

出國報告(出國類別:參加國際會議)

參加第十五屆國際二氧化碳利用研討會
(15th International Conference on
Carbon Dioxide Utilization, ICCDU XV)

服務機關: 台灣中油煉製研究所

姓名職稱: 陳朝鈺 (化學工程師)

派赴國家: 中國大陸

出國期間: 106年7月17日至106年7月21日

報告日期: 106年8月1日

(摘要：篇幅限於 1 頁以內)

本次出國計劃自 106 年 7 月 17 日開始至 106 年 7 月 21 日止共計 5 天，主要是參加第 15 屆國際二氧化碳利用研討會(International Conference on Carbon Dioxide Utilization, ICCDU XV)。

ICCDU 是二氧化碳捕集、利用、封存和策略相關方面最著名的學術會議。隨著二氧化碳減量技術及相關政策制定，在應對全球氣候變化中的日益重要，ICCDU 近年來發展迅速，吸引了來自世界各地如化學/化學工程、能源與環境、新材料、全球變化、政策/經濟等研究人員和工業領導者的眼光。本屆會議主題包含：主題一、藉由還原轉化，以二氧化碳作為綠色原料；主題二、以二氧化碳作為基礎的官能基化；主題三、CO₂ 捕集和礦化；主題四、以二氧化碳為工作流體；主題五、碳稅、政策和策略等相關研究。此外，本次會議還包括兩個討論會，分別關注碳捕集、利用及封存(Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS)的工業化和 CCUS 的最新研究。

由會議簡報中瞭解，因考量市場需求，世界各國研究團隊努力的方向主要以開發二氧化碳氫化產製甲醇、甲烷或液體燃料製程為主，並利用再生能源作為產氫的能量來源。研究內容包含觸媒材料開發，或利用分子模擬計算技術，探討反應機構，進而依觸媒特性的需求，進行觸媒設計，其目的在於開發具經濟效益及穩定的二氧化碳轉化製程。

本次公務出國之具體成效包含蒐集各國研究團隊發表的研發成果，並獲知由於二氧化碳利用製程技術尚未具經濟效益，各國努力的方向在於開發降低成本的製程。未來將會在技術開發的同時，創造二氧化碳利用的商業模式；需要藉由商業模式，才能使二氧化碳利用技術具有經濟價值。經由會場中的討論與交流，和與會的一些研究團隊有初步接觸，未來可依據取得的聯繫方式，與其交流。

(目錄)

目 錄

壹、 出國目的說明.....	1
貳、 出國行程.....	1
參、 過程-研討會內容	
(一)、 議程介紹.....	2
(二)、 研討會論文發表內容介紹.....	6
肆、 心得與建議事項	31
伍、 具體成效	32

(本文：應包含「目的」、「過程」、「心得」、「建議」及其他相關事項)

壹、出國目的說明

製程組烯烴與芳香烴製程改善研究團隊負責本公司輕裂工場、烷化工場及硫磺工場之製程改善、觸媒採購規範訂定及驗收等現場技術服務工作，此外，對於CO₂捕集與再利用的技術進展，亦為本團隊的研究範疇，此行目的在於了解CO₂捕集與再利用等相關技術進展。根據最近CO₂減量技術和相關主題的趨勢，本次會議包括：主題一、藉由還原轉化，以二氧化碳作為綠色原料；主題二、以二氧化碳作為基礎的官能基化；主題三、CO₂捕集和礦化；主題四、以二氧化碳為工作流體；主題五、碳稅、政策和策略等相關研究。此外，本次會議還將包括兩個討論會，分別關注碳捕集、利用及封存(Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS)的工業化和CCUS的最新研究。期望藉由吸收CO₂捕集與再利用等新知，提升CO₂捕集與再利用等方面的研發能力。。

貳、出國行程

預定起迄日期	天數	到達地點	地區等級	詳細工作內容
106.7.17	1	桃園-上海	267	啟程(桃園→上海)
106.7.18	1	上海市浦東新區	267	第十五屆國際二氧化碳利用研討會
106.7.19	1	上海市浦東新區	267	第十五屆國際二氧化碳利用研討會
106.7.20	1	上海市浦東新區	267	第十五屆國際二氧化碳利用研討會
106.7.21	1	上海-桃園	267	第十五屆國際二氧化碳利用研討會 返程(上海→桃園)

參、過程-研討會內容

(一)、議程介紹

第 1 屆國際二氧化碳利用研討會(International Conference on Carbon Dioxide Utilization, ICCDU)於 1991 年在日本名古屋舉行，自那時起，該會議在世界各地的不同地方，每兩年舉行一次。2015 年，在新加坡慶祝 ICCDU 的 13 個生日後，將會議改為每年舉辦。

如今，ICCDU 是二氧化碳捕集、利用、封存和策略相關方面最著名的學術會議。隨著二氧化碳減量技術及相關政策制定，在應對全球氣候變化中的日益重要，ICCDU 近年來發展迅速，吸引了來自世界各地如化學/化學工程、能源與環境、新材料、全球變化、政策/經濟等研究人員和工業領導者的眼光。

第 15 屆 ICCDU 於 7 月 17 日至 21 日在中國上海舉行，由中國科學院上海高等研究院 (Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences, SARI-CAS) 和上海科技大學共同主辦此次活動，提供了所有與會者交流及相互建立合作關係的良機和平台。

根據二氧化碳還原技術和相關主題最近的趨勢，第 15 屆 ICCDU 包括：主題一、藉由還原轉化，以二氧化碳作為綠色原料；主題二、以二氧化碳作為基礎的官能基化；主題三、CO₂ 捕集和礦化；主題四、以二氧化碳為工作流體；主題五、碳稅、政策和策略等相關研究。此外，本次會議還包括兩個討論會，分別關注碳捕集、利用及封存(Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS)的工業化和 CCUS 的最新研究。

論文研討會期自 7 月 17 日至 7 月 21 日共計五天，分別在大會演講廳舉辦大會演講，以及在五個會議室進行專題演講和論文發表，所發表之論文及作者整理如下：

- 7 月 18 日上午議程包含大會演講及主題一、主題二、主題三及主題五等相關論文發表

Session 1: Morning, 18 th , July					
8:30-9:00	Main Lecture Hall (Chair: Prof. Yuhan Sun)				
	Opening Speech by Prof. Mianheng Jiang, President of ShanghaiTech				
9:00-10:00	Main Lecture Hall (Chair: Prof. Yuhan Sun)				
	Plenary Speak: CO ₂ Utilization-An approach to energy conversion and storage by Prof. Mingyuan He				
	Lecture Room 205 Chair: Prof. Sibudjing Kawi Co-Chair: Prof. Wei Chen	Lecture Room 202 Chair: Prof. Xinghong Zhang Co-Chair: Prof. Danielle Ballivet-Tkatchenko	Lecture Room 215 Chair: Prof. Jun Hu Co-Chair: Prof. Meihong Wang	Lecture Room 214 Chair: Prof. Wei Wei Co-Chair: Prof. Peter Styring	Lecture Room 209 Chair: Prof. Liangnian He Co-Chair: Prof. Dennis Kramer
	Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 5	Topic 1
10:10-10:50	Keynote 1-1 Visible light induced CO ₂ reduction with the system of biocatalyst and photosensitizer by Prof. Yutaka Amai	Keynote 2-1 Low carbon poly materials based on carbon dioxide by Prof. Xianhong Wang	Keynote 3-1 Driving towards stable performance for activated carbon beads and silica-polyethyleneimine in pilot-scale post-combustion capture tests by Prof. Colin E. Snape	Keynote 5-1 Status of CCUS in China by Prof. Xian Zhang	Keynote 1-2 Conversion of CO ₂ into value-added chemicals by Prof. Buxing Han
10:50-11:10	Tea Break				

10:50-11:10	Tea Break				
	Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 5	Topic 1
11:10-11:30	Oral 1-1 Direct photochemical conversion of CO ₂ to CO using a Mn-Bpy complex (301 Andrew Bocarsly)	Oral 2-1 Continuous synthesis of DMC from CO ₂ and methanol over CeO ₂ using 2-cyanopyridine as dehydrating agent (124 Atsushi Urakawa)	Oral 3-1 A combined volumetric sorption/calorimetry study of CO ₂ capture over molecular basket sorbents: effects of support and PEG addition (140 Xiaoxing Wang)	Oral 5-1 Techno-economic environmental assessment method for CO ₂ -utilisation in chemicals production and beyond (114 Arno Zimmermann)	Oral 1-4 Direct conversion of CO ₂ to value-added hydrocarbons with high selectivity over a bifunctional catalyst (163 Peng Gao)
11:30-11:50	Oral 1-2 Ru/Pd-functionalized HKUST-1 metal organic frameworks for the electrochemical reduction of CO ₂ to methanol (45 Jonathan Albo)	Oral 2-2 Advances in co-polymers from menthol derivatives and CO ₂ (55 Giulia Fiorani)	Oral 3-2 CO ₂ capture over molecular basket sorbents: Effects of support and PEG additive (75 Lin Zhang)	Oral 5-2 Environmental potential from well-to-wheel of CO ₂ -based oxymethylene ethers as fuel blending component (133 Deutz Sarah)	Oral 1-5 Fe-MOF-derived highly active catalysts for carbon dioxide hydrogenation to valuable hydrocarbons (144 Junhui Liu)
11:50-12:10	Oral 1-3 Electrochemical process for CO ₂ utilization (36 Jin Xuan)	Oral 2-3 Exploiting electrosynthesis to enable selective hydrocarboxylation (27 Benjamin R. Buckley)	Oral 3-3 Pilot study of CO ₂ adsorption over solid sorbents in the moving fluidized Bed (58 Lei Li)	Oral 5-3 Life-cycle environmental and economic assessment of an emerging CO ₂ -mineralisation technology (138 Wenjie Liao)	Oral 1-6 Combining CO ₂ capture and reduction (CCR) by catalytic isothermal unsteady-state operation (123 Atsushi Urakawa)
12:10-13:30	Lunch				

● 7月18日下午議程包含大會演講及主題一、主題二、主題三及主題四等相關論文發表

Session 2: Afternoon, 18 th , July					
13:30-14:30	Main Lecture Hall (Chair: Prof. Chunshan Song)				
Plenary Speak: Carbon-recycling: Potential and challenges in CCU by Prof. Michele Aresta					
	Lecture Room 205 Chair: Prof. Yutaka Amao Co-Chair: Prof. Wei Wei	Lecture Room 202 Chair: Prof. Xianhong Wang Co-Chair: Dr. Giulia Fiorani	Lecture Room 214 Chair: Prof. Claudio Mota Co-Chair: Prof. Liangnian He	Lecture Room 215 Chair: Dr. Nannan Sun Co-Chair: Dr. Xiaoxin Wang	Lecture Room 209 Chair: Prof. Andrew Bocarsly Co-Chair: Prof. Ning Zhao
	Topic 1	Topic 2	Topic 4		
14:40-15:20	Keynote 1-3 A high performing CO ₂ electrolyzer by Prof. Rich Masel	Keynote 2-2 Building up molecular complexity from carbon dioxide by Prof. Arjan Kleij	Keynote 4-1 CO ₂ uses as oxygen source for high-value added chemicals by Prof. Sang-Eon Park		
15:20-15:40	Tea Break				
	Topic 1	Topic 2	Topic 4	Topic 3	Topic 1
15:40-16:00	Oral 1-7 New insight in solar fuels production from CO ₂ photoreduction (243 Victor A. de la Peña O'Shea)	Oral 2-4 Perfectly alternating and regioselective copolymerization of carbonyl sulfide and epoxides via metal-free Lewis pairs (154 Xinghong Zhang)	Oral 4-1 Geochemistry effect of scCO ₂ -fracturing in shale gas exploitation at the presence of complex natural fractures (186 Lilei Yang)	Oral 3-4 Impregnation of polyethylenimine in mesoporous multilamellar silica vesicles for CO ₂ capture (38 Lihuo Zhang)	Oral 1-12 Exploiting high-pressure advantages in hydrogenation of carbon dioxide to methanol (125 Atsushi Urakawa)
16:00-16:20	Oral 1-8 Synthesis of lanthanoid doped C@TiO ₂ yolk-shell nanostructures for visible light driven highly efficient photocatalyst (218 Kyungjae Choi)	Oral 2-5 Umpolung carboxylation of imines with carbon dioxide (104 Wenzhen Zhang)	Oral 4-2 In situ acidic CO ₂ /H ₂ O system for selective C-O bond cleavage of lignin models to aromatics (21 Yu Cao)	Oral 3-5 Carbon dioxide capture at high temperature using slag-derived lithium silicates (141 Brenda Alcántara-Vázquez)	Oral 1-13 Silicon carbide supported catalysts with enhanced nickel active phase dispersion for CO ₂ selective hydrogenation (216 Wei Chu)
16:20-16:40	Oral 1-9 Improvement of the visible-light induced CO ₂ -formic acid conversion efficiency with formate dehydrogenase by viologen derivative (89 Shusaku Ikayama)	Oral 2-6 SalenCo(III) CN catalyst for copolymerization of epoxides and carbon dioxide (164 Ruihua Cheng)	Oral 4-3 Capturing CO ₂ for cellulose dissolution and derivatization (226 Haibo Xie)	Oral 3-6 Enhanced CO ₂ capture by fiber-templated cement-supported nano CaO-based pellets (223 Siyu Wei)	Oral 1-14 The synthesis of higher alcohols from CO ₂ hydrogenation with CuFe-based catalysts (53 Qinjin Ji)
16:40-17:00	Oral 1-10 Enhancement of CO evolution by praseodymium-modified Ga ₂ O ₃ for the photocatalytic conversion of CO ₂ by H ₂ O (33 Zeai Huang)	Oral 2-7 CO ₂ adducts of polarized alkenes: unprecedented catalytic activity for CO ₂ transformation (103 Hui Zhou)		Oral 3-7 Zeolite-based core@shell composites for selective CO ₂ adsorption (303 Jun Hu)	Oral 1-15 Insight into the way of reduction over catalyst via perovskite precursor for the synthesis of methanol from CO ₂ /H ₂ (107 Xiaosu Dong)
17:00-17:20	Oral 1-11 Ultrathin 2D biofilms with unique electron transfer flexibility for highly efficient visible-light-driven photocatalytic CO ₂ reduction (14 Yunxiang Pan)	Oral 2-8 Organocatalyzed CO ₂ trapping using alkynyl indoles (97 Zhuo Xin)		Oral 3-8 Using graphite nanofluids to enhance hydrate formation for precombustion CO ₂ capture (79 Dongliang Zhong)	Oral 1-16 Carbon dioxide hydrogenation into methanol with Cu/ZnO-ZrO ₂ catalyst prepared by a continuous flow microfluidic-assisted synthesis (82 Valentin L'HOSPITAL)
17:40	Social Event (snacks provided)				

●7月19日議程包含大會演講及主題一、主題二、主題三及主題五等相關論文發表，下午議程亦包含海報論文展示

Session 3: Morning, 19 th , July					
Main Lecture Room (Chair: Prof. Michele Aresta)					
Plenary Speak: TOTAL's CCUS R&D initiatives within our climate strategy by Dr. David Nevicato					
9:00-10:00	Lecture Room 205 Chair: Prof. Atsushi Urakawa Co-Chair: Prof. Bo Yang	Lecture Room 202 Chair: Prof. Arjan Kleij Co-Chair: Prof. Xinghong Zhang	Lecture Room 215 Chair: Prof. Meihong Wang Co-Chair: Prof. Dongliang Zhong	Lecture Room 214 Chair: Prof. Jie Bu Co-Chair: Prof. Yin Li	Lecture Room 209 Chair: Dr. A. Garcia-Trenco
	Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 5	
10:10-10:50	Keynote 1-4 Integration of biotechnology and catalysis for effective CO ₂ conversion by Prof. Angela Dibenedetto	Keynote 2-3 Synthesis of organic carbonates from CO ₂ and alcohols using metal oxides as heterogeneous catalysts by Prof. Claudio J. A. Mota	Keynote 3-2 Distribution of suitable sites and potential of CO ₂ capture and geological utilization and storage (CCUS) in China in the near term by Prof. Xiaochun Li	Keynote 5-2 Innovation and markets in the new carbon economy by Prof. Julio Friedmann	
10:50-11:10	Tea Break				
	Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 5	Topic 1
11:10-11:30	Oral 1-17 Process, experimental and reactor design towards optimisation of CO ₂ photoreduction (73 Warren Thompson)	Oral 2-9 Visible-light-driven carboxylative cyclization of allyl amines with carbon dioxide and concurrent perfluoroalkylation (17 Meiyang Wang)	Oral 3-9 Comparative study of shale fracturing by supercritical CO ₂ and water (207 Xuehang Song)	Oral 5-4 Cost curve of large-scale deployment of CO ₂ enhanced water recovery (CO ₂ -EWR) technology in coal chemical industries in China (88 Ning Wei)	Oral 1-20 Combination of carbon capture and subsequent catalytic conversion (25 Liangnian He)
11:30-11:50	Oral 1-18 Photocatalytic carboxylation of C-H bonds promoted by bare, supported or modified semiconductors. The reaction mechanism (302 Aresta)	Oral 2-10 Carbon dioxide functionalization at CaRLa (39 Alban Cadu)	Oral 3-10 Anaerobic digestion with accelerated mineralisation (ADAM) (83 Peter Styring)	Oral 5-5 CarbonNext - New carbon sources for the process industry (199 Dipl.-Ing. Dennis Krämer)	Oral 1-21 Highly efficient conversion of CO ₂ and water into chemicals and fuels with solar/biomass energy-driven two-step process (66 Fangming Jin)
11:50-12:10	Oral 1-19 CO ₂ electrocatalytic and photoelectrocatalytic conversion for oxygenate synthesis (162 Wei Chen)	Oral 2-11 Selective formylation and methylation of amines using carbon dioxide and hydrosilane catalyzed by alkaline metal carbonates (239 Chunlei Lu)	Oral 3-11 Enhancing the process economics of mineral carbonation through development of value-added products from material fractions (41 Yao Tze Yuen)	Oral 5-6 Carbon dioxide utilization in a gas-to-methanol process combined with CO ₂ /Steam-mixed reforming: Techno-economic analysis (4 Chundong Zhang)	Oral 1-22 Bimetallic Cu-Au/SBA-15 catalysts as an effective catalyst for selective hydrogenation of ethylene carbonate to produce methanol and ethylene glycol (24 Liguo Wang)
12:10-13:30	Lunch				

Session 4: Afternoon, 19 th , July					
	Lecture Room 205 Chair: Prof. Xinwen Guo Co-Chair: Prof. Sang-Eon Park	Lecture Room 209 Chair: Prof. Angela Dibenedetto Co-Chair: Prof. Fangming Jin	Lecture Room 215 Chair: Prof. Boping Liu Co-Chair: Prof. Yutaka Amao	Lecture Room 202 Chair: Prof. Colin Snape Co-Chair: Prof. Jun Hu	Lecture Room 214 Chair: Prof. Xiaochun Li Co-Chair: Prof. Wei Wei
	Topic 1	Topic 1	Topic 1	Topic 3	Topic 5
13:30-13:50	Oral 1-23 Morphology dependence of catalytic properties of Ni/CeO ₂ for CO ₂ methanation: a kinetic and mechanism study (48 Zhoufeng Bian)	Oral 1-29 A highly coke-resistant perovskite-type catalyst for dry reforming of methane by redox exsolution of nickel particles (182 Jun Zhang)	Oral 1-35 CO ₂ hydrogenation to methanol over Cu-based catalysts (304 Hui Wang)	Oral 3-12 A dynamic covalent organic framework for CO ₂ separation under humid conditions with water-assisted gating effect (232 Yuebiao Zhang)	Oral 5-7 Synergistic mitigation and adaptation: a new perspective of climate change policy (28 Jie Bu)
13:50-14:10	Oral 1-24 Plasma-catalytic methanation of CO ₂ over Ni-Mn based catalysts (191 Yuanzheng Ge)	Oral 1-30 Production of hydrogen and synthesis gas from CH ₄ and CO ₂ reforming process (96 Hyejin Yu)	Oral 1-36 Mechanistic understanding of alloy structure effect on methanol synthesis from CO ₂ hydrogenation over Pd-Cu bimetallic catalysts (143 Xiaowa Nie)	Oral 3-13 Porous carbons and polymer for carbon capture and separation (7 Yunfeng Zhao)	Oral 5-8 Applicability research of international emission databases on fossil fuel combustion and cement production in China (231 Li Shang)
14:10-14:30	Oral 1-25 A new process for renewable methane production utilizing carbon dioxide captured from air (68 Janna V. Veselovskaya)	Oral 1-31 CO ₂ reforming of CH ₄ over Ni/SaTiO ₃ catalyst prepared by temperature regulated chemical vapor deposition (112 Minhye Seo)	Oral 1-37 Evaluating the environmental impact of the Power-to-Methanol process chain based on renewable H ₂ and recycled CO ₂ (111 Christoph Hank)	Oral 3-14 Study of CO ₂ capture in natural gas processing using mixture of ionic liquid and MEA through process simulation (149 Meihong Wang)	Oral 5-9 Developing a circular economic policy for CO ₂ utilisation (132 Peter Styring)
14:30-14:50	Oral 1-26 Enhanced performance of CO ₂ methanation over g-C ₃ N ₄ promoted Ni-CeO ₂ catalyst (94 Yu Yang)	Oral 1-32 Facile one-pot synthesis Ni@HSS as a high dispersion catalyst for dry reforming of methane (116 Yao Lu)	Oral 1-38 Techno-economic and environmental assessment of the conversion of CO ₂ into methanol (122 Nicolas Meunier)	Oral 3-15 Ultrafast synthesis of SSZ-13 zeolite membrane by oil-bath heating method (175 Yanfeng Zhang)	Oral 5-10 Life cycle assessment of CO ₂ -based elastomers (54 Raoul Meys)
14:50-15:10	Oral 1-27 On the intensification of CO ₂ methanation using Ru-based catalysts (113 Carlo Giorgio Visconti)	Oral 1-33 Ni-Mg phyllosilicate as a highly stable catalyst for steam-CO ₂ reforming of methane (131 Zhoufeng Bian)	Oral 1-39 Influence of the bi-functional catalysts preparation method on their performance in the direct DME synthesis from CO ₂ and H ₂ (49 Qian Jiang)	Oral 3-16 Ionic liquid membrane contactor for CO ₂ capture and the potential for simultaneous CO ₂ conversion (181 Liyuan Deng)	Oral 5-11 CO ₂ conversion – Guidelines for techno-economic assessment (TEA) (117 Johannes Wunderlich)
15:10-15:30	Oral 1-28 Promotion effects of potassium on the activity and selectivity of Pt/zeolite catalysts for reverse water gas shift reaction (90 Xiaoli Yang)	Oral 1-34 Hydrothermalite-derived Ni(Mg)/Al catalysts for CO ₂ reforming of methane: the influence of Ni and Mg loading (202 Doril Kalali)	Oral 1-40 Bimetallic PdIn nanoparticles for the CO ₂ reduction to methanol (50 A. Garcia-Trenco)		
15:30-17:00	Tea Break and Poster Session				
18:00	Banquet				

- 7月20日議程包含大會演講及主題一、主題二及主題三等相關論文發表，並於論文發表結束後，進行CCUS最新研究技術的討論會。

Session 5: Morning, 20 th , July			
Main Lecture Room (Chair: Prof. Zhi Liu)			
Plenary Speak: New approaches to catalysis for CO ₂ hydrogenation to chemicals and fuels by Prof. Chunshan Song			
	Lecture Room 205 Chair: Prof. Yunfeng Zhao Co-Chair: Prof. Andrew Bocarsly	Lecture Room 209 Chair: Prof. Michael North Co-Chair: Prof. Wenzhen Zhang	Lecture Room 215 Chair: Prof. Dongliang Zhong
	Topic 1	Topic 2	
10:10-10:50	Keynote 1-5 Strategies for stable Ni-Based catalysts for CO ₂ reforming and methanation by Prof. Sibudjing Kawi	Keynote 2-4 Production of chemicals from CO ₂ by engineered cyanofactories by Prof. Yin Li	
10:50-11:10		Tea Break	
	Topic 1	Topic 2	Topic 3
11:10-11:30	Oral 1-41 Online investigation of the role of formate in CO ₂ reduction/methanol synthesis process on copper - PARTICIPANTS or SPECTATORS? (Z30 Yong Yang)	Oral 2-12 Catalytic materials for CO ₂ conversion under mild conditions (172 Zhimin Liu)	Oral 3-17 Indirect mineral carbonation of titanium-bearing blast furnace slag coupled with recovery of TiO ₂ and Al ₂ O ₃ (161 Weizao Liu)
11:30-11:50	Oral 1-42 DFT study on mechanistic pathway in the electrochemical reduction of CO ₂ to CH ₃ OH and CH ₄ on TiO ₂ /Ag (180 Hua Wang)	Oral 2-13 Catalytic transformation of CO ₂ into cyclic carbonates through bifunctional metal-modified ZSM-5 zeolites (44 Qingwen Song)	Oral 3-18 Carbon utilization via carbonation of serpentine minerals: an integrated holistic approach (70 Mark Rayson)
11:50-12:10	Oral 1-43 DFT insight into hydrocarbons synthesis from CO ₂ hydrogenation over iron carbide catalysts (195 Haozhi Wang)	Oral 2-14 Metal porphyrin-based ionic porous organic polymers as efficient catalysts for cooperative conversion of CO ₂ to cyclic carbonates under mild conditions (61 Rongchang Luo)	Oral 3-19 CO ₂ utilization in concrete production (156 Yixin Shao)
12:10-12:30	Oral 1-44 Theoretical insights into supported metal catalysts for highly selective CO ₂ -to-CO conversion (99 Xiong Su)		
12:30-13:30		Lunch	

Session 6: Afternoon, 20 th , July		
	Lecture Room 209 Chair: Prof. Sang-Eon Park	Lecture Room 215 Chair: Prof. Yuebiao Zhang
	Topic 1	Topic 3
13:30-13:50	Oral 1-45 Synthesis of high quality CNTs using CO ₂ as the carbon source (224 Wei Chu)	Oral 3-20 Carbon dioxide capture and mineralization by using pre-hydrated fly ash from power plant (159 Rong Liu)
13:50-14:10	Oral 1-46 Development of CO ₂ enrichment for greenhouse supply CO ₂ produced by burning clean fuel (DME) in boiler (76 Wonjun Cho)	Oral 3-21 Electrochemical carbon dioxide mineralization (155 Michael North)
14:10-14:30	Oral 1-47 Ligand-Controlled N-Methylation/N-Formylation of amines (26 Xuedong Li)	Oral 3-22 Kinetic and Raman spectroscopic study on carbon dioxide sequestration via hydrate in the presence of polar additives (100 Chungang Xu)
14:30-15:00		Tea Break
15:00-17:00	Main Lecture Room	
	Workshop: CCUS-related Frontier Research (Chair: Prof. Michele Aresta)	
17:00	Closing	

- 7月21日進行CCUS相關工業技術的討論會。

Session 7: Morning, 21 st , July	
Main Lecture Room	
9:00-11:00	Workshop: CCUS-related Industrial Technologies (Chair: Prof. Chunshan Song)
11:10-11:20	Tea Break
11:30-12:30	Lunch

(二)、研討會論文發表內容介紹

本次研討會包含 4 場大會演講、14 場專題演講、97 篇口頭論文發表及 123 篇海報論文發表，總共投稿論文共有 234 篇，近 400 名研究人員出席本次研討會。投稿主題一之論文共有 106 篇，而投稿主題二、主題三、主題四及主題五之論文則分別有 46 篇、53 篇、7 篇及 22 篇，茲僅擇與烯烴業務相關的部分簡報內容簡要說明如下：

●大會演講-CO₂ Utilization-An Approach to Energy Conversion and Storage

本篇報告是由上海華東師範大學何鳴元教授進行簡報，會中提及二氧化碳利用(CCUS 的核心之一)，成為當今人類社會面臨的最嚴峻挑戰之一。在碳資源的利用過程中，二氧化碳是最終產品，表明化石燃料有被用盡的時候。近年來，為了將二氧化碳轉化為能源或化學產品，二氧化碳利用已經作出了許多努力。顯然，二氧化碳分子中碳原子的存在是具有吸引力的。

然而，將二氧化碳轉化為能量產品，所需的能量必定高於原能量產物轉化為二氧化碳釋出的能量。因此，僅當可使用的再生能源納入能源產品時，才能將二氧化碳視為碳能的來源。當然，二氧化碳可以被認為是碳源，利用二氧化碳轉化為化學品。因此，二氧化碳可被視為再生能源轉型的能源載體(如圖一)。

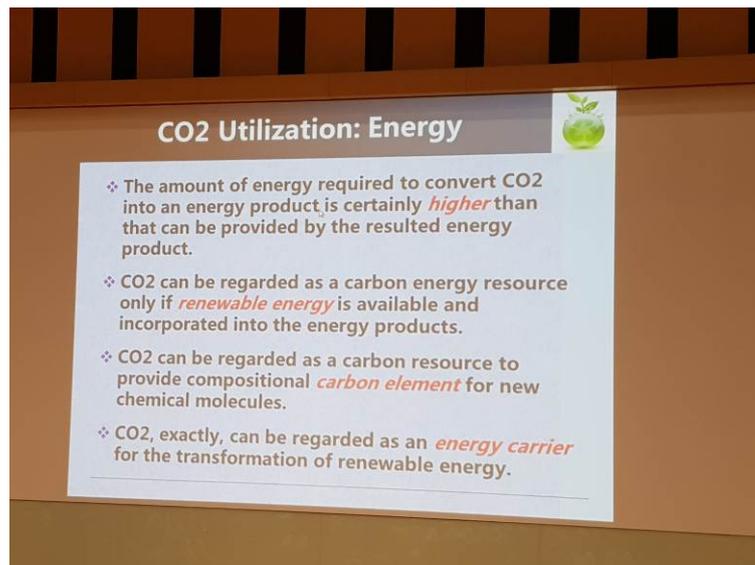
在轉化為化學品方面，伴隨著碳能的利用，二氧化碳的利用在氧化還原反應部分，也扮演一定的角色。二氧化碳利用本質上是進行氧化還原反應。反應發生的關鍵步驟在於電荷轉移，因此，電荷轉移能力為相關觸媒的開發至關重要(如圖二)。

奈米/次奈米觸媒在二氧化碳利用新技術開發中具有關鍵作用。與奈米/次奈米觸媒相關的四個關鍵因素包含：a.Single-單一原子和單一活性間的關聯；b.Size-為奈米顆粒，奈米晶體或奈米複合觸媒材料；c.Scale-在奈米觸媒中的尺度或如距離，分佈，覆蓋度等的定量因素，還包含奈米觸媒中中尺度的了解；d.Surrounding-觸媒活性基的化學環境和幾何環境(如圖三)。

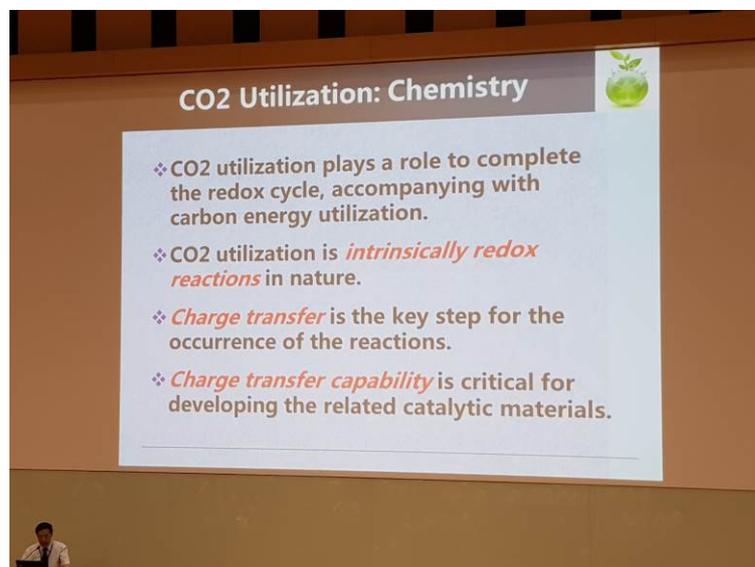
上海高等研究院在二氧化碳利用研究與開發中，提出的研發策略為利用太陽能為能量來源，藉由氫氣將二氧化碳轉化為甲醇，或是利用甲烷，轉化為合成氣。此外，亦可藉由環化反應(cycloaddition)或是甲醇分解作用(methanolysis)，將二氧化碳轉化為碳酸二甲酯(Dimethyl Carbonate, DMC)或是聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)。經由二氧化碳轉化的甲醇，可再透過甲醇轉化烯烴技術，生成烯烴產品。或是藉由甲醇轉

化芳香煙技術，生成芳香煙產品。此外，亦可藉由甲醇轉汽油，或是合成氣藉由 F-T 製程，生成液態碳氫化合物燃料(如圖四)。報告中分別就二氧化碳利用之反應，依據提及之觸媒相關因素，簡介觸媒之設計與性能測試結果，並提及以太陽能產氫為基礎的太陽能煉油廠架構(如圖五)。最後則提及未來煉油廠模式將由第一代以石油為基礎的煉油廠，轉變為第二代至第五代的煉油廠模式(如圖六及圖七)。

圖一



圖二



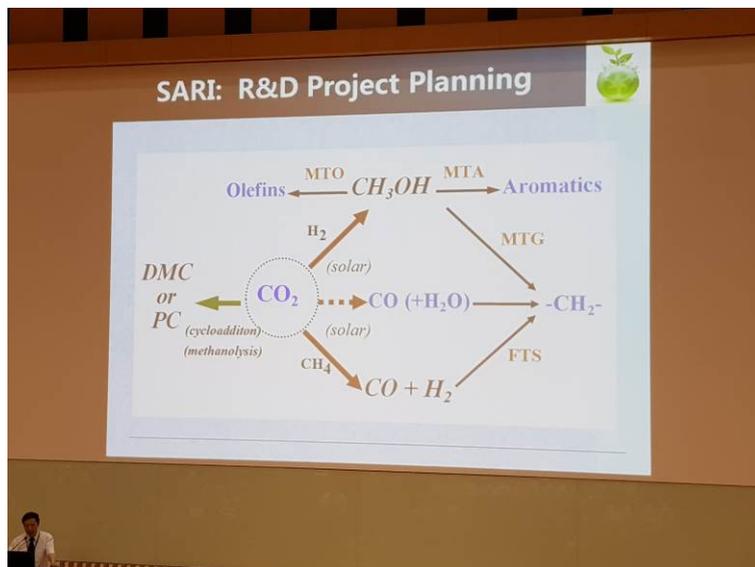
圖三

CO2 Utilization: Catalysis

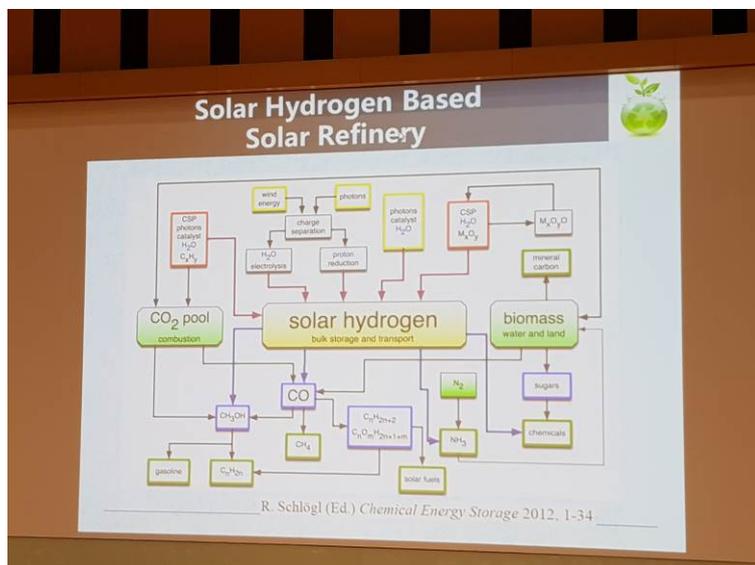
Nano/sub-nano catalysis plays a key role in CO2 utilization. The key factors are:

- ❖ *Single* - single atom and single site catalysis;
- ❖ *Size* - nano particle, nano crystal, and nano composite catalytic materials;
- ❖ *Scale* - descriptor or quantitative factors, such as distance, distribution, coverage, etc. and also, mesoscience understanding of nano catalysis;
- ❖ *Surrounding* - chemical environment and geometric environment for active sites.

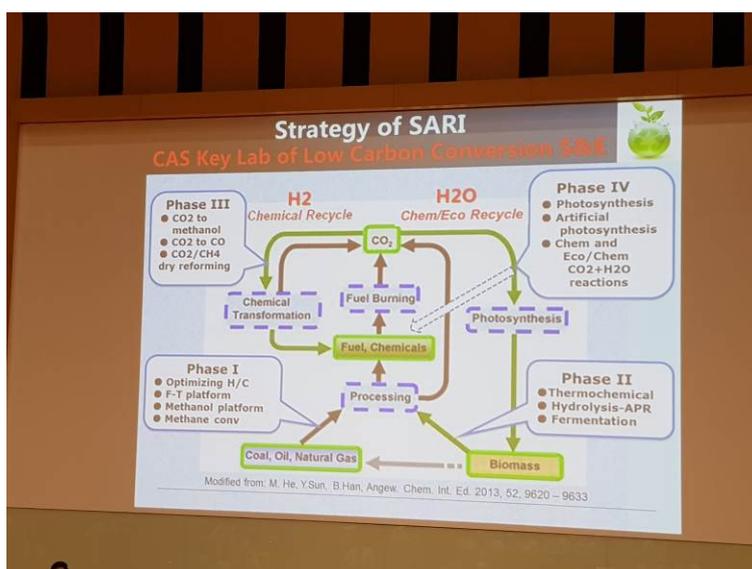
圖四



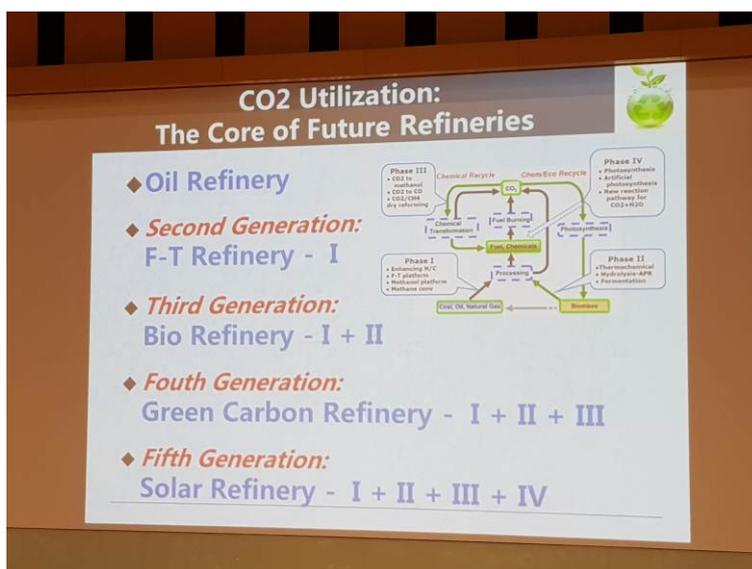
圖五



圖六



圖七

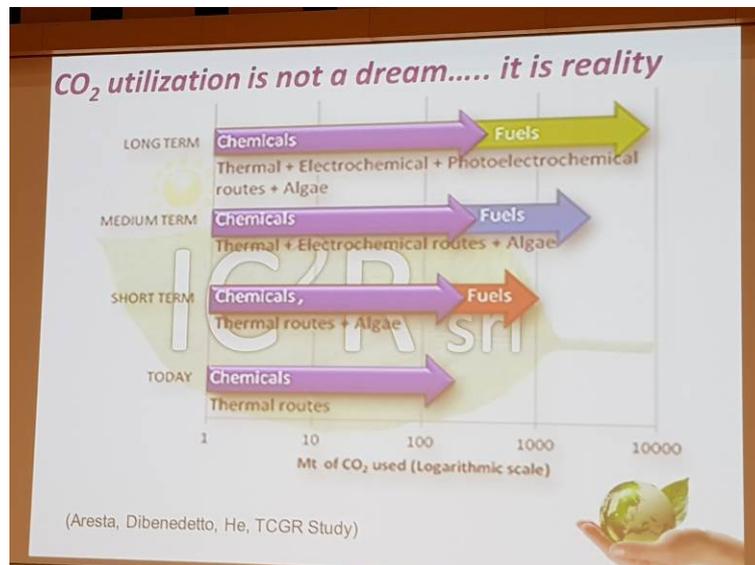


●大會演講- Carbon-Recycling: Potential and Challenges in CCU

本篇報告是由義大利巴里大學 Michele Aresta 教授進行簡報，報告中說明碳捕集和利用作為減少化石燃料和二氧化碳排放的策略，是目前全球關注的議題。針對不同規模的市場（從每年幾千噸至幾百萬噸的規模），數個 CO₂ 轉化為化學品、材料或燃料的選項，原則上已具備可行性(如圖八)。除了觸媒技術的開發，增強生質物的固碳和結合觸媒與生質技術均是目前引人注意的固碳途徑。必須通過詳細的成本分析，才能證明何種選項可行，以確定該製程確實是二氧化碳用戶或消費者，而不是二氧化碳生產者，並且在經濟上是可行的(如圖九)。

從某些角度來看，由化石燃料將逐漸被如太陽能、風能、地熱和水力發電等再生能源替代，以減少化石燃料生成的二氧化碳，報告中亦提及利用太陽能驅動的碳循環(如圖十)。最後 Aresta 教授說明在 1990 年提出的夢想，將有機會成真(如圖十一)。

圖八

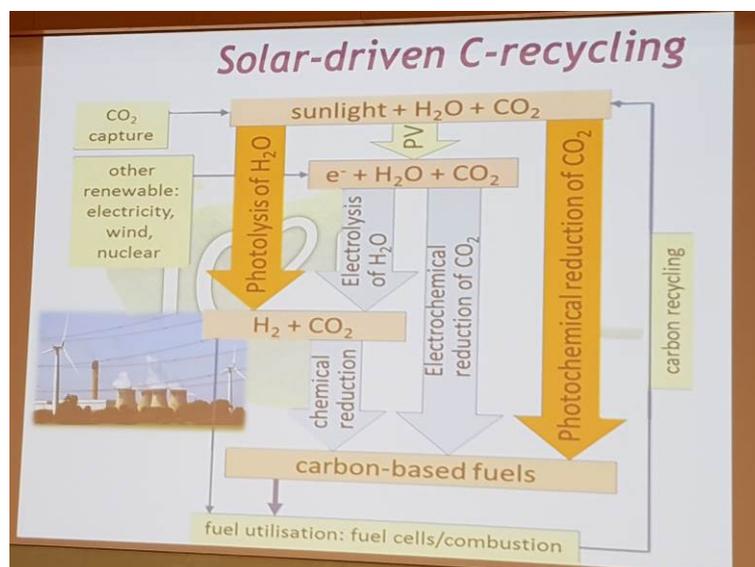


圖九

Key Performance Indicators (KPIs) in CO₂ utilization

- The carbon utilization fraction, **CUF** (the percentage of reagent-C fixed into the products);
- The carbon-footprint, **CF** (the CO₂ emission in the process per unit of product);
- The energy consumption factor, **ECF** (ratio of the input- to output-energy);
- The waste production factor, **E** (waste produced per unit of product, w/w);
- The “avoided” to “used” ratio, **A/U**. (For several applications the ratio avoided CO₂/used CO₂ is in the range 2-5, with a good average around 3.5

圖十



ETS)。在歐洲，挪威正在率先為 CCS 開發一個有利的生態系統；在美國，美國能源部則有許多國際合作研發和示範計畫可能會繼續推動。

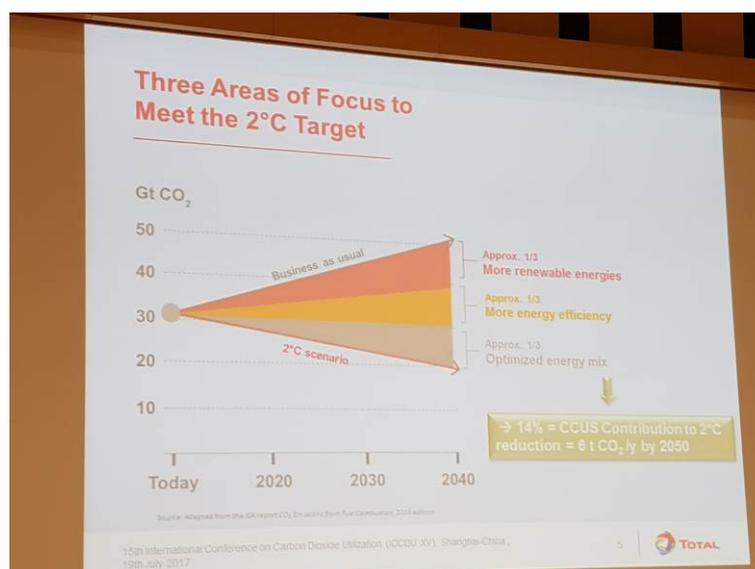
在此背景下，以及意識到的企業責任，TOTAL 決定在 CCUS 上推出橫向研發策略，參與減緩氣候變化，並為新商機做好準備。隨著氣候變遷與新商機的價值鏈上，TOTAL 的目標是成為技術的整合者(如圖十三)。依據面臨的挑戰，TOTAL 開發研發夥伴，並提升創新技術和初創型技術的發展。

這個動機主要由三個主要目標驅動：a.開發具有成本效益的技術，以降低 CCUS 成本(如圖十四)；b.證明 CCUS 是一個有效的二氧化碳減量的工具(如圖十五)；c.促進 CCUS 是輔助其他氣候變化緩解方案的解決方式。

CCUS 技術的適法性可能面臨挑戰，因受到一些非政府組織的反對，認為封存是一種危險的操作，以及二氧化碳利用被認為無經濟績效。

TOTAL 利用其具有的技術並打開世界的眼界，推動 Lacq 計畫，成為使 TOTAL 發展管理和操作 CCUS 計畫的第一個經驗。作為石油和天然氣公司，TOTAL 已具有能力管理一個整合型的計畫，並可以依靠其強大的研發能力。

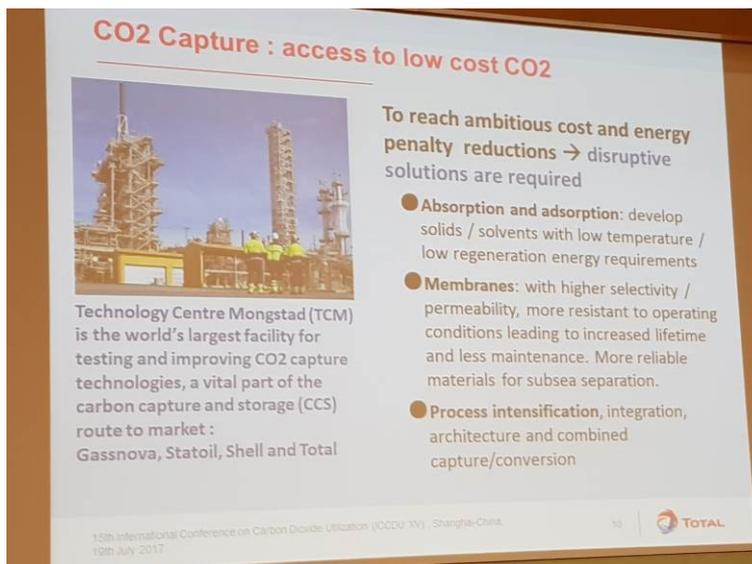
圖十二



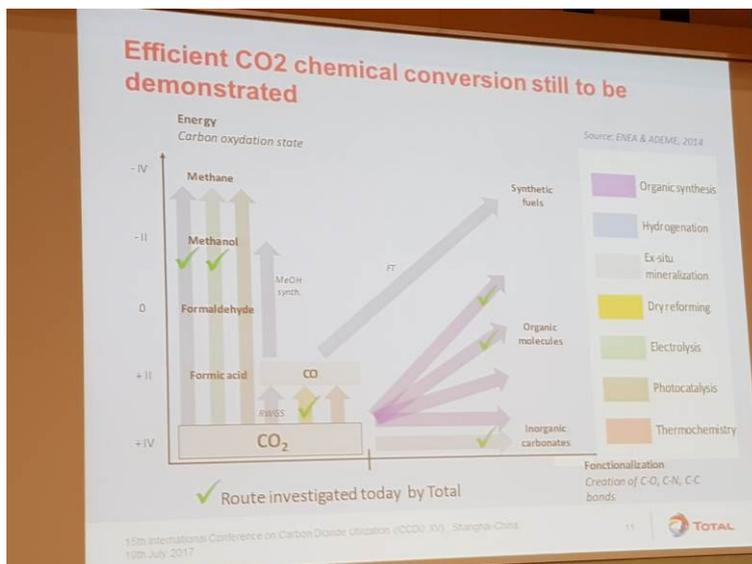
圖十三



圖十四



圖十五

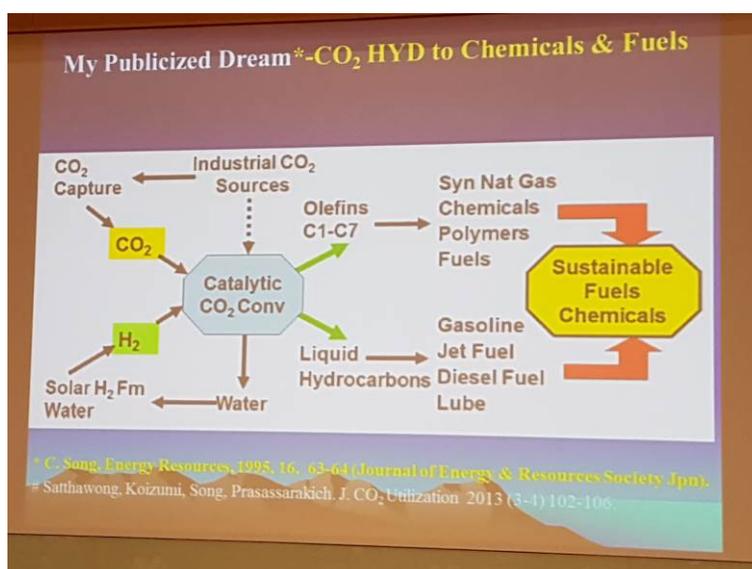


● 大會演講- New Approaches to Catalysis for CO2 Hydrogenation to Chemicals and Fuels

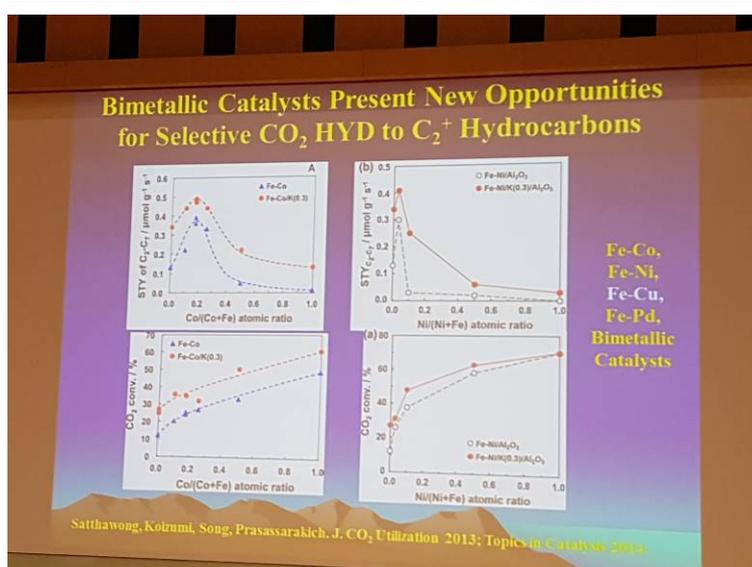
本篇報告是由賓夕凡尼亞州立大學宋春山(Chunshan Song)教授進行簡報，簡報中說明由於對氣候變化的潛在影響和大氣二氧化碳濃度的持續上升，因此，控制二氧化碳排放已成為全球的核心問題。捕集二氧化碳並使用再生能源將其轉化為化學品、材料和燃料，是一種永續發展的重要途徑。利用再生能源，將二氧化碳氫化以永續生產低碳烯烴、高級烴和甲醇被視為可行的途徑(如圖十六)。本演講概述了近期在實驗室規模上，實現的二氧化碳氫化和利用方面的進展，其中亦包含一些試量產規模和商業生產規模的案例。新的設計方法包括但不限於新的雙金屬配方，例如 Fe-Co

觸媒用於增加 C2 + 烯烴和飽和烴(如圖十七)，而 Pd-Cu 觸媒，用於提升 CO₂ 氫化成甲醇的選擇性(如圖十八)。此外，新的設計亦包含奈米結構觸媒，在中空沸石(hollow zeolite)中的奈米 Fe 觸媒，可將二氧化碳氫化成烴類和醇類(如圖十九)，混合型觸媒則用於二氧化碳氫化成液態高碳烴燃料。另一個加氫途徑，是將二氧化碳和甲烷進行重組反應，轉化為合成氣，之後將合成氣轉化為燃料和化學品。將中空沸石包封(hollow zeolite-encapsulated)的 Pt-Ni 雙金屬觸媒，使用在二氧化碳與甲烷之重組反應(如圖二十)。

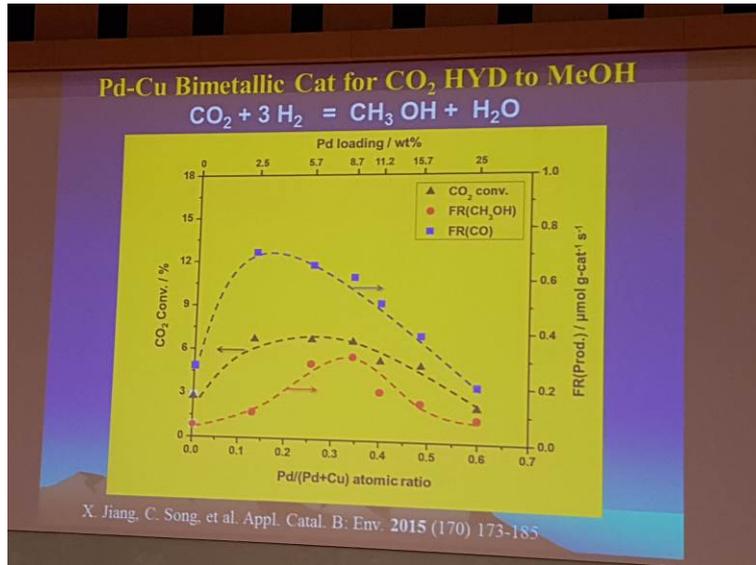
圖十六



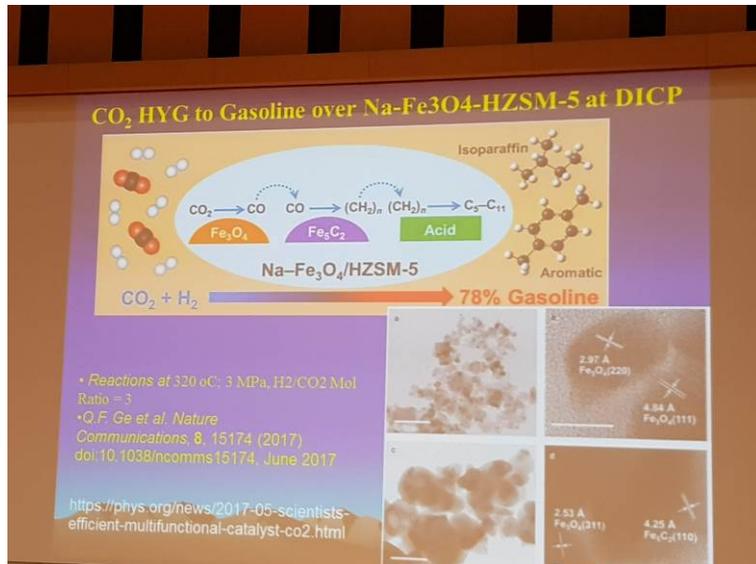
圖十七



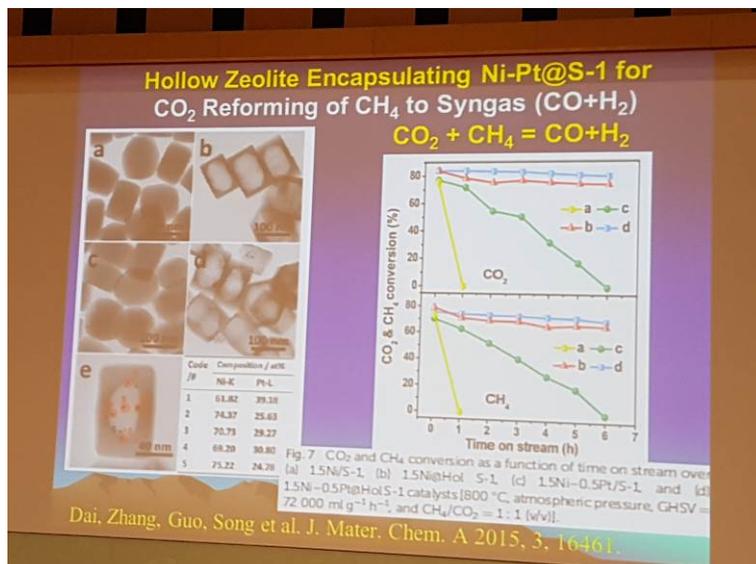
圖十八



圖十九



圖二十

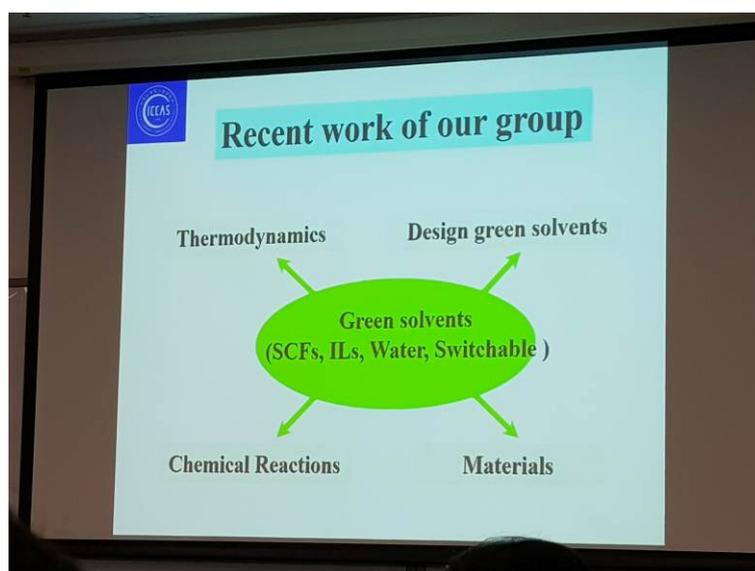


● 專題演講- Conversion of CO₂ into Value-added Chemicals

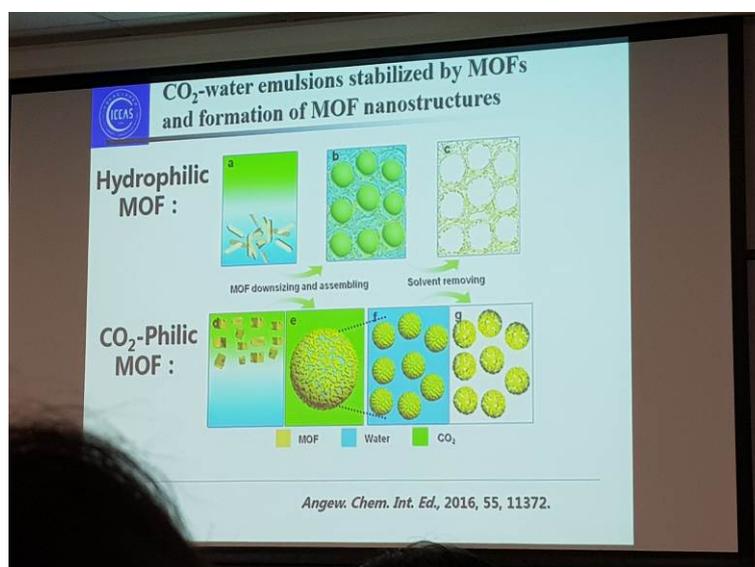
本篇報告是由中國科學院韓布興教授進行簡報，主要介紹二氧化碳是主要的溫室氣體，它也是一種可再生、豐富和便宜的 C1 原料。使用二氧化碳作為碳源生產燃料和高價化學品，對我們社會的永續發展，至關重要。將二氧化碳轉化成如尿素、水楊酸、碳酸酯、高分子聚合物、醇類或甲酸等化合物，已被廣泛研究探討。

近年來，我們對綠色溶劑的物化性質及其在綠色化學中的應用非常感興趣(如圖二十一)，特別是在綠色溶劑中的 CO₂ 轉化和生質物。報告中提及在水溶液中，利用二氧化碳製備金屬有機框架結構材料(Metal Organic Frameworks, MOF)(如圖二十二)。此外，利用超臨界二氧化碳亦具有提升反應效益的功能(如圖二十三)，而利用二氧化碳與離子液體觸媒，亦能改變反應平衡限制(如圖二十四)。

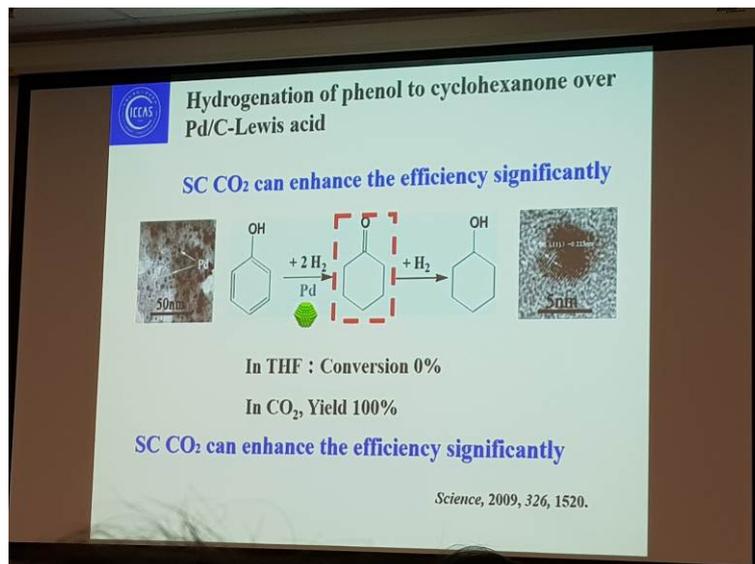
圖二十一



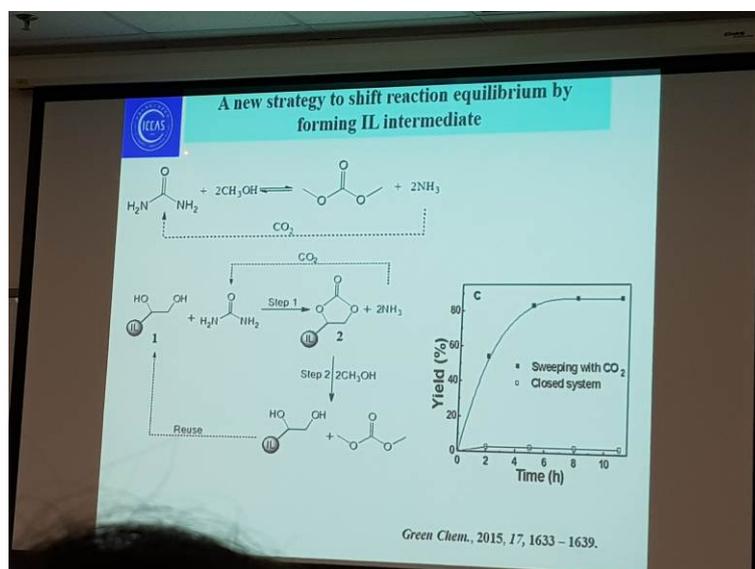
圖二十二



圖二十三



圖二十四



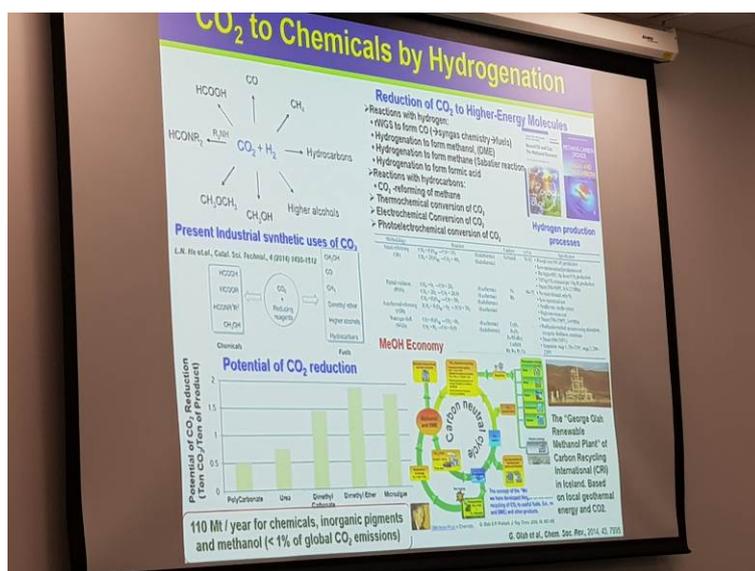
● 專題演講- CO₂ Uses as Oxygen Source for High-value Added Chemicals

本篇報告是由韓國仁荷大學 Sang-Eon Park 教授進行簡報，說明二氧化碳利用已經在製備化學品如尿素、碳酸鹽、聚碳酸酯、聚氨酯等方面，以及燃料中得到了應用(如圖二十五)。這些大部份是 CO₂ 和氫氣的反應，因此，化學品和燃料的生產非常有限，而且面臨許多挑戰。特別地，對於二氧化碳還原反應，需要克服高成本的氫氣，才能達到作為便宜、豐富和無毒原料的二氧化碳使用的商業可行性。

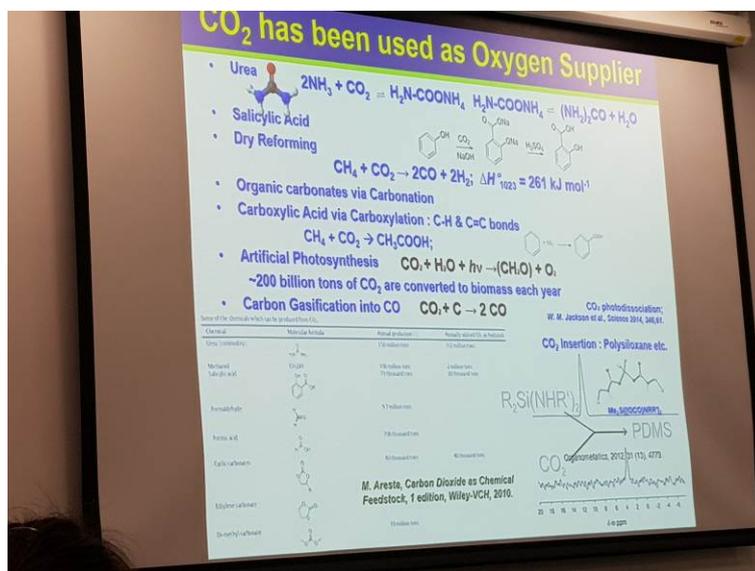
同樣的如尿素、合成氣或水楊酸，我們可以將二氧化碳不僅作為 C 源，亦可視為 O 源(如圖二十六)。本次演講重點是使用二氧化碳作為氧源，特別是對於需要失去氫氣以產生烯烴和芳族化合物的飽和烴。在這裡，二氧化碳用途是在需要氧源的反應中，證明氧源用於從飽和烴中除去氫氣，以轉化成相應的高價的石化產品，例如烯烴或芳香烴化合物(如圖二十七)。

CO₂ 作為氧化劑的作用分為溫和氧化劑、促進劑和增強劑等三種類型，例如 CO₂ 用於氧化脫氫反應中，扮演氧化劑角色(如圖二十八)。而與其他如 O₂ 或 H₂O₂ 氧化劑共同進行氧化反應時，CO₂ 則為促進劑(如圖二十九)。而在生成芳香烴製程中，在氫移除反應步驟中，CO₂ 則為扮演增強劑作用(如圖三十)。對於這些方式，二氧化碳利用非僅用於與氫氣的轉化反應，亦可應用在如烯烴和芳香烴製程中，當作氧原子的提供者。

圖二十五



圖二十六



圖二十七

CO₂ Uses as Oxygen Sources

CO₂ - Green Feedstock : as CO₂ itself as well as O & CO Resources

CO₂ Insertion / Carboxylation
 Acetic acid from methane and CO₂
CH4 + CO2 -> H3C-COOH
 Telomerization of CO₂ with butadiene
 Sasaki et al. J. Chem. Soc. Chem. Commun., 0 (1976) 605-606.
 Unsaturated carboxylic acids from CO₂ and olefins
 He et al. JCOU, (2013).

As Dehydrogenating Agent
 Oxidative dehydrogenation with CO₂ as Soft Oxidant
 S.-E. Park et al. Chem. Lett., 24 (1997) 1123-1124.
 Enhancer in Aromatization (Dehydrocyclization)
 CO₂ as a Promoter in Oxidation Reaction with O₂ (CO₂ + O₂)
 S.-E. Park et al. Green Chem., 13 (2011) 1415-1421.

Other Applications:
 Carbamates, Urea, Isocyanates from CO₂ and amine.

圖二十八

Inha Styrene via Oxidative Process with CO₂ as Soft Oxidant

1. Role of soft oxidant to remove hydrogen as a product (less dangerous than oxygen)
2. High heat capacity of CO₂: 49.1 J/molK at 673K (37.0 J/molK at 673K for H₂O)
3. High selectivity to styrene (97%)
4. Activity Enhancement (high conversion)
5. Equilibrium shift to give lower reaction temperature
6. Cheaper gas than steam or oxygen

ISOCO₂ Process

Commercial Process using H₂O

1. Direct utilization of CO₂ as a by-product discharged from petrochemical industry (Self-sufficiency of CO₂)
2. Adiabatic reactor
3. Two stage reactor system
4. Usage of the gaseous products as raw materials for other industries
5. Decrease coke formation
6. Increase the stability of the catalyst
7. Regeneration of the catalyst in the reactor system

Thermodynamically limited
 The overall reaction is endothermic (ΔH = 124.3 kJ/mol @ 673 K) high energy consumption
 Super heated steam in the adiabatic reactors (> 873 K)
 High steam acts as a diluent and remove the coke
 Catalyst deactivation processes
 Loss and/or redistribution of potassium promoters
 Change in oxidation state of the PdO_x

圖二十九

Oxidation with CO₂ as Promoter

Oxidation of Cyclic Olefins

Reaction Conditions:
 Temperature: 100°C, Autoclave
 Time: 10 hr,
 Pressure: 80psi
 Gas ratios: 0.333
 Catalyst: MGL 50 mg

Quantification of Promotional Effect

$$\Delta C (\%) = \left(\frac{C_{O_2/CO_2} - C_{O_2/A_2}}{C_{O_2/CO_2} + C_{O_2/A_2}} \right) \times 100$$

C_{O_2/CO_2} = conversion in O₂/CO₂, C_{O_2/A_2} = conversion in O₂/N₂

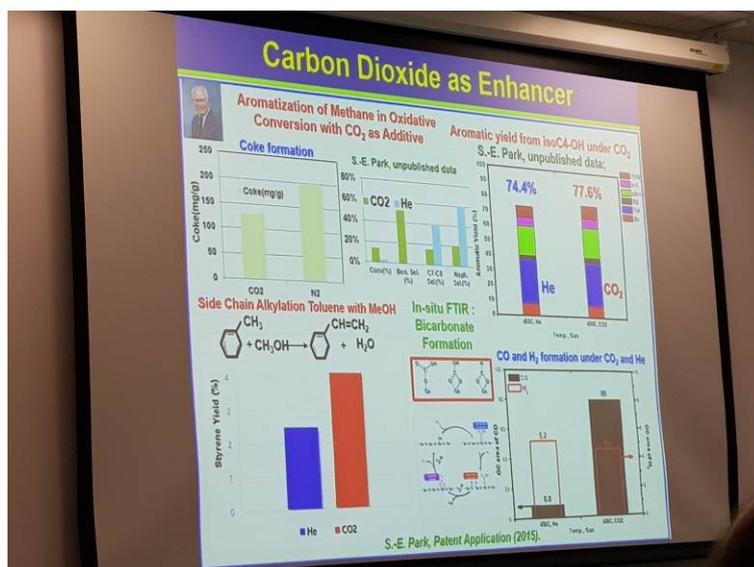
Promotional effect can be regarded as percent difference between conversion in presence and absence of CO₂

Oxidation at different Gas Ratios

Run	Gas Ratio (O ₂ /CO ₂)	Conversion (%)	Selectivity (%)
1	0.050	9	97
2	0.167	3	97
3	0.222	18	97
4	0.333	24	97
5	0.500	24	97

Oxidation of Cyclohexene and Selectivity (%)

圖三十



● 專題演講- Innovation and Markets in the New Carbon Economy

本篇報告是由美國勞倫斯利佛摩國家實驗室（Lawrence Livermore National Laboratory）的 S. Julio Friedmann 博士進行簡報，說明“巴黎協議”強調了兩個關鍵事實。第一個事實為世界所有能源和產品市場在決策時，都會考慮碳和永續性。這會影響投資、基礎設施規劃、資產評估以及產品的訂價。第二個事實則是巴黎協議所作的承諾不足以達到 2°C 穩定的目標。各國必須在各自的努力與策略上，更加強雄心意志，在 23 個國家中，提高研究基金至 2 倍，則就是努力的基礎之一(如圖三十一)。在這方面，各國正達成共識，我們必須做的不僅僅是避免未來的排放。更進一步地，二氧化碳減量則是當務之急，包括從減少空氣和海洋中的二氧化碳以及二氧化碳轉化為有用產品。

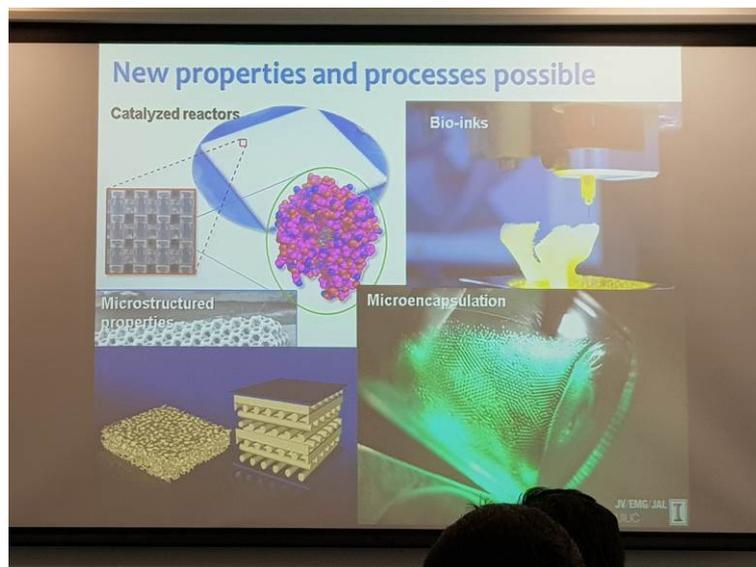
這兩個行動代表著新的碳經濟以及在熱力學、工程、商業模式、市場、政策和金融等方面的挑戰。幾個重要的技術創新途徑將有助於提高二氧化碳減量和轉換的可能性。其中之一則是先進製造技術的快速發展，包括添加劑製造、微流體學和機器人技術等(如圖三十二)。第二行動則是計算能力的急劇增長，強大的計算能力已經徹底改變了建模和模擬技術，包括快速測試和原型設計，材料探討和先進的反應器設計(如圖三十三)。這樣的進步將大大降低產品成本和加速製程放大的進展，可行的市場包括水泥和骨料、塑料、化學原料和燃料等產業。雖然這些不足以應對全球氣候解決方案，但有理由相信藉由轉換為壽命長或有用的產品，可以管理 500 至 1,000 百萬噸的二氧化碳。藉由低碳標示，讓這些產品在市場上的價值提高，而低碳標示則需要被認證，以及滿足生命週期評估的標準(如圖三十四)。如果真的能如此實施，則可以提高二氧化碳減量的市場價值。在考慮研發策略和金融投資時，區分工程成本、商業價格和客戶價值則至關重要。新的美國政策規劃提供二氧化碳利用的研發資金，並購買二氧化碳利

用轉化的產品(如圖三十五)。

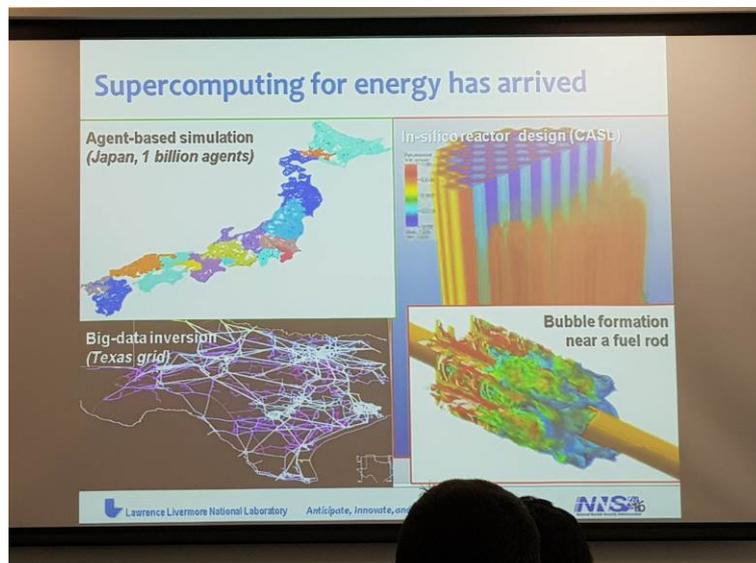
圖三十一



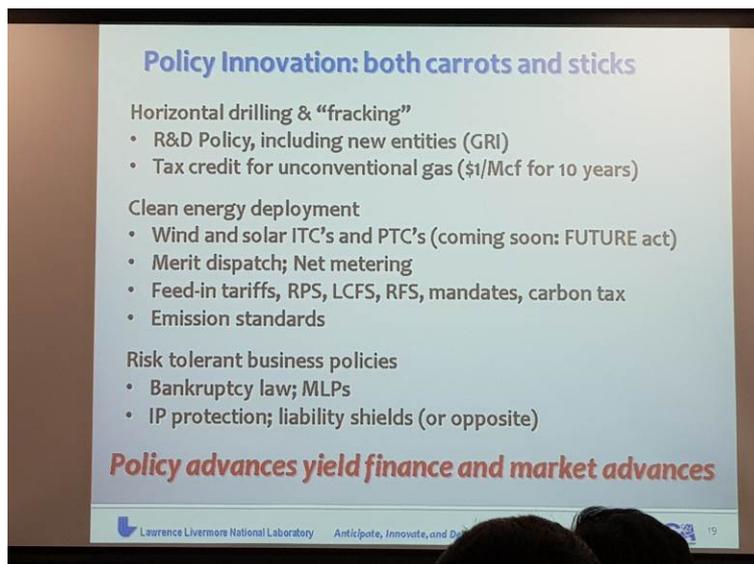
圖三十二



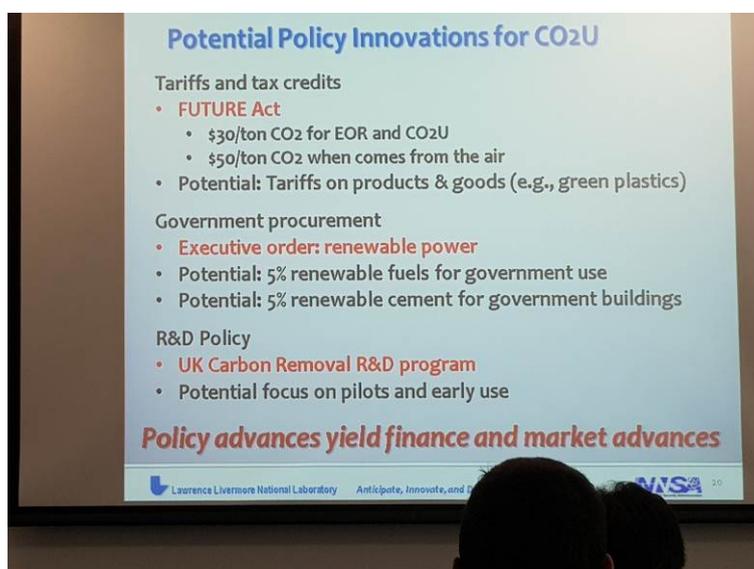
圖三十三



圖三十四



圖三十五



● 專題演講- Strategies for Stable Ni-based Catalysts for CO₂ Reforming and Methanation

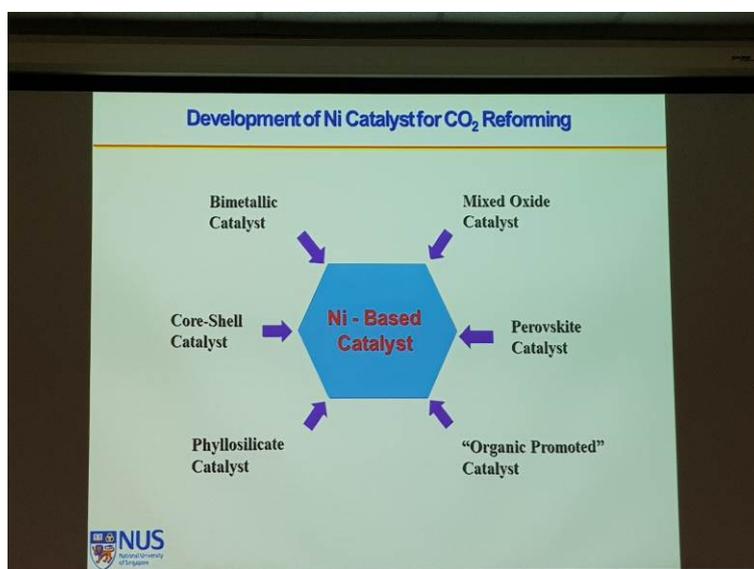
本篇報告是由新加坡大學 Sibudjing Kawi 教授發表，為限制大氣中二氧化碳濃度上升，捕集排放的二氧化碳為當今世界面臨的主要挑戰。為了現在和未來的世代，迫切地面對這個挑戰乃至關重要。因此，過去十年，與碳捕集、封存和利用的相關研究大幅增加。

將二氧化碳轉化為有用化學品被認為是有可行的方案，不僅可以減少二氧化碳排放，而且有利於“碳”產業的發展。二氧化碳與甲烷的重組反應和二氧化碳甲烷化反應，在過去十年中，已經有很多研究探討。這個議題的主要是發展具經濟、活性和穩定的觸媒。我們研發團隊對於使用於上述反應的穩定鎳基觸媒的設計與製備，制定了幾種策略(如圖三十六)，

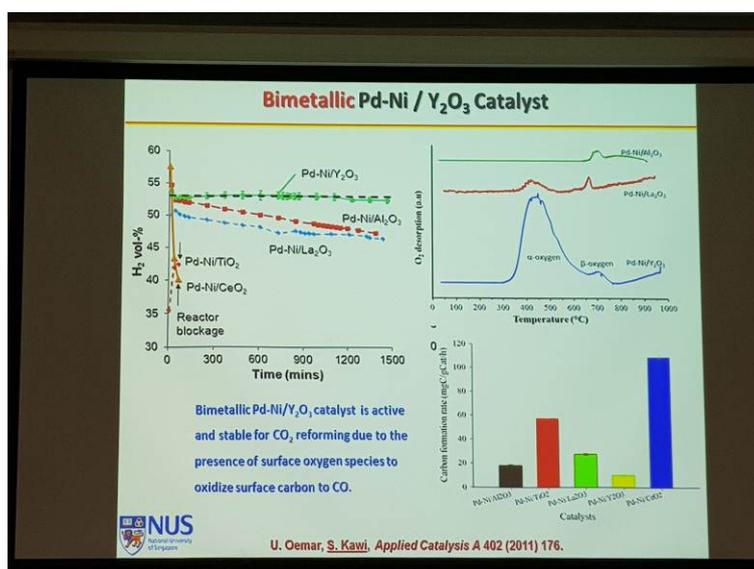
包含：a.雙金屬觸媒-藉由合金金屬，以協同作用抑制碳的形成(如圖三十七)；b.合成有機助劑-在觸媒含浸過程中，添加含鎳的有機物，可以提高分散度，降低鎳金屬粒徑，因而消滅積碳的生成(如圖三十八)；c.核-殼結構觸媒：利用惰性殼覆鎳奈米顆粒，可固定鎳顆粒，從而避免鎳顆粒的燒結，從而增強了對積碳的抵抗(如圖三十九)；d.特定結構的觸媒：以鈣鈦礦和矽酸鹽結構的觸媒，金屬與載體間具有較強的作用力，有助於消除積碳的形成(如圖四十)；e.混合氧化物觸媒，有助於穩定觸媒活性，消除積碳的形成(如圖四十一)；f.二氧化碳甲烷化反應部分：Ni/CeO₂ 觸媒的氧空位，在CO₂ 甲烷化反應途徑中扮演重要角色(如圖四十二)。

未來，二氧化碳利用將持續受到關注，並且開發優異的二氧化碳轉化觸媒，對於最終工業的應用至關重要。

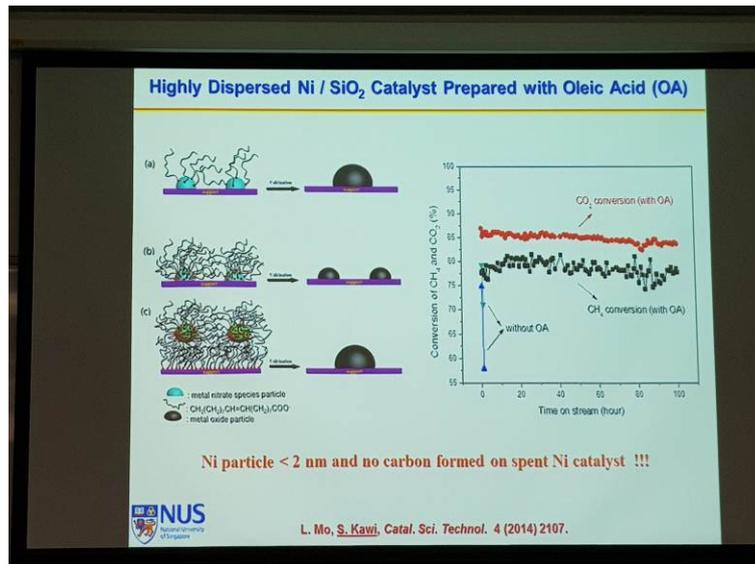
圖三十六



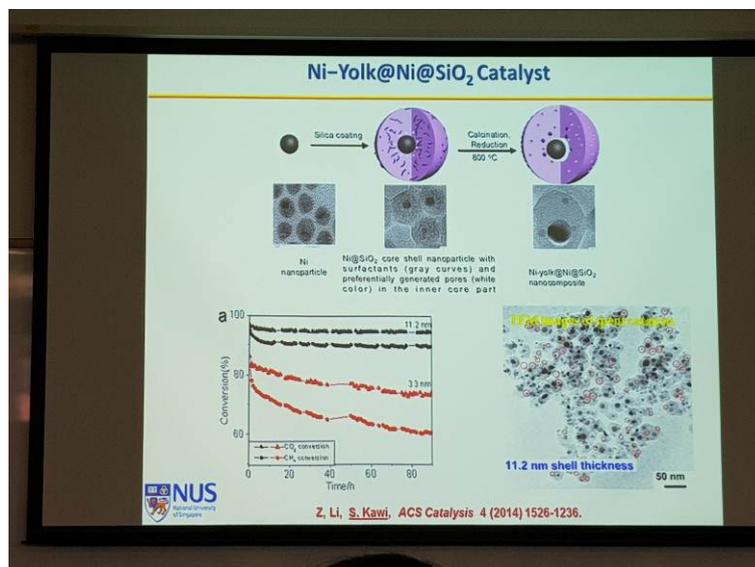
圖三十七



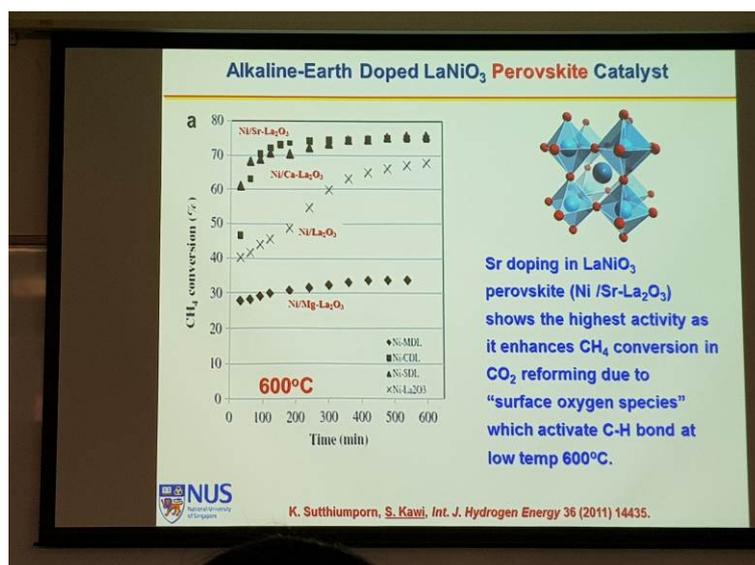
圖三十八



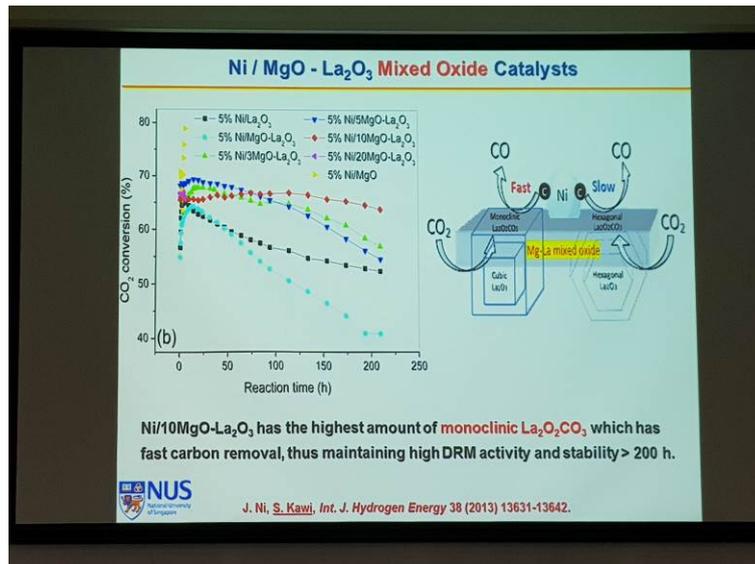
圖三十九



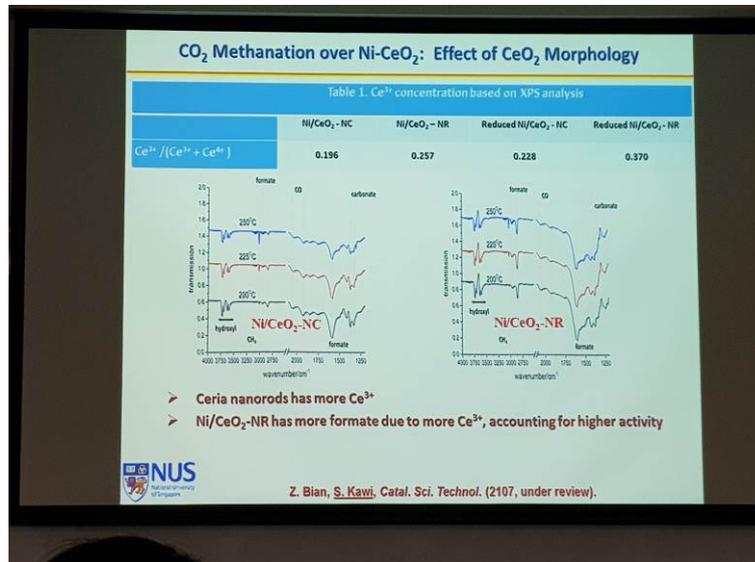
圖四十



圖四十一



圖四十二



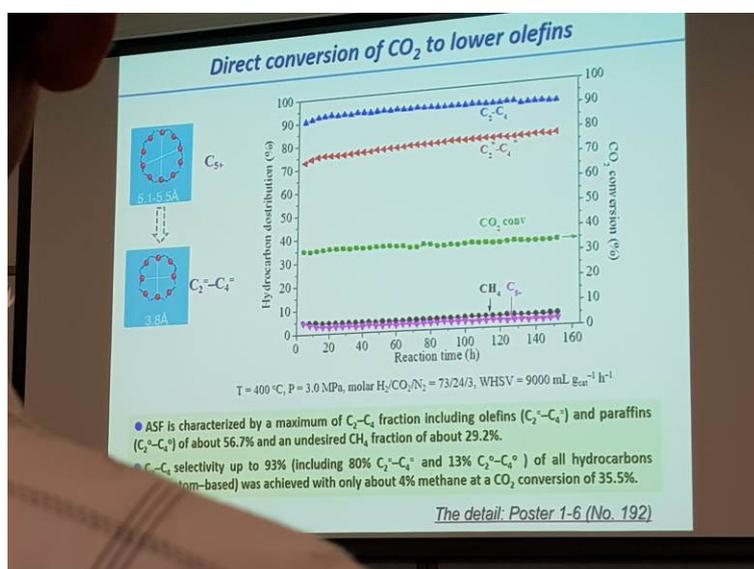
● Direct Conversion of CO₂ to Value-added Hydrocarbons with High Selectivity over a Bifunctional Catalyst

本篇報告是由中國科學院上海高等研究院高鵬(Peng Gao)先生發表，說明作為一種具經濟性、無毒、可再生和豐富的碳源，二氧化碳轉化為高價產品的化學利用是非常有吸引力的。因為它不僅可以減緩大氣中二氧化碳濃度增加，引起的全球暖化，而且還可以對日漸減少的化石燃料提供替代解決方案。因此，對各種 C1 原料的 CO₂ 轉化，已引起了許多關注。由於二氧化碳的穩定性和 C-C 偶合(coupling)的能量障礙，直接從二氧化碳合成 C₂+產物，仍然是一個巨大的挑戰。如果二氧化碳可以直接有效地轉化為高價值的碳氫化合物，那麼“模仿自然碳循環”的夢想就能實現。

利用傳統觸媒反應的產物通常遵循 Anderson-Schulz-Flory (ASF) 分佈，這種產品分佈相當廣泛，且在部分範圍內，對碳氫化合物不具選擇性。例如，根據 ASF 分佈，碳二至碳四(包含烯烴和飽和烴)的選擇性不會超過 58%，而且在汽油組成範圍內的碳氫化合物，其最大選擇性約為 48%。此外，與 CO 氫化反應相比，由於 CO₂ 吸附速率較慢，因而以二氧化碳為進料的費-托合成中，表面吸附中間體的氫化程度較高，導致更容易形成甲烷，減少鏈生長機會。此外，藉由傳統費-托合成，直接轉化 CO₂ 時，不能產生芳香烴產物(選擇性<5%)。

在本研究中，採用氧化銦/分子篩 (In₂O₃/HZSM-5) 雙功能觸媒，在二氧化碳直接氫化轉化為液體燃料，表現出優異的性能，且觸媒具有高的選擇性和穩定性。烴類產物中汽油成分(碳數為 5~11 的烴類化合物)選擇性高達近 80%，而副產物甲烷的選擇性小於 1%(如圖四十三)。

圖四十三

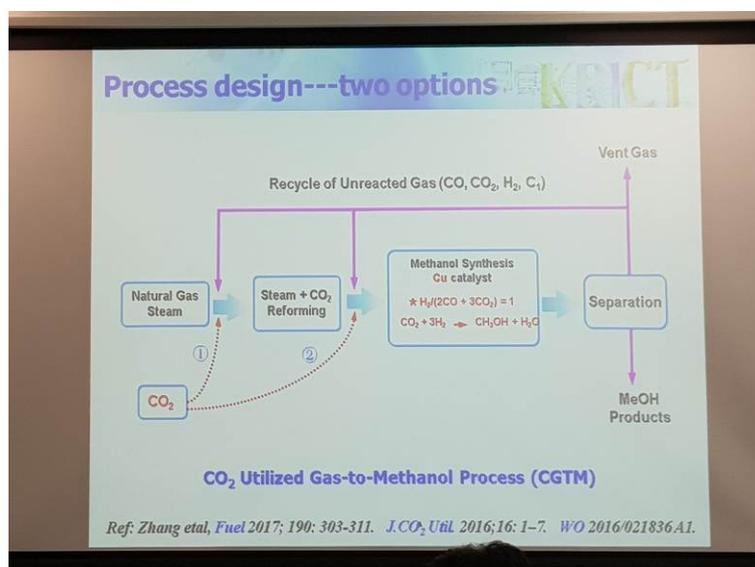


● Carbon Dioxide Utilization in a Gas-to-Methanol Process Combined with CO₂/steam-mixed Reforming: Techno-Economic Analysis

本篇報告是由 Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT) Chundong Zhang 先生進行簡報，主要藉由製程模擬軟體 Aspen Plus，提出兩種利用二氧化碳氣體反應產製甲醇的製程 (Carbon-dioxide-utilized Gas-to-Methanol, CGTM) 設計概念(如圖四十四)。自開發的製程模型中，可得到質量流和能量流的結果，就如同可知道熱效率和碳的效率。在進行經濟評估和敏感性分析之前，先確定了兩種 CGTM 製程的總投資資本 (Total Capital Investment, TCI) 和總產品成本 (Total Product Cost, TPC)。然後，利用淨現值 (Net Present Value, NPV)、

投資報酬率（Internal Rate of Return，IRR）和折現回本期（Discounted Payback Period，DPBP）等經濟評估指標，評估 CGTM 製程的經濟效益評估(如圖四十五)。此外，敏感性分析也用於 CGTM 製程的經濟效益研究中，藉由不同情境，例如:甲醇和天然氣價格改變、不同工廠規模和碳稅等參數，進行探討。由研究結果可知，甲醇價格、資本支出和天然氣價格等是最敏感的因子(如圖四十六)，且根據經濟評估指標 NPV、IRR 和 DPBP，每天 2,500 至 5,000 公噸產能的兩種 CGTM 製程在經濟上是可行的，若在更大的工廠規模和碳稅的情況下，將可更具經濟競爭力(如圖四十七)。

圖四十四



圖四十五

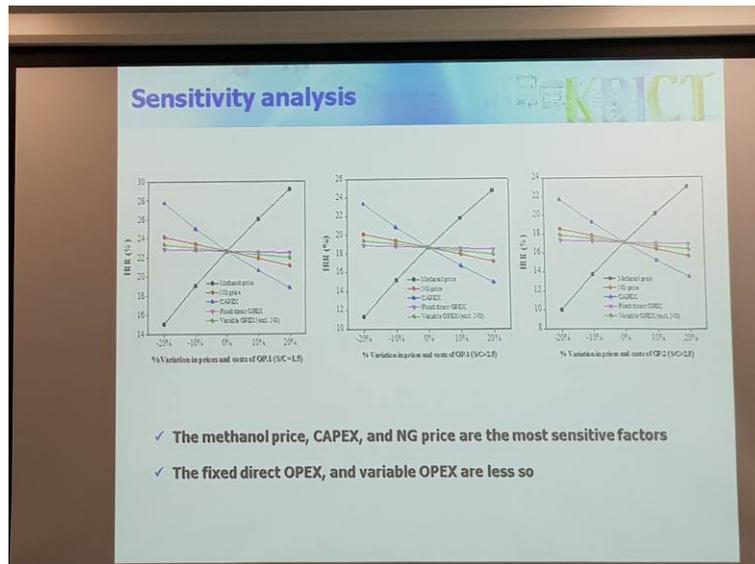
Economic evaluation

Item	OP.1 S/C=1.5	OP.1 S/C=2.5	OP.2 S/C=2.5	Unit
Plant scale	5000	5000	5000	TPD
NPV (i _c =12%)	858.80	598.74	483.41	M\$
DPBP	6.23	8.29	9.52	Yr
IRR	22.65	18.70	17.15	%

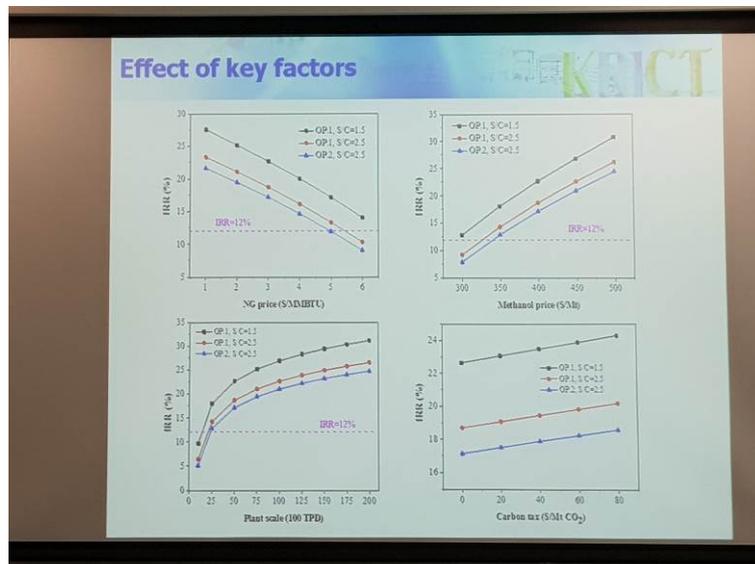
With regard to the evaluation indicators, both options are acceptable:

- ✓ NPV is considerably higher than zero
- ✓ IRR is higher than that of the industry base yield (12%)
- ✓ DPBP is shorter than the base payback period (10 Yrs)

圖四十六



圖四十七



● Bimetallic PdIn nanoparticles for the CO₂ reduction to methanol

本篇報告是由牛津大學 A. García-Trenco 教授進行簡報，說明在過去的幾十年中，人為二氧化碳排放由於對全球暖化的影響，成為關注的焦點。利用再生能源獲得的 H₂，經二氧化碳還原轉化生成甲醇已經是二氧化碳循環和提供液體燃料的關鍵途徑。依據最近研究報導，基於膠體奈米粒子 (nanoparticles, NPs) 的觸媒系統，在二氧化碳氫化產製甲醇反應中，相較於傳統上 Cu-ZnO 異相觸媒，觸媒活性已有具體的改進，主要歸因於擁有較高的表面積和易調節的特性(如圖四十八)。依據此特性，研究團隊提出了第一個以雙金屬 Pd/In 奈米粒子，將二氧化碳轉化甲醇的結果。

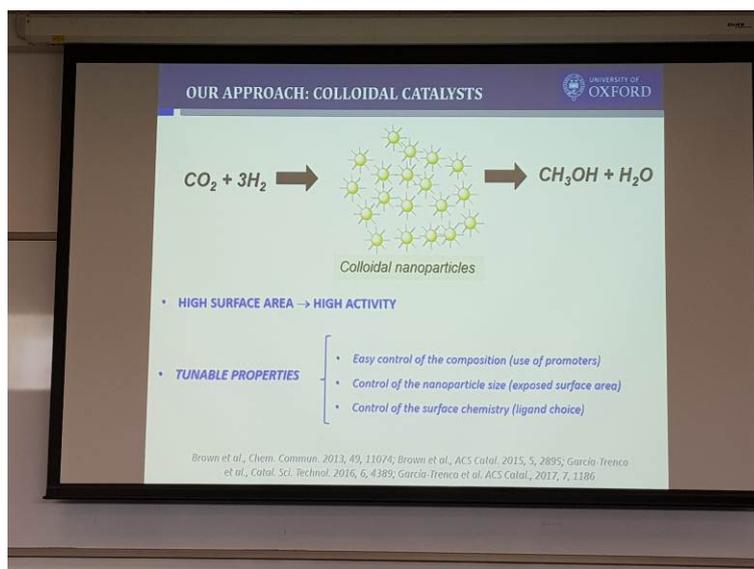
雙金屬 Pd/In 觸媒是經由兩步法合成。首先，在角鯊烷 (squalane) 溶劑中，加入醋酸鈹和醋酸銻 (Pd:In 莫耳比為 1:1)，通入氮氣，加熱至 210°C，持溫 1 小時。透過 X-射線繞射分析(X-ray Diffraction, XRD)、

熱重分析(Thermogravimetric Analysis, TGA)和高解析度穿透式電子顯微鏡(High Resolution Transmission Electron Microscope, HR-TEM)分析，顯示醋酸鈰可經熱分解，生成平均粒徑約 4.0 nm 的奈米粒子 Pd(0) (如圖四十九)。第二步驟則是將氮氣改為含 5% H₂/N₂ 的混合氣，利用奈米粒子 Pd(0) 為媒介，將醋酸銦還原，並擴散至奈米粒子 Pd(0) 中，最後生成平均粒徑約 8.0 nm 的雙金屬 In_{0.52} Pd_{0.48} 奈米粒子(如圖五十)。

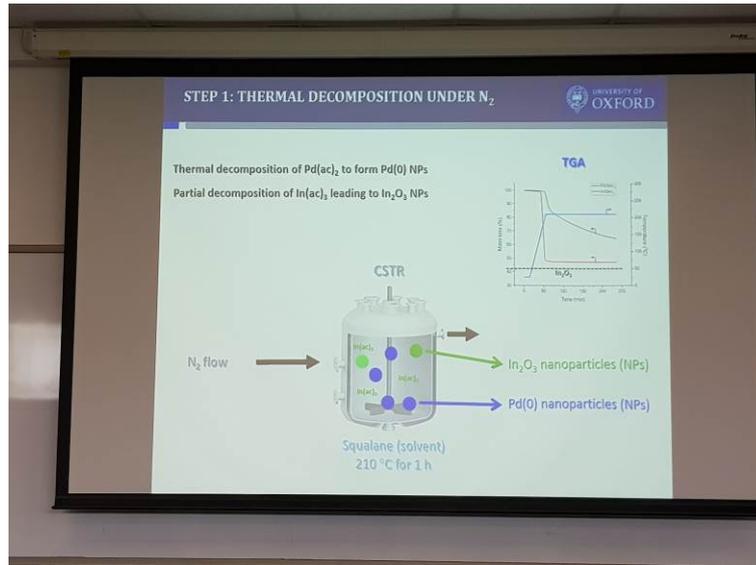
利用不同反應條件 (190-270°C, 5.0 MPa, H₂/CO₂ = 3, 空間流速 5-19 L·mmol_{Pd+In}⁻¹·h⁻¹)，在連續式攪拌槽反應器(Continuously Stirred Tank Reactor, CSTR)反應器中，在液相環境測試不同 Pd/In 比例奈米觸媒，二氧化碳氫化反應的效果。引人注目的是，以雙金屬 In_{0.52}Pd_{0.48} 為最佳的奈米觸媒，對於甲醇的生成速率高於已商業化 Cu-ZnO-Al₂O₃ 甲醇合成觸媒約 1 倍以上。此外，對於甲醇的選擇性和觸媒穩定性，均有顯著改善(如圖五十一)。分析經 25 小時反應後的觸媒，XRD 與 X 射線光電子能譜(X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS)分析結果與新鮮觸媒相同，僅在奈米粒子尺寸有些微增加。

綜上所述，雙金屬 Pd/In 奈米觸媒具有優異的性能，本報告並說明觸媒未來發展和優化的領域。

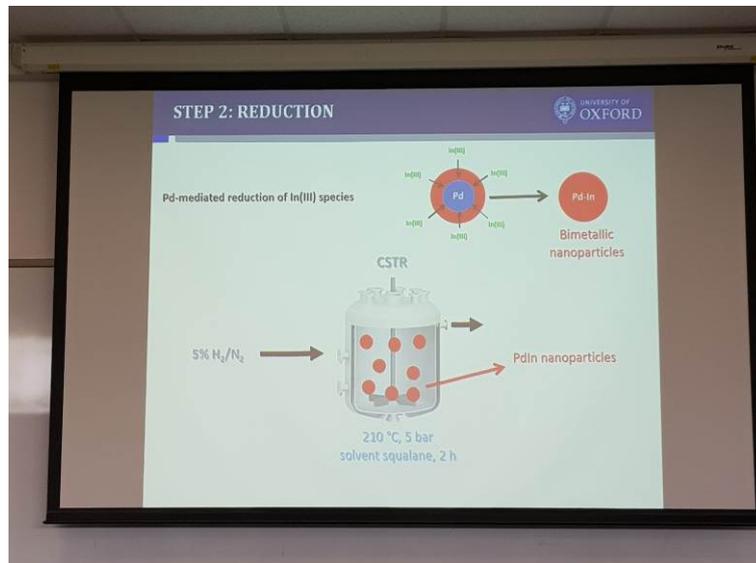
圖四十八



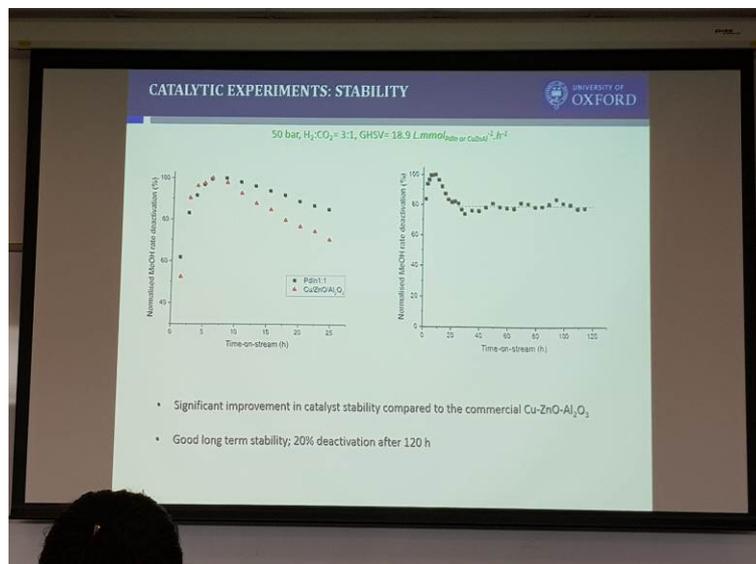
圖四十九



圖五十



圖五十一



肆、心得與建議事項

感謝公司及上級長官的支持，本人才能有機會參加由中國科學院上海高等研究院和上海科技大學共同在上海市主辦的第十五屆「國際二氧化碳利用研討會」。這次研討會主題包括：a.藉由還原轉化，以二氧化碳作為綠色原料；b.以二氧化碳作為基礎的官能基化；c.CO₂捕集和礦化；d.以二氧化碳為工作流體；e.碳稅、政策和策略等五個主題，以探討二氧化碳再利用為核心議題，與會者分別來自美國、義大利、法國、英國、德國、挪威、韓國、日本、大陸、台灣及巴西等世界各地的研究團隊，均為二氧化碳在利用領域的領先研究團隊。藉由會中蒐集的資訊與簡報，有助於對目前國際上二氧化碳再利用技術進展與研究方向的了解；因此，建議公司未來仍能多多支持研究同仁參與國際性研討會，以便了解國際上的趨勢變動。

由會議簡報內容瞭解，因考量市場需求，世界各國研究團隊努力的方向主要以開發二氧化碳氫化產製甲醇、甲烷或液體燃料製程為主，並利用再生能源作為產氫的能量來源。研究內容包含觸媒材料開發，或利用分子模擬計算技術，探討反應機構，進而依觸媒特性的需求，進行觸媒設計，其目的在於開發具經濟效益及穩定的二氧化碳轉化製程。若沒有機會參與此研討會，僅依據論文或國內的資訊，就如井底之蛙，無法瞭解目前國際研究團隊的研究方向及方式。無論是反應機構的探討技術，或是分子模擬技術，均是值得學習的技術，若能建立相關技術，應可提升公司內的研發能量。

此次出國實在獲益良多，也有下列幾點建議：

1. 參考 TOTAL 的研發策略，以技術整合為主，結合學界和研發機構的研發能量，規劃符合 TOTAL 公司所需的製程技術。由於 TOTAL 公司與本公司屬性相近，均是屬於石油和石化相關的產業，因此應可借鏡 TOTAL 公司的策略。建議可思考擬在二氧化碳捕集、封存和再利用領域扮演的角色，再以技術整合的方式，尋求學界或研究機構的支援，進而建構本公司獨有之技術。
2. 由參加此次會議得知，對於二氧化碳再利用技術，由於尚未具有經濟效益，因此國際研究團隊仍以技術開發為主。會議簡報中提及，可藉由技術的發展，進而尋求政府政策面的支援，有了政策的支援，才有機會創造商業模式。因此，建議在發展二氧化碳再利用技術的同時，仍需尋求政府的支援，或許可藉由如碳稅交易，建立二氧化碳商業模式。
3. 雖因網路的發達，資訊取得與交流，已無遠弗屆，但是僅限於片段資訊，且缺乏與他人當面交流的機會，仍可能會處於閉門造車的窘境。因此若能提供更多公務出國或研習機會，除可了解國際技術脈動與交流外，更可增進國際觀，實際了解國際動脈，提升公司競爭力。

伍、具體成效

國際二氧化碳利用研討會是二氧化碳捕集、利用、封存和策略相關方面最著名的學術會議。隨著二氧化碳減量技術及相關政策制定，在應對全球氣候變化中的日益重要。經參加第十五屆「國際二氧化碳利用研討會」，除蒐集各國研究團隊發表的研發成果外，目前由於二氧化碳利用製程技術尚未具經濟效益，各國均在努力開發降低成本的製程。未來將會在技術開發的同時，創造二氧化碳利用的商業模式；需要藉由商業模式，才能使二氧化碳利用技術具有經濟價值。經由會場中的討論與交流，和與會的一些研究團隊有初步接觸，未來則可依據取得的聯繫方式，與其交流。