

出國報告（出國類別：開會）

赴日本參加第18屆台日觸媒交流研討會  
(18th Japan-Taiwan Joint Symposium on  
Catalysis)

服務機關：台灣中油股份有限公司煉製研究所

姓名職稱：姜鴻菊 化學師

派赴國家/地區：日本/福岡

出國期間：114年1月8日至114年1月12日

報告日期：114年2月8日

## 摘要

本次第 18 屆台日觸媒交流研討會的參訪主要目標是蒐集減碳相關資訊，並透過口頭報告提升公司在台日觸媒學術領域的能見度，促進交流合作。

研討會內容涵蓋熱觸媒、光觸媒、電觸媒及相關分析技術；其中，光觸媒雖有較多研究發表，但轉換效率較低，而熱觸媒的討論較少，主要由九州大學 Junji Nakamura 教授分享其低溫 Cu/ZnO 觸媒的研究成果。

### 建議與未來方向：

1. 氫能選擇：綠氫雖具潛力，但大規模應用仍具挑戰，藍氫或灰氫可作為過渡方案。
2. 熱觸媒發展：利用激發 CO<sub>2</sub> 彎曲振動來提升甲醇轉換率的低溫 Cu 基觸媒，具備應用潛力，可作為未來開發方向。
3. 電觸媒技術：建議公司持續關注該領域的最新發展，以保持競爭優勢。

# 目次

赴日本參加第18屆台日觸媒交流研討會 (18th Japan-Taiwan Joint Symposium on Catalysis)

## 內容

摘要.....	ii
目次.....	1
本文.....	2
一、 目的.....	2
二、 過程.....	3
三、 具體成效.....	5
1. 減碳技術情報蒐集與研究支援.....	5
2. 透過口頭報告提升公司能見度與技術形象.....	7
3. 促進台日學術與產業合作.....	8
四、 心得及建議.....	9
1. 研討會介紹.....	9
2. 研討會發表內容心得.....	9
3. 校園參訪心得.....	11
4. 對公司的建議.....	12
五、 口頭報告簡報.....	18

# 本文

## 一、目的

第 18 屆台日觸媒交流研討會於 114 年 1 月 9 日至 11 日，在九州大學筑紫校區舉行。本研討會由日本觸媒學會主辦，著重於觸媒科學與技術的新視野，匯集台日兩方的學者。

此行的主要行程包括全程參與研討會及進行簡報；發表題目為 "CPC Advanced Catalysis Center: Transforming Captured CO<sub>2</sub> into Methanol with Catalysis"，旨在分享公司在全球淨零碳排挑戰下所提出的策略，並介紹先進觸媒中心，及其在開發二氧化碳轉甲醇觸媒的研究成果，與台日兩國學者進行交流。透過參與國際會議和口頭報告，促進與學界的合作交流，並蒐集減碳相關觸媒技術的最新發展資訊，以支援公司相關研究，同時展現公司在觸媒領域的關注與投入，提升國際能見度。

派遣人員隸屬於煉製研究所技術服務組有機分析，專責於本所各單位之分析需求，協助解決新產品開發、製程優化、材料規範及污染源改善等問題。該人員為博士，畢業於日本北海道大學。

## 二、過程

- ◆ 1月9日至1月10日

主要行程為參加研討會，並進行口頭報告；期間贈送與會的日本學者由公司研發的生技產品作為紀念品，以促進雙方的交流與合作。

- ◆ 1月11日

前往伊都校區進行參訪，包括：國際碳中和能源研究院 (I<sup>2</sup>CNER)、超顯微解析研究中心。

表 1 行程紀要

日期	地點	工作內容
114/01/08	台灣-日本福岡	搭機前往
114/01/09	九州大學筑紫校區	參與第一天會議
114/01/10		參與第二天會議，並且進行口頭報告
114/01/11	九州大學伊都校區	校園參訪
114/01/12	日本福岡-台灣	搭機返回



圖 1 會議開場



圖 2 口頭報告



圖 3 研討會簡章與贈送研討會主辦人 Hisahiro Einaga 教授 (九州大學) 紀念品(右)



圖 4 I<sup>2</sup>CNER 參訪，圖中為所長 Tatsumi Ishihara 教授 進行簡報

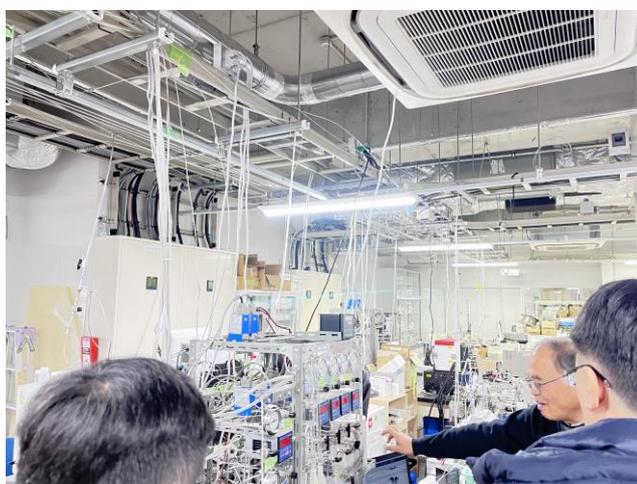


圖 5 參訪 I<sup>2</sup>CNER 實驗室

### 三、具體成效

#### 1. 減碳技術情報蒐集與研究支援：

透過參與研討會，蒐集相關觸媒技術發展趨勢，為公司碳利用研究提供支援。由於減碳已成為全球關注的焦點，在本次研討會發表的 36 篇論文中，有 11 位教授分享了與此相關的研究。其重點彙整如下表。

表 2 減碳相關發表彙整

講題	講者	研究觸媒或分析技術
Non-Reductive Conversion of CO <sub>2</sub> Mediated by Surface Oxygen Vacancy of CeO <sub>2</sub> Catalysts	台灣大學 游文岳 教授	CeO <sub>2</sub> 觸媒能高效催化 CO <sub>2</sub> 與醇的共聚反應，生成二烷基碳酸酯與聚碳酸酯低聚物。CeO <sub>2</sub> 催化作用的關鍵在於其表面氧空位，這些氧空位在反應過程中隨著吸附與脫附而動態形成與消失。本研究利用原位紅外光譜與 X 射線吸收光譜技術探討 CeO <sub>2</sub> 觸媒對 CO <sub>2</sub> 的非還原性活化，發現 CO <sub>2</sub> 可作為探針分子來識別 CeO <sub>2</sub> 的氧空位，並確認雙齒碳酸鹽 (bidentate carbonate)為非還原轉化過程中的關鍵中間體。
Proposal of Methanol Society -From basic research to application	九州大學 Junji Nakamura 教授	本研究探討甲醇作為能源載體的優勢，甲醇合成可在全球實施，並使用低成本的銅催化劑，反應條件溫和(250°C、50 atm)。本研究也介紹了 Cu/ZnO 甲醇合成觸媒的模型研究，發現 CuZn 合金活性位點可促進 formate 氫化，而 Cu 位點則透過 Eley-Rideal 機制將 CO <sub>2</sub> 轉化為 formate。此外，激發 CO <sub>2</sub> 彎曲振動模式可降低 LUMO 能級，提高其作為酸的反應性。我們正建立 Cu 基觸媒的甲醇合成反應中間體的勢能圖，以理解催化機制。
Cooperative dual single atom Ni/Cu catalyst for highly selective CO <sub>2</sub> -to-ethanol reduction	台灣科技大學 黃炳照 教授	電化學 CO <sub>2</sub> 還原為 C <sub>2</sub> 產物是一種具有潛力的減碳策略，雖然單原子觸媒具有獨特優勢，但分子級雙活性位點更能促進 C-C 耦合反應。本研究開發 Ni/Cu 觸媒 (Ni/Cu-PASC)，可作為高選擇性、高效能 CO <sub>2</sub> 轉化乙醇觸媒

講題	講者	研究觸媒或分析技術
		的新策略。
Switching the Selectivity of CO <sub>2</sub> Hydrogenation Over Supported Metal Catalysts by Phosphorous Loading	東京都立大學 Tetsuya Shishido 教授	Sabatier 反應 ( $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) 與逆水煤氣變換 (RWGS) 反應 ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ) 在常壓下競爭進行。本研究發現，磷修飾可調控 CO <sub>2</sub> 加氫產物選擇性，使金屬磷化物 (如 Rh、Ru、Pd、Pt) 觸媒選擇性促進 RWGS 反應，而 Rh/TiO <sub>2</sub> 主要促進 Sabatier 反應。
Operando understanding the dynamic behavior of electrocatalysts during CO <sub>2</sub> reduction	台灣大學 陳浩銘 教授	銅基觸媒在轉化 CO <sub>2</sub> 為碳氫化合物方面展現獨特性質，然而目前銅基觸媒在 CO <sub>2</sub> RR 反應中實現高選擇性仍面臨重大挑戰，主要因其涉及多步質子-電子轉移，使觸媒呈現動態變化且難以預測。本研究開發秒級時間解析原位 X 射線吸收光譜技術研究觸媒表面動態變化之分析技術 (CO <sub>2</sub> RR)，以揭示觸媒在實際條件下可能呈現的動態變化。
Photocatalytic Reforming of Methanol and CO <sub>2</sub> into H <sub>2</sub> and C <sub>2</sub> Compounds	成功大學 鄧熙聖 教授	光催化重整 CO <sub>2</sub> 及 C <sub>1</sub> 化合物以生成 C <sub>2</sub> 產物與 H <sub>2</sub> ，被視為減碳潛在策略。助觸媒 CoP 與 Pt 可促進乙二醇與乙酸生成，並提升光催化甲醇重整效率。在高濃度 CH <sub>3</sub> OH 下，光電子將 CO <sub>2</sub> 還原為 $\cdot\text{CO}_2^-$ ，再轉化為甲酸鹽或乙酸鹽。當 CH <sub>3</sub> OH 與 CO <sub>2</sub> 濃度相近， $\cdot\text{CH}_3\text{OH}$ 與 $\cdot\text{CO}_2^-$ 偶聯反應生成乙酸為主。本研究顯示，提高供體濃度可加速 CO <sub>2</sub> 轉化，但會降低產物選擇性。
Visible-light driven polymer precursor synthesis from gaseous CO <sub>2</sub> with hybrid catalytic system	大阪公立大學 Yutaka Amao 教授	生物可分解塑膠因可減少污染而備受關注，其中，PHB 和 PBS 基塑膠因可堆肥化且來自可再生資源而具吸引力。本研究介紹一種可見光驅動的觸媒系統 (EOA, ZnTPPS, $[\text{Cp}^*\text{Rh}(\text{bpy})(\text{H}_2\text{O})]^{2+}$ , NAD <sup>+</sup> 與生物觸媒)，用於丙酮和 CO <sub>2</sub> 合成 3-羥基丁酸 (可分解塑膠前

講題	講者	研究觸媒或分析技術
		體)，展示混合催化技術於綠色塑膠生產的應用。
Vibrational Spectroscopy at Electrified Interfaces: Electrochemical Catalytic Reaction and Li-ion Batteries	台灣大學 吳恆良 教授	固液界面反應對電催化劑與電池材料的性能與穩定性至關重要。本研究討利用原位表面增強紅外吸收光譜、拉曼與 X 射線吸收光譜研究 Cu 基觸媒的電化學 CO <sub>2</sub> 還原機制，並探討表面吸附 COO 物種在還原過程中的作用。
Nanocatalysts for a low-carbon society: upgrading chemicals through electrochemical hydrogenation	九州大學 Miho Yamauchi 教授	電化學 CO <sub>2</sub> 還原 (eCO <sub>2</sub> R) 利用水作為氫源，被視為一種碳循環技術。本研究評估氫氧化物修飾銅 (OH/Cu) 電極表面的 OH 含量，並建立其與 CH <sub>4</sub> 和 C <sub>2</sub> <sup>+</sup> 產物選擇性的關聯，設計超疏水大孔銅氣體擴散電極 (Cu-GDE)，在酸性電解質中可達 87%的 C <sub>2</sub> <sup>+</sup> 法拉第效率。
Artificial photosynthesis by heterogeneous photocatalysts -Photocatalytic reduction of CO <sub>2</sub> by H <sub>2</sub> O as an electron donor	京都大學 Kentaro Teramura 教授	本研究透過使用氫生成抑制劑與 CO 捕獲材料，開發利用 H <sub>2</sub> O 作為電子供體的高選擇性 Ag 基光觸媒，並透過 <sup>13</sup> CO <sub>2</sub> 同位素實驗證實 CO 來源來自氣相 CO <sub>2</sub> 。
Optimizing TiO <sub>2</sub> -Bi <sub>2</sub> WO <sub>6</sub> Composites for CO <sub>2</sub> Photoreduction	逢甲大學 曾怡享 教授	本研究調控 Bi <sub>2</sub> WO <sub>6</sub> 的結構與形貌，摻入不同量的 TiO <sub>2</sub> ，製備 TiO <sub>2</sub> -Bi <sub>2</sub> WO <sub>6</sub> ，應用於光催化 CO <sub>2</sub> 還原，並透過 SEM 探討形貌變化對 CO <sub>2</sub> 親和力與活性自由基生成率的影響。

發表的內容涵蓋熱觸媒、光觸媒、電觸媒及其分析技術。其中，光觸媒的效率相對較低，因此預期後續研究趨勢會往在電觸媒集中，至於熱觸媒，在研討會中討論較少，主要由九州大學的 Junji Nakamura 教授發表相關研究成果。

## 2. 透過口頭報告提升公司能見度與技術形象：

本次口頭報告 (如五、口頭報告簡報) 主要展示公司在淨零排放目標上的策略與觸

媒技術的投入。重點介紹內容如下：

**(1) 台灣觸媒產業發展的推動**

為推動觸媒產業國產化，2021 年在煉研所成立的先進觸媒中心(ACC)，整合國內研究機構與產業資源，積極投入「減碳經濟」、「節能環保」及「綠色產品」相關研發，其中「減碳經濟」為開發二氧化碳轉甲醇觸媒；「節能環保」為開發 DeNO<sub>x</sub> 觸媒；「綠色產品」為開發加氫轉化觸媒。

**(2) 轉甲醇觸媒技術研發成果**

ACC 透過自主開發改良的 Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 觸媒，提升 CO<sub>2</sub>轉換效率，並在 2023 年在煉油廠設立 CCU 模廠，利用煙道氣與氫氣作為原料，進行實地驗證；每日可捕捉約 20 公斤 CO<sub>2</sub>並生產 3 公斤甲醇，證明技術具實際應用性，同時展示由灰氫轉藍氫的潛在可能。

這些技術創新與示範成果的發表，有助於提升公司品牌形象，並透過國際學術會議展現，可進一步加強公司在該領域的專業形象，提升國際影響力。

**3. 促進台日學術與產業合作：**

透過與台日學者的交流，建立聯繫並探討可能的技術合作方向，為未來的產學合作或技術引進奠定基礎。

## 四、心得及建議

以下將依序介紹本次研討會的背景、對發表內容及校園參訪的心得，以及相關建議。

### 1. 研討會介紹

本次研討會可追溯至 1982 年，由台日觸媒學會共同主辦，主要推動者為北海道大學 田部浩三教授與國立台灣大學 雷敏宏教授。此次北海道名譽教授 服部英，同時也是觸媒學會的退休會員，特別提出當年 雷敏宏教授曾請 2010 年諾貝爾獎得主 鈴木章教授推薦觸媒學者，鈴木教授推薦他北海道大學的好友田部教授，雙方開始探討台日間的合作模式，進而促成該交流研討會的成立。服部教授指出，許多類似的雙邊會議往往因經費問題難以持續超過十屆，而本研討會迄今已成功舉辦 18 屆。

目前，研討會依循台灣與日本輪流辦理的模式，與會者多為專注於觸媒相關研究的學者。本屆（第 18 屆）會議在九州大學舉行，邀請了 18 位台灣及 18 位日本學者進行發表，除了研究發表外，亦提供交流平台。預計下一屆研討會將於兩年後在台灣中山大學舉辦。

### 2. 研討會發表內容心得

本次會議的講者皆為觸媒領域的學界專家，與會人數不多，會議簡報未對外公開。

關於減碳議題的相關發表，心得整理如下：

#### (1) 碳排放挑戰，關鍵在能源

燃燒煤炭與油氣所產生的 CO<sub>2</sub> 已成為人為溫室氣體排放的主要來源，由於排放量大大加劇全球暖化，導致氣候變遷，進而影響能源政策與工業競爭力。雖然水蒸氣也是溫室氣體之一，但其全球暖化潛勢（GWP）低，且能隨降水從大氣中移除；相較之下，CO<sub>2</sub> 則會長期累積於大氣中，吸收中紅外光。圖 6 顯示了大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度的變化，自 1960 年以來，CO<sub>2</sub> 濃度已大幅增加約兩倍。

#### (2) CCU 與再生能源

為應對減碳需求，利用碳捕集與利用(CCU)將 CO<sub>2</sub> 轉化為甲醇，展現出極大潛力。甲醇不僅可作為能源載體、燃料，也可作為化學品原料，在降低排放源碳排放的同時創造經濟價值。此技術的核心在於氫氣供應及觸媒應用，其中綠氫成本很高，使用藍氫或灰氫是目前比較可行的做法，Cu/ZnO 為常見轉甲醇的觸媒，材料成本較低，已被廣泛使用。

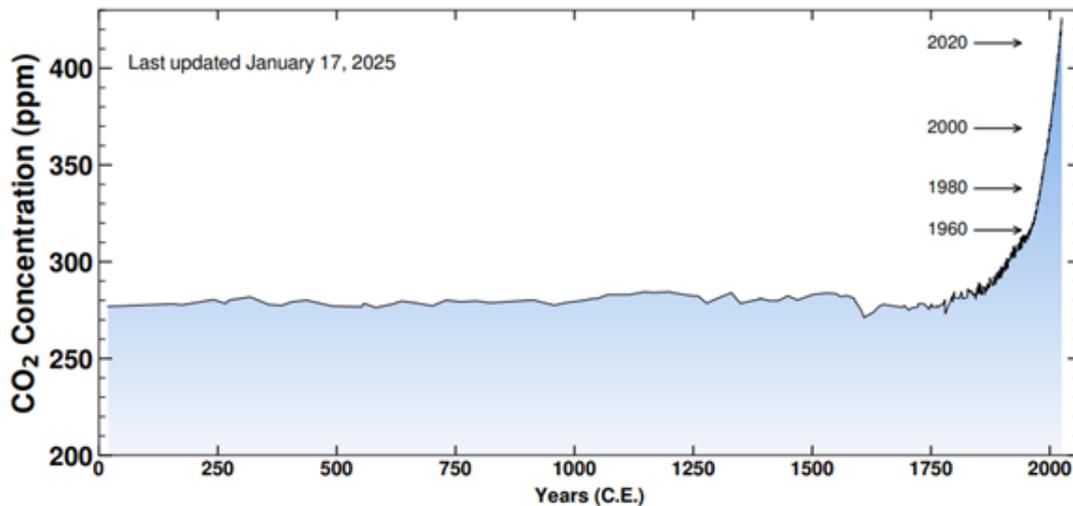


圖 6 大氣中 CO<sub>2</sub> 濃度變化(圖片來源:Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego)

### (3) 甲醇轉換率

由於 CO<sub>2</sub> 轉甲醇反應屬放熱反應，降低反應溫度能顯著提升轉化率。目前常見的 Cu/ZnO 觸媒反應條件約為 50 Bar 壓力與 250°C，在此條件下，甲醇的平衡轉化率約 20% (圖 7)。

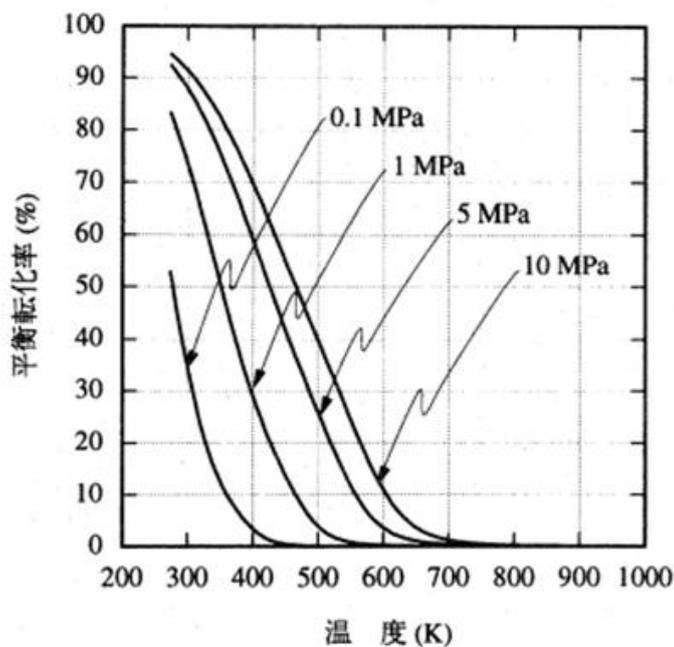


圖 7 CO<sub>2</sub> 轉甲醇反應的平衡轉化率

(圖片來源：大山聖一，日本エネルギー学会誌，74, 137 (1995).)

在 CO<sub>2</sub>轉甲醇的反應機制中，formate 中間物的生成為關鍵步驟。九州大學 I<sup>2</sup>CNER 附屬三井化學碳中和研究中心的 Junji Nakamura 教授，透過 CO<sub>2</sub> 分子束實驗，佐證生成過程符合 Eley - Rideal 機制(即吸附態氫與氣態 CO<sub>2</sub>反應)，並提出透過激發 CO<sub>2</sub>分子彎曲振動(圖 8) 促進 formate 中間物生成的方式，增加 CO<sub>2</sub>活化，降低反應溫度並提升甲醇轉換率。

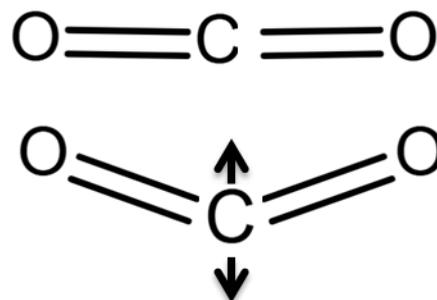


圖 8 CO<sub>2</sub>彎曲振動

### 3. 校園參訪心得

本次行程參訪兩處代表性的研究單位，分別為國際碳中和能源研究院 (I<sup>2</sup>CNER) 與超顯微解析研究中心，以下為參訪重點心得：

#### (1)國際碳中和能源研究院 (I<sup>2</sup>CNER)

I<sup>2</sup>CNER 於 2010 年在日本政府文部科學省 WPI (World Premier International Research Center Initiative) 計畫下成立，即以「Carbon-Neutral Energy」為核心理念，發展了高效太陽能電池與電解氫氣技術，亦著力於 CO<sub>2</sub>捕捉與轉換技術的研發。(說明：WPI 由日本政府文部科學省於 2007 年啟動，目標是在日本建立「全球知名」的研究中心，吸引來自世界各地研究人員。目前 WPI 共有：AIMR、Kavli IPMU、iCeMS、IFReC、MANA、I<sup>2</sup>CNER、IIS、ELSI、ITbM、IRCN 和 NanoLSI 等)

該中心研究重點方向包括：

- ◆ 先進能源材料推廣計劃(Advanced Energy Materials Thrust)：基於表面、界面和微結構的新科學，開發分子、奈米和塊體材料，用於涉及 H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 的應用。
- ◆ 先進能源轉換系統推力(Advanced Energy Conversion Systems Thrust)：降低碳排放、提高能源效率或兩者兼具的系統的發展和演變。
- ◆ 能源與環境多尺度科學與工程(Multiscale Science and Engineering for Energy and the Environment Thrust)：整合日本和世界能源轉型面臨的一系列挑戰，即從主要依賴化石燃料的能源技術向碳中和或無碳能源供應的轉變。

實驗室內配備各類反應器及原位分析設備，其設備數量與分析能力遠超常規實驗室，展現出極高的研究實力。

## (2) 超顯微解析研究中心

此研究中心 2014 年成立，備有多台 TEM、SEM (表 3)，以及多種樣品製備儀器 (表 4)；透過電子顯微鏡技術，解析材料在各種環境 (如不同溫度、壓力、磁場及電場等) 下的機制。此次特別參觀超高壓電子顯微鏡 (圖 9)，為全球唯一具有 Omega 型電子分光裝置與 SDD 型 X 射線偵測器的 TEM，約有兩層樓高，並因應當地地震頻繁而採用懸浮技術，具有影像、元素分析、3D 掃描等功能 (圖 10)。該中心除可供學校內部人員使用外，外部人員亦可申請使用 (表 5)。

## 4. 對公司的建議

經過本次研討會與參訪，提出以下建議，供公司參考：

### (1) 氫能選擇與應用

綠氫雖然備受關注，但部分學者認為難以大規模應用。因此，評估藍氫或灰氫作為過渡方案，為較可行作法。

### (2) 熱觸媒技術發展

雖然熱觸媒在學界的討論較少，但在工業上仍被廣泛應用；九州大學 Junji Nakamura 教授提出的低溫 Cu 基觸媒，具有應用潛力，可作為未來觸媒開發的參考方向。

### (3) 電觸媒技術趨勢

電觸媒技術已成為重要研究方向，未來的研究趨勢預計將持續聚焦於此領域。建議公司持續關注該領域的最新進展，以保持競爭優勢。



加速電壓 最小-最大 (kV)	400,600,800,1000,1250
電子槍	LaB6
TEM 影像解析度 (nm)	0.12 point 0.10 lattice

圖 9 超高壓電子顯微鏡

表3 電子顯微鏡一覽表

Compare the Microscopes in detail

	High Voltage TEM JEM-1300NEF	Atomic Resolution Analytical TEM JEM-ARM200CF	Cs-Corrected STEM/TEM JEM-ARM200F	3D tomography TEM JEM-3200FSK	Lorenz TEM TECNAI G2-F20	Digital TEM TECNAI-20	Holography TEM HF-3300X	Conventional TEM JEM-2100HC	Conventional TEM JEM-2000EX	Micro-Calorimeter FESEM TES+ULTRA55	
Installation location	ITO Campus · CE20	ITO Campus · CE21	ITO Campus · CE21	ITO Campus · CE21	Chikushi Campus	ITO Campus · CE21	ITO Campus · CE21	ITO Campus · CE21	ITO Campus · CE21	ITO Campus · CE21	
Accelerating voltage	400,600,800,1000,1200	30,60,80,120,200	60,80,120,200	300	100-200	100-200	100,200,300	100,120,200	80-200	0.1-30	
Emission Gun	LaB6	C-FEG*2	T-FEG*1	T-FEG*1	T-FEG*1	LaB6	C-FEG*2	LaB6	W	T-FEG	
TEM resolution(nm)	0.12 point 0.10 lattice	0.11 point 0.10 lattice	0.11 point 0.10 lattice	0.26 point 0.14 lattice	0.24 point	0.24 point	0.14lattice	0.31 point 0.14 lattice	0.35 point	1.0-4.0 SEM image	
STEM	minimum probe diameter	1.6 nm	0.1 nm	0.2 nm	4 nm	0.3 nm	2 nm	-	-	-	
	HAADF	-	○	○	-	○	-	-	-	-	
	ABF	-	○	○	-	-	-	-	-	-	
XEDS	type	SDD	SDD	SDD	Si(Li)	Si(Li)	Si(Li)	-	-	TES	Si
	solid angle	0.07 sr	2.0 sr	0.8 sr	0.22 sr	0.13 sr	0.13 sr	-	-	0.0022 sr	0.026 sr
	energy resolution	130 eV	130 eV	130 eV	140 eV	140 eV	140 eV	-	-	20 eV	130 eV
EELS	Ω	Gatan Imaging Filter	Gatan Imaging Filter	Ω	-	-	Gatan Imaging Filter	-	-	-	
3D tomography	○	○	-	○	○	○	-	○	-	-	
Sample inclination angle	X:±70 Y:±20	X,Y:±25	X,Y:±25	X:±70 Y:±30	X:±80 Y:±30	X:±80 Y:±25	X:±15 Y:±15	X:±38 Y:±30	X:±45 Y:±30	T:-3~70 R:360	
Convergent electron diffraction	△	○	○	-	○	○	-	-	-	-	

\*1 Thermal Field Emission Gun

\*2 Cold Field Emission Gun

表 4 樣品製備相關設備

<b>equipment</b>	<b>function</b>
<a href="#">Helios 5 UX</a>	TEM sample preparation / 3D-SEM / EBSD / Air-Free Transfer / Auto TEM sample prep.
<a href="#">MI4000L</a>	TEM sample preparation / 3D-SEM
<a href="#">Quanta 3D 200i</a>	Samples can be extracted from the necessary location in the sample
<a href="#">GATAN PIPS II M-695</a>	Preparation of disk-shaped electron microscope sample / Low-angle ion irradiation / Polishing with low acceleration voltage
<a href="#">Fischone NanoMill Model1040</a>	Preparation of sample with little damage layer / Removal of damage layer produced due to FIB polishing
<a href="#">JEOL Ionslicer EM-09100 IS</a>	Preparation of thin-film sample via Ar ion irradiation / Enables conversion of wide visual field to a thin film
BUEHLER Isomet 11-1280-170	Cutting of bulk samples
Gatan Model 601	Cutting out a 3 mm $\phi$ disk from a sheet sample
Gatan NISSEI Model 656N	Making depressions in a 3 mm $\phi$ disk-shaped sample / Pre-treatment for Ar-ion polishing
VCR GROUP Incorporated D500i	
Solarus II Gatan Model 955	Contamination reduction with the use of RF plasma
SANYU SVC-700TURBO-TM	Sample preparation using vacuum deposition / Surface coating / Cleaning of TEM apertures, etc.
JEC 560	Pre-treatment for TEM-SEM observation of insulator sample
EC 32010CC	
JFC 1600	Prevention of electrostatic charge by coating the surface of an insulation sample with carbon
D II -29020HD	Prevention of electrostatic charge by coating the surface of an insulation sample with metal Hydrophilization of the surface of TEM grids / Hydrophilization of sample support stand for SEM Hydrophilization of diamond knife (for ultramicrotomy)

# H

## igh Voltage TEM

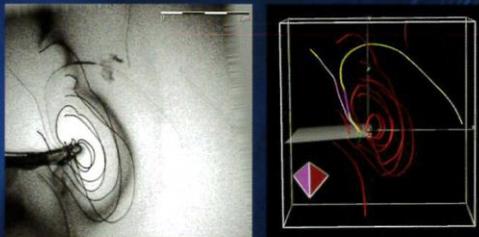
### 超高圧電子顕微鏡

#### KEYWORDS

High Voltage Electron Microscope (400 - 1300 kV), In-column OMEGA filter, EELS, STEM, Nano-Beam, SDD XEDS detector, 3D Tomography, Network Remote Control, Pulsed LASER light illumination system, in-situ observation on Heating, Cooling and Straining

世界唯一のオメガ型電子分光装置ならびにSDD型X線検出器を装着した超高圧電子顕微鏡。像観察とともに元素組成・状態分析が可能。マイクロメートル級の厚さの無機・金属材料の高分解能観察と元素分析や3次元トモグラフィ解析が可能である。レーザー・パルス光照射装置付きであり、光励起過程のその場観察も可能。加熱、冷却(液体窒素、液体ヘリウム)、加熱引っ張り実験が可能。コンピュータによる遠隔操作対応。

High voltage transmission electron microscope equipped with an omega-type energy filter and a high solid angle X-ray detector of SDD type. With the use of the high energy electron beam and the omega energy filter, the inner structure of thick specimens in the order of several  $\mu\text{m}$  are observable at high resolution together with the analysis of chemical composition and bonding states. The ability of thick specimen observation allows 3 dimensional tomography analysis in a large volume. Pulsed LASER light illumination system allows in-situ observation of light-induced behaviors in nano scale.



Si 結晶の亀裂先端の転位の電顕像とトモグラフィによって得られた3次元再構築構造(田中将己ほか)



圖 10 超高壓電子顕微鏡簡介

表5 外部人員申請使用方式

# Opportunity of collaborative use 学外からの設備利用の制度

## 1 文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ事業 (ARIM) (2022-2030年度)

### Advanced Research Infrastructure for Materials and Nanotechnology (ARIM)

九州大学はARIM事業における6つのハブ機関(九大、東北大、東大、名大、京大、NIMS)の1つとして、次世代ナノスケールマテリアル分野におけるデータ収集・蓄積・構造化・利活用のインフラを整備し、スポーク機関となる信州大や横断技術領域の機関等との連携のもと、事業を実施しています。

#### 研究支援内容

機器利用 技術補助 技術相談 共同研究 教育・研修 情報提供

ARIMは、先行事業である文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業で実施された先端機器の共用を継承するとともに、その研究支援で得られたデータ(課題利用者の同意のもとで得たデータ)を蓄積し、将来的にはそれを公開・共有することを想定した「機器利用」と「データ利活用」が一体化された事業です。

- 機器利用料 : 本事業の方針により「データ提供あり」の場合、「データ提供なし」の場合の二系統が適用。
- 利用成果の公開 : データ提供の有無にかかわらず、年度終了時に所定の形式・方法に従った利用内容の公開(利用報告書等の作成・公開)が必要。(最長2年までの公開猶予可能)

The Ultramicroscopy Research Center (URC), a member of ARIM, provides proactive and creative support in research planning and execution of research on characterization of nanomaterials by opening the equipment in the URC to researchers outside of Kyushu University. The researchers can use the equipment by themselves or being assisted by URC staff for a fee. The users have to submit usage reports at the end of the year. The reports will be made public.

URL: <https://nano.kyushu-u.ac.jp/arim/>

E-mail: [nano\\_hvem@hvem.kyushu-u.ac.jp](mailto:nano_hvem@hvem.kyushu-u.ac.jp), TEL/FAX:092-802-3489



## 2 会員制研究支援組織 「先端電子顕微鏡フォーラム」

### The Forum for Advanced Electron Microscopy

大学、各種研究機関、企業の研究者・技術者を対象とした会員制のフォーラムで、特にC会員は九州大学超顕微鏡解析研究センターが所有する各種電子顕微鏡、試料作製装置などを利用できます。

#### 会員サービス内容

技術相談 情報サービス 教育・研修 研究・技術支援(機器利用)

- A/B/Cの3通りの会員制、年会費とサービス内容
  - ・ A会員:24万円/技術相談、情報サービス
  - ・ B会員:48万円/上記にプラスして、教育・研修(一定限度内で研修受講が無料)
  - ・ C会員:90万円/上記にプラスして、研究・技術支援(年間20時間の機器利用を含む)  
※年間20時間を超える機器利用の場合は追加料金が発生
- 利用成果についての報告は不要で、内容は非公開とすることができます。
- 九州大学超顕微鏡解析研究センターと九州大学学術研究都市推進機構(OPACK)が共同で運営、電子顕微鏡を中心としたナノテク・材料研究の産学官交流・連携を促進します。



This forum is operated with assistance from Organization for Promotion Academic City by Kyushu University (OPACK), offering technologies and information services to researchers outside of Kyushu University. These services (concerned with electron microscope) cover (a) consultations and information services, (b) technical seminar with operational training and (c) use of advanced equipment (No need to submit usage reports. The results are not disclosed.) Users should be members of the forum. There are 3 types of annual membership and each fee are different.

- "A" member can receive information and consulting service. (a)
- "B" member can take seminar and operational training in addition to "A". (a)+(b)
- "C" member can use equipment for 20 hours a year in addition to "B". (a)+(b)+(c)

URL: [https://www.opack.jp/advanced\\_electron\\_microscopy/](https://www.opack.jp/advanced_electron_microscopy/)

E-mail: [info@opack.jp](mailto:info@opack.jp), TEL:092-805-3677 / FAX:092-805-3678

3

「顕微イメージングソリューションプラットフォーム」(2021-2025)

Microscopic Imaging Solution Platform

「顕微イメージングソリューションプラットフォーム」は、世界唯一で最先端の高分解能・高感度イメージング装置の共用により、基礎物理からマテリアル、バイオ、環境、エネルギー、宇宙までの幅広い分野における物質の構造からその機能(元素・同位体・電磁場などの分布)まで多面的な顕微イメージングソリューションを提供します。九州大学超顕微解析研究センターは当該プラットフォームを構成する国内の8機関のひとつとして、ホログラフィー電子顕微鏡の装置共用を通じ課題解決に貢献します。

The Microscopic Imaging Solution Platform aims to provide multifaceted solutions through sharing state-of-the-art imaging equipment for extensive use in solving problems in various research fields into physics, materials, biologic, environment and space physics.

URL: <https://www.imaging-pf.jp/>



# Electronic microscope training courses for users

## 利用者のための電顕研修制度

超顕微解析研究センターでは、共同利用者の教育研究の高度化と、円滑な運営を促進するために、利用者を対象に「電子顕微鏡技術研修会」を開催しています。

### 【研修コースと内容】

研修コース	対象者 および 内容	開催頻度
基礎	初めてセンターを利用する学生・研究者: 電顕の原理についての学習、電顕使用・課題解決能力の習得、電顕の操作実習	4月~12月 月1回
応用	基礎コース習得レベルの学生・研究者: 専門テーマ毎の技術習得(7つの電顕法) <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: flex; flex-wrap: wrap;"> <span style="margin-right: 10px;">①超高压電顕</span> <span style="margin-right: 10px;">②走査透過電顕</span> <span style="margin-right: 10px;">③高分解能電顕</span> <span style="margin-right: 10px;">④電子回折</span> <span style="margin-right: 10px;">⑤分析TEM</span> <span style="margin-right: 10px;">⑥分析SEM</span> <span style="margin-right: 10px;">⑦FIBによる試料作製</span> </div> <small>(R5.4月現在)</small>	各テーマ 年1回
個別研修	応用コース習得レベルの学生・研究者: 特化した電顕法・自立的な研究推進能力の習得	(随時応談)

Beginner TEM course is held monthly which is compulsory for new users.

Advanced TEM training courses of (1) HVEM, (2) Scanning TEM, (3) High resolution TEM, (4) Electron diffraction, (5) Analytical TEM, (6) Analytical SEM, (7) FIB specimen preparation are held once a year.

## 五、口頭報告簡報



台灣中油股份有限公司  
CPC Corporation, Taiwan



煉製研究所

18th Japan-Taiwan Joint Symposium on Catalysis

# CPC Advanced Catalysis Center: Transforming Captured CO<sub>2</sub> into Methanol with Catalysis

Presenting on behalf of Tsai Ming-Chang, Director of RMRI, CPC

**Chiang, Hung-Chu**  
台灣中油煉製研究所  
Refining & Manufacturing Research  
Institute (RMRI),  
CPC Corporation, Taiwan  
2025.1.10



品質、服務、貢獻



煉製研究所

### Speaker :

姜(チャン)鴻菊 研究者

- RMRI 技術サービスグループ  
有機分析Lab (2020年~)
- Focusing on
  - Handle analytical needs across departments.
  - Assist in solving issues related to:  
New product development, Process  
optimization, Pollution control
- 北海道大学 環境科学院  
(2010年至2013年)



煉製研究所  
(RMRI)

三研究所  
Chiayi



## Outline

### Background :

CPC Advanced Catalysis Center

Carbon capture, utilization and storage(CCUS)

Study of Methanol Catalyst

Summary : Net-Zero Future

## About CPC

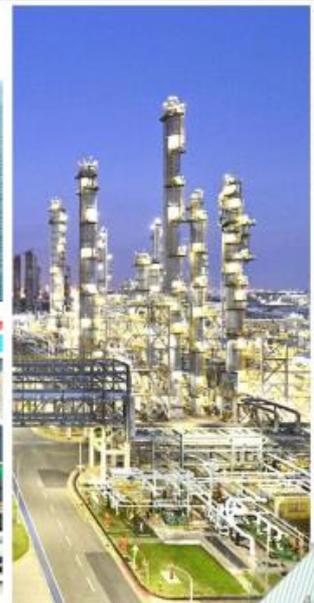
### ■ STATE-OWNED ENTERPRISE

### ■ Primary business

- import, exploration, development, refining, storage, transportation, and sale oil and gas, as well as the supply of petrochemical raw materials

### ■ Core Mission

- stabilizing domestic oil and gas supply
- in line with government's policies



# CPC's Challenge

- Since COP26, achieving net zero emissions by 2050 has become a global commitment, and in 2021 the Taiwanese government published Taiwan's Pathway to Net-Zero Emissions in 2050
- The refining industry is considered as hard-to-abate because it heavily relies on fossil fuels



# Advanced Catalysis Center(ACC)

- In 2021, CPC established ACC at RMRI to unite industry, government, and academia in promoting domestic catalyst industry
- Supporting carbon reduction policies
- Breaking Taiwan's Dependence on Imported Catalysts



## R&D in ACC



### Carbon reduction economy

- Developing a catalyst for converting captured carbon dioxide into methanol

### Energy conservation and environmental protection

- Honeycomb DeNOx Catalyst Regeneration Technology

### Green product

- Developing High Value-Added Green Oil Products Using Hydroconversion Catalyst

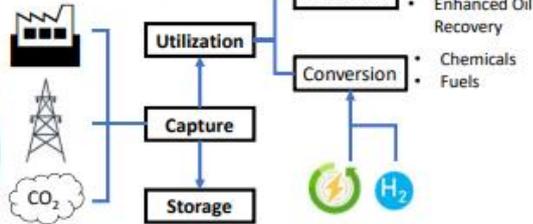
Source : CPC

7

## Carbon reduction through CCUS

- CCUS is a process of capturing carbon (anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions) to be used or stored underground and is important for achieving net zero ambitions.
- Despite the regulatory efforts, the high cost of capture impacts its large-scale deployment.

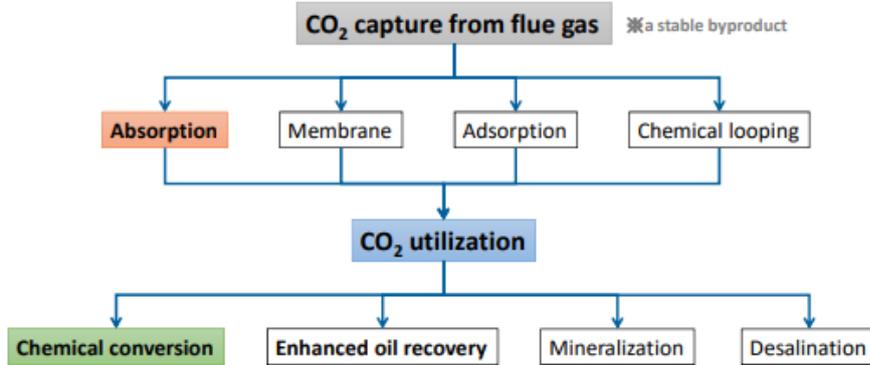
### Sources for CO<sub>2</sub>



8

## CO<sub>2</sub> Reuse in Refineries

- The utilization of captured CO<sub>2</sub> is potentially more desirable than storage
- Absorption-based capture : The most mature separation method in oil industry
- CO<sub>2</sub> conversion into fuels is considered a solution to emission reduction and energy demand



## Assessment of CO<sub>2</sub> Utilization

### Assessment Based on Technology Readiness Level (TRL)

- **Promising Products**

※ demonstration scale or commercial scale

- 1) Methanol
- 2) Methane (GWP 30)

- **Key Challenges :**

CO<sub>2</sub> is hard to convert.  
Requires heat and catalysts.

Maturity of utilization technologies  
(non-exhaustive)

CO <sub>2</sub> -Based compound	TRL
Dimethyl ether	1-3
Ethanol	1-2
Formaldehyde	1-2
Formic acid	3
<b>Methane</b>	7
<b>Methanol</b>	8-9

A non-exhaustive list of existing e-Methanol & e-Methane plants



The Renewable CO<sub>2</sub>-to-Methanol Plant of CRI in Iceland  
Capacity (t/y) :4000



The e-gas plant of Audi in Germany  
Capacity (t/y) :2800

Source : doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.096 CRI, Audi

## Study of Methanol Catalyst

### Industrial Methanol Production

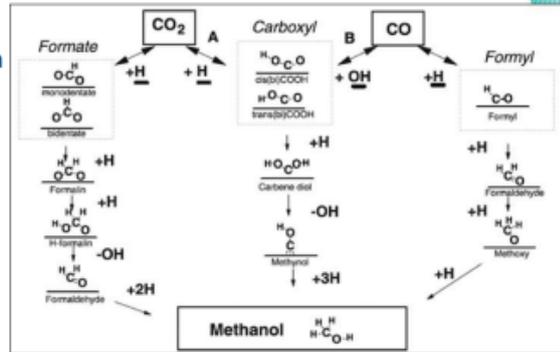
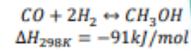
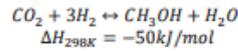
- Primarily relies on a **Cu-based** catalyst, using syngas—a mixture of CO, CO<sub>2</sub>, and hydrogen—as the feedstock. This type of catalyst can also be used to convert captured CO<sub>2</sub>

### Active Site (Under debates) :

- Interface between Cu and ZnO

### Mechanism (Wildly accepted) :

- Formate Mechanism : CO<sub>2</sub> reacts with hydrogen to form HCOO\*, which eventually converts to methanol



Reference: Jiang et al., Chem. Rev. 2020, 120, 15, 7984–8034 . 11

## Design of catalyst

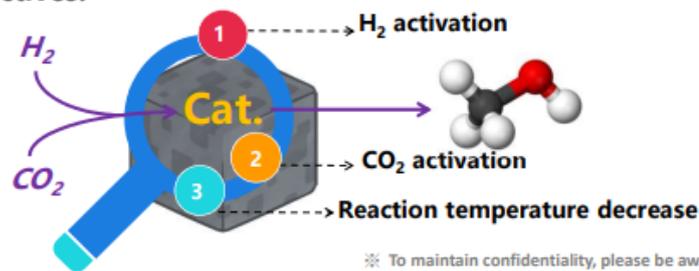
### Base Catalyst

- Copper Oxide (CuO), Zinc Oxide (ZnO), Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

### Modification

- Adjust formulas and promoters

### Objectives:



※ To maintain confidentiality, please be aware that certain upcoming content will be represented using codes

## Development of CO<sub>2</sub> to Methanol Catalyst

### ■ Preparation of catalyst

- Catalysts were prepared using co-precipitation and/or impregnation



Component	CuO	ZnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Promoter-A	Promoter-B	Promoter-C	Promoter-D
Benchmark (unmodified catalyst)	●	●	●				
C-1	●	●	●	●	●		
C-2	●	●	●	●	●	●	
C-3	●	●	●	●	●		●
C-4	●	●	●	●	●	●	●

13

## Performance test of Methanol Catalyst

- Results from catalyst testing demonstrate the effects of promoters under the reaction condition
- Optimization of the catalyst is still continuing

Item	Temperature (°C)	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	S.V. (h <sup>-1</sup> )	Conversion (%)	Selectivity (%)	Yield (%)
Benchmark	250	50	10,000	Base	Base	Base
C-1	250	50	10,000	4	11	5
C-2	250	50	10,000	5	14	7
C-3	250	50	10,000	4	17	7
C-4	250	50	10,000	7	15	8

14

## CCU Pilot Plant overview

### ■ CCU Pilot Plant Establishment

- Alongside the catalyst development, ACC set up a CCU pilot plant at Da-Lin Refinery
- Construction in 2023

### • Feedstock

- Flue gas and hydrogen from the hydrogen plant

### ■ Purpose of the Facility

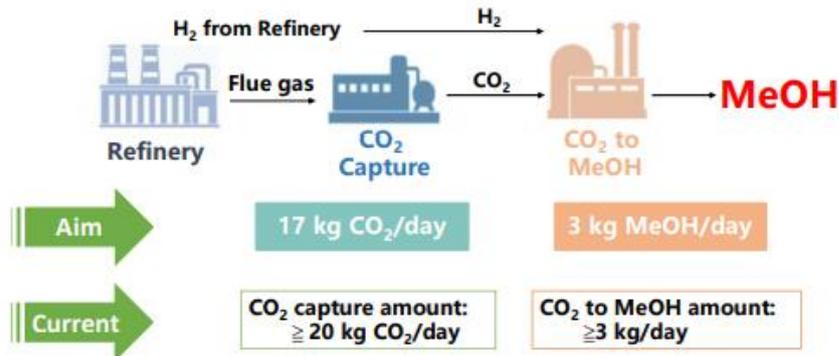
- To evaluate the activity of absorbent and catalyst



15

## Pilot Plant Testing Goals and Results

- Recent trials showed the pilot plant testing successfully met the design requirements
- After regeneration, the captured carbon dioxide concentration > 99%



16

**Summary(1)**

**Carbon reduction upgrade**

- Short-term: increase energy efficiency; carbon neutral oil/gas
- Medium-term: carbon capture/carbon storage
- Long-term: carbon utilization

**Fuel upgrade**

- Short-term: oil to petrochemical
- Medium-term: petrochemical to high-value materials
- Long-term: new materials

**Clean energy**

- Short-term: natural gas
- Medium-term: photovoltaic/geothermal/cold energy
- Long-term: hydrogen power

**■ CPC's low-carbon green energy transformation strategy**

Source : 2024 CPC CSR 17

**Summary(2)**

- During this transition phase, CPC continues to expand its operations
- As part of our diversification efforts, CPC developed 米白素 (MiBlancSol® Taiwan patent No. I838147), a product with whitening and antibacterial properties designed for skincare products
- To enhance international exchange, we have prepared trial products of MiBlancSol as a token of appreciation for Japanese scholars

Source : CPC 18



*Thank you*

