

# 114 年度政府科技發展計畫

## 績效報告

### (D006)

計畫名稱：淨零排放-永續生物資源循環之減碳與高值應用  
示範計畫（1/4）

執行期間：

全程：自 114 年 01 月 01 日 至 117 年 12 月 31 日止

本期：自 114 年 01 月 01 日 至 114 年 12 月 31 日止

主管機關：核能安全委員會

執行機關：國家原子能科技研究院

114 年度政府科技發展計畫審查意見辦理情形表

| 序號 | 審查意見   | 辦理情形   |
|----|--|--|
| 1  | <p>本計畫以發展本土生物循環創新增值與碳利用技術，建立示範場域與應用模式為總體目標，並結合生質精煉、生物材料與碳捕捉利用等技術，作為推動淨零排放之關鍵策略。年度執行成果顯示，已完成木質素高純度萃取技術建立、乳酸及其衍生物合成參數優化，以及公斤級木質素萃取設備建置等研發成果，並逐步建立生物資源循環利用之技術基礎，整體執行方向與原計畫目標相符。</p> | <p>謝謝委員。</p>   |
| 2  | <p>(1) 針對 1-1 工項，為建立萃取高純度木質素，結果呈現 PDI 值已達國際商用規格水準，請再補充除 PDI 值外其他合規標準的指標尚有哪些？亦請再說明因應不同合規標準下的國內外市場商用發展策率為何？</p> <p>(2) 針對 1-2 工項，為建立乳酸丁酯合成，完成乳酸丁酯純化，使用原料為丁醇。選用丁醇原因</p>             | <p>(1) 謝謝委員建議。計畫研製木質素純度最高可達 98% 以上，分子量(Mw)約 2000-5000，PDI 值達 1.5，已達商用規格水準。參考國際木質素產品應用分類，純度係為影響其後續應用之重要指標，其中高純度木質素(&gt;95%)可應用於碳纖維前驅物與電極材料等高值產品；中階純度(80 - 90%)主要用於分散劑與樹脂材料，低純度木質素(60-80%)主要應用於混凝土添加劑、瀝青改質及生質燃料等用途。未來將持續精進製程並配合市場需求研擬產品應用方向，據此提升產業化潛力。</p> <p>(2) 謝謝委員建議。丁醇為常見之大宗化學原料，供應穩定且成本適中也具有可從生質</p> |

|  |   |
|--|---|
| <p>為何？其他多元醇類的應用性及商業性為何？建議補充商用經濟成本的可行性評估。</p> <p>(3) 針對 1-3 工項，乾重組觸媒合成應用於生質氣 CH<sub>4</sub> 及 CO<sub>2</sub> 再利用，產製合成氣 H<sub>2</sub>+CO，觸媒運作因積碳的失活，其再生改善成效應進行測試，並驗證其使用生命週期。</p> <p>(4) 針對 2-1 工項，生物循環示範場域放大驗證，已完成噸級測試場老舊設備拆除與場地整理。但建立和擴充生物循環示範場域，擬放大驗證設施的規劃容量與執行操作規劃應再說明。</p> | <p>物生產路徑，可以提供產品更高減碳效益；乳酸丁酯可作為綠色溶劑，其市場成長性相較乳酸乙酯等乳酸酯產品更具潛力，故此本計畫選用丁醇作為乳酸酯產品開發之主要原料。多元醇亦可與乳酸反應生成聚酯材料，惟原料成本較高，反應條件與純化程序較為複雜，市場規模相對有限。後續將參考委員建議，計畫執行過程進行可行性評估，據此作為產品化技術發展之依據。</p> <p>(3) 謝謝委員意見。乾重組反應最關鍵之技術門檻在於 (i) 觸媒積碳失活，以及(ii)觸媒轉化率與操作穩定性。相關技術皆會於後續計畫執行中進行改善與精進。此外，後續亦會安排國內實際場域進行生質沼氣直接乾重組轉化反應，驗證其技術可行性並完成相關碳足跡評估。</p> <p>(4) 建立及擴充放大驗證設施，主要目的為作為驗證從實驗室放大到工業化生產中間橋梁，驗證設備操作連續性與穩定性。容量規劃在前處理單元為具備每日處理 1-3 噸原料的能力、發酵單元為 1-5 噸的發酵系統、萃取純化單元以公斤級系統為主，115 年在放大驗證部分，以公斤級為目標，另外改善噸級設備及進料系統，使草本料源也可以進行連續式進料而不</p> |
|--|---|

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | 卡料。   |
| 3 | 114 年度整體經費主要用於技術研發、設備建置、研究人力與技術驗證等工作，與計畫研究內容相符，未見明顯偏離計畫目標之支用情形，經費配置與使用具有合理性與妥適性。   | 謝謝委員。   |
| 4 | 經費執行率為 100%。建議完成公斤級木質素萃取分離系統，為量產製程建立規模化測試之立基。  | 謝謝委員建議。計畫目前已建置連續式公斤級木質素萃取設備系統，並完成木竹料源之實料萃取測試及建立製程雛形，可產製百克級木質素，後續擬配合計畫執行持續優化製程，提升衍生木質素產品之品質與製程穩定性，作為後續放大驗證測試與產品試量產製程開發之基礎。 |
| 5 | 本計畫於 114 年度已達成多項量化指標，包括木質素純度達 99%、乳酸轉化率達 99%、乾重組反應連續操作逾 200 小時，並產出期刊論文、研討會論文、專利申請及技服收入，顯示研究成果已具體轉化為可衡量之技術與學術績效，達成年度設定目標。   | 謝謝委員。   |
| 6 | 本計畫在生質精煉、乳酸發酵與乾重組觸媒等基礎研究上建立具國際水準之實驗數據與方法，相關成果已發表於學術期刊與研討會，並導入國際認可之 CO <sub>2</sub> 封存安全評估工具，顯著提升我國在生物循環與負碳技術領域的學術能見度與研究深度。相關研究成果有助於深化生物循環材料、低碳化學品與碳利用技術之科學基礎，對國內生質能源與負碳技術發展具有重要學術價值。 | 謝謝委員。   |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 7  | <p>注意如果未來要商業化，仍應保留關鍵 know-how 及參數不呈現於論文中，以避免被模仿抄襲。</p>   | <p>謝謝委員提醒與建議，將會留意關鍵 know-how 及參數的保存。</p> |
| 8  | <p>本計畫成功整合木竹料源高值化、乳酸酯合成與生質氣乾重組碳再利用技術，並透過公斤級與 m<sup>3</sup>/h 級系統驗證，推動 TRL 由 3-4 提升至 4-6 以上，展現跨製程、跨尺度之系統整合創新，為國內生物循環與 BECCUS 示範建立可複製之技術路徑。</p>                    | <p>謝謝委員。</p>                             |
| 9  | <p>觸媒發明、乳酸濃縮技術、雙相流傳輸分析技術發明專利申請均已提出，顯示具有一定程度的技術創新。但如果具有高度商業應用價值，可以以營業秘密推動商業化，避免被逆向工程的破解突破。未來智慧化及自動化功能將嘗試引入，將可具有技術的領先優勢，值得持續深化發展。</p>                              | <p>謝謝委員。</p>                             |
| 10 | <p>本計畫透過生物資源循環與低碳材料開發，可提升農林剩餘資源之利用價值，並促進低碳化學品與材料產業發展。計畫成果可支援低碳材料與化學品之產業應用，具進口替代與高值化潛力，並已促成技術服務與產業合作。依計畫推估，未來在量產情境下可形成具百億潛力之生物循環產業聚落，對提升國內產業低碳競爭力與投資信心具有實質助益。</p> | <p>謝謝委員。</p>                             |

| 11   | <p>計畫產出衍生計畫案成果豐富，具有技術輸出成果。但實際最有價值的產業效益尚未呈現，仍應評估未來商業建廠的可能性及可能得面臨的困境及解決方案。特別是技術產品的剛性需求領域切入點為何及切入策略。</p> | <p>謝謝委員肯定與建議。未來配合計畫執行，將基於公斤級製程測試成果及製程整合應用情境進行經濟效益評估，評析建廠可行性及潛在風險；另結合產品化技術開發與先期測試成果，分析產品潛在應用市場及切入策略，據此凸顯計畫成果之實質產業效益。邁向商業建廠的評估，取決於成本競爭力、供應鏈穩定性及產品通路，才能使產業效益具體化。</p> <table border="1" data-bbox="874 770 1385 1570"> <thead> <tr> <th>技術產品</th> <th>剛性需求</th> <th>切入策略</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>木質素</td> <td>傳統合板、纖維板使用的酚醛樹脂 (PF) 會釋放致癌的游離甲醛。</td> <td>取代苯酚的「生物基膠黏劑」</td> </tr> <tr> <td>竹材酒精</td> <td>全球航空業面臨 2050 淨零排放壓力，且飛機無法輕易電動化</td> <td>生質乙醇可透過 ATJ 路徑轉為綠色航空燃油 (SAF)</td> </tr> <tr> <td>乳酸酯</td> <td>傳統半導體清洗使用氯化烴或氟利昂，具高毒性且破壞臭氧層。</td> <td>乳酸酯的價值在於其高溶解力、低毒性與生物可降解性，可精準去除電路板的油脂和助焊劑，為綠色溶劑。</td> </tr> </tbody> </table> | 技術產品 | 剛性需求 | 切入策略 | 木質素 | 傳統合板、纖維板使用的酚醛樹脂 (PF) 會釋放致癌的游離甲醛。 | 取代苯酚的「生物基膠黏劑」 | 竹材酒精 | 全球航空業面臨 2050 淨零排放壓力，且飛機無法輕易電動化 | 生質乙醇可透過 ATJ 路徑轉為綠色航空燃油 (SAF) | 乳酸酯 | 傳統半導體清洗使用氯化烴或氟利昂，具高毒性且破壞臭氧層。 | 乳酸酯的價值在於其高溶解力、低毒性與生物可降解性，可精準去除電路板的油脂和助焊劑，為綠色溶劑。 |
|------|---|---|------|------|------|-----|----------------------------------|---------------|------|--------------------------------|------------------------------|-----|------------------------------|---|
| 技術產品 | 剛性需求  | 切入策略  |      |      |      |     |                                  |               |      |                                |                              |     |                              |   |
| 木質素  | 傳統合板、纖維板使用的酚醛樹脂 (PF) 會釋放致癌的游離甲醛。  | 取代苯酚的「生物基膠黏劑」   |      |      |      |     |                                  |               |      |                                |                              |     |                              |   |
| 竹材酒精 | 全球航空業面臨 2050 淨零排放壓力，且飛機無法輕易電動化  | 生質乙醇可透過 ATJ 路徑轉為綠色航空燃油 (SAF)  |      |      |      |     |                                  |               |      |                                |                              |     |                              |   |
| 乳酸酯  | 傳統半導體清洗使用氯化烴或氟利昂，具高毒性且破壞臭氧層。  | 乳酸酯的價值在於其高溶解力、低毒性與生物可降解性，可精準去除電路板的油脂和助焊劑，為綠色溶劑。   |      |      |      |     |                                  |               |      |                                |                              |     |                              |   |
| 12   | <p>本計畫透過生物資源循環利用與碳捕捉利用技術發展，可降低農林廢棄物處理負荷並減少碳排放，有助於推動淨零排放政策與環境永續。</p>                                   | <p>謝謝委員。</p>  |      |      |      |     |                                  |               |      |                                |                              |     |                              |   |
| 13   | <p>已完成與國內產研單位技術交流及訪談，並有實質技術服務案的業績。並協助進行淨零碳排放政策</p>  | <p>謝謝委員建議。針對生物循環示範場域的生命週期評估，採用「從搖籃到工廠大門」(Cradle-</p>  |      |      |      |     |                                  |               |      |                                |                              |     |                              |   |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    | 方向的宣導及演講，及透過國際研討會促進社會溝通，提升大眾對負碳與 CCS 技術的理解與接受度，兼顧環境保護與公共安全。但對於進行示範場域生命週期碳排放評估或碳足跡計算應再聚焦及說明擬評估的計畫項目及內容。                                     | to-Gate) 的評估模式，114 年針對原料端(木竹)進行種植採收加工運送的碳足跡計算，115 年配合穩定製程後之能源消耗及化學品投入等，並設定產品端包含木質素和纖維糖為產品，計算碳足跡。  |
| 14 | 本計畫符合 2050 淨零與淨零科技方案，提供政策推動所需之技術與量化依據，計畫透過國際合作與技術交流，與國際研究機構建立合作關係並簽署合作意向書，有助於提升我國碳捕捉與封存技術之國際連結與能見度，並，強化人才培育與國際連結。                          | 謝謝委員。   |
| 15 | 針對 CCS 場址之應用，除引入美國 QRA 做不確定性評估，及 NRAP-Open-IAM 做商業化 CCS 專案整合介紹外，國內的未來 CCS 可能建議推動方向及場址評估適用性，建議可有更深入的討論與說明。                                  | 謝謝委員建議。國內目前有中油鐵砧山及台電中部火力發電廠試驗場正在推動試驗計畫，目前環境部亦正積極研擬相關管制辦法草案中。本計畫以國外案場參數驗證功能後，目標進一步與國內單位合作，取得本土試驗數據來建立模型，以確保應用於台灣的適用性；此外亦持續關切環境部「二氧化碳捕捉後封存管理辦法」發展，確保安全評估範疇符合國內要求。 |
| 16 | 本計畫在政策方向與相關國家計畫之配合度良好，計畫已與農業部在木竹料源與自然碳匯議題上形成互補，並呼應環境部資源循環與減碳政策方向，同時建立可供未來跨部會共享的示範場域與評估工具，整體協調機制明確，有助於避免重複投入並放大政策整合效益。但在相關計畫之配合或合作部分尚需補充說明。 | 謝謝委員肯定與建議。本計畫係配合農業部政策方向，利用本土木竹料源發展關鍵生物循環增值化技術，其中子項一著重於核心技術研發，並與子項二之放大測試驗證與製程整合相互銜接與整合推動。本計畫於 115 年度已與農業部及環境部相關計畫整併，於農業部「生物質永續能資源化之生質沼氣能源產業化                     |

|    |   |   |
|----|---|---|
|    |   | 發展與研究」架構下協同推動，其中農業部與環境部相關計畫主要聚焦於多元料源沼氣生產、沼氣純化及沼渣沼液資源化等增值技術開發；本計畫則著重於生物循環關鍵技術之研發。預期透過各計畫間之成果整合，建立生物資源高值化利用之循環經濟模式。   |
| 17 | 後續工作將延續既有研發成果，聚焦技術放大、示範場域整合及產業鏈媒合，並進一步深化減碳量化與安全風險評估。同時建議強化與產業端合作，促進技術移轉與實際應用，並持續發展碳利用與碳封存整合系統，以提升整體減碳效益與產業價值。 | 感謝委員的建議，本計畫持續串聯上中下游，從上游原料端，到中游製程端，到下游產品端，均與產業保持密切聯繫，以其找到潛在需求客戶，透過技術移轉與實際應用，來提升整體減碳效益與產業價值。  |
| 18 | 木竹纖維乳酸製程開發產品為乳酸丁酯，使用多元醇應為丁醇。但在計畫執行可改善事項或後續可精進處的檢討，卻強調減少乙醇用量，請再確認技術發展種類及開發產品，以免不一致。                            | 謝謝委員建議，本計畫依據木竹料源特性，開發生物芳香族/生質酸酯等高值化產品之關鍵技術。如委員所述，生質酸酯部分係以木竹纖維乳酸與丁醇進行酯化反應生成乳酸丁酯；生物芳香族部分則基於有機溶劑法(乙醇)建立高純度木質素萃取技術，並以所萃取之木質素進行產品化開發；計畫所續減少乙醇用量主要基於透過製程參數優化降低溶劑使用量，同時評估溶劑回收再利用之可行性，據此有效降低製程成本，提升關鍵技術產業化潛力。並無不一致。 |
| 19 | 產品的國際化指標應建立及分析，包含檢測量能的提升及檢測成本的下降方式研析。另外如需建構第三方驗證之技術量能，亦應評估投入的成本效益。  | 感謝委員建議。未來將配合產品化技術開發建立產品國際化指標，參考國際商用規格與檢測標準作為技術目標之依據，藉以與國際技術水準接軌；並依產品驗證需求，基於成本效益考量審慎   |

|    |   |   |
|----|---|---|
|    |   | 評估自行分析或委外第三方驗證之適切性，據此作為後續產品推廣與國際化之參考。   |
| 20 | 本計畫實際執行與原計畫目標尚均符合原計畫規劃。經費執行率100%，均符合進度需求。量化關鍵績效指標均已達成。整體執行成效良好，成果具延續性與擴散性，為國內推動生物循環與負碳科技奠定重要基礎。   | 謝謝委員。   |
| 21 | 本計畫與國家淨零排放政策高度契合，具有明確政策與產業發展意義。技術內容涵蓋生物循環、低碳材料及碳利用等關鍵領域，具整合性與前瞻性。已建立多項關鍵技術成果並完成初步設備與技術驗證，具後續擴展潛力。透過國際合作與技術交流，提升我國相關領域研究能力與國際能見度。              | 謝謝委員。   |
| 22 | 本計畫已完成多項關鍵技術之示範驗證，惟距離長時間連續運轉與商業化規模，仍建議於後續階段持續強化放大測試與系統穩定性驗證。  | 謝謝委員建議，未來將參考委員建議，承襲關鍵技術基礎，配合計畫執行持續擴大試驗規模，完成連續式運轉與系統測試驗證，奠定後續示範應用與產業化推動之基礎。  |
| 23 | 目前減碳與負碳效益已具初步量化基礎，惟多仍以情境推估為主，建議結合實際運轉數據，進一步量化減碳效益與生命周期分析，以具體呈現技術對淨零排放之貢獻與說服力。此外，建議持續推動跨部會與產業合作，建立完整生物循環產業鏈，加強社會溝通與風險管理機制，以提升未來碳封存及相關技術之社會接受度。 | 謝謝委員建議，115年已與農業部及環境部共同執行生質沼氣場域驗證及生質物資源化等，有助於後續從料源-轉化技術-產業應用產業鏈之成形及擴大應機會。在碳封存部分積極參與環境「二氧化碳捕捉後封存管理辦法」草案研商會及跨產業與興社 LOI 簽署，以提升未來碳封存及相關技術之社會接受度。 |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 24 | <p>本計畫已促成多項產業合作與技術服務，惟整體仍以個案推動為主，建議後續進一步串聯上中下游，以加速形成具規模之應用模式。且本計畫具有相當多開發項目，建議將實際最有價值的商業產業效益進行說明，以利重點發展。</p>                                     | <p>謝謝委員建議，114 年度計畫(子項一)主要著重於關鍵技術研發；未來將配合計畫執行逐步擴大試驗規模，完成放大測試與製程整合，建立公斤級規模整合製程，據此建立串聯上中下游之示範應用模式；另將承襲計畫成果完成經濟效益評估，篩選具高附加價值與產業化潛力之可行技術方案，作為重點研發方向，據此強化計畫成果之產業化推動與實際應用效益。持續串聯上中下游，其技術產品在市場都具有一定的剛性需求和切入策略，未來將會資源聚焦如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 政策需求:依據法規或淨零碳排放需求開發生質酒精。</li> <li>2. 市場需求:依據市場需求開發環保無汙染的木質素黏著劑及乳酸酯綠色溶劑。</li> <li>3. 碳權資產化:將生命週期碳盤查結果經由第三方驗證，為可追蹤認證之減碳數據。</li> <li>4. 共創產業聯盟:進行產業串連，並進行實廠驗證。</li> </ol> |
| 25 | <p>高值化產品與負碳應用具技術潛力，惟其市場接受度與成本結構，仍建議透過更多實際案例與試點應用加以驗證。技術如具有高度商業應用價值，可以以營業秘密推動商業化，避免被逆向工程的破解突破。未來成果如擬商業化，建議保留關鍵 know-how 及參數不呈現於論文中，以避免被模仿抄襲。</p> | <p>謝謝委員提點。未來將配合計畫執行，依實際應用情境進行關鍵技術之成本效益分析，並參考標的產品之商用規格水準，評估計畫產品之市場應用潛力；另配合技術研發成果進行專利布局，於學術成果發表時適度保留關鍵 know-how 與重要製程參數，據此在推動技術成果之同時，兼顧核心技術之保護與產業化發展。</p>  |
| 26 | <p>本計畫與相關部會政策方向具高度一致性，建議未來在法規、標準或治理機制上，持續強化跨部會</p>  | <p>謝謝委員建議，未來將參考委員建議持續強化與各部會之溝通與協調，奠定長期合作立基，確</p>   |

|    |  |   |
|----|--|---|
|    | 協調與長期配合架構。   | 立計畫執行方針切合政策目標，促進計畫成果之落實與應用。   |
| 27 | 本計畫涵蓋技術面向廣泛，整體架構完整，惟亦提高整合與管理難度，建議後續階段持續聚焦重點成果，以確保資源有效投入。 | 謝謝委員肯定，未來計畫擬配合公斤級放大測試、產品化技術開發與經濟效益分析結果，評估可行技術方案，據此確保計畫資源有效投入具高附加價值與產業化應用潛力之重點成果，進而縮短技術研發與計畫成果產業落地之期程。         |
| 28 | 產品的國際化指標應建立及分析，包含檢測量能的提升及檢測成本的下降方式建議與說明。                 | 謝謝委員建議。未來將配合產品化技術開發建立產品國際化指標，參考國際商用規格與檢測標準作為技術目標訂定依據；同時基於檢測量能與成本效益評估自行建立分析方法或委外測試之合宜性，據此作為後續技術開發及產品示範應用推廣之依據。 |

# 目錄

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| 【114 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】 | ·1-1      |
| 壹、總目標                           | ·····1-3  |
| 貳、經費執行情形                        | ·····2-1  |
| 參、成果之價值與貢獻度                     | ·····3-1  |
| 肆、檢討與展望                         | ·····4-1  |
| 伍、其他補充資料                        | ·····5-1  |
| 附錄、細部計畫                         | ·····附錄-1 |
| 附表、佐證資料表                        | ·····附表-1 |

## 【114年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

|        |  |        |
|--------|--|--------|
| 系統編號   | MP11305-0006   |        |
| 計畫名稱   | 淨零排放-永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫 (1/4)  |        |
| 主管機關   | 核能安全委員會  |        |
| 執行機關   | 國家原子能科技研究院   |        |
| 計畫類別   | <input checked="" type="checkbox"/> 政策計畫 <input type="checkbox"/> 一般計畫 <input type="checkbox"/> 基礎研究   |        |
| 重點政策項目 | 國家希望工程-創新經濟、智慧國家-科技創新-淨零科技   |        |
| 全程期間   | 114年01月01日至117年12月31日  |        |
| 資源投入   | 年度   | 經費(千元) |
|        | 114  | 58,799 |
|        | 115  | 0      |
|        | 116  | 0      |
|        | 117  | 0      |
|        | 合計   | 58,799 |
| 計畫摘要   | <p>面對國際及政府 2050 淨零排放目標及艱鉅轉型壓力，除電力低碳化外，工業或交通等領域亦有推動淨零減碳之需求與驅動力，因此充分利用本土生質原料潛能，推動整合上中下游之生物循環增值利用，並切入生質能整合碳捕捉及利用與貯存(BECCUS)之發展，除能提升農林業之廢棄物去化及降低環境負荷，所生產之低碳材料與化學品，亦可協助國內產業低碳轉型，降低碳足跡及提升國際競爭力，並藉由碳利用及貯存，進一步展現負碳潛能，促進淨零排放目標之達成，故包含美國、歐盟及日本等指標性國家，皆有推動生物循環及負碳發展計畫，作為邁向淨零的重要策略。</p> <p>因此，依據「淨零科技方案」主軸四：循環領域之生物循環(p.27~28)推動需求，本計畫擬結合農業部的自然碳匯，運用核安會監督之國原院所具備的國際頂尖水準的生質精煉技術（榮獲 2023 年全球百大科技獎 R&amp;D100），建立木竹生物循環增值利用產業鏈及生質燃氣轉型 BECCUS 所需之關鍵技術及示範驗證，成為國家建立本土生物循環整</p> |        |

|       |   |                 |             |                     |
|-------|---|-----------------|-------------|---------------------|
|       | <p>合負碳科技的亮點成果，以契合淨零排放中期戰略需求、促進國家能源安全及產業韌性及提升產業朝低碳轉型之競爭力。其中，預期將會透過示範場域驗證，提高技術成熟度及驗證生物循環整合 BECCUS 之減碳、經濟、能源效益及安全評估，作為後續發展生物循環產業聚落及推動負碳應用的基礎，其內涵包含生物芳香族衍生低碳材料、生質酸酯衍生低碳材料及化學品、生質航油前驅物生產、生質燃氣乾重組、生質燃氣提純及二氧化碳利用、負碳潛能效益與安全評估等科技之整合應用，期促使本土生質原料潛能充分利用以展現最大效益，據此扮演推動淨零減排之關鍵少數。</p> |                 |             |                     |
| 計畫連絡人 | <b>姓名</b>   | 鄭涵文             | <b>職稱</b>   | 副研究員                |
|       | <b>服務機關</b>   | 國家原子能科技研究院      |             |                     |
|       | <b>電話</b>   | 03-4711400#5375 | <b>電子郵件</b> | hwcheng@nari.org.tw |

## 壹、總目標

### 一、緣起

為推動淨零目標，落實永續生物質循環，本計畫擬建立整合上中下游進行木竹生物循環增值利用產業鏈，及生質沼氣轉型BECCUS之關鍵技術開發及示範驗證，可促進國家能源安全及產業韌性及提升產業朝低碳轉型之競爭力。

### 二、總目標及其達成情形

#### 1. 全程總目標：

發展本土生物循環創新增值與碳利用技術，建立放大應用實績及示範場域驗證，作為發展生物循環產業及展現負碳效益。

#### 2. 分年目標與達成情形：

| 年度  | 目標   | 預期關鍵成果   | 年度計畫目標達成情形(含重大效益)   |
|-----|--|--|---|
| 114 | 1：<br>研發生質物資源循環之全組成利用及高值應用技術，開發高價值低碳材料及化學品，協助應用端降低範疇3排放。 | 建立木竹木質素萃取及高值應用技術，替代石化品可降低碳足跡30%以上，技術成熟度由TRL 4提升到TRL 7。 | 1.有機溶劑木質素萃取製程優化暨公斤級製程測試驗證：完成高純度木質素萃取製程精進，木質素純度最高可達99%，已達國際商用規格水準；分子量分布指數(PDI)最佳可達1.2，具備產品化應用潛力；進一步基於實驗室測試成果，使用竹材酸催化蒸爆解聚物於優化萃取製程(60%乙醇/0.4%鹼, 80oC, 15 min)下，完成公斤級木質素萃取實料測試，輔以酸析沉澱、板框壓濾等程序獲取木質素產品，未來進一步進行製程參數優化，以評估操作條件對產製木質素之品質特性與穩定性影響<br>2.木質素產品化應用評估：使用計畫研製之木質素，完成木質素分別混摻聚乙烯(PE)、聚丙烯(P |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  |   | <p>P)與阻燃劑之生質阻燃酯粒開發，並輔以比重、熔點等物性分析及耐燃測試，完成初步應用成效評估，其中木質素混摻比例介於5-10%。測試結果顯示，木質素所含之鹼性官能基將影響阻燃成效。未來擬透過表面改質策略引入酸性官能基，據此提升木質素與阻燃劑之相容性，進而改善整體阻燃效能。</p>   |
|  | <p>木竹之乳酸衍生高值化學品及材料化技術，可降低替代化學品碳足跡30%以上，技術成熟度由TRL 4提升到TRL 7。</p> | <p>1.完成本土木竹料源糖化參數優化暨開發木竹乳酸發酵製程：完成本土蔴竹與相思木材之酸催化蒸爆糖化參數篩選與優化；以優化蒸爆條件下(200°C, 1/3% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5min)所得之解聚物進行公斤級高固液比(20%)水解測試，所得水解糖液之葡萄糖濃度皆可達 80 g/L 以上。另使用本專利乳酸菌株(Lactobacillus casei 7BL)，分別完成木、竹水解糖液之纖維乳酸發酵測試，於發酵 48 小時後，葡萄糖轉化為乳酸之轉化率均可達 99% 以上，具工業化應用潛力。</p> <p>2.乳酸丁酯合成製程建立：以本土竹材纖維乳酸發酵液為原料，基於反應蒸餾法完成乳酸丁酯</p> |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>合成製程暨參數建立；另開發兩段式蒸餾純化製程，先藉由第一段減壓蒸餾分離丁醇；再藉由第二段減壓蒸餾程序完成純化分離，獲取高純度乳酸丁酯；經純化後所得乳酸丁酯產品純度可接近90%，可作為生質酸酯化學品開發之重要利基。</p>   |
|  | <p>負碳排合成氣乾重組生產綠氫製程及關鍵觸媒合成技術研發，並完成生質氣CO<sub>2</sub>再利用1m<sup>3</sup>/hr單元及進行場域測試。技術成熟度由TRL3提升到TRL6。</p> | <p>1.精進觸媒性能暨完成觸媒積碳效率評估：基於氧化鈣(CaO)修飾鎳基觸媒(Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)策略有效抑制觸媒積碳現象；於0.1 m<sup>3</sup>/h反應規模下，使用模擬氣體完成乾重組測試，CH<sub>4</sub>與CO<sub>2</sub>轉化率皆可達90%，其中計畫自製觸媒於800°C下平均積碳速率約為20 mgcoke/gcat-1h-1，相比國際文獻中不同觸媒積碳速率範圍(0.1-70 mgcoke/gcat-1h-1)，計畫研製觸媒積碳速率值係屬合理範圍。</p> <p>2.m<sup>3</sup>/h級之連續式乾重組製程精進：基於計畫研製NiAlCa觸媒，使用模擬實際脫硫生質沼氣組成之標準氣體(CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub>=2:1)，於0.1 m<sup>3</sup>/h規模下完成長時間乾重組反應測試；於800°C溫度條件下累積操作時間超過200小時，驗證計畫觸媒性能之穩定性；燃氣CH<sub>4</sub>與CO<sub>2</sub>轉化率分別可達87%與83%，產品</p> |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  |  |   | <p>氣體H<sub>2</sub>/CO比值大於0.9，已達國際水準。</p>   |
|  | <p>2：基於目標1之技術研發基礎，擴大本土生質物資源循環製程示範應用規模，提供驗證整合負碳應用之生質物循環的創新商業模式。</p> | <p>建置及擴充生物循環所需生質精煉場域驗證設施，提供為國內生物循環技術放大測試應用之示範基地</p> | <p>1.<br/>執行噸級測試場老舊設備拆除與更新作業：<br/>本季已完成既有蒸餾系統報廢與場區清理，拆除稻稈進料系統、高壓活塞缸體、電動捲揚機、塔槽及管線、酒精溶液純化濃縮系統等共27項設備，並進行標售。<br/>針對生物循環示範場域進行重新配置與放大驗證規劃，全面提升廠區設備安全與操作效率，同步更新消防設施與公用系統，包括油槽液位監視系統、實驗室內氣體感測裝置等，建立安全、符合人因工學之操作環境。</p> <p>2.<br/>強化噸級廠智慧化與自動化功能：<br/>本期依據智慧化工廠架構，著手建置人機介面（HMI）遠端監控及自動進料系統，推動製程數位化與資訊整合。啟動九噸發酵桶槽活化作業，更新鐵氟龍氣管、不銹鋼線槽、電磁閥、發酵槽體觸控人機介面等項目，全自動監測槽體的攪拌、溫度、酸鹼、溶氧及槽壓之實際值及設定值。新增公斤級反應與蒸餾單元、緻密脈衝核磁共振奈米粒分析儀等核心設備，製程</p> |

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  |  |   | <p>設計朝向連續化生產，並可有效增進效率及降低成本。</p>   |
|  |  | <p>建立整合上中游之生物循環資源化技術與BECCUS之示範驗證，並建立2件廠商技轉或合作開發案。</p> | <p>1.<br/>整合上游之生物循環之資源：在林業部分，上游廠商已與永O林業合作簽署合作備忘錄，永O林業為國內最大民營林業合作社，而在竹業部分，與南投竹O合作社進行計畫合作，協助推廣竹淬水及木竹共生計畫，協助台灣進行減碳，並利用生質材料提升減碳效益，並加速研發團隊進行技術落地應用，建立「木竹共生減碳示範場域」。</p> <p>2.<br/>尋找中下游之生物資源應用之出海口，目前與「台灣先O酒精公司」和「承O發公司」建立合作關係，透過玉米澱粉當做原料，進行消毒酒精之生產，本計畫亦與大環O生物科技材料公司合作進行「生質材料產品化研發」，針對木質素等生質材料，進行產品應用和市場資訊之開發與交流。</p> <p>3.<br/>運用生質精煉廠，114年完成中O公司委託之技術服務案，「高通量篩選平台進行PHA菌株篩選」、「乳酸發酵規模放大試驗」，金額共計5,533千元。</p> |

|     |             |   |  |
|-----|-------------|---|--|
|     |             | <p>經由技術研發及示範驗證，完成生物循環整合B ECCUS示範場域之能源、環境、經濟效益及安全風險評估，據此建立推動本土生物循環產業聚落發展之範例，並展現負碳效益驗證方法。</p> | <p>1. 完成國內首例陸域長管線定量風險評估案例。評估其社會風險總積分值(Total Risk Integral/Avg Year)最大為5.64E-07(1/Avg Year)，主要風險貢獻情節為管線斷裂造成二氧化碳洩漏的危害，占87%。</p> <p>2.使用二氧化碳井洩漏評估軟體NRAP-Open-IAM，以本土潛在碳封存場址砂、頁岩互層特性相近的美國碳封存計畫FutureGen2.0資料，進行儲集層二氧化碳洩(CO<sub>2</sub>)及鹽水(Brine)漏案例測試，於注入井及監測井之洩漏模擬結果，與文獻趨勢具一致性，驗證NRAP-Open-IAM於井洩漏情境下整合儲集層、井與上覆含水層模組之模擬功能，可作為後續本土案例情境分析與參數敏感度研究之基準模型。</p> <p>3. 國原院與美國合作舉辦「CCS風險評估研討會」推動我國安全碳封存技術與國際接軌：本次研討會聚焦於碳封存風險評估技術，成功引進國際先進工具與實務經驗，建立國內與國際接軌的二氧化碳封存風險評估技術量能。</p> |
| 115 | 1：建立木質素、乳酸酯 | 1-  |  |

|     |  |   |  |
|-----|--|---|--|
|     | <p>及碳利用之公斤級規模關鍵技術。</p> <p>2：完備示範場域放大驗證設施，提供低碳材料或燃料等上、中、下游產業整合應用。</p> | <p>1：公斤級高低分子量木質素萃取放大製程與產品化程序建立，較石化替代品降低50%碳足跡。</p> <p>1-<br/>3：公斤級乾重組觸媒製備與生質氣CO<sub>2</sub>再利用單元整合。</p> <p>1-<br/>2：建立乳酸酯合成技術，純度98-99.7%，碳足跡&lt;4.25 kgCO<sub>2</sub>e/kg或較石化替代品降低50%碳足跡。</p> <p>2-<br/>1：完成生物循環示範場域放大驗證設施之建立(酯化蒸餾、純化聚合、二氧化碳液化等)。</p> <p>2-<br/>2：完成生物循環示範場域上下游運作整合，並進行各單元技術之噸級/公斤級放大規模測試，各單元效率須為實驗室規模的70%以上。</p> <p>2-<br/>3：完成生質燃氣提純之二氧化碳分離單元測試(CO<sub>2</sub>純度90%)及1件負碳貯存模擬技術國際合作或交流。</p> |  |
| 116 | <p>1：建立木質素、乳酸酯試量產級規模產品化。</p> <p>2：完成碳利用製程整合，並以示範場域進行技術整合與放大規模驗證。</p> | <p>1-<br/>1：噸級木質素萃取程序與產品化放大製程平台建立與驗證，較石化替代品降低50%碳足跡。</p> <p>1-<br/>2：乳酸多元醇材料應用開發，較石化替代品降低碳足跡&gt;30%，生質基</p>   |  |

|     |   |  |  |
|-----|---|--|--|
|     |   | <p>占比&gt;50%。</p> <p>1-3：1<br/>m<sup>3</sup>/h生質燃氣CO<sub>2</sub>再利用製程、平台整合測試。</p> <p>2-<br/>2：建立生物循環示範場域驗證(含木質素萃取、生質酸酯產品化及生質航油前驅物等)之運作模式及完成碳盤查分析，各單元效率須為實驗室規模的80%以上。</p> <p>2-<br/>1：完成生物循環示範場域放大驗證設施之建立(生質燃氣乾重組、二氧化碳提純分離等)。</p> <p>2-<br/>3：建立生質燃氣提純及二氧化碳利用之示範應用(CO<sub>2</sub>純度90%)及1件負碳貯存量化評估案例。</p> |  |
| 117 | <p>1：建立生質循環與碳利用之增值創新技術與產品化實績。</p> <p>2：完成生物循環及BECUS示範場域之技術驗證與案例評估，建立減碳、經濟效益或安全風險評估。</p> | <p>1-<br/>1：提出生質芳香族之木質素產品化示範應用至少3件。</p> <p>1-<br/>2：提出生質酸醛之產品化示範應用至少3件。</p> <p>1-<br/>3：生質燃氣CO<sub>2</sub>再利用平台實際場域驗證提出1件。</p> <p>2-<br/>1：建立生物循環示範基地之放大驗證設施及對外測試服務能量，建立協助至少2家廠商進行試量產測試之實績。</p> <p>2-</p>  |  |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  |  | <p>3：完成BECCUS示範應用與案例評估，建立2種碳利用示範案例及至少1件負碳潛力案例評估。</p> <p>2-</p> <p>2：完成木竹生物循環之示範驗證，至少提出4~6項高值低碳材料或化學品，生命週期評估之替代石化品減碳幅度至少30%。</p> |  |
|--|--|---|--|

說明：

### 三、 主要工作項目推動具體成果

1. 整合有機溶劑與鹼萃取法，開發木質素萃取暨純化分級之整合製程：配合本土木竹料源特性，建立高純度木質素萃取製程並優化關鍵操作參數。優化製程條件下可穩定獲得高純度木質素產品，其純度最高可達 99%，分子量分布指數 (PDI) 達 1.5，具備產品化應用潛力，可進一步作為高值化材料與化學品技術開發之原料。
2. 蒸汽爆裂-有機溶劑木質素萃取整合製程開發：本計畫基於蒸汽爆裂前處理與有機溶劑木質素萃取之互補反應機制，建立蒸汽爆裂-有機溶劑二階段整合製程，有效提升木質素萃取成效，其中於優選酸催化蒸汽爆裂條件(200 °C、3% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、5 min)搭配優化有機溶劑萃取條件(60%乙醇/0.4%鹼)之整合製程下，木質素產率可有效提升至 90%(圖 3)；基於上述製程不僅可有效提升木質素萃取與糖化成效，另可建立纖維糖-木質素資源化之整合利用情境，有效提升料源組成利用率。本計畫進一步針對有機溶劑木質素萃取製程中之反應時間、固液比及溶劑濃度等關鍵操作參數進行優化，在維持高木質素提取率之前提下，有效將反應時間由原本 2 小時大幅縮短至 15 分鐘，顯著提升整體製程處理效率與放大應

用潛力。

3. 建置公斤級木質素萃取設備系統：基於研發木質素萃取實驗室製程之基礎，並結合有機溶劑循環萃取之製程概念，設計與建置公斤級木質素萃取設備，據此驗證製程放大可行性與設備操作穩定性。整體設備系統整合多項關鍵單元設備，包含木質素萃取反應器、鹼劑循環與儲存系統、固液分離設備，以及整體電控與操作監控系統，形成可連續式操作之木質素萃取製程平台(圖 4)。目前完成設備試車作業，並以蒸汽爆裂後實料測試公斤級木質素萃取測試效能、酸析沉澱及板框壓濾等完成木質素分離，後續將進一步進行製程參數優化，以評估操作條件對產製木質素之品質特性與穩定性影響。相關成果可提供進一步放大木質素量產製程，同時加速生物芳香族衍生高值化產品開發與應用測試。

4. 本土木竹料源醱化效能研究：針對本土荊竹與本土相思木材進行酸催化蒸汽爆裂前處理，完成本土木竹料源酸催化蒸爆糖化參數優化，藉由系統性探討反應時間及混酸濃度等關鍵參數對於糖化成效之影響。於高固液比(20%)之水解操作情境下，藉由優選蒸爆條件(200°C, 1%/3% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5min)，荊竹與相思木水解液葡萄糖濃度分別可達 80.3 g/L

與 84.7 g/L。

5. 本土木竹纖維乳酸製程：整合蒸汽爆裂前處理、酵素水解、乳酸發酵等核心技術，建立本土木竹纖維乳酸發酵製程，以上述水解液作為碳源，使用本計畫專利乳酸菌株 (*Lactobacillus casei* 7BL) 完成木竹纖維乳酸發酵測試，發酵 48 小時後乳酸轉化率均可達 99% 以上(圖 6)，具產業應用潛力。

6. 乳酸丁酯合成製程：以前述本土竹材纖維乳酸發酵液為原料，基於反應蒸餾法完成乳酸丁酯合成製程/參數建立；另開發兩段式蒸餾純化製程，經純化後所得乳酸丁酯產品純度可達 89.3%，可作為生質酸酯化學品開發之重要立基。

7. 市售觸媒測試：本計畫目標係以生質沼氣為目標料源，進行乾重組(dry reforming)反應，產製合成氣( $\text{CO}+\text{H}_2$ )。一般乾重組反應觸媒常見為 Ni 基觸媒，由於甲烷乾重組反應，反應溫度介於 700~850°C，易發生積碳副反應覆蓋觸媒活性金屬表面，導致觸媒失活使反應效率下降，常以添加貴金屬方式解決。且鎳基觸媒會因在高溫環境(700~850°C)下進行氧化，進而導致觸媒燒結失活。圖 8 為一般市售 20 wt.% Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 觸媒 800°C 乾重組反應性能比較。為解決積碳反

應副作用，透過導入空氣以進行「積碳氧化反應」移除積碳，觸媒還原後，再次進行乾重組反應時，會因觸媒活性金屬高溫燒結失活，導致觸媒進行乾重組反應性能下降。由圖 8 看出 60 小時後因積碳問題，CH<sub>4</sub> 與 CO<sub>2</sub> 轉化率明顯下降。

8. 自製觸媒效能評估：為達到抑制積碳與抗燒結的效果，計畫團隊採用 CaO 修飾 Ni 基觸媒方式，高溫鍛燒下於觸媒中形成 Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub> 結構矩陣(matrix)，使鎳基觸媒可在一定程度減緩觸媒積碳失活發生。另外一定時間甲烷乾式反應後，透過導入空氣氧化積碳，達到移除積碳效果。還原後觸媒可以重新進行甲烷乾式反應，提升可維持原本乾重組反應性能之時間。從圖 9 可以看出本計畫研製觸媒相較市售觸媒(圖 8)在 70 小時後仍能維持觸媒活性，顯示改善傳統 Ni 基觸媒易積碳與燒結失活缺陷，適用於生質沼氣乾重組產製合成氣(CO+H<sub>2</sub>)應用。

9. m<sup>3</sup>/h 等級生質沼氣應用平台：114 年度完成 m<sup>3</sup>/h 等級生質沼氣應用平台，主要針對甲烷乾重組反應製程進行放大，以觸媒固定床單元為核心，建置合成氣(CO+H<sub>2</sub>)產製系統。計畫所建置 m<sup>3</sup>/h 等級生質沼氣應用平台如圖 10 所示。本

平台配置 4 組觸媒固定床反應器，管徑 3cm、管長 50cm、系統操作溫度最高可至 900°C、可裝填觸媒量最大可達公斤級。平台前端搭載 2-3 組質量流量控制器，平台後端搭載質量流量紀錄器一組。實驗進料組成初步以 CH<sub>4</sub>：CO<sub>2</sub>：AIR=4:4:2 進行測試。進料 CH<sub>4</sub> 與 CO<sub>2</sub> 比例為 1，主要為乾重組反應理論值。實際沼氣組成 CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub> 為 2：1(60%：30%)，CO<sub>2</sub> 不足部分，計畫後續擬以實際場域碳捕捉純化或是沼氣純化分離之 CO<sub>2</sub> 進行補足。進料中的空氣主要模擬實際場域中沼氣產製過程中參混空氣之組成。圖 11 為生質沼氣應用平台乾重組反應測試數據。圖中數據得知，800°C 溫度條件下，本項目所研製 NiAlCa 觸媒，乾重組反應累積時間超過 200 小時，CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 轉化率分別為 87% 與 83%，轉化率變化穩定，且產出 H<sub>2</sub>/CO 為 0.9(理論值為 1)，達國際水準。此外，進料雖有空氣組成，但不影響乾重組反應進行，對於實際場域生質沼氣參雜空氣情境，觸媒性能穩定性受到證明。

11. 生物循環示範場域放大驗證：重新規劃生物循環示範場域放大驗證之廠區和設備，報廢舊有蒸餾系統等設備，包括 A100 區、A200 區、A300 區、A600 區、A800 區之桶槽，

和酒精蒸餾區及物料區之舊有設備(如表 3 和圖 12)，重新規劃及活化生物循環示範場域放大驗證之廠區和設備，朝向低碳且智慧化工廠之概念(如圖 13)，建置國內生物循環技術放大測試應用之示範基地。

12. 整合上游資源廠商(永 O 林業、竹 O 合作社)和中下游生物資源應用之出海口(大 O 淨公司)，透過合作意願書的簽署(如圖 14 和圖 15)，共同合作林業生命週期評估、提供測試用木料、開發高性能生物可分解材料等議題，串聯上游料源、中游技術、下游產品應用等情境，進行整體效益評估。

13. (1) 國原院與美國合作舉辦「CCS 風險評估研討會」推動我國安全碳封存技術與國際接軌，國家原子能科技研究院化學研究所與美國 Battelle 紀念研究所 (Battelle Memorial Institute) 於 2025 年 10 月 21 日至 23 日共同舉辦「CCS 風險評估研討會」(CCS Risk Assessment Workshop)。Battelle 為美國中西部碳管理區域計畫 (MRCI, Midwest Regional Carbon Initiative) 之重要成員，擁有豐富的國際合作與計畫執行推動經驗。本次研討會聚焦於碳封存風險評估技術，成功引進國際先進工具與實務經驗，建立國內與國際接軌的二氧化碳封存風險評估技術量能。由 Battelle 碳管理技術部門

主管 Dr. Neeraj Gupta 引言，分別由資深研究科學家 Sanjay Mawalkar 與地質科學家 Stuart Skopec 針對多項議題進行討論。Mawalkar 專家分享廢棄井二氧化碳洩漏的機率風險評估方法及 National Risk Assessment Partnership (NRAP) 工具的量化分析應用；Stuart Skopec 專家的演講聚焦於安全碳封存所需的地質特性描述、數據管理與綜合洩漏風險評估。透過 NRAP-Open-IAM 模型及動態儲集層模擬 (DRM) 在井筒洩漏、蓋層完整性與地層壓力變化等風險評估的經驗分享及實務案例討論，強化同仁實作經驗。研討會最後一日前往中央大學應用地質科學研究所舉行專題演講，以深化國內產學研單位聯結，培育本土碳封存專業人才，並且就我國潛在封存場址的現況進行技術交流及經驗分享，以深化國際與國內專家間的技術合作，提供臺灣未來發展近海碳封存技術建議。透過本次研討會，有助於掌握符合國際標準的碳封存風險評估方法與實務經驗，並強化與學術界及國際機構的合作基礎。本院將持續推動我國安全碳封存技術的研究與落實，運用國際經驗交流及研討成果，協助推動淨零排放與永續能源等政策目標。

(2) 使用二氧化碳井洩漏評估軟體 NRAP-Open-IAM，以本

土潛在碳封存場址砂、頁岩互層特性相近的美國碳封存計畫 FutureGen2.0 資料，進行儲集層二氧化碳洩(CO<sub>2</sub>)及鹽水 (Brine)漏案例測試，於注入井及監測井之洩漏模擬結果，與文獻趨勢具一致性(如圖 16)，驗證 NRAP-Open-IAM 於井洩漏情境下整合儲集層、井與上覆含水層模組之模擬功能，可作為後續本土案例情境分析與參數敏感度研究之基準模型。

(3) 本計畫採用 DNV 公司之 SAFETI 軟體(含 PHAST 模組)，運用量化風險評估方法，針對二氧化碳輸送管線進行分析，假設管線自通霄輸送至彰濱工業區進行封存，全長約 56.5 公里，建立完整的 CO<sub>2</sub>輸送管線風險評估架構。評估流程包括資料庫建立、危害鑑別、事故發生頻率分析、後果影響評估，並計算個人風險與社會風險，據以判定是否需採取風險控制措施。評估結果，如圖 17 所示，風險可接受準則設定為：個人風險(CO<sub>2</sub>外洩導致人員死傷之年發生頻率)上限為 1.00E-03；社會風險(對鄰近鄉鎮居民之影響)上限為 1.00E-02。評估結果顯示，管線洩漏或災難性破裂之社會風險皆落於可接受範圍內，其社會風險總積分值最大為 5.64E-07 (1/year)，主要風險來源為管線斷裂引發之毒性危害。整

體而言，評估結果顯示各項風險指標皆顯著低於可接受準則3-4 個數量級，高後果影響情境之發生頻率極低，屬於可有效管理之風險範圍。惟為進一步降低潛在風險，可藉由加強管線焊道與設備品質管控，於管線及關鍵設備周邊設置洩漏偵測系統並定期檢測，以減少故障及縮短事故偵知時間；同時強化巡檢、維修與應變能力，於異常初期即加以處置，以避免事件規模擴大，進一步提升管線輸送之整體安全性。

## 貳、經費執行情形

### 一、全程經費

單位：千元；%

| 各年度 | 預算數<br>(F) | 實支數<br>(G) | 節餘數<br>(H) | 保留數<br>(I) | 年度執行數<br>(J=G+H) | 年度達成率(%)<br>(K=J/F) | 決算數<br>(G+I) |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------------|---------------------|--------------|
| 114 | 58,800     | 58,799     | 1          | 0          | 58,800           | 100.00%             | 58,799       |
| 115 | 0          | -          | -          | -          | -                | -                   | -            |
| 116 | 0          | -          | -          | -          | -                | -                   | -            |
| 117 | 0          | -          | -          | -          | -                | -                   | -            |

## 二、年度經費

單位：千元；%

|            | 114 年度 |        |        |               |        |              | 備註 |
|------------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------------|----|
|            | 預算數(a) | 初編決算數  |        |               | 節餘數(e) | 執行率<br>(d/a) |    |
|            |        | 實支數(b) | 保留數(c) | 合計<br>(d=b+c) |        |              |    |
| 總計         | 58,800 | 58,799 | 0      | 58,799        | 1      | 100.00%      |    |
| 一、經常門小計    | 28,800 | 28,800 | 0      | 28,800        | 0      | 100.00%      |    |
| (1) 人事費    | 0      | 0      | 0      | 0             | 0      | %            |    |
| (2) 材料費    | 7,120  | 734    | 0      | 734           | 0      | 10.31%       |    |
| (3) 其他經常支出 | 21,680 | 28,066 | 0      | 28,066        | 0      | 129.46%      |    |
| 二、資本門小計    | 30,000 | 29,999 | 0      | 29,999        | 1      | 100.00%      |    |
| (1) 土地建築   | 0      | 0      | 0      | 0             | 0      | %            |    |
| (2) 儀器設備   | 24,000 | 23,999 | 0      | 23,999        | 1      | 100.00%      |    |
| (3) 其他資本支出 | 6,000  | 6,000  | 0      | 6,000         | 0      | 100.00%      |    |

註：

1. 初編決算數：因績效報告書繳交時，審計機關尚未審定決算，故請填列機關初編決算數。
2. 實支數：係指工作實際已執行且實際支付之款項，不包含暫付數。
3. 保留數：係指因發生權責關係經核准保留於以後年度繼續支付之經費。
4. 預算數：原則填寫法定預算數，如立法院尚未通過總預算，則填寫預算案數。
5. 執行率：係指決算數佔預算數之比例
6. 節餘數：係指執行政府節約措施、辦理招標、匯率變動或工程完工，致經費節餘未辦理保留者。

## 1. 經費支用說明

1. 本年度編列經常門經費 28,800 千元，主要用途為支應計畫執行所需之實驗物品材料、設備設施維護、水電清潔、國內外公差、委託學術單位研究等費用。累計至 114 年 12 月 31 日分配經費執行率為 100%。
2. 本年度編列資本門經費 30,000 千元，主要用途為購置計畫執行所需之製程機器設備，資訊軟體設備、系統開發費等雜項設備費用。累計至 114 年 12 月 31 日分配經費執行率為 100%。
3. 本年度預算累計至 114 年 12 月 31 日合計分配經費執行率為 100%。

## 2. 經費實際支用與原規劃差異說明

相關經費均依規劃執行，未辦理流用，執行率達 100%。

## 附表、佐證資料表

### 【A 論文表】

| 題 名   | 第一作者 | 發表年(西元年)  | 文獻類別 | 成果歸屬                      |
|---|------|-----------|------|---------------------------|
| Regeneration strategy for spent bi-functional catalyst bed in a cyclic sorption-enhanced steam reforming process          | 陳建宏  | 2025(審查中) | D    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| Steam explosion for Bambusa stenostachya Bamboo saccharification  | 王蔚   | 2025(審查中) | D    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| Acid-catalyzed steam explosion for lactic acid production from Bambusa stenostachya                                       | 王蔚   | 2025(審查中) | D    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 現地畜殖廢水碳酸化於微藻養殖之可行性評估  | 張彧飛  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 中空 SiO <sub>2</sub> 鎳基觸媒製備與甲烷化測試  | 張彧飛  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 鈣修飾觸媒於甲烷乾重組反應之性能優化研究  | 劉淑慧  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| The Numerical Study of the Effects of Dissolved Carbon Dioxide on the Mineral Composition and Porosity of Subsurface Rock | 陳柏壯  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |
| 以台西盆地進行二氧化碳地質封存模擬之案例研究  | 簡偉駿  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |

註：文獻類別分成 A 國內一般期刊、B 國內重要期刊、C 國外一般期刊、D 國外重要期刊、E 國內研討會、F 國際研討會、G 國內專書論文、H 國際專書論文；成果歸屬請填細部計畫名稱。

**【C 培育及延攬人才表】**

| 姓名    | 機構名稱   | 學歷 | 性質 | 成果歸屬                      |
|-------|--------|----|----|---------------------------|
| 康 O 心 | 國立清華大學 | B  | A  | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 林 O 壕 | 國立交通大學 | A  | A  | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |

註：學歷分成 A 博士(含博士生)、B 碩士(含碩士生)、C 學士(含大學生)；性質分成 A 參與計畫、性質分成 B 學程通過、C 培訓課程通過、D 國際學生/學者交換、E 延攬人才；成果歸屬請填細部計畫名稱。

**【D1 研究報告表】**

| 報告名稱                   | 作者姓名 | 出版年(西元年) | 是否被採納                | 成果歸屬                      |
|------------------------|------|----------|----------------------|---------------------------|
| 甲烷乾重組技術與觸媒發展應用之探討      | 劉淑慧  | 2025     | 是，C<br>(NARI-18601)  | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 竹材木質素提取技術評估研究          | 莊禮璟  | 2025     | 是，C<br>(NARI-18211)  | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 孟宗竹有機溶劑重複萃取低、高木質素製程研究  | 劉秀雯  | 2025     | 是，C<br>(NARI-18236R) | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 倉儲米乳酸發酵液濃縮及公斤級乳酸純化效率研究 | 林羿村  | 2025     | 是，C<br>(NARI-18140R) | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 薄膜蒸餾技術用於濃縮之可行性探討       | 林羿村  | 2025     | 是，C                  | 永續生物資源循環之減碳與高值            |

|                |     |      |               |                           |
|----------------|-----|------|---------------|---------------------------|
|                |     |      | (NARI-18501R) | 應用示範計畫(子項一)               |
| 纖維乳酸廠財務可行性初步評估 | 詹明峰 | 2025 | 是, C          | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |

註：是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

### 【E 學術活動表】

| 研討會名稱                               | 性質 | 舉辦日期<br>(YYYYMMDD)     | 主/協辦單位          | 成果歸屬                      |
|-------------------------------------|----|------------------------|-----------------|---------------------------|
| HEFC2025 國際氫能與燃料電池學術研討會暨氫能與燃料電池技術論壇 | A  | 2025/6/18 -2025/6/20   | 台灣氫能與燃料電池學會     | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| TwIChE 台灣化學工程學會 72 週年年會             | A  | 2025/11/29 -2025/11/30 | 台灣工程與科技創新學會     | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| CCS Risk Assessment Workshop        | B  | 2025/10/21 -2025/10/23 | 國家原子能科技研究院      | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |
| 地下環境模擬與 AI 應用台韓國際研討會                | B  | 2024/10/20             | 國家原子能科技研究院/中央大學 | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |
| 歐洲生質能研討會暨商業展覽會                      | B  | 2025/6/9-12            | 歐盟委員會           | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |

註：性質分成 A 國內研討會、B 國際研討會、C 兩岸研討會；成果歸屬請填細部計畫名稱。

### 【G 智慧財產資料表】

| 智財名稱 | 智財類別 | 授予國家 | 有效日期 (YYYYMM) | 成果歸屬 |
|------|------|------|---------------|------|
|------|------|------|---------------|------|

|                   |   |      |                |                           |
|-------------------|---|------|----------------|---------------------------|
| 抗燒結鎳基鈣鋁氧化合物觸媒使用方法 | A | 中華民國 | 申請編號：114139125 | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 一種高效率的乳酸濃縮技術      | A | 中華民國 | 申請編號：114133420 | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 雙相流傳輸分析技術         | A | 中華民國 | 申請中            | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |

註：智財類別分成 A 發明專利、B 新型/設計專利、C 商標、D 專書著作、E 品種；成果歸屬請填細部計畫名稱。

### 【I2 參加技術活動表】

| 成果名稱                              | 技術活動名稱                | 活動性質 | 活動屬性 | 活動日期<br>(YYYYMMDD) | 主辦單位 | 是否獲獎<br>(Y/N) | 成果歸屬                      |
|-----------------------------------|-----------------------|------|------|--------------------|------|---------------|---------------------------|
| 鎳基鈣鋁氧化合物觸媒及其製造方法、蒸汽重組製氫方法、合成氣製造方法 | 2025 台灣創新博覽會發明競賽(TIE) | B    | A    | 20251016~18        | 經濟部  | N             | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

### 【S1 技術服務表】

| 技術服務名稱             | 服務對象類別 | 服務對象名稱     | 服務收入(千元) | 成果歸屬                      |
|--------------------|--------|------------|----------|---------------------------|
| 製程氣體減排處理           | A      | 金○工業研究發展中心 | 500      | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 高通量篩選平台進行 PHA 菌株篩選 | A      | 中○公司       | 2,763    | 永續生物資源循環之減碳與              |

|            |   |      |       |                           |
|------------|---|------|-------|---------------------------|
|            |   |      |       | 高值應用示範計畫(子項二)             |
| 乳酸發酵規模放大試驗 | A | 中○公司 | 2,770 | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |

註：服務對象類別分成 A 國內廠商、B 國外廠商、C 其他(請序明)；成果歸屬請填細部計畫名稱。

# 附件

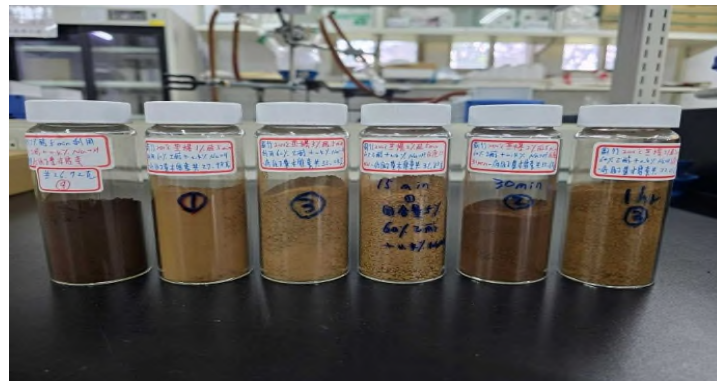


圖 1. 高純度木質素產品

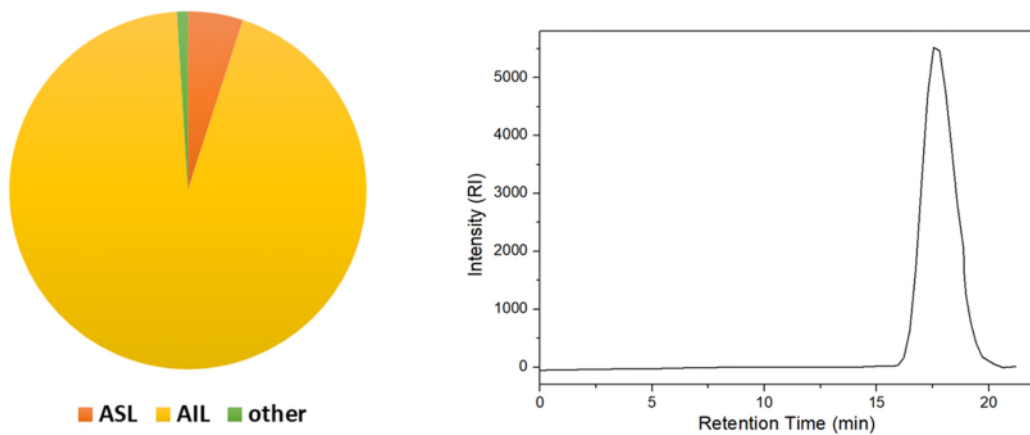


圖 2. 木質素組成(ASL-酸可溶木質素, AIL-酸不可溶木質素)與膠體層析儀(GPC)分析結果

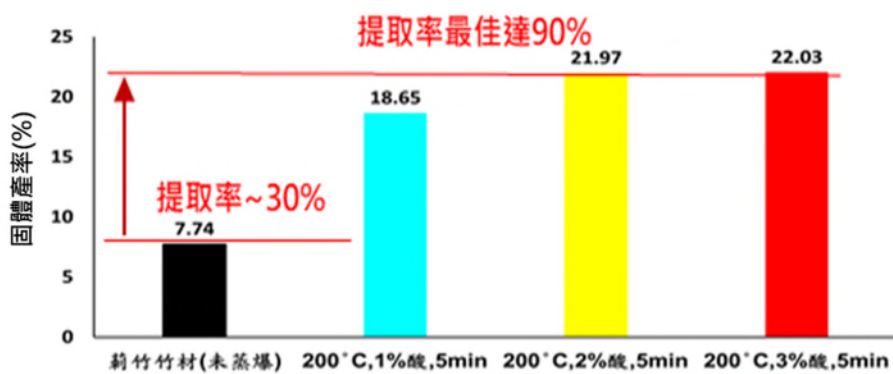


圖 3. 蒸汽爆裂-有機溶劑整合製程木質素萃取成效

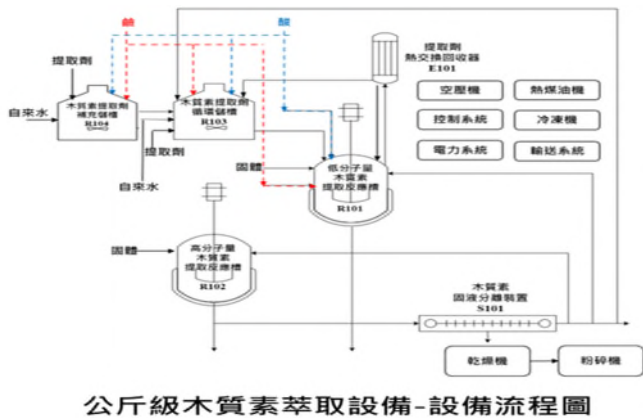


圖 4. 公斤級木質素萃取設備設計暨實貌

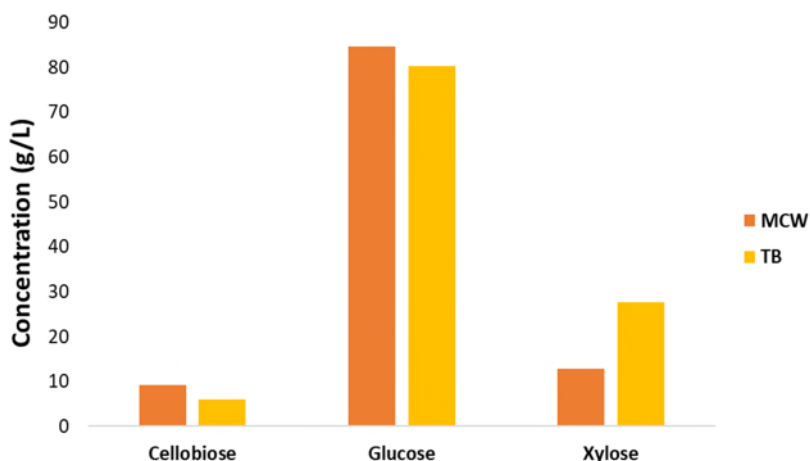


圖 5. 本土荊竹(TB)與相思木(MCW)酸催化蒸爆解聚物之酵素水解糖化成效

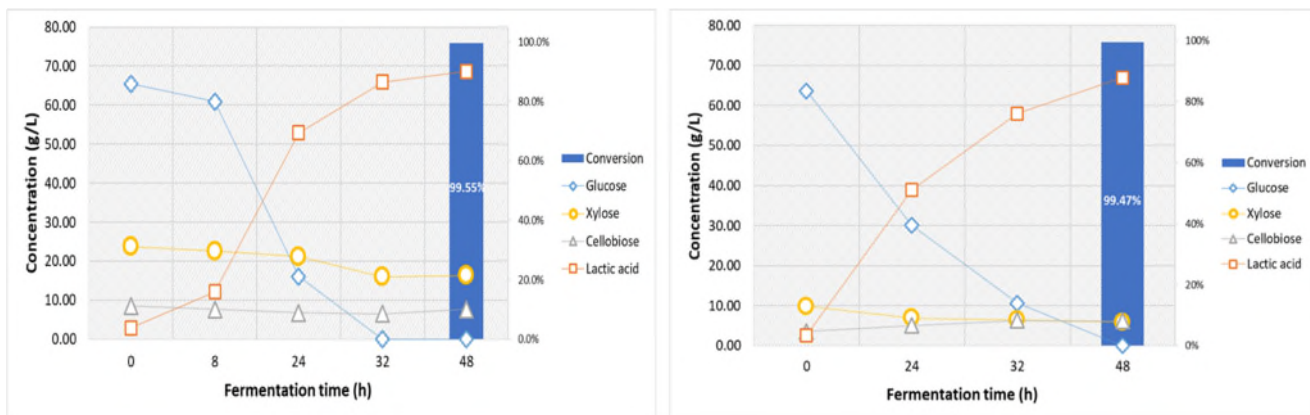


圖 6. 公斤級竹材纖維乳酸發酵成效(圖左)；公斤級木材纖維乳酸發酵成效(圖右)

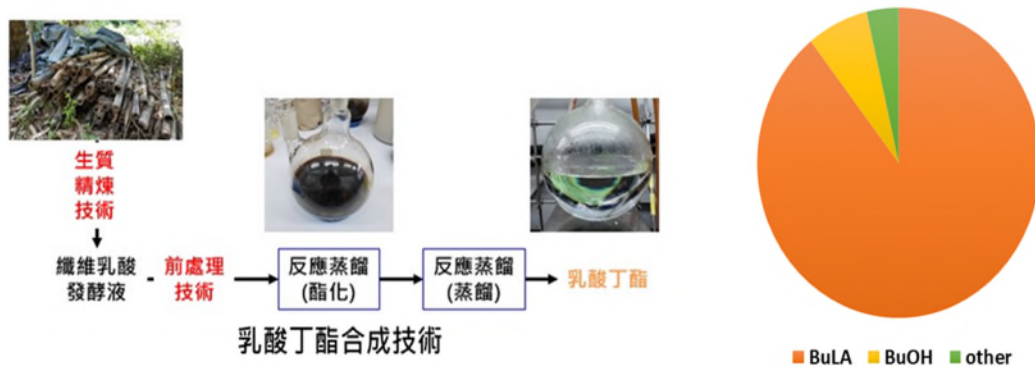


圖 7. 乳酸丁酯合成技術與組成分析結果(BuLA-乳酸丁酯；BuOH-丁醇)

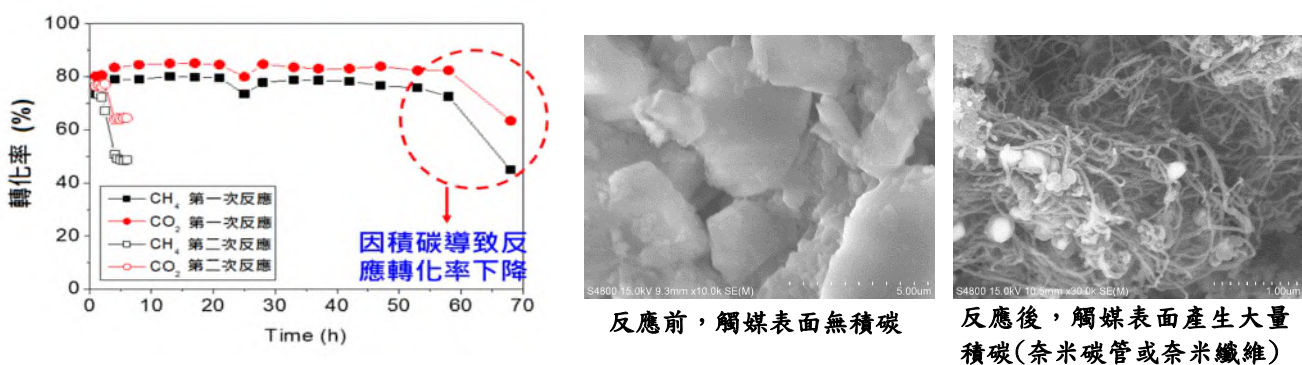


圖 8. 市售 20 wt.% Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 觸媒之空氣鍛燒前後乾重組反應比較 (溫度：800 °C；CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub>=1:1 莫爾比；6,000 cm<sup>3</sup>g<sub>cat</sub><sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)

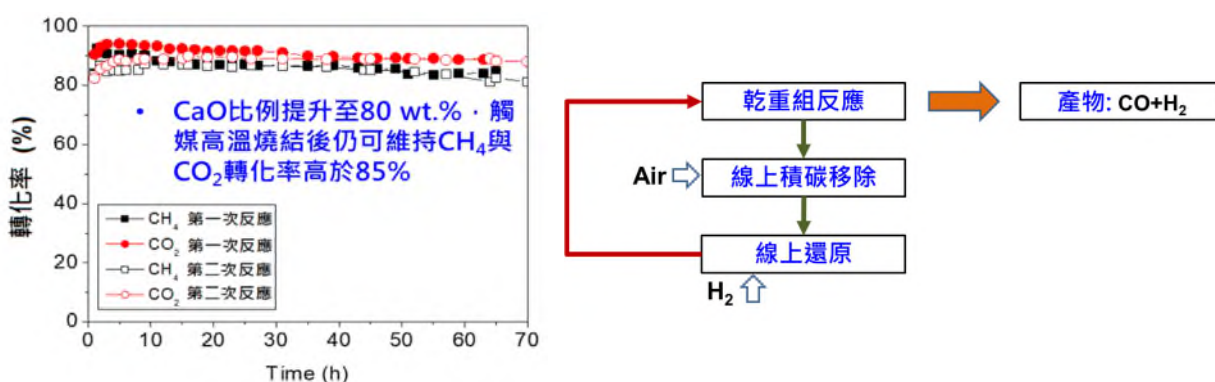


圖 9. (左圖)計畫研製 CaO 修飾 Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 觸媒之空氣鍛燒前後乾重組反應比較 (800 °C 乾重組反應：CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub>=1:1 莫爾比，6,000 cm<sup>3</sup>g<sub>cat</sub><sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)；(右圖)乾重組線上積碳移除操作程序示意



圖 10.  $m^3/h$  等級生質沼氣應用平台實際照片(a)系統主體(b)人機介面控制

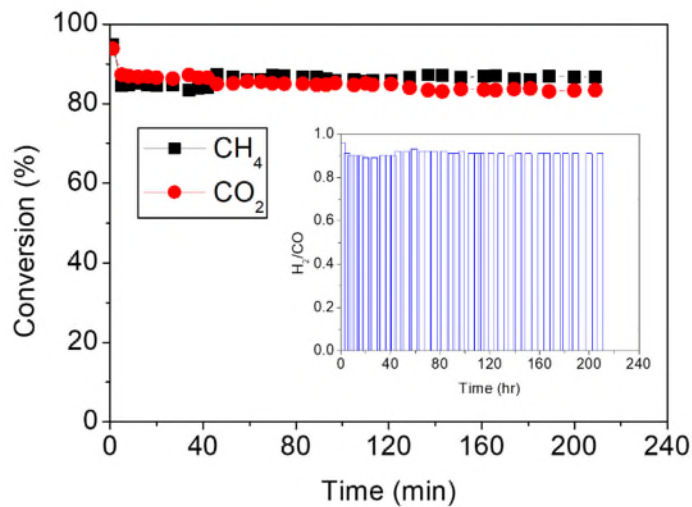


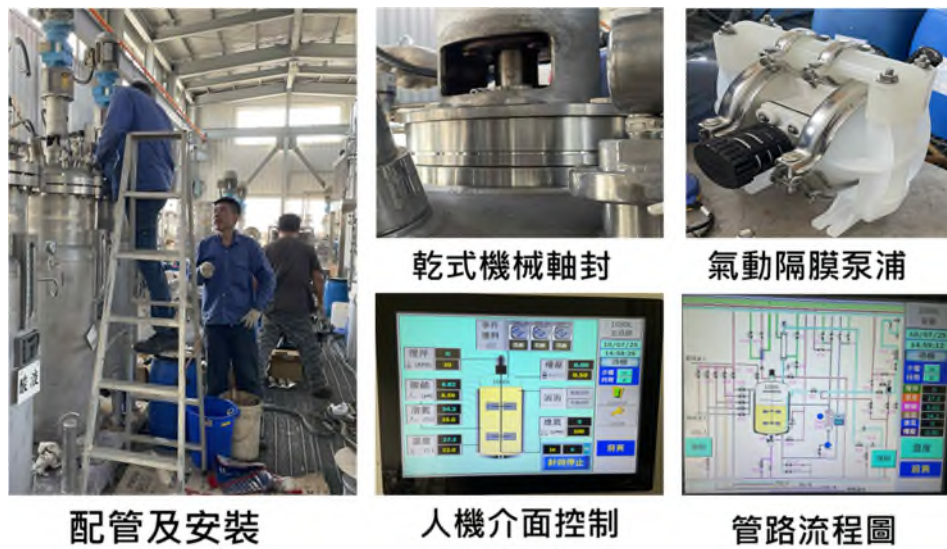
圖 11. 生質沼氣應用平台乾重組反應測試數據(產製規模： $0.1 m^3/h$ ，溫度： $800^\circ C$ ，反應物進料比例  $CH_4 : CO_2 : AIR = 0.5 L/min : 0.5L/min : 0.25L/min$ ，產品氣流量： $\sim 2L/min$ )

表 3.生質循環示範場域設備汰除及維護明細

| 項次 | 狀態   | 設備位置    | 桶槽編號名稱                                      |
|----|------|---------|---|
| 1  | 設備汰除 | A100區   | 030館屋頂物料儲存槽                                 |
| 2  | 設備汰除 | A200區   | A200相關儲槽及反應設備                               |
| 3  | 設備汰除 | A300區   | 331桶槽,333桶槽                                 |
| 4  | 設備汰除 | A600區   | 635桶槽,630桶槽                                 |
| 5  | 設備汰除 | A800區   | 831桶槽,832桶槽, 833桶槽,834桶槽, 835桶槽,839桶槽,840桶槽 |
| 6  | 設備汰除 | 酒精蒸餾區   | 酒精蒸餾設備拆除與更新                                 |
| 7  | 設備汰除 | 物料區     | 硫酸原料槽及配酸槽                                   |
| 8  | 設備新增 | 自動化設備   | 自動進水系統、自動升降機                                |
| 9  | 設備活化 | 九噸級酸鹼桶槽 | 乾式機械軸封、氣動泵浦、馬達電磁接觸器                         |
| 10 | 系統更新 | PLC系統更新 | 15吋彩色觸控螢幕、系統管路流程圖                           |



圖 12. 生質循環示範場域之舊有設備汰除



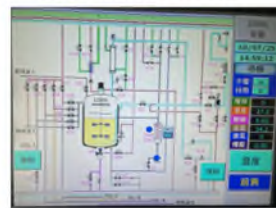
配管及安裝

乾式機械軸封

氣動隔膜泵浦



人機介面控制



管路流程圖

圖 13. 重新活化及規劃生質循環示範場域



林業署和元O生技參訪



南投竹寮合作社



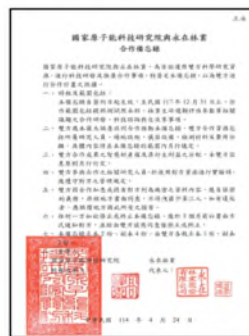
長O化工參訪



開發可取代傳統塑膠的綠色塑膠解決方案，提供客製化及不同特性的配方母粒及解決方案。



圖 14. 廠商訪談及建立合作關係佐證資料



與永O林業之合作備忘錄



屏東車城和相思木屑



與大O境生物科技材料之合作意願書



與永O林業之合作意願書

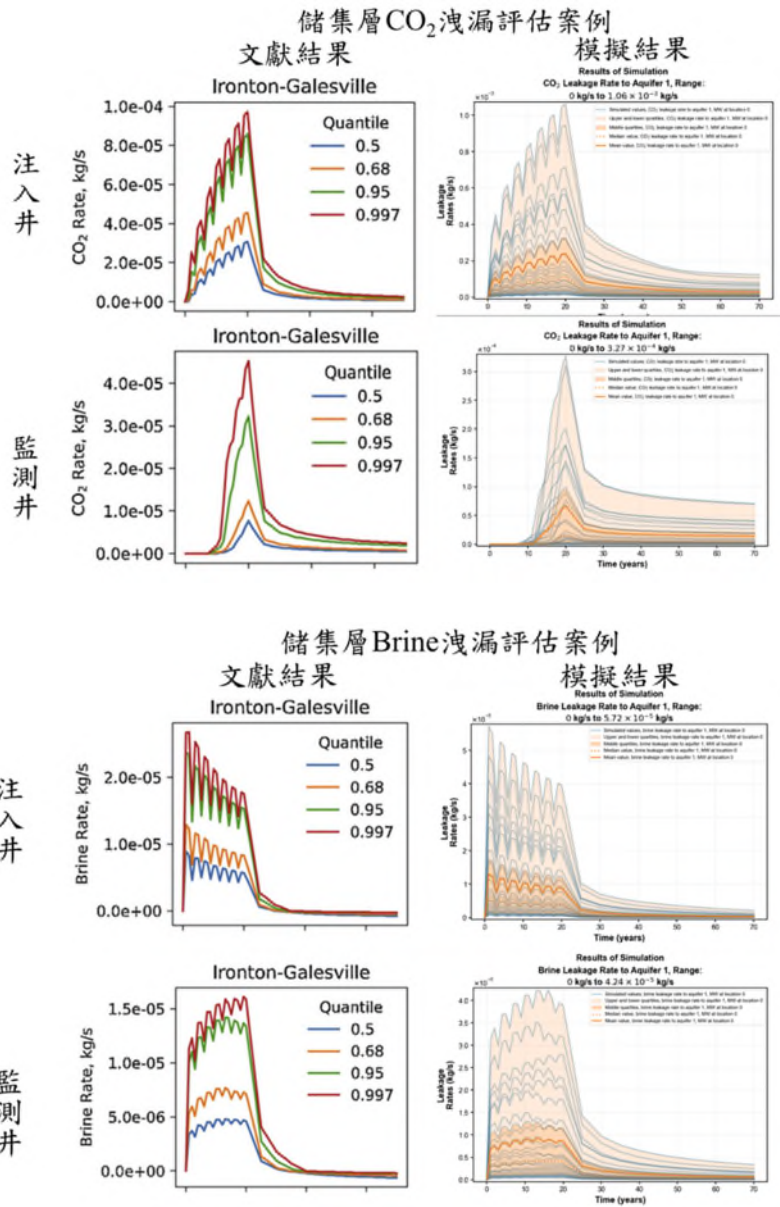


圖 16. 洩漏案例評估圖

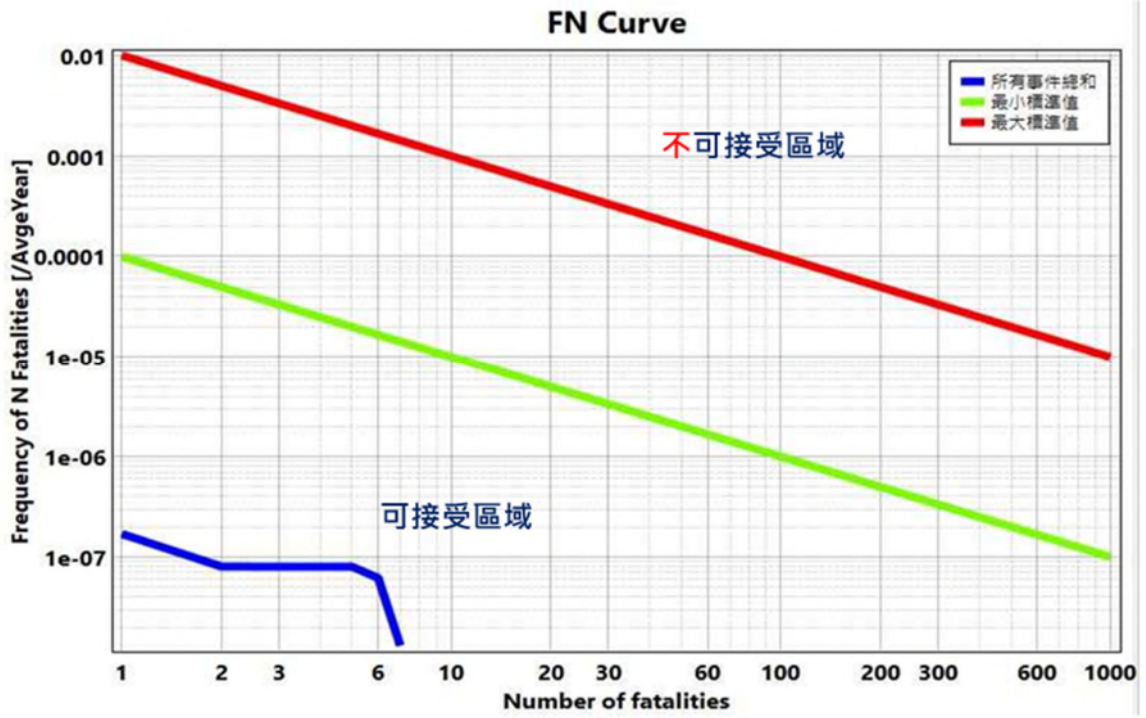


圖 17. 二氧化碳輸送管線洩漏之風險評估圖

### 三、其他補充說明

| 細部計畫                                | 執行機構       | 法定數<br>(千元) | 占比(%)   |
|-------------------------------------|------------|-------------|---------|
| 1.淨零排放-<br>永續生物資源循環之減碳與<br>高值應用示範計畫 | 國家原子能科技研究院 | 58,800      | 100.00% |

## 附錄、細部計畫

### 一、全程架構及經費

| 項目                            | 年度        | 114年度<br>決算數(執行率) | 115年度<br>預算數 | 116年度<br>申請數 | 117年度<br>申請數 |
|-------------------------------|-----------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| 科技計畫總計                        |           | 58,799(100.00%)   | 0            | 0            | 0            |
| 淨零排放-<br>永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫 | 小計        | 58,799(100.00%)   | 0            | 0            | 0            |
|                               | (一)經常支出   | 28,800(100.00%)   | 0            | 0            | 0            |
|                               | 1. 人事費    | 0(%)              | 0            | 0            | 0            |
|                               | 2. 材料費    | 734(10.31%)       | 0            | 0            | 0            |
|                               | 3. 其他經常支出 | 28,066(129.46%)   | 0            | 0            | 0            |
|                               | (二)資本支出   | 29,999(100.00%)   | 0            | 0            | 0            |
|                               | 1. 土地建築   | 0(%)              | 0            | 0            | 0            |
|                               | 2. 儀器設備   | 23,999(100.00%)   | 0            | 0            | 0            |
|                               | 3. 其他資本支出 | 6,000(100.00%)    | 0            | 0            | 0            |

## 二、年度執行摘要

|   |   |  |          |                             |                |
|---|---|--|----------|-----------------------------|----------------|
| 細部計畫 1  | 淨零排放-永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫                             | 計畫屬性   | 產業技術研發   | 執行機關                        | 行政法人國家原子能科技研究院 |
| 重點描述  | 發展本土生物循環創新加值與碳利用技術，建立放大應用實績及示範場域驗證，作為發展生物循環產業及展現負碳效益。 |  |          |                             |                |
| 預算數 (千元)  | 決算數 (千元)  | 執行率 (%)  | 節餘數 (千元) | 總人力 (人年)<br>實際/規劃           |                |
| 58,800  | 58,799  | 100.00%  | 1        | 28/28.2                     |                |
| 其他資源投入  |   |  |          |                             |                |
| 預期關鍵成果  |   | 關鍵成果達成情形   |          | 主要成果使用者/服務對象/合作對象           |                |
| <p>涉及科技計畫層級之預期關鍵成果：</p> <p>1-1:建立木竹木質素萃取及高值應用技術，替代石化品可降低碳足跡 30%以上，技術成熟度由 TRL 4 提升到 TRL 7。</p> <p>細部計畫預期關鍵成果說明：</p> <p>無</p> |   | <p>1.建立木質素有機溶劑萃取/純化分級技術，衍生木質素 PDI 值小於 1.5，產品純度最佳可達 99%，已達國際商用規格水準。</p> <p>2.建立蒸汽爆裂-有機溶劑木質素萃取之二階段前處理製程暨完成參數優化，於優化條件下木質素提取率可達 90% 以上。</p> <p>3.建置公斤級木質素萃取測試平台，另以竹材酸催化解聚物完成公斤級木質素萃取實料測試，奠定木質素試量產雛</p> |          | 元 O 生技、長 O 石化、大 O 淨公司、紡 O 所 |                |

|   |  |                    |
|---|--|--------------------|
|   | <p>形製程與生物芳香族高值化產品開發基礎。</p> <p>4.完成木質素阻燃劑產品化應用先期評估，使用計畫研製木質素，混摻聚乙烯(PE)/聚丙烯(PP)與阻燃劑開發生質阻燃酯粒，其中木質素之鹼性官能基將影響阻燃成效，未來可透過表面改質引入酸性官能基改善阻燃效能。</p>   |                    |
| <p>涉及科技計畫層級之預期關鍵成果：<br/>1-2:木竹之乳酸衍生高值化學品及材料化技術，可降低替代化學品碳足跡 30%以上，技術成熟度由 TRL 4 提升到 TRL 7。</p> <p>細部計畫預期關鍵成果說明：<br/>無</p> | <p>1.完成本土木竹料源酸催化蒸爆糖化參數優化，於公斤級高固液比(20%)水解操作條件下，木竹解聚物衍生水解糖液之葡萄糖濃度皆可達 80 g/L 以上。</p> <p>2.建立本土木竹纖維乳酸發酵製程，使用本院專利乳酸菌株(Lactobacillus casei 7BL)完成木竹乳發酵測試，乳酸轉化率均可達 99%以上，具產業應用潛力。</p> <p>3.以本土蔴竹乳酸發酵液為原料，基於反應蒸餾法完成乳酸丁酯合成製程暨參數建立；開發兩段式蒸餾純化製程，藉由第一段減壓蒸餾分離丁醇；再行藉由第二段減壓蒸餾獲取高純度乳酸丁酯；所得乳酸丁酯產品純度可接近 90%。</p> | <p>南投竹寮林業生產合作社</p> |
| <p>涉及科技計畫層級之預期關鍵成果：<br/>1-3:負碳排合成氣乾重組生產綠氫製程及關鍵觸媒合成技術研發，並完成生質氣 CO2 再利用 1m3/hr 單元及進行場域測試。技術成熟度由 TRL3 提升到</p>              | <p>1.完成百克級乾重組觸媒製程技術開發，另完成 m3/h 級重組反應系統活化暨平台測試。</p> <p>2.利用鹼金屬(CaO)完成鎳基觸媒修飾</p>   | <p>金 O 中心</p>      |

|   |  |               |
|---|--|---------------|
| <p>TRL6。</p> <p>細部計畫預期關鍵成果說明：<br/>無</p>   | <p>獲取抗積碳成效，於反應溫度 800oC，CH4/CO2 莫爾比 1：1 之條件下，燃氣 (CH4/CO2)轉化率可大於 85%，產品氣體 H2/CO 莫爾比值於 0.9；完成積碳速率評估，於 800oC 下平均積碳速率約 20 mgcoke/gcat-1h-1，屬於國際文獻觸媒積碳速率範圍 (0.1-70 mgcoke/gcat-1h-1)。</p> <p>3.完成觸媒性能優化，藉由調控鹼金屬 (CaO)與鎳基觸媒(Ni/Al2O3)比例，減少觸媒因積碳致使觸媒結構崩解粉化之現象，有效維繫觸媒於長時間操作下之反應性能。</p> <p>4.以 0.1 m3/h 規模進行乾重組反應測試，800°C 溫度累積時間超過 200 小時，CH4、CO2 轉化率分別為 87%與 83%，產出 H2/CO&gt;0.9(理論值為 1)，達國際水準。</p> |               |
| <p>涉及科技計畫層級之預期關鍵成果：<br/>2-1:建置及擴充生物循環所需生質精煉場域驗證設施，提供為國內生物循環技術放大測試應用之示範基地</p> <p>細部計畫預期關鍵成果說明：<br/>無</p> | <p>1. 執行噸級測試場老舊設備拆除與更新作業，本季已完成既有蒸餾系統報廢與場區清理，拆除稻稈進料系統、高壓活塞缸體、電動捲揚機、塔槽及管線、酒精溶液純化濃縮系統等共 27 項設備，完成本院第三個案例，減帳並進行原地拆除拍賣以樽節公帑，提供後續製程驗證等設備使用空間。</p> <p>2. 強化噸級廠智慧化與自動化功能，本期依據智慧化工廠架構，著手建置人機</p>  | <p>中 O 公司</p> |

|   |   |                                      |
|---|---|--------------------------------------|
|   | <p>介面(HMI)遠端監控及自動進料系統，推動製程數位化與資訊整合，可有效增進製程效率及降低設備碳排，提供國內生物循環技術放大測試應用之示範基地。</p>  |                                      |
| <p>涉及科技計畫層級之預期關鍵成果：<br/>2-2:建立整合上中游之生物循環資源化技術與 BECCUS 之示範驗證，並建立 2 件廠商技轉或合作開發案。</p> <p>細部計畫預期關鍵成果說明：<br/>無</p> | <p>1. 整合上游之生物循環之資源：在林業部分，上游廠商已與永○林業合作簽署合作備忘錄，針對林木栽植、砍伐採收、集運加工進行能源及活動量之盤查，在竹業部分，與南投竹○合作社進行木竹共生計畫之合作，協助推廣竹淬水，並預計共同參與 115 年南投竹博覽會。</p> <p>2. 尋找中下游之生物資源應用之出海口，目前與「台灣先○酒精公司」和「承○發公司」建立合作關係，透過玉米澱粉當做原料，進行消毒酒精之生產，本計畫亦與大環○生物科技材料公司合作進行「生質材料產品化研發」，針對木質素等生質材料，進行產品應用和市場資訊之開發與交流。</p> <p>3. 運用生質精煉廠軟硬體設施，114 年協助完成中○公司委託之技術服務案，「高通量篩選平台進行 PHA 菌株篩選」、「乳酸發酵規模放大試驗」，金額共計 5,533 千元。</p> | <p>永○林業、台灣先○酒精、竹○合作社、大環○生物科技材料公司</p> |
| <p>涉及科技計畫層級之預期關鍵成果：<br/>2-3:經由技術研發及示範驗證，完成生物循環整合 BECCUS 示範場域之能源、環境、經濟效益及安全</p>                                | <p>使用二氧化碳井洩漏評估軟體 NRAP-Open-IAM，以本土潛在碳封存場址砂、頁岩互層特性相近的美國碳封存計畫</p>   | <p>Battelle</p>                      |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p>風險評估，據此建立推動本土生物循環產業聚落發展之範例，並展現負碳效益驗證方法。</p> <p>細部計畫預期關鍵成果說明：<br/>無</p> | <p>FutureGen2.0 資料，進行儲集層二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)及鹽水(Brine) 洩漏案例測試，於注入井及監測井之洩漏模擬結果，驗證 NRAP-Open-IAM 於井洩漏情境下整合儲集層、井與上覆含水層模組之模擬功能，可作為後續本土案例情境分析與參數敏感度研究之基準模型。</p>   |  |
| <p><b>遭遇困難與因應對策</b></p>   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 產品化開發之物料供應：針對如木質素生物芳香族產品之開發，須具備穩定且足量之木質素前驅物供材料特性驗證、配方設計與應用測試。如僅依賴實驗室規模之製程進行供料，不僅生產效率有限，亦將大幅增加時間/人力成本，進而影響技術研發與產品化進程。因應對策：配合公斤級製程開發與製程條件優化，逐步建立木質素試量產製程雛形，提升木質素前驅物之供應量與批次穩定性，有效縮短材料測試與回饋週期，提升產品技術驗證與產品化開發進度。</li> <li>2. 在推動上、中、下游整合過程中，涉及原物料供應商、研發團隊與產品應用端等多元界面，協作過程面臨跨領域溝通與需求整合的挑戰。為提升整合效率與推動實質進展，計畫團隊將建構常態化的溝通協調機制，促進產學研之間的資訊流通與技術對接，並透過定期工作會議與階段性檢討，滾動式修正研發方向與推廣策略，強化技術成熟度與市場落地性，加速創新技術在產業端的實際應用。</li> </ol> |  |

## 附表、佐證資料表

### 【A 論文表】

| 題 名   | 第一作者 | 發表年(西元年)  | 文獻類別 | 成果歸屬                      |
|---|------|-----------|------|---------------------------|
| Regeneration strategy for spent bi-functional catalyst bed in a cyclic sorption-enhanced steam reforming process          | 陳建宏  | 2025(審查中) | D    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| Steam explosion for Bambusa stenostachya Bamboo saccharification  | 王蔚   | 2025(審查中) | D    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| Acid-catalyzed steam explosion for lactic acid production from Bambusa stenostachya                                       | 王蔚   | 2025(審查中) | D    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 現地畜殖廢水碳酸化於微藻養殖之可行性評估  | 張彧飛  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 中空 SiO <sub>2</sub> 鎳基觸媒製備與甲烷化測試  | 張彧飛  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 鈣修飾觸媒於甲烷乾重組反應之性能優化研究  | 劉淑慧  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| The Numerical Study of the Effects of Dissolved Carbon Dioxide on the Mineral Composition and Porosity of Subsurface Rock | 陳柏壯  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |
| 以台西盆地進行二氧化碳地質封存模擬之案例研究  | 簡偉駿  | 2025      | E    | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |

註：文獻類別分成 A 國內一般期刊、B 國內重要期刊、C 國外一般期刊、D 國外重要期刊、E 國內研討會、F 國際研討會、G 國內專書論文、H 國際專書論文；成果歸屬請填細部計畫名稱。

**【C 培育及延攬人才表】**

| 姓名    | 機構名稱   | 學歷 | 性質 | 成果歸屬                      |
|-------|--------|----|----|---------------------------|
| 康 O 心 | 國立清華大學 | B  | A  | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 林 O 壕 | 國立交通大學 | A  | A  | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |

註：學歷分成 A 博士(含博士生)、B 碩士(含碩士生)、C 學士(含大學生)；性質分成 A 參與計畫、性質分成 B 學程通過、C 培訓課程通過、D 國際學生/學者交換、E 延攬人才；成果歸屬請填細部計畫名稱。

**【D1 研究報告表】**

| 報告名稱                   | 作者姓名 | 出版年(西元年) | 是否被採納                | 成果歸屬                      |
|------------------------|------|----------|----------------------|---------------------------|
| 甲烷乾重組技術與觸媒發展應用之探討      | 劉淑慧  | 2025     | 是，C<br>(NARI-18601)  | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 竹材木質素提取技術評估研究          | 莊禮璟  | 2025     | 是，C<br>(NARI-18211)  | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 孟宗竹有機溶劑重複萃取低、高木質素製程研究  | 劉秀雯  | 2025     | 是，C<br>(NARI-18236R) | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 倉儲米乳酸發酵液濃縮及公斤級乳酸純化效率研究 | 林羿村  | 2025     | 是，C<br>(NARI-18140R) | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 薄膜蒸餾技術用於濃縮之可行性探討       | 林羿村  | 2025     | 是，C                  | 永續生物資源循環之減碳與高值            |

|                |     |      |               |                           |
|----------------|-----|------|---------------|---------------------------|
|                |     |      | (NARI-18501R) | 應用示範計畫(子項一)               |
| 纖維乳酸廠財務可行性初步評估 | 詹明峰 | 2025 | 是，C           | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |

註：是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

### 【E 學術活動表】

| 研討會名稱                               | 性質 | 舉辦日期<br>(YYYYMMDD)     | 主/協辦單位          | 成果歸屬                      |
|-------------------------------------|----|------------------------|-----------------|---------------------------|
| HEFC2025 國際氫能與燃料電池學術研討會暨氫能與燃料電池技術論壇 | A  | 2025/6/18 -2025/6/20   | 台灣氫能與燃料電池學會     | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| TwIChE 台灣化學工程學會 72 週年年會             | A  | 2025/11/29 -2025/11/30 | 台灣工程與科技創新學會     | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| CCS Risk Assessment Workshop        | B  | 2025/10/21 -2025/10/23 | 國家原子能科技研究院      | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |
| 地下環境模擬與 AI 應用台韓國際研討會                | B  | 2024/10/20             | 國家原子能科技研究院/中央大學 | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |
| 歐洲生質能研討會暨商業展覽會                      | B  | 2025/6/9-12            | 歐盟委員會           | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |

註：性質分成 A 國內研討會、B 國際研討會、C 兩岸研討會；成果歸屬請填細部計畫名稱。

### 【G 智慧財產資料表】

| 智財名稱 | 智財類別 | 授予國家 | 有效日期 (YYYYMM) | 成果歸屬 |
|------|------|------|---------------|------|
|------|------|------|---------------|------|

|                   |   |      |                |                           |
|-------------------|---|------|----------------|---------------------------|
| 抗燒結鎳基鈣鋁氧化合物觸媒使用方法 | A | 中華民國 | 申請編號：114139125 | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 一種高效率的乳酸濃縮技術      | A | 中華民國 | 申請編號：114133420 | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 雙相流傳輸分析技術         | A | 中華民國 | 申請中            | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |

註：智財類別分成 A 發明專利、B 新型/設計專利、C 商標、D 專書著作、E 品種；成果歸屬請填細部計畫名稱。

### 【I2 參加技術活動表】

| 成果名稱                              | 技術活動名稱                | 活動性質 | 活動屬性 | 活動日期<br>(YYYYMMDD) | 主辦單位 | 是否獲獎<br>(Y/N) | 成果歸屬                      |
|-----------------------------------|-----------------------|------|------|--------------------|------|---------------|---------------------------|
| 鎳基鈣鋁氧化合物觸媒及其製造方法、蒸汽重組製氫方法、合成氣製造方法 | 2025 台灣創新博覽會發明競賽(TIE) | B    | A    | 20251016~18        | 經濟部  | N             | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

### 【S1 技術服務表】

| 技術服務名稱             | 服務對象類別 | 服務對象名稱     | 服務收入(千元) | 成果歸屬                      |
|--------------------|--------|------------|----------|---------------------------|
| 製程氣體減排處理           | A      | 金○工業研究發展中心 | 500      | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項一) |
| 高通量篩選平台進行 PHA 菌株篩選 | A      | 中○公司       | 2,763    | 永續生物資源循環之減碳與              |

|            |   |      |       |                           |
|------------|---|------|-------|---------------------------|
|            |   |      |       | 高值應用示範計畫(子項二)             |
| 乳酸發酵規模放大試驗 | A | 中○公司 | 2,770 | 永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(子項二) |

註：服務對象類別分成 A 國內廠商、B 國外廠商、C 其他(請序明)；成果歸屬請填細部計畫名稱。

# 附件

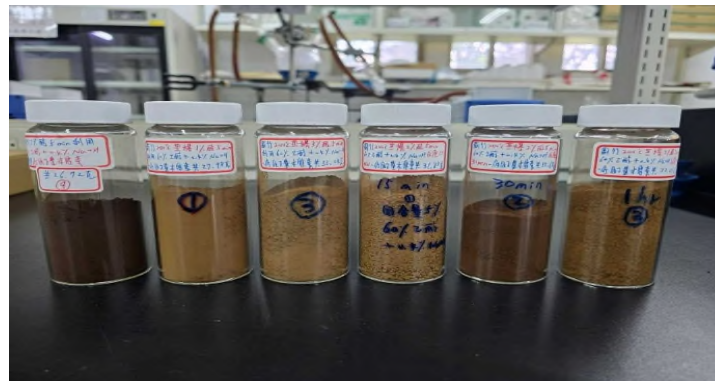


圖 1. 高純度木質素產品

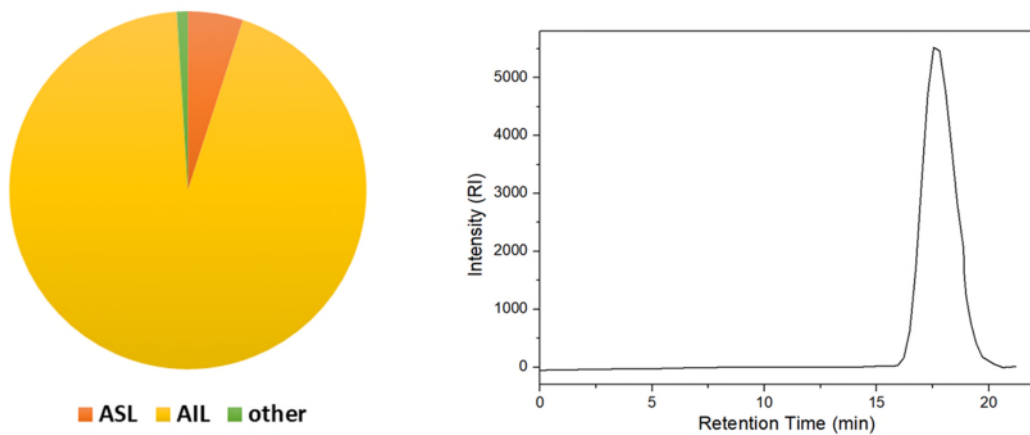


圖 2. 木質素組成(ASL-酸可溶木質素, AIL-酸不可溶木質素)與膠體層析儀(GPC)分析結果

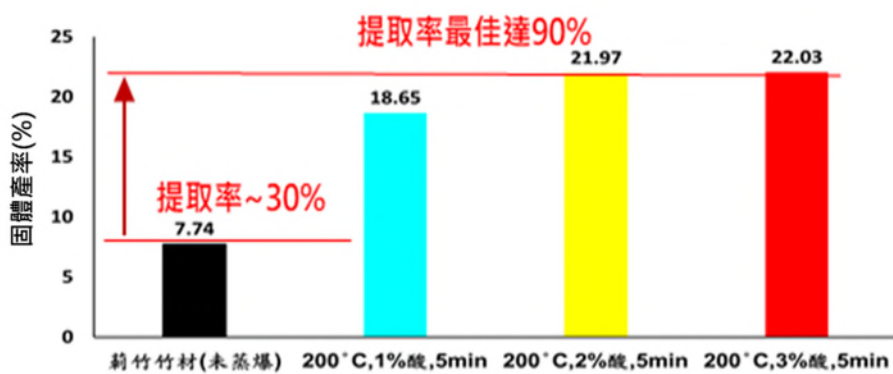


圖 3. 蒸汽爆裂-有機溶劑整合製程木質素萃取成效

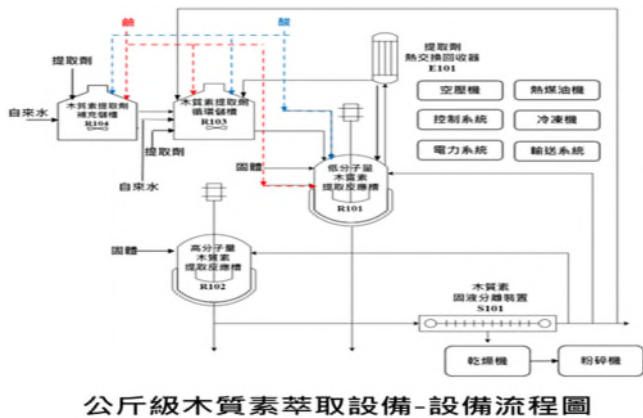


圖 4. 公斤級木質素萃取設備設計暨實貌

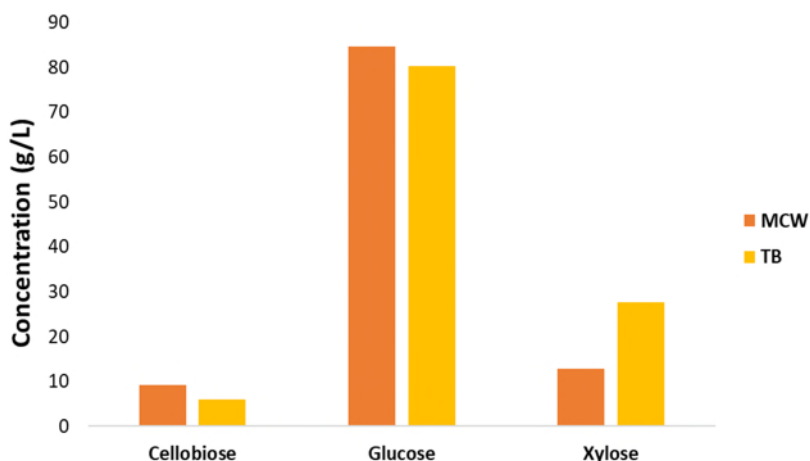


圖 5. 本土荊竹(TB)與相思木(MCW)酸催化蒸爆解聚物之酵素水解糖化成效

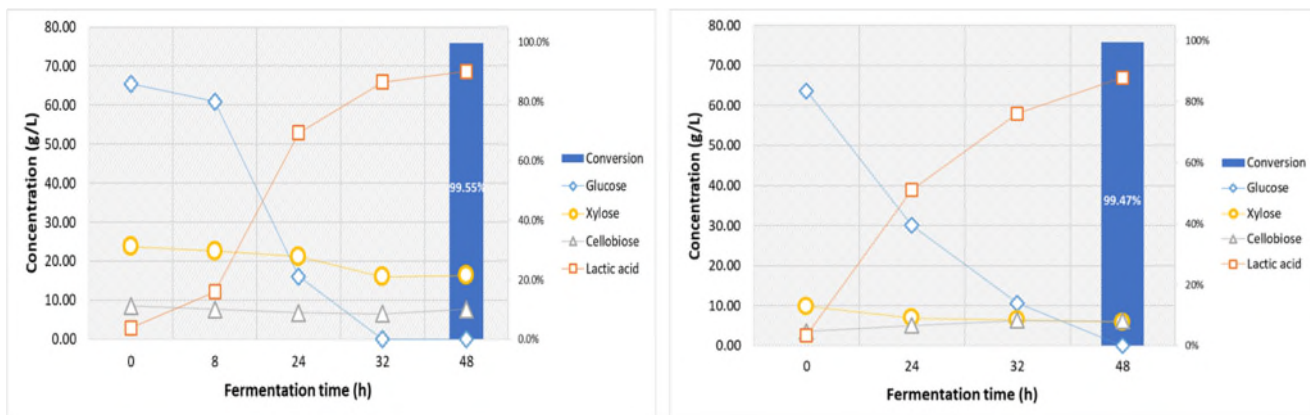


圖 6. 公斤級竹材纖維乳酸發酵成效(圖左)；公斤級木材纖維乳酸發酵成效(圖右)

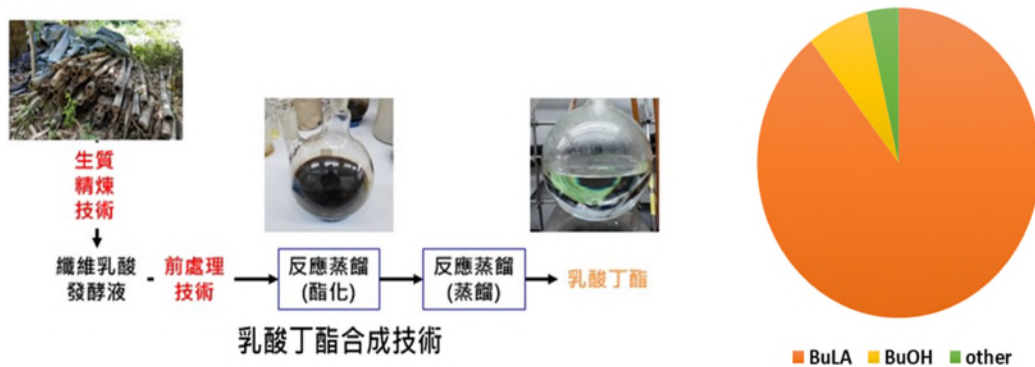


圖 7. 乳酸丁酯合成技術與組成分析結果(BuLA-乳酸丁酯；BuOH-丁醇)

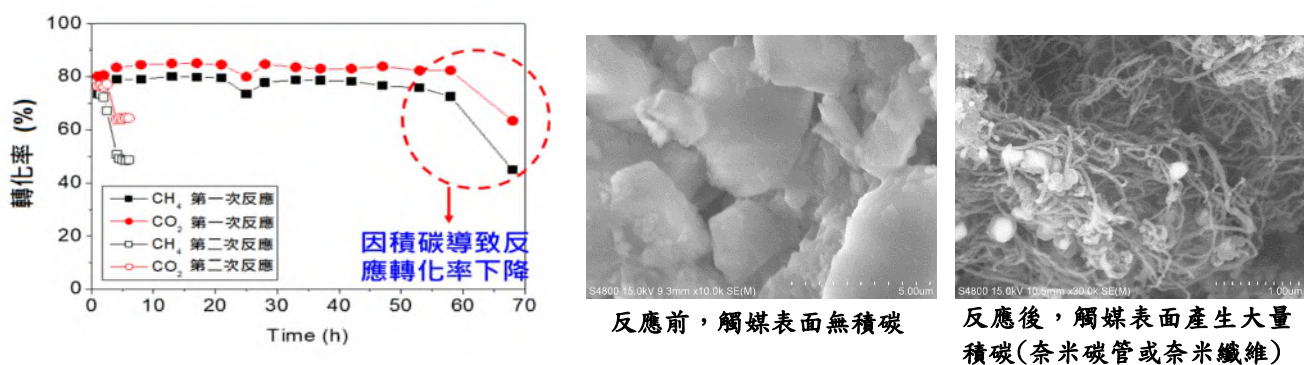


圖 8. 市售 20 wt.% Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 觸媒之空氣鍛燒前後乾重組反應比較 (溫度：800 °C；CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub>=1:1 莫爾比；6,000 cm<sup>3</sup>g<sub>cat</sub><sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)

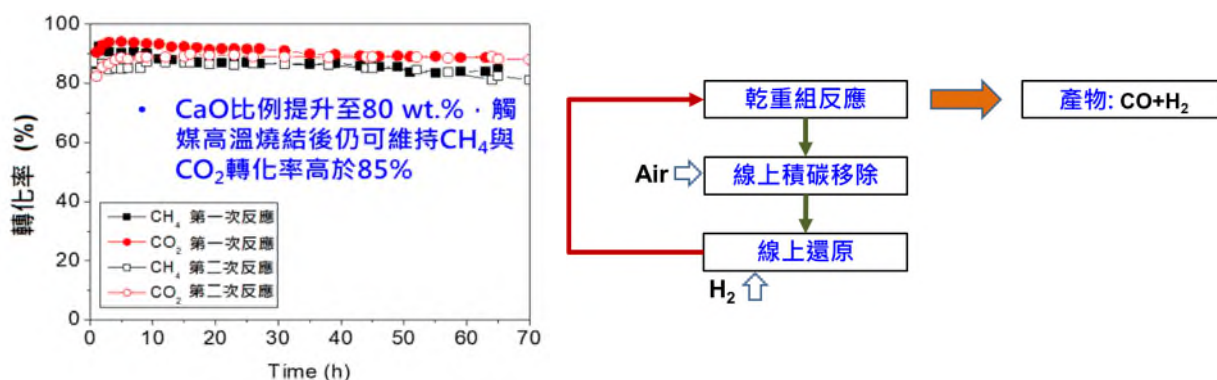


圖 9. (左圖)計畫研製 CaO 修飾 Ni/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 觸媒之空氣鍛燒前後乾重組反應比較 (800 °C 乾重組反應：CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub>=1:1 莫爾比，6,000 cm<sup>3</sup>g<sub>cat</sub><sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)；(右圖)乾重組線上積碳移除操作程序示意



圖 10.  $m^3/h$  等級生質沼氣應用平台實際照片(a)系統主體(b)人機介面控制

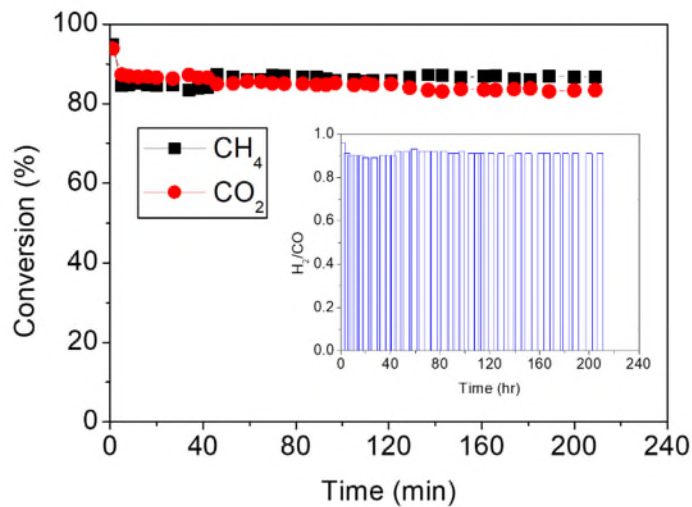


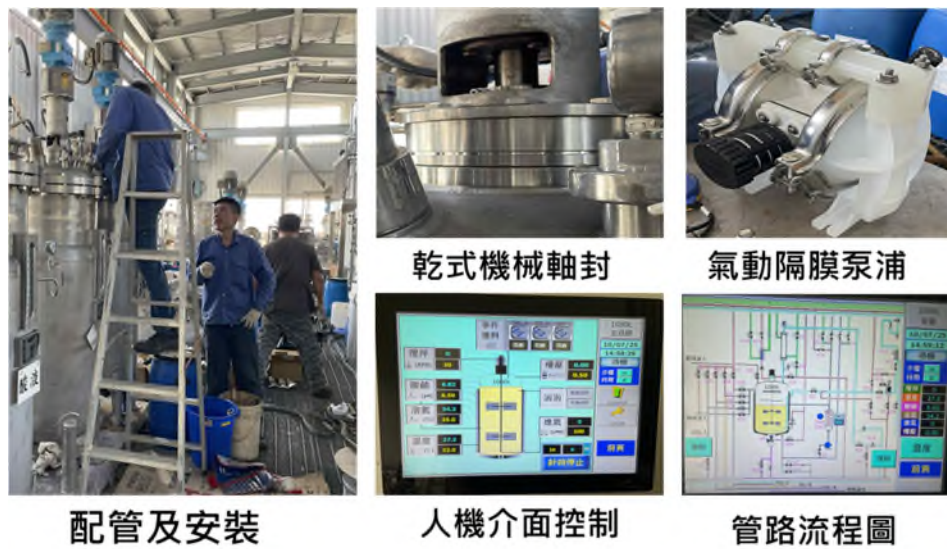
圖 11. 生質沼氣應用平台乾重組反應測試數據(產製規模： $0.1 m^3/h$ ，溫度： $800^\circ C$ ，反應物進料比例  $CH_4 : CO_2 : AIR = 0.5 L/min : 0.5L/min : 0.25L/min$ ，產品氣流量： $\sim 2L/min$ )

表 3.生質循環示範場域設備汰除及維護明細

| 項次 | 狀態   | 設備位置    | 桶槽編號名稱                                      |
|----|------|---------|---|
| 1  | 設備汰除 | A100區   | 030館屋頂物料儲存槽                                 |
| 2  | 設備汰除 | A200區   | A200相關儲槽及反應設備                               |
| 3  | 設備汰除 | A300區   | 331桶槽,333桶槽                                 |
| 4  | 設備汰除 | A600區   | 635桶槽,630桶槽                                 |
| 5  | 設備汰除 | A800區   | 831桶槽,832桶槽, 833桶槽,834桶槽, 835桶槽,839桶槽,840桶槽 |
| 6  | 設備汰除 | 酒精蒸餾區   | 酒精蒸餾設備拆除與更新                                 |
| 7  | 設備汰除 | 物料區     | 硫酸原料槽及配酸槽                                   |
| 8  | 設備新增 | 自動化設備   | 自動進水系統、自動升降機                                |
| 9  | 設備活化 | 九噸級酸鹼桶槽 | 乾式機械軸封、氣動泵浦、馬達電磁接觸器                         |
| 10 | 系統更新 | PLC系統更新 | 15吋彩色觸控螢幕、系統管路流程圖                           |



圖 12. 生質循環示範場域之舊有設備汰除



配管及安裝

乾式機械軸封

氣動隔膜泵浦

人機介面控制

管路流程圖

圖 13. 重新活化及規劃生質循環示範場域



林業署和元O生技參訪



南投竹寮合作社



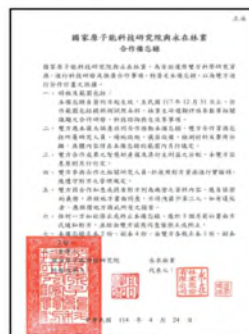
長O化工參訪



開發可取代傳統塑膠的綠色塑膠解決方案，提供客製化及不同特性的配方母粒及解決方案。



圖 14. 廠商訪談及建立合作關係佐證資料



與永O林業之合作備忘錄



屏東車城和相思木屑



與大O境生物科技材料之合作意願書



圖 15. 與相關廠商簽訂合作意願書

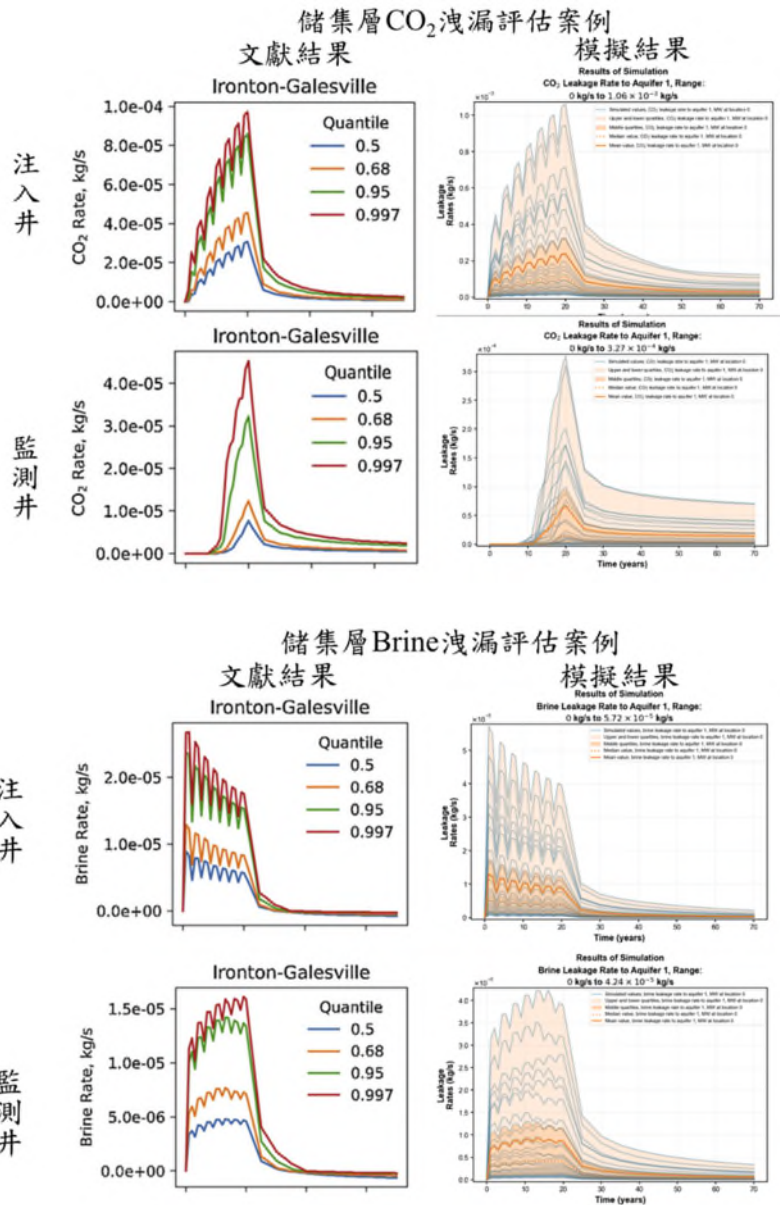


圖 16. 洩漏案例評估圖

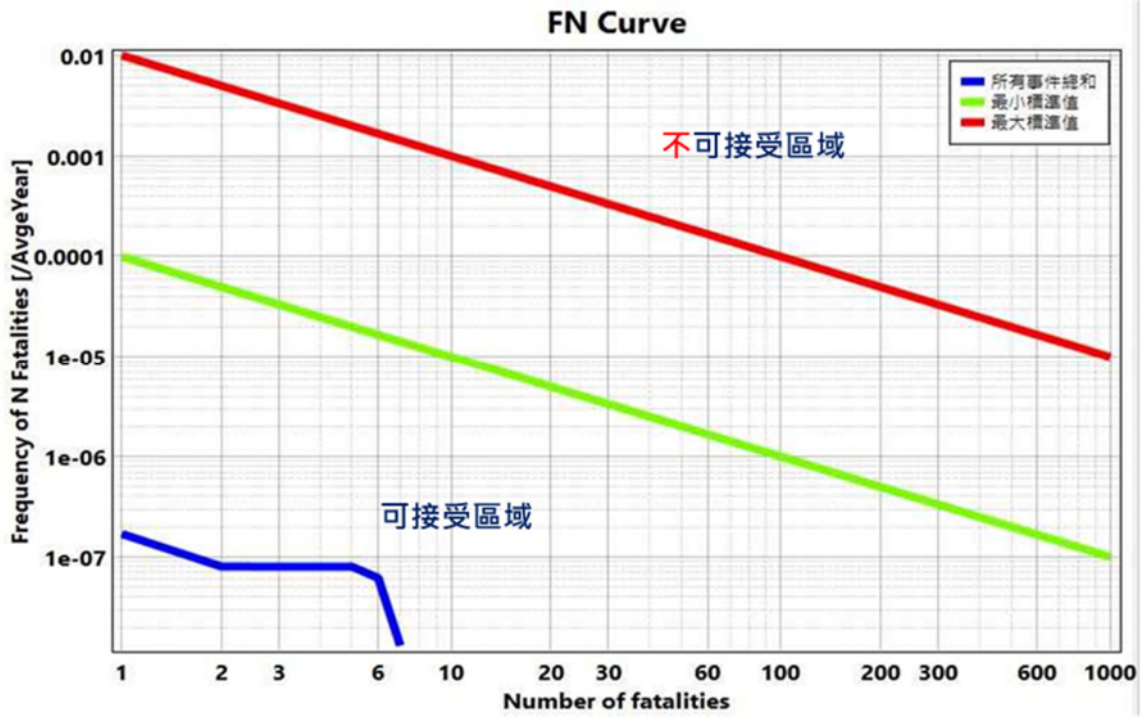


圖 17. 二氧化碳輸送管線洩漏之風險評估圖

# 114 年度政府科技計畫績效自評報告審查表 ( F003 )

計畫名稱：淨零排放-永續生物資源循環之減碳與高值應用示範計畫(1/4)

執行期間：

全程：自 114 年 01 月 01 日 至 117 年 12 月 31 日止

本期：自 114 年 01 月 01 日 至 114 年 12 月 31 日止

執行單位：國家原子能科技研究院

執行經費：新臺幣 58,800 千元

---

---

評估委員：吳耿東、柯淳涵、謝哲隆

主管機關：核能安全委員會

中華民國 115 年 3 月 10 日

## 壹、計畫實際執行與原計畫目標符合程度(35%)

(本項目在評核計畫之執行是否符合原計畫之目標及內容，並就所遭遇困難提出有效因應對策，若有差異，經說明後是否可接受)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90分以上、良：89分-80分、可：79分-70分、待改善：69分-60分、劣：59分以下)

1. 本計畫以發展本土生物循環創新增值與碳利用技術，建立示範場域與應用模式為總體目標，並結合生質精煉、生物材料與碳捕捉利用等技術，作為推動淨零排放之關鍵策略。年度執行成果顯示，已完成木質素高純度萃取技術建立、乳酸及其衍生物合成參數優化，以及公斤級木質素萃取設備建置等研發成果，並逐步建立生物資源循環利用之技術基礎，整體執行方向與原計畫目標相符。
2. 針對1-1工項，為建立萃取高純度木質素，結果呈現PDI值已達國際商用規格水準，請再補充除PDI值外其他合規標準的指標尚有哪些？亦請再說明因應不同合規標準下的國內外市場商用發展策率為何？
3. 針對1-2工項，為建立乳酸丁酯合成，完成乳酸丁酯純化，使用原料為丁醇。選用丁醇原因為何？其他多元醇類的應用性及商業性為何？建議補充商用經濟成本的可行性評估。
4. 針對1-3工項，乾重組觸媒合成應用於生質氣 $CH_4$ 及 $CO_2$ 再利用，產製合成氣 $H_2+CO$ ，觸媒運作因積碳的失活，其再生改善成效進行測試，並驗證其使用生命週期。
5. 針對2-1工項，生物循環示範場域放大驗證，已完成噸級測試場老舊設備拆除與場地整理。但建立和擴充生物循環示範場域，擬放大驗證設施的規劃容量與執行操作規劃應再說明。

## 貳、計畫經費運用之妥適度(10%)

(本計畫執行之經費與工作匹配，與原計畫之規劃是否一致，若有差異，其說明是否能予接受。)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90分以上、良：89分-80分、可：79分-70分、待改善：69分-60分、劣：59分以下)

1. 114年度整體經費主要用於技術研發、設備建置、研究人力與技術驗證等工作，與計畫研究內容相符，未見明顯偏離計畫目標之支用情形，經費配置與使用具有合理性與妥適性。
2. 經費執行率為100%。建議完成公斤級木質素萃取分離系統，為量產製程建立規模化測試之立基。

## 參、計畫主要成就及成果(重大突破)之價值、貢獻度及滿意度(35%)

(請依計畫在學術成就、技術創新、經濟效益、社會影響及其他領域所獲得成就之價值與貢獻，包含量化指標及質化效益達成情形進行評量，若其達成情形與原列指標與預期成效有所差異，

其說明是否合理並予採計。)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90分以上、良：89分-80分、可：79分-70分、待改善：69分-60分、劣：59分以下)

**【量化績效指標達成情形】**

本計畫於114年度已達成多項量化指標，包括木質素純度達99%、乳酸轉化率達99%、乾重組反應連續操作逾200小時，並產出期刊論文、研討會論文、專利申請及技服收入，顯示研究成果已具體轉化為可衡量之技術與學術績效，達成年度設定目標。

**【學術成就(科技基礎研究)】**

1. 本計畫在生質精煉、乳酸發酵與乾重組觸媒等基礎研究上建立具國際水準之實驗數據與方法，相關成果已發表於學術期刊與研討會，並導入國際認可之CO<sub>2</sub>封存安全評估工具，顯著提升我國在生物循環與負碳技術領域的學術能見度與研究深度。相關研究成果有助於深化生物循環材料、低碳化學品與碳利用技術之科學基礎，對國內生質能源與負碳技術發展具有重要學術價值。
2. 注意如果未來要商業化，仍應保留關鍵know-how及參數不呈現於論文中，以避免被模仿抄襲。

**【技術創新(科技技術創新)】**

1. 本計畫成功整合木竹料源高值化、乳酸酯合成與生質氣乾重組碳再利用技術，並透過公斤級與m<sup>3</sup>/h級系統驗證，推動TRL由3-4提升至4-6以上，展現跨製程、跨尺度之系統整合創新，為國內生物循環與BECCUS示範建立可複製之技術路徑。
2. 觸媒發明、乳酸濃縮技術、雙相流傳輸分析技術發明專利申請均已提出，顯示具有一定程度的技術創新。但如果具有高度商業應用價值，可以以營業秘密推動商業化，避免被逆向工程的破解突破。未來智慧化及自動化功能將嘗試引入，將可具有技術的領先優勢，值得持續深化發展。

**【經濟效益(經濟產業促進)】**

1. 本計畫透過生物資源循環與低碳材料開發，可提升農林剩餘資源之利用價值，並促進低碳化學品與材料產業發展。計畫成果可支援低碳材料與化學品之產業應用，具進口替代與高值化潛力，並已促成技術服務與產業合作。依計畫推估，未來在量產情境下可形成具百億潛力之生物循環產業聚落，對提升國內產業低碳競爭力與投資信心具有實質助益。
2. 計畫產出衍生計畫案成果豐富，具有技術輸出成果。但實際最有價值的產業效益尚未呈現，仍應評估未來商業建廠的可能性及可能得面臨的困境及解決方案。特別是技術產品的剛性需求領域切入點為何及切入策略。

**【社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)】**

1. 本計畫透過生物資源循環利用與碳捕捉利用技術發展，可降低農林廢棄物處理負荷並減少碳排放，有助於推動淨零排放政策與環境永續。
2. 已完成與國內產研單位技術交流及訪談，並有實質技術服務案的業績。並協助進行淨零碳排政策方向的宣導及演講，及透過國際研討會促進社會溝通，提升大眾對負碳與CCS技術的理解與接受度，兼顧環境保護與公共安全。但對於進行示範場域生命週期碳

排放評估或碳足跡計算應再聚焦及說明擬評估的計畫項目及內容。

【其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)】

1. 本計畫符合 2050 淨零與淨零科技方案，提供政策推動所需之技術與量化依據，計畫透過國際合作與技術交流，與國際研究機構建立合作關係並簽署合作意向書，有助於提升我國碳捕捉與封存技術之國際連結與能見度，並，強化人才培育與國際連結。
2. 針對 CCS 場址之應用，除引入美國 QRA 做不確定性評估，及 NRAP-Open-IAM 做商業化 CCS 專案整合介紹外，國內的未來 CCS 可能建議推動方向及場址評估適用性，建議可有更深入的討論與說明。

#### 肆、 跨部會協調或與相關計畫之配合程度(10%)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90 分以上、良：89 分-80 分、可：79 分-70 分、待改善：69 分-60 分、劣：59 分以下)

本計畫在政策方向與相關國家計畫之配合度良好，計畫已與農業部在木竹料源與自然碳匯議題上形成互補，並呼應環境部資源循環與減碳政策方向，同時建立可供未來跨部會共享的示範場域與評估工具，整體協調機制明確，有助於避免重複投入並放大政策整合效益。但在相關計畫之配合或合作部分尚需補充說明。

#### 伍、 後續工作構想及重點之妥適度(10%)

(計畫是否落實檢討改進，並將檢討結果納入後續工作構想？屆期計畫後續是否有推廣或擴散計畫成果效益之措施等？)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90 分以上、良：89 分-80 分、可：79 分-70 分、待改善：69 分-60 分、劣：59 分以下)

1. 後續工作將延續既有研發成果，聚焦技術放大、示範場域整合及產業鏈媒合，並進一步深化減碳量化與安全風險評估。同時建議強化與產業端合作，促進技術移轉與實際應用，並持續發展碳利用與碳封存整合系統，以提升整體減碳效益與產業價值。
2. 木竹纖維乳酸製程開發產品為乳酸丁酯，使用多元醇應為丁醇。但在計畫執行可改善事項或後續可精進處的檢討，卻強調減少乙醇用量，請再確認技術發展種類及開發產品，以免不一致。
3. 產品的國際化指標應建立及分析，包含檢測量能的提升及檢測成本的下降方式研析。另外如需建構第三方驗證之技術量能，亦應評估投入的成本效益。

#### 陸、 綜合意見

(對整體計畫之看法，以及是否有其他可提升或創造價值之建議？)

### 【本計畫優點】

1. 本計畫實際執行與原計畫目標尚均符合原計畫規劃。經費執行率 100%，均符合進度需求。量化關鍵績效指標均已達成。整體執行成效良好，成果具延續性與擴散性，為國內推動生物循環與負碳科技奠定重要基礎。
2. 本計畫與國家淨零排放政策高度契合，具有明確政策與產業發展意義。技術內容涵蓋生物循環、低碳材料及碳利用等關鍵領域，具整合性與前瞻性。已建立多項關鍵技術成果並完成初步設備與技術驗證，具後續擴展潛力。透過國際合作與技術交流，提升我國相關領域研究能力與國際能見度。

### 【建議事項】

1. 本計畫已完成多項關鍵技術之示範驗證，惟距離長時間連續運轉與商業化規模，仍建議於後續階段持續強化放大測試與系統穩定性驗證。
2. 目前減碳與負碳效益已具初步量化基礎，惟多仍以情境推估為主，建議結合實際運轉數據，進一步量化減碳效益與生命周期分析，以具體呈現技術對淨零排放之貢獻與說服力。此外，建議持續推動跨部會與產業合作，建立完整生物循環產業鏈，加強社會溝通與風險管理機制，以提升未來碳封存及相關技術之社會接受度。
3. 本計畫已促成多項產業合作與技術服務，惟整體仍以個案推動為主，建議後續進一步串聯上中下游，以加速形成具規模之應用模式。且本計畫具有相當多開發項目，建議將實際最有價值的商業產業效益進行說明，以利重點發展。
4. 高值化產品與負碳應用具技術潛力，惟其市場接受度與成本結構，仍建議透過更多實際案例與試點應用加以驗證。技術如具有高度商業應用價值，可以以營業秘密推動商業化，避免被逆向工程的破解突破。未來成果如擬商業化，建議保留關鍵 know-how 及參數不呈現於論文中，以避免被模仿抄襲。
5. 本計畫與相關部會政策方向具高度一致性，建議未來在法規、標準或治理機制上，持續強化跨部會協調與長期配合架構。
6. 本計畫涵蓋技術面向廣泛，整體架構完整，惟亦提高整合與管理難度，建議後續階段持續聚焦重點成果，以確保資源有效投入。
7. 產品的國際化指標應建立及分析，包含檢測量能的提升及檢測成本的下降方式建議與說明。

## 柒、 總體績效評量

評等：  優  良  可  待改善  劣

(優：90 分以上、良：89 分-80 分、可：79 分-70 分、待改善：69 分-60 分、劣：59 分以下)

計畫評估委員：吳耿東、柯淳涵、謝哲隆