

出國報告（出國類別：考察）

赴丹麥考察生質廢棄物能源化推動現況及 應用技術

服務機關：行政院環境保護署
姓名職稱：林憶芳科長、黃智揚技士
派赴國家/地區：丹麥
出國期間：107年5月15日至24日
報告日期：107年8月

摘要

本次考察行程主題為赴丹麥瞭解生質廢棄物能源化推動政策、現況及經驗，安排拜訪丹麥能源署及實地觀摩 5 處丹麥生質廢棄物厭氧消化轉化能源及資源之案例。丹麥政府透過沼氣基金之設置及補貼政策之推動，使該國沼氣生產再利用產業蓬勃發展，且未來將逐漸限縮能源作物之使用比例，並積極推動將廢棄物轉化為能源，以實現丹麥 2050 年能源使用 100% 再生能源之目標。本次參訪生質廢棄物厭氧消化設施，其產生之沼渣沼液，多數做為農地肥份使用，且受當地農民喜愛，並須付費購買；產生之沼氣，除用於發電產生電能使用之外，另亦純化後以管線運輸及上網方式併入天然氣系統，將沼氣替代天然氣作為燃料使用，值得國內發展生質能之參考。

目次

壹、 目的.....	4
貳、 行程.....	5
參、 過程.....	6
一、 拜訪丹麥能源署.....	6
二、 參訪佛蘭史德馬鈴薯蔬果公司廢蔬果廢水處理廠之廢污泥厭氧消化設施.....	10
三、 參訪維耶艾加廢水處理廠厭氧消化及沼氣發電設施.....	14
四、 參訪托森公司生質廢棄物沼氣發電廠.....	21
五、 參訪農業商業園區生質能源創新研究中心.....	27
六、 參訪曼森沼氣廠生質廢棄物能源化設施.....	31
七、 參訪埃斯比約廢水處理廠厭氧消化及沼氣發電設施.....	36
肆、 心得及建議.....	39

壹、目的

為落實總統就職政見「循環經濟」政策，本署刻正積極推動廚餘能資源化，經獲行政院於 106 年 6 月核定「多元化垃圾處理計畫」，其中規劃設置至少 3 座廚餘生質能源廠，計畫期程自 106 至 111 年度，共計 6 年，總經費 18 億元，以競爭型補助方式補助地方政府興設。除了可提升廚餘回收再利用量、有效減少垃圾焚化量，實現將廢棄物轉換為有用資源之外，同時具有生質能源開發、減少碳排放量、有效提升綠能供應量之效益，往循環經濟方向邁進。考量丹麥之生質能源化技術及政策已相當成熟，目前營運中生質能源廠超過 150 座，且多廠以廢蔬果、廚餘、禽畜糞及污泥等有機廢棄物進行共消化。透過赴丹麥瞭解生質廢棄物能源化推動現況及經驗，實地觀摩丹麥生質廢棄物厭氧消化轉化能源及資源之成功案例；另參訪當地政府機關，就推動生質廢棄物能資源化進行經驗交流，作為國內推動廚餘生質能源化工作之借鏡。

貳、行程

日期	工作內容
5/15 (二)	啟程，搭機赴丹麥
5/16 (三)	抵達丹麥哥本哈根
5/17 (四)	拜訪丹麥能源署
5/18 (五)	1、參訪 Flensted 馬鈴薯蔬果公司廢水處理廠之廢污泥厭氧消化設施 2、參訪 NISSEN 公司廢水處理廠厭氧消化及沼氣發電設施
5/19 (六)	參訪 Brdr. Thorsen 公司生質廢棄物厭氧消化及沼氣發電設施
5/20 (日)	整理參訪資料
5/21 (一)	參訪生質能源創新研究中心(Agro Business Park)
5/22 (二)	1、參訪 NGF Nature Energy 公司生質廢棄物沼氣發電廠 2、參訪 DIN Forsyning 公司廢水處理廠厭氧消化及沼氣發電設施
5/23 (三)	返程，搭機返臺
5/24 (四)	抵達臺灣

參、過程

一、拜訪丹麥能源署

此次拜訪是由丹麥能源署 2 位顧問負責接待與說明，該署代表簡報說明丹麥政府推動生質能源之政策及現況，藉由訂定再生能源發展目標、營造良好沼氣投資環境及提升民眾參與等方式，丹麥逐步邁向 2050 年再生能源自給自足的目標。本署代表亦於會中簡報說明目前臺灣廚餘能資源化推動現況及方向，並於會中進行討論及經驗交流。



圖 1 本署人員簡報臺灣廚餘能資源化推動情形



圖 2 會後致贈本署紀念品

丹麥沼氣發電發展及政策推動等相關資料，摘述說明如下：

- (一) 丹麥沼氣發電發展歷程：丹麥政府 1920 年即由廢水處理廠產生沼氣提供熱能。1945 年起，發展農場沼氣發電廠以提供能源。1970 年代因石油危機之故，開始積極研究及發展沼氣產生及應用。自 2008 年起推動「能源協議及綠色成長戰略(Energy Agreement and Green Growth Strategy)」，研擬鼓勵沼氣投資基金之設置，並於 2012 年推動「新能源協議(New Energy Agreement)」，正式設置基金鼓勵沼氣再利用作為電力生產、熱能生產、沼氣純化與天然氣網聯結、工業製程及運輸燃料等用途。因此，丹麥自 2012 年起沼氣產生量大幅增加，其中以農業工廠(agriculture plant)所占比例最高且增加幅度最大，產氣料源包括禽畜糞、廢蔬果、穀類作物廢棄物（如油菜籽、小麥、黑麥和大麥）、秸稈（麥、玉米）等。

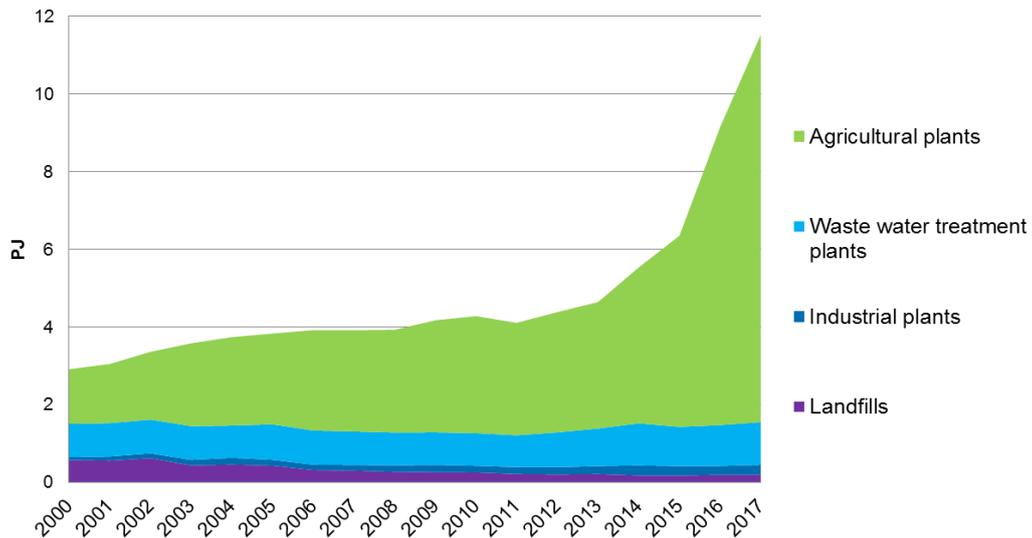


圖 3 2000-2017 年丹麥沼氣產量及其料源

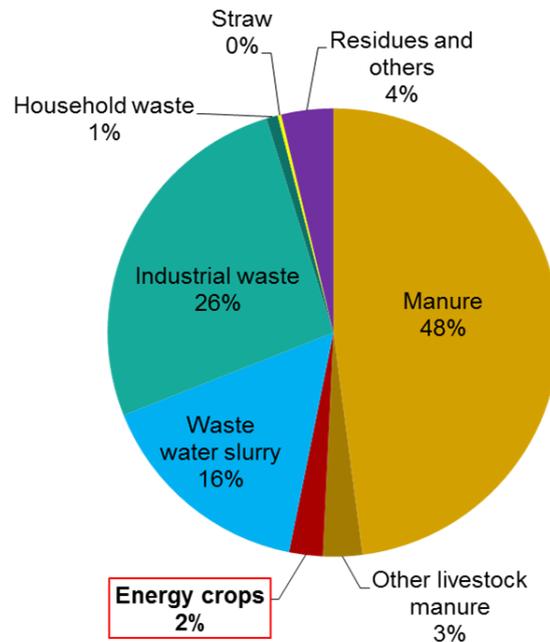


圖 4 2016-2017 年丹麥產生沼氣之料源

(二) 丹麥使用再生能源現況：2016 年丹麥使用再生能源占總能源之 32%，其中以生質能所占比率 23% 為最高、其次為風能 7%、太陽能 1% 和其他 1%。生質能來源則是以生質物（如林木廢棄物、能源作物等）轉換為能源為主，該國並持續推動生質廢棄物能源化。

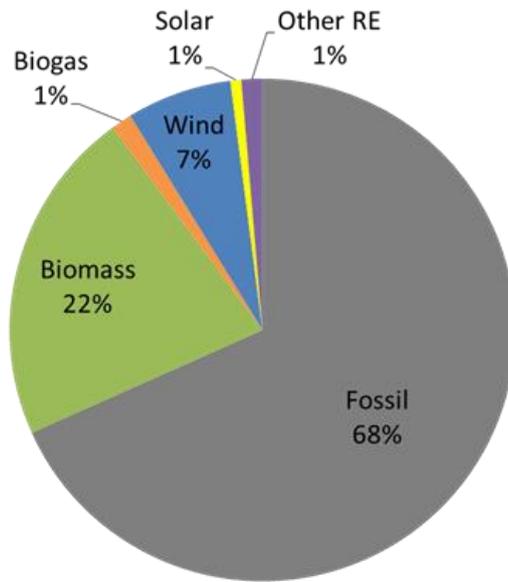


圖 5 2016 年丹麥能源使用情形

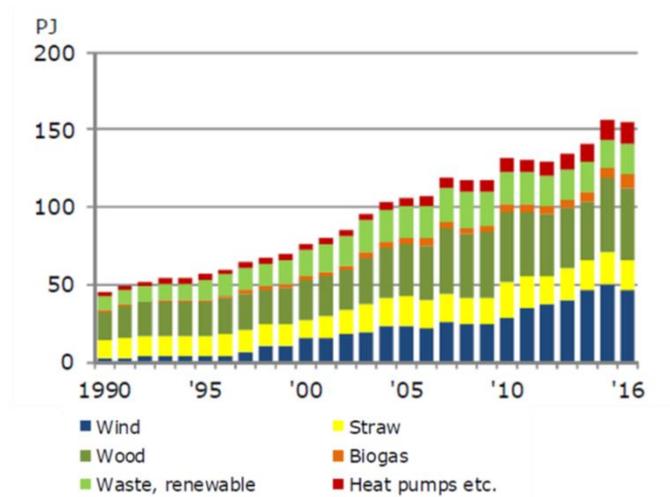


圖 6 再生能源之能源產量

(三) 丹麥再生能源目標：2020 年再生能源占總能源使用量之 30%；2030 年之再生能源使用比率達 50%；2050 年目標為 100%使用再生能源。

(四) 丹麥沼氣發電相關政策：

- 1、永續性準則(Sustainability Criteria): 丹麥為減少使用能源作物作為沼氣生產之料源比例，透過制定「永續性準則(Sustainability Criteria)」，逐年限縮能源作物之使用比例(2015-2018 年最高 25%、2018-2021 年最高 12%)，並於 2013 年提出「Denmark Without Waste」，目

標是將家戶垃圾回收率（包括有機廢棄物）由 22%（2013 年）提升至 50%（2022 年），同時增加餐廳、超市之有機廢棄物回收量，以提升廢棄物為料源之沼氣產量。

2、過度補償原則(Over-compensation)：沼氣利用之補助措施主要可分為發電併入電網及純化併入天然氣網等二大部份，另根據歐盟許可之補助原則，補助使用沼氣能源的費用需超過使用傳統石化能源之費用，此即「Over-compensation」原則。

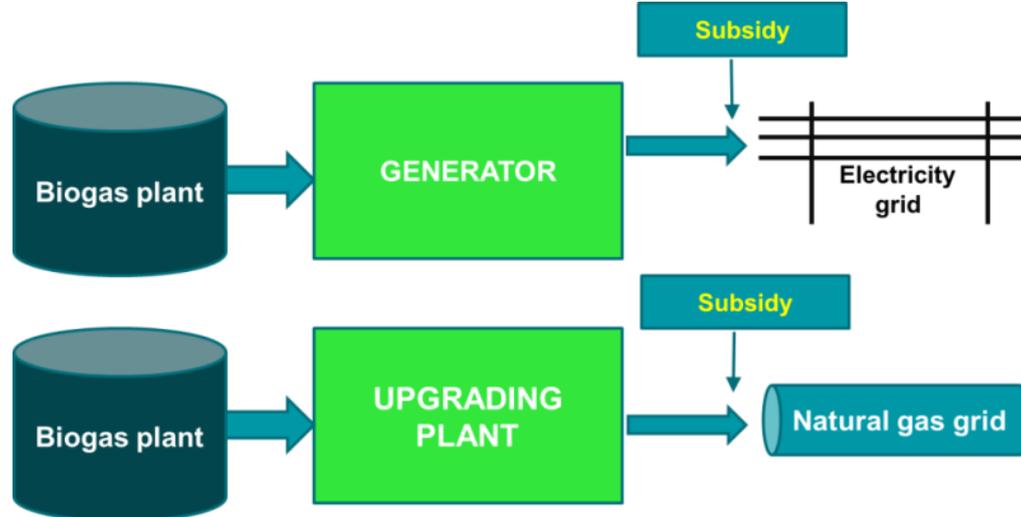


圖 7 丹麥沼氣再利用方式

（五）沼氣發電副產品再利用現況：厭氧消化後之沼渣、沼液再利用方式，在丹麥當地主要是回歸農地肥份使用，優點包括促進營養源（如磷）與有機質循環利用、減少禽畜糞臭味問題、增加植物對氮(N)肥之吸收等。

二、參訪佛蘭史德馬鈴薯蔬果公司(Potato and Vegetable Company Flensted)廢蔬果廢水處理廠之廢污泥厭氧消化設施

（一）本廠簡介

本廠地址位於 Adelvej 9, 6823 Ansager（詳如圖 8），主要係生產馬鈴薯相關食品，於廠區內設有 1 座廢水處理廠，處理馬鈴薯及蔬果之廢水，因原系統 pH 值較低，導致廢水處理效率不佳，且排放水質之化學需氧量(COD)過高，經由專家技術輔導後，已大幅提升 COD 去除效率，並有效提升沼氣產量。本次參訪由 Flensted 公司經理帶領現場參觀及解說，並討論該廠提升厭氧消化成效及改善放流水質之關鍵問題及操作技術。

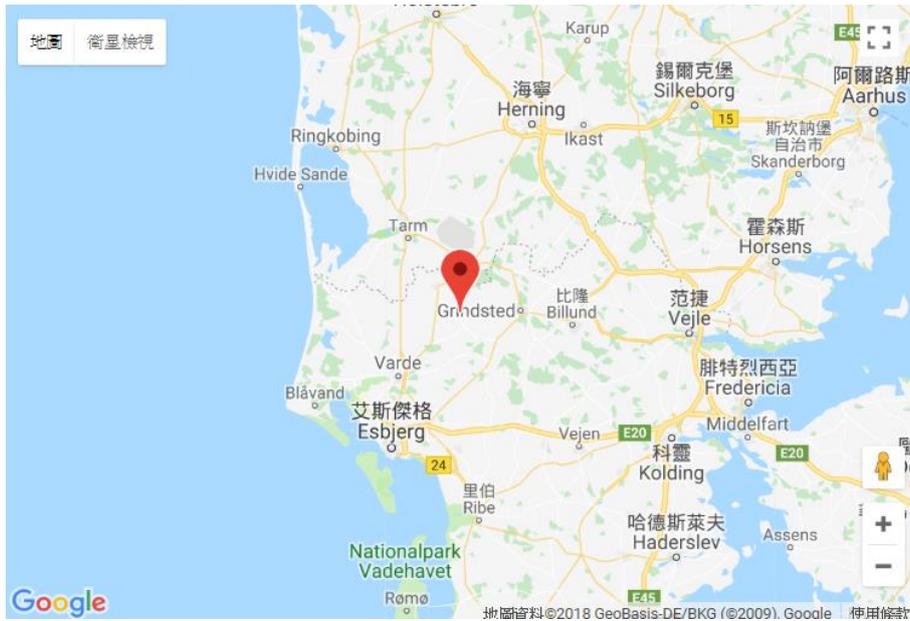


圖 8 佛蘭史德馬鈴薯蔬果公司位置圖



圖 9 現場解說

(二) 處理流程說明

本廠廢水處理量 240CMD，原料（馬鈴薯）經由灑水、破碎、過濾及水解酸化後，進入厭氧消化槽（設有 2 座槽體，採中溫消化，溫度為 35°C），產生之沼氣轉化為熱能，供作厭氧消化單元維持槽體溫度使用，未來將設置沼氣發電機組，以產生電力供廠區使用。



圖 10 廢棄馬鈴薯



圖 11 水解酸化池



圖 12 厭氧消化槽



圖 13 沼氣儲存袋



圖 14 熱能交換系統

(三) 參訪結論

- 1、本廠因原系統 pH 值較低，導致廢水處理效率不佳，排放水質 COD 過高，經由專家技術輔導後，調整進料性質並補充微量金屬元素（如 Fe 等），改善後沼氣產量大增，沼氣中 CH_4 含量達 80%。
- 2、未來國內廚餘生質能源廠主要料源為生廚餘（蔬果），其料源與該廠性質相似，因此可借鏡該廠之經驗，注意反應槽所需微量元素之添加及控制，以提升沼氣產量及純度。

三、參訪維耶艾加廢水處理廠(Egå Renseanlæg)厭氧消化及沼氣發電設施

(一) 本廠簡介

本廠地址位於 Mosevej 57, 8240 Risskov（詳如圖 15），主要係處理奧胡斯(Aarhus)及鄰近城市之生活污水，該廠建於 1993 年，近年來積極推動能源利用設施之擴建工程，目標是實

現廠區能源自給自足。本廠由能源公司 NISSEN 設置及操作，本次參訪由該公司經理帶領現場參觀及解說，並討論該廠電能產生及熱能回收相關經驗。

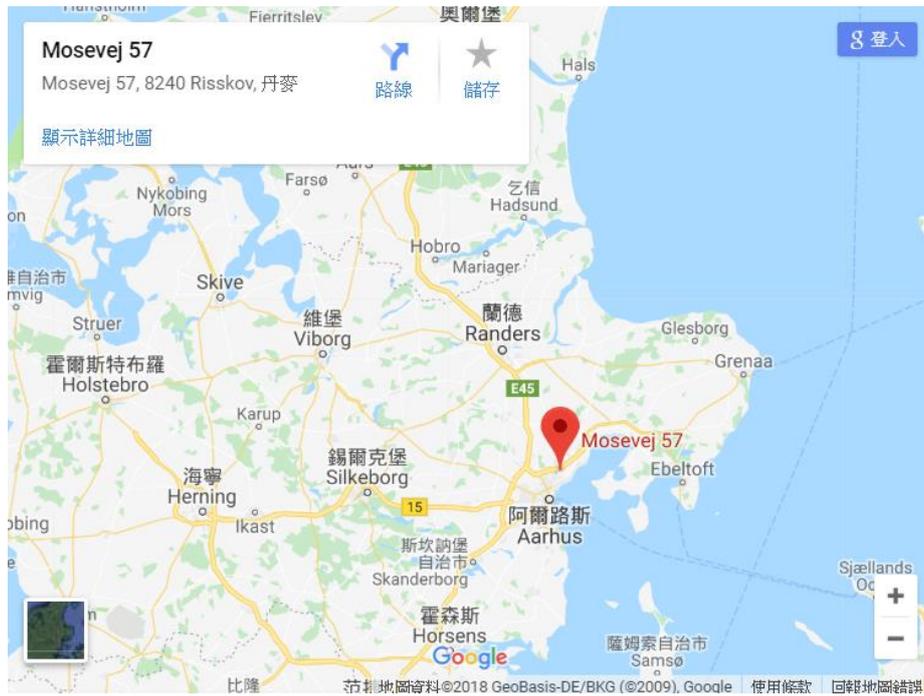


圖 15 維耶艾加廢水處理廠位置圖



圖 16 現場解說

(二) 處理流程說明

本廠設計人口當量數為 12 萬人（有機負荷量），每年進流量約 800 萬立方公尺，廢水進流後經攔污柵、沉砂池及厭氧氨氮氧化(Anammox)等處理程序，其產生之初沉污泥及生物污泥引入厭氧消化槽進行消化反應，產生沼氣之發電設備採用汽電共生系統(CHP, Combined Heat and Power)，裝置容量為 355kW，除產生電能外，並將沼氣發電設備餘熱回收進行再利用，設施相片詳如圖 17 至圖 23。



圖 17 螺旋式污水進流設備



圖 18 厭氧消化槽及沼氣儲存槽



圖 19 沼氣發電熱交換機與管線隔熱包覆情形

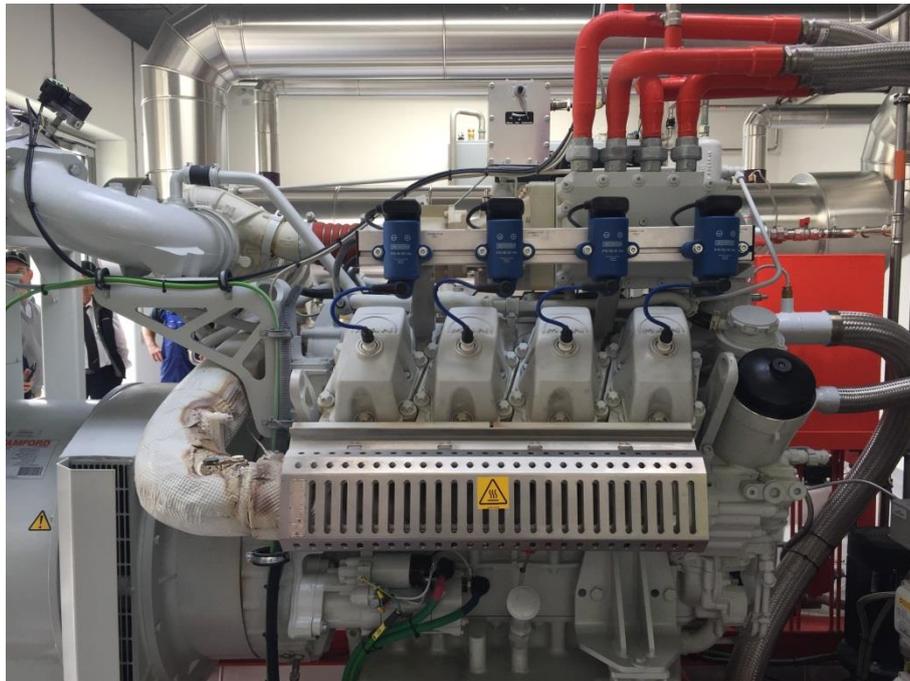


圖 20 沼氣發電機引擎本體



圖 21 沼氣發電機操作面板（已運轉 10,171 小時）



圖 22 汽電共生系統廢熱回收裝置



圖 23 備用小型沼氣發電機

(三) 參訪結論

- 1、本廠發電設備採用汽電共生系統，有效將沼氣發電設備熱能回收進行再利用，使整廠能源之生產超過消耗 50% (即 150% 自給自足)，該廠之廢熱回收經驗可提供國內參考。
- 2、為避免沼氣發電機組故障而影響廠區電力供應，本廠另設有沼氣發電備用機組，以備不時之需。
- 3、本廠另收受其他工業污泥進行共厭氧消化，可提升其沼氣之產生量。

四、參訪托森公司(Brdr. Thorsen)生質廢棄物沼氣發電廠

(一) 本廠簡介

本廠地址位於 Østenfeldvej 9, 8581 Nimtofte (詳如圖 24)，設置於養豬場旁 (養豬頭數約 4,000~5,000 頭)，該廠區內設有厭氧消化設施，主要料源為豬糞，並加入秸稈、甘油和廢蔬果及動物性生鮮等進行共消化，操作溫度控制在 50°C 左右 (高溫消化)，並採用生物脫硫方式進行沼氣處理。本廠區土地為養豬戶所有，提供托森公司設置沼氣發電設施。本次參訪由托森公司工程師帶領現場參觀及解說，並就該廠共消化之營運模式及後端沼氣、沼渣、沼液之利用方式進行討論。



圖 24 托森公司位置圖



圖 25 現場解說

(二) 處理流程說明

共消化原始料源（固體物含量 TS=20%）於混拌槽調整其 TS=10%後，經由輸送泵送至厭氧消化槽（共 3 槽，容積分別為 5,000m³、5,000 m³、6,000 m³）進行消化處理，其產生之沼氣採生物脫硫方式進行純化，並利用沼氣發電機（CHP 系統）產生電能，餘熱可提供厭氧消化維持槽內溫度使用。



圖 26 生質廢棄物混合槽



圖 27 混合槽內暫存不同種類之生質廢棄物



圖 28 牛糞及秸稈儲存區



圖 29 共消化料源以輸送泵分送不同消化槽



圖 30 厭氧消化槽



圖 31 沼氣發電機(375kW)

(三) 參訪結論

- 1、本廠料源為高濃度有機廢棄物，不易攪拌混合，且容易造成攪拌泵損壞（如圖 32），因此本廠特別在消化槽內四周之不同深度設置水平攪拌器，並因應高濃度特色設計攪拌機型式（如圖 33），使料源能充分混合進行消化反應，可供未來國內生質能源廠之設計參考。
- 2、本廠厭氧消化槽採高溫消化方式，產生之沼氣甲烷含量可達 80%，每日沼氣產量可達 7,680m³。
- 3、本廠另收受鄰近地區之生質廢棄物，並回供沼肥（沼渣、沼液）。



圖 32 損壞之攪拌泵



圖 33 水平攪拌器

五、參訪農業商業園區(Agro Business Park)生質能源創新研究中心

(一) 中心簡介

本中心地址位於 Niels Pedersens Alle 2, 8830 Tjele (如圖 34)，主要係提供農業、食品、生質能與環境等顧問諮詢及技術服務，其團隊已具有 15 年以上的經驗，服務對象主要為個人企業家及個體企業。本次參訪除聽取丹麥沼氣發電業務簡報，並與 Agro Business Park 公司 2 位專案經理，以及 SEGES 公司顧問，針對丹麥轉廢為能資源之推動經驗進行交流。

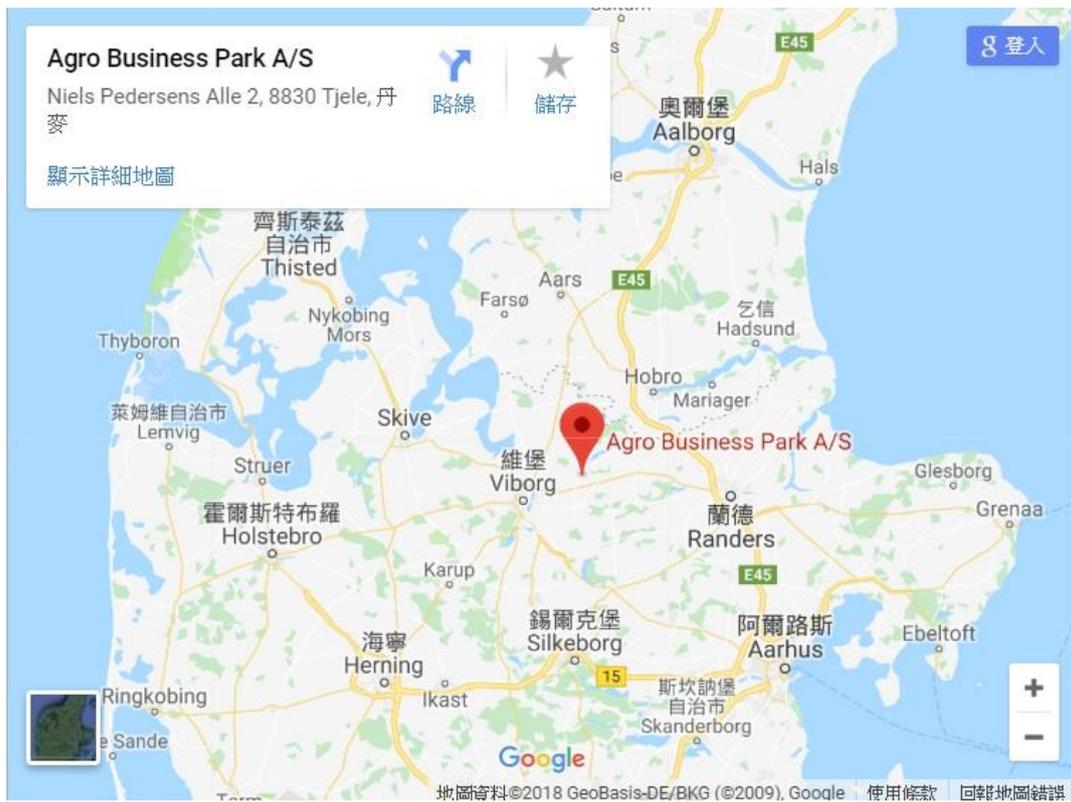


圖 34 Agro Business Park 位置圖



圖 35 與 Agro Business Park 公司專案經理等人合影

(二) 交流議題

1、丹麥生質能產業聚落發展概況

丹麥政府近年積極推動生質能政策，使得該國沼氣發電及相關技術產業蓬勃發展，目前在當地已有 750 間公司、10 家研發機構、117 個公共組織及 130 個外國會員等從事沼氣發電及相關技術之提升工作，彼此間透過競合方式，尋求可行獲利模式，促使該國沼氣產生及利用之技術不斷向上提升。

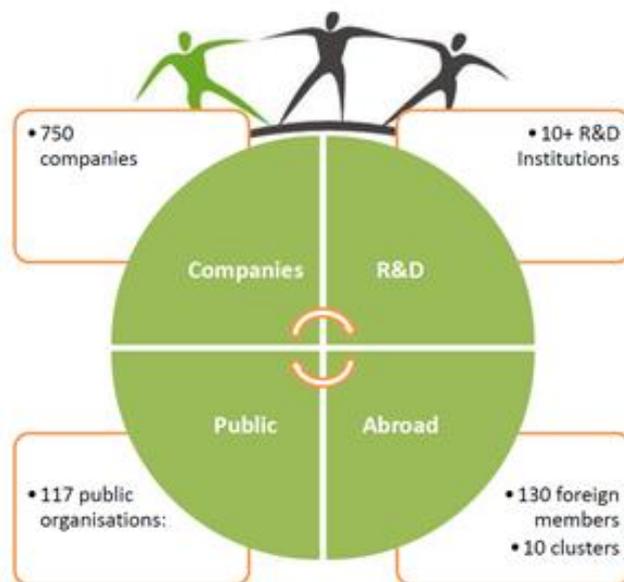


圖 36 丹麥生質能產業聚落

2、丹麥農業發展概況

丹麥國土面積有 61% 作為農業使用，國內約有 3 萬 6000 座農場，其每年農產品出口價值為 203 億歐元，因此農業生產在丹麥地區是相當重要的產業。SEGES 公司為 Agro Business Park 成員之一，主要提供農業上之專業知識顧問服務，為非營利組織，主要服務對象為丹麥地區從事農業生產之農民，透過舉辦相關農業教育課程，且實地訪查指導，進而提升農民專業知識能力，以增加其農業生產產能。以酪農（牛乳）產業而言，該公司指出丹麥每頭乳牛之牛乳產量已提升 178%（相較於 1980 年），但飼料需求量則降低為 88%，這是透過不斷專精其生產效率，以智慧生產方式，促使農民使用電腦及資訊分析工具，輔以該公司提供之專業顧問服務，所獲得的成果。

MILK PRODUCTION AND FEEDING EFFICIENCY - RELATIVE; 1980 = 100

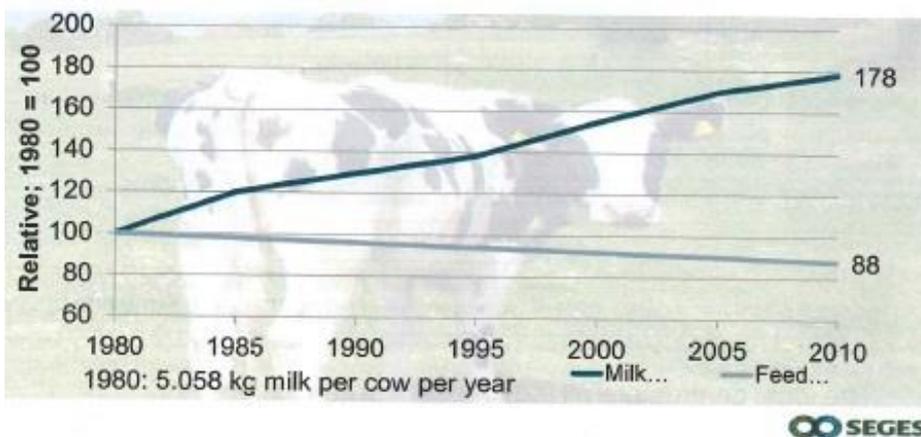


圖 37 丹麥酪農業產能及飼料供給情形

3、有機肥再利用情形

在丹麥地區，農業生產使用化學肥料比率已大幅下降，取而代之的是厭氧消化後產生之沼肥（有機肥）。

Use of Mineral fertilizers in Denmark 1,000 tons per year

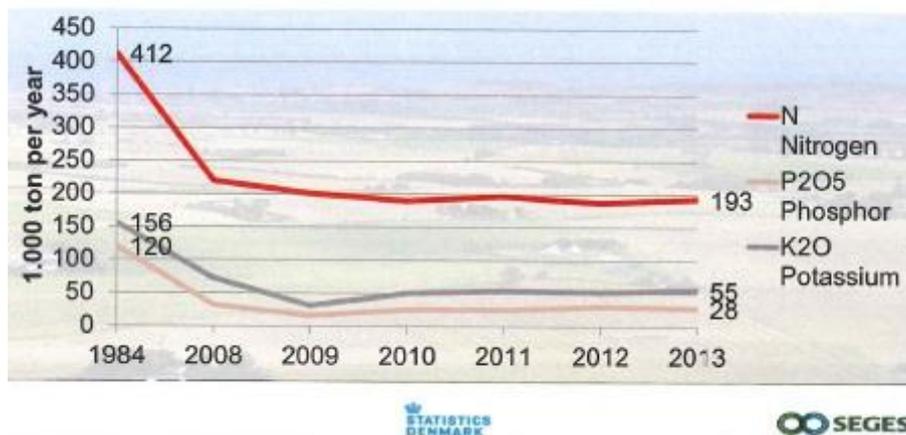


圖 38 丹麥化學肥使用情形

(三) 參訪結論

- 1、在丹麥政府積極推動綠能政策下，帶動該國生質能相關產業蓬勃發展，有效結合業界、研究機構、公共組織等團體之力量，不斷精進沼氣利用技術，因此也吸引許多國家前往學習。
- 2、丹麥農田面積占總面積將近 7 成，近年來積極推展有機農業，逐漸減少化學肥料的使用，改以有機肥澆灌農田方式進行栽種，不僅可提升農田肥力，也可促進農田永續再利用。

六、參訪曼森沼氣廠(Månsson biogas plant)生質廢棄物能源化設施

(一) 本廠簡介

本廠地址位於 Grarupvej 15, 7330 Brande (詳如圖 39)，係丹麥 Nature Energy 公司與 Axel Månsson Øko 有機農場共同斥資 1.3 億丹麥克朗 (約新臺幣 6.2 億元) 興建，為典型生質廢棄物共消化沼氣中心，收取各種不同料源之有機廢棄物，包括食品廢棄物、廢蔬果、禽畜糞、農廢等 (但不含污泥)，沼氣發電後可供應 4,000 個家庭 1 年所需之電力及供暖需求；沼肥 (沼渣、沼液) 則直接供應農民使用；沼氣純化後直接併入天然氣網。本次參訪由 NGF Nature Energy 公司人員帶領現場參觀及解說，並就該廠共消化之營運模式及後端沼氣、沼渣、沼液之利用方式進行交流。

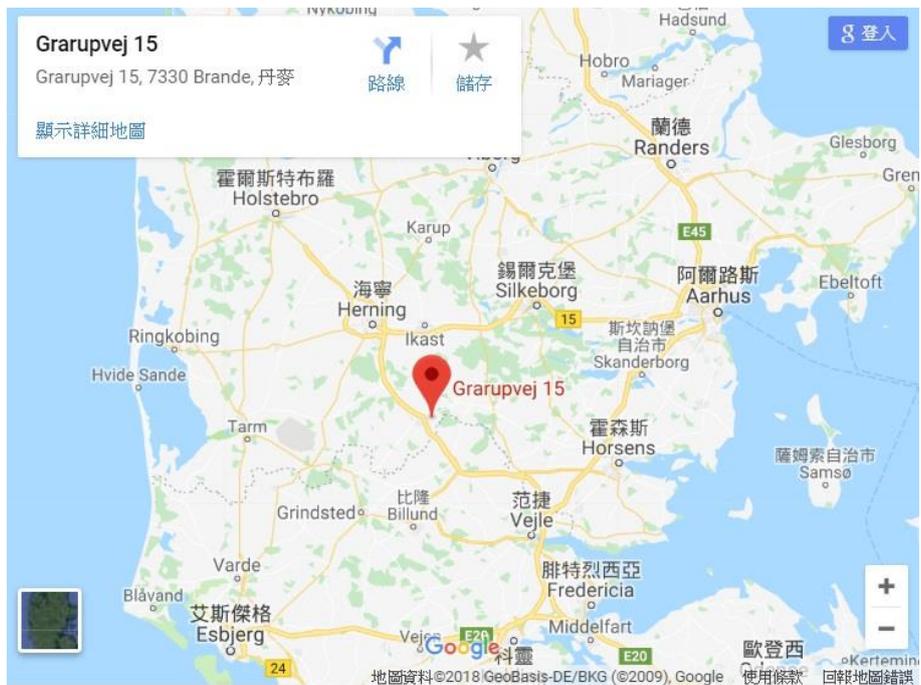


圖 39 曼森沼氣廠位置圖



圖 40 現場參觀及解說

(二) 處理流程

本廠每日處理量約 150 公噸，進廠之車輛將物料傾卸至儲坑，透過儲坑上的天車以抓斗混拌方式混合後，送至破碎機進行破碎前處理。破碎後之物料將固體物濃度(TS)調整至 10% 後（混合迴流之沼肥），輸送至物料暫存槽進行暫置，之後送至厭氧消化槽進行有機物分解

程序。本廠設有 3 座厭氧消化槽，總體積為 2 萬 3,100 立方公尺（每座體積 7,700 立方公尺），採中溫消化方式，停留時間約 53 天。產生之沼氣經由純化後，甲烷濃度可達 98.5%，併入天然氣網使用；產生之沼肥則暫存於儲存槽中，以管線連接至廠內沼肥輸送站，待槽車進廠後抽取載運。



圖 41 進料倉儲區



圖 42 貨車傾卸生質廢棄物



圖 43 抓斗混拌生質廢棄物



圖 44 混合後物料暫存槽及沼肥儲槽



圖 45 厭氧消化槽及沼氣儲槽



圖 46 沼肥輸送站及槽車載運抽取（真空抽氣）情形

(三) 參訪結論

- 1、本廠產生之沼氣純化後甲烷濃度極高，採直接併入天然氣網方式進行再利用，有效提升能源使用效率。
- 2、本廠環境衛生狀況良好，沼肥輸送站設有真空抽氣裝置，可避免槽車載運抽取時逸散臭味。
- 3、本廠為大型生質廢棄物共消化處理廠，其相關處理設施完善且均具有一定規模，沼氣及沼肥去化無虞，可作為國內未來興設生質能源廠之參考依據。

七、參訪埃斯比約廢水處理廠(Esbjerg Rens Vest wastewater treatment plant)厭氧消化及沼氣發電設施

(一) 本廠簡介

本廠位於 Vognsbøl Engvej 7, 6700 Esbjerg (詳如圖 47)，主要係處理埃斯比約及鄰近城市之生活污水，該廠建於 1956 年，於 1990 年重建，並於 2010 年新增污泥水解設施。本廠由丹麥前 10 大環保公司 DIN Forsyning 負責建造操作，本次參訪由該公司人員帶領現場參觀及解說，並就該廠營運模式及後端沼氣、沼渣、沼液之利用方式進行交流。



圖 47 埃斯比約廢水處理廠位置圖



圖 48 現場參觀及解說合影

(二) 處理流程

本廠設計人口當量數為 16 萬人（有機負荷量），每日廢水處理量 2 萬 7,000 立方公尺，廢水進流後經沉澱、濃縮及生物處理後，其產生之初沉污泥及生物污泥進入厭氧消化處理程序。該廠於 2 段厭氧消化槽之間增設高溫(68°C)水解槽，藉此提升污泥分解效率，產生之沼氣則作為發電使用。

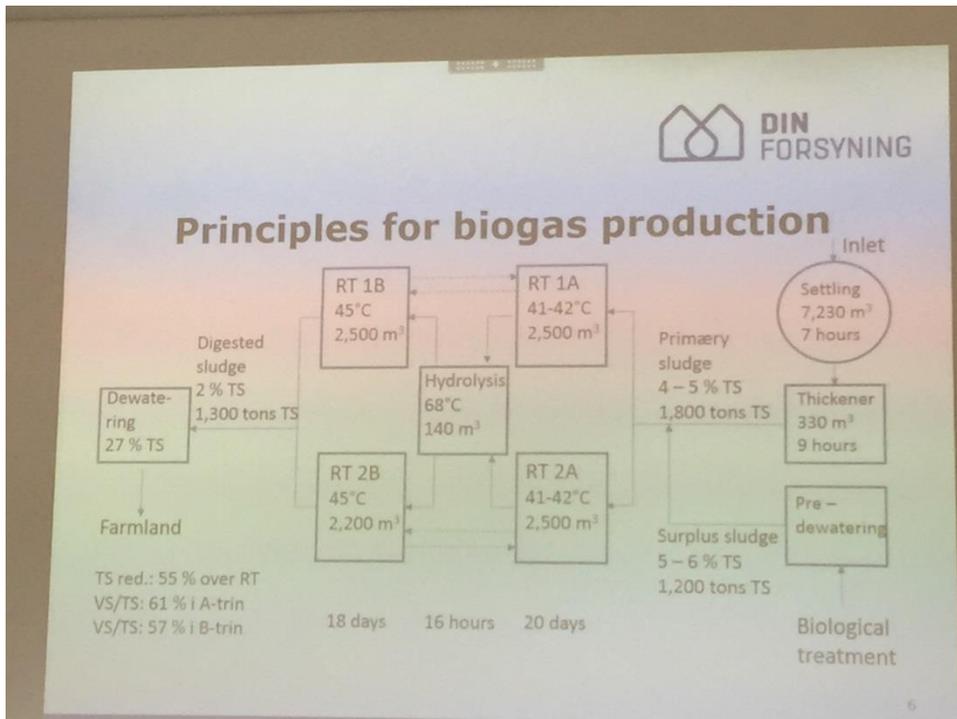


圖 49 污泥厭氧消化流程圖



圖 50 厭氧消化槽及沼氣儲存槽



圖 51 高溫水解塔

(三) 參訪結論

- 1、本廠特色為於 2 段厭氧槽之間增設高溫水解槽(停留時間 16 小時),有利於沼氣產生,因高溫水解之操作條件較為罕見,係經由長期模廠實驗操作而所獲最佳之操作條件。未來國內生質能源廠之操作也可借鏡該廠經驗,因應不同環境特性,以模廠實驗採取適當操作參數,使沼氣產量有效提升。
- 2、另該廠廢水來源包括生活廢水及工業廢水,厭氧消化後之沼渣沼液直接排放於農田,作為肥份使用,與部分國家下水道厭氧消化污泥不作為農地肥份使用之做法不同,為罕見之案例。

肆、心得及建議

- 一、丹麥政府透過沼氣基金之設置及補貼政策之推動,使該國沼氣生產再利用產業蓬勃發展,且未來將逐漸限縮能源作物之使用比例,並積極推動將廢棄物轉化為能源(生產沼氣作為燃料或發電之料源),值得國內發展生質能之參考。
- 二、未來國內生質能源廠之沼氣利用,可效法歐洲國家發展將沼氣替代天然氣作為燃料使用,以管線運輸(pipe gas)及上網(in grid)併入天然氣系統,以提升整體能源利用效率。

三、丹麥厭氧消化設施產生之沼渣，多數做為農地肥份使用，且受當地農民喜愛，並須付費購買。未來國內生質能源廠產生之沼肥（包括沼渣及沼液），應朝向回歸農地或製成肥料之方式進行再利用，以達循環經濟之目標。