

「碳捕捉、利用及封存」社會溝通會議發言紀要

日期：111 年 11 月 28 日上午 9 時 30 分至 12 時

地點：T.Hub Taipei 內科創新育成基地

主持人：國科會副主委林敏聰、經濟部次長曾文生、環保署副署長沈志修

發言紀要(依發言序)：

台灣環境保護聯盟學術委員會召集人吳明全：CCS 研究應基於之前的成果之上，要盤點過去的研究成果，包括台電資料都是公家資料，可以很快提供給國科會去使用。因為不是所有地質都適合做碳封存，如果以後大部分的天然氣電廠碳捕捉需要運到台西盆地，那量是多少？用槽車或什麼方法運輸？交通衝擊是什麼？雖然很多東西現在是不確定的，但是有些是可以評估的，要盡早評估，評估之後要揭露，才能取得社會的信任。

國科會說到目前碳捕捉的問題之一是能效，我也覺得這確實是 CCUS 的弱點，就是它其實蠻浪費能源。當然隨著技術的進步，這些都可以改善，可是整個過程要花多少能源，這要揭露。另外一定要引入民間的力量，民間力量大部分是化工業。我記得台塑化工有說他的淨零三步驟，第三步驟，就是講他的未來原料必須用合成的，可能是跟碳、可能是跟綠氫的合成，那碳的來源有一部分也是要用碳捕捉，這部分也建議想辦法把化工業的能量可以引入進來，謝謝。

國科會副主委林敏聰：負碳工作圈在討論階段已經蒐集過去的資料作為參考，包括經濟部相關資料跟能源國家型計畫，但過去大部分資料都是侷限區域或個案調查資料，未來應該要推動比較全面性的地質調查，謝謝您這個部分意見的提供。另外技術本身其實有幾個大家比較關注的重點，比如為什麼要使用這個新技術、和以前的技術有何差別、能效水準如何等。重要的是要有足夠的科學數據並適時地揭露，在推動淨零科技時才不會造成資訊落差。

台灣碳捕存再利用協會理事長馬小康：謝謝國科會、經濟部及環保署辦理這次社會溝通會議，這是在我擔任碳捕存再利用協會理事長任內最大規模的一次，謝謝各級長官的重視。臺灣能源轉型需要時間跟經費，相對於其他能源轉型的經費，碳捕存跟氫能經費是比較不足的。例如：在 2030 年，剛剛

所講到，碳封存場址有示範的大概 460 萬噸，那費用我估算大概至少需要 115 億，我建議各部會未來針對預算編列，可能稍微針對封存場址還有 CCUS 這部分可能需要寬裕一點。

政策法規的部分，「氣候變遷法」還在立法院審議，但關於碳費、碳權的問題還沒有釐清。目前國際標準 ISO 特別針對碳封存法規已經公布了，建議各部會長官可以盡快針對 ISO 標準儘速讓專家學者去審議，加速國內法案的推動。面對國際關稅的壓力，國內外其實業者很希望投入國內外各式的場址，但希望要有碳權機制配合。我們曾經跟澳洲的會議談到國際合作，澳洲希望臺灣有些碳可以運往澳洲封存，甚至氫能可以賣到臺灣等。這邊有需要國際的合作和協議，同時還有業界也很願意來投資。這部分也請各級長官能夠重視國際合作。

未來應該儘速將示範場址及可能場址對外公佈，無論是中油或台電，他們過去可能有很多經驗，包括苗栗、台中電廠或是彰濱外海，甚至高雄外海，因為剛剛有看到幾個示範場址，日本苫小牧不過也 50 或 60 萬噸，依減碳目標來評估可能需百萬噸級的場址，場址的選擇很重要，公布之後無論學者、環保團體或產業才能針對場址投入更多心力。

地球公民基金會顧問蔡中岳：現在看起來是國科會要進行前瞻技術開發跟地質探勘，但中央地調所是在經濟部轄下，要做地質探勘，應該以地調所為主要角色。不管是國科會或經濟部做這個探勘之後，資訊應該要能讓新的減碳技術能夠共同使用。

將來做封存的時候，有沒有民營企業進場的空間？如果進場的話，他們對於整體國家資源如何去做利用？之前我在宜蘭縣氣候變遷委員會中，有跟宜蘭的傳統水泥業者對話。不是台泥、亞泥，是比較小的廠商，他們有提到被 CCUS 的顧問公司遊說過，開價非常高，然後講的好像馬上可以做成功。當然有民營單位做研究是好事，但現況下，國家有的技術跟資源顯然跟廠商遊說的狀況不同，這個情境下，國家政策對於訊息揭露及要怎麼樣輔導鋼鐵水泥業者能有著墨，針對比較需要馬上做碳封存的，或對碳封存有參與意願的業者，有沒有一些合作的空間？

長期的社會溝通很重要。未來在選址一定會遇到居民生活空間問題。稍微查了一下，CCUS 國外有一些不是很成功的案例。不成功的案例很可能如同以前光電板的假訊息一樣，會不斷被放大。相信包括我們自己 NGO 夥伴對這個封存都非常不熟悉，但是很期待的是能盡早參與相關溝通。

媽媽氣候行動聯盟理事徐光蓉：美國的 CCUS 案例，路透社報導它在 2020 年 5 月就已經停止運轉。花了 10 億美金蓋的計畫，在今年把 50% 賣給日本的合作伙伴。CCUS 基本上是賠錢的產業。在 2020 年 5 月停止前，它其實封存的成果遠不及這邊列的數字，這不是一個成功的計畫。另一個示範計畫，從 2012 年到 2015 年就開始準備，從 2016 年到 2019 年才開始封存，人家才封存 30 萬噸，那我們現在已經 2022 年底了，我們希望到 2025 年的時候可以到達 460 萬噸嗎？這樣子的期許是不是太樂觀了？

國科會副主委林敏聰：徐老師剛剛的第一個問題，我們回去會更新資訊，也歡迎徐老師提供我們更全面的更新資料；如果各位有更新的資料，都歡迎提供。2030 年達 460 萬噸確實是困難，這是包括碳捕捉利用及封存等各項負碳技術，並在各項法規配套及社會溝通充分的前提下的樂觀估計，我們會再跟經濟部討論目標基線，務實推動。

至於馬理事長以及地球公民基金會所提，選址是一個很大的議題，因為要有足夠資訊，包括地質及生態考量。例如從光電的推廣經驗來看，如果沒有各方面的評估，包括當地經濟衝擊，其實很難做出好的選址。非常謝謝提醒。

國科會本身是做前瞻技術，我們有很多地質學者在各個學校研發比較尖端的技術，或者對臺灣整個地質知識本身做一定程度瞭解，但學者做的基礎研究多為指出區域性問題，但如果要全面性的調查，就需要跟經濟部合作，並不是切開來做。還有譬如中油的探勘力量非常強，未來如果說我們有比較好的規範後，譬如說怎樣探勘、什麼條件才能探勘，這些才能廣泛把很多民間力量引導進來。以往是各部會做自己的，尖端技術出來不見得經濟部可以用，或者無法進行產業介接。淨零相關學術研究，必須連結到中下游，也需要有其他規範與配套，這跟自由型研究是不一樣的。

剛剛有講到預算，我們一開始沒有編列大預算進去，經濟部通常比較著重在規模性及有經濟效益產能部分，但國科會所以這裡面很多是實驗性或前瞻性，所以預算一開始慢慢編。我們編列預算會用在前瞻研究，等到哪些地方實際上可以大規模推廣使用，我想經濟部的預算或國家透過其他的產業本身的預算，或民間的投資也就會進來。剛剛也提到，民間一定非常重要，因為要做前面的投資，國家目前的研究單位跟實際上可以施行的，如果沒有配合國營或民間產業進來的話，沒有辦法做全面的執行。

謝謝明全理事長這些的提醒。淨零科技需要是動態檢討，但這個動態如果沒有讓社會理解的話，大家會覺得很模糊且跟不上，沒有辦法資訊透明，因為不知道我們解決了什麼問題、困難在哪裡。這是以前大型政策被外界質疑的地方，所以我想未來的確需要做好資訊揭露。

經濟部次長曾文生：碳捕捉封存有很多資訊需要跟社會做溝通，否則後面會有很多工作是無法被推動的，尤其 CCUS 一定是找大的排碳源，雖然 CCUS 本身不見得要做環評，但因為它是在環評場址裡面做 CCUS，所以幾乎就是要做環評。CCUS 這四個字母，拆出來變成幾個單元，第一個是碳捕捉，其實碳捕捉是耗能的，也有成本問題，如何捕捉效果會比較好，其實大家還在研究，怎樣能耗會低，這個很重要。再利用是一個單元，因為今天化工廠有來，他們還沒有發言，我覺得 U 這一塊值得說明。封存是一個單元，這中間還有輸送問題，用什麼樣的方法來輸送與在什麼地方生產。這些單元組合起來會成為系統。以我們臺灣的化工產業，其實既有的空間都很滿，有沒有新的空間做再利用的設備？這個我覺得要思考。

有沒有可能跨不同的場址實施？這就有輸送問題。另外，這個技術會透過價格跟成本在全世界成為跨國貿易問題。碳的封存很可能是跨國貿易問題，因為影響到生產成本，如果碳捕捉封存技術成熟，而且被國際社會認可，那碳捕捉封存成本最低的地點，很可能會變成生產高碳排物資的生產基地。不管是鋼鐵、水泥，尤其是鋼鐵前面那一段製程，就從氧化鐵變成生鐵這一段的製程，說不定就會到碳捕捉封存便宜的地點先做，再把這些送到其他地方去煉鋼，或者是做碾壓製成鋼板或變成其他我們需要用的鋼材。所以這是一個國際系統，這整個系統最後被什麼事情在中間做調度，其實成本是一個重要的事。

剛才老師有提到，某些國家的碳捕捉封存現在的成本根本就做不下去，他走的很前面，但我們所有新創的技術或產業，剛開始就結束的也時有所聞。有一種可能性是市場根本不成熟，或者是只專注單元，沒有想到系統。舉例來講，光是把二氧化碳捕捉就是一件事，所以很可能碳捕捉的設備，就要跟碳源擺在一起，那有沒有合理的場址可以做這些相關的工作？碳捕捉設備非常大，臺灣現在高碳排產業的空間都很侷限，都有相關問題需要克服，所以需要思考怎樣可以達到，就是如果它真可以做，那擺在系統裡面可能會是長怎樣？現在講的都是觀念，但是具體化、有圖像以及將設備組裝後的模樣，我們正試著在做這些資料的蒐集。

最後，地質的部分，今天有地質的老師出席，可以進行說明，碳捕捉封存的地質探勘跟地熱的地質探勘是否相同？因為領域不一樣，技術突破也是重要問題，就是以地熱來講，淺層跟深層技術突破完全是另一個想像。唯一不變的是，台灣的鑽井工作一定要趕快進步，民間我們會引導，已經有相關政策。另外，我覺得國營事業會試著進行相關事項的佈局，無論封存或地熱，鑽井都是核心技術，核心技術先做養成跟規劃，我們可以做安排與處理。但最後都有技術突破跟產生的價格可能下降，就會吸引不同的投資。

所以就如剛一開始吳理事長講的，它是動態比較的狀況。動態是在各種技術突破產生的成本變化比較，其實是一個跨產業比較，甚至剛剛已經舉了具體的例子，它會衍生國際的比較價格，而變成生產的分工開始不同。所以這是一個大問題，例如：石化產業或煉製碳油的產業，將大量的資源往這方向投。人類社會就是這樣，如果有很多資源大量投往特定方向，它取得突破的機會就比較大，而越早突破就可能造成我們社會選擇上的路徑依賴。這是整體的樣貌，那經濟部一定要做初步工作，就是將這些單元的基本工作彙整出來給大家做參考跟討論，擺在系統裡面大家有參數就好比較。我想先做這個說明，大家後段可能會比較能夠聚焦。

臺灣大學地質科學系宋聖榮：地熱跟碳封存部分，基本上地質探勘原理差不多，就地質、地化、地球物理方式，無非都要去找一個比較封閉的系統。地熱在這個封閉系統裡面要有溫度，可是 CCUS 不希望有溫度，這是兩個不一樣的地方。可是現在國際間談的是 Geothermal 加 CCUS，現在很多的 CO₂ 再利用，都在進行 Oil Enhanced Production，就是所謂增進石油生產。可是

增進石油生產以後，它可以儲存在地底下，如果地底下有一個熱的系統、一定溫度的系統，就會變成高壓的 CO₂，高壓 CO₂ 就可以抽上來做發電。所以休士頓有開始開發 CO₂ 發電機，它的整個大小，大概等同於目前燃煤或地熱系統的發電機的三分之一大小，甚至是四分之一的大小。這是目前很多新創事業正在開發的部分。也就是說，我們從地質的觀點來看，這兩者是可以結合在一起，可以同時進行封存，也可以同時進行另外的儲能再利用，這是目前整個地質方面的趨勢。

綠色和平基金會研究員鄭楚忻：首先想先問一個問題，簡報裡面有看到推估 460 萬噸的捕捉數量，它前面有個前提是所謂相關配套落實，請問可否說明這個前提假設包含哪些項目的配套，以及是哪些部會負責解決其中的問題？

再來呼應前輩提到，希望政府可以清楚揭露它的碳排放，因為現在有很多碳捕捉案例，可能宣稱捕捉量很高，但如果我們去詳細研究整個生命週期的排放，可能排放還是大於捕捉。譬如殼牌在加拿大就有這樣的案例，雖然說每年捕捉 480 萬噸，但整個排放的量是 1200 多萬噸，那我們不希望未來在所謂相關計畫裡面只看到捕捉的量，而沒有看到生命週期排放的量。

再來是未來投資環境如何建立？因為綠色和平一直很關注臺灣的碳定價，是不是所謂要捕捉多少碳會呼應到什麼樣的碳價？現在有提到說，每捕捉一噸碳的價格是 50 到 70 美金，這會不會呼應到臺灣碳價的機制？CCU 上面，目前臺灣產出來的這些 CCU 的產物是沒有應用市場的，未來產業鏈要怎麼建立以及配套是什麼？競爭力又如何？這也是我們想要知道的事情。

最後，未來設計碳捕捉相關的政策跟技術規劃，都要小心這件事不應該是變成石化業減低它碳排或減碳責任的藉口。因為國際上有很多這樣漂綠的狀況，其實很多民間投資或者是國家挹注資源拿全民的納稅錢來補助這些計畫，到頭來又變成延長油田或者石化業的計畫，所產生出來的騙局。不希望臺灣也有這樣的狀況發生。

亞泥股份有限公司首席副廠長陳志賢：剛剛大家談到碳捕捉之後的再利用很困難，我們來自水泥業，水泥最重要的技術就是燒窯，那以我們水泥業來講，水泥製程的碳排有六成就是石灰岩的碳酸鈣，加熱以後變成 CaO 加上 CO₂。那這個占六成，我們水泥業的碳排又占工業部門的 7%，而此反應就

占約 4%左右，那不同行業應該也有類似的碳排放來源。今天要講的是說，其實大家在講碳捕捉技術、再利用或封存，其實它非常困難，因此建議一個很有潛力的技術方向。就是我們可以把這個反應顛倒過來，大家都會很簡單，就是把 CaO，再去跟煙囪的 CO₂ 結合，變回碳酸鈣。來自礦石的 CO₂，最後也使它回去礦石中，在我們這個行業裡面，例如：煉鋼廠的爐渣，有很高含量的 CaO，垃圾焚化廠也有很高的 CaO，甚至水泥業的下游廠商，就是預拌混凝土，我們把水泥或是煉鋼廠把爐石或飛灰送給預拌混凝土進行混凝土生產，那混凝土其實在某個年限後，它廢棄打除之後，裡面都還是有很高含量的 CaO，這些東西其實概念上叫做循環經濟物料或廢棄物。假設我們今天可以把循環經濟的物料當作吸收 CO₂ 的原料，最後合成出來的產品，其實就固碳在裡面，那這個碳其實並不需要再提出來去做耗費能源的步驟。這些廢棄物不管是鋼渣或焚化爐的廢棄物，或是廢棄的混凝土，在吸收 CO₂ 後，它的性狀就很適合去做預拌混凝土的砂石使用，當然這不簡單，裡面還是有技術關鍵在其中，如果可以透過這樣的技術，就可以大幅度地增加循環經濟的量能，也可以降低 CO₂ 的排放，而再利用也能夠水到渠成。所以在此建議，因為很多行業都有類似此類製程的排放，就是 CaCO₃ 變成 CaO + CO₂，把它逆反應回來，所以這邊建議我們再去想一下 CCUS 的方向，可以把這個納入可行的方向。

綠色公民行動聯盟研究員柯乾庸：我們認為國內高碳排產業要自願提出一些更積極地或是被強制設定積極提出 2030 或 2040 的階段性目標，而不是把未來的減碳都壓寶在還不是很確定的 CCUS 技術上。再來也想請問，未來國家會不會針對石化、鋼鐵或水泥等高碳排產業設定一明確的減產目標？就是要對減產做限額，會不會有這樣的限制？或者願不願意做所謂的針對單位產品的碳排量上限的限制？有沒有這樣的規劃，會不會做這樣的事情？

再來是針對 CCUS 目前的利用，在工業部門會有多少減碳的成效。目前簡報中的 2030 年會有 460 萬的成效，那這個成效裡面有多少是電力的、多少是工業的？有沒有辦法作評估或說明？再來是，到 2030 或 2040，多少工業願意應用 CCUS 的技術？相信許多業界先進，有沒有哪些公司已經有所規劃，有沒有具體的進程？再來是現有工廠的製程，如果要增設 CCUS 的設備，畢竟還是有耗能的需求，到底對整體電力需求未來的推升會有怎樣的壓力？最後，剛剛幾位先進有提到，選址上過去有很多深地層處置的場址，

在設置過程中都會遇到居民反彈，那如何消弭反彈，有無具體措施？

荒野保護協會專員黃嘉瑩：針對 CCUS 技術，看起來經費非常高，目前簡報規劃其實並沒有看到經費的範圍是多少，和來源是哪裡。也很好奇這麼艱難的技術，似乎會花不少錢，來源會從哪邊？會不會從我們收的碳費來？占的比例是多少？會不會排擠其他做氣候治理的經費？

CCUS 技術在一般大眾眼裡看起來會很像垃圾處理。垃圾處理需要耗費費用和場址，那 CCUS 也是如此，將大家不要的二氧化碳封存在一個地方。這個很多前輩都提到，我們二氧化碳的封存技術對於社區會有怎樣的影響，看起來不會帶來榮景，那對環境會有怎樣的傷害？這可能沒辦法透過單純的說明會或回饋金去讓大家接受，會需要溝通，這個溝通時間點會建議在示範場址前就要做好溝通，以免流言產出，會花更多社會成本。

台灣氣候行動網絡研究中心理事長趙家緯：針對 CCUS 的發展方向和設立目標做提問。曾次長提到把 CCUS 當作是其他的低碳解方窮盡之後再進行的方式，那問題是這部分到底有沒有辦法反應在目前的規劃中？因為按照國際的淨零路徑，CCUS 在電力部門中並不是必要的，在 IPCC 的情境中，占比應該是 5% 以下。但目前我們臺灣淨零路徑是 20% 到 27%。對於工業部門，可能 CCUS 有其必要性，但問題是我們在 2050 淨零路徑沒有談到工業部門的 CCUS 占比是多少，所以這就會引導資源投注方向上的不確定，特別是國際上 CCUS 界一開始討論所謂的 CCUS 的應用就說明，CCUS 應用在燃煤 CCS 其實是不建議應用的方式，因為其可以輕易被其他更好的方法取代。所以臺灣在 CCS 的發展方向上，是否可以先確認我們不會去推動燃煤 CCUS 這件事？因為看起來我們講的 20% 到 27%，也應該是以燃氣 CCS 為主，所以我認為這個發展方向，最好是這次關鍵戰略就可以確定，這樣才可以把未來的投資方向做更好的資源引導，不然會變成台電花了很多經費在做，反而排擠其他工業更需要的部分。

在目標的部分建議需多做進一步的說明。特別是 2050 年的 4000 萬噸，簡報裡面的描述是混雜著碳匯，自然碳匯的部分是不是重複計算？另外，4 千萬噸到底有多少部分是碳移除技術的貢獻，還有多少是工業跟電廠 CCUS 的貢獻？這都需要做進一步的釐清，特別是今天簡報只有談到碳移除的 CCUS 應用，包含直接空氣捕捉，或是生質能 CCUS，但這個部分跟工業部

門要採用的 CCUS 部分，應該是會運用不一樣的方式處理，但今天簡報針對這一塊並沒有釐清清楚，所以可能後續要釐清。

國科會林副主委敏聰：有些不是國科會可以回答部分，再請經濟部跟環保署回應。我想我們面對的是以前沒有的問題，所以法規思考點會不一樣，就跟我們做光電的時候，我們有很現實的再生能源需求，可是衝擊到的不只是生態，還包括地方的衝擊。所以我們有環境檢核，這也是從這個過程中嘗試去提出，如何在這個過程中盡快實施，但又同時考量到環境的部分。至於 CCUS 或 CCS 的法規，可能有地質上的其他考量，跟原來的廢棄物法規不一樣，我再請環保署這邊做主要方向的理解。

剛剛廠長提到新技術，我們很難在這做詳細討論，也許我們需要針對新技術和新可能有一個專門的討論。不應只是邀請科學家，還需要邀請相關利害關係人，但新技術也可能帶來新的衝擊，我們希望一開始就列出。在討論技術的時候，某些地方像是社會衝擊的部分，都需要列入我們的指標，除非這個技術已經在國外被驗證或資訊揭露，是一個對環境本身或專家比較承認的技術。特別是前瞻技術，通常會面對這個問題，我們都是看正面，但是要小心副作用。國科會在推前瞻技術的時候，也會提醒整個研究學者跟在第一線做落地時，要想會不會有其他沒想像到的部分，特別是科學技術以外的問題。

另外，大家共同有提出的問題，就是擔心不應該把 CCUS 當作減碳的解方。這個本就不應該如此，我們可以看到其他國家，或者從其他數據來看，CCUS 的比例很低，我們並不是使用 CCUS 就可以達到 2050 淨零。國發會的策略中，最大化再生能源和其他減碳、節能、循環經濟，而且產業結構要進來變成很重要的主力，這個 CCUS 最後才能在刀口上作為臨門一腳去達到淨零減碳。所以概念就是國家本身運作最後需要這麼一點排碳的部分，我們透過 CCUS 或其他負碳技術，能夠把最後剩餘的碳排降到最低，這個就是我們整體的策略

水泥業的部分，有很多固化部分我們不細談。至於剛剛問到 460 萬噸，應該只是針對臺灣目前碳排大戶做初步預算。大家問要做到什麼樣的地步，包含森林、海洋及土壤碳匯部分，我們會做進一步估算，這只是我們希望達到的大概目標。這目標也許會因為其他減碳技術更好或循環經濟本身的技

術更好，而不需要那麼多 CCUS。CCUS 的確增進很多社會衝擊跟疑慮，所以我們要步步為營，所以我非常同意剛剛有人提出來的，必需要謹慎說明這數字到底要放在哪裡，這部分我們會進一步進行比較可行性的技術評估，很可能提出一個比較有資訊與可支持的數據。

預算方面，前瞻技術的預算來源可以是科技預算，也有透過公建預算或者其他經濟部比較中階或下游的科技預算，也包括經濟部補助和產業政策的預算。因為現在都在前期階段，所以沒有編列很多，還是比較著重在示範跟前瞻技術開發。

環保署副署長沈志修：新的技術研發很重要，CCS 臺灣沒有這樣的規範，我們必須瞭解走在前面的歐盟，裡面有不同國家持不同觀念，法國很支持，德國就不見得支持這樣的概念。但我們必需要以臺灣為主，我們是一個能源自主性不高的國家，我們必須面對這個議題，CCUS 對我們來講就顯得很重要，但現在沒有法規的前提下，剛剛馬老師也提到 ISO 標準，我們當然會進行參考，歐盟的標準、指引或規範，世界國家走在前面的東西都是我們要參考的方向。所以我們會就碳封存的地點、適宜性、封存方法、環境衝擊、可行性評估及環境監測，這都是將來必需要去面對的，會把它法制化，所以這個部分也是在法制化過程中，聽各界意見。各位的提醒對我們很重要，絕對不是從零開始，過去的資料絕對都是我們參考的基礎。

資源循環的部分當然重要，麥克阿瑟基金會說「世界排碳 45%是來自跟生產、製造過程有相關的」，如果從源頭就可以導入循環概念，減少自然資源開採本身就是減碳。那我們怎麼讓大家在過程中就使用廢棄物，像現在有多少廢棄物是來自於我們事業生產或生活使用過程中，但是現在被水泥界當成是燃料或原料，這是很好的結合，也勢在必行。所以這部分也跟大家做一個報告。

另外，460 萬噸目標的部分，當然前提就是這些規範我們一定要建置起來。還有就是 4 千萬噸的部分，當然包括新的技術可能會去推動海洋碳匯與土壤碳匯等都會含蓋在其中。但既有的森林碳匯 2,100 噸是排除的，不是加在這裡面，但是新增的部分會將它納入。

經濟部次長曾文生：我們利用可以捕碳的材料或任何東西來做，其實都應該做。但是比較特別的狀況是，因為處理減碳的工作，擺在現在資本社會運轉，並沒有單一個解方可以解決所有問題，有的話早就處理了。技術都會成長到一定規模後，開始失去效用或效用為負，或者是效用是來自一開始付出的代價。舉個例子，鋼鐵業的轉爐石，它其實是因為煤焦，然後丟進去那個做煉鋼的過程，而產生的。它在生產過程有大量碳排，中鋼設想的應該是收回來，做二氧化碳的固碳，可以作為固碳的工具。但因為自然界有它的定律，例如：這些可以吸二氧化碳的東西在大自然中一定很快就變成沒有辦法，因為大自然中就有很多二氧化碳，除非你有增加能量，那個叫光合作用，透過太陽光。所以這是科學題，我一直跟同仁討論，我們花時間把這些科學或科普的東西加進來，因為商業活動會有中間一段，它的頭跟尾不見得完全被涵蓋。如果算中間一段單元的時候，可能排碳為負，但是整個系統串起來就不見得是如此。所以才會跟大家報告說，現在在看科技的發展跟選擇，我們可能要把那些單元技術成熟度，可能突破的狀況會到哪裡，最後擺進系統裡面想，然後設想說它如果跟全世界比較，這一個技術會不會存活，而不是我們要不要選擇它。這是一個核心問題。據我所知，水泥業有很多將二氧化碳重新收回去加強水泥強度的技術，這值得支持，因為需要找到一些新的替代建材，我覺得去支持這樣的工作有其必要性。

站在我的立場，我覺得臺灣現在做能源轉換，需要盡量用潔淨的能源。現在潔淨能源不管是離岸風電或光電，換算成電價，其實擺在全世界都有一定程度的競爭力。尤其以現在化石燃料價格影響電費的狀況，就會知道再生能源發電的成本有競爭力，剩下的是調節，就是台電公司整個電網要怎麼去吸納如此龐大的再生能源，這會是很大的工程，也是電網要支出很大費用的重要原因。目前全世界的能源市場價格較高，而再生能源真的很有競爭力，所以現在需要趕快將這事情做起來。尤其再生能源需要配套元素，我們也努力正在做，因為不管是風電轉動發電所需要的永磁材料或稀土元素，這些都是我們要去佈局的工作。所以今天的主題是碳捕捉、再利用跟封存的時候，我們已經做許多討論，但是要做整體減碳，工作仍很多，不會只有 CCUS。

CCUS 最後還是需要面對全球的比較利益問題，就是在哪個地方做成本很多。而臺灣要研究，若其他地方做了這些工作，造成臺灣既有的生產系統出現很大的競爭力流失，因此需要應對措施，維護整個系統。另外，關於整

個碳封存會不會影響特定社區，這個範圍我們要把資訊做揭露，而且跟整個地層角度有關，說不定臺灣封存適合的地方根本不在陸地上。例如台西盆地，也期望藉海水以及水裡的礦物質將二氧化碳做轉換，這其實是有設想的。這是一個重要的方向，所以比較合理的方式可能會找跟人居稍微有段距離的地方進行實施。

剛才提到 27%，裡面含氫、含碳捕捉的天然氣，我們講的主要是天然氣，不是燃煤。理由很簡單，如果是燃煤的話，不管怎樣的技術大概一度電超過 0.7 公斤是跑不掉的，所以說如果要做這些工作，燃燒的這一些機組會在實驗室，要運用於平衡電網，有些發電機可以用來做平衡電網的一些工具，就是那些轉動的慣量，我們會繼續持續運用。但是要提供電能，可能最合理的還是天然氣機組。天然氣機組未來可能還要混氫，就是使其每度電的碳排更低。用數學來講，40.2 百萬噸換算成天然氣碳排，大概約為 1 千億度，大概是 20% 左右的量。如果它能效更好，我們希望加氫進去，可以達到 25%，其實數學上就是如此。我們也就是一天到晚都在解這個聯立方程式，跟各位做報告，我們會盡快將這些元件的基礎條件、可能的參數提出來，擺在整個系統裡面怎麼做選擇會比較清楚。

環境權保障基金會研究員徐孟平：有兩點想要釐清。目前潛力場址分成陸域跟海域，這兩個地方都有許多可能的場址，如果未來要執行封存計畫，我們認為應該要就整體看碳封存政策進行政策環評。包括其效能、耗水與增量的溫室氣體。因為已經有一些國際報告指出所謂的碳捕捉如果應用於電廠的話，耗水量及空氣汙染的排放量都會增加，尤其水資源在臺灣也是值得關注的議題。

另外，苦小牧試驗灌注場的案例，不好意思我比較沒有詳細的報告，不過如果從衛星地圖上觀察，灌注場的用地面積雖然只有 0.5 公頃，但是周邊的設施，包含倉庫、煉油廠、發電廠等，整個園區其實是超過 100 公頃。如果要以此規模進行碳封存試驗的話，臺灣未來要進行這個計畫，場址應該要進行個案環評，而且要進到二階評估。

德國封存示範計畫訂有相關法規，而這個示範封存設施許可也需要結合環評來履行批准的程序。臺灣在 3 月的淨零排放路徑報告中就碳封存潛力場址，只有寫到先導入沙盒計畫的試行，想請問主管機關就這個試驗場址

的部分，在法規可能會進行什麼樣的處理？是不是會進行個案環評？風險評估的部分，過去碳封存在許多地方是針對注入二氧化碳跟地震的關係做討論。但現在封存技術面臨很多考驗，像是近年來加拿大有個封存計畫場址，將二氧化碳注入鹽水層的時候就發現有鹽結晶的問題，會影響儀器的操作及腐蝕。而未來可能因為技術進步，還會陸續有新的問題出現，希望相關單位可以做全面技術風險的盤點跟揭露。

公正轉型部分，剛剛提到海域的潛力場址，大概是桃竹外海、台西盆地跟雲嘉外海三處。請問這三處與現在離岸風電區未來如何進行競合？現在許多討論都是就 CCS 的設置前跟營運中，還有長期監測做評估。除了前述幾個項目外，我們認為應該要把閉場計畫納入評估，因為封存總是會停止，因此轉型也會需要做考慮，謝謝。

國際特赦組織臺灣分會研究員呂伊庭：大家應該明顯知道國際上要做 CCUS，其實是因為在積極減碳的方法已經窮盡，以及時間壓力下，才會選用這個方法，所以等於說 CCUS 的方法其實是過渡時期的辦法，因此恐怕會需要明訂一個它除去的時間。或許大家可把它當做一個很明確的轉型的情境安排。因為國際確實有倡議希望燃煤電廠可以做碳捕捉，或是希望鼓勵產業實施 CCUS，而背後牽涉的問題不一樣，或許可以當作接下來公正轉型的時程跟動態情境的評估。所以，像剛剛趙理事長提到臺灣假設做燃煤的話，很多人會擔心燃煤電廠做 CCUS，也會擠壓到它後來要轉氫或使用更積極的減碳的行為。所以想問，有沒有轉型時程？因為動態平衡跟情境其實是很重要的事情。

國際上做 CCUS 很多國家都會做大量土地、水跟人口搬遷的問題。所以想瞭解，在避免土地跟人權侵害的機制上，有無討論機制？但之前臺灣會做環評，或光電做環境檢核，但我相信 CCUS 的情境可能不一樣，可能會涉及更多自然跟生物多樣性的問題，它可能未必適用過去的討論溝通機制。這個機制我想我們現在就要思考，再來是後續管理機制，不管是藍黃綠碳的管理機制，很多國家強調管理機制得當的話，還是可以促進生物多樣性，但臺灣的管理機制好像還沒有太多討論。那是會以自然為本，還是會如何跟地方協商？最後，CCUS 會如何影響碳定價，還有碳權認定。因為畢竟它的商業模式有可能回推回來它原本在製造時候的狀況。

臺灣大學化學系暨研究所特聘教授陳浩銘：據我所知，460 萬的數字應該是 2019 從 2.6 億噸的碳排算出來的結果。這個結果裡頭剛剛有提到幾個問題，就是關於它的假設性問題，實際上是來自於我們有很多的流程需要被電氣化。那電氣化的過程，就衍生出那些電從何而來。國際上有很多討論是將二氧化碳轉換成再利用的過程，它是一個科學問題，而這個科學問題就需要能量，其實都衍生出能源的來源。臺灣 2021 年的數據應該是每度電 2.5 公斤，實際上目前國際做過很多評估，如果我們想不管做任何程序，無論是封存甚至是做再利用，合理的數字應該會落在每度的期望值落在 0.3 跟 0.4 公斤。那就面臨到我們計算的時候，不管封存或再利用，整個流程算下去的時候就衍生出數據的來源。如果是以現在的標準 0.5 公斤，很多流程都是不可行的。所以我第一個問題，政府在這部分有沒有配套或法規上的想法？

另一個問題，我本身有做再利用，我們也會去接觸公司，例如：半導體廠，會覺得我是用電大戶，但不是碳排大戶，就像剛剛很多人提到水泥與鋼鐵業。可是實際上它是因為製造過程所衍生出的問題，它不是原罪；如果你是用電大戶，碳排就跟你有很大關係。如果把臺灣的用電大戶乘上碳排量，將會發現碳排量非常大，所以要讓民間企業，尤其是半導體業願意投入，否則碳排數據提出後，它會覺得與他無關。假設一噸二氧化碳課 60 塊歐元的時候，它用買的就好，根本不需要去做減碳投資，這是他們很容易想像的事情。所以最簡單的，對於在座各位，一期電費 1 千度進行計算，就是排 0.5 噸，你去算碳排，其實每個月都要繳很多電費。所以這個事情跟大家都有關，而不是只對幾家公司有關，這是我的問題跟建議。

行政院青年資源委員會委員林孟慧：11 月中青年署有辦全國青諮的交流會，會有跟全台的諮詢委員談淨零路徑主題。大家其實很關心青年就業輔導，包括這個簡報後面有提到公正轉型，因此建議接下來盤點相關產業的工作機會時，可以架接各縣市青年輔導業務，讓更多青年瞭解未來潛在工作機會。再來是人才培育，因為 CCUS 技術成分很高，需要長時間地培育，因此人才培育或許要盡早開始，雖然 2030 只是示範，2050 才是實踐落實，但這個過程裡面教育是需要長期投資的項目，需要盡快開始。

在與青年伙伴討論的過程中，發現大家對於淨零有一點陌生，CCUS 可能不在大家的想像之中。但我們可以知道 2030 跟 2050 對我們這群青年是

相當重要的一個關鍵，我們未來會如何，其實在大家都缺乏想像時，或許在 CCUS 的公民參與機制，包括社會溝通與青年溝通，都需要盡早開始。

回應剛才綠色和平提到高碳排產業在 CCUS 的發展，最後落地的時候成本負擔到底會怎麼分配？國家跟產業之間分配的比例，也是想要瞭解的重點。

成功大學化學工程系講座教授張嘉修：前面有位先進提到說，國家能源計畫的時候已經開始做 CCUS，跟現在有何差別。事實上，時空背景有很大不同，在做 NEP 的時代，並沒有那麼大的減碳壓力，現在是 2050 淨零碳排，所以基本上時空背景不一樣。當初在執行時，大部分是針對中鋼、台塑、中油與台電等大廠，進行一些 Pilot Plan 的測試。現在金管會說資金 50 億以上的企業都要做碳盤查，所以民間需求很大，所以現在不只要考慮大型碳排業者，也需考量中小型業者的需求。技術方面具有差異，應用於台電、中油、小型化工廠或排碳中小戶的技術是不同的，所以新的計畫中也要思考如何照顧中小排碳族群。

CCU 的應用方面，剛剛有先進提到好像沒什麼再利用的用途。事實上用途很大，臺灣很多石化工業都需要運用二氧化碳，像長春石化、南亞還有東原化學都用二氧化碳製作有價值的化學品。只是目前需要考慮開發一些生命週期比較長的再利用途徑，因為化學品用掉又會排碳。生命週期比較長的再利用，譬如建材，建材可以長期使用且不會排碳，或生物碳等其他類似的東西。

建議碳捕捉跟再利用要一併考量。剛剛次長提到 CCUS 都沒有考慮到二氧化碳運輸的問題，所以很多業者告訴我說他們不想做捕捉，是因為做完之後碳不知道要運往何處，不知道怎麼區域化。所以現地的再利用是很重要的因素，譬如剛剛水泥業者就是很好的案例，可以現地利用。另外，長春石化如果碳排放，可以現地使用，但如果是小型化工廠就沒辦法再利用 CO₂，需要想其他路徑。舉例，我最近遇到的案例是把 CO₂ 用簡易吸附法變成碳酸鹽類，可以用在廢水處理，那就是一個現地再利用的途徑。所以碳捕捉跟再利用要一併考量。

中央大學碳封存及地熱研究中心教授林殿順：其實碳封存是個成熟的技術，譬如說幾十年前就有人利用 CO₂ 灌到地底下做石油生產。我們臺灣有一個天然氣的儲氣窖，叫做鐵砧山，那是灌天然氣到地底下，類似就是把天然氣轉換成 CO₂ 灌到地底下，所以這個灌注的技術其實是成熟的技術，只是需要找到一個安全的場址。而碳封存跟石油探勘不一樣，封存是將 CO₂ 儲存於地下 8 百到 4 千公尺左右的深度，存到砂岩的孔隙當中，那上面有蓋岩層，臺灣其實有很多適合的場址可以做碳封存的處置。根據前期研究，臺灣大概有 480 億噸的封存空間，目前大概需要 10 億噸，所以有足夠的空間。只是未來要找到 40 個場址，就需要更詳細的調查，這是未來要努力研究的方向。

再來也建議政府需要補助未來有意願開發碳封存場址，不管是捕捉或封存場址的企業。譬如我們單位有幫私人企業做封存場，考量目前法規不明確，目前規劃 8 年可以完成，稍微延期一點。所以如果政府法規更加明確並有資助的話，尤其是補助私人企業。

工研院副所長萬皓鵬：以背景來看，我們無論是能源或封存路徑，都是一個組合式的減碳路徑，很難用單一技術來解決此類問題。所以能源在 2050 可以看到再生能源有 60%到 70%，但是氫能也有 9%到 12%，封存是 20%到 27%，其實這是一個組合。從這個看到減碳，其實政府訂的以外，各個企業也按照它的淨零路徑有訂出來，剛剛也有先進問到，譬如水泥業，我們看到一些領導的企業，他本身對於淨零減排從原料端開始替換，就回應到剛剛說的資源循環以及無機物料的循環，可以當作綠色水泥的原料。做完後，還是發現封存仍是它必須選擇的項目，而工研院有蠻多新的技術可以提供業界。在電力排放的時候都必須要做減碳，所以封存應該是必需要做的事情，這是我們的看法。

在封存的領域，社會溝通很重要。所以工研院也配合政府，譬如綠能，我們在台南沙崙做示範場域，能夠跟公民和民眾做溝通。而封存部分，也建議是不是也要有這樣的示範場域，像日本苫小牧有很好的公民溝通，那我們也知道台電在台中電廠本身也有減碳的示範園區，這些地方都可以讓公民瞭解封存的安全性和以後的監測。當然，最後整個技術的研發會持續進行，2050 的淨零我們也知道還有三分之一的技術需要研發，這部分也希望政府

持續支持。

台經院副院長左峻德：今天的氣溫很熱，冬天當作夏天來看。玉山 9 到 11 月的均溫是 8.03，比歷史以來的均溫 6.08 度高了 2 度。這 2 度也呼應到巴黎協議 1.5 度的控制。我想沒有人會挑戰國發會的減排路徑。但 COP27 埃及開會大家提到 2030 年減排 45%，這個我覺得就是比較大的挑戰。我們現在有 6 座燃煤電廠、12 座燃氣電廠，那麼能源部門的排放占 7 成，像鋼鐵、石化與水泥占 1 成 3，而運輸部門與住商就很少。我們要符合國際規範減排 45%，我們是能源進口國，核電 2050 以後就不再使用，但目前核電占 10%、燃煤占 44%以及燃氣 37%，哪個可以省掉？我覺得沒有一個可以省掉，因為經濟成長還要繼續往前衝，所以我們要認真看待。2019 年我們排放是 10.77，到了 2021 是每個人 11.38，不減反增，在此情況下，我們勢必要有效率去減碳。

這個電廠既然不可少，我們是不是就五大排放源優先進行處理？將來 2030 才能跟國際有所交代。這件事要認真看待，一直被國際上說我們有台積電護國神山，但也被人家當作烏賊排放的話，也不大好聽。因此 CCUS，重點在封存上，日本苦小牧做了八年的示範，封存 30 萬噸，花費 3 億美金。這個美國 EPA 也有這個法令規定要觀測，這一定要國家做，中小企業沒辦法做這個事情，所以臺灣在封存方面，應該要趕快訂定相關規範，而國家需要用力推動並與產業界配合。

長春石油化學股份有限公司環安衛部經理趙煥章：今天的主題碳捕捉、再利用及封存，在我們的認知中已經是成熟技術，也已經實際在應用。所以剩下的議題純粹就如同次長所說，如何將這些系統整合起來。我們的理解是說，這些技術目前全世界都在努力精進，精進中的技術就會有所比較，如果我們成本偏高，如同次長擔心的情況，我們這個產業還能不能留在臺灣？因為國家的立場還是希望產業一部分可以留在臺灣，如果成本不能競爭，我們可能就只能關廠，這個部分跟在座的各位專家做溝通。那我的認知就是想說，CO₂ 感覺是一個議題，可是如果將它當資源整合來看，未來碳循環可能是我們國家可以貢獻國際的部分。我們持續都有精進研究這方面的議題，那公司裡面特別有提到，因為碳捕捉要如何做到低成本與低排放，我們建議政府機關可以考量另一個技術叫做「純氧燃燒」。因為空氣裡面有 80% 的氮氣，氧

氣占 20%，燃燒過程需要氧氣，可是 80% 是其他物質，所以這些物質會造成我們碳捕捉困難。如果一開始就用純氧，燃燒出來就只有 CO₂，你的吸收也好、捕捉都會非常單純。這部分我們也在研究中。

再利用的困難是 CO₂ 非常安定，必需要有氫氣來當還原劑，但是這個綠氫未來怎麼輸入，對於臺灣目前是有困難。在氫能源的輸入，也需要政府作配套。若臺灣地區無法產氫，如同我們現在的構想，CO₂ 在臺灣生產，我們會送去可以產綠氫的地方，進行 CO₂ 的資源再利用，CO₂ 的運輸目前很多國家都在規劃中，未來或許我們必須要把臺灣的 CO₂ 運到國外去。

國研院研究員兼組長郭嘉真：延續中央大學林殿順老師的分享，有關 CCUS，我們知道目前的解方是岩盤地層構造會是一個候選選項之一，位於濱海的底層。我們在場址選擇的時候，是要把 CO₂ 掩埋到深地層。在這個場址裡面，CO₂ 在底下的遷徙行為是需要一些監控和軟體的方法來做分析，才有辦法做到後面安全場址的選定以及風險的控管。但是在執行這樣的數學演算法的分析前，我們必須要把地層構造完整呈現出來。而最近國網中心團隊有找到紐西蘭奧克蘭海峽的 3D 的資料，透過我們演算法將它呈現出來，如此才能做到所謂的有效揭露，因為必需要將這些資料具體的數據化與圖像化，這就是我們貢獻這部分的一些基礎能量。除了涉及技術方法跟分析外，所謂資料治理也很重要。因為很多資料要公開，很多學者有點子和優秀的企業也可以進來研發新的技術。另一部分，我們也需要做適度的資料保密，所以整體資料治理的思維，事實上能夠在這個計畫裡面去展開，我覺得是非常重要的方向。

台灣環境保護聯盟學術委員會召集人吳明全：兩點建議，一點是技術，一點是公民參與。技術方面，我認同長春趙經理的建議，一定要從源頭開始處理。因為 CO₂ 是很安定的東西，如果要進行再利用，不如在一開始的時候不要直接燒完，用熱裂解的方法。熱裂解的方法可以有中間產物，譬如說中研院的去碳燃氫技術，將甲烷裂解為氫及固態碳，這也是用熱裂解的方法。但我們要精算天然氣熱裂解要耗多少能源，氫氣燃質又比天然氣更低，這中間要細算，中間的耗能跟直接燃燒天然氣的 CCS 之後的耗能，哪個比較小？我覺得這個需要精算。熱裂解的概念也跟循環經濟有關，未來的循環經濟要把

垃圾變燃料，可能適用熱裂解的方法。不要直接燒成 CO₂，因為它已經是很安定的東西，之後還要再合成你的原料，其實不划算。政府應該要花預算，可能需要有化工相關專長的專家必需要進來，若中研院已經有做的話，要將中研院納進來。

第二是民間參與。環盟在 2018 年拜訪過台積電，那時候台積電已經是蟬聯五年以上全國第一用電大戶，那時候一家公司一年用掉全臺灣的 4 到 5%，據了解目前已經到 5%到 6%。當時用電這麼大，又乘以排碳係數，我們拜訪時就說你已經是全球第七大的排碳大戶，跟他們自詡的低碳產業不一樣。所以台積電在 2020 年加入 RE100，為第一家晶圓業加入 RE100，所以若能夠將這樣的資訊揭露，其實會有很多民間的企業投入，因為它是利益的參與者，它一定會有動力想要去改變這些現象。它就會想辦法用綠電，但如果綠電要到 2050，一定來不及，因為蘋果 2030 就要求碳中和，它又不想花錢購買碳權的話，建議台電或者經濟部可以協助天然氣的電廠優先做 CCS，與台積電合作，他們有相當多的資本，而且有意願希望能參與減碳。