

出國報告（出國類別：開會）

## 赴日本參加 **HEET 2018** 會議及參訪出國報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：邱耀平 研究員

派赴國家/地區：日本/京都，名古屋

出國期間：107 年 11 月 13 日~107 年 11 月 17 日

報告日期：107 年 12 月 27 日



## 摘 要 (200-300 字)

本次公差主要係赴日本參加 HEET 2018 會議，並發表研究論文；另順道參訪地球環境產業技術研究機構 (RITE)，進行技術發展之交流。本次 HEET 會議重點聚焦在**氫能與能源技術**等議題，如產氫、燃料電池、熱化學轉換、觸媒合成、能源載體等，為其**能源潔淨轉換程序**提供了**重要平台**。此類主題**契合國內能源轉型**內容，**具備未來性與競爭力**，建議**應持續推動相關技術研發計畫**。筆者於會議中發表**生質物氣化實驗**之研究論文，探討產氫效能，有助於未來**國際合作及跨領域之整合**。另外，台灣碳捕存再利用協會 (TCCSUA) 與日本 RITE 有簽訂 MOU，筆者代表 TCCSUA 參訪 RITE，有助於未來推動國際合作；討論重點項目涵蓋其**優勢領域**，如二氧化碳分離、儲存和回收技術，**呼應巴黎協議**宣言，有助於實現**永續發展**。

# 目 次

## 摘 要

(頁碼)

一、目 的 . . . . .	1
二、過 程 . . . . .	3
三、心 得 . . . . .	6
四、建 議 事 項 . . . . .	48

# 一、目的

政府為推動國家「能源轉型」政策，積極建構綠色能源發展藍圖；同時，透過國際共同技術研究與產業應開發，引進關鍵能源技術及發展循環經濟，提升國內潔淨能源系統的佈局規模。核能研究所（以下稱本所）目前正積極進行淨碳技術研發工作，並執行能源局專計畫「低碳排流體化床技術之開發與應用」以及本所施政計畫之「碳基能源永續潔淨利用技術發展」項目，冀望從永續發展觀點推動自主性潔淨能源技術之建立。有鑑於為有效掌握國際潔淨能源議題，本次公差主要係赴日本參加 2018 International Symposium on Hydrogen Energy and Energy Technologies (HEET 2018)，並發表會議論文。另外於會議開始前，順道參訪地球環境產業技術研究機構 (The Research Institute of Innovative Technology for the Earth, RITE)，進行技術交流與參觀實驗室。

本次 HEET 會議於 2018 年 11 月 15 日至 16 日在日本名古屋 (Nagoya) 舉行；重點聚焦在**氫能與能源技術**等議題，如產氫、燃料電池、熱化學轉換、觸媒合成、能源載體等，為其**能源潔淨轉換程序**提供了**重要平台**。該會議為特定主題研討會 (Topical Meeting) 之性質，以利掌握潔淨能源發展最新之重要研發現況，屬於精實聚焦型議題研討場合；依據主辦單位資料，HEET 2018 會議與會者為來自約十個國家在低碳潔淨能源、氫能技術等重點研究領域之學者、專家，顯見會議之國際參與性。

本所目前正積極進行「碳基能源永續潔淨利用技術發展」相關研究計畫，本年度計畫成果論文 “**Study on the enhancement of hydrogen generation via biomass gasification in fluidized-bed reactors**” 已被 HEET 2018 會議接受。故派員參與會議，發表論文，並與國際學者專家討論、分享核研所近年來在淨碳技術的研究成果；藉以掌握國際間碳基燃料之使用、燃燒與氣化、產氫、燃料電池、碳源轉化能源載體等技術之發展與趨勢，拓展與國際學者專家之關係及國際合作。本團隊致力於「熱化學轉換多元能源供應系統開發」，為結合已發展之熱化學與電化學能源技術，進行多元能源供應系統整合開發。出席 HEET 2018 會議，對於計畫開發之技術切入多元能源供應系統產業當有所助益，提升技術競爭力。

另外，於 11 月 14 日順道赴地球環境產業技術研究機構 (RITE)，進行參訪技術發展之交流與。地球環境產業技術研究機構自 1990 年成立以來，在處理未來的緊迫問題方面發揮了重要作用，為了實現全球暖化對策的解決方案和世界經濟發展，提出從長

期到近期之應對全球暖化的戰略。台灣碳捕存再利用協會 (TCCSUA) 與日本 RITE 有簽訂 MOU，該會秘書長委請本所訪員代表 TCCSUA 參訪 RITE，並與日方分享台灣於碳捕存再利用技術發展之交流，有助於未來推動國際合作。

經由與 RITE 研究人員及 HEET 與會學者、專家交流，討論議題包含未來能源載體技術、氣化、氫能、潔淨能源技術、碳捕存再利用技術等研究現況，並可望拓展與能源學者專家之人脈及國際合作。故本所此次派員赴日本公差乃為拓展國際人脈、推動國際合作及實務驗證專業工程技術之甚佳機會。

## 二、過程

### (一) 公差行程

本次公差自民國 107 年 11 月 13 日至 11 月 17 日止，共計 5 天 (圖 II-0)。

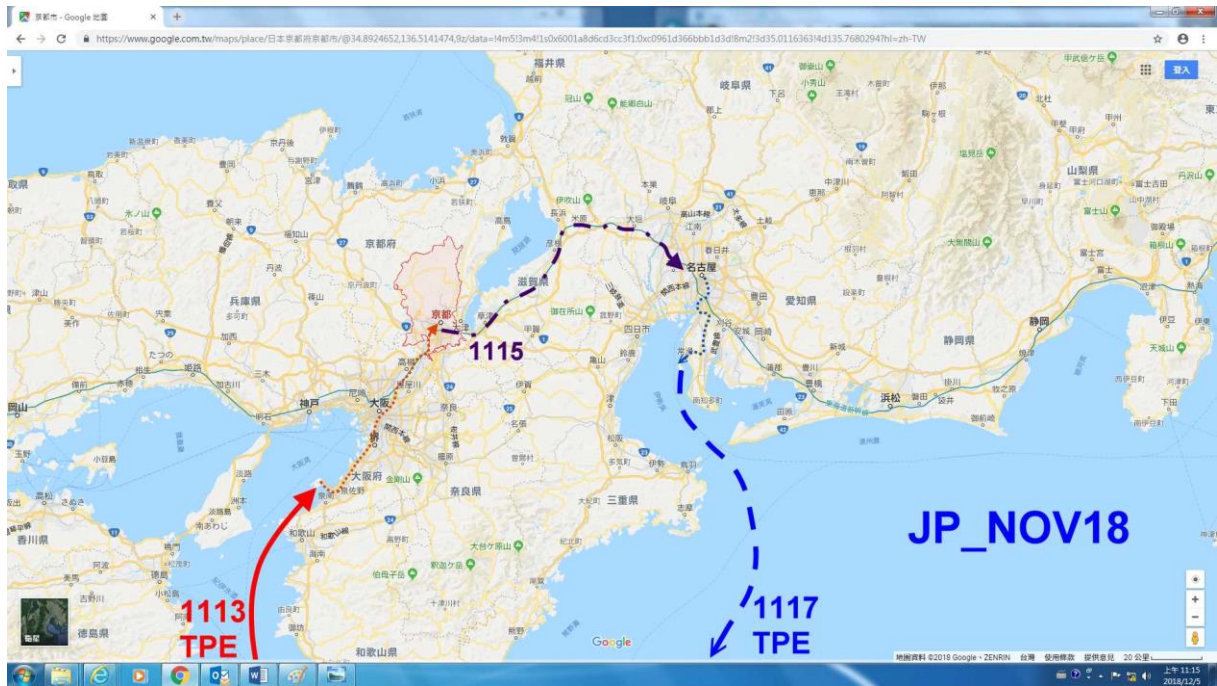


圖 II-0： 公差行程示意圖全程 (2018. 11. 13. ~ 11. 17)

- 11 月 13 日(星期二) 自台灣桃園機場 (TPE) 出發，抵達大阪關西 (KIX) 國際機場；轉搭日本國鐵 JR，抵達京都市火車站
- 11 月 14 日(星期三) 參訪地球環境產業技術研究機構 (RITE)，進行研究交流討論
- 11 月 15 日(星期四) 京都市搭新幹線，抵達名古屋市火車站，
- 11 月 15 日(星期四) ~ 11 月 16 日(星期五) 停留名古屋  
辦理會議註冊，出席氫能與能源技術國際會議 (2018 International Symposium on Hydrogen Energy and Energy Technologies, HEET 2018)，發表論文
- 11 月 17 日(星期六) 名古屋 (NGO) 中部國際機場搭機，返回台灣，返抵台北

## (二) 參訪地球環境產業技術研究機構 (RITE)

筆者此行趁赴日本出席 HEET 2018 會議公差之便，順道於會議開始前赴京都 (Kyoto)，參訪地球環境產業技術研究機構 (RITE)。RITE 為日本國際貿易和工業部許可成立之公益財團法人，分為京都本部及東京事務所兩處研究及辦公園區，而前者位於京都府南郊之偏僻鄉村區域 (圖 II-1)。筆者此行參訪主要係拜訪 RITE 總部企画調查組 (Research and Coordination Group) 之主席研究員 Dr. Hiroyasu Horio，及相關研究人員，就碳捕存再利用技術發展領域進行技術交流。



圖 II-1： RITE Headquarters, Kyoto campus

## (三) 出席氫能與能源技術 2018 國際研討會議 (2018 International Symposium on Hydrogen Energy and Energy Technologies, HEET 2018)

氫能與能源技術 2018 國際研討會議於 2018 年 11 月 15 至 16 日在日本名古屋 (Nagoya) 舉行 (圖 II-2)，該會議為特定主題研討會 (Topical Meeting) 之性質，屬於精實聚焦型議題研討場合；重點聚焦在氫能與能源技術等議題，如產氫、燃料電池、熱化學轉換、觸媒合成、能源載體等，為其能源潔淨轉換程序提供了重要平台。依據主辦單位資料，HEET 2018 會議與會者為來自約十個國家在低碳潔淨能源、氫能技術等重點研究領域之學者、專家，顯見會議之國際參與性，有利於掌握潔淨能源發展最新之重要研發現況。





圖 II-2： HEET 2018 Venue: Nagoya Tokyu Hotel

HEET 2018 會議自 11 月 15 日(星期四)開始註冊,在星期五早上則安排兩場 Keynote 演講。其他時段為口頭論文發表場次,分為上、下午兩個時段。壁報論文則自 11 月 16 日(星期五)早上起開始張貼及展示,並在下午安排論文講解之場次。

筆者在日本的公差行程於 11 月 16 日(星期五)傍晚告一段落。次日即自名古屋(NGO) 中部國際機場搭機,返回台灣;於 11 月 17 日(星期六)下午返抵台北,結束本次公差行程。

### 三、心得

本次公差主要係赴日本參加氫能與能源技術 2018 國際研討會議 (2018 International Symposium on Hydrogen Energy and Energy Technologies, HEET 2018)，並發表會議論文。另順道參訪地球環境產業技術研究機構 (RITE)，就碳捕存再利用技術發展領域之研究內容進行討論。本報告將依序分別選擇重點摘要於下文中。

#### (一) HEET 2018 會議

氫能與能源技術 2018 國際研討會議 (HEET 2018) 於 2018 年 11 月 15 至 16 日在日本名古屋 (Nagoya) 舉行。該會議重點聚焦在氫能與能源技術等議題，如產氫、燃料電池、熱化學轉換、觸媒合成、能源載體等；與會者來自約十個國家，顯見會議之國際參與性，多為低碳潔淨能源、氫能技術等重點研究領域之學者、專家 (圖 III-1)。



圖 III-1： HEET 2018 會議部分與會者拍攝團體照

HEET 2018 會議自 11 月 15 日 (星期四) 揭開序幕，與會者於當天開始報到。這個活動的目的是提供工程師、科學家、研究人員、技術人員、學生和其他人的平台，展示他們的最新成果、交換想法、建立新的聯繫、建立新的合作關係等 (圖 III-2)。大

會議題涵蓋氫能與能源領域的技術和工程實務，包括目前的發展趨勢和未來的規畫與需求。在星期五早上則安排兩場特邀 (Keynote) 演講 (圖 III-3)。其他時段為口頭論文發表場次，分為上、下午兩個時段，並以中場休息予以區隔 (圖 III-4)。壁報論文則自 11 月 16 日 (星期五) 早上起開始張貼及展示，並在下午安排論文講解之場次 (圖 III-5)。會議結束後，筆者並與部分作者於會場合影留念 (圖 III-6)。



圖 III-2： HEET 2018 會議論文發表會場內景象



圖 III-3： HEET 2018 會議 Keynote 演講場次討論景象





圖 III-4： HEET 2018 會議中場休息景象

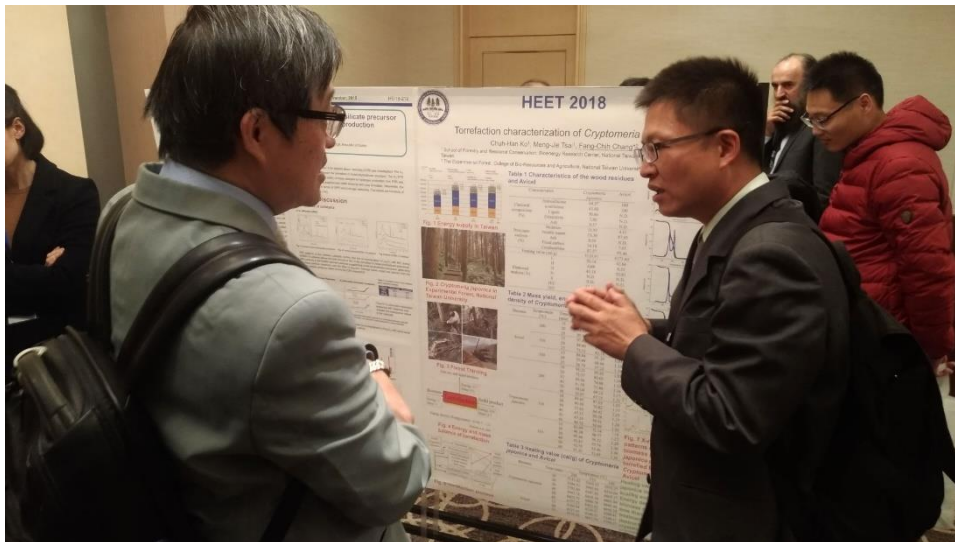


圖 III-5： HEET 2018 會議壁報論文場次討論景象

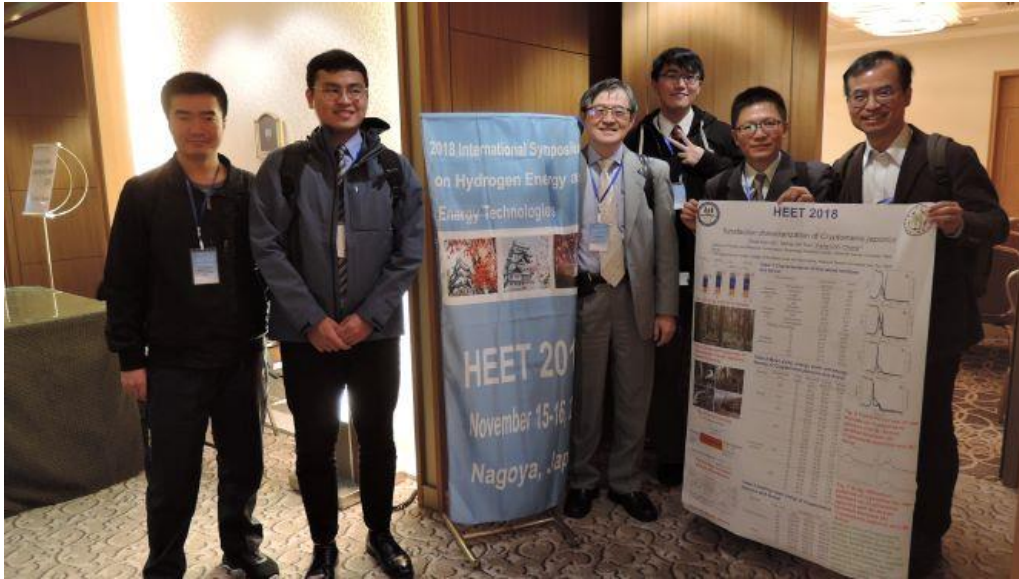


圖 III-6： 筆者與 HEET 2018 會議部分作者於會場合影留念

如前所述，HEET 2018 會議為特定主題研討會 (Topical Meeting) 之性質，屬於精實聚焦型議題研討場合。在技術層面，HEET 2018 的議程分為特邀演講 (Keynote Session)、論文口頭發表、及壁報論文展示三部分，將分章節依序描述於本報告中。

### 1. Keynote Session

接下來，大會在星期五的早上安排兩場特邀 (Keynote) 演講。各應邀講員之資料與講題列舉如下：

## Keynote Presentations

### **K-1: Catalytic Conversion of Methane to CO<sub>2</sub>-Free Hydrogen and Value-Added Solid Carbons**

**Prof. Dr. John Hu / USA / West Virginia University**

### **K-2: Thin films technologies for fuel cell applications**

**Prof. Dr. Pascal Briois / France / University of Technology of Belfort-Montbéliard**

本報告將選擇較屬策略性、概觀性之演講重點依序分別摘要重點於下文中。

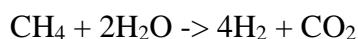
#### (1) Catalytic Conversion of Methane to CO<sub>2</sub>-Free Hydrogen and Value-Added Solid

## Carbons (圖 III.1.1-1 ~ III.1.1-6)

十一月十六日早上特邀演講 (Keynote lecture) 的首位演講者 Prof. Dr. John Hu 來自 USA / West Virginia University (WVU)。該演講之內容主要係闡述甲烷催化轉化為無 CO<sub>2</sub> 之氫氣和增值固體碳的議題，其重要資料摘要如圖 III.1.1-1 ~ III.1.1-6 所示，而重點主要涵蓋下列議題。

氫作為一種對環境和善的燃料具有巨大的潛力且用途多元；因為它可以高效率地轉化為運輸燃料、電力和其他能源形式。事實上，德國正在制定針對未來 20 年無碳燃料的國家政策，而美國的加州正在評估利用天然氣管道來輸送氫氣。

美國每年生產大約 1,000 萬噸氫氣，其中 95% 以上的氫是由天然氣的蒸汽-甲烷重組 (SMR) 產生的 (圖 III.1.1-1)。隨著再生能源 (風能和太陽能) 轉化為氫氣和氫燃料電池的應用，預計未來 10 年對氫氣的需求將達到 3,000 萬噸 (圖 III.1.1-2)。SMR 之所以具有吸引力，是因為它的氫產量很高，但它也將碳轉化為二氧化碳，如下列反應所示，而二氧化碳是全球暖化的最重要因素之一。



雖然大於 US\$100M 迄今一直在開發碳捕獲技術，以捕獲／儲存／利用利用二氧化碳；但最近的一項研究表明，碳利用在減緩氣候變遷方面的潛力較低。

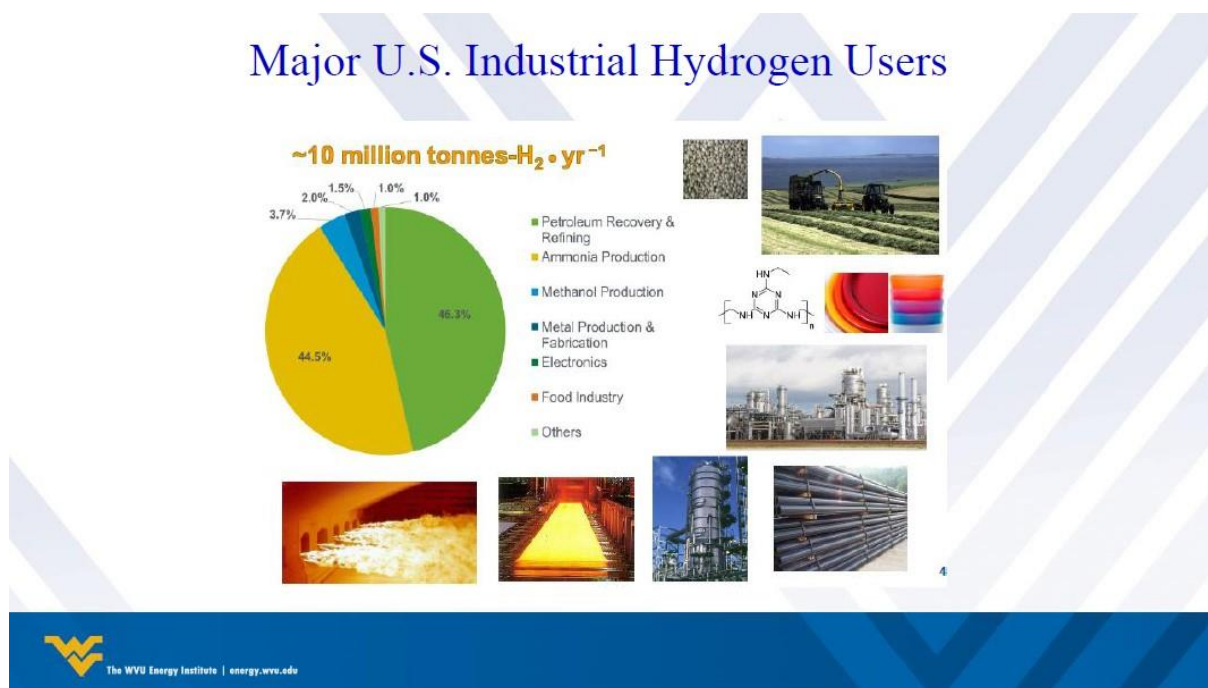


圖 III.1.1-1 : Keynote lecture 1-1



## U.S. Department of Energy Program: H<sub>2</sub>@Scale

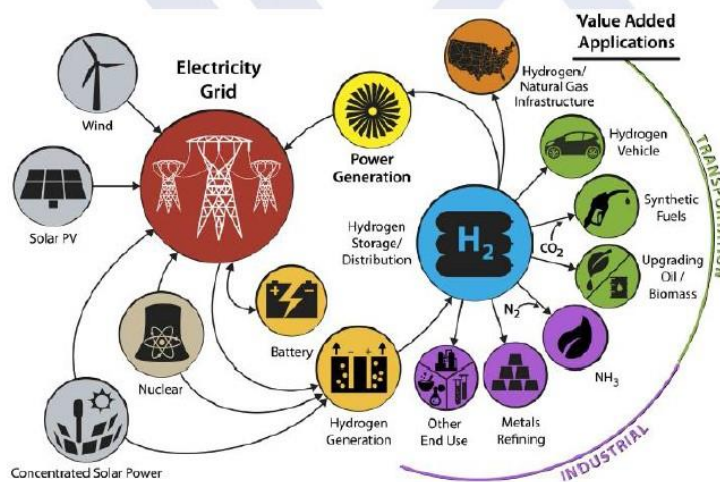


圖 III.1.1-2 : Keynote lecture 1-2

甲烷熱裂解是以非氧化熱分解式將甲烷轉化為碳和氫，是 **SMR** 的替代品，可產生不含二氧化碳的氫氣 (圖 III.1.1-3)。生產的碳可以作為共同產品出售，從而提供經濟信貸，降低氫氣的淨成本。

### Opportunity of CO<sub>2</sub>-free hydrogen production

	Commercial SMR $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$	Catalytic Pyrolysis $\text{CH}_4 = 2\text{H}_2 + \text{C}$
Productivity, mole H <sub>2</sub> /mole CH <sub>4</sub>	4	2
Heat requirement	165 kJ/mol	75.6 kJ/mol
CO <sub>2</sub> emission	1 mole CO <sub>2</sub> /mole CH <sub>4</sub>	none
Byproduct value	none	Value-Added Carbon

Environmental aspect: natural gas pyrolysis has an advantage.

Economic aspect: pyrolysis will need to produce high value carbon to offset the loss of H<sub>2</sub> yield

圖 III.1.1-3 : Keynote lecture 1-3

最近，西佛吉尼亞大學的研究人員報導了一種很有希望的催化劑創新，可用於甲烷非氧化熱化學轉化為無  $\text{CO}_2$  的氫氣和固體碳奈米管 (CNT's)。他們發現了一種催化劑系統，可促進 CNT 形成的 "域基生長"，而不是傳統 "尖端生長"。這使得催化劑具有可再生性，同時還能產生高度純淨和結晶的碳產品。本研究採用  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  和 ZSM-5 支撐型的鐵系催化劑，同時生產 CNT 和無  $\text{CO}_2$  的氫氣。

奈米複合氣凝膠 ( $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 催化劑用於甲烷分解，同時產生域基生長碳奈米管和無  $\text{CO}_2$  的氫氣 (圖 III.1.1-4)。本演講稿與金屬氣凝膠催化劑的合成、特性鑑定和性能有關，而這些催化劑與碳奈米管的結構形態有關，以闡明碳奈米管在獨特氣凝膠結構上的 "域基生長" 機制。由於氣凝膠具有獨特的孔隙率和扭轉度，可以再生氣凝膠催化劑以恢復初始活性。

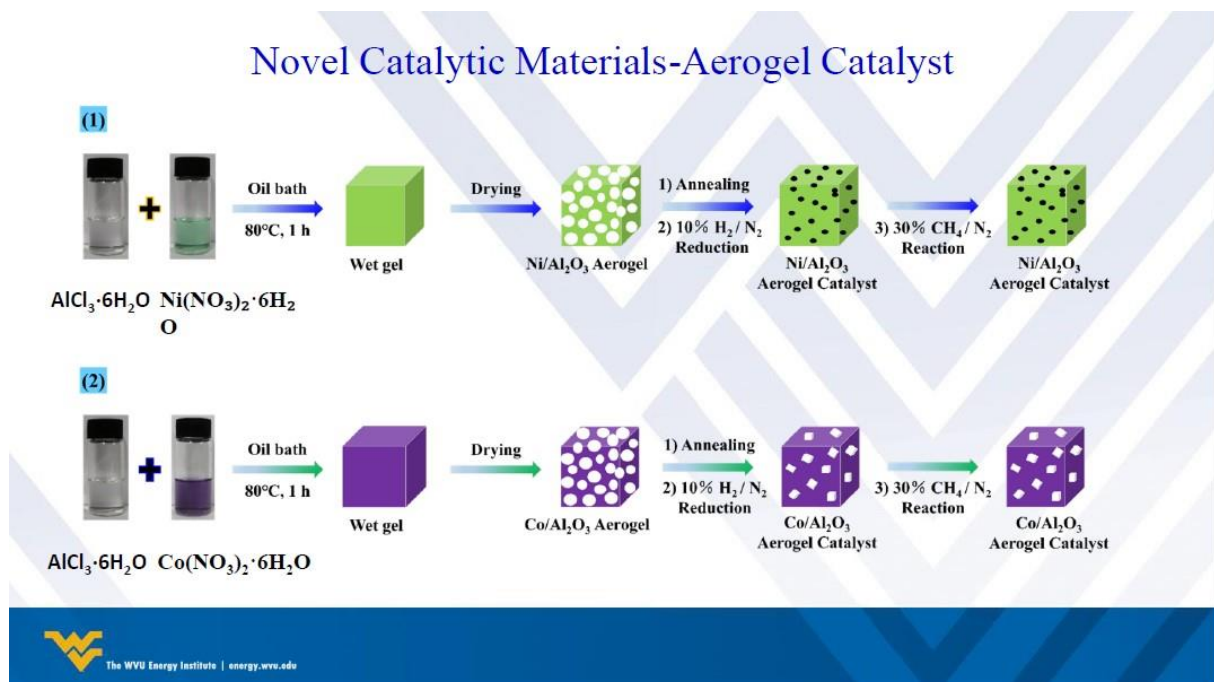



圖 III.1.1-4： Keynote lecture 1-4

氫氣的使用彈性與機動性攸關其能否廣泛佈署之可行性，運輸、儲存、組成轉換等成為重要議題；因此，化學能源載體的概念為重要選項 (圖 III.1.1-5)。最近，以液態氨 ( $\text{NH}_3$ ) 作為氫氣能源載體的選項受到許多團隊之高度重視，在開發模組



化增強型反應器方面取得了重大進展。圖 III.1.1-6 展示了生產、運輸、及使用液態燃料 (NH<sub>3</sub>) 作為化學能源載體之研發背景。再生能源將二氧化碳、空氣和水轉化為合成燃料和化學品（亦稱之為 e-fuels / e-chemicals）是最有可能用以減少運輸和工業中的二氧化碳排放到所需的水準。因此，人類將需要建立一個基於廣泛社會共識（全世界）的適當法規框架，以支援過渡到後化石時代之循環經濟。

### Hydrogen Carrier, Storage and Transformation



	H <sub>2</sub> Density (kg H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> -liquid)	Boiling Point (°C)	ΔH=KJ/mol H <sub>2</sub>
Liquid H <sub>2</sub>	70.8	-252.6	--
NH <sub>3</sub>	120.3	-33.3	30.6 2NH <sub>3</sub> →N <sub>2</sub> + 3H <sub>2</sub>
C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> (methyl cyclohexane)	47.1	101.1	80.0 C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> →C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> +3H <sub>2</sub>

The WVU Energy Institute | energy.wvu.edu

圖 III.1.1-5 : Keynote lecture 1-5

## Background of the Research

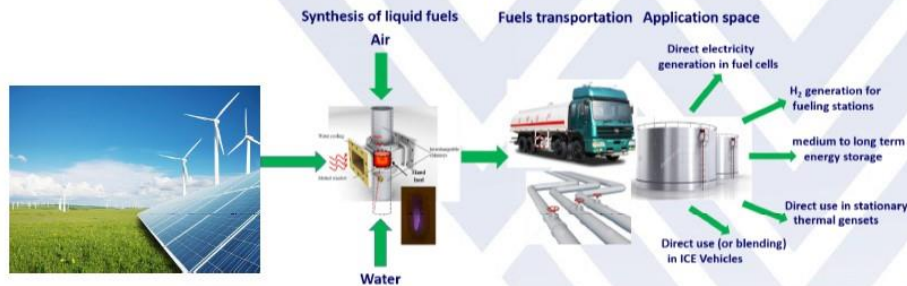


Figure 1. The production, transport and use of carbon-neutral liquid fuels (NH<sub>3</sub>) for energy delivery

At the solar and wind power location: water and air are available



The WVU Energy Institute | energy.wvu.edu

圖 III.1.1-6： Keynote lecture 1-6

### (2) Thin films technologies for fuel cell applications (圖 III.1.1-7 ~ 圖 III.1.1-12)

十一月十六日早上特邀演講 (Keynote lecture) 的第二場演講者 Prof. Dr. Pascal Briois 來自 France / University of Technology of Belfort-Montbéliard。該演講之內容主要係闡述應用在燃料電池的薄膜技術研發狀況，其重要資料摘要如圖 III.1.1-7 ~ III.1.1-12 所示，而重點主要涵蓋下列議題：

- A. Types, problems & Solutions for fuel cell technologies (圖 III.1.1-7)；
- B. Buffer layer:
  - a. Properties (圖 III.1.1-8)；
  - b. I-V-P curves (圖 III.1.1-9)；
- C. Performance of a complete cell (圖 III.1.1-10)
- D. Impact of the electrolyte on cell performance (圖 III.1.1-11)；
- E. Metal supported cell (圖 III.1.1-12)；
- F. Summary.

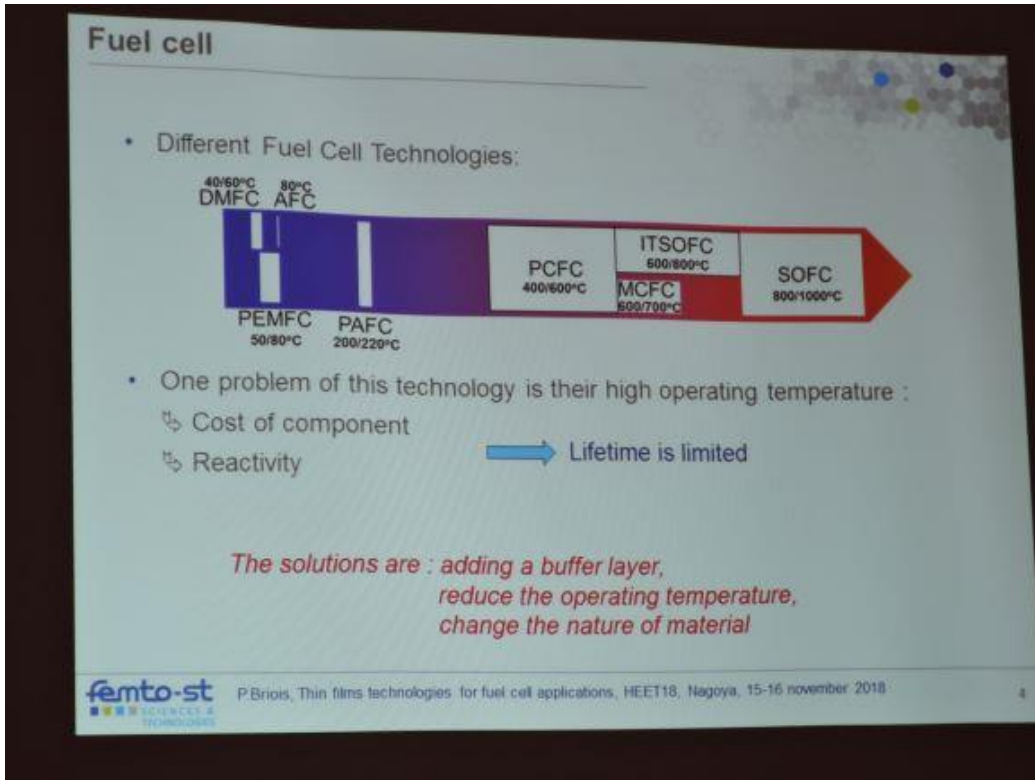


圖 III.1.1-7 : Keynote lecture 2-1

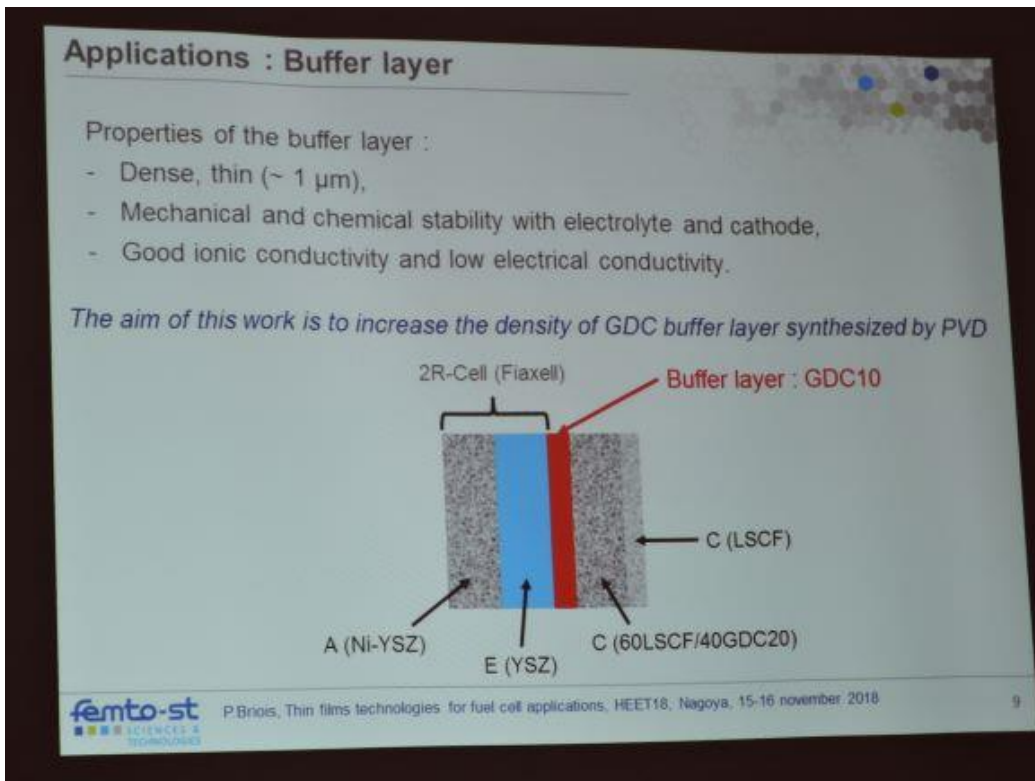


圖 III.1.1-8 : Keynote lecture 2-2

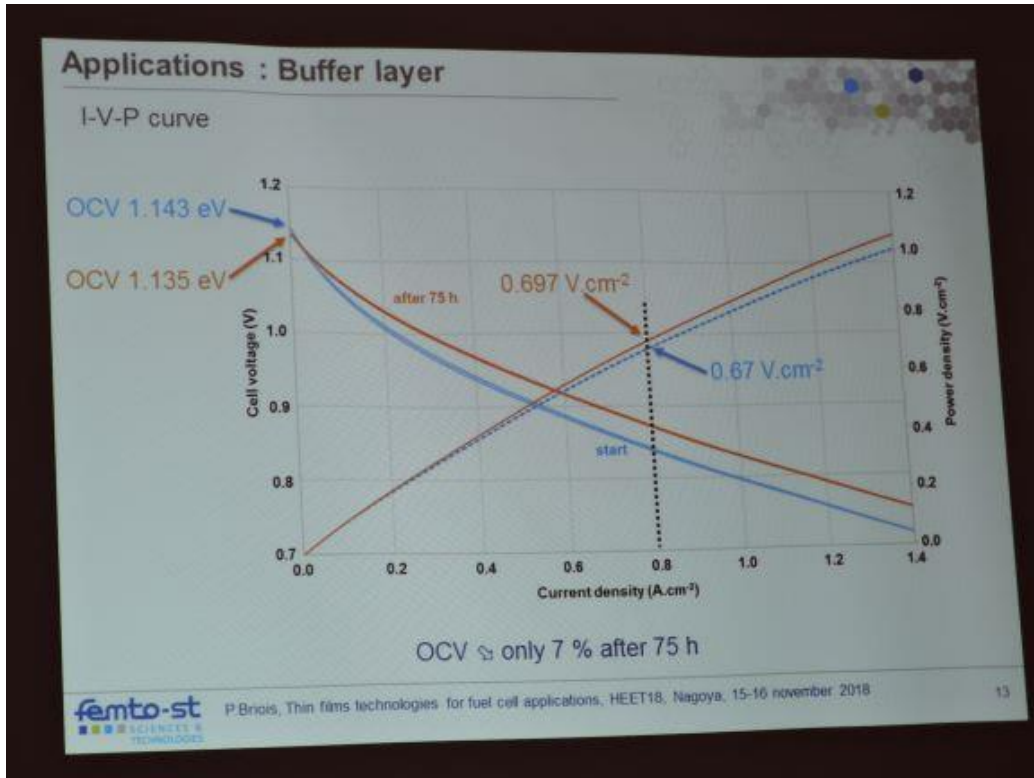


圖 III.1.1-9 : Keynote lecture 2-3

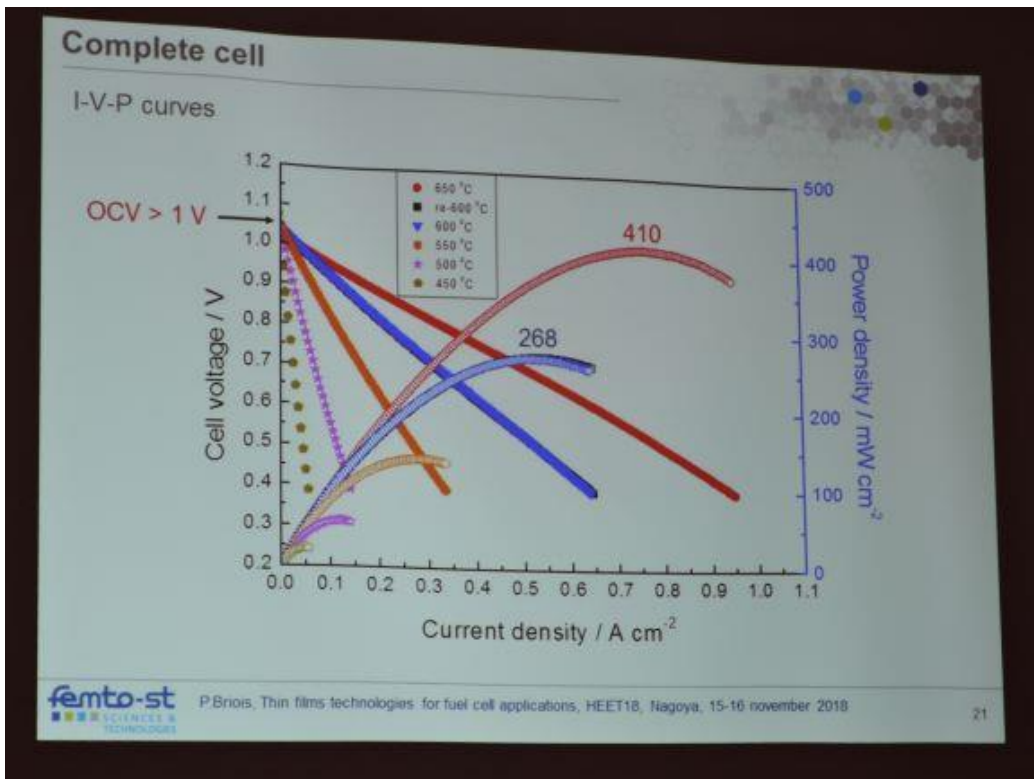


圖 III.1.1-10 : Keynote lecture 2-4



### Complete cell:

Cell : Ni-YSZ/YSZ/GDC/LSM  
 Temperature : 650°C

	Thickness (μm)	OCV (V)	Max power density (mW.cm <sup>-2</sup> )
YSZ (serie 1)	10.0	1.038	567
YSZ (serie 2)	13.8	1.114	550
YSZ (serie 2)	6.0	1.123	648
YSZ (serie 2)	1.8	1.034	1050

*OCV increase with increasing the densification of YSZ*

*Pmax increase with decreasing the thickness of YSZ*

femto-st P Briois, Thin films technologies for fuel cell applications, HEET18, Nagoya, 15-16 november 2018 25

圖 III.1.1-11 : Keynote lecture 2-5

### Complete cell : metal support configuration

- Substrate : Porous metal
- Anode : NiO-TSZ bi-layers *Atmospheric Plasma Spraying (APS)*
- Electrolyte : YSZ ( $\approx 10 \mu\text{m}$ )
- Buffer layer : GDC
- Cathode : La<sub>2</sub>NiO<sub>4</sub>

*Reactive magnetron sputtering (RMS) - using Plasma Emission Monitoring (PEM)*

femto-st P Briois, Thin films technologies for fuel cell applications, HEET18, Nagoya, 15-16 november 2018 27

圖 III.1.1-12 : Keynote lecture 2-6

如今，眾所周知固態氧化物燃料電池 (SOFC) 的壽命改善和成本降低可以通過降低其運轉溫度來加以控制。在 SOFC 技術中，氧還原反應後獲得的輸出功率係由 Nernst 和 Arrhenius 定律所控制的。為了在降低工作溫度的同時獲得相同的電力，有兩種方法是可能的。第一種是開發一種在導電性、催化效率等方面性能較好的新材料，第二種是減少燃料電池各部分的厚度。

在這項工作中，作者提出了一些陽極和金屬支撐電池的最近結果。單元電池的每個元件（陽極、電解質和陰極）都是通過薄膜技術沉積的。在對實驗配置進行了簡要描述後，電池的結構、微觀結構、晶相特色等皆經由 XRD 與 SEM 進行確認。其溫度函數之電學特性則利用電化學阻抗光譜學 (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS) 技術進行評估。最後，完整電池的 I-V-P 性能曲線則在不同溫度下進行量測。

## 2. Oral Paper Sessions

HEET 2018 會議口頭論文發表場次，分為上、下午兩個時段，各有一段中場休息以為區隔。技術議題涵蓋前述數項領域，基於篇幅考量，本報告中摘錄了數場相關的代表性論文加以陳述之。

- (1) Hydrogen generation;
- (2) Fuel cell technologies;
- (3) Gasification progress;
- (4) Oxy-fuel combustion;
- (5) CCHP system;
- (6) Water electrolysis;
- (7) Catalytic Conversion.

### (1) INER 在 HEET 2018 會議中口頭發表之論文

本所淨碳團隊在此次 HEET 2018 會議中投稿之論文 “**Study on the enhancement of hydrogen generation via biomass gasification in fluidized-bed reactors**” 係以口頭宣讀方式發表，被安排在 11 月 16 日（星期五）下午的場次（[圖 III.1.2-1 ~ III.1.2-4](#)）。演講內容摘要如下列附件所示。

## Study on the enhancement of hydrogen generation via biomass gasification in fluidized-bed reactors

*Yau-Pin Chyou*<sup>1,1</sup>, *Po-Chuang Chen*<sup>1</sup>, *Der-Ming Chang*<sup>1</sup>, *Keng-Tung Wu*<sup>2</sup>, and *Rei-Yu Chein*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Energy Research, Chemistry Division, 325 Taoyuan, Taiwan ROC

<sup>2</sup>National Chung Hsing University, Department of Forestry, 402 Taichung, Taiwan ROC

<sup>3</sup>National Chung Hsing University, Department of Mechanical Engineering, 402 Taichung, Taiwan ROC

**Abstract.** In this study, solid biomass is gasified in fluidized-bed reactors, to investigate the effect of various means on syngas composition, especially for enhancing hydrogen content in the production gas. Conventionally, air is supplied to the reactor as gasification medium, which inevitably results in a high nitrogen content in the syngas. Alternatively, steam or oxygen-rich gas can be supplied to improve the syngas characteristics. On the other

---

<sup>1</sup> Corresponding author: [ypchyou@iner.gov.tw](mailto:ypchyou@iner.gov.tw) (Y. -P. Chyou)

hand, a so-called “indirect gasification technology” realizes the whole conversion processes in dual reactors, for combustion and gasification, respectively; moreover, solid materials are circulated through two reactors, while gaseous streams in between are separated from each other. Hence, this system features the advantage of producing near nitrogen-free syngas in the gasifier, with air as oxidant in the combustor. Baseline experiments with various operating parameters, including air equivalence ratio (ER) and temperature, were firstly performed in a 30 kW<sub>th</sub> bubbling fluidized-bed gasifier; then, trial tests were conducted with the aforementioned operational and constructional factors. The preliminary test data show positive trends for the enhancement of hydrogen generation via biomass gasification. Further efforts will be pursued to establish a data base, which would be beneficial to extensive researches on clean energy and carbon abatement technologies.

**Keywords:** Biomass, Gasification, Fluidized bed, Syngas, Hydrogen generation.



圖 III.1.2-1： 筆者於 HEET 2018 會議發表論文





圖 III.1.2-2： 筆者於 HEET 2018 會議發表論文



圖 III.1.2-3： 筆者於 HEET 2018 會議答覆與會者提問



圖 III.1.2-4： 筆者於 HEET 2018 會議答覆與會者提問

筆者之簡報獲得在場與會者不錯之回應，表示本所之研發成果令人印象深刻。在該場次會議結束後的咖啡茶敘休息期間，一些同儕前來接洽、討論此次演講內容。特別值得一提是，本次會議的特邀講員 (USA / West Virginia University 的 Prof. Dr. John Hu) 於會後特別向筆者致意，並主動討論未來可能合作議題 (圖 III.1.2-5)。

**Presentation at HEET-2018**

John Hu [john.hu@mail.wvu.edu]

寄件日期:2018年11月16日 下午 01:12

至: 邱耀平 Yau-Pin CHYOU

附件: HEET-2018 Presentation-Fin~1.pdf (4 MB)

Dear Dr. Chyou,

It was nice meeting you at HEET-2018. Attached is my presentation today at HEET-2018. It is interesting to know that you are working on biomass gasification. I currently have a gasification project funded by DOE NETL. We built a fluidized gasifier to gasify biomass, and/or coal. We also co-gasify CH<sub>4</sub> and biomass to study hydrogen transfer with the objective of producing high H<sub>2</sub>/CO ratio for chemical synthesis. I am also working on chemical looping for natural gas, biomass conversion and also ammonia synthesis (via metal nitride carrier rather than oxygen carrier).

We can collaborate if you are interested.

*John Hu, Ph.D.**Statler Chair Professor**Department of Chemical and Biomedical Engineering**Director, Center for Innovation in Gas Research and Utilization**West Virginia University**Tel: (304)293-5067**E-mail: [john.hu@mail.wvu.edu](mailto:john.hu@mail.wvu.edu)**John Hu's Home Page*<https://www.statler.wvu.edu/faculty-staff/faculty/john-hu>

WVU CIGRU

<https://cigr.wvu.edu/>**圖 III.1.2-5 : HEET 2018 會議特邀講員與筆者討論未來可能合作議題****(2) 此次 HEET 2018 會議中發表之相關的代表性論文**

- A. 論文 **Paper ID HE-18-208** : 本論文由 Akira Nishimura 發表，演講主題為 **“Effect of Components Thickness on Heat and Mass Transfer Phenomena in Single Cell of PEFC Operated at High Temperature”**。演講內容摘要如圖 III.1.2-6 ~ III.1.2-7 所示。

由於管理 PEFC 中的溫度分佈很重要，本研究調查了 PEFC 單電池的平面內溫度分佈。此外，由於預期降低 PEM 和 GDL 的厚度可促進熱傳和質傳以及發電性能，因此研究高溫下部件厚度對其的影響是有效的操作。

本研究旨在闡明 PEM 和 GDL 厚度對高溫熱傳和質傳現象的影響，以及在 90°C 的高工作溫度範圍內的發電性能的影響。在不同初始運行溫度和供應氣體相對濕度的情況下，利用熱像儀測量了在發電條件下陰極電池分離器背面的平面溫度分佈。通過降低 GDL 的厚度，提高了發電性能和均勻溫度分佈。隨著



PEM 厚度的減小，促進了水分的傳遞，提高了發電性能。此結果澄清了 GDL 厚度的影響大於 PEM 厚度的影響。

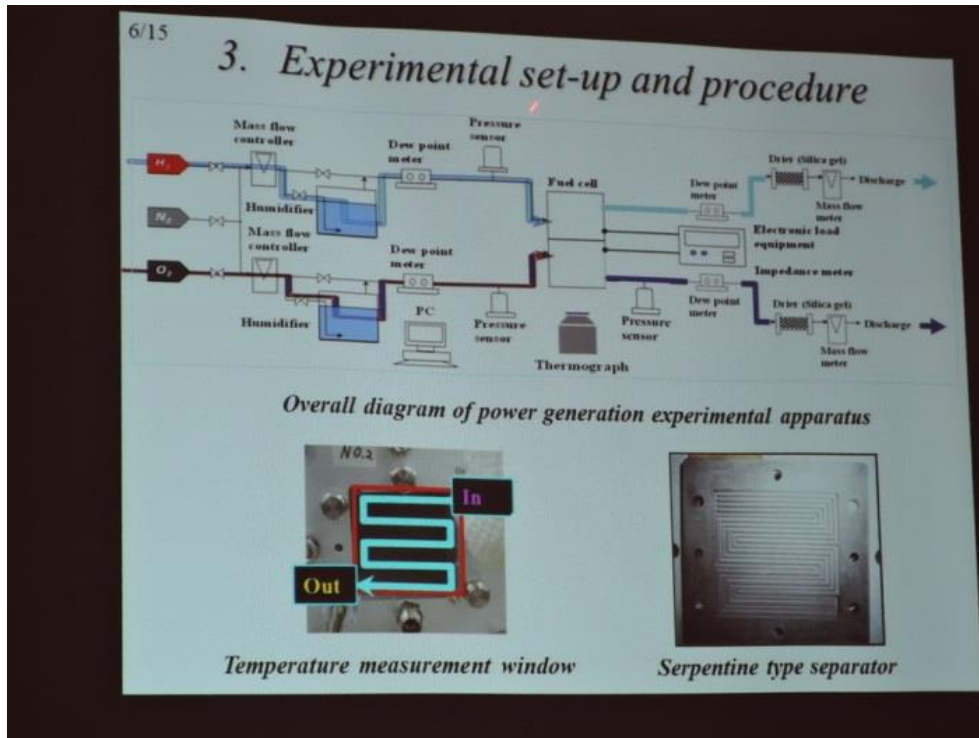


圖 III.1.2-6： HEET 2018 大會口頭論文發表 HE-18-208

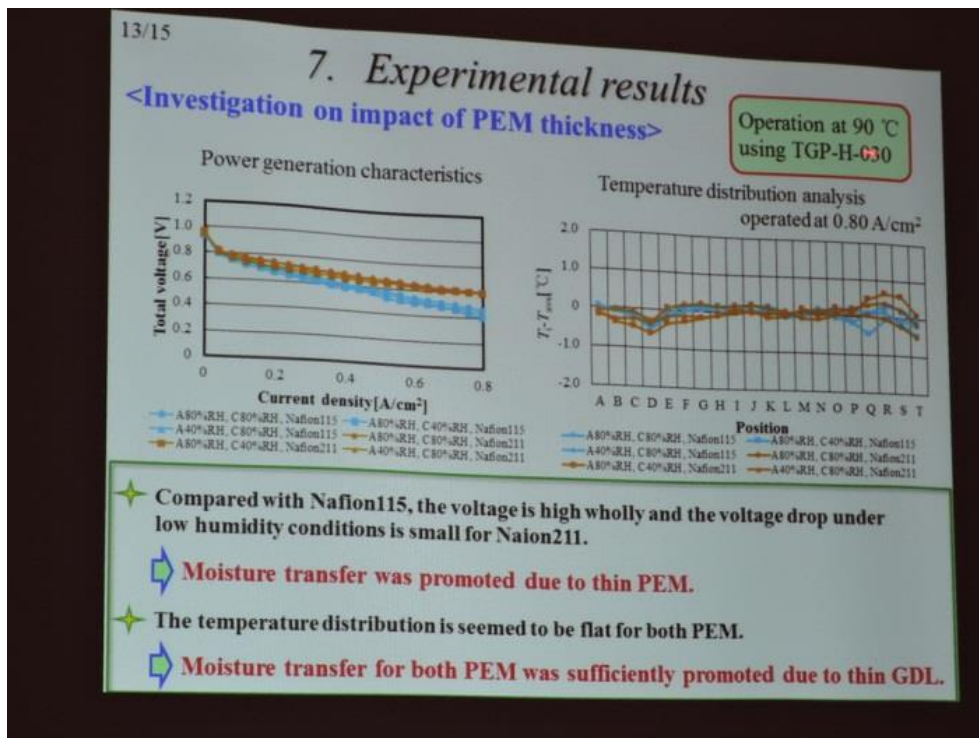


圖 III.1.2-7： HEET 2018 大會口頭論文發表 HE-18-208

B. 論文 Paper ID HE-18-211：本論文由 Yifei Wang 發表，演講主題為 “Flexible hydrogen fuel cell fabricated on paper with embedded aluminium foil”，演講內容摘要如圖 III.1.2-8 ~ III.1.2-9 所示。

直接氫燃料電池通常是基於金屬或塑膠材料的厚重型和剛性系統，不適合各種微型和柔性設備。在本研究中，作者開發了一種基於嵌入鋁箔紙基板的輕質柔性燃料電池，該電池在操作過程中與電解質溶液反應後，被用作原位氫源。

得益於多孔纖維素網狀物對氫基的抑制遷移，即使採用強鹼性電解質，也能很好地控制強健的鋁腐蝕反應；使燃料電池在  $1 \text{ mAcm}^{-2}$  (0.83 V)，只有 3.5 毫克鋁箔條件下可放電超過 5 小時。相應的法拉達 (faradaic) 和能源效率分別高達 72% 和 18.3%。當面對不同的彎曲角度時，燃料電池的靈活性也相當好。考慮到其中等功率輸出，這種靈活的紙製氫燃料電池特別適用於為各種微型和柔性設備供電，如可穿戴電子設備、生物感應器、RFID 標籤等。然而，通過適當的燃料電池堆疊可以獲得更高的功率。

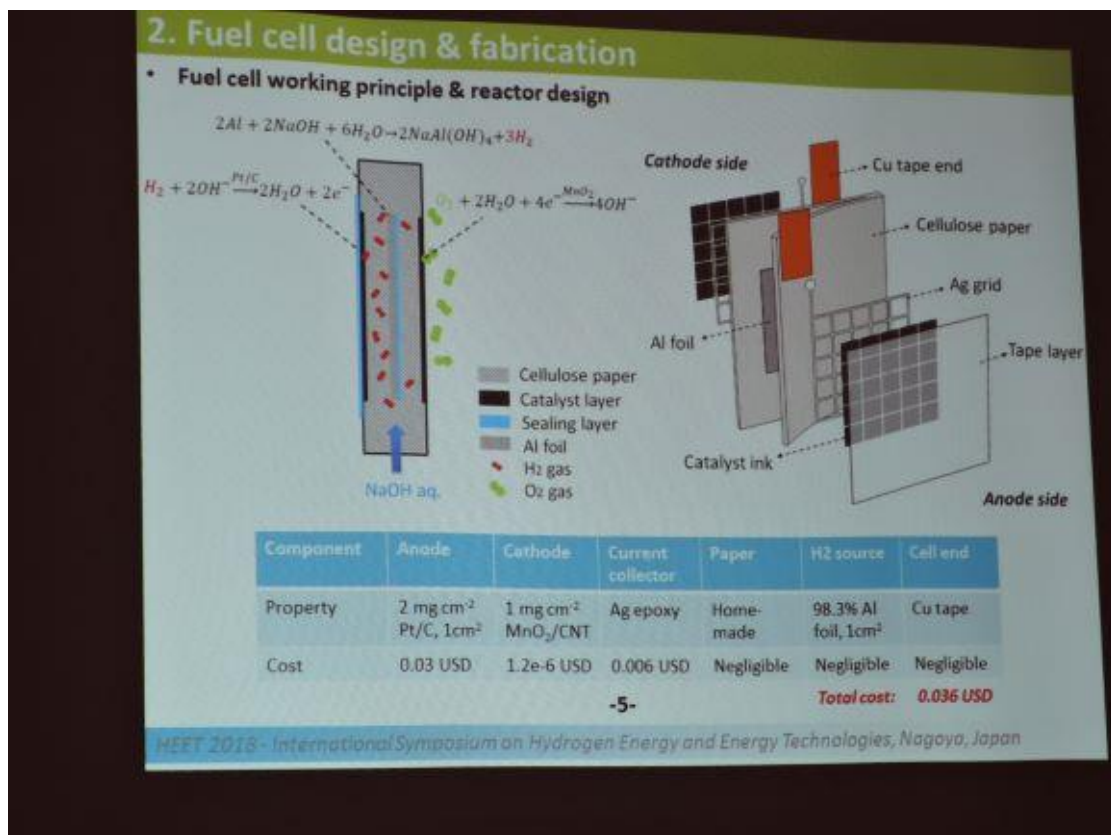


圖 III.1.2-8： HEET 2018 大會口頭論文發表 HE-18-211

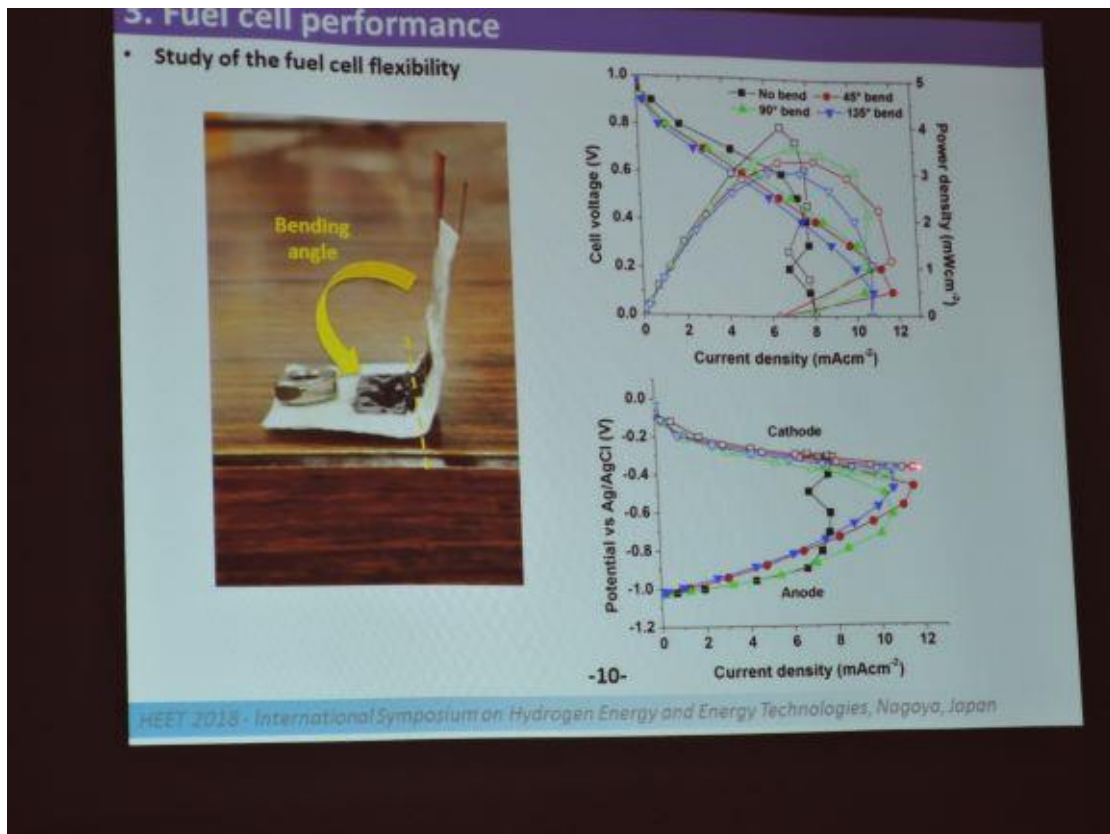


圖 III.1.2-9： HEET 2018 大會口頭論文發表 HE-18-211

C. 論文 **Paper ID HE-18-206**：本論文由 Khalid Al-Khori 發表，演講主題為 “**Utilization of Solid Oxide Fuel Cell Technology in Oil and Gas Operations; Area of Improvements**”，演講內容摘要如圖 III.1.2-10 ~ III.1.2-11 所示。

在能源和電力生產、轉換和消費製程與技術方面，低效率水準是一項挑戰和改進的領域。目前，能源生產和消費在有害溫室氣體排放中占很大一部分，導致不可逆轉的環境影響。這些氣候變遷和全球暖化是由於大量使用化石燃料作為能源，因為全球近 80% 的能源來自化石燃料。

這項研究的主要目的是發展基本的知識，通過整合固態氧化物燃料電池等清潔能源轉換系統，以提高石油和天然氣行業的運營效率和減少相關排放。SOFC 已被證明是高效率的電化學設備，可直接將化學能轉化為電能，從而提高系統效率，顯著減少石油/天然氣操作中的廢氣排放。在不同規模和使用點實現有效的整合、更智慧地利用 SOFC 系統，可以提高整體系統效率。這項評論研究調查了提高 SOFC 在石油和天然氣廠的使用效率等機會，並提出了減少排放等主要需求，

以及將 SOFC 整合到能源密集和污染的石油和天然氣作業中可能面臨的高成本等挑戰，以便將其轉化為永續流程。



圖 III.1.2-10： HEET 2018 大會口頭論文發表 HE-18-206

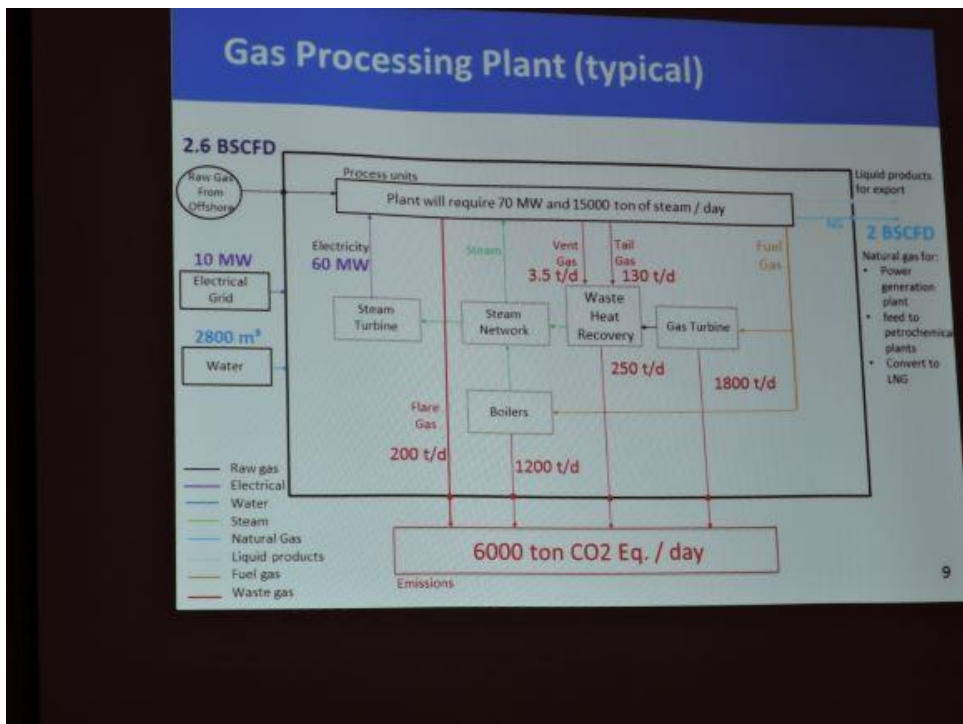


圖 III.1.2-11： HEET 2018 大會口頭論文發表 HE-18-206



D. 論文 Paper ID HE-18-202：本論文由 Shi You 發表，演講主題為 “Exploring the Technical Feasibility of Using Water Electrolyser for Electrical Grid Services in Europe: Requirements and Potential”，演講內容摘要如圖 III.1.2-12 ~ III.1.2-13 所示。

水電解 (WE) 作為一種靈活的需求，具有提供各種電網之潛力；因此，它可促進將間歇性再生能源整合到電網中。在歐盟 FCH JU 專案 QualyGridS 的支援下，本研究藉由對各國的電網服務需求與不同的 WE 技術的能力進行廣泛的調查，探討了將 WE 用於歐洲電網服務的技術可行性。

目前所提出的結果可用於為多個利益相關者和能源部門帶來多重效益，例如促進電力產業和氫氣工業之間的相互瞭解、支援制定連貫的測試標準使 WE 符合電網服務的條件、指導相關技術經濟案例研究與商業模式的設計和選擇，並以高比例的氫和其他再生能源解決方案為基礎，促進過渡至無化石能源的未來。

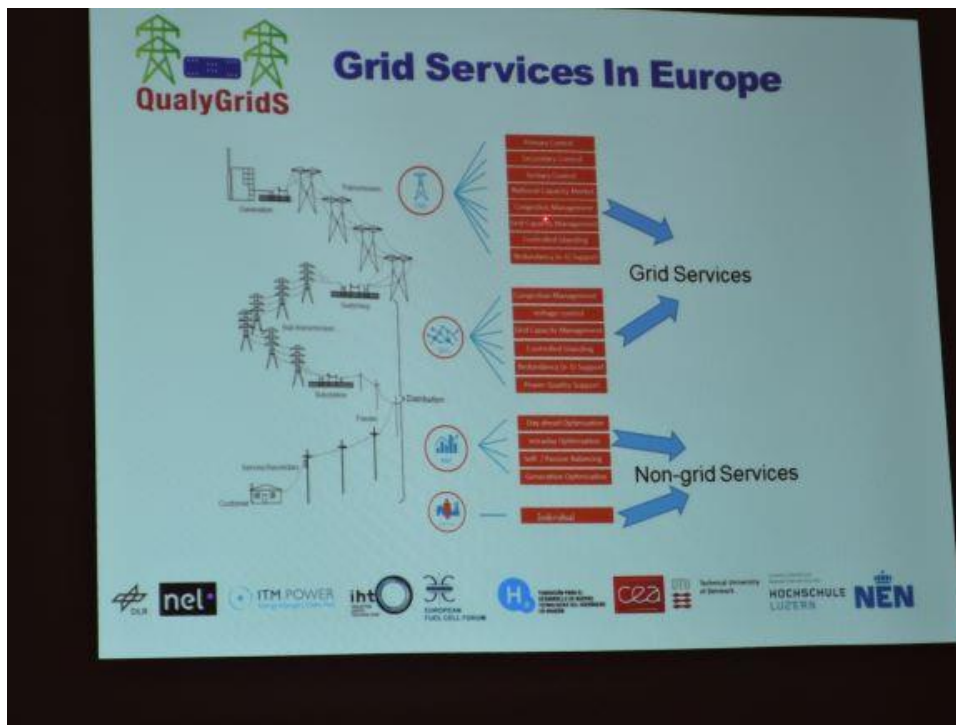


圖 III.1.2-12： HEET 2018 大會口頭論文發表 HE-18-202



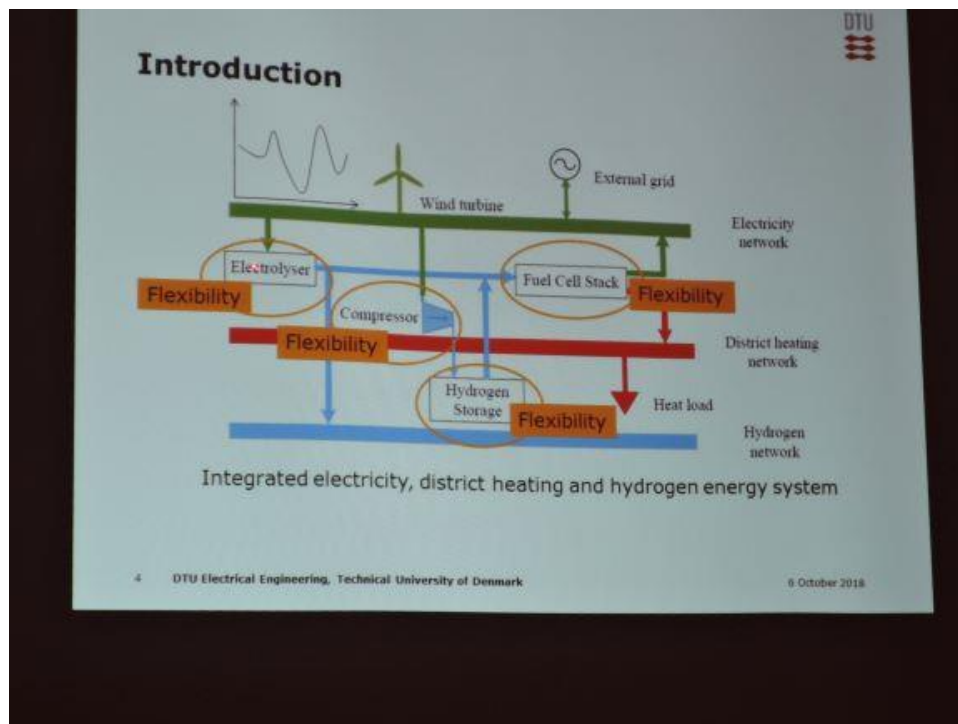


圖 III.1.2-13： HEET 2018 大會口頭論文發表 HE-18-202

### 3. Poster Session

HEET 2018 會議壁報論文自 11 月 16 日（星期五）早上起開始張貼及展示，並在下午安排論文講解之場次（圖 III.1.3-1 ~ III.1.3-4）。筆者參閱了壁報論文發表，以瞭解彼等在未來之研發努力及現況成果。本報告中摘錄了數篇較具相關性的論文與現場盛況展示於後（圖 III.1.3-5 ~ III.1.3-9）。



圖 III.1.3-1：壁報論文講解之場次 PS1

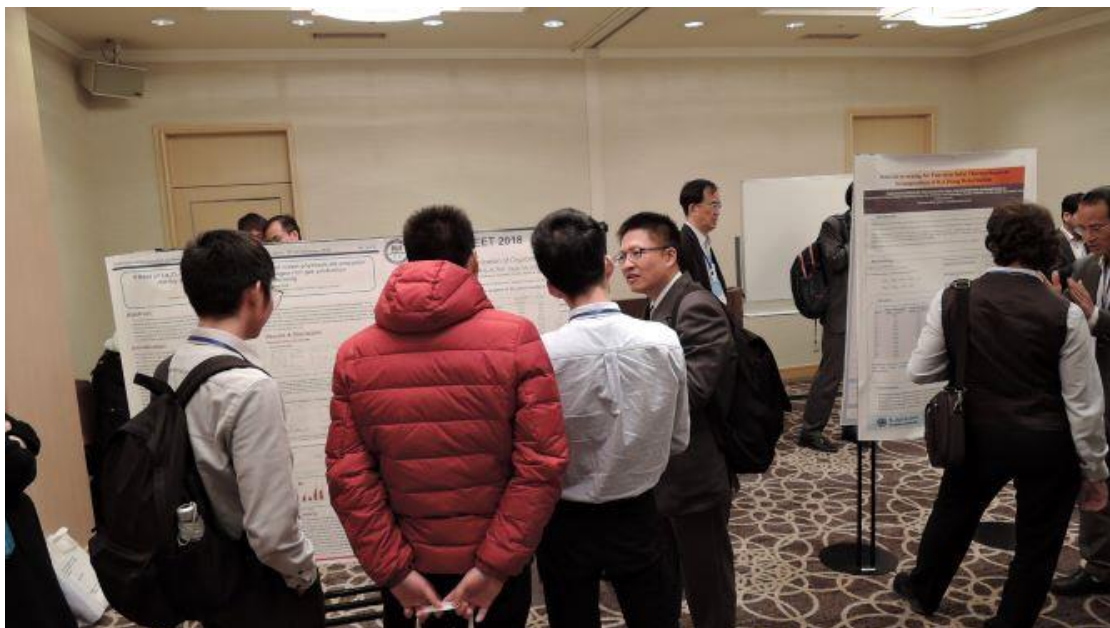


圖 III.1.3-2：壁報論文講解之場次 PS2



圖 III.1.3-3： 壁報論文講解之場次 PS3

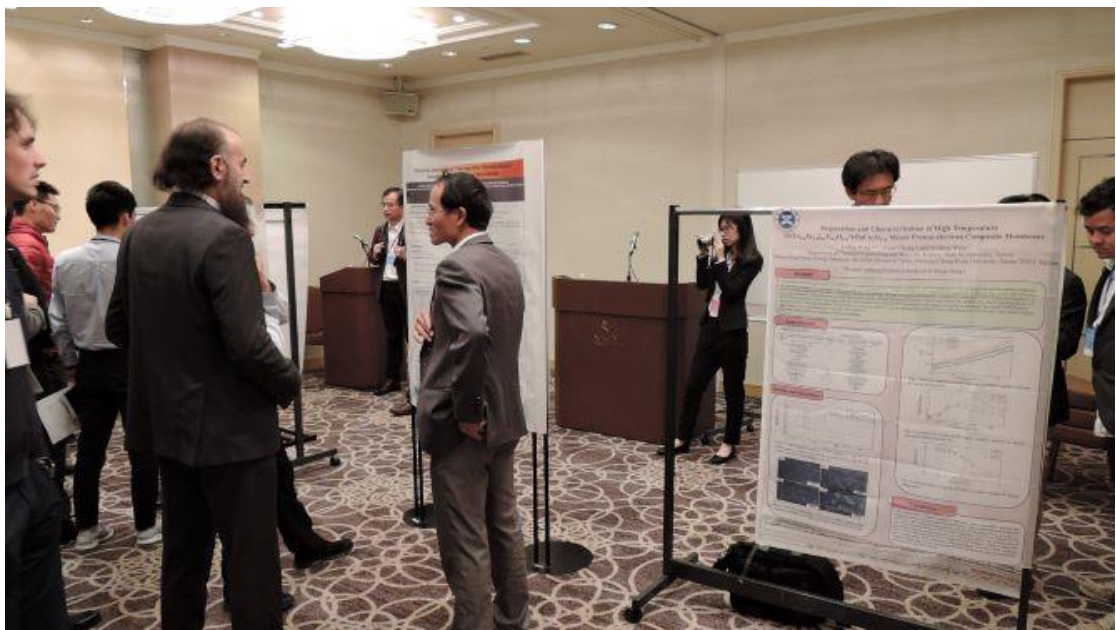


圖 III.1.3-4： 壁報論文講解之場次 PS4



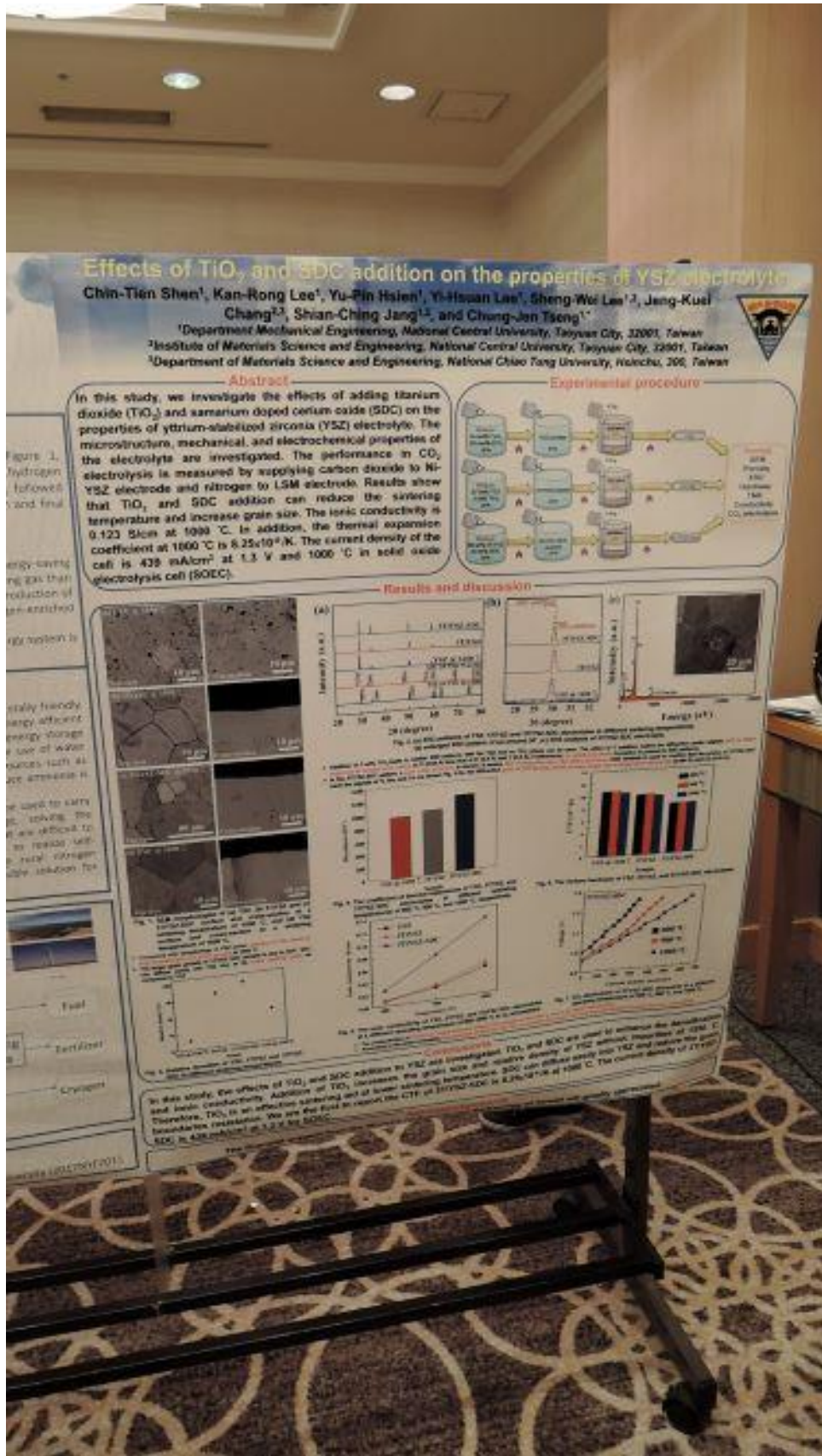
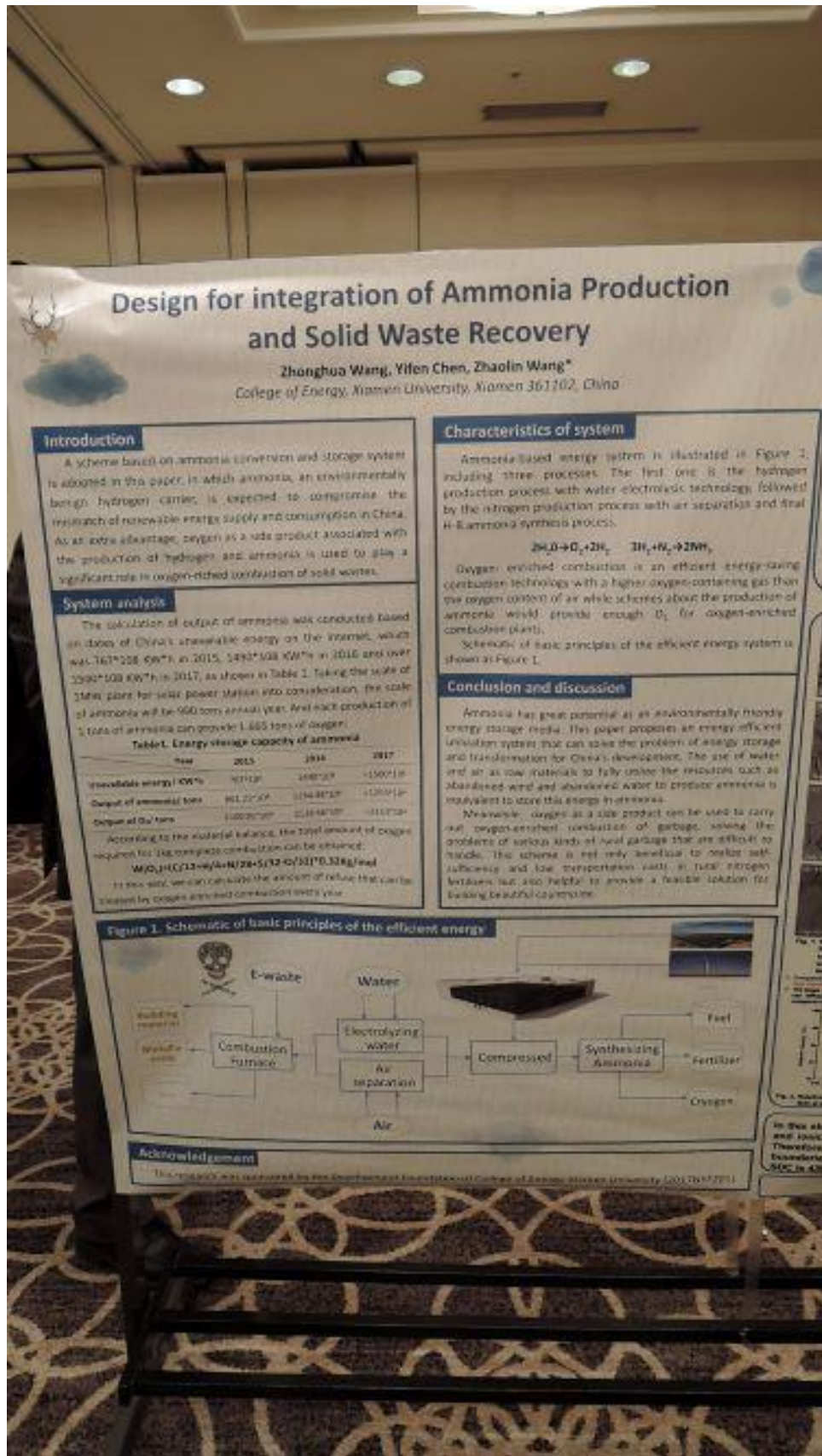


圖 III.1.3-5：壁報論文



# Design for integration of Ammonia Production and Solid Waste Recovery

Zhonghua Wang, Yifen Chen, Zhaolin Wang\*  
College of Energy, Xiamen University, Xiamen 361102, China

## Introduction

A scheme based on ammonia conversion and storage system is adopted in this paper, in which ammonia, an environmentally benign hydrogen carrier, is expected to compromise the mismatch of renewable energy supply and consumption in China. As an extra advantage, oxygen as a side product associated with the production of hydrogen and ammonia is used to give a significant role in oxygen-rich combustion of solid wastes.

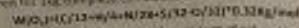
## System analysis

The calculation of output of ammonia was conducted based on data of China's available energy on the internet, which was  $7.67 \times 10^{18}$  kWh in 2015,  $1.493 \times 10^{19}$  kWh in 2016 and over  $2.090 \times 10^{19}$  kWh in 2017, as shown in Table 1. Taking the scale of 1MW power for solar power station into consideration, the scale of ammonia will be 960 tons annual year, and each production of 1 tons of ammonia can provide 1.465 tons of oxygen.

Table 1. Energy storage capacity of ammonia

Year	2015	2016	2017
Available energy / kWh	$7.67 \times 10^{18}$	$1.493 \times 10^{19}$	$2.090 \times 10^{19}$
Output of ammonia / tons	961.22724	1744.88737	2390.14
Output of O <sub>2</sub> / tons	1408.92587	2548.81037	3497.20

According to the material balance, the total amount of oxygen required for 1408.92587 tons of ammonia can be obtained:



In this way, we can calculate the amount of refuse that can be treated by oxygen-rich combustion every year.

## Characteristics of system

Ammonia-based energy system is illustrated in Figure 1, including three processes. The first one is the hydrogen production process with water electrolysis technology, followed by the nitrogen production process with air separation and final H<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> synthesis process.



Oxygen-enriched combustion is an efficient energy-saving combustion technology with a higher oxygen-containing gas than the oxygen content of air, while schemes about the production of ammonia would provide enough O<sub>2</sub> for oxygen-enriched combustion plants.

Schematic of basic principles of the efficient energy system is shown in Figure 1.

## Conclusion and discussion

Ammonia has great potential as an environmentally friendly energy storage media. This paper proposes an energy-efficient utilization system that can solve the problem of energy storage and transformation for China's development. The use of water and air as raw materials to fully utilize the resources, such as abandoned wind and abandoned water to produce ammonia is equivalent to store the energy in ammonia.

Meanwhile, oxygen as a side product can be used to carry out oxygen-enriched combustion of garbage, solving the problems of various kinds of fuel garbage that are difficult to handle. This scheme is not only beneficial to realize self-sufficiency and low transportation costs in rural nitrogen markets, but also helpful to provide a feasible solution for building beautiful countryside.

Figure 1. Schematic of basic principles of the efficient energy



## Acknowledgements

This project was supported by the Department of Graduate School of Xiamen University (2017017201).

圖 III.1.3-6：壁報論文



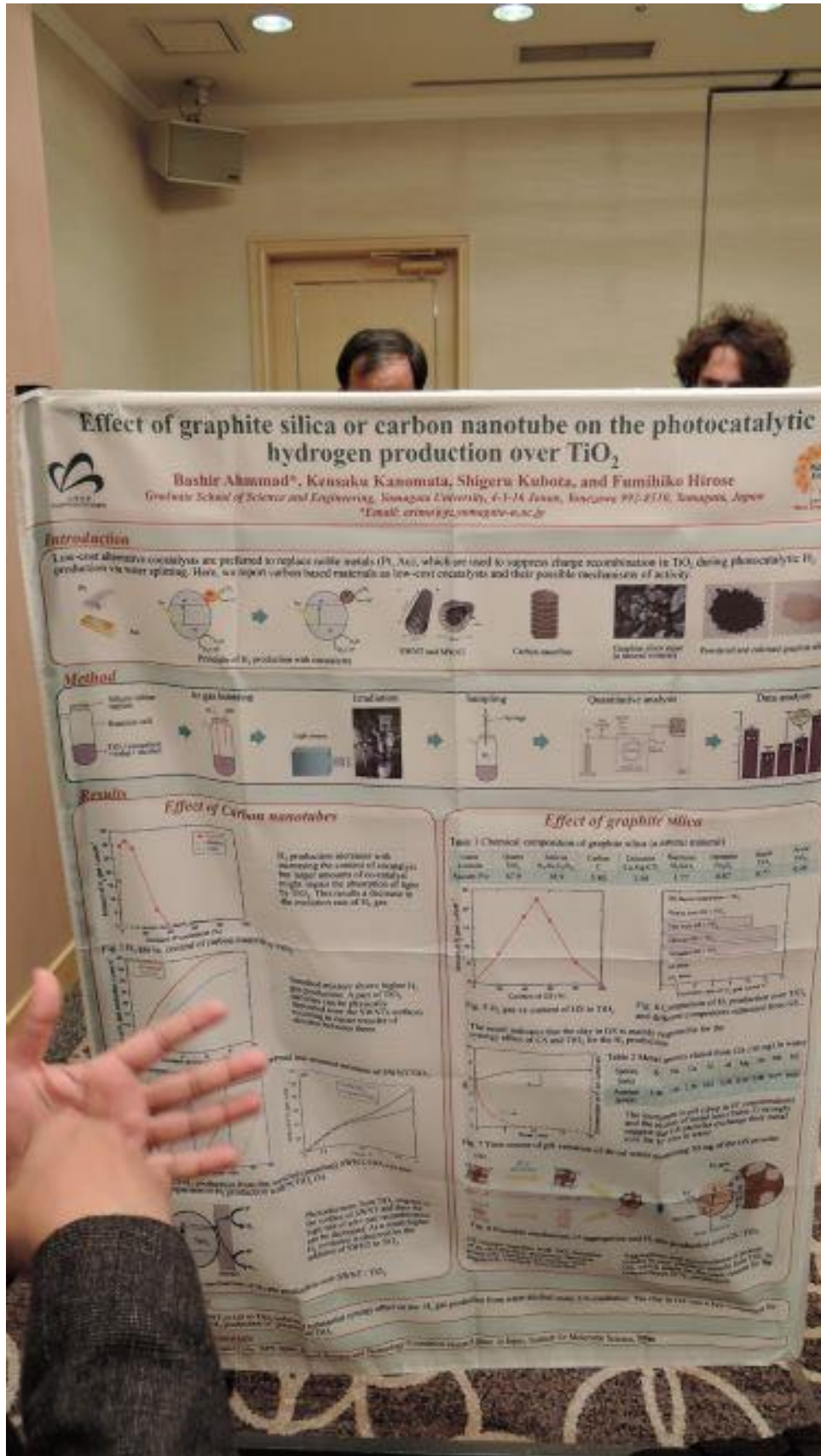


圖 III.1.3-7：壁報論文

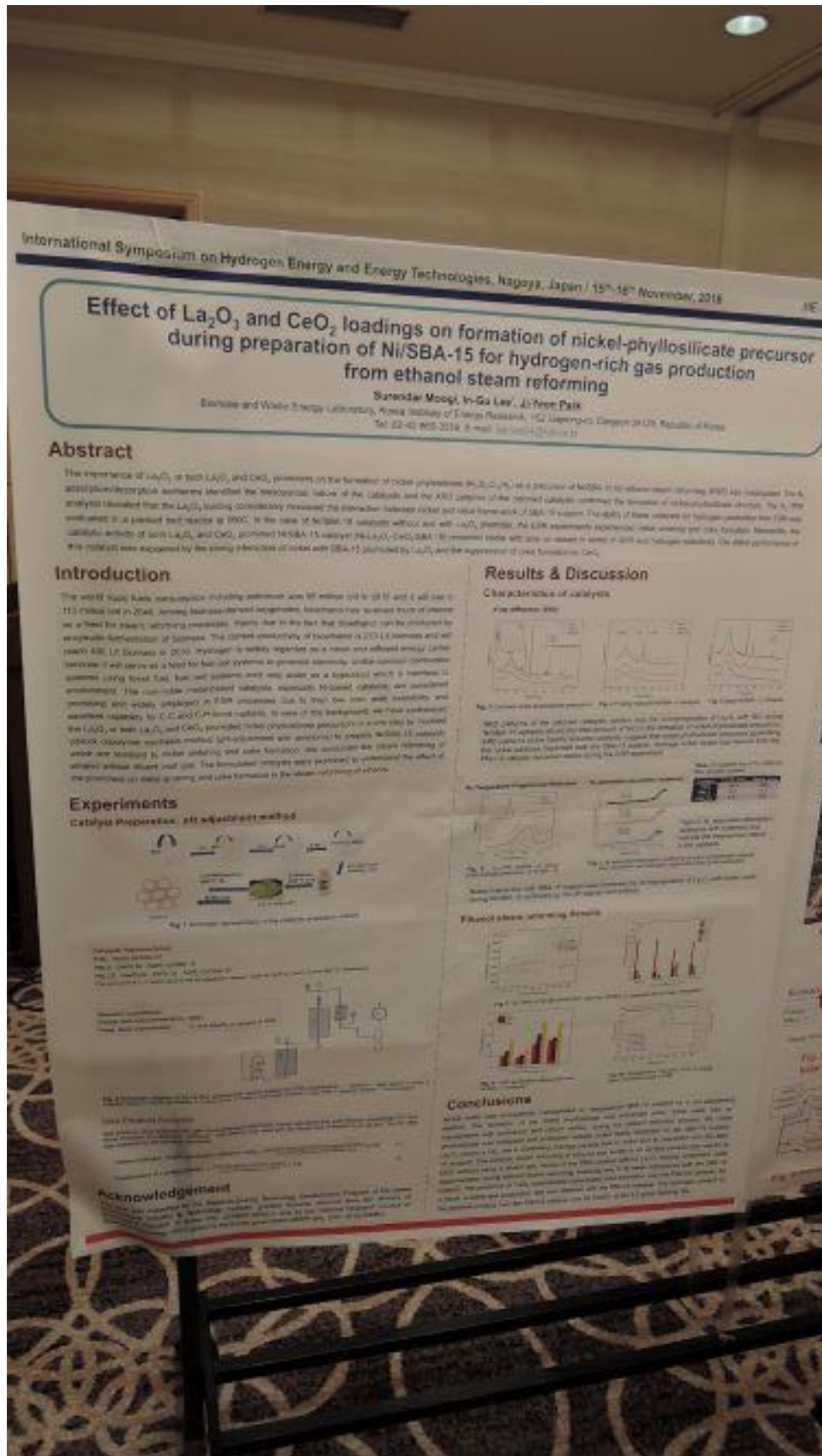


圖 III.1.3-8：壁報論文

# Preparation and Characterization of High Temperature $Zr_{0.4}Y_{0.1}O_{3-6}/YBaCo_2O_{5.6}$ Mixed Proton-electron Composite Membrane

I-Ming Hung<sup>a,b,\*</sup>, Kuan-Chi Fu<sup>a</sup>, and Yi-Hung Wang<sup>a</sup>

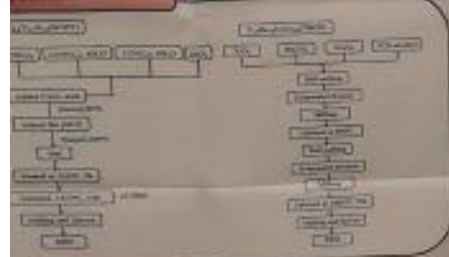
<sup>a</sup> Department of Chemical Engineering and Materials Science, Yuan Ze University, Taiwan  
<sup>b</sup> Green-Energy Materials (Hi-GEM) Research Center, National Cheng Kung University, Tainan 701

\*E-mail: imhung@saturn.yzu.edu.tw (I-Ming Hung)

## Abstract

The  $SrCe_{0.4}Zr_{0.1}Y_{0.1}O_{3-6}/YBaCo_2O_{5.6}$  composite ceramic membranes sintered at various temperatures were prepared and used as a proton membrane. The  $SrCe_{0.4}Zr_{0.1}Y_{0.1}O_{3-6}$  (SCZY) and  $YBaCo_2O_{5.6}$  (YBCO) powders were synthesized by citric-EDTA complexing method and sol-gel method, respectively. The chemical reaction, structure, morphology, thermal expansion, and electrical conductivity of the SCZY/YBCO were investigated by X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermal Mechanical Analyzer (TMA) and 4-probe DC method. The relative sintering density of SCZY/YBCO sintered at 1250 °C is as high as 99.5%. The conductivity of SCZY/YBCO increased as the sintering temperature increased. The SCZY/YBCO sample sintered at 1250 °C exhibited the highest conductivity of 15.44 S/cm at 800 °C. The  $H_2$  permeability of SCZY/YBCO membrane was 1.87 ml min<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>, which is one of the highest values reported for proton-conducting membranes.

## Experimental



## Results and Discussion



Figure 3. XRD patterns of the (a) SCZY sintered at 1450 °C, (b) YBCO sintered at 1000 °C, SCZY/YBCO sintered at (c) 1000 °C, (d) 1150 °C, (e) 1300 °C, and (f) 1250 °C for 6 h.

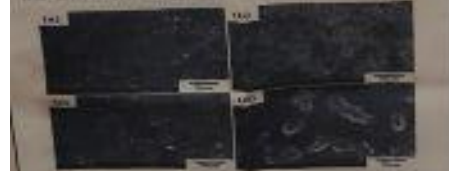


Figure 4. The SEM micrographs of the SCZY/YBCO composite films sintered at (a) 1000 °C, (b) 1150 °C, (c) 1200 °C, and (d) 1250 °C for 6 h.

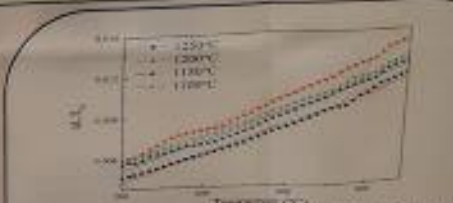


Fig. 5 Thermal expansion curves of the SCZY/YBCO samples sintered at various temperatures.

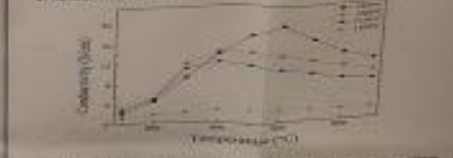


Fig. 6 Conductivity of the SCZY/YBCO samples sintered at various temperatures.



Fig. 7 Airflow plots of the SCZY/YBCO samples sintered at various temperatures.

## Conclusion

The SCZY/YBCO proton-conducting membranes were successfully prepared and used as a proton membrane. The relative sintering density of SCZY and YBCO were 99.5% and 99.5%, respectively. The SCZY/YBCO membrane sintered at 1250 °C exhibited the highest conductivity of 15.44 S/cm at 800 °C. The  $H_2$  permeability of SCZY/YBCO membrane was 1.87 ml min<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>, which is one of the highest values reported for proton-conducting membranes.

圖 III.1.3-9：壁報論文



## (二) 地球環境產業技術研究機構 (RITE)

筆者此行赴日本公差，順道於 HEET 2018 會議開始前參訪地球環境產業技術研究機構 (RITE) 位於京都府南郊之本部園區，其組織架構如圖 III.2-1 所示。為了實現全球暖化對策的解決方案和世界經濟發展，RITE 的目標是經由產業技術的研究開發，為保護全球環境和促進世界經濟發展做出貢獻。為達成此目的，該機構與國內外研究機構合作，致力於這些領域的研究、開發、和調查，並收集與提供相關的資訊，提出從長期到近期之應對全球暖化的戰略。台灣碳捕存再利用協會 (TCCSUA) 與日本 RITE 有簽訂 MOU，冀望於碳捕存再利用技術發展領域進行相關之交流，有助於未來推動國際合作。筆者此次參訪行程主要係受 TCCSUA 秘書長委請，代表該協會參訪 RITE，拜訪總部企画調查組 (Research and Coordination Group) 之主席研究員 Dr. Hiroyasu Horio，並與日方分享台灣於碳捕存再利用技術發展相關研發計畫現況，進行技術交流對未來發展頗有助益。

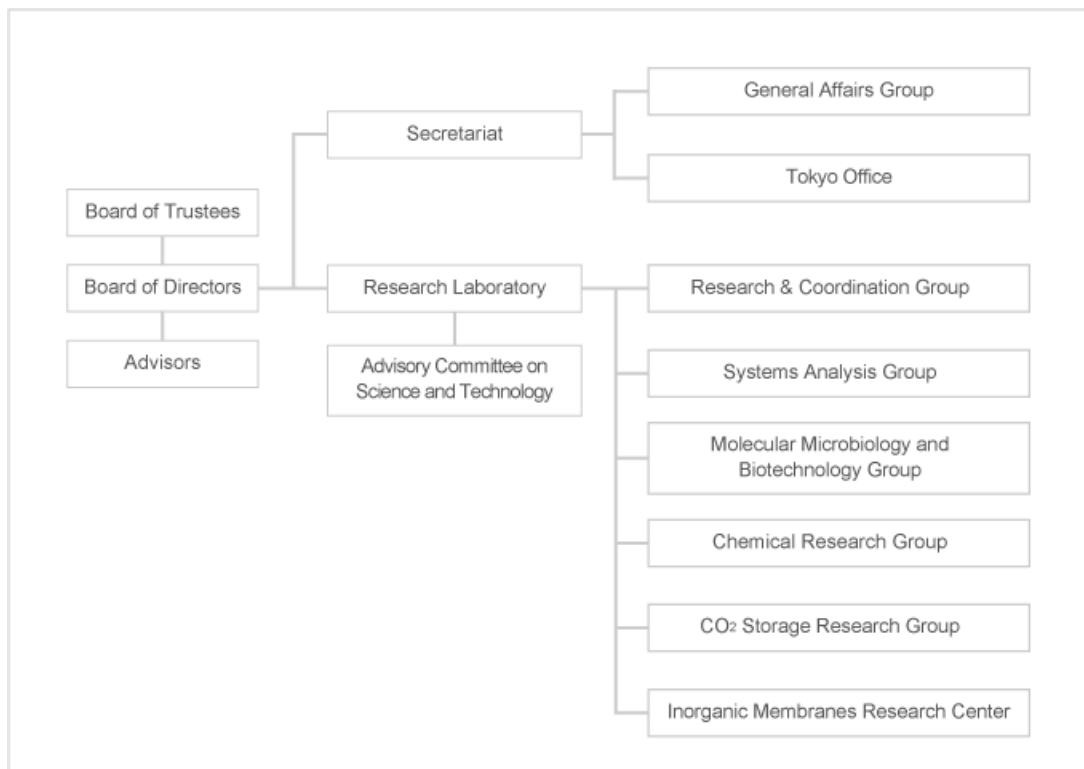


圖 III.2-1 RITE 之組織架構圖

筆者此行由 RITE 理事會 (圖 III.2-2) 的專務理事 (Senior Managing Director), Mr. Takashi Honjo, 出面接待, 並率領相關人員進行簡報與討論。在後續參觀實驗室行程之前, 與會者並合影留念 (圖 III.2-3); 會後 Dr. Horio 表示, 希望將筆者此次行程列入 RITE 年報中, 做為雙方在 MOU 架構下之正式交流活動。



圖 III.2-2 RITE 之理事會成員圖



圖 III.2-3 筆者與地球環境產業技術研究機構 (RITE) 之會面人員合照

在 RITE，研究的內容包括緩和全球暖化戰略與技術的不同領域，其重點涵蓋全球暖化策略與經濟評估、生物精煉、二氧化碳捕捉、綠色製程、無機膜技術等。RITE 正在與產業界、學術界、和政府單位之專家合作，努力開發先進技術，以減少溫室氣體排放，這是全球氣候變遷對策的關鍵挑戰。在位於京都的 RITE 總部實驗室，由各個領域的專家組成的研究小組正進行前瞻性研究和開發。各實驗室領域分類簡要條列如下：

#### 系統研究組：制定緩和全球暖化的對策

為了實現全球暖化對策的解決方案和世界經濟發展，建立計算模擬模型，並提出應對優化的戰略，涵蓋從近/中期 (-2030) 到長期 (-2100) 之情境。

#### 生物技術研究組：生物煉製技術

正致力於開發自生質物可再生資源中利用微生物有效率地生產生質燃料和綠色化學品等技術。

#### 化學研究組：二氧化碳分離/回收/綠色製程技術

正致力於開發使用吸收、吸附、薄膜分離和其他技術，以降低自火力發電廠、煉鐵廠等廢氣中分離和回收二氧化碳的成本。此外，RITE 聚焦於低二氧化碳排放之化學製程，亦即綠色製程。

#### 二氧化碳貯留研究組：二氧化碳儲存技術

作為自火力發電廠降低二氧化碳排放之技術選項，正致力於研發技術，以在地下深層鹽水層（含水層）儲存二氧化碳。

#### 無機膜研究中心：使用無機膜的環境和能源技術

正在進行開發脫氫、從 CO<sub>2</sub> / CH<sub>4</sub> 混合物中分離 CO<sub>2</sub>、蒸餾替代製程的技術，以及無機膜的產業化。

上述的五大研究領域整合成 RITE 的研究發展策略（圖 III.2-4），其目的在於降低日本的碳排放。筆者此行程係代表 TCCSUA 參訪 RITE，因此交流重點聚焦於二氧化碳捕捉與儲存等技術領域。下文將分類簡述之。

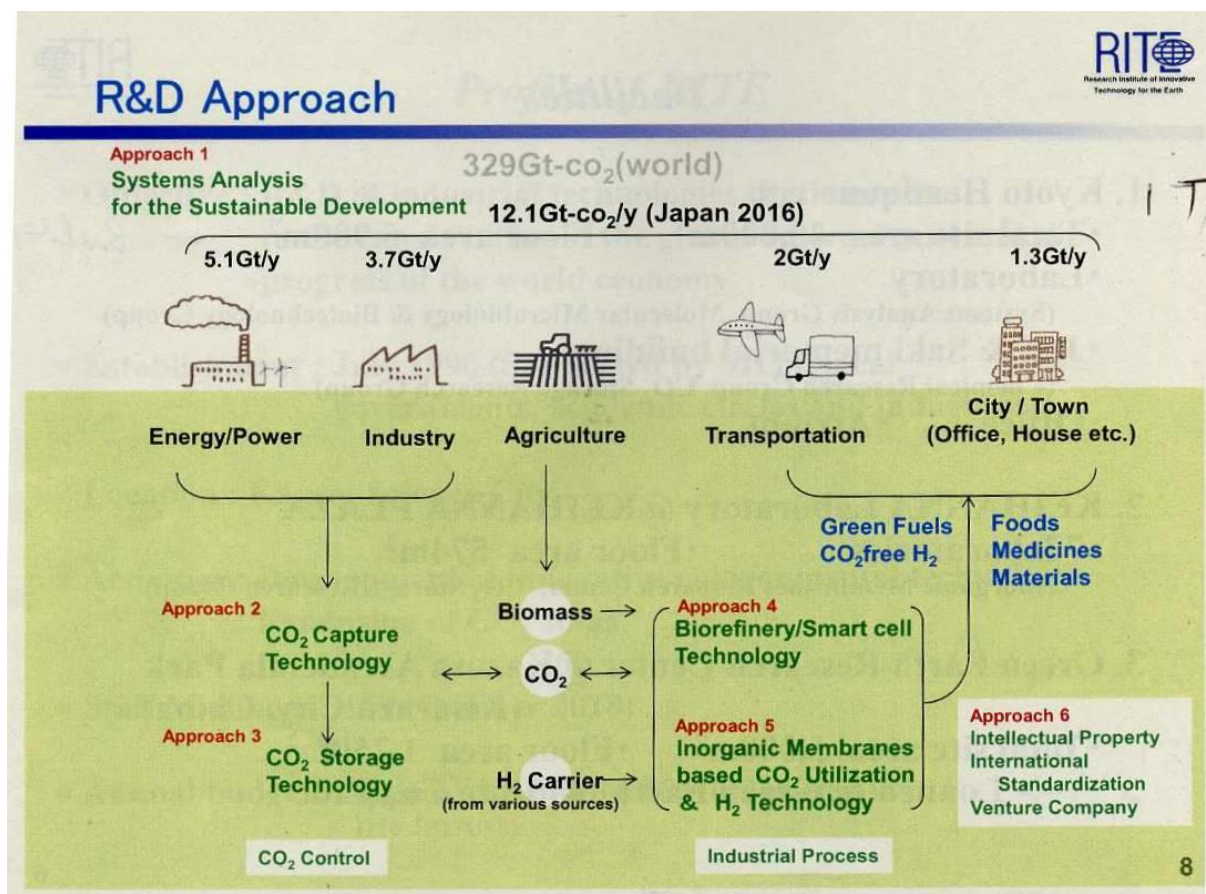


圖 III.2-4 地球環境產業技術研究機構 (RITE) 之研究發展策略

## 1. 二氧化碳捕捉技術

在 RITE，二氧化碳捕捉技術研究的內容涵蓋液體吸收、固體吸附、薄膜分離等技術領域。自 1990 年成立以來，日本 RITE 持續多年來契而不捨的努力，並系統性地提出從近期到長期之戰略。在第一階段，研究人員針對液體吸收技術設定明確之研究內容；其目標是將捕捉二氧化碳的能耗自傳統吸收液之 4 GJ/t-CO<sub>2</sub>，降低至 2 GJ/t-CO<sub>2</sub> 以下，並已順利達標。在第二階段，固體吸附劑之性能指標為 1.5 GJ/t-CO<sub>2</sub> 以下。展望未來，RITE 冀望開發創新技術，持續朝向能耗低於 1 GJ/t-CO<sub>2</sub> 之目標邁進。上述的努力已獲致優異進展成果，代表未來在永續發展過程中的參考標竿，值得國內借鏡。自 2017 年起，在 KEPCO 的 Maizuru 電站將安裝 40t-CO<sub>2</sub>/d 規模的示範試驗工廠，使用 RITE 的高性能固體吸附劑 (1.47GJ/t-CO<sub>2</sub>，93%回收率，98%純度) 用於 KHI (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.) 的 KCC 系統 (Kawasaki CO<sub>2</sub> Capture system)，並將在 2019 年後進行實際的廢氣測試。

### (1) 液體吸收



使用吸收液分離和回收二氧化碳（CO<sub>2</sub>）的方法是目前從大規模二氧化碳發生源中進行二氧化碳捕捉和儲存（CCS）的最實用技術。通過利用與水的化學反應吸收 CO<sub>2</sub> 的“化學吸收液”和利用 CO<sub>2</sub> 的物理溶解吸收 CO<sub>2</sub> 的“物理吸收液”是已知的製程。通常，這些吸收液將選擇性地吸收吸收塔中的 CO<sub>2</sub>，再將吸收溶液移動到汽提塔，並使 CO<sub>2</sub> 從吸收液體中排出。目前，在化學研究組吸收液領域，正在研究和開發主要基於胺化合物的 CO<sub>2</sub> 化學吸收劑，相關的實驗設備如圖 III.2-5 圖~III.2-6 所示。

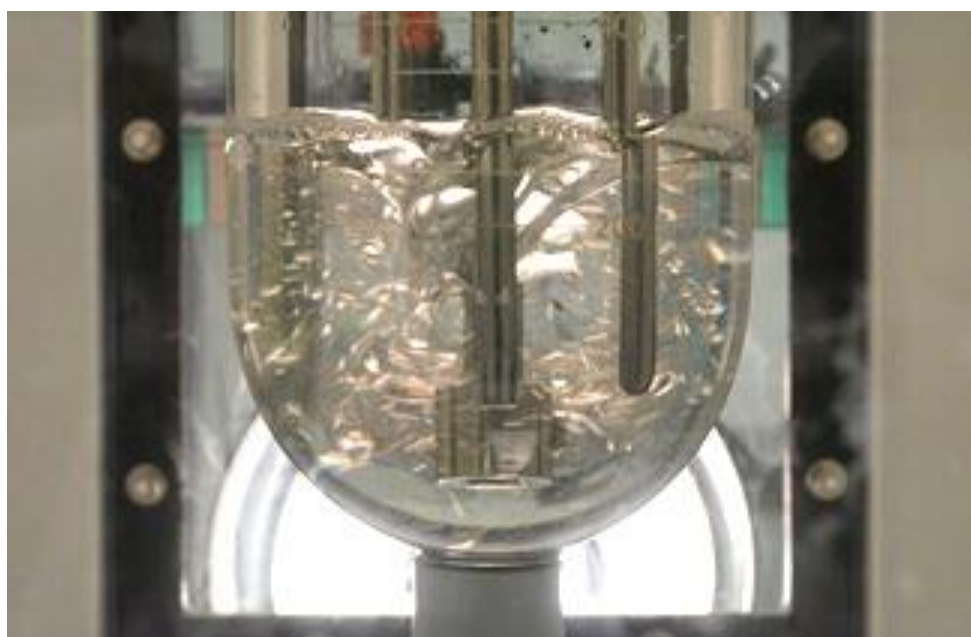


圖 III.2-5 液體吸收二氧化碳捕捉技術研究的實驗設備



圖 III.2-6 液體吸收二氧化碳捕捉技術研究的實驗設備

化學吸收法是將氣體中的  $\text{CO}_2$  化學吸收到吸收液中，然後加熱以從吸收液中分離和回收  $\text{CO}_2$  的技術，並且是將大規模生成的  $\text{CO}_2$  回收到中壓的技術。適用於二氧化碳分離和氣體回收。在液體吸收領域，化學研究組一直致力於開發高性能新型吸收液，降低二氧化碳分離/回收成本，希望改善十多年來化學吸收法中最大的問題。

## (2) 固體吸附

二氧化碳的吸附分離方法是迄今為止已部分投入實際使用的技術，並且是被認為是從大規模來源分離和回收  $\text{CO}_2$  的方法之一的技術，唯尚需要對設備進行緊湊化以及減少進行優化。啟動停止和設備操作容易並且不需要廢液處理是一個很大的優點，並且如果開發出化學穩定的高性能吸附劑，則還可以實現顯著的成本降低和節能效益。

吸收法已經建立為商業技術，它適用於大容量，因為在一系列加工製程中獲得了規模化優點；但它需要一個高吸收塔和一個再生塔，操作需要時間和人力。另一方面，在小型設備的情況下，PSA 更緊湊且易於使用，其優點是不需要諸如胺捕集器等後處理系統。特別是，如果使用化學穩定的材料作為吸附劑，那麼關注環境影響的新物質就不會混入廢氣中，並且不需要廢液處理。首先是保護地球環境的技術從一個觀點來看，可以說與其他分離技術相比，它是一個很大的優點。

採用胺溶液吸收法的標準  $\text{CO}_2$  捕獲過程是相當耗能的，因為它需要加熱才能再生吸收劑。這種技術的其他缺點包括設備腐蝕，和由於這些化合物的高揮發性造成的胺損

失。使用沸石 13x 的傳統變壓吸附 (PSA) 工藝也是能源密集型的程序，因為再生吸附劑需要通過真空施加來改變  $\text{CO}_2$  的分壓。此外，在使用親水沸石的典型 PSA 過程中，需要採用消耗約 30% 的總製程能量的除濕程序，因為水蒸氣對沸石表面的親和力高於二氧化碳。因此，一種在水蒸氣存在的環境下能優先吸附二氧化碳的新型吸附劑是希望擁有的，以便能夠開發一個簡單、節能、無需除濕步驟的二氧化碳去除過程。

最近，氨基改質的固體吸附劑，如負載聚乙二醇 (PEI) 的二氧化矽 (圖 III.2-7)，由於其比胺溶液吸收方法明顯的優勢而廣受注目；因為，在燃燒後  $\text{CO}_2$  捕獲，使用這些吸附劑減輕了上述缺點。因此，日本於 2010 年啟動了一個新專案，旨在開發一種新型固體吸附劑，用於燃燒後捕獲二氧化碳，以減少能源需求。

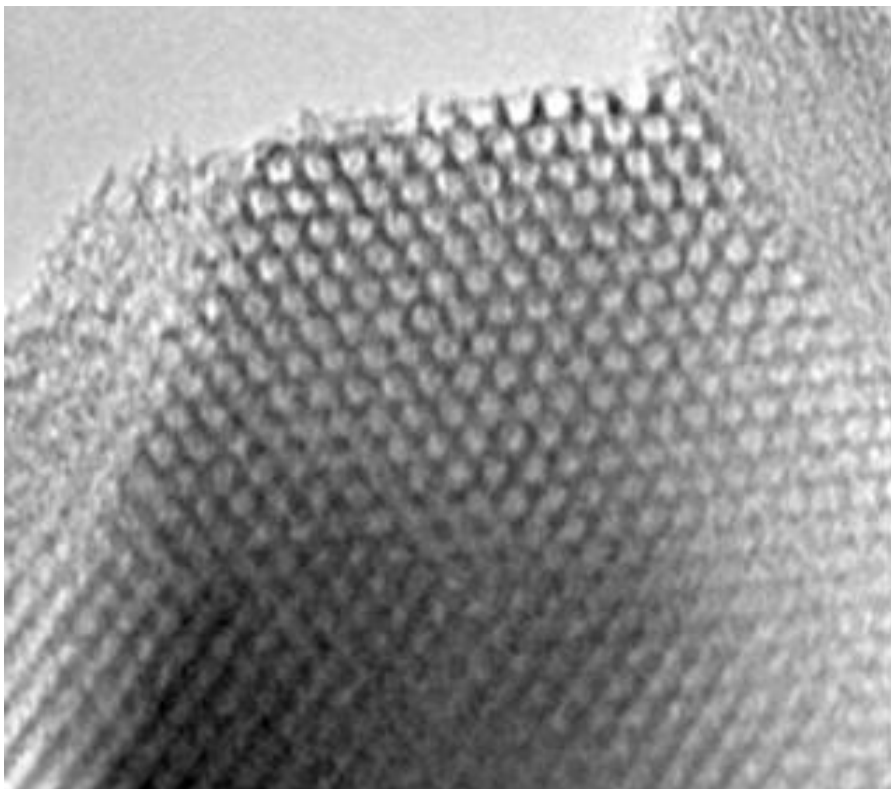


圖 III.2-7 的固體吸附劑之電顯影像

### (3) 薄膜分離

在 CCS 的膜分離研究中，分離目標主要分為三大類別： $\text{CO}_2/\text{N}_2$ （從燃燒煙氣中分離和回收  $\text{CO}_2$ ）， $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ （從天然氣中分離和回收  $\text{CO}_2$ ）， $\text{CO}_2/\text{H}_2$ （從煤氣化整合型複循環發電 (IGCC) 中回收  $\text{CO}_2$ ）。其中，當從具有壓力的氣源中分離  $\text{CO}_2$  時，不



需要新提供壓差的功率，並且由於可以獲得大的壓力差，需要的膜面積減小，因此有可能降低成本。這種氣體源包括煤氣化整合型複循環發電（IGCC），其正在開發為高效發電系統，CO<sub>2</sub> 分離和從天然氣中回收等。

在 RITE，化學研究組正致力於開發高性能二氧化碳分離膜（圖 III.2-8），以降低煤氣化整合型複循環發電（IGCC）的二氧化碳分離和回收成本。

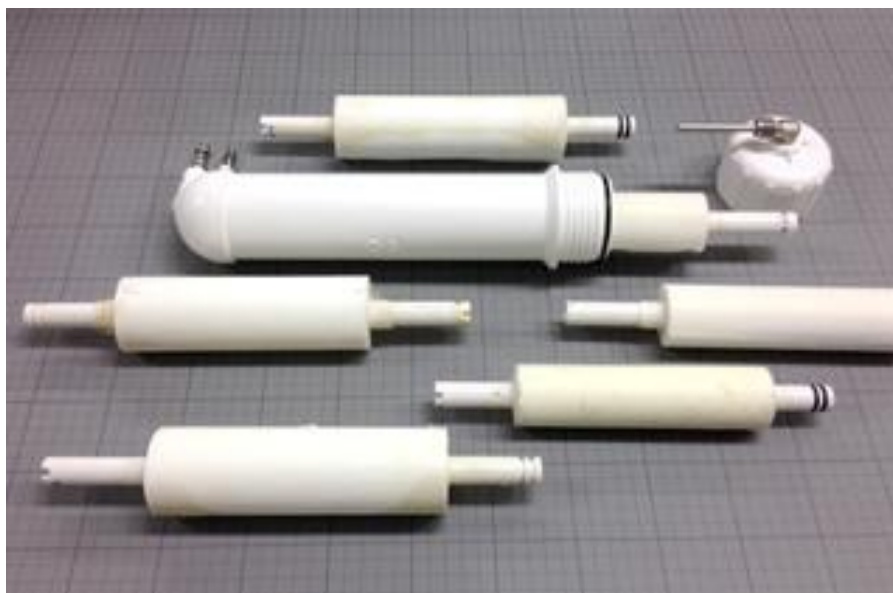


圖 III.2-8 用來分離二氧化碳之薄膜單元

## 2. 二氧化碳儲存技術

在二氧化碳地質儲存技術研究協會的框架下，二氧化碳儲存研究組制定了“大規模二氧化碳注入和儲存安全管理技術”、“大型儲藏所庫有效注入和利用技術”等二氧化碳地下儲存技術的研發，以實施安全的 CCS，其支柱是“改善 CCS 擴散條件和標準”。在日本產經省與環境省的支持下，相關之利害關係(法)人成立了日本 CCS 公司 (JCCS, Japan CCS Company)，執行苫小牧 (Tomakomai) CCS 示範計畫，RITE 亦參與其中。該計畫的總週期規劃為 9 年，即自 2012 年至 2020 年。在 2012 年至 2015 年的前四年，進行了準備工作，包括陸上設施的建設，注水井的設計和鑽井。自 2016 年 4 月開始，將持續三年 CO<sub>2</sub> 灌注在地層下。由煉油廠的尾氣捕獲二氧化碳，於濱海地區陸地上鑽井，將注儲井延伸至海床進行封存。

在下文中，將針對主要研究課題和研究成果加以介紹。

### (1) 二氧化碳地下儲存地質模型施工方法的開發

建立高度可靠貯藏地質模型是二氧化碳地下儲存的一個基本而重要的問題。在二氧化碳地質封存的每個階段，所需的地質模型是不同的。與油氣田開發相比，可以使用的井數據很少，核心樣本、物理測井、聲波勘探等數據之間的空間分辨率和覆蓋範圍不同，因此需要一種整合數據的方法。在 2017 年，二氧化碳貯留研究組構建了地質模型以檢查存儲地點的特徵描述，並研究了一種方法論，將不同來源的數據利用沉積學知識進行整合，以從諸如有限幾口井獲得的測井數據中獲得盡可能多的資訊 (圖 III.2-9)。

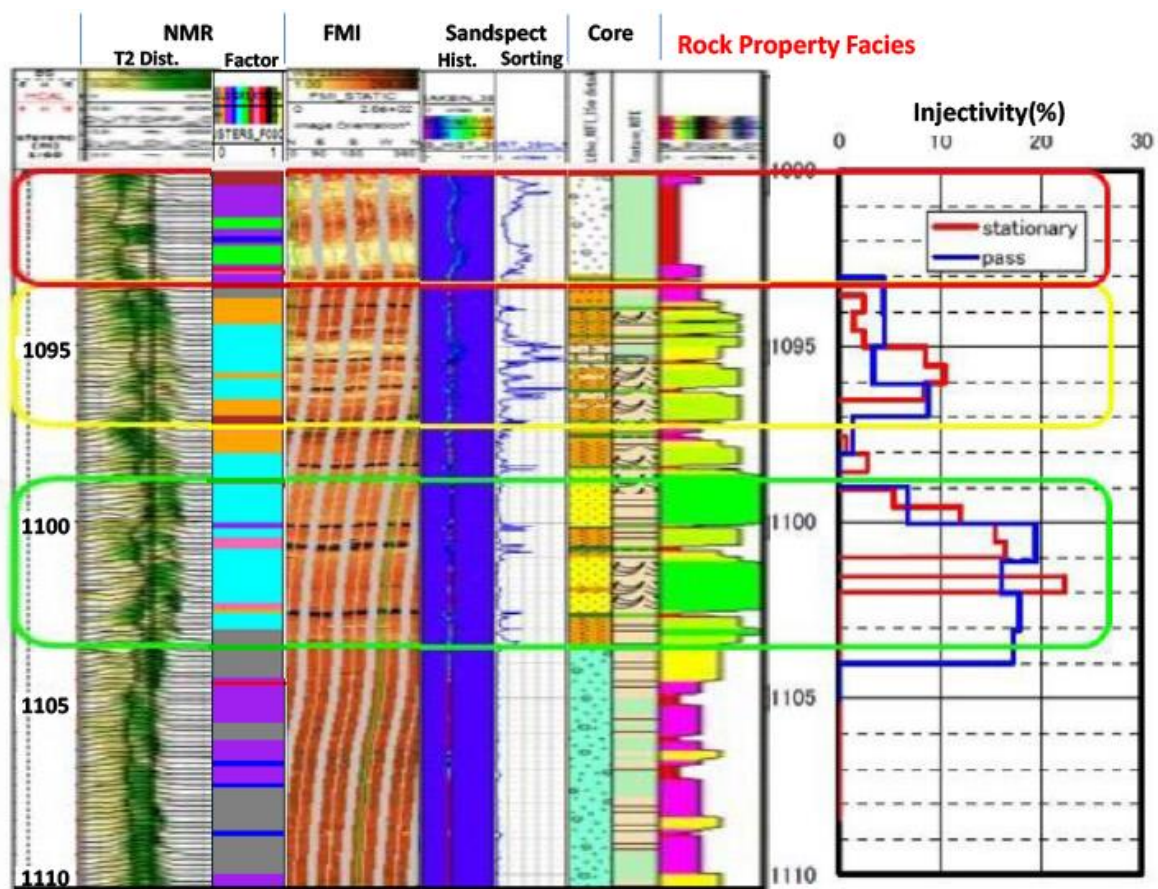


Figure: Comparison between interpretation of the formation from the image data analyses and CO<sub>2</sub> injectivity

圖 III.2-9 二氧化碳灌注性與影像數據分析之比較

### (2) 基於地震觀測的二氧化碳注入管理系統 (ATLS) 的開發

由於 CO<sub>2</sub> 注入增加了地下壓力並且擔心可能引起地震，因此在 CO<sub>2</sub> 注入現場進行各種監視，例如地震觀測。二氧化碳貯留研究組根據這些觀察結果開發了二氧化碳注入管理系統 (ATLS：高級交通燈系統)。在高溫岩石地熱發電 (EGS) 中，開發了一種基

於微地震觀測結果以綠色，黃色和紅色交通信號燈的顏色表示的交通燈系統 (TLS)。在這項研究中，研究人員開發了一個具有更先進功能的 ATL 系統，考慮到所有觀測數據，包括二氧化碳注入場地的地震觀測和壓力分配情況。ATLS 旨在盡快檢測異常訊號，並將其反饋到二氧化碳注入控制。基於來自 ATLS 的資訊，除了控制 CO<sub>2</sub> 噴射量之外，操作員還可以對異常事件採取必要的措施。

### (3) 二氧化碳壓力下的地層穩定性監測技術發展

關於 CO<sub>2</sub> 注入部位所形成的機械穩定性，期望不僅監測儲層和屏蔽層，而且監測從儲層到地表的所有地層的變形。DTS (分佈式溫度傳感器) 已經發展成為一種可以從地表到地下深處連續測量的方法，並且已經在石油和天然氣開發領域投入實際應用。作為類似的光纖傳感技術，CO<sub>2</sub> 貯留研究組正在開發技術，以連續測量深度方向的變形(應變)。

### (4) 利用側掃描聲納開發 CO<sub>2</sub> 氣泡檢測技術

雖然一般認為存儲在海底基層中的 CO<sub>2</sub> 洩漏到海中的可能性非常小，但根據“海洋污染控制法”，仍需要進行洩漏監測，以確認在緊急情況下沒有發生洩漏。在淺水的溫度和壓力條件下，洩漏的 CO<sub>2</sub> 變成氣體；因此如果發生洩漏，則 CO<sub>2</sub> 的氣泡將從海底浮出來。因此，確認沒有氣泡從海底流出可以成為洩漏監測的手段。

### (5) 利用微泡技術開發 CO<sub>2</sub> 溶出促進技術

二氧化碳貯留研究組已經開發出通過與東京天然氣有限公司合作研究使用特殊過濾器將二氧化碳微泡 (細小氣泡) 埋入地下的技術。圖 III.2-10 顯示了壓入 30 厘米長多孔砂岩樣品中的微氣泡 CO<sub>2</sub> 的行為，該樣品由 X-CT 設備可視化。暖色系顯示了孔隙空間中的 CO<sub>2</sub> 分佈，表明微泡 CO<sub>2</sub> 注入方法優於傳統方法，具有高 CO<sub>2</sub> 飽和率和優異的儲存性能。

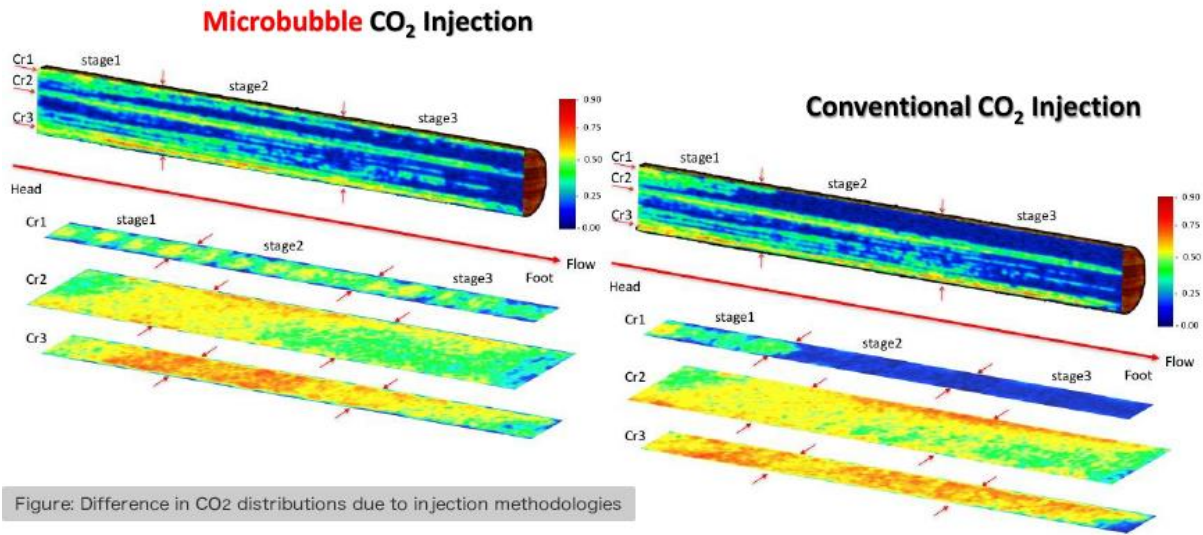


圖 III.2-10 多孔砂岩樣品中的微氣泡 CO<sub>2</sub> 的行為

## 四、建議事項

聯合國 IPCC 之 AR5 已自 2013 年底起開始逐步發佈，持續警示氣候變遷之相關影響，為減緩全球氣候變化，政府必須儘速明確揭櫫策略方向，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。政府自 2016 年發佈「能源轉型」政策，並積極推動「五加二」策略產業，建構低碳能源發展藍圖；因此，核能研究所積極進行**能源國家型科技計畫**領域之「**碳基能源永續潔淨利用技術發展**」研究計畫，並執行能源局專計畫項下之「**低碳排流體化床技術之開發與應用**」計畫，冀望能為我國潔淨能源情景略盡綿薄之力。此外，該計畫亦從永續發展觀點推動**自主性潔淨能源技術之建立**，研發淨碳、生質物氣化與多元應用、廢棄物資源化等技術，藉以**提升國內的能源自主性、降低污染排放**。

今年 HEET 會議重點聚焦在**氫能與能源技術**等議題，如產氫、燃料電池、熱化學轉換、觸媒合成、能源載體等，為其**能源潔淨轉換程序**提供了**重要平台**。本團隊規劃後續計畫「**熱化學轉換多元能源供應系統開發**」，為結合已發展之熱化學與電化學能源技術，進行多元能源供應系統整合開發。本所成員出席 HEET 2018 會議，對於計畫開發之技術切入多元能源供應系統產業當有所助益，提升技術競爭力。目前政府已將**氫能技術**列為發展重點，對實現永續發展將發揮著重要作用。**氣化技術**是產氫、轉換**能源載體**與**改善空污**等議題的重要支柱，代表在永續發展過程可提供能源、環境與經濟的整合解決方案；顯示本所計畫內容符合國際主流趨勢。

日本 RITE 自成立以來，其目標是經由產業技術的研究開發，為保護全球環境和促進世界經濟發展做出貢獻；多年來契而不捨的努力，提出從長期到近期之戰略，值得國內借鏡。**減碳**程序技術為達成「巴黎協議」目標之重要選項，亦為抑制氣候變遷的重點項目；日本 RITE 持續的努力已獲致優異進展成果，代表未來在永續發展過程中的參考標竿。另外，日本 CCS 公司 (JCCS, Japan CCS Company) 在日本產經省與環境省的支持下，執行苦小牧 (Tomakomai) CCS 示範項目；該項目的總週期計劃為 9 年，即 2012 年至 2020 年。在 2012 年至 2015 年的前四年，進行了準備工作，包括陸上設施的建設，注水井的設計和鑽井。而 CO<sub>2</sub> 注射在 2016 年 4 月開始，將持續三年。由煉油廠的尾氣捕獲二氧化碳，於濱海地區陸地上鑽井，將注儲井延伸至海床進行封存。

此次公差行程之建議事項可分為數個面向摘要分述如下（每項不多於 80 字元）：



### (一) 技術研發領域

1. HEET 會議重點聚焦在**氫能與能源技術**等多項領域，為其**能源潔淨轉換程序**提供了**重要平台**；契合國內**能源轉型**與**核研所科專計畫**內容，具備**未來性與競爭力**，值得**持續推動**。
2. 政府已將**氫能技術**列為發展重點，如產氫、氫能轉換（燃料電池）、熱化學轉換、觸媒合成、能源載體等；對實現永續發展將發揮著重要作用，建議本所**應積極參與**後續研發活動。
3. **氣化技術**是**產氫**、**轉換能源載體**與**改善空污**等議題的重要支柱，代表在永續發展過程可提供**能源、環境與經濟的整合解決方案**；顯示本所計畫內容符合**國際主流趨勢**，值得**持續推動**。
4. **減碳程序技術**為達成「巴黎協議」目標之重要選項，亦為抑制氣候變遷的重點項目；日本 RITE 持續的努力已獲致優異進展成果，代表未來在永續發展過程中的**參考標竿**。

### (二) 國際交流合作領域

1. 日本 RITE 自成立以來，其目標是經由產業技術的研究開發，為保護全球環境和促進世界經濟發展做出貢獻；多年來契而不捨的努力，提出從長期到近期之戰略，值得國內借鏡。
2. 本次會議的特邀講員之研發**優勢領域**契合**核研所淨碳技術計畫**的主要內容，並主動討論未來可能合作議題，本所可考慮**積極推動**進一步與之串連，形成**國際合作之重點技術研究團隊**。