

出國報告（出國類別：開會）

參加 2015 二氧化碳再利用研討會

服務機關：台灣中油公司綠能科技研究所

姓名職稱：余宗賢 化學工程師

派赴國家：英國

出國期間：民國 104 年 9 月 5 日至 9 月 11 日

報告日期：民國 104 年 10 月 30 日

摘要

二氧化碳之捕捉、儲存及再利用(Carbon dioxide capture, storage and utilization, CCSU)等方法，已成為全球最主要之氣候變遷減緩(二氧化碳減量)策略之一。

此外，立法院於 2015 年 6 月 15 日三讀通過《溫室氣體減量及管理法》，明定溫室氣體減量目標，將 2050 年之溫室氣體排放量降為 2005 年之 50%以下，2005 年台灣二氧化碳排放量為 2.45 億公噸，2013 年為 2.73 公噸，相當於回到 1991 年水準。此外，英國於 2008 年頒佈氣候變遷法(Climate Change Act 2008)，設定減量目標為 2050 年排放量低於 1990 年之 80%。

2015 二氧化碳再利用國際研討會之研究仍屬於實驗室階段，尚未進行至模場或示範場規模。不過，此研討會之 closing lecture 提及，從事 CCSU 研究必須考量經濟可行性、二氧化碳和氫氣來源、生命週期評估及關鍵性觸媒研發等因素。

目次

	頁次
摘要.....	2
目次.....	3
一、緣起與目的.....	4
二、行程及工作摘要.....	5
三、研討會內容摘要.....	6
3.1 會議簡介.....	6
3.2 與會心得.....	11
3.3 英國溫室氣體減量策略.....	20
3.4 英國雪菲爾大學碳管理計畫.....	22
四、心得與建議.....	23
五、附件.....	24
1. 研討會口頭發表論文全文	
2. 研討會海報發表論文摘要	
3. 英國雪菲爾大學碳管理計畫書	

一、緣起與目的

二氧化碳利用國際研討會(2015 Carbon Dioxide Utilisation: Faraday Discussion)是由英國皇家化學學會(Royal Society of Chemistry)主辦，是目前全球探討二氧化碳捕抓、利用與轉化等研究與技術之大型國際研討會，主要目的探討所有技術之效率、評估技術效率提升至經濟效益之方法、及預測技術實際應用可能遭遇問題與瓶頸。此國際研討會規劃討論主題，包括碳捕捉試劑和轉換機制、小分子與巨大分子合成之原子利用效率、二氧化碳還原反應、及生物轉換與生物模仿學等，另亦有海報張貼及專題演講等議程。

英國皇家化學學會已成立超過 170 年(成立於 1841 年)，舉辦之 Faraday Discussions 亦已超過 100 年，主要著重於快速發展之化學領域和不同科學領域之介面化學，例如異相觸媒開發、都市區域之大氣化學、碳捕捉與儲存、二氧化碳再利用等領域。而且，為提升討論會之效率、深度與廣度，主辦單位於會議舉辦前，便寄發所有發表之論文給予參與者。

此外，立法院於 2015 年 6 月 15 日三讀通過《溫室氣體減量及管理法》，此法明定溫室氣體減量目標，預計將 2050 年之溫室氣體排放量降為 2005 年之 50%以下，2005 年台灣二氧化碳排放量為 2.45 億公噸，而 2012 年為 2.71 億公噸，2013 年為 2.73 公噸。如欲達成溫室氣體減量目標，表示 2050 年需減量至少 1.5 億公噸二氧化碳，相當於回到 1991 年水準。

綠能科技研究所環保科技組之研發主軸為二氧化碳再利用，係利用微藻光合作用反應，達到二氧化碳減量與再利用。微藻是第三代生質燃料源，單位面積單位時間產油率高於現行之能源作物，並具可吸收二氧化碳及廢污水再淨化等功用。環保科技組負責二氧化碳再利用與微藻相關研究，目前主要研究主題包括五個部份：第一是研究篩選適合養殖之藻種，並探討自營、異營及混營藻種之產率與產油率，以及最適生長條件；第二是探討運用實驗室小規模微藻養殖技術(1~5 公升)，放大規模至戶外養殖(50 公升光化反應槽及 15 公噸開放跑道式反應槽)；第三是研究探討微藻養殖所需之成本降低技術(水資源和營養源(如碳、氮、磷))；第四是評估藻水分離技術；第五為藻油及其他高價化學品之萃取。

如上所述，綠能所環保科技組目前研發方向與此國際研討會之討論主題非常相符，故擬前往英國雪菲爾參加二氧化碳利用國際研討會，以瞭解國際上二氧化碳再利用之最新研究發展技術及經濟可行性。

二、行程及工作摘要

日期	到達地點	詳細工作內容
9/5 (六)	台灣>英國	啟程(高雄>英國)/飛機上過夜
9/6 (日)	台灣>英國	啟程(高雄>英國)
9/7 (一)	英國雪菲爾	參加 2015 Carbon Dioxide Utilisation 國際研討會
9/8 (二)	英國雪菲爾	參加 2015 Carbon Dioxide Utilisation 國際研討會
9/9 (三)	英國雪菲爾	參加 2015 Carbon Dioxide Utilisation 國際研討會
9/10 (四)	英國>台灣	回程(英國>桃園機場)/飛機上過夜
9/11 (五)	英國>台灣	回程(桃園機場>高雄)

三、研討會內容摘要

3.1 會議簡介

本次 2015 Carbon Dioxide Utilisation: Faraday Discussion 國際研討會是由英國皇家化學學會(Royal Society of Chemistry)主辦，舉辦時程為 2015 年 9 月 7 日至 9 月 9 日，興辦地點為英國雪菲爾大學。此會議除邀請多位學者專家進行專題演講外，並由世界各國學者專家共同與會進行論文口頭發表、海報發表及研究經驗交流。本次會議主要議程包括碳捕捉試劑和轉換機制、小分子與巨大分子合成之原子利用效率、二氧化碳還原反應、及生物轉換與生物模仿學等。



圖 1、研討會舉辦地點(雪菲爾大學(The Edge 大樓))

**Monday 7 September**

11:00	Registration, Tea and Coffee	
12:00	Lunch	
12.45	Welcome and Introductions Peter Styring, <i>Chair of Scientific Committee</i>	
12.55	Discussion Format Presentation Jonny Midgley and Mary Macleod, <i>Faraday Discussions Publishing Editors</i>	
13.00	Introductory Lecture <u>Martyn Poliakoff</u> <i>University of Nottingham</i>	
	Atom efficiency in small molecule and macromolecule synthesis Session Chair:	
14:00	Zinc complexes for the activation and catalytic transformation of CO₂ <u>Richard Heyn</u> <i>SINTEF</i>	Paper 6241
14:05	Mechanistic spectroscopic analysis of carbonate synthesis from CO₂ and epoxides using amine-bis(phenolate) complexes <u>Christopher Kozak</u> <i>Memorial University of Newfoundland</i>	Paper 6643
14:10	Converting carbon dioxide and CDU products into drop-in petrol replacements <u>George Dowson</u> <i>University of Sheffield</i>	Paper 6604
14:15	Discussion	
15.30	Afternoon tea	
16.00	Using Carbon Dioxide to Make Polymers <u>Charlotte Williams</u> <i>Imperial College London</i>	Paper 6244
16:05	Thioether-Triphenolate Metal Complexes as Robust Catalysts for Carbon Dioxide-Epoxides Coupling under Mild Conditions <u>Carmine Capacchione</u> <i>Università di Salerno</i>	Paper 6571
16:10	Crystalline Polycarbonates Mediated from Stereospecific Copolymerization of CO₂ and Epoxides <u>Xiao-Bing Lu</u> <i>Dalian University of Technology</i>	Paper 6646
16:15	Discussion	
17:30	Poster Session and Wine Reception <i>Sponsored by Cogent</i>	

19:30	Dinner
-------	--------

Tuesday 8 September

	CO₂ reduction reactions Session Chair:	
09:00	Comparison of the CO ₂ electrocatalytic reduction under electrolyte and electrolyte-less conditions <u>Gabriele Centi</u> <i>University of Messina</i>	Paper 6239
09:05	Improving the efficiency of electrochemical CO ₂ reduction using immobilized earth-abundant complexes <u>Alexander Cowan</u> <i>University of Liverpool</i>	Paper 6578
09:10	Electrochemical Conversion of Carbon Dioxide to High Volume Products <u>Richard Masel</u> <i>Dioxide Materials</i>	Paper 6675
09:15	Discussion	
10:30	Morning Tea	
11:00	Catalytic Activation of CO ₂ with Light Hydrocarbons <u>Peter Edwards</u> <i>University of Oxford</i>	Paper 6240
11:05	TBC	
11:10	Novel process and catalytic materials for converting of CO ₂ and H ₂ containing mixtures to liquid fuels <u>Moti Herskowitz</u> <i>Ben-Gurion University of the Negev</i>	Paper 6585
11:15	Discussion	
12:30	Lunch	
	CO₂ reduction reactions Session Chair:	
14:00	Nonequilibrium processing for energy efficient activation of carbon dioxide <u>Richard van der Sanden</u> <i>DIFFER and Eindhoven University of Technology</i>	Paper 4243
14:05	Plasma-based conversion of CO ₂ : Current status and future challenges <u>Annemie Boqaerts</u> <i>University of Antwerp</i>	Paper 6608
14:10	Exploiting CO ₂ vibrational excitation to achieve an energy efficient route for CO ₂ based artificial fuels <u>Gerard van Rooij</u> <i>DIFFER</i>	Paper 6676
14:15	Discussion	
15:30	Afternoon Tea	
	Wider impacts Session Chair:	

16:00	Environmental potential of carbon dioxide utilization in the polyurethane supply chain <u>Niklas von der Assen</u> <i>RWTH Aachen University</i>	Paper 6663
16:05	A framework for the analysis of the security of supply of utilising Carbon Dioxide as a chemical feedstock <u>Eric Fraga</u> <i>University College London</i>	Paper 6641
16:10	What a waste! A qualitative study of public perceptions of Carbon Dioxide Utilisation (CDU) technology <u>Christopher Jones</u> <i>University of Sheffield</i>	Paper 6656
16:15	Discussion	
17:30	Close of sessions	
19:00	Pre-dinner Drinks	
19:30	Conference Dinner	

Wednesday 9 September

	Capture agents and conversion mechanisms	
	Session Chair:	
09:00	Towards a scalable solution for industrial CCS: wet-scrubbing of CO₂ using olivine-derived brucite <u>Michael Priestnall</u> <i>Cambridge Carbon Capture</i>	Paper 6242
09:05	CO₂ Capture and Electrochemical Conversion using Super Basic [P6,6,6,14][1,2,4Triz] <u>Christopher Hardacre</u> <i>University College London</i>	Paper 6568
09:10	TBC	
09:15	TBC	
09:20	Discussion	
11:00	Morning Tea	
	Biotransformations and biomimetics	
	Session Chair:	
11:30	Solar energy utilization in the photocatalytic conversion of CO₂ into chemicals and fuels <u>Michele Aresta</u> <i>ChBE-NUS, Singapore and CIRCC-IT</i>	Paper 6238
11:35	CO₂ Capture Systems Based On Saccharides and Organic Superbases <u>Gonçalo Carrera</u> <i>REQUIMTE – FCT/UNL</i>	Paper 6670
11:40	Comparative Evaluation of Electrode Materials for the Effective Microbial Electrosynthesis (MES) of Acetate through Enriched Electroactive Homoacetogenic biocathodes <u>Deepak Pant</u> <i>VITO</i>	Paper 6246
11:45	Discussion	
13:00	Concluding Remarks Lecture <u>Walter Leitner</u> <i>RWTH Aachen University</i>	
13:45	Acknowledgements	
13:50	Close of meeting and lunch	

Presenting authors are indicated in the programme by an underline. The affiliation is for the presenting author. If the presenting author of your paper has changed since abstract selection please email events@rsc.org. Please note that this is a draft programme and timings may change.

3.2 與會心得

本次會議主要議程包括碳捕捉試劑和轉換機制、小分子與巨大分子合成之原子利用效率、二氧化碳還原反應、及生物轉換與生物模仿學等。然而，吾人依據各研究論文之研究方法，進一步分類為觸媒轉化、電化學轉化、電漿轉化及 CO₂ 捕捉等方法。

於 CO₂ 觸媒轉化方法，主要是使用觸媒，使得 CO₂ 和反應物形成化學產品及能源產品(如表 1 所示)。Castro-Osma 等人(Paper No. 6241)使用 Zn(OTf)₂ (zinc trifluoromethanesulfonate)和 Zn(Tos)₂·H₂O (zinc *p*-toluenesulfonate hydrate) 觸媒，在 145°C 和 50 bar CO₂ 壓力之操作條件下，丙二醇(propylene glycol)可透過羧化反應(carboxylation)，最終產出碳酸丙烯酯(propylene carbonate)，且其丙二醇的轉化率達 75%。Kozak 等人(Paper No. 6643)使用 LCrCl (tetradentate amine-bis(phenolato) chromium(III) chloride)觸媒，讓 CO₂ 和氧化環己烯(cyclohexene oxide) 產生 共聚合反應(copolymerization)，以產生碳酸聚環己烯酯(poly(cyclohexane) carbonate)。Dowson 等人(Paper No. 6604)使用格里納試劑(Grignard reagent, R-MgX: CH₃MgCl)，以每分鐘注入 10 秒之人工合成氣體(50% CO₂/N₂, 100 mL/min)，使其產生醋酸。Buonerba 等人(Paper No. 6571)使用 Thioether-triphenolate iron(III)觸媒，促使 CO₂ 和環氧丙烷(propylene oxide)產生環化加成作用(cycloaddition)，最終生產 propylene carbonate 和 glycerol carbonate (碳酸甘油)，其轉化率達 95.7%。

電化學轉化法方面，是將觸媒作為電極材質或電解液，於電化學反應(可搭配 Nafion 質子交換薄膜)下，使 CO₂ 反應形成有機物(如 acetone, isopropanol, acetate) 或合成氣(CO, H₂) (如表 2 所示)。Ampelli 等人(Paper No. 6239)使用 Cu、Co、Fe 及 Pt 等金屬奈米顆粒，塗佈於奈米碳管或碳黑，以作為電極，並放置於 Nafion 膜與氣體擴散層電極(gas-diffusion-layer)中間，研究其 CO₂ 電觸媒還原反應，發現 CO₂ 可反應形成 acetone 和 isopropanol。

電漿轉化法方面，是運用電漿之高能量，將 CO₂ 解離或與反應物形成產品(如表 3 所示)。Bogaerts 等人(Paper No. 6608)探討介電質放電(dielectric barrier discharge)、微波(microwave)及滑動電弧(gliding arc)等三種電漿，在 ZrO₂ 觸媒輔助之下，其 CO₂ 轉化率約為 45%。Rooij 等人(Paper No. 6676)利用微波電漿轉化解離 CO₂，發現其最高溫可超過 10⁴ K，最大 CO₂ 解離率為 45%。

二氧化碳捕捉法(CO₂ capture)方面，是透過捕捉劑吸收或吸附 CO₂，使其形成不同碳酸產品(如表 4 所示)。Priestnall 等人(Paper No. 6242)利用氫氧化鎂(Mg(OH)₂) 作為捕捉劑，捕捉 4~5%之 CO₂，在 12 小時之反應時間，其捕捉效率>93.6%。Yavuz 和 Patel (Paper No. 6678)以 PEI-COPs (polyethylenimine-impregnated covalent organic polymers)作為吸附劑，於 15% CO₂ 之人工煙道氣下，可於 0.08 小時達到飽和吸附量(100 mg/g)。Carrera 等人(Paper No. 6670)使用多醣體(如 D-mannose, D-glucose, β-cyclodextrin, alginic acid, mannitol)，與有機擔體(tetramethylguanidine, 1,8-diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene)結合為吸附劑，於 5 MPa 之 CO₂ 壓力，反應時間小於 3 小時下，其 CO₂ 去除效率約 11.5-13.5%，且 CO₂ 可與有機擔體之 alcohol groups (醇基)反應形成 carbonates (碳酸脂類)。

表 1、CO₂觸媒轉化方法彙整

Paper No.	觸媒	反應物	方法	產物	效率
6643	Zn(OTf) ₂ Zn(Tos) ₂ · H ₂ O	Propylene glycol	羧化作用 MeCN as H ₂ O trap	Propylene carbonate	75%丙二醇轉化率 (145°C/50 bar)
6241	LCrCl DMAP	Cyclohexene oxide	共聚合反應	Poly(cyclohexane) carbonate	N/A
6604	Grignard reagents (R-MgX): CH ₃ MgCl	Methanol		Acetic acid	N/A
6244	LZn ₂ (O ₂ CCF ₃) ₂	Cyclohexene oxide Vinyl-cyclohexene oxide	共聚合反應	Polycarbonate polyols	N/A
6571	Thioether-triphenolate iron(III)	Propylene oxide		Propylene carbonate Glycerol carbonate	Up to 95.7%
6240	Cr ₂ O ₃ /ZrO ₂	C ₃ H ₈	催化脫氫反應	C ₃ H ₆	
6665	Zerovalent iron		2 階段(160, 250-350 °C)水熱法轉化	Formic acid H ₂	77.9 wt%碳轉化率
6585	Fe-Al-O spinel	CO, H ₂	Reverse water-gas-shift	Liquid fuels and	

	$\text{Fe}(\text{Fe}_{0.5}\text{Al}_{0.5})_2\text{O}_4$ Impregnated with K		Fischer-Tropsch synthesis	chemicals (C_{5+})	
6238	Photocatalyst (ZnS, Ru@ZnS, TiO_2)	2,3-DHF CHCl_3	Carboxylation	2-COOH-2,3-DHF	25% yield

表 2、電化學轉化法彙整表

Paper No.	方法	電極材質	觸媒支撐物	薄膜	產物
6239	Electrocatalytic reduction	Cu, Co, Fe, Pt	Carbon tubes Carbon black	Nafion	Acetone Isopropanol
6578	Electrochemical reduction	[Mn(bpy)(CO) ₃ Br] [Mn(bpy(^t Bu) ₂ (CO) ₃ Br]	Multi-wall carbon nanotubes	Nafion	CO H ₂
6568	Electrochemical dissociation	電解液[P ₆₆₆₁₄][124Triz] (ionic liquid)			CO H ₂
6246	Microbial electrosynthesis	Platinum, graphite foil, DSA, graphite rod, VITO-CoRE			acetate

表 3、電漿轉化法彙整表

Paper No.	觸媒	反應物	方法	產物	效率
6608	ZrO ₂		Plasma (dielectric barrier discharge, microwave, gliding arc)	N/A	45% CO ₂ 轉化率
6676			Microwave plasma	N/A	30% CO ₂ dissociation
6674	Cu/ZnO		Plasmonic catalyst	N/A	

表 4、CO₂捕捉法彙整表

Paper No.	捕捉劑	CO ₂ 濃度(%)	產物	反應時間(hr)	捕捉效率(%)
6242	Mg(OH) ₂ slurry	4-5	Mg(HCO ₃) ₂ MgCO ₃	12	> 93.6
6678	PEI-COPs	15		0.08	100 mg/g
6670	Saccharides (D-mannose, D-glucose, β-cyclodextrin, alginate acid, mannitol) + Organic superbase (TMG, DBU)	5 MPa	carbonates	<3	11.5-13.9

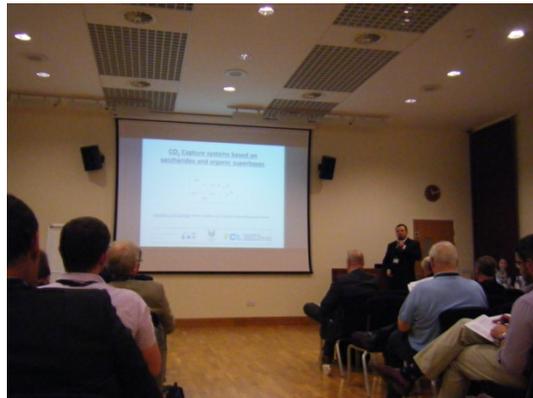
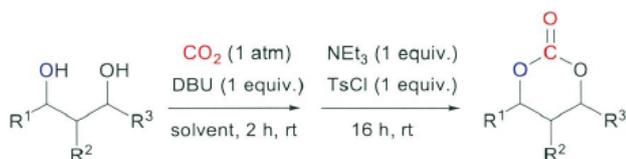
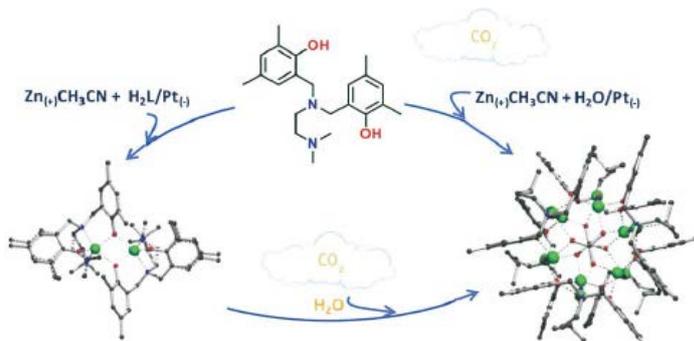


圖 2、研究會參與(以 8 張圖片作為範例)

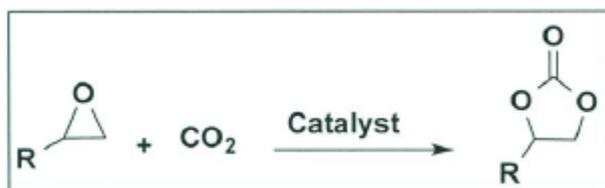
海報論文發表部份，共有 46 篇於會場中展示(如圖 3)。巴斯大學之 Gregory 等人使用 1,3-diols，可於 1 大氣壓 CO₂下，透過二階式反應，直接與 CO₂合成為 cyclic carbonate monomers (其反應式如下)。



西班牙聖地牙哥·德孔波斯代拉大學 Rodriguez-Silva 等人使用 bis(amine)-bis(phenolate) ligands，在雙核鋅鈷錯合物觸媒及三核鎳錯合物觸媒作用下，可直接捕捉大氣中之 CO₂，並反應生成碳酸脂類化合物(反應式如下)。



加拿大紐芬蘭紀念大學 Elkurtehi 和 Kerton 使用鈎錯合物(vanadium complexes of amine-bis(phenolate) ligands)為觸媒，促使環氧化物和 CO₂發生環化加成作用(反應式如下)。



西班牙巴斯克大學 Albo 等人使用電化學轉換之方式，在 Cu₂O/ZnO 觸媒催化作用下，使得 CO₂ 轉化為甲醇。巴西南大河天主教大學 Vieira 等人使用離子液體作為觸媒，以轉換 CO₂ 為碳酸二甲酯。

綜合海報論文之成果，目前 CO₂捕捉或反應生成有機化合物，皆須透過觸媒催化，因此觸媒在 CO₂捕捉再利用是不可或缺之物質。另外，各研究仍為實驗室規模之實驗，尚未發展至模場或示範模場等級，故短期之內仍無法達到實場應用規模。

除上述之研討會論文和海報發表外，也邀請 2 位專題演講者(keynote speaker)，英國諾丁漢大學(University of Nottingham)的 Martyn Poliakoff 教授進行 Introductory lecture，以及英國約克大學(University of York)的 Michael North 教授進行 Concluding remarks lecture (如圖 4)。二位教授的演講中皆提到，進行 CO₂ 再利用之研究，一定要考量到幾個問題：

1. 經濟可行性。

2. 生命週期。

3. CO₂ CHEMISTRY：

C: Catalysis is crucial.

觸媒是必須的

O: Origin of the CO₂.

CO₂ (或 H₂)的來源。

2: Tomorrow's world may be different.

明日的世界會不一樣。

C: Cleaner than existing process.

比既有製程更乾淨。

H: High volume or high value products.

大量生產或高單價產品。

E: Effect must be low.

干擾必須要小。

M: Maximize integration.

可放大整合。

I: Innovative process technology.

創新製程科技。

S: Sustainability is essential.

永續性之必要的

Y: Your enthusiasm is not enough.

要擁有較佳的研究熱忱。



圖 4、諾丁漢大學 Martyn Poliakoff 教授與約克大學 Michael North 教授演講圖片

3.3 英國溫室氣體減量策略

英國是京都議定書簽署國成員之一，且近期亦推出 2008 氣候變遷法(Climate Change Act 2008)和低碳轉換計畫(Low Carbon Transition Plan)。

一、英國 2008 氣候變遷法

2008 氣候變遷法的設立是為了達成 2050 年溫室氣體減量目標，立法設立氣候變遷委員會，提供碳預算，成立限制溫室氣體排放的交易計畫，及鼓勵減少溫室氣體排放的相關活動，法規中提出氣候變遷調適的規定、減少家庭廢棄物的數量及增加廢棄物回收的財政誘因、減少家庭廢棄物數量的規定、增加一次性使用袋子的收費之規定，修改 2004 年能源法有關再生運輸燃料的義務性，提出碳排放減量目標的規定，以及提出其他有關氣候變遷的規定。

英國 2008 氣候變遷法的內容主要可分為三個部份：碳目標與預算、氣候變遷委員會的成立、碳市場交易計畫，重要內容摘要如下：

- 立法設定目標：英國溫室氣體的減量目標為 2050 年的淨碳排放量將低於 1990 年基準線的 80%，2020 年的淨碳排放量將低於 1990 年基準線的 26%。
- 碳預算系統(Carbon Budgeting System)：碳預算系統每 5 年為一期程，每一次編列三個預算，分別給 2008-2012 年，2013-2017 年，2018-2022 年，三個期程使用。
- 建立氣候變遷委員會：氣候變遷委員會是一個獨立的專家諮詢機構，提供政府有關碳預算與成本效益的意見及建議。
- 國際航空及海運的排放量：氣候變遷委員會對於將國際航空及海運的排放量加入英國總排放量計算的結果做出評估，提出相關意見供政府參考。
- 國際碳權(Credit)的運用：當考慮英國減量目標及碳預算時，將注重英國國內氣候變遷行動計畫發展，氣候變遷委員會需評估國內，歐盟地區及國際間的最佳平衡點。
- 其他減少排放的措施：建立國內排放交易計畫，使得排放交易可以更快速及容易的進行，以及提供生質燃料的措施，在英格蘭施行家庭廢棄物的獎勵計畫，增加一次性使用袋子收費的規定。
- 公司企業溫室氣體排放登記：英國政府於 2009 年提出溫室氣體排放登記的準則，以供相關公司登記，由此檢視 2010 年 12 月 1 日的減量成果，並於 2012 年 4 月 6 日前使用公司法賦予政府的權力管制溫室氣體排放登記。
- 支持地區能源節約的計畫：擴大首相於 2008 年 9 月 11 日公佈的電廠碳排放減量計畫之發展。
- 要求政府每年需出版效率及永續發展的相關報告。

二、低碳轉換計畫

為達成 2020 年之排碳量為 1990 年排放量再降低 26%，英國政府於 2009 年 7 月向國會提出低碳轉換計畫，此計畫完全以國內減量行動為主，故不參與歐盟排放量交易制度，亦不購買聯合國批准碳額度方式達成減量目標。

低碳轉換計畫主要是針對電力、建築物、工業、交通運輸部門提出規定及輔助，相關策略內容如下：

1. 電力部門：2020 年前 40%電力來自低碳資源
 - ◇ 2020 年前 30%電力來自再生能源
 - ◇ 進行 4 個碳捕捉及儲存計畫
 - ◇ 建立新核能發電廠
2. 住商部門：提升住家能源使用效率
 - ◇ 提供 3.2 億英鎊補助住戶提升能源效率
 - ◇ 2020 年前每家住戶裝設智慧型電表
3. 工業部門：建立英國成為一個綠色工業國家
 - ◇ 投資 1.2 億英鎊建立風力發電

3.4 英國雪菲爾大學碳管理計畫

雪菲爾大學訂定減碳目標(如圖 5)，預計將 2017 年之溫室氣體排放量降為 2005 年之 29%以下，2020 年降低 2005 年之 43%以下，2050 年降至 2005 年之 83%以下；其 2005 年之排碳量為 33,871 公噸。然而，2010 年之排碳量(含區域加熱)為 41,120 公噸，較目標多 9,862 公噸(2010 年目標值為 31,258 公噸)。

雪菲爾大學為達成預設之減碳目標，擬定相關減碳策略與措施：

1. 持續與威立雅環保公司(Violia)合作，以降低成本和提升碳效率。
2. 開發量測計量策略。
3. 調查所有建築物之能源利用和狀況條件。
4. 開發建築物改善策略
5. 採用既有建築系統的建議改善措施，以作為新大學能源策略文件。
6. 推廣行為改變模式，以確保減量行動可確實執行。
7. 在新能源策略文件中，優先考慮自身發電系統之可行性研究。
8. 執行第二階段之環境控制專案時，應以第一階段之成功經驗為基礎。
9. 建立環境管理體系，並遵守所有相關的環保法律和法規。
10. 投資所有符合成本效益的節能措施。
11. 確保節能設備可整合至所有新建案開發。
12. 分配足夠的人力、經費和資源，以完成訂定之目的和目標。
13. 確保學校課程皆已納入可持續性發展的原則。
14. 鼓勵員工使用其他替代方案，以減少開車通勤上班。
15. 減少公務出差或商業旅行。
16. 鼓勵員工公務出差時，搭乘大眾運輸工具。
17. 建立環境責任採購政策，以降低產品和服務對環境的影響。
18. 依據最佳環境方案，以完成建築物之建設和整修。
19. 以符合現階段之最佳環境方案，以維護建築物、廠房和設備。
20. 提升大學建築物使用者對於環境議題、長期行為模改變與環保參與之認知。
21. 建立當地社區和國家組織合作，以減少雪菲大學對南約克郡之環境影響。
22. 建置完整和準確之方法，以確保雪菲大學碳足跡數據之準確性。

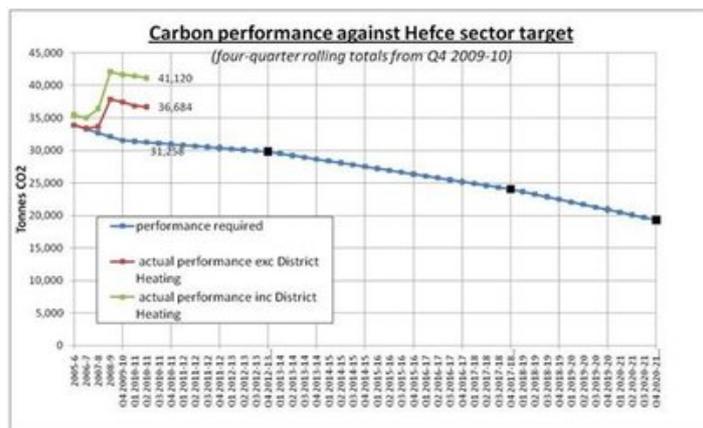


圖 5、雪菲爾大學減碳目標與實驗達成狀況

四、心得與建議

二氧化碳之捕捉、儲存及再利用(Carbon dioxide capture, storage and utilization, CCSU)等方法，已成為全球最主要之氣候變遷減緩(二氧化碳減量)策略之一。

立法院於 2015 年 6 月 15 日三讀通過《溫室氣體減量及管理法》，此法明定溫室氣體減量目標，預計將 2050 年之溫室氣體排放量降為 2005 年之 50%以下，2005 年台灣二氧化碳排放量為 2.45 億公噸，而 2012 年為 2.71 億公噸，2013 年為 2.73 公噸。如欲達成溫室氣體減量目標，表示 2050 年需減量至少 1.5 億公噸二氧化碳，相當於回到 1991 年水準。

2015 二氧化碳再利用國際研討會之研究仍屬於實驗室階段，尚未進行至模場或示範場規模。不過，此研討會之結束演講提及，從事 CCSU 研究必須考量下列因素：

1. 經濟可行性

CCSU 必須是市場可行的，亦即從事 CCSU 必須是可賺錢的，包括政策補貼、碳權交易等方式。另外，反應槽體必須要可放大至實場規模，而非僅是實驗室規模。

2. 二氧化碳和氫氣來源

一般研究室之 CO₂都是由鋼瓶供應，屬於高純度之 CO₂氣體，但如欲作為 CCSU 來源時，則須考量引用煙道氣等雜質含量較高之 CO₂氣體。另外，CO₂僅提供碳和氧，若要生產碳氫化合物(能源產品或化學物質)，則亦須考量氫氣來源。

3. 生命週期評估

CCSU 之目的在於減碳，因此在技術研發時，皆須考量減碳目的。

4. 觸媒研發

觸媒是 CO₂化學反應最關鍵因子之一，因此開發具低生產成本、可再利用、使用壽命長及不易被毒化之觸媒是必要的。

五、附件

1. 研討會口頭發表論文全文
2. 研討會海報發表論文摘要
3. 英國雪菲爾大學碳管理計畫