

出國報告（出國類別：其他）

**-生質燃料之生物技術研究-
參加第九屆永續能源暨環境
科技亞太研討會出國報告**

服務機關：台灣中油股份有限公司綠能科技研究所

姓名職稱：陳勁中 化學工程師

派赴國家：日本

出國期間：102年7月4日至102年7月8日

報告日期：102年9月30日

摘要

永續性的生質能源為台灣中油公司綠能科技研究所研發重點項目之一，為瞭解國際間生質能源的最新發展技術、趨勢與應用實例，因此參加第九屆永續能源暨環境科技亞太研討會，並投稿國際會議論文一篇。藉由參加該國際研討會之各項再生能源議程與講演，從而蒐集亞太地區生質能源的最新發展技術及趨勢，有助於提升本公司研發能量與新創事業開發之可行性評估。本報告將研討會主要內容分為會議與主題演講、專題演講、論文海報資料等三部分進行整理及分析，並簡述近期全球生質能市場及相關產業的發展近況，最後由四個面向（加強國際與企業合作、第二代生質燃料發展、生質料源之副產物與廢棄物利用、環保議題）提出心得與建議。

目次

	頁次
摘要-----	2
1. 目的-----	4
2. 過程-----	5
3. 研討會資料彙整-----	6
4. 心得與建議-----	22
5. 參考資料-----	27

1. 目的

爲了因應國際油價高漲問題、減少對石化燃料的依賴並兼顧環保議題，近年來全球各地正積極開發能永續發展且符合環保的再生能源，其中生質能源爲一重點研發項目。生質能 (biomass energy) 是一種重要的再生能源，與風能、太陽能、地熱等能源一樣，具有取之不盡、用之不竭的特性。生質能源可以提供低硫燃料，降低空氣污染，與其他再生能源相比，其技術難題較少。但是困難點在於生質料源含水量普遍偏高 (50-95%)，能源轉換效率較低，且目前世界各地缺乏適合栽種植物的土地，導致單位面積土地的生質能源密度偏低。爲因應全球人口不斷增加所造成的糧食生產增長需求、未來市場對再生能源及材料的需求與安全防護要求等趨勢，世界各國正積極開發符合市場需求並兼顧環保的生質產品，以滿足消費者的期待。

關於生質能最近的發展趨勢，近來生質物 (biomass) 用於提供現代化能源服務 (諸如建築、工業和交通行業) 的佔比持續擴大，生質物除了可作爲家畜的食物、纖維和飼料之外，也被用於當作材料和化學品生產的原物料，目前生質能佔全球初級能源 (primary energy) 供應比例超過10%，是世界第四大能源 (排在石油、煤與天然氣之後)。生質能的主要料源來自：森林、木材加工業及糧食作物，而以農業用地種植專門用於能源目的之能源作物占生物質資源年消耗總量的3~4%。生物質生產的可持續性、相關的土地利用變化、原料的競爭、貿易限制以及從玉米等糧食作物生產生質燃料的影響仍備受檢討，並可能影響未來的需求。例如：美國用於生產生質酒精 (乙醇) 的玉米佔約年度全球玉米產量的10%，提高對糧食供應擔憂的影響。生質能市場往往依賴的是非正式的結構，這使得較難精確、正式地追蹤生質能市場的相關數據與發展趨勢。此外，各國生質能數據收集通常是由多個機構執行，但各機構間資訊、研究結果常不一致，甚或是有所抵觸、矛盾。因此，各國及全球生質能利用和需求的數據是難以衡量且不明朗。然生質能的發展趨勢是不變的，尤其是具有永續性且兼顧民生的生質能源 (如：纖維素酒精) 於全球各國仍持續精進當中。

永續性的生質能源爲台灣中油公司綠能科技研究所研發重點項目，爲瞭解國際間生質能源的最新發展技術及趨勢，因此參加第九屆永續能源暨環境科技亞太研討會，藉由研討會中各項再生能源議程與講演，蒐集國際間生質能源的最新發展技術、實施經驗及未來趨勢，有助於提升本公司研發能量與新創事業開發之可行性評估。

2. 過程

出國行程與時間安排如表一。

表一、出國行程表。

日期	工 作 紀 要
102.7.4	啓程（嘉義-桃園機場-日本成田機場）
102.7.5	參加研討會議程
102.7.6	參加研討會議程
102.7.7	參加研討會議程
102.7.8	返程（日本成田機場-桃園機場-嘉義）

3. 研討會資料彙整

3.1 永續能源暨環境科技亞太國際研討會簡介及論文發表內容

本次出國至日本成田參加第九屆永續能源暨環境科技亞太研討會 (APCSEET 2013)，並投稿國際會議論文一篇。永續能源暨環境科技亞太研討會 (APCSEET) 為每兩年舉辦一次的國際研討會，該會主要議題為全球永續能源的發展現況，目的在於將國際間各大學、工廠、政府、能源公司、研究單位的專家、學者、工程師齊聚在一起，發表、討論永續能源相關的技術發展、市場變化、政策施行等議題，並特別著眼於亞太地區，以期能更精確解析未來再生能源的前景及走向。歷屆研討會舉辦時間、地點如下：

第一屆永續能源暨環境科技亞太研討會：新加坡 (1996 年)

第二屆永續能源暨環境科技亞太研討會：澳洲 (1998 年)

第三屆永續能源暨環境科技亞太研討會：香港 (2000 年)

第四屆永續能源暨環境科技亞太研討會：日本 (2003 年)

第五屆永續能源暨環境科技亞太研討會：紐西蘭 (2005 年)

第六屆永續能源暨環境科技亞太研討會：泰國 (2007 年)

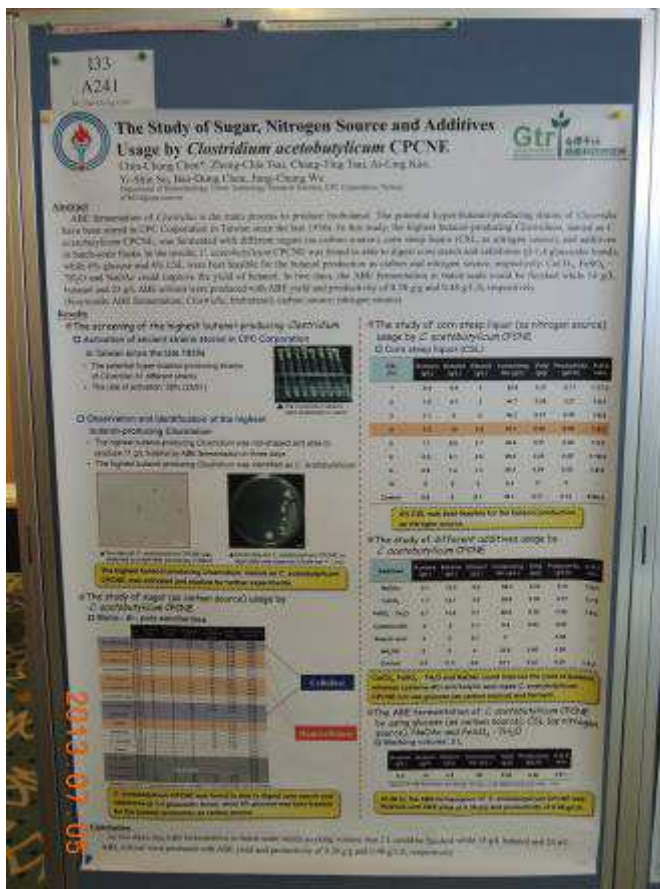
第七屆永續能源暨環境科技亞太研討會：中國 (2009 年)

第八屆永續能源暨環境科技亞太研討會：澳洲 (2011 年)

本次研討會為第九屆永續能源暨環境科技亞太研討會，會場位於日本東橫 INN 成田機場 (Toyoko Inn Narita Kuko，見圖一)，於該會投稿之論文題目為「The Study of Sugar, Nitrogen Source and Additives Usage by *Clostridium acetobutylicum* CPCNE」，內容探討本所自日據時代保存至今具醱酵潛力之丁醇生產菌 *Clostridium acetobutylicum* CPCNE，該菌的碳源、氮源及醱酵培養液添加物之丁醇醱酵研究。本研究利用各種不同的單醣、雙醣、多醣、玉米浸漬液 (CSL) 與醱酵培養液添加物進行丁醇醱酵效率探討，發現 *Clostridium acetobutylicum* CPCNE 具有分解玉米澱粉與打斷 β -1,4 glucosidic bond 的能力，6%葡萄糖與 4%玉米浸漬液是最合適丁醇醱酵的碳、氮源，且於醱酵培養液中加入 CaCO_3 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 及 NaOAc 可提高丁醇的產量，批次式丁醇醱酵在 2 天內可產生 14 g/L 丁醇及 23 g/L 的 ABE 全溶劑，ABE 產量及產率分別為 0.38 g/g 及 0.48 g/L/h。詳細發表內容如圖二所示。



圖一、第九屆永續能源暨環境科技亞太研討會 (APCSEET 2013) 舉辦地點：東橫 INN 成田機場 (Toyoko Inn Narita Kuko)。



圖二、發表論文「The Study of Sugar, Nitrogen Source and Additives Usage by *Clostridium acetobutylicum* CPCNE」。

3.2 會議與主題演講資料

3.2.1 陸生植物之奈米粒子追蹤

-Jorge L. GARDEA-TORRESDEYD et al.

-Univ. Texas at El Paso, TX USA; European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, France

近來許多工程奈米材料 (engineered nanomaterials, ENMs, 例如: ZnO、TiO₂、CeO₂) 使用於永續能源及環境科技上, 然此些 ENMs 會釋放至環境並造成影響, 特別是對於陸生植物。當這些 ENMs 經生物轉化進入糧食作物亦或是經由飼料餵養進入食用牲畜 (如: 牛), 都將使 ENMs 進入食物鏈中而影響人體, 所以近年來有研究專注於此些 ENMs 對植物的影響。

Jorge 等人研究 ENMs 對野生植物 (牧豆樹) 及耕作植物 (黃豆、黃瓜) 的影響, 結果發現在牧豆樹幼苗生長的水中添加 ZnO 奈米粒子 (10 nm, 500~4000 mg/L), 會導致 Zn 累積於根、莖、葉, 且會使牧豆樹感受到壓力而處於生長逆境中; 耕作植物黃豆則種植於有機田中, 並施以 ZnO 奈米粒子 (500 mg/kg) 或 CeO₂ 奈米粒子 (1000 mg/kg) 處理, 結果發現處理 ZnO 奈米粒子將會導致黃豆可食用部份累積金屬, 處理 CeO₂ 奈米粒子則會導致黃豆生長較差且產量下降, 此會降低豆科植物重要的天然效能-固氮作用 (nitrogen fixation); 而黃瓜施以 TiO₂ 奈米粒子則會造成黃瓜根部長度大量增加 (>300%), 目前雖不見顯著的毒害, 但是發現 TiO₂ 奈米粒子會累積於黃瓜果實中, 而進入食物鏈及下一代。由此些研究發現, 奈米粒子確實會影響植物 (特別是糧食作物) 生長發育, 在發展再生能源的議題上須重視附帶產生的不良後果。

3.2.2 沸石膜 (zeolite membrane)-於化學工廠的分離應用_可降低能源消耗

-Masahiko MATSUKATA

-Dept. Appl. Chem., Waseda Univ., Japan

化學工廠中約有 40%總能耗使用於分離化學物質產品, 其中 90%以上的分離方法是使用蒸餾法, 但蒸餾法消耗能量甚鉅。沸石除了具有良好之溫度、化學、結構穩定性外, 其特殊物化特性適合用作為分子篩或選擇性吸附器, 所以近來許多研究者將沸石應用在分離化學物之分離膜或膜反應器上。早稻田大學 Masahiko Matsukata 博士將沸石膜 (zeolite membrane, 由 Mitsubishi 公司製造) 應用於石化工廠的化學物質純化, 可大規模降低能耗。其應用實例如下:

- 水/醋酸 (water/ acetic acid) 混合物的分離。此分離操作於多種化學產物的生產製程中皆屬於重要步驟, 例如: 生產 terephthalic acid、acetate ester、醋酸等。水/醋酸混合物的分離非常適合利用膜分離方式來達成, Masahiko Matsukata 博士將沸石膜分離單元與蒸餾塔做連結, 可大幅降低醋酸去水製程的能耗。

- Xylene isomers 的分離。因為 Xylene isomers 的沸點相近 (*m*-xylene, 412 K; *o*-xylene, 417.6 K; *p*-xylene, 411.5 K)，所以進行分離相當耗能。Masahiko Matsukata 博士利用中等孔隙的沸石膜 (silicalite-1) 進行分離操作，silicalite-1 的孔隙大小近似 *p*-xylene 的 kinetic diameter (0.58 nm)，因此直徑較大的 *m*-xylene 與 *o*-xylene (kinetic diameter = 0.68 nm) 不易進入 silicalite-1 的孔隙中，而可達到分離的目的。近期相關的微孔隙膜 (microporous membranes) 發展快速，已接近可商業化的進程。

3.2.3 微生物產氫 (使用控制 pH 值之暗醱酵批次反應系統)

-Huyen T.T. NGUYEN et al.

-Ton Duc Thang Univ. and Vietnam Academy Sci. Technol., Vietnam

相較於光合產氫作用，以微生物進行醱酵產氫是較具有商業化製程的潛力，而微生物醱酵產氫製程是非常複雜且受 pH 值影響甚鉅，Huyen 等人利用越南糞便中篩選出的細菌 *Clostridium* sp. Tr2 來進行醱酵產氫，在 pH 值控制為 6 的狀況下，*Clostridium* sp. Tr2 產氫的效果最好，在 30°C、pH 值控制在 6 的情況下，進行暗醱酵批次反應，於厭氧醱酵反應 22 小時，可產生 2.94 L H₂/L medium，其占有醱酵氣體 95.82%，最大的氫氣產量為 2.31 mol H₂/mol glucose。推測此菌種具有工業化醱酵產氫的潛力。

3.2.4 印度小油桐之生命週期分析及模式化

-Sangeeta SINHA et al.

-Centre for Renew. Energy & Env. Res., India; Univ. Dept. Physics, B.R. Ambedkar Bihar Univ., Muzaffarpur, India; Dept. Mat. Life Sci., Seikei Univ., Japan

至 2030 年，全球能源相關釋出的 CO₂ 每年以 1.8% 的速度增長 (IEA)，新的 CO₂ 釋出地點由工業化國家轉向新興的經濟體。印度是全球第 6 大的能源消耗國，2020 年印度進口石油的花費將高達 194 億美元 (以 100 美元/barrel 計算)，目前生質能被認為可替代液化石油能源，因為生質燃料容易運輸且能達淨排放 CO₂ 為零的目標。

小油桐為印度主要發展的能源作物之一，小油桐種子含油量為 25~40%，其餘部分富含氮、磷、鉀，適合作為農業肥料使用。該植物具高耐旱性，可抵抗荒漠化的種植土地。在印度農村地區以小油桐生產生質柴油可契合當地農業應用，在印度已將小油桐視為重要的能源作物，並進行大規模農地及苗圃種植，主要作業交由印度女性自助團體進行，除有利發展生質能源外，也可協助解決知識弱勢印度女性的就業及貧窮問題。利用典型的貧瘠乾旱區域 (Panna) 進行小油桐耕作，藉以研究

小油桐在荒地、貧瘠農地、缺乏農業作業之林地等地區生長的生命週期分析，可大量收集小油桐之土地使用、地表覆蓋、農業資源及施作相關的有用資料。此研究最終目的在於利用生質燃料的發展進一步減少 CO2 排放，並將相關製程聯結農業，將經濟效益回饋給農民。

3.2.5 泰國生質能的發展現況與策略

-Wiwut Tanthapanichakoon

-Dept. Chemical Engineering, Tokyo Institute of Technology,
Japan

2007 年泰國能源部 (Thailand Ministry of Energy)⁽¹⁾大膽地宣示未來 15 年的替代能源發展計畫，預計於 2022 年將再生能源佔總能源消耗的比例由 6.4% 提升至 14.1%，其針對三方面的再生能源來下手，分別為電能、熱能、生質能。

- 電能：2007 年泰國電能來源包含生質物 (biomass)、氫能 (hydropower)、生物氣體 (biogas)、太陽能 (solar (PV))、都市固態廢棄物 (municipal solid waste, MSW)、風能 (wind energy)，其占比依序遞減。
- 熱能：2007 年泰國熱能來源包含生質物、生物氣體 (biogas)、都市固態廢棄物及太陽能。
- 生質能：2007 年泰國用於運輸業的生質能來源包含生質柴油 (1.56 million liter/day) 與生質酒精 (1.24 million liter/day)。依據泰國能源部的發展計畫，在 2022 年生質柴油與酒精的日產量將達 4.50 與 9.00 million liter/day。

✧ 生質酒精：

截至 2011 年年底，泰國生質酒精主要的原物料來源為樹薯 (cassava, 5 間生產工廠，日產量 0.78 million liter/day)、糖蜜 (molasses, 5 間生產工廠，日產量 0.78 million liter/day)、甘蔗 (sugarcane, 1 間生產工廠，日產量 0.20 million liter/day) 與混合式料源 (樹薯+糖蜜+甘蔗, 8 間生產工廠，日產量 1.31 million liter/day)，此外尚有 6 間生產工廠正在興建，其原料將使用樹薯，日產總量將可達 2.22 million liter/day。該總產量與 2022 年目標 (9.00 million liter/day) 比較仍嫌不足，所以發展利用非農作物原料來生產生質酒精將勢在必行。

✧ 生質柴油：

同樣困境也出現在生質柴油的發展上，泰國生質柴油來源主要為動物 (豬油) 與農作物 (棕櫚油、大豆油、菜籽油)，此外，近年來也積極地開發非農作物植物 (小油桐) 來榨油

以生產生質柴油。2011 年年底，原先 15 年期替代能源發展計畫 (15-year Alternative Energy Development Plan, 2008~2022 年) 被一個修正目標後之 10 年期發展計畫 (10-year Alternative Energy Development Plan, 2012~2021 年) 所取代，生質酒精的目標仍定為 9.00 million liter/day (年產量: 3.285 billion liter/year)，但生質柴油的目標則增加至 5.97 million liter/day (2.18 billion liter/year)，主要修正的原因是修正計畫於 2022 年替代能源佔總能源消耗的比例比前項計畫所訂定的目標還要高出 5%。如此情況下，相關農作物價格勢必影響泰國國人的民生花費，所以泰國必須盡快發展非糧作物來源的生質柴油及酒精的相關生產技術與製程。

由上述資料得知，泰國面臨極大的再生能源發展挑戰，因此 Dr. Wiwut Tanthapanichakoon 提出建議，希望能成立一個生質能發展與研究之國際合作中心 (international open innovation center, IOIRC)，以結合泰國 (生質料源)、日本與東南亞國家聯盟國 (ASEAN countries) 的各國資源來共同發展生質能。事實上，在 2012 年 10 月於東京舉行的國際政策論壇，會中談論到於東南亞設置一個生質料源 IOIRC 總部，近來在泰國與日本也有一連串後續的相關會議持續進行，希望能落實加速 IOIRC 的建置成立。IOIRC 相關的計畫基礎正在執行，如現正執行計劃 -SATREPS (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development) 計劃正在泰國施行，SATREPS 是集合日本科學技術振興機構 (JST, Japan Science and Technology Agency)⁽²⁾與日本國際合作署 (JICA, Japan International Cooperation Agency)⁽³⁾合作的計劃，目標放在全球性的研究議題，對象鎖定為日本國內及其他發展中國家的研究者。SATREPS 在泰國執行的兩個計劃名稱為「Innovation on Production and Automotive Utilization of Biofuels from Non-food Biomass」與「Development of New Biodiesel Synthesis in Thailand」，分別開始於 2009 及 2010 年。此外，關於泰國利用非糧作物原料生產生質酒精，Dr. Wiwut Tanthapanichakoon 提出兩個不同的主要製程：cellulolysis & fermentation (a biological approach) 及 gasification (a thermochemical approach)，簡介如下：

◇ Cellulolysis & fermentation:

即目前所謂纖維酒精製程，將纖維原料經水解處理後變成 5、6 碳糖，再經醱酵作用產生酒精，爾後利用蒸餾法將酒精濃度提升。

◇ Gasification:

先將木質纖維原料轉化成為 CO 及 H₂ (syngas)，再經化學或醱酵作用產生酒精，爾後利用蒸餾法將酒精濃度提升。

3.3 專題演講資料

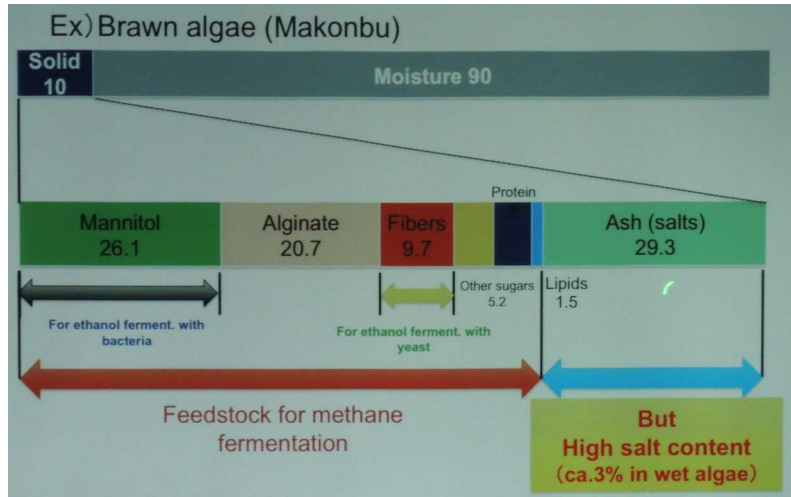
3.3.1 利用海藻生質料源在高鹽狀態下進行甲烷醱酵

-Yutaka NAKASHIMADA et al.

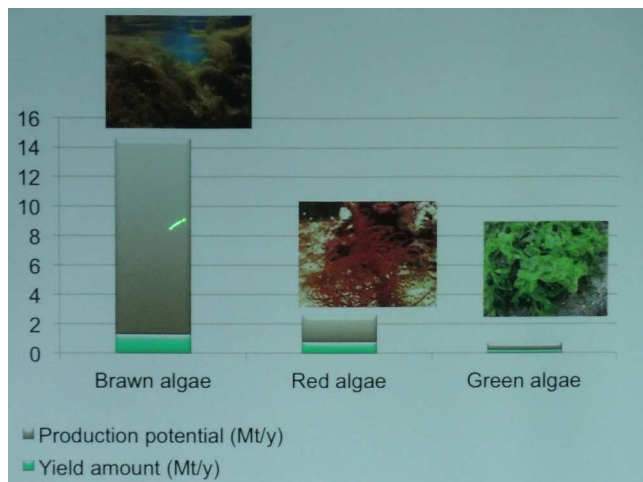
-Hiroshima Univ., Japan; JST/CREST

近年來研究顯示海藻具有作為再生能源生質物料源的潛力，因為海藻含有大量水分 (~90%, w/w)，與氯化製程 (物化方法) 相比，海藻較適用於生物法方式處理。在多種處理海藻的生物法中，甲烷醱酵製程 (包含三大步驟: hydrolysis/acidogenesis、acetogenesis、methanogenesis，將海藻代謝生產為甲烷的碳轉化率為 30%) 最具有前景 (圖三)，其優點包括: 可利用海藻生質料源內各種成分 (醣、蛋白質、脂質)、產物容易回收 (as biogas)、產物純化技術簡單。海藻生質能精煉廠須設置於鄰近海藻栽培地點 (海洋)，然而所需海藻料源及取自海洋的製程用水皆含有高濃度鹽分，不利於甲烷醱酵的進行。為了克服高鹽濃度的問題，Dr. Yutaka NAKASHIMADA 等人利用高鹽及低鹽生長條件培養的褐藻 (brown macroalgae) 與其他海藻相比，褐藻具有較高的產量潛力，見圖四) 作為饋料料源，用以馴化數種微生物菌群 (因為甲烷醱酵製程三步驟所需的微生物不盡相同，因此篩選微生物菌群來滿足整體製程所需，各步驟常用微生物見圖五)，並研究此些微生物菌群在高鹽環境下進行 hydrolysis/acidogenesis 的效率。

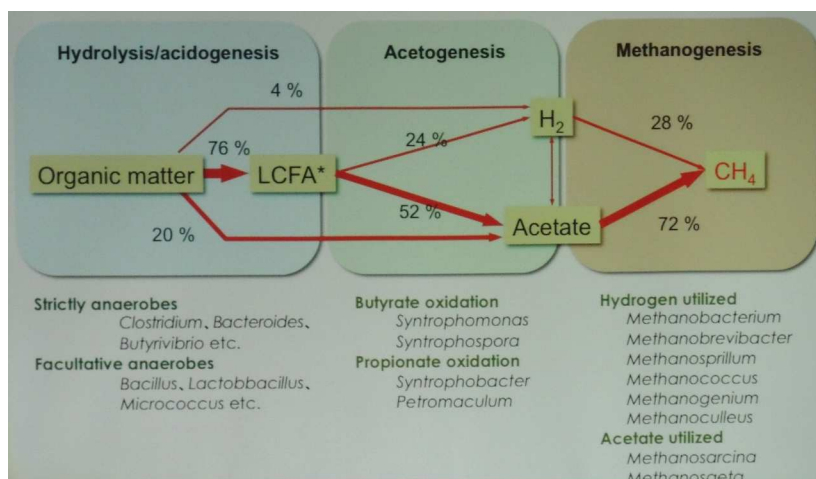
研究使用高鹽培養條件進行微生物篩選，發現篩選自海洋之微生物菌群的醱酵效能高於傳統厭氧消化道微生物菌群；在高鹽狀況下進行甲烷醱酵，其代謝活性、路徑有其獨特性 (圖六)；利用批次及重複批次醱酵進行實驗，發現重複批次醱酵時，由乙酸轉化產生甲烷的效率很差，主要是因為微生物菌群中可代謝乙酸生產甲烷的菌株 (acetoclastic methanogens) 數量占比小。因此利用化學培養基 (配製成份及醱酵條件見圖七) 來馴化 acetoclastic methanogens，所得馴化菌株除了甲烷產量上升之外 (16.8 L/L/d，原來產量: 2.3/L/d)，且可耐高鹽濃度至 6%。並設計兩相反應器系統 (two-phase reactor system) 進行甲烷醱酵，首先利用管柱式連續反應器對海藻生質料源進行醱酵產生酸性產物，再利用固定床連續反應器對酸性產物進行甲烷醱酵產生甲烷 (圖八)。該研究期望未來能利用此甲烷醱酵製程搭配海藻其餘副產物代謝製程，以達到海藻全株利用的最大經濟效益 (圖九)。



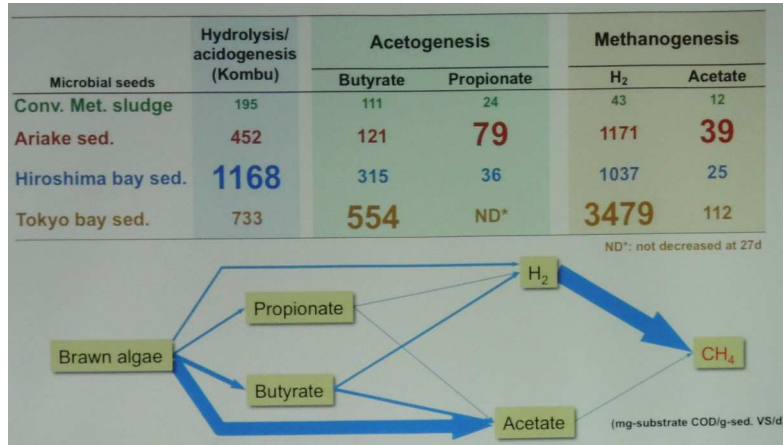
圖三、使用甲烷醱酵製程處理海藻生質料源最具有經濟效率。



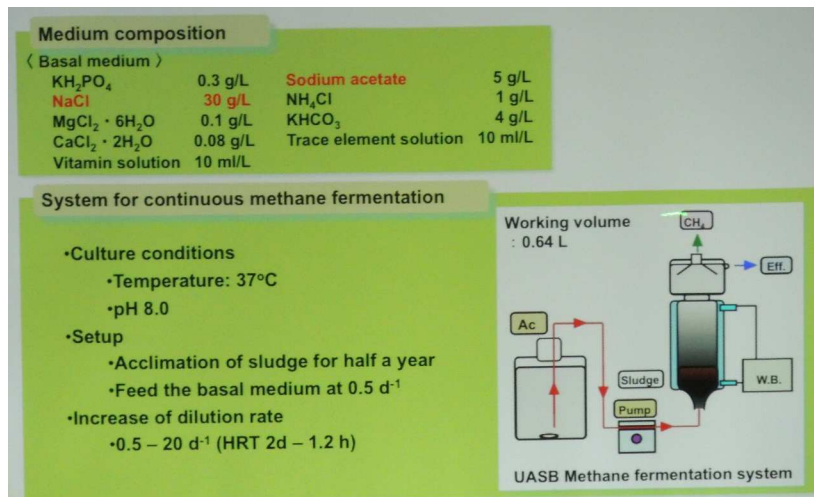
圖四、各種海藻的產能比較。



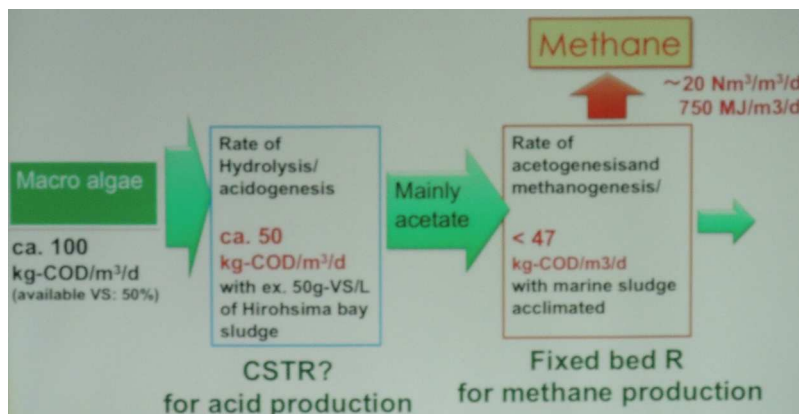
圖五、甲烷醱酵製程三大步驟及相對應之代謝微生物。



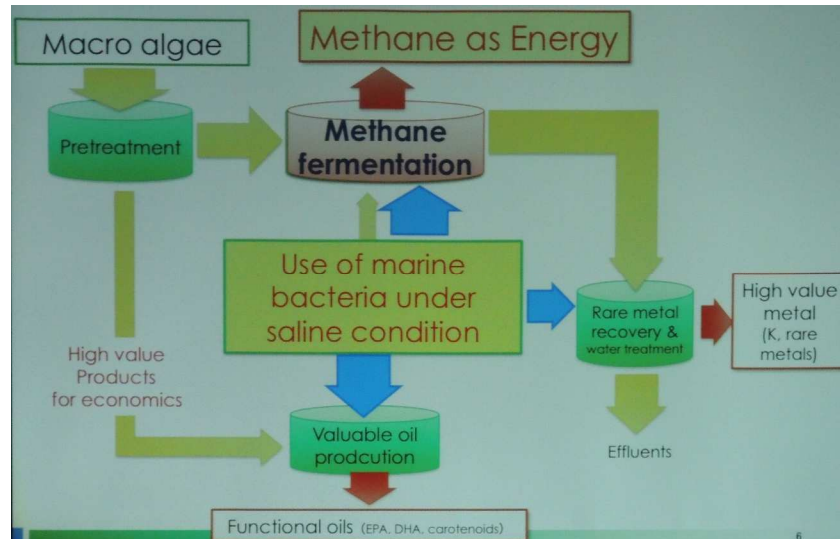
圖六、高鹽醱酵條件下，甲烷醱酵代謝途徑有其獨特性。(粗箭號表示代謝反應活性較高)



圖七、馴化培養基成份及及醱酵條件。



圖八、兩階段甲烷醱酵製程。



圖九、海藻生質料源全株利用策略 (JST/CREST project)。

3.3.2 纖維料源經超音波前處理可幫助纖維素酶降解纖維料源

-Ryoichi NAKAYAMA, Masanao IMAI

-Nihon Univ., Japan

對纖維料源 Kenaf 進行超音波前處理，可使 Kenaf 纖維表面產生空穴，有助於纖維素酶吸附進入纖維料源，增加纖維素酶對其基質（纖維素）的親合性。使用超音波前處理作用條件為：200W, 10 min，比對無超音波前處理，纖維料源經超音波前處理後，纖維素酶（使用兩株菌種來源的纖維素酶，分別為 *A. niger* 與 *T. viride*）對其親合性提高近 2 倍，而最高反應速度則無明顯差異，整體纖維降解效率可提升至 1.3 倍。超音波前處理可加速纖維素酶的纖維降解作用，且耗能較低，有助於降低纖維酒精製程的生產成本。

3.3.3 使用過後的蘑菇培養基，儲存時間不同將影響其糖化速率

-Denny IRAWATI et al.

-Gadjah Mada Univ., Indonesia; Utsunomiya Univ., Japan

使用過後的蘑菇培養基 (SCM, spent *Auricularia Polytricha* culture medium，培養基成份主要來自三種熱帶硬木: *Paraserianthes falcataria*、*Tectona grandis*、*Shorea* sp.) 經過不同儲存時間處理，以研究儲存時間對還原糖產生作用的影響。當 SCM 於 25°C 儲存兩個月後，分析其內化學成份，發現與未經儲存的 SCM 相比較，儲存過程會使 SCM 的木質素含量下降 26.3~49.4%，使酵素（醣化酵素，Meicelase_Meiji, Japan）對 SCM 進行醣化作用的葡萄糖產量 (yield) 上升最高可達~13%。利用儲存兩個月的 SCM（主要為 *Shorea* sp.）進行酵素醣化實驗，可得最高還原糖產量為~19% (189.2 mg/g dry spent

medium)。由此可知，對於 SCM 利用酵素進行水解醱化作用而言，SCM 先經儲存種很好的前處理方式。

3.3.4 回收利用榨油後微藻殘餘物以降低生產成本

-Chihiro FUSHIMI et al.

-Tokyo Univ. Agr. Technol, Japan; JST, Japan; Univ. Tokyo, Japan

利用大型微藻產油系統生產生質燃油，計算此系統的成本及質能平衡，即使是使用都市廢水作為必需營養源提供者來估算，仍發現肥料成本需 1460 yen/kg-bio-oil，由此可知須將萃油後藻體回收利用才能有效協助降低成本，回收利用榨油後微藻殘餘物的方法，以作為下一批微藻培養的營養源最為適合及有效率。為了自藻體有效地萃取油脂及養分，Hydrothermal Liquefaction (HTL) 被認為是具潛力的方法。

3.3.5 將棕櫚油工廠廢料用於培養微藻 (印尼_藻類計畫)

-William I.Y. BYUN and Kie KURIYAMA

-Greenpower Fuels (Asia Renewables Group), Natl. Univ., Singapore

亞洲棕櫚油產量持續成長，導致種植棕櫚樹的面積大量增加，但相對地種植棕櫚樹所衍生副產物 (CO₂ 及廢水：可作為培養微藻的料源) 及棕櫚油生產工廠產生的廢棄物 (POME, palm oil mill effluent) 處理卻停滯不前，其廢棄流出液常置於一簡單的開放曝氣池，但此種處理常會導致甲烷釋放並造成有價商業土地的浪費。於此同時，微藻產油製程正積極研究中，但遇到的最大瓶頸在於商業化的成本過高。有別於新技術的開發研究，該藻類計畫 (algae project) 著眼在現有技術的應用，利用經驗法來處理藻油生產成本過高的問題，並解決土地利用問題。主要是利用 POME 池來作為微藻養殖的營養源，如此既可處理 POME 的問題，又可減少培養微藻的生產成本，是一種雙贏的策略，新加坡 Greenpower Fuels (Asia Renewables Group) 總經理 William I.Y. BYUN 宣布將於印尼 Kalimantan 的 POME 工廠實際測試此計畫的可行性⁽⁴⁾。

3.3.6 生質酒精廢棄物的再利用

-BUDIYONO et al.

-Dept. Chem. Eng., Diponegoro Univ., Indonesia

生質酒精廢棄物具有高濃度COD，適合利用厭氧處理來生產有別於酒精的另一種再生能源：biogas，並可降低生質酒精廢棄物的處理費用，為一種雙贏策略。本研究目前尚處於實驗室等級，利用批次系統於室溫下進行生質酒精廢棄物的厭氧處理，將生質酒精廢棄物與瘤胃液混合，於不同pH值 (pH6, 7, 8) 狀態下進行代謝以尋找最適化作用的pH值，並添加尿素 (COD:N influent = 700:7) 以研究氮源對biogas產量

的影響。結果顯示反應起始pH值為7時，可得大量的biogas (3.81 mL/g COD)，而起始pH值為6及8時，biogas產量分別為3.25 mL/g COD及3.49 mL/g COD。當額外添加尿素，可導致biogas產量增加52.47%。在控制pH值的情況下，biogas的生產反應可持續90天（且可再繼續生產下去），在此控制狀態下，有無額外添加尿素的biogas產量差異不大，分別為11.07 mL/g COD（未添加尿素）與11.41 mL/g COD。

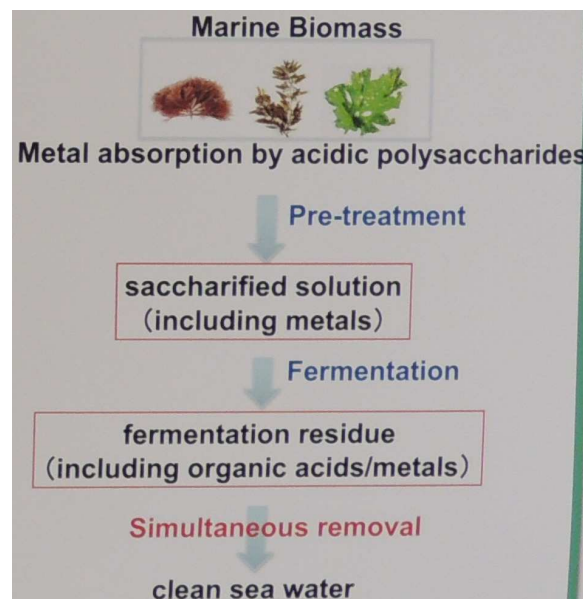
3.4論文海報 (poster) 資料

3.4.1 篩選海洋光合細菌來處理海藻生質料源廢棄物中的重金屬

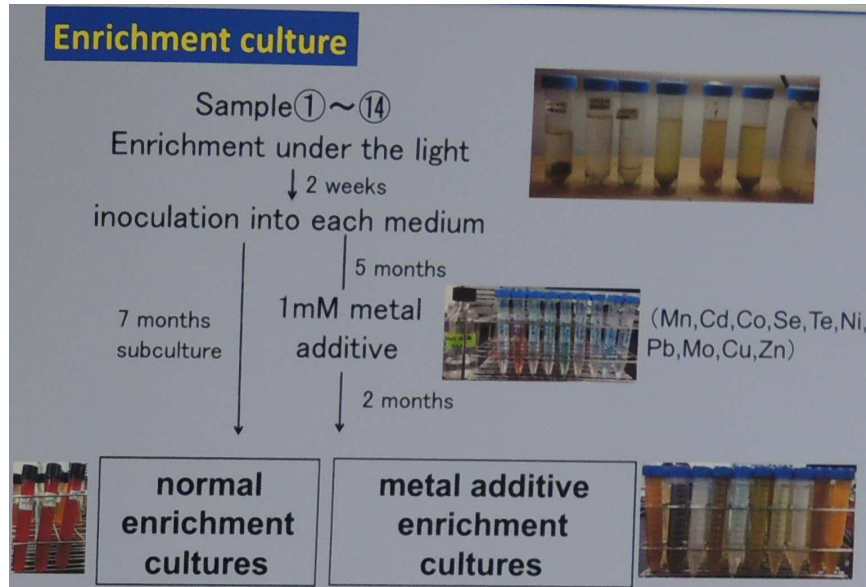
-Yoshiko OKAMURA et al.

-Hiroshima Univ., Japan; JST/CREST

海藻 (Marine macroalgae) 為第三代生質料源，其（特別是 brown alga）會吸收大量的金屬離子，主要是因為內含高濃度 alginic acid 與 sulfated polysaccharides，可與金屬離子進行離子交換及螯合。當大量的海藻使用於醱酵反應生產液態燃料（如：生質酒精）之後，醱酵廢棄物中會含有高量金屬離子，假如使用 10 噸的海藻（使用海帶 *_laminaria*）來生產生質酒精，則醱酵後海藻殘餘物中會含有 560 g Cr、110 g Mn、25 g Cu。為了去除金屬離子並回收海水加以利用（見圖十），本研究篩選具有吸收有機酸及重金屬功能的海洋光合細菌，以進行乾淨海水之回收利用。海洋光合細菌取樣地點位於日本廣島附近的無人島，培養條件：8 mL 螺旋蓋管無氧生長、室溫、光照下 ($38 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$) 靜止培養。篩選流程如圖十一所示。爾後利用篩選所得最具潛力菌株（由紅藻+沿岸海水之樣本篩選所得）進行相關金屬移除率測試，其 Mn、Zn、Te 移除率分別為 11.7%、19%、25.3%（見圖十二）。



圖十、海藻原料經醱酵作用後的海水回收製程示意圖。



圖十一、海洋光合細菌篩選流程圖。

	conc. [ppm]	removal ratio [%]
Mn	3.2098	11.7
Mo	< 0	---
Ni	< 0	---
Pb	< 0	---
Zn	6.2314	19.0
Cu	0.2751	0.866
Cd	0.5839	1.04
Co	0.9304	3.16
Se	0.2048	0.519
Te	16.1703	25.3

圖十二、海洋光合細菌之重金屬移除率測試。

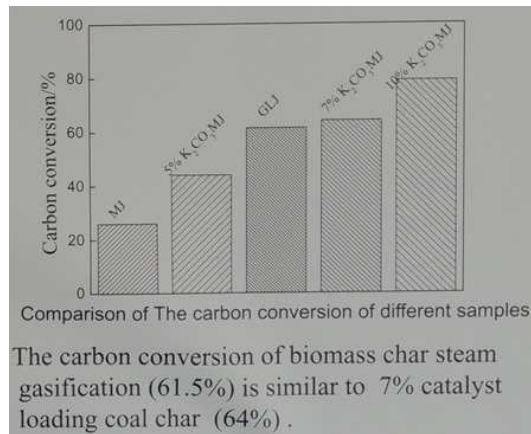
3.4.2 利用固定床進行煤炭與生質物之共同氣化反應以製造甲烷

-Yuanchun LIU et al.

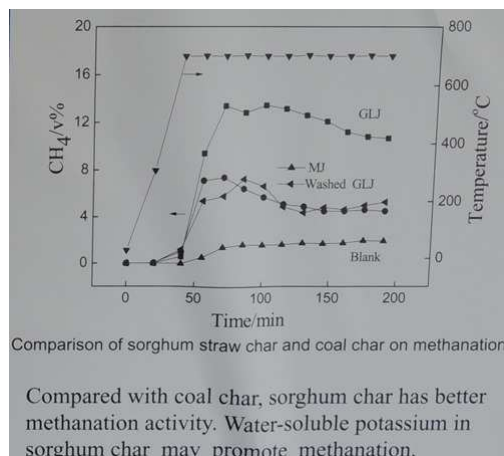
-State Key Lab. Coal Conv., Inst. Coal Chem., CAS, China; Univ. Chinese Academy of Sciences, China

使用內蒙煤炭及山西高粱莖稈進行固定床氣化反應以生成甲烷，反應條件壓力為 3.5 MPa、溫度為 700 及 800°C，研究反應時間、鹼金屬含量、煤焦 (coal char) 及高粱莖稈焦 (sorghum stalk char) 混合比例於甲烷化 (methanation) 及蒸汽氣化反應 (steam gasification) 的影響效果。結果發現生質原料 (高粱莖稈) 含有鹼金屬 (鉀) 於甲烷化反應中具有催化作用，高粱莖稈焦之碳轉化催化能力較優於煤焦 (圖

十三)。當煤炭與高粱莖稈於 700°C 氣化時，甲烷化與蒸汽氣化反應並無明顯的協同效應（因為在此狀況下並無鹼金屬釋出）。但當溫度上升至 800°C，混合比例為 7:3 (coal char:sorghum stalk char) 時，碳的轉化效率可高出理論值 9%，由此推測生質原料應存在有可導致協同效應的催化劑（鹼金屬）（圖十四）。



圖十三、高粱莖稈焦之碳轉化催化能力較優於煤焦（高粱莖稈焦之碳轉化效率似加入7%催化劑的煤焦）。



圖十四、高粱莖稈焦之甲烷化能力優於煤焦，推測是因為釋出鹼金屬（鉀）可促進甲烷化反應。

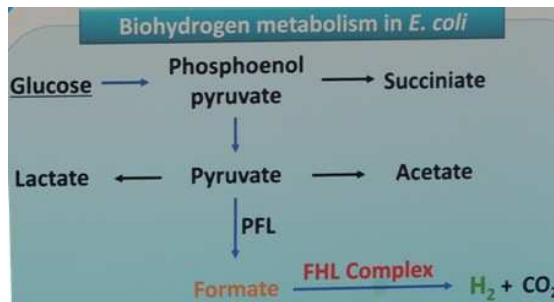
3.4.3 大腸桿菌之偽基因與微生物產氫功能有關

-Yuya HASHIGUCHI et al.

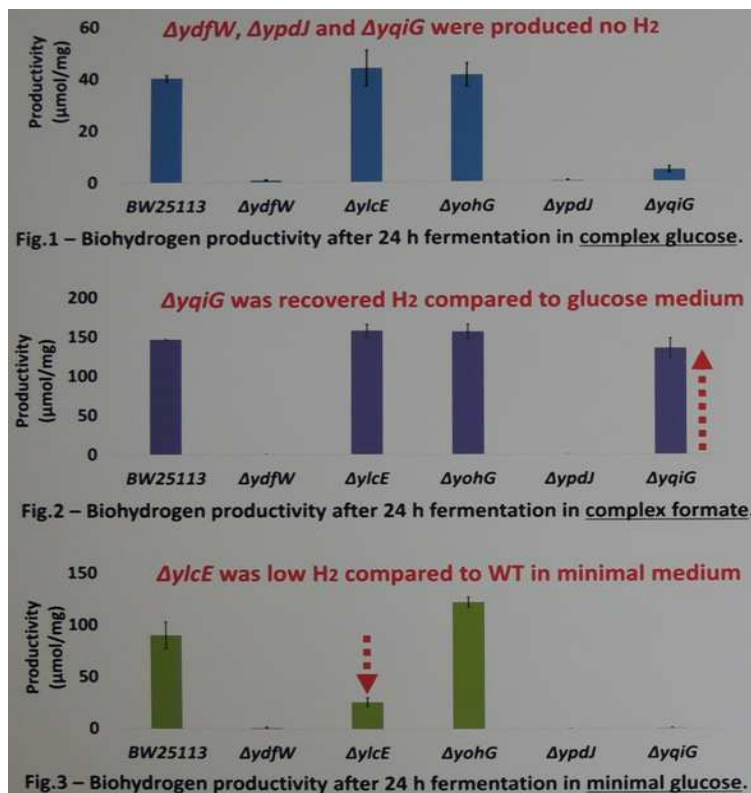
-Dept. Biol. Func. Eng., Kyushu Inst. Tech., Japan; Dept. Bioprocess Tech., Univ. Putra Malaysia, Malaysia

大腸桿菌中存在 178 個偽基因 (pseudogenes)，大部分科學家將偽基因視為垃圾基因，被認為不具有功能且在細胞中毫無用處。然在此篇研究中發現大腸桿菌的 5 個偽基因 (*ydfW*、*ylcE*、*yohG*、*ypdJ*、*yqiG*) 與微生物產氫有關（圖十五），當 *ydfW*、*ypdJ*、*yqiG* 基因發生突變時，大腸桿菌無法產生氫氣；相反地，當 *ylcE* 與 *yohG* 基因發生突變時，大腸

桿菌可多產生約 40~80 μmol 氫氣。並由基因互補實驗分析確定，對於微生物產氫功能而言，*ydfW*、*ypdJ*、*yqiG* 基因屬於正調控基因，而 *ylcE* 與 *yohG* 基因則屬於負調控基因（圖十六）。



圖十五、大腸桿菌之產氫代謝途徑。



圖十六、大腸桿菌 *ydfW*、*ypdJ*、*yqiG*、*ylcE* 與 *yohG* 基因突變及互補實驗。

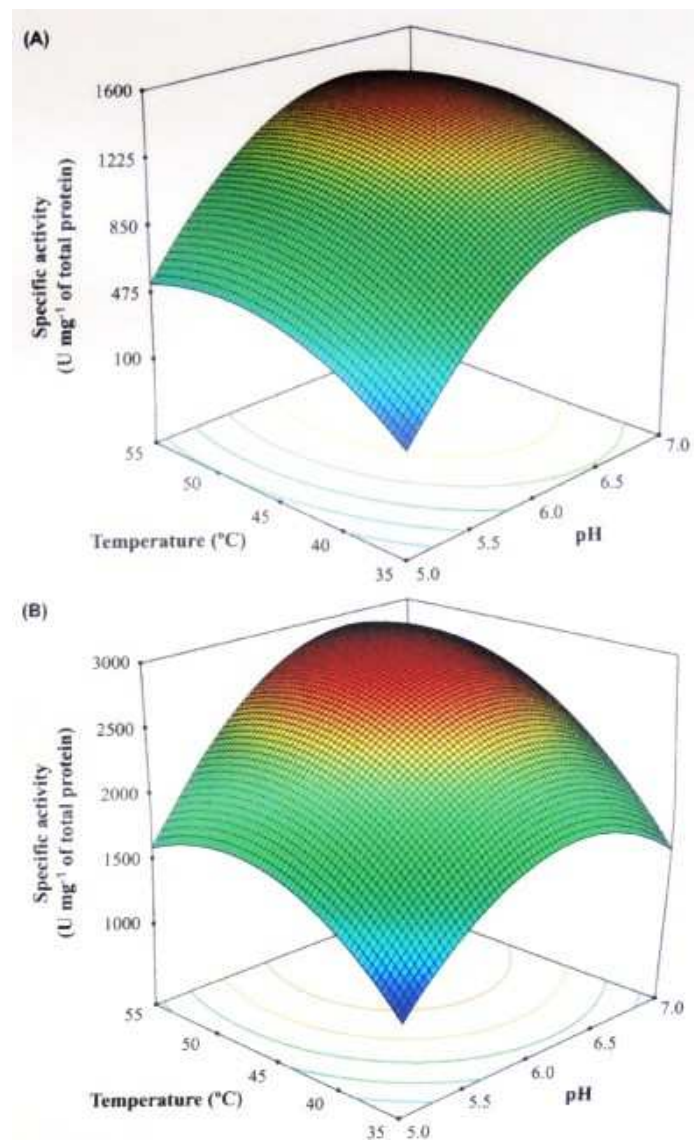
3.4.4 建構纖維水解雙功能之融合酵素，並預測酵素最適化反應狀態

-Meng-Shan WU and Je-Ruei LIU

-Nat1. Taiwan Univ., Taiwan; Academia Sinica, Taiwan

使用甘氨酸胺基酸片段 (Gly-rich flexible linker (S2)) 將兩個不同纖維水解酵素 (β -glucanase CbhYW23-2 (Cbh)_GenBank accession number EU314938 與 xylanase XynCDBFV (Xyn)_GenBank accession number AF123252) 串接，兩基因分別來自瘤胃真菌 *Piromyces rhizinflatus* 及 *Neocallimastix patriciarum*；或是直接

串接兩酵素（未含 S2 片段），依蛋白質 N、C 兩端互換的排列組合，共可得到 4 種融合酵素。由三級結構預測結果得知，利用 S2 串接融合酵素（Cbh-S2-Xyn 或 Xyn-S2-Cbh）之立體結構與原單一酵素較為相似。利用大腸桿菌對兩融合酵素進行表現及純化，使用 Response surface modeling (RSM)、central composite design (CCD) 及 regression analysis 來推測融合酵素活性表現最佳化的狀態（圖十七）。Cbh-S2-Xyn 融合酵素的 β -glucanase 活性最佳作用 pH = 6.0、最佳作用溫度為 44.3 °C；Xyn-S2-Cbh 融合酵素的 β -glucanase 活性最佳作用 pH = 6.1、最佳作用溫度為 46.1 °C。在此最佳作用狀態下，Cbh-S2-Xyn 與 Xyn-S2-Cbh 融合酵素的 β -glucanase 比活性分別為 1425 U/mg 與 2457 U/mg。但由結果未見融合酵素的 xylanase 活性分析，推測此融合酵素的 xylanase 活性可能不高或喪失功能。



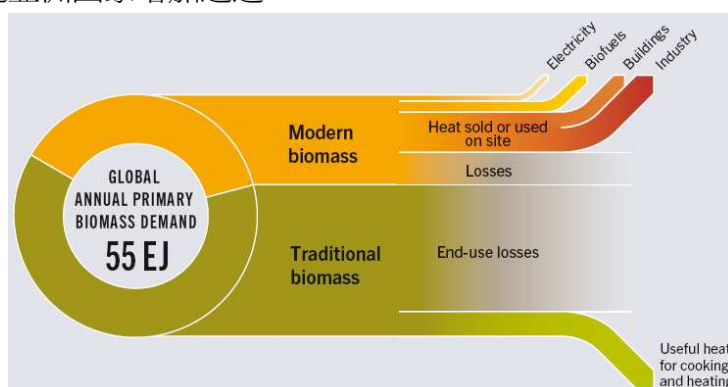
圖十七、使用Response surface plot來分析pH值與溫度對於Cbh-S2-Xyn (A) 與Xyn-S2-Cbh (B) 融合酵素的影響。

4. 心得與建議

本次參加第九屆永續能源暨環境科技亞太研討會，大會開幕講者Dr. G.Q. Max LU引用Renewables 2012 Global Status Report進行演講，內容主要是分析全球再生能源產業的現況，本人覺得十分受用。在此節錄該報告最新版內容 (Renewables 2013 Global Status Report)⁽⁵⁾有關生質能市場、產業等資料，結合與會心得及建議整理如下。

4.1 生質能市場

2012年，來自於生質能的初級能源供給增加了2~3%，達到約55 EJ（見圖十八）。其中熱能佔生質能利用的絕大多數（46 EJ），包括：現代生質物（高效利用，例如：使用農林廢棄物來發電或生熱）與傳統生質物（低效利用，例如：使用動物糞便、木柴、木炭於家用炊煮及住宅暖氣提供，常見於發展中國家）。2012年，現代生質物消費總量佔全球初級能源的3-4%，約18.5 EJ。與2011年相比，建築及工業的生物熱能（bio-heat）生產增加1-2%，生物發電（bio-power）增加4%，但生質燃料（biofuel）生產量下降約1%。在世界某些地區可用生質原料供應不足，難以滿足日益增長的生質能需求，然而某些區域卻出現生質原料供應過多的情況。這種情況推動各地區及國際間的固體與液體生質燃料的交易行為進行，生物沼氣（Bio-methane）、木柴、木炭、煤磚和農業廢棄物主要在當地交易，而木顆粒（wood pellets）、木屑（wood chips）、生質柴油和生質酒精則在國內和國際間交易。除了木顆粒外，生質柴油和生質酒精是國際交易的主要燃料，生質燃料可用於加熱和發電，但主要用途是作為運輸燃料。2012年國際生質液態燃料貿易出現明顯改變，主要是因為美國中西部發生大旱，使美國玉米產量銳減；此外，糖類商品價格下降，導致巴西的生質酒精產量增加，結果使美國自2010年1月以來首次成為酒精淨進口國（主要自巴西進口）。由此可知，生質能的主要市場是多變難測的，會根據燃料類型的不同而有不一樣的變化。到目前為止，木顆粒市場主要侷限於歐洲（全球最大消費市場）、北美與俄羅斯，歐洲同時也是沼氣和生質柴油的最大消費市場。而生質酒精在2012年的主要消費市場位於北美，其次是南美。然而，各種生質能的生產和消費已散佈至其他國家，特別是亞洲國家增加迅速。



圖十八、Biomass-to-energy pathway⁽⁵⁾

4.2 生質燃料之交通運輸市場

液體生質燃料於全球交通運輸燃料佔比雖小，但卻持續地成長，目前約佔全球公路運輸燃料的3%，而在航空和海運方面也是相同的情況，皆呈現持續增長的趨勢。然而某些國家的生質燃料市場、投資與新興工廠建設之成長卻見緩慢，主要因素包含：利潤率較低、商品價格飆升、政策不確定性、原料競爭加劇、乾旱影響作物產量、與糧食作物競爭土地和水資源的問題、擴大生產量的永續性操作疑慮等。2012年全球酒精燃料產量達約831億升，與2011年相比下滑約1.3%，此差距部分被生質柴油產量增加所抵銷（見圖十九）。除美國外，全球酒精產量上升超過4%，但美國酒精產量下降超過4%至504億升，部分原因是由於年中大旱導致玉米價格飆升。相反地，雖然與近幾年相比，巴西的新甘蔗酒精工廠投資非常低迷，但巴西的酒精產量卻增加3%至216億升。總體來看，美國佔全球酒精產量為61%（2011年為63%），而巴西則佔26%（2011年為25%）。



圖十九、Ethanol and Biodiesel Global Production (2000-2012年)⁽⁵⁾

其他主要酒精生產國包括：中國、加拿大和法國。瑞典的酒精需求持續上升，約有20萬輛彈性燃料車（flexible-fuel vehicle, FFV）採用當地生產及進口酒精的混合燃料（E85）。2012年的世界平均酒精價格約為0.85美元/升（汽油價格為1.20美元/升），價格自2006年（0.41美元/升）開始穩定成長；而美國國內2012年的酒精價格下跌至0.55美元/升（2011年為0.60美元/升），直到年中乾旱將其價格又推回2011年的水平。2012年的世界平均生質柴油價格約為1.55美元/升，高於過去5年價格（過去5年價格為0.90~1.50美元/升），全球生質柴油產量繼續增加，但相對前幾年而言，目前增長速度卻慢得多，在2012年達到225億升（2011年為224億升）。目前美國為領先世界的最大生產國，其次是阿根廷、德國、巴西、法國（德國和巴西的產量相當）。2012年美國的生質柴油工廠生產36億升生質柴油，略微超過2011年的水平，但已接近環境保護署（EPA）之設定目標（聯

邦再生燃料標準，RFS)。該標準要求2013年柴油市場要包含48億升（12.8億加侖）的生質柴油。

歐洲佔全球生質柴油總產量的41%（以德國為首），估計在2012年產生27億升生質柴油（與2011年相比下降14%）。整個地區和大多數歐洲國家生質柴油產量下降7%，包括：西班牙（-32%）、葡萄牙（-14%）、意大利（-44%），但某些國家則是產量上升，包括：法國（+18%）、波蘭（+63%）、英國（+53%）。

巴西每年生產約27億升生質柴油，原料來源包含：大豆油（77-82%）、牛油（13-17%）、棉籽油（2%）。阿根廷則超越德國，其生質柴油總產量排名世界第二，產量為28億升。而在拉丁美洲的其他地方，於墨西哥有三個小油桐種植園，在古巴則建立了一個小型生質柴油工廠，進料採用小油桐油。

中國的生質燃料產量則保持不變，約21億升酒精和2億升生質柴油。而泰國生質燃料產量增加，酒精和生質柴油產量共16億升（較2011年產量增加40%）。2012年印度生質燃料總產量超越義大利，其酒精產量增加25%至5億升。

由區域來分析，北美及歐洲分別在生質酒精與生質柴油的產量保持領先；亞洲的生質酒精與生質柴油的生產正迅速增加中；非洲的生質燃料生產仍然十分有限，但市場卻正在慢慢擴大，酒精產量從2011年的2.7億升增加至2012年的3億升。例如：尚比亞（Zambia）產自小油桐之生質柴油由2011年的20萬升增加3倍至2012年的60萬升，主要是因為有更多原料的提供所導致。

2012年，美國從木質纖維素原料生產生質燃料達200萬升，預計2013年將可提升至3600萬升，增加的原因部分來自於軍事方面的燃料需求。然而該產量只達到原本聯邦再生燃料標準（RFS）要求的少部分。中國在生質燃料發展上取得明顯成果，在2012年約300萬升酒精產自玉米棒，並與汽油混合後使用。歐洲有數個示範工廠現正運轉中，但到目前為止其產量皆不大。

在歐洲，生質甲烷（除去二氧化碳和硫化氫之沼氣）目前正被作為車用燃料而廣泛使用。例如：2012年德國的生質甲烷於天然氣的占比從6%提高到15%以上，銷售100%生質甲烷的加氣站數量增加三倍多（數量由35增加至119）。此外，德國10%天然氣汽車改採用壓縮生質甲烷作為燃料。2012年10月在瑞典斯德哥爾摩市議會的車隊，有一半（400輛車）以生質甲烷作為燃料。

4.3 生質能源產業

廣義的生質能源產業包括：生質原料（biomass）供應商、生質能處理製造者及相關企業（可將這些生質原料傳遞給終端用戶使用）；生質原料收集、處理及儲存的製造商與經銷商；將植物生質原料轉換成可用能源形式相關設備與硬件組件的製造商。這些都包含在所謂的生質能源產業中，而這些產業供應鏈中也包括非屬生質能專用的技術，例如：飼料作物、植物收割機、卡車、蒸汽鍋爐等。

生質精煉（bio-refinery）產業之所以不斷地成長，主要原因在於該產業自處理生質原料而連帶產生一些產品（副產品），可將生質原料之使用實現價值最大化，有效地提升盈利，同時也可減少溫室氣體排放。2012年美國有210家酒精

生質精煉廠營運，其產生的生質原料副產品包括：家畜飼料、高果糖玉米糖漿、檸檬酸、乳酸、賴氨酸等，這些副產品可以有效地增加盈利並將生質原料作最大化的利用。

4.4 液態生質燃料產業

4.4.1 生質酒精產業

全球生質酒精工廠約有650家，年產能總計約1000億升，但其中許多工廠實際操作的產量遠低於其標示宣稱容量，且由於產品需求量的變化與環境可持續性的考量，有些工廠甚至已關閉、停止生產。2012年美國生質酒精工廠年產能總計約520億升（儘管有些工廠已臨時關閉）。而全球新的生質酒精工廠仍持續興建及營運，例如：Green Future Innovation Inc.的生質酒精工廠（年產量5400萬升）於2013年1月在菲律賓開始運作。

4.4.2 生質柴油產業

相較於生質酒精工廠，生質柴油工廠的數量較難評估，因為有許多小工廠存在，其常使用烹調廢油來生產生質柴油，以提供當地或個人車輛使用。全球生質柴油的需求量持續上升，新的生質柴油工廠也陸續興建、運作。例如：美國嘉吉公司（Cargill）在巴西的第一個生質柴油工廠，使用大豆油來生產生質柴油；加拿大Lignol能源公司（Lignol Energy）投資120萬美元，於澳洲達爾文（Darwin, Australia）重新啟動年產量1.5億升的生質柴油工廠。

4.4.3 第二代生質燃料產業

2012年美國有80家先進生質燃料（advanced biofuels，即第二代生質燃料，生質原料主要為纖維料源）公司（其中30家位於加州）生產小量的第二代生質燃料，且許多家公司聲稱已接近商業化生產。2012年12月，KIOR公司販售約3800升生質油，其主要產自密西西比的新工廠（日產量500噸，使用熱裂解技術處理纖維素原料來產油）。在澳大利亞有兩個先進生質燃料示範工廠使用木質纖維素和藻類，預計2013年初可擴張為近商業化規模。

然而不利於第二代生質燃料發展的消息近來也持續出現，加拿大IOGEN能源公司（IOGEN Energy Corporation，為第二代生質燃料發展的指標公司之一，使用酵素水解製程來處理纖維料源）宣布將取消在Manitoba發展商業規模纖維素酒精工廠的計劃。2013年初美國第二代生質燃料生產商也受到挫折，主因為美國上訴法院裁定環保署必須修正其2012年纖維素酒精預測量，連帶導致對於2013年的標準產生疑慮。

然而，航空業仍持續增加第二代生質燃料的需求，料源包括產自於藻類的燃料。會使航空業者對第二代生質燃料有高度興趣的主因來自於：對石化燃料的高依賴性、長期供應的不確定性、缺乏其他合適的替代燃料。2012年，波音（Boeing）、空中巴士（Airbus）與巴西航空工業公司（Embraer）開始合作開

發生質燃料；SkyNRG公司也已開始購買預處理後的生質燃料（原料為烹調廢油），並進一步精煉為航空級燃料。

4.5心得建議

4.5.1 加強國際與企業合作

世界各國所產生質原料不一定可以滿足本身的需求（如：料源供應不足或過剩），所以發展生質能源除應契合當地環境、氣候、相關產業（如：農林業）等因素外，各地區及國際間的生質原料或生質燃料的交易也極為重要。本研討會即提出許多亞洲國家間的合作計畫（如：泰國（提供生質料源）、日本與東南亞國家聯盟國共同發展生質能，希望能在東南亞設置一個生質料源IOIRC總部），希望亞洲各國能透過合作，依據各國不同的自然條件、領導產業與專業技術來互通有無，牟取各國發展生質能以期達到最小成本及最大獲益的雙贏結果。台灣地狹人稠，假如大量地種植能源作物勢必嚴重影響本國農林業，所以要發展生質能最重要的料原選擇方面，一直是個難題。本公司有悠久的溶劑、燃料銷售經驗及良好的生產技術，如今踏入綠色能源產業之際，除可利用本身經驗與技術外，也應參考上述跨國的合作模式，積極參與國際合作，並結合台灣本土既有農林產業的發展，才能開創永續性的生質能源產業。此外，相關公司企業的合作模式也極其重要，例如：Gevo公司獲得Cargill公司（世界知名農產品加工公司）唯一授權，發展利用纖維生質料源醱酵轉變成異丁醇的技術。該合作策略及模式皆考量公司本身及合作夥伴的技術定位與未來發展方向，以擬定最佳的發展策略及市場取向，能使公司在目標產業上具有發展潛力及競爭力，此種合作伙伴模式也值得本公司作為發展生質能產業的借鏡。

4.5.2 第二代生質燃料發展（纖維素酒精）

關於第二代生質燃料的發展，雖然有許多不利的消息持續出現（如：加拿大IOGEN能源公司宣布取消發展商業規模纖維素酒精工廠），但航空產業卻對第二代生質燃料保持高度興趣並持續增加需求量。目前世界各國已有相關的纖維素酒精工廠建立與運作，反觀台灣，較具有第二代生質燃料規模與實際操作經驗當屬核能研究所，其具有噸級纖維素酒精工廠的操作經驗及相關設備，所使用的纖維料原為稻稈，與本所目前鎖定的初期纖維料原一致。近年來本所與核研所接觸密切，並已有初步的合作意向及實際作為，目前主要針對纖維素水解酵素及5、6碳醱酵菌種進行測試，未來希望能借重核研所噸級纖維素酒精工廠的操作經驗，將其複製於本所並將製程加以改良及最適化，以期能進一步發展具有商業價值的纖維素酒精產業。此外，纖維水解酵素為纖維素酒精發展製程的關鍵點之一，本次研討會中有研究利用基因工程技術將兩個不同功能的纖維水解酵素融合為單一酵素，藉此增加其功能性及降低酵素生產成本，此融合酵素也是本所研究方向之一，相關研究成果將於近期提出專利申請。

4.5.3 生質料源之副產物與廢棄物利用

本次研討會中許多演講與研究報告均著重在生質能產業的副產物與廢棄物的利用，例如：酒精生質精煉廠產生的生質原料副產品（高果糖玉米糖漿、檸檬酸、乳酸、賴氨酸等）、利用棕櫚油生產工廠產生的廢棄物作為微藻養殖的營養源、回收榨油後微藻殘餘物作為下一批微藻培養的營養源、利用厭氧技術處理生質酒精廢棄物以生產 biogas。以上例子在在強調生質料原利用的副產物及廢棄物之重要性，透過適當處理技術及相對應的產業，便可有效地增加生質能產業的盈利，並將生質原料作最大化的利用，對於生質料原利用而言，全株使用才能符合最大的經濟效益。本公司在發展生質料原時，也應朝向全株利用的方向來著手。

4.5.4 環保議題

本次研討會中提到環保相關議題，主要針對發展再生能源產業所衍生的環境污染，例如：工程奈米材料（ENMs）釋放至環境中影響植物的生長發育（特別是糧食作物）、使用後海藻（第三代生質料源）料源廢棄物含重金屬。此些環境污染會隨著生質能產業的發展而日趨嚴重，所謂預防勝於治療，在發展生質能的同時，本公司如能有相對應的環境污染研究進行，未來將有助於減少此些附加成本的付出。

5. 參考資料

- (1) 泰國能源部網站 <http://www.energy.go.th/?q=en/>
- (2) 日本科學技術振興機構（JST）網站 <http://www.jst.go.jp/EN/>
- (3) 日本國際協力機構（JICA）網站 <http://www.jica.go.jp/english/>
- (4) 新加坡 Greenpower Fuels 公司網站 <http://www.gpfasia.org/>
- (5) REN21. 2013. Renewables 2013 Global Status Report