

# 115 年度 第二屆 CCUS 創意教案徵選

單元名稱	文明的代價與技術的救贖 —— 從工業革命到 2050 淨零路徑	適用年級	高中一年級
	單元主題	單元一：大加速時代的遺產（歷史脈絡篇） 單元二：科技的盾牌：CCUS 技術解析（原理應用篇） 單元三：未來的生存抉擇（思辨與倫理篇）	教學時間
教材來源			1. 教師自編學習單及簡報 2. 網路資源(點擊即連結)  (1) <a href="#">《環保資訊》第 87 期，〈全球暖化的發現〉</a> (2) <a href="#">碳捕捉、封存及再利用技術 (CCUS) 是什麼？詳解其技術應用原理！</a> (3) <a href="#">變壓吸附</a> (4) <a href="#">台灣首座碳捕捉封存場址 中油鐵砧山計畫審查過關</a> (5) <a href="#">鐵砧山</a> (6) <a href="#">鋼化聯產</a> (7) <a href="#">二氧化碳的儲存</a> (8) <a href="#">碳交易- 維基百科，自由的百科全書</a>
設計者			沈綵玟、羅佳惠、廖文鴻
教學準備	Google Earth / Google Maps、Slido、影視片段《王冠》、學習單、模擬公聽會角色包、投影幕、平板車、電腦		
學生先備經驗	<p>1. 年級先備經驗</p> <p>高中階段的教學必須建立在國中的基礎之上，並將知識轉化為更高層次的分析與應用。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>歷史脈絡的基礎</b>：學生在國中已學習過工業革命的起源（煤炭、蒸汽機）及其對歐洲社會的衝擊。這讓他們能辨識倫敦樣貌圖中的工廠與煙囪，但高一教學需進一步引導他們思考能源使用背後的「代價取捨」。</li> <li>● <b>環境與空間的認知</b>：學生已具備大氣溫室效應的基本原理與全球暖化的常識。本課程將此提升至「大加速 (Great Acceleration)」概念，讓學生理解從煤炭到石油、從局部霧霾到全球溫室的演進，並利用數位地圖進行地理空間實作。</li> <li>● <b>經濟與外部性概念</b>：學生了解基礎的市場交易與政府規範。高一課程則引入「碳交</li> </ul>		

易」與「內部化外部成本」等具體政策工具，挑戰他們理解經濟活動與環境責任的連結。

## 2. 學生特質差異化

- 「技術與邏輯取向」的學生：對科學數據感興趣，傾向以技術方案解決問題。
- 「社會與人文取向」的學生：關注公平正義、文化價值與情感記憶。
- 「實踐與參與取向」的學生：喜歡動手實作、數位工具與團隊互動。

核心素養	學習表現	學習內容
<p>社-U-A2 對人類生活相關議題，具備探索、思考、推理、分析、批判、統整與後設思考的素養，並能提出解決各種問題的可能策略。</p> <p>社-U-B1 運用語言、文字、圖表、影像、肢體等表徵符號，表達經驗、思想、價值與情意，且能同理他人所表達之意涵，增進與他人溝通。</p> <p>社-U-C1 具備對道德、人權、環境與公共議題的思考與對話素養，健全良好品德、提升公民意識，主動參與環境保育與社會公共事務。</p> <p>自 C-U-A2 能由自然科學的探索，培養以科學方法進行系統分析、推理與反思，使具備理解問題及邏輯推理能力，以有效處理及解決生活、生命問題。</p> <p>自 C-U-A3 能由系統性的自然科學方法，提升科學發展趨勢的關注，並能結合多元的專業知能與資訊，使充實生活經驗，以因應社會變遷、增進個人的彈性適應力。</p>	<p>歷 1b-V-1 運用歷史知識分析社會現象或變遷。</p> <p>地 1c-V-3 跨領域/科目整合，反思環境議題，並提出看法或解決策略。</p> <p>公 1c-V-2 整合公民知識，論述自己的主張，並能提出合理的論證。</p> <p>地 3a-V-1 根據地理系統與地理視野的觀點，利用地理技能的方法發掘各種社會及環境問題。</p> <p>自 tr-Vc-1 能運用簡單的數理演算公式及單一的科學證據或理論，理解自然科學知識或理論及其因果關係，或提出他人論點的限制，進而提出不同的論點。</p> <p>自 po-Vc-1 能從日常經驗、科技運用、社會中的科學相關議題、學習活動、自然環境、書刊及網路媒體中，汲取資訊並進行有計畫、有條理的多方觀察，進而能察覺問題。</p>	<p>歷 Qa-IV-2 工業革命與社會變遷（銜接國中內容）</p> <p>歷 Tb-V-2 石化產業的發展與衝擊</p> <p>歷 Tb-V-3 永續發展的省思</p> <p>地 1a-V-3 氣候變遷如何影響人類的的生活？</p> <p>地 Jb-V-1 化石能源的開發利用與人類活動有何關係？</p> <p>公 Cg-V-2 政府如何解決外部成本問題？</p> <p>公 Dd-V-3 全球永續發展的理念與挑戰</p> <p>化 CMe-Vc-2 全球暖化的成因、影響及因應方法。</p> <p>化 CNa-Vc-1 永續發展在於滿足當代人之需求，又不危及下一代之發展。</p> <p>地 ENb-Vc-4 因應氣候變遷的調適有許多面向與方法。</p>



## 學習目標

1. 增進對歷史、地理、公民與社會學科及領域知識的探究與理解能力。
2. 發展跨學科的分析、思辨、統整、評估與批判能力。
3. 培養對多元公民身分的敏察，並涵育肯定多元、重視人權與關懷全球永續的責任意識。
4. 運用歷史知識分析社會現象或變遷。


5. 探究碳捕捉、利用與封存 (CCUS) 之科學機制，並思辨其技術實施之潛在風險與環境影響。
6. 跨領域整合知能，反思各種社會及環境議題並提出解決策略。
7. 連結本土與他國歷史經驗以發展全球視野；敏銳察覺社會及環境變遷內涵。
8. 覺察當代事件與歷史關係，啟發問題意識並進行釐清；界定當代社會生活相關問題。
9. 進行歷史資料蒐集、整理與分類；利用地理資訊系統等工具進行資料分析。
10. 透過討論、說服、辯論等方式尋求相互理解；團隊協力共同解決問題。

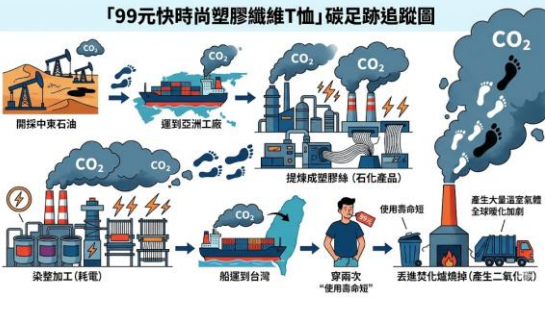
## 第一課單元一：大加速時代的遺產（歷史脈絡篇）

### 第一節

分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	<p>一、引起動機</p> <p>(一) 展示學生 18 世紀英國工業革命發生前後的倫敦城市樣貌圖。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>● 工業革命前：</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>● 工業革命後：</p>  </div> </div> <p>(二) 讓學生思考：英國倫敦的市容產生甚麼改變？辨別改變可能的原因。</p> <p>(三) 老師總結：這兩張圖讓我們看見，人類學會用煤炭和石油點燃了全世界的繁榮，卻也因為這場停不下來的『火』，讓當初科學家的擔憂變成了我們現在必須面對的生存難題——溫室效應。</p>	5 分鐘	教師觀察動態評量	學生能透過工業革命後的影像，明用效果關係，並說使溫室因

合班	<p>二、發展活動：【歷史溯源】能源與文明的對價</p> <p>(一) 煤炭時代：工業革命初期的倫敦霧霾（1952 倫敦煙霧事件）。</p> <p>1. 建立學生對 1952 年倫敦煙霧事件的認識：播放觀看影集《王冠》第一季第四集，關於 1952 倫敦煙霧事件的部分片段，並搭配學習單(見附件一)寫下影集中所出現的狀況。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 影集《王冠》第一季第四集，關於 1952 倫敦煙霧事件的部分片段。(約 6 分 30 秒；片段 16:00-17:43、26:18-27:13、31:20-33:19、35:40-36:13、48:13-49:35。備註：因版權問題故不附上影片連結)</li> </ul> <p>2. 配合學習單(見附件一)的內容，向學生講解倫敦煙霧事件的起因（廉價煤炭、逆溫層）。說明當時民眾為了取暖「不得不」燒煤的社會背景。</p>	10分	學習單評量	<p>確認學生可從影片中寫出與學習內容相關的字句</p>
異質分組-能力	<p>三、綜合活動</p> <p>主題：價值思辨——「進步的代價：天平上的取捨」</p> <p>1. 活動重點：訓練高一學生的批判性思考。</p> <p>2. 活動內容：給出三個情境，讓學生分組討論進行「代價排序」。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 情境 A：18 世紀，如果不燒煤，工業革命不會發生，人類可能還在忍受飢荒與極寒，但地球會很涼爽。</li> <li>● 情境 B：21 世紀，如果不使用化石燃料，我們無法隨時使用手機、冷氣與飛機，但海平面不會上升。</li> <li>● 情境 C：未來幾十年，如果不強制全面停用化石燃料，全球經濟與工業就不會面臨巨大的陣痛期與失業潮，但地球的生態系統將會走向崩潰。</li> </ul> <p>3. 互動方式：利用 Slido 進行，並讓學生投票：「如果你是當時的決策者，你會為了經濟發展而選擇燃煤嗎？」</p> <p>4. 各抽一位投票給情境 A、B、C 的同學，發表其考量與個人想法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 教師總結：以前我們只要火，卻沒發現煙（二氧化碳）正慢慢包圍我們</li> </ul>	15分鐘	動態評量	<p>學生能透過分析不同源景下的環境矛盾，並進行價值評鑑，比較進步的代價，展現批判性思考能力。</p>
第二節				
分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	一、引起動機	5分	教師觀察	學生能複習上一節

	<p>(一) 讓學生觀看 <a href="#">1950 年代的汽車廣告</a>(點擊即影片連結)</p> <p>(二) 教師提問：「當時的人們以為改燒石油或天然氣就『乾淨』了。請看 1950 年代的汽車廣告，這看起來比煤爐進步多了對吧？但煙真的不見了嗎？」</p> <p>(三) 教師總結：「煙沒有消失，只是『隱形』了。我們用石油解決了看得見的黑煙，卻製造了看不見的二氧化碳，把局部的『霧霾』變成了全球的『溫室』。」</p>	<p>鐘 動態 評量</p>	<p>課的霧霾 事件，並 而辨別並 說明不同 能源使用 後的污染 型態差異</p>
<p>合班</p>	<p>二、發展活動：石油時代，二戰後的消費社會與大加速 (Great Acceleration)。</p> <p>(一) 「拋棄式生活」的誕生</p> <p>(1) 教學步驟：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 展示 1955 年美國《LIFE》雜誌的一張經典照片 ("Throwaway Living" 拋棄式生活)。照片中一家人開心地把免洗餐具、塑膠杯、紙巾拋向空中。</li> </ol>  <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 讓學生觀查並詢問學生：「這張照片裡的人為什麼在丟垃圾？而且看起來還這麼開心？」</li> <li>b. 老師小結：告訴學生，這在當時不是負面新聞，而是在慶祝！因為便宜的石油提煉出了塑膠，人類歷史上第一次可以「不用洗碗」、「用完即丟」。</li> </ol> <p>(2) 教師總結：「在 1950 年代之前，碗盤弄了就要洗；但在那之後因為石油的便利性，『買新的』比『洗碗』更划算。這種『用完就丟』的便利，正式啟動了我們所謂的『大加速』時代——加速製造、加速消費、當然也加速了垃圾與溫室氣體的產生。」</p> <p>(二) 生活解剖——「尋找教室裡的石油」</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 活動步驟： <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 突擊檢查：給學生 1 分鐘，請他們找出自己身上或桌上「沒有用到石油」的物品。（很難，因為大部分的東西都含有石化產品）。</li> <li>(2) 揭曉答案：帶領學生看衣服標籤（聚酯纖維</li> </ol> </li> </ol>	<p>10 分 鐘 教師 觀察 動態 評量</p>	<p>利用歷史 照片，讓 學生可以 直接了解 二戰後因 為便宜的 石油（塑 膠）如何 創造出「 用完就丟 」的消費 狂潮。</p> <p>引導學生 從辨別日 常生活中 的石化產 品，並知</p>

	<p>Polyester)、寶特瓶、塑膠文具、甚至化妝品。</p> <p>2. 教師總結：「石油被提煉成塑膠和人造纖維。因為太便宜了，我們開始習慣『用完就丟』。1950 年代不只發明了汽車文化，更發明了『拋棄式消費』。我們以為買的是方便，其實消耗的都是化石燃料。」</p> <p>(三) 快時尚的隱形代價</p> <p>1. 教學目標：將「消費行為」與「溫室氣體排放」具體連結，為後面的思辨活動鋪路。</p> <p>2. 活動步驟：</p> <p>(1) 教師利用案例解析：以一件「99 元快時尚塑膠纖維 T 恤」為例，說明其碳足跡</p> <p>(a) 快速簡介這件衣服的生命週期：從中東開採石油作為原料，運到亞洲工廠提煉與染整（耗電）、船運至台灣、消費者「穿兩次」後就將衣服丟棄，衣服最終進入焚化爐燃燒(產生大量二氧化碳與溫室氣體)</p>  <p>(gemini 生產之圖片)</p> <p>3. 教師總結：「大加速時代的繁榮，是建立在大量消耗石油與大量排放二氧化碳上。煙沒有消失，只是隱形在了我們的衣服、手機和冷氣裡。」</p>	7分鐘	<p>評量</p> <p>道石油提煉與消費社會的連結，「石油只用燒」的思。</p> <p>學生能透過案例演繹，辨別各階段的能源消耗，並說明日常行為與溫室氣體排放的關係。</p> <p>老師觀察動態評量</p>
異質分組-能力	<p>三、綜合活動</p> <p>主題：從「科學假說」到「生存威脅」的審判</p> <p>(一) 溫室裡的青蛙：被遺忘的早期警告</p> <p>1. 教學引導：老師在簡報上展示兩個有關不同時代的相關文本與圖片，進行對比：</p> <p>a. 有關 1950 年代，當時科學家剛開始提出警告「燃燒化石燃料可能會讓地球變暖」。</p> <p>b. 近年的極端氣候震撼照片：例如全球沸騰 (Global Boiling) 下的乾旱、台灣近年極端暴雨、或是北極熊在融冰上掙扎的畫面。</p>	18分鐘	<p>學生能透過浴缸理論的類比，推斷出單純減排與主動移除的差異，進而預估環境的風險，並</p> <p>老師觀察動態評量</p>

	<p>2. 老師提問：「同學們，為什麼 70 年前科學家就提出來的『假說』，當時沒有人理會，現在卻變成了逼到我們眼前的『生存威脅』？」</p> <p>3. 老師總結：大加速的狂歡，讓我們像溫水裡的青蛙失去警覺。當年的『氣候假說』，就是現在的『生存後遺症』。</p> <p><b>(二) 思想實驗：浴缸理論</b></p> <p>1. 教學目標：銜接 CCUS 最核心的邏輯模型，能讓學生理解為什麼要「捕捉碳」。</p> <p>2. 活動步驟：</p> <p>(1) 想像一個浴缸：水龍頭開到最大（石油時代的大加速排放），排水孔太小（森林與海洋自然吸收的速度）。</p> <p>(2) 現狀分析：浴缸的水已經快要溢出來了（生存威脅：淹水、極端氣候）。</p> <p>(3) 老師提問：「如果現在水就要淹過你的腳踝了，光是『關小水龍頭（減碳生活）』夠嗎？」</p> <p>(4) 期望學生得出的結論：發現水龍頭關小，水還是會繼續增加，只是變慢而已→→必須拿臉盆把水「舀出來」或是「加裝抽水機」。</p> <p><b>(三) 課程對接：誰來當地球的抽水機？</b></p> <p>1. 任務發佈：請學生在學習單(見附件一)上寫下與畫出：「如果你有一台神奇機器可以把大氣中的二氧化碳吸走，你會把它藏在哪裡？或是把它變成什麼東西？」</p> <p>2. 教師總結與伏筆：面對氣候危機，光把水龍頭關小已經不夠，我們必須主動『抓破』。但碳要怎麼抓？抓了藏在哪？下一單元 CCUS 技術解析</p>	<p>教師觀察動態評量</p> <p>實作評量</p>	<p>畫出二氧化碳捕捉或封存的創意方案。</p>
--	---	-----------------------------	--------------------------

**第二課單元二：大加速時代的遺產（自然篇）**

**第一節**

<p>合班</p>	<p>一、引起動機</p> <p>(一) 教師提問：「同學們，如果明天開始，全台灣的汽車都換成特斯拉（電動車），所有發電廠都換成太陽能和風力，我們的碳排放是不是就歸零了？」</p> <p>1. 預設學生回答：是</p>	<p>10分鐘</p> <p>教師觀察動態評量</p>	<p>學生能指出鋼鐵水泥等重工業在產生二氧化碳的化學原理。</p>
-----------	---	-----------------------------	-----------------------------------

	<p>2. 教師反轉：「錯。即使我們電力 100% 綠化，台灣還是會有至少 20%到 30%的碳排放完全減不掉。為什麼？因為有些東西不是『換插頭』就能解決的。」</p> <p>(二) 讓學生思考身邊的水泥以及鋼鐵是怎麼生產的，讓他們理解有些產業因為剛需勢必會有碳的產生</p> <p>1. 鋼鐵業：<math>\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2</math>（焦炭作為還原劑的必然排碳）。</p> <p>2. 水泥業：<math>\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2</math>（石灰石分解占 60% 碳排）。</p> <p>(三) 導引：若無法停止生產，就必須將碳「抓回來」，帶入 CCUS 主題。</p> <p>理解 CCUS 每個字母各自代表意思</p> <p>Carbon Capture、Utilization(CCU)、Storage(CCS)</p>		
合班	<p>二、發展活動</p> <p>(一) 探捕捉技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>情境導入</b>：回憶第一課總結地方抽水機的概念，讓學生回憶為甚麼需要捕捉碳。</li> <li>● <b>教師提問</b>：說明在煙囪廢氣中分離 15%的 <math>\text{CO}_2</math>如同在一群一推鋁球裡取出少量的鐵球，那有甚麼方式可以完美的取出那些鋁球。</li> <li>● <b>預設答案</b>：可以利用磁鐵將鐵球吸出來(物理吸附法)或根據鋁球物理性質(重量、大小、密度)設置一些障礙使鐵球分離(薄膜分離法)</li> </ul> <p>1. <b>技術解析</b>：介紹現有發展性的碳捕捉技術：化學吸收法、以及和其類似概念的物理吸附法以及薄膜分離法，並說明背後原理以及優缺點。</p> <p>(1) <b>化學吸收法</b>：說明胺溶液（弱鹼）與 <math>\text{CO}_2</math>（弱酸）反應以及「吸收塔」與「再生塔」的加熱過程中的能量所造成的熱能代價。</p> <p>(a) 優點：技術成熟，適合燃燒後的碳捕捉</p> <p>(b) 缺點：能耗過高，捕捉碳的過程會使用大量電力，讓學生反思如果使用的電力不是綠電的話是不是陷入一個為了捕捉碳而必須排碳的荒謬情境裡。</p> <p>(2) <b>物理吸附法</b>：利用多孔材料（沸石、活性碳）吸附 <math>\text{CO}_2</math>；說明「變壓吸附」原理與凡德瓦力。</p>	30分鐘	<p>教師觀察動態評量</p> <p>學生能具體描述「化學吸收法」、「物理吸附法」與「薄膜分離法」的技術機制，並能比較其各自的能源代價。</p>

	<p>(a) 優點：不需要消耗熱能來加熱溶劑，能源成本較低</p> <p>(b) 缺點：物理吸附對於稀釋氣體（例如 CO<sub>2</sub>濃度很低的煙道氣）的抓取力不夠強。如果 CO<sub>2</sub>的『濃度』不夠高，壓力再大也很難把它們全部擠進洞裡。</p> <p>(3) <b>薄膜分離法</b>：分子級篩選（尺寸篩選與溶解擴散機制），CO<sub>2</sub>的分子動力學直徑約為 0.33 奈米，而氮氣 (N<sub>2</sub>) 約為 0.36 奈米。雖然兩者只差了 0.03 奈米，但特製的薄膜孔徑可以精準到只讓較小的 CO<sub>2</sub>鑽過去。</p> <p>(a) 優點：佔地面積小、不需消耗熱能，環保且節能</p> <p>(b) 缺點：若分離很快，純度可能就不夠；純度很高，過濾速度就會變得很慢，發電廠廢氣中含有硫化物或水蒸氣，容易造成薄膜損壞（中毒）。因此，目前薄膜法多應用於天然氣純化或小型化學工廠。</p> <p>2. 小總結：</p> <p>(1) <b>能源代價 (Energy Penalty)</b>：讓學生理解捕捉碳並非「免費」，若使用的電力不是綠電，反而會陷入排碳的謬境。</p> <p>(2) <b>因地制宜</b>：每一種技術都有其物理限制與應用場景（例如：大型電廠 vs. 小型工廠）；因此沒有完美的技術，只有最適用的選擇。</p> <p><b>(二) 碳利用</b></p> <p>1. 老師提問：我們現在想到 CO<sub>2</sub>都會認為碳是一種會加劇溫室效應的主因，那我們日常中有沒有甚麼狀況是需要用到二氧化碳的？</p> <p>● 預設學生回答汽水</p> <p>2. 引導：</p> <p>(1) 碳捕捉之核心價值在於其後續處理機制。若捕捉後之二氧化碳未能獲得有效封存或轉化，而重新排放至大氣，則前置補集程序將失去實質減碳意義。</p> <p>(2) 以日常生活常見之碳酸飲料為例，二氧化碳不僅是溫室氣體，亦具備高度的產業應用潛力。「<b>碳利用</b>」即旨將補集之二氧化碳轉化為具經濟價值的工業原料或民生用品。3.</p> <p>(3) 介紹兩件碳利用案例，使學生了解碳利用的場景。</p>	<p>教師觀察動態評量</p> <p>教師觀察</p>	<p>能舉出至少兩個利用的具體案例。</p> <p>學生能解</p>
--	---	-----------------------------	------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>案例 A</b>：二氧化碳可以加工成綠色甲醇，解決大型貨輪續航問題。</li> <li>● <b>案例 B</b>：混凝土注碳，增加強度同時永久鎖碳。</li> </ul> <p><b>(三) 碳封存</b></p> <p>1. 引導：儘管「碳利用」能將二氧化碳資源化並創造經濟價值，但受限於目前全球工業需求量與技術轉化率，現有的產業鏈尚無法完全去化捕集後龐大的二氧化碳總量。為了填補轉化利用後的剩餘缺口，「<b>碳封存</b>」扮演了關鍵的終端處理角色。其初衷在於透過地質工程技術將多餘的二氧化碳永久隔離於生物圈之外。</p> <p>2. 介紹碳封存的科學原理以及風險：</p> <p>(1) 科學原理</p> <p>超臨界流體：當 CO<sub>2</sub> 處於溫度大於 31.1°C 且壓力大於 72.8 atm 的狀態時，會變成兼具氣體擴散性與液體高密度的「超臨界狀態」。這種狀態能大幅縮減 CO<sub>2</sub> 的體積，使其能更有效地填補地底孔隙。</p> <p>(2) 完美封存的兩大條件</p> <p>(a) 儲集層：像海綿一樣多孔的岩層（如砂岩），用來容納 CO<sub>2</sub>。</p> <p>(b) 蓋岩（Caprock）：儲集層上方必須有一層緻密、不透氣的岩層（如頁岩），像蓋子一樣阻擋 CO<sub>2</sub> 向上逸散。</p> <p>(3) 風險</p> <p>(a) 誘發地震：在地底深處注入高壓流體，可能改變地層應力，進而引發微震或誘發地震。</p> <p>(b) 地下水污染：若封存場址發生洩漏，CO<sub>2</sub> 溶於地下水會使其酸度增加，進而溶解岩石中的重金屬，影響飲用水安全。</p>	動態評量	<p>釋二氧化的物理特性，並說明其地質封存的關鍵地層構造。</p> <p>能說「碳利用」與「碳封存的」的差異。</p>
合班	<p>三、綜合活動</p> <p>學習單(見附件 2)</p> <p>(一) 發現排碳大戶：定位熱點</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用軟體:google earth，並配合學習單</li> <li>2. 操作指示：搜尋「雲林麥寮陸豐」或「台中發電廠」。</li> </ol> <p>(1) 觀察要點：煙囪密集度、濱海位置。</p>	10分鐘 實作評量	<p>學生能運用數位工具定位台灣大型工業碳源，透過地理特徵評估 CCUS 設施建設的優</p>

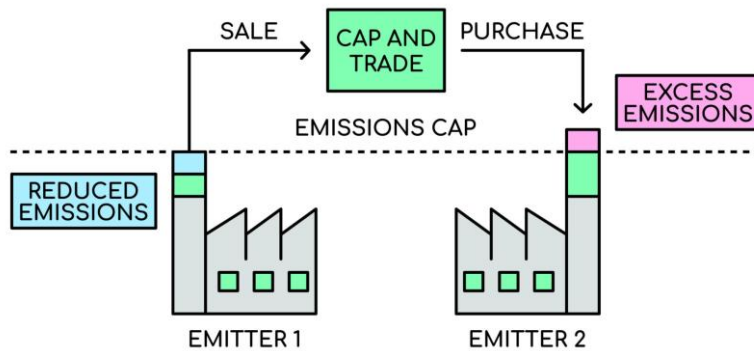
	<p>(2) 問題：思考為何這些重工業不能說停就停？它們的地理位置對 CCUS 有何優勢？</p> <p>(3) 預設答案：</p> <p>(a) 剛性需求：目前還沒有任何一種綠色材料能完全、大規模地替代鋼鐵的強度與水泥的便利。</p> <p>(b) 經濟命脈：這些產業是台灣的經濟支柱（如六輕、中鋼）。它們不只是工廠，背後是數萬個家庭的生計，以及一整條供應鏈（從原料到產品加工）的存續。</p> <p>(c) 密集的煙囪與廠房，二氧化碳排放高度集中。源頭直接捕捉，避免分散式排放難以收集的問題，降低每單位碳捕捉的成本。</p> <p>(d) 捕捉製程中通常需要大量冷卻水，濱海位置提供了充足的海水冷卻資源。</p> <p>(二) 尋找地下倉庫：封存點選址</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 操作指示：移至「苗栗鐵砧山」或「雲嘉外海」，觀察西岸平緩海床與沉積岩結構。</li> <li>2. 案例分享：中油「鐵砧山地區碳封存示範場域計畫」（2025 試驗）。</li> <li>3. 提問：這兩個地方對於碳封存的優點是甚麼？</li> <li>4. 預設答案：具有平緩的地形以及沉積岩結構，具有適合當灌注層的砂岩以及上層有適合當蓋層的頁岩。</li> </ol> <p>(三) 工業共生：高雄臨海工業區</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 操作指示：搜尋「高雄臨海工業區」。</li> </ol> <p>核心觀念：解說「鋼化聯產」（中鋼與長春石化合作）。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. 問題：高雄小港將工廠設置的都很鄰近對碳利用(CCU)有甚麼優點？</li> <li>3. 預設答案：可以降低運輸成本。</li> </ol>	<p>勢。</p> <p>能分析技術實施過程中可能面臨的風險。</p> <p>學生能運用「工業共生」的概念，分析廠區近性如何降低碳排放轉化運輸成本與能源損耗。</p>
--	---	---

### 第三課 單元三：未來的生存抉擇（思辨與倫理篇）

#### 第 1 節

分組方式	教學活動	時間	評量方式	學習目標
合班	<p>一、引起動機</p> <p>(一)快速複習前兩節課程(2分鐘)</p> <p>(二)碳交易的由來(6分鐘)</p>	10分鐘	課堂參與度、課堂	認知層面：學生能清楚說明「碳交

1. 拋出一個開放式的問題：大家目前知道可以交易的物件是甚麼？預設學生答：錢。
2. 那大家知道碳也可以進行買賣嗎？
3. 為什麼要讓碳變成商品？
  - a. 在過去，工廠排放二氧化碳被視為一種「外部性」——企業賺錢，但環境成本由全人類負擔。為了遏止氣候變遷，經濟學家提出了一個想法：如果排碳要付錢，企業就會主動減少排放。這就是「污染者付費」原則的具體實踐。
  - b. 關鍵歷史轉折：1997年《京都議定書》碳交易並非憑空出現，它是國際公約下的產物：
    - i. 背景：1990年代，全球意識到全球暖化日益嚴重。
    - ii. 誕生：1997年在日本京都簽署了《京都議定書》。
    - iii. 首創：這是人類史上第一次以法律形式，限制發達國家的溫室氣體排放量
4. 從「配額」到「交易」：
  - a. 設定上限：政府規定每年全社會只能排放多少碳。
  - b. 分配許可：政府發放「排碳許可證」給企業。
  - c. 自由交易：減碳效率高的企業會多出許可證，可以賣給減碳困難的企業。



(三) 隨堂思考(2分鐘)

1. 老師引導同學思考：「如果一個國家很有錢，它是不是只要一直買碳權，就可以不用努力減碳了？」

表現 20%

易」的運  
作邏輯  
(設定上  
限、分  
配、交  
易)，並  
指出其與  
《京都議  
定書》的  
歷史關  
聯。

技能層  
面：學生  
能辨識環  
境問題中  
的「外部  
性」現象  
，並解釋  
「污染者  
付費」如  
何改變企  
業行為。

情意與思  
辨層面：  
學生能反  
思碳交易  
市場可能  
產生的規  
避責任問  
題，並評  
估技術開  
發(如CCUS)  
與行為改  
變(減少排  
放)在淨  
零路徑上  
的優先順  
序。

<p>異質分組-能力</p>	<p>二、發展活動</p> <p>【模擬公聽會】碳封存計畫進入我家鄉？</p> <p>(一)設定情境：政府宣布為了達成 2050 淨零排放目標，選定擁有百年歷史的「龍泉舊礦區」作為全國首座「大型深層碳封存 (CCUS) 示範場」，該地地質結構穩定，適合注入液態二氧化碳，但該礦區同時也是當地居民的集體記憶與文化觀光景點。公聽會的目的在於討論：這項計畫應該立即啟動，還是無限期擱置？</p> <p>(二)角色扮演：</p> <p>將同學分成四組，每組抽取一角色，根據給予的資料進行 3 分鐘討論。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 能源局官員 <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 核心論點：減碳不能只靠種樹，高碳排產業（如台泥、中鋼）急需這項技術來處理無法避免的廢氣。若計畫失敗，台灣企業將面臨國際巨額碳關稅，導致經濟衰退。</li> <li>b. 訴求：強調技術成熟度，承諾會建立 24 小時監測系統，並提供地方發展補償金。</li> <li>c. 合理化論點：「這是為了國家大局，我們不能在氣候競賽中掉隊。」</li> </ol> </li> <li>2. 文史工作者 <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 核心論點：舊礦區的紅磚廠房與坑道是見證台灣經濟起飛的珍貴地景。碳封存工程需要挖掘深井、鋪設大量管線，這會永久性破壞古蹟的地基。</li> <li>b. 訴求：要求將礦區改建為文化遺址公園，認為「經濟發展不應以抹滅歷史為代價」。</li> <li>c. 合理化論點：「一旦地層被擾動，百年的建築毀了就再也回不來，文化斷層比碳排更可怕。」</li> </ol> </li> <li>3. 在地里長 <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 核心論點：居民根本不在乎碳權，大家擔心的是高壓氣體注入地下會不會引發地震？如果二氧化碳外洩，會不會造成像窒息般的集體意外？</li> <li>b. 訴求：要求百分之百的「零風險」保證，否則堅決反對。同時質疑為什麼封存場不蓋在用電量最高的台北市中心。</li> </ol> </li> </ol>	<p>評量的達證引能力討參度 45%</p> <p>量生表與據用、論與</p> <p><b>認知層面：</b>學生能說明碳封存 (CCUS) 的基本原理，並舉出該項技術在淨零中的安全性、衝擊與多元爭議。</p> <p><b>技能層面：</b>學生能站在利害關係人立場進行論證，又透過質詢，練習多方衝突與折衷案。</p> <p><b>情意層面：</b>學生能同理不同的角色困境，並反思科技在開發地權的權衡，進而建立科技應用</p>
----------------	---	--

	<p>c. 合理化論點：「為什麼犧牲的是我們？科學家說的 0.1% 發生率，對住在這裡的人來說就是 100% 的災難。」</p> <p>4. 氣候難民代表</p> <p>a. 核心論點：代表來自受極端氣候威脅的低窪地區或海島災民，他們認為減碳已經沒有退路，任何能減少大氣碳濃度的技術都應該「立刻、馬上」執行。</p> <p>b. 訴求：呼籲地方居民放下本位主義，從全球人類的生存高度看待此案。</p> <p>c. 合理化論點：「你們在爭論古蹟與房價時，我們的家園正在沉沒，氣候變遷才是最大的暴力。」</p> <p>(三)活動流程</p> <p>第一階段：立場陳述</p> <p>由老師擔任主席開場，四組同學依序發表 2 分鐘的開場白，建立基本的對立僵局、認識彼此立場。</p> <p>第二階段：交叉質詢與攻防</p> <p>引導學生針對各組提出的論點進行辯論：</p> <p>例如：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 里長 vs. 官員：討論「補償金」是否等同於買斷安全性？官員如何解釋「誘發地震」的機率？</li> <li>● 文史工作者 vs. 氣候難民：討論「保存過去（歷史）」與「拯救未來（性命）」哪一個權重更高？</li> <li>● 能源局 vs. 所有反對者：討論如果今天不蓋在龍泉鎮，台灣還有哪裡可以蓋？</li> </ul> <p>第三階段：替代方案與妥協</p> <p>主席引導各方嘗試提出「第三條路」。</p> <p>例如：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 是否能縮減規模，改為「實驗性質」，並將監測數據對里民完全公開透明？</li> <li>● 是否能結合文化觀光，將碳封存設施設計成「環境教育基地」，保留古蹟外殼，內部進行封存？</li> </ul>	8 分鐘	8 分鐘	應兼顧社會信任與倫理責任的價值觀。
合班	三、綜合活動	15 分	總結性評	引導學生在利益衝

	<p>(一)教師幫上述活動做個總結(5分鐘)</p> <p>老師不對誰對誰錯下定論，而是點出這場公聽會反映的現實：淨零轉型是一個複雜的利益重分配過程。科學能解決技術問題，但「溝通」與「信任」才能解決社會問題。</p> <p>(二)省思技術樂觀主義的紅線(5分鐘)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 教師提問：到目前為止，我們學習了很多相關知識，也進行模擬公聽會，我們必須面對一個核心的哲學提問：如果有了碳捕捉、封存與再利用（CCUS）技術，人類是否就可以理直氣壯地繼續無限制使用化石燃料？</li> <li>2. 警惕「技術樂觀主義」的陷阱：技術樂觀主義讓我們相信，無論我們製造了多少污染，未來的科技總能將其「擦乾淨」。然而，在 CCUS 的議題上，這種想法存在三大風險。 <ol style="list-style-type: none"> <li>a. 成本與效率的限制：捕捉碳需要消耗額外的能量（能量寄生），且目前成本極高，無法在短期內大規模取代傳統減碳。</li> <li>b. 道德風險：如果我們過度依賴 CCUS，可能會減緩能源轉型與減少浪費的動力，就像吃了減肥藥就以為可以肆無忌憚地暴飲暴食。</li> <li>c. 風險的不對稱性：封存技術若失效（如地層外洩），其代價是由後代子孫承擔，這涉及跨世代的正義問題。</li> </ol> </li> <li>3. 建立正確認知：「減碳為主，CCUS 為輔」(3分鐘) <p>第一優先：源頭減量透過提升能源效率、改變生活型態，直接減少碳的產生。這是成本最低、最穩定的方式。</p> <p>第二優先：能源轉型加速發展風能、光能等再生能源，從根本上取代化石燃料的使用。</p> <p>最後手段：抵銷與捕捉對於那些「難以減排」的產業（如高溫煉鋼、重工業），CCUS 才是填補缺口的關鍵工具。</p> </li> <li>4. 結語(1分鐘)</li> </ol> <p>真正的環境責任，不是開發出更強大的科技來處理垃圾，而是學習如何不再製造垃圾。如同剛開始上課提到的碳交易，真的有辦法達成實質解決嗎？還是只是暫緩之計而已，CCUS 確實是一把重要的手術刀，可以幫地球「切除」難以消化的</p>	<p>鐘量 35%</p>	<p>突中思辨 科技應用 的社會倫 理與正義 。最終釐 清「減碳 為主、技 術為輔」 的核心理 念，建立 不依賴技 術補償、 從源頭實 踐永續生 活觀念。</p>
--	--	-------------------	---

	<p>碳瘤，但要維持長久健康，我們依然需要改變揮霍資源的體質。</p> <p>(三)發派作業(1分鐘)</p> <p>撰寫以環境為主題的 500 字「給 2126 年人類的一封信」，需提及 CCUS。(附件三)</p> <p>例如：</p> <p>時代的切片：描述現在時代人類面對氣候變化的掙扎、遇到的問題</p> <p>跨時空的提問：可藉由信件問候關於他們的現狀是否安好</p>		
--	--	--	--

註：灰底為說明，正式教案請刪除及更正。

若有作業單、評量單或學生表現之成品，歡迎連同教案一併附上。

# 附件一：單元一課程學習單

## 大加速時代的遺產(歷史脈絡篇)學習單

班級：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 座號：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

### 一、《王冠》與1952年倫敦煙霧事件

觀看素材：《王冠》第一季第四集節錄片段

#### 第一部分：暖身與背景知識建立

在1952年的冬天，倫敦發生了嚴重的空氣污染事件，被稱為「倫敦大煙霧」。在開始觀看片段之前，請先思考以下問題：

1. 你的生活經驗：你曾經在空氣品質極差(如紫煙、嚴重霧霾)的日子裡出門嗎？當時你的身體有什麼感受？這對你的日常活動造成了哪些不便？

#### 第二部分：影片觀察與劇情理解

請專心觀看老師播放的五個片段，並根據你在影片中看到的畫面與對白回答以下問題：

2. 【災難的原因】請寫下倫敦霧霾事件發生的原因？

3. 【災難下的社會景象】隨著煙霧越來越濃，請列出影片中呈現了哪些具體的生活危機？(請至少寫出三點，例如：交通狀況、醫院場景、市民的應對方式等)

● 觀察一：

● 觀察二：

● 觀察三：

4. 【態度的轉折】在最後的片段出現之前，英國首相邱吉爾曾前往醫院探望當時因這起事件而受害的病患，讓他改變了原本輕忽的態度。請問他在醫院的演說與行為，傳達了什麼樣的政治訊息？

1

### 二、誰來當地球的抽水機？

#### 任務背景：

如果科學家真的發明了一台像「抽水機」一樣的神奇機器，可以把空氣中看不見的二氧化碳CO<sub>2</sub>通通吸走，請發揮你的想像力：

1. 你想把這台機器藏在哪裡？

答：

2. 吸進去的二氧化碳，你希望把它變成什麼「有用的東西」？

答：

3. 【小畫家時間】：請在下方方框中，簡單畫出你這台「抓碳魔法機」的運作圖案。

我的抓碳魔法機設計圖

2

附註：單元一學習單總分為 100 分(第一張圖表)，第一大題與第二大題各佔 50 分(第二章圖表)

評分項目	等第(分數)	評量描述
深具洞察與創意	優良(90 - 100)	歷史分析展現高度同理心，能精準捕捉政治細節；機器設計具邏輯性，且轉化想法極具原創性。
內容詳盡且正確	良好(80 - 89)	影片觀察細膩，能清楚說明災難成因與影響；設計圖結構完整，能清楚表達吸碳與產出的關聯。
達到學習目標	尚可(70 - 79)	準確回答歷史事實，描述尚算具體；設計圖具備基本功能，但在創意或說明細節上較為普通。
完成基本要求	普通(60 - 69)	內容多為簡答或單詞，缺乏深入描述；設計圖較為簡略，僅能勉強辨識出是「一台機器」。
未達合格標準	待加強(0 - 59)	答案與影片內容不符或留白過多；設計圖未標示功能，或完全偏離「抓碳」主題。

項目	評分內容	配分	優等(100%得分)	尚可(70%得分)	待加強(50%以下)
第一部分：《王冠》與1952年倫敦煙霧事件					
1. 生活經驗	空污身體感受描述	10	能具體連結感官(如：呼吸困難、眼睛刺痛、能見度低)。	描述較為籠統(如：很不舒服、空氣很臭)。	僅回答「有」或「沒有」，無具體描述。
2. 災難成因	倫敦霧霾發生原因	10	準確指出燃煤(人為)與氣候/反氣旋(自然)雙重因素。	僅提到燃煤污染，忽略氣候因素。	答非所問(如：因為工廠很多)。
3. 社會景象	具體生活危機(3項)	15	每點5分。描述具體畫面(如：提火炬引導巴士、急診室擠滿病患)。	描述較為表面(如：交通大亂、醫院很多人)。	列舉不足三項，或描述內容與影片不符。
4. 態度轉折	邱吉爾政治訊息分析	15	點出其從「推諉為天氣」到「探病與預算承諾」的公關與政治責任轉變。	僅提到他變得關心民眾，未觸及政治立場的轉變。	無法理解邱吉爾的行為，或描述模糊。
第二部分：誰來當地球的抽水機？					
1. 隱藏地點	抽水機設置位置	10	地點具備邏輯性(如：污染源、大氣層)並能合理解釋。	選擇地點合理，但解釋較為單薄。	地點隨意填寫，且無合理解釋。
2. 物質轉化	二氧化碳產物用途	10	產物具備實用價值或極具創意(如：固碳建材、合成燃料)。	轉化產物較常見(如：氣泡水、乾冰)。	產物無具體用途，或不符合科學邏輯。
3. 設計圖製作	抓碳魔法機繪圖	30	包含：1.功能結構(15分) 2.文字標示(10分) 3.整潔度(5分)。	圖畫尚能辨識流程，但標示不完整或結構略顯簡單	僅有單一形狀，無吸入/產出標示，畫面潦草。
總分		100			

附件二：單元二課程學習單

地球的碳排與歸宿:CCUS 實地學習單

班級：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 座號：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_

一、發現排碳大戶：定位熱點

任務工具：使用 Google Earth 搜尋「雲林麥寮陸豐」或「台中發電廠」。

觀察重點：觀察煙囪的密集度、廠房規模以及它們在台灣地理位置上的共通點。

1.【生存的兩難】透過衛星圖可以看到這些巨大的重工業基地(如六輕、中鋼)。請思考：為什麼我們不能為了減碳，就直接讓這些工廠「說停就停」？(請從經濟或生活需求角度試著寫出一點原因)

答：

2.【選址的智慧】這些工廠大多位在濱海地區且煙囪密集。請運用你學到的 CCUS 知識，分析這對「碳捕捉」有什麼好處？(提示：運輸成本、冷卻資源)

答：

二、尋找地下倉庫：封存點選址

任務工具：使用 Google Earth 移至「苗栗鐵砧山」或「雲嘉外海」。

背景小知識：中油正在推動「鐵砧山地區碳封存示範場域計畫」，預計在 2025 年開始試驗，把二氧化碳送回地底。

1.【地層的神奇口袋】觀察這些地方的地形與地質結構，為什麼科學家選中這裡當作「碳的倉庫」？請勾選出正確的特徵(複選)：

- 具有平緩的地形，方便施工。
- 地底下有適合灌注二氧化碳的「砂岩層」。
- 上層有像蓋子一樣密合的「頁岩層」(蓋層)，防止氣體外洩。
- 這裡離開區很近，方便參觀。

三、工業共生：高雄臨海工業區

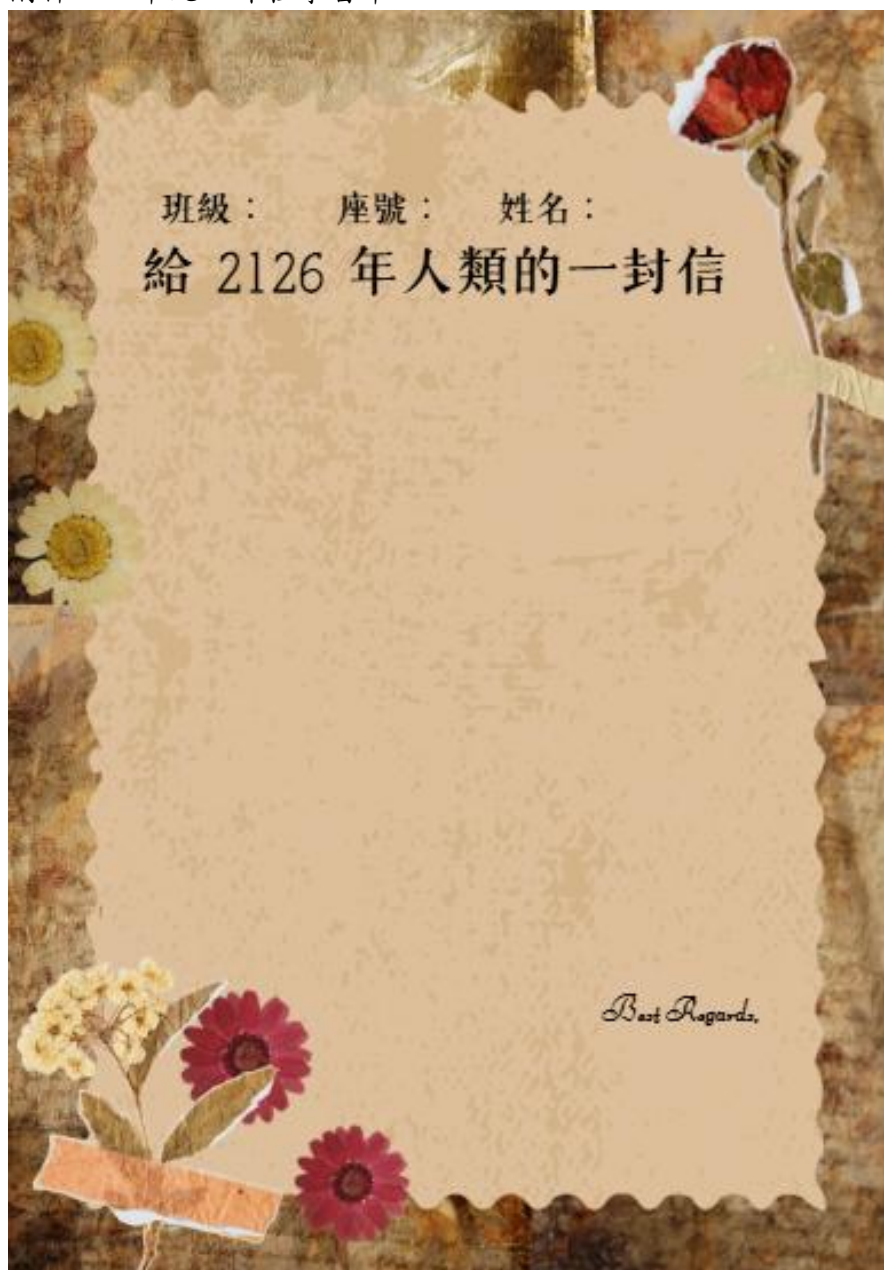
任務工具：使用 Google Earth 搜尋「高雄臨海工業區」。

核心觀念：這裡正在實踐「鋼化聯產」(中鋼捕捉的碳，提供給長春石化作為原料)。

1.在衛星圖上可以看到，高雄小港區的工廠排列非常緊鄰。請問這種「鄰近性」對於碳利用(CCU)最大的優勢是什麼？

答：

題目	評分內容	配分	優等	尚可	待加強
1	評估學生是否能從「經濟發展」或「民生需求」角度提出合理且具邏輯的論述。	30	能極具說服力地分析產業停工對經濟與民生的雙重衝擊。(25-30分)	能簡單寫出不能停工的原因，但缺乏延伸說明。(15-25分)	問答題回答極為簡短，邏輯不夠清晰，僅能勉強沾到邊。(15分以下)
2	評估學生是否能運用提示(運輸成本、冷卻資源)，具體說明臨海且密集分布對「碳捕捉」的優勢。	30	完美結合「冷卻資源」與「運輸成本」，透徹說明臨海設廠對碳捕捉的優勢。(25-30分)	對於碳捕捉的選址優勢理解較為表面，可能只提到「方便」而未具體說明原因。(15-25分)	未能有效使用題目給予的提示來回答問題。(15分以下)
3	複選題。全對給 20 分，答對一半給 10 分，全錯 0 分。	20	地質特徵選項完全正確。	地質特徵選項答對一半。	地質特徵選項選擇錯誤較多。
4	評估學生是否能結合「鋼化聯產」概念，說明工廠緊鄰能大幅降低碳運輸的成本與難度，提升碳再利用的經濟效益。	20	能精準點出「鄰近性」對於工業共生在降低管線建置成本及提高能源效率上的關鍵作用。(15-20分)	大致知道工廠靠近比較好，但未能將其與「碳利用」或「鋼化聯產」的概念緊密扣合。(10-15分)	對於工業共生的理解有偏差，文字表達能力需要加強。(10分以下)



「給 2126 年的信作業」評量標準：

評分項目	等第(分數)	評量描述						
知識應用	優異 (85-100)	能精準運用碳交易與 CCUS 原理說明時代背景。對技術樂觀主義有深刻反思，能探討跨世代責任。						
知識應用	良好 (85-75)	能大致運用碳交易與 CCUS 原理說明時代背景。對技術樂觀主義有進行反思。						
情感/邏輯	普通 (75-60)	能提及相關名詞，但應用稍顯生硬。未能將課堂知識融入寫作。情感共鳴文字具渲染力，能引發對未來環境的共感。邏輯通順，語氣平實。						
思辨深度	待加強 (60以下)	有表達個人立場，但對衝突點描述較淺。僅做一般性的環境呼籲。內容空洞或僅為課文摘抄。						