

政府科技發展中程個案計畫書  
科技發展類前瞻基礎建設計畫

審議編號：114-1401-04-20-02

經濟部產業技術司  
「碳循環關鍵技術開發計畫(5/5)」  
(核定本)

計畫全程：110年01月至114年08月

中華民國113年09月

## 前後期別計畫內容修正對照表(A011)

112年度計畫名稱及經費審核情形：

計畫名稱：碳循環關鍵技術開發計畫(3/5)

送審數：220,000(千元)

核定數：200,000(千元)

法定數：200,000(千元)

前期審查意見
<p>1. 本計畫主要計畫目標為：a. 完成 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，b. 完成我國自主製氫產業鏈建構，包括製氫系統設計/控制設備/關鍵膜材與觸媒等產業鏈帶動，3. 預估 2030 年可帶動石化及鋼鐵產業投入二氧化碳循環利用產業鏈建置，預計促進產業投資 100 億以上，落實減碳至少 1 百萬噸/年，增加產業產值 300 億元以上。以上計畫目標雖扣合政府重大綠能科技政策，但台灣 2019 年 CO<sub>2</sub> 排放總量為 256 百萬噸，本計畫僅能減碳 1 百萬噸/年，宜有前瞻之 scale up 規劃，所提出的關鍵方法與其他計畫之間的互補與整合，宜更為具體描述。例如建立自立化關鍵技術：開發與國際同步之前瞻碳捕獲先導場域技術、提高 CO<sub>2</sub> 再利用合成烷烴煙關鍵觸媒效率，國內是否有相關的廠商進行技術移轉等。對於石化/鋼鐵產業進行碳循環再利用場域實證技術如何進行 scale up 的設計基礎，應具體描述。</p> <p>2. 本計畫已涵蓋 Front End Engineering Design (FEED)，即基礎工程的可行性研究與設計，建立先導示範系統進行測試驗證，也同時考量其經濟效益，若驗證成功將有機會商轉應用，由於碳排放是國內外的重點，建議能隨時追蹤國際最新發展現況，並能滾動調整查核點目標，才能持續維持技術發展優勢。</p> <p>3. 計畫內容宜強化成本評估，以利產業 scale up，並請考慮盡量呈現成本隨年代或是發展階段的變化(國際與國內)，以作為本土化技術的發展指標。</p> <p>4. 本計畫將透過與國內產業合作建立 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，讓產業界直接參與和評估技術商業化的可行性，作為未來產業投入大型碳循環系統建置基礎，是否評估哪些國內業者有資本以及技術能量投入此技術研發。</p> <p>5. 112~113 原訂自我挑戰目標為增加促進廠商投入創新研發金額 4 億元/年，將加入每年推動 1 家以上廠商投入碳循環場域驗證之 KPI 指標。</p>

序號	原計畫 頁碼	上年度計畫內容 (引原文或重點描述)	修正處 頁碼	本年度計畫內容 (引原文或重點描述)	修正原因
1	無				

附表、前期(112年-113年)計畫細部經費配置

112年

序號	細部計畫名稱	法定數(千元)	執行機構
1	碳循環關鍵技術開發計畫(3/5)	200,000	工研院材化所

113年

序號	細部計畫名稱	法定數(千元)	執行機構
1	碳循環關鍵技術開發計畫(4/5)	200,000	工研院材化所

註：執行機構指受補助/委託之法人或學研單位(尚未執行可填「招標中」或「徵案中」)。

## 政府科技發展計畫書修正對照表(A009)

審議編號：114-1401-04-20-02

計畫名稱：碳循環關鍵技術開發計畫(5/5)

申請機關(單位)：經濟部產業技術司

序號	審查意見	計畫修正說明	修正處頁碼
1	建議將推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證納入查核點	於 OKR 目標 3 及 114 年里程碑中，新增「關鍵成果 4：推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證。」	2、4、6、32、44、57
2	建議應彙整噸級 CO <sub>2</sub> 循環再利用場域實證的成果，尤其應與國際標竿技術進行成效與成本之比較。並補充說明計畫屆期後，後續規劃以何種方式進入產業化階段，並評估哪些國內業者有資本以及技術能量投入此技術研發。	於計畫書「參、計畫目標與執行方法中，3.說明目前國內外產業現況、分析目前或未來有哪些競爭對象」，新增：(7).年產噸級場域驗證技術，補充說明：本計畫所建立的相關先導驗證系統與國際標竿技術之成效與成本比較，及後續產業化規劃。	26

## 目 錄

壹、基本資料及概述表(A003).....	1
附錄 - 最終效益與各年度里程碑規劃表.....	5
貳、計畫緣起.....	7
一、政策依據.....	7
二、擬解決問題之釐清.....	7
三、目前環境需求分析與未來環境預測說明.....	8
四、本計畫對社會經濟、產業技術、生活品質、環境永續、學術研究、 人才培育等之影響說明.....	26
參、計畫目標與執行方法.....	30
一、目標說明.....	30
二、執行策略及方法.....	34
三、達成目標之限制、執行時可能遭遇之困難、瓶頸與解決的方式或 對策.....	38
四、與以前年度差異說明.....	44
五、跨部會署合作說明.....	44
六、與本計畫相關之其他預算來源、經費及工作項目.....	44
肆、前期重要效益成果說明.....	45
伍、預期效益及效益評估方式規劃.....	54
陸、自我挑戰目標.....	55
柒、經費需求/經費分攤/槓桿外部資源.....	56
捌、儀器設備需求.....	58
玖、就涉及公共政策事項，是否適時納入民眾參與機制之說明.....	58
拾、附錄.....	58
一、政府科技發展計畫自評結果(A007).....	58
二、中程個案計畫自評檢核表.....	60
三、中長程個案計畫淨零轉型通案自評檢核表.....	62
四、性別影響評估檢視表.....	63
五、風險管理評估檢視表.....	70
六、政府科技發展計畫審查意見回復表(A008).....	73
七、資安經費投入自評表(A010).....	80
八、其他補充資料.....	82

## 壹、基本資料及概述表(A003)

審議編號	114-1401-04-20-02			
計畫名稱	碳循環關鍵技術開發計畫(5/5)			
申請機關	經濟部產業技術司			
預定執行機關	經濟部產業技術司			
預定計畫主持人	姓名	戴建丞	職稱	簡任技正
	服務機關	經濟部產業技術司		
	電話	02-23212200#8180	電子郵件	cctai@moea.gov.tw
計畫摘要	<p>面對全球溫室氣體降低排放量要求加嚴的趨勢，國內產業面臨全球減碳與碳稅的壓力，其中石化、鋼鐵、水泥、電廠每年 CO<sub>2</sub> 碳排超過 2 億噸，占總排放量的 40% 以上，極需建立減碳技術。本計畫將透過異業合作(煉鋼廠、石化廠及發電廠)建立所需的 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，提供解決方案，規劃以產業界(煉鋼廠轉爐氣、石化廠煙道氣/製程尾氣)所產出的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)及一氧化碳(CO)作為原料，開發與國際同步之前瞻碳捕獲先導場域、CO<sub>2</sub> 再利用合成烷烯烴關鍵觸媒與製程技術，並與石化/鋼鐵產業進行碳循環再利用場域實證技術，作為 CO<sub>2</sub> 碳源新產業經濟的發展基礎。</p> <p>114 年度將完成 4 項年產噸級場域製程整合示範驗證與最佳化，並以製程最佳化參數完成 2 項千噸製程設計，投入包括製程參數優化調整、材料/自製觸媒生產(3 噸反應槽)、噸級碳循環場域維運(場地租金、驗證系統維護及攤提使用費等)，作為未來產業投入大型 CO<sub>2</sub> 循環再利用系統建置基礎。計畫並將持續評估全球產業趨勢與我國業界的需求，盤點符合我國優勢產業(半導體/面板等)所需之 CO<sub>2</sub>-based 低碳排高值綠色化學料源的需求量，以終為始規劃未來進一步新碳源產業所需發展建置的新技术以及規模。</p>			
計畫目標、預期關鍵成果及與部會科技施政目標之關聯	計畫目標及預期關鍵成果		與部會科技施政目標之關聯	
	114 年度			
	<p>目標 1. 厚實產業技術創新能力：建構以 CO<sub>2</sub> 及 CO(煉鋼廠、發電廠及石化廠所排放煙道氣/製程尾氣)為料源的碳循環先導場域製程技術</p> <p>關鍵成果 1：開發 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，將煉鋼廠/石化廠製程尾氣(CO<sub>2</sub> 及 CO) 轉化合成石化料源與高值化學品，研發成果申請 3 件專利，並優先授權國內業者應用，保障國內業者競爭優勢。</p> <p>關鍵成果 2：透過技術移轉，創造研發成果收入 10,000 仟元，彰顯研發成果。</p>		經濟部 O1：強化產業創新研發價值	
<p>目標 2. 加速產業升級轉型：帶動國內各產業的化學品供應鏈廠商進行低碳排放綠色轉型</p> <p>關鍵成果 1：透過技術移轉 3 件，推動異業廠商結合(煉鋼廠與石化廠)投入碳循環關鍵創新技術，促進廠商投入創新研</p>		經濟部 O1：強化產業創新研發價值		

	<p>發金額達 1.5 億元。</p> <p>關鍵成果 2：以高效率製氫系統與材料技術及 CO<sub>2</sub> 轉化合成觸媒技術研發成果，接受業者委託研發服務，與業者共同解決技術開發瓶頸 3 件(簽約金額 4,000 仟元)。</p>	
	<p>目標 3. 建立碳循環再利用場域實證技術，作為 CO<sub>2</sub> 碳源新產業經濟的發展基礎</p> <p>關鍵成果 1：完成 2 家以上廠商參與膜電解製氫技術應用。</p> <p>關鍵成果 2：完成千噸級 CO<sub>2</sub> 產製烷烯烴製程設計。</p> <p>關鍵成果 3：完成年產噸級羰基化化學品製程設計。</p> <p>關鍵成果 4：推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證。</p>	經濟部 O1: 強化產業創新研發價值
預期效益	<p>1. 完成 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，全程帶動石化/鋼鐵產業建構 4 項以上 CO<sub>2</sub> 及 CO 為料源的碳循環示範場域製程技術及 9 家以上相關廠商 20 億以上研發資源投入，作為未來產業投入大型碳循環系統建置基礎，並帶動國內 CO<sub>2</sub> 碳源化學品產業鏈的建置。</p> <p>2. 完成我國自主製氫產業鏈建構，包括製氫系統設計/控制設備/關鍵膜材與觸媒等產業鏈帶動，2030 年預估可帶動相關氫產業新增投資 20 億及創造產值 60 億。</p> <p>3. 預估 2030 年可帶動石化及鋼鐵產業投入二氧化碳循環利用產業鏈建置，預計促進產業投資 100 億以上，落實減碳至少 100 萬噸/年，增加產業產值 300 億元以上。</p>	
計畫群組及比重	<input type="checkbox"/> 生命科技 0% <input checked="" type="checkbox"/> 環境科技 40% <input type="checkbox"/> 數位科技 0% <input checked="" type="checkbox"/> 工程科技 60% <input type="checkbox"/> 人文社會 0% <input type="checkbox"/> 科技創新 0%	
計畫類別	<input checked="" type="checkbox"/> 前瞻基礎建設計畫	
前瞻項目	<input checked="" type="checkbox"/> 綠能建設 <input type="checkbox"/> 數位建設 <input type="checkbox"/> 人才培育促進就業之建設	
推動 5G 發展	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否	
資通訊建設計畫	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否	
政策依據	<p>1. FIDP-20210101070000：前瞻基礎建設計畫(110年修訂版)：3.1.7 碳循環關鍵技術開發計畫。</p> <p>2. NZ-20220301000000：淨零科技方案：1.碳捕捉再利用及封存。</p> <p>3. NEM-0104020201030200：全國能源會議(第四次)：2.1.2.2.2推動二氧化碳捕獲與封存技術研發與示範計畫，建立國內自主淨煤減碳技術能量。</p> <p>4. NSTP-20210302030000：國家科學技術發展計畫(民國110年至113年)：3-2-3.推動循環材料創新研發。</p>	
計畫額度	<input checked="" type="checkbox"/> 前瞻基礎建設額度	
執行期間	114 年 01 月 01 日 至 114 年 08 月 31 日	
全程期間	110 年 01 月 01 日 至 114 年 08 月 31 日	
前一年度預算	年度	經費(千元)
	113	200,000
資源投入	年度	經費(千元)

	110	340,000		
	111	250,000		
	112	200,000		
	113	200,000		
	114	210,000		
	合計	1,200,000		
	114 年度	人事費	56,000	土地建築
材料費		35,500	儀器設備	0
其他經常支出		118,500	其他資本支出	0
經常門小計		210,000	資本門小計	0
經費小計(千元)		210,000		
部會施政計畫 關鍵策略目標	維繫產業競爭優勢、推動淨零綠色轉型			
本計畫在機關 施政項目之定 位及功能	面對國際淨零排放趨勢，品牌及系統廠商對低碳排放的環保產品的需求強烈，且為避免我國出口產品被課徵碳稅等貿易障礙，需及早因應建立相關的低碳排放產業技術。本計畫規劃以產業界(煉鋼廠轉爐氣、石化廠煙道氣/製程尾氣)所產出的二氧化碳(CO <sub>2</sub> )及一氧化碳(CO)作為原料，開發與國際同步之前瞻碳捕獲先導場域、CO <sub>2</sub> 再利用合成烷烯烴關鍵觸媒與製程技術，並與石化/鋼鐵產業進行碳循環再利用場域實證技術，作為未來產業投入大型 CO <sub>2</sub> 循環再利用系統建置基礎。			
計畫架構說明	依細部計畫說明			
	細部計畫名稱	碳循環關鍵技術開發計畫(5/5)		
	114 年度 概估經費(千元)	210,000	計畫屬性	產業技術研發
	主管機關	經濟部產業技術司	預定執行機構	經濟部產業技術司
	細部計畫 重點描述	<p>本計畫將透過異業合作(煉鋼廠、石化廠及發電廠)建立所需的 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，提供解決方案，規劃以產業界(煉鋼廠轉爐氣、石化廠煙道氣/製程尾氣)所產出的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)及一氧化碳(CO)作為原料，開發與國際同步之前瞻碳捕獲先導場域、CO<sub>2</sub>再利用合成烷烯烴關鍵觸媒與製程技術，並與石化/鋼鐵產業進行碳循環再利用場域實證技術，作為未來產業投入大型 CO<sub>2</sub> 循環再利用系統建置基礎。</p> <p>FY114 工作重點：</p> <p>(1).高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術：完成百 kW 級膜電解製氫系統實證技術≥500 小時、推動≥ 2 家廠商投入膜電解製氫技術應用。</p> <p>(2).CO<sub>2</sub> 再利用循環固碳化學品系統技術開發：1.完成 CO<sub>2</sub> 轉化 C2-C3 製程噸級放大技術驗證及千噸級設計。2.完成百公</p>		



		<p>斤氫氣載體降解觸媒成型觸媒配方及性能驗證，氫氣產率<math>\geq</math>90%。</p> <p>(3).CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C4-C9+烷烯烴製程技術：結合石化與鋼鐵業者投入，完成 CO<sub>2</sub>/CO 轉化噸級長碳鏈烷烯烴製程先導系統驗證及千噸級設計，作為未來商業化製程基礎。</p> <p>(4).CO<sub>2</sub>/CO 羰基化先導製程技術：完成年產噸級羰基化化學品製程先導系統驗證與設計，年產能<math>\geq</math>1 噸。</p>		
	預期關鍵成果	<p>114 年預期關鍵成果：</p> <p>1.完成 2 家以上廠商參與膜電解製氫技術應用</p> <p>2.完成千噸級 CO<sub>2</sub> 產製烷烯烴製程設計</p> <p>3.完成年產噸級羰基化化學品製程設計</p> <p>4.推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證</p>		
前一年計畫或相關之前期程計畫名稱	<p>111-1401-04-20-01：碳循環關鍵技術開發計畫</p> <p>112-1401-04-20-01：碳循環關鍵技術開發計畫(3/5)</p> <p>113-1401-04-20-02：碳循環關鍵技術開發計畫(4/5)</p>			
前期主要績效	<p>1. 與中鋼公司合作於小港廠建置之「鋼化聯產實驗先導線示範場域」，112 年度已進行相關示範系統之場域運轉驗證：(1).每年可捕獲二氧化碳 15 噸之示範系統、(2).年產 10 噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統、(3).中鋼轉爐氣分離出 CO，經 CO 轉化甲醇示範系統。</p> <p>2. 協助中油公司於大林廠建置 CO<sub>2</sub> 捕獲和合成甲醇試驗設備：CO<sub>2</sub> 捕獲設備已於 111 年完成試車，CO<sub>2</sub> 轉換甲醇設備於 112 年完成串聯 CO<sub>2</sub> 捕獲及轉化甲醇試車，可達到每日捕獲 20 公斤以上 CO<sub>2</sub>，CO<sub>2</sub> 純度 &gt;99% 及轉換產出 10 公斤以上的甲醇。</p> <p>3. 與仁儀公司共同建置熱媒鍋爐尾氣 CO<sub>2</sub> 捕獲及再利用轉化為甲烷發電之示範驗證場域，112 年度已完成驗證系統進駐，及場域管閥件配線，共同驗證本計畫所建立之 3 項示範系統。</p> <p>4. 協助奇美實業投入以煙道氣回收之 CO<sub>2</sub> 做為料源，經由創新轉化觸媒與連續式製程技術，將 CO<sub>2</sub> 直接酯化為 DRC(碳酸二烷基酯)與製備 PC，商業量產後預期可減碳 17.85 萬噸/年。</p> <p>5. 協助宇陽能源公司於金門酒廠建置氣轉電場域：該場域操作將可年產生電量 2,250,000 kWh，以離島併網躉購費用 8.05 元/kWh 估算，售電每年可創造 1,811 萬的產值、預期年減碳量達 13,447 噸 CO<sub>2</sub>。</p>			
跨部會署計畫	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否			
中英文關鍵詞	<p>循環經濟(circular economy)；碳循環(carbon cycle)；碳源(carbon source)；二氧化碳再利用(carbon dioxide utilization)；場域實證(pilot test on-site)；高效率觸媒(high effective catalyst)</p>			
計畫連絡人	姓名	郭昶邑	職稱	研究員
	服務機關	經濟部產業技術司		
	電話	02-23212200#8182	電子郵件	cykuo3@moea.gov.tw

## 附錄 - 最終效益與各年度里程碑規劃表

最終效益(Endpoint)與里程碑(Milestone)規劃	修正說明
<p>最終效益：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建構碳循環產業所需關鍵場域實證放大設備及基礎設計技術，完成以 CO<sub>2</sub> 及 CO 為料源的噸級碳循環示範場域製程技術 4 項，作為未來產業量產投入的設計基礎。</li> <li>2. 透過 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，帶動廠商投入碳循環技術開發，預計技術移轉 9 家以上促成廠商投入 20 億以上研發資源，作為未來產業投入大型碳循環系統建置基礎，並帶動國內 CO<sub>2</sub> 碳源化學品產業鏈的建置。</li> <li>3. 藉由建立高效率低成本膜電解水產氫製程與系統實證技術，預估自 2021 年至 2025 年，電堆產氫能耗可由 55 kWh/kg 降至 50 kWh/kg，系統產氫成本 ≤ 4.5 USD/kg。</li> <li>4. 預估 2030 年可帶動石化及鋼鐵產業投入二氧化碳循環利用產業鏈建置，預計促進產業投資 100 億以上，落實減碳至少 100 萬噸/年，增加產業產值 300 億元以上。</li> </ol>	無
<p>110 年度里程碑：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成年產 50 噸以上 CO<sub>2</sub> 捕獲示範系統建置。</li> <li>2. 完成年產 10 噸以上氫氣示範系統建置。</li> <li>3. 完成 3 噸級批式觸媒製程驗證設備建置。</li> </ol>	無
<p>111 年度里程碑：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成年產 10 噸以上甲烷合成示範系統建置。</li> <li>2. 完成年產 8 萬度以上氣轉電示範系統建置。</li> <li>3. 完成年產噸級費托(Fischer - Tropsch process)製程單元設計及最佳化系統流程設計。</li> <li>4. 完成 1 家以上廠商參與電轉氣示範系統，推動 2 家廠商參與碳循環示範系統。</li> </ol>	無
<p>112 年度里程碑：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成年產噸級自製膜電解製氫原型機建置。</li> <li>2. 完成 CO<sub>2</sub>/CO 產製烷烯烴(年產噸級)先導系統建置。</li> <li>3. 完成年產噸級 OXO 化學品製程先導系統運轉實證。</li> </ol>	無

最終效益(Endpoint)與里程碑(Milestone)規劃	修正說明
113 年度里程碑： 1. 完成年產噸級自製膜電解製氫機場域實證技術。 2. 完成 CO <sub>2</sub> /CO 產製烷烯烴(產率 30%)場域實證。 3. 完成 CO <sub>2</sub> 製備負碳排甲酸製程運轉測試。	無
114 年度(至 8 月)里程碑： 1. 完成 2 家以上廠商參與膜電解製氫技術應用。 2. 完成千噸級 CO <sub>2</sub> 產製烷烯烴製程設計。 3. 完成年產噸級羰基化化學品製程設計。 4. 推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證。	依產業化需求 滾動式調整

## 貳、計畫緣起

### 一、政策依據

- ◆ 國科會於 112 年 4 月 6 日赴行政院報告「淨零科技方案」，透過布局「永續及前瞻能源」、「低(減)碳」、「負碳」、「循環」與「人文社會科學」五大淨零科技領域，以跨部會協作方式，協助社會、產業、生活及能源等四大面向系統轉型，進而達成國家 2050 淨零碳排目標。其中「負碳」科技領域的重點工作內容包括「碳捕捉利用及封存」。
- ◆ 國發會於 111 年 3 月 30 日公告「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，公布 2050 淨零碳排路徑規劃，透過淨零/負碳排技術科技研發及氣候法治達到能源轉型、產業轉型、生活轉型、社會轉型四大策略為策略目標，並規劃「淨零轉型之十二項關鍵戰略」將就能源、產業、生活轉型政策預期增長的十二個重要領域制定行動計畫，因應未來國際協議與我國設定之淨零目標願景，包括「碳捕捉利用及封存」。
- ◆ 總統就職演說(2020.05.20)：建構確保關鍵物資供應的民生與戰備產業，更要讓臺灣走向循環經濟的時代，把廢棄物轉換為再生資源。
- ◆ 政府推動循環經濟-廢棄物資源化：為推動資源永續循環，我國已擬定資源回收再利用推動計畫，從物質生產、消費、廢棄及再生各階段，推動物料永續循環，並跨部會共同推動廢棄物資源化。

### 二、擬解決問題之釐清

面臨全球系統廠商對低碳排放的環保產品的強烈需求，為避免被課徵碳稅等貿易障礙，需及早因應建立相關的低碳排放產業技術。本計畫將透過異業合作(煉鋼廠、石化廠及發電廠)建立所需的 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，提供解決方案，規劃以產業界(煉鋼廠轉爐氣、石化廠煙道氣/製程尾氣)所產出的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)及一氧化碳(CO)作為原料，開發與國際同步之前瞻碳捕獲先導場域、CO<sub>2</sub> 再利用合成烷烯烴關鍵觸媒與製程技術，並與石化/鋼鐵產業進行碳循環再利用場域實證技術，作為未來產業投入大型 CO<sub>2</sub> 循環再利用

系統建置基礎。

2020~2022 年在 COVID-19 疫情陰霾下，多國經濟停擺，工廠停工、封城、人類的活動遽減，化石燃料、電力的使用量大幅降低；IEA 年度《全球能源評論》報告中，估計 2020 年的二氧化碳年排放量將較 2019 年減少近 8%。空氣污染和二氧化碳排放迅速減少，帶來的環境改善大家都感受得到，但也讓我們充分理解到，維持經濟發展的低碳排放技術與達成國家自主減碳目標之間的距離有多大。工業部門需要投入更多的資源，發展循環經濟所需的相關降低碳排放技術，特別是碳循環技術，讓我國的鋼鐵廠、石化工廠及發電廠的二氧化碳、一氧化碳能夠循環再利用的技術，生產高值低排碳化學品。

### 三、目前環境需求分析與未來環境預測說明

#### (一)、背景說明與競爭分析

##### 1. 以產業宏觀觀點，說明過去成長動力、現在阻力以及未來機會所在。

化石燃料自 19 世紀初開始被大量開採運用，加上工業革命，二氧化碳的排放與經濟成長產生了連動。如今大氣中的二氧化碳含量已較工業革命前的約 200 ppm，大幅上升至約 400 ppm，造成了全球暖化的溫室效應，並導致氣候變遷；國際上也開始有降低碳排放的要求，全球各國終於在 2015 年的『聯合國氣候變化大會』上簽署了「巴黎協定」(2016 年生效)，要求各國自訂國家自主減碳目標。我國的產業發展，從石化產業建立後，提供了大量的化學、塑膠原料，也進一步帶動下游的民生化工產業的蓬勃發展；之後，陸續發展了電子、光電、半導體及顯示器等產業，使得我國的經濟快速成長，也讓我國的用電量逐年快速攀升，碳排放量也高居全球的前 20 名左右。因此，我國也在 2015 年 7 月通過了《溫室氣體減量及管理法》，並明訂定我國的減碳目標及相關施行細則。

現今全球各國管控碳排放的方式主要包括：課徵碳稅、降低石化燃料補貼、提高石油燃料權利金、二氧化碳排放收費及碳定價等做法。二氧化碳雖然是溫室效應的主要氣體，但也是可替代石化原料的新碳源；我國產業界的汽電共生裝置與發電廠的煙道氣所排放

的大量 CO<sub>2</sub> 氣體，如果可以透過吸收製程將其捕獲下來，再透過觸媒轉化製程，將 CO<sub>2</sub> 碳源合成化學品再利用；例如：開發烷烯烴類化合物與高值機能性中間體與聚合物，作為燃料與一般化學品應用，除了可降低產業對原油與關鍵化學材料進口依賴，並可引領我國化工石化產業往綠色碳源循環應用發展，同時貢獻減碳。

## 碳循環關鍵技術開發-產業帶動架構

□ 台灣石化行業二氧化碳排放量估計超過4000萬噸/年，CO<sub>2</sub>化學再利用是未來石化產業的新機會，降低氫氣成本與提高製程/觸媒效率是關鍵。

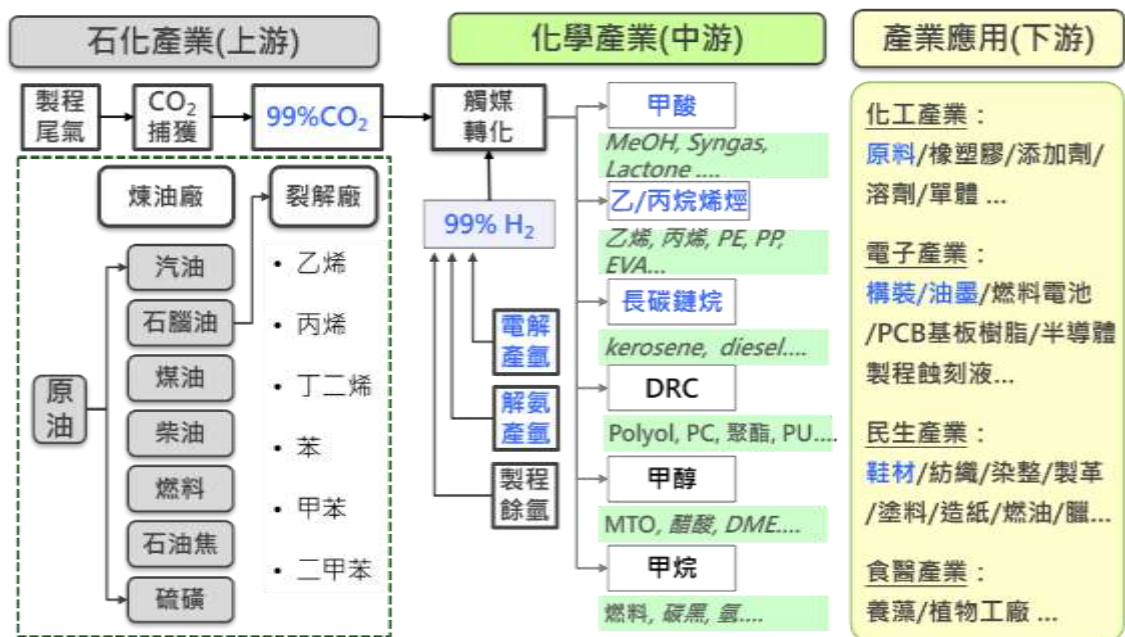


圖 1、碳循環產業鏈建置

2. 分析未來 3-5 年之市場概況、消費者行為、社會型態及市場趨勢，並說明未來潛在需求與應用發展機會，針對這些問題及機會，分析各種解決方案，提出預估可實現時程。

國際能源總署 (IEA) 發布「2022 年碳排放回顧報告」，2022 年全球能源相關碳排放較前一年增加約 0.9% (3.21 億噸)，碳排放和經濟成長回到疫情前的穩定脫鉤趨勢。其中，能源燃燒的碳排增加了 4.23 億噸、工業製程的碳排則降低 1.02 億噸，2022 年共排放 368 億噸。2023 年全球氣候行動網絡等獨立機構 8 日公布的全球氣候變遷績效指標 (CCPI)，由我國排名第 61 名，在 67 國倒數第七，僅略優於南韓、俄羅斯及加拿大。為因應全球降低碳排放的趨勢，蔡

總統在 2022 年元旦宣示：『提出淨零排放的路徑圖，讓整體經濟結構的轉型有所依循』。環保署亦已公告將《溫室氣體減量及管理法》修正為《氣候變遷因應法》草案，明訂溫室氣體長期減量目標為 2050 年淨零排放。國內目前在 CO<sub>2</sub> 捕獲與再利用技術上，學界在第二期能源國家型科技計畫(NEP-II)計畫裡有投入實驗室等級的 CO<sub>2</sub> 吸收劑配方及捕獲製程技之研究；產業界有少數建立使用製程副產 CO<sub>2</sub> 來合成化學品技術，如長春集團以 CO<sub>2</sub> 合成醋酸的生產技術以及東聯化學以 CO<sub>2</sub> 和環氧乙烷合成環碳酸酯技術，但仍欠缺直接自煙道氣捕獲 CO<sub>2</sub> 並合成化學品的觸媒及製程產業化技術。

以另一個角度來說台灣所需能源高度仰賴進口，加上工業能源消耗占比高及環境負荷大，對我國經濟發展及環境保護的衝擊日趨嚴峻；在全球經貿情勢變動、政府部門及民間單位共同努力推展節能減碳相關政策措施等多重因素下，我國化石燃料燃燒的二氧化碳排放量，自西元 2008 年出現 1990 年以來首度負成長後，近年來排放量大致呈現持平趨勢，2015 年排放量較 2014 年減少約 0.21%，仍低於 2007 年高峰值；二氧化碳排放密集度（每單位國內生產毛額 GDP 的二氧化碳排放量）則自 2007 年的 0.0204 kg-CO<sub>2</sub>/元降至 2015 年的 0.0160 kg-CO<sub>2</sub>/元。

依據國際能源總署 IEA/OECD 於 2019 年出版之能源使用二氧化碳排放量統計資料顯示，我國 2017 年能源使用 CO<sub>2</sub> 排放總量為 271.7 百萬公噸，占全球排放總量的 0.82%，全球排名第 21 位；每人平均排放量為 11.38 公噸，全球排名第 19 位，碳排放密集度為 0.26 公斤 CO<sub>2</sub>/美元，全球排名第 45 位，低於與我國產業結構相似的國家，例如韓國及中國大陸。

表 1、我國燃料燃燒排放二氧化碳排放指標跨國比較

	台灣	排名	全球	日本	韓國	美國	中國大陸
排放總量 <sup>a</sup> (百萬公噸 CO <sub>2</sub> )	268.9	21	32,840	1,132	600	4,761	9,258
人口(百萬人)	23.6	53	7,519	127	51	323	1,386

每人平均排放 (公噸 CO <sub>2</sub> /人)	11.38	19	4.37	8.94	11.66	14.95	6.68
排放密集度 <sup>b</sup> (公斤 CO <sub>2</sub> /美元)	0.26	45	0.29	0.24	0.32	0.27	0.45

註: (a)不包括國際航運排放 CO<sub>2</sub>。

(b)以「購買力平價」(purchase power parity) 及 2010 年美元幣值計。

資料來源：IEA/OECD Key World Energy Statistics, 2019 Edition

表 2、國內 2019 年 CO<sub>2</sub> 排放量：26,562 萬噸<sup>a</sup>

公司	CO <sub>2</sub> 來源	排放量 <sup>b</sup> (萬噸)	PS. (2020)
台電	火力發電	~9,267	燃油~9%、天然氣~29%、燃煤~62%
台塑集團	火力發電 煉油製程 石化製程	~6,700	同時有排放 CO <sub>2</sub> 及產 H <sub>2</sub>
中鋼	煉鋼製程	~1,958	同時有排放 CO <sub>2</sub> 及產 H <sub>2</sub>
中油	煉油製程 石化製程	~711	同時有排放 CO <sub>2</sub> 及產 H <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> 主要來自鍋爐，燃氣為裂解製程的尾氣或餘 H <sub>2</sub>
水泥廠	水泥製造	~1,500	
	合計	20,136	

(a)資料來源：2021 年國家溫室氣體清冊報告(環保署)

(b)資料來源：台灣電力公司；中油公司-企業社會責任網；中鋼公司-企業社會責任網

二氧化碳的循環再利用技術包括(1). CO<sub>2</sub> 的捕獲、(2). CO<sub>2</sub> 濃縮、(3). CO<sub>2</sub> 反應活性提升及(4). CO<sub>2</sub> 轉化反應等，其中影響成本最大的關鍵即在於 CO<sub>2</sub> 的捕獲與提純；同時 CO<sub>2</sub> 的產生來源(如:煙道氣)通常伴隨其它雜質成分，需要去除這些雜質成分，方可避免轉化觸媒因毒化失效，因此 CO<sub>2</sub> 的捕獲與提純技術為 CO<sub>2</sub> 利用可否成功的經濟關鍵因素。目前歐美日各國的學研與產業界已積極投入研發建立關鍵試量產技術，預計在 2020 起開始投入量產，二氧化碳料源化



學品主要技術發展標竿廠商包括：Asahi Kasei、BASF、Coverstro、Dow Chemical、LanzaTech、Novomer、Panasonic、Photanol，主要發展的技術種類如下表。

表 3、二氧化碳料源主要發展的技術種類

主要發展者	發展階段	技術概述
Asahi Kasei	商業化	應用EO與CO <sub>2</sub> 作為起始原料，透過觸媒進行化學催化生產DMC、DPC與EG等化學品。
BASF	(1)開發中 (2)商業化	(1)應用CO <sub>2</sub> 作為起始原料，透過觸媒進行化學催化合成丙烯酸。 (2)以CO <sub>2</sub> 、棕櫚油與澱粉做為原料合成生物可分解塑膠polyhydroxybutyrate (PHB)。
Coverstro	商業化	應用CO <sub>2</sub> 作為起始原料合成PU原料多元醇。
Carbon Recycling International(CRI)	商業化	應用工業廢氣之與電解水所產生的氫氣及氧氣作為原料，透過化學觸媒催化，合成甲醇。
Dow Chemical	開發中	應用CO <sub>2</sub> 作為起始原料合成環碳酸酯再與二胺類單體合成NIPU。
LanzaTech	開發中	應用氫氣與CO <sub>2</sub> 作為起始原料，透過藍綠藻進行生物化學反應生產醋酸。
Liquid Light	實驗室	應用有機物或水與CO <sub>2</sub> 作為起始原料，透過進行電化學觸媒反應生產EG、其他醇類或有機酸等化學品。
Novomer	商業化& 開發中	(1)應用CO <sub>2</sub> 作為起始原料合成各種碳酸酯衍生化學品。 (2)應用CO <sub>2</sub> 作為起始原料還CO，進一步和成各種有機醇或酸。
Panasonic	開發中	應用氮化物半導體之光電效應與金屬觸媒催化光化學反應將CO <sub>2</sub> 轉變成甲酸。
Photanol	開發中	應用CO <sub>2</sub> 作為起始原料，透過微生物進行光化學反應生產有機化合物。

國內既有的二氧化碳再利用技術，多屬學界的實驗室階段，與各國技術有明顯的落差，國內缺少成熟的二氧化碳轉化觸媒製程與試量產技術可供產業應用，加上產業界面臨低碳產品的市場需求與對減碳的限制的法案，環保署業已公告《溫室氣體減量及管理法》修正為《氣候變遷因應法》草案，明訂溫室氣體長期減量目標為 2050 年淨零排放；未來產業發展將面臨很大的挑戰，需即早布局低能耗二氧化碳捕獲及再利用等新技術的研發。

我國排放煙道氣二氧化碳的來源主要為能源部門及工業部門：包括火力電廠、汽電共生廠、煉油廠、化工廠、煉鋼廠及水泥廠等

即占約 1.9 億噸，若可加以捕獲並轉化成高值化學品與儲能化學品，將有助提升我國在全球二氧化碳減量的地位，同時可創造綠色的循環經濟商機。而國內產業對二氧化碳的來源的化學品實際上具有強烈又急迫的需求：

- 全球系統廠商及品牌大廠對降低碳排放綠色產品的需求強烈，不僅產品要貼上碳足跡標籤，全球 500 大企業更合組供應鏈聯盟，要求旗下供應商公佈碳排放資料。未來如果不降低碳排放，有可能會被趕出供應鏈，甚或被經濟制裁。
- 乙烷/丙烷可進一步脫氫生成乙烯/丙烯等石化料源，目前主要取自石油煉製程序；將氫氣與電廠所排放的煙道氣 CO<sub>2</sub> 經化學固碳轉化成乙烷/丙烷，再生成乙烯/丙烯，可提高 CO<sub>2</sub> 再利用的價值，也會影響到化學材料上游供應鏈的減碳潛力。

### 3. 說明目前國內外產業現況、分析目前或未來有哪些競爭對象(既有產品或國際競爭研發團隊)、在國際市場上是否有競爭性(國內外技術概況、競爭分析比較)。

#### 3-1、國內外產業現況

世界各國於 2015 年 COP21 大會中，針對 CO<sub>2</sub> 的排放與管制所簽訂的巴黎協定，已於 2016 年 11 月正式生效。該協定要求各國自訂減碳目標，並予以施行。目前全球各國化學大廠都積極投入 CO<sub>2</sub> 捕獲與再利用技術開發。國際上 CO<sub>2</sub> 捕獲與再利用技術開發投入積極，例如：

日本：1990 年起，整合產學研的多個大型研究計畫中，成功建立 CO<sub>2</sub> 化學吸收法分離純化技術與觸媒轉化合成甲醇、二甲基碳酸酯..等化學品及樹脂合成試量產技術。

歐盟：成立 Power To Gas Platform 結合多國 40 幾個計畫，利用再生能源電力所生產的氫氣，將捕獲之 CO<sub>2</sub> 轉化成甲烷作為供應燃氣系統。

冰島：CRI 公司使用地熱發電，產生的電來電解水產氫並與 CO<sub>2</sub> 轉化合成甲醇。

德國：Covestro 公司的 CO<sub>2</sub> 合成多元醇。

美國：Novomer 公司以 CO<sub>2</sub> 合成碳酸酯/丙烯酸等合成觸媒與製程技術。

歐美日：各國 CO<sub>2</sub> 再利用技術預計 2020 以後開始量產。

於 2021 年的聯合國氣候變遷大會(COP26)中，通過「格拉斯哥氣候協議」，明確要求在達到 2050 淨零排放之前，要先在 2030 年、較 2010 年減少碳排 45%，相比之下，台灣既有目標只減 20%，進度遠遠落後。本會議重點結論包括：

- 美中兩國宣布達成《美中關於在 21 世紀 20 年代強化氣候行動的格拉斯哥聯合宣言》，承諾未來 10 年加強氣候合作，商定包括**甲烷排放、脫碳、潔淨能源**等明確步驟。
- 40 多個國家承諾到 2050 年前**逐步淘汰煤炭**。
- 100 個國家的領導人承諾到 **2030 年結束或減少森林砍伐**。
- 美國和歐盟宣布將合作**減少 30% 甲烷排放**。
- 2021 年 11 月 13 日，會議通過《格拉斯哥氣候公約》：
  - ✓ 公約要求維持巴黎協定要求把全球氣溫升高幅度控制在攝氏 1.5 度以內的目標以及**逐步減少煤炭使用**。
  - ✓ 要求各國重新在 **2022 年底**前，重新發布氣候對策的計畫，**設下更高的 2030 年減碳目標**。
  - ✓ 定期審評減排計劃，增加對發展中國家的財政援助。

我國排放煙道氣 CO<sub>2</sub> 的來源主要為能源部門及工業部門：包括火力電廠、汽電共生廠、煉油廠、化工廠、煉鋼廠及水泥廠等即占約 2 億噸，若可加以捕獲並轉化成化學品，有助提升我國在全球 CO<sub>2</sub> 減量的地位，同時可創造經濟商機。國內產業 CO<sub>2</sub> 捕獲與再利用現況，不足以因應降低碳排放的要求，主因為國內產業界仍欠缺巨量需求且具經濟價值的 CO<sub>2</sub> 捕獲與轉化觸媒/製程，而且現有的相關二氧化碳捕獲與再利用技術成本偏高。此外，透過生物養殖所去化的 CO<sub>2</sub> 量並不高。相關資訊整理如下表 4。

表 4、國內 CO<sub>2</sub> 捕獲與轉化觸媒/製程

產品技術	公司	Reaction	Status <sup>1</sup>	CO <sub>2</sub> 消耗量(ton/年)
CO <sub>2</sub> 捕獲微藻 養殖⇒蝦紅素 萃取	台泥	Calcium looping Carbonation: $\text{CaO} + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3$ Calcination: $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO}$	Pilot Run (1 ton/hr) Scale-up (under construction)	8,000
乙烯碳酸酯 Ethylene Carbonate (EC)	東聯 化工	$\text{CO}_2 + \text{Ethylene Oxide (EO)} \Rightarrow \text{EC}$	Mass Production (60 kiloton/year)	30,000
聚碳酸酯 Polycarbonate (PC)	奇美 樹脂	$\text{EC} + \text{MeOH} \Rightarrow \text{DMC}$ $\text{PhOH} + \text{DMC} \Rightarrow \text{DPC}$ $\text{DPC} + \text{Bisphenol-A} \Rightarrow \text{PC}$	Mass Production (140 kiloton/year)	
醋酸 Acetic Acid (AA)	長春 石化	$\text{C} + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CO}$ $\text{CO} + \text{MeAc} \Rightarrow \text{Ac}_2\text{O}$ $\text{Ac}_2\text{O} + \text{MeOH} \Rightarrow \text{AA} + \text{MeAc}$	Mass Production (600 kiloton/year)	150,000
Estimated Total				188,000

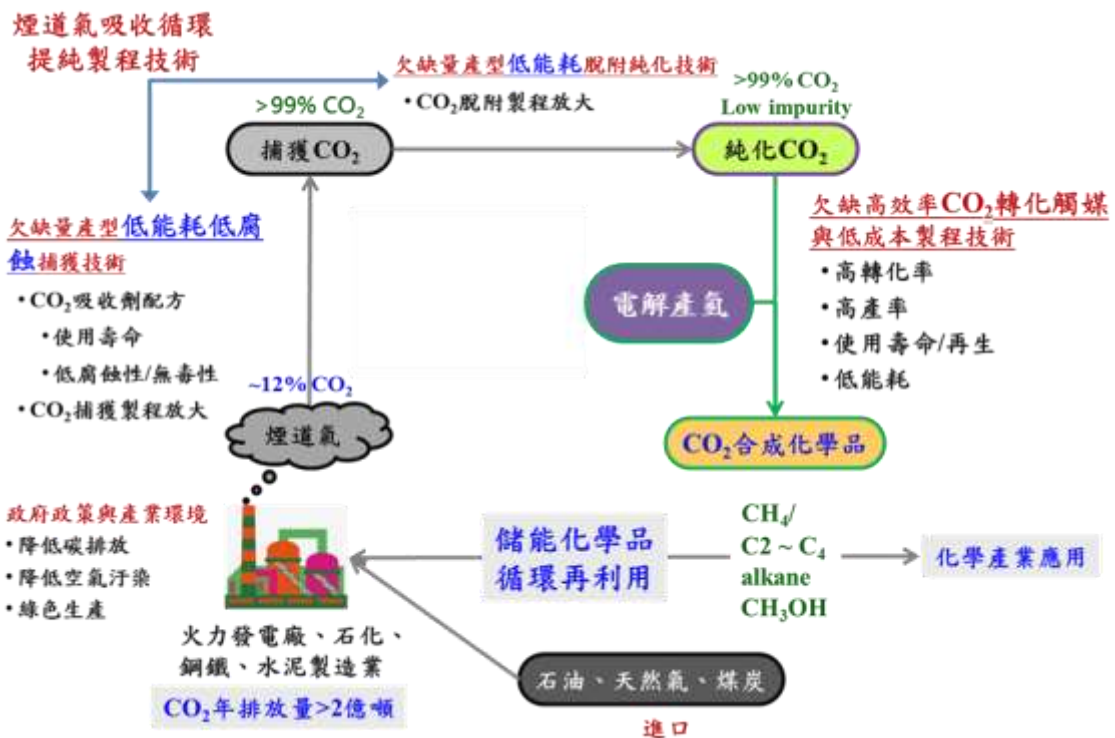
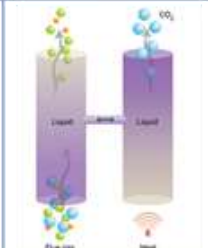
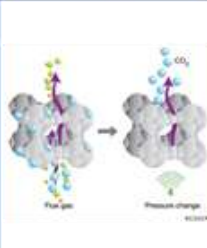
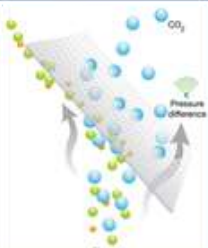
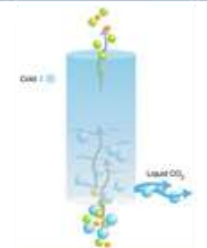


圖 2、煙道氣循環提純流程圖

### 3-2、分析目前或未來有哪些競爭對象

對於 CO<sub>2</sub> 捕獲/純化分離技術而言，目前已有幾種熟知技術：吸收、吸附、低溫冷凝以及薄膜分離技術(表 5)。由於 CO<sub>2</sub> 回收技術的成本仍須降低，收集成本需低於未來課徵碳稅的價格，始可提升企業團體投入意願，因此開發更具有競爭性和經濟價值的捕獲/純化收集技術是長期的研發重點。以國內現況而言，主要排放源為發電廠及汽電共生廠的煙道氣，應是化學吸收法最為合適。目前國內學/研界透過第一、二期能源國家型科技計畫已發展出許多自主 CO<sub>2</sub> 捕獲/純化技術，如化學吸收法搭配超重力製程、高鹼性工業廢棄物搭配超重力製程與鈣循環製程、羧酸鉀吸收製程等，已具有相當的研發能量。

表 5、CO<sub>2</sub> 捕獲/純化分離技術

	吸收 (Absorption)	吸附 (Adsorption)	薄膜分離 (Membrane)	低溫冷凝 (Cryogenic)
操作彈性	適中	適中	高	低
啟動時間	快 (1 hr)	-	極快 (< 10 min)	慢 (8~24 hr)
可靠度	適中	適中	高	低
碳捕捉能耗量	4~6 MJ/Kg CO <sub>2</sub>	2~3 MJ/Kg CO <sub>2</sub>	0.5~4 MJ/Kg CO <sub>2</sub>	6~10 MJ/Kg CO <sub>2</sub>
碳捕捉成本	低	低	低	高
排放氣體 CO <sub>2</sub> 回收率	90~98 %	80~95 %	80~90 %	> 95%
回收CO <sub>2</sub> 純度	> 95 %	> 95 %	80~95 %	> 95 %
技術圖示				

#### (2).低能耗低腐蝕 CO<sub>2</sub> 捕獲技術

發展廠商	方法	再生能耗 GJ/ton CO <sub>2</sub>	再生條件	問題點
三菱重工 Shell-CANSOLV	醇胺吸收法	現況: 3.2~5.5	現況: ≥ 130°C、≥ 2atm 目標: ≤ 120°C @ 1atm	腐蝕性、吸收速率、吸收劑降解及揮發
本計畫	複合型吸收劑法	現況: ≤ 3.0 目標: 2.5	現況: ≤ 120°C @ 1atm	Lab. Scale, 欠缺大型化工程驗證

- CO<sub>2</sub> 捕獲技術目前商業化是以醇胺法為吸收劑，以三菱重工和 Shell-CANSOLV 的技術為主要專利性醇胺類吸收劑，會有化學吸收劑的腐蝕性、吸收速率、吸收劑降解速率、吸收劑的揮發以及吸收劑的再生能耗等問題。
- 本計畫以創新低成本複合型吸收劑，降低腐蝕性、減少吸收劑降解及揮發。
- 複合型吸收劑捕獲 CO<sub>2</sub> 再生能耗低，操作成本相對低。

### (3). 開發 CO<sub>2</sub> 料源合成 C2-C3 觸媒與製程技術

以 CO<sub>2</sub> 料源合成甲烷為目前國際大量減碳排方式之一，國內每年 LNG 進口量需要 1.7 仟萬噸，80% 用於能源用途，而工業用途則為 20%，其中 99% 由中油進口使用及轉售，而天然氣關鍵規範為：甲烷 ≥ 85%、C2-4 約佔 10%、含硫量 ≤ 52 ppm、總熱值 9,000~10,000 Kcal/Nm<sup>3</sup>。若能產出的甲烷規格達中油銷售天然氣的規範，將可減少分離能耗，可輸回原有的天然氣管路，併入網線使用。而傳統二氧化碳氫化轉化甲烷，使用鎳系或鈦系觸媒，若藉由添加改質金屬助觸媒，可以調整產物組成，增加 C2-C3 成分，除可增加天然氣的熱值外，若有更多比例的產出 C2-C3 產物，則可以做為國內塑化原料，由現有石化製程可以將 C2-C3 藉由脫氫反應，轉化成乙烯丙烯，建立塑化原料低碳排的原料來源，同時較高價值的乙烯丙烯可增加整體製程經濟性。

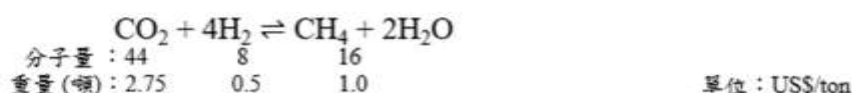
發展廠商	方法	反應條件	問題點
國際產業現況	從化石碳源(煤炭或石油焦等)氣化成 CO 或捕集 CO <sub>2</sub> 再轉化成甲烷	鎳系或鈦系觸媒 ≥ 350°C，≥ 20 bar	主要產物為甲烷，伴隨產生乙丙烷烯烴的產率低(<10%)，大量水氣會與乙丙烷烯烴，易產生積碳(coking)造成觸媒毒化。
本計畫	CO <sub>2</sub> 高活性金屬觸媒轉化成甲烷及 C2-C3	鎳金屬為主要高活性觸媒，再配合多種助觸媒組成，反應溫度 < 320°C，~20 bar	將增加 Co, Fe 類改質劑，以增加 C2-C3 生成率，但烯類產物較少，且易產生積碳。

- 國際產業現況為從化石碳源(煤炭或石油焦等)氣化成 CO<sub>2</sub> 再轉化成甲烷 (即合成天然氣 SNG)，所使用的鎳系或鈦系觸媒，在高溫高壓下(≥ 250°C，≥ 20 bar)進行反應，CO<sub>2</sub> 轉化率 < 85%，易產生

積碳(coking)造成觸媒毒化。

- 美國頁岩氣的興起除了供應甲烷外，也提供乙烷/丙烷/丁烷等料源，進一步脫氫以提供乙烯/丙烯/丁烯等石化料源。
- 國際學術界目前皆在學術研究及試量產測試中，尚未達建廠階段。皆積極發展 CO<sub>2</sub> 轉化成甲烷及 C2-C3 成分，可做為 Benchmark 的研究是於 2022 年西班牙 Hermenegildo Garcia 教授等人發表的文獻中，以鐵鈷奈米合金觸媒，於 300°C、40bar 的反應條件下，二氧化碳轉化率可達 58.4%，而甲烷產率為 31.2%，C2-C4 產率為 26.0%。(目前學術文獻的 C2-C4 產率 < 30%)
- 本計畫以 CO<sub>2</sub> 為原料，加氫反應生成甲烷/乙烷/丙烷等，進一步脫氫可合成烯烴類化合物。
- 本計畫開發高活性金屬觸媒生成烷烴，CO<sub>2</sub> 轉化率 > 90%，可避免積碳毒化，並藉由助觸媒組成，可提升 C2-C3 的產率 > 10%。
- CO<sub>2</sub> 轉化低碳數烷烴類成本效益分析：表 6 為不同來源氫氣的成本及相對應之甲烷生產成本，若以再生能源生產“綠氫”，再將氫氣與 CO<sub>2</sub> 反應，生成易於儲存及用途廣泛之甲烷，氫氣成本是決定甲烷成本的關鍵，目前以可再生能源電解水產氫的成本約為 3-4 USD/kg，以此氫氣價格製造甲烷的成本約為石化進口天然氣的 2-3 倍。而若以目前歐盟每噸 CO<sub>2</sub> 的碳稅為 70 美金計算，氫氣成本在小於 1.57 USD/kg 時，甲烷生產成本可達 LNG 進口價。依據 IRENA 所做預估，未來隨著可再生能源增加及電解技術開發，2050 年風電產氫平均成本 1.2 USD/kg，即同於石化天然氣的價格，將可不用支付碳稅。另外，國內石化廠有許多製程副產氫，如台塑仁武有 1.2 萬噸氫氣/年、台化麥寮有 3 萬噸氫氣/年，如使用這些副產氫生產甲烷，氫氣成本 ≤ 1.5 USD/kg 時，甲烷生產成本也接近 LNG 進口價。而乙烯/丙烯價格為甲烷的 1.5-2 倍價格，在 CO<sub>2</sub> 轉化中若能產出大於 10% 以上的 C2-C3，經現有石化脫氫製程可產出乙烯丙烯，將可提升 20% 以上的整體製程經濟性。

表 6、不同來源氫氣成本及相對應之甲烷生產成本



Case	碳稅		CO <sub>2</sub> 成本 (II)	H <sub>2</sub>			製程成本 (IV)	甲烷生產成本 (V)	成本/售價 <sup>1</sup> (V/686)
	US\$/tone	成本(I)		來源(價格)	US\$/Kg	生產成本 (III)			
LNG	0	0		686				686	1.00
	70	181						867	1.26
1			26	電解水產氫 <sup>1</sup> (2.5Nt/kWh)	4.00	2000	50	2080	3.03
2			26	2050風電產氫平均 <sup>2</sup>	1.20	600	50	677	0.99

1. 甲烷售價為LNG平均進口價；2. IRENA. Hydrogen: A renewable energy perspective(2019)

#### (4).開發 CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub><sup>+</sup>烷烴製程技術

依據美國平均數據來算，每公升汽油（從油井到油箱）生產過程會排放 0.505 公斤二氧化碳。若能利用鋼鐵廠製程氣 CO<sub>x</sub> 經由氫化反應，生成長碳鏈烷烴(C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub><sup>+</sup>)。則可以有效降低碳排放量。由於目前並無商業化以 CO<sub>2</sub> 氫化合成長碳鏈烷烴(C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub><sup>+</sup>)的觸媒及製程。因此在觸媒設計上除了必須提升 CO<sub>2</sub>/CO 轉化率外，更重要的是抑制甲烷等副產物的生成，才能大幅提升長碳鏈烷烴類的產率。近年來新觸媒配方的研發仍以低成本的過渡金屬為主體(例如 Ni、Co、Fe 等)，並添加助劑成份及適當的合成方法而達到提升活性及選擇性。本計畫將藉由開發年產噸級的高效製程示範技術驗證，引導國內鋼鐵廠及石化廠商投入跨業整合的試量產技術驗證。初估 CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub><sup>+</sup>長碳鏈烷烴製程比石化原料製程的碳足跡減少 ≥0.5 公噸 CO<sub>2</sub>/公噸長碳鏈烷烴。未來若此技術能實現產業應用，減排效益將相當可觀，同時較高價值的長碳鏈烷烴可增加整體製程經濟性。

發展廠商	方法	反應條件	問題點
國際產業現況	從 CO <sub>2</sub> 轉化成長碳鏈烷烴，需先將 CO <sub>2</sub> 氫化成 CO，再由 CO 合成長碳鏈烷烴	CO <sub>2</sub> 氫化合成 CO 技術： -使用 IIIVB 金屬觸媒 -反應溫度 ≥ 500°C, CO 產率可達 50% -若反應溫度 ≤ 400°C 主產物以甲烷為主	(1)傳統鎳系、銅系或鈦系觸媒反應溫度 ≤ 400°C，氫化 CO <sub>2</sub> 主產物為甲烷不易形成長碳鏈，(2)若先經 CO <sub>2</sub> 氫化成 CO 步驟需較高反應溫度，且製程較複雜。
本計畫	CO <sub>2</sub> 高活性金屬觸媒轉化成長碳鏈烷烴	鐵或鈷金屬為主，開發高活性觸媒，反應溫度 ≤ 400°C	Lab. Scale，直接轉化時，空間流速較低。( <1,000 h <sup>-1</sup> )



- 國際產業現況尚無法利用傳統 FT 觸媒將 CO<sub>2</sub> 轉化成長碳鏈烷烯烴，所使用的鐵系或鈷系觸媒在其反應溫度下(≤350°C，~20 bar)無法有效進行 CO<sub>2</sub> 轉化反應，提高反應溫度雖可提升 CO<sub>2</sub> 轉化率，但會伴隨大量甲烷生成。
- 國際學術界目前積極發展 CO<sub>2</sub> 轉化成 C4-C9 及 >C9 成分，可做為 Benchmark 的研究是 2021 年 Chengyi Dai 等人發表的文獻中，以鐵鈷/氧化鋁觸媒，於 350°C、30bar 的反應條件下，CO<sub>2</sub> 轉化率可達 58%，而 C5-C12<sup>+</sup>產率為 18.3%。
- 從化石碳源(煤炭或石油焦等)獲得之長碳鏈烷烯烴(C4-C9<sup>+</sup>)液態烷烯烴每公升(從油井到油箱)生產過程會排放 0.505 公斤 CO<sub>2</sub>。
- 本計畫以 CO<sub>2</sub> 為原料，加氫反應生成長碳鏈烷烯烴(C4-C9<sup>+</sup>)等，作為未來低碳足跡之液態烷烯烴之替代來源。
- 本計畫開發高活性金屬觸媒，可於低溫下反應(< 400°C)生成長碳鏈烷烯烴類，CO<sub>2</sub> 轉化率 ≥50%，可避免積碳毒化，終極目標為降低反應溫度至 350°C 以下，進一步降低能耗。
- CO<sub>2</sub> 轉化長碳鏈烷烯烴類成本效益：本計畫預期使用鋼廠的製程氣為原料，目前該製程氣作為燃料使用，因此以熱質估算其價值，製程氣中的 CO 價值為 0.073 USD/kg 與氫氣價值為 1.095 USD/kg，將原料價格併入生產成本(以 SRI report 相關 FT 製程)估算每公斤烷烯烴的生產成本約為 0.73 USD/kg，由於氫氣原料成本佔烷烯烴生產成本 50% 以上，所以若氫氣價值超過 3 USD/kg 將使製程失去競爭力，需控制氫氣價值最佳在 1~2 USD/kg。

#### (5).CO<sub>2</sub> 轉化高值化學品製程與觸媒技術

CO <sub>2</sub> 轉化甲酸製程方法	發展廠商	技術內容	問題點
電化學還原反應	Det Norske Veritas (DNV)、Mantra Venture Group	電催化還原，高能耗，Small-scale	需全程使用綠電才能達成負減排
均相催化反應	BASF、BP Chemicals	[Cat.]: Ru-phosphine hydride H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> = 10/2~25/6 MPa	製程高氫氣比，氣體回收用成本高，甲酸分離高耗能
均相催化反應	本計畫	[Cat.]: Ru metallocene， H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> = 4/1~2/1 MPa	Lab scale

- 傳統石化製程製備甲酸(FA)具高耗能(19.25 MJ/kg-FA)高碳排(2.35 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-FA)問題，製程排碳量高。以 CO<sub>2</sub> 進行負碳甲酸製程，具備更低耗能(9~12 MJ/kg-FA)負碳排(-0.57 ~ -0.83 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-FA)特性。
- CO<sub>2</sub> 製備甲酸目前國際產業現況主要以電化學還原法進行，然而高用電量問題，嚴重限制其放大量產可行性，若非全程使用綠電，製程無法達成負碳排效果。
- 為避免高耗電製程增加碳排問題，許多研究採用均相催化反應製程，並添加胺化合物移除甲酸產物提升製程效率，然而高溫分離甲酸與胺偶合物過程仍然具高耗能問題，且製程效率仍有待提升(製程低溫度 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ ，壓力 $\geq 100\text{ atm}$ )，需建立更有效率觸媒及分離方法。
- 本計畫以 CO<sub>2</sub> 為原料，加氫反應生成甲酸，可作為化工製程中間體，或進一步分解產 CO/H<sub>2</sub>，解決 CO 及 H<sub>2</sub> 難以儲存和運輸處理問題，作為更實用和理想化學品起始原料。
- 本計畫開發新型[Ru]、[Pd]觸媒進行 CO<sub>2</sub> 轉化甲酸生產，提高製程效率(製程溫度 $\leq 140^{\circ}\text{C}$ ，壓力 $\leq 80\text{ atm}$ )，將開發無胺製程技術，簡化甲酸產品純化分離提升製程效率，避免分離高能耗造成額外碳排放，同時達成觸媒重複使用，降低生產成本。此外，將以甲酸作為 C1 原料，將烯烴化合物轉化羰基化化學品，完成多樣化低碳化學品生產技術建立。
- CO<sub>2</sub> 轉化高值化學品製程與觸媒技術產業成本效益分析：甲酸是重要的基礎化工原料，廣泛應用於食品、醫藥、農藥、畜牧、製革、染整、化工、橡膠、造紙及燃料電池等行業，全球需求量大，國內民生化工製程年需求量達 2 萬噸(產值達 10 億)，國內尚無產能，需進口滿足缺口。建立 CO<sub>2</sub> 轉化甲酸生產製程技術，產品能滿足國內產業所需，避免建立傳統石化製程產甲酸高碳排問題。此外，甲酸可轉化為 CO，作為 syngas 來源應用於 OXO 製程製備化學品(國內 OXO 產醇 84 萬噸)，相較於高毒性 CO 具有穩定保存及方便運輸優勢，影響產值達百億，已逐漸被產業重視。以 CO<sub>2</sub> 製備甲酸相較於傳統石化製程具低能耗及低排碳特點，相關成本仍遠低於產品市場價格，符合產業需求，產品將可為企業帶有可觀的營運利潤。

## (6). 氫氣料源供應技術

- 國際產業現況主要係以天然氣經過重組反應供應氫氣料源，雖然成本低(1-2 USD/kg-H<sub>2</sub>)，伴隨大量 CO<sub>2</sub> 排放，不符減碳趨勢。
- 本計畫規劃建立高效率、低成本技術生產氫氣與氧氣，氫氣經過適當純化，可供應二氧化碳氫化轉反應的料源，可達到減碳之效益。開發 2 項關鍵製氫技術：(6-1)高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術及(6-2). 氫氣載體降解觸媒製氫技術，目前與國際現況比較與成本效益估算如下：

### (6-1). 高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術

電解水產氫技術在大量產氫的過程會耗費相當多的能量導致不符成本。而鹼性膜電解的金屬電極則較沒有腐蝕的問題，選擇性也增加許多，相較之下其工業可量產性與大規模普及性皆具潛力，但現行非鉑鈷電極觸媒材料雖具低成本的優勢，但其活性卻仍遠不及貴金屬系之鉑鈷。能量消耗多與過電位過大有關，而過電位與電極、電解液、及反應生成物有關。提升電解水效率，觸媒電極扮演重要角色，活化能降低受電極表面的影響，取決於電極材料本身催化特性。雖然貴金屬如 Pt 或 IrO<sub>2</sub> 一直是最具催化效果的電極材料之一，但其價格相當昂貴。為減低成本，必須採用其他材料取代 IrO<sub>2</sub>。藉由開發低過電位與高電流活性的創新非貴金屬觸媒組成，使電解產氫用觸媒電極活性向上提升，同時兼顧活性與成本之目的以及提升電解水效率，電極扮演重要角色，可降低活化能及增加反應的界面，使其具有低反應起始電位與高電流活性。因此本計畫開發非鉑鈷系鎳基觸媒—活性與鉑鈷相當，負載量 < 0.4 mg/cm<sup>2</sup> (商規鉑鈷觸媒須 > 2 mg/cm<sup>2</sup>)。

種類	AEL	PEMEL	AEMEL
操作電位	2.2V	2.1V	< 2V
耗電量(kWh/kgH <sub>2</sub> )	> 60	> 55	50
HER 觸媒種類	Ni-based	Pt/C	Ni-based
HER 觸媒成本	Low	High	Low
OER 觸媒種類	Ni-based	IrO <sub>x</sub>	Ni-based
OER 觸媒成本	Low	High	Low
產氫成本(USD/kg-H <sub>2</sub> )	> 5	> 5	> 4
TRL	已商轉		Lab scale

本計畫開發鹼性膜(陰離子交換膜)電解水產氫技術，其中陰離子交換膜與國際商售競品分析如下表 7，目前本團隊開發之陰離子交換膜具有較高離子交換當量(IEC)與相當成本優勢，惟離子導電度(Ionic conductivity)則略低於目前商售競品；另外，在製氫陰極電極與電堆開發部分，本計畫已完成試量產製程設計與品質檢驗製訂；在 5kW 電堆驗證開發中顯示，目前製氫效率為 82 %<sub>HHV</sub>、電流密度為 1.2 A/cm<sup>2</sup>、單模組產量 2.2 Nm<sup>3</sup>/h；國際指標 Enapter 製氫效率 74 %<sub>HHV</sub>、電流密度 0.5 A/cm<sup>2</sup>、單模組產量 0.5 Nm<sup>3</sup>/h。本計畫建置成本為 1,040 USD/kW，產氫成本 4.3 USD/kg，透過製程放大與優化後，完成年產噸級電堆開發與驗證，電堆建置成本 755 USD/kW、電堆製氫成本 3.84 USD/kg。

表 7、陰離子交換膜與國際商售競品分析

AEM	厚度 (μm)	IEC (meq/g)	Ionic conductivity (mS/cm)	Tensile strength (MPa)	Cost NTD/m <sup>2</sup>	Ref.
Fumatech Fumasep® FAA-3-30	25-30	1.7-2.1	40-50	25-40	26,000	1,2
Fumatech Fumasep® FAA-3-50	47-53	1.85	40	25-40	29,000	1,2
Dioxide Materials Sustainion 37-50	50	~1.1	70-80	Cracks when dry	100,000	1,2
本計畫	30-60	<b>1.2-1.6</b>	20-30	15-25	<b>5,000</b>	

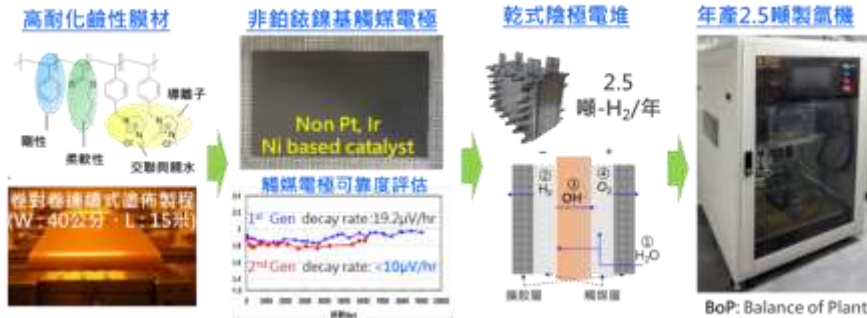
Ref : 1. Sustainable Energy Fuels 4 (2020) 2114-2133. 2. Molecules 26 (2021) 6326.

此外計畫為了能夠達到高效率低耗能的目標，製氫系統的周邊關鍵運行裝置 BOP 也進行了低功耗的技術開發，BOP 當中以電源供應器的輸出損失與氣液分離純化裝置的能耗為最主要，本計畫開發設計多道冷凝式純化機構與最適溫度調節控制，來降低熱管理裝置能耗需求，實現低能耗 BOP 裝置模組的建置，目前裝置 BOP 能耗為 6.0 kWh/kg-H<sub>2</sub>。

	氫氣純化方式	BOP 能耗成本
國際現況	多使用低溫冷凝裝置	8.5 kWh/kg-H <sub>2</sub>
本計畫	多道冷凝式純化機構與最適溫度調節控制	6.0 kWh/kg-H <sub>2</sub>

## 年產噸級自製膜電解產氫系統

- 完成年產1.5-2.5噸氫氣電堆開發，電堆成本755 \$/kW，製氫成本3.84 \$/kg-H<sub>2</sub>
  - 自製鹼性膜(32μm)，在電流密度400 mA/cm<sup>2</sup>下測試，電壓1.72V。
  - 鎳基觸媒電極，已運作達6,091小時，衰退率: <10 μV/hr
  - 乾式陰極電堆，鹼性膜具吸水性，陰極端無須額外供液，可提升H<sub>2</sub>純度；較傳統設計，H<sub>2</sub>含水量可降低48%，實測純度達99.9 %
  - 完成年產1.5 – 2.5噸氫氣之鹼性膜電堆開發，能耗 50 kWh/kg-H<sub>2</sub>
  - 系統BoP採多道冷凝式純化與節能溫控調節，的耗電量5.9 kWh/kg-H<sub>2</sub>，已完成530小時穩定性運行測試。



### (6-2). 氫氣載體降解觸媒製氫技術

低碳氫氣是趨動二氧化碳利用(CCU)的關鍵，除了綠電水電解產氫之外，化學儲氫也是國際關注的技術。目前被認同的儲氫載具有甲基環己烷及綠氨，前者日本已有示範廠技術，而後者則是被大家所期待。因為澳大利亞及沙烏地阿拉伯正規劃利用豐沛再生能源生產綠氫與百萬噸級綠氨生產基地，而綠氨可供應缺乏再生能源與綠氫國家，透過氨降解供應大量氫氣，落實 CCU 減碳計畫。

相對於綠氫，甲基環己烷及綠氨具有易於運輸，液態氫具有不含碳、最高體積密度及適合的儲存溫度/壓力等優點(見下表)，在長程運送中可以避免使用特殊貨輪並可有效降低運輸成本。相對於甲基環己烷，綠氨具有高儲氫量、低成本、低反應副產物、且其降解產氫反應熱是甲基環己烷的 50% 以下，具有製程低碳排的優勢。唯一缺點是氨降解產氫製程技術尚未成熟，國際正積極發展中，也是本計畫擬投入發展的技術項目。

性質	壓縮氫氣	液態氫	甲基環己烷	液態氨
體積密度(kg-H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	42.2	70.8	47.3	121
儲存壓力(MPa)	70	0.1	0.1	0.99
儲存溫度(°C)	25	-253	25	25

大量的氮源由澳洲或中東等國進口後，可經由氮降解技術，重新轉化成氫氣而達到穩定供應國內綠氫的來源。目前氮降解技術如下。

發展廠商	觸媒/方法	反應條件	問題點
國際產業現況	鎳系或鈦系觸媒	鎳系觸媒反應溫度 $\geq 600^{\circ}\text{C}$ 鈦系觸媒反應溫度 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ ， 空間流速約 1,000-5,000 $\text{h}^{-1}$	反應溫度高，散熱能耗高，造成碳排高
本計畫	鈦系觸媒及添加助觸媒組成	反應溫度 $\leq 450^{\circ}\text{C}$ ， 空間流速約 1,000-5,000 $\text{h}^{-1}$	Lab. Scale， 欠缺放大驗證

- 鎳觸媒需要高反應溫度才可反應，使用鈦金屬作為觸媒可在  $500^{\circ}\text{C}$  以下達到高氫氣產率，由  $600^{\circ}\text{C}$  降至  $450^{\circ}\text{C}$  估計可減少 25% 加熱能耗。
- 國際技術(日立造船公司)揭露的觸媒鈦含量高達 5%。鈦為貴重金屬，成本高昂(530 NTD/g)，占觸媒 90% 以上用料成本。若合成高活性鈦觸媒可有效降低鈦使用量。預估將鈦載量減半可使觸媒成本降低 40% 以上。
- 在國內再生能源發電建置容量尚有大量缺口之際，可於石化園區發展集中式氮降解產氫技術，利用穩定且大量的低碳氮，將石化廠或臨近火力電廠捕捉之二氧化碳，轉換成甲醇、長碳鏈化學品、一氧化碳或甲烷等新料源，與既有石化產品鏈結合，運用台灣石化產業汽電共生廠或鋼鐵廠排放之數仟萬噸的二氧化碳為新碳源，轉製成  $\text{CO}_2$ -based 低碳循環新料源，因應國際碳中和趨勢暨品牌廠商要求低碳材料壓力，重塑台灣產業結構。

表 8、化學儲氮與綠氮成本與碳排放值比較\*

	液態氮	甲基環己烷	綠氮 <sup>#</sup>
原料碳足跡, kg- $\text{CO}_2$	~0	3.88	~0
儲存溫度, $^{\circ}\text{C}$	-253	25	25
儲氮密度, kg- $\text{H}_2/\text{m}^3$	70.8	47.3	121
預估成本, 美元/Kg- $\text{H}_2$	4	3.6	2.8
釋氮能量( $\Delta\text{H}$ , kJ/mol- $\text{H}_2$ )	-	67.5	30.6
降解產氮反應碳排(kg- $\text{CO}_2/\text{kg-}\text{H}_2$ )		1.70	0.77
輸運設施技術	缺乏	成熟	成熟

\*資料來源：國際能源署

<sup>#</sup>工業局資料：傳統化學製程氮的碳足跡 1.872 Kg- $\text{CO}_2\text{e}/\text{Kg-NH}_3$ ；

哈柏法製氮製程碳排估算為~0.144 g- $\text{CO}_2/\text{kg-NH}_3$ 。

#### (7).年產噸級場域驗證技術

本計畫所建立的相關先導驗證系統都陸續進入場域實證階段，已有相關成果數據，以與仁儀公司共同建置熱煤鍋爐尾氣 CO<sub>2</sub> 捕獲及再利用轉化為甲烷發電之示範驗證場域為例，本計畫的碳捕獲系統(70 噸/年)之 CO<sub>2</sub> 捕捉能耗約為 3.08 GJ/t-CO<sub>2</sub>，與國際標竿三菱重工的 3.0 GJ/t-CO<sub>2</sub> 相當，甲烷(26 噸/年)的產率>99%與日立造船的 99%毫不遜色。

所建立的鋼化聯產實驗先導線示範場域的實證成果，在本計畫屆期之後，將繼續協助業者透過執行 A+企業創新研發淬鍊計畫，投入年產百噸或千噸級大型 CO<sub>2</sub> 循環再利用系統開發與場域驗證，將 CO<sub>2</sub> 循環再利用技術導入公司的產線應用。目前有資本及技術能量投入此技術研發的業者仍以大企業為主，例如台塑、奇美、中鋼等，未來對於較大型的中小企業，也有機會採取聯合申請的方式來推動。

### 四、本計畫對社會經濟、產業技術、生活品質、環境永續、學術研究、人才培育等之影響說明

#### (一)經濟效益方面：

##### 1. 人工合成綠色石化基礎原料，建構台灣永續、減碳、減汙染之循環經濟石化產業

全球化的線性經濟發展讓生產鏈不斷加速，導致產品回收再利用的速度永遠跟不上廢棄物產出的速度。台灣工廠煙道氣 CO<sub>2</sub> 排放佔比高達 83%，有 280 家廠商碳排量超過 2.5 萬噸，這些 CO<sub>2</sub> 其實都是資源，將煙道氣 CO<sub>2</sub> 資源化，轉換製成具有巨量需求之關鍵基礎石化工業乙、丙烯原料，進一步合成生產低耗能、負碳排之綠色塑膠(PE/PP/EVA/ISP)，替代以石油裂解或生質物為原料，達到將 CO<sub>2</sub> 廢棄物變綠金取代傳統石化高溫裂解之原料，創造以 CO<sub>2</sub> 為碳源之產業聚落，建構出全球首創的經濟發展與環境保護雙贏之循環經濟模式。

##### 2. 作為國內 PM2.5 空污問題解決方案

PM2.5 空污主要來自於 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 與 TSP 的排放。本計畫所產生的合成燃料與化石天然氣不同，無硫成分及 TSP。故以碳循環合成天然氣用以發電，解決國內 PM2.5 之空污問題。

### **3. 深厚技術底蘊的創新，解決市場痛點、提供全球服務，以國家獨角獸新創為前進方向**

把廢棄物轉換為再生資源，促進物質流循環利用的【**創新材料及商業模式**】是解決地球資源被持續耗竭、氣候暖化與環境變遷等課題的關鍵策略。本團隊已佈局多國多項專利，不易超越、模仿，目前已獲得多家廠商的合作意願，未來冀以【**創新的技術**】與【**新創事業**】驅動台灣相關上、中、下游產業的群聚效應帶動經濟成長，提升國家競爭力。同時將本團隊之創新技術行銷推廣至全球，創造龐大商業利益，且藉此積極投入參與全球解決全人類所面臨氣候異常之危機的神聖行動。

## **(二)社會效益方面：**

### **1.抑制碳排放的增加量，減緩溫室極端氣候所造成的人員與農漁業財損**

依據聯合國政府氣候變化專門委員會統計 1988~2017 全球各類天災發生次數及經濟損失顯示，過去 20 年與氣候相關的自然災害發生次數占到災害總次數的 91%，其中受害人數占到 97%，受災損失占到 77%，經濟損失已超過上兆美元。另美國國家經濟研究局(NBER) 1 項最新研究報告警告，若溫室氣體排放沒有按照《巴黎協定》的目標大幅減少，2100 年美國 GDP 損失可能達到 10.5%。國內近幾年單次受到暴雨侵襲之農損即達數億元，尚不包括事後的工程復原支出等費用。本技術所建構的碳循環可直接的抑制碳的排出，不僅可加速減碳的目標達成時間，若能減少極端氣候對國內的影響，也可大幅降低政府不必要的經費支出。

### **2.大幅降低國內近年來的空氣污染問題，提升國人健康降低健保龐大的醫療支出**

依據衛生福利部死因統計，2016 年，台灣有 9372 人死於肺癌，占有所有死亡人數的 5.4%。這個死亡數字，不只超過男性發生率最高的結腸直腸癌、女性發生率最高的乳癌兩相加總，更首度比過去的「國病」肝癌造成的死亡人數還高出逾千人。另外，衛服部 2018 年 4 月的公告，國人在肺、支氣管及氣管癌症的罹患人數由 2006 年的 9052 人上升至 2015 年的 13086 人；在健保的費用支付上，光肺癌單



項的支付醫療費用即高達近 130 億元。由於台灣的 PM2.5 年平均濃度高於 WHO 世界衛組織公告的 3 倍值；因此，如何降低國內的空氣污染成為政府重要的施政方向之一。本計畫所規劃的碳循環系統，由高純度的 CO<sub>2</sub> 與 H<sub>2</sub> 轉化而來的 CH<sub>4</sub> 中，完全不含有容易造成空氣污染的 SO<sub>x</sub> 及其它雜質。因此，此系統是一潔淨之能源供應系統。

### 3. 大幅提升減碳速率增加國際能見度，降低國際碳稅對外銷經濟的影響

資誠 PwC 發布 2018 年低碳經濟指數(Low Carbon Economic Index, LCEI)，2017 年全球脫碳率只有 2.6%，遠低於《巴黎協定》升溫不超過 2°C 所需的最低門檻 6.4%。這個數據再加上已發生的全球熱化效益，顯見未來的國際間貿易對於碳稅與碳足跡結合產品銷售將列為必要的成本支出。我國是以外銷經濟為主，未來若國際間樹起碳稅障礙，國內廠商又沒有適當的減碳技術或購碳市場，將形成重大的經濟危機。

投入政府資源以形塑良好的投資環境與生活環境本就是賢能政府必要的施政方針之一，綜合上述的實質經濟面與潛在社會價值面來看，投入資源開發出各類的減碳技術，以因應現有及未來的碳稅產業局勢，實為目前國內必要的施政策略。歐洲先進的德國已推動的 PtG 技術好幾年了，國內若再躊躇不前，未來勢必降低國際大廠投資意願，同時也必需花費更大的經費來購買碳權，影響所及，難以估計。

#### (三) 產業技術方面：

就材料循環產業而言，國內長期以來僅限於應用端，對於材料循環的掌握以及技術能量不足，急需整體政策性規畫，以因應未來循環經濟體系下各式產業需求，目前碳循環關鍵技術鏈可分為幾個程序步驟演進，自我盤點及戰略擬定，產業升級與技術自主，新產業與新契機，在此計畫執行中開發碳循環關鍵技術，**為國內針對碳循環進行較具規模場域示範技術建立**，從低純二氧化碳、一氧化碳經由分離分選、還原、物理暨化學法提純等流程，產出 CO<sub>2</sub> 碳源化學品，再配合材料設計技術，包括配方與合成技術，以及功能化設計技術，將來對於現我國應用產業提供完整上游碳循環關鍵技術，並積

極開展新應用市場。

**(四) 生活品質方面：**

高性能 CO<sub>2</sub> 碳源化學品生產製程中，如低碳排放化學品、儲能化學品等應用技術可引導國內產業發展碳循環高值化產品，進入節能減碳產品市場，提升生活品質及相關產業國際競爭力。

**(五) 環境永續方面：**

能源及環保議題近年來持續發酵，多國針對降低碳排放問題陸續明訂規範措施，本技術開發預期可讓台灣增加與競爭對手間的差異化競爭，讓相關產業提高市占率及附加價值，而目前國內碳循環關鍵技術仍不足因應全球低碳排放發展趨勢，本技術發展可提供國內相關產業的低碳排放解決方案，並應用於碳循環系統中，分散材料端風險，更可降低碳排放的負擔及生產成本，創造新產品需求及零廢棄之理念，並提高產品利潤。

**(六) 學術研究方面：**

規劃 CO<sub>2</sub> 碳源化學品等產業基礎技術研究，結合學界研發能量進行碳循環相關前瞻技術(如：觸媒/電化學/分離純化..等)開發，補強現況產業化技術缺口、產業應用特殊潛力及碳循環資源掌握，以建立我國高效率碳循環關鍵技術及永續低碳排放材料對應做法。

**(七) 人才培育方面：**

本計畫將結合產學研之研發資源共同開發及長期培育相關碳循環關鍵技術人才，推動我國材料科技技術之深耕發展。透過產學研合作，帶入新的觀念與技術，進而改善業者現有製程，及解決產品問題，深化對國內產業界之貢獻。在碳循環關鍵技術發展方面，主要透過比對國內技術缺口與國際 benchmark 進而建立重點開發技術，另考量產業之需求，指標性開發項目亦以具實質產業效益之項目為標的，累積各廢棄物之技術 know-how 及發掘可能之專利佈局空間，並藉由工業應用案例，帶動技術深化之產業綜效、實證技術價值。

## 參、計畫目標與執行方法

### 一、目標說明

在全球溫室氣體減量壓力漸增，以及國內經濟發展需求持續成長等情勢下，我國產業發展面臨國際上降低碳排放的要求，需及早進行轉型與技術創新來因應，例如碳循環關鍵技術推動。本計畫所提出之解決的對策即為建立循環經濟產業模式，做法除了提高現有產業鏈的資源有效利用率外，同時推動建置碳循環系統所需的噸級合成先導設計與場域實證技術。以 CO<sub>2</sub>/CO 作為原料，經過轉化合成反應生產具經濟價值的化學品，除了可以降低碳排放外，更可開創 CO<sub>2</sub> 碳循環關鍵技術及應用產業鏈，同時也達到永續發展的願景。

目前全球碳捕獲/再利用技術尚處於起步階段，本計畫規劃開發與國際同步之前瞻碳捕獲先導場域、CO<sub>2</sub> 再利用合成烷烯烴關鍵觸媒與製程技術，並與石化/鋼鐵產業進行碳循環再利用場域實證技術，作為 CO<sub>2</sub> 碳源新產業經濟的發展基礎術研發佈局，以建立相關循環經濟所需之 CO<sub>2</sub> 循環應用化學材料新產業。

計畫全程總目標(end point)					
<p>本計畫 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，作為產業投入大型碳循環系統建置基礎，並帶動國內 CO<sub>2</sub> 碳源新產業經濟的發展。規劃的解決方案包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建立 CO<sub>2</sub> 轉化石化料源製程與產業化實證技術，開發重點：(1).開發高效率製氫系統與材料技術、(2).CO<sub>2</sub> 料源合成 C2-C3 觸媒與製程技術、(3).低碳排 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級驗證場域。</li> <li>2. 建立 CO<sub>2</sub> 轉化高值化學品製程與產業化實證技術，開發重點：(1).開發 C4-C9<sup>+</sup>長碳鏈低碳排化學品(如烷烯烴與醛/醇/酸)合成製程與觸媒技術、(2).進行低碳排鋼化聯產應用場域實證。</li> </ol>					
里程碑(milestone)					
年度	第一年 民 110 年	第二年 民 111 年	第三年 民 112 年	第四年 民 113 年	第五年 民 114 年(8 月)
年度 目標	分項一：CO <sub>2</sub> 轉化石化料源製程與產業化實證技術				
	1-1.高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術				
	• 建立 CO <sub>2</sub> 捕獲示範驗證系統，規格	• 建立甲烷製程示範驗證	• 年產噸級自製膜電解製氫系統設計	• 百 kW 級膜電解製氫系統連續操作運轉參	• 完成百 kW 級膜電解製氫系統實證

<ul style="list-style-type: none"> <li>達 200 kg-CO<sub>2</sub>/day。</li> <li>建立電轉氣膜電解水產氫示範驗證技術，規格達 40 kg-H<sub>2</sub>/day。</li> <li>膜電解水產氫製程技術開發：效率 ≥ 80%HHV、電堆功率 ≥ 1 kW。</li> <li>建立 30 kW 氣轉電示範系統規劃設計。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術，規格 70 kg/day。</li> <li>建置 30kW 氣轉電發電機組與試運轉，日發電量達 230 kWh/day。</li> <li>模組化膜電解水產氫製程與驗證技術，規格 ≥ 5 kW。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與運轉技術 ≥ 500 小時、系統耗電量 ≤ 56 kWh/kg-H<sub>2</sub>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>數確認。(註：本系統為透過國際合作技術引進建置之設備，現置於中鋼驗證場域)</li> <li>年產噸級自製膜電解製氫機實證技術 ≥ 500 小時，耗電量 ≤ 55.5 kWh/kg-H<sub>2</sub>。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>技術 ≥ 500 小時。(註：本系統為透過國際合作技術引進建置之設備，現置於中鋼驗證場域)</li> <li>完成推動 ≥ 2 家廠商投入膜電解製氫技術應用。</li> </ul>
--	---	---	---	---

### 1-2. CO<sub>2</sub> 再利用循環固碳化學品系統技術開發

<ul style="list-style-type: none"> <li>建立 CO<sub>2</sub> 甲烷化關鍵單元技術與製程模型。</li> <li>開發高效能 CO<sub>2</sub> 合成甲烷觸媒技術：反應溫度 ≤ 220°C、空間流速 ≥ 5,000 h<sup>-1</sup>、CH<sub>4</sub> 產率 ≥ 90%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成 10 噸級 CO<sub>2</sub> 甲烷化製程整合設計及設備採購。</li> <li>完成固定床單管的觸媒長效耐受性試驗，CO<sub>2</sub> 轉化甲烷觸媒 2000hr 失活測試，失活產率下降 ≤ 10%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub> 轉化 C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> 烷烯烴觸媒技術，反應溫度 ≤ 320 °C，C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> 烷烯烴產率 ≥ 30%。</li> <li>發展氫氣載體降解觸媒製氫技術，氫氣產率 ≥ 90%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成百公斤轉化 C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> 烷烯烴觸媒成型觸媒配方及性能驗證 C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> 烷烯烴產率 ≥ 30%。</li> <li>完成固定床氫氣載體降解觸媒耐久性試驗 2,000 小時，失活產率下降 ≤ 10%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成 CO<sub>2</sub> 轉化 C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> 製程噸級放大技術驗證及千噸級設計。</li> <li>完成百公斤氫氣載體降解觸媒成型觸媒配方及性能驗證，氫氣產率 ≥ 90%。</li> </ul>
--	--	--	--	--

### 分項二：CO<sub>2</sub> 轉化高值化學品製程與產業化實證技術

#### 2-1. CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub><sup>+</sup> 烷烯烴製程技術

<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>/CO 轉化烷烯烴關鍵技術驗證：C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> 烷烯烴產率 ≥ 30%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成 CO<sub>2</sub>/CO 轉化烷烯烴製程整合設計驗證。</li> <li>完成觸媒耐受性試驗 - CO<sub>2</sub>/CO 轉化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成噸級 CO<sub>2</sub> /CO 產製長碳鏈烷烯烴先導系統建置。</li> <li>完成 CO<sub>2</sub>/CO 轉化長碳鏈烷烯烴技術，</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成 CO<sub>2</sub> /CO 產製長碳鏈烷烯烴 (產率 30%) 運轉試車與製程參數調整。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成 CO<sub>2</sub>/CO 轉化噸級烷烯烴製程先導系統驗證及千噸級設計。</li> </ul>
--	---	---	--	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成原料除硫系統設計與驗證測試: 硫含量 <math>\leq</math> 1ppm。</li> </ul>	烷烯烴的固定床單管 2,000 小時失活測試, CO <sub>2</sub> /CO 轉化 C2-C4 烷烯烴, (CO <sub>2</sub> +CO) 轉化率 $\geq$ 50%, C2-C4 烷烯烴選擇率 $\geq$ 50%。	C4-C9 <sup>+</sup> 烷烯烴產率 $\geq$ 30%。	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成百公斤 CO<sub>2</sub>/CO 轉化長碳鏈烷烯烴觸媒製備驗證, C4-C9<sup>+</sup> 烷烯烴產率 <math>\geq</math> 30%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>推展先導製程場域實證能量, 引導產業投資 CO<sub>2</sub> 轉化長碳鏈烷烯烴技術。</li> </ul>
<b>2-2. CO<sub>2</sub>/CO 羰基化先導製程技術</b>					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>建立 CO<sub>2</sub>/CO 轉化羰基化製程技術, CO<sub>2</sub> 轉化 CO 反應效率 (turnover number, TON) <math>\geq</math> 50。</li> <li>DCPD 羰基化 (OXO) 反應轉化率 <math>\geq</math> 98%, 選擇率 <math>\geq</math> 90%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建立 DCPD 羰基化 (OXO) 觸媒回收及產品分離純化技術, 觸媒回收率 <math>\geq</math> 90%, 觸媒活性衰減率 <math>\leq</math> 5%。</li> <li>完成年產噸級 CO 轉換 OXO 製程系統單元設計及設備請購。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成年產噸級 OXO 化學品製程先導系統運轉實證。</li> <li>完成 CO<sub>2</sub> 轉化甲酸製程設計及觸媒技術建立, 觸媒活性 <math>\geq</math> 500 莫耳甲酸/莫耳觸媒。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成 CO<sub>2</sub> 製備甲酸觸媒技術建立, 觸媒活性轉化數: <math>\geq</math> 350 莫耳甲酸/莫耳觸媒·h<sup>-1</sup>。</li> <li>完成 CO<sub>2</sub> 製備尼龍關鍵羰基原料己二酸酯製程技術建立, 轉化率 <math>\geq</math> 80%, 選擇率 <math>\geq</math> 80%。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成年產噸級羰基化化學品製程設計。</li> <li>羰基化化學品製程先導系統驗證, 年產能 <math>\geq</math> 1 噸。</li> </ul>
<b>預期 關鍵 成果</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成年產 50 噸以上 CO<sub>2</sub> 捕獲示範系統建置(110 年)</li> <li>完成年產 10 噸以上氫氣示範系統建置(110 年)</li> <li>完成年產 8 萬度以上氣轉電示範系統建置(111 年)</li> <li>完成年產 10 噸以上的甲烷合成示範系統建置(111 年)</li> <li>完成 1 家以上廠商參與電轉氣示範系統, 推動 2 家廠商參與碳循環示範系統。(111 年)</li> <li>完成年產噸級自製膜電解製氫原型機建置 (112 年)</li> <li>完成年產噸級自製膜電解製氫機場域實證技術(113 年)</li> <li>完成 2 家以上廠商參與膜電解製氫技術應用 (114 年)</li> <li>完成 CO<sub>2</sub>/CO 產製烷烯烴(年產噸級)先導系統建置 (112 年)</li> <li>完成 CO<sub>2</sub>/CO 產製烷烯烴(產率 30%)場域實證 (113 年)</li> <li>完成千噸級 CO<sub>2</sub> 產製烷烯烴製程設計(114 年)</li> <li>完成年產噸級 OXO 化學品製程先導系統運轉實證(112 年)</li> <li>完成 CO<sub>2</sub> 製備負碳排甲酸製程運轉測試(113 年)</li> <li>完成年產噸級羰基化化學品製程設計(114 年)</li> <li>推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證(114 年)</li> </ul>				

<p>年度目標達成情形 (重大效益)</p>	<p>FY110 成果效益：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 完成簽訂合作協議『碳捕獲及應用示範場域(中鋼公司)』以及場域工程設置規劃：於中鋼小港廠區建立示範場域，占地面積約350平方公尺。並與中鋼公司共同合作開發製程尾氣的 CO<sub>2</sub>/CO(鋼鐵業的轉爐氣中約有60%的 CO 待去化)高值應用驗證技術，充分利用煉鋼業的副產燃氣資源。</li> <li>• 完成年產10噸以上氫氣示範驗證系統建置與廠址規劃，並促成台電綜研所投入膜電解水產氫技術研發：開發鹼性膜水電解材料與製程技術，未來可支援綠色氫氣料源生產，促成碳循環關鍵料源產業鏈的整合。</li> <li>• 協助台化公司投入二氧化碳捕獲及 CO<sub>2</sub>轉化成甲醇與 CO 可行性評估，除具減碳效益外，亦可轉化作為麥寮醋酸廠的原料。評估使用台化公司製程餘氫3萬噸/年，以年產甲醇16萬噸、醋酸30萬噸為目標，開發相關觸媒與製程設計技術，預估未來投產可去化二氧化碳22萬噸/年。</li> <li>• 建立 CO<sub>2</sub>/CO 羰基化(OXO)製程評估系統，完成技術授權「TCDDM 製程設計技術」予中石化公司，協助廠商進行 2 千噸反應製程設計，有助於國內產業界建立低碳關鍵化學品技術，提供國內化工材料產業高值應用。</li> </ul> <p>FY111 成果效益：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 與中鋼公司合作於小港廠區建置「鋼化聯產實驗先導線示範場域」：驗證場域已完成周邊基礎設施施工及相關驗證設備系統進駐，包括每年可捕獲二氧化碳 15 噸之示範系統一套、年產 10 噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統一套、以及二氧化碳轉化反應示範系統一套。</li> <li>• 協助中油公司於大林廠建置 CO<sub>2</sub> 捕獲和合成甲醇試驗設備：完成 CO<sub>2</sub> 捕獲設備 (CO<sub>2</sub> 捕獲量 20 公斤/天、CO<sub>2</sub> 純度 ≥ 99%) 的工安規範確認及設備採購，帶動投資超過 5,500 萬。</li> <li>• 帶動奇美公司投入開發 CO<sub>2</sub> 合成碳酸酯(DRC)技術：協助奇美導入以 CO<sub>2</sub> 為料源生產 DRC 的實驗室製程技術，並進行 CO<sub>2</sub> 生產碳酸酯之 4 段單元串聯連續反應的製程開發，建立以 CO<sub>2</sub> 為起始料源的聚碳酸酯製程技術能量，帶動奇美公司投入 2000 萬元研發經費，量產後預期可減碳 17.85 萬噸/年。</li> </ul> <p>FY112 成果效益：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 與中鋼公司合作於小港廠建置之「鋼化聯產實驗先導線示範場域」，112年度已進行相關示範系統之場域運轉驗證：(1).每年可捕獲二氧化碳15噸之示範系統、(2).年產10噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統、(3).中鋼轉爐氣分離出 CO，經 CO 轉化甲醇示範系統。</li> <li>• 協助中油公司於大林廠建置 CO<sub>2</sub>捕獲和合成甲醇試驗設備：CO<sub>2</sub>捕獲設備已於111年完成試車，CO<sub>2</sub>轉換甲醇設備於112年完成串聯 CO<sub>2</sub>捕獲及轉化甲醇試車，可達到每日捕獲20公斤以上 CO<sub>2</sub>，CO<sub>2</sub>純度&gt;99%及轉換產出10公斤以上的甲醇。</li> </ul>
----------------------------	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>與仁儀公司共同建置熱煤鍋爐尾氣 CO<sub>2</sub>捕獲及再利用轉化為甲烷發電之示範驗證場域，112年度已完成驗證系統進駐，及場域管閥件配線，共同驗證本計畫所建立之3項示範系統。</li> <li>協助宇陽能源公司於金門酒廠建置氣轉電場域：該場域操作將可年產生電量 2,250,000 kWh，以離島併網躉購費用 8.05 元/kWh 估算，售電每年可創造 1,811 萬的產值、預期年減碳量達 13,447 噸 CO<sub>2</sub>。</li> </ul>
--	--

## 二、執行策略及方法

分項計畫名稱	執行策略說明(請依細部、子項計畫逐層說明)
CO <sub>2</sub> 轉化石化料源製程與產業化實證技術	<p><b>1. 高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術</b></p> <p>全球零碳排氫料源示範系統技術仍處研發階段，關鍵膜材開發、電堆開發、系統設計掌握於國際大廠，國內尚無廠商切入本技術研發，本計畫將建立自主化膜電解水製氫系統設計與觸媒/膜材技術，透過發展膜電解水產氫材料、電堆製程與系統技術，建立年產噸級自製膜電解產氫系統，以吸引與推動國內廠商投入研發，並鏈結相關產業匯集形成產業聚落。</p> <p>技術目標規劃建立：高分子設計膜材長時耐鹼性、電解膜 R2R 塗佈與貼合技術製程參數優化、電極製備製程參數優化、年產噸級電堆模組化製程技術建立與年產噸級最適化系統操作參數與安全邏輯驗證。因目前國際已商轉之電解水產氫技術，產氫成本高(5 USD/kg)，為因應 2050 年淨零碳排全球發展趨勢，本計畫規畫完成開發自主化膜電解水產氫製程技術，藉由導入關鍵自主材料、zero-gap 膜電極組設計、電堆模組開發與系統整合技術。發展自主技術同時，同步於 FY110 建立年產量達 10 公噸氫料源先導示範系統，用於驗證鋼化聯產 CO<sub>2</sub>轉化石料源，以可再生能源電力進行電解水產氫之碳排放量可較化石料源產氫節省 128 公噸/年以上。</p> <p>FY112 年已完成(1)低成本鎳基底電極開發，在 6,000 小時運轉測試顯示衰退率 &lt; 10 <math>\mu</math>V/hr，觸媒電極批次生產面積可達 10,500 cm<sup>2</sup>；(2)高效薄型高溫耐鹼膜材開發，在 1500 小時耐久測試顯示，阻抗變化率為 5.8%；(3)年產噸級模組化電堆，效率 82% HHV，電流密度 1.8A/cm<sup>2</sup>，電堆製氫成本分析為 3.84 USD/kg-H<sub>2</sub>；(4)低耗能原型機系統開發，設計多道冷凝式純化機</p>

構與溫度調節控制，降低熱管理裝置能耗需求，BOP 能耗為 5.9 kWh/kg-H<sub>2</sub>。

FY113 目標完成(1)觸媒電極製程設計與參數優化，目標電流密度  $\geq 200 \text{ mA/cm}^2 @ 1.7\text{V}$ ；R2R 膜材製程技術，目標塗佈幅寬  $\geq 60\text{cm}$ ，批次塗長 20m；低成本電堆設計，目標電堆製氫成本  $\leq 3.7 \text{ \$/kg}$ ；最適化熱管理系統設計，目標 BOP 能耗  $\leq 5.5 \text{ kWh/kg-H}_2$ 。FY114 規劃透過優化產氫原型機及高效率電解製氫系統設計及相關材料、模組技術，推動 2 家以上廠商參與膜電解製氫技術應用，提升國內業者建立減碳技術之料源供應量能。

## 2. CO<sub>2</sub> 再利用循環固碳化學品系統技術開發

### (1). C2-C3 固碳技術

CO<sub>2</sub> 轉化成低碳烷化反應為固碳再利用的有效方法之一，開發鎳金屬為主要的高活性觸媒，再配合多種助觸媒組成可生成烷烴，CO<sub>2</sub> 轉化率  $> 90\%$ ，可避免積碳毒化，並藉由助觸媒組成，可提升 C2-C3 的產率。而在製程開發，以 CO<sub>2</sub> 氫化轉化低碳烷為高放熱反應，反應器的型式與操控設計至關重要，不但涉及製程安全性，反應溫度失控也會使觸媒燒結而失活。本計畫將針對觸媒應用特性，在反應熱力學及動力學參數為基礎之下，結合計算流體力學 CFD 軟體進行反應器之設計，精準地推導反應器內部的溫度場、壓力場及濃度場，進而設計出最佳反應器規格尺寸，以及操控參數。其中關鍵的研究項目，包括有「觸媒反應溫度及轉化率」、「反應器移熱的設計及控制」等兩項關鍵指標；同時也將進行 CO<sub>2</sub> 氫化轉化低烷類的相關製程條件，進行場域驗證規模之系統製程設計，包含「設備單元」、「管線與儀控」等。本計畫將採用年產噸級以上的連續式系統進行系統整合，以驗證移熱效率，並進而引導國內鋼廠及石化廠商投入跨業整合的試量產技術驗證。

進口石化天然氣碳足跡為 3.75 公噸 CO<sub>2</sub>/公噸天然氣(資料來源：中油公司 109-03-04 新聞稿)，本計畫若以可再生能源電力電解產氫，不考慮氫氣來源的碳排，則以目前技術可達到每生產 1 公噸低碳烷可以得到減碳量 0.858 公噸 CO<sub>2</sub>/公噸低碳烷。而本計畫示範場域於 FY112 完成設備建置，以每天 CO<sub>2</sub> 氫化產出 70 Kg 低碳烷計算，預計可以生產 21 噸低碳烷/年，預期減碳 17 噸



/年。

FY113 建立百公斤級觸媒合成技術，並預計於 FY114 完成 CO<sub>2</sub> 轉化 C2-C3 製程噸級放大技術驗證及千噸級設計。預計若後續建置完成可年產 1000 噸低碳烷/年，預計每年可減少 800 噸以上 CO<sub>2</sub> 排放。

## (2). 氫氣載體降解觸媒產氫技術

在 CO<sub>2</sub> 循環固碳技術中，使用高反應性的氫氣在二氧化碳的轉化上扮演關鍵角色，目前國內氫氣來源為工業產物，一年約為 20 萬噸。而未來國內將使用再生能源電解產氫外，也可從國外進口更多氫氣的來源。目前氨(NH<sub>3</sub>)被認為非常有潛力之儲氫載體。單位重量具有最高的 17% 氫含量，且液化壓力約在 10 大氣壓，遠小於直接輸送高壓氫氣或低溫的液氫，若輸入氨作為氫氣額外來源，氨降解觸媒釋氫技術便成為關鍵。然而傳統氨降解鎳系觸媒活性不足，高熱反應(>600°C)造成能耗。因此本計畫提出利用鈦(Ru)活性金屬具有 NH<sub>3</sub> 高吸附性，搭配鹼性鋰助劑具有較佳 N-H 斷鍵能力，以及鎂鋁共混氧化物載體可提供酸性與鹼性反應位點，以加速 N-H 斷鍵反應與 H<sub>2</sub> 之 split-over reaction，促進觸媒在低溫下具有高氫氣產率。待觸媒配方及合成步驟建立便可進行觸媒放大驗證測試，將設計年產噸級的製程示範系統，推廣於國內鋼廠及石化廠商投入氨降解產氫的試量產技術驗證。

氨降解產氫氣的碳足跡會因綠氨或灰氨的來源而有所不同。每公斤氫氣由氨降解反應的製程碳排量 0.77 kg-CO<sub>2</sub>e，因此每公斤氫氣碳足跡(氨降解反應合成)=(製程碳排量+原料碳足跡)=0.77+(氨碳足跡)\*17/3 (kg-CO<sub>2</sub>e)。由於國際上以綠氨製備的綠氨約在 0~0.53 CO<sub>2</sub>e/Kg-NH<sub>3</sub>，因此綠氨降解生產每公斤氫的碳足跡分別為 0.77~3.77 Kg-CO<sub>2</sub>e / Kg H<sub>2</sub>。若比較國際上灰氨碳排放量 10.8 kg-CO<sub>2</sub>e/Kg-H<sub>2</sub>，綠氨降解產氫比灰氨的碳足跡可降低 65~90%。本計畫將設計年產 1 噸的製程示範系統，若使用可再生能源產氫，經氨降解後產氫預期每年將可比灰氨減碳 7~10 噸的 CO<sub>2</sub> 碳排。

本計畫於 FY112 建立固定床氫氣載體降解觸媒技術，氫氣產率>90%；FY113 進行觸媒穩定性測試評估，目標觸媒耐久性試驗達 2,000 小時，失活產率下降≤10%；FY114 規劃完成噸級氫氣載體降解觸媒製氫製程設計及建置，並驗證噸級系統設備。

## 1. CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub><sup>+</sup>烷烯烴製程技術

鋼廠製程氣中含有高比例的 CO<sub>2</sub>/CO，原先只能做為提供熱值的燃料使用，但若進行加氫轉化為烷烯烴化學品，如 C<sub>2</sub>-C<sub>12</sub> 等烷烯烴產物，可以將此產品利用在汽柴油、也可轉換做為石化產業的原材料，有效的提升製程氣的價值。而此類反應常以石化業的 Fischer-Tropsch 觸媒提高長碳鏈烯烴的選擇率。經由觸媒與製程的研發，將鋼廠與石化連結，達到跨業系統的產業增值效益。

依據美國平均數據來算，每公升汽油（從油井到油箱）生產過程會排放 0.505 公斤二氧化碳。若能利用鋼廠製程氣 CO<sub>x</sub> 經由氫化反應生成長碳數的烷烯烴(C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub><sup>+</sup>)，須使用特殊的 Fischer-Tropsch 觸媒進行 FT 反應。其觸媒必須具備：(1). CO<sub>x</sub>/H<sub>2</sub> 活化成-CH<sub>x</sub>- (x<3)的中間產物功能，(2). 進行-CH<sub>x</sub>-偶合功能而形成烷烯烴產品。近年來新觸媒配方仍以低成本的過渡金屬為主體(例如 Ni、Co、Fe 等)，並添加助劑成份及適當的合成方法而達到提升活性及選擇性。

每公升汽油（從油井到油箱）生產過程會排放 0.505 公斤二氧化碳。本計畫若以可再生能源電力電解產氫，不考慮氫氣來源的碳排，則以目前技術初估 CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub><sup>+</sup>長碳鏈烷烯烴製程比石化原料製程的碳足跡減少 ≥0.5 公噸 CO<sub>2</sub>/公噸長碳鏈烷烯烴。本計畫將藉由開發年產噸級的高效製程示範技術驗證，引導國內鋼廠及石化廠商投入跨業整合的試量產技術驗證。預估每年減碳 ≥0.5 公噸 CO<sub>2</sub>。

FY112~113 完成噸級 CO/CO<sub>2</sub> 產製長碳鏈烷烯烴先導系統建置，進行 CO/CO<sub>2</sub> 產製長碳鏈烷烯烴(產率 30%)運轉試車與製程參數調整。長碳鏈烷烯烴產率 ≥30%(碳數 ≥4)。FY114 規劃結合石化與鋼鐵業者投入示範場域能量，完成 CO<sub>2</sub>/CO 轉化噸級烷烯烴製程先導系統驗證及千噸級設計，引導產業投資 CO<sub>2</sub> 轉化長碳鏈烷烯烴化學品技術，作為未來商業化製程基礎。

## 2. CO<sub>2</sub>/CO 羰基化先導製程技術

在化工產業占重要地位的烯烴羰基化製程，所需關鍵小分子原料一氧化碳(CO)與氫氣，一般是使用液化石油氣重整(reforming)所得。在很多工業製程包括煉焦、鋼鐵及黃磷等生產所副產的氣體中，不僅含有大量溫室氣體 CO<sub>2</sub>，也含有豐富的 CO

副產物，如能加以利用於羰基化反應中，當可符合循環經濟之要旨。副產氣體中的 CO<sub>2</sub> 可利用 reversed water gas shift reaction 等技術轉換成 CO 以資利用。本計畫規劃將與鋼鐵/石化廠進行跨域合作，純化利用鋼鐵/石化廠製程副產氣體中豐富的 CO<sub>2</sub> 及 CO 碳源，配合再生能源電解所產氫氣，開發羰基化技術應用於羰基化化學品，將國內豐富的烯烴原料轉化成各類醛基中間體，並與業界合作開發氫化技術，將所得醛基中間體轉化成高值醇，以利於特用壓克力與 PU 等材料生產開發，應用於耐高溫耐候、防水塗料及發泡等功能性產品。

此外，計畫以 CO<sub>2</sub> 為起始原料，並建立羰基化製程技術合成負碳排甲酸產品；相較於傳統石化製程製備甲酸具高耗能(19.25 MJ/kg-FA)高碳排(2.35 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-FA)問題，計畫所開發之負碳甲酸製程，具備更低耗能(9~12 MJ/kg-FA)負碳排(-0.57~-0.83 kg-CO<sub>2</sub>e/kg-FA)特性。以 CO<sub>2</sub> 製備獲得的甲酸可進一步分解成 CO/H<sub>2</sub>，成為易運輸及安全保存的液態合成氣來源；計畫將以甲酸作為 C1 原料，將烯烴化合物轉化羰基化化學品，完成多樣化低碳化學品生產技術建立，並以所建立實驗室級技術為基礎，進一步開發羰基化及 CO<sub>2</sub> 製備甲酸技術，與廠商合作建置多用途示範 mini-pilot 反應系統，以加速技術產業化的實現。

FY112~113 年將開發 CO<sub>2</sub> 製備低碳甲酸製程技術，並投入甲酸轉化 CO 直接進行羰基化反應研究，製備低碳羰基化化學品，可應用於各類塗料、塑橡膠、功能性聚合物等化工產品應用，協助國內化工產業因應碳中和議題。FY114 將完成 CO<sub>2</sub> 轉化羰基化化學品製程先導系統驗證(年產能 $\geq$ 1 噸)，並建立製程設計，透過製程流程調控，優化產品純化機制，改善產品品質，加速產品量產時程。

### 三、達成目標之限制、執行時可能遭遇之困難、瓶頸與解決的方式或對策

#### 1. 高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術

電解水產氫關鍵技術掌握於資本雄厚之國際大廠，如 Proton Onsite、Asahi Kasei 及 NEL，國內廠商並無自主關鍵技術，難以踏入國際市場供應鏈，藉由開發由別於傳統電解水產氫之國產化膜電解水

產氫技術，具有與再生電力高相容、製氫低成本、電轉化高效率...等特性，並針對關鍵材料組件之觸媒電極材料，進行電極製程設計與參數優化技術建立，並透過膜電解水產氫壽命測試及驗證，以加速關鍵材料自主化之技術產業化，推廣國內廠商發展自主材料、有助於促進產業投資、鏈結相關產業凝聚與進軍國際市場供應鏈。

離子交換膜應用於電解產氫等方向之開發瓶頸，主要在於關鍵材料開發技術皆被國際大廠掌控，國內廠商無自主設計開發製作與生產販售，大多仰賴使用國際大廠之離子交換膜，價格高且主導權受限，不利於自主開發並導入相關應用技術之系統內。未來藉由本計畫之執行與開發下，精進膜材特性，藉由高分子/膜材之調控，解決目前後端應用之關鍵問題，與如何有效優化並提升膜材應用之電解效率。另一方面，為能強化膜材導入於電解產氫的應用，本年度執行上之考量重點在長時應用上的應用，故本計畫膜材開發技術上將針對高效薄型高溫耐鹼膜進行，結合高分子設計與調控，提升陰離子交換膜材之長時耐鹼特性，其指標性能為：阻抗變化率 $\leq 10\%$  ( $50^{\circ}\text{C}$ ,  $2\text{M KOH}$ ,  $2,000$  小時)。

本計畫預計開發新型鹼性膜電解水產氫技術，商規電堆規格  $\leq 2.5$  kW，在 FY110-111 年度將完成 1-5 kW 電堆模組開發，目前電堆產氫成本為 4.3 USD/kg，規劃在 FY112-114 年度完成年產噸級電堆模組開發與系統設計，透過電堆設計優化與製程能力提升，預計電堆成本可由 1,040 USD/kW 降至 800 USD/kW 以下，電堆產氫成本目標為 4 USD/kg 以下，系統產氫成本 $\leq 4.5$  USD/kg，目前國際電解產氫之平均成本為 5 USD/kg。在關鍵材料組件之觸媒電極開發部分於 FY112 已完成低成本鎳基底電極，添加過渡金屬 M (具 d 軌域空缺)開發，觸媒電極之活性為  $192 \text{ mA/cm}^2 @ 1.7\text{V}$ ；觸媒電極材料於  $300 \text{ mA/cm}^2$  運作壽命測試已達 6,091 小時，衰退率 $< 10 \mu\text{V/hr}$ ，顯示觸媒電極經長時間耐久性評估後仍可維持平穩性能，且完成觸媒電極批次生產面積  $10,500\text{cm}^2$ ，達到膜電解水製氫驗證所需大面積觸媒電極需求之開發。在 FY113 年將預計完成低成本膜電解觸媒之精進：針對第二代觸媒電極，藉由電極製程設計與參數優化，使觸媒電極效能達電流密度 $\geq 200 \text{ mA/cm}^2 @ 1.7\text{V}$ ，完成效能確認後，並於 FY114 年進一步導入製氫機實際驗證及鍍膜，累積長期穩定性測試資料數據，作為新材料製程設計/製程優化的設計依據，以促使長期運作壽命提升，建立電極製備及移

轉廠商量產製備製程資訊整合服務技術(新材料製程設計/製程優化)，提升廠商量產製備觸媒電極的技術能量。

另外在電解產氫的 BOP 設計中電源供應器是用於電堆產氫時的供電，但隨著系統環境溫度變化與操作條件的差異及材料壽命老化等各種非理想情況下會對電源輸出上造成變動負載，導致電源供應器的輸出效能下降而降低產氫效能，同時也間接導致系統產生過多的廢熱，讓系統溫度升高而進一步加重負載的變異性，而使得輸出效能更為降低，因此本計畫研究方向將針對電源供應器的輸出設計以及裝置熱處理上的低能耗技術進行開發，藉由電源供應的調控與降低熱處理裝置能耗需求的技術開發，達成製氫裝置 BOP 之高效能運行。

## **2. CO<sub>2</sub>再利用循環固碳化學品系統技術開發**

### **(1). C2-C3 固碳技術**

二氧化碳轉化低碳烷製程技術為近幾年來非常熱門的研究題材，以再生能源的電力可用於電解產氫，氫氣再與二氧化碳轉化低碳的烷烴類，可做為儲能化學品或是塑化的乙丙烯料源。目前研究方向包括反應器的設計、低碳烷化反應的動態操作及觸媒的開發等。由於二氧化碳轉化低碳烷為高放熱反應，其放熱量是二氧化碳轉化甲醇的 3 倍多，因此低碳烷化反應的設計是朝如何移熱方式進行。有些是靠著並聯多組反應器，將其中一個反應物設為限量反應物，無形中稀釋了反應濃度，反應放熱速率跟著放慢。另一種方法是靠著大量的回流循環來降低進料濃度，使反應放熱速率放慢。由於轉化後低碳烷的濃度有一定的要求，因此，低碳烷的轉化率要求很高，觸媒的效率是一個關鍵，反應的控制也是重要因素，本計畫將開發有效的控制策略讓反應物的化學計量比得到一個最佳值，並使低碳烷濃度提高，是本計畫研究突破的重點。預計透過準確的反應動力模擬與熱力場分佈預測，並進行小規模的單元驗證，輔以本研究團隊於工業實務製程上的操控經驗，規劃最佳的操控策略與熱能回收機制，以確保低碳烷轉化率與觸媒效率。而在傳統使用的鎳系觸媒為主，其產物幾乎為甲烷，因此在設計觸媒配方會加入第一週期元素等金屬作為助觸媒，調整增加 C2-C3 產物的組成。然而，反應伴隨產生的高溫水氣亦會造成觸媒失活的

問題，因此，藉由加入適當的改質助觸媒及調整觸媒的製備方式，將可有效抑制金屬聚集現象，可有效提升觸媒活性與減少觸媒毒化現象。

## (2). 氫氣載體降解觸媒產氫技術

氫( $\text{NH}_3$ )是非常有潛力的儲氫載體，為未來氫氣由國外進口來源的可能載體之一。由於氫降解轉化成氫氣的觸媒需在  $600^\circ\text{C}$  以上才能達到效果，本計畫提出之氫分解合成策略為使用有機物模板(如：polyvinylpyrrolidone, PVP)控制鈦奈米顆粒的粒徑大小來達到低溫( $<500^\circ\text{C}$ )高催化活性。然而模板在合成後會吸附於奈米粒子表面，使活性點遭到覆蓋。此時便需要移除模板恢復觸媒活性。由於以通氧加熱將有機模板燃燒移除的方式，易造成奈米顆粒熱燒結而影響粒徑分布。目前可能的解決方式為在負載奈米顆粒至載體時同時沉降一抗熱燒結之金屬氧化物(如：氧化鈾或氧化釧)，使奈米粒子不會因熱處理而過度燒結。此外也可使用非熱處理的化學方移除模板，或可嘗試回收有機模板，有效降低成本外。此外，由於氫降解轉化成氫氣為吸熱反應，其吸熱約為  $90 \text{ kJ/mole}$ ，因此氫降解反應是以高溫增加熱傳效益，或是反應器設計可以採用多管式反應器，增加熱傳面積。除增加觸媒活性外，也可藉回流循環來增加分解效率。本計畫將開發可在低溫反應( $<500^\circ\text{C}$ )高活性觸媒，並透過準確的反應動力模擬與反應器設計，而達成高氫氣轉化的效率。

## 3. $\text{CO}_2/\text{CO}$ 轉化 $\text{C}_4\text{-C}_9^+$ 烷烯烴製程技術

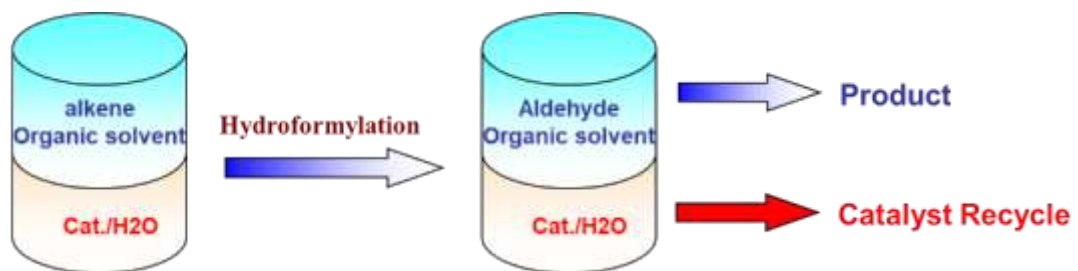
目前並無實際商業化以  $\text{CO}_2$  氫化成長碳鏈烷烯烴的製程技術。開發此類觸媒及製程技術需借鏡已有的  $\text{CO}$  氫化合成碳氫化合物的 Fischer-Tropsch 製程(FTS)技術，其反應機構是先將 C-O 鍵活化，生成  $\text{CH}_x$  ( $x < 3$ ) 關鍵中間體，再經過 C-C 鍵的偶合，進一步生成  $\text{C}_n\text{H}_m$  ( $n \geq 2$ ) 中間體，最後再進行氫化反應生成碳氫化合物生成二聚物(乙烷及乙烯)、三聚(丙烷及丙烯)、寡聚及長碳鏈氫化合物( $\text{C}_4^+$ )，FTS 反應產物主要遵從典型的 Anderson-Schulz-Flory(ASF)分佈規律，由  $\text{C}_{1-60}$  不同烷、烯的混合物及含氧化合物等組成，單一產物的選擇性低，而且在適合低碳數產物生成條件時甲烷及  $\text{CO}_2$  的選擇率大幅攀升，將影響長碳鏈氫化合物( $\text{C}_4^+$ )的生成。

本研究目的在於開發由  $\text{CO}_2/\text{CO}$  轉化高長碳鏈烷烯烴  $\text{C}_4\text{-C}_9^+$  產率的製程示範技術，由於傳統 FTS 觸媒無法有效將  $\text{CO}_2$  轉化成長碳鏈烷烯烴，若要達到較高比例的長碳鏈烷烯烴，需要先將  $\text{CO}_2$  轉化成  $\text{CO}$ ，再以  $\text{CO}$  轉化成長碳鏈烷烯烴的二步串聯反應。因此在觸媒設計上除了必須提升  $\text{CO}$  轉化率外，更重要的是在  $\text{CO}_2$  轉化  $\text{CO}$  時抑制甲烷等副產物的生成，才能大幅提升長碳鏈烷烯烴類的產率。類似 FTS 觸媒設計將選擇主要的活性金屬  $\text{Co}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Ru}$  等，再搭配其他改質成份的配方，以提升長碳鏈烷烯烴，並對反應中產生的水要具有耐水侵蝕性及較少積碳所衍生的失活問題等。此外除了觸媒製程精進外，在製程改善方向，可同時建立副產物回收再利用之製程整合技術，將 FTS 反應所產生的副產物 ( $>\text{C}_9$ ) 經由現有製程技術再轉化成長碳鏈烷(烯)烴產物，進而提升  $\text{C}_4\text{-C}_9^+$  產率及  $\text{CO}_x$  的利用率。

#### 4. $\text{CO}_2/\text{CO}$ 羰基化先導製程技術

羰基化反應(Hydroformylation)又稱 OXO 反應，是指烯烴與氫氣和一氧化碳在過渡金屬觸媒催化下生成醛類化合物的均相催化反應。醛類化合物可以進一步轉化為醇、酸、酯、aldol 縮合產物和縮醛等化合物。與所有均相催化反應類似，羰基化反應工業化過程中遇到的主要問題之一是觸媒與產物的分離。

均相羰基化反應重點技術開發標的或需解決的問題，是建立一個具備高催化活性與選擇性、觸媒又可回收回用的製程技術。產業界一般所使用的觸媒以鈷及銠金屬錯合物為主，鈷金屬觸媒雖相對便宜，但相對嚴苛的反應條件(壓力 $>200$  atm：溫度 $>200^\circ\text{C}$ )，使得業界趨向選擇僅需溫和反應條件(壓力 $<50$ atm：溫度 $<150^\circ\text{C}$ )的銠金屬錯合物作為觸媒，並著重提升催化活性以降低觸媒使用量，並發展觸媒回收回用技術，以解決金屬銠成本過高問題。



高催化活性與高觸媒回收用效率的羰基化反應，主要取決於觸媒配位基的設計。本計畫開發 CO<sub>2</sub>/CO 羰基化製程技術製備化學品，將針對烯烴原料及其醛類產物較低極性特性，開發高水溶性配位基與銻金屬錯合物觸媒，設計使用水/有機溶劑兩相反應系統，將反應後產物與觸媒油水分層，觸媒得以回收循環使用。另外觸媒對水與氧氣的敏感和熱不穩定性，往往使觸媒的分離與循環使用變得複雜化。本計畫除將建立絕氧系統裝置以避免氧氣干擾反應外，也將選用耐水性好的高水溶性 phosphine 作為配位基，以維持觸媒高活性。

以 CO<sub>2</sub>/CO 進行羰基化製程製備甲酸(FA)因具有低耗能，與易經濟化量產優勢，國際大廠陸續投入開發。目前甲酸國內尚未生產，每年進口近 2 萬噸，全球甲酸年產值預估到 2025 年將達到 828.1 million USD(Market Research Future)，可廣泛應用於食品、醫藥、農藥、畜牧、製革、染整、化工、橡膠、造紙及燃料電池等行業，全球需求量大。甲酸具有高比率固碳產品(>0.95 kg-CO<sub>2</sub>/kg-FA)，產品可廣泛應用於各領域，例如甲酸可進一步分解形成 CO/H<sub>2</sub> 組合氣作為合成氣(syngas)來源，並應用於羰基化製程，具有易保存運輸，製程更安全特點，可解決 CO 及 H<sub>2</sub> 難以儲存和運輸處理問題，作為更實用和理想化學品起始原料。以 CO<sub>2</sub> 為起始原料製備甲酸(一種潛在的儲 H<sub>2</sub>/CO 系統)，可提供小規模工業化生產合成氣及製程技術來源，有利推動多樣性小批次特用化學品產業成長。本計畫將建立 CO<sub>2</sub> 羰基化製程製備甲酸產品技術，開發新穎胺基離子型脫酸觸媒提昇甲酸產出效率，降低製程能耗，加速負碳排甲酸製程量產。



#### 四、與以前年度差異說明

年度 差異項目	110-111 年度	112-113 年度	114 年度(至 8 月)
經費	合計 590,000 千元 (經常門：330,000 千元、 資本門：260,000 千元)	合計 400,000 千元 (經常門：300,000 千元、 資本門：100,000 千元)	經常門：210,000 千元
量化指標	研發成果收入合計 16,000 仟元	研發成果收入合計 30,000 仟元	研發成果收入合計 10,000 仟元
里程碑	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成年產 50 噸以上 CO<sub>2</sub> 捕獲示範系統建置(110 年)</li> <li>完成年產 10 噸以上氫氣示範系統建置(110 年)</li> <li>完成年產 8 萬度以上氣轉電示範系統建置(111 年)</li> <li>完成年產 10 噸以上的甲烷合成示範系統建置(111 年)</li> <li>完成 1 家以上廠商參與電轉氣示範系統，推動 2 家廠商參與碳循環示範系統。(111 年)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成年產噸級自製膜電解製氫原型機建置(112 年)</li> <li>完成年產噸級自製膜電解製氫機場域實證技術(113 年)</li> <li>完成 CO<sub>2</sub>/CO 產製烷烯烴(年產噸級)先導系統建置(112 年)</li> <li>完成 CO<sub>2</sub>/CO 產製烷烯烴(產率 30%)場域實證(113 年)</li> <li>完成年產噸級 OXO 化學品製程先導系統運轉實證(112 年)</li> <li>完成 CO<sub>2</sub> 製備負碳排甲酸製程運轉測試(113 年)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成 2 家以上廠商參與膜電解製氫技術應用(114 年)</li> <li>完成千噸級 CO<sub>2</sub> 產製烷烯烴製程設計(114 年)</li> <li>完成年產噸級羰基化化學品製程設計(114 年)</li> <li>推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證(114 年)</li> </ul>

#### 五、跨部會署合作說明

本綱要計畫非跨部會署計畫，故毋須說明各部會署之分工及其所負責執行之內容。

#### 六、與本計畫相關之其他預算來源、經費及工作項目

預算來源	經費(千元)	工作項目
科技發展	無	
公共建設	無	
基本需求(部會施政+社會發展)	無	
其他(如作業基金)	無	

## 肆、前期重要效益成果說明

### 一、分年度重要執行成果

※110~112 年共完成 6 項碳循環示範場域製程系統建置：

1. 與中鋼公司合作進行『鋼化聯產實驗先導線示範場域』，驗證 3 項示範系統(111 年完成進駐)：
  - (1). 每年可捕獲二氧化碳 15 噸之示範系統
  - (2). 年產 10 噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統
  - (3). 年產噸級 CO<sub>2</sub>/CO 轉化甲醇/甲烷示範系統
2. 氣轉電示範驗證設備：已分別與谷全實業公司(111 年)及仁儀公司合作(112 年)，進行燃氣發電場域驗證。
3. 112 年與仁儀公司共同建置熱媒鍋爐尾氣 CO<sub>2</sub> 捕獲及再利用轉化為甲烷發電之示範驗證場域，驗證之示範系統：
  - (1). CO<sub>2</sub> 捕獲先導示範系統(年捕獲 70 噸 CO<sub>2</sub>)
  - (2). CO<sub>2</sub> 轉化甲烷先導示範系統(年生產 26 噸甲烷)

### 二、里程碑達成情形

#### 110年

(一)建置碳循環驗證設備與中鋼公司完成示範場域合作協議簽訂：

1. 110年度完成2項碳循環示範場域製程設備建置：
  - (1). 二氧化碳捕獲驗證設備：建置規格年產可達捕獲50噸以上二氧化碳(圖1)、
  - (2). 電轉氣水電解產氫驗證設備：透過國際合作(日立造船公司)建置規格年產可達10噸以上氫氣(圖2)。



圖 1、二氧化碳捕獲驗證設備



圖 2、電轉氣水電解產氫驗證設備

2. 與中鋼公司簽訂『碳捕獲及應用示範場域』合作協議，於中鋼小港廠區建立示範場域，占地面積約350平方公尺。後續將與中鋼公司共同開發轉爐氣高值應用驗證技術，充分利用煉鋼業的副

產燃氣資源。

- (二)開發碳循環關鍵料源製程技術，切入綠色氫氣料源市場：開發鹼性膜水電解材料與製程技術，促成台電綜合研究所投入電轉氣膜電解水產氫技術先期計畫，未來可支援綠色氫氣料源生產，將有助於吸引國內產業投入，促成碳循環關鍵料源產業鏈的整合。
- (三)開發產業製程尾氣(二氧化碳/一氧化碳)轉化高值低碳化學品技術：建立 CO<sub>2</sub>/CO 氫醛化(OXO)製程評估系統，完成技術授權「氫醛化製程設計技術」予業者，協助廠商進行2千噸反應製程設計，有助於國內產業界建立低碳關鍵化學品技術，提供國內化工材料產業高值應用。
- (四)完成3噸級批式觸媒製程驗證設備建置：由於 CO<sub>2</sub>轉化觸媒為新型開發的觸媒技術，目前國內/外並無特定量產的觸媒，若需要製備百公斤級觸媒，則需要將實驗室小量製備技術進行放大驗證，才能達到大量且穩定生產的製備技術。本套觸媒製程驗證設備，將可提供 CO<sub>2</sub>轉化合成化學品(甲烷或烷烯烴)製程所需之百公級觸媒放大製備使用，以驗證製備觸媒的穩定性，加速整體製程及觸媒商轉的時效。

## 111年

### (一)與中鋼公司合作於小港廠區建置「鋼化聯產實驗先導工場」：

1. 場域已完成周邊基礎設施施工及相關驗證設備系統進駐，包括每年可捕獲二氧化碳 15 噸之示範系統一套、年產 10 噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統一套、以及二氧化碳轉化反應示範系統一套。
2. 111/12/2 於中鋼公司小港廠區舉辦「鋼化聯產實驗先導工場」揭牌典禮活動。



圖、「鋼化聯產實驗先導工場」揭牌典禮活動

**(二)帶動奇美公司投入開發 CO<sub>2</sub> 合成碳酸酯(DRC)技術：**

1. 碳酸酯為合成聚碳酸酯(PC)之原料，主要應用為車燈燈罩、手機外殼、眼鏡及光碟片等產品。
2. 本計畫開發以 CO<sub>2</sub> 合成碳酸酯之觸媒技術，技轉給奇美公司，協助進行 CO<sub>2</sub> 生產碳酸酯之 4 段單元串聯連續反應的製程技術。未來奇美公司將以此技術生產聚碳酸酯，其碳排量預計可較傳統製程降低約 40%。

**(三)協助中油公司建置 CO<sub>2</sub>捕獲和合成甲醇試驗設備：**111 年度完成 CO<sub>2</sub> 捕獲設備(CO<sub>2</sub>捕獲量20公斤/天、CO<sub>2</sub>純度≥99%)建置。預計112年10月完成 CO<sub>2</sub>合成甲醇試驗設備，甲醇產出量為3公斤/天（全程將於112年12月完成）。

**(四)完成2項碳循環示範場域製程系統建置：**(1). 甲烷製程示範驗證設備：建置規格可達 CO<sub>2</sub>轉化年產10噸以上的甲烷(圖1)、(2). 氣轉電示範驗證設備：建置規格年產可達8萬度電以上(圖2)。



圖 1、甲烷製程示範驗證設備



圖 2、氣轉電示範驗證設備

**(五)完成以實驗數據開發之年產噸級費托(Fischer-Tropsch process)-CO<sub>2</sub>轉化烷烯烴的製程單元流程模擬、管道和儀表圖(P&ID)及設備布置圖等設計工程。**

**112年**

**(一)本計畫與中鋼公司合作於小港廠建置之「鋼化聯產實驗先導線示範場域」，112年度已進行相關示範系統之場域運轉驗證：**

1. 每年可捕獲二氧化碳 15 噸之示範系統：目前轉爐氣的 LDG-PSA 的入料氣體中 CO<sub>2</sub> 平均濃度約 35%，經測試示範系統產氣 CO<sub>2</sub>

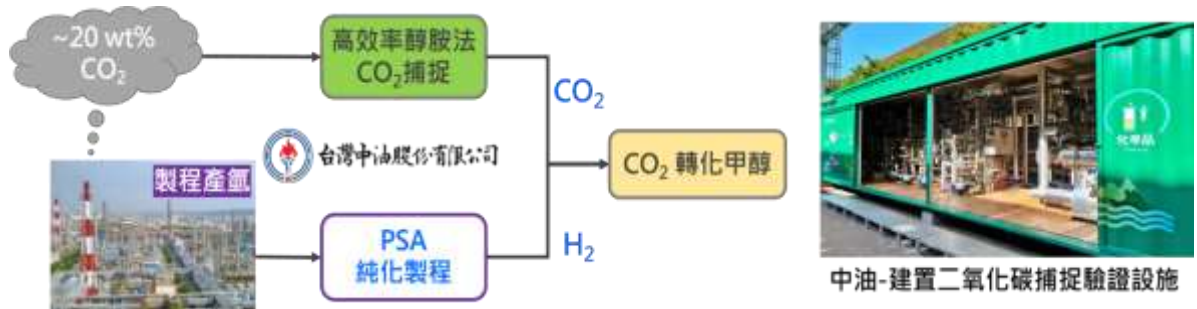
純度可達 $\geq 99\%$ ；後續仍將持續進行 CO<sub>2</sub> 捕獲產能優化評估。

2. 年產 10 噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統：氫氣產量經場域運轉測試可達 22.2 Nm<sup>3</sup>/h，換算年產量可達 12 噸，產出壓力達 6.5 kgG/cm<sup>2</sup>，示範系統已完成穩定供應予後端二氧化碳轉化化學品示範系統驗證。
3. 中鋼轉爐氣分離出 CO，經 CO 轉化甲醇示範系統：進行場域運轉測試，在反應溫度 250~280°C，反應壓力設定 50~80bar，收集液相產品利用氣相層析儀分析，只有偵測到甲醇的訊號(無其它明顯產物)，甲醇選擇性大於 99%。將產物蒸餾純化後甲醇純度 $\geq 99.5\%$ 。



圖、與中鋼合作於小港廠建置「鋼化聯產實驗先導線示範場域」

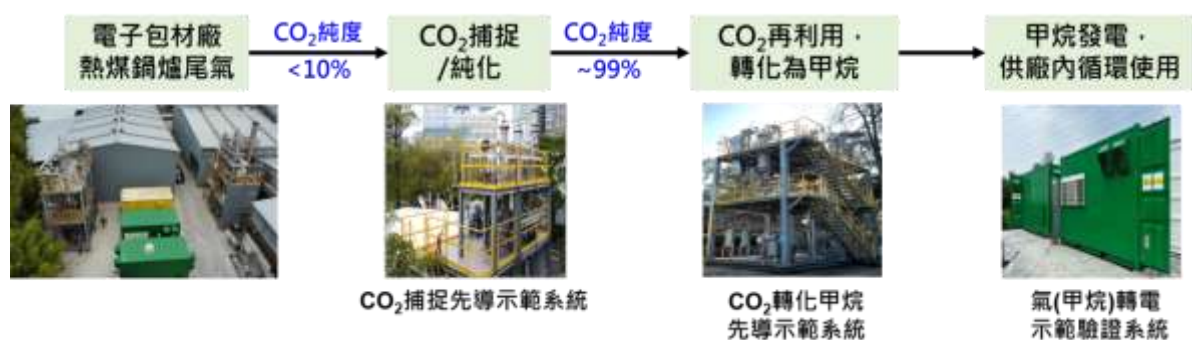
(二)本計畫協助中油公司於大林廠建置 CO<sub>2</sub> 捕獲和合成甲醇試驗設備：CO<sub>2</sub> 捕獲設備已於 111/12 完成試車。CO<sub>2</sub> 轉換甲醇設備於 112/6 送至大林廠，並進行現場管閥件配線及安裝保溫系統，並於 112/12 完成串聯 CO<sub>2</sub> 捕獲及轉化甲醇試車，可達到每日捕獲 20 公斤以上 CO<sub>2</sub>，CO<sub>2</sub> 純度 $>99\%$ 及轉換產出 10 公斤以上的甲醇。



圖、協助中油公司於大林廠建置 CO<sub>2</sub> 捕獲和合成甲醇試驗設備

(三)本計畫與仁儀公司共同建置熱煤鍋爐尾氣 CO<sub>2</sub> 捕獲及再利用轉化為甲烷發電之示範驗證場域，112 年度已完成驗證系統進駐，及場域管閥件配線，共同驗證本計畫所建立之 3 項示範系統：

1. CO<sub>2</sub> 捕獲先導示範系統(年捕獲 70 噸 CO<sub>2</sub>)
2. CO<sub>2</sub> 轉化甲烷先導示範系統(年生產 26 噸甲烷)
3. 氣轉電示範驗證系統：將甲烷轉換成廠內使用電能效益，未來減少 CO<sub>2</sub> 排碳量而產生的碳權，可進行碳交易給國內其它碳排大戶使用，以符合 2024 年徵收碳稅之規範。



圖、仁儀公司-熱煤鍋爐尾氣 CO<sub>2</sub> 捕捉及再利用示範驗證場域

(四)完成年產噸級自製鹼性膜電解水製氫原型機建置與 530hr 系統穩定性測試運作：系統能耗為 55.9 kWh/kg-H<sub>2</sub>。內部機構採用功能性布局，分電堆區、電控區、熱管理區與氣體純化區共 4 區，提供較佳系統散熱與減少熱源干擾，提升系統穩定度；純化裝置則設計多道冷凝式純化機構與最適溫度調節控制，減少熱管理裝置能耗需求。

(五)完成年產噸級氫醛化(OXO)化學品製程先導系統運轉驗證：針對 H<sub>2</sub>/CO/CO<sub>2</sub> 進行反應測試，分別完成氫醛化(OXO)、氫化(hydrogenation)、環碳酸酯化(carbonation)等反應驗證，建立製程基本參數，每日最高可產 7.68kg/day OXO 化學品，估計連續生產產能可>1.5 噸/年。

### 三、可量化經濟效益

1. 創造就業機會：110~112 年透過與廠商合作碳循環關鍵技術研發及場域驗證推動，帶動就業約 96 人。
2. 帶動公民營企業投資：110~112 年透過技術移轉及工業服務的合作，

帶動產業投入二氧化碳循環技術開發，促成 20 家以上國內/外廠商投資超過 18.07 億元。

3. 本計畫積極投入技術研發，並與業界保持密切合作，110~113/04 達成研發成果收入 81,656 千元。

#### 四、不可量化經濟效益

1. 推動帝碩公司投入高效率製氫系統應用研究：透過委託工服計畫(合約金額為 600 萬)，在全球減碳發展推動下，綠氫需求大增，推動帝碩公司高效率製氫系統架構研究，未來將規劃發展系統整合技術。
2. 協助景碩科技公司進行天然氣混燒氫氣之減碳評估：協助景碩進行電解水產氫機裝置應用於天然氣混燒以減少碳排量之評估。以 53 萬 kcal/hr 天然氣熱煤油鍋爐進行氫氣混燒，預估每混燒 1% 氫氣將可減少每年 10 噸 CO<sub>2</sub> 之碳排量，並可帶動如台電、漢翔等公司投入天然氣混燒氫氣技術之應用。
3. 推動台電綜研所投入燃氣發電機組減碳研究評估：將結合 65 kW 燃氣機組進行混氫減碳評估研究，規劃以年產噸級產氫驗證系統提供氫氣料源，預計混氫比例為 1 ~ 20 %。本案於 FY112Q4 公告招標，未來驗證成果有助於國內電力業者發展減碳推動。
4. 協助長興材料公司塗佈生產線烘箱減碳技術開發：透過委託工服計畫(合約金額 125 萬)，協助長興材料導入鹼性膜塗膜乾燥曲線及氣泡線模擬技術，完成有效預測乾燥氣泡缺陷發生因子條件，除了大幅提升良率外，並將生產速度由 70m/min 提升至 80m/min，提高產能約 14.3%，有效降低產品單位面積碳排放。
5. 帶動奇美實業公司投入煙道氣碳源製造固碳 PC 技術：國內石化產業生產非光氣法聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)年產大約 15 萬噸，依據環保署公告的碳足跡高達 9 kgCO<sub>2</sub>/kg-PC，若透過碳捕獲與觸媒轉化製程後可降低碳排放。奇美公司將投入新台幣 2 億元投入試量產研發，承接本計畫前期技術成果，發展固碳 PC 製程關鍵自主技術，促進 PC 產業往綠色碳源循環發展，新製程比現有製程可減少碳排放 1.19 kgCO<sub>2</sub>/kg-PC。預期商業量產將有效減碳 17.85 萬噸/年，年產值達新台幣 129 億元。預計於 2026 年 2 月完成試量產，藉由碳捕獲→DRC→DPC→固碳 PC 製備技術驗證，加快商業量產的期程，提升產品的

競爭能力、並減少奇美公司銷往歐盟產品受到碳邊境調整機制(CBAM)的碳稅壓力。

6. **製程 CO<sub>2</sub> 尾氣再利用製程技術開發**：協助中鋼評估煉鋼尾氣再利用製程，投入先期技術研究，開發 CO<sub>2</sub> 尾氣結合化工製程製備甲酸衍生化學品。投入製程 CO<sub>2</sub> 尾氣轉化甲酸產品應用技術，推動低碳化學品生產及產業發展，協助國內化工及民生產業達成減碳減排目標。建立吸附劑與廢 CO<sub>2</sub> 尾氣所形成的碳酸鹽直接氫化，並轉化為甲酸製程技術，製程將不需再進行 CO<sub>2</sub> 脫附步驟，減少 CO<sub>2</sub> 脫附過程額外碳排，預估製程可減排量 10%。
7. **協助台 O 電進行製程低濃度 CO<sub>2</sub> 捕獲評估**：晶圓代工製程使用會使用天然氣、電漿或電熱型洗滌塔(LSC)去除製程廢氣內的氫氟碳化物(HFCs)與全氟化碳化合物(PFCs)。分解後所產生的副產物(HF、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>)，經過洗滌塔多道水洗去除有害物質再排放到尾氣匯集管。LSC 排氣分析 CO<sub>2</sub> 濃度約 2.5%，相較於傳統石化化工業濃度較低，且因應電子業的空間限制，需使用體積較小、無副產物且高提濃效果的 CO<sub>2</sub> 捕獲技術，本計畫使用高選擇性物理吸附技術，利用高選擇性且低壓損的中空纖維材，協助台 O 電評估低濃度 CO<sub>2</sub> 捕獲效能。研究成果顯示本技術可降低尾氣 CO<sub>2</sub> 濃度，CO<sub>2</sub> 捕獲純度可提濃至 99%，未來可導入台 O 電減廢中心與減碳相關應用場域。
8. **協助宇陽能源公司於金門酒廠進行綠電生產與減碳系統建置**：金門酒廠為解決產業有機廢水的處理，設置厭氧處理單元，然而，厭氧單元產生的甲烷大都直接排放，因而造成更多的碳排放量效應。本案經委託工服合作(合約金額 255 萬)，協助設置燃氣前處理去除燃氣中的硫化氫，後續再進入氣轉電發電機組，包含除濕、除塵、加壓後，進入燃氣發電機組，將甲烷轉換成綠電。本場域每日產生甲烷量為 2,052 m<sup>3</sup>，經由 300kW 燃氣發電機，每年將可產生 2,250,000 kWh 的綠電，每年減碳量可達 13,447 ton CO<sub>2</sub>。本場域實績未來可擴展到國內相關的製酒業與釀造業的減碳應用。
9. **協助谷全實業公司氣轉電減碳系統評估與建置**：結合厭氧生物處理甲烷增生技術，協助食品製造廠-谷全實業建立 100kw 氣轉電技術實場建置，預估年發電量 29.7 萬度電，年減碳 2,790 ton CO<sub>2</sub>e，並可帶動具有燃氣之場域業者投入氣轉電技術之相關應用。



## 五、全程最終效益目標至 112 年底達成進度：

目標 1：建構碳循環產業所需關鍵場域實證放大設備及基礎設計技術，完成以 CO<sub>2</sub> 及 CO 為料源的噸級碳循環示範場域製程技術 4 項，作為未來產業量產投入的設計基礎。

達成進度：

1. 年產 70 噸以上 CO<sub>2</sub> 捕獲示範系統(110 年建置)
2. 年產 10 噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統(110 年透過國際合作(日立造船)建置)
3. 年產 26 噸 CO<sub>2</sub> 轉化甲烷先導示範系統(111 年建置)
4. 年產 15 噸 CO<sub>2</sub> 捕獲示範系統(111 年建置)
5. 年產噸級 CO<sub>2</sub>/CO 轉化甲醇/甲烷示範系統(111 年建置)
6. 年產噸級 CO 轉換製程系統-OXO 製程(111 年建置)
7. 年產噸級 CO<sub>2</sub>/CO 產製烷烯烴先導系統(112 年建置)

目標 2：透過 CO<sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，帶動廠商投入碳循環技術開發，預計技術移轉 9 家以上促成廠商投入 20 億以上研發資源，作為未來產業投入大型碳循環系統建置基礎，並帶動國內 CO<sub>2</sub> 碳源化學品產業鏈的建置。

達成進度：

110~112 年共完成技術移轉 25 件、促成 20 家以上 廠商(包括：中鋼、中油、奇美、台電、仁儀、長春、智和、台灣迪肯特、帝碩、益正生技、純萃材料....等)，投入 18.07 億 以上經費源於碳循環領域。

目標 3：藉由建立高效率低成本膜電解水產氫製程與系統實證技術，預估自 2021 年至 2025 年，電堆產氫能耗可由 55 kWh/ kg-H<sub>2</sub> 降至 50 kWh/ kg-H<sub>2</sub>，系統產氫成本 ≤4.5 USD/ kg-H<sub>2</sub>。

達成進度：

112 年進度：已完成 Lab scale 高效率低成本膜電解水產氫製程與系統技術，電堆能耗已降至 50 kWh/kg-H<sub>2</sub>，系統產氫成本為 5.49 USD/ kg-H<sub>2</sub>，其中 BOP 為 1.65 USD/ kg-H<sub>2</sub>、電堆為 3.84 USD/ kg-H<sub>2</sub>。目前材料與系統元件壽命預估為 25,000 至 60,000 小時，後續待進行加

速性重複驗證測試，預計壽命達 50,000 小時，系統產氫成本可降至 4.39 USD/kg-H<sub>2</sub>。

**目標 4：預估 2030 年可帶動石化及鋼鐵產業投入二氧化碳循環利用產業鏈建置，預計促進產業投資 100 億以上，落實減碳至少 100 萬噸/年，增加產業產值 300 億元以上。**

**達成進度：**

帶動國內業者投入碳捕捉再利用技術開發與驗證場域建置，作為未來產業量產投入的設計基礎。

- (1).與中鋼於小港廠區合作「鋼化聯產實驗先導線示範場域」，促投 2.5 億以上，年減碳量達 4900 噸。
- (2).協助中油公司建置國內第 1 座 CO<sub>2</sub> 轉換甲醇示範系統，促投 5,500 萬以上。
- (3).推動奇美投入開發以煙道氣回收之 CO<sub>2</sub> 製備 DRC(碳酸二酯)與 PC(聚碳酸酯)技術。奇美公司目前年產能 15 萬噸 PC 的碳排量約為 104.4 萬噸，由捕獲之 CO<sub>2</sub> 製程的 PC，生產每噸 PC 可減碳 1.19 噸，預計 2029 年完成固碳 PC 商業量產製程技術，屆時年產能 15 萬噸 PC 可減碳量 17.85 萬噸。
- (4).協助台塑公司執行 A+企業創新研發淬鍊計畫「煙道氣化學固碳製程與應用技術研發計畫」，於高雄仁武汽電共生廠，建立 CO<sub>2</sub> 捕獲 30 噸/年及 CO<sub>2</sub> 再利用轉化甲烷 10 噸/年的技術開發與進行場域驗證。

## 伍、預期效益及效益評估方式規劃

本計畫透過技術移轉、專利授權等方式，將研發成果移轉給產業界並藉由政府各項業界輔導計畫進行合作，與業界及學界維持良好技術交流與互動，確實掌握業界需求，橋接學校創新技術，達到產業升級與技術自主，延續性技術紮根與產業人力資源培育，以完備國內跨產業整合，碳循環關鍵技術發展能量，進而提升產業競爭力及產值

效益評估方式規劃如下說明：

- 1.智慧財產：**透過技術產出項目佈建核心專利技術防護網，以建立並掌握關鍵技術與智財能量，屬基礎工程專利，則優先運用於產業創業及昇級；屬週邊運用技術專利，則採專利結盟相互授權或專利有償授權，並依據合約統計專利申請及獲證情形。
- 2.技轉與智財授權：**透過廠商訪視/訪問等方式確實掌握產業需求，發展並建立業界所需之技術能量，並透過技術授權方式，協助業界迅速取得技術能量，落實研發成果產業化，並與業界及學界維持良好技術交流與互動，並依據合約統計技轉與智財授權情形。
- 3.技術服務：**透過廠商訪視/訪問等方式確實掌握產業需求，並以本計畫成果協助業界導入碳循環資源化轉化技術，共同開發碳循環關鍵技術、產品及應用市場，積極落實研發成果於產業，提高產品規格、改進製程，並依據合約統計技術服務情形。
- 4.促成投資：**推動廠商承接本計畫成果擴大研究以促成國內外廠商在台進行產品先導技術研發與生產投資，以完備國內碳循環關鍵技術發展能量，提升產業整體競爭力及產值。

## 陸、自我挑戰目標

113 年度：

- 原訂促進廠商投入創新研發金額 3 億元，挑戰目標增加為 4 億元
- 每年推動 1 家以上廠商投入碳循環場域驗證

114 年度(8 月)：

- 原訂促進廠商投入創新研發金額 1.5 億元，挑戰目標增加為 2 億元
- 每年推動 1 家以上廠商投入碳循環場域驗證

註 1: 110 年度挑戰目標：促進廠商投入創新研發金額 4 億元。

110 年達成情形：促成國內外廠商投資共 20 項，合計 4.81 億元。

註 2: 111 年度挑戰目標：促進廠商投入創新研發金額 4 億元。

111 年達成情形：促成國內外廠商投資共 17 項，合計 7.29 億元。

註 3: 112 年度挑戰目標：(1).促進廠商投入創新研發金額 4 億元。

(2).每年推動 1 家以上廠商投入碳循環場域驗證。

112 年達成情形：(1).促成國內外廠商投資共 17 項，合計 5.96 億元。

(2).推動 2 家廠商(奇美、仁儀)投入碳循環場域驗證。

## 柒、經費需求/經費分攤/槓桿外部資源

### 經費需求表(B005)

單位：千元

細部計畫名稱	計畫屬性	114 年度(8 月)		
		小計	經常支出	資本支出
碳循環關鍵技術開發計畫	產業技術研發	210,000	210,000	0

- A. 組織維運/類業務：常態性支持與維運法人組織運作，或為支持科研發展衍生之常規性業務或研究等計畫。
- B. 資通訊建設：以資通訊設備建置為計畫核心，目的在於推動資訊化社會之建設，建構完善基礎環境，規劃資訊通信關鍵應用，以帶動資訊國力提升。
- C. 人才培育：計畫主軸係以人才培育為核心策略，以人力資本的投入帶動基礎研究、產業發展或轉型及公共民生之發展。
- D. 基礎研究：非以專門或特定應用/使用為目的，成果不特別強調與產業的連結性；或為目前已知或未來預期面臨之問題，但尚缺乏廣泛知識基礎而進行之研究。本屬性涵蓋基礎研究核心設施。
- E. 產業技術研發：進行與產業連結性高之相關技術研究與開發。
- F. 產業服務與應用：將科技研究與技術應用於產業，進而推動產業發展，包括技術及產品應用或產業輔導等。
- G. 環境永續與社會發展：具永續性或有助於民生及公共福祉之公共資源、公共服務、科技政策等，於短、中、長期可促進各類人民福祉之提升、環境之保全與安全之促進。

## 114 年度經費需求表

### 經費需求說明

- 1.本綱要計畫規劃人力、材料費相關支出，其經費計算標準及方式均依據『經濟部及所屬機關委辦計畫預算編列基準』辦理。
- 2.業界承接本計畫之研發成果後，以跨業合作帶動廠商擴大研發及挹注資金投入更多元化之應用，以提升國內廠商之國際競爭力。
- 3.本年度將完成 4 項年產噸級場域製程整合示範驗證與最佳化，並以製程最佳化參數完成 2 項千噸製程設計，投入包括製程參數優化調整、材料/自製觸媒生產(3 噸反應槽)、噸級碳循環場域維運(場地租金、驗證系統維護及攤提使用費等)，作為未來產業投入大型 CO<sub>2</sub> 循環再利用系統建置基礎。

單位：千元

計畫名稱	細部計畫重點描述	預期關鍵成果	114 年度						
			小計	經常支出			資本支出		
				人事費	材料費	其他費用	土地建築	儀器設備	其他費用
碳循環關鍵技術開發計畫	本計畫將透過異業合作(煉鋼廠、石化廠及發電廠)建立所需的 CO <sub>2</sub> 循環再利用噸級合成先導設計與場域實證技術，提供解決方案，規劃以產業界(煉鋼廠轉爐氣、石化廠煙道氣/製程尾氣)所產出的二氧化碳(CO <sub>2</sub> )及一氧化碳(CO)作為原料，開發與國際同步之前瞻碳捕獲先導場域、CO <sub>2</sub> 再利用合成烷烯烴關鍵觸媒與製程技術，並與石化/鋼鐵產業進行碳循環再利用場域實證技術，作為未來產業投入大型 CO <sub>2</sub> 循環再利用系統建置基礎。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 完成 2 家以上廠商參與膜電解製氫技術應用。</li> <li>2. 完成千噸級 CO<sub>2</sub> 產製烷烯烴製程設計。</li> <li>3. 完成年產噸級羰基化學品製程設計。</li> <li>4. 推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證</li> </ol>	210,000	56,000	35,500	118,500	0	0	0

經費分攤表(B008)：無跨部會經費分攤

捌、儀器設備需求：無設備需求

玖、就涉及公共政策事項，是否適時納入民眾參與機制之說明：本計畫無涉及公共政策事項

## 拾、附錄

### 一、政府科技發展計畫自評結果(A007)

(一)計畫名稱：碳循環關鍵技術開發計畫(5/5)

審議編號：114-1401-04-20-02

計畫類別：前瞻基礎建設計畫

(二)自評委員：蔡毓楨、景虎士、曹恆光、康敦彥

日期：2024年5月20日

(三)審查意見及回復：

序號	審查意見	回復說明
1	本年度為全期計畫之最後一年，應盤點技術亮點、展示成果，以利後續計畫執行。	謝謝委員的建議。本計畫積極與各產業進行碳循環技術合作，投入碳循環技術開發與產業化，已推動6家廠商參與碳循環先導系統場域驗證，超出計畫目標；相關成果已補充說明於「肆、前期重要效益成果說明」及「附件七、其他補充資料」，摘要如下： 1. 鋼鐵產業：與中鋼公司於小港廠區合作「鋼化聯產實驗先導線示範場域」，111年完成場域基礎工程及示範系統進駐、112進行運轉驗證。並完成鋼化聯產(共2期)關鍵技術授權，促成投資2.5億以上、年減碳量達4900噸。 2. 石化產業：協助台灣中油公司於大林廠，建置煙道氣CO <sub>2</sub> 捕獲(年捕獲6噸以上CO <sub>2</sub> )和合成甲醇試驗設備(年產3噸以上的甲醇)。 3. 電子中小企業：與仁儀公司於合作建置熱媒鍋爐尾氣CO <sub>2</sub> 捕獲(年捕獲70噸CO <sub>2</sub> )和合成甲烷(年生產26噸甲烷)發電之示範驗證。 4. 特化產業：推動奇美實業於台南仁德廠，投入開發以煙道氣回收之CO <sub>2</sub> 製備DRC與PC技術，預計由捕獲之

		<p>CO<sub>2</sub>製程的PC，生產每噸PC可減碳1.19噸。</p> <p>5. 電廠：推動台電於台中火力電廠再生示範園區，建置甲烷化示範驗證系統。</p> <p>6. 能源產業：與宇陽能源合作於金門酒廠，建置氣轉電場域驗證。</p>
2	本計畫應針對產業應用藍圖，作詳細規劃，以利後續相關循環技術開發。	謝謝委員的建議。本計畫後續將從不同的角度來規劃產業應用藍圖，包括法規壓力、市場需求時程、具CO <sub>2</sub> 轉化技術可行性、產業需求量、減碳效益、產業價值等方面進行評估，並與業界進行密切討論，以確保所規劃之藍圖，能夠符合市場需求和產業發展趨勢。
3	本計畫擬開發之產品應用應配合國內產業需求並評估世界產業趨勢。	謝謝委員的建議。製造業是我國經濟發展關鍵，外銷比重將近6成，隨著全球淨零永續趨勢，產業面臨嚴苛的低碳排與碳稅壓力，低碳料源的掌握將是各國製造業減碳的勝出關鍵之一。因此，本計畫未來擬開發之產品應用，將結合我國製造業之優勢產業(PCB/電子/半導體)的低碳材料需求，經由盤點應用產業需求量、減碳效益、產業價值及技術可行性等因素，制定符合產業需求之發展策略。
4	淨零碳排為世界發展趨勢，應盤點後續可再開發技術，研提後續研發項目。	謝謝委員的建議。本計畫過去已針對石化及鋼鐵產業投入CO <sub>2</sub> 去化量大大宗化學品(甲醇、甲烷、乙/丙烷、C <sub>4</sub> -C <sub>9</sub> <sup>+</sup> 長碳鏈烷烯烴)技術，未來將持續掌握國際淨零碳排發展趨勢，並因應我國具競爭優勢的半導體/電子產業(半導體、PCB、面板等)面臨的供應鏈減碳需求，透過盤點材料應用需求量大項目(如溶劑、單體..等)，評估擬開發之低碳排化學品的產業需求量、產業價值、減碳效益、技術可行性等因素，研提後續以CO <sub>2</sub> 為原料之低碳排高值綠色化學料源研發項目。
5	本案開發技術為展示其優異性，應和目前世界正發展技術作競爭分析比較，以利評估。	謝謝委員的建議。本計畫所開發之CO <sub>2</sub> 轉化化學品之關鍵觸媒與製程技術，皆為本計畫自主建立技術，至113年4月止已完成30件專利申請，所開發CO <sub>2</sub> 轉化化學品技術，產率皆優於國際指標。與目前世界正在發展之技術競爭分析比較已補充說明於「3-2、分析目前或未來有哪些競爭對象」及「附件七、其他補充資料」。



## 二、中程個案計畫自評檢核表

檢視項目	內容重點 (內容是否依下列原則撰擬)	主辦機關		主管機關		備註		
		是	否	是	否			
1、計畫書格式	(1)計畫內容應包括項目是否均已填列(「行政院所屬各機關中長程個案計畫編審要點」(以下簡稱編審要點)第5點、第10點)	✓		✓		<ul style="list-style-type: none"> <li>依114年度政府科技發展中程個案計畫書格式撰寫</li> <li>本案屬延續性計畫</li> </ul>		
	(2)延續性計畫是否辦理前期計畫執行成效評估，並提出總結評估報告(編審要點第5點、第13點)	✓		✓				
	(3)是否本於提高自償之精神提具相關財務策略規劃檢核表？並依據各類計畫作業規定提具相關書件		✓		✓			
2、民間參與可行性評估	(1)是否評估民間參與之可行性，並撰擬評估說明(編審要點第4點)		✓		✓	以科學計畫委託法人執行 並涉及公共政策事項		
	(2)是否填寫「促參預評估檢核表」評估(依「公共建設促參評估機制」)		✓		✓			
3、經濟及財務效益評估	(1)是否研提選擇及替代方案之成本效益分析報告(「預算法」第34條)		✓		✓			
	(2)是否研提完整財務計畫		✓		✓			
4、財源籌措及資金運用	(1)經費需求合理性(經費估算依據如單價、數量等計算內容)	✓		✓		1.因應國家綠能建設政策發展重點所需。 2.本計畫非公共建設計畫，且不自償性。 3.本計畫經費來源屬特別預算，不適用中程歲出概算額度。		
	(2)資金籌措：本於提高自償之精神，將影響區域進行整合規劃，並研外部效益內部化		✓		✓			
	(3)經費負擔原則： a.中央主辦計畫：中央主管相關法令規定 b.補助型計畫：中央對直轄市及縣(市)政府補助辦法、本於提高自償之精神所擬訂各類審查及補助規定	✓		✓				
	(4)年度預算之安排及能量估算：所需經費能否於中程歲出概算額度內容納加以檢討，如無法納編者，應檢討削減一定比率之舊有經費支項；如仍有不敷，須檢附以前年度預算執行、檢討不敷支出及自行檢討調整結果等經費審查之相關文件		✓		✓			
	(5)經費比1：2(「政府公共建設計畫先期作業實施要點」第2點)		✓		✓			
	(6)屬具自償性者，是否透過基金協助資金調度等		✓		✓			
5、人力運用	(1)能否運用現有人力辦理	✓		✓		以現有人力辦理		
	(2)擬增人力者，是否檢附下列資料： a.現有人力運用情形 b.計畫結束後，請增人力之處理原則 c.請增人力之類別及運用方式 d.請增人力之經費來源		✓		✓			
	6、跨機關協商	(1)涉及跨部會或地方權責及財務分攤，是否進行跨機關協商		✓			✓	為單一執行機關計畫
		(2)是否檢附相關協商文書資料		✓			✓	
7、土地取得辦法	(1)能否優先使用公有閒置土地房舍		✓		✓	本計畫無土地取得需求		
	(2)屬補助型計畫，補助方式是否符合規定(中央對直轄市及縣(市)政府補助辦法第10條)		✓		✓			
	(3)計畫中是否涉及徵收或區段徵收特定農業區之農牧用地		✓		✓			
	(4)是否符合土地徵收條例第3條之1及土地徵收條例施行細則第2條之1規定		✓		✓			
	(5)若涉及原住民族保留地開發利用者，是否依原住民族基本法第21條規定辦理		✓		✓			
8、風險管理	是否對計畫內容進行風險管理	✓		✓				
9、性別影響評估	是否填具性別影響評估檢視表	✓		✓				
10、環境影響分析(環境政策評估)	是否須辦理環境影響評估		✓		✓	本計畫無涉及環境影響		

檢視項目	內容重點 (內容是否依下列原則預擬)	主辦機關		主管機關		備註
		是	否	是	否	
11. 淨零轉型通案評估	(1)是否以二氧化碳之減量為節能減碳指標，並設定減量目標	✓		✓		
	(2)是否規劃採用綠建築或其他節能減碳措施	✓		✓		
	(3)是否強化因應氣候變遷之調適能力，並納入淨零排放及永續發展概念，優先選列臺灣2050淨零排放路徑、淨零科技方案及淨零轉型十二項關鍵戰略、臺灣永續發展目標及節能相關指標	✓		✓		
	(4)是否屬臺灣2050淨零排放路徑、淨零科技方案及淨零轉型十二項關鍵戰略相關子計畫	✓		✓		
	(5)屬臺灣2050淨零排放路徑、淨零科技方案及淨零轉型十二項關鍵戰略之相關子計畫者，是否農實填報附表二、中長程個案計畫淨零轉型通案自评檢核表，並檢附相關說明文件	✓		✓		
12. 涉及空間規劃者	是否檢附計畫範圍具座標之向量圖檔		✓		✓	無涉及空間規劃
13. 涉及政府辦公廳舍興建購置者	是否納入積極活化閒置資產及引進民間資源共同開發之理念		✓		✓	本計畫非公共建設計畫
14. 落實公共工程或房屋建築全生命週期各階段建造標準	是否瞭解計畫目標，審酌其工程定位及功能，對應提出妥適之建造標準，並於公共工程或房屋建築全生命週期各階段，均依所設定之建造標準落實執行		✓		✓	
15. 公共工程節能減碳及生態檢核	(1)是否依行政院公共工程委員會(下稱工程會)函頒之「公共工程節能減碳檢核注意事項」辦理		✓		✓	
	(2)是否依工程會函頒之「公共工程生態檢核注意事項」辦理		✓		✓	
16. 無障礙及通用設計影響評估	是否考量無障礙環境，參考建築及活動空間相關規範辦理		✓		✓	實驗室已考量無障礙環境
17. 高齡社會影響評估	是否考量高齡者友善措施，參考WHO「高齡友善城市指南」相關規定辦理		✓		✓	實驗室已考量高齡友善措施
18. 管(線)運管理計畫	是否具備實質及合理性(或能否落實營運或維護)	✓		✓		
19. 房屋建築翻新零碳建築方向規劃	是否已依工程會「公共工程節能減碳檢核注意事項」及內政部建築研究所「綠建築評估手冊」之綠建築標準及建築能效等級辦理		✓		✓	本計畫非公共建設計畫
20. 地層下陷影響評估	屬重大開發建設計畫者，是否依「機關重大開發建設計畫提報經濟部地層下陷防治推動委員會作業須知」辦理		✓		✓	本計畫非公共建設計畫
21. 資訊安全防護規劃	資訊系統是否辦理資訊安全防護規劃	✓		✓		

主辦機關核章：承辦人

張世聰  
李丁蘭  
蘇建文

單位主管

周崇誠

首長

經濟部部長郭智輝

主管部會核章：研考主管

周崇誠

會計主管

黃鴻文

首長

經濟部部長郭智輝

### 三、中長程個案計畫淨零轉型通案自評檢核表

檢視項目	內容重點 (內容是否依下列原則撰擬)	主辦機關		主管機關		備註
		是	否	是	否	
<b>本計畫屬「淨零轉型」所屬子計畫(請檢視填寫下列事項)</b>						
「十二項關鍵戰略」歸屬	屬「十二項關鍵戰略」之哪一項： <u>碳捕捉利用及封存</u> 。	V				
1、計畫緣起	(1)是否已參酌該項關鍵戰略之各階段性目標、績效指標、里程碑、機關權責分工、預期效益	V				
	(2)本計畫內容是否已融入上開關鍵戰略內容	V				
2、計畫目標(含績效指標、衡量標準及目標值等)	(1)是否涵蓋及符合上開關鍵戰略內容	V				
	(2)績效指標、衡量標準及目標值是否具體？是否有基準年比較值及具體計算、蒐集方式等	V				
3、現行相關政策及方案之檢討	(1)如屬淨零轉型所屬子計畫之延續性計畫，是否就「十二項關鍵戰略」之階段性目標、績效指標、里程碑、預期效益等之達成，辦理前期計畫執行成效評估，並納入總結評估報告	V				
	(2)是否將相關配套之淨零轉型所屬子計畫，檢討納入本計畫內容，以利發揮綜效	V				
4、執行策略及方法	(1)是否涵蓋及符合上開關鍵戰略內容	V				
	(2)是否已預先辦理社會對話與溝通，並將公正轉型工作納入本計畫之執行規劃，涵蓋項目，列舉如： ● 辨識可能衝突及爭議—含利害關係人； ● 提出衝突及爭議之處理機制—如辦公聽會、說明會、協調會等； ● 建立支持體系的工具手段—如編列相關預算、協調相關部會提出配套措施等； ● 公私協力做法—如預定邀集之相關公私立單位等； ● 預定辦理期程； ● 定期辦理問卷調查驗證成果做法等。	V				
	(3)是否掌握淨零科技之研發與導入，提升整體計畫減碳之貢獻，引領公私部門淨零轉型	V				
5、期程與資源需求	是否涵蓋及符合上開關鍵戰略內容	V				
6、預期效果及影響	(1)是否涵蓋及符合上開關鍵戰略內容	V				
	(2)是否提出明確淨零效益估算值及估算方式	V				

## 四、性別影響評估檢視表

【第一部分】：本部分由機關人員填寫

【填表說明】各機關使用本表之方法與時機如下：

### 一、計畫研擬階段

- (一) 請於研擬初期即閱讀並掌握表中所有評估項目；並就計畫方向或構想徵詢作業說明第三點所稱之性別諮詢員（至少 1 人），或提報各部會性別平等專案小組，收集性別平等觀點之意見。
- (二) 請運用本表所列之評估項目，將性別觀點融入計畫書草案：
  1. 將性別目標、績效指標、衡量標準及目標值納入計畫書草案之計畫目標章節。
  2. 將達成性別目標之主要執行策略納入計畫書草案之適當章節。

### 二、計畫研擬完成

- (一) 請填寫完成【第一部分—機關自評】之「壹、看見性別」及「貳、回應性別落差與需求」後，併同計畫書草案送請性別平等專家學者填寫【第二部分—程序參與】，宜至少預留 1 週給專家學者（以下稱為程序參與者）填寫。
- (二) 請參酌程序參與者之意見，修正計畫書草案與表格內容，並填寫【第一部分—機關自評】之「參、評估結果」後通知程序參與者審閱。

三、計畫審議階段：請參酌行政院性別平等處或性別平等專家學者意見，修正計畫書草案及表格內容。

四、計畫執行階段：請將性別目標之績效指標納入年度個案計畫管制並進行評核；如於實際執行時遇性別相關問題，得視需要將計畫提報至性別平等專案小組進行諮詢討論，以協助解決所遇困難。

註：本表各欄位除評估計畫對於不同性別之影響外，亦請關照對不同性傾向、性別特質或性別認同者之影響。

計畫名稱：碳循環關鍵技術開發計畫

主管機關 (請填列中央二級主管機關)	經濟部	主辦機關(單位) (請填列擬案機關/單位)	經濟部產業技術司
-----------------------	-----	--------------------------	----------

1. 看見性別：檢視本計畫與性別平等相關法規、政策之相關性，並運用性別統計及性別分析，「看見」本計畫之性別議題。

評估項目	評估結果
<b>1-1【請說明本計畫與性別平等相關法規、政策之相關性】</b> 性別平等相關法規與政策包含憲法、法律、性別平等政策綱領及消除對婦女一切形式歧視公約(CEDAW)可參考行政院性別平等會網站( <a href="https://gec.ey.gov.tw">https://gec.ey.gov.tw</a> )。	本計畫為發展我國碳循環關鍵技術，以期透過降低碳排放、開創碳循環關鍵技術及應用產業鏈，涉及性別平等政策綱領「環境、能源與科技」篇，將確保女性有效參與相關題，融入不同性別觀點。
評估項目	評估結果

<p><b>1-2【請蒐集與本計畫相關之性別統計及性別分析（含前期或相關計畫之執行結果），並分析性別落差情形及原因】</b></p> <p>請依下列說明填寫評估結果：</p> <p>a.歡迎查閱行政院性別平等處建置之「性別平等研究文獻資源網」（<a href="https://www.gender ey.gov.tw/research/">https://www.gender ey.gov.tw/research/</a>）、「重要性別統計資料庫」（<a href="https://www.gender ey.gov.tw/gecdb/">https://www.gender ey.gov.tw/gecdb/</a>）（含性別分析專區）、各部會性別統計專區、我國婦女人權指標及「行政院性別平等會—性別分析」（<a href="https://gec.ey.gov.tw">https://gec.ey.gov.tw</a>）。</p> <p>b.性別統計及性別分析資料蒐集範圍應包含下列3類群體：</p> <p>①<b>政策規劃者</b>（例如：機關研擬與決策人員；外部諮詢人員）。</p> <p>②<b>服務提供者</b>（例如：機關執行人員、委外廠商人力）。</p> <p>③<b>受益者</b>（或使用者）。</p> <p>c.前項之性別統計與性別分析應盡量顧及不同性別、性傾向、性別特質及性別認同者，探究其處境或需求是否存在差異，及造成差異之原因；並宜與年齡、族群、地區、障礙情形等面向進行交叉分析（例如：高齡身障女性、偏遠地區新住民女性），探究在各因素交織影響下，是否加劇其處境之不利，並分析處境不利群體之需求。前述經分析所發現之處境不利群體及其需求與原因，應於後續【1-3找出本計畫之性別議題】，及【貳、回應性別落差與需求】等項目進行評估說明。</p> <p>d.未有相關性別統計及性別分析資料時，請將「強化與本計畫相關的性別統計與性別分析」列入本計畫之性別目標（如2-1之f）。</p>	<p>1.依據95~107年「經濟部科技研究發展經費及人力統計」，其研究發展人力平均每年男性投入3,696人(占72%)，平均每年女性投入1,451人(占28%)。</p> <p>2.本計畫委託法人研究機構(工研院)及學界單位進行現階段產業需求之關鍵性材料、技術開發及系統建立，研究機構投入之研究及管理人員，係依其技術及管理專長考量參與本計畫。未來計畫執行時將注意性別衡平。</p>
評估項目	評估結果
<p><b>1-3【請根據1-1及1-2的評估結果，找出本計畫之性別議題】</b></p> <p>性別議題舉例如次：</p> <p><b>a.參與人員</b></p> <p>政策規劃者或服務提供者之性別比例差距過大時，宜關注職場性別隔離（例如：某些職業的從業人員以特定性別為大宗、高階職位多由單一性別擔任）、職場性別友善性不足（例如：缺乏防治性騷擾措施；未設置哺集乳室；未顧及員工對於家庭照顧之需求，提供彈性工作安排等措施），及性別參與不足等問題。</p> <p><b>b.受益情形</b></p> <p>①受益者人數之性別比例差距過大，或偏離母體之性別比例，宜關注不同性別可能未有平等取得社會資源之機會（例如：獲得政府補助；參加人才培訓活動），或平等參與社會及公共事務之機會（例如：參加公聽會/說明會）。</p> <p>②受益者受益程度之性別差距過大時（例如：滿意度、社會保險給付金額），宜關注弱勢性別之需求與處境（例如：家庭照顧責任使女性未能連續就業，影響年金領取額度）。</p> <p><b>c.公共空間</b></p>	<p>1.本計畫屬研究類計畫，研發計畫內容以推動產業創新研發為目的，並無涉及一般社會認知既存的性別偏見。</p> <p>2.依據95~107年「經濟部科技研究發展經費及人力統計」，其研究人力屬性別隔離明顯之產業（男性占72%，女性占28%），略低「經濟部性別平等推動計畫（108至111年）」中，於任一性別不少於1/3(約33%)的性別目標。於計畫執行時，將對此產業的性別隔離現象提出預防或改善方法。</p>

<p>公共空間之規劃與設計，宜關注不同性別、性傾向、性別特質及性別認同者之空間使用性、安全性及友善性。</p> <p>①使用性：兼顧不同生理差異所產生的不同需求。</p> <p>②安全性：消除空間死角、相關安全設施。</p> <p>③友善性：兼顧性別、性傾向或性別認同者之特殊使用需求。</p> <p><b>d.展覽、演出或傳播內容</b>          藝術展覽或演出作品、文化禮俗儀典與觀念、文物史料、訓練教材、政令/活動宣導等內容，宜注意是否避免複製性別刻板印象、有助建立弱勢性別在公共領域之可見性與主體性。</p> <p><b>e.研究類計畫</b>          研究類計畫之參與者（例如：研究團隊）性別落差過大時，宜關注不同性別參與機會、職場性別友善性不足等問題；若以「人」為研究對象，宜注意研究過程及結論與建議是否納入性別觀點。</p>	
---	--

**貳、回應性別落差與需求：**針對本計畫之性別議題，訂定性別目標、執行策略及編列相關預算。

評估項目	評估結果
<p><b>2-1【請訂定本計畫之性別目標、績效指標、衡量標準及目標值】</b>            請針對 1-3 的評估結果，擬訂本計畫之性別目標，並為衡量性別目標達成情形，請訂定相應之績效指標、衡量標準及目標值，並納入計畫書草案之計畫目標章節。性別目標宜具有下列效益：</p> <p><b>a.參與人員</b></p> <p>①促進弱勢性別參與本計畫規劃、決策及執行，納入不同性別經驗與意見。</p> <p>②加強培育弱勢性別人才，強化其領導與管理知能，以利進入決策階層。</p> <p>③營造性別友善職場，縮小職場性別隔離。</p> <p><b>b.受益情形</b></p> <p>① 回應不同性別需求，縮小不同性別滿意度落差。</p> <p>② 增進弱勢性別獲得社會資源之機會（例如：獲得政府補助；參加人才培訓活動）。</p> <p>③ 增進弱勢性別參與社會及公共事務之機會（例如：參加公聽會/說明會，表達意見與需求）。</p> <p><b>c.公共空間</b>            回應不同性別對公共空間使用性、安全性及友善性之意見與需求，打造性別友善之公共空間。</p> <p><b>d.展覽、演出或傳播內容</b></p> <p>① 消除傳統文化對不同性別之限制或僵化期待，形塑或推展性別平等觀念或文化。</p> <p>② 提升弱勢性別在公共領域之可見性與主體性（如作品展出或演出；參加運動競賽）。</p> <p><b>e.研究類計畫</b></p> <p>① 產出具性別觀點之研究報告。</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> 有訂定性別目標者，請將性別目標、績效指標、衡量標準及目標值於本欄敘明：</p> <p>1.參與人員：鼓勵更多理工背景之女性人員參與，以促進男女比例平衡。此外，計畫亦鼓勵具適當能力之女性人員參與，朝向達計畫團隊兩性比例平衡之目標邁進。</p> <p>2.本研究計畫舉辦技術研討會議時，將統計參加者人數，並注意性別均衡性。</p> <p><input type="checkbox"/> 未訂定性別目標者，請於本欄說明原因及確保落實性別平等事項之機制或方法：</p>

<p>② 加強培育及延攬環境、能源及科技領域之女性研究人才，提升女性專業技術研發能力。</p> <p>f.強化與本計畫相關的性別統計與性別分析。</p> <p>g.其他有助促進性別平等之效益。</p>	
評估項目	評估結果
<p><b>2-2【請根據 2-1 本計畫所訂定之性別目標，訂定執行策略】</b> 請參考下列原則，設計有效的執行策略及其配套措施：</p> <p><b>a.參與人員</b></p> <p>① 本計畫研擬、決策及執行各階段之參與成員、組織或機制（如相關會議、審查委員會、專案辦公室成員或執行團隊）符合任一性別不少於三分之一原則。</p> <p>② 前項參與成員具備性別平等意識/有參加性別平等相關課程。</p> <p><b>b.宣導傳播</b></p> <p>① 針對不同背景的目標對象（如不諳本國語言者；不同年齡、族群或居住地民眾）採取不同傳播方法傳布訊息（例如：透過社區公布欄、鄰里活動、網路、報紙、宣傳單、APP、廣播、電視等多元管道公開訊息，或結合婦女團體、老人福利或身障等民間團體傳布訊息）。</p> <p>② 宣導傳播內容避免具性別刻板印象或性別歧視意味之語言、符號或案例。</p> <p>③ 與民眾溝通之內容如涉及高深專業知識，將以民眾較易理解之方式，進行口頭說明或提供書面資料。</p> <p><b>c.促進弱勢性別參與公共事務</b></p> <p>① 計畫內容若對人民之權益有重大影響，宜與民眾進行充分之政策溝通，並落實性別參與。</p> <p>② 規劃與民眾溝通之活動時，考量不同背景者之參與需求，採多元時段辦理多場次，並視需要提供交通接駁、臨時托育等友善服務。</p> <p>③ 辦理出席民眾之性別統計；如有性別落差過大情形，將提出加強蒐集弱勢性別意見之措施。</p> <p>④ 培力弱勢性別，形成組織、取得發言權或領導地位。</p> <p><b>d.培育專業人才</b></p> <p>① 規劃人才培訓活動時，納入鼓勵或促進弱勢性別參加之措施（例如：提供交通接駁、臨時托育等友善服務；優先保障名額；培訓活動之宣傳設計，強化歡迎或友善弱勢性別參與之訊息；結合相關機關、民間團體或組織，宣傳培訓活動）。</p> <p>② 辦理參訓者人數及回饋意見之性別統計與性別分析，作為未來精進培訓活動之參考。</p> <p>③ 培訓內涵中融入性別平等教育或宣導，提升相關領域從業人員之性別敏感度。</p>	<p>■ 有訂定執行策略者，請將主要的執行策略於本欄敘明：</p> <p>1.加強培育及延攬與本計畫相關環境及科技領域之女性研究人才，提升女性專業技術研發能力。</p> <p>2.藉由計畫舉辦之技術研討會，統計參加者人數及回饋意見之性別統計與性別分析，作為未來精進活動之參考。</p> <p>□ 未訂執行策略者，請於本欄說明原因及改善方法：</p>

<p>④ 辦理培訓活動之師資性別統計，作為未來師資邀請或師資培訓之參考。</p> <p><b>e.具性別平等精神之展覽、演出或傳播內容</b></p> <p>① 規劃展覽、演出或傳播內容時，避免複製性別刻板印象，並注意創作者、表演者之性別平衡。</p> <p>② 製作歷史文物、傳統藝術之導覽、介紹等影音或文字資料時，將納入現代性別平等觀點之詮釋內容。</p> <p>③ 規劃以性別平等為主題的展覽、演出或傳播內容（例如：女性的歷史貢獻、對多元性別之瞭解與尊重、移民女性之處境與貢獻、不同族群之性別文化）。</p> <p><b>f.建構性別友善之職場環境</b></p> <p>委託民間辦理業務時，推廣促進性別平等之積極性作法（例如：評選項目訂有友善家庭、企業托兒、彈性工時與工作安排等性別友善措施；鼓勵民間廠商拔擢弱勢性別優秀人才擔任管理職），以營造性別友善職場環境。</p> <p><b>g.具性別觀點之研究類計畫</b></p> <p>① 研究團隊成員符合任一性別不少於三分之一原則，並積極培育及延攬女性科技研究人才；積極鼓勵女性擔任環境、能源與科技領域研究類計畫之計畫主持人。</p> <p>② 以「人」為研究對象之研究，需進行性別分析，研究結論與建議亦需具性別觀點。</p>	
評估項目	評估結果
<p><b>2-3【請根據 2-2 本計畫所訂定之執行策略，編列或調整相關經費配置】</b></p> <p>各機關於籌編年度概算時，請將本計畫所編列或調整之性別相關經費納入性別預算編列情形表，以確保性別相關事項有足夠經費及資源落實執行，以達成性別目標或回應性別差異需求。</p>	<p><input type="checkbox"/> 有編列或調整經費配置者，請說明預算額度編列或調整情形：</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 未編列或調整經費配置者，請說明原因及改善方法：          本計畫雖未編列性別預算，仍會遵照政府規定於計畫研擬、決策、發展及執行過程中秉持性別平等精神，且本計畫委辦之執行單位與廠商亦將同步要求比照辦理：(1) 對女性員工採友善管理與關懷，建立友善工作環境，以達到不違反基本人權、婦女政策綱領或性別主流化等政策之基本精神；(2) 於執行中需各類專業人力投入參與，亦鼓勵優先晉用女性員工，並實施性別友善相關措施，落實性別關懷與人員差異性管理。</p>



**【注意】**填完前開內容後，請先依「填表說明二之（一）」辦理【第二部分—程序參與】，再續填下列「參、評估結果」。

### 參、評估結果

請機關填表人依據【第二部分—程序參與】性別平等專家學者之檢視意見，提出綜合說明及參採情形後通知程序參與者審閱。

<p><b>3-1 綜合說明</b></p>	<p>1.本計畫經性別平等委員檢視後認為本計畫屬研究類計畫以推動產業創新研發為目的，與性別關聯程度無關，但會遵照政府規定於計畫研擬、決策、發展及執行過程中秉持性別平等精神。</p> <p>2.依性評委員建議，於日後聘用人力時留意性別之衡平性與性別友善環境相關法規要求，並於計畫執行中鼓勵優先晉用女性員工，實施性別友善相關措施，落實性別關懷與人員差異性管理，以增進女性經濟力，俾符合《性別平等政策綱領》中之〈環境能源科技篇〉之精神要旨。</p> <p>3.本計畫已參採委意見修正第一部份之性別影響評估檢表評估內容。</p>	
<p><b>3-2 參採情形</b></p>	<p>3-2-1 說明採納意見後之計畫調整（請標註頁數）</p>	<p>依委員建議將本計畫 2-1、2-2 之自評內容，均移至前項：「有」訂定性別目標及訂定執行策略者之中，以符實際。</p>
	<p>3-2-2 說明未參採之理由或替代規劃</p>	<p>均已參採。</p>
<p><b>3-3 通知程序參與之專家學者本計畫之評估結果：</b> 已於 109 年 7 月 14 日 將「評估結果」及「修正後之計畫書草案」通知程序參與者審閱。</p>		

- 填表人姓名：游朝晴 職稱：研究員 電話：02-23212200分機8182 填表日期：109年7月14日
- 本案已於計畫研擬初期  徵詢性別諮詢員之意見，或  提報各部會性別平等專案小組（會議日期：\_\_年\_\_月\_\_日）
- 性別諮詢員姓名：張瓊玲 服務單位及職稱：臺灣警察專科學校教授兼海巡科主任 身分：符合中長程個案計畫性別影響評估作業說明第三點第 1 款（如提報各部會性別平等專案小組者，免填）  
（請提醒性別諮詢員恪遵保密義務，未經部會同意不得逕自對外公開計畫草案）

## 【第二部分—程序參與】：由性別平等專家學者填寫

程序參與之性別平等專家學者應符合下列資格之一：

- 1.現任臺灣國家婦女館網站「性別主流化人才資料庫」公、私部門之專家學者；其中公部門專家應非本機關及所屬機關之人員（人才資料庫網址：<http://www.taiwanwomencenter.org.tw/>）
- 2.現任或曾任行政院性別平等會民間委員。
- 3.現任或曾任各部會性別平等專案小組民間委員。

### (一) 基本資料

1.程序參與期程或時間	109年7月15日至109年7月20日
2.參與者姓名、職稱、服務單位及其專長領域	張瓊玲，臺灣警察專科學校教授兼海巡科主任，經濟部性別平等專案小組委員，性別平等政策綱領主筆人
3.參與方式	<input type="checkbox"/> 計畫研商會議 <input type="checkbox"/> 性別平等專案小組 <input checked="" type="checkbox"/> 書面意見

### (二) 主要意見（若參與方式為提報各部會性別平等專案小組，可附上會議發言要旨，免填4至10欄位，並請通知程序參與者恪遵保密義務）

4.性別平等相關法規政策相關性評估之合宜性	合宜
5.性別統計及性別分析之合宜性	合宜，但請酌做修正。
6.本計畫性別議題之合宜性	合宜
7.性別目標之合宜性	合宜，但請酌做修正。
8.執行策略之合宜性	合宜，但請酌做修正。
9.經費編列或配置之合宜性	合宜
10.綜合性檢視意見	<p>1.請明列參加本計畫之規劃及執行相關團體的性別統計，以了解其性別比例。惟本計畫已明載未來將鼓勵更多女性參與，的確是正確的方向。</p> <p>2.請將本計畫2-1、2-2之自評內容，均移至前項：「有」訂定性別目標及訂定執行策略者之中，以符實際。</p> <p>3.本計畫符合《性別平等政策綱領》中之〈環境能源科技篇〉之精神要旨，值得肯定。</p>

### (三) 參與時機及方式之合宜性

合宜

本人同意恪遵保密義務，未經部會同意不得逕自對外公開所評估之計畫草案。

（簽章，簽名或打字皆可）\_\_\_\_\_張瓊玲\_\_\_\_\_

## 五、風險管理評估檢視表

【第一部分】：計畫現有風險圖像

嚴重 (3)			
中度 (2)			
輕微 (1)	計畫目標部分未能達成		
影響程度 可能性	不太可能 (1)	可能 (2)	非常可能 (3)

**【第二部分】：計畫風險評估及處理彙總表**

風險項目	風險情境	現有風險對策	可能影響層面	現有風險等級		現有風險值 (R)= (L)x(I)	新增風險對策	殘餘風險等級		殘餘風險值 (R)= (L)x(I)
				可能性 (L)	影響程度(I)			可能性 (L)	影響程度(I)	
計畫目標部分未能達成	因國際缺工、缺料影響，可能將使計畫執行過程中與國外接洽部分(如設備之關鍵零組件、材料、差旅等)會遭遇延遲。	因國際缺工、缺料影響，國內廠商投資意願普遍降低。	1. 提前與國外接洽，進行交期確認。 2. 視國際會議若改採線上舉辦。 3. 多接洽其他潛在廠商。	1	1	1	1. 改以採購其他國家及國內廠商的替代品項。 2. 依規定流用計畫國外差旅費用。 3. 運用政府補助政策協助吸引廠商投資。	1	1	1

**【第三部分】：計畫殘餘風險圖像**

嚴重 (3)			
中度 (2)			
輕微 (1)	計畫目標部分未能達成		
影響程度 可能性	不太可能 (1)	可能 (2)	非常可能 (3)

極度風險： 0 項( 0 %)

高度風險： 0 項( 0 %)

中度風險： 0 項( 0 %)

低度風險： 1 項( 100 %)

## 六、政府科技發展計畫審查意見回復表(A008)

審議編號：114-1401-04-20-02

計畫名稱：碳循環關鍵技術開發計畫(5/5)

申請機關(單位)：經濟部產業技術司

### (最終審查意見)

序號	審查意見	回復說明	修正頁碼
1	本計畫依據政府前瞻基礎建設計畫及淨零科技方案(碳捕捉再利用及封存),推動執行CO <sub>2</sub> 轉化石化料源製程與產業化實證技術、及CO <sub>2</sub> 轉化高值化學品製程與產業化實證技術兩個分項計畫,前者包括高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術、及CO <sub>2</sub> 再利用循環固碳化學品系統技術開發,後者則有CO <sub>2</sub> /CO轉化C <sub>4</sub> -C <sub>9</sub> +烷烯烴製程技術、及O <sub>2</sub> /CO羰基化先導製程技術;計畫目標、架構與內容扣合政府政策方案,整體規劃還算合理具可行性。	謝謝委員的支持。	—
2	國際間CO <sub>2</sub> 再利用趨勢大致上分成產製化學品、礦物化應用及生化利用等三大方向,本計畫除了現階段聚焦發展的產製化學品外,宜針對礦物化應用及生化利用兩方面,規劃以學界及專業團隊的研究開發進展來研析,以進行未來投入研發的初期研析。	謝謝委員的建議。本計畫主要的執行內容以開發產業化關鍵化學品技術為主,對於礦物化應用與生化利用相關的研發議題,規劃以學界及專業團隊的研究開發進展來研析,以供未來是否投入的參考。	—
3	本計畫部分技術於114年度進入實證階段,如噸級氫氣載體降解觸媒製氫製程設計、二氧化碳轉化羰基化化學品製程先導系統驗證等。目前本計畫的碳捕獲系統(20公斤/天)之CO <sub>2</sub> 捕捉能耗約為3.08 GJ/t-CO <sub>2</sub> ,與國際標竿三菱重工的3.0 GJ/t-CO <sub>2</sub> 相當。CO <sub>2</sub> 轉甲醇系統(3~8公斤/天)之甲醇產率>99%與國際標竿CRI的99%旗鼓相當。甲烷(3公斤/天)的產率>99%與日立造船的99%毫不遜色。另外本計畫已有鋼化聯產實驗先導線示範場域的實證成果,在本計畫屆期之後,將繼續協助業者透過執行A+企業創新研發淬鍊計畫或產創平台,將CO <sub>2</sub> 循環再	謝謝委員的肯定。目前有資本及技術能量投入此技術研發的業者仍以大企業為主,例如台塑、奇美、中鋼等,未來對於較大型的中小企業,也有機會採取聯合申請的方式來推動。	26

	<p>利用技術逐級放大導入公司的產線應用。請評估哪些國內業者有資本以及技術能量投入此技術研發。</p>		
4	<p>4. 在國際最新技術發展現況，計畫團隊的說明如下：(1). 高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術：本計畫目前製氫效率為 82 %HHV、電流密度為 1.2 A/cm<sup>2</sup>、單模組產量 2.2 Nm<sup>3</sup>/h；國際指標 Enapter 製氫效率 74 %HHV、電流密度 0.5 A/cm<sup>2</sup>、單模組產量 0.5 Nm<sup>3</sup>/h。(2).CO<sub>2</sub> 再利用循環固碳化學品系統技術開發：以 CO<sub>2</sub> 為碳源轉化固碳化學品甲烷技術在國際上目前皆在學術研究及試量產測試中，尚未達建廠階段。國際 CO<sub>2</sub> 轉化固碳研究以甲烷(C<sub>1</sub> 分子)為主要產物(約&gt;99%)，其它高價的烷烯烴 C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> 產率低於 20%，本計畫技術指標已達 CO<sub>2</sub> 轉化率 ≥82%與 C<sub>2</sub>-C<sub>3</sub> 烷烯烴產率 31%。並將進行場域驗證，以提升國內業者與國際技術達到同步技術層次。(3).CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub>+烷烯烴製程技術：國際技術發展目前以 CO<sub>2</sub>/CO 為碳源轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub>+烷烯烴化學品皆在學術研究及試量產測試中，尚未達建廠階段。國內學界及業界尚無由 CO<sub>2</sub> 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub>+烷烯烴相關研究，而國際僅有學術文獻發表，最佳 CO<sub>2</sub> 轉化率 54.5% 與 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub>+ 烷 烯 烴 產 率 25.6%(2018 年 Jiang)。本計畫技術指標已達 CO<sub>2</sub> 轉化率 55%；C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub>+烷烯烴產率 ≥30%。將推展示範場域能量，引導產業投資 CO<sub>2</sub> 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub>+烷烯烴化學品技術，提升國內業者技術層次至與國際同步的成果。(4).CO<sub>2</sub>/CO 羰基化先導製程技術：目前國際大廠(如 BASF)於 CO<sub>2</sub> 轉化甲酸製程在合成部份已趨技術成熟，各單位聚焦於後端的產品分離純化製程技術，發展更有效率觸媒/產品的分離技術，循環回用昂貴的金觸媒，以求降低生產成本。由於甲酸純化提濃製程因過多的觸媒殘留會造成甲酸蒸餾過程產生逆反應分解(HCOOH→CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>)，使得整體</p>	<p>謝謝委員的肯定。針對導入產業需要有設備與量產技術，補充說明如下：本計畫建立的關鍵技術原則上都有規劃對應的驗證設備，以便於驗證相關的觸媒技術、關鍵製程設備性能以及產物規格。所以在完成計畫之時，能夠具備相關技術的基本製程流程模擬能力，在導入產業應用時，可以依驗證設備的測試結果，訂定工業化量產技術的製程設計基準，依據設計基準和完整流程模擬設計之後，可以發展工業化量產製程的基本工程設計文件，製程所需要的設備規格也能在基本工程設計文件中確認。</p>	—

	收率大幅下降，因此現行製程需進行第二次的觸媒萃取流程，將觸媒於產物中的含量降至<20ppm，藉以控制逆反應的產生，結果造成甲酸產品純化的繁鎖流程，以及額外的碳排及能量輸出。本計畫開發觸媒導入長碳氫鏈官能基團，提升觸媒於非極性層溶液相容性，透過甲酸與高極性溶液極佳的相容性達到分離效果，不需進行觸媒二次萃取，簡化甲酸分離流程，將有助降低製程能耗。整體成效良好，但導入產業需要有設備與量產技術，這方面請補充說明。		
5	本計畫在技術發展之預期效益包含：申請 3 件專利、技術移轉收入 10,000 仟元、促進廠商投入創新研發金額達 1.5 億元、委託研發服務 3 件(簽約金額 4,000 仟元)等，與計畫金額以及計畫前三年相比，效益偏低，意見回覆中會將推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證納入查核點。	依委員建議，於 OKR 目標 3 及 114 年里程碑中，已新增「關鍵成果 4:推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證。」	2、 4、 6、 32、 44、 57

(主計總處)

審查意見	部會署說明
一、本計畫係針對減碳與零碳排能源議題，利用煉鋼廠或石化廠排出 CO <sub>2</sub> 或 CO，與電解水產氫與氧，經由高效觸媒合成具經濟價值的化學品及甲烷等，成為碳源循環應用化學產業鏈，並以氣轉電與電轉氣應用，有助於穩定電力系統與減少再生能源棄載。	謝謝委員的支持。
二、本計畫部分技術於 114 年度進入實證階段，如噸級氫氣載體降解觸媒製氫製程設計、二氧化碳轉化羰基化化學品製程先導系統驗證等，考量 114 年度為最後 1 年，請經濟部補充說明計畫屆期後，相關技術通過實證後，後續規劃以何種方式進入產業化階段。	謝謝委員的建議。本計畫已帶動中鋼、中油、奇美等廠商投入年產噸級碳循環場域實證。未來將以所建立之年產千噸級製程設計成果，協助業界透過申請業界科專等計畫，投入年產百噸或千噸級大型 CO <sub>2</sub> 循環再利用系統開發與場域驗證，逐步達成產業化落實。
三、考量本計畫 114 年度已屆最後 1 年，辦理內容主要係就 113 年度研發成果辦理後續測試及驗證作業，爰建議維持 113 年度預算規模核列 2 億元，減列 1,000 萬元。	因 114 年度將投入 4 項年產噸級場域製程整合示範驗證與最佳化，並以製程最佳化參數完成 2 項千噸製程設計等工作，以達成 OKR 所列績效指標，提列經費均為必要支出，懇請委員維持原提列經費。



(審查委員)

審查意見	部會署說明
<p>一、請就以下幾點提出綜合意見</p> <p>(一) 是否扣合政府重大科技政策，如國家科學技術發展計畫之目標及策略</p> <p>(二) 計畫目標、架構與內容之合理性，執行之可行性</p> <p>(三) 評估本計畫之目標及關鍵成果是否妥適</p> <p>(四) 本計畫內容是否有需與其他相關計畫互補或搭配，以強化槓桿外部資源作上、中、下游整合或橫向連結之建議</p> <p>(五) 自我挑戰目標是否恰當與可衡量，預期效益及效益評估方式是否妥適</p>	
<p>1. 本計畫依據政府前瞻基礎建設計畫及淨零科技方案(碳捕捉再利用及封存)，推動執行 CO<sub>2</sub> 轉化石化料源製程與產業化實證技術、及 CO<sub>2</sub> 轉化高值化學品製程與產業化實證技術兩個分項計畫，前者包括高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術、及 CO<sub>2</sub> 再利用循環固碳化學品系統技術開發，後者則有 CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C<sub>4</sub>-C<sub>9</sub>+烷烯烴製程技術、及 CO<sub>2</sub>/CO 羰基化先導製程技術；計畫目標、架構與內容扣合政府政策方案，整體規劃還算合理具可行性。</p>	<p>謝謝委員的支持。</p>
<p>2. 國際間 CO<sub>2</sub> 再利用趨勢大致上分成產製化學品、礦物化應用及生化利用等三大方向，本計畫除了現階段聚焦發展的產製化學品外，宜針對礦物化應用及生化利用兩方面進行未來投入研發的初期研析。</p>	<p>謝謝委員的建議。本計畫主要的執行內容以開發產業化關鍵化學品技術為主，對於礦物化應用與生化利用相關的研發議題，規劃以學界及專業團隊的研究開發進展來研析，以供未來是否投入的參考。</p>
<p>3. 本計畫部分技術於 114 年度進入實證階段，如噸級氫氣載體降解觸媒製氫製程設計、二氧化碳轉化羰基化化學品製程先導系統驗證等，建議應彙整噸級 CO<sub>2</sub> 循環再利用場域實證的成果，尤其應與國際標竿技術進行成效與成本之比較，並請執行單位補充說明計畫屆期後，相關技術通過實證後，後續規劃以何種方式進入產業化階段，並評估哪些國內業者有資本以及技術能量投入此技術研發。</p>	<p>謝謝委員的建議。本計畫所建立的相關先導驗證系統都陸續進入場域實證階段，已有相關成果數據，本計畫的碳捕獲系統(20 公斤/天)之 CO<sub>2</sub> 捕捉能耗約為 3.08 GJ/t-CO<sub>2</sub>，與國際標竿三菱重工的 3.0 GJ/t-CO<sub>2</sub> 相當。CO<sub>2</sub> 轉甲醇系統(3~8 公斤/天)之甲醇產率&gt;99%與國際標竿 CRI 的 99%旗鼓相當。甲烷(3 公斤/天)的產率&gt;99%與日立造船的 99%毫不遜色。</p> <p>本計畫已有鋼化聯產實驗先導線示範場域的實證成果，在本計畫屆期之後，將繼續協助業者透過執行 A+企業創新研發淬鍊計畫，將 CO<sub>2</sub> 循環再利用技術導入公司的產線應用。目前有資本及技術能量投入此技術研發的業者仍以大企業為主，例如台塑、奇美、中鋼</p>

	<p>等，未來對於較大型的中小企業，也有機會採取聯合申請的方式來推動。</p>
<p>4.本計畫可以針對排碳量高的大型產業（中油、中鋼），落實先導示範系統於實場域的測試驗證。</p>	<p>本計畫已和中鋼及中油公司進行先導示範系統實場驗證合作：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.與中鋼公司合作於小港廠建置之「鋼化聯產實驗先導線示範場域」：111/12 於中鋼公司小港廠區舉辦台灣首座「鋼化聯產實驗先導工場」落成典禮活動。112 年起共同驗證本計畫所建立的 3 項系統：(1). 每年可捕獲二氧化碳 15 噸之示範系統、(2).透過國際合作引進，建置年產 10 噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統、(3).年產噸級 CO/CO<sub>2</sub> 轉化甲醇/甲烷示範系統。</li> <li>2.協助中油公司建置國內第 1 座 CO<sub>2</sub> 轉換甲醇示範系統：111~112 年協助中油公司於大林廠區結合「二氧化碳捕捉」和「轉化再利用」二大系統：建立 CO<sub>2</sub> 捕獲量每年 7 噸以上、CO<sub>2</sub> 純度 ≥ 99% 的捕獲設備，及轉換合成年產 1 噸以上的甲醇設備。</li> </ol>
<p>5. 請補充說明目前國際最新技術發展現況，以瞭解本土化技術研發與國際技術差異性。</p>	<p>謝謝委員的建議，本計畫相關發展技術與國際最新技術發展現況差異已置於計畫書(三)3.「說明目前國內外產業現況、分析目前或未來有哪些競爭對象」，摘要如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高效率製氫系統設計與觸媒/膜材技術：本計畫目前製氫效率為 82 %<sub>HHV</sub>、電流密度為 1.2 A/cm<sup>2</sup>、單模組產量 2.2 Nm<sup>3</sup>/h；國際指標 Enapter 製氫效率 74 %<sub>HHV</sub>、電流密度 0.5 A/cm<sup>2</sup>、單模組產量 0.5 Nm<sup>3</sup>/h。</li> <li>2.CO<sub>2</sub> 再利用循環固碳化學品系統技術開發：以 CO<sub>2</sub> 為碳源轉化固碳化學品甲烷技術在國際上目前皆在學術研究及試量產測試中，尚未達建廠階段。國際 CO<sub>2</sub> 轉化固碳研究以甲烷(C1 分子)為主要產物(約 &gt;99%)，其它高價的烷烯烴 C2-C3 產率低於 20%。在 2022 年 Garcia 的國際學術文獻發表中，最佳 CO<sub>2</sub> 轉化率 58.4%與 C2-C3 烷烯烴產率 26%。本計畫技術指標已達 CO<sub>2</sub> 轉化率 ≥ 82%與 C2-C3 烷烯烴產率 31%。並將進行場域驗證，以提升國內業者與國際技術達到同步技術層次。</li> <li>3.CO<sub>2</sub>/CO 轉化 C4-C9+烷烯烴製程技術：國際技術發展目前以 CO<sub>2</sub>/CO 為碳源轉化 C4-C9+烷烯烴化學品皆在學術研究及試量產測試中，尚未達建廠階段。國內學界及業界</li> </ol>

	<p>尚無由 CO<sub>2</sub> 轉化 C4-C9+烷烯烴相關研究，而國際僅有學術文獻發表，最佳 CO<sub>2</sub> 轉化率 54.5%與 C4-C9+烷烯烴產率 25.6%(2018 年 Jiang)。本計畫技術指標已達 CO<sub>2</sub> 轉化率 55%；C4-C9+烷烯烴產率 ≥30%。將推展示範場域能量，引導產業投資 CO<sub>2</sub> 轉化 C4-C9+烷烯烴化學品技術，提升國內業者技術層次至與國際同步的成果。</p> <p>4.CO<sub>2</sub>/CO 羰基化先導製程技術：目前國際大廠(如 BASF)於 CO<sub>2</sub> 轉化甲酸製程在合成部份已趨技術成熟，各單位聚焦於後端的產品分離純化製程技術，發展更有效率觸媒/產品的分離技術，循環回用昂貴的金觸媒，以求降低生產成本。由於甲酸純化提濃製程因過多的觸媒殘留會造成甲酸蒸餾過程產生逆反應分解(HCOOH → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>)，使得整體收率大幅下降，因此現行製程需進行第二次的觸媒萃取流程，將觸媒於產物中的含量降至&lt;20ppm，藉以控制逆反應的產生，結果造成甲酸產品純化的繁鎖流程，以及額外的碳排及能量輸出。本計畫開發觸媒導入長碳氫鏈官能基團，提升觸媒於非極性層溶液相容性，透過甲酸與高極性溶液極佳的相容性達到分離效果，不需進行觸媒二次萃取，簡化甲酸分離流程，將有助降低製程能耗。</p>
<p>6.本計畫在技術發展之預期效益包含：申請 3 件專利、技術移轉收入 10,000 仟元、促進廠商投入創新研發金額達 1.5 億元、委託研發服務 3 件(簽約金額 4,000 仟元)等，與計畫金額以及計畫前三年相比，效益偏低，建議將推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證納入查核點。</p>	<p>謝謝委員的建議，因 114 年僅執行 8 個月，且本年度計畫目標以完成 4 項年產噸級場域製程整合示範驗證與最佳化（包括：年產噸級自製膜電解製氫機場域實證技術、CO<sub>2</sub> 轉化 C2-C3 製程噸級放大技術驗證、CO<sub>2</sub>/CO 轉化噸級 C4-C9+烷烯烴製程先導系統驗證、噸級 CO<sub>2</sub> 羰基化學品製程先導系統驗證），並以製程最佳化參數完成 2 項千噸製程設計(CO<sub>2</sub> 轉化 C2-C3、CO<sub>2</sub> 轉化噸級 C4-C9+烷烯烴)為主，故相關量化指標目標較低，但將依委員建議，將推動 1 家廠商投入碳循環場域驗證納入查核點。</p>
<p>二、評估本計畫資源投入合理性及建議經費，如果有指定刪減項目請具體敘明</p>	
<p>114 經常支出(含經常支出、儀器設備費及其他費用支出，如：人事費、業務費...等)金額：210,000 千元。      ■不合理，理由說明：</p>	<p>因 114 年度將投入 4 項年產噸級場域製程整合示範驗證與最佳化，並以製程最佳化參數完成 2 項千噸製程設計等工作，以達成 OKR 所列績效指標，提列經費均為必要支出，懇請委員維持原提列經費。</p>

<p>考量本計畫 114 年度已屆最後 1 年，辦理內容主要係就 113 年度研發成果辦理後續測試及驗證作業，爰建議維持 113 年度預算規模核列 2 億元，減列 1,000 萬元。</p>	
---	--

**(數位部資安署)**

審查意見	部會署說明
<p>建議參考行政院訂頒「資安產業發展行動計畫」，各政府機關之中長程個案計畫應提撥一定比例經費辦理資安防護作業。</p>	<p>謝謝委員的建議。本計畫對準國發會 2050 台灣淨零轉型「碳捕捉再利用及封存」關鍵戰略，建構碳循環產業所需關鍵場域實證放大設備及基礎設計技術，無採購資安相關系統開發及相關軟硬體。針對計畫所需之共通環境資安項目，總編列約 1,190 千元(資安投入比率達 32%)以進行研發單位整體建置所需之資安經費。</p>

**(科技辦)**

審查意見	部會署說明
<p>1.扣合淨零科技方案-碳捕捉再利用</p>	<p>謝謝委員的支持。</p>
<p>2. 核心目標一:建構以煉鋼廠/石化廠排放 CO<sub>2</sub>/CO 為料源的碳捕捉再利用先導場域/成果為中鋼鋼化聯產，年捕獲 15 噸 CO<sub>2</sub> 再轉化甲醇；目標二:化學品供應廠低碳排綠色轉型；目標三:碳循環再利用場域實證；預期效益 2030 促進循環利用產業投資 100 億以上，減碳每年 100 萬噸，增加產值 300 億以上。</p>	<p>謝謝委員的支持。</p>
<p>3.肯定計畫與國內排碳大戶合作建置 CCU 示範場域，建議著重放大先導場域，透過國際合作優化維運成本。</p>	<p>謝謝委員的支持。本計畫已帶動中鋼、中油、奇美等廠商投入年產噸級碳循環場域實證。未來將以所建立之年產千噸級製程設計成果，協助業界透過申請業界科專等計畫，投入年產百噸或千噸級大型 CO<sub>2</sub> 循環再利用系統開發與場域驗證，逐步達成產業化落實。</p>

## 七、資安經費投入自評表(A010)

(如有填寫疑問，請逕洽行政院資安處 3356-8063)

部會		經濟部		單位	經濟部產業技術司		
審議編號	計畫名稱	期程(年)	總經費(千元)(A)	資訊總經費(千元)(B)	資安經費(千元)(C)	比例 <sup>註1</sup> (D)	備註
114-1401-04-20-02	碳循環關鍵技術開發計畫	110~114	1,200,000(5年)	1,190	390	32%	本計畫建構碳循環產業所需關鍵場域實證放大設備及基礎設計技術，完成年產噸級場域示範場域技術，作為未來產業量產投入的設計基礎。
資安經費投入項目							
項次	年度	投入項目類別 <sup>註2</sup>	投入項目			預估經費(千元)	
1	114	A1	完備「資通系統防護基準」之措施，進行資安有關教育訓練。			200	
2	114	B1	建置必要之網站防火牆、防毒軟體、電子郵件過濾機制等。			190	
總計						390	

### 備註：

- 1、資安經費提撥比例係依計畫總經費(A)或資訊總經費(B)計算(可多計畫合併)，各計畫可依業務性質及實際需求於計畫執行年度分階段辦理。
  - 1-1 109年(含)前結束之計畫，其需達成資安經費比例(D)計算方式=(資安總經費(C)/資訊總經費(B))\*100%，1億(含)以下提撥7%、1億以上至10億(含)提撥6%、10億以上提撥5%。
  - 1-2 110-114年(含)後結束之計畫，除前述資安經費比例，另配合行政院政策逐年提高資安經費比例至「資安產業發展行動計畫(107-114年)」所訂114年預期達成目標。
- 2、投入項目類別請用下列代號填寫：
  - 2-1 系統開發
    - (A1) 依據資通安全管理法—資通安全責任等級分級辦法之「資通系統防護需求分級原則」，完備「資通系統防護基準」之各項措施。
    - (A2) 推動「安全軟體發展生命週期(SSDLC)」，可參考行政院國家資通安全會報技術服務中心所訂「資訊系統委外開發RFP資安需求範本」。
    - (A3) 依據經濟部工業局所訂「行動應用APP安全開發指引」、「行動應用APP基本資安檢測基準」、「行動應用APP基本資安自主檢測推動制度」等，進行相關資安檢測作業。
  - 2-2 軟硬體採購
    - (B1) 依據資通安全管理法—資通安全責任等級之公務機關應辦事項，建置必要之縱深防禦機制，含網路層(例如：防火牆、網站防火牆等)、主機層(例如：防毒軟體、電子郵件過濾機制等)、應用系統層等資安防護措施。
    - (B2) 推動國內認證/驗證規範，並將該產品通過之相關認證/驗證或符合相關規範納入建議書徵求說明書，例如：影像監控系統需符合影像監控系統相關資安標準，且經合格實驗室認證通過。

(B3) 各項設備應導入政府組態基準(Government Configuration Baseline, GCB)。

2-3 其他建議項目

(C1) 資安檢測標準研訂。

(C2) 新興資安領域(例如：5+2產業創新計畫)之資安風險與防護需求研究。

(C3) 新興資安領域之人才培育。

(C4) 編撰資安訓練教材。

(C5) 其他資安相關項目(例如：推動「資安產業發展行動計畫」之四項策略-建立以需求導向之資安人才培訓體系、聚焦利基市場橋接國際夥伴、建置產品淬煉場域提供產業進軍國際所需實績、活絡資安投資市場全力拓銷國際)。

## 八、其他補充資料

### ※ FY110~112 亮點案例：

#### ► 案例 1：推動鋼化聯產，與中鋼合作建立「鋼化聯產實驗先導示範場域」

##### 1.緣起目標

煉鋼廠生產過程中不同的製程階段會產生不同的氣體，包括焦爐氣、高煤氣和轉爐氣，以中鋼為例，其焦爐氣產量約23萬NCM/H (normal cubic meters/hour)，高爐氣產量約175萬NCM/H，轉爐氣產量約12萬NCM/H。中鋼公司可產出大量的CO和CO<sub>2</sub>，目前主要做為提供熱值的燃料使用，然後轉化成CO<sub>2</sub>後排放，如能跨業製程整合，互通有無，推動中鋼公司開發轉爐氣(61.5% CO，21.3% CO<sub>2</sub>)高值利用，結合本計畫建置之驗證設備，以中鋼場域驗證碳循環能量，充分利用工業與能源產業的碳資源，將CO/CO<sub>2</sub>轉化為高值化學品，實現鋼化一體的創新產業模式，將可提升我國推動循環經濟園區的成就，落實產業低碳轉型的功用。

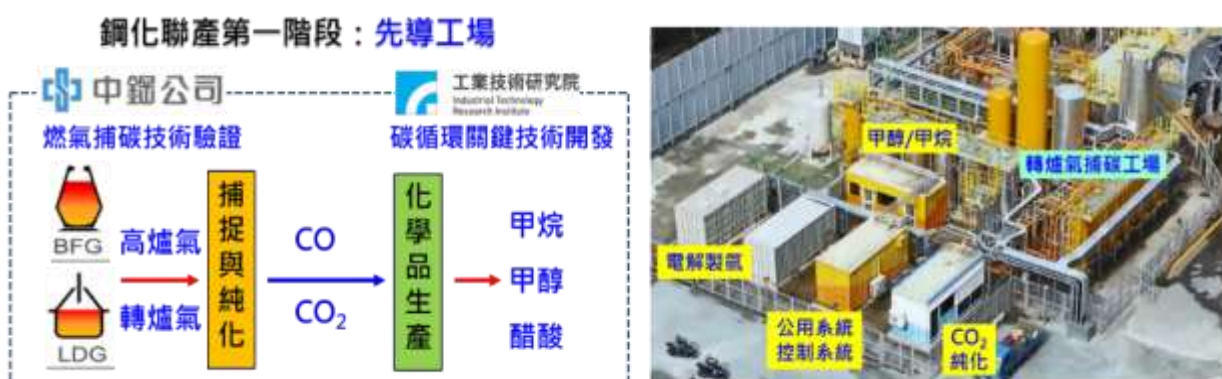
##### 2.成功事蹟

中鋼公司與工研院合作，於中鋼小港廠建立「鋼化聯產實驗先導線工場」，中鋼110~112年投入2.5億元以上研發經費，建置轉爐氣捕碳工場，年減碳量達4,900噸。本計畫協助導入中空纖維二氧化碳純化技術分離CO與CO<sub>2</sub>，分離純化後的CO與CO<sub>2</sub>可分別發展連續式CO轉化成甲醇生產製程技術以及連續式CO<sub>2</sub>轉化成甲烷生產製程技術，以協助中鋼公司建立鋼化聯產的技術能量，同時也建立CO<sub>2</sub>轉化為CO的觸媒技術，以便利中鋼公司在轉爐氣運用方面的整體調度運作。工研院研發上述4項技術並將研發成果技轉予中鋼公司，加速中鋼連結中油、長春、聯成等多家公司推動鋼化聯產合作，為我國實現鋼化產業跨域合作努力貢獻。

111年度鋼化聯產實驗先導線工場，驗證場域完成周邊基礎設施施工及相關驗證設備系統進駐與試運轉，共同驗證本計畫所建立的3項系統：(1).每年可捕獲二氧化碳15噸之示範系統一套；(2).透過國際合作引進，年產10噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統一套；以及(3).

年產5噸二氧化碳轉化甲醇/甲烷示範系統一套。12/2於中鋼公司小港廠區舉辦「鋼化聯產實驗先導工場」落成典禮活動。112年進行示範系統之場域運轉驗證，包括：

- (1).每年可捕獲二氧化碳 15 噸之示範系統：目前轉爐氣的 LDG-PSA 的入料氣體中 CO<sub>2</sub> 平均濃度約 35%，經測試示範系統產氣 CO<sub>2</sub> 純度可達 ≥99%；後續仍將持續進行 CO<sub>2</sub> 捕獲產能優化評估。
- (2).年產 10 噸氫氣之質子交換膜電解水產氫示範系統：氫氣產量經場域運轉測試可達 22.2 Nm<sup>3</sup>/h，換算年產量可達 12 噸，產出壓力達 6.5 kgG/cm<sup>2</sup>，示範系統已完成穩定供應予後端二氧化碳轉化化學品示範系統驗證。
- (3).年產 5 噸 CO/CO<sub>2</sub> 轉化甲醇示範系統：進行場域運轉測試，在反應溫度 250~280°C，反應壓力設定 50~80bar 條件下，收集液相產品利用氣相層析儀分析只有偵測到甲醇的訊號(無其它明顯產物)，甲醇選擇性大於 99%。將產物蒸餾純化後甲醇純度 ≥99.5%。



圖、中鋼小港廠區鋼化聯產實驗先導線工場

### 3. 產業效益

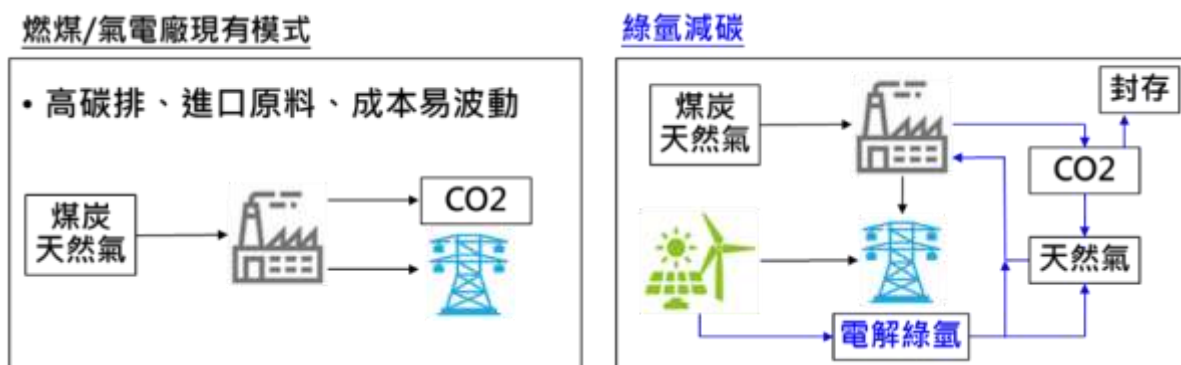
整合CO<sub>2</sub>捕獲純化、CO<sub>2</sub>轉化成甲醇/甲烷、CO<sub>2</sub>轉化為CO、電解產氫等技術，與中鋼公司共同推動我國鋼化聯產實驗先導線工場驗證技術。未來中鋼轉爐氣(含20%CO<sub>2</sub>)可減碳4,900噸/年，並可轉換1500噸的甲烷，或是轉化成甲醇與CO作為醋酸的原料，可將製程尾氣高值化再利用於創造產業新價值，更加促進中鋼公司結合中油/中石化等公司發展低碳化學材料技術，有助於國內整體產業創造低碳料源的商機。



## ► 案例2：鹼性膜電解水產氫技術性能分析暨電堆特性研究

### 1. 緣起目標

我國自產能源匱乏，進口化石料源依賴度高，電力系統孤立且欠缺備援，且化石料源供給易受國際地緣政治、戰爭、天災等衝擊，確保能源供應穩定與安全極具挑戰。在推動非核家園之政策下，我國已規劃擴大再生能源發電占比的政策目標，但再生電力具有間歇性與/不易預測等因素，可運用電轉氣膜電解水產氫技術作為電力調節，此為目前國際上認可可調節再生電力，同時可生產綠氫。就電廠應用而言，綠氫可導入燃氣渦輪機降低碳排，亦可用於 CO<sub>2</sub> 轉化甲烷再利用，上述應用未來有助於電廠推動低碳發展。



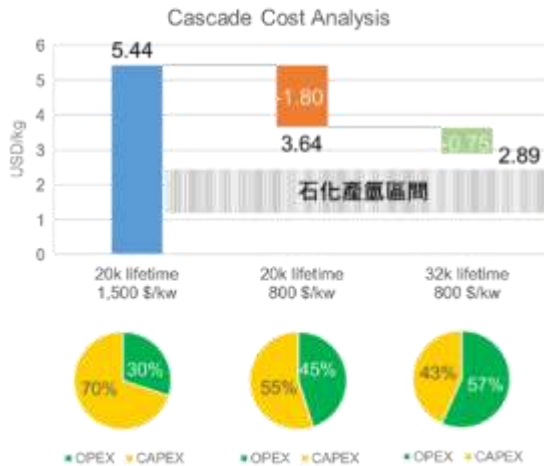
### 2. 成功事蹟

台灣電力股份有限公司為我國最大的電力公司，負責電力供應與能源政策的執行單位，台電綜研所為台電公司的智庫單位，負責探究與評估前瞻性的技術發展。在 2025 年非核家園規劃下，且因風光電等不穩定因素，未來每年預測將有 100 億度以上電力需要調節。本計畫成功推動台電綜研所投入電轉氣鹼性膜電解水產氫技術研究，透過以建立之關鍵材料與元件技術，建立鹼性膜電解水產氫電堆膜組，並協助台電綜研所加速評估未來技術發展契機，以提升台電公司因應未來大量再生電力併網調節之基礎能量。

# 鹼性膜電解產氫技術成本分析

## 成本分析與方向：

- 氫氣成本包括(1)產氫操作成本(OPEX)；(2)建置成本(CAPEX) · OPEX/CAPEX較佳比例  $\geq 0.8$  ·
- 技術發展方向(1)提升電堆壽命(電解單元)；(2)降低建置成本(極板材料設計) ·



## 發展目標：

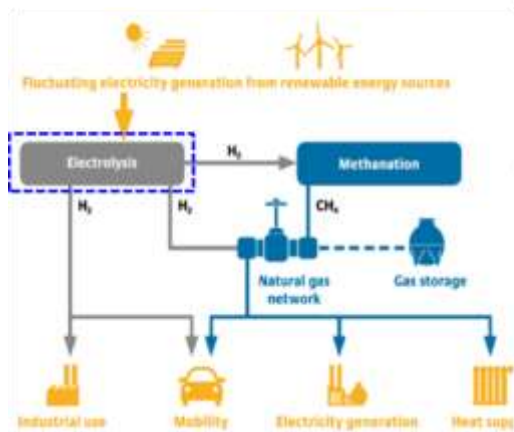
Lifetime	CAPEX		
	1500 \$/kW	1200 \$/kW	800 \$/kW
10k	9.24	7.56	5.64
20k	5.44	4.60	3.64
32k	4.01	3.49	2.89
40k	3.54	3.12	2.64

CAPEX：建置成本  
LCOH：攤提產氫成本

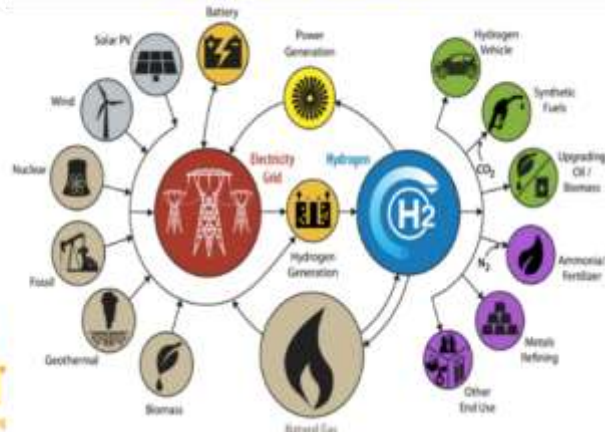
## 3. 產業效益

為有效調節再生電力與併網利用率，並邁向 2050 淨零碳排發展目標，電轉氣電解水產氫技術是目前各國發展之重點技術，透過本技術所產生氫氣可作為鋼鐵、石化業者之潔淨料源，亦可用於電廠進行混氣發電，極具減碳優勢。電解水產氫關鍵技術大多掌握於國際大廠，透過本計畫之開發，有助於建立台灣自主技術，同時透過台電綜研所的投入，有助於推動產業鏈建立，依 2025 年非核家園政策目標，每年預計有 100 億度再生電力需要調節，因此電解水產氫技術極具市場發展潛力，預估年產值 22 億以上。

Germany – Power to Gas



US/DOE – H2 @ scale



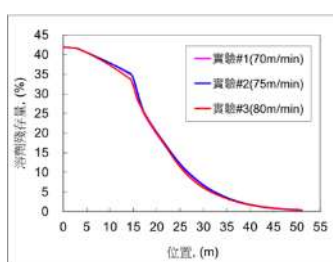
## ► 案例 3：電解產氫膜塗佈產品乾燥成型研究

### 1. 緣起目標

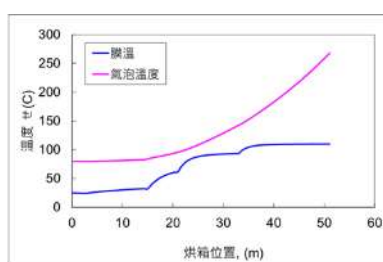
電解產氫膜係透過塗佈與乾燥成型製程的塗佈產品，其中乾燥成型製程是將高分子塗料中的有機溶劑透過高溫烘箱將溶劑移除，順利從液態材料變成固態成膜材料。這種製程設備的設計為考量烘箱乾燥過程的安全性，往往都設計高風量的烘箱與噴嘴，導致整體生產的能耗過高。長久以來乾燥製程參數設計都是過度乾燥，缺乏有效率、系統性針對塗佈乾燥烘箱效能分析，無法達到產速提升與節能減碳的需求，國內廠商希望能透過塗層乾燥模擬理論計算與分析，優化現有的設備製程參數，以提升產能與最適化的參數，達到降低碳排放的目標。

### 2. 成功事蹟

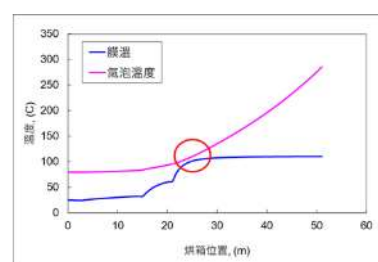
長興材料、台虹科技與翌驊實業皆為國內捲對捲塗佈產品生產廠商，本計畫開發電解產氫膜製程之關鍵技術，結合乾燥製程溶劑殘存量曲線及氣泡線之數學模式，轉換成模擬預測工具，針對塗佈產品塗層材料參數、烘箱乾燥參數、塗佈速度與塗層溶劑殘存量進行解析，可快速預測乾燥參數所對應之溶劑殘存量曲線及氣泡曲線，完成不同參數對各節烘箱溶劑殘存量乾燥曲線模擬分析與驗證。成功協助長興材料進行乾燥參數優化設計與預測乾燥氣泡缺陷發生條件，將生產速度由 70m/min 提升至 80m/min，提高產能約 14.3%，有效降低產品單位面積碳排放。



乾燥曲線



不會產生乾燥氣泡



可能產生乾燥氣泡

### 3. 產業效益

透過本科專投入與研發團隊努力，開發一套模擬工具可預測乾燥參數設定對應的溶劑殘存量曲線及是否產生氣泡等缺陷，來協助乾燥參數的設計，進行乾燥參數優化、產速提升，提供產業界技術提升的一大利器，降低能源損耗與碳排放，加速完成電解產氫膜量產技術開發。

## ► 案例 4：協助中油公司建置 CO<sub>2</sub> 捕獲和合成甲醇示範系統與場域驗證

### 1. 緣起目標

目前國內尚無使用 CO<sub>2</sub> 為料源之甲醇生產技術，亦缺乏甲醇的生產技術及產業，每年進口量高達 150 萬噸供應相關產業應用，產值超過新台幣 150 億元，主要原因都源自於缺乏本土化之觸媒設計及合成技術。

### 2. 成功事蹟

透過委託工服計畫，合約金額 5,500 萬元，協助中油公司建立 CO<sub>2</sub> 捕獲量 20 公斤/天、CO<sub>2</sub> 純度 ≥ 99% 的捕獲設備，111 年完成工安規範確認與設備採購，並於 111/10 運交中油大林廠進行場域進行驗證及 111/12 完成試車。而 CO<sub>2</sub> 合成甲醇試驗設備系統已於 112/6 將送至大林廠，在現場完成管閥件配線及安裝保溫系統。於 11/12 完成串聯 CO<sub>2</sub> 捕獲及轉化甲醇試車，可達到每日捕獲 20 公斤以上 CO<sub>2</sub>，CO<sub>2</sub> 純度 > 99% 及轉換合成每日 10 公斤以上的甲醇產物，即可達年產 3 噸以上的甲醇，高於原訂年產 1 噸甲醇的目標。

### 3. 產業效益

預期可帶動煉油廠 CO<sub>2</sub> 捕獲結合轉化甲醇為基礎石化料源/能源化學品應用，實現煉化一體結合碳循環新產業模式。

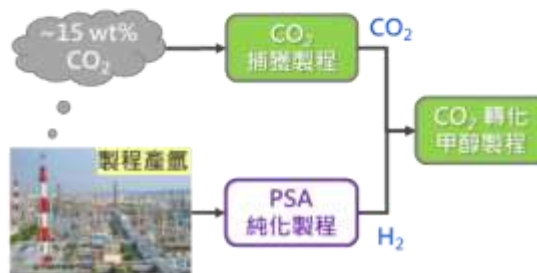
## 中油公司 - CO<sub>2</sub> 合成甲醇-碳循環場域實證

□ 合作公司： 台灣中油股份有限公司

小型示範系統建置與場域驗證(已簽約)  
FY111.01 - 112.12

Pilot plant 建造及驗證  
FY114.01 - 116.12

- CO<sub>2</sub> 捕獲量：20Kg-/日 · 低能耗醇胺類捕獲劑與捕獲製程技術
- CO<sub>2</sub> 轉化甲醇：年產 1 噸 · 220°C 觸媒催化製程 · 比現有 250°C 製程能耗低 30%
- 場域：大林煉油廠
- 投資金額：5,500 萬
- 預期效益：  
煉油廠 CO<sub>2</sub> 捕獲結合副產氫氣，轉化為基礎石化料源/能源化學品應用，實現煉化一體結合碳循環新產業模式。



圖、協助中油公司建置 CO<sub>2</sub> 捕獲和合成甲醇示範系統與場域驗證

## ► 案例 5：帶動奇美實業投入以煙道氣回收之 CO<sub>2</sub> 製備 DRC 與 PC 技術

### 1. 緣起目標

PC 傳統製程是經由石化系的 CO 和甲醇進行氧化反應而生成碳酸二甲酯(Dimethyl carbonate, DMC)單體，重要生產廠商包括使用液相甲醇氧化羰化法的意大利 ENI、Daicel 及使用低壓氣相法的 GE、Dow、宇部興產等公司。皆以傳統石化系 CO 原料為起始物合成 PC，因此目前製程的碳排放量高。在今日碳中和意識高漲的氛圍中，如何將 CO<sub>2</sub> 轉化成 PC 或其中間體至為重要。在科專計畫中建立多項 CO<sub>2</sub> 再利用合成 DRC 及 PCDL 的關聯技術與創新的觸媒專利技術，將以 CO<sub>2</sub> 合成 DRC 技術的研發成果為基礎，協助奇美公司建立以 CO<sub>2</sub> 為起始料源的聚碳酸酯生產技術，進而協助奇美公司將此 DRC 技術導入現有的 PC 製程之中，達到建立低碳排放的綠色清潔生產技術的目的。

### 2. 成功事蹟

奇美實業股份有限公司與工研院簽訂「以 CO<sub>2</sub> 為料源生產 DRC 技術開發與系統設計」合作協議，奇美 112 年度初期投入 2,000 萬元研發經費，由科專技術協助導入以 CO<sub>2</sub> 為料源生產 DRC 的實驗室製程技術，從開發實驗室級 DRC 新觸媒技術，包含申請專利中的新型觸媒的合成方法及物性定量檢測方法，並進行 CO<sub>2</sub> 生產碳酸酯之 4 段單元串聯連續反應的製程技術，以協助奇美公司建立以 CO<sub>2</sub> 為起始料源的聚碳酸酯製程技術能量。



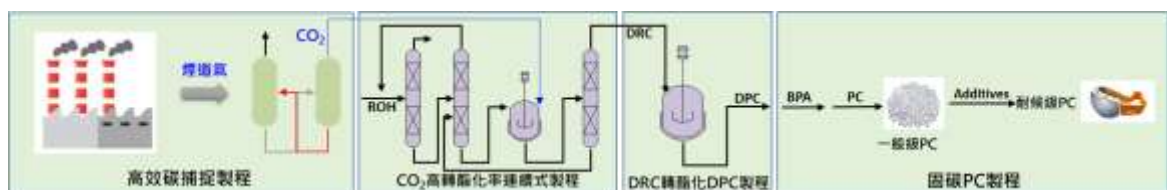
### 3. 產業效益

國內石化產業生產非光氣法聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)年產大

約 15 萬噸，依據環保署公告的碳足跡高達 9 kgCO<sub>2</sub>/kg-PC，若透過碳捕獲與觸媒轉化製程後可降低碳排放。奇美公司將投入新台幣 2 億元投入試量產研發，承接工研院技術發展固碳 PC 製程關鍵自主技術，促進 PC 產業往綠色碳源循環發展，新製程比現有製程可減少碳排放 1.19 kgCO<sub>2</sub>/kg-PC。預期商業量產將有效減碳 17.85 萬噸/年，年產值達新台幣 129 億元。預計於 2026 年 2 月完成試量產，藉由碳捕獲→DRC→DPC→固碳 PC 製備技術驗證，加快商業量產的期程，提升產品的競爭能力、並減少奇美公司銷往歐盟產品受到碳邊境調整機制(CBAM)的碳稅壓力。

## 奇美實業-煙道氣碳源製造固碳PC技術開發

- 國內石化產業生產非光氣法聚碳酸酯年產大約15萬噸，依據環保署公告的碳足跡高達9kgCO<sub>2</sub>/kg PC，若透過碳捕獲與觸媒轉化製程後可降低碳排放。
- 將投入新台幣2億投入試量產研發，承接工研院技術發展固碳PC製程關鍵自主技術，促進PC產業往綠色碳源循環發展，可減少碳排放1.19kgCO<sub>2</sub>/PC。預期商業量產將有效減碳17.85萬噸/年，年產值達新台幣129億元。
- 跳脫CBAM的規範：預計於2026年2月完成試量產，藉由碳捕獲、DRC、DPC、固碳PC製備技術驗證，加快商業量產的期程，提升產品的競爭能力。



煙道氣碳源製造固碳PC製程技術



圖、協助奇美公司建置煙道氣CO<sub>2</sub>捕獲和CO<sub>2</sub>製造固碳PC場域驗證

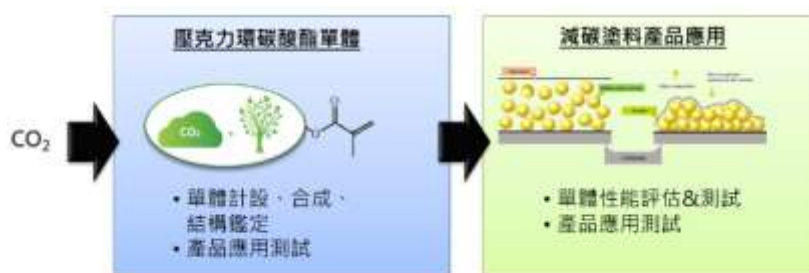
## ► 案例 6：CO<sub>2</sub> 製備生質壓克力樹脂及應用技術開發

### 1. 緣起目標

高分子材料應用數量不斷增加，產品應用多樣化。然而常見的聚合物和聚合物複合材料來自石化資源，同時造成資源環境污染。為克服對石化資源的依賴，並減少對環境的負擔，減少製程碳排，以CO<sub>2</sub>為起始原料轉化為化學品，並製備成樹脂材料，應用於功能性塑料、接著劑、塗料和油漆等產品，成為近期工業技術開發重點。

### 2. 成功事蹟

純祥實業股份有限公司與工研院簽訂「CO<sub>2</sub>製備生質壓克力樹脂及應用技術開發」委託工服，純祥公司初期投入100萬元研發經費，由科專技術協助導入以製程廢棄CO<sub>2</sub>為料源生產環碳酸酯關鍵單體，並應用於壓克力樹脂用功能性單體(GMAO)製程製作，建立發實驗室級GMAO製程技術，完成材料純化及性質分析，並進行CO<sub>2</sub>生產環碳酸酯的製程技術及減碳塗料產品應用，協助純祥公司建立CO<sub>2</sub>製備生質壓克力樹脂及產品應用技術能量。



### 3. 產業效益

以CO<sub>2</sub>製備的環碳酸酯單體具有二氧化碳固定減碳排效益，由其衍生製作的丙烯酸特用單體，可在自由基存在下進行水性聚合，製備乳液產品，商業應用價值高，產品具備快速固化、高性價比、節能環保，對環境友好等優勢。

## 產業推動\_CO<sub>2</sub>製備生質壓克力樹脂及應用技術開發

- 產業聯結策略：以製程廢棄CO<sub>2</sub>碳源轉化環碳酸酯關鍵單體，應用於功能性樹脂材料製作，導入減碳塗料應用產品。



- ✓ CO<sub>2</sub>轉化化學品：單體固碳相0.2kg CO<sub>2</sub>/kg monomer，樹脂塗料應用可固碳50kg CO<sub>2</sub>/噸產品。