯鹼廠（鹼氯工廠）原本目的是為了生產氯氣，但副產品裡面就會有氫氣，主要的反應，就是氯化鈉水溶液的電解。往常，副產的氫氣處理，主要是焚燒回收熱值；中油在輕油裂解製程中也有一些副產氫氣，那這個氫氣他們也是做整合的利用；而中鋼在煉焦炭製程也有副產氫氣，主要是用在提供製程所需的熱能。

國際上一般的電解水產氫技術，需要穩定的電壓，而一般綠電，如太陽能發電，在發電過程當中因為陽光照射變化，使得發電量變動而造成電壓的不穩定。那我們現在所發展的這個鹼性膜或者是質子交換膜電解產氫技術，正可以適應這樣的工作條件，是未來綠電產氫技術的最佳選擇。

結語

- 低碳永續已是我國產業面臨的巨大挑戰與機會。
- 藉由煙道氣捕獲CO₂再利用合成化學品不但可以降低整體碳排，同時也提供石化產業新的低碳排化學品新商機。
- 我國在政府支持下已建立了相關碳捕獲與再利用的小型試量產觸媒與製程技術能量。
- CCU的技術產業化需要政府持續支持與協助，才能建立具國際競爭力的新低碳化學產業。
- CCU產業中關鍵低碳排產氫技術，需要積極規劃具競爭的有效解方，才能推動國家整體減碳目標。

工研院發展的碳捕捉再利用技術，可以提供一個很好減碳路徑；但是其中的關鍵，包括：產氫技術或者是相關的再利用技術持續發展，我們都正在努力。期待未來，我們在政府計畫支持下所經建立的小型示範技術，能夠跟國內的石化業者，大家來共同努力持續發展放大，並導入產業；而不是計畫完成之後就中斷了，我們一定要好好地利用國內化工產業架構的能量，來支援我們其他的產業，成為減碳的好幫手，不要單純地認為化工產業是製造碳排的來源。我相信我們的石化產業的技術能量在國際上是很強的，要好好地發揮特長，高值轉型利用。

另外我覺得政府應該在氫氣上要加油，氫氣的部分應該要有一個決斷，要到底要怎麼取得，絕對不是只靠電解產氫；化學產氫的部分是一個很好的路徑，那要怎麼樣做呢？從國外輸入氫載體進來產氫，或者是要怎麼樣的路徑來走都要有一個配套，像日本在國外設立生產綠氫的場域，設置太陽能電廠結合電解產氫或者是將劣質褐煤，透過高溫氣化產製氫氣再運回日本。我國政府需要趕快擬定我國如何取得所需氫氣的政策，今天剛好主委在這裡，我想說趁這個機會也提出一點建議，就是說我們在國家未來所需的產氫技術一定要趕快投入發展，化學產氫是一個很重要的路徑，因為我們有很強的石化產業業者，這個一定是很快就可以做得到。以上跟大家做分享。謝謝！



第二節論壇

台灣低碳燃料起手式—淨零碳排的機會與挑戰

蔡銘璋（中油煉製研究所所長）



理事長、各位先進，大家午安，原本謝教授希望我講有關 SMR (Small Modular Reactor) 的主題，但是我們的 SMR (Steam Methane Reforming) 跟現在童子賢董事長在講的 SMR 是不一樣的。那個是所謂的核融合，「小型模組化反應爐」，我們講的是產氫技術，所以將題目改為有關低碳燃料。

我們平時的食衣住行都需要燃料，不管坐高鐵、汽車、飛機或是船，都需要燃料，電廠也要燃料，所以我想講低碳燃料，因為現在地球生病，但是因為剛好理事長也是醫學博士，就知道針對重大疾病現在沒有甚麼特效藥，讓人只要使用，病就會好。

或許有人提到核融合可能是人類能源的一個「聖杯」，有可能就靠它就好，其餘都不需要了，其實我們尊重各樣主張，因為人類都一直在進步，科技的發展有時候不是我們現在就能夠想像。

我個人認為台灣應該要多元發展，因為我們沒有天然資源，而且地方小，我們只能靠我們所擁有的，不論是低碳燃料、氫能、生質燃料都

應該去嘗試，目標是 2050 年能夠達到淨零碳排 (Net Zero Emissions)，我想這樣會比較適合台灣來發展。很多時候美國可以，我們台灣不一定可以。所以我們可以看人家有做什麼好的地方，我們就去吸收、內化變成台灣自己的成果，然後走出自己的路。但是這條路要有依據，不是自己閉門造車，而是要去參考人家的研究。

我今天大綱分為四個部分。



上面這張簡報是來自世界自然基金會 WWF 的奧地利分會，奧地利講德文，所以上面的說明是德文，這張圖類似像漫畫，指出地球溫度上升 1.5 度 C 跟 2 度 C 有哪些差異，重點是我們需要地球，而不是地球需要我們。我們只是一個過客，

所以要愛地球，雖然只有上升一點點溫度，但對地球的影嚮卻很大。

這張投影片提到高雄，是因為高雄是台灣化工的重鎮，包括鋼鐵業、電力、石化等工業，其實也不只是高雄，一般我們認為緯度越高，氣候越涼爽，例如東京、首爾，結果這些地方夏天有時比台灣熱，整個氣候變化都亂了，就如同我們台語有一句諺語說「人不照天理，天不照甲子」很多問題是所謂「今世果，前世因」，有其中的因果在。另外西方也有一句“Today's problem comes from yesterday's solution.” 昨日所做的會影響到今日，所以我們現在要推動綠能，我們要種電，使用 PV (太陽能光電)，可是 PV 使用 20 年後要如何回收，就成了一個問題，總不能全部丟入海裡吧！

例如車子大約每行駛四萬公里就要換輪胎。以前美國曾將廢棄輪胎丟到佛羅里達的沿岸海裡，可是輪胎不會分解，後來還是要靠潛水夫去打撈上來處理，所以我們不要為了解決現在的某個問題，卻製造新的問題。

我剛才提到太陽能面板，我們知道太陽能面板原本很難回收，因為它是由多層結構黏合組成。黏合的材質樹脂都是所謂的熱固型材料，很不容易分解，現在有一種替代品是熱塑型的，只要加入那種成分，黏合的樹脂就可以融化、分解了，就類似千層派，在冰箱裡是硬的，解凍它就融化了，就可以分解，大家要去思考、預想未來可能會造成什麼樣的問題需要解決。



這是去年 (2023 年) 在杜拜舉行 COP28，會議的重點就是要達成共識，不過因為每個國家的立場都不一樣要有共識的確很難。其中有開發中國家、已開發國家，考慮的問題都不一樣，但至少要找到一個大家勉強可以接受的結論就是將石化燃料慢慢過渡掉。

因為我是來自中油公司，中油跟各位有關係的就是加油站，另外就是天然氣，當然也有可能是桶裝瓦斯，不過以後會跟現在不一樣。

國際能源公司轉型策略



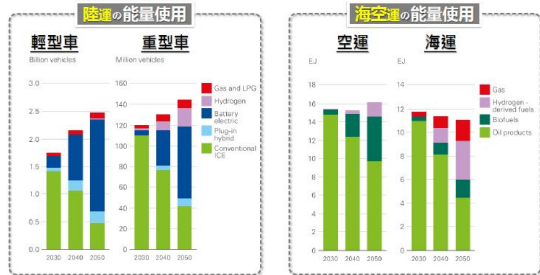
我們當然也會參考國際的做法，希望未來要永續成長，中油也一樣在思考未來何去何從。第一當然是先穩固我們自己的根基，提升能源效率去做深度的減碳，讓碳排降低，成本也下降。然後，也要推動負碳排技術，剛才李所長也有提到 CCUS，另外強化生質燃料，為何要推動生質燃料，生質碳匯啊，因為樹種，樹木長大要吸收 CO2，就是一個負碳基礎，我們可以拿 CO2、生質燃料當原料，還有其他包括綠能等等。



我們將燃料分成陸運、海運、空運、工業及家用來比較，陸運常用的小型車，當然有使用汽油也有 LPG (液化石油氣) ……，但是目前加氣

站比較少，之前有一些計程車會加。另外，在台北市、高雄市有銷售酒精汽油，現在很多電動車充電站，未來可能還有氢能車，或像剛才李所長提到的「e-Fuel」，有些翻譯成電子燃料，但我覺得可以說是一種合成燃料。柴油也有生質柴油，後來某些原因就停用了。

運輸燃料發展趨勢(低碳燃料I/O傳統燃油)



資料來源: Energy Outlook, 2023 BP

9

我們看運輸燃料發展趨勢，上圖寫的是低碳燃油是 IN，傳統燃油 OUT，這個是 BP 就是英國石油公司的統計，不管輕型車、重型車，綠色部分就是指傳統燃油，ICE 是內燃機，內燃機的都會減少，再來增加的包括 EV，可能還有一些是 HYBRID 油電混和車，還有是氢能車。空運當然還是以傳統燃油為主，但航空燃油未來有一部分會轉成所謂的 Biofuel 就是生物燃料，我們叫永續航空燃油。

生質燃料(定義)(1/4)

定義(pre-norm CEN/BT/WG 209) 生質產品: 全部或部分來自生質物

生質料源 1st-4th代



資料來源: Bio-Based Chemicals A 2020 Update, IEA Bioenergy, Task 42, 2020, 01

第一部分先跟各位報告生質燃料，根據分類有四大類：第一類就是甘蔗與玉米，這是澱粉類，澱粉也是糧食；第二類是非糧食，例如玉米桿、稻桿或狼尾草。我記得幾年前有在推廣纖維酒精，就是使用狼尾草；第三類就是用藻類；第

四類是有基改的微生物。第一、二類的技術都是相對成熟。

生質燃料(生質精煉)跟我們煉油廠一樣，事實上就像一個泰國四面佛，有四個面向，包含原料、製程、Platform，最後是產物。

什麼叫 Platform(平台，核心中間產物)？我簡單說明，各位可以先想像我們現在有玉米或番薯，我們先用酵素把澱粉分解，因為澱粉分解會變葡萄糖，葡萄糖就是 Platform。而有了葡萄糖以後，只要能夠改變微生物，或是叫生物觸媒，透過不同的菌，就可以轉變成比如酒精、丙酮、丁醇等等不同的產物。就好像我今天坐高鐵從嘉義來到北車，然後坐板南線到善導寺站，再走過來。北車就相當於這個平台，到北車以後，我也可以轉乘淡水線，在平台中採用不同菌，就產生不同的產物，它的重要性在這邊。

生質燃料(陸海空運輸)(3/4)



資料來源: Bioenergy for the energy transition: Ensuring sustainability and overcoming barriers, IRENA 2022

13

這是 IRENA 國際再生能源總署的一個統計，結果顯示陸海空整個燃料的運輸，生質燃料目前已經佔全球運輸燃料的 3%。這裡面其中有六成是酒精，另外有三成是柴油。

生質燃料(發展阻礙)(4/4)



每一種東西都會有它的發展阻礙，因為改變的確是困難的一件事情，需要勇氣與智慧，並且要堅持真正該做的事。其中影響最大的不外乎是供應鏈，光是原料的採集都要考量，後面我也會提到國家能源相關的政策問題。

中油生質燃料發展史 (1/4) - 嘉油鐵馬道 嘉義化學工場



這是我們嘉義在二次世界大戰的歷史。台灣當時是日本殖民地，嘉義有一條路叫嘉油鐵馬道，全長 3.5 公里。這本來是一條鐵路，後來嘉義市政府規畫成自行車景觀步道，風景很不錯。當初日本為什麼要蓋這條鐵路？台糖之前很多的鐵路，有三分車、五分車，當時台灣的鐵路是窄軌，大約是 1067 厘米，國際的標準是 1435 厘米，所以稱為寬軌。五分車就是說它的軌距是國際的一半，大約 700 多厘米。我們現在的高鐵就是國際標準軌，就是寬軌。至於嘉油鐵馬道的軌距當然是跟西部縱貫鐵路一樣，目的就是把當初所做的生質產品，藉由這個鐵路從我們的廠區運到西部縱貫鐵路，然後運到高雄或基隆。

我們以前對這個不熟悉，剛好是一個因緣際會才開始了解，大約十多年前紐西蘭 Otago 大學有一位教授叫 David Jones，他拿這張 Formosa 的圖，上面標註台灣有十座丁醇廠及三座煉油廠。

比較有意思的是地圖上的地名，上面所標示的都是以前的地名。KAGI 是嘉義，現在英文已經不是這樣拼音，還有 COBY，現在叫做虎尾，這裡還有橋仔頭。我們就請同仁去找資料想了解一下日本人的歷史，我們當然有知道一些啦，但是還沒有那麼全面，所以去蒐集一些史料。

中油生質燃料發展史 (2/4) - 臺灣生質燃料先驅 -



這一張的背景是二次世界大戰，我們知道日本偷襲珍珠港，後來美國就不賣燃料給日本。當時和現在其實有一點類似，都是受到環境影響而改變。人為何要改變？企業為何要改變？因為環境改變，所以人也要跟著改變。雖然改變不一定能存活，但不改變就只有死路一條。我們回頭看那時候的歷史。

我們現在面臨的是 2050 年的淨零，所以需要改變。那時候則是因為戰爭，有需要燃料，所以日本人想到，所有的產品第一要有出海口，我做出這個產品要賣給誰？第二，是技術，例如要使用甚麼作為觸媒，剛才林博士也提到你有技術還要有觸媒。你有沒有關鍵的觸媒？再來就是原料，其實所有事情都是環繞在這些因素。

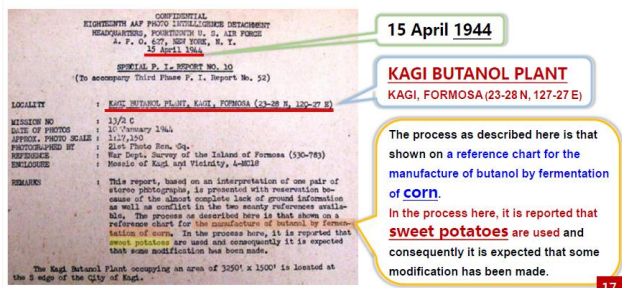
在戰爭時期，已經不管成本高低，所以先忽略成本問題，很明確的原因是當時日本的零式戰鬥機需要燃料，車輛也需要燃料，所以他要用酒精，還可以做為防疫物資，所以他要用酒精、丁醇，再用丁醇製造異辛烷，成為零式戰鬥機燃料。

所以後來台灣總督府的中央研究院就找了科學家來研究看有什麼菌可以做為觸媒，後來就有一個叫牟田邦基，找出「牟田菌」，就用他的名字命名，然後還必須找到原料來源，台語有一句俗諺說「時到時擔當，無米煮番薯湯」，表示當時番薯的存量很多，可以做為原料。嘉南平原當時在地產量最大的就是地瓜，所以就用地瓜做原料開始生產，從我剛才提到的嘉油鐵馬道，然後經過西部縱貫鐵路運到高雄或基隆，再運到日本的三大海軍鎮守府，從那邊的軍港再

去合成燃料供戰鬥機使用。圖上這個地方就是遠東地區最大的溶劑工廠。

當時在戰爭，美國發現日本竟然還有燃料，就開始情搜日本燃料從哪裡來，這張圖是 1944 年 4 月 15 日美國空軍機密報告，經過八十多年前所以已經解密了！

中油生質燃料發展史 (3/4)-美國空軍機密報告-



從上圖的美軍機密報告就是用早期打字機一個字母、一個字母打出來的，內容包括他調查了嘉義丁醇廠，連工廠的位置在東經幾度，北緯幾度都標示出來。然後有一段文字很小，我把它寫在這邊。他說這個製程，The process as described here is that shown on a reference chart for the manufacture of butanol by fermentation of corn. In the process here, it is reported that sweet potatoes are used and consequently it is expected that some modification has been made. 因為美國人本來是用玉米(corn)，結果他們發現日本人在台灣竟然是用地瓜，所以他們說其中一定有不一樣，就是使用的菌是用牟田菌。

我們也找到一些資料，那時候有統計，其中 1944 年產量最大，大概有 1 萬 5 千噸。後來美國就派 B25 轟炸機來丟炸彈炸毀工廠，不讓日本生產燃料，現在這些照片和史料都保存在我們的陳列館。這是日本人當年在台灣的故事，所以中油也算是台灣 BIOFUEL 開發的先驅，因為那塊地後來由我們接收。

生質燃料(纖維酒精汽油經驗分享)(1/2)



我們上個月(2024 年 8 月)在 AIT 見證下，跟美國的 USCC 穀物協會簽訂了一個生質燃料技術交流與推廣合作 (MOU)。

台灣事實上很早就推生質燃料，我們的前輩高博士他很早就想到這塊，包括我們從 E3 酒精汽油先試辦。所以，例如提到碳封存，我們就先做出成果給大家看。

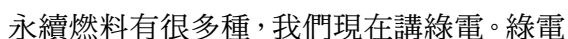
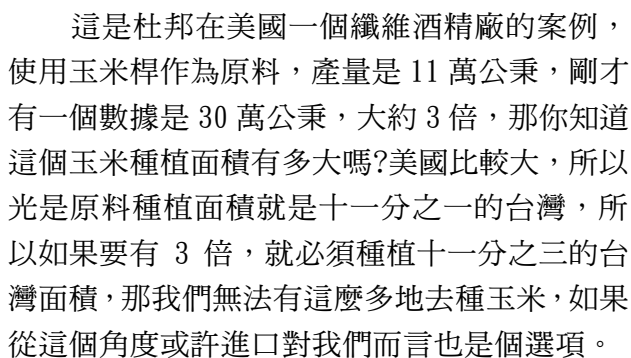
2006 年經濟部有一個計畫，那時候是希望 12 年後就是 2018 年可以全面推動。

為什麼訂 30 萬公秉？台灣現在汽油分成 92、95、98，中油與台塑全年的銷量大約是 1000 萬公秉，目標 3%就是 30 萬公秉。

但是，那時候想使用農林廢棄物，例如包括稻稈、香蕉假莖、蔗渣、玉米稈或是狼尾草來當原料，當時估計可以生產 38 萬公秉的稻稈酒精，從嘉南、台中與台南收集，到現在只有台北市跟高雄市總共還有 14 個加油站有賣 95E3，每公升由經濟部能源署補助 2 元，就是說 95 汽油如果每公升 30 元，他就是賣 28 元，政府補貼就是要鼓勵大家使用，但是推動的成效不好，讓數字說話，在 2012 那時候酒精使用量是 210 公秉，推動 10 年到 2023 年用量減半，剩 105 公秉，消費者就不買單，有補貼也不願意加酒精汽油。

若未來這個是一個解決方案之一，那要如何讓消費者接受，就是要讓消費者安心。為什麼可以省錢，消費者卻不想加酒精汽油？我們研究之後發現問題是因為早期的車輛結構使用某些橡膠材質，車主擔心酒精會傷害車子，或讓引

現在慢慢隨著車廠比較沒有用那種橡膠，所以這個疑慮應該是會比較少，當然還是看民眾能否接受，現在環境部希望減碳，這或許也是一個解方之一。



原本要因應 2050 年淨零碳排，很多國家都已經宣布，可能會在 2040 年就開始禁售內燃機的車輛，但是後來歐盟有協議就允許 2035 年後使用 CO2 中性燃油的內燃機車輛繼續銷售，最大的好處就是跟現在都一樣是加油，只是這個油是來自二氧化碳跟綠氫，知名車廠也有投入。

e-Fuels (BEV vs. FCV vs. ICE) (4/5) VS

能源效率比較

e-Fuels (@PtL過程)
 電解產氫、碳捕捉&燃料合成
 ~45%能量損耗

BEV效率最佳
 能源效率
 = FCV の2倍
 = ICE の4~5倍

		Direct electrification		Hydrogen		Power-to-Liquid (diesel)		Power-to-Liquid (petrol)	
		2020	2050	2020	2050	2020	2050	2020	2050
Task to be done	Electricity	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	CO ₂ absorption and E synthesis	94%	94%	76%	76%	76%	76%	76%	76%
Task to be achieved	Transportation, road-use	89%	89%	72%	72%	72%	72%	72%	72%
	Power production efficiency	94%	68%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
Task to be achieved	Charging equipment	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Battery charge efficiency	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	H ₂ to electricity conversion	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Innovation PtC	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Overall efficiency	Engine power efficiency	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
	Overall efficiency	77%	81%	33%	42%	20%	22%	16%	18%

資料來源: Transport & Environment (T&E)
 (以上數據係不同方法計算出來的平均數值, 係基於目前最準確數據, 不同設備)

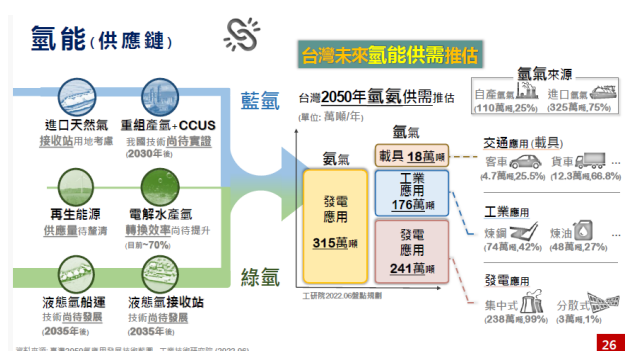
圖上兩個數字，黑色是 2020 年，黃色是 2050 年。能源效率會提高是因為技術有進步，但進步有限。你看，經過 30 年的技術進步是相對成熟了。那我們看，他說如果純電力，100%電力經過輸出、儲存、分散，我們叫做 Well to Tank，能源效率是 94%。充電還要有一個充電裝置，電池充電效率，然後主要是直流轉交流，計算後的數值是 77%。數字 77%是 94%乘以 95%乘以 95%乘以 95%，但是氫只有 33%，所以他的結論就是說直接用電動車最好，不過最近大家對電動車興趣降低，銷量有點下滑。

我認為至少他有先提出數據才可以討論，我才能知道哪一個算的不合理。

e-Fuels (轉型低碳能源)

Porsche 保時捷現在很熱衷研發 e-Fuel，保時捷標榜的產品就是跑車，例如超跑 911 系列，不過一般而言，電動超跑車還是怪怪的，因為大家還是認為跑車要用燃料有加速器，會有聲浪，不過電動車沒有聲音，必須打開聲浪模擬機才會發出聲音。

保時捷在智利南部 Haru Oni 有工廠，因為那邊靠近南極，風力很強，所以他們設有一個 3.5MW 的風機。那個工廠主要生產 Methanol 甲醇，這是很關鍵的技術，從甲醇再去轉為燃料的產能規劃，他們的工廠是 2022 年設立的。



國發會參考一些智庫的資料，預估 2050 年我們台灣氫氣的需求大約是 435 萬噸，其中 110 萬噸自產，其他 325 萬噸是進口，大概是 1 比 3 的比例，不過這個數字一直在滾動、修正跟檢討。

那另外就是氨 NH₃，如果將阿摩尼亞燃燒就只有氮氧化物跟水，並沒有 CO₂ 溫室氣體的問題。中油的氫氣工場是以天然氣為進料，經水蒸氣重組產氫而來。

另外我們的製程裡面很多是脫氫反應，如「輕油裂解」，所以就有氫氣副產物，煤組工場也產氫氣，中油的氫氣主要以自用為主，因為我們也有很多工場需要氫氣做油料的加氫處理。

台灣的環保法規很嚴格，像汽、柴油的硫含

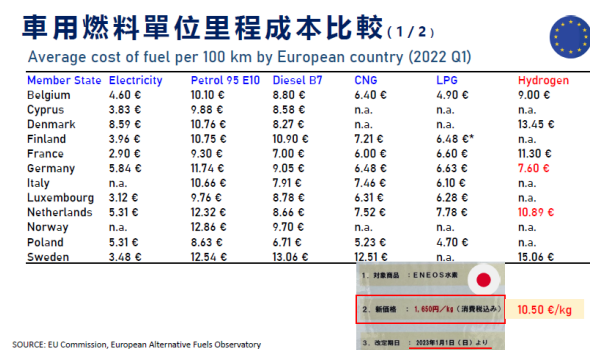
量，事實上都比許多先進國家來得嚴格，所以需要靠氫氣來把這些油中含硫的化合物把它帶出來，變成硫化氫，再經二次處理變成硫磺，還有金屬也要加氫脫除。

台灣氢能發展路徑—中油為重要角色

我們中油自我期許扮演一個重要角色，所以跟金屬中心簽了一個合作備忘錄，因為金屬中心研發材質，我們以現有管線如果要改輸送氫氣，會不會有什麼風險或影響，我們必須做一些調查跟研究。

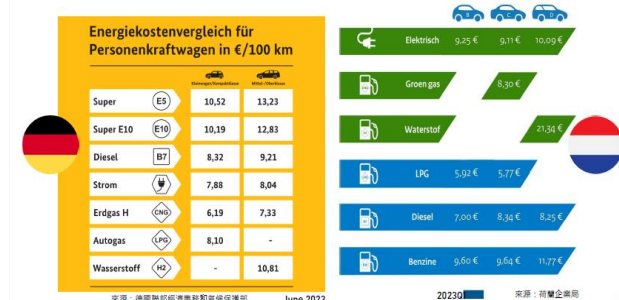
車用燃料單位里程成本比較

對消費者而言，哪一種燃料跑 100 公里付的錢最少才是他最在意的重點，這是 2022 年歐盟一些國家的研究，包括比利時……等等國家車用燃料的比較。



上圖中有比較電動車、油電車 95E10，另外也有用壓縮天然氣、氫氣、生物柴油……等等。這其實還涉及到政府是否有補貼，日本與韓國也都是有補貼氫氣，因為目前氫氣太貴了。下一張圖表給大家參考成本的比較。

車用燃料單位里程成本比較 (2/2)



海運替代燃料 (IMO 規定 & 減碳策略) (1/3)

- 硫含量規定 3.5% → 0.5% (2020年)
- 減碳目標 40%↓ (2030年) 70%↓ (2050年前) Base line: 2008年
- 減碳策略 新船 強制使用性能設計指數 (EEDI) & 所有船隻的船舶能效管理計劃 (SEEMP)
- 港口 & 航運合作 減少航運排放體現在船舶的準時制 (just-in-time, JIT)
- 替代能源開發 低硫 & 零硫燃料 (電力 & 混合動力、氫、其他燃料類型)



資料來源: FUTURE MARINE FUELS: PATHWAYS TO DECARBONIZATION, bureau veritas, 2019; IMO's work to cut GHG emissions from ships. The IMO initial strategy for reducing Greenhouse Gas (GHG) emissions, and its follow-up actions towards 2050; 2022, MARITIME FORECAST TO 2050.DNV, 2022

30

上圖是海運的減碳策略，IMO 是國際海事組織，原來硫含量規定是 3.5%，2020 年降到 0.5%，這是他的減碳目標。海運燃料在短中期與長期也提出很多的策略，比如說原來燒油的就是燒燃料，燒油的我們叫 Bunker 海運燃油，改燒天然氣、甲醇或生質燃料這些等等，長期是有燒氫，燒氫的，其實所有東西都有優缺點，所以要去選擇一個相對適合的作法。

海運替代燃料 (發展現況) (2/3)

- **LNG (石化燃料-LNG, Bio-LNG, E-LNG)**
LNG 船成長緩慢 (近年) 中國需求疲軟 國際天然氣價格高漲
陽明海運 計劃新建 5 艘 LNG 動力雙燃料貨櫃輪 (2022年)
日本郵船 計劃接收共 20 艘新 LNG 船 (至 2028 年)
SEA-LNG 公司 提供 70 個 Bio-LNG 加站 (全球)
- **生質燃料 (FAME, BTL, HVO)** BTL: Biomass to liquid
FAME 最常用 (100% Biofuel or 混雜 w/ 石化燃料)
新加坡 海軍及港務管理局發布《臨時海洋生物燃料標準 (WA 2:2022)》(2022 年 10 月)
TotalEnergies 於新加坡等地供應生物船舶燃料
Ocean Network Express 使用 B24 biofuel (Chevron) 航行日本 ↔ 東南亞
- **甲醇 (Methanol, Bio-methanol, E-methanol)**
IMO 批准《使用甲醇/乙醇作為燃料的船舶安全臨時指南》(2020 年)
馬士基航運 宣布建造 2 艘甲醇雙燃料貨櫃輪 (2023 年) 1 艘甲醇貨櫃輪 實航 (2023 年 9 月)
長榮海運 預計建造 24 艘 1.6 萬 TEU 甲醇雙燃料貨櫃輪

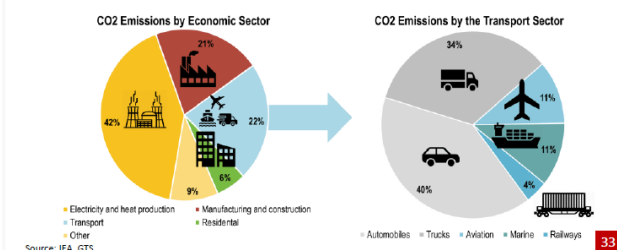
資料來源: THE MARINE FUELS MARKET OUTLOOK FOR 2023, kplerconnected.com, 2023; SIBURCO, Development of CO2-EIT 2024 in progress, but ineffective without industry adoption; TotalEnergies, TotalEnergies announces first order for support to support biofuel for shipping; TotalEnergies, 2022; Singapore, CNA, Singapore's first bio-LNG bunkering station, Maritime Times, 2022; CNA, Singapore's first bio-LNG bunkering station, Maritime Times, 2022; CNA, Singapore's first bio-LNG bunkering station, Maritime Times, 2022; CNA, Singapore's first bio-LNG bunkering station, Maritime Times, 2022

31

海運替代燃料的發展可以看到長榮海運預計建造 24 艘 TEU 甲醇雙燃料貨櫃輪，一部分燃料用甲醇，還有一部分用其他傳統燃料。

航空業 CO₂ 排放占比

- 2022 年航空業占全球能源相關碳排放比例約 2.4%
- 近十年航空業平均年成長率約 4.7%，高於海、陸運交通運輸



33

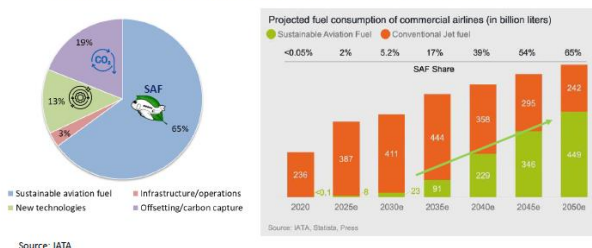
最近比較熱門的議題就是航空業，你只要

坐飛機就跟你有關，因為這涉及到未來的機票會不會變貴。

我們先看航空業的 CO₂ 排放。這是整個二氧化碳排放的一個分布。其中運輸業陸海空佔了 22%，22% 裡面航空又佔其中的 11%，也就是佔全球碳排的 2.4%，另外，近十年航空業平均成長率是 4.7%，中間因為疫情關係，有一些消長，但是解封後又開始成長。

航空業邁向淨零碳排

- 航空業邁向 2050 淨零排放目標，需要增加永續航空燃油 (SAF) 的使用，提升航空器技術、優化營運效率和碳抵換/捕捉等措施來抑制排放增長



Source: IATA

34

這是 IATA 的資料。IATA 是國際航空運輸組織，他們提出幾個航空業邁向淨零的永續方案。其中最有效的就是使用 SAF (永續航空燃油)，可以減少 65% 的碳排，那當然還有其他一些手段。圖右邊表示，綠色的部分是永續航空燃油，橘色部分是傳統航空燃料，預估到 2050 年大約是 2 比 1。

CORSIA 推動時程

- 國際民航組織 (ICAO) 於 2016 年通過 CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)，希望藉由適當的排放基準設定與市場機制輔助，引導航空公司將超過基準之排放量予以抵換，來達到控制全球航空業排放的效果。
- CORSIA 抑制排放措施：
 - 購買合格碳權
 - 使用永續航空 SAF
 - 提升航空器技術、優化營運效率等措施來抑制排放增長
- 目前台灣非會員國，但仍積極配合 ICAO 之規定，預計為 2025 年啟動 SAF 試行計畫



35

國際民航組織 (ICAO) 於 2016 年通過 CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) 減碳計畫，希望藉由適當的排放基準設定與市場機制輔助，引導航空公司將超過基準之排放量予以抵換，來達到控制全球航空業排放的效果。今年

2024 年它已經進入到自願參加國家接受管制，我這邊特別寫出就是台灣一直沒有辦法加入國際的一些政治組織，包括 IATA，但是我們還是積極去配合 ICAO 的規定，明年 2025 年啟動 SAF 試行計畫，雖然不是會員，我們還是盡量配合國際社會，希望能走在前面。我們可以給自己一個掌聲。

全球SAF政策推動情形



全球政策推動情形，我舉兩個例子：日本在 2030 年使用 SAF 是 10%，新加坡設定是 2026 年 1%，計畫到 2030 年增加到 3~5%，去年我們有跟日本成田機場的官員討論，他說日本的目標就是 10%。

台灣SAF發展



台灣要做有幾個問題要去釐清，包括市場、技術、品質、政策。我們的市場要能長期穩定供應涉及到量與價，所謂的量就是客戶的需求。我們中油公司是供應油，我們的客戶就是航空業者，包含長榮、華航甚至外籍航空公司，那他們需求要多少，若不跟我們說他的量要多少，我們就很難去評估；再來是價格，所謂天下沒有白吃的午餐，為了減碳還是要付出一些代價。當然有一些配套，希望藉由環境部推動像碳權、碳稅的

方式來補這一塊。

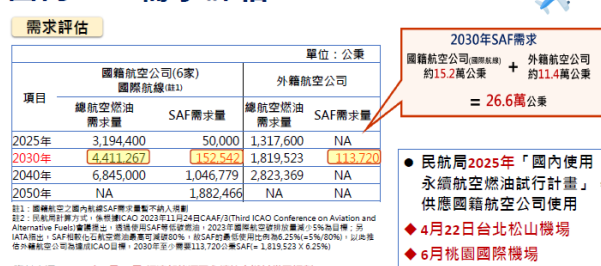
根據 S&P Global 的預測，SAF 價格跟傳統航空燃油價格是 3 比 1，但是各位不要害怕以為機票價格要漲三倍。我講的是 Neat SAF，所謂的 Neat SAF 就是百分之百都是生質，價格是傳統航空燃油的三倍。但是我剛才講了以日本為例是 10%，所以 3 乘以 10%，再加上 1 乘以 90% 等於 1.2，增加兩成，大概是這個概念。

但是因為成本比較貴，目前希望能夠隨著技術的進步將成本降低。我們也要自行開發，因為我們不可能都依賴進口，未來希望能夠自產，台灣自產的關鍵是要用甚麼技術與原料。

目前我們在做的是先測試廢食用油，就是 UCO (Used Cooking Oil)，可是台灣處理廢食用油也就只有兩家工廠：承德和永瑞，全台的總量不超過 10 萬噸，所以勢必還要靠其他料源來補。

再來是規範、驗證還有檢驗。所謂的 SAF 不是自己說是 SAF 就可以，而是需要國際的認證例如 ISCC，就是要有第三方認證說從頭到尾的確有減碳的事實，然後給我們一個證書，這個才算你的配額裡面。最終還是需要建立一個政策發展平台，當然民航局責無旁貸，需要先提出一個規劃。

國內SAF需求評估



這是今(2024)年 1 月能源署的一個供需規劃，預估 2030 年台灣 SAF 的需求接近 27 萬公秉。所以民航局提出一個試行計畫，因為我們要展現對供應低碳燃料的決心，所以我們也主動配合民航局的試行計畫而提出了兩個時程。

第一，4月22日在台北松山機場，因為422是世界地球日，我們希望在這個有意義的日子開始啟動，然後6月開始在桃機供應，因為台灣航燃還是以桃機佔大宗。

那要怎麼供應，我們目前能做的方式，第一個就是短期先進口 Blended SAF，然後進口 Neat SAF，我們來 blending。為什麼要這樣做？各位可以想像如果全部都靠進口，那我們自己的航空燃油怎麼辦？SAF 一般只摻 3%或 2%，剩下的 98%還是化石的航空燃油，那我自己的航空燃油就滯銷，煉製原油是聯產品，我們也不能說航空燃油不做，或是變成去外銷也很奇怪，所以過渡期就是先產品摻配，長期則是自產，這是我們的規劃。(如下圖)

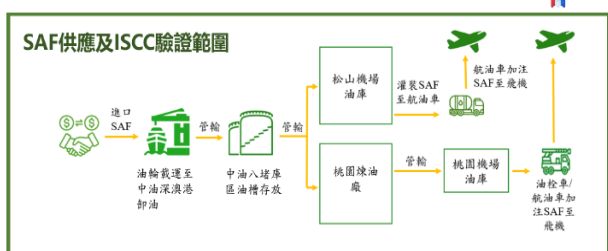
中油公司 SAF 供應規劃

- 國家標準制定
- 輸入稅則訂定
- 政府政策補助
- 機場儲備設備
- 摻配比例規範



這邊有一個 Argus 的報導，他提到 CPC to import Taiwan's first SAF for 2025 trial 的試行計畫。

輸儲設備 ISCC 驗證



- 2024年底完成SAF國際認證

ISCC 的驗證是我們先進口 SAF 到深澳港卸油，然後管輸到我們的油庫，分別管輸到松山機場油庫跟桃園煉油廠，再分別管輸到兩個機場，然後再供給飛機。我們 2024 年底會完成 SAF 的

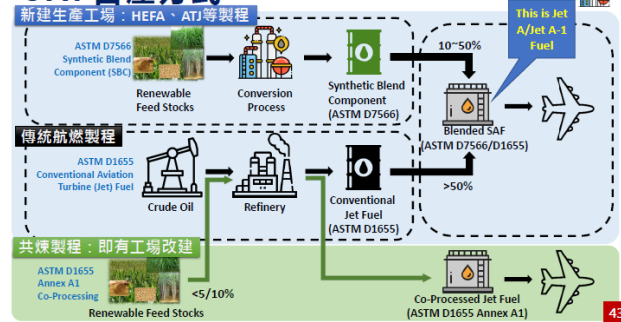
國際認證。台塑也會在 2024 年度依據他們的規劃時程完成國際認證。

自產 SAF 核可製程

Conversion process	ASTM reference	Possible Feedstocks	Max. Blending Ratio
Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene (FT-SPK)	D7566 A1	Biomass, coal, natural gas	50%
Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene (HEFA-SPK)	D7566 A2	Vegetable oils, animal fats, UCO	50%
Hydroprocessed Fermented Sugars to Synthetic Isoparaffins (HFS-SPK)	D7566 A3	Biomass used for sugar production	10%
Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene with Aromatics (FT-SPK/A)	D7566 A4	Biomass, coal, natural	50%
Alcohol to Jet Synthetic Paraffinic Kerosene (ATJ-SPK)	D7566 A5	Ethanol, isobutanol and isobutene from biomass	50%
Catalytic Hydrothermal Synthesis Kerosene (CH-SK, or CH)	D7566 A6	Vegetable oils, animal fats, UCO	50%
Hydroprocessed Hydrocarbons, Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene (HC-HEFA-SPK)	D7566 A7	Algae	10%
Alcohol to Jet Synthetic Paraffinic Kerosene with Aromatics (ATJ-SKA)	D7566 A8	C2 to C5 alcohols from biomass	
Co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery	D1655 A1	Vegetable oils, animal fats, UCO from biomass processed with petroleum	5%
Co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery	D1655 A1	Fischer-Tropsch hydrocarbons co-processed with petroleum	5%
Co-processing of hydrocarbons from Esters and Fatty Acids	D1655 A1	Hydroprocessed esters/fatty acids from biomass	10%

目前 ASTM 核可的 SAF 製程共有十一項，其中八項屬於 Neat SAF 製程，三項屬於共煉製程，各位可能覺得資訊很多很混亂，其實不外乎幾件事：我們現在的航空燃油規範是 ASTM D1655，另外一種合成燃料的規範叫 ASTM D7566，但是不論是什麼合成燃料或稱為永續航燃，都是航空燃油，所以最終都要符合 ASTM D1655 的標準，事實上 D7566 規範的主要有三件事：一是料源，Possible Feedstocks 不外乎兩類，第一類就是動植物的油脂，第二類是生物質如農林廢棄物等；二是製程；三是對應的 blending ratio，摻配比例是 10~50%。另外當然還可以利用共煉製程的方式，以既有的工場稍加改變，就可生產 SAF，中油目前就在做這樣的事，台塑也是。

SAF 自產方式

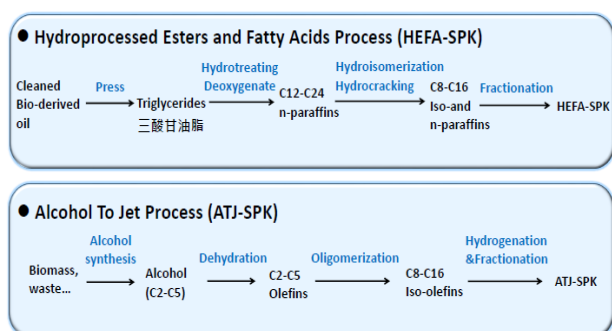


我們傳統航空燃油是原油進來經過煉製後直接生產航空燃油，航空燃油除了 Jet A-1 是給航空公司，另外提供給空軍是需要更高性能有纏鬥力，當然需要不同 grade，不同品質的航空燃油。

再來 SAF 的生產有兩種方式，第一種是蓋新工場，就是剛才前一頁的前八項。蓋新工場，選料、選製程，生產合成燃料，以 10~50% 摻配比例與傳統航空燃油混合起來，檢驗合格即可供飛機使用。

另外一種是共煉製程，就是以既有工場，但是我只是把廢食用油跟我原來的石化油料混在一起煉製，那我就可以得到我的 co-processing 航空燃油，這個上限是 5 或 10%。

HEFA 與 ATJ 製程



現在 SAF 生產的主流就兩項，一個叫 HEFA，另一個叫 ATJ。

先來看 HEFA 製程。其原料如廢食用油就是三酸甘油酯，是一個直鏈、高碳數，但是還有 double bond。我們知道 double bond 就是不穩定，不飽和，所以不飽和就容易氧化，這個油料就需要經過一個氫化去處理讓他變好，這是第一件事情。第二件事因為有氧，需要脫氧。第三，因為他是直鏈的，直鏈的化合物，他本身的凝固點很高，在陸上使用沒問題，可是飛機是飛在三萬英尺的高空，溫度很低，不能讓油結凍，油若結凍會有飛安問題，所以航空燃料的凝固點至少要小於零下 47 度 C，那我們供應至少都是以低於零下 50 度 C。但是若加入這個凝固點就會比零下 47 度 C 高，這樣油會結凍是不行的。那我們根據油料特性，直鏈的凝固點比較高，就要把它異構化，直鏈變支鏈來降低凝固點。

另外，車用燃油分為汽柴油，就是因為碳數不一樣，汽油的碳數比較少，柴油必較多。煉油

廠的汽油、航空燃油、柴油、燃料油就是依照碳數分佈，所以各位可以看到廢食用油的碳數可能有到 24 個碳，一般航空燃油的碳數大概是 10 到 14 個碳，所以你還需要做一個動作讓它斷裂，讓他變短再來要分離。所以事實上整個生質煉油就是我剛才提到的四面佛那個概念，生質煉油廠出來的都是聯產品，包含生質石油腦、SAF、再生柴油等，只是因為碳數的分佈，出來的比例不同。

另外，Alcohol To Jet Process，從生物質如農林廢棄物製造乙醇，轉變成 SAF 來講也是一樣類似的做法。

HEFA 製程原料 LCA

● CORSIA default life cycle emissions values

Region	Fuel Feedstock	Core LCA Value	ILUC LCA Value	LSr (gCO ₂ e/MJ)
Global	Tallow	22.5	0.0	22.5
Global	Used cooking oil	13.9	0.0	13.9
Global	Palm fatty acid distillate	20.7	0.0	20.7
Global	Corn oil	17.2	0.0	17.2
Global	Soybean oil	40.4	25.8	66.2
Global	Rapeseed oil	47.4	26.0	73.4
Malaysia & Indonesia	Palm oil	37.4/60.0	39.1	76.5/99.0
Global	Brassica carinata oil	34.4	-12.7	21.7
Global	Camelina oil	42.0	-13.4	28.6
India	Jatropha oil	46.9/46.8	-24.8/-48.1	22.1/-1.3

*Jet fuel baseline: 89 gCO₂e/MJ Source: ICAO 45

其實我們做所有事情都是為了要減碳。所以原料選擇第一個是所謂的碳強度 (Carbon Intensity)，或者我現在講的 Life-cycle assessment，全生命週期的評估。

現在強調要「Cradle to Cradle」要看從頭到尾到底是真減碳或是假減碳。你看這邊的統計，這也是 ICAO 國際民航組織做的碳強度，第 2 行的 UCO 是 13.9，ILUC 就是說這個東西是不涉及土地的變更，UCO 是一個廢食用油，所以視為是廢棄物，不需要土地，這叫 indirect land use change「間接土地用途變更」，大概就是這種概念。那你看他 Core LCA Value 很低才 13.9，所以大家都優先使用，事實上已經有很多工廠這樣做。

ATJ製程原料LCA

● CORSIA default life cycle emissions values

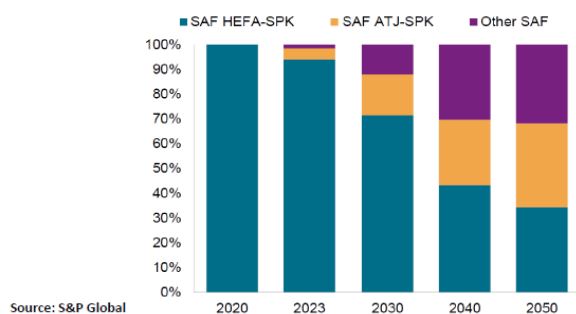
Region	Fuel Feedstock	Core LCA Value	ILUC LCA Value	LSr (gCO ₂ e/MJ)
Brazil	Sugarcane	24.1	8.7	32.8
Global	Sugarcane	24.1	8.5	32.6
USA	Corn grain	65.7	25.1	90.8
Global	Corn grain	65.7	34.9	100.6
Global	Agricultural residues	39.7/24.6	0	39.7/24.6
Global	Forestry residues	40.0/24.9	0	40.0/24.9
Global	Miscanthus (energy crop)	43.3/28.3	-19.0	24.3/9.3
Global	Switchgrass (energy crop)	43.9/28.9	4.8	48.7/33.7
Global	Waste gases	42.4/29.4	0	42.4/29.4

*Jet fuel baseline: 89 gCO₂e/MJ

Source: ICAO

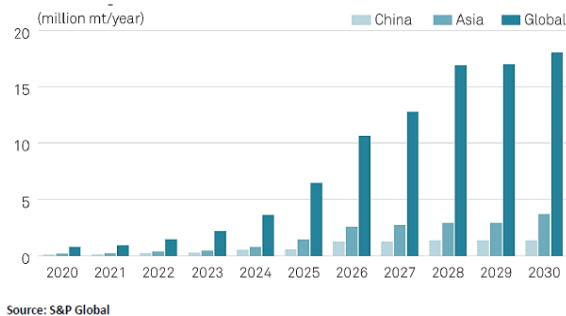
這是 A to J，不管用甘蔗或玉米，Core LCA Value 還是高。航空燃油的基準是每百萬焦耳現在是 89 克 CO₂e，溫室氣體不只是 CO₂，只是 CO₂ 量最大。那 89 克，你看這就比他高了。那這個到底有沒有減碳？所以需要被認證，他要投入之前就要先想，我這個根本沒有比這個減少，一定要比 89 來得低，越低越好才有意義。

SAF生產多元化



SAF 生產要多元化，我們看 HEFA 跟 ATJ 另外其他的技術到 2050 年大概各占三分之一，那之前主要都是 HEFA。

全球SAF產量預估



HEFA SAF-已商業運轉



比較有名是新加坡 Neste，大約 100 萬噸，Neste 在芬蘭、荷蘭，各有 10 萬噸、50 萬噸。另外當然是中國，那美國比較少。美國主要發展還是 ATJ，因為他那邊玉米很多。早期我也不知道他們用的是甚麼玉米，我們台灣會吃烤玉米，還有黃玉米、甜玉米、水果玉米，不過美國用的玉米是非糧食的，不是要給人吃的玉米。

結語

中油以「優油、減碳、潔能」推動淨零轉型，以積極創新思惟，協同合作精神，持續發展低碳永續燃料，建構國內低碳燃料供應鏈需要政策及相關法規支持，以加速推動。

現在我們面對挑戰很難單打獨鬥，我們的 mindset 要有一些改變，不只是創新，更要積極，大家協同合作，大家同在地球村合作持續來發展好，挑戰與機會並存，掌握機會才能在挑戰中生存。以上是我的報告。謝謝大家。

貴賓致辭

陳冠廷(立法委員)



謝謝林理事長與所有參加的貴賓，大家午安，大家好，很高興福和會總是針對重要的議題舉辦論壇，今年四月我也參加了福和會舉辦的「美國台灣關係法 45 周年論壇」活動，收獲很多。今天的能源與減碳議題也很重要，而且不只是從再生能源，還從我們既有的能源裡面探討如何提升更高的效率，並且降低溫室氣體，深入針對這樣的議題做更精細的討論。

很高興每一次的討論中都可以看到有新的朋友們的加入。所以，不管是在國防、外交還是這個環境，經濟的相關的議題，未來我在立法院新的會期也會努力的去推動對國家社會更有幫助的法案。我們的經濟部郭部長是從產業界出來的，對產業界而言，最重要的就是能源議題，因為社會不斷的進步，所以，我們相關的委員會將持續關注，再次感謝大家。

第三節論壇 引言

施信民教授



首先很感謝福和會舉辦能源與淨零論壇。接下來這個時段我們要報告與討論的是，林江

珍教授與謝國煌教授所提出來的一個藍氫製程的介紹。林教授曾經在殼牌公司工作，所以有豐富的經驗。兩位教授都是化工界的資深教授，從

事相關的研究非常久，我跟他們是台大的同事。

我於 1977 年在美國開始從事能源方面的研究，回到台大任教後，也一直進行與燃煤發電相關的二氧化硫去除、飛灰再利用與二氧化碳的捕捉的研究，後期還有進行氫能的運用研究，希望我指導的學生未來能夠拓展氫能方面的應用。

根據環境部的資料，我們知道台灣目前的化學材料工業所產生的二氧化碳排放量大概佔台灣總量的 12~13%。在我們的日常生活中到處都看得見化學製品，包含我們現場的座椅，化學製品在我們的生活中無所不在。化工產業要減碳是一項不容易的工作，牽涉的產品很多、製程很多，並且化學原料主要來自天然氣、石油、煤炭，這是化學材料工業面臨的問題與挑戰。前面幾位講員的議題報告中，都提到減碳是產業發展的挑戰也是產業轉型的一個契機。台灣產業轉型的挑戰，不論是政府、企業或民眾都應該共同來面對；有好的解決方案，不只幫助台灣，也能提升台灣對全球永續發展的貢獻。

接下來的時段要介紹的是產生氫氣的製程，

此製程將含有碳氫化合物的物質進行氯化處理，產生合成氣，其後將氫氣分離出來。這個過程一樣會產生二氧化碳，製程中用新的設備將二氧化碳捕捉下來，再透過後續的製程可以將二氧化碳與氫氣反應，製作為後段的化學製品。

我們知道工業界產生的二氧化碳主要來自能源使用和製程排放，如何減少二氧化碳排放有幾個方法：首先，是改變能源來源，如使用低碳燃料，例如天然氣，或使用屬於再生能源的生質燃料，或是使用再生能源產生的電力。再來，改變製程或改變原料也是可採行的方法，這牽涉到技術層面的發展；待會我們要介紹的殼牌藍氫製程，屬於這方面，目前此製程已經發展到一個可以商業應用的階段。還有，將二氧化碳轉化為化學製品也是重要的減碳方法，但如何將二氧化碳轉化為化學製品，其中還有許多需要克服的部分，例如找尋適當的觸媒，讓其生產效率更高、產品更有經濟競爭力。

淨零轉型是我們大家共同的課題，讓我們一起打造一個美好的未來。

借鏡美國技術以 SBHP 為主軸——協助台灣能源及整體產業鏈邁向淨零轉型

林江珍 教授(中興大學材料科學與工程學系客座教授)



林江珍
台灣大學 名譽教授 2018~
中興大學 客座教授
工研院顧問
(jiangjenlin@gmail.com)
(Line: JJLIN2018)
<https://www.ja-nsp.com/>

113年8月15日

林江珍 Jiang-Jen (JJ) Lin

學經歷

學士・國立台灣大學農化系 (林鴻祺教授) (1969)
碩士・國立台灣大學化學所 (劉盛烈教授) (1972)
博士・喬治亞理工學院化學所 (E.C. Ashby) (1973-1977)
博士後研究・康乃爾大學、普林斯頓大學 (M.F. Semmelhack) (1977-1979)

美國德士古 (Texaco) 9年、殼牌 (Shell) 石油公司 7年 (1979-1995)
*能源危機1973/79--研發結論: Coal Gasification → Methanol → Ethanol (Ethylene)
(C1 Chemistry Shelved Technology) 獨資專利技術 (2024 建議規劃"臺灣破權技術"主軸)

國立中興大學化學工程學系教授 / 主任 (1995-2005)
國立台灣大學高分子研究所特聘教授 / 所長 (2005~2018)
國立中興大學材料工程學系/奈米科技中心主任(借調) (2009-2011)

界面科學學會理事長 (2000-2003)
台灣中油公司董事 (2006-2008)
新光達輝董事 (2010-2015)/晉倫獨立董事 (2018-)

著作
230篇期刊論文; 140件美國專利; 70 件台灣專利

SBHP-TCCT 2024



首先，我要感謝福和會舉辦今天的研討會，也響應賴總統成立國家氣候變遷對策委員會來探討這重要議題。我接受邀請在技術層次上提出個人看法。我的講題是「借鏡美國技術以 SBHP 為主軸，協助台灣能源及整體產業鏈邁向淨零轉型」。

全球面對氣候變遷要找出氣候解方，其實有它的複雜度、困難度及急迫性。因為地球暖化的問題是人類長期歷史累積的結果。從 1940 到 70 年代，美國洛杉磯的 smog 空氣污染問題，後來 PM2.5、VOCs（揮發性有機化合物）、南極地區的臭氧層破洞。一直到近年來海洋塑膠垃圾導致可能科技無解的 microplastics 的問題。現在我們討論地球暖化、氣候變遷，這些都是人類發展工業，過度使用化石燃料，忽略環保。而且又經過污染源的長期累積所造成。它的複雜度不可能用單純用替代能源或者投入更多寶貴的能源去捕捉 CO2 這種治標不治本的方式可以解決。

第二點我要提出來的是台灣產業鏈特殊：能源淨零 vs. 產業淨零，哪一個方向比較重要？各國的國情不同。歐盟偏重民生用電。美國、日本重視工業用電以及產業化工製程的效率來改善。而台灣的命脈在於產業。尤其是台積電以及未來的 AI 都是國際化的產業。又有台灣內部群落產業的配合。所以台灣的淨零更應該考量整體經濟的發展。台灣淨零應該考量的是整體產業鏈的轉型為目標。這是我今天要論述的重點。

請允許我用一、兩分鐘的時間介紹我自己。因為跟今天我要講的主題有些關聯性。我是台大農化系 1969 畢業，台大化學研究所 1972。美國喬治亞理工學院的化學 PhD，在 Cornell 以及普林斯頓做兩年的博士後研究以後，1979 我進入美國德士古 Texaco 石油公司。後來又去了 Houston 的 Shell oil 殼牌石油公司，一共 16 年的化學工業研究經驗，1995 年我回到台灣。這裡我要特別提到的是 1979 我進入 Texaco Chemical 的那一年，剛好是美國最嚴

重的第二次能源危機。美國有兩次能源危機，分別是 1973 和 1979。1973 年我初到美國，1979 是我在美國工作的第一年。當時的經濟非常蕭條，產業萎縮。剛畢業的化學 PhD 工作非常難找。所以我時刻戰戰兢兢，公司給我的研發目標就是解決沒有石油的化學產業問題。我也被告知 Texaco 在德國有很強的 Coal Gasification 技術，而且有很成熟的商業技術，也可以生產甲醇。所以如果可以從甲醇變成乙醇，再脫水變成乙烯。基本上可以 bypass 石油，換句話說這個關鍵觸媒技術就是可以用煤炭取代石油，解決缺油的危機。當年美國跟日本很多的公司都投入相類似的研發。Texaco 的團隊應該是在這個方面的 pioneer 或者 leader。我們也申請了很多專利。這就成為我講的 1980 年擱置專利技術。我個人的因緣際會 40 年後的現在，我建議採用這些技術再經過一些修改以及與其他技術整合，我相信可以規劃出台灣碳權技術的主軸，協助台灣未來能源的轉型以及產業鏈的重組。

The lessons learned

--美國能源危機--表面汽車缺油現象 vs. 實質產業結構問題

1973 energy crisis 第一次石油危機

*OPEC(石油輸出國組織)以沙烏地阿拉伯為首的組織，對“贖罪日”戰爭期間支持以色列的國家實施石油禁運--加拿大、日本、荷蘭、英國和美國，全球石油價格上漲了近300%，從每桶3美元升至近12美元

1979 energy crisis 第二次石油危機

* 每桶15美元左右最高漲到1981年的39美元

能源危機--表面上，汽油昂貴，加不到油 造成恐慌

實際上，原油也是石化中間體原料，原油昂貴，影響“化學產業供應鏈”，導致整體經濟萎縮

(lessons learned: “汽油替代品”是否類似目前“替代能源”解決淨零的做法?)

SBHP-TCCT 2024

這張投影片我要表達的是能源危機的表面現象與實質問題有可能不同。美國的能源危機是以沙地阿拉伯為首的石油輸出國石油禁運或者是提高價格，每桶 3 美元升到 12 美元。第二次危機，第二次石油危機又提高為 39 美元，造成美國內部汽車缺油的恐慌，當然，及時的解決方案就是找出汽油的替代品，所以很多公司開始研發 Biomass，當時也有當時看起來很好的

商業技術與商業化的成果。例如：巴西的甘蔗變成酒精，石油公司也引進用 gas04 將酒精 4%混入汽油，暫時解決了汽油缺乏的問題。但是後來中東國家改變了主意，含有酒精的汽油市場也就消失了。但是當時產業萎縮經濟蕭條的根本問題也沒有因為生質燃料(biomass)而得到解決。其實根本的原因是原油也是石化中間體的原料。石油的昂貴造成化學產業供應鏈產生的瓶頸，才導致整體經濟萎縮。這讓我想起現在是否也類似用替代能源的解決辦法。

地球暖化氣候變遷的根本原因 *root cause 80年來人類賴石油--生產能源以及材料製造--兩路徑均排放GHGs



*(減碳策略1) 能源/化學產業鏈 要兼顧!

118年4月15日

SBHP-TCCT 2024

4

原油進入煉油廠有兩大用途：汽油能源以及化學材料。最終造成二氧化碳的排放，其實下游化學材料的構成反而比較多。碳排放可以分成三大類：第一是直接排放，包含化石燃料發電、煉鋼、金屬製造，這是大家所熟悉的。第二是間接排放，包含礦場、煤礦、油礦、製程設備、交通運輸等；第三是隱形排放，是比較被忽視的，其實化工規模以及工程的效率都隱藏了CO2的排放。太陽能板、風力發電葉片的製造還有廢棄物，矽晶是由矽沙提煉、epoxy 複材製造的過程都很複雜而且消耗大量能源，其實這也是綠能無法快速成長的原因。所以能源跟化學產業鏈要兼顧來減少排放。但爭議仍然存在，歐盟偏好綠能，而美國偏重傳統的能源，這都是自身產業利益的考量。

各國化石燃料使用情形 -- 產業型態 vs. 能源消耗類別之關聯性 *臺灣擬定策略的參考 (每個國家不同)

- 84%全球能源消耗以及64%電能來自地下石油 (2019統計)
- ~90%有機材料來自地下石油 -- 經過輕油裂解成為石化中間基礎化學原料
- 2022-3 **能源消耗: 油礦開採, 火力發電, 工業燃燒及製程, 運輸, 建築, 農業, 廢棄物
- 美國: 傳統能源79% (煤炭10%/原油36%/天然氣33%) 共79%, 核能8%, 再生能源僅13%
- 台灣: 傳統83% (煤炭42%/石油1.3%/天然氣40%), 核能(3%2024; 6.3%2023; 12% 2015), 再生能源9.5%(太陽能4.8% 風電2.2% 廢棄物1.2%)
- 日本: 傳統65% (電力來自天然氣32%, 煤30%, 太陽能10%, 核能7.6%, 水力7.3%, 地熱能和生質燃料僅佔4%)
- 南韓: 傳統32.8% -- 煤27.0%, 天然氣, 石油1.25%, 核能30%, 太陽能4.75%, 地熱與生質3.11%
- 臺灣--能源進口/產品外銷/海島國家 (不同於歐洲國家 e.g., 法國核能65%; 丹麥風電53%)

各國能源消耗的型態不同 減碳的策略也會不同 很難直接類比!

這張數據可以當做台灣擬定政策的參考。台灣產業的心態是能源進口、產品外銷。因為台灣是海島國家，能源的消耗形態偏重於火力發電，但是主要用於工業製程。傳統的燃油使用。傳統化石能源的使用反而相類似於美國跟日本工業發達的國家。但是相差於歐洲國家。他們也有自己的考量。有的重視核能、有的重視風力發電，類似美國各州也有不同的策略，這都是自身地理環境的考量，很難直接類比。

減碳策略及溫室效應氣體排放分布 (GHGs: CO2, CH4 x30, N2O x300)



一般能源消耗的分佈從上游的化石採礦、火力發電、工業燃燒的製程一直到下游的運輸、建築、農業廢棄物處理。上游的工程規模比較大，下游的排放比較分散難以集中處理。化工的規模越大，減碳跟捕碳的效率會越高。所以我們可以創造一個數學公式來計算：減碳效率=實際減碳量-輸入能源換算之排碳量。

而台灣並沒有上游的礦產或者是太陽能板的製造，所以重點應該放在比較大規模的火力發電以及焚化爐的排碳處理。等一下我要介紹的 SBHP。它捕碳的規模大小很類似火力發電。另外因為台灣大量使用天然氣，所以甲烷的洩漏，所以也應該也要受到重視。

SBHP 發明及演變歷史— 四代工程演化先進製程

1. SBHP 前身為 **gasification** (“**碳**”氣化反應); WWII 德國 coal gasification → CO/H₂ (syngas) → (by F-T Reaction) 液體燃料-坦克車使用--解決缺油能源的問題
2. → SMR (steam reforming reactor)(Malaysia/Qatar 1990-2010) 生產 基本化學原料
3. → ATR (auto thermal reforming) via H₂O/O₂ ratio (工程改善/解決“額外熱能”的問題)
4. → SBHP (新增加 2 工程單元-CO₂捕抓以及廢熱發電)

SBHP (Shell Blue Hydrogen Process 2020)-- 整合工程系統

(a) **ADIP ULTRA** (捕捉CO₂) (b) 廢熱發電

SBHP = SMR + ATR + ADIP (經過持續70年工程效率改進, 世界100+工廠運轉中)

Noted: similar technologies: ExxonMobil, Texaco, Chevron, GE, Dow, BASF's OASE®

(捕捉CO₂ 效率關鍵技術, 可能Shell / BASF 為最先進!)

接下來進入今天的主題介紹 SBHP。它的前身就是氣化 (Gasification)。第二次大戰期間, 德國因為缺油, 利用既有的煤炭加水轉換成合成氣 (syngas)。再進一步利用另外一種製程轉換成液態燃料, 解決缺油的問題。後來反應器把煤改變為天然氣稱為 SMR (Steam Reforming Reactor)。1990 到 2010 時代就已經非常普遍商業化製程, 用來生產基本化學原料, 例如甲醇、阿摩尼亞。也就是同一個製程可以同時生產能源跟化學品, 可以說是化工技術的神奇之處。第三代的製程改善, 因為氣化 (Gasification) 製程本身是吸熱反應, 需要額外加很多的能源。ATR (Autothermal Reforming) 就是反應器可以微調水跟氧氣的比例。部分氧的燃燒自動提供熱能而增加了整個工程的效率。第四代就是我們現在討論的 SBHP (Shell Blue Hydrogen Process) 是最近大概 2020 年公佈的最先進的製程, 它添加了兩個工程的單元。二氧化碳捕捉單元讓整個 process 不再排放二氧化碳。另外一個單元是廢熱發電。它的概念就等於是台灣的焚化爐變成熱能回收工廠。

殼牌 Shell 傳統上是比較重視基礎研發的荷蘭公司。經過了 70 年到 80 年, 把這個化工的技術推到頂峰的效率。除了殼牌 Shell 以外, 其他的公司例如 ExxonMobil、Texaco 以及大的化學公司 BASF 都有自己的化學工廠, 才能夠掌握能源跟化學品、原料的自主性。可能是殼牌 Shell 跟 BASF 擁有最先進的捕捉製程技術。



氣化 (Gasification) 工廠的規模大小可以依照它的用途來設計。這是殼牌 Shell 公司在世界各地建廠的代表作。從 1956 年開始工程技術的更新以及工廠規模也一直在提高。例如 1997 在紐西蘭的工廠是每日 550 噸, 一直擴大到 2009 在中國建的工廠是每日 1200 噸。2011 跟 2016, 開始在卡達以及沙地阿拉伯的工廠更提升到每日 2000 公噸。這些數字可以換算一下, 應該比台灣的發電廠來得更大。



台灣也有 Gasification 工廠。這是我以前在中興化工系上課的講義。這是台灣中油煉油廠 1991 年的工廠配備。可以看到第 23 項就是殘渣油的氣化工廠。它的目的應該是為了處理 residual 油品, 把它轉換成氫氣再應用於加氫脫硫的製程, 就是工廠 2 整合。這樣上下游的整合的氣化場在煉油廠裡面是基本的配備。這個案例工廠應該是建立於 1984 的四輕油廠。五、六輕油廠也有相類似的製程。建廠的年度是我提到的 Gasification 有四代的工程演變的第一代工廠。

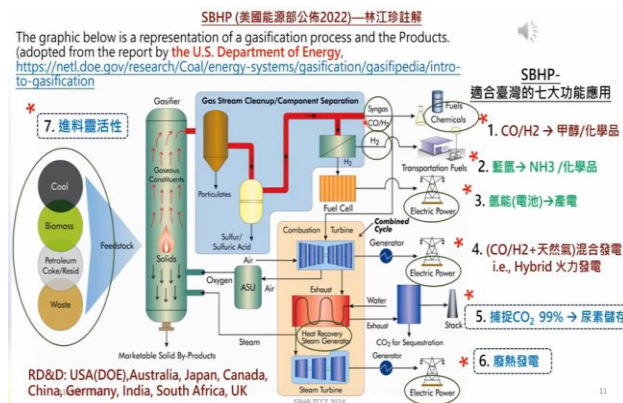
What is SBHP? “多元功能之工程系統”

1. 多元功能--不是“單一製程”，而是一個工程整合系統，可以用於生產能源/化學品
2. 進料靈活性--煤炭/煤渣 天然氣 農作廢棄物 biomass
3. 成熟商業化製程--可靠/耐用/可調整；進入第四代的改進
美國能源部2022資料：(a) 9個國家投入示範工廠以及建廠—US, Canada, China, Germany, India, South Africa, UK (b) 各國目標不同—美國甲烷洩漏/biomass進料，低廢發電，低建廠成本，Australia/Japan → 2022 liq. blue H₂ → 液態運輸Japan (日本自己則專注在氫能固態電池應用)
4. 減碳效益較高(隱形排碳量較低)：“SBHP捕抓CO₂的工程及其規模效益，比較於其他‘製程’捕抓儲存CO₂ CCS，更具優勢”；ie., “減碳效益” = “實際減碳量” - “隱形排碳量”

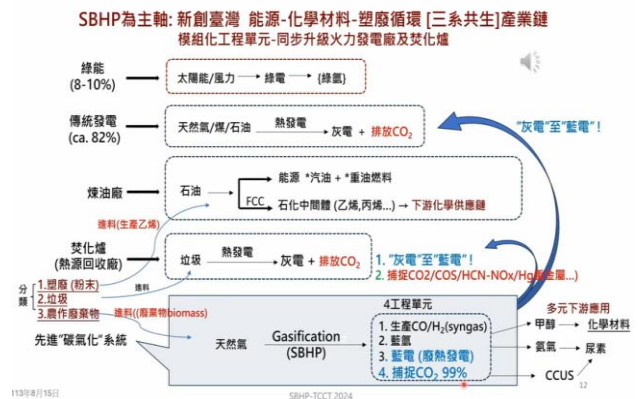
(SBHP: “減碳效益”與 規模大小/工程技術 有關!)

我從能源多元功能的角度來介紹 SBHP。SBHP 不是單一製程，而是一個工程整合系統。可以用於生產能源跟化學品。第二點是相當靈活。可以用廢棄物當作進料。第三，它是成熟商業化的製程，可靠性、耐用性、可調節性都很高。而且正在進行第四代的改進。依據美國能源部2022 的資料，已經有很多國家正在積極投入R&D 示範工廠，甚至建廠中，包括加拿大、中國、德國、印度跟南非、英國等。而且每個國家的目標不同。美國重視開發降低甲烷的排放系統以及 biomass 的轉換。有的國家則是重視低碳的發電或者低的建廠成本。其中有一個案例值得我們參考，就是歐洲跟日本的合作案例。利用歐洲當地的原料生產藍氫，液態運輸到日本。日本則專注於氫能固態電池的應用。這是一個雙贏的合作案例。

SBHP 的減碳效率也很特殊。它比其他碳捕捉的技術製程減碳來得高。這裡有一個比較就是：減碳效率=實際減碳量-隱形的排碳量。這一點跟 SBHP 的規模與工廠技術、工程技術有關。



這是美國能源部工程示意圖，我加註了中文來說明它適合台灣溫室氣體減排的七大應用。第一生產的合成氣就是一氧化碳跟氫氣，有兩個應用，化學品製造，例如甲醇，已經混合天然氣 (hybrid) 的火力發電廠。如果把合成氣的一氧化碳轉換成更多的氫氣，那麼氫氣有兩個應用：製造成化學品，例如阿摩尼亞以及氫氣的燃料電池發電。第5個功能就是二氧化碳的捕捉運用；第6是廢熱發電；第7是進料的靈活度，天然氣、煤炭、Biomass 都是台灣可以考慮的來源。整體而言，SBHP 未來可以多元的工程組合模組化的運用，所以它被稱為它被稱為聖杯製成 (Holy Grail)。聖杯製程表示可以解決所有的問題，殼牌 Shell 如此宣稱，有它的道理。



SBHP 為主軸：新創台灣 能源－化學材料－塑膠循環「三系共生」的產業鏈。前面四項是台灣目前的狀況。替代能源、傳統發電、煉油廠、資源回收場。SBHP 除了發電以外更可以把它模組化運用。第一，二氧化碳捕捉單元可以 retrofitting 到傳統的發電廠以及熱能回收場。升級它的灰電變成藍電。第二，廢熱發電單元可以協助焚化爐提升熱能回收效率。這兩項模組化會是關鍵技術。這裡我要強調，捕捉系統除了二氧化碳捕捉之外，還可以處理硫跟 HCN (氮) 還有揮發性的汞、重金屬這些都是無法避免從自然界的生物所帶過來的污染。所以會變成台灣前瞻性的做法。最後廢棄物經過分類可以進料 SBHP，部分合適的可以進煉油廠。變成高值化的循環。整體而言，三系共生的產業鏈可以

說是世界首創的淨零方法。

SBHP應對臺灣淨零轉型四大議題

目前能源分布: 綠能10%, 煤/天然氣82%“灰電” -- 減碳之瓶頸	
A. 能源充足 (急迫性)	1. SBHP (a)直接發電“藍電”(b)混合發電 -- 取代傳統火力發電廠 2. CO2捕提模組 retrofitting 升級傳統“灰電” -- 提高發電低碳品質 3. 天然氣/煤/廢棄物biomass 燃料發電 -- 減少能源進口
B. 低碳化學材料產業鏈建立 (傳統“石化”轉型)	脫鈎中國紅色供應鏈 -- 接軌美國“友岸外包” 碳關稅及其他CBAM 1. 生產“綠色甲醇” -- 再轉化“綠色石化產品”(“綠色乙烯” -- 為世界首創) 2. 生產氨/尿素 -- 衍生產“綠色化學品原料”
C. 環境保護 (廢棄物循環系統)	1. 廢棄物分類 a. 燃料SBHP; b. 燃料煉油廠RFCC, 生產“低破乙烯” 2. 降低空氣污染(捕提CO2/空氣污染源)
D. 戰備能源儲存 (國土安全)	1. 甲醇燃料戰備儲存 2. 氨氣為“氫氣”儲存 3. 尿素為“CO2”固態儲存/肥料外銷

基本上 SBHP 工程系統可以協助台灣淨零轉型的四大議題。那就是 A. 能源充足、B. 建立低碳化學材料產業鏈、C. 環境保護、D. 戰備能源儲存的安全問題。比較急迫的是台灣面對目前火力發電的灰色能源高達 82%，有待解決。SBHP 可以直接發電或者是混合發電，技術成熟應該可以縮短台灣建新的火力發電廠需要六年之久的問題。第二個議題是脫鈎中國供應鏈接軌美國的友岸外包碳關稅的問題。接下來我會再說明美國友岸外包對台灣淨零的重要性。另外環境保護以及能源戰備儲存的問題也必須再次強調甲醇安全儲存在工業界以及有悠久歷史的經驗。尿素的儲存也等於是二氧化碳的固體儲存。何況肥料從世界的需求量也是可以影響二氧化碳減碳的規模值得優先考量。

能源-化學材料-塑膠循環(三系共生)--願景



這是一張總結我前面提到台灣淨零轉型的急迫性、困難度以及整體規劃藍圖的必要性。我建議最後的目標是新創三系共生的綠色產業鏈。提升台灣未來產業面對台灣面對國際碳關稅的

競爭力。我也提到 SBHP 的七大功能利用以及如何用模組化的方式來整合我們的創新技術來解決台灣淨零的四大議題。

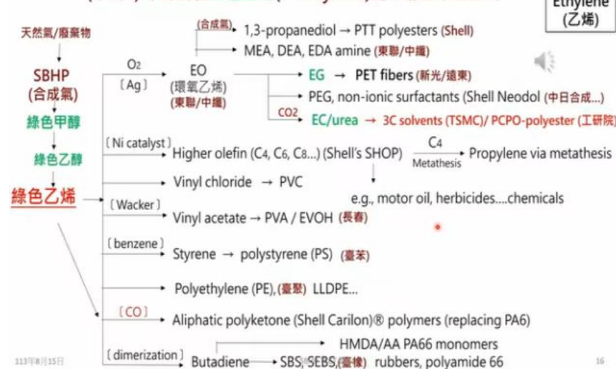
--建立臺灣碳權經濟體系- Master-Plan
(工研院材化所--李宗銘所長/林江珍教授)

presented to 臺灣中油/經濟部/環境部 (11-30-2023) (1-11-2024)(4-2-2024)

1. 引進美國SBHP為臺灣碳權之主軸- (經濟部/環境部)
 - (a) 生產合成氣/藍氫/藍電, 進一步生產甲醇/氨氣/尿素
 - (b) 模組化“CO2捕提單元”運用於改造臺灣目前的“天然氣發電”/“焚化爐”, 升級“灰電”至“藍電”
2. 經濟部/環境部共同規劃碳權藍圖(master-plan) - (工研院材化所/中油)
 - (a) 規劃“臺灣化學材料供應鏈重組”技術藍圖
 - (b) 建立 [能源/化學材料/塑膠循環]三系共生之碳權技術, 協助產業淨零轉型

這一張投影片是我跟李宗銘所長給台灣中油、經濟部以及環境部的建議。建議有兩點：第一點是引進美國 SBHP 的技術來當作主軸，生產能源以及化學品，可以把這個技術模組化應用於 retrofitting 改造在台灣灰電以及焚化爐。第二就是規劃台灣化學材料供應鏈重組的技術藍圖，來建立能源、化學材料、廢棄物循環三系共生的產業鏈。

(舉例1) 甲醇轉化綠色乙烯(e-ethylene)之下游產業鏈應用



依據 SBHP 的規劃，生產綠色乙烯。乙烯單獨一項原料，就可以大約提供 40% 的下游產品的生產，最終的產品包括 PET 的紡織、界面活性劑等等。這些產品行銷國際是長才會具有碳關稅的競爭力。這個例子說明新創綠色石化中間體的製造技術等於是能夠掌握自由生產。未來以低碳技術的供應鏈來接軌國際產業的重組是我們淨零轉型的目的。

國際碳關稅競爭趨勢來臨

1. 碳邊境稅(Carbon Border Tax) (CBAM)-「碳定價」製程減碳、產品碳足跡—GHGs
2. 美國碳關稅法-潔淨競爭法, (Clean Competition Act, CCA): 進口品的平均GHG排放強度約高於40%美國製造的產品。特別是進口至中國、印度與俄羅斯等國。約高於3-4倍。開徵時間: 2025之前將針對「能源密集」進口品 (fossil fuels, refined petroleum products, petrochemicals, fertilizer, hydrogen, adipic acid *, cement, iron, steel, glass, pulp and paper, ethanol) 。
碳稅使用: 75%補助製造業的低碳技術與設備。25%協助開發中國家因應氣候變遷。
美國碳關稅法 稱為「friendly shoring 友岸外包」--影響世界產業鏈重組--不同於EU, 美國重視GHGs排放 (CO₂/CH₄/N₂O); EU重視CO₂減碳-CBAM

這裡提到國際碳關稅問題。我們就以美國《清潔競爭法案》的例子。2025 年開始，美國會徵收進口的碳稅。能源源密集或者溫室效應、氣體排放。如果高於美國自己相同產品的 40% 將徵收關稅，現在列出來的化學品項目也很多。其中 Adipic acid (己二酸) 徵收的原因，可能的原因是可能因為製程會用硝酸排放出一氧化二氮 (N₂O)。這是溫室效應大於二氧化碳 300 倍的氣體。所以美國跟歐盟不同的地方是他更重視二氧化碳以外的溫室效應氣體的排放。而美國徵收的部分的稅收是用在協助其他國家的減碳。美國試圖影響世界產業鏈的重組。成為 friendly shoring (友岸外包)。

總結

臺灣淨零 Taiwan can lead 全球淨零

- 全球六大排放國: 中國(29.2%) 美國(11.2%) 印度(7.3%) EU27 (6.7%)... 2022統計
- 臺灣CO₂排放占全世界的 0.78%, 日本占3.4%, 南韓占1.7%

世界淨零方法爭議:

- a. 「甲烷爭議」: GHGs - CO₂ (化石燃料排放), CH₄ (採礦及工廠洩漏), N₂O (肥料, 製程, 汽車排放) -- CH₄ 溫室效應30倍於CO₂, 造成50%地球暖化 (美國認為應優先處理, 積極 COP28「全球甲烷承諾」(155國家參與, 中國未簽署))
- b. CO₂ CCUS進度被懷疑: --技術可行性被懷疑--因為目前全球僅建<0.1% of CO₂ 總排放量(僅林等)
- c. 氫氣安全的五大隱憂: "2023 美國氫能研討會"
- d. 美國內部爭議: 替代能源 vs. 傳統能源 孰重?; CBAM vs. 美國「友岸外包」碳關稅法/Federal Carbon Tax;

*臺灣應該盡世界公民責任，但也不必把全球氣候變遷減碳的責任往自己身上攬，臺灣有限的資源應該投入「自己產業鏈淨零」再協助世界淨零。我們的排放量只有世界的 0.78%! Taiwan can help and can lead!

註1: CCUS/氫能 vs. 石油減碳-過度 美國內部2不同路線 (美國總統拜登6-27-2024)
註2: Ref: <https://www.stateofcldr.org/giddens>, (Giddens, (2024)). "The State of Carbon Dioxide Removal-牛津大學6-5-2024"
註3: 7-29-2024化石燃料行業的碳捕獲令人擔憂CCS would only account for about 2.4% of the world's carbon mitigation
<https://www.vox.com/climate/263076/climate-change-solution-shell-exxon-mobil-carbon-capture>
註4: 氫能的五大爭議, 2023 (補充資料)

地球暖化、氣候變遷的議題正在改變世界產業鏈的重新組合。面對全球淨零，台灣淨零的目標應該如何定位？全球世界各國的淨零方法為什麼有這麼多爭議？這投影片列出來的就有

四項：一是甲烷的爭議；二氧化碳 CCUS 的懷疑；第三氫能安全的五大隱憂；第四美國內部的爭議——關於替代能源與傳統能源的比重問題。

台灣產業的形態的特殊性，我們應該取別人好的方法，否則只會進退失據。我今天提出來的 SBHP 是一個工程技術系統的整合。把它當做主軸來規劃台灣整體的碳權主軸。最終的目標是產業鏈的淨零轉型。行有餘力，我們再協助世界的淨零，我相信台灣 can lead。下面的一段話是在美國引用一位朋友的話，我也認同他的說法。他說：台灣應該善盡世界公民的責任，但也不必把全球氣候變遷減碳的責任往自己身上攬，台灣有限的資源應該投入自己產業鏈淨零，再協助世界淨零。我們的碳排放量其實只有世界的 0.78%。謝謝各位。



淨零、產氫、CO2 跟有機材料的循環經濟

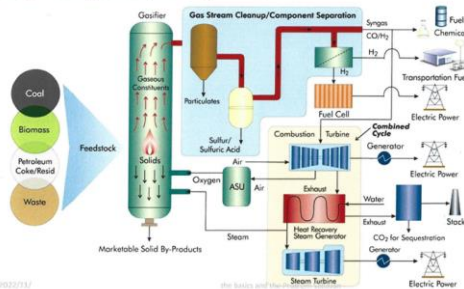
謝國煌(台大化工系名譽教授)



這一個是美國能源部網站上的資料，代表了潔淨能源的氣化製程，也就是剛才林教授談的內容比較深入的做法。

以下是美國能源部網站資料提供的代表性潔淨能源(發電)氣化製程

The graphic below is a representation of a gasification process and the Products.
(adopted from the report by the U.S. Department of Energy, <https://netl.doe.gov/research/Coal/energy-systems/gasification/gasification/intro-to-gasification>)



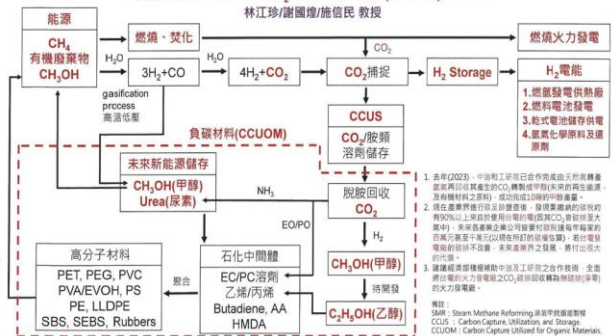
它主要的就是用水蒸氣跟焦炭、生質材料或者重油、垃圾都可以拿來當原料使用，因為這些都是有機的材料。有機材料經過這個氣化鍋爐，將所有的有機材料在高溫 800°C 到 1000°C 的範圍，與水蒸氣 (H₂O(g)) 產生裂解 (Cracking) 及重組 (Reforming) 反應，最常用的是以天然氣 (CH₄) 為原料，其反應式為 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ ，其合成氣 (Syngas, CO/H₂) 之體積含量為 1/4 CO 及 3/4 H₂，此 Syngas 含有 25% CO 及 75% H₂ 可以做為燃料，燃燒後 (CO 轉化成 CO₂，而 H₂ 轉化成 H₂O)，產生 25% CO₂ 及 75% H₂O，是一減碳排 75% 的最佳火力發電的燃

料。因為此反應有 75% 氫存在，燃燒後產生高熱，所以其設計在燃燒過後再接一回收高熱的發電廠，即所謂氣電共生發電廠，使其發電效率可以達到 65% 到 80%，這樣的組合就是美國能源部的建議，在此系統運作下，除了發電外，亦可衍生產氫能及化學品、溶劑及石化中間單體等原料。其實殼牌公司的 SBHP (Shell Blue Hydrogen Process) 也是依照這方法做出來的，此系統最後產生 25% CO₂，是以捕捉回收封存在廢棄礦坑底下。

淨零、產氫、CO₂—有機材料循環經濟

天然氣轉產氫及氫電和CO₂—有機材料循環(CCUOM)經濟體系

林江珍/謝國煌/施信民 教授



我們提出來就是要有淨零、產氫、CO₂ 跟有機材料的循環經濟，這是我們要追求的目標，首先就是把製程內的 CO₂ 回收，如焚化爐產生的 CO₂ 回收，或以天然氣 (CH₄) 為燃料加水經過氣化 (gasification) 製程產生之 Syngas 內含

H₂、CO 及 CO₂ 之氣體中的 CO₂ 捕捉下來，可用胺類溶劑捕捉下來，經過加氫氣可反應生產甲醇 (CH₃OH)，可儲存當液體燃料應用，亦可進一步開發產生乙醇 (C₂H₅OH)，進一步反應產生乙烯，是石化產品中的中間體、溶劑、高分子的單體及聚合之高分子材料，這些高分子材料產品，使用廢棄後，就成為有機材料廢棄物，再經由資源回收循環進入原料端構成 CO₂-有機材料的循環經濟體系，無碳排 (淨零)，流程經過新的 (產氫) 及現有的有機材料製程技術皆不變的情況下，調整製程及增加 CO₂ 的回收製程，就可達到永續循環的目標。

現在從技術面來看，把天然氣 (CH₄) 先氣化產生合成 Syngas (CO/CO₂/H₂)，要產氫的時候就可分離 CO₂ 回收技術去產氫，也可以繼續加水蒸氣產生 CO₂/H₂，再經回收 CO₂ 製程生產純氫氣，就是在前面的美國能源部推薦的流程圖。有用 Syngas 火力發電跟氣電共生發電，最後過程產生的 CO₂ 的量剩下四分之一，這個是很大的變化，以前我們說要減碳，就可以用天然氣 (CH₄) 先轉換成 Syngas (CO/3H₂)，這樣的方式可以減碳排 75%，這是很值得去推廣的。

我們的計劃流程圖跟美國能源局建議的流程圖不一樣的地方，就是美國能源局在產生 CO₂ 回收之後是把它封存起來，但是在我們的計劃流程圖裡面，是把 CO₂ 回收再循環利用，用胺類的溶劑可以大量的與 CO₂ 結合，就變成可以流動的液體，此液體利用增加溫度之後，就可以分離氣體 CO₂ 及胺類溶劑，CO₂ 加氫來反應轉變成甲醇，甲醇可再反應轉為乙醇，乙醇就是酒精，這裡寫「待開發」的技術專利都是林江珍教授在殼牌公司的時候所做出來的專利，當時已經過這麼多年都沒有被使用，現在已經過專利期，我們就可以使用了，所以現在林江珍教授帶領我們把甲醇跟它的催化劑去合成乙醇，然後再裂解變成乙烯，就是中油裡面的主要的石化中間體，中間體產品也是一項高分子材料的基本原料，可再合成溶劑還有高分子材料，譬如身上所

穿的布料、塑膠、橡膠等都是由高分子材料所製成，我們就不需要用原油當進料，我們可以將衣服等等廢棄物，包含農業廢棄物，這些都是生質農業的廢棄物，透過這個方式產生甲醇，就可以回收再利用，所以這是一個有經濟與高質化可以作為製程的原料，這就是一種 CO₂ 跟有機材料的循環經濟體系，而且將所有產生的 CO₂ 都利用到了，我這裡特別提到 CO₂ 可轉變成甲醇，就是今天李所長談的內容之一，現在雖然可以趕上世界的水準，但是冰島好像是最早開發，現在每年有 4000 噸的規模，但是我們台灣每年產生的 CO₂ 超過 4000 噸以上，算千萬噸級，所以我基本上認為我們需要再加大量的回收，或用胺 (NH₃) 反應轉變成尿素 (Urea)，那是一個以固體回收儲存的方式，也可以當作肥料使用，我就介紹到這邊。

問題：請問氣化的過程溫度是多少？

謝國煌教授：大約在攝氏 800~1000 度。energy 可以從這個重油去燒，產生的二氧化碳我們會回收。目前中油產氫是約 800 度。

蔡銘璋所長：我們產氫已經很久了，中油跟台塑都一樣，我們產氫就是天然氣。事實上，其中不止天然氣啦，其他就都屬於化石燃料。

我們用的比較成熟製程，當然也有其他家，他的一個化學式就是甲烷加水蒸氣，然後就變成分為兩段。第一段先重組，重組完他會變成 CO 加 CO₂ 加氫氣，但是我不要 CO，因為目前 CO 沒有用，所以我會經過第二段，叫水氣轉移，叫 water-gas-shift，就把 CO 再加水蒸氣，就全部變成 CO₂ 加氫氣。這個製程的最大的問題就是會產生二氧化碳，我們知道化學質量守恆，能量守恆，你先從 CH₄ 加水蒸氣變成 CO₂ 加氫。你就可以知道要產生 1 公斤的氫氣就會伴隨 5.5 公斤的二氧化碳，我要達到平衡理論值，但是還要考慮能耗，重組就要達八百多度 C，所以要燃燒天然氣，燒的過程大概又會產生到 3 到 5 公斤的二氧化碳，所以剛才李所長有講大概會產

生 8 到 12 公斤的二氧化碳，所以總計生產 1 公斤氫氣會產生 8 到 12 公斤二氧化碳。

因為科學必須求真，我們可以從數據針對每一個階段來比較碳排，每一段都可以算，就是一段一段總和起來看，就可以來做比較，事實上需要證實殼牌 Shell 的製程確實可行，我們也可以嘗試，對台灣而言也是一條路，台灣要借鏡國外經驗來尋找解決的方法。剛才李所長之前有提到氫載體，現在大家都是老王賣瓜說自己的好，我們去年到日本，發現日本每一家公司的發展方向都不同，有人說日本川崎重工有液氫船 1250 立方米，叫 Suiso Frontier，那他有先示範運行，但量太少。我們知道載運天然氣的一

艘船至少都十幾萬立方米，所以只有 1250 的量太少了。

另外三菱的千代田他們做的是甲基環己烷。甲基環己烷容易運輸，但是甲基環己烷的問題當然就是氫的密度，甲基環己烷是當作一個載體。你如果是專門運氫的話可以是百分之百。當然氫氣也有 lost，甲基環己烷就是跟甲苯兩個在跑來跑去。事實上他的氫氣的密度只有 6.7%，阿摩尼亞 NH₃ 有 17%，所以實際運送的氫最後只有 6.7%。但是他的好處是既有 urea 都可以運送，可以儲存，這個當然就是要比較，才知道是否有競爭力。

結語 李建畿(福和會常務理事)

本次論壇的核心就是林江珍教授將 SBHP 就是殼牌的藍氫製程。第四代在 2022 年完成，謝教授與李宗銘所長的團隊來研究來更進一步捕捉 CO₂，不但可以去做氫，還可以去製甲醇。所

以我們的 SBHP 是 Shell 的 2.0 版，這很有意義，讓我們台灣有機會成為全世界第一的淨零碳排的國家，大家互相加油。

閉幕致辭 林逸民理事長

非常感謝今天所有的參與者，特別感謝許多專家蒞臨指導。希望我們這個會能夠再延續，明年我們會再舉辦。但是今天報名的人原本有超過百人，但是實際出席好像沒這麼多，很可惜，不過，看來出席的人應該都是這個領域的專家。

今天我們沒有談到核電，如果再談下去，應該大家會更熱情，總之，能源議題和我們每個人都息息相關，因為我們都是地球村的一分子，讓我們繼續關心淨零碳排這個重要的議題。

福和會 2024 能源暨零碳論壇影片連結如下





↑左起:李建畿、蔡銘璋、連錦漳、謝國煌、林逸民、施信民、林子倫、李宗銘



↑林逸民理事長頒贈感謝狀給林子倫博士



↑林逸民理事長(左)頒贈感謝狀給李宗銘博士



↑林逸民理事長(右)頒贈感謝狀給蔡銘璋博士



↑林逸民理事長(右)頒贈感謝狀給施信民博士



←林逸民理事長(右)頒贈感謝狀給謝國煌博士