

出國報告（出國類別：開會）

第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：陳茂景 資深化學研究專員

派赴國家：美國

出國期間：100.7.15~100.7.26

報告日期：100.9.16

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會頁數
38 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司人事處/陳德隆

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：陳茂景/台灣電力公司/綜合
研究所/資深化學研究專員/02-8078-2232

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100.7.15~100.7.26

出國地區：美國

報告日期：100.9.16

分類號/目

關鍵詞：光合作用(Photosynthesis)、藻體(Algal Biomass)、微藻
(Microalgae)、先進生質油(Advance Biofuel)、微藻生命週期分析(Micro
algal LCA)、二氧化碳(CO₂)、火力電廠(Thermal power plant)。

內容摘要：(二百至三百字)

全球面臨二氧化碳減量的重要課題。微藻，利用陽光經光合作將二氧化碳轉變成有利用價值的藻體(Biomass)，達到固定二氧化碳的目的。以能源利用的角度而言，屬於一種零排放的碳循環，美國 DOE 與美國國家先進生質燃料和生質產品聯盟 (NAABB) 支持的第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會，內容含微藻產油與副產物的相關技術如藻生理學、藻種篩選、大量培養、收成、轉化、生命週期評估、與廢水回收共構等技術。

會後順道參訪位於 BARBERTON, Ohio 的 Babcock & Wilcox 鍋爐製造公司的鍋爐研發中心，瞭解美國超臨界機組與環保技術研究發展現況。該研發中心最近完成燒煤鍋爐與煙氣淨化環保等整合(含 CO₂ 捕獲)系統新試驗設備，及管材與水質及煤質燃燒等相關試驗，並提供相關顧問諮詢服務。本次參訪該中心技術顧問 John M. Jevic 提供 2006 年超臨界機組水質各種運轉條件下的水質規範，本文電子檔已傳至出國報告資訊網。

(<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目次

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
2-1 參加第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會	2
2-1-1 行程概要	2
2-1-2 研討會參加國家、人員與主辦單位介紹.....	2
2-1-3 研討會題目與講者.....	4
2-1-4 研討主要內容.....	8
2-1-5 與水處理設施整合	21
2-2 參訪 BABCOCK & WILCOX 鍋爐研發中心.....	30
參、心得及建議	34
3-1 心得.....	34
3-2 建議.....	34

壹、目的

1. 全球面臨二氧化碳減量的重要課題。微藻，利用陽光經光合作用(Photosynthesis)將二氧化碳轉變成有利用價值的藻體(Biomass)，達到固定二氧化碳的目的。以能源利用的角度而言，屬於一種零排放的碳循環。本公司近年來投入微藻固碳的研發，例如 99 年度於林口電廠建置微藻固碳試驗光合反應器，並進行藻類固碳後再應用於微藻氣化的整合研究等，其他歐美電力能源公司也進行其他相關研發，因此由 ELSEVIER 科技出版公司主辦，美國 DOE 與 NAABB (美國國家先進生質燃料和生質產品聯盟) 支持的的第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會(1st international conference on Algal Biomass,biofuel&Bioproducts)於今年 7 月 17 日至 20 日在美國聖路易斯市 Westin St Louis 旅館舉行，為了解目前國外藻類固碳技術發展狀況與未來趨勢而提出參與此研討會出國計劃。
2. 會後順道參訪位於 BARBERTON, Ohio 的 Babcock & Wilcox 鍋爐製造公司的鍋爐研發中心，瞭解美國超臨界機組與環保技術研究發展現況。該研發中心最近完成燒煤鍋爐與煙氣淨化環保等整合(含 CO2 捕獲)系統新試驗設備，及管材與水質及煤質燃燒等相關試驗，並提供相關顧問諮詢服務。本次參訪該中心技術顧問 JohnM.Jevec 提供 2006 年超臨界機組水質各種運轉條件下的水質規範。

貳、過程

2-1 參加第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會

2-1-1 行程概要

表 1 第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會及參訪 Babcock & Wilcox 鍋爐研發中心行程概要

日期	工作紀要
100年7月15-16日	往程(台北－洛杉磯－聖路易)
100年7月17-20日	第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會
100年7月21日	行程(聖路易-克利夫蘭- Barberton)
100年7月22-23日	參訪 Babcock & Wilcox 鍋爐研發中心
100年7月24-26日	返程(Barberton--克利夫蘭-- 洛杉磯--台北)

2-1-2 研討會參加國家、人員與主辦單位介紹

第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會主要參與的國家及人數如下，共計 31 個國家 335 人參與。會議由美國 Jose A. Olivers 與 Rivhard S Sayre 共同主持。

Jose A. Olivers 是 Los Alamos National Laboratory biofuel program 主持人 (Los Alamos National Laboratory 於 1943 建立、當初主要研發核能武器與相關環境保護研究實驗室)，也是美國 NAABB (National Alliance for Advanced Biofuels and Bioproducts) 常務董事，在能源局的 OBP (Office of

Biomass Programs)計劃下，他整合各不同實驗室與50多位學者編寫 Laboratorys biofuels roadmap，該NAABB最近贏得 DOE-EERE (Energy Efficiency & Renewable Energy) 4仟9佰萬美元計劃與2仟萬美元工業界與學院的成本分擔。

Rivhard S Sayre是NAABB主席。2005-2010為BioCassava Plus計劃總監，該計劃為多國性參與加強非洲撒哈那沙漠區域營養，在2008年12月Nature雜誌選為改變世界的五位糧食研發人員，在2008年是位於聖路易斯Donald Danforth 植物科學中心 (目前世界最大植物科學中心、目前積極進行微藻產油計劃) 總監，也是 enterprise rent-a-car institute renewable fuels總監 (目前北美最大租車公司、)，rent-a-car公司的車目前用B20柴油，希望不久可以全以微藻產的油取代。

該研討會由主 ELSEVIER 出版公司主辦，Los Alamos National Laboratory、NAABB 支持。

NAABB 通過協會大量的學術機構，工業企業和國家實驗室，以開發創新技術，幫助生質燃料的早日商業實現。2010年，NAABB 收到的資金來自美國能源部的 OBP(生物質計劃辦公室)，把重點放在發展的藻類生物燃料產業。作為政府和產業合作，NAABB 將投入\$ 49M 的聯邦基金以及從它的合作夥伴承諾的 2000 萬美元的費用，投入藻類生質燃料新的研究、開發和示範工廠活動。該 NAABB 將開發具有成本效益的生產藻類生物量和油脂技術，及燃料和副產品，並提供一個可永續發展的生質燃料產業框架模式。

The Donald Danforth Plant Science Center (Donald Danforth 植物科學中心)

成立於 1998 年，Donald Danforth 植物科學中心是一個不以營利為目的的研究機構，其使命是通過植物科學改善人類生活條件。該研究中心主要為提供飢餓者足夠食物和改善人類健康，維護和改善生活環境，並使聖路易斯市作為世界植物科學中心。該中心的基金是來自贈款資助和合約定收入：包括國家衛生研究院、美國能源部、國家科學基金會、美國農業部、美國國際開發署及比爾和梅林達蓋茨基金會。

2-1-3 研討會題目與講者

研討會於 100/7/17~100/7/20 在美國 Wistin St Louis 飯店(聖路易斯市密蘇里州)舉行(如圖), 議程主要包含學術演講、現場論文討論及一些養藻設備儀器製造廠家參與, 學術論文在每天早上 8:10 至下午 5:45。論文發表共計 50 篇如下附, 海報現場討論海報 60 篇。



圖 2 研討會會場(Wistin St Louis 飯店)



圖 1 演講廳會場

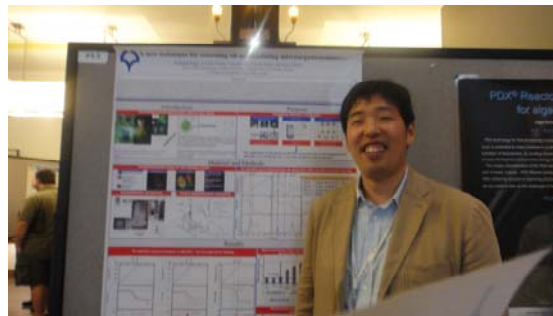


圖 3 海報討論會場(日本人 Bongmun Kang 介紹熱分析法快速微藻含油量論文)

第一屆國際藻類生質、生質油與副產物研討會會場研討會主要題目與講者：

1. Plenary 1] Getting smart about renewable fuels; the emerging opportunities with algae
R.T. Sayre; Donald Danforth Plant Science Center, USA 先進導電度量測技術(Advanced Conductivity Measuring Technology) D. M. Gray and S. Raabe (Mettler-Toledo Thornton, Inc.)
2. [K1] [Biochemical and physiological manipulation of the alga *Dunaliella bardawil* for production of high value commercial products](#)
A. Ben-Amotz; Nature Beta Technologies Ltd., Seambiotic Ltd, Israel
3. Identification of novel strains of microalgae for biofuels applications
J.E.W. Polle*, Brooklyn College of CUNY, USA
4. [Screening diverse algal species by de novo transcriptome sequencing and lipidomic analysis](#)
N.D. Clarke*, Genome Institute of Singapore, Singapore
5. Hydrocarbon-producing algae, botryococcus and aurantiochytrium as alternative sources of fossil oil
M.M. Watanabe*, I. Inouye, K. Kaya et al; University of Tsukuba, Japan
6. Local bioprospecting for high-lipid producing microalgal strains to be grown on concentrated municipal wastewater for biofuel production
W.G. Zhou*, Y.C. Li, M. Min, B. Hu, P. Chen, R. Ruan; University of Minnesota, USA
7. [O4] [A tale of three races: Unraveling the molecular biology of *botryococcus braunii*](#)
T.L. Weiss¹, J.S. Johnston¹, K. Fujisawa², K. Sumimoto², S. Okada², T.P. Devarenne¹, ¹Texas A&M University, USA, ²University of Tokyo, Japan
8. [K3] TAG you're it! RNA Seq analysis of nutrient deprivation in *Chlamydomonas*
S. Merchant*, N. Boyle, S. Karpowicz, D. Casero, S. Cokus, M. Pellegrini et al; UCLA, USA
9. [K4] RNA interference in algae: Biogenesis and function of small RNAs in *Chlamydomonas reinhardtii*
H. Cerutti*, X.R. Ma, J. Msanne, E.J. Kim et al; University of Nebraska, USA
[Part-1](#), [Part-2](#), [Part-3](#), [Part-4](#), [Part-5](#), [Part-6](#)
10. [O5] Stress-induced triacylglycerol (TAG) synthesis in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*
U. Goodenough¹, R. Roth¹, C. Goodson¹, J. Heuser¹, Z.T. Wang¹, L.M. Aguirre Palma¹ et al;
¹Washington University, USA, ²University of Cologne, Germany
11. [O6] Cloning of the partial small subunit gene of ADP-glucose pyrophosphorylase of *Dunaliella parva*
C.H. Shang, S.H. Zhu, Z.H. Yuan, Z.M. Wang*; Guangzhou Institute of Energy Conversion, China
12. [O7] [Development of *Chlamydomonas* as a microalgal platform for production of biofuels and other renewable bioproducts](#)
M.H. Spalding*, D.J. Stessman, D.A. Wright, L. Wu, A. Yingst, N. Godbout et al; Iowa State University, USA
13. [K5] The development of diatoms for biofuels production

- M. Hildebrand; University of California, USA
14. [O8] A chloroplast pathway for the de novo biosynthesis of triacylglycerol in microalgae
J. Fan, C. Andre, C. Xu*; Brookhaven National Laboratory, USA
 15. [O9] Characterization of chlamydomonas lipase candidates involved in triacylglycerol metabolism
X. Li*, E.R. Moellering, B.B. Sears, M.H. Kuo, C. Benning; Michigan State University, USA
 16. [Plenary 2] Overview of US DOE's algal biofuels efforts
V. Sarisky Reed; Department of Energy, USA
 17. [K7] Microalgae: can they contribute to a more sustainable energy future?
M.R. Tredici; Università degli Studi di Firenze, Italy
 18. [O10] Raceway ponds and wastewater for low-cost algae production and harvesting
T.J. Lundquist; California Polytechnic State University, USA
 19. [O11] Renewable algal resources and landfill leachate remediation
S.J. Edmundson*, A.C. Wilkie; University of Florida, USA
 20. K8] Genetic engineering, mass cultivation, and bio-fuel conversion of biomass
J.W. Yang^{1,2}; ¹Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Republic of Korea, ²Advanced Biomass R&D Center, Republic of Korea
 21. [O12] Metals uptake and speciation in algae grown for biofuel production: Macro to molecular scale
C.A. Dean*¹, E.J. Sullivan¹, S.N. Twary¹, O. Batuk¹, S.M. Webb², T.M. Yoshida¹; ¹Los Alamos National Laboratory, USA, ²Stanford Synchrotron Radiation Laboratory, USA
 22. [O13] Remote spectroradiometric monitoring of *Nannochloropsis salina* growth
T.A. Reichardt*, O.F. Garcia, A.M. Collins, A. Ruffing, H.D.T. Jones, J.A. Timlin et al; Sandia National Laboratories, USA
 23. O14] [Combined photobioreactor lighting and electricity generation](#)
D.J. Dye*, P. Davidson, N. Phillipps, B.D. Wood; Utah State University, USA
 24. [O15] *Scenedesmus incrassatulus* algae growth on different trophic conditions for carotenoid production in photobioreactor
N.A. Urbina, O. Melchy*, R.O. Cañizares Villanueva; Centro de investigación y de estudios avanzados del IPN, Mexico
 25. [O16] Changes in chlorophyll fluorescence parameters in different growth stages of *Chlorella sorokiniana*
E.R. Mattos*¹, R. Hunt², M. Van Iersel¹, M. Cabrera¹, M. Singh¹, K.C. Das¹
¹University of Georgia, USA, ²Intellenergy LLC, USA
 26. [O17] [Growth measurement and modeling of *Dunaliella salina*](#)
P.E. Gharagozloo; Sandia National Laboratories, USA

27. [O18] A microfluidic microalgae screening platform for high-throughput biomass/biofuel production analysis
H.S. Kim, T.L. Weiss, T.P. Devarenne, A. Han*; Texas A&M University, USA
28. [K9] Algae bio-fuels: A novel photosynthesis-fermentation approach
Q.Y. Wu; Tsinghua University, China
29. [O19] Mixotrophic cultivation of the oleaginous alga *Chlorella vulgaris* on industrial co-products
D. Mitra*, B.F. Brehm Stecher, J.H. van Leeuwen, B. Lamsal; Iowa State University, USA
30. [O20] Two-stage hetero and phototrophic algae culture system
Y. Zheng, Z. Chi, B. Lucker, S.L. Chen*; Washington State University, USA
31. [O21] Prospects for biodiesel production - algae from boreal humic lakes
P.M. Tikka*, E. Peltomaa, A. Ojala, A. Nykänen, K. Valkonen, M. Romantschuk; University of Helsinki, Finland
32. [O22] Algal autotrophic and heterotrophic lipid synthesis for biodiesel production
X. Bai*, E. Knurek, M. Workman, S. Hamilton, C. Hertz, B. Bernhardt, M. Rangelova, J. Obbard et al; Cellana LLC, USA
33. Plenary 3] Challenges and Opportunities in the Bioplastics Market
N. Danielson; DuPont, USA
34. [K10] Algae harvesting: A research perspective on current challenges and future directions
B.L. Marrone; Los Alamos National Laboratory, USA
35. [K11] Next generation algae extraction and fractionation technology
B.L. Goodall*, P. Chandra, T. Czartoski; SRS Energy, US
36. [O23] Harvesting and processing of microalgae biomass
S. Thomas Hall*, J. Obbard, L. Pickell, R. Dorland; Cellana LLC, USA
37. [O24] [A membrane contactor extraction system for recovery of oil from aqueous algal cultures](#)
J.R. Kwiatkowski¹; ¹Phycal, Inc., USA, ²Donald Danforth Plant Science Center, USA
38. [O25] [Low-energy concentration and dewatering of microalgae for fuels, products and remediation](#)
R. Youngs; Algaeventure Systems, USA
39. [O26] Sedimentation and flocculation of algae using naturally-available ions
B.T. Smith*, R.H. Davis; Univ. of Colorado, USA
40. [O27] [Concentrating and rupturing of algae for lipid](#)
C.C. Lin*, C.J. Cheng, P.K. Hong; University of Utah Salt Lake City, USA
41. [K12] [Fuel properties and pollutant emissions from algal methyl ester biodiesel](#)
A.J. Marchese; Colorado State University, USA
42. [K13] Algal co-product in ruminant diets

S.L. Ivey; New Mexico State University, USA

43. [O28] [Conversion of algal oils to hydrocarbon fuels](#)
F. Lupton*, N. Kassa, D. Galloway, S. Lynch; Honeywell Company, USA
44. [O29] [Nutrient recycling of aqueous phase for microalgae cultivation from the hydrothermal liquefaction process](#)
P. Biller*¹, A.B. Ross¹, S. Skill², C.Llewellyn²; ¹University of Leeds, UK, ²Plymouth Marine Laboratories, UK
45. [O30] Evaluating the industrial application of algal polysaccharide isolated as a byproduct of bio oil extraction by a unique multistep hydrothermal technology
M. Chakraborty, C. Miao, S. Chen*; Washington State University, USA
46. [K14] [Economic comparison of open pond raceways to photo bio reactors for profitable production of algae for fuels in the southwest](#)
J.W. Richardson*, B. Fisher, J.L. Outlaw et al; Texas A&M University, USA
47. [O31] [Evaluating the environmental sustainability of algal biomass for biofuel production](#)
P. Blowers*¹, C. Canter¹, D. Shonnard², R. Handler², C. Young²
¹University of Arizona, USA, ²Michigan Technological University, USA
48. [O32] [Integrated modeling framework for algae logistics systems](#)
D.T. Newby*, D.J. Muth Jr, J.M. Abodeely, D.M. Stevens, A.E. Ray; Idaho National Laboratory, USA
49. [O33] A technical-economic-LCA model of producing biofuel from algae
M. Henson*, J. Turner, R. Axelbaum, H. Pakrasi; Washington University in St. Louis, USA
50. [O34] [A techno-economic analysis of open pond microalgae biofuels production](#)
J.R. Benemann*¹, I.C. Woertz^{1,2}, T.J. Lundquist^{1,2}; ¹MicroBio Engineering, Inc., USA, ²California Polytechnic State University, USA

2-1-4 研討主要內容

摘錄研討會報告內容如下：

美國持續不斷增長對進口石油的依賴，暴露了若中斷燃料供給，對企業和個人會造成經濟和社會的不確定性，和影響國家安全。近年來，生質燃料日益受到重視的一個解決方案，[能源獨立和安全法案2007 \(EISA\)](#)建立了強制性的可再生燃料標準 (RFS) 規定：到2022年的運輸用燃料銷售，在美國最少需含有36億加侖的可再生燃料，包括含15億加侖(玉

米等食物)生質燃料，其他為先進(非玉米等食物)和纖維素生質燃料和生質柴油。生質柴油全球2010年市場分部如下圖-

Biofuels Markets

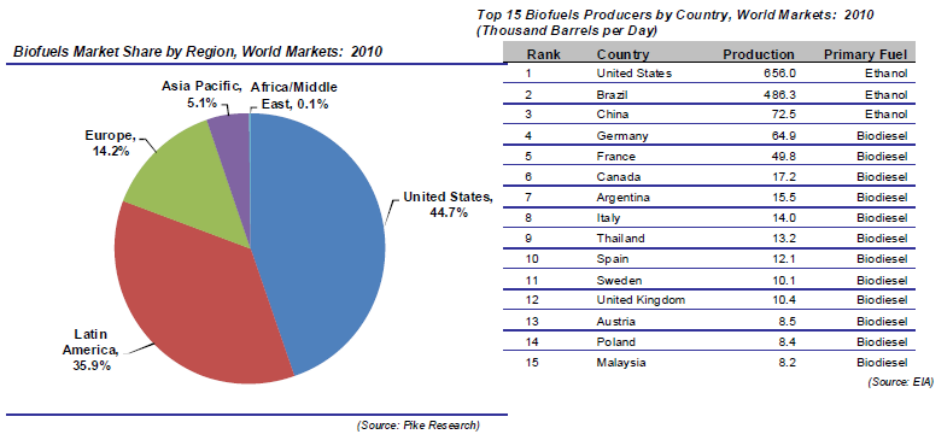


圖 4 2010 生質柴油市場

Ex:美國44.7%，南美36.9%，歐洲14.7%，亞洲5.1%

2009年5月5日美國能源部長朱文隸宣布8億美元新的生物燃料的研究活動，由下圖美國2010以後與食物競爭的傳統生質燃料不再增加，僅增加先進型生質燃料，其中包括纖維素與藻類當原料的先進生質燃料。

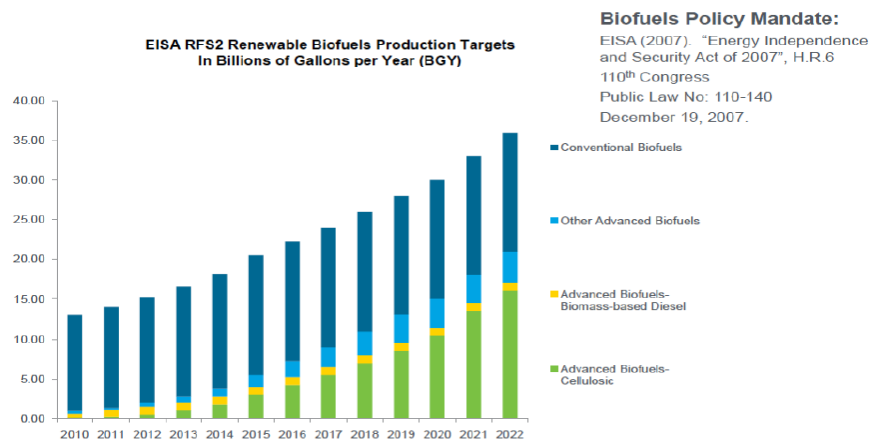


圖 5 新生質燃料研究開發目標

能源獨立和安全法案2007（EISA）建立了強制性的可再生燃料標準（RFS）規定，先進型生質燃料用量，以表顯示如下：

表 2 可再生燃料標準先進型生質燃料用量

Exhibit 1.1 Renewable Fuel Standard volume requirements (billion gallons)

Cellulosic biofuels and biomass-based diesel are included in the advanced biofuel requirement.

	CELLULOSIC BIOFUEL REQUIREMENT	BIOMASS-BASED DIESEL REQUIREMENT	ADVANCED BIOFUEL REQUIREMENT	TOTAL RENEWABLE FUEL REQUIREMENT
2009	N/A	0.5	0.6	11.1
2010	0.1	0.65	0.95	12.95
2011	0.25	0.80	1.35	13.95
2012	0.5	1.0	2.0	15.2
2013	1.0	a	2.75	16.55
2014	1.75	a	3.75	18.15
2015	3.0	a	5.5	20.5
2016	4.25	a	7.25	22.25
2017	5.5	a	9.0	24.0
2018	7.0	a	11.0	26.0
2019	8.5	a	13.0	28.0
2020	10.5	a	15.0	30.0
2021	13.5	a	18.0	33.0
2022	16.0	a	21.0	36.0
2023	b	b	b	b

^a To be determined by EPA through a future rulemaking, but no less than 1.0 billion gallons.

^b To be determined by EPA through a future rulemaking.

	Cellulosic Biofuels	Biomass-based Diesel	Other Advanced Biofuels	Conventional Biofuel	Total Renewable Fuel
GHG Emission Reduction	≥ 60%	≥ 50%	≥ 50%	≥ 20%	≥ 20%
Feedstock	Cellulosic Biomass	Oilseeds, Algae	MSW, Sugarcane, Cellulosic, Oilseeds, Algae	Corn starch	Any
Volume by 2022	16.0 BGY	1.0 BGY	4.0 BGY	15.0 BGY	36.0 BGY

雖然纖維素乙醇在滿足 EISA的目標可望發揮很大的作用，一些下一代新生質燃料可幫助實現這一目標。例如，來自藻類的生質燃料有可能幫助美國達成新的RFS目標，同時更加速美國國家能源獨立。為加快先進的生質燃料開發，奧巴馬總統和能源部長史蒂芬朱宣布投資 8 億美元的生質燃料新研究。本公佈資金包括能源部（DOE）能源效率和可再生能源辦公室生質計劃（EERE），投資於藻類轉化成生質燃料的商業化製程研究與開發。另外的資金投資於其他政府機構和計劃有關藻類轉化成生質燃料的研究。

藻可以指微藻(microalgae)、cyanobacteria（即所謂的“藍綠藻”）和大型藻（macroalgae或海藻）。在某些情況下，一些微藻有可能積累脂質含量超過 50%。其油脂有極大的潛力成為高能量密度的替代燃料。這些燃料也可使用藻類所含其他原料和中間體轉化而來，包括從藍綠藻和海藻所含的澱粉和糖等。除了可替代的生質燃料，可以用藻類前體轉化成各種不同的生質燃料和延伸產品。

藻類生產生質燃料有幾個優點引起世界各地研究人員和企業家的興趣包括：1) 高的單位土地面積生產力，2) 原料來源屬於非食物性的，3) 使用的土地是其他非生產與非耕用地，4) 利用的水源很廣（淡水，半鹹水，鹹水，海洋，生產廢水），5) 同時生產有價值副產品，和 6) 回收二氧化碳和其他含營養物質的廢水。

能源部支持的Aquatic Species Program微藻產油計劃(1978-1996年)間，藻類可作為生質燃料原料，最後因當時油價20美元/桶，藻類產油成本須80美元/桶的結論而中止計劃。但現在石油價格上漲、需減少對外國石油依賴的國家安全目標、提供環境效益、創造經濟機會等大環境需求改變下，又再一次引發美國對藻類生質燃料的開發興趣。

雖然已經探索過藻類可作為一種可再生的生質能源及替代能源，但可擴展、可持續和可行的商業上大量生產系統還沒有出現。2008年12月9~10日美國舉行國家藻類生質燃料技術路線研討會，為期兩天的活動吸引

了超過 200名科學家，工程師研究主管，行業代表，律師，金融家，以及來自全國各地的監管機構，討論並確定目前阻礙了藻類生質燃料在商業規模經濟生產的關鍵挑戰。

綜上所述，該技術路線研討會的結論表明，還須多年的藻類產油基礎研究、應用科學和工程努力，才可能實現可經濟的、可擴展的、可持續的藻類為基礎的燃料。能夠快速檢測分析、和創新新技術整合程序，將是可加快進度的關鍵因素。

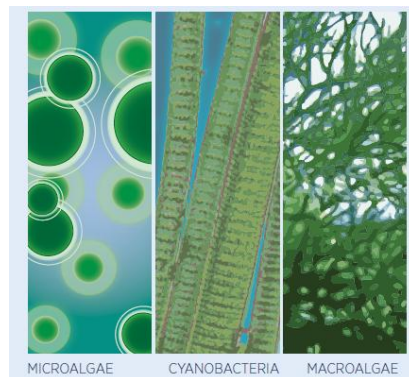


圖 6 生質材料-藻體

藻類作為原料的生質能源有不同藻種，包括微藻，海藻（海帶），和 cyanobacteria（以前稱為“藍綠藻”）。在各種天然水體淡水，半鹹水水域，海洋，和超鹽水環境，土壤等與其他生物共生。

了解，管理和善用篩選出的藻株生物學特點，是將藻體加工成燃料和產品的生產系統的基礎。從獨特環境直接隔離篩選出的藻種，確保可大規模養殖的優勢藻在生質燃料的應用是需要的。

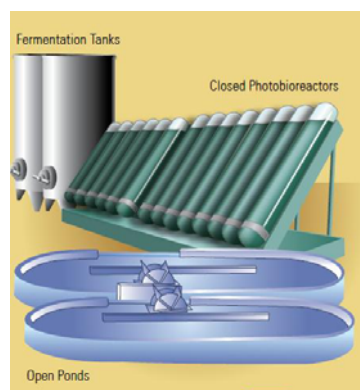


圖 7 藻類生產生質燃料系統

微藻和藍綠藻可通過光合自營(photoautotrophic)的方法在露天或封閉的池塘培養（這些藻生長需要光能量產生新的生質量），或通過異營(heterotrophic)方法（這些藻類生長不需要光能量，只要餵食如糖等碳源，就能產生新的生質量）。大型藻（或海藻）有不同的培養需求，通常需要開放式離岸海上設施或沿海設施。

設計一個最佳的養殖系統須利用藻類菌株的生物學特性和下游最適合的加工程序做整合。選用的培養系統是藻類生產生質燃料系統是否投資負擔得起及，可擴展性和可持續性的關鍵。

各種微藻養殖系統的優缺點如下：

表 3 微藻養殖系統優缺點

Exhibit 3.1 Comparative features of microalgal cultivation approaches

		ADVANTAGES	CHALLENGES
Photoautotrophic Cultivation	Closed Photobioreactors	<ul style="list-style-type: none"> Less loss of water than open ponds Superior long-term culture maintenance Higher surface to volume ratio can support higher volumetric cell densities 	<ul style="list-style-type: none"> Scalability problems Require temperature maintenance as they do not have evaporative cooling May require periodic cleaning due to biofilm formation Need maximum light exposure
	Open Ponds	<ul style="list-style-type: none"> Evaporative cooling maintains temperature Lower capital costs 	<ul style="list-style-type: none"> Subject to daily and seasonal changes in temperature and humidity Inherently difficult to maintain monocultures Need maximum light exposure
Heterotrophic Cultivation		<ul style="list-style-type: none"> Easier to maintain optimal conditions for production and contamination prevention Opportunity to utilize inexpensive lignocellulosic sugars for growth Achieves high biomass concentrations 	<ul style="list-style-type: none"> Cost and availability of suitable feedstocks such as lignocellulosic sugars Competes for feedstocks with other biofuel technologies

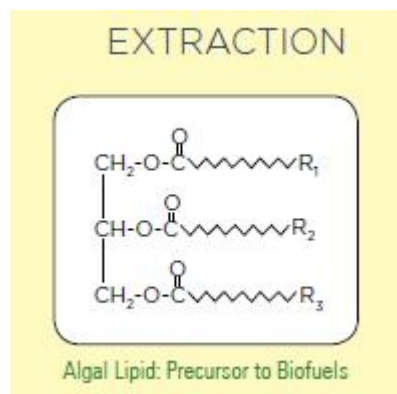


圖 8 藻類油脂(生質燃油先質)

如上圖所示藻類油脂轉換為生質燃油液體燃料，有一些流程需要預先處理，如藻的收成和脫水等步驟，所有這些步驟都很費能源，也是重要議題。

藻類可提取生質量有三大部分：lipids油脂（包括triglycerides甘油三酯和fatty acids脂肪酸）、碳水化合物和蛋白質。而脂類和碳水化合物是燃料先質物或原料（如汽油，生質柴油和航空汽油），蛋白質可用於如動物或魚飼料）等副產品。

藻類可提取生質量的挑戰在於大規模整合萃取系統的如何建立。雖然已有很多分析技術，但最佳的提取系統，須整體耗能比藻類本身具有的能量低，由於藻類產品在處理、乾燥、以及分離各步驟皆很耗能，一些藻類生物量的生產不做萃取，而直接作轉化。藻類直接轉化的製程要大型化也有其特有的挑戰與困難。

目前微藻養殖困難點在於最佳的微藻生產力，僅限於非常特定的養殖條件下，其養殖條件是難以在大量工業製程控制。例如：

- 藻要含高油量只能在缺氮或其他環境壓力下，和營養不足等條件下，但本身生長卻很慢。
- 高油產量其代謝功能的改變與產物的變化趨動力機制，尚不完全清楚。
- 碳：硝酸鹽的營養供給比例，影響脂質成分變化相當大（孟等人 2007）。

對克服這些困難可採取步驟：

- 增加光合效率提高生物量生產
- 增強生長速率
- 增強油生物合成和組成
- 增強對高溫度，鹽度和除藻劑的耐受度
- 減少光抑制效應，提高光照強度
- 增強CO₂同化作用

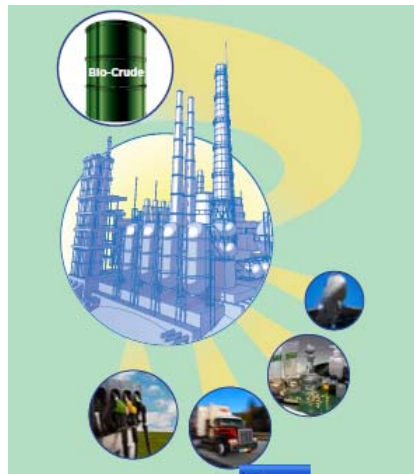


圖 9 藻類的轉換技術

藻類轉換為燃料和產品的轉換技術方案包括化學、生物化學和熱化學過程，或結合這些方法。最終產品取決於所使用的轉換技術。若只著眼於生質燃料作為最終產品，它的挑戰在與大宗商品如汽油和柴油燃料競爭時能大量生產和價格相對低。

最終產品有：生質柴油、生質瓦斯、可再生碳水化合物、酒精、副產物如動物飼料、肥料、工業酵素、生質塑膠、介面活性劑等

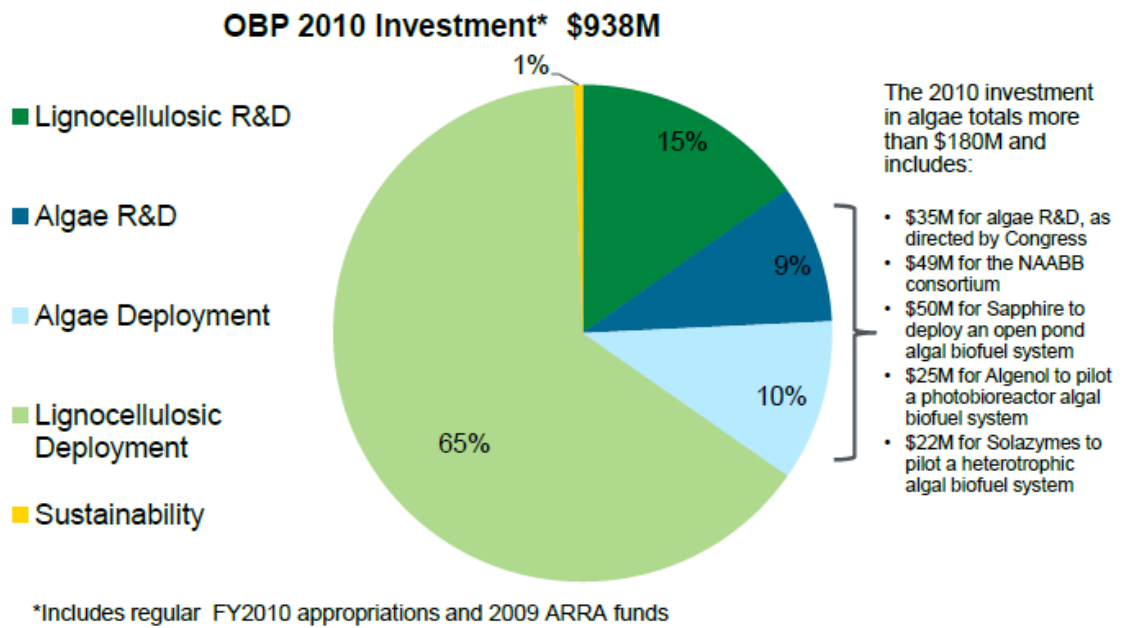


圖 10 美國能源局 2010 投資於植纖維與微藻產油研發預算分配圖

Exhibit 6.1 Schematic of the potential conversion routes for whole algae into biofuels

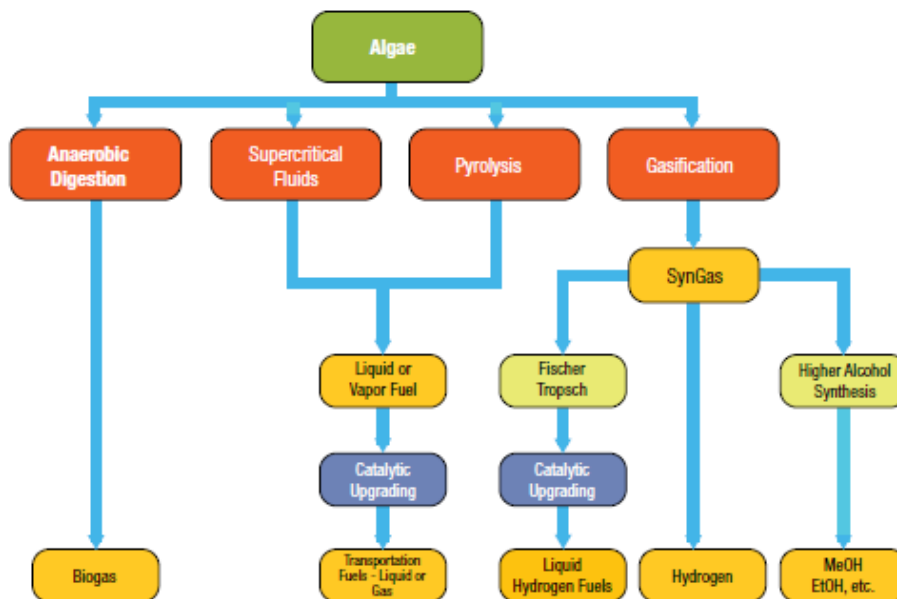


圖 11 微藻轉化成生質油可能路徑圖

Exhibit 6.2 Schematic of the various conversion strategies of algal extracts into biofuels

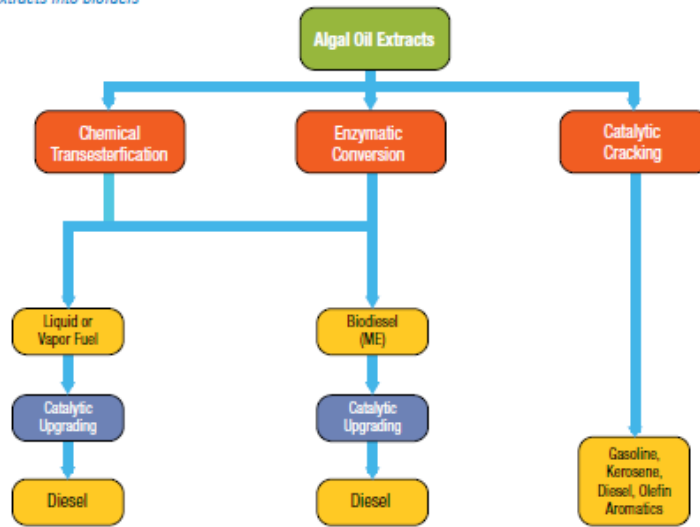


圖 12 微藻萃取物各種轉化成生質油方法

Exhibit 7.1 An overview of the biorefinery concept

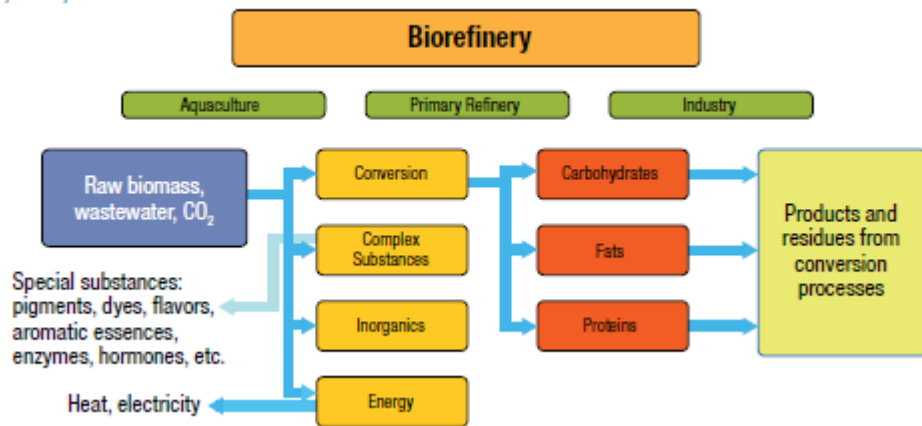


圖 13 微藻生物精煉概念圖

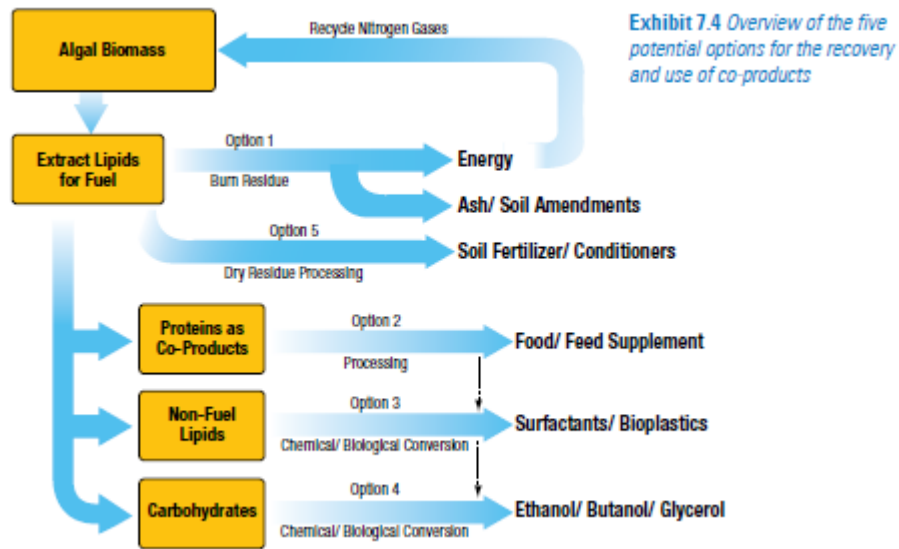


圖 14 微藻提油後副產物回收 5 種可能應用

表 4 不同養藻系統主要資源需求

Exhibit 9.1 Key resource issues for different algae systems

ALGAE PRODUCTION APPROACH	KEY RESOURCE REQUIREMENTS
Photoautotrophic microalgae production	Climate, water, CO ₂ , other nutrients, required energy inputs, and land
Heterotrophic microalgae production	Sourcing of suitable organic carbon feedstock, water, energy, and other inputs required for siting and operating industrial bioreactor-based algae production and post-processing to fuels and other co-products
Photoautotrophic macroalgae production	Availability of suitable coastal and off-shore marine site locations

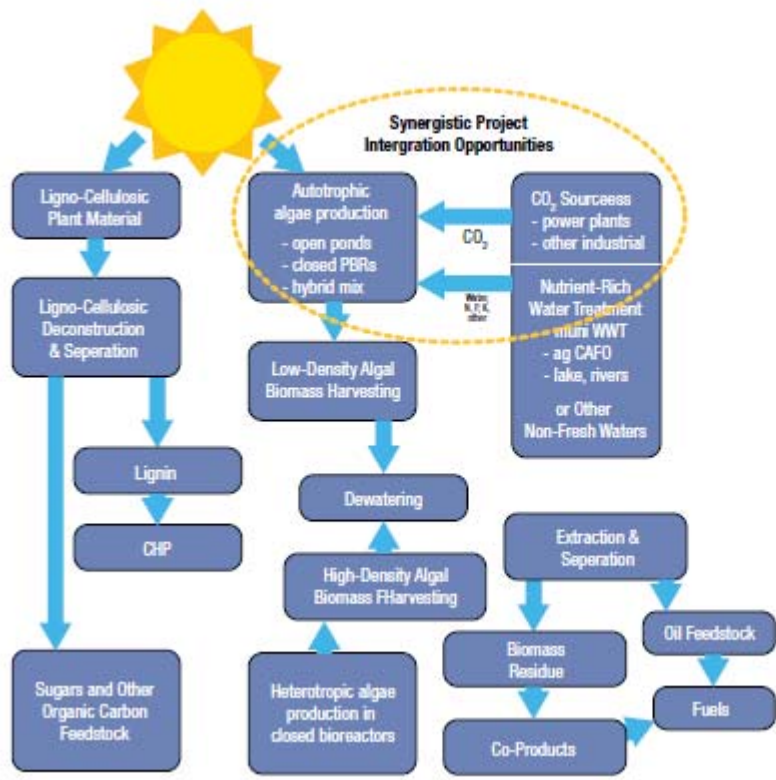


Exhibit 9.3 High-level illustration of heterotrophic and photoautotrophic approaches to microalgal biomass and biofuels production

圖 15 微藻生物燃料產業架構

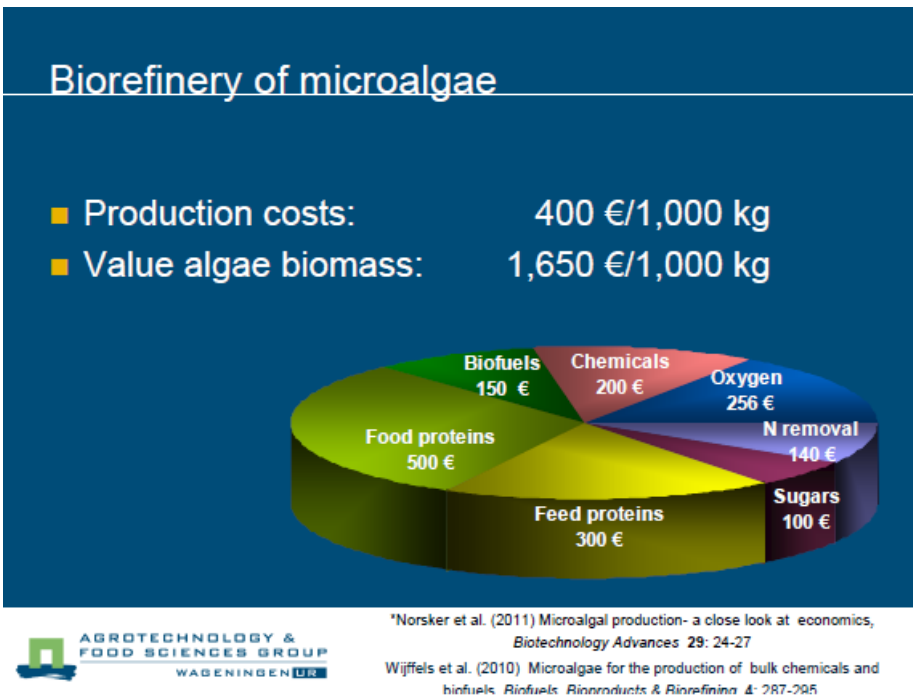


圖 16 微藻生物產業價值圖

由上圖經荷蘭農業與食品科學組推估目前產微藻 1,000Kg 成本為 400 歐元，其中產生質燃油為 150 歐元，可見單產油是不符成本，但整合其他產業就有很大商機，例如其伴隨各產品價值總計 1,650 歐元。

NAABB將開發具有成本效益的藻類生質量和油脂生產技術，經濟上可行的燃料和副產品，並提供一個可持續微藻生物燃料產業架構。

1. 微藻生產力目標

- 藻脂肪含量>50%(在收成時)
- 生產率>20 g/m²/day (開放系統)
- 生產率5克乾重/升 (封閉系統)

2. 微藻收成和油脂提取目標

- 5000加侖 /天容量的微藻收成單元
- 15加侖 /天容量的油脂提取單位

3. 副產品目標：

- LEA(lipids extracted algal)提油後藻渣價值為250-1000美元/噸

4.可持續發展目標：

- 減少二氧化碳排放
- 水用量小於 0.75加侖水/加侖燃料
- 養藻養分循環使用
- 提油後藻渣(LEA)：90%回收養藻養分
- 藻類轉換為燃料所需的能量小於 10%燃料所含的能量
- 能源投資回報率 (>> 1)

製程經濟目標：<\$2.10 /加侖油脂(運營+資本成本)

- 運營成本：\$0.40/gal處理成本 (油)

資本成本 (工業標準油)：\$1/年加侖裝機容量 (biodiesel生物柴油)

\$2/年加侖裝機容量(green diesel綠色柴油)

Diesel Fuel Properties [12] [17]

Properties	Petrodiesel I	Biodiesel	Renewable Diesel
Cetane#	40-55	50-65	75-90
Energy Density, MJ/kg	43	38	44
Density, g/ml	0.83-0.85	0.88	0.78
Energy Content, BTU/gal	129 K	118 K	123 K
Sulfur	<10 ppm	<5 ppm	<10 ppm
NOx Emission	Baseline	+10	-10 to 0
Cloud Point, C	-5	20	-10
Oxidative Stability	Baseline	Poor	Excellent
Cold Flow Properties	Baseline	Poor	Excellent
Lubricity	Baseline	Excellent	Similar

2-1-5 與水處理設施整合

藻類生質燃料的大量生產，最終不可避免地必須與廢水處理和回收結合。主要因為：

- 藻類生質燃料製程產生的廢水與所含養分，需於藻類生產中重複回收使用。
- 引用含有養分的廢水和水分，補充藻類生產的必然損失。導入的廢水必須處理也是藻類生產的部分製程。
- 藻類也可處理污水，並提供了必要服務。
- 藻類處理污水技術可以在短期內建立，並提供員工培訓與經驗大量海藻栽培，以便將來有足夠的藻體供應轉化生產工廠。

大量藻類生質燃料生產所需的營養物質，可從都市生活污水和農業廢水中的營養物質，也可從藻類提取油後殘留養份循環回收使用。養份循環利用是必要的，因為美國所有廢水回收若只一次性回收供應，無法滿足供應大規模藻類生產所需養份。藻類生產和加工過程中不可避免的營養物質損失，可以由廢水中的營養物質補充，它也可以幫助藻類生產的肥料成本降低。營養素（氮，磷，鉀）的供應和成本是實現可經濟與可持續擴大的藻類生質燃料的關鍵議題。

2-1-5-1 藻類生產與廢水處理整合的潛在好處

雖然藻類處理污水所需要的土地面積，比機械處理技術多很多倍，但在合適的

氣候條件下，藻類處理污水有以下優點：

- 具有早期發展大量微藻生產基礎設備的機會
- 開發熟練的藻類生產勞動力
- 養分在藻類生物質生產設施，可回收循環利用
- 有污水處理收入，降低藻類生產成本
- 比傳統的污水處理有較低的資本和操作與維護成本
- 比傳統的污水處理有較低的能源強度（一種溫室氣體減量的利益）
- 可結合電廠或其他二氧化碳排放業者整合減碳運營
- 處理農業排水和富營養化水體

2-1-5-2 廢水處理和回收應用

都市污水處理設施、農業食品和畜牧飼養場廢水，其中營養豐富的廢水可用於生產藻類，藻類生產可以幫助污水處理的脫氮除磷。藻類生產設施也需要污水處理和養分循環。污水處理附屬設施包括蒸發設施，將廢水或鹽水濃縮處理。可以用藻類處理的水域污染：有含有機物、營養過剩（如氮，磷，鉀），金屬、合成有機化學物、和潛在的內分泌干擾物（奧斯瓦德，1988; Woertz等，2009; 阿克蘇，1998年;伯德等人，2002年）。藻類生產愈快速，同時營養清除率和廢水處理量也愈高。因此，至少在藻類生質最大化生產上，生質燃料原料藻類生產和廢水處理的目標是一致的。這種理想的整合系統：維護脂質豐富的藻種，或養殖的操作條件，促進脂質生產的養殖與廢水處理設備等，皆還有待驗證。藻類處理廢水設施的建造和操作費用，一般比傳統的機械處理設施便宜。例如，高生產率的藻類池塘總成本約低於在美國最常用的活性污泥法70%（Dowing等人，2002年）。這種節約成本，再加上美國（EPA，2008）和世界各地擴大和改善廢水處理的需求，提供了安裝藻類生產設施與廢水處理一起的實踐機會，如都市污水、農業食品和畜牧飼養場廢水，以及低有機物含量但高營養成分水域（例如，農渠，湖泊，河流）。儘管有豐富營養源的廢水可回收，但如果藻類

成爲國家重要生質燃料來源，微藻生產設施包含營養物質和碳的回收利用是需
 要。在專門的大量藻類生物質生產設備，即使營養源有內部循環，引入外部的
 含豐富營養源廢棄物和/或廢水仍然需要的，以彌補營養源損失 (Brune等，2009)

2-1-5-3 以廢水處理廠廢水生產藻的技術

整合藻類生產與廢水處理如示意圖所示

Exhibit 9.7 Integration of algae production with wastewater treatment for nutrient removal and biomass production:

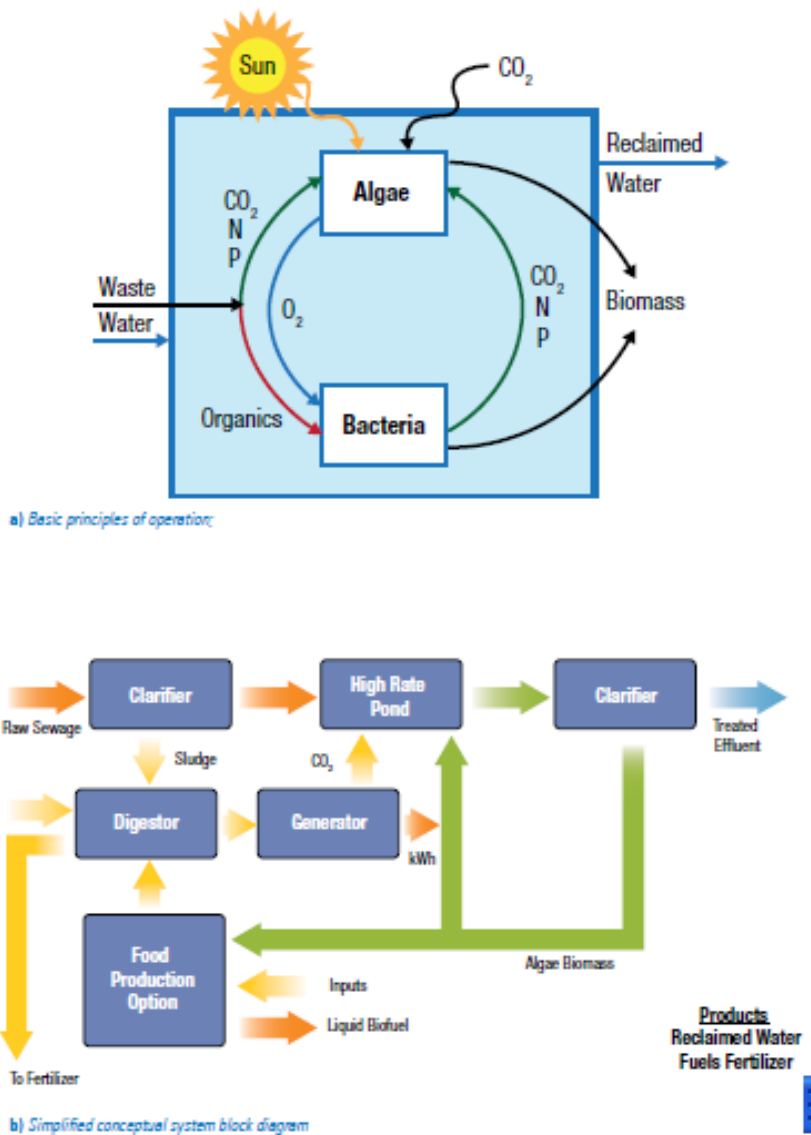


圖 17 藻類生產與廢水處理流程

現有廢水處理廠使用比較深的處理水池（1-6米）。深度太深會藻類生產力低，現有廢水處理廠只去除有機物和病原體，並非生產藻類。兼具產藻的廢水處理廠，去除營養物外，藻類也需要高生產力，以供生產生質燃油原料。這些高效率產藻廢水處理廠採用淺反應池、池深30公分、表皮約1公分藻類刮取器。封閉式光合生物反應器目前不強調適合這種污水處理，因為它們造價高，經濟考量也只適合生產高附加值產品（> \$ 100/kg生物量），以含污染物廢水養殖不可能有如此高價值產品存在。

與其他海藻生產系統一樣，在此廢水處理系統中藻收成是很關鍵的一步。標準的方法是先用化學混凝絮凝，其次是溶氣氣浮法分離藻類裝置或沉澱澄清。其化學品成本約\$ 0.10 ~ \$ 0.17/立方米處理水（Maglion，2008），為生產生質燃料而言，成本高。若用非化學絮凝法（生物絮凝和autoflocculation）成本遠遠較低，但其可靠性需要研究改進。因如上所述，各主要類型的廢水含那些污染有機物和營養物質（城市和工業源）和廢水主要污染與無機營養物質（如，農業排水，河流和湖泊）特性不同。

2-1-5-4 處理有機廢水的藻類生產

有機廢水通常還含有豐富的營養，需要兩種類型的處理。藻類類似於植物，它們都產生氧氣和吸收營養物質。藻類釋放的溶解氧是用於供細菌氧化有機物垃圾（圖 9.7）。藻類能夠吸收的營養物質將其濃度降至微量，然後含營養豐富的藻類也從水中去除，對廢水處理中是有效的。

藻類淨化水，以提供天然消毒和消除微量污染物的能力較少為人知。

藻類產的溶解氧、存在的陽光，和天然有機催化劑促進形成氧自由基具消毒能力（Sinton等人，2002年，Kohn等人，2007年）。重金屬可能會被吸附到藻細胞，只要累積的金屬含量不過多，或抑制以後用在加工燃料和其他副產品的金屬含量，這將是一個好處。最後藻類和細菌互動，降解廢水中各種各樣的有機合成

化合物，如苯酚和乙腈（伯德等人，2003年，穆尼奧斯等，2005）。及藻類和細菌互動去除微量污染物（如內分泌干擾化合物，人類用與動物用激素和抗生素等），也是一個需要研究的領域。

機械法處理廢水技術通常廢水處理停留時間少於 12小時，而藻類和細菌互動式處理廢水技術通常廢水處理停留時間至少數天，其排水再排至類似的環境自然承受水體。藻類微量污染物的生物蓄積，將發生在承受水體，最終損害高等生物，藻類收成可阻止這種承受水體污染物的生物蓄積，但需進一步的調查證實。但是，任何重金屬污染的藻類生物量很可能會留在生物燃料廢物處理，無形中增加了廢物處置或回收成本。對於所有生物燃料的藻類原料，污染的路徑等，應事先研究和制定預防措施。

2-1-5-5 無機廢水處理的藻類生產

藻類除了有能力處理有機物豐富的廢水外，也能處理高營養，低有機物含量廢水而將擴大藻類生產機會。農業排水和富營養化水體（例如，索爾頓湖，加利福尼亞州）是這樣的例子水域（Benemann等，2002）。處理營養豐富的農村地區的排水，可能比處理城市污水有更大的土地供應和節約土地成本。

藻類處理低有機物含量廢水，大氣中二氧化碳的增加或緩慢吸收是不可避免的，因為有機物分解的無機碳不會大量。Algal turf scrubbers處理農業排水(無二氧化碳添加)，和添加二氧化碳高效率處理效果已在加州的中央谷地和其他地方證實（CRAGGS等，1996; Mulbry等，2008;Lundquist等人，2004年）。

高速率的藻類處理池也可能被用來排放費水蒸發濃縮系統附屬設備。高效率池有藻類產品，同時水分蒸發。蒸發濃縮池是目前用於處理農業排水、油田排水、礦井水等，與任何蒸發塘系統一樣，必須仔細評估會危害野生動物的有毒化合物（如硒，鉻）。

2-1-5-6 藻類處理廢水需研究課題

專為脫氮除磷/回收廢水的高效率處理廠需研究下列幾個問題：

- 大型化（3~5畝）示範二氧化碳增強高效率脫氮除磷
- 確定 CO₂生物固定效率

- 確定生長模式參數
- 開發吃藻生物控制策略
- 開發可靠低成本藻類收程技術，如生物絮凝，autoflocculation，微篩等。
- 確定藻類生質燃料生產廢棄物回收處理
- 確定成本節省和溫室氣體（GHG）排放減量利益，比傳統的廢水處理技術好。

藻類生產設施與二氧化碳排放行業共構藻類生產設施與二氧化碳排放行業共構問題，美國各電力公司主要認為藻類僅為二氧化碳捕集的方法之一，而不是生產生物燃料和其附產品。因此，電力公司可能需要合作夥伴，如藻類公司 / 養藻技術公司/燃料煉油廠 / 經銷商等，用非常不同的商業模式和目標為藻類生產與電廠共構，才能廣泛商業化推廣。此外，研究工作和政策的評價，需要把重點放在碳捕獲和生質燃料和附產品的生產，以克服藻類生產設施與二氧化碳排放行業共構在技術，管理和經濟因素的障礙。

1.藻類生產設施與二氧化碳排放行業共構合作的機會

由於 光合自營性(photoautotropic)藻類生長需要的二氧化碳從大氣中二氧化碳補充有限，若從化石燃料燃燒發電廠的煙道氣源，集中供應濃二氧化碳對藻類生產有效益。由此產生的成本與二氧化碳特定地點、捕集方法、調整和至藻類生產設施距離的運輸有關。成本預計將低於商業純二氧化碳，但經濟上的可行性，必須逐案確定。藻類生質燃料和其他副產品的使用，減少溫室氣體淨排放量。藻類生產設施與二氧化碳排放行業共構未來可作進一步的研究。

除化石燃料發電廠外，它也關係到其他二氧化碳密集型產業（如水泥製造，化石燃料的提取/精煉，發酵型產業，一些地熱發電等）。這些設施比電廠煙氣有較高的二氧化碳濃度，電廠煙氣二氧化碳濃度通常範圍5%至15%左右(依電廠的種類和燃料而異)。這種更高的濃度會影響大小和操作的藻類生產設施的一個方面，可以納入工程模型進行更詳細的系統和技術經濟評估。

要考慮一個屬於政策的重要問題是：藻類吸收二氧化碳的任何碳信貸或上限和貿易框架等碳權價值，因藻類衍生燃料的燃燒，捕集的碳將再被重新釋放到大氣中。雖然藻類生質燃料可以預期會減少溫室氣體排放量，這個過程捕捉煙氣二氧化碳，可能被視為不嚴格的碳封存。這種碳權監管認定在採用與藻類共構前需確定。

燃煤電廠可能方便提供藻類生產所需的二氧化碳，但從排放控制的角度來看，藻類養殖在天然氣發電廠可能是一個較好的投資。因為燃煤發電廠的每單位發電量的二氧化碳排放量比天然氣發電廠高。因此，用藻類捕捉燃煤電廠二氧化碳排放量需較大量，每單位發電量的藻類生產系統相對較大，每單位發電量捕集碳的成本也較高。然而，燃煤電廠煙氣二氧化碳濃度約10 - 15%比天然氣廠的5 - 6%高，它可以帶來一定的優勢，例如在效率方面的捕捉、運輸、二氧化碳從燃煤發電廠到藻養殖場皆較高。此外，燃氣電廠一般作為調度電廠運轉，而不是穩定的基載發電，間歇性運轉，間歇性的供應二氧化碳給藻類的生長。藻類生產於白天光合作用時較快。燃氣基載發電不會間斷，但是，與基載燃煤電廠一樣，晚上也排放二氧化碳，它不能被藻類光合作用利用。在這些時候，將二氧化碳排放到大氣中，或以其他方式捕獲和封存（Rubin，2005年）。

2.藻生產與固定工業 CO₂源共構的優勢

- 豐富的高濃度二氧化碳量可以從固定工業源補充大氣中低濃度的二氧化碳。
- 多餘的熱量或電力可能來提供藻類培養系統的加熱或冷卻，以提高熱管理的可能性- 使藻栽培設施等有更廣泛的地理和氣候條件或接近全年運轉。
- 電廠多餘的廢水或冷卻水可使用在藻類養殖，克服養藻需大量用水問題，提供了有益的再利用冷卻水和廢水。
- 潛在的碳信貸。這將需要建立一個美國對碳吸收和再利用作為運輸燃料可代替永久封存的政策。

3.藻生產與固定工業 CO₂源共構的障礙

- 需要大量營養源：在固定工業源有可能提供充足的高濃度二氧化碳進行光合作用，驅動的藻類生長，但在大都不會有足夠的養分（N，P，K）的供應。因此，藻類栽培也需要固定營養源共構，如廢水處理設施和農業廢水等。
- 碳捕獲信貸尚屬不明確的監管架構：直到有地方法規量化藻類生長設施碳信貸，碳信貸不確定性可能阻礙廣泛的商業採用該技術。
- 土地供應：電廠附近可能無法有適用和負擔得起的空置土地。
- 煙氣在養殖地面排放：發電廠和其他固定污染源均受清潔空氣法案法規監管，並根據煙囪高點源排放規定。利用煙氣的培養藻類將涉及非點源的地面排放等法規問題。

- 設備投資和運營成本問題：需要評估設備投資資本成本和運營成本與電力損失，包含基礎設施及二氧化碳捕集、交付到養殖場、成長/收成藻類所需的電力。這些成本和損失最小化，必須比其他為碳捕集和封存或再利用的方法要小。目前的估計是，藻類生物燃料和蛋白質生產約可以抵消 20% ~ 30% 的發電廠的溫室氣體排放量（布倫等，2009）。雖然經常被稱為“免費”的資源，二氧化碳的捕集和運送，以提高和優化藻類產量將不會是“免費”。
- 電廠過多的二氧化碳排放的現實：大型發電廠釋放過多的二氧化碳，附近的藻生產場無法完全吸收。同樣普遍認為適用於其他固定二氧化碳源如水泥廠，酒精廠等。此外，有太陽光時，藻類才會行光合作用吸收二氧化碳。

養藻設施維修配合停電期間進行與藻類增長率依季節性變化：二氧化碳排放變化量和藻類生長速率/CO₂吸收等確實的管理與掌握需詳細的模式需要建立。

電力公司阻力的化解：電力公司並非經營燃料業務，而且監管電力事業委員會也會限制電力公司進入燃料生產領域，因他們的基本目標是捕捉二氧化碳，而不是生產生物燃料和附產品。因此，鼓勵電力公司和藻類公司 / 燃料公司等合作機制是需要的，需要新的商業模式，使其商業化。

研究與發展方向

若要藻生產、固定工業 CO₂源、與水處理設施整 共構大型商業化，需要一些領域的研究，和政策制定努力。

下面的方向需要確定：

1. 開發藻類生產設施電腦化模式將有助於下列：

- 快速和一致的工程設計水準。
- 提供技術與經濟分析。
- 提供生命週期分析和溫室氣體減排分析
- 提供國家所有潛在生產基地的清單
- 評估量產經濟優勢和考慮可減少CO₂運輸等損失的分散型生產。
- 評估溫度控制（電廠冷卻和藻類生產加熱）。
- 發展高效率的藻類生產設施。

2. 建立國家藻類生物量的生產測試平台，進行研究的規模（3-- 10畝）。生產測試平台可設在電廠、廢水處理設施，乙醇工廠或其他二氧化碳排放工業設施、

農業排水/承受水體、合適的地理位置(太陽能、風能資源與氣候條件)。這項工作可能涉及財團的研發機構、大學、藻類、養殖公司、藻類技術公司、煉油、分銷商和其他共同參與者，以國家級位階協調。

3.藻類生產測試平台與電力和廢水處理部門相關議題包括：

- 大規模養殖的技術評估
- 決定藻類生產設施參數
- 煙氣或其他工業源二氧化碳的供應、成本、吸收/生物固碳效率 藻類生物量生產力因季節性和 晝夜變化和各種 水化學而異
- 控制藻類生物質量（油脂比例：蛋白質：碳水化合物：和C：N：P）
- 養藻生產設施內對養分和水分循環回收方法；鹽度和排污等管理。
- 藻類進入提取燃料製程前，藻類生物量的處理，存儲；絮凝收穫；病原體的安全。
- 藻類提取燃料後殘渣對土壤改良，作物施肥等用途管理。
- 發展的藻類菌株及其養殖技術
- 調查養藻生產設施煙氣地面排放的安全性，含模式推估與法規調查。
- 對各種不同煙氣成份對的藻類生產的影響及副產物品質。
- 電廠煙氣氮氧化物，硫氧化物去除等。
- 電廠用廢水冷卻會同藻類生產。
- 評估電廠 /其他工業二氧化碳源和藻類養殖 /技術公司，和煉油廠 /經銷商之間。可以鼓勵合作夥伴的政府政策。
- 在國家藻類生產測試平台，開發和培養未來的藻類生產 /藻類生質量處理的技術人力，並制定大學培訓計劃。

2-2 參訪 Babcock & Wilcox 鍋爐研發中心



圖 18 Babcock & Wilcox 鍋爐研發中心

共投資 3,500 萬美元，佔地 66,500 平方英尺的 Babcock & Wilcox 鍋爐研發中心位於靠近 Babcock & Wilcox 公司總部設在巴伯頓，俄亥俄州。它擁有現代化的實驗室和試驗設施，發展清潔能源發電技術。Babcock & Wilcox 鍋爐研發中心 (BWRC) 含三個技術領域，包括：

1. 能源轉換：化石燃料燃燒，燃燒器的發展，氮氧化物控制，高溫反應動力學，計算流體力學和過程建模及相關活動。
2. 環保技術：燃燒後排放控制系統，水相化學反應和動力學，化學模擬，催化，反應器的設計。
3. 材料工程：經驗豐富的冶金，水側和火側腐蝕，材料疲勞，焊接，結構力學和有限元素分析。

大約共有 50 位研究人員和有先進的試驗設備和實驗室規模的系統測試設施，進行研究和開發活動，例如：

小鍋爐模擬器 II-鍋爐燃燒後二氧化碳捕捉試驗設施，煙氣濕式除硫水工模型，燃燒實驗室，煙氣排放控制實驗室，觸媒催化實驗室，CO₂ 控制實驗室，爐管火側腐蝕實驗室，爐管金相實驗室，水化學分析實驗室，焊接實驗室，掃描電鏡實驗室-管材蒸汽側氧化/剝離設備，腐蝕疲勞試驗設施，電化學測試設備。

4. 該 Babcock & Wilcox 鍋爐研發中心可提供相關服務如下

鍋爐建造、鍋爐環保設備建造評估服務、現場工程服務、實驗室管理與服務
管材製造品質驗證、核電運營管理、火力電廠升級
美國的國內將有可能很快有 CCS 的 A-USC 電廠

摘自 *Steam Generator for Advanced Ultra-Supercritical Power Plants 700 to 760C*
P.S. Weitzel Babcock & Wilcox Power Generation Group, Inc.

Barberton, Ohio, U.S.A.

ASME 2011 Power Conference Date: July 12-14, 2011 Location: Denver, Colorado, U.S.A.

先進的超臨界機組（A - USC）是一個術語，用來指定一個燃煤電廠的設計與進蒸汽溫度為 700~760°C 鍋爐在（1,292 至 1,400F）。最終過熱器和最後再熱器的金屬平均溫度可以運行最高達約 815°C（1500F），因此需要鎳基合金材料。

提高電力生產的經濟性和降低電力生產的成本已是長期追求的目標。效率的提高也意味著二氧化碳（CO₂）的排放減少、碳捕捉成本減少、與減少燃料消費成本。在美國、歐盟、印度、中國和日本，電業協會的支持與私人公司合作，建立了需要使用溫度 700°C（1,292F）以上的鎳基合金材料開發方案。在全球大量的煤炭發電推動了經濟增長。目前的挑戰是繼續提升近 50% 高效率的燃煤發電廠技術，同時維持經濟的電力成本，與電網負荷率變化的有良好響應的電廠。使用的新合金於燃煤環境中，受到煤灰的侵蝕和蒸汽側的氧化是管材主要的損耗原因，在 DOE 與 Ohio Coal Development Office (OCDO) 支持下，在實驗室與現場高溫應力潛變試驗，實際已進行很長時間。

可以預測將來是可比較低的發電成本捕獲和封存（CCS）使用或氧燃燒或燃燒後捕獲是使用經濟可行性的 A - USC 電廠，。這樣的電廠鍋爐將使用鎳合金材料設計和配置。

A - USC 電廠的市場接受採用與否，取決於更高的減碳價值和降低新一代技術機組運轉的風險水平。在可商業化 A - USC 電廠前，會在較小發電規模示範廠（400MW）的進一步測試驗證各組件。

發電業者的顧客是獨立的輸配電網系統運營商（ISO），輸配電業者將許多不同發電廠所發的電，輸配供應滿足至不同的負載需求。發電電廠必須在市場競爭下，依電廠有不同的操作限制、成本結構和特點在前一天投標並提供電價，當天可能發電無法隨時與電網的負載需求一致。電廠低耗熱率、低燃料成本、更廣負載範圍和更快響應速度使該電廠有較好的淨收入。發電業者/設計建造業必須在設計中考慮這些因素。超臨界機組大小經濟上考量選擇大於 400MW，平均

約 750 MW。首選的商業超臨界機組為 1000MW。歐洲和中國已經有建設 1000MW 超臨界機組。美國工業 A-USC 聯盟表示 350 至 1,000MW 機組的大小在美國將是可能的。美國國內將有可能很快有 CCS 的 A-USC 電廠之後的第一個商業規模示範電廠。

先進的超臨界蒸汽鍋爐設計正在開發中，與目前的鍋爐設計各設備安排會有顯著不同是可以預料，尤其與 富氧燃燒 CCS 結合的 A-USC 鍋爐。鍋爐飼水管材流動加速腐蝕(FAC)與 pH、溶氧濃度關係圖如下：

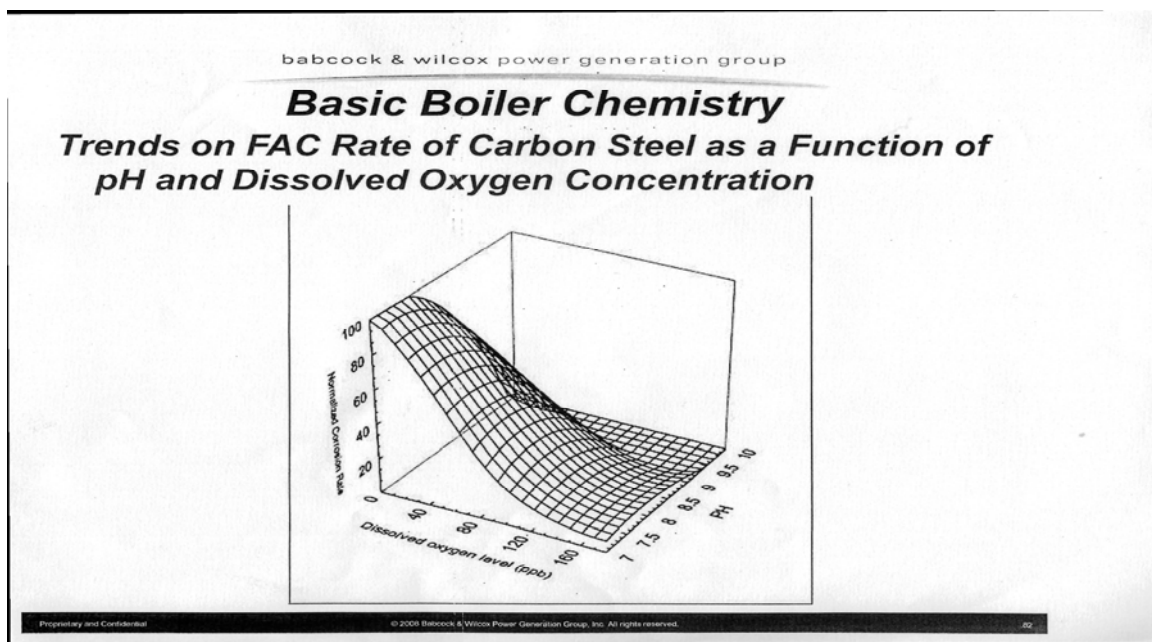


圖 19 碳鋼水流動加速腐蝕與水質 pH 及溶氧關係圖(2008)

B&W 超臨界鍋爐水處理各種狀況水質規範表(2006)如下表 5

表 5 B&W 超臨界鍋爐水處理規範表(2006)

TABLE 2. FEEDWATER GUIDELINES FOR B&W UNIVERSAL PRESSURE ONCE-THROUGH BOILERS USING OXYGENATED WATER TREATMENT (OWT)

Normal Operation		
pH, all ferrous cycle	8.0 – 8.5 measured at 77F (25C)	
Cation conductivity	0.15 μ S/cm, maximum	
Specific conductivity	0.3 – 0.9 μ S/cm	
TOC (Organic)	100 ppb, maximum	
Sodium	3 ppb, maximum	
Dissolved oxygen	30 – 150 ppb, by addition of gaseous oxygen	
Total silica (as SiO ₂)	10 ppb, maximum	
Total iron (as Fe)	5 ppb, maximum	
Total copper (as Cu)	2 ppb, maximum	
Limits on Abnormal Operation		
Cation conductivity	0.15 – 0.20 μ S/cm	672 hrs/yr
Cation conductivity	0.20 – 0.30 μ S/cm	336 hrs/yr
Cation conductivity	0.30 – 0.65 μ S/cm	48 hrs/yr
Cation conductivity	> 0.65 μ S/cm	8 hrs/yr
Recommended Alarms		
Cation conductivity	> 0.15 μ S/cm	Reduce conductivity
	> 0.20 μ S/cm	
	> 0.30 μ S/cm	
Recommended Trips		
Cation conductivity	> 2.0 μ S/cm for 5 minutes	
Cation conductivity	> 5.0 μ S/cm for 2 minutes	
Preconditions for Firing Boiler		
Cation conductivity	< 0.65 μ S/cm	
pH	9.0 – 9.5	
Dissolved oxygen	< 10 ppb	
Iron	< 30 ppb	
Preconditions for Convection Pass Fluid > 550F (288C)		
Cation conductivity	<0.65 μ S/cm	
pH	9.0 – 9.5	
Dissolved oxygen	< 10 ppb	
Iron	< 30 ppb	
Preconditions for Commencing Oxygen Feed		
Cation conductivity	0.15 μ S/cm (discontinue feed if >0.30 μ S/cm)	

參、心得及建議

3-1 心得

1. 參加此次微藻產油國際性研討會，了解美國為避免進口石油的依賴，若中斷燃料供給對企業和個人會造成經濟和社會的不確定性，和影響國家能源安全考量，美國能源局於 2010 用於不與食物競爭的先進型生質燃料研發預算為 938 百萬美元，其中含微藻產油研發預算為 180 百萬美元。美國預計 10 年內能有大型化量產的系統。韓國政府 2009 年投入微藻產油研發預算為 200 百萬美元(10 年計劃)。
2. 為降低養藻產油的用水、用地、能源、營養源等問題，電廠 CO₂ 供應、都市或畜牧業廢水回收及養藻產油廠整合共構，為美國日後研發方向之一。
3. 微藻產油與副產物的相關技術如藻生理學、藻種篩選、大量培養、收成、轉化成各種能源、生命周期評估、與廢水回收共構等技術目標國際狀況在本次研討會得到很多資訊，研發成熟進入大規模生產國外預計僅需 10 年，也是目前國內外微藻產油及減碳熱門議題的原因，預計 10 年後會有高效率電廠與微藻固碳產業整合實廠。
4. 會後參訪位於 Babcock & Wilcox 鍋爐研發中心材料與水質試驗設備與技術，瞭解美國先進超臨界機組技術發展蒸汽溫度現況已 600°C-621°C，美國的國內將有可能很快有 CCS 的 A-USC 示範電廠。
5. 從本次參訪該中心技術顧問 John M. Jevic 提供 2006 年超臨界機組水質各種運轉條件下的水質規範，本所進行中的超臨界機組新材料與新水處理技術試驗設備，使本所有機會與國外超臨界機組研發單位交換資訊。

3-2 建議

1. 因應 10 年後國外預計會有高效率電廠與微藻固碳及廢水回收產業整合實廠，及為降低養藻產油的用水、用地、能源、營養源

等問題，建議本所繼續加強相關資訊的情資收集，並充分利用林口與未來南火微藻固碳小型試驗場進行相關試驗比對驗證，加速未來大型化實廠的技術建立。

2. 微藻產油美國政府以石油短缺後國家能源安全問題積極投入研發，微藻固碳所產生的能源效益與環境效益很值得期待。
3. 美國及其他先進國家超臨界機組技術發展蒸汽溫度現況已 $600^{\circ}\text{C} \sim 621^{\circ}\text{C}$ 。參訪該中心時，技術顧問 **JohnM.Jevec** 提供 2006 年版超臨界機組水質各種運轉條件下的詳細水質規範，對維護高效率發電機組的可用率與可靠性應有很幫助。