

行政院原子能委員會 101 年度  
政府科技計畫期末成果效益報告  
(101.1.1 ~ 101.12.31)

計畫名稱：淨碳技術發展

執行期間：

全 程：自 99 年 1 月 1 日至 102 年 12 月 31 日 止

本年度：自 101 年 1 月 1 日至 101 年 12 月 31 日日 止

主辦單位：核能研究所



## 目 錄

壹、基本資料.....	1
貳、計畫目的、計畫架構與主要內容.....	1
一、計畫目的.....	1
二、計畫架構(含樹狀圖).....	5
三、計畫主要內容.....	5
四、本年度預期目標及實際達成情形.....	6
參、計畫已獲得之主要成果與重大突破 (含質化與量化成果 outputs).....	7
一、本計畫重要成果及重大突破.....	7
二、績效指標項目初級產出、效益及重大突破.....	11
肆、主要成就及成果所產生之價值與貢獻度(outcomes).....	18
一、學術成就(科技基礎研究)(權重_40_%).....	18
二、技術創新(科技整合創新)(權重_40_%).....	23
三、經濟效益(產業經濟發展)(權重_10_%).....	27
四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重_5_%).....	28
五、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 5%).....	29
伍、本年度計畫經費與人力執行情形.....	30
一、計畫經費執行情形.....	30
(一)計畫結構與經費.....	30
(二)經資門經費表.....	30
(三)100 萬以上儀器設備.....	31
二、計畫人力運用情形.....	31
(一)計畫人力.....	31
(二)中綱計畫執行期間累計主要人力(副研究員級以上)投入情形... ..	32
陸、本計畫可能產生專利智財或可移轉之潛力技術(knowhow)說明.....	36
柒、與相關計畫之配合.....	38
捌、後續工作構想之重點.....	41
玖、檢討與展望.....	42
附錄一、佐證資料表.....	44
附錄二、實際達成情形佐證圖表.....	53
附錄三、101 年度期中審查意見回覆辦理情形.....	錯誤! 尚未定義書籤。
附錄四、101 年度期末審查意見回覆.....	錯誤! 尚未定義書籤。



## 第二部分：政府科技計畫成果效益報告

### 壹、基本資料

計畫名稱：淨碳技術發展

主持人：邱耀平

審議編號：101-2001-02-癸-06

全程期間：99年1月1日至102年12月31日

本年度期間：101年1月1日至101年12月31日

年度經費：22,164千元 全程經費規劃：112,920千元

執行單位：核能研究所

### 貳、計畫目的、計畫架構與主要內容

註：請依原綱要(細部)計畫書上所列計畫目的、架構、主要內容填寫

#### 一、計畫目的

(計畫全程以及各年度之具體目標填報)

IPCC 2007 AR4 揭櫫警訊顯示，全球暖化現象已昭然若揭，而主要元兇亦呼之欲出。為減緩全球氣候變化，吾人必須儘速投資於科技知識來支持人類活動全方位的必要改變，以確保邁向一個永續之未來。鑑於地球暖化之舉世效應，其因應對策亦須為全球化格局。近年來，各國面臨氣候暖化及石化燃料短缺所帶來的問題，莫不積極投入潔淨能源的開發；例如，如何減少火力電廠、化工廠、煉鋼廠等大量二氧化碳排放的淨碳技術最受各方關注，而先進氣化與二氧化碳捕獲、封存正為其關鍵。有鑑於此，國內權責單位宜務實面對此一問題，及早規劃因應對策。國內團隊經由促進國際交流，提升相關研發技術及開拓研發領域，預期將可加速強化國內在此方面之未來競爭優勢；其次，與國際團隊共同努力分擔風險，將有助於對國際社會宣示台灣對全球暖化議題之重視，可充分表達我國對永續發展議題積極參與之態度。

行政院於2008年6月5日，通過「永續能源政策綱領」，其內容涵蓋下列面向：(1)政策目標為創造跨世代能源、環境、經濟(3E)三方面平衡發展的社會體系；(2)基本原則將建構二高二低的能源消費型態與能源供應系統；(3)推動綱領將由能源供應面的「淨源」與能源需求面的「節流」做起。2008年9月4日，行政院進一步通過「永續能源政策綱領—節能減碳行動方案」，彙集各構面之節能減碳具體措施，輔以完善之法規基礎與相關配套機制之整體規劃，執行主要之具體行動計畫，加速推動台灣邁向節能減碳社會。「節能減碳」為環境倫理典範轉移的一場寧靜社會革命，政府將以政策導引的方式，逐步引領國人調整國民生活習慣與整體產業結構，推動社會消費與生產型態的寧靜革命。

2009年11月20日總統聽取「節能減碳專案報告—我國推動節能減碳政策措施與

發展遠景」簡報會議指示：行政院應強化現有跨部會專案小組整合功能，規劃我國「節能減碳總計畫」，訂定國家總目標，並定期提出檢討報告，發表節能減碳白皮書。而後於2010年1月18日行政院召開節能減碳推動會99年度第1次委員會。並於5月公布國家節能減碳總計畫，並定下國家節能減碳總目標為：

1. 節能目標：未來8年每年提高能源效率2%以上，使能源密集度於2015年較2005年下降20%以上；並藉由技術突破及配套措施，2025年下降50%以上。
2. 減碳目標：全國二氧化碳排放減量，於2020年回到2005年排放量，於2025年回到2000年排放量。

根據經濟部能源局於2010年7月出版之「我國燃料燃燒CO<sub>2</sub>排放統計與分析」顯示，我國2009年二氧化碳總排放量為239.615百萬公噸。依國際能源署(IEA)所出版之Key World Energy Statistics 2009資料，2007年我國二氧化碳總排放量為276.18百萬公噸，約佔全球總排放量(28,962百萬公噸)千分之9.5。當今歐美各國相繼為二氧化碳排放提出的減量策略，尤其歐美各國未來將對碳排放量大的國家進行貿易制裁，我國必須避免因溫室氣體排放問題成為經貿的絆腳石，節能減碳更成為是我國刻不容緩推動的重點。在「永續能源政策綱領」中，推動能源結構改造與效率提升係「淨源」方面之重點；而透過國際共同研發，引進淨煤技術及發展碳捕捉與封存，降低發電系統的碳排放尤其是關鍵。本研究係一整合型計畫，兼顧減碳策略評估與淨煤技術發展，掌握永續社會發展條件，逐步建構出前瞻性的能源政策評估模型、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，並籌建實驗級示範系統設施，及在中高溫(500度)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，冀望達成潔淨減碳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，配合國家儲碳策略規劃，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。

茲摘要說明全程計畫各主要工作分類與逐年相關目標如下：

#### 全程計畫摘要：

##### 1. 淨煤關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立

- (1)完成淨煤技術示範系統規劃、設計分析以及基礎建置工作。
- (2)進行高溫過濾器系統(>500°C)實驗測試與相關驗證，以符合示範系統後續之需求。
- (3)建立中高溫氣體轉化分離材料研製與性能特性資料庫，提供符合示範系統後續需求之材料配方以及反應器形式。
- (4)建立反應器系統與程序迴路，提供示範系統進行初步性能驗證。

##### 2. 中高溫碳捕捉與再利用技術開發：

- (1)建立公斤級捕碳劑研製技術，操作溫度>600°C，轉化率大於80-90%。
- (2)完成1-10 kW級碳捕獲反應器建置，以精進50-100小時以上除碳性能

## 各年度計畫目標：

## 99 年度：

1. 氣化系統設計與優化技術開發：
  - (1) 完成整合型穩態氣化系統(含 ASU, Gasifier, AGR, CC) 基礎模型與複循環發電熱工驗證操作模型 (如 GE7F) 的建構, 探討初步操作參數對系統的影響, 以提供後續進行不同燃料組成之研究。
  - (2) 建構反應器基本熱流場及化學反應 CFD 模型建置, 探討燃料轉換程序分析, 進行多相流反應與煤炭氣化程序分析。
2. 中高溫合成氣淨化技術開發：
  - (1) 完成顆粒移動床過濾器三維冷性能系統設計及建置, 並彙整測試結果 (過濾效率需達到 98%) 及進行數據分析, 以作為熱模設計之基礎參考資料。
  - (2) 完成合成氣淨化系統之可行性評估作業與反應機制選定作業, 以進行後續系統開發。
3. 化學迴路氣體分離程序技術開發：
  - (1) 完成化學迴路金屬載氧體(Oxygen carrier)材料製備方法研究, 載氧體材料物性(ICP-AES、XRD、BET、SEM 及 TGA)分析數據, 以進行後續載氧體化性測試。
  - (2) 進行化學迴路程序(CLP)冷模可行性評估與反應系統開發, 完成 75 kW 冷模化學迴路流體化床測試裝置建立。
4. 中高溫碳捕捉技術與再利用之研究與應用：
  - (1) 建置中高溫二氧化碳捕捉材料(Sorbent)研製與特性評估測試實驗室, 完成鹼性金屬氧化物開發與熱重分析測試 (600°C 以上捕碳轉化率大於 50%), 進行捕碳材料長時間穩定測試 (前 50 週期之捕碳效能維持在 90% 以上)。
  - (2) 建立碳源迴路及再利用評估 (Carbon cycle and Reutilization), 建立小型碳再利用反應器系統(溫度 30-80°C 及壓力 >80bar), 並進行利用路徑技術規劃並評估其反應性能。
5. 能源技術系統模型：
  - (1) 完成 MARKAL 模型住商部門分析及減碳情景設定。
  - (2) 完成 CGE 預測理論與初步模型建置, 以及 MARKAL-CGE 基本模型整合作業並進行整合模型情境設定與初步政策評估作業。

## 100 年度：

1. 淨碳系統模擬分析技術開發：
  - (1) 完成以 CFD 軟體(Fluent)建立氣化爐模型, 進行細部暫態化學反應分析工作與參數化研究。藉由建立數條均相與非均相反應式, 進行細部化學反應分析工作, 分析特定反應式對於氣化反應之影響。
  - (2) 建立 MW 級氣化多聯產系統分析模型, 進行 CO<sub>2</sub> 排放評估與程序調整。藉

由 Pro/II 軟體進行二氧化碳捕獲性能影響評估工作。探討氣化技術於發電應用結合 CO<sub>2</sub> 捕獲之效能影響，設計與分析目標為：結合 90% 二氧化碳捕獲之損失控制在系統效能下降 7 個百分點以內。

- (3) 完成太陽光電技術經濟之初步評估並繪製我國各區域太陽光電需求曲線，可作為未來政府規劃太陽光電地區配置與產業發展之參考。
- (4) 完成 MARKAL 資料庫更新及 BAU、CCS 等減量情境模型之建置與初步分析。在減量情境中，我國 2050 年時將有 4 成的電力來自於燃煤發電+CCS。該結果可作為未來政府規劃先進燃煤發電技術及 CCS 技術配置量與產業發展之參考。

## 2. 中高溫氣體淨化與分離技術開發

- (1) 完成複合式流動濾材基礎流動性質量測作業，建立二維冷性能測試平台之設計基礎能力。
- (2) 完成中高溫淨化設備相關次系統(粒子特性分析系統、濾材加熱系統及熱交換器)之製造及組裝作業，並於固定濾材質量流率 600 g/min、粉塵濃度 7500 ppmw(7.276 g/m<sup>3</sup>)、風速 35 cm/sec(1.189\*10<sup>4</sup> cm<sup>3</sup>/sec)及溫度 18.5°C、100°C 及 150°C 之操作參數條件下，系統之過濾效率可達 96%。
- (3) 完成 20FA 脫硫劑吸附測試，硫載量可以達到 6.33g-S/100g sorbent，並在 ASTM 4058-96 的測試標準下得到磨耗率在 10wt% 以內。
- (4) 完成 1 kW 雙流體化床反應器之測試驗收，反應器設計採(1)流體化床氧化反應器與(2)泡沫床燃料反應器之設計，達到不同流體化條件載氧體的反應性測試，以獲取最佳參數之探討，並完成耐壓 5.0 kg/cm<sup>2</sup> 測試，確保測試安全無慮。

## 3. 中高溫碳捕捉與再利用技術開發

- (1) 完成中高溫捕碳劑研製與公斤級小型量產設備，達成 600°C 以上捕碳轉化率大於 90%，50-100 次回路轉化率 80%。
- (2) 建立捕碳劑 40 小時以上長期穩定捕碳性能，及小型溫壓控制二氧化碳反應系統建置。

101 年度：

### 1. 淨碳關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立

- (1) 逐步建置淨碳技術示範系統，並以分析程式進行系統單元設計與改善工作，完成淨碳技術示範系統基礎建置工作。
- (2) 進行高溫過濾器系統溫度大於 400°C 實驗測試，以利未來應用於示範設施之相關驗證。
- (3) 完成以不同參數(操作溫度、空間流速、模擬氣體組成等條件)對脫硫劑吸附 H<sub>2</sub>S 之影響的探討測試；其目標為活性金屬氧化物負載量>30 wt%的情

況下，硫載量 $>7$  wt%。

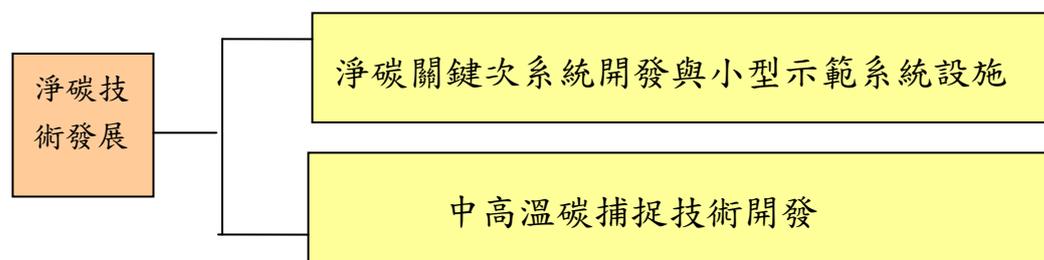
- (4) 探討脫硫劑同時去除硫化氫及硫化羰之可行性與脫硫劑再生性能的評估。
- (5) 進行擔體負載型氣體轉化材料研發，提供未來 50-100 kW 淨煤先導測試裝置之性能驗證。
- (6) 進行 100 kW 級測試設施建立之前置規劃與系統設計分析作業。

## 2. 中高溫碳捕捉技術開發

- (1) 建立捕碳劑性能：操作溫度 600-800°C，50-100 小時達 80-90% 捕碳穩定性。
- (2) 完成公斤級捕碳劑製造實驗系統，提供 50-100 kW 示範設施使用。

建立可溫度控制之公斤級捕碳反應器系統。

## 二、計畫架構(含樹狀圖)



## 三、計畫主要內容

(計畫之內容摘要原則 2 頁)

民國 101 年度計畫主要目標為：進行先導型系統設計/硬體基礎建置之工作、建立中高溫氣體處置技術以及整合分析基礎平台工作；反應參數對脫硫效率影響的研究，建立反應最佳化條件；脫硫劑金屬氧化物負載量與硫載量提升。其細部預計執行成果分述如下

### 1. 淨碳關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立

- (1) 逐步建置淨碳技術示範系統，並以分析程式進行系統單元設計與改善工作，完成淨碳技術示範系統基礎建置工作。預計將完成氣化反應器最佳化設計之參數化研究（有限速率模型）與多聯產應用系統性能評估工作。並根據其應用狀況進行二氧化碳減排效益評估工作。
- (2) 進行高溫過濾器系統溫度大於 400°C 實驗測試，以利未來應用於示範設施之相關驗證。
- (3) 進行擔體負載型氣體轉化材料研發與反應操作參數影響研究；其目標為活

性金屬氧化物負載量>30 wt%的情況下，脫硫劑硫載量>7 wt%。

- (4) 進行 100 kW 級測試設施建立之前置規劃與系統設計分析作業；完成初步系統程序設計，氣化爐主體設計以及周邊設備規格確認工作。

## 2. 中高溫碳捕捉技術開發

- (1) 精進公斤級捕碳劑製造系統性能與驗證系統，以建立捕碳劑之優化製造程序。
- (2) 建立捕碳劑性能驗證與再生測試程序，捕碳劑操作溫度 >600°C 捕碳量 >50%，測試再生程序與性能探討。
- (3) 建立可溫度控制之 kW 級捕碳反應器系統測試參數，提供示範系統使用。

## 四、本年度預期目標及實際達成情形

(說明本年度執行的成效，以及實際成效與預期成效之差異說明。若進度落後，請提出彌補方法與措施。)

年度預期目標(查核點)	實際達成情形	差異分析
1. 淨碳關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立		
(1) 進行百 kW 等級實驗系統細部設計、廠區配置初步規劃與初步建置	(1) 除完成百 kW 等級系統設計外，更進一步完成百 kW 等級實驗系統，氣化爐硬體建置作業。該系統經測試已可於 900°C 下操作，有助於後續技術開發工作。	超前，已提前完成氣化爐硬體建置工作
(2) 多聯產系統建置與二氧化碳排放評估工作(進料轉化天然氣與化學品效益評估)	(2) 進行多聯產系統建置與二氧化碳排放評估工作。已建立合成氣轉換合成天然氣模組，其一氧化碳之轉化率可超越 99.99%，其組成與參考資料相較，誤差在 5% 以下；進行 CO <sub>2</sub> 捕獲效率對系統性能之影響分析工作，當加入 90% 捕獲程序時，其系統效能將下降 7 個百分點左右，其效能為 36.74% HHV。	相符
(3) 反應器最佳化設計之參數化研究(有限速率模型)	(3) 進行氣化爐進料與操作參數影響分析工作，採用非預混平衡模式、非預混層流火焰模式、以及有限速率之渦流消散模式進行氣化爐內氣化產物分析工作。分析結果顯示，非預混紊流反應模式之層流火焰模型。除出口溫度符合預期外、其出口組成中，CO, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> 之加總與參考資料(實驗數據)之差異值更在 2% 以下。	相符
(4) 完成整套高溫過濾器設備建置工作，並於中高溫(>400°C)環境下進行測試	(4) 已完成流動式顆粒床熱模過濾系統之周邊設備(第二段氣體加熱器及線上監控系統)之建置作業，並已完成中高溫(400°C)之操作環境的系統驗證測試。	已達成本年度設定目標
(5) 完成以不同參數(操作溫度、空間流速、模擬氣體組成	(5) 已完成 30wt% 負載量氧化鐵系脫硫劑(30%-FA)在最佳操作參數下的化性分析。其吸附	已達成本年度設定目標

等條件)對脫硫劑吸附 H <sub>2</sub> S 之影響的探討測試；其目標為活性金屬氧化物負載量>30 wt% 的情況下，硫載量>7 wt%	硫載量高達 8.5g-S/100g sorbent。	
(6) 探討脫硫劑同時去除硫化氫及硫化羰之可行性與脫硫劑再生性能的評估。	(6)20%-FSI 脫硫劑進行同時去除硫化氫與硫化羰的多次循環分析。在歷經 5 次循環測試，活性仍可維持起始值的 90% 以上。	已達成本年度設定目標
(7) 進行實驗級流體化床反應器設計與建置，並進行系統初步運轉測試	(7)已完成氯化爐主體及周邊設備建置工作，並已完成於 900°C 之操作參數的系統運轉測試。	已達成本年度設定目標
<b>2. 中高溫碳捕捉技術開發</b>		
(1)建立公斤級捕碳劑製造技術並提升製程性能	(1) 完成公斤級捕碳劑製造系統建立，包含原料混合加熱、擠壓過濾、烘乾、粉碎單元，提升捕碳劑製造性能由實驗室克級進步到公斤級。利用 TGA 測試 Ca/Al=7:1 捕碳劑捕碳量>50wt%，100 次迴路穩定性>90%。	已達成本年度設定目標
(2) 建立 1-10 kW 反應器系統及測試參數	(2)建立反應器主體與 NDIR 分析儀等周邊設備，測試 600°C 以上烘爐溫度穩定性，並設定捕碳吸脫附程序與軟體控制，配合捕碳劑製造進行初步溫度、粒徑與 CO <sub>2</sub> 濃度測試參數。以公斤級捕碳劑於反應器進行 600-850°C 測試，結果顯示 Ca/Al=7:1 捕碳劑於 700°C 具有較佳之捕碳性能。	已達成本年度設定目標

## 參、計畫已獲得之主要成果與重大突破 (含質化與量化成果 outputs)

### 一、本計畫重要成果及重大突破

說明：

請就本計畫涉及之 (1)學術成就、 (2)技術創新、 (3)經濟效益、 (4)社會影響、 (5)非研究類成就、 (6)其他效益方面說明重要之成果及重大之突破，凡勾選(可複選)之項目請以文字方式分列說明。

#### 1. 學術成就：

- (1) 發表 13 篇國內學術研討會論文、7 篇國際會議論文、3 篇國內期刊論文、6 篇國際期刊。(詳見肆之一、學術成就)。
- (2) 應中華民國力學學會邀請，於第三十六屆全國力學會議之「淨煤-捕獲技術」論壇發表專題演講：“Low-Carbon Initiative (loci) for Fossil Energy Systems in Taiwan (fest)”。
- (3) 應國科會淨煤主軸計畫邀請，於 2012 台灣二氧化碳捕獲、封存與再利用國際研討會之 TMS: Pre-Combustion Capture Technologies 場次發表 2 篇專題演講：“R&D Concepts and Status of IGCC+POLYGEN+CCS in Taiwan”與“R&D Concepts and Status of Pre-combustion with CCS Technology in Taiwan”。
- (4) 發表於 2012 台灣二氧化碳捕獲、封存與再利用國際研討會之論文：“

Development of CO<sub>2</sub> Capture Technique Using Calcium Aluminates Sorbents at Medium-High Temperature” 獲得大會傑出海報論文獎。

- (5) 應工研院邀請，於 2012 淨煤與二氧化碳捕獲技術研討會進行專題演講：“R&D Progress of CaSE Program: Warm/hot gas clean-up & Pre-combustion carbon capture”。
- (6) 應第 19 屆全國國際算流體力學會會議邀請，於迷你論壇三 【工業應用】進行專題演講：“CFD 技術在能源供應產業之應用與角色”。

## 2. 技術創新

- (1) 完成氣化爐受操作壓力變動之影響測試，當操作壓力提高，氣化產物濃度(CO, H<sub>2</sub>)隨之提高，而燃燒產物代表之 CO<sub>2</sub> 則降低。氣化效能（冷煤氣效率）和碳轉換率會隨之增加，由分析模型結果分析得知此乃因異相反應在高壓下反應較快所導致。
- (2) 完成顆粒移動床過濾器熱模系統初期建置，並進行溫度 400°C 之系統運轉測試。
- (3) 完成以氧化鋁為擔體的 30wt% 負載量脫硫劑製備與化性分析。在 30%CO、10%H<sub>2</sub>、1%H<sub>2</sub>S 與 N<sub>2</sub> (balance) 參數下，硫載量高達 8.5g-S/100g sorbent。另外，擔載於氧化矽的 20%-FSI 吸附劑進行同時去除硫化氫與硫化羰的多次循環分析；在歷經 5 次循環測試，活性仍可維持起始值的 90% 以上。
- (4) 完成 Ca/Al=13:1 捕碳劑於 kW 級捕碳反應器之捕碳溫度參數測試，通入 40%CO<sub>2</sub> 測試捕碳劑性能，結果顯示最佳之捕碳溫度為 700°C。
- (5) 建立可流動式捕碳劑再生與控制系統，包含氣體混合、加熱單元、反應器、分析設備等，以 40%CO<sub>2</sub> 進行 NDIR 串聯測試，誤差值小於 5%，可用於後續捕碳劑再生與性能測試工作。
- (6) 專利申請 6 篇、獲得專利 6 篇，相關研發成果「奈米層狀碳酸鹽之中高溫捕碳劑」參加「2012 台北國際發明暨技術交易展 競賽組」榮獲銀牌獎。（詳見肆之二、技術創新）。

## 3. 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，新電廠的排放量上限為不超過 1,000 lb CO<sub>2</sub>/MWh gross。現階段僅 NGCC（天然氣複循環發電）可低於此一標準，亦即新建之燃煤電廠於導入 CCS 技術後可望符合排放標準。這代表後續之減碳需求將有所增長，其後續之經濟效益可期。美國環保署並於五月 24 日分別舉行兩場公聽會（Chicago, Ill、 Washington, DC）。且為提供自公聽會後 30 天的公眾評論期，美國環保署將公眾評論期期間延長至 6 月 25 日截止。

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。

美國 EIA AEO 2013 Early Release Overview 資料顯示，頁岩氣(Shale gas) 之產量會持續增加，但價格亦將逐步上漲。至 2018 年前，其售價可望持續低於 4

USD/MMBtu (2011 年幣值)、並逐步於 2030 年上升至 5.40 USD/MMBtu、以及於 2040 年上升至 7.83 USD/MMBtu。以國內天然氣進口價格一般與國際原油價格連動之機制。即便於目前原油價格最樂觀之預估於 70~80 美元間穩定，國內天然氣價格獲得大幅下降之機會依舊有限。故我國於發電端採用煤炭作為主要來源之趨勢，短期之內應不致因頁岩氣之大量使用而受影響。

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。

建立自主中高溫脫硫技術—包含脫硫劑製備與化性測試，以利降低成本與國際競爭。建立中高溫乾式捕碳劑製造技術，有助於提高 CO<sub>2</sub> 捕獲濃度及溫度，降低碳捕獲所需設備及整體能量損耗。

總期程累計(99~101 年)：

1. 透過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。98-100 年完成化工業（氣化、氣體淨化、分離...）以及機械業（複循環發電）結合之程序研究。進行同時產製化學產品與電力之程序設計與系統係能評估，並進行數種應用組合以及 CO<sub>2</sub> 減排效益分析。多聯產程序應用之操作效率優於現有典型氣化系統，可以節省燃料的耗用，降低二氧化碳的排放。可作為多功能生產園區之技術選項。
2. 中高溫的環境下進行粉塵過濾程序，有助於大幅增加熱效率的能源使用率及降低能源的消耗。
3. 建立自主脫硫劑開發與動態分析技術，可有效控制溫室氣體排放。配合國內石化產業相關應用，更能提升其運轉效益與增進利潤空間，無疑對民生經濟有正向發展。
4. 捕碳劑研發著重於 100%CO<sub>2</sub> 濃度之抗燒結改善，以相類似 8-15%煙道氣比較將有 10 倍以上之經濟效益，高溫捕獲將可降低能量損耗，因此具有加成效果。

#### 4. 社會影響

環境效益方面：於我國尚無法完全去除煤炭依賴之前，若採用以氣化技術為基礎之能源系統之設計，可提供國內產業引入低污染、低二氧化碳排放之淨煤技術，提供對環境最佳之技術選項。能源安全方面：現原油與天然氣之價格依舊維持相對高檔，若採用氣化技術將化石燃料（煤炭）與生質燃料轉換為氣態或液態燃料。可替代我國部分天然氣與原油進口，若採用煤炭氣化產製天然氣之程序，可避免國內天然氣供應站建立不及導致供應可能短缺之疑慮。

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領先世界的地位。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。

控制 SO<sub>x</sub> 的排放量，可減少酸雨形成、臭氧層破壞，太陽光散射等問題。

建立環境友善之乾式碳捕獲技術研究與捕碳性能驗證技術，有助於提升潔淨能源、環境永續等減碳之社會效益。

總期程累計(99~101年)：

- (1) 環境永續：經由以氣化技術為基礎之能源系統之設計，可以提供我國引入低污染、低二氧化碳排放之淨煤技術。其可作為我國環境永續發展選項之一。且採用多聯產應用模型，對於我國石化業與發電業皆有所助益，且其亦含有 CO<sub>2</sub> 捕獲之技術。該系統可作為我國未來進行大規模 CO<sub>2</sub> 捕獲、再利用與封存之選項技術。
- (2) 經濟發展：以發電系統為例，氣化技術搭配複循環發電技術，其導入二氧化碳捕獲時，其整體建置成本將低於現有之火力電廠搭配二氧化碳捕獲。若以氣化技術應用面而言，現階段主要應用於化學品之產製，採用原料成本較低之煤炭，除發電外，亦同時產製具經濟價值之化學品。在原油價格不斷波動與長期價格上升之趨勢下，採用氣化技術作為石化產業之替代效益將日益顯著。
- (3) 能源安全：氣化技術可將化石燃料（煤炭）與生質燃料轉換為氣態或液態燃料，其可視為我國替代部分天然氣與原油進口之技術。我國目前已將天然氣視為低碳選項之一，若未來天然氣供應有所短缺，則可採用煤炭氣化產製天然氣作為選項。
- (4) 相關系統及技術研發，並將產品推廣至國內外之相關產業，如此一來將可增強企業在國際上的競爭力，也能培養更多相關專業人才。此外，也可減少溫室氣體與廢氣的排放，更加符合現今環保的規範，創造更美好的生活環境。
- (5) 中高溫脫硫相關技術可取代低溫 MDEA 吸收方式，有效處理二次廢水污染與低熱效率的問題，並減少 SO<sub>x</sub> 排放濃度。在經濟發展的同時，也能兼顧環境永續發展。
- (6) 捕碳技術開發有助於 3E(經濟、能源、環境)之整體效應，未來可擴展至傳統耗能產業如石化、鋼鐵、燃煤等，並建立人才培育與教育社會大眾環境保護之社會影響。

#### 5.非研究類成就 人才培育

姓名	學歷	機構名稱	指導教授
張家維	a	國立中央大學機械所	蕭述三
王柏鈞	a	國立中央大學機械所	蕭述三
劉其翰	b	國立成功大學航太所	江滄柳
雷政融	b	國立成功大學航太所	江滄柳

張博學	a	國立交通大學材料系	陳三元
陳雅稜	b	國立交通大學材料系	陳三元
鍾睿旂	b	國立交通大學材料系	陳三元

總期程累計(99~101 年)：

本計畫於 99.01.01~101.06.30 累計完成人才培育 38 人次

#### 6.其他效益方面

總期程累計(99~101 年)：

- (1) 以氣化技術為基礎之煤炭轉換與應用程序，其可提供我國邁向低碳社會、增進低碳經濟之選項之一，其相關之技術數據除可提供政府與業界參考外，更可作為我國減碳之技術選項之一。在目前全球原油與天然氣價格不斷波動與長期價格上升之趨勢下，採用氣化技術為基礎之多聯產技術。作為石化產業部分產品之替代效益將日益顯著。
- (2) 利用顆粒床淨化技術，完成顆粒移動床過濾器三維熱模系統建置及相關初步測試，相關數據將提供國內外相關產業在淨化技術之選項。
- (3) 中高溫脫硫可提供國內對硫化物處理的另一種選擇，不僅能夠為既有電廠或石化相關產業降低操作成本，同時溫室氣體排放量也能夠控制得宜，符合國內相關環保法規，讓經濟與環保同時達到雙贏。
- (4) 碳捕獲技術有助於節能減碳政策，並能獲得國際社會對於本國愛護環境與保護資源之國際形象，因此有助於政府政策面參考價值。

## 二、績效指標項目初級產出、效益及重大突破

- 1.請依本計畫(涉及)設定之成果項目以量化績效指標方式及佐證資料格式填寫主要之量化成果(如學術成就代表性重要論文、技術移轉經費/項數、技術創新項數、技術服務項數、重大專利及項數、著作權項數等項目，含量化與質化部分)。
- 2.請選擇合適綱要計畫評估之項目填寫初級產出、效益及重大突破(填寫說明如表格內容，未使用之指標及填寫說明文字請刪除)
- 3.請於附錄一中填寫「佐證資料表」，輔佐說明下表。

績效屬性	績效指標	預期產出 量化值	實際產出 量化值	效益說明	重大突破
------	------	-------------	-------------	------	------

績效屬性	績效指標	預期產出 量化值	實際產出量 化值	效益說明	重大突破
學術成就 (科技基礎研究)	A 論文	國內外會議論文:11篇 國際期刊(SCI/EI):4篇 國內期刊論文:4篇	本計畫相關研究成果發表於SCI論文4篇, EI 1篇(另有1篇SCI待印中)以及國內外會議論文20篇包括: 1. Fuel: 1篇 2. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering: 1篇 3. International Journal of Heat and Mass Transfer: 1篇 4. Journal of Power Sources: 1篇 5. Procedia Engineering: 1篇 6. Natural Hazards: 1篇 7. 國內外會議論文20篇 8. 國內期刊論文: 3篇(另1篇付梓中)	1. Fuel 期刊為國際知名期刊。IF=3.248 @2011 之 Impact Factor, 於 Engineering, Chemical 分類排序為 13/133=0.098 2. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering 為國際知名期刊。IF=0.758 @ 2011, 於 Engineering, Chemical 分類排序為 81/133=0.609 3. International Journal of Heat and Mass Transfer 為國際知名期刊。IF=2.407@ 2011, 6/122 = 0.049 @ ENGINEERING, MECHANICAL 4. Journal of Power Sources 為國際知名期刊。IF=4.951@ 2011, 2/27 = 0.074 @ELECTROCHEMISTRY 5. Procedia Engineering 為EI等級之知名國際期刊 6. Natural Hazards 為國際知名期刊。IF=1.529@ 2011, 於 Geosciences, Multidisciplinary, Environmental 分類排序為 74/174=0.425	1. 經由國際性期刊及國內外會議論文之投稿, 宣示我國淨碳技術之規劃 2. 建立氣化合成氣多聯產模型, 展現其可習性以及較佳之系統效能 3. 建立 E-Gas like 氣化爐分析模型, 並針對氧碳比以及水煤漿濃度等影響進行分析工作。 4. 氣化技術導入 CO <sub>2</sub> 捕獲程序後, 其氫氣之含量將大幅上升。該富氫氣體可先經由固態氧化物燃料電池進行發電, 其尾氣再行送入複循環發電系統進行發電。 5. 分析以國內慣用之印尼煤(Kaltim Prima Coal)為進料, 經氣化發電結合 CO <sub>2</sub> 捕獲之效能變化。 6. 利用模型分析能源狀態, 以因應未來氣候變化所造成之影響及發展。 7. 發表於 2012 台灣二氧化碳捕獲、封存與再利用國際研討會之論文: "Development of CO <sub>2</sub> Capture Technique Using Calcium Aluminates Sorbents at Medium-High Temperature" 獲得大會傑出海報論文獎。
	B 研究團隊	與 3 所大	與 6 所大學: 交	建立國內研究團隊, 培養國	

績效屬性	績效指標	預期產出 量化值	實際產出 量化 值	效益說明	重大突破
	養成	學研究所 與專業機 構合作,推 展合作研 究並期推 廣於市場 應用	大、中央、成 大、清大、興 大、聯合進行合 作	內未來淨碳技術人才， 針對淨碳技術逐步成立整合 型研究群	
	C 博碩士培 育	參與計畫 執行之博 士研究生 數量 1 員 及碩士研 究生數量 2 員	參與計畫執行 之碩士研究生 及博士研究生 共 7 人	培育在氣化技術 CFD 分 析、數值計算與設計、淨化 技術、中高溫除塵系統、載 氧體製備與改質、中高溫二 氧化碳吸附劑合成、能源與 產業模型建置，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。	
	D 研究報告	7 篇	研究報告 9 篇	將成果文件化，以供經驗傳 承，並增進本所研發效益。	
技術創 新(科技 整合創 新)	G 專利	申請國內 或國際之 專利 2 件	累計專利產出 共 12 項，包含 獲得 6 項(美國 5 項，歐盟 1 項)，美國申請 4 項，國內 2 項	配合技術創新，申請多項專 利，展現應用研發實力。	<b>Silver Medal Award,</b> Invention Contest, 2012 Taipei Int'l Invention Show & Technomart, Ministry of Economic Affairs, TAIWAN
	H 技術報告	4 篇	9 篇	建立完整技術資料，達成技 術保存與人員經驗傳承的功 效。	
	I 技術活動	發表於國 內或國際 研討會至 少 6 場次	受邀演講：5 場 次 邀請外賓來所 演講：4 場次 會議論文發 表：13 場次 已於發表，並受 邀於重要國內 外研討會進行 6	<b>受邀演講</b> 1. 第 19 屆全國國際算流體力 學會議，迷你論壇三【工 業應用】，一場次 2. 第三十六屆全國力學會 議之「淨煤-捕獲技術」 論壇發表專題演講，一場 次 3. 2012 台灣二氧化碳捕 獲、封存與再利用國際研 討會 TMS: Pre-Combustion Capture Technologies	

績效屬性	績效指標	預期產出 量化值	實際產出量化 值	效益說明	重大突破
			場次專題演講	<p>場次進行兩場次專題報告</p> <p>4. 2012 淨煤與二氧化碳捕獲技術研討會，一場次</p> <p>5. 應大陸華東理工大學邀請，於參訪該校時進行專題演講。該演講活動亦為該校 60 週年校慶系列活動之一。</p> <p><b>邀請外賓來所演講</b></p> <p>1. 5 月 11 日，邀請捷克科學院 Institute of Chemical Process Fundamentals of the ASCR，Dr. Karel Svoboda 以 Fluidized bed gasification of coal-oil and coal-water-oil slurries by oxygen-steam and oxygen-CO<sub>2</sub> mixtures 為題，進行專題演說</p> <p>2. 7 月 17 日，邀請美國佛羅里達大學機械與航空工程系莊念祖 講座教授以 Pure Hydrogen Production from Biomass Using High Temperature Proton Conducting Ceramic Membrane 為題，進行專題演說</p> <p>3. 11 月 20 日，邀請國立交通大學材料科學與工程學所 陳三元 教授，以中高溫二氧化碳捕獲材料之製備與發展概況為題，進行專題演說</p> <p>4. 11 月 21 日，邀請捷克科學院 Institute of Chemical Process Fundamentals of the ASCR，Mr. Michal Jeremiáš 以 CO<sub>2</sub> as moderator for biomass gasification 為題，進行專題演說</p>	

績效屬性	績效指標	預期產出 量化值	實際產出量化 值	效益說明	重大突破
				<p><b>論文發表</b></p> <p>1. 於 2012 The 6th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST-6) 研討會, 發表 1 篇論文, 5 月 20-23 日, 台北台大醫院國際會議中心。</p> <p>2. 於 2012 綠色科技工程與應用研討會(GTEA)暨綠色能源與冷凍空調學術研討會(GERA), 發表 1 篇論文, 6 月 2 日, 勤益大學</p> <p>3. 2012 台灣二氧化碳捕獲、封存與再利用國際研討會, 2012. 11. 25-27, 台北</p> <p>4. 2012 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇, 2012-10-5~6, 湖北省武漢市, 中國</p> <p>5. 2012 台灣化學工程學會 59 週年年會 2012.11.23-24 逢甲大學</p> <p>6. 2012 力學年會 2012.11.16-17 中央大學</p> <p>7. 2012 International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials (ISMANAM), 18-22 June, Moscow.</p> <p>8. 19th Regional Symposium on Chemical Engineer (RSCE2012), 2012.11.7-8. Bali</p> <p>9. 2012 清潔生產暨環保技術研討會, 2012-10-26, 台北台大醫院國際會議中心。</p> <p>10. 中國機械工程學會第二</p>	

績效屬性	績效指標	預期產出 量化值	實際產出量 化值	效益說明	重大突破
				十九屆全國學術研討會， 2012.12.7-8，國立中山大 學，高雄市 11. 29th Annual International Pittsburgh Coal Conference, Oct. 15-18,2012, Pittsburgh, USA 12. 11th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT11) · 2012.11.18、日 本京都	

績效屬性	績效指標	預期產出 量化值	實際產出 量化值	效益說明	重大突破
	J 技術移轉	引進技術 (1 件數)	完成與美國紐奧良大學 Prof. Ting Wang 簽訂委託計畫合約，將由其協助以 Fluent 進行氣化程序分析技術建立工作。	與國外大學合作，引進氣化分析技術，提昇本所設計技術能力，並共同推動未來自主性氣化技術。	成果發表於國際知名期刊 International Journal of Heat and Mass Transfer; IF=2.407@ 2011, 6/122 = 0.049 @ ENGINEERING, MECHANICAL.

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： 淨碳技術發展	(1) 論文 (2) 專利 (3) 技術活動 (4) 碩博士培育 (5) 研究團隊養成 (6) 引進技術	(1) 論文 國際期刊：4 篇 國內期刊論文：4 篇 (2) 專利：2 件 (3) 技術活動：6 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 (6) 引進技術：1 件	(1) 論文 SCI 論文：5 篇 EI 論文：1 篇 國內期刊論文：3 篇 (2) 專利：12 件 (獲得 6 件、申請 6 件) (3) 技術活動：13 場次 (4) 碩博士培育：7 人 博士研究生：3 人 碩士研究生：4 人 (5) 研究團隊養成：6 所 (6) 引進技術：1 件
分項一 淨碳關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立	(1) 論文 (2) 專利 (3) 技術活動 (4) 碩博士培育 (5) 研究團隊養成 (6) 引進技術	(1) 論文 國際期刊：3 篇 國內期刊論文：2 篇 (2) 專利：2 件 (3) 技術活動：3 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：2 所 (6) 引進技術：1 件	(1) 論文 SCI 論文：4 篇 (1 篇 in press) EI 論文：1 篇 (2) 專利：8 件 (獲得 4 件、申請 4 件) (3) 技術活動：8 場次 (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：5 所 (6) 引進技術：1 件
分項二 中高溫碳捕捉技術開發	(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 2 篇 (2) 專利：2 件 (3) 技術活動：3 次 (4) 碩博士培育：1 人 博士研究生：1 人 碩士研究生：0 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 3 篇 (2) 專利：4 件 (獲得 2 件、申請 2 件) (3) 技術活動：5 場次 (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：1 所

--	--	--	--

## 肆、主要成就及成果所產生之價值與貢獻度(outcomes)

說明：

1. 請填面向之權重，加總共 100%。
2. 請依前述重要成果及重大突破所勾選之內容說明其價值與貢獻度：
  - 一、學術成就(科技基礎研究)
    - (一)論文.....
    - (二)研究團隊養成....
    - .....
    - 二技術創新(科技整合創新)
      - (一)專利.....
      - (二)技術報告....
      - .....
    - 等依此類推...
  3. 例如：有學術成就者(科技基礎研究)請說明 A 論文、B 研究團隊養成、C 碩博士培育、D 研究報告、E 辦理學術活動、F 形成教材、其他等。主要成就之各項權重總和應為 100%.....其他請以此類推。

### 一、學術成就(科技基礎研究) (權重 40 %)

#### (一)論文

101 年度

本計畫目前共發表國內外會議論文 9 篇、國際期刊 6 篇(SCI 5 篇，EI 1 篇)，國內期刊 3 篇，以下為本計畫發表於學術期刊之論文摘要：

#### 國際期刊 6 篇(SCI 5 篇，EI 1 篇)

1. Chen P.C., Yu C.S., Chiu H.M., Chyou Y.P., Chen H.J., 2012, Process Simulation Study of Coal Gasification-Based Multi-Product Plant with Electricity and Chemical Products, Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 7, S1, pp. S101-S111.

In this study, the commercial chemical process simulator, Pro/II<sup>®</sup> V8.1.1, is implemented to perform the simulation of a coal gasification-based co-production system, of which the feedstock is kaltim prima coal (KPC) from Indonesia and the products are electricity and dimethyl ether (DME). There are five major blocks in the multi-product plant, i.e. air separation unit (ASU), gasification unit, gas clean-up unit, combined-cycle, and DME synthetic unit. ASU utilizes cryogenic air separation process, which provides oxygen with 95 mol% purity to the gasification unit and nitrogen to the combined-cycle. GE technologies are employed in the study, i.e. quench-type slurry-fed gasifier for the former and 7FB-series turboset for the latter. The clean-up unit includes dry solids removal, syngas scrubbing, sulfur compounds removal and sulfur recovery processes, which are implemented to deliver clean syngas to further processes and elemental sulfur from H<sub>2</sub>S. The clean syngas is divided into two equal streams to generate electricity and produce DME, simultaneously. The

results show that the gross and net electrical power outputs are 371.6 MW and 275.1 MW, respectively; furthermore, the yield of DME is 51.78 metric tons per hour. In summary, the net efficiency of the coal gasification-based multi-product plant is 46.1% (HHV), which is higher than the counterpart of typical IGCC plants by over 4 percentage points.

2. Chen Y.S., Hsiau S.S., Lee H.Y., Chyou Y.P., 2012, Filtration of dust particulates using a new filter system with louvers and sublouvers, *Fuel*, 99, pp. 118–128.

Coal is a very important fuel since the supply of oil is quite limited, whereas coal is much more plentiful. The Pressurized fluidized bed combustion (PFBC) and integrated gasification combined cycle (IGCC) systems are considered the best for advanced coal-fired power plants. However, the high temperature syngas produced by these systems contains many dust particulates which need to be filtered before entering the gas turbine. The moving granular bed is an important apparatus for the filtration of the hot gas and is currently under development.

The goal of this study is to evaluate the performance of a moving granular bed filter designed to filter out coal particulates. We investigate the flow patterns of the filter granules, the collection efficiency, and the pressure drop under different filtration superficial velocities, mass flow rates of filter granules, rotational speeds of the trommel screen system, but with a fixed inlet dust concentration. All filtration system experiments were performed at room temperature. The results showed that using a filtration superficial velocity of 18.01 m/min, mass flow rate of filter granules of 0.46 kg/min, and rotational speed of 63 rpm, the overall porosity of the filter granules decreased and the filter resistance and the collection efficiency increased, with an increase in the amount of smaller-sized filter granules in the bed. The test results apply to moving granular bed filters or other filtration systems functioning in high-temperature environments and are expected to serve as the basis for future research.

3. Lin S.M., Feng J.C., Ko F.K., 2012, Assessing Taiwan's energy security under climate change, *Natural Hazards*, 62, pp. 3-15.

This paper intends to assess Taiwan's energy security situation under current and future development of global environment. We construct a static computable general equilibrium model for Taiwan to fulfill our purpose. The model is benchmarked in 2006 and includes detailed specification of power generation technology and renewable energy producing sectors. It also distinguishes sources of imported energy to reflect Taiwan's current policy of diversifying sources of supply for energy. Simulations using the model have been focused on both changes in energy price and

quantity of energy supply under specific specifications of the development of renewable energy technologies and CO<sub>2</sub> emission reduction requirements. Our simulation results demonstrate that energy security and climate change mitigation interact each other, and under a specific emission reduction target, the effect of exogenous energy shocks on the economy will be partially absorbed by the internal adjustment mechanism of the economy.

4. Chen P.C., Chiu H.M., Chyou Y.P., 2012, Process analysis study of integrated gasification combined-cycle with CO<sub>2</sub> capture, *Procedia Engineering*, Vol. 42, pp. 1634-1647. EI

The present study adopted commercial chemical process simulator, Pro/II<sup>®</sup> V8.1.1, to analyse the system performance of Integrated Gasification Combined-Cycle (IGCC) with CO<sub>2</sub> capture. There are four major blocks in a reference IGCC plant, i.e. air separation unit (ASU), gasification island, gas clean-up unit, and combined-cycle power block. Additional water gas shift reaction and CO<sub>2</sub> absorption processes are integrated into the gas clean-up system for CO<sub>2</sub> capture. The feedstock is Kaltim Prima Coal (KPC) from Indonesia, which is generally used in Taiwan, to evaluate the data with actual situation in Taiwan. The results show that the efficiency of IGCC is around 42.22% (HHV). When 90% CO<sub>2</sub> capture is employed in the IGCC, the efficiency is decreased to around 36.74% (HHV). It means that the energy penalty of 90% CO<sub>2</sub> capture is about 5.48 percentage points. Furthermore, data of 50% CO<sub>2</sub> capture is evaluated to reach the CO<sub>2</sub> emission condition close to that of Natural Gas Combined-Cycle (NGCC).

5. Chen M.H., Jiang T.L., 2012, The analyses of the start-up process of a planar, anode-supported solid oxide fuel cell using three different start-up procedures, *Journal of Power Sources*, Vol. 220, pp. 331-341. SCI

Three start-up procedures for an anode-supported planar SOFC are proposed and investigated numerically in the present study. The first is to introduce the inlet fuel at the operation temperature after the heat-up process is completed. The second is to incorporate the anode-recycling mechanism into the start-up process. The third is to fix the difference between the inlet-fuel temperature and the cell minimum temperature. The numerical results obtained from the present study show that the effective maximum absolute temperature-gradient is exhibited in the early stage of the start-up process. For the present investigated SOFC configuration, the required start-up time for the case using methane is 3.2-fold longer than that using hydrogen. The effective maximum absolute temperature-gradient for the case using hydrogen is 2.2-fold larger than that utilizing methane. The endothermic internal reforming reaction of methane has a positive effect on the accommodation of the temperature uniformity during the start-up process. The anode-recycling mechanism significantly reduces the start-up time. For the fixed-temperature-difference start-up procedure, a properly selected

temperature difference may lead to a smaller effective maximum absolute temperature-gradient in the early stage and a shorter start-up time by accelerating the start-up pace in the later stage.

6. Luan YT, Chyou YP, Wang T, Numerical analysis of gasification performance via finite-rate model in a cross-type two-stage gasifier, International Journal of Heat and Mass Transfer. ( In press)

The gasification process of a pressurized, oxygen-blown, entrained-flow E-Gas like gasifier through numerical modeling is investigated by solving the 3-D, steady-state Navier–Stokes equations with the Eulerian–Lagrangian method. Eight chemical reactions are solved via the Finite-Rate/Eddy-Dissipation Model. The preliminary gasification process is successfully modeled and the global chemical reactions are proved to be strongly affected by the finite rates. The results of parametric study show that the increasing O<sub>2</sub>/Coal ratio results in a decrease of CO, but an increase of CO<sub>2</sub> and exit temperature. With a modified water–gas-shift reaction rate, a more reasonable trend is obtained that as the coal slurry concentration decreases, the mass flow rate of H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, and H<sub>2</sub>O increase while that of CO decreases. As the amount of coal slurry mass flow in the first stage increases, the exit temperature and the mole fraction of H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> increase, while that of CO decreases. However, different fuel distributions do not provide.

notable influence on gasification performance due to the large space inside the E-Gas gasifier allowing complete reaction. The overall results show that the present CFD model can adequately capture the gasification behavior and analyze gasification performance inside the gasifier.

#### 國內外會議論文：20 篇

1. Chen W.S., Yu C.T, Chen W.C, Medium-High Temperature CO<sub>2</sub> Adsorption Using Calcium Aluminates Sorbents, Conference Proceeding p. 126, The 6th Pacific Basin Conference on Adsorption Science and Technology (PBAST-6), 20-23 May, Taipei, Taiwan.
2. 陳柏壯、邱秀玫、邱耀平，2012，應用氣化合成氣轉化合成天然氣之程序設計，2012 綠色科技工程與應用研討會(GTEA)暨綠色能源與冷凍空調學術研討會(GERA)，2012-06-02，勤益大學
3. Luan Y.T., Chyou Y.P., Wang T., 2012, Investigation of the Gasification Performance of Lignite Feedstock and the Injection Design of an E-Gas like Gasifier, 29th Annual International Pittsburgh Coal Conference, Oct. 15-18, Pittsburgh, PA, USA.
4. 劉其翰、雷政融、陳銘宏、陳柏壯、邱耀平、江滄柳，2012，壓力式粉煤挾帶床氣化爐之紊流反應模式比較及操作條件分析，中華民國力學學會第三十六屆全國力學會議，Nov. 16-17, 2012, 中央大學，台灣
5. Chen, Ming-Hong, Chen, Po-Chuang, and Chyou Yau-Pin, 2012, Numerical analysis

- of oxy-combustion characteristics and  $\text{NO}_x$  formation in a pulverized-coal boiler, The 36th National Conference on Theoretical and Applied Mechanics, Nov. 16-17, 2012, Chung Li, Taiwan.
6. 郭奐廷、余慶聰，2012，利用  $\text{Ca-Al-CO}_3/\text{TiO}_2$  材料於中高溫  $\text{CO}_2$  捕獲技術開發，第 36 屆全國力學會議，2012-11-16~17，中央大學。
  7. 郭奐廷、余慶聰，2012，含氧化鈣層狀材料於中高溫  $\text{CO}_2$  捕獲程序技術開發，2012 臺灣化學工程學會 59 週年年會，2012-11-23~24，逢甲大學。
  8. Chen W.C, Chen W.S., Yu C.T, Chyou Y.P., Development of  $\text{CO}_2$  Capture Technique Using Calcium Aluminates Sorbents at Medium-High Temperature, Conference Proceeding p. 29, 2012 Taiwan Symposium on Carbon Dioxide Capture, Storage and Utilization, 25-27 November, Taipei, Taiwan.
  9. 黃瀨瑩、邱耀平，Discussion of high-temperature desulfurization reaction parameters, 19th Regional Symposium on Chemical Engineer (RSCE2012), 2012/11/7~8, Bali.
  10. 黃亮維、邱耀平，多孔鐵系吸附劑用於中高溫脫硫的研究，2012 臺灣化學工程學會 59 週年年會 2012.11.23-24 逢甲大學
  11. 林承澤，採用變壓吸附進行合成氣中碳捕捉之程序設計與系統效能比較，2012 臺灣化學工程學會 59 週年年會 2012.11.23-24 逢甲大學
  12. 邱耀平、陳一順、黃亮維，氣體污染物之中高溫淨化技術，2012 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇，2012.12.12，武漢，中國大陸
  13. 余慶聰，Synthesis of calcium aluminates granule with  $\text{TiO}_2$  binder for high-temperature  $\text{CO}_2$  capture, 11th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, 2012.11.18、日本京都
  14. 郭奐廷等，利用含  $\text{CaO}$  礦物於中高溫  $\text{CO}_2$  捕獲技術開發，海峽兩岸氣候變遷研討會 2012.10.4-6 湖北
  15. 李書哲，兩階段移動式顆粒床過濾器除塵效率之研究，2012 機械研討會，2012-12-7~8，國立中山大學，高雄市
  16. 陳一順，氣體除塵系統技術之開發，2012 清潔生產暨環保技術研討會，2012-10-26，台北
  17. 余慶聰等，Structure Identification and  $\text{CO}_2$  Adsorption Behavior of Hybrid Metal Oxides by Hydrothermal Coprecipitation Route, 2012 International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials (ISMANAM), 18-22 June, Moscow.
  18. 余慶聰等，Synthesis, characterization and  $\text{CO}_2$  capture of in situ self-assembly nano-scale layered double hydroxide particles, 2012 International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials (ISMANAM), 18-22 June, Moscow.
  19. 曾怡玲、余慶聰，含  $\text{Mg-Al-CO}_3/\text{TiO}_2$  材料於微量砷元素去除技術開發之研究，2012 力學年會 11.16-17 中央大學
  20. 邱秀政，Combined-Cycle M501G, 2012 臺灣化學工程學會 59 週年年會 2012.11.23-24 逢甲大學

#### 國內期刊論文：3 篇

1. 鄭涵文、余慶聰、邱耀平，2012，含  $\text{CaO}$  高溫  $\text{CO}_2$  捕獲劑再生技術研究，化工技術月刊，20，pp. 163-169。
2. 陳威錦、余慶聰、邱耀平，2012，高溫捕碳劑合成與反應器測試技術研究，環境

- 工程會刊，23，pp.1-12.
3. 曾怡玲、余慶聰，2012，利用藻類固碳及(SC-CO<sub>2</sub>)萃取技術之研究，化工技術，20，pp.168-177.

## (二)研究團隊養成

團隊名稱	團隊所屬機構	團隊性質	成立時間（西元年）
能源及噴射推進實驗室	國立成功大學航太所	e	2010
顆粒流實驗室	國立中央大學機械所	e	2007
捕碳劑材料研發實驗室	國立交通大學	e	2009
燃燒模擬實驗室	國立清華大學	e	2012
熱流實驗室	國立中興大學	e	2012
燃料電池實驗室	國立聯合大學	e	2012
應用經濟模型研究中心	中原大學	d	2006

## 二、技術創新(科技整合創新) (權重 40 %)

### (一)專利

101 年度

累計專利產出共 12 項，包含獲得 6 項（美國 5 項、歐盟 1 項），申請美國 4 項、中華民國 2 項，其專利與摘要說明如下：

1. 邱耀平等，A Dynamically adaptive trommel screen system，取得美國專利證書，US 8,091,711 B2，2012，1 月 10 日。

#### 摘要說明：

A dynamically real-time adaptive trommel screen system is revealed. The dynamically adaptive trommel screen system includes a fixture, a trommel screen disposed on the fixture for screening a mixture into regenerated filter granules and screened residues, a structured duct for transporting the regenerated filter granules and an enclosure for collecting the screened residues, a tilt control member arranged on the fixture for adjusting the tilt angle of the trommel screen, and a feedback controller that controls the tilt control member according to the mass flow rate of the screened residues when the trommel screen operates so as to adjust the tilt angle of the trommel screen instantly and dynamically. By the feedback controller and the tilt control member, the tilt angle of the trommel screen is adjusted in a real-time and dynamic way so as to increase the screening efficiency. Moreover, the state of fractured filter granules is acquired from the feedback controller so that a certain amount of fresh filter granules can be refilled into the filter system for improving the filtration efficiency.

2. 邱耀平、徐毅理、蕭述三，Multiple-Stage Granular Moving Bed Apparatus，取得美

國專利證書，US8,163,249B2，2012，4月27日。

摘要說明：

A multiple-stage granular moving bed apparatus comprises a first integrated moving bed unit, a second integrated moving bed unit and at least one granular material. The first integrated moving bed unit, having a first inlet part for providing a raw gas flowing therein, a first outlet part for providing a partially cleaned gas flowing thereout, and a plurality of first flow-corrective elements disposed therebetween for defining two channels. The second integrated moving bed unit, coupled to the first integrated moving bed unit, having a second inlet part for providing the partially cleaned gas flowing therein, a second outlet part for providing a completely cleaned gas flowing there out, and a plurality of second flow-corrective elements disposed therebetween for defining two channels. The at least one granular material flows through the two channels respectively and then passes through the two channels respectively.

3. 徐毅理、邱耀平等，Two-stage granular moving-bed apparatus，取得美國專利證書，US 8,142,730B2，2012，3月27日。

摘要說明：

A two-stage granular moving-bed filter includes a gas inlet part, a gas outlet part, and a plurality of flow-corrective elements. The gas outlet part is disposed opposite to the gas inlet part, and the plurality of flow-corrective elements is disposed in a channel formed between the gas inlet part and gas outlet part. Meanwhile, a first granular material is provided to flow through a channel formed between the gas inlet part and the flow-corrective elements in a state of mass flow, and a second granular material is provided to flow through a channel formed between the flow-corrective elements and the gas outlet part. By means of having two different kinds of filter media moving through the channels between the gas inlet and outlet part, it is capable of performing two-stage filtering process after the raw gas flows therethrough, so as to improve the filtering effect of the gas.

4. 余慶聰、邱耀平、陳三元、吳智祥，Method of Fabricating Layered Nanomaterial Used for Mid-High Temperature CO<sub>2</sub> Capture，取得美國專利證書，US8,168,156 B2，May 1, 2012.

摘要說明：

A material is fabricated for capturing CO<sub>2</sub> at mid-high temperature. The material is a layered material containing Ca, Al carbonates. A higher ratio of Ca to Al helps capturing CO<sub>2</sub>. The temperature for capturing CO<sub>2</sub> is around 600°C. The material can even release CO<sub>2</sub> at a high temperature. Thus, the material can process looping cycles of carbonation and decarbonization at a CO<sub>2</sub> carbonation scale of 45% gCO<sub>2</sub>/g.

5. 邱耀平、徐毅理等，Gas Distributor for granular moving bed filter 專利，委託宇州國際專利商標事務所申請美國專利，申請號為 13/446,062，2012，4月13日。

摘要說明：

A gas distributor for a granular moving-bed filter comprises a distribution module, arranged inside a granular moving-bed filter. The distribution module comprises at least one flow-distributing curtain to be used for allowing a turbulent gas flow with dust mixed therein to flow therethrough, resulting that before the turbulent gas flow enters the granular moving-bed filter, the turbulent gas flow is transformed into a more uniformly distributed gas flow and the dust contained therein are partially filtered out.

6. 邱耀平等，Hydrogen-Rich Gas Combustion Device 專利，委託台智識權專利商標事務所申請美國專利，申請號為 13/453,339，2012，4 月 23 日。

摘要說明：

A combustion device for hydrogen-rich gas is provided. Before entering a chamber, fuel and air are non-premixed for avoiding flashback. A vortex generator and a fuel sprayer are combined to mix fuel and air for enhancing burning effect. Vortex flame is generated with stabilizing aerodynamics of flow provided through vortex breakdown. A flameholder is formed downstream an injector to maintain stable combustion. Cooling air is introduced from a sheath to cool down a high-temperature gas, which leaves the combustion chamber and drives a turbine for turning a power generator. Thus, the present invention effectively mixes fuel and air, avoids flashback and prevents combustor damage.

7. 余慶聰、王啟鴻、邱耀平，Method of Fabricating Layered Nano-Carbonate used for Medium-High Temperature CO<sub>2</sub> Sorbent 專利，取得美國專利證書 US8,207,086B2，Jun. 26, 2012.

摘要說明：

A CO<sub>2</sub> sorbent is fabricated. The sorbent captures CO<sub>2</sub> at a medium-high temperature above 600°C. Calcium acetate is introduced for making a nano-scale layered double hydroxide (LDH). The layered structure is used for templated synthesis. The sorbent has an initial conversion rate above 90%; and the conversion rate remains the same even after 100 times of carbonation/de-carbonation cycles.

8. 李書哲、陳一順、邱耀平、陳柏壯，熱傳導結構及使用該結構之熱交換裝置及熱交換系統，委託宇州國際專利商標事務所申請美國專利，申請號為 13/660,058，101.10.25

摘要說明：

A heat-conducting structure comprises a heat-conducting metal layer, a heat-conducting support layer, and a heat-conducting protection layer. The heat-conducting support layer is formed to enclose the heat-conducting metal layer thereby preventing the heat-conducting metal layer from thermal deformation, while the heat-conducting protection layer is formed to enclose the heat-conducting support layer. In another embodiment, the heat-conducting structures are utilized to form a heat exchanger or a heat-exchanging system comprising a heat-absorbing zone and a heat-dissipating zone, whereby a high-temperature fluid is guided to flow through the heat-absorbing zone for transmitting the heat to the heat-conducting structures within the heat-absorbing zone through heat convection and the heat-exchanging structures conducting the heat to the heat-dissipating zone such that a low-temperature fluid passing therethrough can absorb the heat dissipated from the heat-exchanging structures within the heat-dissipating zone and transmit the heat energy out of the heat exchanger or the heat-exchanging system.

9. 李書哲、陳一順、邱耀平、陳柏壯，熱傳導結構及使用該結構之熱交換裝置及熱交換系統，委託宇州國際專利商標事務所申請中華民國專利，申請號為 101135109，101.09.25

摘要說明：

一種熱傳導結構，包括有一熱傳導金屬層、一熱傳導支撐層以及一熱傳導保護層。該熱傳導支撐層包覆於該熱傳導金屬層的表面。該熱傳導保護層包覆於該熱傳導支撐層之表面。利用該熱傳導結構可以製作成熱交換裝置與系統，其係具有一吸

熱區以及一放熱區，利用高溫流體於該吸熱區以熱對流(Heat convection)方式將熱導入給該熱傳導結構，進而再藉由熱傳導(Heat conduction)方式由高能量往低能量方向傳遞將熱能傳導給通過該放熱區之一低溫流體，使該低溫流體吸熱而將該熱傳出。

10. 余慶聰、邱耀平、陳威錦、陳文雄，中高溫捕碳劑鈣鋁碳酸鹽  $\text{Ca-Al-CO}_3$  工程製造方法，委託台智識權專利商標事務所申請中華民國專利，申請號為 101130731，101.08.23

摘要說明：

一種中高溫捕碳劑鈣鋁碳酸鹽  $\text{Ca-Al-CO}_3$  工程製造方法，其包含有混和、固液分離、乾燥與擠壓、粉碎與輸送及煅燒成型等步驟；係以鈣離子源與硝酸鋁  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  之溶液配製出酸液，且以碳酸鈉 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 及氫氧化鈉 ( $\text{NaOH}$ ) 之溶液配製出鹼液，且將酸液與鹼液混合攪拌再經固液分離形成濾餅，並將濾餅藉由乾燥與擠壓裝置獲得顆粒狀材料，之後將顆粒狀材料藉由輸送與粉碎裝置獲得粉末材料，最後將粉末材料進行高溫爐煅燒，使其於煅燒過程中移除層間陰離子與醋酸根，而形成具有高孔隙鈣鋁碳酸鹽奈米層狀複合材料 ( $\text{Ca-Al-CO}_3$ ) 之捕碳劑。藉此，可調控系統性實驗參數，並配合材料於中高溫 ( $400\sim 800^\circ\text{C}$ ) 時捕捉二氧化碳，而達到製造批次公斤級產量之乾式捕碳劑之功效。

11. 余慶聰、邱耀平、陳威錦、陳文雄，中高溫捕碳劑鈣鋁碳酸鹽  $\text{Ca-Al-CO}_3$  工程製造方法，委託台智識權專利商標事務所申請美國專利，申請號為 13/613,224，101.09.13

摘要說明：

An engineered process of manufacturing a carbon capturing agent calcium aluminum carbonate  $\text{Ca-Al-CO}_3$  includes steps of mixing, solid-liquid separation, drying and extrusion, crushing and conveying, and calcined molding. The acid bath of  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Al}^{+3}$  is mixed with the alkaline bath of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  and  $\text{NaOH}$  while stirring to form slurry which are then subject to solid-liquid separation to obtain a filtrated cake. The filtrated cake is place into a drying and extrusion device to obtain granular material. The granular material is placed in a conveying and crushing equipment to obtain a powder material. The powder material is calcined at furnace for forming a  $\text{Ca-Al-CO}_3$ , which is nano-layered composite with high porosity. Thereby, the preparation of a solid sorbent can be scale up under systematically controlled with yield of at least batches of kilograms used in medium-high temperature ( $400\sim 800^\circ\text{C}$ )  $\text{CO}_2$  capture.

12. 蔡禹擎、邱耀平，燃料電池熱工模擬裝置，取得歐盟專利證書 EP1,791.205B1，101.09.12

摘要說明：

The present invention is a simulator used in initial system integration tests of a SOFC to test peripheral components with saved costs by replacing the costly SOFC with simulator.

## (二)技術報告 9 篇

1. Chen M.H., Chen P.C., .Chyou Y.P., 2012.07, Numerical analysis of oxy-combustion characteristics and  $\text{NO}_x$  formation in a pulverized-coal boiler, INER report,

## INER-9176

2. 陳銘宏、陳柏壯、邱耀平、劉其翰、江滄柳，2012.08，氣化程序反應器分析模型建置與運轉參數研究，核能研究所研究報告，INER-9333
3. 鄭涵文，奈米級 Ca-Al 碳酸鹽捕碳劑合成與鑑定技術開發，核能研究所研究報告，INER-9279H
4. 陳威錦，中高溫捕碳劑再生與驗證技術開發研究，核能研究所研究報告，INER-A2591R
5. 陳威錦，中高溫碳分離材料與固定技術開發研究，核能研究所研究報告，INER-A2516R
6. 詹世基，熱像液晶於單噴流旋轉管道內之量測應用，核能研究所研究報告，INER-9676H
7. 詹世基，微幫浦於微型衛星冷卻技術之關鍵技術開發，核能研究所研究報告，INER-9675H
8. 黃靜瑩，以 20 wt%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在高溫下去除硫化氫之研究，核能研究所研究報告，INER-9636R
9. 陳柏壯，粉煤鍋爐內富氧燃燒特性與氮氧化物生成之數值分析，核能研究所研究報告，INER-9176

### 三、經濟效益(產業經濟發展)(權重 10%)

2012 年 3 月 27 日，美國環保署提出新電廠之碳排放標準，新電廠的排放量上限為不超過 1,000 lb CO<sub>2</sub>/MWh gross。現階段僅 NGCC (天然氣複循環發電) 可低於此一標準，亦即新建之燃煤電廠於導入 CCS 技術後可望符合排放標準。這代表後續之減碳需求將有所增長，其後續之經濟效益可期。美國環保署並於五月 24 日分別舉行兩場公聽會 (Chicago, Ill、 Washington, DC)。且為提供自公聽會後 30 天的公眾評論期，美國環保署將公眾評論期期間延長至 6 月 25 日截止。

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。

美國 EIA AEO 2013 Early Release Overview 資料顯示，頁岩氣(Shale gas) 之產量會持續增加，但價格亦將逐步上漲。至 2018 年前，其售價可望持續低於 4 USD/MMBtu (2011 年幣值)、並逐步於 2030 年上升至 5.40 USD/MMBtu、以及於 2040 年上升至 7.83 USD/MMBtu。以國內天然氣進口價格一般與國際原油價格連動之機制。即便於目前原油價格最樂觀之預估於 70~80 美元間穩定，國內天然氣價格獲得大幅下降之機會依舊有限。故我國於發電端採用煤炭作為主要來源之趨勢，短期之內應不致因頁岩氣之大量使用而受

影響。

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。

建立自主中高溫脫硫技術—包含脫硫劑製備與化性測試，以利降低成本與國際競爭。建立中高溫乾式捕碳劑製造技術，有助於提高 CO<sub>2</sub> 捕獲濃度及溫度，降低碳捕獲所需設備及整體能量損耗。

1. 總期程累計(99~101 年)：
2. 透過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。98-100 年完成化工業（氣化、氣體淨化、分離...）以及機械業（複循環發電）結合之程序研究。進行同時產製化學產品與電力之程序設計與系統係能評估，並進行數種應用組合以及 CO<sub>2</sub> 減排效益分析。多聯產程序應用之操作效率優於現有典型氣化系統，可以節省燃料的耗用，降低二氧化碳的排放。可作為多功能生產園區之技術選項。
3. 中高溫的環境下進行粉塵過濾程序，有助於大幅增加熱效率的能源使用率及降低能源的消耗。
4. 建立自主脫硫劑開發與動態分析技術，可有效控制溫室氣體排放。配合國內石化產業相關應用，更能提升其運轉效益與增進利潤空間，無疑對民生經濟有正向發展。
5. 捕碳劑研發著重於 100%CO<sub>2</sub> 濃度之抗燒結改善，以相類似 8-15%煙道氣比較將有 10 倍以上之經濟效益，高溫捕獲將可降低能量損耗，因此具有加成效果。

#### 四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重 5%)

環境效益方面：於我國尚無法完全去除煤炭依賴之前，若採用以氣化技術為基礎之能源系統之設計，可提供國內產業引入低污染、低二氧化碳排放之淨煤技術，提供對環境最佳之技術選項。能源安全方面：現原油與天然氣之價格依舊維持相對高檔，若採用氣化技術將化石燃料（煤炭）與生質燃料轉換為氣態或液態燃料。可替代我國部分天然氣與原油進口，若採用煤炭氣化產製天然氣之程序，可避免國內天然氣供應站建立不及導致供應可能短缺之疑慮。

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領先世界的地位。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。

控制 SO<sub>x</sub> 的排放量，可減少酸雨形成、臭氧層破壞，太陽光散射等問題。建立環境友善之乾式碳捕獲技術研究與捕碳性能驗證技術，有助於提升潔淨能源、環境永續等減碳之社會效益。

總期程累計(99~101 年)：

1. 環境永續：經由以氣化技術為基礎之能源系統之設計，可以提供我國引入低污染、低二

氧化碳排放之淨煤技術。其可作為我國環境永續發展選項之一。且採用多聯產應用模型，對於我國石化業與發電業皆有所助益，且其亦含有 CO<sub>2</sub> 捕獲之技術。該系統可作為我國未來進行大規模 CO<sub>2</sub> 捕獲、再利用與封存之選項技術。

2. 經濟發展：以發電系統為例，氣化技術搭配複循環發電技術，其導入二氧化碳捕獲時，其整體建置成本將低於現有之火力電廠搭配二氧化碳捕獲。若以氣化技術應用面而言，現階段主要應用於化學品之產製，採用原料成本較低之煤炭，除發電外，亦同時產製具經濟價值之化學品。在原油價格不斷波動與長期價格上升之趨勢下，採用氣化技術作為石化產業之替代效益將日益顯著。
3. 能源安全：氣化技術可將化石燃料（煤炭）與生質燃料轉換為氣態或液態燃料，其可視為我國替代部分天然氣與原油進口之技術。我國目前已將天然氣視為低碳選項之一，若未來天然氣供應有所短缺，則可採用煤炭氣化產製天然氣作為選項。
4. 相關系統及技術研發，並將產品推廣至國內外之相關產業，如此一來將可增強企業在國際上的競爭力，也能培養更多相關專業人才。此外，也可減少溫室氣體與廢氣的排放，更加符合現今環保的規範，創造更美好的生活環境。
5. 中高溫脫硫相關技術可取代低溫 MDEA 吸收方式，有效處理二次廢水汙染與低熱效率的問題，並減少 SO<sub>x</sub> 排放濃度。在經濟發展的同時，也能兼顧環境永續發展。
6. 捕碳技術開發有助於 3E(經濟、能源、環境)之整體效應，未來可擴展至傳統耗能產業如石化、鋼鐵、燃煤等，並建立人才培育與教育社會大眾環境保護之社會影響。

## 五、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 5%)

總期程累計(99~101 年)：

1. 以氣化技術為基礎之煤炭轉換與應用程序，其可提供我國邁向低碳社會、增進低碳經濟之選項之一，其相關之技術數據除可提供政府與業界參考外，更可作為我國減碳之技術選項之一。在目前全球原油與天然氣價格不斷波動與長期價格上升之趨勢下，採用氣化技術為基礎之多聯產技術。作為石化產業部分產品之替代效益將日益顯著。
2. 利用顆粒床淨化技術，完成顆粒移動床過濾器三維熱模系統建置及相關初步測試，相關數據將提供國內外相關產業在淨化技術之選項。
3. 中高溫脫硫可提供國內對硫化物處理的另一種選擇，不僅能夠為既有電廠或石化相關產業降低操作成本，同時溫室氣體排放量也能夠控制得宜，符合國內相關環保法規，讓經濟與環保同時達到雙贏。
4. 碳捕獲技術有助於節能減碳政策，並能獲得國際社會對於本國愛護環境與保護資源之國際形象，因此有助於政府政策面參考價值。

註：若綱要計畫期程為 4 年期第 1 年執行者，請明確寫出本綱要計畫為第 1 年執行，固無主要成就及成果之價值與貢獻度；其他非第 1 年執行者請填寫起始年累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度(例如：執行期程為第 3 年之綱要計畫即寫第 1 年到現在所有成果之 outcome)。

## 伍、本年度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

細部計畫 (分支計畫)		研究計畫 (分項計畫)		主持人	執行機關	備註
名稱	經費(千元)	名稱	經費(千元)			
淨碳技術發展	22,164			邱耀平	核能研究所	(註1) 國家型自管
		淨碳系統優化設計研究與關鍵次系統開發	15,958	邱耀平	核能研究所	
		中高溫碳捕捉技術開發	6,206	余慶聰	核能研究所	

(註1)計畫請依國家型、由院列管、1000萬元以上及1000萬元以下分類標示。

## (二)經資門經費表

預算執行數統計截止日期 101.12.31

會計科目	項目	預算數(執行數)/元			備註	
		主管機關預算 (累計分配數)	自籌款	合計		
				流用後預算數 (實際執行數)		占總預算數% (執行率%)
一、經常支出						
1.人事費						
2.業務費						
3.差旅費						
4.管理費						
5.營業稅						
小計						
二、資本支出						
1.設備費						
小計						
合計	金額	22,164,000 (22,164,000)		22,164,000 (22,155,640)	100 % (99.96 %)	

占總經費% =分配數÷預算數 (執行率=執行數÷ 流用後預算數)	100%		(99.96%)		

請將預算數及執行數並列，以括弧表示執行數。

### 與原計畫規劃差異說明：

#### (三)100 萬以上儀器設備

總期程累計(中綱計畫執行期間累計)：

No.	年度	儀器設備名稱	支出金額
1	101	高溫粉體輸送測試裝置	255 萬
2	100	粉體處理及週邊系統	170 萬
3	99	過濾模型主系統的設計開發與建構	260 萬
4	99	載氧體材料性能測試與驗證裝置	250 萬
5	99	載氧體材料特性分析裝置	145 萬
6	99	載氧體材料粉碎塞選連續製備設備	180 萬
7	99	CO <sub>2</sub> 捕獲反應系統	150 萬
8	99	溫壓程控碳再利用反應	120 萬
9	99	微量有害元素分析儀	150 萬
	合計		1680 萬元

## 二、計畫人力運用情形

### (一)計畫人力

人力統計截止日期 101.12.31

說明：

	執行情形	總人力 (人月)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
年度 101	原訂	203.28	15.6	79.2	61.68	46.8
	實際	203.28	15.6	78.86	61.68	46.8
	差異	0	0	-0.34	0	0
年度 100	原訂	236.4	12	54	114	56.4
	實際	244.32	12	54	121.92	56.4
	差異	0	0	0	+7.92	0
年度	原訂	220	3	58	113	46

99	實際	201.7	3	54.5	101.2	43
	差異	-18.3	0	-3.5	-11.8	-3

**研究員級**：研究員、教授、主治醫師、簡任技正、若非以上職稱則相當於博士滿三年、或碩士滿六年、或學士滿九年之研究經驗者。

**副研究員級**：副研究員、副教授、總醫師、薦任技正、若非以上職稱則相當於博士、碩士滿三年、學士滿六年以上之研究經驗者。

**助理研究員級**：助理研究員、講師、住院醫師、技士、若非以上職稱則相當於碩士、或學士滿三年以上之研究經驗者。

**助理**：研究助理、助教、實習醫師、若非以上職稱則相當於學士、或專科滿三年以上之研究經驗者。

### 與原計畫規劃差異說明：

1.101 年 1 名國防替代役男於 8 月服役期滿離退。

2.100 年新進 2 員替代役，增加 7.92 人月之人力。

3.99 年因部份人員離職、升遷及配合本所人事作業調動職務等因素，造成實際人力與規劃人有 18.3 人月(約 1.5 人年)之差異。

## (二) 中綱計畫執行期間累計主要人力(副研究員級以上)投入情形

(列出主要人員清單，如副研究員以上、計畫主持人等)

中綱計畫執行期間累計：

年度	姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
101	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
101	陳柏壯	副工程師 (副研究員級)	8.4 人月 氣化與應用程序 分析	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
101	余慶聰	副研究員	9.6 人月	學歷	博士

年度	姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
				經歷	專長
			協同主持人	經歷	副研究員
				專長	奈米化學與材料分析
101	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
101	陳銘宏	副研發師 (副研究員級)	9.6 人月 氣化技術數值分 析	學歷	博士
				經歷	核能研究所副研發師
				專長	航太工程、能源技術
101	李書哲	副研發師 (副研究員級)	6 人月 中高溫除塵技術 開發	學歷	博士
				經歷	核能研究所副研發師
				專長	機械工程、能源技術
101	陳威錦	副研發師 (副研究員級)	9.6 人月 二氧化碳捕獲技 術開發	學歷	博士
				經歷	副工程師
				專長	環境工程
101	陳文雄	副研發師 (副研究員級)	9.6 人月 二氧化碳捕獲技 術開發	學歷	博士
				經歷	核能研究所副研發師
				專長	化學工程
101	詹世基	副研發師 (副研究員級)	12 人月 中高溫除塵技術 開發	學歷	博士
				經歷	核能研究所副研發師
				專長	機械工程
100	邱耀平	副研究員	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
100	陳柏壯	副工程師 (副研究員級)	8 人月	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
100	余慶聰	副研究員	9 人月 協同主持人	學歷	博士
				經歷	副研究員

年度	姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
				專長	學、經歷
				專長	奈米化學與材料分析
100	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
100	黃彰斌	副工程師 (副研究員級)	4 人月 氣化程序計算模擬模型建置、MARKAL 模型建置與分析	學歷	博士
				經歷	核能研究所國防訓儲工程師 (現職)
				專長	機械工程、能源技術、能源模型
100	葛復光	副研究員	3.4 人月	學歷	碩士
				經歷	核能研究所助理研究員
				專長	核能工程、能源模型
100	陳中舜	副工程師 (副研究員級)	3.4 人月 MARKAL 模型建置與分析	學歷	博士
				經歷	核能研究所助理工程師
				專長	機械工程、能源模型
100	陳銘宏	副研發師	3.6 人月	學歷	博士
				經歷	核能研究所副研發師
				專長	航太工程、能源技術
100	李書哲	副研發師	6 人月	學歷	博士
				經歷	核能研究所副研發師
				專長	機械工程、能源技術
100	陳威錦	副研發師	9.6 人月	學歷	博士
				經歷	副工程師
				專長	環境工程
99	邱耀平	副研究員	7.5 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
99	陳柏壯	副工程師	7 人月 協同主持人	學歷	博士
				經歷	核能研究所國防訓儲工程師

年度	姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
		(副研究員級)		專長	機械工程、能源技術
99	余慶聰	副研究員	10 人月 協同主持人	學歷	博士
				經歷	副研究員
				專長	奈米化學與材料分析
99	陳一順	副工程師 (副研究員級)	8 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
99	黃彰斌	工程師 (副研究員級)	8 人月 氣化程序計算模擬模型建置、MARKAL 模型建置與分析	學歷	博士
				經歷	核能研究所國防訓儲工程師 (現職)
				專長	機械工程、能源技術、能源模型
99	葛復光	副研究員	7 人月 協同主持人	學歷	碩士
				經歷	核能研究所助理研究員
				專長	核能工程、能源模型
99	陳中舜	副工程師 (副研究員級)	6 人月 MARKAL 模型建置與分析	學歷	博士
				經歷	核能研究所助理工程師
				專長	機械工程、能源模型
99	李瀛生	研究員	1 人月	學歷	博士
				經歷	核能研究所副研究員
				專長	材料

## 陸、本計畫可能產生專利智財或可移轉之潛力技術(knowhow)說明

1. 根據二維系統相關研究結果及分析，進行冷性能初步測試，並已完成中高溫過濾器系統初期之建置工作，其相關成果已獲得專利 2 件並申請專利 3 件，內容詳述如下：

(1) 徐毅理、邱耀平等，「兩段式流動顆粒床過濾裝置」取得中華民國專利證書，發明第 I337889 號，2011，3 月 1 日。

### 摘要說明：

本發明提供一種兩段式流動顆粒床過濾裝置，其係具有一進氣部、一出氣部以及複數個分流元件。該進氣部係與該出氣部相互對應，且該複數個分流元件係設置於該進氣部與該出氣部間所形成的通道。然後，提供一第一顆粒材料以質量流動的狀態通過該出氣部與該分流元件間所形成的通道，並且提供一第二顆粒材料以質量流動的狀態通過該分流元件與該出氣部間所形成的通道。藉由本發明於該進氣部與該出氣部間的通道提供兩種不同的濾材的設計，可以對氣體進行兩階段的過濾，進而改善過濾裝置過濾氣體之效果。

(2) 蕭述三、李軒億、邱耀平、陳一順、徐毅理、陳柏壯、曾錦清、許嘉仁，「即時調控之粉粒體旋轉篩分裝置」取得中華民國專利證書，發明第 I350197 號，2011，10 月 11 日。

### 摘要說明：

本發明即時調控之粉粒體旋轉篩分裝置包含一固定座；一滾筒篩分裝置設於固定座用於篩分一混合體為一再生濾材顆粒與一篩除物；一再生濾材顆粒輸送結構與一篩除物輸送結構輸送再生濾材顆粒與篩除物；一傾角控制結構設於固定座並調整滾筒篩分裝置之傾角；一回饋控制裝置用於在滾筒篩分裝置之運作過程，依據篩除物之一質量流率控制傾角控制結構，以即時動態調整滾筒篩分裝置之傾角。本發明藉由回饋控制裝置與傾角控制結構即時動態調整滾筒篩分裝置之傾斜角度，以提高篩分效率，並藉由回饋控制裝置得知，在過濾後破碎濾材顆粒之情形，以適量補充新鮮濾材顆粒至過濾系統，以提高過濾效率。

(3) 邱耀平、徐毅理等，「緊緻型兩段式流動顆粒床過濾裝置」專利，委託宇州國際專利商標事務所申請中華民國專利，申請號為 100105714，2011，2 月 22 日。

### 摘要說明：

本發明係一種緊緻型兩段式流動顆粒床過濾裝置，其係包括有一床體、一分流元件以及一濾材供應部。該床體具有一容置空間、一進氣口、一出氣口、一第一顆粒材料出口以及一第二顆粒材料出口。藉由本發明於該進氣部與該出氣部間的通道提供兩種不同的濾材的設計，可以對氣體進行兩階段的過濾，進而改善過濾裝置過濾氣體之效果。本發明亦可藉由兩種不同的濾材過濾氣體，提供一種複合式過濾裝置；其中一種濾材可以是顆粒較大的濾材以過濾氣體中之灰塵，而另一種濾材可以為顆粒較細的濾材或吸附劑材料，以過濾氣體中的硫化物、二氧化碳或者是其他之污染物質。

(4) 邱耀平、徐毅理等，「Compact two-stage granular moving-bed apparatus 專利，委託宇州國際專利商標事務所申請美國專利，申請號為 13/087,066，2011，4 月 14 日。

## 摘要說明：

A compact two-stage granular moving-bed apparatus comprises a vessel, a flow-corrective element, and a filter material supplying part. The vessel comprises a hollow interior, a gas outlet, a first media outlet and a second media outlet. The flow-corrective element divides the hollow interior into a first channel and a second channel. The filter material supplying part has a first provider for providing a first granular material flowing through the first channel and a second provider for providing a second granular material flowing through the second channel, wherein a vertical level of each first and second provider is adjustable so that a first flow path that an exhaust gas flows through the first granular material and a second flow path that the exhaust gas flow through the second granular material is respectively capable of being controlled

- (5) 李書哲、邱耀平、徐毅理、陳柏壯、陳一順、蕭述三，「用於移動式顆粒床過濾器之氣體分佈裝置」申請中華民國專利，申請代號 100138300，2011，10.21

## 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，其係提供一種能使其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。

2. 中高溫碳捕捉技術開發計畫已建立公斤級捕碳劑製造方法與設備，並獲得與碳捕獲有關性質如 CaO 含量、表面積等特性，對於捕碳劑生產具有穩定之基礎。其相關成果已獲得專利 2 件並申請專利 2 件，內容詳述如下：

- (1) 余慶聰等，「Method of Fabricating Layered Nanomaterial Used for Mid-High Temperature CO<sub>2</sub> Capture」專利，取得美國專利發明證書，US8,168,156 B2 號，2012，5 月 1 日。

摘要說明：A material is fabricated for capturing CO<sub>2</sub> at mid-high temperature. The material is a layered material containing Ca, Al carbonates. A higher ratio of Ca to Al helps capturing CO<sub>2</sub>. The temperature for capturing CO<sub>2</sub> is around 600°C. The material can even release CO<sub>2</sub> at a high temperature. Thus, the material can process looping cycles of carbonation and decarbonization at a CO<sub>2</sub> carbonation scale of 45% gCO<sub>2</sub>/g.

- (2) 余慶聰等，Method of Fabricating Layered Nano-Carbonate used for Medium-High Temperature CO<sub>2</sub> Sorbent 專利，取得美國專利證書 US8,207,086B2，Jun. 26, 2012.

## 摘要說明：

A CO<sub>2</sub> sorbent is fabricated. The sorbent captures CO<sub>2</sub> at a medium-high temperature above 600°C. Calcium acetate is introduced for making a nano-scale layered double hydroxide (LDH). The layered structure is used for templated synthesis. The sorbent has an initial conversion rate above 90%; and the conversion rate remains the same even after 100 times of carbonation/de-carbonation cycles.

- (3) 余慶聰等，Method of Fabricating Medium-High Temperature CO<sub>2</sub> Sorbents Made of Alkali Metal Promoted Calcium Aluminate Carbonates，申請號為 13/179,699，2011，7 月 11 日。

## 摘要說明：

A dry material is synthesized by alkali metal (Li, Na and K) promoted calcium aluminate

carbonates to obtain a CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> capturing performance maintained after 40~60 hours. Besides, alkali bearing material provides good velocity in CO<sub>2</sub> 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，Engineered process of manufacturing calcium aluminate carbonates for medium-high temperature CO<sub>2</sub> capture，申請號為 13/613,224，2012，9月13日。

**摘要說明：**

An engineered process of manufacturing a carbon capturing agent calcium aluminum carbonate Ca-Al-CO<sub>3</sub> includes steps of mixing, solid-liquid separation, drying and extrusion, crushing and conveying, and calcined molding. The acid bath of Ca<sup>+2</sup> and Al<sup>+3</sup> is mixed with the alkaline bath of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and NaOH while stirring to form slurry which are then subject to solid-liquid separation to obtain a filtrated cake. The filtrated cake is place into a drying and extrusion device to obtain granular material. The granular material is placed in a conveying and crushing equipment to obtain a powder material. The powder material is calcined at furnace for forming a Ca-Al-CO<sub>3</sub>, which is nano-layered composite with high porosity. Thereby, the preparation of a solid sorbent can be scale up under systematically controlled with yield of at least batches of kilograms used in medium-high temperature (400 ~ 800°C) CO<sub>2</sub> capture.

3. 開發具有高吸附效能的脫硫劑，可應用於燃煤電廠或石化產業上。該材料具良好熱穩定性與機械強度，可承受 200°C 以上的中高溫範圍進行操作，而且容易再生重複使用，相較於已商業化的低溫 Selexol 程序，將有低污染、高熱效率與低操作成本的競爭優勢。
4. 建立關鍵單元（氣化爐）以及應用程序（氣化應用）之設計與分析能量。並逐步建立分析平台與建立資料庫，可望作為國內業界之技術開發/引進之評估平台。

## 柒、與相關計畫之配合

(執行中的合作情形以及未來之合作計畫，若有國際合作關係也請說明。)

1. 本計畫團隊同時參與國內其他能源國家型計畫，與國內相關技術團隊有直接之合作；分別為由中央大學所主持之「永續淨煤整合系統關鍵技術開發」以及由交通大學所主持之「高溫 CO<sub>2</sub> 捕捉與轉化--新穎奈米層狀與複合奈米材料設計及研發」。另外，本計畫團隊亦與清大、台科大、台大合組之 NEP 團隊維持常態性的資訊交流管道。

2. 本計畫團隊結合交通大學、中興大學與聯合大學，共同申請執行 102~104 年能源國家型計畫（淨煤主軸），計畫名稱「氣化合成氣之高效能水氣轉化及其二氧化碳捕獲技術開發」。
3. 本計畫團隊應中央大學邀請，共同申請執行 102~104 年能源國家型計畫（淨煤主軸），計畫名稱「Pre-combustion 二氧化碳捕獲-低排放之淨煤利用技術開發與研究」
4. 配合淨煤主軸計畫，協助辦理 2012 Taiwan Symposium on Carbon Dioxide Capture, Storage and Utilization 會議事宜。
5. 與工研院團隊之聯繫，除逐年參加該團隊舉辦之例行研討會外，並於籌辦「我國氣化技術發展策略專題研討會」之時，邀請該團隊人員前來參與，進行技術現況與推動策略之交流。與本年度，計畫主持人更應工研院之邀請，於其所主辦之「2012 淨煤與二氧化碳捕獲技術研討會」中進行專題演講。
6. 國內目前工研院已籌組相關聯盟，並以工業區小型氣化廠推廣為主要策略。本計畫現著重於中大型化之多聯產整合型應用為主，其投資數額較大，其主要潛在業界為中油、中鋼、台塑、中石化、李長榮... 等大型企業為主。除中鋼外，將與中油公司進行聯繫交流，推動中油將氣化技術納為參考技術。
7. 以氣化技術為基礎之煤炭轉換與應用程序，其可提供我國邁向低碳社會、增進低碳經濟之選項之一，其相關之技術數據除可提供政府與業界參考外，更將回饋至本計畫之分項工作五建置能源科技與產業政策評估之用。以 MARKAL 及 CGE 為基礎，探討各種不同節能減碳技術可產生之效益，可協助訂定我國長期能源政策。
8. 本計畫所開發的相關技術如氣化系統設計其中一項工作即為建置一模擬平台，待基礎平台建立後，即可在基礎模型上逐步建構各分項工作之先進程序，評估該程序對於系統效能之提升；而中高溫合成氣淨化技術所開發之顆粒床淨化技術，對於顆粒體淨化高溫氣體粉塵系統設計上提出商業化建議，並經由技術移轉管道落實於國內外之業界，以達到技術商業化的目標；在中高溫捕捉/分離與再利用技術上，其所開發技術可與淨煤技術結合，配合氣化系統加強後端 CO<sub>2</sub> 減量與回收再利用。而減碳技術為未來重要的能源技術，必須將其納入能源科技及產業之長期規劃評估。待其他分項之研究有初步成果後，即可將其技術參數資料輸入本研究之模型資料庫，以評估減碳技術在我國二氧化碳減量政策之可能性。其相關效益說明如下：
  - 藉由國際合作建立多元燃料氣化技術能力，並協助國內業者發展本土化氣化系統設計、建造與操作運轉技術，以推廣應用於業界，以開啟我國氣化技術產業的發展。
  - 引進國外技術以建立國內自主技術能量。進而發展淨碳技術自主產業。加強國際合作開發研究，縮短技術發展時程。
  - 透過國科會之計畫與歐洲研究單位進行交流，不僅可以了解國際氣化技術發展之趨勢，並可增進我國於該領域之研發進程。
  - 由中高溫合成氣淨化技術項目所開發之顆粒床淨化技術，將對顆粒體淨化高溫氣體粉塵系統設計上提出商業化建議，並經由技術移轉管道落實於國內外之業界，

以達到技術商業化的目標。

- 中高溫脫硫操作溫度介於 300~700°C 之間，可解決傳統因低溫造成電廠熱效率降低，提升能源的使用效率，並減少 SO<sub>2</sub> 在大氣中的排放，降低酸雨與臭氧層破洞的危害。
- 建立碳捕捉關鍵技術能力，以符合政府推動「節能減碳」政策及「國家節能減碳總計畫」規劃之 CCS 等能源國家型計畫目標。
- 透過能源技術模型與技術經濟，檢析我國節能潛力、部門貢獻、減碳潛力與減碳成本，作為引進新式節能減碳技術及政策規劃上之參考。
- 與交大合作開發鹼土金屬氧化物系列(含 Mg、Ca、Sr、Ba)捕碳劑，測試結果顯示 Ca-Al-CO<sub>3</sub> 具有較高之中高溫捕碳量。
- 與中大共同執行合作執行「永續淨煤整合系統關鍵技術開發」計畫，並執行「燃煤微量有害物定量與去除技術開發」與「潔淨燃料工廠虛擬整合工程模擬平台研發」兩項工作。對於我國淨碳技術之人才培育以及技術能量奠立基礎。
- 與中大合作雙濾材過濾系統設計與製作開發，在進口氣體風速 7.4 cm/s、粉塵濃度 7500 ppmw 及濾材質量流率 330 g/min 之操作參數條件，測試結果顯示其過濾效率可達 99.56 %。

各項計畫國際合作規劃表

計畫	工作項目	國際合作對象或專案計畫*	現況
淨碳技術發展	All	➤ Academy of Sciences of the Czech Republic	➤ PPP 計畫執行中
	淨碳關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立	➤ Department of Mechanical Engineering, Univ. Pittsburgh (US)	➤ 已接觸，未有進一步合作
		➤ Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Univ. Florida (US)	
		➤ Energy Conversion and Conservation Center, University of New Orleans (US)	➤ 已建立合作關係（顧問類型）
		➤ Technische Universität Bergakademie Freiberg (Germany)	➤ 初步接觸，對方具合作意願，並提供可合作之項目

		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ East China University of Science and Technology (China)</li> <li>➢ Huazhong University of Science and Technology (China)</li> <li>➢ Southeast University (China)</li> <li>➢ Tsing Hua University (China)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ ECUST 建立初步交流</li> <li>➢ 初步接觸</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Vienna University of Technology (Austria)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 初步接觸，並提供可合作之項目</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Western Kentucky University (US)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 初步接觸</li> </ul>
中高溫碳捕捉技術開發		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ University of Illinois (US)(捕碳劑)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 初步接觸，建議研究進行中</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ CSIS (Spanish)(捕碳程序)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 初步接觸，尚未建立關係</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Heriot Watt University, UK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 共同申請 2013-14 NSC-RS 雙邊合作計畫</li> </ul>

\*合作單位為暫訂之對象

## 捌、後續工作構想之重點

1. 淨碳關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立
  - (1) 完成百 kW 等級實驗系統氣化設施於操作溫度 900°C 周圍之常壓氣化實驗工作，以及檢測分析設備與周邊設備建置。
  - (2) 完成多聯產系統核心單元與周邊調配最適化研究與二氧化碳排放評估工作（化學品種類評析、合成天然氣與先進氣渦輪機評估）
  - (3) 進行 500°C 高溫過濾器實驗運轉測試及中高溫二階段熱模系統建置評估
  - (4) 中高溫氣體脫硫劑材料在模擬合成氣條件下之脫硫再生循環測試，及氣固反應器系統性能測試
  - (5) 二氧化碳與水氣參數探討，並進行吸附劑的再生循環測試，配合結構與表面分析，以研究其活性行為機制。

## 2. 中高溫碳捕捉技術開發

- (1) 建立公斤級捕碳劑粉體與顆粒製造技術，性能可達操作溫度 600-800°C。
- (2) 建立捕碳反應器進行 600-800°C 參數研究達除碳 80-90%效率。
- (3) 建立中高溫捕碳單元測試參數提供百千瓦級淨碳示範系統應用。

## 玖、檢討與展望

### 1. 淨碳關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立：

- (1) 現已建立氣化爐驗證設施，後續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。
- (2) 進程序設計與規劃時，部分資料為現有實廠之程序設計。後續若能與擁有實廠之廠家或是工程公司一同合作。除可進行驗證工作外，更可使設計之流程更符合市場之需求。如此可加速技術產業化之目標。
- (3) 由於國內對於中高溫過濾技術發展尚未整合及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。
- (4) 再生循環後吸附劑活性需維持在起始值的 80% 以上，才具備商業開發價值。故未來除探討氣氛參數與壓力條件，尚須進行 10 次以上的多次循環分析，並加強結構與表面分析活性行為機制，以朝商業化方向前進。

### 2. 中高溫碳捕捉技術開發：

- (1) 已完成公斤級捕碳劑製造系統，並利用 TGA 反應器測試 600°C 以上之捕碳熱重反應，初步可達到 10 迴路 90% 以上之穩定性，將建立更長時間之捕碳特性。
- (2) 完成捕碳劑造粒系統規格並建立中，可提供 10kW 反應器需要之公斤級以上捕碳劑材料，並進行高溫捕碳測試。



### 附錄一、佐證資料表

(就下述指標填報佐證資料，若該指標無成果請刪除該表，標題粗體為必填欄位)

#### 一、學術成就表

年度	計畫名稱	中文題名	英文題名	第一作者	其他作者	發表年度	論文出處	文獻類別代碼	重要期刊資料庫簡稱	SCI impact factor	引用情形代碼	獲獎情形代碼	獎項名稱
						採西元年 如： 2005	期刊名稱，卷期，頁 如：科學發展月刊，409期，頁6-15	a 表國內一般期刊 b 表國內重要期刊 c 表國外一般期刊 d 表國外重要期刊 e 表國內研討會 f 表國際研討會 g 著作專書	例如： SCI、 SSCI、 EI、AHCI、 TSSCI		Y1:被論文引用 Y2:被專利引用 N:否	Y:有獲獎 N:否	
101	淨碳技術發展		Process Simulation Study of Coal Gasification-Based Multi-Product Plant with Electricity and			101	Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 7, S1, pp. S101-S111	d	SCI	0.758	N	N	

			Chemical Products										
101	淨碳技術發展		Filtration of dust particulates using a new filter system with louvers and sublouvers			101	Fuel, 99, pp. 118-128	d	SCI	3.604	N	N	
101	淨碳技術發展		Assessing Taiwan's energy security under climate change			101	Natural Hazards, 62, pp. 3-15	d	SCI	1.529	N	N	
101	淨碳技術發展		Process analysis study of integrated gasification combined-cycle with CO2 capture			101	Procedia Engineering, Vol. 42, pp. 1634-1647	d	EI		N	N	
101	淨碳技術發展		The analyses of the start-up process of a planar, anode-supported solid oxide fuel cell using three different start-up procedures			101	Journal of Power Sources, Vol. 220, pp. 331-341	d	SCI	4.951	N	N	
101	淨碳技術發展		Numerical analysis of gasification performance via finite-rate model in a cross-type two-stage			101	International Journal of Heat and Mass Transfer. ( In press)	d	SCI	2.407	N	N	

			gasifier										
--	--	--	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

二、培育人才表 (參與本計畫博碩士研究生基本資料)

年度	計畫名稱	姓名	學歷代碼 a 博士 b 碩士	屬性 a 培育 b 培訓	連絡地址	電話	E-MAIL	備註
101	淨碳技術發展	張○維	a	a				
101	淨碳技術發展	王○鈞	a	a				
101	淨碳技術發展	劉○翰	b	a				
101	淨碳技術發展	雷○融	b	a				
101	淨碳技術發展	張○學	a	a				
101	淨碳技術發展	陳○稜	b	a				
101	淨碳技術發展	鍾○旂	b	a				

三、智財資料表

			a 發明 b 專利 c 新型 d 新式樣 e 商標 f 著作 g 智財	a 中華民國 b 美國 c 歐洲 d 其他(填國家名稱)					採西元年 月 如： 2005/01	採西元年 月 如： 2005/01	a 申請 b 獲證 c 應用 d 移轉					
年度	計畫名稱	專利名稱	專利類別	授予國家代碼	申請日期	獲准日期	證書號碼	發明人	專利權人	有效期間(起)	有效期間(迄)	屬性	申請人	應用對象	移轉權利金(仟元)	備註

			代碼													
101	淨碳技術發展	A Dynamically adaptive trommel screen system	a	b	2009/06	2012/01	US 8,091,711 B2		核能研究所	2009/06	2029/06.	b				
101	淨碳技術發展	兩段式流動顆粒床過濾裝置	a	b	2009/07	2012/03	US8,142,730B2		核能研究所	2009/07	2029/07	b				
101	淨碳技術發展	中高溫捕碳劑之吸碳奈米微層狀材料 Ca-Al-CO3 及其製造與使用方法	a	b	2010/02	2012/05	US8,168,156B2		核能研究所	2010/2	2030/02	b				
101	淨碳技術發展	多段式流動顆粒床過濾裝置	a	b	2010/01	2012/04	US8,163,249B2		核能研究所	2010/01	2030/01	b				
101	淨碳技術發展	奈米層狀碳酸鹽之中高溫捕碳劑	a	b	2010/04	2012/06	US8,207,086B2		核能研究所	2010/04	2030/04	b				
101	淨碳技術發展	燃料電池熱工模擬裝置	a	c	2005/12	2012/09	EP1,791,205B1		核能研究所	2005/12	2025/12	b				

101	淨碳 技術 發展	用於流動式顆 粒床過濾器之 氣體分佈裝置	a	b	2012/04		13/446,062		核能研 究所			a				
101	淨碳 技術 發展	富氫氣體燃燒 器	a	b	2012/04		13/453,339		核能研 究所			a				
101	淨碳 技術 發展	熱傳導結構及 使用該結構之 熱交換裝置及 熱交換系統	a	a	2012/09		101135109		核能研 究所			a				
101	淨碳 技術 發展	熱傳導結構及 使用該結構之 熱交換裝置及 熱交換系統	a	b	2012/08		13/660,058		核能研 究所			a				
101	淨碳 技術 發展	中高溫捕碳劑 鈣鋁碳酸鹽 Ca-Al-CO <sub>3</sub> 工程製造方法	a	a	2012/08		101130731		核能研 究所			a				
101	淨碳 技術 發展	中高溫捕碳劑 鈣鋁碳酸鹽 Ca-Al-CO <sub>3</sub> 工程製造方法	a	b	2012/09		13/613,224		核能研 究所			a				

## 四、技術報告表

			作者姓名間以半型分號「;」 隔開	採西元年 如：2005			
年度	計畫名稱	報告名稱	作者姓名	出版年	頁數	出版單位	備註
101	淨碳技術發展	Numerical analysis of oxy-combustion characteristics and NOx formation in a pulverized-coal boiler		2012	51	INER-9176	
101	淨碳技術發展	氯化程序反應器分析模型建置與運轉參數研究		2012	73	INER-9333	
101	淨碳技術發展	奈米級 Ca-Al 碳酸鹽捕碳劑合成與鑑定技術開發		2012	23	INER-9279H	
101	淨碳技術發展	中高溫捕碳劑再生與驗證技術開發研究		2012	26	INER-A2591R	
101	淨碳技術發展	中高溫碳分離材料與固定技術開發研究		2012	26	INER-A2516R	
101	淨碳技術發展	熱像液晶於單噴流旋轉管道內之量測應用		2012	37	INER-9676H	
101	淨碳技術發展	微幫浦於微型衛星冷卻		2012	32	INER-9675H	

		技術之關鍵技術開發					
101	淨碳技術發展	以 20 wt%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 在高溫下去除硫化氫之研究		2012	38	INER-9636R	
101	淨碳技術發展	粉煤鍋爐內富氧燃燒特性與氮氧化物生成之數值分析		2012	51	INER-9176	

五、技術移轉表

年度	計畫名稱	技術名稱	類別代碼	授權單位	被授權廠商或機構	權利金(千元)			採西元年月 如：2005/01	採西元年月 如：2005/01	移轉年 度	國內/國 外	備註
						先期技術授 權金	技術移轉授 權金	合計	合約有效期 間(起)	合約有效期 間(迄)			
			a 先期技術移轉 b 軟體授權 c 技術移轉 d 新技術/新品種 引進數										

六、廠商投資表

年度	計畫名稱	廠商名稱	廠商統一編號	廠商地址	a 研發投資	投資金額 (千元)	產品名稱	產值(千元)	移轉年度	備註
					b 生產投資					

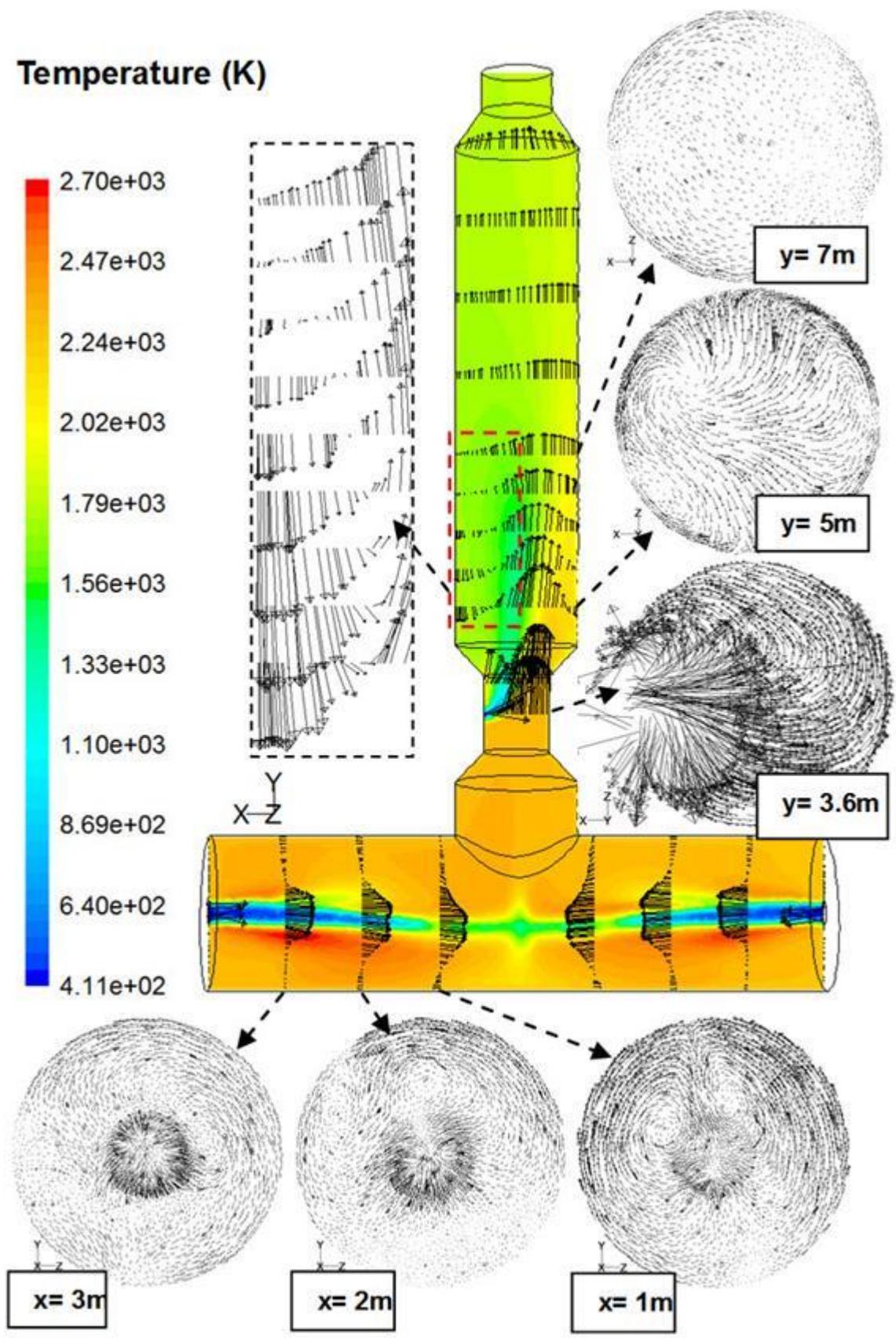
## 附錄二、實際達成情形佐證圖表

### 佐證圖表 1 · 淨碳關鍵次系統開發與小型示範系統設施建立

(1) 高溫過濾器設備建置:

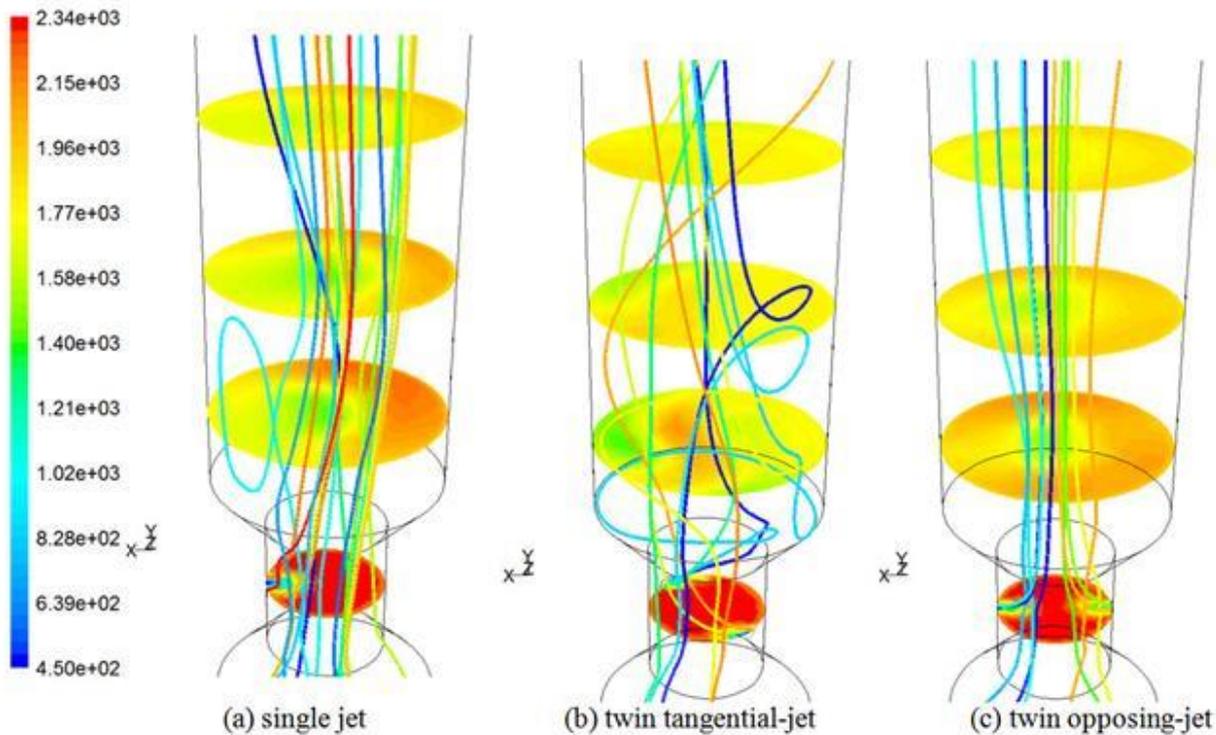


百 kW 等級實驗系統之氣化爐硬體 (左：整體、右：氣化爐主體) 圖

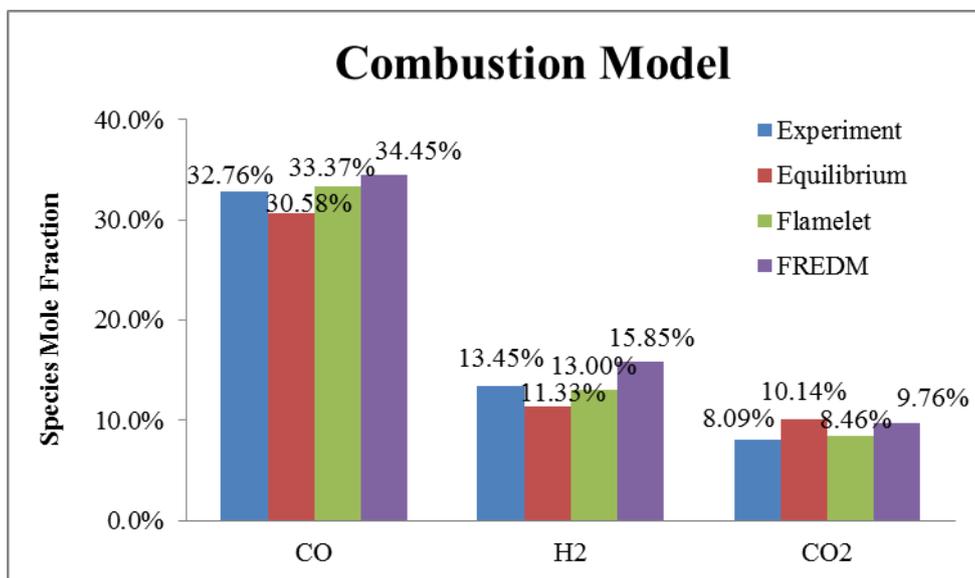


氣化爐內溫度場與速度場分析結果圖

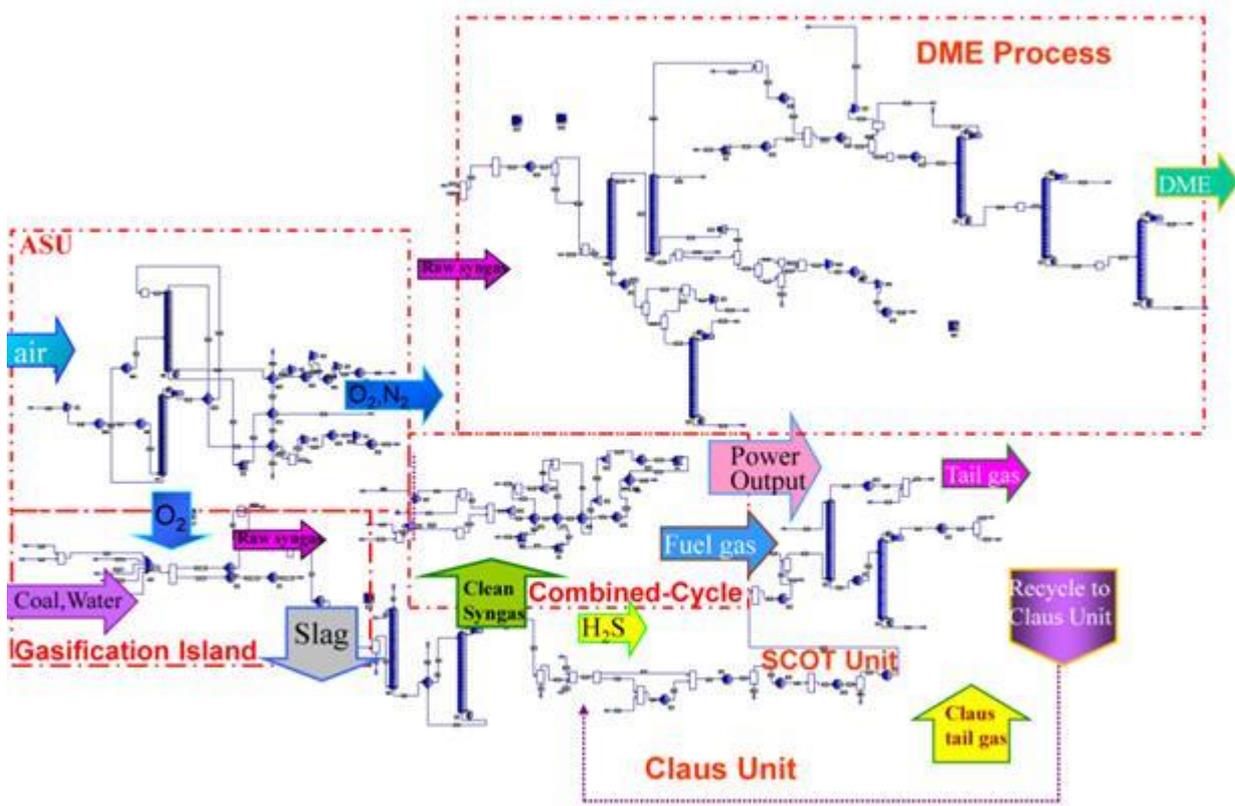
Temperature (K).



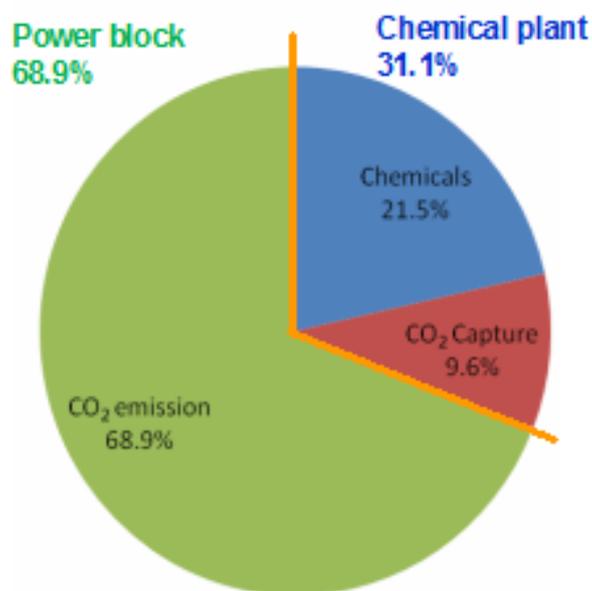
三種注入形式對於溫度與徑線(pathline)影響分析圖



不同反應模式之出口成分比較圖



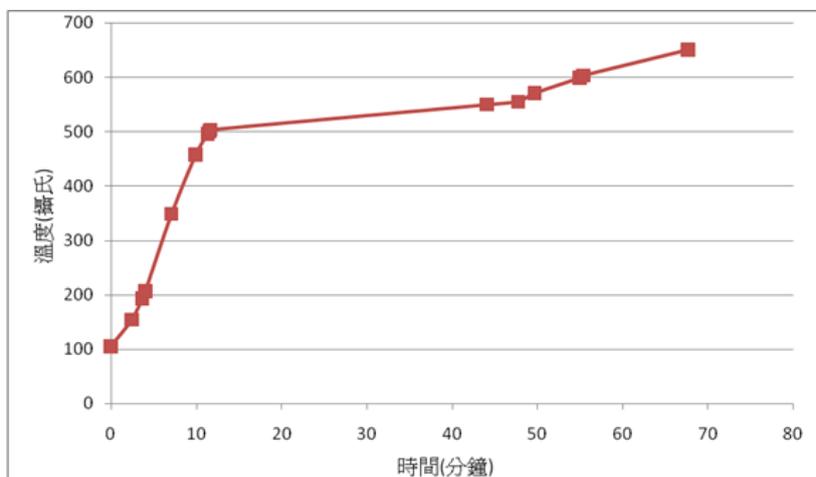
氣化技術應用於多聯產系統之分析模型圖



多聯產系統(DME 與發電)之 CO<sub>2</sub> 減排分析圖



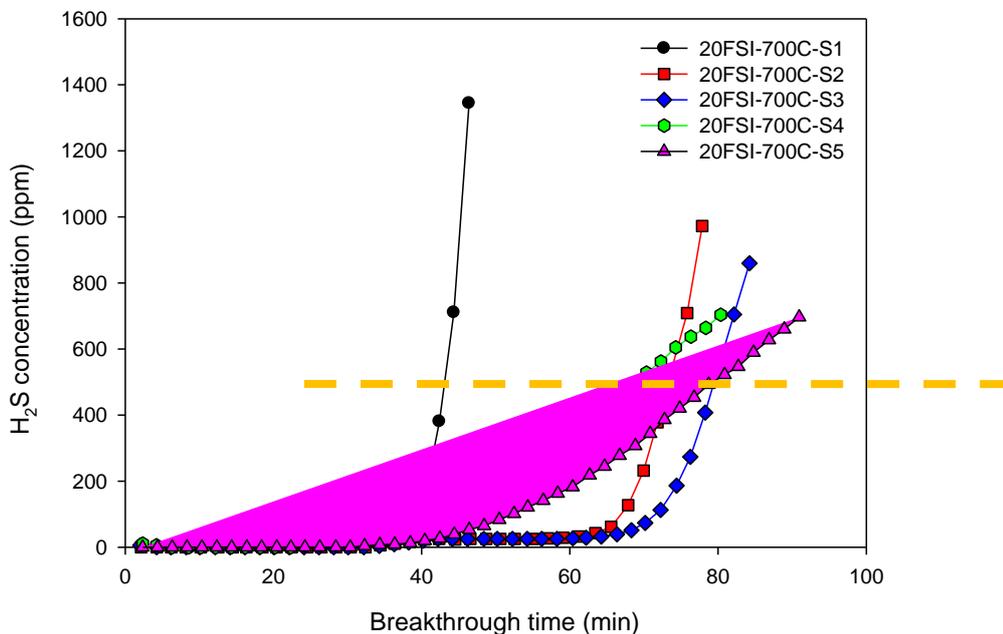
三維熱模系統設備圖



三維熱模系統氣體加熱性能曲線圖

(2). 中高溫脫硫:

A.



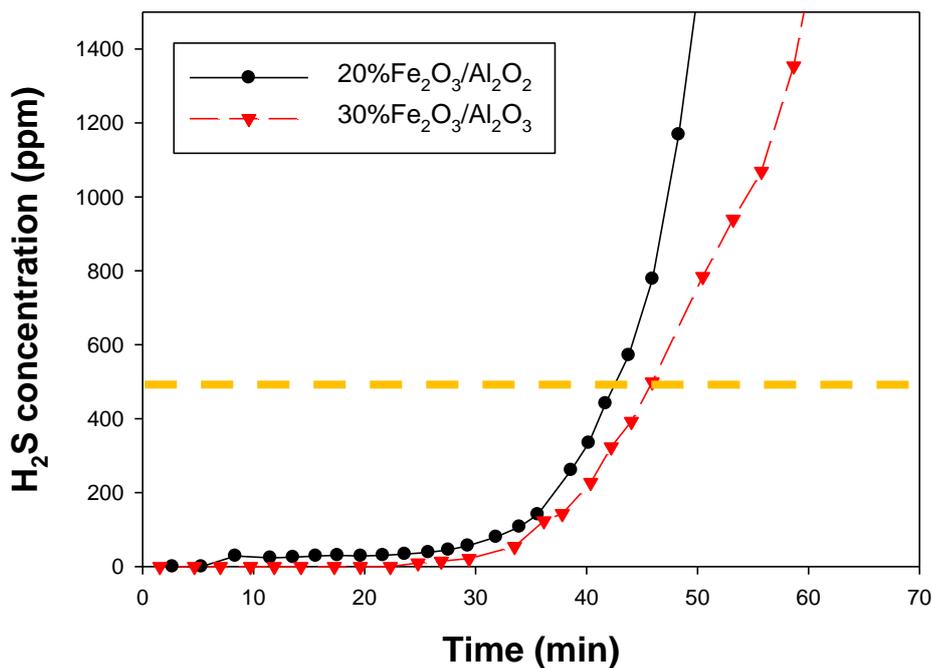
20FSI 吸附劑五次再生循環測試(T= 700°C，WHSV= 8000 mL/g.hr，30 % CO，10 %H<sub>2</sub>，1%H<sub>2</sub>S 與 N<sub>2</sub> balance) 圖

20FSI 吸附劑五次再生循環測試吸附效能一覽表

Cycle	貫穿時間(min)	硫載量(g-S/100g sorbent)
1	43	7.56
2	72	12.66
3	79	13.89
4	69	12.13
5	79	13.89

在歷經 5 次循環測試，活性仍可維持起始值的 90% 以上

B.



20FA 及 30FA 吸附劑貫穿曲線 (T= 700°C，WHSV= 8000 mL/g.hr，30 % CO，20 %H<sub>2</sub>，1%H<sub>2</sub>S 與 N<sub>2</sub> balance) 圖

20FA 及 30FA 吸附劑吸附效能一覽表

Sorbent	貫穿時間(min)	硫載量(g-S/100g sorbent)
20 wt%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.7	7.45
30 wt%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45.92	8.5

金屬氧化物負載量>30 wt%的情況下，硫載量>7 wt%

## 2. 中高溫碳捕捉技術開發

(1) 建立公斤級捕碳劑製造技術並提升製程性能: 完成公斤級捕碳劑製造系統建立(如圖 1 所示), 包含原料混合加熱、擠壓過濾、烘乾、粉碎單元, 提升捕碳劑製造性能由實驗室克級進步到公斤級。利用 TGA 測試  $\text{Ca}/\text{Al}=7:1$ (如圖 2 所示)捕碳劑捕碳量  $>50\text{wt}\%$ , 100 次迴路穩定性  $>90\%$



圖 1 公斤級捕碳劑製造系統

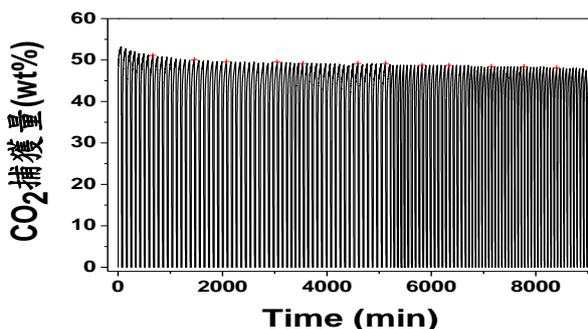


圖 2  $\text{Ca}/\text{Al}=7:1$ , 100 次迴路穩定性 TGA 測試

建立 1-10 kW 反應器系統及測試參數: 建立反應器主體與 NDIR 分析儀等周邊設備(如圖 3 所示), 測試  $600^{\circ}\text{C}$  以上烘爐溫度穩定性, 並設定捕碳吸脫附程序與軟體控制, 配合捕碳劑製造進行初步溫度、粒徑與  $\text{CO}_2$  濃度測試參數。以公斤級捕碳劑於反應器進行  $600-850^{\circ}\text{C}$  測試, 結果顯示  $\text{Ca}/\text{Al}=7:1$ (如圖 4 所示)捕碳劑於  $700^{\circ}\text{C}$  具有較佳之捕碳性能。

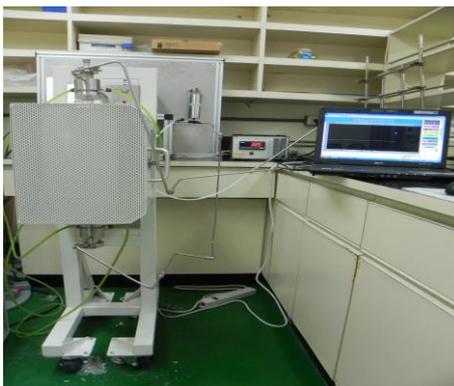


圖 3 反應器主體與 NDIR 分析儀等周邊設備

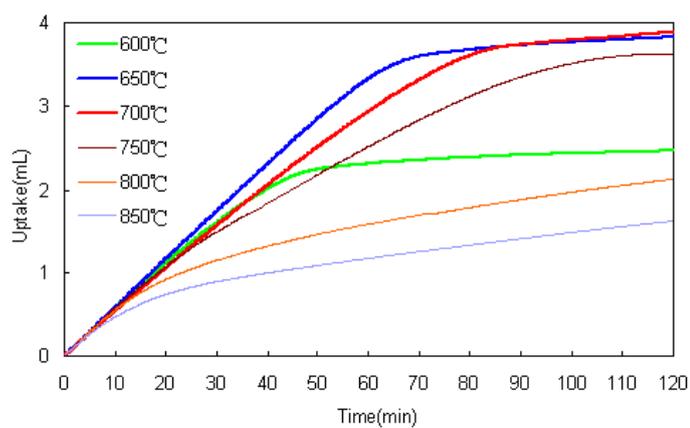


圖 4 捕碳劑於反應器進行 600-850°C 測試