

第二期能源國家型科技計畫 期末成果效益報告

計畫名稱：碳基能源永續潔淨利用技術發展(1/4)

減碳淨煤主軸中心

性質：

☒ 研究型

☐ 非研究型(人才培育、國際合作、法規訂定、產業輔導及推動)

主管機關：行政院原子能委員會

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所

基本資料

計畫名稱：碳基能源永續潔淨利用技術發展(1/4)

主 持 人：邱耀平

共同主持人：

計畫期間(全程)：103 年 01 月 01 日 至 106 年 12 月 31 日

計畫目前執行：103 年 01 月 01 日 至 103 年 12 月 31 日

年度經費：16,461 仟元

全程經費規劃：92,961 仟元

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所{核能研究所}

壹、計畫目標、計畫架構與主要內容

一、計畫目標

本研究係一整合型計畫，兼顧減碳策略評估與淨碳技術發展，掌握永續社會發展條件，逐步建構出前瞻性的氣化系統工程技術與先進製程研究規畫。本計畫總目標概述如下：

1. 建立氣化關鍵技術與系統整合能力，並進行實驗級驗證系統設施之整合工作，及在中高溫(500℃)環境下之高效率淨化(除塵及除硫)系統，以利未來先進氣化系統開發與特性測試，冀望達成碳基能源潔淨利用之政策目標與推動產業自主化。
2. 建立二氧化碳捕獲與氣化整合、及先進氣體轉化分離技術，並配合國家永續發展策略規畫，發展可行之產氫技術，以冀望達到減碳政策目標與推廣商用化應用。

其工作內容分為二分項計畫：

(一)碳基燃料中高溫二氧化碳回收技術發展

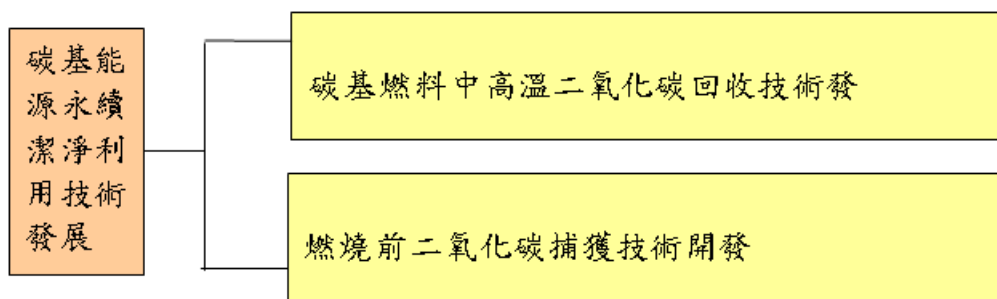
1. 以流化床為基礎，發展先進之輸送式移動床氣化技術
2. 以「複合過濾模式」為主軸概念，發展中高溫氣體處理系統，採用複合 CO₂ 分離程序，提升系統整體效能，整合評估高效率能源系統 (如氣化中心等) 性能。
3. 建立整合氣化、氣體淨化、CO₂ 捕獲與終端應用之一體化整合驗證系統。除可作為國內業者進行進料氣化性能評估以及後端連結程序設計與驗證之平台，更可為國內開發先進系統程序之基礎。

(二)燃燒前二氧化碳捕獲技術開發

1. 開發公斤級捕碳劑製造技術與中高溫捕碳迴路性能指標。
2. 完成固定床與流體床測試設備，建立中高溫捕碳程序與性能參數。
3. 建立模擬氣體測試系統，評估與百瓩系統整合及碳源回收。

二、計畫架構(含樹狀圖)

計畫架構



三、計畫主要內容

京都議定書於 2005 年 2 月 16 日生效後，二氧化碳減量議題在國內經濟與工業發展中更加受到重視。我國所需能源極端仰賴進口，因此除了積極發展再生能源外，如何有效使用傳統化石燃料、廢棄物能源與生質能遂成為極為重要的課題。

台灣於 2012 年各燃料之發電量占比，其中 49.1%來自燃煤發電，26.89%來自燃氣發電，16.14%來自核能發電，燃油發電為 2.54%，抽蓄水力發電為 1.17%以及再生能源發電為 4.24%，足見燃煤發電確為今日電力系統 CO₂ 排放最大貢獻者。因此，我國若能廣泛地利用氣化技術進行多元產物並結合二氧化碳捕獲，將能有效抑低二氧化碳排放。若我國能在這些能源技術上扎根，並將這些新能源技術產業化，則可進一步有助於經濟成長並創造就業機會；但各國在積極發展新能源的同時，也很關心大量資源投入這些技術及產業發展所可能產生的各種效應，包括可能產生的資源排擠效應。因此，在政策制定及施行之前，先進行完整且有系統的評估確有其必要，而要做這樣的評估則有賴建置完整的能源技術及總體經濟整合評估分析模型。

本計畫全程自民國 103 年度起至 106 年度，為四年期程之計畫；本研究目的在建立永續淨煤能源系統驗證系統，奠立未來發展條件，逐步建構出前瞻性的淨碳技術系統工程技術與中高溫氣體處理/分離程序。整體研究構想與規劃如下所述：

(一) 碳基燃料中高溫二氧化碳回收技術發展

1. 氣化系統驗證設施建置、系統流程與關鍵組件優化設計工具建立
2. 以「複合過濾模式」為主軸概念，建立中高溫氣體處理系統，以符合示範系統之需求。
3. 建置吸附劑自動化製程設施以及 10 kW 級固態脫硫反應器，預計吸附劑產量在 0.5 kg/day 以上，除硫效率在 20-30 次 cycle 之間仍保有起始吸附量 80%以上。

(二) 燃燒前二氧化碳捕獲技術開發

本計畫之「燃燒前」二氧化碳捕獲操作基本條件為中高溫 600°C 以上、15-40% CO₂ 及高壓，擬建立 kW 級反應器測試程序，探討溫度、流量等操作參數對發展此項技術之影響，另公斤級捕碳劑生產則提供 kW 級反應器測試捕獲程序之用。

1. 建立公斤級捕碳劑製造技術，每批次之產量約 1-2 公斤，並測試中高溫捕碳性能指標。
2. 建立 1-10kW 級捕碳反應器操作參數，以結合示範系統之需求。

依據上述之規劃，103 年度工作目標分述如下：

(一) 碳基燃料中高溫二氧化碳回收技術發展

1. 完成氣化實驗設施於操作溫度於 750 ~900℃ 間，於不同進料狀態下之氣化合成氣組成分析工作。
2. 完成氣化爐內行為分析工作與多聯產系統應用之效益分析。
3. 進行系統操作參數(氣體進口風速及濾材質量流率)之研究，以得到系統之高效率的過濾效率。
4. 建置以含浸法或噴霧乾燥法為主的吸附劑自動化製程設施，預計產量達 0.5 kg/day 以上。

(二) 中高溫碳捕捉技術開發

1. 建立含 Ca, Mg, Al, Ti 等公斤級捕碳劑製造技術並提升產能，進行 600-800℃ 中高溫捕碳迴路測試。
2. 進行中高溫反應器捕碳測試，建立中高溫捕碳程序與性能參數。

貳、計畫已獲得之主要成果與重大突破就計畫預期目標及 KPI 來作重點說明(含質化與量化成果)

二、質化成果

預期成果	實際成果	差異分析
民國 103 年度計畫主要目標為： (一)碳基燃料中高溫二氧化碳回收技術發展 1.完成氣化驗證設施於加壓環境下完成氣化實驗，建立系統操作參數資料庫以及分析驗證平台，作為未來先進氣化程序開發之基礎。	1-1.完成流體化床氣化爐內現象分析模型，已可初步解析主要反應之反應速率（圖 1）。 1-2 完成氣化爐於操作參數 ER 值 0.2-0.4 及溫度 700-800°C 的氣化測試，該生成氣體中之 CO, CO₂, H₂ 與 O₂ 皆可順利測定，其成分變化趨勢符合預期，初步成果如圖 2 所示。	符合規劃之進度
2.中高溫熱模系統可達成 >92%之過濾效率。	2-1 已完成濾材篩分裝置之製造及建置作業，並完成初步性能驗證測試，其結果如圖 3(b)所示，藉由濾材篩分裝置的運轉，以使熱模設備於中高溫環境中，以乾淨濾材進行除塵程序，得到系統之高過濾效率。 2-2 已完成初步系統性能驗證(操作參數為常溫、風速為 0.35 m/s、濾材質量流率 300 g/min~600 g/min 及進口濃度為 7500 ppmw (7.276 g/m³))，系統之性能曲線如圖 4 所示，其系統過濾效率均為 99%以上，並已於 500°C 環境下之運轉，其過濾效率為 92%。	符合規劃之進度

3.進行脫硫劑連續生產機台建造，使脫硫劑製備能達到自動化。	3.完成脫硫量產機台建置與測試，已可合成一批產量大於 0.5 kg 之鐵系脫硫劑，其晶相結構透過 XRD 鑑定後為 Fe_2O_3 相，與先前小規模合成結果一致。後續將進行其他物性分析，如 BET 或 ICP，以便掌握量產後之材料品質，成果如圖 7 所示。	符合規劃之進度
(二) 燃燒前二氧化碳捕獲技術開發 1.建立中高溫碳捕捉核心研發設施，開發具國際指標之碳捕獲技術與測試平台。	1.完成 $\text{Ca}:\text{Al} = 7:1$ 及 $\text{Ca}:\text{Mg}:\text{Al} = 7:1:1$ 兩種捕碳劑製造技術，TGA 捕獲測試顯示前者於 750°C 下之表現最佳，可捕獲 57.7%；後者為 43.4%，其中 CaO 含量 64.43 wt%，結果如圖 9 所示。	符合規劃之進度
2.發展燃燒前捕碳技術並建立反應器捕碳程序，評估與百千瓦系統連接以建立碳源回收與利用技術。	2.完成 CaCO_3 與 LDH 於 10 kW 捕碳反應測試 CO_2 捕獲量，結果顯示 LDH 初始捕獲量明顯優於，進行至第 6 cycle LDH 穩定性明顯優於 CaCO_3 (64/ 22 %)，結果如圖 10 所示。	符合規劃之進度

各分項工作之成果概述

1. 流體化床氣化爐分析模型建構：

針對流體化床氣化分析模型，已建立氣固介面計算模型。目前已可初步解析煤炭於氣化爐內之反應現象與氣體分佈以及主要反應之反應速率。

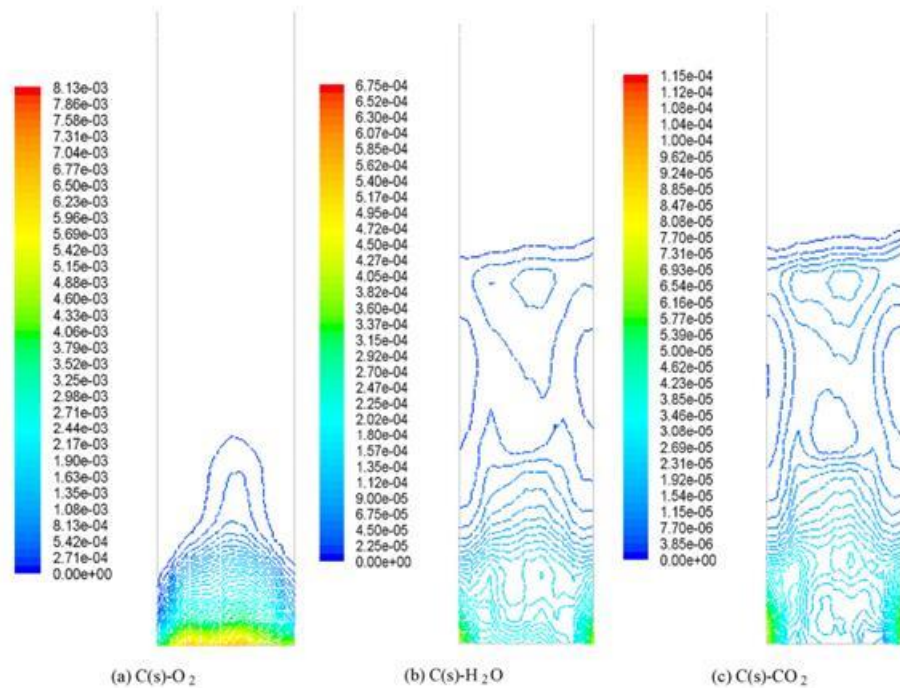


圖 1-1.流體化床氣化各反應速率分析：(左) 碳/氧、(中) 碳/水、(右) 碳/二氧化碳

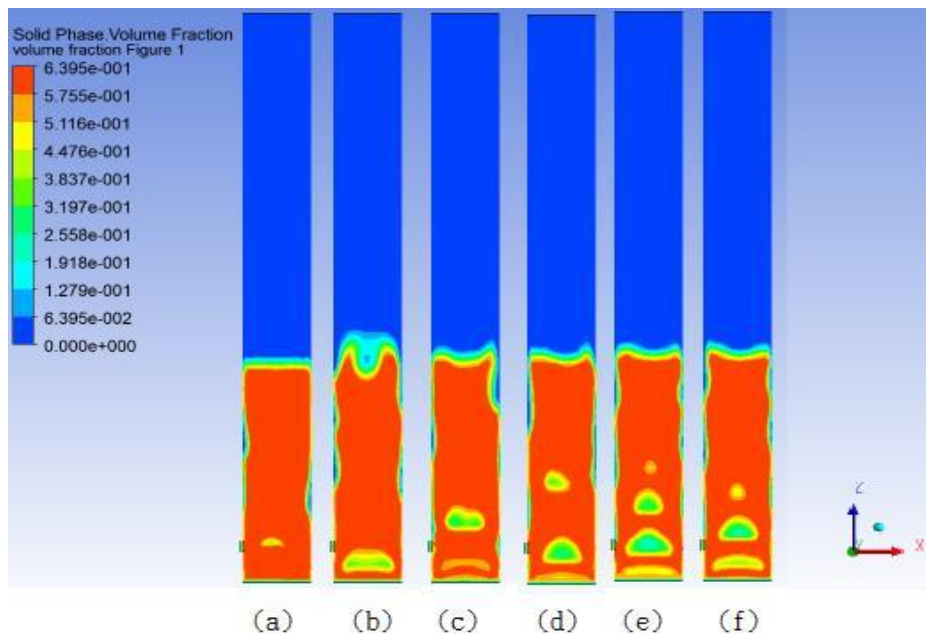


圖 1-2.流體化床氣化冷流場分析（氣固介面）

2. 流體化床氣化爐系統性能驗證：

已完成操作參數 ER 值 0.3 於溫度 800°C 的初步氣化測試，該生成氣體中之 CO₂, H₂ 與 O₂ 皆可順利測定；而出口氣體中佔大宗之 N₂ 則未量測，另 O₂ 已幾乎消耗殆盡，顯現出氣化反應特性。由實驗數據顯示，其成分變化趨勢符合預期。

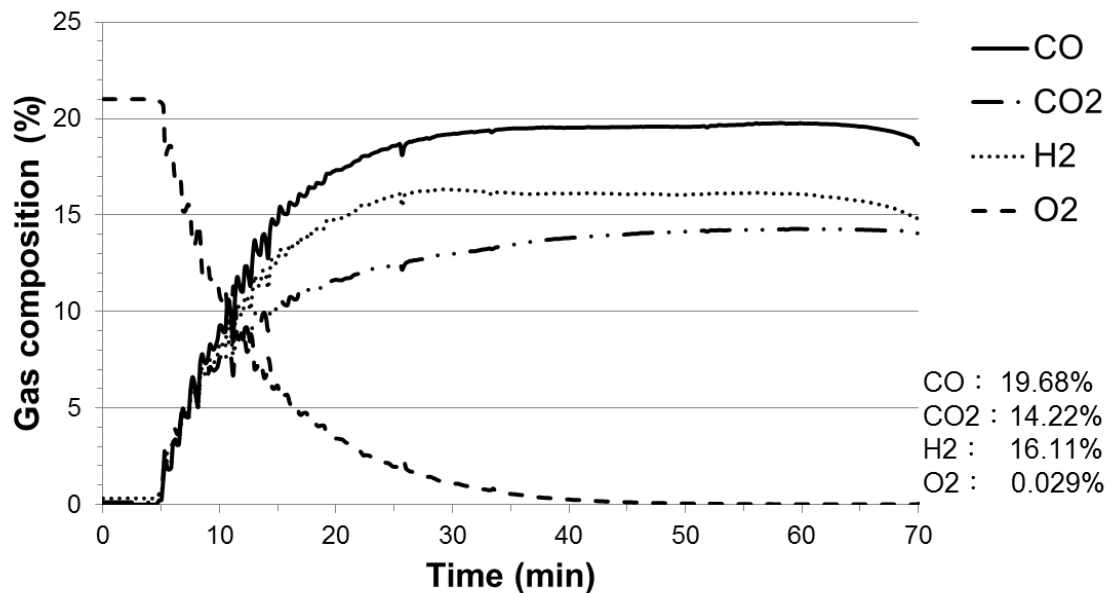


圖 2.操作溫度 800°C 及 ER 值 0.3 下之氣化測試結果

3. 中高溫熱模系統之周邊設備建置

針對流動式顆粒床熱模過濾系統之周邊設備(濾材篩分設備，如圖 3(a)所示)，完成設備製造程序及建置作業，並已完成初步性能驗證測試(如圖 3(b)所示)，未來系統將可在中高溫環境下測試濾材再生程序。



圖 3(a).濾材篩分設備示意圖

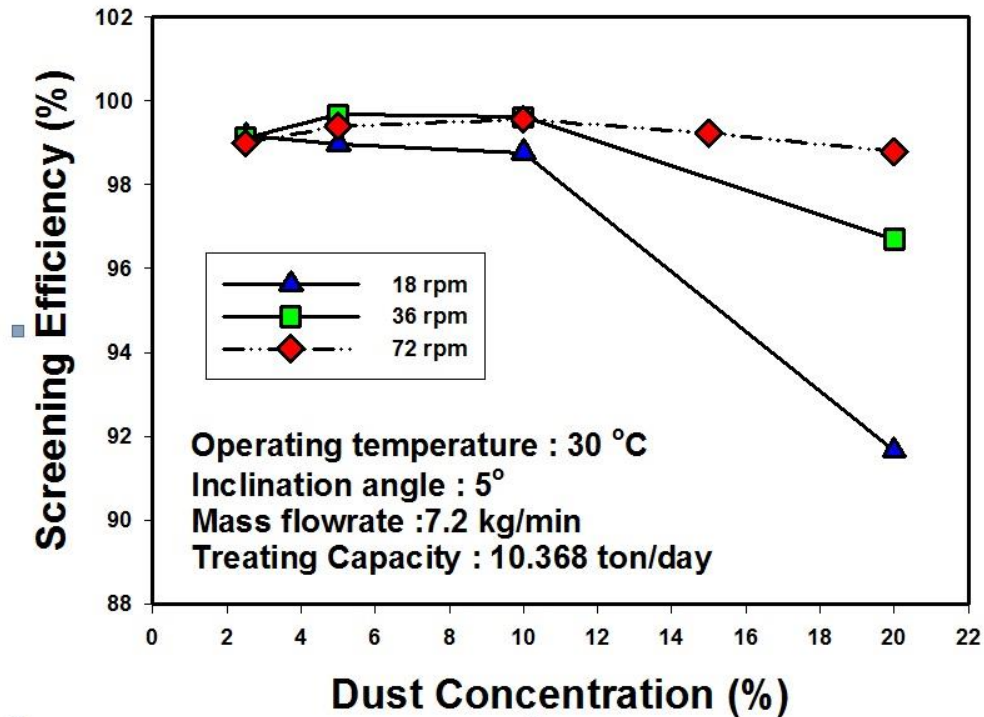


圖 3(b).濾材篩分效率變化圖

4. 中高溫熱模系統性能驗證

完成流動式顆粒床過濾系統於常溫及不同質量流率下(300 g/min~600 g/min)之初步測試，操作參數之風速為 0.35 m/s 及進口濃度為 7500 ppmw (7.276 g/m^3)，其效率變化如圖 4 所示，常溫系統過濾效率均達 99% 以上。由測試結果顯示，過濾效率顯現一最佳操作區間；濾材質量流率過慢及過快，易造成廢氣帶著粉塵通過濾材床體，導致過濾效率的降低，適當的濾材質量流率可得到系統最佳過濾效率；另於 500°C 環境下之運轉，進行高溫操作之性能驗證測試，其過濾效率大於 92%。

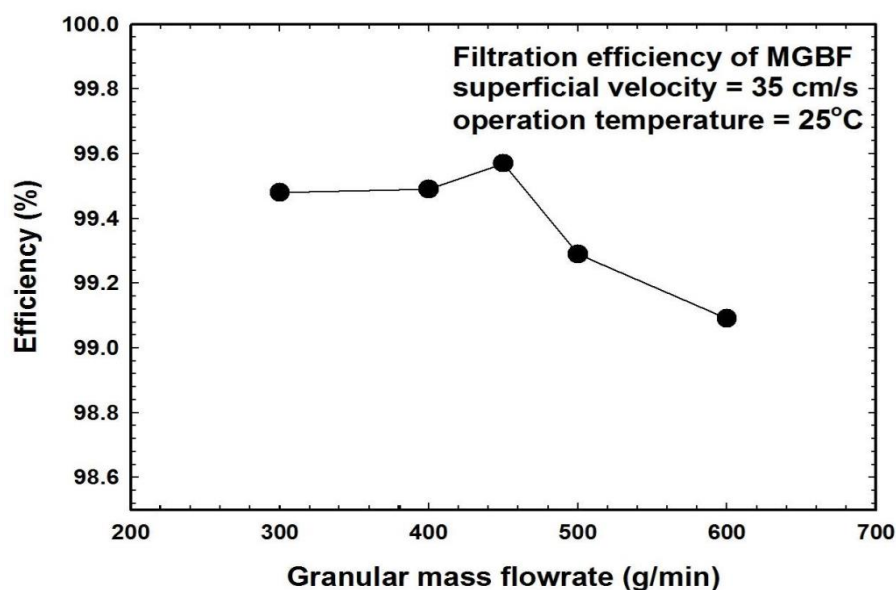


圖 4.常溫下不同濾材質量流率下之過濾效率變化

5. 以多次含浸法製備 5-40 wt% 金屬氧化物脫硫劑，並完成 ICP 與 XRD 分析。XRD 結果顯示，該脫硫劑具有良好 α - Fe_2O_3 晶相，如圖 5 所示；另外，ICP 結果顯示，其活性金屬含量實際值接近 nominal 值，比例則隨含浸量增加而遞減，如表 1 所示。

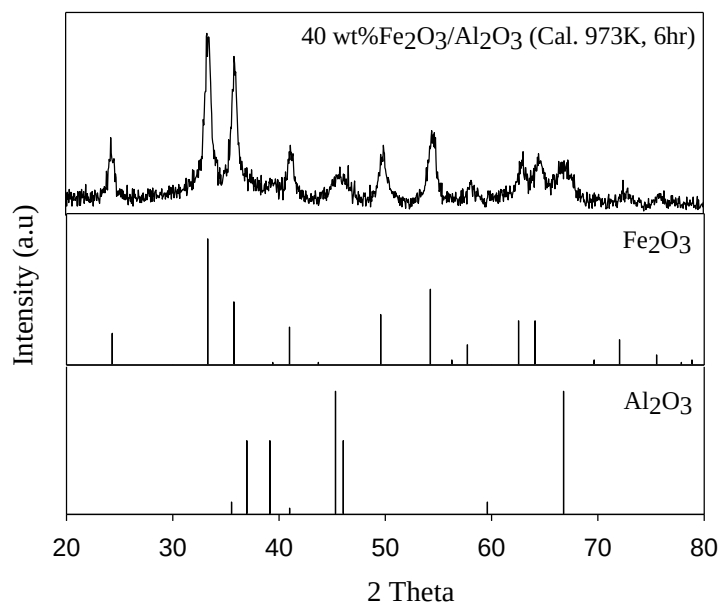


圖 5. 40wt%- $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 脫硫劑 XRD 晶相圖

表 1. 多次含浸脫硫劑之 ICP 分析結果

Sorbent	Fe_2O_3 loading (%)	Nominal Fe_2O_3 loading (%)	Recovery (%)
5 wt% $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$	4.99	5	99.8
15 wt% $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$	14.14	15	94.3
30 wt% $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$	26.79	30	89.3
40 wt% $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$	35	40	87.5

6. 完成水汽對 20wt%-Fe₂O₃/SiO₂ 脫硫劑之硫載量影響分析，結果顯示脫硫劑之硫載量會隨水流量增加而下降。在沒有添加水的情況下(合成氣氛為 30% CO, 10% H₂, 1% H₂S, N₂ for balance)，硫載量為 6.50 g-S/100g sorbent；而水流量為 0.054 與 0.1 mL/min 時，硫載量分別下降至 2.64 與 0.07 g-S/100g sorbent，如圖 6 所示。

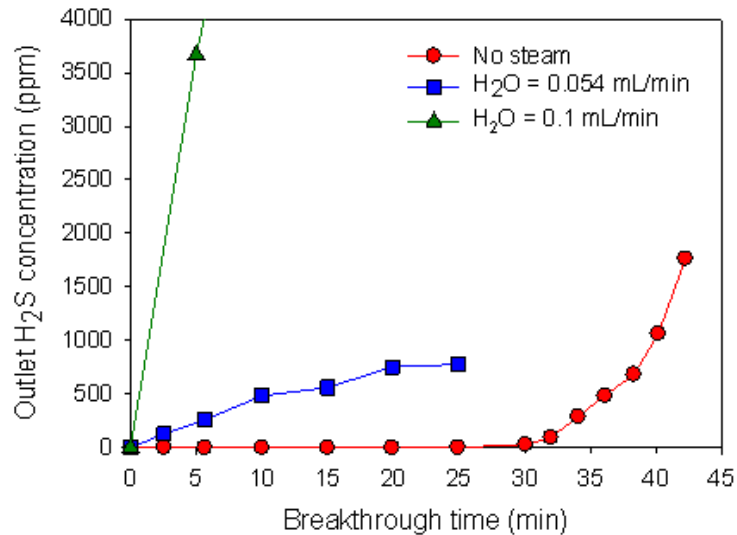
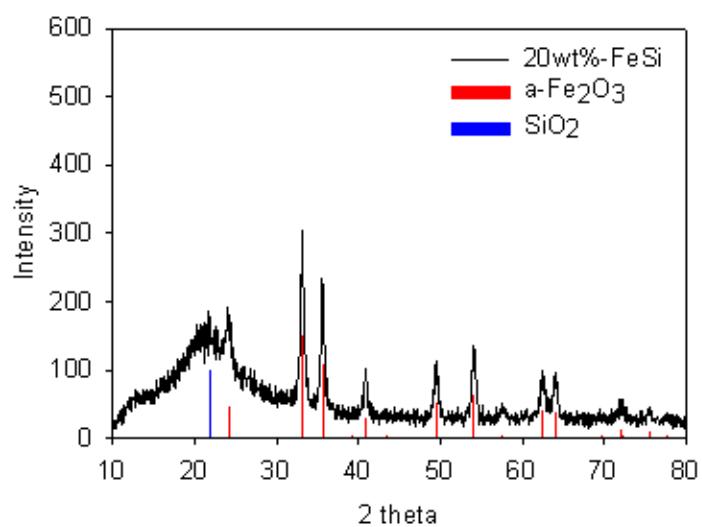


圖 6. 20wt%-Fe₂O₃/SiO₂ 脫硫劑水汽參數分析之貫穿曲線(合成氣氛為 30% CO, 10% H₂, 1% H₂S, N₂ for balance, T=700°C, WHSV=8000 mL/g.hr)

7. 完成脫硫量產機台建置與測試，已可合成一批產量大於 0.5 kg 之鐵系脫硫劑，其晶相結構透過 XRD 鑑定後為 Fe₂O₃ 相，如圖 7 所示，與先前小規模合成結果一致。後續將進行其他物性分析，如 BET 或 ICP，以便掌握量產後之材料品質。



(a)



(b)

圖 7. 脫硫量產機台: (a) 量產機台設備圖; (b) 量產製程後材料 XRD 圖譜

8. 完成鐵系脫硫劑 10 次脫硫再生循環測試，在最佳合成氣氛下(30% CO, 10% H₂, 1% H₂S, 5% CO₂, N₂ for balance)，其化學穩定性可維持在 90%以上，如圖 8 所示。

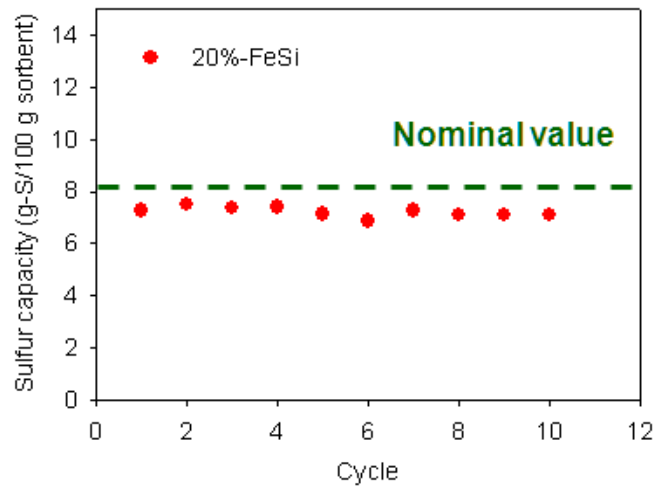


圖 8.脫硫劑十次再生循環之硫載量變化

9. 完成 Ca:Al = 7:1 及 Ca:Mg:Al = 7:1:1 兩種捕碳劑製造技術，TGA 捕獲測試顯示前者於 750°C 下之表現最佳，可捕獲 57.7%；後者為 43.4%，其中 CaO 含量 64.43 wt%。Ca:Al = 7:1 捕碳劑於不同溫度捕獲量結果如圖 9 所示。

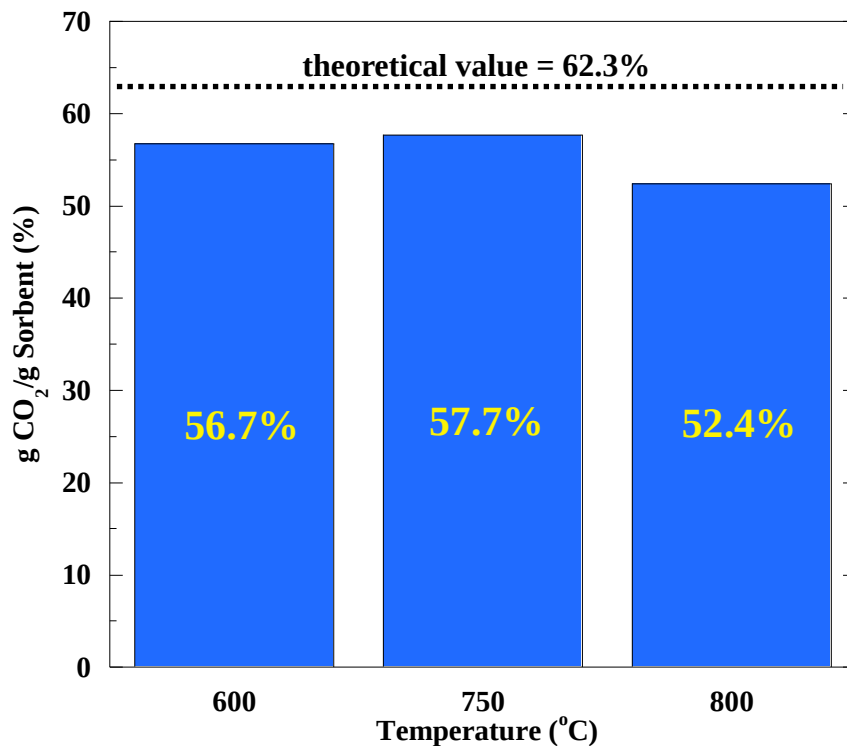


圖 9. Ca:Al = 7:1LDH 捕碳劑在 600-800°C 下 100 % CO₂ 環境下定溫 1 小時 CO₂ 捕獲測試

10. 完成 CaCO_3 與 LDH 於 10 kW 捕碳反應測試 CO_2 捕獲量，結果顯示 LDH 初始捕獲量明顯優於，進行至第 6 cycle LDH 穩定性明顯優於 CaCO_3 (64/ 22 %)，結果如圖 10 所示。

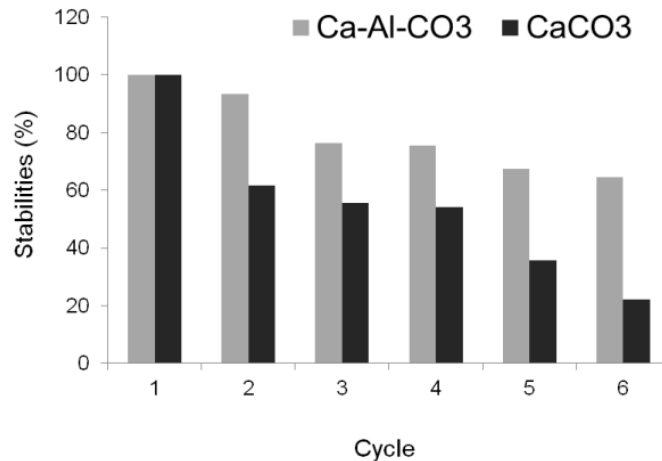


圖 10. CaCO_3 商品與自製之含鈣鋁 LDH 捕碳劑於 10kW 反應器迴路穩定性測試結果
(捕獲條件：700°C，40% CO_2 ；脫附條件：750-900°C，100% N_2)

學術成就 outcomes

(一)文：本計畫 103 年度 1-12 月共發表 20 篇論文，包括國內會議論文 12 篇、國際期刊 6 篇 (SCI 5 篇、EI 1 篇)、國內期刊 2 篇，以下為本計畫發表於學術期刊(SCI)之論文摘要：

- (1) 發表於 Journal of the Chinese Institute of Engineers (SCI 期刊)論文 “ CO_2 capture at high temperature using calcium-based sorbents,” 2014, 37(2), pp. 152-164

論文摘要：Calcium-based sorbents synthesized from CaO , CaCO_3 , and Ca(OH)_2 precursors were demonstrated as high-temperature CO_2 capture materials. The effect on CO_2 capture capability of calcium-based sorbents receiving different activations was also investigated. After proper activation, the best carbon capturing material is CaO that captured 75% of available CO_2 in nine cyclic tests and captured 61% even after 40 cyclic experiments. The correlation of the structural difference in the three activated sorbents and CO_2 conversion has been discussed. The sintering effect is presumably a major cause for activity decline of calcium-based sorbents after cyclic carbonation/decarbonation runs.

- (2) 發表於 Journal of Alloys and Compounds (SCI 期刊)論文 “Synthesis, characterization and high temperature CO_2 capture capacity of nanoscale Ca-based layered double hydroxides via reverse microemulsion,” 2014, 586, S498-S505。

論文摘要：本研究使用逆向微乳液法製備 Ca-Al 層狀水滑石(LDH)奈米顆粒。藉由改變製備時溶液的濃度、溫度與反應時間，非晶型的聚集顆粒會形成具有片狀六角形或是類似繡球花結構的奈米顆粒。在 700°C 煅燒後，此種 LDH 粉末在 600°C 時具有優異的 CO_2 捕獲能力，其捕獲能力受到合成時的溶液濃度、溫度與反應時間的影響。在 80°C 合成的煅燒後的樣品具有最快的 CO_2 吸附速度與最高的 CO_2 捕獲能力 44 wt%，而且在多迴路的實驗中也未有明顯的活性衰退。

- (3) 發表於 International Journal of Hydrogen Energy (SCI 期刊)論文 “Three-Dimensional Numerical Modeling on High-pressure Membrane Reactors for High-Temperature Water-Gas Shift Reaction” 2014, 39, 28, pp. 15517-15529.

論文摘要：This study presents a three-dimensional numerical model that simulates the H₂ production from coal-derived syngas via a water-gas shift reaction in membrane reactors. The reactor was operated at a temperature of 900°C, the typical syngas temperature at gasifier exit. The effects of membrane permeance, syngas composition, reactant residence time, sweep gas flow rate and steam-to-carbon (S/C) ratio on reactor performance were examined. Using CO conversion and H₂ recovery to characterize the reactor performance, it was found that the reactor performance can be enhanced using higher sweep gas flow rate, membrane permeance and S/C ratio. However, CO conversion and H₂ recovery limiting values were found when these parameters were further increased. The numerical results also indicated that the reactor performance degraded with increasing CO₂ content in the syngas composition.

- (4) 發表於 International Journal of Hydrogen Energy (SCI 期刊)論文 “Study on water–gas shift reaction performance using Pt-based catalysts at high temperatures” 2014, 39, 33, pp.18854-18862.

論文摘要：The water gas shift reaction (WGSR) performance was experimentally studied using Pt-based catalysts for temperature, time factor and steam to carbon (S/C) molar ratio at ranges of 750-850°C, 10-20 gcat h/molCO, and 1-5, respectively. Al₂O₃ spheres were used as the catalyst support. For the high S/C cases, it was found that CO conversion can be enhanced when Pt/CeO₂/Al₂O₃ catalyst was used as compared with Pt/Al₂O₃. For the low S/C ratio cases, CO conversion enhancement was not significant with the addition of CeO₂. It was also found that CO conversion was not influenced by the CeO₂ amount to a large extent. Using bimetallic PtNi/CeO₂/Al₂O₃ catalyst, it was found that higher CO conversion can be obtained as compared with CO conversions obtained from monometallic catalysts (Pt/Al₂O₃ or Pt/CeO₂/Al₂O₃). The experimental data also indicated that good thermal stability can be obtained for the Pt-based catalysts studied.

- (5) 發表於 Industrial & Engineering Chemistry Research (SCI 期刊)論文 “Reaction of Hydrogen Chloride Gas with Sodium Carbonate and Its Deep Removal in a Fixed-Bed Reactor” 2014, 53, 19145-19158.

論文摘要：The chloridization rates of sodium hydrogen carbonate calcines were determined using both a differential fixed-bed reactor and an integral fixed-bed, flow-through reactor at ambient pressure and a temperature of 500°C. In the course of the reaction with hydrogen chloride gas, monoclinic or hexagonal Na₂CO₃ was transformed into cubic NaCl. The expansion of the volume of the solid phase, because of the reaction, was described by means of a simple structural model. The reacted solids remained quite porous (~29%), having decreased from an initial porosity of 45%. Up to advanced stages of the reaction, the rate-decaying behavior of the chloridization reaction can be approximated by first-order kinetics as a function of either the solids conversion or the elapsed time of reaction. The reaction between hydrogen chloride gas and the Na₂CO₃-based sorbents is rapid, and a high degree of sorbent utilization can be attained. The unsteady-state sorption of hydrogen chloride gas in a column packed with reactant

solids can be described by a pair of partial differential equations, and their analytical, closed-form solution is presented in terms of three dimensionless variables. Unsteady-state experimental runs were carried out in a small integral fixed bed reactor (14-mm i.d.) with spherical alumina particles having an average diameter of 1.5 mm, impregnated with NaHCO_3 and packed to a depth of 6.5 cm. The effective reaction rate constants inferred from the experimental breakthrough curves in accordance with the model were found to be in reasonable agreement with those determined from the experiments executed in the differential mode of reaction. The presented, tractable expressions can readily serve as a rational basis for the conceptual design and effective operation of packed-bed reactors for the deep removal of hydrogen chloride gas from hot producer gas.

1. 國內期刊論文：2 篇

- (1) 黃亮維、邱耀平，中孔徑矽基材應用於固態脫硫研究，化工技術，第 22 卷，第 2 期，150-163 頁，2014。

論文摘要：煤炭氣化產生的硫化物包含硫化氫 (H_2S)、硫化羰 (COS)、二硫化碳 (CS_2) 等主要成分。傳統低溫濕式捕獲技術雖已成熟，但對於合成氣 (syngas) 應用在發電領域上造成熱效率降低，以及處理完的廢液造成環境二次污染等問題，使得國際上極欲發展新式的固態脫硫法，作為未來系統節能與程序優化之用。本單位在固態脫硫研究上，目前已成功用含浸法開發出中孔徑矽基材系列的固態吸附劑，組成含有 20~60 wt% 氧化鐵。經表面分析儀檢測，其 EBT 表面積至少在 $200 \text{ m}^2/\text{g}$ 以上。進一步則分析其吸附效能，比較各組操作參數對吸附效能的影響。在溫度參數 ($400\sim 700^\circ\text{C}$) 與空間流速 ($8000\sim 20000 \text{ ml/g.hr}$) 上，研究發現此類參數越高越不利吸附效能表現，吸附劑硫載量 (sulfur capacity) 介於 $2.2\sim 16.7 \text{ g-S}/100\text{g sorbent}$ 之間。而 10 次再生循環測試研究發現，當循環次數越多，吸附效能反而越佳，sulfur capacity 從 7.6 提升到 $24.8 \text{ g-S}/100\text{g sorbent}$ 。在結構上，反應後吸附劑轉變成硫化鐵 (FeS) 晶相，而 10 次再生後材料仍可變回氧化鐵 ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) 晶相，顯示固態吸附劑擁有良好的再生能力。相較於傳統脫硫，固態吸附劑擁有高活性與重複使用性，不管在效能或成本競爭上，未來商業化都具備發展潛力。

- (2) 陳以銘、余慶聰，柱狀捕碳劑工程量產與反應器測試，環境工程會刊，第 25 卷，第 1 期，1-13 頁，2014。

論文摘要：在二氧化碳高度排放的世代，為達碳平衡勢必需要發展有效之碳捕捉技術。然而，二氧化碳的捕獲分離成本就占了整體 CCS 技術的四分之三，使得開發有效之捕碳材料更顯重要。本研究已建置工程化製造反應系統以生產耐高溫柱狀捕碳劑，並透過熱重分析儀及反應器測試二氧化碳捕獲性能。捕碳材料是以共沉法 (co-precipitation) 合成一化學吸附劑-鈣/鋁層狀水滑石 (Ca/Al LDH) 並擠壓成柱狀形式，再透過 TGA 分析以比較工程化量產與實驗室合成之捕碳劑效能差異，而後以 1kW 固定床反應器實際測試二氧化碳吸/脫附性能，並與商用 CaO 比較捕碳效能及循環測試之穩定性。TGA 分析結果顯示，工程化量產與實驗室合成之捕碳劑效能相

當，捕碳量皆可達 50Wt%，且 10 次循環吸/脫附後穩定性皆可達 90%以上。此外，經由反應器抗劣化實測結果發現，工程化量產之 Ca:Al=7:1 LDH 在 5 次迴圈測試下捕獲量仍高於 CaO 兩倍以上(13.2g / 6.4g)，且穩定性保持於 70%以上，效果明顯優於商購 CaO，得以驗證本高溫柱狀捕碳劑實際應用於除碳反應器之可行性。

2. 發表國內會議論文 5 篇

- (1) Manatura K., Hsu H.T., Yang K.C., Lu J.H., Wu K.T., Energy Analysis of Biomass Gasification in a Fluidized Bed, 2014 中華林產事業協會學術論文暨研究成果研討會，2014 年 5 月 16 日，台中市國立中興大學。
- (2) 陳以銘、余慶聰，奈米層狀碳酸鹽之中高溫捕碳劑，第 11 屆環境保護與奈米科技學術研討會，2014 年 5 月 17 日，臺中市中山醫學大學。
- (3) 郭煥廷、余慶聰，氧化鈣與氫氧鈣改質製備層狀材料並應用於中高溫 CO₂ 捕獲，第 11 屆環境保護與奈米科技學術研討會，2014 年 5 月 17 日，臺中市中山醫學大學。
- (4) 張家維、蕭述三、邱耀平、陳一順，兩階段顆粒床過濾器中固定床與移動床對除塵性能之研究，中國機械工程學會第 31 屆全國學術研討會暨 103 年度年會，2014 年 12 月 6-7 日，台中市逢甲大學。
- (5) 崔先棋、江滄柳、陳柏壯、邱耀平，三維流體化床之流場分析，中國機械工程學會第 31 屆全國學術研討會暨 103 年度年會，2014 年 12 月 6-7 日，台中市逢甲大學。

3. 發表國際會議論文 7 篇

- (1) Lin K.H., Yu C.T., Acidic Treatment of CaO-Based Materials for Medium-High Temperature CO₂ Capture, 2014 機械加工材料和機械技術國際會議(IC3MT2014)，2014 年 9 月 1 日，台大國際會議中心
- (2) Huang C.Y., Chyou Y.P., Svoboda K., Multiple Sulfidation/Regeneration Cycle Tests for Advanced Fuel Conversion Process by 20 wt%Fe₂O₃/Al₂O₃ Sorbent, 21st International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2014, 2014/8/23-8/27.
- (3) Svoboda K., Hartman M., Chyou Y.P., Kameníková P., Pohorelý M., Šyc M., Thermodynamic possibilities of producer gas desulfurization and dechlorination by Ce, La, and Mn based solid sorbents and regeneration of sorbents after sulfidation, 41st International Conference of SSCHE May 26–30, 2014, Tatranské Matliare, Slovakia.
- (4) Hartman M., Svoboda K., Pohorelý M., Šyc M., Jeremiáš M., Huang C.Y., Thermodynamic interferences of HCl and HF in producer gas desulfurization by Ce, La, Mn and Zn based solid sorbents, 21st International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2014, 2014/8/23-8/27.
- (5) Svoboda K., Hartman M., Pohorelý M., Šyc M., Kameníková P., Jeremiáš M., Huang L.W., Thermodynamic Possibilities and Limits for Producer Gas Desulfurization and HCl Related Interferences for Zn, Mn, Ce and La Based Sorbents of Sulfur Compounds, The International Conference on Machining, Materials and Mechanical Technologies (IC3MT), 2014, 8/31-9/5, Taipei, Taiwan.
- (6) Huang L.W., Jian Y.J., Huang C.Y., Chyou Y.P., Svoboda K., Application of Silica-Supported Sorbents into Coal-derived Syngas Desulfurization Field for Clean Coal Technologies Development, 2014 The Annual Conference on Engineering and Technology (2014 ACEAT), 2014, 10/15-10/17, Osaka, Japan.

- (7) 林國興，余慶聰，天然石灰石製備中高溫鈣鋁捕碳劑及其特性分析，2014 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇，2014 年 9 月 13 日，中國大陸徐州。

社會影響 outcomes

- (一) 本計畫所推動之淨碳多元應用，其可將碳基燃料轉換為化學品、氣態燃料、液態燃料等。該技術除適合國內多元產業需求外、亦可增進國內能源自主度，未來亦可展望於低品位煤之應用，配合發展中之潔淨技術，其污染度可較現有水準為低。
- (二) 目前國內仍未發展出可商業化且低成本的燃燒前二氧化碳捕獲技術，藉由此項技術的發展並搭配燃煤氣化技術，未來將可發展出高效能且低二氧化碳排放之發電與合成氣生產技術，協助國內相關廠商進行產業升級。
- (三) 將淨化技術導入電廠中可以減少污染物的排放，降低黑煙以及酸雨的危害；並可為本國提升在綠能產業的競爭力。
- (四) 與國內大學及研究機構交流，共同開發淨化技術，並對於顆粒體淨化生質廢棄物氣化燃燒產生高溫氣體系統設計上提出商業化建議，為國內設計顆粒床淨化高溫氣體系統之重要基石。
- (五) 利用高溫乾式脫硫技術取代商轉除硫技術，以解決用水量大及系統熱效率降低的缺點，為未來發展趨勢。
- (六) 進行相關系統及技術研發，並配合台灣相關產業的應用，如此一來將能創造更多商機，也能培養更多相關專業人才，建立台灣在此產業技術的國際競爭力。除此之外，更能降低經濟發展對生活環境所造成的汙染與破壞，達到經濟與優質生活雙贏的局面。
- (七) 我國碳捕獲技術研究與捕碳性能驗證技術研究仍處於初期研究階段，建立開發鈣系捕碳劑製造技術，其具有材料取得容易、成本低廉與製作方法簡單等優點，亦可於我國建立淨碳示範系統時，提供相關硬體設計與操作參數。
- (八) 加強與國內大學及研究機構的交流，並且透過參加重要相關研討會，宣導節能減碳的新能源概念，加強一般大眾對潔淨能源的認知，藉以達到教育民眾節能減碳與愛護地球環境的目的。

經濟效益 outcomes

- (一) 建立氣體淨化材料量產示範技術，可協助國內產業開發自有的吸附劑與建構中高溫氣體捕獲程序，以減少環境汙染與兼顧系統熱效率。
- (二) 燃燒前二氧化碳捕獲技術開發計畫研究重點在固體捕碳劑研製，具有低能耗、低成本、高反應性及環境永續之優點，為美國 DOE 建議未來 5-10 年內具前瞻性減碳技術之一。
- (三) 國外傳統氣體淨化技術已商業化多年，但是高效率、低成本系統之先進技術均在研發中。藉由中高溫淨化技術的執行，並與國內外研發單位及國內產業界充分整合獲得支援以開發先進技術，以獲得最大經濟效益。
- (四) 本計畫團隊已持續與國內產業接觸中，藉由氣化技術結合煤炭與生質物之混合氣化技術之導入，除可降低碳排放外，更可進一步降低污然排放。目前已與國內鋼鐵業積極接觸中，針對生質物流體化床氣化多元應用進行技術合作。
- (五) 燃燒前二氧化碳捕獲技術開發的重點在突破現有技術瓶頸，研製具有高溫抗劣化能力的固體氧化鈣系捕碳劑，並建立中大型反應器中的反應程序，將此捕碳劑的優勢極大化，未來可以此技術協助國內廠商跨入二氧化碳捕獲技術。
- (六) 針對未來先進低耗能氣體分離技術，本計畫已著手佈局相關薄膜反應器技術，藉此提升國內於淨碳能源技術之際爭力。
- (七) 現國內已將溫室氣體排放列為空氣污染氣體，預期未來將進一步進行排放量管制。透過本計畫系統設計與關鍵元件（氣化爐等）之數值模型與設計能量的建立，有助於未來氣化爐本體與應用程序的最佳化設計，可避免在設計初期的資源浪費。提供節省燃料的耗用、降低二氧化碳的排放以及二氧化碳捕獲等成本相對低廉之技術。
- (八) 二氧化碳減量已成為國際減緩全球暖化現象之共識，能掌握關鍵技術者將可主導永續發展議題，並獲得可觀之經濟效益。2012 年 3 月 27 日，美國環保署提出新電廠之碳排放標準，主要規定新電廠的排放量上限為不超過 1,000 lb CO₂/MWh gross，我國環保署正式公告包含 CO₂ 等 6 種溫室氣體列為空氣污染物(經濟日報 2012.5.9)，未來國內相關產業，如第 1 類固定汙染源水泥、鋼鐵業..，第 2 類年排放量 2.5 萬公噸以上如石油、石化..等產業皆必須申報其碳排放量。國內相關產業在減碳技術研發應逐漸具有需求性亦更增本計畫之效益。
- (九) 中高溫合成氣淨化技術開發：因應兩階段濾材不同質量流率實驗所需，而所規劃的分離運輸裝置可供分離濾材使用，未來更可將其應用於先進氣化發電與多聯產系統，同時輸送介質(或吸附物)且不同流率之過濾器使用，中高溫脫硫劑具有高反應性、再生循環特性與熱效率佳等優點，可結合既有的發電廠、化工廠或煉鋼廠等產業使用。

技術創新成就 outcomes

專利：103 年度累計專利產出共 10 件，含專利獲得 5 件（中華民國 3 件、美國 2 件，含領證中 1 件），專利申請 5 件（中華民國 2 件、美國 3 件），與技術報告 9 篇，其專利與摘要說明如下：

1. 專利(獲得證書號 4 件)

- (1) 邱耀平等，富氫氣體燃燒器，取得中華民國專利證書，發明第 I435978 號，2014 年 5 月 1 日。

摘要說明：一種富氫氣體燃燒器，其包含一腔體；一與腔體結合之冷卻空氣護罩，使護罩內定義出一燃燒室；一與非預混燃料流道連通之燃料噴射器；一設於燃料噴射器周圍之漩渦產生器，使漩渦產生器下游之腔體內定義出一部分預混環道；一與燃料噴射器對應之點火器；以及一套設於腔體與冷卻空氣護罩外之外殼，使外殼內定義出一冷卻空氣流道。藉此，可將燃料與空氣以非預混方式注入腔體內，配合漩渦產生器及燃料噴射器，氣體先在部分預混環道內進行初步混合之後再進入燃燒室內，並以點火器產生漩渦火焰，在燃燒器噴嘴出口處形成駐焰機構，使火焰在燃燒室內穩定燃燒，讓燃燒產生之高溫氣體離開燃燒室前，先以流入冷卻空氣護罩內之冷卻空氣逐步流入燃燒室進行稀釋降溫，之後再離開燃燒室推動渦輪機，進而帶動發電機進行發電，而達到有效混合燃料與空氣、避免回火以及防止燃燒器損壞之功效。

- (2) 邱耀平等，用於流動式顆粒床過濾器之氣體分佈裝置，取得中華民國專利證書，發明第 I438030 號，2014 年 5 月 21 日。

摘要說明：本發明係一種用於移動式顆粒床過濾器之氣體分佈裝置，其係提供一種能使不均勻分佈且具有粉塵之氣流於流入移動式顆粒床過濾器前，使該氣流形成為一均勻分佈之氣流，並過濾粉塵。

- (3) 余慶聰等，Method of fabricating medium-high temperature CO₂ sorbents made of alkali metal promoted calcium aluminate carbonates，取得美國專利，US8,754,002B2，2014 年 4 月 25 日。

摘要說明：A dry material is synthesized by alkali metal (Li, Na and K) promoted calcium aluminate carbonates to obtain a CO₂ sorbent used at a temperature higher than 600 Celsius degrees (°C.). The key composition of the sorbents is 52~69% of CaO, which is beneficial to capture CO₂ at 400~800° C. A breakthrough result is achieved by using this sintering-resistant sorbent, which includes the features of 50% initial carbonation capacity and 20 folds CO₂ capturing performance maintained after 40~60 hours. Besides, alkali bearing material provides good velocity in CO₂ capturing/releasing cycles; for example, by using Li and K series sorbents, 40 hours is required for 40 cycles only.

- (4) 余慶聰等，含鹼金屬改質之鈣鋁碳酸鹽中高溫捕碳劑製造方法，取得中華民國專利，發明第 I446954 號，2014 年 8 月 1 日。

摘要說明：一種乾式吸收二氧化碳之中高溫捕碳劑製造方法，其組成包含鹼金屬

(Alkali, IA)與鹼土金屬(Alkaline, IIA)之氧化物及氧化鋁、碳酸鹽形成的鹼性碳酸鹽複合材料之中高溫捕碳劑。其係利用不同鈣離子來源如 $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 或 CaCl_2 或 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 與 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ，利用 NaOH 及不同碳酸鹽如 Li_2CO_3 、 Na_2CO_3 、 K_2CO_3 混合製成之複合材料。該複合材料主要分為 Li、Na、K 等三種系列，所含有之 CaO 平均含量 52~69% 範圍，可於中高溫（400~800°C 以上）捕捉 CO_2 。其起始捕碳量達 50 wt.% 以上，此捕碳量能維持 40~60 小時以上，獲得比捕碳劑用量 20 倍重 CO_2 捕獲量。含有 Li、K 材料可促進捕碳速度，單次迴路可縮短為 1.0 小時，在 40 次捕碳迴路只需 40 小時。

2. 專利(申請 5 件)

- (1) 邱耀平等，Membrane Reactor with Divergent-flow Channel, 申請美國專利，US 14/264,264, 2014 年 4 月 29 日。
- (2) 邱耀平等，Membrane Reactor Apparatus for Recovering Heat of Reaction, 申請美國專利，US 14/264,417, 2014 年 4 月 29 日。
- (3) 邱耀平等，廢料餘熱回收裝置及其方法，申請中華民國專利，103128131, 2014 年 8 月 15 日。
- (4) 余慶聰等，Method of fabricating pelletized medium-high-temperature CO_2 sorbent of Ca-Al-CO_3 , 申請美國專利，US 14/468,498, 2014 年 9 月 4 日。
- (5) 余慶聰等，含鈣鋁碳酸鹽中高溫捕碳劑造粒製造方法，申請中華民國專利，103124649, 2014 年 8 月 19 日。

其它發展 outcomes

- (一) 對於目前面臨氣候暖化及化石燃料短缺所帶來的問題，潔淨能源的開發已列入國家研究的重大政策，因此透過中高溫氣體淨化技術的開發，增加國內、外等相關研究單位交流，並提高其研究水準，同時也進而提升相關氣體淨化技術。
- (二) 以顆粒床淨化技術，完成系統初步淨化測試，相關數據將提供國內外相關產業在淨化設備及技術之選項。以顆粒床淨化技術，完成系統初步淨化測試，相關數據將提供國內外相關產業在淨化設備及技術之選項。
- (三) 燃燒前二氧化碳捕獲技術開發計畫亦配合整體計畫需求，於國內應用與國際合作案中協助提供相關技術資料，以促進整體計畫未來產業化發展。
- (四) 美國環保署發表「清潔電力計畫」(Clean Power Plan)提案，目標至西元 2030 年時全美電力產業之溫室氣體排放量，相對於西元 2005 年水準將減少 30%預期將可加速潔淨破技術之產業發展。
- (五) 國際合作：與波蘭煤炭化工程序研究所(Institute for Chemical Processing of Coal) 洽談技術合作，MoU 簽訂中，規劃於 104 年度進行合作架構與內容洽談。
- (六) 以氣化技術為基礎之煤炭轉換與應用程序，可為我國邁向低碳社會、增進低碳經濟之選項之一。其相關之技術數據以及國內外現況除可提供計畫成員、學界、政府機關與業界參考外，並可提供國內進行能源經濟與能源政策評估等計畫使用。
- (七) 本計畫為國家型計畫，在計畫管考上除配合能源辦公室之管考作業外，並另行提報週報、月報、進度簡報、甘特圖等作業，以期圓滿達成計畫之目標。其一般作業期程說明如下：
 - 1. 每月一次例會：各工作群組負責人，針對各工作群組執行現況以及需協商處理事務進行討論
 - 2. 每月一次全員會議：
 - (1)指定一位計畫成員以英文進行工作現況簡報，砥礪英文交流能力
 - (2)各成員針對工作進度以及需計畫協調處理之事務進行討論
 - (3)每月一次分組工作討論會議，針對各工作群組之工作細節以及解決方案討論

差異分析

(一) 目標達成情形：

1. 完成氣化爐於不同操作參數(ER 值及溫度)的氣化測試，該生成氣體及成分變化趨勢合乎預期。
2. 完成中高热模除塵設備於中高温環境(溫度 500°C)之性能驗證測試，其系統之過濾效率可達 92%。
3. 完成脫硫量產機台建置與測試，已可合成一批產量大於 0.5 kg 之鐵系脫硫劑，其晶相結構透過 XRD 鑑定後為 Fe_2O_3 相，與先前小規模合成結果一致。後續將進行其他物性分析，如 BET 或 ICP，以便掌握量產後之材料品質。
4. 完成鐵系脫硫劑 10 次脫硫再生循環測試，在最佳合成氣氛下(30% CO , 10% H_2 , 1% H_2S , 5% CO_2 , N_2 for balance)，其化學穩定性可維持在 90% 以上。
5. 以多次含浸法製備 5-40 wt% 金屬氧化物脫硫劑，並完成 ICP 與 XRD 分析。XRD 結果顯示，該脫硫劑具有良好 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 晶相；另外，ICP 結果顯示，其活性金屬含量實際值接近理論值。
6. 完成水汽對 20wt%- $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 脫硫劑之硫載量影響分析，結果顯示脫硫劑之硫載量會隨水流量增加而下降。在沒有添加水的情況下(合成氣氛為 30% CO , 10% H_2 , 1% H_2S , N_2 for balance)，硫載量為 6.50 g-S/100g sorbent；而水流量為 0.054 與 0.1 mL/min 時，硫載量分別下降至 2.64 與 0.07 g-S/100g sorbent。
7. 已完成原有設備「材料量產製造反應系統」之配件擴充，經配件擴充後可縮短生產捕碳劑之時程並減少粉塵量。
8. 完成 CaO 顆粒、 CaO 粉體與 Ca-Al-CO_3 顆粒 TGA CO_2 捕獲測試，結果顯示捕獲量順序 CaO (粉體) 67 wt% > Ca-Al-CO_3 (顆粒) 55 wt % > CaO (顆粒) 22 wt %。後續將進行物性分析與進行 10 kW 反應器測試工作。
9. 完成流體化床氣化計算分析模型，已建立氣固介面計算模型。目前已可初步解析煤炭於氣化爐內之反應現象與氣體分佈以及主要反應之反應速率。

(二) 執行差異：

無差異

三、 量化成果

績效屬性	績效指標	初級產出量化值	效益說明
學術成就	A.論文	本計畫相關研究成果發表於國內會議論文 12 篇、國際期刊 6 篇(SCI 5 篇)、國內期刊 2 篇，包括： 1. Journal of Alloys and Compounds：1 篇 2. Journal of the Chinese Institute of Engineers:1 篇 3. International Journal of Hydrogen Energy:2 篇 4. Industrial & Engineering Chemistry Research:1 篇 5. 化工技術:1 篇 6. 環境工程會刊：1 篇	1. Journal of Alloys and Compounds 期刊之 Impact Factor (2013)為 2.726，該期刊在 SCI/JCR 之分類 (Metallurgy, Metallurgical Engineering)排序為 $5/75=6.7\%$。 2. Journal of the Chinese Institute of Engineers 為中工會主辦之 SCI 期刊，Impact Factor (2013)為 0.209，在 JCR 之分類屬於 (Engineering, Multidisciplinary) 排序為 $81/87=93.1\%$，為國內學會發表研發成果之重要平台。 3. International Journal of Hydrogen Energy 期刊之 Impact Factor (2013)為 2.930，該期刊在 SCI/JCR 之分類(Energy & Fuel)排序為 $29/83=34.9\%$。 4. Industrial & Engineering Chemistry Research 期刊之 Impact Factor (2013)為 2.235，該期刊在 SCI/JCR 之分類(Engineering, Chemical)排序為 $36/133=27.1\%$。將研發成果除發表在國際及國內期刊外，亦同時投稿及發表於國內外學術會議中，使本計劃研

			發水準與世界同步，並可提昇本所之國際研發地位。
	AD.欲發表論文	欲發表國外期刊論文數為 1 篇(Applied Thermal Engineering, in press)	經由國際性期刊之投稿，宣示我國淨碳技術之規劃
	B.合作團隊養成	與交大、中央、成大、興大、台科大進行技術交流或合作	1. 建立國內研究團隊，培養國內未來淨碳技術人才 2. 針對淨碳技術逐步成立整合型研究群
	C.博碩士培育(人才培育)	參與計畫執行之碩士研究生及博士研究生共 6 人	培育在合成氣淨化技術、中高溫除塵系統、中高溫二氧化碳吸附劑合成，有助於未來計畫的推動以及我國未來減碳技術相關人才之養成。
技術創新	G.專利(智慧財產)	累計專利產出共 10 項，包含獲得 5 項(中華民國 3 項、美國 2 項)及申請 5 項(中華民國 2 件、美國 3 件)之專利	淨碳技術專利地圖佈局中，後續將逐步進行技轉(授權)事宜
	H.技術報告	9 篇	完成 9 篇技術報告，可提供計畫後續研發方向以及國際合作之參考
	I.技術活動	發表於國內或國外研討會(12 場次)，包括： 1. 2014 中華林產事業協會學術論文暨研究成果研討會，2014 年 5 月 16 日，台中市國立中興大學。 2. 第 11 屆環境保護與奈米科技學術研討會，2014 年 5 月 17 日，臺中市中山醫學大學。 3. 第 11 屆環境保護與奈米科技學術研討會，2014 年 5 月 17 日，臺中市中山醫學大學。 4. The International Conference on Machining, Materials and Mechanical Technologies (IC3MT), 2014, 8/31-9/5, Taipei, Taiwan. 5. 21st International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2014, 2014/8/23-8/27. 6. 41st International Conference of SSCHE May 26–30, 2014, Tatranské Matliare, Slovakia.	10.參與相關會議，藉此擴大與學術界之交流。並藉此開啟與國內廠商合作之契機。 11.發表論文「奈米層狀碳酸鹽之中高溫捕碳劑」於相關會議，與國內學術界交流並增加能見度。 12.發表論文「氧化鈣與氫氧鈣改質製備層狀材料並應用於中高溫 CO ₂ 捕獲」於相關會議，與國內學術界交流並增加能見度。

		7. 2014 The Annual Conference on Engineering and Technology (2014 ACEAT), 2014, 10/15-10/17, Osaka, Japan. 8. 2014 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇，2014 年 9 月 13 日，中國大陸徐州。 9. 中國機械工程學會第 31 屆全國學術研討會暨 103 年度年會，2014 年 12 月 6-7 日，台中市逢甲大學。	
--	--	---	--

依上述選定績效指標作如下之敘述：

項目	年度目標	年度衡量指標	實際達成度
總計畫	(1) 論文 (2) 專利 (3) 技術活動 (4) 碩博士培育 (5) 研究團隊養成	(1) 論文 國際期刊：3 篇 國內期刊論文：2 篇 國內外會議論文：7 篇 (2) 專利：3 件 (3) 技術活動：7 次 (4) 碩博士培育：4 人 博士研究生：1 人 碩士研究生：3 人 (5) 研究團隊養成：3 所	(1) 論文 國際期刊：6 篇 國內期刊論文：2 篇 國內外會議論文：12 篇 (2) 專利：獲得 5 件及申請 5 件 (3) 技術活動：12 次 (4) 碩博士培育：6 人 博士研究生：2 人 碩士研究生：4 人 (5) 研究團隊養成：5 所
分項一	(1) 論文 (2) 專利 (3) 技術活動 (4) 碩博士培育 (5) 研究團隊養成	(1) 論文 國際期刊：2 篇 國內期刊論文：1 篇 國內外會議論文：5 篇 (2) 專利：1 件 (3) 技術活動：5 次 (4) 碩博士培育：3 人 博士研究生：1 人 碩士研究生：2 人 (5) 研究團隊養成：2 所	(1) 論文 國際期刊：5 篇 國內期刊論文：1 篇 國內外會議論文：8 篇 (2) 專利：獲得 3 件及申請 3 件 (3) 技術活動：8 次 (4) 碩博士培育：4 人 博士研究生：2 人 碩士研究生：2 人 (5) 研究團隊養成：4 所
分項二	(1) 論文 (2) 專利 (3) 技術活動 (4) 碩博士培育 (5) 研究團隊養成	(1) 論文 國際期刊：1 篇 國內期刊論文：1 篇 國內外會議論文：2 篇 (2) 專利：2 件 (3) 技術活動：2 次 (4) 碩博士培育：1 人 博士研究生：0 人 碩士研究生：1 人 (5) 研究團隊養成：1 所	(1) 論文 國際期刊：1 篇 國內期刊論文：1 篇 國內外會議論文：4 篇 (2) 專利：獲得 2 件及申請 2 件 (3) 技術活動：4 次 (4) 碩博士培育：2 人 博士研究生：0 人 碩士研究生：2 人 (5) 研究團隊養成：1 所

參、主要成就與成果所產生之價值與影響

重要成就與重大突破項目	權重(%)
一、學術成就(科技基礎研究、人才培育、國際研討會及論文發表)	40
二、技術創新(科技整合創新)	40
三、經濟效益(產業經濟發展、推動輔導、國際合作)	10
四、社會影響(創業育成、增加就業、環境安全永續)	5
五、其它效益(法規制度、科技政策管理及其它)	5
總計	100

重大突破：

- (一) 已完成操作參數 ER 值 0.2 及 0.3 於溫度 800°C 的氣化試驗機台操作測試，該生成氣體中之 CO, CO₂, H₂ 與 O₂ 皆可順利測定，其成分變化趨勢合乎預期。
- (二) 建置於 500°C 環境之 MGBF 除塵測試系統，為目前國內產、官、學界唯一運轉中之高溫設施。於中高溫(常溫~500°C)之環境下進行初期的熱模系統測試，由測試結果顯示，於操作參數 500°C、風速 35 cm/s、質量流率 600 g/min 之性能驗證測試，過濾效率>90%。
- (三) 完成脫硫量產機台建置與測試，已可合成一批產量大於 0.5 kg 之鐵系脫硫劑，其晶相結構透過 XRD 鑑定後為 Fe₂O₃ 相，與先前小規模合成結果一致。後續將進行其他物性分析，如 BET 或 ICP，以便掌握量產後之材料品質。
- (四) 完成鐵系脫硫劑 10 次脫硫再生循環測試，在最佳合成氣氛下(30% CO, 10% H₂, 1% H₂S, 5% CO₂, N₂ for balance)，其化學穩定性可維持在 90%以上。
- (五) 以多次含浸法製備 5-40 wt%金屬氧化物脫硫劑，並完成 ICP 與 XRD 分析。XRD 結果顯示，該脫硫劑具有良好 α-Fe₂O₃ 晶相；另外，ICP 結果顯示，其活性金屬含量實際值接近理論值。
- (六) 完成水汽對 20wt%-Fe₂O₃ /SiO₂ 脫硫劑之硫載量影響分析，結果顯示脫硫劑之硫載量會隨水流量增加而下降。在沒有添加水的情況下(合成氣氛為 30% CO, 10% H₂, 1% H₂S, N₂ for balance)，硫載量為 6.50 g-S/100g sorbent；而水流量為 0.054 與 0.1 mL/min 時，硫載量分別下降至 2.64 與 0.07 g-S/100g sorbent。
- (七) 完成 CaCO₃ 與 LDH 於 10 kW 捕碳反應測試，結果顯示第 5 cycle LDH 穩定性明顯優於 CaCO₃(67/ 36 %)
- (八) 完成流體化床氣化計算分析模型，已建立氣固介面計算模型。目前已可初步解析煤炭於氣化爐內之反應現象與氣體分佈以及主要反應之反應速率。

肆、本年計畫經費與人力執行情形

一、計畫經費執行情形：

(一) 計畫結構與經費

單位：仟元

計畫名稱	經費	主持人	執行機關
碳基能源永續潔淨利用技術發展(1/4)	16,461	邱耀平	行政院原子能委員會核能研究所

(二) 經資門經費表

單位：仟元

會計科目		預算數 / (執行數)				備註
		主管機關預算 〔委託、補助〕	自籌款	合計		
				金額〔仟元〕	占總經費%	
一、經常支出						
1.人事費						
2.業務費		12,755/12,751		12,755/1,2751	77.49%/77.46%	
3.差旅費						
4.管理費						
5.營業稅						
6.其他						
小計		12,755/12,751		12,755/12,751	77.49%/77.46%	
二、資本支出		3,706/3,706		3,706/3,706	22.51%/22.51%	
小計		3,706/3,706		3,706/3,706	22.51%/22.51%	
合計	金額	16,461/16,457		16,461/16,457	100%/99.97%	
	占總經費%	100%/99.97%		100%/99.97%		

執行數與預算數差異說明：

(二) 100 萬以上儀器設備

單位：元

序號	儀器設備名稱	支出金額
1		
	總計	0

二、計畫人力執行情形

(一) 計畫人力

執行情形	總人力	研究員	副研究員級	助理研究員級	專任助理(碩士以上)	專任助理(學士)	兼任(含碩博士)	博士後	其他
原訂	144	13	32	65	0	34	0	0	0
實際	144	13	32	65	0	34	0	0	0
差異	0	0	0	0	0	0	0	0	0

與原核定計畫差異說明：

無

(二) 主要人力投入情形

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
邱耀平	研究員	6 人月 計畫主持人	學 歷	博士
			經 歷	副研究員
			專 長	機械工程、能源技術
陳柏壯	副工程師 (副研究員級)	8.4 人月 氣化系統設計技術開發	學 歷	博士
			經 歷	核能研究所國防訓儲工程師
			專 長	機械工程、能源技術
余慶聰	副研究員	9.6 人月 分項計畫主持人	學 歷	博士
			經 歷	副研究員
			專 長	奈米化學與材料分析
陳一順	副工程師 (副研究員級)	12 人月 中高溫除塵技術開發	學 歷	博士
			經 歷	副工程師
			專 長	機械工程
陳文雄	副研發師 (副研究員級)	9.6 人月 中高溫捕碳技術開發	學 歷	博士
			經 歷	核能研究所副研發師
			專 長	化學工程
郭奐廷	副研發師 (副研究員級)	9.6 人月 中高溫捕碳技術開發	學 歷	博士
			經 歷	核能研究所副研發師
			專 長	化學
林國興	副研發師 (副研究員級)	9.6 人月 中高溫捕碳技術開發	學 歷	博士
			經 歷	核能研究所副研發師
			專 長	化學工程

伍、本計畫可能產生專利智財或可移轉之潛力技術(knowhow)說明

- 一、 根據氣化系統相關研究結果及分析，進行合成氣應用與過濾裝置初步設計，並已完成富氫氣體燃燒器、中高溫過濾器系統及周邊裝置初期之測試工作，其相關成果已獲得專利 3 件，內容詳述如下：

- (一) 邱耀平等，富氫氣體燃燒器，取得中華民國專利證書，發明第 I435978 號，2014 年 5 月 1 日。

摘要說明：一種富氫氣體燃燒器，其包含一腔體；一與腔體結合之冷卻空氣護罩，使護罩內定義出一燃燒室；一與非預混燃料流道連通之燃料噴射器；一設於燃料噴射器周圍之漩渦產生器，使漩渦產生器下游之腔體內定義出一部分預混環道；一與燃料噴射器對應之點火器；以及一套設於腔體與冷卻空氣護罩外之外殼，使外殼內定義出一冷卻空氣流道。藉此，可將燃料與空氣以非預混方式注入腔體內，配合漩渦產生器及燃料噴射器，氣體先在部分預混環道內進行初步混合之後再進入燃燒室內，並以點火器產生漩渦火焰，在燃燒器噴嘴出口處形成駐焰機構，使火焰在燃燒室內穩定燃燒，讓燃燒產生之高溫氣體離開燃燒室前，先以流入冷卻空氣護罩內之冷卻空氣逐步流入燃燒室進行稀釋降溫，之後再離開燃燒室推動渦輪機，進而帶動發電機進行發電，而達到有效混合燃料與空氣、避免回火以及防止燃燒器損壞之功效。

- (二) 邱耀平等，用於流動式顆粒床過濾器之氣體分佈裝置，取得中華民國專利證書，發明第 I438030 號，2014 年 5 月 21 日。

摘要說明：本發明係一種用於移動式顆粒床過濾器之氣體分佈裝置，其係提供一種能使不均勻分佈且具有粉塵之氣流於流入移動式顆粒床過濾器前，使該氣流形成為一均勻分佈之氣流，並過濾粉塵。

- 二、 為提昇捕碳劑捕碳量與迴路穩定性，嘗試添加 Li, Na, K 等鹼金屬於其中，結果發現其具有顯著的效果，其相關成果已獲得專利 2 件，內容詳述如下：

- (一) 余慶聰等，Method of fabricating medium-high temperature CO₂ sorbents made of alkali metal promoted calcium aluminate carbonates，取得美國專利，核准公告中。

摘要說明：A dry material is synthesized by alkali metal (Li, Na and K) promoted calcium aluminate carbonates to obtain a CO₂ sorbent used at a temperature higher than 600 Celsius degrees (°C.). The key composition of the sorbents is 52~69% of CaO, which is beneficial to capture CO₂ at 400~800° C. A breakthrough result is achieved by using this sintering-resistant sorbent, which includes the features of 50% initial carbonation capacity and 20 folds CO₂ capturing performance maintained after 40~60 hours. Besides, alkali bearing material provides good velocity in CO₂ capturing/releasing cycles; for example, by using Li and K series sorbents, 40 hours is required for 40 cycles only.

- (二) 余慶聰等，含鹼金屬改質之鈣鋁碳酸鹽中高溫捕碳劑製造方法，取得中華民國專利，核准公告中。

摘要說明：一種乾式吸收二氧化碳之中高溫捕碳劑製造方法，其組成包含鹼金屬(Alkali, IA)與鹼土金屬(Alkaline, IIA)之氧化物及氧化鋁、碳酸鹽形成的鹼性碳酸鹽複合材料之中高溫捕碳劑。其係利用不同鈣離子來源如 $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 或 CaCl_2 或 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 與 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ，利用 NaOH 及不同碳酸鹽如 Li_2CO_3 、 Na_2CO_3 、 K_2CO_3 混合製成之複合材料。該複合材料主要分為 Li、Na、K 等三種系列，所含有之 CaO 平均含量 52~69% 範圍，可於中高溫（400~800°C 以上）捕捉 CO_2 。其起始捕碳量達 50 wt.% 以上，此捕碳量能維持 40~60 小時以上，獲得比捕碳劑用量 20 倍重 CO_2 捕獲量。含有 Li、K 材料可促進捕碳速度，單次迴路可縮短為 1.0 小時，在 40 次捕碳迴路只需 40 小時。

陸、與相關計畫之配合

- (一) 本年度計畫團隊另案執行申請能源局「潔淨低碳多元應用暨氣體處理技術發展」能源科技專案計畫；另透過能源局科長的邀請，未來有機會參與 CCS 研發聯盟等淨碳聯盟之活動，可拓展與其他單位合作的契機。
- (二) 本年度本計畫與捷克科學院轄下之化學製程原理研究所共同合作執行科技部(國科會)雙邊合作計畫，其內容主要為氣體淨化技術。另在本所之中高溫氣體淨化技術研發項目正進行脫硫劑量產製程與 10 kW 先導反應平台建立與測試，後續將努力達到與國際相當的研發水平，方可有與國際產業面合作的可能性。
- (三) 本計畫團隊現正協助推動工業區能源整合供應示範案例，該案例整合產(中鋼)、學(中央、虎科、元智等)、研(工研院、核研所)團隊。預定於 5 年時間、完成工業區氣化技術多元應用示範 (~50 MW)。本計畫團隊現另參與淨煤主軸中心兩案計畫執行(中央、核研所各主導一案計畫執行)，希望藉此落實淨煤氣化、淨化、轉化技術之多元應用，並以實廠驗證方式奠基技術產業化進程。
- (四) 因應國際合作與國內產業化需求，燃燒前二氧化碳捕獲技術開發計畫協助提供相關技術資料，以促進整體計畫未來合作案發展。此外，此二氧化碳捕獲技術亦可與氣化技術銜接，降低後端二氧化碳排放。
- (五) 與波蘭煤炭化工程研究所(Institute for Chemical Processing of Coal) 洽談技術合作，MoU 簽訂中，規劃於 104 年度進行合作架構與內容洽談。

柒、後續工作構想之重點

- (一) 完成 700~900°C 間之氣化實驗，分析合成氣之組成以及氣化劑變動對合成氣之影響進行分析。
- (二) 進行濾材之質量流率對過濾效率影響之分析。
- (三) 將量產後的吸附劑進行 10 次脫硫再生循環反應，驗證材料品質，其吸附劑最終硫載量尚可維持在起始值之 80%。
- (四) 開發抗劣化捕碳劑量產程序，技術指標為該捕碳劑穩定性大於 90%。
- (五) 建置 1-10 kW 捕碳反應器設備，提供後續捕碳劑評估測試與反應程序建立使用。
- (六) 精進流體化床氣化爐內反應行為分析模型以及氣化合成氣多元應用系統性能分析模型。

捌、檢討與展望

- (一) 現已著手建立淨碳技術驗證設施，進行氣化爐常壓操作工作，該量測數據將可配合關鍵元件數值計算與模型建置工作。提供相關實驗之數據進行驗證工作，藉此使模型之準確度得以提升。
- (二) 目前已與中鋼洽談採用生質物經氣化技術轉換為氣態燃料作為 SOFC 發電，藉此將本計畫所發展的基礎技術實際應用於相關產業上。
- (三) 由於國內對於中高溫過濾技術發展尚未整合，另其相關基礎工業技術不足，而國外在相關氣體淨化技術已發展多年並具有一定之實際經驗；藉由本項目的執行，可獲得相關設計與開發之實務經驗，除了可降低相關經驗不足之衝擊，並可使熱模系統更具實務價值。
- (四) 目前國內尚未有高溫脫硫劑之量產技術，藉由本計畫之執行，便可評估其吸附劑應用至產業之可行性。
- (五) 目前國內尚未具有低成本且高效能的燃燒前二氧化碳捕獲技術，藉由本計畫的執行將可逐步提升國內的技術水準，突破此一困境。

主持人： 邱耀平 聯絡電話：03-4711400#5050

E-mail：ypchyou@iner.gov.tw

計畫主持人已閱讀上述計畫成果效益報告內容，並同意提送第二期能源國家型科技計畫辦公室、相關連結小組/主軸中心，彙整後提送行政院、立法院及科技部備查。

附件：圖片說明

(一)圖片名稱：中華民國專利「富氫氣體燃燒器」參加_2014 台北國際發明暨交易技術展獲得銀牌獎（與中央大學合作）.jpg

說明：中華民國專利「富氫氣體燃燒器」參加_2014 台北國際發明暨交易技術展，獲得銀牌獎（與中央大學合作）



附錄：103 年度期末審查意見回覆

103 年度科技計畫(期末)成果效益報告審查委員意見及回覆表

計畫名稱：碳基能源永續潔淨利用技術發展	
審查單位：核能研究所	
審查委員意見	回覆說明
1. 本報告之下列頁數：p.11、p.13、p.17、p.20、及 p.24，有部分化學式之數字沒有以下標表示，影響報告品質，請仔細檢閱全文，並更正誤植之部份。	謝謝委員意見，全文已重新修正。
2. 本報告誤植部份更正後，同意本報告且無需覆審。	謝謝委員。