

【114 年度政府科技發展計畫績效自評暨計畫管考評核審查意見表】

計畫名稱：淨零排放-廢水氮氮之資源化技術示範推廣 (2 / 4)

績效自評審查委員：林財富、董瑞安、林耀東、侯嘉洪

日期：114 年 4 月 14 日

計畫績效自評審查意見

壹、計畫實際執行與原計畫目標符合程度(35%)

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
(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)

委員	審查意見	自評評等	回覆說明
林財富	<p>本計畫有三個目標：技術放大建置電容式氮氮富集套裝系統、整合建置氮氮資源提煉套裝系統、減碳效益評估；計畫包括完成氮氮廢水處理量大於 1 CMD 之系統、優化模組對數、充電時間與循環流量等三項參數、實廠提濃驗證試驗氮氮濃縮倍率介於 5.2 至 7.3 倍之間；完成結合電容式氮氮富集技術與節能型氮氮氣提技術之氮氮資源提煉套裝式系統設計並提出專利申請、優化 2 項關鍵操作參數(吹脫槽溫度與風機運轉頻率)、完成 1 處實廠提濃驗證試驗，節能效率達 5% 以上；完成減碳效益量化，實質降低碳排放量 30%。</p> <p>整體提出與原計畫符合程度高。</p>	優	<p>謝謝委員肯定。</p>
董瑞安	<p>本計畫為四年期計畫，並於第二年度(本年度)完成套裝式設備的開發工作，並於實廠進行廢水中氮氮資源循環提煉的技術驗證工作(Bench scale)，工作目標為(1)建立高效氮氮提濃技術：技術放大建置電容式氮氮富集套裝系統；(2) 廢水之氮氮資源提煉技術開發：整合建置氮氮資源提煉套裝系統；及(3) 減碳效益評估。目前完成的實際工作包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 開發建置電容式氮氮富集套裝系統 1 套(1 CMD)，透過關鍵操作參數之調控，建立最佳化電容式氮氮富集套裝系統操作。 2. 開發建置 1 座結合電容式氮氮富集技術與節能型氮氮氣提技術之「氮氮資源提煉套裝式系統(> 200 LPD)」：完成專利申請 1 件。 3. 最佳化氮氮資源提煉套裝式系統之操作條件，評估運作效能。 4. 選擇 1 處實廠完成氮氮提煉驗證試驗。 <p>目前的工作除減碳評估效益的成效較不明顯外，其餘實際執行成效與原計畫目標相當符合。</p>	優	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>於減碳效益評估方面，針對電容式氮氮富集套裝系統，由實驗室規模 (lab scale) 放大至小型模廠規模 (bench scale) 進行環境衝擊分析。結果顯示，在每生產 1 m³、濃度 4,000 mg/L 之氮氮濃縮液條件下，碳排放量由 79.20 kg CO₂e 降低至 53.70 kg CO₂e，系統放大後整體碳排放量減少約 35%。至於氮氮資源提煉套裝式系統，分析結果顯示，以每吹脫 1 kg 氮氣為功能單位時，其碳排放量為 18.20 kg CO₂e，其中電力使用為主要環境衝擊來源，貢獻占比達 94% (17.2 kg CO₂e)。此外，導入熱泵雖可提升氣提效果，但亦伴隨電力需求增加，導致系統碳排放量明顯上升。</p>
林耀	<p>本計畫 114 年度 (第二年) 已準確達成核心理程碑，包括「高效氮氮提濃技術」研發與「氮氮資源提煉套裝式系統」之開發。已於真實場域驗</p>	優	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>針對電容式氮氮富集系統對放流水氮氮濃度之降低效果仍有</p>

計畫績效自評審查意見

東	證電容式氮氣富集系統 (MCDI) 之技術可行性。針對系統對放流水氮氣降幅有限之執行困難，單位已提出「增加模組數量」與「放大模組面積」之因應對策，有效平衡回收效益與排放達標，說明合理。		限，第三年度計畫將透過放大模組面積進一步提升處理效能，以兼顧氮氣之提濃回收與放流水排放達標之雙重目標。
侯嘉洪	本計畫依規劃完成技術由 Lab scale 放大至 Bench scale，並完成氮氣提濃 (5.2-7.3 倍)、資源提煉系統建置及實廠驗證，整體執行符合年度目標且具階段性成果。執行與目標高度一致，達成情形良好。	優	謝謝委員肯定。

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
(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)

委員	審查意見	自評評等	回覆說明
林財富	經費執行率 100%，項目與原規劃相符合。	優	謝謝委員肯定。
董瑞安	本計畫經費的執行率為 100%，經費運用妥適度相當優異。	優	謝謝委員肯定。
林耀東	114 年度法定預算為 5,442 千元。經費支用與原計畫規劃之系統開發、能效測試與模組優化高度匹配。針對熱泵循環控溫系統之投入，經實測證實能有效降低單位質量能耗，資源配置具高度經濟性與節能效益。	優	謝謝委員肯定。
侯嘉洪	年度經費執行率達 100%，支用與計畫內容具高度關聯。	優	謝謝委員肯定。

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。
(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)

委員	審查意見	自評評等	回覆說明
林財富	<p>【學術成就(科技基礎研究)】</p> <p>本計畫整合電容式氮氣富集系統與節能型氮氣氣提系統，開發低碳氮氣廢水資源化技術，整合電容式氮氣富集系統濃縮氨水，再利用節能型氮氣氣提及吸收塔，產出氨氣，並產出高品質淨水，成果已發表於研討會，並獲得佳作論文，具學術創新。</p>	優	謝謝委員肯定。

計畫績效自評審查意見

	<p>【技術創新(科技技術創新)】 本計畫整合電容式氮氮富集系統與節能型氮氮氣提系統，發展低碳氮氮廢水資源化技術，計畫將原水氮氮先濃縮倍率達 7.18 倍、再氣提吸收，吸收效率達 99%，並能系統自動化操作，具有技術創新性。</p> <p>【經濟效益(經濟產業促進)】 氮氮是目前國際上難以低耗能方法處理的污染物，本計畫提升系統操作效能、降低碳排放量 35%，可以提升產業競爭力。</p> <p>【社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)】 長期而言，技術推動具有水質保護的潛力。</p> <p>【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)】 本計畫有跨國合作、及學生參與研究。</p>		
董瑞安	<p>【量化績效指標達成情形】 -</p> <p>【學術成就(科技基礎研究)】 本計畫所開發之氮氮資源提煉套裝式系統，整合電容式氮氮富集系統與節能型氮氮氣提系統，屬於低碳氮氮廢水資源化技術，的確具有技術前瞻性及應用創新性。</p> <p>【技術創新(科技技術創新)】 所發展低碳氮氮廢水資源化技術，可將原水氮氮濃度由 437 mg-N/L 濃縮至 3,139 mg-N/L，濃縮倍率達 7.2 倍。另在氣提回收方面，氣提塔脫除率為 54%，吸收塔吸收率則大於 99%，可有效完成氮氮廢水之濃縮與高效率回收，具有技術創新性。</p> <p>【經濟效益(經濟產業促進)】 當處理容量由 0.4 CMD 放大至 1 CMD 後，整體碳排放量可降低約 35%。如將熱泵導入節能型氮氮氣提系統後，可使節能率提升 37%–48%，有效降低系統能耗與用電成本。</p> <p>【社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)】 由於氮氮的有效回收，讓排入承受水體的氮氮濃度大幅降地，可氮氮毒性及回復河川生態環境，削減污染排入河川，對水體環境保護有相當大的幫助。</p> <p>【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)】</p>	良	謝謝委員肯定。

計畫績效自評審查意見

	<p>本計畫培育多名水處理與資源回收高階人才，為產業發展儲備人才。</p>		
<p>林耀東</p>	<p>【量化績效指標達成情形】 1. 完成 1 套自動化氮氮資源化套裝雛型系統。 2. 經實測證實熱泵控溫可有效降低單位質量能耗，具備顯著節能優勢。</p> <p>【學術成就(科技基礎研究)】 成功將 MCDI 技術從傳統「去離子/再生水」擴展至「事業廢水濃縮富集」領域，相關參數優化具備技術領先優勢。</p> <p>【技術創新(科技技術創新)】 整合 MCDI 與熱泵吹脫技術，開發出可移動、模組化之套裝系統，解決傳統吹脫塔高能耗與佔地廣之痛點。</p> <p>【經濟效益(經濟產業促進)】 廢水氮氮轉化為資源(如氮鹽或氨水)，具備直接經濟循環價值，並預防高額水污染防治費與環境罰鍰。</p> <p>【社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)】 降低河川氮氮污染負荷，提升環境水體品質，扣合政府改善流域環境之施政方針。</p> <p>【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)】 培育具備循環經濟與淨零技術之跨領域人才，並為後續產業技術移轉與商轉奠定基礎。</p>	<p>良</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
<p>侯嘉洪</p>	<p>【量化績效指標達成情形】 已達成主要量化指標，建議後續增加長期穩定性與規模化指標。</p> <p>【學術成就(科技基礎研究)】 成果具創新性與實務應用價值，科學基礎貢獻度高。</p> <p>【技術創新(科技技術創新)】 整合式資源化技術具創新性且已取得專利。</p> <p>【經濟效益(經濟產業促進)】 具節能與減碳潛在效益，建議進一步量化成本效益與產業應用價值。</p> <p>【社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)】 可促進水資源循環，建議擴大應用場域以提升整體環境效益。</p> <p>【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)】 已具人才培育與國際交流基礎，建議強化跨機關推動機制。</p>	<p>良</p>	<p>謝謝委員肯定。 未來將進一步量化成本效益、操作經濟性及產業應用價值，作為技術推廣與落地應用之依據。除持續推動高科技業氮氮廢水資源化外，亦將擴大技術應用場域至各類工業廢水、畜牧廢水及生活污水等領域，藉以提升整體應用效益。透過專家諮詢會議或成果發表會，邀請產官學研各界專家共同參與，進一步強化跨機關協調與推動機制。</p>

計畫績效自評審查意見

肆、跨部會協調或與相關計畫之配合程度(10%)

(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)

委員	審查意見	自評評等	回覆說明
林財富	本計畫在產業端測試，有部分國科會獲經濟部參與的角色。	可	謝謝委員。
董瑞安	本計畫無跨部會協調及與相關計畫配合之需求。	優	謝謝委員。
林耀東	本計畫目前多為獨立執行，雖然技術具領先性，但與環境研究院之前瞻技術研發、或與資源循環署之循環資材推廣計畫尚缺乏具體合作機制。建議未來應規劃跨司署協作，以擴大資源化產品之去化管道。	可	謝謝委員建議，後續將透過專家諮詢會議或成果發表會，邀請產官學研各界專家共同參與，以強化跨司署機關之協調整合與應用推動，提升計畫整體效益。
侯嘉洪	計畫以技術研發為主，與其他部會或計畫之協作著墨較少，建議強化整合與應用推動。	良	謝謝委員建議，將透過專家諮詢會議或成果發表會，邀請產官學研各界專家共同參與，進一步強化跨機關協調與應用推動。

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？

(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)

委員	審查意見	自評評等	回覆說明
林財富	對於未來技術發展，如提升提濃系統氨氮處理能力與效率的方向、與實場情境之需求，氨氮資源回收節能效能及模廠放大標準化條件，以及整體降低能耗及排碳技術，均能提出問題點及發展方向。	優	謝謝委員建議。未來將進一步統整實場需求，聚焦於提升提濃系統之氨氮處理能力與效率，並針對氨氮資源回收之節能效能、模廠放大之標準化條件，以及整體能耗與碳排降低技術等面向，持續盤點問題並研擬具體發展方向，以提升技術實場應用與推廣效益。
董瑞安	後續規劃的工作與重點包括： (1)應用情境之氨氮濃縮富集與排水氨氮濃度需求，進行系統處理能力之設計與規劃作業。 (2)優先導入廢熱來加溫吹脫塔，避免額外投入能源所導致的能源消耗增加 (3)導入餘熱回收或階段式加熱技術，減少外部能源需求，同時採用低碳或再生能源電力供應，降低系統整體碳足跡。	優	謝謝委員肯定。 未來計畫將依循規劃方向持續推動，並以節能減碳及降低所開發技術碳排放量為重點。

計畫績效自評審查意見

	此些規劃均以節能省碳及降低所開發技術之碳排放量為主，妥適度高，也具推廣效益。		
林耀東	第三、四年計畫已明確規劃朝「模場擴大」與「跨產業推廣」發展。針對技術檢討，已納入能效與經濟性評估，構想符合技術成熟度（TRL）提升之邏輯。	良	謝謝委員肯定。本計畫後續將持續推動系統放大與實場落地應用，並結合能效、經濟效益及可行性評估，逐步完善技術發展方向，以持續提升技術成熟度並促進跨產業推廣。
侯嘉洪	已提出系統放大、模組化設計、及能效優化等方向，具延續性與產業落地潛力，惟部分仍偏技術面，需補強商轉與政策導入策略。	良	謝謝委員建議。目前本計畫相關技術已取得專利證書，後續將持續推動技術移轉與商轉應用，並綜合評估政策導入之可行性，以強化技術落地推廣效益，提升產業應用價值。

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？

(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)

委員	審查意見	回覆說明
林財富	<p>【本計畫優點】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫整合電容式氮氣富集系統與節能型氮氣氣提系統，開發低碳氮氣廢水資源化技術，整合電容式氮氣富集系統濃縮氨水，再利用節能型氮氣氣提及吸收塔，產出氮氣，並產出高品質淨水，成果已發表於研討會，並獲得佳作論文，具學術創新。 2. 本計畫整合電容式氮氣富集系統與節能型氮氣氣提系統，發展低碳氮氣廢水資源化技術，計畫將原水氮氣先濃縮倍率達 7.18 倍、再氣提吸收，吸收效率達 99%，並能系統自動化操作，具有技術創新性。 3. 氮氣是目前國際上難以低耗能方法處理的污染物，本計畫提升系統操作效能、降低碳排放量 35%，可以提升產業競爭力。 4. 對於未來技術發展，如提升提濃系統氮氣處理能力與效率的方向、與實場情境之需求，氮氣資源回收節能效能及模廠放大標準化條件，以及整體降低能耗及排碳技術，均能提出問題點及發展方向。 <p>【建議事項】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議後續能提出本技術與現有商品化技術的進步性，以及與競爭技術間的競爭優勢。 2. 建議能提出技術商品化、或是技術轉移的可能性。 	<p>謝謝委員肯定，後續將進一步比較本技術與現有商品化技術及競爭技術之差異，釐清其待改善之處與競爭優勢，作為後續技術推廣與應用之依據。另將持續推動系統放大與自動化控制整合，朝商品化方向發展，並規劃於第三年度完成技術移轉，以提升技術落地應用與產業化可行性。</p>
董瑞安	<p>【本計畫優點】</p> <p>本計畫為四年期計畫，於本年度完成套裝式設備的開發工作，並於實廠進行廢水中氮氣資源循環提煉的技術驗證工作，已開發建置電容式氮氣富集套裝系統與節能型氮氣氣提技術，同時也完成實廠氮氣提</p>	<p>謝謝委員肯定與建議，本計畫於減碳效益評估方面，已針對電容式氮氣富集套裝系統由實驗室規模 (lab scale) 放大至小型模廠規模 (bench scale) 進行環境衝擊分析。結果顯示，在每生產 1 m³、濃度 4,000 mg/L 之氮氣濃縮液條件下，碳排放量由 79.20 kg CO_{2e} 降低至 53.70</p>

計畫績效自評審查意見

	<p>煉驗證試驗，目前的實際執行成效與原計畫目標相當符合，且具技術外溢效益。</p> <p>【建議事項】 本計畫屬於科技技術研發，對於所開發系統設備的排放量在報告中僅有預估值，沒有明確的碳排與減碳說明，在後續的工作中建議可以明確碳排降低路徑及明確計算排碳量與成本效益分析(TEA)。</p>	<p>kg CO₂e，系統放大後整體碳排放量減少約 35%。此外，氮氣資源提煉套裝式系統之分析結果顯示，以每吹脫 1 kg 氮氣為功能單位時，其碳排放量為 18.20 kg CO₂e，其中電力使用為主要環境衝擊來源，貢獻占比達 94% (17.2 kg CO₂e)。另導入熱泵雖可提升氣提效果，但亦伴隨電力需求增加，導致系統碳排放量上升。後續將依委員建議，強化成本效益分析 (TEA)，以作為後續技術優化與實場推廣之依據。</p>
<p>林耀東</p>	<p>【本計畫優點】 1. 技術具差異化與領先性，成功將廢水處理從「末端治理」轉向「資源回收」。 2. 實驗數據扎實，特別是在節能控溫技術上有實質突破。</p> <p>【建議事項】 一、跨司署計畫整合與重複性審查意見 1. 計畫重複性檢核：經核，本技術 (MCDI 應用於氮氣富集) 具備專特性，與部內其他大氣、化管或綠生活計畫無重複投入資源之情事。 2. 跨司署整合程度：整合程度評級為「低整合」。強烈建議應與資源循環署之「資源循環計畫」對接，針對回收之氮資源研發高值化應用路徑，避免「回收後無人使用」之風險。 3. 功能定位與差異化：水保司專注於「水質淨化技術示範」，建議將研發產出之水質分析大數據共享予國家環境研究院，作為建立新興污染監控方法學之基礎數據。 二、具體改進建議 1. 強化經濟性分析：建議後續應增加針對不同產業別 (如半導體、化工、畜牧) 之回收成本與回收物市場行情 (ROI) 之深度分析，以增加廠商導入意願。 2. 推動資源物標準化：應配合後續年度計畫，研擬回收氮水或氮鹽之品質標準建議，以利納入綠色採購或資源化產品認證體系。</p>	<p>謝謝委員肯定與建議，後續將透過專家諮詢會議或成果發表會，邀請產官學研各界專家共同參與，以強化跨司署、跨機關之協調整合與應用推動，提升計畫整體效益。此外，後續將研議回收氮資源之高值化應用路徑，以降低回收後去化風險；並針對不同產業別 (如半導體、化工、畜牧等) 進一步分析回收成本、回收物市場行情及投資效益 (ROI)，作為推動產業導入之參考依據。同時，亦將配合後續年度計畫，研擬回收氮水或氮鹽之品質標準建議，以利銜接綠色採購或資源化產品認證體系，提升技術落地應用與推廣可行性。</p>
<p>侯嘉洪</p>	<p>【本計畫優點】 此計畫已完成氮氣資源化技術之整合與實廠驗證，具技術創新與減碳潛力，整體執行與經費運用表現良好。</p> <p>【建議事項】 已提出放大與優化方向，但跨部會整合及產業落地推動尚待強化，建議後續著重技術商轉與政策應用，以提升整體推動效益。</p>	<p>謝謝委員肯定與建議，後續將透過專家諮詢會議或成果發表會，邀請產官學研各界專家共同參與，進一步強化跨機關之協調整合與應用推動；同時持續推動技術移轉與商轉規劃，並研議相關政策應用方向，提升整體推動效益與技術落地成效。</p>

計畫績效自評審查意見

柒、總體績效評量

(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)

委員	自評評等
林財富	優
董瑞安	優
林耀東	優
侯嘉洪	良